

## 1. 概要

本資料は、「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第四条及び「加工施設の技術基準に関する規則」第十条に適合することが要求されている事項に対し、加工施設の安全性が損なわれることのないよう、放射性物質を限定された区域に閉じ込める対策を行うことを説明するものである。

## 2. 基本方針

放射性物質を限定された区域に閉じ込めるため、閉じ込めの機能に係る施設設計の基本方針を以下のとおりとする。

### (1) 飛散又は漏えい防止及び拡大防止・影響緩和設計

ウランを収納する設備・機器は飛散又は漏えいのない設計とし、ウランを取り扱う設備・機器は、取り扱うウランの物理的・化学的性質に応じて耐食性を有する材料を用いるとともに空気中への飛散又は漏えいを防止する設計とする。

UF<sub>6</sub>を取り扱う設備は、万が一の漏えいに備えてフードボックスまたは蒸発器内に収納し、UF<sub>6</sub>の漏えいを検知し、警報を発する設計とする。また、それに連動したインターロック機構により、自動的にウランの供給の停止や弁の閉止等を行う設計とする。

ウラン粉末を取り扱う設備・機器は飛散又は漏えいを起こさないように開口部のない構造とし、開口部を設ける場合はフードボックスを設置する。このフードボックスはその開口部風速を0.5m/秒以上を維持するか、その内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧に維持する。また、加圧状態でウラン粉末を取り扱う設備は、万が一の漏えいに備え、局所排気系統に接続したフードボックスまたは配管カバーに収納する設計とする。なお、ウラン粉末の室内漏えい検知はエアスニファにより室内雰囲気を捕集し、放射能濃度を測定・監視すること、定期的に運転員が巡視点検することにより漏えいを早期に検知する。

### (2) 第1種管理区域に関する設計

管理区域は、汚染の発生する恐れのない区域（第2種管理区域）と、汚染の発生する恐れのある区域（第1種管理区域）とに区分する。

第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空気中へ飛散する恐れがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空気中への飛散を防止する設計とする。

第1種管理区域は、無窓構造とするとともに、室内の圧力を外気に対して負圧に維持する設計とする。また、同区域の建物の内部の床及び人が触れる恐れがある壁は、表面をウランが浸透しにくく、除染が容易で、腐食しにくい樹脂系塗料等で仕上げる。

第1種管理区域の室内空気は、ウラン粉末が室内に漏えいした場合に備え、高性能エアフィルタ、排気ファン及びダクトから構成される室内排気系統により排気し、空気中のウランを除去する設計とする。なお、排気系統の一部については、高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環給気を行う系統を設ける。ただし、作業環境中の空気中の

ウラン濃度に異常が発生した場合は、再循環給気を中止し、手動によりワンスルー方式に切り換えるように管理する。

第1種管理区域に係る建物の接続部に設けるエキスパンションジョイントは、建物外壁との接合部をシーリング等により漏えいの少ない設計とする。

給気ファンと排気ファンとの間にインターロック機構を設け、排気ファンが運転されない限り給気ファンが運転されない設計及び排気ファンが停止したときに給気ファンが停止する設計とする。

設計基準事故時において、公衆に対して著しい放射線被ばくを及ぼす恐れがないよう、事故に起因して環境に放出される放射性物質の量を低減させるため、局所排気系統及び室内排気系統には高性能エアフィルタを設置する。

設計基準事故として想定している閉じ込め機能の不全においても、第1種管理区域は、局所排気系統及び室内排気系統により負圧を維持する設計とするとともに、それらの系統に設置する高性能エアフィルタにより、環境に放出される放射性物質の量を低減させる設計とする。なお、UF<sub>6</sub>の漏えいに対しては、上記のほか、スクラバによる処理を行い、二段の高性能エアフィルタ（後段は耐HF性）を通して排出する設計とする。また、局所排気系統については、外部電源が喪失した場合には非常用ディーゼル発電機による給電を行い、第1種管理区域の負圧維持ができる設計とする。

### 3. 対象設備

対象設備は、工場棟転換工場に設置する化学処理施設、核燃料物質の貯蔵施設、放射性廃棄物の廃棄施設及びその他の加工施設、附属建物 廃棄物管理棟に設置する放射性廃棄物の廃棄施設、附属建物 発電機室に設置するその他の加工施設及び附属建物 除染室・分析室に設置するその他の加工施設、附属建物 原料貯蔵所に設置する核燃料物質の貯蔵施設を対象とする。対象となる機器は添付説明書一設1付録1に示す。

#### 4. 閉じ込めのための設計

本章に該当する適合性の対象は、以下となる。

◆ 加工施設の技術基準に関する規則第十条

3章に示す設備・機器には以下を含まない。

- ・ プルトニウム等を扱う設備

したがって、以下に示す「加工施設の技術基準に関する規則」第十条、第二十条のうち、破線で囲んだ部分の7項を適合性説明の対象とする。

(閉じ込めの機能)

第十条 安全機能を有する施設は、次に掲げるところにより、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物（以下「核燃料物質等」という。）を限定された区域に閉じ込める機能を保持するように設置されたものでなければならない。

一 流体状の核燃料物質等を内包する容器又は管に核燃料物質等を含まない流体を導く管を接続する場合には、流体状の核燃料物質等が核燃料物質等を含まない流体を導く管に逆流するおそれがない構造であること。

二 六ふっ化ウランを取り扱う設備であって、六ふっ化ウランが著しく漏えいするおそれがあるものは、漏えいの拡大を適切に防止し得る構造であること。

三 プルトニウム及びその化合物並びにこれらの物質の一又は二以上を含む物質（以下この条において「プルトニウム等」という。）を取り扱うグローブボックスは、その内部を常時負圧状態に維持し得るものであり、かつ、給気口及び排気口を除き、密閉することができる構造であること。

四 液体状のプルトニウム等を取り扱うグローブボックスは、当該物質がグローブボックス外に漏えいするおそれがない構造であること。

五 密封されていない核燃料物質等を取り扱うフードは、その開口部の風速を適切に維持し得るものであること。

六 プルトニウム等を取り扱う室（保管廃棄する室を除く。）及び核燃料物質等による汚染の発生のおそれがある室は、その内部を負圧状態に維持し得るものであること。

七 液体状の核燃料物質等を取り扱う設備が設置される施設（液体状の核燃料物質等の漏えいが拡大するおそれがある部分に限る。）は、次に掲げるところによるものであること。

イ 施設内部の床面及び壁面は、液体状の核燃料物質等が漏えいし難いものであること。

ロ 液体状の核燃料物質等を取り扱う設備の周辺部又は施設外に通ずる出入口若しくはその周辺部には、液体状の核燃料物質等が施設外へ漏えいすることを防止するための堰が設置されていること。ただし、施設内部の床面が隣接する施設の床面又は地表面より低い場合であって、液体状の核燃料物質等が施設外へ漏えいするおそれがないときは、この限りでない。

ハ 工場等の外に排水を排出する排水路（湧水に係るものであって核燃料物質等により汚染するおそれがある管理区域内に開口部がないものを除く。）の上に施設の床面がないようにすること。ただし、当該排水路に核燃料物質等により汚染された排水を安全に廃棄する設備及び第十九条第二号に掲げる事項を計測する設備が設置されている場合は、この限りでない。

◆ 加工施設の技術基準に関する規則第二十条

（廃棄施設）

第二十条 放射性廃棄物を廃棄する設備（放射性廃棄物を保管廃棄する設備を除く。）は、次に掲げるところによるものでなければならない。

一 周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度が、それぞれ原子力規制委員会の定める濃度限度以下になるように加工施設において発生する放射性廃棄物を廃棄する能力を有するものであること。

二 放射性廃棄物以外の廃棄物を廃棄する設備と区別して設置すること。ただし、放射性廃棄物以外の流体状の廃棄物を流体状の放射性廃棄物を廃棄する設備に導く場合において、流体状の放射性廃棄物が放射性廃棄物以外の流体状の廃棄物を取り扱う設備に逆流するおそれがないときは、この限りでない。

三 気体状の放射性廃棄物を廃棄する設備は、排気口以外の箇所において気体状の放射性廃棄物を排出することがないものであること。

四 気体状の放射性廃棄物を廃棄する設備にろ過装置を設ける場合にあつては、ろ過装置の機能が適切に維持し得るものであり、かつ、ろ過装置の核燃料物質等による汚染の除去又はろ過装置の取替えが容易な構造であること。

五 液体状の放射性廃棄物を廃棄する設備は、排水口以外の箇所において液体状の放射性廃棄物を排出することがないものであること。

◆ 事業許可の内容（4-1～4-34、11-1～11-21、12-1～12-4、14-1～14-8、15-1～15-7、17-1～17-13、22-1～22-11）

3章で示した設備を対象とすることから、事業許可の内容のうち該当する以下の項目を適合性説明の対象とする。

【UF<sub>6</sub>を限定された区域に閉じ込める機能（4.1章）】（第十条2関連）

- ・ UF<sub>6</sub>を収納する設備・機器の材料に関する事項（4-1）
- ・ UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器の集約設置に関する事項（4-2）
- ・ UF<sub>6</sub>を加熱して取り扱う設備・機器の圧力／温度異常に関する事項（4-3、4-33）
- ・ UF<sub>6</sub>の加水分解条件担保に関する事項（4-4）
- ・ UF<sub>6</sub>の冷却捕集設備・機器の冷却不足に対する対処に関する事項（4-5）
- ・ 蒸発器に求める機能に関する事項（4-6、14-7、15-2、15-3）
- ・ UF<sub>6</sub>の漏えい対処に関する事項（4-7、4-8、4-23、4-30、14-7、15-1、17-6、17-13、22-2）
- ・ 地震検知に対するUF<sub>6</sub>の取扱いに関する事項（4-9、7-11、14-7）

- ・ UF<sub>6</sub>配管切り替えに対する誤操作防止に関する事項 (12-4)

【粉末状のウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.2章)】(第十条5 関連)

- ・ 粉末状のウランを収納する設備・機器に関する事項 (4-10)
- ・ 非密封のウランを取り扱うフードボックス、粉末状のウランを取り扱う混合機、プレス、研削装置等に設けるフード等に関する事項 (4-12、4-23)
- ・ 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う設備・機器に関する事項 (4-13)
- ・ 設備・機器の過加熱を防止する設計 (可燃性ガスを取り扱う設備・機器以外) (4-33)

【液体状のウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.3章)】(第十条1、7 関連)

- ・ 液体状のウラン及び放射性液体廃棄物を収納する設備・機器に関する事項 (4-15)
- ・ 槽上部開口部のオーバーフロー対策に関する事項 (4-16)
- ・ 液体状の放射性物質の施設外への漏えい防止に関する事項 (4-17)
- ・ UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>溶液を取り扱う設備・機器に必要な対策に関する事項 (4-19)
- ・ 第1種管理区域の境界から外部へ溢水が流入出しない対策に関する事項(11-2)

【ウランを限定された区域に閉じ込める機能 (4.4章)】(第十条全般関連)

- ・ 気体又は液体の放射性物質を内包する設備・機器の逆流による拡散防止に関する事項 (4-22)
- ・ 容器等の落下を防止することに関する事項 (4-32)

【第1種管理区域の閉じ込めに関わる機能 (4.5章)】(第十条6、第二十条1、4 関連)

- ・ 気体廃棄設備における給排気経路確保及び経路維持に関する事項 (4-25、4-29、17-1、17-3、17-4、17-13)
- ・ 外部電源喪失時の第1種管理区域の負圧維持に関する事項 (4-31)

4. 1. UF<sub>6</sub>を限定された区域に閉じ込める機能（第十条2）

4. 1. 1 通常運転時に対する閉じ込め機能

UF<sub>6</sub>（ガス、固体）を収納する設備・機器は、UF<sub>6</sub>に対し耐食性を有する材料を用い、耐圧・気密設計とする。（4-1）

今回の申請機器において、UF<sub>6</sub>（ガス、固体）に対して耐腐食性を考慮する機器とその主要使用材料を添説設 6-1 表に示す。また、今回の申請機器で UF<sub>6</sub>（ガス、固体）を取り扱う範囲、UF<sub>6</sub>（ガス、固体）に対して耐腐食性を考慮する機器及び耐圧・気密設計を考慮する機器を添説設 6-1 図に示す。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-1 表 UF<sub>6</sub>（ガス、固体）耐腐食性を考慮する機器とその主要使用材料

施設区分	機器名	主要使用材料	備考
化学処理施設	蒸発器(1)-A	脱着式 UF <sub>6</sub> 配管	{1}
	蒸発器(1)-B		
	蒸発器(2)-A		
	蒸発器(2)-B		
	コールドトラップ(1)	コールドトラップ本体	{14}
	コールドトラップ(2)	UF <sub>6</sub> 配管	
		窒素配管	
	コールドトラップ (小) (1)	コールドトラップ本体	{17}
		UF <sub>6</sub> 配管	
		コールドトラップ (小) (2)	
真空配管			
循環貯槽(1)	加水分解装置（エジェクタ）	{21}	
循環貯槽(2)			
核燃料物質の 貯蔵施設	UF <sub>6</sub> シリンダ		{2}
			{488}
			{492}

※：ANSI N14.1 で規定される 30B シリンダ

添説設 6-1 図に示す通り、UF<sub>6</sub> シリンダ内の UF<sub>6</sub> は、蒸発器内で UF<sub>6</sub> シリンダを水蒸気で加熱することにより UF<sub>6</sub> を気化し、UF<sub>6</sub> シリンダから循環貯槽の加水分解装置（エジェクタ）部まで供給する。UF<sub>6</sub> シリンダ内の UF<sub>6</sub> が空（UF<sub>6</sub> の供給ガス圧力値で判断）に近づいたら、使用する UF<sub>6</sub> シリンダを切り替えるとともに、使用した UF<sub>6</sub> シリンダ中の残留 UF<sub>6</sub> はコールドトラップへ、UF<sub>6</sub> 配管

中の残留 UF<sub>6</sub> はコールドトラップ (小) へ回収する。また、UF<sub>6</sub> 使用前には窒素による UF<sub>6</sub> 配管中の掃気を行う。

なお、残留 UF<sub>6</sub> をコールドトラップへ移送した後の UF<sub>6</sub> シリンダは貯蔵施設 (原料貯蔵設備シリンダ貯蔵架台、シリンダ貯蔵ピット) に戻し、ウラン回収設備 (第 4 系列) で空になった UF<sub>6</sub> シリンダ内部の洗浄を行う。洗浄後の UF<sub>6</sub> シリンダは再び UF<sub>6</sub> を充填するために施設外へ払い出す。UF<sub>6</sub> シリンダの貯蔵施設 (原料貯蔵設備シリンダ貯蔵架台、シリンダ貯蔵ピット) 及びウラン回収設備 (第 4 系列) は次回以降申請する。

この UF<sub>6</sub> 取り扱い状況を踏まえて、UF<sub>6</sub> 取り扱う機器、配管は事故事象の発生防止のため、以下を考慮した設計とする。

➤ [10.1-設 8] 耐腐食性材料を使用する。

UF<sub>6</sub> (ガス、固体) に対して耐腐食性を考慮する機器 (添説設 6-1 図の青色部: UF<sub>6</sub> (ガス、固体) に直接接触する部位、密封により閉じ込めを期待する部位) の主要使用材料は UF<sub>6</sub> に対して耐腐食性を有する材料を使用するため、腐食により UF<sub>6</sub> (ガス、固体) が機器外へ漏えいする恐れはない。

➤ [10.1-設 55] 使用条件に耐えうる耐圧強度を有する構造とする。

UF<sub>6</sub> (ガス、固体) を収納する設備・機器 (UF<sub>6</sub> シリンダ、コールドトラップ、コールドトラップ (小)) は使用条件に対して耐圧強度を持つ構造とするため、破損により UF<sub>6</sub> (ガス、固体) が機器外へ漏えいする恐れはない。

その詳細については、加工施設の技術基準への適合に関する説明書 (資料 12) に示す。





添説設 6-1 図  $\text{UF}_6$  (ガス、固体) を取り扱う範囲

UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器は、より限定した区域に閉じ込めるため、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する設計とする。(4-2)

今回の申請設備において、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する機器を添説設 6-2 表に示す。添説設 6-2 表において下線部が UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う機器である。

なお、備考欄で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-2 表 工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する機器

施設区分	機器名		備考
化学 処理 施設	蒸発器(1)-A	蒸発器本体	{1}
	蒸発器(1)-B	脱着式 UF <sub>6</sub> 配管	
	蒸発器(2)-A	UF <sub>6</sub> 配管	
	蒸発器(2)-B	窒素配管	
		UF <sub>6</sub> シリンダ	
	コールドトラップ(1)	コールドトラップ本体	{14}
	コールドトラップ(2)	UF <sub>6</sub> 配管	
		窒素配管	
	コールドトラップ(小)(1)	コールドトラップ(小)本体	{17}
	コールドトラップ(小)(2)	UF <sub>6</sub> 配管	
	窒素配管		
	真空配管		
循環貯槽(1)	貯槽本体	{22}	
循環貯槽(2)	送液ポンプ		
	UF <sub>6</sub> 溶液配管		
	加水分解装置(エジェクタ)	{21}	

注：下線部が UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う機器である。

UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器とは気化した UF<sub>6</sub>を取り扱う範囲であり、添説設 6-1 図の青色部である。

UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器には事故事象の拡大防止・影響緩和のため、以下を考慮した設計とする。

- [10.1-設 9] UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器は工場棟転換工場原料倉庫に集約設置する。UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う機器は工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する。具体的な機器配置は図イ配-1 に示す。

UF<sub>6</sub>フードボックス、UF<sub>6</sub>防護カバー、スクラバ（原料倉庫局所排気系統）、切替ダンパ（原料倉庫局所排気系統）、地震連動閉止ダンパ（原料倉庫局所排気系統）はUF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う機器には該当しない（UF<sub>6</sub>を直接取り扱う機器ではない）が、UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ（小）におけるUF<sub>6</sub>の漏えい拡大防止・影響緩和を図る機器として、工場棟転換工場原料倉庫に集約して設置する。

UF <sub>6</sub> を加熱して取り扱う設備・機器は、圧力異常／温度異常を検知した場合は、自動的にUF <sub>6</sub> の供給を停止し、警報を発するとともに加熱を停止する設計とする。(4-3)
設備・機器の過加熱を防止する設計(可燃性ガスを取り扱う設備・機器以外)(4-33)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的、インターロック及び警報で守るべき事象を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

また、今回の申請設備において、UF<sub>6</sub>を加熱して取り扱う機器を添説設6-3表に示す。また、加熱によりUF<sub>6</sub>を気化して移送するケースとこれに対する圧力異常、温度異常を受けたインターロックの概要を添説設6-2図に示す。

なお、以下の記述及び表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-3表 UF<sub>6</sub>を加熱して取り扱う機器

施設区分	機器名	該当ケース	備考
化学処理施設	蒸発器(1)-A	ケース1	{3}
	蒸発器(1)-B	ケース2	{4}
	蒸発器(2)-A		
	蒸発器(2)-B		
	コールドトラップ(1)	ケース3	{15}
	コールドトラップ(2)		{16}
	コールドトラップ(小)(1)	ケース4	{18}
	コールドトラップ(小)(2)		{19}

UF<sub>6</sub>を加熱により気化して移送するケースは以下の4ケースがある。

ケース1: UF<sub>6</sub>シリンダを加熱して、循環貯槽へUF<sub>6</sub>を移送する。

ケース2: UF<sub>6</sub>シリンダを加熱して、コールドトラップへUF<sub>6</sub>を移送する。

ケース3: コールドトラップを加熱して、循環貯槽へUF<sub>6</sub>を移送する。

ケース4: コールドトラップ(小)を加熱して、コールドトラップへUF<sub>6</sub>を移送する。

各移送ケースの概要は添説設6-2図に示す。

ケース1、2の場合、蒸発器は約100℃～108℃の温度範囲で加熱し、約0.31MPaG～0.40MPaGの圧力範囲でUF<sub>6</sub>圧力制御し、送り先である循環貯槽又はコールドトラップへUF<sub>6</sub>を供給している。

ケース3の場合、コールドトラップは約100℃～120℃で加熱し、約0.31MPaG～0.39MPaGの圧力範囲でUF<sub>6</sub>圧力制御し、送り先である循環貯槽へUF<sub>6</sub>を供給している。

ケース4の場合、コールドトラップ(小)は約100℃～120℃で加熱し、約0.31MPaG～0.39MPaGの圧力範囲でUF<sub>6</sub>圧力制御し、送り先であるコールドトラップへUF<sub>6</sub>を供給している。

UF<sub>6</sub>を加熱気化して移送する各ケースでは、UF<sub>6</sub>の加熱異常により機器・配管が損傷し、漏えいする事故事象発生を防止するため、次の2点、

- ① UF<sub>6</sub>シリンダの加熱温度が過加熱によりUF<sub>6</sub>の液化膨張によるUF<sub>6</sub>シリンダの破損を起こさない（熱的制限値を超えない）<sup>注</sup>
- ② コールドトラップ、コールドトラップ（小）の加熱温度が過加熱により、設計確認温度を超えない（機器・配管を損傷させない）

ように、UF<sub>6</sub>の加熱温度と圧力（UF<sub>6</sub>圧力はUF<sub>6</sub>温度と相関があり、加熱温度監視状況の判断因子となる）を監視する。

注：UF<sub>6</sub>シリンダは『核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則』第十二条の2項の二号において過圧防止効果を有する装置を備えないこととなっている。

この対応として、UF<sub>6</sub>を加熱して取り扱う機器には以下を考慮した設計とする。

- [10.1-設6][18.2-設2]過加熱防止インターロック（熱的制限値）を設置する。 該当設備{3}
- [10.1-設6][18.2-設2]温度高インターロック（温度）を設置する。 該当設備{15、18}
- [10.1-設34][18.2-設7]圧力高インターロック（圧力）を設置する。 該当設備{4、16、19}

UF<sub>6</sub>を加熱する機器はUF<sub>6</sub>加熱中に機器内の圧力異常、温度異常を検知した場合、速やかにその加熱を停止するインターロック（添説設6-2 図中の青色部）を設置する。

上記インターロック動作のトリガーとなる検出端は、蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）本体又は本体近傍に取り付ける。

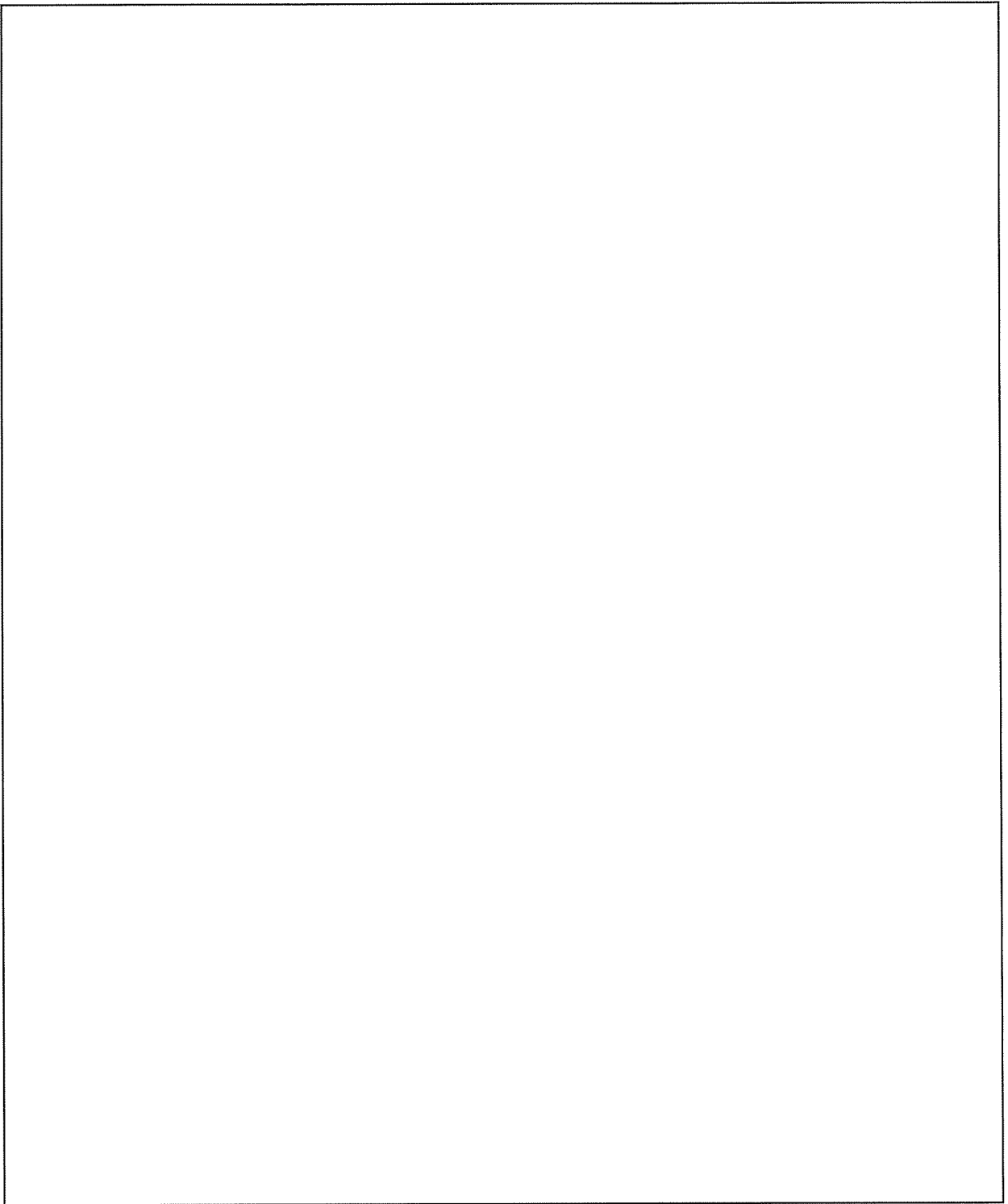
設置するインターロックの設定値として、守るべき値とそれに対する設定値の考え方は添付説明書-設6付録2に示すとおりである。

なお、蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）のUF<sub>6</sub>配管には運転管理上の目的から配管保温（UF<sub>6</sub>固化防止）として、電気ヒータを設置している。この電気ヒータによる配管保温が機能しない場合、UF<sub>6</sub>配管内でUF<sub>6</sub>固化が起り、UF<sub>6</sub>移送を損なうが、その状況は圧力計指示値にあらわれる。また、UF<sub>6</sub>配管内でUF<sub>6</sub>固化が起ってもUF<sub>6</sub>自体は配管内に保持されるため、漏えいする恐れはない。

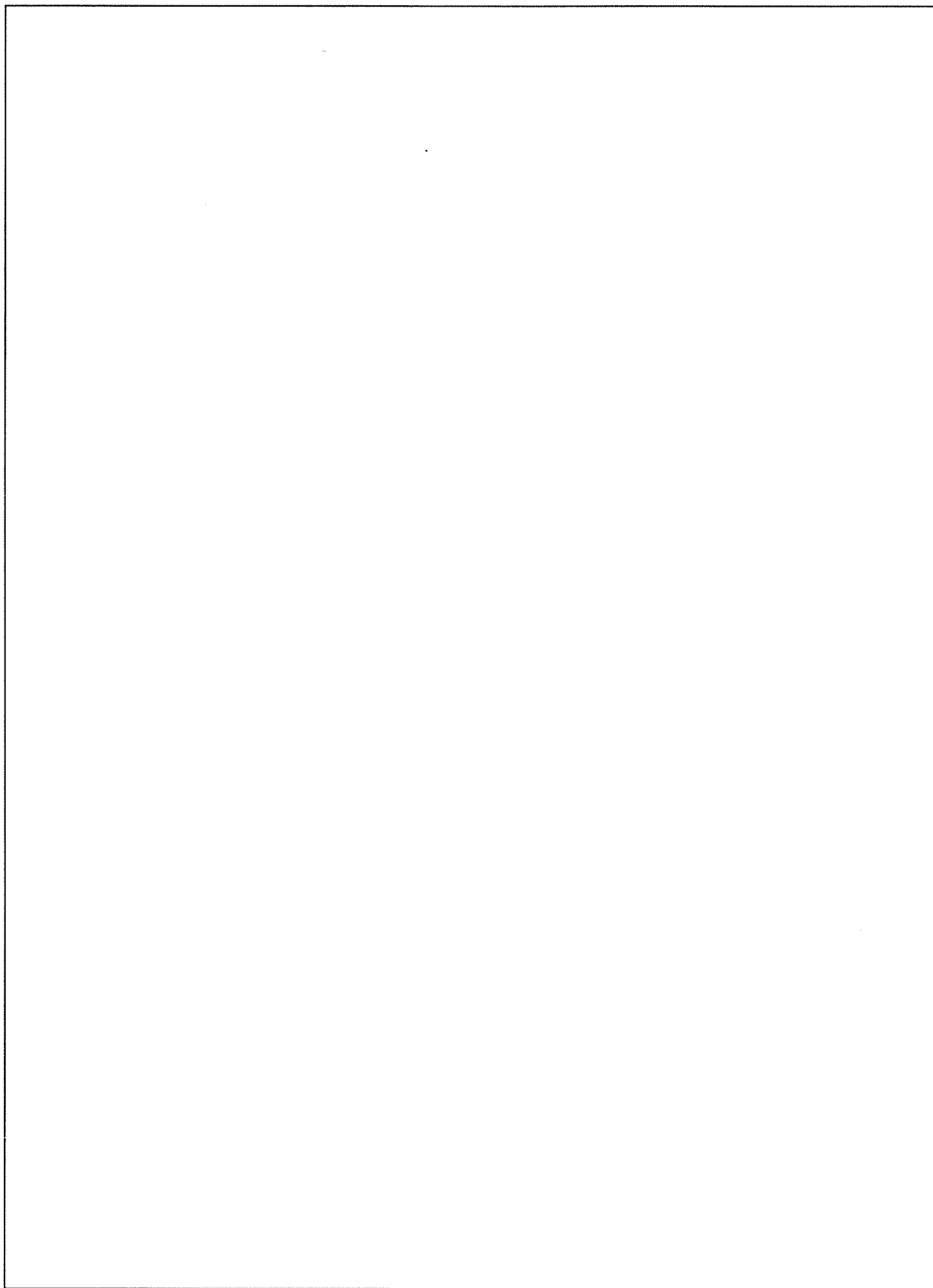
よって、UF<sub>6</sub>配管に設置する電気ヒータに安全機能は期待してない。

補足：

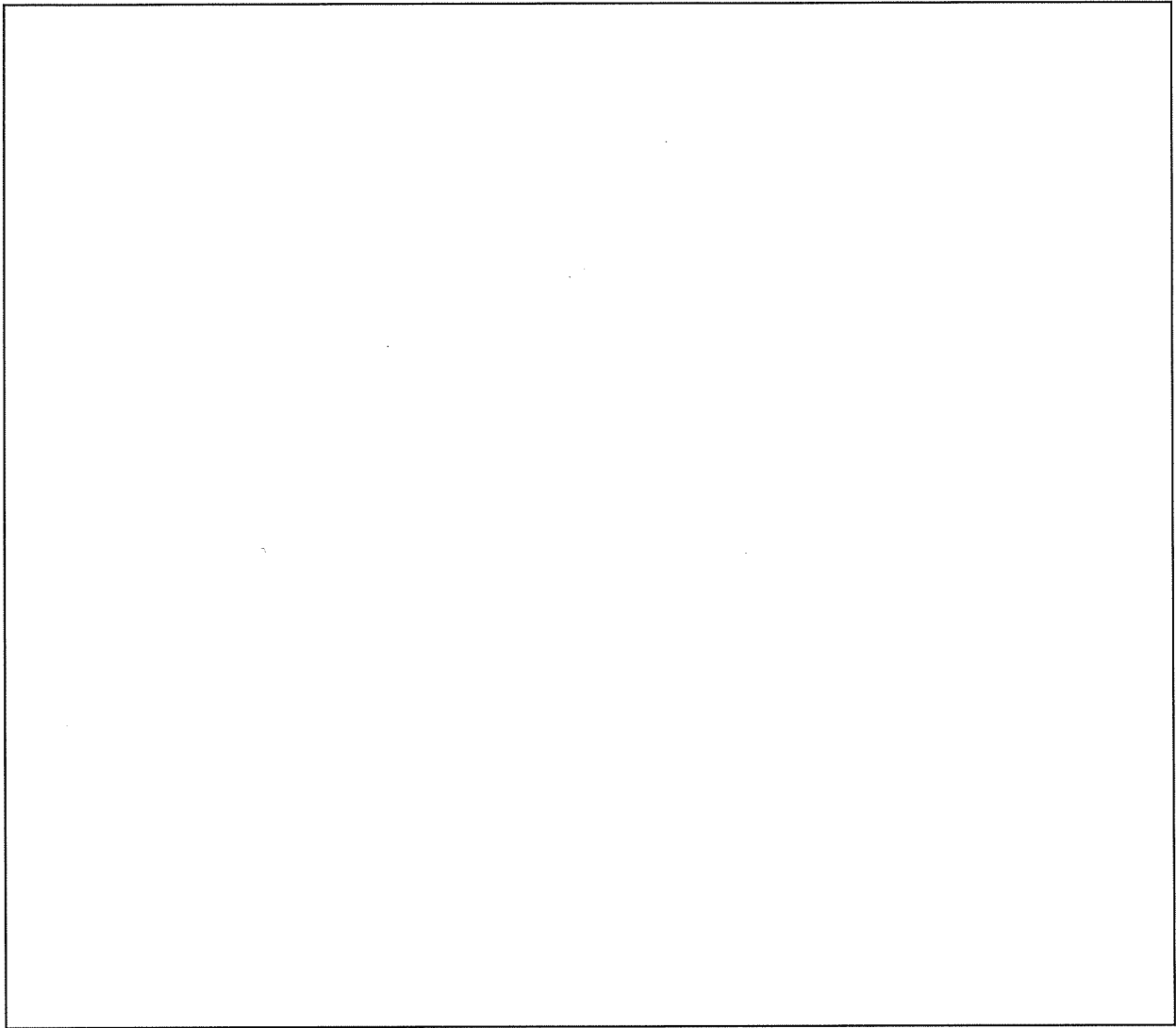
蒸発器の加熱源は蒸気であり、蒸気は建屋外からの供給である。この蒸気配管の転換工場外壁（付帯設備室外壁）貫通部は配管と壁の隙間には不燃材（ロックウール）を充填し、鋼板（：厚さmm以上）でふさぐことにより、漏えいの少ない構造とする。



添説設 6-2 図 UF<sub>6</sub> を加熱して取り扱う機器における圧力異常／温度異常に対する加熱停止概要 (1/3)



添説設 6-2 図 UF<sub>6</sub> を加熱して取り扱う機器における圧力異常／温度異常に対する加熱停止概要 (2/3)



添説設 6-2 図 UF<sub>6</sub> を加熱して取り扱う機器における圧力異常／温度異常に対する加熱停止概要 (3/3)



UF<sub>6</sub>ガスを加水分解する設備・機器は、未反応のUF<sub>6</sub>ガスが後段に流出することを防止するため、水とUF<sub>6</sub>ガスの反応のために十分な水を供給できる設計とする。(4-4)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的、インターロック及び警報で守るべき事象を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、UF<sub>6</sub>を加水分解する機器は循環貯槽(1)(2)である。また、循環貯槽(1)(2)においてUF<sub>6</sub>と水との加水分解反応に必要な水量を担保する概要を添設設6-3図に示す。

なお、以下の丸囲み数値は添設設6-3図中の該当部を示す。また、以下の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF<sub>6</sub>シリンダ又はコールドトラップで加熱気化したUF<sub>6</sub>は循環貯槽へ供給する。循環貯槽はUO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>貯槽(1)(2)(3)のうち1槽、液受槽と合計約500Lの水を保有しており、循環貯槽、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>貯槽(1)(2)(3)のうち1槽、液受槽を1つの閉ループとして水を循環する。UF<sub>6</sub>は循環貯槽の加水分解装置(エジェクタ)部で槽内を循環する水と混合接触し、UF<sub>6</sub>と水の化学反応によりウランはUO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>の化学形態(液体)に処理する。この処理は液中のウラン濃度が約200gU/Lになるまで行い、目標ウラン濃度に到達後は、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>貯槽を切り替える。

注：UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>貯槽(1)(2)(3)、液受槽は次回以降申請。

この運転過程の中で、循環貯槽において、加水分解反応が確実に行われることを担保(UF<sub>6</sub>が水と接触せず、未反応UF<sub>6</sub>が発生し、拡散することを防止)するために、

- ① 加水分解装置で循環する水は、供給するUF<sub>6</sub>量に対して反応当量以上の水量を確保する
- ② 加水分解装置から循環貯槽本体に通じるノズルが確実に水没(UF<sub>6</sub>と水が確実に接触)する

ことを監視する。

この対応として循環装置には以下を考慮した設計とする。

➤ [10.1一設10][18.2一設4]UF<sub>6</sub>の供給停止インターロック(ポンプ作動)を設置する。

該当設備{25}

- ① 循環貯槽において、未反応のUF<sub>6</sub>が発生し、拡散することを防止するため、供給するUF<sub>6</sub>量(約1000gU/分)に対し、加水分解反応に必要な循環水量(0.15L/分以上)が得られることを循環ポンプが起動していること(定格流量)で確保する(定量式ポンプである循環ポンプは起動すれば、定格流量で約15L/分の水量を確保できる)。

この循環ポンプが停止した場合は、循環貯槽へのUF<sub>6</sub>供給を停止するインターロックを設置する。このインターロックにより循環貯槽での未反応UF<sub>6</sub>生成を防止する。

設置するインターロックの設定値に対して守るべき値とそれに対する設定値は添付説明書一設6付録3に示すとおりである。

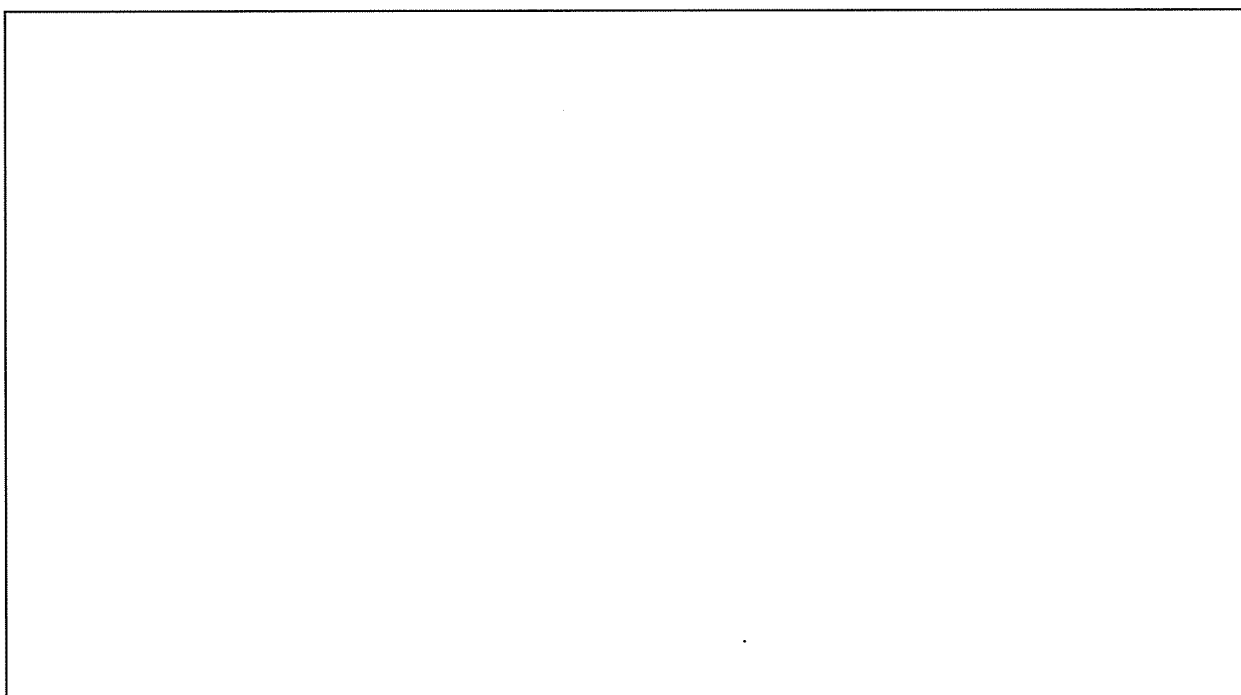
➤ [10.1一設10][18.2一設4]UF<sub>6</sub>の供給停止インターロック(液位)を設置する。

該当設備{27}

- ② 供給する  $UF_6$  を常に加水分解反応用の水と接触させるため、循環貯槽の貯槽本体内容液位は加水分解装置（エジェクタ）部からの接続位置より上位に維持（エジェクタからのノズル位置（循環貯槽上面より 690mm）の水没を確保できるように、槽上面より 680mm 以内の位置に液位を維持）するように循環貯槽の槽部液位低検出位置を設定する。

循環貯槽の槽部内液位低を検出した場合は加水分解装置（エジェクタ）部への  $UF_6$  供給を停止するインターロックを設置する。このインターロックにより循環貯槽内での未反応  $UF_6$  生成を防止する。

設置するインターロックの設定値に対して守るべき値とそれに対する設定値は添付説明書一設 6 付録 4 に示すとおりである。



添説設 6-3 図  $UF_6$  と水との加水分解反応に必要な水量担保の概要

UF<sub>6</sub>を冷却して捕集する設備・機器では、冷却不足によりUF<sub>6</sub>ガスを固化できないことによるUF<sub>6</sub>ガスの漏えいを防止するため、冷却不足を検知した場合に真空配管系統の弁を自動閉止するインターロック機構を設置する設計とする。(4-5)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的、インターロック及び警報で守るべき事象を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、冷却不足によるUF<sub>6</sub>ガスの漏えいを防止する機器はコールドトラップとコールドトラップ(小)である。また、この機器においてUF<sub>6</sub>を冷却捕集する系統の概要とUF<sub>6</sub>冷却捕集系統における冷却温度担保の概要(図中の青色太線部)を添説設6-4図に示す。

なお、以下の丸囲み数値は添説設6-4図中の該当部を示す。また、以下の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF<sub>6</sub>シリンダからのUF<sub>6</sub>排出後、UF<sub>6</sub>シリンダや配管に残留するUF<sub>6</sub>は、あらかじめ真空ポンプで内部を負圧にしたコールドトラップ及びコールドトラップ(小)へ圧力差を利用して回収する。添説設6-4図に示す通り真空ポンプはコールドトラップ(小)と接続しており、コールドトラップ内を真空引きする場合は、コールドトラップ(小)を介して行う(添説設6-4図(a)参照)。

なお、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)の運転にはコールドトラップを加熱してUF<sub>6</sub>を移送中に、コールドトラップ(小)を冷却して真空引きを行うケース(添説設6-4図(b)参照)がある。

この運転状況を踏まえて、コールドトラップ(小)が冷却不足の場合、気体廃棄設備(1)へUF<sub>6</sub>が漏えいする(温度が高い場合、固体UF<sub>6</sub>が冷却固化できない)ため、コールドトラップ(小)が冷却不足の場合は気体廃棄設備(1)へUF<sub>6</sub>が漏えいするのを防止のため、コールドトラップ(小)と真空ポンプを接続する真空配管上の真空弁を閉する。また、コールドトラップの温度が高い場合は、コールドトラップとコールドトラップ(小)を接続するUF<sub>6</sub>配管上のCT仕切弁、CT(小)仕切弁の同時開を不可とする。

この対応としてコールドトラップ、コールドトラップ(小)には以下を考慮した設計とする。

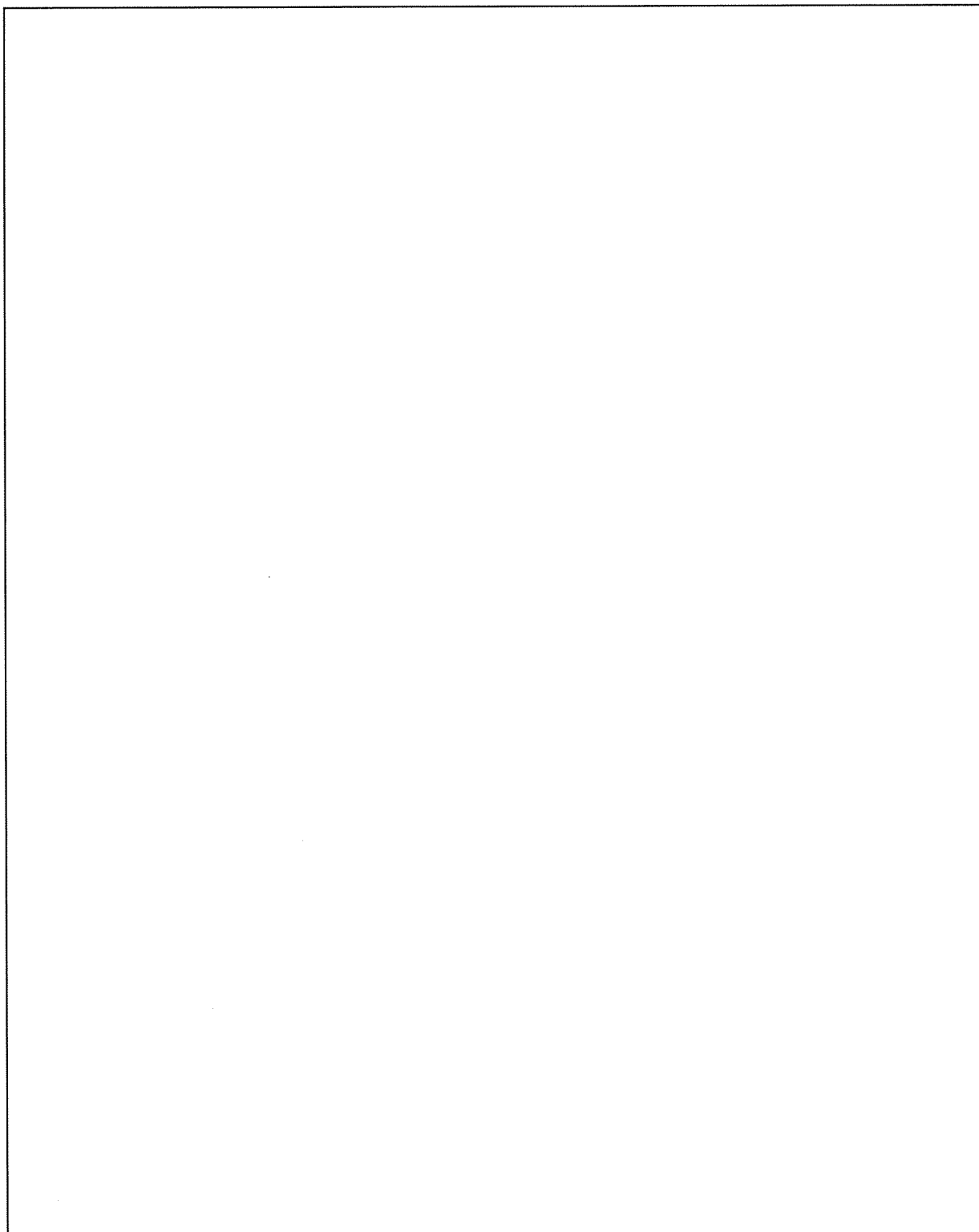
▶ [10.1-設11][18.2-設8]UF<sub>6</sub>捕集停止インターロック(温度)を設置する。

該当設備{20}

コールドトラップ、コールドトラップ(小)の冷却不足によりUF<sub>6</sub>が固化せず、気体廃棄設備(1)へ漏えいするのを防止するため、①コールドトラップ(小)の温度低(-15℃以下)でなければ、コールドトラップ(小)と真空ポンプを接続する真空配管上の真空弁を閉するとともに、②コールドトラップが温度低(-15℃以下)不可の場合は、コールドトラップとコールドトラップ(小)を接続するUF<sub>6</sub>配管上のCT仕切弁、CT(小)仕切弁の同時開を不可とする。インターロックを設置する。

設置するインターロックの設定値に対して守るべき値とそれに対する設定値は添付説明書一設6付録5に示すとおりである。

なお、 $\text{UF}_6$ （揮発性を有する物質）の物性上、どの温度領域にも蒸気圧分だけ、 $\text{UF}_6$ は気体として存在する。 $-15^\circ\text{C}$ の温度下で蒸気圧分の気体として存在する微量の $\text{UF}_6$ は真空ポンプの排気先である気体廃棄設備(1)の高性能エアフィルタで捕集する。



添説設 6-4 図  $\text{UF}_6$ 冷却捕集系統における冷却温度担保の概要

コールドトラップ等は第1種圧力容器として設計・管理することに加え、容器と遮断弁までの配管部分を強化する。(15-3)

今回の申請設備において該当する機器は蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)である。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

▶ [10.1-設12]第1種圧力容器とする。

該当設備{1、14、17}

UF<sub>6</sub>シリンダを収納する蒸発器は、UF<sub>6</sub>の閉じ込めに対する異常の拡大防止機能(2次バウンダリ)として第1種圧力容器とする。

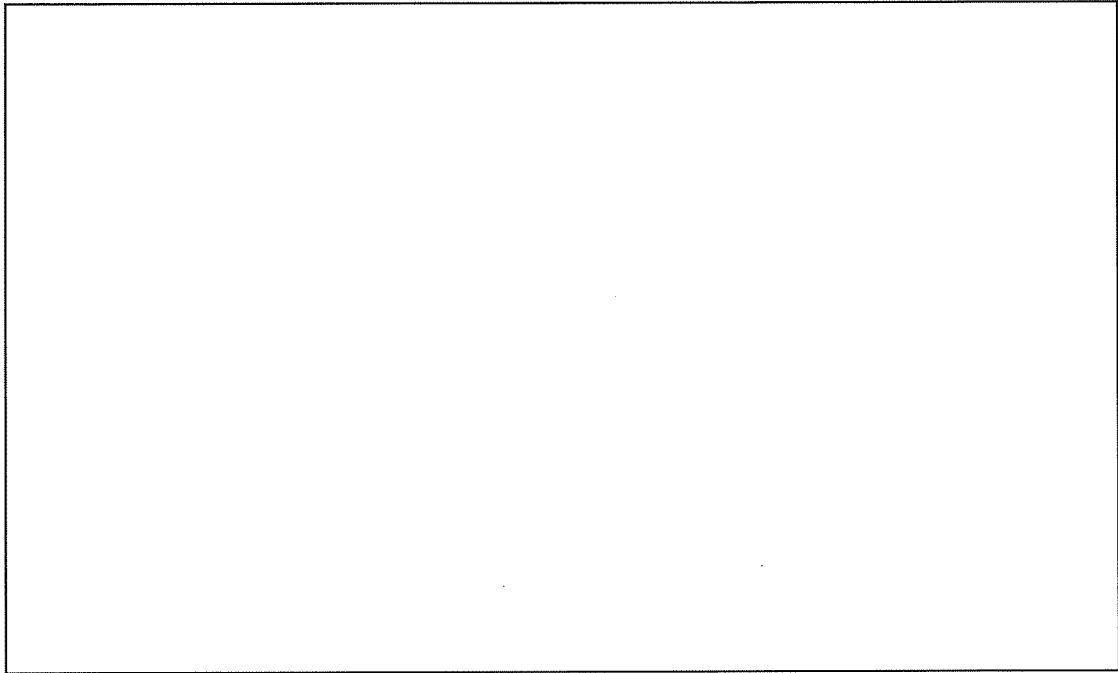
同じくUF<sub>6</sub>を収納するコールドトラップ及びコールドトラップ(小)も第1種圧力容器とする。また、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)から遮断弁までの配管を添説設6-5図に示す。以下の丸囲み数値は添説設6-5図中の該当部を示す。

これらの配管は以下の考え方により強化する。

コールドトラップは第1種圧力容器であり、安全弁の設置が必要となる。しかし、安全弁の機能確保の点から安全弁とコールドトラップの間には遮断弁を設置することができない(コールドトラップの管台に遮断弁の直付けができない)。

このような条件があるため、コールドトラップの管台から遮断弁及び安全弁までの範囲(現状図の点線範囲)をコールドトラップの管台と同じ仕様とし、以下の対策を図る。

- ① 配管径をコールドトラップ管台と同じ仕様とする(管台に合わせて太くする。)ことで剛性を高める。
- ② 配管の継手部は溶接化し一体とすることで、漏えいに対する信頼性を向上させる。
- ③ 管台から遮断弁と安全弁までの配管は短くし、配管サポートはコールドトラップと同じ架台から取ることにより、地震時はコールドトラップと一体として揺れる構造とすることで、耐震性を向上させる。



添説設 6-5 図 遮断弁（コールドトラップ）取り付け部までの強化の概要

UF<sub>6</sub>シリンダ及び脱着式UF<sub>6</sub>配管は、労働安全衛生法に基づく第1種圧力容器である蒸発器内に収納されており、蒸発器内でUF<sub>6</sub>が漏えいした場合は、漏えいを検知し、加熱蒸気供給弁及びドレン排出弁を自動で停止する。(15-2)

今回の申請設備において、上記事業許可要求事項の下線部に該当する機器は蒸発器である。下線部以外については、4. 1. 2項で説明する。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

▶ [10. 1-設 15] UF<sub>6</sub>シリンダ及び脱着式UF<sub>6</sub>配管は蒸発器内に設置する。

該当設備{1、2}

UF<sub>6</sub>を取り扱うUF<sub>6</sub>シリンダ及び脱着式UF<sub>6</sub>配管は、UF<sub>6</sub>漏えい時の拡大を防止するため、第1種圧力容器である蒸発器内に設置する。

蒸発器内のUF<sub>6</sub>シリンダ及び脱着式UF<sub>6</sub>配管の収納状況は図イ設-1に示す。

<p>UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器は、耐震重要度分類第1類に求められる地震力を超えない程度の地震加速度(0.15G)を検知した時点で、遮断弁を自動閉止することにより、UF<sub>6</sub>ガスの供給を停止する設計とする。(4-9)</p>
<p>六ふっ化ウランを正圧で取り扱う設備は、耐震重要度分類第1類とし、水平地震力1.0Gで弾性範囲の設計とする。</p> <p>耐震重要度 第1類</p> <p>UF<sub>6</sub>ガス取扱設備(大きな地震時に閉じ込めを期待する設備)及び著しく大きな地震力が作用する前に大きな地震を検知した場合に作動を期待するインターロック機構(7-11)</p>
<p>インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。</p> <p>UF<sub>6</sub>漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。(14-7)</p>

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的、インターロック及び警報で守るべき事象を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において該当する機器は蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)である。これらの機器に設置する地震加速度(0.15G)を検知した時点で遮断弁を自動閉止するインターロックの概要を添説設6-6図に示す。

なお、以下の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

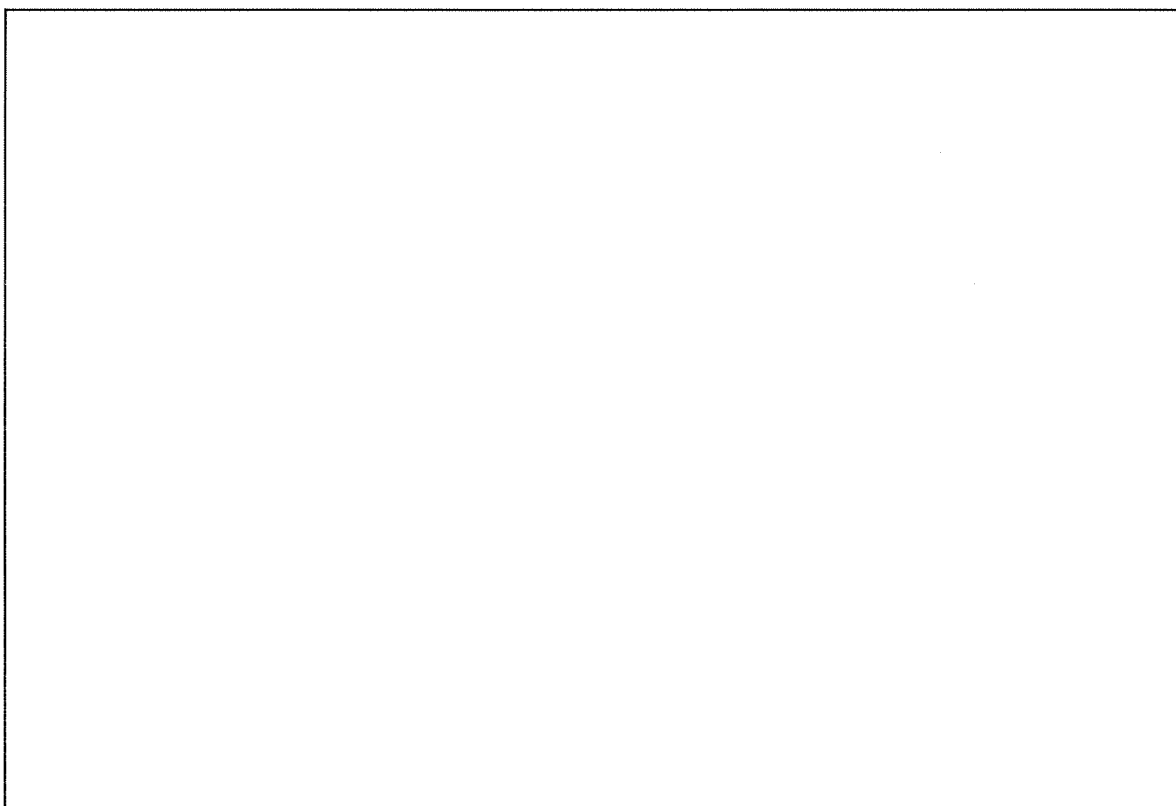
UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱うUF<sub>6</sub>シリンダ、コールドトラップ、コールドトラップ(小)において、UF<sub>6</sub>移送中に耐震重要度分類第2類/3類に求められる地震力を超える地震発生によりUF<sub>6</sub>シリンダ、コールドトラップ、コールドトラップ(小)に設置するインターロック(耐震重要度分類第3類が機能しないことを想定して、事故事象の発生防止のため、耐震重要度分類第1類に求められる地震力を超えない程度の地震加速度(0.15G)で、大きな地震に対して閉じ込めを期待できる耐震重要度分類第1類の機器にUF<sub>6</sub>を収納する。

この対応として蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ(小)には以下を考慮した設計とする。

- [10.1-設10][18.2-設4]UF<sub>6</sub>供給停止インターロック(地震加速度)を設置する(独立二系統)。
  - [10.1-設45]地震インターロックに連動し、防護カバーフード部給気口およびフードボックス排気口を閉鎖する。(独立二系統)
  - [18.2-設5]防護カバーフード部の給気口およびフードボックス排気口を閉鎖する地震インターロック(地震加速度0.15G以下)を設置する。(独立二系統)
- 該当設備{1、6、14、17、620、621}



蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）が設置される部屋には地震計を設置し、この地震計が異常な地震加速度（0.15G）を検知した時点でUF<sub>6</sub>の移送を停止するとともに、蒸発器の加熱用蒸気ライン及びドレン排出ラインを閉止、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の加熱用ヒータ切、フードボックスの排気ラインを閉止及び防護カバーの給気ラインを閉止するインターロック（添説設 6-6 図中の紫色点線及び青色点線部）を設置する。このインターロックは検出端、作動端の不作動、回路の異常を想定して独立二系統（検出端、回路、作動端とも 2 系統）で設置する。



添説設 6-6 図 地震計によるUF<sub>6</sub>供給停止等に関わるインターロックの概要

UF<sub>6</sub>配管の弁を自動閉止するインターロック機構を設置する設計とする。(12-4)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的、インターロック及び警報で守るべき事象を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、該当する機器は蒸発器である。蒸発器における作業員の誤操作防止インターロックの概要を添説設6-7図に示す。

なお、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF<sub>6</sub>シリンダから循環貯槽へUF<sub>6</sub>を移送する場合、2基の蒸発器から交互にUF<sub>6</sub>を移送することから、2基の蒸発器はUF<sub>6</sub>配管の一部を共用する。また、UF<sub>6</sub>シリンダからコールドトラップへUF<sub>6</sub>を移送する、コールドトラップから循環貯槽へUF<sub>6</sub>を移送するときもUF<sub>6</sub>配管の一部を共用する。

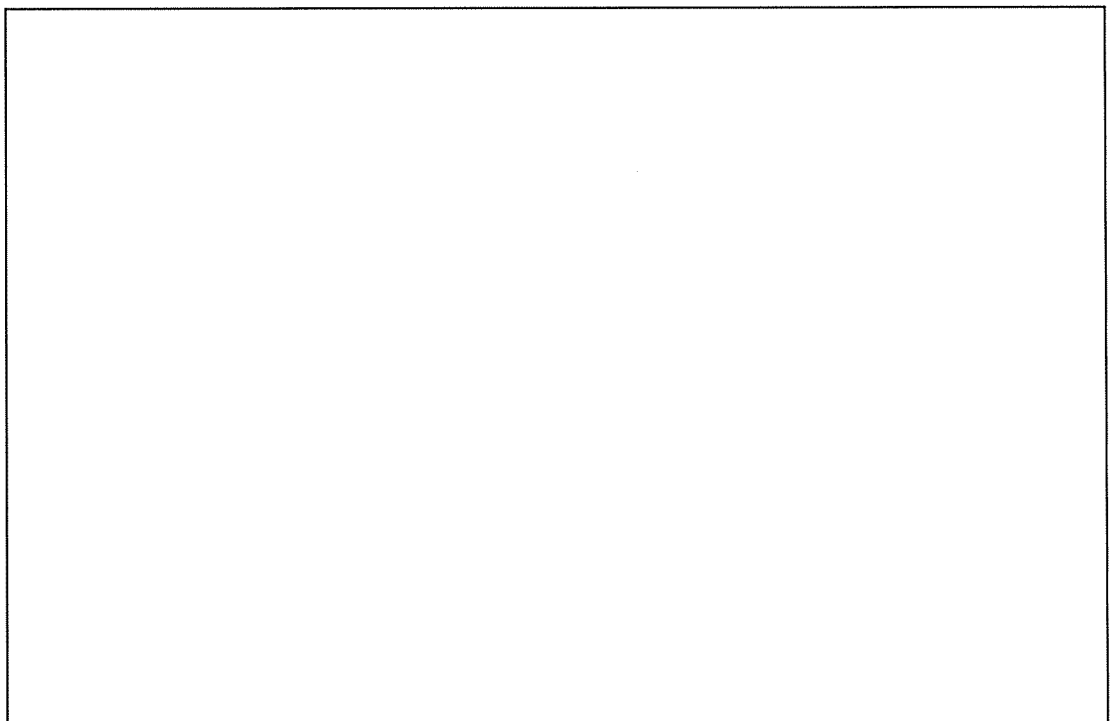
このため、これらのUF<sub>6</sub>移送作業時にはUF<sub>6</sub>移送ルートを実際に確保する必要がある。

この対応として蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ(小)には事故事象の発生防止のため、以下を考慮した設計とする。

▶ [10.1-設27][18.2-設9]UF<sub>6</sub>移送ライン確保のインターロックを設置する。

該当設備{7}

UF<sub>6</sub>シリンダからUF<sub>6</sub>供給中、作業員の誤操作により、UF<sub>6</sub>を供給していないラインにUF<sub>6</sub>が漏えいすることを防止するため、UF<sub>6</sub>を供給するラインの切り替え弁同士(A同士、B同士)の同時開を不可とするインターロックを設置する。



添説設6-7図 蒸発器における作業員の誤操作防止インターロックの概要

#### 4. 1. 2 異常時に対する閉じ込め機能

UF<sub>6</sub>シリンダを収納する蒸発器は、閉じ込めに関し、異常の発生防止機能を有する2次バウンダリとして耐圧・気密設計とし、蒸発器のドレン排出系統にUF<sub>6</sub>の漏えい検知設備を設け、漏えい検知時に自動的にドレン排出弁を閉止する設計とする。また、過加熱によるUF<sub>6</sub>シリンダの損傷によるUF<sub>6</sub>の漏えいを防止するため、熱的制限値を設定し、これを超えることのないようインターロック機構を設置する設計とする。(4-6)

インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。

UF<sub>6</sub>漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。(14-7)

UF<sub>6</sub>シリンダ及び脱着式UF<sub>6</sub>配管は、労働安全衛生法に基づく第1種圧力容器である蒸発器内に収納されており、蒸発器内でUF<sub>6</sub>が漏えいした場合は、漏えいを検知し、加熱蒸気供給弁及びドレン排出弁を自動で停止する。(15-2)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的、インターロック及び警報で守るべき事象を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において該当する機器は蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)である。

なお、以下の記述の中で、{ }内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

蒸発器はUF<sub>6</sub>シリンダを加熱して、UF<sub>6</sub>シリンダ内のUF<sub>6</sub>を気化し、循環貯槽へ移送する機器である。蒸発器におけるUF<sub>6</sub>シリンダの加熱は水蒸気の熱を利用して行っている。具体的には蒸発器内でUF<sub>6</sub>シリンダに水蒸気を吹き付けて加熱している。蒸発器内ではこの水蒸気によるUF<sub>6</sub>シリンダ加熱に伴って、水蒸気はその保有熱を失い、ドレン水が連続的に発生するが、ドレン水は常時、蒸発器底部から廃液処理設備(1)へ排水している。

蒸発器内でUF<sub>6</sub>の漏えいが発生した場合、UF<sub>6</sub>と水との反応性からドレン水をモニタリングすれば、蒸発器内でのUF<sub>6</sub>漏えい発生の有無を監視できる。

この対応として蒸発器には事故事象拡大防止・影響緩和のため、以下を考慮した設計とする。

➤ [10.1-設13][18.2-設3]UF<sub>6</sub>漏えい検知インターロック(電導度)を設置する。

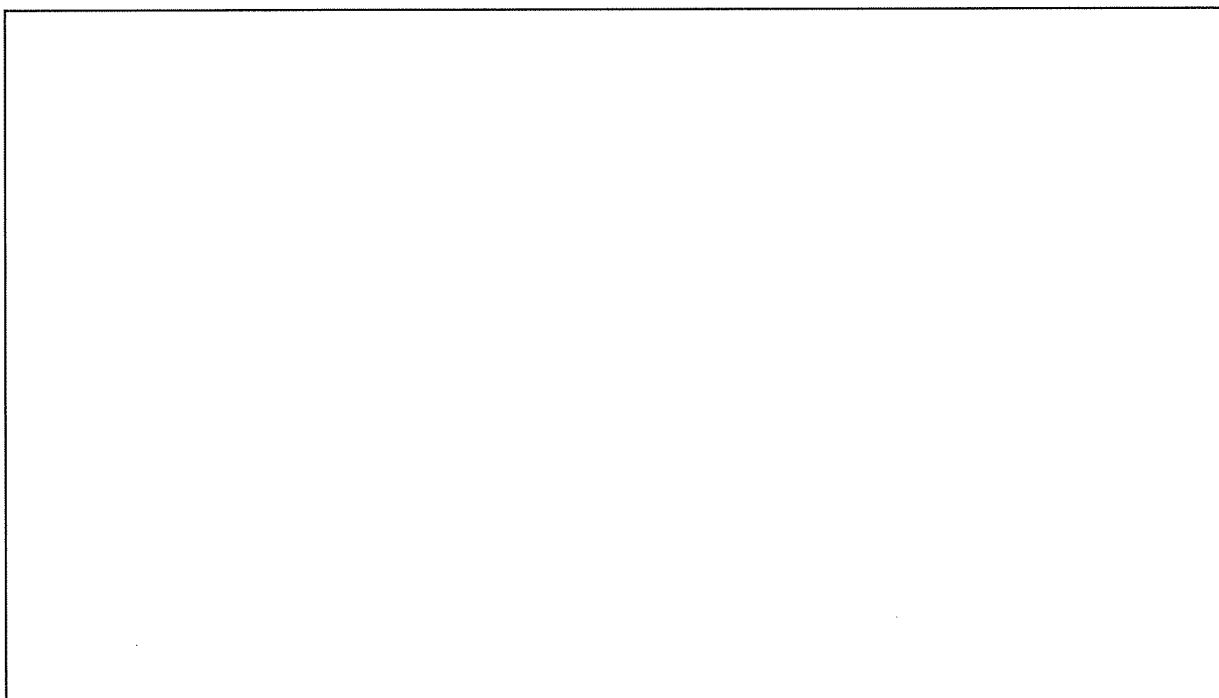
該当設備{5}

蒸発器からのUF<sub>6</sub>の漏えいを防止するために設置するインターロックの概要を添設図6-8図に示す。

UF<sub>6</sub>シリンダを収納する蒸発器から発生するドレン水を廃液処理設備(1)へ排水するラインには、UF<sub>6</sub>の漏えいを検知する検知器を設置し、これが検知時は自動的にドレン排出弁を閉止し、蒸発器の加熱も停止するインターロックを設置する。

このインターロックは検出端、作動端の不作動、回路の異常を想定して独立二系統（検出端、回路、作動端とも2系統）で設置する。

設置するインターロックの設定値に対して守るべき値とそれに対する設定値は添付説明書一設6付録6に示すとおりである。



添説設 6-8 図 蒸発器内の UF<sub>6</sub> 漏えい検知の概要

上述のとおり、蒸発器内で UF<sub>6</sub> の漏えいが発生した場合は、その UF<sub>6</sub> 圧力は最大でも 0.40MPa であり、蒸発器の設計確認圧力が 0.49MPa であることから、漏えいした UF<sub>6</sub> は蒸発器内での閉じ込めを期待できる。

一方、蒸発器内で UF<sub>6</sub> の漏えいが発生した場合、漏えいした UF<sub>6</sub> は蒸発器からのドレン水に混じって蒸発器外へ排出することとなるが、ドレン水配管にはドレン水中の UF<sub>6</sub> 漏えいを検知するインターロック（電導度）を設置しており、これが 250 μS/cm という少量のウラン含有で検知し、蒸発器外へのドレン水排出を停止する。また、これとともに蒸発器の加熱を速やかに停止することから漏えいした UF<sub>6</sub> は蒸発器内に留まり、蒸発器外へ漏えいする恐れはない。

<p>UF<sub>6</sub>漏えいの拡大防止のため、フードボックス内に UF<sub>6</sub>漏えい検知設備を設置し、漏えい検知時に自動的に UF<sub>6</sub>の供給を停止するとともに、UF<sub>6</sub>シリンダの加熱を停止する設計とする。また、影響緩和のため、UF<sub>6</sub>の漏えい検知に伴い局所排気系統を切替え、ガス溜めバッファ機能を有するフードボックスを経由して、排気中の UF<sub>6</sub>をスクラバにより処理を行うインターロック機構を設置する設計とする。なお、ガス溜めバッファ部はインターロックが作動するまでの時間に漏えいする UF<sub>6</sub>ガスを貯留できる容量を持つ設計とする。</p> <p>UF<sub>6</sub>シリンダ以外の UF<sub>6</sub>ガスを取り扱う設備・機器は、閉じ込めに関し事故の拡大防止機能を有する 2 次バウンダリであるフードボックス内に設置する設計とする。フードボックスは負圧維持のため局所排気系に接続するとともに排気系統には UF<sub>6</sub>の漏えい検知設備を設置し、漏えいの検知時に自動的に警報を発生し、UF<sub>6</sub>の供給を停止するとともに、加熱を停止するインターロック機構を設置する設計とする。さらに、建物外への UF<sub>6</sub>の漏えいによる影響を緩和するため、UF<sub>6</sub>の漏えい検知に伴い排気系統を切替え、フードボックス内のガス溜めバッファを経由して、排気中の UF<sub>6</sub>をスクラバにより処理してから二段の高性能エアフィルタ（後段は耐 HF 性）を通して排出する設計とする。なお、ガス溜めバッファはインターロックが作動するまでの時間に漏えいする UF<sub>6</sub>ガスを貯留できる容量を持つ設計とする。（4-7）</p>
<p>蒸発器又はフードボックスからの室内への漏えいの拡大防止及び影響緩和のため、UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器を UF<sub>6</sub>に対して耐食性がある材料を用いた防護カバーで覆うとともに、カバー内部及び原料倉庫室内に警報音発報機能及びバッテリーを備えた UF<sub>6</sub>漏えい警報設備を設置する設計とする。</p> <p>UF<sub>6</sub>ガスの閉じ込め性を強化するために、2 次バウンダリである蒸発器、フードボックスの外側に 3 次バウンダリとしての防護カバーを設け、防護カバーの内側及び外側に UF<sub>6</sub>の漏えい検知設備を設ける設計とする。（4-8）</p>
<p>第 1 種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空気中へ飛散するおそれがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空気中への飛散を防止する設計とする。（4-23）</p>
<p>UF<sub>6</sub>の漏えいに対しては、スクラバによる処理を行い、二段の高性能エアフィルタ（後段は耐 HF 性）を通して排出する設計とする。（4-30）</p>
<p>インターロック機構は、損傷時の影響度に応じて、多重性又は多様性、耐震性による高い信頼性を確保する設計とする。</p> <p>UF<sub>6</sub>漏えい検知、地震検知により動作するインターロック機構については、独立二系統とし、水素ガス漏えい検知により動作するインターロック機構については、複数の検出端を設置する設計とする。（14-7）</p>
<p>UF<sub>6</sub>の漏えいの検知に伴う遮断弁の閉止までの 40 秒間の漏えいとした。</p> <p>漏えい検知してから遮断弁閉止までの 40 秒間の漏えいを仮定</p> <p>(15-1)</p>

(次ページに続く)

(前ページの続き)

HF を含む気体廃棄物が高性能エアフィルタの性能に影響を与える事故時にはスクラバにより処理してから2段の高性能エアフィルタ（後段は耐HF性）により処理して排出する設計とする。(17-6)

気体廃棄物の廃棄設備は、第1種管理区域で発生する気体廃棄物を処理することが十分に可能な能力を有するものとする。(17-13)

それら\*による情報把握ができなかった場合に備えて、事故の状況を推定するために有効な情報把握ができるよう原料倉庫内のUF<sub>6</sub>漏えい検知設備による監視を成型工場一時退避場所及び転換工場の外においても可能とする。(22-2)

(※) 転換工場の監視設備や放射線業務従事者（実施組織に所属）の巡視点検により事故事象の状況を常に把握する。(人的対応)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的、インターロック及び警報で守るべき事象を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において該当する機器はUF<sub>6</sub>を取り扱う機器や配管を収納するフードボックスである。UF<sub>6</sub>を取り扱う機器や配管を収納するフードボックス、その排気系統との配置概要を添説設6-9図に示す。また、UF<sub>6</sub>の漏えい事象を検知するインターロックの概要を添説設6-10図に示す。

なお、以下の丸囲み数値は添説設6-9、10図中の該当部を示す。また、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器（1次バウンダリ）が損傷した場合、UF<sub>6</sub>は設備・機器（1次バウンダリ）外へ漏えいする。この事故事象拡大防止・影響緩和を図るため、UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器には2次バウンダリ機能を有する設備・機器を設置する。

この対応としてUF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器には、以下を考慮した設計とする。

- [10.1-設15]UF<sub>6</sub>を取り扱う設備・機器はフードボックス内に設置する。
- [10.1-設3]開口部は風速0.5m/秒以上を維持する。
- [10.1-設4]排気は局所排気系統に接続する。

該当設備{8}

- ① UF<sub>6</sub>シリンダ以外のUF<sub>6</sub>を取り扱う機器及び配管（添説設6-9図中の青色部）はUF<sub>6</sub>漏えい時の拡大を防止するため、局所排気系統に接続したフードボックス（添説設6-9図中の紫色太2点鎖線部）内に設置し、その開口部は風速0.5m/秒以上に維持する。

- [10.1-設16]UF<sub>6</sub>の漏えい拡大遅延用ガス溜めバッファを設置する。（排気ファンは次回以降申請）

該当設備{8}

② ガス溜めバッファ部は、フードボックス排気風量とインターロックの動作時間を考慮し、フードボックスの排気先を切り替えるインターロックが作動するまでの間に漏えいするUF<sub>6</sub>を含む排気を貯留できる容量\*とする。(添説設 6-9 図中の水色太 2 点鎖線部)

\* ガス溜めバッファ容量及び選定材料の考え方：

フードボックス排気風量 (60m<sup>3</sup>/min)、UF<sub>6</sub>漏えい検知 (HF 検知) からフードボックス排気経路の切替までの作動時間 (40 秒) を考慮して、フードボックス内のガス溜めバッファ容量は□m<sup>3</sup>に設定する。また、漏えいしたUF<sub>6</sub>と空気中の水分との反応による到達温度 (85°C) を考慮して、ガス溜めバッファ部は□ライニングとする。UF<sub>6</sub>フードボックスについても同様に考慮して□、□とする。

なお、フードボックス排気風量 (60m<sup>3</sup>/min) を確保する排気ファンは、気体廃棄設備(1)として次回以降申請する。

なお、UF<sub>6</sub>フードボックスは蒸発器(1)からのUF<sub>6</sub>配管、コールドトラップ(1)、コールドトラップ(小)(1)、循環貯槽(1)を収納する部分と堰部、蒸発器(2)からのUF<sub>6</sub>配管、コールドトラップ(2)、コールドトラップ(小)(2)、循環貯槽(2)を収納する部分と堰部、これにガス溜めバッファ部を合わせた構成の機器を1基のUF<sub>6</sub>フードボックスとして設計する。これは堰(循環貯槽)についても同様(堰部2部分を合わせて1基の堰とする)である。

➤ [10.1-設 17][20.1-設 76]UF<sub>6</sub>の漏えいに対して、排気中のUF<sub>6</sub>を処理するスクラバ(循環ポンプと排風機は独立二系統)と高性能エアフィルタ2段(2段目は耐HF性)を局所排気系統に設置する。

該当設備{618、623}

③ UF<sub>6</sub>の漏えいに対してスクラバと高性能エアフィルタ2段(2段目は耐HF性)を有する排気経路を確保して排出する。高性能エアフィルタ2段(2段目は耐HF性)は次回以降申請する(添説設 6-10 図参照)。

スクラバの捕集効率については、添付説明書一設 6 付録 7 に示す。

➤ [20.1-設 75]耐腐食性材料を使用する。

防護カバー、スクラバ(原料倉庫排気系統)のウランと接触する部位はその腐食性を考慮し、主要使用材料は耐腐食性を有する材料を使用する。このため、腐食によりその安全機能が損なわれる恐れはない。

防護カバー、スクラバ(原料倉庫排気系統)の主要使用材料を添説設 6-4 表に示す。

添説設 6-4 表 防護カバー及びスクラバの主要使用材料

施設区分	設備名称	機器名	使用主材料	備考
化学処理施設	UF <sub>6</sub> 蒸発・加水分解設備	防護カバー		{11}
放射性廃棄物の廃棄施設	気体廃棄物の廃棄設備	スクラバ (原料倉庫局所排気系統)		{618}

- ▶ [10.1-設 50][20.1-設 84]排気中の UF<sub>6</sub> を処理するスクラバは非常用ディーゼル発電機に接続する。

該当設備 {618、888}

- ④ 排気中の UF<sub>6</sub> を処理するスクラバは外部電源喪失時にもその機能を維持できるように循環ポンプと排風機（独立二系統）を非常用ディーゼル発電機に接続する。

非常用ディーゼル発電機において、スクラバの循環ポンプ及び排風機起動に必要なとなる電源負荷の確保状況は資料 21 設 非常用電源設備に示す。

なお、気体廃棄設備の高性能エアフィルタ 2 段（2 段目は耐 HF 性）下流側に位置する

排気ファンも外部電源喪失時にその機能を維持できるように非常用ディーゼル発電機から給電する。当該排気ファンは次回以降申請する。

さらに UF<sub>6</sub> を正圧で取り扱う設備・機器は 2 次バウンダリとして、設置する設備・機器の機能が働かなかつた場合を想定して、さらなる事故事象拡大防止・影響緩和を図るため、3 次バウンダリ機能を有する設備・機器を設置する。

この対応として UF<sub>6</sub> を正圧で取り扱う設備・機器には、以下を考慮した設計とする。

- ▶ [10.1-設 18]防護カバーを設置する。

該当設備 {11}

- ⑤ 蒸発器又はフードボックスから室内への漏えいの拡大防止及び影響緩和のため、UF<sub>6</sub> を正圧で取り扱う機器及び配管（添説設 6-9 図中の青色太線部）は、UF<sub>6</sub> に対して耐腐食性がある材料（添説設 6-1 表に示す）を用いた防護カバーで覆う。（添説設 6-9 図中の茶色太 1 点鎖線部）

UF<sub>6</sub> を正圧で取り扱う設備・機器は、2 次バウンダリとして UF<sub>6</sub> フードボックスを設け、その中に設置する。UF<sub>6</sub> フードボックスの排気は気体廃棄設備(1)へ排気する。

UF<sub>6</sub> を正圧で取り扱う設備・機器から、UF<sub>6</sub> が漏えいした場合、漏えいした UF<sub>6</sub> はフードボックス内に拡散し、UF<sub>6</sub> フードボックスの排気の流れに沿って、気体廃棄設備(1)へ拡散する。

したがって、UF<sub>6</sub> フードボックスには事故事象拡大防止・影響緩和を図るため、UF<sub>6</sub> の漏えいを検知する HF 検出器を設置する。この信号をトリガーにして、UF<sub>6</sub> フードボックスからの排気の流れを、直接、気体廃棄設備(1)へ流れるルートからスクラバを介して気体廃棄設備(1)へ流れるルー



トに切り替えることにより、漏えいしたUF<sub>6</sub>をスクラバで回収するとともに、気体廃棄設備(1)へのUF<sub>6</sub>拡散を防止できる。

この対応としてUF<sub>6</sub>フードボックスには以下を考慮した設計とする。

➤ [10.1-設13][18.2-設3]UF<sub>6</sub>漏えい検知インターロック (HF 濃度) を設置する。

➤ [10.1-設44][20.1-設77]UF<sub>6</sub>漏えい時に排気経路を切り替える (独立二系統)。

該当設備 {9、619}

⑥ UF<sub>6</sub>を取り扱う機器や配管を収納するフードボックス内には、HF 検知設備を設置し、UF<sub>6</sub>と空気中の水分が反応して発生する HF を検知 (3ppm 以上) 時には 40 秒以内でUF<sub>6</sub>の供給を停止するとともに、UF<sub>6</sub>シリンダの加熱を停止する。また、フードボックスの排気経路は切替ダンパによりスクラバを経由した排気経路に切り替える。

このインターロックは検出端、作動端の不作動、回路の異常を想定して独立二系統 (検出端、回路、作動端とも 2 系統) で設置する。(添説設 6-10 図中の青色太点線部及び緑色太点線部)

なお、HF 検出器は 1 系列に 2 基 (1.2 系列分で計 4 基) 設置し、1.2 系列の HF 検知器 1 基ずつを 1 ペア (全体としては 2 ペア) として、このペアのいずれかの検知器で HF を検知した場合 (OR 条件) はインターロック動作する (図イ制-6 参照)。

設置するインターロックの設定値に対して守るべき値とそれに対する設定値は添付説明書一設 6 付録 6 に示すとおりである。

UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う設備・機器に設置する 2 次バウンダリ、3 次バウンダリ、室内には、電源喪失状態が発生しても防災組織による事故事象拡大防止・影響緩和が図れるようにUF<sub>6</sub>の漏えい状況をモニタリングできる機能を設置する。

この対応として、UF<sub>6</sub>フードボックス (2 次バウンダリ) 内、防護カバー (3 次バウンダリ) 内、原料倉庫内には以下を考慮した設計とする。

➤ [10.1-設19][18.1-設1]UF<sub>6</sub>漏えい警報設備 (バッテリー付) を設置する。

該当設備 {10、12、13}

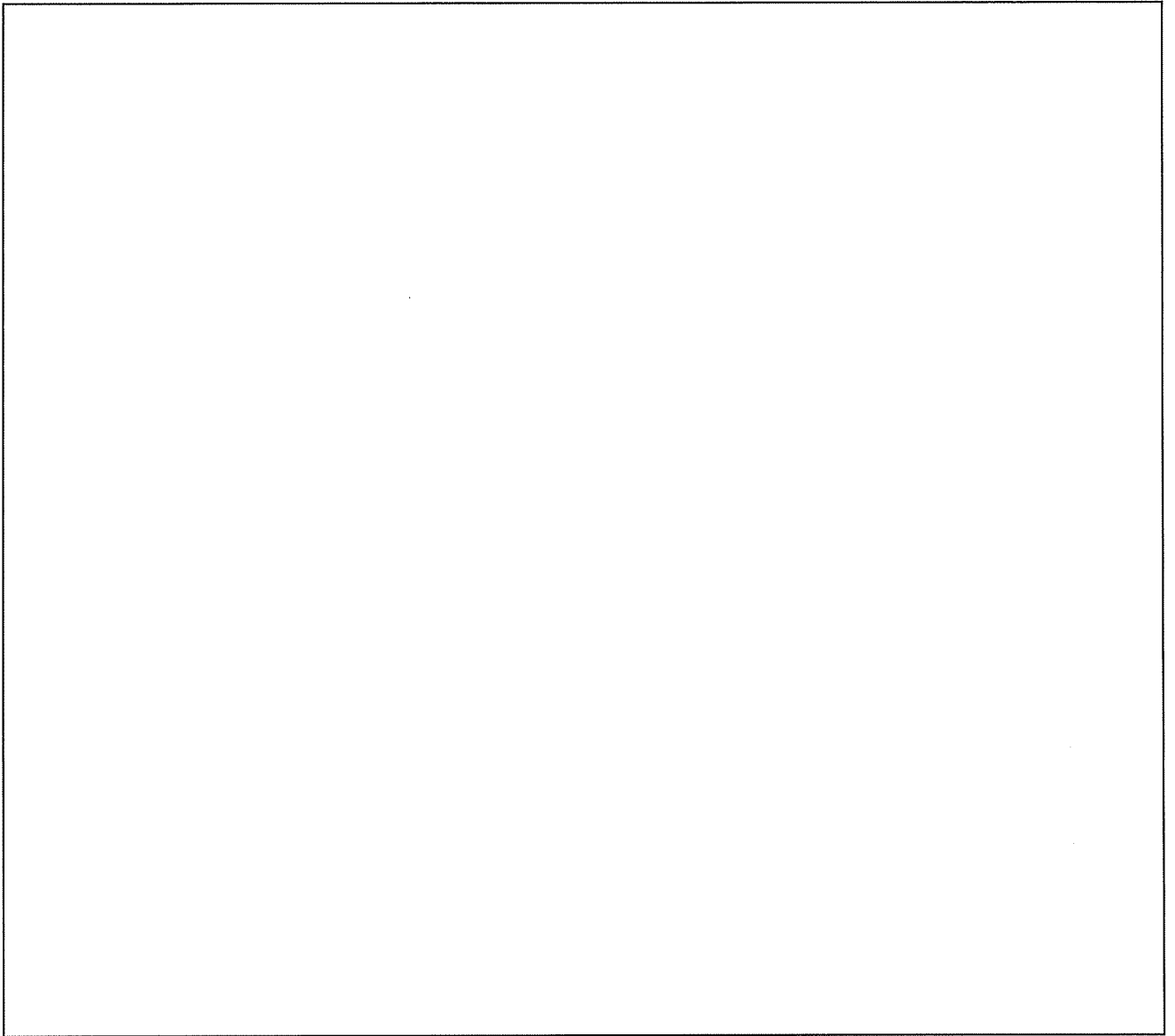
⑦ UF<sub>6</sub>フードボックス内部、防護カバー内部及び原料倉庫室内には警報音発報機能及びバッテリーを備えた HF 検知器を 1 個ずつ設置し、成型工場一時退避場所、転換工場中央制御室及び転換工場の外で監視可能とする。

バッテリーを備えた HF 検知器の設置場所と、表示器の設置場所を添説設 6-11 図に示す。

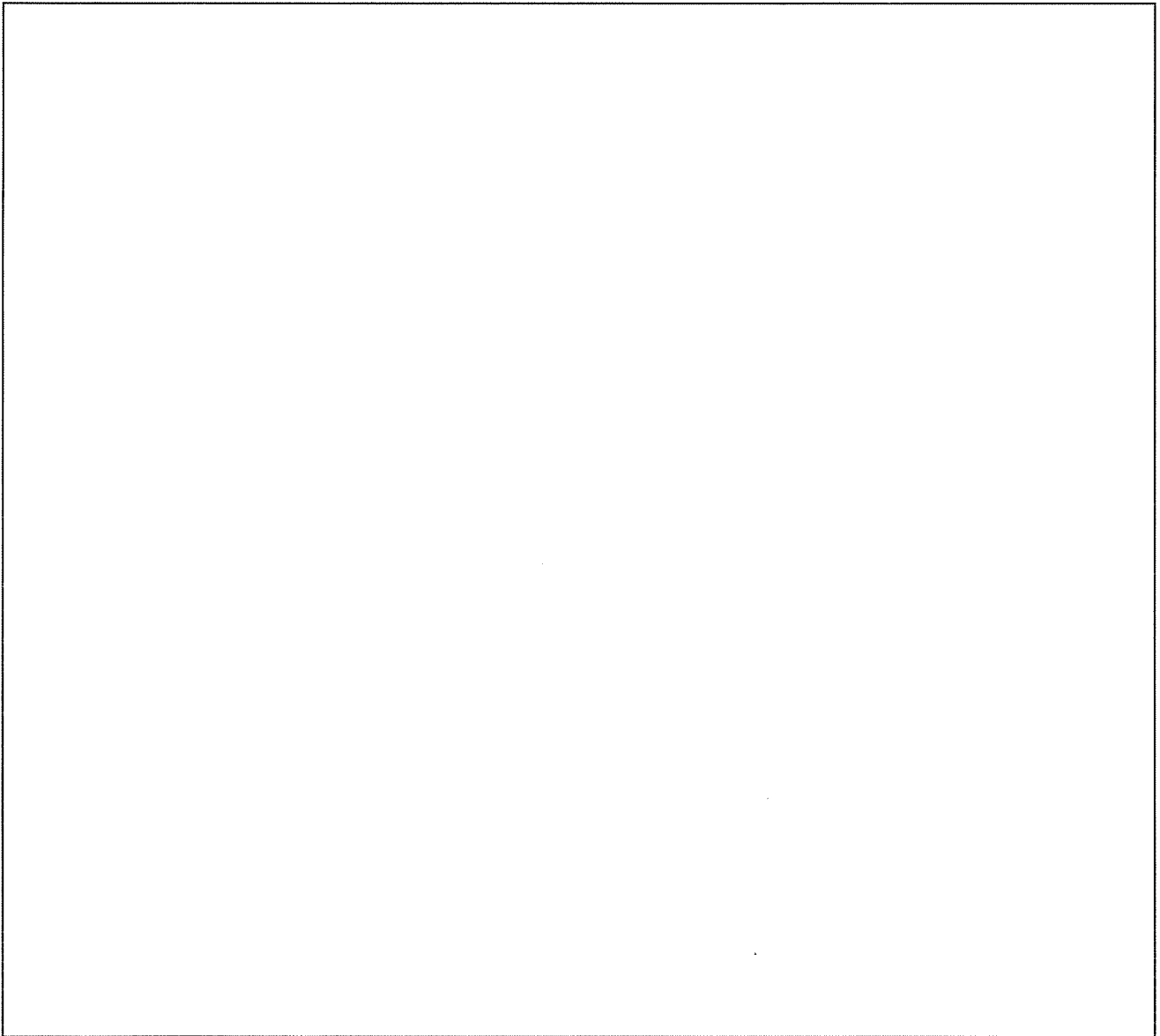
HF 検知器と表示器を添説設 6-12 図に示す。

本検知器は、検知器同士を無線または有線で接続することにより、接続した検知器の測定値を別の検知器で表示する。

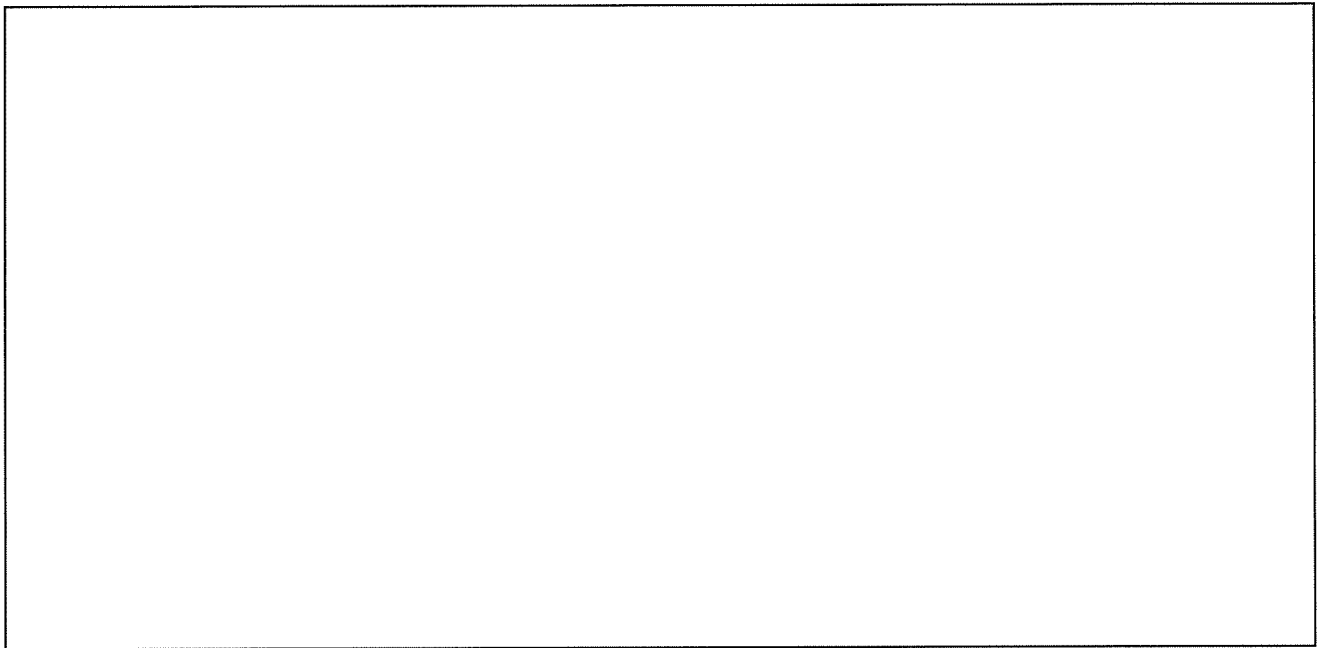
なお、UF<sub>6</sub>漏えい警報設備は速やかにアクションを促す目的から、その設定値はUF<sub>6</sub>漏えいを検知するインターロック (HF 濃度) 同じ値 (3ppm 以上) で設定する。設定値は添付説明書一設 6 付録 6 に示すとおりである。



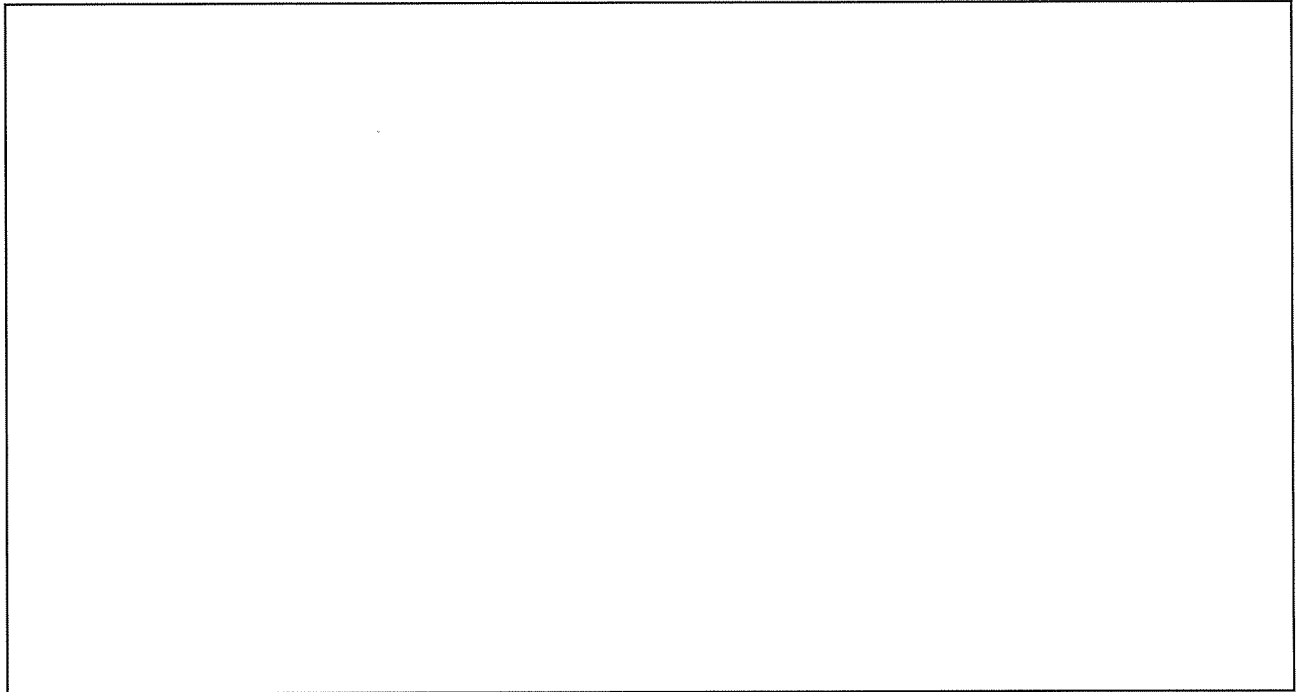
添説設 6-9 図 UF<sub>6</sub>を取り扱う機器や配管とそれを収納するフードボックスとその排気系統概要



添説設 6-10 図 UF<sub>6</sub>漏えいに関連するインターロックと警報の概要



添説設 6-11 図 UF<sub>6</sub>漏えい警報設備検出器、表示器設置場所



添説設 6-12 図 UF<sub>6</sub>漏えい警報設備検出器兼表示器の概要

4. 2. 粉末状のウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条5）

4. 2. 1 通常運転時に対する閉じ込め機能

粉末状のウランを収納する設備・機器は、ウランの飛散のない設計とする。（4-10）

今回の申請機器において、粉末状のウランを収納する機器とその閉じ込め対策を添説設 6-5 表に示す。

なお、表中の丸囲み数字は以下文章中の丸囲み数字に該当する。また、{ } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-5 表 粉末状のウランを収納する機器

施設区分	設備名称	機器名	閉じ込め対策	備考
化学処理 施設	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> ブロータンク(1)	①	{106}
		UO <sub>2</sub> ブロータンク(2)		
	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> フィルタ(1)	①	{107}
		UO <sub>2</sub> フィルタ(2)		
	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> バックアップフィルタ(1)	①	{108}
		UO <sub>2</sub> バックアップフィルタ(2)		
焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> 受けホッパ(1)	①	{110}	
	UO <sub>2</sub> 受けホッパ(2)			
粉砕・充填設備		粉砕機(1)	①	{112}
		粉砕機(2)		{113}
粉砕・充填設備		充填装置(1)	②	{115}
		充填装置(2)		
その他加工設備の 付属施設	分析設備	試料回収ボックス	③	{909}

粉末状のウランを収納する設備・機器は1次バウンダリとして、設備・機器外に粉末状のウランが漏えいしない構造とする。

この対応として、粉末状のウランを収納する設備・機器は以下を考慮した設計とする。

- ①[10.1-設 1]機器本体部（フードボックスを除く）は開口部のない構造とする。  
粉末状のウランを直接取り扱う設備・機器は設備・機器外へ粉末状のウランが飛散しないように設備・機器本体部は開口部のない構造とする。
- ②[10.1-設 51]容器取り出し部は開口部のない構造とする。

粉末状のウランを直接取り扱う設備・機器から大型粉末容器、SUS 容器及び金属容器（粉末）などの容器に粉末を充填する時は、容器の口が機器充填口に密着する構造とする。

➤ ③[10.1-設 36] ウラン粉末を取り扱うフードボックスを設置する。

粉末状のウランを直接取り扱う場合は、設備・機器外へ粉末状のウランが飛散しないように気体廃棄設備に接続するフードボックスを設置する。

今回の申請設備において、安全機能を有する施設の安全機能一覧の閉じ込め機能として、ウランを取り扱う機器は単体でウランの閉じ込めを行うが、粉末を気流輸送する系統についてもその排気に含まれるウランの除去対策を行う。

今回の申請設備において、排気に含まれるウランの除去対策を行う機器を添説設 6-6 表に示す。

なお、表中の丸囲み数字は以下文章中の丸囲み数字に該当する。また、以下の記述の中で、{ } 内に示す数字は事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

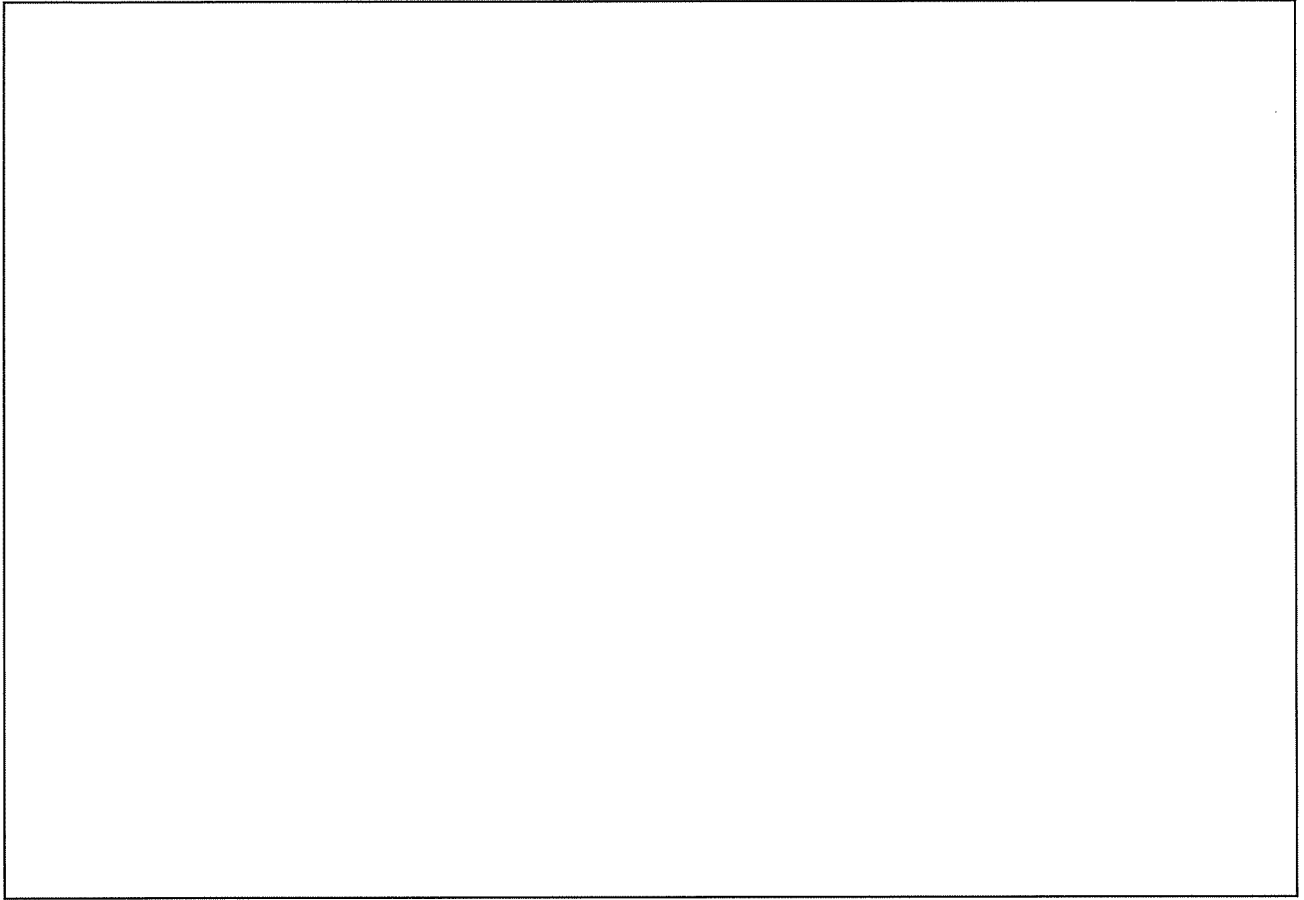
添説設 6-6 表 排気中のウラン除去対策を図る機器

施設区分	設備名称	機器名	閉じ込め対策	添説設 6-13 図該当部	備考
化学処理施設	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> フィルタ (1) UO <sub>2</sub> フィルタ (2)	①	(a)-A	{107}
	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> バックアップフィルタ (1) UO <sub>2</sub> バックアップフィルタ (2)		(a)-B	{108}
	粉碎・充填設備	粉碎機 (1) 粉碎機 (2)	②	(b)-C	{113}

➤ [10.1-設 23] ウラン捕集用フィルタを設置する。

排気中のウラン除去対策は以下の①～③の 2 ケース、下記①～③に関する概要を一例として添説設 6-13 図に示す。

- ① 粉末を気流輸送する系統にはフィルタ（バグフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 (a)A 部）して気流中に含まれるウランを除去する。このフィルタによるウラン捕集バックアップとしてバックアップフィルタ（高性能エアフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 (a)B 部）する。
- ② 粉碎機にはフィルタ（バグフィルタ）を設置（添説設 6-13 図 (b)C 部）して、粉碎機の排気中に含まれるウランを除去する。



添説設6-13図 排気に含まれるウランの除去に関する一例  
(粉末を気流輸送する系統及び粉碎機の排気系統)



非密封のウランを取り扱うフードボックスは、局所排気システムにより、開口部の風速を0.5m/秒以上とするか、その内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧を維持できる設計とする。

第1種管理区域の設備・機器のうち、粉末状のウランを取り扱う混合機、プレス、研削装置等に設けるフード等は、内部を排気することにより開口部の風速を0.5m/秒以上とするか、内部を室内に対して9.8Pa以上の負圧となるように管理する。(4-12)

今回の申請設備において、粉末状のウランを非密封で取り扱うフードボックス、及び粉末状のウランを取り扱う機器に設置するフードボックスと閉じ込め機能としての用途を添説設6-7表に示す。

なお、以下の記述及びに表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-7表 フードボックスの閉じ込め機能用途

施設区分	設備名称	機器名		閉じ込め用途	備考
その他加工設備の附属施設	分析設備	試料回収ボックス		1次 バウンダリ	
化学処理施設	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> ブロータンク(1)	フードボックス (ロータリーキルン(1))	2次 バウンダリ	{96}※
		UO <sub>2</sub> ブロータンク(2)	フードボックス (ロータリーキルン(2))		
	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> フィルタ(1)	フードボックス (UO <sub>2</sub> フィルタ(1))		{109}
		UO <sub>2</sub> フィルタ(2)	フードボックス (UO <sub>2</sub> フィルタ(2))		
	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> 受けホッパ(1)	フードボックス (UO <sub>2</sub> 受けホッパ(1))		{111}
		UO <sub>2</sub> 受けホッパ(2)	フードボックス (UO <sub>2</sub> 受けホッパ(2))		
	粉碎・充填設備	粉碎機(1)	フードボックス(粉碎機(1))		{114}
		粉碎機(2)	フードボックス(粉碎機(2))		
	粉碎・充填設備	充填装置(1)	フードボックス (充填装置(1))		{116}
		充填装置(2)	フードボックス (充填装置(2))		

※ フードボックス(ロータリーキルン(1))、フードボックス(ロータリーキルン(2))は次回以降申請する。

- [10.1-設3] フードボックスの開口部の風速0.5 m/秒以上を維持する。  
粉末状のウランを非密封で取り扱うフードボックスは気体廃棄設備に接続し、フードボックスの使用状態における開口部風速を0.5m/秒以上確保するため、粉末状のウランがフードボックス外に飛散する恐れはない。

第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の設備・機器のうち、ウランが設備・機器から空气中へ飛散するおそれがあるものについては、局所排気系統に接続することによりウランの空气中への飛散を防止する設計とする。(4-23)

今回の申請設備において、第1種管理区域において、ウランを取り扱う工程の機器のうち、ウランが機器から空气中へ飛散する恐れがある機器とそのウラン飛散防止対策を添説設6-8表に示す。

なお、表中の丸囲み数字は以下文章中の丸囲み数字に該当する。また、以下の記述の中で、表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-8表 ウランの空气中への飛散防止を要する機器とその飛散防止対策

施設区分	設備名称	機器名	飛散防止対策	備考
化学処理施設	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> ブロータンク(1)	②	{96}※
		UO <sub>2</sub> ブロータンク(2)		
	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> フィルタ(1)	②	{109}
		UO <sub>2</sub> フィルタ(2)		
	焙焼還元設備	UO <sub>2</sub> 受けホッパ(1) UO <sub>2</sub> 受けホッパ(2)	②	{111}
粉砕・充填設備	粉砕機(1) 粉砕機(2)	②	{114}	
粉砕・充填設備	充填装置(1) 充填装置(2)	②	{116}	
その他加工設備 の附属施設	分析設備	試料回収ボックス	①	{909}

※ 該当するフードボックスであるロータリーキルン(1)、(2) (フードボックス部)は次回以降申請する。

➤ [10.1-設4]排気は局所排気系統に接続する。

- ① 粉末状のウランを非密封で取り扱い、その閉じ込めを開口部風速維持で担保する機器
  - ② 粉末状のウランを取り扱う機器に設置するフードボックス
  - ③ 気流輸送、掃気用ガス供給により排気の発生する機器
- は局所排気に接続するため、空气中へ粉末状のウランが飛散する恐れはない。

#### 4. 2. 2 異常時に対する閉じ込め機能

粉末状のウランを加圧状態で取り扱う設備は、局所排気系に接続したフードボックス又は配管カバー内に収納する設計とする。(4-13)

今回の申請設備において、粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器とその収納部を添説設 6-9 表に示す。また、粉末状のウランを加圧状態で取り扱う設備の概要を添説設 6-14 図に示す。

なお、以下表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-9表 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器とその収納部

施設区分	設備名称	機器名		収納部	備考
化学 処理 施設	焙焼 還元 設備	UO <sub>2</sub> ブロータンク(1)	本体部	フードボックス(ロータリーキルン(1)) 配管カバー	{96}※
		UO <sub>2</sub> ブロータンク(2)	配管部		
			本体部	フードボックス(ロータリーキルン(2)) 配管カバー	
			配管部		
	焙焼 還元 設備	UO <sub>2</sub> フィルタ(1)	本体部	フードボックス(UO <sub>2</sub> フィルタ(1))	{109}
		UO <sub>2</sub> フィルタ(2)	配管部		
焙焼 還元 設備	UO <sub>2</sub> 受けホッパ(1)	本体部	フードボックス(UO <sub>2</sub> 受けホッパ(1))	{111}	
		配管部			
	UO <sub>2</sub> 受けホッパ(2)	本体部	フードボックス(UO <sub>2</sub> 受けホッパ(2))		
		配管部			

※ フードボックス(ロータリーキルン(1))、フードボックス(ロータリーキルン(2))は次回以降申請する。

UO<sub>2</sub>ブロータンク内のウラン粉末はブロワから送り出される加圧窒素気流に乗って、気流輸送し、UO<sub>2</sub>フィルタで固気分離して、ウラン粉末はUO<sub>2</sub>受けホッパに回収する。

加圧状態で取り扱う設備の損傷によるウラン粉末の漏えいを想定して、ウラン粉末を加圧状態で取り扱う範囲(添説設 6-14 図中の青色部)に対しては、以下を考慮した設計とする。

- ① ロータリーキルンとUO<sub>2</sub>ブロータンク間、UO<sub>2</sub>受けホッパと粉砕機間は、気流輸送時に弁閉として加圧窒素雰囲気縁切りする。
- ② UO<sub>2</sub>フィルタ以降の廃気ラインも加圧窒素雰囲気となるが、UO<sub>2</sub>フィルタでウラン粉末を固気分離するため、ウラン粉末は移行しない。
- ③ UO<sub>2</sub>ブロータンクとブロワ間は逆止弁機能により、ウラン粉末はブロワ側へ移行しない。

- [10.1-設 20] 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器は局所排気系統に接続したフードボックス又は配管カバー内に設置する。

粉末状のウランを加圧状態で取り扱う機器（添説設 6-14 図中の青色部）は局所排気に接続したフードボックス（添説設 6-14 図中の緑色 2 点鎖線 A 部）に収納し、これらの機器を接続する配管も局所排気に接続したフードボックスを経由して局所排気に接続するカバー（添説設 6-14 図中の緑色 2 点鎖線 B 部）に収納する。



添説設6-14図 粉末状のウランを加圧状態で取り扱う系統概要

4. 3. 液体状のウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条1、7）

4. 3. 1 通常運転時に対する閉じ込め機能

液体状のウラン及び液体廃棄物を収納する設備・機器は、閉じ込めに関し、異常の発生防止機能を有する1次バウンダリとしてウランの漏えいを防止するため、収納するウランの形態に応じて耐食性を有する材料を用いる設計とする。また、接液部は必要に応じてライニング等により腐食による漏えいを防止する設計とする。さらに、運転条件において漏えいのない設計とする。（4-15）

今回の申請設備において、液体状のウランを収納する機器で漏えいのない構造を考慮する機器と接液部の使用主材料を添説設6-10表に示す。

なお、表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設6-10表 液体状のウラン及び液体廃棄物を収納する機器と接液部の使用材質（1/3）

施設区分	設備名称	機器名		漏えいのない構造	接液部使用主材料	備考
化学 処理 施設	UF <sub>6</sub> 蒸発・ 加水分解 設備	循環貯槽(1)	循環貯槽内面	○		{22}
		循環貯槽(2)	加水分解装置内面			{21}
			ポンプ内面			{22}
			配管(UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 溶液配管)内面			
		熱交換器 (循環貯槽)(1)	熱交換器内面	○		{28}
熱交換器 (循環貯槽)(2)						
その 他加 工設 備の 附属 施設	分析設備	廃水タンク	タンク内面	○		{907}
			配管			

液体状のウランを収納する設備・機器は1次バウンダリとして、設備・機器外に液体状のウランが漏えいしない構造とする。

この対応として、液体状のウランを収納する設備・機器は以下を考慮した設計とする。

▶ [10.1-設1] 液体を内包する部位は漏えいのない構造とする。

添説設 6-14 表に示す機器のうち、作業時に常時、液体状のウラン及び放射性液体廃棄物を内包する機器は室内への漏えいを防止するため、液体を内包する部位の構造は液体を保持して漏えいを起こさない構造とする。

➤ [10.1-設 8]耐腐食性材料を使用する。

添説設 6-14 表に示す機器は、液体状のウラン及び放射性液体廃棄物の漏えいを防止するため、接液部は収納するウランの形態に対して耐腐食性を有する材料を主材料として用いるため、腐食によりウランが漏えいする恐れはない。

液体状のウラン及び液体廃棄物の貯槽で上部に開口部がある場合、オーバーフローによる漏えいを防止するため、それらの貯槽に液位計を設置し、液位異常を運転員に知らせる警報設備を設置する設計とし、液体状のウランの貯槽には液位異常の検知に連動し、給液を自動的に停止するインターロック機構を設置する設計とする。(4-16)

今回の申請設備に関わるインターロック及び警報の設置目的、インターロック及び警報で守るべき事象を添付説明書一設6付録1に示す。添付説明書一設6付録1には検出端、作動端、制御部の耐震重要度分類についても示す。

今回の申請設備において、液体状のウランの貯槽で上部に開口部があり、オーバーフローによる漏えいをインターロックにより防止する機器は循環貯槽(1)(2)である。また、循環貯槽(1)(2)の高さと液位計検出位置との関係、オーバーフローを防止するために設置するインターロック動作の概要を添説設6-15図に示す。

なお、以下の記述及び表中で{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

液体状のウランを槽間で液移送を行う場合、液送り元の槽から送り先の槽へはポンプによる液移送を行う。

液体状のウランを取り扱う貯槽で上部に開口部がある場合は、オーバーフローによる漏えいを防止するため、送り先の槽において、オーバーフローを引き起こしそうな液位を検知した場合は、送り先槽への液流入を停止する機能を設置する。

この対応として、液体状のウラン送液を行う槽間には以下を考慮した設計とする。

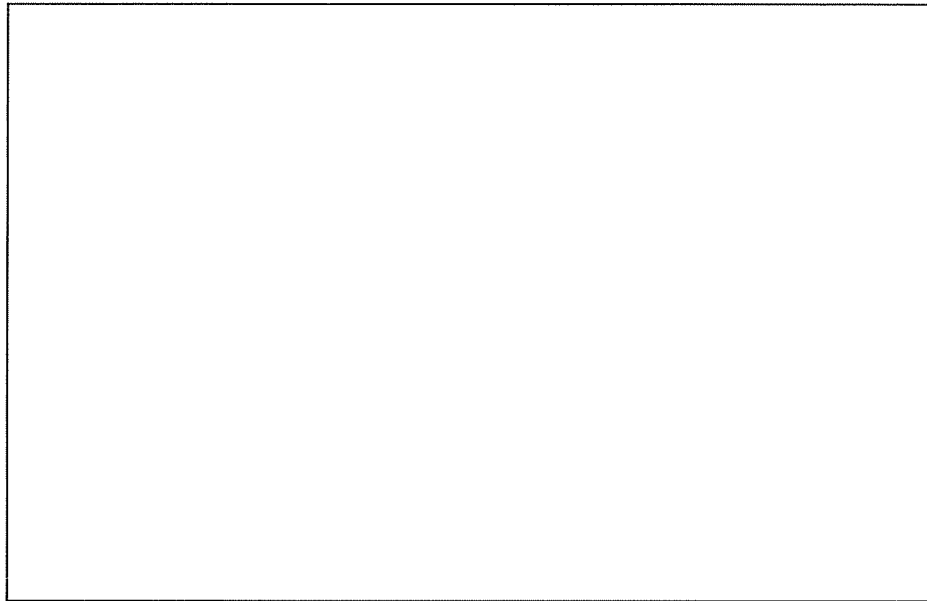
- ▶ [10.1-設21][18.2-設10]オーバーフローを防止するため、液位高インターロック(液位)を設置する。

液体状のウランを取り扱う貯槽で上部に開口部がある場合は、オーバーフローによる漏えいを防止するため、液位計を設置する。検出端は槽内液位が槽高さを超えないように槽上面に対して設置し、検知した場合、連動して送り先槽への給液を停止するインターロックを設置する。具体的には循環貯槽の場合、液受槽から循環ポンプにより循環貯槽へ送液している(添説設6-15図)。循環貯槽にはオーバーフロー防止用の液位計を槽上面から約50mmの位置に設置し、これが検知した場合、循環ポンプを自動停止する(添説設6-15図青線部)。

これにより循環貯槽において液体状のウランが漏えいする恐れはない。

設置するインターロックの設定値に対して守るべき値とそれに対する設定値は添付説明書一設6付録4に示すとおりである。





添説設 6-15 図 液位高インターロック検出端設置位置とインターロック動作の概要

また、放射性液体廃棄物の貯槽で上部に開口部があり、オーバーフローによる漏えいを防止する機器は不純物分析設備の廃水タンクがある。

なお、以下の記述で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

不純物分析設備 廃水タンク

該当設備 {907}

▶ 液位を監視する。（保安規定）

放射性液体廃棄物を貯留する廃水タンクの液位は操作中、作業員がオーバーフローする恐れのない液位<sup>\*1</sup>に維持されていることを確認することによりオーバーフローによる漏えいを防止するため、放射性液体廃棄物が漏えいする恐れはない。

また、休業時は操業しないことから、放射性液体廃棄物が廃水タンクから漏えいする恐れはない。

廃水タンクの液位点検については保安規定で規定する。

\*1 オーバーフローの恐れのない液位として廃水タンク上部から液面までの距離（空き容積）約 120mm（容積約 94L）とする。これは廃水口から廃水タンクまでの配管中の残留液約 47L の 2 倍相当を考慮したものである。

UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液を取り扱う設備・機器は、漏えい時に UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液が飛散して運転員へ被液しないようにするとともに、漏えいした UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液から揮発する HF の拡散を緩和するため、飛散防止カバーを設置するとともに、局所排気系統へ接続する設計とする。(4-19)

今回の申請設備において、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液を取り扱う機器とその被液及び拡散緩和対策を添説設 6-11 表に示す。

なお、以下の記述及び表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-11 表 UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液を取り扱う機器に設置する飛散防止カバー

施設区分	設備名称	機器名		被液及び拡散緩和対策	備考
化学処理施設	UF <sub>6</sub> ・蒸発加水分解設備	循環貯槽(1)	貯槽本体	UF <sub>6</sub> フードボックス (配管養生部を含む)	{22}
		循環貯槽(2)	送液ポンプ		
			UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 溶液配管		
			加水分解装置(エジェクタ)		
		熱交換器(循環貯槽)(1)	熱交換器(循環貯槽)(2)		保温カバー

- [10.1-設 22]UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液を取り扱う設備・機器は UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 飛散防止カバーを設置する。
- [10.1-設 22]保温カバーにより UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液の飛散を防止する。
- [10.1-設 4]排気は局所排気系統に接続する。

該当設備 {11}

UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液が漏えい時に飛散して運転員が被液しないようにするとともに、漏えいした UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液から揮発する HF の拡散を緩和するため、局所排気系統へ接続する UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 飛散防止カバーを設置する。

今回の申請範囲において、

▶ 循環貯槽(1)、(2)、加水分解装置(エジェクタ)(1)、(2)及びその配管系統は、UF<sub>6</sub>フードボックス及び UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液配管カバー内に収納(共用)するとともに、UF<sub>6</sub>フードボックス及び UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液配管カバーは局所排気系統へ接続する。

▶ 熱交換器(循環貯槽)の1次バウンダリ部(熱交換器本体、ウラン溶液閉じ込め部)をカバーする保温カバーに UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 飛散防止カバーの機能を持たせる。

1次バウンダリを喪失したとしても、容易に UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液が室内へ漏えい、拡散することはない構造とすることから、事業許可の方針に変更はない。

ことにより、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液が漏えい時に飛散して運転員が被液しないようにするとともに、漏えいした UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液から揮発する HF の拡散を緩和する。

#### 4. 3. 2 異常時に対する閉じ込め機能

液体状の放射性物質を取り扱う施設では、当該放射性物質が施設外へ漏えいするおそれがある場合には、想定される漏えい量を考慮し、施設外への漏えいを防止するための堰又は段差を設け、漏えいを検知するために堰漏水検知警報設備を設けることとする。(4-17)

今回の申請設備において、液体状の放射性物質を取り扱う機器とその漏えいに備えて設置する堰との関係を添説設 6-12 表と添説設 6-13 表に示す。

溢水源として考慮する対象機器は耐震重要度分類第 2 類、第 3 類機器の破損により生じる溢水を想定する（事業許可 p（添 5）-89 参照）。

今回申請する設備では液体状の放射性物質を取り扱う機器のうち、気体廃棄設備（1）のスクラバ（原料倉庫局所排気系統）と耐震重要度分類第 3 類となる不純物分析設備の廃水タンクの破損を施設外への漏えい防止の対象とする。

一方、液体状の放射性物質を取り扱い、耐震重要度分類第 1 類で設計する UF<sub>6</sub> 蒸発・加水分解設備の循環貯槽(1)(2)や熱交換器（循環貯槽）(1)(2)は、事故や誤操作による液体状の放射性物質の漏えい拡大防止の観点から堰と漏水検知器を設置する。

添説設 6-12 表 ウラン溶液を取り扱う機器に対して設置する堰

施設区分	機器名	カバーエリア		堰高さ (制限値)	備考
		カバー機器	耐震 重要度 分類		
化学 処理 施設	堰（循環貯槽）	循環貯槽(1) 循環貯槽(2)	第1類	12.7cm以下	{24}
	堰 (UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽) (1)※	熱交換器（循環貯槽）(1)	第1類	12.7cm以下	{32}
		UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽(1)-A※	第1類		
		UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽(1)-B※			
		UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽(1)-C※			
		液受槽(1)※	第1類		
		調液貯槽(1)-A※ 調液貯槽(1)-B※	第1類		
		熱交換器（UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽）(1)※	第1類		
	堰 (UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽) (2)※	熱交換器（循環貯槽）(2)	第1類	12.7cm以下	
		UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽(2)-A※	第1類		
		UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽(2)-B※			
		UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽(2)-C※			
		液受槽(2)※	第1類		
		調液貯槽(2)-A※ 調液貯槽(2)-B※	第1類		
熱交換器（UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽）(2)※		第1類			

※次回以降申請

添説設 6-13 表 内部溢水止水用の堰により漏えい拡大を防止する機器

施設区分	機器名	カバー機器	耐震 重要度 分類	備考
放射性廃棄物の 廃棄施設	堰(内部溢水止水用)	スクラバ（原料倉庫局所排気系統）	第2類	{834}
その他加工施設	堰(内部溢水止水用)	廃水タンク	第3類	{853}

添説設 6-12 表に示す機器はウラン溶液が施設外への漏えいするのを防止するため、堰を設置する。設置する堰の概要を添説設 6-18 図に示す。

以下の記述の中及び表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [10.1-設 28]漏えい拡大防止用の堰（堰漏水検知警報設備付き）を設置する。

➤ [18.1-設 4]堰には漏水検知器を設置する。

添説設 6-19 表に示すウラン溶液を取り扱う機器における漏えいに対して、漏えい拡大防止の点から堰を設置する。

設置する堰の高さは、

① 取り扱うウラン溶液の種類に応じて設定する核的制限値（厚み）以下（添説設 6-18 図青色部）

② 堰の必要面積は漏えい拡大防止を図るエリア内にあるウラン溶液を内包する全機器の有効容量（有効容量とは、通常時の操業中に保有しうる最大液量）分の漏えいを上記①の高さ制限下で順守できる面積

で設定する。

また、堰には漏えいを検知するために漏水検知器を設置する。

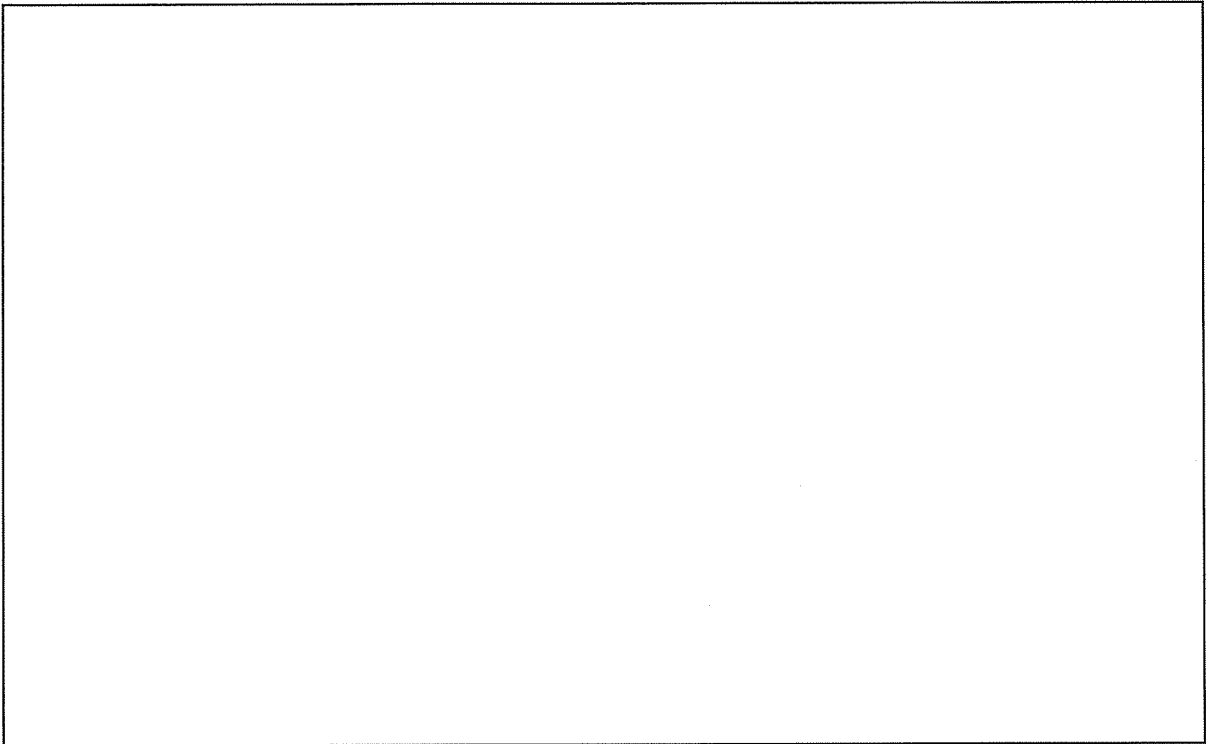
堰の必要容量の必要数値設定に関わる詳細については、添付説明書一設 6 付録 8 に示す。

漏水検知器の設置高さは、堰高さよりも低い位置で、堰内の清掃水や自然発生する結露水（約 20mm の液高さを想定）などにより誤動作するのを防止し、一方で漏えいを早期に検知することから床面より約 50mm の位置に検出端を設定する。

なお、熱交換器（循環貯槽）における液体状の放射性物質漏えいをカバーする堰と漏水検知器は次回以降申請である。

➤ [10.1-設 8]耐腐食性材料を使用する。

添説設 6-12 表に示す機器は、液体状のウランの漏えいを防止するため、接液部は収納するウランの形態に対して耐酸性を持つ塗料を主材料に塗布するため、腐食によりウランが漏えいする恐れはない。



添説設 6-18 図 施設外への漏えいを防止するために設置する堰の概要

添説設 6-13 表に示す機器は放射性液体廃棄物が施設外への漏えいするのを防止するため、堰を設置する。

以下の記述の中及び表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [7.1-建 5(4次)]第1種管理区域から第2種管理区域または非管理区域への溢水の漏えいを防止するため、工場棟転換工場の1階、及び付属建物除染室・分析室には高さ160mm以上の緊急対策設備(3)(堰(内部溢水止水用))を設置する({852}{834}堰(内部溢水止水用)は原規規発第2003279号で認可済)。

➤ [13.1-建 1(4次)]液体状の放射性物質を収納する機器には、施設外への漏えいを防止するための堰に漏水検知警報設備(次回以降申請)を設置する。(三原燃第19-0801号の13.1-建 1参照)  
該当設備{618、907}

気体廃棄設備(1)のスクラバ(原料倉庫局所排気系統)及び不純物分析設備の廃水タンクにおける漏えいに対しては、転換工場及び付属建物に設置する堰(内部溢水止水用、{834}及び{852})と漏水検知器({835}及び{853})と共用する。

気体廃棄設備(1)のスクラバ(原料倉庫局所排気系統)及び不純物分析設備の廃水タンク溢水量としての詳細は三原燃第19-0801号の添付説明書一建 6に示す。

具体的には添付説明書一建 6付録 1で気体廃棄設備(1)のスクラバ(原料倉庫局所排気系統)からの溢水量は溢水防護区画 1の設備・機器からの漏えい量 4m<sup>3</sup>の一部(スクラバ(容量 1.9m<sup>3</sup>)が 2基として)、不純物分析設備の廃水タンクからの溢水量は溢水防護区画 2の設備・機器からの漏えい量 2.2m<sup>3</sup>の一部(その他ポンプ小容量の設備として)でその溢水量を見込んで評価している。

なお、堰に設置する漏水検知器は次回以降申請する。

第1種管理区域から第2種管理区域又は非管理区域への溢水の漏えいを防止する設計とする。

第1種管理区域の境界から外部へ溢水が流入出しない設計とする。(11-2)

- ▶ [7.1-建5(4次)]原料倉庫外への溢水の拡大防止のため、堰を設置する。  
スクラバからの溢水は、建物に設置された堰により原料倉庫内に閉じ込める。  
スクラバ及び堰の配置は図ト配-1に記載する。堰については原規規発第2003279号で認可済であり、漏水検知警報設備は、次回以降申請する。



4. 4. ウランを限定された区域に閉じ込める機能（第十条全般）

気体又は液体の放射性物質を内包する設備・機器については逆止弁、液封等を設け、放射性物質を内包しない設備・機器への逆流による拡散を防止する設計とする。また、換気設備においても同様とする。（4-22）

今回の申請設備において、気体又は液体の放射性物質、放射性液体廃棄物を内包する機器と逆流拡散防止方法を添説設 6-14 表に示す。また、UF<sub>6</sub>蒸発・加水分解設備における気体の放射性物質を内包する設備・機器に供給する非放射性気体への逆流防止対策を添説設 6-19 図に示す。

なお、以降の記述並びに表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

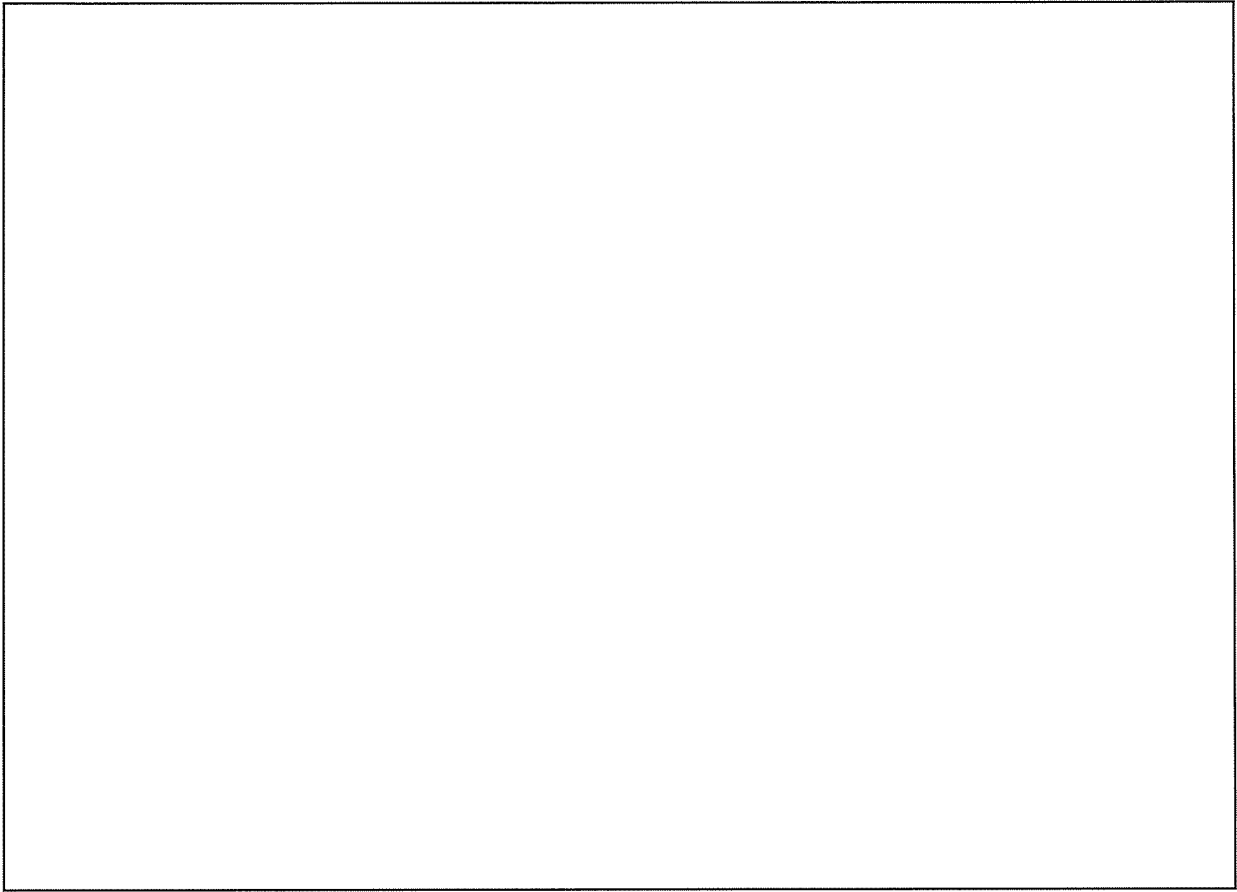
添説設 6-14 表 放射性物質を内包しない機器への逆流拡散を防止する機器

施設区分	設備名称	機器名		供給流体	用途	逆流拡散防止方法	備考
化学処理施設	UF <sub>6</sub> 蒸発・加水分解設備	蒸発器(1)-A	窒素配管系統	窒素	▶ UF <sub>6</sub> 通気前のUF <sub>6</sub> 配管内漏えい確認用 ▶ UF <sub>6</sub> 通気終了後の配管内掃気用	逆止弁①	{1}
		蒸発器(1)-B					
		蒸発器(2)-A					
蒸発器(2)-B							
	UF <sub>6</sub> 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(1)	窒素配管系統	窒素		逆止弁②	{14}
	UF <sub>6</sub> 蒸発・加水分解設備	コールドトラップ(小)(1)	窒素配管系統	窒素			{17}
		コールドトラップ(小)(2)					

▶ [10.1-設38] 気体ウランの逆流を防止するため、窒素配管に逆止弁を設置する。

UF<sub>6</sub>蒸発・加水分解設備ではUF<sub>6</sub>配管にUF<sub>6</sub>を通気する前に漏えい確認を目的に窒素パージを行う。また、UF<sub>6</sub>の通気完了後にUF<sub>6</sub>配管内に残留している可能性のあるUF<sub>6</sub>の掃気を目的に窒素パージを行う。

UF<sub>6</sub>配管と窒素配管は直接接続する構造である。運転上、UF<sub>6</sub>と窒素を同時に供給することはないが、窒素配管には逆止弁を設置し、UF<sub>6</sub>供給中（窒素供給は停止中）の逆流による窒素配管への拡散を防止する（添説設6-19図青色部参照）。



添説設 6-19 図 UF<sub>6</sub>蒸発・加水分解設備における非放射性気体又への逆流防止対策

容器等の落下を防止する設計 (4-32)

今回の申請範囲で対象となる機器とその落下防止対策（容器・サンプルの保持含む）を添説設 6-15 表に示す。また、落下防止設計の考え方を添付説明書-設 6-1 に示す。

なお、表中で { } 内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

添説設 6-15 表 落下防止（容器・サンプルの保持）対策を図る機器とその対策方法

施設区分	設備名称	機器名	保持（落下防止）対策方法	備考
その他 加工設備の 付属施設	同位体分析設備	表面電離型質量分析装置(1)	本体内に収納する。	{906}
		表面電離型質量分析装置(2)		
	不純物分析設備	固体発光分光分析装置	サンプルを保持する。	{907}
		ICP 質量分析装置		
		ICP 発光分光分析装置		
		自動水分分析装置		
		炭素・硫黄同時分析装置		
		自動ハロゲン分析装置		
		α線スペクトル分析装置		
	物性測定設備	比表面積測定装置		{908}
嵩密度測定装置				
平均粒径測定装置				
サンプル保管庫				
放射性廃棄物の廃棄施設	保管廃棄設備	ドラム缶ウラン量測定装置	ドラム缶ガイド	{826}

➤ [10.1-設 5]核燃料物質の落下を防止する。

該当設備 {906、907、908}

ウラン分析を行う分析装置はサンプルを本体内に収納する構造、サンプルを保持できる構造であることから、分析中にサンプルが落下する恐れはない。また、物性測定設備のサンプル保管庫もサンプルを保持できる構造であることから、サンプル保管中にサンプルがサンプル保管庫外に落下する恐れはない。

なお、分析装置の外力（地震力）に対するサンプル保持の健全性（サンプルが床に落ちない）は人の管理により行う。また、人による作業となる分析サンプルの前処理、後処理に関わる作業に対するサンプル保持の健全性（サンプルが床に落ちない）も人の管理により行う。

人の管理によるサンプルの保持については保安規定で規定する。

該当設備 {826}

ドラム缶ウラン量測定装置では固体廃棄物を収納したドラム缶を床に落とさない構造とする。

ドラム缶ウラン量測定装置で取り扱うドラム缶は高さが幅に比べて大きいことから、外力（地震力）に対する転倒防止と水平移動防止設計に基づく専用の収納枠（ドラム缶ガイド）を設置するため、ドラム缶が床に落下する恐れはない。

専用の収納枠（ドラム缶ガイド）はその高さ、厚さ、材料により転倒防止、水平方向移動防止を図る。

4. 5. 第1種管理区域の閉じ込めに関わる機能（第十条6、第二十条1、4）

<p>第1種管理区域の室内空気は、ウラン粉末が室内に漏えいした場合に備え、高性能エアフィルタ、排気ファン及びダクトから構成される室内排気系統により排気し、空気中のウランを除去する設計とする。なお、排気系統の一部については、高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環給気を行う系統を設ける設計とする。(4-25)</p>
<p>設計基準事故として想定している閉じ込め機能の不全においても、第1種管理区域は、局所排気系統及び室内排気系統により負圧を維持する設計とする</p> <p>第1種管理区域は、気体廃棄設備によって負圧に維持することにより閉じ込めを管理する。事故時においても、ウランの飛散するおそれのある部屋は、当該区域の室内の圧力を外気に対して負圧に維持するように可能な限り管理する。</p> <p>第1種管理区域は、換気設備によって負圧に維持することにより閉じ込めを管理する。事故時においても、ウランの飛散するおそれのある部屋は、当該区域の室内の圧力を外気に対して19.6Pa以上の負圧に維持するように可能な限り管理する。(4-29)</p>
<p>通常時において、第1種管理区域からの排気を処理するため、気体廃棄物の廃棄設備である排気ダクトを通して高性能エアフィルタによって処理後、排気口から大気へ放出する設計とする。気体廃棄物は、プレフィルタ、高性能エアフィルタ等を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。(17-1)</p>
<p>室内排気系の排気は、排気ダクトを通して高性能エアフィルタにより処理して排気塔より屋外へ排出する設計とする。なお、一部については高性能エアフィルタにより処理して部屋へ再循環する設計とする。(31)</p> <p>気体廃棄物は、気体廃棄設備を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。(236) (17-3)</p>
<p>局所排気系の排気は、排気ダクトを通して高性能エアフィルタにより処理して排気塔より屋外へ排出する設計とする。(31)</p> <p>気体廃棄物は、気体廃棄設備を通して排気中の放射性物質を除去したのち排気口から屋外に排出する。(236) (17-4)</p>
<p>気体廃棄物の廃棄設備は、第1種管理区域で発生する気体廃棄物を処理することが十分に可能な能力を有するものとする。(17-13)</p>

今回の申請設備において、室内給気系の給気経路確保、室内排気系及び局所排気系の排気経路の確保に該当する機器は給気ダクト・ダンパ、排気ダクト・ダンパ（部屋、設備～高性能エアフィルタ）である。

気体廃棄設備(1)とUF<sub>6</sub>蒸発・加水分解設備との取り合いを添説設6-20図に示す。また、今回の気体廃棄設備(1)の申請範囲を青色部で示す。

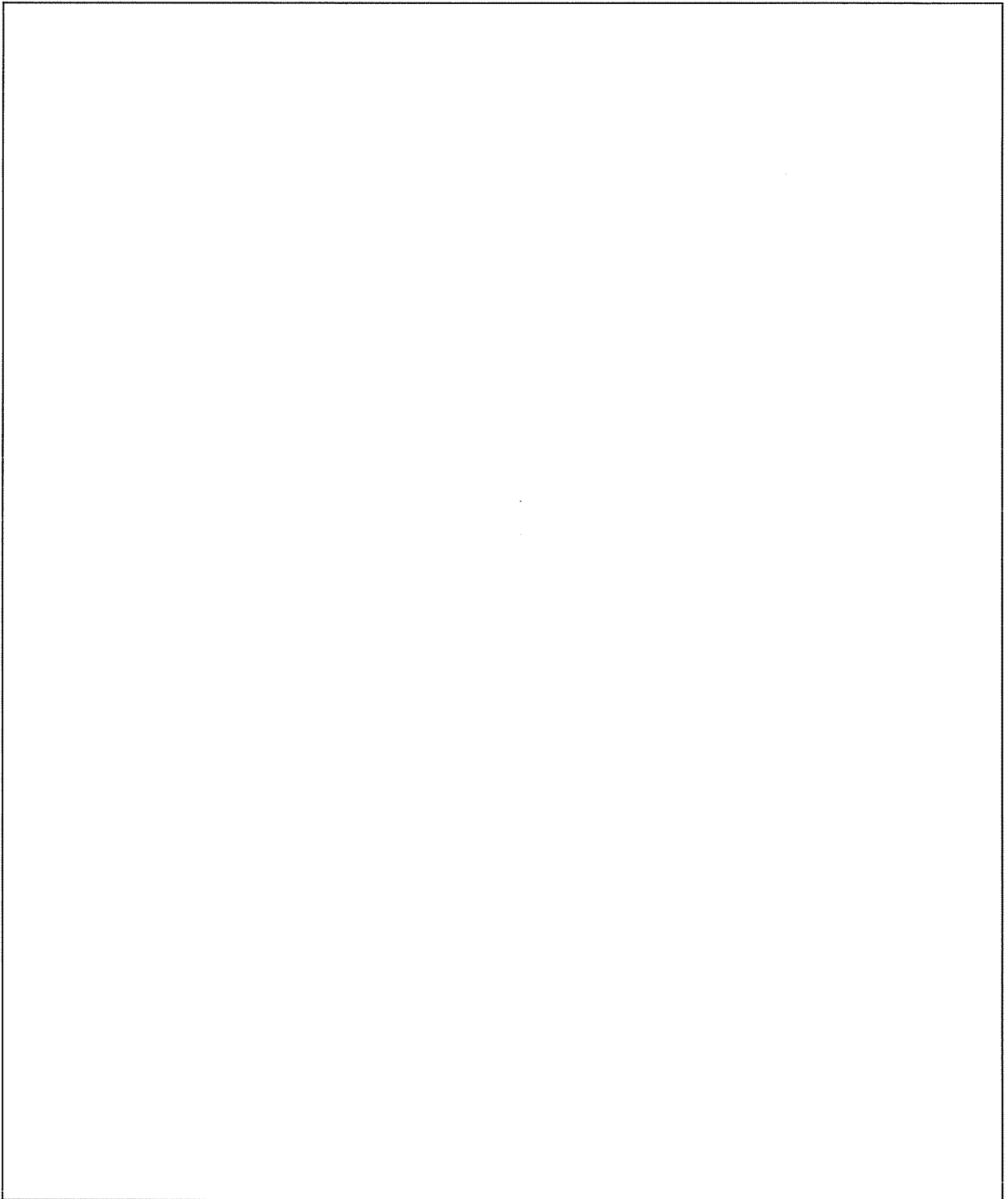
なお、上述の{ }内に示す数字は、事業許可の「表 安全機能を有する施設の安全機能一覧」における該当機器の番号を示す。

➤ [23.1-設6]給気ファンにつながるダクト・ダンパに接続し、給気経路を確保する。

原料倉庫室内へ給気を行う給気ダクトは、給気ファンに接続するダクト・ダンパに接続して、屋外からの空気取入口からの給気経路を確保する。

- [23.1-設4]高性能エアフィルタにつながるダクト・ダンパに接続し、排気経路を確保する。
- [20.1-設80]UF<sub>6</sub>の漏えいに対して、排気中のUF<sub>6</sub>を処理するスクラバと高性能エアフィルタ2段（2段目は耐HF性）への排気経路を確保する。

原料倉庫室内、原料倉庫内の設備・機器を排気するダクトは屋外への排気口まで、高性能エアフィルタ、高性能エアフィルタに接続するダクト・ダンパに接続して、原料倉庫室内、原料倉庫内の設備・機器から排気する気流ラインを確保する。



添説設6-20図 気体廃棄設備(1)とUF<sub>6</sub>蒸発・加水分解設備との取り合い

局所排気系統については、外部電源が喪失した場合には非常用ディーゼル発電機による給電を行い、第1種管理区域の負圧維持ができる設計とする。(4-31)

今回の申請設備では非常用ディーゼル発電機が該当する。非常用ディーゼル発電機の給電容量と第1種管理区域の負圧維持に必要な排気ファンの駆動維持に必要な負荷容量を図り系-2に示す。

➤ [10.1-設41]第1種管理区域の負圧維持に必要な給電量を有する非常用ディーゼル発電機を設置する。

加工施設第1種管理区域の負圧維持する排気ファン駆動に必要な給電量に対して、1基に必要な給電量を十分カバーする非常用ディーゼル発電機2基(1基は予備機)を設置する。これにより、外部電源喪失時も加工施設第1種管理区域の負圧は維持できる。

なお、加工施設第1種管理区域の負圧維持する排気ファンは次回以降申請する。



## 落下防止設計について

## 1. 概要

本資料は、ウランを収納した容器を取り扱う、または搬送、貯蔵する設備・機器の落下防止について説明するものである。

## 2. 基本方針

{826} ドラム缶ウラン量測定装置落下防止設計は取り扱う対象の形状を考慮して以下の方針により行う。

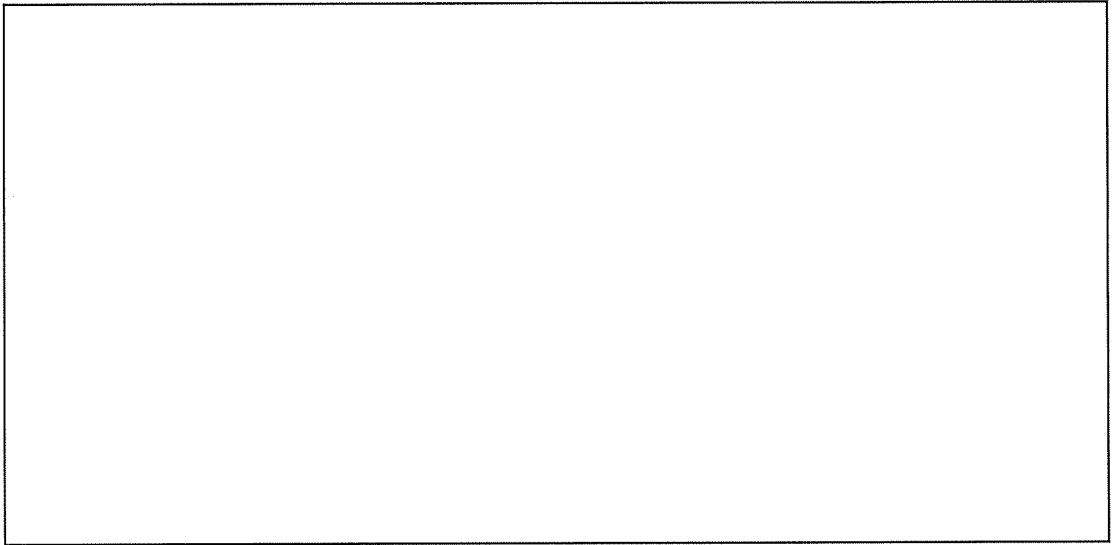
{826} ドラム缶ウラン量測定装置のように落下防止をすべき容器の縦横比により水平方向の加速度を想定しても転倒することはないため<sup>1</sup>、外力（地震力）による水平方向の移動を防止するためのストッパーまたはガイドを設置する。

## 3. 設計

{826} ドラム缶ウラン量測定装置の場合、落下防止のためにドラム缶ガイドを設ける（以下ガイドと略）。のガイドに対して、ガイドの強度を確保するために板厚の下限值としてmm以上を設ける。材料の要求に加え、収納物であるドラム缶の下端には高さ方向に約mm未満の範囲に湾曲部があるため（図1参照）、ガイドが十分ドラム缶を保持できるように高さの下限としてmm以上を設ける。また、ドラム缶高さは約890mmと高いため、ガイドがドラム缶から受ける水平方向荷重によるモーメントに対してガイドの強度が確保できるようにガイド高さの上限としてmm以下を設定する。

---

<sup>1</sup> 評価対象機器の耐震重要度分類に応じて加速度を設定し、転倒モーメント<安定モーメントであれば転倒しない



添説設6-1-1図 ドラム缶ウラン量測定装置のドラム缶の落下防止設計

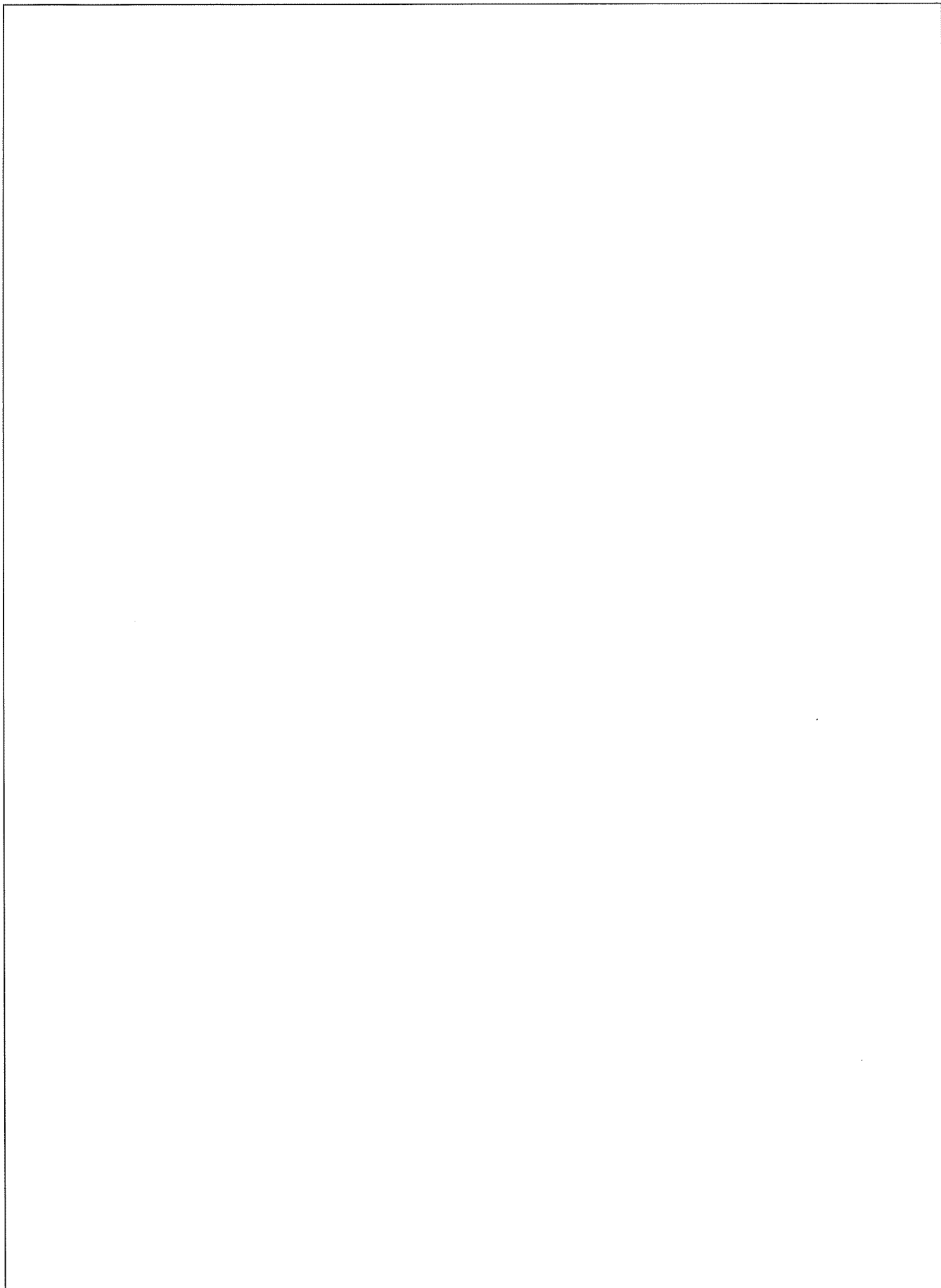


部品設計書 図面一覧表

Table with 13 columns: 図面ID, 部品名, 仕様, 出図順序, 出図日, 出図場所, 仕様, 図面内容, 図面形式, 図面数, 図面内容, 図面数, 図面形式, 図面数, 図面内容, 図面数. Rows include drawings for components like 'IP-100-001', 'IP-100-002', 'IP-100-003', 'IP-100-004', 'IP-100-005', 'IP-100-006', 'IP-100-007', 'IP-100-008', 'IP-100-009', 'IP-100-010', 'IP-100-011', 'IP-100-012', 'IP-100-013'.

新製品仕様書-1表 竣工申請するインターロック及び警報とそれが写るべき項目

No	建設現場 名称	竣工申請書 No	竣工申請 No	竣工申請 No	竣工申請 No	竣工申請 No	インターロック			警報			インターロック実行			備考		
							インターロック No	インターロック No	インターロック No	警報 No	警報 No	警報 No	インターロック No	インターロック No	インターロック No			
14	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称
15	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称
16	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称	新製品 名称



## 過加熱防止・温度高・圧力高インターロックで守るべき値と設定値

対象とするインターロック

- ▶ [10.1一設 6][18.2一設 2]過加熱防止インターロック（熱的制限値）を設置する。 該当設備{3}
- ▶ [10.1一設 6][18.2一設 2]温度高インターロック（温度）を設置する。 該当設備{15、18}
- ▶ [10.1一設 34][18.2一設 7]圧力高インターロック（圧力）を設置する。 該当設備{4、16、19}

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた UF<sub>6</sub> を加熱する機器である蒸発器、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）に関する上記インターロックの設定値の考え方を以下に示す。

蒸発器、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）でインプット物質として取り扱うウランは固体状の UF<sub>6</sub> である。蒸発器では UF<sub>6</sub> シリンダに収納された UF<sub>6</sub>、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）では中に直接収納された UF<sub>6</sub> を加熱してガス化し、循環貯槽（加水分解装置部）、コールドトラップ<sup>注</sup>に供給する。

注：コールドトラップ（小）のみ UF<sub>6</sub> を加熱してガス化し、コールドトラップへ供給する。

蒸発器、コールドトラップまたはコールドトラップ（小）の温度に対するインターロックの設定値は以下の通りである。

- ▶ 蒸発器は通常運転時、100℃～106℃の温度範囲で加熱し、UF<sub>6</sub> のガス化処理をしている。これに対して、蒸発器加熱制御の上限は、以下①、②を比較して安全側の設定となる②とする。
  - ① 蒸発器に装荷する UF<sub>6</sub> シリンダの熱的制限値 121℃を守る必要があることから、UF<sub>6</sub> シリンダの熱的制限値 121℃に対して下位側
  - ② 蒸発器の設計確認圧力 0.49MPaG に対して安全弁の作動も考慮した圧力 0.44MPaG 以下となる温度 110℃<sup>\*1</sup> に対して下位側

蒸発器過加熱防止インターロックの設定範囲は、通常運転の中で管理する上限温度 106℃～110℃の範囲であるが、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、設定値の設定範囲は 106℃～108℃とする。

\*1：UF<sub>6</sub> の平衡状態における蒸気圧と温度の相関については、以下の関係<sup>\*2</sup>がある。

$$\ln P = 6.99464 - \frac{1126.288}{(t + 221.963)}$$

P：UF<sub>6</sub> の平衡蒸気圧（mmHg） t：UF<sub>6</sub> の温度（℃）

ただし t は 64℃ < t < 116℃ の範囲

UF<sub>6</sub> が蒸発器内で漏えいした場合、蒸発器による閉じ込めを期待する。よって、UF<sub>6</sub> 蒸気圧は、蒸発器の安全弁作動圧力（0.44MPaG）よりも低くする必要がある。0.44MPaG となるの

は、前述の式より、110.6℃であるので、その内側の110℃が蒸発器による2次閉じ込めを期待できる上限温度となる。

- ▶ コールドトラップは通常運転時、100℃～120℃の温度範囲で加熱し、UF<sub>6</sub>のガス化処理をしている。

これに対してコールドトラップの設計確認圧力は0.98MPaであり、機器保護上、UF<sub>6</sub>圧力0.81MPa (UF<sub>6</sub>温度134℃\*)で安全弁が作動する設計していることから、コールドトラップの加熱防止に関するインターロックの設定値は、この温度134℃より下位側、通常運転の中で管理する上限温度120℃に対して上位側で、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、設定値の設定範囲は125℃～130℃とする。

\*1：UF<sub>6</sub>の平衡状態における蒸気圧と温度の相関については、以下の関係\*2がある。

$$\ln P = 7.69069 - \frac{1683.165}{(t + 302.148)}$$

P：UF<sub>6</sub>の平衡蒸気圧 (mmHg)    t：UF<sub>6</sub>の温度 (℃)

ただし t は 116℃ < t の範囲

大きな地震時やフードボックス内でのUF<sub>6</sub>漏えい時に、コールドトラップによる閉じ込めを期待する。よって、UF<sub>6</sub>蒸気圧は、コールドトラップ器の安全弁作動圧力(0.81MPaG)よりも低くする必要がある。0.81MPaGとなるのは、前述の式より、134.4℃であるので、その内側の134℃がコールドトラップによる閉じ込めを期待できる上限温度となる。

- ▶ コールドトラップ (小) は通常運転時、100℃～120℃の温度範囲で加熱し、UF<sub>6</sub>のガス化処理をしている。

コールドトラップ (小) は機器保護上、134℃のUF<sub>6</sub>圧力0.81MPaで作動する設計していることから、コールドトラップ (小) の加熱防止に関するインターロックの設定値はこの温度134℃より下位側、通常運転の中で管理する上限温度120℃に対して上位側で、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、設定値の設定範囲は125℃～130℃とする。

蒸発器、コールドトラップまたはコールドトラップ (小) の圧力に対するインターロックの設定値根拠は以下の通りである。

- ▶ 蒸発器は通常運転時、0.32MPaG～0.38MPaG (100℃～106℃のUF<sub>6</sub>蒸気圧)の圧力範囲でUF<sub>6</sub>圧力制御し、UF<sub>6</sub>のガス化処理をしている。

蒸発器圧力制御の上限は、以下①、②を比較して安全側の設定となる②とする。

- ① 蒸発器に装荷するUF<sub>6</sub>シリンダの熱的制限値121℃相当のUF<sub>6</sub>圧力値0.58MPaG\*1を守る必要があることから、UF<sub>6</sub>シリンダの熱的制限値121℃相当のUF<sub>6</sub>圧力値0.58MPaGに対して下位側
- ② 蒸発器の設計確認圧力0.49MPaGに対して安全弁の作動も考慮した圧力0.44MPaGに対して下位側



よって、圧力上限インターロックの範囲は通常運転の中で管理する上限圧力 0.38MPaG～0.44MPaG の範囲となる。ただし、UF<sub>6</sub> シリンダから圧力計までの圧力損失、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、設定値の設定範囲は 0.33MPaG～0.39MPaG とする。

なお、配管（脱着式 UF<sub>6</sub> 配管、UF<sub>6</sub> 配管）の設計確認圧力は 1MPaG であり、温度/圧力インターロック設定範囲での UF<sub>6</sub> 閉じ込め可能な仕様である。

\*1：前述のとおり、UF<sub>6</sub> シリンダは加熱温度 110°C が加熱できる温度の上限となり、この時の UF<sub>6</sub> 圧力は 0.44MPa となるため、蒸発器の設計確認圧力を超えることはない。

- ▶ コールドトラップ、コールドトラップ（小）は通常運転時、約 0.31MPaG～0.40MPaG の圧力範囲を運転員が監視し、所定の圧力となった場合に仕切弁を開としてし、UF<sub>6</sub> のガス化処理をしている。

これに対して、コールドトラップ、コールドトラップ（小）の設計確認圧力は 0.98MPa であり、機器保護上、UF<sub>6</sub> 圧力 0.81MPa で安全弁が作動する設計していることから、コールドトラップ、コールドトラップ（小）の圧力に対するインターロックの設定範囲は、この圧力 0.81MPa より下位側、通常運転の中で管理する上限圧力 0.40MPaG に対して上位側で、設計確認圧力に対する計器誤差、動作裕度を十分考慮し、設定値の設定範囲は 0.41MPaG～0.80MPaG とする。

なお、コールドトラップ、コールドトラップ（小）に関わる配管（UF<sub>6</sub> 配管）の設計確認圧力は 1MPaG であり、上記インターロックにより設計確認圧力を超えないように管理する仕様である。

#### [参考文献]

\*2：Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie (1980), p95

UF<sub>6</sub>供給停止インターロック（ポンプ作動）で順守すべき数値と設定値

対象とするインターロック

➤ [10.1一設 10][18.2一設 4]UF<sub>6</sub>の供給停止インターロック（ポンプ作動）を設置する。

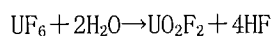
閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた未反応 UF<sub>6</sub>が後段に流出することを防止するため、供給する UF<sub>6</sub>量に対して、化学反応上、必要とする水量を確保するのインターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

UF<sub>6</sub> シリンダ又はコールドトラップで加熱気化した UF<sub>6</sub> は約 1000gU/分の質量速度で循環貯槽へ供給する。循環貯槽は UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 貯槽(1)(2)(3)のうち 1 槽、液受槽と合計約 500L の水を保有しており、循環貯槽、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 貯槽(1)(2)(3)のうち 1 槽、液受槽を 1 つの閉ループとして水を循環する。UF<sub>6</sub> は循環貯槽の加水分解装置（エジェクタ）部で、化学反応上の必要量を満足する水と混合接触し、UF<sub>6</sub> と水の化学反応によりウランは UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> の化学形態（液体）に処理する。この処理は液中のウラン濃度が約 200gU/L になるまで行い、目標ウラン濃度に到達後は、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 貯槽を切り替える。

加水分解装置（エジェクタ）では UF<sub>6</sub> の供給速度約 1000gU/分に対して化学反応当量上、必要とする水を確保することが、未反応 UF<sub>6</sub> の生成を防止するととなる。

加水分解装置（エジェクタ）1 基当たりの UF<sub>6</sub> 供給量は 1000gU/分である。

UF<sub>6</sub> と水との化学反応は、以下の化学反応式であり、



UF<sub>6</sub> 供給量 1000gU/分を反応させるために理論上必要な水量は、

$$1000\text{gU/分} \div 238\text{gU/mol} \times 2 \text{ (反応当量)} = 8.4\text{mol/分}$$

これを重量換算（H<sub>2</sub>O：18g/mol）して、

$$8.4\text{mol/分} \times 18 \text{ g/mol} = 151.3\text{g/分}$$

供給する水の密度（15℃時）0.999×10<sup>3</sup>g/L より

$$151.3\text{g/分} \div 0.999 \times 10^3\text{g/L} \doteq 0.15\text{L/分}$$

となり、0.15L/分以上の水流量が確保されていれば、UF<sub>6</sub> 供給量分の化学反応は理論上完結する。よって、加水分解装置（エジェクタ）では 0.15L/分以上の水量を確保（循環ポンプ作動により担保）するインターロックを設置する。

なお、循環ポンプは定量式ポンプであり、これが起動していれば、約 15L/分以上の水量を確保する。

UF<sub>6</sub>供給停止インターロック（液位）及び液位高インターロック（液位）で  
順守すべき数値と設定値

対象とするインターロック

- [10.1一設 10][18.2一設 4]UF<sub>6</sub>の供給停止インターロック（液位）を設置する。
- [10.1一設 21][18.2一設 21]オーバーフローを防止するため、液位高インターロック（液位）を設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた循環貯槽内で UF<sub>6</sub> を常に加水分解反応用の水と接触させるため、循環貯槽内の最低液位を確保するのインターロック、循環貯槽に内包するウラン溶液がオーバーフローを起こすことを防止するために設置するインターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

循環貯槽の貯槽本体部と加水分解装置（エジェクタ）からのノズルとの接続関係、通常運転において使用する液位の範囲を添説設 6 付録 6-1 図に示す。

UF<sub>6</sub>の供給停止インターロック（液位）

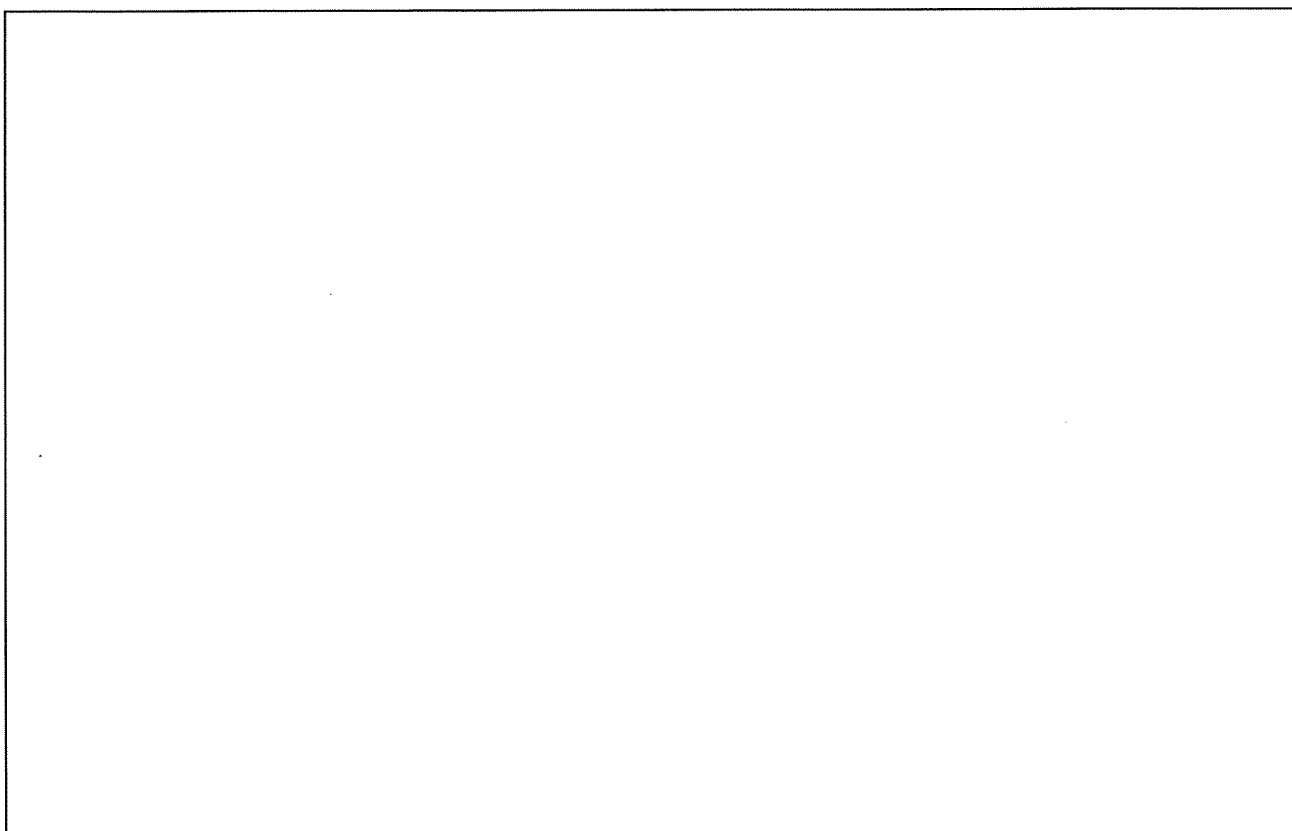
通常運転では液位 H-L 間で液位が変動する。これに対して、循環貯槽内で UF<sub>6</sub> が加水分解反応用の水と常に接触しない状態は貯槽内の液位が下がり、加水分解装置（エジェクタ）からのノズル口が貯槽内で露出する場合である。これを防止するには、貯槽内の液位は加水分解装置（エジェクタ）からのノズル口が必ず水没している（貯槽内の液位が貯槽上面からみて約 mm 位置に対して、液位の波立ちを考慮して約 mm の裕度を持たせた約 mm の範囲に液位がある）ことが守るべき条件となる。

したがって、UF<sub>6</sub> の供給停止インターロック（液位）は、この守るべき液位に対して、貯槽上面からみて約 mm から約 mm（通常の運転の中で管理する液位 L）の範囲の中に検出端を設置する。

オーバーフローを防止する液位高インターロック（液位）

通常運転では液位 H-L 間で液位が変動する。これに対して、貯槽から内包するウラン溶液がオーバーフローを起こすのは貯槽内の液位が上がり、貯槽上面から流出する場合である。これを防止するには貯槽内の液位は貯槽上面を超えないように抑えることが守るべき条件（液位の波立ちを考慮して約 mm の裕度を持たせた位置）となる。

したがって、オーバーフローを防止する液位高インターロック（液位）は、守るべき液位に対して、貯槽上面からみて約 mm から約 mm（通常の運転の中で管理する液位 H）の範囲の中に検出端を設置する。



添説設 6 付録 6-1 図 循環貯槽における液位計設置位置

UF<sub>6</sub>捕集停止インターロックで順守すべき数値と設定値

対象とするインターロック

➤ [10.1一設 11][18.2一設 8]UF<sub>6</sub>の捕集停止インターロック（温度）を設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げたコールドトラップ（小）の冷却不足検知インターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

コールドトラップ及びコールドトラップ（小）はUF<sub>6</sub>シリンダ内に残留するUF<sub>6</sub>を圧力差により吸引（真空引き）し、捕集する機器である。UF<sub>6</sub>を吸引する前にあらかじめコールドトラップ及びコールドトラップ（小）を真空ポンプで負圧に真空引きした後、真空ポンプを停止（真空ポンプとコールドトラップ（小）間の弁を閉として、雰囲気と縁切り）して、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の負圧を利用してUF<sub>6</sub>シリンダやUF<sub>6</sub>配管中のUF<sub>6</sub>を捕集する。この吸引（真空ポンプによる真空引き）の際、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）は運転上、-30℃～-25℃の範囲で事前に冷却を行うが、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）の冷却が不十分の場合、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）内の残留UF<sub>6</sub>が気化して排気系に漏れいすることになる。

このため、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）に冷却処理の逸脱による残留UF<sub>6</sub>の排気系への過度の漏れ防止のため、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）内の雰囲気温度の上限值を設け、この温度以上では排気系に接続できないインターロックを設置する。

コールドトラップ及びコールドトラップ（小）は通常、-30℃～-25℃の範囲で冷却を行っており、コールドトラップ及びコールドトラップ（小）は、この運転温度域に対して計器誤差、動作裕度を考慮し-15℃とする。

なお、インターロック設定温度で、UF<sub>6</sub>捕集操作により気体廃棄設備(1)へ移行するとした場合、15g程度<sup>\*1</sup>のUF<sub>6</sub>が気体廃棄設備(1)に移行し、気体廃棄設備(1)の高性能エアフィルタで捕集されることとなる。

\*1：UF<sub>6</sub>の固気平衡状態における蒸気圧と温度の相関については、以下の関係<sup>\*1</sup>がある。

$$\text{Log}_{10}P = 6.38353 + 0.0075377 \times t - \frac{942.76}{(t + 183.416)}$$

P：UF<sub>6</sub>の平衡蒸気圧（mmHg） t：UF<sub>6</sub>の温度（℃）

ただし t は < 64℃ の範囲

上記式からインターロック設定温度-15℃の温度下では 0.007MPa・Abs 程度のUF<sub>6</sub>蒸気圧となり、コールドトラップ、コールドトラップ(小)の容積約 150L を考慮すると 15g 程度UF<sub>6</sub>となる。

[参考文献]

\*1 : Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie (1980), p94

UF<sub>6</sub>漏えい検知インターロックで順守すべき数値と設定値

## 対象とするインターロック

- [10.1一設 13][18.2一設 3]UF<sub>6</sub>漏えいを検知するインターロック（電導度）を設置する。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた蒸発器のドレン系における UF<sub>6</sub> 漏えい検知インターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

蒸発器内で UF<sub>6</sub> が漏えいした場合、UF<sub>6</sub> シリンダを加熱するために供給する水蒸気のドレンに混入する。このため、蒸発器内のドレン排水ライン上に電導度計を設け、電導度計の異常値検知により蒸発器の加熱を停止するインターロックを設置する。

この電導度に対するインターロックの設定値根拠は以下の通りである。

一般的な水（例えば水道水）の電導度は  $100\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ～ $200\ \mu\text{S}/\text{cm}$  の範囲であり、実際に蒸発器で発生するドレン水の電導度も約  $100\ \mu\text{S}/\text{cm}$  である。ドレン水に漏えいした UF<sub>6</sub> が混入・溶解し、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液となった場合、その電導度は水の電導度から上昇する。設定値としては、計器誤差、動作裕度を十分考慮し、 $250\ \mu\text{S}/\text{cm}$  とする。

なお、弊社実績値で電導度  $250\ \mu\text{S}/\text{cm}$  は 100ppmU 相当のウラン濃度となる。通常転換工程内の廃液のウラン濃度は約 1gU/L であり、100ppmU はこの 10 分の 1 程度のウラン濃度に相当するレベルである。なお、このウラン濃度であれば、ドレン水取り扱い機器形状に関係なく、臨界が起きる恐れはない。

## 対象とするインターロック

- [10.1一設 13][18.2一設 3]UF<sub>6</sub>漏えいを検知するインターロック（HF 濃度）を設置する。
- [10.1一設 44][20.1一設 77]UF<sub>6</sub>漏えい時に排気経路を切り替える（独立二系統）。

閉じ込め機能に関わる説明書で取り上げた UF<sub>6</sub> フードボックス内での UF<sub>6</sub> 漏えい検知インターロックに関わる設定値根拠を以下に示す。

UF<sub>6</sub> フードボックス内で UF<sub>6</sub> が漏えいした場合、UF<sub>6</sub> フードボックス内雰囲気中の水分と反応し HF を発生する。このため、UF<sub>6</sub> フードボックス内に HF 検知器を設け、HF 検知器の異常値検知により、UF<sub>6</sub> フードボックスの排気経路を切り替え、漏えいした UF<sub>6</sub> 回収するインターロックを設置する。

この HF 濃度に対するインターロックの設定値は 3ppm（日本産業衛生学会による許容濃度勧告値）とする。また、UF<sub>6</sub> 漏えい警報のみの検出器（運転員が活動するエリア中の UF<sub>6</sub>/HF 濃度監視）も検出器設定値は 3ppm とする。

## スクラバ捕集効率

スクラバは同一形状の水スクラバが直列に 2 基で構成されている。

UF<sub>6</sub>漏えい時の本スクラバにおける HF 吸収率及びウラン吸収率については下記のとおりである。

## 1. HF 吸収率

本スクラバは、HF の除去率が 99.5%以上となるように充填高さが設計されている。以下に設計計算根拠を示す。

## (1) 前提条件

UF<sub>6</sub>漏えい発生時の排気中組成を添説設 6 付録 7-1 表のとおりとする。(Air は 35℃、湿度 80% とする。)

添説設 6 付録 7-1 表 UF<sub>6</sub>漏えい発生時の排気中組成 (40 秒間分)

UF <sub>6</sub> 漏えい発生時 (40 秒間)	UF <sub>6</sub>	27mol	0.6Nm <sup>3</sup>
	Air	1690mol	37.8Nm <sup>3</sup>
	H <sub>2</sub> O	69mol	1.6Nm <sup>3</sup>

なお、排気風量は 60Nm<sup>3</sup>/min (=排気ブロワ流量)、循環ポンプ水量は 2800/min) としている。

また、漏えいした UF<sub>6</sub> は空気中の水分と反応し、添説設 6 付録 7-2 表の組成でスクラバに導入されるものとする。

添説設 6 付録 7-2 表 スクラバ直前での排気中組成 (反応考慮)

スクラバ 入口到達時 (40 秒間)	UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	27mol	(固体)
	HF	108mol	2.4Nm <sup>3</sup>
	Air	1690mol	37.8Nm <sup>3</sup>
	H <sub>2</sub> O	16mol	0.4Nm <sup>3</sup>

## (2) 吸収率計算

前提条件の時、入口ガスの HF 濃度は、

$$2.4\text{Nm}^3 / (2.4\text{Nm}^3 + 37.8\text{Nm}^3 + 0.4\text{Nm}^3) = 6.0\%$$

出口ガスの HF 濃度は、第 1 塔で HF 除去率を 99% とし、同じ塔を直列に設置することでトータルの HF 除去率を 99.5% 以上とする。

第 1 塔における出口 HF 濃度は HF 除去率 99% とすると以下のとおりである。

第 1 塔出口 HF 濃度=

$$(2.4\text{Nm}^3 \times (1 - 0.99)) / ((2.4\text{Nm}^3 \times (1 - 0.99)) + 37.8\text{Nm}^3) = 0.063\%$$

このとき、要求される N<sub>OG</sub> (移動単位係数) は以下のとおり。

$$N_{OG} = \ln(5.9/0.063) = 4.6$$

また、月島環境エンジニアリング製のテラレット S-0 型の HF-H<sub>2</sub>O ガスのデータより、H<sub>OG</sub> (移動単位高さ) = 0.35 であるため、充填高さ Z は以下のとおりとなる。

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} = 4.6 \times 0.35 = 1.61 [\text{m}]$$



これに約 30%余裕を見て、充填部高さを 2m とする。

次に第 1 塔の出口ガスがそのまま第 2 塔に導入されるとし、トータル HF 除去率を 99.5%以上としたときの第 2 塔出口 HF 濃度は以下のとおりである。

第 2 塔出口 HF 濃度

$$= (2.4\text{Nm}^3 \times (1-0.995)) / (2.4\text{Nm}^3 \times (1-0.995) + 37.8\text{Nm}^3) = 0.03\%$$

このとき第 2 塔入口 HF 濃度は 0.064% であるため、要求される  $N_{OG}$  は以下のとおり。

$$N_{OG} = \ln(0.063/0.03) = 0.75$$

$H_{OG}$  は同じであるため、要求される充填高さ  $Z$  は以下のとおりとなる。

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} = 0.76 \times 0.35 = 0.27\text{m}$$

これより、HF 除去率 99.5% を達成させるためには、第 2 塔は 0.3m で十分であるが、実際には第 1 塔と同じ 2m の充填高さを持っているため、十分な裕度のある設備となっている。

## 2. ウラン吸収率

本スクラバは、ウランの除去率が 97% 以上となるように充填高さが設計されている。以下に設計計算根拠を示す。

### (1) 前提条件

スクラバ（第 1 塔）に導入されるガス組成は 1. より、添説設 6 付録 7-3 表のとおりとする。スクラバ（第 1 塔）に供給されるガス温度は 85℃ とする。

添説設 6 付録 7-3 表 スクラバ（第 1 塔）に導入されるガス組成

スクラバ 入口到達時 (40 秒間)	UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	27mol	(固体)
	HF	108mol	2.4Nm <sup>3</sup>
	Air	1690mol	37.8Nm <sup>3</sup>
	H <sub>2</sub> O	16mol	0.4Nm <sup>3</sup>

なお、スクラバ（第 2 塔）スクラバに導入されるガス組成は、1. のスクラバ（第 1 塔）の HF 捕集効率（99%）を考慮し、添説設 6 付録 7-4 表のとおりとする。スクラバ（第 2 塔）に供給されるガス温度は 40℃ とする。

添説設 6 付録 7-4 表 スクラバ（第 2 塔）に導入されるガス組成

第 2 塔 スクラバ入口 (40 秒間)	UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	(第 1 塔の未捕集分)	(固体)
	HF	1.1mol	0.02Nm <sup>3</sup>
	Air	1690mol	37.8Nm <sup>3</sup>

### (2) 吸収率計算

漏えいした UF<sub>6</sub> が全量 UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 微粒子となり、スクラバを流下する水により集塵されたとした UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 捕集率の計算を以下に行う（計算式の出典：井伊谷編著、集塵装置の性能、産業技術センター）。

Calvert の導いた式より

$$E = 1 - \exp(-B_3 \cdot (H_R/D_R) \cdot \Psi)$$

ここに、

- E : 集塵率  
 $B_3$  : 充填物による係数  
 $H_R$  : 充填高さ[m]  
 $D_R$  : 充填物の特性値[m]

ただし、

$$\Psi = \rho_p \cdot d_p^2 \cdot u_{gs} / (9 \cdot \mu_g \cdot \delta)$$

- $\Psi$  : 慣性パラメータ  
 $\rho_p$  : 粒子密度[kg/m<sup>3</sup>]  
 $d_p$  : 粒子径[m]  
 $u_{gs}$  : ガス流速[m/s]  
 $\mu_g$  : ガス粘度[kg/m·s]  
 $\delta$  : 充填物の代表長さ[m]

ここで、各入力値を添説設 6 付録 7-5 表に示す。

添説設 6 付録 7-5 表 吸収率評価に用いた各物性値

項目	諸量	備考
充填物による係数 $B_3$	10	
充填高さ $H_R$	2 m	
充填物の特性値 $D_R$	0.025m	
粒子密度 $\rho_p$	$6.37 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	J. J. katz, The Chemistry of Uranium
粒子径 $d_p$	$1.6 \times 10^{-6} \text{m}$	等表面積球相当径*
ガス流速 $u_{gs}$	1.18 m/s (第1塔) 0.96 m/s (第2塔)	
ガス量	1.33m <sup>3</sup> /s (第1塔) 1.09m <sup>3</sup> /s (第2塔)	=40.6Nm <sup>3</sup> /40sec × (85+273) K/273K =37.9Nm <sup>3</sup> /40sec × (40+273) K/273K
塔内径	1.2 m	
ガス粘度 $\mu_g$	$1.3 \times 10^{-5} \text{kg/m} \cdot \text{s}$	HF 40°C, Gmelin Handbook
充填物の代表長さ $\delta$	0.025m	
充填物	テラレット	

\*: UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 粒子は、一次粒子として粒径 0.5 μm、実際には一次粒子が鎖状に凝集し長さ 5 μm の二次粒子になるとした。

上記の条件で計算（安全側に捕集率の小数点第 2 位以下切り捨てとする）すると、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 粒子の集塵（捕集）率は第 1 塔で 99.4%、第 2 塔で 98.6%となるため、トータル除去率は 99%以上を確保出来ている。

## 堰必要容量の考え方（核的制限値を伴う場合）

## 1. はじめに

液体状の核燃料物質を取り扱う貯槽には、貯槽から液が漏えいした際、漏えいを限定した区域に閉じ込める為の堰を設置する。本資料では、各堰に必要な容量の算出方法について説明する。

## 2. 方法

必要容量は以下の方法により算出し、その容積よりも大きくなるような堰を設置するものとする。

- ① 設備に設置する堰は、投影面内に収納するウラン溶液を取扱う貯槽の合計液量（Q）を貯留できる容量とする。
- ② 堰高さ（H）はウラン溶液漏えい時にも臨界安全を確保可能とするよう核的制限値（厚み制限値）以下の高さとする。このため、堰高さは  $UO_2F_2$  溶液の核的制限値 12.7cm 以下である 10cm（0.1m）とする。
- ③ 堰内に設置する貯槽類の架台等により滞留容量とできない部分がある事を考慮し、堰面積のうち、設備占有率  $\alpha$  分は、堰有効容量に考慮しないものとする。 $\alpha$  は 30% とする。

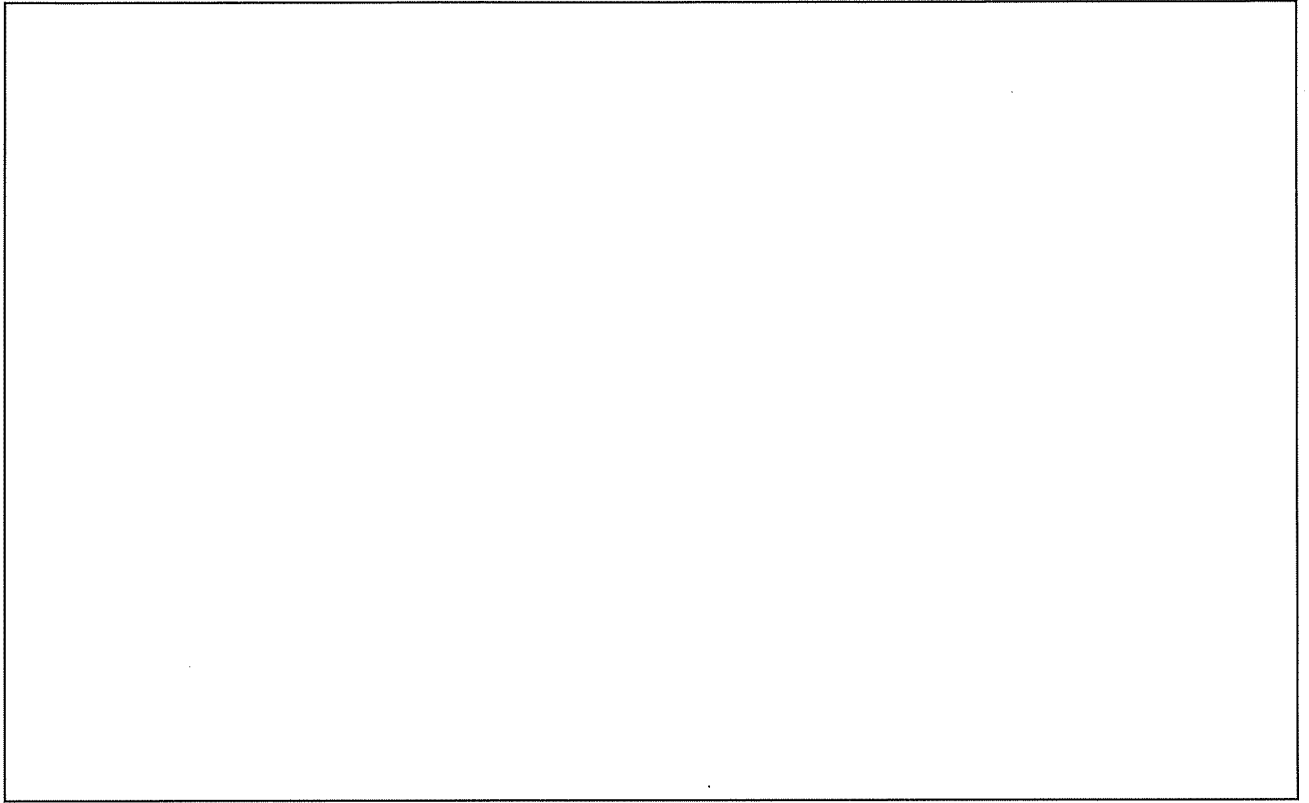
以上の条件を考慮し、以下の式により各堰の必要面積 A を算出した。

$$\text{堰必要面積 } A [m^2] = \text{合計液量 } Q [m^3] \div \text{堰高さ } H [m] \div (1 - \alpha \text{ 設備占有率兼裕度})$$

## 3. 必要面積 A 算出結果

今回申請対象の安全機能を有する施設の堰毎に保有を想定する合計液量 Q と必要面積 A を算出した結果を以下に示す。なお、「{ }」には安全機能有する施設番号を示している。

堰高さ及び面積設定の考え方を添説設 6 付録 8-2 図に示す。添説設 6 付録 8-2 図の通り、堰（循環貯槽）はフードボックス形状に合わせて 2 面にわかれるので、堰 1 面あたりの必要面積 A を算出している。



添説設 6 付録 8-2 図 堰高さ及び面積設定の考え方

① {23} 堰（循環貯槽）（1）の堰必要面積

安全機能 No.	対象設備	貯留液量 [m <sup>3</sup> ]	考え方
{21}	加水分解装置（エジェクタ）（1） [UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 溶液配管系統を含む]	—	貯留液量が循環貯槽の液量に比べ、十分少量であり、また循環貯槽側で保守的に設定しているため、考慮不要とした。
{22}	循環貯槽（1） [UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 溶液配管系統を含む]	0.5	循環貯槽、配管分（50L）+液受槽、配管分（120L）+UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 貯槽 1 本、配管分（250L）+熱交換器、配管分（80L）とする <sup>注</sup>
—	合計液量 Q①	0.5	
—	必要面積 A①[m <sup>2</sup> ]	7.2	$0.5 \div 0.1 \div (1 - 0.3)$

注：原料倉庫に設置する、堰（循環貯槽）に収納する貯槽は循環貯槽のみであるが、保守的に転換加工室に設置する UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 貯槽及び熱交換器内に滞留するウラン溶液も保有できるだけの容量をもつ堰とした。

## 熱交換器（循環貯槽）の設置理由について

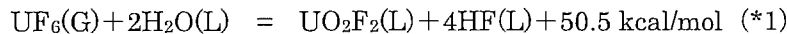
## 1. はじめに

今回申請する熱交換器（循環貯槽）は UF<sub>6</sub> と水との化学反応を行った後の液（UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液）を冷却する機器である。この熱交換器はプロセス設計上、化学処理施設で UO<sub>2</sub> 粉末の製品品質上の粉末性状を確保するために設置しているもので、UF<sub>6</sub> と水の化学反応に伴う反応熱による機器損傷防止を目的にしたものではない（安全機能維持上の要求ではない）。

その根拠について、以下に展開する。

2. UF<sub>6</sub> と水の化学反応式

UF<sub>6</sub> と水の化学反応式は以下のとおりである。



UF<sub>6</sub> と水の化学反応はガス状の UF<sub>6</sub> と水が反応することにより、ウランは液体状の UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> となる。この化学反応は上記反応式のとおり、発熱反応であり、1mol 当たり 50.5kcal の熱量が発生する。

## [参考文献]

\*1 : J.W. Arednt, A Brief Guide to UF<sub>6</sub> Handling (1956)

3. UF<sub>6</sub> と水の化学反応モデル

循環貯槽（加水分解装置）における UF<sub>6</sub> と水の化学反応モデルを添設 6 付録 9-3 図に示す。

循環貯槽（加水分解装置）において、UF<sub>6</sub> と水の化学反応はプロセス設計上、500L の水量に対して、そのウラン濃度が 200 gU/L になるまで、UF<sub>6</sub> と水の化学反応を行い、ウラン濃度が 200 gU/L に到達したら、UF<sub>6</sub> を吹き込む水を次の槽に切り替えるバッチ運転処理としている。

また、500L の水量に吹き込む UF<sub>6</sub> 流量は約 1kgU/min としている。

## 4. 3 の化学反応モデル下における温度上昇

500L の水を用い 200 g-U/L の UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液を生成するために必要な UF<sub>6</sub> 量は

$$200 \text{ gU/L} \times 500\text{L} \div 238 \text{ gU/mol} = 420.2 \text{ molU}$$

となる。この mol 数分の総発熱量 Q は、2 項に示す化学反応式から、

$$\begin{aligned} Q &= 420.2 \text{ molU} \times 50.5 \text{ kcal/mol} \\ &= 21220 \text{ kcal} \end{aligned}$$

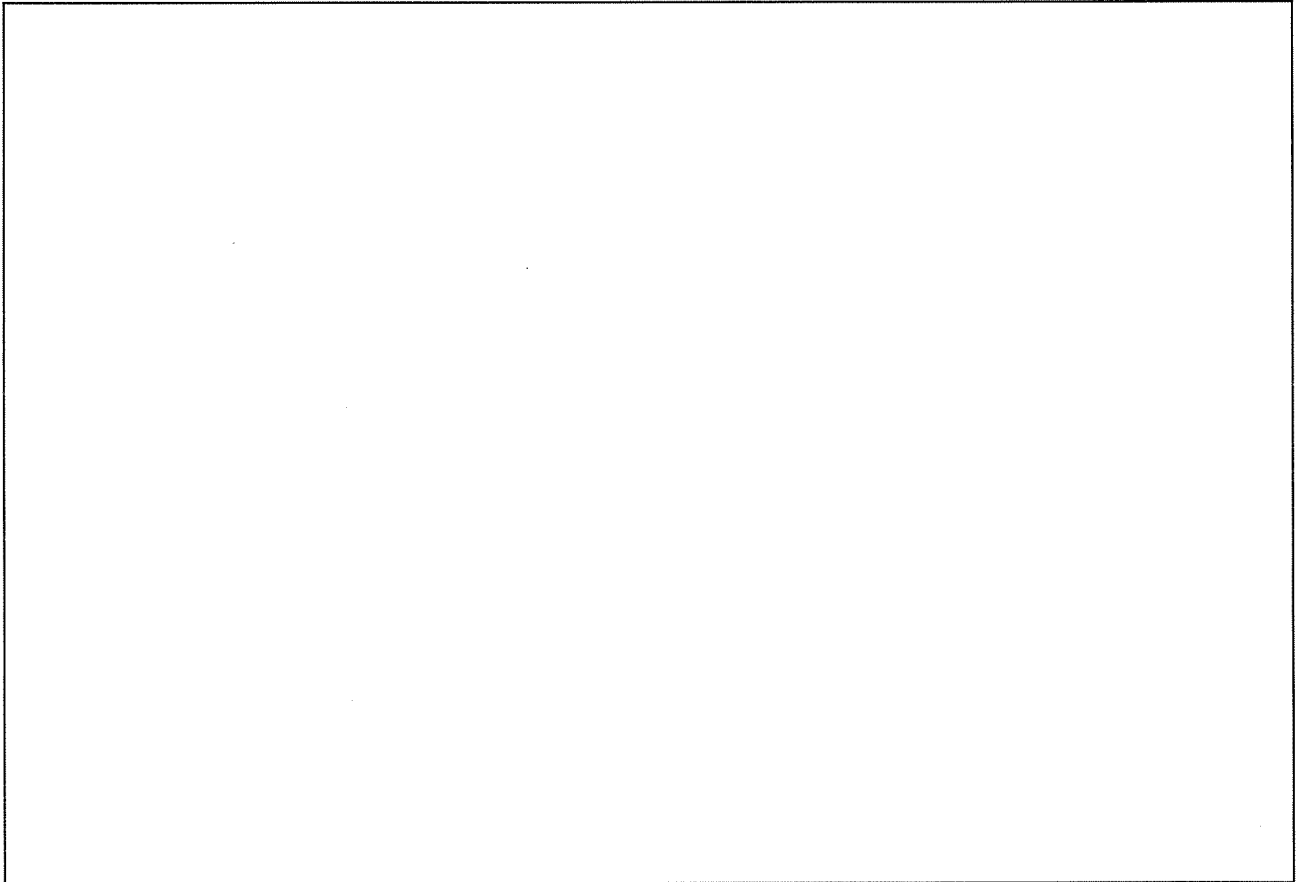
となる。ここでは保守的にこの総発熱量 Q を水が全量吸熱したと仮定すると、その温度上昇は次のとおりとなる。

$$\Delta T = \text{総発熱量} Q / (\text{液量} \times \text{水の比熱})$$

$$\begin{aligned} &= 21220 \text{ kcal} \div (500 \text{ L} \times 4.2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) \\ &= 21220 \times 10^3 \text{ cal} \div (500 \times 10^3 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}) \\ &= 40.4 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

注：水 1 L=1 kg、水の比熱を 4.2 J/g・°C+1 cal/g・°Cとして計算した。

したがって、プロセス設計上想定する UF<sub>6</sub> と水の化学反応モデルでは、水温が約 40.4°C 上昇する。



添説設 6 付録 9-3 図 UF<sub>6</sub> と水の化学反応モデル

#### 5. 温度変化による比重（ウラン濃度）影響

循環貯槽では 1 バッチ 500L で 200gU/L の UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液を調整するが、熱交換器による冷却機能を期待しない場合、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液の比重変化（通常より液温が上がる）ことにより、ウラン濃度測定への影響が考えられる。

ウラン濃度が変化することで、次工程の沈殿設備において、ウラン濃度変化に伴う ADU 沈殿未反応が発生し、廃液処理工程へ UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液が流出するリスクが想定されるが、沈殿工程では UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液のウラン量に対して反応当量以上のアンモニア水を添加することを担保するインターロックを設置することから、未反応の UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液が流出する恐れはない。

25℃から 70℃エリアでの液体の液温変化に伴う比重変化で、ウラン濃度が約 20g/L 程度変動する可能性がある。

仮に  $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液の液温が冷却されず、そのウラン濃度が 200gU/L から 220gU/L に変化したとしても、次工程の沈殿工程の沈殿槽（次回以降申請）では、この増加分を十分カバーできるアンモニア水を添加して ADU 沈殿を生成する。 $\text{UO}_2\text{F}_2$  とアンモニア水により  $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$  [ADU] が形成される化学反応式は以下の通り。



これに対して ADU 沈殿生成上はこの反応当量に対してアンモニア投入量を監視する{44}沈殿槽流量比インターロック（次回以降申請）を設置し、化学反応上の必要量（反応当量 7 に対して 14）を確実に確保する設計としている。

通常、 $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液の流量は約 1000gU/min で供給している。この  $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液流量に対して、反応当量上必要なアンモニア水量は、

$$1000\text{gU/min} / 238\text{gU/mol} \times 7 \times 35\text{g/mol} = 1029.4\text{gNH}_4\text{OH} / \text{min}$$

となる。

これに対して、アンモニア水は最低でもモル比で 14 のアンモニア水

$$1000\text{gU/min} / 238\text{gU/mol} \times 14 \times 35\text{g/mol} = 2058.8\text{gNH}_4\text{OH} / \text{min} ※$$

を供給する。

これに対して、 $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液の液温が冷却されず、そのウラン濃度が 200gU/L から 220gU/L に変化（ウラン量が 10%増）した場合、 $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液の流量は約 1100gU/min と供給となる。

この  $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液流量に対して、反応当量上必要なアンモニア水量は、

$$1100\text{gU/min} / 238\text{gU/mol} \times 7 \times 35\text{g/mol} = 1132.4\text{gNH}_4\text{OH} / \text{min}$$

であり、※のアンモニア水量を十分下回ることから、比重変化によるウラン量増加をカバーできる。

## 6. まとめ

循環貯槽（加水分解装置）に供給する水の温度（反応前の水の温度）は室温(25℃)であり、仮に熱交換器（循環貯槽）による熱交換を行わなくても、その温度は最大で 70℃程度となる。循環貯槽から  $\text{UO}_2\text{F}_2$  貯槽までに選定している材料は  であり、 の耐熱温度は約 260℃であることから、この液温上昇を受けても機器・配管が損傷する恐れはない。ウラン濃度が変化しても  $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液を取り扱う機器は全濃度未臨界を担保する形状寸法で設計されており臨界管理上の影響もない。

また、熱交換器（循環貯槽）による熱交換を行わずに下流工程に  $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液を供給しても ADU 沈殿反応でカバーするため、 $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液のウランが ADU 沈殿を形成せずに廃液に流出する可能性はない。

なお、 $\text{UO}_2\text{F}_2$  貯槽が設定濃度に到達するまでの時間( $\text{UO}_2\text{F}_2$  貯槽切り替わり間隔)、製品重量変化率、沈殿反応温度、定期的な  $\text{UO}_2\text{F}_2$  溶液の比重測定などの運転監視により、異常を検知可能であることから、冷却異常及びウラン濃度異常が長期間継続する恐れはない。



耐圧強度計算書

## 目 次

1. 概 要
2. 蒸発器
  - 2.1 構造・寸法及び材質
  - 2.2 計算条件
  - 2.3 耐圧強度計算
3.  $UO_2$ ブロータンク
  - 3.1 構造・寸法及び材質
  - 3.2 計算条件
  - 3.3 耐圧強度計算
4.  $UO_2$ フィルタ
  - 4.1 構造・寸法及び材質
  - 4.2 計算条件
  - 4.3 耐圧強度計算
5.  $UO_2$ 受けホッパ
  - 5.1 構造・寸法及び材質
  - 5.2 計算条件
  - 5.3 耐圧強度計算
6.  $UF_6$ シリンダ
  - 6.1 構造・寸法及び材質
  - 6.2 計算条件
  - 6.3 耐圧強度計算
7. コールドトラップ
  - 7.1 構造・寸法及び材質
  - 7.2 計算条件
  - 7.3 耐圧強度計算

8. コールドトラップ (小)

8.1 構造・寸法及び材質

8.2 計算条件

8.3 耐圧強度計算

## 1. 概要

本耐圧強度計算は、加工施設の安全性を確保する上で重要なものである、蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ(小)、UO<sub>2</sub>ブロータンク、UO<sub>2</sub>フィルタ、UO<sub>2</sub>受けホッパ、UF<sub>6</sub>シリンダについて行う。なお、これらの設備は、伸縮継手を含まない。

評価方法として、日本産業規格「圧力容器の構造—一般事項 (JIS B 8265 (2017年改正版))」に基づき、蒸発器、UO<sub>2</sub>ブロータンク、UO<sub>2</sub>受けホッパ、UF<sub>6</sub>シリンダ、コールドトラップ及びコールドトラップ(小)について行う。評価は、最高使用温度、最高使用圧力を包絡する設計確認温度、設計確認圧力にて行う。

UO<sub>2</sub>フィルタについては、日本産業規格「非円形胴の圧力容器 (JIS B 8280 (2003年改正版))」、「圧力容器の構造—一般事項 (JIS B 8265 (2017年改正版))」を準用して行う。

UF<sub>6</sub>シリンダについては、ANSIの規格に基づいているため、ASME又はASTMで製作されている。

また、コールドトラップ、コールドトラップ(小)、UF<sub>6</sub>シリンダについては、内部が負圧状態となり、外圧を受けることがあるので、負圧状態で座屈が生じない構造であることも示す。

なお、コールドトラップ、コールドトラップ(小)の容器構造に強度上の変更はないが、設計確認温度、設計確認圧力を見直したうえで、日本産業規格「圧力容器の構造—一般事項 (JIS B 8265 (2017年改正版))」に基づき再評価を行った。

## 2. 蒸発器

### 2.1 構造・寸法及び材質

#### 1) 構造・寸法

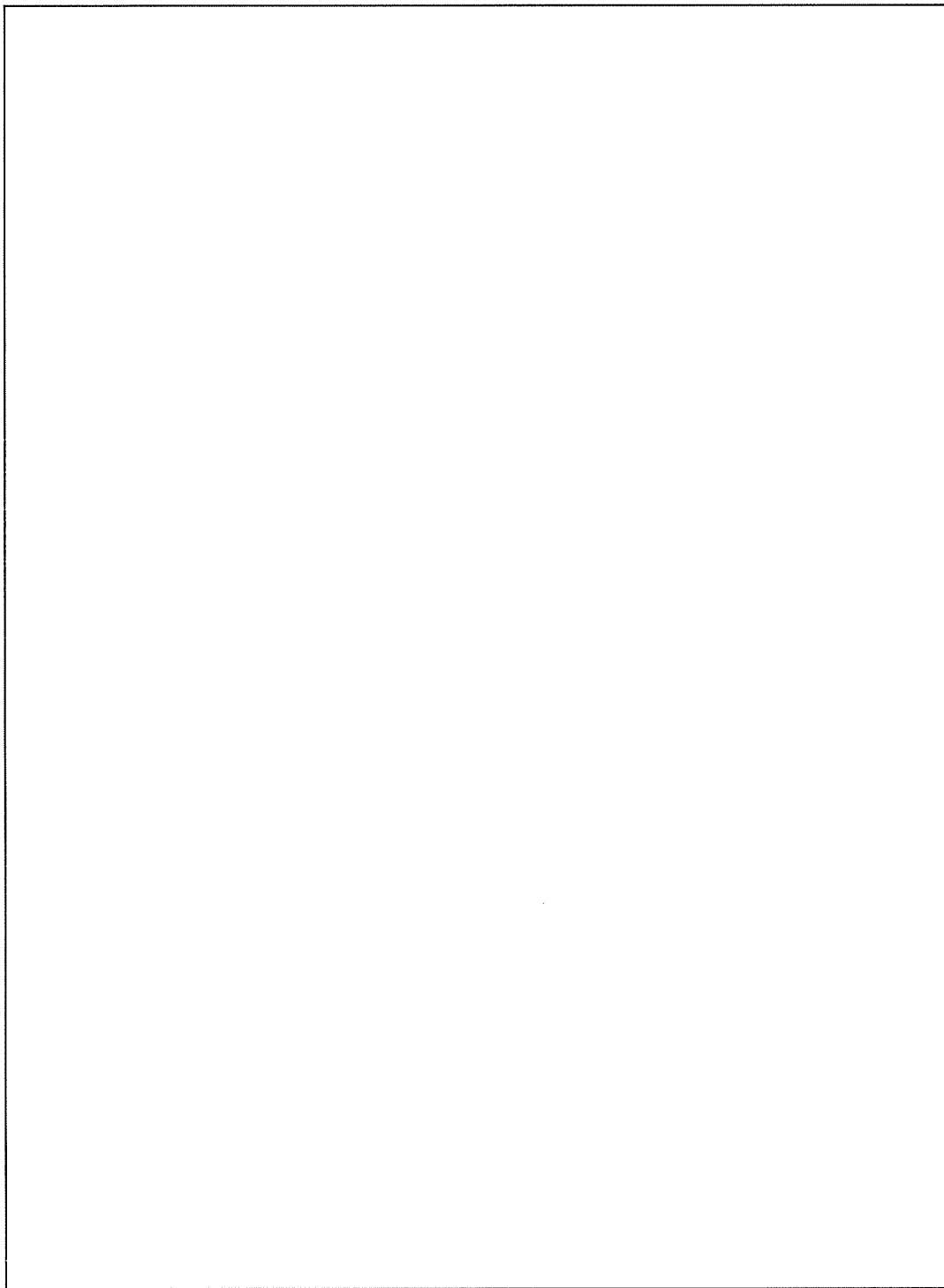
蒸発器の構造・寸法を「添説設 7-2-1 図 蒸発器（正面）」、「添説設 7-2-2 図 蒸発器（上面）」及び「添説設 7-2-3 図 ⑩、⑭、⑮、⑯ノズル詳細」に示す。

#### 2) 材 質

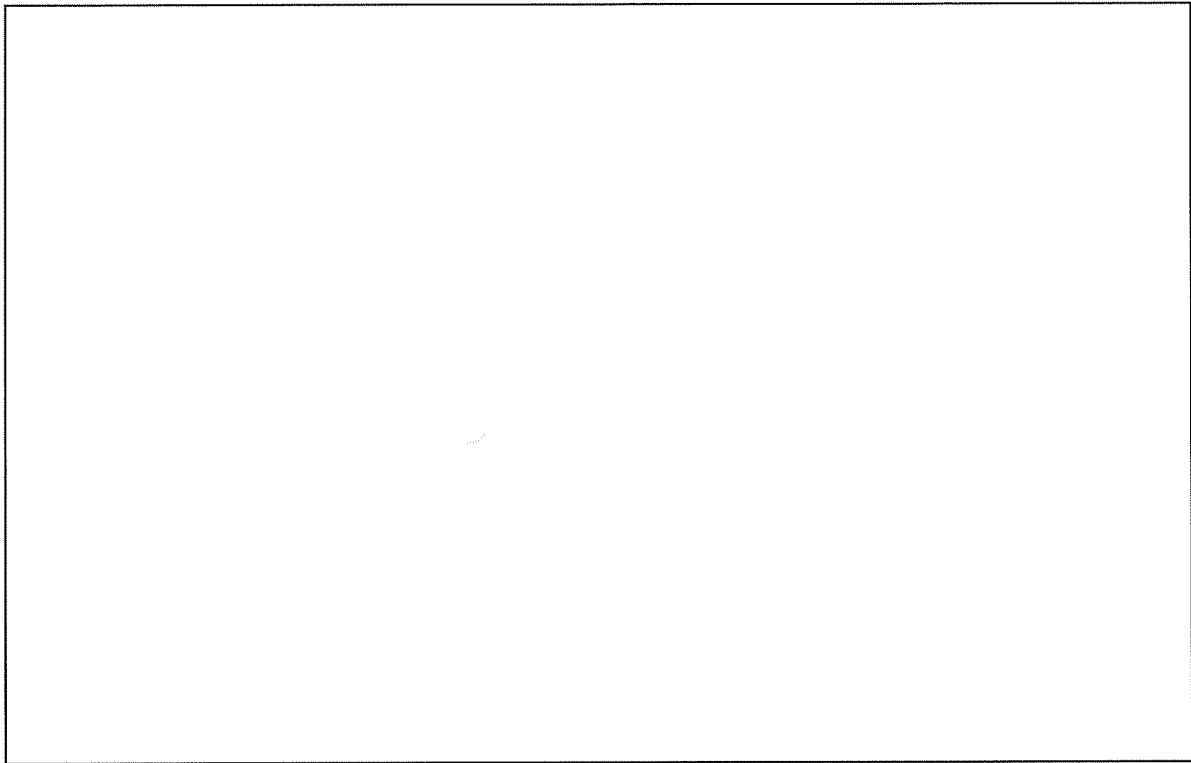
蒸発器の材質を「添説設 7-2-1 表 蒸発器 材質一覧表」に示す。

添説設 7-2-1 表 蒸発器 材質一覧表

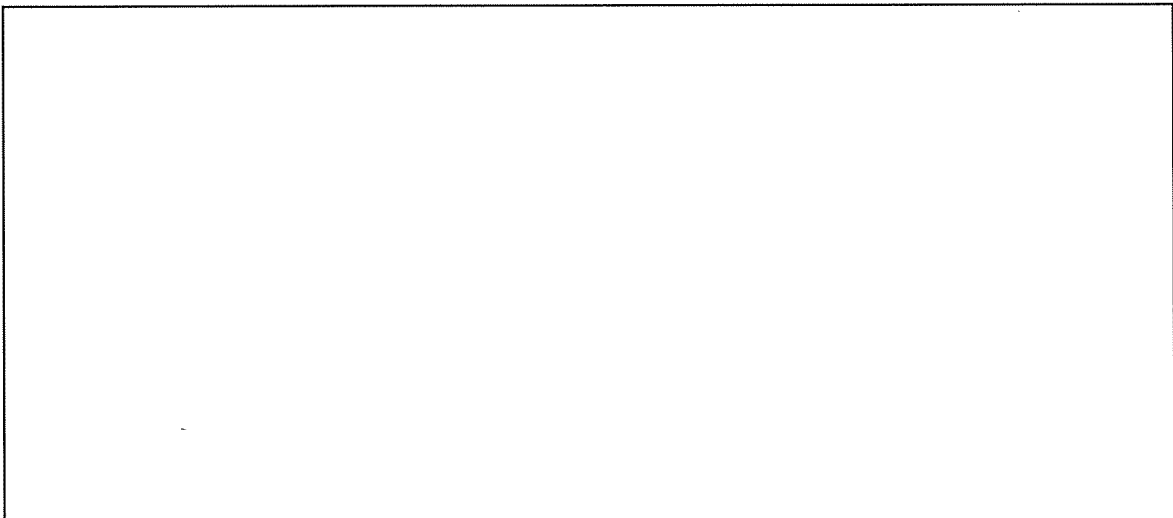
品番	名 称	材 質	ガスケット ボルト 情報	耐圧強 度計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	鏡板(底部)			対象	
③	鏡板(蓋)			対象	
④	ノズル			対象	
⑤	ノズル			対象	
⑥	ノズル			対象	
⑦	ノズル			対象	
⑧	ノズル			対象	
⑨	ノズル			対象	
⑩	ノズル			対象	
⑪	ノズル			対象	
⑫	ノズル			対象	
⑬	ノズル			対象	
⑭	ノズル			対象	
⑮	ノズル			—	ノズル内面に内圧が作用しないため
⑯	ノズル			—	ノズル内面に内圧が作用しないため



添説設 7-2-1 図 蒸発器 (正面)



添説設 7-2-2 図 蒸発器(上面)



添説設 7-2-3 図 ⑩、⑭、⑮、⑯ノズル詳細



## 2.2 計算条件

### イ) 設計確認圧力及び設計確認温度

蒸発器の最高使用圧力、設計確認圧力、最高使用温度及び設計確認温度を「添説設 7-2-2 表 蒸発器計算条件」に示す。

添説設 7-2-2 表 蒸発器計算条件

品番	①	②	③	④~⑭
名称	銅板	鏡板(底部)	鏡板(蓋)	ノズル
設計確認圧力 (MPa)				
最高使用圧力 (MPa)				
設計確認温度 (°C)				
最高使用温度 (°C)				

(注) 運転圧力、温度に裕度を考慮した数値とする。

### ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.0mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.0\text{mm})$$

### ハ) 溶接継手効率

胴板部分の溶接継手効率( $\eta$ )は、JIS B 8265「6.2 溶接継手効率」の20%の放射線透過試験を実施しているが、保守的に放射線透過試験を行わない完全溶け込みの突合せ両側溶接継手の継手効率( $\eta = 0.7$ )とする。

鏡板部分の溶接継手効率( $\eta$ )は、 $\eta = 1$ とする。

2.3 耐圧強度計算

1) ①胴板 (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t_{\text{①}} = \frac{PD_{i\text{①}}}{2\sigma_{a\text{①}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{①}}$  : 胴板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i\text{①}}$  : 胴の内径 ( mm )

$\sigma_{a\text{①}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.7$

$$t_{\text{①}} = \frac{\text{ \times \text{}}{2 \times \text{} \times 0.7 - 1.2 \times \text{}}$$

$$= \text{} \text{ ( mm )}$$

2) ②、③鏡板 (JIS B 8265 附属書 E E.3 内圧を保持する鏡板)

$$t_{②③} = \frac{PRM}{2\sigma_{a②③}\eta - 0.2P}$$

$t_{②③}$  : 皿形鏡板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$R$  : 皿形鏡板の中央の球形部の内半径  ( mm )

$M$  : 皿形鏡板の形状による係数で次の式による

$$M = \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{R}{r_0}} \right)$$

$r_0$  : 皿形鏡板のすみの丸みの内半径  ( mm )

$\sigma_{a②③}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$M = \frac{\text{$$

$$t_{②③} = \frac{\text{$$

3) 管台 (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

イ) ④ノズル

$$t_{④} = \frac{PD_{o④}}{2\sigma_{a④}\eta + 0.8P}$$

$t_{④}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{o④}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{a④}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{④} = \frac{\text{}}{\text{}} \text{ ( mm )}$$

ロ) ⑤ノズル

$$t_{⑤} = \frac{PD_{o⑤}}{2\sigma_{a⑤}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑤}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{o⑤}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{a⑤}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{⑤} = \frac{\text{}}{\text{}} \text{ ( mm )}$$

ハ) ⑥ノズル

$$t_{⑥} = \frac{PD_{o⑥}}{2\sigma_{a⑥}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑥}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{o⑥}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{a⑥}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{⑥} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{( mm )}$$

ニ) ⑦ノズル

$$t_{⑦} = \frac{PD_{o⑦}}{2\sigma_{a⑦}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑦}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{o⑦}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{a⑦}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{⑦} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{( mm )}$$

ホ) ⑧ノズル

$$t_{\text{⑧}} = \frac{PD_{\text{a⑧}}}{2\sigma_{\text{a⑧}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{⑧}}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{\text{a⑧}}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{\text{a⑧}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑧}} = \frac{\text{}}{\text{}} \text{ ( mm )}$$

へ) ⑨ノズル

$$t_{\text{⑨}} = \frac{PD_{\text{a⑨}}}{2\sigma_{\text{a⑨}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{⑨}}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{\text{a⑨}}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{\text{a⑨}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑨}} = \frac{\text{}}{\text{}} \text{ ( mm )}$$

ト) ⑩⑭ノズル

$$t_{⑩⑭} = \frac{PD_{o⑩⑭}}{2\sigma_{a⑩⑭}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑩⑭}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

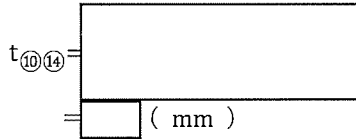
$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{o⑩⑭}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{a⑩⑭}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$



チ) ⑫ノズル

$$t_{⑫} = \frac{PD_{o⑫}}{2\sigma_{a⑫}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑫}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

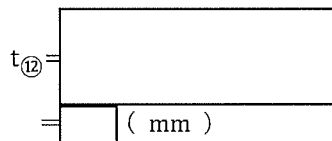
$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{o⑫}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{a⑫}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$



リ) ⑪⑬ノズル

$$t_{⑪⑬} = \frac{PD_{o⑪⑬}}{2\sigma_{a⑪⑬}\eta + 0.8P}$$

$t_{⑪⑬}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

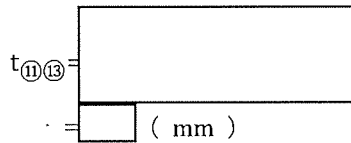
$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{o⑪⑬}$  : ノズルの外径 ( mm )

$\sigma_{a⑪⑬}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

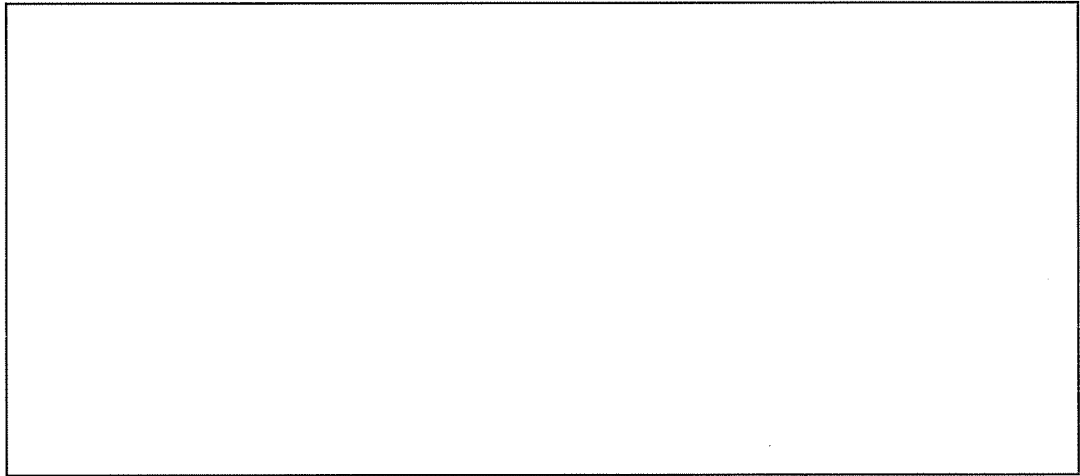
$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$





4) 上部蓋 (JIS B 8265 附属書 F F. 6, F. 7, F. 11 圧力容器の穴補強)

上部蓋に設ける穴は、隣接する 2 個の中心間距離全てが  $2.5(d_1+d_2)$  の値以下となるので上部蓋に取付く管台は全て補強を要す。最も厳しい隣接する管台を代表して補強計算を行う。



F : 係数  $F=1.0$

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta=1.0$

必要な強め材の最小面積

$$A = dt_r F + dt_r F$$

$$= \text{[ ]} \text{ ( mm}^2 \text{ )}$$

$t_r$  : 鏡板の計算厚さ (=  $t_{②③}$ )

補強の有効な面積

$$d = \text{[ ]} \text{ ( mm}^2 \text{ )}$$

$$A_1 = 2d(\eta t - Ft_r)$$

$$= \text{[ ]} \text{ ( mm}^2 \text{ )}$$

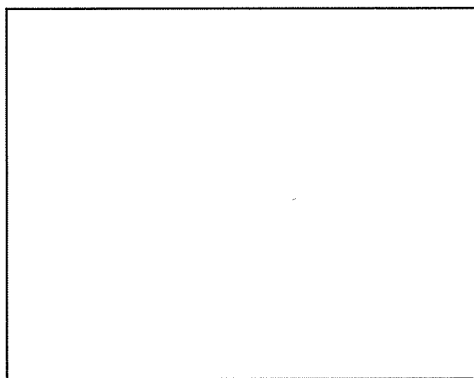
5) ⑨ノズル (平ふた板)

代表例として、ガスケット、ボルトの妥当性評価を以下に示す。

イ) ボルト荷重の計算 (JIS B 8265 附属書 G G.4.1 ボルト荷重)

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重には、使用状態におけるボルト荷重とガスケット締付時のボルト荷重の2種類がある。

以下にその計算を示す。



使用状態でのボルト荷重 :  $W_{m1}$

$$W_{m1} = \frac{\pi GP}{4} (G + 8bm)$$

$G$  : ガスケット反力円の直径  $G =$   ( mm )

$P$  : 内圧 ( MPa )

$b$  : ガスケット座の有効幅 ( mm )

$$b = \text{} - \text{} = \text{} \text{ ( mm )}$$

$b_0$  : ガスケット座の基本幅 ( mm )

附属書 G 表 G.3 による

$$b_0 = \frac{N}{2} = \frac{14.2}{2} = \text{} \text{ ( mm )}$$

$m$  : ガスケット係数  $m =$

メーカーカタログによる

$$W_{m1} = \text{}$$

$$= \text{} \text{ ( N )}$$

ガスケット締付時のボルト荷重 :  $W_{m2}$

$$W_{m2} = \pi bGy$$

$y$  : 最小設計締付圧力  $y =$   ( N/mm<sup>2</sup> )

メーカーカタログによる

$$W_{m2} = \pi \times \boxed{\phantom{0000000000}} \\ = \boxed{\phantom{0000000000}} \text{ (N)}$$

使用状態でのボルトの総有効断面積 :  $A_{m1}$

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} = \boxed{\phantom{0000000000}} \\ = \boxed{\phantom{0000000000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$\sigma_b$  : 設計確認温度におけるボルト材料の許容引張応力  $\sigma_b = 78$  (MPa)

JIS B 8265 解説 3「表 B.5 のボルト材料の許容引張応力」に従って、計算する。なお、最小降伏点又は 0.2%耐力については JIS B 8265 表 D.3 に記載の値とし、引張強さについては JIS B 8265 に記載がないため JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表7 材料の各温度における設計引張強さの値とする

ガスケット締付時のボルトの総有効断面積 :  $A_{m2}$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} = \boxed{\phantom{0000000000}} \\ = \boxed{\phantom{0000000000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$\sigma_a$  : 常温におけるボルト材料の許容引張応力  $\sigma_a = 78$  (MPa)

JIS B 8265 解説 3「表 B.5 のボルト材料の許容引張応力」に従って、計算する。なお、最小降伏点又は 0.2%耐力については JIS B 8265 表 D.3 に記載の値とし、引張強さについては JIS B 8265 に記載がないため JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表7 材料の各温度における設計引張強さの値とする

ボルトの総有効断面積 :  $A_m$

$$A_m = \max(A_{m1}, A_{m2}) = \max(\boxed{\phantom{0000000000}}) \\ = \boxed{\phantom{0000000000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重

使用状態でのボルト荷重 :  $W_0 = W_{m1}$

ガスケット締付時のボルト荷重 :  $W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \sigma_a$

$A_b$  : ボルトの総有効断面積

$$A_b = \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$n : \text{ボルト本数 } \boxed{\phantom{00}} \text{ 本}$$

$$d_b : \text{Tr16 のボルト谷径 } \boxed{\phantom{00}} \text{ (mm)}$$

$$W_g = \boxed{\phantom{000}} \text{ (N)}$$

ロ) 使用状態での平ふた板の計算厚さ

(JIS B 8265 附属書 L L.3.2 ボルト締平ふた板の計算厚さ)

$$t_{\text{㊸0}} = d \sqrt{\frac{0.3P}{\sigma_{a0} \eta} + \frac{1.9W_0 h_g}{d^3 \sigma_{a0} \eta}}$$

$t_{\text{㊸0}}$  : 使用状態での平ふた板の計算厚さ ( mm )

$d$  : ガスケット反力円の直径 ( mm )

$W_0$  : 使用状態でのボルト荷重 ( N )

$h_g$  : モーメントアーム ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$\sigma_{a0}$  : 設計確認温度における平ふた板の材料の許容引張応力

$$\sigma_{a0} = \boxed{\phantom{000}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1—鉄鋼材料の許容引張応力」

による。

$\eta$  : 平ふた板の溶接接手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{\text{㊸0}} = \boxed{\phantom{000}} \times \sqrt{\boxed{\phantom{000}}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm)}$$

ハ) ガスケット締付時の平ふた板の計算厚さ

$$t_{\text{㊸g}} = d \sqrt{\frac{0.3P}{\sigma_{ag} \eta} + \frac{1.9W_g h_g}{d^3 \sigma_{ag} \eta}}$$

$t_{\text{㊸g}}$  : ガスケット締付時の平ふた板の計算厚さ ( mm )

$d$  : ガスケット反力円の直径 ( mm )

$W_g$  : ガスケット締付時のボルト荷重 ( N )

$h_g$  : モーメントアーム ( mm )

$P$  : 設計確認圧力  $P=0$  ( MPa )

$\sigma_{ag}$  : 常温における平ふた板の材料の許容引張応力  
 $\sigma_{ag} = \square$  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1—鉄鋼材料の許容引張応力」  
 による。

$\eta$  : 平ふた板の溶接接手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{@g} = 181.6 \times \sqrt{\square}$$

$$= \square \text{ (mm)}$$

6) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

耐圧強度計算の結果を添説設 7-2-3 表に示す。

添説設 7-2-3 表 耐圧強度計算結果

品番	名称	計算上 必要な厚さ (mm)	設計厚さ※1 (mm)	強め材の 最小面積 (mm <sup>2</sup> )	補強の有効 な面積 (mm <sup>2</sup> )
①	胴板				
②	鏡板(底部)				
③	鏡板(蓋)				
④	ノズル				
⑤	ノズル				
⑥	ノズル				
⑦	ノズル				
⑧	ノズル				
⑨	ノズル				
	ノズル (平ふた板)				
⑩	ノズル				
⑪	ノズル				
⑫	ノズル				
⑬	ノズル				
⑭	ノズル				

※1 : 設計厚さ = 公称厚さ - (1.0mm) (1.0mm は設計上の裕度)

ロ) 評 価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、補強の有効な面積は強め材の最小面積より大きいので、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは□mm以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

3. UO<sub>2</sub>ブロータンク

3.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

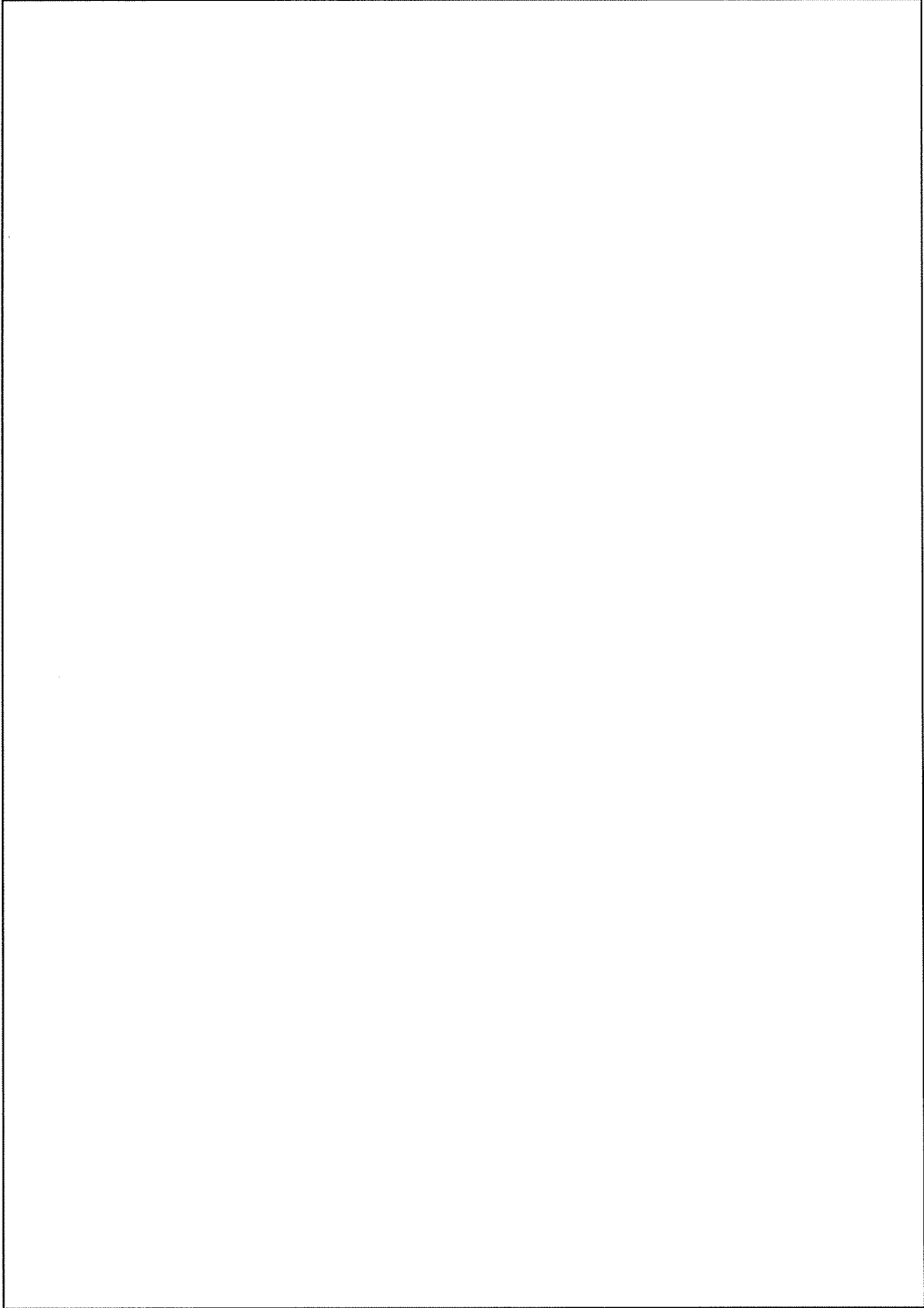
UO<sub>2</sub>ブロータンクの構造・寸法を「添説設 7-3-1 図 UO<sub>2</sub>ブロータンク」に示す。

2) 材 質

UO<sub>2</sub>ブロータンクの材質を「添説設 7-3-1 表 UO<sub>2</sub>ブロータンク 材質一覧表」に示す。

添説設 7-3-1 表 UO<sub>2</sub>ブロータンク 材質一覧表

品番	名称	材質	ガスケット ボルト 情報	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	平鏡板			対象	
③	フランジ部			対象	
④	ノズル			対象	
⑤	ノズル			対象	
⑥	ノズル			—	胴板の評価に包絡されるため
⑦	ノズル			対象	
⑧	ノズル			—	胴板の評価に包絡されるため
⑨	ノズル			対象	



添説設 7-3-1 図 UO<sub>2</sub>ブロータンク



### 3.2 計算条件

#### イ) 設計確認圧力及び設計確認温度

UO<sub>2</sub>ブロータンク的设计確認圧力及び设计確認温度を「添説設 7-3-2 表 UO<sub>2</sub>ブロータンク計算条件」に示す。

添説設 7-3-2 表 UO<sub>2</sub>ブロータンク計算条件

品番	①	②	③	④～⑨
名称	胴板	平鏡板	フランジ部	ノズル
設計確認圧力 (MPaG)				
最高使用圧力 (MPaG)				
設計確認温度 (°C)				
最高使用温度 (°C)				

(注) 運転圧力、温度に裕度を考慮した数値とする。

#### ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.5mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.5\text{mm})$$

### 3.3 耐圧強度計算

#### 1) ①胴板

(内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t_{\text{①}} = \frac{PD_{i\text{①}}}{2\sigma_{a\text{①}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{①}}$  : 胴板の計算厚さ ( mm )

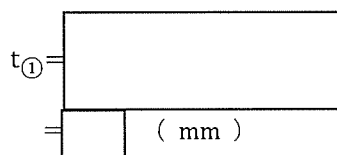
$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i\text{①}}$  : 胴の内径 ( mm )

$\sigma_{a\text{①}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$



2) ②平鏡板(円形平鏡板)

(JIS B 8265 附属書 E E.3 内圧を保持する鏡板)

$$t_{\text{②}} = d \sqrt{\frac{CP}{\sigma_{a\text{②}}\eta}}$$

$t_{\text{②}}$  : 平鏡板の計算厚さ ( mm )

$d$  : 内径、又は円形以外の平板の最小スパン ( mm )

$C$  : 平板の取付方法による定数

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$\sigma_{a\text{②}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{\text{②}} = \text{}$$

$$= \text{} \text{ ( mm )}$$

③平鏡板(フランジ部)

(内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t_{\text{③}} = \frac{PD_{i\text{③}}}{2\sigma_{a\text{③}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{③}}$  : フランジ部の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i\text{③}}$  : フランジ部の内径 ( mm )

$\sigma_{a\text{③}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{\text{③}} = \frac{\text{[ ]}}{\text{[ ]}} \text{ ( mm )}$$

3) 管台 (胴の計算の内径基準)

(JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

イ) ④ノズル

$$t_{④} = \frac{PD_{i④}}{2\sigma_{a④}\eta - 1.2P}$$

$t_{④}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i④}$  : ノズルの内径 ( mm )

$\sigma_{a④}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{④} = \frac{\text{}}{\text{}}$$

$$= \text{} \text{ ( mm )}$$

ロ) ⑤ノズル (胴の計算の内径基準)

$$t_{⑤} = \frac{PD_{i⑤}}{2\sigma_{a⑤}\eta - 1.2P}$$

$t_{⑤}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i⑤}$  : ノズルの内径 ( mm )

$\sigma_{a⑤}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{⑤} = \frac{\text{}}{\text{}}$$

$$= \text{} \text{ ( mm )}$$

ハ) ⑦ノズル(胴の計算の内径基準)

$$t_{\text{⑦}} = \frac{PD_{i\text{⑦}}}{2\sigma_{a\text{⑦}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{⑦}}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i\text{⑦}}$  : ノズルの内径 ( mm )

$\sigma_{a\text{⑦}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑦}} = \frac{\text{PD}_{i\text{⑦}}}{2\sigma_{a\text{⑦}}\eta - 1.2P}$$

$$= \text{} \text{ ( mm )}$$

ニ) ⑨ノズル(胴の計算の内径基準)

$$t_{\text{⑨}} = \frac{PD_{i\text{⑨}}}{2\sigma_{a\text{⑨}}\eta - 1.2P}$$

$t_{\text{⑨}}$  : ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i\text{⑨}}$  : ノズルの内径 ( mm )

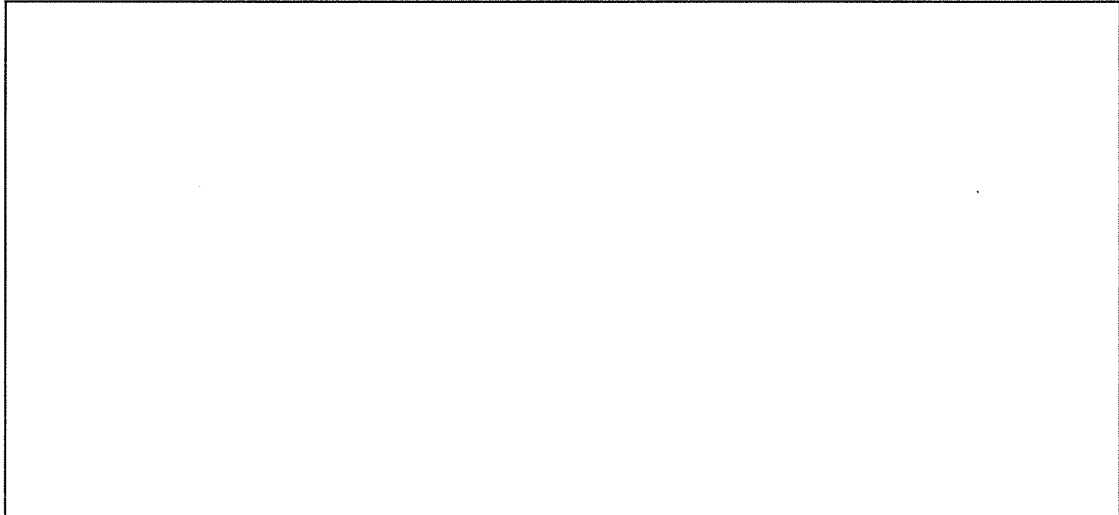
$\sigma_{a\text{⑨}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{\text{⑨}} = \frac{\text{PD}_{i\text{⑨}}}{2\sigma_{a\text{⑨}}\eta - 1.2P}$$

$$= \text{} \text{ ( mm )}$$

4) 平鏡板 (JIS B 8265 附属書 F F.6, F.7 圧力容器の穴補強)



F : 係数  $F=1.0$

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta=1.0$

必要な最小面積

$$A = d t_r F + d t_r F$$

$$= \boxed{\hspace{4cm}}$$

$$= \boxed{\hspace{1cm}} (\text{mm}^2)$$

$t_r$  : 平鏡板の計算厚さ (=  $t_{②}$ )

有効な面積

$$d = \boxed{\hspace{4cm}}$$

$$= \boxed{\hspace{1cm}} (\text{mm}^2)$$

$$A_1 = d(\eta t - F t_r)$$

$$= \boxed{\hspace{4cm}}$$

$$= \boxed{\hspace{1cm}} (\text{mm}^2)$$

$A < A_1$  よって補強は十分である。

5) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

耐圧強度計算の結果を添説設 7-3-3 表に示す。

添説設 7-3-3 表 耐圧強度計算結果

品番	名称	計算上 必要な厚さ (mm)	設計厚さ※1 (mm)
①	胴板		
②	平鏡板		
③	フランジ部		
④	ノズル		
⑤	ノズル		
⑦	ノズル		
⑧	ノズル		
⑨	ノズル		

※1：設計厚さ＝公称厚さ－（1.5mm） （1.5mm は設計上の裕度）

ロ) 評価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、耐圧強度上の安全性は確認された。また、強め材として算入できる部分の面積は穴補強に必要な面積よりも大きいため、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは 1.0mm 以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。



#### 4. UO<sub>2</sub> フィルタ

##### 4.1 構造・寸法及び材質

###### 1) 構造・寸法

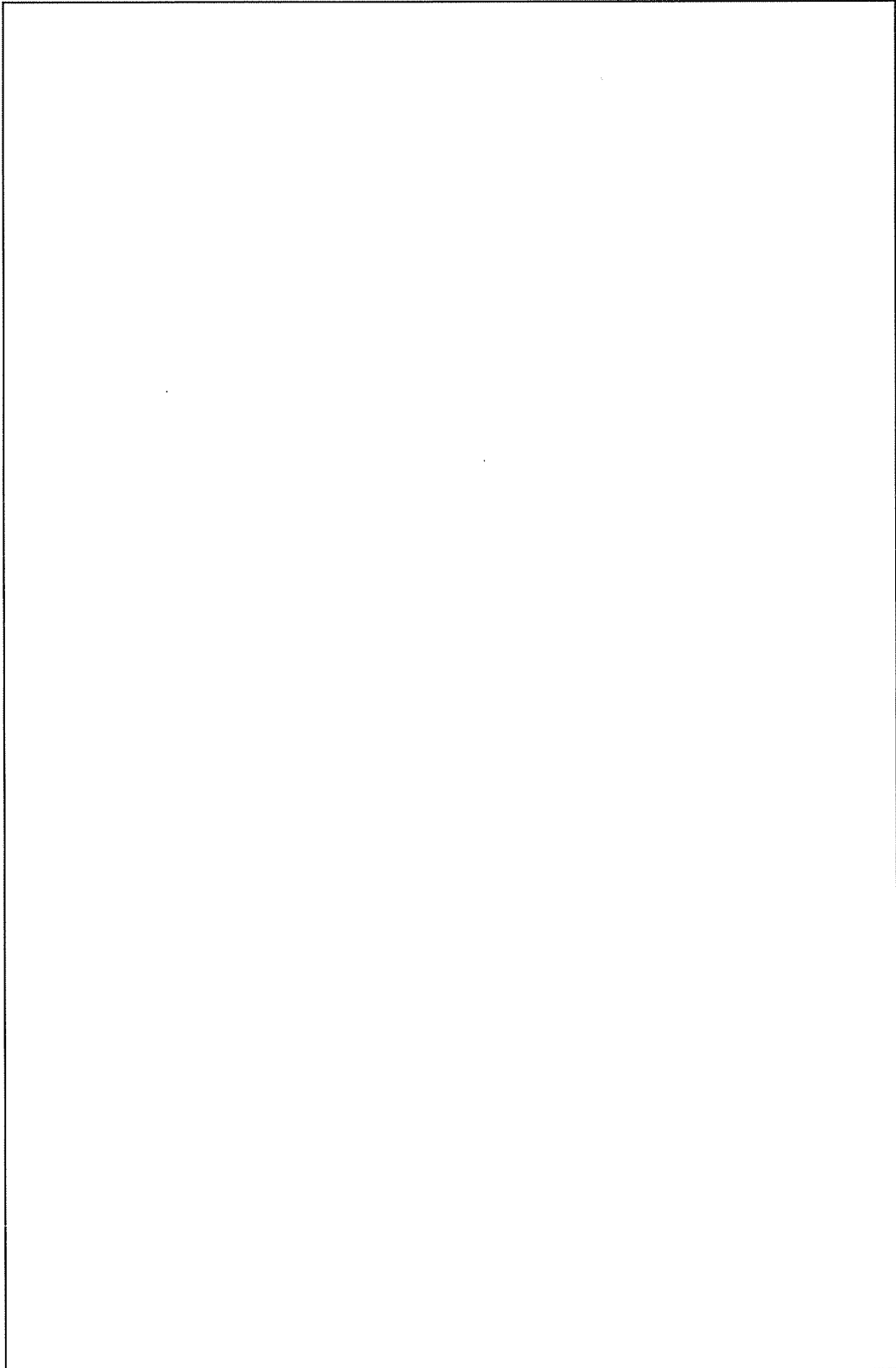
UO<sub>2</sub> フィルタの構造・寸法を「添説設 7-4-1 図 UO<sub>2</sub> フィルタ」に示す。

###### 2) 材 質

UO<sub>2</sub> フィルタの材質を「添説設 7-4-1 表 UO<sub>2</sub> フィルタ 材質一覧表」に示す。

添説設 7-4-1 表 UO<sub>2</sub>フィルタ 材質一覧表

品番	名称	材質	ガスケット ボルト 情報	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	フランジ			対象	
③	上部ケーシング (胴板)			対象	
④	上部ケーシング (フランジ)			対象	
⑤	下部ケーシング (胴板)			—	上記①に評価は包絡されることから省略する。
⑥	下部ケーシング (フランジ)			—	②を代表として評価する。
⑦	仕切板			—	強度を確保する材料ではないため。
⑧	ノズル			対象	
⑨	ノズル			対象	
⑩	ノズル			対象	
⑪	ノズル			対象	



添説設 7-4-1 図 UO<sub>2</sub> フィルタ

#### 4.2 計算条件

##### イ) 設計確認圧力及び設計確認温度

UO<sub>2</sub> フィルタの設計確認圧力及び設計確認温度を「添説設 7-4-2 表 UO<sub>2</sub> フィルタ計算条件」に示す。

添説設 7-4-2 表 UO<sub>2</sub> フィルタ計算条件

品番	①、②	③、④	⑧～⑩
名称	胴板、 フランジ	上部 ケーシング (胴板)、 (フランジ)	ノズル
設計確認圧力 (MPaG)			
最高使用圧力 (MPaG)			
設計確認温度 (°C)			
最高使用温度 (°C)			

(注) 運転圧力、温度に裕度を考慮した数値とする。

##### ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.0 mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.0 \text{ mm})$$

##### ハ) 溶接継手効率

溶接継手は、存在しないことから、 $\eta=1.0$  とする。

#### 4.3 耐圧強度計算

##### 1) ①胴板 (JIS B 8280 7.2.1 項)

P : 設計確認圧力 ( MPaG )

H : 添説設 7-5-2 図に示す非円形胴の一辺の長さ ( mm )

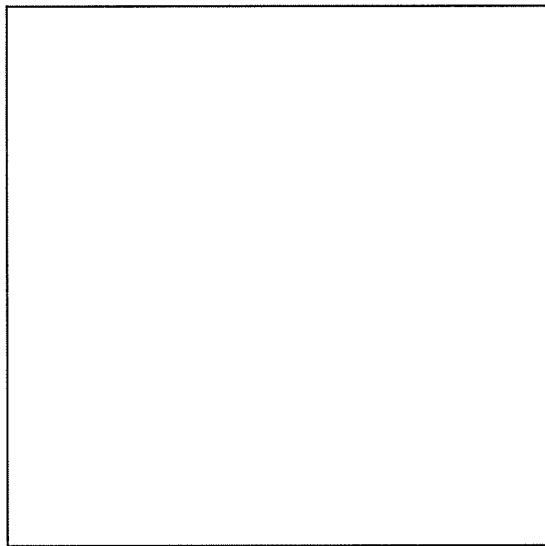
h : 添説設 7-5-2 図に示す非円形胴の一辺の長さ ( mm )

t<sub>1</sub> : 添説設 7-5-2 図に示す胴板の厚さ ( mm )

t<sub>2</sub> : 添説設 7-5-2 図に示す胴板の厚さ ( mm )

c : 部材断面の中立面から表面までの長さ ( mm )

η : 溶接継手効率



添説設 7-4-2 図 胴部寸法図

##### イ) 部材④～⑥間の応力

###### a) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1\eta}$$

=  ( N/mm<sup>2</sup> )

###### b) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_N = \pm \frac{Ph^2c}{2t_1^3\eta} \left\{ \frac{2 - (K + 3)\alpha^2}{K + 1} \right\}$$

=

=  ( N/mm<sup>2</sup> )

$$\begin{aligned}
 (\sigma_b)_B &= \pm \frac{Ph^2c}{t_1^3\eta} \left\{ \frac{\alpha^2K+1}{K+1} \right\} \\
 &= \boxed{\phantom{000000000000000000}} \\
 &= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

c) 合成応力

$$\begin{aligned}
 (\sigma_T)_N &= \sigma_m + (\sigma_b)_N \\
 &= \boxed{\phantom{00000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )} \\
 (\sigma_T)_B &= \sigma_m + (\sigma_b)_B \\
 &= \boxed{\phantom{00000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

ロ) 部材③～④間の応力

a) 膜応力

$$\begin{aligned}
 \sigma_m &= \frac{PH}{2t_2\eta} \\
 &= \boxed{\phantom{00000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

b) 曲げ応力

$$\begin{aligned}
 (\sigma_b)_M &= \pm \frac{Ph^2c}{2t_2^3\eta} \left\{ \frac{(2\alpha^2-3)K-1}{K+1} \right\} \\
 &= \boxed{\phantom{000000000000000000}} \\
 &= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_b)_B &= \pm \frac{Ph^2c}{t_2^3\eta} \left\{ \frac{\alpha^2K+1}{K+1} \right\} \\
 &= \boxed{\phantom{000000000000000000}} \\
 &= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

c) 合成応力

$$\begin{aligned}
 (\sigma_T)_M &= \sigma_m + (\sigma_b)_M \\
 &= \boxed{\phantom{00000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )} \\
 (\sigma_T)_B &= \sigma_m + (\sigma_b)_B \\
 &= \boxed{\phantom{00000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

ここに、

$$\alpha = \frac{H}{h} = \boxed{\phantom{000000}}, \quad K = \alpha \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^3 = \boxed{\phantom{000000}}$$

2) ③、④上部ケーシング（胴板）及び上部ケーシング（フランジ）

（JIS B 8280 附属書 1 5.を準用）

胴板及びフランジに生じる膜応力、曲げ応力及び合成応力の計算を以降に示す。ただし、応力計算は、使用状態及びガスケット締付時の両方の場合について行う。

イ) ボルト荷重

a) 使用状態でのボルト荷重

$$W_{m1} = H' + H_p$$

$W_{m1}$  : 使用状態でのボルト荷重 ( N/mm )

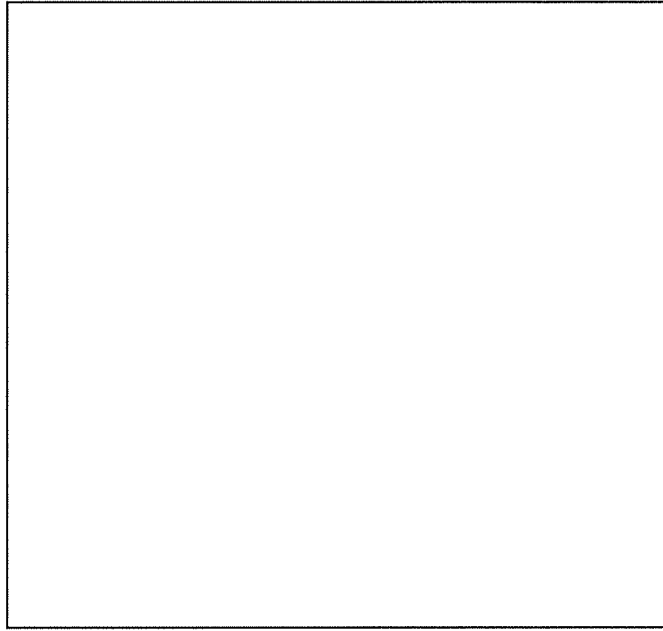
$H'$  : フランジに加わる内圧による単位長さ当たりの荷重 ( N/mm )

$H_p$  : 気密を十分保つために、ガスケット又は継手接触面における単位長さ当たりの圧縮力 ( N/mm )

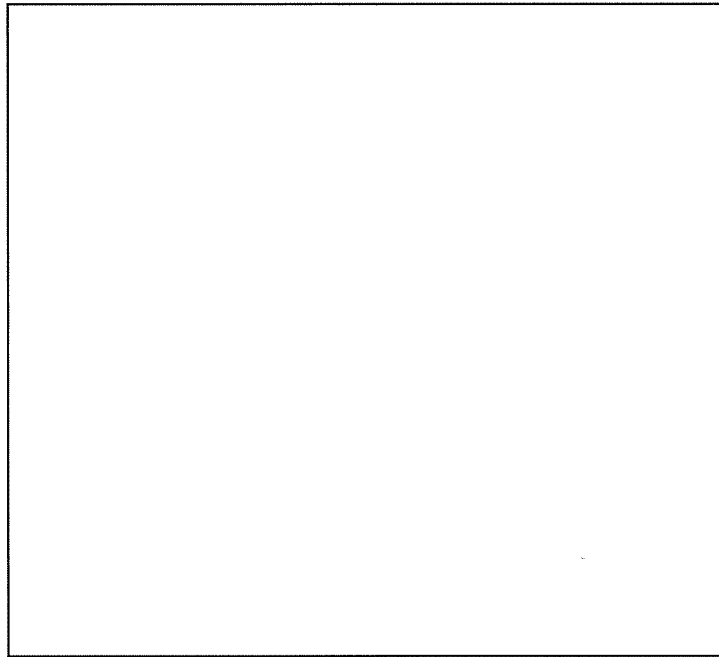
$G$  : ガスケットの反力のかかる位置を結ぶ最少スパン ( mm )

$b$  : ガスケット座の有効幅 ( mm ) JIS B 8265 「附属書 G」による。

$m$  : ガスケット係数で、JIS B 8265 「附属書 G 表 G.2」による。



添説設 7-4-3 図 UO<sub>2</sub>フィルタ上部ケーシングの寸法記号



添説設 7-4-4 図 フランジ計算に用いる寸法記号



$$H = \frac{GP}{2}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$H_p = 2bmP$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$W_{m1} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm )}$$

b) ガスケット締付時のボルト荷重

$$W_{m2} = by$$

$W_{m2}$  : ガスケット締付時のボルト荷重 ( N/mm )

$y$  : ガスケット又は継手接触面の最小設計締付圧力 ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 G 表 G.2」による。

$$W_{m2} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm )}$$

ロ) 単位長さ当りのボルトの総断面積及び実際のボルトの総断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_{b0}}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a0}}$$

$A_{m1}$  : 使用状態での単位長さ当りのボルトの必要有効断面積  
( mm<sup>2</sup>/mm )

$A_{m2}$  : ガスケット締付時の単位長さ当りのボルトの必要有効断面積  
( mm<sup>2</sup>/mm )

$\sigma_{b0}$  : 使用温度におけるボルト材料の許容引張応力 ( N/mm<sup>2</sup> )

$\sigma_{a0}$  : 常温におけるボルト材料の許容引張応力 ( N/mm<sup>2</sup> )

$$A_{m1} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm}^2\text{/mm )}$$

$$A_{m2} = \square$$

$$= \square (\text{mm}^2/\text{mm})$$

ハ) フランジの計算に用いるボルト荷重

a) 使用状態での単位長さ当たりのボルト荷重

$$W_0 = W_{m1}$$

$W_0$  : 使用状態での単位長さ当たりのボルト荷重 ( N/mm )

$$W_0 = \square (\text{N/mm})$$

b) ガasket縮付時の単位長さ当たりのボルト荷重

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \sigma_{a0}$$

$W_g$  : ガasket縮付時の単位長さ当たりのボルト荷重 ( N/mm )

$A_m$  : 使用状態及びガasket縮付時の両方に対して必要なフランジの単位長さ当たりのボルトの総断面積 (  $\text{mm}^2/\text{mm}$  )

$A_m$  は  $A_{m1}$  と  $A_{m2}$  の値のうち大きい方をとる

$A_b$  : 実際に使用するボルトの単位長さ当たりの総断面積 (  $\text{mm}^2/\text{mm}$  )

$$W_g = \square$$

$$= \square (\text{N/mm})$$

ニ) フランジに作用するモーメント

a) 使用状態でフランジに作用する単位長さ当たりの全モーメント

$$M_0 = M_D + M_G + M_T$$

$M_0$  : 使用状態でフランジに作用する単位長さ当たりの全モーメント (  $\text{Nmm}/\text{mm}$  )

$M_b$  : 内圧力によってフランジの最小スパン面に加わる単位長さ当たりのモーメント (  $\text{Nmm}/\text{mm}$  )

$R$  : 添説設 7-5-4 図に示す距離 ( mm )

$t_1$  : 胴板の厚さ ( mm )

$H_b$  : フランジの最小スパン面に加わる荷重 ( N/mm )

$h$  : 非円形胴の内径 ( mm )

- $h_D$  : モーメントアーム ( mm )  
 $M_G$  : ガasket荷重によるモーメントで、フランジのボルト荷重とフランジに加わる内圧による荷重との差による単位長さ当たりのモーメント ( Nmm/mm )  
 $H_G$  : ガasket荷重(ボルト荷重  $W_0$  とフランジに加わる内圧による荷重  $H'$  との差) ( N/mm )  
 $h_G$  : モーメントアーム ( mm )  
 $C$  : ボルト穴の中心を結ぶ最小スパン ( mm )  
 $M_r$  : フランジに加わる内圧による荷重とフランジの最小スパン面に加わる荷重との差による単位長さ当たりのモーメント ( Nmm/mm )  
 $H_r$  : フランジに加わる内圧による荷重  $H'$  とフランジの最小スパン面に加わる単位長さ当たりの荷重  $H_0$  との差 ( N/mm )  
 $h_r$  : モーメントアーム ( mm )

$$h_D = R + 0.5t_1$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{00}} \text{ ( mm )}$$

$$H_D = \frac{Ph}{2}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$M_D = H_D h_D$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

$$H_G = W_0 - H'$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$h_G = \frac{C - G}{2}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$$

$$M_G = H_G h_G$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

$$H_T = H' - H_D$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$h_T = \frac{1}{2} (R + t_1 + h_G)$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$$

$$M_T = H_T h_T$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

$$M_0 = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

b) ガasket縮付時にフランジに作用する単位長さ当たりのモーメント

$$M_g = W_g \frac{C - G}{2}$$

$M_g$  : ガasket縮付時にフランジに作用する単位長さ当たりのモーメント ( Nmm/mm )

$$M_g = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

ホ) 部材 A~B の応力 ( 附属書 1 2. を準用)

a) 使用時

a. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1\eta}$$

- $\sigma_m$  : 膜応力 ( N/mm<sup>2</sup> )
- $h$  : 非円形胴の内径 ( mm )
- $P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )
- $t_1$  : 胴板の厚さ ( mm )
- $\eta$  : 溶接継手効率

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

a. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_A = \pm \frac{6M_A}{t_1^2 \eta}$$

- $\sigma_b$  : 曲げ応力 ( N/mm<sup>2</sup> )
- $M_A$  : 添説設 7-5-3 図に示す A 点においてフランジに作用する単位長さ当たりの曲げモーメント ( Nmm/mm )

$$(\sigma_b)_A = \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$(\sigma_b)_B = \pm \frac{6M_{Bj}}{t_1^2 \eta}$$

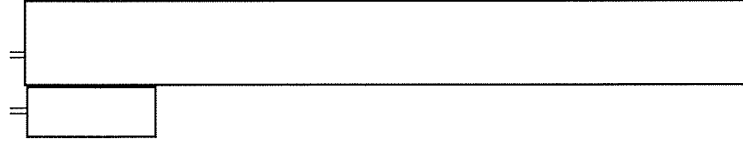
$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$(\sigma_b)_{A-B} = \pm \frac{6}{t_1^2 \eta} \left( M_A + \frac{R_{Cj}^2}{2P} \right)$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

- $M_{Bj}$  : 隅角部 B 点にかかる単位長さ当たりの曲げモーメント ( Nmm/mm )

$$M_{Bj} = \frac{\frac{1}{4}P(Q_1H^2 + Q_2h^2) + M_AQ_1}{2Q_1 + 3Q_2}$$



H : 添説設 7-5-4 図に示す非円形胴の内径 ( mm )

Q<sub>1</sub> : 非円形胴の内径 H を単位長さ当たりの胴板厚さ t<sub>1</sub> 部の断面 2 次モーメントで除したもの ( mm/mm<sup>3</sup> )

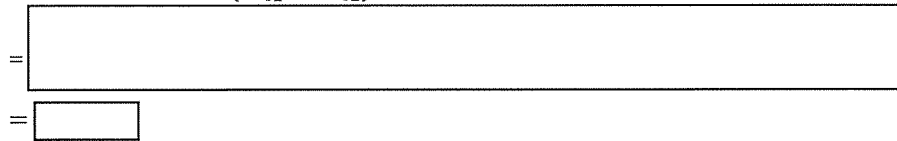
$$Q_1 = \frac{12H}{t_1^3} = \boxed{\phantom{000}} = \boxed{\phantom{000}}$$

Q<sub>2</sub> : 非円形胴の内径 h を単位長さ当たりの胴板厚さ t<sub>2</sub> 部の断面 2 次モーメントで除したもの ( mm/mm<sup>3</sup> )

$$Q_2 = \frac{12h}{t_2^3} = \boxed{\phantom{000}} = \boxed{\phantom{000}}$$

R<sub>Cj</sub> : フランジ取付部 A 点にかかる単位長さ当たりの反力 ( N/mm )

$$R_{Cj} = \frac{P \left( \frac{3}{2}Q_1H^2 + 3Q_2H^2 - \frac{1}{2}Q_2h^2 \right) - 3M_A(Q_1 + Q_2)}{(2Q_1 + 3Q_2)H}$$



a. 3) 合成応力

$$\begin{aligned} (\sigma_T)_A &= \sigma_m + (\sigma_b)_A \\ &= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\sigma_T)_B &= \sigma_m + (\sigma_b)_B \\ &= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\sigma_T)_{A-B} &= \sigma_m + (\sigma_b)_{A-B} \\ &= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )} \end{aligned}$$

b) 締付時

b. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1\eta}$$



$$= \boxed{\phantom{00}} (\text{N/mm}^2)$$

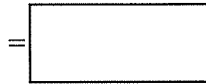
b. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_A = \pm \frac{6M_A}{t_1^2\eta}$$



$$= \boxed{\phantom{00}} (\text{N/mm}^2)$$

$$(\sigma_b)_B = \pm \frac{6M_{Bj}}{t_1^2\eta}$$



$$= \boxed{\phantom{00}} (\text{N/mm}^2)$$

$(\sigma_b)_{A-B}$  は、 $R_{Cj}$  が負のため考慮しなくてもよい。

$$M_{Bj} = \frac{\frac{1}{4}P(Q_1H^2 + Q_2h^2) + M_A Q_1}{2Q_1 + 3Q_2}$$

$$= \boxed{\phantom{00000000000000000000}}$$

$$= 746.296$$

$$R_{Cj} = \frac{P \left( \frac{3}{2}Q_1H^2 + 3Q_2H^2 - \frac{1}{2}Q_2h^2 \right) - 3M_A(Q_1 + Q_2)}{(2Q_1 + 3Q_2)H}$$

$$= \boxed{\phantom{00000000000000000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{0000}}$$

b. 3) 合成応力

$$\begin{aligned}
 (\sigma_T)_A &= \sigma_m + (\sigma_b)_A \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_T)_B &= \sigma_m + (\sigma_b)_B \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

へ) 部材 B～C 間の応力

a) 使用時

a. 1) 膜応力

$$\begin{aligned}
 \sigma_m &= \frac{R_{tj}}{t_2 \eta} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

$R_{tj}$  : 中央 C 点に作用する単位長さ当たりの反力 ( N/mm )

$$\begin{aligned}
 R_{tj} &= PH - R_{Cj} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}}
 \end{aligned}$$

$t_2$  : 添説設 7-5-1 図に示す胴板の厚さ ( mm )

a. 2) 曲げ応力

$$\begin{aligned}
 (\sigma_b)_B &= \pm \frac{cM_{Bj}}{I_2 \eta} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\sigma_b)_C &= \pm \frac{cM_{Cj}}{I_2 \eta} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \\
 &= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}
 \end{aligned}$$



ここに、 $c$  : 断面の中立軸から外表面までの長さ ( mm )

$I_2$  : 単位長さ当たりの胴板厚さ $t_2$ 部の断面 2 次モーメント

(  $\text{mm}^4/\text{mm}$  )

$$I_2 = \frac{t_2^3}{12} = \boxed{\quad} = \boxed{\quad}$$

$M_{Cj}$  : 中央  $C$  点に作用する単位長さ当たりの曲げモーメント

(  $\text{Nmm}/\text{mm}$  )

$$M_{Cj} = M_{Bj} - \frac{Ph^2}{8}$$

$$= \boxed{\quad}$$
$$= \boxed{\quad}$$

a. 3) 合成応力

$$(\sigma_T)_B = \sigma_m + (\sigma_b)_B$$
$$= \boxed{\quad} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$(\sigma_T)_C = \sigma_m + (\sigma_b)_C$$
$$= \boxed{\quad} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

b) 締付時

b. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{R_{tj}}{t_2\eta}$$
$$= \boxed{\quad}$$
$$= \boxed{\quad} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$R_{tj} = PH - R_{Cj}$$
$$= \boxed{\quad}$$
$$= \boxed{\quad}$$

b. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_B = \pm \frac{cM_{Bj}}{I_2 \eta}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{00}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$(\sigma_b)_C = \pm \frac{cM_{Cj}}{I_2 \eta}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{00}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$M_{Cj} = M_{Bj} - \frac{Ph^2}{8}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{0000}}$$

b. 3) 合成応力

$$(\sigma_T)_B = \sigma_m + (\sigma_b)_B$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$(\sigma_T)_C = \sigma_m + (\sigma_b)_C$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

ト) フランジの応力

a) 使用時

$$\sigma_F = \frac{6C_F M}{t_F^2} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

M : フランジに作用する単位長さ当たりのモーメント ( Nmm/mm )

$$M = M_0 = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

C<sub>F</sub> : 荷重修正係数

$$C_F = \sqrt{\frac{P_b}{2d_b + \frac{6t_F}{m+0.5}}} \quad (C_F \geq 1.0 \text{ とする})$$

$P_b$  : ボルト間隔 ( mm )

$d_b$  : ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部のいずれか小さい方の径 ( mm )

$t_F$  : フランジの使用厚さから腐れ代を引いた値 ( mm )

$$C_F = \sqrt{\quad}$$

$$= \quad$$

$$\sigma_F = \quad$$

$$= \quad ( \text{ N/mm}^2 )$$

b) 締付時

$$M = M_g = \quad ( \text{ Nmm/mm} )$$

$$\sigma_F = \quad$$

$$= \quad ( \text{ N/mm}^2 )$$

3) ②フランジ (JIS B 8280 附属書 1 を準用)

胴板及びフランジに生じる膜応力、曲げ応力及び合成応力の計算を以降に示す。ただし、応力計算は、使用状態及びガスケット締付時の両方の場合について行う。

イ) ボルト荷重

a) 使用状態でのボルト荷重

$$W_{m1} = H' + H_P$$

$$H' = \frac{GP}{2}$$

$$= \quad$$

$$= \quad ( \text{ N/mm} )$$

$$H_p = 2bmP$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$W_{m1} = \boxed{\phantom{000}} = \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm )}$$

b) ガasket締付時のボルト荷重

$$W_{m2} = by$$

$$W_{m2} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm )}$$

ロ) 単位長さ当たりのボルトの総断面積及び実際のボルトの総断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_{b0}}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a0}}$$

$$A_{m1} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( mm}^2\text{/mm )}$$

$$A_{m2} = \boxed{\phantom{000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( mm}^2\text{/mm )}$$

ハ) フランジの計算に用いるボルト荷重

a) 使用状態での単位長さ当たりのボルト荷重

$$W_0 = W_{m1}$$

$$W_0 = \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm )}$$

b) ガasket締付時の単位長さ当たりのボルト荷重

$$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \sigma_{a0}$$

$$W_g = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{0000}} \text{ ( N/mm )}$$

ニ) フランジに作用するモーメント

a) 使用状態でフランジに作用する単位長さ当たりの全モーメント

$$M_0 = M_D + M_G + M_T$$

$$h_D = R + 0.5t_1$$

$$= \boxed{\phantom{0000}}$$

$$= \boxed{\phantom{0000}} \text{ ( mm )}$$

$$H_D = \frac{Ph}{2}$$

$$= \boxed{\phantom{0000}}$$

$$= \boxed{\phantom{0000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$M_D = H_D h_D$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

$$H_G = W_0 - H'$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{0000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$h_G = \frac{C - G}{2}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{0000}} \text{ ( mm )}$$

$$M_G = H_G h_G$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

$$H_T = H' - H_D$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm )}$$

$$h_T = \frac{1}{2}(R + t_1 + h_G)$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$$

$$M_T = H_T h_T$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

$$M_0 = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

b) ガasket締付時にフランジに作用する単位長さ当たりのモーメント

$$M_g = W_g \frac{C - G}{2}$$

$$M_g = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

ホ) 部材 A の応力 ( 附属書 1 2. を準用 )

a) 使用時

a. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1\eta}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

a. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_A = \pm \frac{6M_A}{t_1^2 \eta}$$
$$= \boxed{\phantom{000000}}$$
$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

a. 3) 合成応力

$$(\sigma_T)_A = \sigma_m + (\sigma_b)_A$$
$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

b) 締付時

b. 1) 膜応力

$$\sigma_m = \frac{Ph}{2t_1 \eta}$$
$$= \boxed{\phantom{000000}}$$
$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

b. 2) 曲げ応力

$$(\sigma_b)_A = \pm \frac{6M_A}{t_1^2 \eta}$$
$$= \boxed{\phantom{000000}}$$
$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

b. 3) 合成応力

$$(\sigma_T)_A = \sigma_m + (\sigma_b)_A$$
$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

へ) フランジの応力

a) 使用時

$$\sigma_F = \frac{6C_F M}{t_F^2} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$M = M_0 = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( Nmm/mm )}$$

$$C_F = \sqrt{\frac{P_b}{2d_b + \frac{6t_F}{m+0.5}}} \quad (C_F \geq 1.0 \text{ とする})$$

$$= \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]}$$

$$\sigma_F = \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

b) 縮付時

$$\sigma_F = \frac{6C_F M}{t_F^2} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

$$M = M_g = \text{[ ]} \text{ ( Nmm/mm )}$$

$$\sigma_F = \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

4) ⑧ノズル (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t = \frac{PD_i}{2\sigma_a \eta - 1.2P}$$

t : 計算厚さ ( mm )

P : 設計確認圧力 ( MPaG )

D<sub>i</sub> : 内径 ( mm )

σ<sub>a</sub> : 設計確認温度における材料の許容引張応力 ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率

$$t = \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]} \text{ ( mm )}$$



- 5) ⑨ノズル (JIS B 8265 附属書 E E. 2 内圧を保持する胴)

$$t = \frac{PD_i}{2\sigma_a\eta - 1.2P}$$

t : 計算厚さ ( mm )

P : 設計確認圧力 ( MPaG )

D<sub>i</sub> : 内径 ( mm )

σ<sub>a</sub> : 設計確認温度における材料の許容引張応力 ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率

$$t = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( mm )}$$

- 6) ⑩ノズル (JIS B 8265 附属書 E E. 2 内圧を保持する胴)

$$t = \frac{PD_i}{2\sigma_a\eta - 1.2P}$$

t : 計算厚さ ( mm )

P : 設計確認圧力 ( MPaG )

D<sub>i</sub> : 内径 ( mm )

σ<sub>a</sub> : 設計確認温度における材料の許容引張応力 ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

η : 溶接継手効率

$$t = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ ( mm )}$$

- 7) ⑪ノズル (JIS B 8265 附属書 E E. 2 内圧を保持する胴)

$$t = \frac{PD_i}{2\sigma_a\eta - 1.2P}$$

t : 計算厚さ ( mm )

P : 設計確認圧力 ( MPaG )

D<sub>i</sub> : 内径 ( mm )

σ<sub>a</sub> : 設計確認温度における材料の許容引張応力 ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

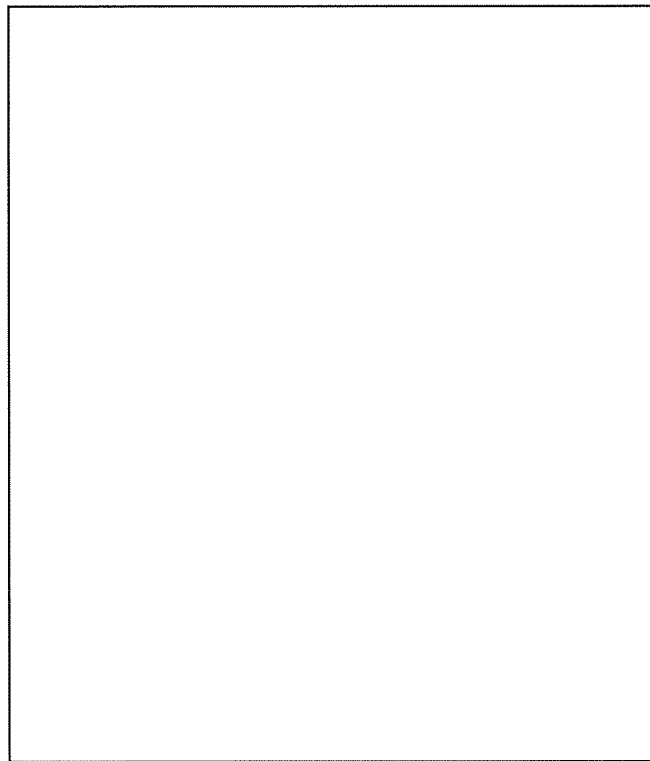
$\eta$  : 溶接継手効率

$$t = \boxed{\phantom{000000}} \\ = \boxed{\phantom{000}} \text{ ( mm )}$$

8) 穴の補強 (JIS B 8280 7.1 e) 及び JIS B 8265 附属書 F F.6, F.7 圧力容器の穴補強)

上部ケーシング及び下部ケーシングに設ける穴は、その径がそれぞれ  $\boxed{\phantom{000}} \text{ mm}$  及び  $\boxed{\phantom{000}} \text{ mm}$  となり補強を要す。最も厳しい管台を代表して補強計算を行う。

なお、保守側に穴の計算上の板厚は全板厚  $\boxed{\phantom{000}} \text{ mm}$  とし、管の計算厚さは  $\boxed{\phantom{000}} \text{ mm}$  として計算する。



添説設 7-4-5 図 穴の補強 (上部ケーシング)

F : 係数 F=1.0

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

a) 穴補強に必要な面積

$$A = dt_r F$$

$$= \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]} (\text{ mm}^2)$$

$t_r$  : 胴板の計算厚さ (安全側に全板厚とする)

b) 強め材として算入できる面積

$$A_1 = d(\eta t - Ft_r)$$

$$= \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]} (\text{ mm}^2)$$

9) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

耐圧強度計算の結果を添説設 7-4-3 表に示す。

添説設 7-4-3 表 評価結果一覧

品番	名称	発生応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )	計算上 必要な 厚さ (mm)	設計厚 さ※1 (mm)	穴補強 に必要な 面積 (mm <sup>2</sup> )	強め材と して算入 できる部 分の面積 (mm <sup>2</sup> )	
①	胴板	膜応力						
		合成応力						
②	フランジ	使用時						
		締付時						
③	上部ケーシング (胴板)	使用時						膜応力
								合成応力
		締付時						膜応力
								合成応力
④	上部ケーシング (フランジ)	使用時						
		締付時						
⑧	ノズル							
⑨	ノズル							
⑩	ノズル							
⑪	ノズル							

※1：設計厚さ＝公称厚さ－（1.0mm） （1.0mm は設計上の裕度）

ロ) 評 価

各部材の発生応力は許容応力よりも小さく、設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、また、強め材として算入できる部分の面積は穴補強に必要な面積よりも大きいため、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは□mm以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

5. UO<sub>2</sub>受けホッパ

5.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

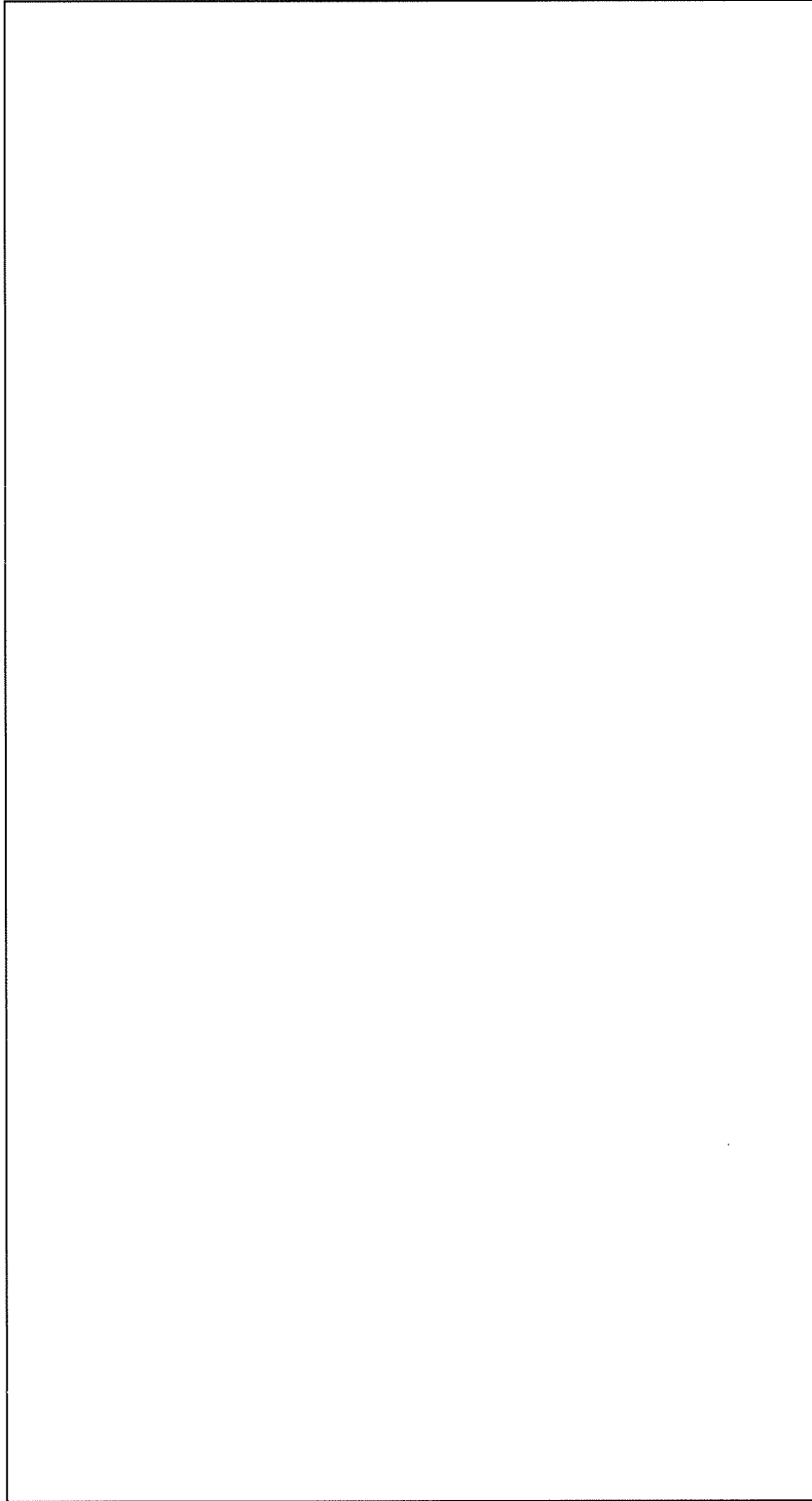
UO<sub>2</sub>受けホッパの構造・寸法を「添説設 7-5-1 図 UO<sub>2</sub>受けホッパ」に示す。

2) 材 質

UO<sub>2</sub>受けホッパの材質を「添説設 7-5-1 表 UO<sub>2</sub>受けホッパ 材質一覧表」に示す。

添説設 7-5-1 表 UO<sub>2</sub>受けホッパ 材質一覧表

品番	名称	材質	ガスケット ボルト 情報	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	平ふた板			対象	
③	ノズル			対象	
④	ノズル			対象	
⑤	ノズル			対象	
⑥	ノズル			対象	
⑦	ノズル			対象	
⑧	ノズル			—	③ノズルの評価に 包絡されるため
⑨	ノズル			—	③ノズルの評価に 包絡されるため



添説設 7-5-1 図 UO<sub>2</sub>受けホッパ

## 5.2 計算条件

### イ) 設計確認圧力及び設計確認温度

UO<sub>2</sub>受けホッパの設計確認圧力及び設計確認温度を「添説設 7-5-2 表 UO<sub>2</sub>受けホッパ計算条件」に示す。

添説設 7-5-2 表 UO<sub>2</sub>受けホッパ計算条件

品番	①	②	③～⑦
名称	胴板	平ふた板	ノズル
設計確認圧力 (MPaG)			
最高使用圧力 (MPaG)			
設計確認温度 (°C)			
最高使用温度 (°C)			

(注) 運転圧力、温度に裕度を考慮した数値とする。

### ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.5mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.5\text{mm})$$



### 5.3 耐圧強度計算

#### 1) ①胴板

(内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t_{①} = \frac{PD_{i①}}{2\sigma_{a①}\eta - 1.2P}$$

$t_{①}$  : 胴板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i①}$  : 胴の内径 ( mm )

$\sigma_{a①}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{①} = \frac{\text{PD}_{i①}}{2\sigma_{a①}\eta - 1.2P}$$

=  ( mm )

#### 2) ②平ふた板 (円形平ふた板)

(JIS B 8265 附属書 L L.3 ボルト締め平ふた板)

$$t_{②} = d \sqrt{\frac{0.25P}{\sigma_{a②}\eta}}$$

$t_{②}$  : 平板の計算厚さ ( mm )

$d$  : 内径、又は円形以外の平板の最小スパン ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$\sigma_{a②}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{②} = d \sqrt{\frac{0.25P}{\sigma_{a②}\eta}}$$

=  ( mm )

3) 管台 (胴の計算の内径基準)

(JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

イ) ③、④ノズル

$$t_{③,④} = \frac{PD_{i③,④}}{2\sigma_{a③,④}\eta - 1.2P}$$

$t_{③,④}$  : 出口ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i③,④}$  : 出口ノズルの内径 ( mm )

$\sigma_{a③,④}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{③,④} = \frac{\text{PD}_{i③,④}}{2\sigma_{a③,④}\eta - 1.2P}$$

$$= \text{ } ( \text{ mm } )$$

ロ) ⑤ノズル

$$t_{⑤} = \frac{PD_{i⑤}}{2\sigma_{a⑤}\eta - 1.2P}$$

$t_{⑤}$  : 出口ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i⑤}$  : 出口ノズルの内径 ( mm )

$\sigma_{a⑤}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
 JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{⑤} = \frac{\text{PD}_{i⑤}}{2\sigma_{a⑤}\eta - 1.2P}$$

$$= \text{ } ( \text{ mm } )$$

ハ) ⑥、⑦ノズル

$$t_{⑥,⑦} = \frac{PD_{i⑥,⑦}}{2\sigma_{a⑥,⑦}\eta - 1.2P}$$

$t_{⑥,⑦}$  : 出口ノズルの計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i⑥,⑦}$  : 出口ノズルの内径 ( mm )

$\sigma_{a⑥,⑦}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )  
JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$t_{⑥,⑦} =$   ( mm )

4) 平ふた板

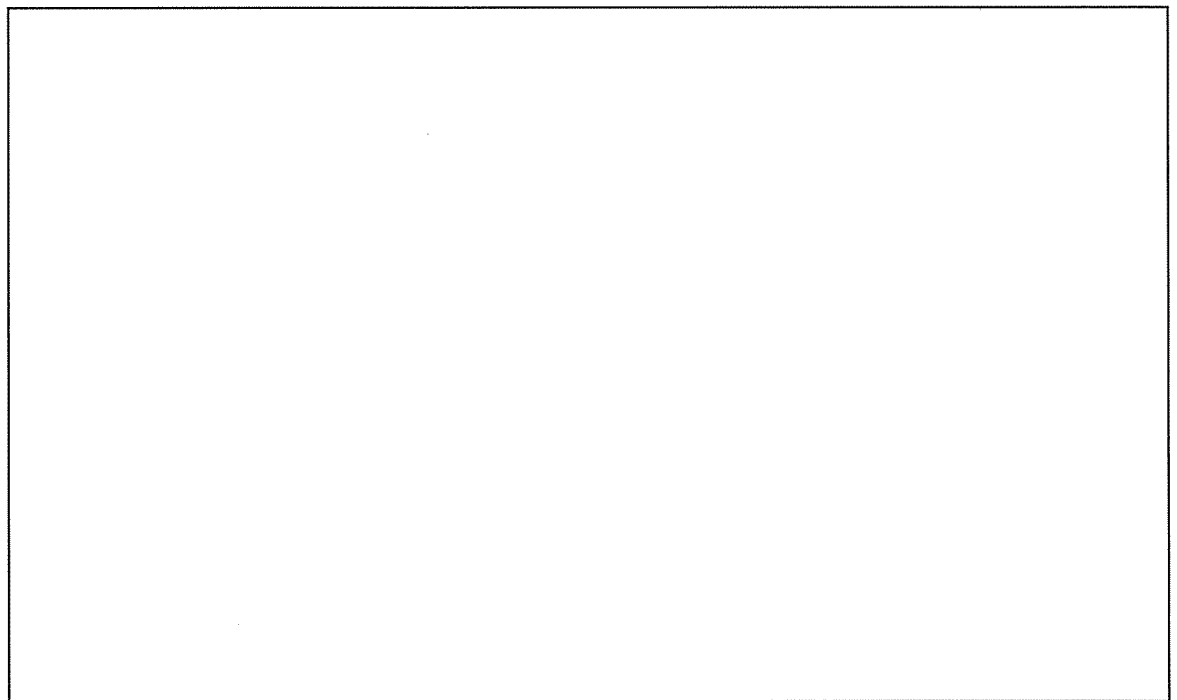
(JIS B 8265 附属書 F F. 6, F. 7, F. 11 2 個以上の穴を隣接して設ける場合の穴補強)

隣接する 2 個の中心間距離の全てが  $2.5(d_1+d_2)$  の値以下となるので、平ふた板(蓋)に設ける穴は、補強の検討が必要となる。

平ふた板の直径以下、隣接する 2 つの穴の平均径も平ふた板の直径以下であり、隣接する二つの穴の中心間距離が穴の平均径の  $5/4$  倍以上で 2 倍未満の場合の補強を考える。

円形平ふたの計算厚さ  $t_{r0}$  は、以下により算出される。

$$t_{r0} = d \sqrt{\frac{0.25P}{\sigma_a \eta}}$$



ノズル径が大きく、ノズル間距離が近い、③ノズルと⑥ノズルについて、以下の係数  $h$  を算出する。

$$h = \sqrt{\frac{0.5}{e}}$$

$$e = \frac{(p - d_{ave})}{p}$$

ここで、

$d_{ave}$  : 隣接する穴の平均径 ( mm )

$e$  : 全ての隣接する穴のリガメント効率のうち最小値

$h$  : 平板の厚さに乗じる係数

$p$  : 隣接する穴の中心間距離 ( mm )

それぞれ、数字を入力すると

$$e = \text{[ ]}$$

$$h = \text{[ ]}$$

円形平ふたの計算厚さ  $t_{r0}$  に、 $\sqrt{2}$ 及び、 $h$  を乗じた平ふた板の設計厚さ  $t_r$  は、

$$t_r = \text{[ ]}$$

以上より、穴を考慮した平ふた板の計算厚さ  $t_r = \text{[ ]} \text{ mm} <$  平ふた板の設計厚さ  $\text{[ ]} \text{ mm}$  (設計上の裕度 1.5mm 減じた場合  $\text{[ ]} \text{ mm}$ ) であることから、補強は不要である。

5) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

耐圧強度計算の結果を添説設 7-5-3 表に示す。

添説設 7-5-3 表 耐圧強度計算結果

品番	名称	計算上必要な厚さ (mm)	設計厚さ <sup>※1</sup> (mm)
①	胴板		
②	平ふた板		
③	ノズル		
④	ノズル		
⑤	ノズル		
⑥	ノズル		
⑦	ノズル		

※1：設計厚さ＝公称厚さ－（1.5mm） （1.5mm は設計上の裕度）

ロ) 評価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、耐圧強度上の安全性は確認された。また、強め材として算入できる部分の面積は穴補強に必要な面積よりも大きいため、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは 1.0mm 以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

6. UF<sub>6</sub> シリンダ

6.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

UF<sub>6</sub> シリンダの構造・寸法を「添説設 7-6-1 図 UF<sub>6</sub> シリンダ」に示す。

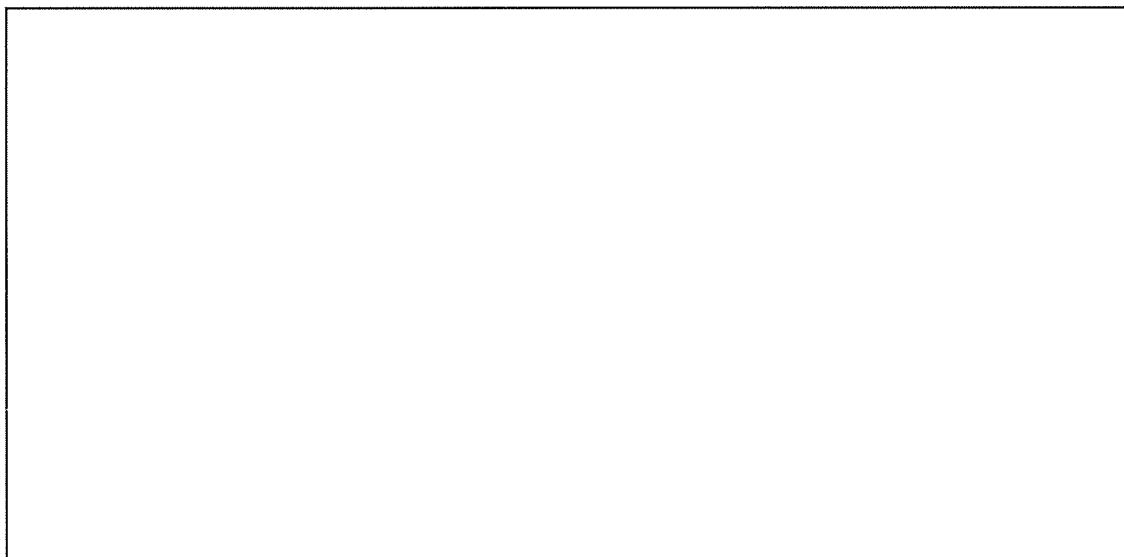
2) 材 質

UF<sub>6</sub> シリンダの材質を「添説設 7-6-1 表 UF<sub>6</sub> シリンダ 材質一覧表」に示す。

添説設 7-6-1 表 UF<sub>6</sub> シリンダ 材質一覧表

品番	名称	材質	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板		対象	
②	鏡板		対象	
③	弁		—	設計確認圧力を満足する弁を選定するため。
④	閉止栓		—	設計確認圧力を満足する閉止栓を選定するため。

(注) 評価は  にて実施している。



添説設 7-6-1 図 UF<sub>6</sub> シリンダ

## 6.2 計算条件

### イ) 設計確認圧力及び設計確認温度

UF<sub>6</sub> シリンダの設計確認圧力及び設計確認温度を「添説設 7-6-2 表 UF<sub>6</sub> シリンダ計算条件」、「添説設 7-6-3 表 UF<sub>6</sub> シリンダ計算の評価条件(内圧に対する強度評価)」及び「添説設 7-6-4 表 UF<sub>6</sub> シリンダ計算の評価条件(外圧に対する強度評価)」に示す。

添説設 7-6-2 表 UF<sub>6</sub> シリンダ計算条件

品番	①	②
名称	胴板	鏡板
設計確認圧力 (MPaG)		
最高使用圧力 (MPaG)		
最低使用圧力 (MPaG)		
設計確認温度 (°C)		
最高使用温度 (°C)		

(注 1) UF<sub>6</sub> シリンダは蒸発器内でスチーム加熱するため、°Cにおける UF<sub>6</sub> シリンダ内の圧力はMPaG(GMELIN HANDBUSH 1980)となる。加熱時の蒸発器内圧力(スチーム圧力)はMPaG(1980 SI 日本機械学会蒸気表 第 4 版)であり設計確認圧力はMPaGである。

(注 2)ANSI N14.1-2012 による。



添説設 7-6-3 表 UF<sub>6</sub> シリンダ計算の評価条件(内圧に対する強度評価)

記号	説明	値
t	胴板、鏡板の厚さ( mm ) ANSI 規格 30B 型の仕様より	
D <sub>0</sub>	円筒胴、鋼板の外径( mm ) ANSI 規格 30B 型の仕様 (ノミナル値)より $D_0 = \square \text{ in} \times 25.4 \text{ mm/in}$	
D <sub>i</sub>	円筒胴、鏡板の内径( mm ) $D_i = D_0 - 2t$	
h	鏡板の高さ( mm ) 鏡板のタンジェントラインから鏡板の最深部までの距離 $h = D_i / 4$	

添説設 7-6-4 表 UF<sub>6</sub> シリンダ計算の評価条件(外圧に対する強度評価)

記号	説明	値
t	胴板、鏡板の最小肉厚( mm ) ANSI 規格 30B 型の仕様の最小値を基に設定	
D <sub>0</sub>	円筒胴、鋼板の外径( mm ) ANSI 規格 30B 型の仕様 (ノミナル値)より $D_0 = \square \text{ in} \times 25.4 \text{ mm/in}$	
D <sub>i</sub>	円筒胴、鏡板の内径( mm ) $D_i = D_0 - 2t$	
H	UF <sub>6</sub> シリンダの外高さ( mm ) ANSI 規格 30B 型の仕様 (ノミナル値)より $H = \square \text{ in} \times 25.4 \text{ mm/in}$	
h	鏡板の高さ( mm ) 鏡板のタンジェントラインから鏡板の最深部までの距離 $h = D_i / 4$	
T <sub>L</sub>	直管部長さ $T_L = H - 2(h + t)$	
L	胴の設計長さ( mm ) $L = T_L + 2h/3$	

ロ) 設計厚さ

計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度 (1.0 mm) を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.0 \text{ mm})$$

ハ) 溶接継手効率

溶接継手効率( $\eta$ )は、 $\eta=0.65$ とする。

6.3 耐圧強度計算

6.3.1 内圧に対する強度評価

1) ①胴板 (JIS B 8265 附属書 E E.2 内圧を保持する胴)

$$t_{①} = \frac{PD_{i①}}{2\sigma_{a①}\eta - 1.2P}$$

$t_{①}$  : 胴板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i①}$  : 胴の内径 ( mm )

$\sigma_{a①}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )

「ASME Boiler&Pressure Vessel Code Sec. II Materials」より  の引張強さ  $S_T$  及び降伏点  $S_Y$  (「添説設 7-6-5 表  の引張強さ  $S_T$  及び降伏点  $S_Y$ 」より) を求め、「JIS B 8265 補足事項 許容引張応力の設定基準」より許容引張応力を計算した結果を「添説設 7-6-6 表 許容引張応力の設定(最小値を許容引張応力とする)」に示す。

添説設 7-6-5 表  の引張強さ  $S_T$  及び降伏点  $S_Y$

温度	引張強さ $S_T$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏点 $S_Y$ (N/mm <sup>2</sup> )
121℃	<input type="text"/>	<input type="text"/>

添説設 7-6-6 表 許容引張応力の設定(最小値を許容引張応力とする)

温度	引張強さ $S_T$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏点 $S_Y$ (N/mm <sup>2</sup> )
121℃	<input type="text"/>	<input type="text"/>

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.65$

$$t_{①} = \frac{\text{}}{\text{}}$$

=  ( mm )

2) ②鏡板 (JIS B 8265 附属書 E E.4 内圧を保持する鏡板)

$$t_{\text{②}} = \frac{PD_{i\text{②}}K}{2\sigma_{a\text{②}}\eta - 0.2P}$$

$t_{\text{②}}$  : 皿形鏡板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPaG )

$D_{i\text{②}}$  : 半だ円形鏡板のだ円の内長径 ( mm )

$K$  : 半だ円形鏡板の形状による係数で次の式による

$2h$  : 半だ円形鏡板のだ円の内短径  ( mm )

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left( \frac{D_{i\text{②}}}{2h} \right)^2 \right\}$$

$\sigma_{a\text{②}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  ( N/mm<sup>2</sup> )

「ASME Boiler&Pressure Vessel Code Sec. II Materials」

より  の引張強さ  $S_T$  及び降伏点  $S_Y$  (「添説設 7-

6-5 表  の引張強さ  $S_T$  及び降伏点  $S_Y$  より) を

求め、「JIS B 8265 補足事項 許容引張応力の設定基準」よ

り許容引張応力を計算した結果を「添説設 7-6-6 表 許

容引張応力の設定(最小値を許容引張応力とする)」に示す。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.65$

$$K = \text{$$

$$= \text{$$

$$t_{\text{②}} = \text{$$

$$= \text{ ( mm )}$$

3) 計算結果及び評価

イ. 計算結果

耐圧強度計算の結果を添説設 7-6-7 表に示す。

添説設 7-6-7 表 耐圧強度計算結果

品番	名称	計算上必要な厚さ (mm)	規格上の必要 厚さ (mm)	設計厚さ <sup>※1</sup> (mm)
①	胴板			
②	鏡板			

※1：設計厚さ＝公称厚さ－（1.0mm）（1.0mm は設計上の裕度）

ロ. 評 価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚いので、耐圧強度上の安全性は確認された。

6.3.2 外圧に対する強度評価

1) ①胴板 (JIS B 8265 附属書 E E.4 外圧を保持する胴及び鏡板)

$$P_{a①} = \frac{4B t_{①}}{3D_o}$$

$t_{①}$  : 胴の最小厚さ ( mm )

$L$  : 胴の設計長さ ( mm )

$D_o$  : 円筒胴の外径 ( mm )

$$\frac{L}{D_o} = \boxed{\phantom{0.0006}} = \boxed{\phantom{0.0006}}$$

$$\frac{D_o}{t_{①}} = \boxed{\phantom{60}} = \boxed{\phantom{60}}$$

A : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板  
図 E.9 外圧又は圧縮荷重を受ける円筒胴の形状曲線(すべての材料)」により 0.0006

B : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板  
図 E.10 外圧を保持する円筒胴及び球形胴の計算に用いる材料曲線(2)炭素鋼及び低合金鋼(材料規格の降伏点 205N/mm<sup>2</sup> 以上, 設計確認温度 150°Cを超える場合に適用)並びに 405 系及び 410 系ステンレス鋼」により 60

$P_{a①}$  : 許容外圧 ( MPa(abs) )

$$P_{a①} = \boxed{\phantom{0.0006}}$$

$$= \boxed{\phantom{60}} \text{ (MPa)}$$

2) ②鏡板 (JIS B 8265 附属書 E E.4 外圧を保持する胴及び鏡板)

鏡板が内圧を保持するものとした場合

(鏡板が内圧を保持するものとみなし、設計外圧を 1.67 倍として「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板」より許容外圧を計算する。)

$$t_{②} = \frac{1.67P_{②}D_oK}{2\sigma_{a②}\eta + 2 \times 1.67P_{②}(K-0.1)}$$

$t_{②}$  : 板厚の最小肉厚 ( mm )

$P_{②}$  : 設計確認圧力 ( MPa(abs) )

$D_o$  : 鏡板外径 ( mm )

$K$  : 半だ円形鏡板の形状による係数

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left( \frac{D}{2h} \right)^2 \right\}$$

$$= \square$$

$\sigma_{a②}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\square$  ( N/mm<sup>2</sup> )

「ASME Boiler&Pressure Vessel Code Sec. II Materials」より  $\square$  の引張強さ  $S_T$  及び降伏点  $S_Y$  (「添説設 7-6-5 表  $\square$  の引張強さ  $S_T$  及び降伏点  $S_Y$ 」より) を求め、「JIS B 8265 補足事項 許容引張応力の設定基準」より許容引張応力を計算した結果を「添説設 7-6-6 表 許容引張応力の設定(最小値を許容引張応力とする)」に示す。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$P_{②} = \frac{2\sigma_{a②}\eta t_{②}}{1.67D_oK - 2 \times 1.67t_{②}(K - 0.1)}$$

$$= \square$$

$$= \square \text{ (MPa)}$$

③鏡板 (JIS B 8265 附属書 E E.4 外圧を保持する胴及び鏡板)  
 球形胴と同じ手順で  $D_0$  を  $2K_0D_0$  に読み替えて許容外圧を求める場合

$$P_{\text{③}} = \frac{2Bt_{\text{③}}}{2K_0D_0}$$

$t_{\text{③}}$  : 板の最小厚さ ( mm )

$h$  : 鏡板の高さ ( mm )

$D_0$  : 円筒胴の外径 ( mm )

$$\frac{D_0}{2h_0} = \boxed{\phantom{0.25}}$$

( $h_0 = h + t_{\text{③}}$ )

$K_0$  : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板  
 表 E.4 半だ円形鏡板の  $K_0$  の値」により 0.89

$A$  : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板  
 E.4.3 球形胴の計算厚さ」による。

$$A = \frac{0.25t_{\text{③}}}{D_0} = \frac{0.25t_{\text{③}}}{2K_0D_0}$$

$$= \boxed{\phantom{0.25}}$$

$$= \boxed{\phantom{0.25}}$$

$B$  : 「JIS B 8265 附属書 E 圧力容器の胴及び鏡板  
 図 E.10 外圧を保持する円筒胴及び球形胴の計算に用い  
 る材料曲線(2) 炭素鋼及び低合金鋼(材料規格の降伏点  
 205N/mm<sup>2</sup> 以上, 設計確認温度 150℃を超える場合に適用)  
 並びに 405 系及び 410 系ステンレス鋼」により 90

$P_{\text{③}}$  : 許容外圧 ( MPa(abs) )

$$P_{\text{③}} = \frac{2Bt_{\text{③}}}{2K_0D_0}$$

$$= \boxed{\phantom{0.25}}$$

$$= \boxed{\phantom{0.25}} \text{ (MPa(abs))}$$



### 3) 計算結果及び評価

#### イ. 計算結果

耐圧強度計算の結果を以下に示す。

②、③の結果のうち小さい値を鏡板の許容外圧とする。

$$P > P_a$$

許容外圧は  $P_a=1.061$  (MPa(abs)) とする。

#### ロ. 評価

胴板の許容外圧 (  MPa(abs) ) 及び鏡板の許容外圧 (  MPa(abs) ) は、作用する外圧(大気圧:  MPa(abs) ) よりも大きな値である。また、評価に用いた板厚は最小厚さであるため、設計厚さ (  mm<sup>※2</sup> ) に対し、計算上必要な厚さを満足していることから、耐圧強度上の安全は確認された。

※2: 設計厚さ = 公称厚さ - (1.0mm) (1.0mm は設計上の裕度)

7. コールドトラップ

7.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

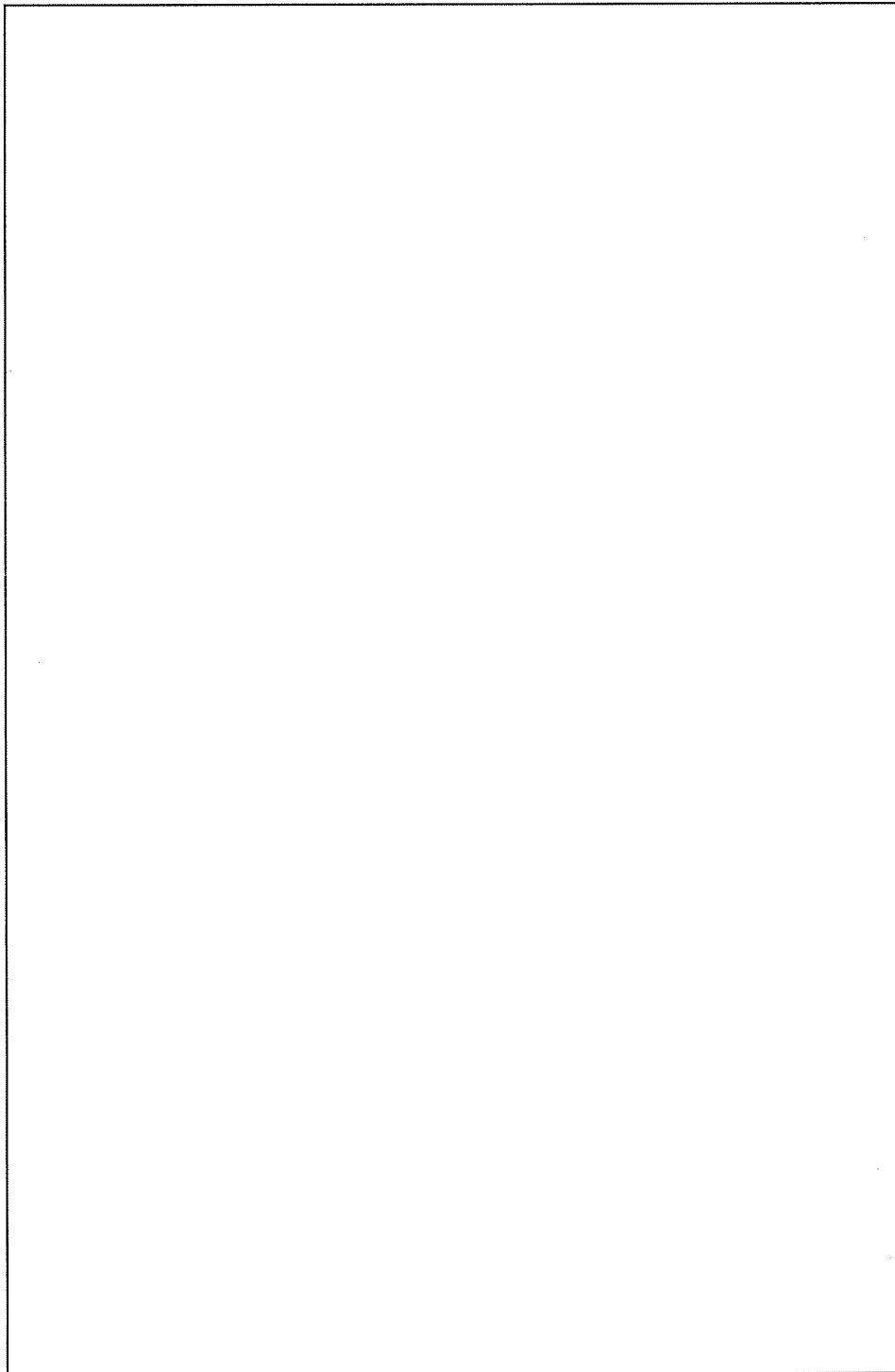
コールドトラップの構造・寸法を「添説設 7-7-1 図 コールドトラップ」に示す。

2) 材 質

コールドトラップの材質を「添説設 7-7-1 表 コールドトラップ材質一覧表」に示す。

添説設 7-7-1 表 コールドトラップ材質一覧表

品番	名 称	材 質	ガスケット ボルト 情報	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	平鏡板(胴板)			対象	
③	平ふた板			対象	
④	フランジ			—	設計確認圧力以上の圧力に耐える JIS20K フランジを使用するため
⑤	冷却管 (外管)			対象	
⑥	平鏡板(冷却管)			対象	
⑦	冷却管 (内管)			—	放射性物質の圧力境界ではないため
⑧	管台 (UF <sub>6</sub> , N <sub>2</sub> )			対象	
⑨	管台 (温度計)			対象	
⑩	ガスケット (ふっ素樹脂ガスケット)			—	圧力を確保する材料ではないため
⑪	フランジ			—	設計確認圧力以上の圧力に耐える JIS10K フランジを使用するため
⑫	フランジ			—	設計確認圧力以上の圧力に耐える JIS10K フランジを使用するため



添説設 7-7-1 図 コールドトラップ

## 7.2 計算条件

### イ) 設計確認圧力及び設計確認温度

コールドトラップの設計確認圧力及び設計確認温度を「添説設 7-7-2 表 コールドトラップ計算条件」に示すとともに、圧力条件の概略を「図 7-7-2 コールドトラップ圧力条件概略図」に示す。

添説設 7-7-2 表 コールドトラップ計算条件

品番		①	②	③	⑤	⑥	⑧	⑨
名称		胴板 <sup>※1</sup>	平鏡板 (胴板) <sup>※2</sup>	平ふた板 <sup>※2</sup>	冷却管 (外管) <sup>※1</sup>	平鏡板 (冷却管) <sup>※2</sup>	管台 (UF <sub>6</sub> , N <sub>2</sub> ) <sup>※1</sup>	管台 (温度計) <sup>※1</sup>
設計確認 圧力 <sup>※3</sup> (MPa)	加熱時							
	冷却時							
最高/最低 使用圧力 (MPa)	加熱時							
	冷却時							
設計確認 温度 (°C)	加熱時							
	冷却時							
最高/最低 使用温度 (°C)	加熱時							
	冷却時							

### 注 記

- ※1：①胴板・⑤冷却管（外管）・⑧管台（UF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>）・⑨管台（温度計）については、内圧による最少必要厚さ及び外圧による最高許容外圧を算出し評価する。
- ※2：②平鏡板（胴板）・③平ふた板・⑥平鏡板（冷却管）の設計確認圧力は、加熱時設計確認圧力と冷却時設計確認圧力の絶対値が大きい値として円形平板モデルで評価する。
- ※3：設計確認圧力のうち整数は内圧を示し、負数は外圧を示す。
- ※4：胴内部の圧力と冷媒の圧力を考慮する。

### ロ) 設計厚さ

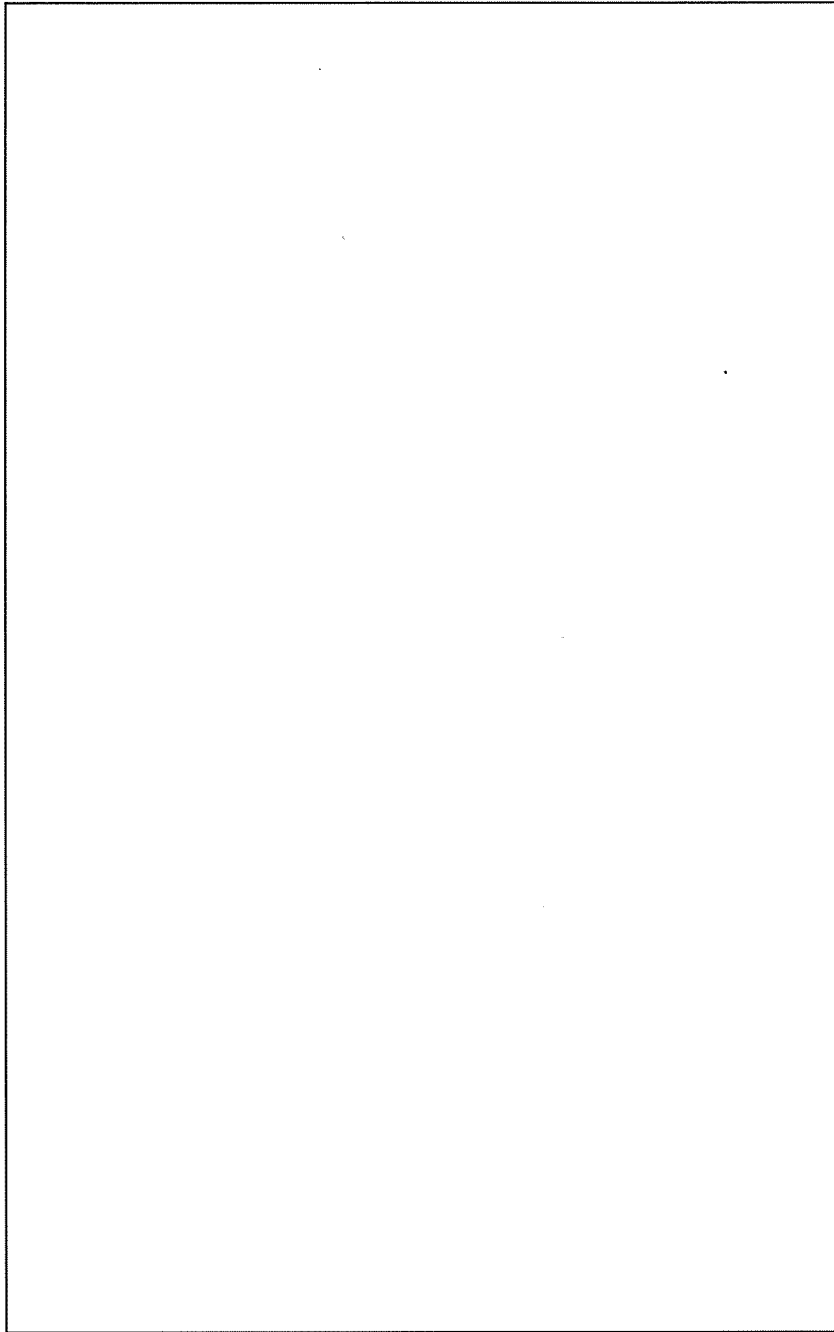
計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度（1.5mm）を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.5\text{mm})$$

ハ) 溶接継手効率

胴板部分等の溶接継手効率( $\eta$ )は、100%の放射線透過試験を実施しているが、保守的に JIS B 8265 「6.2 溶接継手効率」の放射線透過試験を行わない裏当てを用いない突合せ片側溶接継手の継手効率( $\eta = 0.6$ )とする。

平ふた板部分の溶接継手効率( $\eta$ )は、 $\eta = 1$ とする。



添設説 7-7-2 図 コールドトラップ圧力条件概略図

7.3 耐圧強度計算

1) ①胴板

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 2. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{①} = \frac{PD_{i①}}{2\sigma_{a①}\eta - 1.2P}$$

$t_{①}$  : 胴板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$D_{i①}$  : 胴の内径  $D_{i①} = \text{[ ]}$  ( mm )

$\sigma_{a①}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a①} = \text{[ ]}$   
( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.6$

$$t_{①} = \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]} \text{ ( mm )}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{①} = \frac{4Bt_{①}}{3D_{o①}}$$

$Pa_{①}$  : 最高許容外圧 ( MPa )

$B$  : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において、 $A$  の値と設計確認温度に対する材料線から求める値  $B = \text{[ ]}$  ( N/mm<sup>2</sup> )

$A$  : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値

$$A = \text{[ ]}$$

$t_{①}$  : 胴板の計算厚さ  $t_{①} = \text{[ ]}$  ( mm )

$D_{o①}$  : 胴の外径 ( mm )

$$Pa_{①} = \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]} \text{ ( MPa )}$$

2) ②平鏡板 (胴板)

(JIS B 8265 附属書 E E. 3. 6 平鏡板の計算厚さ)

$$t_{\text{②}} = d_{\text{②}} \sqrt{\frac{CP}{\sigma_{a\text{②}} \eta}}$$

$t_{\text{②}}$  : 平鏡板の計算厚さ ( mm )

$d_{\text{②}}$  : 円形平鏡板の計算に用いる内径

$$d_{\text{②}} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$$

$C$  : 平鏡板の取付方法によって定める定数, 附属書 E 図 E. 8 による。  $C=0.2$

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$\eta$  : 溶接接手効率  $\eta=0.6$

$\sigma_{a\text{②}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a\text{②}} = \boxed{\phantom{000000}}$   
( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

$$t_{\text{②}} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$$

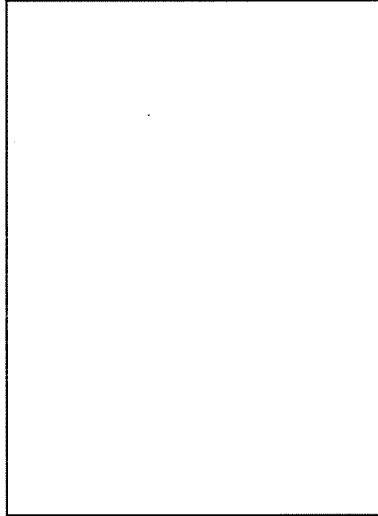


3) ③平ふた板

イ) ボルト荷重の計算 (JIS B 8265 附属書 G G.4.1 ボルト荷重)

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重には、使用状態におけるボルト荷重とガスケット締付時のボルト荷重の2種類がある。

以下にその計算を示す。



使用状態でのボルト荷重 :  $W_{m1}$

$$W_{m1} = \frac{\pi GP}{4} (G + 8bm)$$

$G$  : ガスケット反力円の直径  $G =$   ( mm )

$P$  : 内圧 ( MPa )

$b$  : ガスケット座の有効幅 ( mm )

$$b =$$
  ( mm )

$b_0$  : ガスケット座の基本幅 ( mm )

附属書 G 表 G.3 による

$$b_0 = \frac{N}{2} = \frac{37.5}{2} =$$
  ( mm )

$m$  : ガスケット係数  $m =$

メーカーカタログによる

$$W_{m1} =$$
   

$$=$$
  ( N )

ガスケット締付時のボルト荷重： $W_{m2}$

$$W_{m2} = \pi b G y$$

$y$ ：最小設計締付圧力  $y = \boxed{\phantom{000}}$  ( N/mm<sup>2</sup> )  
メーカーカタログによる

$$W_{m2} = \pi \times \boxed{\phantom{000000}} \\ = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N )}$$

使用状態でのボルトの総有効断面積： $A_{m1}$

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} = \boxed{\phantom{00000}} \\ = \boxed{\phantom{00000}} \text{ (mm}^2 \text{ )}$$

$\sigma_b$ ：設計確認温度におけるボルト材料の許容引張応力  $\sigma_b = 93$   
( MPa )

JIS B 8265 附属書 B 「表 B. 5—ボルト材料の許容引張応力」  
による

ガスケット締付時のボルトの総有効断面積： $A_{m2}$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} = \boxed{\phantom{00000}} \\ = \boxed{\phantom{00000}} \text{ (mm}^2 \text{ )}$$

$\sigma_a$ ：常温におけるボルト材料の許容引張応力  $\sigma_a = \boxed{\phantom{000}}$  ( MPa )

JIS B 8265 附属書 B 「表 B. 5—ボルト材料の許容引張応力」  
による

ボルトの総有効断面積： $A_m$

$$A_m = \max(A_{m1}, A_{m2}) = \max(\boxed{\phantom{00000}}) \\ = \boxed{\phantom{00000}} \text{ (mm}^2 \text{ )}$$

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重

使用状態でのボルト荷重： $W_0 = W_{m1}$

ガスケット締付時のボルト荷重： $W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \sigma_a$

$A_b$  : ボルトの総有効断面積  $A_b = n \frac{\pi}{4} d_b^2 =$

$n$  : ボルト本数  本

$d_b$  : M24 のボルト谷径  (mm)

$W_g =$   (N)

ロ) 使用状態での平ふた板の計算厚さ

(JIS B 8265 附属書 L L.3.2 ボルト締平ふた板の計算厚さ)

$t_{\text{㊸0}} = d \sqrt{\text{$

$t_{\text{㊸0}}$  : 使用状態での平ふた板の計算厚さ ( mm )

$d$  : ガスケット反力円の直径 ( mm )

$W_0$  : 使用状態でのボルト荷重 ( N )

$h_g$  : モーメントアーム ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$\sigma_{a0}$  : 設計確認温度における平ふた板の材料の許容引張応力

$\sigma_{a0} =$   ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1—鉄鋼材料の許容引張応力」

による。ただし、材料の変形を許容しない。

$\eta$  : 平ふた板の溶接接手効率  $\eta = 1.0$

$t_{\text{㊸0}} =$    $\times \sqrt{\text{$

$=$   (mm )

ハ) ガスケット締付時の平ふた板の計算厚さ

$$t_{\text{㉓g}} = d \sqrt{\frac{0.3P}{\sigma_{ag}\eta} + \frac{1.9W_g h_g}{d^3 \sigma_{ag}\eta}}$$

$t_{\text{㉓g}}$  : ガスケット締付時の平ふた板の計算厚さ ( mm )

$d$  : ガスケット反力円の直径 ( mm )

$W_g$  : ガスケット締付時のボルト荷重 ( N )

$h_g$  : モーメントアーム ( mm )

$P$  : 設計確認圧力  $P=0$  ( MPa )

$\sigma_{ag}$  : 常温における平ふた板の材料の許容引張応力

$\sigma_{ag} = \text{□}$  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」

による。ただし、材料の変形を許容しない。

$\eta$  : 平ふた板の溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$$t_{\text{㉓g}} = \text{□} \times \sqrt{\text{□}}$$

=  $\text{□}$  ( mm )

4) ㉓冷却管 (外管)

イ) 冷却時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2.2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{㉓}} = \frac{PD_{o\text{㉓}}}{2\sigma_{a\text{㉓}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{㉓}}$  : 冷却管の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力  $P = \text{□}$  ( MPa )

$D_{o\text{㉓}}$  : 冷却管の外径 ( mm )

保守側に設計上裕度考慮前の外径とする  $D_{o\text{㉓}} = \text{□}$  ( mm )

$\sigma_{a\text{㉓}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力

$\sigma_{a\text{㉓}} = \text{□}$  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形を許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.6$

$$t_{\text{㉓}} = \text{□}$$

=  $\text{□}$  ( mm )

ロ) 加熱時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4.2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{㉕}} = \frac{4Bt_{\text{㉕}}}{3D_{o\text{㉕}}}$$

$Pa_{\text{㉕}}$  : 最高許容外圧 (MPa)

$B$  : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において,  $A$  の値と設計確認温度に対する材料線から求める値  $B = \square$  (N/mm<sup>2</sup>)

$A$  : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値

$$A = \square$$

$t_{\text{㉕}}$  : 冷却管の計算厚さ  $t_{\text{㉕}} = \square$  (mm)

$D_{o\text{㉕}}$  : 冷却管の外径 (mm)

$$Pa_{\text{㉕}} = \square$$

$$= \square \text{ (MPa)}$$

5) ㉖平鏡板 (冷却管)

(JIS B 8265 附属書 E E. 3.6 平鏡板の計算厚さ)

$$t_{\text{㉖}} = d_{\text{㉖}} \sqrt{\frac{CP}{\sigma_{a\text{㉖}} \eta}}$$

$t_{\text{㉖}}$  : 平鏡板の計算厚さ (mm)

$d_{\text{㉖}}$  : 円形平鏡板の計算に用いる内径

$$d_{\text{㉖}} = \square \text{ (mm)}$$

$C$  : 平鏡板の取付方法によって定める定数, 附属書 E 図 E. 8 による。  $C = \square$

$P$  : 設計確認圧力 (MPa)

$\eta$  : 平鏡板の溶接接手効率  $\eta = 0.6$

$\sigma_{a\text{㉖}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a\text{㉖}} = \square$  (N/mm<sup>2</sup>)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形を許容しない。

$$t_{\text{㉞}} = \text{[ ]} \times \sqrt{\text{[ ]}}$$

$$= \text{[ ]} \text{ (mm)}$$

6) ㉞管台 (UF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>)

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 2. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{㉞}} = \frac{PD_{\text{㉞}}}{2\sigma_{\text{a㉞}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{㉞}}$  : 管台の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$D_{\text{㉞}}$  : 管台の外径 ( mm )

$\sigma_{\text{a㉞}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{\text{a㉞}} = 107$   
( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形を許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.6$

$$t_{\text{㉞}} = \text{[ ]}$$

$$= \text{[ ]} \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{㉞}} = \frac{4Bt_{\text{㉞}}}{3D_{\text{㉞}}}$$

$Pa_{\text{㉞}}$  : 最高許容外圧 ( MPa )

$B$  : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において、 $A$  の値と設計確認温度に対する材料線から求める値  $B = \text{[ ]}$  ( N/mm<sup>2</sup> )

$A$  : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値

$$A = \text{[ ]}$$

$t_{\text{㉞}}$  : 胴板の計算厚さ  $t_{\text{㉞}} = \text{[ ]}$  ( mm )

$D_{\text{㉞}}$  : 管台の外径 ( mm )

$$Pa_{\text{㉓}} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

7) ㉓管台 (温度計)

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 2. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{㉓}} = \frac{PD_{o\text{㉓}}}{2\sigma_{a\text{㉓}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{㉓}}$  : 管台の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$D_{o\text{㉓}}$  : 管台の外径 ( mm )

$\sigma_{a\text{㉓}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a\text{㉓}} = 107$   
(  $\text{N/mm}^2$  )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」に  
よる。ただし、材料の変形を許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.6$

$$t_{\text{㉓}} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{㉓}} = \frac{4Bt_{\text{㉓}}}{3D_{o\text{㉓}}}$$

$Pa_{\text{㉓}}$  : 最高許容外圧 ( MPa )

$B$  : JIS B 8265 附属書 E 図. 10 の使用する材料に該当する  
図において,  $A$  の値と設計確認温度に対する材料線から求  
める値  $B = \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$

$A$  : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値  
 $A = \boxed{\phantom{000}}$

$t_{\text{㉓}}$  : 胴板の計算厚さ  $t_{\text{㉓}} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$

$D_{o\text{㉓}}$  : 管台の外径 ( mm )

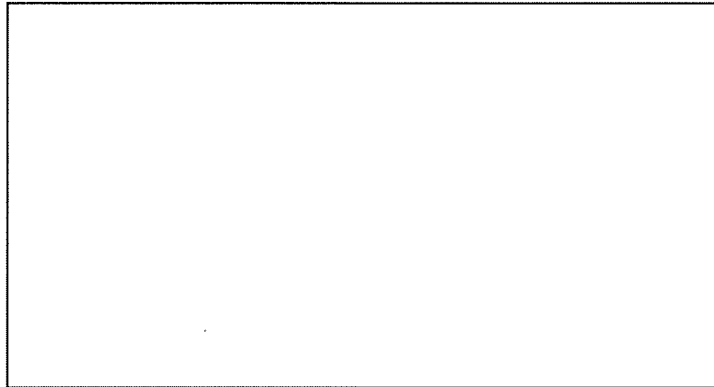
$$Pa_{\text{㉓}} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000}} \text{ (MPa)}$$

8) 管台（穴の補強）（JIS B 8265 附属書 F 圧力容器の穴補強）

平ふた板に設ける穴は，穴径がガスケットの反力円直径の 1/4 以上であることから，補強を要す。（JIS B 8265 附属書 F F.3 補強を必要としない穴）

なお，保守的となる加熱時を代表として計算する。



強め材の最小面積（JIS B 8265 附属書 F.10.1 平板に設ける単独の穴の直径が平板の直径の半分以下の場合の補強）

$$A = 0.5dt_r = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm}^2 \text{ )}$$

$t_r$  : 平板の計算厚さ ( mm )

$F$  : 係数  $F=1.0$

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 1.0$

$f_{r1}$  : 材料強度による低減係数

$$f_{r1} = \frac{\sigma_n}{\sigma_v} = \boxed{\phantom{00}} = \boxed{\phantom{00}}$$

$d$  : 穴の直径  $d = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$

$\sigma_n$  : 設計確認温度における管台の材料の許容引張応力 ( N/mm<sup>2</sup> )

$\sigma_v$  : 設計確認温度における胴又は鏡板の材料の許容引張応力 ( N/mm<sup>2</sup> )

$t$  : 平板の厚さ ( mm )

補強の有効な面積（JIS B 8265 附属書 F F.8 強め材として算入できる部分の面積）

$$A_1 = d(\eta t - Ft_r) = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm}^2 \text{ )}$$

$$A_{41} = (\text{溶接脚長})^2 f_{r1} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm}^2 \text{ )}$$

$$\text{(補強の有効な面積)} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm}^2 \text{ )}$$



9) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

耐圧強度計算の結果を添説設 7-7-3 表に示す。

添説設 7-7-3 表 耐圧強度計算結果

品番	名称		計算上必要な厚さ (mm)	設計厚さ (mm)	最高許容外圧 (MPa)	設計外圧 (MPa)	強め材の最小面積 (mm <sup>2</sup> )	補強の有効な面積 (mm <sup>2</sup> )
①	胴板	加熱時 (内圧)						
		冷却時 (外圧)						
②	平鏡板 (胴板)	—						
③	平ふた板	使用状態						
		ガスケット締付時						
⑤	冷却管 (外管)	冷却時 (内圧)						
		加熱時 (外圧)						
⑥	平鏡板 (冷却管)	—						
⑧	管台 (UF <sub>6</sub> , N <sub>2</sub> )	加熱時 (内圧)						
		冷却時 (外圧)						
⑨	管台 (温度計)	加熱時 (内圧)						
		冷却時 (外圧)						
⑩	管台 (穴の補強)	加熱時 (内圧)						

※1 : 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm)

※2 : 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm) × 2

ロ) 評 価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、最高許容外圧は設計外圧よりも高く、かつ、穴の補強について強め材の最小面積より補強の有効な面積の方が大きいことから、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは 1.0mm 以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

8. コールドトラップ（小）

8.1 構造・寸法及び材質

1) 構造・寸法

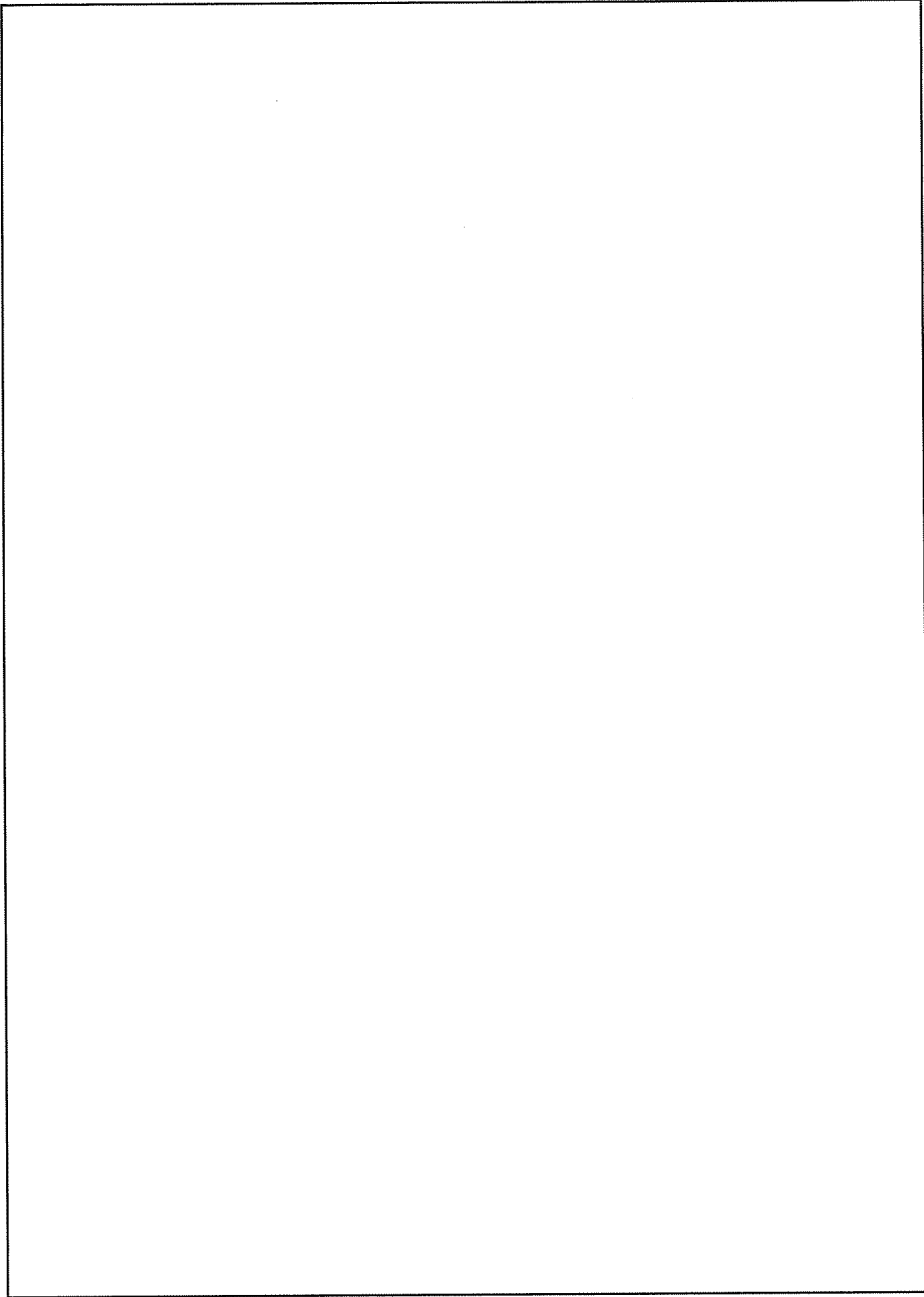
コールドトラップ（小）の構造・寸法を「添説設 7-8-1 図 コールドトラップ」に示す。

2) 材 質

コールドトラップ（小）の材質を「添説設 7-8-1 表 コールドトラップ材質一覧表」に示す。

添説設 7-8-1 表 コールドトラップ（小）材質一覧表

品番	名 称	材 質	がスエット ボルト 情報	耐圧強度 計算	計算対象外の理由
①	胴板			対象	
②	鏡板			対象	
③	平ふた板			対象	
④	フランジ			—	設計確認圧力以上の圧力に耐える JIS20K フランジを使用するため
⑤	管台 (UF <sub>6</sub> , 排気)			対象	
⑥	管台 (温度計)			対象	
⑦	ガスケット (ふっ素樹脂ガスケット)			—	圧力を確保する材料ではないため
⑧	フランジ			—	設計確認圧力以上の圧力に耐える JIS10K フランジを使用するため
⑨	フランジ			—	設計確認圧力以上の圧力に耐える JIS10K フランジを使用するため



添説設 7-8-1 図 コールドトラップ (小)

8.2 計算条件

イ) 設計確認圧力及び設計確認温度

コールドトラップ (小) の設計確認圧力及び設計確認温度を「添説設 7-8-2 表 コールドトラップ (小) 計算条件」に示すとともに、圧力条件の概略を「図 7-8-2 コールドトラップ (小) 圧力条件概略図」に示す。

添説設 7-8-2 表 コールドトラップ (小) 計算条件

品 番		①	②	③	⑤	⑥
名 称		胴板 <sup>※1</sup>	鏡板 <sup>※2</sup>	平ふた板 <sup>※3</sup>	管台 <sup>※1</sup> (UF <sub>6</sub> , 排気)	管台 <sup>※1</sup> (温度計)
設計確認 圧力 <sup>※4</sup> (MPa)	加熱時					
	冷却時					
最高/最低 使用圧力 <sup>※4</sup> (MPa)	加熱時					
	冷却時					
設計確認温度 (°C)	加熱時					
	冷却時					
最高/最低 使用温度 (°C)	加熱時					
	冷却時					

注 記

- ※1 : ①胴板・⑤管台 (UF<sub>6</sub>, 排気)・⑥管台 (温度計) については、内圧による最少必要厚さ及び外圧による最高許容外圧を算出し評価する。
- ※2 : ②鏡板は、内圧による最少必要厚さ及び外圧による最少必要厚さを算出し評価する。外圧による最少必要厚さは以下の値のうち大きい方とする。
  - i) 外圧を 1.67 倍の内圧として計算した厚さ
  - ii) 球形胴と同じ手順により  $D_0$  を  $2K_0D_0$  に読み替えて計算した厚さ
- ※3 : ③平ふた板の設計確認圧力は、加熱時設計確認圧力と冷却時設計確認圧力の絶対値が大きい値として円形平板モデルで評価する。
- ※4 : 設計確認圧力のうち整数は内圧を示し、負数は外圧を示す。
- ※5 : 胴内部の圧力と冷却ジャケットの圧力を考慮した圧力にて評価する。

ロ) 設計厚さ

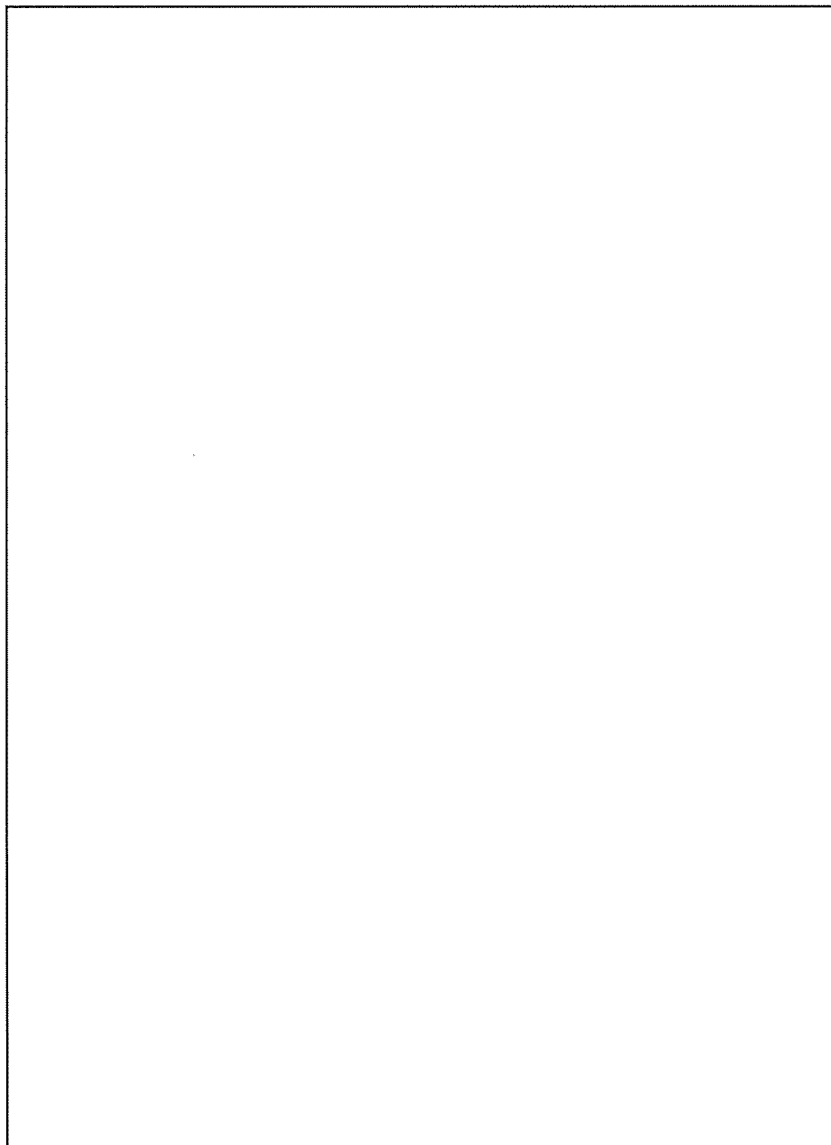
計算に用いる各部材の設計厚さは、公称厚さから設計上の裕度（1.5mm）を差し引いた値とする。

$$(\text{設計厚さ}) = (\text{公称厚さ}) - (1.5\text{mm})$$

ハ) 溶接継手効率

胴板部分等の溶接継手効率( $\eta$ )は、100%の放射線透過試験を実施しているが、保守的に JIS B 8265 「6.2 溶接継手効率」の放射線透過試験を行わない裏当てを用いない突合せ片側溶接継手の継手効率( $\eta = 0.6$ )とする。

平ふた板部分の溶接継手効率( $\eta$ )は、 $\eta = 1$  とする。



添説設 8-7-2 コールドトラップ (小) 圧力条件概略図

8.3 耐圧強度計算

1) ①胴板

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E.2.2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{①} = \frac{PD_{i①}}{2\sigma_{a①}\eta - 1.2P}$$

$t_{①}$  : 胴板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$D_{i①}$  : 胴の内径  $D_{i①} =$   ( mm )

$\sigma_{a①}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a①} = 107$  ( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.6$

$$t_{①} =$$
$$=$$
 ( mm )

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E.4.2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{①} = \frac{4Bt_{①}}{3D_{o①}}$$

$Pa_{①}$  : 最高許容外圧 ( MPa )

$B$  : JIS B 8265 附属書 E 図 E.10 の使用する材料に該当する

図において、 $A$  の値と設計確認温度に対する材料線から求める値  $B = 67$  ( N/mm<sup>2</sup> )

$A$  : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E.9 により求める値

$$A =$$

$t_{①}$  : 胴板の計算厚さ  $t_{①} =$   ( mm )

$D_{o①}$  : 胴の外径 ( mm )

$$Pa_{①} =$$
$$=$$
 ( MPa )

2) ②鏡板

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 3. 4 半だ円形鏡板の計算厚さ)

$$t_{②} = \frac{PD_{i②}K}{2\sigma_{a②}\eta - 0.2P}$$

$t_{②}$  : 半だ円鏡板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$D_{i②}$  : 半だ円形鏡板のだ円の内長径

$$D_{i②} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$$

$K$  : 半だ円形鏡板の形状による係数で次の式による

$2h$  : 半だ円形鏡板のだ円の内短径

$$h = \frac{1}{4}D_{i②} = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$$

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left( \frac{D_{i②}}{2h} \right)^2 \right\} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$\sigma_{a②}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a②} = \boxed{\phantom{000000}}$   
( N/mm<sup>2</sup> )

「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.6$

$$t_{②} = \boxed{\phantom{000000}}$$
  
$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( mm )}$$



ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4.5 鏡板の計算厚さ)

外圧を受ける半だ円鏡板の計算厚さは、次によって計算した値のうち、いずれか大きい方とする。

i) 鏡板が内圧を受けるものとみなし設計外圧を 1.67 倍として計算した厚さ

$$t_{②G} = \frac{PD_{i②}K}{2\sigma_{a②}\eta - 0.2P}$$

$t_{②G}$  : 半だ円鏡板の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力  (MPa)

$D_{i②}$  : 半だ円形鏡板のだ円の内長径

$D_{i②} =$   ( mm )

$K$  : 半だ円形鏡板の形状による係数  $K=1.0$

$\sigma_{a②}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a②} =$    
(  $N/mm^2$  )

「附属書 B 表 B.1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形は許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.6$

$$t_{②G} =$$
$$=$$
( mm )

ii) 球形胴と同じ手順により  $D_0$  を  $2K_0D_0$  に読み替えて計算した厚さ

$$Pa_{\text{②}} = \frac{2Bt_{\text{②}}}{D_{0\text{②}}}$$

ここで、 $D_0$  を  $2K_0D_0$  に読み替えれば

$$Pa_{\text{②}} = \frac{2Bt_{\text{②}}}{2K_0D_{0\text{②}}}$$

$Pa_{\text{②}}$  : 最高許容外圧 ( MPa )

$B$  : JIS B 8265 附属書 E 図 E.10 の使用する材料に該当する

図において、 $A$  の値に対して設計確認温度に対する材料戦から求める値 (  $N/mm^2$  )

$t_{\text{②}}$  : 鏡板の厚さ  ( mm ) と仮定する。

$D_{0\text{②}}$  : 胴の外径  $D_{0\text{②}} =$  ( mm )

$K_0$  : 附属書 E 表 E.4 より求める値

$$\frac{D_{0\text{②}}}{2h_0} = 2.0 \text{ より } K_0 =$$

ここで、 $B$  の値を求めるため  $A$  の値を計算する。

$$A = \frac{0.25t_{\text{②}}}{2K_0D_{0\text{②}}} =$$
  

$$=$$

附属書 E 図 E.10 より  $B =$  (  $N/mm^2$  ) となる。したがって、鏡板の最高許容圧力は

$$Pa_{\text{②}} =$$
  

$$=$$
 ( MPa ) >  ( MPa )

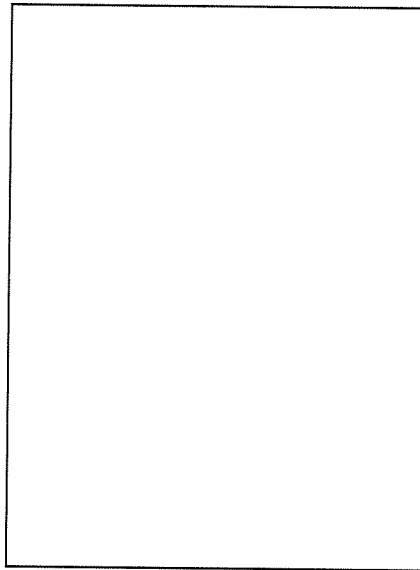
よって、鏡板の計算上必要な厚さは  mm となる。

3) ③平ふた板

イ) ボルト荷重の計算 (JIS B 8265 附属書 G G.4.1 ボルト荷重)

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重には、使用状態におけるボルト荷重とガスケット締付時のボルト荷重の2種類がある。

以下にその計算を示す。



使用状態でのボルト荷重:  $W_{m1}$

$$W_{m1} = \frac{\pi GP}{4} (G + 8bm)$$

$G$  : ガスケット反力円の直径  $G =$   ( mm )

$P$  : 内圧 ( MPa )

$b$  : ガスケット座の有効幅 ( mm )

$$b = 2.5\sqrt{b_0} =$$
  ( mm )

$b_0$  : ガスケット座の基本幅 ( mm )

附属書 G 表 G.3 による

$$b_0 = \frac{N}{2} = \frac{37.5}{2} =$$
  ( mm )

$m$  : ガスケット係数  $m =$

メーカーカタログによる

$$W_{m1} =$$
   

$$=$$
  ( N )

ガスケット締付時のボルト荷重： $W_{m2}$

$$W_{m2} = \pi b G y$$

$$y : \text{最小設計締付圧力 } y = \boxed{\phantom{000}} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

メーカーカタログによる

$$W_{m2} = \pi \times \boxed{\phantom{0000000}} \\ = \boxed{\phantom{000000}} \text{ ( N )}$$

使用状態でのボルトの総有効断面積： $A_{m1}$

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ (mm}^2 \text{ )}$$

$\sigma_b$  : 設計確認温度におけるボルト材料の許容引張応力  $\sigma_b = 93$   
( MPa )

JIS B 8265 附属書 B 「表 B.5-ボルト材料の許容引張応力」  
による

ガスケット締付時のボルトの総有効断面積： $A_{m2}$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ (mm}^2 \text{ )}$$

$\sigma_a$  : 常温におけるボルト材料の許容引張応力  $\sigma_a = 102$  ( MPa )

JIS B 8265 附属書 B 「表 B.5-ボルト材料の許容引張応力」  
による

ボルトの総有効断面積： $A_m$

$$A_m = \max(A_{m1}, A_{m2}) = \max(\boxed{\phantom{000000}})$$

$$= \boxed{\phantom{000000}} \text{ (mm}^2 \text{ )}$$

平ふた板の計算に用いるボルトの荷重

使用状態でのボルト荷重： $W_0=W_{m1}$

ガスケット締付時のボルト荷重： $W_g=\frac{A_m+A_b}{2}\sigma_a$

$A_b$ ：ボルトの総有効断面積

$$A_b=n\frac{\pi}{4}d_b^2=\boxed{\phantom{0000}}(\text{mm}^2)$$

$n$ ：ボルト本数  $\boxed{\phantom{00}}$  本

$d_b$ ：M24 のボルト谷径  $\boxed{\phantom{00}}$  (mm)

$$W_g=\boxed{\phantom{000000}}(\text{N})$$

ロ) 使用状態での平ふた板の計算厚さ

(JIS B 8265 附属書 L L. 3.2 ボルト締平ふた板の計算厚さ)

$$t_{\text{③}0}=d\sqrt{\frac{0.3P}{\sigma_{a0}\eta}+\frac{1.9W_0h_g}{d^3\sigma_{a0}\eta}}$$

$t_{\text{③}0}$ ：使用状態での平ふた板の計算厚さ (mm)

$d$ ：ガスケット反力円の直径 (mm)

$W_0$ ：使用状態でのボルト荷重 (N)

$h_g$ ：モーメントアーム (mm)

$P$ ：設計確認圧力 (MPa)

$\sigma_{a0}$ ：設計確認温度における平ふた板の材料の許容引張応力

$$\sigma_{a0}=\boxed{\phantom{000}}(\text{N/mm}^2)$$

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1—鉄鋼材料の許容引張応力」

による。ただし、材料の変形は許容しない。

$\eta$ ：平ふた板の溶接接手効率  $\eta=1.0$

$$t_{\text{③}0}=\boxed{\phantom{00}}\sqrt{\boxed{\phantom{000000}}}$$

$$=\boxed{\phantom{000}}(\text{mm})$$

ハ) ガスケット締付時の平ふた板の計算厚さ

$$t_{\text{㊸g}} = d \sqrt{\frac{0.3P}{\sigma_{ag}\eta} + \frac{1.9W_g h_g}{d^3 \sigma_{ag}\eta}}$$

$t_{\text{㊸g}}$  : ガスケット締付時の平ふた板の計算厚さ ( mm )

$d$  : ガスケット反力円の直径 ( mm )

$W_g$  : ガスケット締付時のボルト荷重 ( N )

$h_g$  : モーメントアーム ( mm )

$P$  : 設計確認圧力  $P=0$  ( MPa )

$\sigma_{ag}$  : 常温における平ふた板の材料の許容引張応力

$$\sigma_{ag} = \boxed{\quad} \text{ ( N/mm}^2 \text{ )}$$

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1－鉄鋼材料の許容引張応力」

による。ただし、材料の変形を許容しない。

$\eta$  : 平ふた板の溶接継手効率  $\eta=1.0$

$$t_{\text{㊸g}} = \boxed{\quad} \times \sqrt{\boxed{\quad}}$$

$$= \boxed{\quad} \text{ ( mm )}$$

4) ⑤管台 (UF<sub>6</sub>, 排気)

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 2. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{㊸}} = \frac{PD_{o\text{㊸}}}{2\sigma_{a\text{㊸}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{㊸}}$  : 管台の計算厚さ ( mm )

$P$  : 設計確認圧力 ( MPa )

$D_{o\text{㊸}}$  : 管台の外径 ( mm )

$\sigma_{a\text{㊸}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a\text{㊸}}=107$   
( N/mm<sup>2</sup> )

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」に

よる。ただし、材料の変形を許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta=0.6$

$$t_{\text{㊸}} = \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad} \text{ ( mm )}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{㉔}} = \frac{4Bt_{\text{㉔}}}{3D_{o\text{㉔}}}$$

$Pa_{\text{㉔}}$  : 最高許容外圧 (MPa)

$B$  : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する

図において、 $A$  の値と設計確認温度に対する材料線から求める値  $B = \square$  (N/mm<sup>2</sup>)

$A$  : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値

$$A = \square$$

$t_{\text{㉔}}$  : 胴板の計算厚さ  $t_{\text{㉔}} = \square$  (mm)

$D_{o\text{㉔}}$  : 管台の外径 (mm)

$$Pa_{\text{㉔}} = \square$$

$$= \square \text{ (MPa)}$$

5) ㉔管台 (温度計)

イ) 加熱時 (内圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 2. 2 円筒胴の計算厚さ)

$$t_{\text{㉔}} = \frac{PD_{o\text{㉔}}}{2\sigma_{a\text{㉔}}\eta + 0.8P}$$

$t_{\text{㉔}}$  : 管台の計算厚さ (mm)

$P$  : 設計確認圧力 (MPa)

$D_{o\text{㉔}}$  : 管台の外径 (mm)

$\sigma_{a\text{㉔}}$  : 設計確認温度における材料の許容引張応力  $\sigma_{a\text{㉔}} = \square$  (N/mm<sup>2</sup>)

JIS B 8265 「附属書 B 表 B. 1 鉄鋼材料の許容引張応力」による。ただし、材料の変形を許容しない。

$\eta$  : 溶接継手効率  $\eta = 0.6$

$$t_{\text{㉔}} = \square$$

$$= \square \text{ (mm)}$$

ロ) 冷却時 (外圧) (JIS B 8265 附属書 E E. 4.2 円筒胴の計算厚さ)

$$Pa_{\text{㉔}} = \frac{4Bt_{\text{㉔}}}{3D_{o\text{㉔}}}$$

$Pa_{\text{㉔}}$  : 最高許容外圧 (MPa)

B : JIS B 8265 附属書 E 図 E. 10 の使用する材料に該当する  
図において, A の値と設計確認温度に対する材料線から求め  
る値  $B = \square$  (N/mm<sup>2</sup>)

A : 外径・厚さ及び長さから附属書 E 図 E. 9 により求める値  
 $A = \square$

$t_{\text{㉔}}$  : 胴板の計算厚さ  $t_{\text{㉔}} = \square$  (mm)

$D_{o\text{㉔}}$  : 管台の外径 (mm)

$$Pa_{\text{㉔}} = \square$$

$$= \square \text{ (MPa)}$$

6) 計算結果及び評価

イ) 計算結果

耐圧強度計算の結果を添説設 7-8-3 表に示す。

添説設 7-8-3 表 耐圧強度計算結果

品番	名称		計算上必要な厚さ (mm)	設計厚さ (mm)	最高許容外圧 (MPa)	設計外圧 (MPa)
①	胴板	加熱時(内圧)				
		冷却時(外圧)				
②	鏡板	加熱時(内圧)				
		冷却時(外圧)				
③	平ふた板	使用状態				
		ガスケット締付時				
⑤	管台 (UF <sub>6</sub> , 排気)	加熱時(内圧)				
		冷却時(外圧)				
⑥	管台 (温度計)	加熱時(内圧)				
		冷却時(外圧)				

注 記

※1 : 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm)

※2 : 設計厚さ = 公称厚さ - (1.5mm) × 2



ロ) 評 価

各部材の設計厚さは計算上必要な厚さよりも厚く、かつ、最高許容外圧は設計外圧よりも高いことから、耐圧強度上の安全性は確認された。

また、ノズルの耐圧強度上の安全評価より、配管に必要な計算厚さは1.0mm以下であり、接続する配管についても必要な耐圧強度を満足している。

UF<sub>6</sub>蒸発・加水分解設備に関する設計基準事故・設計基準を超える事故に関する説明書

## 1. 概要

正圧でUF<sub>6</sub>を取り扱う設備について、想定する設計基準事故、重大事故に至るおそれのある事故について、シナリオ及び被ばく評価結果を示す。

なお、シナリオ及び評価については、事業許可(添付書類七 変更後における加工施設において事故が発生した場合における当該事故に対処するために必要な施設及び体制の整備に関する説明書)の考え方を踏襲している。

また、UF<sub>6</sub>漏えいにより発生するHFによる化学被ばく影響評価については、指示文書「平成 25 年 12 月 11 日付け原管研初第 1312111 号ウラン燃料加工施設における六ふっ化ウランの取扱いが一般公衆に及ぼす化学的影響に関する報告の提出について(指示)」に基づき提出した「三原燃 第 17-0533 号 再転換工程における六ふっ化ウランの取扱いが一般公衆に及ぼす化学的影響に関する報告書の一部補正について」の考え方を踏襲している。

## 2. 設計基準事故

### 2.1 設計基準事故のシナリオ

核燃料物質の取扱い形態及び取扱方法をもとに、機器等の破損、故障、誤動作、あるいは運転員の誤操作による事故が発生した場合を想定し、設計基準事故を選定した。

UF<sub>6</sub> を正圧で取り扱う蒸発・加水分解工程における設計基準事故として、以下を考慮した結果、フードボックス内の任意の配管部からの UF<sub>6</sub> ガスの漏えいを想定した。

UF<sub>6</sub> 取扱設備のうち UF<sub>6</sub> シリンダ及び脱着式 UF<sub>6</sub> 配管は、第 1 種圧力容器である蒸発器内に収納されており、蒸発器から加水分解装置までの UF<sub>6</sub> 配管及びコールドトラップ、コールドトラップ(小)はフードボックス内に収納されている。したがって、UF<sub>6</sub> 漏えいに関して、以下のハザードが考えられる。

- ①蒸発器内に収納されているUF<sub>6</sub>シリンダ及び脱着式UF<sub>6</sub>配管からの漏えい
- ②蒸発器から加水分解装置までのUF<sub>6</sub>配管からの漏えい
- ③コールドトラップ、コールドトラップ(小)からの漏えい
- ④加水分解装置の循環水不足による未反応UF<sub>6</sub>ガスの漏えい

上記の原因のうち、①については、UF<sub>6</sub> シリンダ及び脱着式 UF<sub>6</sub> 配管は、労働安全衛生法に基づく第 1 種圧力容器である蒸発器内に収納されており、蒸発器内で UF<sub>6</sub> が漏えいした場合は、漏えいを検知し、蒸気遮断弁及びドレン排出弁を自動で停止するため、外部へ流出することはない。

一方、②から④はフードボックス内での漏えいとして選定しており、このうち、③についてはコールドトラップ、コールドトラップ(小)は第 1 種圧力容器として設計・管理することに加え、容器と遮断弁までの配管部分を強化することで、②と比較して漏えいの発生を低減できると考えられること、また、④については仮に加水分解装置へ循環水を供給するポンプが作動しない状況となり加水分解装置の循環貯槽のベント穴から未反応の UF<sub>6</sub> ガスが放出したとしてもフードボックス内に排気されることから、②に包含される。

これらを踏まえ、最も漏えい量が大きくなる②を事故シナリオとした。

## 2.2. 拡大防止・影響緩和対策

UF<sub>6</sub> シリンダ、脱着式 UF<sub>6</sub> 配管は蒸発器内部に設置することで、UF<sub>6</sub> ガスが漏えいした場合には蒸発器で閉じ込める設計とし、2 次バウンダリとして、蒸発器は耐圧・気密設計とする。

UF<sub>6</sub> シリンダ、脱着式 UF<sub>6</sub> 配管以外の UF<sub>6</sub> ガスを取り扱う設備・機器は、フードボックス内に設置する設計とし、2 次バウンダリとして、フードボックスは、局所排気系統に接続し、内部を負圧に維持することにより、フードボックスで閉じ込める設計とする。フードボックスには UF<sub>6</sub> の漏えい検知設備を設置し、漏えいの検知時に自動的に警報を発生し、遮断弁を閉止して UF<sub>6</sub> の供給を停止するとともに、加熱を停止するインターロック機構を設置する設計とする。

また、漏えいした UF<sub>6</sub> ガスに対しては、バッファ機能を有するフードボックスを経由して、フードボックスに接続した局所排気系統により、二段のスクラバで処理した後に二段の高性能エアフィルタ(後段は耐 HF 性)を介して排気塔から排気する系統に切り替るインターロック機構が作動する。

図 2.2-1 に蒸発・加水分解工程における UF<sub>6</sub> 配管破損時の UF<sub>6</sub> 漏えいに関する状況を示す。

なお、ガス溜めバッファ必要容積の考え方、スクラバ捕集効率の考え方については、添付説明書-設 6 に記載している。

注：本説明資料は UF<sub>6</sub> ガス漏えいの設計基準事故の説明資料であるので、転換加工室側で UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 溶液を取扱う UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 貯槽、熱交換器、液受槽、堰については、記載を簡略化や省略している。

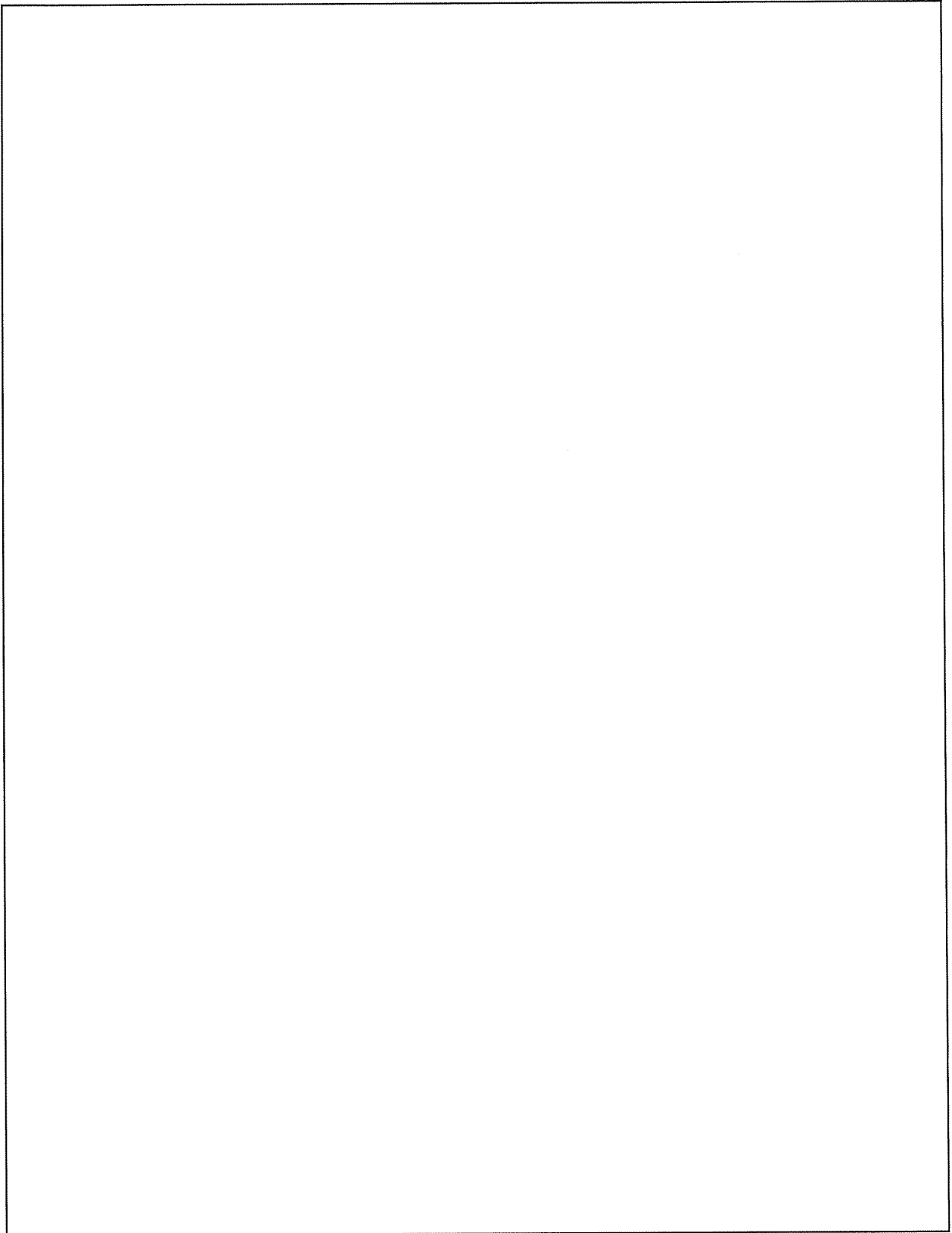


図 2.2-1 蒸発・加水分解工程における配管破損時の  $UF_6$  漏えいに関する状況

## 2.3. 評価

### 2.3.1 評価条件

建物外に漏えいするウラン量及び HF 量については、フードボックス内の UF<sub>6</sub> 配管から漏えいし、局所排気系を通じて排気塔から建物外に放出される場合を想定し、以下の条件で評価している。

- ① 加水分解工程における UF<sub>6</sub> 配管破損(単一故障(UF<sub>6</sub> 配管腐食、配管接続不良など)により UF<sub>6</sub> ガスが配管外に漏えい、配管破損は全周破断)による UF<sub>6</sub> の漏えいを想定する。UF<sub>6</sub> 配管破損部から放出される UF<sub>6</sub> の量は、配管抵抗はないものとして、漏えい部の圧力 0.4MPaG\*<sup>1</sup> とし、14.2kgUF<sub>6</sub> /分\*<sup>2</sup> とする。
- ② 漏えい時間は、漏えいを検知して遮断弁を閉止するまでの時間の 40 秒\*<sup>3</sup> とする。
- ③ 漏えいした UF<sub>6</sub> の 99%はスクラバにより捕集され、残りの 1%が排気系へ移行するものとした。また、HF の 99.5%はスクラバにより捕集され、残りの 0.5%が排気系へ移行するものとする。
- ④ 排気系の高性能エアフィルタ(セルフコンテンツ型 2 段連続、後段は耐 HF 性)のウラン捕集効率は、HF による影響がないため 99.997%\*<sup>4</sup> とした。一方、HF は高性能エアフィルタでは捕集されないものとする。
- ⑤ 前述の条件時、各設備・機器から外部環境へ放出されるウランの放出量(RQ)を、式 1 に示す五因子法の評価式により算出する。
- ⑥ この放出量をもとに大気拡散による周辺監視区域境界外における核燃料物質の濃度を、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に記載されている短時間放出の場合の相対濃度の評価式に従って求め、公衆の吸入摂取による実効線量(E)を式 2 により評価する。

\*1 : 108°C(通常運転温度範囲上限)での UF<sub>6</sub> 配管全周破断時の圧力。

\*2 : 配管からの UF<sub>6</sub> 漏えい速度は、「圧縮性流体のノズルの式」(機械工学便覧)により算出する。

$$G=K \cdot A \cdot P \cdot \sqrt{[(g_c \cdot M)/(R \cdot T)]}$$

$$K=\sqrt{[k \cdot (2/(k+1))^{(k+1)/(k-1)}]}=0.621$$

G:吹き出し速度(kg/sec)

A:断面積(m<sup>2</sup>);0.0000713

P:吹き出し圧力(kgf/m<sup>2</sup>);51856.4

g<sub>c</sub>:単位換算係数(-);9.80665

R:気体定数(kg・m/kmol/K);847.82

T:絶対温度(K);381

k:比熱比;1.065

M:分子量(kg/kmol);352

\*3 : 漏えい継続時間は、「HF 検知器が UF<sub>6</sub> 漏えいを検知して UF<sub>6</sub> 遮断弁を閉止するまでの応答時間 : 30s」と「UF<sub>6</sub> ガスの漏えい箇所から HF 検知器までの移動時間+切り替えダンパ等の駆動時間 : 10s」の合計とした。

\*4：高性能エアフィルタ 1 個に対して 69g 以上の HF が通過すると捕集効率の低下が生じることが示されている\*5。一方、高性能エアフィルタに移行する HF 量は 10.8gHF\*であり、捕集効率の低下は考慮しない。高性能エアフィルタは直列 2 段で構成されているため、その捕集効率 99.997%を考慮した。

\*5：“Reprocessing of Fuel from Present and Future Power Reactor”, KR-126(1967)による。

\*HF 量

上記条件により、UF<sub>6</sub>配管からフードボックス内に漏えいする想定ウラン量は、 $1.42 \times 10^4 (\text{gUF}_6/\text{分}) \times 40/60 (\text{分}) \times 0.676 (\text{gU/gUF}_6) = 6.4 \text{kgU}$  である。

UF<sub>6</sub>+2H<sub>2</sub>O=UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>+4HF より、

$$1.42 \times 10^4 (\text{gUF}_6/\text{分}) \times 40/60 (\text{分}) = 352 (\text{gUF}_6/\text{molUF}_6) \times 4 (\text{molHF/molUF}_6) \times 20 (\text{gHF/molHF}) \times (1-0.995) = 10.8 \text{gHF}$$

式 1：

$$RQ = \text{MAR} \times \text{DR} \times \text{ARF} \times \text{RF} \times \text{LPF} \quad (\text{式1})$$

ここで、MAR：事故によって影響を受ける可能性のあるウラン量

DR：事故の影響を受ける割合

ARF：雰囲気中に放出され浮遊する割合

RF：肺に吸入されうる浮遊性微粒子の割合

LPF：環境中に漏れ出る割合

式 2：

$$E = RQ \times (\chi/Q) \times M \times K \quad (\text{式2})$$

ここで、 $\chi/Q$ ：相対濃度

M:呼吸率

K：実効線量係数

算出にあたっては、保守側に設定した以下の条件で評価した。

①  $\chi/Q$ を求めるにあたって、以下の条件とした。

大気安定度：F

風速：1m/s

放出源有効高さ：0m

- ・形状係数：0.5

- ・施設建物の投影面積：施設建物の投影面積の最小値

- ・評価点：周辺監視区域境界

②人の呼吸率はICRP Pub.23より 1.2m<sup>3</sup>/hを用いた。

③実効線量係数は、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に記載の数値 6.4×10<sup>-4</sup>mSv/Bq(UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>等の六価の化合物の数値)を使用した。



上記を整理した結果を表2.3-1に示す。

表 2.3-1 UF<sub>6</sub>ガスの漏えいにおける評価条件

MAR(kgU)	$1.6 \times 10^3$ : UF <sub>6</sub> シリンダの最大充填量
DR	$4.2 \times 10^{-3}$ : 漏えい部の圧力 0.4MPaG における漏えい率が 14.2kgUF <sub>6</sub> /分であること及び漏えい検知してから遮断弁閉止までの 40 秒間の漏えいを仮定することにより漏えい量は 6.4kgU となり、UF <sub>6</sub> シリンダの最大充填量に対する割合は $4.2 \times 10^{-3}$
ARF、RF	1
LPF	$3 \times 10^{-7}$ : スクラバによる捕集効率 99%及びセルフコンテンツ型 HEPA フィルタ 2 段による捕集効率 99.997%を考慮
ウラン比放射能 (Bq/kgU)	$1.44 \times 10^8$ : 5%濃縮ウラン (再生濃縮ウランは取扱わない)
相対濃度(s/m <sup>3</sup> )	$1.85 \times 10^{-3}$
線量係数(mSv/Bq)	$6.4 \times 10^{-4}$

### 2.3.2 評価結果

設計基準事故における公衆の被ばく評価結果は以下のとおりである。

UF<sub>6</sub>配管からのUF<sub>6</sub>ガスの漏えい量評価については、配管は全周破断し、配管の通常運転温度上限時の圧力で放出、漏えい開始から漏えいの検知に伴いインターロック機構により遮断弁を閉止するまで漏えいが継続すると想定した結果、蒸発器に設置されたUF<sub>6</sub>シリンダの最大充填量  $1.6 \times 10^3 \text{kgU}$  に対し、 $6.4 \text{kgU}$  となる。

漏えいしたUF<sub>6</sub>は、二段のスクラバ及び二段の高性能エアフィルタを介し排気塔から排気される。二段のスクラバの捕集効率を99%、二段の高性能エアフィルタの捕集効率を99.997%とすると、排気塔から大気中に放出されるウラン量は  $2.0 \times 10^{-6} \text{kgU}$ 、放射エネルギーは  $2.8 \times 10^2 \text{Bq}$  となり、ウラン粉末の大気放出に伴う周辺監視区域境界における公衆の実効線量は  $2 \times 10^{-7} \text{mSv}$  となる。なお、評価にあたっては、漏えい検知インターロック機構の単一故障も想定したが、2系統設置するため、もう一方は機能するものとした。

### 2.3.3 建物外に漏えいするウラン及びHFによる公衆の化学的影響

公衆の呼吸する空気中のUO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>濃度を前述の方法と同様に、大気拡散による希釈効果のみを考慮し、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針に関する気象指針」に記載されている相対濃度(大気希釈率( $\chi/Q$ ))をもとに以下のとおり算出した。なお、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>からUF<sub>6</sub>に換算し、漏えい時間は短時間であることから10分間平均濃度として算出した。

$$\begin{aligned} & (\text{ウラン放出量}) \times (\text{大気希釈率}) \\ & = 1.92 \text{ (mgU)} \times (1.85 \times 10^{-3} / 3600) \times (60 / 10) \times (352 / 238) \\ & = 9 \times 10^{-6} \text{ mgUF}_6 / \text{m}^3 \end{aligned}$$

これは、UF<sub>6</sub>に関するAEGL-1しきい値の $3.6 \text{mgUF}_6 / \text{m}^3$ よりも十分小さい。

同様に、公衆の呼吸する空気中のHF濃度を以下のとおり算出した。なお、大気温度は25°Cとし、質量から体積への換算値は1.23 (HF1モル20gは25°Cで24.5Lより)とした。

$$\begin{aligned} & (\text{HF放出量}) \times (\text{大気希釈率}) \times (\text{ppm換算値}) \\ & = 1.08 \times 10^4 \text{ (mgHF)} \times (1.85 \times 10^{-3} / 3600) \times (60 / 10) \times 1.23 \\ & = 5 \times 10^{-2} \text{ ppm} \end{aligned}$$

これは、HFに関するAEGL-1しきい値の1ppmよりも十分小さい。

### 3. 重大事故に至るおそれがある事故又は重大事故

#### 3.1 事故シナリオ

臨界事故の発生防止については、核的制限値として形状寸法、質量、減速度又はそれらの組み合わせにより管理する。また、核的制限値を有する設備・機器は、耐震重要度分類第1類としての設計や、質量管理として二重装荷を想定した未臨界の確保、インターロックの設置、溢水による臨界発生防止として水位より高い位置への設置や防護カバー等の防護措置により、当該設備で想定される最も厳しい結果を与える中性子の減速及び反射の条件においても、臨界とならない設計とすることから、以下において閉じ込め機能の喪失について確認する。

外的事象のうち、核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失に至る可能性がある事象としては、地震、竜巻、火山、航空機落下、外部火災・爆発が考えられる。これらの外的事象については、各事象に対する安全上重要な施設の有無の確認結果により、建物及び設備機器への損傷等を想定したとしても大きな事故の誘因とはならないことから、重大事故に至るおそれがある事故事象には該当しない。

一方、内的事象については、設計基準事故の評価を基に多重故障等の発生を想定し、核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失の観点から、重大事故に至るおそれがある事故を検討した。

UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う施設に関しては、気体状UF<sub>6</sub>の拡散性が大きく、また、HF等による化学的影響も伴うため、設計基準事故評価においては複数の影響緩和機能の設置により局所排気系へのUF<sub>6</sub>漏えいは限定的なものであったが、重大事故に至るおそれがある事故想定においては、設計基準を超える閉じ込め機能喪失の観点より、室内及び建物外へのUF<sub>6</sub>漏えいを想定し、重大事故に至るおそれがある事故事象として以下を選定する。

具体的には、UF<sub>6</sub>を正圧で取り扱う蒸発・加水分解工程の設備・機器、フードボックス及び防護カバーが損傷してUF<sub>6</sub>が室内へ漏えいし、さらに建物外へ漏えいすることを想定し、その際、全交流電源喪失及び計測器類の機能喪失を考慮した。運転状態としては2系統同時を想定し、蒸発器2基が運転中で、2基がスタンバイ状態にあることを想定した。また、全交流電源喪失により、設計基準事故で期待していたスクラバ及びHEPAフィルタが機能しないことを想定する。

#### 3.2 事故への対処

重大事故に至るおそれがある事故への対処については、事業許可の方針を元に、保安規定に規定し、必要な資機材、対応要領、要員を整備し、教育訓練を実施している(今後、建物・設備の改造を反映)であるが、スクラバが機能しないことから、設備・建屋による閉じ込め(UF<sub>6</sub>シリンダ、コールドトラップ、コールドトラップ(小)(一次閉じ込め)、蒸発器(2次閉じ込め)、防護カバー(3次閉じ込め)、転換工場(4次閉じ込め)により対処する。

図 3.3-1 に蒸発・加水分解工程における配管破損時のUF<sub>6</sub>漏えいに関する状況を示す。

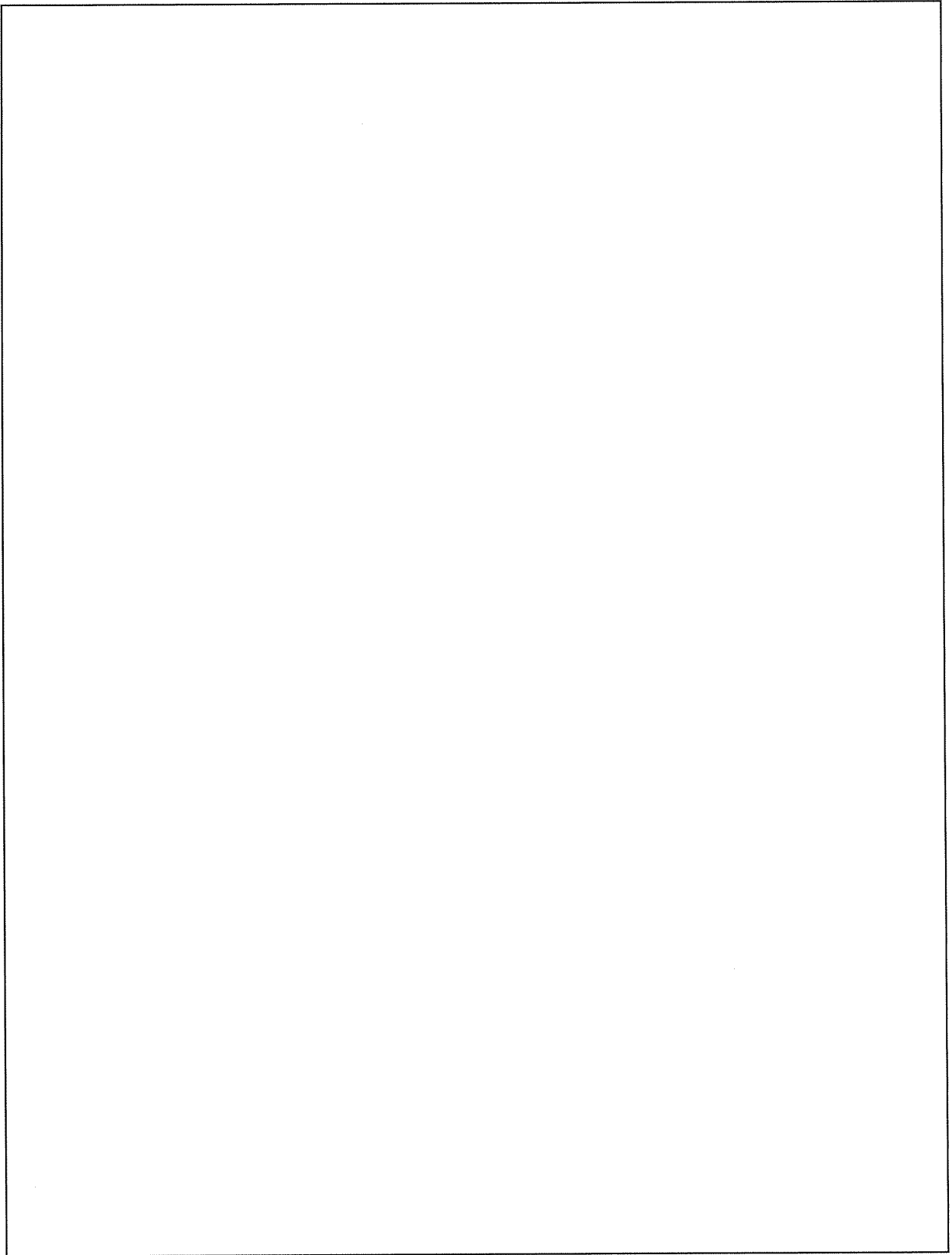


図 3.3-1 蒸発・加水分解工程設備破損時(B-DBA)の  $UF_6$  漏えいに関する状況

### 3.3 評価

#### 3.3.1 評価条件

建物外に漏えいするウラン量及び HF 量については、フードボックス内の UF<sub>6</sub> 配管から漏えいし、シャッター、扉などの建物の隙間から建物外に放出される場合を想定し、以下の条件で評価している。

- ① 加水分解工程における UF<sub>6</sub> 配管破損(単一故障(UF<sub>6</sub> 配管腐食、配管接続不良など)により UF<sub>6</sub> ガスが配管外に漏えい、配管破損は、全周破断。運転は 2 系統で同時に行われていることを仮定し、両系において破損が生じることを想定)による UF<sub>6</sub> の漏えいを想定する。UF<sub>6</sub> 配管破損部から放出される UF<sub>6</sub> の量は、配管抵抗はないものとして、漏えい部の圧力 0.4MPaG とし、14.2kgUF<sub>6</sub>/分とする。
- ② 漏えい時間は、漏えいを検知して遮断弁を閉止するまでの時間の 40 秒とする。
- ③ スクラバ、HEPA フィルタは機能喪失するが、電源喪失状態であるので、UF<sub>6</sub> フードボックス出口、転換工場給排気ダンパは閉止<sup>\*1</sup>しているものとして、設備による閉じ込め(DF10)、建屋による閉じ込め(DF10)を想定する。
- ④ 前述の条件時、各設備・機器から外部環境へ放出されるウランの放出量(RQ)を、式 1 に示す五因子法の評価式により算出する。
- ⑤ この放出量をもとに大気拡散による周辺監視区域境界外における核燃料物質の濃度を、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に記載されている短時間放出の場合の相対濃度の評価式に従って求め、公衆の吸入摂取による実効線量(E)を式 2 により評価する。

\*1: 原料倉庫の境界部に設置される逆流防止ダンパは、内部の板羽に重し(カウンターウェイト)が取り付けられており、給排気ファンによる気流がなくなると重しの自重で板羽が回転しダンパが閉止する。重大事故に至るおそれがある事故の際、保安規定に定められた手順により、転換工場の気体廃棄設備は一斉に停止され、逆流防止ダンパは閉止されるため、UF<sub>6</sub> の漏洩は停止する。

上記を整理した結果を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 UF<sub>6</sub>ガスの漏えいにおける評価条件

MAR(kgU)	$3.2 \times 10^3$ : UF <sub>6</sub> シリンダの最大充填量(2系列)
DR	$4.2 \times 10^{-3}$ : 漏えい部の圧力 0.4MPaG における漏えい率が 14.2kgUF <sub>6</sub> /分であること及び漏えい検知してから遮断弁閉止ま での 40 秒間の漏えいを仮定することにより漏えい量は <u>12.8kgU</u> となり、UF <sub>6</sub> シリンダの最大充填量に対する割合は $4.2 \times 10^{-3}$
ARF、RF	1
LPF	0.01 : 設備による除染係数(DF=10)、建屋による除染係数(DF=10)を考慮
ウラン比放射能 (Bq/kgU)	$1.44 \times 10^8$ : 5%濃縮ウラン (再生濃縮ウランは取扱わない)
相対濃度(s/m <sup>3</sup> )	$1.85 \times 10^{-3}$
線量係数(mSv/Bq)	$6.4 \times 10^{-4}$

### 3.3.2 評価結果

重大事故に至るおそれがある事故又は重大事故における公衆の被ばく評価結果は以下のとおりである。

UF<sub>6</sub> 配管からの UF<sub>6</sub> ガスの漏えい量評価については、配管は全周破断し、配管の通常運転温度上限時の圧力で放出、漏えい開始から漏えいの検知に伴いインターロック機構により遮断弁を閉止するまで漏えいが継続すると想定した結果、蒸発器に設置された UF<sub>6</sub> シリンダの最大充填量  $3.2 \times 10^3 \text{kgU}$  (2 系列) に対し、12.8kgU となる。

漏えいした UF<sub>6</sub> は、設備、建屋により大部分は閉じ込められると想定するが、ごく微小隙間から設備、建屋外への漏えいが発生する可能性がある。設備、建屋からそれぞれ 1/10 (DF=10) ずつ漏えいが発生すると仮定すると、建屋外に放出されるウラン量は  $1.28 \times 10^{-1} \text{kgU}$ 、放射エネルギーは  $1.9 \times 10^7 \text{Bq}$  となり、ウラン粉末の大気放出に伴う周辺監視区域境界における公衆の実効線量は  $8 \times 10^{-3} \text{mSv}$  となる。

### 3.3.3 建物外に漏えいするウラン及び HF による公衆の化学的影響

公衆の呼吸する空気中の UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 濃度を前述の方法と同様に、大気拡散による希釈効果のみを考慮し、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針に関する気象指針」に記載されている相対濃度 (大気希釈率 ( $\chi/Q$ )) をもとに以下のとおり算出した。なお、UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> から UF<sub>6</sub> に換算し、漏えい時間は短時間であることから 10 分間平均濃度として算出した。

$$\begin{aligned} & (\text{ウラン放出量}) \times (\text{大気希釈率}) \\ &= 1.28 \times 10^5 \text{ (mgU)} \times (1.85 \times 10^{-3} / 3600) \times (60/10) \times (352/238) \\ &= 6 \times 10^{-1} \text{ mgUF}_6/\text{m}^3 \end{aligned}$$

これは、UF<sub>6</sub> に関する AEGL-1 しきい値の  $3.6 \text{mgUF}_6/\text{m}^3$  よりも十分小さい。

同様に、公衆の呼吸する空気中の HF 濃度を以下のとおり算出した。なお、大気温度は 25°C とし、質量から体積への換算値は 1.23 (HF1 モル 20g は 25°C で 24.5L より) とした。

$$\begin{aligned} & (\text{HF 放出量}) \times (\text{大気希釈率}) \times (\text{ppm 換算値}) \\ &= 4.31 \times 10^4 \text{ (mgHF)} \times (1.85 \times 10^{-3} / 3600) \times (60/10) \times 1.23 = 2 \times 10^{-1} \text{ ppm} \end{aligned}$$

となる。これは、HF に対する AEGL-1 しきい値の 1ppm よりも十分小さい。

#### 4.さらなる安全裕度向上策確認

##### 4.1 シナリオ①(大きな地震による UF<sub>6</sub>漏えい)

###### 4.1.1 事故シナリオ

安全上重要な施設有無の評価条件として UF<sub>6</sub> 配管等の複数箇所破損による UF<sub>6</sub> 漏えいが発生する事故を想定する。図 4.1.1-1 に大きな地震時による UF<sub>6</sub> 漏えいのイメージを示す。

事故の想定について、以下のとおりとした。

- ① 大規模な地震の発生に伴い、耐震重要度分類が第 1 類(1.0G の水平地震力に対し弾性範囲なる設計)で拡散性のある正圧の UF<sub>6</sub> を内包する配管の複数箇所の破損を想定した。運転は 2 系統で同時に行われていることを仮定し、両系において破損が生じることを想定した。
- ② 同時に、正圧の UF<sub>6</sub> を内包する配管及び設備を設置する転換工場原料倉庫の一部損傷を想定した。
- ③ 全電源喪失に伴い排気系が停止しているとし、漏えいした UF<sub>6</sub> ガスは建物の損傷部から外部環境へ漏えいすることとした。
- ④ 閉じ込め 1 次バウンダリである設備(UF<sub>6</sub> 配管)、2 次・3 次バウンダリである設備(フードボックス、防護カバー)及び最終バウンダリである建物(転換工場)の除染係数をそれぞれ 10 として考慮した。

以上のことから、建物外部への UF<sub>6</sub> 漏えい量は表 4.1.1-1 のとおりとした。

表 4.1.1-1 安全上重要な施設に係る評価に伴う UF<sub>6</sub> 漏えい条件

破損想定機器	漏えい系列数	インベントリ (kgUF <sub>6</sub> )	DF (設備①： UF <sub>6</sub> 配管)	DF (設備②： 防護カバー、 フードボックス)	DF (建物： 転換工場)	UF <sub>6</sub> 漏えい量 (kgUF <sub>6</sub> )	HF 漏えい量 (kgHF)
・ 蒸発器内 UF <sub>6</sub> 配管 ・ コールドトラップ(CT)	2	4614 (=2277+2277 +30+30)	10	10	10	4.614	1.049



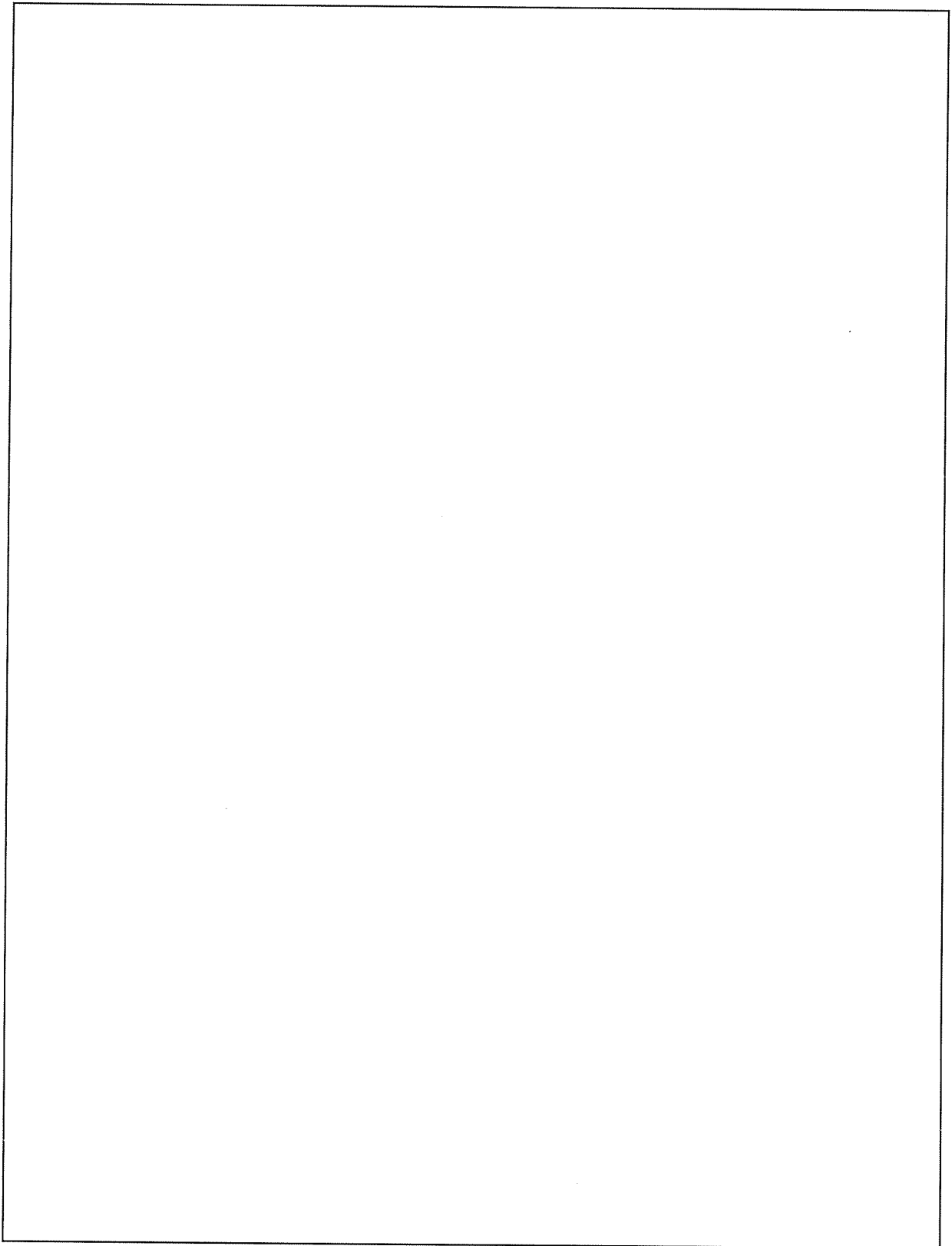


図 4.1.1-1 蒸発・加水分解工程設備破損時(大きな地震時)の  $\text{UF}_6$  漏えいに関する状況

## 4.1.2 影響評価

### 4.1.2.1 放射線被ばく

上記で求めた建物外部への放出量をもとに大気拡散による周辺監視区域境界外における核燃料物質の濃度を、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に記載されている短時間放出における相対濃度に係る評価式に従って求め、公衆の吸入摂取による実効線量を次式により評価した。

$$\text{公衆の実効線量 } E = RQ \times (\chi/Q) \times M \times K$$

ここで、

$\chi/Q$  : 相対濃度 ( $1.85 \times 10^{-3} \text{ s/m}^3$ )

RQ: 建物外へ放出されるウラン放射エネルギー

濃縮度 5% のウラン ( $1.44 \times 10^5 \text{ Bq/gU}$ ) を想定し、建物外への放出量  $4.614 \text{ kgUF}_6$  ( $3.120 \text{ kgU}$ ) から  $4.50 \times 10^8 \text{ Bq}$  とした

M: 呼吸率 ( $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ )

K: 実効線量係数 ( $6.4 \times 10^{-4} \text{ mSv/Bq}$ )

評価にあたっては、以下のことを考慮した。

①  $\chi/Q$  を求めるにあたって、以下の条件とした。

□ 大気安定度: F

□ 風速: 1m/s

□ 放出源有効高さ: 0m

・ 形状係数: 0.5

・ 施設建物の投影面積: 施設建物の投影面積の最小値

・ 評価点: 周辺監視区域境界

② 実効線量係数は、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に記載の数値  $6.4 \times 10^{-4} \text{ mSv/Bq}$  ( $\text{UO}_2\text{F}_2$  等の六価の化合物の数値) を使用した。

以上のことより、公衆の被ばく E は、以下のとおりとなり、5mSv を十分下回った。

$$E = 4.50 \times 10^8 \times (1.85 \times 10^{-3} / 3600) \times 1.2 \times 6.4 \times 10^{-4} = 2 \times 10^{-1} (\text{mSv})$$

#### 4.1.2.2 化学的影響

公衆の呼吸する空気中の  $\text{UO}_2\text{F}_2$  濃度 ( $\text{UF}_6$  は水分と反応して  $\text{UO}_2\text{F}_2$  となる) を「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針に関する気象指針」に記載されている相対濃度 (大気希釈率 ( $\chi/Q$ ) をもとに以下のとおり算出した。なお、 $\text{UO}_2\text{F}_2$  等は建物の隙間等から建物内外の気圧差により徐々に漏えいすると考えられるが、1 時間で全量が放出されるものと仮定した。

$$\begin{aligned} & (\text{UO}_2\text{F}_2 \text{ 放出量}) \times (\text{大気希釈率}) \\ & = 4.614 \times 10^6 \text{ (mgUF}_6\text{)} \times (1.85 \times 10^{-3}/3600) = 3 \text{ mgUF}_6\text{/m}^3 \end{aligned}$$

これは、 $\text{UF}_6$  に関する AEGL-1 のしきい値  $3.6 \text{ mgUF}_6\text{/m}^3$  よりも十分小さい。なお、 $\text{UO}_2\text{F}_2$  濃度について、 $\text{UF}_6$  として評価した。

同様に、公衆の呼吸する空気中の HF 濃度を以下のとおり算出した。なお、大気温度は  $25^\circ\text{C}$  とし、質量から体積への換算値は 1.23 (HF1 モル 20g は  $25^\circ\text{C}$  で 24.5L より) とした。

$$\begin{aligned} & (\text{HF 放出量}) \times (\text{大気希釈率}) \times (\text{ppm 換算値}) \\ & = 1.049 \times 10^6 \text{ (mgHF)} \times (1.85 \times 10^{-3}/3600) \times 1.23 = 7 \times 10^{-1} \text{ ppm} \end{aligned}$$

これは、HF に関する AEGL-1 のしきい値 1ppm よりも十分小さい。

## 4.2 シナリオ②(F3 竜巻襲来)

### 4.2.1 対応

F3 竜巻発生が予測された段階で、UF<sub>6</sub>蒸発・加水分解工程を停止する\*。また、F3 竜巻に対する耐風圧設計された防護カバーの給気口、排気口の地震連動閉止ダンパを閉止することで、内部にUF<sub>6</sub>を収納する設備に F3 竜巻風圧が作用しないようにすることで F3 竜巻により設備が破損することでのUF<sub>6</sub>漏えいの発生を防止する。

図 4.2.1-1 に F3 竜巻防護ラインイメージを示す。

\*：蒸気/ヒータ加熱を停止。地震インターロックにより閉止する、蒸発器、コールドトラップ、コールドトラップ(小)の各バルブ、地震連動閉止ダンパを閉止。また、UF<sub>6</sub>シリンダ元バルブを手動閉止。)

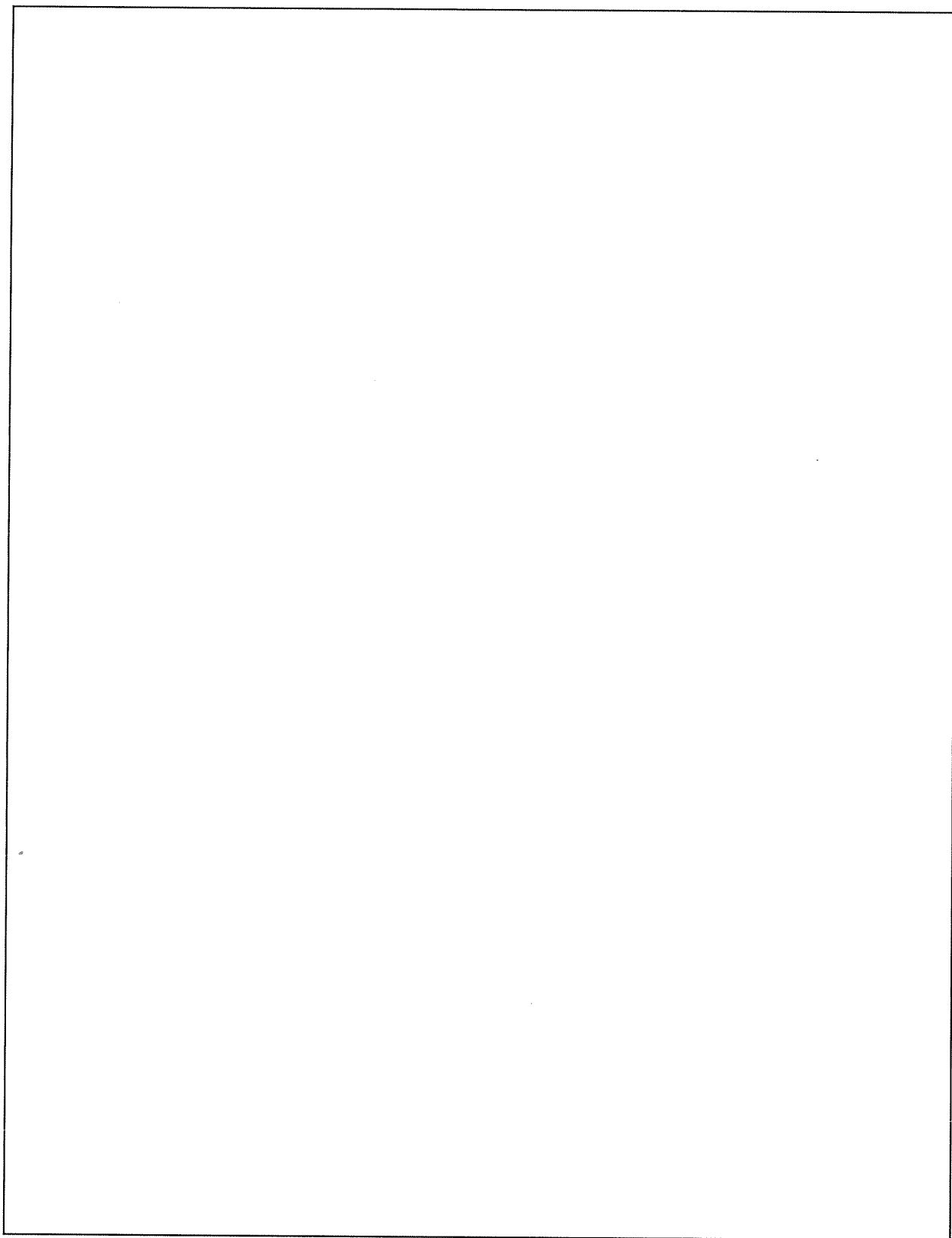


図 4.2.1-1 F3 竜巻防護ラインイメージ

設計基準事故時にスクラバ(原料倉庫局所排気系統)内で臨界にならないことの説明

UF<sub>6</sub>配管の破損等により UF<sub>6</sub>ガスがフードボックス内に漏えいした場合、フードボックス内に設置された漏えい検知設備による検知により、自動的に遮断弁を閉止して UF<sub>6</sub>の供給を停止するとともに、フードボックスに接続した局所排気系統がスクラバ(原料倉庫局所排気系統)の設置した系統に切り替わり、漏えいした UF<sub>6</sub>ガスはスクラバ(原料倉庫局所排気系統)に捕集される。

この設計基準事故時のウラン濃度は 3.4gU/L<sup>注1)</sup>となるが、濃縮度 5%のウランの推定臨界下限濃度 234gU/L(=11.7g<sup>235</sup>U/L)<sup>注2)</sup>に比べ、極めて低く臨界になることはない。

なお、漏えい検知により遮断弁を閉止するインターロック機構は二重化されている。

注 1) 設計基準事故時の UF<sub>6</sub>放出量は、事業許可(添七)-14 ページより 14.2kgUF<sub>6</sub>/分で 40 秒間(漏えい検知してから遮断弁閉止までの時間)漏えいするため、漏えい量は 6.4kgU となる。また、スクラバ(原料倉庫局所排気系統) 1 基の運転時の設計水位より、水量は約 1900L/基であるため、ウラン濃度は 3.4gU/L となる。

$$6.4 \text{ (kgU)} \times 1000 \text{ (gU/kgU)} / 1900 \text{ (L)} = 3.4 \text{ gU/L}$$

注 2) 日本原子力研究開発機構「臨界安全ハンドブック・データ集第 2 版」(2009)

以 上