

## VI その他の説明書

# VI-1 説明書



## 目 次

- VI-1-1 各施設に共通の説明書
  - VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書
    - VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書
    - VI-1-1-1-2 竜巻への配慮に関する説明書
    - VI-1-1-1-3 外部火災への配慮に関する説明書
    - VI-1-1-1-4 火山への配慮に関する説明書
    - VI-1-1-1-5 航空機に対する防護設計に関する説明書
    - VI-1-1-1-6 落雷への配慮に関する説明書
    - VI-1-1-1-7 津波への配慮に関する説明書
  - VI-1-1-2 再処理施設の閉じ込めの機能に関する説明書
  - VI-1-1-3 設備別記載事項の設定根拠に関する説明書 次回以降申請
  - VI-1-1-4 安全機能を有する施設及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書
  - VI-1-1-5 再処理施設への人の不法な侵入等の防止に関する説明書
  - VI-1-1-6 再処理施設内における溢水による損傷の防止に関する説明書
  - VI-1-1-7 再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止に関する説明書
  - VI-1-1-8 通信連絡設備に関する説明書 次回以降申請
  - VI-1-1-9 安全避難通路等に関する説明書 次回以降申請
  - VI-1-1-10 搬送設備に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-2 使用済燃料の受入施設及び貯蔵施設に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-3 製品貯蔵施設に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-4 計測制御系統施設に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-5 制御室及び緊急時対策所に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-6 放射性廃棄物の廃棄施設に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-7 放射線管理施設に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-8 その他の再処理施設に関する説明書 次回以降申請

- VI-1-8-1 電気設備に関する説明書 次回以降申請
- VI-1-8-2 工場等外への放射性物質の放出を抑制するための設備に関する説明書  
次回以降申請
- VI-1-8-3 重大事故等への対処に必要となる水の供給設備に関する説明書 次回  
以降申請

# VI-1-1 各施設に共通の説明書

## Ⅵ－１－１－１

再処理施設の自然現象等による損傷  
防止に関する説明書

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 自然現象等による損傷の防止に対する配慮に係る基本方針 .....	1
2.1 基本方針 .....	1
2.2 組合せ .....	2
2.2.1 異種の自然現象の組合せ .....	2
2.2.2 設計基準事故時の荷重との組合せ .....	7
2.2.3 組合せを考慮した荷重評価について .....	7

## 1. 概要

本資料は、自然現象等の外部からの衝撃への配慮について説明するものである。「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第六条（地震による損傷の防止）及び第三十三条（地震による損傷の防止）については、「IV-1 再処理施設の耐震性に関する基本方針」にてその適合性を説明するため、本資料においては、地震及び津波を除く自然現象等の外部からの衝撃による損傷の防止に関する設計が、技術基準規則第八条（外部からの衝撃による損傷の防止）に適合することを説明する。なお、技術基準規則第七条（津波による損傷の防止）における、敷地に遡上する津波への配慮が不要であることについては、「VI-1-1-1-7 津波への配慮に関する説明書」に示す。

また、技術基準規則第三十六条に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた自然現象等に対する重大事故等対処設備への具体的な対策については、「VI-1-1-4 安全機能を有する施設及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」にて説明するが、当該設計に基づく荷重又は熱影響評価については「VI-1-1-1-2-4 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」，「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」又は「VI-1-1-1-4-4 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」の中で説明する。

なお、自然現象の組合せについては、全ての組合せを網羅的に確認するため、地震を含めた自然現象について本資料で説明する。

## 2. 自然現象等による損傷の防止に対する配慮に係る基本方針

### 2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、敷地内又はその周辺の自然環境を基に想定される風（台風）、竜巻、凍結、高温、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災及び塩害の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む組合せに遭遇した場合において、自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として再処理施設で生じ得る環境条件においても、その安全機能が損なわれないよう、防護措置、基礎地盤の改良及び運用上の措置を講ずる設計とする。

このうち、基礎地盤の改良により地震に対する建物・構築物の支持性能を確保する設計については「IV-1-1 耐震設計の基本方針」において説明する。

安全機能を有する施設は、敷地内又はその周辺の状況を基に想定され、再処理施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）（以下「人為事象」という。）として、飛来物（航空機落下）、爆発、近隣工場等の火災（危険物を搭載した車両及び船舶の火災を含む）、有毒ガス、電磁的障害及び再処理事業所内における化学物質の漏えいに対して、その安全機能が損なわれないよう、防護措置及び運用上の措置を講ずる設計とする。

外部からの衝撃に対する影響評価並びに安全機能を損なうおそれがある場合の防護措置及び運用上の措置においては、波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設についても考慮する。

また、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び人為事象に対しては、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な安全機能を有する施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

想定される自然現象（地震及び津波を除く。）及び人為事象の発生により、再処理施設に重大な影響を及ぼすおそれがあると判断した場合は、必要に応じて使用済燃料の再処理を停止する等、再処理施設への影響を軽減するための措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

自然現象（地震及び津波を除く。）及び人為事象のうち、風（台風）、凍結、高温、降水、積雪、生物学的事象、塩害、有毒ガス、電磁的障害及び再処理事業所内における化学物質の漏えいに対する設計方針については「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」において説明する。

また、自然現象（地震及び津波を除く。）及び人為事象のうち竜巻に対する設計方針については「VI-1-1-1-2 竜巻への配慮に関する説明書」、森林火災、爆発及び近隣工場等の火災に対する設計方針については「VI-1-1-1-3 外部火災への配慮に関する説明書」、火山の影響に対する設計方針については「VI-1-1-1-4 火山への配慮に関する説明書」、航空機落下に対する設計方針については「VI-1-1-1-5 航空機に対する防護設計に関する説明書」並びに落雷に対する設計方針については「VI-1-1-1-6 落雷への配慮に関する説明書」において説明する。

## 2.2 組合せ

### 2.2.1 異種の自然現象の組合せ

安全機能を有する施設の安全機能が損なわれないことを広く確認する観点から、地震を含めた自然現象の組合せについて、敷地及びその敷地周辺の地学、気象学的背景を踏まえて検討する。

#### (1) 組合せを検討する自然現象の抽出

自然現象が安全機能を有する施設に与える影響を考慮し、組合せを検討する自然現象を抽出する。

自然現象及び人為事象の組合せについては、地震、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、火山の影響、生物学的事象、森林火災等を考慮し、複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せとして、事業指定（変更許可）申請書において示すとおり、風（台風）及び積雪、竜巻及び積雪、火山の影響（降下火砕物）及び積雪、地震及び積雪、火山の影響（降下火砕物）及び風（台風）並びに地震及び風（台風）の組合せを、施設の形状及び配置に応じて

考慮する。

荷重の組合せを考慮する自然現象のうち、竜巻、地震及び火山の影響（降下火砕物）による荷重は、発生頻度が低い偶発的荷重であるが、発生すると荷重が比較的大きい。

これに対して積雪及び風(台風)による荷重は、発生頻度が竜巻、地震又は火山の影響（降下火砕物）による荷重と比べて高い変動荷重であり、発生する荷重は竜巻、地震又は火山の影響（降下火砕物）による荷重と比べて小さい。

そのため、「竜巻、地震又は火山の影響（降下火砕物）」の荷重と「積雪又は風(台風)」の荷重との組合せを考慮する。

なお、竜巻及び地震並びに竜巻及び火山の影響（降下火砕物）の組合せについては、独立事象であること及び各々の発生頻度が十分小さいことから、竜巻及び地震並びに竜巻及び火山の影響（降下火砕物）の組合せを考慮する必要はない。

また、地震及び火山の影響（降下火砕物）の組合せについては、地震（基準地震動）の震源と火山とは十分な距離があることから、独立事象として扱い、各々の発生頻度が十分小さいことから、地震及び火山の影響（降下火砕物）の組合せを考慮する必要はない。

火山性地震を考慮した場合においても、火山は敷地から十分な距離があることから、火山性地震とこれに関連する事象による影響はないと判断し、地震及び火山の影響（降下火砕物）の組合せは考慮しない。（事業指定(変更許可)申請書添付書類四「9. 6. 2 その他の火山事象」参照）

荷重評価においては、地震又は火山の影響（降下火砕物）と同時に積雪及び風(台風)が発生する場合を考慮し、地震動による地震力、積雪荷重及び風荷重の組合せ並びに火山の影響（降下火砕物）による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せについても検討する。地震動による地震力又は火山の影響（降下火砕物）による荷重に積雪荷重及び風荷重を組み合わせる場合の考え方については、各事象に関する説明書に示す。

地震又は火山の影響（降下火砕物）による荷重と組み合わせるべき積雪荷重及び風荷重については、それぞれの性質を考慮し、建築基準法等に定める荷重を設定する。

## (2) 荷重の性質

安全機能を有する施設に影響を与えるおそれのある自然現象による荷重の性質を第2. 2. 1-1表に示す。

最大荷重の継続時間については、地震、竜巻及び風(台風)は最大荷重の継続時間が短い。これに対し、火山の影響（降下火砕物）及び積雪は、一度事象が発生すると、降下火砕物又は雪が降り積もって堆積物となり、長時間



にわたって荷重が作用するため、最大荷重の継続時間が長い。発生頻度については、地震、竜巻及び火山の影響（降下火砕物）は積雪又は風（台風）と比較して発生頻度が非常に低い。

第2.2.1-1表 自然現象の荷重の性質

荷重の種類	荷重の大きさ	最大荷重の継続時間	発生頻度 (年 <sup>-1</sup> )
基準地震動	特大	短 (150秒程度)	$10^{-3} \sim 10^{-6}$ 程度*1
設計竜巻	特大	短 (60秒程度) *2	$1.86 \times 10^{-8}$ *3
火山の影響 (降下火砕物)	大	長 (30日程度)	$5.5 \times 10^{-6}$ *4
積雪	小	長 (1週間程度)	$2 \times 10^{-2}$ 程度*5
風 (台風)	小	短 (10分程度)	$2 \times 10^{-2}$ 程度*5

注記

\*1 事業指定申請書 添付資料6「1.6.1.4.2 動的地震力」より

\*2 竜巻影響エリア  $\phi = 560\text{m}$ に最大接線風速半径 $R_m = 30\text{m}$ の2倍を加えた距離を、竜巻の移動速度  $v_w = 15\text{m/s}$ で横切る時間

\*3 風速 $100\text{m/s}$ に相当する年超過確率

\*4 北八甲田火山群の噴火年代 (28~18万年前) の逆数

\*5 50年再現期待値

上記の荷重の性質を考慮して、安全機能を有する施設に影響を与えるおそれのある自然現象による荷重の組合せについて検討する。

### (3) 荷重の組合せ

#### a. 風荷重及び積雪荷重の組合せ

風（台風）及び積雪の組合せについては、風荷重の継続時間は短い、積雪荷重の継続時間が長い、ため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により適切に組み合わせる。

組み合わせるべき荷重のうち、風荷重については、建築基準法の多雪区域における風荷重と積雪荷重の組合せの基準を適用して、「Eの数値を算出する方法並びにV0及び風力係数を定める件」（平成12年5月31日建設省告示第1454号）に定められた六ヶ所村の基準風速 $34\text{m/s}$ を用いて求める荷重とする。

また、積雪荷重については、六ヶ所村統計書における観測記録上の極値 $190\text{cm}$ に、「建築基準法施行令」第八十二条に定めるところの建築基準法の多雪区域において、積雪時に強い季節風等の暴風又は地震を想定する場合に適用する平均的な積雪荷重を与えるための係数 $0.35$ を考慮する。

ただし、上記の条件下での風（台風）及び積雪の組合せは、竜巻及び積雪の組合せに包絡されるため、実際の評価は竜巻に対する評価において実施する。

#### b. 竜巻荷重及び積雪荷重の組合せ

竜巻及び積雪の組合せについては、竜巻による荷重の継続時間は短い、積雪荷重の継続時間が長い、ため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により適切に組み合わせる。

具体的には、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重を適切に組み合わせた設計竜巻荷重に対して、六ヶ所村統計書における観測記録上の極値190cmに、「建築基準法施行令」第八十二条に定めるところの建築基準法の多雪区域における積雪荷重と地震力の組合せを適用して、平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した積雪荷重を組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に示す。

#### c. 地震力及び積雪荷重の組合せ

地震及び積雪の組合せについては、地震荷重の継続時間は短い、積雪荷重の継続時間が長い、ため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により適切に組み合わせる。

建築基準法では、多雪区域においては暴風時あるいは地震時の荷重評価を実施する際、積雪を組み合わせた評価を求めており、「風」や「地震」を主荷重、組み合わせる「積雪」を従荷重とし、従たる荷重は稀に起こる積雪荷重ではなく平均的な積雪荷重としており、平均的な積雪荷重は短期積雪荷重の0.35倍としている。

具体的には、「青森県建築基準法施行細則」に定められた六ヶ所村の垂直積雪量(150cm)と六ヶ所村統計書における最深積雪(190cm)を比較し、厳しい条件である六ヶ所村統計書における最深積雪190cmに対し、平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した積雪荷重を、地震力に対して組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に示す。

#### d. 火山の影響（降下火砕物）による荷重及び積雪荷重による荷重の組合せ

火山の影響（降下火砕物）及び積雪の組合せについては、火山の影響(降下火砕物)による荷重の継続時間が他の荷重と比較して長く、積雪荷重の継続時間も長い、ため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により適切に組み合わせる。

組み合わせるべき荷重は、「c. 地震力及び積雪荷重の組合せ」に示す建築基準法における主従の考え方を参考として、降下火砕物を主荷重、積雪を従荷重として扱い、積雪荷重は、地震との組合せと同様に、六ヶ所村統計書における最深積雪190cmに、冬季の平均的な積雪状態を与えるための係数

0.35を考慮したものが考えられる。

しかしながら、降下火砕物の荷重は竜巻等の瞬間的な荷重とは異なり持続的に影響を及ぼしうることから、積雪荷重に対する冬季の平均的な積雪状態を与えるための係数0.35は考慮しない。また、降下火砕物及び積雪は共に堆積し始めてから時間をかけて堆積する荷重であるという特徴があることから、積雪深については、六ヶ所村統計書における最深積雪190cmではなく、「青森県建築基準法施行細則」に定められた六ヶ所村の垂直積雪量150cmを用いることとする。

以上より、火山の影響（降下火砕物）及び積雪の組合せについては、湿潤状態の降下火砕物の層厚55cmから求める火山の影響（降下火砕物）による荷重に対して、建築基準法に基づき「青森県建築基準法施行細則」に定められた六ヶ所村の垂直積雪量150cmを用いて求める積雪荷重を組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す。

#### e. 火山の影響（降下火砕物）による荷重及び風荷重の組合せ

火山の影響（降下火砕物）及び風（台風）の組合せについては、火山の影響（降下火砕物）による荷重の継続時間が風荷重と比較して長いこと及び火山の影響（降下火砕物）と比較して風（台風）は発生頻度が高いため組合せを考慮し、施設の形状及び配置により荷重を適切に組み合わせる。

具体的には、湿潤状態の降下火砕物の層厚55cmから求める火山の影響（降下火砕物）による荷重に対して、「Eの数値を算出する方法並びにV0及び風力係数を定める件」（平成12年5月31日建設省告示第1454号）に定められた六ヶ所村の基準風速34m/sを用いて求める風荷重を組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す。

#### f. 地震力及び風荷重の組合せ

地震及び風（台風）の組合せについては、それぞれの最大荷重の継続時間が短いですが、地震と比較して風（台風）は発生頻度が高いことから、風荷重の影響が大きいと考えられるような構造や形状の施設に対し、組合せを考慮する。

具体的には、地震力に対して、「Eの数値を算出する方法並びにV0及び風力係数を定める件」（平成12年5月31日建設省告示第1454号）に定められた六ヶ所村の基準風速34m/sを用いて求める風荷重を組み合わせる。

荷重の組合せに係る設計方針については、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」に示す。

## 2.2.2 設計基準事故時の荷重との組合せ

最新の科学的技術的知見を踏まえ、安全上重要な施設は、当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象（地震を除く。）により当該安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を、それぞれの因果関係及び時間的変化を考慮して適切に組み合わせた条件においても、安全機能を損なわない設計とする。

具体的には、建屋内に設置される安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象（地震を除く。）の影響を防止することにより、建屋内に設置されている安全上重要な施設は、自然現象（地震を除く。）の荷重の影響を受けることがない設計とすることから、安全上重要な施設は設計基準事故が発生した場合でも、自然現象（地震を除く。）による影響を受けることはない。

屋外に設置される安全上重要な施設としては主排気筒、安全冷却水系の冷却塔等があるが、これらの施設については、設計基準事故が発生した場合でも施設の運転圧力、温度等は変わらないため設計基準事故時荷重が発生しないことから、自然現象による荷重と重なることはない。

したがって、安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象（地震を除く。）による衝撃と設計基準事故時の荷重は重なることのない設計とする。

## 2.2.3 組合せを考慮した荷重評価について

自然現象の組合せによる荷重以外の荷重として、常時作用している荷重（自重等）及び運転時荷重の組合せについては、「IV-1-1 耐震設計の基本方針」、 「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」及び「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」に基づき評価する。

VI-1-1-1-1

自然現象等への配慮に関する説明書

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 防護すべき施設 .....	1
3. 防護設計に係る荷重等の設定 .....	1
4. 自然現象及び人為事象に対する防護対策 .....	1
4.1 自然現象に対する防護対策 .....	1
4.2 人為事象に対する防護対策 .....	5
4.3 必要な機能を損なわないための運用上の措置 .....	7

## 1. 概要

本資料は、再処理施設における自然現象（竜巻，森林火災，火山の影響，落雷，地震及び津波を除く。）及び人為事象（航空機落下，爆発及び近隣工場等の火災を除く。）に対する防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第八条に適合することを説明するものである。

## 2. 防護すべき施設

想定される自然現象（竜巻，森林火災，火山の影響，落雷，地震及び津波を除く。）（以下「自然現象」という。）又は人為事象（航空機落下，爆発及び近隣工場等の火災を除く。）（以下「人為事象」という。）から防護する施設（以下「外部事象防護対象施設」という。）としては，安全評価上その機能を期待する建物・構築物，系統及び機器を漏れなく抽出する観点から，安全上重要な機能を有する建物・構築物，系統及び機器とする。外部事象防護対象施設及びそれらを収納する建屋（以下「外部事象防護対象施設等」という。）は，自然現象又は人為事象に対し，機械的強度を有すること等により，外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また，想定される自然現象及び人為事象の影響により外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設の影響を考慮した設計とする。

外部事象防護対象施設等以外の安全機能を有する施設は，自然現象又は人為事象に対して機能を維持すること若しくは損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障の生じない期間での修理を行うこと又はそれらを組み合わせることにより，安全機能を損なわない設計とする。

また，上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて，管理する。

なお，使用済燃料輸送容器に使用済燃料が収納された使用済燃料収納使用済燃料輸送容器（以下，「使用済燃料収納キャスク」という。）は，再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ，自然現象及び人為事象により使用済燃料収納キャスクを収納する建屋が使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

## 3. 防護設計に係る荷重等の設定

想定される自然現象及び人為事象そのものがもたらす環境条件並びにその結果として再処理施設で生じ得る環境条件を考慮し，防護設計に係る荷重等の条件を設定する。

## 4. 自然現象及び人為事象に対する防護対策

外部事象防護対象施設等は，以下の自然現象及び人為事象に係る設計方針に基づき機械的強度を有すること等により，安全機能を損なわない設計とする。

### 4.1 自然現象に対する防護対策

#### (1) 風（台風）

敷地付近で観測された日最大瞬間風速は，八戸特別地域気象観測所での観測記録

(1951年～2018年3月)で41.7m/s(2017年9月18日)である。

外部事象防護対象施設は、この観測値を基準とし、建築基準法及び平成12年5月31日建設省告示第1454号「Eの数値を算出する方法並びにV0及び風力係数の数値を定める件」に基づき算出する風荷重に対して機械的強度を有する設計とする又は機械的強度を有する建屋内に収納することにより、安全機能を損なわない設計とする。

ただし、建築基準法及び告示に基づき算出する風荷重は、設計竜巻の最大風速(100m/s)による風荷重を大きく下回るため、風(台風)に対する安全設計は竜巻に対する設計の中で確認する。

## (2) 凍 結

敷地付近で観測された日最低気温は、むつ特別地域気象観測所での観測記録(1935年～2018年3月)によれば-22.4℃(1984年2月18日)、八戸特別地域気象観測所での観測記録(1937年～2018年3月)によれば-15.7℃(1953年1月3日)である。

敷地及び敷地周辺の観測値を適切に考慮し、むつ特別地域気象観測所、八戸特別地域気象観測所及び六ヶ所地域気象観測所における日最低気温の推移を比較する。その結果、むつ特別地域気象観測所の観測値は、六ヶ所地域気象観測所の観測値に比べて低く推移しており、かつ乖離が大きい。一方、八戸特別地域気象観測所の観測値は、六ヶ所地域気象観測所の観測値と近似し、かつ極値が六ヶ所地域気象観測所の値を下回っている。以上のことから、八戸特別地域観測所における観測記録の日最低気温を用いて、凍結において考慮する外気温を-15.7℃と設定する。

外部事象防護対象施設は、建屋内への収納、給気加熱、保温等の凍結防止措置を講ずることにより、凍結に対して安全機能を損なわない設計とする。

建屋内の外部事象防護対象施設は、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備、制御建屋中央制御室換気設備、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備、第2非常用ディーゼル発電機及び非管理区域換気空調設備において給気加熱を行うことにより、凍結に対して安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部事象防護対象施設で凍結のおそれのある安全冷却水の冷却塔については、保温又は不凍液の使用により凍結防止措置を講ずることにより、凍結に対して安全機能を損なわない設計とする。凍結防止措置として不凍液を使用する場合は、外気温-15.7℃に対して凍結するおそれのない濃度のものを用いる設計とする。仮に外気温が-15.7℃を下回るおそれがある場合は、ファンの運転台数を制限すること、冷却水流量を調整することによる凍結防止措置により、安全機能を損なわない設計とする。

## (3) 高 温

敷地付近で観測された日最高気温の極値は、むつ特別地域気象観測所での観測記



録（1935年～2018年3月）によれば34.7℃（2012年7月31日），八戸特別地域気象観測所での観測記録（1937年～2018年3月）によれば37.0℃（1978年8月3日）である。

敷地及び敷地周辺の観測値を適切に考慮し，むつ特別地域気象観測所，八戸特別地域気象観測所及び六ヶ所地域気象観測所における日最高気温の推移を比較する。その結果，むつ特別地域気象観測所と八戸特別地域気象観測所のいずれの観測値も六ヶ所地域気象観測所の観測値に近いことから，より厳しい条件となるように，八戸特別地域気象観測所の日最高気温の極値37.0℃を高温において考慮する外気温として設定する。

外部事象防護対象施設は，高温に対して要求される機能を維持する設計とすることにより，安全機能を損なわない設計とする。

なお，安全冷却水系，ガラス固化体貯蔵設備，ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の貯蔵室からの排気系等の設計においては，安全機能の特徴を踏まえ，日最高気温の極値が一時的に発生した場合ではなく，長期的な温度変動を考慮する。

具体的には，六ヶ所地域気象観測所（1977年～2020年）の日平均気温の極値28.5℃（1994年8月12日）を超える温度29℃を設定する。

#### (4) 降 水

敷地付近で観測された日最大降水量は，八戸特別地域気象観測所での観測記録（1937年～2018年3月）で160.0mm（1982年5月21日），むつ特別地域気象観測所での観測記録（1937年～2018年3月）で162.5mm（1981年8月22日及び2016年8月17日），六ヶ所地域気象観測所での観測記録（1976年4月～2020年3月）で208mm（1990年10月26日）である。また，敷地付近で観測された日最大1時間降水量は，八戸特別地域気象観測所での観測記録（1937年～2018年3月）で67.0mm（1969年8月5日），むつ特別地域気象観測所での観測記録（1937年～2018年3月）で51.5mm（1973年9月24日），六ヶ所地域気象観測所での観測記録（1976年4月～2020年3月）で46mm（1990年10月26日）である。これらの観測記録のうち，日最大1時間降水量が最も大きい八戸特別地域気象観測所に対し，森林法に基づき10分間降雨強度98.8mm/hを設定する。

設計上考慮する降水量については，これらの観測記録及び降雨強度のうち，最も大きい98.8mm/hを設計基準降水量として設定する。

外部事象防護対象施設は，設定した設計基準降水量（98.8mm/h）の降水による影響に対し，排水溝及び排水路によって敷地外へ排水するとともに，外部事象防護対象施設を収納する建屋の貫通部の止水処理をすること，外部事象防護対象施設を収納する建屋の開口部の高さを確保することにより，雨水が当該建屋に浸入することを防止することで，安全機能を損なわない設計とする。

設備が建屋外壁を貫通する際の貫通部の止水処理及び建屋の開口部の高さを確保

については、「Ⅵ-1-1-6-1 溢水による損傷の防止に対する基本方針」において示す。

屋外の外部事象防護対象施設は、降水による浸水に対し、外部事象防護対象施設のうち浸水の影響を受けるおそれのある機器の設置高さを確保すること及び保護機構を有することにより、安全機能を損なわない設計とする。また、主排気筒は、排気の吹き上げにより雨水が浸入し難く、雨水が浸入したとしても雨水を排水できる構造とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

#### (5) 積 雪

建築基準法施行令第八十六条に基づく六ヶ所村の垂直積雪量は150cmとなっているが、敷地付近で観測された最深積雪は、むつ特別地域気象観測所での観測記録（1935年～2018年3月）によれば170cm（1977年2月15日）であり、六ヶ所村統計書における記録（1973年～2002年）による最深積雪は190cm（1977年2月）である。

積雪荷重に対しては、最も厳しい観測値となる六ヶ所村統計書における最深積雪である190cmを考慮し、外部事象防護対象施設は積雪荷重に対して機械的強度を有する設計とする又は機械的強度を有する建屋内に収納することにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

積雪に対する設計は、同様な構造物への静的負荷として降下火砕物の堆積荷重の影響を考慮する火山の影響に対する設計の中で確認する。

また、外部事象防護対象施設は、雪の取り込みによる閉塞に対し、外部事象防護対象施設を収納する建屋の外気取入口に防雪フードを設置すること及び雪による閉塞のおそれのある機器内へ雪を取り込み難い設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

外部事象防護対象施設を収納する建屋の外気取入口及び排気口は、最深積雪に対して閉塞しない位置に設置することで、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備、制御建屋中央制御室換気設備、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備、第2非常用ディーゼル発電機及び非管理区域換気空調設備においては給気を加熱することにより、雪の取り込みによる閉塞を防止し、建屋内の外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部事象防護対象施設のうち主排気筒は、排気の吹き上げにより雪の取り込みによる閉塞を防止し、安全機能を損なわない設計とする。

#### (6) 生物学的事象

生物学的事象としては、敷地周辺の生物の生息状況の調査に基づいて鳥類、昆虫類及び小動物を対象生物に選定し、これらの生物が再処理施設へ侵入することを防止又は抑制することにより、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計と

する。

具体的には、外部事象防護対象施設を収納する建屋の外気取入口にはバードスクリーンとしてステンレス製の金網を設置し、生物学的事象に対し、鳥類及び小動物の侵入を防止し、昆虫類の侵入を抑制する設計とする。

また、建屋貫通部は止水処理により、小動物の建屋内への侵入を防止することで、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

気体廃棄物の廃棄施設の換気設備、制御建屋中央制御室換気設備、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備、第1非常用ディーゼル発電機、第2非常用ディーゼル発電機、安全圧縮空気系、非管理区域換気空調設備の給気系統にはフィルタ、第2非常用ディーゼル発電機の給気にはステンレスワイヤネットを設置し、生物の侵入を防止する設計とする。

屋外の外部事象防護施設は、鳥類、昆虫類及び小動物の侵入による影響を受けるおそれがある機器が保護機構を有することにより、鳥類、昆虫類及び小動物の侵入を防止する設計とする。

なお、二又川から給水処理設備に水を受け入れる取水口は、スクリーンを設置することにより、魚類及び底生生物の侵入並びに藻類の取込みを防止又は抑制する設計とする。

受電開閉設備における生物学的事象に対する考慮に係る設計方針については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### (7) 塩 害

一般に大気中の塩分量は、平野部で海岸から200m付近までは多く、数百mの付近で激減する傾向がある。再処理施設は海岸から約5km離れており、塩害の影響は小さいと考えられるが、外部事象防護対象施設は、塩害の影響で安全機能を損なわない設計とする。

外部事象防護対象施設は、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備、制御建屋中央制御室換気設備、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備及び非管理区域換気設備の給気系統に粒子フィルタ、高性能粒子フィルタ又は中性能フィルタを設置することにより、建屋内の外部事象防護対象施設への塩害の影響を防止すること、塗装又は腐食しにくい金属を用いることによる腐食防止対策を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。また、直接外気を取り込むガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管には、防食処理（アルミニウム溶射）を施す設計とする。

なお、外部事象防護対象施設以外の安全機能を有する施設のうち受電開閉設備は、碍子部分の絶縁を保つために洗浄が行える設計とする。

### 4.2 人為事象に対する防護対策

#### (1) 有毒ガス

外部事象防護対象施設は、再処理事業所内及びその周辺で発生する有毒ガス（化

学薬品の漏えいに伴うものを含む) に対して安全機能を損なわない設計とする。

事業指定(変更許可)を受けたとおり、敷地内及び敷地周辺で発生する有毒ガスの発生源を網羅的かつ体系的に調査した結果として、ボンベ類等の敷地内の固定源及びタンクローリ等の敷地内の可動源を有毒ガスの発生源とし、敷地内で発生した有毒ガスが中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室並びに緊急時対策建屋に到達するおそれがある場合には、必要に応じて外気との連絡口を遮断又は中央制御室内空気及び緊急時対策建屋内空気の再循環運転を行うこと、防護具を着用することにより、運転員及び設計基準事故及び重大事故等の対処に必要な指示を行う要員への影響を防止し、安全機能を有する施設の安全機能を損なわない設計とする。

再循環時においては、中央制御室内及び緊急時対策建屋内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮し、運転員、設計基準事故及び重大事故等の対処に必要な指示を行う要員への影響を防止し、安全機能を有する施設の安全機能を損なわない設計とする。

なお、再処理事業所内における化学物質の漏えいにより発生する有毒ガスについては、「(3)再処理事業所内における化学物質の漏えい」に対する設計方針として示す。

敷地内及び敷地周辺で発生した有毒ガスが敷地内の作業環境に到達するおそれがある場合に、再処理施設の安全性を確保するために必要な措置をとるための具体的な事項は、「VI-1-5-2 制御室及び緊急時対策所の居住性に関する説明書」に記載する。

## (2) 電磁的障害

外部事象防護対象施設は、電磁的障害に対して安全機能を維持するために必要な計測制御設備及び安全保護回路は、日本産業規格に基づいたノイズ対策を行うとともに、電氣的及び物理的な独立性を持たせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

ノイズ対策としては、制御盤の制御部は鋼製の筐体に格納するとともに筐体は接地すること、ケーブルは金属シールド付ケーブルを使用するとともに金属シールドは接地することにより、ノイズの侵入を防止する設計とする。

電氣的分離対策としては、絶縁増幅器又は継電器により、入力と出力を電氣的に絶縁することで、安全上重要な施設と安全上重要な施設以外の施設を電氣的に分離する設計とする。

物理的分離対策としては、安全上重要な施設と安全上重要な施設以外の施設のケーブルトレイを物理的に分離する設計とする。

## (3) 再処理事業所内における化学物質の漏えい

再処理事業所内にて運搬及び保有又は使用される化学物質としては、再処理施設

の試薬建屋の機器に内包される化学薬品、再処理施設の各建屋の機器に内包される化学薬品並びに試薬建屋及び各建屋への受入れの際に運搬される化学物質がある。再処理事業所内において化学物質を保有する施設については化学物質が漏えいし難い設計とするため、人為事象として試薬建屋への受入れの際に運搬される化学物質の漏えいを想定する。

これらの化学物質の漏えいによる影響としては、外部事象防護対象施設に直接被水することによる安全機能への影響及び漏えいした化学物質の反応等によって発生する有毒ガスによる制御室の運転員、敷地内の作業員等への影響が考えられる。漏えいした化学物質の反応等によって発生する有毒ガスの発生源の抽出は、上記「(1) 有毒ガス」のとおりである。

このうち屋外で運搬又は受入れ時における化学物質の漏えいに対する設計については、「VI-1-1-7 再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止に関する説明書」に示す。

また、漏えいした化学物質の反応等によって発生する有毒ガスによる制御室の運転員、設計基準事故及び重大事故等の対処に必要な指示を行う要員に対する影響を想定し、中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室並びに緊急時対策建屋に有毒ガスが到達するおそれがある場合には、必要に応じて外気との連絡口を遮断又は中央制御室内空気及び緊急時対策建屋内空気の再循環運転を行うこと、防護具を着用することにより、安全機能を有する施設の安全機能を損なわない設計とする。

再循環時においては、中央制御室内及び緊急時対策建屋内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮し、運転員、設計基準事故及び重大事故等の対処に必要な指示を行う要員への影響を防止し、安全機能を有する施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外で運搬又は受入時に化学物質の漏えいが発生した場合における、作業リスクに応じた防護具の着用や漏えい発生時の制御室の運転員、敷地内の作業員等の対応及び必要な資機材の配備については、「VI-1-1-7-1 化学薬品の漏えいによる損傷の防止に対する基本方針」に記載する。

#### 4.3 必要な機能を損なわないための運用上の措置

自然現象及び人為事象に関する設計条件等に係る新知見の収集並びに自然現象及び人為事象に対する防護措置との組合せにより安全機能を損なわないための運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・定期的に自然現象に係る気象条件等の新知見の収集を実施するとともに、新知見が得られた場合に影響評価を行うこと
- ・除雪を適宜実施すること
- ・有毒ガスが発生した場合又は再処理事業所内において化学物質の漏えいが発生し

た場合は、中央制御室及び使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の運転員並びに緊急時対策建屋において設計基準事故及び重大事故等の対処に必要な指示を行う要員への影響を防止するため、外気との連絡口を遮断又は中央制御室内空気及び緊急時対策建屋内空気の再循環運転を行うこと、防護具を着用すること及び有毒ガス発生に係る終息活動を行うこと及び制御室の運転員、緊急時対策建屋において設計基準事故及び重大事故等の対処に必要な指示を行う要員、敷地内の作業員が安全確保に係る対応ができるよう、作業リスクに応じた防護具の着用や漏えい発生時の対応を定め、必要な資機材を配備すること

VI-1-1-1-2

竜巻への配慮に関する説明書

## 目 次

- VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針
- VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定
- VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針
- VI-1-1-1-2-4 竜巻への配慮が必要な施設等の強度に関する説明書
  - VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設等の強度計算の方針
    - VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
    - VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針
  - VI-1-1-1-2-4-2 竜巻への配慮が必要な施設等の強度計算書
    - VI-1-1-1-2-4-2-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書
    - VI-1-1-1-2-4-2-2 竜巻防護対策設備の強度計算書
      - VI-1-1-1-2-4-2-2-1 飛来物防護ネットの強度計算書



VI-1-1-1-2-1

竜巻への配慮に関する基本方針

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 竜巻防護に関する基本方針 .....	1
2.1 基本方針 .....	1
2.1.1 竜巻防護に対する設計方針 .....	1
2.1.2 設計竜巻及び設計飛来物の設定 .....	2
2.1.3 荷重の設定及び荷重の組合せ .....	3
2.1.4 竜巻の影響を考慮する施設に対する竜巻防護設計 .....	4
2.2 準拠規格 .....	9

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の竜巻に対する防護設計（以下「竜巻防護設計」という。）が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第八条に適合することを説明するものである。

## 2. 竜巻防護に関する基本方針

### 2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、事業指定(変更許可)を受けた想定される竜巻(以下「設計竜巻」という。)が発生した場合においても、作用する設計荷重に対してその安全機能を損なわない設計とする。

なお、「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4. 自然現象及び人為事象に対する防護対策 4.1自然現象に対する防護対策 (1)風(台風)」及び「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.4(1)b. 構造物への粒子の衝突に対する設計方針」に記載している粒子の衝突による影響についても、竜巻防護に対する設計方針の中で示す。

#### 2.1.1 竜巻防護に対する設計方針

設計竜巻から防護する施設(以下「竜巻防護対象施設」という。)としては、安全評価上その機能を期待する建物・構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を対象とする。

竜巻防護対象施設及びそれらを収納する建屋(以下「竜巻防護対象施設等」という。)は、竜巻に対し、機械的強度を有すること等により、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

竜巻防護対象施設は、以下のように施設分類できる。

- (1) 建屋内の竜巻防護対象施設(外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く)
- (2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設
- (3) 建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設
- (4) 屋外の竜巻防護対象施設

また、その施設の倒壊等により竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設(以下「竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設」という。)の影響及び竜巻の随件事象による影響を考慮した設計とする。

竜巻防護対象施設等以外の安全機能を有する施設は、竜巻及びその随件事象に対して機能を維持すること若しくは竜巻及びその随件事象による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とす

る。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

なお、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクが再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ、竜巻により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

## 2.1.2 設計竜巻及び設計飛来物の設定

### (1) 設計竜巻の設定

風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、事業指定(変更許可)を受けた設計竜巻(最大風速100m/s)の特性値に基づいて設定する。

なお、設計竜巻の最大風速100m/sに対して、風(台風)の風速は41.7m/sであるため、風(台風)の設計は竜巻の設計に包絡される。

具体的な設計方針を、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

### (2) 設計飛来物の設定

事業指定(変更許可)を受けたとおり、固縛等の運用、管理を考慮して、鋼製材(長さ4.2m×幅0.3m×奥行き0.2m、質量135kg、最大水平速度51m/s、最大鉛直速度34m/s)及び鋼製パイプ(長さ2.0m×直径0.05m、質量8.4kg、最大水平速度49m/s、最大鉛直速度33m/s)を設計飛来物として設定する。設計飛来物のうち鋼製パイプは、飛来物防護ネットが通過させない設計とすること、運動エネルギー及び貫通力は鋼製材の方が大きいことから、飛来物による衝撃荷重は、鋼製材が衝突する場合の荷重を設定する。

さらに、設計飛来物に加えて、竜巻の影響を考慮する施設の設置状況及びその他環境状況を考慮し、防護ネットを通過する砂利(長さ0.04m×幅0.04m×奥行き0.04m、質量0.18kg、最大水平速度62m/s、最大鉛直速度42m/s)についても、評価において設計飛来物に代わる飛来物として設定する。

砂利は、衝突時の運動エネルギーは十分小さいため、竜巻防護対象施設に有意な変形は生じないが、防護ネットを通過することから、衝突による影響評価を実施する。火山における降下火砕物の粒子の衝突による影響評価は、降下火砕物の粒子の硬度が砂利より低い特性を持つため、砂利の評価に包絡される。

飛来した場合の運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物である鋼製材よりも大きな資機材等及び飛来物防護ネット内の資機材等については、設置場所及び障害物の有無を考慮し、固定、固縛又は建屋収納並びに車両の入構管理及び退避を実施することにより、飛来物とならない設計とする。

車両については、退避を必要とする区域(以下「飛来対策区域」という。)を考慮

した以下の運用とする。

- ・車両については、周辺防護区域内への入構を管理するとともに、竜巻の襲来が予想される場合に車両が飛来物とならないよう固縛又は飛来対策区域外の退避場所へ退避する。
- ・飛来対策区域は、車両の衝突を防止する対象として選定する施設と車両との間に取るべき離隔距離を考慮して設定する。
- ・離隔距離の検討に当たっては、先ず解析により車両の最大飛来距離を求める。解析においては、フジタモデルの方がランキン渦モデルよりも地表面における竜巻の風速場をよく再現していること及び車両は地表面にあることから、フジタモデルを適用する。車両の最大飛来距離の算出結果は170mであるが、フジタモデルを適用した解析における不確実性を補うため、算出結果に安全余裕を考慮して、離隔距離を200mとする。
- ・車両の退避場所は、周辺防護区域内及び周辺防護区域外に設ける。また、フジタモデルを適用した解析における不確実性を補うため、周辺防護区域内の退避場所に退避する車両については固縛の対象とする。

また、設計飛来物による衝撃荷重を上回ると想定される再処理事業所外から飛来するおそれがある飛来物としてむつ小川原ウィンドファームの風力発電施設のブレードがある。むつ小川原ウィンドファームの風力発電施設から竜巻防護対象施設等までの距離及び設計竜巻によるブレードの飛来距離を考慮すると、ブレードが竜巻防護対象施設等まで到達するおそれはないことから、ブレードは飛来物として考慮しない。

固縛対象物の選定については、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に示す。

### 2.1.3 荷重の設定及び荷重の組合せ

竜巻防護設計を行うための設計荷重は事業指定(変更許可)を受けた最大風速100m/sとし、設計荷重は、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重を組み合わせた荷重(以下「設計竜巻荷重」という。)並びに安全機能を有する施設に常時作用する荷重、運転時荷重及びその他竜巻以外の自然現象による荷重を適切に組み合わせたもの(以下「設計荷重(竜巻)」という。)を設定する。

竜巻防護設計における構造強度評価は、以下に示す設計荷重(竜巻)を適切に考慮して、施設の構造強度評価を実施し、その結果がそれぞれ定める許容限界内にあることを確認する。

設計竜巻荷重の算出については、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

## (1) 荷重の種類

### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重としては、持続的に生じる固定荷重（自重）及び積載荷重を考慮する。

### b. 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重としては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重を考慮する。飛来物による衝撃荷重としては、設計飛来物である鋼製材が衝突する場合の荷重を設定する。これらの荷重は短期荷重とする。

### c. 運転時荷重

運転時荷重としては、配管にかかる内圧等とする。

### d. 積雪荷重

その他の自然現象による荷重としては、冬季における竜巻の発生を想定し、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」に記載している積雪荷重を考慮する。

## (2) 荷重の組合せ

a. 竜巻防護設計における荷重の組合せとしては、常時作用する荷重、設計竜巻荷重、運転時荷重及び積雪荷重を適切に考慮する。

b. 設計竜巻荷重及び積雪荷重については、対象とする施設の設置場所及びその他の環境条件によって設定する。

c. 飛来物による衝突の設定においては、評価に応じて影響の大きくなる向きで衝突するように設定する。さらに、衝突断面積についても、影響が大きくなるような形状として設定する。

d. 常時作用する荷重及び運転時荷重については、組み合わせることで設計竜巻荷重の抗力となる場合には、保守的に組み合わせないことを基本とする。

### 2.1.4 竜巻の影響を考慮する施設に対する竜巻防護設計

「2.1.1 竜巻防護に対する設計方針」にて設定した竜巻防護対象施設について、設計荷重(竜巻)を踏まえた竜巻防護設計を実施する。

竜巻防護設計として、設計荷重(竜巻)に対する影響評価を実施することから、影響評価の対象として、竜巻の影響を考慮する施設を選定する。

竜巻の影響を考慮する具体的な施設については、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に示す。

選定したそれぞれの施設に対する詳細な設計方針について、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

#### (1) 設計竜巻による直接的影響に対する設計

竜巻防護設計において、竜巻防護対象施設は、設計荷重(竜巻)に対して機械的強

度を有する建屋により保護すること、竜巻防護対策設備を設置すること等により、安全機能を損なわない設計とする。

a. 設計方針

(a) 建屋内の竜巻防護対象施設

建屋内の竜巻防護対象施設は、設計荷重(竜巻)に対して、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう、竜巻防護対象施設を収納する建屋内に設置し、建屋により防護する設計とする。

(b) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋は、設計荷重(竜巻)に対して、構造強度評価を実施し、主要な構造部材の構造健全性を維持することにより、建屋内の竜巻防護対象施設が安全機能を損なわない設計とする。

また、設計飛来物の衝突に対して、貫通及び裏面剥離の発生により竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(c) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設は、気圧差による荷重に対して、構造強度評価を実施し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう要求される機能を維持する設計とする。

(d) 建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

開口部等からの設計飛来物の侵入により、建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設は、設計飛来物の侵入を防止するための防護対策として、竜巻防護対策設備を設置することにより、設計飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわない設計とする。

(e) 屋外の竜巻防護対象施設

屋外の竜巻防護対象施設は、設計荷重(竜巻)に対して、構造強度評価を実施し、竜巻時及び竜巻通過後において、安全機能を損なわないよう要求される機能を維持する設計とする。また、設計飛来物の衝突による貫通、裏面剥離及び貫入に対し、安全機能を損なわないよう要求される機能を維持する設計とする。

設計飛来物の衝突による影響に対して、竜巻防護対象施設が安全機能を損なうおそれがある場合には、防護措置として飛来物防護ネット等の竜巻防護対策設備を設置する設計とする。

飛来物防護ネット内の屋外の竜巻防護対象施設は、飛来物防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(f) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、竜巻時及び竜巻通

過後において、機械的影響及び機能的影響により竜巻防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設のうち、施設の破損に伴う倒壊、転倒による機械的影響を及ぼし得る施設は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計荷重(竜巻)に対し、構造強度評価を実施し、当該施設及び資機材等の倒壊、転倒、飛散により、周辺の竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設のうち、当該施設が機能喪失に陥った場合に竜巻防護対象施設も機能喪失させる機能的影響を及ぼし得る施設は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計荷重(竜巻)に対し、必要な機能を維持する設計とする。

(g) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクが頑健な構造であることを踏まえ、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計荷重(竜巻)に対し、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の構造健全性を維持することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

(h) 竜巻防護対策設備

竜巻防護対策設備は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計荷重(竜巻)に対して、内包する竜巻防護対象施設が安全機能を損なわないよう、設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止し、竜巻防護対象施設に波及的影響を及ぼさない設計とする。

イ. 飛来物防護板

飛来物防護板については、次回以降に詳細を説明する。

ロ. 飛来物防護ネット

冷却塔周りに設置する飛来物防護ネットは、防護ネット(補助防護板を含む。)及び防護板(鋼材)とそれらを支持する支持架構で構成し、以下の設計とする。

防護ネットは、設計飛来物の運動エネルギーを吸収することができる強度を有する設計とする。

防護ネットは、飛来物の衝突によりたわみが生じた場合でも、竜巻防護対象施設に衝突しない離隔距離を確保する設計とする。

防護ネット(補助防護板を含む。)は、設計飛来物の通過及び貫通を防止できる設計とする。

支持架構に直接設置する防護ネットは、防護ネットと支持架構の隙間を設計上考慮する飛来物の大きさ以下とするため、鋼製の補助防護板を設置する設計とする。

防護板(鋼材)は、防護ネットが設置できない箇所に設置し、設計飛来物の



貫通を防止することができる設計とする。

支持架構は、設計荷重(竜巻)に対して、防護ネット及び防護板(鋼材)の支持機能を維持可能な強度を有する設計とする。

飛来物防護ネットは、防護ネットを主体構造とすることで、内包する冷却塔の冷却能力に影響を与えない設計とする。

飛来物防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対して、脱落、転倒及び倒壊により竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

竜巻防護対策設備は、竜巻以外の自然現象及び人為事象に対して、構造強度評価又は耐火被覆の施工等を実施し、竜巻防護対象施設等に波及的影響を与えない設計とする。

地震、火山の影響、外部火災に対する具体的な設計については、「IV 耐震性に関する説明書」、「VI-1-1-1-4 火山への配慮に関する説明書」、「VI-1-1-1-3 外部火災への配慮に関する説明書」において示し、地震、火山、外部火災以外の自然現象に対しては、「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」に基づき設計する。

b. 許容限界

許容限界は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(改定 令和元年9月6日原規技発第1909069号 原子力規制委員会)を参照し、設計竜巻荷重と地震荷重との類似性、規格等への適用性を踏まえ、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601-補1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下「JEAG4601」という。)等の安全上適切と認められる規格及び基準又は試験等で妥当性が確認されている値を用いて、以下のことを確認する。

(a) 建屋内の竜巻防護対象施設

建屋内の竜巻防護対象施設の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。

(b) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。

(c) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。

(d) 建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設

建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。

(e) 屋外の竜巻防護対象施設

屋外の竜巻防護対象施設の許容限界は、設計荷重(竜巻)に対し、構成する主要構造部材が、おおむね弾性状態に留まることを基本とする。ただし、設計飛来物の衝突を考慮する竜巻防護対象施設は、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えるおそれのある変形を生じないこととする。

また、設計飛来物の衝突に対し、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えるおそれのある貫通、裏面剥離及び貫入を生じないこととする。

(f) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。

(g) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の許容限界については、次回以降に詳細を説明する。

(h) 竜巻防護対策設備

竜巻防護対策設備の構成品である防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対し、主要な構造部材の破断が生じないように、破断荷重に対して十分な余裕を持った強度を有し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないものとする。また、たわみを生じて、設計飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう竜巻防護対象施設との離隔を確保できることとする。

防護ネットのうち補助防護板は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が、防護板を貫通せず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないものとする。

竜巻防護対策設備の構成品である防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が、防護板を貫通せず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないものとする。

防護ネット及び防護板(鋼材)の支持構造物である支持架構は、設計荷重(竜巻)が防護ネット及び防護板(鋼材)に作用する場合には、主要な構造部材に塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないよう防護ネット等を支持出来るようにする。そのため、設計荷重(竜巻)が主要な構造部材に直接作用した際にも、主要な構成部材は貫通せず、構成部材の損傷に伴う架構の崩壊又は転倒に至らず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないものとする。

竜巻の影響を考慮する施設に対する設計の詳細について、「VI-1-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」及び「VI-1-1-1-1-2

－ 4 竜巻への配慮が必要な施設等の強度に関する説明書」に示す。

(2) 竜巻随件事象に対する設計

竜巻防護対象施設は、竜巻による随件事象として過去の竜巻被害の状況及び再処理施設における施設の配置から想定される、火災、屋外タンク等からの溢水及び設計竜巻又は設計竜巻と同時に発生する雷の影響による外部電源喪失によって、その安全機能を損なわない設計とする。

竜巻随件事象のうち火災に対しては、火災源と竜巻防護対象施設の位置関係を踏まえて熱影響を評価した上で、竜巻防護対象施設の許容温度を超えないことにより、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計又は火災の感知・消火等の対策により竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とし、当該設計については外部火災及び内部火災に対する防護設計に包絡されるため、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針」及び「III-1-1 火災等による損傷の防止に関する説明書」に基づく設計とする。

竜巻随件事象のうち溢水に対しては、溢水源と竜巻防護対象施設の位置関係を踏まえた影響評価を行った上で、竜巻防護対象施設の安全機能に影響を与えない設計とし、当該設計については、「VI-1-1-6-1 溢水による損傷の防止に対する基本方針」に基づく設計とする。

竜巻随件事象のうち外部電源喪失に対しては、外部電源喪失の発生を防止する設計とする。また、外部電源喪失が生じたとしても、非常用所内電源系統等の安全機能を確保する設計とし、非常用所内電源系統等による電源供給を可能とすることで竜巻防護対象施設の安全機能を維持する設計とする。

(3) 必要な機能を損なわないための運用上の措置

竜巻に関する設計条件等に係る新知見の収集及び竜巻に関する防護措置との組合せにより安全機能を損なわないための運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・設計竜巻の特性値、竜巻と同時に発生する積雪等の自然現象、敷地周辺の環境条件について、定期的に新知見の確認を行い、新知見が得られた場合に評価を行うこと
- ・資機材等の固定、固縛又は建屋収納並びに車両の入構管理及び退避を行うこと

## 2.2 準拠規格

準拠する規格、基準等を以下に示す。

- ・建築基準法・同施行令・同告示
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984((社)日本電気協会)

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- ・「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)
- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第1909069号)
- ・日本産業規格(JIS)
- ・「発電用原子力設備規格設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」(社)日本機械学会
- ・鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)
- ・機械工学便覧((社)日本機械学会)
- ・ISES7607-3 昭和50年度日本原子力研究所委託調査「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」(昭和51年10月 高温構造安全技術研究組合)
- ・建築物荷重指針・同解説(社)日本建築学会(2004)
- ・「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会, 2015改定)
- ・小規模吊橋指針・同解説((社)日本道路協会)
- ・竜巻飛来物を模擬した角管の落下衝突による鋼板の貫通評価(日本機械学会論文集, Vol. 83, Vol. 851(2017))
- ・発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドライン JSME S NS6-2019 2019年6月((社)日本機械学会)
- ・「Eの数値を算出する方法並びに $V_0$ 及び風力係数の数値」(平成12年5月31日, 建設省告示第1454号)
- ・NEI07-13 Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs April 2011
- ・鋼構造限界状態設計指針・同解説(2010)((社)日本建築学会)
- ・「動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物の脆性破壊性能評価方法, WES2808:2003 (社)日本溶接協会

なお、次回以降に申請する施設に係る準拠規格については、当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-1-2-2

竜巻の影響を考慮する施設及び固縛  
対象物の選定

## 目 次

ページ

1. 概要	1
2. 竜巻の影響を考慮する施設の選定	1
2.1 竜巻の影響を考慮する施設の選定の基本方針	1
2.2 竜巻の影響を考慮する施設	1
2.2.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の選定	2
2.2.2 竜巻随伴事象を考慮する施設の選定	6
3. 竜巻防護のための固縛対象物の選定	6
3.1 竜巻防護のための固縛対象物の選定の基本方針	6
3.2 屋外に保管する資機材等	6
3.2.1 再処理事業所内における飛来物の調査	6
3.2.2 固縛対象物の選定	7

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に基づき、竜巻の影響を考慮する施設及び竜巻防護のための固縛対象物の選定について説明するものである。

## 2. 竜巻の影響を考慮する施設の選定

### 2.1 竜巻の影響を考慮する施設の選定の基本方針

竜巻の影響を考慮する施設は、竜巻防護対象施設として選定した施設の設計方針を踏まえて選定する。

建屋内の竜巻防護対象施設(外気と繋がっている竜巻防護対象施設を除く)は、建屋により竜巻の影響から防護されるため、竜巻防護対象施設を収納する建屋を竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設は、気圧差の影響を受けることから、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

建屋内に収納されるが防護が期待できない竜巻防護対象施設は、竜巻防護対策設備を設置する方針としていることから、建屋内の竜巻防護対象施設の代わりに竜巻防護対策設備を竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

屋外に設置している竜巻防護対象施設及び防護措置として設置する竜巻防護対策設備は、竜巻による荷重が作用するため、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

また、竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として、破損に伴う施設の倒壊等により竜巻防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設及び機能的影響を及ぼし得る施設を抽出し、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

なお、使用済燃料キャスクを収納する建屋は、倒壊により、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与える可能性があることから、使用済燃料キャスクを収納する建屋を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

竜巻随件事象として想定される外部電源喪失は、外部電源喪失の発生を防止する設計又は、外部電源喪失が生じたとしても、非常用所内電源系統等の安全機能を確保する設計としていることから、非常用所内電源系統等を竜巻の影響を考慮する施設として選定する。

なお、竜巻随件事象として想定される火災及び溢水については、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」のとおり他事象の設計に基づくことから、本項での説明の対象としない。

### 2.2 竜巻の影響を考慮する施設

「2.1 竜巻の影響を考慮する施設の選定の基本方針」を踏まえ、以下のとおり竜巻の影響を考慮する施設を選定する。

## 2.2.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の選定

### (1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

建屋内の竜巻防護対象施設は、建屋にて防護されることから、建屋内の竜巻防護対象施設の代わりに竜巻防護対象施設を収納する施設を、竜巻の影響を考慮する施設とする。

- ・使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
- ・前処理建屋
- ・分離建屋
- ・精製建屋
- ・ウラン脱硝建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- ・ウラン酸化物貯蔵建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋
- ・第1ガラス固化体貯蔵建屋
- ・チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
- ・ハル・エンドピース貯蔵建屋
- ・制御建屋
- ・分析建屋
- ・非常用電源建屋
- ・主排気筒管理建屋
- ・第1非常用ディーゼル発電設備重油タンク室

なお、竜巻防護対象施設を収納する建屋のうち前処理建屋、分離建屋、精製建屋、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋については、安全上重要な施設でもあり、当該施設自体が屋外の竜巻防護対象施設になることから、設計については屋外の竜巻防護対象施設として示す。

### (2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の竜巻防護対象施設のうち、外気と繋がっている竜巻防護対象施設については、竜巻の気圧差による荷重が作用するおそれがあるため、竜巻の影響を考慮する施設とする。

- ・せん断処理・溶解廃ガス処理設備
- ・前処理建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・分離建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・精製建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備



- ・高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備
  - ・前処理建屋換気設備の排気系
  - ・分離建屋換気設備の排気系
  - ・精製建屋換気設備の排気系
  - ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備の排気系
  - ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋換気設備の貯蔵室からの排気系
  - ・高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備の排気系
  - ・ガラス固化体貯蔵設備の収納管
  - ・制御建屋中央制御室換気設備
  - ・第1非常用ディーゼル発電機のディーゼル機関の排気管
  - ・第2非常用ディーゼル発電機のディーゼル機関の排気管
- (3) 屋外の竜巻防護対象施設
- 屋外の竜巻防護対象施設のうち、以下の施設を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。
- ・前処理建屋
  - ・分離建屋
  - ・精製建屋
  - ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
  - ・高レベル廃液ガラス固化建屋
  - ・安全冷却水系冷却塔 A, B
  - ・安全冷却水 A, B 冷却塔
  - ・冷却塔 A, B
  - ・安全冷却水系膨張槽
  - ・安全冷却水系(安全冷却水系冷却塔 A, B, 安全冷却水 A, B 冷却塔, 冷却塔 A, B, 安全冷却水系膨張槽周りの配管)
  - ・主排気筒
  - ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備
  - ・高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備
  - ・前処理建屋換気設備
  - ・分離建屋換気設備
  - ・精製建屋換気設備
  - ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備
  - ・高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備
- (4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
- 竜巻防護対象施設等に対して、破損に伴う倒壊、転倒又は飛散による機械的影響を及ぼし得る施設及び付属施設の破損による機能的影響を及ぼし得る施設を竜巻

防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

a. 機械的影響を及ぼし得る施設

倒壊又は転倒により竜巻防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては、施設高さが低い施設は倒壊しても竜巻防護対象施設等に影響を与えないため、当該施設の高さと竜巻防護対象施設等までの最短距離を比較することにより選定することを基本とするが、施設の設置状況、材質、形状、重量等を踏まえて、竜巻防護対象施設等に影響を与えないと判断できる場合は、機械的影響を及ぼし得る施設として選定しない。

また、竜巻の風圧力による荷重により飛来物となる可能性がある資機材等のその他の施設についても機械的影響を及ぼし得る可能性がある施設として選定する。

(a) 倒壊又は転倒により竜巻防護対象施設等に損傷を及ぼし得る施設

倒壊又は転倒により竜巻防護対象施設等に損傷を及ぼし得る以下の施設を選定する。

- ・使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋
- ・使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）
- ・事務建屋（再処理事務所）
- ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋換気設備の排気系
- ・北換気筒
- ・低レベル廃棄物処理建屋
- ・出入管理建屋
- ・運転訓練施設

(b) その他の施設

その他、竜巻の風圧力により機械的影響を及ぼし得る施設として、以下の施設を選定する。

- ・再処理事業所内の屋外に保管する資機材等
- 運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物より大きな資機材等及び飛来物防護ネット内の資機材等についても、固縛等の飛来物発生防止対策を実施する。

具体的な固縛対象物については、「3. 竜巻防護のための固縛対象物の選定」に示す。

b. 機能的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設の屋外の付属施設の破損による機能的影響を及ぼす可能性のある施設としては、風圧力、気圧差及び飛来物の衝突により竜巻防護対象施設の安全機能を損なわせるおそれがある施設を選定する。

- ・安全蒸気系の安全蒸気ボイラの排気管
- ・安全圧縮空気系の安全空気脱湿装置の再生空気排気配管

- ・ 第1 非常用ディーゼル発電機のディーゼル機関の排気管
  - ・ 第1 非常用ディーゼル発電機のディーゼル機関の排気消音器
  - ・ 第1 非常用ディーゼル発電機の燃料デイトンクのベント管
  - ・ 第1 非常用ディーゼル発電機の重油タンクのベント管
  - ・ 第1 非常用ディーゼル発電機の潤滑油タンクのベント管
  - ・ 第2 非常用ディーゼル発電機のディーゼル機関の排気管
  - ・ 第2 非常用ディーゼル発電機のディーゼル機関の排気消音器
  - ・ 第2 非常用ディーゼル発電機の燃料油貯蔵タンクのベント管
  - ・ 第2 非常用ディーゼル発電機の潤滑油タンクのベント管
- (5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
- 使用済燃料収納を収納する建屋は、倒壊により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与える可能性があることから、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。
- ・ 使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）
- (6) 竜巻防護対策設備
- 竜巻防護対象施設の損傷防止のために防護措置として設置する施設を、竜巻の影響を考慮する施設として選定する。
- a. 飛来物防護板
- ・ 飛来物防護板(前処理建屋 安全蒸気系設置室)
  - ・ 飛来物防護板(精製建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室 A)
  - ・ 飛来物防護板(精製建屋 非常用所内電源系統及び計測制御系統施設設置室 B)
  - ・ 飛来物防護板(非常用電源建屋 第2 非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室 A 北ブロック)
  - ・ 飛来物防護板(非常用電源建屋 第2 非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室 A 南ブロック)
  - ・ 飛来物防護板(非常用電源建屋 第2 非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室 B 北ブロック)
  - ・ 飛来物防護板(非常用電源建屋 第2 非常用ディーゼル発電機及び非常用所内電源系統設置室 B 南ブロック)
  - ・ 飛来物防護板(第1 ガラス固化体貯蔵建屋 床面走行クレーン 遮蔽容器設置室)
  - ・ 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
  - ・ 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
  - ・ 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)

- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)
  - ・飛来物防護板(制御建屋 中央制御室換気設備設置室)
  - ・飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)
- b. 飛来物防護ネット
- ・飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)
  - ・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)
  - ・飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)

### 2.2.2 竜巻随件事象を考慮する施設の選定

外部電源喪失事象を考慮する施設として受電開閉設備等を選定する。

- ・受電開閉設備等(外部電源喪失)

## 3. 竜巻防護のための固縛対象物の選定

### 3.1 竜巻防護のための固縛対象物の選定の基本方針

竜巻防護対象施設に対して竜巻による飛来物の影響を防止する観点から、竜巻による飛来物として想定すべき資機材等を調査し、設計竜巻により飛来物となり竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性があるものを固定、固縛又は建屋収納並びに車両の入構管理及び退避をする。

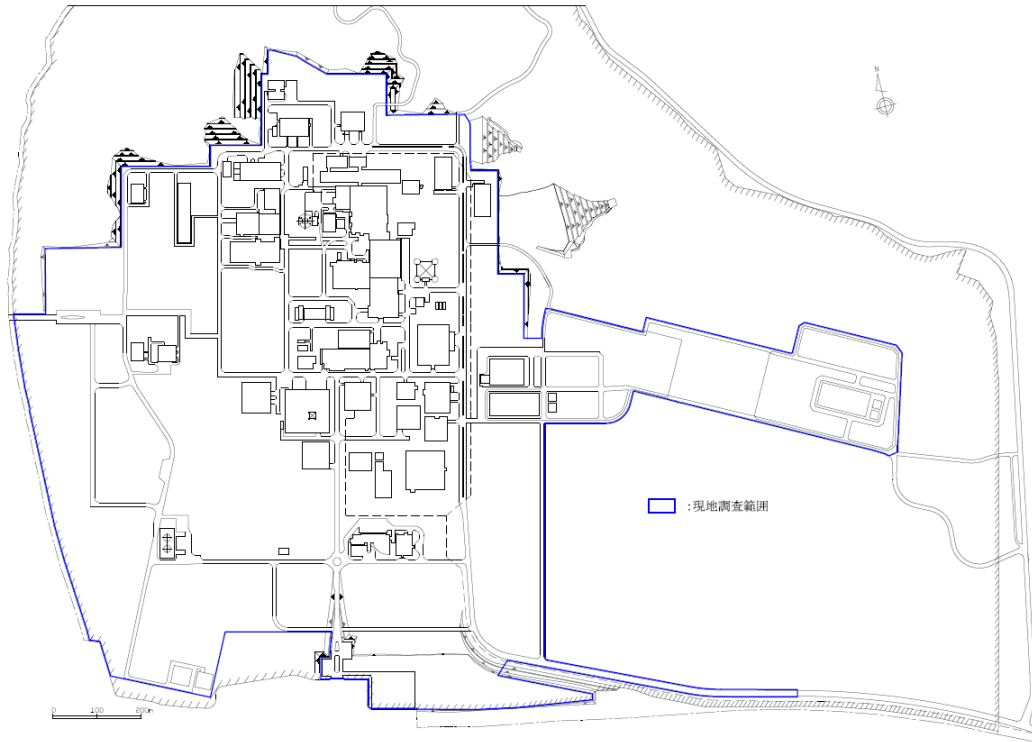
再処理事業所内の屋外に保管する資機材等のうち、固縛を実施するものの選定について説明する。

### 3.2 屋外に保管する資機材等

#### 3.2.1 再処理事業所内における飛来物の調査

再処理事業所内において、竜巻防護の観点から想定すべき飛来物を選定するために現地調査を行い、その結果を基に想定すべき飛来物となり得る資機材等を抽出した。

調査範囲は再処理事業所の建屋、構造物の外回り、建屋屋上、構内道路、駐車場及び資機材が保管可能な空き地を調査した。第3.2.1-1図に再処理事業所における現地調査範囲を示す。



第3.2.1-1図 現地調査範囲

また、調査結果について第3.2.1-1表に示す。

第3.2.1-1表 再処理事業所における竜巻防護の観点から想定すべき主な飛来物の一覧表

棒状	板状	塊状
<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄骨</li> <li>・鋼管</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼板</li> <li>・鋼製架台</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トラック</li> <li>・社用バス</li> <li>・乗用車</li> <li>・工事用車両</li> <li>・自動販売機</li> <li>・ドラム缶</li> <li>・コンテナ</li> </ul>

注記：各ジャンルにおける代表的な形状にて整理した表であり、ジャンル内の物品全てが同一の形状となるわけではない。

### 3.2.2 固縛対象物の選定

飛来物調査により抽出した、飛来物となり得る資機材等について、資機材等の寸法、質量及び形状より空力パラメータ ( $C_D A/m$ ) を次式により算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{c(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m}$$

A：代表面積 ( $m^2$ )

c：係数 (1/3)

$C_D$  : 抗力係数

$m$  : 質量(kg)

出典：東京工芸大学(平成23年2月)「平成21～22年度原子力安全基盤調査研究(平成22年度)竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書

代表面積 $A(m^2)$ は，想定すべき飛来物の形状に応じて直方体又は円柱に置換した各面の面積を表し，資機材等の形状に応じて適切に選定する。また，抗力係数 $C_D$ は，想定すべき飛来物の形状に応じた係数として，第3.2.2-1表に示す $C_{D1} \sim C_{D3}$ を用いる。

算出した空力パラメータを用いて，竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を解析する解析コードの「TONBOS」により，飛来物の速度，飛散距離及び飛散高さを算出する。

また，飛来物の運動エネルギー( $=1/2 \cdot m \cdot V^2$ )は飛来物の質量と解析コード「TONBOS」により算出した速度から求める。

さらに，飛来物の貫通力として，飛来物の衝突による貫通が発生する時の部材厚(以下「貫通限界厚さ」という。)を算出する。貫通限界厚さは，コンクリートに対して米国NRCの基準類に算出式として記載されている修正NDRC式(4.1)及びDegen式(4.2)，鋼板に対して「タービンミサイル評価(昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会)」の中で貫通厚さの算出式に使用されているBRL式から求める。

<修正NDRC式及びDegen式>

(4.1)

$$\frac{x_c}{a_c d} \leq 2 \quad \text{の場合} \quad \frac{x_c}{d} = 2 \left\{ \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} \right\}^{0.5}$$

$$\frac{x_c}{a_c d} \geq 2 \quad \text{の場合} \quad \frac{x_c}{d} = \left( \frac{12145}{\sqrt{F_c}} \right) N d^{0.2} \frac{M}{d^3} \left( \frac{V}{1000} \right)^{1.8} + 1$$

(4.2)

$$\frac{x_c}{a_c d} \leq 1.52 \quad \text{の場合} \quad t_p = a_p d \left\{ 2.2 \left( \frac{x_c}{a_c d} \right) - 0.3 \left( \frac{x_c}{a_c d} \right)^2 \right\}$$

$$1.52 \leq \frac{x_c}{a_c d} \leq 13.42 \quad \text{の場合} \quad t_p = a_p d \left\{ 0.69 + 1.29 \left( \frac{x_c}{a_c d} \right) \right\}$$

$t_p$  : 貫通限界厚さ(cm)

$x_c$  : 貫入深さ(cm)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度(固縛対象物の選定では300kgf/cm<sup>2</sup>とする。)

d : 飛来物の直径 (cm) (飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)  
M : 飛来物の重量 (kgf)  
V : 飛来物の最大水平速度 (m/s)  
N : 飛来物の先端形状係数 (=1.14) (保守的な評価となる, 非常に鋭い場合の数値を使用)  
 $\alpha_c$  : 飛来物の低減係数 (=1.0)  
 $\alpha_p$  : 飛来物の低減係数 (=1.0)

<BRL式>

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5mv^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

T : 貫通限界厚さ (m)  
d : 飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 (m) (最も投影面積が小さくなる衝突断面の等価直径)  
K : 鋼板の材質に関する係数 (=1.0)  
m : 飛来物の質量 (kg)  
v : 飛来物の飛来速度 (m/s)

固縛対象物の選定は, 設計上考慮している飛来物に包含されているか否かについての観点により, 以下の項目を満たすものを抽出する。

[固縛対象物の選定]

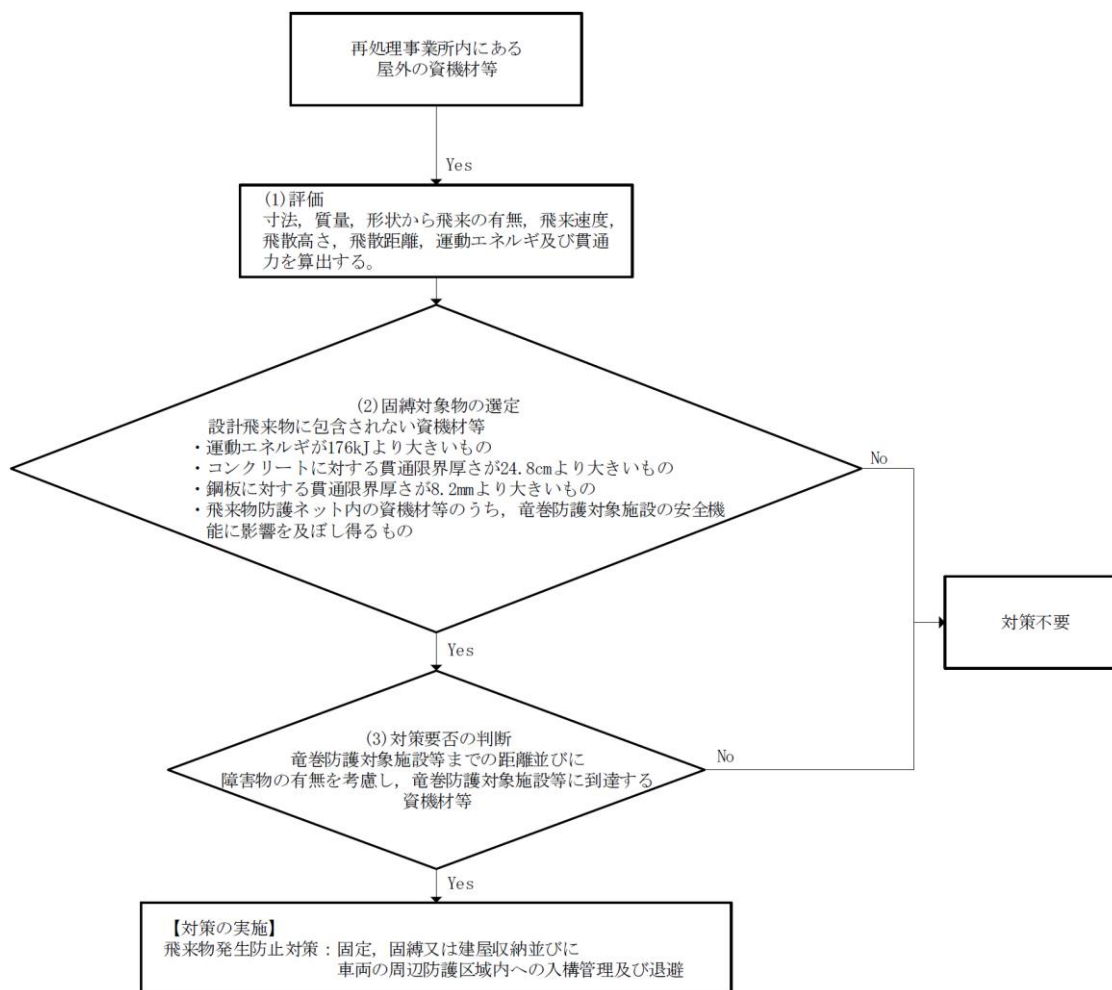
- 運動エネルギーが設計飛来物に設定している鋼製材の176kJより大きいもの。
- コンクリートに対する貫通力(貫通限界厚さ)が設計飛来物に設定している鋼製材の24.8cmより大きいもの。
- 鋼板に対する貫通力(貫通限界厚さ)が設計飛来物に設定している鋼製材の8.2mmより大きいもの。
- 飛来物防護ネット内の資機材等のうち, 竜巻防護対象施設の安全機能に影響を及ぼし得るもの。

なお, 評価に用いた解析コード「TONBOS」の検証, 妥当性確認等の概要については, 「VI-1-1-1-2-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

固縛対象物の選定フローを第3.2.2-1図に示す。

第3.2.2-1表 飛来物の抗力係数

想定飛来物形状	$C_{p1}$	$C_{p2}$	$C_{p3}$
棒状物体	2.0	0.7(円形断面) 1.2(矩形断面)	0.7(円形断面) 1.2(矩形断面)
板状物体	1.2	1.2	2.0
塊上物体	2.0	2.0	2.0



第3.2.2-1図 固縛対象物等及び固縛対象設備の選定フロー



VI-1-1-1-2-3

竜巻の影響を考慮する施設の設計方針

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 設計の基本方針 .....	1
3. 要求機能及び性能目標 .....	2
3.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の防護設計方針 .....	2
3.2 竜巻随伴事象を考慮する施設 .....	5
4. 機能設計 .....	6
4.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の機能設計 .....	6
4.2 竜巻随伴事象を考慮する施設 .....	8

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」及び「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に基づき、竜巻防護に関する施設の施設分類、要求機能及び性能目標を明確にし、各施設分類の機能設計及び構造強度設計に対する設計方針について説明するものである。

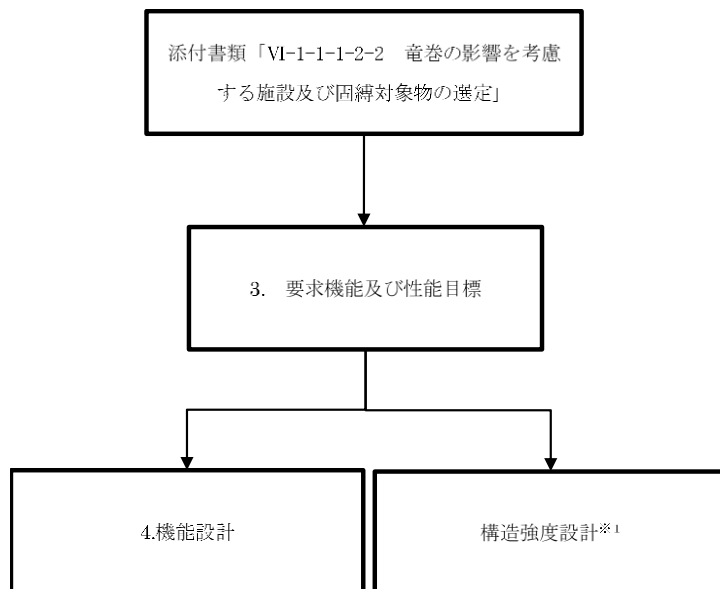
## 2. 設計の基本方針

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に基づき、竜巻防護対象施設が、その安全機能を損なうおそれがないようにするため、竜巻の影響を考慮する施設の防護設計を行う。

防護設計に当たっては、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」にて設定している竜巻防護設計の目的及び「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」にて選定している施設分類を踏まえて、施設分類ごとの要求機能を整理するとともに、施設ごとに機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を定める。

竜巻の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するため、施設分類ごとに各機能の設計方針を示す。

竜巻の影響を考慮する施設の設計フローを第2.-1図に示す。



第2.-1図 施設の設計フロー※2

注記※1 「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設等の強度計算の方針」

※2 フロー中の番号は本資料での記載箇所を示す。

竜巻の影響を考慮する施設が構造強度設計上の性能目標を達成するための施設ごとの構造強度の設計方針等については、「VI-1-1-1-2-4-1 竜巻への配慮が必要な施設等の強度計算の方針」に示す。

### 3. 要求機能及び性能目標

竜巻防護設計を実施する目的は、再処理施設に影響を与える可能性がある竜巻の発生に伴い、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないことである。また、施設の種類については、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に基づき、竜巻防護対象施設を収納する建屋、建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設、屋外の竜巻防護対象施設、竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設、竜巻防護対策設備及び竜巻随件事象を考慮する施設に分類している。これらを踏まえ、施設分類ごとに要求機能を整理するとともに、施設分類ごとの要求機能を踏まえた施設ごとの機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を設定する。

#### 3.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の防護設計方針

##### (1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

##### (2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

##### (3) 屋外の竜巻防護対象施設

###### a. 施設

- ・安全冷却水B冷却塔
- ・安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

その他の屋外の竜巻防護対象施設に対する要求機能及び性能目標については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

###### b. 要求機能

屋外の竜巻防護対象施設は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、安全機能を損なわないことが要求される。

###### c. 性能目標

屋外の竜巻防護対象施設のうち、設計飛来物の衝突により、安全機能を損なうおそれがある安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、設計飛来物から竜巻防護対象施設を防護することを目的として、竜巻防護対策設備である飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)を設置する。

(a) 安全冷却水B冷却塔

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(竜巻)及び防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、電源を確保するとともに、冷却塔の冷却機能を維持することにより、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔の構成品(冷却機能の維持に必要な機器を除く)のうち、飛散により機械的影響を及ぼし得るものは、固定又は固縛を実施し、安全冷却水B冷却塔の冷却機能に影響を及ぼす飛来物とならないことを機能設計上の性能目標とする。

これらの構成品は、固定又は固縛により、飛来物とならない運用とすることから、構造強度上の性能目標は設定しない。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(竜巻)に対し、設計竜巻の影響を受けない電路とするとともに、冷却機能を維持するために、

通水する冷却水を冷却する機能を維持可能な構造強度を有すること、動的機能を維持することを構造強度設計上の性能目標とする。

また、竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔は、竜巻防護対策設備を構成する防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、冷却機能を維持するために、安全機能に影響を及ぼすような貫入を生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却の構成品(冷却機能の維持に必要な機器を除く)のうち、脱落及び転倒により、冷却機能の維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、設計荷重(竜巻)に対し、機械的影響を及ぼさない強度を有することを構造強度設計上の性能目標とする。

(b) 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、設計荷重(竜巻)及び防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、設計荷重(竜巻)に対し、支持構造物を基礎等に固定し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持することが可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

また、竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、竜巻防護対策設備を構成する防護ネットを通過する飛来物によ

る衝撃荷重により貫入が生じたとしても、流路を確保する機能を維持するために、耐圧強度上必要な厚さを確保する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

(4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に対する要求機能及び性能目標については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

なお、安全冷却水B冷却塔へ波及的影響を及ぼし得る施設はない。

(5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

(6) 竜巻防護対策設備

a. 施設

(a) 飛来物防護板

飛来物防護板に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

(b) 飛来物防護ネット

イ. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

その他の飛来物防護ネットに対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

b. 要求機能

竜巻防護対策設備は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、竜巻防護対象施設に設計飛来物が衝突することを防止し、また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないこと及び竜巻防護対象施設の有する安全機能に影響を与えないことが要求される。

c. 性能目標

(a) 飛来物防護板

飛来物防護板の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(b) 飛来物防護ネット

イ. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

冷却塔周りに設置する飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、防護ネット、防護板(鋼材)及び支持架構で構成し、冷却塔の冷却機能に影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。

また、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能なものとし、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、波及的影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみが生じても、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性がある飛来物が衝突しないよう捕捉し、支持架構と防護ネットの隙間から飛来物が侵入することを防止できる設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が防護板本体を貫通せず、また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち支持架構は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が支持架構を構成する主要な構造部材を貫通せず、防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とし、また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、支持架構を構成する部材自体の倒壊、転倒及び脱落を生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

なお、設計竜巻による気圧差による荷重については、外気と通じており気圧差は発生しないことから考慮しない。

その他の飛来物防護ネットに対する要求機能及び性能目標については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 3.2 竜巻随件事象を考慮する施設

#### (1) 施設

##### a. 受電開閉設備等(外部電源喪失)

#### (2) 要求機能

受電開閉設備等(外部電源喪失)は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻随件事象により竜巻防護対象施設の機能を損なうおそれのないことが要求される。

#### (3) 性能目標

##### a. 受電開閉設備等(外部電源喪失)

竜巻の影響により受電開閉設備等(外部電源喪失)が損傷し、外部電源が喪失したとしても、非常用所内電源設備は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計荷重(竜巻)に対して安全機能が損なわれず、電源供給ができることを機能設計上の性能目標とする。

#### 4. 機能設計

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」で設定している設計竜巻に対し、「3. 要求機能及び性能目標」で設定している竜巻の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するために、各施設の機能設計の方針を定める。

##### 4.1 設計竜巻による直接的影響を考慮する施設の機能設計

###### (1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

###### (2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

###### (3) 屋外の竜巻防護対象施設

###### a. 安全冷却水B冷却塔の設計方針

安全冷却水B冷却塔は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c. 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(竜巻)及び防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、電源を確保するために、設計竜巻の影響を受けない制御建屋に設置している非常用所内電源から、設計竜巻の影響を受けない洞道及び固定又は固縛により経路を維持するケーブルトレイ内の電路を通じて受電する構成とする。

また、安全冷却水B冷却塔の崩壊熱除去機能を維持するために、管束は流路を維持し、ファン駆動部は送風機能を維持することで、管束内を通水する冷却水を冷却する設計とする。

安全冷却水B冷却塔の構成品のうち、脱落及び転倒により機械的影響を及ぼし得るものは、脱落及び倒壊しない強度を有する設計とする。

安全冷却水B冷却塔の構成品のうち、飛散により機械的影響を及ぼし得るものは、固定又は固縛を実施し、安全冷却水B冷却塔の冷却能力に影響を及ぼす飛来物とならない設計とする。

###### b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)の設計方針

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(3)c. 性能目標」で設定した機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

竜巻防護対策設備に内包される安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、設計荷重(竜巻)及び防護ネットを通過する飛来物の衝突に対し、竜巻時



及び竜巻通過後においても、内部流体を保持する機能を維持するため、流路を確保する設計とする。

その他の屋外の竜巻防護対象施設の機能設計は、次回以降に詳細を説明する。

(4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

(5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

(6) 竜巻防護対策設備

a. 飛来物防護板

飛来物防護板の機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

b. 飛来物防護ネット

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は防護ネット、防護板(鋼材)及び支持架構で構成し、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(5) c. 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。

飛来物防護ネットは、冷却塔の空気による熱交換を可能とするため、空気の流出入を阻害しない防護ネットを主体構造とすることで、冷却能力に影響を与えない設計とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能とするために、竜巻防護対象施設の上部及び側面に設置し、設計飛来物が防護ネットに衝突した際に破断せず、設計飛来物の鋼製材を受け止める設計とする。

防護ネットは設計竜巻の風圧力及び設計飛来物の鋼製材の衝突に対し、防護ネットがたわんだとしても、竜巻防護対象施設の必要な機能を損なわないように、竜巻防護対象施設に対し一定の離隔を有する設計とする。

防護ネットについては、網目の細かいネット(補助防護ネット)を重ねて設置することにより、設計飛来物の鋼製パイプは補助防護ネットに衝突し、防護ネット内側に侵入させない設計とする。

また、防護ネットと支持架構の間に生じる隙間を、防護ネットの通過を許容できる飛来物以下の大きさとするため、鋼製の補助防護板を設置する設計とする。

竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、防護ネットの脱落を生じない設計とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち防護板

(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、防護ネットが設置できない箇所に設置し、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通できない設計とする。

また、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、防護板(鋼材)の脱落を生じない設計とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)のうち支持架構は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻防護対象施設が必要な機能を維持するために、防護ネット及び防護板(鋼材)を支持し、竜巻防護対象施設を取り囲むように設置し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、倒壊、転倒及び脱落を生じない設計とする。

その他の飛来物防護ネットの機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

#### 4.2 竜巻随伴事象を考慮する施設

##### (1) 受電開閉設備等(外部電源喪失)の設計方針

受電開閉設備等(外部電源喪失)は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2(3)性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針としている。

受電開閉設備等(外部電源喪失)が竜巻により損傷し、外部電源が喪失した場合を想定したとしても、代替設備による電源供給ができるように、設計荷重(竜巻)に対し、十分な強度を有する建屋等にディーゼル発電機を設置するとともに、竜巻時及び竜巻通過後においても、冷却水を冷却するための冷却塔は、構造健全性を維持できる設計とする。

VI-1-1-1-2-4

竜巻への配慮が必要な施設等の強度  
に関する説明書

VI-1-1-1-2-4-1  
竜巻への配慮が必要な施設等の強度  
計算の方針

VI-1-1-1-2-4-1-1  
竜巻への配慮が必要な施設の強度計  
算の方針

## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
2.1.1 竜巻防護対象施設	1
2.1.2 重大事故等対処設備	2
2.2 評価方針	2
2.2.1 評価の分類	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 構造強度の評価方針	4
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	11
4.1 荷重及び荷重の組合せ	11
4.2 許容限界	17
5. 強度評価方法	20
5.1 建物・構築物に関する評価式	21
5.2 機器・配管系に関する評価式	21
5.2.1 構造強度評価	21
5.2.2 衝突評価	32
6. 準拠規格	33

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」及び「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」に基づき、竜巻の影響を考慮する施設が、設計荷重(竜巻)に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価の方針について説明するものである。

強度評価は、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に示す準拠規格を用いて実施する。

なお、竜巻への配慮が必要な施設のうち、竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット及び飛来物防護板)の設計方針については、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示す。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重(竜巻)により生じる応力等が「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す計算方法を使用し、「6. 準拠規格」に示す規格を用いて確認する。

### 2.1 評価対象施設

#### 2.1.1 竜巻防護対象施設

「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」にて構造強度設計上の性能目標を設定している竜巻の影響を考慮する施設を強度評価の対象とする。強度評価を行うにあたり、評価対象施設を以下の通り分類することとし、第2.1.1-1表に示す。

##### (1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

建屋内の竜巻防護対象施設を防護する外殻となる、竜巻防護対象施設を収納する建屋とする。

##### (2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

気圧差による荷重に対し構造強度を維持する必要がある、外気と繋がっている建屋内の竜巻防護対象施設とする。

##### (3) 屋外の竜巻防護対象施設

設計荷重(竜巻)に対し構造強度を維持する必要がある屋外の竜巻防護対象施設とする。

##### (4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設とする。

##### (5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを防護する外殻となる、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋とする。

### 第2.1.1-1 評価対象施設(竜巻防護対象施設)

施設分類	評価対象施設
(3) 屋外の竜巻防護対象施設	・安全冷却水B冷却塔 ・安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

注記：第1回申請の対象設備のみを記載。

なお、その他の竜巻の影響を考慮する施設に係る強度計算の方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 2.1.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 2.2 評価方針

竜巻の影響を考慮する施設は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設的设计方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で示す構造強度設計上の性能目標を達成するため、竜巻に対する強度評価を実施する。

強度評価の評価方針は、それぞれ「2.2.1(1) 衝突評価」の方針、「2.2.1(2) 構造強度評価」の方針及び「2.2.1(3) 動的機能維持評価」の方針に分類でき、評価対象施設はこれらの評価を実施する。

##### 2.2.1 評価の分類

###### (1) 構造強度評価

構造強度評価は、設計荷重(竜巻)により生じる応力等に対し、評価対象施設及びその支持構造物が、当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する。構造強度評価は、構造強度により閉止性及び開閉機能を確保することの評価を含む。

構造強度評価は、評価対象施設の構造を考慮し、以下の分類ごとに評価方針を設定する。

###### a. 建物・構築物

建物・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

###### b. 機器・配管系

###### (a) 冷却塔

###### (b) 配管



## (2) 衝突評価

衝突評価は、設計竜巻による設計飛来物による衝撃荷重に対する直接的な影響の評価として、評価対象施設が、貫入が生じた場合においても、当該施設の機能を維持可能な状態に留めることを確認する評価とする。

評価対象施設の構造及び当該施設の機能を考慮し、飛来物の衝突により想定される損傷モードを以下のとおり分類し、それぞれの評価方針を設定する。

### a. 建物・構築物

建物・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### b. 機器・配管系

#### (a) 貫入

## (3) 動的機能維持評価

動的機能維持評価は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、冷却塔のファン駆動部等の動的機器が、当該施設の動的機能を維持可能なことを確認する評価とする。

### a. 冷却塔

## 3. 構造強度設計

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」で設定している設計竜巻に対し、「2.1 評価対象施設」で示す施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ、構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、設計荷重(竜巻)に対し、各施設の構造強度を維持するように構造設計と評価方針を設定する。

### 3.1 構造強度の設計方針

「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で示す構造強度上の性能目標を達成するための設計方針を、「2.1 評価対象施設」で示す評価対象施設分類ごとに示す。

#### (1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### (2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### (3) 屋外の竜巻防護対象施設

a. 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 c.性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計荷重(竜巻)に対し、冷却水を冷却する機能を維持するために、  
冷却用空気の送気機能の維持及び流路の確保が可能な構造強度を有すること並びに冷却用空気を送風するための動的機能を維持する設計とする。

また、防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、冷却塔の機能を維持するために、安全機能に影響を及ぼすような貫入を生じない設計とする。

b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 c.性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計荷重(竜巻)に対し、配管本体を基礎等に支持された支持構造物により支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また、防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重に対し、流路を確保する機能を維持するために、安全機能に影響を及ぼすような貫入を生じない設計とする。

(4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 3.2 構造強度の評価方針

「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するために「3.1 構造強度の設計方針」に示す設計方針を踏まえ、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重、「2.1.4 竜巻の影響を考慮する施設に対する竜巻防護設計」に示す許容限界を適切に考慮して、施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明す

る。

(2) 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(3) 屋外の竜巻防護対象施設

a. 安全冷却水B冷却塔

(a) 構造設計

安全冷却水B冷却塔は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「4. 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

安全冷却水B冷却塔は、

構造とする。

安全冷却水B冷却塔は、管束、ファン駆動部及び支持架構を主体構造とし、

構造とする。

また、作用する荷重については、

基礎に伝達する構造とする。

安全冷却水B冷却塔の構造計画を第3.2-1表に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

構造強度評価については、設計荷重（竜巻）に対し、冷却塔の機能に影響を与える機器である支持架構（基礎ボルト含む）、管束、ファン駆動部、遮熱板及びルーバを構成する部材のうち、設計竜巻荷重が直接作用する部材及び直接作用する部材を介して荷重が作用する部材に生じる応力が、許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1) 冷却塔」に示すとおり、FEM解析及び評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ロ. 衝突評価

衝突評価については、防護ネットを通過する飛来物である砂利による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材の厚さ未満であることを計算により確認することを基本とする。但し、耐圧部については、外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが貫通限界厚さ以上となることを確認する。

評価方法としては、「5.2.1 衝突評価」に示すとおり、評価式により算出した貫通限界厚さを基に評価を行う。

#### ハ. 動的機能維持評価

動的機能維持評価は、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻時及び竜巻通過後において、動的機器であるファン駆動部が、動的機能を維持可能なことを確認する評価であり、以下の2点について評価を行う。

- ・ファンリングとファンの接触評価
- ・原動機等の軸受け部の破損評価

安全冷却水B冷却塔においては、動的機能を維持するため、以下の設計としている。

- ・ [REDACTED]  
[REDACTED]十分な曲げ剛性を有する設計とすること
- ・ [REDACTED]  
[REDACTED]変位は生じない設計とすること

上記の設計を踏まえ、各機器の取付ボルトの構造健全性を確認することで、動的機能は維持されていると判断できることから、動的機能維持評価は、取付ボルトの構造健全性評価に包絡される。

第3.2-1表 冷却塔の構造計画

施設 名称	計画の概要		説明図
	主要 構造	支持 構造	
<p><b>【位置】</b> 冷却塔は、屋外に設置する設計としている。</p>			
冷却塔	鋼製の支持架構に管束,ファン駆動部等を固定する構造とする。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

(a) 構造設計

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「4. 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、鋼製の配管及び弁を主体構造とし、支持構造物により建屋の床・壁や基礎等から支持する構造とする。また、作用する荷重については、配管本体に作用する構造とする。

配管の構造計画を第3.2-2表に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

構造強度評価については、設計荷重(竜巻)に対し、配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、

「5.2.2(2)配管」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ロ. 衝突評価

衝突評価については、防護ネットを通過する飛来物である砂利による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが貫通限界厚さ以上となることをもって、その施設の安全機能に影響を及ぼさないことを確認する。評価方法としては、「5.2.1 衝突評価」に示すとおり、評価式により算出した貫通限界厚さを基に評価を行う。

第3.2-2表 配管の構造計画

施設 名称	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
【位置】 配管及び弁（安全冷却水B冷却塔）は、支持架構で支持する設計とする。			
配管	鋼製の配管 及び弁で構 成する。	配管及び弁 は支持構造 物により、 冷却塔本体 の支持架構 又は基礎上 面から支持 する。	

- (4) 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設  
 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- (5) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋  
 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。  
 「3.2 構造強度の評価方針」に示す構造設計と作用する荷重の伝達を基に、  
 第3.2-3表に示すとおり評価対象部位を設定する。

第3.2-3表 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位

施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
安全冷却水 B 冷却塔	外殻を構成する部材	衝突	貫入	
	支持架構を構成する部材 基礎ボルト ファンリング ファンリングサポート ファンリングサポート取付ボルト 管束フレーム ヘッダー 管束取付けボルト 遮熱板 遮熱板取付ボルト	構造強度	冷却塔	
配管	外殻を構成する部材	衝突	貫入	
	配管本体	構造強度	配管及び弁	



#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

評価対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

##### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の設定及び荷重の組合せ」に基づき、以下のとおり設定する。

###### (1) 荷重の種類

###### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、固定荷重（自重）及び積載荷重とする。

###### b. 設計竜巻荷重 ( $W_T$ )

竜巻による荷重は、設計竜巻の以下の特性値を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を第4.1-1表に示す。

- ・設計竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P_{max}$ )

$$\Delta P_{max} = \rho \times V_{Rm}^2$$

$\rho$  : 空気密度 (1.22 (kg/m<sup>3</sup>))

$V_{Rm}$  : 設計竜巻の最大接線風速 (m/s)

- ・設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

$V_D$  : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

$V_T$  : 設計竜巻の移動速度 (m/s)

- ・設計竜巻の移動速度 ( $V_T$ )

$$V_T = 0.15 \times V_D$$

$V_D$  : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

第4.1-1表 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	8,900

###### (a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重である。竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定されるが、鉛直方向の風圧力

による荷重に対して脆弱と考えられる評価対象施設が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力による荷重についても考慮する。

風圧力による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数(G)は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から、施設の形状によらず「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(改定 令和元年9月6日 原規技発第1909069号 原子力規制委員会決定)(以下「竜巻ガイド」という。)を参考に、 $G=1.0$ とする。空気密度( $\rho$ )は「建築物荷重指針・同解説(2015改定)」より  $\rho=1.22 \text{ kg/m}^3$ とする。

設計用速度圧については施設の形状に影響を受けないため、設計竜巻の設計用速度圧( $q$ )は施設の形状によらず  $q=6,100 \text{ N/m}^2$ と設定する。

(b) 気圧差による荷重( $W_p$ )

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける竜巻防護対象施設及び竜巻防護対象施設を収納する建屋の壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設(通気がない施設)については、この気圧差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし、設定することを基本とする。

部分的に閉じた施設(通気がある施設等)については、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるよう作用する荷重を設定する。

気圧差による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設の部位ごとに荷重を算出する。

最大気圧低下量( $\Delta P_{\max}$ )は空気密度及び最大接線風速から、 $\Delta P_{\max}=8,900\text{N/m}^2$ とする。

(c) 飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )

設計飛来物である鋼製材及び鋼製パイプのうち、運動エネルギー及び貫通力が大きい鋼製材にて飛来物による衝撃荷重を算出する。飛来物防護ネットを設置する竜巻防護対象施設は、鋼製パイプを通過させないために網目40mmの補助防護ネットを設置していることから、鋼製パイプを含めた設計飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

また、防護ネットの網目40mmを通過し得る飛来物として砂利のような極小飛来物が考えられる。しかし、砂利のような極小飛来物の衝突時間は極めて短く、また質量差もあることから、竜巻防護対象施設に有意な変形を生じさせることはないため、極小飛来物による衝撃荷重は考慮しない。

一方、極小飛来物の衝突による貫通現象は想定されることから、衝突による影響評価として、網目40mmと同サイズの砂利を想定する。

鋼製材が衝突した場合において、影響が大きくなる向きで評価対象施設に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。衝突評価においては、飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物の寸法、質量及び飛来速度を第4.1-2表に示す。設計飛来物の飛来速度については、事業指定(変更許可)を受けたとおり設定する。その他の飛来物として、防護ネットを通過する砂利については、解析コード「TONBOS」を用いて算出した速度を飛来速度として設定する。

なお、評価に用いた解析コード「TONBOS」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-1-1-2-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

第4.1-2表 飛来物の諸元

飛来物の種類	鋼製材	砂利
寸法 (m)	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04
質量 (kg)	135	0.18
最大水平速度 (m/s)	51	62
最大鉛直速度 (m/s)	34	42

c. 運転時荷重( $F_p$ )

運転時の状態で作用する荷重として、配管等にかかる内圧を運転時荷重とする。

d. 積雪荷重( $SL$ )

組み合わせる積雪は、「青森県建築基準法等施行細則」による六ヶ所村の垂直積雪量190cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し66.5cmとする。積雪荷重については、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに $30\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

評価対象施設の設計に用いる設計竜巻荷重は、竜巻ガイドを参考に設計竜巻の風圧力による荷重( $W_w$ )、気圧差による荷重( $W_p$ )及び設計飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )を組み合わせた複合荷重とし、下式より算出する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

評価対象施設には $W_{T1}$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設的设计竜巻による荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を以下に示す。

a. 竜巻防護対象施設を収納する建屋

竜巻防護対象施設を収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設

建屋内の施設で外気と繋がっている竜巻防護対象施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

c. 屋外の竜巻防護対象施設

(a) 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、

を考慮する。

(b) 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、常時作用する荷重、風圧力による荷重、気圧差による荷重、防護ネットを通過する飛来物による衝撃荷重及び積雪荷重並びに運転時荷重として、内圧により発生する荷重を考慮する。

d. 竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

竜巻防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

e. 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

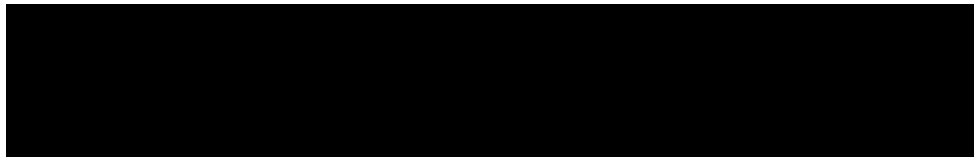
上記の施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を踏まえ、各評価対象施設における評価項目ごとの荷重の組合せ一覧表を第4.1-3表に示す。

第4.1-3表 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重							
			常時作用する荷重			風圧力による荷重	気圧差による荷重	飛来物による衝撃荷重	運転時荷重	積雪荷重
			自重	水頭圧	積載荷重					
屋外の竜巻防護対象施設	安全冷却水B冷却塔	衝突								
		構造強度								
	配管及び弁	衝突	—	—	—	—	—	○	—	—
		構造強度	○	—	—	○	○	—	○*4	—

(○：考慮する荷重を示す。)

注記



\*4：配管に作用する内圧

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を第4.1-4表に示す。

第4.1-4表 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	施設の受圧面積
C	—	風力係数(施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根, 壁等)に応じて設定する。)
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	N	自重による荷重
m	kg	質量
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
R <sub>m</sub>	m	最大接線風速半径
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の最大風速
V <sub>Rm</sub>	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W <sub>M</sub>	N	飛来物による衝撃荷重
W <sub>P</sub>	N	気圧差による荷重
W <sub>W</sub>	N	風圧力による荷重
ρ	Kg/m <sup>3</sup>	空気密度
ΔP <sub>max</sub>	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の最大気圧低下量

b. 自重による荷重の算出

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重であり、竜巻ガイドを参考に次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

$$q = 1/2 \cdot \rho \cdot V_D^2$$

(b) 気圧差による荷重

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P_{\max} \cdot A$$

ここで、

$$\Delta P_{\max} = \rho \times V_{Rm}^2$$

(c) 設計飛来物による衝撃荷重

設計飛来物による衝撃荷重は、設計飛来物が衝突する評価対象施設、評価対象部位及び評価方法に応じて適切に設定する必要があるため、個別計算書にその算出方法を含めて記載する。

評価条件を第4.1-5表に示す。

第4.1-5表 評価条件

最大風速 $V_D$ (m/s)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト影響 係数 $G$ (-)	設計用 速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{\max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	1.22	1.0	6100	85	8900

#### 4.2 許容限界

許容限界は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で示す構造強度設計上の性能目標及び「3.2 構造強度の評価方針」に示す評価方針を踏まえて、評価項目ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す荷重及び荷重の組合せを含めた、評価項目ごとの許容限界を第4.2-1表に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し、評価項目ごとに許容限界を定める。

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601-補1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下「JEAG4601」という。)を準用できる施設については、JEAG 4601に基づき「発電用原子力設備規格設計・建設規格JSME S NC1-2005/2007(以下「JSME」という。)の付録材料図表及びJISの材料物性値により許容限界を算出している。その他施設や衝撃荷重のみを考慮する施設については、JSMEや既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし、JSMEの適用を受ける機器であって、許容値の規定がJSMEにないものは機能維持の評価方針を考慮し、JEAG4601に基づいた許容限界を設定する。

第 4.2-1 表 施設ごとの許容限界

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	評価 項目	機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
安全冷却水 B 冷却塔	$F_d+W_T(W_W, W_P)$	外殻を構成する部材	衝突	変形	流路を確保 する機能の 喪失	施設の最小部材厚さが貫通 限界厚さ以上とする。
		支持架構を構成する部材 基礎ボルト 管束取付ボルト 原動機取付ボルト 減速機取付ボルト ファンリングサポート取付ボルト 遮熱板取付ボルト				JEAG4601 等に準じて許容応 力状態Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応力以下 とする。
配管	$F_d+W_T(W_W, W_P, W_M)+F_P$	外殻を構成する部材	衝突	変形	流路を確保 する機能の 喪失	評価式により算定した貫通 限界厚さが、外殻を構成する 部材の厚さから耐圧強度上 必要な厚さを差し引いた残 りの厚さ未満とする。
		配管本体				構造 強度



(1) 許容限界の設定

a. 衝突評価

(a) 建物・構築物

建物・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(b) 機器・配管系

衝突評価においては、飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、部材厚さを許容限界として設定する。ただし、耐圧部については部材厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界として設定する。

b. 構造強度評価

(a) 建物・構築物

建物・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(b) 機器・配管系

イ. 冷却塔

構造強度評価においては、設計荷重(竜巻)に対し、冷却塔の機能に影響を与える機器を構成する部材のうち、設計竜巻荷重が直接作用する部材及び直接作用する部材を介して荷重が作用する部材が、概ね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、JEAG4601等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

ロ. 配管

構造強度評価においては、設計荷重(竜巻)に対し、配管本体が、概ね弾性域に収まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを踏まえ、JEAG4601等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(2) 構造強度評価における許容限界の算出

a. 建物の許容限界

建物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 冷却塔の許容限界

冷却塔の許容限界は、JEAG4601等を準用し、支持構造物の許容限界を適用する。許容限界を第4.2-2表に示す。

第4.2-2表 冷却塔の許容応力

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	1.5f <sub>t</sub>	1.5f <sub>s</sub>	1.5f <sub>c</sub>	1.5f <sub>b</sub>	※1	1.5f <sub>s</sub>

※1 引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容限界は、  
 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t - 1.6 \tau_b, 1.5f_t)$ とする。

c. 配管の許容限界

配管の許容限界は、JEAG4601等を準用し、配管の許容限界を適用する。許容限界を第4.2-3表に示す。

第4.2-3表 配管の許容応力

状態	許容限界
	一次応力(膜+曲げ)
許容応力 状態Ⅲ <sub>A</sub> S	Sy

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類並びに既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ FEM等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

竜巻ガイドを参照して、設計竜巻荷重は、地震荷重と同様に施設に作用する場合は、地震荷重と同様に外力として評価をするため、JEAG4601を適用可能とする。

ただし、閉じた施設となる屋外配管等については、その施設の大きさ及び形状を考慮した上で、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として評価する。

風圧力による荷重の影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風圧力による荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。

設計竜巻による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、強度評価方法として、容器及び建屋等の定式化された評価式を用いた解析法を以下に示す。

ただし、以下に示す強度評価方法が適用できない施設及び評価対象部位については、個別計算書にその強度評価方法を含めて記載する。

#### 5.1 建物・構築物に関する評価式

建屋・構築物の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 5.2 機器・配管系に関する評価式

##### 5.2.1 構造強度評価

##### (1) 冷却塔

##### a. 評価条件

冷却塔の強度評価は、以下の条件に従うものとする。

##### (a) 支持架構，基礎ボルト

イ． 支持架構及び基礎ボルトは，三次元はりモデルに設計竜巻の風圧力による荷重を作用させ静解析を行う。

##### (b) 管束，ファン駆動部，遮熱板及びルーバ

イ． 支持架構に搭載される機器である管束，ファン駆動部，遮熱板及びルーバは，有する機能を踏まえて評価対象部位を選定し，設計竜巻の風圧力による荷重を作用させ，定型式を用いた評価を行う。

ロ． 設計竜巻の風圧力による荷重は発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。

ハ． 荷重が全高の半分又はそれ以上となる位置に作用することとする。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を第5.2-1表に示す。

第5.2-1表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
支持架構	<ul style="list-style-type: none"><li>・引張</li><li>・圧縮</li><li>・せん断</li><li>・曲げ</li><li>・組合せ(引張+曲げ)</li><li>・組合せ(圧縮+曲げ)</li></ul>
ファン駆動部	<ul style="list-style-type: none"><li>・曲げ</li><li>・引張</li><li>・せん断</li></ul>
管束	<ul style="list-style-type: none"><li>・曲げ</li><li>・せん断</li></ul>
遮熱板	<ul style="list-style-type: none"><li>・曲げ</li><li>・引張</li><li>・せん断</li></ul>
ルーバ	<ul style="list-style-type: none"><li>・引張</li><li>・せん断</li></ul>

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

イ. 支持架構の記号の定義

支持架構の構造強度評価に用いる記号を第5.2-2表に示す。

第5.2-2表 支持架構の応力評価に用いる記号

記号	単 位	定 義
$F_a$	N	はり要素に作用する引張, 圧縮荷重
$F_y, F_z$	N	はり要素に作用するせん断荷重
$M_y, M_z$	N・mm	はり要素に作用する曲げモーメント
$M_a$	N・mm	はり要素に作用するねじりモーメント
$A_f$	mm <sup>2</sup>	部材の断面積
$A_{f_y}, A_{f_z}$	mm <sup>2</sup>	部材の有効せん断断面積
$Z, Z_y, Z_z$	mm <sup>3</sup>	部材の断面係数
$Z_p$	mm <sup>3</sup>	部材のねじり断面係数
$1.5f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5f_s$	MPa	許容せん断応力
$1.5f_c$	MPa	許容圧縮応力
$1.5f_b$	MPa	許容曲げ応力
$\sigma_t$	MPa	引張応力
$\sigma_c$	MPa	圧縮応力
$\sigma_b$	MPa	曲げ応力
$\tau$	MPa	せん断応力
$i, i_y, i_z$	mm	部材の断面二次半径
$E$	MPa	縦弾性係数
$F$	MPa	「JSME S NC1」SSB-3121.1(1)に定める値

ロ. 基礎ボルト

基礎ボルトの応力評価に用いる記号を第5.2-3表に示す。

第5.2-3表 基礎ボルトの応力評価に用いる記号

記号	単位	定義
$F_{bt}$	N	ボルトの引張力
$F_{bs}$	N	ボルトのせん断力
$A_b$	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
$\sigma_{ao}$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\tau_b$	MPa	ボルトに生じるせん断応力
$n_a$	本	柱脚部1ヶ所当たりのボルト本数
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
$1.5f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5f_s$	MPa	許容せん断応力

ハ. 機器本体

機器本体の応力評価に用いる記号を第5.2-4表に示す。

第5.2-4表 機器本体の応力評価に用いる記号

記号	単位	定義
$\beta_1$	—	4辺支持平板として評価する機器の最大応力の係数
a	mm	4辺支持平板として評価する機器の短手側の辺の長さ
b	mm	4辺支持平板として評価する機器の長手側の辺の長さ
t	mm	4辺支持平板として評価する機器の板厚
$\sigma_1$	MPa	ヘッダーの風圧力による応力
$\sigma_2$	MPa	ヘッダーの内圧及び気圧差による圧力による応力
$\sigma_i$	MPa	ヘッダーの内圧による応力
B	mm	ヘッダーの高さ
L	mm	ヘッダーの支持間距離
$P_i$	MPa	ヘッダーの内圧
$P_b$	MPa	気圧差による圧力
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
h	mm	重心高さ
m	kg	自重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
n	本	ファンリングサポートの本数
$\ell$	mm	機器中心と取付ボルトの距離
$\sigma$	MPa	発生応力
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
1.5f <sub>b</sub>	MPa	許容曲げ応力

二. 機器取付ボルト

機器取付ボルトの応力評価に用いる記号を第5.2-5表に示す。

第5.2-5表 機器取付ボルトの応力評価に用いる記号

記号	単位	定義
m	kg	各評価機器の自重
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 (g=9.80665)
h	mm	各評価機器の重心高さ
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	各評価機器の取付ボルトの軸断面積
n <sub>t</sub>	本	引張力の作用する取付ボルトの評価本数
n	本	せん断力の作用する取付ボルトの評価本数
ℓ	mm	取付ボルト間の中心から、各取付ボルトまでの距離
L	mm	取付ボルト間の距離
σ <sub>o</sub>	MPa	引張応力
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
τ <sub>b</sub>	MPa	せん断応力
1.5f <sub>t</sub>	MPa	許容引張応力
1.5f <sub>s</sub>	MPa	許容せん断応力

(b) 評価方法

イ. 支持架構

FEM解析の結果から得られる支持架構のはり要素の荷重、モーメントを用いて、以下の式により応力を算出する。

(イ) 引張応力及び圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{F_a}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{F_a}{A}$$

(ロ) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

(ハ) せん断応力

$$\tau = \frac{F_y}{A_{fy}} + \frac{F_z}{A_{fz}} + \frac{M_a}{Z_p}$$

(ニ) 組合せ

発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007((社)日本機械学会)に基づき、引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ



応力を下式より算出する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 f_t} \leq 1.0$$

同様に、圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力を下式より算出する。

$$\frac{\sigma_c}{1.5 f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5 f_b} \leq 1.0$$

ロ. 基礎ボルト

FEM解析の結果から得られる基礎ボルト部の最大荷重を用いて、以下の式により応力を算出する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_{ao} = \frac{F_{bt}}{A_b \cdot n_a}$$

(ロ) せん断応力

$$\sigma_{ao} = \frac{F_{bt}}{A_b \cdot n_a}$$

ハ. 機器本体

(イ) 管束フレーム及びファンリング

4辺支持で等分布荷重を受ける板の大たわみ式により、以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \beta_1 \frac{C q G a^2}{t}$$

(ロ) ヘッダー

ヘッダーは両端を固定されているため、風圧力による荷重を一様に受ける単純支持はりとして評価を行う。

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\sigma_1 = \frac{C q G B L^2}{8 Z}$$

$$\sigma_2 = \sigma_i \frac{(P_i + 0.5 P_b)}{P_i}$$

(ハ) ファンリングサポート

機械工学便覧を参考に算出する。

$$\sigma = \frac{W_w h - m g \ell}{n Z}$$

(二) 遮熱板

機械工学便覧を参考に算出する。

$$\sigma = \frac{W_w h - m g \ell}{Z}$$

二. 機器取付ボルト

(イ) ファンリングサポート, 管束及びルーバ

① 引張応力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」に記載されている式を準用し, 次式より算出する。

$$\sigma_0 = -\frac{m g \ell}{n_t L A_b} + \frac{W_w h}{n_t L A_b} \dots (1)$$

② せん断応力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」に記載されている式を準用し, 次式より算出する。

$$\tau_b = \frac{W_w}{A_b n} \dots (2)$$

(ハ) 遮熱板

① 引張応力

(2)式において, 遮熱板はボルトの設置方向が異なることから, 次式により算出する。

$$\sigma_0 = \frac{W_w}{A_b n}$$

② せん断応力

(1)式において, 遮熱板はボルトの設置方向が異なることから, 次式により算出する。

$$\tau_b = -\frac{m g \ell}{n L A_b} + \frac{W_w h}{n L A_b} \dots (8)$$

(2) 配管

a. 評価条件

配管の強度評価は, 以下の条件に従うものとする。

- (a) 配管は一定距離ごと支持構造物によって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持はりとし，機械工学便覧の計算方法を参考に評価を行う。評価に用いる支持間隔は標準支持間隔を用いる。配管モデル図を第5.2.2-1図に示す。
- (b) 弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく，配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。
- (c) 支持構造物については，建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対する支持構造物の設計は耐震設計に包絡される。
- (d) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を第5.2-6表に示す。

第5.2-6表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
配管本体	一次応力(膜+曲げ)

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

配管の強度評価に用いる記号を第5.2-7表に示す。

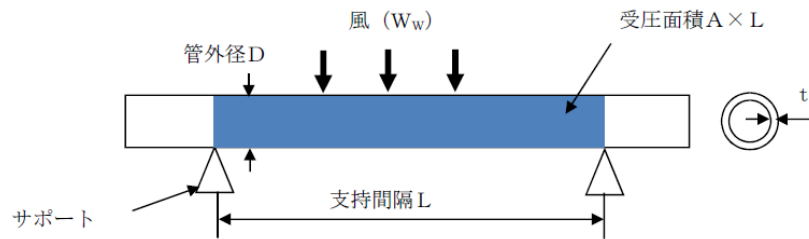
第5.2-7表 配管の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup> /mm	単位長さ当たりの施設の受圧面積(風向に垂直な面に投影した面積)
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	mm	支持間隔
M	N・mm	風により作用する曲げモーメント
m	kg/mm	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
Sy	MPa	JSME付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の最大風速
V <sub>T</sub>	m/s	設計竜巻の移動速度
V <sub>Rm</sub>	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W <sub>w</sub>	N/mm	単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/mm	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
ΔP <sub>max</sub>	MPa	設計竜巻の最大気圧低下量
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
W <sub>M</sub>	N	飛来物による衝撃荷重
σ <sub>1</sub> , σ <sub>2</sub>	MPa	配管に生じる応力
σ <sub>WP</sub>	MPa	気圧差により生じる応力
σ <sub>WT1</sub> , σ <sub>WT2</sub>	MPa	複合荷重により生じる応力
σ <sub>WW</sub>	MPa	風圧力により生じる応力
σ <sub>自重</sub>	MPa	自重により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	MPa	内圧により生じる応力

(b) 計算モデル

配管は一定距離ごとに支持構造物によって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持はりとして評価を行う。評価に用いる支持間隔は標準支持間隔とする。弁を設置している場合は支持構造物の支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を第5.2.2-1図に示す。



第5.2.2-1図 配管モデル図

d. 評価方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32D} \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P_{max} \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 $\sigma_{WT1}$ 及び $\sigma_{WT2}$ は以下の式により算出する。

$$\begin{aligned} \sigma_{WT1} &= \sigma_{WP} \\ \sigma_{WT2} &= \sigma_{ww} + 0.5 \sigma_{WP} \end{aligned}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する荷重である自重及び運転時荷重である内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧

により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{\text{自重}} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{\text{内圧}} = \frac{P \cdot D}{4t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma_1$  及び  $\sigma_2$  を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{\text{WT1}}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{\text{WT2}}$$

## 5.2.2 衝突評価

### (1) 評価条件

衝突評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 衝突評価においては、評価対象機器に飛来物が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を第5.2-8表に示す。

第5.2-8表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
外殻を構成する部材のうち最も薄い部材	衝突による貫通力

### (3) 強度評価方法

#### a. 記号の定義

衝突評価に用いる記号を第5.2-9表に示す。

第5.2-9表 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
Tc	mm	BRL 式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

#### b. 評価方法

(a) BRL式による貫通限界厚さの算出

飛来物が竜巻防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^3 = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^3}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する貫通限界厚さ付近の実験データが不十分であることを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

したがって、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さは、以下の式により算出する。

$$T_c = T / 0.97$$

## 6. 準拠規格

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.4 準拠規格」においては、竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る規格を示している。

これらのうち、竜巻防護対策設備及び屋外重大事故等対処設備の固縛装置を除く施設の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令・同告示
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007((社)日本機械学会)
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編JEAG4601-補1984」(社)日本電気協会
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」(社)日本電気協会
- ・ 「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)
- ・ 建築物荷重指針・同解説(社)日本建築学会(2004)
- ・ 「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会, 2015 改定)
- ・ 機械工学便覧((社)日本機械学会)
- ・ 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第1909069号)

なお、次回以降に申請する施設に係る準拠規格については、当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-1-2-4-1-2  
竜巻防護対策設備の強度計算の方針



## 目 次

ページ

1. 概要	1
2. 強度設計の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
2.2 構造強度の設計方針	1
2.3 荷重及び荷重の組合せ	2
2.4 構造設計	8
3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針	10
3.1 防護ネットの構造設計	11
3.2 防護板(鋼材)の構造設計	15
3.3 支持架構の構造設計	17
3.4 防護板(鉄筋コンクリート)	19
4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針	19
4.1 防護ネットの評価方針	20
4.2 防護板(鋼材)の評価方針	24
4.3 支持架構の評価方針	25
5. 許容限界	26
5.1 防護ネットの許容限界	26
5.1.1 許容限界の設定	26
5.1.2 許容限界の設定方法	30
5.2 防護板(鋼材)の許容限界	37
5.2.1 衝突評価	37
5.2.2 許容限界の設定方法	37
5.3 支持架構の許容限界	39
5.3.1 衝突評価	39
5.3.2 支持架構全体の波及的影響評価	39
5.4 防護板(鉄筋コンクリート)の許容限界	40
6. 強度評価方法	40

6.1 防護ネットの強度評価	40
7. 適用規格	55

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」及び「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」に基づき、竜巻の影響を考慮する施設のうち、竜巻防護対策設備が、設計荷重(竜巻)に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

## 2. 強度設計の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す施設を対象として、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重(竜巻)を考慮し、「6. 強度評価方法」で示す評価方法により、「5. 許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

### 2.1 評価対象施設

「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」に基づき、以下の竜巻防護対策設備を対象とする。

#### (1) 飛来物防護板

飛来物防護板の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### (2) 飛来物防護ネット

- ・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

その他の飛来物防護ネットは、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 2.2 構造強度の設計方針

竜巻防護対策設備は、事業指定(変更許可)を受けた設計飛来物のうち鋼製材が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するものである。竜巻防護対策設備は、「VI-1-1-1-2-3 竜巻の影響を考慮する施設の設計方針」の「3.1(6)c 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止するため、防護ネット、防護板(鋼材)、防護板(鉄筋コンクリート)及び支持架構を組み合わせて構成し、以下の設計とする。

#### (1) 防護ネット

防護ネットは、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じても、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性がある設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突しないよう捕捉し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

#### (2) 防護板(鋼材)

防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通せず、竜巻防護対象

施設に波及的影響を与えない設計とする。

(3) 支持架構

支持架構は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が支持架構を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載する防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、支持架構を構成する部材自体の脱落、転倒及び倒壊を生じない設計とする。

(4) 防護板(鉄筋コンクリート)

防護板(鉄筋コンクリート)の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 2.3 荷重及び荷重の組合せ

竜巻防護対策設備の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、以下のとおり設定する。「VI-1-1-1 再処理施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重及び積載荷重とする。

なお、防護ネットのワイヤロープ及び接続冶具(支持部、固定部)の評価時は、積載荷重としてネットの自重を考慮する。

b. 設計竜巻による荷重( $F_T$ )

設計竜巻(最大風速100m/s)による荷重は、設計竜巻の特性を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を第2.3-1表に示す。

・設計竜巻の移動速度( $V_T$ )

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

$V_D$  : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

・設計竜巻の最大接線風速( $V_{Rm}$ )

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

$V_T$  : 設計竜巻の移動速度 (m/s)

・設計竜巻の最大気圧低下量( $\Delta P_{max}$ )

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

$\rho$  : 空気密度(=1.22kg/m<sup>3</sup>)

$V_{Rm}$  : 設計竜巻の最大接線風速 (m/s)

第2.3-1表 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	8900

(a) 風圧力による荷重( $W_w$ )

風圧力による荷重は、設計竜巻の最大風速による荷重である。

竜巻の最大風速は、一般的には水平方向の風速として算出されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる竜巻防護対策設備が存在する場合には、鉛直方向の最大風速に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は、設備の形状により変化するため、設備の部位ごとに異なる。そのため、各設備及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各設備の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数( $G$ )は、設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から設備の形状によらず「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」(平成25年6月19日 原規技発第13061911号 原子力規制委員会決定)(以下「竜巻ガイド」という。)を参考に、 $G=1.0$ とする。空気密度( $\rho$ )は「建築物荷重指針・同解説(2015改定)」より  $\rho=1.22\text{kg/m}^3$ とする。

設計用速度圧( $q$ )については、設備の形状によらず $q=6100\text{N/m}^2$ とする。

(b) 気圧差による荷重( $W_p$ )

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける設備の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる設備等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた設備(通気がない設備)については、この圧力差により閉じた設備の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし、気圧差による荷重を設定することを基本としているが、竜巻防護対策設備は外気と通じており、設備の外殻に面する部材に気圧差は生じないことから考慮しない。

(c) 飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )

衝突による影響が大きくなる向きで飛来物が竜巻防護対策設備に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

衝突評価においても、飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物の飛来速度及び諸元を第2.3-2表に示す。

第2.3-2表 設計飛来物の諸元

飛来物の種類	鋼製材
寸法(m)	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2
質量(kg)	135
最大水平速度(m/s)	51
最大鉛直速度(m/s)	34

c. 運転時荷重( $F_p$ )

運転時の状態で作用する荷重は、配管に作用する内圧等であり、竜巻防護対策設備には作用しないため考慮しない。

d. 積雪荷重(SL)

組み合わせる積雪は、「青森県建築基準法等施行細則」による六ヶ所村の垂直積雪量190cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し66.5cmとする。積雪荷重については、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに30N/m<sup>2</sup>の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

竜巻防護対策設備の設計に用いる竜巻の荷重は、気圧差による荷重( $W_p$ )を考慮した複合荷重( $W_{T1}$ )、並びに設計竜巻の風圧力による荷重( $W_w$ )、気圧差による荷重( $W_p$ )及び飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )を組み合わせた複合荷重( $W_{T2}$ )を以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

竜巻防護対策設備には $W_{T1}$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。竜巻防護対策設備の構成部材別の荷重の組合せを第2.3-3表に示す。

第2.3-3表 竜巻防護対策設備の構成部材別の荷重の組合せ

構成部材		評価内容	荷重						
			常時作用する荷重		風圧力による荷重	気圧差による荷重 <sup>(注1)</sup>	飛来物による荷重	積雪荷重	運転時荷重
			自重	積載荷重					
防護ネット	上面	構造強度	○	—	— <sup>(注2)</sup>	—	○	○	—
	側面		—	—	○	—	○	—	—
防護板(鋼板)	上面	構造強度	○	—	— <sup>(注2)</sup>	—	○	○	—
	側面		—	—	○	—	○	—	—
支持架構		構造強度	○	○ <sup>(注3)</sup>	○	—	○	○	—

(注1)：外気と通じている竜巻防護対策設備には、気圧差は生じない。

(注2)：自重に対する抗力となるため、考慮しない。

(注3)：防護ネット及び防護板の自重を考慮する。

(3) 荷重の算定方法

「(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a. 防護ネット

(a) 記号の定義

防護ネットの部材の評価における荷重算出に用いる記号を、第2.3-4表に示す。

第2.3-4表 防護ネットの部材の評価における荷重算出に用いる記号

記号	単位	定義
$A_w$	$m^2$	風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積
$A_a$	$m^2$	ネットの面積
$C$	—	風力係数(施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根, 壁等)に応じて設定する。)
$d$	$m$	設計飛来物衝突後の設計飛来物の移動距離
$E_f$	$kJ$	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
$F_a$	$kN$	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
$F_a''$	$kN$	設計飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度 ( $g = 9.80665$ )
$L_x$	$m$	ネット展開方向寸法
$L_y$	$m$	ネット展開直角方向寸法
$m$	$kg$	設計飛来物の質量
$M_1$	$kg/m^2$	ネットの単位面積当たりの質量
$M_2$	$kg/m^2$	補助ネットの単位面積当たりの質量
$n$	—	ネット設置枚数
$PW$	$kN$	ネットの自重により作用する荷重
$Q$	$kN/s$	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
$t$	$s$	時間
$T_1$	$s$	設計飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間
$V$	$m/s$	ネットへの衝突後の設計飛来物の移動速度
$V_1$	$m/s$	ネットへの設計飛来物の衝突速度
$V_D$	$m/s$	設計竜巻の最大風速
$W_w$	$kN$	風圧力による荷重
$\delta$	$m$	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$\phi$	—	ネットの充実率

(b) 自重による荷重の算出

防護ネット及び防護板(鋼板)に常時作用する荷重として、自重を考慮する。自重により作用する荷重は、ネット等の設置方向を考慮する。水平設置の場合は、鉛直下向きに発生するものとして評価する。鉛直設置の場合は、自重と飛



来物による衝撃荷重の作用する方向が異なることから考慮しない。

防護ネットにおいては、自重による荷重 $P_w$ は、

$$P_w = \frac{A_a \cdot g \cdot (m_1 \cdot n + m_2 \cdot 1)}{1000}$$

と算出される。

$A_a$ はネットの実寸法 $L_x$ ,  $L_y$ を用いて、以下の式で求められる。

$$A_a = L_x \cdot L_y$$

(c) 竜巻による荷重の算出

イ. 風圧力による荷重

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重であり、竜巻ガイドを参考に次式のとおり算出する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A_w}{1000}$$

ここで、 $q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_d^2$

防護ネットにおいては、ネットの充実率を $\phi$ とすると、風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積 $A_w$ は次式のとおりとなる。

$$A_w = \phi \cdot A_a$$

(d) 飛来物による衝撃荷重の算出

防護ネットにおいて、設計飛来物の衝突時に受ける衝撃荷重 $F_a''$ は時間とともに比例して増加すると仮定すると、 $F_a''$ は以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Q \cdot t \cdots (2.1)$$

従って、ネットへの衝突後の設計飛来物の移動速度 $V$ は、(2.1)式の衝撃荷重 $F_a''$ から、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \cdots (2.2) \end{aligned}$$

さらに、ネットへの衝突後の設計飛来物の移動距離 $d$ は、(2.2)式の数値 $V$ から以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t V dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t \cdots (2.3) \end{aligned}$$

設計飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間 $t_1$ におけるネットの最大変位 $\delta$ は、設計飛来物の速度は $V=0$ であるから、(2.2)式及び(2.3)式より、

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1 \cdots (2.4)$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1$$

上記2式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot V_1 \cdot t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot V_1} \quad \dots (2.5)$$

以上より、時間 $t_1$ における設計飛来物による衝撃荷重 $F_a$ は(2.1)式及び(2.4)式より、

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに、(2.5)式と連立し、

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \quad \dots (2.6)$$

また、時間 $t_1$ における設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー $E_f$ は、衝突時の設計飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \quad \dots (2.7)$$

したがって、(2.6)式及び(2.7)式より

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \quad \dots (2.8)$$

(2.8)式に、たわみ評価で算出する、設計飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量 $\delta$ を代入し、 $F_a$ を算出する。

## 2.4 構造設計

竜巻防護対策設備は、「2.2 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

### (1) 飛来物防護板

飛来物防護板の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### (2) 飛来物防護ネット

飛来物防護ネットは、電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」(総合報告：O01)(以下「電中研報告書」という。)と同型の防護ネット(以下「防護ネット(鋼製枠)」という。)、支持架構の耐震性への配慮から鋼製枠を設けず、支持架構に直接設置する防護ネット(以下「防護ネット(支持架構に直接設置)」という。)、防護板(鋼材)及び支持架構で構

成し、竜巻防護対象施設を取り囲むように設置することで、飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止し、竜巻防護対象施設と防護ネットの離隔を確保することにより、防護ネットにたわみが生じたとしても、竜巻防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また、支持架構は杭基礎により支持される構造とする。

防護ネット(支持架構に直接設置)は、ネット、ワイヤロープ、ターンバックル、シャックル、隅角部固定ボルト、取付プレート、ネット取付金物、取付ボルト及び押さえボルトを主体構造とし、これらを支持架構により支持する。また、ワイヤロープと支持架構の隙間を、設計上考慮する飛来物である砂利以下の大きさとするため、鋼製の補助防護板を設置する。なお、ターンバックル及びシャックルを接続治具(支持部)、隅角部固定ボルト及び取付プレートを接続治具(固定部)、取付ボルト及び押さえボルトを接続部とする。

防護ネット(鋼製枠)は、ネット、ワイヤロープ、ターンバックル、シャックル、隅角部固定ボルト、取付プレート及び鋼製枠を主体構造とし、トロリを用いて支持架構から支持される。

なお、ターンバックル及びシャックルを接続治具(支持部)、隅角部固定ボルト及び取付プレートを接続治具(固定部)とする。

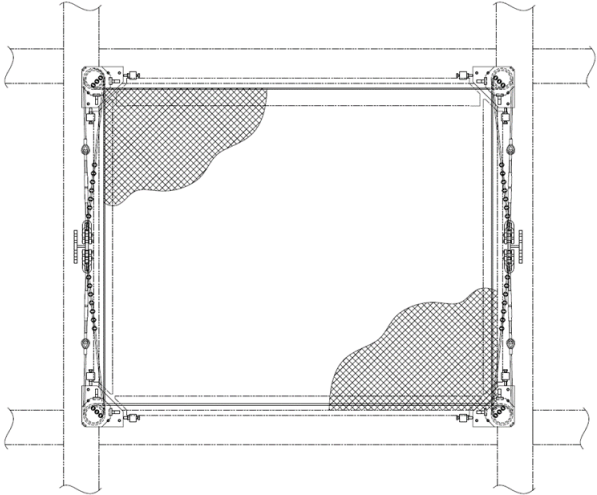
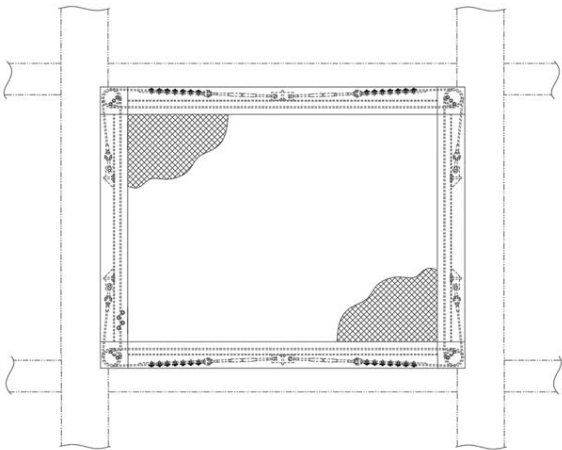
防護ネットのうちネットは、らせん状の硬鋼線を3次的に編み込み、編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持ち、支持架構の配置、ネットに作用する荷重及び竜巻防護対象施設との離隔距離に応じて、ネットの展開方向と展開直角方向の長さの比を考慮して、網目50mmのネットを複数枚重ねて設置する構造とする。また、設計飛来物である鋼製パイプを捕捉するため、網目40mmの補助ネットを設置する構造とする。

防護ネットの構造計画を第2.4-1表に示す。

防護板(鋼材)は、設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止するために、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通しない厚さを有し、支持架構にボルトで取り付けられる構造とする。

防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する支持架構は、H形鋼等より構成され、施設の外殻に作用する荷重並びに積載する防護ネット及び防護板(鋼材)からの荷重を支持する構造とする。また、支持架構を構成する柱は基礎により支持する構造とする。

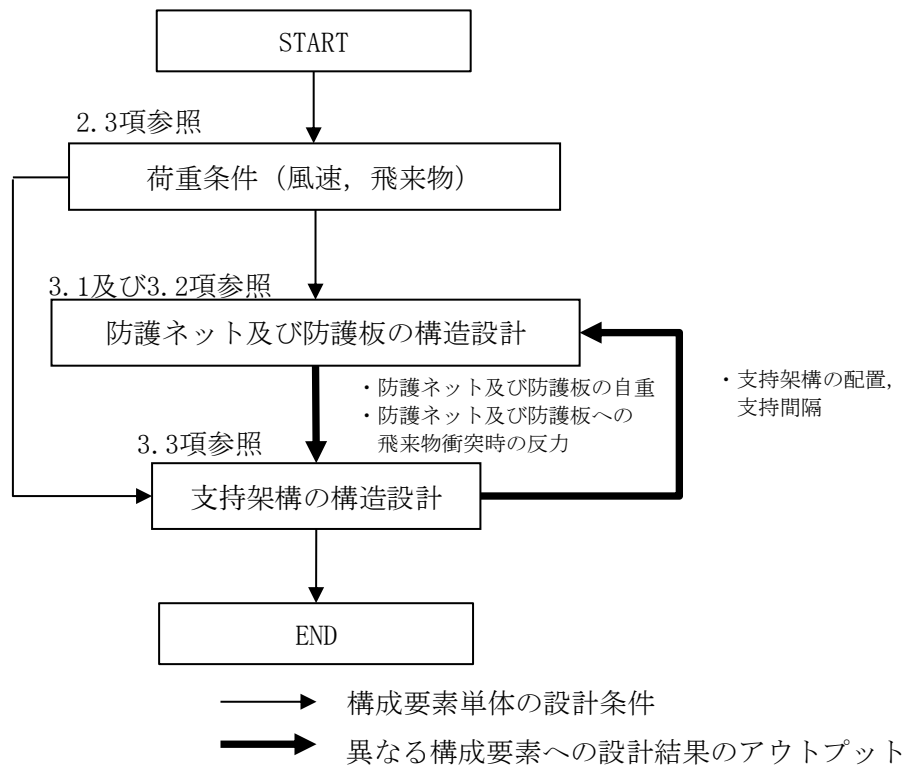
第2.4-1表 防護ネットの構造計画

設備 名称	計画の概要		説明図
	主要構造	支持構造	
防護 ネット	ネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）、ネット取付金物及び接続部から構成する。	接続部及び取付プレートにより支持架構に直接支持され、支持架構を介して荷重を基礎に伝達する構造とする。	 <p>防護ネット(支持架構に直接設置)</p>
	ネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部及び固定部）、鋼製枠及び接続部から構成する。	トロリを用いて支持架構により支持され、支持架構を介して荷重を基礎に伝達する構造とする。	 <p>防護ネット(鋼製枠)</p>

3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針

竜巻防護対策設備は、「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、「2.4 構造設計」に示した構造と、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重を踏まえ、竜巻防護対策設備を構成する要素間での荷重の受け渡し、要素ごとの設計及び設計結果の全体設計へ反映を行う。

竜巻防護対策設備の設計フローを第3.-1図に示す。

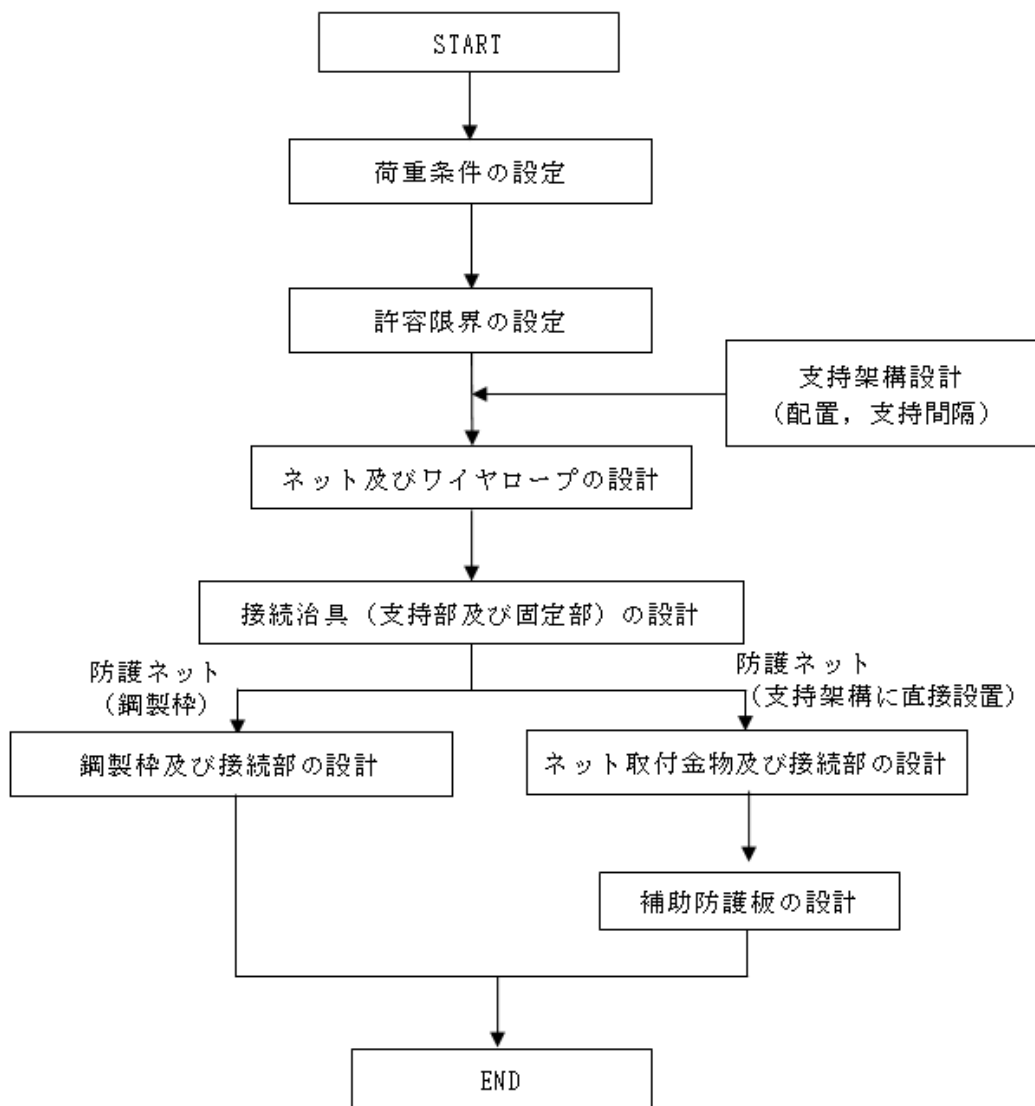


第3.-1図 竜巻防護対策設備の設計フロー

### 3.1 防護ネットの構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、設計飛来物の防護ネットへの衝突に対し、主要な部材が破断することなく支持架構に荷重を伝達し、たわみを生じて、設計飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう、防護ネットで捕捉できる設計とする。

防護ネットの設計フローを第3.1-1図に示す。



第3. 1-1図 防護ネットの設計フロー

防護ネットの概要図を第3. 1-2図及び第3. 1-3図に示す。

防護ネット(支持架構に直接設置)のうちネットは、ネット端部の網目を縫うようにはわせたワイヤロープにより支持し、ワイヤロープはターンバックル及びシャックル並びに鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトにて支持する。ターンバックル及びシャックルは支持架構に設置した取付プレートにより支持し、隅角部固定ボルト、ネット取付金物は支持架構に設置した押さえボルト及び取付ボルトにより支持される構造とする。また、ネットと支持架構の隙間を砂利以下の大きさとするため、補助防護板を設置する設計とする。

防護ネット(鋼製枠)のうちネットは、ネット端部の網目を縫うようにはわせたワイヤロープにより支持し、ワイヤロープはターンバックル及びシャックル並びに鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトにて支持する。また、ターンバックル及びシャック

ルは、鋼製枠内に具備した取付プレートにより支持される構造とする。

防護ネットは、50mm目合いのネット2枚及び40mm目合いのネット1枚(補助ネット)で構成する。

防護ネットは、電中研報告書にて適用性が確認されている評価式及びネットの物性値を用いた設計とする。

防護ネットを構成するネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部についての構造設計を以下に示す。

#### (1) ネット

ネットは、らせん状の硬鋼線を3次的に編み込み、編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を有する。展開方向が主に荷重を受け持ち、展開方向と展開直角方向で剛性や伸び量が異なるため、これらの異方性を考慮した設計とする。ネットは、電中研報告書において、その剛性、最大たわみ時のたわみ角、1目合いの破断変位等が確認されている。

ネットの寸法は、支持架構の柱及びはりの間隔並びにネットの展開方向と展開直角方向の剛性や伸び量の異方性を考慮して、展開方向と展開直角方向の寸法の比(以下「アスペクト比」という。)について、電中研報告書にて適用性が確認されている範囲(1:1~2:1)に入るように設計する。ただし、設定する寸法での限界吸収エネルギー量等を踏まえ、設置するネットの枚数を増やし、衝撃荷重に対する耐力を持たせるとともにたわみ量を低減させる設計とする。

#### (2) ワイヤロープ

ワイヤロープの取付部は、展開方向のワイヤロープと展開直角方向のワイヤロープで荷重の伝達分布が異なり、さらにワイヤロープの巻き方によりワイヤロープ間の荷重伝達に影響を及ぼす可能性があるため、ネットに対して2本をL字に設置することにより、ワイヤロープに作用する荷重が均一となるような設計とする。

防護ネットの基本構造において、ワイヤロープは上下2段設置しており、上段のワイヤロープは50mm目合いと40mm目合いのネット2枚を支持するため、ワイヤロープは支持するネット枚数を考慮した設計とする。

#### (3) 接続治具(支持部及び固定部)

電中研報告書の評価式を適用するため、衝突試験における試験体と同じ構造を採用しており、飛来物衝突時に急激な荷重が作用するのを抑制するために、緩衝装置を有する保持管を四隅に設置する設計とする。

接続治具(支持部及び固定部)は、ネットへの設計飛来物の衝突によりネットからワイヤロープを介して作用する荷重もしくは発生する応力に対して、破断することのない強度を有する設計とする。

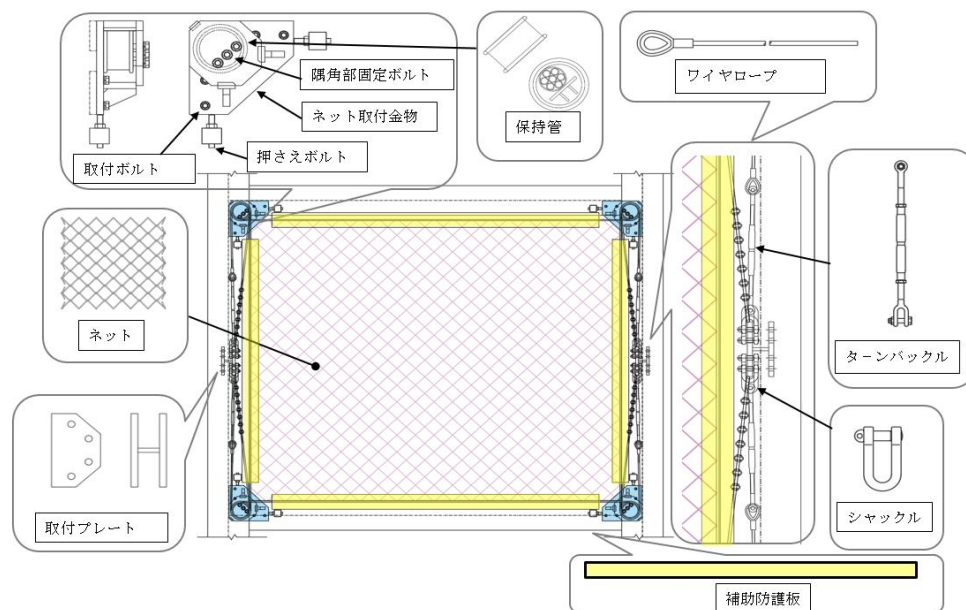
#### (4) 接続部

接続部は、ネット取付金物から伝播する荷重に対し、破断することのない強度を

有する設計とする。

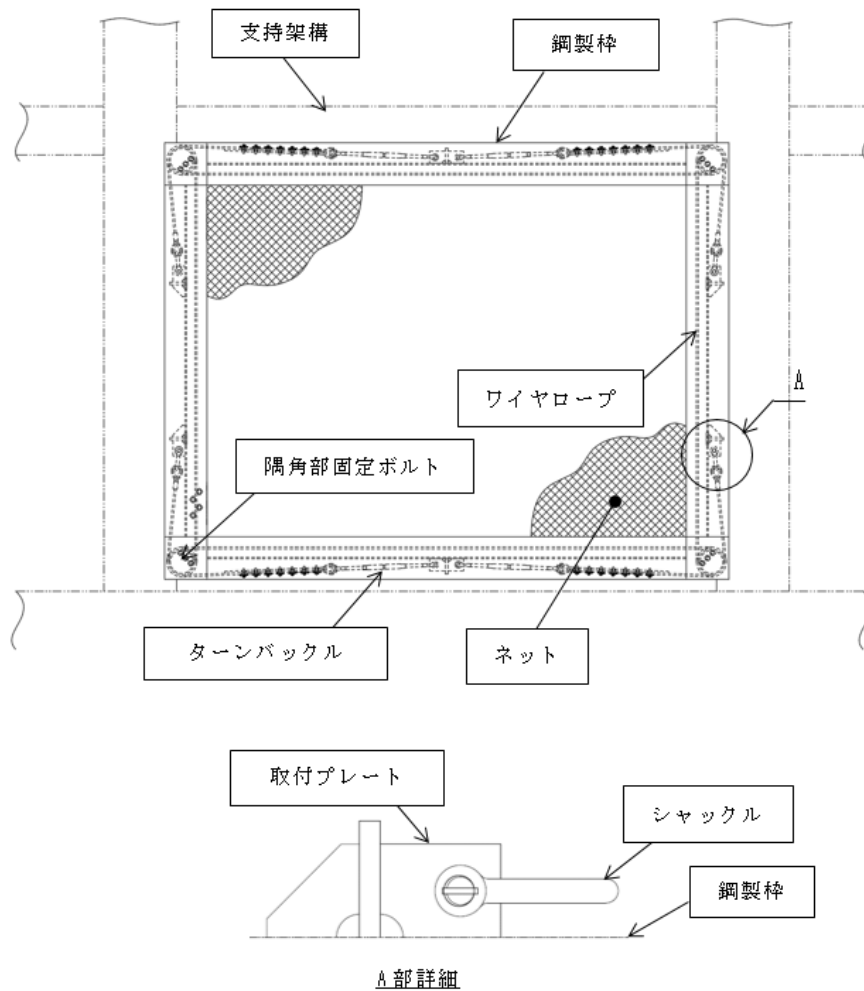
(5) 補助防護板

防護ネット(支持架構に直接設置)のうち、補助防護板は、ネットと支持架構の隙間から飛来物が侵入し、竜巻防護対象施設に衝突することを防止可能な設計とするため、隙間から侵入する飛来物の衝突に対し、補助防護板が貫通することなく、また竜巻防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。



第3.1-2図 防護ネット(支持架構に直接設置)の概要図



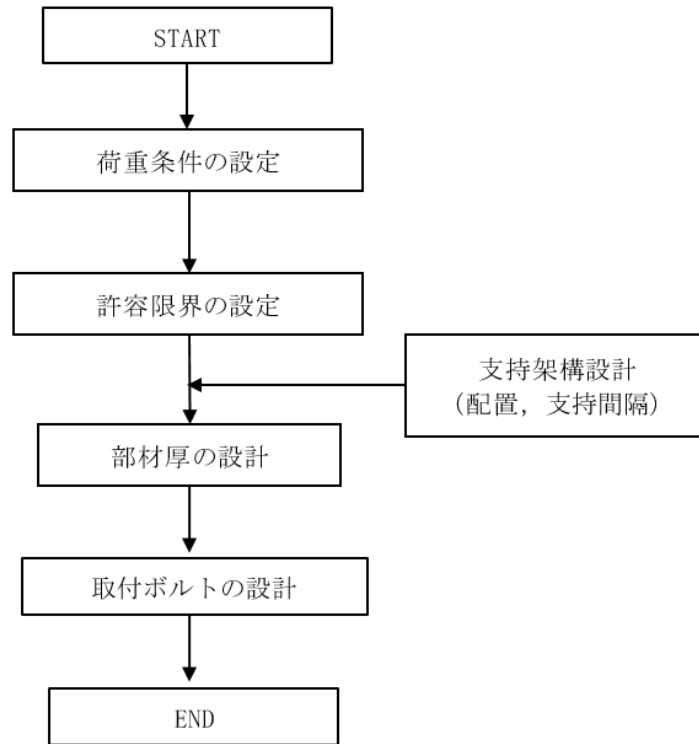


第3.1-3図 防護ネット(鋼製枠)の概要図

### 3.2 防護板(鋼材)の構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、飛来物の防護板(鋼材)への衝突に対し、防護板(鋼材)が貫通することなく支持架構に荷重を伝達し、また、防護板(鋼材)は脱落することのない強度を有する設計とする。

防護板の設計フローを第3.2-1図に示す。



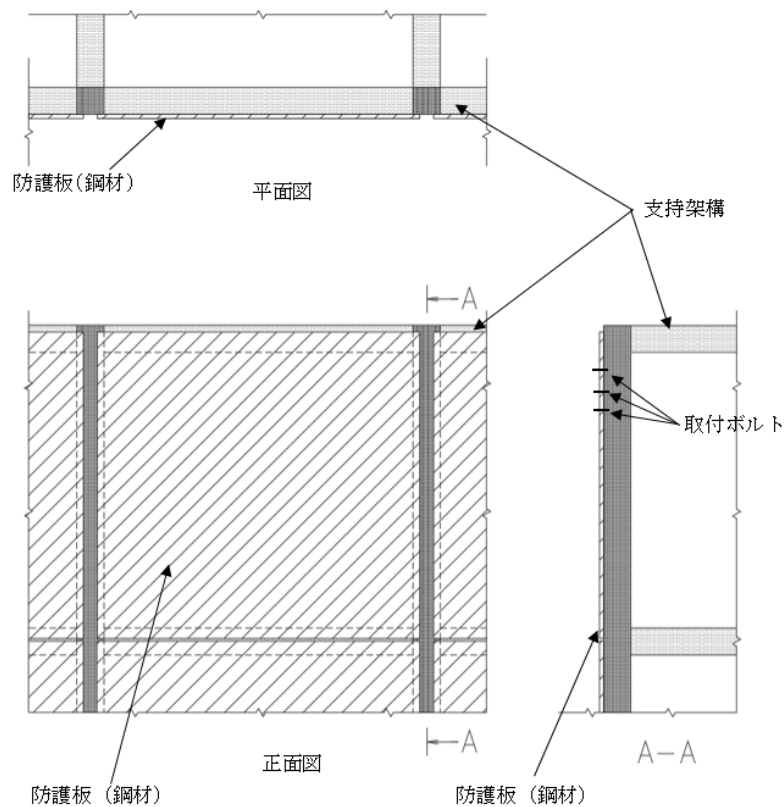
第3.2-1図 防護板の設計フロー

防護板(鋼材)の概要図を第3.2-2図に示す。

防護板(鋼材)は、鋼板で構成し、飛来物の衝突に対し防護板(鋼材)が貫通することがないように部材厚を有する設計とする。

防護板(鋼材)は取付ボルトにより支持架構に接続し、飛来物の衝突によって脱落しない設計とする。

防護板への飛来物衝突時の荷重は、支持架構へ伝達する設計とする。

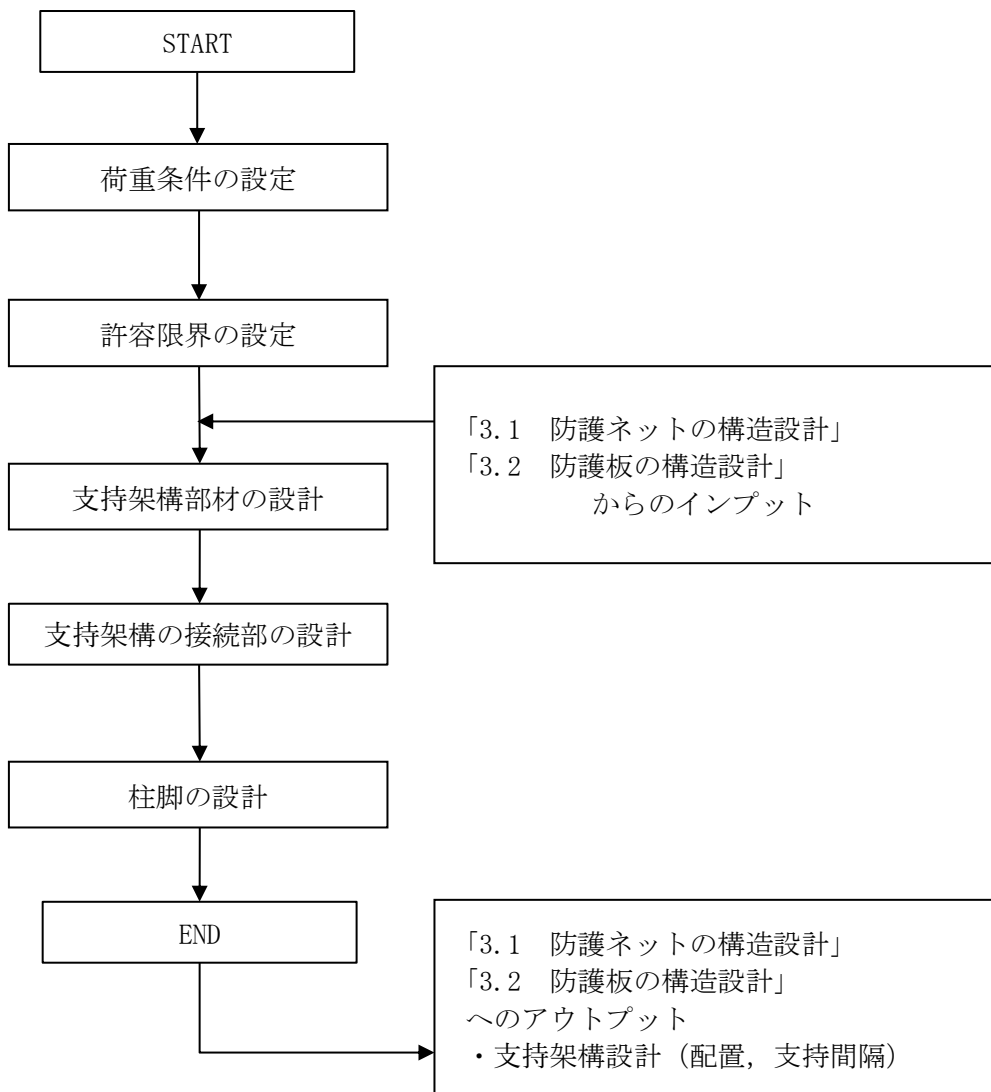


第3.2-2図 防護板(鋼材)の概要図

### 3.3 支持架構の構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性がある設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、設計飛来物が支持架構を構成する主要な構造部材を貫通しない設計とする。また、上載する防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないために、脱落、倒壊及び転倒を生じない構造強度を有する設計とする。

支持架構の設計フローを第3.3-1図に示す。



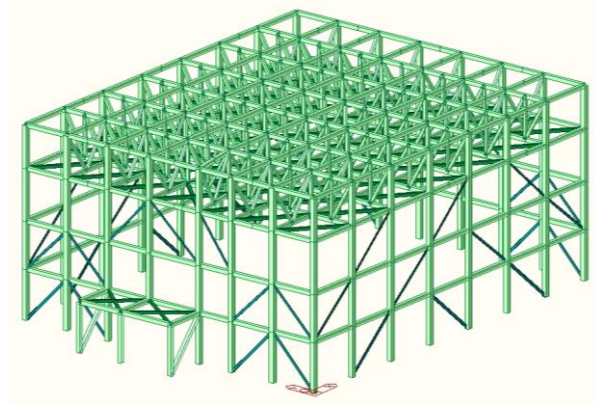
第3.3-1図 支持架構の設計フロー

支持架構の概要図を第3.1-2図に示す。

支持架構は、角形鋼管やH形鋼等から構成され、防護ネット及び防護板(鋼材)からの荷重を支持する設計とする。

支持架構は、支持架構部材、支持架構部材の接続部及び柱脚部より構成され、支持架構の接続部は溶接又はボルトにより接続し、柱脚部は基礎又は建屋に固定する設計とする。支持架構部材の接続部については、母材と同等の耐力を有する設計とする。

防護ネット及び防護板への飛来物衝突時の荷重は、隣り合う支持架構部材から柱などの主架構及び柱脚部を介して基礎又は建屋へ伝達する設計とする。飛来物が支持架構に直接衝突する場合は、支持架構から柱脚部を介して基礎又は建屋へ伝達する設計とする。



第3.1-2図 支持架構の概要図

#### 3.4 防護板(鉄筋コンクリート)

防護板(鉄筋コンクリート)の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

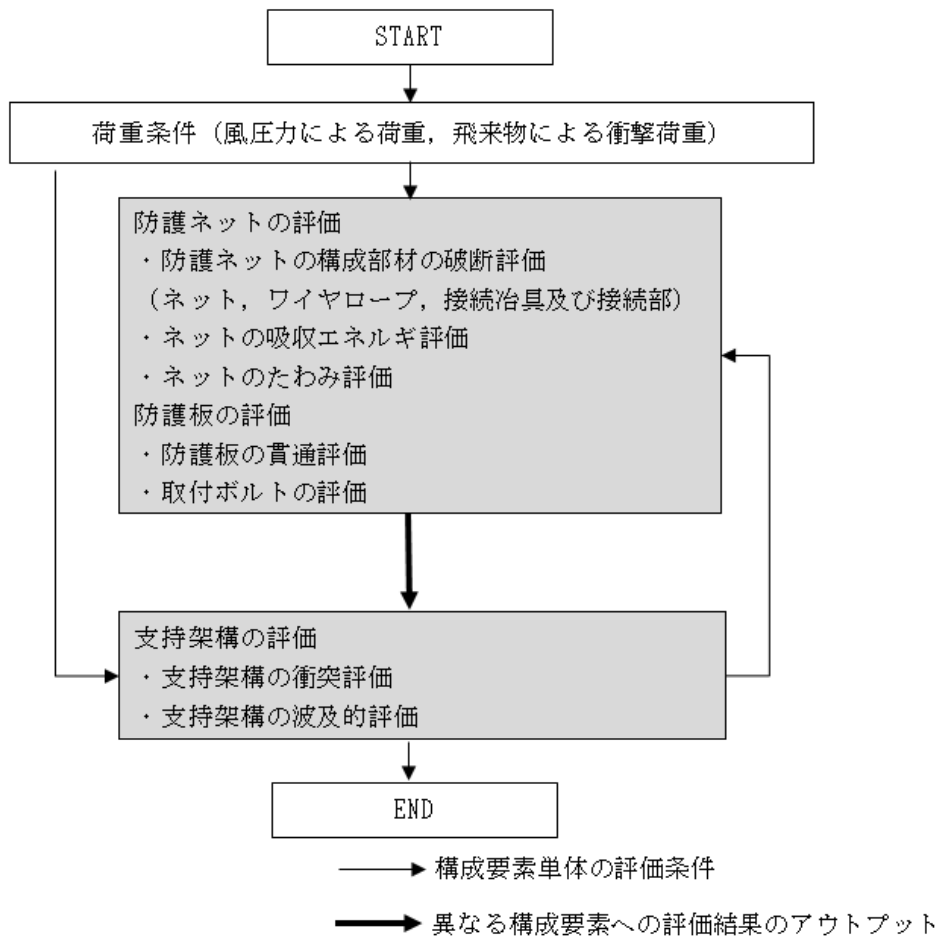
#### 4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針

「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針」に基づき、竜巻防護対策設備の構成要素ごとの評価方針を設定する。

竜巻防護対策設備を設計する上で、屋外の鋼製材等の飛来物となり得るものは、飛散防止管理を実施し、飛来物となるものが少なくなるように運用することにより、竜巻襲来時及び竜巻通過時において複数の飛来物が同一の竜巻防護対策設備に衝突する可能性は十分低いことから、同一の竜巻防護対策設備への複数の飛来物の衝突は考慮しない設計とする。

竜巻防護対策設備は、飛来物の衝突に対し、竜巻防護対策設備を構成する部材が許容限界に至ることなく、竜巻防護対象施設が飛来物の影響を受けないことを確認する。

竜巻防護対策設備の評価フローを第4.-1図に示す。



第4. -1図 竜巻防護対策設備の評価フロー

#### 4.1 防護ネットの評価方針

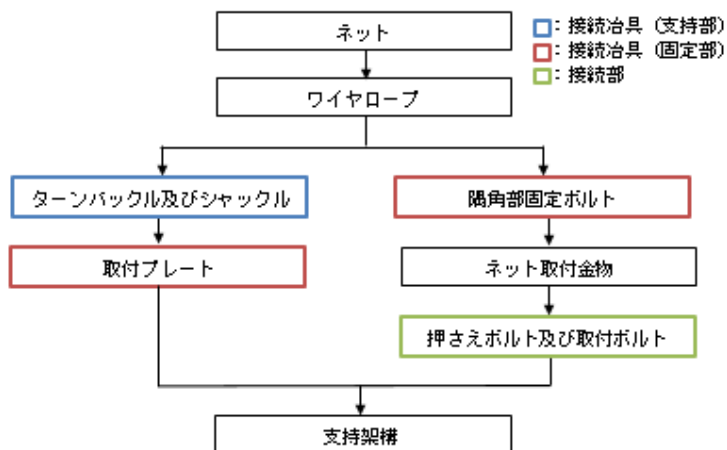
防護ネット(支持架構に直接設置)及び防護ネット(鋼製柵)は, 設計飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止するだけの強度を有していることを確認するため, 以下の評価を実施する。

設計荷重(竜巻)に対し, 主要な部材が破断しなければ設計飛来物は捕捉可能であり, 設計飛来物は竜巻防護対象施設と衝突しない。従って, 設計飛来物がネットに衝突した際の荷重の伝達経路を踏まえ, ワイヤロープ, 接続治具(支持部及び固定部)及び接続部に破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有していることを確認する。防護ネット(支持架構に直接設置)の荷重の伝達経路を第4. 1-1図, 防護ネット(鋼製柵)の荷重の伝達経路を第4. 1-2図に示す。

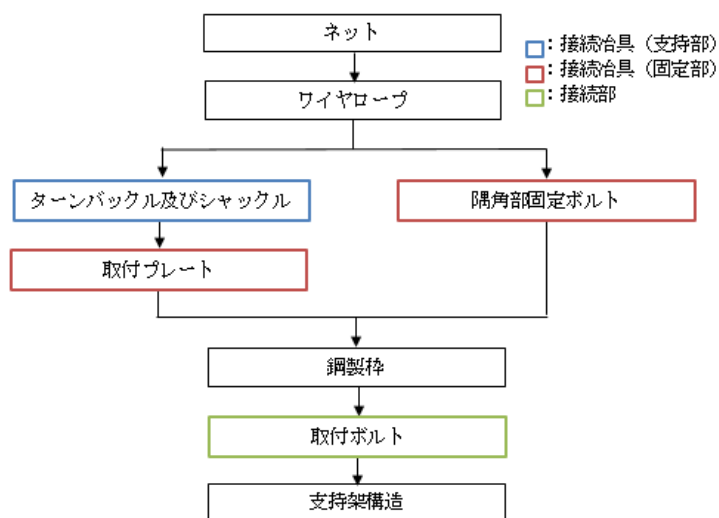
また, 設計荷重(竜巻)に対し, 防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみを生じて, 設計飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう, 竜巻防護対象施設との隔離を確保できていることを計算により確認する。

防護ネット(支持架構に直接設置)の一部である補助防護板は, ワイヤロープと架構の

隙間から侵入する飛来物が衝突しても貫通しない厚さを有していることを確認する。



第4.1-1図 防護ネット(架構の直接設置)の荷重の伝達経路



第4.1-2図 防護ネット(鋼製枠)の荷重の伝達経路

第4.1-1図、第4.1-2図に基づき、設計荷重(竜巻)に対し、主要な部材が破断しないために、防護ネットのうちネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部が、破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。その方法は、算出されるネットの限界吸収エネルギー及び衝撃荷重を基に吸収エネルギー評価及び破断評価を行う。

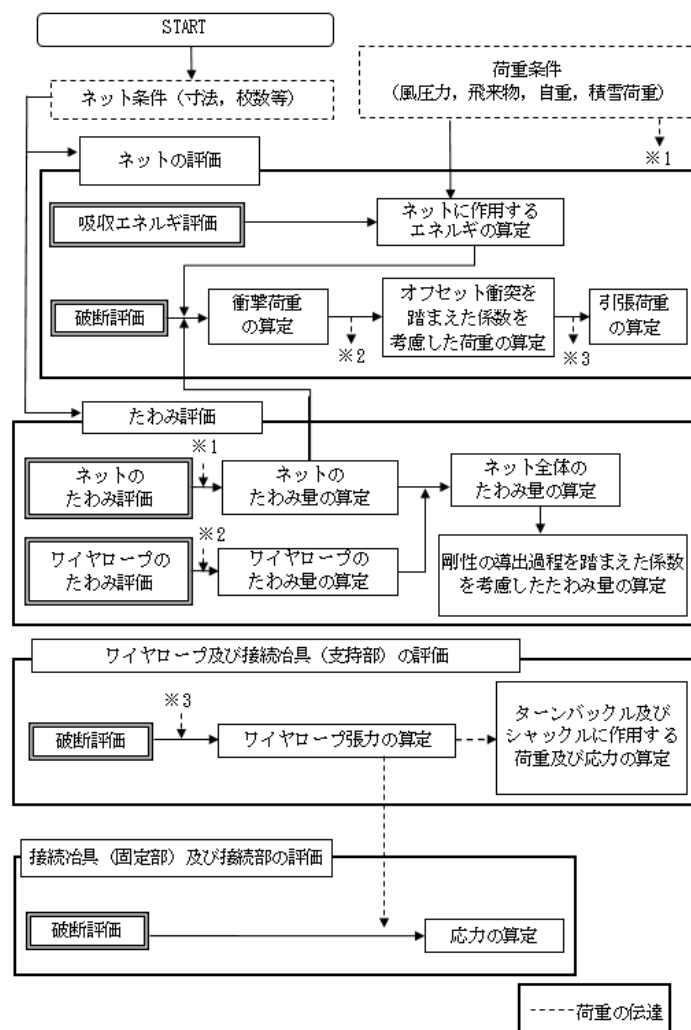
また、設計荷重(竜巻)に対し、ネット及びワイヤロープにたわみが生じて、飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう、竜巻防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。その方法は、算出されるネットのたわみ量を基にたわみ評価を

行う。

防護ネットの評価フローを第4.1-3図に示す。

防護ネットの破断及びたわみに対する評価方針を以下に示す。

防護ネットの具体的な計算方法及び結果は、「VI-1-1-1-2-4-2-2 竜巻防護対策設備の強度計算書」に示す。



第4.1-3図 防護ネットの評価フロー

(1) 強度評価

設計荷重(竜巻)に対し、主要な部材が破断しないために、防護ネットのうちネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部に破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

ネットについては、設計荷重(竜巻)に対し、ネット全体でエネルギーを吸収することから、ネットの吸収エネルギーを評価する。評価方法としては、電中研報告書にお



いて、ネットへの適用性が確認されている評価式(以下「電中研評価式」という。)を参照して評価する。また、飛来物の衝突箇所において破断が生じないことを確認するために、ネットに作用する引張荷重を、電中研評価式を参照して評価する。さらに、ネットが機能を発揮できるように、ネットに作用する荷重がワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部に伝達された際、その荷重により発生する荷重並びに応力が、各部材の許容値以下であることを確認する。

また、防護ネット(支持架構に直接設置)においては、補助防護板に飛来物が衝突したとしても、貫通しない厚さを有していること、及び竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないことを確認する。

a. ネットの吸収エネルギー評価

ネットの吸収エネルギー評価においては、ネットの目合の方向に従ってネット剛性を設定し、ネットのエネルギー吸収に有効な面積を考慮し、ネットの有効面積を設定し評価を実施する。また、設計飛来物の衝突位置の違いによりたわみ量の影響があり、衝突位置、ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

b. ネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部の破断評価

ネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部の破断評価においては、飛来物の衝突位置として、中央位置からずれた(以下「オフセット」という。)衝突についても考慮する。具体的には、電中研評価式では飛来物がネット中央位置に衝突する場合についてのみ評価を実施するため、オフセット位置に衝突する場合の評価においては、中央位置に衝突する場合とオフセット位置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。また、ネットの剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

接続部の破断評価においては、緩衝装置を有する保持管によるワイヤロープ張力の急激な増加を抑制する効果が得られないため、動的応答倍率の影響を考慮して評価を実施する。

c. 補助防護板

補助防護板は、ネットと支持架構の隙間から侵入する飛来物を貫通させない厚さを有する設計とすることから、「4.2 防護板(鋼板)の評価方針」に基づき、必要最小厚さを上回っていること及び竜巻防護対象施設と衝突するおそれがある補助防護板が脱落しないことを確認する。

なお、設計においては、ネットと支持架構の隙間から侵入してくる飛来物の設定が困難であることから、保守的に設計飛来物を用いて必要厚さを設計する。

(2) たわみ評価

設計荷重(竜巻)に対し、飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために、防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみが生じて、飛来物が

竜巻防護対象施設と衝突しないよう竜巻防護対象施設との離隔距離を確保できることを計算により確認する。

防護ネットは、設計荷重(竜巻)がネットに作用する場合に、ネットがたわむことでエネルギーを吸収することから、ネット及びワイヤロープにたわみが生じて、ネットと竜巻防護対象施設が衝突しないことを確認するために、ネットとワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては、電中研評価式等を用いて評価する。

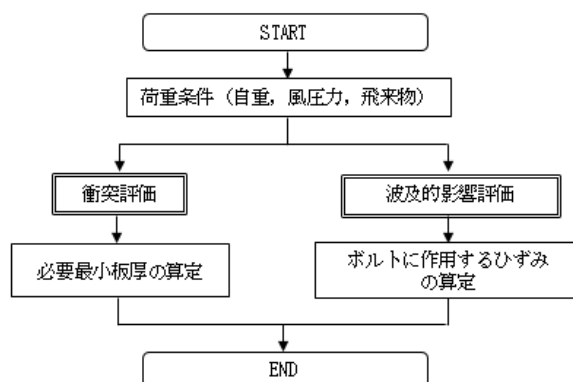
評価の条件についても、構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置、ネットの剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して評価を実施する。

#### 4.2 防護板(鋼材)の評価方針

「3.2 防護板(鋼材)の構造設計」の設計方針に基づき、飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物を貫通させないために、防護板(鋼材)が飛来物の貫通を生じない板厚を有していること及び脱落せず波及的影響を与えないことを確認する。

防護板(鋼材)の評価フローを第4.2-1図に示す。

防護板(鋼材)の具体的な計算方法及び結果は、「VI-1-1-1-2-4-2-2 竜巻防護対策設備の強度計算書」に示す。



第4.2-1図 防護板(鋼材)の評価フロー

##### (1) 衝突評価

設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通しない設計とするために、防護板(鋼材)が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

##### (2) 波及的影響評価

設計飛来物による衝撃荷重に対し、防護板(鋼材)が脱落しないことを、FEM解析を用いて確認する。

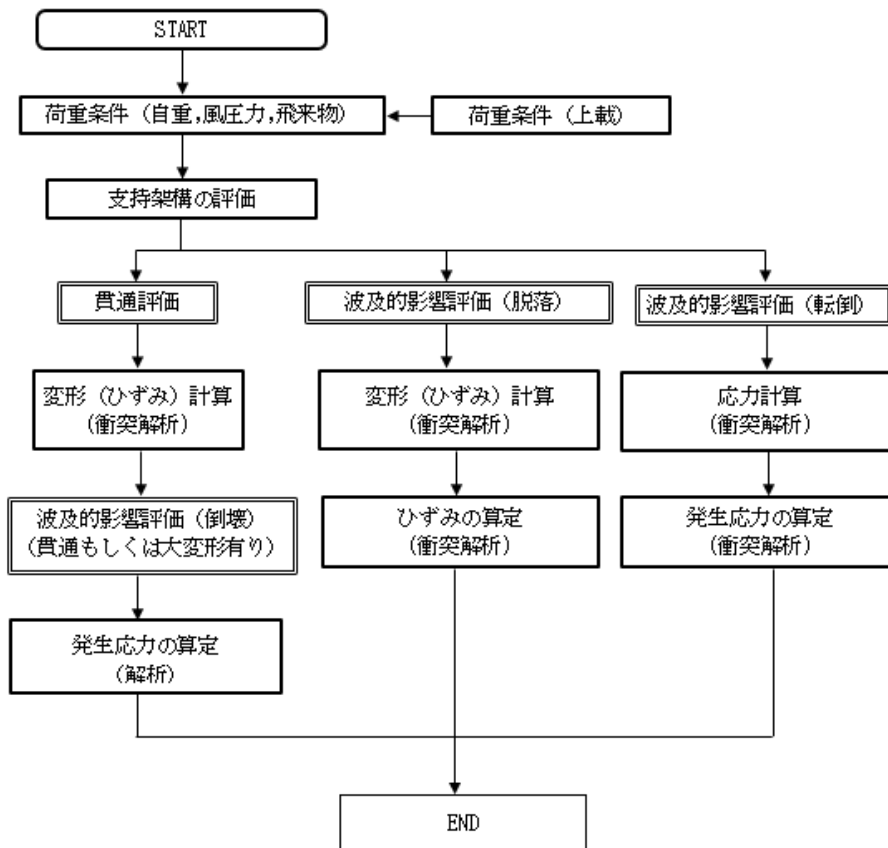
#### 4.3 支持架構の評価方針

「3.3 支持架構の構造設計」の設計方針に基づき、設計荷重(竜巻)に対し、飛来物を貫通させないために、支持架構部材が破断に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。

また、上載する防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する構造強度を有し、竜巻防護対象施設への波及的影響を与えないよう、支持架構を構成する部材が脱落しないこと及び支持架構が転倒しないことを解析により確認する。

なお、支持架構を構成する部材の貫通もしくは大変形が確認された場合、その影響範囲を確認し、支持架構が倒壊しないことを確認する。

支持架構の評価フローを第4.3-1図に示す。



第4.3-1図 支持架構の評価フロー

##### (1) 貫通評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構を構成する部材が飛来物を貫通させないために、支持架構部材が破断に至るようなひずみを生じないことをFEM解析により確認する。

## (2) 波及的影響評価

設計荷重(竜巻)に対し、竜巻防護対策設備の支持架構が脱落、倒壊及び転倒により、上載する防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する機能を損なわず、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないことを解析により確認する。

### a. 脱落評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構の接続部は十分な強度を有し、部材の脱落を生じさせないために、接続部が破断に至るようなひずみを生じないことをFEM解析により確認する。

### b. 倒壊評価

「(1) 貫通評価」において、部材の貫通若しくは大変形が確認された場合、支持架構は、当該部位を欠損した状態で構造健全性が維持されていることをFEM解析により確認する。

### c. 転倒評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構の柱脚部は十分な強度が確保されていることをFEM解析により確認する。

## 5. 許容限界

「4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針」を踏まえ、竜巻防護対策設備の構成要素ごとの設計に用いる許容限界を設定する。

### 5.1 防護ネットの許容限界

#### 5.1.1 許容限界の設定

##### (1) 強度評価

防護ネットは、内包する竜巻防護対象施設に設計飛来物を衝突させないために、設計飛来物の衝突荷重により破断せず、捕捉可能な設計とすることから、設計荷重(竜巻)に対し、破断が生じないよう十分な余裕を持った許容限界を防護ネットの主要な部材毎に設定する。

防護ネットのうちネット、ワイヤロープ、接続冶具(支持部及び固定部)、接続部及び取付けボルトの許容限界を以下のとおり設定する。

##### a. ネット

ネットの許容限界は、吸収エネルギー評価及び破断評価(引張荷重評価)において設定する。

吸収エネルギー評価は、飛来物の有するエネルギーがネットの限界吸収エネルギー以下であることにより、ネットが破断しないことを確認することから、ネットの限界吸収エネルギーを許容限界とする。

破断評価は、ネットが破断を生じないよう十分な余裕を持った強度を有するこ

とを確認する評価方針としている。ネットは、飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、飛来物を捕捉することから、飛来物による衝撃荷重に対し、ネットの許容引張荷重を許容限界とする。ネットの許容限界を第5.1.1-1表に示す。

第5.1.1-1表 ネットの許容限界

許容限界	
吸収エネルギー評価の許容値	破断評価の許容値
n枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮した限界吸収エネルギー	ネット設置枚数を考慮した総交点強度
$E_{max}^{*1}$	$F_n^{*2}$

注記 \*1：ネット1目合ごとの吸収エネルギーのネット総和より算出

\*2：ネット交点の引張試験から求めた破断荷重からネット枚数及び有効交点数を乗じ算出

b. ワイヤロープ

ワイヤロープの端部にはワイヤグリップを取付ける。一般にワイヤロープの破断荷重の値はメーカーの引張試験によればJIS規格値よりも大きいので、ワイヤロープの許容限界は、JISに規定する破断荷重にワイヤグリップ効率 $C_c$ を乗じた値とする。ワイヤロープの許容限界を第5.1.1-2表に示す。

第5.1.1-2表 ワイヤロープの許容限界

規格値	許容値
$F_{bw}^{*1}$	$C_c^{*2} \cdot F_{bw}^{*1}$

注記 \*1：JIS G 3549の破断荷重

\*2：JIS B 2809及び(社)日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

c. 接続治具(支持部)

(a) ターンバックル

ワイヤロープの強度評価は、ワイヤロープから受ける引張荷重に対し、破断が生じない十分な強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、ターンバックルについてはJISに規定する保証荷重の1.5倍を許容限界とする。ターンバックルの許容限界を第5.1.1-3表に示す。

第5.1.1-3表 ターンバックル及びシャックルの許容限界

評価部位	許容荷重
ターンバックル	$P_4^*$

注記 \* : JIS A 5540の保証荷重の1.5倍

(b) シャックル

シャックルの強度評価は、ワイヤロープから受ける引張荷重に対し、破断が生じない十分な強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、シャックルについては試験結果に基づくメーカ保証値を許容限界とする。シャックルの許容限界を第5.1.1-4表に示す。

第5.1.1-4表 ターンバックル及びシャックルの許容限界

評価部位	許容荷重
シャックル	$P_5^*$

注記 \* : 試験結果に基づくメーカ保証値

d. 接続治具(固定部)

(a) 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの破断評価は、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準(2005改定)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

接続治具の許容限界を第5.1.1-5表に示す。

第5.1.1-5表 隅角部固定ボルトの許容限界

部位	隅角部固定ボルト
応力分類	せん断
許容限界	$1.5f_s^*$

注記 \* : 許容せん断応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

(b) 取付プレート

取付プレートの破断評価は、取付けプレートに、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準(2005改定)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

防護ネット(支持架構に直接設置)の取付プレートは支持架構に溶接されて

いるため、溶接部が存在するが、同じ荷重が作用することから、許容荷重の小さいプレート本体を評価対象とする。

防護ネット(鋼製枠)の取付プレートは、プレート本体及び溶接部(プレートと鋼製枠、プレートとリブ及び鋼製枠とリブ)が存在するが、強度評価上、溶接脚長が短い取付けプレートとリブの溶接部及びプレート本体を評価対象部位とする。

取付プレート(防護ネット(支持架構に直接設置))の許容限界を第5.1.1-6表、取付プレート(防護ネット(鋼製枠))の許容限界を第5.1.1-7表に示す。

第5.1.1-6表 取付プレート(防護ネット(支持架構に直接設置))の許容限界

部位	プレート本体
応力分類	せん断
許容限界	$1.5f_s^*$

注記 \*：許容せん断応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

第5.1.1-7表 取付プレート(防護ネット(鋼製枠))の許容限界

部位	プレート本体及び溶接部
応力分類	せん断
許容限界	$1.5f_s^*$

注記 \*：許容せん断応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

e. 接続部

(a) 取付ボルト

取付ボルトの破断評価は、取付ボルトに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準(2005改定)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

取付ボルトの許容限界を第5.1.1-8表に示す。

第5.1.1-8表 取付ボルトの許容限界

部位	取付ボルト
応力分類	引張
許容限界	$1.5f_t^*$

注記 \*：許容引張応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

(b) 押さえボルト

押さえボルトの破断評価は、押さえボルトに、破断が生じないよう十分な余

裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準(2005改定)」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

押さえボルトは支持架構に溶接されているため、溶接部が存在するが、同じ荷重が作用することから、許容荷重の小さいボルト部を評価対象とする。

押さえボルトの許容限界を第5.1.1-9表に示す。

第5.1.1-9表 押さえボルトの許容限界

部位	押さえボルト
応力分類	圧縮
許容限界	$1.5f_t^*$

注記 \*：許容引張応力「鋼構造設計規準」(2005改定)に基づき算出する。

## (2) たわみ評価

防護ネットは、飛来物衝突時にたわんだとしても、飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することがないように、十分な離隔を有していることを確認する評価方針としていることを踏まえ、ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離 $L_{min}$ を許容限界として設定する。

防護ネットのたわみ評価の許容限界を第5.1.1-10表に示す。

第5.1.1-10表 防護ネットのたわみ評価の許容限界

許容限界
防護ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離
$L_{min}$

## 5.1.2 許容限界の設定方法

### (1) 記号の定義

防護ネットのうち、ネットの強度評価における許容値の算出に用いる記号を第5.1.2-1表に示す。



第5.1.2-1表 ネットの強度評価における許容値の算出に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	ネット1目合いの対角寸法
$a_s$	mm	ネット1目合いの破断変位
b	mm	飛来物の端面の長辺方向寸法
c	mm	飛来物の端面の短辺方向寸法
$E_i$	kJ	i番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
$E_{max}$	kJ	ネットの限界吸収エネルギー
$E_{max}'$	kJ	ネットの補正限界吸収エネルギー
$F_i$	kN	飛来物衝突時のi番目の列における作用力
$F_n$	kN	ネット設置枚数nを考慮したネットの総交点強度
$F_n'$	kN	等価剛性のばらつきを考慮したネットの総交点強度
$F_{50}$	kN	50 mm目合いネットの1交点当たりの許容引張荷重
$F_{40}$	kN	40 mm目合いネットの1交点当たりの許容引張荷重
K	kN/m	ネット1目合いの等価剛性
$K_x$	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
$K_x'$	kN/m	ネット1枚のネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
$L_x$	m	ネット展開方向寸法
$L_y$	m	ネット展開直角方向寸法
n	枚	ネット設置枚数
$N_i$	個	i列目のネット展開直角方向目合い数
$N_x$	個	ネット展開方向目合い数
$N_y$	個	ネット展開直角方向目合い数
$P_i$	kN	飛来物衝突時にネットに発生するi番目の列における張力
$X_i$	m	i列目のネットの伸び
$\delta_i$	m	飛来物衝突時のi番目の列におけるネットのたわみ量
$\delta_{max}$	m	ネットの最大たわみ量
$\theta_i$	deg	i番目の列におけるネットたわみ角
$\theta_{max}$	deg	ネットの最大たわみ角

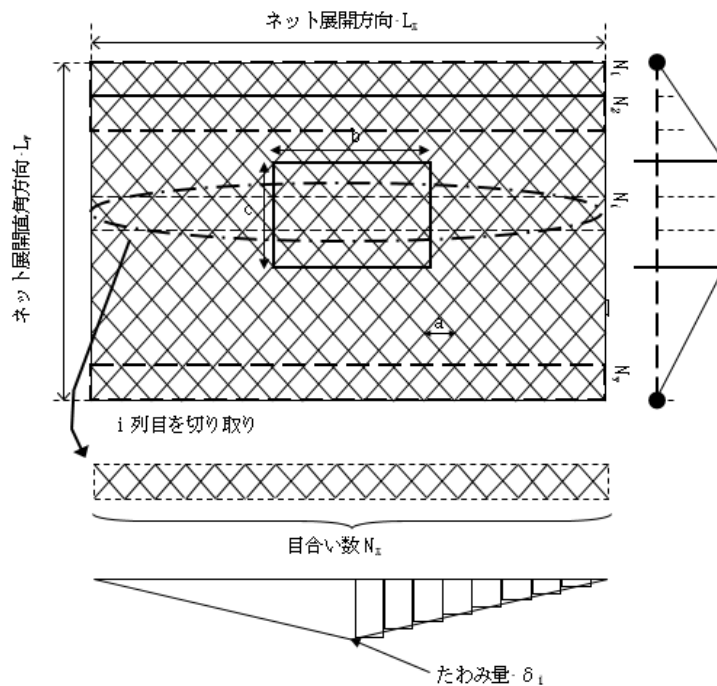
## (2) ネットの吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用するエネルギー以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。ネット1目合いの要素試験の結果から得られる目合い展開方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり、ネット最大変形角における吸収エネルギーがネットの有する限界吸収エネルギー $E_{max}$ となる。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また、ネットの変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

さらに、設計条件の設定において等価剛性の算出方法の影響を裕度として考慮する。評価に用いる等価剛性は、引張試験による荷重-伸び曲線から各々の最大荷重発生時までの最大エネルギーを算出し、これらの平均値と等価な剛性を用いており、平均値と実測値との間で最大5.6%の差があることから、本影響を係数として考慮する。吸収エネルギー評価においては、等価剛性の影響を考慮した係数を限界吸収エネルギーが小さくなるように考慮する。

限界吸収エネルギーは、ネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性、展開方向寸法及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図を第5.1.2-1図に示す。



第5.1.2-1図 吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図

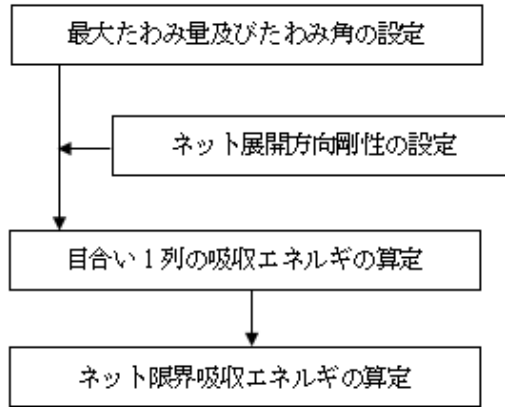
第5.1.2-1図に示すとおりネットの展開方向に1目合いごとに「  」で囲った形に帯状に分割し、 $N_1$ から $N_y$ までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法( $b \times c$ )及びネット目合いの対角寸法 $a$ を考慮し、最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法 $c$ を適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギー量が小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に1目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギー量が小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを第5.1.2-2図に示す。

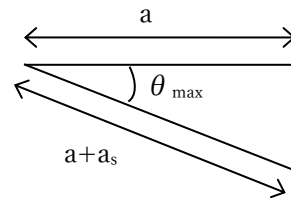


第5.1.2-2図 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

ネット1目合いの最大伸び量は、電中研報告書のネット目合いの引張試験から求められ、そこから算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量  $\delta_{max}$  は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan(\theta_{max})$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1} \left( \frac{a}{a+a_s} \right)$$



ネットを構成するネットの展開方向の目合い数  $N_x$  は、ネット展開方向寸法  $L_x$  及びネット1目合いの対角寸法  $a$  から求める。展開直角方向の目合い数  $N_y$  は、ネット展開直角方向寸法  $L_y$  及びネット1目合いの対角寸法  $a$  から求める。ネットを構成する1目合いはそれぞれ  $K$  の等価剛性を持っているため、1列当たりバネ定数  $K$  を持つバネを  $N_x$  個直列に接続したものと考えることができる。

そのため、1列当たりの剛性  $K_x'$  は、

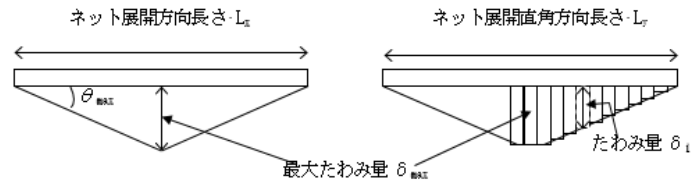
$$N_x = \frac{1000L_x}{a}, \quad N_y = \frac{1000L_y}{a}$$

$$\text{ネット展開方向剛性 } K_x' = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 $N_x$ 、 $N_y$  の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように  $N_x$  は保守的に切り上げ、 $N_y$  は保守的に切り捨てた値を用いる。また、補助ネットはネット0.5枚相当のエネルギー吸収能力があるため、ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性  $K_x$  は、次式により算出される。

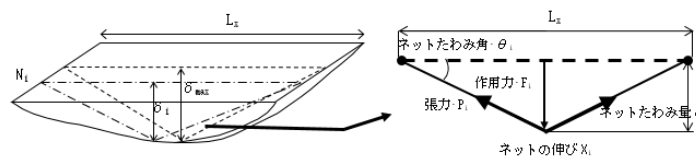
$$K_x = K_x' \cdot (n+0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量  $\delta_i$  は、最大たわみ量  $\delta_{max}$  からネット端部のたわみ量0までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を第5.1.2-3図に示す。



第5.1.2-3図 ネットの最大たわみ量と最大たわみ角

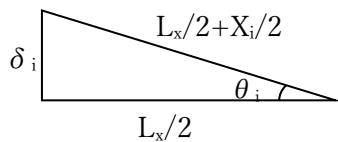
ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を，ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを第5.1.2-4図に示す。



第5.1.2-4図 ネットに作用する力のつり合い

i番目の列におけるネットの張力 $P_i$ は，飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると，伸び量は $\frac{X_i}{2}$ ，剛性は $2K_x$ となることから，

$$\begin{aligned}
 P_i &= 2K_x \cdot \left( \frac{X_i}{2} \right) \\
 &= K_x \cdot X_i \\
 \text{となる。また，作用力 } F_i &\text{は変位量とたわみ量の関係から，} \\
 F_i &= 2P_i \cdot \sin(\theta_i) \\
 &= 2K_x \cdot X_i \cdot \sin(\theta_i) \\
 &= 2K_x \cdot L_x \cdot (\tan(\theta_i) - \sin(\theta_i)) \\
 &= 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) \dots (5.1)
 \end{aligned}$$



ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力 $F_i$ を積分することによりi番目の列における吸収エネルギー $E_i$ を次式に示す。

$$E_i = \int_0^{\delta_i} F_i d\delta_i$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^{\delta_i} 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}}\right) d\delta_i \\
&= 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x\right) \dots \dots (5.2)
\end{aligned}$$

以上から、n枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮した限界吸収エネルギー $E_{max}$ は、各列の吸収エネルギー $E_i$ を第1列から第 $N_y$ 列まで積算することにより求められる。

$$\begin{aligned}
E_{max} &= \sum_{i=1}^{N_y} E_i \\
&= \sum_{i=1}^{N_y} \left(2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x\right)\right) \dots \dots (5.3)
\end{aligned}$$

飛来物衝突時にネットに生じるエネルギー並びに自重、積雪荷重及び風圧力により生じるエネルギーの総量を算出し、等価剛性の算出方法の影響から定められる係数を考慮したn枚のネット及び1枚の補助ネットから算出される限界吸収エネルギーを $E_{max}'$ とする。

等価剛性の算出方法の影響から定められる係数としては、「5.1.2(2) ネットの吸収エネルギー評価」より1/1.056倍と定める。

したがって、限界吸収エネルギーの許容限界は、以下のとおりである。

$$E_{max}' = \frac{1}{1.056} E_{max}$$

### (3) ネットの許容引張荷重の評価

破断評価においては、計算により算出するネットに作用する荷重がネットの素材の持つ破断強度以下であることにより、ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。

破断評価モデルを第5.1.2-5図に示す。

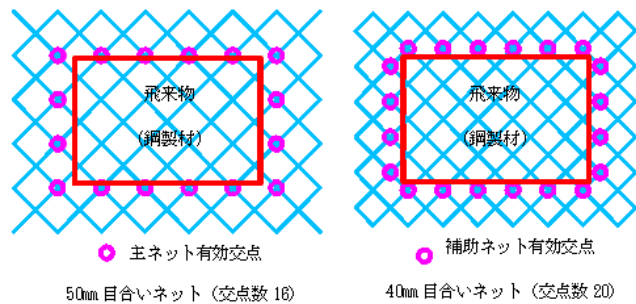
ネットの構造及び飛来物の大きさを考慮し、衝突位置周辺の交点数が最小となるモデル化を行う。衝突位置周辺の交点数はネット1枚あたり16点(主ネット)及び20点(補助ネット)となる。

ネットは、飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、飛来物を捕捉することから、ネット交点の破断試験結果から算出したネット1目合いに作用する引張荷重を安全側に整理したものと全有効交点数から算出される総交点強度を許容限界とする。具体的には、引張強度評価においては、ネット交点に作用する引張荷重を算出するため、電中研報告書を参照してネット交点の引張試験に基づいたネット交点の破断荷重 $F_{50}$ 及び $F_{40}$ に全有効交点数を乗じた総交点強度 $F_n$ を許容限界とする。なお、破断評価では補助ネットの交点数も考慮する。

$$F_n = F_{50} \times 16 \times 2 + F_{40} \times 20 \times 1$$

ここで、等価剛性の算出方法の影響を考慮し、ネットの破断評価における許容荷重を以下の通り算出する。

$$F_n' = \frac{F_n}{1.056}$$



第5.1.2-5図 破断評価モデル図

## 5.2 防護板(鋼材)の許容限界

### 5.2.1 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物が竜巻防護対象施設に衝突することを防止するために、飛来物が防護板(鋼材)を貫通しないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、計算にて求められる防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さを許容限界として設定する。

また、防護板(鋼材)の接続部について、設計飛来物が衝突したとしても、脱落しないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、破断ひずみを許容限界として設定する。

### 5.2.2 許容限界の設定方法

#### (1) 貫通評価

##### a. 記号の定義

防護板(鋼材)の貫通限界厚さの算出に用いる記号を第5.2.2-1表に示す。

第5.2.2-1表 BRL式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
D	m	飛来物の(等価)直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	飛来物の質量
T	m	防護板(鋼材)の貫通限界厚さ
T <sub>c</sub>	m	BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した防護板(鋼材)の貫通限界厚さ
v	m/s	飛来物の衝突速度(水平)
L	m	飛来物断面の外周長さ

b. 防護板(鋼材)の貫通限界厚さの評価

飛来物が防護板(鋼材)に直接衝突した場合の貫通限界厚さを「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。BRL式を以下に示す。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.4396 \cdot 10^9 \cdot K^2 \cdot D^{\frac{3}{2}}}$$

ここで、等価直径Dは下式のとおり。

$$D = \frac{L}{\pi}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する貫通限界厚さ付近の実験データが不十分であることを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

したがって、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さは、以下の式により算出する。

$$T_c = T / 0.97$$

(2) 波及的影響評価

a. 記号の定義

取付ボルトの許容限界の算出に用いる記号を第5.2.2-3表に示す。



第5.2.2-2表 取付ボルトの許容限界の算定に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$m^2$	取付ボルトの有効断面積
$p_u$	N	取付ボルト1本あたりに生じる引張荷重
$p_{ua}$	N	取付ボルト1本あたりの引張耐力
$q_u$	N	取付ボルト1本あたりに生じるせん断荷重
$q_{ua}$	N	取付ボルト1本あたりのせん断耐力
$S_u$	MPa	取付ボルトの引張強さ

b. 防護板(鋼材)取付ボルトの破断評価

飛来物による衝撃荷重に対し、防護板(鋼材)が脱落しないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、取付ボルトに作用する各方向荷重と破断耐力との比率により破断判定を行い、取付ボルトが2本以上破断せずに残ることを許容限界とする。

取付ボルトの許容限界は、「鋼構造限界状態設計指針」に基づき、下式より算出する。

$$\left(\frac{p_u}{p_{ua}}\right)^2 + \left(\frac{q_u}{q_{ua}}\right)^2 \leq 1$$

$$p_{ua} = S_u \times A_b$$

$$q_{ua} = 0.6 \cdot S_u \times A_b$$

5.3 支持架構の許容限界

5.3.1 衝突評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構が飛来物を貫通させないために、支持架構部材が終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえて、部材のひずみが破断ひずみを超えないことを許容限界として設定する。破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、「Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design」(以下「NEI07-13」という。)において、TF(多軸性係数)を2とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として $TF = 2$ を考慮して設定する。

5.3.2 支持架構全体の波及的影響評価

架構全体の評価は、飛来物が衝突した際の衝撃荷重により、支持架構を構成する部材の接続部が破断し脱落が生じないこと、倒壊に至るような変形が生じないこと及び柱脚部が破損し転倒しないことを確認する方針としていることを踏まえ、

以下の通り許容限界を設定する。

(1) 脱落評価

設計飛来物が支持架構を構成する部材に衝突した際の局所的なひずみの影響を考慮し、ひずみ量を評価し、部材の接続に破断が生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定するが「NEI07-13」において、TF(多軸性係数)を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF=2.0を考慮して設定する。最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。

(2) 倒壊評価

支持架構を構成する部材のうち、飛来物の衝突により大変形した部材を欠損させた状態で構造が自立可能であることを確認することを踏まえ、終局耐力に妥当な安全余裕を考慮した許容応力を許容限界とする。

(3) 転倒評価

設計荷重(竜巻)に対し、柱脚部が構造健全性を維持することを確認することを踏まえ、柱脚部は十分な余裕を持った強度を許容限界とする。具体的には、「鋼構造設計規準」に基づいた短期の1.1倍での許容応力を許容限界とする。

5.4 防護板(鉄筋コンクリート)の許容限界

(1) 評価方針

防護板(鉄筋コンクリートの申請に合わせて、次回以降に詳細で説明する。)

(2) 許容限界の設定方法

防護板(鉄筋コンクリートの申請に合わせて、次回以降に詳細で説明する。)

6. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ 定式化された評価式を用いた解析法
- ・ FEM等を用いた解析法

6.1 防護ネットの強度評価

(1) 評価方針

- a. ネットの限界吸収エネルギーの算出においては、ネットの展開直角方向に1目合い毎に帯状に分割し、各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出する。
- b. ネットの限界吸収エネルギーの算出においては、ネットを構成する1目合いはそ

それぞれKの等価剛性を持っているため、1列当たりバネ定数Kを持つバネを $N_x$ 個直列に接続したものとする。

- c. 自重、風圧力及び積雪荷重によるネットに作用する荷重は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであり、ネット展開直角方向に対しては荷重が均一となるよう作用させる。
- d. 一方、ネット展開方向に対しては、設計モデル上均一に荷重を作用させることが困難であるため、保守的にエネルギーが大きくなるよう、自重、風圧力及び積雪荷重によりネットに作用する荷重 $F_w$ が全てネット展開方向 $L_x$ の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて1列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重、風圧力及び積雪荷重による荷重により受けるエネルギーを算出する。
- (2) 評価対象部位  
評価対象部位及び評価内容を第6.1-1表に示す。

第6.1-1表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位		評価内容
ネット		・限界吸収エネルギー ・引張 ・たわみ
ワイヤロープ		・引張 ・たわみ*
接続治具 (支持部)	ターンバックル	・引張
	シャックル	・引張
接続治具 (固定部)	隅角部固定ボルト	・せん断
	取付プレート	・せん断
接続部	取付ボルト	・引張
	押さえボルト	・圧縮

注記 \*：ネット全体のたわみ評価に用いる。

(3) 強度計算

a. 記号の定義

ネットの強度評価に用いる記号を第6.1-2表に示す。

第6.1-2表 強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
$A_{b1}$	$\text{mm}^2$	隅角部固定ボルト有効断面積
$A_{b2}$	$\text{mm}^2$	取付金物の取付ボルト有効断面積
$A_{b3}$	$\text{mm}^2$	取付金物の押さえボルト有効断面積
$A_{s1}$	$\text{mm}^2$	取付プレート(支持架構設置)の有効せん断面積
$A_{s2}$	$\text{mm}^2$	取付プレート(鋼製枠設置)の有効せん断面積
$a_w$	mm	取付プレート溶接部ののど厚
$E_f$	kJ	飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
$E_i$	kJ	i番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
$E_{\max}$	kJ	ネット設置枚数nを考慮した吸収エネルギー
$E_t$	kJ	ネット設置枚数nを考慮したネットに作用する全エネルギー
$E_w$	kJ	自重, 積雪荷重, 風圧力によりネットに作用するエネルギー
$F_a$	kN	飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
$F_a'$	kN	衝突位置を考慮した飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重
$F_p$	kN	ワイヤロープにより支持部に作用する荷重
$F_{p1}$	kN	1枚目ネットのワイヤロープにより支持部に作用する荷重
$F_{p2}$	kN	2枚目ネットのワイヤロープにより支持部に作用する荷重
$F_t$	kN	ネット取付金物に作用する水平方向合成荷重
$F_w$	kN	自重, 積雪荷重, 風圧力によりネットに作用する荷重
$F_x$	kN	取付金物及び鋼製枠に作用する展開方向荷重
$F_y$	kN	取付金物及び鋼製枠に作用する展開直角方向荷重
$F_z$	kN	取付金物及び鋼製枠に作用する鉛直方向荷重
H	mm	取付金物の取付け面から保持管中心までの距離
$K_x$	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
$L_1$	mm	取付金物のモーメント支点からボルトまでの距離
$L_2$	mm	取付金物のモーメント支点から保持管中心までの距離
$L_3$	mm	鋼製枠下端から保持管中心までの距離
$L_4$	mm	鋼製枠の保持管中心から取付ボルト群中心までの距離
$L_b$	m	変形前のワイヤロープ長さ
$L_{pw}$	mm	取付プレート溶接部の有効長さ

第6.1-2表 強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
L	mm	取付けプレートの面取り長さ
L <sub>p1</sub>	mm	取付プレート(支持架構設置)取付け孔位置寸法
L <sub>p2</sub>	mm	取付プレート(支持架構設置)取付け孔位置寸法
L <sub>p3</sub>	mm	取付プレート(鋼製枠設置)長さ(縦方向)
L <sub>p4</sub>	mm	取付プレート(鋼製枠設置)長さ(横方向)
L <sub>p5</sub>	mm	取付プレート(鋼製枠設置)取付け孔位置寸法
L <sub>x</sub>	m	ネット展開方向寸法
L <sub>y</sub>	m	ネット展開直角方向寸法
L <sub>z</sub>	m	ワイヤロープの全長
m	kg	飛来物の質量
N <sub>y</sub>	個	ネット展開直角方向目合い数
n	枚	ネット設置枚数
n <sub>1</sub>	—	飛来物の衝突位置周辺のネット1枚当たりの目合いの個数
n <sub>2</sub>	個	隅角部固定ボルト本数
n <sub>3</sub>	個	取付金物の取付ボルト評価対象ボルト本数
P <sub>s</sub>	kN	ネットへの積雪により作用する荷重
P <sub>w</sub>	kN	ネットの自重により作用する荷重
P <sub>1</sub>	kN	取付金物の取付ボルトに作用する引張荷重
S	m	変形後のワイヤロープ長さ
S <sub>x</sub>	m	ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ
S <sub>y</sub>	m	ネット展開直角方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さ
S <sub>w</sub>	mm	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部の溶接脚長
T'	kN	飛来物のネットへの衝突によりn枚のネットに発生する張力の合計の最大値
T <sub>1</sub>	kN	飛来物のネット中央への衝突により1枚のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
T <sub>1</sub> '	kN	衝突位置を考慮した飛来物のネットへの衝突により1枚目のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値
T <sub>T</sub>	kN	全ワイヤロープの合計張力
T <sub>x</sub>	kN	飛来物がネットに衝突により展開方向のワイヤロープから発生するX方向荷重
T <sub>x</sub> '	kN	飛来物がネットに衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向荷重
T <sub>y</sub>	kN	飛来物がネットに衝突により展開方向のワイヤロープから発生するY方向荷重
T <sub>y</sub> '	kN	飛来物がネットに衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向荷重
t <sub>2</sub>	mm	取付プレート(支持架構設置)の板厚
t <sub>3</sub>	mm	取付プレート(鋼製枠設置)の板厚
v <sub>1</sub>	m/s	飛来物衝突時の速度
W <sub>w</sub>	kN	風圧力によりネットに作用する荷重
δ	m	飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ'	m	飛来物衝突時のワイヤロープの変形による伸び量

第6.1-2表 強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$\delta_a$	m	自重, 積雪荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量
$\delta_i$	m	飛来物衝突時のi番目の列におけるネットのたわみ量
$\delta_t$	m	ワイヤロープのたわみ量を含めたネット全体のたわみ量
$\delta_t'$	m	等価剛性の導出過程を踏まえた係数を考慮したネット全体の最大たわみ量
$\delta_w$	m	ワイヤロープのたわみ量
$\delta_{wx}$	m	ネット展開方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量
$\delta_{wy}$	m	ネット展開直角方向に平行に配置されているワイヤロープの変形後のたわみ量
$\varepsilon$	-	ワイヤロープのひずみ量
$\theta$	deg	飛来物衝突時のネットのたわみ角
$\theta_1$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_2$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_{h1}$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_{h2}$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_i$	deg	i番目の列におけるネットたわみ角
$\theta_{w1}$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_{w2}$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_x$	deg	飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットたわみ角
$\theta_y$	deg	飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットたわみ角
$\sigma_{b1}$	MPa	取付金物の取付ボルトに発生する引張応力
$\sigma_{b2}$	MPa	取付金物の押さえボルトに発生する圧縮応力
$\tau_{p1}$	MPa	取付プレート(支持架構設置)に発生するせん断応力
$\tau_{p2}$	MPa	取付プレート(鋼製枠設置)に発生するせん断応力
$\tau_s$	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
$\tau_w$	MPa	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部に発生するせん断応力
$\phi_{d1}$	mm	取付プレート(支持架構設置)の孔径
$\phi_{d2}$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)の孔径

b. 吸収エネルギー評価

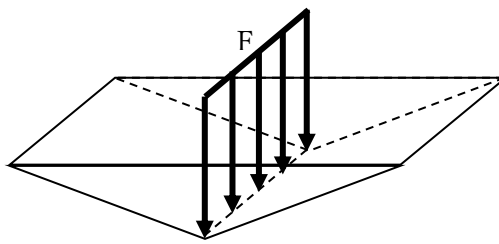
吸収エネルギー評価においては、電力中央研究所の評価式を参照して、ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー量算定のモデル化を行い、自重、積雪荷重、風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重によるエネルギーがネットの有する限界吸収エネルギーを下回ることを確認する。

(5.3)式より、 $E_{max}$ は以下のとおりである。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} \left( 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left( \sqrt{4 \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right)$$

自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため、実現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方、ネット展開方向に対しては、評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため、ネットに作用するエネルギーが保守的に大きくなるよう、 $F_w$ が全てネット展開方向 $L_x$ の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて展開方向の1列当たりの自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重、積雪荷重及び風圧力による荷重により受けるエネルギーを算出する。自重、積雪荷重及び風圧力の作用イメージを第6.1-1図に示す。

評価条件である $K_x$ 及び $L_x$ 並びに自重、積雪荷重及び風圧力による荷重から算出する $F_w$ を(5.1)式に代入して数値計算を実施することにより、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量 $\delta_a$ が算出される。



第6.1-1図 自重、積雪荷重及び風圧力の作用イメージ

$$F_w = N_y \cdot 4K_x \cdot \delta_a \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

ただし、 $F_w = P_w + W_w + P_s$

上式にて算出した $\delta_a$ を(5.3)式において、展開方向の1列当たりの自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを列数倍する以下の

式に代入することにより、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー $E_w$ が算出される。

$$E_w = N_y \cdot \left( 2K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \left( \sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right)$$

飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー $E_f$ としては、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} m v_1^2$$

飛来物の飛来速度は、ネット設置方向により水平設置の場合は鉛直の飛来速度、鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直方向速度成分は、評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また、飛来物がネットに対して斜め方向から衝突する場合は、飛来物が衝突後に回転し、ネットと飛来物の衝突面積が大きくなるため、ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって、飛来物の衝突方向は、ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に入射するものとし、その飛来速度はネット設置方向に応じ、水平設置の場合は鉛直最大飛来速度、鉛直設置の場合は水平最大飛来速度を用いる。

以上から、 $n$ 枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮したネットに作用する全エネルギー $E_t$ が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \quad \dots (6.1)$$

### c. 破断評価

#### (a) ネットの引張荷重評価

ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値 $F_a$ は、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した(2.8)式のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重を考慮するため、 $E_f$ を $E_t$ と置き換えて、(6.1)式より、

$$F_a = \frac{8E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

$E_t$ としては、(6.1)式に基づいて飛来物による運動エネルギー $E_f$ 並びに自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー $E_w$ から算出したネットに作用する全エネルギー量を代入する。 $\delta$ としては、たわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量を代入し、 $F_a$ を算出する。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分を踏まえた係数1.22を考慮し、衝撃荷重の最大値 $F_a'$ は



$$F_a' = F_a \cdot 1.22$$

と算出される。

(b) ワイヤロープの破断評価

破断評価における衝撃荷重と、ネットとワイヤロープの接続構造からワイヤロープに作用する荷重を導出する。

ワイヤロープの設計において、ワイヤロープに発生する荷重として以下を考慮する。

- ① ネットの自重により作用する荷重
- ② 風圧力及び積雪荷重によりネットに作用する荷重
- ③ 飛来物の衝突によりネットに作用する衝撃荷重

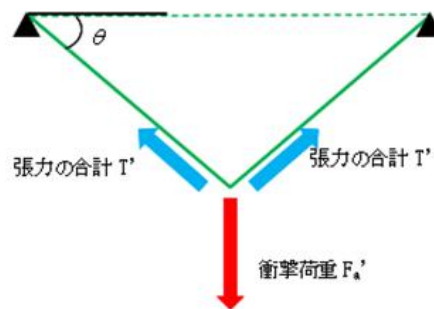
ネットは、電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し、さらにワイヤロープが緩衝材により拘束されない構造としており、衝突試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。ネットに発生する荷重のつり合いのイメージ図を第6.1-2図に示す。

自重、積雪荷重、飛来物の衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値 $F_a'$ が集中荷重として作用するとしてモデル化すると、飛来物が衝突する場合のネットn枚及び補助ネット1枚に発生する張力の合計の最大値 $T'$ は、第6.1-2図の力のつり合いより以下のとおり算出される。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \sin \theta}$$

$\theta$  は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \delta}{L_x}$$



第6.1-2図 ネットに発生する荷重のつり合い

各辺のワイヤロープは結合されていることから張力が一定となるため、ワイヤロープ1本が負担する張力は等分されると設定する。電中研報告書を参照すると、ネットn枚及び補助ネット1枚を重ねて設置する場合、補助ネットを設置したネットのワイヤロープに作用する張力は、その他のネットの張力の1.5

倍となることを考慮すると、ネットn枚及び補助ネット1枚を重ねて設置する場合、1枚のネットのワイヤロープに発生する張力の最大値 $T_1'$ は、

$$T_1' \cdot 2 + \frac{2 \cdot 2}{3} T_1' \cdot (n-1) = T'$$

$$T_1' = \frac{3}{4n+2} T' = \frac{3}{4(2n+1)} \cdot \frac{F_a'}{\sin \theta}$$

と算出される。

また、全ワイヤロープの合計張力 $T_T$ は、

$$T_T = \frac{T'}{2}$$

算出される。

ネットに対して飛来物がオフセット衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生することが衝突試験により確認されており、算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。

(c) 接続治具(支持部)の破断評価

イ. ターンバックル

ターンバックルの評価については、以下の評価を実施する。

ターンバックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、ターンバックルの許容限界未満であることを確認する。

ロ. シャックル

シャックルの評価については、以下の評価を実施する。

シャックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、シャックルの許容限界未満であることを確認する。

(d) 接続治具(固定部)の破断評価

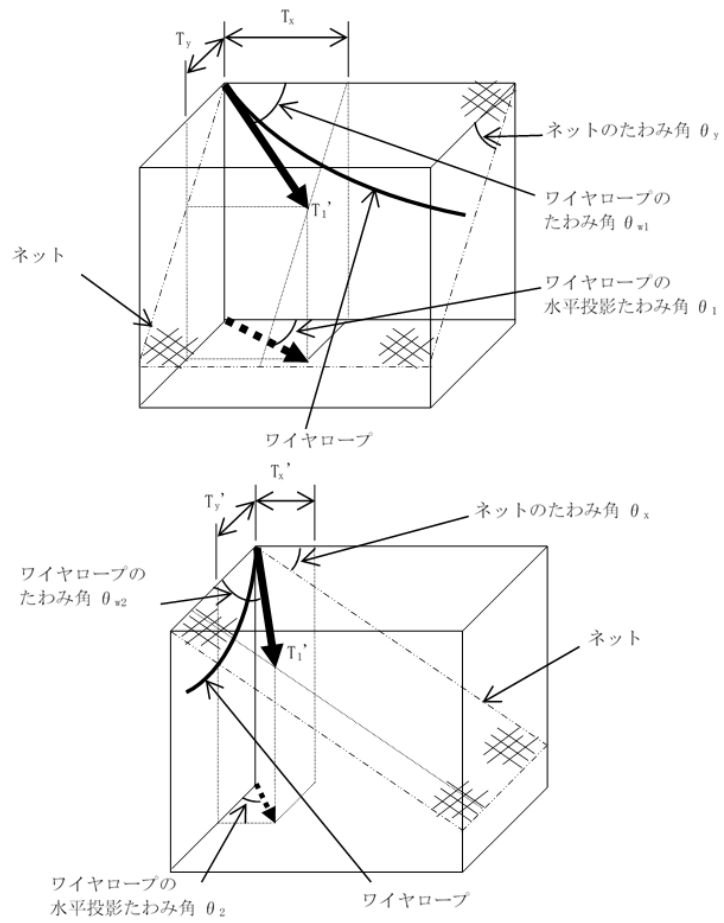
イ. 隅角部固定ボルト

ワイヤロープは、設置するネット枚数に応じて設置するため、隅角部固定ボルトにかかる応力は、ネット枚数毎に評価する。

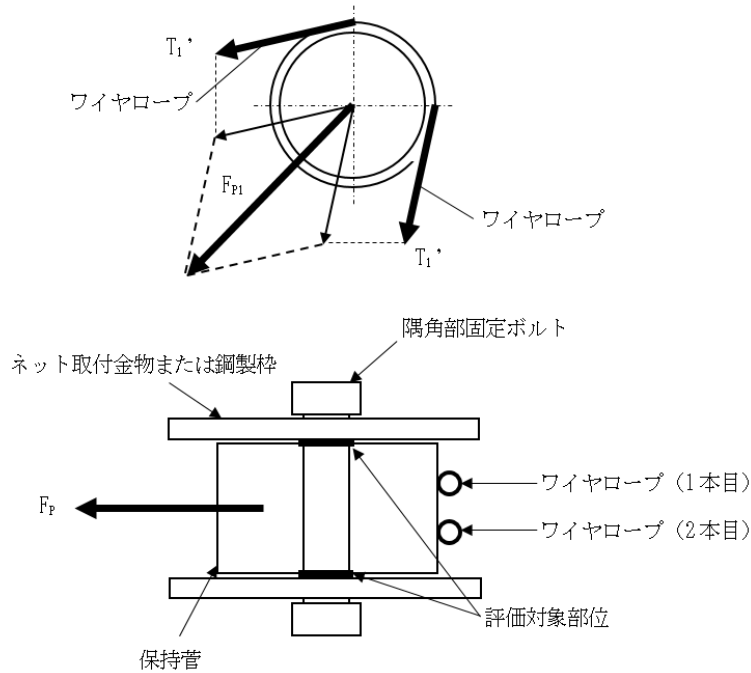
支持架構又は鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトは、ワイヤロープの荷重を、保持管を介して受けることとなる。

ワイヤロープはたわみにより保持管に対して $\theta_{w1}$ 、 $\theta_{w2}$ のたわみ角を有することから、隅角部固定ボルトへ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を第6.1-3図に、隅角部固定ボルトの荷重状態を第6.1-4図に示す。



第6.1-3図 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係



第6.1-4図 隅角部固定ボルトの荷重状態

1本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 $F_{p1}$ は

$$F_{p1} = \sqrt{F_{x1}^2 + F_{y1}^2}$$

より求まる。

ここで、

$$F_{x1} = T_x + T_x'$$

$$F_{y1} = T_y + T_y'$$

2本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 $F_{p2}$ は

$$F_{p2} = F_{p1}/1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 $F_p$ は

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

以上より、隅角部固定ボルトに発生するせん断応力 $\tau_s$ は、

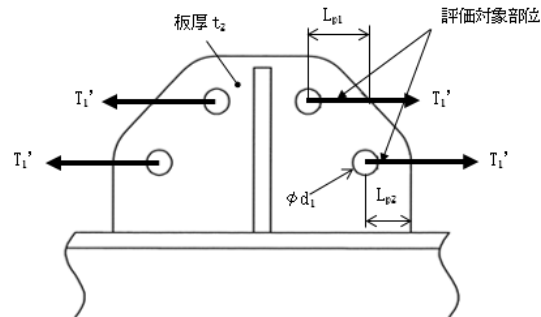
$$\tau_s = \frac{F_p}{2 \cdot n_2 \cdot A_b}$$

ロ. 取付プレート

① 取付プレート(支持架構設置)

飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重は、ワイヤロープの引張荷重 $T_1'$ として作用し、取付プレートにせん断応力が発生する

ため、せん断応力評価を実施する。取付プレートを第6.1-5図に示す。



第6.1-5図 取付プレート(支持架構設置)

取付プレートの有効せん断面積 $A_{s1}$ は、

$$A_{s1} = 2 \cdot \left( \text{Min}(L_{p1}, L_{p2}) - \frac{\phi d_1}{2} \right) \cdot t_2$$

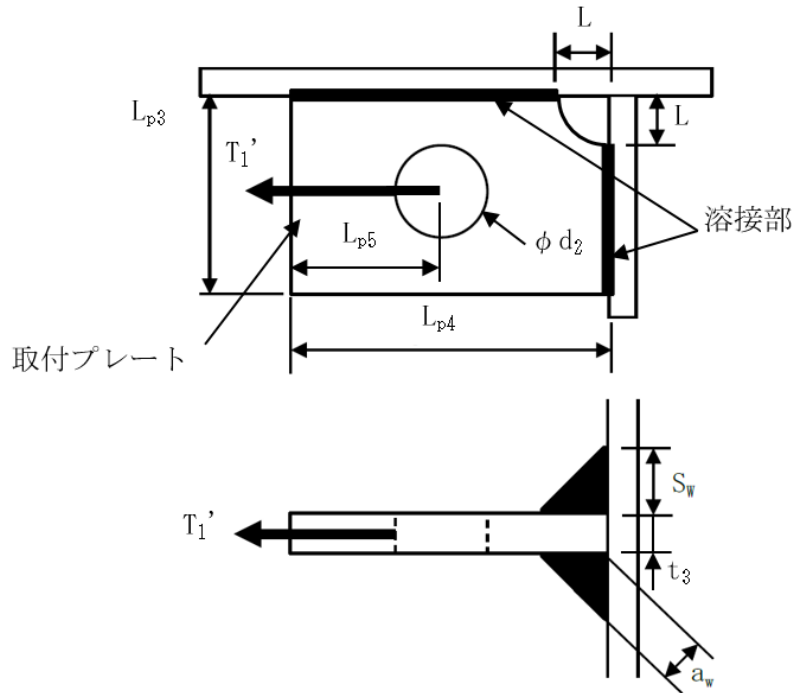
取付プレートに発生するせん断応力 $\tau_{p1}$ は、

$$\tau_{p1} = \frac{T_1'}{A_{s1}}$$

となる。

② 取付プレート(鋼製枠設置)

飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重は、ワイヤロープの引張荷重 $T_1'$ として作用し、取付プレート及び隅肉溶接部にせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。取付プレート及び溶接部を第6.1-6図に示す。



第6.1-6図 取付プレート(鋼製枠設置)

溶接部の有効長さ $L_{pw}$ は,

$$L_{pw} = L_{p3} - L - 2 \cdot S_w + L_{p4} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力 $\tau_w$ は,

$$\tau_w = \frac{T_1'}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで、溶接部ののど厚 $a_w$ は以下により求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

取付プレートの有効せん断面積 $A_{s2}$ は,

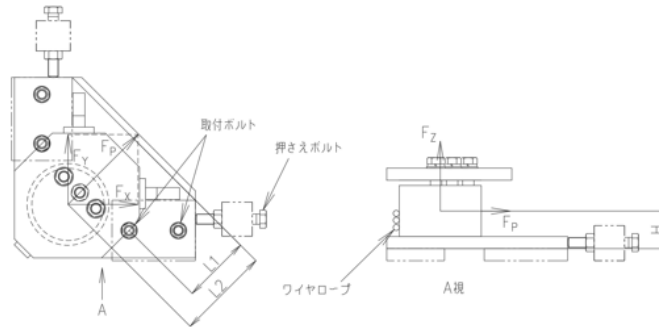
$$A_{s2} = 2 \cdot \left( L_{p5} - \frac{d_2}{2} \right) \cdot t_3$$

取付プレートに発生するせん断応力 $\tau_{p2}$ は,

$$\tau_{p2} = \frac{T_1'}{A_{s2}}$$

(e) 接続部の破断評価

飛来物がネットに衝突するとワイヤロープを介して取付金物に荷重 $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ が作用し、取付ボルトに引張応力が発生するため、引張応力評価を実施する。また、押さえボルトには圧縮応力が発生するため、圧縮応力評価を実施する。取付金物を第6.1-7図に示す。



第6.1-7図 取付金物

取付ボルトへ作用する荷重 $P_1$ は、保持管中心部に生じるモーメントより、以下の式で求められる。

$$P_1 = \frac{F_p \cdot H + F_z \cdot L_2}{L_1}$$

ここで、

$$F_t = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$F_z = T_T \cdot \sin \theta_{w1} \cdot \sin \theta_y + T_T \cdot \sin \theta_{w2} \cdot \sin \theta_x$$

取付ボルトに生じる引張応力 $\sigma_{b1}$ は、動的倍率を踏まえた係数1.52を考慮し、

$$\sigma_{b1} = \frac{P_1 \cdot 1.52}{n_3 \cdot A_{b2}}$$

また、押さえボルトに生じる圧縮応力 $\sigma_{b2}$ は、動的倍率を踏まえた係数1.52を考慮し、

$$\sigma_{b2} = \frac{\text{Max}(F_x, F_y) \cdot 1.52}{A_{b3}}$$

ここで、

$$F_x = T_T \cdot \sin \theta_1 + T_T \cdot \cos \theta_2$$

$$F_y = T_T \cdot \cos \theta_1 + T_T \cdot \sin \theta_2$$

d. たわみ評価

(a) ネットのたわみ量の算出

ネットの変位量と吸収エネルギーとの関係は(5.2)式のとおり、以下の式にて導出される。

$$E_i = 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x (\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x)$$

ここで、 $K_x$ 及び $L_x$ は定数であるため、

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで、ネットへの付加エネルギーに応じたたわみ量  $\delta$  を算出することができる。

(b) ワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は、ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし、算出したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果(荷重-ひずみ曲線)から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。ネットのたわみ量は中央衝突時に最大となるため、ワイヤロープたわみ量を導出する際のワイヤロープ張力は、(6.2)式にて算出される中央衝突時の値を用いる。

$$T_1 = \frac{3}{4(2n+1)} \cdot \frac{F_a}{\sin \theta} \dots (6.2)$$

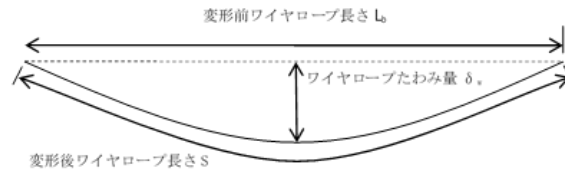
また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

(6.2)式に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量  $\varepsilon$  が算出される。したがって、変形によるワイヤロープの伸び量  $\delta'$  は以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

また、飛来物の衝突によりワイヤロープが第6.1-9図のとおり放物線状に変形すると、変形後のワイヤロープ長さ  $S$  は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

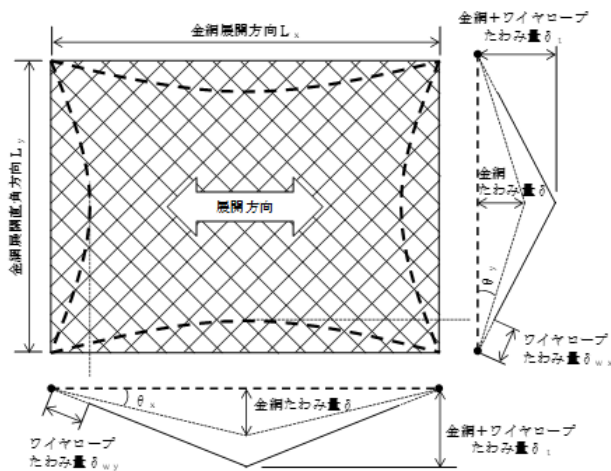
$$S = \frac{1}{2} \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \delta_w} \ln \left( \frac{4 \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2}}{L_b} \right)$$



第6.1-9図 ワイヤロープ変形図

ワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量の算出を行う。ネット及びワイヤロープ変形図を第6.1-10図に示す。





第6.1-10図 ネット及びワイヤロープ変形図

ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さを $S_x$ 、ネット展開直角方向に配置されているワイヤロープの変形後の長さを $S_y$ とすると、 $S_x$ 及び $S_y$ はそれぞれ $\delta_{wx}$ 、 $\delta_{wy}$ の関数であり、ワイヤロープ伸び量 $\delta'$ は、

$$\delta' = (S_x (\delta_{wx}) - L_x) + (S_y (\delta_{wy}) - L_y)$$

と表される。

また、ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2\cos\theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表され、ワイヤロープたわみ量 $\delta_{wx}$ 及び $\delta_{wy}$ を導出することができ、同時にワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量 $\delta_t$ が算出される。

ここで、等価剛性の導出過程を踏まえた係数1.056を考慮し、ネット全体の最大たわみ量 $\delta_t'$ は、

$$\delta_t' = \delta_t \cdot 1.056$$

となる。

## 7. 準拠規格

「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.4 準拠規格」においては、竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る規格を示している。

これらのうち、竜巻防護対策設備の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令・同告示

- ・ 日本産業規格 (JIS)
- ・ 建築物荷重指針・同解説 (2015改定) ((社) 日本建築学会)
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－ ((社) 日本建築学会, 2005)
- ・ 小規模吊橋指針・同解説 ((社) 日本道路協会)
- ・ 建築基準法・同施行令・同告示
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant
- ・ Desings (Nuclear Energy Institute 2011 Rev 8P (NEI07-13))
- ・ 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド (原子力規制委員会)
- ・ タービンミサイル評価について 昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会
- ・ ISES7607-3 昭和50年度日本原子力研究所委託調査「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」(昭和51年10月 高温構造安全技術研究組合)
- ・ 竜巻飛来物を模擬した角管の落下衝突による鋼板の貫通評価 (日本機械学会論文集, Vol. 83, Vo1851(2017))
- ・ 発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドライン JSME S NS6-2019 2019年6月 ((社) 日本機械学会)
- ・ 鋼構造限界状態設計指針・同解説 (2010) ((社) 日本建築学会)

VI-1-1-1-2-4-2

竜巻への配慮が必要な施設等の強度  
計算書

VI-1-1-1-2-4-2-1  
竜巻への配慮が必要な施設の強度計  
算書

# (1) 冷却塔の強度計算書

# (1)-1 安全冷却水 B 冷却塔の強度 計算書

## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.2.1 安全冷却水 B 冷却塔の概要	3
2.3 評価方針	6
2.3.1 衝突評価の評価方針	6
2.3.2 構造強度評価の評価方針	7
2.4 準拠規格	8
3. 強度評価方法	9
3.1 評価対象部位の選定方針	9
3.1.1 評価対象機器の選定	9
3.1.2 評価対象部位の選定	10
3.2 記号の定義	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	20
3.3.1 荷重の設定	20
3.3.2 荷重の組合せ	26
3.4 許容限界	26
3.5 評価方法	28
4. 評価条件	38
4.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価条件	38
5. 評価結果	47
5.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価結果	47

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外の竜巻防護対象施設である冷却塔が、設計荷重(竜巻)に対して、冷却塔の安全機能を損なわないよう、冷却塔の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

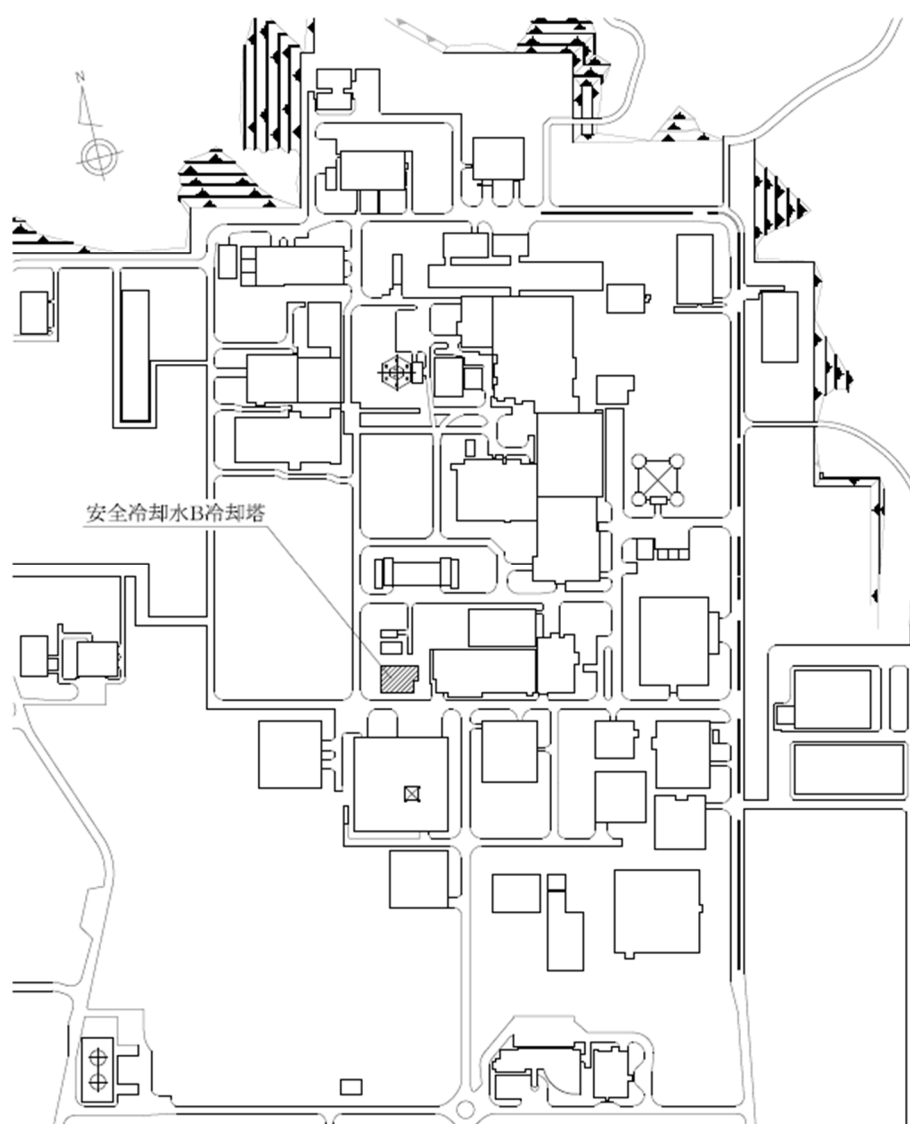


## 2. 基本方針

冷却塔について、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 構造強度の評価方針」に示す構造計画及び評価方針を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 準拠規格」を示す。

### 2.1 位置

安全冷却水B冷却塔の配置を第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 冷却塔の配置図

## 2.2 構造概要

冷却塔は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 構造強度の評価方針」に示す構造設計を踏まえて設計する。

### 2.2.1 安全冷却水B冷却塔の概要

安全冷却水B冷却塔は、ルーバ、管束、ファン駆動部、支持架構及び遮熱板から構成される複合構造物である。このうち、冷却機能の維持に必要な機器は、

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_である。

管束

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

第2.2.1-1図に管束構造図を示す。

ファン駆動部：

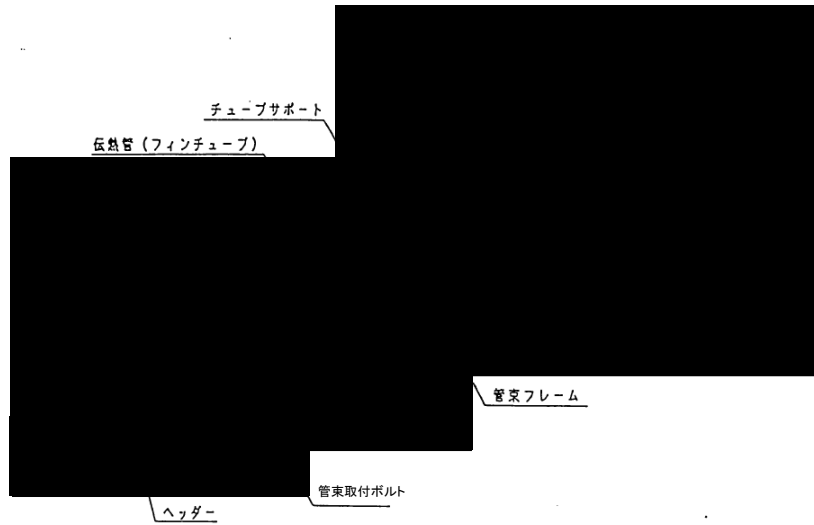
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

第2.2.1-2図にファン駆動部構造図を示す。

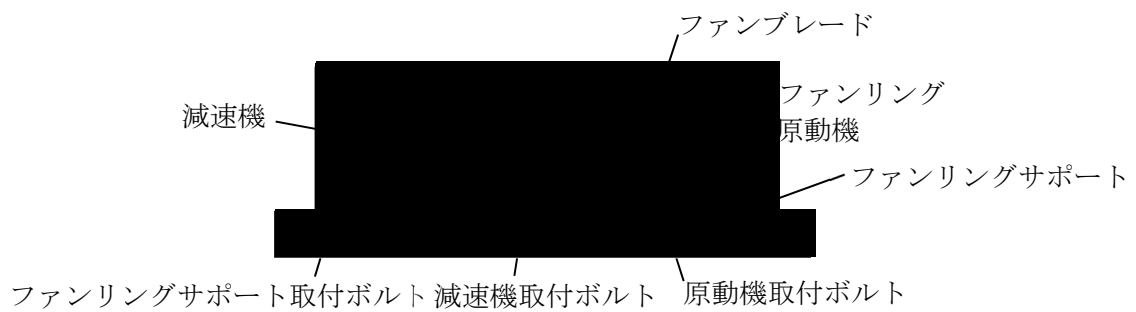
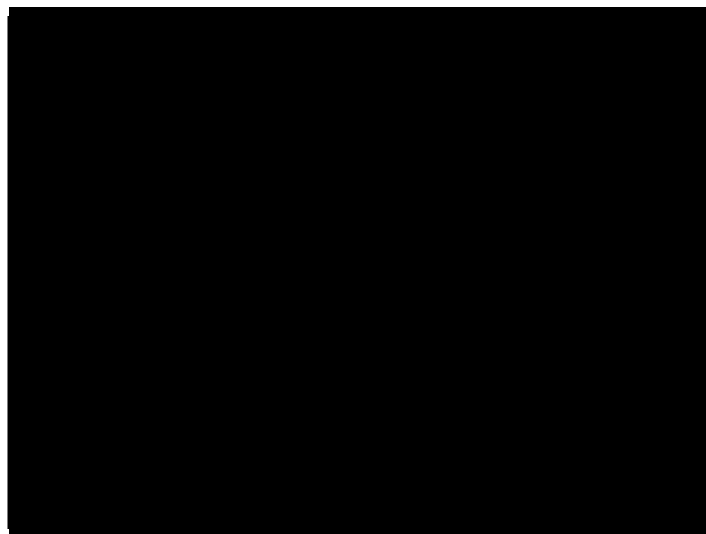
支持架構

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

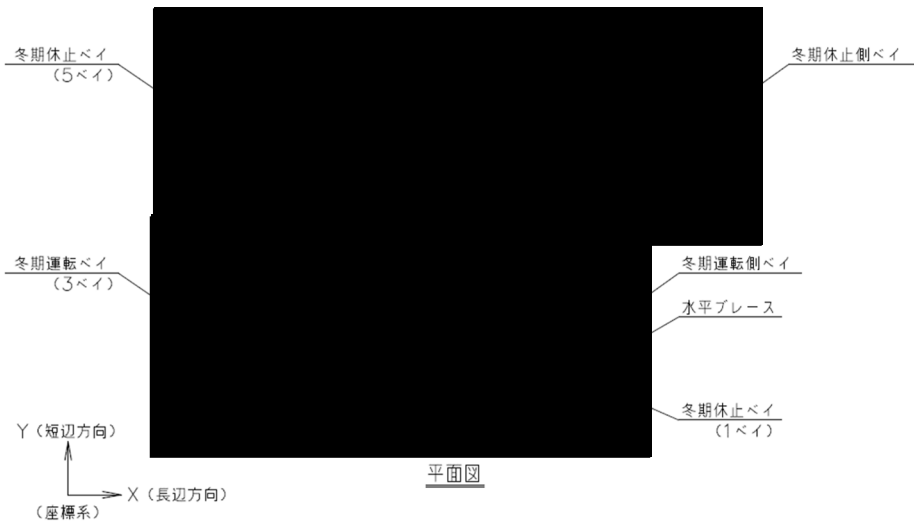
安全冷却水B冷却塔の概要図を第2.2.1-3図に示す。安全冷却水B冷却塔は、冬期運転側ベイと冬期休止側ベイによって構成される。



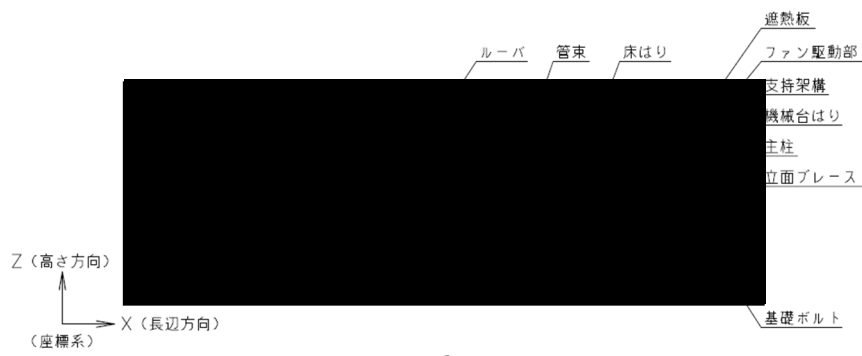
第 2.2.1-1 図 管束構造図



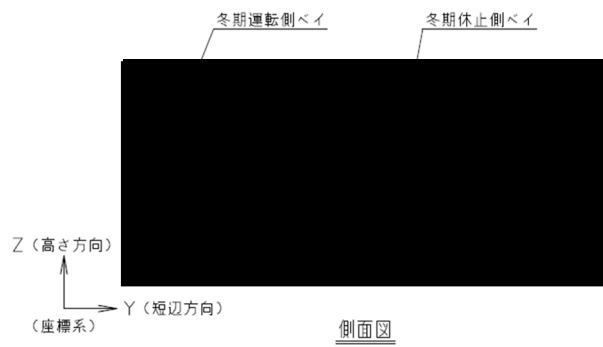
第 2.2.1-2 図 ファン駆動部構造図



(a) 上面図



(b) 側面図(長辺方向)



(c) 側面図(短辺方向)

第 2.2.1-3 図 安全冷却水 B 冷却塔 概要図

### 2.3 評価方針

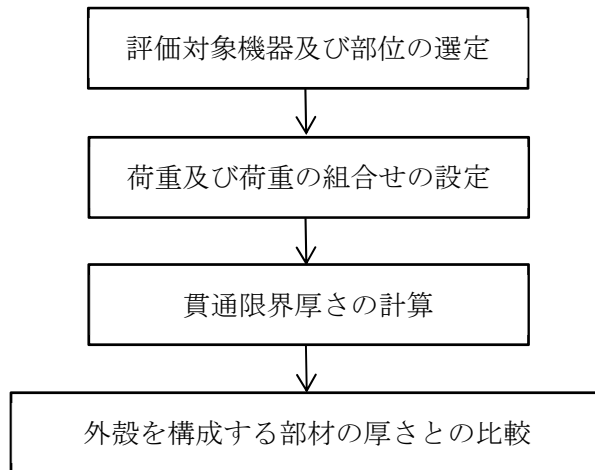
冷却塔の強度評価は「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している。荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、冷却塔の評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

#### 2.3.1 衝突評価の評価方針

冷却塔の衝突評価フローを第 2.3.1-1 図に示す。衝突評価においては、防護ネットを通過する飛来物である砂利による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材の厚さが貫通限界厚さ以上であることを確認する。

衝突評価では、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価の評価式を用いる。

冷却塔の衝突評価における許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さとする。



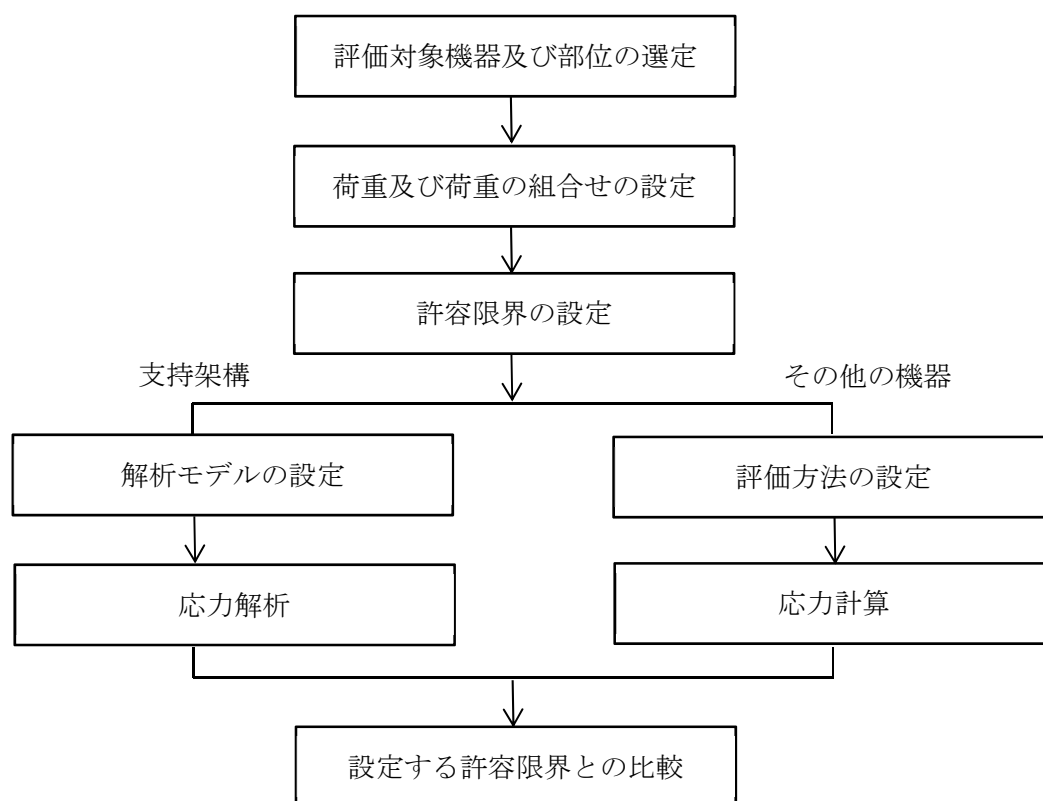
第 2.3.1-1 図 冷却塔の衝突評価フロー

### 2.3.2 構造強度評価の評価方針

冷却塔の構造強度評価フローを第2.3.2-1図に示す。

構造強度評価においては、冷却塔に対して、設計荷重(竜巻)により作用する応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において、その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。構造強度評価においては、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すとおり、FEM等を用いた解析法若しくは定式化された評価式を用いた解析法を用いて評価対象部位に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。

冷却塔の許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編JEAG 4601-補 1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991追補版」((社)日本電気協会)(以下、「JEAG4601」という。)に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。



第2.3.2-1図 冷却塔の構造強度評価フロー

## 2.4 準拠規格

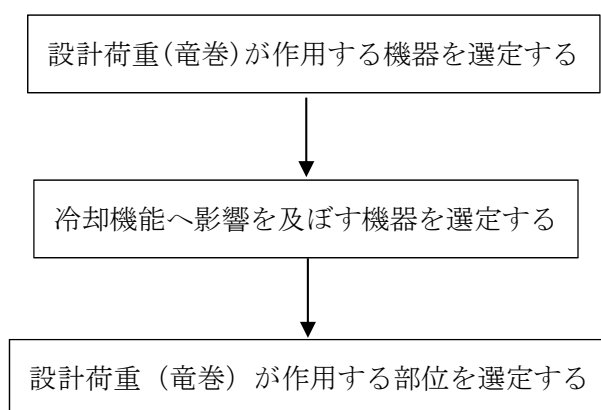
準拠する規格，規準等を以下に示す。

- ・タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)
- ・建築基準法・同施行令・同告示
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007((社)日本機械学会)(以下,「JSME」という。)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601-補1984((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991追補版((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第1909069号)
- ・機械工学便覧((社)日本機械学会)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位の選定方針

「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 構造強度の評価方針」に示している構造に基づき、設計荷重（竜巻）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。第3.1-1図に評価対象部位選定フローを示す。



第 3.1-1 図 評価対象部位選定フロー

##### 3.1.1 評価対象機器の選定

冷却塔の評価対象となる機器は、機器の形状を考慮した上で設計荷重（竜巻）が作用する機器を選定する。選定した機器のうち、冷却機能を維持するために必要な機器及び冷却機能を維持するために必要な機器に対し、影響を及ぼすおそれのある機器を評価対象機器とする。

冷却塔における構造強度評価の評価対象機器を第3.1.1-1表に示す。

###### (1) 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔を構成する機器から上記に基づき管束，ファン駆動部，支持架構，遮熱板，ルーバを選定した。



第3.1.1-1表 冷却塔における構造強度評価の評価対象機器

名称	評価対象機器	選定理由
安全冷却水 B 冷却塔	管束	[Redacted]
	ファン駆動部	
	支持架構 (基礎ボルト含む)	
	遮熱板	[Redacted] [Redacted] [Redacted]
	ルーバ	[Redacted] [Redacted]

3.1.2 評価対象部位の選定

(1) 衝突評価の評価対象部位

[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted]を評価対象部位として設定する。冷却塔における衝突評価の評価対象部位を第3.1.2-1表に示す。  
ルーバは、[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted]評価対象外とする。

第3.1.2-1表 冷却塔における衝突評価の評価対象部位

名称	機器	評価対象部位	理由
安全冷却水 B 冷却塔	管束	管束フレーム	[Redacted]
	ファン駆動部	ファンリング	[Redacted]
	支持架構	床はり	[Redacted] [Redacted]
	遮熱板	遮熱板本体	[Redacted]

(2) 構造強度評価の評価対象部位

「3.1.1 評価対象機器の選定」で選定した評価対象機器において、設計荷重(竜巻)が水平方向に作用する荷重であることを考慮し、[REDACTED]を評価対象部位として選定する。冷却塔における構造強度評価の評価対象部位を第3.1.2-2表に示す。

a. 安全冷却水B冷却塔

(a) 管束及びファン駆動部の評価対象部位

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・管束フレーム
- ・ヘッダー
- ・管束取付ボルト
- ・ファンリング
- ・ファンリングサポート
- ・ファンリングサポート取付ボルト

なお、管束のうち伝熱管及びチューブサポートについては、[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]は生じない。

また、ファン駆動部のうちファンについては、[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]は生じない。原動機及び減速機については、[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]は生じない。端子箱についても、  
[REDACTED]  
[REDACTED]影響はない。

(b) 支持架構(基礎ボルト含む)の評価対象部位

支持架構の評価対象部位は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示している構造に基づき、[REDACTED]選定する。

支持架構の構造強度評価の評価対象部位は、支持架構を構成する主柱，床はり，2F機械台はり，立面ブレース及び水平ブレースを選定する。

また、

基礎ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

(c) 遮熱板の評価対象部位

遮熱板の概要図を第3.1.2-1図に示す。遮熱板は遮熱板と遮熱板取付ボルトにより構成されている。

設計荷重(竜巻)は、遮熱板本体に作用し、遮熱板を介して取付ボルトに作用する。

遮熱板と遮熱板取付ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

(d) ルーバの評価対象部位

ルーバの概要図を第3.1.2-2図に示す。ルーバはルーバフレーム，ルーバブレード，ブレードシャフト，ルーバ取付ボルトにより構成される。

構造強度評価の評価対象部位として選定する。

なお、ルーバを構成する部位のうち、ルーバブレード，ブレードシャフトについては、

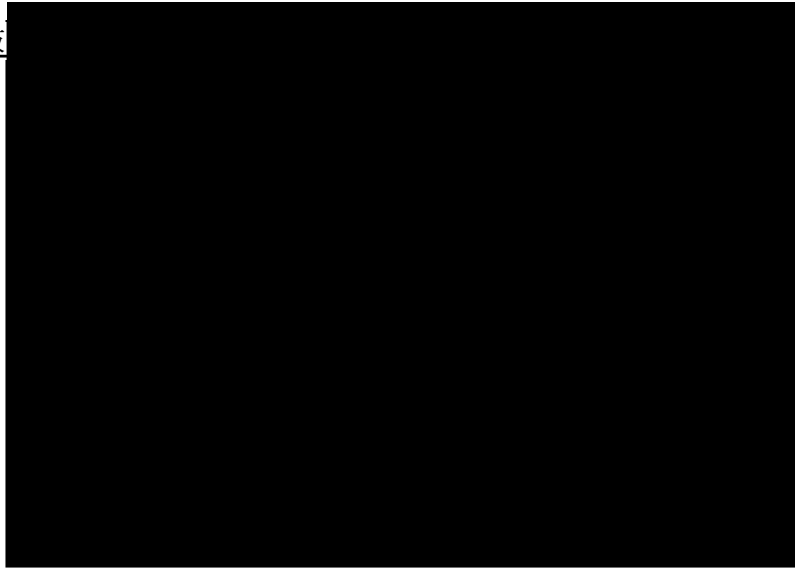
評価対象外とする。ルーバフレームについては、

評価対象外とする。

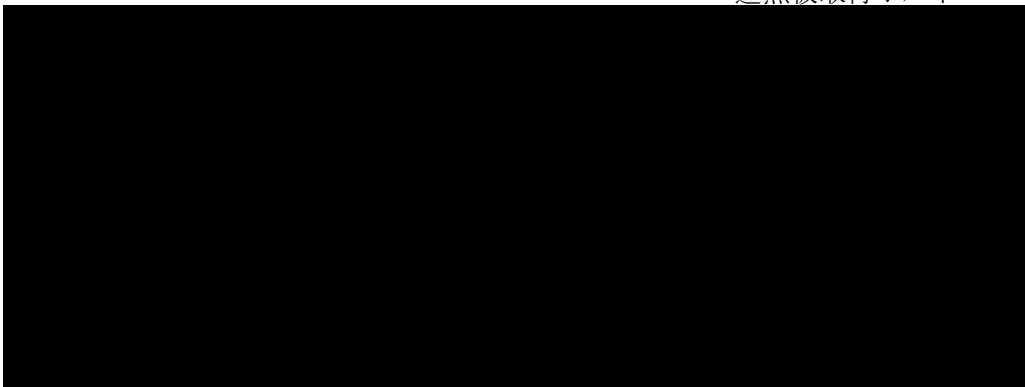
第 3.1.2-2 表 冷却塔における構造強度評価の評価対象部位

名称	評価対象機器	評価対象部位
安全冷却水 B 冷却塔	管束	管束フレーム
		ヘッダー
		管束取付ボルト
	ファン駆動部	ファンリング
		ファンリングサポート
		ファンリングサポート取付ボルト
	支持架構 (基礎ボルト含む)	主柱, 床はり, 2F 機械台はり, 立面ブレース及び水平ブレース
		基礎ボルト
	遮熱板	遮熱板
		遮熱板取付ボルト
ルーバ	ルーバ取付ボルト	

遮熱板

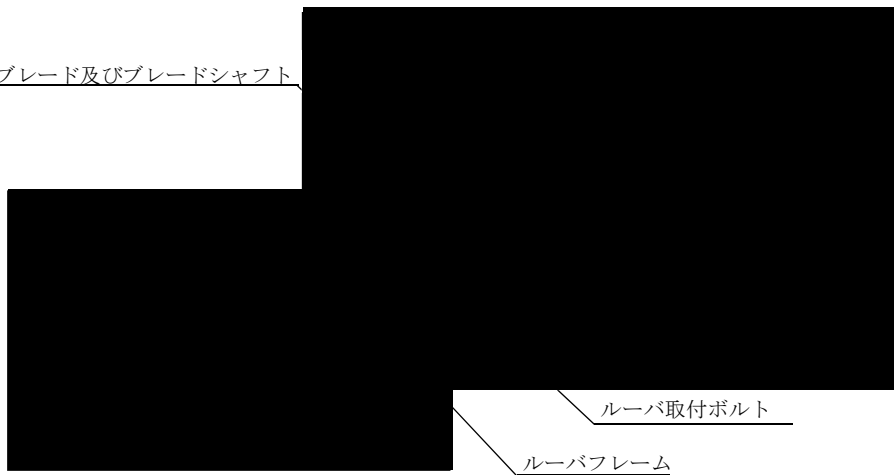


遮熱板取付ボルト



第 3. 1. 2-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の遮熱板概要図

ルーバブレード及びブレードシャフト



第 3. 1. 2-2 図 ルーバ構造図

### 3.2 記号の定義

#### (1) 衝突評価の記号の定義

冷却塔の衝突評価に用いる記号を第 3.2-1 表に示す。

第 3.2-1 表 冷却塔の衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
T <sub>c</sub>	mm	BRL 式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

#### (2) 設計竜巻による荷重算出

設計竜巻による荷重の算出に用いる記号を第3.2-2表に示す。

第3.2-2表 設計竜巻による荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	施設の受圧面積
C	—	風力係数(施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根, 壁等)に応じて設定する。)
G	—	ガスト影響係数(G=1.0)
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の最大風速(V <sub>D</sub> =100)
W <sub>W</sub>	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度(ρ=1.22)
V <sub>T</sub>	m/s	設計竜巻の移動速度
V <sub>Rm</sub>	m/s	設計竜巻の最大接線風速
ΔP <sub>max</sub>	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の最大気圧低下量
W <sub>P</sub>	N	気圧差による荷重
W <sub>M</sub>	N	飛来物による衝撃荷重

(3) 機器本体

機器本体の構造強度評価に用いる記号を第3.2-3表に示す。

第3.2-3表 機器本体の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$\beta_1$	—	4辺支持平板として評価する機器の最大応力の係数
a	mm	4辺支持平板として評価する機器の短手側の辺の長さ
b	mm	4辺支持平板として評価する機器の長手側の辺の長さ
t	mm	4辺支持平板として評価する機器の板厚
$\sigma_1$	MPa	ヘッダーの風圧力による応力
$\sigma_2$	MPa	ヘッダーの内圧及び気圧差による圧力による応力
$\sigma_i$	MPa	ヘッダーの内圧による応力
B	mm	ヘッダーの高さ
L	mm	ヘッダーの支持間距離
$P_i$	MPa	ヘッダーの内圧
$P_b$	MPa	気圧差による圧力
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
h	mm	重心高さ
m	kg	自重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
n	本	ファンリングサポートの本数
$\ell$	mm	機器中心と取付ボルトの距離
$\sigma$	MPa	発生応力
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
$1.5 f_b$	MPa	許容曲げ応力

(4) 機器取付ボルト

機器取付ボルトの構造強度評価に用いる記号を第3.2-4表に示す。

第3.2-4表 機器取付ボルトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
m	kg	各評価機器の自重
g	$m/s^2$	重力加速度( $g=9.80665$ )
h	mm	各評価機器の重心高さ
$A_b$	$mm^2$	各評価機器の取付ボルトの軸断面積
$n_t$	本	引張力の作用する取付ボルトの評価本数
n	本	せん断力の作用する取付ボルトの評価本数
$\varrho$	mm	取付ボルト間の中心から、各取付ボルトまでの距離
L	mm	取付ボルト間の距離
$\sigma_o$	MPa	引張応力
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
$\tau_b$	MPa	せん断応力
$1.5 f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5 f_s$	MPa	許容せん断応力



(5) 支持架構の記号の定義

支持架構の構造強度評価に用いる記号を第3.2-5表に示す。

第3.2-5表 支持架構の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$F_a$	N	はり要素に作用する引張, 圧縮荷重
$F_y, F_z$	N	はり要素に作用するせん断荷重
$M_y, M_z$	N・mm	はり要素に作用する曲げモーメント
$M_a$	N・mm	はり要素に作用するねじりモーメント
$A_f$	mm <sup>2</sup>	部材の断面積
$A_{fy}, A_{fz}$	mm <sup>2</sup>	部材の有効せん断断面積
$Z, Z_y, Z_z$	mm <sup>3</sup>	部材の断面係数
$Z_p$	mm <sup>3</sup>	部材のねじり断面係数
$1.5 f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5 f_s$	MPa	許容せん断応力
$1.5 f_c$	MPa	許容圧縮応力
$1.5 f_b$	MPa	許容曲げ応力
$\sigma_t$	MPa	引張応力
$\sigma_c$	MPa	圧縮応力
$\sigma_b$	MPa	曲げ応力
$\tau$	MPa	せん断応力
$i, i_y, i_z$	mm	部材の断面二次半径
$E$	MPa	縦弾性係数
$F$	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値

(6) 基礎ボルト

基礎ボルトの構造強度評価に用いる記号を第3.2-6表に示す。

第3.2-6表 基礎ボルトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$F_{bt}$	N	ボルトの引張力
$F_{bs}$	N	ボルトのせん断力
$A_b$	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
$\sigma_{ao}$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\tau_b$	MPa	ボルトに生じるせん断応力
$n_a$	本	柱脚部1ヶ所当たりのボルト本数
F	MPa	「JSME」SSB-3121.1(1)に定める値
$1.5f_t$	MPa	許容引張応力
$1.5f_s$	MPa	許容せん断応力

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

#### 3.3.1 荷重の設定

##### (1) 衝突評価の荷重

衝突評価においては考慮する飛来物として防護ネット(ネットの網目寸法 40mm)をすり抜ける砂利を設定し、砂利による衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を第 3.3.1-1 表に示す。

第 3.3.1-1 表 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂 利	0.05	1.0	0.18	62	42

##### (2) 構造強度評価の荷重

構造強度評価に用いる荷重を以下のa.～d.に示す。

また、荷重の算定に用いる竜巻の特性値を第3.3.1-2表に示す。

第 3.3.1-2 表 竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	8,900

##### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、

を考慮する。

##### b. 設計竜巻荷重

「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」に従い、設計竜巻の風圧力による荷重を考慮する。自重により作用する荷重は、評価対象部位の設置方向を考慮する。

(a) 風圧力による荷重

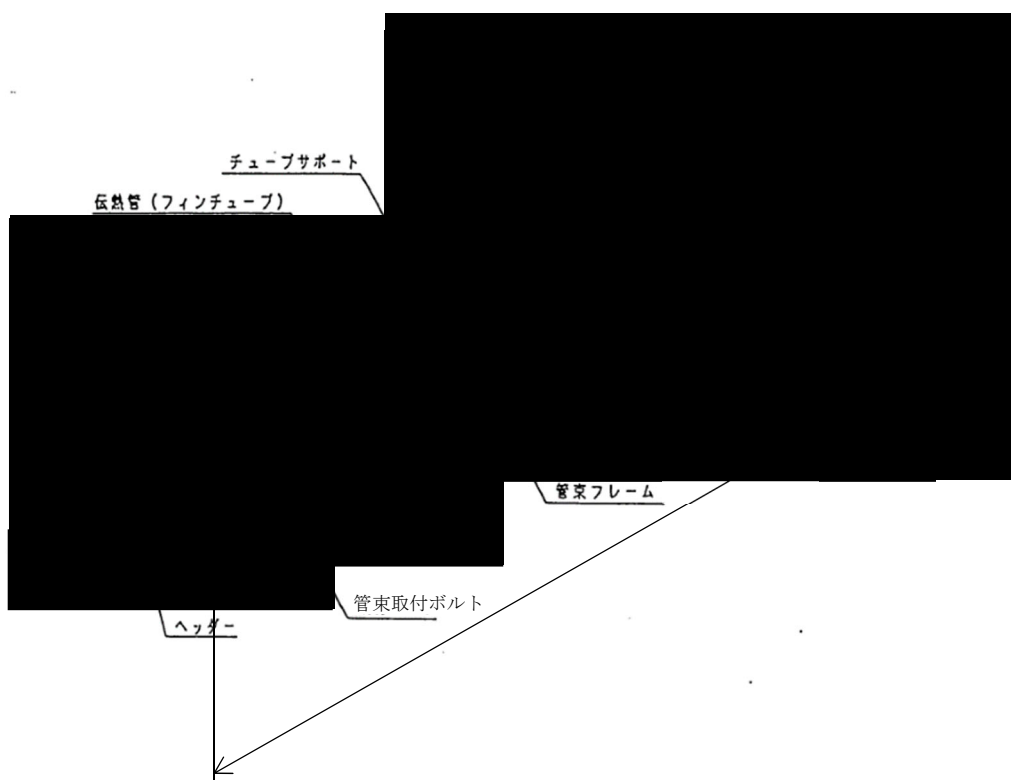
風圧力による荷重は、下式により算定する。受圧面積は、冷却塔の形状を考慮して算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

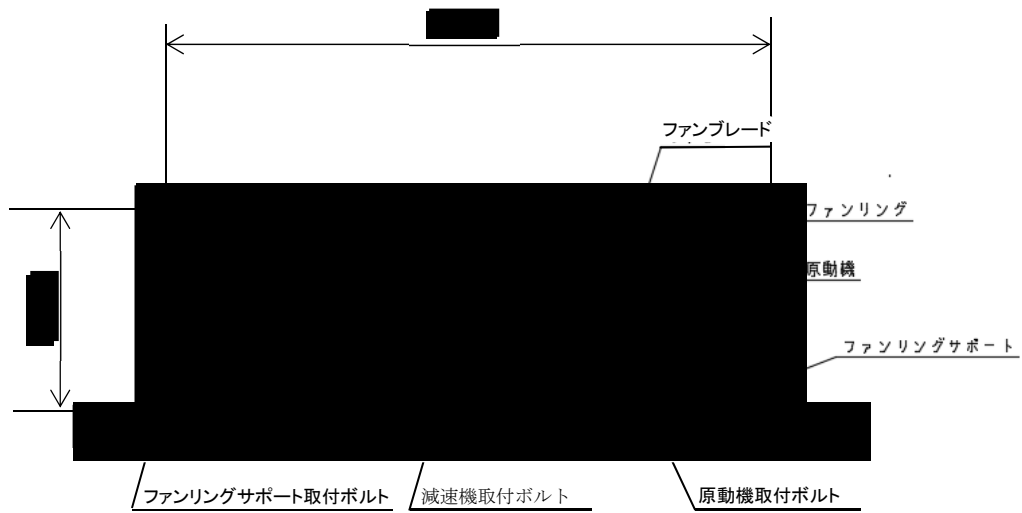
$$q = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2$$

イ. 管束, ファン駆動部, 遮熱板及びびルーバ

管束, ファン駆動部, 遮熱板及びびルーバに対するそれぞれの受圧部の寸法を示す図を第3.3.1-1図, 第3.3.1-2図, 第3.3.1-3図及び第3.3.1-4図に示す。



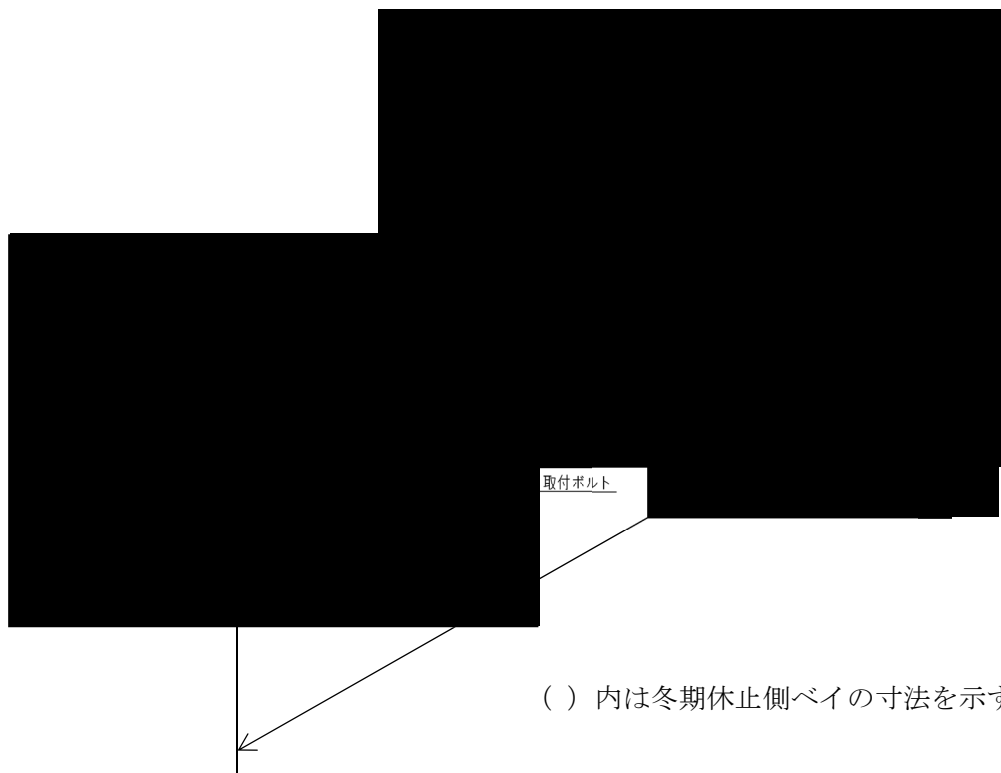
第 3.3.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の管束の受圧部寸法 (単位 : mm)



第 3. 3. 1-2 図 安全冷却水 B 冷却塔のファン駆動部(ファンリング)の受圧部寸法  
(単位 : mm)



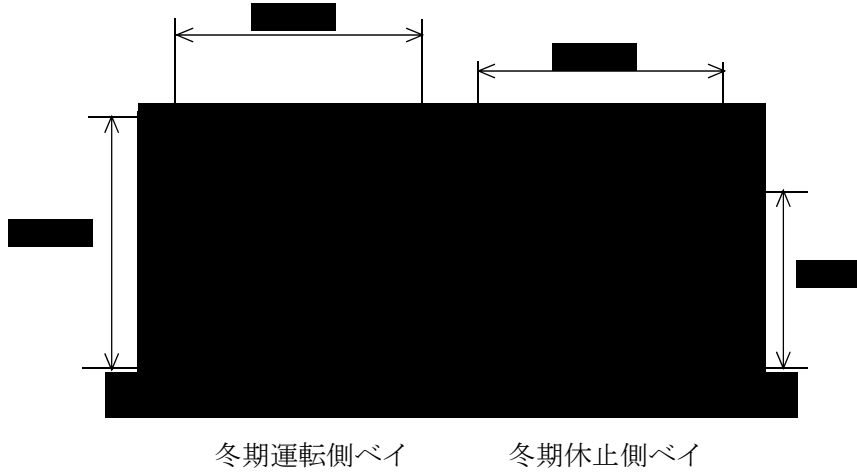
第3. 3. 1-3図 安全冷却水B冷却塔の遮熱板の受圧部寸法(単位 : mm)



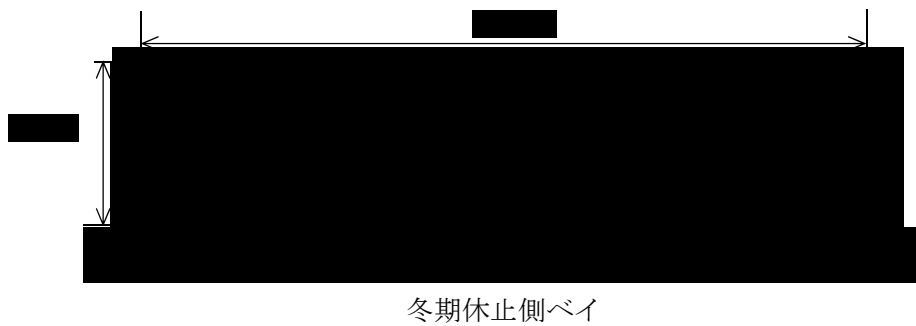
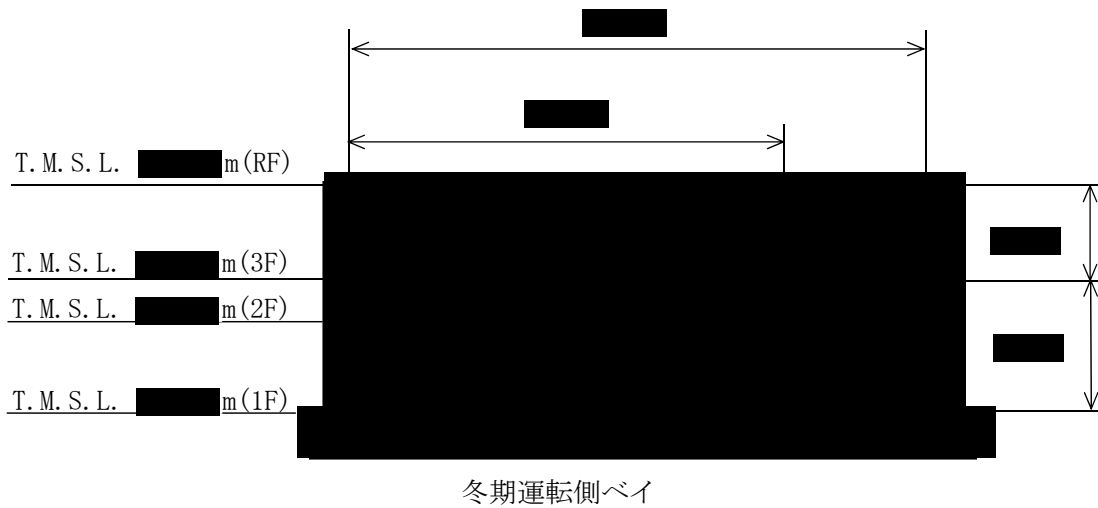
第 3.3.1-4 図 安全冷却水 B 冷却塔のルーバの受圧部寸法 (単位 : mm)

ロ. 支持架構(基礎ボルト含む)

支持架構における受圧部の寸法を示す図を第3.3.1-5図及び第3.3.1-6図に示す。



第 3.3.1-5 図 安全冷却水 B 冷却塔の支持架構の EW 方向\*受圧部寸法(単位: mm)



第 3.3.1-6 図 安全冷却水 B 冷却塔の支持架構の NS 方向\*受圧部寸法(単位: mm)

\*: 風が作用する方向を示す





### 3.3.2 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、評価対象部位ごとに設定する。冷却塔の構造強度評価に用いる荷重の組合せを第3.3.2-1表に示す。

第3.3.2-1表 荷重の組合せ

名称	評価対象機器	評価対象部位	考慮する荷重
安全冷却水B冷却塔	管束	管束フレーム	[Redacted]
		ヘッダー	
		管束取付ボルト	
	ファン駆動部	ファンリング	
		ファンリングサポート	
		ファンリングサポート取付ボルト	
	支持架構 (基礎ボルト含む)	主柱, 床はり, 2F機械台はり, 立面ブレース及び水平ブレース	
		基礎ボルト	
	遮熱板	遮熱板	
		遮熱板取付ボルト	
	ルーバ	ルーバ取付ボルト	

### 3.4 許容限界

冷却塔の許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえ、「3.1.2 評価対象部位の選定」にて設定している評価対象部位ごとに、[Redacted] JEAG4601に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sを用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、  
 を許容限界とする。

冷却塔を構成する機器の外殻を構成する部材の厚さを第 3.4-1 表に示す。

第 3.4-1 表 冷却塔を構成する機器の外殻を構成する部材厚さ

名称	評価対象機器	評価対象部位	板厚(mm)
安全冷却水 B 冷却塔	管束	管束フレーム	
	ファン駆動部	ファンリング	
	支持架構	床はり	
	遮熱板	遮熱板本体	

(2) 構造強度評価の許容限界

冷却塔の許容限界は、JEAG4601 を準拠し、「その他支持構造物」を適用する。  
 設計荷重(竜巻)に対して、当該施設に過大な変形を起こして必要な機能が損なわれないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、許容応力状態 III<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。

冷却塔における構造強度評価の許容限界を第 3.4-2 表に示す。

第 3.4-2 表 冷却塔における構造強度評価の許容限界

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト)	
	一次応力					
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
III <sub>A</sub> S						

注記

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

衝突評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が竜巻防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下、「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する実験データ数の不確かさを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

したがって、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さは、以下の式により算出する。

$$T_c = T / 0.97$$

#### (2) 構造強度評価の評価方法

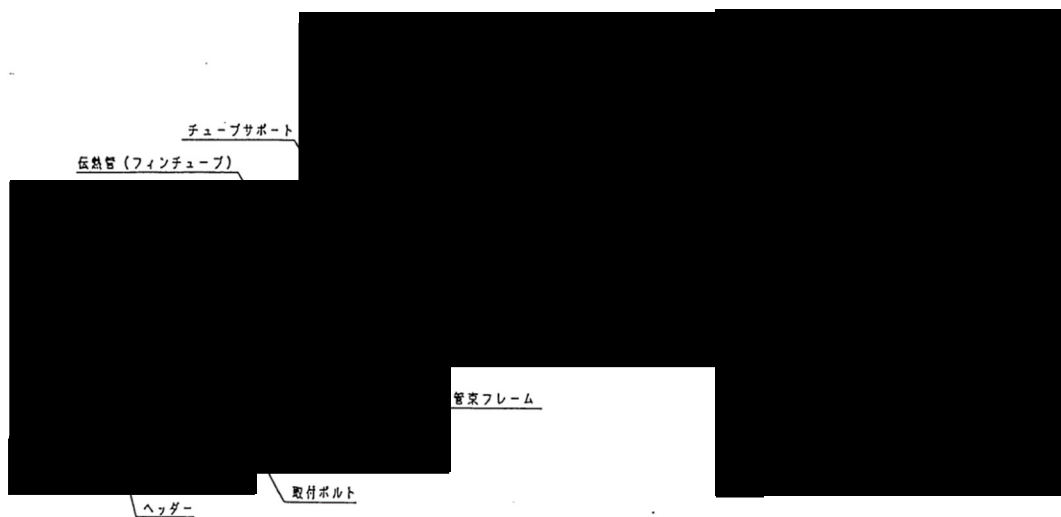
冷却塔の構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているFEM等を用いた解析法又は定式化された評価式を用いた解析法により行う。

##### a. 機器本体の評価方法

###### (a) 計算モデル

イ. 管束フレーム

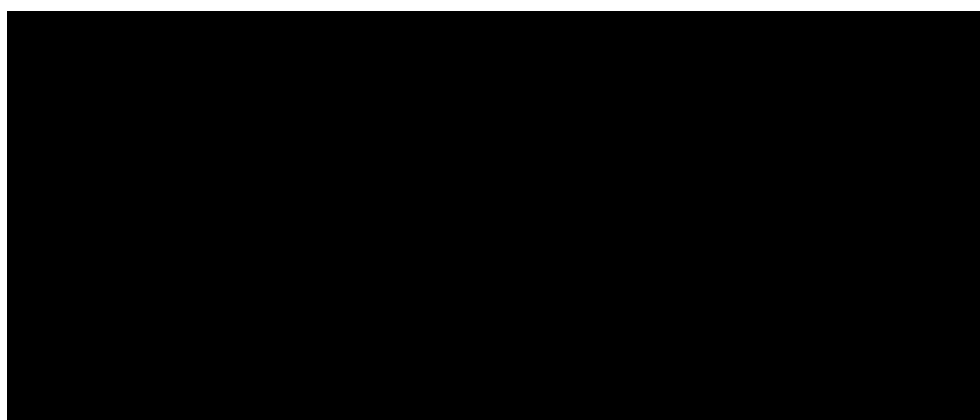
[Redacted]  
[Redacted] 管束フレームの評  
価概要図を第 3.5-1 図に示す。



第 3.5-1 図 管束フレーム評価概要図

ロ. ヘッダー

[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted] ヘッ  
ダーの評価概要図を第 3.5-2 図に示す。

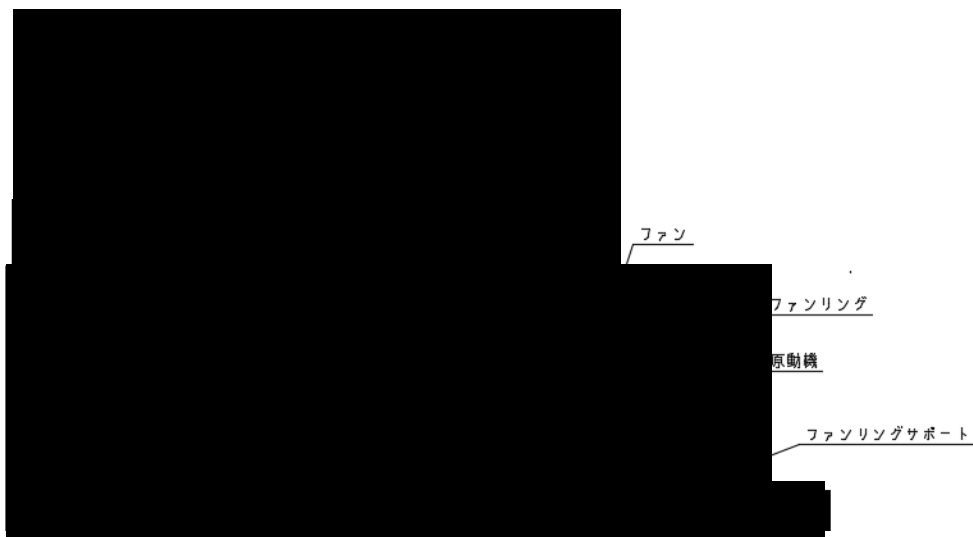


第 3.5-2 図 ヘッダー評価概要図

ハ. ファンリング

[Redacted]

[Redacted] ファンリングの評価概要図を第3.5-3図に示す。

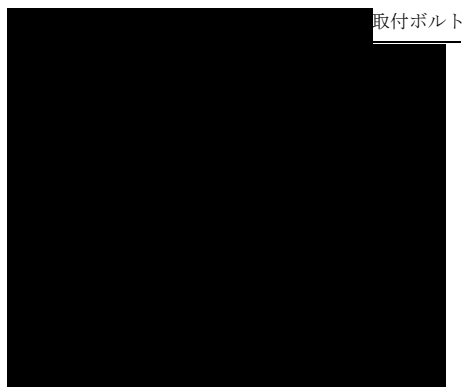


第 3.5-3 図 ファンリング評価概要図

ニ. ファンリングサポート

[Redacted]

[Redacted] ファンリングサポートの評価概要図を第 3.5-4 図に示す。



第 3.5-4 図 ファンリングサポート評価概要図

ホ. 遮熱板

遮熱板に風圧力による荷重が作用し、遮熱板下端に全体の曲げ荷重が作用するものとして評価する。遮熱板の評価概要図を第 3.5-5 図に示す。



第 3.5-5 図 遮熱板評価概要図

(b) 計算方法

イ. 管束フレーム

以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \beta_1 \frac{C q G a^2}{t}$$

ロ. ヘッダー

[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted]以下の計算式により求める。  
[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted]  
[Redacted]

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\sigma_1 = \frac{C q G B L^2}{8 Z}$$

$$\sigma_2 = \sigma_i \frac{(P_i + 0.5 P_b)}{P_i}$$

ハ. ファンリング

[Redacted]以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \beta_1 \cdot \frac{C q G a^2}{t^2}$$

ニ. ファンリングサポート

[Redacted]  
[Redacted]以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \frac{W_w h - m g \ell}{n Z}$$

ホ. 遮熱板

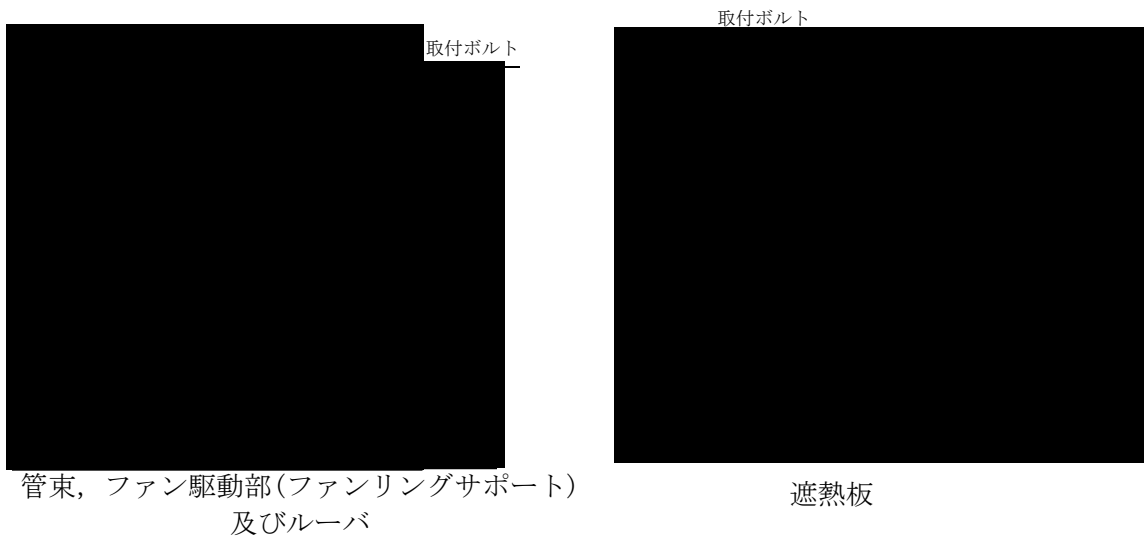
[Redacted]  
[Redacted]以下の計算式により求めるものとする。

$$\sigma = \frac{W_w h - m g \ell}{Z}$$

b. 機器取付ボルトの評価方法

(a) 計算モデル

管束，ファン駆動部(ファンリングサポート)，遮熱板及びルーバに生じるせん断応力及び引張応力は，取付ボルトの配置形状に応じて以下の計算式により求めるものとする。取付ボルト配置を第 3.5-6 図に示す。



第 3.5-6 図 取付ボルトの配置

(b) 計算方法

イ. 管束，ファン駆動部（ファンリングサポート）及びルーバ

①引張応力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」に記載されている式を準拠し，次式より算出する。

$$\sigma_0 = -\frac{m g \ell}{n_t L A_b} + \frac{W_w h}{n_t L A_b} \dots (1)$$

②せん断応力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」に記載されている式を準拠し，次式より算出する。

$$\tau_b = \frac{W_w}{A_b n} \dots (2)$$



ロ. 遮熱板

①引張応力

(2)式において、遮熱板は取付ボルトの設置方向が違うことから、次式により算出する。

$$\sigma_0 = \frac{W_w}{A_{b,n,t}} \dots (3)$$

②せん断応力

(1)式において、遮熱板は取付ボルトの設置方向が違うことから、次式により算出する。

$$\tau_b = -\frac{mg\ell}{nLA_b} + \frac{W_w h}{nLA_b} \dots (4)$$

c. 支持架構及び基礎ボルトの評価方法

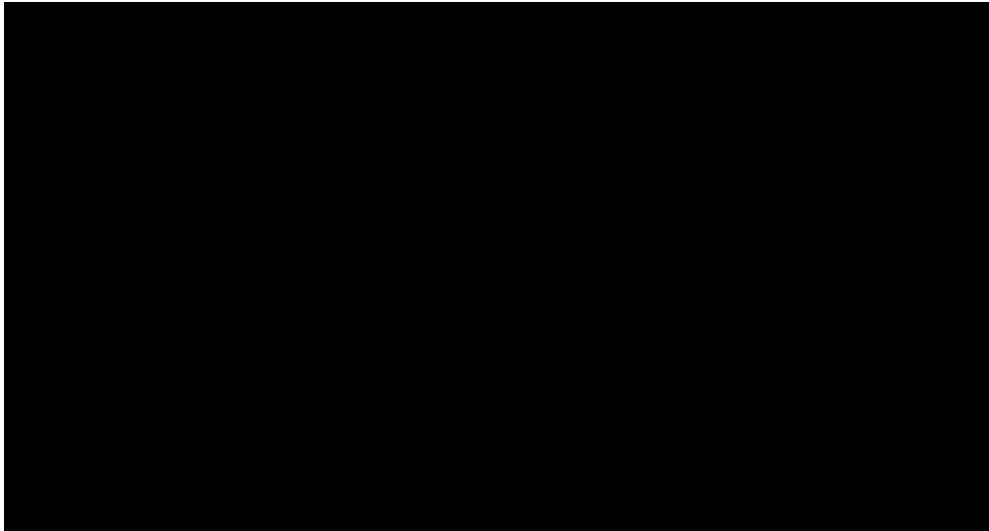
(a) 計算モデル

イ. 安全冷却水B冷却塔のモデル

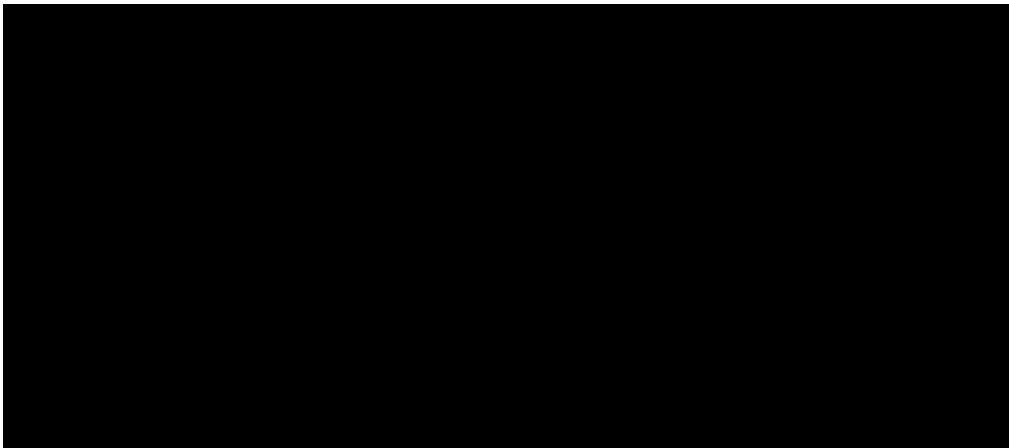
安全冷却水B冷却塔の計算モデルを第3.5-7図、第3.5-8図に、計算モデルの諸元を第3.5-1表に示す。

支持架構及び基礎ボルトの構造強度評価は、解析コード「MSC NASTRAN(ver. 2008.0.4)」により、  
3次元はりモデルにて実施する。

構造強度評価に用いる解析コード「MSC NASTRAN(ver. 2008.0.4)」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-1-1-2-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



第 3.5-7 図 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル(冬期運転側ベイ)



第 3.5-8 図 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル(冬期休止側ベイ)

第 3.5-1 表 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル諸元

解析モデル	節点数	要素数
安全冷却水 B 冷却塔 冬期運転側ベイ		
安全冷却水 B 冷却塔 冬期休止側ベイ		

(b) 計算方法

イ. 支持架構

以下の式により応力を算出する。

(イ) 引張応力及び圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{F_a}{A_f}$$

$$\sigma_c = \frac{F_a}{A_f}$$

(ロ) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

(ハ) せん断応力

$$\tau = \frac{F_y}{A_{fy}} + \frac{F_z}{A_{fz}} + \frac{M_a}{Z_p}$$

(ニ) 組合せ

JSMEに基づき、引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力を下式より算出する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 f_t} \leq 1.0$$

同様に、圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力を下式より算出する。

$$\frac{\sigma_c}{1.5 f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5 f_b} \leq 1.0$$

ロ. 基礎ボルト

以

下の式により応力を算出する。

(イ) 引張応力

$$\sigma_{ao} = \frac{F_{bt}}{A_b \cdot n_a}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_b = \frac{F_{bs}}{A_b \cdot n_a}$$

4. 評価条件

4.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価条件

安全冷却水 B 冷却塔の「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を第 4.1-1 表から第 4.1-10 表に示す。

第 4.1-1 表 支持架構(冬期運転側ベイ)の評価条件 (1/2)

部材	断面形状	材料	運転重量 (kg)	$A_f$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{fy}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{fz}$ (mm <sup>2</sup> )	$Z$ (mm <sup>3</sup> )		
							$Z_y$	$Z_z$	
主柱									
床 はり									
2F 機械台はり									
立面ブレース									
水平ブレース									

第 4.1-1 表 支持架構(冬期運転側ベイ)の評価条件 (2/2)

部材	断面形状	材料	i (mm)		E (MPa)	F (MPa)
			$i_y$	$i_z$		
主柱						
床 はり						
2F 機械台はり						
立面ブレース						
水平ブレース						

第4.1-2表 支持架構(冬期運転側ベイ)の風力係数及び受圧面積

名称		標高 T. M. S. L. (m)	風力係数C (-)		受圧面積A(m <sup>2</sup> )	
			NS方向*1	EW方向*1	NS方向*1	EW方向*1
安全冷却水B冷却塔	冬期運転側ベイ					

注記 \* 1 : 風が作用する方向を示す。

第4.1-3表 支持架構(冬期休止側ベイ)の評価条件 (1/2)

部材	断面形状	材料	運転 重量 (kg)	A <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>fy</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>fz</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z (mm <sup>3</sup> )	
							Z <sub>y</sub>	Z <sub>z</sub>
主柱								
床 はり								
2F 機械台はり								
立面ブレース								
水平ブレース								

第 4.1-3 表 支持架構(冬期休止側ベイ)の評価条件 (2/2)

部材	断面形状	材料	i (mm)		E (MPa)	F (MPa)
			$i_y$	$i_z$		
主柱						
床 はり						
2F 機械台はり						
立面ブレース						
水平ブレース						



第4.1-4表 支持架構(冬期休止側ベイ)の風力係数及び受圧面積

名称		標高 T. M. S. L. (m)	風力係数C (-)		受圧面積A (m <sup>2</sup> )	
			NS方向*1	EW方向*1	NS方向*1	EW方向*1
安全冷却水 B 冷却塔	冬期休止側ベイ					

注記 \*1: 風が作用する方向を示す

第4.1-5表 基礎ボルト(冬期運転側ベイ)の評価条件

部材	材料	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>a</sub> (本)	F (MPa)
基礎ボルト				

第4.1-6表 基礎ボルト(冬期休止側ベイ)の評価条件

部材	材料	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>a</sub> (本)	F (MPa)
基礎ボルト				

第 4.1-7 表 機器本体(冬期運転側ベイ)の評価条件

機器	部材	材料	$\beta_1$ (-)	a (mm)	t (mm)	C (-)	F (MPa)	
管束	管束フレーム							
ファン 駆動部	ファンリング							

機器	部材	材料	B (mm)	L (mm)	C (-)	$\sigma_i$ (MPa)	$P_i$ (MPa)	$P_b$ (MPa)	Z (mm <sup>3</sup> )	F (MPa)
管束	ヘッダー									

機器	部材	材料	h (mm)	m (kg)	A (m <sup>2</sup> )	C (-)	$\ell$ (mm)	n (本)	Z (mm <sup>3</sup> )	F (MPa)
ファン 駆動部	ファンリング サポート									
遮熱板	遮熱板									

第 4.1-8 表 機器取付ボルト(冬期運転側ベイ)の評価条件

機器	部材	材料	m (kg)	h (mm)	A (m <sup>2</sup> )	C (-)	取付 ボルト 配置	L (mm)	ℓ (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n (本)	n <sub>t</sub> (本)	F (MPa)
管束	管 取付ボルト												
ファン 駆動部	ファンリング サポート 取付ボルト												
遮熱板	遮熱 取付ボルト												
ルーバ	ルー 取付ボルト												

第 4.1-9 表 機器本体(冬期休止側ベイ)の評価条件

機器	部材	材料	$\beta_1$ (-)	a (mm)	t (mm)	C (-)	F (MPa)	
管束	管束フレーム							
ファン 駆動部	ファンリング							

機器	部材	材料	B (mm)	L (mm)	C (-)	$\sigma_i$ (MPa)	$P_i$ (MPa)	$P_b$ (MPa)	Z (mm <sup>3</sup> )	F (MPa)
管束	ヘッダー									

機器	部材	材料	h (mm)	m (kg)	A (m <sup>2</sup> )	C (-)	$\ell$ (mm)	n (本)	Z (mm <sup>3</sup> )	F (MPa)
ファン 駆動部	ファンリング サポート									
遮熱板	遮熱板									

第 4.1-10 表 機器取付ボルト(冬期休止側ベイ)の評価条件

機器	部材	材料	m (kg)	h (mm)	A (m <sup>2</sup> )	C (-)	取付ボルト 配置	L (mm)	ℓ (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n (本)	n <sub>t</sub> (本)	F (MPa)
管束	管 取付ボルト												
ファン 駆動部	ファンリング サポート 取付ボルト												
遮熱板	遮熱 取付ボルト												
ルーバ	ルーバ 取付ボルト												

5. 評価結果

5.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利に対する貫通限界厚さの算出結果を第 5.1-1 表に示す。

砂利に対する貫通限界厚さ (1.0mm) と管束, ファン駆動部, 支持架構及び遮熱板の板厚を第 5.1-2 表に示す。

砂利に対する貫通限界厚さは, 板厚未満であることを確認した。

第 5.1-1 表 砂利に対する貫通限界厚さの算出結果

飛来物	貫通限界厚さ Tc (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂 利	1.0	1.0

第 5.1-2 表 評価対象機器の評価結果

評価対象機器	板厚 (mm)	貫通限界厚さ Tc (mm)	結 果
管束(管束フレーム*1)		1.0	貫通しない
ファン駆動部(ファンリング*1)		1.0	貫通しない
支持架構(床はり*1)		1.0	貫通しない
遮熱板		1.0	貫通しない

注記 \* 1 : 評価対象となる部位を示す。

(2) 支持架構の構造強度評価結果

支持架構の構造強度評価結果を第 5.1-3 表に示す。

支持架構に発生する応力が許容限界を超えないことを確認した。

第 5.1-3 表 支持架構の構造強度評価結果(1/2)

名称	評価対象 部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3	
安全冷却水 B 冷却塔	冬期運 転側ベ イ	主柱	引張	-	-	-
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		床はり	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		2F機械台 はり	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		立面 ブレース	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
水平 ブレース	引張					
	圧縮					
	せん断					
	曲げ					
	組合せ(引張+曲げ)					
	組合せ(圧縮+曲げ)					

注記 \*1：組合せについては応力比を記載

\*2：組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

\*3：応力比＝発生応力／許容応力

第 5.1-3 表 支持架構の構造強度評価結果 (2/2)

名称	評価対象部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3	
安全冷却水 B 冷却塔	冬期休止側ベイ	主柱	引張	-	-	-
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		床はり	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		2F機械台はり	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
		立面ブレース	引張			
			圧縮			
			せん断			
			曲げ			
			組合せ(引張+曲げ)			
			組合せ(圧縮+曲げ)			
水平ブレース	引張					
	圧縮					
	せん断					
	曲げ					
	組合せ(引張+曲げ)					
	組合せ(圧縮+曲げ)					

注記 \*1：組合せについては応力比を記載

\*2：組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

\*3：応力比＝発生応力／許容応力



(3) 基礎ボルトの構造強度評価結果

基礎ボルトの構造強度評価結果を第 5. 1-4 表に示す。

基礎ボルトに発生する応力が許容限界を超えないことを確認した。

第 5. 1-4 表 基礎ボルトの構造強度評価結果

名称		評価対象 部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比*1
安全冷却水B 冷却塔	冬期運転側ベイ	基礎 ボルト	引張	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
			せん断			
	冬期休止側ベイ	基礎 ボルト	引張			
			せん断			

注記 \*1 : 応力比 = 発生応力 / 許容応力

(4) 機器及び機器取付ボルトの構造強度評価結果

機器及び機器取付ボルトの構造強度評価結果を第 5. 1-5 表に示す。

機器及び機器取付ボルトに発生する応力が許容限界を超えないことを確認した。

第 5.1-5 表 機器及び機器取付ボルトの構造強度評価結果

名称	機器	評価対象 部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比*1	
安全冷却水 B 冷却塔	冬期 運転側 ベイ	管束	管束フレーム	曲げ	[Redacted]	[Redacted]	
			ヘッダー	組合せ			
			管束取付ボルト	引張 せん断			
		ファン 駆動部	ファンリング	曲げ			
			ファンリングサポート	曲げ			
			ファンリング サポート取付ボルト	引張 せん断			
		遮熱板	遮熱板	曲げ			
			遮熱板取付ボルト	引張 せん断			
		ルーバ	ルーバ取付ボルト	引張 せん断			
				引張 せん断			
		冬期 休止側 ベイ	管束	管束フレーム			曲げ
				ヘッダー			組合せ
	管束取付ボルト			引張 せん断			
	ファン 駆動部		ファンリング	曲げ			
			ファンリングサポート	曲げ			
			ファンリング サポート取付ボルト	引張 せん断			
	遮熱板		遮熱板	曲げ			
			遮熱板取付ボルト	引張 せん断			
	ルーバ		ルーバ取付ボルト	引張 せん断			
				引張 せん断			

注記 \*1 : 応力比 = 発生応力 / 許容応力

## (2) 安全冷却水系の配管の強度計算書

## (2)-1 安全冷却水 B 冷却塔の配管 の強度計算書

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 基本方針 .....	2
2.1 位置 .....	2
2.2 構造概要 .....	2
2.3 評価方針 .....	3
2.4 準拠規格 .....	5
3. 強度評価方法 .....	6
3.1 評価対象部位の選定 .....	6
3.2 記号の定義 .....	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ .....	8
3.3.1 荷重の設定 .....	8
3.3.2 荷重の組合せ .....	9
3.4 許容限界 .....	10
3.5 評価方法 .....	11
4. 評価条件 .....	14
5. 評価結果 .....	16

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外の竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔まわり配管が、設計荷重(竜巻)に対して、竜巻防護対象施設の安全機能を損なわないよう、構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

配管について、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 構造強度の評価方針」に示す構造計画を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 準拠規格」を示す。

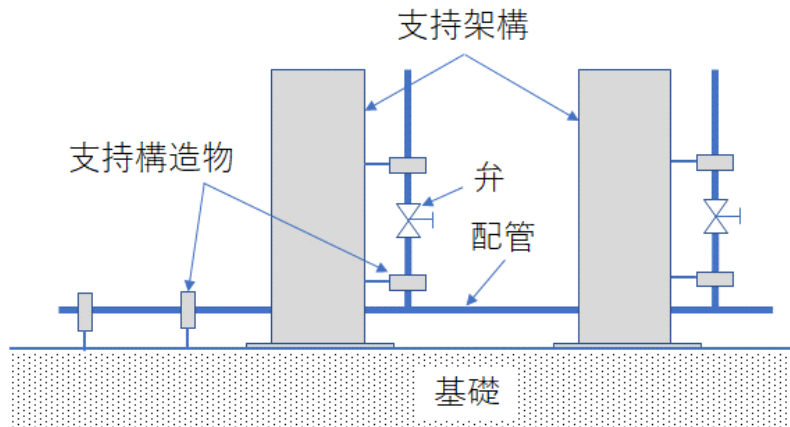
### 2.1 位置

配管の配置を以下に示す。

- (1) 安全冷却水 B 冷却塔まわり配管(安全冷却水 B 冷却塔～安全冷却水 B 冷却塔供給配管合流点, 安全冷却水 B 冷却塔戻り配管分岐点～安全冷却水 B 冷却塔)は, 安全冷却水 B 冷却塔周辺に設置する。

### 2.2 構造概要

配管は, 鋼管及び鋳鍛鋼材の弁で構成され, 支持構造物により基礎又は壁若しくは支持架構から支持する構造となる。配管の概要図を第 2.2-1 図に示す。



第 2.2-1 図 配管の概要図

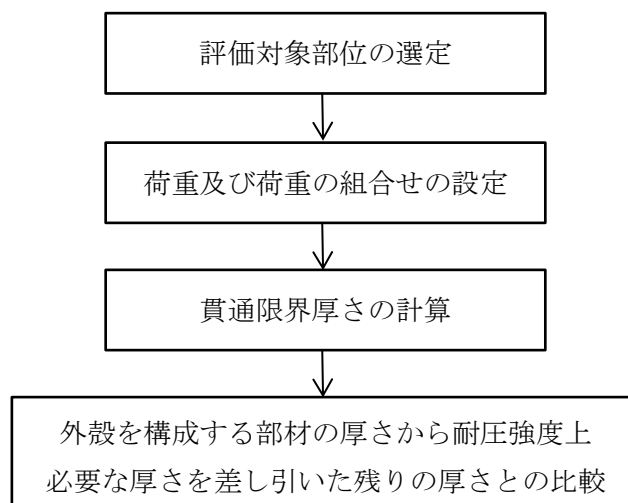
## 2.3 評価方針

配管の構造強度評価は、評価対象部位に発生する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

### (1) 衝突評価の評価方針

配管の衝突評価フローを第 2.3-1 図に示す。衝突評価においては、防護ネットを通過する飛来物である砂利による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さ\*を差し引いた残りの厚さが貫通限界厚さ以上となることをもって、その施設の安全機能に影響を及ぼさないことを確認する。衝突評価では、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価の評価式を用いる。配管の衝突評価における許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

※ 耐圧強度上必要な厚さとは、最高使用圧力等使用環境から要求される厚さであり、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」(社)日本機械学会(以下、「JSME」という。)に基づき算出される。



第 2.3-1 図 配管の衝突評価フロー

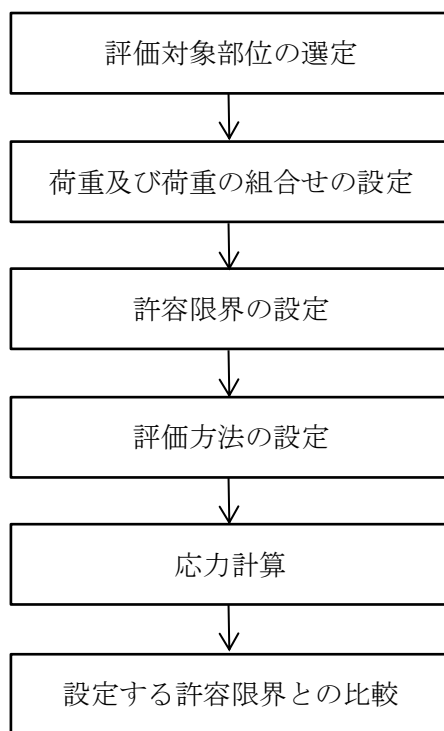


(2) 構造強度評価の評価方針

配管の構造強度評価フローを第 2.3-2 図に示す。

構造強度評価においては、配管に対して、設計荷重(竜巻)により作用する応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価においては、標準支持間隔を用いて評価を行い、それ以下の支持間隔を持つ箇所の評価を包絡させる。

配管の構造強度評価における許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601-補1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下、「JEAG4601」という。)に準じて許容応力状態 III<sub>A</sub>S とする。



第 2.3-2 図 配管の強度評価フロー

## 2.4 準拠規格

準拠する規格，規準等を以下に示す。

- タービンミサイル評価について(昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007(社)日本機械学会
- 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984(社)日本電気協会
- 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987(社)日本電気協会
- 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(社)日本電気協会
- 建築物荷重指針・同解説(社)日本建築学会(2004)
- 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド(原規技発第 1909069 号)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位の選定

##### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、配管に飛来物による衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として設定する。弁を設置している箇所においては、弁の板厚は配管の板厚に比べ厚く、配管の評価に包絡されるため、配管のみを評価対象とする。

##### (2) 構造強度評価の評価対象部位

設計荷重(竜巻)は、鋼管に作用する。弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく、配管の評価に包絡されることから、配管のみを評価対象とする。支持構造物については、建屋内外に関らず地震に対して耐荷重設計がなされており、建屋外部に設計竜巻の風圧力による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であるため、設計竜巻の風圧力による荷重に対する支持構造物の評価は耐震評価に包絡されることから、評価対象外とする。

#### 3.2 記号の定義

##### (1) 衝突評価の記号の定義

配管の衝突評価に用いる記号を第 3.2-1 表に示す。

第 3.2-1 表 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
T <sub>c</sub>	mm	BRL 式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価の記号の定期

配管の構造強度評価に用いる記号を第 3.2-2 表に示す。

第 3.2-2 表 配管の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup> /mm	単位長さ当たりの施設の受圧面積(風向に垂直な面に投影した面積)
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	mm	支持間隔
M	N・mm	風により作用する曲げモーメント
m	kg/mm	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
Sy	MPa	JSME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の最大風速
V <sub>T</sub>	m/s	設計竜巻の移動速度
V <sub>Rm</sub>	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W <sub>w</sub>	N/mm	単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/mm	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
ΔP <sub>max</sub>	MPa	設計竜巻の最大気圧低下量
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
W <sub>M</sub>	N	飛来物による衝撃荷重
σ <sub>1</sub> , σ <sub>2</sub>	MPa	配管に生じる応力
σ <sub>WP</sub>	MPa	気圧差により生じる応力
σ <sub>WT1</sub> , σ <sub>WT2</sub>	MPa	複合荷重により生じる応力
σ <sub>WW</sub>	MPa	風圧力により生じる応力
σ <sub>自重</sub>	MPa	自重により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	MPa	内圧により生じる応力

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

#### 3.3.1 荷重の設定

##### (1) 衝突評価の荷重

衝突評価においては考慮する飛来物として防護ネット(ネットの網目寸法 40mm)をすり抜ける砂利を設定し、砂利による衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を第 3.3.1-1 表に示す。

第 3.3.1-1 表 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.05	1.0	0.18	62	42

##### (2) 構造強度評価の荷重

構造強度評価に用いる荷重を以下の a. ~d. に示す。

また、荷重の算定に用いる竜巻の特性値を第 3.3.1-2 表に示す。

第 3.3.1-2 表 竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P_{max}$ (MPa)
100	15	85	0.0089

##### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

b. 設計竜巻荷重

「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」に従い、設計竜巻の風圧力による荷重を考慮する。

(a) 風圧力による荷重

風圧力による荷重は、下式により算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$q = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2$$

(b) 気圧差による荷重

気圧差による荷重を考慮する。

(c) 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

本設備は、竜巻防護対策設備を設置することで、設計飛来物が衝突しないことから、 $W_M=0$  とする。

c. 運転時荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

d. 積雪荷重

配管は、構造上、積雪しにくい構造であることから、0 とする。

3.3.2 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、評価対象部位ごとに設定する。配管の構造強度評価に用いる荷重の組合せを第 3.3.2-1 表に示す。

第 3.3.2-1 表 荷重の組合せ

名称	評価部位	考慮する荷重
配管	配管本体	・ 常時作用する荷重 ・ 風圧力による荷重 ・ 気圧差による荷重 ・ 運転時荷重

### 3.4 許容限界

配管の許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえ、「3.1 評価対象部位の選定」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、JEAG4601 に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

#### (1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが配管の外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

配管における耐圧強度上必要な厚さについて平成7年7月22日付け7安(核規)第710号にて認可を受けた設工認申請書の「V-1 主要な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する設計の基本方針」の別添-6 図-37 の値を用いる。配管の外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを第3.4-1表に示す。

第3.4-1表 配管の外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

竜巻防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	耐圧強度上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
安全冷却水 B 冷却塔まわり配管(安全冷却水 B 冷却塔～安全冷却水 B 冷却塔供給配管合流点, 安全冷却水 B 冷却塔戻り配管分岐点～安全冷却水 B 冷却塔)			

(2) 構造強度評価の許容限界

配管の許容限界は、JEAG4601を準用し、「クラス2・クラス3配管」の許容限界を適用し、許容応力Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力を許容限界とする。



配管の構造強度評価における許容限界を第3.4-2表に示す。

第3.4-2表 配管の構造強度評価における許容限界

状 態	許容限界
	一次応力(膜+曲げ)
許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S	Sy

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

衝突評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が竜巻防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下、「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する実験データ数不確かさを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

したがって、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さは、以下の式により算出する。

$$T_c = T / 0.97$$

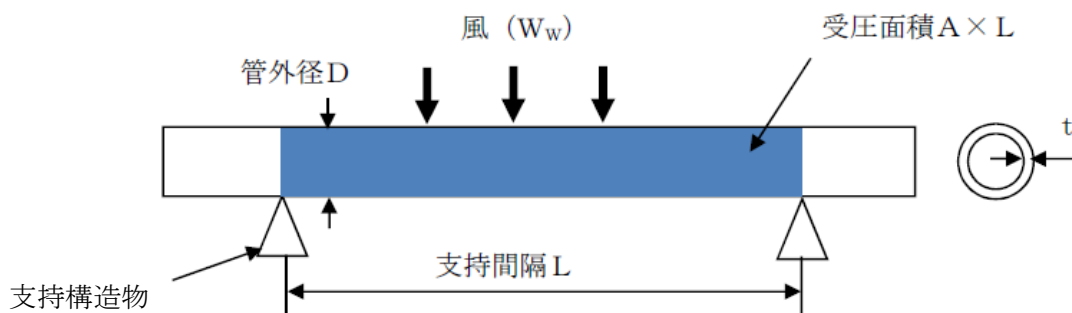


(2) 構造強度評価の評価方法

a. 計算モデル

配管は一定間隔ごとに支持構造物によって支えられているため、風圧力による荷重を一律に受ける単純支持はりとして評価を行う。評価に用いる支持間隔は標準支持間隔を用いる。弁を設置している場合は支持構造物の支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は標準支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を第 3.5-1 図に示す。



第 3.5-1 図 配管モデル図

b. 計算方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持間隔に等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{WW} = \frac{M}{Z} = \frac{W_W \cdot L^2}{8Z}$$

ここで、断面係数  $Z$  は以下の式により算定する。

$$Z = \frac{\pi}{32D} \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P_{max} \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 $\sigma_{WT1}$ 及び $\sigma_{WT2}$ は以下の式により算出する。

$$\begin{aligned}\sigma_{WT1} &= \sigma_{WP} \\ \sigma_{WT2} &= \sigma_{WW} + 0.5\sigma_{WP}\end{aligned}$$

(b) 組合せ応力

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する荷重である自重及び運転時荷重である内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により $\sigma_1$ 及び $\sigma_2$ を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

配管の構造強度評価に用いる評価条件を第 4-1 表及び第 4-2 表に示す。

第 4-1 表 構造強度評価に用いる評価条件

評価対象配管	管外径 D* <sup>1</sup> (mm)	材 料	温度条件 (°C)	Sy* <sup>3</sup> (MPa)	支持間隔 L* <sup>1</sup> (mm)	板 厚 t* <sup>1</sup> (mm)	質量 m (kg/mm)	受圧面積 A (m <sup>2</sup> /mm)	内 圧 P (MPa)
安全冷却水 B 冷却 塔まわり配管 (安全冷却水 B 冷 却塔～安全冷却水 B 冷却塔供給配管 合流点, 安全冷却 水 B 冷却塔戻り配 管分岐点～安全冷 却水 B 冷却塔)									

注記 \* 1 : 評価に用いる寸法は, 公称値を使用する。

\* 2 : 最高使用温度

\* 3 : JSME

第 4-2 表 構造強度評価に用いる評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	$\Delta P_{\max}$ (MPa)	G (-)	C (-)	g (m/s <sup>2</sup> )	W <sub>M</sub> (N)
6, 100	0. 0089	1. 0	1. 2	9. 80665	0

5. 評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利に対する貫通限界厚さの評価結果を第 5-1 表に示す。

第 5-1 表 砂利に対する貫通限界厚さの評価結果

飛来物	貫通限界厚さ Tc (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂 利	1.0	1.0

砂利に対する貫通限界厚さ(1.0mm)と配管の外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を第 5-2 表に示す。

第 5-2 表 配管の外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較結果

名称	外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ Tc (mm)	結 果
安全冷却水 B 冷却塔まわり配管 (安全冷却水 B 冷却塔～安全冷却水 B 冷却塔供給配管合流点, 安全冷却水 B 冷却塔戻り配管分岐点～安全冷却水 B 冷却塔)		1.0	貫通しない

砂利に対する貫通限界厚さは、外殻を構成する部材の厚さから耐圧強度上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。また、弁の板厚は配管に比べ厚いため、配管の評価に包絡される。

(2) 配管の構造強度評価結果

竜巻発生時の構造強度評価結果を第 5-3 表に示す。

第 5-3 表 配管の構造強度評価結果

名称	管外径 D (mm)	a 許容応力 (MPa)	b $\sigma_1$ (MPa)	応力比 (b/a)	c $\sigma_2$ (MPa)	応力比 (c/a)
安全冷却水 B 冷却塔まわり配管 (安全冷却水 B 冷却塔～安全冷却 水 B 冷却塔供給配管合流点, 安 全冷却水 B 冷却塔戻り配管分岐 点～安全冷却水 B 冷却塔)						

配管に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

VI-1-1-1-2-4-2-2  
竜巻防護対策設備の強度計算書

VI-1-1-1-2-4-2-2-  
-1

飛来物防護ネットの強度計算書



(1) 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B）  
の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.3.1 防護ネットの評価方針	7
2.3.2 防護板(鋼材)の評価方針	11
2.3.3 支持架構の評価方針	12
2.4 準拠規格	13
3. 構造強度評価方法	14
3.1 構造強度評価の評価対象部位選定方針	14
3.1.1 防護ネットの評価対象部位	14
3.1.2 防護板(鋼材)の評価対象部位	22
3.1.3 支持架構の評価対象部位	23
3.2 記号の定義	25
3.3 荷重及び荷重の組合せ	32
3.4 許容限界	42
3.5 評価方法	52
3.5.1 防護ネットの評価方法	52
3.5.2 防護板(鋼材)の評価方法	67
3.5.3 支持架構の評価方法	73
4. 評価条件	77
4.1 荷重条件	77
4.2 防護ネットの評価条件	78
4.3 防護板(鋼材)の評価条件	90
4.4 支持架構の評価条件	94
5. 評価結果	96
5.1 防護ネットの強度評価結果	96
5.2 防護板(鋼材)の強度評価結果	119
5.3 支持架構の強度評価結果	120

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻防護対策設備である飛来物防護ネットが、竜巻襲来時及び竜巻通過後においても、竜巻防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある設計飛来物が竜巻防護対象施設へ衝突することを防止し、また、波及的影響による機能を損なわないことを確認するために、以下を計算により確認するものである。

- ・防護ネットは設計飛来物を捕捉し、構成する主要な部材が破断しないこと。また、ネットにたわみが生じても、設計飛来物は竜巻防護対象施設に衝突しないこと。
- ・防護板(鋼材)は、飛来物を貫通させず、また脱落による波及的影響を与えないこと。
- ・支持架構は脱落、倒壊及び転倒により竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないこと。

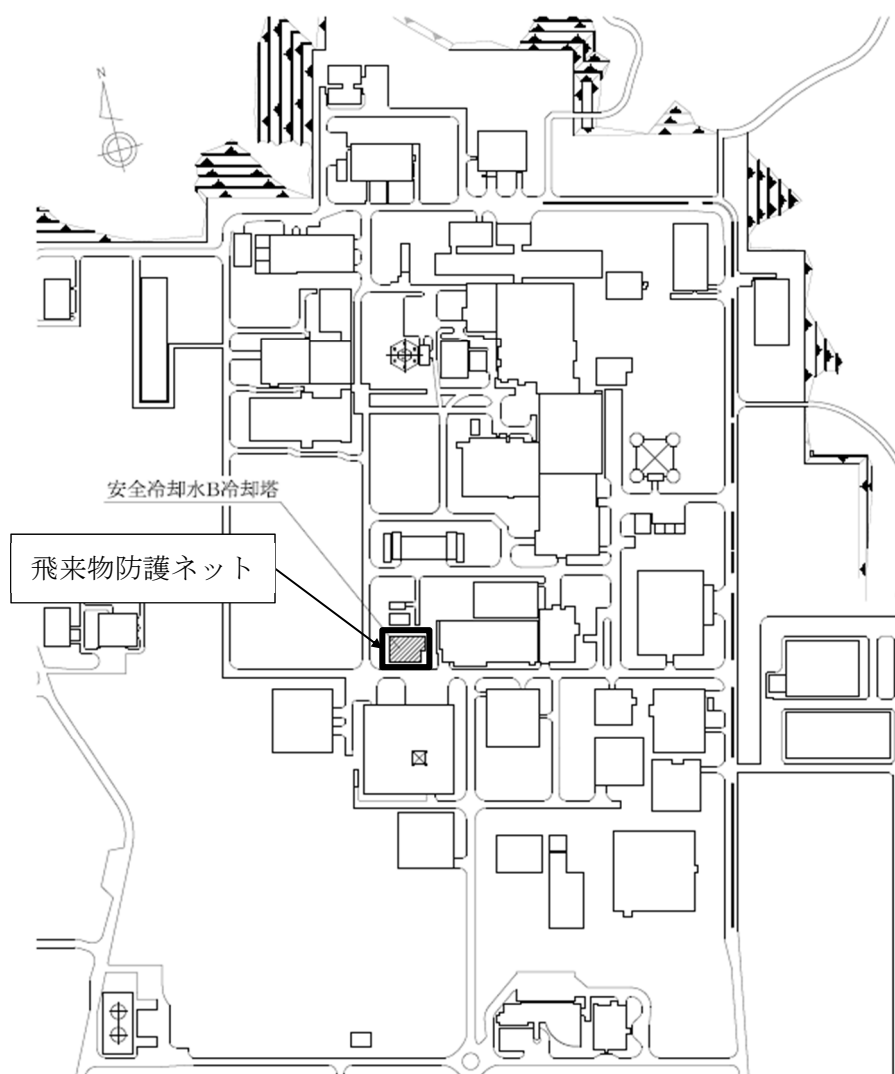
## 2. 基本方針

飛来物防護ネットは、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」を踏まえ、「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」を設定している。

### 2.1 位置

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の設置位置は、竜巻防護対象施設である安全冷却水B冷却塔の周囲に設置している。

飛来物防護ネットの配置図を第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 飛来物防護ネットの配置図

## 2.2 構造概要

飛来物防護ネットの構造は「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.4 構造設計」を踏まえて設計し、防護ネット、防護板(鋼材)及び支持架構を組み合わせて、竜巻防護対象施設の周囲に設置する。

飛来物防護ネットを構成する部材を第2.2-1表に示す。

第2.2-1表 飛来物防護ネットの構成部材

名称	構成部材			
	防護ネット		防護板 (鋼材)	支持架構
	支持架構に 直接設置	鋼製枠		
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	○	○	○	○

○：使用している部材，－：使用していない部材

### (1) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造概要

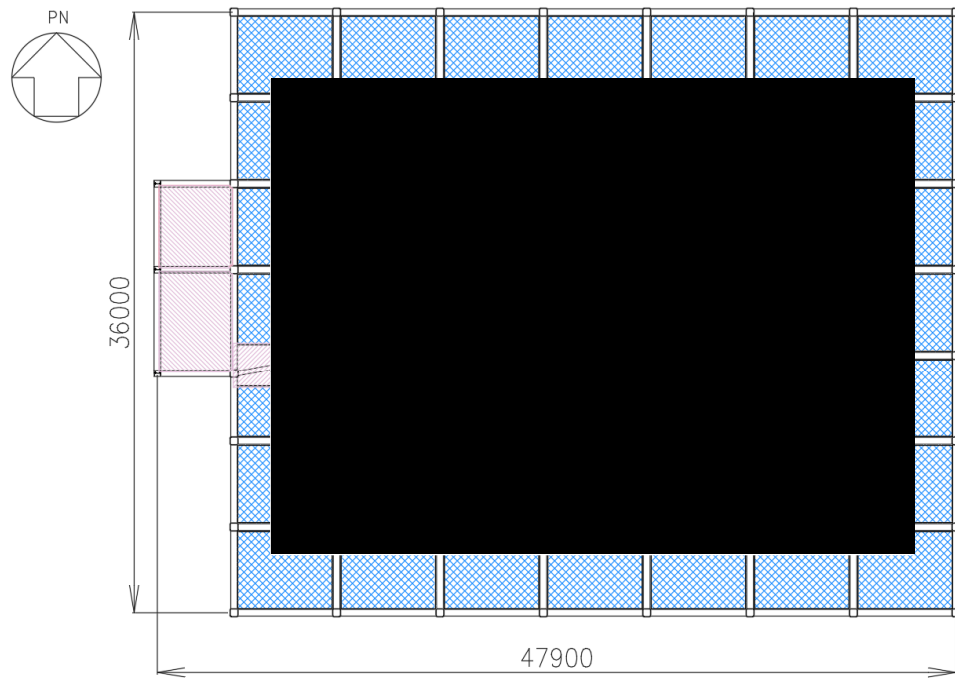
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の防護ネットは、支持架構に直接設置する防護ネット(以下、「防護ネット(支持架構に直接設置)」という。)及び電中研報告書と同一構造の防護ネット(以下、「防護ネット(鋼製枠)」という。)の2種類が存在する。

また、離隔距離が確保できない箇所やネットの変形を阻害するブレース材等が存在する箇所には防護板(鋼材)を設置する。

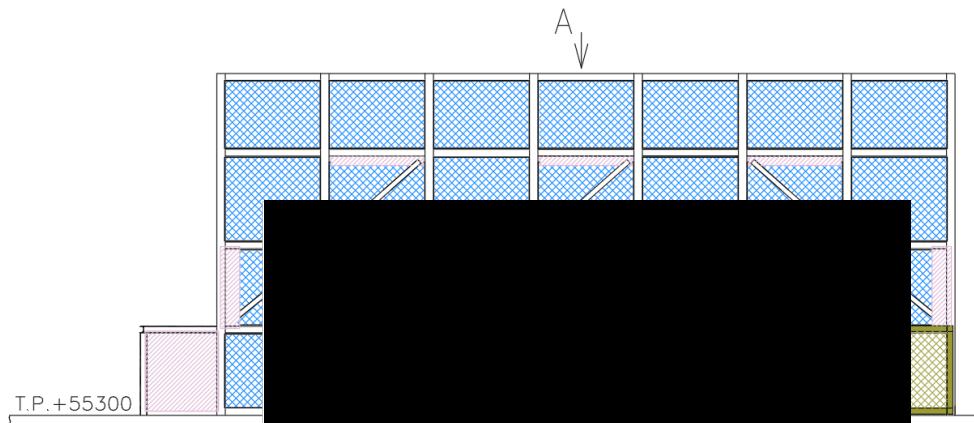
支持架構は、柱、はり及びブレースによって構成されるラーメン・トラス構造であり、溶接又はボルトにより接合される鉄骨構造物である。

また、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は杭基礎を介して支持地盤である鷹架層に支持される構造としている。

構成部材は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「3. 竜巻防護対策設備の構成要素の設計方針」に基づき設計し、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の平面図・側面図を第2.2-1図に示す。また、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の支持架構概要図を第2.2-2図に示す。



A視 (T.P.+75600)

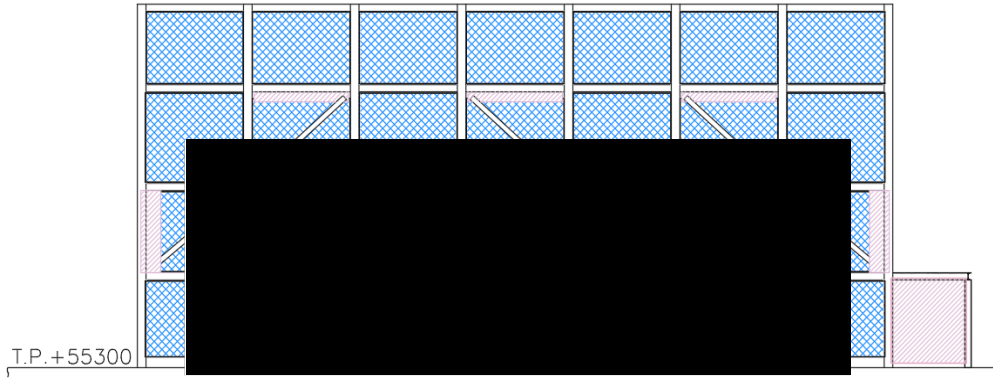


南面

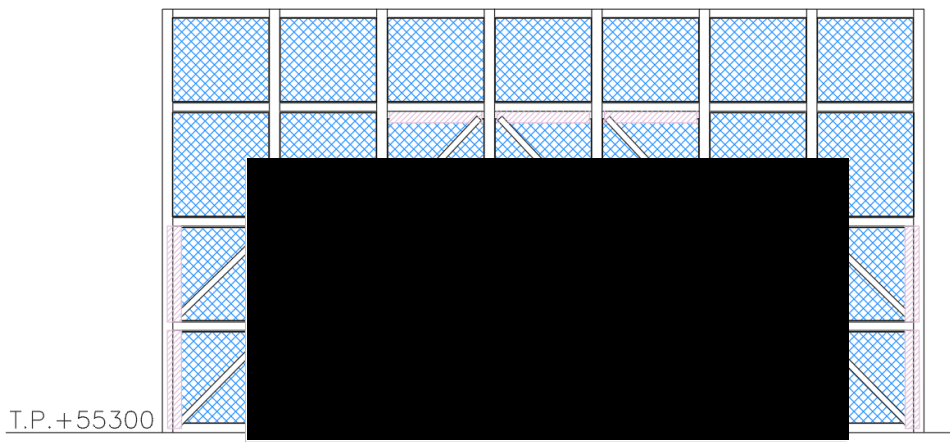
【凡例】

: 防護ネット (支持架構に直接設置)
  : 防護ネット (鋼製枠)
  : 防護板

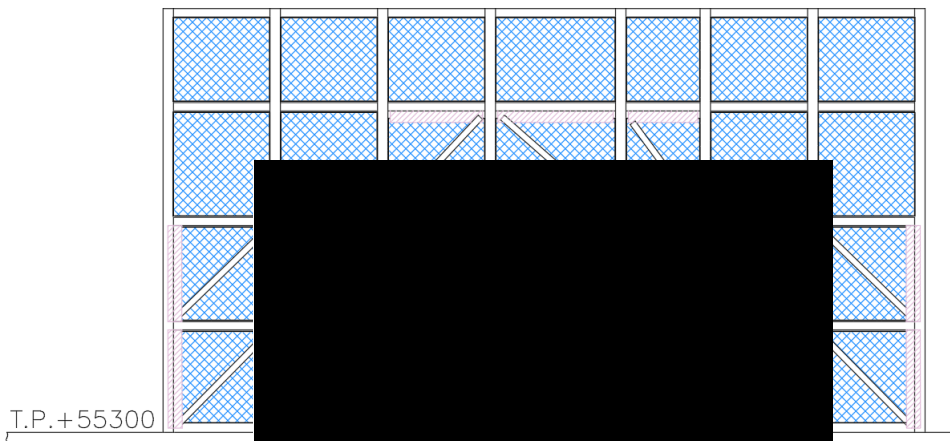
第2.2-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の  
平面図・側面図(単位: mm) (1/2)



北面



東面

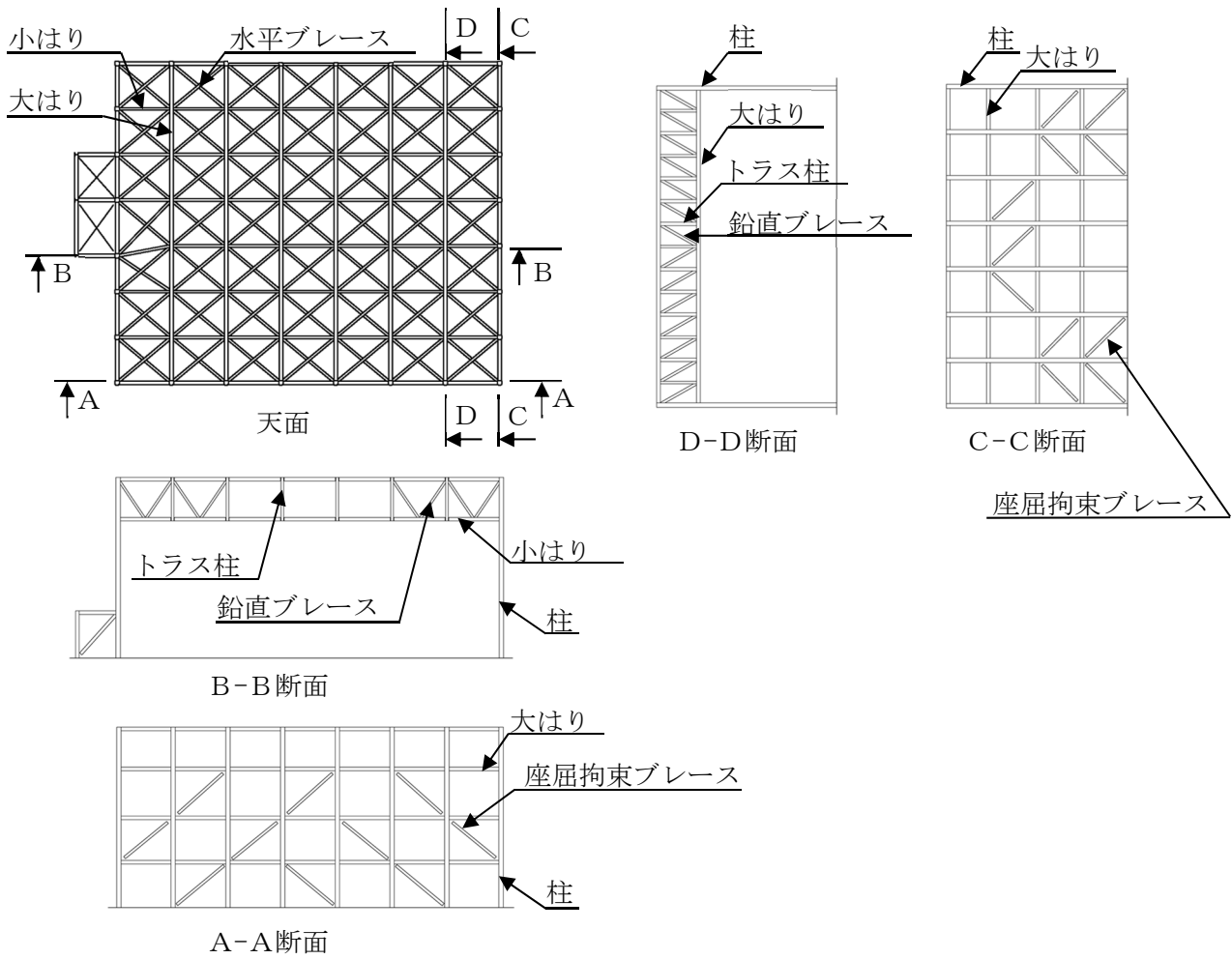


西面

【凡例】

: 防護ネット(支持架構に直接設置)
  : 防護ネット(鋼製枠)
  : 防護板

第2.2-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の  
 平面図・側面図(単位: mm) (2/2)



第2.2-2図 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）  
の支持架構概要図



## 2.3 評価方針

飛来物防護ネットの構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」, 「4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針」及び「5. 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、飛来物防護ネットの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 構造強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

### 2.3.1 防護ネットの評価方針

防護ネットの構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「4.1 防護ネットの評価方針」に基づき、以下を評価する。

防護ネットの評価における配慮事項を第2.3.1-1表に示す。

## (1) 構造強度評価

設計荷重(竜巻)に対し、主要な部材が破断しないために、防護ネットのうちネット、ワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)、接続部に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

ネットについては、設計荷重(竜巻)が作用する場合に、ネット全体でエネルギーを吸収することから、ネットの吸収エネルギーを評価する。評価方法としては、電中研報告書において、ネットへの適用性が確認されている評価式(以下、「電中研評価式」という。)を用いて評価する<sup>(注)</sup>。また、飛来物の衝突により破断が生じないことを確認するために、ネットに作用する引張荷重を、電中研評価式を参照して評価する。さらに、ネットが機能を発揮できるように、ネットに作用する荷重がワイヤロープ、接続治具(支持部及び固定部)及び接続部に伝達された際、その荷重により発生する荷重並びに応力が、各部材の許容値以下であることを確認する。

防護ネット(支持架構に直接設置)においては、補助防護板に飛来物が衝突したとしても、貫通しない厚さを有していること及び竜巻防護対象施設に衝突するおそれのある補助防護板が脱落しないことを確認する。

(注)：防護ネット(支持架構に直接設置)は、電中研報告書にて検証された防護ネット構造と違いがあるものの、電中研評価手法を適用するための構造上の要求を満足していることから、電中研評価式が適用可能であることを確認している。

### a. ネットの吸収エネルギー評価

ネットの吸収エネルギー評価においては、ネットの目合の方向に従ってネット剛性を設定し、ネットのエネルギー吸収に有効な面積を考慮し、ネットの有効面積を設定し評価を実施する。また、ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

b. ネット，ワイヤロープ，接続治具(支持部及び固定部)及び接続部の破断評価

ネット，ワイヤロープ，接続治具，及び接続部の破断評価においては，飛来物の衝突位置として，中央位置からずれた(以下，「オフセット」という。)衝突についても考慮する。具体的には，電中研評価式では飛来物がネット中央位置に衝突する場合についてのみ評価を実施しているため，オフセット位置に衝突する場合の評価においては，中央位置に衝突する場合とオフセット位置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。また，ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して，評価を実施する。

接続部の破断評価においては，緩衝装置を有する保持管によるワイヤロープ張力の急激な増加を抑制する効果が得られないため，動的応答倍率の影響を考慮して評価を実施する。

c. 補助防護板

補助防護板は，ネットと支持架構の隙間から侵入する飛来物を貫通させない厚さを有する設計とすることから，「2.3.2 防護板(鋼材)の評価方針」の評価方針に基づき，必要最小厚さを上回っていること及び補助防護板の取付部が破断しないことを確認する。

なお，設計においては，ネットと支持架構の隙間から侵入してくる飛来物の設定が困難であることから，保守的に設計飛来物を用いて必要厚さを設計する。

## (2) たわみ評価

設計荷重(竜巻)に対し、飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために、防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみが生じても、飛来物が竜巻防護対象施設と衝突しないよう竜巻防護対象施設との離隔距離を確保できることを計算により確認する。

防護ネットは、設計荷重(竜巻)がネットに作用する場合に、ネットがたわむことでエネルギーを吸収することから、ネット及びワイヤロープにたわみが生じても、ネットと竜巻防護対象施設が衝突しないことを確認する。この際、ネットとワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては、電中研評価式を用いて評価する<sup>(注)</sup>。

評価の条件についても、構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置、ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して評価を実施する。

(注)：防護ネット(支持架構に直接設置)は、電中研報告書にて検証された防護ネット構造と違いがあるものの、電中研評価手法を適用するための構造上の要求を満足していることから、電中研評価式が適用可能であることを確認している。

第2.3.1-1表 ネット評価の考慮事項の選定

	吸収エネルギー評価	破断評価	たわみ評価
算出方法	飛来物による衝撃荷重のエネルギーと自重、積雪荷重及び風圧力による荷重から生じるエネルギーを算出し、ネットに生じるエネルギーの総量を算出。	設計荷重(竜巻)に対し、ネットの引張荷重、ワイヤロープの張力、接続治具(支持部及び固定部)、接続部に発生する荷重及び応力を算出。	自重、積雪荷重、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネット及びワイヤロープに生じるたわみ量を算出。
衝突位置	オフセット位置での衝突時のネットの吸収エネルギーは中央衝突時と同等であることから、オフセットによる影響は考慮不要。	オフセット位置での衝突時の飛来物による衝撃荷重が中央衝突時より増加することを算出荷重に考慮する。	ネットのたわみ量が最大となる中央位置への衝突時のたわみ量を算出。
ネット剛性	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数を限界吸収エネルギーに考慮する。	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数をネットの許容引張荷重に考慮する。	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数を飛来物による衝突によりネット本体に生じるたわみ量に考慮する。
動的応答倍率	吸収エネルギー評価において考慮不要。	緩衝装置を有する保持管による効果を得られない接続部の荷重に考慮する。	たわみ評価において考慮不要。

### 2.3.2 防護板(鋼材)の評価方針

防護板(鋼材)の構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 防護板(鋼材)の評価方針」に基づき、以下を評価する。

#### (1) 貫通評価

設計荷重(竜巻)に対し、設計飛来物が防護板(鋼材)を貫通しない設計とするために、防護板(鋼材)が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

(2) 波及的影響評価

設計飛来物による衝撃荷重に対し、防護板(鋼材)が脱落しないことを、FEM解析を用いて確認する。

2.3.3 支持架構の評価方針

支持架構の構造強度評価は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「4.3 支持架構の評価方針」に基づき、以下を評価する。

(1) 貫通評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構を構成する部材が飛来物を貫通させないために、支持架構部材が破断に至るようなひずみを生じないことをFEM解析により確認する。

(2) 波及的影響評価

設計荷重(竜巻)に対し、竜巻防護対策設備の支持架構が脱落、倒壊及び転倒により、竜巻防護対象施設に波及的影響を与えないことをFEM解析により確認する。

a. 脱落評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構の接続部は十分な強度を有し、部材の脱落を生じさせないために、接続部が破断に至るようなひずみを生じないことをFEM解析により確認する

b. 倒壊評価

「(1) 貫通評価」において、部材の貫通若しくは大変形が確認された場合、支持架構は、当該部位を欠損した状態で構造健全性が維持されていることをFEM解析により確認する。

c. 転倒評価

設計荷重(竜巻)に対し、支持架構の柱脚部は十分な強度が確保されていることをFEM解析により確認する。

## 2.4 準拠規格

準拠する規格，基準，指針等を以下に示す。

- 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会，2005) (以下，「鋼構造設計規準」という。)
- 日本産業規格(JIS)
- 小規模吊橋指針・同解説((社)日本道路協会)
- タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会)
- ISES7607-3 昭和50年度日本原子力研究所委託調査「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」(昭和51年10月 高温構造安全技術研究組合)
- 発電用原子力設備規格 竜巻飛来物の衝撃荷重による構造物の構造健全性評価手法ガイドライン JSME S NS6-2019 2019年6月((社)日本機械学会)
- 「Eの数値を算出する方法並びに $V_0$ 及び風力係数の数値」(平成12年5月31日，建設省告示第1454号)
- NEI07-13 Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs April 2011(以下，「NEI07-13」という。)
- 鋼構造限界状態設計指針・同解説(2010)((社)日本建築学会)
- 「動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物の脆性破壊性能評価方法，WES2808:2003(社)日本溶接協会

### 3. 構造強度評価方法

#### 3.1 構造強度評価の評価対象部位選定方針

飛来物防護ネットの評価対象部位は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.4 構造設計」及び「4. 竜巻防護対策設備の構成要素の評価方針」にて設定している構造に基づき、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。評価対象部位の選定においては、設計荷重(竜巻)を伝達する全ての部位を抽出し、その中で構造強度評価上、厳しい部位を選定する。

##### 3.1.1 防護ネットの評価対象部位

###### (1) 防護ネット(支持架構に直接設置)

###### a. ネット

設計飛来物は、ネットに直接衝突する。このため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、ネットとする。

評価対象部位について第3.1.1-1図に示す。

###### b. ワイヤロープ

ワイヤロープはネットを支持する部材であり、ネットに作用した荷重は、ワイヤロープに作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、ワイヤロープとする。

ワイヤグリップは、ワイヤロープの一部としてワイヤグリップ効率を考慮する。評価対象部位について第3.1.1-1図に示す。

###### c. 接続治具(支持部)

接続治具(支持部)は、ワイヤロープを支持する部材であり、ネットに作用した荷重は、ワイヤロープを介して接続治具(支持部)に作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、接続治具(支持部)のシャックル及びターンバックルとする。

保持管は固定部がなく、ワイヤロープから受ける荷重によりスライドし、隅角部固定ボルトに荷重を伝えることから、評価対象外とする。

評価対象部位について第3.1.1-1図に示す。

###### d. 接続治具(固定部)

接続治具(固定部)は、保持管を固定する隅角部固定ボルト及び接続治具(支持部)を固定する取付プレートであり、ワイヤロープからの荷重が作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、接続治具(固定部)の隅角部固定ボルト及び取付プレートとする。



取付プレートと支持架構の溶接部は、プレート本体と同じ荷重を受ける部材であり、プレート本体の評価結果に包絡されることから、評価対象外とする。ネット取付金物は、同じ荷重を受ける部位のうち、押さえボルト及び取付ボルトの評価に包絡されることから、評価対象外とする。取付金物タッププレート溶接部は、同じ荷重を受ける部位のうち、取付ボルトの評価に包絡されることから、評価対象外とする。

評価対象部位について第3.1.1-1図、第3.1.1-3図及び第3.1.1-4図に示す。

e. 接続部

接続部は、防護ネットと支持架構を接続する部位であり、防護ネットが受ける荷重を支持架構に伝える部位であるため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、接続部の押さえボルト及び取付ボルトとする。

押さえボルト取付座及び溶接部は、ボルトと同じ荷重を受ける部材であり、ボルトの評価結果に包絡されることから、評価対象外とする。

評価対象部位について第3.1.1-1図及び第3.1.1-5図に示す。

f. 補助防護板

補助防護板は、ネットと支持架構の隙間が設計上通過を許容する飛来物以下のサイズにするための部材であり、隙間より侵入してきた飛来物は鋼板に直接衝突するため、貫通評価においては、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、鋼板とする。

評価対象部位について第3.1.1-6図に示す。

なお、波及的影響評価においては、ネットの前に設置されている補助防護板は、脱落したとしても、ネットに捕捉されることから評価対象外とする。また、ネットの後ろに設置されている補助防護板は、モーメントアームの長さが約200mmであるのに対して、評価対象である防護板(鋼材)のモーメントアームの長さは830mmであり、補助防護板に比べて防護板(鋼材)の方が約4倍モーメントアームが大きいことから、防護板(鋼材)の評価結果に包絡されるため、評価対象外とする。

(2) 防護ネット（鋼製枠）

a. ネット

設計飛来物は、ネットに直接衝突する。このため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、ネットとする。

評価対象部位について第3.1.1-2図に示す。

b. ワイヤロープ

ワイヤロープはネットを支持する部材であり、ネットに作用した荷重は、ワイヤロープに作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、ワイヤロープとする。

ワイヤグリップは、ワイヤロープの一部としてワイヤグリップ効率を考慮する。  
評価対象部位について第3.1.1-2図に示す。

c. 接続治具(支持部)

接続治具(支持部)は、ワイヤロープを支持する部材であり、ネットに作用した荷重は、ワイヤロープを介して接続治具(支持部)に作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、接続治具(支持部)のシャックル及びターンバックルとする。

保持管は固定部がなく、ワイヤロープから受ける荷重によりスライドし、隅角部固定ボルトに荷重を伝えることから、評価対象外とする。

評価対象部位を第3.1.1-2図に示す。

d. 接続治具(固定部)

接続治具(固定部)は、保持管を固定する隅角部固定ボルト及び接続治具(支持部)を固定する取付プレートであり、ワイヤロープからの荷重が作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、接続治具(固定部)の隅角部固定ボルト及び取付プレート本体及び溶接部とする。

評価対象部位について第3.1.1-2図、第3.1.1-3図及び第3.1.1-4図に示す。

e. トロリ、ガイドレール及び固定ピン

トロリ及びガイドレールは、防護ネット（鋼製枠）を開閉するための部材であり、破損しても、防護ネットは支持架構の支柱スパンよりも大きいため、内部に転倒することはない。また、竜巻防護対象施設へ影響は与えないことから、評価対象外とする。

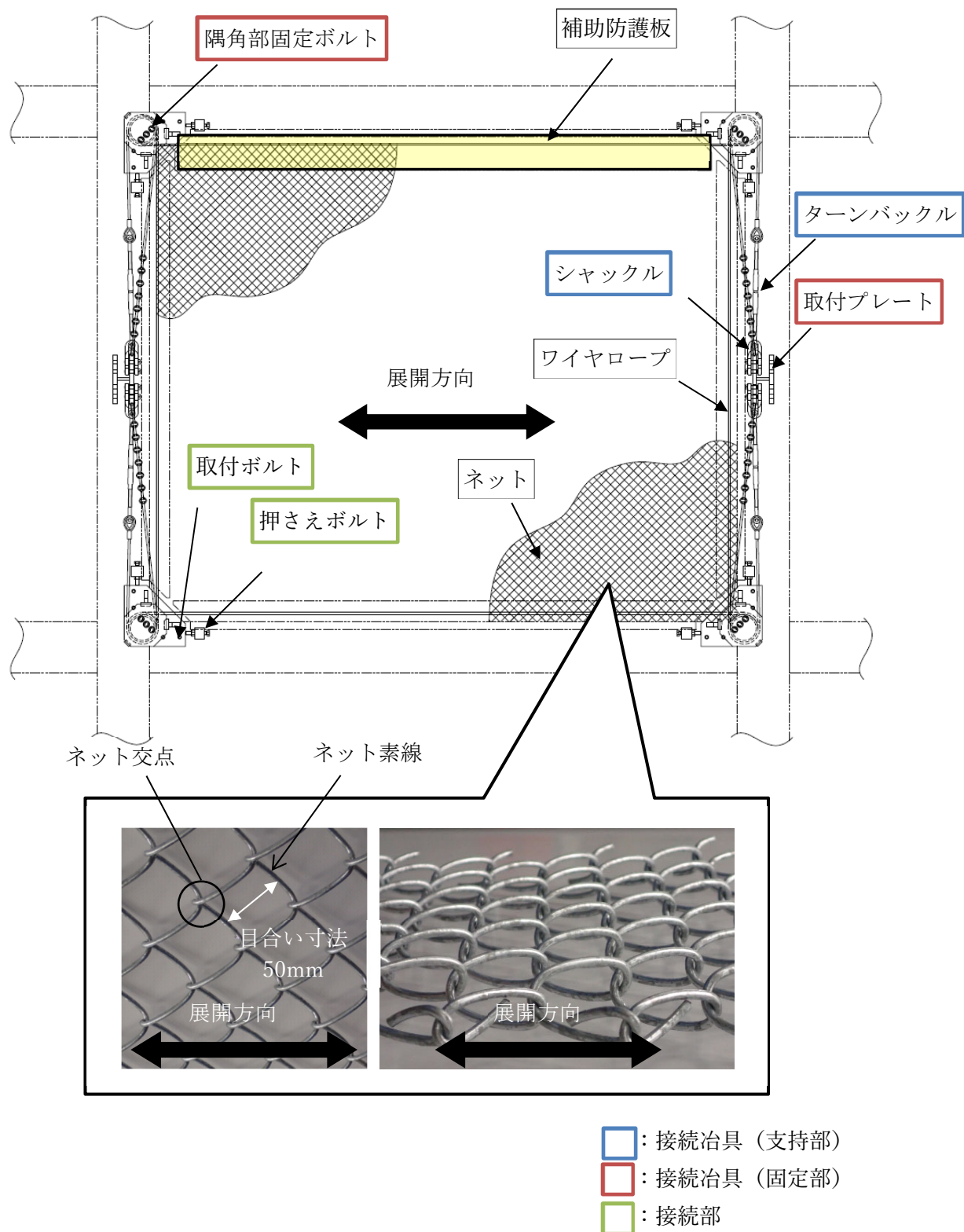
固定ピンは、防護ネット（鋼製枠）が開かないよう固定するための部材であり、ネットに作用した荷重は防護ネット（鋼製枠）を介して支持架構に伝達し、固定ピンには作用しない。また、風圧力による荷重が側面に作用したとしても、防護ネット（鋼製枠）の自重により、動くことはないことから、評価対象外とする。

f. 鋼製枠

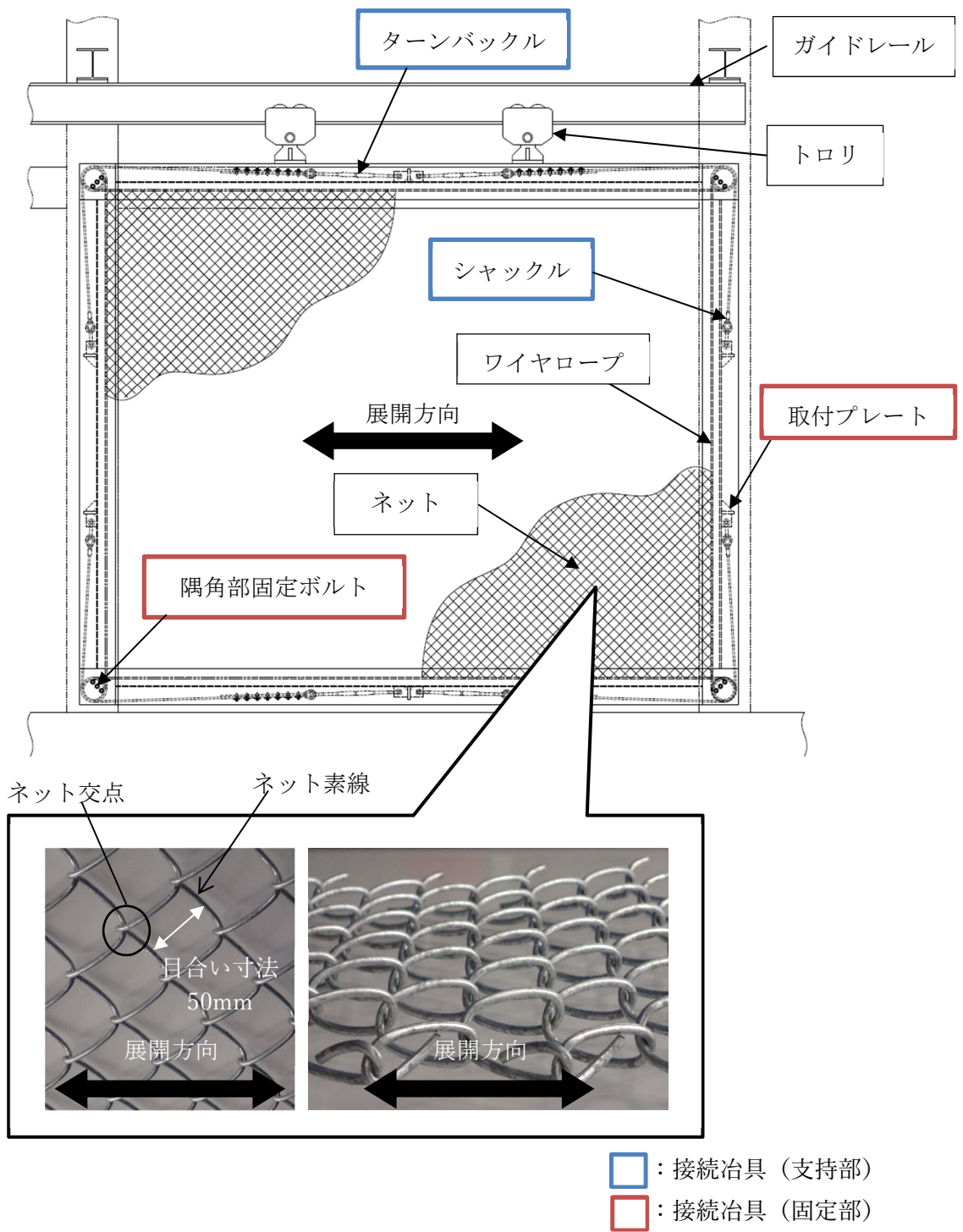
鋼製枠は、取付プレートを介して、ワイヤロープからの張力を伝達するが、取付プレートと比べて十分な強度及び剛性を有しており、取付プレートの評価に包絡されることから、評価対象外とする。

g. 接続部

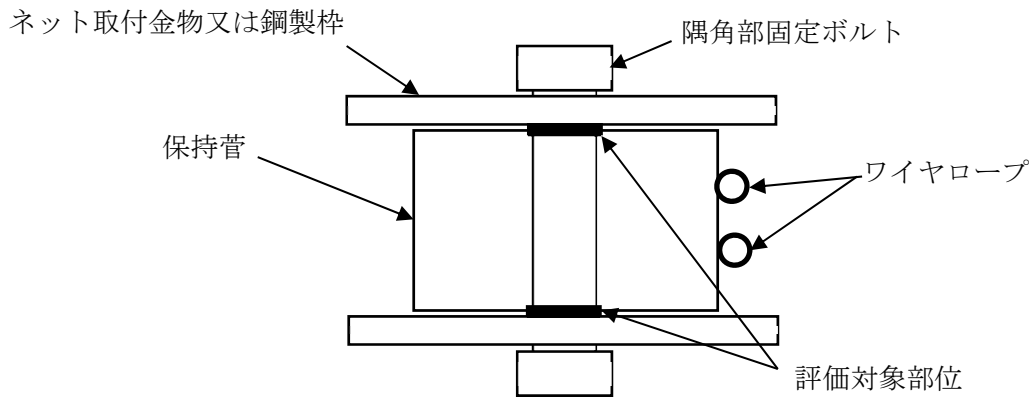
接続部は、防護ネット（鋼製枠）と支持架構を接続する部材であり、防護ネット（鋼製枠）が受ける荷重を支持架構に伝える部材である支圧材が該当する。支圧材は防護ネット（鋼製枠）から受ける荷重を支持架構へ伝達する構造であることから、評価対象外とする。



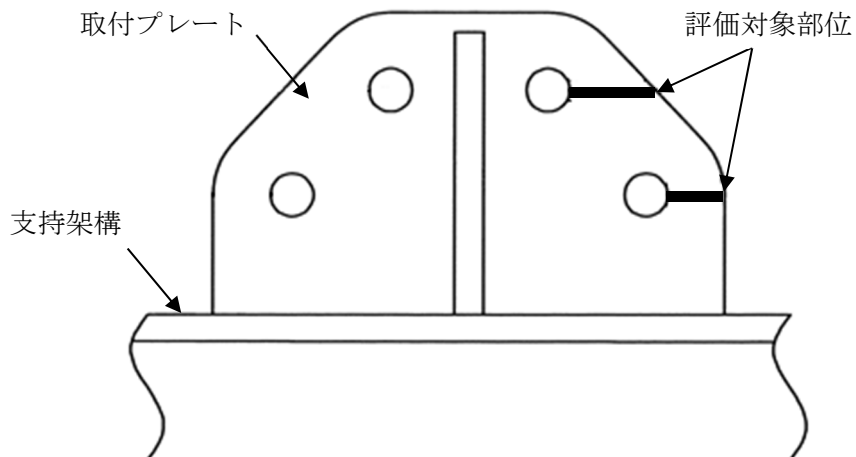
第3.1.1-1図 防護ネット(支持架構に直接設置)の評価対象部位



第3.1.1-2図 防護ネット(鋼製枠)の評価対象部位

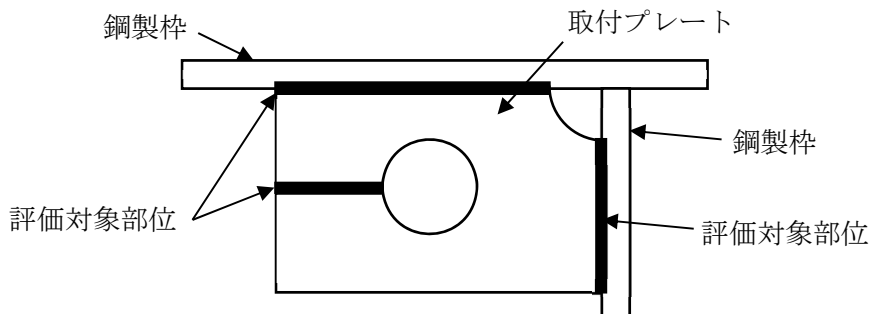


第3.1.1-3図 隅角部固定ボルトの評価対象部位



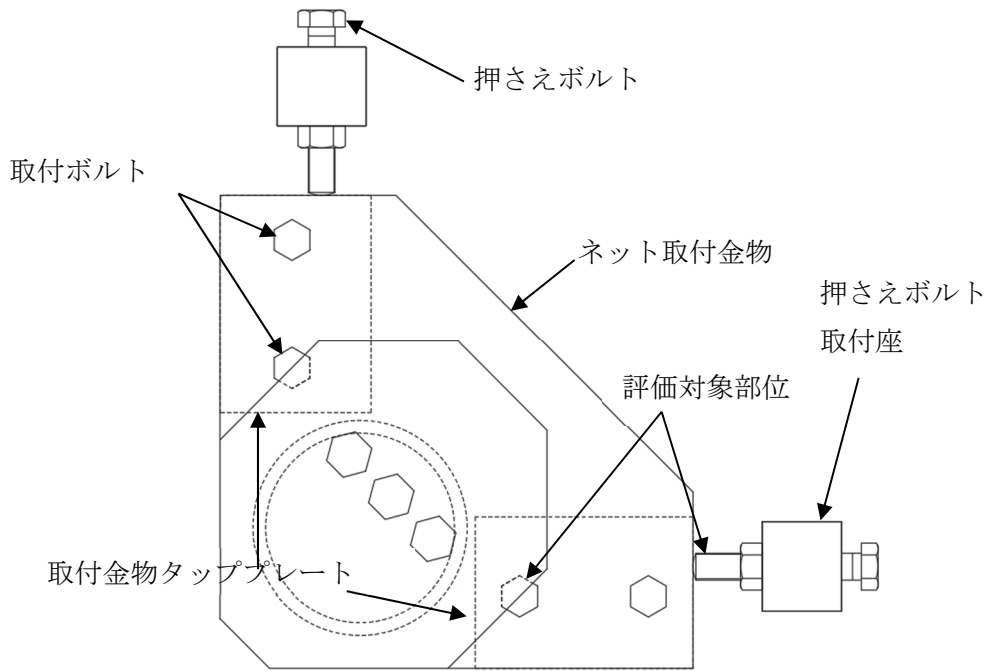
※取付プレート溶接部は、評価対象部位より許容荷重が大きいいため評価を省略している。

(i) 防護ネット(支持架構に直接設置)



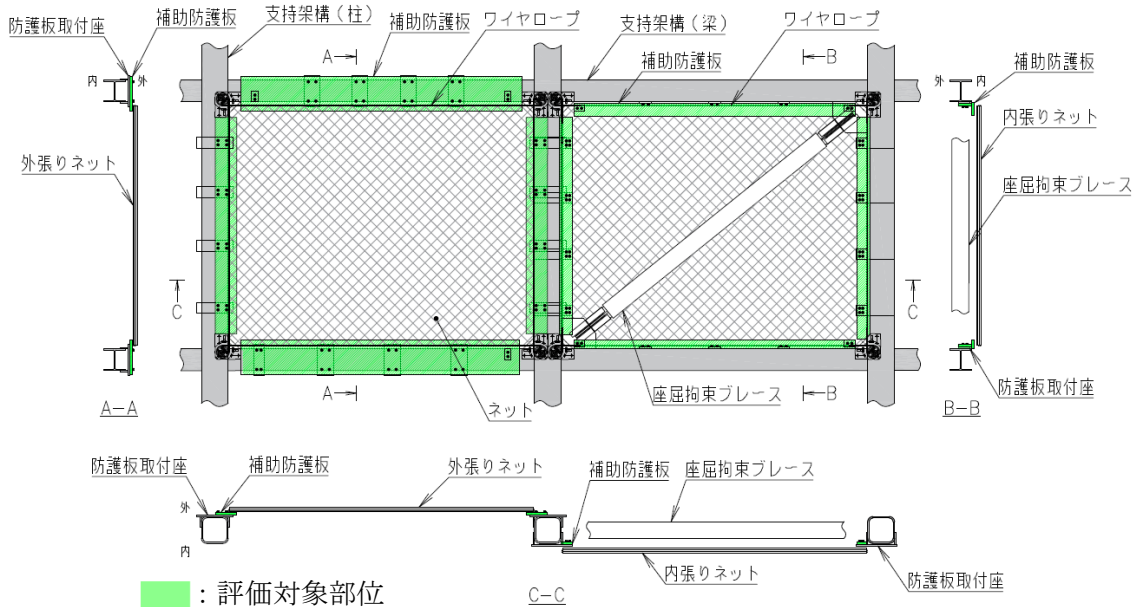
(ii) 防護ネット(鋼製枠)

第3.1.1-4図 ワイヤロープの取付プレートの評価対象部位



※ボルト取付座及び溶接部は評価対象部位より許容荷重が大きいため評価を省略している。

第3.1.1-5図 ネット取付金物等の評価対象部位



第3.1.1-6図 補助防護板の評価対象部位

### 3.1.2 防護板(鋼材)の評価対象部位

#### a. 鋼板

設計飛来物は、鋼板に直接衝突する。このため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、鋼板とする。

#### b. 取付ボルト

取付ボルトは、鋼板を支持架構に接続する部位であり、鋼板に作用する荷重は取付ボルトに作用するため、設計荷重(竜巻)に対する評価対象部位は、取付ボルトとする。

評価対象とする取付けボルトは、防護板(鋼材)の支持方法、支持辺長さとモーメントアームを考慮して選定する。具体的には、取付ボルトは一定間隔で取り付ける設計としているため、ボルト本数は支持辺の長さに依存し、支持辺が短いほど本数が少なくなることから、モーメントアームが長く、支持辺長さが短い方が防護板(鋼材)のたわみ量が大きくなり、ボルトに対して保守的な評価となる。



### 3.1.3 支持架構の評価対象部位

支持架構は、防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する部材であり、防護ネット及び防護板(鋼材)に設計荷重(竜巻)が作用した際、伝播する荷重に対し、支持架構は上載する防護ネット及び防護板(鋼材)を支持する機能を維持可能な構造強度を有する必要がある。また、設計荷重(竜巻)に対し、竜巻防護対象施設へ波及的影響を与えないための強度を有する必要があることから、支持架構の構造強度評価の評価対象部位は、支持架構を構成する柱、大はり、小はり、トラス柱、鉛直ブレース、水平ブレース及び座屈拘束ブレースを選定する。

なお、支持架構の構造強度評価は、評価が最も厳しくなるよう、支持架構に設計荷重(竜巻)が直接作用した際に、その健全性をFEM解析により確認する方針としており、FEM解析における飛来物の衝突箇所としては、部材の中央位置を選定する。

これは、衝突により支持架構に発生するひずみを大きくするため、被衝突部材の曲げモーメントが最大となる位置を選定したためである。

支持架構の評価項目に対する、衝突位置選定の考え方を以下に示す。

#### a. 貫通評価の評価対象部位

飛来物が支持架構の主要部材に衝突した場合に、被衝突部材が破断し貫通するおそれがあることから、飛来物が支持架構の主要部材に直接衝突した場合についてのFEM解析を実施し、評価を行う。

評価対象部位は、支持架構を構成する部材のうち、最も板厚が薄い部材とし、衝突位置も同様とする。なお、座屈拘束ブレースは、地震時の減衰効果を期待した部材であり、飛来物の衝突により破損したとしても、支持架構の構造強度への影響は軽微なこと及び竜巻防護対象施設への影響はないことから、貫通評価の対象とはしない。

b. 波及的影響評価の評価対象部位

(a) 脱落評価

飛来物が支持架構の主要部材に衝突した場合に、支持架構の接続部の両端が破断すると、飛来物は破断した部材とともに、竜巻防護対象施設に落下するおそれがあることから、飛来物が支持架構の主要部材に直接衝突した場合についてのFEM解析を実施し、支持架構の接続部の両端の評価を行う。

評価対象部位は、支持架構の接続部である部材に生じる応力が最も大きくなるよう、最も長い部材とし、衝突位置については、接続部の両端が破断するよう衝突位置は部材中央とする。

(b) 倒壊評価

「a. 貫通評価の評価対象部位」の結果、貫通若しくは大きな変形が確認された部材の欠損評価を実施する。

評価対象部位は、支持架構を構成する部材とする。

(c) 転倒評価

支持架構と基礎を定着している柱脚部が破断すると、支持架構が転倒するおそれがあることから、飛来物が支持架構の主要部材に直接衝突した場合についてのFEM解析を実施し、柱脚部の評価を行う。

評価対象部位は、柱脚部に生じる応力が最も大きくなるよう、支持架構の頂部を衝突位置とする。

### 3.2 記号の定義

#### a. 防護ネット

防護ネットの構造強度評価に用いる記号を第3.2-1表に示す。

第3.2-1表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(1/5)

記号	単位	定義
$A_a$	$m^2$	ネットの面積
$A_{b1}$	$mm^2$	隅角部固定ボルト有効断面積
$A_{b2}$	$mm^2$	ネット取付金物等のうち取付ボルト有効断面積
$A_{b3}$	$mm^2$	ネット取付金物等のうち押さえボルト有効断面積
$A_{s1}$	$mm^2$	取付プレート(支持架構設置)の有効せん断面積
$A_{s2}$	$mm^2$	取付プレート(鋼製枠設置)の有効せん断面積
$A_w$	$m^2$	風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積
$a$	mm	ネット1目合の対角寸法
$a_s$	mm	ネット1目合の破断変位
$a_w$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部ののど厚
$b$	mm	飛来物の端面の長辺方向寸法
$c$	mm	飛来物の端面の短辺方向寸法
$C$	-	風力係数(施設の形状や風圧力が作用する部位(屋根, 壁等)に応じて設定する。)
$C_c$	-	ワイヤグリップの効率
$d$	m	設計飛来物衝突後の設計飛来物の移動距離
$E_f$	kJ	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
$E_i$	kJ	i番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
$E_{max}$	kJ	ネットの限界吸収エネルギー
$E_{max}'$	kJ	ネットの補正限界吸収エネルギー
$E_t$	kJ	ネットに作用する全エネルギー
$E_w$	kJ	自重, 積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用するエネルギー
$F_{40}$	kN	40mm目合ネットの1交点当たりの許容引張荷重
$F_{50}$	kN	50mm目合ネットの1交点当たりの許容引張荷重
$F_a$	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
$F_a'$	kN	衝突位置を考慮した飛来物衝突時にネットが受ける飛来物による衝撃荷重
$F_a''$	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重

第3.2-1表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(2/5)

(つづき)

記号	単位	定義
$F_{bm}$	kN	飛来物衝突時のネットの許容荷重(ネット交点の破断荷重)
$F_{bw}$	kN	ワイヤロープ破断荷重(JIS規格値)
$F_i$	kN	飛来物衝突時の <i>i</i> 番目の列における作用力
$F_n$	kN	ネット設置枚数 <i>n</i> を考慮したネットの総交点強度
$F_n'$	kN	等価剛性のばらつきを考慮したネットの総交点強度
$F_p$	kN	ワイヤロープにより隅角部に作用する荷重
$F_{p1}$	kN	1本目のワイヤロープにより隅角部に作用する荷重
$F_{p2}$	kN	2本目のワイヤロープにより隅角部に作用する荷重
$f_s$	MPa	許容せん断応力
$f_t$	MPa	許容引張応力
$F_t$	kN	ネット取付金物に作用する水平方向合成荷重
$F_w$	kN	自重, 積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重
$F_x$	kN	ネット取付金物に作用する展開方向荷重
$F_y$	kN	ネット取付金物に作用する展開直角方向荷重
$F_{x1}$	kN	飛来物がネットに衝突によりワイヤロープから発生する <i>X</i> 方向荷重
$F_{y1}$	kN	飛来物がネットに衝突によりワイヤロープから発生する <i>Y</i> 方向荷重
$F_z$	kN	ネット取付金物及び鋼製枠に作用する鉛直方向荷重
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度( $g=9.80665$ )
$G$	-	ガスト影響係数
$H$	mm	ネット取付金物の取付け面から保持管中心までの距離
$K$	kN/m	ネット1目合の等価剛性
$K_x$	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット1目合の展開方向の1列の等価剛性
$K_x'$	kN/m	ネット1枚のネット1目合の展開方向の1列の等価剛性
$L$	mm	取付けプレート(鋼製枠設置)の面取り長さ
$L_1$	mm	ネット取付金物のモーメント支点からボルトまでの距離
$L_2$	mm	ネット取付金物のモーメント支点から保持管中心までの距離
$L_b$	m	変形前のワイヤロープ長さ
$L_{min}$	m	防護ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離
$L_{pw}$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部の有効長さ
$L_{p1}$	mm	取付プレート(支持架構設置)取付け孔位置寸法
$L_{p2}$	mm	取付プレート(支持架構設置)取付け孔位置寸法
$L_{p3}$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)長さ(縦寸法)

第 3.2-1 表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(3/5)

(つづき)

記号	単位	定義
$L_{p4}$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)長さ(横寸法)
$L_{p5}$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)取付け孔位置寸法
$L_x$	m	ネット展開方向寸法
$L_y$	m	ネット展開直角方向寸法
$L_z$	m	ワイヤロープの全長
$m$	kg	設計飛来物の質量
$m_1$	kg/m <sup>2</sup>	ネットの単位面積当たりの質量
$m_2$	kg/m <sup>2</sup>	補助ネットの単位面積当たりの質量
$N_i$	個	i 列目のネット展開直角方向目合数
$N_x$	個	ネット展開方向目合数
$N_y$	個	ネット展開直角方向目合数
$n$	-	ネット設置枚数
$n_1$	個	飛来物の衝突位置周辺のネット1枚当たりの交点数
$n_2$	個	隅角部固定ボルト本数
$n_3$	個	ネット取付金物等のうち取付ボルト評価対象ボルト本数
$P$	kN	ワイヤロープの許容荷重
$P_i$	kN	飛来物衝突時にネットに発生する i 番目の列における張力
$P_s$	kN	積雪荷重
$P_w$	kN	ネットの自重により作用する荷重
$P_1$	kN	ネット取付金物等のうち取付ボルトに作用する引張荷重
$P_4$	kN	ターンバックルの許容荷重
$P_5$	kN	シャックルの許容荷重
$Q$	kN/s	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$S$	m	変形後のワイヤロープ長さ
$S_x$	m	展開方向端部のワイヤロープの弧長
$S_y$	m	展開直角方向端部のワイヤロープの弧長
$S_w$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部の溶接脚長
$T'$	kN	飛来物のネットへの衝突によりネットn枚及び補助ネット1枚に発生する張力の合計の最大値
$T_1$	kN	飛来物のネット中央への衝突により1枚のネットのワイヤロープ1本に作用する張力の最大値

第 3.2-1 表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(4/5)

(つづき)

記号	単位	定義
$T_1'$	kN	衝突位置を考慮した飛来物のネットへの衝突により 1 枚目のネットのワイヤロープ 1 本に作用する張力の最大値
$T_T$	kN	全ワイヤロープの合計張力
$T_x$	kN	飛来物がネットに衝突により展開方向のワイヤロープから発生するX方向荷重
$T_x'$	kN	飛来物がネットに衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向荷重
$T_y$	kN	飛来物がネットに衝突により展開方向のワイヤロープから発生するY方向荷重
$T_y'$	kN	飛来物がネットに衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向荷重
$t$	s	時間
$t_1$	s	設計飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間
$t_2$	mm	取付プレート(支持架構設置)の板厚
$t_3$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)の板厚
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$v$	m/s	ネットへの衝突後の設計飛来物の移動速度
$v_1$	m/s	ネットへの設計飛来物の衝突速度
$W_w$	kN	風圧力による荷重
$X_i$	m	i列目のネットの伸び
$\delta$	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
$\delta'$	m	飛来物衝突時のワイヤロープの変形による伸び量
$\delta_a$	m	自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量
$\delta_i$	m	飛来物衝突時のi番目の列におけるネットのたわみ量
$\delta_{max}$	m	ネットの最大たわみ量
$\delta_t$	m	ネット変形、ワイヤたるみを考慮した対策工全体の最大たわみ量
$\delta_t'$	m	等価剛性の算出過程を踏まえた係数を考慮した対策工全体の最大たわみ量
$\delta_w$	m	ワイヤロープのたわみ量
$\delta_{wx}$	m	ネット展開方向端部のワイヤロープのたわみ量

第3.2-1表 防護ネットの構造強度評価に用いる記号(5/5)

(つづき)

記号	単位	定義
$\delta_{wy}$	m	ネット展開直角方向端部のワイヤロープのたわみ量
$\varepsilon$	-	ワイヤロープの伸び率
$\theta$	deg	飛来物衝突時のネットのたわみ角
$\theta_1$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_2$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_i$	deg	i番目の列におけるネットたわみ角
$\theta_{max}$	deg	ネットの最大たわみ角
$\theta_{w1}$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_{w2}$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_x$	deg	飛来物衝突時のネット展開方向断面のネットたわみ角
$\theta_y$	deg	飛来物衝突時のネット展開直角方向断面のネットたわみ角
$\sigma_{b1}$	MPa	ネット取付金物等のうち取付ボルトに発生する引張応力
$\sigma_{b2}$	MPa	ネット取付金物等のうち押さえボルトに発生する圧縮応力
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
$\tau_{p1}$	MPa	取付プレート(支持架構設置)に発生するせん断応力
$\tau_{p2}$	MPa	取付プレート(鋼製枠設置)に発生するせん断応力
$\tau_s$	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
$\tau_w$	MPa	取付プレート(鋼製枠設置)溶接部に発生するせん断応力
$\phi$	-	ネットの充実率
$\phi d_1$	mm	取付プレート(支持架構設置)の孔径
$\phi d_2$	mm	取付プレート(鋼製枠設置)の孔径

b. 防護板(鋼材)

防護板(鋼材)の構造強度評価に用いる記号を第3.2-2表に示す。

第3.2-2表 防護板(鋼材)の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$m^2$	取付ボルトの有効断面積
$A_w$	$m^2$	風圧力による荷重を受ける防護板(鋼材)の受圧面積
$C$	-	防護板(鋼材)の風力係数
$d$	m	飛来物の(等価)直径
$E$	MPa	使用材料の縦弾性係数
$E'$	MPa	使用材料の接線係数
$G$	-	ガスト影響係数
$K$	-	鋼材の材質に関する係数
$M$	kg	飛来物の質量
$p_u$	N	取付ボルト1本あたりに生じる引張荷重
$p_{ua}$	N	取付ボルト1本あたりの引張耐力
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$q_u$	N	取付ボルト1本あたりに生じるせん断荷重
$q_{ua}$	N	取付ボルト1本あたりのせん断耐力
$T$	m	防護板(鋼材)の貫通限界厚さ
$T_c$	m	BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した防護板(鋼材)の貫通限界厚さ
$S_u$	MPa	取付ボルトの引張強さ
$v$	m/s	飛来物の飛来速度
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$W_w$	kN	風圧力による荷重
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$\sigma_y$	MPa	使用材料の降伏応力



c. 支持架構

支持架構の構造強度評価に用いる記号を第3.2-3表に示す。

第3.2-3表 支持架構の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_w$	$m^2$	風圧力による荷重を受ける受圧面積
$C$	—	風力係数
$E$	MPa	使用材料の縦弾性係数
$f_b$	MPa	曲げに対する許容限界
$f_{bx}$	MPa	X軸廻り曲げに対する許容限界
$f_{by}$	MPa	Y軸廻り曲げに対する許容限界
$f_c$	MPa	圧縮に対する許容限界
$f_s$	MPa	せん断に対する許容限界
$f_t$	MPa	引張に対する許容限界
$G$	—	ガスト影響係数
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	$m/s$	設計竜巻の最大風速
$W_w$	kN	風圧力による荷重
$\sigma_b$	MPa	支持架構の曲げ応力
$\sigma_{bx}$	MPa	支持架構のX軸廻り曲げ応力
$\sigma_{by}$	MPa	支持架構のY軸廻り曲げ応力
$\sigma_c$	MPa	支持架構の圧縮応力
$\sigma_t$	MPa	支持架構の引張応力
$\tau_s$	MPa	支持架構のせん断応力
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の種類を踏まえ設定する。

#### (1) 荷重の設定

##### a. 常時作用する荷重

自重及び積載荷重を考慮する。なお、防護ネットの常時作用する荷重は設置方向を考慮する。水平方向に設置した防護ネットは、自重は鉛直下向きに発生することを考慮することとする。鉛直に設置した防護ネットは、自重と飛来物による衝撃荷重は作用する方向が異なることから、自重は考慮しない。

また、防護ネットのうちワイヤロープ及び接続治具(支持部, 固定部)並びに防護板(鋼材)のうち取付ボルトに作用する自重については、ネット若しくは鋼板から作用する荷重に比べ十分に小さいことから考慮しない。

防護ネットのうち、ワイヤロープ、接続治具(支持部, 固定部)及び接続部の評価時は、積載荷重としてネットの自重を考慮する。

防護ネットにおいては、自重による荷重 $P_w$ は、

$$P_w = \frac{A_a \cdot g \cdot (m_1 \cdot n + m_2 \cdot 1)}{1000}$$

と算出される。

$A_a$ はネットの実寸法 $L_x$ ,  $L_y$ を用いて、以下の式で求められる。

$$A_a = L_x \cdot L_y$$

b. 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重として、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重を考慮する。飛来物による衝撃荷重としては、衝撃荷重が大きくなる向きで飛来物がネットに衝突することを想定する。構造強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(a) 風圧力による荷重

風圧力による荷重は、防護ネット及び防護板(鋼材)の設置方向を考慮する。風圧力による荷重は水平方向に発生するため、鉛直方向に設置した防護ネット及び防護板(鋼材)に対し、考慮することとする。

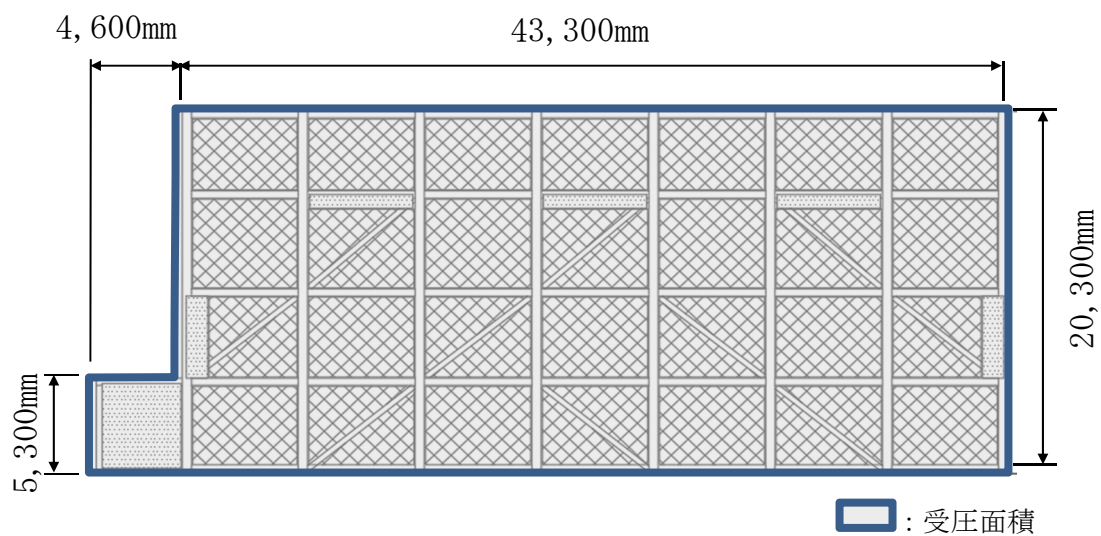
$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A_w}{1000}$$

$$q = \frac{1}{2} \rho V_D^2$$

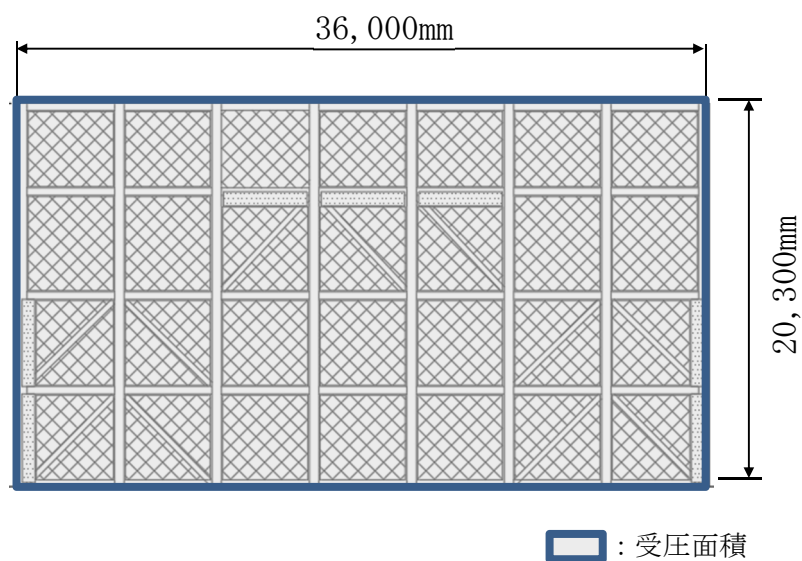
ここで、防護ネットにおいては、ネットの充実率を $\phi$ とすると、風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積 $A_w$ は以下のとおり算出される。

$$A_w = \phi \cdot A_a$$

風圧力による荷重の受圧部寸法を第 3. 3-1 図に示す。



(NS方向)

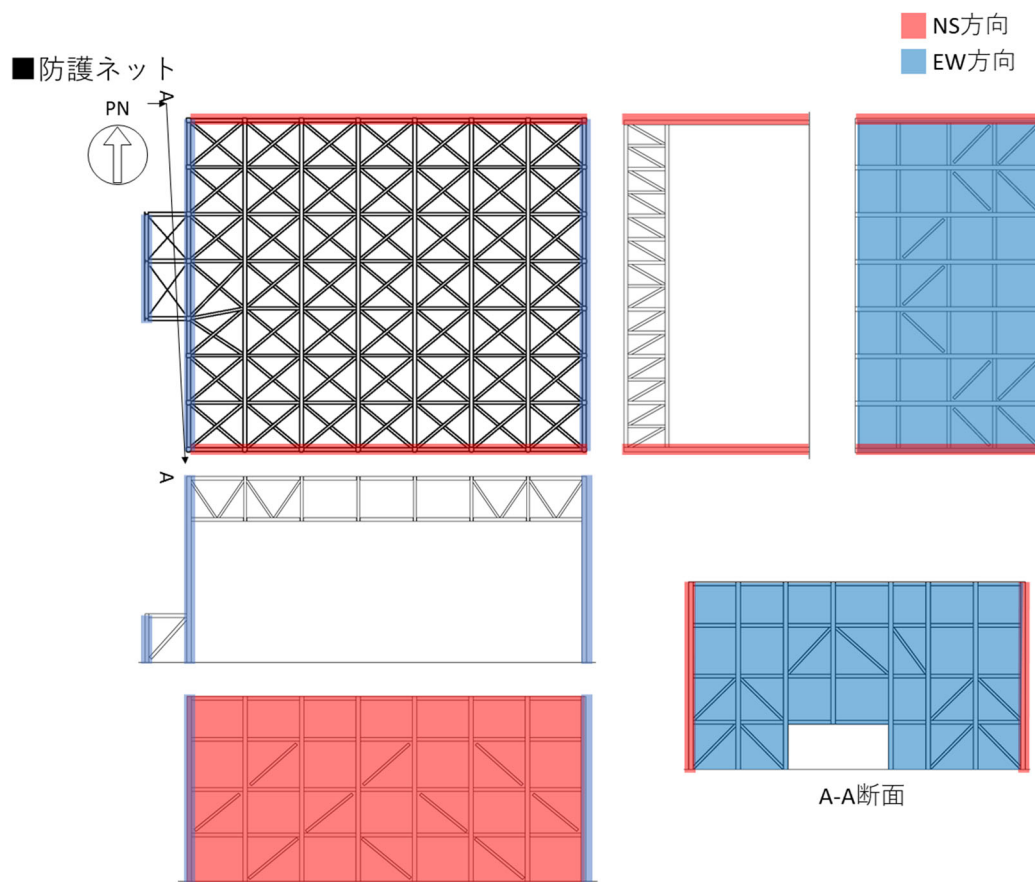


(EW方向)

注記 \* : 寸法は部材中心間の距離を示す。

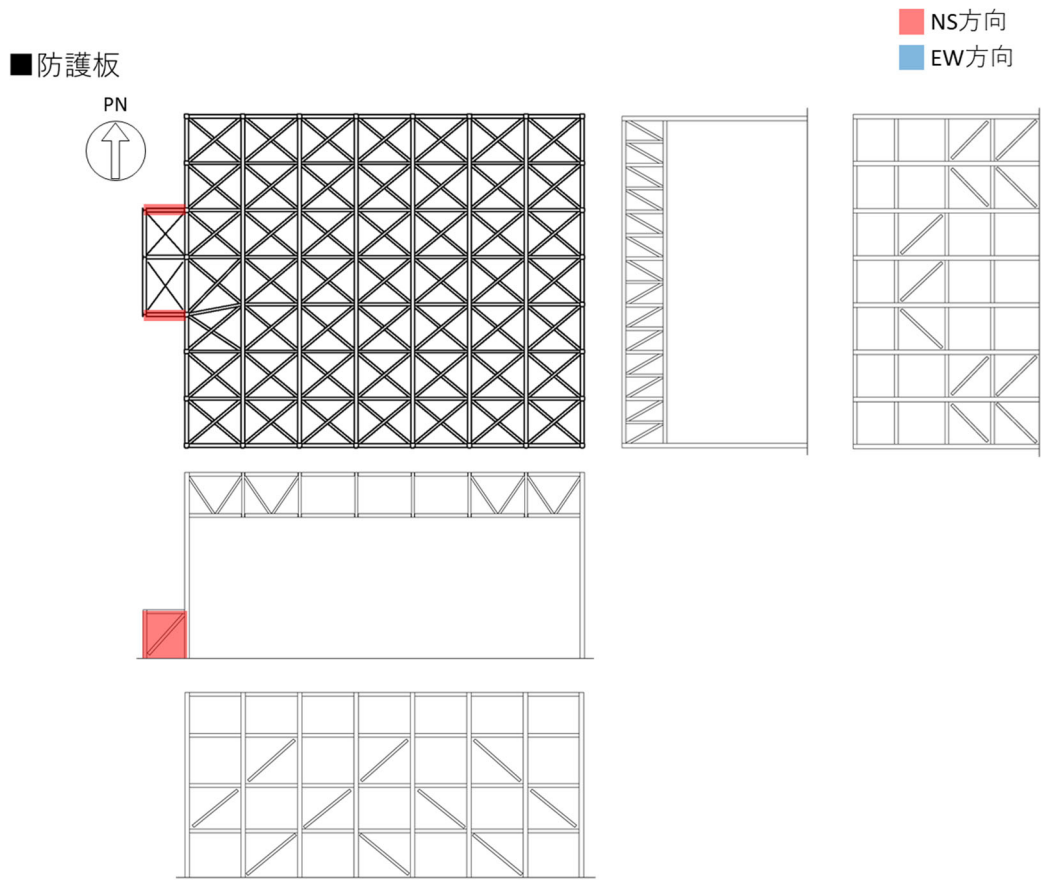
(a) 全体図

第3.3-1図 風圧力による荷重の受圧部寸法(1/5)  
(飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))



(b) 防護ネット

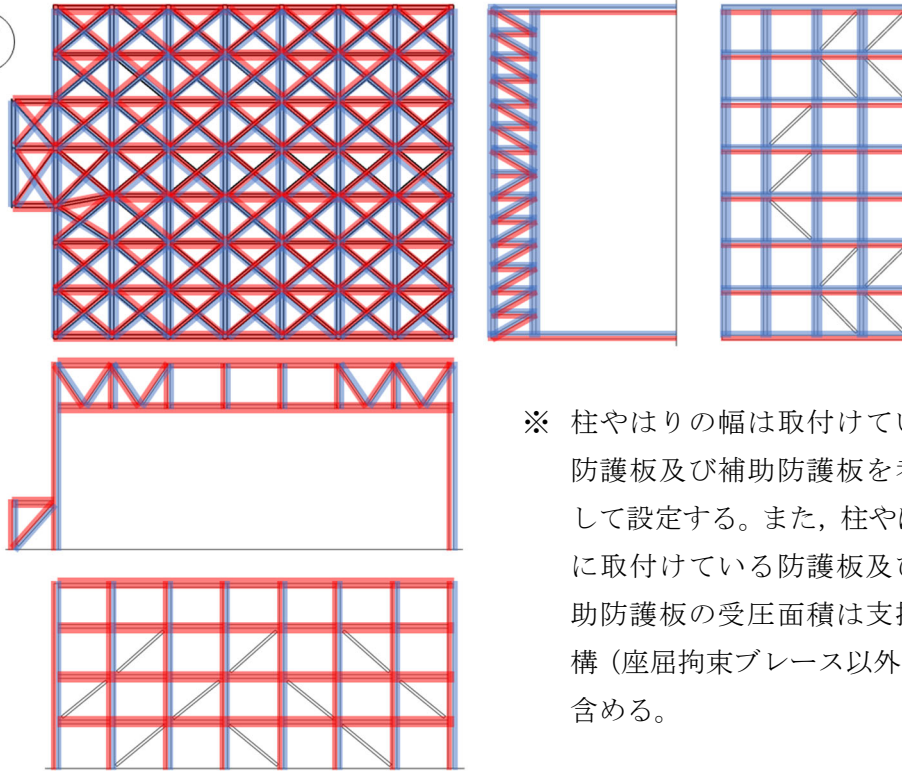
第3.3-1図 風圧力による荷重の受圧部寸法(2/5)  
 (飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))



(c) 防護板

第3.3-1図 風圧力による荷重の受圧部寸法(3/5)  
(飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))

■ 支持架構（座屈拘束ブレース以外）

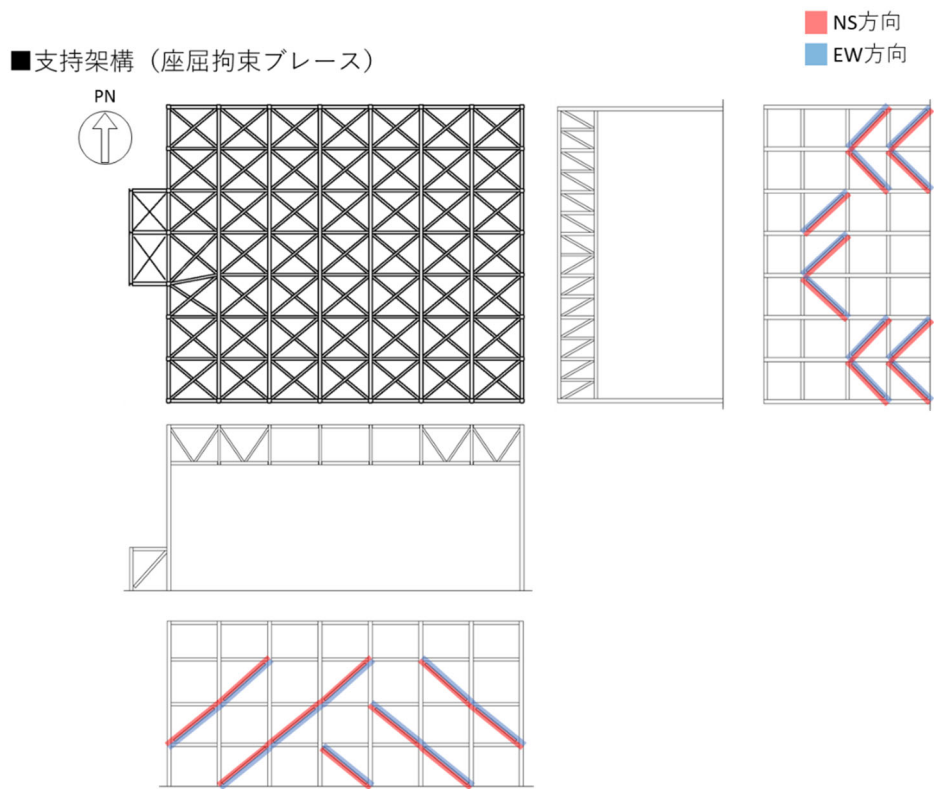


■ NS方向  
■ EW方向

※ 柱やはりの幅は取付けている防護板及び補助防護板を考慮して設定する。また、柱やはりに取付けている防護板及び補助防護板の受圧面積は支持架構（座屈拘束ブレース以外）に含める。

(d) 支持架構(座屈拘束ブレース以外)

第3.3-1図 風圧力による荷重の受圧部寸法(4/5)  
(飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))



(e) 支持架構(座屈拘束ブレース)

第3.3-1図 風圧力による荷重の受圧部寸法(5/5)

(飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))



(b) 飛来物による衝撃荷重

防護ネットの破断評価においては、飛来物による衝撃荷重は以下のとおり算出する。

ネットの飛来物による衝撃荷重  $F_a''$  は時間とともに比例的に増加すると仮定すると、以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Qt \dots \textcircled{1}$$

したがって、飛来物の移動速度  $v$  は式①の飛来物による衝撃荷重  $F_a''$  から、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} v &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' dt \\ &= -\frac{Qt^2}{2m} + v_1 \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

さらに、飛来物の移動距離  $d$  は、式②の飛来物の移動速度  $v$  から以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t v dt \\ &= -\frac{Qt^3}{6m} + v_1 t \dots \textcircled{3} \end{aligned}$$

飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間  $t_1$  におけるネットの最大変位は  $\delta$ 、飛来物の移動速度は  $v=0$  であるから、式②、③より、

$$Qt_1^2 = 2mv_1 \dots \textcircled{4}$$

$$\delta = -\frac{Qt_1^3}{6m} + v_1 t_1$$

上記2式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} v_1 t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3}{2v_1} \cdot \delta \dots \textcircled{5}$$

以上より、時間  $t_1$  における飛来物による衝撃荷重  $F_a$  は式①、④より、

$$F_a = \frac{2mv_1}{t_1}$$

さらに、式⑤と連立し、

$$F_a = \frac{4mv_1^2}{3 \cdot \delta} \dots \textcircled{6}$$

また、時間  $t_1$  における飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー  $E_f$  は、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} mv_1^2 \dots \textcircled{7}$$

したがって、式⑥、⑦より、

$$F_a = \frac{8E_f}{3 \cdot \delta} \dots \textcircled{8}$$

式⑧にたわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量  $\delta$  を代入し、 $F_a$  を算出する。

c. 積雪荷重

積雪荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

防護ネット及び防護板(鋼材)の設置方向を踏まえ、考慮すべき荷重の組合せを第3.3-1表に示す。

第3.3-1表 荷重の組合せ

名称			部材	常時作用する荷重	積雪荷重	飛来物の衝撃荷重	風圧力による荷重
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)	防護ネット	水平	ネット	○	○	○	-
			ワイヤロープ	○※1	○※2	○	-
			接続冶具(支持部)	○※1	○※2	○	-
			接続冶具(固定部)	○※1	○※2	○	-
			接続部	○※1	○※2	○	-
		鉛直	ネット	-	-	○	○※3
			ワイヤロープ	-	-	○	○※3
			接続冶具(支持部)	-	-	○	○※3
			接続冶具(固定部)	-	-	○	○※3
			接続部	-	-	○	○※3
	防護板(鋼材)	水平	鋼板	-	-	○	-
			取付ボルト	○※4	○※5	○	-
		鉛直	鋼板	-	-	○	-
			取付ボルト	○※4	-	○	○※6
支持架構			○※7	○※8	○	○※9	

注記 ※1：ネットの自重

※2：ネットの積雪荷重

※3：ネットの風圧力による荷重

※4：防護板(鋼材)の自重

※5：防護板(鋼材)の積雪荷重

※6：防護板(鋼材)の風圧力による荷重

※7：防護ネット及び防護板(鋼材)の自重も考慮する。

※8：防護ネット及び防護板(鋼材)の積雪荷重も考慮する。

※9：防護ネット及び防護板(鋼材)の風圧力による荷重も考慮する。

### 3.4 許容限界

許容限界は、「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「5. 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.1 構造強度評価の評価対象部位選定方針」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮して設定する。

#### (1) 防護ネット

吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の許容限界を以下に示す。

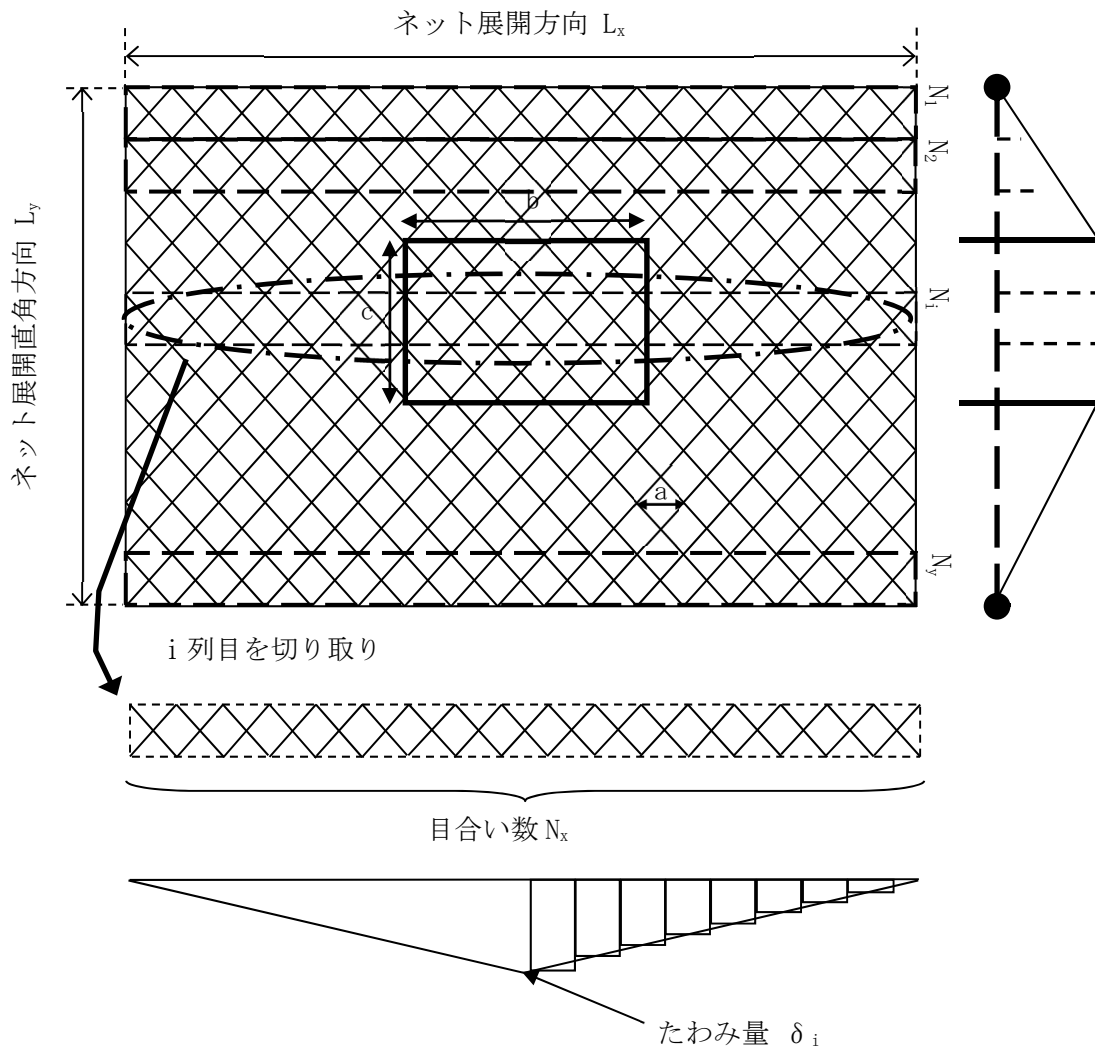
##### a. 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用するエネルギー以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。ネット1目合の要素試験の結果から得られるネット展開方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり、ネット最大変形角における吸収エネルギーがネットの有する限界吸収エネルギー $E_{max}$ となる。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また、ネットの変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

さらに、設計条件の設定において等価剛性の算出方法の影響を裕度として考慮する。評価に用いる等価剛性は、引張試験による荷重-伸び曲線から各々の最大荷重発生時までの最大エネルギーを算出し、これらの平均値と等価な剛性を用いており、平均値と実測値との間で最大5.6%の差があることから、本影響を係数として考慮する。吸収エネルギー評価においては、等価剛性の影響を考慮した係数を限界吸収エネルギーが小さくなるように考慮する。

最大吸収エネルギーは、ネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性、展開方向寸法及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図を第3.4-1図に示す。



第3. 4-1図 吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図

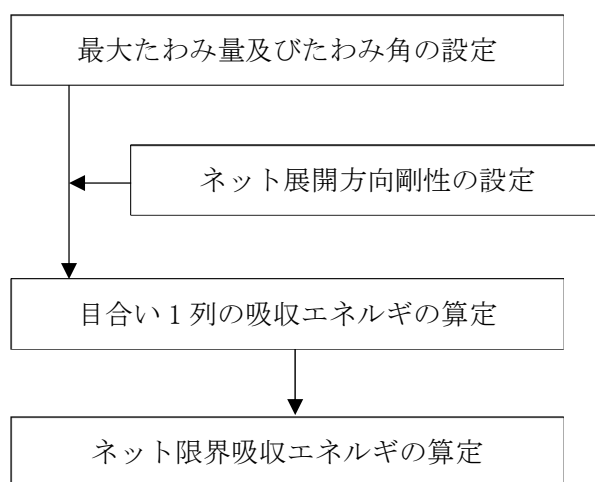
第3. 4-1図に示すとおりネットの展開方向に1目合いごとに $\square$ で囲った形に帯状に分割し、 $N_1$ から $N_y$ までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法(b×c)及びネット目合いの対角寸法aを考慮し、最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法cを適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギー量が小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に1目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギー量が小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

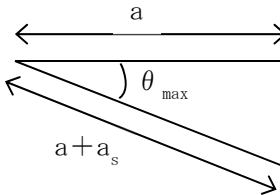
吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを第3.4-2図に示す。



第3.4-2図 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

ネット1目合いの最大伸び量は、電中研報告書のネット目合いの引張試験から1目合いの最大破断変位が求められ、そこから算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量  $\delta_{\max}$  は次式により算定される。

$$\delta_{\max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan(\theta_{\max})$$

$$\theta_{\max} = \cos^{-1} \left( \frac{a}{a+a_s} \right)$$


ネットを構成するネットの展開方向の目合い数  $N_x$  は、ネット展開方向寸法  $L_x$  及びネット1目合いの対角寸法  $a$  から求める。展開直角方向の目合い数  $N_y$  は、ネット展開直角方向寸法  $L_y$  及びネット1目合いの対角寸法  $a$  から求める。ネットを構成する1目合いはそれぞれ  $K$  の等価剛性を持っているため、1列当たりバネ定数  $K$  を持つバネを  $N_x$  個直列に接続したものと考えることができる。

そのため、1列当たりの剛性  $K_x'$  は、

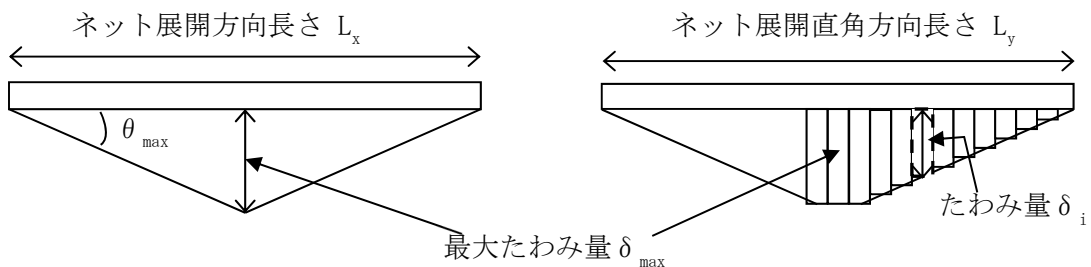
$$N_x = \frac{1000L_x}{a}, \quad N_y = \frac{1000L_y}{a}$$

$$\text{ネット展開方向剛性 } K_x' = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 $N_x$ 、 $N_y$  の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように  $N_x$  は保守的に切り上げ、 $N_y$  は保守的に切り捨てた値を用いる。また、補助ネットはネット0.5枚相当のエネルギー吸収能力があるため、ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性  $K_x$  は、次式により算出される。

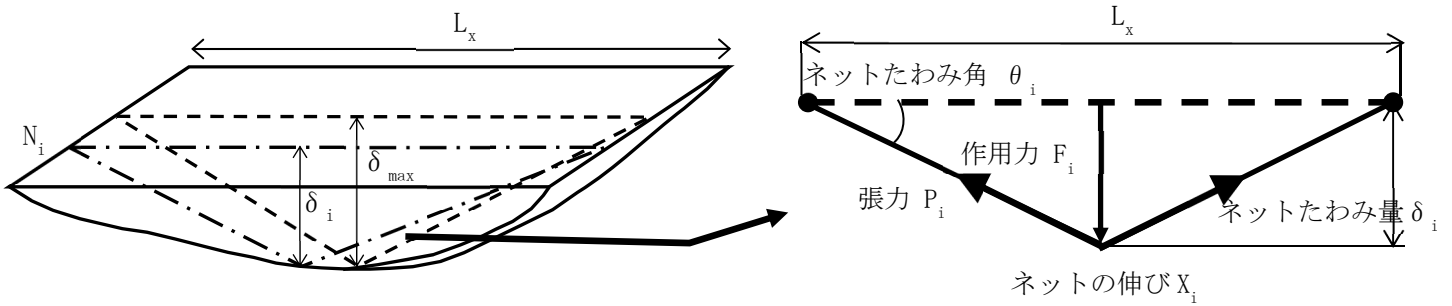
$$K_x = K_x' \cdot (n+0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量  $\delta_i$  は、最大たわみ量  $\delta_{\max}$  からネット端部のたわみ量0までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大たわみ量と最大たわみ角を第3.4-3図に示す。



第3.4-3図 ネットの最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を、ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを第3.4-4図に示す。



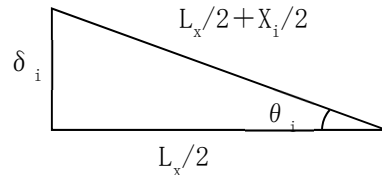
第3.4-4図 ネットに作用する力のつり合い

$i$ 番目の列におけるネットの張力 $P_i$ は、飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると、伸び量は $\frac{X_i}{2}$ ，剛性は $2K_x$ となることから、

$$P_i = 2K_x \cdot \left( \frac{X_i}{2} \right) = K_x \cdot X_i$$

となる。また、作用力 $F_i$ は変位置とたわみ量の関係から、

$$\begin{aligned} F_i &= 2P_i \cdot \sin(\theta_i) \\ &= 2K_x \cdot X_i \cdot \sin(\theta_i) \\ &= 2K_x \cdot L_x \cdot (\tan(\theta_i) - \sin(\theta_i)) \\ &= 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) \dots \textcircled{9} \end{aligned}$$



ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力 $F_i$ を積分することにより $i$ 番目の列における吸収エネルギー $E_i$ を次式に示す。

$$\begin{aligned} E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i d\delta_i \\ &= \int_0^{\delta_i} 4K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta_i \\ &= 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot (\sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x) \dots \textcircled{10} \end{aligned}$$



以上から、n枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮した限界吸収エネルギー $E_{\max}$ は、各列の吸収エネルギー $E_i$ を第1列から第 $N_y$ 列まで積算することにより求められる。

$$E_{\max} = \sum_{i=1}^{N_y} E_i$$

$$= \sum_{i=1}^{N_y} \left( 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left( \sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right) \dots \textcircled{11}$$

飛来物衝突時にネットに生じるエネルギー並びに自重、積雪荷重及び風圧力により生じるエネルギーの総量を算出し、等価剛性の算出方法の影響から定められる係数を考慮したn枚のネット及び1枚の補助ネットから算出される限界吸収エネルギーを $E_{\max}'$ とする。

係数としては、上記を踏まえ $\frac{1}{1.056}$ 倍と定める。

したがって、限界吸収エネルギーの許容限界は、以下のとおりである。

$$E_{\max}' = \frac{1}{1.056} E_{\max}$$

b. 破断評価

(a) ネット

ネット交点の破断試験結果から算出したネット1目合い当たりが有する引張強度と設計飛来物が衝突した際に接触する交点数から算出する  $F_n$  に、等価剛性の算出方法の影響から定められる係数を考慮した  $F_n'$  を許容限界とする。

$$F_n = F_{50} \times 16 \times 2 + F_{40} \times 20 \times 1$$

ここに、等価剛性の算出方法の影響を考慮し、 $F_n'$  を下式より算出する。

$$F_n' = \frac{1}{1.056} F_n$$

(b) ワイヤロープ

第3.4-1表に示すとおりワイヤロープの破断荷重に、ワイヤグリップ効率を考慮した値を許容限界とする。

第3.4-1表 ワイヤロープの破断評価の許容限界

規格値	許容値
$F_{bw}$ <sup>(注1)</sup>	$P = C_c$ <sup>(注2)</sup> $\cdot F_{bw}$ <sup>(注1)</sup>

(注1) : JIS G 3549 の破断荷重

(注2) : JIS B 2809及び「小規模吊橋指針・同解説((社)日本道路協会)」

(c) 接続治具(支持部)

ターンバックル及びシャックルの許容限界を第3.4-2表のとおりとする。

第3.4-2表 接続治具(支持部)の許容限界

評価部位	許容荷重
ターンバックル	$P_4$ <sup>(注1)</sup>
シャックル	$P_5$ <sup>(注2)</sup>

(注1) : JIS A 5540 の保証荷重の1.5倍

(注2) : 試験結果に基づくメーカー保証値

(d) 接続治具(固定部)

第3.4-3表に示すとおり「鋼構造設計規準」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

第3.4-3表 接続冶具(固定部)の許容限界

部位	隅角部固定ボルト及び取付プレート
応力分類	せん断
許容限界	$1.5f_s$ (注)

(注)  $f_s$  : 許容せん断応力「鋼構造設計規準」に基づき算出する。

(e) 接続部

第3.4-4表「鋼構造設計規準」に基づいた短期での許容応力を許容限界とする。

第3.4-4表 接続部の許容限界

部位	取付ボルト	押さえボルト
応力分類	引張	圧縮
許容限界	$1.5f_t$ (注)	

(注)  $f_t$  : 許容引張応力「鋼構造設計規準」に基づき算出する

c. たわみ評価

ネットに飛来物が衝突した際、ネットがたわんだとしても、竜巻防護対象施設に衝突しないことを確認することから、ネットと竜巻防護対象施設までの離隔距離を許容限界とする。なお、第3.4-5表に示すとおり離隔距離  $L_{min}$  は、ネットと竜巻防護対象施設の最も短い距離とする。

第3.4-5表 ネットのたわみ評価の許容限界

許容限界
防護ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離
$L_{min}$

(2) 防護板(鋼材)

貫通評価及び波及的影響評価の許容限界を以下に示す。

a. 貫通評価

貫通評価の許容限界は、飛来物が防護板(鋼材)に直接衝突した場合の貫通限界厚さを「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

等価直径は、「電力中央研究所報告O19003」(以下、「O19003」という。)から「衝突部の周長と等価な周長の円の直径」として算出する。O19003における、設計飛来物である鋼製材のような四角形衝突に対する実験データ数の不確かさを考慮し、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率(0.97)で除した値を貫通限界厚さとする。

したがって、BRL式の算出結果を実験で非貫通の結果が確認された比率で除した鋼板の貫通限界厚さは、以下の式により算出する。

$$T_c = T / 0.97$$

b. 波及的影響評価

「鋼構造限界状態設計指針・同解説(2010)((社)日本建築学会)」に基づき、取付ボルトに作用する各方向荷重と破断耐力との比率により破断判定を行い、取付ボルトが2本以上破断せずに残ることを許容限界とする。

(3) 支持架構

貫通評価及び波及的影響評価の許容限界を以下に示す。

a. 貫通評価

貫通評価における許容限界として、破断ひずみを設定する。

破断ひずみはNEI07-13に従い、0.14/TF(多軸性係数)とする。ここで、多軸性係数について、支持架構部材はTF=2とする。従って、破断ひずみは0.07となる。

b. 波及的影響評価

(a) 脱落評価

部材の脱落評価における許容限界として、破断ひずみを設定する。

破断ひずみはNEI07-13に従い、0.14/TF(多軸性係数)とする。ここで、多軸性係数について、支持架構部材はTF=2とする。従って、破断ひずみは0.07となる。

(b) 倒壊評価

支持架構全体の倒壊評価における許容限界として、「鋼構造設計規準」に基づくものとして、応力比は1.0以下とする。

部材の塑性変形を許容する座屈拘束ブレースに対しては、座屈拘束ブレースの破断が生じないように、発生するひずみが日本建築センターの評定書（BCJ 評定—ST0126-06）に基づく許容限界を超えないことを確認する。座屈拘束ブレースの許容限界を第 3. 4-6 表に示す。

第3. 4-6表 座屈拘束ブレースの許容限界

評価項目	許容限界
軸ひずみ評価	3.0%

(c) 転倒評価

柱脚部の構造健全性評価における許容限界として、「鋼構造設計規準」に基づき短期の 1.1 倍での許容応力に対し応力比は 1.0 以下とする。

### 3.5 評価方法

「VI-1-1-1-2-4-1-2 竜巻防護対策設備の強度計算の方針」の「6. 強度評価方法」に基づき、発生荷重等を算出し、「3.4 許容限界」にて設定した許容限界を満足していることを確認する。

#### 3.5.1 防護ネットの評価方法

防護ネットの吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の方法を以下に示す。

評価に際しては、飛来物の衝突位置の影響を考慮した評価を実施する。

評価においては、飛来物の衝突位置として中央位置に衝突することを想定した評価を実施しており、中央位置からずれたオフセット位置に衝突する場合の影響を考慮する。

吸収エネルギー評価においては、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

破断評価においては、中央位置への衝突に対してオフセット位置への衝突では、その移動距離が短くなることから、式⑧から中央位置衝突時よりもオフセット位置衝突時の方が作用する荷重が大きくなることを踏まえ、作用する荷重が大きくなるように、中央位置衝突時とオフセット位置衝突時の移動距離を踏まえた係数を作用する荷重に乗じる。ただし、ネット端部近傍に衝突する場合には、飛来物は傾き、飛来物の側面がネットや支持架構に接触すると考えられ、飛来物による衝撃荷重は小さくなる。

たわみ評価においては、ネットの全長が飛来物の衝突位置によらず、ネット最大たわみ時展開方向の長さで一定となるため、たわみの軌跡が楕円状となることを考慮して評価する。さらに、ネットに対して飛来物がオフセット位置へ衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生するため、算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープの評価において有意ではないため計算上考慮しない。

## (1) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、電力中央研究所の評価式を参照して、ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー量算定のモデル化を行い、自重、積雪荷重、風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重によるエネルギーがネットの有する最大吸収エネルギーを下回ることを確認する。

自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重は、評価条件である $K_x$ 及び $L_x$ 並びに自重、積雪荷重及び風圧力による荷重から算出する $F_w$ を式⑨に代入して数値計算を実施することにより、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によるたわみ量 $\delta_a$ が算出される。

$$F_w = N_y \cdot 4K_x \cdot \delta_a \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

$$\text{但し, } F_w = P_w + W_w + P_s$$

上式にて算出したたわみ量 $\delta_a$ を式⑩において、展開方向の1列当たりの自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを列数倍する以下の式に代入することにより、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー $E_w$ が算出される。

$$E_w = N_y \cdot \left( 2K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \left( \sqrt{4\delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right)$$

飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー $E_f$ としては、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} m v_1^2$$

飛来物の飛来速度は、ネット設置方向により水平設置の場合は鉛直の飛来速度、鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。

以上から、 $n$ 枚のネット及び1枚の補助ネットを考慮したネットに作用する全エネルギー $E_t$ が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \cdot \dots \cdot \text{⑫}$$

## (2) 破断評価

破断評価においては、電力中央研究所の評価式を参照して、ネットに作用する飛来物による衝撃荷重がネットの局所的な耐力未満であることを確認する。

評価に際しては、「2.3 評価方針」のとおり、飛来物の衝突位置の影響として、オフセット衝突する場合の影響を考慮する。以下に、オフセット衝突する場合の影響を係数として考慮した発生値の割増係数の設定方法を示す。

・オフセット衝突を考慮する係数

飛来物の移動距離が最も小さくなる場合のオフセット衝突を考えると，電中研報告書に基づき，中央衝突に比べ飛来物による衝撃荷重が1.22倍となる。ネット端部近傍に衝突する場合には，飛来物は傾き，飛来物の側面がネットや支持架構に接触すると考えられ，飛来物による衝撃荷重は小さくなる。

・動的応答倍率を考慮する係数

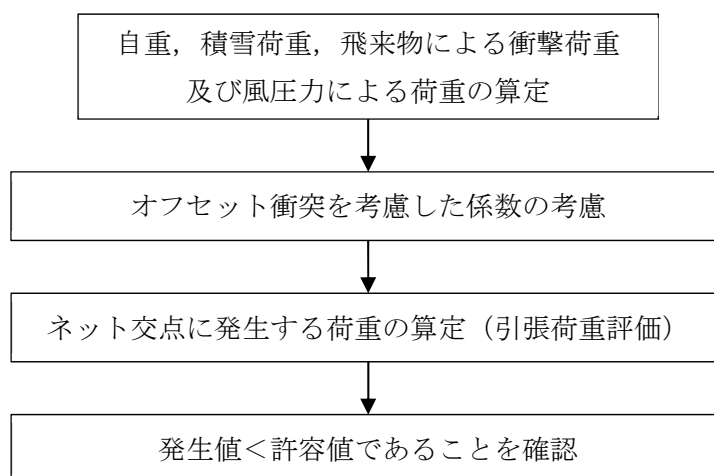
ネットの衝突試験結果より，金網に急速荷重を負荷した場合，作用時間と荷重を受ける構造物の固有周期の比に応じた動的倍率を考慮する必要がある。防護ネットには，急速荷重を抑制するため，緩衝装置を有する保持管を設置しているが，この効果が得られない部位に対して，動的応答倍率を考慮する。電中研報告書に基づき，ネットに設計飛来物が衝突する場合の動的応答倍率は，1.52とする。

a. ネット

ネットに飛来物が衝突した後，ネットのたわみが増加し，飛来物の運動エネルギーを吸収する。ネットに発生する飛来物による衝撃荷重はネット変位の増加に伴い大きくなり，最大変位発生時に最大値を示すため，破断評価では最大変位発生時の飛来物による衝撃荷重を用いる。

最大変位発生時において，飛来物の衝突によりネットの交点はネット展開方向に引張力を受けることから，破断評価としてネット交点の引張荷重評価を実施する。

ネットの破断評価の評価フローを第3.5.1-1図に示す。



第 3.5.1-1 図 ネットの破断評価フロー



ネットに飛来物が衝突した際に生じる飛来物による衝撃荷重が、ネットの破断荷重以下であり、ネットに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。

ここで、ネットに飛来物が衝突する場合の最大変位  $\delta$  は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した式⑧のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え、自重、積雪荷重及び風圧力による荷重を考慮するため、 $E_f$ を $E_t$ と置き換えて、式⑧より、

$$F_a = \frac{8E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

$E_t$ としては、式⑫に基づいて飛来物による運動エネルギー $E_f$ 並びに自重、積雪荷重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー $E_w$ から算出したネットに作用する全エネルギー量を代入する。 $\delta$ としては、たわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量を代入し、 $F_a$ を算出する。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分を踏まえた係数1.22を考慮し、飛来物による衝撃荷重の最大値 $F_a'$ は

$$F_a' = F_a \cdot 1.22$$

と算出される。

## b. ワイヤロープ及び接続治具(支持部)

### (a) ワイヤロープ

飛来物による衝撃荷重については、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」において算出した飛来物が衝突する場合のネットごとに作用する飛来物による衝撃荷重の最大値 $F_a'$ を考慮する。

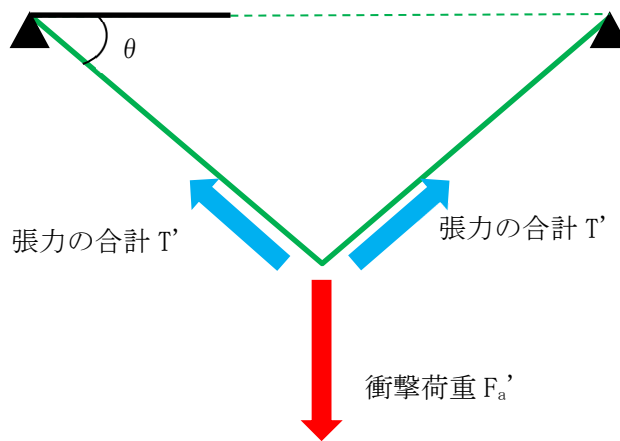
ネットは、電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し、さらにワイヤロープが接続治具により拘束されない構造としており、電中研報告書において実施されている衝撃試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。ネットに発生する荷重のつり合いのイメージ図を第3.5.1-2図に示す。

自重，積雪荷重，飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネットに作用する飛来物による衝撃荷重の最大値 $F_a'$ が集中荷重として作用するとしてモデル化すると，飛来物が衝突する場合のネット $n$ 枚及び補助ネット1枚に発生する張力の合計の最大値 $T'$ は，第3.5.1-2図の力のつり合いより以下のとおり算出される。

$$T' = \frac{F_a'}{2\sin\theta}$$

$\theta$  は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2\delta}{L_x}$$



第3.5.1-2図 ネットに発生する荷重のつり合いのイメージ

ネット $n$ 枚及び補助ネット1枚を重ねて設置する場合，補助ネットを設置したネットのワイヤロープに作用する張力は，その他のネットの張力の1.5倍となることを考慮すると，ネット $n$ 枚及び補助ネット1枚を重ねて設置する場合，1枚のネットのワイヤロープに発生する張力の最大値 $T_1'$ は，

$$T_1' \cdot 2 + \frac{2 \cdot 2}{3} T_1' \cdot (n-1) = T'$$

$$T_1' = \frac{3}{4n+2} T' = \frac{3}{4(2n+1)} \cdot \frac{F_a'}{\sin\theta}$$

と算出される。

また、全ワイヤロープの合計張力 $T_T$ は、

$$T_T = \frac{T'}{2}$$

と算出される。

(b) ターンバックル

ターンバックルの評価については、以下の評価を実施する。

ターンバックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、ターンバックルの許容限界未満であることを確認する。

(c) シャックル

シャックルの評価については、以下の評価を実施する。

シャックルに作用するワイヤロープに発生する張力の最大値が、シャックルの許容限界未満であることを確認する。

c. 接続治具(固定部)

(a) 隅角部固定ボルト

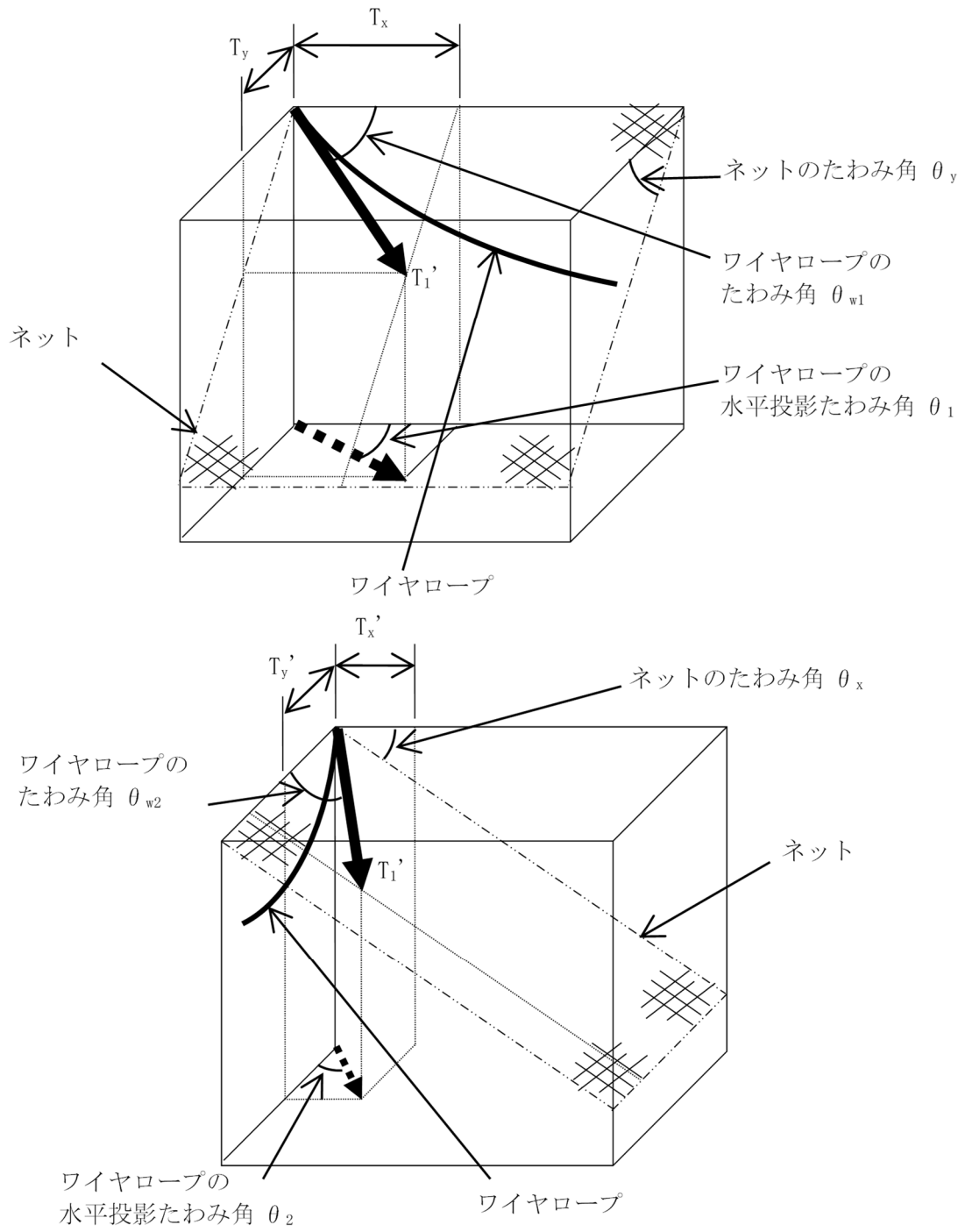
ワイヤロープは、設置するネット枚数に応じて設置するため、隅角部固定ボルトにかかる応力は、ネット枚数毎に評価する。

支持架構又は鋼製枠の四隅に設置した隅角部固定ボルトは、ワイヤロープの荷重を、保持管を介して受けることとなる。

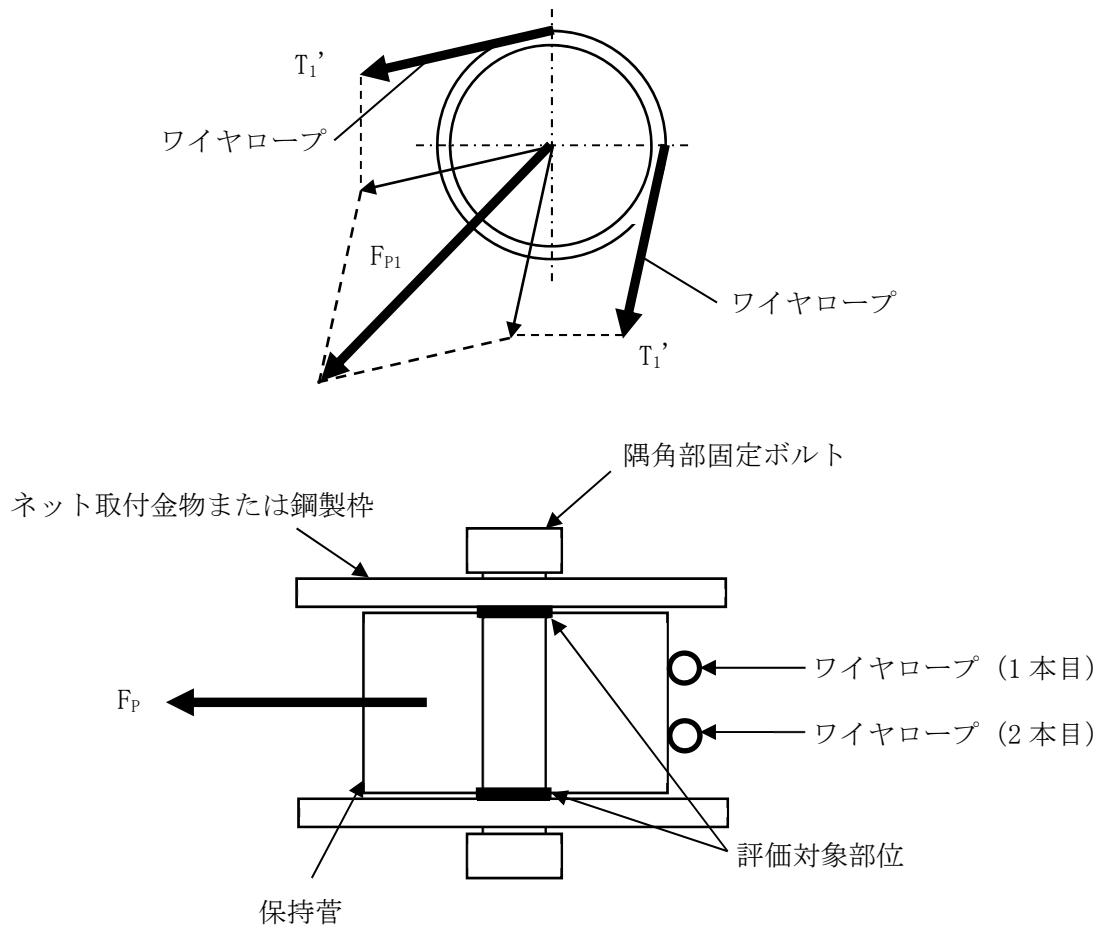
ワイヤロープはたわみにより保持管に対して $\theta_{w1}$ 、 $\theta_{w2}$ のたわみ角を有することから、隅角部固定ボルトへ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力のつり合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を第3.5.1-3図に、隅角部固定ボルトの荷重状態を第3.5.1-4図に示す。



第 3.5.1-3 図 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係



第3.5.1-4図 隅角部固定ボルトの荷重状態

1本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 $F_{p1}$ は

$$F_{p1} = \sqrt{F_{x1}^2 + F_{y1}^2}$$

より求まる。

ここで、

$$F_{x1} = T_x + T_x'$$

$$F_{y1} = T_y + T_y'$$

2本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 $F_{p2}$ は

$$F_{p2} = F_{p1}/1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重  $F_p$  は

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

以上より、隅角部固定ボルトに発生するせん断応力  $\tau_s$  は、

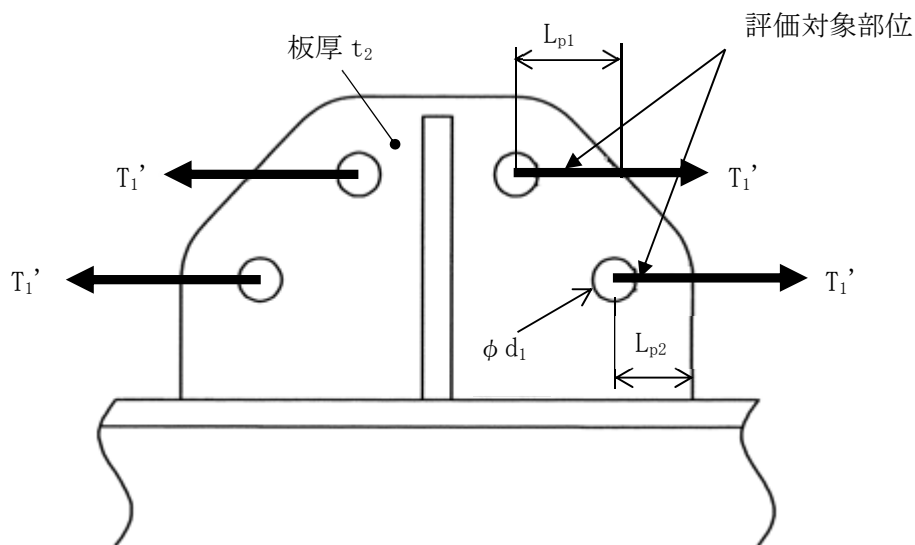
$$\tau_s = \frac{F_p}{2 \cdot n_2 \cdot A_{b1}}$$

となる。

(b) 取付プレート

イ. 支持架構設置

飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への飛来物による衝撃荷重は、ワイヤロープの引張荷重  $T_1'$  として作用し、取付プレートにせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。取付プレートを第3.5.1-5図に示す。



第3.5.1-5図 取付プレート(支持架構設置)

取付プレートの有効せん断面積  $A_{s1}$  は、

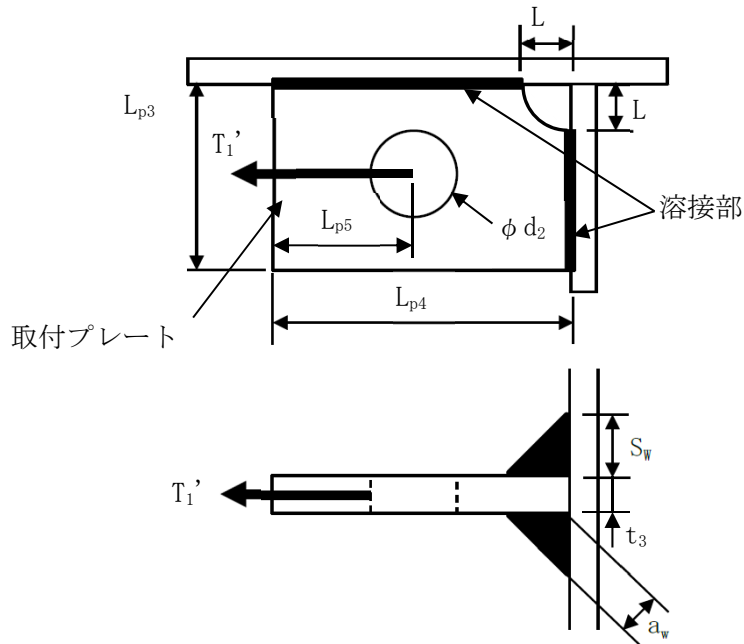
$$A_{s1} = 2 \cdot \left( \text{Min}(L_{p1}, L_{p2}) - \frac{\phi d_1}{2} \right) \cdot t_2$$

取付プレートに発生するせん断応力  $\tau_{p1}$  は、

$$\tau_{p1} = \frac{T_1'}{A_{s1}}$$

ロ. 鋼製枠設置

飛来物がネットに衝突する場合にネット取付部への飛来物による衝撃荷重は、ワイヤロープの引張荷重 $T_1'$ として作用し、取付プレート及び隅肉溶接部にせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。取付プレート及び溶接部を第3.5.1-6図に示す。



第3.5.1-6図 取付プレート(鋼製枠設置)

溶接部の有効長さ $L_{pw}$ は、

$$L_{pw} = L_{p3} - L - 2 \cdot S_w + L_{p4} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力 $\tau_w$ は、

$$\tau_w = \frac{T_1'}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで、溶接部ののど厚 $a_w$ は以下により求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

取付プレートの有効せん断面積 $A_{s2}$ は、

$$A_{s2} = 2 \cdot \left( L_{p5} - \frac{\phi d_2}{2} \right) \cdot t_3$$

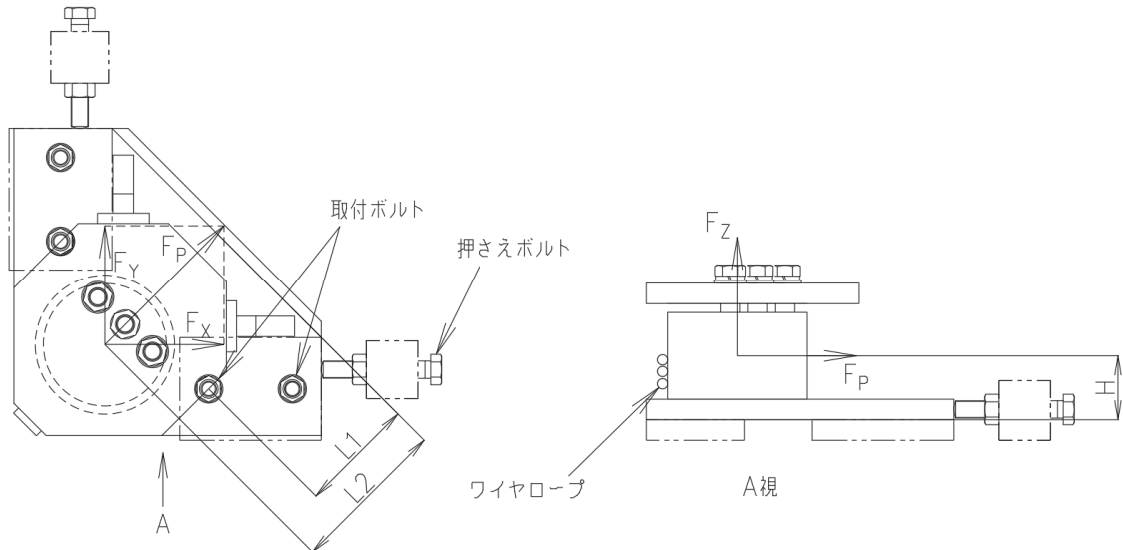
取付プレートに発生するせん断応力  $\tau_{p2}$  は,

$$\tau_{p2} = \frac{T_1'}{A_{s2}}$$



d. 接続部

飛来物がネットに衝突するとワイヤロープを介してネット取付金物等に荷重  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  が作用し、取付ボルトに引張応力が発生するため、引張応力評価を実施する。また、押さえボルトには圧縮応力が発生するため、圧縮応力評価を実施する。ネット取付金物等を第3.5.1-7図に示す。



※本図は内張り防護ネットにおけるネット取付金物に作用する荷重状態を示す。外張りの防護ネットにおいては、取付金物に作用する鉛直荷重  $F_z$  の向きが反対となる。

第3.5.1-7図 ネット取付金物等

取付ボルトへ作用する荷重  $P_1$  は、保持管中心部に生じるモーメントより、以下の式で求められる。

$$P_1 = \frac{F_t \cdot H + F_z \cdot L_2}{L_1}$$

ここで、

$$F_t = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$F_z = T_T \cdot \sin \theta_{w1} \cdot \sin \theta_y + T_T \cdot \sin \theta_{w2} \cdot \sin \theta_x$$

取付ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{b1}$  は、動的倍率を踏まえた係数1.52を考慮し、

$$\sigma_{b1} = \frac{P_1 \cdot 1.52}{n_3 \cdot A_{b2}}$$

また、押さえボルトに生じる圧縮応力  $\sigma_{b2}$  は、動的倍率を踏まえた係数1.52を考慮し、

$$\sigma_{b2} = \frac{\text{Max}(F_x, F_y) \cdot 1.52}{A_{b3}}$$

ここで、

$$F_x = T_T \cdot \sin \theta_1 + T_T \cdot \cos \theta_2$$

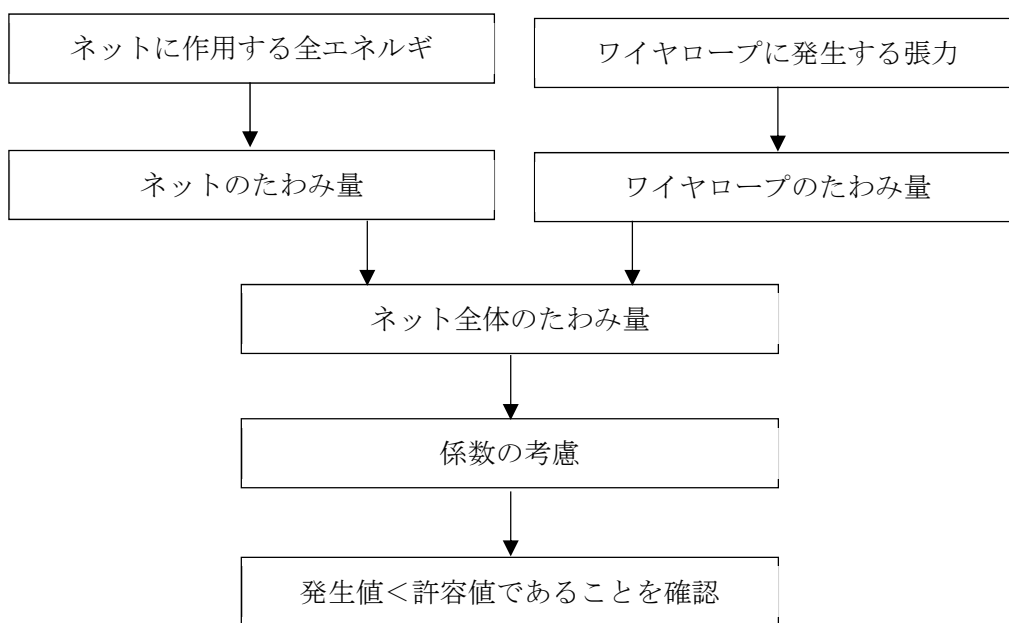
$$F_y = T_T \cdot \cos \theta_1 + T_T \cdot \sin \theta_2$$

### (3) たわみ評価

たわみ評価においては、吸収エネルギー算定モデルを用い、飛来物の運動エネルギー、風圧力による荷重、積雪荷重及び自重によるエネルギーを吸収するために必要となるネットのたわみ量を算出する。また、合わせてワイヤロープ張力に応じたワイヤロープのたわみ量についても算出し、離隔距離未満であることを確認する。

たわみ評価においては、等価剛性の影響を考慮した「3.4 許容限界 (1) 防護ネット a. 吸収エネルギー評価」と同様の係数を最大たわみ量が大きくなるように考慮する。

たわみ評価の評価フローを第3.5.1-8図に示す。



第3.5.1-8図 たわみ評価の評価フロー

a. ネット

ネットの変位量と吸収エネルギーとの関係は式⑩のとおり，以下の式にて算出される。

$$E_i = 2K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left( \sqrt{4\delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで， $K_x$ 及び $L_x$ は定数であるため，

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで，ネットへの付加エネルギーに応じたたわみ量 $\delta$ を算出することができる。

b. ワイヤロープ，ターンバックル及びシャックル

(a) ワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は，ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし，算出したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重-ひずみ曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで算出する。ネットのたわみ量は中央衝突時に最大となるため，ワイヤロープたわみ量を算出する際のワイヤロープ張力は，式⑬にて算出される中央衝突時の値を用いる。

$$T_1 = \frac{3}{4(2n+1)} \cdot \frac{F_a}{\sin \theta} \cdots \textcircled{13}$$

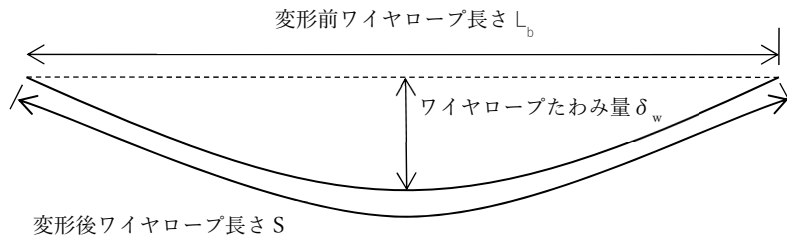
また，ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

式⑬に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量 $\varepsilon$ が算出される。したがって，変形によるワイヤロープの伸び量 $\delta'$ は以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

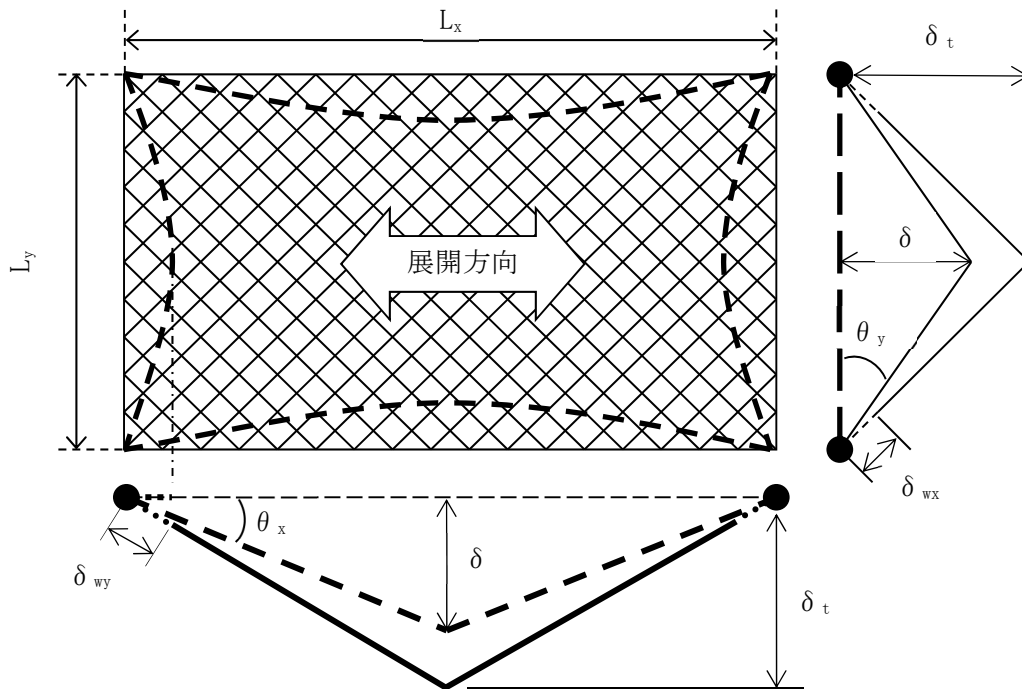
また，飛来物の衝突によりワイヤロープが第3.5.1-9図のとおり放物線状に変形すると，変形後のワイヤロープ長さ $S$ は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \delta_w} \ln \left( \frac{4 \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \delta_w^2}}{L_b} \right)$$



第3.5.1-9図 ワイヤロープ変形図

ワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量の算出を行う。ネット及びワイヤロープ変形図を第3.5.1-10図に示す。



第3.5.1-10図 ネット及びワイヤロープ変形図

ネット展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さを  $S_x$ 、ネット展開直角方向に配置されているワイヤロープの変形後の長さを  $S_y$  とすると、 $S_x$  及び  $S_y$  はそれぞれ  $\delta_{wx}$ 、 $\delta_{wy}$  の関数であり、ワイヤロープ伸び量  $\delta'$  は、

$$\delta' = (S_x(\delta_{wx}) - L_x) + (S_y(\delta_{wy}) - L_y)$$

と表される。

また、ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2\cos\theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表され、ワイヤロープたわみ量  $\delta_{wx}$  及び  $\delta_{wy}$  を算出することができ、同時にワイヤロープたわみ量を含めたネット全体のたわみ量  $\delta_t$  が算出される。

ここで、等価剛性の導出過程を踏まえた係数1.056を考慮し、ネット全体の最大たわみ量  $\delta_t'$  は、

$$\delta_t' = \delta_t \cdot 1.056$$

となる。

### 3.5.2 防護板(鋼材)の評価方法

#### (1) 貫通評価

防護板(鋼材)の貫通評価方法は、設定した許容限界板厚と設計板厚を比較し、設計板厚が許容限界板厚を上回っていることを確認することとする。

#### (2) 波及的影響評価

飛来物の衝突により防護板(鋼材)の変形によって取付ボルトが破断し、防護板(鋼材)が脱落しないことを確認するため、取付ボルトが許容限界未満であることを確認する。具体的には、防護板(鋼材)に対する飛来物による衝撃荷重は、衝突位置部近傍のボルトに荷重が集中し塑性変形および破断することが考えられるため、防護板とボルトをモデル化し、ボルトの変形、破断を考慮した衝突解析にて許容限界を満足することを確認する。

##### a. 評価モデル

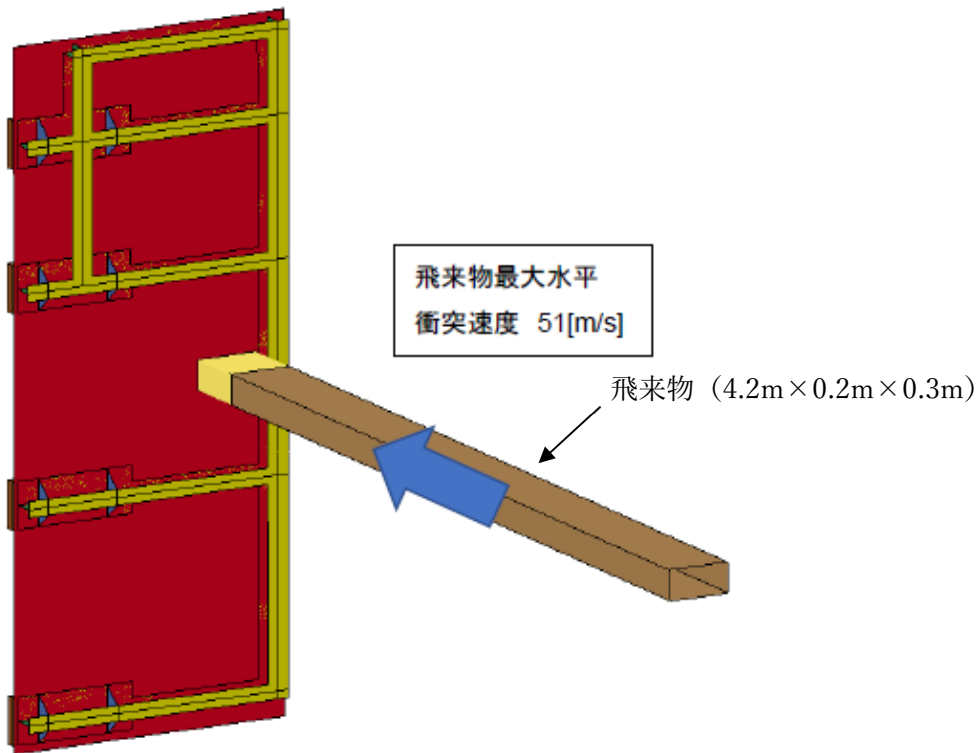
計算においては、防護板(鋼材)をシェル要素で、取付ボルトはビーム要素でモデル化し、解析コード「LS-DYNA(R. 7. 1. 2)」を用いて評価を実施する。

なお、評価に用いる解析コード「LS-DYNA(R. 7. 1. 2)」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-1-1-2-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

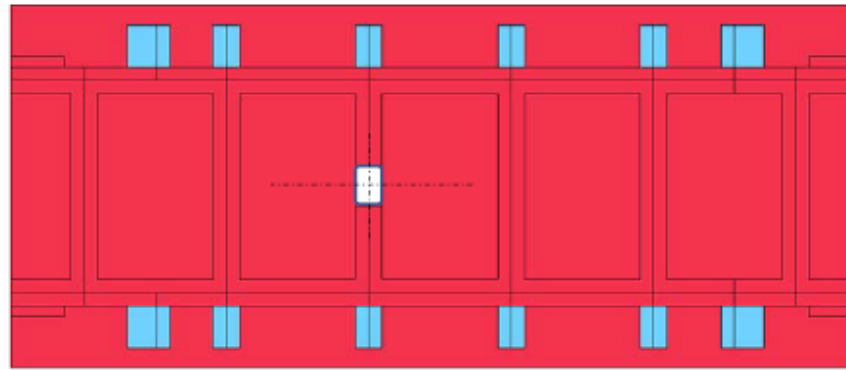
「3.1.2 防護板(鋼材)の評価対象部位」に基づき、評価ケースを第3.5.2-1表に、評価モデルを第3.5.2-1図に示す。

第3.5.2-1表 評価ケース

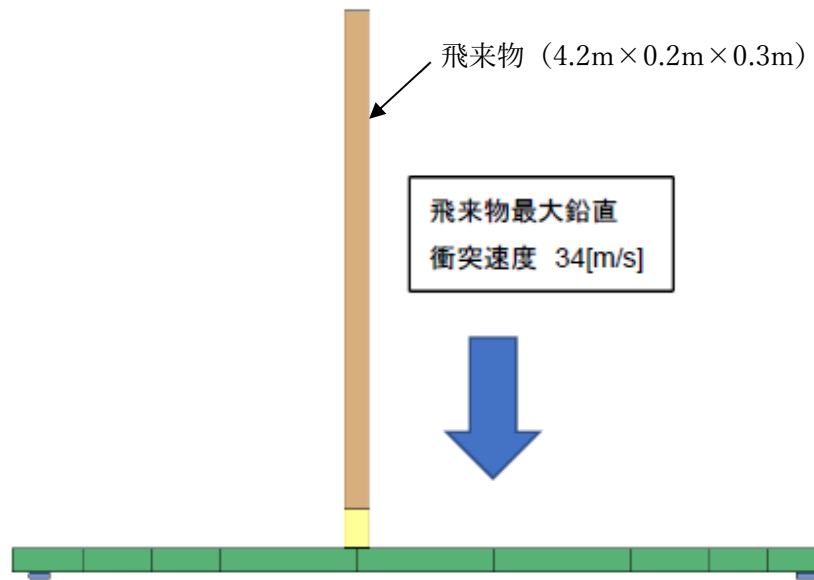
評価ケース	防護板(鋼材)の支持方法	取付ボルトの本数	飛来物速度	防護板(鋼材)サイズ
①	1辺で支持	32	51m/s <sup>2</sup> (水平衝突)	1,300mm× 4,400mm
②	相対する2辺以上で支持	32	34m/s <sup>2</sup> (鉛直衝突)	2,700mm× 6,300mm
③		40(手前側) 56(奥側)	51m/s <sup>2</sup> (水平衝突)	2,300mm× 5,100mm



第3.5.2-1図(1/3) 取付ボルト評価用の解析モデル図(ケース①)



屋上部分(伏図)

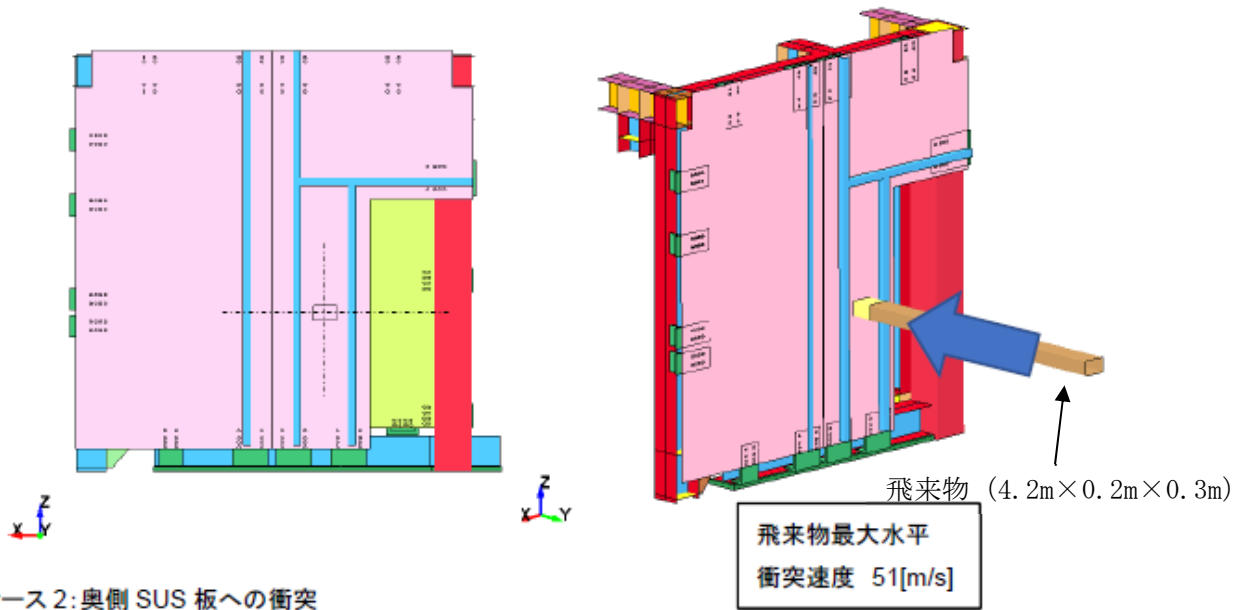


屋上部分(正面図)

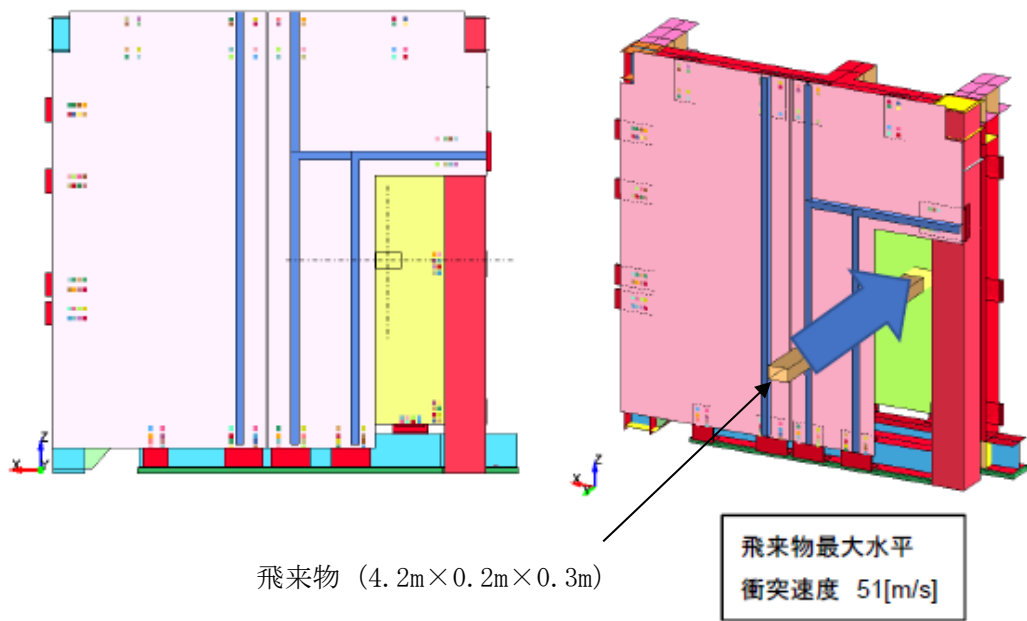


第3.5.2-1図(2/3) 取付ボルト評価用の解析モデル図(ケース②)

ケース1:手前側 SUS 板への衝突



ケース2:奥側 SUS 板への衝突



第3.5.2-1図(3/3) 取付ボルト評価用の解析モデル図(ケース③)



b. 材料モデル

材料モデルでは，取付ボルトの破断荷重を設定し，破断荷重を超えた取付ボルトは消去することにより取付ボルトの破断を表現する。

また，飛来物は保守的に破断荷重を超えても要素が消去しないものとする

防護板(鋼材)，取付ボルト及び飛来物に使用する鋼材の材料定数を第3.5.2-2表に示す。

材料定数は，JIS及び「鋼構造設計規準」に基づき設定し，JIS規格値を使用することで実機より降伏しやすい評価とする。

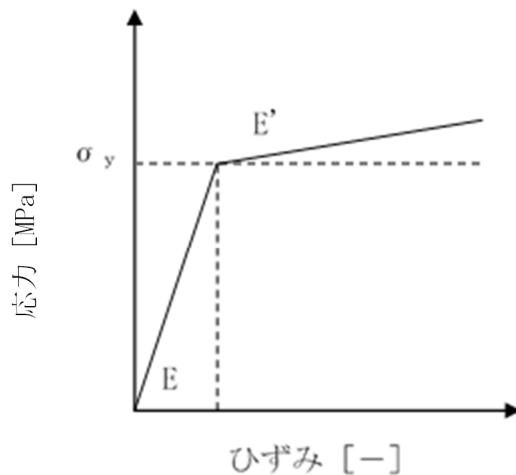
飛来物の衝突に対する解析は，変形速度が大きいいためひずみ速度効果を考慮することとし，日本溶接協会の動的物性の推定式(WES式)を適用する。

材料の応力-ひずみ関係はバイリニア型とする。

バイリニア型応力-ひずみ関係の概念図を第3.5.2-2図に示す。

第3.5.2-2表 使用材料の材料定数

部材	材質	降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)	接線係数 E' (MPa)	ポアソン比
防護板(鋼材)	SUS304	205	$1.95 \times 10^5$	1, 350	0.3
取付ボルト	強度区分8.8	660	$2.05 \times 10^5$	1, 410	0.3
飛来物	SN490B	325	$2.05 \times 10^5$	1, 380	0.3



第3.5.2-2図 バイリニア型応力-ひずみ関係の概念図

c. 評価式

ボルトに作用する各方向荷重と破断耐力との比率により破断判定を行い、ボルトが2本以上破断せずに残ることを確認する。

$$\left(\frac{p_u}{p_{u a}}\right)^2 + \left(\frac{q_u}{q_{u a}}\right)^2 \leq 1$$

$$p_{u a} = S_u \times A_b$$

$$q_{u a} = 0.6 \cdot S_u \times A_b$$

### 3.5.3 支持架構の評価方法

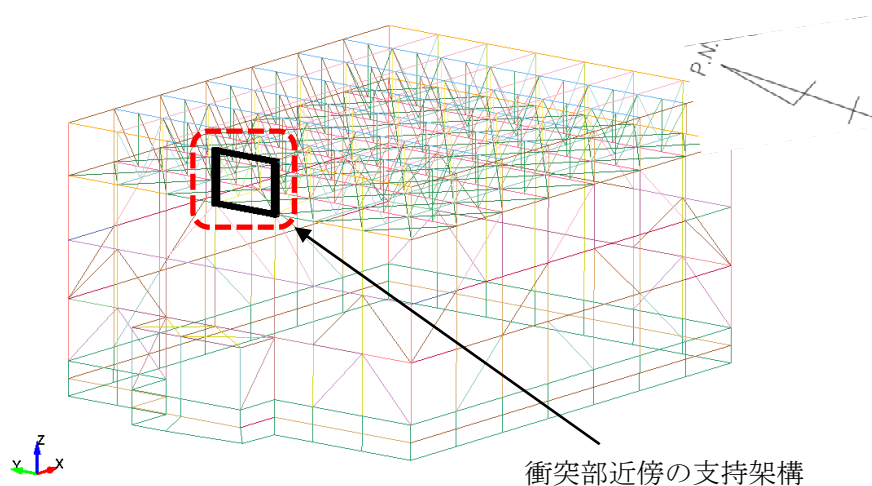
飛来物防護ネットの評価は、支持架構の評価モデルを用いて、貫通評価及び波及的影響評価を行い、許容限界未満であることを確認する。

#### (1) 評価モデル

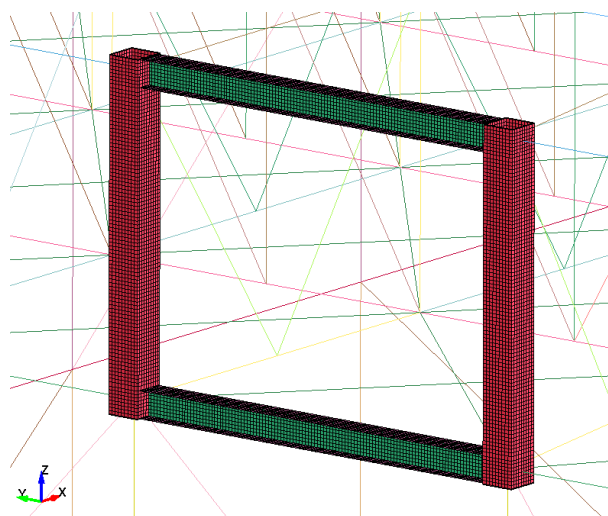
計算においては、支持架構全体を三次元フレームモデルによりモデル化し、解析コード「LS-DYNA(R.7.1.2)」を用いて評価を実施する。

なお、評価に用いる解析コード「LS-DYNA(R.7.1.2)」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-1-1-2-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

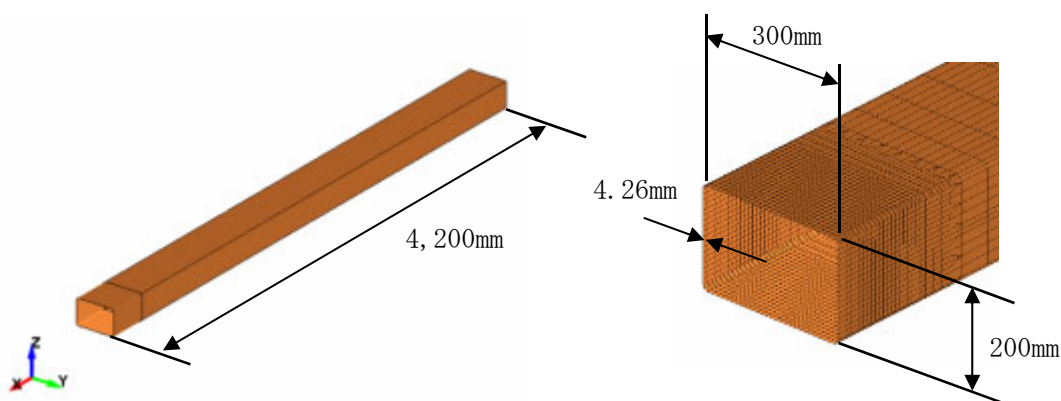
支持架構の評価モデルを第3.5.3-1図、飛来物の解析モデルを第3.5.3-2図に示す。



第3.5.3-1図 飛来物防護ネットの評価モデル図(1/2)



第3.5.3-1図 飛来物防護ネットの評価モデル図(2/2)



第3.5.3-2図 飛来物の解析モデル図

## (2) 材料モデル

材料モデルでは、支持架構の破断ひずみを設定し、破断ひずみを超えた要素は消去することにより部材の破壊を表現する。鋼材の応力-ひずみ関係はバイリニア型とし、鋼材の材料モデルにおける折れ点の強度は、JISの規格値(降伏応力、引張強さ)の下限値に対してNEI07-13に従って動的増加率を乗じた値とする。動的増加率はNEI07-13に基づき、降伏応力1.29、引張強さ1.10とする。

また、飛来物は保守的に破断ひずみを超えても要素が消去しないものとし、破断ひずみはNEI07-13に従い $0.14/TF$ (多軸性係数)とする。ここで、多軸性係数について、支持架構部材は $TF=2$ 、飛来物は $TF=1$ とする。

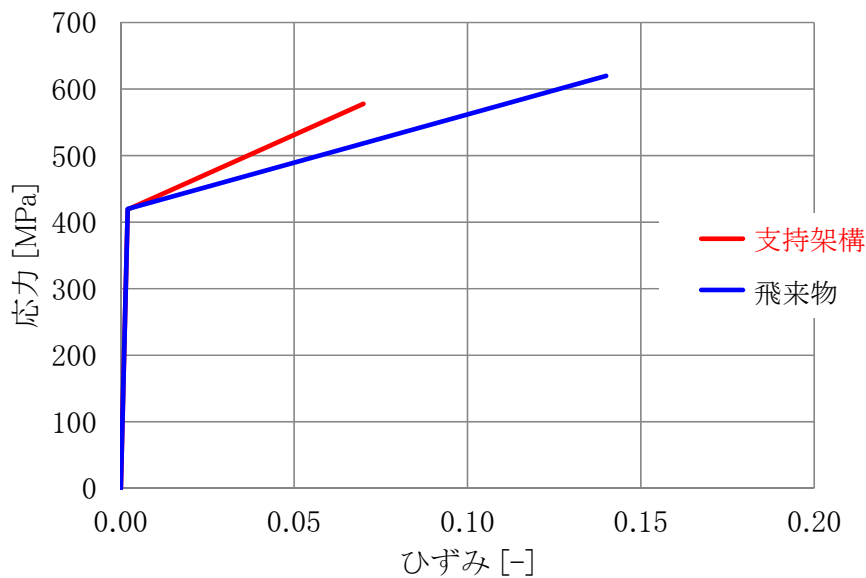
材料モデルの降伏応力及び引張強さの強度を第3.5.3-1表に、材料モデルにおける破断ひずみを第3.5.3-2表に、支持架構及び飛来物の応力-ひずみ線図を第3.5.3-3図に示す。

第3.5.3-1表 材料モデルの降伏応力及び引張強さ(単位：MPa)

対象	材質	規格値		材料モデル	
		降伏応力	引張強さ	降伏応力	引張強さ
支持架構	SN490B	325	490	419	578
飛来物	SN490B	325	490	420	620

第3.5.3-2表 材料モデルにおける破断ひずみ

対象	材質	破断ひずみ
支持架構	SN490B	0.07



第3.5.3-3図 支持架構及び飛来物の応力-ひずみ線図

(3) 評価式

a. 軸力及び曲げモーメントに対する評価方法

軸力及び曲げモーメントが生じる部材は、座屈を考慮し、部材に生じる軸応力及び曲げ応力の組合せ応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \text{又は} \quad \frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

b. せん断力に対する評価方法

せん断力が生じる部材は，部材に生じるせん断応力が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\frac{\tau_s}{f_s} \leq 1.0$$

#### 4. 評価条件

##### 4.1 荷重条件

飛来物による衝撃荷重の算定条件を第4.1-1表に、風圧力による荷重の算定条件を第4.1-2表に、積雪荷重の算定条件を第4.1-3表に示す。

第4.1-1表 飛来物の衝撃荷重の算定条件

飛来物	b×c (mm)	m (kg)	V <sub>1</sub> (m/s)	
			鉛直方向	水平方向
鋼製材	300×200	135	34	51

第4.1-2表 風圧力による荷重の算定条件

部材	C <sup>*1</sup> (-)	A <sub>w</sub> (m <sup>2</sup> )		G (-)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	V <sub>D</sub> (m/s)
		NS方向	EW方向			
支持架構 (座屈拘束ブレー ス以外)	2.1	1,503.2	1,397.8	1.0	1.22	100
支持架構 (座屈拘束ブレー ス)	1.2	100.0	96.0			
防護板	1.2	48.8	— <sup>*2</sup>			
防護ネット	1.4	1,758.0	1,461.6			

注記 \*1 : NS方向, EW方向共に同じ値

\*2 : EW方向に考慮すべき防護板は無い

第4.1-3表 積雪荷重の算定条件

単位面積当たりの積雪荷重 (N/m <sup>2</sup> /cm)	積雪高さ (cm)
30	66.5 <sup>*1</sup>

注記 \*1 : 六ヶ所村統計書における観測記録上の極値 190cm に、「建築基準法施行令」第八十二条に定める建築基準法の多雪区域における積雪荷重と地震荷重の組合せを適用して、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値

## 4.2 防護ネットの評価条件

### (1) ネット

#### a. ネット仕様

ネット仕様として，電中研報告書等を参照し，引張試験に用いたネットの仕様を第4.2-1表に示す。

第4.2-1表 ネットの諸元

項目	記号	仕様		備考
		主ネット	補助ネット	
ネット材料	-	SWG F-4 (JIS G 3548)		-
ネット目合い寸法	-	50mm	40mm	電中研報告書による
ネット1目合いの対角寸法	a	$50 \times \sqrt{2} =$ 70.7mm	$40 \times \sqrt{2} =$ 56.6mm	
ネット1目合いの破断変位	a <sub>s</sub>	17.6mm	13.9mm	
ネット素線の直径	-	4mm	4mm	
ネット1目合いの破断荷重	F <sub>bm</sub>	15.1kN	17.2kN	
ネット1目合いの等価剛性	K	858kN/m	1,239kN/m	
衝突箇所周辺の ネットの1枚当たりの交点数	n <sub>1</sub>	16個	20個	
ネットの素線の引張強度	-	1,400N/mm <sup>2</sup> 以上	1,400N/mm <sup>2</sup> 以上	
破断時たわみ角	θ <sub>max</sub>	36.8deg	36.6deg	
ネットの単位面積当たりの質量	-	4.6kg/m <sup>2</sup>	5.7kg/m <sup>2</sup>	メーカーの標準的な値
ネットの充実率	φ	0.39(3枚* <sup>2</sup> )		(計算値* <sup>1</sup> )

注記 \*1: 
$$\phi = 1 - \left( \frac{(\text{ネット目合い寸法: } 50\text{mm})^2}{(\text{ネット目合い寸法: } 50\text{mm} + \text{ネット素線径: } 4\text{mm})^2} \right)^2 \cdot \frac{(\text{ネット目合い寸法: } 40\text{mm})^2}{(\text{ネット目合い寸法: } 40\text{mm} + \text{ネット素線径: } 4\text{mm})^2}$$

\*2: 補助ネットを含む。



b. ネット構成

ネットの構成を第4.2-2表及び第4.2-1図に示す。

第4.2-2表 ネットの構成(1/3)

No.	ネットサイズ(m)			ネット枚数 n
	Lx	×	Ly	
AT01-14	5.673	×	4.623	2枚 (1枚)
AT15	5.673	×	3.033	
AT16-21	5.673	×	4.623	
AT22	5.673	×	4.233	
AT23-49	5.673	×	4.623	
AS01-03	5.673	×	4.380	
AS04	5.890	×	4.730	
AS05-06	5.673	×	4.473	
AS07-10	5.673	×	4.973	
AS11-17	5.673	×	4.013	
AS18-20	5.673	×	4.380	
AS21	4.880	×	4.473	
AS22-24	5.673	×	4.473	
AS25	4.880	×	4.473	
AS26-28	5.673	×	4.680	
AN01-04	5.673	×	4.230	
AN05-07	5.673	×	4.473	
AN08-11	5.673	×	4.973	
AN12-18	5.673	×	4.013	
AN19-21	5.673	×	4.380	

( )内は補助ネット枚数

第4.2-2表 ネットの構成(2/3)

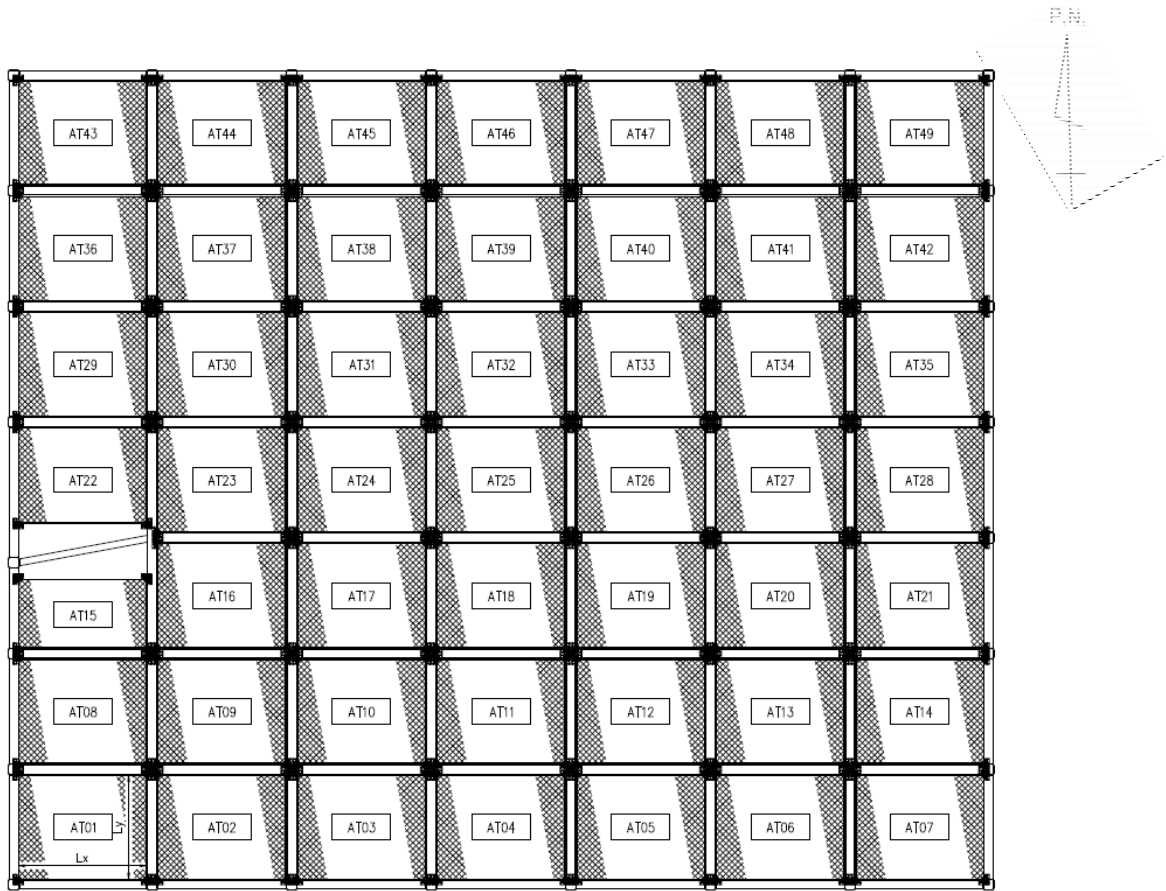
No.	ネットサイズ(m)			ネット枚数 n
	Lx	×	Ly	
AN22	4.880	×	4.473	2枚 (1枚)
AN23-24	5.673	×	4.473	
AN25	4.880	×	4.473	
AN26-28	5.673	×	4.680	
AE01-03	4.623	×	4.230	
AE04-06	4.623	×	4.473	
AE07-10	4.973	×	4.623	
AE11-17	4.623	×	4.013	
AE18	4.380	×	4.305	
AE19-20	4.623	×	4.380	
AE21	4.380	×	4.305	
AE22	4.473	×	4.305	
AE23-24	4.623	×	4.473	
AE25	4.473	×	4.305	
AE26-28	4.680	×	4.623	
AW01	4.623	×	4.180	
AW02	5.723	×	4.180	
AW03-06	4.973	×	4.623	
AW07-09	4.623	×	4.013	
AW10	5.723	×	4.013	
AW11	4.013	×	3.523	
AW12-13	4.623	×	4.013	
AW14	4.380	×	4.305	
AW15	4.623	×	4.380	
AW16	4.380	×	3.523	
AW17	4.623	×	4.380	
AW18	4.380	×	4.305	

( )内は補助ネット枚数

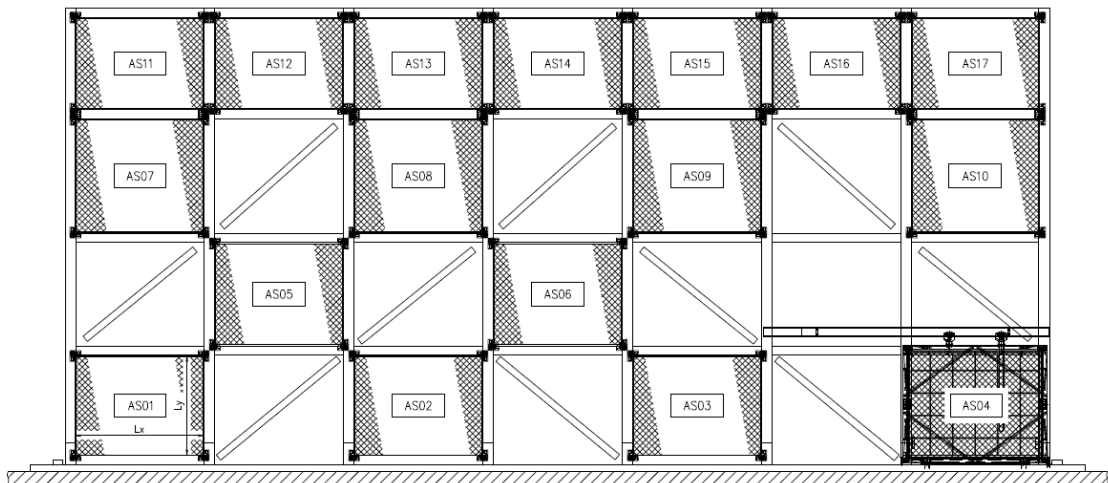
第4.2-2表 防護ネットの構成(3/3)

No.	ネットサイズ(m)			ネット枚数 n
	Lx	×	Ly	
AW19	4.473	×	4.305	2枚 (1枚)
AW20	4.623	×	4.473	
AW21	4.473	×	3.523	
AW22	4.623	×	4.473	
AW23	4.473	×	4.305	
AW24	4.680	×	3.523	
AW25	5.723	×	4.680	
AW26	4.680	×	4.623	
AHW01	4.623	×	4.230	
AHW02	5.723	×	4.230	

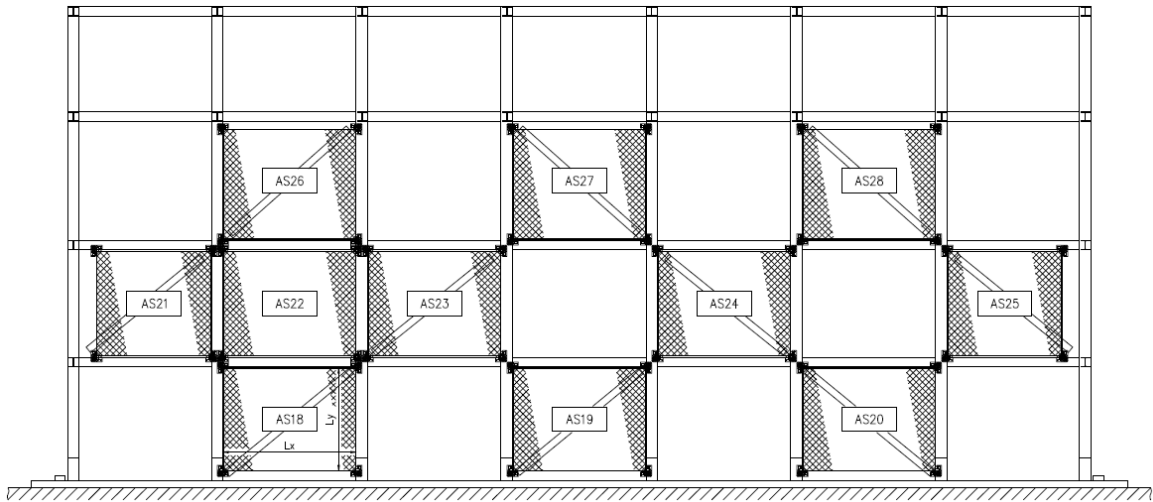
( )内は補助ネット枚数



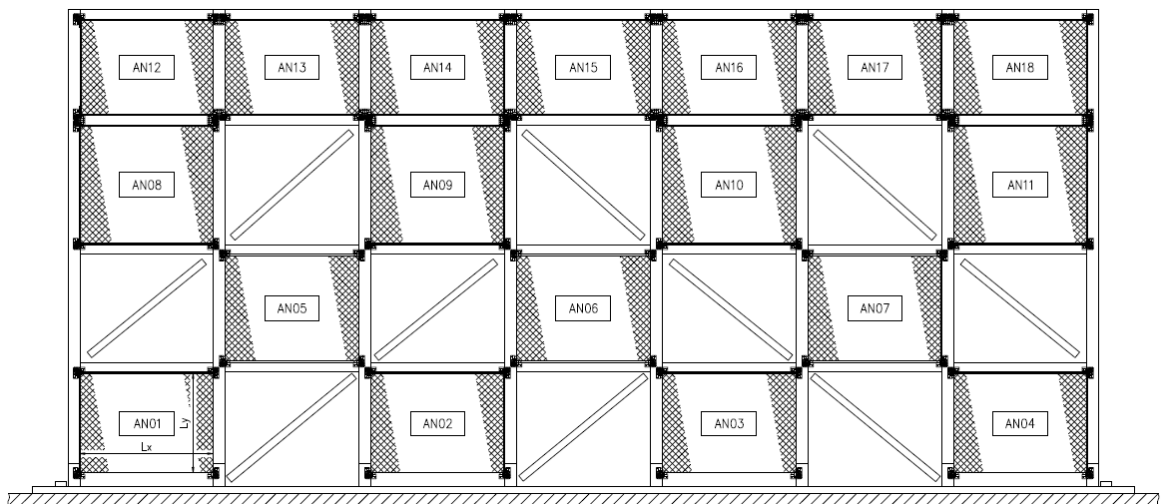
第4.2-1図 ネット割付展開図(天面) (1/10)



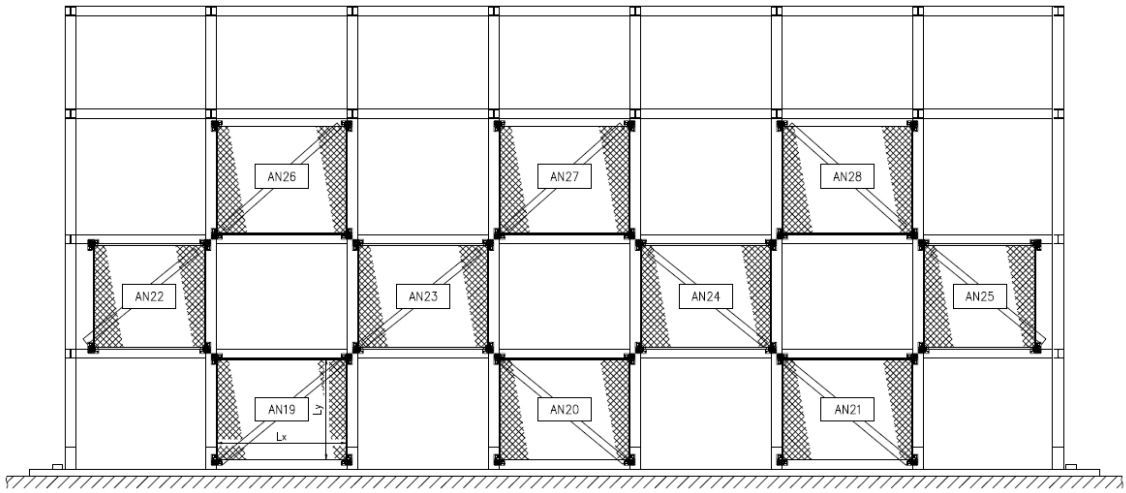
第4.2-1図 ネット割付展開図(南側外面) (2/10)



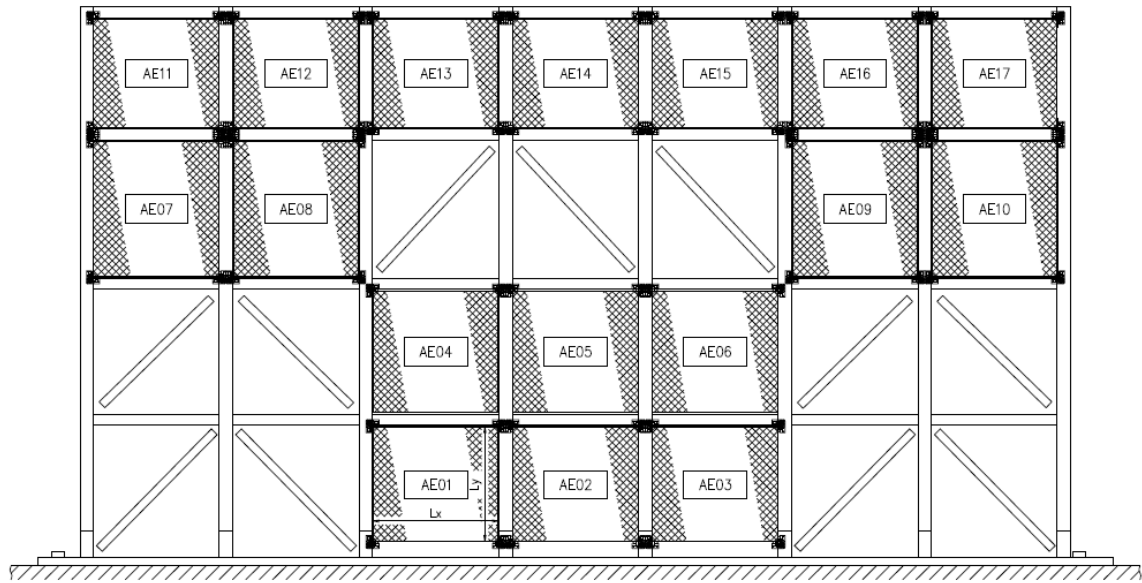
第4.2-1図 ネット割付展開図(南側内面) (3/10)



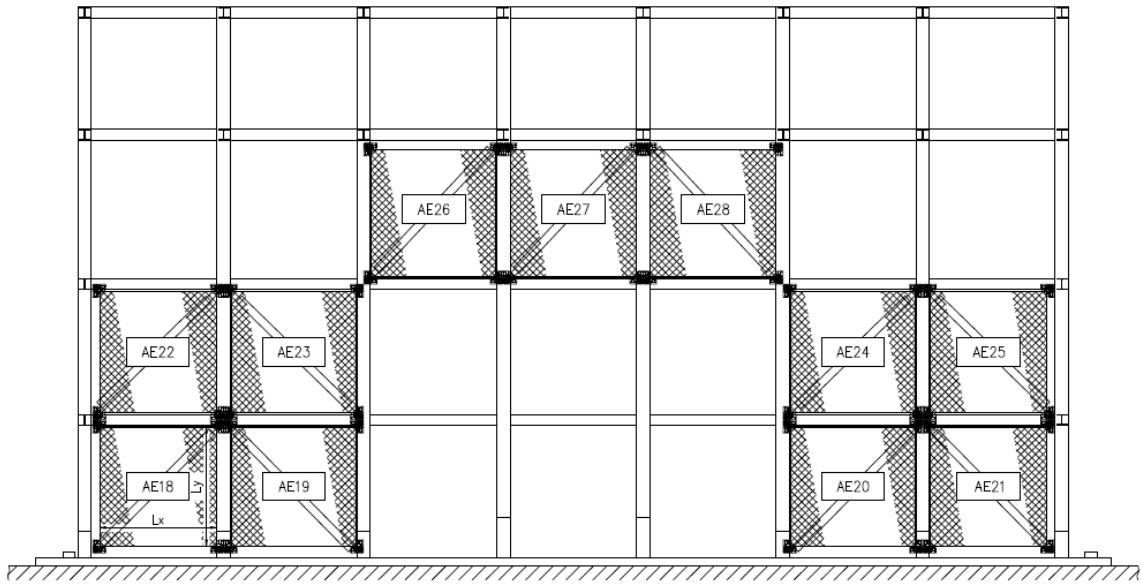
第4.2-1図 ネット割付展開図(北側外面) (4/10)



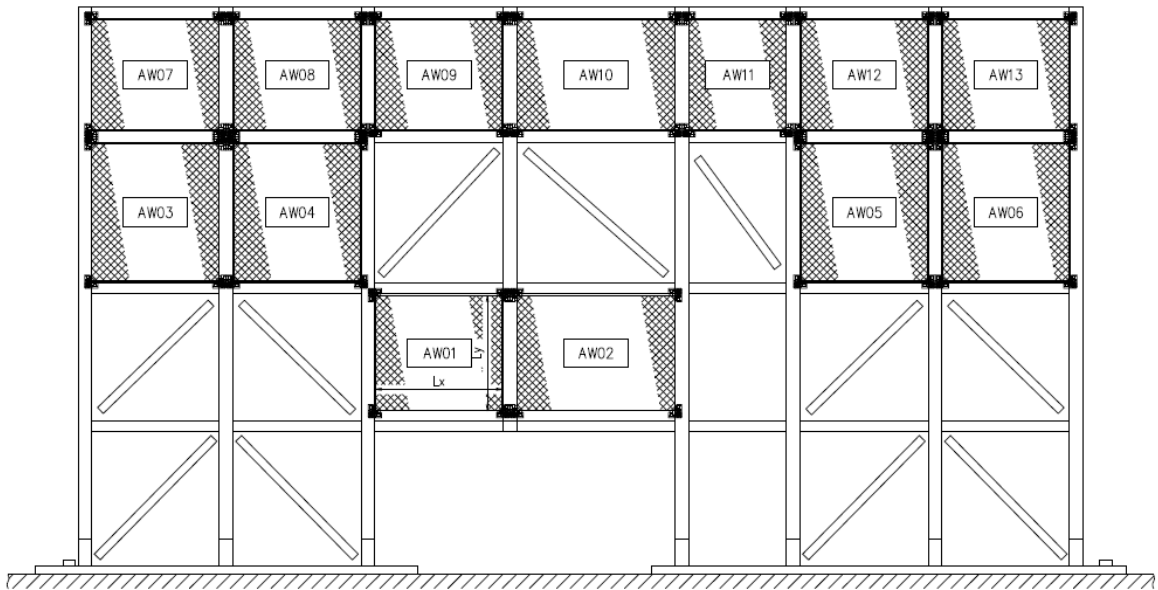
第4.2-1図 ネット割付展開図(北側内面) (5/10)



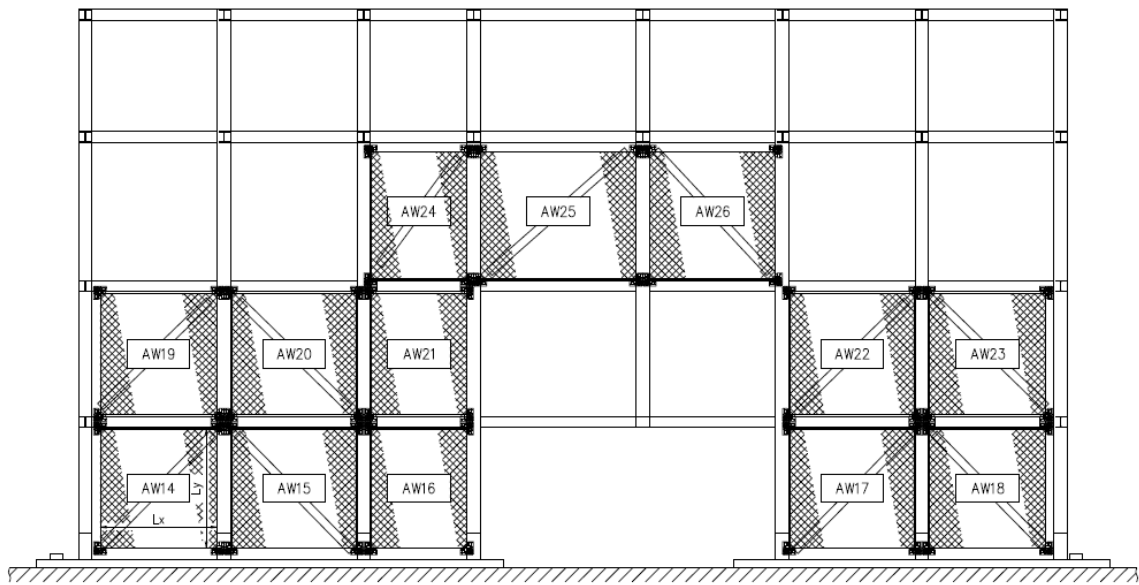
第4.2-1図 ネット割付展開図(東側外面) (6/10)



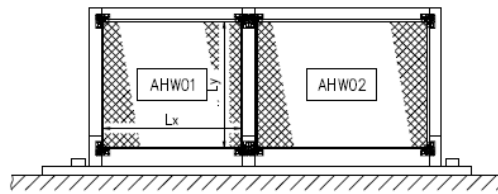
第4.2-1図 ネット割付展開図(東側内面) (7/10)



第4.2-1図 ネット割付展開図(西側外面) (8/10)



第4.2-1図 ネット割付展開図(西側内面) (9/10)



第4.2-1図 ネット割付展開図(西側張り出し部) (10/10)



(2) ワイヤロープ及び接続治具(支持部)

評価における条件を以下に示す。

a. ワイヤロープ

ワイヤロープの仕様を第4.2-3表に示す。

第4.2-3表 ワイヤロープの仕様

評価対象部位	仕様	径	破断荷重 F <sub>bw</sub> (kN)	ワイヤグリップ効率 C <sub>c</sub>
ワイヤロープ	7×7	φ16	165 <sup>(*1)</sup>	0.8 <sup>(*2)</sup>

注記 \*1: JIS G 3549の破断強度

\*2: JIS B 2809及び「小規模吊橋指針・同解説((社)日本道路協会)」

b. ターンバックル

ターンバックルの仕様を第4.2-4表に示す。

第4.2-4表 ターンバックルの仕様

評価対象部位	規格値 (kN)	許容限界 (kN)
ターンバックル	86.8	130.2

c. シャックル

シャックルの仕様を第4.2-5表に示す。

第4.2-5表 シャックルの仕様

評価対象部位	規格値 (kN)	許容限界 (kN)
シャックル	78.4	156.8

(3) 接続治具(固定部)

a. 接続治具(固定部)

評価における条件を以下に示す。

(a) 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの評価条件を第4.2-6表に示す。

第4.2-6表 隅角部固定ボルトの評価条件

評価対象部位	ボルト径	材質	ボルト本数 $n_2$
隅角部固定ボルト	M27	強度区分8.8	3本

(b) 取付プレート

イ. 支持架構設置

取付プレート(支持架構設置)の評価条件を第4.2-7表に示す。

第4.2-7表 取付プレート(支持架構設置)の評価条件

評価対象部位	材質	取付け孔位置寸法		取付け孔径 $\phi d_1$ (mm)	板厚 $t_2$ (mm)
		$L_{p1}$ (mm)	$L_{p2}$ (mm)		
取付プレート	SN490B	69.6	55	33	32

ロ. 鋼製枠設置

取付プレート(鋼製枠設置)の評価条件を第4.2-8表に示す。

第4.2-8表 取付プレート(鋼製枠設置)の評価条件

評価対象部位	材質	プレート長さ		取付け孔位置寸法 $L_{p5}$ (mm)	面取り長さ L (mm)	取付け孔径 $\phi d_2$ (mm)	板厚 $t_3$ (mm)	溶接脚長 $S_w$ (mm)
		$L_{p3}$ (mm)	$L_{p4}$ (mm)					
取付プレート	SS400	-	-	45	-	33	22	-
溶接部	SS400*1	100	130	-	25	-	-	9

注記 \*1: 母材である取付プレートの材質

b. ネット取付金物等

ネット取付金物等の評価条件を第4.2-9表に示す。

第4.2-9表 ネット取付金物等の評価条件

評価対象部位	ボルト径	材質	モーメント支点からの距離		取付け面から保持管中心までの距離H (mm)	評価対象の取付ボルト本数 $n_3$ (本)
			ボルトまで $L_1$ (mm)	保持管中心まで $L_2$ (mm)		
取付ボルト	M24	強度区分10.9	180.3	245.5	106.5	2
押さえボルト	M27		-※	-※	-※	-※

※押さえボルトには、モーメントによる荷重は作用しないため、対象外。

#### 4.3 防護板(鋼材)の評価条件

##### (1) 貫通評価

貫通評価に用いる条件を第4.3-1表に示す。

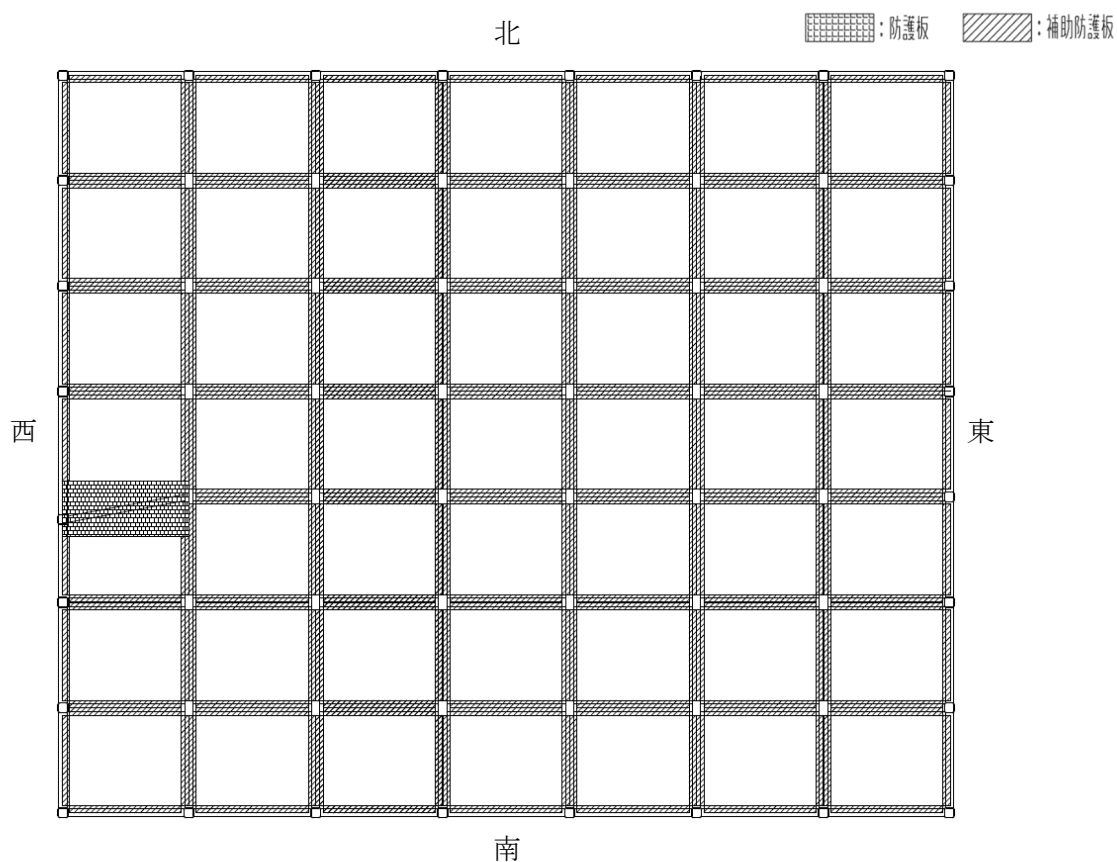
なお、評価において考慮する飛来物の飛来速度は、鉛直方向よりも値が大きい水平方向で代表する。

第4.3-1表 評価に用いる条件

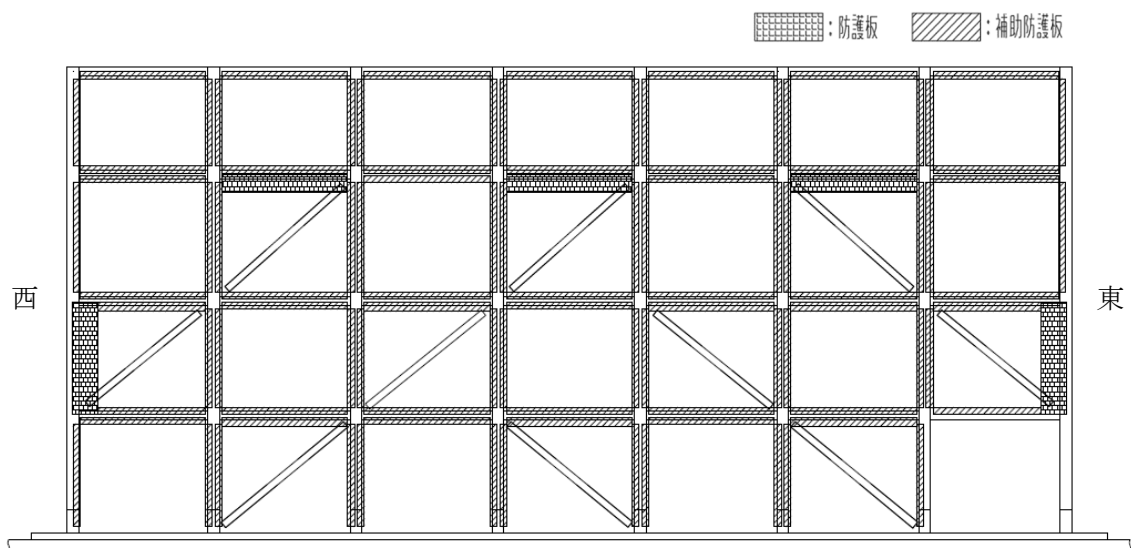
記号	単位	数値
d	m	0.311
K	-	1.0
M	kg	135
v	m/s	51

##### (2) 波及的影響評価

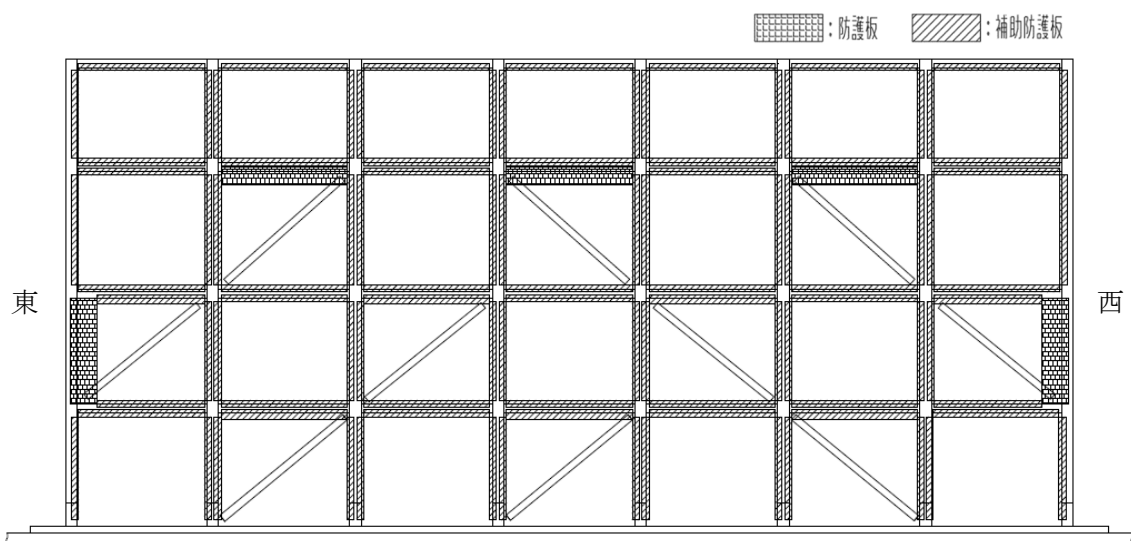
防護板及び補助防護の配置を第4.3-1図に示す。波及的影響評価に用いる条件を第4.3-2表に示す。



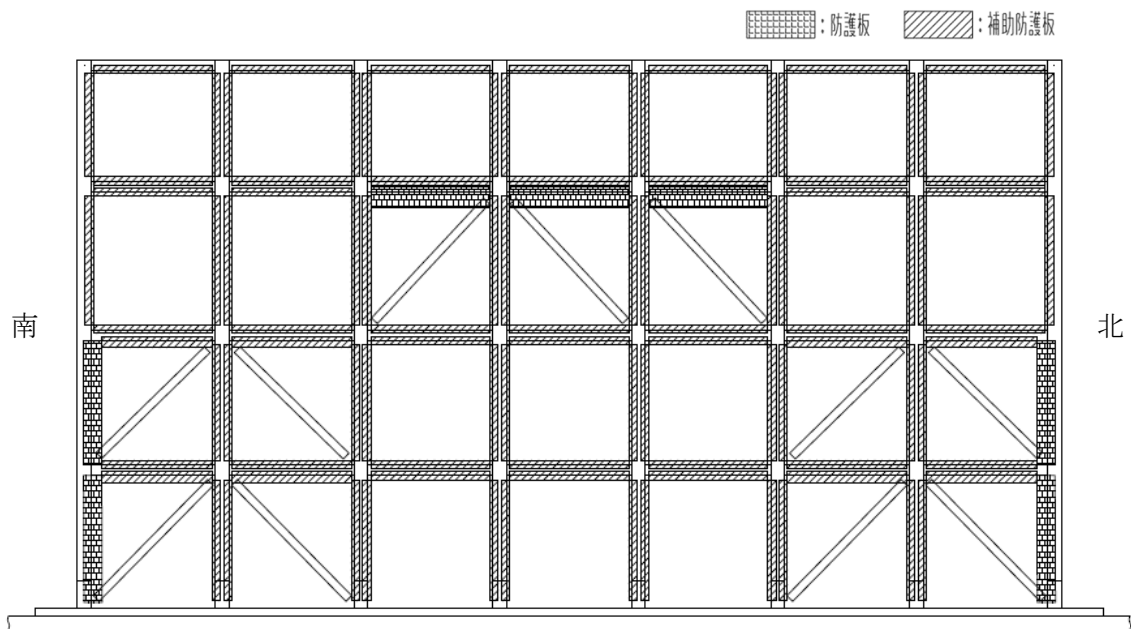
第4.3-1図 防護板及び補助防護板 配置図(天面) (1/6)



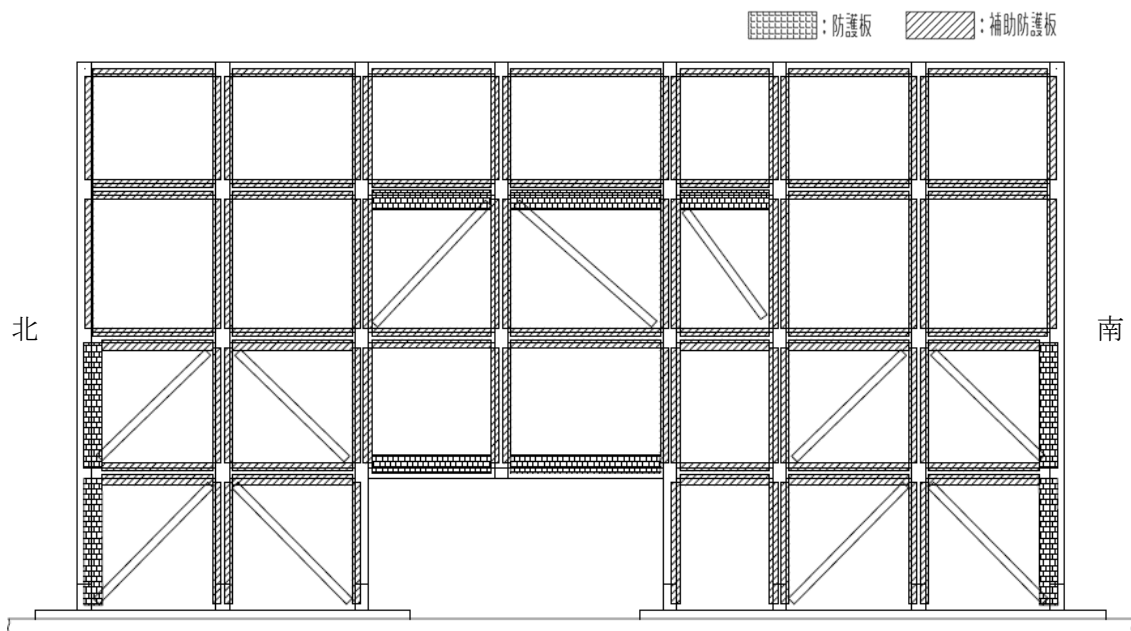
第4.3-1図 防護板及び補助防護板 配置図(南面) (2/6)



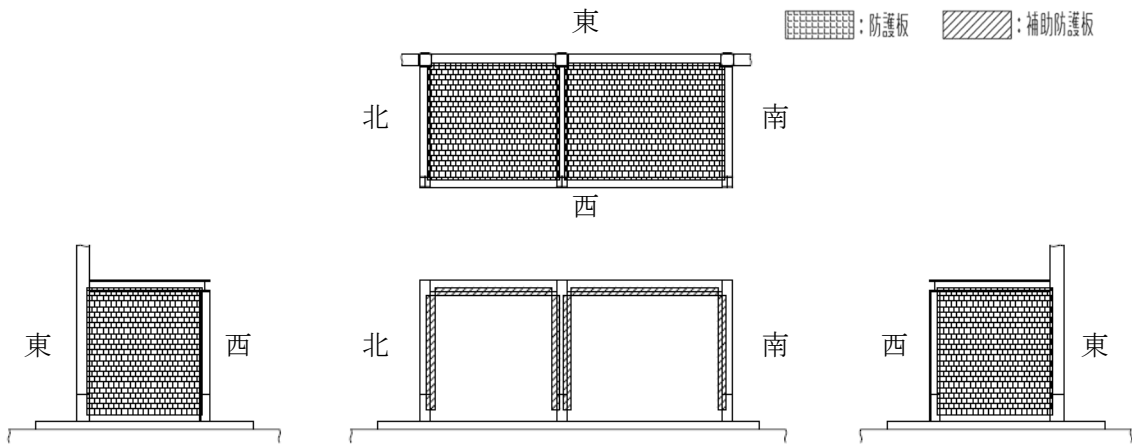
第4.3-1図 防護板及び補助防護板 配置図(北面) (3/6)



第4.3-1図 防護板及び補助防護板 配置図(東面) (4/6)



第4.3-1図 防護板及び補助防護板 配置図(西面) (5/6)



第4.3-1図 防護板及び補助防護板 配置図(西面) (6/6)

第4.3-2表 取付ボルトの評価に用いる条件

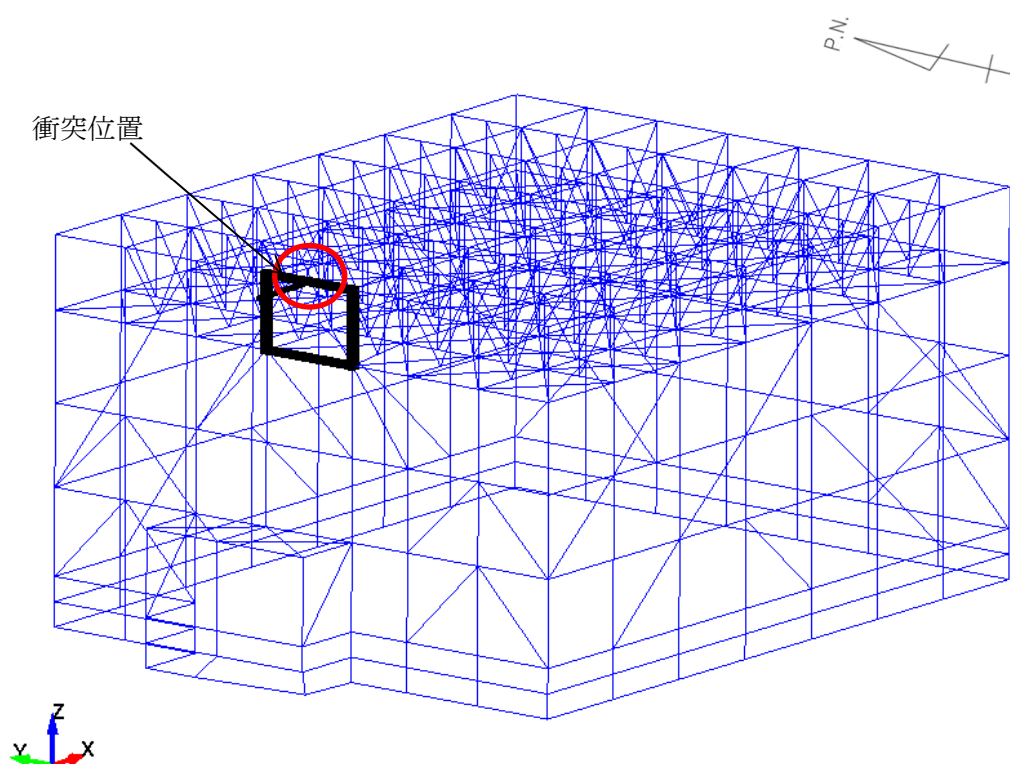
評価ケース	防護板(鋼材) サイズ (mm)	全数 (本)	取付ボルト 引張強さ $S_u$ (MPa)	取付ボルト 有効断面積 $A_b$ ( $\text{mm}^2$ )
①	1, 300×4, 400	32	830	694
②	2, 700×6, 300	32	830	353
③	2, 300×5, 100	40(手前側) 56(奥側)	830	353

#### 4.4 支持架構の評価条件

##### (1) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の評価モデル

「3.1.3 支持架構の評価対象部位」に基づき、飛来物の衝突位置を第4.4-1図に示す。飛来物の衝突位置は、以下の条件に該当する部材を選定した。

- ・支持架構を構成する部材のうち、板厚が最も薄いもの
- ・部材が最長のもの。
- ・支持架構の頂部のもの。



第4.4-1図 飛来物衝突位置図

##### (2) 材料定数

貫通評価に用いる部材の材料定数を第4.4-1表に示す。材料定数は、「鋼構造設計規準」に基づいて設定する。

第4.4-1表 材料定数

部材	材料	縦弾性係数E (MPa)	ポアソン比
支持架構	SN490B	$2.05 \times 10^5$	0.3
	BCP325		
飛来物	SN490B	$2.05 \times 10^5$	0.3



(3) 使用材料の許容限界

使用材料の許容限界を第4.4-2表、衝突部の仕様を第4.4-3表から第4.4-5表に示す。

第4.4-2表 使用材料の許容限界

部材	材料	基準強度(MPa)	備考
支持架構	SN490B	325	短期応力の許容応力を1.1倍した値を許容限界として設定
	BCP325		
飛来物	SN490B		

第4.4-3表 飛来物防護ネットの貫通評価対象部位

対象	仕様(mm)	材質
支持架構	はり中央	H-400×400×13×21 SN490B

第4.4-4表 飛来物防護ネットの脱落評価対象部位

対象	仕様(mm)	材質
支持架構	はり端部 (柱はり接合部)	H-400×400×13×21 SN490B

第4.4-5表 飛来物防護ネットの転倒評価対象部位

対象	仕様(mm)	材質
支持架構	柱脚部1	□-500×500×28 BCP325
	柱脚部2	H-400×400×13×21 SN490B

## 5. 強度評価結果

### 5.1 防護ネットの強度評価結果

#### (1) 吸収エネルギー評価

竜巻発生時の吸収エネルギー評価結果を第5.1-1表に示す。

すべてのネットにおいて、作用する全エネルギー( $E_t$ )は、ネットの限界吸収エネルギー( $E_{max}'$ )を下回っている。

第5.1-1表 吸収エネルギー評価結果(1/3)

No.	$E_t$ (kJ)	$E_{max}'$ (kJ)	検定比*1 (-)
AT01-14	86	390	0.23
AT15	83	249	0.34
AT16-21	86	390	0.23
AT22	85	358	0.24
AT23-49	86	390	0.23
AS01-03	189	369	0.52
AS04	191	391	0.49
AS05-06	189	380	0.50
AS07-10	190	397	0.48
AS11-17	188	323	0.59
AS18-20	189	369	0.52
AS21	185	325	0.57
AS22-24	189	380	0.50
AS25	185	325	0.57
AS26-28	189	376	0.51
AN01-04	188	358	0.53
AN05-07	189	380	0.50
AN08-11	190	397	0.48
AN12-18	188	323	0.59
AN19-21	189	369	0.52
AN22	185	325	0.57
AN23-24	189	380	0.50

注記 \*1 : 検定比= $E_t/E_{max}'$  (小数第三位を切上げ)

第5.1-1表 吸収エネルギー評価結果(2/3)

(つづき)

No.	$E_t$ (kJ)	$E_{max}'$ (kJ)	検定比*1 (-)
AN25	185	325	0.57
AN26-28	189	376	0.51
AE01-03	184	292	0.64
AE04-06	184	309	0.60
AE07-10	186	342	0.55
AE11-17	183	263	0.70
AE18	183	268	0.69
AE19-20	184	301	0.62
AE21	183	268	0.69
AE22	183	271	0.68
AE23-24	184	309	0.60
AE25	183	271	0.68
AE26-28	184	321	0.58
AW01	183	292	0.63
AW02	188	365	0.52
AW03-06	186	342	0.55
AW07-09	183	263	0.70
AW10	188	329	0.58
AW11	181	217	0.84
AW12-13	183	263	0.70
AW14	183	268	0.69
AW15	184	301	0.62
AW16	182	238	0.77
AW17	184	301	0.62
AW18	183	268	0.69
AW19	183	271	0.68
AW20	184	309	0.60

注記 \*1：検定比= $E_t/E_{max}'$  (小数第三位を切上げ)

第5.1-1表 吸収エネルギー評価結果(3/3)

(つづき)

No.	$E_t$ (kJ)	$E_{max}'$ (kJ)	検定比* <sup>1</sup> (-)
AW21	182	240	0.76
AW22	184	309	0.60
AW23	183	271	0.68
AW24	182	251	0.73
AW25	190	383	0.50
AW26	184	321	0.58
AHW01	184	292	0.64
AHW02	188	365	0.52

注記 \*1: 検定比= $E_t/E_{max}'$  (小数第三位を切上げ)

(2) 破断評価

a. ネット

竜巻発生時の局部貫通(飛来物による衝撃荷重)評価結果を第5.1-2表に示す。

すべてのネットにおいて、飛来物による衝撃荷重( $F_a'$ )は、ネットの許容荷重( $F_n$ )を下回っている。

第5.1-2表 局部貫通(飛来物による衝撃荷重)評価結果(1/3)

No.	$F_a'$ (kN)	$F_n'$ (kN)	検定比* <sup>1</sup> (-)
AT01-14	200.4	783	0.26
AT15	173.2	783	0.23
AT16-21	200.4	783	0.26
AT22	194.2	783	0.25
AT23-49	200.4	783	0.26
AS01-03	352.4	783	0.46
AS04	347.1	783	0.45
AS05-06	355.1	783	0.46
AS07-10	360.3	783	0.47
AS11-17	338.8	783	0.44
AS18-20	352.4	783	0.46
AS21	389.8	783	0.50
AS22-24	355.1	783	0.46
AS25	389.8	783	0.50
AS26-28	353.6	783	0.46
AN01-04	348.1	783	0.45
AN05-07	355.1	783	0.46
AN08-11	360.3	783	0.47
AN12-18	338.8	783	0.44
AN19-21	352.4	783	0.46
AN22	389.8	783	0.50
AN23-24	355.1	783	0.46

注記 \*1: 検定比= $F_a'/F_n'$  (小数第三位を切上げ)

第5.1-2表 局部貫通(飛来物による衝撃荷重)評価結果(2/3)

(つづき)

No.	$F_a'$ (kN)	$F_n'$ (kN)	検定比* <sup>1</sup> (-)
AN25	389.8	783	0.50
AN26-28	353.6	783	0.46
AE01-03	398.6	783	0.51
AE04-06	404.5	783	0.52
AE07-10	389.5	783	0.50
AE11-17	385.7	783	0.50
AE18	409.2	783	0.53
AE19-20	401.6	783	0.52
AE21	409.2	783	0.53
AE22	401.6	783	0.52
AE23-24	404.5	783	0.52
AE25	401.6	783	0.52
AE26-28	403.1	783	0.52
AW01	396.4	783	0.51
AW02	346.8	783	0.45
AW03-06	389.5	783	0.50
AW07-09	385.7	783	0.50
AW10	337.4	783	0.44
AW11	419.1	783	0.54
AW12-13	385.7	783	0.50
AW14	409.2	783	0.53
AW15	401.6	783	0.52
AW16	395.1	783	0.51
AW17	401.6	783	0.52
AW18	409.2	783	0.53
AW19	401.6	783	0.52
AW20	404.5	783	0.52

注記 \*1: 検定比= $F_a'/F_n'$  (小数第三位を切上げ)

第5.1-2表 局部貫通(飛来物による衝撃荷重)評価結果(3/3)

(つづき)

No.	$F_a'$ (kN)	$F_n'$ (kN)	検定比* <sup>1</sup> (-)
AW21	387.8	783	0.50
AW22	404.5	783	0.52
AW23	401.6	783	0.52
AW24	374.8	783	0.48
AW25	354.1	783	0.46
AW26	403.1	783	0.52
AHW01	398.6	783	0.51
AHW02	346.5	783	0.45

注記 \*1: 検定比= $F_a' / F_n'$  (小数第三位を切上げ)

b. ワイヤロープ及び接続冶具(支持部)

(a) ワイヤロープ

竜巻発生時の評価結果を第5.1-3表に示す。

ワイヤロープが負担する荷重( $T_1'$ )は、ワイヤロープの許容荷重(P)を下回っている。

第5.1-3表 ワイヤロープ評価結果(1/3)

No.	$T_1'$ (kN)	P (kN)	検定比* <sup>1</sup> (-)
AT01-14	68.1	132	0.52
AT15	53.9	132	0.41
AT16-21	68.1	132	0.52
AT22	64.9	132	0.50
AT23-49	68.1	132	0.52
AS01-03	100.9	132	0.77
AS04	100.3	132	0.76
AS05-06	102.2	132	0.78
AS07-10	104.5	132	0.80
AS11-17	94.7	132	0.72
AS18-20	100.9	132	0.77
AS21	109.4	132	0.83
AS22-24	102.2	132	0.78
AS25	109.4	132	0.83
AS26-28	101.5	132	0.77
AN01-04	99.2	132	0.76
AN05-07	102.2	132	0.78
AN08-11	104.5	132	0.80
AN12-18	94.7	132	0.72
AN19-21	100.9	132	0.77
AN22	109.4	132	0.83
AN23-24	102.2	132	0.78

注記 \*1: 検定比= $T_1'/P$ (小数第三位を切上げ)



第5.1-3表 ワイヤロープ評価結果(2/3)

(つづき)

No.	T <sub>1</sub> ' (kN)	P (kN)	検定比* <sup>1</sup> (-)
AN25	109.4	132	0.83
AN26-28	101.5	132	0.77
AE01-03	109.8	132	0.84
AE04-06	112.6	132	0.86
AE07-10	110.3	132	0.84
AE11-17	104.2	132	0.79
AE18	111.0	132	0.85
AE19-20	111.2	132	0.85
AE21	111.0	132	0.85
AE22	109.0	132	0.83
AE23-24	112.6	132	0.86
AE25	109.0	132	0.83
AE26-28	112.9	132	0.86
AW01	109.2	132	0.83
AW02	99.2	132	0.76
AW03-06	110.3	132	0.84
AW07-09	104.2	132	0.79
AW10	94.6	132	0.72
AW11	109.6	132	0.84
AW12-13	104.2	132	0.79
AW14	111.0	132	0.85
AW15	111.2	132	0.85
AW16	105.0	132	0.80
AW17	111.2	132	0.85
AW18	111.0	132	0.85
AW19	109.0	132	0.83
AW20	112.6	132	0.86

注記 \*1: 検定比=T<sub>1</sub>'/P(小数第三位を切上げ)

第5.1-3表ワイヤロープ評価結果(3/3)

(つづき)

No.	T <sub>1</sub> ' (kN)	P (kN)	検定比* <sup>1</sup> (-)
AW21	103.2	132	0.79
AW22	112.6	132	0.86
AW23	109.0	132	0.83
AW24	100.5	132	0.77
AW25	102.0	132	0.78
AW26	112.9	132	0.86
AHW01	109.8	132	0.84
AHW02	99.0	132	0.75

注記 \*1 : 検定比=T<sub>1</sub>' / P (小数第三位を切上げ)

(b) ターンバックル

竜巻発生時の評価結果を第5.1-4表に示す。

発生荷重は、ターンバックルの許容限界を下回っている。

第5.1-4表 ターンバックルの評価結果

評価対象部位	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)	検定比 <sup>*2</sup> (-)
ターンバックル	112.9 <sup>*1</sup>	130.2	0.87

注記 \*1：ワイヤロープ張力が最大である  $T_1'$  の値を示す。

\*2：検定比=発生荷重/許容限界(小数第三位を切上げ)

(c) シャックル

竜巻発生時の評価結果を第5.1-5表に示す。

発生荷重は、シャックルの許容限界を下回っている。

第5.1-5表 シャックルの評価結果

評価対象部位	発生荷重 (kN)	許容限界 (kN)	検定比 <sup>*2</sup> (-)
シャックル	112.9 <sup>*1</sup>	156.8	0.73

注記 \*1：ワイヤロープ張力が最大である  $T_1'$  の値を示す。

\*2：検定比=発生荷重/許容限界(小数第三位を切上げ)

c. 接続治具(固定部)

(a) 隅角部固定ボルト

接続治具(固定部)のうち、隅角部固定ボルトの竜巻発生時の評価結果を第5.1-6表に示す。ワイヤロープが負担する荷重( $T_1'$ )による発生応力は、隅角部固定ボルトの許容限界を下回っている。

第5.1-6表 接続治具(固定部)(隅角部固定ボルト)の評価結果(1/3)

No.	$T_1'$ (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AT01-14	68.1	65	334	0.20
AT15	53.9	51	334	0.16
AT16-21	68.1	65	334	0.20
AT22	64.9	62	334	0.19
AT23-49	68.1	65	334	0.20
AS01-03	100.9	98	334	0.30
AS04	100.3	97	334	0.30
AS05-06	102.2	99	334	0.30
AS07-10	104.5	101	334	0.31
AS11-17	94.7	91	334	0.28
AS18-20	100.9	98	334	0.30
AS21	109.4	107	334	0.33
AS22-24	102.2	99	334	0.30
AS25	109.4	107	334	0.33
AS26-28	101.5	98	334	0.30
AN01-04	99.2	96	334	0.29
AN05-07	102.2	99	334	0.30
AN08-11	104.5	101	334	0.31
AN12-18	94.7	91	334	0.28
AN19-21	100.9	98	334	0.30
AN22	109.4	107	334	0.33

注記 \*1: 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-6表 接続治具(固定部)(隅角部固定ボルト)の評価結果(2/3)

(つづき)

No.	T <sub>1</sub> ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AN23-24	102.2	99	334	0.30
AN25	109.4	107	334	0.33
AN26-28	101.5	98	334	0.30
AE01-03	109.8	107	334	0.33
AE04-06	112.6	110	334	0.33
AE07-10	110.3	107	334	0.33
AE11-17	104.2	101	334	0.31
AE18	111.0	108	334	0.33
AE19-20	111.2	108	334	0.33
AE21	111.0	108	334	0.33
AE22	109.0	106	334	0.32
AE23-24	112.6	110	334	0.33
AE25	109.0	106	334	0.32
AE26-28	112.9	110	334	0.33
AW01	109.2	106	334	0.32
AW02	99.2	96	334	0.29
AW03-06	110.3	107	334	0.33
AW07-09	104.2	101	334	0.31
AW10	94.6	91	334	0.28
AW11	109.6	106	334	0.32
AW12-13	104.2	101	334	0.31
AW14	111.0	108	334	0.33
AW15	111.2	108	334	0.33
AW16	105.0	101	334	0.31
AW17	111.2	108	334	0.33
AW18	111.0	108	334	0.33
AW19	109.0	106	334	0.32

注記 \*1 : 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-6表 接続冶具(固定部)(隅角部固定ボルト)の評価結果(3/3)

(つづき)

No.	T <sub>1</sub> ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比* <sup>1</sup> (-)
AW20	112.6	110	334	0.33
AW21	103.2	100	334	0.30
AW22	112.6	110	334	0.33
AW23	109.0	106	334	0.32
AW24	100.5	97	334	0.30
AW25	102.0	99	334	0.30
AW26	112.9	110	334	0.33
AHW01	109.8	107	334	0.33
AHW02	99.0	96	334	0.29

注記 \*1: 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

(b) 取付プレート

イ. 支持架構設置

接続治具(固定部)のうち、取付プレート(支持架構設置)の竜巻発生時の評価結果を第5.1-7表に示す。

ワイヤロープが負担する荷重( $T_1'$ )による発生応力は、取付プレート(支持架構設置)の許容限界を下回っている。

第5.1-7表 接続治具(固定部)(取付プレート(支持架構設置))の評価結果(1/3)

No.	$T_1'$ (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AT01-14	68.1	28	187	0.15
AT15	53.9	22	187	0.12
AT16-21	68.1	28	187	0.15
AT22	64.9	27	187	0.15
AT23-49	68.1	28	187	0.15
AS01-03	100.9	41	187	0.22
AS05-06	102.2	42	187	0.23
AS07-10	104.5	43	187	0.23
AS11-17	94.7	39	187	0.21
AS18-20	100.9	41	187	0.22
AS21	109.4	45	187	0.25
AS22-24	102.2	42	187	0.23
AS25	109.4	45	187	0.25
AS26-28	101.5	42	187	0.23
AN01-04	99.2	41	187	0.22
AN05-07	102.2	42	187	0.23
AN08-11	104.5	43	187	0.23
AN12-18	94.7	39	187	0.21
AN19-21	100.9	41	187	0.22
AN22	109.4	45	187	0.25
AN23-24	102.2	42	187	0.23

注記 \*1: 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-7表 接続治具(固定部)(取付プレート(支持架構設置))の評価結果(2/3)

(つづき)

No.	T <sub>1</sub> ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比*1 (-)
AN25	109.4	45	187	0.25
AN26-28	101.5	42	187	0.23
AE01-03	109.8	45	187	0.25
AE04-06	112.6	46	187	0.25
AE07-10	110.3	45	187	0.25
AE11-17	104.2	43	187	0.23
AE18	111.0	46	187	0.25
AE19-20	111.2	46	187	0.25
AE21	111.0	46	187	0.25
AE22	109.0	45	187	0.25
AE23-24	112.6	46	187	0.25
AE25	109.0	45	187	0.25
AE26-28	112.9	46	187	0.25
AW01	109.2	45	187	0.25
AW02	99.2	41	187	0.22
AW03-06	110.3	45	187	0.25
AW07-09	104.2	43	187	0.23
AW10	94.6	39	187	0.21
AW11	109.6	45	187	0.25
AW12-13	104.2	43	187	0.23
AW14	111.0	46	187	0.25
AW15	111.2	46	187	0.25
AW16	105.0	43	187	0.23
AW17	111.2	46	187	0.25
AW18	111.0	46	187	0.25
AW19	109.0	45	187	0.25
AW20	112.6	46	187	0.25

注記 \*1 : 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)



第5.1-7表 接続治具(固定部)(取付プレート(支持架構設置))の評価結果(3/3)

(つづき)

No.	T <sub>1</sub> ' (kN)	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	応力比* <sup>1</sup> (-)
AW21	103.2	42	187	0.23
AW22	112.6	46	187	0.25
AW23	109.0	45	187	0.25
AW24	100.5	41	187	0.22
AW25	102.0	42	187	0.23
AW26	112.9	46	187	0.25
AHW01	109.8	45	187	0.25
AHW02	99.0	41	187	0.22

注記 \*1: 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

ロ. 鋼製枠設置

接続治具(固定部)のうち, 取付プレート(鋼製枠設置)の竜巻発生時の評価結果を第5.1-8表に示す。

ワイヤロープが負担する荷重( $T_1'$ )による発生応力は, 取付プレート(鋼製枠設置)の許容限界を下回っている。

第5.1-8表 接続治具(固定部)(取付プレート(鋼製枠設置))の評価結果

No.	$T_1'$ (kN)	発生応力(MPa)		許容限界(MPa)		応力比*1(-)	
		溶接部	プレート	溶接部	プレート	溶接部	プレート
AS04	100.3	55	80	135	135	0.41	0.60

注記 \*1: 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

d. 接続部

ネット取付金物等のうち取付ボルト及び押さえボルトの竜巻発生時の評価結果を第5.1-9表に示す。

発生応力は、取付ボルト及び押さえボルトの許容限界を下回っている。

第5.1-9表 ネット取付金物等のうち取付ボルト及び押さえボルトの評価結果(1/3)

No.	発生応力 (MPa)		許容限界 (MPa)		応力比*1(-)	
	取付ボルト	押さえボルト	取付ボルト	押さえボルト	取付ボルト	押さえボルト
AT01-14	183	422	727	727	0.26	0.59
AT15	137	335	727	727	0.19	0.47
AT16-21	183	422	727	727	0.26	0.59
AT22	173	403	727	727	0.24	0.56
AT23-49	183	422	727	727	0.26	0.59
AS01-03	245	638	727	727	0.34	0.88
AS05-06	248	646	727	727	0.35	0.89
AS07-10	258	659	727	727	0.36	0.91
AS11-17	226	598	727	727	0.32	0.83
AS18-20	438	638	727	727	0.61	0.88
AS21	477	690	727	727	0.66	0.95
AS22-24	442	646	727	727	0.61	0.89
AS25	477	690	727	727	0.66	0.95
AS26-28	437	640	727	727	0.61	0.89
AN01-04	239	627	727	727	0.33	0.87
AN05-07	248	646	727	727	0.35	0.89
AN08-11	258	659	727	727	0.36	0.91
AN12-18	226	598	727	727	0.32	0.83
AN19-21	438	638	727	727	0.61	0.88
AN22	477	690	727	727	0.66	0.95
AN23-24	442	646	727	727	0.61	0.89
AN25	477	690	727	727	0.66	0.95
AN26-28	437	640	727	727	0.61	0.89

注記 \*1：応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-9表 ネット取付金物等のうち取付ボルト及び押さえボルトの評価結果(2/3)  
(つづき)

No.	発生応力 (MPa)		許容限界 (MPa)		応力比*1(-)	
	取付 ボルト	押さえ ボルト	取付 ボルト	押さえ ボルト	取付 ボルト	押さえ ボルト
AE01-03	266	692	727	727	0.37	0.96
AE04-06	275	710	727	727	0.38	0.98
AE07-10	270	696	727	727	0.38	0.96
AE11-17	249	656	727	727	0.35	0.91
AE18	485	698	727	727	0.67	0.97
AE19-20	486	701	727	727	0.67	0.97
AE21	485	698	727	727	0.67	0.97
AE22	475	685	727	727	0.66	0.95
AE23-24	491	710	727	727	0.68	0.98
AE25	475	685	727	727	0.66	0.95
AE26-28	492	711	727	727	0.68	0.98
AW01	264	689	727	727	0.37	0.95
AW02	238	628	727	727	0.33	0.87
AW03-06	270	696	727	727	0.38	0.96
AW07-09	249	656	727	727	0.35	0.91
AW10	225	598	727	727	0.31	0.83
AW11	257	691	727	727	0.36	0.96
AW12-13	249	656	727	727	0.35	0.91
AW14	485	698	727	727	0.67	0.97
AW15	486	701	727	727	0.67	0.97
AW16	462	662	727	727	0.64	0.92
AW17	486	701	727	727	0.67	0.97
AW18	485	698	727	727	0.67	0.97
AW19	475	685	727	727	0.66	0.95
AW20	491	710	727	727	0.68	0.98
AW21	453	651	727	727	0.63	0.90

注記 \*1：応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

第5.1-9表 ネット取付金物等のうち取付ボルト及び押さえボルトの評価結果(3/3)  
(つづき)

No.	発生応力 (MPa)		許容限界 (MPa)		応力比*1(-)	
	取付 ボルト	押さえ ボルト	取付 ボルト	押さえ ボルト	取付 ボルト	押さえ ボルト
AW22	491	710	727	727	0.68	0.98
AW23	475	685	727	727	0.66	0.95
AW24	440	635	727	727	0.61	0.88
AW25	440	644	727	727	0.61	0.89
AW26	492	711	727	727	0.68	0.98
AHW01	266	692	727	727	0.37	0.96
AHW02	239	626	727	727	0.33	0.87

注記 \*1 : 応力比=発生応力/許容限界(小数第三位を切上げ)

(3) たわみ評価

竜巻発生時の評価結果を第5.1-10表に示す。

すべてのネットにおいて、飛来物の衝突によるネット全体の最大たわみ量( $\delta_t'$ )は、防護ネットと竜巻防護対象施設の最小離隔距離( $L_{min}$ )を下回っている。

第5.1-10表 たわみ評価結果(1/3)

No.	$\delta_t'$ (m)	$L_{min}$ (m)	検定比 <sup>*1</sup> (-)
AT01-14	1.85	2.97	0.63
AT15	1.89	2.97	0.64
AT16-21	1.85	2.97	0.63
AT22	1.85	2.97	0.63
AT23-49	1.85	2.97	0.63
AS01-03	2.22	5.92	0.38
AS04	2.30	5.92	0.39
AS05-06	2.22	4.86	0.46
AS07-10	2.24	6.10	0.37
AS11-17	2.25	5.17	0.44
AS18-20	2.22	5.16	0.44
AS21	2.01	4.09	0.50
AS22-24	2.22	4.09	0.55
AS25	2.01	4.09	0.50
AS26-28	2.24	5.33	0.43
AN01-04	2.22	5.92	0.38
AN05-07	2.22	4.86	0.46
AN08-11	2.24	19.45	0.12
AN12-18	2.25	5.17	0.44
AN19-21	2.22	5.16	0.44
AN22	2.01	4.09	0.50
AN23-24	2.22	4.09	0.55

注記 \*1: 検定比= $\delta_t' / L_{min}$  (小数第三位を切上げ)

第5.1-10表 たわみ評価結果(2/3)

(つづき)

No.	$\delta_t'$ (m)	$L_{min}$ (m)	検定比*1 (-)
AN25	2.01	4.09	0.50
AN26-28	2.24	18.68	0.12
AE01-03	1.94	4.20	0.47
AE04-06	1.94	3.53	0.55
AE07-10	2.04	17.35	0.12
AE11-17	1.96	6.20	0.32
AE18	1.89	3.43	0.56
AE19-20	1.94	3.43	0.57
AE21	1.89	3.43	0.56
AE22	1.92	2.77	0.70
AE23-24	1.94	2.77	0.71
AE25	1.92	2.77	0.70
AE26-28	1.96	16.59	0.12
AW01	1.94	3.23	0.61
AW02	2.23	3.23	0.70
AW03-06	2.04	4.07	0.51
AW07-09	1.96	6.20	0.32
AW10	2.26	6.20	0.37
AW11	1.77	6.20	0.29
AW12-13	1.96	6.20	0.32
AW14	1.89	3.13	0.61
AW15	1.94	3.13	0.62
AW16	1.88	3.13	0.61
AW17	1.94	3.13	0.62
AW18	1.89	3.13	0.61
AW19	1.92	2.47	0.78
AW20	1.94	2.47	0.79
AW21	1.90	2.47	0.77

注記 \*1 : 検定比 =  $\delta_t' / L_{min}$  (小数第三位を切上げ)

第5.1-10表 たわみ評価結果(3/3)

(つづき)

No.	$\delta_t'$ (m)	$L_{min}$ (m)	検定比*1 (-)
AW22	1.94	2.47	0.79
AW23	1.92	2.47	0.78
AW24	1.96	3.31	0.60
AW25	2.25	3.31	0.68
AW26	1.96	3.31	0.60
AHW01	1.94	3.60	0.54
AHW02	2.23	3.60	0.62

注記 \*1 : 検定比 =  $\delta_t' / L_{min}$  (小数第三位を切上げ)



## 5.2 防護板(鋼材)の強度評価結果

### (1) 貫通評価

防護板(鋼材)の貫通評価結果を第5.2-1表に示す。

防護板(鋼材)の設計板厚は、許容限界板厚を上回っており、飛来物が防護板(鋼材)を貫通しないことから、飛来物による衝撃荷重に対して十分な構造強度を有している。

第5.2-1表 防護板の強度評価結果

評価対象部位	許容限界板厚 (mm)	設計板厚 (mm)
防護板(鋼材) (補助防護板含む)	8.2	9.0

### (2) 波及的影響評価

取付ボルトの強度評価結果を第5.2-2表に示す。

ボルトが2本以上破断せずに残るため、防護板(鋼材)は脱落しないことから健全である。

第5.2-2表 取付ボルトの強度評価結果

評価対象部位	評価ケース	全数 (本)	残存数 (本)	必要残存数 (本)
取付ボルト	①	32	12	2
	②	32	28	2
	③	40(手前側) 56(奥側)	32(手前側) 8(奥側)	2

### 5.3 支持架構の強度評価結果

#### (1) 貫通評価

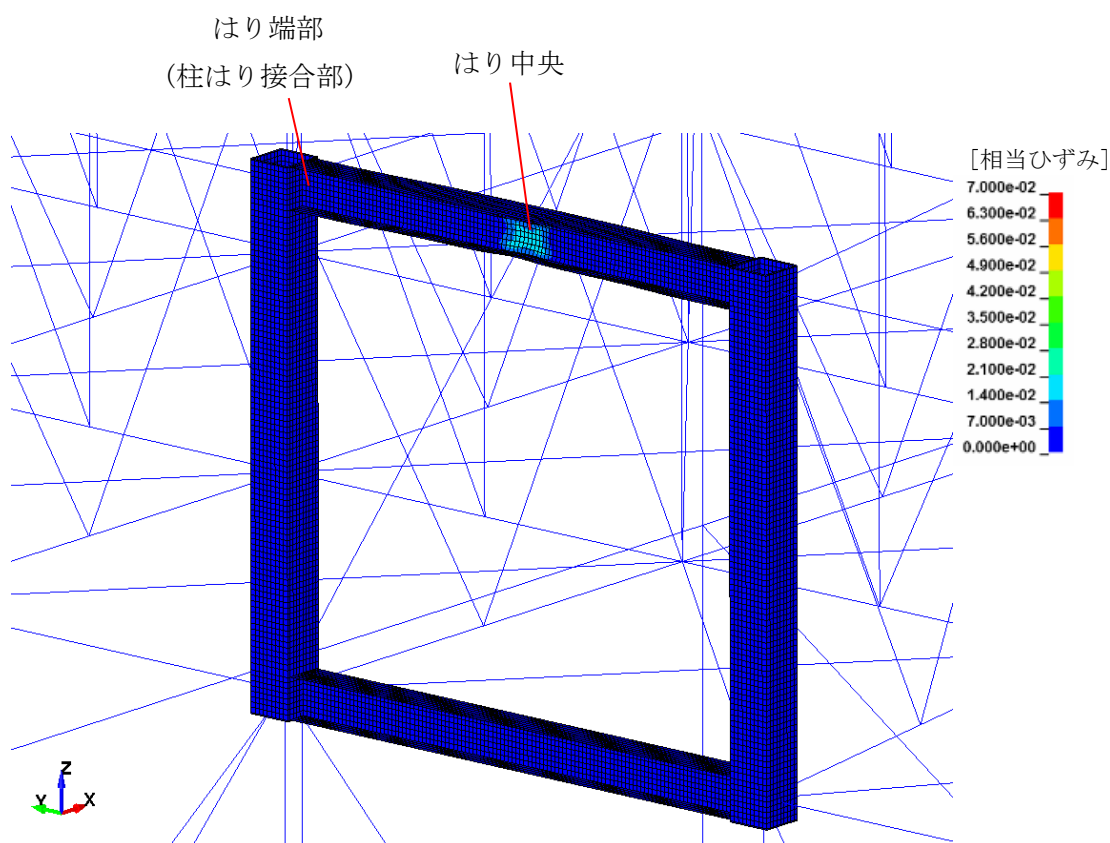
飛来物防護ネットの貫通評価結果を第5.3-1表に示す。飛来物が飛来物防護ネットから離れる直前の衝突位置拡大図を第5.3-1図及び飛来物防護ネットに最大ひずみが発生する時刻での衝突位置拡大図を第5.3-2図に示す。

評価結果は許容限界以下となっており、飛来物は評価対象部位を貫通しないことから、飛来物による衝撃荷重に対して十分な構造強度を有している。

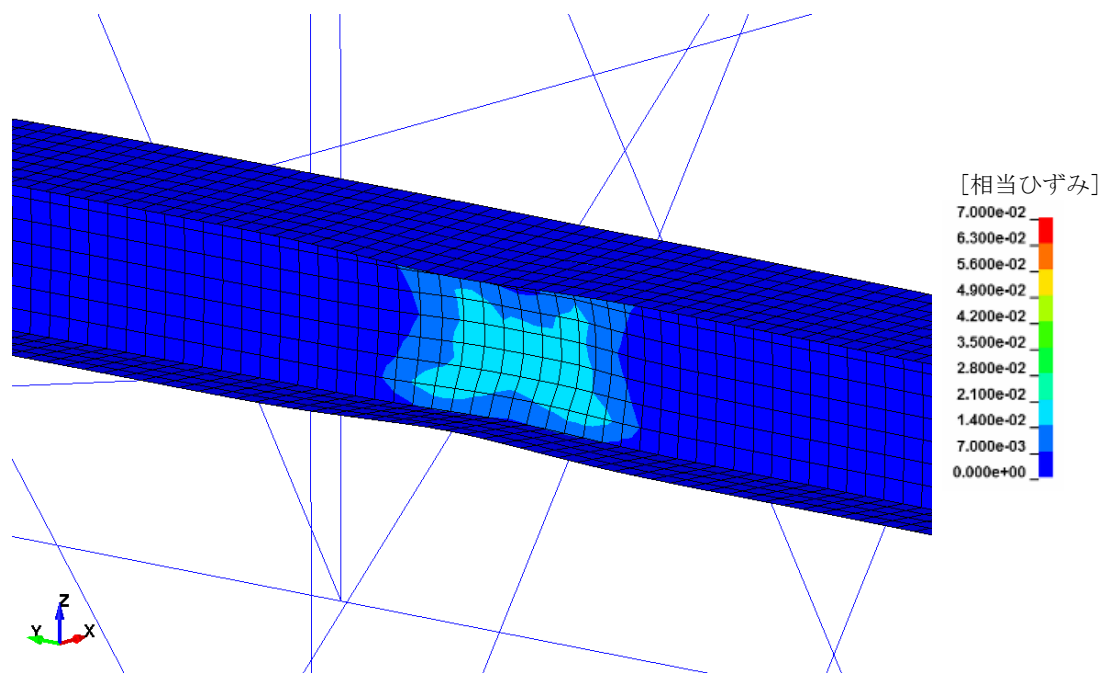
また、変形量も微小な範囲に留まっており、支持架構の構造健全性には影響ないと判断できることから、倒壊評価は実施しない。

第5.3-1表 飛来物防護ネットの貫通評価結果

対象		相当ひずみ	
		評価結果	許容限界
支持架構	はり中央	0.028	0.07



第5.3-1図 衝突位置拡大図  
(飛来物防護ネットに最大ひずみが発生する時刻)



第5.3-2図 衝突位置拡大図

(2) 波及的影響評価

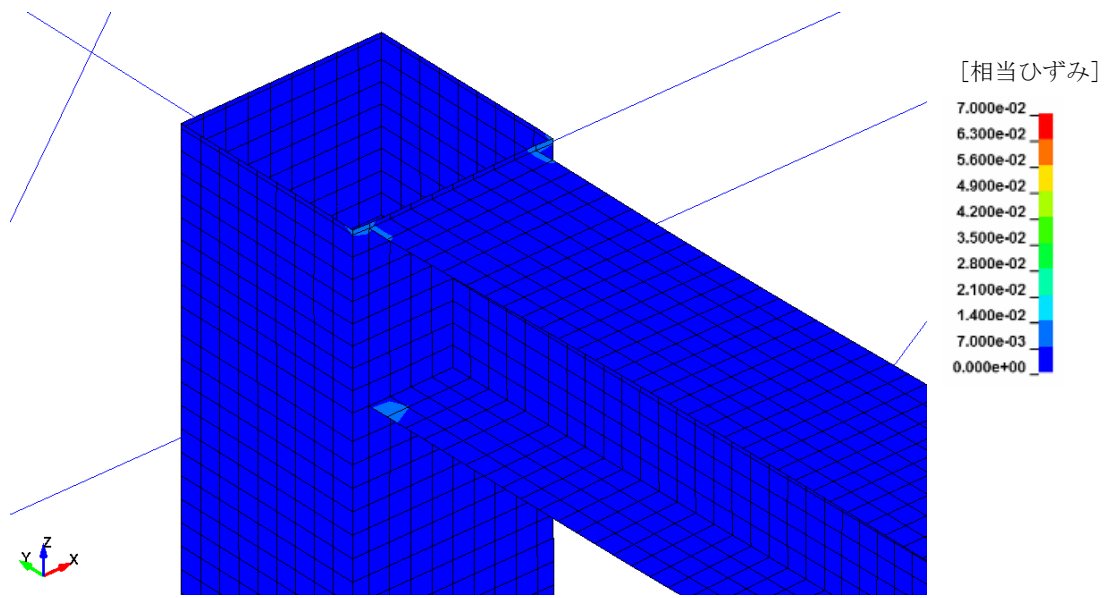
a. 脱落評価

飛来物防護ネットの部材の脱落評価結果を第5.3-2表に示す。飛来物防護ネットの部材の接続部に最大ひずみが発生する時刻でのはり端部(柱はり接合部)拡大図を第5.3-3図に示す。

評価結果、接続部は許容限界を超えないことから、部材は脱落しないことから、飛来物による衝撃荷重に対して十分な構造強度を有している。

第5.3-2表 飛来物防護ネットの脱落評価結果

対象		相当ひずみ	
		評価結果	許容限界
支持架構	はり端部 (柱はり接合部)	0.024	0.07



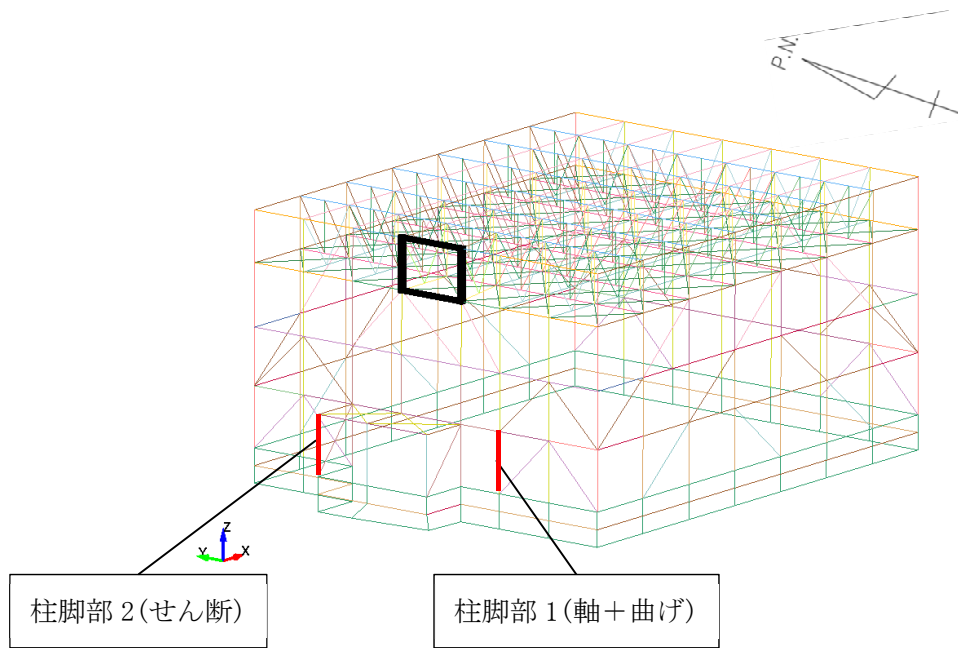
第5.3-3図 はり端部(柱はり接合部)拡大図

b. 転倒評価

飛来物防護ネットの支持架構全体の転倒評価結果を第5.3-3表に示す。また、最大応力比の発生箇所を第5.3-4図に示す。  
 評価結果が許容限界を超えないことから、支持架構全体は、十分な構造強度を有している。

第5.3-3表 支持架構全体の転倒評価結果

対象	部材		応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比
飛来物防護ネット	支持架構	柱脚部1	引張	$\sigma_t = -$	$f_t = 357$	—
			圧縮	$\sigma_c = 18.59$	$f_c = 199$	0.10
			曲げ	$\sigma_{bx} = 4.97$	$f_{bx} = 357$	0.02
				$\sigma_{by} = 101.39$	$f_{by} = 357$	0.29
			せん断	$\tau_s = 9.66$	$f_s = 206$	0.05
			組合せ(引張+曲げ)	(応力比)—	(許容値)1.00	—
			組合せ(圧縮+曲げ)	(応力比)0.41	(許容値)1.00	0.41
		柱脚部2	引張	$\sigma_t = -$	$f_t = 357$	—
			圧縮	$\sigma_c = 30.83$	$f_c = 285$	0.11
			曲げ	$\sigma_{bx} = 4.64$	$f_{bx} = 357$	0.02
				$\sigma_{by} = 28.26$	$f_{by} = 357$	0.08
			せん断	$\tau_s = 134.04$	$f_s = 206$	0.65
			組合せ(引張+曲げ)	(応力比)—	(許容値)1.00	—
			組合せ(圧縮+曲げ)	(応力比)0.21	(許容値)1.00	0.21



第5.3-4図 飛来物防護ネットの最大応力比の発生箇所

VI-1-1-1-2-5

計算機プログラム(解析コード)の概要

## 目 次

	ページ
1. はじめに .....	1
別紙 1 TONBOS .....	2
別紙 2 MSC NASTRAN .....	5
別紙 3 LS-DYNA .....	7



1. はじめに

本資料は、「VI-1-1-1-2 竜巻への配慮に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

「VI-1-1-1-2 竜巻への配慮に関する説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

別紙1 TONBOS

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -2-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	Ver.3

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	TONBOS
開発機関	一般財団法人 電力中央研究所
開発時期	2013年
使用したバージョン	Ver. 3
使用目的	竜巻による飛来物の速度及び飛散距離等の評価
コードの概要	<p>TONBOS（以下「本解析コード」という。）は、一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。</p> <p>空気中の物体が受ける抗力による運動を計算することで、竜巻による風速場の中での飛来物の飛散軌跡を評価することができる解析コードであり、飛来物の速度、飛散距離等の算出が可能である。</p> <p>仮定する風速場として、資機材等では、鉛直方向には構造が変化しないランキン渦とし、車両では、地面付近の風速場をよく表現できているフジタモデルDBT-77(DBT:Design Basis Tornado)とする。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <p>(1) ランキン渦</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simiu and Scanlan*<sup>1</sup>による解析結果と同じ条件下で、竜巻風速場での飛散軌跡の解析を実施し、概ね一致した結果を得られた。</li> </ul> <p>(2) フジタモデル</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 車両の飛散解析においてフジタスケールの各スケールに対応する被災状況と概ね一致した結果が得られた。</li> <li>• パイプ飛散解析において、Grand Gulf原子力発電所への竜巻襲来事例と概ね一致した結果が得られた。</li> <li>• 車両の飛散解析において、佐呂間竜巻での車両飛散事例と概ね一致した結果を得られた。</li> </ul>

(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の速度、飛散距離等の評価を目的に開発されたコードであり、使用目的が一致している。</li><li>• 九州電力株式会社の玄海原子力発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的(ランキン渦)での実績を有することを確認している。</li><li>• 日本原子力発電株式会社の東海第二発電所の工事計画認可申請において、本申請と同じ使用目的(フジタモデル)での実績を有することを確認している。</li><li>• 本申請において使用するバージョンは、九州電力株式会社の玄海原子力発電所の工事計画認可申請にて使用しているもの (Ver. 1) と異なるが、バージョンアップに伴う変更点は、解析機能の拡張に関するものである。これはランキン渦、フジタモデルともに共通の変更点であり、日本原子力発電株式会社の東海第二発電所の工事計画認可申請において、本解析コード (Ver. 3) の使用実績があることを確認しているため、解析機能の拡張が解析結果の妥当性に影響を与えるものではない。</li><li>• 開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。</li><li>• 評価は妥当性を確認している範囲内で行うようにしている。</li></ul>
--	---

注記 \*1: Simiu, E. and Scanlan, R. H., Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, August 1996.

別紙2 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -2-4-2- 1	(1) 冷却塔の強度計算書	Ver. 2008.0.4

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008.0.4
使用目的	3次元有限要素法による応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</li> <li>適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。</li> <li>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、安全冷却水B冷却塔の3次元有限要素法による応力解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について、本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>日本原子力発電株式会社の東海第二発電所の工事計画認可申請において、使用済燃料乾式貯蔵建屋の静的応力解析及び動的応力解析に本解析コードが使用された実績がある。</li> <li>検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>今回の申請において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> <li>本解析コードの適用制限として使用要素数があるが、使用した要素数は適用制限以下であり、本申請における使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

別紙3 LS-DYNA

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -2-4-2- 2-1	飛来物防護ネットの強度計算書	R7.1.2

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	LS-DYNA
開発機関	Livermore Software Technology Corporation
開発時期	1987年
使用したバージョン	R7.1.2
使用目的	竜巻による飛来物の衝突に対する構造物の健全性評価
コードの概要	<p>LS-DYNA（以下「本解析コード」という。）はLawrence Livermore研究所により開発・公開された陽解法有限要素法DYNA3Dを基に開発された構造解析用汎用コードである。機械・土木・建築その他広範な分野に及ぶ要素群，非線形モデルを多数サポートしており，自動車，航空宇宙，機会，建築，土木などの様々な分野において多くの利用実績があり，陽的時間積分を用いていることから，衝突問題など短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また，大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>開発機構がマニュアルにおいて提示している3次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し，解析結果が提示するマニュアルにより，本解析コードの適正な用途，適用範囲を確認している。</li> <li>はりの衝撃曲げ，平板の衝撃曲げ，応力波伝播に関する検証解析を実施し，解析結果と理論解が一致することを確認している。</li> </ul>



(つづき)

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・関西電力株式会社の高浜発電所(1号機)の工事計画認可申請において、竜巻飛来物防護対策設備及び防護対象設備を内包する建屋の建具の3次元有限要素法による衝突解析に本解析コードが使用された実績がある。</li><li>・今回の申請において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li><li>・本解析コードは、自動車、航空宇宙、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li><li>・本解析コードは、航空機が不時着した際の衝撃評価として、航空機のフレームの変形や接続部のリベットの破断評価を実施し、落下試験の破壊モードを再現できることが確認されている。</li><li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。</li><li>・設工認申請で行う要素(はり要素、シェル要素、ソリッド要素)による動的解析(衝突解析)の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li></ul>
--	---

VI-1-1-1-3

外部火災への配慮に関する説明書

## 目 次

- VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針
- VI-1-1-1-3-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定
- VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針
  - VI-1-1-1-3-3-1  
外部火災への配慮が必要な施設の許容温度及び許容応力の設定根拠
- VI-1-1-1-3-4 外部火災防護における評価結果

VI-1-1-1-3-1

外部火災への配慮に関する基本方針

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 外部火災防護に関する基本方針.....	1
2.1 基本方針 .....	1
2.1.1 外部火災防護に対する設計方針.....	1
2.1.2 外部火災に係る事象の設定.....	2
2.1.3 外部火災から防護すべき施設の設計方針.....	3
2.1.4 外部火災防護対象施設の評価方針.....	12
2.2 準拠規格 .....	12

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の外部火災防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。)第八条に適合することを説明するものである。

## 2. 外部火災防護に関する基本方針

### 2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、想定される外部火災において、最も厳しい火災が発生した場合においても、防火帯の設置、離隔距離の確保及び建屋による防護等により、その安全機能を損なわない設計とする。

その上で、外部火災により発生する火炎及び輻射熱からの直接的影響並びにばい煙及び有毒ガスの二次的影響によってその安全機能を損なわない設計とする。

#### 2.1.1 外部火災防護に対する設計方針

外部火災から防護する施設(以下「外部火災防護対象施設」という。)としては、安全評価上その機能を期待する建物・構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を対象とする。外部火災防護対象施設及びそれらを収納する建屋(以下「外部火災防護対象施設等」という。)は、外部火災の直接的影響及び二次的影響に対し、機械的強度を有すること等により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設は、建屋内の外部火災防護対象施設、屋外の外部火災防護対象施設及び建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設又は竜巻防護対策設備の飛来物防護板等(以下「飛来物防護板等」という。)から影響を受ける外部火災防護対象施設に分類される。また、外部火災の影響について評価を行う施設(以下「外部火災の影響を考慮する施設」という。)としては外部火災防護対象施設を収納する建屋、屋外の外部火災防護対象施設及び建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設又は飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設がある。

また、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設(以下「外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設」という。)の影響を考慮した設計とする。

外部火災防護対象施設等以外の安全機能を有する施設については、外部火災に対して機能を維持すること、若しくは外部火災による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと、防火帯の外側に位置するモニタリングポスト、ダストモニタ及び積算線量計に対し事前散水により延焼防止を図ること又はそれらを適切に組み合わせることにより、安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと及びモニタリングポスト、ダストモニタ及び積算線量計に対し事前散水により延焼防止を図ることを保安規定に定めて、

管理する。

なお、使用済燃料収納キャスクは再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ、外部火災により使用済燃料収納キャスクを収納する建屋が使用済燃料収納キャスクに対して波及的破損を与えない設計とする。

外部火災防護対象施設等が外部火災に対し、安全機能を損なわないことを確認するため、再処理施設に最も厳しい火災及び爆発が発生した場合を想定し、外部火災影響評価を行う。

また、上記施設のうち、外部火災の影響を考慮する施設の選定については、「VI-1-1-1-3-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定」に示す。

## 2.1.2 外部火災に係る事象の設定

外部火災としては、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド(原規技発第13061912号(平成25年6月19日原子力規制委員会制定))」(以下「外部火災ガイド」という。)を参考として、森林火災、近隣の工場、石油コンビナート等特別防災区域、危険物貯蔵所及び高圧ガス貯蔵施設(以下「近隣の産業施設」という。)の火災及び爆発並びに航空機墜落による火災を想定する。

森林火災は、初期条件(可燃物量(植生)、気象条件及び発火点)を、再処理施設への影響が最も厳しい評価になるように設定する。

また、上記設定にあたり、森林火災と同時に発生する可能性がある自然現象として風(台風)及び高温を考慮する。

近隣の産業施設による火災及び爆発については、敷地外の近隣の産業施設、敷地内に存在する屋外の危険物貯蔵施設及び可燃性ガスボンベ(以下「危険物貯蔵施設等」という。)のうち、外部火災防護対象施設への影響が最も厳しいものを火災源及び爆発源として想定する。

なお、危険物を搭載した車両の火災及び爆発並びに船舶の火災についても想定する。

また、再処理施設の危険物貯蔵施設等については、森林火災、近隣の産業施設の火災、森林火災と近隣の産業施設の火災の重畳及び敷地内の危険物貯蔵施設の爆発の影響により火災及び爆発が生じないことを確認する。

航空機墜落による火災については、外部火災ガイド及び「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)(平成21・06・25 原院第1号)」(以下、「航空機落下評価ガイド」という。)を参考として、航空機墜落による火災の条件となる航空機を選定し、建屋外壁等の直近で火災が発生することを想定する。

さらに、近隣の産業施設の火災においては、近隣の産業施設周辺の火災が、森林へ飛び火することにより再処理施設へ迫る場合を想定し、近隣の産業施設の火災と森林火災の重畳を考慮する。

航空機墜落による火災においては、敷地内への航空機墜落による火災を想定する

ことから、航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発との重畳を考慮する。

これら火災の二次的影響により安全機能を有する施設の安全機能が損なわれないことを確認するため、火災に伴い発生するばい煙及び有毒ガスを考慮する。

## 2.1.3 外部火災から防護すべき施設の設計方針

### (1) 森林火災に対する設計方針

自然現象として想定される森林火災については、敷地への延焼防止を目的として、再処理施設の敷地周辺の森林の状態を確認し、事業指定(変更許可)時より伐採されていることを確認した上で、事業指定(変更許可)時点の植生を確認し、作成した植生データ及び敷地の気象条件等を基に、再処理施設への影響が厳しい評価となるように解析条件を設定し、森林火災シミュレーション解析コードを用いて求めた最大火線強度(9,128kW/m)から算出される、事業指定(変更許可)を受けた防火帯(幅25m以上)を敷地内に設ける設計とする。

防火帯は延焼防止機能を損なわない設計とし、防火帯を不燃性領域として維持するため、防火帯内には原則として可燃物となるものは設置しない設計とする。ただし、防火帯に可燃物を含む機器等を設置する場合には、延焼防止機能を損なわないよう必要最小限とするとともに、不燃性シートで覆う等の対策を施す設計とする。

また、森林火災からの輻射強度の影響を考慮した場合においても、離隔距離の確保及び建屋による防護により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

森林火災からの輻射強度の影響評価に当たっては、事業指定(変更許可)を受けた外部火災防護対象施設への熱影響が最も厳しくなるよう、火炎最前線の中から、最も火炎影響の大きくなる火炎(反応強度:750kW/m<sup>2</sup>)を評価対象の最短として配置し、到達した火炎最前線の火炎を横一列に並べて、すべての火炎からの火炎輻射強度を考慮する。

建屋内の外部火災防護対象施設は、外部火災に対して損傷の防止が図られた外部火災防護対象施設を収納する建屋内に設置することにより、安全機能を損なわない設計とする。

森林火災からの輻射強度の影響に対する評価として、外部火災防護対象施設を収納する建屋は、防火帯の外縁(火炎側)から危険距離を上回る離隔距離を確保することで、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。外壁表面温度がコンクリートの圧縮強度を維持できる温度域の上限(以下「コンクリートの許容温度」という。)となる離隔距離を危険距離として設定する。

建屋の外気取入口から空気を取り込む設備である、非常用ディーゼル発電機に流入する空気の森林火災による温度上昇に対する温度評価は、輻射熱の影響が厳



しい石油備蓄基地火災の熱影響評価に包絡されるため、「(2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針」に基づく設計とする。

安全冷却水系の冷却塔等の屋外の外部火災防護対象施設（以下「屋外の外部火災防護対象施設」という。）については、輻射強度に基づき算出された施設の温度が、冷却水出口温度の最大運転温度等の安全機能を維持するために必要な温度域の上限（以下「屋外の外部火災防護対象施設の許容温度」という。）となる離隔距離である危険距離に対し、それを上回る離隔距離を確保することで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、防火帯の外縁(火災側)から危険距離を上回る離隔距離を確保することで、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

## (2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針

人為事象として想定される近隣の産業施設の火災及び爆発については、外部火災ガイドを参考として、敷地周辺10km範囲内に存在する近隣の産業施設及び敷地内の危険物貯蔵施設等を網羅的に調査し、石油備蓄基地の火災並びに敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を対象とし、火災及び爆発源からの離隔距離の確保及び建屋による防護により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。なお、敷地外の爆発源の爆発は敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に包絡される。

近隣の産業施設の火災と森林火災の重畳としては、石油備蓄基地の火災と森林火災の重畳を想定する。

再処理施設の敷地周辺には国道が通っており、危険物を搭載した車両も通行するが、それらの火災及び爆発については、貯蔵量が多く外部火災防護対象施設までの距離が近い敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発の評価に包絡されるため、「c. 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発に対する設計方針」において示す。

また、敷地内において、危険物を搭載したタンクローリ火災が発生した場合の影響については、燃料、n-ドデカン、リン酸トリブチル(TBP)及び硝酸ヒドラジンの補充時は監視人が立会を実施することを保安規定に定めて管理し、万一の火災発生時は速やかな消火活動が可能である体制とすることから、外部火災防護対象施設への影響を与えることはない。

船舶の火災については、危険物の貯蔵量が多く外部火災防護対象施設までの距離が近い敷地近傍の石油備蓄基地火災の影響に包絡されることから、「a. 石油備蓄基地火災に対する設計方針」において示す。

### a. 石油備蓄基地火災に対する設計方針

石油備蓄基地火災については、石油備蓄基地に配置している51基の原油タンク

(約11.1万<sup>3</sup>/基)の原油全てが防油堤内に流出した全面火災を想定する。

外部火災防護対象施設を収納する建屋については、外壁表面温度がコンクリートの許容温度となる危険距離を上回る離隔距離を確保することで、上記の火災により、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。評価においては、外壁表面で受ける輻射強度がコンクリートの許容温度以下となる危険輻射強度を下回ることを確認する。

建屋の外気取入口から空気を取り込む設備である非常用ディーゼル発電機は、外気取入口から流入する空気の温度が、石油備蓄基地火災の熱影響によって上昇したとしても、非常用ディーゼル発電機の設計上の最高使用温度となる離隔距離である危険距離に対し、それを上回る離隔距離を確保することで、非常用ディーゼル発電機の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、輻射強度に基づき算出した施設の温度を屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、外壁表面温度が、コンクリートの許容温度となる危険距離を上回る離隔距離を確保することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。評価においては、外部火災防護対象施設と同様に危険輻射強度を下回ることを確認する。

b. 石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳に対する設計方針

石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳については、石油備蓄基地火災により周辺の森林へ飛び火し敷地へ火炎が迫ることを想定する。

外部火災防護対象施設を収納する建屋については、石油備蓄基地火災及び森林火災の輻射強度に基づき外壁表面温度を算出し、コンクリートの許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、石油備蓄基地火災及び森林火災の輻射強度に基づき施設の温度を算出し、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、石油備蓄基地火災及び森林火災の輻射強度に基づき外壁表面温度を算出し、コンクリートの許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

c. 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発に対する設計方針

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発に対しては、敷地内に複数存在する危険物貯蔵施設等の中から、貯蔵量及び配置状況並びに外部火災防護対象施設を

収納する建屋及び屋外の外部火災防護対象施設への距離を考慮し、外部火災防護対象施設に火災及び爆発の影響を及ぼすおそれがある火災源又は爆発源として、事業指定(変更許可)を受けたボイラ用燃料受入れ・貯蔵所、ボイラ用燃料貯蔵所、ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所、低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫、ボイラ建屋ボンベ置場、精製建屋ボンベ庫、還元ガス製造建屋及び MOX燃料加工施設の第1高压ガストレーラ庫を選定する。

敷地内の危険物貯蔵施設等のうち、ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所、ボイラ用燃料貯蔵所、ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所の火災においては、危険物貯蔵施設ごとに輻射強度を求め、この輻射強度に基づき外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁表面温度をコンクリートの許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、敷地内の危険物貯蔵施設ごとの輻射強度に基づき施設の温度を算出し、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、敷地内の危険物貯蔵施設ごとに外壁表面温度を算出し、コンクリートの許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫、ボイラ建屋ボンベ置場、精製建屋ボンベ庫及び還元ガス製造建屋は、屋内に収納され、着火源を排除するとともに可燃性ガスが漏えいした場合においても滞留しない構造とすることで爆発を防止する設計とする。

また、MOX燃料加工施設の第1高压ガストレーラ庫は、高压ガス保安法に基づき爆発時に発生する爆風や飛来物が上方向に開放される構造として設計しているが、保守的に評価するため、この設計を考慮せず、他の危険物貯蔵施設等と同じ方法により評価する。

その上で、敷地内に設置する再処理施設の低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫、ボイラ建屋ボンベ置場、精製建屋ボンベ庫及び還元ガス製造建屋並びにMOX燃料加工施設の第1高压ガストレーラ庫の爆発を想定し、ガス爆発の爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を求め、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とすること及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

また、精製建屋ボンベ庫、還元ガス製造建屋から危険限界距離を上回る離隔距離

を確保できない外部火災防護対象施設を収納する建屋は、爆発によって発生する爆風圧に対して、建屋外壁の発生応力を短期許容応力度以下とし、コンクリートの構造強度を確保することで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

### (3) 航空機墜落による火災に対する設計方針

航空機墜落による火災の対象航空機については、航空機落下評価ガイドの落下事故の分類を踏まえ、事業指定(変更許可)を受けた自衛隊機のKC-767、自衛隊機のF-2又は米軍機のF-16とする。

なお、直行経路を巡航中の計器飛行方式民間航空機については、航空機落下の発生確率が $10^{-7}$ 回/年となる範囲が敷地外であり、輻射熱の影響が厳しい石油備蓄基地火災の熱影響評価に包絡されるため、「(2) 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する設計方針」に基づく設計とする。

外部火災防護対象施設を収納する建屋については、建屋直近となる位置に対象航空機が墜落する火災を想定し、外部火災ガイドを参考として、建屋外壁が受ける輻射強度を算出する。

この輻射強度に基づき算出される外壁及び建屋内の温度上昇により建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能及び建屋外壁が要求される機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、竜巻防護対策設備等の周辺施設の設置状況を考慮した上で、屋外の外部火災防護対象施設の至近となる位置に対象航空機が墜落する火災を想定する。この輻射強度に基づき算出される施設の温度上昇を、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある場合には、耐火被覆又は遮熱板の対策を講ずることにより安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、周辺施設の設置状況を考慮した上で、外部火災防護対象施設等の至近となる位置の火災を想定し、支持構造物である架構等の必要な部材に、耐火被覆又は遮熱板の防護対策を講じることで、構造が維持できる温度以下とし、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

竜巻防護対策設備の鋼板の飛来物防護板等(以下「飛来物防護板等」という。)を設置する建屋内の外部火災防護対象施設については、建屋直近となる位置に対象航空機が墜落する火災を想定し、火炎からの輻射強度を受けた飛来物防護板等の温度上昇を考慮し、この熱影響に基づき求めた施設の温度を、外部火災防護対象施設の性能維持に必要な温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある場合には、飛

来物防護板等に対し、耐火被覆又は遮熱板の対策を講ずることにより安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、建屋の周辺配置条件を考慮し、建屋直近となる位置に対象航空機が墜落する火災を想定する。この火災からの輻射強度に基づき使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の外壁の温度を算出し、構造強度を維持するために必要な温度以下とすることにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を及ぼさない設計とする。

航空機墜落火災の熱影響により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある場合には、耐火被覆による対策を講じ、耐火被覆を施工できない駆動部等の部材に対しては、遮熱板による対策を講ずることで、安全機能を損なわない設計とする。

耐火被覆（主材）は、積算入熱量が想定される航空機墜落火災と同等の条件である建築基準法における耐火性能に関する技術的基準のうち、1時間耐火性能を満足する塗料を用いる設計とする。

耐火被覆（主材）の施工厚さは、上記技術基準の認定試験の結果から得られた発泡温度、発泡前後の比熱等の熱に対する物性に基づき、航空機墜落火災において、外部火災防護対象施設が構造強度を維持する温度以下となる厚さ(3mm以上)を施工する設計とする。また、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、一時的に強度低下しても構造が維持される温度以下となる厚さ(2mm以上)を施工する設計とする。

耐火被覆の施工にあたっては、主材に対し、主材の剥がれを防止するため、上記認定を受けた下塗りを施工し、劣化等から保護する中塗り及び上塗りの塗装を施工する設計とする。

耐火被覆に係る塗装は、周辺施設の設置状況を踏まえ、航空機墜落火災が想定される位置を考慮し、外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある部材を抽出し、火災の想定位置から1m以下の離隔距離となる部材は全てを対象とし、その他の部材は離隔距離が確保できない部材を対象として耐火被覆に係る塗装を施工する設計とする。

耐火被覆に係る塗装は、輻射を遮るため、周方向全体を施工することを基本とするが、火災からの輻射が明らかに遮られる防護板の裏側及び部材の間等については施工対象外とする設計とする。

遮熱板は、防護する部材への輻射を遮るように囲み、鋼板の受熱面側に耐火被覆に係る塗装を施工し、安全機能を損なわない設計とする。

遮熱板に塗装する耐火被覆の施工厚さは、遮熱板の温度上昇による輻射の影響により、外部火災防護対象施設が安全機能を損なわない厚さとする。

遮熱板の設置にあたり、防護する部材及び遮熱板の点検等の保守性を考慮し、取

り外し可能な設計とする。

- (4) 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発の重畳に対する設計方針

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の火災の重畳として、航空機が敷地内の危険物貯蔵施設等に直撃し、危険物及び航空機燃料による重畳火災が発生することを想定する。上記の危険物及び航空機燃料による重畳火災を想定した場合の外部火災防護対象施設等が受ける輻射強度は、建屋等の直近における航空機墜落による火災を想定した場合の輻射強度よりも小さいことから、「(3) 航空機墜落による火災に対する設計方針」に基づくことで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発が重畳については、敷地内の危険物貯蔵施設等で選定された爆発源に対し、航空機が直撃することを想定する。この爆発に対し、爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を算出し、外部火災防護対象施設等及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋が、その危険限界距離を上回る離隔距離を確保する設計とする。

また、敷地内の危険物貯蔵施設等に隣接し、危険限界距離を上回る離隔距離を確保できない外部火災防護対象施設を収納する建屋は、爆発によって発生する爆風圧に対して、建屋外壁の発生応力を短期許容応力度以下とし、コンクリートの構造強度を確保することで、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

- (5) 再処理施設の危険物貯蔵施設等への火災及び爆発に対する防護対策

再処理施設の危険物貯蔵施設等への火災及び爆発に対する防護対策については、森林火災及び近隣の産業施設の火災の影響を想定し、再処理施設の危険物貯蔵施設等の貯蔵物の温度が許容温度となる離隔距離である危険距離に対し、それを上回る離隔距離を確保することで、危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止する設計とする。また、近隣の産業施設の爆発の影響を想定しても、爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を算出し、危険限界距離を上回る離隔距離を確保する設計とする。上記設計により、再処理施設の危険物貯蔵施設等が、外部火災防護対象施設等へ影響を与えない設計とすること及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

- (6) 外部火災の影響を考慮する施設の許容温度及び許容応力

外部火災の影響を考慮する施設が外部火災に対して十分な健全性を有することを確認するための評価に用いる許容温度及び許容応力は「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に、この設定根拠は、「VI-1-1-1-3-3-1 外部火災への配慮が必要な施設の許容温度及び許容応力の設定根拠」に示す。

(7) 外部火災による二次的影響に対する設計方針

a. ばい煙の影響に対する設計方針

外部火災の二次的影響であるばい煙による影響については、建屋換気設備等に適切な防護対策を講じることで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(a) 換気空調系統

外部火災防護対象施設を収納する建屋の換気設備の給気系は、ばい煙の侵入に対して、フィルタを設置することで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

中央制御室は、運転員の居住性を確保するため、制御建屋中央制御室換気設備の外気取入口にフィルタを設置することで、安全機能を損なわない設計とする。

制御建屋中央制御室換気設備は、外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気を再循環できる設計とする。

連絡口を遮断し再循環を行う措置並びに再循環時における中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮した措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

また、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室については、運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気を再循環できる設計とする。

連絡口を遮断し再循環の措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

(b) ディーゼル発電機

外部火災防護対象施設の非常用ディーゼル発電機については、ばい煙の侵入に対し、フィルタ又はワイヤーネットを設置することで、安全機能を損なわない設計とする。

また、ばい煙が侵入したとしてもばい煙が流路に溜まりにくい構造とし、ばい煙により閉塞しない設計とする。

(c) 安全圧縮空気系の空気圧縮機

外部火災防護対象施設の安全圧縮空気系の空気圧縮機の吸気側については、ばい煙の侵入に対し、フィルタを設置することで、安全機能を損なわない設計とする。

また、ばい煙が侵入したとしてもばい煙が流路に溜まりにくい構造とし、ばい煙により閉塞しない設計とする。

(d) ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管

ガラス固化体貯蔵設備の収納管と通風管については、外気とともに自然空冷の通気流路にばい煙が流入するが、流路の閉塞を防止する構造とし、ばい煙が

流路に溜まりにくい構造とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

b. 有毒ガスの影響に対する設計方針

有毒ガスによる影響については、運転員の作業環境を確保するため、制御建屋中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気を再循環できる設計とする。

連絡口を遮断し再循環を行う措置並びに再循環時における中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮した措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

また、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室については、運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気を再循環できる設計とする。

連絡口を遮断し再循環の措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

なお、ばい煙及び有毒ガスに対する設計方針については、「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に示す。

ばい煙及び有毒ガスに対する具体的な設計については「VI-1-1-1-3-5 二次的影響(ばい煙及び有毒ガス)に対する設計」に示す。

(8) 必要な機能を損なわないための運用上の措置

外部火災に関する設計条件等に係る新知見の収集及び防護措置との組合せにより安全機能を損なわないための運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・外部火災の評価の条件及び新知見について、定期的に確認を行い、評価条件の大きな変更又は新知見が得られた場合に評価を行うこと
- ・延焼防止機能を損なわないために、防火帯の維持管理を行うとともに、防火帯内には原則として可燃物となるものは設置せず、可燃物を含む機器等を設置する場合には、必要最小限として、不燃性シートで覆う等の対策を行うこと
- ・危険物を搭載したタンクローリ火災が発生した場合の影響については、万一の火災発生時に速やかな消火活動が可能となるよう、燃料補充時は監視人が立会を実施すること
- ・耐火被覆及び遮熱板の定期的な保守管理を行うこと
- ・航空機墜落火災が発生した場合、再処理施設の耐火被覆及び遮熱板の点検並びに工程停止等の措置を講ずること
- ・外部火災によるばい煙及び有毒ガスの発生時には、居住性を損なわないよう、中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気を再循環し、再循環時においては、中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮し対応すること
- ・外部火災によるばい煙及び有毒ガスの発生時には、運転員への影響を防止するよ



う、必要に応じて使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の外気との連絡口を遮断すること

#### 2.1.4 外部火災防護対象施設の評価方針

建屋内の外部事象防護対象施設及び使用済燃料収納キャスクは、建屋にて防護することから建屋の評価を行い、屋外の外部事象防護対象施設や外部火災防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、当該施設を評価する。

建屋内の外部火災防護対象施設については、建屋の外気取入口からの空気及び飛来物防護板等の温度上昇による熱影響を評価する。

なお、再処理施設の危険物貯蔵施設等については、再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止することにより、再処理施設の危険物貯蔵施設等が、外部火災防護対象施設等及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋へ影響を与えない設計とするため、再処理施設の危険物貯蔵施設等に内包する貯蔵物の温度を評価する。

外部火災影響評価は、火災及び爆発源ごとに設定した評価対象の危険距離又は危険限界距離を算出し離隔距離と比較する方法、危険輻射強度を算出し輻射強度と比較する方法若しくは建屋の温度や屋外の施設の温度又は爆風圧を算出し、許容温度又は許容応力と比較する方法を用いる。

森林火災をはじめとする火災源及び爆発源ごとの設計方針及び評価方針は、「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に示す。

森林火災をはじめとする火災源及び爆発源ごとの評価条件及び評価結果は、「VI-1-1-1-3-4 外部火災防護における評価結果」に示す。

#### 2.2 準拠規格

準拠する規格としては、最新の規格基準を含め技術的妥当性及び適用性を示した上で当該規格に準拠する。

準拠する規格を以下に示す。

- (1) 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド(原規技発第13061912号(平成25年6月19日原子力規制委員会制定))」(原子力規制委員会)
- (2) 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)」(平成21・06・25原院第1号)
- (3) 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(平成25年3月 消防庁特殊災害室)

## VI-1-1-1-3-2

外部火災の影響を考慮する施設の選  
定

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 外部火災の影響を考慮する施設の選定の基本方針.....	1
2.1 外部火災の影響を考慮する施設の選定.....	1

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に従い、外部火災の影響を考慮する施設の選定について説明するものである。

## 2. 外部火災の影響を考慮する施設の選定の基本方針

外部火災の影響を考慮する施設は、外部火災の直接的影響及び二次的影響を考慮する施設を選定する。

外部火災防護対象施設は、安全評価上その機能を期待する建物・構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を対象とする。

建屋内の外部火災防護対象施設は、建屋により外部火災の影響から防護されることから、外部火災防護対象施設を収納する建屋を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。ただし、地下に設置されている外部火災防護対象施設は外部火災からの熱影響を受けないため、地下階のみに外部火災防護対象施設を収納している建屋は外部火災の影響を考慮する施設の対象としない。

また、外部火災による影響を考慮し、建屋内に収納される外部火災防護施設のうち、外気を取り込む外部火災防護対象施設を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

屋外の外部火災防護対象施設については、それ自体を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

竜巻防護対策設備として設置する飛来物防護板等について、外部火災による温度上昇を考慮した場合に、熱影響を受ける外部火災防護対象施設を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

さらに、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として、施設の倒壊等により外部火災防護対象施設等に機械的影響を及ぼす可能性がある施設又は機能的影響を及ぼす可能性がある施設を抽出し、外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

なお、使用済燃料収納キャスクは、外部火災の影響により、内包する使用済燃料の閉じ込め機能に影響を及ぼさないよう、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋により防護する設計としていることから、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

### 2.1 外部火災の影響を考慮する施設の選定

「2. 外部火災の影響を考慮する施設の選定の基本方針」を踏まえ、以下のとおり外部火災の影響を考慮する施設を選定する。

(1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋

建屋内の外部火災防護対象施設は、建屋にて防護されることから、外部火災防護対象施設の代わりに、外部火災防護対象施設を収納する建屋を外部火災の影響を考慮する施設とする。

- ・使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
- ・前処理建屋
- ・分離建屋
- ・精製建屋
- ・ウラン脱硝建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- ・ウラン酸化物貯蔵建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋
- ・第1ガラス固化体貯蔵建屋
- ・制御建屋
- ・非常用電源建屋
- ・主排気筒管理建屋

なお、外部火災防護対象施設を収納している建屋のうち、前処理建屋、分離建屋、精製建屋、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋については、安全上重要な施設でもあり、当該施設自体が屋外の外部火災防護対象施設になることから、設計については屋外の外部火災防護対象施設として示す。

(2) 建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設

建屋内に収納される外部火災防護対象施設のうち、外気を取り込む外部火災防護対象施設を外部火災の影響を考慮する施設とする。

- ・第1非常用ディーゼル発電機
- ・第2非常用ディーゼル発電機

(3) 屋外の外部火災防護対象施設

屋外の外部事象防護対象施設は、外部火災の影響により安全性を損なうおそれがあるため、外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

- ・前処理建屋
- ・分離建屋
- ・精製建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋

- ・安全冷却水系冷却塔A, B
- ・安全冷却水A, B冷却塔
- ・冷却塔A, B
- ・安全冷却水系膨張槽
- ・安全冷却水系  
(安全冷却水系冷却塔A, B, 安全冷却水A, B冷却塔, 冷却塔A, B及び安全冷却水系膨張槽周りの配管)
- ・安全冷却水系膨張槽水位計
- ・主排気筒
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備
- ・前処理建屋換気設備
- ・分離建屋換気設備
- ・精製建屋換気設備
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備

上記に示す屋外の外部火災防護対象施設のうち、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備、高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備、前処理建屋換気設備、分離建屋換気設備、精製建屋換気設備、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備及び高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備を合わせて「主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト」という。

(4) 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

以下の施設を外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

- ・機械的影響を及ぼし得る施設
- ・機能的影響を及ぼし得る施設

上記以外に外部火災特有の事象として、外部火災防護対象施設等に接続している又は系統として繋がっている施設から熱が伝わり外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼす事象を想定する。外部火災防護対象施設を収納する建屋を貫通する小口径の配管、電線管があるが、外部火災防護対象施設とは系統的に分離されており、周囲への影響を及ぼすほどの熱影響は考えにくいから、建屋内の外部火災防護対象施設への熱影響は発生しないことから、波及的影響を及ぼし得る施設にはならない。

屋外の外部火災防護対象施設に接続している又は系統として繋がっている施設の影響の有無については、当該施設の評価において確認する。

a. 機械的影響を及ぼし得る施設

倒壊又は転倒により外部火災防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては、施設高さが低い施設は倒壊しても外部火災防護対象施設等に影響を与えないため、当該施設の高さと外部火災防護対象施設等までの最短距離を比較した上で、外部火災防護対象施設等と比較して壁厚、鋼材の板厚及び離隔距離を考慮し、倒壊または転倒のおそれがある施設を選定することを基本とするが、施設の設置状況、材質、形状、重量等を踏まえて、外部火災防護対象施設等に影響を与えないと判断できる場合は、機械的影響を及ぼし得る施設として選定しない。

イ. 飛来物防護ネット

- ・飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設用 安全冷却水系冷却塔)
- ・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔)
- ・飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔)

ロ. 飛来物防護板

- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)
- ・飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)
- ・飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)

b. 機能的影響を及ぼし得る施設

外部火災防護対象施設に機能的影響を及ぼし得る施設として、外部火災防護対象施設の屋外の付属設備を考慮する。なお、外部火災による直接的影響及び二次的影響に対して選定した外部火災の影響を考慮する施設の付属設備については、当該施設の設計において外部火災の影響を考慮していることから、機能的影響を及ぼし得る施設として選定しない。

上記に該当しない外部火災防護対象施設の付属設備に該当する設備は、当該設備が破損しても外部火災防護対象施設を機能喪失させる可能性がないこと又は主要な材質が鋼材であり、形状を維持することで機能が維持される設備であり、融点が非常に高いことから外部火災による直接影響により変形は発生しないこと及びばい煙の粒子径は十分小さく外部火災による二次的影響により閉塞するおそれがないことから、機能的影響を及ぼし得る施設として選定しない。

(5) 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

竜巻による飛来物から建屋内の外部火災防護対象施設を防護するため、必要な箇所に飛来物防護板及び飛来物に耐えうる扉を建屋開口部に設置する。

これらの開口部に設置される飛来物防護板及び扉には、コンクリート製又は金属製の板を使用することとしており、外部火災の輻射にさらされ温度上昇することにより、内部の施設に影響を及ぼす可能性があることから、飛来物防護板等から影響を受ける対象を選定する。

コンクリート製の飛来物防護板及び扉は40cm程度の建屋の外壁と同等の厚さであり、建屋評価に包絡されることから、鋼板の飛来物防護板等の温度上昇により影響を受ける外部火災防護対象施設を外部火災の影響を考慮する施設として選定する。ただし、排気口等の小さな開口部に設けられた、飛来物防護板等からの熱影響は軽微であることから、対象外とする。

- ・第2非常用ディーゼル発電機
- ・安全蒸気系
- ・前処理建屋 非常用所内電源系統
- ・前処理建屋 計測制御設備

(6) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクに波及的影響を及ぼし得る使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を、外部火災の影響を考慮する施設として選定する。

- ・使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫

(7) 再処理施設の危険物貯蔵施設等

外部火災防護対象施設には該当しないが、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に示した設計方針に基づき、再処理施設の危険物貯蔵施設等は、森林火災並びに近隣の産業施設の火災及び爆発を考慮する施設とする。

- a. ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所
- b. ボイラ用燃料貯蔵所
- c. ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所
- d. 低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫
- e. ボイラ建屋ボンベ置場
- f. 精製建屋ボンベ庫
- g. 還元ガス製造建屋



(8) 外部火災の二次的影響を考慮する施設

a. 二次的影響(ばい煙)を考慮する施設

外部火災防護対象施設が二次的影響(ばい煙)により安全機能を損なうおそれがないよう、二次的影響(ばい煙)を考慮する施設は以下により選定する。

外気を取り込む空調系統(室内の空気を取り込む機器を含む。)は二次的影響(ばい煙)により人体及び室内の空気を取り込む機器に影響を及ぼすおそれがあるため、二次的影響(ばい煙)を考慮する設備として選定する。

外気を直接設備内に取り込む機器、外気を取り込む屋外設置機器は二次的影響(ばい煙)により機器の故障が発生するおそれがあるため、二次的影響(ばい煙)を考慮する設備として選定する。

なお、以下の設備については対象外とする。

- ・ばい煙を含む外気又は室内空気を機器内に取り込む機構を有しない設備
- ・ばい煙を含む外気又は室内空気を取り込んだ場合でも、その影響が非常に小さいと考えられる設備(ポンプ、モータ、弁、盤内に換気ファンを有しない制御盤、計器、冷却塔及び主排気塔等)

(a) 外気を取り込む空調系統(室内の空気を取り込む機器を含む)

- ・外部火災防護対象施設を収納する建屋の換気空調設備
- ・制御建屋中央制御室換気設備
- ・使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室換気設備
- ・外部火災防護対象施設を収納する建屋の空気を取り込む機構を有する電気盤

(b) 外気を直接設備内に取り込む機器

- ・第1非常用ディーゼル発電機
- ・第2非常用ディーゼル発電機
- ・安全圧縮空気系の空気圧縮機
- ・ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管

b. 二次的影響(有毒ガス)を考慮する施設

外部火災防護対象施設が二次的影響(有毒ガス)により、人体に影響を及ぼすおそれがある換気空調設備を選定する。

- ・制御建屋中央制御室換気設備
- ・使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室換気設備

## VI-1-1-1-3-3

外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針

## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 設計方針	1
3. 評価方針	5
3.1 評価の対象施設	5
3.1.1 外部火災の影響を考慮する施設	5
3.1.2 重大事故等対処設備	6
3.2 評価の基本方針	6
3.2.1 評価の分類	6
4. 許容温度及び許容応力	7
4.1 許容温度	8
4.1.1 外部火災の影響を考慮する施設	8
4.1.2 重大事故等対処設備	9
4.2 許容応力	9
4.2.1 外部火災の影響を考慮する施設	9
5. 影響評価	10
5.1 森林火災に対する熱影響評価	10
5.2 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する熱影響評価	17
5.2.1 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価	17
5.2.2 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する熱影響評価	21
5.2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対する熱影響評価	22
5.2.4 敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対する影響評価	27
5.3 航空機墜落による火災の熱影響評価	30
5.4 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳の影響評価	47
5.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等への火災及び爆発に対する影響評価	49

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に従い、「VI-1-1-1-3-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定」において選定した外部火災の影響を考慮する施設に対する外部火災防護における設計方針及び評価方針について説明するものである。

重大事故等対処設備に係る設計方針及び評価方針については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 2. 設計方針

外部火災から防護すべき施設は、外部火災に対して、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に示すとおり、以下の設計方針とする。

### (1) 森林火災に対する設計方針

森林火災からの輻射強度の影響を考慮した場合においても、外部火災防護対象施設を収納する建屋は、防火帯の外縁(火炎側)から危険距離を上回る離隔距離の確保により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

安全冷却水系の冷却塔等の屋外の外部火災防護対象施設(以下「屋外の外部火災防護対象施設」という。)は、輻射強度に基づき算出された施設の温度が、冷却水出口温度の最大運転温度等の安全機能を維持するために必要な温度域の上限(以下「屋外の外部火災防護対象施設の許容温度」という。)となる離隔距離である危険距離に対し、それを上回る離隔距離を確保することで、安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、支持構造物である架構等に鋼材を用い熱伝導、放熱性に優れた設計とした上で、外部火災防護対象施設等の許容温度以上となるよう設計し、外部火災防護対象施設等と同程度に防火帯の外縁(火炎側)から危険距離を上回る離隔距離を確保することで、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

竜巻防護対策設備の鋼板の飛来物防護板等(以下「飛来物防護板等」という。)を設置する建屋内の外部火災防護対象施設については、飛来物防護板等の温度上昇を考慮しても、施設の温度を外部火災防護対象施設の性能維持に必要な温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、防火帯の外縁(火炎側)から危険距離を上回る離隔距離を確保することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

### (2) 石油備蓄基地火災に対する設計方針

石油備蓄基地火災に対し、外部火災防護対象施設を収納する建屋は、外壁表面で受ける輻射強度がコンクリートの許容温度以下となる危険輻射強度を下回ることを確認することで、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計

とする。

建屋の外気取入口から空気を取り込む設備である非常用ディーゼル発電機は、非常用ディーゼル発電機の設計上の最高使用温度となる離隔距離である危険距離に対し、それを上回る離隔距離を確保することで、安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、輻射強度に基づき算出した施設の温度を、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、支持構造物である架構等に鋼材を用い熱伝導、放熱性に優れた設計とした上で、外部火災防護対象施設等の許容温度以上となるよう設計し、外部火災防護対象施設等と同程度に危険距離を上回る離隔距離を確保することで、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

飛来物防護板等を設置する建屋内の外部火災防護対象施設については、飛来物防護板等の温度上昇を考慮しても、施設の温度を外部火災防護対象施設の性能維持に必要な温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、外壁表面で受ける輻射強度がコンクリートの許容温度以下となる危険輻射強度を下回ることを確認することで、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

### (3) 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する設計方針

石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対し、外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁表面温度をコンクリートの許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、輻射強度に基づき算出した施設の温度を、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、支持構造物である架構等に鋼材を用い熱伝導、放熱性に優れた設計とした上で、外部火災防護対象施設等の許容温度以上となるよう設計し、外部火災防護対象施設等と同程度に危険距離を上回る離隔距離を確保することで、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

飛来物防護板等を設置する建屋内の外部火災防護対象施設については、飛来物防護板等の温度上昇を考慮しても、施設の温度を外部火災防護対象施設の性能維持に必要な温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、外壁表面温度をコンクリートの許

容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

(4) 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発に対する設計方針

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対し、外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁表面温度をコンクリートの許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設は、輻射強度に基づき算出した施設の温度を、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、支持構造物である架構等に鋼材を用い熱伝導、放熱性に優れた設計とした上で、外部火災防護対象施設等の許容温度以上となるよう設計し、外部火災防護対象施設等と同程度に危険距離を上回る離隔距離を確保することで、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

飛来物防護板等を設置する建屋内の外部火災防護対象施設については、飛来物防護板等の温度上昇を考慮しても、施設の温度を外部火災防護対象施設の性能維持に必要な温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の外壁表面温度をコンクリートの許容温度以下とすることで、危険距離を上回る離隔距離を確保し、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対し、ガス爆発の爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を求め、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

また、敷地内の危険物貯蔵施設等に隣接し、危険限界距離を上回る離隔距離を確保できない外部火災防護対象施設を収納する建屋は、爆風圧に対して、建屋外壁の発生応力を短期許容応力度以下とし、コンクリートの構造強度を確保することで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(5) 航空機墜落による火災に対する設計方針

航空機墜落による火災に対し、外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁及び建屋内の温度上昇により建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能及び建屋外

壁が要求される機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設については、輻射強度に基づき算出した施設の温度を、屋外の外部火災防護対象施設の許容温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

屋外の外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある場合には、耐火被覆又は遮熱板の対策を講ずることにより安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、支持構造物である架構等の必要な部材に、耐火被覆又は遮熱板の防護対策を講じることで、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

飛来物防護板等を設置する建屋内の外部火災防護対象施設については、飛来物防護板等の温度上昇を考慮しても、施設の温度を外部火災防護対象施設の性能維持に必要な温度以下とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがある場合には、飛来物防護板等に対し、耐火被覆又は遮熱板の対策を講ずることにより安全機能を損なわない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の外壁を、構造強度を維持するために必要な温度以下とすることにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を及ぼさない設計とする。

(6) 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳に対する設計方針

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳に対し、ガス爆発の爆風圧が0.01MPaとなる危険限界距離を求め、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、危険限界距離を上回る離隔距離を確保することで、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

また、敷地内の危険物貯蔵施設等に隣接し、危険限界距離を上回る離隔距離を確保できない外部火災防護対象施設を収納する建屋は、爆風圧に対して、建屋外壁の発生応力を短期許容応力度以下とし、コンクリートの構造強度を確保することで、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(7) 再処理施設の危険物貯蔵施設等への火災及び爆発に対する影響

再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止する設計とする。また、再処理施設の危険物貯蔵施設等は、近隣の産業施設の爆発の影響を想定しても、危険限界距離以上の離隔距離を確保する設計とする。

上記設計方針に従ったものであることを、「3. 評価方針」に基づき評価を行い、確認する。

(8) 外部火災によるばい煙に対する設計方針

外部火災による二次的影響のうち、ばい煙に対し、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に示すとおり、再処理施設の建屋の換気空調等については、ばい煙の侵入に対して、フィルタを設置することで、安全機能を損なわない設計とする。

また、ばい煙が侵入したとしてもばい煙が流路に溜まりにくい構造とし、ばい煙により閉塞しない設計とする。

(9) 外部火災による有毒ガス煙に対する設計方針

外部火災による二次的影響のうち、有毒ガスに対し、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に示すとおり、有毒ガスによる影響については、運転員の作業環境を確保するため中央制御室換気設備等の連絡口との外気取入れを遮断し制御室内空気を再循環する設計とする。

ばい煙及び有毒ガスに対する具体的な設計については「VI-1-1-1-3-5 二次的影響(ばい煙及び有毒ガス)に対する設計」に示す。

### 3. 評価方針

#### 3.1 評価の対象施設

外部火災の影響評価の対象施設(以下「評価対象施設」という。)は、「VI-1-1-1-3-2 外部火災の影響を考慮する施設の選定」において選定した外部火災の直接的影響を考慮する施設を外部火災の影響を評価する施設(以下「評価対象施設」という。)とする。

##### 3.1.1 外部火災の影響を考慮する施設

外部火災の影響を考慮する施設のうち、外部火災の直接的影響を考慮する施設は以下のとおり。

(1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋に係る評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設

建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設に係る評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(3) 屋外の外部火災防護対象施設

- ・安全冷却水B冷却塔
- ・安全冷却水系  
(安全冷却水B冷却塔周りの配管)



なお、安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の屋外の外部火災防護対象施設に係る評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(4) 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

(a) 飛来物防護ネット

- ・飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

なお、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)以外の評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(b) 飛来物防護板

飛来物防護板の評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(5) 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設に係る評価方針については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(6) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋に係る評価方針については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(7) 屋外の再処理施設の危険物貯蔵施設等

- ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所
- ボイラ用燃料貯蔵所
- ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所
- 低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫
- ボイラ建屋ボンベ置場
- 精製建屋ボンベ庫
- 還元ガス製造建屋

3.1.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備に係る評価方針については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

3.2 評価の基本方針

評価は、「3.1 評価の対象施設」に示す評価対象施設に対して、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」に従い評価する。

3.2.1 評価の分類

外部火災としては、外部火災ガイドを参考として、森林火災、石油備蓄基地火災、石油備蓄基地火災と森林火災の重畳、敷地内の危険物貯蔵施設等の火災、敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発、航空機墜落による火災及び航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳を対象とする。また、再処理施設の危険物貯

蔵施設等への熱影響については、森林火災、近隣の産業施設の火災及び爆発を対象とする。

評価対象施設は、「3.1 評価の対象施設」で示す外部火災の影響を考慮する施設及び再処理施設の危険物貯蔵施設等であるが、外部火災の分類ごとに条件の厳しい評価対象施設を選定し、代表で評価を行う。

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発については、敷地内の危険物貯蔵施設等のうち、評価対象施設への影響が最も厳しいものを火災源及び爆発源として想定する。

さらに、敷地内の危険物貯蔵施設等が外部火災により、外部火災防護対象施設及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋に影響を与えないことを確認するため、再処理施設の危険物貯蔵施設等に対する熱影響を評価する。

再処理施設の危険物貯蔵施設等に対する影響評価の際に考慮する外部火災は森林火災並びに近隣の産業施設の火災及び爆発とする。想定する火災及び爆発と影響評価を行う危険物貯蔵施設等については、第3.2.1-1表に示す火災及び爆発に対して評価する。

第3.2.1-1表 森林火災並びに近隣の産業施設の火災及び爆発における影響評価の対象となる再処理施設の危険物貯蔵施設等

分類	再処理施設の危険物貯蔵施設等	貯蔵物	離隔距離(m)
森林火災	ボイラ用燃料貯蔵所*1	重油	168
	精製建屋ボンベ庫	水素	230
	ボイラ建屋ボンベ置場	プロパン	347
近隣の産業施設の火災*2	ボイラ用燃料貯蔵所*1	重油	1500
	ボイラ建屋 ボンベ置場	プロパン	1500
近隣の産業施設の爆発*3	還元ガス製造建屋	水素	217
	低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	プロパン	224

注記 \*1: 再処理施設の重油タンクのうち、防火帯又は石油備蓄基地から最短となる重油タンクを選定している。

\*2: 水素ガスを内包する精製建屋ボンベ庫、還元ガス製造建屋LPGボンベ庫は、石油備蓄基地との間に建屋があり、石油備蓄基地火災に対して受熱面を有していないため、評価対象施設にしない。

\*3: MOX燃料加工施設の第1高圧ガストレーラ庫

#### 4. 許容温度及び許容応力

評価対象施設が外部火災に対して十分な健全性を有することを確認するための評価に用いる許容温度及び許容応力は以下に示す。その設定根拠は「VI-1-1-1-3-3-1 外部火災への配慮が必要な施設の許容温度及び許容応力の設定根拠」に示す。

## 4.1 許容温度

### 4.1.1 外部火災の影響を考慮する施設

外部火災の影響を考慮する施設のうち、外部火災の直接影響を考慮する施設の許容温度について以下に示す。

- (1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋，外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋  
建屋の許容温度については，各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- (2) 建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設  
建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設の許容温度については，各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- (3) 屋外の外部火災防護対象施設  
屋外の外部火災防護対象施設は，系統構成を踏まえて評価することをから，評価分類を踏まえて許容温度を設定する。
  - a. 安全冷却水系(再処理設備本体用)  
屋外の外部火災防護対象施設のうち，安全冷却水系(再処理設備本体用)の系統構成に関連する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)が，火災時においても，冷却機能を損なわないこととして，以下に示す冷却水の最高使用温度，機能を維持するために必要な部材の最高使用温度及び支持架構の構造強度を維持する温度を許容温度とする。
    - (a) 冷却水の最高使用温度：■℃
    - (b) 機能を維持するために必要な部材の最高使用温度
      - イ. 管束及び配管
        - ・ チューブサポート，管束フレーム：■℃
      - ロ. ファン駆動部
        - ・ ファンブレード：■℃
        - ・ 減速機：■℃
        - ・ 原動機：停止時：■℃，運転時：■℃
      - ハ. その他部材
        - ・ ファンリング，ファンリングサポート，コモンベッド，ケーブルトレイ：■℃
    - (c) 支持架構の構造強度を維持する温度  
鋼材：325℃  
安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の許容温度については，各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- (4) 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設  
外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、施設を構成する部材について、一時的に強度が低下しても、構造を維持することで、倒壊等により波及的影響を及ぼさない温度450℃を許容温度とする。
- (5) 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設  
飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。
- (6) 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設  
以下の敷地内の危険物貯蔵施設等が内包する危険物等について、危険物等の種別ごとに発火点温度を許容温度とする。
- a. ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所  
ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の貯蔵物である重油の発火点温度約240℃を許容温度として設定する。
  - b. ボイラ用燃料貯蔵所  
上記a. と同じ。
  - c. ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所  
上記a. と同じ。
  - d. 低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫  
プロパンガスの貯蔵容器の貯蔵物であるプロパンの発火点温度である405℃を許容温度として設定する。
  - e. ボイラ建屋ボンベ置場  
上記d. と同じ。
  - f. 精製建屋ボンベ庫  
水素ガスの貯蔵容器の貯蔵物である水素の発火点温度である571.2℃を許容温度として設定する。
  - g. 還元ガス製造建屋  
上記f. と同じ。

#### 4.1.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 4.2 許容応力

#### 4.2.1 外部火災の影響を考慮する施設

外部火災の影響を考慮する施設のうち、外部火災の影響を考慮する施設の許容応力について以下に示す。

- (1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋のうち、精製建屋ボンベ庫、還元ガス製造建屋は爆発源となる危険物貯蔵施設等に対し危険限界距離を確保できないことから、許容応力以下であることを説明する必要がある。これについては、当該建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 5. 影響評価

### 5.1 森林火災に対する熱影響評価

#### (1) 輻射強度の算出

##### a. 評価方針

事業指定(変更許可)申請書において示すとおり、防火帯外縁における最も火災影響の大きくなる火炎(反応強度:750kW/m<sup>2</sup>)を評価対象の最短となる位置に配置して、その解析において火炎最前線に到達した火炎を横一列に並べ、すべての火炎から評価対象施設が受ける輻射強度を算出する。

輻射強度算出、温度評価及び危険距離算出の流れを第5.1-1図、算出に用いる評価指標とその内容を第5.1-1表、評価対象施設と防火帯の位置関係を第5.1-2図にそれぞれ示す。

また、再処理施設の危険物貯蔵施設等の貯蔵容器の内部温度の算出は「5.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災の発生防止の影響評価」に示す。

##### b. 評価条件

- (a) 森林火災による熱を受ける面と森林火災の火炎輻射強度が発する地点が同じ高さにあると仮定し最短距離にて算出する。
- (b) 森林火災の火炎は、円筒火炎モデルを使用する。火炎の高さは燃焼半径の3倍とし、燃焼半径から円筒火炎モデルの数を算出する。円筒火炎モデル数は、火炎最前線の火炎のメッシュ\*1毎に設定する。  
注記 \*1: 植生データの最小単位(=10m)を火炎のメッシュとする。
- (c) 評価対象施設への熱影響が厳しくなるよう、火炎最前線の火炎から最大火炎輻射強度となる火炎を評価対象施設から最短となるように配置し、火炎最前線の到達した火炎を横一列に並べ、全ての火炎からの火炎輻射強度を考慮する。森林火災における円筒火炎モデルの概要を第5.1-3図に示す。
- (d) 円筒火炎モデルの燃焼の考え方は、ある地点の燃焼完了後に隣へ移動する解析であり、隣へ移動した後は燃焼していた地点の可燃物を燃焼しつくしていることから、消炎するものとする。また、メッシュの燃焼途中で移動は考慮しない。

- (e) 気象条件は無風状態とする。

##### c. 評価方法

外部火災ガイドを参考として、FARSITEによる解析結果を用い、評価対象施設

への輻射強度を算出する。

(a) 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
R	m	燃料半径
H	m	火炎長
F	-	円筒火炎モデル数
W	m	メッシュ幅
$\phi_i$	-	各円筒火炎モデルの形態係数
L	m	各円筒火炎モデルから評価対象施設までの離隔距離
E	W/m <sup>2</sup>	メッシュごとの輻射強度の合計
Rf	W/m <sup>2</sup>	火炎輻射発散度
$\phi_t$	-	各円筒火炎モデルの形態係数の合計値

(b) 燃焼半径の算出

燃焼半径Rを式5.1-1により算出する。

$$R = \frac{H}{3} \cdots \text{(式5.1-1)}$$

(出典：外部火災ガイド)

(c) 円筒火炎モデル数の算出

火炎が到達したメッシュごとに円筒火炎モデル数Fを次式のとおり算出する。

$$F = \frac{W}{2R} \cdots \text{(式5.1-2)}$$

(出典：外部火災ガイド)

(d) 各円筒火炎モデルの形態係数の算出

円筒火炎モデルの形態係数 $\phi_i$ を式5.1-3により算出する。

$$\phi_i = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \frac{A(n-1)}{\sqrt{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \frac{(n-1)}{\sqrt{(n+1)}} \right] \right\} \cdots \text{(式5.1-3)}$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} = 3$ 、 $n = \frac{L}{R}$ 、 $A = (1+n)^2 + m^2$ 、 $B = (1-n)^2 + m^2$

(出典：外部火災ガイド)

各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値として形態係数 $\phi_t$ を次式のとおり算出する。円筒火炎モデルを第5.1-4図に示す。

$$\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} \cdots + \phi_{i+x}) \cdots \text{(式5.1-4)}$$

ただし、 $i, (i+1), (i+2), \cdots, (i+x)$ の円筒火炎モデル数の合計はF個とす

る。

(出典：外部火災ガイド)

(e) 輻射強度の算出

火炎最前線に到達した各メッシュの火炎輻射発散度 $R_f$ から受熱面の輻射強度を式5.1-5により算出する。

$$E = R_f \cdot \phi_t \cdots (\text{式5.1-5})$$

(出典：外部火災ガイド)

(2) 熱影響評価

a. 評価方針

防火帯外縁から評価対象施設の建屋までの離隔距離が危険距離以上であること並びに建屋及び屋外の評価対象施設が許容温度以下となることを確認する。

b. 評価方法

(a) 記号の説明

屋外の外部火災防護対象施設の安全冷却水系(再処理設備本体用)の算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
$\Delta T_2$	K	火炎からの輻射による冷却水の出口温度上昇
A	$m^2$	1ベイ当たりの配管表面積 (側部板にて直接輻射が当たらない伝熱管を除いた、 冷却水配管の表面積)
G	kg/s	1ベイ当たりの冷却水の質量流量
$c_p$	J/kg/K	冷却水の比熱

(b) 外部火災防護対象施設を収納する建屋，外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の建屋

評価対象施設の建屋の評価方法については，各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(c) 屋外の外部火災防護対象施設

イ. 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)については，安全機能を維持する上で最も低い許容温度となる冷却水の冷却塔出口温度上昇を確認することで，安全機能を損なわないことを確認する。冷却水温度への熱影響評価の計算モデルを第5.1-5図に示す。

また，冷却水については，系統への影響を考慮し，流体の温度上昇を以下の式5.1-6に基づき算出する。

$$\Delta T_2 = \frac{E \times A}{c_p \times G} \dots (\text{式5. 1-6})$$

(出典：「伝熱工学資料」(2009年5月20日 改訂第5版 日本機械学会)(以下「伝熱工学資料改訂第5版」という。)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(d) 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

安全冷却水系(再処理設備本体用)に波及的影響を及ぼし得る施設は、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)があり、支持構造物である架構等が鋼材であり、安全冷却水系(再処理設備本体用)の冷却水の最高使用温度 $\blacksquare$ °Cに対し、許容温度が450°Cと許容温度が高く、離隔距離は同程度であることから、屋外の外部火災防護対象施設の評価に包絡される。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の外部火災防護対象施設等に対して波及的影響を及ぼし得る施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

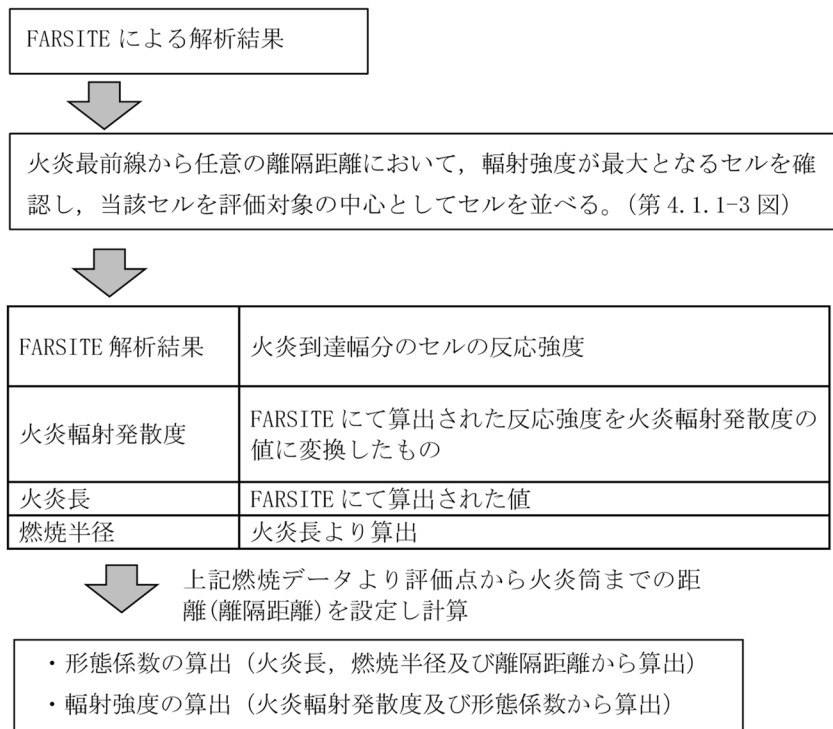
(e) 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板等の温度上昇に対する外部火災防護対象施設への熱影響については、飛来物防護板等と外部火災防護対象施設の離隔距離は、どの火災源においても変わらないことから、温度上昇が最も高い事象により評価は包絡される。防火帯の外縁(火炎側)からの離隔距離を考慮すると、建屋直近を想定する航空機墜落火災が最も厳しい条件となることは明らかであることから、「5.3(4) h. 飛来物防護板等から影響を受ける施設」の評価に包絡される。



第5.1-1表 評価指標について

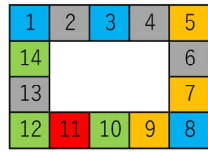
評価指標	内容
反応強度 (kW/m <sup>2</sup> )	単位面積当たりの熱放出速度であり、火炎輻射強度の根拠となる火災規模。火炎輻射強度の算出に使用する。(FARSITEの解析で算出された値)
火炎長 (m)	反応強度が最大位置の火炎の高さ。円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。(FARSITEの解析で算出された値)
火炎輻射強度 (kW/m <sup>2</sup> )	反応強度に米国NFPAの係数0.377を乗じて算出され、円筒火炎モデルを用いた温度上昇の算出に使用する。
燃焼半径 (m)	火炎長さに基づき算出され、円筒火炎モデルの形態係数の算出に使用する。
火炎到達幅 (m)	防火帯外縁に到達した火炎の数×火炎幅(10m) (FARSITEの解析で算出された値)
形態係数	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる定数
危険距離 (m)	外壁表面温度がコンクリートの圧縮強度が維持できる温度である200℃となる距離



第5.1-1図 輻射強度の算出の流れ



① 火災最前線上で最も影響度が大きいメッシュ **11** を抽出する。



凡例

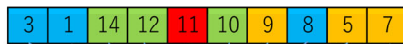
- : 最も影響度が大きいメッシュ
- : 2番目に影響度が大きいメッシュ
- : 3番目に影響度が大きいメッシュ
- : 4番目に影響度が大きいメッシュ
- : 火災が未到達のメッシュ

枠内の数字は、メッシュの並びに基づいて連番にて与える番号

② **11** を中心に火災最前線を展開する。

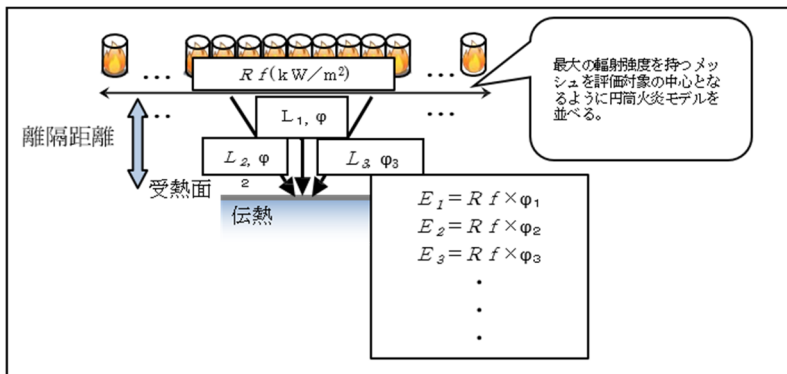


③ 未到達メッシュを除いて詰め、メッシュ毎の輻射強度から温度上昇値を算出する。

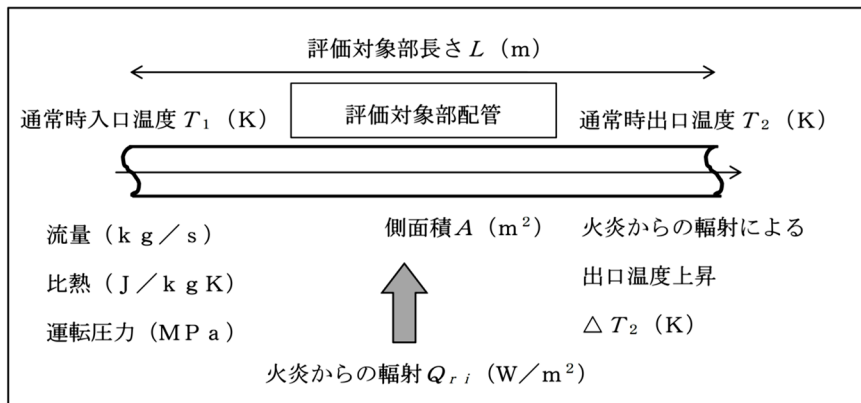


評価対象

第5.1-3図 円筒火炎モデルの概要



第5.1-4図 円筒火炎モデル



第5.1-5図 冷却水温度への熱影響評価の計算モデル

## 5.2 近隣の産業施設の火災及び爆発に対する熱影響評価

近隣の産業施設の火災及び爆発については、石油備蓄基地の火災、敷地内の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発並びに石油備蓄基地の火災と森林火災の重畳について影響評価を行う。

### 5.2.1 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価

#### (1) 評価方針

石油備蓄基地の火災については、敷地西方向約0.9km離れた場所に存在する、51基の原油貯蔵タンク(約11.1万 $m^3$ /基)の原油全てが防油堤内に流出した全面火災を想定する。評価は、評価対象施設の建屋は、算出した輻射強度がコンクリートの許容温度となる危険輻射強度以下であることを確認する。屋外の評価対象施設は代表部位が許容温度以下となることを確認する。

また、敷地内の危険物貯蔵施設等の貯蔵物の温度の算出は「5.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災の発生防止の影響評価」に示す。

石油備蓄基地の火災に対する考慮のうち、非常用ディーゼル発電機に対する考慮については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### (2) 評価条件

- a. 気象条件は無風状態とする。
- b. 石油備蓄基地に配置している51基の原油貯蔵タンク(約11.1万 $m^3$ /基)の原油全てが原油貯蔵タンクから防油堤内に流出した全面火災を想定し、原油貯蔵タンクから流出した石油類は全て防油堤内に留まるものとする。
- c. 火災は原油貯蔵タンク9基(3列×3行)又は6基(2列×3行)を1単位とした円筒火災モデルとし、火災の高さは燃焼半径の3倍とする。円筒火災モデルの概念図を第5.4.1-1図に示す。
- d. 原油貯蔵タンクは、燃焼半径が大きく、燃焼時に空気供給が不足し、大量の黒煙が発生するため、輻射発散度の低減率(0.3)を考慮する。

(出典：消防庁特殊災害室 石油コンビナートの防災アセスメント指針,平成25年3月)(以下「石油コンビナートの防災アセスメント指針」という。)

#### (3) 評価方法

石油備蓄基地火災については、原油貯蔵タンクの貯蔵量、原油貯蔵タンクから評価対象施設の受熱面までの距離等から評価対象施設で受ける輻射強度を求めるとともに、その輻射強度が建屋外壁の許容温度に達する危険輻射強度を算出する。屋外の評価対象施設は、代表部位の温度を算出する。

a. 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
R	m	燃料半径
w	m	防油堤3基分の縦幅 (160m×3=480m)
d	m	防油堤3基分の横幅又は2基分の横幅 (160m×3=480m又は160m×2=320m)
φ	-	形態係数
H	m	火炎の高さ
L	m	燃焼面(円筒火災底面)の中心から受熱面(評価点)までの距離
E	W/m <sup>2</sup>	輻射強度
Rf	W/m <sup>2</sup>	輻射発散度

b. 燃焼半径の算出

原油貯蔵タンクは、隣接するタンクと防油堤を共有しているものが複数あることから、現実的な底面積の設定として、原油貯蔵タンク9基(3列×3行)又は6基(2列×3行)を1単位として円筒形にモデル化し、円筒火災相互の輻射遮蔽効果は無視する。また、防油堤の大きさは航空写真から概算で原油貯蔵タンク1基あたり縦幅及び横幅ともに160mと設定し、外部火災ガイドを参考に燃焼半径Rは式5.2.1-1より算出する。円筒火災モデルを第5.2.1-1図に示す。

$$R = \sqrt{\frac{W \cdot d}{\pi}} \dots (\text{式5.2.1-1})$$

(出典：外部火災ガイド)

c. 輻射強度の算出

外部火災ガイドを参考として、各円筒火災からの形態係数φ<sub>i</sub>を式5.2.1-2により求める。

$$\phi_i = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \dots (\text{式5.2.1-2})$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} = 3$ ,  $n = \frac{L}{R}$ ,  $A = (1+n)^2 + m^2$ ,  $B = (1-n)^2 + m^2$

(出典：外部火災ガイド)

φ<sub>i</sub> (i = 1~6) : 第5.2.1-1図に示した各円筒火災の形態係数

ここで、求めた各円筒火災の形態係数から、輻射強度を式5.2.1-3により算出する。

$$E = \sum_{i=1}^6 (\phi_i \cdot R_f \cdot r) \cdots \text{(式5.2.1-3)}$$

(出典：外部火災ガイド)

$\phi_i$ ( $i=1\sim6$ )：第5.2.1-1図に示した各円筒火災の形態係数

ここで、輻射発散度 $R_f$ は油種により決まるものであり、外部火災ガイドを参考として、カフジ原油の値を採用し、 $41\text{kW}/\text{m}^2$ と設定する。

また、大規模な石油備蓄基地火災を想定するため、火炎輻射発散度の低減率( $r=0.3$ )を考慮する。

(出典：石油コンビナートの防災アセスメント指針)

- d. 外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の危険輻射強度の算出方法

評価対象施設の建屋の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- e. 建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設

非常用ディーゼル発電機の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- f. 屋外の外部火災防護対象施設の温度の算出方法

- (a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

5.1(2)b.(b)イ.と同様に評価する。

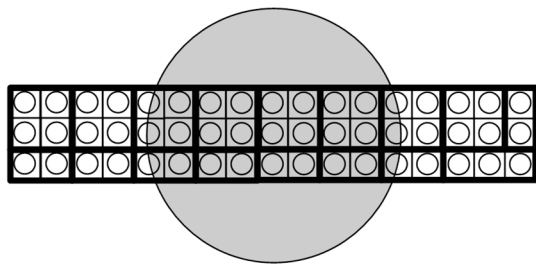
安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- g. 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

5.1(2)b.(c)と同様に屋外の外部火災防護対象施設の評価に包絡される。

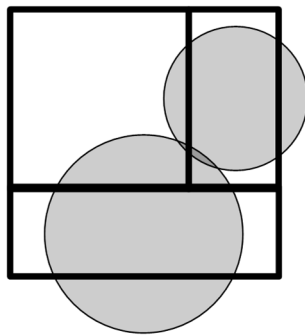
- h. 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

石油備蓄基地火災からの離隔距離を考慮すると、建屋直近を想定する航空機墜落火災が最も厳しい条件となることは明らかであることから、「5.3(4) h. 飛来物防護板等から影響を受ける施設」の評価に包絡される。



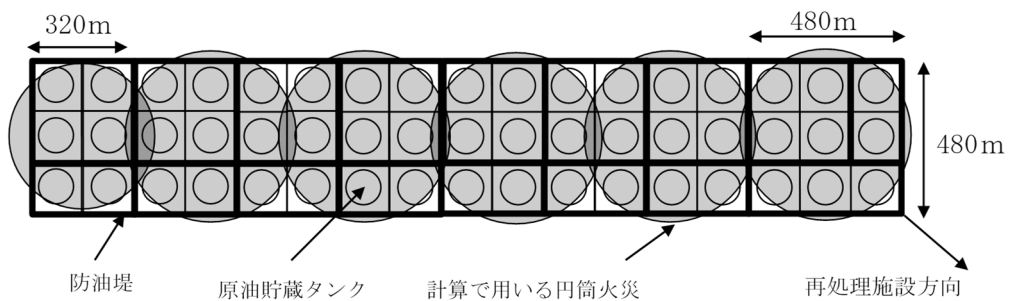
想定する防油堤内火災の燃焼形態とモデルの燃焼形態の乖離が大きく、非現実的な円筒火災モデルとなる。

<全防油堤の面積を一つの円筒火災モデルとする場合>



3列1行や2行1列で設置された防油堤については、想定する防油堤内火災の燃焼形態との間に乖離がある。

<防油堤単位で円筒火災モデルとする場合>



第5.2.1-1図 円筒火災モデルの概念図

## 5.2.2 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する熱影響評価

### (1) 評価方針

石油備蓄基地火災においては、防油堤外部へ延焼する可能性は低いですが、外部火災ガイドを参考として、石油備蓄基地周辺の森林へ飛び火することにより評価対象施設へ迫る場合を想定し、石油備蓄基地火災と森林火災の重畳を想定する。評価は、この重畳火災による評価対象施設の建屋の外壁表面温度を算出し、許容温度以下となることを確認する。

### (2) 評価条件

石油備蓄基地火災については、「5.2.1(2) 評価条件」と同じである。

森林火災については、「5.1(1) 輻射強度の算出」と同じである。

### (3) 評価方法

石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳による影響評価は、火炎からの輻射強度による評価対象施設の建屋の外壁表面温度及び屋外の評価対象施設の温度を算出する。

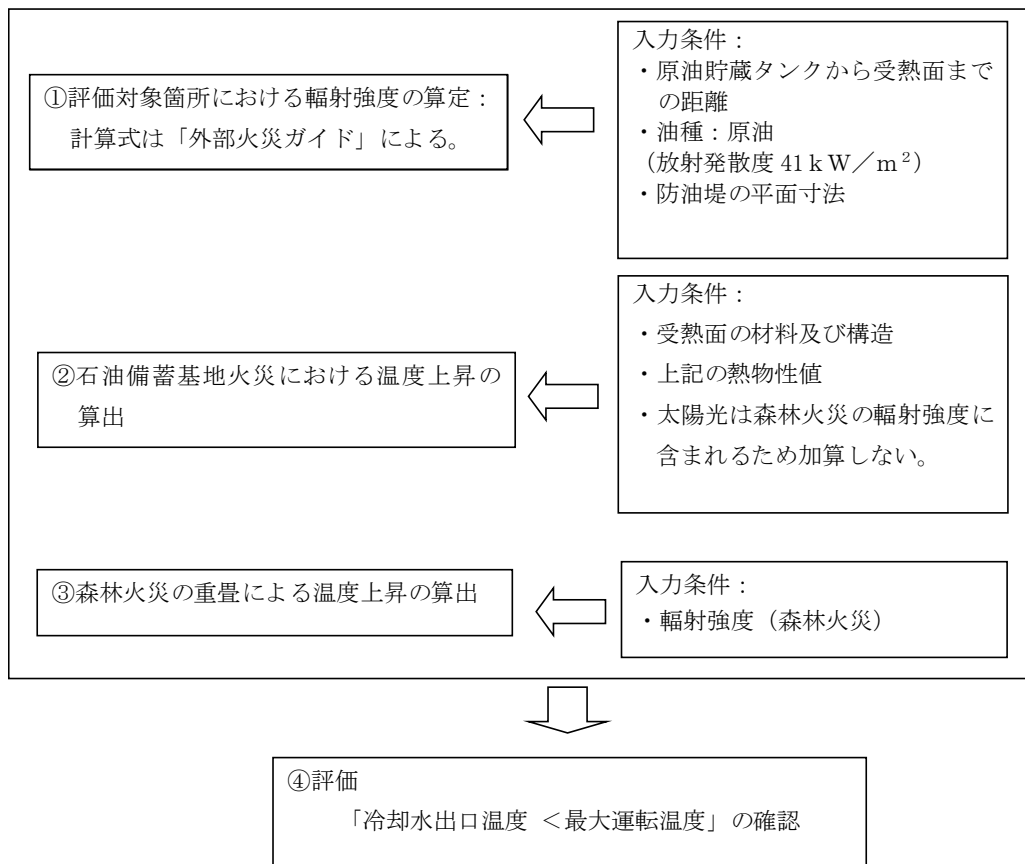
石油備蓄基地火災については、「5.2.1(3) 計算方法」に対し、森林火災の中で太陽輻射を考慮することから、火炎からの輻射強度のみとする。

森林火災については、「5.1(2) 熱影響評価」と同じである。

石油備蓄基地火災と森林火災の重畳については、評価対象施設に対し、石油備蓄基地火災の熱影響評価で算出した温度と森林火災の熱影響評価で算出した温度を加え、算出する。

検討手順を第5.2.2-1図に示す。





第5.2.2-1図 石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳評価に関する検討手順

### 5.2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対する熱影響評価

#### (1) 評価方針

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災については、敷地内の危険物貯蔵施設等における危険物の貯蔵量、敷地内における施設の配置状況及び離隔距離を考慮し、貯蔵量が多く、評価対象施設に近い、ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所、ボイラ用燃料貯蔵所、ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所に設置する重油タンクの火災を想定する。

評価は、火災源からの熱影響による評価対象施設の建屋外壁及び屋外の評価対象施設の温度を算出し、許容温度を満足することを確認する。

敷地内の危険物貯蔵施設等を第5.2.3-1表に、危険物貯蔵施設等の配置状況を第5.2.3-1図に示す。

なお、技術開発研究所に設置する重油貯槽並びにユーティリティ建屋及び第2ユーティリティ建屋に設置する受電変圧器(絶縁油)は、他の敷地内の危険物貯蔵施設等と比較し危険物等の貯蔵量が少なく、評価対象までの距離が離れていること

から、技術開発研究所に設置する重油貯槽並びにユーティリティ建屋及び第2ユーティリティ建屋に設置する受電変圧器(絶縁油)の火災による影響は、他の敷地内の危険物貯蔵施設等の火災による影響に包絡されるため、上記にて想定するボイラ用燃料受入れ・貯蔵所において火災を想定して熱影響を評価する。

地下の敷地内の危険物貯蔵施設等は、「危険物の規則に関する政令」及び「危険物の規制に関する規則」に適合するため地表面で火災が発生する可能性は低いうえ、タンクのマンホールを含め地上部に露出しない構造であり、地上で発生する火災からの輻射熱を受けない構造とすることから外部火災源から除外する。

## (2) 評価条件

- a. 気象条件は無風状態とする。
- b. 敷地内の危険物貯蔵施設等の危険物の貯蔵量は、危険物施設として許可された危険物の貯蔵容量を超えない運用上の最大貯蔵量とする。
- c. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう、タンク位置から外部火災防護対象施設等までの直線距離とする。
- d. タンク内の重油全てがタンクから防油堤内に流出した全面火災を想定し、タンクから流出した重油は全て防油堤内に留まるものとする。
- e. 火災は円筒火災モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。想定する円筒火災モデルを第5.2.3-2図に示す。
- f. 輻射発散度の低減は考慮しない。

## (3) 評価方法

敷地内の危険物貯蔵施設等の火災については、防油堤面積から求める燃焼半径、重油の貯蔵量及び燃焼速度から、防油堤内における重油の燃焼継続時間を設定する。その燃焼継続時間、輻射強度等を用いて、評価対象施設の建屋は外壁表面温度を算出する。屋外の評価対象施設は、代表部位の温度を算出する。

### a. 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
R	m	燃焼半径
w	m	防油堤の幅
d	m	防油堤の奥行
$\phi$	-	形態係数
L	m	燃焼面(円筒火災底面)の中心から受熱面(評価点)までの距離
H	m	火炎の高さ
E	W/m <sup>2</sup>	輻射強度
Rf	W/m <sup>2</sup>	輻射発散度

b. 燃焼半径の算出

外部火災ガイドを参考として、燃焼半径Rは式5.2.3-1より算出する。

$$R = \sqrt{\frac{W \cdot d}{\pi}} \dots (\text{式5.2.3-1})$$

(出典：外部火災ガイド)

c. 輻射強度の算出

火災からの輻射強度を算出するに当たっては、外部火災ガイドを参考として、形態係数 $\phi$ を式5.2.3-2により算出する。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\} \dots (\text{式5.2.3-2})$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} = 3$ 、 $n = \frac{L}{R}$ 、 $A = (1+n)^2 + m^2$ 、 $B = (1-n)^2 + m^2$

(出典：外部火災ガイド)

ここで、求めた形態係数から、外部火災ガイドを参考として、輻射強度Eを以下の式5.2.3-3により算出する。

$$E = Rf \cdot \phi \dots (\text{式5.2.3-3})$$

(出典：外部火災ガイド)

ここで、輻射発散度Rfは外部火災ガイドを参考として、重油の値23kW/m<sup>2</sup>と設定する。

d. 燃焼継続時間の算定

評価対象施設の建屋に使用する評価式については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

e. 外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の外壁表面温度の算出方法

評価対象施設の建屋の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

f. 屋外の外部火災防護対象施設の温度の算出方法

(a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

5.1(2)b.(b)イ.と同様に評価する。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

g. 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

5.1(2)b.(c)と同様に屋外の外部火災防護対象施設の評価に包絡される。

h. 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

敷地内の危険物貯蔵施設からの離隔距離を考慮すると、建屋直近を想定する

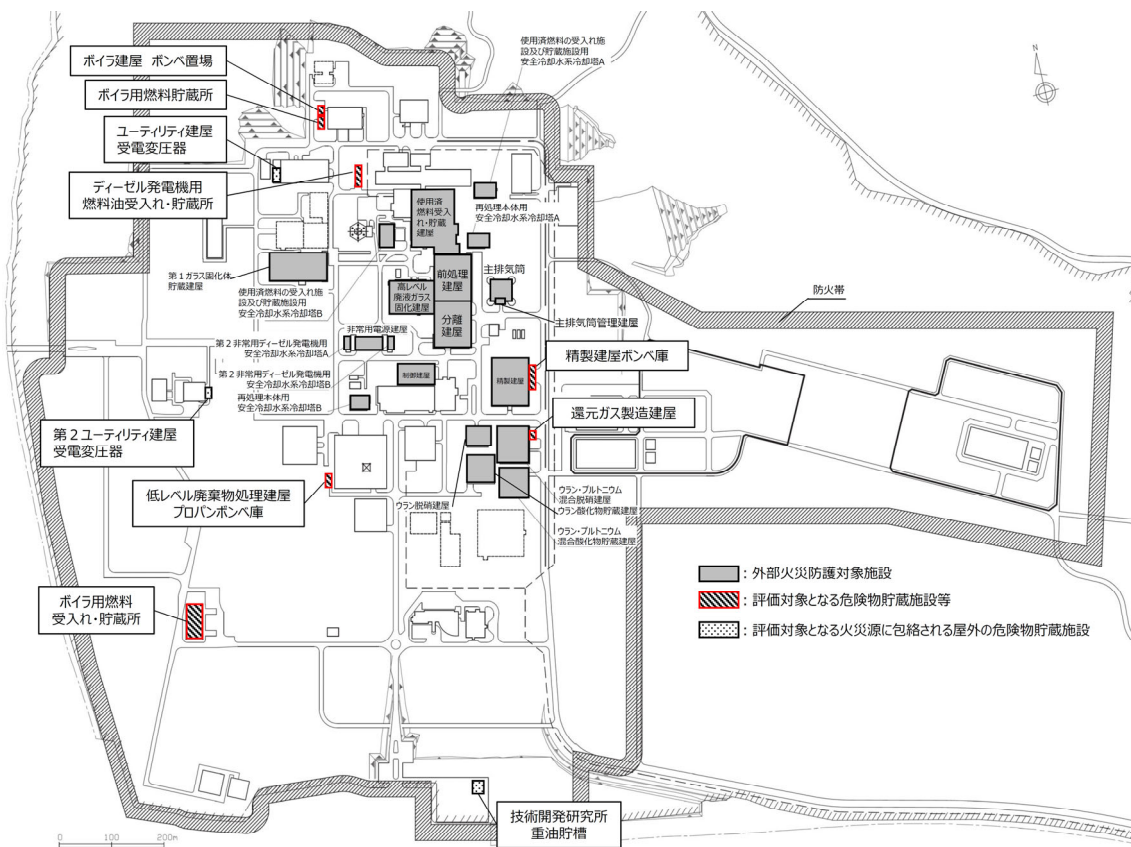
航空機墜落火災が最も厳しい条件となることは明らかであることから、「5.3(4) h. 飛来物防護板等から影響を受ける施設」の評価に包絡される。

第5.2.3-1表 敷地内に存在する危険物貯蔵施設等

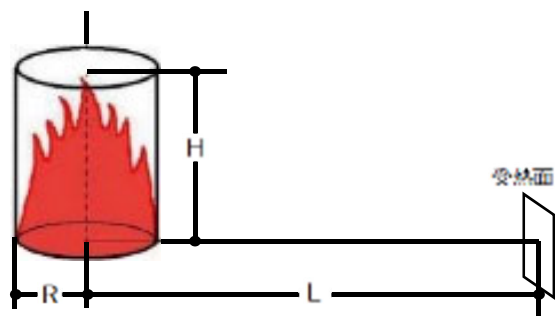
敷地内の危険物タンク等	貯蔵物
ボイラ用燃料貯蔵所	重油
ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所* <sup>1</sup>	重油
ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所* <sup>1</sup>	重油
技術開発研究所重油貯槽	重油
精製建屋ボンベ庫	水素
還元ガス製造建屋	水素
第1高压ガストレーラ庫* <sup>2</sup>	水素
LPGボンベ庫* <sup>2</sup>	LPガス
ボイラ建屋 ボンベ置場	プロパン
低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	プロパン
ユーティリティ建屋 受電変圧器	絶縁油
第2ユーティリティ建屋 受電変圧器	絶縁油

注記 \*1： MOX燃料加工施設及び廃棄物管理施設と共用

\*2： MOX燃料加工施設の危険物貯蔵施設等



第5.2.3-1図 危険物貯蔵施設等の配置状況



第5.2.3-2図 想定する円筒火炎モデル

#### 5.2.4 敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対する影響評価

##### (1) 評価方針

敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発については危険物の貯蔵量等を勘案して、再処理施設の精製建屋ボンベ庫及び還元ガス製造建屋における水素ガスボンベ、ボイラ建屋 ボンベ置場及び低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫のプロパンボンベ並びに再処理施設以外の危険物貯蔵施設として、MOX燃料加工施設の第1高圧ガストレーラ庫及びLPGボンベ庫の爆発を想定する。評価は、爆発源ごとに、評価対象施設へのガス爆発の爆風圧が人体に対して影響を与えない0.01MPaとなる距離である危険限界距離を算出し、その危険限界距離を上回る離隔距離が確保されていることを評価する。

また、評価対象施設が危険限界距離を上回る離隔距離を確保できていれば、その周辺は、人体に対して影響を与えない程度の爆風圧となることから、周辺施設が波及的影響を受けることは考えにくいことから、波及的影響の評価は、外部火災防護対象施設の評価に包絡される。

敷地内の危険物貯蔵施設等の配置状況を第5.3.4-1図に示す。

##### (2) 評価条件

- a. 離隔距離は、評価上厳しくなるよう爆発源から外部火災の影響を考慮する外部火災防護対象施設までの直線距離とする。」
- b. 爆発源は燃料を満載した状態を想定する。
- c. 敷地内の危険物貯蔵施設等の高圧ガス漏えい及び引火による爆発を想定する。
- d. 気象条件は無風状態とする。

##### (3) 評価方法

爆発源のガスの種類及び貯蔵量から貯蔵設備のW値を求める。その貯蔵設備のW値を用いて、ガス爆発の爆風圧が人体に対して影響を与えない0.01MPaとなる距離である危険限界距離を算出する。

##### a. 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
V	m <sup>3</sup>	燃料量
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	ガス密度
W	-	設備定数
X	m	危険限界距離
$\lambda$	m · kg <sup>-1/3</sup>	換算距離(14.4)
K	W/m <sup>2</sup>	ガス定数 水素ガス：2,860,000 プロパンガス：888,000(100℃以上)

b. 貯蔵設備のW値の算出

外部火災ガイドを参考とし、設備定数(W)は敷地内の危険物貯蔵施設等の貯蔵能力(単位t)の平方根の数値(貯蔵能力が1t未満のものにあつては、貯蔵能力(単位t)の数値)を用いる。必要な場合は、体積Vと密度 $\rho$ から、貯蔵能力(単位t)を求める。貯蔵設備のW値を次式のとおり算出する。

$$m = V \cdot \rho$$

$$m \geq 1\text{tの場合 } W = \sqrt{m} \cdots (\text{式5.2.4-1})$$

$$m < 1\text{tの場合 } W = m \cdots (\text{式5.2.4-2})$$

V:体積,  $\rho$ :密度, m:危険物質量

(出典:外部火災ガイド)

c. 危険限界距離の算出

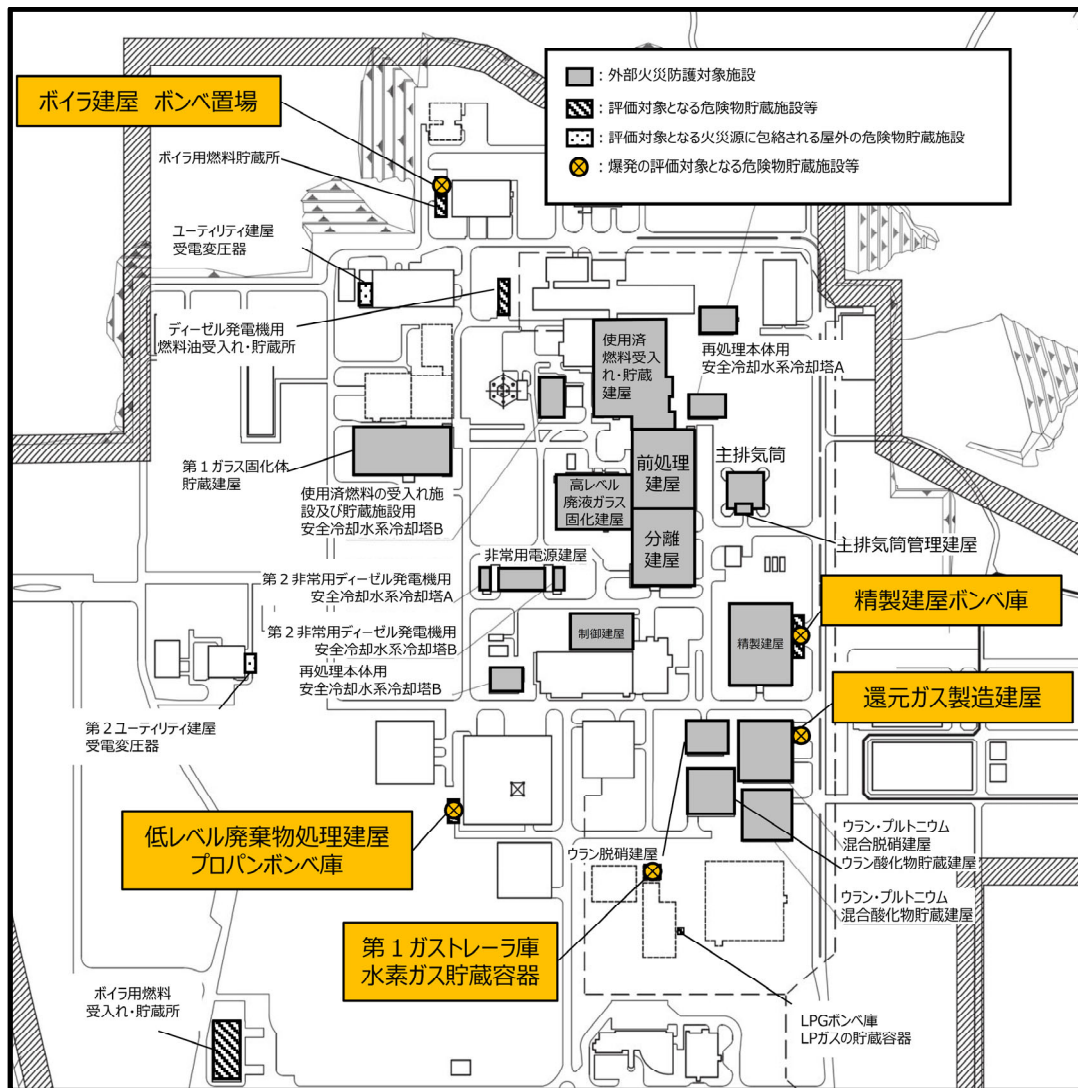
外部火災ガイドを参考とし、式5.2.4-3より危険限界距離を算出する。

$$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \cdot W} \cdots (\text{式5.2.4-3})$$

(出典:外部火災ガイド)

(4) 危険限界距離を確保できない施設における健全性評価

危険限界距離を確保できない施設における健全性評価については、次回以降に詳細を説明する。



第5.2.4-1図 評価対象施設と危険物貯蔵施設(爆発源)の位置関係



### 5.3 航空機墜落による火災の熱影響評価

#### (1) 評価方針

航空機墜落による火災の対象航空機は、落下事故の分類を踏まえ、以下の航空機の落下事故における航空機を選定する。

自衛隊機又は米軍機の落下事故として、燃料積載量が最大の自衛隊機であるKC-767を選定する。また、再処理施設の南方向約10kmに三沢対地訓練区域があり、自衛隊機及び米軍機が訓練を行っている。このため、当社による調査結果から、三沢対地訓練区域を訓練飛行中の自衛隊機又は米軍機として、自衛隊機のF-2及び米軍機のF-16を選定する。さらに、今後訓練飛行を行う主要な航空機となる可能性のあるF-35についても選定する。対象航空機の燃料積載量を第5.3-1表に示す。

選定した対象航空機の燃焼面積及び燃料積載量を考慮して、対象航空機ごとに評価対象施設の受熱面における輻射強度及び燃焼時間を算出する。そのうち、熱影響が厳しい航空機を熱影響評価の対象航空機とする。

評価対象施設の建屋は、航空機墜落による火災について建屋外壁温度及び建屋内の温度上昇を算出し、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能を損なわないこと又は使用済燃料収納キャスクに波及的破損を及ぼさないことを確認する。

また、この航空機墜落火災の輻射強度による外部火災防護対象施設を収納する建屋の外壁の表面温度が、許容温度を超えてコンクリートの強度低下によるひび割れ等があっても、外壁に要求される機能を損なわないことを確認し、建屋内壁の温度上昇が、建屋内の外部火災防護対象施設に影響を及ぼさないことを確認する。

屋外の評価対象施設は、航空機墜落による火災について安全機能を損なうおそれのある部位の温度上昇を算出し、安全機能を損なわないことを確認し、周辺施設からの波及的影響がないことを確認する。

評価対象施設が、飛来物防護板等から影響を受ける場合は、航空機墜落による火災による温度上昇を考慮し、その輻射強度により安全機能を維持することを確認する。

航空機墜落火災により、安全機能を損なうおそれがある場合には、耐火被覆及び遮熱板の対策が必要となる範囲を確認する。

#### (2) 評価条件

- a. 熱影響評価の対象航空機は選定した航空機のうち、火災が終了するまでの燃焼継続時間が最も長く、外部火災防護対象施設への熱影響が厳しくなる機種とする。
- b. 航空機は、燃料を満載した状態を想定する。
- c. 航空機墜落地点は、建屋外壁等の評価対象施設への影響が厳しい地点とする。
- d. 航空機の墜落によって燃料に着火し、火災が起こることを想定する。
- e. 火災は円筒火災をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

- f. 円筒モデルの円筒の底面積は、航空機の機体投影面積とする。
- g. 輻射強度の算出にあたり、気象条件は無風状態とする。

(3) 航空機墜落地点

再処理施設は放射性物質を取り扱う建屋が多く、面的に広く分布していることから、航空機墜落地点は建屋等の直近とし、離隔距離を想定しない航空機墜落による火災としてとらえ、評価対象施設の直近での航空機墜落による火災を想定する。

(4) 評価方法

熱影響評価の対象航空機の機体投影面積から求める燃焼半径及び燃料量により燃焼継続時間を求め、その燃焼継続時間及び輻射強度を用いて建屋外壁温度及び建屋内の温度上昇並びに屋外の評価対象施設の温度を算出する。

a. 記号の説明

算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
R	m	燃焼半径
A	m	熱影響評価の対象航空機の投影面積(燃焼面積)
$\phi$	-	円筒火炎モデルの形態係数
L	m	離隔距離
H	m	火炎高さ
E	W/m <sup>2</sup>	火災の影響による輻射強度
Rf	W/m <sup>2</sup>	輻射発散度
Es	W/m <sup>2</sup>	太陽の影響による輻射強度
t	s	燃焼継続時間
V	m <sup>3</sup>	燃料積載量
T	°C	評価点温度

冷却塔の温度の算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
T	K	評価点温度
T <sub>a</sub>	K	雰囲気温度
T <sub>b</sub>	K	ファンリング, 遮熱板の温度
A	m <sup>2</sup>	単位面積, 対象部位の熱授受の面積
R <sub>f</sub>	W/m <sup>2</sup>	輻射発散度
φ	—	形態係数
E <sub>s</sub>	W/m <sup>2</sup>	太陽の輻射発散度
Q <sub>ro</sub>	W	大気への輻射放熱
Q <sub>h</sub>	W	熱伝達による大気への放熱
h	W/m <sup>2</sup> /K	熱伝達率
Q <sub>rad</sub>	W	ファンリング, 遮熱板からの輻射
σ	W/m <sup>2</sup> /K <sup>4</sup>	ステファン・ボルツマン定数
F <sub>b</sub>	—	ファンリング, 遮熱板の輻射熱の形態係数
Q <sub>c</sub>	W	物体内への熱伝導
λ	W/m/K	評価点の部材の熱伝導率
Δx	m	評価点の部材の厚み
Q	W	熱の授受量(輻射入熱, 放熱, 熱伝導)
Δt	S	時間刻み
ρ	kg/m <sup>3</sup>	評価点の部材の密度
c <sub>p</sub>	J/kg/K	評価点の部材の比熱(定圧)
V	m <sup>3</sup>	評価点の部材の体積

必要離隔距離の算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
Ta	℃	外気温度
h	W/m <sup>2</sup> /K	熱伝達率
Qr	W	火炎からの輻射熱伝達
E	W/m <sup>2</sup>	輻射強度
A	m <sup>2</sup>	対象鋼板の面積(=1単位面積)
Qt	W	裏面での対流熱伝達
h	W/m <sup>2</sup> /K	熱伝達率(=12.5)
Ta	℃	周囲雰囲気温度(=37外気温)
Tc(i)	℃	平板の温度
i	-	節点(=1~N)
Q	W	区分区間への熱量
λc	W/m/K	鋼板の熱伝導率
Lc	m	区分区間
V	m <sup>3</sup>	区分区間の体積
dt	s	時間刻み(=0.01)
ρc	kg/m <sup>3</sup>	鋼板の密度
cc	J/kg/K	鋼板の比熱
N	-	節点数
Tc(i)new	℃	時間経過後の平板の温度

b. 燃焼半径の算出

燃焼半径Rは式5.3-1より算出する。

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \dots \text{(式5.3-1)}$$

(出典：外部火災ガイド)

c. 輻射強度の算出

火炎からの輻射強度を算出するに当たっては、外部火災ガイドを参考として、形態係数を式5.3-2により算出することを基本とするが、評価対象部位の設置位置並びに火炎－評価対象部位間の遮蔽物及びそれらの形状によっては、評価対象部位ごとに個別に形態係数を算出することとする。

$$\phi = \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

…(式5.3-2)

ただし、

$$m = \frac{H}{R} = 3, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

(出典：外部火災ガイド)

ここで、求めた形態係数  $\phi$  から、輻射強度  $E$  を以下の式5.3-3により算出する。

$$E = Rf \times \phi + Es \cdots (\text{式5.3-3})$$

(出典：外部火災ガイド)

輻射発散度  $Rf$  は外部火災ガイドを参考として、輻射発散度を  $58 \text{ kW/m}^2$  と設定する。また、太陽光の入射  $Es$  として  $0.4 \text{ kW/m}^2$  を加算する。

d. 燃焼継続時間

燃焼継続時間  $t$  は、式5.3-4より算出する。

$$t = \frac{V}{A \cdot v} \cdots (\text{式5.3-4})$$

(出典：外部火災ガイド)

燃焼速度  $v$  については、「日本火災学会編. 火災便覧 新版, 共立出版, 1984.」に基づき、油面降下速度  $8.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  とする。

燃焼範囲  $A$  は航空機の機体投影面積を文献の図面から設定し、KC-767は  $1,500 \text{ m}^2$ 、F-2は  $110 \text{ m}^2$ 、F-16は  $90 \text{ m}^2$ 、F-35は  $110 \text{ m}^2$  とする。

燃料積載量  $V$  は、第5.3.5-1表からKC-767は  $145.1 \text{ m}^3$ 、F-2は  $10.4 \text{ m}^3$ 、F-16は  $9.8 \text{ m}^3$ 、F-35は  $10.8 \text{ m}^3$  とする。

これらから、燃焼継続時間  $t$  が最も長く、評価対象施設への熱影響が厳しくなるF-16を熱影響評価の対象航空機とする。

e. 外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の建屋の外壁表面温度及び建屋内面の温度上昇の算出方法

評価対象施設の建屋の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

f. 屋外の外部火災防護対象施設の温度の算出方法

航空機墜落火災については周辺施設を含め、屋外の外部火災防護対象施設の至近となる位置の火災を想定することから、代表部位の評価により他の部位の評価を包絡できない可能性があるため、屋外の外部火災防護対象施設の安全機能を維持するために必要な部位を全て評価対象部位として選定し、個別の熱影響評価により安全機能を損なわないことを確認する。

また、屋外の外部火災防護対象施設の評価対象部位が安全機能を損なうおそれがある場合は、耐火被覆又は遮熱板により防護する設計とする。

耐火被覆により防護する評価対象部位については、「i. 必要離隔距離の算出」において、許容温度以下となる離隔距離を評価し、離隔距離に応じて耐火被覆を施工することを確認する。

遮熱板により防護する評価対象部位については、遮熱板の設置により、許容温度以下となることを個別の熱影響評価で確認する。

(a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水系(再処理設備本体用)の評価対象部位を第5.3-2表に示す。

「i. 必要離隔距離の算出」の評価結果に基づく耐火被覆の施工範囲及び遮熱板の構造図は、「VI-2-5 構造図」の第2.5.7.4.2-1図 安全冷却水冷却塔( )の構造図に示す。

イ. 冷却水温度の評価

5.1(2)b.(b)イ.と同様とする。

ロ. チューブサポート

チューブサポートは、火炎からの直接輻射を上面が受けることを考慮し、この輻射強度に基づきチューブサポートの温度上昇を評価する。

チューブサポートの周囲にはルーバが設置されており、輻射を直接受けるものではないが、ルーバの板厚及び隙間に対し、保守的な評価となるよう直接輻射を受けるものとして評価する。

チューブサポートが受ける輻射影響を第5.3-1図に示す。

火炎からチューブサポートへの直接輻射の形態係数の算出は、ファンブレードの円筒火炎に対して水平受熱面を考慮した形態係数は、式5.3-5に基づき算出する。

$$\phi = \frac{1}{\pi} \left\{ \tan^{-1} \frac{\sqrt{n+1}}{\sqrt{n-1}} - \frac{n^2-1+m^2}{\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[ \sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] \right\} \dots (\text{式5.3-5})$$

ただし、

$$m = \frac{H}{R}, \quad n = \frac{L}{R}, \quad A = (1+n)^2 + m^2, \quad B = (1-n)^2 + m^2$$

(出典：C. J. H. van den Bosch, R. A. P. M. Weterings, Methods for the calculation of physical effects, Appendix 6.1-3, 式6.A.10)

チューブサポートは、式5.3-3に基づき上面の火炎からの入熱Eを算出する。

チューブサポートの放熱は、輻射及び対流放熱を考慮し、式5.3-6により算出する。

$$Q_{ro} + Q_h = h(T - T_a) \cdot A \dots (\text{式5.3-6})$$

(出典：伝熱工学資料 改訂第5版)

なお、 $h$ は、空気調和・衛生工学会、空気調和・衛生工学便覧第14版より、一般的な放熱量の最小値 $17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ を考慮する。

式5.3-3及び式5.3-6式に基づき、上下面から放熱することを考慮し、熱の受熱量 $Q$ は式5.3-7により求める。

$$Q = [R_f \cdot \phi + E_s - 2h(T - T_a)] \cdot A \cdots (\text{式5.3-7})$$

温度評価に当たっては、チューブサポートを単位面積当たりの一質点系で考慮し、一次元の熱伝導計算である式5.3-8により算出する。

$$\rho \times c_p \times V \times \frac{dT}{dt} = Q \cdots (\text{式5.3-8})$$

(出典：伝熱工学資料 改訂第5版)

燃焼継続時間における温度上昇を評価するため、式5.3-8を陽解法により時間刻み $\Delta t$ ごとの時間進行の式とした式5.3-9により、燃焼後の温度を評価する。

$$T_{(t+\Delta t)} = T_{(t)} + \frac{Q \times \Delta t}{\rho \times c_p \times V} \cdots (\text{式5.3-9})$$

#### ハ. ファンブレード

ファンブレードの周囲には耐火被覆を施工したファンリングがあることから、ファンリングの温度上昇による二次輻射を考慮する。また、ファンブレードの下面は、火炎からの直接輻射が見込まれることから、この輻射強度に基づきファンブレードの温度上昇を評価する。

ファンブレードが受ける輻射影響を第5.3-2図に示す。

火炎からファンブレードへの直接輻射の形態係数の算出は、円筒火炎に対して水平受熱面を考慮した形態係数の式5.3-5を用いる。

なお、ファンリングの温度については、保守的にファンリングの許容温度 $\blacksquare^\circ\text{C}$ と同じ温度とし、ファンリングからファンブレードへの熱影響の考慮に当たっては、実際にはファンリングの温度上昇は火炎側のみに生じるものの、保守的にファンリング全周からの二次輻射を考慮するものとする。

ファンリングからファンブレードへの二次輻射は保守的に全ての輻射影響を受けるとし、形態係数の算出は、円筒内面と円盤面の形態係数の算出式を用いる。円筒内面と円盤面の形態係数の算出モデル及び算出式を第5.3-3図に示す。

ファンブレードは下面から火炎からの入熱 $E$ を考慮し、式5.3-3により算出する。

また、ファンリングの温度上昇による影響は厳しい評価となるよう、ファンブレード側の温度を考慮せず、 $T=0$ として式5.3-10により算出する。

$$Q_{rad} = \sigma F_D (T_D^4) A \cdots (\text{式5.3-10})$$

(出典：伝熱工学資料 改訂第5版)

ファンブレードの放熱は、輻射及び対流放熱を考慮し、式5.3-11により算出する。

$$Q_{ro} + Q_h = h(T - T_a) \cdot A \cdots (\text{式5.3-11})$$

(出典：伝熱工学資料 改訂第5版)

なお、 $h$ は、空気調和・衛生工学会、空気調和・衛生工学便覧第14版より、一般的な放熱量の最小値 $17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ を考慮する。

ファンブレードの材質のFRPは熱伝導率が小さいことから、ファンブレードの厚み方向の熱伝導を考慮し、熱伝導率による熱の移動は、式5.3-12により算出する。

$$Q_c = \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (T_i - T_{i+1}) \cdot A \cdots (\text{式5.3-12})$$

(出典：伝熱工学資料 改訂第5版)

式5.3-3及び式5.3-10から式5.3-12に基づき、上面の熱授受量 $Q_u$ 、内部の熱授受量 $Q_{in}$ 及び下面の熱授受量 $Q_d$ は式5.3-13から式5.3-15により求める。

$i=1$ (下表面熱授受量)

$$Q_d = R_f \cdot \emptyset \cdot A + Q_{rad} - (Q_{ro1} + Q_{h1} + Q_{c1}) \cdots (\text{式5.3-13})$$

$i=2 \sim N-1$ (内部熱授受量)

$$Q_{in} = Q_{ci-1} - Q_{ci} \cdots (\text{式5.3-14})$$

$i=N$ (上表面熱授受量)

$$Q_u = Q_{rad} + Q_{cN-1} - (Q_{roN} + Q_{hN}) \cdots (\text{式5.3-15})$$

温度評価に当たっては、「ロ・チューブサポート」と同様に式5.3-9を用いる。

## 二. 減速機

減速機については、火炎からの直接輻射の影響に対し、遮蔽板による防護を実施する。そのため、周辺設備であるファンリング及び遮熱板の温度上昇による輻射強度に対する減速機の温度上昇を評価する。

減速機が受ける輻射影響を第5.3-4図に示す。

火炎から遮熱板への直接輻射の形態係数の算出は、5.3(4)c.と同様とする。なお、火炎からファンリングへの直接輻射の形態係数については、ファンリングの温度は、評価結果を用いるのではなく、保守的に鋼材の許容温度 $325^\circ\text{C}$ に設定し、全周からの輻射を受けることとする。

ファンリングから遮熱板への二次輻射の形態係数の算出は、ファンリングに遮熱板が囲われる形となることから、評価が厳しくなるよう遮熱板とファンリングが最も近い位置を起点として、二重円筒の形態係数の評価式



を用いる。二重円筒の形態係数の算出モデル及び算出式を第5.3-5図に示す。

遮熱板から減速機への形態係数は、保守的に遮熱板からの輻射を全て減速機が受けるものとして1とする。

遮熱板への入熱Eについては、火炎温度 $T_F$ を1500℃として耐火被覆表面を考慮した輻射強度を式5.3-16により算出する。

$$E = R_f \cdot F_D \cdot (T_F^4 - T_D^4) / (T_F^4 - T_a^4) + E_g \cdots (\text{式5.3-16})$$

ファンリングの温度上昇による影響、遮熱板の放熱、遮熱板の耐火被覆及び鋼板内の熱伝導については、「ハ. ファンブレード」と同様に式5.3-10から式5.3-12に基づき、遮熱板の火炎側の表面の熱授受量 $Q_{su}$ 、内部の熱授受量 $Q_{in}$ 及び裏面の熱授受量 $Q_{ba}$ は式5.3-17から式5.3-19により求める。

なお、 $h$ は、空気調和・衛生工学会、空気調和・衛生工学便覧第14版より、一般的な対流成分の放熱量の最小値 $12\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ を考慮する。

$i=1$ (火炎側の表面熱授受量)

$$Q_{su} = E \cdot A + Q_{rad} - Q_{c1} \cdots (\text{式5.3-17})$$

$i=2 \sim N-1$ (耐火被覆・鋼板の内部熱授受量)

$$Q_{in} = Q_{ci-1} - Q_{ci} \cdots (\text{式5.3-18})$$

$i=N$ (裏面の熱授受量)

$$Q_{ba} = Q_{cN-1} - (Q_{roN} + Q_{hN}) \cdots (\text{式5.3-19})$$

減速機の熱授受量 $Q$ は、式5.3-20により求める。

$$Q = Q_{roN} - h(T_{RE} - T_a)A \cdots (\text{式5.3-20})$$

温度評価に当たっては、「ロ. チューブサポート」と同様に式5.3-9を用いる。

#### ホ. 原動機

原動機については、火炎からの直接輻射の影響に対し、遮蔽板による防護を実施する。

原動機が受ける輻射影響を第5.3-6図に示す。

火炎からの直接輻射を遮熱板が受け、遮熱板の温度が上昇した場合の原動機の温度が上昇を評価する。

なお、原動機については、ファンリングの外周側に設置されていることから、保守的にファンリングによる遮熱効果は無視するとともに、太陽輻射を考慮する。

火炎から遮熱板への直接輻射の形態係数の算出は、5.3(4)c.と同様とする。

遮熱板から原動機への形態係数は、保守的に遮熱板からの輻射を全て原動機が受けるものとして1とする。

遮熱板から原動機への受熱量 $Q$ は、「ハ. 減速機」と同様に式5.3-20によ

り求める。

温度評価に当たっては、「ロ. チューブサポート」と同様に式5.3-9を用いる。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

g. 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

航空機墜落火災については周辺施設を含め、屋外の外部火災防護対象施設の至近となる位置の火災を想定することから、周辺施設の許容温度が外部火災防護対象施設よりも高くても、外部火災防護対象施設よりも近い位置で輻射にさらされ、許容温度を超える可能性があることから、個別の熱影響評価により安全機能を損なわないことを確認する。

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、破損又は落下等の影響により、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼすおそれがある部材を抽出し、外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼすおそれがある部材について、耐火被覆により防護する設計とする。

耐火被覆により防護する部材については、「i. 必要離隔距離の算出」において、許容温度以下となる離隔距離を評価し、離隔距離に応じて耐火被覆を施工することを確認する。

安全冷却水系(再処理設備本体用B)に波及的影響を及ぼし得る施設は、飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)があり、施工対象部材については、第5.3.-3表 安全冷却水系(再処理設備本体用B)に波及的影響を及ぼすおそれがある部材に示す。

耐火被覆の施工範囲については、「VI-2-5 構造図」の第2.5.7.9-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造図に示す。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

h. 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設の評価方法については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

i. 必要離隔距離の算出

必要離隔距離の算出にあたり、保守的な評価を行うため、輻射を最も受けやすく、密度及び比熱が小さい平板の中炭素鋼により評価する。

任意の距離に応じた輻射強度を考慮し、部材の材質及び板厚ごとに式5.3-21

から式5.3-31に基づき、許容温度を下回る離隔距離を算出する。

計算モデルを第5.3-7図に示す。輻射を受ける平板の温度は、一次元熱伝導として非定常計算する。区分区間ごとに温度節点を設定する。区分区間は温度一様とし、時間変化をステップ計算にて計算する。時間変化は差分式(陽解法)にて計算する。

$$Q_r = E \cdot A \cdots (\text{式5.3-21})$$

(対流熱伝達)

$$Q_t = h \cdot A \cdot (T_c(N) - T_a) \cdots (\text{式5.3-22})$$

(出典:日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第5版 p.23 対流熱伝達)

空調調和衛生工学便覧 第14版 1基礎篇 環境・エネルギー評価第17章に記載される外表面熱伝達率を設定。

(平板の温度)

$i=1$  (表面温度)

$$Q = Q_r - \lambda_c / L_c \cdot A \cdot (T_c(1) - T_c(2)) \cdots (\text{式5.3-23})$$

$$V = L_c / 2 \cdot A \cdots (\text{式5.3-24})$$

$$T_c(1)_{\text{new}} = T_c(1) + dt \cdot Q / (\rho_c \cdot cc \cdot V) \cdots (\text{式5.3-25})$$

$i=2 \sim N-1$  (内部温度)

$$Q = \lambda_c / L_c \cdot A \cdot (T_c(i-1) - T_c(i)) - \lambda_c / L_c \cdot A \cdot (T_c(i) - T_c(i+1)) \cdots (\text{式5.3-26})$$

$$V = L_c \cdot A \cdots (\text{式5.3-27})$$

$$T_c(i)_{\text{new}} = T_c(i) + dt \cdot Q / (\rho_c \cdot cc \cdot V) \cdots (\text{式5.3-28})$$

$i=N$  (裏面温度)

$$Q = \lambda_c / L_c \cdot A \cdot (T_c(N-1) - T_c(N)) - Q_t \cdots (\text{式5.3-29})$$

$$V = L_c / 2 \cdot A \cdots (\text{式5.3-30})$$

$$T_c(N)_{\text{new}} = T_c(N) + dt \cdot Q / (\rho_c \cdot cc \cdot V) \cdots (\text{式5.3-31})$$

第5.3-1表 航空機の燃料積載量

対象航空機	燃料積載量 (m <sup>3</sup> )
KC-767	145.1 <sup>*1</sup>
F-2	10.4 <sup>*2, *3</sup>
F-16	9.8 <sup>*3, *4</sup>
F-35	10.8 <sup>*3, *5</sup>

注記 \*1: 佐瀬亨, 航空情報 特別編集 世界航空年鑑2018-2019 年版, せきれい社, 2019.

\*2: Paul, Jackson. ed. Jane's All the World's Aircraft 1997-98. Jane's Information Group, 1997.

\*3: NASA. "Analysis of NASA JP-4 Fire Tests Data and Development of a Simple Fire Model". NASA Contractor Report. 1980, CR-159209.

\*4: John.W.R.Taylor. ed. Jane's All the World's Aircraft 1987-88. Jane's Publishing Company Limited, 1987.

\*5: Paul, Jackson. Jane's All The World's Aircraft: Development & Production 2017-2018. HIS Markit, 2017.

第5.3-2表 安全冷却水系(再処理設備本体用)の評価対象部位と防護対策

部位	評価対象	防護対策
冷却水	冷却水	— <sup>*1</sup>
管束・配管	チューブサポート	— <sup>*1</sup>
	管束フレーム, ボルト類	耐火被覆
ファン駆動部	ファンリング	耐火被覆
	ファンブレード	— <sup>*1</sup>
	減速機	遮熱板 <sup>*2</sup>
	原動機	遮熱板 <sup>*2</sup>
	ファンリングサポート, ボルト類, コモンベットの, ケーブルトレイ	耐火被覆
支持架構	主柱, 床はり, 機械台はり, 立面ブレース, 水平ブ レース, 基礎ボルト	耐火被覆

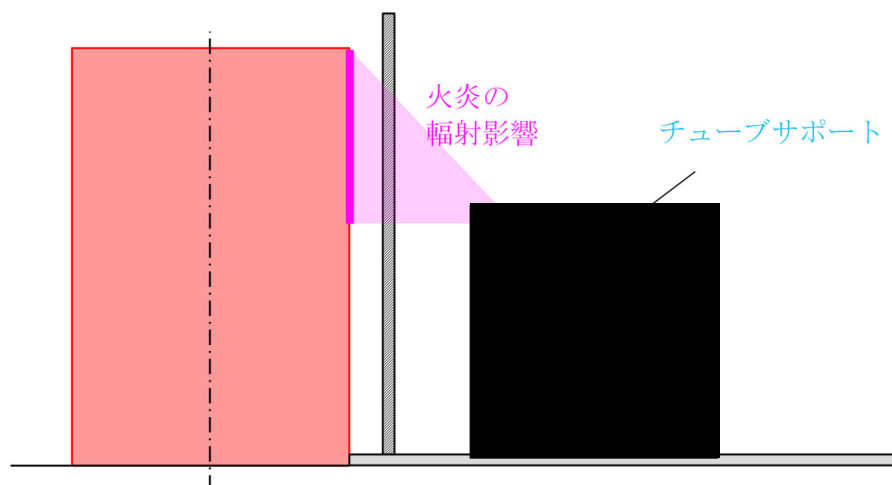
注記 \*1: 評価により安全機能を損なわないことを確認する。

\*2: 受熱面側に耐火被覆を施工する。

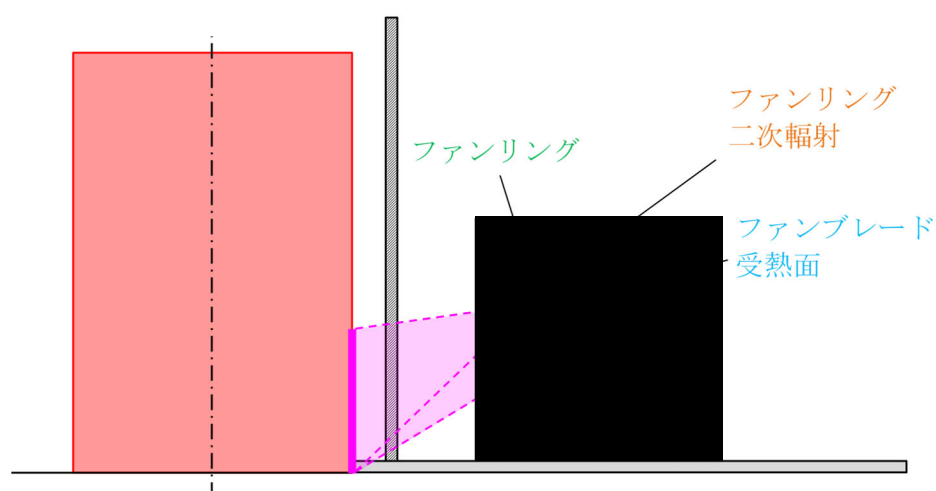
第5.3-3表 安全冷却水系(再処理設備本体用)に波及的影響を及ぼすおそれがある部材

施設	部材	外部火災防護対象施設への影響	耐火被覆
飛来物防護ネット(再処理設備本体用安全冷却水系冷却塔)	支持架構	倒壊及び脱落により安全冷却水系(再処理設備本体用)を損傷させるおそれがある。	対象
	防護ネット	単位面積当たりの重量が15kg/m <sup>2</sup> と小さく、防護ネットは支持架構の開口よりも大きいことから、脱落により安全冷却水系(再処理設備本体用)を損傷させるおそれはない。	対象外
	補助防護板	脱落により安全冷却水系(再処理設備本体用)を損傷させるおそれがある。	天板を対象*1
	防護板		天板を対象*1

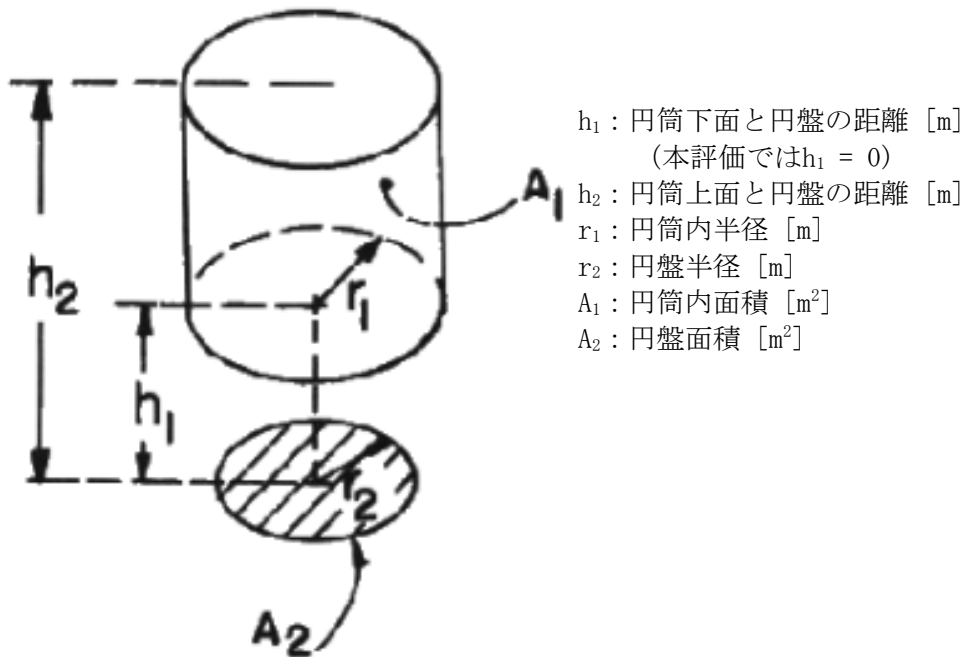
注記 \*1: 設置状況を考慮し、脱落により、外部火災防護対象施設の安全機能を損なうおそれがあるものとして抽された天板を施工対象とする。



第5.3-1図 チューブサポートが受ける放射熱



第5.3-2図 ファンが受ける放射熱



$$F_{1-2} = \frac{1}{4R(H_2 - H_1)} \left[ (X_1 - X_2) - (X_1^2 - 4R^2)^{1/2} + (X_2^2 - 4R^2)^{1/2} \right]$$

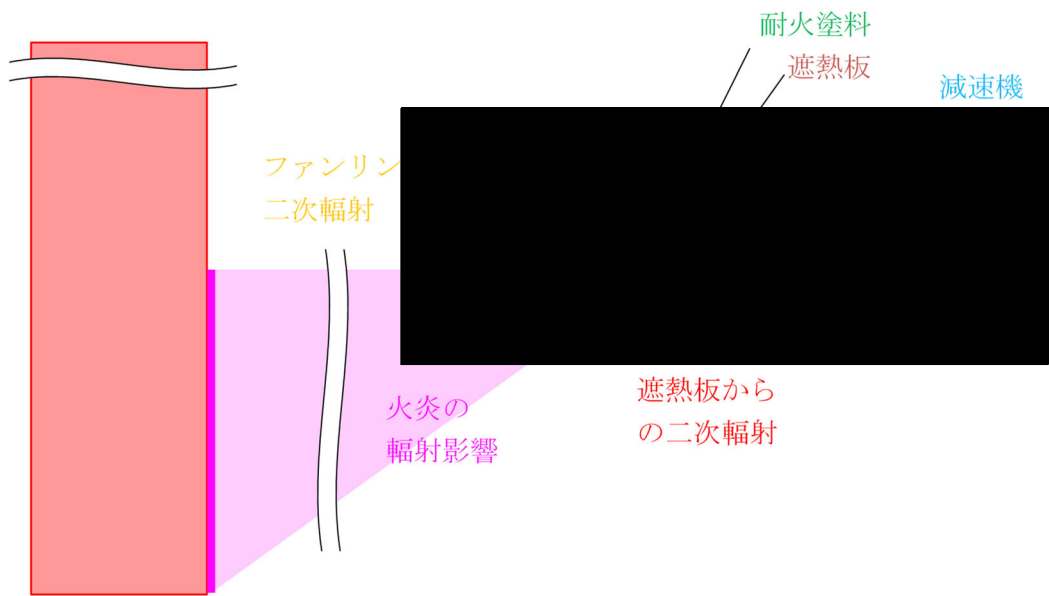
ただし,

$R = r_1/r_2$   $H_1 = h_1/r_2$   $H_2 = h_2/r_2$   $X = H^2 + R^2 + 1$   
 円盤(ブレード)を基準とする形態係数は次式である。

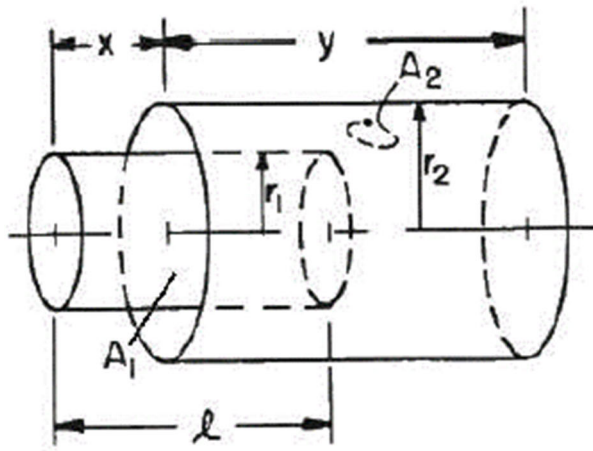
$$F_{21} = F_{12} \frac{A_1}{A_2}$$

(出典: John R. Howell, A Catalog of Radiation Heat Transfer Configuration Factors, 3rd Edition)

第5.3-3図 円盤(ファンブレード)を基準とする形態係数



第5.3-4図 減速機が受ける輻射熱



- $A_1$  : 内筒の外表面積 [m<sup>2</sup>]
- $A_2$  : 外筒の内表面積 [m<sup>2</sup>]
- $l$  : 内筒の高さ [m]
- $r_1$  : 内筒の外半径 [m]
- $r_2$  : 外筒の内半径 [m]
- $x$  : 内筒の突出し高さ [m]
- $y$  : 外筒の高さ [m]

$$X=x/r_2 \quad Y=y/r_2 \quad L=\frac{l}{r_2} \quad R=r_1/r_2$$

$$A_\xi=\xi^2+R^2-1 \quad B_\xi=\xi^2-R^2+1$$

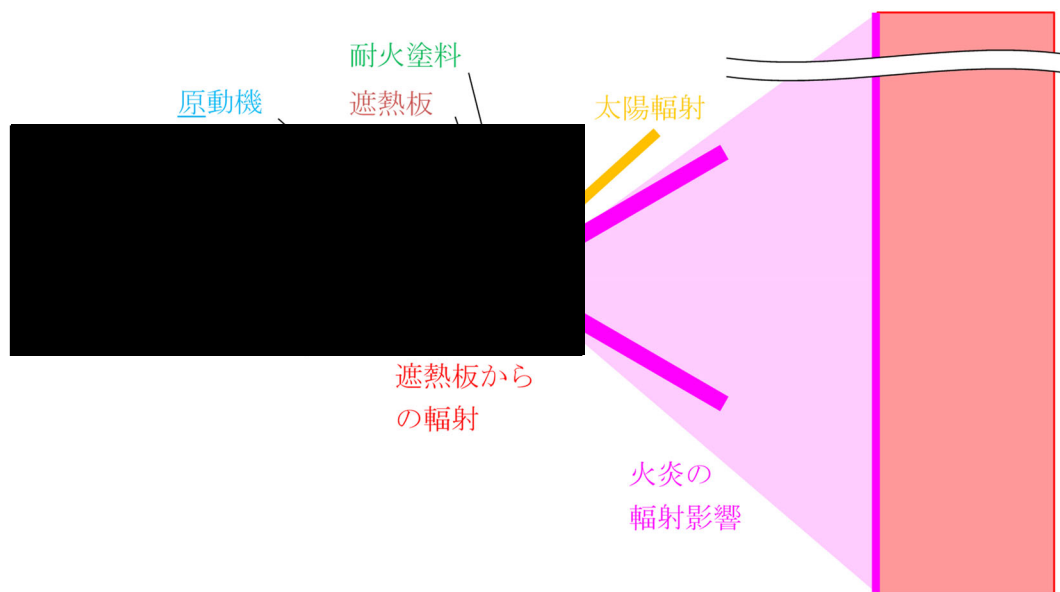
$$F_\xi = \frac{B_\xi}{8R\xi} + \frac{1}{2\pi} \left\{ \cos^{-1} \frac{A_\xi}{B_\xi} - \frac{1}{2\xi} \left[ \frac{(A_\xi+2)^2}{R^2} - 4 \right]^{1/2} \cos^{-1} \frac{A_\xi R}{B_\xi} - \frac{A_\xi}{2\xi R} \sin^{-1} R \right\}$$

$$F_{1-2} = \frac{X}{L} \cdot F_X + \frac{L-X}{L} \cdot (1-F_{L-X}) + \frac{Y+X-L}{L} \cdot F_{Y+X-L} - \frac{X+Y}{L} \cdot F_{X+Y}$$

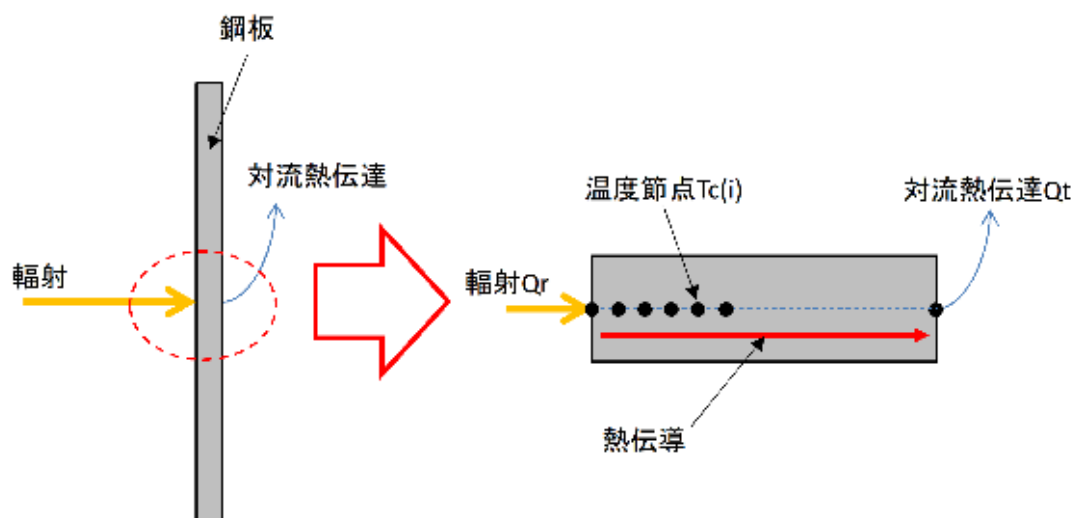
(出典 : John R. Howell, A Catalog of Radiation Heat Transfer Configuration Factors, 3rd Edition)

第5.3-5図 二重円筒の形態係数





第5.3-6図 原動機が受ける輻射熱



第5.3-7図 必要離隔距離の計算モデル

#### 5.4 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳の影響評価

##### (1) 評価方針

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発については、再処理施設の精製建屋ボンベ庫及び還元ガス製造建屋における水素ガスボンベ、ボイラ建屋 ボンベ置場及び低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫のプロパンボンベ並びに再処理施設以外の危険物貯蔵施設として、MOX燃料加工施設の第1高压ガストレーラ庫及びLPGボンベ庫の爆発を想定する。評価は、「5.2.4 (1) 評価方針」と同様に行う。

##### (2) 評価条件

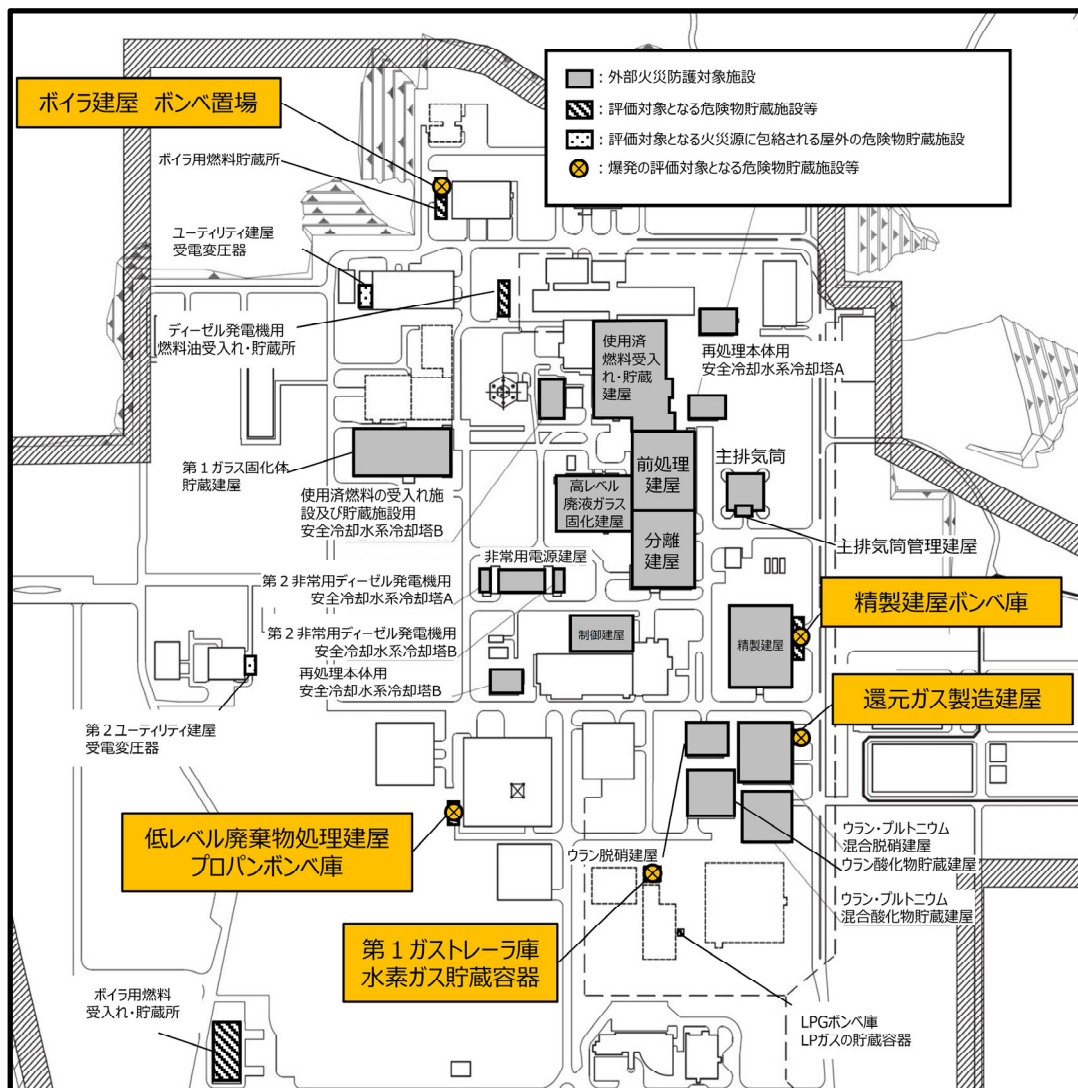
航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳については、「5.2.4 (2) 評価条件」と同じである。

##### (3) 評価方法

航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳については、「5.2.4 (3) 評価方法」と同じである。

##### (4) 危険限界距離を確保できない施設における健全性評価

危険限界距離を確保できない施設における健全性評価については、「5.2.4 (4) 危険限界距離を確保できない施設における健全性評価」と同様とする。



第5. 4-1図 評価対象施設と敷地内の危険物貯蔵施設等(爆発源)の位置関係

## 5.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等への火災及び爆発に対する影響評価

### (1) 森林火災に対する熱影響評価

#### a. 評価方針

ボイラ用燃料貯蔵所の重油タンク，精製建屋ボンベ庫の水素ガスボンベ並びにボイラ建屋 ボンベ置場のプロパンボンベの内部温度を算出し，算出される内部温度を危険物貯蔵物等の許容温度以下とすることで，再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止し，外部火災防護対象施設等へ影響を与えないことを評価する。

#### b. 評価条件

評価条件は，5.1(1)と同様とする。

重油タンクへの影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
$E$	$W/m^2$	輻射強度
$T$	$^{\circ}C$	重油の温度
$T_o$	$^{\circ}C$	初期温度
$T_s$	$^{\circ}C$	タンク内表面に位置する重油の温度
$t$	s	燃焼時間
$\chi$	m	タンク内表面の重油の深さ
$\alpha$	$m^2/s$	温度伝導率
$\lambda$	$W/m/K$	重油の熱伝導率
$\rho$	$kg/m^3$	重油の密度
$c$	$J/kg/K$	重油の比熱

水素ガスのボンベ及びプロパンボンベへの影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
$E$	$W/m^2$	輻射強度
$T$	$^{\circ}C$	容器内温度
$T_0$	$^{\circ}C$	初期温度
$t$	s	燃焼時間
$V$	$m^3$	体積
$\rho_p$	$kg/m^3$	貯蔵物密度
$C_{pp}$	$J/kg/K$	貯蔵物比熱
$\rho_s$	$kg/m^3$	容器材密度
$C_{ps}$	$J/kg/K$	容器材比熱
$D_i$	m	ボンベ内径
$D_0$	m	ボンベ外径
$e$	m	ボンベ最小板厚
$h$	m	ボンベ円筒高さ

c. 評価方法

(a) 重油タンクへの熱影響評価方法

重油タンクは屋外に設置され、一方向から熱影響を受ける。ここでは、厳しい評価となるようにタンクの構造材を無視し、大気への放熱を考慮しない貯蔵物への熱計算を実施し、その温度が許容温度以下であることを確認する。温度評価は、熱流束一定の半無限固体の熱伝導に関する以下の式5.5.1-1に基づき算出する。

$$T = T_0 + \frac{2 \times E \times \sqrt{\alpha \times t}}{\lambda} \times \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{\chi^2}{4 \times \alpha \times t}\right) - \frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{\chi}{2 \times \sqrt{\alpha \times t}}\right) \right] \quad \dots(\text{式}5.5.1-1)$$

ただし、 $\alpha = \lambda / (\rho \times c)$

$\operatorname{erfc}(\chi) = 1 - \operatorname{erf}(\chi)$  ( $\operatorname{erf}(\chi)$  : 誤差関数)

(出典: 「伝熱工学資料」(1986年10月20日 改訂第4版 日本機械学会)(以下「伝熱工学資料 改訂第4版」という。)

評価に当っては、厳しい評価となるようにタンク最表面からの対流及び輻射放熱は考慮しないため、火炎からの輻射エネルギーは全て重油内面に向かう評価モデルとする。そうすると、最高温度の位置はタンク内表面となり上式の $\chi$ に0を適用できる。

$$T = T_0 + \frac{2 \times E \times \sqrt{\alpha \times t}}{\sqrt{\pi} \lambda} \dots (\text{式}5.5.1-2)$$

(出典：伝熱工学資料 改訂第4版)

(b) 水素ボンベ及びプロパンボンベへの熱影響評価

水素ボンベ及びプロパンボンベについては、屋内に設置され、外壁から熱影響を受ける。評価に際しては、厳しい評価となるように外壁を考慮せず、一定の熱流束を与え、ボンベ内部温度を評価し、貯蔵物の温度が許容温度以下となることを確認する。

一定の熱流束を与えた容器内の温度評価については「伝熱工学資料 改訂第5版」を参考に受ける熱量と熱容量の関係から、以下の式5.5.1-3を使用して実施する。

$$T = T_0 + \frac{E \cdot t \left( \frac{\pi \cdot D_0 \cdot h}{2} + \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \right)}{\rho_p \cdot c_{pp} \cdot V + \rho_s \cdot c_{ps} \left\{ \frac{(D_0^2 - D_i^2) \pi \cdot h}{4} + 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_0^2}{4} \cdot e \right\}} \dots (\text{式}5.5.1-3)$$

(2) 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価

a. 評価方針

ボイラ用燃料貯蔵所の重油タンク及びボイラ建屋 ボンベ置場のプロパンボンベが受ける火炎からの輻射強度に基づき、重油タンク及びプロパンガスボンベの表面での放熱量と入熱量の関係から、表面温度を算出し、算出した表面温度を危険物貯蔵施設等の許容温度以下とすることで、再処理施設の危険物貯蔵施設等の火災及び爆発を防止し、外部火災防護対象施設等へ影響を与えないことを評価する。

b. 評価条件

評価条件5.2(2)「評価条件」と同様とする。

重油タンクへの影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
$Q_{ri}$	W/m <sup>2</sup>	火炎からの輻射
$Q_{ro}$	W/m <sup>2</sup>	大気への輻射放熱
$Q_h$	W/m <sup>2</sup>	熱伝達による大気への放熱
$Q_{sun}$	W/m <sup>2</sup>	太陽光入射：400W/m <sup>2</sup>
$T_c$	K	表面温度
$T_a$	K	大気側温度
$h$	W/m <sup>2</sup> /K	熱伝達係数

プロパンボンベへの影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
$Q_{rad}$	W/m <sup>2</sup>	建屋内面から容器表面への輻射
$Q_{cnv}$	W/m <sup>2</sup>	熱伝達による放熱
$\sigma$	W/m <sup>2</sup> /K <sup>4</sup>	ステファン-ボルツマン定数
$T_c$	K	建屋内面温度
$T_w$	K	容器表面温度
$T_b$	K	室内温度
$\varepsilon_w$	-	容器表面の輻射率
$h$	W/m <sup>2</sup> /K	熱伝達係数
$Nu$	-	ヌセルト数
$Ra$	-	レイリー数
$Gr$	-	グラスホフ数
$Pr$	-	プラントル数*1
$\nu$	m <sup>2</sup> /s	大気の動粘性係数*1
$\lambda$	W/m/K	大気の熱伝導率*1
$T_r$	K	代表温度
$\beta$	1/K	体膨張係数
$L_w$	m	評価対象高さ
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度

注記 \*1: 「伝熱工学資料 改訂第4版」に基づく代表温度 $T_r$ における値に線形補間する。

### c. 評価方法

#### (a) 重油タンク表面温度評価方法

重油タンクは、屋外に設置されるため、建屋外壁と同様に、火災の影響を直接受けることとなる。したがって、建屋外壁と同様の定常計算を実施する。第5.5.2-1図に、温度上昇の計算モデルを示す。具体的には、石油備蓄基地火災における火災からの輻射入熱及び(5.5.2-1)式を基に放熱量と入熱量の関係が成立する際の評価対象表面温度を算出する。算出された評価対象表面温度が、貯蔵物の許容温度以下であることを確認する。

$$Q_{sun} + Q_{ri} = Q_{ro} + Q_h \cdots (\text{式5.5.2-1})$$

大気への輻射放熱及び熱伝達による大気への放熱量は式(5.5.2-2)により計算した。

$$Q_{ro} + Q_h = h(T_c - T_a) \cdots (\text{式5.5.2-2})$$

(出典:伝熱工学資料 改訂第4版)

熱伝達係数 $h$ は、空気調和・衛生工学会、空気調和・衛生工学便覧第14版よ

り、一般的な放熱量の最小値 $17\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ を考慮する。

(b) プロパンボンベの評価方法

プロパンボンベは屋内に設置されるため、ボンベの設置される建屋外面まで及び建屋内面からボンベ表面までの2段階の定常計算を実施する。厳しい評価となるように外壁での熱伝導を考慮せず、建屋外面温度と建屋内面温度が同じであるとして、定常計算を実施する。温度上昇の計算モデルを第5.5.2-2図及び第5.5.2-3図に示す。

ここで、ボンベについても、放熱量と入熱量の関係が成立する際の評価対象表面温度を算出する。算出された評価対象表面温度が、貯蔵物の許容温度以下であることを確認する。

イ. 建屋外面までの評価

建屋外面までの評価については、「5.5 (2)c. (a) 重油タンクへの熱影響評価方法」と同一の評価式を用いる。

ロ. 建屋内面からボンベ表面までの評価

入熱と放熱の関係は、次式に示す。

$$Q_{\text{rad}} - Q_{\text{cnv}} = 0 \cdots (\text{式} 5.5.2-3)$$

建屋内面からボンベ表面までの輻射 $Q_{\text{rad}}$ は、次式に示す。

$$Q_{\text{rad}} = \varepsilon_w \sigma (T_c^4 - T_w^4) \cdots (\text{式} 5.5.2-4)$$

(出典: 伝熱工学資料 改訂第4版)

熱伝達による放熱量 $Q_{\text{cnv}}$ は、鉛直平板まわりの自然対流熱伝達として、(式5.5.2-5)から(式5.5.2-12)により算出する。

$$Q_{\text{rad}} = h(T_w - T_b) \cdots (\text{式} 5.5.2-5)$$

(伝熱工学資料 改訂第4版)

$$h = \frac{\text{Nu} \times \lambda}{L} \cdots (\text{式} 5.5.2-6)$$

(伝熱工学資料 改訂第4版)

ヌセルト数 $\text{Nu}$ は、算出したレイリー数 $\text{Ra}$ の値により層流又は乱流の式を用いて算出する。

鉛直平板まわりの乱流下における自然対流熱時のヌセルト数は、式5.5.2-7により算出する。

$$\text{Nu} = \frac{4}{3} C_1 \times \text{Ra}^{1/4} \quad 10^4 \leq \text{Ra} \leq 4 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{10} \cdots (\text{式} 5.5.2-7)$$

$$\text{ただし } C_1 = \frac{3}{4} \left( \frac{\text{Pr}}{2.4 + 4.9\sqrt{\text{Pr}} + 5\text{Pr}} \right)^{1/4}$$

(伝熱工学資料 改訂第4版)

鉛直平板まわりの乱流下における自然対流熱伝達時のヌセルト数 $\text{Nu}$ は式5.5-8により算出する。

鉛直平板まわりの乱流下における自然対流熱伝達時のヌセルト数 $\text{Nu}$ は実



験によって±20%程度の差異があることが知られていることから、右辺第一項にて安全側に0.0035を引いている。

$$Nu=(0.0185-0.0035)Ra^{2/5} \quad 10^{10} \leq Ra \cdots (\text{式}5.5.2-8)$$

(伝熱工学資料 改訂第4版)

$Ra < 10^{10}$ では、層流の式を使用する。また、 $3 \times 10^{10} < Ra$ では、乱流の式を使用する。

$10^{10} \leq Ra \leq 3 \times 10^{10}$ では、厳しい評価となるように小さい側を使用する。

$$Ra = Pr \times Gr \cdots (\text{式}5.5.2-9)$$

(伝熱工学資料 改訂第4版)

$$Gr = g \cdot \beta (T_w - T_b) L^3 / \nu^2 \cdots (\text{式}5.5.2-10)$$

(伝熱工学資料 改訂第4版)

$$\beta = 1 / T_b \cdots (\text{式}5.5.2-11)$$

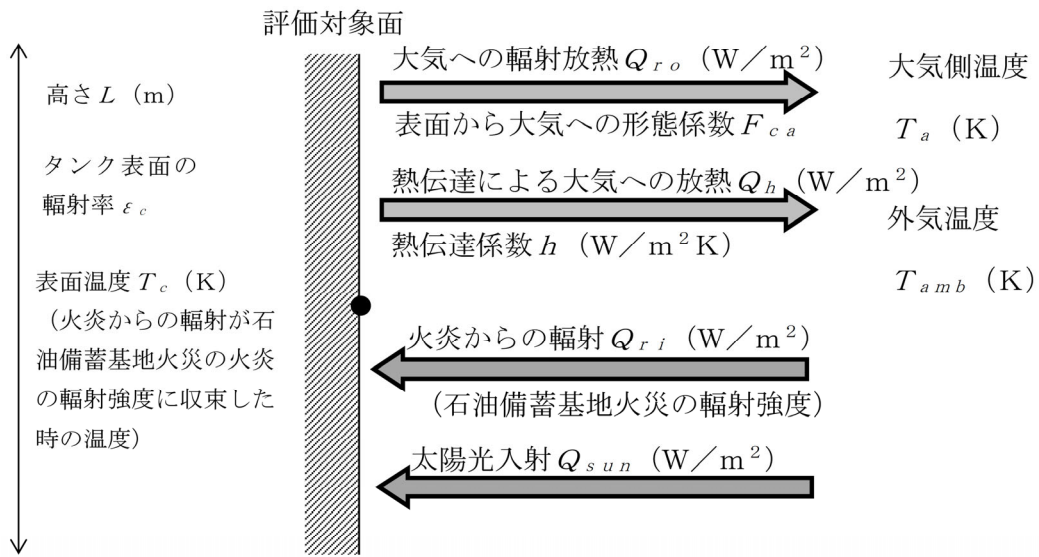
(伝熱工学資料 改訂第4版)

代表温度は空気を理想気体とみなし、式5.5.2-12を使用して算出する。気体の場合には温度差が500K程度あっても本式を適用できる。

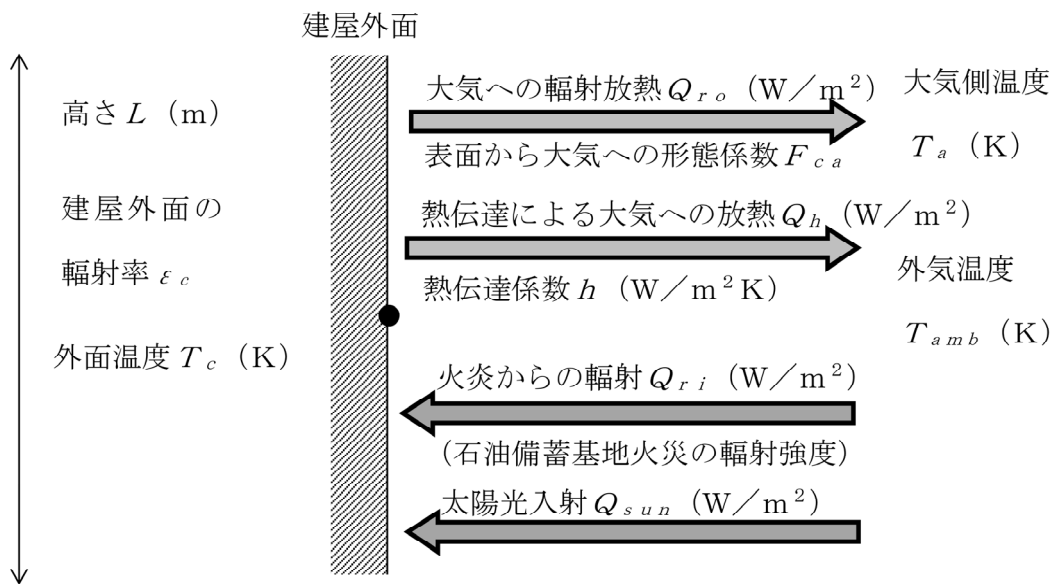
$$T_r = T_w - 0.38 \times (T_w - T_b) \cdots (\text{式}5.5.2-12)$$

(熱伝導率，プラントル数，動粘性係数算出時の代表温度とする。)

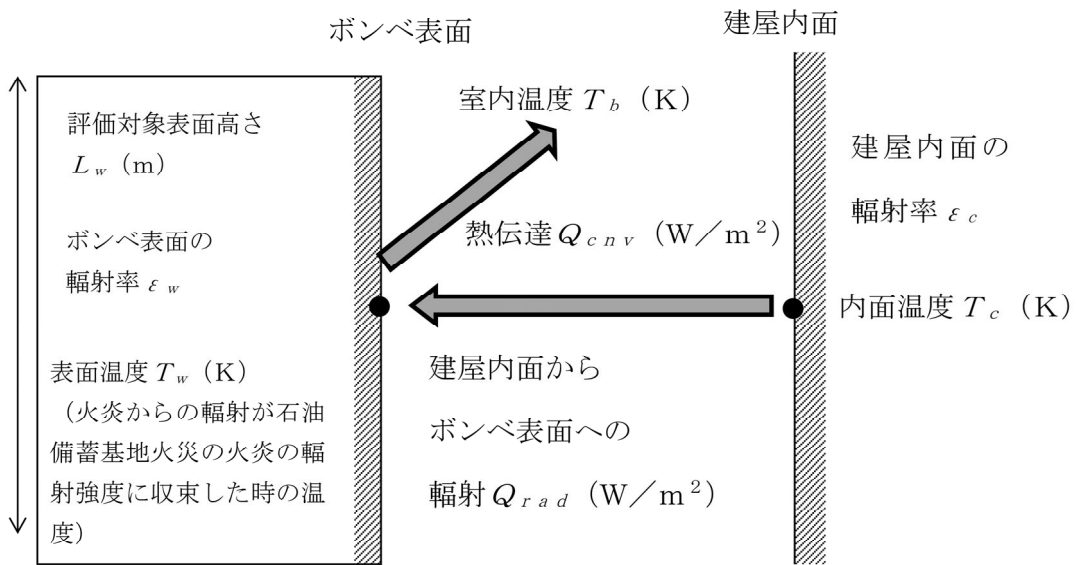
(伝熱工学資料 改訂第4版)



第5.5.2-1図 温度上昇の評価モデル(重油タンク)



第5.5.2-2図 温度上昇の評価モデル(ボンベ収納建屋)



第5.5.2-3図 温度上表評価モデル(ポンペ)

(3) 石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳に対する熱影響評価

a. 評価方針

石油備蓄基地火災と森林火災の輻射熱量及び離隔距離を考慮し、石油備蓄基地火災と森林火災から受ける輻射強度が大きくなる再処理施設の危険物貯蔵施設等への評価を実施する。

石油備蓄基地火災の定常評価にて算出する温度を、森林火災の評価で用いる非定常評価の初期温度として設定して温度を算出する。算出した温度が許容温度以下であることを確認する。

b. 評価条件

石油備蓄基地火災については、「5.5 (2) b. 評価条件」と同じである。

森林火災については、「5.5 (1) b. 評価条件」と同じである。

c. 評価方法

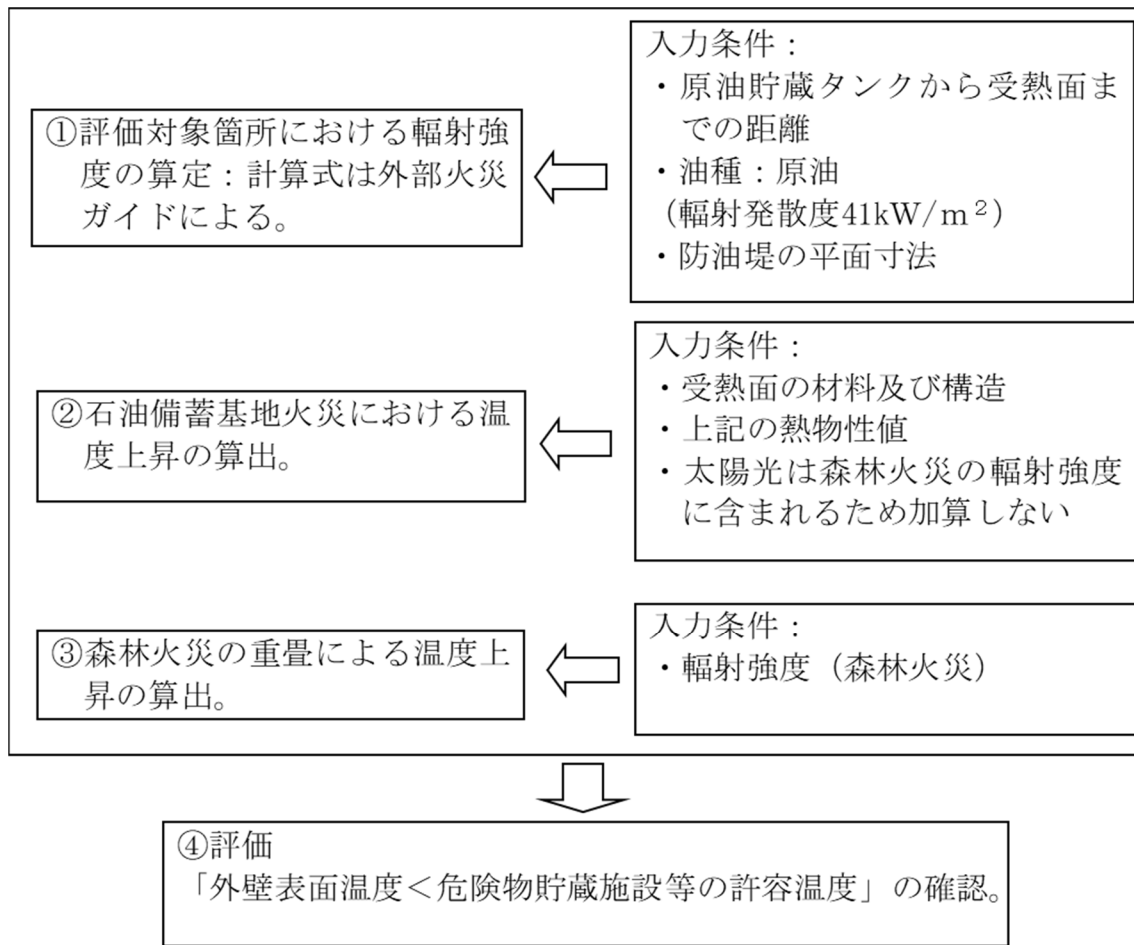
石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳による影響評価は、火炎からの輻射強度による評価対象温度を算出する。

石油備蓄基地火災については、「5.5 (2) c. 評価方法」と同じである。

森林火災については、「5.5 (1) c. 評価方法」と同じである。

温度上昇の評価は、石油備蓄基地火災の熱影響評価で算出した温度に、森林火災の熱影響評価で算出した温度を加え、算出する。

検討手順を第5.5.3-1図に示す。



第5.5.3-1図 石油備蓄基地火災及び森林火災の重畳評価に関する検討手順

(4) 近隣の産業施設の爆発

a. 評価方針

再処理施設の危険物貯蔵施設等は、MOX燃料加工施設の第1高圧ガストレーラ庫に対して危険限界距離以上の離隔距離を確保していることを確認し、評価対象施設へ影響を与えないことを評価する。

b. 評価条件

再処理施設の危険物貯蔵施設への影響評価算出に用いる記号とその単位及び定義を以下に示す。

記号	単位	定義
$X$	m	危険限界距離
$\lambda$	$\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3}$	換算距離：14.4
$K$	-	ガス定数 水素ガス：2860000 プロパンガス：888000(100°C以上)
$W$	-	設備定数

c. 評価方法

第1高圧ガストレーラ庫について、式5.5.4-1より危険限界距離を算出する。

$$X = 0.04\lambda \cdot \sqrt[3]{K \cdot W} \quad \dots (\text{式}5.5.4-1)$$

(出典：外部火災ガイド)

## VI-1-1-1-3-3-1

外部火災への配慮が必要な施設の許容温度及び許容応力の設定根拠

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 許容温度の設定根拠 .....	1
2.1 外部火災の影響を考慮する施設 .....	1
2.2 重大事故等対処設備 .....	5
3. 許容応力の設定根拠 .....	5
3.1 外部火災の影響を考慮する施設 .....	5
4. 参考文献 .....	5

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-3-1 外部火災への配慮に関する基本方針」及び「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に従い、外部火災の影響を考慮する施設が、外部火災に対して十分な健全性を有することを確認するための評価に用いる許容温度及び許容応力の設定根拠について説明するものである。

重大事故等対処設備に係る評価方針については、当該施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 2. 許容温度の設定根拠

### 2.1 外部火災の影響を考慮する施設

- (1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

建屋については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- (2) 建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設

建屋内の施設で外気を取り込む外部火災防護対象施設については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- (3) 屋外の外部火災防護対象施設

屋外の外部火災防護対象施設については、火災源との離隔距離が確保されている場合は、安全機能を維持するために必要な部位の中で最も許容温度が低い部位の温度上昇が軽微であれば、それよりも許容温度が高い部位が安全機能を維持できることは明らかであることから、最も許容温度が低い部位を評価し、熱影響により安全機能を損なわないことを確認する。

ただし、火災源との離隔距離を想定しない火災については、個別の熱影響評価により安全機能を損なわないことを確認する。

#### a. 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水系(再処理設備本体用)の系統構成に関連する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)の安全機能を維持するため、冷却水温度への熱影響、機能を維持するために必要な部位への熱影響及び支持構造を維持するために必要な鋼材への熱影響により安全機能を損なわないことを確認する必要があり、以下に示す温度を許容温度とする。

##### (a) 冷却水温度の最高使用温度

外部火災による1日程度の短期的な温度上昇に対し、冷却水温度は、崩壊熱の除熱を維持することで、安全機能を維持することを確認する。冷却機能を維持する温度は、安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度は「V-1 主な容器及び管の耐圧強度及び耐食性に関する設計の基本方針」に示すとおり■℃であり、この温度を許容温度とする。

・安全冷却水系(再処理設備本体用):■℃



(b) 機能を維持するために必要な部位の最高使用温度

イ. 管束及び配管

管束及び配管については、  
冷却水のチューブサポート、管束フレーム及び管束取付けボルトを評価対象とする。

チューブサポート及び管束フレームは  
°Cを許容温度とする。

ロ. ファン駆動部

ファン駆動部については、減速機、原動機、ファン及びその他部材を評価対象とする。

・減速機については、  
°Cであり、これを許容温度とする。

・原動機については、  
°Cであり、これを許容温度とする。

・ファンブレードについては、  
°Cであり、これを許容温度とする。

ハ. その他部材

その他部材については、ファンリング、ファンリングサポート、コモンベッド及びケーブルトレイを対象とし、「2.1(2)(c) 支持架構の構造強度を維持する温度」に基づき  
°Cを許容温度とする。

(c) 支持架構の構造強度を維持する温度

支持架構については主に鋼材で構成されており、鋼材の強度が維持される温度325°Cを許容温度とする。

一般的に、鋼材は温度上昇に伴い強度が低下するが、その高温強度に対する公的規格は存在していない。一方、文献<sup>[2][3]</sup>によると、鋼材の高温時における有効降伏応力度は以下の式により近似され、第2.1-1図のように表される。

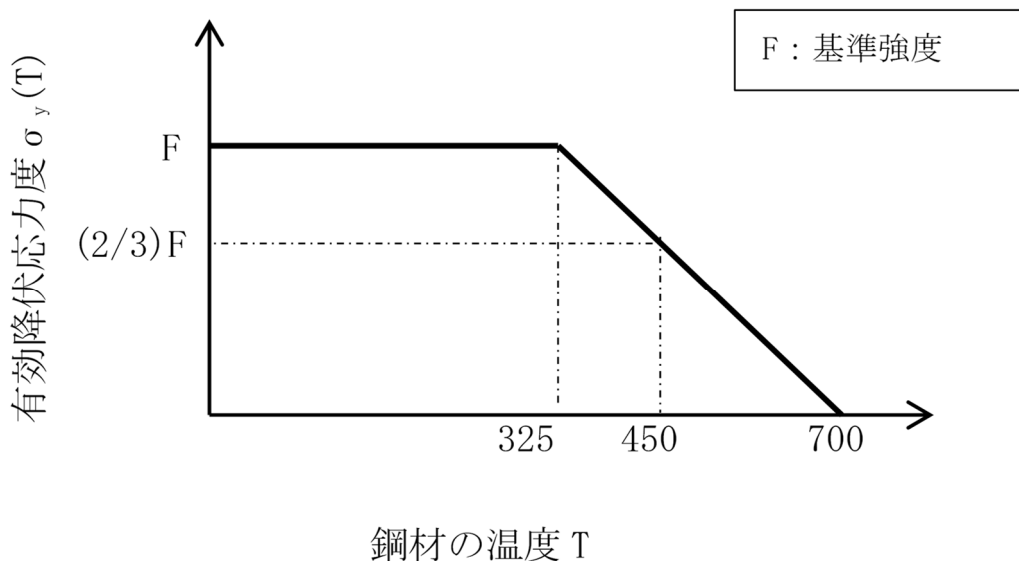
$$\sigma_y(T) = \begin{cases} F & T \leq 325 \\ F \cdot \left(\frac{700-T}{375}\right) & 325 < T < 700 \end{cases} \cdots \text{(式2.1-1)}$$

(出典:財団法人日本建築センター 建築火災のメカニズムと火災安全設計

鋼材の評価にあたり、航空機墜落火災と組み合わせるべき荷重を、発生頻度が極めて小さい地震及び竜巻による荷重を除き、自重、風荷重、積雪荷重とした。これら重畳する荷重に対して、第2.1-1図のように鋼材の有効降伏応力度が低下した場合においても、外部火災防護対象施設が耐え得る設計とする。

外部火災防護対象施設を構成する鋼材の許容温度については、その施設の重要度を考慮し、航空機墜落火災においても強度が低下しない設計とし、第2.1-1図より、有効降伏応力度が常温時と変わらない325℃を許容温度として設定した。

なお、発電用原子力設備規格 設計・建設規格<sup>[4]</sup>において鋼材の制限温度を350℃としており、安全上重要な施設の支持機能を期待する鋼材の許容温度を325℃とすることは、この制限温度を踏まえも妥当であると判断している。



第2.1-1図 鋼材の高温時の有効降伏応力度

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の許容温度については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(4) 外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、一時的に強度が低下しても構造を維持することで倒壊、転倒及び脱落により波及的影響を

及ぼさない温度を許容温度とする。構造を維持する温度として、屋外の外部火災防護対象施設の「2.1(2)(c) 支持架構の構造強度を維持する温度」を踏まえ、第2.1-1図より以下の考えから、鋼材の有効降伏応力度が2/3まで低下した際の鋼材温度である450℃を許容温度とした。

- ・外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、航空機墜落火災時に機能維持を求められる施設ではないため、構造を維持する鋼材強度を維持することが要求事項であること。
- ・航空機墜落火災発生時において、考慮すべき荷重を踏まえると、有効降伏応力度は1/3程度に低下しても、構造は維持できることから、保守性を考慮し、有効降伏応力度の低下は2/3まで許容する設計とした。
- ・外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、防護板に使用されるステンレス鋼も含まれる。防護板は脱落の防止を考慮するものであるが、炭素鋼と同様に有効降伏応力度が2/3まで低下する温度は、発電用原子力設備規格 設計・建設規格<sup>[4]</sup>に基づき評価した結果、525℃であることから、炭素鋼と合わせ450℃を許容温度とする。

(5) 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設については、次回以降に詳細を説明する。

(6) 敷地内の危険物貯蔵施設等

敷地内の危険物貯蔵施設等に内包される危険物等が森林火災や近隣の産業施設による火災により発火し、外部火災から防護すべき施設へ影響を及ぼさないことを評価する。危険物等が発火する温度については、引火点と発火点があるが、危険物貯蔵施設等に内包された危険物等が直接火災源と接近することはないことから発火点を許容温度とする。

a. ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所

ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所に貯蔵されるA重油の発火点温度については危険物取扱主任者に関連する文献<sup>[5]</sup> 新石油事典<sup>[6]</sup> 安全データシート<sup>[7]</sup>から240℃を許容温度として設定する。

b. ボイラ用燃料貯蔵所

ボイラ用燃料貯蔵所に貯蔵されるA重油の発火点温度については、上記a. と同じである。

c. ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所

ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所に貯蔵されるA重油の発火点温度については、上記a. と同じである。

d. 低レベル廃棄物処理建屋プロパンボンベ庫

再処理施設における水素の発火点温度については文献<sup>[8]</sup>から571.2℃を許容

温度として設定する。

- e. ボイラ建屋ボンベ置場

上記d. と同じ。

- f. 精製建屋ボンベ庫

再処理施設におけるプロパンの発火点温度については文献<sup>[9]</sup>から405℃を許容温度として設定する。

- g. 還元ガス製造建屋

上記f. と同じ。

## 2.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 3. 許容応力の設定根拠

### 3.1 外部火災の影響を考慮する施設

- (1) 外部火災防護対象施設を収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋のうち、爆発に対し危険限界距離を確保できない建屋の許容応力については、爆発に対し危険限界距離を確保できない建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 4. 参考文献

- (1) 安部武雄ほか. “高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究”. 日本建築学会構造系論文集 第515号. 日本建築学会, 1999.
- (2) 2001年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説
- (3) 建築火災のメカニズムと火災安全設計, 日本建築センター
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格, 一般社団法人日本機械学会
- (5) 危険物取扱主任者試験対策本 第3石油類 重油の性質 発火点 250℃～380℃
- (6) 新石油事典 初版(1982年11月20日) 朝倉書店発行 P874 表10.11.2 石油製品類の燃焼特性の一例 にて 重油 発火点約250℃
- (7) ENEOS 安全データシート
- (8) 東邦アセチレン. 圧縮水素, 化学物質等安全データシート
- (9) 鈴商総合ガスセンター. 液化石油ガス. 製品安全データシート

VI-1-1-1-3-4

外部火災防護における評価結果

## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 外部火災による熱影響評価	1
2.1 森林火災に対する熱影響評価	1
2.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価	3
2.2.1 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価	3
2.2.2 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する熱影響評価	5
2.2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対する熱影響評価	8
2.2.4 敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対する影響評価	12
2.3 航空機墜落による火災の熱影響評価	14
2.3.1 航空機墜落による火災に対する熱影響評価	15
2.4 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳の影響評価	24
2.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等への影響の評価	25
2.5.1 森林火災に対する熱影響評価	25
2.5.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価	29
2.5.3 森林火災と近隣の産業施設の火災の重畳に対する影響評価	31
2.5.4 近隣の産業施設の爆発に対する影響評価	32

## 1. 概要

本資料は、評価対象施設が外部火災に対して十分な健全性を有することを確認するための評価条件及び評価結果について説明するものである。

評価対象施設の健全性を確認するための評価は、「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」に従って行う。

重大事故等対処設備については、次回以降に詳細を説明する。

## 2. 外部火災による熱影響評価

### 2.1 森林火災に対する熱影響評価

- a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- b. 屋外の外部火災防護対象施設

- (a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水 B 冷却塔周りの配管)に対する森林火災の評価条件及び評価結果を第 2.1-1 表に示す。

輻射による冷却水の温度上昇は ■■■℃である。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を 37℃とした場合の冷却水温度は ■℃であり、■■℃温度上昇したとしても、安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度 ■℃を超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第2.1-1表 熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L	m	487	防火帯外縁からの最短距離。評価にあたり、最大の火炎輻射強度となるメッシュを横一列に配置し、解析により確認した到達した火炎を直線に並べ評価する。
火炎長	H	m	※	—
火炎輻射発散度	Rf	W/m <sup>2</sup>	※	—
円筒火炎モデル数	f	—	※	—
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	0.292	FARSITEの解析結果のうち、事業指定（変更許可）を受けた最も火炎影響の大きくなる火炎が反応強度750kW/m <sup>2</sup> となる解析結果から求めた防火帯外縁全ての円筒火炎モデルの合計値。
流量	G	m <sup>3</sup> /h	■	設計値より1ベイ分の流量を設定。
比重	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比重の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比重を設定し、評価においては質量流量に換算。
受熱面	A	m <sup>2</sup>	■	設計値より1ベイ分の受熱面を設定。
比熱	$c_p$	J/kg/K	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比熱の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比熱を設定。
温度上昇	$\Delta T$	°C	■	—

注記 ※：各メッシュの火炎長 $H$ 、円筒火炎モデル数 $f$ 及び火炎輻射発散度 $Rf$ はFARSITEの解析結果による。



安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 2.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価

### 2.2.1 石油備蓄基地火災に対する熱影響評価

敷地周辺10km範囲内に存在する近隣の産業施設として、石油備蓄基地(敷地西方向0.9km)の火災を想定する。

- a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- b. 建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設

建屋内で外気を取り込む外部火災防護対象施設である非常用ディーゼル発電機の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- c. 屋外の外部火災防護対象施設

#### (a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)に対する石油備蓄基地火災の評価条件及び評価結果を第2.2.1-1表に示す。

輻射による冷却水の温度上昇は $\blacksquare$ °Cである。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を37°Cとした場合の冷却水温度は $\blacksquare$ °Cであり $\blacksquare$ °C温度上昇したとしても安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度 $\blacksquare$ °Cを超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第2.2.1-1表 熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L <sub>1</sub>	m	1996	原油貯蔵タンク9基又は6基を囲う防潮堤を1単位として円筒火炎モデルを想定し、それぞれの円筒火炎モデルの中心から安全冷却水系（再処理設備本体用）の最短距離。
	L <sub>2</sub>	m	2394	
	L <sub>3</sub>	m	2818	
	L <sub>4</sub>	m	3258	
	L <sub>5</sub>	m	3708	
	L <sub>6</sub>	m	4088	
燃焼半径	R <sub>1</sub>	m	270.8	R <sub>1</sub> ～R <sub>5</sub> は石油備蓄基地の防油堤（480m×480m）の面積、R <sub>6</sub> は防油堤（320m×480m）の面積から半径に換算。
	R <sub>2</sub>	m	270.8	
	R <sub>3</sub>	m	270.8	
	R <sub>4</sub>	m	270.8	
	R <sub>5</sub>	m	270.8	
	R <sub>6</sub>	m	221.1	
輻射発散度	Rf	W/m <sup>2</sup>	41	—
低減率	r	—	0.3	—
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	1.32	—
流量	G	m <sup>3</sup> /h	■	設計値より1ベイ分の流量を設定。
比重	ρ	kg/m <sup>3</sup>	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比重の関係から「VI-1-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比重を設定し、評価においては質量流量に換算。
受熱面	A	m <sup>2</sup>	■	設計値より1ベイ分の受熱面を設定。
比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比熱の関係から「VI-1-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比熱を設定。
温度上昇	ΔT	℃	■	—

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系（安全冷却水B冷却塔周りの配管）以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 2.2.2 石油備蓄基地火災と森林火災の重畳に対する熱影響評価

- a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋，外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋，外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- b. 屋外の外部火災防護対象施設

- (a) 安全冷却水系（再処理設備本体用）

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系（安全冷却水B冷却塔周りの配管）に対する石油備蓄基地火災と森林火災の重畳の評価条件を第2.2.2-1表に示す。

輻射による冷却水の温度上昇は■■■■℃である。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を37℃とした場合の冷却水温度は■■℃であり■■■■℃温度上昇したとしても安全冷却水系（再処理設備本体用）の最高使用温度■■℃を超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第2.2.2-1表 安全冷却水系(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果(1/2)

項目	記号	単位	数値	備考	
森林火災	離隔距離	L	m	487	防火帯外縁からの最短距離。評価にあたり、最大の火炎輻射強度となるメッシュを配置し、解析により確認した到達した火炎を直線に並べ評価する。
	火炎長	H	m	※	—
	火炎輻射発散度	Rf	W/m <sup>2</sup>	※	—
	円筒火炎モデル数	f	—	※	—
	輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	0.292	FARSITEの解析結果のうち、事業指定(変更許可)を受けた最も火炎影響の大きくなる火炎が反応強度750kW/m <sup>2</sup> となる解析結果から求めた防火帯外縁全ての円筒火炎モデルの合計値。
石油備蓄基地火災	離隔距離	L <sub>1</sub>	m	1996	原油貯蔵タンク9基又は6基を囲う防潮堤を1単位として円筒火炎モデルを想定し、それぞれの円筒火炎モデルの中心から安全冷却水系(再処理設備本体用)の最短距離。
		L <sub>2</sub>	m	2394	
		L <sub>3</sub>	m	2818	
		L <sub>4</sub>	m	3258	
		L <sub>5</sub>	m	3708	
		L <sub>6</sub>	m	4088	
	燃焼半径	R <sub>1</sub>	m	270.8	R1～R5は石油備蓄基地の防油堤(480m×480m)の面積、R6は防油堤(320m×480m)の面積から半径に換算。
		R <sub>2</sub>	m	270.8	
		R <sub>3</sub>	m	270.8	
		R <sub>4</sub>	m	270.8	
		R <sub>5</sub>	m	270.8	
		R <sub>6</sub>	m	221.1	
	輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	41	—
	低減率	r	—	0.3	—
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	1.32	—	

注記 ※：各メッシュの火炎長H、円筒火炎モデル数f及び火炎輻射発散度RfはFARSITEの解析結果による。

第2.2.2-1表 安全冷却水系(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果(2/2)

項目	記号	単位	数値	備考
流量	G	m <sup>3</sup> /h	■	設計値より1ベイ分の流量を設定。
比重	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比重の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比重を設定し、評価においては質量流量に換算。
受熱面	A	m <sup>2</sup>	■	設計値より1ベイ分の受熱面を設定。
比熱	$c_p$	J/kg/K	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比熱の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比熱を設定。
温度上昇	$\Delta T$	°C	■	—

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 2.2.3 敷地内の危険物貯蔵施設等の火災に対する熱影響評価

危険物貯蔵施設等の火災の評価は、「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」の「4.2.3敷地内の危険物貯蔵施設等による熱影響評価」で選定した危険物貯蔵施設を第2.2.3-1表に示す。

第2.2.3-1表 火災源となる危険物与蔵施設等

重油タンク	防油堤幅*1 (m)	防油堤奥行*1 (m)	貯蔵量*1 (m <sup>3</sup> )
ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所	31.6	65	4,327
ボイラ用燃料貯蔵所	11	22	300
ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所	10	31	200

注記 \*1：設計値より設定。

- a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋、外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- b. 屋外の外部火災防護対象施設

- (a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)に対する危険物貯蔵施設等の火災の評価条件及び評価結果を第2.2.3-2表から第2.2.3-4表に示す。

輻射による冷却水の温度上昇は、ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所は■■■■℃、ボイラ用燃料貯蔵所は■■■■℃、ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所は■■■■℃である。一方、実際の伝熱面積を考慮し、仮に外気温度を37℃とした場合の冷却水温度は■■■■℃であり、危険物貯蔵施設等の火災が発生した場合の温度上昇が最大でも■■■■℃とごくわずかで、安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度■■■■℃を超えることはなく、安全機能に影響を与えることはない。

第 2.2.3-2 表 ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の火災に対する安全冷却水系(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L	m	494	ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の防油堤の面積に応じた円筒火炎モデルを想定し、その中心からの離隔距離。一の位を切り捨てた値で評価。
燃焼半径	R	m	25.6	ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の防油堤の面積から半径に換算。
火炎輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	23	—
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	0.123	—
流量	G	m <sup>3</sup> /h	■	設計値より1ペイ分の流量を設定。
比重	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比重の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比重を設定し、評価においては質量流量に換算。
受熱面	A	m <sup>2</sup>	■	設計値より1ペイ分の受熱面を設定。
比熱	$c_p$	J/kg/K	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比熱の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比熱を設定。
温度上昇	$\Delta T$	°C	■	—

第 2.2.3-3 表 ボイラ用燃料貯蔵所の火災に対する安全冷却水系(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L	m	513	ボイラ用燃料貯蔵所の防油堤の面積に応じた円筒火炎モデルを想定し、その中心からの離隔距離。一の位を切り捨てた値で評価。
燃焼半径	R	m	8.8	ボイラ用燃料貯蔵所の防油堤の面積から半径に換算。
火炎輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	23	—
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	0.013	—
流量	G	m <sup>3</sup> /h	■	設計値より1ペイ分の流量を設定。
比重	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比重の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比重を設定し、評価においては質量流量に換算。
受熱面	A	m <sup>2</sup>	■	設計値より1ペイ分の受熱面を設定。
比熱	$c_p$	J/kg/K	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比熱の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比熱を設定。
温度上昇	$\Delta T$	°C	■	小数点第3位を切り上げ。



第 2.2.3-4 表 ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所の火災に対する安全冷却水系  
(再処理設備本体用)を対象とした熱影響評価の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
離隔距離	L	m	415	ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所の防油堤の面積に応じた円筒火炎モデルを想定し、その中心からの離隔距離。一の位を切り捨てた値で評価。
燃焼半径	R	m	9.9	ディーゼル発電機用燃料油受入れ・貯蔵所の防油堤の面積から半径に換算。
火炎輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	23	—
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	0.027	—
流量	G	m <sup>3</sup> /h	■	設計値より1ペイ分の流量を設定。
比重	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比重の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比重を設定し、評価においては質量流量に換算。
受熱面	A	m <sup>2</sup>	■	設計値より1ペイ分の受熱面を設定。
比熱	$c_p$	J/kg/K	■	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために、不凍液を含んだ冷却水を使用しており、メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比熱の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2)凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比熱を設定。
温度上昇	$\Delta T$	°C	■	—

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 2.2.4 敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発に対する影響評価

危険物貯蔵施設等の爆発の評価は、「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」の「4.2.4敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発」で選定した以下を対象とする。

- ・ボイラ建屋 ボンベ置場
- ・低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫
- ・精製建屋ボンベ庫
- ・還元ガス製造建屋

ボイラ建屋 ボンベ置場、低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫及び精製建屋ボンベ庫の爆発による危険距離の評価条件を第2.2.4-1表から第2.2.4-4表に、危険限界距離の評価結果を第2.2.4-5表に示す。危険限界距離の評価結果を第2.2.4-5表に示す。

第2.2.4-1表 ボイラ建屋 ボンベ置場の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
換算距離	$\lambda$	m/kg <sup>1/3</sup>	14.4	—
プロパンの定数	K	—	888,000 (100℃以上の値)	—
設備定数	W	—	0.15	ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.2.4-2表 低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
換算距離	$\lambda$	m/kg <sup>1/3</sup>	14.4	—
プロパンの定数	K	—	888,000 (100℃以上の値)	—
設備定数	W	—	(2.975) <sup>0.5</sup>	ガス質量が1t以上のため、平方根の値を用いる。

第2.2.4-3表 精製建屋ボンベ庫の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
換算距離	$\lambda$	m/kg <sup>1/3</sup>	14.4	—
プロパンの定数	K	—	2,860,000	—
設備定数	W	—	0.056	ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.2.4-4表 還元ガス製造建屋の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
換算距離	$\lambda$	m/kg <sup>1/3</sup>	14.4	—
プロパンの定数	K	—	2,860,000	—
設備定数	W	—	0.025	ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.2.4-5表 危険限界距離の評価結果

危険物貯蔵施設等	至近の外部火災防護対象施設	危険限界距離(m)	離隔距離(m)
ボイラ建屋 ボンベ置場	再処理設備本体用 安全冷却水B冷却塔	30	537
低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	再処理設備本体用 安全冷却水B冷却塔	67	132
精製建屋ボンベ庫	再処理設備本体用 安全冷却水B冷却塔	32	310
還元ガス製造建屋	再処理設備本体用 安全冷却水B冷却塔	24	315

爆発による爆風圧が人体に対して影響を与えない0.01MPaとなる距離を評価した結果、危険限界距離以上の離隔距離が確保されており、安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)の安全機能に影響がないことを確認した。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価結果については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

c. 危険限界距離を確保できない施設の評価

危険限界距離を確保できない施設の評価については、次回以降に詳細を説明する。

2.3 航空機墜落による火災の熱影響評価

対象航空機の航空機墜落による火災時の燃焼継続時間を第2.3-1表に示す。燃焼継続時間が長く、外部火災防護対象施設への熱影響が厳しいF-16を熱影響評価の対象航空機とする。

燃焼半径は、F-16の燃焼面積を円の面積とした時の半径5.4mとして評価する。

第2.3-1表 熱影響評価の対象航空機

対象航空機	燃焼面積 A(m <sup>2</sup> )	燃料積載量 V(m <sup>3</sup> )	燃焼速度 (m/s)	燃焼継続時間 (s)
KC-767	約 1,500	145.1	8.0×10 <sup>-5*1</sup>	約 1,200
F-2	約 110	10.4		約 1,200
F-16	約 90	9.8		約 1,400
F-35	約 110	10.8		約 1,300

注記 \*1: 日本火災学会編. 火災便覧 新版, 共立出版, 1984.

### 2.3.1 航空機墜落による火災に対する熱影響評価

- a. 外部火災防護対象施設を収納する建屋，外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

外部火災防護対象施設を収納する建屋，外部火災防護対象施設となる建屋及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋の評価結果については，各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- b. 屋外の外部火災防護対象施設

- (a) 安全冷却水系(再処理設備本体用)

安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)に対する航空機墜落による火災の評価結果は以下の通り。

#### イ. 冷却水温度

輻射による冷却水の温度上昇は $\blacksquare$ °Cである。一方，実際の伝熱面積を考慮し，仮に外気温度を37°Cとした場合の冷却水温度は $\blacksquare$ °Cであり， $\blacksquare$ °C温度上昇したとしても安全冷却水系(再処理設備本体用)の最高使用温度 $\blacksquare$ °Cを超えることはなく，安全機能に影響を与えることはない。

第 2.3.1-2 表 冷却水温度の評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	58	—
形態係数	$\phi$	—	0.074	火炎に近い配管を代表距離として，ベイ配置に合わせ5等分し，外郭からの離隔距離により算出した形態係数の平均値。
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	4.7	—
流量	G	m <sup>3</sup> /h	$\blacksquare$	設計値より設定。
比重	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	$\blacksquare$	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために，不凍液を含んだ冷却水を使用しており，メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比重の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2) 凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比重を設定し，評価においては質量流量に換算。
受熱面	A	m <sup>2</sup>	$\blacksquare$	設計値より設定。
比熱	$c_p$	J/kg/K	$\blacksquare$	安全冷却水B冷却塔は凍結防止のために，不凍液を含んだ冷却水を使用しており，メーカー仕様における不凍液の使用濃度と比熱の関係から「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(2) 凍結」に対応する不凍液の濃度45%における冷却水の比熱を設定。
温度上昇	$\Delta T$	°C	$\blacksquare$	—

ロ. チューブサポート

チューブサポートの評価条件及び評価結果を第2.3.1-3表に示す。

第2.3.1-3表 チューブサポートの評価条件及び評価結果

項目	記号	単位	数値	備考
輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	58	—
形態係数	$\phi$	—	0.086	外郭からの離隔距離により算出した形態係数。
太陽の輻射強度	Es	kW/m <sup>2</sup>	0.4	—
放熱の熱伝達率	h	W/m <sup>2</sup> /K	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定。
初期温度	T <sub>0</sub>	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。
雰囲気温度	T <sub>a</sub>	°C	37	
密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	■	伝熱工学資料改訂第5版, p.284, ■ 300Kの値。
比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K	■	
部材の厚み	V	m	■	設計値。
許容温度	—	°C	■	—
温度	T	°C	■	—

チューブサポートの温度上昇を評価した結果, 温度は■°Cであり, 許容温度■°C以下となることを確認した。

ハ. ファンブレード

ファンの評価条件及び評価結果を第2.3.1-4表に示す。

第2.3.1-4表 ファンの評価条件及び評価結果

パラメータ	記号	単位	値	備考	
輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	58	—	
太陽の輻射強度	Es	kW/m <sup>2</sup>	0.4	—	
形態係数	火炎ブレード (下面)	$\phi$	—	0.021	外郭からの離隔距離により算出した形態係数。
	ファンリングブレード (上面)	$\phi$	—	0.175	ファンリングからの離隔距離により算出した形態係数。
	ファンリングブレード (下面)	$\phi$	—	0.245	
放熱の熱伝達率	H	W/m <sup>2</sup> /K	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定。	
初期温度	T <sub>0</sub>	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。	
雰囲気温度	T <sub>a</sub>	°C	37		
ファンブレード (FRP)	密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	■	化学工学会, 改訂六版 化学工学便覧, p.1294, 表28・1。
	比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K	■	
	熱伝導率	$\lambda$	W/m/K	■	
	厚み	V	M	■	設計値。
	許容温度	—	°C	■	—
	評価結果	T	°C	■	—

ファンブレードの温度上昇を評価した結果, 温度は■°Cであり, 許容温度■°C以下となることを確認した。

二. 減速機

減速機の評価条件及び評価結果を第2.3.1-5-1表, 第2.3.1-5-2表に示す。

第2.3.1-5-1表 減速機の評価条件及び評価結果

パラメータ	記号	単位	値	備考	
輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	58	—	
太陽の輻射強度	Es	kW/m <sup>2</sup>	0.4	—	
形態係数	火炎—遮熱板	$\phi$	—	0.121	外郭からの離隔距離により算出した形態係数。
	ファンリング—遮熱板	$\phi$	—	0.318	ファンリングからの離隔距離により算出した形態係数。
	遮熱板—減速機	$\phi$	—	1	—
放熱の熱伝達率	h	W/m <sup>2</sup> /K	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定。	
初期温度	T <sub>0</sub>	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。	
雰囲気温度	T <sub>a</sub>	°C	37		
火炎の温度	T <sub>F</sub>	°C	1500	—	
耐火被覆	密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	250	ニチアス ファインフレックス BIO ボード 5625-A。 温度変化で与える 表 2.3.1-5-2 断熱材の熱物性値。
	比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K		
	熱伝導率	$\lambda$	W/m/K		
遮熱板	密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	7,860	伝熱工学資料改訂第5版, p.284, 軟鋼 300K の値。
	比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K	473	
	熱伝導率	$\lambda$	W/m/K	51.6	
	厚み	V	M	0.005	板厚 6mm に対して公差を考慮し, その下限値を丸めた, 必要最小厚さとして板厚を 5mm とした。
減速機	重量	m	Kg	■	伝熱工学資料改訂第5版, p.284, ■ 300K の値。
	比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K	■	
	入・放熱面積	A	m <sup>2</sup>	■	受熱面となる面積。
	許容温度	—	°C	■	—
	評価結果	T	°C	■	—



表 2.3.1-5-2 断熱材\*1の熱物性値

温度 T	密度 $\rho d$	比熱 cd	熱伝導率 $\lambda$ *2
[°C]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[kJ/kg/K]	[W/m/K]
100	0.25	0.858	—
200	0.25	0.959	—
400	0.25	1.083	0.10
600	0.25	1.153	0.14
800	0.25	1.198	0.20
1000	0.25	1.227	0.26

注記 \*1: ニチアス ファインフレックスBIOボード 5625-A。

\*2: 400°C未満は0.10W/m/Kを設定。

減速機の温度上昇を評価した結果、減速機の温度は■■°Cであり、許容温度■■°C以下となることを確認した。

ホ. 原動機

原動機の評価条件及び評価結果を第2.3.1-6表に示す。

第 2.3.1-6 表 原動機の評価条件

パラメータ		記号	単位	値	備考	
輻射発散度		Rf	kW/m <sup>2</sup>	58	—	
太陽の輻射強度		Es	kW/m <sup>2</sup>	0.4	—	
形態係数	火炎－遮熱板	$\phi$	—	0.199	外郭からの離隔距離により算出した形態係数。	
	遮熱板－減速機	$\phi$	—	1	—	
放熱の熱伝達率	停止中	h	W/m <sup>2</sup> /K	12	空気調和・衛生工学会，空気調和・衛生工学便覧第 14 版，p.402，表 17・19，「対流」の最小値。	
	運転中	h	W/m <sup>2</sup> /K	14 (遮熱板)	伝熱工学資料改訂第 5 版，p.28，式 (10)，(13) から，風速 7.16m/s，代表長 L=0.5m を用いて算出。	
		h	W/m <sup>2</sup> /K	21 (原動機)	伝熱工学資料改訂第 5 版，p.34，式 (55)，から，風速 7.16m/s，代表径 d=0.5m を用いて算出。	
初期温度		T <sub>0</sub>	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。	
雰囲気温度		T <sub>a</sub>	°C	37		
火炎の温度		T <sub>F</sub>	°C	1500	—	
耐火被覆	密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	250	ニチアス ファインフレックス BIO ボード 5625-A。 表 2.3.1-5-2 断熱材の熱物性値。	
	比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K	温度変化で与える		
	熱伝導率	$\lambda$	W/m/K			
遮熱板	密度	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	7,860	伝熱工学資料改訂第 5 版，p.284，軟鋼 300K の値。	
	比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K	473		
	熱伝導率	$\lambda$	W/m/K	51.6		
	厚み	V	M	0.005	板厚 6mm に対して公差を考慮し、その下限値を丸めた，必要最小厚さとして板厚を 5mm とした。	
原動機	重量	m	Kg	■	伝熱工学資料改訂第 5 版，p.284，■	
	比熱	c <sub>p</sub>	J/kg/K	■	■ 300K の値。	
	入・放熱面積	A	m <sup>2</sup>	■	受熱面となる面積。	
	許容温度	停止中	—	°C	■	—
		運転中	—	°C	■	—
	評価結果	停止中	T	°C	■	—
運転中		°C		■	—	

原動機の温度上昇を評価した結果、原動機の温度は停止中■℃、運転中■℃であり、停止中の許容温度■℃、運転中の許容温度■℃以下となることを確認した。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

c. 飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設

飛来物防護板等から影響を受ける外部火災防護対象施設については、次回以降に詳細を説明する。

d. 必要離隔距離の結果

外部火災防護対象施設及び外部火災防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設に必要な離隔距離の評価結果は以下の通り。

必要離隔距離の評価条件を第2.3.1-7表、代表的な鋼材の板厚を第2.3.1-8表、炭素鋼の物性値及びステンレス鋼の物性値を第2.3.1-9表、第2.3.1-10表に示す。

評価結果は第2.3.1-11表に示す。

表 2.3.1-7 必要離隔距離の評価条件

パラメータ	記号	単位	値	備考
輻射発散度	Rf	kW/m <sup>2</sup>	58	—
太陽の輻射強度	Es	kW/m <sup>2</sup>	0.4	IAEA. IAEA 安全基準 IAEA 放射性物質安全輸送規則のための助言文書(No. TS-G-1.1). 改訂 1. 2008.。
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	—	評価する離隔距離に応じて設定。
放熱の熱伝達率	h	W/m <sup>2</sup> /K	12.5	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第 14 版より, 一般的な放熱量の最小値 17kW/m <sup>2</sup> /K に対し設計余裕を考慮し設定。
大気温度	Ta	℃	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(3) 高温」に示す設計外気温を設定した。
初期温度	Tc <sub>0</sub>	℃	50	外気温に対し, 余裕を見込んだ初期温度とした。

第 2.3.1-8 表 支持構造物の部材の条件

項目	条件	備考
形状	平板	保守的に平板と設定
材質	炭素鋼(低炭素鋼), ステンレス鋼(SUS304)	炭素鋼は、密度及び比熱が小さい中炭素鋼として設定する。
板厚 (炭素鋼) [mm]	36, 28, 22, 19, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 6.5, 6.4, 6, 4.5, 3.91, 3.9, 3.2, 2.3, 2.11, 1.2	屋外の外部火災防護対象施設及び竜巻防護対策設備を構成する部材を調査した結果から設定。
板厚(ステン レス鋼) [mm]	20, 16, 12, 9	

第 2.3.1-9 表 炭素鋼の物性値\*1\*2

温度 [K]	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	比熱 [kJ/kg/K]	熱伝導率 [W/m/K]
300	7,850	0.473	51.5
500	7,800	0.520	47.2
800	7,700	0.665	36.8

注記 \*1: 伝熱工学資料 改訂第5版, p284の中炭素鋼。  
\*2: 上記以外の物性は、近似曲線により補間する。

第 2.3.1-10 表 ステンレス鋼の物性値\*1\*2

温度 [K]	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	比熱 [kJ/kg/K]	熱伝導率 [W/m/K]
300	7,920	0.499	16.0
400	7,890	0.511	16.5
600	7,810	0.556	19.0
800	7,730	0.620	22.5
1,000	7,640	0.644	25.7

注記 \*1: 伝熱工学資料 改訂第5版, p285のSUS304。  
\*2: 上記以外の物性は、近似曲線により補間する。

第2.3.1-11表 炭素鋼及びステンレス鋼の必要離隔距離の評価結果

材料	板厚 (mm)	必要離隔距離(m)	
		屋外に設置する 外部火災防護対象施設	波及的影響を 及ぼし得る施設
炭素鋼	36	1	-
	28	2	-
	22	4	1
	19	5	1
	15	7	3
	14	7	3
	13	8	4
	12	9	4
	11	9	5
	10	-	6
	9	11	7
	8	13	8
	6.5	15	9
	6.4	15	9
	6	15	10
	4.5	18	12
	3.91	19	13
	3.9	19	13
	3.2	21	15
	2.3	23	17
2.11	23	17	
1.2	25	19	
ステン レス鋼	20	/	1
	16		2
	12		4
	9		7

## 2.4 航空機墜落による火災と敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発の重畳の影響評価

危険物貯蔵施設等の爆発の評価は、「VI-1-1-1-3-3 外部火災への配慮が必要な施設の設計方針及び評価方針」の「4.2.4敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発」で選定した以下を対象とする。

- ・ボイラ建屋 ボンベ置場
- ・低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫
- ・精製建屋ボンベ庫
- ・還元ガス製造建屋

ボイラ建屋 ボンベ置場，低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫及び精製建屋ボンベ庫の爆発による危険距離の評価条件を第2.4-1表～第2.4-4表に，危険限界距離の評価結果を第2.4-5表に示す。

第2.4-1表 ボイラ建屋 ボンベ置場の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
換算距離	$\Lambda$	$m/kg^{1/3}$	14.4	—
プロパンの定数	K	—	888,000 (100°C以上の値)	—
設備定数	W	—	0.15	ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.4-2表 低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
換算距離	$\Lambda$	$m/kg^{1/3}$	14.4	—
プロパンの定数	K	—	888,000 (100°C以上の値)	—
設備定数	W	—	$(2.975)^{0.5}$	ガス質量が1t以上のため，平方根の値を用いる。

第2.4-3表 精製建屋ボンベ庫の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
換算距離	$\Lambda$	$m/kg^{1/3}$	14.4	—
プロパンの定数	K	—	2,860,000	—
設備定数	W	—	0.056	ボンベの貯蔵能力から換算。

第2.4-4表 還元ガス製造建屋の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
換算距離	Λ	m/kg <sup>1/3</sup>	14.4	—
プロパンの定数	K	—	2,860,000	—
設備定数	W	—	0.025	ボンベの貯蔵能力から換算。

注記 \*1:

第2.4-5表 危険限界距離の評価結果

危険物貯蔵施設等	至近の外部火災防護対象施設	危険限界距離 (m)	離隔距離 (m)
ボイラ建屋 ボンベ置場	安全冷却水B冷却塔	30	537
低レベル廃棄物処理建屋 プロパンボンベ庫	安全冷却水B冷却塔	67	132
精製建屋ボンベ庫	安全冷却水B冷却塔	32	310
還元ガス製造建屋	安全冷却水B冷却塔	24	315

爆発による爆風圧が人体に対して影響を与えない 0.01MPa となる距離を評価した結果、危険限界距離以上の離隔距離が確保されており、安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水 B 冷却塔周りの配管)の安全機能に影響がないことを確認した。

安全冷却水系(再処理設備本体用)に該当する安全冷却水 B 冷却塔及び安全冷却水系(安全冷却水 B 冷却塔周りの配管)以外の施設の評価方法については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

c. 危険限界距離を確保できない施設の評価

危険限界距離を確保できない施設の評価については、次回以降に詳細を説明する。

2.5 再処理施設の危険物貯蔵施設等への影響の評価

2.5.1 森林火災に対する熱影響評価

ボイラ用燃料貯蔵所に対する森林火災による熱影響評価の評価条件を第 2.5.1-1 表に、精製建屋ボンベ庫に対する森林火災による熱影響評価の評価条件を第 2.5.1-2 表に、ボイラ建屋ボンベ置場に対する森林火災による熱影響評価の評価条件を第 2.5.1-3 表に、評価結果を第 2.5.1-4 表に示す。

ボイラ用燃料貯蔵所は、表面温度は 94.2℃となり許容温度以下となることを確認した。

精製建屋ボンベ庫は、内部温度は 41.8℃となり許容温度以下となることを確認した。

ボイラ建屋ボンベ置場は、内部温度は 62℃となり許容温度以下となることを確認した。

第 2.5.1-1 表 ボイラ用燃料貯蔵所を対象とした熱影響評価の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
初期温度	$T_0$	℃	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.4.1(3) 高温」に示す理由から 37℃と設定した。
輻射強度	E	$\text{kW/m}^2$	1.4 (森林火災)	FARSITE の解析結果のうち、事業指定(変更許可)を受けた最も火炎影響の大きくなる火炎が反応強度 $750\text{kW/m}^2$ となる解析結果から求めた防火帯外縁全ての円筒火炎モデルの合計値。
重油密度	$\rho$	$\text{kg/m}^3$	820	JX 日鉱日石エネルギー. ENEOS A 重油. 安全データシート. 2012-12-10.。
重油比熱	c	$\text{J/kg/K}$	1,700	JX 日鉱日石エネルギー. “第4 編第1 章第3 節 石油の性質”. JX 日鉱日石エネルギー株式会社ホームページ. <a href="http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/part04/chapter01/section03.html">http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/part04/chapter01/section03.html</a> . (参照 2014-09-18).。
重油熱伝導率	$\lambda$	$\text{W/m/K}$	0.109	潤滑油, スピンドル油及び変圧器油の値から各油について, 200℃に外挿した値の最小値。

注記 ※ : 各メッシュの火炎長H, 円筒火炎モデル数f及び火炎輻射発散度RfはFARSITEの解析結果による。



第 2.5.1-2 表 精製建屋ボンベ庫に対する森林火災による熱影響評価の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
初期温度	$T_0$	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.4.1(3)高温」に示す理由から 37°C と設定した。
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	0.89 (森林火災)	FARSITE の解析結果のうち、事業指定（変更許可）を受けた最も火災影響の大きくなる火炎が反応強度 750kW/m <sup>2</sup> となる解析結果から求めた防火帯外縁全ての円筒火炎モデルの合計値。
貯蔵物密度	$\rho_p$	kg/m <sup>3</sup>	0.0899	長倉三郎, 井口洋夫, 江沢洋, 岩村秀, 佐藤文隆, 久保亮五編. 理化学辞典. 第 5 番, 岩波書店, 1998.。
貯蔵物比熱	$c_{pp}$	J/kg/K	10,160	日本機械学会編. 機械工学便覧 基礎編 $\alpha 5$ 熱工学. 2006.。
貯蔵物体積	V	L	47	設計値。
ボンベ容器材	—	—	クロムモリブデン鋼	—
ボンベ容器材密度	$\rho_s$	kg/m <sup>3</sup>	7,780	日本機械学会. 伝熱工学資料 改定第 4 版. 1969.。
ボンベ容器材比熱	$c_{ps}$	J/kg/K	406	設計値。
ボンベ最小板厚	E	mm	8.7	設計値。
ボンベ円筒長さ	H	mm	1,380	設計値。
ボンベ内径	$D_i$	mm	214.6	設計値。
ボンベ外径	$D_o$	mm	232	設計値。

注記 ※：各メッシュの火炎長H, 円筒火炎モデル数f及び火炎輻射発散度RfはFARSITEの解析結果による。

第 2.5.1-3 表 ボイラ建屋ボンベ置場に対する森林火災による熱影響評価の評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
初期温度	$T_0$	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.4.1(3)高温」に示す理由から 37°C と設定した。
輻射強度	E	kW/m <sup>2</sup>	0.89 (森林火災)	FARSITE の解析結果のうち、事業指定（変更許可）を受けた最も火災影響の大きくなる火災が反応強度 750kW/m <sup>2</sup> となる解析結果から求めた防火帯外縁全ての円筒火炎モデルの合計値。
貯蔵物密度	$\rho_p$	kg/m <sup>3</sup>	1.895	鈴商総合ガスセンター. 液化石油ガス. 製品安全データシート. 2000-12-3.。
貯蔵物比熱	$c_{pp}$	J/kg/K	1,667	日本 LP ガス協会. “LP ガスの概要 LP ガスの性質”. 日本 LP ガス協会ホームページ. <a href="http://www.j-lpgas.gr.jp/intr/seishitsu.html">http://www.j-lpgas.gr.jp/intr/seishitsu.html</a> . (参照 2014-09-16).。
貯蔵物体積	V	L	117.5	設計値。
ボンベ容器材	—	—	クロムモリブデン鋼	—
ボンベ容器材密度	$\rho_s$	kg/m <sup>3</sup>	7,780	日本機械学会. 伝熱工学資料 改訂第 4 版. 1986.。
ボンベ容器材比熱	$c_{ps}$	J/kg/K	406	日本機械学会. 伝熱工学資料 改訂第 4 版. 1986.。
ボンベ最小板厚	e	mm	2.45	設計値。
ボンベ円筒長さ	h	mm	1,391	設計値。
ボンベ内径	$D_i$	mm	368	設計値。
ボンベ外径	$D_o$	mm	372.9	設計値。

注記 ※：各メッシュの火炎長H，円筒火炎モデル数f及び火炎輻射発散度RfはFARSITEの解析結果による。

第 2.5.1-4 表 防火帯外側から最短となる施設への評価結果

事象	評価対象	貯蔵物	表面温度又は内部温度	許容温度
森林火災	ボイラ用燃料貯蔵所	重油	94.2°C	240°C
	精製建屋ボンベ庫	水素	41.8°C	571.2°C
	ボイラ建屋ボンベ置場	プロパン	62°C	405°C

## 2.5.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価

ボイラ用燃料貯蔵所に対する石油備蓄基地火災による熱影響評価の評価条件を第2.5.2-1表に、ボイラ建屋 ボンベ置場に対する石油備蓄基地火災による熱影響評価の評価条件を第2.5.2-2表に、評価結果を第2.5.2-3表に示す。

ボイラ用燃料貯蔵所は、表面温度は204.2℃となり許容温度以下となることを確認した。

ボイラ建屋 ボンベ置場は、内部温度は150.6℃となり許容温度以下となることを確認した。

第2.5.2-1表 ボイラ用燃料貯蔵所の表面温度評価における評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
太陽光入射	$Q_{sun}$	$kW/m^2$	0.4	IAEA. IAEA 安全基準 IAEA 放射性物質安全輸送規則のための助言文書 (No. TS-G-1.1). 改訂1.2008.。
タンクが受ける 輻射強度	$Q_{ri}$	$kW/m^2$	1.5	—
大気側温度	$T_a$	℃	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.4.1(3) 高温」に示す理由から37℃と設定した。
熱伝達率	$h$	$W/m^2/K$	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より, 一般的な放熱量の最小値を設定する。

第 2.5.2-2 表 ボイラ建屋 ボンベ置場の表面温度評価における評価条件

項目	記号	単位	数値	備考
ステファーン-ボルツマン定数	$\sigma$	W/m <sup>2</sup> /K <sup>4</sup>	5.670×10 <sup>-8</sup>	—
重力加速度	g	m/s <sup>2</sup>	9.807	国立天文台.平成 26 年 理科年表 第 87 冊.2013-11-30.。
大気側温度	T <sub>a</sub>	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.4.1(3) 高温」に示す理由から 37°Cと設定した。
太陽光入射	Q <sub>sun</sub>	kW/m <sup>2</sup>	0.4	IAEA. IAEA 安全基準 IAEA 放射性物質安全輸送規則のための助言文書(No. TS-G-1.1). 改訂1.2008.日本機械学会編.機械工学便覧 基礎編 α5 熱工学.2006.。
ボイラ建屋 ボンベ置場が 受ける輻射強度	Q <sub>ri</sub>	kW/m <sup>2</sup>	1.5	—
室内温度	T <sub>b</sub>	°C	37	「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.4.1(3) 高温」に示す理由から 37°Cと設定した。
ボイラ建屋 ボンベ置場の 評価対象表面高さ	L <sub>w</sub>	m	1.391	設計値。
ボンベ表面の 輻射率	$\epsilon_w$	—	0.9	塗料の場合の0.7~0.9に対し最大とする。 日本機械学会.伝熱工学資料 改訂第4版.1986.。
熱伝達率	h	W/m <sup>2</sup> /K	17	空気調和・衛生工学会, 空気調和・衛生工学便覧第14版より,一般的な放熱量の最小値を設定する。
大気の熱伝導率	$\lambda$	W/(m·K)	0.0307	プラントル数 Pr, 大気の動粘性係数 $\nu$ 及び大気の熱伝導率 $\lambda$ は, 日本機械学会 伝熱工学資料 改訂第 4 版の記載値を代表温度 T <sub>r</sub> における値に線形補間し設定した。
プラントル数	Pr	-	0.7165	
大気の動粘性係数	$\nu$	m <sup>2</sup> /s	2.25×10 <sup>-5</sup>	—

第 2.5.2-3 表 石油備蓄基地から最短となる施設への評価結果

事象	評価対象	貯蔵物	表面温度又は内部温度	許容温度
石油備蓄基地火災	ボイラ用燃料貯蔵所	重油	147.0℃	240℃
	ボイラ建屋ボンベ置場	プロパン	125.6℃	405℃

2.5.3 森林火災と近隣の産業施設の火災の重畳に対する影響評価

ボイラ用燃料貯蔵所に対する森林火災による熱影響評価結果の評価条件は「2.5.1 森林火災に対する熱影響評価」の第 2.5.1-1 表と同じである。ボイラ建屋ボンベ置場に対する森林火災による熱影響評価結果の評価条件は「2.5.1 森林火災に対する熱影響評価」の第 2.5.1-1 表と同じである。

ボイラ用燃料貯蔵所に対する石油備蓄基地火災による熱影響評価の評価条件は「2.5.2 近隣の産業施設の火災に対する熱影響評価」の第 2.5.2-1 表と同じである。ボイラ建屋ボンベ置場に対する石油備蓄基地火災による熱影響評価の評価条件は同項目の第 2.5.2-2 表と同じである。

ボイラ用燃料貯蔵所及びボイラ建屋ボンベ置場に対する森林火災と近隣の産業施設の火災の重畳における熱影響評価結果は第 2.5.3-1 表に示す。

ボイラ用燃料貯蔵所は、表面温度が 204.2℃となり許容温度以下となることを確認した。

ボイラ建屋ボンベ置場は、表面温度が 150.6℃となり許容温度以下となることを確認した。

第 2.5.3-1 表 森林火災と石油備蓄基地火災の重畳時の温度評価結果

事象	評価対象	貯蔵物	表面温度又は内部温度	許容温度
蓄基地火災と石油備蓄基地火災の重畳	ボイラ用燃料貯蔵所	重油	204.2℃	240℃
	ボイラ建屋ボンベ置場	プロパン	150.6℃	405℃

#### 2.5.4 近隣の産業施設の爆発に対する影響評価

敷地内の危険物貯蔵施設等の爆発についての条件を第2.5.4-1表に、評価結果を第2.5.4-2表に示す。

以上より、外部火災防護対象施設の安全機能を損なわないことを確認した。

第2.5.4-1表 MOX燃料加工施設の第1高圧ガストレーラ庫の評価条件

項目	記号	数値	単位
換算距離	$\lambda$	14.4	m/kg <sup>1/3</sup>
水素の定数	K	2,860,000	—
設備定数	W	0.304	—

第2.5.4-2表 MOX燃料加工施設の第1高圧ガストレーラ庫の危険限界距離の評価結果

危険物貯蔵施設等	危険限界距離 (m)
第1高圧ガストレーラ庫	55

MOX燃料加工施設の第1高圧ガストレーラ庫から55mの範囲に敷地内の危険物貯蔵施設等はないことから、近隣の産業施設の爆発により影響を受ける敷地内の危険物貯蔵施設はないことを確認した。

VI-1-1-1-4

火山への配慮に関する説明書

## 目 次

- VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針
- VI-1-1-1-4-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定
- VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針
- VI-1-1-1-4-4 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書
  - VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針
  - VI-1-1-1-4-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書
    - VI-1-1-1-4-4-2-1 飛来物防護ネットの強度計算書
    - VI-1-1-1-4-4-2-2 冷却塔の強度計算書



VI-1-1-1-4-1

火山への配慮に関する基本方針

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 火山防護に関する基本方針 .....	1
2.1 基本方針 .....	1
2.1.1 降下火砕物防護対象施設及び設計方針 .....	1
2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性 .....	2
2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界 .....	2
2.1.4 降下火砕物の影響に対する防護対策方針 .....	4
2.2 準拠規格 .....	11

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の火山に対する防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。)第八条に適合することを説明するものである。

## 2. 火山防護に関する基本方針

### 2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、想定される火山事象により、降下火砕物が発生した場合においても、安全機能を損なわないことを目的とし、技術基準規則に適合するように設計する。

想定される火山事象は、再処理施設の運用期間中において再処理施設の安全機能に影響を及ぼし得る火山事象として、事業指定(変更許可)を受けた「降下火砕物」であり、降下火砕物の影響を受ける場合においても、その安全機能を有する施設が安全機能を損なわない設計とする。

また、「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」の「4.1(5) 積雪」の設計に従って、火山事象と同様に施設に堆積する積雪の影響について確認する。確認結果については、本資料に示す。

#### 2.1.1 降下火砕物防護対象施設及び設計方針

降下火砕物から防護する施設(以下「降下火砕物防護対象施設」という。)としては、安全評価上その機能を期待する建物・構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を対象とする。

降下火砕物防護対象施設及びそれらを収納する建屋(以下「降下火砕物防護対象施設等」という。)は、降下火砕物の影響に対し、機械的強度を有すること等により、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設は、以下のように分類できる。

- ・ 建屋内の降下火砕物防護対象施設
- ・ 降下火砕物を含む空気の流れとなる降下火砕物防護対象施設
- ・ 外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設
- ・ 屋外の降下火砕物防護対象施設

また、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設(以下「降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設」という。)の影響を考慮した設計とする。

降下火砕物防護対象施設等以外の安全機能を有する施設については、降下火砕物に対して機能を維持すること若しくは降下火砕物による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること及び安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

なお、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、使用済燃料収納キャスクが再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ、降下火砕物により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

#### 2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性

敷地において考慮する火山事象として、事業指定(変更許可)を受けた層厚55cm、密度 $1.3\text{g/cm}^3$ (湿潤状態)の降下火砕物を設計条件として設定する。その特性値を第2.1.2-1表に示す。

また、設計上考慮すべき降下火砕物の特性は、以下のとおりである。

- ・ 火山ガラス片及び鉱物結晶片からなる。ただし、砂よりもろく硬度が低い。
- ・ 亜硫酸ガス、硫化水素、ふっ化水素等の毒性及び腐食性のある火山ガス成分が付着している。ただし、直ちに金属腐食を生じさせることはない。

第2.1.2-1表 降下火砕物の特性値

層厚(cm)	密度(湿潤) ( $\text{g/cm}^3$ )
55	1.3

#### 2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界

降下火砕物に対する防護設計を行うために、降下火砕物防護対象施設に作用する荷重として、降下火砕物を湿潤状態とした場合における荷重、個々の施設に常時作用する荷重、運転時荷重及び火山と同時に発生し得る自然現象による荷重を組み合わせた設計荷重(火山)を設定する。

また、火山と同時に発生し得る自然現象による荷重については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」を踏まえ、風(台風)及び積雪による荷重を考慮する。

構造物への荷重に対しては、降下火砕物による荷重とその他の荷重の組合せを考慮して構造強度評価を行い、その結果がそれぞれ定める許容限界以下となるよう設計する。

建築基準法における積雪の荷重の考え方に準拠し、降下火砕物の降下から30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定めて、管理することで、降下火砕物による荷重を短期に生じる荷重とする。

設備については、機能設計上の性能目標を満足するように、おおむね弾性状態に留まることを許容限界とする。

また、建物・構築物については、機能設計上の性能目標を満足するように、建屋

を構成する部位ごとに応じた許容限界を設定する。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、当該施設の倒壊又は転倒により、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさないように、施設を構成する部位ごとに応じた許容限界を設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重としては、持続的に生じる荷重である固定荷重及び積載荷重を考慮する。

b. 降下火砕物の堆積による荷重

降下火砕物の堆積による荷重としては、湿潤状態の降下火砕物が堆積した場合の荷重を考慮する。ただし、この荷重は短期荷重とする。

c. 運転時荷重

運転時荷重としては、配管にかかる内圧等とする。

d. 積雪荷重

積雪荷重としては、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」で示す自然現象の組合せに従って垂直積雪量150cmを考慮する。ただし、この荷重は短期荷重とする。

e. 風荷重

風荷重としては、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」で示す自然現象の組合せに従って基準風速34 m/sを考慮する。ただし、この荷重は短期荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物の影響を考慮する施設における荷重の組合せとしては、設計に用いる常時作用する荷重、降下火砕物の堆積による荷重、運転時荷重、積雪荷重及び風荷重を適切に考慮する。

b. 積雪荷重及び風荷重との組合せについては、降下火砕物による荷重の継続時間が長く、積雪荷重の継続時間も長いことから、3つの荷重が同時に発生する場合を考慮する。

c. 設計に用いる降下火砕物の堆積による荷重、積雪荷重及び風荷重については、対象とする施設の設置場所及びその他の環境条件によって設定する。

d. 常時作用する荷重、積雪荷重、風荷重及び運転時荷重については、組み合わせることで降下火砕物の堆積による荷重の抗力となる場合には、保守的に組合せないことを基本とする。

なお、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」の「2.2 組合せ」に記載のとおり、地震については、地震(基準地震動)の震源と火山とは十分な距離があることから、独立事象として扱い、各々の発生頻度

が十分小さいこと、火山性地震については、火山は敷地から十分な距離があることから、火山性地震とこれに関連する事象による影響はないと判断し、地震との組合せは考慮しない。

設計に用いる降下火砕物の堆積による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せを考慮した荷重の算出については、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

### (3) 許容限界

設計荷重(火山)に対する許容限界は、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG460 1-1987」((社)日本電気協会)等の安全上適切と認められる規格、基準等で妥当性が確認されている値を用いて、降下火砕物が堆積する期間を考慮し設定する。

「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「3.2 影響因子を考慮した施設分類」において選定する構造物への静的負荷を考慮する施設のうち、建屋については、建屋内の降下火砕物防護対象施設に降下火砕物を堆積させない機能又は使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない機能に加え、前処理建屋、分離建屋、精製建屋、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋は放射性物質の閉じ込め機能を維持できるよう、建屋を構成する部位ごとに応じた許容限界を設定する。

屋外の降下火砕物防護対象施設のうち、構築物及び機器については、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するように、設備を構成する材料がおおむね弾性状態に留まることを基本とする。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設については、当該施設の倒壊又は転倒により、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさないように、施設を構成する部位ごとに応じた許容限界を設定する。

許容限界の詳細については、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

#### 2.1.4 降下火砕物の影響に対する防護対策方針

「2.1.1 降下火砕物防護対象施設及び設計方針」にて設定した降下火砕物防護対象施設について、設計荷重(火山)を踏まえた降下火砕物防護設計を実施する。

降下火砕物防護設計として、設計荷重(火山)に対する影響評価を実施することから、降下火砕物の影響を考慮する施設を選定する。

降下火砕物の影響を考慮する施設の選定については、「VI-1-1-1-4-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」に示す。

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」(改正 令和元年12月18日 原規技発第19 12182号 原子力規制委員会)を参考に対象とした降下火砕物による直接的影響及び間接的影響に対して、降下火砕物の影響を考慮する施設は、「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」を踏まえ、安全機能を損なわないことを目的として、適切な

防護措置を講じる。

降下火砕物の影響を考慮する施設において、考慮する直接的影響因子が異なることから、降下火砕物の影響を考慮する施設ごとに影響因子との組合せを行う。

なお、「水質汚染」については、再処理施設には取水が必要となる降下火砕物防護対象施設がないため、「水質汚染」の影響を考慮する施設はない。

降下火砕物の影響を考慮する施設は、上記の影響因子との組合せを考慮し、「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」にて設定している降下火砕物に対する降下火砕物防護設計を実施する。

降下火砕物防護設計にあたっては「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」に示すとおり、火山と同時に発生し得る自然現象が与える影響を踏まえ、風(台風)及び積雪による荷重を考慮する。

降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連については、「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

#### (1) 直接的影響に対する設計方針

##### a. 構造物への静的負荷に対する設計方針

建屋内の降下火砕物防護対象施設は、設計荷重(火山)に対して構造健全性を維持する建屋内に設置することにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、降下火砕物が堆積しやすい構造及び配置状況の場合には設計荷重(火山)に対して、構造強度評価を実施し、構造健全性を維持することにより、建屋内の降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

安全冷却水系の冷却塔等の屋外の降下火砕物防護対象施設(以下「屋外の降下火砕物防護対象施設」という。)は、降下火砕物が堆積しやすい構造及び配置状況の場合には設計荷重(火山)に対して、構造強度評価を実施し、構造健全性を維持することにより、安全機能を損なわない設計とする。

なお、屋外の降下火砕物防護対象施設である安全冷却水系の冷却塔は、冷却ファンを作動し上方に空気を流すことにより降下火砕物が堆積し難い構造とする。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、降下火砕物が堆積しやすい構造及び配置状況の場合には設計荷重(火山)に対して、構造強度評価を実施し、構造健全性を維持することにより、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、降下火砕物が堆積しやすい構造及び配置状況の場合には設計荷重(火山)に対して、構造強度評価を実施し、構造健全性を維持することにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

降下火砕物の荷重は湿潤状態の7150N/m<sup>2</sup>とする。なお、積雪単独の堆積荷重は

5700N/m<sup>2</sup>(積雪量：190cm)であるため、積雪の設計は火山の設計に包絡される。

詳細な設計方針については「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

b. 構造物への粒子の衝突に対する設計方針

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、構造物への降下火砕物の粒子の衝突の影響により、建屋内の降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の降下火砕物防護対象施設は、構造物への降下火砕物の粒子の衝突の影響により、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、構造物への降下火砕物の粒子の衝突の影響により、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、構造物への降下火砕物の粒子の衝突の影響により、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

なお、降下火砕物は微小な鉱物結晶で、砂よりも硬度が低い特性を持つことから、降下火砕物の粒子の衝突の影響は、「VI-1-1-1-2-1 竜巻への配慮に関する基本方針」に示す竜巻で設定する飛来物の影響に包絡される。

c. 閉塞に対する設計方針

建屋内の降下火砕物防護対象施設及び降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物を含む空気による流路の閉塞の影響に対して降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物を取り込まれたとしても、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系等にフィルタを設置し、設備内部及び建屋内部に降下火砕物が侵入し難い設計とする。

さらに、非常用ディーゼル発電機の給気系等は、降下火砕物用フィルタの追加設置等のさらなる降下火砕物対策を実施できるよう設計する。

降下火砕物がフィルタに付着した場合でもフィルタの交換又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

なお、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋の外気取入口及び排気口は、降下火砕物の層厚と積雪深の組合せに対して閉塞しない位置に設置することで、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

ガラス固化体貯蔵設備の収納管、通風管等で構成する貯蔵ピットの冷却空気流路は、貯蔵ピットの下部に空間を設けることにより冷却空気流路が閉塞し難い



構造とする。

また、点検用の開口部より吸引による除灰が可能な構造とすることで、降下火砕物により閉塞しない設計とする。

屋外の降下火砕物防護対象施設である主排気筒は、降下火砕物の侵入による閉塞の影響に対して降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより安全機能を損なわない設計とする。

主排気筒は、排気の吹き上げにより降下火砕物が侵入し難い構造とする。また、降下火砕物が主排気筒内に侵入した場合でも、異物の除去が可能な構造とすること及び異物の溜まる空間を設けることにより閉塞し難い構造とする。

#### d. 磨耗に対する設計方針

建屋内の降下火砕物防護対象施設、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設及び屋外に設置される降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物による磨耗の影響に対して降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物を取り込まれたとしても、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設である気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系等にフィルタを設置し、設備内部及び建屋内部に降下火砕物が侵入し難い設計とする。

さらに、非常用ディーゼル発電機の給気系等は、降下火砕物用フィルタの追加設置等のさらなる降下火砕物対策を実施できるよう設計する。

降下火砕物がフィルタに付着した場合でもフィルタの交換又は清掃が可能な構造とすることで、降下火砕物により磨耗しない設計とする。

屋外の降下火砕物防護対象施設である安全冷却水系の冷却塔の冷却ファンの回転軸部は、冷却空気を上方に流すこと等により降下火砕物が侵入し難い構造とする。

なお、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設及び屋外の降下火砕物防護対象施設は、摺動部に降下火砕物が侵入したとしても、降下火砕物に対して磨耗し難い材料を使用することにより、安全機能を損なわない設計とする。

#### e. 腐食に対する設計方針

##### (a) 構造物の化学的影響(腐食)

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、建屋内の降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外壁塗装及び屋上防水を実施することにより、短期での腐食が発生しない設計とすることで、建屋内の降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

屋外の降下火砕物防護対象施設は、塗装若しくは腐食し難い金属の使用又は外壁塗装及び屋上防水により、短期での腐食が発生しない設計とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設は、塗装若しくは腐食し難い金属の使用又は外壁塗装及び屋上防水により、短期での腐食が発生しない設計とすることで、周辺の降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼさない設計とする。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、外壁塗装及び屋上防水を実施することにより、短期での腐食が発生しない設計とすることで、使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与えない設計とする。

また、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

(b) 換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系に対する化学的影響(腐食)

建屋内の降下火砕物防護対象施設及び降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物に含まれる腐食性のあるガスによる化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物を取り込まれたとしても、降下火砕物を含む空気の流路となる

降下火砕物防護対象施設である気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系等にフィルタを設置し、設備内部及び建屋内部に降下火砕物が侵入し難い設計とする。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設は、塗装、腐食し難い金属の使用又は防食処理により、短期での腐食が発生しない設計とすることで、安全機能を損なわない設計とする。

また、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

f. 敷地周辺の大気汚染に対する設計方針

中央制御室は、降下火砕物による大気汚染により、中央制御室内の居住性を損なわない設計とする。

制御建屋中央制御室換気設備を収納する制御建屋等は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

制御建屋中央制御室換気設備の給気系等にフィルタを設置し、制御室内部に降下火砕物が侵入し難い設計とする。

制御建屋中央制御室換気設備は、外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気を再循環できる設計とする。

連絡口を遮断し再循環を行う措置並びに再循環時における中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮した措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

また、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室については、運転員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、制御室内の空気を再循環できる設計とする。

連絡口を遮断し再循環の措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

g. 絶縁低下に対する設計方針

外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設は、降下火砕物による絶縁低下の影響により、安全機能を損なわない設計とする。

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、外気取入口に防雪フードを設け、降下火砕物が侵入し難い構造とする。

降下火砕物を取り込まれたとしても、降下火砕物を含む空気の流路となる気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系等にフィルタを設置し、建屋内部に降下火砕物が侵入し難い設計とすることにより、外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設である計測制御設備の制御盤等の安全機能を損なわない設計とする。

## (2) 間接的影響に対する設計方針

降下火砕物による間接的影響である7日間の外部電源喪失及び敷地内外での交通の途絶によるアクセス制限事象に対し、再処理施設の安全性を維持するために必要となる電源の供給が継続できるよう、非常用ディーゼル発電機の燃料を貯蔵する設備及び移送する設備は降下火砕物の影響を受けないよう設置することにより、安全機能を損なわない設計とする。

また、安全上重要な施設へ7日間の電力を供給する措置を講ずることを保安規定に定めて、管理する。

降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連及び詳細な設計方針については、「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

## (3) 必要な機能を損なわないための運用上の措置

火山に関する設計条件等に係る新知見の収集及び火山に関する防護措置との組合せにより安全機能を損なわないための運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・ 定期的に新知見の確認を行い、新知見を得られた場合に評価すること
- ・ 火山活動のモニタリングを行い、評価時からの状態の変化の検知により評価の根拠が維持されていることを確認すること
- ・ 降下火砕物が長期的に堆積しないよう当該施設に堆積する降下火砕物の除去を適切に行うこと
- ・ 降灰時には、冷却塔に降下火砕物が堆積しないよう、冷却塔のルーバが開状態の場合は、冷却ファンを作動させる措置を講ずること
- ・ 降灰時には、降下火砕物による閉塞及び磨耗を防止するために、換気設備の給気系の停止又はフィルタの交換若しくは清掃を行うこと
- ・ 降下火砕物によりガラス固化体貯蔵設備の冷却空気流路が閉塞しないよう必要に応じて貯蔵ピットの点検用の開口部より吸引による除灰を行うこと
- ・ 降灰時には、非常用ディーゼル発電機の給気系等に対するフィルタの追加設置等を行うこと
- ・ 堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うこと
- ・ 敷地周辺の大気汚染による影響を防止するため、制御建屋中央制御室換気設備の外気との連絡口を遮断し、中央制御室内の空気の再循環を行い、再循環時においては、中央制御室内の酸素濃度及び二酸化炭素濃度の影響を考慮した措置を講ずること
- ・ 敷地周辺の大気汚染による影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口を遮断し、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室内の空気の再循環を

行う措置を講ずること

- ・ 外部電源喪失及び敷地内外での交通の途絶によるアクセス制限事象による影響を防止するため、安全上重要な施設へ7日間の電力を供給する措置を講ずること

## 2.2 準拠規格

準拠する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令・同告示
- (2) 青森県建築基準法施行細則(昭和36年2月9日青森県規則第20号)
- (3) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)
- (4) 建築物荷重指針・同解説((社)日本建築学会, 2004)
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984((社)日本電気協会)
- (7) 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- (8) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格JSME S NC1-2005/2007((社)日本電気協会)
- (9) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015)
- (10) 原子力発電所の火山影響評価ガイド(改正 令和元年12月18日 原規技発第1912182号 原子力規制委員会)

なお，次回以降に申請する施設に係る準拠規格については，当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-1-4-2

降下火砕物の影響を考慮する施設の  
選定

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定 .....	1
2.1 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定の基本方針 .....	1
2.2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定 .....	1

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す降下火砕物の影響に対する設計方針を踏まえて、降下火砕物の影響を考慮する施設の選定について説明するものである。

## 2. 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定

### 2.1 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定の基本方針

降下火砕物の影響を考慮する施設は、降下火砕物防護対象施設として選定した施設の設計方針を踏まえて選定する。

降下火砕物の影響を考慮する施設は以下により選定する。

建屋内の降下火砕物防護対象施設は、建屋により降下火砕物の影響から防護されることから、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

屋外の降下火砕物防護対象施設のうち、降下火砕物が堆積する施設を降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

また、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として、施設の倒壊、転倒又は破損により、降下火砕物防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設又は機能的影響を及ぼし得る施設を抽出し、降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、倒壊により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与える可能性があることから、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を、降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

降下火砕物防護対象施設に対する降下火砕物の間接的影響を考慮し、再処理施設の安全性に間接的に影響を与える可能性がある施設を、降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

### 2.2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定

「2.1 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定の基本方針」を踏まえ、以下のとおり降下火砕物の影響を考慮する施設を選定する。

#### (1) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋

建屋内の降下火砕物防護対象施設は、建屋にて防護されることから、降下火砕物防護対象施設の代わりに、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋を降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

##### a. 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋



- b. 前処理建屋
- c. 分離建屋
- d. 精製建屋
- e. ウラン脱硝建屋
- f. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- g. ウラン酸化物貯蔵建屋
- h. ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
- i. 高レベル廃液ガラス固化建屋
- j. 第1ガラス固化体貯蔵建屋
- k. チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
- l. ハル・エンドピース貯蔵建屋
- m. 制御建屋
- n. 分析建屋
- o. 非常用電源建屋
- p. 主排気筒管理建屋

なお、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋のうち、前処理建屋、分離建屋、精製建屋、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋については、安全上重要な施設でもあり、当該施設自体が屋外の降下火砕物防護対象施設になることから、設計については屋外の降下火砕物防護対象施設として示す。

(2) 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設

降下火砕物を含む空気の流路となる施設については、降下火砕物の影響を受け  
る可能性があるため、降下火砕物の影響を考慮する施設として選定する。

- a. 制御建屋中央制御室換気設備
- b. ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管
- c. 第1非常用ディーゼル発電機
- d. 第2非常用ディーゼル発電機
- e. 安全圧縮空気系の空気圧縮機
- f. 気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系
- g. 非管理区域換気空調設備の給気系
- h. 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備
- i. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋(外気取入口)

(3) 外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物  
防護対象施設

建屋内の降下火砕物防護対象施設のうち、外気から取り入れた建屋内の空気を  
機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設については、降下火砕物  
の影響を受ける可能性があるため、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下

のとおり選定する。

- a. 計測制御設備のうち空気を取り込む機構を有する制御盤
- b. 安全保護回路を収納し空気を取り込む機構を有する制御盤
- c. 非常用所内電源系統のうち空気を取り込む機構を有する電気盤
- d. 放射線監視設備のうち空気を取り込む機構を有する監視盤

(4) 屋外の降下火砕物防護対象施設

屋外の降下火砕物防護対象施設は、直接降下火砕物の影響を受ける可能性があるため、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

- a. 前処理建屋
- b. 分離建屋
- c. 精製建屋
- d. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- e. 高レベル廃液ガラス固化建屋
- f. 安全冷却水系冷却塔A, B
- g. 安全冷却水A, B冷却塔
- h. 冷却塔A, B
- i. 安全冷却水系膨張槽A, B
- j. 安全冷却水系(f., g., h. 及びi. 周りの配管)
- k. 安全冷却水系膨張槽液位計A, B
- l. 主排気筒
- m. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備
- n. 高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備
- o. 前処理建屋換気設備
- p. 分離建屋換気設備
- q. 精製建屋換気設備
- r. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備
- s. 高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備

上記に示す屋外の降下火砕物防護対象施設のうち、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備、高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備、前処理建屋換気設備、分離建屋換気設備、精製建屋換気設備、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備及び高レベル廃液ガラス固化建屋換気設備を合わせて、以下「主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト」という。

(5) 降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

降下火砕物防護対象施設等に対して、破損に伴う倒壊又は転倒による機械的影響を及ぼし得る施設及び付属施設の破損による機能的影響を及ぼし得る施設を降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設として抽出する。

a. 機械的影響を及ぼし得る施設

倒壊又は転倒により降下火砕物防護対象施設等に機械的影響を及ぼし得る施設としては、施設高さが低い施設は倒壊しても降下火砕物防護対象施設等に影響を与えないため、当該施設の高さと降下火砕物防護対象施設等までの最短距離を比較することにより選定する。

また、降下火砕物防護対象施設の直上に位置する施設は、破損により降下火砕物防護対象施設等に影響を与えるため、機械的影響を及ぼし得る施設として選定する。

ただし、施設の設置状況、材質、形状、重量等を踏まえて、降下火砕物防護対象施設等に影響を与えないと判断できる場合は、機械的影響を及ぼし得る施設として選定しない。

周辺の施設のうち建屋については、屋根部の破損が想定されるが、倒壊は想定されないことから、機械的影響を及ぼし得る施設として選定しない。

周辺の施設のうち配管類については、円筒形であり平面の少ない形状によって降下火砕物が堆積し難いことから、機械的影響を及ぼし得る施設として選定しない。

上記のことから、機械的影響を及ぼし得る施設として、以下のとおり選定する。

- (a) 飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- (b) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- (c) 飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- (d) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
- (e) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
- (f) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)
- (g) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)
- (h) 飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)
- (i) 飛来物防護板(前処理建屋 安全蒸気系設置室)
- (j) 北換気筒

b. 機能的影響を及ぼし得る施設

降下火砕物防護対象施設の屋外の付属施設の破損により機能的影響を及ぼし得る施設としては、降下火砕物の影響により降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわせるおそれがある施設を選定する。

なお、直接的影響及び間接的影響に対して選定した降下火砕物の影響を考慮

する施設の付属設備については、当該施設の設計において降下火砕物の影響を考慮していることから、機能的影響を及ぼし得る施設として選定しない。

上記に該当しない降下火砕物防護対象施設の付属設備のうち、以下の設備は選定しない。

- ・当該設備が破損しても降下火砕物防護対象施設を機能喪失させる可能性がない設備

- ・円筒形の平面が少ない形状から降下火砕物の堆積し難い設備

- ・開口部が下向き又は周辺施設の配置状況から降下火砕物が侵入し難い設備

上記のことから、機能的影響を及ぼし得る施設に該当する施設はない。

(6) 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、倒壊により使用済燃料収納キャスクに波及的破損を与える可能性があることから、使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

a. 使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫

(7) 間接的影響を考慮する施設

想定する降下火砕物により、再処理施設の安全性に間接的に影響を与える可能性がある施設を、降下火砕物の影響を考慮する施設として、以下のとおり選定する。

a. 電気設備(ディーゼル発電機)

(a) 第1非常用ディーゼル発電機

(b) 重油タンク

(c) 燃料移送ポンプ

(d) 第2非常用ディーゼル発電機

(e) 燃料油貯蔵タンク

(f) 燃料油移送ポンプ

VI-1-1-1-4-3

降下火砕物の影響を考慮する施設の  
設計方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 設計の基本方針	1
3. 施設分類	2
3.1 降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連	2
3.2 影響因子を考慮した施設分類	8
4. 要求機能及び性能目標	12
4.1 構造物への静的負荷を考慮する施設	12
4.2 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設	13
4.3 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設	13
4.4 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設	14
4.5 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設	15
4.6 電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設	15
4.7 間接的影響を考慮する施設	15
5. 機能設計	15
5.1 構造物への静的負荷を考慮する施設	15
5.2 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設	16
5.3 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設	16
5.4 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設	16
5.5 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設	17
5.6 電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設	17
5.7 間接的影響を考慮する施設	17

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す降下火砕物の影響に対する設計方針を踏まえて、降下火砕物の影響を考慮する施設の影響因子との組合せ、施設分類、要求機能及び性能目標を明確にし、各施設分類の機能設計に関する設計方針について説明するものである。

## 2. 設計の基本方針

再処理施設に影響を与える可能性がある火山事象の発生により、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」にて設定している降下火砕物防護対象施設がその安全機能を損なわないよう、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計を行う。

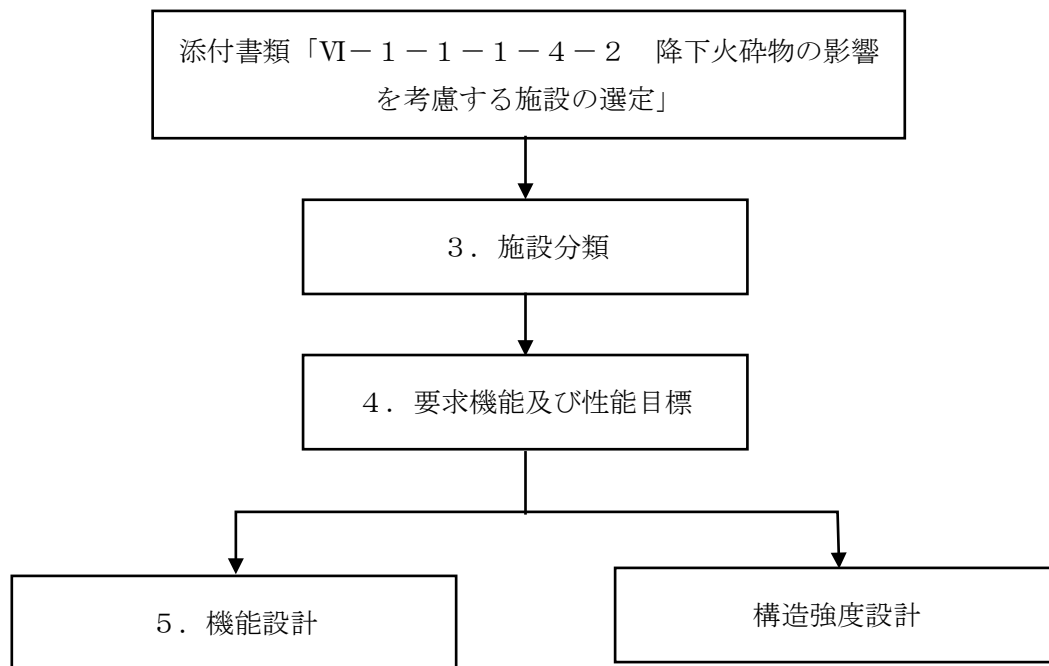
降下火砕物の影響を考慮する施設は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」にて設定している降下火砕物に対して、その機能が維持できる設計とする。

降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に当たっては、「VI-1-1-1-4-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」にて選定している施設を踏まえて、影響因子ごとに施設を分類する。その施設分類及び「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」にて設定している火山防護設計の目的を踏まえて、施設分類ごとに要求機能を整理するとともに、施設ごとに機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を定める。

降下火砕物の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するため、施設分類ごとに各機能の設計方針を示す。

なお、降下火砕物の影響を考慮する施設が構造強度設計上の性能目標を達成するための構造強度の設計方針等については、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示し、強度計算の方法及び結果については、「VI-1-1-1-4-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

降下火砕物の影響を考慮する施設の設計フローを第2.-1図に示す。



注：フロー中の番号は本資料での記載事項の章を示す。  
 なお、構造強度設計については、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す。

第2.-1図 施設的设计フロー

### 3. 施設分類

「VI-1-1-1-4-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」で選定した降下火砕物の影響を考慮する施設において、考慮する直接的影響因子が異なることから、降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連について整理した上で、直接的影響及び間接的影響に対する各施設分類を以下に示す。

#### 3.1 降下火砕物の影響を考慮する施設と影響因子との関連

設計にて考慮すべき直接的影響因子については、降下火砕物の特徴から以下のものが考えられる。

降下火砕物はマグマ噴出時に粉碎、急冷したガラス片及び鉱物結晶片からなる粒子であり、堆積することによる荷重並びに粒子の衝突や施設への取り込みによる閉塞、磨耗、降下火砕物には亜硫酸ガス、硫化水素、フッ化水素等の火山ガス成分が付着しているため、施設への接触による腐食及び施設への取り込みによる大気汚染が考えられる。

さらに、降下火砕物は水に濡れると導電性を生じるため、絶縁低下が考えられる。

これらの直接的影響因子を踏まえ、間接的影響を考慮する施設以外の降下火砕物の影響を考慮する施設の形状及び機能に応じて、影響因子を設定する。

##### (1) 構造物への静的負荷



降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋、屋外の降下火砕物防護対象施設、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、降下火砕物の堆積に対して、降下火砕物が堆積しやすい構造及び設置状況の場合には静的負荷による影響を考慮するため、構造物への静的負荷を影響因子として設定する。

(2) 構造物への粒子の衝突

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋、屋外の降下火砕物防護対象施設、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、粒子の衝突による影響を考慮するため、構造物への粒子の衝突を影響因子として設定する。

なお、粒子の衝撃荷重による影響は、竜巻で設定する飛来物の影響に包絡されるため、竜巻防護に対する設計によって構造健全性を確保する。

(3) 閉塞

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設及び屋外の降下火砕物防護対象施設については、閉塞による影響を考慮するため、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を影響因子として設定する。

(4) 磨耗

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設及び屋外の降下火砕物防護対象施設については、磨耗による影響を考慮するため、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を影響因子として設定する。

(5) 腐食

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、降下火砕物防護対象施設を収納する建屋、降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設、屋外の降下火砕物防護対象施設、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設及び使用済燃料収納キャスクを収納する建屋については、腐食による影響を考慮するため、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を影響因子として設定する。

(6) 敷地周辺の大気汚染

制御建屋中央制御室及び使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室については、大気汚染による影響を考慮するため、敷地周辺の大気汚染を影響因子として設定する。

(7) 絶縁低下

外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設については、絶縁低下による影響を考慮するため、絶縁低下を影響因子として設定する。

降下火砕物の影響を考慮する施設の特性を踏まえて必要な設計項目を選定した結果を第3.1-1表に示す。

その結果を踏まえ、間接的影響を考慮する施設を含めた施設の分類を「3.2 影響因子を考慮した施設分類」に示す。

第3.1-1表 降下火砕物の影響を考慮する施設(間接的影響を考慮する施設を除く。)と影響因子の組合せ(1/3)

施設		影響因子		直接的影響の要因				
		構造物への静的負荷	構造物への粒子の衝突	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食	敷地周辺の大気汚染	電気系及び計測制御系の絶縁低下
降下火砕物防護対象施設を収納する建屋	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	○	○	—	—	○	—	—
	ウラン脱硝建屋	○	○	—	—	○	—	—
	ウラン酸化物貯蔵建屋	○	○	—	—	○	—	—
	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	○	○	—	—	○	—	—
	第1ガラス固化体貯蔵建屋	○	○	—	—	○	—	—
	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋	○	○	—	—	○	—	—
	ハル・エンドピース貯蔵建屋	○	○	—	—	○	—	—
	制御建屋	○	○	—	—	○	—	—
	分析建屋	○	○	—	—	○	—	—
	非常用電源建屋	○	○	—	—	○	—	—
	主排気筒管理建屋	*1	○	—	—	○	—	—
降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設	制御建屋中央制御室換気設備	*2	*2	○	○	○	○	○
	ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管	*2	*2	○	—	○	*3	—
	第1非常用ディーゼル発電機	*2	*2	○	○	○	*3	—
	第2非常用ディーゼル発電機	*2	*2	○	○	○	*3	—
	安全圧縮空気系の空気圧縮機	*2	*2	○	○	○	*3	—
	気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系	*2	*2	○	○	○	*3	○
	非管理区域換気空調設備の給気系	*2	*2	○	○	○	*3	○
	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備	*2	*2	○	○	○	○	○
降下火砕物防護対象施設を収納する建屋(外気取入口)	*2	*2	○	○	○	○	○	

影響因子に対する個別評価を実施：○ 影響因子に対する個別評価不要：—

注記：\*1：降下火砕物が堆積し難い構造又は周辺施設の配置状況から降下火砕物が堆積し難い状況のため考慮不要。

\*2：建屋により影響を無視できるため考慮不要。

\*3：居住環境の維持に必要なため考慮不要。

\*4：制御建屋中央制御室換気設備、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系、非管理区域換気空調設備の給気系及び使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備から建屋内部に降下火砕物が取り込まれることによる影響を考慮。

第3.1-1表 降下火砕物の影響を考慮する施設(間接的影響を考慮する施設を除く。)と影響因子の組合せ(2/3)

施設		直接的影響の要因						
		構造物への静的負荷	構造物への粒子の衝突	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食	敷地周辺の大气汚染	電気系及び計測制御系の絶縁低下
取り込み機構を有する降下火砕物防護対象施設	計測制御設備のうち空気を取り込む機構を有する制御盤	*2	*2	*4	*4	*4	*3	*4
	安全保護回路を収納し空気を取り込む機構を有する制御盤	*2	*2	*4	*4	*4	*3	*4
	非常用所内電源系統のうち空気を取り込む機構を有する電気盤	*2	*2	*4	*4	*4	*3	*4
	放射線監視設備のうち空気を取り込む機構を有する監視盤	*2	*2	*4	*4	*4	*3	*4
屋外の降下火砕物防護対象施設	前処理建屋	○	○	—	—	○	—	—
	分離建屋	○	○	—	—	○	—	—
	精製建屋	○	○	—	—	○	—	—
	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	○	○	—	—	○	—	—
	高レベル廃液ガラス固化建屋	○	○	—	—	○	—	—
	安全冷却水系冷却塔 A, B	○	○	—	○	○	—	—
	安全冷却水 A, B 冷却塔	○	○	—	○	○	—	—
	冷却塔 A, B	○	○	—	○	○	—	—
	安全冷却水系膨張槽 A, B	○	○	—	—	○	—	—
	安全冷却水系(安全冷却水系冷却塔 A, B, 安全冷却水 A, B 冷却塔, 冷却塔 A, B 及び安全冷却水系膨張槽 A, B 周りの配管)	*1	○	—	—	○	—	—
	安全冷却水系膨張槽液位計 A, B	*1	○	—	—	○	—	—
主排気筒	○	○	○	—	○	—	—	
主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト	*1	○	—	—	○	—	—	

影響因子に対する個別評価を実施：○ 影響因子に対する個別評価不要：—

注記：\*1：降下火砕物が堆積し難い構造又は周辺施設の配置状況から降下火砕物が堆積し難い状況のため考慮不要。

\*2：建屋により影響を無視できるため考慮不要。

\*3：居住環境の維持に必要がないため考慮不要。

\*4：制御建屋中央制御室換気設備、気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系、非管理区域換気空調設備の給気系及び使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備から建屋内部に降下火砕物が取り込まれることによる影響を考慮。

第3.1-1表 降下火砕物の影響を考慮する施設(間接的影響を考慮する施設を除く。)と影響因子の組合せ(3/3)

施設		直接的影響の要因						
		構造物への静的負荷	構造物への粒子の衝突	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗	構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食	敷地周辺の大気汚染	電気系及び計測制御系の絶縁低下
波 及 的 影 響 を 及 ぼ し 得 る 施 設	飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設用 安全冷却水系冷却塔 A, B)	○	○	—	—	○	—	—
	飛来物防護ネット(再処理設備本体用安全冷却水系冷却塔 A, B)	○	○	—	—	○	—	—
	飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔 A, B)	○	○	—	—	○	—	—
	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)	○	○	—	—	○	—	—
	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)	○	○	—	—	○	—	—
	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)	○	○	—	—	○	—	—
	飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)	○	○	—	—	○	—	—
	飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)	○	○	—	—	○	—	—
	飛来物防護板(前処理建屋 安全蒸気系設置室)	○	○	—	—	○	—	—
	北換気筒	○	○	—	—	○	—	—
使用済燃料収納する建屋	使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫	○	○	—	—	○	—	—

影響因子に対する個別評価を実施：○ 影響因子に対する個別評価不要：—

- 注記：\*1：降下火砕物が堆積し難い構造又は周辺施設の配置状況から降下火砕物が堆積し難い状況のため考慮不要。  
 \*2：建屋により影響を無視できるため考慮不要。  
 \*3：居住環境の維持に必要なため考慮不要。  
 \*4：制御建屋中央制御室換気設備，気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系，非管理区域換気空調設備の給気系及び使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備から建屋内部に降下火砕物が取り込まれることによる影響を考慮。

### 3.2 影響因子を考慮した施設分類

降下火砕物により直接的影響を考慮する施設及び間接的影響を考慮する施設に対する各施設の分類を以下のとおりとする。

#### (1) 構造物への静的負荷を考慮する施設

##### a. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋

- (a) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
- (b) ウラン脱硝建屋
- (c) ウラン酸化物貯蔵建屋
- (d) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
- (e) 第1ガラス固化体貯蔵建屋
- (f) チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
- (g) ハル・エンドピース貯蔵建屋
- (h) 制御建屋
- (i) 分析建屋
- (j) 非常用電源建屋

##### b. 屋外の降下火砕物防護施設

- (a) 前処理建屋
- (b) 分離建屋
- (c) 精製建屋
- (d) ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- (e) 高レベル廃液ガラス固化建屋
- (f) 安全冷却水系冷却塔A, B
- (g) 安全冷却水A, B冷却塔
- (h) 冷却塔A, B
- (i) 安全冷却水系膨張槽A, B
- (j) 主排気筒

##### c. 降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設

- (a) 飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- (b) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- (c) 飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)
- (d) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
- (e) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
- (f) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)
- (g) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液

ガラス固化建屋屋外)

- (h) 飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)
  - (i) 飛来物防護板(前処理建屋 安全蒸気系設置室)
  - (j) 北換気筒
- d. 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
- (a) 使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫
- (2) 構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設
- a. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
- (a) 制御建屋中央制御室換気設備
  - (b) ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管
  - (c) 第1非常用ディーゼル発電機
  - (d) 第2非常用ディーゼル発電機
  - (e) 安全圧縮空気系の空気圧縮機
  - (f) 気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系
  - (g) 非管理区域換気空調設備の給気系
  - (h) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備
  - (i) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋(外気取入口)
- b. 屋外の降下火砕物防護施設
- (a) 主排気筒
- (3) 構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設
- a. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
- (a) 制御建屋中央制御室換気設備
  - (b) 第1非常用ディーゼル発電機
  - (c) 第2非常用ディーゼル発電機
  - (d) 安全圧縮空気系の空気圧縮機
  - (e) 気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系
  - (f) 非管理区域換気空調設備の給気系
  - (g) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備
  - (h) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋(外気取入口)
- b. 屋外の降下火砕物防護施設
- (a) 安全冷却水系冷却塔A, B
  - (b) 安全冷却水A, B冷却塔
  - (c) 冷却塔A, B
- (4) 構造物, 換気系, 電気系, 計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮す

る施設

- a. 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋
  - (a) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
  - (b) ウラン脱硝建屋
  - (c) ウラン酸化物貯蔵建屋
  - (d) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
  - (e) 第1ガラス固化体貯蔵建屋
  - (f) チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋
  - (g) ハル・エンドピース貯蔵建屋
  - (h) 制御建屋
  - (i) 分析建屋
  - (j) 非常用電源建屋
  - (k) 主排気筒管理建屋
- b. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
  - (a) 制御建屋中央制御室換気設備
  - (b) ガラス固化体貯蔵設備の収納管及び通風管
  - (c) 第1非常用ディーゼル発電機
  - (d) 第2非常用ディーゼル発電機
  - (e) 安全圧縮空気系の空気圧縮機
  - (f) 気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系
  - (g) 非管理区域換気空調設備の給気系
  - (h) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備
  - (i) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋(外気取入口)
- c. 屋外の降下火砕物防護施設
  - (a) 前処理建屋
  - (b) 分離建屋
  - (c) 精製建屋
  - (d) ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
  - (e) 高レベル廃液ガラス固化建屋
  - (f) 安全冷却水系冷却塔A, B
  - (g) 安全冷却水A, B冷却塔
  - (h) 冷却塔A, B
  - (i) 安全冷却水系膨張槽A, B
  - (j) 安全冷却水系((f), (g), (h)及び(i)周りの配管)
  - (k) 安全冷却水系膨張槽液位計A, B
  - (l) 主排気筒



- (m) 主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクト
- d. 降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設
  - (a) 飛来物防護ネット(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)
  - (b) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B)
  - (c) 飛来物防護ネット(第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B)
  - (d) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 主排気筒周り)
  - (e) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 分離建屋屋外)
  - (f) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 精製建屋屋外)
  - (g) 飛来物防護板(主排気筒接続用 屋外配管及び屋外ダクト 高レベル廃液ガラス固化建屋屋外)
  - (h) 飛来物防護板(冷却塔接続 屋外設備)
  - (i) 飛来物防護板(前処理建屋 安全蒸気系設置室)
  - (j) 北換気筒
- e. 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋
  - (a) 使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫
- (5) 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設
  - a. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
    - (a) 制御建屋中央制御室換気設備
    - (b) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備
- (6) 電気系及び計測制御系の絶縁低下を考慮する施設
  - a. 降下火砕物を含む空気の流路となる降下火砕物防護対象施設
    - (a) 制御建屋中央制御室換気設備
    - (b) 気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の給気系
    - (c) 非管理区域換気空調設備の給気系
    - (d) 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋制御室換気設備
    - (e) 降下火砕物防護対象施設を収納する建屋(外気取入口)
  - b. 外気から取り入れた建屋内の空気を機器内に取り込む機構を有する降下火砕物防護対象施設
    - (a) 計測制御設備のうち空気を取り込む機構を有する制御盤
    - (b) 安全保護回路を収納し空気を取り込む機構を有する制御盤
    - (c) 非常用所内電源系統のうち空気を取り込む機構を有する電気盤
    - (d) 放射線監視設備のうち空気を取り込む機構を有する監視盤
- (7) 間接的影響を考慮する施設
  - a. 電気設備(ディーゼル発電機)

- (a) 第1非常用ディーゼル発電機
- (b) 重油タンク
- (c) 燃料移送ポンプ
- (d) 第2非常用ディーゼル発電機
- (e) 燃料油貯蔵タンク
- (f) 燃料油移送ポンプ

#### 4. 要求機能及び性能目標

火山事象の発生に伴い、降下火砕物防護対象施設の安全機能を損なわないよう火山防護設計を行う施設を「3. 施設分類」において、構造物への静的負荷を考慮する施設、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設、構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設、敷地周辺の大気汚染を考慮する施設、絶縁低下を考慮する施設及び間接的影響を考慮する施設に分類している。

これらを踏まえ、施設分類ごとに要求機能を整理するとともに、機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を設定する。

##### 4.1 構造物への静的負荷を考慮する施設

###### (1) 施設

建物・構築物及び機器・配管系に分類する。

###### a. 建物・構築物

###### (a) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

###### b. 機器・配管系

###### (a) 安全冷却水B冷却塔

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

###### (2) 要求機能

###### a. 建物・構築物

構造物への静的負荷を考慮する施設のうち建物・構築物は、設計荷重(火山)を考慮した場合においても、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えないことが要求される。

###### b. 機器・配管系

構造物への静的負荷を考慮する施設のうち機器・配管系は、設計荷重(火山)を考慮した場合においても、その安全機能を損なわないことが要求される。

###### (3) 性能目標

a. 建物・構築物

(a) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、設計荷重(火山)に対し、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、設計荷重(火山)に対し、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えないよう、倒壊を生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

b. 機器・配管系

(a) 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(火山)に対し、冷却塔の冷却機能を維持することにより、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

また、安全冷却水B冷却塔を構成する機器(冷却機能の維持に必要な機器を除く)のうち、脱落及び転倒により、冷却機能の維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、設計荷重(火山)に対し、機械的影響を及ぼさないことを機能設計上の性能目標とする。

安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(火山)に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、

通水する冷却水を冷却する機能を維持可能な構造強度を有することを構造強度設計上の性能目標とする。

また、安全冷却水B冷却塔を構成する機器(冷却機能の維持に必要な機器を除く)のうち、脱落及び転倒により、冷却機能の維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、設計荷重(火山)に対し、機械的影響を及ぼさない強度を有することを構造強度設計上の性能目標とする。

4.2 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設

(1) 施設

構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.3 構造物，換気系，電気系，計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設

(1) 施設

a. 安全冷却水B冷却塔

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明

する。

(2) 要求機能

構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設は、想定する降下火砕物に対し、その安全機能を損なうおそれがないことが要求される。

(3) 性能目標

a. 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、想定する降下火砕物による磨耗に対し、降下火砕物の摺動部への侵入を低減させること及び降下火砕物を考慮して摺動部に耐磨耗性をもたせることにより、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

4.4 構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設

(1) 施設

a. 安全冷却水B冷却塔

b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

c. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

(2) 要求機能

構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設は、想定する降下火砕物に対し、その安全機能を損なわないことが要求される。

(3) 性能目標

a. 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔は、想定する降下火砕物による腐食に対し、耐食性を持たせることにより、崩壊熱除去の機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

また、安全冷却水B冷却塔を構成する機器(冷却機能の維持に必要な機器を除く)のうち、脱落及び転倒により、冷却機能の維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、想定する降下火砕物による腐食に対し、耐食性を持たせることにより、機械的影響を及ぼさないことを機能設計上の性能目標とする。

b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、想定する降下火砕物による腐食に対し、耐食性を持たせることにより、内部流体を送水する機能を維持することを機能設計上の性能目標とする。

c. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、想定する降下火砕物による腐食に対し、耐食性を持たせることにより、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えないことを機能設計上の性能目標とする。

4.5 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設

(1) 施設

敷地周辺の大気汚染を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.6 電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設

(1) 施設

電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

4.7 間接的影響を考慮する施設

(1) 施設

間接的影響を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5. 機能設計

「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「4. 要求機能及び性能目標」で設定している降下火砕物の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するために、各施設の機能設計の方針を定める。

5.1 構造物への静的負荷を考慮する施設

(1) 施設

a. 建物・構築物

(a) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の設計方針

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、設計荷重(火山)に対し、倒壊を生じない設計とすることで、降下火砕物防護対象施設等に波及的影響を与えない機能を維持する設計とする。

降下火砕物の堆積による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去する。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 機器・配管系

(a) 安全冷却水B冷却塔の設計方針

安全冷却水B冷却塔は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目

標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

安全冷却水B冷却塔は、設計荷重(火山)に対し、冷却塔の冷却機能を維持することで、崩壊熱除去の機能を維持する設計とする。

また、安全冷却水B冷却塔を構成する機器(冷却機能の維持に必要な機器を除く)のうち、脱落及び転倒により、冷却機能の維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、脱落及び転倒しない強度を有する設計とする。

降下火砕物の堆積による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去する。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 5.2 構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設

### (1) 施設

構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における閉塞を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 5.3 構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における磨耗を考慮する施設

### (1) 施設

#### a. 安全冷却水B冷却塔の設計方針

安全冷却水B冷却塔は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.3(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

安全冷却水B冷却塔は、想定する降下火砕物による磨耗に対し、XXXXXXXXXXとすることで摺動部に降下火砕物が侵入し難い構造とする。また、摺動部に磨耗し難い材料を使用することで磨耗し難い設計とする。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 5.4 構造物、換気系、電気系、計測制御系及び安全圧縮空気系における腐食を考慮する施設

### (1) 施設

#### a. 安全冷却水B冷却塔の設計方針

安全冷却水B冷却塔は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.4(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

安全冷却水B冷却塔は、腐食し難い金属の使用又は塗装を実施することで短期での腐食が発生しない設計とする。

安全冷却水B冷却塔を構成する機器（冷却機能の維持に必要な機器を除く）のうち、脱落及び転倒により、冷却機能の維持に必要な機器に機械的影響を及ぼし得るものは、腐食し難い金属の使用又は塗装を実施することで短期での腐食が発生しない設計とする。

また、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、長期的な腐食が進展しない設計とする。

b. 安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)の設計方針

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.4(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

安全冷却水系(安全冷却水B冷却塔周りの配管)は、塗装を実施することで短期での腐食が発生しない設計とする。

また、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、長期的な腐食が進展しない設計とする。

c. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の設計方針

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「4. 要求機能及び性能目標」の「4.4(3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために、以下の設計方針とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、腐食し難い金属の使用又は塗装を実施することで短期での腐食が発生しない設計とする。

また、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、長期的な腐食が進展しない設計とする。

上記以外の施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.5 敷地周辺の大気汚染を考慮する施設

(1) 施設

敷地周辺の大気汚染を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.6 電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設

(1) 施設

電気系及び計測制御系における絶縁低下を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

5.7 間接的影響を考慮する施設

(1) 施設

間接的影響を考慮する施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。



VI-1-1-1-4-4

火山への配慮が必要な施設の強度に  
関する説明書

VI-1-1-1-4-4-1

火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 強度評価の対象施設	1
2.1.1 降下火砕物防護対象施設	1
2.1.2 重大事故等対処設備	1
2.2 評価方針	1
3. 構造強度設計	2
3.1 構造強度の設計方針	2
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	8
4.1 荷重及び荷重の組合せ	8
4.2 許容限界	11
5. 強度評価方法	13
5.1 建物・構築物	14
5.1.1 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)	14
5.2 機器・配管系	18
5.2.1 冷却塔	18
6. 準拠規格	23

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-4-2 降下火砕物の影響を考慮する施設の選定」及び「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設が、設計荷重(火山)に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」に示す準拠規格を用いて実施する。

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 強度評価の対象施設」に示す評価対象施設について、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物の堆積による荷重と組み合わせるべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 準拠規格」で示す準拠規格を用いて確認する。

### 2.1 強度評価の対象施設

#### 2.1.1 降下火砕物防護対象施設

「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」にて構造強度上の性能目標を設定している構造物への静的負荷を考慮する施設のうち、強度評価の対象施設(以下「評価対象施設」という。)となる建物・構築物及び機器・配管系を第2.1.1-1表に示す。

第2.1.1-1表 評価対象施設(降下火砕物防護対象施設)

施設分類	評価対象施設
建物・構築物	飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)
機器・配管系	安全冷却水B冷却塔

なお、上記以外の評価対象施設については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 2.1.2 重大事故等対処設備

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 2.2 評価方針

強度評価の対象施設は、「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため、降下火砕物の堆積に対する強度評価を実施する。

強度評価は、降下火砕物の堆積により生じる応力等に対し、評価対象施設が当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する。

構造強度評価は、評価対象施設の構造を考慮し、以下の分類とする。

- (1) 建物・構築物
  - a. 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)
- (2) 機器・配管系
  - a. 冷却塔

### 3. 構造強度設計

「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、構造物への静的負荷を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ、構造強度の設計方針を設定する。

重大事故等対処設備については、当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

施設の構造強度の設計方針においては、想定する荷重及び荷重の組合せを踏まえ、それらの荷重に対し、施設の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

#### 3.1 構造強度の設計方針

「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を示す。

- (1) 建物・構築物
  - a. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計荷重(火山)に対し、倒壊により安全冷却水B冷却塔に波及的影響を及ぼさないよう、支持架構を構成する部材は溶接又はボルトにより接続し、支持架構の柱脚部は基礎に固定することで、波及的影響を与えない強度を有する設計とする。

降下火砕物の堆積による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定めて、管理する。

- (2) 機器・配管系
  - a. 安全冷却水B冷却塔  
安全冷却水B冷却塔は、「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」

で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計荷重(火山)に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、

通水する冷却水を冷却する機能を維持可能な強度を有する設計とする。

降下火砕物の堆積による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定めて、管理する。

### 3.2 機能維持の方針

「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」で設定している荷重条件を適切に考慮して、施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

#### (1) 建物・構築物

##### a. 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)

###### (a) 構造設計

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、防護ネット及び防護板(鋼材)を支持架構に取付け、安全冷却水B冷却塔に設計飛来物が衝突することを防止する構造とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、防護ネット、防護板及び支持架構を主体構造とし、支持架構は杭基礎を介して支持地盤である鷹架層に支持される構造とする。

また、作用する荷重については、防護ネット及び防護板(鋼材)を介して接続する支持架構に伝達し、支持架構から基礎に伝達する構造とする。

飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造計画を第3.2-1表に示す。

###### (b) 評価方針

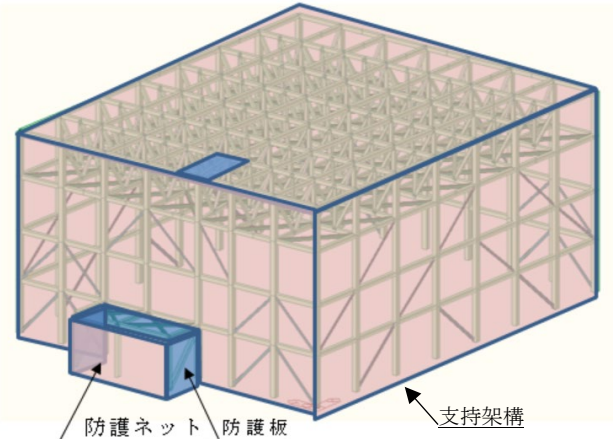
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

設計荷重(火山)に対し、荷重の作用する部材及び荷重が伝達する部材を踏まえ、飛来物防護ネットを構成する支持架構部材に生じる応力が、終局状態に至らないことを「5. 強度評価方法」に示す解析を用いて確認する。

設計荷重(火山)に対する強度評価を、「VI-1-1-1-4-4-2 火山

への配慮が必要な強度計算書」に示す。

第3.2-1表 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造計画

施設 名称	計画の概要		説明図
	主要 構造	支持 構造	
【位置】			
竜巻防護対策設備（飛来物防護ネット）は、屋外に設置する設計としている。			
竜巻防護対策設備（飛来物防護ネット）	鋼製の支持架構に防護ネット、防護板等を固定する構造とする。	杭基礎を介して支持地盤に固定する。	



(2) 機器・配管系

a. 安全冷却水B冷却塔

(a) 構造設計

安全冷却水B冷却塔は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

安全冷却水B冷却塔は、

構造とする。

安全冷却水B冷却塔は、

構造とする。

安全冷却水B冷却塔の

構造とする。

安全冷却水B冷却塔の構造計画を第3.2-2表に示す。

(b) 評価方針

安全冷却水B冷却塔は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

設計荷重(火山)に対し、安全冷却水B冷却塔の機能維持に必要な機器を支持する支持架構を構成する部材及び基礎ボルト並びにルーバに生じる応力が、おおむね弾性状態に留まることを「5. 強度評価方法」に示す解析又は評価式を用いて確認する。

設計荷重(火山)に対する強度評価を、「VI-1-1-1-4-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

第3.2-2表 安全冷却水B冷却塔の構造計画

施設 名称	計画の概要		説明図
	主要 構造	支持 構造	
<p>【位置】</p> <p>冷却塔は、屋外に設置する設計としている。</p>			
冷却塔	鋼製の支持架構に管束、ファン駆動部等を固定する構造とする。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	<p style="text-align: center;">側面図</p>

#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

評価対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

##### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」で設定しており、それらを「(1) 荷重の種類」に示す。

また、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」で設定している評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重の組合せの考え方を踏まえ、強度評価において考慮すべき荷重の組合せを「(2) 荷重の組合せ」に示す。

##### (1) 荷重の種類

###### a. 常時作用する荷重( $F_d$ )

常時作用する荷重は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(1)a. 常時作用する荷重」で設定している常時作用する荷重に従って、固定荷重及び積載荷重とする。

なお、除灰のために人員が積載する施設については、積載荷重として除灰時人員荷重を考慮する。

###### b. 降下火砕物の堆積による荷重( $V_L$ )

降下火砕物の堆積による荷重は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」の降下火砕物の特性及び「2.1.3(1)b. 降下火砕物の堆積による荷重」に示す降下火砕物の堆積による荷重を踏まえて、湿潤密度 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ の降下火砕物が $55\text{cm}$ 堆積した場合の荷重とする。

###### c. 運転時荷重( $F_p$ )

運転時荷重としては、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(1)c. 運転時荷重」を踏まえ、配管にかかる内圧等を考慮する。

###### d. 積雪荷重( $S_L$ )

積雪深は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」に示す組み合わせる積雪深さを踏まえて、降下火砕物堆積時の積雪荷重は青森県建築基準法施行細則（昭和36年2月9日青森県規則第20号）による六ヶ所村の垂直積雪量 $150\text{cm}$ に設定し、積雪量 $1\text{cm}$ ごとに $30\text{N}/\text{m}^2$ が作用することを考慮する。

###### e. 風荷重( $W_L$ )

風荷重は、「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 荷重の組合せ及び許容限界」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令第87条及び平成12年建設省告示第1454号に従い、地表面粗度区分Ⅱとし、

地方の区分に応じて定められた風速34m/s及び施設の形状に基づき算定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物の堆積による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物の堆積による荷重，積雪荷重及び風荷重については，それらの組合せを考慮し，自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 降下火砕物の影響を考慮する施設の荷重の組合せ

降下火砕物の影響を考慮する施設の荷重の組合せについては，自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

なお，常時作用する荷重，運転時荷重，積雪荷重及び風荷重については，組み合わせることで降下火砕物の堆積による荷重の抗力となる場合には，評価結果が厳しい結果を与えるように荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ，評価対象施設の強度評価における荷重の組合せの設定については，施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。評価対象施設ごとの荷重の組合せの考え方を第4.1-1表に示す。

第4.1-1表 降下火砕物の影響を考慮する施設の荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価項目	荷重の種類				
			常時作用する荷重	降下火砕物による荷重	積雪荷重	風荷重	運転時の状態で作用する荷重等
（飛来物防護対策設備） 竜巻防護対策ネット	・飛来物防護ネット （再処理本体用 安全冷却水系冷却塔B）	構造強度	○	○	○	○	—
冷却塔	・安全冷却水B冷却塔	構造強度					

○：考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火砕物の堆積による荷重, 積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式を以下に示す。

鉛直荷重については、「VI-1-1-1-4-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書」にて共通で使用するための算出式を用いた荷重の算出も行う。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を第4.1-2表に示す。

第4.1-2表 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$C$	—	風力係数
$E'$	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
$f_s$	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$H$	$m$	全高
$H_v$	$cm$	降下火砕物の層厚
$H_s$	$cm$	組合せ荷重として考慮する積雪深
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$S_L$	$N/m^2$	単位面積当たりの積雪荷重
$V_D$	$m/s$	基準風速
$V_L$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物の堆積による荷重
$W_L$	$N$	風荷重
$W_v$	$N/(m^2 \cdot cm)$	湿潤状態の降下火砕物による単位荷重
$Z_b$	$m$	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
$Z_G$	$m$	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
$\rho$	$kg/m^3$	降下火砕物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。

湿潤状態の降下火砕物の堆積による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_v = \rho \cdot g$$

$$V_L = W_v \cdot H_v$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$S_L = f_s \cdot H_s$$

第4.1-3表に入力条件を示す。

第4.1-3表 入力条件

$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$H_v$ (cm)	$f_s$ (N/(m <sup>2</sup> ・cm))	$H_s$ (cm)
1300	9.80665	55	30	150

上記式より $W_v$ は128N/(m<sup>2</sup>・cm)と算出されるが、保守的に $W_v=130N/(m^2 \cdot cm)$ とする。

よって、 $V_L=7150N/m^2$ 、 $S_L=4500N/m^2$ である。

降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重（以下「降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重」という。）は、次式のとおり算出する。

$$F_{v'} = (V_L + S_L)$$

以上より、 $F_{v'} = 11,650 \text{ N/m}^2$  とする。

c. 水平荷重

水平荷重については、風を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき34m/sに設定し、風荷重については施設の形状により異なるため施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第87条に基づき、以下のとおりである。

$$W_L = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \text{ (Hが} Z_b \text{を超える場合)}$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \text{ (Hが} Z_b \text{以下の場合)}$$

4.2 許容限界

許容限界は、「VI-1-1-1-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、施設分類ごとの評価対象部位の許容限界を第4.2-1表に示す。

施設分類ごとの許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ、評価項目を選定し定める。

(1) 建物・構築物

a. 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)

飛来物防護ネットの構造強度評価においては、設計荷重(火山)に対し、飛来物防護ネットを構成する支持架構部材が、終局状態に至らないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、終局耐力に十分な裕度を考慮した「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)」の短期許容応力を許容限界として設定する。

また、座屈拘束ブレースは、座屈拘束ブレースの破断が生じない設計とすることから、日本建築センターの評定書(BCJ評定-ST0126-06)の許容ひずみを許容限界とする。

(2) 機器・配管系

a. 冷却塔

冷却塔の構造強度評価においては、設計荷重(火山)に対し、冷却機能の維持に必要な機器を支持する支持架構を構成する部材、基礎ボルト及びルーバが、おおむね弾性状態に留まることを解析及び評価式により確認する評価方針としていることを踏まえ、JEAG4601に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

第4.2-1表 施設分類ごとの許容限界

施設分類	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
竜巻防護対策設備 (飛来物防護 ネット)	$F_d + V_L + W_L + S_L$	支持架構	引張 圧縮 曲げ せん断 組合せ	終局耐力	S 規準*2の 短期許容応 力
冷却塔	$F_d + V_L + W_L + S_L$	支持架構	引張 圧縮 せん断 曲げ 組合せ	部材の降伏	JEAG4601 に準じて許 容応力状態 Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容 応力以下と する*1
		基礎ボルト	引張 せん断		
ルーバ	$F_d + V_L + S_L$	ルーバ ブレード	曲げ		
		ブレード シャフト	せん断		

$F_d$ : 常時作用する荷重  $V_L$ : 降下火砕物の堆積による鉛直荷重  $W_L$ : 風荷重  
 $S_L$ : 積雪荷重

注記 \*1: 第4.2-2表 JEAG4601「クラス2, 3支持構造物」の許容限界を準用する。

\*2: 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)」(以下, S規  
準という。)

第4.2-2表 JEAG4601「クラス2, 3支持構造物」の許容限界

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	※1	$1.5 f_{s.o}$

※1 引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容限界は,  
 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5 f_{t.o} - 1.6 \tau_b, 1.5 f_{t.o})$  とする。

#### 5. 強度評価方法

評価手法は, 以下に示す解析法により, 適用性に留意の上, 規格, 基準類及び既文献に  
おいて適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- FEM等を用いた解析法
- 定式化された評価式を用いた解析法



風荷重による影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとしており、これはJEA G4601耐震評価における1質点モデルと等価なものであり、地震荷重を風荷重と置き換えJ EAG4601に基づき評価を行う。

風荷重を考慮した、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、評価対象施設分類ごとの強度評価方法を以下に示す。

## 5.1 建物・構築物

### 5.1.1 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)

#### (1) 評価条件

竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 支持架構は、F E M解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定し評価を行う。評価モデルを第5.1.1-1図に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)の強度評価に用いる記号を第5.1.1-1表に示す。

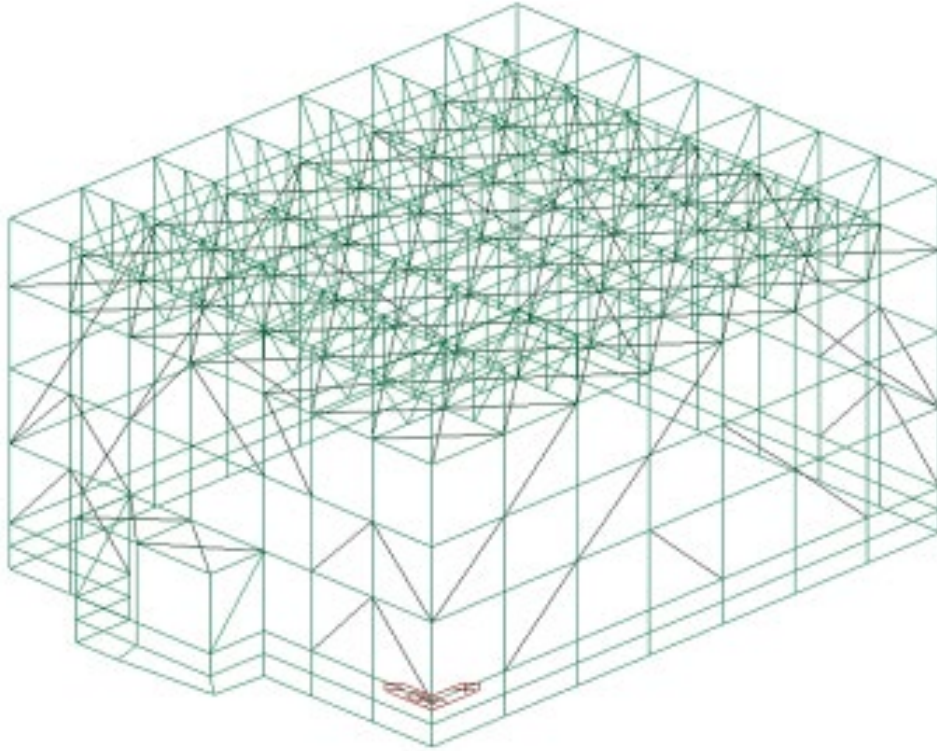
第5.1.1-1表 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	受風面積
$C$	—	風力係数
$E'$	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
$f_{bx}$	MPa	X軸廻り曲げに対する短期許容応力
$f_{by}$	MPa	Y軸廻り曲げに対する短期許容応力
$f_c$	MPa	圧縮に対する短期許容応力
$f_s$	MPa	せん断に対する短期許容応力
$f_t$	MPa	引張に対する短期許容応力
$G$	—	ガスト影響係数
$H$	m	建築物の高さと軒の高さとの平均
$Q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	m/s	基準風速
$W_L$	N	風荷重
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$\sigma_{bx}$	MPa	部材のX軸廻り曲げ応力
$\sigma_{by}$	MPa	部材のY軸廻り曲げ応力

第5.1.1-1表 竜巻防護対策設備(飛来物防護ネット)の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$\sigma_c$	MPa	部材の圧縮軸応力
$\sigma_t$	MPa	部材の引張軸応力
$\tau_{sx}$	MPa	部材のX軸方向のせん断応力
$\tau_{sy}$	MPa	部材のY軸方向のせん断応力
$V_L$	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの降下火砕物の堆積による鉛直荷重
$S_L$	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの積雪による鉛直荷重
$A_2$	m <sup>2</sup>	降下火砕物の堆積及び積雪する面積
$F_{V0}$	N	降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
$L_c$	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの除灰時の人員荷重
$F_t$	N	部材に作用する引張荷重
$F_c$	N	部材に作用する圧縮荷重
$M_x$	N・mm	部材に作用するX軸廻りの曲げモーメント
$M_y$	N・mm	部材に作用するY軸廻りの曲げモーメント
$Q_x$	N	部材に作用するX軸方向のせん断荷重
$Q_y$	N	部材に作用するY軸方向のせん断荷重
$A$	mm <sup>2</sup>	引張荷重, 圧縮荷重に対する部材の断面積
$Z_x$	mm <sup>3</sup>	部材のX軸廻りの断面係数
$Z_y$	mm <sup>3</sup>	部材のY軸廻りの断面係数
$A_{SX}$	mm <sup>2</sup>	部材のX軸方向のせん断力に対する断面積
$A_{SY}$	mm <sup>2</sup>	部材のY軸方向のせん断力に対する断面積

b. 評価モデル



第5.1.1-1図 FEM解析に用いるモデル図

c. 応力計算

(a) 支持架構に生じる応力

イ. 引張応力

引張力が生じる部材は、下式にて算出される引張応力が、許容限界である  $f_t$  を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A}$$

ロ. 圧縮応力

圧縮力が生じる部材は、下式にて算出される圧縮応力が、許容限界である  $f_c$  を超えないことを確認する。

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

ハ. 曲げ応力

曲げモーメントが生じる部材は、下式にて算出される曲げ応力が、許容限界である  $f_{bx}$ ,  $f_{by}$  を超えないことを確認する。

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} \quad \sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}$$

ニ. せん断応力

せん断力が生じる部材は、下式にて算出されるせん断応力の大きい方の値

が、許容限界である $f_s$ を超えないことを確認する。

$$\tau_{sx} = \frac{Q_x}{A_{sx}} \quad \tau_{sy} = \frac{Q_y}{A_{sy}}$$

ホ. 組合せ応力

支持架構に生じる組合せ応力のうち、軸力（引張力又は圧縮力）及び曲げモーメントが生じる部材は、座屈を考慮し、部材に生じる軸応力（引張応力又は圧縮応力）及び曲げ応力の組合せ応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_{bx}}{f_{bx}} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} \leq 1.0$$

又は

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{bx}}{f_{bx}} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} \leq 1.0$$

## 5.2 機器・配管系

### 5.2.1 冷却塔

#### (1) 評価条件

冷却塔の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 支持架構及び基礎ボルトは、FEM解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定し評価を行う。評価モデルを第5.2.1-1図に示す。
- b. ルーバは定式化された評価式を用いて評価を行う。評価モデルを第5.2.1-2図に示す。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

冷却塔の強度評価に用いる記号を第5.2.1-1表に示す。

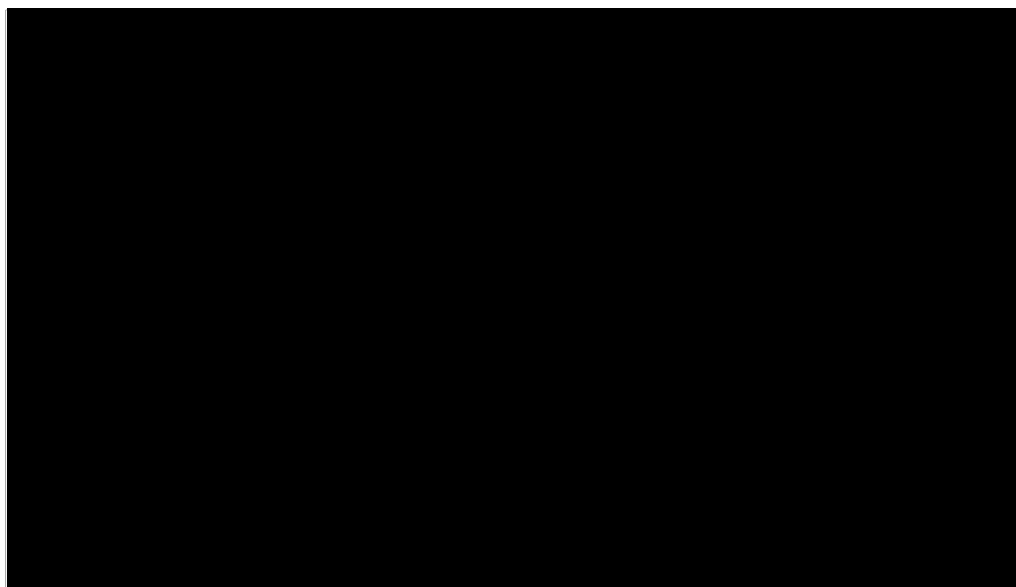
第5.2.1-1表 冷却塔の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$F_a$	N	はり要素に作用する引張, 圧縮荷重
$F_y, F_z$	N	はり要素に作用するせん断荷重
$F_{bt}$	N	基礎ボルトの引張力
$F_{bs}$	N	基礎ボルトのせん断力
$M_y, M_z$	N・mm	はり要素に作用する曲げモーメント
$M_x$	N・mm	はり要素に作用するねじりモーメント
$A$	mm <sup>2</sup>	部材の断面積
$A_b$	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
$A_y, A_z$	mm <sup>2</sup>	部材の有効せん断断面積
$Z, Z_y, Z_z$	mm <sup>3</sup>	部材の断面係数
$Z_p$	mm <sup>3</sup>	部材のねじり断面係数
$F$	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される値
$f_t$	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
$f_s$	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
$f_c$	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容圧縮応力
$f_b$	MPa	JSME SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容曲げ応力
$f_{to}$	MPa	ボルトの許容引張応力
$f_{so}$	MPa	ボルトの許容せん断応力
$\sigma_t$	MPa	支持架構に生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	支持架構に生じる圧縮応力
$\sigma_b$	MPa	支持架構に生じる曲げ応力
$\tau$	MPa	支持架構に生じるせん断応力
$\sigma_{ao}$	MPa	基礎ボルトの引張応力
$\tau_b$	MPa	基礎ボルトのせん断応力
$W_L$	N	風荷重
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$G$	—	ガスト影響係数

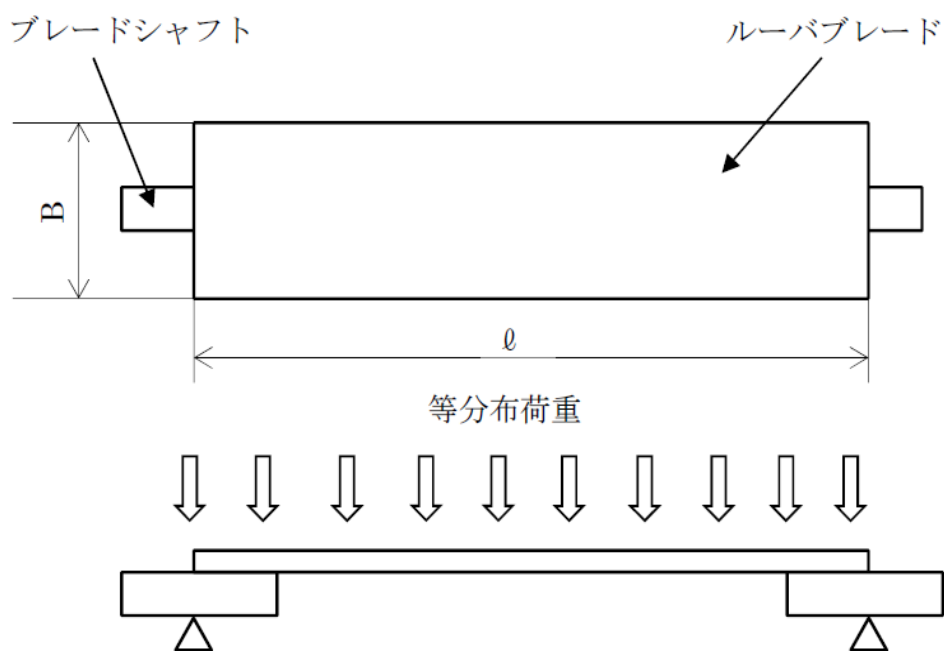
第5.2.1-1表 冷却塔の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
C	—	風力係数（「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。）
$A_1$	$m^2$	風の受圧面積
$V_D$	m/s	基準風速
H	m	建築物の高さと軒の高さとの平均
$E'$	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$V_L$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物の堆積による荷重
$L_c$	$N/m^2$	単位面積当たりの除灰時の人員荷重
$S_L$	$N/m^2$	単位面積当たりの積雪荷重
$A_2$	$m^2$	支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪する面積
B	m	ルーバブレードの幅
$F_{V0}$	N	支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
$F_{V1}$	N/mm	ルーバブレードの単位長さ当たりの降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
$\sigma_{b1}$	MPa	ルーバブレードに生じる曲げ応力
$F_1$	N/mm	ルーバブレードの単位長さ当たりの自重
$\tau_1$	MPa	ブレードシャフトに生じるせん断応力
E	MPa	支持架構部材の縦弾性係数
$i, i_y, i_z$	mm	断面二次半径
$n_a$	本	柱脚部1ヶ所当たりの基礎ボルトの本数
$\ell$	mm	ルーバブレード長さ

b. 評価モデル



第5.2.1-1図 FEM解析に用いるモデル図



第5.2.1-2図 ルーバ評価モデル図



c. 応力計算

(a) 支持架構に生じる応力

イ. 引張応力

支持架構に生じる引張応力  $\sigma_t$  は次式より算出される。

$$\sigma_t = \frac{F_a}{A}$$

ロ. 圧縮応力

支持架構に生じる圧縮応力  $\sigma_c$  は次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_a}{A}$$

ハ. 曲げ応力

支持架構に生じる曲げ応力  $\sigma_b$  は次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

ニ. せん断応力

支持架構に生じるせん断応力  $\tau$  は次式より算出される。

$$\tau = \frac{F_y}{A_y} + \frac{F_z}{A_z} + \frac{M_x}{Z_p}$$

ホ. 組合せ応力

(イ) 支持架構に生じる組合せ応力のうち、引張+曲げ応力が、許容限界を超えないことを次式より確認する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t} \leq 1.0$$

(ロ) 支持架構に生じる組合せ応力のうち、圧縮+曲げ応力が、許容限界を超えないことを次式より確認する。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b} \leq 1.0$$

(b) 基礎ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{a_o}$  は次式より算出される。

$$\sigma_{a_o} = \frac{F_{bt}}{A_b \cdot n_a}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力  $\tau_b$  は次式より算出される。

$$\tau_b = \frac{F_{bs}}{A_b \cdot n_a}$$

(c) ルーバブレード及びブレードシャフトに生じる応力

イ. 曲げ応力 (ルーバブレード)

ルーバブレードに生じる曲げ応力  $\sigma_{bl}$  は次式より算出される。

$$\sigma_{bl} = \frac{(F_{v1} + F_l \cdot \ell) \cdot \ell}{8 \cdot Z}$$

ロ. せん断応力 (ブレードシャフト)

ブレードシャフトに生じるせん断応力  $\tau_1$  は次式より算出される。

$$\tau_l = \frac{F_{v1} + F_l \cdot \ell}{2 \cdot A}$$

具体的な計算の方法及び結果は、「VI-1-1-1-4-4-2 火山への配慮が必要な施設の強度計算書」に示す。

## 6. 準拠規格

「VI-1-1-1-4-1 火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る準拠規格を示している。

これらのうち、評価対象施設の強度評価に用いる規格、基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令・同告示
- (2) 青森県建築基準法施行細則(昭和36年2月9日青森県規則第20号)
- (3) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)
- (4) 建築物荷重指針・同解説((社)日本建築学会, 2004)
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984  
(社)日本電気協会)
- (7) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- (8) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格JSME S NC1-2005/2007((社)日本機械学会)
- (9) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015)

(参考文献)

- ・ 建築構造設計基準の資料(国土交通省 平成27年版)

なお、次回以降に申請する施設に係る準拠規格については、当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-1-4-4-2

火山への配慮が必要な施設の強度計算書

VI-1-1-1-4-4-2-1  
飛来物防護ネットの強度計算書

## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.2.1 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)の構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 準拠規格	7
3. 構造強度評価方法	8
3.1 評価対象部位の選定	8
3.2 記号の定義	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	20
3.5 評価方法	21
4. 評価条件	24
4.1 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B) の評価条件	24
5. 評価結果	26
5.1 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B) の評価結果	26

## 1. 概要

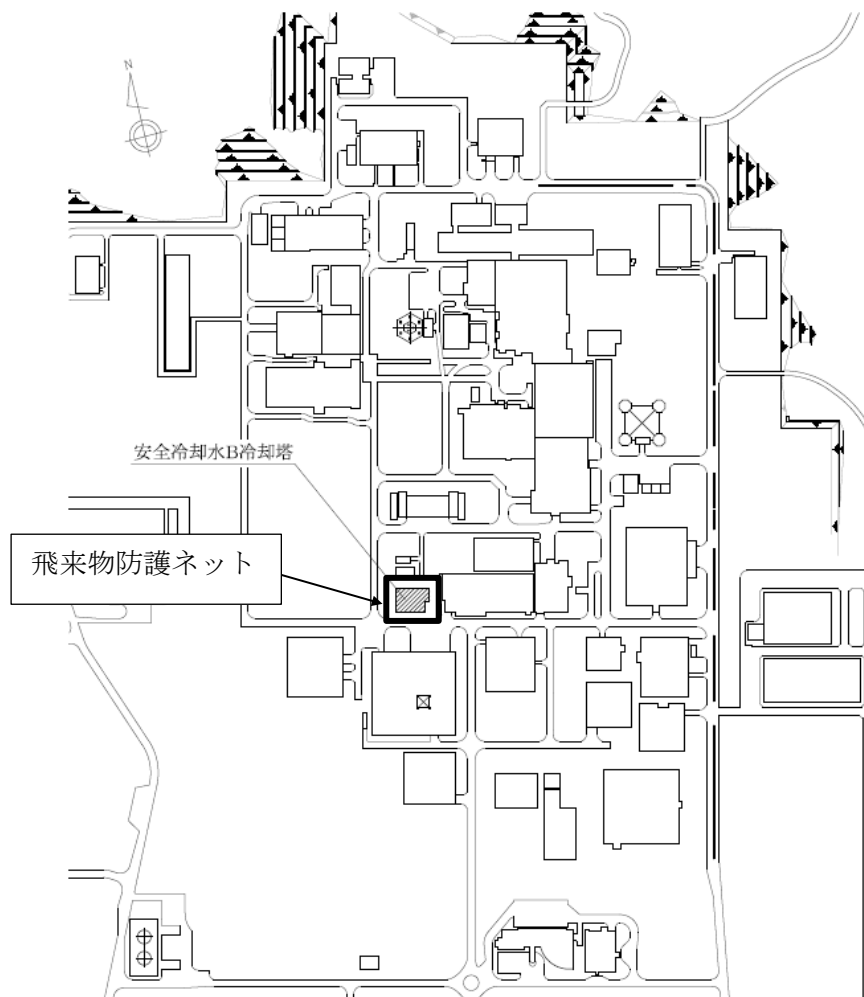
本資料は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、評価対象施設である飛来物防護ネットが、設計荷重（火山）に対して、降下火砕物防護対象施設である冷却塔に対して波及的影響を与えないよう、飛来物防護ネットが倒壊を生じないことを確認するものである。

## 2. 基本方針

飛来物防護ネットは、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計及び評価方針を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 準拠規格」を示す。

### 2.1 位置

飛来物防護ネットの配置図を第2.1-1図に示す。



第2.1-1図 飛来物防護ネットの配置図

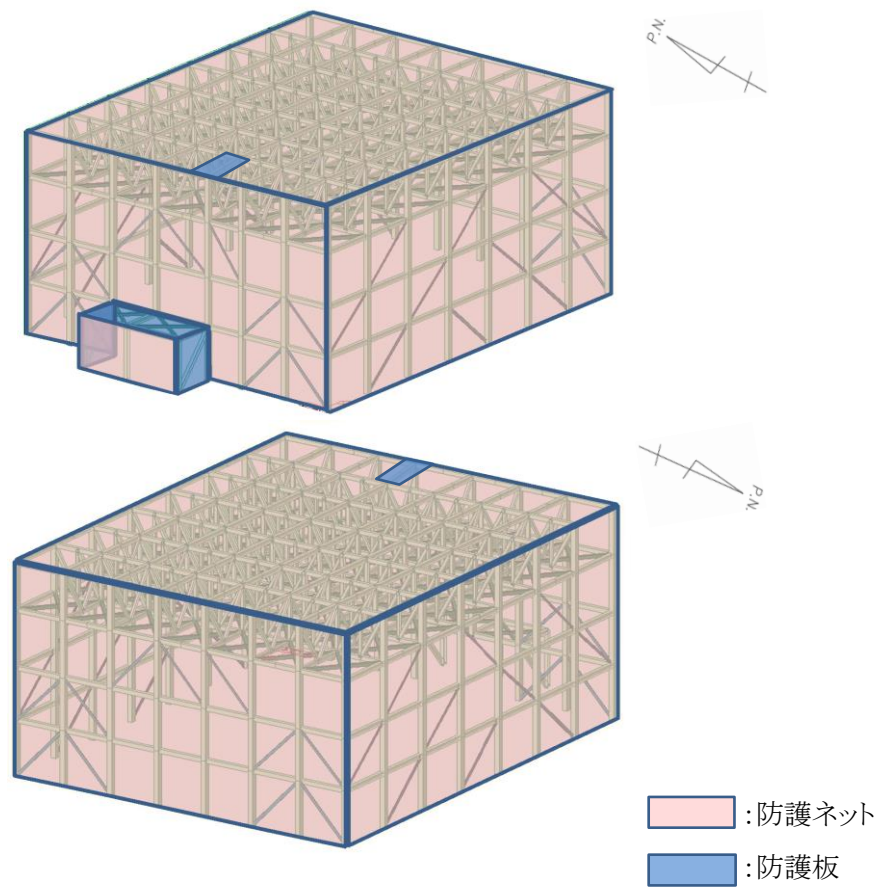
## 2.2 構造概要

飛来物防護ネットは、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計を踏まえて設計する。

### 2.2.1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の構造概要

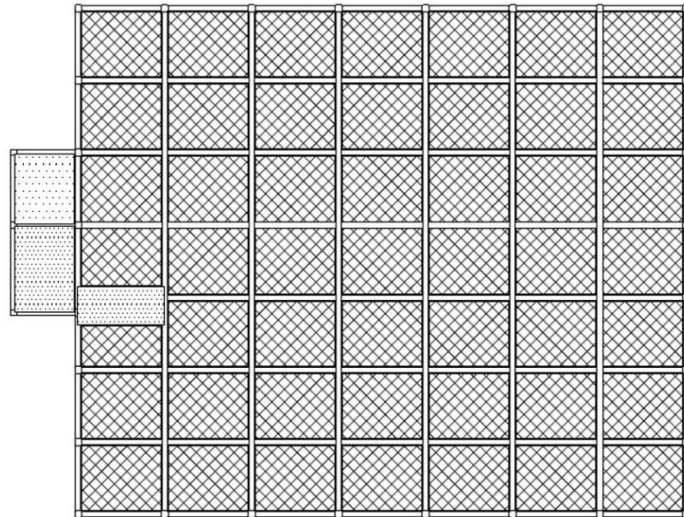
飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）は、竜巻防護対象施設を竜巻による飛来物から防護するための設備であり、防護ネット、防護板とそれらを支える支持架構によって構成される。支持架構は、柱、はり及びブレースによって構成されるラーメン・トラス構造であり、溶接又はボルトにより接合される鉄骨構造物である。また、飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）は杭基礎を介して支持地盤である鷹架層に支持される構造としている。

設計荷重（火山）のうち、降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重を直接受ける据付位置より上部の全景を第 2.2.1-1 図、概要図を第 2.2.1-2 図に示す。

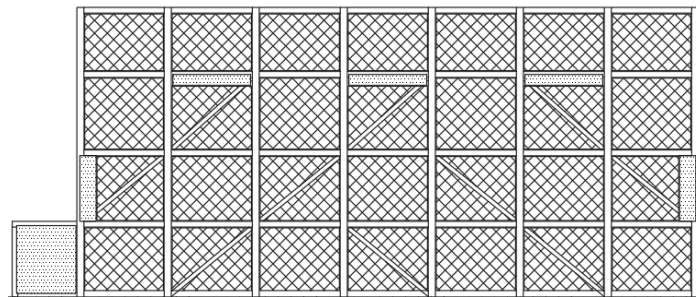


第2.2.1-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の全景

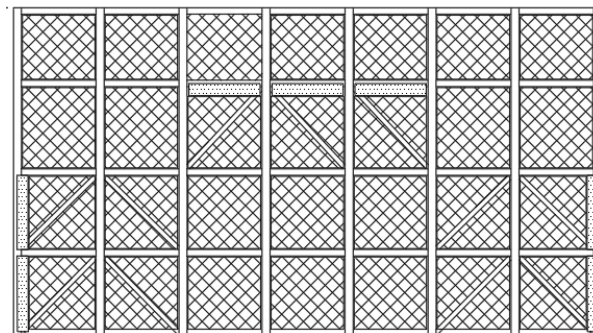






(a) 上面図



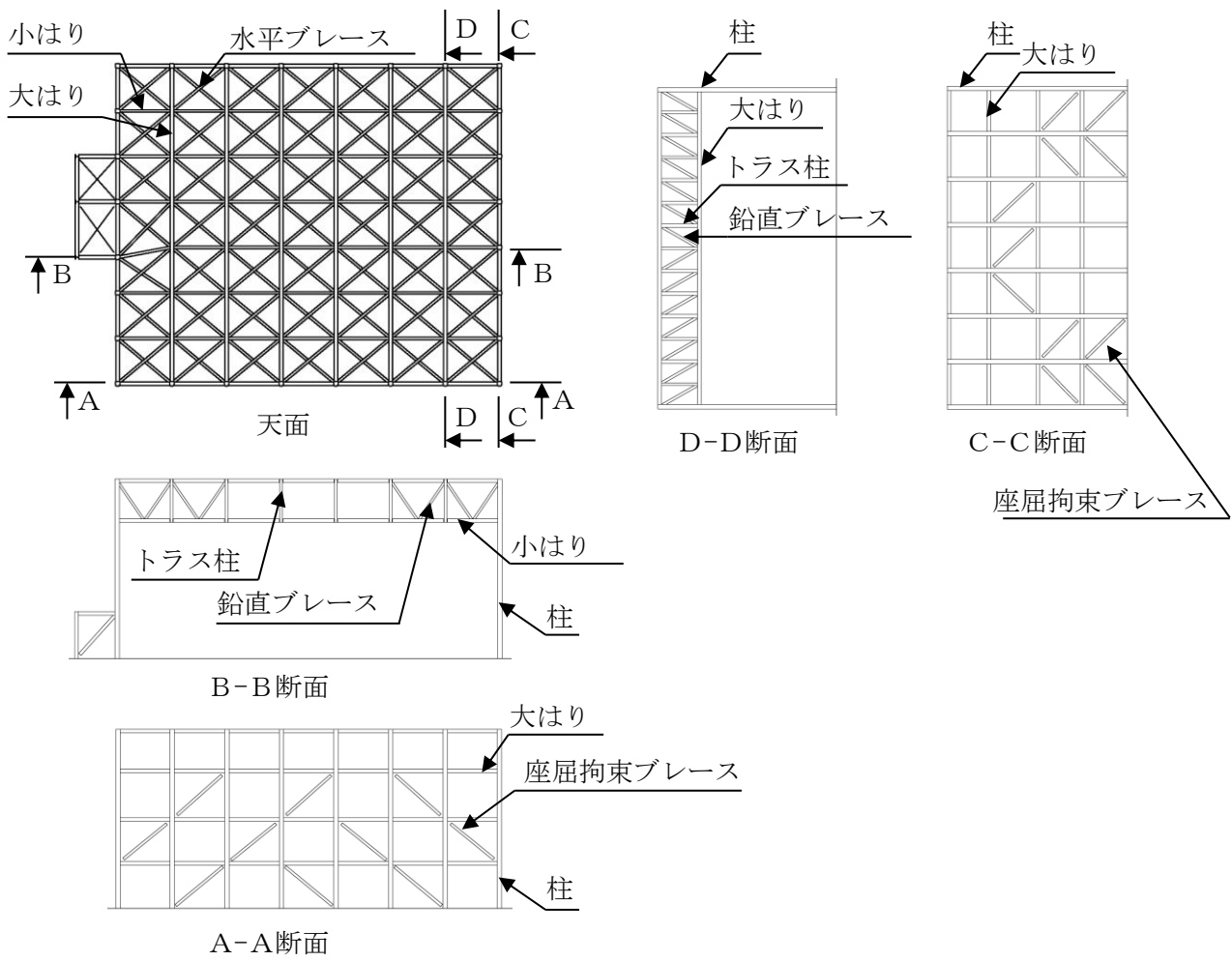
(b) 側面図 (南面)



(c) 側面図 (東面)

 :防護ネット  :防護板

第2.2.1-2図 飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B) の概要図 (1/2)



第2.2.1-2図 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の概要図（2/2）

### 2.3 評価方針

飛来物防護ネットの構造強度評価は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、飛来物防護ネットの評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 構造強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

飛来物防護ネットの構造強度評価フローを第2.3-1図に示す。

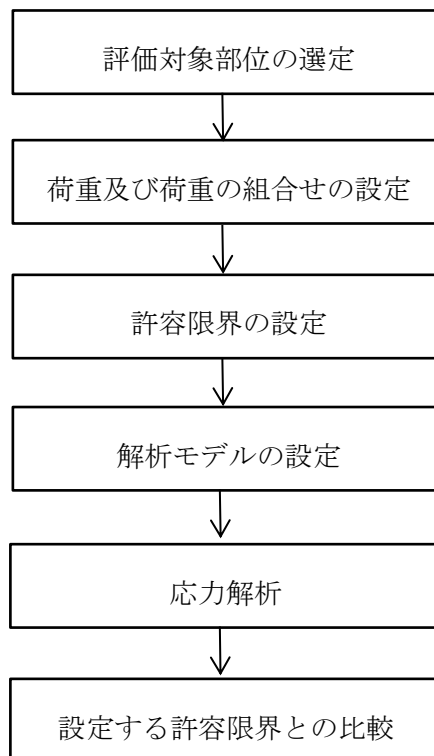
構造強度評価においては、飛来物防護ネットに対して、設計荷重（火山）により作用する応力が許容応力以下であること及び発生するひずみが許容値以下であることを確認する。構造強度評価では、飛来物防護ネットの構造を踏まえ、設計荷重（火山）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物は、積雪と同様に水平部に堆積するものとし、施設の形状を踏まえて堆積面積を設定し、荷重を算出する。

構造強度評価においては、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すとおり、FEM等を用いた解析法を用いて評価対象部位に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。

飛来物防護ネットの許容限界は「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会、2005」の短期許容応力とする。

また、飛来物防護ネットの座屈拘束ブレースの許容限界は、日本建築センターの評定書（BCJ評定—ST0126-06）の許容ひずみとする。



第 2.3-1 図 飛来物防護ネットの構造強度評価フロー

#### 2.4 準拠規格

準拠する規格，基準，指針等を以下に示す。

- 建築基準法・同施行令・同告示
- 青森県建築基準法施行細則（昭和36年2月9日青森県規則第20号）
- 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004）
- 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書  
（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所，2015）
- 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）

（参考文献）

- 建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成27年版）

### 3. 構造強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位の選定

飛来物防護ネットの評価対象部位は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示している構造に基づき、部材の形状や設計荷重（火山）の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。飛来物防護ネットの構造強度評価における評価対象部位を第 3.1-1 表に示す。

##### (1) 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の評価対象部位

支持架構の天面に堆積した設計荷重（火山）は、飛来物防護ネットの支持架構全体に作用する。このことから、支持架構の構造強度評価の評価対象部位は、支持架構を構成する柱、大はり、小はり、トラス柱、鉛直ブレース、水平ブレース及び座屈拘束ブレースを選定する。

防護ネットについては、降下火砕物が堆積し得る平面が少なく、堆積しにくい構造であることから評価対象外とする。防護板及び補助防護板については、鉛直方向に設置しているものは降下火砕物が堆積し得る平面が少なく、堆積しにくい構造であること及び水平方向に設置しているものは設計荷重（火山）が支持架構に直接伝達する構造であることから、支持架構の評価にて考慮しているため、評価対象外とする。

第 3.1-1 表 飛来物防護ネットの評価対象部位

名称	評価対象	評価対象部位
飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)	支持架構	柱、大はり、小はり、 トラス柱、鉛直ブレース、 水平ブレース、座屈拘束ブ レース

### 3.2 記号の定義

飛来物防護ネットの構造強度評価に用いる記号を第3.2-1表に示す。

第3.2-1表 構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	受風面積
$C$	—	風力係数
$E'$	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
$f_{b_x}$	MPa	X軸廻り曲げに対する短期許容応力
$f_{b_y}$	MPa	Y軸廻り曲げに対する短期許容応力
$f_c$	MPa	圧縮に対する短期許容応力
$f_s$	MPa	せん断に対する短期許容応力
$f_t$	MPa	引張に対する短期許容応力
$G$	—	ガスト影響係数
$H$	m	建築物の高さと軒の高さとの平均
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	m/s	基準風速
$W_L$	N	風荷重
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値
$\sigma_{b_x}$	MPa	部材のX軸廻り曲げ応力
$\sigma_{b_y}$	MPa	部材のY軸廻り曲げ応力

第3.2-1表 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$\sigma_c$	MPa	部材の圧縮軸応力
$\sigma_t$	MPa	部材の引張軸応力
$\tau_{sx}$	MPa	部材のX軸方向のせん断応力
$\tau_{sy}$	MPa	部材のY軸方向のせん断応力
$V_L$	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの降下火砕物の堆積による鉛直荷重
$S_L$	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの積雪による鉛直荷重
$A_2$	m <sup>2</sup>	降下火砕物の堆積及び積雪する面積
$F_{V0}$	N	降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
$L_c$	N/m <sup>2</sup>	単位面積当たりの除灰時の人員荷重
$F_t$	N	部材に作用する引張荷重
$F_c$	N	部材に作用する圧縮荷重
$M_x$	N・mm	部材に作用するX軸廻りの曲げモーメント
$M_y$	N・mm	部材に作用するY軸廻りの曲げモーメント
$Q_x$	N	部材に作用するX軸方向のせん断荷重
$Q_y$	N	部材に作用するY軸方向のせん断荷重
$A$	mm <sup>2</sup>	引張荷重, 圧縮荷重に対する部材の断面積
$Z_x$	mm <sup>3</sup>	部材のX軸廻りの断面係数
$Z_y$	mm <sup>3</sup>	部材のY軸廻りの断面係数
$A_{sx}$	mm <sup>2</sup>	部材のX軸方向のせん断力に対する断面積
$A_{sy}$	mm <sup>2</sup>	部材のY軸方向のせん断力に対する断面積

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

飛来物防護ネットの構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重は、支持架構，防護ネット，防護板等の自重を考慮する。

また，降下火砕物が堆積し，除灰運用が必要な部材については，除灰時の人員荷重として，「建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成27 年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における980 N/m<sup>2</sup>を包絡するように1,000 N/m<sup>2</sup> を荷重として考慮する。

##### b. 降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重

単位面積当たりの降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重は「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 (3) b. 鉛直荷重」に基づき設定する。

降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重は，以下の式を用いて算出する。

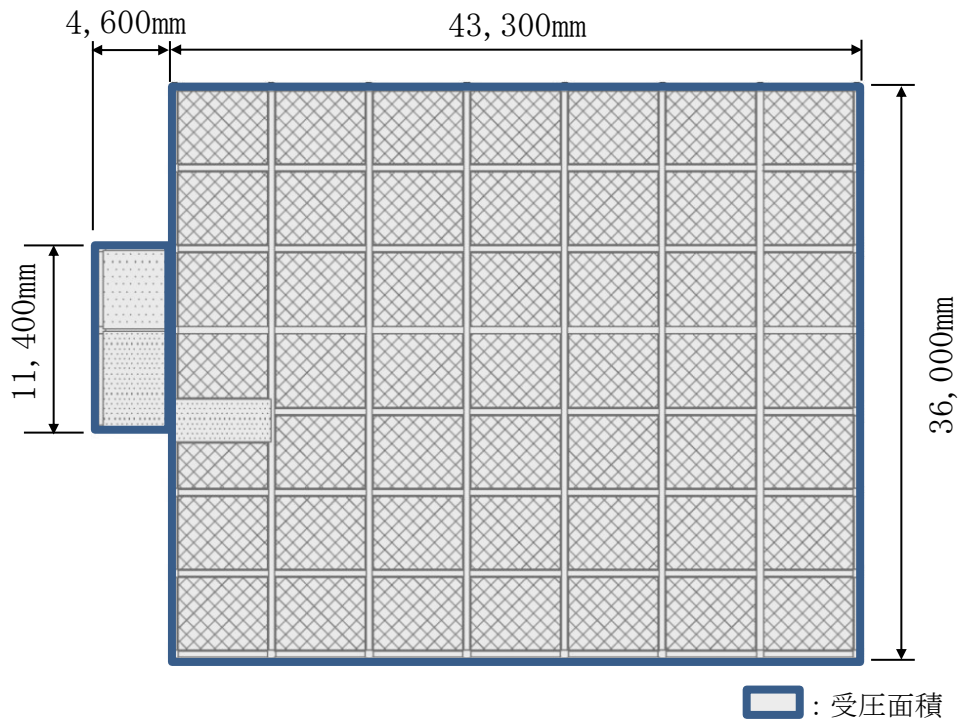
$$F_{v0} = (V_L + S_L) \cdot A_2$$

支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧部寸法を第 3.3-1 図に示す。

支持架構の受圧面積の設定については，堆積することが想定される飛来物防護ネットの投影面を降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重が作用する範囲とし設定する。

なお，防護ネットについても堆積する受圧面積として考慮する。





注記 \* : 寸法は部材中心間の距離を示しており，寸法に図示されていない外周に配置されている部材の幅分（約200mm）の面積を別途考慮する。

第3.3-1図 降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧部寸法  
（飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)）

c. 風（台風）による水平荷重

風（台風）による水平荷重は、基準風速 34m/s に基づき設定する。

風（台風）による水平荷重は「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 (3) c. 水平荷重」に示す式に従い、飛来物防護ネットの構造を考慮して算出する。

$$W_L = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_b^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

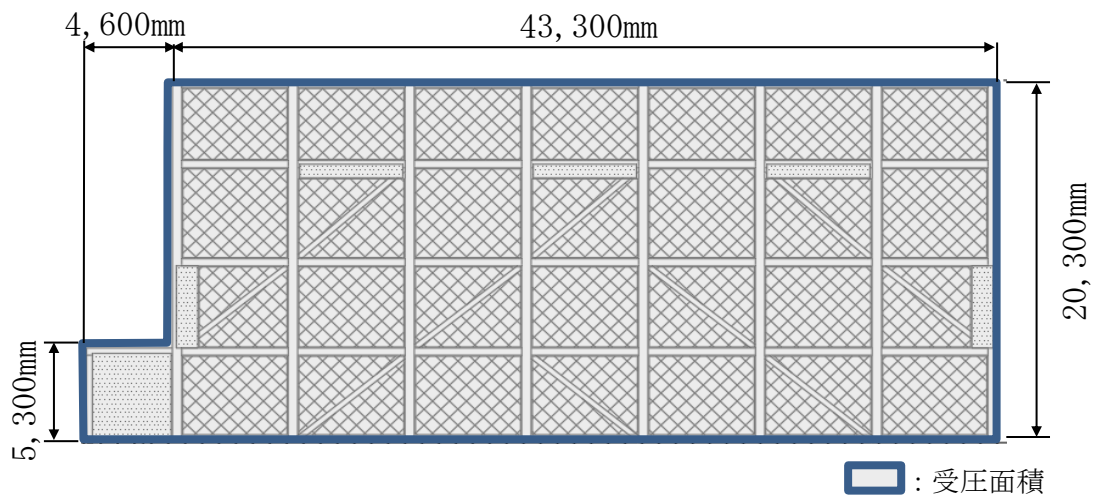
$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

支持架構の風（台風）による水平荷重の受圧部寸法を第 3.3-2 図に示す。

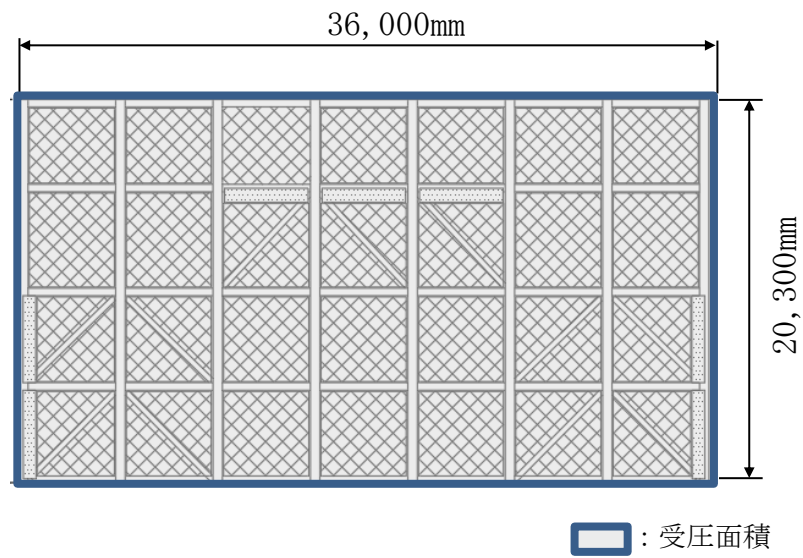
支持架構の受圧面積の設定については、飛来物防護ネットの全ての部材に風（台風）による水平荷重が作用することから、飛来物防護ネットの全ての部材を受圧面積として設定する。なお、防護ネット（補助防護板含む）、防護板、支持架構部材の交差部では受圧面積を重複させている。

風力係数については、飛来物防護ネットの構造を踏まえ、防護ネット（補助防護板含む）及び防護板は「建設省告示 1454 号」、支持架構は「建築物荷重指針・同解説（2004）」に基づき設定する。

ガスト影響係数 (G) は、「建設省告示 1454 号」において高さが 10m 以下の場合 2.2、40m 以上の場合 2.0、10m を超え 40m 未満の場合は直線的に補間した数値とするとされていることから、高さ 20.3m に相当する 2.13 とする。



(NS方向)

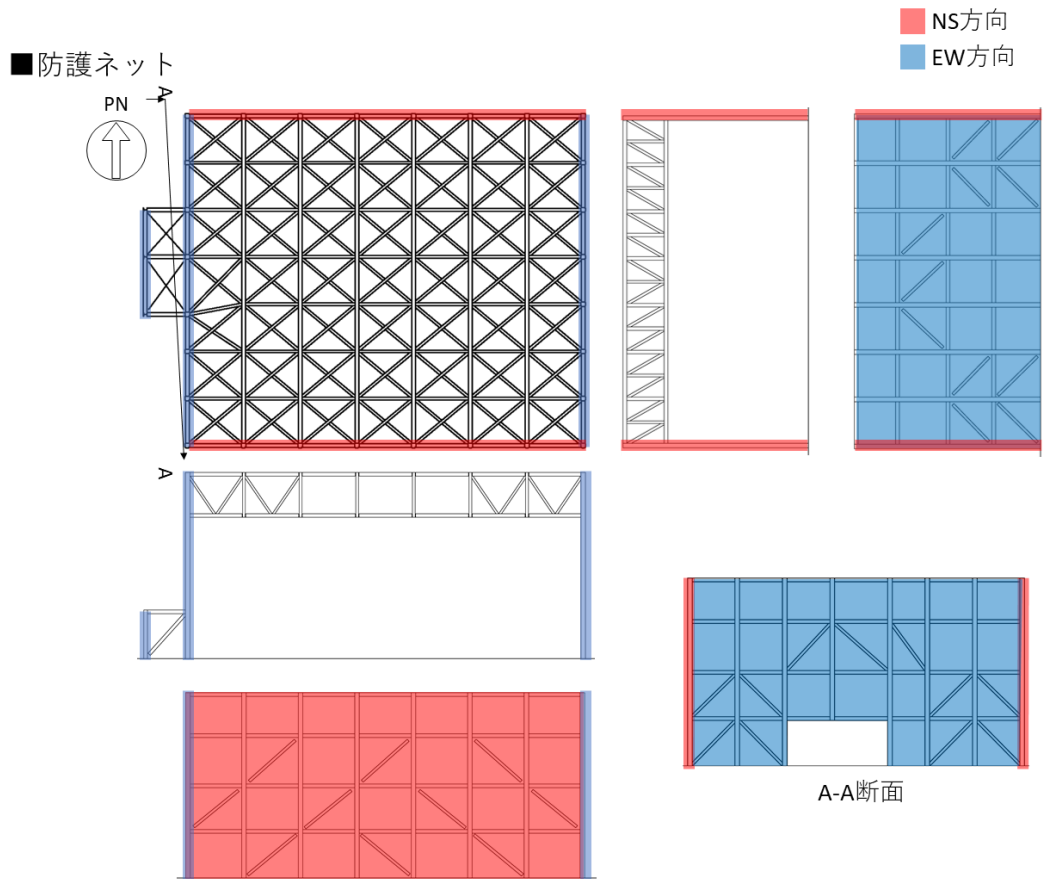


(EW方向)

注記 \* : 寸法は部材中心間の距離を示す。

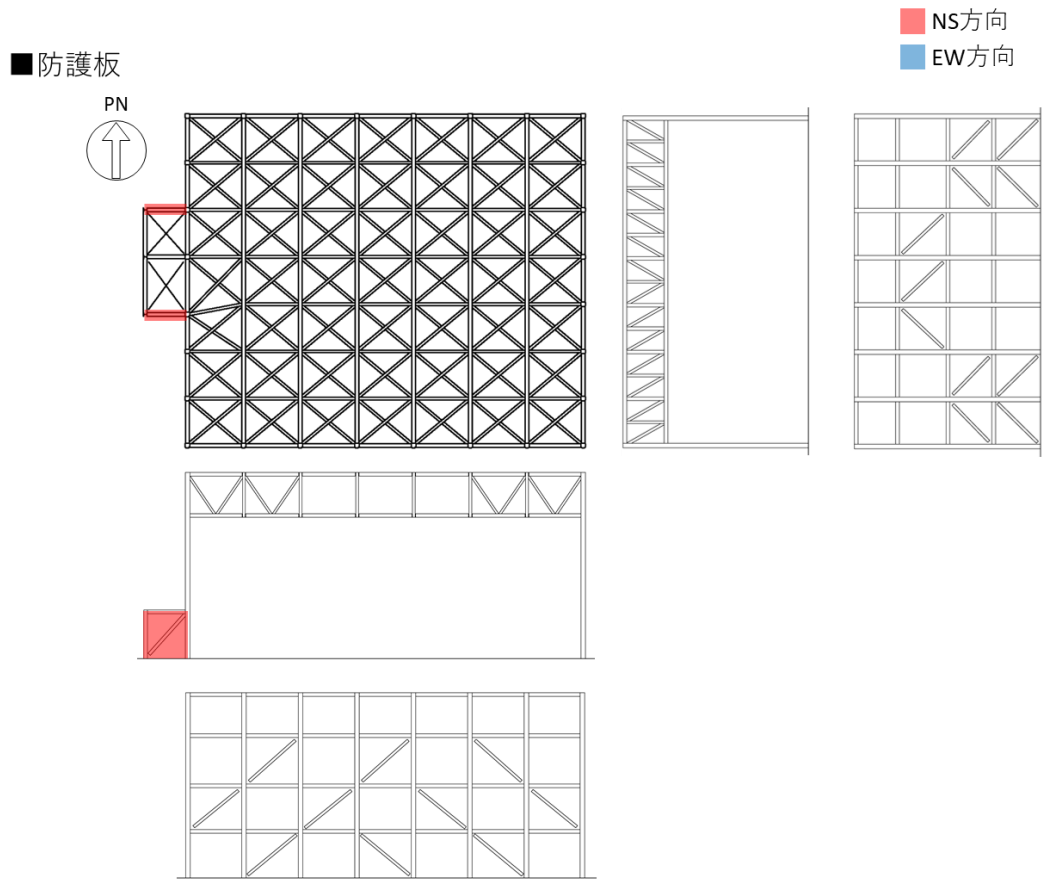
(a) 全体図

第3.3-2図 風(台風)による水平荷重の受圧部寸法(1/5)  
(飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))



(b) 防護ネット

第3.3-2図 風（台風）による水平荷重の受圧部寸法(2/5)  
 (飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))

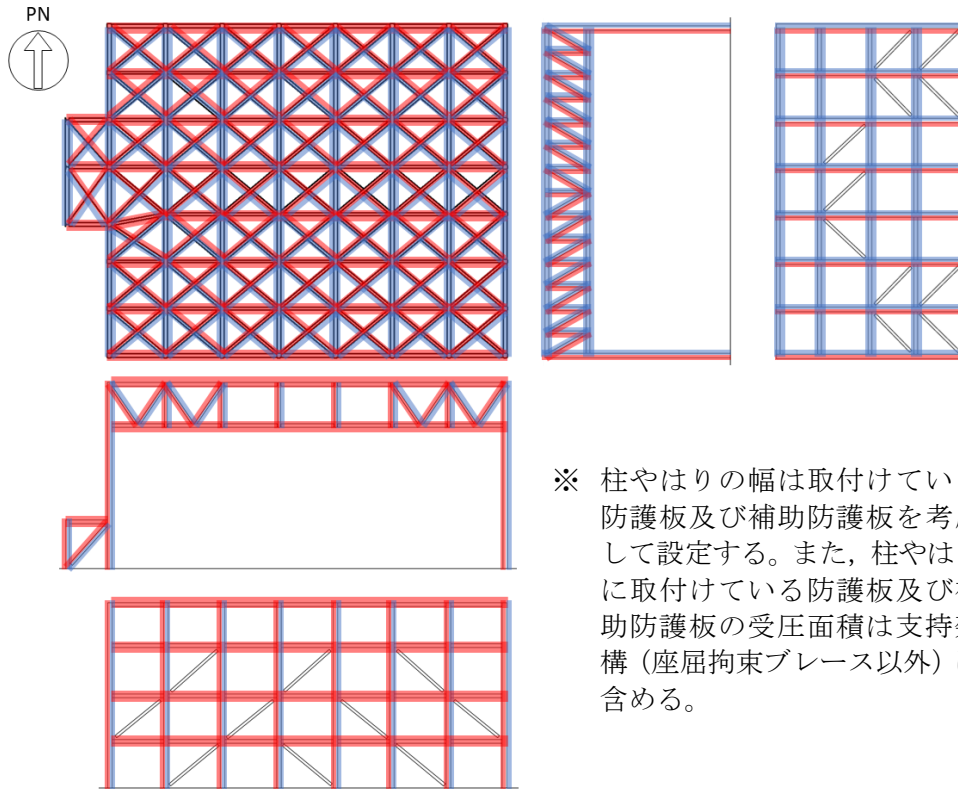


(c) 防護板

第3.3-2図 風（台風）による水平荷重の受圧部寸法(3/5)  
 (飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))

■支持架構（座屈拘束ブレース以外）

■ NS方向  
■ EW方向

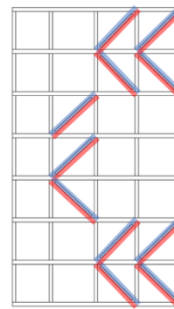
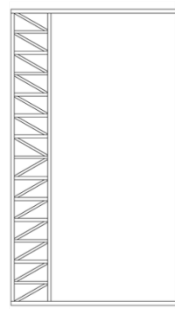
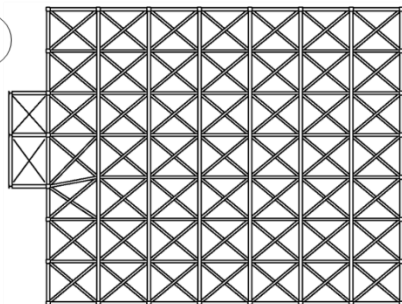


※ 柱やはりの幅は取付けている防護板及び補助防護板を考慮して設定する。また、柱やはりに取付けている防護板及び補助防護板の受圧面積は支持架構（座屈拘束ブレース以外）に含める。

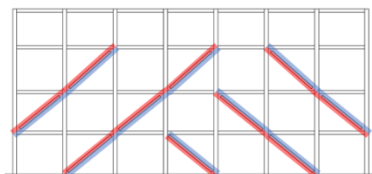
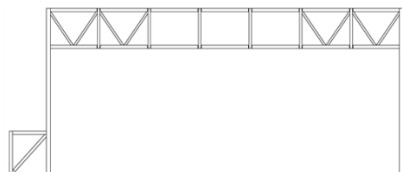
(d) 支持架構(座屈拘束ブレース以外)

第3.3-2図 風（台風）による水平荷重の受圧部寸法(4/5)  
(飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))

■ 支持架構（座屈拘束ブレース）



■ NS方向  
■ EW方向



(e) 支持架構(座屈拘束ブレース)

第3.3-2図 風(台風)による水平荷重の受圧部寸法(5/5)  
(飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B))

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、飛来物防護ネットの評価対象部位ごとに設定する。飛来物防護ネットの構造強度評価にて考慮する荷重の組合せを第3.3-1表に示す。

第3.3-1表 荷重の組合せ

名称	評価対象	評価対象部位	考慮する荷重
飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系 冷却塔 B)	支持架構	柱, 大はり, 小はり, トラス柱, 鉛直ブレース, 水平ブレース, 座屈拘束ブ レース	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 常時作用する荷重</li><li>・ 降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重</li><li>・ 風 (台風) による水平荷重</li></ul>



### 3.4 許容限界

飛来物防護ネットの許容限界は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.1評価対象部位の選定」にて選定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、座屈拘束ブレース以外の鋼材には「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005」の短期許容応力を用いる。座屈拘束ブレースについては、日本建築センターの評定書（BCJ評定—ST0126-06）の許容ひずみを用いる。

飛来物防護ネットに使用している鋼材（座屈拘束ブレース以外）の許容限界を第3.4-1表に示す。座屈拘束ブレースの許容限界を第3.4-2表に示す。

第3.4-1表 鋼材（座屈拘束ブレース以外）の許容限界

種類	基準強度 (MPa)	短期許容応力			
		引張	曲げ	圧縮	せん断
SN490B	325	325	—*1	—*1	187
BCP325	325	325	—*1	—*1	187
G385	325*2	325	—*1	—*1	187

注記 \*1：部材長さに応じて算出

注記 \*2：G385の基準強度は385MPaであるが、保守的に325MPaとして評価を行う。

第3.4-2表 座屈拘束ブレースの許容限界

評価項目	許容限界
軸ひずみ評価	3.0%

### 3.5 評価方法

飛来物防護ネットのうち支持架構の応力評価は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているFEMを用いた解析法により行う。

#### (1) 支持架構の評価方法

##### a. 計算モデル

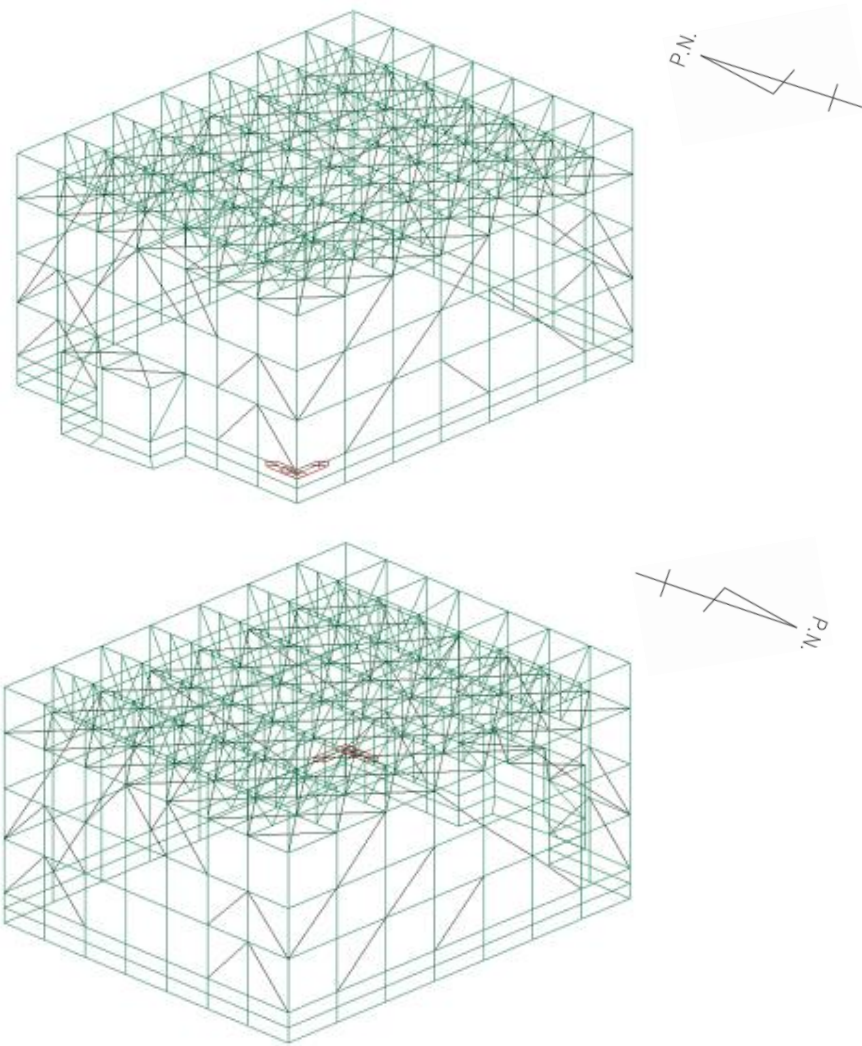
##### (a) 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）

飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の計算モデルを第3.5-1図に、計算モデルの諸元を第3.5-1表に示す。

支持架構の構成部材に発生する荷重及び発生モーメントは、FEM解析を用いて算定する。

降下火砕物の堆積及び積雪の堆積による鉛直荷重については、飛来物防護ネットの水平投影面に対して算出し、保守的な評価とするため、重心位置が高くなるよう、解析モデルの天面に負荷する。

FEM解析に用いる解析コードは「midas iGen (ver.845)」の検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-1-1-1-4-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



第3.5-1図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の  
計算モデル

第3.5-1表 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の  
計算モデル諸元

評価モデル	節点数	要素数
飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)	438	1,065

(2) 計算方法

座屈拘束ブレース以外の支持架構の部材に生じる応力を下式より算出する。なお、座屈拘束ブレースは、解析結果によるひずみ評価のため評価式を用いた評価は行わない。

a. 引張応力

引張力が生じる部材は、下式にて算出される引張応力が、許容限界である $f_t$ を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A}$$

b. 圧縮応力

圧縮力が生じる部材は、下式にて算出される圧縮応力が、許容限界である $f_c$ を超えないことを確認する。

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

c. 曲げ応力

曲げモーメントが生じる部材は、下式にて算出される曲げ応力が、許容限界である $f_{bx}$ ,  $f_{by}$ を超えないことを確認する。

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} \quad \sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}$$

d. せん断応力

せん断力が生じる部材は、下式にて算出されるせん断応力の大きい方の値が、許容限界である $f_s$ を超えないことを確認する。

$$\tau_{sx} = \frac{Q_x}{A_{sx}} \quad \tau_{sy} = \frac{Q_y}{A_{sy}}$$

e. 組合せ応力

支持架構に生じる組合せ応力のうち、軸力（引張力又は圧縮力）及び曲げモーメントが生じる部材は、座屈を考慮し、部材に生じる軸応力（引張応力又は圧縮応力）及び曲げ応力の組合せ応力が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_{bx}}{f_{bx}} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} \leq 1.0 \quad \text{又は} \quad \frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_{bx}}{f_{bx}} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} \leq 1.0$$

4. 評価条件

4.1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の評価条件

「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を第4.1-1表及び第4.1-2表に示す。

第4.1-1表 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (—)	V <sub>D</sub> (m/s)	H (m)	Z <sub>b</sub> (m)	Z <sub>G</sub> (m)	α (—)
1,860	2.13	34	20.3	5	350	0.15

	C* <sup>1</sup> (—)	A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	
		NS 方向	EW 方向
防護ネット	1.4	1,758.0	1,461.6
防護板	1.2	48.8	—* <sup>2</sup>
支持架構（座 屈拘束ブレー ス以外）	2.1	1,503.2	1,397.8
支持架構（座 屈拘束ブレー ス）	1.2	100.0	96.0

注記 \*1：NS方向，EW方向共に同じ値

\*2：EW方向に考慮すべき防護板は無い

V <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )	L <sub>c</sub> (N/m <sup>2</sup> )	S <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )
7,150	1,000	4,500	1,647.08

第 4. 1-2 表 評価条件

部材	断面形状	材料	A (mm <sup>2</sup> )	Zx (mm <sup>3</sup> )	Zy (mm <sup>3</sup> )	Asx (mm <sup>2</sup> )	Asy (mm <sup>2</sup> )
柱	□-500x500x28	BCP325	48, 830	$6.87 \times 10^6$	$6.87 \times 10^6$	20, 160	20, 160
	□-500x500x32	G385	54, 630	$7.47 \times 10^6$	$7.47 \times 10^6$	21, 760	21, 760
	H-400x400x13x21	SN490B	21, 870	$3.33 \times 10^6$	$1.12 \times 10^6$	16, 800	5, 200
大はり	H-400x400x13x21	SN490B	21, 870	$3.33 \times 10^6$	$1.12 \times 10^6$	16, 800	5, 200
	H-414x405x18x28	SN490B	29, 540	$4.48 \times 10^6$	$1.53 \times 10^6$	22, 680	7, 452
	H-428x407x20x35	SN490B	36, 070	$5.57 \times 10^6$	$1.93 \times 10^6$	28, 490	8, 560
	BH-430x430x28x40	SN490B	44, 200	$6.57 \times 10^6$	$2.47 \times 10^6$	34, 400	12, 040
小はり	H-390x300x10x16	SN490B	13, 330	$1.94 \times 10^6$	$4.80 \times 10^5$	9, 600	3, 900
	H-400x400x13x21	SN490B	21, 870	$3.33 \times 10^6$	$1.12 \times 10^6$	16, 800	5, 200
トラス柱	H-300x300x10x15	SN490B	11, 850	$1.35 \times 10^6$	$4.50 \times 10^5$	9, 000	3, 000
	H-390x300x10x16	SN490B	13, 330	$1.94 \times 10^6$	$4.80 \times 10^5$	9, 600	3, 900
	H-400x400x13x21	SN490B	21, 870	$3.33 \times 10^6$	$1.12 \times 10^6$	16, 800	5, 200
鉛直ブレース	H-350x350x12x19	SN490B	17, 190	$2.28 \times 10^6$	$7.76 \times 10^5$	13, 300	4, 200
	H-300x300x10x15	SN490B	11, 850	$1.35 \times 10^6$	$4.50 \times 10^5$	9, 000	3, 000
	H-250x250x9x14	SN490B	9, 143	$8.60 \times 10^5$	$2.92 \times 10^5$	7, 000	2, 250
	H-200x200x8x12	SN490B	6, 353	$4.72 \times 10^5$	$1.60 \times 10^5$	4, 800	1, 600
水平ブレース	H-300x300x10x15	SN490B	11, 850	$4.50 \times 10^5$	$1.35 \times 10^6$	3, 000	9, 000
	H-250x250x9x14	SN490B	9, 143	$2.92 \times 10^5$	$8.60 \times 10^5$	2, 250	7, 000

## 5. 評価結果

### 5.1 飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の評価結果

降下火砕物等の堆積時の構造強度評価結果を第5.1-1表及び第5.1-2表に示す。支持架構に発生する応力は、許容応力以下である。また、座屈拘束ブレースに発生するひずみは許容値以下である。

第5.1-1表 支持架構の構造強度評価結果 (1/2)

評価対象 部位	応力分類		発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3
柱	引張		—	—	—
	圧縮		39.2	181	0.22
	曲げ	X軸廻り	1.1	325	0.01
		Y軸廻り	93.9	325	0.29
	せん断		7.6	187	0.05
	組合せ (引張+曲げ)		—	—	—
	組合せ (圧縮+曲げ)		0.51	1.00	0.51
大はり	引張		—	—	—
	圧縮		105.7	264	0.41
	曲げ	X軸廻り	17.0	325	0.06
		Y軸廻り	8.1	325	0.03
	せん断		1.7	187	0.01
	組合せ (引張+曲げ)		—	—	—
	組合せ (圧縮+曲げ)		0.48	1.00	0.48
小はり	引張		—	—	—
	圧縮		39.5	182	0.22
	曲げ	X軸廻り	87.0	267	0.33
		Y軸廻り	42.9	325	0.14
	せん断		19.1	187	0.11
	組合せ (引張+曲げ)		—	—	—
	組合せ (圧縮+曲げ)		0.68	1.00	0.68
トラス柱	引張		—	—	—
	圧縮		87.0	239	0.37
	曲げ	X軸廻り	67.8	325	0.21
		Y軸廻り	52.9	325	0.17
	せん断		14.8	187	0.08
	組合せ (引張+曲げ)		—	—	—
	組合せ (圧縮+曲げ)		0.74	1.00	0.74

注記 \*1 : 組合せについては応力比を記載

注記 \*2 : 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

注記 \*3 : 応力比=発生応力/許容応力



第5.1-1表 支持架構の構造強度評価結果 (2/2)

評価対象 部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3	
水平ブレ ース	引張	64.2	325	0.20	
	圧縮	—	—	—	
	曲げ	X軸廻り	—	—	—
		Y軸廻り	—	—	—
	せん断	—	—	—	
	組合せ (引張+曲げ)	—	—	—	
	組合せ (圧縮+曲げ)	—	—	—	
鉛直ブレ ース	引張	—	—	—	
	圧縮	95.1	173	0.55	
	曲げ	X軸廻り	34.9	325	0.11
		Y軸廻り	1.4	325	0.01
	せん断	3.7	187	0.02	
	組合せ (引張+曲げ)	—	—	—	
	組合せ (圧縮+曲げ)	0.66	1.00	0.66	

注記 \*1 : 組合せについては応力比を記載

注記 \*2 : 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

注記 \*3 : 応力比=発生応力/許容応力

第5.1-2表 座屈拘束ブレースの構造強度評価結果

評価対象 部位	評価項目	発生ひずみ	許容ひずみ	検定比
座屈拘束 ブレース	軸ひずみ	0.134%	3.0%	0.05

VI-1-1-1-4-4-2-2  
冷却塔の強度計算書

## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.2.1 安全冷却水 B 冷却塔の概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 準拠規格	7
3. 構造強度評価方法	8
3.1 評価対象部位の選定方針	8
3.1.1 評価対象機器の選定	8
3.1.2 評価対象部位の選定	10
3.2 記号の定義	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ	14
3.4 許容限界	18
3.5 評価方法	19
4. 評価条件	24
4.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価条件	24
5. 評価結果	29
5.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価結果	29

## 1. 概要

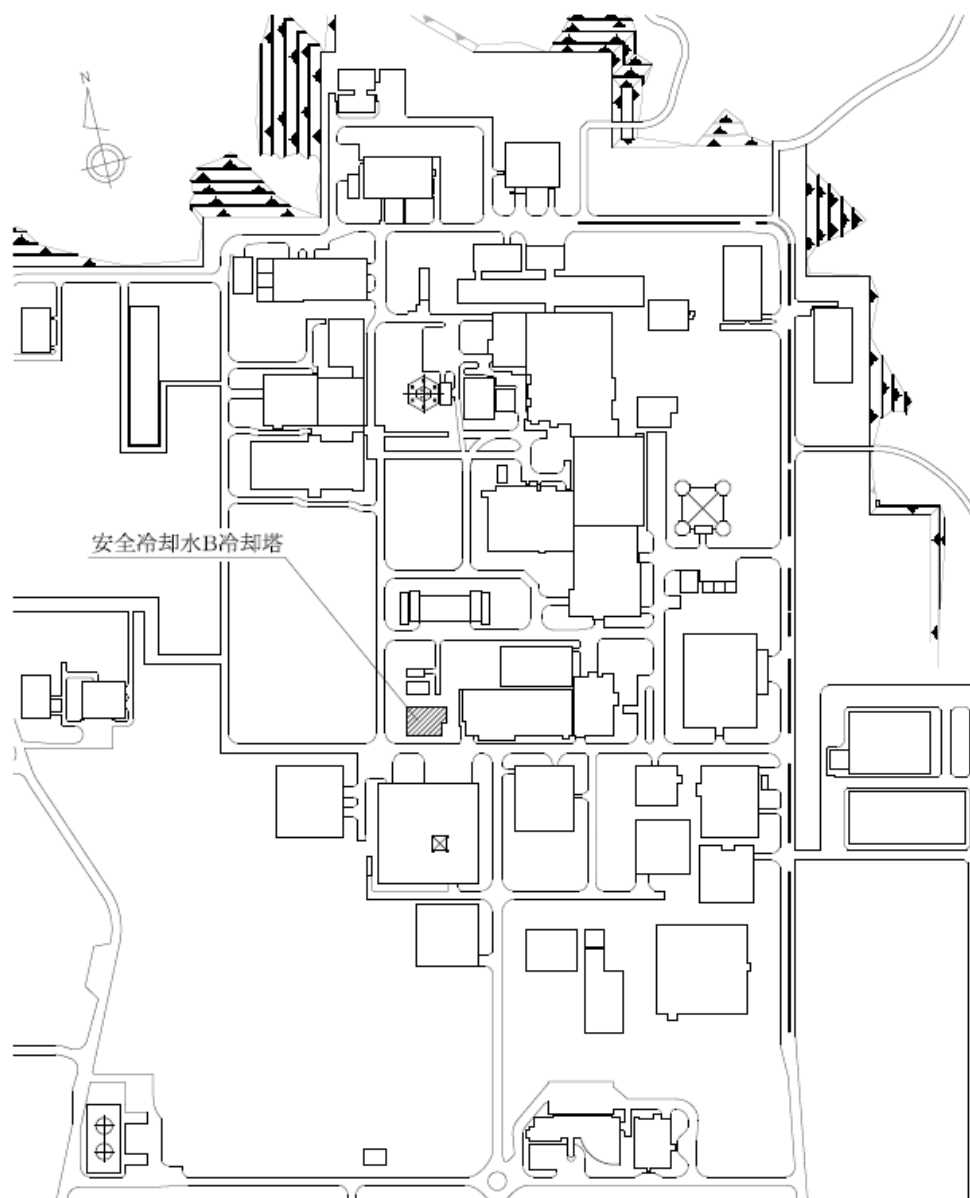
本資料は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、降下火砕物防護対象施設である冷却塔が、設計荷重(火山)に対して、冷却塔の安全機能を損なわないよう、冷却塔の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

冷却塔は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計及び評価方針を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 準拠規格」を示す。

### 2.1 位置

安全冷却水B冷却塔の配置図を第2.1-1図に示す。



第 2.1-1 図 冷却塔の配置図

## 2.2 構造概要

冷却塔は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計を踏まえて設計する。

### 2.2.1 安全冷却水B冷却塔の概要

安全冷却水B冷却塔は、ルーバ、管束、ファン駆動部、支持架構及び遮熱板から構成される複合構造物である。このうち、冷却機能の維持に必要な機器は、  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]である。

管束 : [REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

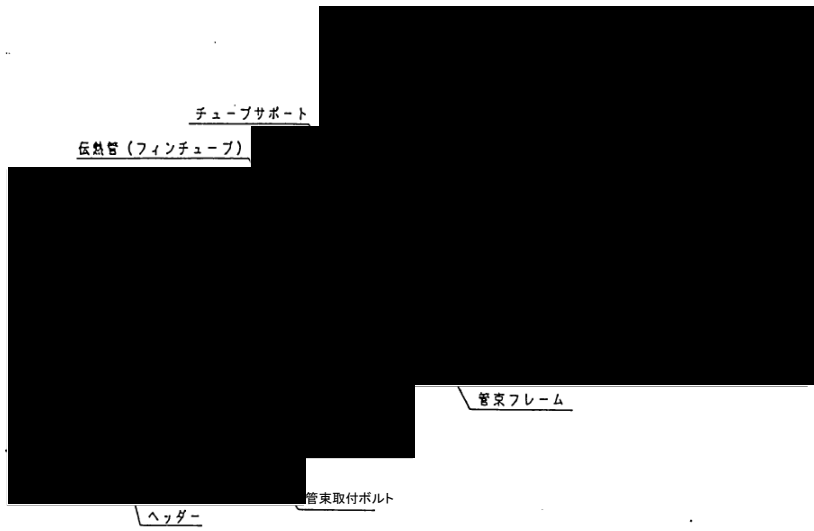
第2.2.1-1図に管束構造図を示す。

ファン駆動部 : [REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

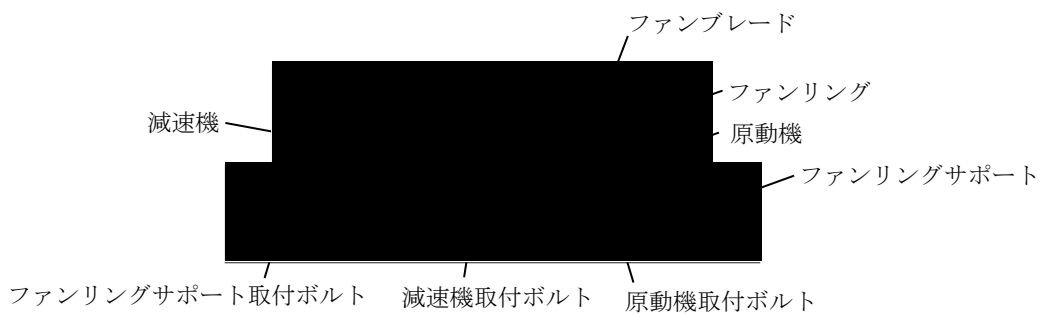
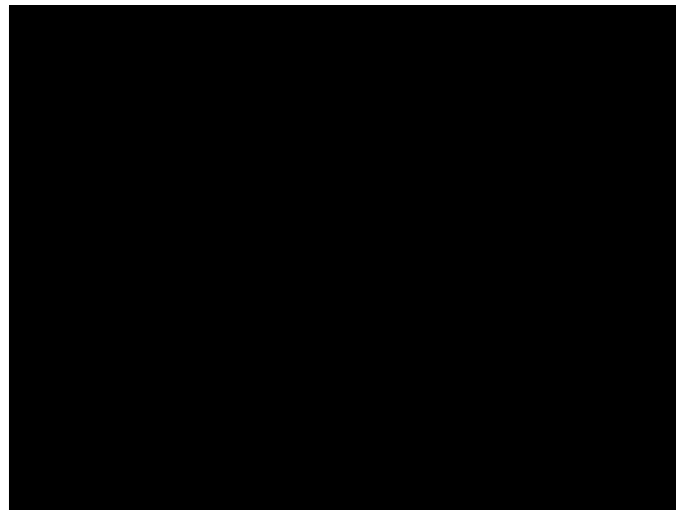
第2.2.1-2図にファン駆動部構造図を示す。

支持架構 : [REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

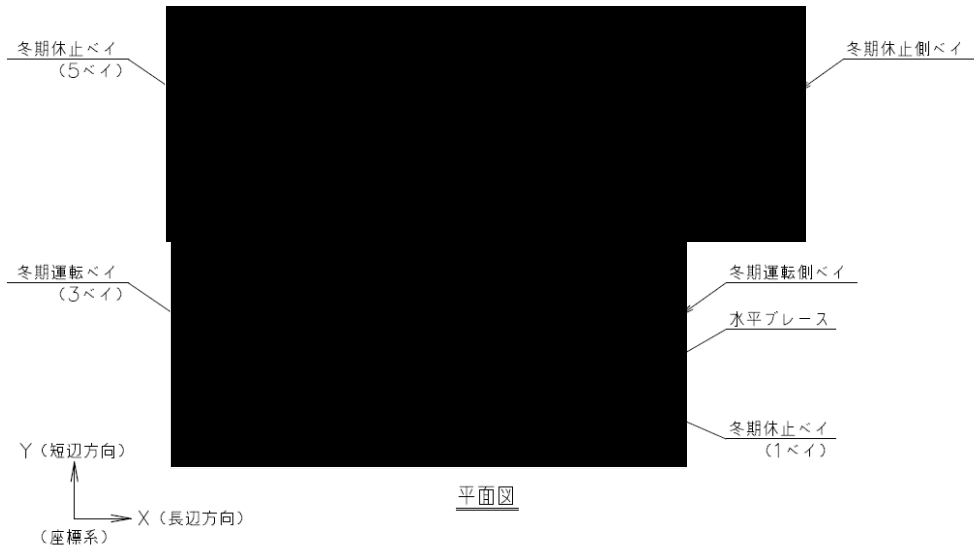
安全冷却水B冷却塔の概要図を第2.2.1-3図に示す。安全冷却水B冷却塔は、冬期運転側ベイと冬期休止側ベイによって構成される。



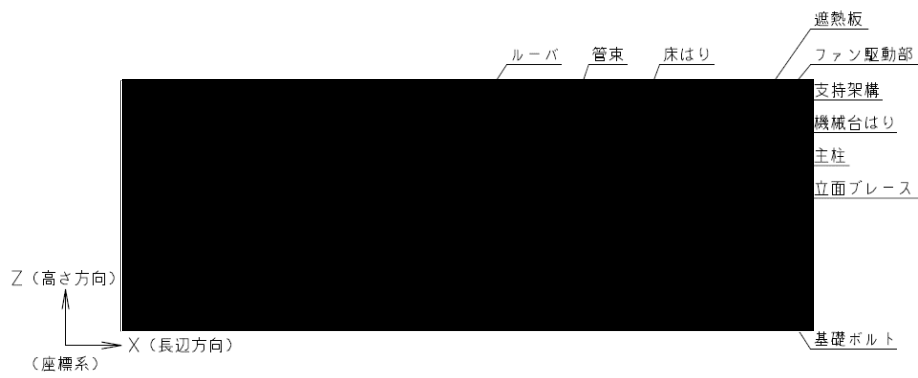
第2.2.1-1図 管束構造図



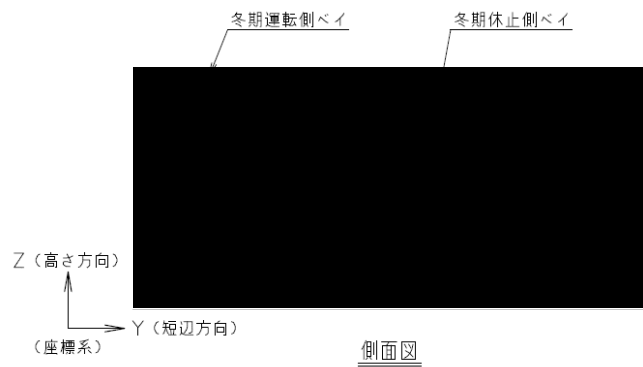
第2.2.1-2図 ファン駆動部構造図



(a) 上面図



(b) 側面図 (長辺方向)



(c) 側面図 (短辺方向)

第 2. 2. 1-3 図 安全冷却水 B 冷却塔 概要図



### 2.3 評価方針

冷却塔の構造強度評価は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、冷却塔の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 構造強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

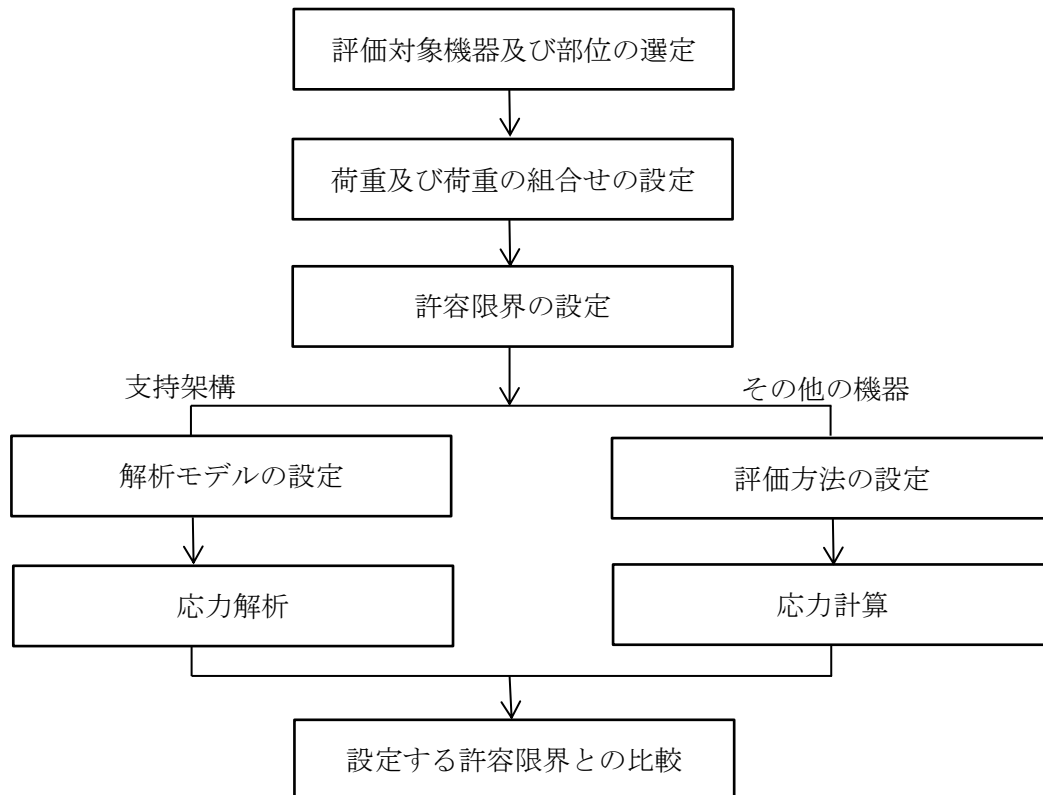
冷却塔の構造強度評価フローを第2.3-1図に示す。

構造強度評価においては、冷却塔に対して、設計荷重（火山）により作用する応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では、冷却塔の構造を踏まえ、設計荷重（火山）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物は、積雪と同様に水平部に堆積するものとし、施設の形状を踏まえて堆積面積を設定し、荷重を算出する。

構造強度評価においては、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すとおり、FEM等を用いた解析法若しくは定式化された評価式を用いた解析法を用いて評価対象部位に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。

冷却塔の許容限界は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 JEAG4601-補 1984」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下、「JEAG4601」という。)に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>AS</sub>とする。



第2.3-1図 冷却塔の構造強度評価フロー

## 2.4 準拠規格

準拠する規格，規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令・同告示
- ・ 青森県建築基準法施行細則（昭和 36 年 2 月 9 日青森県規則第 20 号）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下，「JSME」という。）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（（社）日本電気協会）

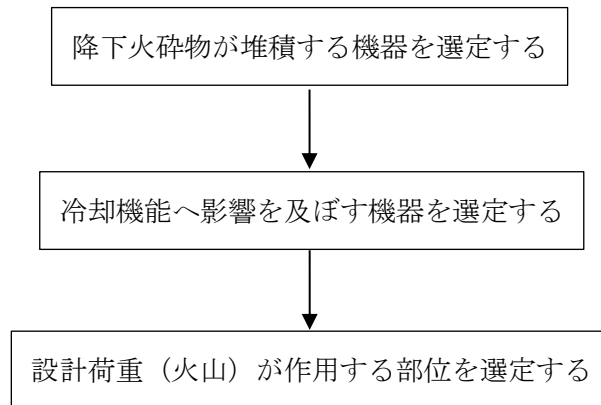
（参考文献）

- ・ 建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成 27 年版）

### 3. 構造強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位の選定方針

「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示している構造に基づき、設計荷重（火山）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。第3.1-1図に評価対象部位選定フローを示す。



第 3.1-1 図 評価対象部位選定フロー

#### 3.1.1 評価対象機器の選定

冷却塔の評価対象となる機器は、機器の形状やルーバの開閉状態に応じた運用方法を考慮した上で降下火砕物が堆積する機器を選定する。選定した機器のうち、冷却機能を維持するために必要な機器及び冷却機能を維持するために必要な機器に対し影響を及ぼすおそれのある機器を評価対象機器とする。

冷却塔における構造強度評価の評価対象機器を第3.1.1-1表に示す。

##### (1) 安全冷却水B冷却塔

安全冷却水B冷却塔を構成する機器から上記に基づき支持架構及びルーバを選定した。

管束、ファン駆動部は [REDACTED] であることから評価対象外とする。

なお、ファン駆動部のうち原動機及び減速機については、 [REDACTED] また、端子箱についても [REDACTED] 影響はない。

遮熱板については [REDACTED] であることから評価対象外とする。

第3.1.1-1表 冷却塔における構造強度評価の評価対象機器

名称	評価対象機器	選定理由
安全冷却水 冷却塔	支持架構 (基礎ボルト含む)	
	ルーバ	

### 3.1.2 評価対象部位の選定

「3.1.1 評価対象機器の選定」で選定した評価対象機器において、設計荷重（火山）が鉛直方向に作用する荷重であることを考慮し、評価対象とする部位を選定する。冷却塔における構造強度評価の評価対象部位を第3.1.2-1表に示す。

#### (1) 安全冷却水B冷却塔

##### a. 支持架構（基礎ボルト含む）の評価対象部位

支持架構の構造強度評価の評価対象部位は、支持架構を構成する主柱、床はり、2F機械台はり、立面ブレース及び水平ブレースを選定する。

また基礎ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

##### b. ルーバの評価対象部位

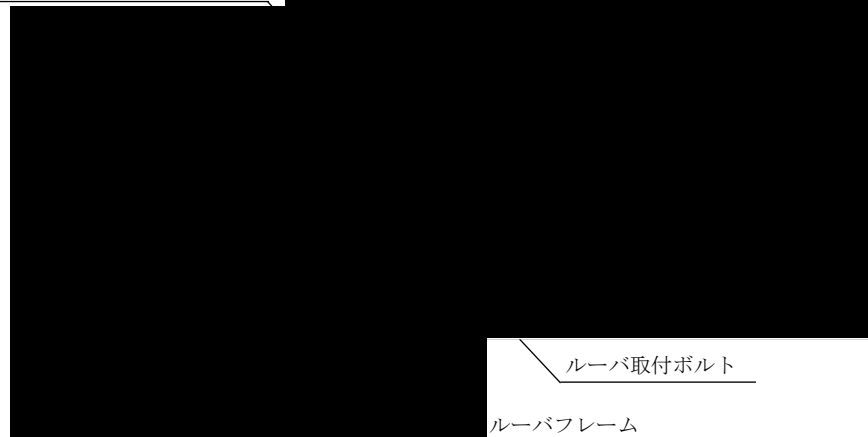
ルーバの概要図を第3.1.2-1図に示す。ルーバはルーバフレーム、ルーバブレード、ブレードシャフト、ルーバ取付ボルトにより構成される。

ルーバは冬期運転時に閉であり、ルーバブレード及びブレードシャフトに、

構造強度評価の評価対象部位として選定する。

なお、ルーバを構成する部位のうち、ルーバフレーム及びルーバ取付ボルトについては評価対象外とする。

ルーバブレード及びブレードシャフト



第3.1.2-1図 ルーバ構造図

第 3.1.2-1 表 冷却塔における構造強度評価の評価対象部位

名称	評価対象機器	評価対象部位
安全冷却水 B 冷却塔	支持架構 (基礎ボルト含む)	主柱, 床はり, 2F 機械台はり, 立面ブレース, 水平ブレース
		基礎ボルト
	ルーバ	ルーバブレード, ブレードシャフト

### 3.2 記号の定義

冷却塔の構造強度評価に用いる記号を第 3.2-1 表に示す。

第 3.2-1 表 冷却塔の構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$F_a$	N	はり要素に作用する引張, 圧縮荷重
$F_y, F_z$	N	はり要素に作用するせん断荷重
$F_{bt}$	N	基礎ボルトの引張力
$F_{bs}$	N	基礎ボルトのせん断力
$M_y, M_z$	N・mm	はり要素に作用する曲げモーメント
$M_x$	N・mm	はり要素に作用するねじりモーメント
$A$	mm <sup>2</sup>	部材の断面積
$A_b$	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
$A_y, A_z$	mm <sup>2</sup>	部材の有効せん断断面積
$Z, Z_y, Z_z$	mm <sup>3</sup>	部材の断面係数
$Z_p$	mm <sup>3</sup>	部材のねじり断面係数
$F$	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される値
$f_t$	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
$f_s$	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
$f_c$	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
$f_b$	MPa	JSME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
$f_{to}$	MPa	ボルトの許容引張応力
$f_{so}$	MPa	ボルトの許容せん断応力
$\sigma_t$	MPa	支持架構に生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	支持架構に生じる圧縮応力
$\sigma_b$	MPa	支持架構に生じる曲げ応力
$\tau$	MPa	支持架構に生じるせん断応力
$\sigma_{ao}$	MPa	基礎ボルトの引張応力
$\tau_b$	MPa	基礎ボルトのせん断応力
$W_L$	N	風荷重
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$G$	—	ガスト影響係数

第 3.2-1 表 冷却塔の構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
C	—	風力係数（「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。）
$A_1$	$m^2$	風の受圧面積
$V_D$	m/s	基準風速
H	m	建築物の高さと軒の高さとの平均
$E'$	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第 1454 号第 2 項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
$V_L$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物の堆積による荷重
$L_c$	$N/m^2$	単位面積当たりの除灰時の人員荷重
$S_L$	$N/m^2$	単位面積当たりの積雪荷重
$A_2$	$m^2$	支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪する面積
B	m	ルーバブレードの幅
$F_{V0}$	N	支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
$F_{V1}$	N	ルーバブレードの単位長さ当たりの降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重
$\sigma_{b1}$	MPa	ルーバブレードに生じる曲げ応力
$F_1$	N/mm	ルーバブレードの単位長さ当たりの自重
$\tau_1$	MPa	ブレードシャフトに生じるせん断応力
E	MPa	支持架構部材の縦弾性係数
$i, i_y, i_z$	mm	断面二次半径
$n_a$	本	柱脚部 1 ヶ所当たりの基礎ボルトの本数
$\ell$	mm	ルーバブレード長さ



### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

冷却塔の構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、管束、ファン駆動部、支持架構、配管及び耐火被覆等の自重を考慮する。

また、降下火砕物が堆積し、除灰運用が必要な機器については、除灰時の人員荷重として、「建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成 27 年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における  $980 \text{ N/m}^2$  を包絡するように  $1,000 \text{ N/m}^2$  を荷重として考慮する。なお、評価対象機器のうち、ルーバについては、作業安全の観点からルーバ上で除灰作業をしないため、ルーバブレード及びブレードシャフトの評価においては、人員荷重は考慮しない。

##### b. 降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重

単位面積当たりの降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重は「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)b. 鉛直荷重」に基づき設定する。

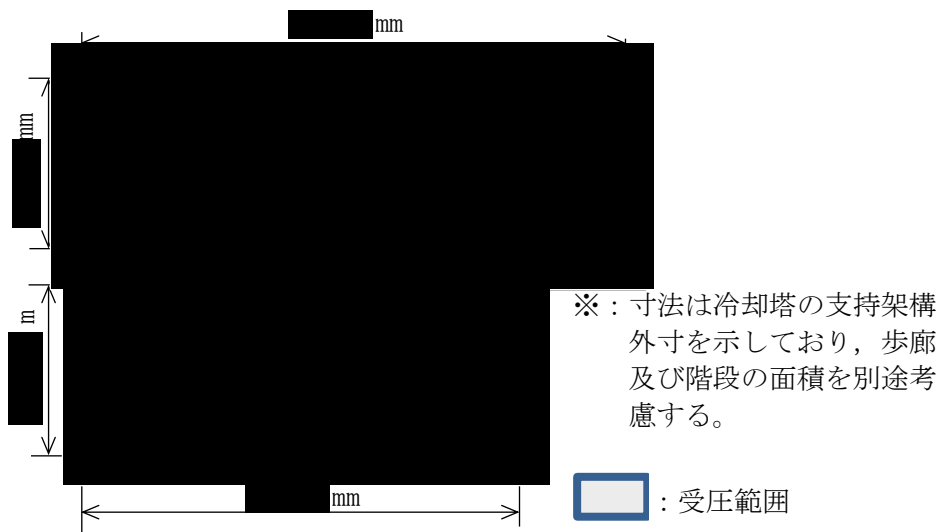
##### (a) 支持架構（基礎ボルト含む）

支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$F_{v0} = (V_L + S_L) \cdot A_2$$

支持架構の降下火砕物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧部寸法を第 3.3-1 図に示す。





第3.3-1図 降下火碎物の堆積及び積雪による鉛直荷重の受圧部寸法

(b) ルーバ

ルーバの降下火碎物の堆積及び積雪による鉛直荷重は，以下の式を用いて算出する。

$$F_{v1} = \frac{(V_L + S_L) \cdot B \cdot \ell}{1000}$$



c. 風（台風）による水平荷重

風（台風）による水平荷重は、基準風速 34m/s に基づき設定する。

風（台風）による水平荷重は「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、冷却塔の構造を考慮して算出する。

$$W_L = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

支持架構の風（台風）による水平荷重の受圧部寸法を第 3.3-2 図，第 3.3-3 図に示す。

風力係数については、冷却塔の構造を踏まえ、「建設省告示 1454 号」に基づき設定する。

ガスト影響係数 (G) は、「建設省告示 1454 号」において高さが 10m 以下の場合 2.2，40m 以上の場合 2.0，10m を超え 40m 未満の場合は直線的に補間した数値とするとされていることから、

とする。



(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、冷却塔の評価対象部位ごとに設定する。冷却塔の構造強度評価にて考慮する荷重の組合せを第 3.3-1 表に示す。

第 3.3-1 表 荷重の組合せ

名称	評価対象機器	評価対象部位	考慮する荷重
安全冷却水 B 冷却塔	支持架構 (基礎ボルト含む)	主柱, 床はり, 2F 機械台はり, 立面ブレース, 水平ブレース	[Redacted]
		基礎ボルト	
	ルーバ	ルーバブレード, ブレードシャフト	

3.4 許容限界

冷却塔の許容限界は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.1.2 評価対象部位の選定」にて選定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、JEAG4601 に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S を用いる。

冷却塔の許容限界は、JEAG4601 を準拠し、「その他支持構造物」を適用する。設計荷重（火山）に対して、当該施設に要求される機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。

[Redacted]

冷却塔の許容限界を第 3.4-1 表に示す。

第3.4-1表 許容限界

許容応力状態	許容限界 (ボルト以外)				許容限界 (ボルト)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	[Redacted]					

注記

[Redacted]

### 3.5 評価方法

冷却塔のうち支持架構の応力評価は、「VI-1-1-1-4-4-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している FEM 等を用いた解析法により行う。

冷却塔のうちルーバブレード及びブレードシャフトの応力評価は、定式化された評価式を用いた解析法にて行う。その際、ルーバブレード及びブレードシャフトは単純支持はりとして評価する。

#### (1) 支持架構及び基礎ボルトの評価方法

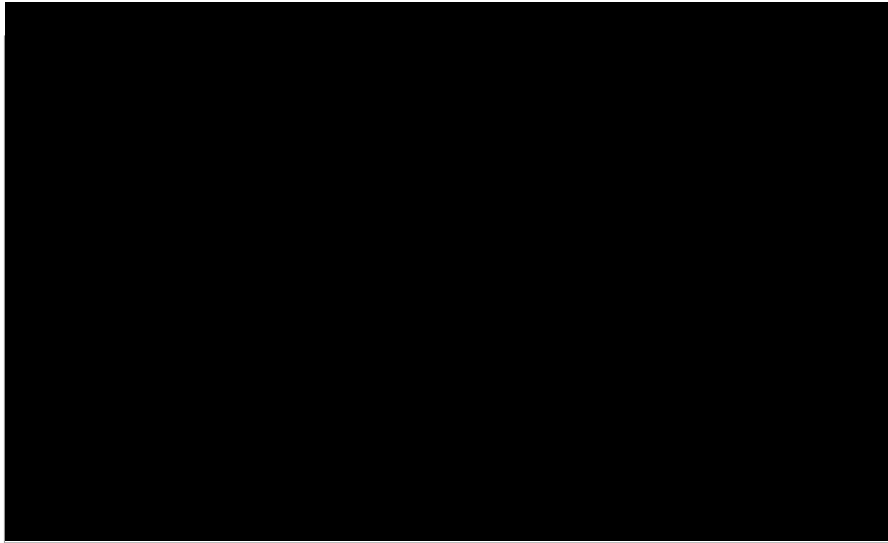
##### a. 計算モデル

##### (a) 安全冷却水 B 冷却塔のモデル

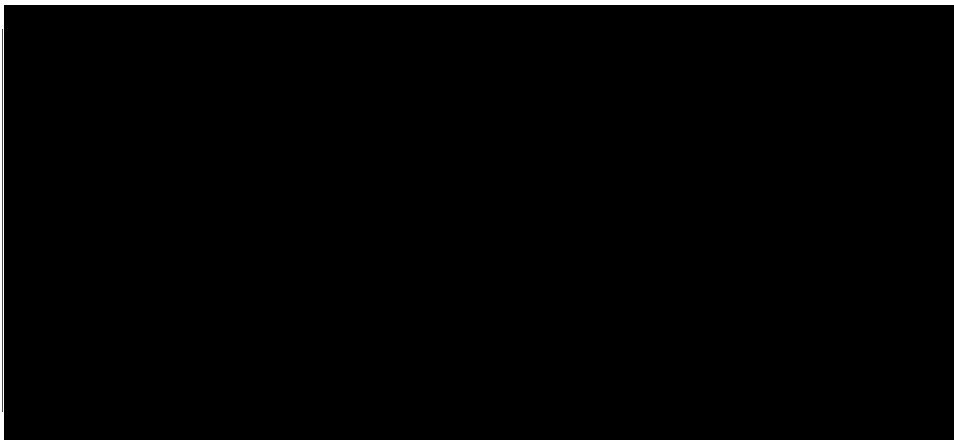
安全冷却水 B 冷却塔の計算モデルを第 3.5-1 図、第 3.5-2 図に、計算モデルの諸元を第 3.5-1 表に示す。

支持架構の構成部材及び基礎ボルトに発生する荷重及び発生モーメントは、FEM 解析を用いて算定する。

FEM 解析に用いる解析コード「MSC NASTRAN (ver. 2008.0.4)」の検証及び妥当性確認等の概要については「VI-1-1-1-4-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。



第 3.5-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル（冬期運転側ベイ）

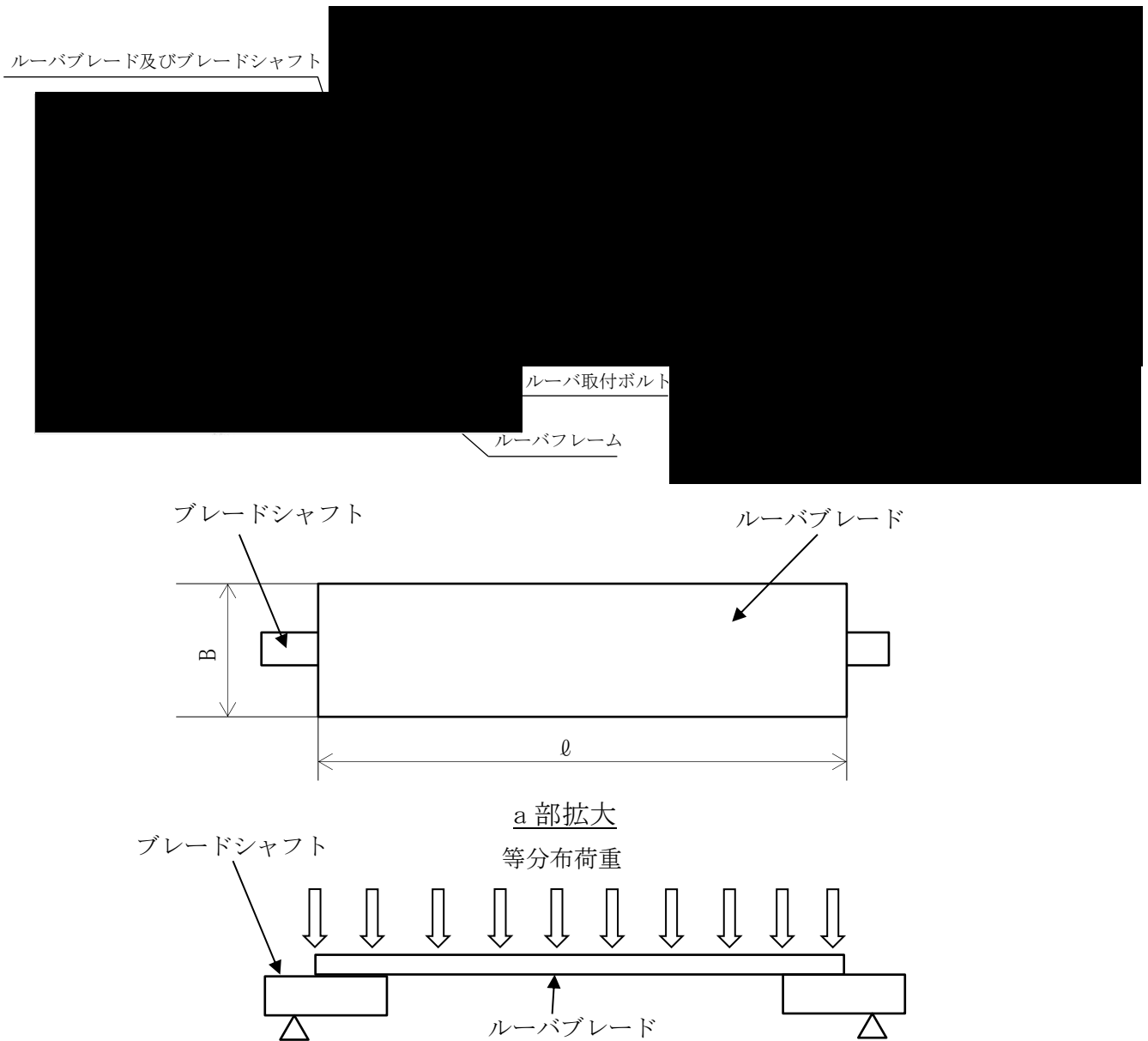


第 3.5-2 図 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル（冬期休止側ベイ）

第 3.5-1 表 安全冷却水 B 冷却塔の計算モデル諸元

計算モデル	節点数	要素数
安全冷却水 B 冷却塔 冬期運転側ベイ		
安全冷却水 B 冷却塔 冬期休止側ベイ		

- (2) ルーバブレード及びブレードシャフトの計算モデル  
 安全冷却水 B 冷却塔のうち、ルーバブレード及びブレードシャフトの計算モデルを第 3.5-3 図に示す。  
 ルーバブレード及びブレードシャフトは単純支持はりとして評価する。



第 3.5-3 図 ルーバブレード及びブレードシャフトの計算モデル



(3) 計算方法

a. 支持架構に生じる応力

(a) 引張応力

支持架構に生じる引張応力  $\sigma_t$  は次式より算出される。

$$\sigma_t = \frac{F_a}{A}$$

(b) 圧縮応力

支持架構に生じる圧縮応力  $\sigma_c$  は次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_a}{A}$$

(c) 曲げ応力

支持架構に生じる曲げ応力  $\sigma_b$  は次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

(d) せん断応力

支持架構に生じるせん断応力  $\tau$  は次式より算出される。

$$\tau = \frac{F_y}{A_y} + \frac{F_z}{A_z} + \frac{M_x}{Z_p}$$

(e) 組合せ応力

支持架構に生じる組合せ応力のうち、引張+曲げ応力が、許容限界を超えないことを次式より確認する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5f_t} \leq 1.0$$

支持架構に生じる組合せ応力のうち、圧縮+曲げ応力が、許容限界を超えないことを次式より確認する。

$$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_b} \leq 1.0$$

b. 基礎ボルトに生じる応力

(a) 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{a0}$  は次式より算出される。

$$\sigma_{a0} = \frac{F_{bt}}{A_b \cdot n_a}$$

(b) せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力  $\tau_b$  は次式より算出される。

$$\tau_b = \frac{F_{bs}}{A_b \cdot n_a}$$

c. ルーバブレード及びブレードシャフトに生じる応力

(a) 曲げ応力 (ルーバブレード)

ルーバブレードに生じる曲げ応力  $\sigma_{bl}$  は次式より算出される。

$$\sigma_{bl} = \frac{(F_{v1} + F_l \cdot \ell) \cdot \ell}{8 \cdot Z}$$

(b) せん断応力 (ブレードシャフト)

ブレードシャフトに生じるせん断応力  $\tau_l$  は次式より算出される。

$$\tau_l = \frac{F_{v1} + F_l \cdot \ell}{2 \cdot A}$$

4. 評価条件

4.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価条件

「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を第 4.1-1 表から第 4.1-8 表に示す。

第 4.1-1 表 評価条件 (支持架構 冬期運転側ベイ)

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	V <sub>b</sub> (m/s)	H (m)	Z <sub>b</sub> (m)	Z <sub>G</sub> (m)	α (-)

C (-)		A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	
NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向

注記 \*1: 標高 T. M. S. L. \_\_\_\_\_ m の値を示す。

\*2: 標高 T. M. S. L. \_\_\_\_\_ m の値を示す。

V <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )	L <sub>c</sub> (N/m <sup>2</sup> )	S <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )

注記 \*: 歩廊及び階段の面積を考慮する。

第 4.1-2 表 評価条件 (支持架構 冬期休止側ベイ)

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	V <sub>b</sub> (m/s)	H (m)	Z <sub>b</sub> (m)	Z <sub>G</sub> (m)	α (-)

C (-)		A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	
NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向

V <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )	L <sub>c</sub> (N/m <sup>2</sup> )	S <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )

注記 \*: 歩廊及び階段の面積を考慮する。

第 4.1-3 表 評価条件 (ルーバブレード及びブレードシャフト)

V <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )	S <sub>L</sub> (N/m <sup>2</sup> )	F <sub>1</sub> (N/mm)

第 4.1-4 表 評価条件（支持架構 冬期運転側ベイ）（1/2）

部 材	断面形状	材 料	A (mm <sup>2</sup> )	A <sub>y</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>z</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z (mm <sup>3</sup> )	
						Z <sub>y</sub>	Z <sub>z</sub>
主 柱							
床 はり							
2F 機械台はり							
立面ブレース							
水平ブレース							

第 4.1-4 表 評価条件 (支持架構 冬期運転側ベイ) (2/2)

部 材	断面形状	材 料	i (mm)		E (MPa)	F (MPa)
			$i_y$	$i_z$		
主 柱						
床 はり						
2F 機械台はり						
立面ブレース						
水平ブレース						

第 4.1-5 表 評価条件 (基礎ボルト 冬期運転側ベイ)

材 料	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	$n_a$ (本)	F (MPa)

第 4.1-6 表 評価条件（支持架構 冬期休止側ベイ）（1/2）

部 材	断面形状	材 料	A (mm <sup>2</sup> )	A <sub>y</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>z</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z (mm <sup>3</sup> )	
						Z <sub>y</sub>	Z <sub>z</sub>
主 柱							
床 はり							
2F 機械台はり							
立面ブレース							
水平ブレース							

第 4.1-6 表 評価条件 (支持架構 冬期休止側ベイ) (2/2)

部 材	断面形状	材 料	i (mm)		E (MPa)	F (MPa)
			$i_y$	$i_z$		
主 柱						
床 はり						
2F 機械台はり						
立面ブレース						
水平ブレース						

28

第 4.1-7 表 評価条件 (基礎ボルト 冬期休止側ベイ)

材 料	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	$n_a$ (本)	F (MPa)

第 4.1-8 表 評価条件（ルーバブレード及びブレードシャフト）

部 材	材 料	B (m)	$\varnothing$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Z (mm <sup>3</sup> )	F (MPa)
ルーバブレード						
ブレードシャフト						

5. 評価結果

5.1 安全冷却水 B 冷却塔の評価結果

降下火砕物等の堆積時の構造強度評価結果を第 5.1-1 表から第 5.1-5 表に示す。  
 支持架構，基礎ボルト，ルーバブレード及びブレードシャフトに発生する応力は，  
 許容応力以下である。



第 5.1-1 表 支持架構（冬期運転側ベイ）の構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力*1*2 (MPa)	許容応力*2 (MPa)	応力比*3
支柱	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
床はり	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
2F機械台 はり	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
立面 ブレース	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
水平 ブレース	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			

注記 \*1 : 組合せについては応力比を記載

注記 \*2 : 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

注記 \*3 : 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-2 表 支持架構（冬期休止側ベイ）の構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力* <sup>1</sup> * <sup>2</sup> (MPa)	許容応力* <sup>2</sup> (MPa)	応力比* <sup>3</sup>
主柱	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
床はり	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
2F機械台 はり	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
立面 ブレース	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			
水平 ブレース	引張			
	圧縮			
	せん断			
	曲げ			
	組合せ(引張+曲げ)			
	組合せ(圧縮+曲げ)			

注記 \* 1 : 組合せについては応力比を記載

注記 \* 2 : 組合せについては応力比で評価を行うため単位なし

注記 \* 3 : 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-3 表 基礎ボルト（冬期運転側ベイ）の構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比* <sup>1</sup>
基礎ボルト	引張			
	せん断			

注記 \* 1 : 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-4 表 基礎ボルト（冬期休止側ベイ）の構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比* <sup>1</sup>
基礎ボルト	引張			
	せん断			

注記 \* 1 : 応力比=発生応力/許容応力

第 5.1-5 表 ルーバブレード及びブレードシャフトの構造強度評価結果

評価対象 部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比* <sup>1</sup>
ルーバブレード	曲げ			
ブレードシャフト	せん断			

注記 \* 1 : 応力比=発生応力/許容応力

VI-1-1-1-4-5  
計算機プログラム（解析コード）の  
概要

## 目 次

	ページ
1. はじめに .....	1
別紙1 MSC NASTRAN	
別紙2 midas iGen	

## 1. はじめに

本資料は、「VI-1-1-1-4 火山への配慮に関する説明書」において使用した解析コードについて説明するものである。

「VI-1-1-1-4 火山への配慮に関する説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

別紙1 MSC NASTRAN

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -4-4-2- 1	冷却塔の強度計算書	Ver. 2008.0.4

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008.0.4
使用目的	3次元有限要素法による応力解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>MSC NASTRAN（以下、「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</li> <li>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</li> <li>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは，安全冷却水B冷却塔の3次元有限要素法による応力解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について，本解析コードを用いた3次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>日本原子力発電株式会社の東海第二発電所の工事計画認可申請において，使用済燃料乾式貯蔵建屋の静的応力解析及び動的応力解析に本解析コードが使用された実績がある。</li> <li>検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから，検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>今回の申請において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> <li>本解析コードの適用制限として使用要素数があるが，使用した要素数は適用制限以下であり，本申請における使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>



別紙2 midas iGen

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-1 -4-4-2- 6	飛来物防護ネットの強度計算書	Ver. 845

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	midas iGen
開発機関	MIDAS IT
開発時期	1990年代前半
使用したバージョン	Ver. 845
使用目的	静的解析
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>midas iGen（以下「本解析コード」という。）は、建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデルを数多くサポートしている構造解析用の汎用計算機プログラムである。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B）の静的解析に使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>フレームモデルを対象に、本解析コードによる解析結果と、別計算機コード「汎用計算機コード（TDAPⅢ）」による解析結果を比較し、両者の解析結果が概ね一致することを確認している。</li> <li>本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>日本原子力発電株式会社の東海第二発電所の工事計画認可申請において、原子炉建屋の静的解析に本解析コードが使用された実績がある。</li> <li>検証の体系と今回申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>今回の申請において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>今回申請で行う使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-1-1-1-5

航空機に対する防護設計に関する説明書

## 目 次

VI-1-1-1-5-1 航空機に対する防護設計の基本方針

VI-1-1-1-5-2 航空機に対する防護設計における分離配置 次回以降申請

VI-1-1-1-5-1

航空機に対する防護設計の基本方針

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 基本方針 .....	1

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の航空機に対する防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」第八条に適合することを説明するものである。

## 2. 基本方針

再処理施設の上空には三沢特別管制区があり、南方向約10kmの位置には三沢対地訓練区域がある。三沢対地訓練区域で対地射爆撃訓練飛行中の航空機が施設に墜落する可能性は極めて小さいが、当区域で多くの訓練飛行が行われているという立地地点固有の社会環境等を配慮し、仮に訓練飛行中の航空機が施設に墜落することを想定したときに、公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えるおそれのある施設は、航空機に対して貫通が防止でき、かつ、航空機による衝撃荷重に対して健全性が確保できる堅固な建物・構築物で適切に保護する等、安全確保上支障がないように設計する。

安全上重要な施設については原則として防護対象とする。

ただし、安全上重要な施設のうち、航空機が墜落する可能性が無視できる施設又は仮に航空機が墜落することを想定しても公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えない以下の施設は防護対象外とする。

- ・主排気筒
- ・主排気筒の排気筒モニタ
- ・安全蒸気系のボイラ用燃料ポンペ
- ・第1ガラス固化体貯蔵建屋床面走行クレーンのしゃへい容器

防護方法としては、建物の外壁及び屋根により建物全体を適切に保護する方法を基本とし、放射性物質を内蔵する防護対象施設が一箇所に集中している場合は、建物の壁及び床により防護対象とする区画を適切に保護する方法を用いることにより、施設の安全性を確保する設計とする。

また、放射性物質を内蔵しておらず、かつ、多重化が要求される場合は、同時に2系列破損しないよう十分な離隔距離をとって配置する方法を用いることにより、施設の安全性を確保する設計とする。

上記の防護設計を踏まえ、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成21・06・25 原院第1号）等に基づき評価した結果、再処理施設への航空機落下確率の総和は、最大の標的面積となるウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝の安全機能の維持に必要な施設を対象とした場合で $4.6 \times 10^{-8}$  回/年となり、防護設計の要否を判断する基準である $10^{-7}$ 回/年を超えないことを評価して事業指定（変更許可）において確認している。

設工認申請時に、事業指定（変更許可）申請時（令和2年7月13日付け2020再計発第101号による再処理事業所再処理事業変更許可申請書 本文及び添付書類の一部補正）から、航空路を含めた航空機落下確率評価に用いる最新データにおいて、防護設計の要否を判断する基準を超えるような変更がないことを確認している。したがって、航空機

の墜落については、安全機能を有する施設に対して追加の防護措置その他適切な措置を講ずる必要はない。

なお、定期的に航空路を含めた航空機落下確率評価に用いる最新データの変更状況を確認し、追加の防護措置の要否を判断することを保安規定に定めて、管理する。

防護設計条件及び防護設計に係る説明は、平成11年1月29日付け10安（核規）第538号にて認可を受けた設工認申請書の添付書類Ⅶ－２－１「航空機に対する防護設計の基本方針」及び平成10年6月9日付け9安（核規）第596号にて認可を受けた設工認申請書の添付書類Ⅶ－２－３「航空機に対する防護設計における分離配置」に同じである。



VI-1-1-1-6

落雷への配慮に関する説明書

## 目 次

- VI-1-1-1-6-1 落雷への配慮に関する基本方針
- VI-1-1-1-6-2 落雷の影響を考慮する施設の選定
- VI-1-1-1-6-3 落雷の影響を考慮する施設の設計方針

VI-1-1-1-6-1

落雷への配慮に関する基本方針

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 落雷防護に係る基本方針 .....	1
2.1 基本方針 .....	1
2.1.1 落雷防護対象施設及び落雷防護に対する設計方針 .....	1
2.1.2 想定する落雷の規模及び荷重の組合せ .....	2
2.1.3 落雷の影響に対する防護設計 .....	3
2.2 準拠規格 .....	7

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の落雷防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第八条に適合することを説明するものである。

## 2. 落雷防護に係る基本方針

### 2.1 基本方針

安全機能を有する施設は、想定される落雷が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。また、直撃雷による再処理施設への影響及び間接雷による雷サージによる影響のそれぞれを考慮するとともに、再処理施設の建物及び構築物は広範囲に分散して設置されていること、それらの中には雷撃を受けやすい高い構築物があること、建屋間には、配管、ケーブルを収納する洞道が設置され、各施設の監視及び制御を制御建屋で集中的に実施するという特徴を踏まえて耐雷設計を行う。

#### 2.1.1 落雷防護対象施設及び落雷防護に対する設計方針

落雷から防護する施設（以下、「落雷防護対象施設」という。）としては、安全評価上その機能を期待する建物・構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な機能を有する構築物、系統及び機器を対象とする。

落雷防護対象施設は、落雷によってもたらされる直撃雷の影響を考慮すると、以下のように施設分類できる。

- ・ 建屋内の落雷防護対象施設
- ・ 屋外の落雷防護対象施設

ただし、屋外の落雷防護対象施設には、金属製の構築物である竜巻防護対策設備に施設全体を覆われ、直撃雷の影響を受けない施設があるため、以下に分類されるものがある。

- ・ 金属製の構築物で覆われる屋外の落雷防護対象施設

さらに、落雷防護対象施設は、間接雷によって複数の建屋等の間で生じる電位差の影響を考慮すると、以下のように施設分類できる。

- ・ 建屋間で取り合う落雷防護対象施設

落雷防護対象施設、落雷防護対象施設を収納する建屋及び落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物（以下、「落雷防護対象施設等」という。）は、落雷の影響により落雷防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、落雷防護対象施設等に波及的影響を及ぼして安全機能を損なわせるおそれがある施設（以下、「落雷防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設」という。）の影響を考慮した設計とする。

落雷防護対象施設等以外の安全機能を有する施設は、落雷の影響に対して機能を

維持すること、落雷による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の代替設備により必要な機能を確保すること及び安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

なお、使用済燃料収納キャスクは、再処理施設内に一時的に保管されることを踏まえ、落雷により使用済燃料収納キャスクを収納する建屋が使用済燃料収納キャスクに対して波及的破損を与えない設計とする。

上記に示した設計方針に基づき、落雷防護対象施設が落雷の影響によって安全機能を損なわないように、落雷の影響を考慮する施設を選定して防護設計を行う。落雷の影響を考慮する施設の選定については、「VI-1-1-1-6-2 落雷の影響を考慮する施設の選定」に示す。

## 2.1.2 想定する落雷の規模及び荷重の組合せ

### (1) 想定する落雷の規模

耐雷設計においては、再処理施設が立地する地域の気候、再処理事業所及びその周辺の過去の観測値に安全余裕を見込んで、想定する落雷の規模を設定する。

再処理事業所及びその周辺で過去に観測された最大の落雷の雷撃電流値は211kAである。観測される雷撃電流値の精度は夏季雷と冬季雷で違いがあり、夏季雷はほぼ正確と言われているが、冬季雷では15～20%程度低く算出されるとの報告もある。再処理事業所及びその周辺で観測された最大の雷撃電流値は夏季に観測されたものであるが、観測データは過去約15年間のものであることを考慮し、想定する落雷の規模は安全余裕を見込んで270kAとする。

### (2) 荷重の組合せ

落雷と同時に発生する可能性がある竜巻、積雪、降雹及び降水については、これらが落雷防護対象施設等に及ぼす影響を考慮したうえで、適切に落雷との組合せを考慮する。これらの自然現象と落雷の組合せの考え方は以下のとおりである。

#### a. 竜巻

竜巻による影響は風荷重、飛来物の衝突荷重及び気圧差による機械的な荷重であり、落雷と竜巻の組み合わせを考慮しても、落雷によって流れる雷撃電流及び複数の建屋等の間で生じる電位差を増長させるものではないため、落雷と竜巻の組合せは考慮しない。

#### b. 積雪

積雪による影響は建屋及び屋外施設に対する堆積荷重であり、落雷と積雪の組合せを想定しても、落雷によって流れる雷撃電流及び複数の建屋等の間

で生じる電位差を増長させるものではないため、落雷と積雪の組合せは考慮しない。

c. 降雹

降雹の影響は建屋及び屋外施設に対する衝撃荷重であり、落雷と降雹の組み合わせを考慮しても、落雷によって流れる雷撃電流及び複数の建屋等の間で生じる電位差を増長させるものではないため、落雷と降雹の組合せは考慮しない。

d. 降水

降水による影響は浸水又は被水であり、落雷と降水の組み合わせを考慮しても、落雷によって流れる雷撃電流及び複数の建屋等の間で生じる電位差を増長させるものではないため、落雷と降水の組合せは考慮しない。

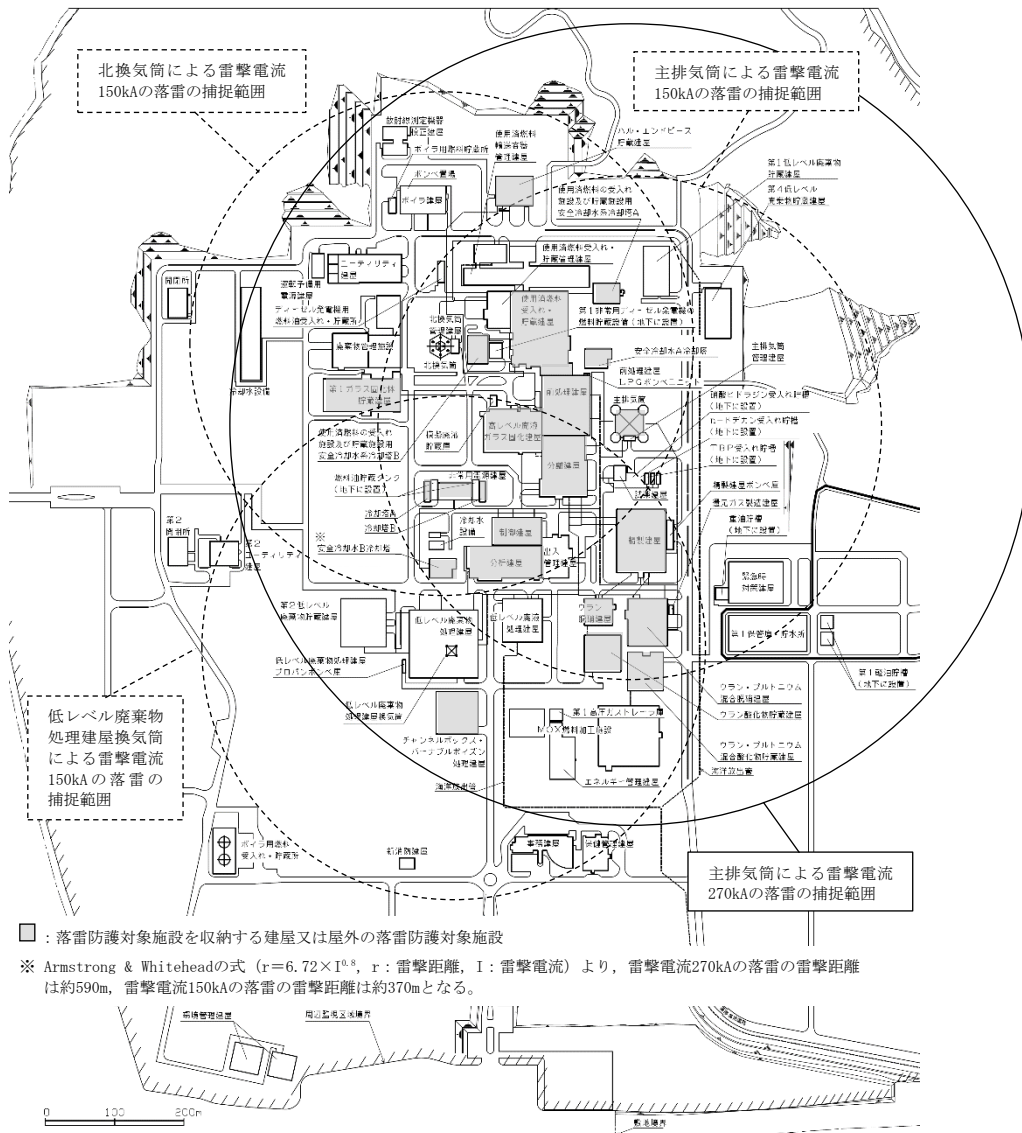
以上より、落雷との組み合わせを考慮すべき自然現象はない。

### 2.1.3 落雷の影響に対する防護設計

#### (1) 雷撃点と雷撃電流の設定

一般的に落雷は高い建物及び構築物に対して発生しやすいという特徴があり、再処理施設では最も高い構築物である主排気筒（高さ150m）に落雷が発生しやすい。また、雷撃電流が大きくなるほど雷撃距離が長くなること及び雷撃電流と雷撃距離の関係（Armstrong & Whiteheadの式）を考慮すると、落雷防護対象施設等に対して想定する雷撃電流270kAの落雷は、第2.1.3-1図に示す通り主排気筒にて捕捉されると考えられる。したがって、主排気筒を想定される雷撃電流270kAの落雷の雷撃点として防護設計を行う。

また、落雷が高い建物及び構築物に発生しやすい特徴を踏まえ、主排気筒を除く落雷防護対象施設等は、主排気筒等の高い構築物にて捕捉される落雷を考慮して防護設計を行う。具体的には、雷撃電流150kA以上の落雷は、第2.1.3-1図に示す通り、主排気筒並びに主排気筒の次に高い北換気筒（高さ75m）及び低レベル廃棄物処理建屋換気筒（高さ75m）によって捕捉される。したがって、主排気筒を除く落雷防護対象施設等において想定される落雷の規模は150kAよりも小さくなるが、これらの施設に対しては雷撃電流150kAの落雷を考慮して防護設計を行う。北換気筒及び低レベル廃棄物処理建屋換気筒は、150kAを超えかつ270kAに満たない落雷を捕捉することを考慮した設計とする。



第2.1.3-1図 落雷の捕捉範囲の概略図

(2) 直撃雷に対する防護設計

落雷防護対象施設等は、直撃雷に対して避雷設備を設置すること等により、落雷防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

具体的には、屋外の落雷防護対象施設のうち主排気筒は、雷撃電流270kAの直撃雷の影響を考慮して、「原子力発電所の耐雷指針」(JEAG4608)及び建築基準法に基づき、日本産業規格(JIS A4201)に準拠した避雷設備を設置することにより、安全機能を損なわない設計とする。

落雷防護対象施設を収納する建屋及び落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物は、雷撃電流150kAの直撃雷の影響を考慮して、「原子力発電所の耐雷指針」(JEAG4608)、建築基準法及び消防法に基づき、日本産業規格(JIS



A4201) に準拠した避雷設備を設置すること、又は構築物の構造体を利用した避雷設備を設置することにより、建屋内の落雷防護対象施設及び金属製の構築物に覆われる落雷防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

また、北換気筒及び低レベル廃棄物処理建屋換気筒は、雷撃電流150kAを超えかつ270kAに満たない直撃雷を捕捉するため、主排気筒と同等の避雷設備を設ける設計とする。

避雷設備は、構内接地系と接続することにより、接地抵抗の低減及び雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平坦化を図る設計とする。

なお、落雷防護対象施設等以外の施設のうち、建築基準法又は消防法の適用を受ける建屋、構築物（使用済燃料収納キャスクを収納する建屋を含む）については、落雷防護対象施設等と同様の設計とする。

また、落雷防護対象施設等は、落雷防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の直撃雷による機械的影響を考慮した設計とする。直撃雷による機械的影響としては、落雷防護対象施設等を除く施設の損傷又は避雷設備の温度上昇による損傷の波及的影響を考慮する。

直撃雷の影響に対する防護設計の詳細については、「VI-1-1-1-6-3 落雷の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

### (3) 間接雷の設計防護設計

落雷防護対象施設は、間接雷に対して雷サージの影響阻止設計等により、安全機能を損なわない設計とする。

間接雷は、建屋及び屋外施設への落雷により、避雷設備を介して雷撃電流が大地へ拡散及び分流する過程で、雷サージとなって接地系統から侵入し、屋内に設置される設備に対して影響を及ぼし得る。また、再処理施設の建物及び構築物は広範囲に分散して設置されており、かつ、再処理施設の建屋間には配管、ダクト及びケーブルを収納する洞道が設置されている。再処理施設では、洞道内に設置されるケーブルを介して、各施設の監視及び制御を制御建屋で集中的に実施する設計としていること並びに高圧主系統から各建屋の高圧系統及び低圧系統への給電が行われるという特徴がある。以上のような落雷の特徴及び再処理施設の特徴を踏まえ、間接雷による雷サージによって各建屋に接地電位の差が生じることによる影響を考慮し、建屋間で取り合う落雷防護対象施設のうち電位差の影響を受けるおそれのある計測制御系統施設、放射線監視設備及び電気設備（以下、「計測制御系統施設等」という。）を対象として間接雷に対する防護設計を行う。また、間接雷による雷サージの影響は、雷撃電流の大きさ及び雷撃点周辺の落雷防護対象施設の設置状況によることから、最も厳しい条件を設定して間接雷に対する防護設計を行う。

建屋間で取り合う落雷防護対象施設の間接雷に対する防護設計としては、想

定する雷撃電流270kAの落雷が主排気筒に捕捉され、雷撃電流が拡散及び分流する過程で生じる雷サージの侵入及び伝播経路を考慮し、日本産業規格（JIS A 4201）に準拠した接地設計による間接雷の影響の抑制及び雷サージの影響阻止設計により、落雷防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

接地設計としては、避雷設備と接続する各接地系を接続することにより構内接地系の電位分布の平坦化を図り、日本産業規格による標準設計値を十分下回り、間接雷の影響を抑制する設計とする。

雷サージの影響阻止設計としては、計測制御系の信号方式等に応じた設計を行うこととし、アナログ信号式の計測制御系統施設は、信号の出力側の建屋と信号の入力側の建屋の両方に保安器を設置し、想定される雷サージ電圧に対して安全機能を損なわない設計とする。また、各建屋から制御建屋への信号出力ラインにアイソレータを設置し、落雷の影響が安全上重要な警報及びインターロック機能に及ぶことのない設計とする。

デジタル信号式の計測制御系統施設及び放射線監視設備は、シールドケーブルの両端接地又は光伝送ケーブルの使用により、想定される雷サージ電圧に対して安全機能を損なわない設計とする。

電気設備は、電気学会電気規格調査会標準規格に準拠した設計とし、雷インパルス絶縁耐力を有することにより、想定される雷サージ電圧に対して安全機能を損なわない設計とする。

また、落雷防護対象施設は、落雷防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の間接雷による機能的影響を考慮する。すなわち、落雷防護対象施設は、雷撃電流が避雷設備を通して分流、拡散していく過程において落雷防護対象施設以外の計測制御系統施設等が機能喪失し、落雷防護対象施設へ波及的影響を及ぼすことを考慮し、電氣的・物理的な独立性を有する設計とする。落雷防護対象施設の電氣的・物理的独立性に係る設計方針については、次回以降に詳細を説明する。

間接雷の影響に対する防護設計の詳細については、「VI-1-1-1-6-3 落雷の影響を考慮する施設の設計方針」に示す。

#### (4) 運用上の措置

落雷に関する設計条件等に係る新知見の収集、落雷の影響が確認された場合の運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- ・定期的に落雷の規模、発生頻度、落雷の影響メカニズム等に係る新知見の確認を行うこと。
- ・落雷により、落雷防護対象施設の安全機能への影響のおそれがあると判断された場合には、当該の落雷防護対象施設に関連する工程を停止する措置を取ることを。

## 2.2 準拠規格

準拠する規格，基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所の耐雷指針（JEAG4608-2007）
- ・建築基準法・同施行令・同告示
- ・消防法・危険物の規制に関する政令・省令
- ・建築物等の避雷設備（避雷針）（JIS A4201-1992）
- ・建築物等の雷保護（JIS A4201-2003）
- ・電気学会電気規格調査会標準規格 交流遮断器（JEC 2300-1998）

VI-1-1-1-6-2

落雷の影響を考慮する施設の選定

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 落雷の影響を考慮する施設の選定 .....	1
2.1 直撃雷の影響を考慮する施設の選定 .....	1
2.1.1 直撃雷の影響を考慮する施設の選定の基本方針 .....	1
2.1.2 直撃雷の影響を考慮する施設 .....	1
2.2 間接雷の影響を考慮する施設の選定 .....	3
2.2.1 間接雷の影響を考慮する施設の選定の基本方針 .....	3
2.2.2 間接雷の影響を考慮する施設 .....	3
2.3 落雷防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の選定 .....	9
2.4 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋 .....	9

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-6-1 落雷への配慮に関する基本方針」に基づき、落雷の影響を考慮する施設の選定について説明するものである。

## 2. 落雷の影響を考慮する施設の選定

### 2.1 直撃雷の影響を考慮する施設の選定

#### 2.1.1 直撃雷の影響を考慮する施設の選定の基本方針

直撃雷は外気にさらされた建屋及び屋外施設に対して影響を及ぼすことから、落雷防護対象施設を収納する建屋、屋外の落雷防護対象施設及び落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物を直撃雷の影響を考慮する施設として選定する。

なお、北換気筒及び低レベル廃棄物処理建屋換気筒は、落雷防護対象施設等にはあたらないため、選定対象外とするが、雷撃電流150kAを超えかつ270kAに満たない直撃雷を捕捉するため、主排気筒と同等の避雷設備を設ける設計とすることを踏まえ、主排気筒以外の高い構築物として「VI-1-1-1-6-3 落雷の影響を考慮する施設の設計方針」にて設計方針を説明する。

#### 2.1.2 直撃雷の影響を考慮する施設

##### (1) 落雷防護対象施設を収納する建屋

建屋内の落雷防護対象施設は、建屋によって直撃雷から防護される。したがって、直撃雷の影響を考慮する施設としては、落雷防護対象施設を収納する建屋を選定する。選定した落雷防護対象施設を収納する建屋は以下のとおりである。これらの建屋は、「VI-1-1-1-6-1 落雷への配慮に関する基本方針」に示す雷撃点と雷撃電流の設定に基づき、雷撃電流150kAの直撃雷を想定した設計とする。

- ・使用済燃料受入れ・貯蔵建屋
- ・前処理建屋
- ・分離建屋
- ・精製建屋
- ・ウラン脱硝建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
- ・ウラン酸化物貯蔵建屋
- ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
- ・高レベル廃液ガラス固化建屋
- ・第1ガラス固化体貯蔵建屋
- ・チャンネルボックス・バーナブル・イソソ処理建屋
- ・ハル・エンドピース貯蔵建屋
- ・分析建屋
- ・制御建屋

- ・非常用電源建屋
- ・主排気筒管理建屋

なお、落雷防護対象施設を収納する建屋のうち、前処理建屋、分離建屋、精製建屋、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋については、安全上重要な施設でもあり、当該施設自体が屋外の落雷防護対象施設になることから、防護対象施設としての設計については屋外の落雷防護対象施設として示す。

## (2) 屋外の落雷防護対象施設

屋外の落雷防護対象施設は以下のとおり。これらの施設には、「VI 1-1-1-6-1 落雷への配慮に関する基本方針」に示す雷撃点と雷撃電流の設定に基づき、雷撃電流270kAの直撃雷を想定した設計とするものと雷撃電流150kAの直撃雷を想定した設計とするものがある。

- a. 雷撃電流270kAの直撃雷を想定する施設
  - ・主排気筒
- b. 雷撃電流150kAの直撃雷を想定する施設
  - ・前処理建屋
  - ・分離建屋
  - ・精製建屋
  - ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋
  - ・高レベル廃液ガラス固化建屋

なお、屋外の落雷防護対象施設である安全冷却系冷却塔A、安全冷却水系冷却塔B、安全冷却水A冷却塔、安全冷却水B冷却塔、冷却塔A及び冷却塔Bについては、当該設備を覆う金属製の構築物である竜巻防護対策設備に避雷設備を設置することにより直撃雷に対する耐雷設計を行うことから、落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物を落雷の影響を考慮する施設として選定する。

## (3) 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物

落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物は以下のとおり。これらの施設は、「VI-1-1-1-6-1 落雷への配慮に関する基本方針」に示す雷撃点と雷撃電流の設定に基づき、雷撃電流150kAの直撃雷を想定した設計とする。

- ・飛来物防護ネット（使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A, B)

- ・飛来物防護ネット（再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔A, B）
- ・飛来物防護ネット（第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A, B）

## 2.2 間接雷の影響を考慮する施設の選定

### 2.2.1 間接雷の影響を考慮する施設の選定の基本方針

再処理施設の建物および構築物は広範囲に分散して設置されており、かつ、再処理施設の建屋間には配管、ダクト及びケーブルを収納する洞道が設置されている。再処理施設の監視及び制御は、洞道内に設置されるケーブルを介して、制御建屋で集中的に実施する設計としており、また、再処理施設の電気設備は、洞道内に設置されるケーブルを介して、高圧主系統から複数の建屋に設置される高圧系統及び低圧系統を経て各々の機器へ給電する設計としている。

一方、間接雷は、建屋及び屋外施設への落雷により、雷撃電流が避雷設備を介して大地へ拡散及び分流する過程で各建屋に接地電位の差を生じさせ、建屋間で取り合う計測制御系統施設、放射線監視設備及び電気設備（以下、「計測制御系統施設等」という。）に影響を及ぼし得る。

以上のような再処理施設の特徴及び間接雷の影響を考慮し、間接雷の影響を考慮する施設としては、建屋間で取り合う落雷防護対象施設のうち計測制御系統施設等を選定する。

### 2.2.2 間接雷の影響を考慮する施設

#### (1) 建屋間で取り合う落雷防護対象施設のうち計測制御系統施設

建屋間で取り合う落雷防護対象施設のうち計測制御系統施設に該当するものは以下のとおり。

- 安全冷却水系冷却塔A, Bと使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の間で取り合う計測制御系統施設
  - ・安全冷却水系膨張槽水位計
  - ・安全冷却水系膨張槽液位低による系統分離弁閉止回路及び安全冷却水系冷却水循環ポンプ停止回路
- 前処理建屋と制御建屋の間で取り合う計測制御系統施設
  - ・せん断機 せん断刃位置
  - ・せん断機 燃料送り出し検出器
  - ・溶解槽セトラ部温度計
  - ・溶解槽密度計
  - ・溶解槽硝酸供給ゲデオン流量計
  - ・溶解槽硝酸予熱ポット流量計測用スロット流量計



- ・溶解槽硝酸予熱ポット温度計
- ・硝酸供給槽密度計
- ・硝酸供給槽温度計
- ・可溶性中性子吸収材緊急供給槽液位計
- ・第1よう素追出し槽密度計
- ・第1よう素追出し槽温度計
- ・第2よう素追出し槽密度計
- ・第2よう素追出し槽温度計
- ・エンドピース酸洗浄槽密度計
- ・エンドピース酸洗浄槽温度計
- ・第1回収酸6N貯槽密度計
- ・エンドピースシュートガス洗浄塔入口6N回収硝酸流量計
- ・放射性配管分岐第1セル漏えい液受皿1液位計
- ・溶解槽セル漏えい検知ポット1液位計
- ・溶解槽セル漏えい液受皿5液位計
- ・超音波洗浄廃液受槽液位計
- ・漏えい液希釈水供給槽水位計
- ・清澄機セル漏えい液受皿液位計
- ・中継槽セル漏えい液受皿液位計
- ・放射性配管分岐第4セル漏えい液受皿液位計
- ・計量・調整槽セル漏えい液受皿液位計
- ・計量後中間貯槽セル漏えい液受皿液位計
- ・ミストフィルタ入口ガス圧力計
- ・廃ガス加熱器出口温度計
- ・溶解槽圧力計
- ・廃ガス洗浄塔入口圧力計
- ・せん断刃位置異常によるせん断停止回路
- ・燃料せん断長位置異常によるせん断停止回路
- ・エンドピースせん断位置異常によるせん断停止回路
- ・溶解槽溶解液温度低によるせん断停止回路
- ・溶解槽溶解液密度高によるせん断停止回路
- ・溶解槽供給硝酸流量低によるせん断停止回路
- ・溶解槽供給硝酸流量低によるせん断停止回路
- ・硝酸供給槽硝酸密度低によるせん断停止回路
- ・可溶性中性子吸収材緊急供給槽液位低によるせん断停止回路
- ・エンドピース酸洗浄槽洗浄液密度高によるせん断停止回路

- ・エンドピース酸洗浄槽洗浄液温度低によるせん断停止回路
  - ・エンドピース酸洗浄槽供給硝酸密度低によるせん断停止回路
  - ・エンドピース酸洗浄槽供給硝酸流量低によるせん断停止回路
  - ・溶解槽放射線レベル計
  - ・可溶性中性子吸収材緊急供給回路及びせん断停止回路
- c. 分離建屋と制御建屋の間で取り合う計測制御系統施設
- ・放射性配管分岐第2セル漏えい液受皿2液位計
  - ・溶解液中間貯槽セル漏えい液受皿3液位計
  - ・溶解液供給槽セル漏えい液受皿液位計
  - ・抽出塔セル漏えい液受皿液位計
  - ・抽出廃液受槽セル漏えい液受皿液位計
  - ・抽出廃液供給槽セル漏えい液受皿液位計
  - ・プルトニウム洗浄器5段目アルファ線線量計
  - ・プルトニウム洗浄器5段目アルファ線検出器の故障検知(ディスク回転, ドラム回転, シャ断位置, 測定位置, 校正位置)
  - ・第1アルファモニタ流量計測ポット流量計
  - ・第3アルファモニタ流量計測ポット流量計
  - ・プルトニウム洗浄器セル漏えい液受皿2液位計
  - ・分離建屋一時貯留処理槽第1セル漏えい液受皿液位計
  - ・分離建屋一時貯留処理槽第2セル漏えい液受皿液位計
  - ・廃ガス洗浄塔入口圧力計
  - ・漏えい液希釈溶液供給槽水位計
  - ・高レベル廃液供給槽セル漏えい液受皿液位計
  - ・ウラン濃縮缶加熱蒸気温度計
  - ・プルトニウム洗浄器1段目中性子線量計
  - ・高レベル廃液濃縮缶凝縮器出口廃ガス温度計
  - ・高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度計
  - ・高レベル廃液濃縮缶凝縮器出口廃ガス温度計
  - ・分配設備のプルトニウム洗浄器アルファ線検出器の故障警報に係る工程停止回路
  - ・外部電源喪失による建屋給気閉止ダンパの閉止回路(分離建屋)
  - ・高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
  - ・分離施設のウラン濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
  - ・洗浄器中性子計数率高による工程停止回路
  - ・高レベル廃液濃縮缶凝縮器排気出口温度高による加熱停止回路

- ・高レベル廃液濃縮缶凝縮器排気出口温度高による加熱停止回路
- d. 精製建屋と制御建屋の間で取り合う計測制御系統施設
- ・放射性配管分岐第1セル漏えい液受皿1液位計
  - ・放射性配管分岐第1セル漏えい液受皿2液位計
  - ・油水分離槽セル漏えい液受皿 液位計
  - ・プルトニウム濃縮缶供給槽セル漏えい液受皿 液位計
  - ・プルトニウム精製塔セル漏えい液受皿 液位計
  - ・プルトニウム濃縮液受槽セル漏えい液受皿 液位計
  - ・プルトニウム濃縮液一時貯槽セル漏えい液受皿 液位計
  - ・プルトニウム濃縮液計量槽セル漏えい液受皿 液位計
  - ・プルトニウム洗浄器4段目 アルファ線線量計
  - ・アルファモニタ流量計測ポット 流量計
  - ・プルトニウム洗浄器4段目アルファ線検出器の故障検知（ディスク回転，ドラム回転，しゃ断位置，測定位置，校正位置）
  - ・廃ガス洗浄塔入口圧力計
  - ・NO<sub>x</sub>廃ガス洗浄塔入口圧力計
  - ・プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計
  - ・蒸発缶・精留塔加熱蒸気温度計
  - ・逆抽出塔溶液温度計
  - ・プルトニウム精製設備のプルトニウム洗浄器アルファ線検出器の故障警報に係る工程停止回路
  - ・プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
  - ・第2酸回収系の蒸発缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
  - ・逆抽出塔溶液温度高による加熱停止回路
  - ・外部電源喪失による建屋給気閉止ダンパの閉止回路（精製建屋）
- e. ウラン脱硝建屋と制御建屋の間で取り合う計測制御系統施設
- ・自動充てん装置 充てん定位置
  - ・脱硝塔(コーン部) 温度計
  - ・ウラン酸化物貯蔵容器充てん定位置の検知によるUO<sub>3</sub>粉末の充てん起動回路
  - ・脱硝塔内部の温度低による硝酸ウラニル濃縮液の供給停止回路
- f. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋と制御建屋の間で取り合う計測制御系統施設

- ・硝酸プルトニウム貯槽セル漏えい液受血液位計
  - ・混合槽セル漏えい液受血液位計
  - ・一時貯槽セル漏えい液受血液位計
  - ・混合廃ガス凝縮器入口圧力計
  - ・脱硝装置の温度計及び照度計によるシャッタの起動回路
  - ・空気輸送終了検知及び脱硝皿の重量確認による脱硝皿取扱装置の起動回路
  - ・粉碎粉末充てんノズル部保管容器充てん定位置の検知によるMOX粉末の充てん起動回路
  - ・リワーク粉碎粉末充てんノズル部保管容器充てん定位置の検知によるMOX粉末の充てん起動回路
  - ・粉末缶充てん定位置の検知によるMOX粉末の充てん起動回路
  - ・粉末缶MOX粉末重量確認による粉末缶払出装置の起動回路
  - ・還元ガス受槽水素濃度計
  - ・焙焼炉入口温度計
  - ・還元炉入口温度計
  - ・脱硝装置脱硝物温度計
  - ・粉体移送機秤量器重量計
  - ・脱硝装置内部照度計
  - ・粉体移送機空気輸送検知計
  - ・粉碎粉末充てんノズル部保管容器充てん定位置
  - ・リワーク粉碎粉末充てんノズル部保管容器充てん定位置
  - ・混合粉末充てんノズル部粉末缶充てん定位置
  - ・粉末充てん第1秤量器重量計
  - ・粉末充てん第2秤量器重量計
  - ・焙焼炉ヒータ部温度高による加熱停止回路
  - ・還元炉ヒータ部温度高による加熱停止回路
  - ・水素濃度高による還元ガス供給停止回路
- g. 高レベル廃液ガラス固化建屋と制御建屋の間で取り合う計測制御系統施設
- ・高レベル濃縮廃液廃ガス処理系廃ガス洗浄塔入口圧力計
  - ・不溶解残渣廃液廃ガス処理系廃ガス洗浄塔入口圧力計
  - ・ガラス熔融炉炉内気相圧力計
  - ・純水中間貯槽水位計
  - ・安全冷水膨張槽水位計
  - ・固化セル温度計

- ・高レベル濃縮廃液貯槽第1セル漏えい液受血液位計
- ・高レベル濃縮廃液貯槽第2セル漏えい液受血液位計
- ・高レベル濃縮廃液一時貯槽セル漏えい液受血液位計
- ・不溶解残渣廃液一時貯槽セル漏えい液受皿1液位計
- ・不溶解残渣廃液貯槽第1セル漏えい液受血液位計
- ・不溶解残渣廃液貯槽第2セル漏えい液受血液位計
- ・高レベル廃液共用貯槽セル漏えい液受血液位計
- ・結合装置内圧力計
- ・固化セル漏えい液受血液位計
- ・高レベル廃液混合槽第1セル漏えい液受血液位計
- ・高レベル廃液混合槽第2セル漏えい液受血液位計
- ・流下ノズル冷却用空気槽圧力計
- ・計測制御用空気貯槽圧力計
- ・水素掃気用空気貯槽圧力計
- ・安全冷水膨張槽の水位低による冷水供給停止回路
- ・固化セル内の温度制御
- ・結合装置圧力信号による流下ノズル加熱停止回路
- ・流下ノズル冷却用空気槽の圧力低による流下ノズル加熱停止回路
- ・固化セル圧力計
- ・ガラス熔融炉ガラス固化体質量計
- ・固化セル圧力高による固化セル隔離ダンパの閉止回路
- ・固化セル移送台車上の質量高によるガラス流下停止回路

(2) 建屋間で取り合う落雷防護対象施設のうち放射線監視設備

建屋間で取り合う落雷防護対象施設のうち放射線監視設備に該当するものは以下のとおり。

- a. 主排気筒管理建屋と制御建屋の間で取り合う設備
- ・主排気筒ガスモニタ

(3) 建屋間で取り合う落雷防護対象施設のうち電気設備

建屋間で取り合う落雷防護対象施設のうち電気設備に該当するものは以下のとおり。

- ・所内高圧系統のうち高圧主系統として非常用電源建屋に設置する6.9kV非常用メタクラ
- ・所内高圧系統のうち高圧系統として制御建屋に設置する6.9kV非常用メタクラ

- ・所内高圧系統のうち高圧系統として前処理建屋に設置する6.9kV非常用メタクラ
- ・所内高圧系統のうち高圧系統としてウソ・フ・ル・コム混合脱硝建屋に設置する6.9kV非常用メタクラ
- ・所内低圧系統のうち低圧系統として分離建屋に設置する460V非常用パワーセンタ
- ・所内低圧系統のうち低圧系統として精製建屋に設置する460V非常用パワーセンタ
- ・所内低圧系統のうち低圧系統としてウソ・フ・ル・コム混合酸化物貯蔵建屋に設置する460V非常用パワーセンタ
- ・所内低圧系統のうち低圧系統として高レベル廃液ガラス固化建屋に設置する460V非常用パワーセンタ

### 2.3 落雷防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の選定

直撃雷による波及的影響としては、落雷防護対象施設等を除く安全機能を有する施設が、直撃雷による損傷又はこれらの避雷設備の温度上昇により、落雷防護対象施設等に機械的影響を及ぼすことを想定する。しかし、再処理施設のうち外気にさらされているものは鉄筋コンクリート造の建屋や鋼構造物であり、直撃雷による損傷を受けて倒壊に至ることは考えられないため、周辺の落雷防護対象施設等に機械的な波及的影響を及ぼすことはない。また、雷撃による避雷設備の温度上昇はわずかであり、避雷設備の損傷又は倒壊に至るおそれはないことから、周辺の落雷防護対象施設を収納する建屋及び屋外の落雷防護対象施設に機械的な波及的影響を及ぼすことはない。したがって、直撃雷によって落雷防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設はない。

間接雷による波及的影響としては、雷撃電流が避雷設備を通して分流、拡散していく過程において、構内接地系を介した間接雷の影響によって落雷防護対象施設以外の計測制御系統施設等が機能喪失し、建屋間で取り合う落雷防護対象施設へ機能的影響を及ぼすことを想定する。しかし、建屋間で取り合う落雷防護対象施設である計測制御系統施設等は、落雷防護対象施設以外の計測制御系統施設等及びその他の施設と電氣的・物理的な独立性を有する設計とするため、落雷防護対象施設以外の計測制御系統施設等及びその他の施設が落雷の影響によって機能喪失したとしても、落雷防護対象施設に機能的な波及的影響を及ぼすことはない。計測制御系統施設等を除き、建屋間で取り合う落雷防護対象施設は、構内接地系に接続するものはないため、構内接地系を介して間接雷の影響を受けることはない。したがって、間接雷によって落雷防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設はない。

### 2.4 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は、落雷防護対象施設を収納する建屋と同

様に直撃雷の影響を考慮する施設として選定する。使用済燃料収納キャスクを収納する建屋は以下のとおり。

- ・使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）

VI-1-1-1-6-3

落雷の影響を考慮する施設の  
設計方針



## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 設計の基本方針	1
3. 要求機能及び性能目標	1
3.1 直撃雷の影響を考慮する施設	1
3.1.1 落雷防護対象施設を収納する建屋	1
3.1.2 屋外の落雷防護対象施設	1
3.1.3 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物	1
3.1.4 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋	2
3.2 間接雷の影響を考慮する施設	2
3.2.1 接地設計	2
3.2.2 建屋間で取り合う落雷防護対象施設	2
3.3 主排気筒以外の高い構築物	2
4. 機能設計	2
4.1 直撃雷の影響を考慮する施設	2
4.1.1 落雷防護対象施設を収納する建屋	2
4.1.2 屋外の落雷防護対象施設	2
4.1.3 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物	2
4.1.4 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋	4
4.2 間接雷の影響を考慮する施設	4
4.2.1 接地設計	4
4.2.2 建屋間で取り合う落雷防護対象施設	4
4.3 主排気筒以外の高い構築物	4

## 1. 概要

本資料は、「VI-1-1-1-6-1 落雷への配慮に関する基本方針」及び「VI-1-1-1-6-2 落雷の影響を考慮する施設の選定」に基づき、落雷防護に関する施設の要求機能及び性能目標を明確にし、各施設の耐雷設計に対する設計方針について説明するものである。

## 2. 設計の基本方針

「VI-1-1-1-6-1 落雷への配慮に関する基本方針」に基づき、落雷防護対象施設が安全機能を損なわないよう、落雷の影響を考慮する施設に対して防護設計を行う。

落雷の影響を考慮する施設の設計に当たっては、「VI-1-1-1-6-2 落雷の影響を考慮する施設の選定」にて選定した施設に対して、施設分類ごとに要求機能を整理し、設計方針を定める。

## 3. 要求機能及び性能目標

落雷防護設計を実施する目的は、再処理施設に影響を与える可能性がある落雷の発生に伴い、落雷防護対象施設が安全機能を損なわないようにすることである。落雷の影響を考慮する施設については、「VI-1-1-1-6-2 落雷の影響を考慮する施設の選定」に基づき、落雷防護対象施設を収納する建屋、屋外の落雷防護対象施設、落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物及び建屋間で取り合う落雷防護対象施設に分類している。これらを踏まえ、施設分類ごとに要求機能を整理するとともに、要求機能を踏まえた機能設計上の性能目標を設定する。

### 3.1 直撃雷の影響を考慮する施設

#### 3.1.1 落雷防護対象施設を収納する建屋

落雷防護対象施設を収納する建屋に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

#### 3.1.2 屋外の落雷防護対象施設

屋外の落雷防護対象施設に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

#### 3.1.3 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物

##### (1) 要求機能

落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物は、屋外の落雷防護対象施設に直撃雷が到達するのを防止する機能を有することが要求される。

##### (2) 性能目標

落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物は、屋外の落雷防護対象施設に直撃雷が到達するのを防止することができるよう、雷撃を受雷し、雷撃電流を安全に大地へ放流できることを機能設計上の性能目標とする。

#### 3.1.4 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋に対する要求機能及び性能目標については、次回以降に詳細を説明する。

### 3.2 間接雷の影響を考慮する施設

間接雷の影響を考慮する施設に対する防護設計は、間接雷の影響を抑制するための接地設計及び建屋間で取り合う落雷防護対象施設に対する雷サージの影響阻止設計から構成する。

#### 3.2.1 接地設計

接地設計に対する要求機能及び性能目標については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 3.2.2 建屋間で取り合う落雷防護対象施設

建屋間で取り合う落雷防護対象施設に対する要求機能及び性能目標については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 3.3 主排気筒以外の高い構築物

主排気筒以外の高い構築物に対する要求機能及び性能目標については、各施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

## 4. 機能設計

「VI-1-1-1-6-1 落雷への配慮に関する基本方針」で設定している想定する落雷の規模に対し、「3. 要求機能及び性能目標」で設定している落雷の影響を考慮する施設の機能設計上の性能目標を達成するために、各施設の機能設計の方針を定める。

### 4.1 直撃雷の影響を考慮する施設

#### 4.1.1 落雷防護対象施設を収納する建屋

落雷防護対象施設を収納する建屋に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

#### 4.1.2 屋外の落雷防護対象施設

屋外の落雷防護対象施設に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

#### 4.1.3 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物

落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物は、「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3（2）性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するため、「原子力発電所の耐雷指針」（JEAG4608），建築基準法及び消防法に基づき、日本産業規格（JIS A4201）に準拠した避雷設備を設置する設計とする。

避雷設備の設計方針は以下のとおりとする。

- a. 各々の落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物の避雷設備は、日本産業規格

(JIS A4201-2003 (以下, 本添付書類では「2003年版JIS」という。))に準拠したものとする。

- b. 避雷設備の受雷部は, 構築物内側の落雷防護対象施設への雷撃を防止するため, 2003年版JISに準拠した金属製の構造体利用を採用し, 材料として断面積50mm<sup>2</sup>以上の鉄(鋼材)を用いるとともに, メッシュ法幅20m以下となるようにする。
- c. 避雷設備の受雷部は, 雷撃電流を大地に放流するため, 引下げ導線によって接地極に接続する。
- d. 避雷設備の引下げ導線は, 火花放電の発生の低減を図るため, 以下の設計とする。
  - ・引下げ導線は, 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物の外周に複数本をほぼ均等に配置し, 平均間隔を25m以下とする。
  - ・引下げ導線は, 短い距離にて接地極へ接続する。
  - ・引下げ導線の材料として断面積38mm<sup>2</sup>以上の銅を使用する。
- e. 避雷設備の接地極は, 接地抵抗の低減及び雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平坦化を図るため, 網状接地極を基本とする。

落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物を第4.1.3-1表に示す。また, 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物の避雷設備の概念図を第4.1.3-1図に示す。

落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物については, 各施設の申請に合わせて次回以降に拡充して説明する。

第4.1.3-1表 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物

落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物	受雷部	接地極	準拠規格
飛来物防護ネット(再処理設備本体用安全冷却水系冷却塔B)	○	○	2003

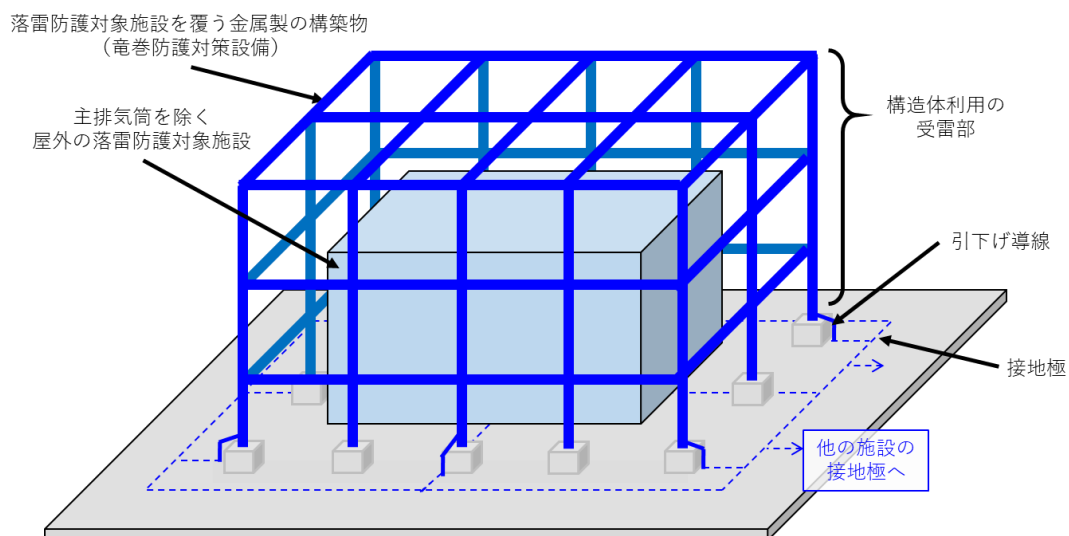
注記: 第1回申請の対象のみを記載。

<凡例>

○: 受雷部又は接地極の設置対象

2003: 2003年版JISに準拠した避雷設備を設置

1992: 1992年版JISに準拠した避雷設備を設置



第4.1.3-1図 落雷防護対象施設を覆う金属製の構築物の避雷設備の概念図

#### 4.1.4 使用済燃料収納キャスクを収納する建屋

使用済燃料収納キャスクを収納する建屋に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

### 4.2 間接雷の影響を考慮する施設

#### 4.2.1 接地設計

接地設計における機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

#### 4.2.2 建屋間で取り合う落雷防護対象施設

建屋間で取り合う落雷防護対象施設に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

### 4.3 主排気筒以外の高い構築物

主排気筒を除く高い構築物に対する機能設計については、次回以降に詳細を説明する。

VI-1-1-1-7

津波への配慮に関する説明書

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 耐津波設計の基本方針.....	2
3. 津波評価 .....	3
3.1 概要 .....	3
3.2 既往津波に関する検討.....	3
3.3 既往知見を踏まえた津波の評価.....	3
3.4 施設の安全性評価.....	6

## 1. 概要

本資料は、津波により再処理施設の安全機能を有する施設の安全性及び重大事故等対処施設の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないとすることが、「再処理施設の技術基準に関する規則」第七条及び第三十四条（津波による損傷の防止）に適合することを説明するものである。

重大事故等対処施設については、重大事故等対処施設の申請に併せて次回以降に詳細を説明する。



## 2. 耐津波設計の基本方針

安全機能を有する施設は、津波によりその安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

設計上考慮する津波から防護する施設は、事業指定基準規則の解釈別記 3 に基づき安全機能を有する施設のうち耐震重要施設とし、当該施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して必要な機能が損なわれないよう、耐震重要施設は津波による影響を受けない位置に設置する設計とする。

設計上考慮する津波から防護する施設以外の安全機能を有する施設については、津波に対して機能を維持すること若しくは津波による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

上記施設のうち液体廃棄物の廃棄施設の海洋放出管については、津波により損傷した場合の措置として、必要に応じて廃液の発生量低減のための工程停止を行ったうえで適切な修理を行うことにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと及び廃液の発生量低減のため必要に応じて工程停止を行うことを保安規定に定めて、管理する。

耐震重要施設（当該施設に波及的影響を及ぼして必要な機能を損なわせるおそれがある施設を含む）を設置する敷地は、標高約 55m 及び海岸からの距離約 5km の地点に位置しており、事業指定（変更許可）においては、後述の「3. 津波評価」に示すとおり、断層のすべり量が既往知見を大きく上回る波源を想定した場合でも、より厳しい評価となるように設定した標高 40m の敷地高さへ津波が到達する可能性はなく、また、低レベル廃液処理建屋及び使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋から導かれ、汀線部から沖合約 3km まで敷設する海洋放出管は、低レベル廃液処理建屋及び使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋が標高約 55m の敷地に設置されることから、海洋放出管の経路からこれらの建屋に津波が流入するおそれはないことを確認している。

したがって、津波によって、安全機能を有する施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

### 3. 津波評価

#### 3.1 概要

本章においては、標高 40m の敷地高さへ津波が到達する可能性がないと評価した根拠である、事業指定（変更許可）における津波評価の概要を示す。

事業指定（変更許可）における津波評価においては、既往知見を踏まえた津波の評価を行い、想定される津波の規模観について把握した上で、施設の安全性評価として、すべり量が既往知見を大きく上回る波源モデルによる検討を行い、標高 40m の敷地高さへ津波が到達する可能性について検討を行っている。

#### 3.2 既往津波に関する検討

##### (1) 近地津波

敷地周辺における主な既往の近地津波の津波高を比較した結果、敷地近傍に大きな影響を及ぼしたと考えられる近地津波は、1856 年の津波、1968 年十勝沖地震に伴う津波及び 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波と評価した。

##### (2) 遠地津波

敷地周辺における主な既往の遠地津波の津波高を比較した結果、敷地近傍に影響を及ぼしたと考えられる遠地津波は 1960 年チリ地震津波であるが、近地津波の津波高を上回るものではないと評価した。

##### (3) 既往津波の評価

既往津波に関する文献調査の結果、敷地近傍に大きな影響を及ぼしたと考えられる既往津波は、1856 年の津波、1968 年十勝沖地震に伴う津波及び 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波と評価した。

#### 3.3 既往知見を踏まえた津波の評価

##### (1) 地震に起因する津波の評価

###### ① 対象とする地震

地震に起因する津波の評価においては、敷地に影響を与える可能性がある津波の波源として、プレート間地震、海洋プレート内地震及び海域の活断層による地殻内地震について検討した。

###### ② 数値シミュレーション

既往津波の再現性確認を行った計算モデルを用いて数値シミュレーションを行った。評価位置については、尾駸沼の形状を踏まえ尾駸沼奥の地点を選定した。

###### ③ プレート間地震に起因する津波の評価

プレート間地震として、三陸沖北部のプレート間地震、津波地震及び三陸沖北部と隣り合う領域の連動を考慮した連動型地震について検討した。

連動型地震については、三陸沖北部から北方の千島海溝沿いの領域への連動を考慮した連動型地震（以下、「北方への連動型地震」という。）及び三陸沖北部から南方の日本海溝沿いの領域への連動を考慮した連動型地震（以下、「南方への連動

型地震」という。)が考えられるが、南方への連動型地震については青森県海岸津波対策検討会の検討結果の知見があることから、本評価では北方への連動型地震の波源モデルを設定して検討を実施した上で、当該結果と南方への連動型地震に係る青森県海岸津波対策検討会による検討結果を比較することとした。

a. 基本モデル

(a) 三陸沖北部のプレート間地震

三陸沖北部のプレート間地震の波源モデルについては、1856年の津波が古記録より推定されていることから、同一海域で発生し各地の津波高が数多く観測されている1968年十勝沖地震に伴う津波を対象とすることとし、1968年十勝沖地震に伴う津波の波源モデルをもとに、地震規模が既往最大のMw8.4となるようにスケーリング則に基づき設定した。当該波源モデルの位置及び諸元に基づき実施した数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高はT. M. S. L. +1.38mであった。

(b) 津波地震

津波地震の波源モデルについては、1896年明治三陸地震津波の波源モデル(地震規模は既往最大のMw8.3)を設定した。当該波源モデルの位置及び諸元に基づき実施した数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高はT. M. S. L. +1.28mであった。

(c) 北方への連動型地震

北方への連動型地震の波源モデルについては、敷地前面の三陸沖北部から根室沖までの領域を想定波源域とし、2011年東北地方太平洋沖地震の知見等も踏まえ、すべりの不均質性等を考慮した波源モデル(Mw9.04)を設定した。当該波源モデルの位置及び諸元に基づき実施した数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高はT. M. S. L. +2.32mであった。

b. 不確かさの考慮に係る評価

評価位置における津波高が最大となる北方への連動型地震について、波源特性、波源位置及び破壊開始点の不確かさを考慮し評価を実施した。さらに、不確かさの考慮において評価位置における津波高が最大となるケースと、南方への連動型地震である青森県の結果の比較を行い、津波高の高いケースをプレート間地震に起因する津波の最大ケースとして評価した。

波源特性の不確かさについては、すべり量の不確かさを考慮したすべり量割増モデル及びすべり分布の不確かさを考慮した海溝側強調モデルを設定した。数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高は、すべり量割増モデルでT. M. S. L. +3.01m、海溝側強調モデルでT. M. S. L. +3.00mであった。

波源位置の不確かさについては、すべり量割増モデル及び海溝側強調モデルのそれぞれについて、北へ約50km移動させたケース並びに南へ約50km、約100km及

び約 150km 移動させたケースを設定した。数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高が最大となるのは、すべり量割増モデルを南に約 100km 移動させたケースで、T. M. S. L. +3.65m であった。

破壊開始点の不確かさについては、波源位置を変動させた検討において評価位置における津波高が最大となるすべり量割増モデルを南に約 100km 移動させたケースを対象に破壊開始点の異なる複数のケースを設定した。数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高は最大ケースで、T. M. S. L. +4.00m であった。

また、以上の北方への連動型地震に係る検討結果と南方への連動型地震に係る検討結果を比較した結果、北方への連動型地震に起因する津波が南方への連動型地震に起因する津波を上回る結果であることを確認した。

以上より、プレート間地震に起因する津波について、評価位置における津波高が最大となるのは、北方への連動型地震に不確かさを考慮したケースであり、その津波高は評価位置において T. M. S. L. +4.00m であった。

#### ④ 海洋プレート内地震に起因する津波の評価

海洋プレート内地震の波源モデルについては、1933 年昭和三陸地震津波の波源モデルをもとに、地震規模が既往最大の Mw8.6 となるようにスケーリング則に基づき設定した。当該波源モデルの位置及び諸元に基づき実施した数値シミュレーションの結果、評価位置における津波高は T. M. S. L. +1.35m であった。以上を踏まえると、海洋プレート内地震に起因する津波は、プレート間地震に起因する津波を上回るものではない。

#### ⑤ 海域の活断層による地殻内地震に起因する津波の評価

海域の活断層による地殻内地震に起因する津波の推定津波高は最大でも 0.3m であり、プレート間地震に起因する津波と比べて影響は非常に小さい。

### (2) 地震以外の要因に起因する津波の評価

#### ① 地すべり等に起因する津波の評価

文献調査によると、敷地周辺における陸上及び海底の地すべり並びに斜面崩壊による歴史津波の記録は知られておらず、敷地周辺陸域の海岸付近における大規模な地すべり地形及び敷地周辺海域における海底地すべり地形は認められない。

また、海底地形調査により抽出された地すべり地形に基づく数値シミュレーションにより敷地への影響を評価した結果、評価位置前面における津波高は、最大でも 0.20m であり、プレート間地震に起因する津波と比べて影響は非常に小さいと評価した。

#### ② 火山現象に起因する津波の評価

文献調査によると、敷地周辺に大きな影響を及ぼした、火山現象による歴史津波の記録は知られていないことから、火山現象に起因する津波については、影響は極めて小さいと評価した。

(3) まとめ

既往知見を踏まえた津波の評価として、地震及び地震以外の要因に起因する津波について評価を行った結果、想定される津波の規模観は評価位置において T. M. S. L. +4.00m 程度であった。なお、地震以外の要因に起因する津波の影響は非常に小さいことから、地震に起因する津波との重畳を考慮したとしても想定される津波の規模観への影響はない。

3.4 施設の安全性評価

(1) 評価概要

施設の安全性評価として、標高 40m の敷地高さへ津波が到達する可能性がないことを確認するため、すべり量が既往知見を大きく上回る波源モデルによる検討を実施した。

(2) 波源モデルの設定

すべり量が既往知見を大きく上回る波源モデルについては、国内外の巨大地震のすべり量に関する文献調査結果を踏まえ、既往の巨大地震及び将来予測のモデルにおける最大すべり量を上回るよう、既往知見を踏まえた津波の評価において津波高が最も高いケースの波源モデルの各領域のすべり量を 3 倍にしたモデル(以下、「すべり量 3 倍モデル」という。)を設定した。

また、既往の巨大地震及び将来予測のモデルにおけるすべり分布を見ると、超大すべり域のようなすべりの大きな領域は波源域全体には分布していないことを踏まえ、すべり量が既往知見を大きく上回るもう一つの波源モデルとして、波源域全体を超大すべり域としたモデル(以下、「全域超大すべり域モデル」という。)を設定した。

(3) 評価結果

すべり量が既往知見を大きく上回る「すべり量 3 倍モデル」及び「全域超大すべり域モデル」による検討の結果、津波は標高 40m の敷地高さには到達しておらず、また、海洋放出管を経路として標高 40m の敷地高さに到達する可能性もないことを確認した。

## VI-1-1-2

# 再処理施設の閉じ込めの機能に関する説明書

## 目 次

VI-1-1-2-1 再処理施設の閉じ込めに関する説明書

VI-1-1-2-2

再処理施設の冷却機能の喪失による蒸発乾固に対処するための設備に関する説明書

次回以降申請

VI-1-1-2-3

再処理施設の放射性物質の漏えいに対するための設備に関する説明書 次回以降申請

VI-1-1-2-1

再処理施設の閉じ込めに関する説明  
書



## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 基本方針 .....	1
2.1 閉じ込め .....	1
2.1.1 系統及び機器への放射性物質の閉じ込め .....	1
2.1.2 放射性物質の逆流防止 .....	1
2.1.3 放射性物質の漏えい拡大防止 .....	2
2.1.4 放射性物質を取り扱う設備，セル等及び室の負圧維持 .....	4
2.1.5 グローブボックス及びフード .....	4
2.1.6 崩壊熱除去 .....	4
2.1.7 液体状の放射性物質の施設外への漏えい防止 .....	6
2.2 放射性物質による汚染の防止 .....	7
3. 準拠規格 .....	7

## 1. 概要

本資料は、「再処理施設の技術基準に関する規則」第十条及び第二十六条に適合する設計とするため、再処理施設における閉じ込めの機能の維持、また、放射性物質によって汚染された物による汚染の防止のために必要な措置を説明するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 閉じ込め

安全機能を有する施設は、放射性物質を系統若しくは機器に閉じ込める、又は漏えいした場合においても、セル、グローブボックス及びこれらと同等の閉じ込め機能を有する施設（以下「セル等」という。）若しくは建屋内に保持し、放射性物質を限定された区域に閉じ込める設計とする。

なお、放射性物質を限定された区域に閉じ込める機能を維持するために、安全上重要な施設の安全機能に支援が必要な場合には、安全機能の支援として、純水、冷却水及び圧縮空気を供給する設計とする。

#### 2.1.1 系統及び機器への放射性物質の閉じ込め

放射性物質を内包する系統及び機器は、放射性物質が漏えいし難い設計とする。また、使用する化学薬品、取り扱う放射性物質、圧力及び温度並びに保守及び修理の条件を考慮し、ステンレス鋼、ジルコニウムその他の腐食し難い材料を使用するとともに、腐食しを確保する設計とする。

なお、系統及び機器への放射性物質の閉じ込めに関する設計の具体については、溶解施設等の申請に合わせて次回以降に説明する。

上記のうち、使用済燃料を受け入れ又は貯蔵する水槽の水の漏えいし難い設計の具体については、「VI-1-2 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設に関する説明書」にて説明する。

ウランを含む粉末、焼却灰その他の粉末状の放射性物質を非密封で取り扱う場合は、密閉した系統及び機器内で取り扱う設計とする。

#### 2.1.2 放射性物質の逆流防止

流体状の放射性物質を取り扱う設備は、放射性物質を含まない流体を取り扱う設備への放射性物質の逆流により放射性物質を拡散しない設計とする。

なお、流体状の放射性物質の逆流防止に関する設計の具体については、溶解施設等の申請に合わせて次回以降に説明する。

上記のうち、放射性物質により汚染された空気を取り扱う換気設備の逆流防止に関する設計の具体については、「VI-1-6 放射性廃棄物の廃棄施設に関する説明書」にて説明する。

### 2.1.3 放射性物質の漏えい拡大防止

#### (1) セル等又は室への放射性物質を内包する設備の収納

放射性物質を内包する系統及び機器は、その性状に応じてセル等又は室に適切に収納する設計とする。

プルトニウムを含む溶液及び粉末並びに高レベル放射性液体廃棄物（以下「高レベル廃液」という。）を内包する系統及び機器は、分析のため少量を取り扱う場合や、ウラン・プルトニウム混合酸化物（ $UO_2 \cdot PuO_2$ 、以下「MOX」という。）粉末を封入した混合酸化物貯蔵容器を取り扱う場合を除き、セル等に収納する設計とする。

なお、放射性物質の漏えい拡大を防止するための放射性物質の移動に関する設計については、溶解施設等の申請に合わせて次回以降に説明する。

#### (2) 漏えい液の回収

液体状の放射性物質を内包する系統及び機器を収納するセル等の床にはステンレス鋼製の漏えい液受皿を設置し、液体状の放射性物質がセル等に漏えいした場合は、漏えい検知装置により検知し、漏えいの拡大を防止するとともに、漏えいした液の性状に応じて定めた移送先に移送し処理できる設計とする。

液体状の放射性物質を内包する系統及び機器を設置する室の床には漏えい液受皿を設置し、万一液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいを検知し、漏えいの拡大を防止するとともに、漏えいした液の移送及び処理ができる設計とする。

なお、漏えい液の拡大防止及び回収に関する設計の具体及び漏えい拡大防止のために設置する受皿に関する設計については、精製施設等の申請に合わせて次回以降に説明する。

使用済燃料を受け入れ又は貯蔵する水槽から水が漏えいした場合でも水の漏えいを検知し安全に処置できる設計とする。

なお、使用済燃料を受け入れ又は貯蔵する水槽から漏えいした水を検知し安全に処置できる設計の具体については、「VI-1-2 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設に関する説明書」にて説明する。

#### a. 沸騰するおそれのある又はn-ドデカンの引火点に達するおそれのある漏えい液の回収

漏えいした液の発熱量が大きく、沸騰のおそれがあるか又はTBP、n-ドデカン及びこれらの混合物（以下「有機溶媒」という。）を含む漏えいした液がn-ドデカンの引火点に達するおそれのあるセル等については、漏えいを検知するための漏えい検知装置を多重化し、万一外部電源が喪失した場合でも、漏えい

した液を確実に移送するために、スチームジェットポンプを使用する場合の蒸気はその他再処理設備の附属施設の安全蒸気系から供給し、ポンプを使用する場合の電源は非常用所内電源系統に接続する設計とする。また、ポンプは、多重化するか、万一故障しても漏えいした液が沸騰に至らない間に修理又は交換できる設計とする。

なお、沸騰又はn-ドデカンの引火点に達するおそれのある漏えい液の回収に関する設計の具体については、溶解施設等の申請に合わせて次回以降に説明する。

#### b. 臨界のおそれのある漏えい液の回収

通常の運転状態において硝酸プルトニウム並びに硝酸プルトニウム及び硝酸ウランの混合溶液の無限体系の未臨界濃度以上のプルトニウムを含む溶液を内包する機器を収納するセルの床には、万一漏えいが発生した場合でも臨界とならない漏えい液受皿を設ける設計とする。

なお、漏えい液受皿の臨界管理に関する設計については、「I 核燃料物質の臨界防止に関する説明書」にて説明する。

連続移送の配管から漏えいのおそれがあり、漏えいしたプルトニウムを含む溶液の回収が重力流によらない場合は、漏えい検知装置を臨界安全管理の観点から多重化し、万一漏えいした場合には、漏えいを確実に検知し移送する設計とする。

通常の運転状態において無限体系の未臨界濃度以上のプルトニウムを含む溶液を連続移送する配管から漏えいのおそれがあり、漏えいしたプルトニウムを含む溶液の回収が重力流によらない場合は、漏えい液受皿の集液溝を監視する装置により、漏えいを検知する設計とする。

#### (3) 熱媒へ漏えいした流体状の放射性物質の回収

管理区域外から流体状の放射性物質を内包する設備へ冷却水、加熱蒸気及び温水（以下「熱媒」という。）を供給する場合は、管理区域内で熱交換器を介することで、放射性物質を含む流体を管理区域外に流出しない設計とする。

熱媒をセル内に設置された流体状の放射性物質を内包する設備へ供給する場合は、熱媒中への放射性物質の漏えいを検知できる設計とする。

万一、熱媒中に放射性物質が漏えいした場合には、汚染した熱媒を安全に処理できる設計とする。

#### 2.1.4 放射性物質を取り扱う設備，セル等及び室の負圧維持

プルトニウムを含む溶液及び高レベル廃液を内包する系統及び機器，セル等並びにこれらを収納する建屋は，原則として，気体廃棄物の廃棄施設により常時負圧に保ち，それぞれの気圧は，原則として，建屋，セル等，系統及び機器の順に低くすることで漏えいの拡大を防止する設計とする。

また，上記以外の放射性物質を内包する系統及び機器，セル等並びにこれらを収納する建屋は，気体廃棄物の廃棄施設により負圧に保ち，それぞれの負圧は，建屋，セル等，系統及び機器の順に低くすることで漏えいの拡大を防止する設計とする。

なお，気体廃棄物の廃棄施設による放射性物質の閉じ込めに関する設計の具体については，気体廃棄物の廃棄施設の申請に合わせて次回以降に説明する。

気体廃棄物の廃棄施設は，放射性物質の漏えい及び逆流を防止する設計とするとともに，フィルタ，洗浄塔等により放射性物質を適切に除去した後，主排気筒，北換気筒又は低レベル廃棄物処理建屋換気筒から放出する設計とする。

なお，放射性物質を適切に除去するための系統及び機器に関する設計の具体については，「VI-1-6 放射性廃棄物の廃棄施設に関する説明書」にて説明する。

設計基準事故時においても，可能な限り負圧維持並びに漏えい及び逆流防止の機能が確保される設計とするとともに，一部の換気系統の機能が損なわれた場合においても，再処理施設全体として気体の閉じ込め機能を確保する設計とする。

なお，設計基準事故時の再処理施設全体としての気体の閉じ込め機能を確保する設計の具体については，気体廃棄物の廃棄施設の申請に合わせて次回以降に説明する。

#### 2.1.5 グローブボックス及びフード

プルトニウムを含む溶液及び粉末を取り扱うグローブボックスは，給気口及び排気口を除き密閉できる設計とする。

なお，グローブボックスの密閉性に関する設計の具体については，精製施設等の申請に合わせて次回以降に示す。

フードは，気体廃棄物の廃棄施設により開口部からの空気流入風速を確保する設計とする。

なお，フードの開口部風速に関する設計の具体については，精製施設等の申請に合わせて次回以降に示す。

#### 2.1.6 崩壊熱除去

再処理施設は，使用済燃料及びその溶解液，放射性廃棄物等の貯蔵及び処理時に発生する崩壊熱による異常な温度上昇を防止する設計とする。

溶解液等の貯蔵及び処理時に発生する崩壊熱による異常な温度上昇により、沸騰するおそれのある溶液を内包する機器は、その他再処理設備の附属施設の安全冷却水系のうち、再処理設備本体用の安全冷却水系により冷却し、冷却能力の喪失による溶液の沸騰を防止する設計とする。

再処理設備本体用の安全冷却水系の主な系統構成及び構成機器の冷却能力に関する設計を以下に示す。

#### (1) 再処理設備本体用の安全冷却水系の主な系統構成

再処理設備本体用の安全冷却水系は、冷却塔により冷却水を除熱し、冷却水循環ポンプによって再処理設備本体、計測制御系統施設、放射性廃棄物の廃棄施設及びその他再処理設備の附属施設の機器類等に冷却水を供給し、各施設で発生する熱を除去する設計とする。

再処理設備本体用の安全冷却水系の冷却水は、崩壊熱により溶液が沸騰するおそれのある機器の崩壊熱の除去、安全圧縮空気系の空気圧縮機の冷却、建屋換気空調等のために供給する設計とする。

再処理設備本体用の安全冷却水系は、独立した2系列の冷却塔、冷却水循環ポンプ等により構成し、1系列の運転でも必要とする熱除去ができる容量を有する設計とする。

崩壊熱除去用の冷却水は、各建屋に中間熱交換器を設置して熱交換し、冷却水循環ポンプで各施設の機器に設ける冷却コイル又は冷却ジャケットに冷却水を供給する。崩壊熱による溶液の沸騰までの時間余裕が小さい場合は、中間熱交換器以降は独立した2系列とする設計とする。

崩壊熱除去用冷却水の供給が必要な施設は溶解施設の溶解設備の中間ポット、分離施設の分離設備の溶解液中間貯槽、精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム溶液受槽等である。

再処理設備本体用の安全冷却水系は、その他再処理設備の附属施設の安全圧縮空気系の空気圧縮機へ直接供給し、また、制御建屋等で非常用所内電源系統に接続する建屋換気設備等へ冷凍機を介して供給する設計とする。

#### (2) 冷却能力

冷却塔のうち、安全冷却水系B冷却塔に関する冷却能力に関する設計については、当該冷却塔及び当該冷却塔からの冷却水の供給先となる設備に認可を受けたものから構造等に変更はないことから、以下の認可を受けたもの及び届け出たものに同じである。

- ・平成10年6月9日付け9安（核規）第596号にて認可を受けた第6回申請の設工認申請書の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」の「添付－8 崩壊熱除去に関する説明書」
- ・平成12年10月24日付け12安（核規）第556号にて変更の認可を受けた設工認申請書第6回申請の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」の「添付－8 崩壊熱除去に関する説明書」
- ・平成13年3月2日付け六再事発第431号にて届け出た設工認申請書第6回申請の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」の「添付－8 崩壊熱除去に関する説明書」
- ・平成15年5月29日付け再建術発第1号にて届け出た設工認申請書第6回申請のVI「設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」の「添付－8 崩壊熱除去に関する説明書」

安全冷却水A冷却塔等の冷却能力に関する設計については、溶解施設等の申請に合わせて次回以降に説明する。

なお、使用済燃料、製品貯蔵容器及び放射性廃棄物であるガラス固化体の貯蔵時に発生する崩壊熱による異常な温度上昇の防止に関する設計の具体については、それぞれ「VI-1-2 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設に関する説明書」、「VI-1-3 製品貯蔵施設に関する説明書」及び「VI-1-6 放射性廃棄物の廃棄施設に関する説明書」にて説明する。

#### 2.1.7 液体状の放射性物質の施設外への漏えい防止

液体状の放射性物質を内包する系統及び機器を設置する室の床には「2.1.3 放射性物質の漏えい拡大防止」に示す漏えい液受皿を設置し、液体状の放射性物質が施設外へ漏えいすることを防止する設計としている。

漏えい液受皿を設置しない場合は、液体状の放射性物質を取り扱う設備の周辺部又は施設外に通じる出入口若しくはその周辺部に堰を設置し、最大容量の機器から全量漏えいした場合においても、液体状の放射性物質が施設外へ漏えいすることを防止する設計とする。

なお、堰に関する設計については、前処理建屋等の申請に合わせて次回以降に説明する。

液体状の放射性物質を取り扱う設備が設置される施設内部のうち、液体状の放射性物質の漏えいが拡大するおそれがある部分の床面、適切な高さまでの壁面、堰及びこれらの接合部は、耐水性を有する設計とし、液体状の放射性物質が漏えいし難い設計とする。また、床面、壁面及び堰に貫通部を設ける場合は、床面、壁面及び堰の耐水性が損なわれない設計とする。

液体状の放射性物質を取り扱う設備が設置される施設の床面下には、敷地外に管理されずに排出される排水が流れる排水路を設置しない設計とする。

## 2.2 放射性物質による汚染の防止

放射性物質による汚染の防止の基本方針については、I-1 基本設計方針 施設共通 第1章 共通項目の「4. 閉じ込めの機能」の「4.2 放射性物質による汚染の防止」の申請に合わせて次回以降に説明する。

## 3. 準拠規格

準拠規格については、グローブボックス及びフードの申請に合わせて次回以降に示す。



## VI-1-1-4

安全機能を有する施設及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書

## 目 次

	ページ
1. 安全機能を有する施設	1
1.1 概要	1
1.2 基本方針	3
1.3 安全機能を有する施設に対する設計方針	7
1.3.1 安全機能を有する施設の基本的な設計	7
1.3.2 環境条件	8
1.3.3 操作性の考慮	12
1.3.4 規格及び基準に基づく設計	13
1.4 多重性又は多様性等	15
1.5 検査・試験等	16
1.6 内部発生飛散物に対する考慮	19
1.6.1 基本方針	19
1.6.2 内部発生飛散物防護対象設備の選定	19
1.6.3 内部発生飛散物の発生要因	19
1.6.4 内部発生飛散物の発生防止対策	20
1.6.4.1 重量物の落下による飛散物	20
1.6.4.2 回転機器の損壊による飛散物	21
1.7 共用に対する考慮	22
1.8 系統施設毎の設計上の考慮	23
1.8.1 使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設	23
1.8.2 再処理設備本体	23
1.8.3 製品貯蔵施設	23
1.8.4 計測制御系統施設	23
1.8.5 放射性廃棄物の廃棄施設	23
1.8.6 放射線管理施設	23
1.8.7 その他再処理設備の附属施設	23
1.8.7.1 電気設備	23
1.8.7.2 圧縮空気設備	23
1.8.7.3 給水処理設備	23
1.8.7.4 冷却水設備	24
1.8.7.5 蒸気供給設備	24
1.8.7.6 分析設備	24
1.8.7.7 化学薬品貯蔵供給設備	24

1.8.7.8	火災防護設備	25
1.8.7.9	竜巻防護対策設備	25
1.8.7.10	溢水防護設備	25
1.8.7.11	化学薬品防護設備	25
1.8.7.12	緊急時対策所	26
1.8.7.13	通信連絡設備	26

本資料は、「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第十五条、第十六条、第二十三条第2項、第三十六条及び第三十八条から第五十一条に基づき、安全機能を有する施設及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性について説明するものである。安全機能を有する施設が使用される条件の下における健全性については、「1. 安全機能を有する施設」、重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性については、「2. 重大事故等対処設備」にそれぞれ示す。

## 1. 安全機能を有する施設

### 1.1 概要

本項目は、技術基準規則第十五条(安全上重要な施設)、第十六条(安全機能を有する施設)及び第二十三条第2項(制御室等)に基づき、安全機能を有する施設が使用される条件の下における健全性について説明するものである。

健全性として、機器に要求される機能を有効に発揮するための系統設計及び構造設計に係る事項を考慮して、「安全機能を有する施設に想定される運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時の環境条件等における機器の健全性(技術基準規則第十六条第1項)」(以下「安全機能を有する施設に対する設計方針」という。), 「多重性又は多様性及び独立性に関する事項(技術基準規則第十五条)」(以下、「多重性又は多様性等」という。), 「要求される機能を達成するために必要な試験・検査性, 保守点検性等(技術基準規則第十六条第2項, 第3項)」(以下「検査・試験等」という。), 「機器相互の影響(技術基準規則第十六条第4項)」(以下「内部発生飛散物の考慮」という。)及び「共用化による再処理施設への影響(技術基準規則第十六条第5項)」(以下「共用に対する考慮」という。)を説明する。健全性を要求する対象設備については、技術基準規則だけではなく、「再処理施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則」(以下「事業指定基準規則」という。)及びその解釈も踏まえて、安全上重要な施設を含む安全機能を有する施設は以下のとおり対象を明確にして説明する。

「安全機能を有する施設に対する設計方針」については、技術基準規則第十六条第1項にて安全機能を有する施設に対して要求されているため、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。なお、「安全機能を有する施設に対する設計方針」のうち、操作性の考慮は、事業指定基準規則第十三条第1項及びその解釈にて安全機能を有する施設、同条第2項及びその解釈にて安全上重要な施設に対して要求されていることから、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。技術基準規則第二十三条第2項においては、制御室での操作に対する考慮が要求されているが、その操作性を考慮する対象についても同様に、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。

「多重性又は多様性等」については、技術基準規則第十五条並びに事業指定基準規則第十五条2項及びその解釈にて、安全上重要な施設に対して要求されていることから、安全上重要な施設を対象とする。

「検査・試験等」については、技術基準規則第十六条第2項及び第3項にて安全機能を有する施設に対して要求されているため、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。

「内部発生飛散物の考慮」は、技術基準規則第十六条第4項にて安全機能を有する施設に対して要求されているため、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。

「共用に対する考慮」は、技術基準規則第十六条第5項にて安全機能を有する施設に対して要求されているため、安全上重要な施設を含めた安全機能を有する施設を対象とする。

## 1.2 基本方針

### (1) 安全機能を有する施設に対する設計方針

#### a. 安全機能を有する施設の基本的な設計

再処理施設のうち、重大事故等対処施設を除いたものを設計基準対象の施設とし、安全機能を有する構築物、系統及び機器を、安全機能を有する施設とする。

また、安全機能を有する施設のうち、その機能喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設を設置する敷地外へ放出されることを抑制し又は防止する構築物、系統及び機器から構成される施設を、安全上重要な施設とする。

安全機能を有する施設は、その安全機能の重要度に応じて、その機能を確保する設計とする。

安全機能を有する施設は、運転時の異常な過渡変化時において、温度、圧力、流量その他の再処理施設の状態を示す事項を安全設計上許容される範囲内に維持できる設計とする。また、設計基準事故時においては、敷地周辺の公衆に放射線障害を及ぼさない設計とする。

運転時の異常な過渡変化時において、安全機能を有する施設の健全性を確保するために必要なパラメータを想定される範囲内に制御し、想定される範囲内で監視するために計測制御設備を設ける設計とする。

運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故が発生した場合において、これらの異常な状態を検知し、これらの核的、熱的及び化学的制限値を超えないようにするためこれらを抑制し、又は防止するための設備の作動を速やかに、かつ、自動で開始させる安全保護回路を設ける設計とする。

安全保護回路を含む計測制御設備に係る設計方針については、「VI-1-4 計測制御系統施設に関する説明書」に示す。

なお、安全機能を有する施設並びに核物質防護及び保障措置の設備は、設備間において相互影響を考慮した設計とする。

#### b. 環境条件の考慮

安全機能を有する施設は、その安全機能の重要度に応じて、材料疲労、劣化等に対しても十分な余裕を持って機能維持が可能となるよう、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される圧力、温度、湿度、放射線量、荷重、屋外の天候による影響（凍結及び降水）、電磁的障害及び周辺機器等からの悪影響の全ての環境条件において、その安全機能を発揮することができる設計とする。

(a) 環境圧力、環境温度及び湿度による影響、放射線による影響、屋外の天候による影響（凍結及び降水）並びに荷重

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時における環境圧力、環境温度及び湿度による影響、放射線による影響、屋外の天候による影響（凍結及び降水）並びに荷重を考慮しても、安全機能を発揮できる設計とする。

(b) 電磁波による影響

電磁的障害に対しては、安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故が発生した場合においても、電磁波によりその安全機能が損なわれない設計とする。

(c) 周辺機器等からの悪影響

安全機能を有する施設は、地震、火災、溢水、化学薬品の漏えい及びその他の自然現象並びに人為事象による他設備からの悪影響により、安全機能が損なわれないよう措置を講じた設計とする。

c. 操作性の考慮

安全機能を有する施設の設置場所は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時においても従事者による操作及び復旧作業に支障がないように、遮蔽の設置や線源からの離隔により放射線量が高くなるおそれの少ない場所を選定した上で、設置場所から操作可能、放射線の影響を受けない異なる区画若しくは離れた場所から遠隔で操作可能、又は過度な放射線被ばくを受けないよう遮蔽機能を確保した中央制御室若しくは使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室から操作可能な設計とする。

また、従事者が必要な操作及び措置を行えるように換気設備を設ける設計とする。

安全機能を有する施設は、運転員による誤操作を防止するため、機器、配管、弁及び盤に対して系統等による色分けや銘板取り付け等による識別管理等を行い、人間工学上の諸因子、操作性及び保守点検を考慮した盤の配置を行うとともに、計器表示、警報表示により再処理施設の状態が正確かつ迅速に把握できる設計とする。

また、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生後、ある時間までは、運転員の操作を期待しなくても必要な安全上の機能が確保されるよう、時間余裕が少ない場合においても安全保護回路により、異常事象を速やかに収束させることが可能な設計とする。

安全保護回路に係る設計方針については、「VI-1-4 計測制御系統施設に関する説明書」に示す。

安全上重要な施設は、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した状況下（混乱した状態等）であっても、容易に操作ができるよう、中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の制御盤や現場の機器、配管、弁及び盤に対して、誤操作を防止するための措置を講じ、また、簡単な手順によって必要な操作が行える等

の運転員に与える負荷を少なくすることができる設計とする。

中央制御室，並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室における誤操作防止に係る設計については，「VI-1-3-1-1 制御室の機能に関する説明書」に示す。

#### d. 規格及び基準に基づく設計

安全機能を有する施設の設計，材料の選定，製作，建設，試験及び検査に当たっては，これを信頼性の高いものとするために，原則として現行国内法規に基づく規格及び基準によるものとする。また，これらに規定がない場合においては，必要に応じて，十分実績があり，信頼性の高い国外の規格，基準に準拠するか，又は規格及び基準で一般的でないものを，適用の根拠，国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにしたうえで適用する。

a. ～d に基づき設計する安全機能を有する施設の維持管理に当たっては，保安規定に基づき，施設管理計画における保全プログラムを策定し，設備の維持管理を行う。

なお，安全機能を有する施設を構成する部品のうち，一般消耗品又は設計上交換を想定している部品（安全に係わる設計仕様に変更のないもので，特別な工事を要さないものに限る。）及び通信連絡設備，安全避難通路（照明設備）等の「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」で定める一般産業用工業品については，適切な時期に交換を行うことで設備の維持管理を行うことを保安規定に定めて，管理する。

#### (2) 多重性又は多様性

安全機能を有する施設のうち，安全上重要な系統及び機器については，それらを構成する動的機器に単一故障を仮定しても，所定の安全機能を果たし得るように多重性又は多様性を有する設計とする。

ただし，単一故障を仮定しても，安全上支障のない期間内に運転員等による原因の除去又は修理が期待できる場合は，多重化又は多様化の配慮をしなくてもよいものとする。

#### (3) 検査・試験等

安全機能を有する施設は，その健全性及び能力を確認するため，その安全機能の重要度に応じ，再処理施設の運転中又は停止中に検査又は試験ができる設計とするとともに，安全機能を健全に維持するための適切な保守及び修理ができる設計とし，そのために必要な配置，空間及びアクセス性を備えた設計とする。

#### (4) 内部発生飛散物に対する考慮



安全機能を有する施設は、再処理施設内におけるポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物(以下「内部発生飛散物」という。)によって、その安全機能を損なわない設計とする。

なお、二次的飛散物、火災、化学反応、電氣的損傷、配管の損傷、機器の故障等の二次的影響も考慮するものとする。

安全機能を有する施設のうち、内部発生飛散物から防護する施設としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な構築物、系統及び機器を対象とする。安全上重要な構築物、系統及び機器は、内部発生飛散物の発生を防止することにより、安全機能を損なわない設計とする。

上記に含まれない安全機能を有する施設は、内部発生飛散物に対して機能を維持すること若しくは内部発生飛散物による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障がない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障がない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

内部発生飛散物の発生要因として、重量物の落下による飛散物、回転機器の損壊による飛散物を考慮し、発生要因に対してつりワイヤ等を二重化、逸走を防止するための機構の設置、誘導電動機又は調速器を設けることにより過回転とならない設計とする等により飛散物の発生を防止できる設計とする。

なお、上記に示す内部発生飛散物の発生を防止する設計としていることから、内部発生飛散物による二次的影響はない。

#### (5) 共用に対する考慮

安全機能を有する施設のうち、廃棄物管理施設、MOX燃料加工施設又は使用施設と共用するものは、共用によって再処理施設の安全性を損なうことのない設計とする。

### 1.3 安全機能を有する施設に対する設計方針

#### 1.3.1 安全機能を有する施設の基本的な設計

再処理施設のうち、重大事故等対処施設を除いたものを設計基準対象の施設とし、安全機能を有する構築物、系統及び機器を、安全機能を有する施設とする。

また、安全機能を有する施設のうち、その機能喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設を設置する敷地外へ放出されることを抑制し又は防止する構築物、系統及び機器から構成される施設を、安全上重要な施設とする。

安全上重要な施設のうち、外部電源喪失時に再処理施設の安全機能を確保するために必要なものは、非常用所内電源系統に接続する設計とする。

安全機能を有する施設は、その安全機能の重要度に応じて、その機能を確保する設計とする。

安全機能を有する施設は、運転時の異常な過渡変化時において、温度、圧力、流量その他の再処理施設の状態を示す事項を安全設計上許容される範囲内に維持できる設計とする。また、設計基準事故時においては、周辺環境への放射性物質の過度の放出を防ぐための多重性を考慮した放射性物質の閉じ込め機能を有する施設のほか、ソースターム制限機能を有する施設、遮蔽機能を有する施設及び影響緩和機能に係る支援機能を有する施設を設けることにより、敷地周辺の公衆に放射線障害を及ぼさない設計とする。

運転時の異常な過渡変化時において、安全機能を有する施設の健全性を確保するために必要なパラメータを想定される範囲内に制御し、想定される範囲内で監視するために計測制御設備を設ける設計とする。

運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故が発生した場合において、これらの異常な状態を検知し、これらの核的、熱的及び化学的制限値を超えないようにするためこれらを抑制し、又は防止するための設備の作動を速やかに、かつ、自動で開始させる安全保護回路を設ける設計とする。

安全保護回路を含む計測制御設備に係る設計方針については、「VI-1-4 計測制御系統施設に関する説明書」に示す。

なお、安全機能を有する施設並びに核物質防護及び保障措置の設備は、設備間において、各設備の機能に影響を与えないこと及び保守、点検等の妨げにならないことを考慮した設計とする。

再処理施設において再処理を行う使用済燃料は、発電用の軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)及び軽水減速、軽水冷却、加圧水型原子炉(以下「PWR」という。)の使用済ウラン燃料集合体であって、以下の仕様を満たすものであ

る。

a. 濃縮度

照射前燃料最高濃縮度：5wt%

使用済燃料集合体平均濃縮度：3.5wt%以下

b. 冷却期間

使用済燃料最終取出し前の原子炉停止時から再処理施設に受け入れるまでの冷却期間：4年以上

ただし、燃料貯蔵プールの容量 $3,000t \cdot U_{Pr}$ のうち、冷却期間4年以上12年未満の使用済燃料の貯蔵量が $600t \cdot U_{Pr}$ 未満、それ以外は冷却期間12年以上となるよう受け入れを管理する。

使用済燃料集合体最終取出し前の原子炉停止時からせん断処理するまでの冷却期間：15年以上

c. 燃焼度

使用済燃料集合体最高燃焼度：55,000 MWd/t $\cdot U_{Pr}$

1日当たりに処理する使用済燃料の平均燃焼度：45,000 MWd/t $\cdot U_{Pr}$ 以下

ここでいう $t \cdot U_{Pr}$ は、照射前金属ウラン重量換算である。

ただし、再処理施設の安全機能を有する施設の設計については、新規規制基準施行以前の事業指定(変更許可)申請書に示される設計条件を維持することとし、使用済燃料の仕様のうち冷却期間を以下の条件とする。

使用済燃料最終取出し前の原子炉停止時から再処理施設に受け入れるまでの冷却期間：1年以上

使用済燃料集合体最終取出し前の原子炉停止時からせん断処理するまでの冷却期間：4年以上

### 1.3.2 環境条件

安全機能を有する施設は、想定される環境条件において、その機能を発揮できる設計とする。

安全機能を有する施設のうち安全上重要な施設の設計条件を設定するに当たっては、材料疲労、劣化等に対しても十分な余裕を持って機能維持が可能となるよう、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される圧力、温度、湿度、放射線等各種の環境条件を考慮し、十分安全側の条件を与えることにより、これらの条件下においても期待されている安全機能を発揮できる設計とする。

なお、必要に応じて運転条件の調整、作業時間の制限等の手段により、環境条件の

変化に対応し、設備に期待される安全機能が発揮できるものとする。

安全上重要な施設以外の安全機能を有する施設は、環境条件に対して機能を維持すること若しくは環境条件による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を発揮することができる設計とする。

安全機能を有する施設の環境条件には、通常時及び設計基準事故時における圧力、温度、湿度、放射線のみならず、荷重、屋外の天候による影響（凍結及び降水）、電磁的障害、及び周辺機器等からの悪影響を考慮する。

安全機能を有する施設について、これらの環境条件の考慮事項毎に、環境圧力、環境温度及び湿度による影響、放射線による影響、屋外の天候による影響（凍結及び降水）、荷重、電磁的障害並びに周辺機器等からの悪影響に分け、以下(1)から(3)に各考慮事項に対する設計上の考慮を説明する。

(1) 環境圧力、環境温度及び湿度による影響、放射線による影響、屋外の天候による影響（凍結及び降水）並びに荷重

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時における環境条件を考慮した設計とする。

a. 環境圧力による影響

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される環境圧力が加わっても、機能を損なわない設計とする。環境圧力については、設備の設置場所の適切な区分（屋外、屋内（セル内、セル外））毎に設計基準事故時の環境を考慮して設定する。

屋外の環境圧力は、大気圧を設定する。

設定した環境圧力に対して機器が機能を損なわないように、耐圧部にあつては、機器が使用される環境圧力下において、部材に発生する応力に耐えられることとする。耐圧部以外の部分にあつては、絶縁や回転等の機能が阻害される圧力に到達しないことを確認する。

確認の方法としては、環境圧力と機器の最高使用圧力との比較等によるものとする。

なお、屋内（セル内、セル外）の環境圧力の設定値については、建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

b. 環境温度及び湿度による影響

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される環境温度及び湿度にて機能を損なわない設計とする。

環境温度については、設備の設置場所の適切な区分(屋外, 屋内(セル内, セル外))毎に設計基準事故時の環境を考慮して設定する。

屋外の環境温度は、「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」にて高温に対する設計温度として定めた37℃を設定する。

環境湿度については、考えられる最高値としてすべての区分において100%を設定する。

設定した環境温度に対して機器が機能を損なわないように、耐圧部にあつては、機器が使用される環境温度下において、部材に発生する応力に耐えられることとする。耐圧部以外の部分にあつては、絶縁や回転等の機能が阻害される温度に到達しないこととする。

環境温度に対する確認の方法としては、環境温度と機器の最高使用温度との比較等によるものとする。

また、設定した湿度に対して機器が機能を損なわないように、耐圧部にあつては、当該構造部が気密性・水密性を有し、一定の肉厚を有する金属製の構造とすることで、湿度の環境下であっても耐圧機能が維持される設計とする。耐圧部以外の部分にあつては、機器の外装を気密性の高い構造とし、機器内部を周囲の空気から分離することや、機器の内部にヒーターを設置し、内部で空気を加温して相対湿度を低下させること等により、絶縁や導通等の機能が阻害される湿度に到達しないこととする。

湿度に対する確認の方法としては、環境湿度と機器仕様の比較等によるものとする。

なお、屋内(セル内, セル外)の環境温度及び湿度の設定値については、建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### c. 放射線による影響

安全機能を有する施設は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に想定される放射線にて機能を損なわない設計とする。

放射線については、設備の設置場所の適切な区分(屋外, 屋内(セル内, セル外))毎に設計基準事故時の環境を考慮して、設定する。

屋外の放射線は、設計基準事故時においても、外部への放射性物質の放出量は小さく、設備に対して影響を及ぼすことはないことから、管理区域外の遮蔽設計の基準となる線量率を基に2.6  $\mu$  Gy/hを設定する。

放射線による影響に対して機器が機能を損なわないように、耐圧部にあつては、耐放射線性が低いと考えられるパッキン・ガスケットも含めた耐圧部を構成する部品の性能が有意に低下する放射線量に到達しないこと、耐圧部以外の部分にあつては、電気絶縁や電気信号の伝送・表示等の機能が阻害される放射線量に到達

しないこととする。

確認の方法としては、環境放射線を再現した試験環境下において機器が機能することを確認した実証試験等により得られた機器の機能が維持される積算線量を機器の放射線に対する耐性値とし、環境放射線条件と比較することとする。耐性値に有意な照射速度依存性がある場合には、実証試験の際の照射速度に応じて、機器の耐性値を補正することとする。

環境放射線条件との比較のため、機器の耐性値を機器が照射下にあると評価される期間で除算して線量率に換算することとする。なお、再処理施設の通常運転中に有意な放射線環境に置かれる機器にあつては、通常運転時などの設計基準事故等以前の状態において受ける放射線量分を設計基準事故時の線量率に割増すること等により、設計基準事故以前の放射線の影響を評価することとする。

なお、屋内(セル内、セル外)の線量率の設定値については、建屋の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### d. 屋外の天候による影響（凍結及び降水）

屋外の安全機能を有する施設については、屋外の天候による影響（凍結及び降水）によりその機能が損なわれない設計とする。

安全機能を有する施設の屋外の天候による影響（凍結及び降水）に対する設計については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に示す。

#### e. 荷重

安全機能を有する施設については、自然現象（地震、風（台風）、竜巻、積雪及び火山の影響）による荷重の評価を行い、それぞれの荷重及びこれらの荷重の組合せにも機能を有効に発揮できる設計とする。

組み合わせる荷重の考え方については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に示す。

安全機能を有する施設の地震荷重及び地震を含む荷重の組合せに対する設計については、「IV 再処理施設の耐震性に関する説明書」に基づき実施する。

また、地震以外の荷重及び地震以外の荷重の組合せに対する設計については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

### (2) 電磁的障害

安全機能を有する施設のうち電磁波に対する考慮が必要な機器は、運転時、停止

時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故が発生した場合においても、電磁波によりその安全機能が損なわれない設計とする。

安全機能を有する施設の電磁的障害に対する設計については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

### (3) 周辺機器等からの悪影響

安全機能を有する施設は、地震、火災、溢水、化学薬品の漏えい及びその他の自然現象並びに人為事象による他設備からの悪影響により、再処理施設としての安全機能が損なわれないよう措置を講じた設計とする。

波及的影響及び悪影響防止を含めた地震、火災、溢水、化学薬品の漏えい以外の自然現象及び人為事象に対する安全機能を有する施設の設計については、「VI-1-1-1 再処理施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

波及的影響及び悪影響防止を含めた安全機能を有する施設の耐震設計については、「IV 再処理施設の耐震性に関する説明書」に基づき実施する。

波及的影響及び悪影響防止を含めた再処理施設で火災が発生する場合を考慮した安全機能を有する施設の火災防護設計については、「III 火災及び爆発の防止に関する説明書」に基づき実施する。

波及的影響及び悪影響防止を含めた再処理施設内で発生が想定される溢水の影響評価を踏まえた安全機能を有する施設の溢水防護設計については、「VI-1-1-6 再処理施設内における溢水による損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

波及的影響及び悪影響防止を含めた再処理施設内で発生が想定される化学薬品の漏えいの影響評価を踏まえた安全機能を有する施設の化学薬品防護設計については、「VI-1-1-7 再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止に関する説明書」に基づき実施する。

## 1.3.3 操作性の考慮

### (1) 操作性

安全機能を有する施設の設置場所は、運転時、停止時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時においても従事者による操作及び復旧作業に支障がないように、遮蔽の設置や線源からの離隔により放射線量が高くなるおそれの少ない場所を選定した上で、設置場所から操作可能、放射線の影響を受けない異なる区画若しくは離れた場所から遠隔で操作可能、又は過度な放射線被ばくを受けないよう遮蔽機能を確保した中央制御室若しくは使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室から操作可能な設計とする。

また、従事者が必要な操作及び措置を行えるように換気設備を設ける設計とする。  
遮蔽のうち一時的に設置する遮蔽を除く遮蔽に係る設計及び評価については、「Ⅱ放射線による被ばくの防止に関する説明書」に示す。

中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室における居住性に係る設計については、「Ⅵ-1-3-2-1 制御室の居住性に関する説明書」に示す。

## (2) 誤操作の防止

安全機能を有する施設は、運転員による誤操作を防止するため、機器、配管、弁及び盤に対して系統等による色分けや銘板取り付け等による識別管理等を行い、人間工学上の諸因子、操作性及び保守点検を考慮した盤の配置を行うとともに、計器表示、警報表示により再処理施設の状態が正確かつ迅速に把握できる設計とする。

また、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生後、ある時間までは、運転員の操作を期待しなくても必要な安全上の機能が確保されるよう、時間余裕が少ない場合においても安全保護回路により、異常事象を速やかに収束させることが可能な設計とする。

安全保護回路に係る設計方針については、「Ⅵ-1-4 計測制御系統施設に関する説明書」に示す。

安全機能を有する施設の操作器具及び機器、弁等は、保守点検においても、点検状態を示す札掛けを行うとともに、必要に応じて施錠することにより、誤りを生じにくいよう留意した設計とする。

安全上重要な施設は、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生した状況下（混乱した状態等）で、有意な可能性をもって同時にもたらされる環境条件を想定しても、容易に操作ができるよう、中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室の制御盤や現場の機器、配管、弁及び盤に対して、誤操作を防止するための措置を講じ、また、簡単な手順によって必要な操作が行える等の運転員に与える負荷を少なくすることができる設計とする。

中央制御室、並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室における誤操作防止に係る設計については、「Ⅵ-1-3-1-1 制御室の機能に関する説明書」に示す。

### 1.3.4 規格及び基準に基づく設計

安全機能を有する施設の設計、材料の選定、製作、建設、試験及び検査に当たっては、これを信頼性の高いものとするために、原則として現行国内法規に基づく規格及び基準によるものとする。また、これらに規定がない場合においては、必要に応じて、十分実績があり、信頼性の高い国外の規格、基準に準拠するか、又は規格及び基準で一般的でないものを、適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにしたうえで適用する。



1.3.1～1.3.4に基づき設計する安全機能を有する施設の維持管理に当たっては、保安規定に基づき、施設管理計画における保全プログラムを策定し、設備の維持管理を行う。

なお、安全機能を有する施設を構成する部品のうち、一般消耗品又は設計上交換を想定している部品(安全に係わる設計仕様に変更のないもので、特別な工事を要さないものに限る。)及び通信連絡設備、安全避難通路(照明設備)等の「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」で定める一般産業用工業品については、適切な時期に交換を行うことで設備の維持管理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

#### 1.4 多重性又は多様性等

安全機能を有する施設のうち、安全上重要な系統及び機器については、それらを構成する動的機器に単一故障を仮定しても、所定の安全機能を果たし得るように多重性又は多様性を有する設計とする。

ただし、単一故障を仮定しても、安全上支障のない期間内に運転員等による原因の除去又は修理が期待できる場合は、多重化又は多様化の配慮をしなくてもよいものとする。

安全保護回路を含む安全上重要な施設の安全機能を維持するために必要な計測制御設備は、動的機器に単一故障を仮定しても、所定の安全機能を果たし得るよう多重化又は多様化した回路で構成するとともに、その多重化又は多様化した回路が相互干渉を起こさないように、電源及びケーブルトレイを2系統に分離し、電氣的・物理的な独立性を持たせる設計とする。

## 1.5 検査・試験等

安全機能を有する施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、再処理施設の運転中又は停止中に検査又は試験ができる設計とするとともに、安全機能を健全に維持するための適切な保守及び修理ができる設計とし、そのために必要な配置、空間及びアクセス性を備えた設計とする。

安全機能を有する施設は、原則として、系統試験及び漏えいの有無の確認が可能な設計とする。系統試験については、試験に必要な設備を設置又は必要に応じて準備することで試験可能な設計とする。

また、悪影響防止の観点から他と区分する必要があるもの又は単体で機能・性能を確認するものは、他の系統と独立して機能・性能確認（特性確認を含む。）が可能な設計とする。

安全機能を有する施設は、使用前事業者検査、定期事業者検査、自主検査等に加え、保守及び修理として、維持活動としての点検（日常の運転管理の活用含む。）取替え、保守及び改造ができるように以下について考慮した設計とする。

- ・再処理施設の運転中に待機状態にある安全機能を有する施設は、試験又は検査によって再処理施設の運転に大きな影響を及ぼす場合を除き、運転中に定期的な検査又は試験ができる設計とする。

また、多様性又は多重性を備えた系統及び機器にあつては、その健全性並びに多様性又は多重性を確認するため、各々が独立して試験又は検査ができる設計とする。

- ・安全機能を有する施設は、機能・性能の確認、漏えいの有無の確認、分解点検等ができる構造とし、強度の確認又は内部構成部品の確認が必要な設備は、原則として分解・開放（非破壊検査を含む。）が可能な設計とし、機能・性能確認、各部の経年劣化対策及び日常点検を考慮することにより、分解・開放が不要なものについては外観の確認が可能な設計とする。

なお、セル内に設置される設備の試験・検査等の詳細については、次回以降に説明する。

安全機能を有する施設は、具体的に以下の機器区分毎に示す試験・検査が実施可能な設計とし、その設計に該当しない設備は個別の設計とする。

### (1) ポンプ、ファン、圧縮機

- ・機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とするとともに、これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。

- (2) 弁(電動弁, 空気作動弁, 安全弁)
- ・機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とするとともに, これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
  - ・分解が可能な設計とする。
- (3) 容器(タンク類)
- ・機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とするとともに, これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
  - ・セル外に設置されるものについては, 内部確認が可能なよう, マンホール等を設ける, 又は外観の確認が可能な設計とする。
  - ・ボンベは規定圧力の確認及び外観の確認が可能な設計とする。
- (4) 熱交換器
- ・機能・性能及び漏えいの確認が可能な設計とするとともに, これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
  - ・セル外に設置されるものについては, 分解が可能な設計とする。
- (5) フィルタ類
- ・機能・性能の確認が可能な設計とするとともに, これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
  - ・差圧確認が可能な設計とする。
  - ・取替が可能な設計とする。
- (6) 流路
- ・機能・性能及び漏えいの有無の確認が可能な設計とするとともに, これらは他の系統へ悪影響を及ぼさず試験可能な設計とする。
- (7) その他静的機器
- ・外観の確認が可能な設計とする。
- (8) 発電機(内燃機関含む)
- ・分解が可能な設計とする。また, 所定の負荷により機能・性能の確認が可能な設計とする。
- (9) その他電気設備
- ・所定の負荷, 絶縁抵抗測定により, 機能・性能の確認が可能な設計とする。

- ・鉛蓄電池は，電圧測定が可能な系統設計とする。

(10) 計測制御設備

- ・模擬入力により機能・性能の確認(特性確認又は設定値確認)及び校正が可能な設計とする。
- ・論理回路を有する設備は，模擬入力による機能確認として，論理回路作動確認が可能な設計とする。

(11) 遮蔽

- ・主要部分の断面寸法の確認が可能な設計とする。
- ・外観の確認が可能な設計とする。

(12) 通信連絡設備

- ・機能・性能の確認及び外観の確認が可能な設計とする。

(13) 放射線管理施設

- ・模擬入力等による機能・性能の確認及び校正が可能な設計とする。

## 1.6 内部発生飛散物に対する考慮

### 1.6.1 基本方針

安全機能を有する施設は、再処理施設内におけるポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物(以下「内部発生飛散物」という。)によって、その安全機能を損なわない設計とする。

なお、二次的飛散物、火災、化学反応、電氣的損傷、配管の損傷、機器の故障等の二次的影響も考慮するものとする。

安全機能を有する施設のうち、内部発生飛散物から防護する施設(以下「内部発生飛散物防護対象設備」という。)としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な構築物、系統及び機器を対象とする。安全上重要な構築物、系統及び機器は内部発生飛散物の発生を防止することにより、安全機能を損なわない設計とする。

上記に含まれない安全機能を有する施設は、内部発生飛散物に対して機能を維持すること若しくは内部発生飛散物による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障がない期間での修理を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障がない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

### 1.6.2 内部発生飛散物防護対象設備の選定

安全機能を有する施設のうち、内部発生飛散物によってその安全機能が損なわれないことを確認する施設を、全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器とする。内部発生飛散物防護対象設備としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な構築物、系統及び機器を抽出し、内部発生飛散物により冷却、水素掃気、火災・爆発の防止、臨界の防止等の安全機能を損なわないよう内部発生飛散物の発生を防止することにより、安全機能を損なわない設計とする。ただし、安全上重要な構築物、系統及び機器のうち、内部発生飛散物の発生要因となる機器又は配管と同室に設置せず内部発生飛散物の発生によって安全機能を損なうおそれのないものは内部発生飛散物防護対象設備として抽出しない。

### 1.6.3 内部発生飛散物の発生要因

再処理施設における内部発生飛散物の発生要因を以下のとおり分類し、選定する。

(1) 爆発による飛散物

再処理施設の安全設計においては、水素を取り扱う設備の爆発、溶液及び有機溶媒の放射線分解により発生する水素の爆発並びにTBP等の錯体の急激な分解反応による爆発を想定するが、実際の再処理施設では、添付書類「Ⅲ 火災及び爆発の防止に関する説明書」に示すとおり、爆発を防止する設計としている。このため、これらの爆発に起因する機器又は配管の損壊により生じる飛散物については、考慮しない。

(2) 重量物の落下による飛散物

重量物の落下に起因して生じる飛散物(以下「重量物の落下による飛散物」という。)については、通常運転時において重量物をつり上げて搬送するクレーンその他の搬送機器からのつり荷の落下及び逸走によるクレーンその他の搬送機器の落下を発生要因として考慮する。

(3) 回転機器の損壊による飛散物

回転機器の損壊に起因して生じる飛散物(以下「回転機器の損壊による飛散物」という。)については、回転機器の異常により回転速度が上昇することによる回転羽根の損壊を発生要因として考慮する。

(4) その他

通常運転時以外の試験操作、保守及び修理並びに改造の作業において、クレーン等による重量物をつり上げての搬送や仮設ポンプの使用により内部発生飛散物が発生し、内部発生飛散物防護対象設備の安全機能を損なうおそれがある場合は、作業内容及び保安上必要な措置を記載した計画書に内部発生飛散物の発生を防止することにより内部発生飛散物防護対象設備の安全機能を損なわないための措置について記載し、その計画に基づき作業を実施することから、内部発生飛散物の発生要因として考慮しない。

1.6.4 内部発生飛散物の発生防止対策

1.6.4.1 重量物の落下による飛散物

重量物は以下の設計により内部発生飛散物となることを防止し、内部発生飛散物防護対象設備の安全機能を損なわない設計とする。

(1) クレーンその他の搬送機器からのつり荷の落下

重量物をつり上げて搬送するクレーンその他の搬送機器は、つりワイヤ、つりベルト又はつりチェーンを二重化する設計とし、つり荷の落下による飛散物の発生を防止できる設計とする。

つり上げ用の治具又はフックにはつり荷の脱落防止機構を設置する又はつかみ不良時のつり上げ防止のインターロックを設ける設計とし、つり荷の落下による

飛散物の発生を防止できる設計とする。

重量物を積載して搬送する機器は、積載物の転倒及び逸走を防止するための機構を設ける設計とし、積載物の落下による飛散物の発生を防止できる設計とする。

重量物を搬送する機器は、搬送するための動力の供給が停止した場合に、取扱中の重量物の落下を防止する機構を設ける設計により、重量物の落下による飛散物の発生を防止できる設計とする。

#### (2) クレーンその他の搬送機器の落下

重量物を積載して搬送する機器は、逸走防止のインターロックを設ける設計とし、クレーンその他の搬送機器の落下による飛散物の発生を防止できる設計とする。

#### 1.6.4.2 回転機器の損壊による飛散物

回転機器は以下の設計により内部発生飛散物となることを防止し、内部発生飛散物防護対象設備の安全機能を損なわない設計とする。

##### (1) 電力を駆動源とする回転機器

電力を駆動源とする回転機器は、誘導電動機による回転数を制御する機構を有することで、回転機器の過回転による回転羽根の損壊に伴う飛散物の発生を防止できる設計とする。

また、各機器については運転状態を考慮し構造上十分な機械的強度を有する設計とし、通常運転時及び定期検査時等においても健全性を確認することにより、機器の損壊を防止する。

##### (2) 電力を駆動源としない回転機器

電力を駆動源とせず、駆動用の燃料を供給することで回転する回転機器は、調速器により回転数を監視し、回転数が上限値を超えた場合は回転機器を停止する機構を有することで、回転機器の過回転による回転羽根の損壊に伴う飛散物の発生を防止できる設計とする。

なお、上記に示す内部発生飛散物の発生を防止する設計としていることから、内部発生飛散物による二次的影響はない。



### 1.7 共用に対する考慮

安全機能を有する施設のうち、廃棄物管理施設、MOX燃料加工施設又は使用施設と共用するものは、共用によって再処理施設の安全性を損なうことのない設計とする。

安全機能を有する施設のうち、共用する機器については、「1.8 系統施設毎の設計上の考慮」に示す。

## 1.8. 系統施設毎の設計上の考慮

申請範囲における安全機能を有する施設について、系統施設毎の機能と、機能としての健全性を確保するための設備の多重性又は多様性について説明する。あわせて、特に設計上考慮すべき事項及び主な施設構成について、系統施設毎に以下に示す。

なお、流路を形成する配管及び弁並びに電路を形成するケーブル及び盤等への考慮については、その系統内の動的機器（ポンプ、発電機等）を含めた系統としての機能を維持する設計とする。

### 1.8.1 使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設

使用済燃料受入れ施設及び貯蔵施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 1.8.2 再処理設備本体

再処理設備本体の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 1.8.3 製品貯蔵施設

製品貯蔵施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 1.8.4 計測制御系統施設

計測制御系統施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 1.8.5 放射性廃棄物の廃棄施設

放射性廃棄物の廃棄施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 1.8.6 放射線管理施設

放射線管理施設の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 1.8.7 その他再処理設備の附属施設

#### 1.8.7.1 電気設備

電気設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 1.8.7.2 圧縮空気設備

圧縮空気設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 1.8.7.3 給水処理設備

給水処理設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 1.8.7.4 冷却水設備

##### (1) 一般冷却水系

一般冷却水系の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

##### (2) 安全冷却水系

安全冷却水系は、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用、再処理設備本体用、第2非常用ディーゼル発電機用の系統で構成する設計とする。

##### a. 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用の安全冷却水系

使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用の安全冷却水系の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

##### b. 再処理本体用の安全冷却水系

###### (a) 機能

・溶解施設等で発生する崩壊熱を除去する機能等

###### (b) 主な構成

再処理本体用の安全冷却水系の主な構成については「VI-1-1-2-1 再処理施設の閉じ込めに関する説明書」に示す。

###### (c) 多重性

再処理設備本体用の安全冷却水系は、独立した2系列の冷却塔、冷却水循環ポンプ等により構成し、1系列の運転でも必要とする熱除去ができる容量を有する設計とする。

崩壊熱による溶液の沸騰までの時間余裕が小さい溶液を内包する機器に対して冷却水を供給する系統は、中間熱交換器以降は独立した2系列とする設計とする。

中間熱交換器以降を1系列とする場合は、ポンプの単一故障を仮定しても、崩壊熱除去等の安全機能が確保できるよう当該機器を多重化する設計とする。

##### c. 第2非常用ディーゼル発電機用の安全冷却水系

第2非常用ディーゼル発電機用の安全冷却水系の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 1.8.7.5 蒸気供給設備

蒸気供給設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 1.8.7.6 分析設備

分析設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 1.8.7.7 化学薬品貯蔵供給設備

化学薬品貯蔵供給設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 1.8.7.8 火災防護設備

##### (1) 機能

- ・火災の発生防止，感知，消火，影響軽減機能

##### (2) 主な構成

火災防護設備の主な構成については「Ⅲ 火災及び爆発の防止に関する説明書」に示す。

##### (3) 共用

消火設備のうち，消火用水を供給する電動機駆動消火ポンプ，ディーゼル駆動消火ポンプ，圧力調整用消火ポンプ，消火用水貯槽は，廃棄物管理施設と共用し，消火栓設備の一部及び防火水槽の一部は，廃棄物管理施設と共用する。

廃棄物管理施設と共用する消火水供給設備並びに廃棄物管理施設と共用する消火栓設備及び防火水槽は，廃棄物管理施設へ消火用水を供給した場合においても再処理施設で必要な容量を確保する設計とし，消火水供給設備においては，故障その他の異常が発生した場合でも，弁を閉止することにより故障その他の異常による影響を局所化し，故障その他の異常が発生した施設からの波及的影響を防止する設計とすることで，共用によって再処理施設の安全性を損なわない設計とする。

なお，以下の共用に係る設計については，当該設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

- ・火災感知設備及び消火器の廃棄物管理施設との共用に係る設計
- ・消火用水供給設備のMOX燃料加工施設との共用に係る設計
- ・緊急時対策建屋等のMOX燃料加工施設との共用に係る基本設計方針

#### 1.8.7.9 竜巻防護対策設備

##### (1) 機能

- ・建屋による防護が期待できない竜巻防護対象施設及び安全機能を損なうおそれのある屋外に設置される竜巻防護対象施設の安全機能を損なうことを防止する機能

##### (2) 主な構成

竜巻防護対策設備の主な構成については，「Ⅵ-1-1-1-2 竜巻への配慮に関する説明書」に示す。

#### 1.8.7.10 溢水防護設備

溢水防護設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

#### 1.8.7.11 化学薬品防護設備

化学薬品防護設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.12 緊急時対策所

緊急時対策所の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

1.8.7.13 通信連絡設備

通信連絡設備の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

VI-1-1-4-1

安全上重要な施設の説明書

## 目 次

	ページ
1. 基本方針 .....	1
2. 安全上重要な施設の選定 .....	2

## 1. 基本方針

安全機能を有する施設のうち、その機能喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるもの及び設計基準事故時に公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が敷地外へ放出されることを抑制し又は防止する構築物、系統及び機器から構成される施設を、安全上重要な施設とする。

安全機能を有する施設のうち、下記の分類に属する施設を安全上重要な施設とする。

- ① プルトニウムを含む溶液又は粉末を内蔵する系統及び機器
- ② 高レベル放射性液体廃棄物を内蔵する系統及び機器
- ③ 上記①及び②の系統及び機器の換気系統及びオフガス処理系統
- ④ 上記①及び②の系統及び機器並びにせん断工程を収納するセル等
- ⑤ 上記④の換気系統
- ⑥ 上記④のセル等を収納する構築物及びその換気系統
- ⑦ ウランを非密封で大量に取り扱う系統及び機器の換気系統
- ⑧ 非常用所内電源系統及び安全上重要な施設の機能の確保に必要な圧縮空気等の主要な動力源
- ⑨ 熱的、化学的又は核的制限値を維持するための系統及び機器
- ⑩ 使用済燃料を貯蔵するための施設
- ⑪ 高レベル放射性固体廃棄物を保管廃棄するための施設
- ⑫ 安全保護回路
- ⑬ 排気筒
- ⑭ 制御室等及びその換気系統
- ⑮ その他上記各系統等の安全機能を維持するために必要な計測制御系統、冷却水系統等

ただし、その機能が喪失したとしても公衆及び従事者に過度な放射線被ばくを及ぼすおそれのないことが明らかな場合は、安全上重要な施設から除外する。



## 2 安全上重要な施設の選定

選定の具体化に当たっての主要な考え方を以下に示す。

- (1) 「1. 基本方針」に示す①及び②については、プロセス設計を基に公衆影響の観点から、以下のように設定する。
  - a. プルトニウム溶液又は高レベル廃液を処理又は貯蔵する以下の主要な系統を安全上重要な施設とする。
    - (a) 溶解設備の溶解槽からウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵設備の混合酸化物貯蔵容器まで
    - (b) 清澄・計量設備の清澄機から高レベル廃液ガラス固化設備のガラス熔融炉まで
    - (c) 分離設備の抽出塔から高レベル廃液ガラス固化設備のガラス熔融炉まで
  - b. その他の塔槽類（一時貯留処理槽等）については、その閉じ込め機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合は安全上重要な施設とする。
- (2) 「1. 基本方針」に示す③、⑤及び⑥のオフガス処理系統及び換気系統については、気体廃棄物の主要な流れを構成している施設及びその閉じ込め機能を維持するために必要なしゃ断弁等で隔離できる範囲の施設を、放出経路の維持の観点で安全上重要な施設とする。また、これらの施設のうち、捕集・浄化機能又は排気機能を有する機器については、その機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合はそれぞれの機能維持の観点でも安全上重要な施設とする。⑦の換気系統については、その閉じ込め機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合は安全上重要な施設とする。
- (3) 「1. 基本方針」に示す④のセル及び⑥の洞道のうち、高レベル廃液の閉じ込め機能の観点で安全上重要な施設としたものは、遮蔽機能の観点でも安全上重要な施設とする。
- (4) 「1. 基本方針」に示す⑩については、使用済燃料集合体等の遮蔽及び崩壊熱除去のために不可欠なプール水を保持する施設を安全上重要な施設とする。また、使用済燃料集合体及びバスケットの落下・転倒防止機能を有する施設については、その機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合は安全上重要な施設とする。
- (5) 「1. 基本方針」に示す⑪については、高レベル放射性固体廃棄物の遮蔽及び崩壊熱除去の観点で不可欠な施設を安全上重要な施設とする。
- (6) 「1. 基本方針」に示す⑫については、事業指定基準規則の要求事項を踏まえて、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の事象のうち、拡大防止対策又は影響緩和対策として期待する安全上重要な施設のインターロックである以下の15回

路を安全保護回路とする

- a. 液体廃棄物の廃棄施設の高レベル廃液濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
  - b. 精製施設の逆抽出塔溶液温度高による加熱停止回路
  - c. 分離施設のウラン濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
  - d. 精製施設のプルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
  - e. 酸及び溶媒の回収施設の第2酸回収系の蒸発缶加熱蒸気温度高による加熱停止回路
  - f. 溶解施設の溶解槽の可溶性中性子吸収材緊急供給回路及びせん断処理施設のせん断機のせん断停止回路
  - g. 脱硝施設の還元ガス受槽水素濃度高による還元ガス供給停止回路
  - h. 分離施設のプルトニウム洗浄器中性子計数率高による工程停止回路
  - i. 液体廃棄物の廃棄施設の高レベル廃液濃縮缶凝縮器排気出口温度高による加熱停止回路
  - j. 脱硝施設の焙焼炉ヒータ部温度高による加熱停止回路
  - k. 脱硝施設の還元炉ヒータ部温度高による加熱停止回路
  - l. 気体廃棄物の廃棄施設の外部電源喪失による建屋給気閉止ダンパの閉止回路（分離建屋）
  - m. 気体廃棄物の廃棄施設の外部電源喪失による建屋給気閉止ダンパの閉止回路（精製建屋）
  - n. 固体廃棄物の廃棄施設の固化セル移送台車上の質量高によるガラス流下停止回路
  - o. 気体廃棄物の廃棄施設の固化セル圧力高による固化セル隔離ダンパの閉止回路
- (7) 「1. 基本方針」に示す⑬については、設計基準事故の評価において、不可欠な影響緩和機能を有する施設を安全上重要な施設とする。
- (8) 「1. 基本方針」に示す⑮については、計測制御系統及び冷却水系統の他に、その施設が有する安全機能の必要性を工学的に判断し、不可欠な場合は安全上重要な施設とする。

上記の考え方にに基づき、第1回申請対象施設から、安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水系（安全冷却水B冷却塔周りの配管）を安全上重要な施設として選定する。

当該施設は、認可を受けたものから安全上重要な施設の選定の考え方等に変更はないことから、以下の認可を受けたものに同じである。

・平成10年6月9日付け9安(核規)第596号にて認可を受けた第6回申請の設工認申請書の「VI 設計及び工事の方法の技術基準への適合に関する説明書」における「添付-7

## 第6回申請に係る安全上重要な施設に関する説明書」

その他の安全上重要な施設については、溶解施設等の申請に合わせて次回以降に説明する。

VI-1-1-5

再処理施設への人の不法な侵入等の  
防止に関する説明書

## 目 次

	ページ
1. 概要	1
2. 再処理施設への人の不法な侵入等の防止についての概要	1
3. 再処理施設への人の不法な侵入の防止方法について	1
3.1 物理的障壁による防護等	1
3.2 出入管理	2
3.3 車両の管理	2
3.4 探知施設	2
3.5 通信及び連絡	2
3.6 核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為への対策	2
4. 持込点検	3
5. 不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）の防止対策	3
6. 人の容易な侵入等を防止するための資機材の他施設との共用について	3

## 1. 概要

本資料は、「再処理施設の技術基準に関する規則」第九条に基づき、再処理施設への人の不法な侵入等の防止について説明するものである。

## 2. 再処理施設への人の不法な侵入等の防止についての概要

再処理施設への人の不法な侵入，核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為を防止するため，区域の設定，人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護，巡視，監視，出入口での身分確認及び施錠管理を行うことができる設計とする。

核物質防護上の措置が必要な区域については，接近管理及び出入管理を確実にを行うため，探知施設を設け，警報，映像等を集中監視することができる設計とするとともに，核物質防護措置に係る関係機関との通信及び連絡を行うことができる設計とする。さらに，防護された区域内においても，施錠管理により，再処理施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システム（以下「情報システム」という。）への不法な接近を防止する設計とする。

また，再処理施設への不正な爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による敷地外からの爆発物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため，持込点検を行うことができる設計とする。

さらに，不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため，情報システムが電気通信回線を通じた不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を受けないように，当該情報システムに対する外部からの不正アクセスを遮断することができる設計とする。

これらの対策を核物質防護規定に定めて，管理する。

人の容易な侵入を防止できる柵等を他施設と共用する場合は，共用によって再処理施設の安全性を損なわない設計とする。

## 3. 再処理施設への人の不法な侵入の防止方法について

再処理施設への人の不法な侵入，核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為を防止するため，以下のとおりの設計とする。

### 3.1 物理的障壁による防護等

再処理施設への人の不法な侵入，核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為を防止するため，区域の設定，人の容易な侵入を防止できる柵，鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護，巡視，監視，出入口での身分確認及び施錠管理を行うことができる設計とする。

さらに、防護された区域内においても、施錠管理により、情報システムへの不法な接近を防止する設計とする。

### 3.2 出入管理

業務上常時立ち入ろうとする者（以下「常時立入者」という。）については、その身分及び立入りの必要性を確認の上、当該者に立入りを認めたことを証明する書面等（以下「証明書等」という。）を発行し、立入りの際に所持させ、それをを用いて出入管理を行う。また、立入りの間、証明書等を常に容易に確認できる部位に取り付けさせる。

常時立入者以外の者については、その身分及び立入りの必要性を確認の上、当該者に証明書等を発行し、立入りの際に所持させ、それをを用いて出入管理を行う。また、立入りの間、証明書等を常に容易に確認できる部位に取り付けさせ、さらに防護された区域及び核物質防護上の措置が必要な区域に立ち入る場合には、当該区域内において常時立入者を同行させ、防護のために必要な監督を行う。

### 3.3 車両の管理

業務用の車両として再処理事業所に立ち入る車両については、事前にその立入りの必要性を確認の上、証明書等を発行し、立入りの際に掲示させる。業務用の車両以外の車両の再処理事業所への立入りを禁止する。ただし、当該区域に立ち入ることが特に必要な車両であって、再処理施設への人の不法な侵入、核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為の防止に支障がないと認められるものを除く。

### 3.4 探知施設

防護された区域及び核物質防護上の措置が必要な区域における監視を確実にを行うため、監視装置による監視をモニタ及び大型表示装置により集中的に行うことのできる見張人の詰所を設ける。

防護された区域及び核物質防護上の措置が必要な区域への人の侵入を確認することができる侵入検知器、監視カメラ等の監視装置により監視を行う。

### 3.5 通信及び連絡

核物質防護上の措置が必要な区域への人の不法な侵入、核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為があった際に、核物質防護措置に係る関係機関への通信及び連絡を迅速かつ確実にを行うために、通信及び連絡ができるPHS及び固定電話等を配備する。

### 3.6 核燃料物質等の不法な移動及び妨害破壊行為への対策

敷地内の人による核燃料物質等の不法な移動への対策については、核燃料物質の移動を行う前に所定の手続に基づき承認を得ること、また、核物質防護上の措置が必要な

区域の出口において、核燃料物質の不法な持出しを確認するための検知器を配備する。

敷地内の人による妨害破壊行為への対策については、社内基準に基づきあらかじめ認証を受けた者のみを再処理施設に出入りさせる。

#### 4. 持込点検

再処理施設外からの不正な爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による敷地外からの爆発物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため、荷物の外観点検及び開封点検による持込点検を行う。また、防護された区域において、金属を探知することができる装置を用いて点検を行う。

#### 5. 不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）の防止対策

不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため、情報システムが電気通信回線を通じた妨害破壊行為を受けることがないように、電気通信回線を通じた当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する措置を講ずる。情報システムに対する不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）が行われるおそれがある場合又は行われた場合に迅速に対応できるよう情報システムセキュリティに関する計画を定める。

#### 6. 人の容易な侵入等を防止するための資機材の他施設との共用について

人の容易な侵入等を防止するための資機材をMOX燃料加工施設又は特定廃棄物管理施設と共用する場合は、共用によって再処理施設の安全性を損なわない設計とする。



VI-1-1-6

再処理施設内における溢水による  
損傷の防止に関する説明書

VI-1-1-6-1

溢水による損傷の防止に対する  
基本方針

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 溢水による損傷の防止に対する基本方針.....	1
2.1 溢水防護対象設備の選定.....	3
2.2 溢水評価条件の設定.....	4
2.3 溢水評価及び防護設計方針.....	7
2.4 溢水防護設備の設計方針.....	10
3. 準拠規格 .....	11

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の溢水防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第十二条に適合することを説明するものである。

## 2. 溢水による損傷の防止に対する基本方針

安全機能を有する施設は、再処理施設内における溢水の発生によりその安全機能を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置を講じることにより、溢水に対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、安全機能を有する施設のうち、安全評価上機能を期待する安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を溢水から防護する設備（以下「溢水防護対象設備」という。）とし、これらの設備が、没水、被水及び蒸気の影響を受けて、その安全機能を損なわない設計（多重性又は多様性を有する設備が同時にその安全機能を損なわない設計）とする。

そのために、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」（以下「内部溢水ガイド」という。）を参考に、溢水防護に係る設計時に再処理施設内において発生が想定される溢水の影響を評価（以下「溢水評価」という。）し、溢水防護対象設備の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じることにより、安全機能を損なわない設計とする。

自然現象により発生する溢水及びその波及的影響により発生する溢水に関しては、溢水防護対象設備の配置を踏まえ、最も厳しい条件となる影響を考慮し、溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

また、事業指定基準規則の解釈に基づき、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故（以下「事故等」という。）の対処に必要な機器の単一故障を考慮しても異常事象を収束できる設計とする。

溢水防護対象設備の選定方針を「2.1 溢水防護対象設備の選定」に示す。

溢水評価では、溢水を発生要因別に分類し、溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる溢水（以下「想定破損による溢水」という。）、再処理施設内で生じる異常状態（火災を含む。）の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水（以下「消火水等の放水による溢水」という。）並びに地震に起因する機器の破損及び使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の燃料取出しピット、燃料仮置きピット、燃料貯蔵プール、チャンネルボックス・バーナブルポイズン取扱いピット、燃料移送水路及び燃料送出しピット（以下「燃料貯蔵プール・ピット等」という。）のスロッシングにより生じる溢水（以下「地震起因による溢水」という。）を踏まえ溢水源及び溢水量を設定する。

また、その他の要因による溢水として、地下水の流入、地震以外の自然現象、誤操作等により生じる溢水（以下「その他の溢水」という。）を想定し、溢水源及び溢水量を設定する。

溢水源となり得る機器は、流体を内包する配管及び容器(塔、槽類を含む。)とし、設計図書(施工図面等)及び必要に応じ現場確認等により抽出を行ったうえ、耐震評価及び応力評価を踏まえ選定する。なお、「VI-1-1-7-1 化学薬品の漏えいによる損傷の防止に対する基本方針」の「2.2 再処理施設における化学薬品取扱いの基本方針」に示す化学薬品についても、機器等に内包される液体であることを踏まえ、ここで溢水源として想定する。

溢水影響を評価するために、壁、扉、堰、床段差等の設置状況を踏まえ、溢水防護に対する評価対象区画とする溢水防護区画及び溢水経路を設定する。溢水防護区画内外で発生を想定する溢水に対して、溢水評価がより厳しい結果を与えるように溢水経路を設定する。

溢水源、溢水量、溢水防護区画及び溢水経路の設定方針を「2.2 溢水評価条件の設定」に示す。

溢水評価では、溢水防護対象設備が、没水、被水及び蒸気の影響を受けて安全機能を損なうおそれがないことを評価するとともに、防護対策を実施する。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.3.1 溢水防護建屋内で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針」のうち「(1) 没水の影響に対する評価及び防護設計方針」、「(2) 被水の影響に対する評価及び防護設計方針」及び「(3) 蒸気影響に対する評価及び防護設計方針」に示す。

基準地震動 $S_s$ による地震力によって生じるスロッシングにより、燃料貯蔵プール・ピット等の外へ漏えいする溢水を三次元流動解析により評価する。その際、燃料貯蔵プール・ピット等の周囲に止水板及び蓋を設置することにより溢水量を低減する設計とする。算出した溢水量からスロッシング後の燃料貯蔵プール・ピット等の水位低下を考慮しても、燃料貯蔵プール・ピット等の冷却機能及び燃料貯蔵プール・ピット等への給水機能が確保されることを確認し、それらを用いることにより適切な水温及び遮蔽に必要な水位を維持できる設計とする。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.3.1 溢水防護建屋内で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針」のうち「(4) 燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシング後の機能維持に関する溢水評価及び防護設計方針」に示す。

屋外で発生を想定する溢水に対しては、屋外で発生を想定する溢水による影響を評価する上で期待する範囲を境界とした溢水防護対象設備が設置されている建屋(以下「溢水防護建屋」という。)内への流入を壁(貫通部止水処置を含む。)、扉、堰等により防止する設計とし、建屋内の溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。また、屋外で発生を想定する溢水に対しては、屋外の溢水防護対象設備の安全機能を損なうおそれがある高さ(以下「機能喪失高さ」という。)が地表面に滞留を想定する溢水水位を上回る設計及び水の浸入経路からの水の浸入を防ぐ保護機構を有する設計とすることにより、屋外の溢水防護対象設備の安全機能を損なわない設計とする。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.3.2 屋外で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針」に示す。

溢水防護対象設備が発生を想定する溢水により安全機能を損なわないよう、防護対策その他の適切な処置を実施する。

発生を想定する溢水から溢水防護対象設備を防護するための設備(以下「溢水防護設備」という。)について、実施する防護対策その他の適切な処置の設計方針を「2.4 溢水防護設備の設計方針」に示す。

溢水評価の条件の変更により評価結果が影響を受けないことを確認するために、各種設備の追加、改造若しくは撤去又は資機材の持込みにより評価条件としている溢水源、溢水経路、滞留面積等に見直しがある場合は、溢水評価への影響確認を実施することを保安規定に定めて、管理する。

## 2.1 溢水防護対象設備の選定

溢水によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を全ての安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器とし、その上で事業指定基準規則及びその解釈並びに内部溢水ガイドで定められている、溢水から防護すべき安全機能を踏まえ、全ての安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器の中から安全評価上機能を期待するものとして、安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を溢水防護対象設備として選定する。

具体的には、以下の設備を溢水防護対象設備とする。

- ・安全機能の喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある設備
- ・設計基準事故時において、公衆又は従事者への放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設外へ放出されることを抑制又は防止するために必要な設備(燃料貯蔵プール・ピット等の冷却及び給水の機能を適切に維持するために必要な設備並びに事故等の拡大防止及び影響緩和のために必要な設備を含む。)

溢水防護対象設備以外の安全機能を有する施設は、溢水による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

溢水防護対象設備が溢水により安全機能を損なわない設計であることを確認するため、溢水評価を実施する。

溢水防護対象設備のうち、溢水影響を受けても必要な機能を損なうおそれがない臨界管理対象機器、静的機器、水中に設置される機器及び動的機能が喪失しても安全機能に影響しない機器については、溢水評価の対象としない。

なお、溢水評価の条件に見直しがある場合は、溢水評価への影響確認を行うことを保安規定に定めて、管理する。

溢水防護対象設備の選定及び溢水評価の対象の設定に係る具体的な内容を「VI-1-1-6-2 溢水防護対象設備の選定」に示す。

## 2.2 溢水評価条件の設定

### 2.2.1 溢水源及び溢水量の設定

溢水源及び溢水量は、想定破損による溢水、消火水等の放水による溢水、地震起因による溢水及びその他の溢水を踏まえ設定する。

#### (1) 想定破損による溢水

想定破損による溢水は、内部溢水ガイドを参考に、他の系統及び機器は健全なものと仮定して1系統における単一の機器の破損を想定し、溢水源となり得る機器は流体を内包する配管とし、配管の破損箇所を溢水源として設定する。

また、破損を想定する配管は、内包する流体のエネルギーに応じて、高エネルギー配管又は低エネルギー配管に分類する。

配管の破損形状の想定に当たっては、高エネルギー配管は、原則「完全全周破断」、低エネルギー配管は、原則「配管内径の1/2の長さと同径の配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラック(以下「貫通クラック」という。)」を想定する。

ただし、配管破損の想定に当たって、詳細な応力評価を実施する場合は、発生応力と許容応力の比による応力評価の結果に基づく破損形状を想定する。

高エネルギー配管については、ターミナルエンド部を除き、発生応力が許容応力の0.8倍を超える場合は「完全全周破断」、0.4倍を超え0.8倍以下であれば「貫通クラック」を想定し、0.4倍以下であれば破損は想定しない。

また、低エネルギー配管については、発生応力が許容応力の0.4倍を超える場合は「貫通クラック」を想定し、0.4倍以下であれば破損は想定しない。

応力評価の結果により破損形状の想定を行う場合は、評価結果に影響するような減肉がないことを確認するために継続的な肉厚管理を実施することを保安規定に定めて、管理する。

溢水源として設定する配管の破損箇所は溢水防護対象設備への溢水の影響が最も大きくなる位置とし、溢水量は、異常の検知、事象の判断及び漏えい箇所の特定制並びに現場又は中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室からの隔離(運転員の状況確認及び隔離操作を含む。)により漏えい停止するまでの時間を適切に考慮し、想定する破損箇所からの流出量と隔離後の溢水量として隔離範囲内の系統の保有水量を合算して設定する。

なお、手動による漏えいの停止のために現場、中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室を確認し操作することを保安規定に定めて、管理する。

(2) 消火水等の放水による溢水

消火水等の放水による溢水は、溢水防護建屋内において、水を使用する消火設備である屋内消火栓及び水噴霧消火設備を溢水源として設定する。その他、消火設備ではないが、消火活動に供する設備として、水を噴霧する連結散水からの放水を溢水源として設定する。

消火水等の放水による溢水量については、消火設備及び消火活動に供する設備からの単位時間当たりの放水量と放水時間から設定する。

なお、溢水防護建屋内には、自動作動するスプリンクラを設置しない設計とする。

(3) 地震起因による溢水

a. 再処理施設内に設置された機器の破損による溢水

地震起因による溢水については、耐震Sクラス機器は基準地震動 $S_s$ による地震力によって破損は生じないことから、流体を内包する系統のうち、基準地震動 $S_s$ による地震力に対する耐震性が確認されていない耐震B、Cクラスに属する系統を溢水源として設定する。

ただし、耐震B、Cクラスであっても基準地震動 $S_s$ による地震力に対して耐震性が確保されるものについては、溢水源として設定しない。

溢水量の算出に当たっては、溢水が生じるとした機器について、溢水防護対象設備への溢水の影響が最も大きくなるように評価する。

溢水源となる系統については全保有水量を考慮した上で、流体を内包する機器のうち、基準地震動 $S_s$ によって破損が生じる可能性のある機器について破損を想定し、その影響を評価する。この場合において、溢水源となる配管は、破損形状を完全全周破断とした溢水量とし、溢水源となる容器は、全保有水量を溢水量として設定する。

b. 燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる溢水

燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる溢水については、基準地震動 $S_s$ による地震力により生じる燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる漏えい水を溢水源として設定する。

また、燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる溢水量の算出に当たっては、基準地震動 $S_s$ による地震力により生じるスロッシングにより燃料貯蔵プール・ピット等の外へ漏えいする溢水量を設定する。



#### (4) その他の溢水

その他の溢水については、地震以外の自然現象やその波及的影響に伴う溢水、溢水防護区画内にて発生が想定されるその他の漏えい事象を想定する。

具体的には、地下水の流入、降水のような再処理施設への直接的な影響と、飛来物等による屋外タンク等の破損のような間接的な影響、機器ドレン、機器損傷(配管以外)、人的過誤及び誤作動を想定し、各事象において溢水源及び溢水量を設定する。

溢水源及び溢水量の設定の具体的な内容を「VI-1-1-6-3 溢水評価条件の設定」のうち「2. 溢水源及び溢水量の設定」に示す。

また、応力評価により溢水源から除外する設備の評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-6 溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」に、耐震性の確認により溢水源から除外する設備の評価の具体的な内容を「IV-5 溢水及び化学薬品への配慮が必要な施設の耐震性に関する説明書」に示す。

#### 2.2.2 溢水防護区画及び溢水経路の設定

溢水評価に当たっては、壁、扉、堰、床段差等を境界とした評価に用いる区画を設定する。溢水防護区画は、設定した区画のうち溢水評価を実施する区画として、以下のとおり設定する。

- (1) 評価対象の溢水防護対象設備が設置されている区画
- (2) 中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室
- (3) 運転員が、溢水が発生した区画を特定するためにアクセスする通路部又は必要により隔離等の操作が必要な設備にアクセスする通路部(以下「アクセス通路部」という。)

溢水防護区画は、壁、扉、堰、床段差等又はそれらの組合せによって他の区画と分離される区画として設定し、溢水防護区画を構成する壁、扉、堰、床段差等については、現場の設備等の設置状況を踏まえ、溢水の伝播に対する評価条件を設定する。

溢水評価に当たっては、溢水の影響を受けて、溢水防護対象設備の機能喪失高さ並びに溢水防護区画とその他の区画(溢水防護対象設備が存在しない区画又は通路)との間における伝播経路となる防水扉及び水密扉以外の扉、壁開口部及び貫通部、天井面開口部及び貫通部、床面開口部及び貫通部、床ドレンの接続状況並びにこれらに対する流入防止対策の有無を踏まえ、溢水防護区画内の水位が最も高くなるように、より厳しい結果を与える溢水経路を設定する。

消火活動により区画の防水扉及び水密扉を開放する場合は、開放した防水扉及び水密扉からの消火水の伝播を考慮した溢水経路とする。また、壁貫通部止水処置

は、原則火災により機能を損なわない設計とする。ただし、熱膨張を考慮する必要があり耐火性能を有する壁貫通部止水処置の使用が不適切となる箇所及び狭隘部で耐火性能を有する壁貫通部止水処置の施工が困難な箇所は、消火水の溢水経路として考慮する。

防水扉及び水密扉については、扉の閉止運用を保安規定に定めて、管理する。

溢水防護区画及び溢水経路の設定の具体的な内容を「VI-1-1-6-3 溢水評価条件の設定」のうち「3. 溢水防護区画及び溢水経路の設定」に示す。

## 2.3 溢水評価及び防護設計方針

### 2.3.1 溢水防護建屋内で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針

#### (1) 没水の影響に対する評価及び防護設計方針

想定した溢水源から発生する溢水量、溢水防護区画及び溢水経路から算出した溢水水位に対し、機能喪失高さを比較し、溢水防護対象設備が没水により安全機能を損なわないことを評価する。

また、溢水の流入状態、溢水源からの距離、溢水が滞留している区画での人のアクセスによる一時的な水位変動を考慮し、機能喪失高さは発生した溢水による水位に対して安全余裕を確保する設計とする。

さらに、床勾配のある区画については、床面高さのばらつきを考慮し安全余裕を確保する設計とする。

没水の影響に対する防護設計として、壁(貫通部止水処置を含む。)、防水扉、水密扉、堰及び床ドレン逆止弁の設置等の対策を行うことにより、溢水防護対象設備が没水により安全機能を損なわない設計とする。

消火水の放水による没水影響で溢水防護対象設備の機能を損なうおそれがある場合には、水を用いない消火手段(窒素消火装置による消火、二酸化炭素消火装置による消火、消火器による消火)を採用することで没水の影響が発生しない設計とする。

さらに当該エリアへの不用意な放水を行わない運用とすることとし保安規定に定めて、管理する。

没水影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.1.1 没水影響に対する評価」に示す。

#### (2) 被水の影響に対する評価及び防護設計方針

想定した溢水源からの直線軌道及び放物線軌道の飛散による被水、消火水等による被水並びに天井面の開口部又は貫通部からの被水に対し、影響を受ける範囲内にある溢水防護対象設備が安全機能を損なわないことを評価する。

なお、溢水防護対象設備があらゆる方向からの水の飛まつによっても有害な影

響を生じないように、保護構造を有していれば、溢水防護対象設備は安全機能を損なわない。

被水の影響に対する防護設計として、保護構造を有する設計、溢水防護板の設置等の対策により、溢水防護対象設備が被水により安全機能を損なわない設計とする。

保護構造を有さない場合は、機能を損なうおそれがない配置設計又は消火水等の放水による被水の影響が発生しないよう溢水防護対象設備が設置されている溢水防護区画において水を用いない消火手段(窒素消火装置による消火、二酸化炭素消火装置による消火又は消火器による消火)を採用することにより、被水の影響が発生しない設計とする。

保護構造により安全機能を損なわない設計とする設備については、評価された被水条件を考慮しても安全機能を損なわないことを設計時に確認し、保護構造を維持するための保守管理を実施することを保安規定に定めて、管理する。

なお、水を用いる消火活動を行う場合には、水を用いる消火活動による被水の影響を最小限に止めるため、溢水防護対象設備に対して不用意な放水を行わないことを消火活動における運用及び留意事項として保安規定に定めて、管理する。

被水影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.1.2 被水影響に対する評価」に示す。

### (3) 蒸気影響に対する評価及び防護設計方針

想定した溢水源からの漏えい蒸気の直接噴出及び拡散による影響を確認するために、空調条件や解析区画を設定して解析を実施し、溢水防護対象設備が蒸気の影響により安全機能を損なわないことを評価する。

蒸気の影響に対しては、蒸気曝露試験又は机上評価によって蒸気の影響に対して耐性を有することを確認する。

具体的には、溢水防護対象設備が、溢水源から漏えいした蒸気の直接噴出及び拡散による影響を受け、蒸気曝露試験又は机上評価によって溢水防護対象設備の健全性が確認されている条件(温度、湿度及び圧力)を超えない耐蒸気性を有する設計とする。

蒸気影響に対する防護設計として、自動で漏えい蒸気を早期隔離する自動検知・遠隔隔離システムの設置等の対策、溢水防護対象設備への蒸気曝露試験又は机上評価による健全性の確認により、溢水防護対象設備が蒸気の影響により安全機能を損なわない設計とする。

蒸気曝露試験は、漏えい蒸気による環境において要求される機能を損なうおそれがある設備を対象に、漏えい蒸気による環境条件(温度、湿度及び圧力)により

対象設備が要求される機能を損なわないことを評価するために実施する。ただし、試験実施が困難な機器については、漏えい蒸気による環境条件に対する耐性を机上評価する。

溢水防護対象設備が蒸気環境に曝された場合、溢水防護対象設備の安全機能が損なわれていないことを確認することとし、保安規定に定めて、管理する。

蒸気影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.1.3 蒸気影響に対する評価」に示す。

#### (4) 燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシング後の機能維持に関する溢水評価及び防護設計方針

基準地震動 $S_s$ による地震力によって生じるスロッシングにより、燃料貯蔵プール・ピット等の外へ漏えいする水の量を三次元流動解析により評価する。

その際、燃料貯蔵プール・ピット等の周囲に止水板及び蓋を設置することによりスロッシング水量を低減する設計とする。

燃料貯蔵プール・ピット等の周囲に設置する止水板及び蓋の詳細設計を「VI-1-1-6-5 溢水防護設備の詳細設計」に示す。

算出した溢水量からスロッシング後の燃料貯蔵プール・ピット等の水位低下を考慮しても、燃料貯蔵プール・ピット等の冷却機能及び燃料貯蔵プール・ピット等への給水機能が確保されることを確認し、それらを用いることにより適切な水温及び遮蔽に必要な水位を維持できる設計とする。

また、スロッシングによる溢水(その他機器の地震起因による溢水を含む。)の影響を受けて、燃料貯蔵プール・ピット等の冷却機能及び燃料貯蔵プール・ピット等への給水機能の維持に必要な機器が安全機能を損なうおそれがないことを確認する設計とする。

溢水防護対象設備が溢水により安全機能を損なうおそれがある場合には、防護対策その他の適切な処置を実施する。

燃料貯蔵プール・ピット等の機能維持に関する評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.1.4 燃料貯蔵プール・ピット等の機能維持に関する評価」に示す。

### 2.3.2 屋外で発生する溢水に関する溢水評価及び防護設計方針

#### (1) 溢水防護建屋に対する溢水評価及び防護設計方針

屋外で発生を想定する溢水は、溢水防護建屋内の溢水防護区画に流入することにより、建屋内の溢水防護対象設備の安全機能を損なう可能性がある。このため、屋外で発生を想定する溢水が、溢水防護区画に流入しないことを評価する。

屋外で発生を想定する溢水に対しては、屋外で発生を想定する溢水による影響

を評価する上で期待する範囲を境界とした溢水防護建屋内への流入を壁(貫通部止水処置を含む。), 扉, 堰等により防止する設計とすることにより, 建屋内の溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

地表面に滞留する溢水に対しては, 屋外で発生を想定する溢水による影響を評価する上で期待する範囲を境界とした溢水防護建屋内へ流入しないよう, 建屋外壁の開口部の設置高さを確保する設計とする。

また, 地下水に対しては, 流入経路に地下水面からの水頭圧に耐える壁(貫通部止水処置を含む。), 扉等による流入防止措置等を実施することにより, 地下水の流入による影響を評価する上で期待する範囲を境界とした溢水防護建屋内への流入を防止する設計とし, 溢水防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

溢水防護建屋に対する溢水評価の具体的な内容を「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.2.1 防護すべき設備を内包する建屋に対する評価」に示す。

## (2) 屋外の溢水防護対象設備に対する溢水評価及び防護設計方針

屋外で発生を想定する溢水に伴う没水及び被水により屋外の溢水防護対象設備が安全機能を損なわないことを評価する。

屋外で発生する溢水に対しては, 屋外で発生を想定する溢水のうち屋外タンク等の破損による溢水により没水し, 屋外の溢水防護対象設備の安全機能を損なわないよう, 必要な機能喪失高さを確保する設計とする。また, 屋外で発生を想定する溢水のうち屋外タンク等の破損による溢水により被水し, 屋外の溢水防護対象設備の安全機能を損なわないよう, 水の浸入経路からの水の浸入を防ぐ保護機構を有する設計とする。

屋外で発生を想定する溢水のうち降水に対する影響評価については, 「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」にて説明する。

屋外の溢水防護対象設備で, 本申請の申請対象設備である安全冷却水B冷却塔に対する溢水影響の概略評価の内容を「VI-1-1-6-2 溢水防護対象設備の選定」のうち「2.3 屋外の溢水防護対象設備に対する評価」に示す。

## 2.4 溢水防護設備の設計方針

安全機能を有する施設は, 再処理施設内における溢水が発生した場合においても, 安全機能を損なわない設計とする。

そのために, 再処理施設内に設置された機器及び配管の破損(地震起因を含む。)による溢水, 再処理施設内で生じる異常状態(火災を含む。)の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水又は燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる溢水が発生した場合においても, 溢水防護設備により, 溢水防護対象設備が安全機能を損な

わない設計とする。

また、燃料貯蔵プール・ピット等の冷却機能及び燃料貯蔵プール・ピット等への給水機能を維持できる設計とする。

溢水防護設備が要求される機能を維持するため、計画的に保守管理、点検を実施するとともに必要に応じ補修を実施することを保安規定に定めて、管理する。

再処理施設に設置する溢水防護設備及びその設計方針については、溢水防護設備及び溢水評価の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 3. 準拠規格

準拠する規格としては、既設工認で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示したうえで適用可能とする。

準拠する規格，基準，指針等を以下に示す。

- ・原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド（平成25年6月19日 原規技発第13061913号 原子力規制委員会決定）

なお、次回以降に申請する施設に係る準拠規格については、当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

VI-1-1-6-2  
溢水防護対象設備の選定

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 溢水防護対象設備の選定 .....	1
2.1 溢水防護対象設備の選定方針 .....	1
2.2 評価対象の溢水防護対象設備の選定について .....	1
2.3 屋外の溢水防護対象設備に対する評価 .....	4



## 1. 概要

本資料は、再処理施設の溢水防護設計が技術基準規則第十二条及び内部溢水ガイドを踏まえて、再処理施設内で発生を想定する溢水から防護する対象設備の選定の考え方を説明するものである。

## 2. 溢水防護対象設備の選定

### 2.1 溢水防護対象設備の選定方針

溢水によってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を全ての安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器とし、その上で事業指定基準規則及びその解釈並びに内部溢水ガイドで定められている、溢水から防護すべき安全機能を踏まえ、全ての安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器の中から安全評価上機能を期待するものとして、安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を溢水防護対象設備として選定する。

具体的には、以下の設備を溢水防護対象設備とする。

- ・安全機能の喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある設備
- ・設計基準事故時において、公衆又は従事者への放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設外へ放出されることを抑制又は防止するために必要な設備(燃料貯蔵プール・ピット等の冷却及び給水の機能を適切に維持するために必要な設備並びに事故等の拡大防止及び影響緩和のために必要な設備を含む。)

溢水防護対象設備以外の安全機能を有する施設は、溢水による損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

### 2.2 評価対象の溢水防護対象設備の選定について

2.1で選定した溢水防護対象設備のうち、溢水により安全機能を損なうおそれのある設備を評価対象として選定する。そのため、溢水により安全機能を損なわないことが明らかでない以下に該当する設備は、影響評価の対象から除外する。

#### (1) 臨界管理対象機器のうち溢水により臨界の発生に至らないもの

内部に水が浸入する経路がなく、且つ溢水による水反射条件を考慮しても臨界の発生に至らない臨界管理対象機器は、溢水により安全機能を損なわないため、評価対象外とする。

- (2) 溢水によって安全機能が損なわれない静的な安全機能を有する建物・構築物，系統及び機器

外部から動力の供給を必要としない静的な機器は，溢水の影響を受けてもその機能を喪失させる損傷は起きないことから，溢水により安全機能を損なわないため，評価対象外とする。

- (3) 水中に設置される機器

水中に設置される機器は，内部も常時水が充填されている環境において駆動可能な設計であることから，溢水により安全機能を損なわないため，評価対象外とする。

- (4) 動的機能が喪失しても安全機能に影響しない機器（フェイルセーフ機能を持つ機器を含む。）

静的な部位により安全機能を担保又はフェイルセーフ機能により安全機能を維持する機器は，溢水の影響を受けて動的機能が喪失しても，安全機能を損なわないため，評価対象外とする。

評価対象外とする溢水防護対象設備の考え方を踏まえ，具体的に溢水評価が必要となる溢水防護対象設備を選定する。その結果を第2-1表に示す。

第2-1表 溢水評価対象の防護対象設備リスト

屋外

設備区分	機器名称	溢水防護 区画	設置高さ* T. M. S. L. (m)
安全冷却水系	安全冷却水B冷却塔	屋外	55.00

注記 \* : 溢水評価上基準となる床面高さを示す。

### 2.3 屋外の溢水防護対象設備に対する評価

屋外の溢水防護対象設備は、屋外で発生を想定する溢水のうち屋外タンク等の破損による溢水により没水し、当該設備の安全機能を損なわないよう、機能喪失高さを確保する設計とする。また、屋外で発生を想定する溢水のうち屋外タンク等の破損による溢水により被水し、当該設備の安全機能を損なわないよう、水の浸入経路からの水の浸入を防ぐ保護機構を有する設計とする。

屋外の溢水防護対象設備で、本申請の申請対象設備である安全冷却水B冷却塔の機能喪失高さについて、「VI-2-5 構造図」の「第2.5.1.1.1.1-1図 安全冷却水塔( )の構造図」に示す。

なお、屋外の溢水防護対象設備で、本申請の申請対象設備である安全冷却水B冷却塔について、屋外で発生を想定する溢水に伴う没水及び被水による影響に対する概略評価を行い、没水影響に対しては、溢水防護対象設備を内包する建屋が密集した範囲において、屋外タンク等の破損により内包する流体の全量が地表面に滞留した場合の溢水水位が機能喪失高さを下回るように、当該設備の機能喪失高さを確保することにより、安全機能を損なわないことを確認した。

また、被水影響に対しては、屋外タンク等の破損により溢水が発生しても、保護構造として、想定される水の浸入経路となる部位が外部からの水による浸入を防ぐ構造となっているため、安全機能を損なわないことを確認した。

屋外の溢水防護対象設備に対する溢水評価については、次回以降の「VI-1-1-6-4 溢水影響に関する評価」のうち「2.2.2 屋外の防護すべき設備に対する評価」で詳細を説明する。

## VI-1-1-7

再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止に関する説明書

VI-1-1-7-1 化学薬品の漏えいによる損傷の防止に対する基本方針

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 化学薬品の漏えいによる損傷の防止に対する基本方針 .....	1
2.1 化学薬品防護対象設備の選定 .....	3
2.2 再処理施設における化学薬品取扱いの基本 .....	4
2.3 設計上考慮すべき化学薬品の設定 .....	5
2.4 化学薬品の漏えい評価条件の設定 .....	6
2.5 化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針 .....	9
2.6 化学薬品防護設備の設計方針 .....	11
3. 準拠規格 .....	12

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の化学薬品の漏えい防護設計が「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第十三条に適合することを説明するものである。

## 2. 化学薬品の漏えいによる損傷の防止に対する基本方針

安全機能を有する施設は、再処理施設内における化学薬品の漏えいの発生（漏えいに伴い発生する有毒ガスを含む。）によりその安全機能を損なうおそれがある場合において、防護措置その他の適切な措置を講じることにより、化学薬品の漏えいに対して安全機能を損なわない設計とする。

ここで、安全機能を有する施設のうち、安全評価上機能を期待する安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を化学薬品の漏えいから防護する設備（以下「化学薬品防護対象設備」という。）とし、これらの設備が、没水、被水及び蒸気の影響評価手法及び防護措置を参考に、漏えいした化学薬品の影響を受けて、その安全機能を損なわない設計（多重性又は多様性を有する設備が同時にその安全機能を損なわない設計）とする。

そのために、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」（以下「内部溢水ガイド」という。）を参考に、化学薬品の漏えい防護に係る設計時に再処理施設内において発生が想定される化学薬品の漏えいの影響を評価（以下「化学薬品の漏えい評価」という。）し、化学薬品防護対象設備の安全性を損なうおそれがある場合は、防護措置その他の適切な措置を講じることにより、安全機能を損なわない設計であることを確認する。

また、事業指定基準規則の解釈に基づき、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故（以下「事故等」という。）の対処に必要な機器の単一故障を考慮しても異常事象を収束できる設計とする。

化学薬品防護対象設備の選定方針を「2.1 化学薬品防護対象設備の選定」に示す。

化学薬品の漏えい評価に当たっては、選定した化学薬品防護対象設備の安全機能を短時間で損なうおそれのある化学薬品を設計上考慮すべき対象として設定する。

設計上考慮すべき化学薬品の設定方針を「2.3 設計上考慮すべき化学薬品の設定」に示す。

化学薬品の漏えい評価では、化学薬品の漏えいを発生要因別に分類し、化学薬品の漏えいの影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる化学薬品の漏えい（以下「想定破損による化学薬品の漏えい」という。）、再処理施設内で生じる異常状態の拡大防止のために設置される系統からの消火剤の放出による化学薬品の漏えい（以下「消火剤の放出による化学薬品の漏えい」という。）及び地震に起因する機器の破損等により生じる化学薬品の漏えい（以下「地震起因による化学薬品の漏えい」という。）を踏まえ化学薬品の漏えい源及び漏えい量を設定する。



また、その他の要因による化学薬品の漏えいとして、地震以外の自然現象、誤操作等により生じる化学薬品の漏えい(以下「その他の化学薬品の漏えい」という。)を想定し、化学薬品の漏えい源及び漏えい量を設定する。

化学薬品の漏えい源となり得る機器は、化学薬品を内包する配管及び容器(塔、槽類を含む。)とし、設計図書(施工図面等)及び必要に応じ現場確認等により抽出を行ったうえで、耐震評価及び応力評価を踏まえ選定する。なお、液体状の化学薬品については、「VI-1-1-6-3 溢水評価条件の設定」の「2. 溢水源及び溢水量の設定」で溢水源として想定する。

化学薬品の漏えい影響を評価するために、壁、扉、堰、床段差等の設置状況を踏まえ、化学薬品の漏えい防護に対する評価対象区画とする化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路を設定する。化学薬品防護区画内外で発生を想定する化学薬品の漏えいに対して、化学薬品の漏えい評価がより厳しい結果を与えるように化学薬品の漏えい経路を設定する。

化学薬品の漏えい源、化学薬品の漏えい量、化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路の設定方針を「2.4 化学薬品の漏えい評価条件の設定」に示す。

化学薬品の漏えい評価では、化学薬品防護対象設備が、没液、被液及び腐食性ガスの影響を受けて安全機能を損なうおそれがないことを評価するとともに、防護対策を実施する。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.5.1 化学薬品防護建屋内で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針」のうち「(1) 没液の影響に対する評価及び防護設計方針」、「(2) 被液の影響に対する評価及び防護設計方針」及び「(3) 腐食性ガスの影響に対する評価及び防護設計方針」に示す。

屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいに対しては、屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいによる影響を評価する上で期待する範囲を境界とした化学薬品防護対象設備が設置されている建屋(以下「化学薬品防護建屋」という。)内への流入を壁(貫通部止水処置を含む。)、扉、堰等により防止する設計とし、建屋内の化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

また、屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいに対しては、屋外の化学薬品防護対象設備の安全機能を損なうおそれがある高さ(以下「機能喪失高さ」という。)が想定する漏えい液位を上回る設計及び漏えい源からの距離を確保する設計とすることにより、屋外の化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

具体的な評価及び防護設計方針を、「2.5.2 屋外で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針」に示す。

化学薬品防護対象設備が発生を想定する化学薬品の漏えいにより安全機能を損なわないよう、防護対策その他の適切な処置を実施する。

発生を想定する化学薬品の漏えいから化学薬品防護対象設備を防護するための設備

(以下「化学薬品防護設備」という。)について、実施する防護対策その他の適切な処置の設計方針を「2.6 化学薬品防護設備の設計方針」に示す。

化学薬品の漏えい評価の条件の変更により評価結果が影響を受けないことを確認するために、各種設備の追加、改造若しくは撤去又は資機材の持込みにより評価条件としていたる化学薬品の漏えい源、漏えい経路、滞留面積等に見直しがある場合は、化学薬品の漏えい評価への影響確認を実施することを保安規定に定めて、管理する。

化学薬品の漏えいに伴い発生する有毒ガスに対しては、漏えいした化学薬品から有毒ガスが発生し、中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室並びに緊急時対策建屋に到達するおそれがある場合には、運転員並びに設計基準事故及び重大事故等の対処に必要な指示を行う要員への影響を防止するため、必要に応じて外気との連絡口の遮断又は中央制御室内及び緊急時対策建屋内の空気の再循環運転を行うこと、防護具を着用すること並びに化学薬品の漏えいに係る終息活動により、安全機能を有する施設の安全機能を損なわない設計とする。

有毒ガスが発生した場合に再処理施設の安全性を確保するために必要な措置をとるための具体的な事項は、「VI-1-5-2 制御室及び緊急時対策所の居住性に関する説明書」に示す。

## 2.1 化学薬品防護対象設備の選定

化学薬品の漏えいによってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を全ての安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器とし、その上で事業指定基準規則及びその解釈による規定並びに内部溢水ガイドで定められている溢水から防護すべき安全機能を参考に、化学薬品の漏えいから防護すべき安全機能を踏まえ、全ての安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器の中から安全評価上機能を期待するものとして、安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を化学薬品防護対象設備として選定する。

具体的には、以下の設備を化学薬品防護対象設備とする。

- ・安全機能の喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある設備
- ・設計基準事故時において、公衆又は従事者への放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設外へ放出されることを抑制又は防止するために必要な設備(使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の燃料取出しピット、燃料仮置きピット、燃料貯蔵プール、チャンネルボックス・バーナブルポイズン取扱いピット、燃料移送水路及び燃料送出しピット(以下「燃料貯蔵プール・ピット等」という。)の冷却及び給水の機能を適切に維持するために必要な設備並びに事故等の拡大防止及び影響緩和のために必要な設備を含む)

化学薬品防護対象設備以外の安全機能を有する施設は、化学薬品の漏えいによる損

傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

また、上記の施設に対する損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理を行うことを保安規定に定めて、管理する。

化学薬品防護対象設備が化学薬品の漏えいにより安全機能を損なわない設計であることを確認するため、化学薬品の漏えい評価を実施する。

化学薬品防護対象設備のうち、設計上考慮すべき化学薬品の影響を受けない構成部材で構成される設備、動的機能が喪失しても安全機能に影響しない設備については、化学薬品の漏えい評価の対象としない。

なお、化学薬品の漏えい評価の条件に見直しがある場合は、化学薬品の漏えい評価への影響確認を行うことを保安規定に定めて、管理する。

化学薬品防護対象設備の選定及び化学薬品の漏えい評価の対象の設定に係る具体的な内容を「VI-1-1-7-2 化学薬品防護対象設備の選定」に示す。

## 2.2 再処理施設における化学薬品取扱いの基本

再処理施設においては、液体として硝酸、水酸化ナトリウム、リン酸トリブチル(以下「TBP」という。)、n-ドデカン、硝酸ヒドラジン、硝酸ヒドロキシルアミン(以下「HAN」という。)、硝酸ガドリニウム、硝酸ナトリウム、炭酸ナトリウム、亜硝酸ナトリウム、硫酸、ヒドラジン、りん酸ナトリウム及び模擬廃液並びに気体として窒素酸化物(以下「NOx」という。)ガス、水素ガス、窒素ガス、酸素ガスの化学薬品を主な試薬として使用する。これらの化学薬品のうち、再処理におけるプロセス工程(以下「再処理プロセス」という。)において大量に取り扱う硝酸、水酸化ナトリウム、TBP、n-ドデカン、硝酸ヒドラジン、HAN及び炭酸ナトリウムは、試薬建屋の化学薬品貯蔵供給設備に保有し、必要な量を各施設の化学薬品貯蔵供給系に移送する設計とする。

再処理施設における化学薬品の取扱いは、「消防法」、「労働安全衛生法」及び「毒物及び劇物取締法」の要求を満足するものとする。

化学薬品の取扱いの基本方針として、再処理施設及び従事者の安全性を確保するために、以下の安全設計及び対策を行う。

- (1) 化学薬品を内包する設備は、化学薬品の性状に応じた材料を選定し、腐食し難い設計とする。
- (2) 化学薬品を内包又は化学薬品が通過する機器の継ぎ手部は、化学薬品の性状に応じて適切な材料を選定するとともに、化学薬品が継ぎ手部から漏えいした際に従事者に飛散する可能性がある場合には、飛散防止措置を講じることを保安規定に定めて、管理する。

- (3) 化学薬品の漏えいが生じるおそれのある区画及び漏えいが伝播するおそれのある経路並びにそれらに設置する機器及び資機材については、耐薬品性を有する塗装材の塗布及び漏えいした化学薬品と反応する物質の撤去により、漏えいにより生じる腐食性ガスの発生、反応生成物の発生及び発熱の副次的な影響を低減する設計とする。

また、化学薬品の漏えい及び化学薬品の漏えいに伴い発生する有毒ガスに備えた運転員、敷地内の作業員及び事故等の対処に必要な要員の安全確保に係る対応として、作業リスクに応じた防護具の着用や漏えい発生時の作業員の対応及び必要な資機材を配備することを保安規定に定めて、管理する。

さらに、中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室並びに緊急時対策所における有毒ガスによる影響を防止するための再処理施設内の化学薬品の安全管理に係る運用上の措置として、以下を保安規定に定めて、管理する。

- (1) 敷地内で保有する化学薬品の種類、量、濃度並びに使用・保管場所及びその温度については、化学薬品から発生する有毒ガスの影響を考慮し、制限を設ける。
- (2) 敷地内への化学薬品の受入れに当たっては、敷地内の運搬ルート及び運搬先を含めた運搬計画を定める。運搬計画の策定・変更に当たっては、有毒ガスが発生した場合の中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室並びに緊急時対策所における有毒ガス防護に係る影響評価結果に影響を及ぼさないことを確認する。特に、常温付近に沸点を有し、漏えい発生時に有毒ガスを発生する化学薬品の受入れについては、外気温を考慮する。
- (3) 敷地内への化学薬品の受入れ時は、敷地内で複数の輸送容器による化学薬品の運搬は同時に行わない。
- (4) 敷地内への化学薬品の受入れ時は、立会人を設け、漏えい又は異臭等の異常を確認した場合には通信連絡設備により当該事象の発生を必要な箇所に通報連絡する。また、敷地外の化学薬品の漏えいについては、公的機関から情報を入手した者、当該の運搬に対応している者が、通信連絡設備により当該事象の発生を必要な箇所に通報連絡する。

### 2.3 設計上考慮すべき化学薬品の設定

化学薬品防護対象設備が化学薬品の漏えいの影響を受ける場合においても安全機能を損なわないことを評価するために、化学薬品防護対象設備の抽出及び設計上考慮すべき化学薬品を設定する。

設計上考慮すべき化学薬品の設定の具体的な内容を「VI - 1 - 1 - 7 - 2 化学薬品防護対象設備の選定」に示す。

また、有毒ガスの発生の観点では、有毒ガスの発生要因(揮発、分解、接触、燃焼

等)を踏まえ、急性毒性又は中枢神経への影響を及ぼすおそれのある化学薬品(構成部材と反応する場合を含む。)を抽出する。

#### 2.3.1 漏えいによる影響を検討する化学薬品及び構成部材の抽出

再処理事業所内で用いられる化学薬品及び化学薬品防護対象設備の構成部材から、化学薬品防護対象設備の安全機能に影響を及ぼす化学薬品と構成部材の組合せを決定するため、文献調査及び耐薬品性試験の実施により、漏えいによる損傷の防止の検討対象とする化学薬品及び構成部材を抽出する。

#### 2.3.2 検討対象とする化学薬品と構成部材の組合せを踏まえた設計上考慮すべき化学薬品の設定

検討対象とする化学薬品と構成部材の組合せごとの腐食試験(浸漬及び曝露試験を含む。)又は文献調査の結果から、化学薬品防護対象設備の安全機能に短時間で影響を及ぼすおそれのある0.2mol/L以上の硝酸を含む溶液、水酸化ナトリウム、TBP及びn-ドデカン並びにNO<sub>x</sub>ガスを設計上考慮すべき化学薬品として設定する。

なお、ここでいう短時間とは、事故等の対処期間として見込んでおり、漏えいした化学薬品の回収及び現場環境の復帰に係る作業の実施期間として見込むことのできる7日間とする。

### 2.4 化学薬品の漏えい評価条件の設定

#### 2.4.1 化学薬品の漏えい源及び漏えい量の設定

化学薬品の漏えい源及び漏えい量は、想定破損による化学薬品の漏えい、消火剤の放出による化学薬品の漏えい、地震起因による化学薬品の漏えい及びその他の化学薬品の漏えいを踏まえ設定する。

##### (1) 想定破損による化学薬品の漏えい

想定破損による化学薬品の漏えいは、内部溢水ガイドを参考に、他の系統及び機器は健全なものと仮定して1系統における単一の機器の破損を想定し、化学薬品の漏えい源となり得る機器は設計上考慮すべき化学薬品を内包する配管とし、配管の破損箇所を化学薬品の漏えい源として設定する。

また、破損を想定する配管は、内包する流体のエネルギーに応じて、高エネルギー配管又は低エネルギー配管に分類する。

配管の破損形状の想定に当たっては、高エネルギー配管は、原則「完全全周破断」、低エネルギー配管は、原則「配管内径の1/2の長さで配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラック(以下「貫通クラック」という。)」を想定する。

ただし、配管破損の想定に当たって、詳細な応力評価を実施する場合は、発生

応力と許容応力の比による応力評価の結果に基づく破損形状を想定する。

高エネルギー配管については、ターミナルエンド部を除き、発生応力が許容応力の0.8倍を超える場合は「完全全周破断」、0.4倍を超え0.8倍以下であれば「貫通クラック」を想定し、0.4倍以下であれば破損は想定しない。

また、低エネルギー配管については、発生応力が許容応力の0.4倍を超える場合は「貫通クラック」を想定し、0.4倍以下であれば破損は想定しない。

応力評価の結果により破損形状の想定を行う場合は、評価結果に影響するような減肉がないことを確認するために継続的な肉厚管理を実施することを保安規定に定めて、管理する。

化学薬品の漏えい源として設定する配管の破損箇所は化学薬品防護対象設備への化学薬品の漏えいの影響が最も大きくなる位置とし、化学薬品の漏えい量は、異常の検知、事象の判断及び漏えい箇所の特定並びに現場又は中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室からの隔離(運転員の状況確認及び隔離操作を含む。)により漏えい停止するまでの時間を適切に考慮し、想定する破損箇所からの流出量と隔離後の漏えい量として隔離範囲内の系統の保有量を合算して設定する。

なお、手動による漏えいの停止のために現場、中央制御室並びに使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室を確認し操作することを保安規定に定めて、管理する。

## (2) 消火剤の放出による化学薬品の漏えい

消火設備については、設備の破損、誤作動又は誤操作により消火剤が放出されても、化学薬品防護対象設備に影響を与えない設計とすることを「Ⅲ 火災及び爆発の防止に関する説明書」に示していることから、消火剤の放出による化学薬品の漏えいは、化学薬品の漏えい源として設定しない。

## (3) 地震起因による化学薬品の漏えい

地震起因による化学薬品の漏えいについては、耐震Sクラス機器は基準地震動 $S_s$ による地震力によって破損は生じないことから、設計上考慮すべき化学薬品を内包する系統のうち、基準地震動 $S_s$ による地震力に対する耐震性が確認されていない耐震B、Cクラスに属する系統を化学薬品の漏えい源として設定する。

ただし、耐震B、Cクラスであっても基準地震動 $S_s$ による地震力に対して耐震性が確保されるものについては、化学薬品の漏えい源として設定しない。

また、燃料貯蔵プール・ピット等のスロッシングによる漏えい水については、プール中の流体が設計上考慮すべき化学薬品に該当しないことから、化学薬品の漏えい源としては設定しない。

化学薬品の漏えい量の算出に当たっては、化学薬品の漏えいが生じるとした機器について、化学薬品防護対象設備への化学薬品の漏えいの影響が最も大きくな

るように評価する。

化学薬品の漏えい源となる系統については全保有量を考慮した上で、設計上考慮すべき化学薬品を内包する機器のうち、基準地震動  $S_s$  によって破損が生じる可能性のある機器について破損を想定し、その影響を評価する。この場合において、化学薬品の漏えい源となる配管は、破損形状を完全全周破断とした漏えい量とし、化学薬品の漏えい源となる容器は、全保有量を漏えい量として設定する。

#### (4) その他の化学薬品の漏えい

その他の化学薬品の漏えいについては、地震以外の自然現象やその波及的影響に伴う化学薬品の漏えい、化学薬品防護区画内にて発生が想定されるその他の漏えい事象を想定する。

具体的には、飛来物等による屋外タンクの破損、化学薬品の運搬及び補給のために一時的に再処理事業所に立ち入るタンクローリ等の破損のような間接的な影響、機器ドレン、機器損傷(配管以外)、人的過誤及び誤作動による漏えいを想定し、各事象において漏えい源及び漏えい量を設定する。

化学薬品の漏えい源及び漏えい量の設定の具体的な内容を「VI-1-1-7-3 化学薬品の漏えい評価条件の設定」のうち、「2. 化学薬品の漏えい源及び漏えい量の設定」に示す。

また、応力評価により化学薬品の漏えい源から除外する設備の評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-6 化学薬品の漏えいへの配慮が必要な施設の強度に関する説明書」に、耐震性の確認により化学薬品の漏えい源から除外する設備の評価の具体的な内容を添付書類「IV-5 溢水及び化学薬品への配慮が必要な施設の耐震性に関する計算書」に示す。

#### 2.4.2 化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路の設定

化学薬品の漏えい評価に当たっては、壁、扉、堰、床段差等を境界とした評価に用いる区画を設定する。

化学薬品防護区画は、設定した区画のうち化学薬品の漏えい評価を実施する区画として、以下のとおり設定する。

- (1) 評価対象の化学薬品防護対象設備が設置されている区画
- (2) 中央制御室、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設の制御室
- (3) 化学薬品の漏えいが発生した区画を特定するためにアクセスする通路部又は隔離等の操作が必要な設備に運転員がアクセスする通路部(以下「アクセス通路部」という。)

化学薬品防護区画は、壁、扉、堰、床段差等又はそれらの組合せによって他の

区画と分離される区画として設定し、化学薬品防護区画を構成する壁、扉、堰、床段差等については、現場の設備等の設置状況を踏まえ、漏えいした化学薬品の伝播に対する評価条件を設定する。

化学薬品の漏えい評価に当たっては、化学薬品の漏えいの影響を受けて、化学薬品防護対象設備の機能喪失高さ並びに化学薬品防護区画とその他の区画(化学薬品防護対象設備が存在しない区画又は通路)との間における伝播経路となる防水扉及び水密扉以外の扉、壁開口部及び貫通部、天井面開口部及び貫通部、床面開口部及び貫通部、床ドレンの接続状況並びにこれらに対する流入防止対策の有無を踏まえ、化学薬品防護区画内の液位が最も高くなるように、より厳しい結果を与える化学薬品の漏えい経路を設定する。

防水扉及び水密扉については、扉の閉止運用を保安規定に定めて、管理する。

化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路の設定の具体的な内容を「VI-1-1-7-3 化学薬品の漏えい評価条件の設定」のうち、「3. 化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路の設定」に示す。

## 2.5 化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針

### 2.5.1 化学薬品防護建屋内で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針

化学薬品防護建屋内及び洞道内で発生する化学薬品の漏えいに対して、没液、被液及び腐食性ガスの影響評価を行い、必要に応じて防護対策を講じることにより、化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

#### (1) 没液の影響に対する評価及び防護設計方針

想定した化学薬品の漏えい源から発生する漏えい量、化学薬品防護区画及び化学薬品の漏えい経路から算出した化学薬品の漏えい液位に対し、機能喪失高さを比較し、化学薬品防護対象設備が没液により安全機能を損なわないことを評価する。

また、漏えいした化学薬品の流入状態、化学薬品の漏えい源からの距離、漏えいした化学薬品が滞留している区画での人のアクセスによる一時的な液位変動を考慮し、機能喪失高さは発生した化学薬品の漏えいによる液位に対して安全余裕を確保する設計とする。

さらに、床勾配のある区画については、床面高さのばらつきを考慮し安全余裕を確保する設計とする。

没液の影響に対する防護設計として、壁(貫通部止水処置を含む。)、防水扉、水密扉、堰及び床ドレン逆止弁の設置等の対策を行うことにより化学薬品防護対象設備が没液により安全機能を損なわない設計とする。

没液影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏



えい影響に関する評価」のうち、「2.1.1 没液影響に対する評価」に示す。

(2) 被液の影響に対する評価及び防護設計方針

想定した化学薬品の漏えい源からの直線軌道及び放物線軌道の飛散による被液並びに天井面の開口部又は貫通部からの被液に対し、影響を受ける範囲内にある化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわないことを評価する。

なお、化学薬品防護対象設備があらゆる方向からの化学薬品の飛まつによっても有害な影響を生じないように、保護構造を有していれば、化学薬品防護対象設備は安全機能を損なわない。

被液の影響に対する防護設計として、保護構造を有する設計、薬品防護板の設置等の対策により、化学薬品防護対象設備が被液により安全機能を損なわない設計とする。

保護構造により安全機能を損なわない設計とする設備については、評価された被液条件を考慮しても安全機能を損なわないことを設計時に確認し、保護構造を維持するための保守管理を実施することを保安規定に定めて、管理する。

被液影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏えい影響に関する評価」のうち、「2.1.2 被液影響に対する評価」に示す。

(3) 腐食性ガスの影響に対する評価及び防護設計方針

想定した化学薬品の漏えい源からの腐食性ガスの拡散による影響を確認するために、漏えいが発生した区画から、天井面の開口部、壁の貫通部等を介して他区画へ伝播する条件とし、化学薬品防護対象設備のうち電子部品を有する設備が腐食性ガスの拡散経路以外に設置され、化学薬品防護対象設備が腐食性ガスの影響により安全機能を損なわないことを評価する。

腐食性ガスの影響に対する防護設計として、化学薬品防護対象設備の設置区画における漏えい源の除外又は当該区画への腐食性ガスの移行を防止する対策等により、化学薬品防護対象設備が腐食性ガスの影響により安全機能を損なわない設計とする。

腐食性ガスの影響に対する評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏えい影響に関する評価」のうち、「2.1.3 腐食性ガスの影響に対する評価」に示す。

2.5.2 屋外で発生する化学薬品の漏えいに関する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針

(1) 化学薬品防護建屋に対する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針

屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいは、化学薬品防護建屋内の化学薬品防護区画に流入することにより、建屋内の化学薬品防護対象設備の安全機能を損なう可能性がある。このため、屋外で漏えいした化学薬品が、化学薬品防護区画に

流入しないことを評価する。

屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいに対しては、屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいによる影響を評価する上で期待する範囲を境界とした化学薬品防護建屋内への流入を壁(貫通部の止水処置を含む。)、扉、堰等により防止する設計とすることにより、建屋内の化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

地表面に滞留する漏えいした化学薬品に対しては、屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいによる影響を評価する上で期待する範囲を境界とした化学薬品防護建屋内へ流入しないよう、建屋外壁の開口部の設置高さを確保する設計とする。

化学薬品防護建屋に対する化学薬品の漏えい評価の具体的な内容を「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏えい影響に関する評価」のうち、「2.2.1 防護すべき設備を内包する建屋に対する化学薬品の漏えい評価」に示す。

## (2) 屋外の化学薬品防護対象設備に対する化学薬品の漏えい評価及び防護設計方針

屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいに伴う没液及び被液により、屋外の化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわないこと評価する。

屋外で発生する化学薬品の漏えいに対しては、屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいにより没液し、屋外の化学薬品防護対象設備の安全機能を損なわないよう、必要な機能喪失高さを確保する設計とする。また、屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいにより被液し、屋外の化学薬品防護対象設備の安全機能を損なわないよう、漏えい源からの距離を確保する設計とする。

屋外の化学薬品防護対象設備で、本申請の申請対象設備である安全冷却水B冷却塔及び同冷却塔周りの配管に対する化学薬品の漏えい影響の概略評価の内容を「VI-1-1-7-2 化学薬品防護対象設備の選定」のうち、「2.4 屋外の化学薬品防護対象設備に対する評価」に示す。

## 2.6 化学薬品防護設備の設計方針

安全機能を有する施設は、再処理施設内における化学薬品の漏えいが発生した場合(漏えいに伴い有毒ガスが発生した場合を含む)においても、安全機能を損なわない設計とする。

そのために、再処理施設内に設置された機器及び配管の破損(地震起因を含む。)による化学薬品の漏えい又は再処理施設内で生じる異常状態の拡大防止のために設置される系統からの消火剤の放出による化学薬品の漏えいが発生した場合においても、化学薬品防護設備により、化学薬品防護対象設備が安全機能を損なわない設計とする。

化学薬品防護設備が要求される機能を維持するため、計画的に保守管理、点検を実施するとともに、必要に応じ補修を実施することを保安規定に定めて、管理する。

再処理施設に設置する化学薬品防護設備及びその設計方針については、化学薬品防護設備及び化学薬品の漏えい評価の申請に合わせて次回以降に詳細を説明する。

### 3. 準拠規格

準拠する規格としては、既設工認で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示したうえで適用可能とする。

準拠する規格，基準，指針等を以下に示す。

- ・「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド(平成25年6月19日 原規技発第13061913号 原子力規制委員会決定)」

なお、次回以降に申請する施設に係る準拠規格については、当該施設の申請に合わせて次回以降に示す。

## VI-1-1-7-2 化学薬品防護 対象設備の選定

## 目 次

	ページ
1. 概要 .....	1
2. 化学薬品防護対象設備の選定 .....	1
2.1 化学薬品防護対象設備の選定方針 .....	1
2.2 設計上考慮すべき化学薬品の設定 .....	1
2.3 評価対象の化学薬品防護対象設備の選定 .....	3
2.4 屋外の化学薬品防護対象設備に対する評価 .....	7

## 1. 概要

本資料は、再処理施設の化学薬品の漏えい防護設計が技術基準規則第十三条への準拠及び内部溢水ガイドの参照により、再処理施設内で発生を想定する化学薬品の漏えいの影響から防護する対象設備の選定の考え方を説明するものである。

## 2. 化学薬品防護対象設備の選定

### 2.1 化学薬品防護対象設備の選定方針

化学薬品の漏えいによってその安全機能が損なわれないことを確認する必要がある施設を全ての安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器とし、その上で事業指定基準規則及びその解釈による規定並びに内部溢水ガイドで定められている溢水から防護すべき安全機能を参考に、化学薬品の漏えいから防護すべき安全機能を踏まえ、全ての安全機能を有する建物・構築物、系統及び機器の中から安全評価上機能を期待するものとして、安全上重要な機能を有する建物・構築物、系統及び機器を化学薬品防護対象設備として選定する。

具体的には、以下の設備を化学薬品防護対象設備とする。

- ・安全機能の喪失により、公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある設備
- ・設計基準事故時において、公衆又は従事者への放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設外へ放出されることを抑制又は防止するために必要な設備(燃料貯蔵プール・ピット等の冷却及び給水の機能を適切に維持するために必要な設備並びに事故等の拡大防止及び影響緩和のために必要な設備を含む)

化学薬品防護対象設備以外の安全機能を有する施設は、化学薬品の漏えいによる損傷を考慮して、代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修理の対応を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

### 2.2 設計上考慮すべき化学薬品の設定

化学薬品の漏えいに対する設計方針の検討に当たって、再処理事業所内における化学薬品を内包する機器及び配管の設置状況を踏まえて、構成部材の腐食又は劣化により化学薬品防護対象設備の安全機能を短時間で損なうおそれのある化学薬品を設定する。この際、設計図書並びに必要な応じ現場確認及び管理システムの確認により再処理事業所内に存在する全ての化学薬品及び化学薬品防護対象設備の構成部材を網羅的に抽出し、その中から構成部材の腐食試験、文献調査及び公開されている耐薬品性一覧表での調査を踏まえ、短時間で安全機能を損なうおそれのある化学薬品を設計上考慮すべき化学薬品として設定する。なお、ここで設定した以外の化学薬品については構成部材の腐食又は劣化の影響がないものとして設計上考慮すべき対象から除外する。

### 2.2.1 漏えいによる影響を検討する化学薬品及び構成部材の抽出

再処理事業所内で用いられる化学薬品及び化学薬品防護対象設備の構成部材から、化学薬品防護対象設備の安全機能に影響を及ぼす化学薬品と構成部材の組合せを決定するため、文献調査及び耐薬品性試験の実施により、漏えいによる損傷の防止の検討対象とする化学薬品及び構成部材を抽出する。

再処理事業所内で用いられる化学薬品は、再処理プロセスにおいて使用する化学薬品と、保守及び補修の非定常作業、その他再処理設備の附属施設で使用する化学薬品に大別される。

このうち、保守及び補修の非定常作業並びにその他再処理設備の附属施設で使用する化学薬品は、取扱作業及び範囲が限定されていること、作業安全管理を実施すること及び作業員が直接作業し、漏えいが発生した場合においても即座に対応することにより化学薬品の漏えいによる影響を及ぼすおそれがないため、漏えいによる損傷の防止を検討する化学薬品としない。

再処理プロセスにおいて使用する化学薬品から、漏えいによる影響を検討する化学薬品を抽出する。再処理プロセスにおいて使用する化学薬品を第2-1表に示す。具体的には、再処理プロセスにおいて使用する化学薬品を性状、腐食性及び反応性により分類し、腐食性や反応性を示さないことが明らかであるものを除外することにより、漏えいによる影響を検討する化学薬品を抽出する。ここで、文献調査の結果により明らかに腐食性や反応性を示さないものとして、固体の化学薬品、中性水溶液、非水溶液のうち燃料油並びに非腐食性のガスである窒素ガス、酸素ガス及び水素ガスを検討の対象から除外する。さらに、再処理施設において耐食性を有する材料の選定要件となる硝酸濃度が0.2mol/L以上であることから、0.2mol/L未満の硝酸を含む溶液は検討の対象から除外する。

また、化学薬品防護対象設備の構成部材について、主要な材質に分類し、化学薬品により損傷を受けないことが明らかなものを除外して、影響を検討する構成部材を抽出する。ここで、化学薬品の漏えいにより損傷を受けないことが明らかであるものとして、ステンレス、ジルコニウム、ハステロイ及びインコネルといった耐食性を有する金属材料、再処理プロセスで使用する化学薬品に対して、十分な厚さがあることや塗装が施されていることにより短時間で損傷しないコンクリート、再処理プロセスでは使用しない特定の化学薬品(フッ化水素、水酸化リチウム、硫酸アンモニウム等)のみに対して顕著な反応を示すガラスを検討の対象から除外する。

### 2.2.2 検討対象とする化学薬品と構成部材の組合せを踏まえた設計上考慮すべき化学薬品の設定

検討対象とする化学薬品と構成部材を組み合わせることで生じる腐食又は劣化

により、化学薬品防護対象設備の安全機能に短時間で影響を及ぼすおそれのある化学薬品を設計上考慮すべき対象として設定する。

なお、ここでいう短時間とは、事故等の対処期間として見込んでおり、漏えいした化学薬品の回収及び現場環境の復帰に係る作業の実施期間として見込むことのできる7日間とする。

具体的には、化学薬品防護対象設備で使用する主な構成部材のうち、検討の対象として選定された炭素鋼、アルミニウム及びプラスチックについて、検討対象として設定した化学薬品ごとに腐食試験(浸漬及び曝露試験を含む。)又は文献調査を実施する。ここで、検討の対象とする化学薬品としては、酸性水溶液として腐食に対する影響の主要因となる硝酸、アルカリ性水溶液として強アルカリであって、文献によりアルミニウムに影響を及ぼすことが明らかな水酸化ナトリウム、有機溶媒としてプラスチックに影響を与えるおそれがあるTBP及びn-ドデカン、並びに腐食性ガスとしてNO<sub>x</sub>ガスを設定する。

また、NO<sub>x</sub>ガスについては、腐食試験より配管、容器及び駆動機器の構造体の安全機能に直ちに影響を与えるものではないことが確認されているが、電子部品(集積回路、コンデンサ等)の機械的強度を必要としない材料厚みの精密機器についても曝露試験により影響を確認する。

これらの検討の結果から、設計上考慮すべき化学薬品として、0.2mol/L以上の硝酸を含む溶液、水酸化ナトリウム、TBP及びn-ドデカン並びにNO<sub>x</sub>ガスを設定する。

設計上考慮すべき化学薬品と化学薬品防護対象設備の主要な構成部材の組合せを第2-2表に示す。

## 2.3 評価対象の化学薬品防護対象設備の選定

2.1で選定した化学薬品防護対象設備のうち、化学薬品の漏えいにより安全機能を損なうおそれがある設備を評価対象として選定する。

ここで、設計上考慮すべき化学薬品を保有していない建屋に設置する設備は、当該建屋内で化学薬品の漏えいが発生しないこと及び屋外で漏えいした化学薬品が建屋内へ流入しない設計とすることから、設計上考慮すべき化学薬品と接するおそれがないことから、化学薬品の漏えいにおける影響評価の対象外とする。

また、化学薬品の漏えいにより安全機能を損なわないことか明らかな以下に該当する設備は、影響評価の対象から除外する。

### (1) 設計上考慮すべき化学薬品の影響を受けない部材で構成される機器

化学薬品防護対象設備のうち、その安全機能を担保する箇所が、ステンレス鋼やコンクリートといった設置建屋に保有する設計上考慮すべき化学薬品により短時間で腐食又は劣化の影響を受けない部材で構成される機器は、化学薬品の漏え



いにより安全機能を損なわないため、評価対象外とする。

- (2) 動的機能が喪失しても安全機能に影響しない機器(フェイルセーフ機能を持つ機器を含む。)

化学薬品の漏えいによる影響を受けて動的機能が喪失しても安全機能を維持する機器又は化学薬品の漏えいによる影響を受けてもフェイルセーフ機能を維持する設備は、化学薬品の漏えいによる影響を受けて動的機能が喪失しても、化学薬品の漏えいにより安全機能を損なわないため、評価対象外とする。

評価対象外とする化学薬品防護対象設備の考え方を踏まえ、具体的に化学薬品の漏えい評価が必要となる化学薬品防護対象設備を選定する。その結果を第2-3表に示す。

第2-1表 再処理プロセスで使用する化学薬品(1/2)

化学薬品	主な使用目的	使用場所	試薬建屋での保管
硝酸	使用済燃料の溶解, 核分裂生成物の洗浄, アルカリ性廃液の中和処理	再処理施設全体	○
水酸化ナトリウム	酸性廃液の中和処理, 有機溶媒の洗浄	再処理施設全体	○
TBP	溶解液からのウラン・プルト ニウムの抽出剤	分離建屋, 精製建屋	○
n-ドデカン	TBPの希釈剤	分離建屋, 精製建屋	○
硝酸ヒドラジン	硝酸ウラナスの分解抑制, HANの安定剤	分離建屋, 精製建屋	○
HAN	プルトニウムの還元剤	精製建屋	○
硝酸ガドリニウム	溶解槽における臨界管理	前処理建屋	—
硝酸ナトリウム	ガラス溶融炉供給液の成分調 整	高レベル廃液ガラス固化 建屋	—
炭酸ナトリウム	有機溶媒の洗浄	分離建屋, 精製建屋 高レベル廃液ガラス固化 建屋	○
亜硝酸ナトリウム	アジ化物の分解	前処理建屋, 分離建屋, 精製建屋, 高レベル廃液ガラス固化 建屋	—
模擬廃液	ガラス溶融炉の洗浄運転	高レベル廃液ガラス固化 建屋	—
調整液	ガラス溶融炉供給液の成分調 整	高レベル廃液ガラス固化 建屋	—
溶解液	使用済燃料の溶解液	前処理建屋, 分離建屋	—
硝酸ウラニル	溶解液からのウラン抽出液, ウラン製品溶液	分離建屋, 精製建屋, ウラン脱硝建屋, ウラ ン・プルトニウム混合脱 硝建屋	—
硝酸プルトニウム	溶解液からのプルトニウム抽 出液, プルトニウム製品溶液	分離建屋, 精製建屋, ウラン・プルトニウム混 合脱硝建屋	—
硝酸ウラナス	プルトニウムの還元剤	分離建屋, 精製建屋	—
放射性廃液	ウラン, プルトニウム抽出後 の廃液, 管理区域内での作業廃液	再処理施設全体	—
重油	ボイラ・発電機等の燃料	再処理施設全体	—
NOxガス	溶解液のよう素の追い出し, プルトニウムの酸化	前処理建屋, 分離建屋, 精製建屋, ウラン脱硝建 屋	—
水素ガス	硝酸ウラナスの製造	精製建屋	—
窒素ガス	貯槽内の不活性化	再処理施設全体	—

第2-1表 再処理プロセスで使用する化学薬品(2/2)

化学薬品	主な使用目的	使用場所	試薬建屋での保管
酸素ガス	廃ガス処理(NO <sub>x</sub> 回収のためのNOの酸化)	前処理建屋	—
模擬ガラスビーズ (廃液模擬成分を含む)	ガラス溶融炉の熱上げ及び液位調整	高レベル廃液ガラス固化建屋	—
放射性廃棄物	管理区域内での作業廃棄物	再処理施設全体	—

第2-2表 設計上考慮すべき化学薬品と  
化学薬品防護対象設備の主要な構成部材の組合せ

化学薬品 構成部材	酸性水溶液 (硝酸溶液)	アルカリ性水溶液 (水酸化ナトリウム)	有機溶媒 (TBP, n-ドデカン)	腐食性ガス (NO <sub>x</sub> ガス)
炭素鋼, アルミニウム	○	○ (アルミニウム)	—	○ (電子部品)
プラスチック	—	—	○	—

○：影響(作用)あり

第2-3表 化学薬品の漏えい評価対象の防護対象設備リスト(1/1)

屋外

設備区分	機器名称	化学薬品 防護区画	設置高さ* T. M. S. L. (m)
安全冷却水系	安全冷却水冷却塔	屋外	55.00
安全冷却水系	主配管(崩壊熱除去系:再処理設備本体用, サポート用冷却水系:再処理設備本体用)	屋外	55.00

注記 \*：化学薬品の漏えい評価上基準となる床面高さを示す。

#### 2.4 屋外の化学薬品防護対象設備に対する評価

屋外の化学薬品防護対象設備は、屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいにより没液し、当該設備の安全機能を損なわないよう、機能喪失高さを確保する設計とする。また、屋外で発生を想定する化学薬品の漏えいにより被液し、屋外の化学薬品防護対象設備の安全機能を損なわないよう、漏えい源からの距離を確保する設計とする。

屋外の化学薬品防護対象設備で、本申請の申請対象設備である安全冷却水B冷却塔の機能喪失高さについて、「VI-2-5 構造図」の「第2.5.1.1.1.1-1図 安全冷却水塔( )の構造図」に示す。

なお、屋外の化学薬品防護対象設備で、本申請の申請対象設備である安全冷却水B冷却塔及び同冷却塔周りの配管について、屋外で発生する化学薬品の漏えい影響に対する概略評価を行い、没液影響に対しては、設計上考慮すべき化学薬品を運搬するタンクローリーの損傷により、内包する硝酸が冷却塔方向に漏えいした場合においても、その漏えい液位が機能喪失高さを下回るため、安全機能を損なわないことを確認した。

屋外の化学薬品防護対象設備に対する化学薬品の漏えい評価については、次回以降に「VI-1-1-7-4 化学薬品の漏えい影響に関する評価」のうち「2.2.2 屋外の防護すべき設備に対する評価」で詳細を説明する。

## VI-2 再処理施設に関する図面

## 目 次

### VI-2-1 構内配置図

第 2.1-1 図 工場又は事業所の概要を明示した地形図

第 2.1-2 図 主要設備の配置の状況を明示した平面図

### VI-2-2 平面図及び断面図 次回以降申請

### VI-2-3 系統図

#### VI-2-3-1 系統図

##### 1. その他再処理設備の附属施設

##### 1.1 給水施設及び蒸気供給施設

##### 1.1.1 冷却水設備

##### 1.1.1.1 安全冷却水系

第 2.3.1.1.1.1-1 図 安全冷却水系の系統図 (■■■■-14)

#### VI-2-3-2 換気系統図 次回以降申請

#### VI-2-3-3 計測制御系統図 次回以降申請

#### VI-2-3-4 単線結線図 次回以降申請

### VI-2-4 配置図 次回以降申請

### VI-2-5 構造図

#### 1. その他再処理設備の附属施設

#### 1.1 給水施設及び蒸気供給施設

#### 1.1.1 冷却水設備

#### 1.1.1.1 安全冷却水系

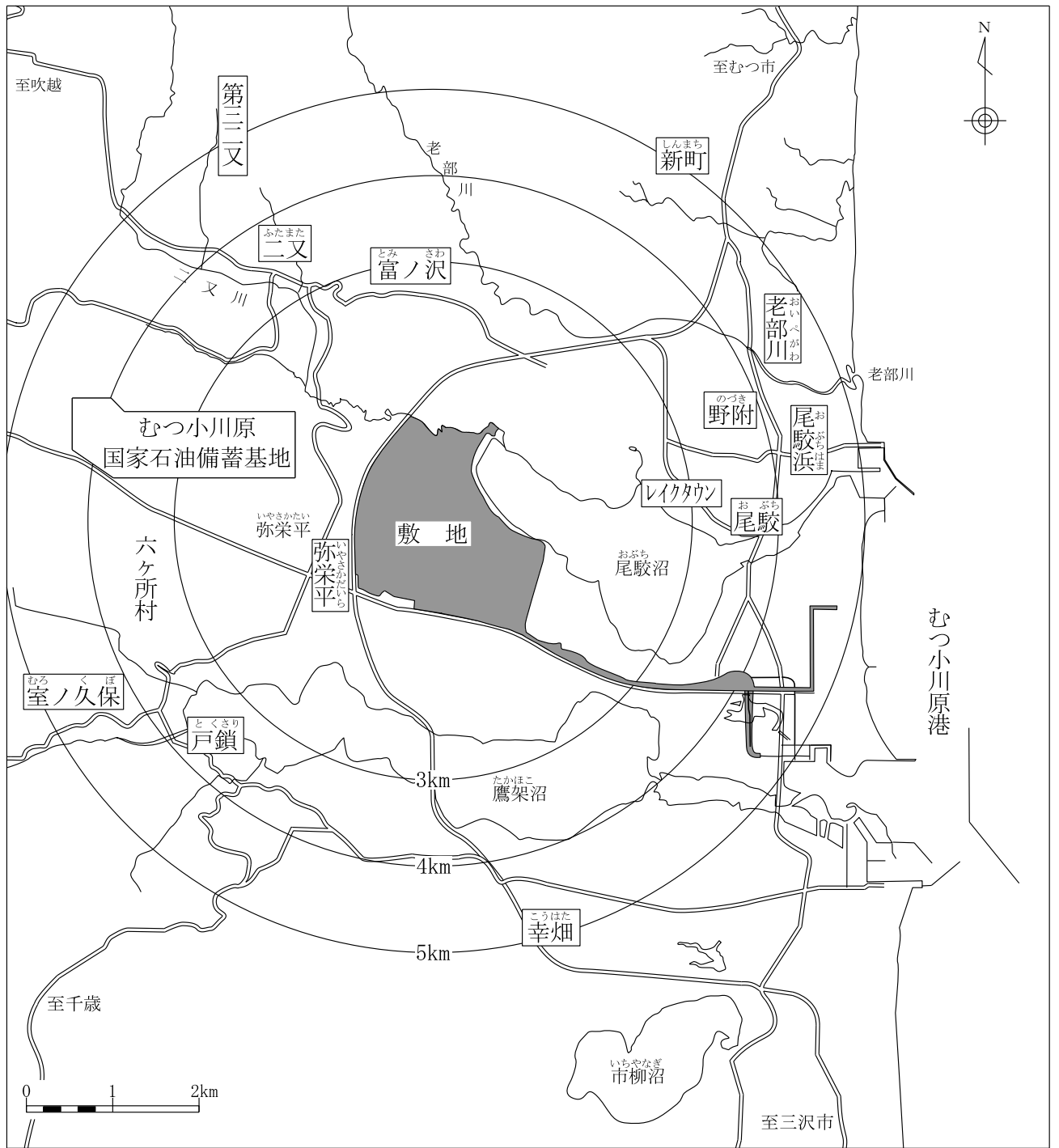
第 2.5.1.1.1.1-1 図 安全冷却水冷却塔 (■■■■■) の構造図

#### 1.2 その他の主要な事項

#### 1.2.1 竜巻防護対策設備

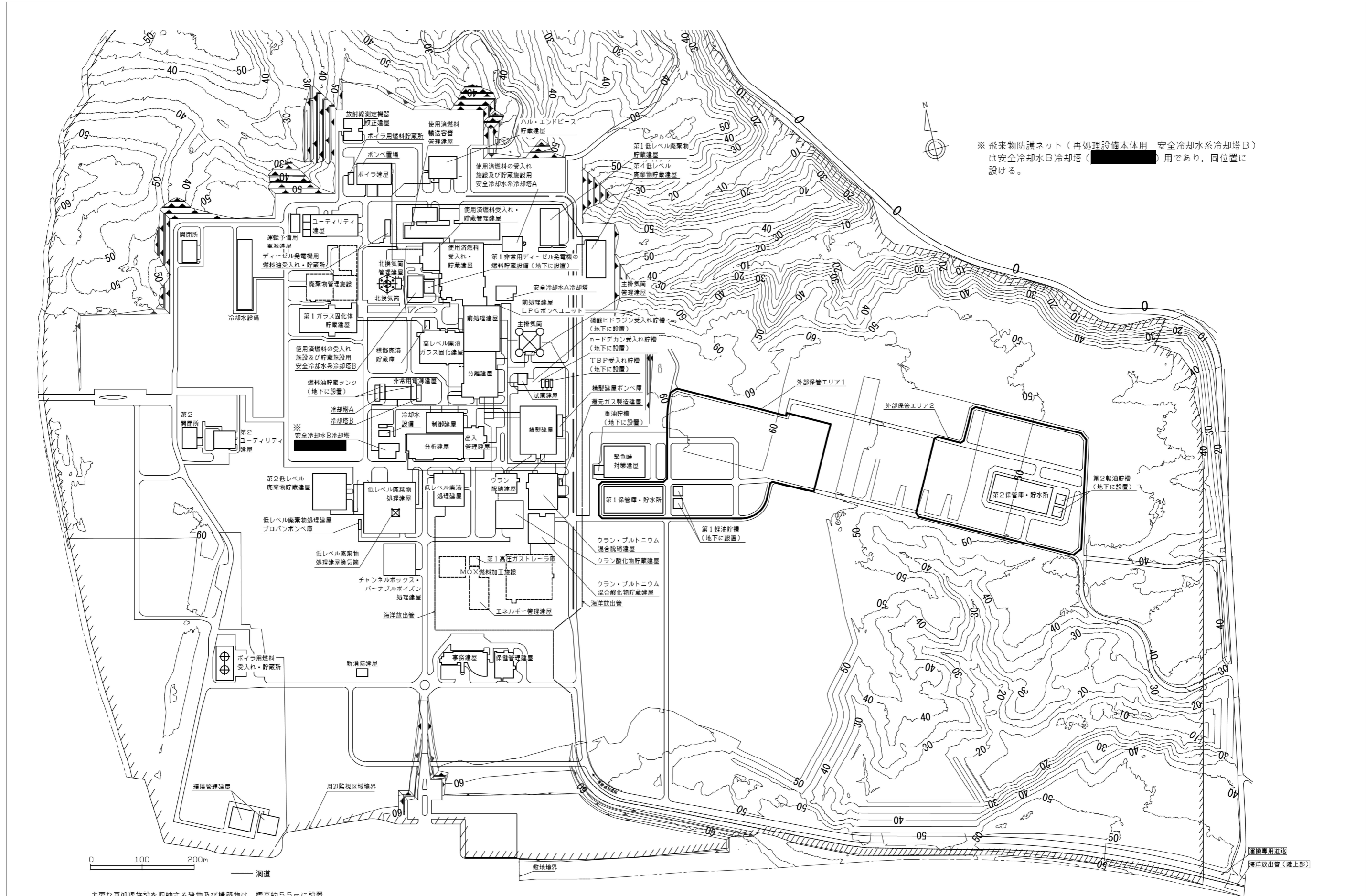
第 2.5.1.2.1-1 図 飛来物防護ネット (再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B) の構造図

## VI-2-1 構内配置図



第2. 1-1図  
工場又は事業所の概要を明示した地形図





主要な再処理施設を収納する建物及び構築物は、標高約55mに設置。

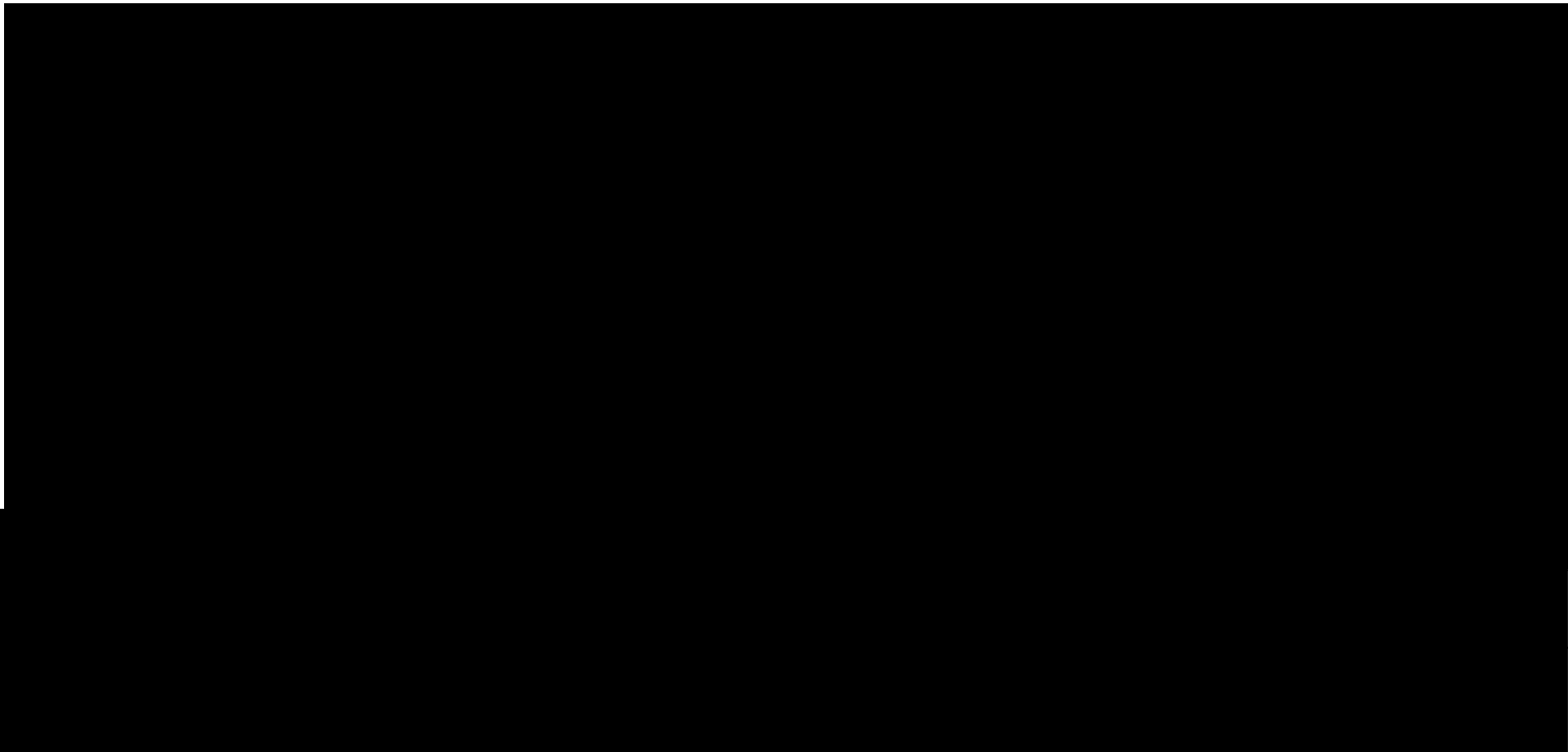
第2.1-2図  
主要設備の配置の状況を明示した平面図

# VI-2-3 系統図



# VI-2-3-1 系統図

系統番号	系統名称
██████	安全冷却水系

安全冷却水B冷却塔 (██████████)



屋外

 申請範囲を示す。  
 安全冷却水系の主流路

第2.3.1.1.1.1-1図  
 安全冷却水系の系統図  
 (██████-14)

安全 A

第 2.3.1.1.1.1.1-1 図 安全冷却水系の系統図 別紙

主配管

名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (℃)	外径* <sup>1</sup> (mm)	厚さ* <sup>1</sup> (mm)	材料	配管番号* <sup>3</sup>
安全冷却水系						
<p style="text-align: right;">* 2</p> <p>安全冷却水冷却塔 ( [REDACTED] ) ～ 安全冷却水冷却塔 ( [REDACTED] ) 供給ヘッダー合流 点</p>						

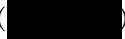

名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (℃)	外径* <sup>1</sup> (mm)	厚さ* <sup>1</sup> (mm)	材料	配管番号* <sup>3</sup>
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">安全冷却水系</p> <p style="text-align: right;">*<sup>2</sup></p> <p>安全冷却水冷却塔 (██████)</p> <p style="text-align: center;">~</p> <p>安全冷却水冷却塔 (██████)</p> <p>供給ヘッダー合流 点</p>						

	名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径* <sup>1</sup> (mm)	厚さ* <sup>1</sup> (mm)	材料	配管番号* <sup>3</sup>
安全冷却水系	<p style="text-align: right;">*<sup>2</sup></p> <p>安全冷却水冷却塔 ( █████ )</p> <p style="text-align: center;">~</p> <p>安全冷却水冷却塔 ( █████ )</p> <p>供給ヘッダー合流 点</p>						



名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (℃)	外径* <sup>1</sup> (mm)	厚さ* <sup>1</sup> (mm)	材料	配管番号* <sup>3</sup>
安全冷却水系	<div style="text-align: right; margin-right: 20px;">* 2</div> 安全冷却水冷却塔 ( ██████████ ) 戻りヘッダー分岐 点 ~ 安全冷却水冷却塔 ( ██████████ )					



名称	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径* <sup>1</sup> (mm)	厚さ* <sup>1</sup> (mm)	材料	配管番号* <sup>3</sup>
安全冷却水系						
<p style="text-align: right;">* 2</p> 安全冷却水冷却塔 ( ████████ ) 戻りヘッダー分岐 点 ~ 安全冷却水冷却塔 ( ████████ )						

名称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (℃)	外径* <sup>1</sup> (mm)	厚さ* <sup>1</sup> (mm)	材料	配管番号* <sup>3</sup>
安全冷却水系	* <sup>2</sup> 安全冷却水冷却塔 (  )						
	戻りヘッダー分岐 点 ～ 安全冷却水冷却塔 (  )						

注記 \* 1 : 主要寸法は、設工認申請書記載の公称値を示す。

\* 2 : 記載の適正化を行う。既設工認には「安全冷却水B冷却塔まわり配管(  
)」と記載。

\* 3 : 第 2.3.1.1.1.1.1-1 図 安全冷却水系の系統図に記載の配管番号を示す。

# VI-2-5 構造図

安全 A



伝熱管詳細

符号	名称	呼び径	個数	接続配管
N-4	ドレン			ドレン
N-3	ベント			ベント
N-2B	安全冷却水出口			安全冷却水出口配管
N-2A	安全冷却水出口			安全冷却水出口配管
N-1B	安全冷却水入口			安全冷却水入口配管
N-1A	安全冷却水入口			安全冷却水入口配管

管台一覧表

図中の管台は構造上の構成及び接続配管等の配置の状況を示す。

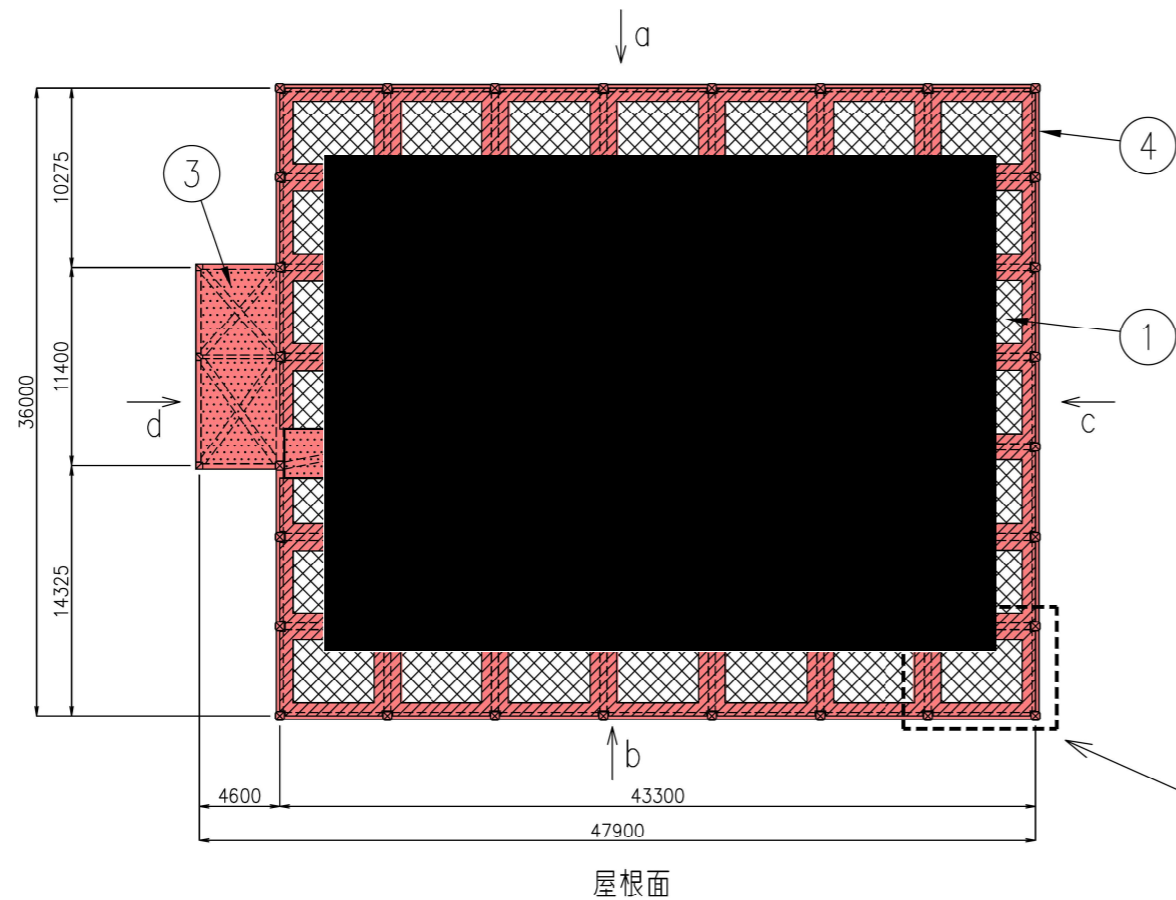
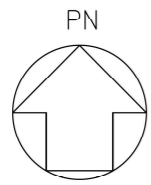
4	遮熱板		
3	伝熱管		
2	ヘッダー		
1	ヘッダー		

番号	名称	個数	材料
部品表			

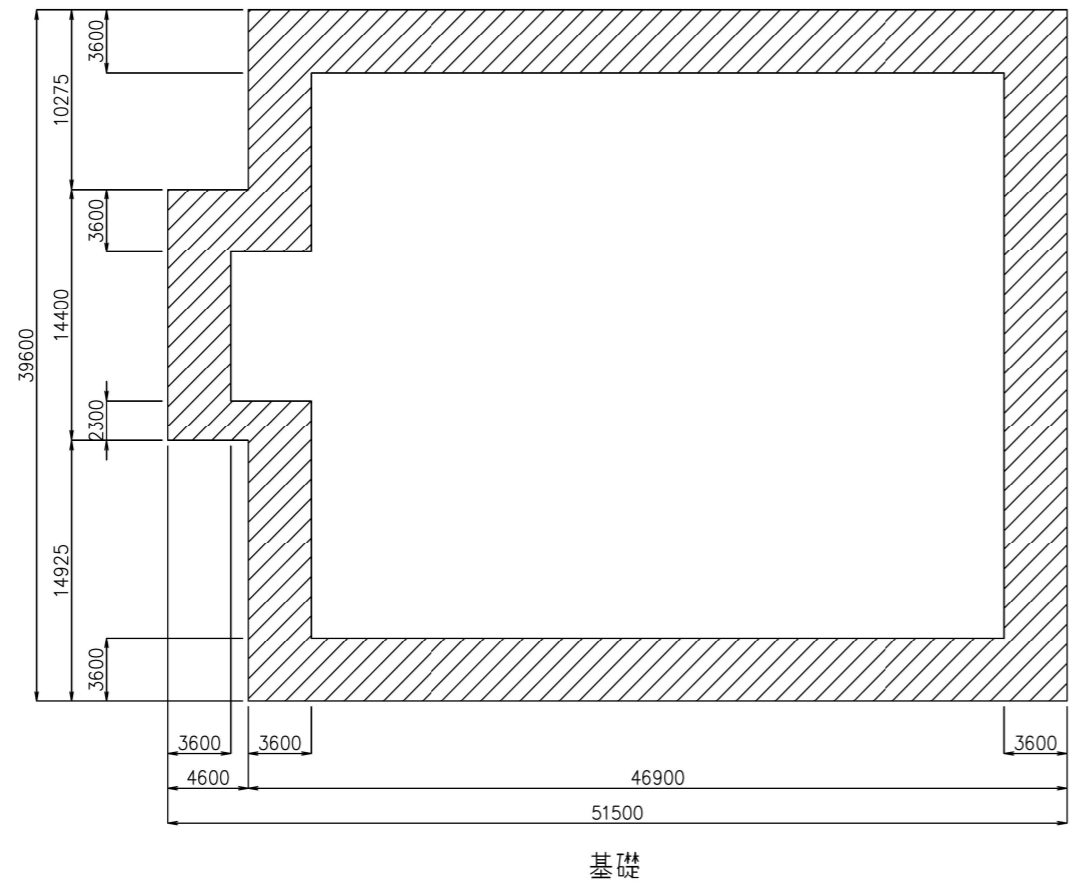
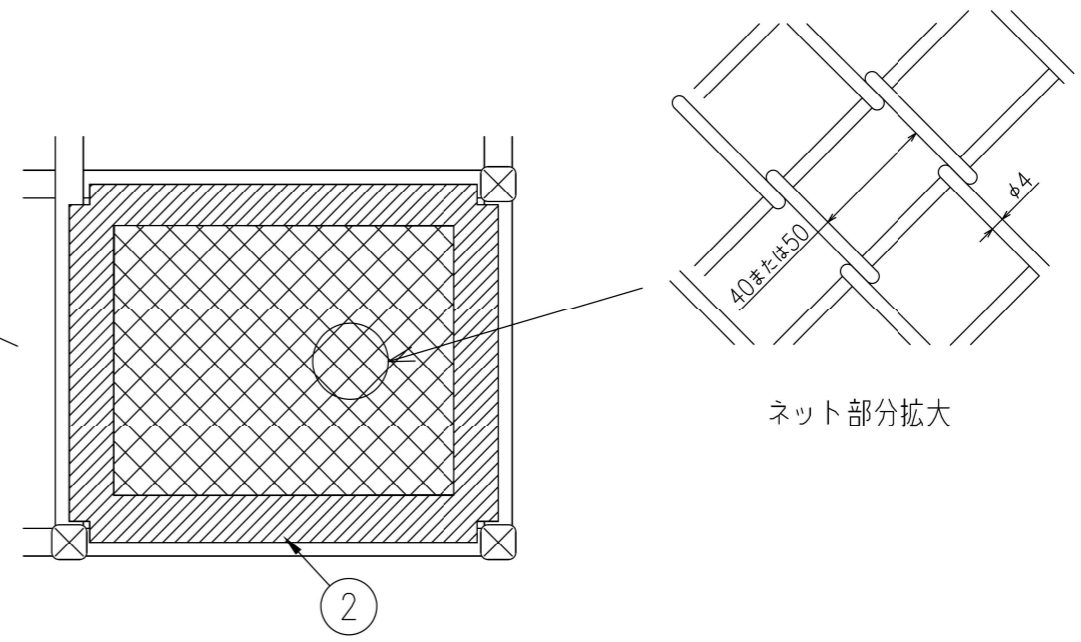
- 注記 1) : [redacted] 相当 個数は、1個あたりの個数を示す。  
 2) : [redacted] 相当
- \*1 [redacted] は耐火被覆の施工範囲を示す。主材厚さは3mm以上。耐火被覆は、輻射を遮るように周方向全体に耐火被覆を施すこととする。ただし、内側に輻射が当たらない部材や他部材により輻射を遮られ、受熱面以外に輻射を受けない部材は、受熱面側に耐火被覆を施す。
  - \*2 遮熱板は受熱面側に耐火被覆を施す。主材厚さは3mm以上。
  - \*3 溢水による影響を受ける部位は、安全冷却水B冷却塔のうち、外部から動力の供給を必要とする動的機器である原動機であり、その下端の高さであるT.M.S.L. [redacted] mを溢水防護上の配慮が必要な高さとする。
  - \*4 化学薬品漏えいによる影響を受ける部位は、安全冷却水B冷却塔のうち、これらの部材の中で最も低い位置に設置される炭素鋼製のケーブルトレイであり、その下端の高さであるT.M.S.L. [redacted] mを化学薬品防護上の配慮が必要な高さとする。

GL=T.M.S.L 55.00m

第2.5.1.1.1.1-1図  
安全冷却水冷却塔 [redacted] の構造図



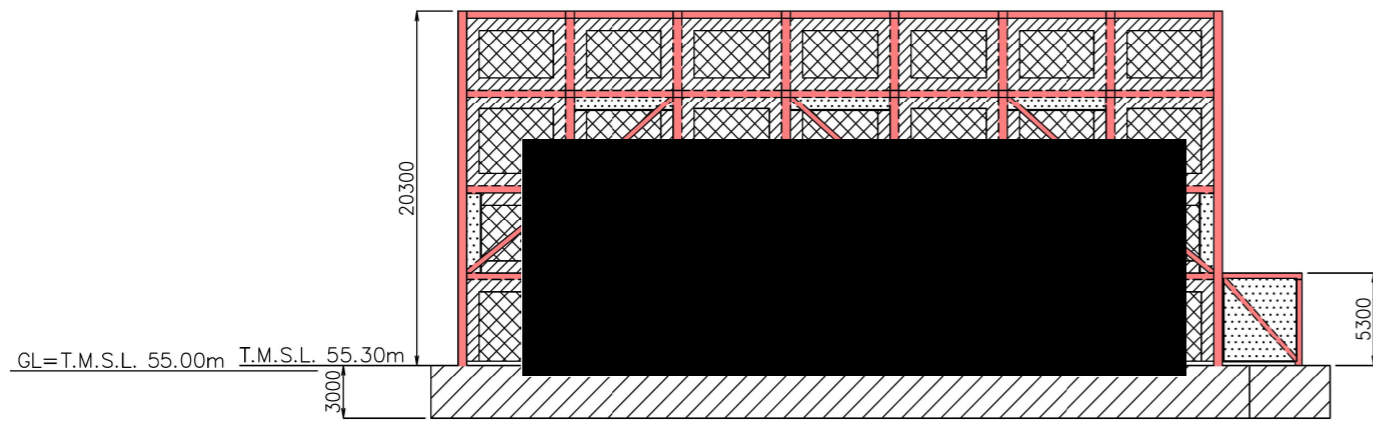
- 防護ネット
  - 防護板 (板厚: 9mm, 12mm)
  - 補助防護板 (板厚: 9mm)
  - 基礎
- [単位: mm]



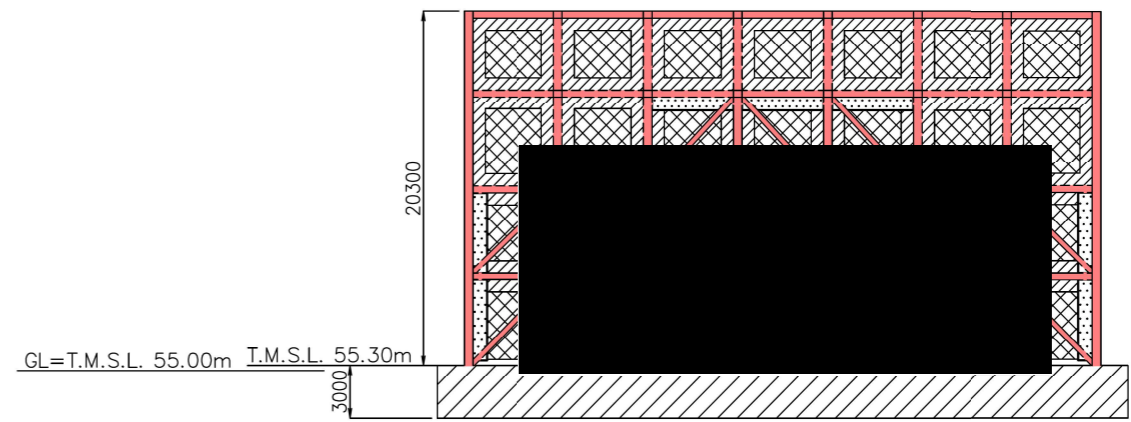
4	支持架構	1	BCP325, C385, SN490B
3	防護板	1	SUS304
2	補助防護板	1	SUS304
1	防護ネット	1	硬鋼線材
番号	名称	個数	材料
部品表			

※ は耐火被覆の施工範囲を示す。主材厚さは2mm以上。  
耐火被覆は、輻射を遮るように周方向全体に耐火被覆を施すこととする。  
ただし、想定される火災の高さよりも高い天面の防護板については、  
受熱面側に耐火被覆を施す。

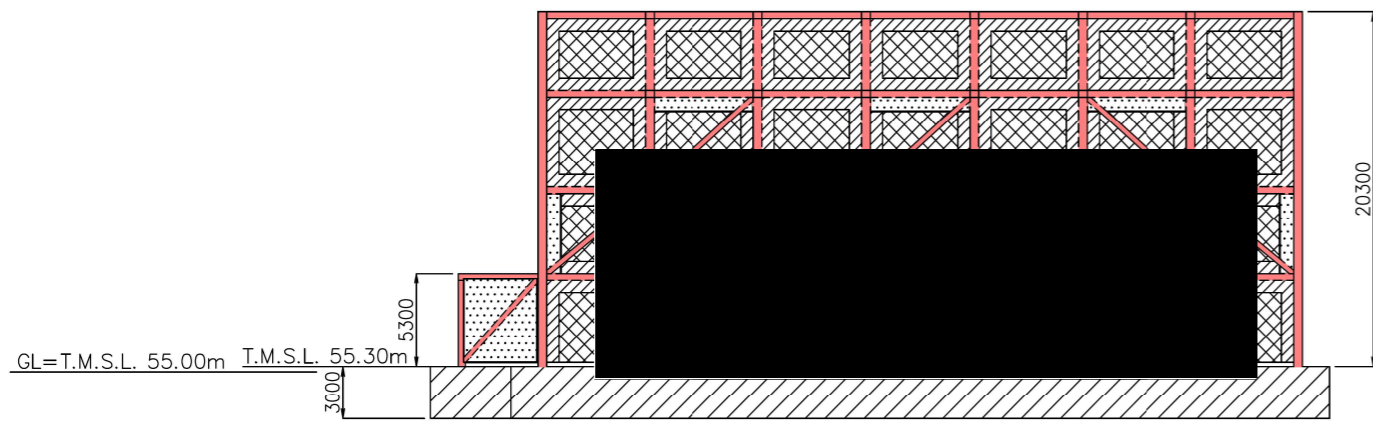
第2.5.1.2.1-1図  
飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B)の構造図(1/2)



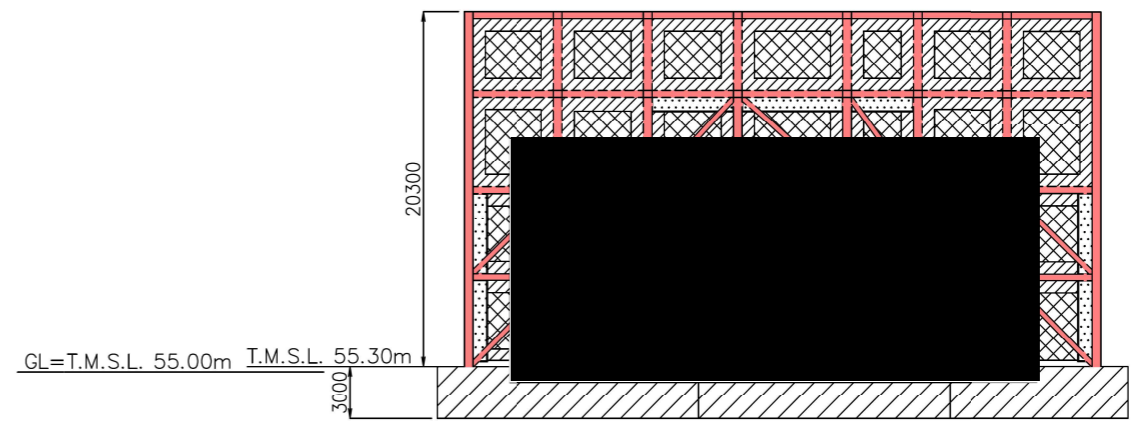
北面 (a 視)




東面 (c 視)



南面 (b 視)



西面 (d 視)

※  は耐火被覆の施工範囲を示す。主材厚さは2mm以上。  
耐火被覆は、輻射を遮るように周方向全体に耐火被覆を施すこととする。  
ただし、想定される火災の高さよりも高い天面の防護板については、  
受熱面側に耐火被覆を施す。

第 2.5.1.2.1-1 図 飛来物防護ネット(再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔 B)の構造  
 図 別紙

防護ネット

主要寸法* (mm)		許容範囲	根拠
線径	4	±0.08mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準
網目	50	±1.5mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準
	40	±1.2mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準

防護板

主要寸法* (mm)		許容範囲	根拠
板厚	9	規定しない -0.8mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準
	12	規定しない -3.8mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準

支持架構

主要寸法* (mm)		許容範囲	根拠
たて	47900	±120mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準
横	36000	±105mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準
高さ	20300	±26mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準

補助防護板

主要寸法* (mm)		許容範囲	根拠
板厚	9	規定しない -0.8mm	製造能力, 製造実績を 考慮したメーカー基準

注 \* : 主要寸法は, 仕様表記載の公称値を示す。