

再処理施設の廃止措置を進めていく上での
外部火災に対する防護について

【概要】

- 高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟について、外部火災事象に対して重要な安全機能(閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能)が損なわれないようするため、「再処理施設の廃止措置を進めていく上での外部火災対策の基本的考え方」を示した。
- 外部火災の影響評価は「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、敷地外で発生する森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、航空機墜落による火災を評価し、対策を検討した。
 - ・ 森林火災シミュレーションの結果に基づき建家外壁コンクリートの温度を評価し、施設外壁コンクリート温度が許容値以下となることを確認した。
さらに火災への防護として、想定される火線強度に応じた防火帯を設ける。
 - ・ 再処理施設の近傍 10km 以内にある産業施設の火災・爆発の影響評価として、隣接する発電所等の石油類貯蔵施設を選定し、これらの火災時にも施設外壁コンクリート温度が許容値以下となることを確認した。また、近傍 10km 以内の最大の貯蔵量をもつ LNG 貯蔵施設の爆発(爆風)に対しても十分な離隔距離が確保されていることを確認した。
 - ・ 再処理施設周辺の航空機の飛行状況に基づき、落下確率が 10^{-7} (回/炉・年)以上になる範囲に墜落した航空機による火災影響を評価した結果、施設外壁コンクリート温度が許容値以下となることを確認した。
 - ・ 外部火災への対応として、自衛消防による延焼防止活動(防火帯への散水、初期消火等)を行う体制を確保する。

令和2年6月29日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

再処理施設の廃止措置を進めていく上での外部火災対策の基本的考え方

廃止措置段階にある再処理施設においては、リスクが特定の施設に集中している。高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と、長期間ではないものの分離精製工場（MP）等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、安全対策を最優先で講じる必要がある。

このため、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については、地震対策や津波対策と同様、想定される自然現象のうち外部火災に対しても、重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないよう以下の対策を講ずる。

- ・ 安全対策の検討において想定する外部火災として、敷地外で発生する森林火災、近隣工場の火災爆発、敷地内への航空機落下を考慮する。
- ・ 閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を担う設備^{※1}は、それら設備を内包している高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家の外殻のコンクリートによって、外部火災の影響から防護する。
- ・ 外部火災における建家の外殻のコンクリート表面温度が許容温度以下となるよう、防火帯の設置等により適切な離隔距離を確保する。
- ・ 外部火災の二次的影響として、火災によって生じるばい煙、有毒ガス等の影響を考慮し、当該施設の換気空調系設備や施設内部で行う人的活動に影響を及ぼさないようにする。
- ・ 外部火災により高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機、蒸気及び工業用水の供給施設）の機能喪失を想定し、代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備として配備する設備^{※2}等が使用できるよう必要な対策を実施する。

上記以外の施設については、今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう、それぞれのリスクに応じた対策を講じることとする。

※1 外部火災に対して安全機能を維持すべき対象施設は、別添 6-1-2-1「再処理施

設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」で示した崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を担う設備とする。

※2 別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」に示した事故対処設備。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び
ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の
森林火災影響評価に関する説明書

1. 基本方針

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所(再処理施設)(以下、「東海再処理施設」という)の廃止措置計画において、高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の外部火災(森林火災)に対する安全対策の検討は、「添付資料 6-1-4-3-1 再処理施設の廃止措置を進めていく上での外部火災対策の基本的考え方」に基づいて行う。また、影響評価については「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」(原子力規制委員会,平成25年6月19日)^[1](以下、「ガイド」という。)を参考に実施する。

2. 評価条件

ガイドに従い、森林火災解析コード FARSITE を用いて以下の項目について解析・評価を行う。

- ①延焼速度, ②火線強度, ③火炎長, ④単位面積当たりの熱量, ⑤火炎輻射強度, ⑥火炎到達幅, ⑦発火点から対象施設までの延焼到達時間, ⑧火災時の建屋壁面温度, ⑨危険距離

2.1 使用コード

森林評価で使用したコードを以下に示す。

森林火災コード FARSITE ^{※1}	4.1.055
地理情報システムの閲覧・編集コード Quantum GIS ^{※2}	1.8.0-Lisboa

※1 FARSITE は、世界で最も高性能かつ広く用いられている森林火災シミュレーションモデルの一つであり、米国農務省 USDA Forest Service で開発され、米国内の森林火災において実践的に利用されている。

※2 Quantum GIS は、地理情報システムの閲覧、編集、分析機能を有するユーザーフレンドリーなオープンソースの地理情報システム (GIS) である。

2.2 入力データ作成

2.2.1 FARSITE 入力データ

FARSITE により、東海再処理施設の敷地外で発生する森林火災からの当該施設への影響評価の実施に際して、評価範囲を定めた上で、必要となる入力データを表 2.2.1-1 に示すとおり収集し整理した。なお、FARSITE の入力データの詳細は別紙 6-1-4-3-2-1 に示す。

2.2.2 解析範囲

対象範囲について、ガイドに従い東海再処理施設から 10 km の間を発火

源とし、当該施設を含む東西 12 km、南北 12 km の範囲を評価対象とした。ただし、当該施設から東側 4 km 以降は一律非燃焼領域の海となることから、対象範囲から除外した。

2.2.3 発火点

ガイドに従い、人為的行為を考え道路沿いを発火点とした。また、核燃料サイクル工学研究所の敷地外の 10 km 以内かつ、敷地の風上に発火点を設定した。ただし、発火点と敷地の位置関係から風向きを卓越方向に設定することが困難な場合は、風向データ等から適切に設定する。発火点設定の位置判断には上空写真を用いる。図 2.2.3-1 に発火点位置を示す。なお、発火点の考え方の詳細は別紙 6-1-4-3-2-2 に示す。

各発火点は以下のシナリオにて設定した。

発火点 1：最大風速記録時の風向である北北東において、海岸でのたばこの投げ捨てにより原子力科学研究所敷地内の森林に引火することを原因とし、高放射性廃液貯蔵場 (HAW)・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟から北北東の方角上にあたる点を発火点とした。

発火点 2：卓越風向 (西北西) において、国道 245 号線からのたばこの投げ捨てにより、茨城東病院の森林に引火することを原因とし、周辺の植生も同程度の燃えやすさであることから、高放射性廃液貯蔵場 (HAW)・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟から西北西の方角上にあたる点を発火点とした。

発火点 3：南西方面において、国道 245 号線、県道 62 号線 (たばこの投げ捨て)、如意輪寺霊園 (線香の残り火) からの発火を想定し、評価上、火線強度が保守的になると予想された如意輪寺霊園を発火点とした。

発火点 4：南方面において、県道 62 号からのたばこの投げ捨てにより、核燃料サイクル工学研究所敷地の森林に引火することを原因とし、県道 62 号線沿線の植生のなかで比較的燃えやすい「Tall grass」のある交差点付近を発火点とした。

2.2.4 再処理敷地の境界設定

「東海再処理施設の敷地境界の範囲図」より、境界を設定した。図 2.2.4-1 に設定した境界を示す。表 2.2.4-1 に熱的影響評価対象施設の離隔距離 (各境界までの最短距離) を示す。

2.3 実施ケース

2.2 項で作成した入力データを用いて、4 か所の発火点位置の延焼を想定した森林火災シミュレーションを実施した。表 2.3-1 に実施ケースの一覧を示す。

表 2.2.1-1 森林火災評価のための入力データの一覧

データ種類	入手・整備要領
地形データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報である国土地理院基盤地図情報の 10 m メッシュの標高データを使用した。ただし、震災による地盤沈下が確認されているため、標高データを補正^{※1}（基盤地図情報 数値標高モデル，2009 年公開）した。</p> <p>傾斜度，傾斜方位については標高データから計算した。</p>
土地利用データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である 100 m メッシュの土地利用データを使用した。</p> <p>（国土数値情報（国土交通省） 土地利用細分メッシュ，H21 年度）</p>
植生データ	<p>現地状況をできるだけ模擬するため、樹種や生育状況に関する情報を有する森林簿の空間データを使用した。森林簿の情報をを用いて、土地利用データにおける森林領域を樹種・林齢によりさらに細分化（森林簿，森林計画図及び緑地計画図）した。</p> <p>敷地内植生については現地調査結果より細分化した。</p>
気象データ	<p>現地にて起こりうる最悪の条件を検討するため，平成 28 年から過去 10 年間の最多風向，最大風速，最高気温，最小湿度の条件を採用した。^{※2}</p> <p>（気象データ：気象庁 HP）</p>

※1 国土地理院公開ツール「地殻変動に伴う標高値補正を行う標高補正ソフトウェア PatchJGD(標高版)」を用いた。

※2) ガイドの記載内容に準ずると，森林火災の多い月のみを採用となるが，保守的に年間における最小湿度，最高気温及び最大風速を採用した。

表 2.2.4-1 熱的影響評価対象施設の離隔距離

施設名称略	離隔距離(m)
HAW	37
TVF	21
第二付属排気筒	71

*離隔距離は保守性を考慮し、小数点第1位で切り下げ

表 2.3-1 実施ケース一覧

発火点名	風向：[deg]	解析範囲	林齢読替え
発火点 1	北北東：23 (最大風速時風向)	敷地より 12 km 範囲	林齢 20 年以上 について 10 年以上～20 年未満
発火点 2	西北西：293 (最多風向)		
発火点 3	南西：225		
発火点 4	南：180		



2.2.3-1 図 発火点位置

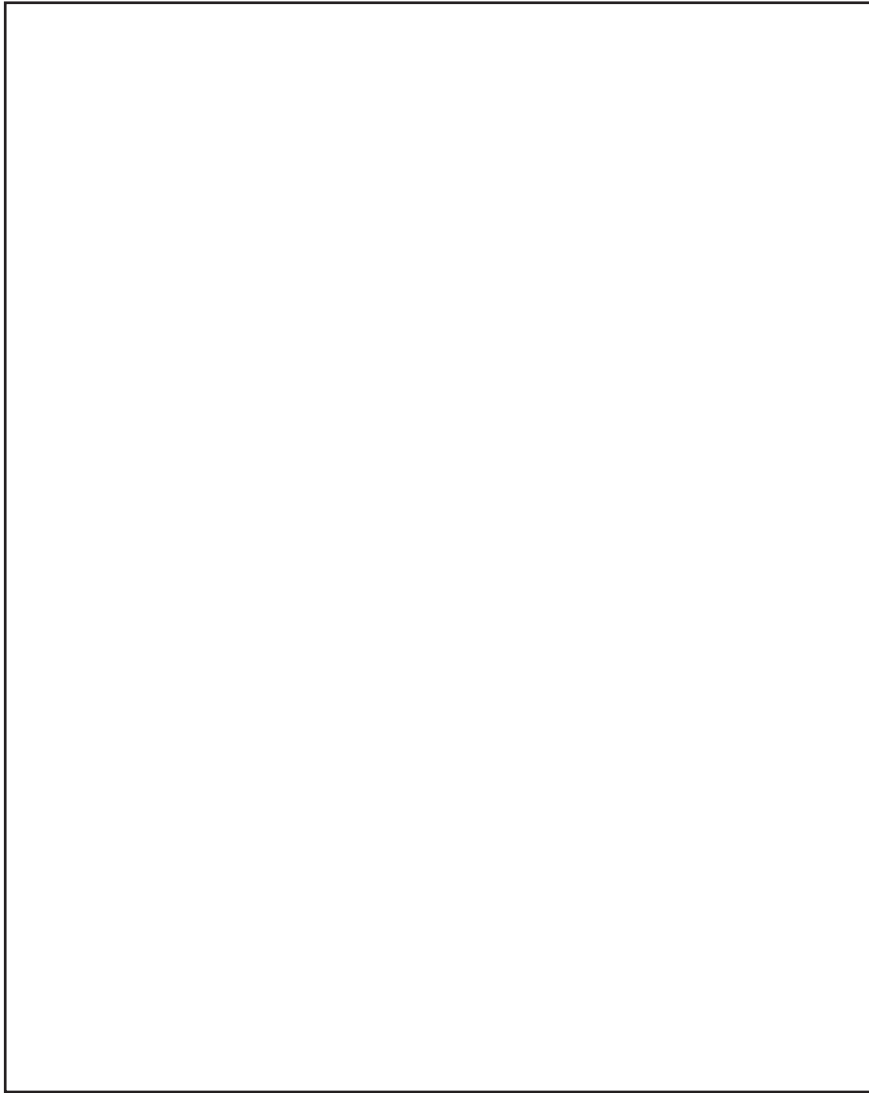


図 2.2.4-1 再処理敷地の境界の設定（図中赤線に囲まれた部分）

3. 評価結果

3.1 森林火災の影響評価

設定した再処理施設境界において、各発火点での森林火災影響評価を FARSITE により実施した。評価結果を表 3.1-1 に示す。なお、FARSITE の解析結果の詳細は別紙 6-1-4-3-2-3 に示す。

3.2 火災の到達時間評価

3.2.1 火炎到達時間分布

各発火点から再処理敷地の境界に最も早く火炎が到達する火炎到達時間一覧を表 3.2.1-1 に示す。

発火点 4 の火炎到達時間が 0.7 時間と最も短くなった。原因として、発火点から風下に位置する植生の影響が考えられる。図 3.2.1-1 に発火点 4 における火炎到達時間分布及び植生分布を示す。

3.2.2 初期消火活動及び体制

高放射性廃液貯蔵場 (HAW)、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒の周辺には防火帯を設定するため、森林火災がこれらの施設に影響を及ぼすことはないが、飛び火等による延焼には以下に示すように対応することが可能である。

- ・核燃料サイクル工学研究所には、自衛消防隊が組織されており、24 時間対応が可能である。詳細を別紙 6-1-4-3-2-4 に示す。
- ・核燃料サイクル工学研究所内で火災が発見された場合は、発見者は公設消防に直ちに通報するとともに、核燃料サイクル工学研究所内の緊急電話を用いて通報する。初期消火活動実施までの通報連絡体制を図 3.2.2-1 に示す。
- ・通報を受けると、自衛消防隊が召集され火災に対応する。また、休日・夜間においても、常駐隊が対応する体制となっている。

3.3 熱的影響評価

評価対象施設の熱的影響評価結果を表 3.3-1 及び表 3.3-2 に示す。評価方法及び評価に必要な入力データは、別紙 6-1-4-2-3-5 に示す。

森林火災による熱的影響については、高放射性廃液貯蔵場 (HAW)、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟に対して評価を実施し許容温度 200°C^{*1} に対して壁面温度は最大で約 121°C となり、許容温度を下回ることを確認した。また、第二付属排気筒に対して評価を実施し許容温度 350°C^{*2} に対して壁面温度は最大で約 77°C となり、許容温度を下回ることを

確認した。

また、熱影響が最大となる発火点 1 及び発火点 3 に対し、許容温度を超えない危険距離を算出し、離隔距離が確保されていることを確認した。

※1 「建築火災のメカニズムと火災安全設計(財団法人 日本建築センター)」に基づき、コンクリートにおける常温時の強度が維持される保守的な温度である 200℃を許容温度とする。

※2 「発電用原子力設備規格 材料規格 (JSMR)」に基づき、鋼材における常温時の強度が維持される保守的な温度である 350℃を許容温度とする。

3.4 防火帯評価

3.4.1 防火帯幅の設定

ガイドに示す「Alexanderand Fogarty の手法」を用いて、防火帯幅（火災の防火帯突破確率 1%の値）を算出した。火線強度と防火帯幅の相関を表 3.4.1-1 に示す。

FARSITE 解析結果から算出された、最大火線強度は、発火点 4 の 6,085 kW/m であることから、Alexanderand Fogarty の手法より、風上に樹木が無い場合の最小防火帯幅は 8.5 m、風上に樹木が有る場合の最小防火帯幅は 21 m と算出した。

3.4.2 防火帯の設定

重要な安全機能を有する高放射性廃液貯蔵場 (HAW)、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒を囲むように設定する。

ガイドより算出した最小防火帯幅は風上に樹木が有る場合である 21 m を確保するとともに、森林火災影響評価において設定した各対象施設の離隔距離を確保できるように防火帯を設定する。防火帯の配置図を図 3.4.2-1 図に示す。

3.4.3 防火帯の管理

防火帯の管理については火災防護計画に定め、樹木を伐採する等、可燃物を排除し、防火帯内に草木が生えないように処理を行う。また、不燃材で構築された施設建家内部を除き、駐車車両等の可燃物及び消火活動に支障となるものは原則として配置しない管理を行う。なお、防火帯の管理方針の詳細は別紙 6-1-4-2-3-6 に示す。

3.5 有毒ガス影響評価

3.5.1 概要

森林火災による二次的影響の一つである有毒ガスの濃度評価を実施した。本評価においては、火災による有毒ガス発生量、風速及び大気拡散度に基づき、原子力施設の安全審査で使用される有風時プルーム式を用いて、評価対象となる原子炉施設の有毒ガス濃度を求めた。

表 3.5.1-1 に「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド^[2]」で判断基準とされている IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) の一覧を示す。IDLH 濃度は 30 分間の暴露限界濃度であり、NRC Regulatory Guide 1.78 Rev.1 において制御室の居住性の基準値として参照されていることから、本評価においては、算出された濃度を IDLH と比較し、これを下回ることを確認した。

有毒ガス影響評価は、東海再処理施設における以下の 2 施設の入気口位置における評価を実施した。

- ① 高放射性廃液貯蔵場 (HAW)
- ② ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟

詳細な評価方法は、別紙 6-1-4-2-3-7 に示す。

3.5.2 評価結果

表 3.5.2-1 に、森林火災による有毒ガス濃度の最大値を示す。

評価においては、すべての評価対象において IDLH を下回ることを確認した。

3.6 ばい煙影響評価

3.6.1 概要

森林火災による二次的影響の一つであるばい煙の濃度評価を実施した。

本評価においては、火災によるばい煙発生量、風速及び大気拡散度に基づき、原子力施設の安全審査で使用される有風時プルーム式を用いて、評価対象となる原子炉施設のばい煙濃度を求めた。

表 3.6.1-1 に「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」で判断基準とされている IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) の一覧を示す。IDLH 濃度は 30 分間の暴露限界濃度であり、NRC Regulatory Guide 1.78 Rev.1 において制御室の居住性の基準値として参照されていることから、本評価においては、算出された濃度を IDLH と比較し、これを下回ることを確認した。

ばい煙影響評価は、東海再処理施設における以下の2施設の入気口位置における評価を実施した。

- ① 高放射性廃液貯蔵場（HAW）
- ② ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

詳細な評価方法は、別紙 6-1-4-2-3-7 に示す。

3.6.2 評価結果

表 3.6.2-1 に、森林火災によるばい煙濃度の最大値を示す。

評価においては、すべての評価対象において IDLH を下回ることを確認した。

また、すべての評価対象においてばい煙の濃度が低く、また評価対象建家の入気口にはフィルタが設置されていることから、施設の健全性に影響はないことが確認された。HAW 換気系の系統概略図を図 3.6.2-1 に、TVF 換気系の系統概略図を図 3.6.2-2 に示す。

表 3.1-1 森林火災影響評価結果

項目	切上げ ルール	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
火線強度 [kW/m]	小数点第 1 位	2,215	6,023	5,748	6,085
延焼速度 [m/s]	小数点第 3 位	0.29	0.68	0.64	0.67
火炎の到着時間 [hr]	小数点第 2 位 *	12.9	2.1	1.8	0.7
火炎輻射強度 [kW/m ²]	小数点第 1 位	438	435	440	439
火炎到達幅 [m]	小数点第 1 位	780	1,620	1,620	1,620
火炎継続時間 [hr]	小数点第 3 位	0.06	0.12	0.05	0.13
火炎長 [m]	小数点第 2 位	1.6	1.2	1.7	1.1
燃焼半径 [m]	小数点第 2 位	0.6	0.4	0.6	0.4
円筒火炎モデル数	小数点第 1 位	10	14	10	15
単位面積当たり熱量 [kJ/m ²]	小数点第 1 位	7,720	8,957	9,098	9,083
評価期間 [hour]	小数点第 2 位	17.9	24.7	26.1	16.8

*到達時間は保守的に切り下げ

表 3.2.1-1 火炎到達時刻一覧

項目	切り下げ ルール	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
火炎の到達時間 [hr]	小数点 第 2 位	12.9	2.1	1.8	0.7

表 3.3-1 熱的影響評価結果（コンクリート建屋）

対象施設	項目	切上げ ルール	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
HAW	危険距離 [m]	小数点第 1 位	14	13	13	13
	壁面温度 [°C]	小数点第 1 位	79	78	78	77
	輻射強度 [W/m ²]	小数点第 1 位	2,912	2,161	3,153	1,950
	火炎継続時間 [hr]	小数点第 3 位	0.06	0.12	0.05	0.13
TVF	危険距離 [m]	小数点第 1 位	13	13	13	13
	壁面温度 [°C]	小数点第 1 位	121	121	118	117
	輻射強度 [W/m ²]	小数点第 1 位	7,946	5,891	8,606	5,313
	火炎継続時間 [hr]	小数点第 3 位	0.06	0.12	0.05	0.13

表 3.3-2 熱的影響評価結果（第二付属排気筒）

対象施設	項目	切上げ ルール	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
第二付属 排気筒	危険距離 [m]	小数点第 1 位	19	15	19	14
	温度 [°C]	小数点第 1 位	75	69	77	67
	輻射強度 [W/m ²]	小数点第 1 位	829	616	897	558
	火炎継続時間 [hr]	小数点第 3 位	0.06	0.12	0.05	0.13

表 3.4.1-1 火線強度と防火帯幅の相関

風上に樹木が無い場合の火線強度と最小防火帯幅の関係 (火炎の防火帯突破確率 1%)

火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	6.2	6.4	6.7	7.1	7.4	7.8	9.5	11.3	13.1	14.8

風上に樹木が有る場合の火線強度と最小防火帯幅の関係 (火炎の防火帯突破確率 1%)

火線強度 (kW/m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000	15000	20000	25000
防火帯幅 (m)	16	16.4	17.4	18.3	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

表 3.5.1-1 IDLH 一覧

化学種	IDLH 値
CO ₂	40,000 [ppm]
CO	1,200 [ppm]

表 3.5.2-1 有毒ガス濃度最大値

CO₂濃度

発火点	最大濃度[ppm]	
	HAW	TVF
発火点 1	206	238
発火点 2	74	68
発火点 3	20	23
発火点 4	4	14

IDLH	40,000[ppm]
------	-------------

CO 濃度

発火点	最大濃度[ppm]	
	HAW	TVF
発火点 1	17.77	18.91
発火点 2	6.80	6.02
発火点 3	0.92	1.14
発火点 4	0.41	1.03

IDLH	1,200[ppm]
------	------------

表 3.6.1-1 IDLH 一覧

種類	IDLH 値
ばい煙 (カーボンブラック)	1,750 [mg/m ³]

表 3.6.2-1 ばい煙濃度最大値

ばい煙 (PM10) 濃度

発火点	最大濃度[mg/m ³]	
	HAW	TVF
発火点 1	0.52	0.52
発火点 2	0.18	0.16
発火点 3	0.03	0.04
発火点 4	0.02	0.04

IDLH	1,750[mg/m ³]
------	---------------------------

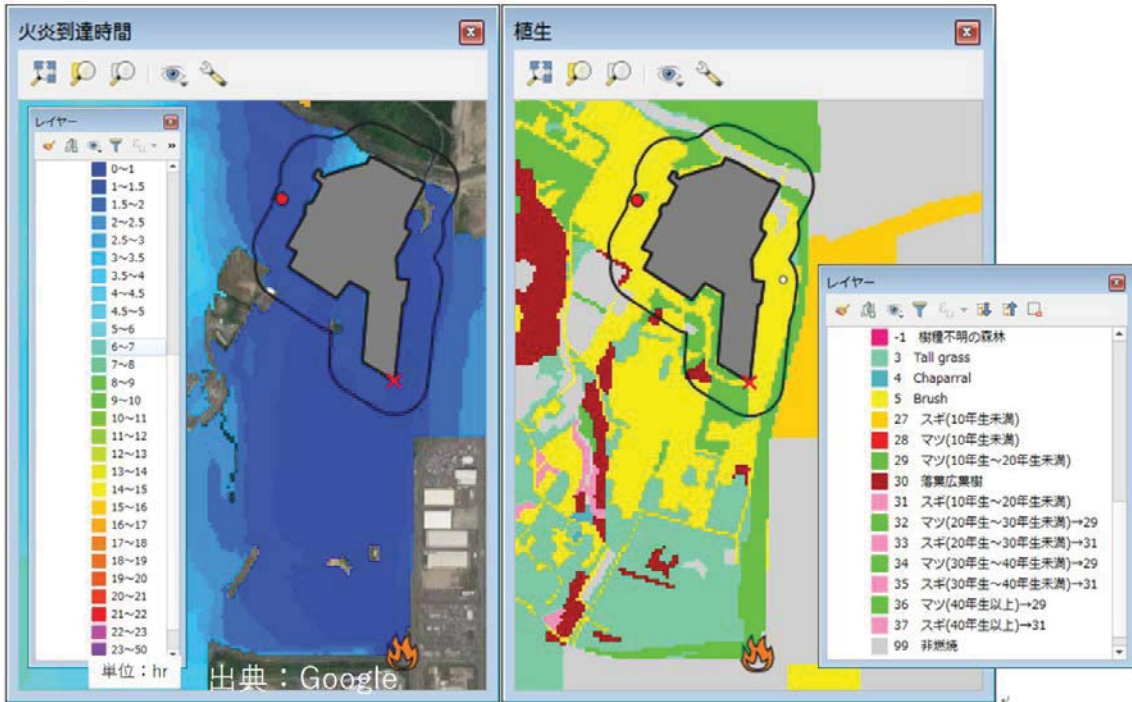


図 3.2.1-1 発火点 4 の火災到達時刻に影響していると考えられる植生

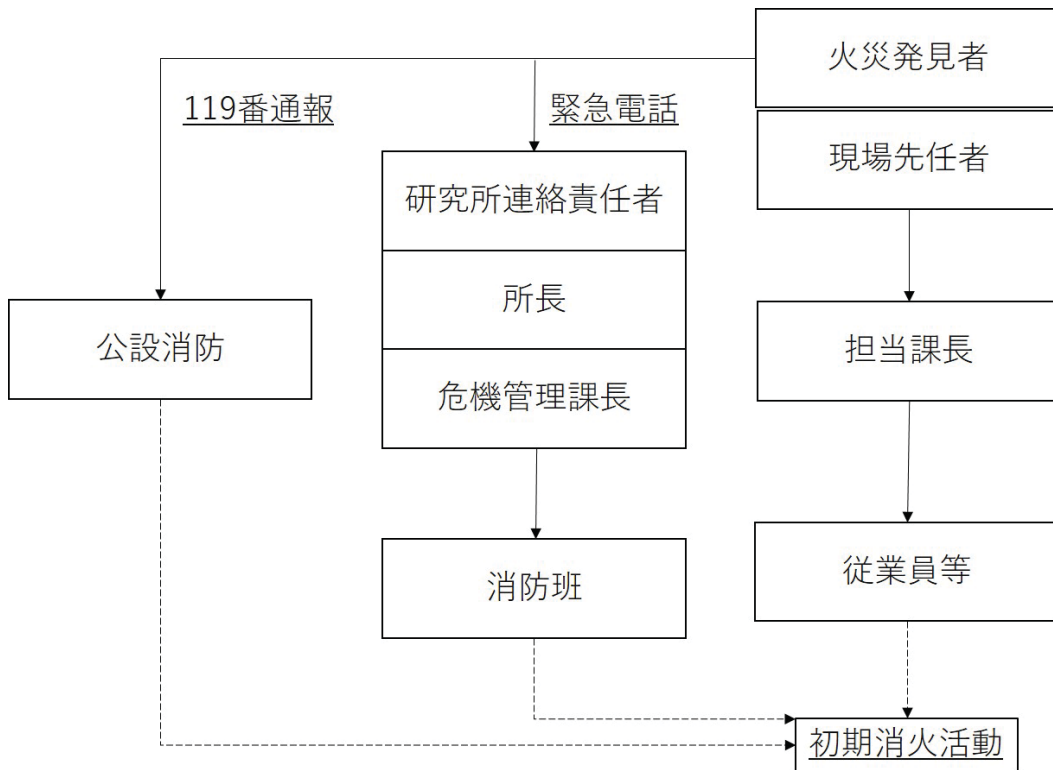


図 3.2.2-1 初期消火活動実施までの通報連絡体制



図 3.4.2-1 防火帯の配置図

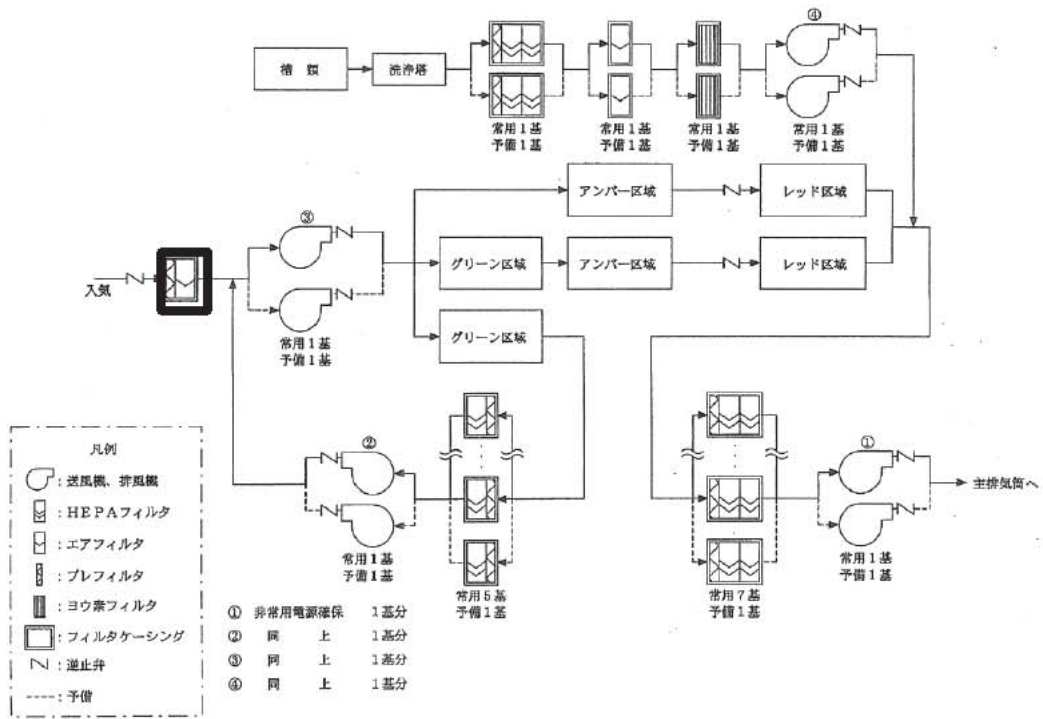


図 3.6.2-1 HAW 換気系の系統概略図

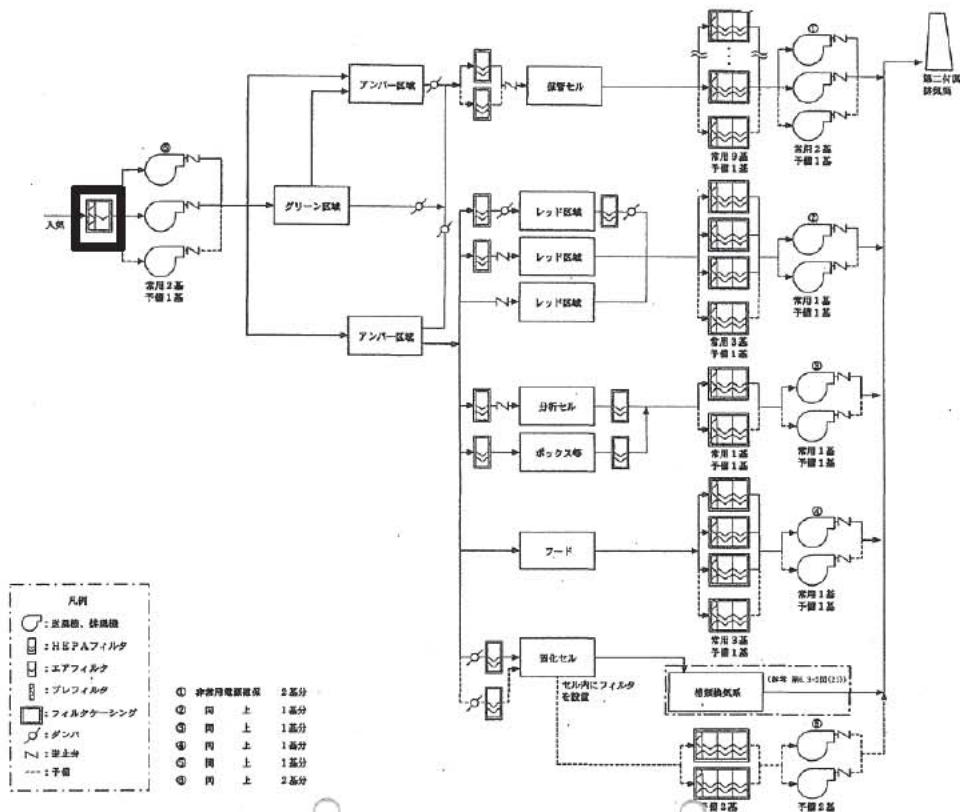


図 3.6.2-2 TVF 換気系の系統概略図

4. まとめ

以下のとおり、高放射性廃液貯蔵場(HAW)、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒は、森林火災に対し健全性を維持している。

- 森林火災の到達前に、自衛消防隊による対応が可能であることを確認した。
- 森林火災による熱的影響については、高放射性廃液貯蔵場(HAW)、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒に対して許容温度を下回ることを確認した。
- 森林火災に対して必要な防火帯幅であることを確認した。また、離隔距離が危険距離以上であることを確認した。
- 森林火災に対する有毒ガス濃度の評価においては、すべての評価対象において基準濃度を下回ることを確認した。
- 森林火災に対するばい煙の評価においては、すべての評価対象においてばい煙の濃度が低く、また評価対象建家の入気口にはフィルタが設置されていることから、施設の健全性に影響はないことを確認した。

5. 参考文献

- [1] 原子力規制委員会，原子力発電所の外部火災影響評価ガイドの制定について，平成 25 年 6 月．
- [2] 原子力規制委員会，有毒ガス防護に係る影響評価ガイド，平成 29 年 4 月

FARSITE 入力データ

1. 概要

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について^[1]」(以下「ガイド」という。)に従い、森林火災シミュレーション解析コード FARSITE を使用し解析を実施した。

2. 地形データ

現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報(国土地理院 基盤地図情報ダウンロードサービス, <http://fgd.gsi.go.jp/download/>)である基盤地図情報数値標高モデルの 10 m メッシュ標高データを用いた。傾斜及び傾斜方位については標高より計算した。

標高データについては、公開データに対して修正を行った。

- (1) 標高データについては必要に応じて国土地理院公開の補正パラメータにより考慮した。(東北地方太平洋沖地震に伴う地盤変動の影響等)

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/patchjgd_h/download/index.html

- (2) 地盤変動を考慮すると低標高地域は海拔以下となる場合があるが、FARSITE では海拔より低い標高は入力できないため(マイナス標高は非燃焼扱いとなる)、海拔以下の領域の標高は 0 m に補正した。

地形データを図 2-1 に示す。

3. 植生データ

3.1 カスタム植生タイプ

カスタム植生タイプは「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価^[2]」(独立行政法人原子力安全基盤機構)に従い設定した。

3.2 植生・樹冠率データ

FARSITE の入力パラメータにおける植生・樹冠率データについてはガイドに従い、以下の手順で入力した。

3.2.1 土地利用データの入力

現地状況をできるだけ模擬するため、公開情報の中でも高い空間解像度である国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(100 m メッシュ)を用いた。土地利用データを図 3.2.1-1 に示す。

FARSITE に利用した土地利用データ（可燃物データ）と FARSITE の燃料モデル（Fuel Model）タイプの対応及び土地利用データ（樹冠率）と FARSITE の Canopy Cover カテゴリについては「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価^[2]」における「表 5.2 FARSITE に利用した土地利用データの項目」（表 3.2.1-1 参照）及び「(資) 表 B-1 FARSITE の Fuel-Model」（表 3.2.1-2 参照）に従い設定した。

3.2.2 森林領域の細分化

土地利用データにおける森林領域については、現地の森林簿データに基づき樹種・林齢により細分化し、現地森林の樹種と林齢を考慮したパラメータを設定した(表 3.2.2-1 参照)。

さらに解析の保守性を考慮し、森林の林齢については表 3.2.2-2 のとおり読み替え、森林可燃物設定パラメータを設定した。

また、森林（スギ，マツ，広葉樹）の樹冠率については FARSITE の区分 3（樹冠率 51%～80%相当）及び区分 4（樹冠率 81%～100%相当）の中から、火線強度が強くなる区分 3 を設定した（表 3.2.2-3 及び表 3.2.2-4 表参照）。

3.2.3 現地植生調査・常陸那珂火力発電所緑地計画図の反映

核燃料サイクル工学研究所の周辺領域については、植生調査結果に基づき、土地利用データ及び森林領域の細分化情報を反映した。なお、植生調査結果の詳細は別紙参考 6-1-4-3-2-1-1 に示す。

なお、植生調査結果における区分において、表 3.2.1-1 「表 5.2 FARSITE に利用した土地利用データの項目」に記載されていない項目については「伊方発電所 3 号炉外部火災影響評価補足説明資料（DB-8-21(補) 改 4)^[3]」を参考に設定した。

常陸那珂火力発電所の敷地については、常陸那珂火力発電所緑地計画図に基づき、土地利用データ及び森林領域の細分化情報を反映した。

ただし、評価範囲にある Tall grass，及び林齢 10 年未満の森林については、現地植生の改良を前提として、すべて Brush に変更した。植生データを図 3.2.3-1 に示す。

表 3.2.1-1 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価より
 (表 5.2 FARSITE に利用した土地利用データの項目)

表 5.2 FARSITE に利用した土地利用データの項目

土地利用 No	対応する内容	定義	FARSITE の Fuel Model の タイプ番号 ((資)表 B-1 参照)	FARSITE の Canopy Cover のカテゴリ ((資)表 B-2 参照)	備考
1	田	湿田・乾田・沼田・蓮田及び田とする。	3	-9999	草の繁茂を考慮
2	その他の農用地	麦・陸稲・野菜・草地・芝地・りんご・梨・桃・ブドウ・茶・桐・はぜ・こうぞ・しゅろ等を栽培する土地とする。	3	-9999	草の繁茂を考慮
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	森林	多年生植物の密生している地域とする。	9	3	
6	荒地	しの地・荒地・がけ・岩・万年雪・湿地・採鉱地等で旧土地利用データが荒地であるところとする。	5	-9999	草の繁茂を考慮
7	建物用地	住宅地・市街地等で建物が密集しているところとする。	-9999	-9999	
8	-	-	-	-	-
9	幹線交通用地	道路・鉄道・操車場などで、面的に捉えられるものとする。	-9999	-9999	
A	その他の用地	運動競技場、空港、競馬場・野球場・学校港湾地区・人工造成地の空地等とする。	-9999	-9999	
B	河川地及び湖沼	人工湖・自然湖・池・養魚場等で平水時に常に水を湛えているところ及び河川・河川区域の河川敷とする。	-9999	-9999	
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
E	海浜	海岸に接する砂、れき、岩の区域とする。	-9999	-9999	
F	海水域	隠顕岩、干潟、シーパースも海に含める。	-9999	-9999	
G	ゴルフ場	ゴルフ場のゴルフコースの集まっている部分のフェアウェイ及びラフの外側と森林の境目を境界とする。	3	-9999	草の繁茂を考慮

表 3.2.1-2 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価より
 ((資) 表 B-1 FARSITE の Fuel-Model)

(資) 表 B-1 FARSITE の Fuel Model			
大区分	タイプ番号	可燃物の種類	
Grass 草地	1	Short grass	短い草(1ft 程度まで) 【延焼速度：高，火力：低】
	2	Timber (grass and understory)	低層の草/木 【延焼速度：高，火力：中】
	3	Tall grass	高い草(2.5feet)
Brush 低層植生	4	chaparral	低木の茂み(6feet 程度) 【延焼速度：高，火力：高】
	5	Brush	茂み (低木ではない) 高さ 2feet 程度 【延焼速度：中，火力：中】
	6	Dormant brush , hardwood slash	休眠状態の茂み，広葉樹の残骸 【延焼速度：高，火力：中】
	7	Southern rough	Florida 等に典型的な下層植生
Timber 森林	8	Closed timber litter	短い針葉のリター 【延焼速度：低，火力：中】
	9	Hardwood litter	広葉落葉樹のリターや松など長い針葉 【延焼速度：中，火力：中】
	10	Timber (litter and understory)	リターと低木 【延焼速度：中，火力：高】
Slash 伐採跡地	11	Light logging slash	軽い倒木
	12	Medium logging slash	中間的な重さの倒木
	13	Heavy logging slash	重い倒木
非植生域	-9999		

表 3.2.2-1 森林可燃物等の設定（下線__は現地植生調査で確認された樹種）

No.	樹種区分 (土地利用種別・森林簿)	可燃物パラメータ設定	燃料モデル
1	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 10 年生未満	マツ林齢 10 年生未満	28
2	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 10 年生～林齢 20 年生	マツ林齢 10 年生 ～林齢 20 年生未満	29
3	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 20 年生～林齢 30 年生	マツ林齢 20 年生 ～林齢 30 年生未満	32
4	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 30 年生～林齢 40 年生	マツ林齢 30 年生 ～林齢 40 年生未満	34
5	マツ, カラマツ, モミ, <u>クロマツ</u> , <u>アカマツ</u> 林齢 40 年生以上	マツ林齢 40 年生以上	36
6	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 10 年生未満	スギ林齢 10 年生未満	27
7	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 10 年生～林齢 20 年生	スギ林齢 10 年生 ～林齢 20 年生未満	31
8	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 20 年生～林齢 30 年生	スギ林齢 20 年生 ～林齢 30 年生未満	33
9	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 30 年生～林齢 40 年生	スギ林齢 30 年生 ～林齢 40 年生未満	35
10	スギ, ヒノキ, <u>スギ植林</u> 林齢 40 年生以上	スギ林齢 40 年生以上	37
11	広葉樹 (ザツ, クヌギ, シイ・カ シ二次林, 落葉広葉樹二次林等) 全林齢	落葉広葉樹	30
12	タケ, <u>竹林</u>	Chaparral : 低木の茂み (高さ 6 feet 程度)	4
13	樹種不明の森林	隣接する保守的な樹種を入力 スギ>マツ>広葉樹	-1

No.	樹種区分 (土地利用種別・森林簿)	可燃物パラメータ設定	燃料モデル
14	田, その他農用地, ゴルフ場, 畑 雑草群落, 水田雑草群落, 放棄畑 雑草群落, 放棄水田雑草群落, 路 傍・空地雑草群落, 芝地	Tall grass : 高い草 (高さ 2.5 feet 程度)	3
15	荒地, 建物用地, 緑の多い住宅地, 市街地	Brush : 茂み (低木ではない) (高さ 2 feet 程度)	5
16	海水域, 道路, 鉄道, 海浜, その 他の用地, 河川地及び湖沼, <u>造成</u> 地, <u>開放水域</u>	非植生とした	99※

※「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」において燃料モデルを「-9999」とする箇所については、「99」と読み替えて入力する。

表 3.2.2-2 林齢の読み替え

読み替え前		読み替え後	
作成データの燃料モデル番号		保守性を考慮した燃料モデル番号	
番号	燃料モデル名	番号	燃料モデル名
27	スギ (林齢 10 年未満)	27	スギ (林齢 10 年未満)
28	マツ (林齢 10 年未満)	28	マツ (林齢 10 年未満)
29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)	29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)
30	落葉広葉樹 (全林齢)	30	落葉広葉樹 (全林齢)
31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)	31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)
32	マツ (林齢 20 年以上 30 年未満)	29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)
33	スギ (林齢 20 年以上 30 年未満)	31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)
34	マツ (林齢 30 年以上 40 年未満)	29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)
35	スギ (林齢 30 年以上 40 年未満)	31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)
36	マツ (林齢 40 年以上)	29	マツ (林齢 10 年以上 20 年未満)
37	スギ (林齢 40 年以上)	31	スギ (林齢 10 年以上 20 年未満)

表 3.2.2-3 FARSITE 上の樹冠率設定

FARSITE 区分	樹冠率 [%]	備考
1	～20	—
2	21～50	森林を含む区分
3	51～80	一般的な森林
4	81～100	原生林等

表 3.2.2-4 FARSITE 上の樹冠率区分による効果

	区分 3 の場合	区分 4 の場合
風速低減効果	風速が弱まりにくい	風速が弱まる
日照低減効果	地面下草が燃えやすい	地面下草が燃えにくい

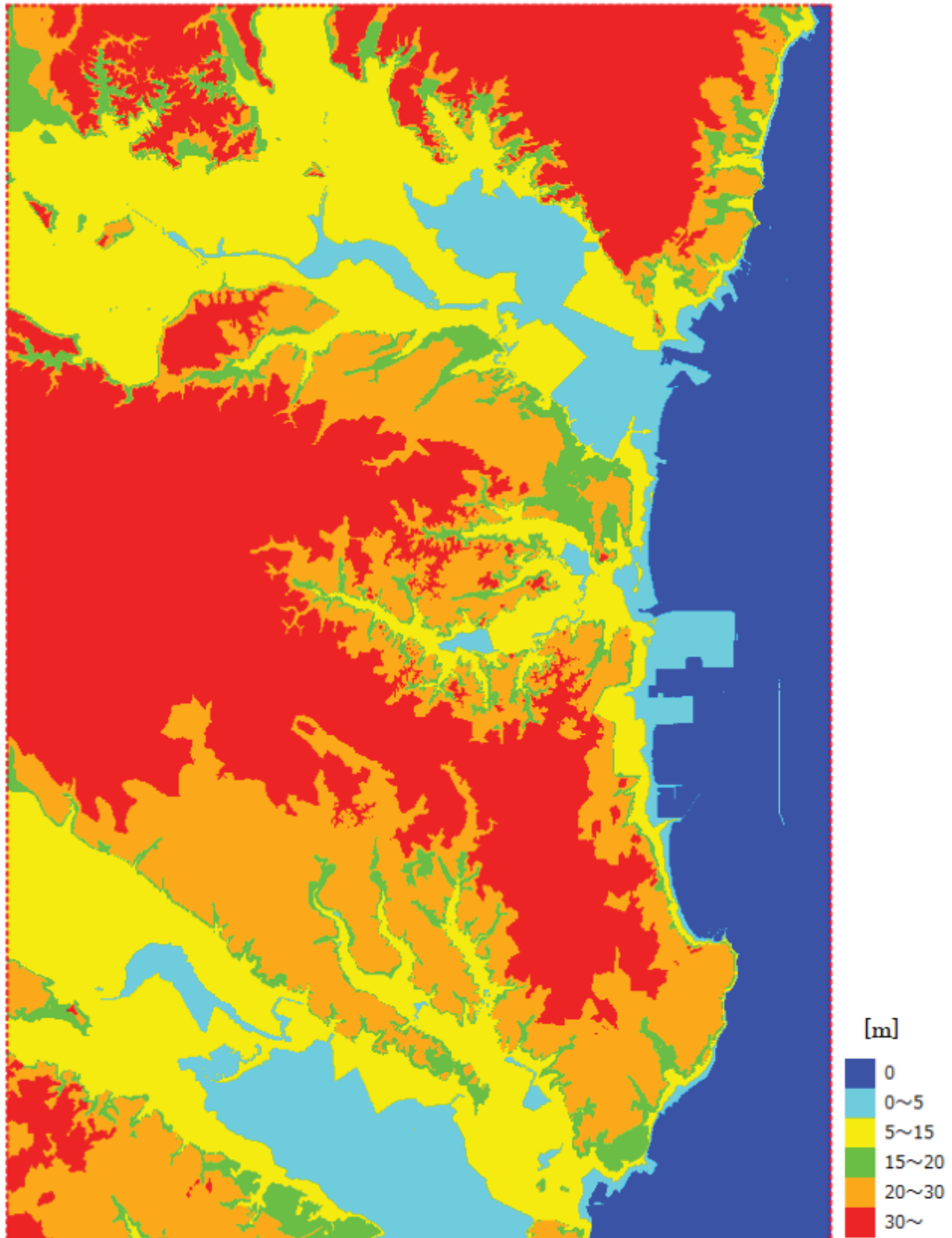


図 2-1 地形データ

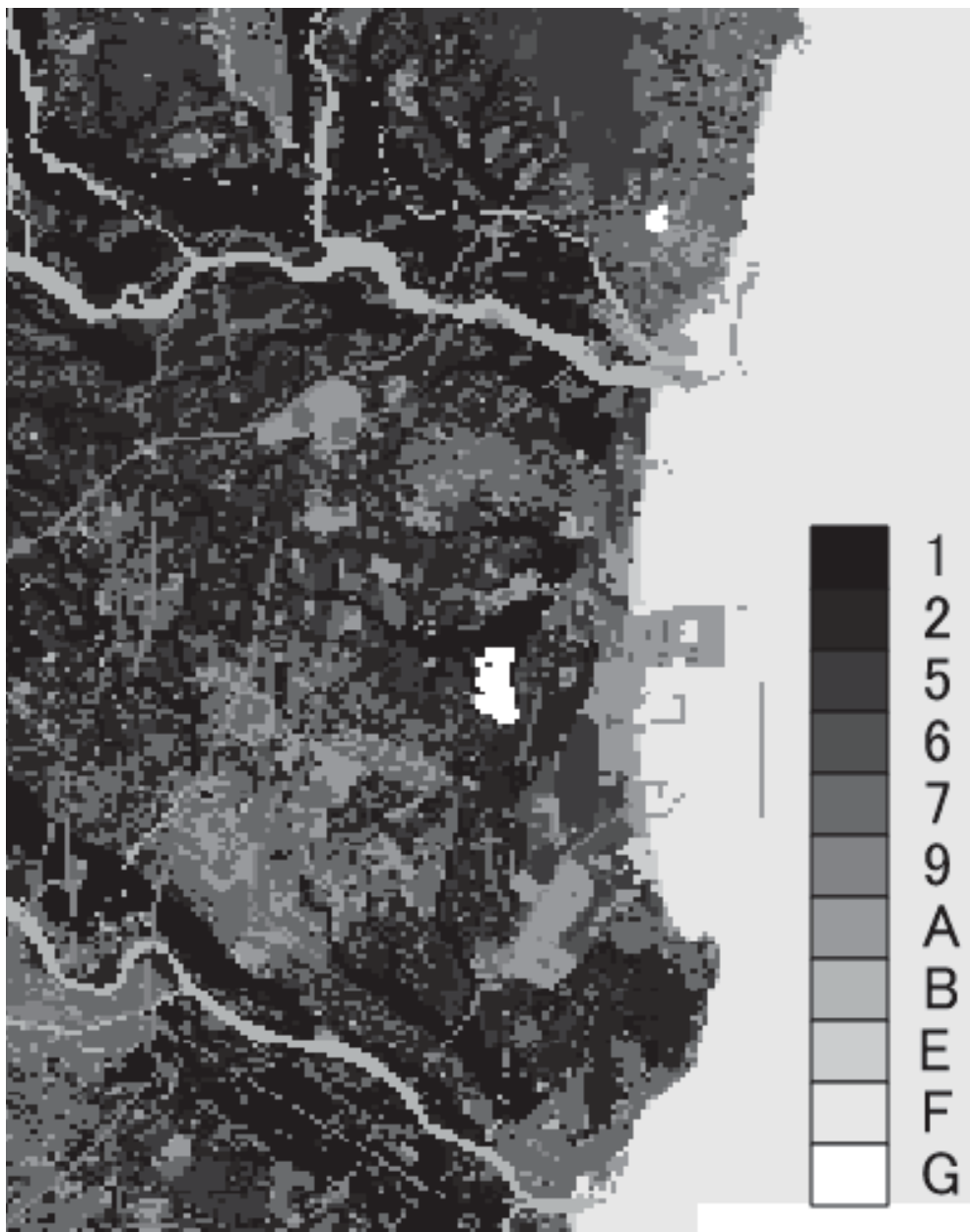


図 3.2.1-1 土地利用データ

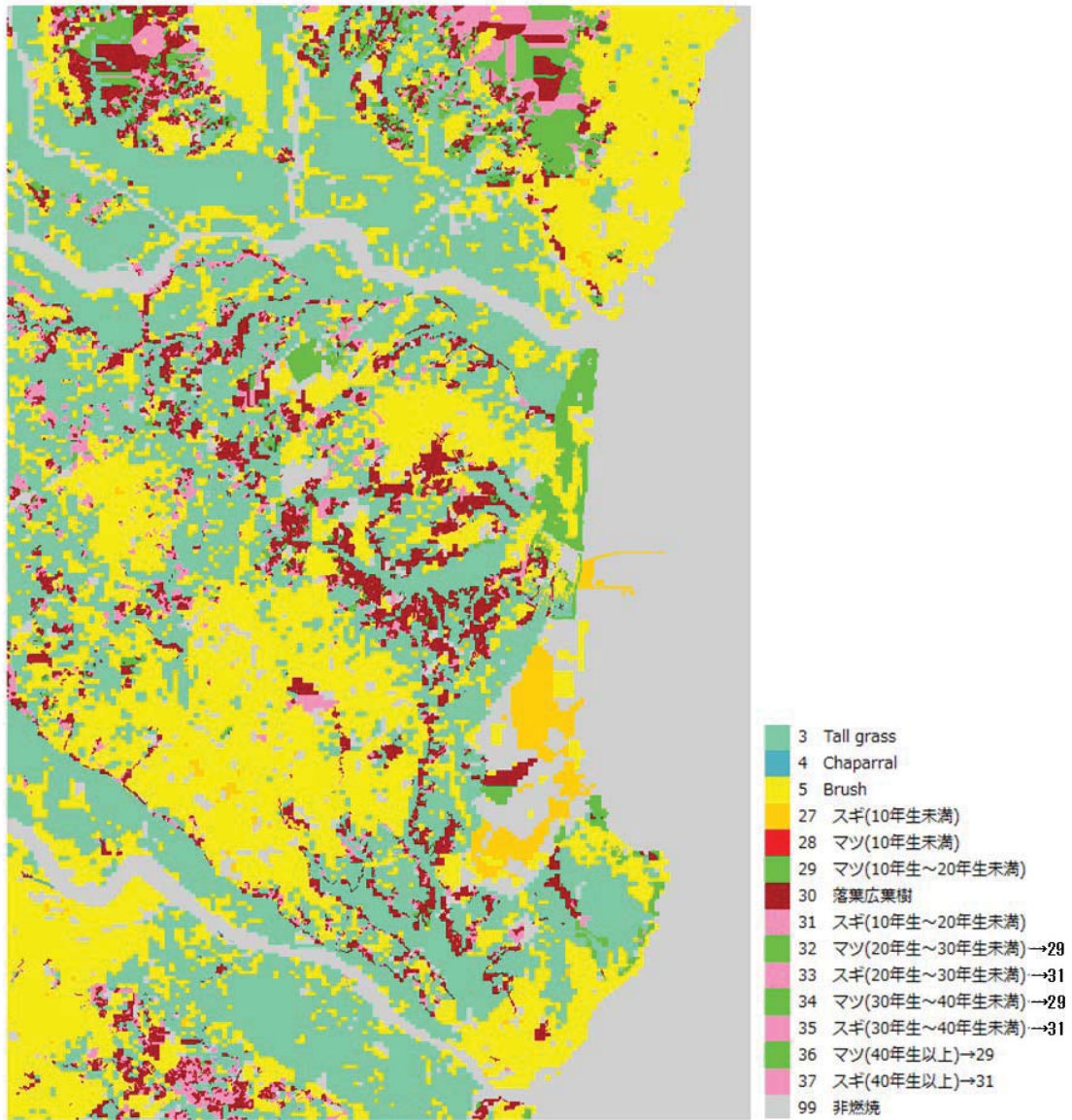


図 3.2.3-1 植生データ

3. 気象・風況

気象・風況は近隣自治体にある気象観測所の観測データを過去10年間調査し、自治体から入手した森林火災の発生件数の多い月^{*}の最小湿度、最高気温及び最大風速の組み合わせを用いた。データは気象庁ホームページより入手した。

- (1) 気温は水戸・日立・常陸大宮・笠間・鉾田気象観測所の2007年～2017年の最高気温38.2℃を用いた。
- (2) 湿度は水戸の2007年～2017年の最小湿度11%を用いた。
- (3) 風速は水戸・日立・常陸大宮・笠間・鉾田気象観測所の2007年～2017年の最大風速17.5 m/sを用いた。
- (4) 風向は(3)で選定した最大風速時風向である北北東と核燃料サイクル工学研究所で観測した最多風向である西北西を用いた。

FARSITEの入力データ作成に際しては以下のように行う。

- (1) FARSITE入力値は整数で入力する必要があるため温度、風速については小数点切上げとした。風向については小数点四捨五入とした。
- (2) 風速単位は公開データ系であるm/sからFARSITE入力単位系km/hourに変換した。
- (3) 降水量、雲量(日射に影響するパラメータ)は保守性を考慮して、どちらも0(デフォルト値)を用いた
- (4) 天候データで入力する標高は気温補正に使用されるため、最高気温を採用した観測所標高を用いた。
- (5) 天候については保守的な条件が継続すると仮定するため時間的な変化は考慮しなかった。そのため、最低及び最高気温記録時刻についてはデフォルト値である5:00(最低)、15:00(最高)を用いた。

※ガイドの記載内容に準ずると、森林火災の多い月のみを採用となるが、先行発電所の安全審査における規制庁のコメントにおいて、多い月の範囲を幅広く考えていることから、保守的に年間における最小湿度、最高気温及び最大風速を採用した。

4. FARSITE 入力データ

FARSITE については、保守的な評価となるよう以下の観点から入力値を設定した。表 4-1 に FARSITE 入力データを示す。

表 4-1 FARSITE 入力データ

項目		入力データ	備考
地形データ	標高, 地形	図 2-1 参照	ガイドに従い, 「基盤地図情報 数値標高モデル 10 m メッシュ」の標高データ及び標高データから算出した傾斜, 傾斜方位を入力
土地利用データ	建物, 道路, 川等	図 3.2.1-1 参照	ガイドに従い, 国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(100 m メッシュ)より再処理施設周辺の建物用地, 交通用地, 河川等を再現
植生データ	場所	図 3.2.3-1 参照	ガイドに従い, 森林簿データ, 現地調査等で特定した樹種毎の植生場所を入力
	樹種	9 区分	3: Tall grass, 4: Chaparral, 5: Brush, 27: スギ (10 年生未満), 28: マツ (10 年生未満), 29: マツ (10 年生~20 年生未満), 30: 落葉広葉樹, 31: スギ (10 年生~20 年生未満), 99: 非燃焼
	林齢	2 区分	林齢の違いによる可燃物のパラメータの保守性, 下草の発生状況から保守的に 20 年生以上の林齢については全て 10 年生~20 年生未満に読み替えて入力
	樹幹率	区分 3	日照や風速への影響を考慮し, 保守的な樹幹率区分 (3: 一般的な森林) を入力
気象データ	風速 (km/hr)	63	水戸・日立・常陸大宮・笠間・鉾田気象観測所の 2007 年~2017 年の最大風速 (17.5 m/s) に相当する 63 km/hr を入力*
	風向 (deg)	23 (発火点 1)	ガイドに従い, 最大風速時の風向を入力
		293 (発火点 2)	ガイドに従い, 卓越風向を入力
		225 (発火点 3)	保守的に, 発火点から評価対象方向へ向かう風向を入力
		180 (発火点 4)	保守的に, 発火点から評価対象方向へ向かう風向を入力
	気温 (°C)	39	最高気温, 最低気温共に保守的に, 水戸・日立・常陸大宮・笠間・鉾田気象観測所の 2007 年~2017 年の最高気温 38.2°C を入力*
	湿度 (%)	11	最高湿度, 最低湿度共に保守的に, 水戸の 2007 年~2017 年の最小湿度 11% を入力*

項目	入力データ	備考
降水量 (mm)	0	保守性を考慮して、降水量は0を入力
雲量 (%)	0	保守性を考慮して、雲量は0を入力
時刻	5:00 (最低) 15:00 (最高)	気象データについては保守的な条件が継続すると仮定するため時間的な変化は考慮しなかった。そのため、最低及び最高気温記録時刻についてはデフォルト値である5:00(最低)、15:00(最高)を用いた。

※ガイドの記載内容に準ずると、森林火災の多い月のみを採用となるが、先行発電所の安全審査における規制庁のコメントにおいて、多い月の範囲を幅広く考えていることから、保守的に年間における最小湿度、最高気温及び最大風速を採用した。

5. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について，平成 25 年 6 月.
- [2] (独)原子力安全基盤機構，福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価，平成 24 年 6 月.
- [3] 四国電力(株)，伊方発電所 3 号炉外部火災影響評価補足説明資料 (DB-8-01 (補) 改 7) .

植生調査

1. 調査内容

植生調査に適した資格・経験年数を有している者により、再処理施設周囲の森林に対して植生調査を実施した。植生調査代表者の力量を表 1-1 に示す。敷地内及び敷地周辺の緑地に 1000 m² (約 30 m×30 m) の方形区を計 49 地点設定し、各地点において植生調査を行った。また、調査範囲全体の植生分布状況を既存の空中写真及び現地確認によって把握し、植生図を作成した。また、クロマツ植林、アカマツ植林、スギ植林については、当該地方の林分収穫表より林齢を推定し、過去と現在の空中写真を比較し補正を行った。植生調査点図を 1-1 に示す。

表 1-1 植生調査代表者の力量

経験年数	10 年以上
資格	技術士（環境部門） 環境アセスメント士（自然環境部門）

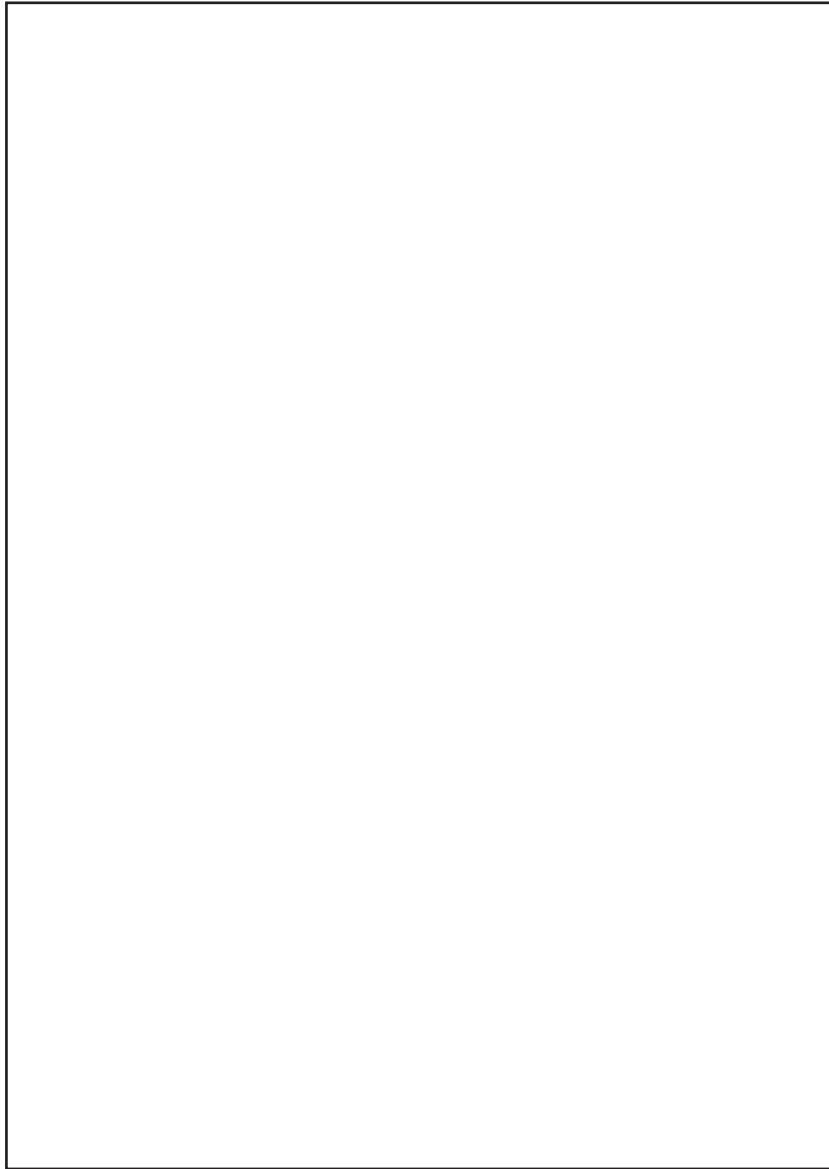


図 1-1 植生調査点

2. 調査結果

植生調査結果を表 2-1 に示す。植生調査により大部分が 20 年生以上であることを確認したが、FARSITE に入力する際には、解析の保守性を考慮し、10 年以上 20 年未満を入力した。代表的な植生写真を図 2-1 に示す。

表 2-1 植生調査結果

No.	敷地 内/外	群落名	樹齢
1	内	アカマツ植林	20 年生
2	内	アカマツ植林	20 年生
3	内	アカマツ植林	40 年生以上
4	内	アカマツ植林	40 年生以上
5	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
6	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
7	内	アカマツ植林	40 年生以上
8	内	アカマツ植林	20 年生
9	外	スギ植林	40 年生以上
10	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
11	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
12	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
13	内	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
14	外	シイ・カシ二次林	30 年生
15	外	シイ・カシ二次林	30 年生
16	外	落葉広葉樹二次林	30 年生
17	内	アカマツ植林	40 年生以上
18	内	アカマツ植林	40 年生以上
19	内	アカマツ植林	40 年生以上
20	内	アカマツ植林	40 年生以上
21	内	アカマツ植林	40 年生以上
22	内	アカマツ植林	40 年生以上
23	内	アカマツ植林	40 年生以上
24	内	アカマツ植林	40 年生以上
25	内	アカマツ植林	40 年生以上
26	外	アカマツ植林	40 年生以上
27	外	アカマツ植林	40 年生以上
28	外	アカマツ植林	40 年生以上

No.	敷地 内／外	群落名	樹齡
29	外	クロマツ植林	40 年生以上
30	外	クロマツ植林	40 年生以上
31	内	クロマツ植林	20 年生
32	外	クロマツ植林	40 年生以上
33	外	クロマツ植林	20 年生
34	内	クロマツ植林	30 年生
35	内	クロマツ植林	30 年生
36	内	クロマツ植林	30 年生
37	内	クロマツ植林	20 年生
38	内	クロマツ植林	20 年生
39	内	クロマツ植林	20 年生
40	内	クロマツ植林	10 年生
41	内	クロマツ植林	10 年生
42	内	クロマツ植林	10 年生
43	外	スギ植林	40 年生以上
44	外	スギ植林	40 年生以上
45	外	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
46	外	落葉広葉樹二次林	20 年生
47	外	落葉広葉樹二次林	20 年生
48	外	落葉広葉樹二次林	40 年生以上
49	外	アカマツ植林	40 年生以上




調査点	植生区分	植生写真
1	アカマツ植林 20年生	
3	アカマツ植林 40年生以上	
40	クロマツ植林 10年生	

図 2-1 代表的な植生写真 (1/4)




調査点	植生区分	植生写真
33	クロマツ植林 20年生	
34	クロマツ植林 30年生	
29	クロマツ植林 40年生以上	

図 2-1 代表的な植生写真 (2/4)




調査点	植生区分	植生写真
46	落葉広葉樹二次林 20年生	
16	落葉広葉樹二次林 30年生	
5	落葉広葉樹二次林 40年生以上	

図 2-1 代表的な植生写真 (3/4)


調査点	植生区分	植生写真
14	シイ・カシ二次林 30年生	
9	スギ植林 40年生以上	

図 2-1 代表的な植生写真 (4/4)

発火点の考え方について

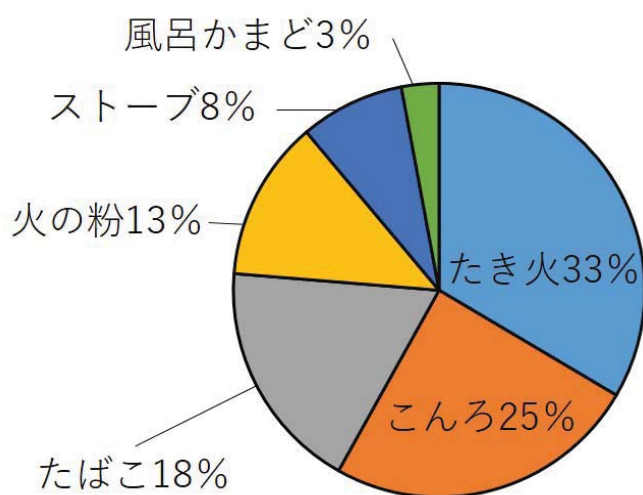
1. 発火点の設定方針

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について」にある森林火災の想定に基づき、発火点の設定は以下の方針とした。

- ・卓越風向，最大風速記録時の風向が再処理施設の風上になる地点
- ・たき火等の人為的な火災発生原因が想定される地点

なお，茨城県内での主な発火源は，「消防防災年報」（茨城県 平成 29 年）によると，たき火，こんろ，たばこであった。発火源の割合を図 1-1 に示す。

この結果に加え，再処理施設周囲の地理的状況等を考慮し，人為的な火災発生原因を想定した。



「消防防災年報」（茨城県 平成29年）より
平成17年から平成28年までの統計

図 1-1 発火源の割合

2. 発火点の設定

再処理施設周囲の特徴として以下のことがあげられる。

- ・再処理施設の西側に国道 245 号線が通る。
- ・再処理施設の南側に県道 62 号線が通る。
- ・再処理施設の北側に川がある。
- ・再処理施設の南西に住宅街が多い。

第 1 項で設定した方針及び上記の特徴を踏まえ、発火点を以下のとおり設定した。発火点位置と植生データを図 2-1 に示す。

発火点 1：最大風速記録時の風向である北北東において、海岸でのたき火の不始末、たばこの投げ捨て等により原子力科学研究所敷地内の森林に引火することを原因とし、高放射性廃液貯蔵場 (HAW)・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟から北北東の方角上にあたる点を発火点とした。

発火点 2：卓越風向である西北西において、国道 245 号線からのたばこの投げ捨てにより、茨城東病院の森林に引火することを原因とし、周辺の植生も同程度の燃えやすさであることから、高放射性廃液貯蔵場 (HAW)・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟から西北西の方角上にあたる点を発火点とした。

発火点 3：南西方面において、国道 245 号線、県道 62 号線 (たばこの投げ捨て)、如意輪寺霊園 (線香の残り火) からの発火を想定し、評価上、火線強度が保守的になると予想された如意輪寺霊園を発火点とした。

発火点 4：南方面において、県道 62 号からのたばこの投げ捨てにより、核燃料サイクル工学研究所敷地の森林に引火することを原因とし、県道 62 号線沿線の植生のなかで比較的燃えやすい「Tall grass」のある交差点付近を発火点とした。

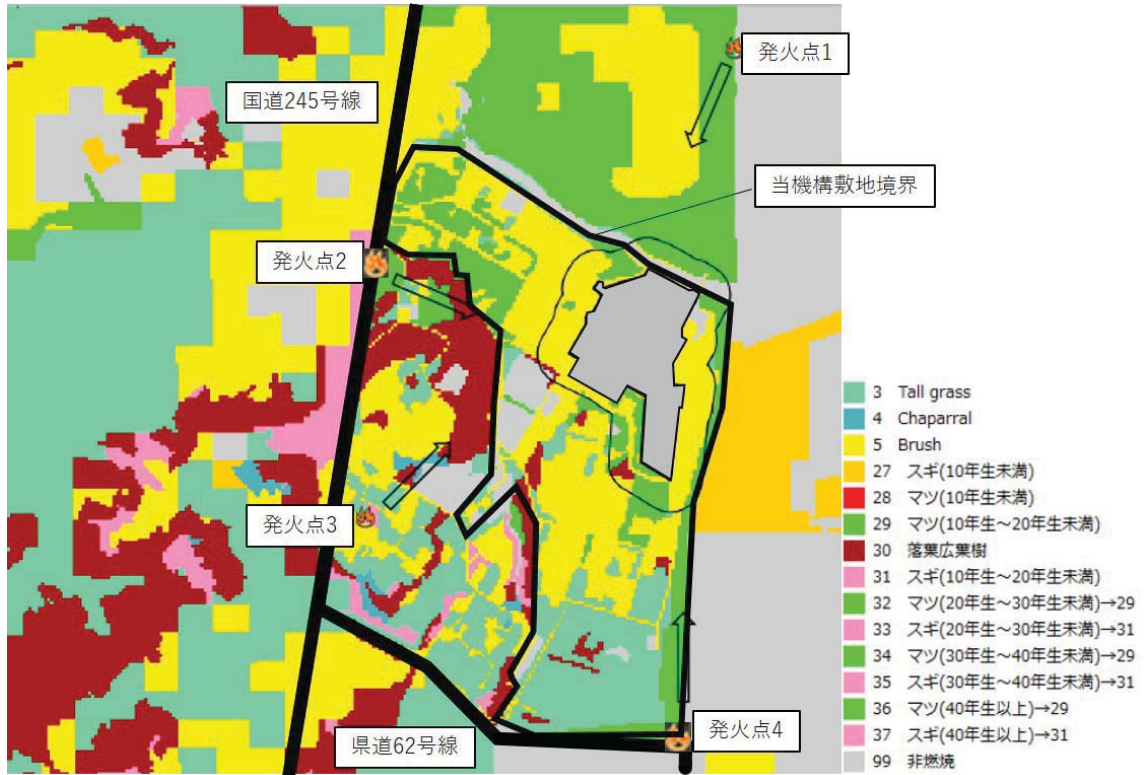


図 2-1 発火点位置と植生データ

3. 発火点の妥当性設定

3.1 発火点 1 の妥当性

発火点 1 は最大風速記録時の風向である北北東に設定しており、周辺はマツ 10 年生～20 年生未満（評価上）であり、砂浜と森林の境界に設定している。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生に大きな違いはないことから、発火点 1 の評価結果に包絡される。

3.2 発火点 2 の妥当性

発火点 2 は卓越風向である西北西に設定しており、周辺はマツ 10 年生～20 年生未満（評価上）であり、国道 245 号線上に設定している。発火点を多少移動させたとしても周囲の植生も同程度の燃えやすさであることから、発火点 2 の評価結果に包絡される。

3.3 発火点 3 の妥当性

発火点 3 は国道 245 号線及び県道 62 号線からのたばこの投げ捨てる他に、線香の残り火を想定し、如意輪寺霊園からの発火を想定し設定した。

3.4 発火点 4 の妥当性

発火点 4 の周辺は県道 62 号線沿線の植生のなかで比較的燃えやすい Tall grass であり、核燃料サイクル工学研究所敷地境界に設定した。

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について，平成 25 年 6 月．

FARSITE の解析結果

1. FAESITE 出力情報

FARSITE の解析より得られた、各発火点における再処理施設敷地境界に最も早く火炎が到達する火炎到達時間と、再処理施設敷地境界より 100 m の範囲における最大火線強度の解析結果を表 1-1 に示す。また、各発火点の延焼状況をそれぞれ図 1-1 から図 1-4 に示す。

表 1-1 解析結果

発火点位置	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
最大火線強度 (kW/m)	2,215	6,023	5,748	6,085
火炎到達時間 (hr)	12.9	2.1	1.8	0.7

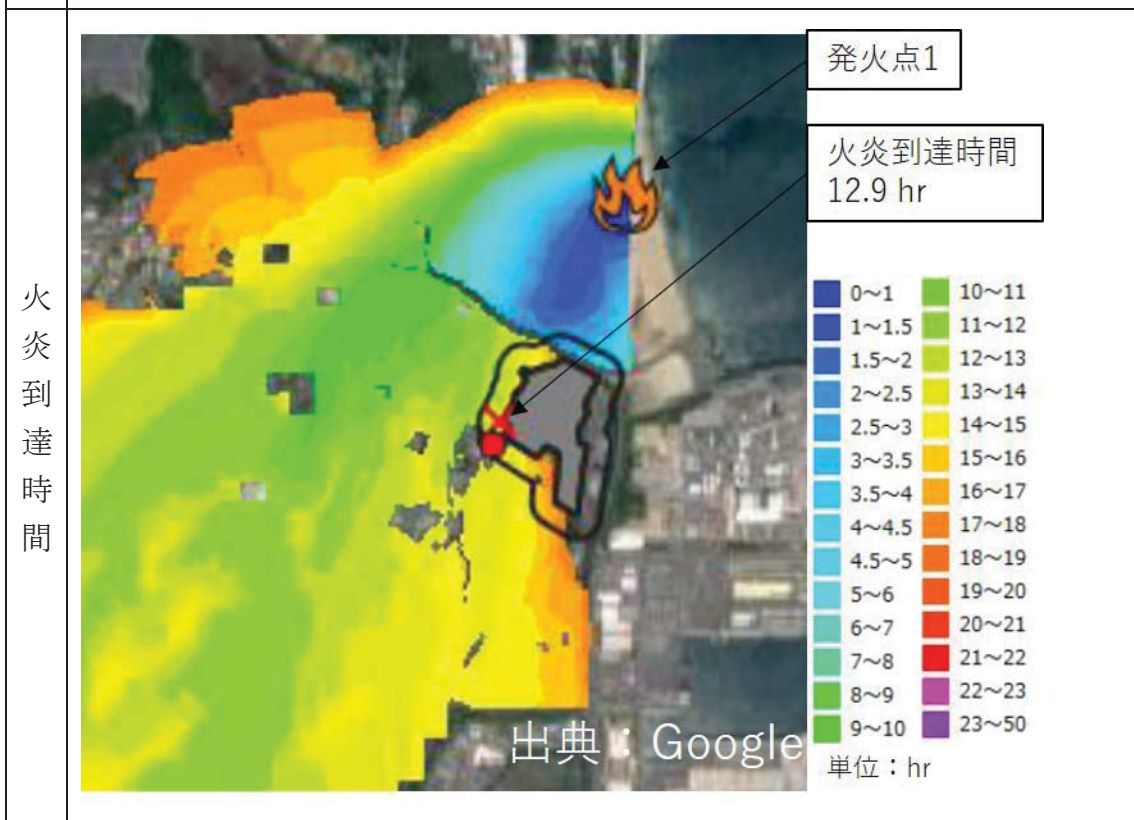
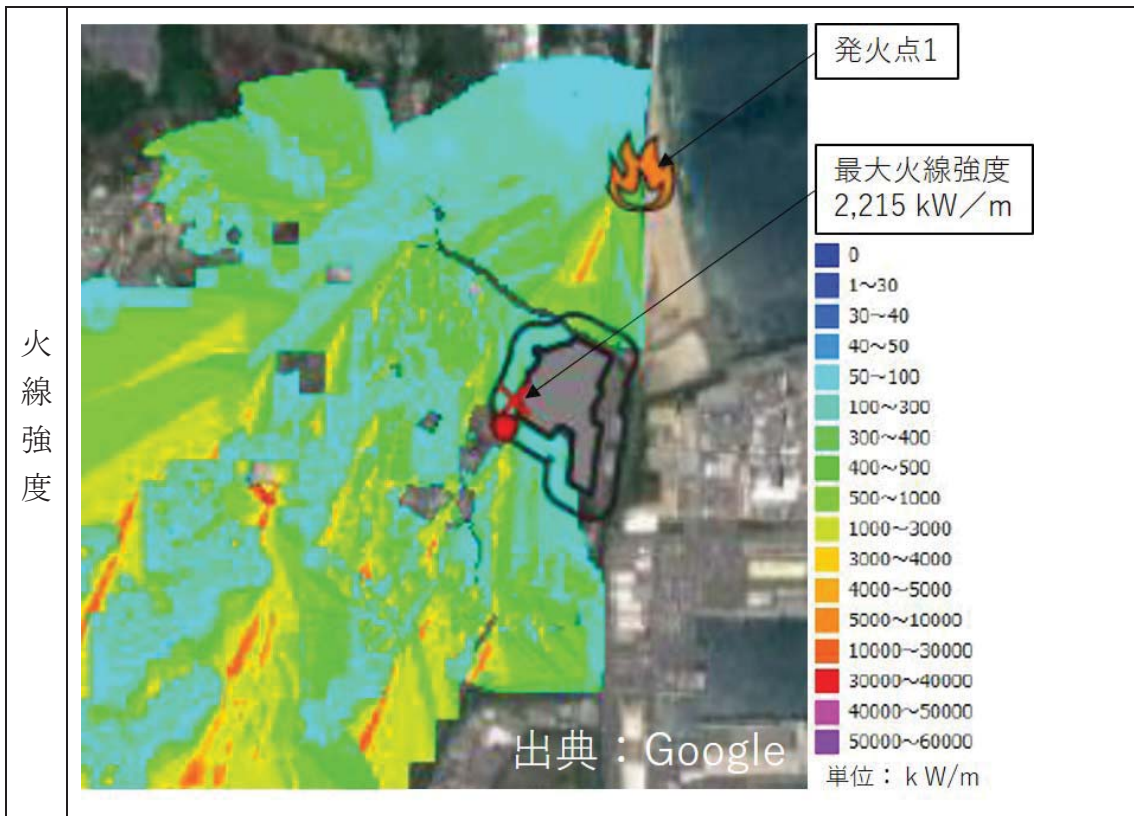


図 1-1 発火点 1 の延焼状況

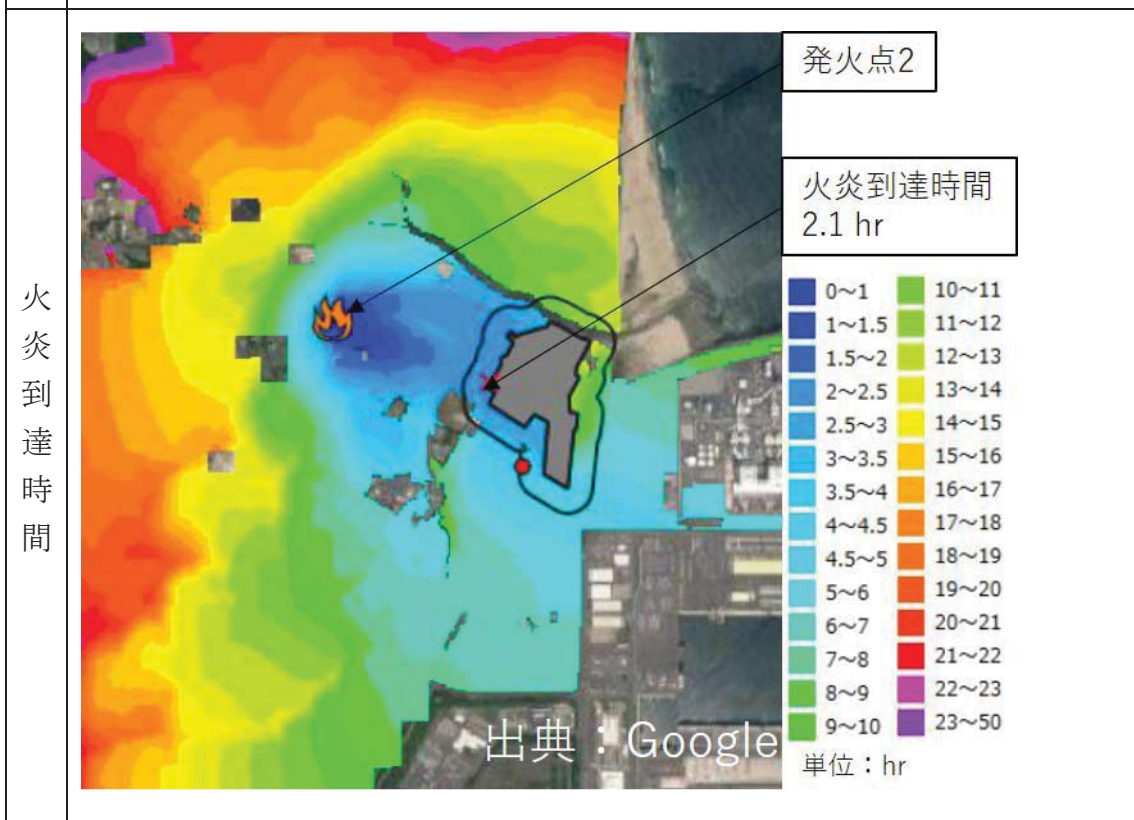
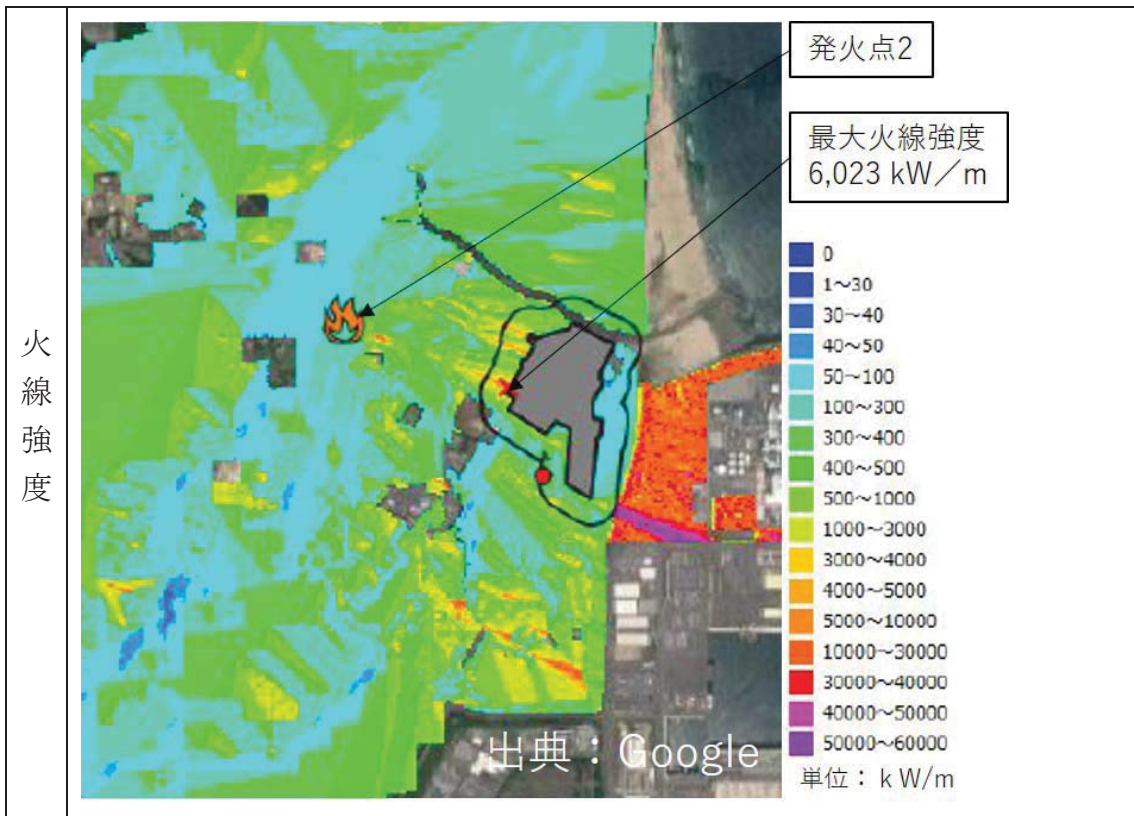


図 1-2 発火点 2 の延焼状況

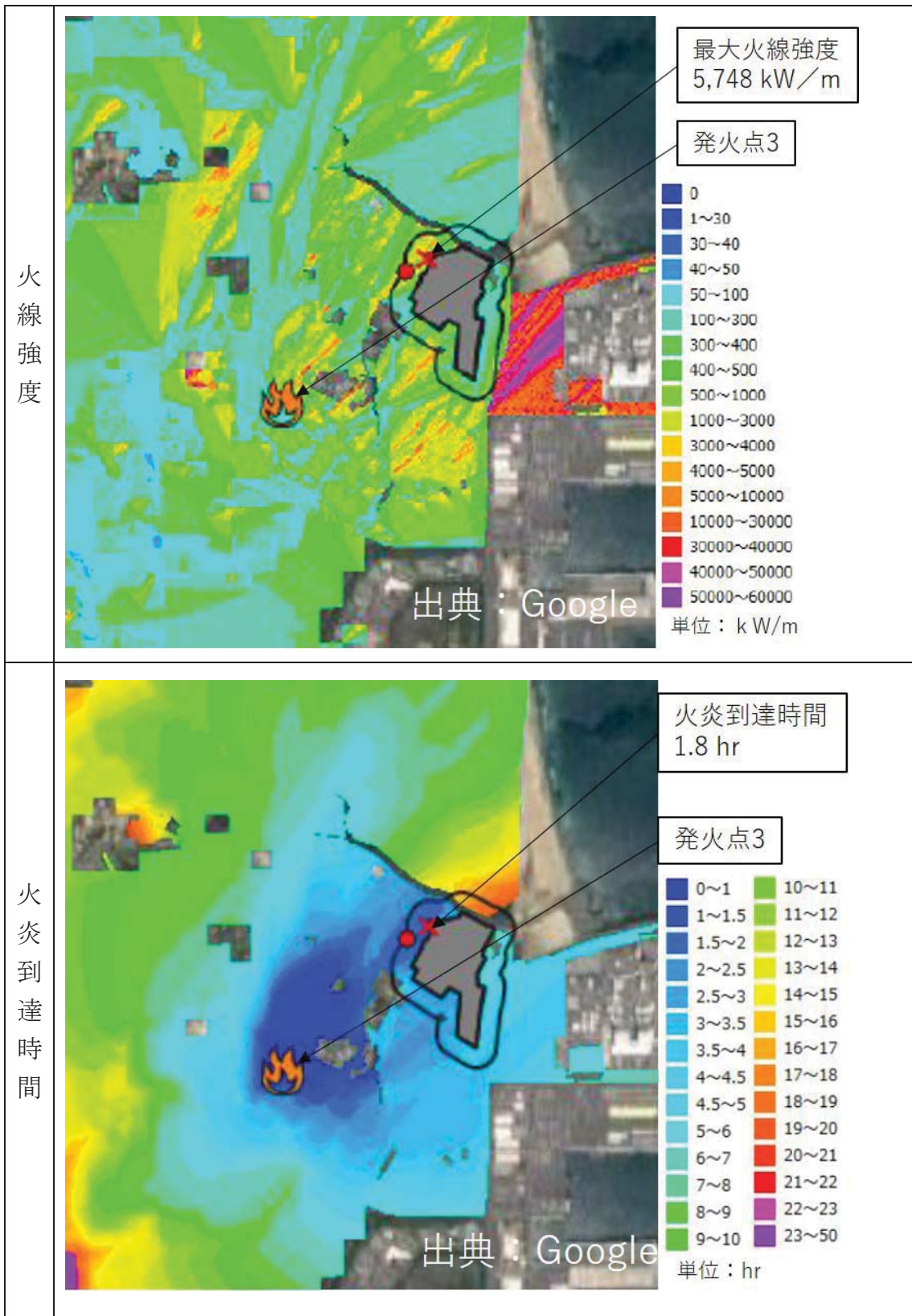


図 1-3 発火点 3 の延焼状況

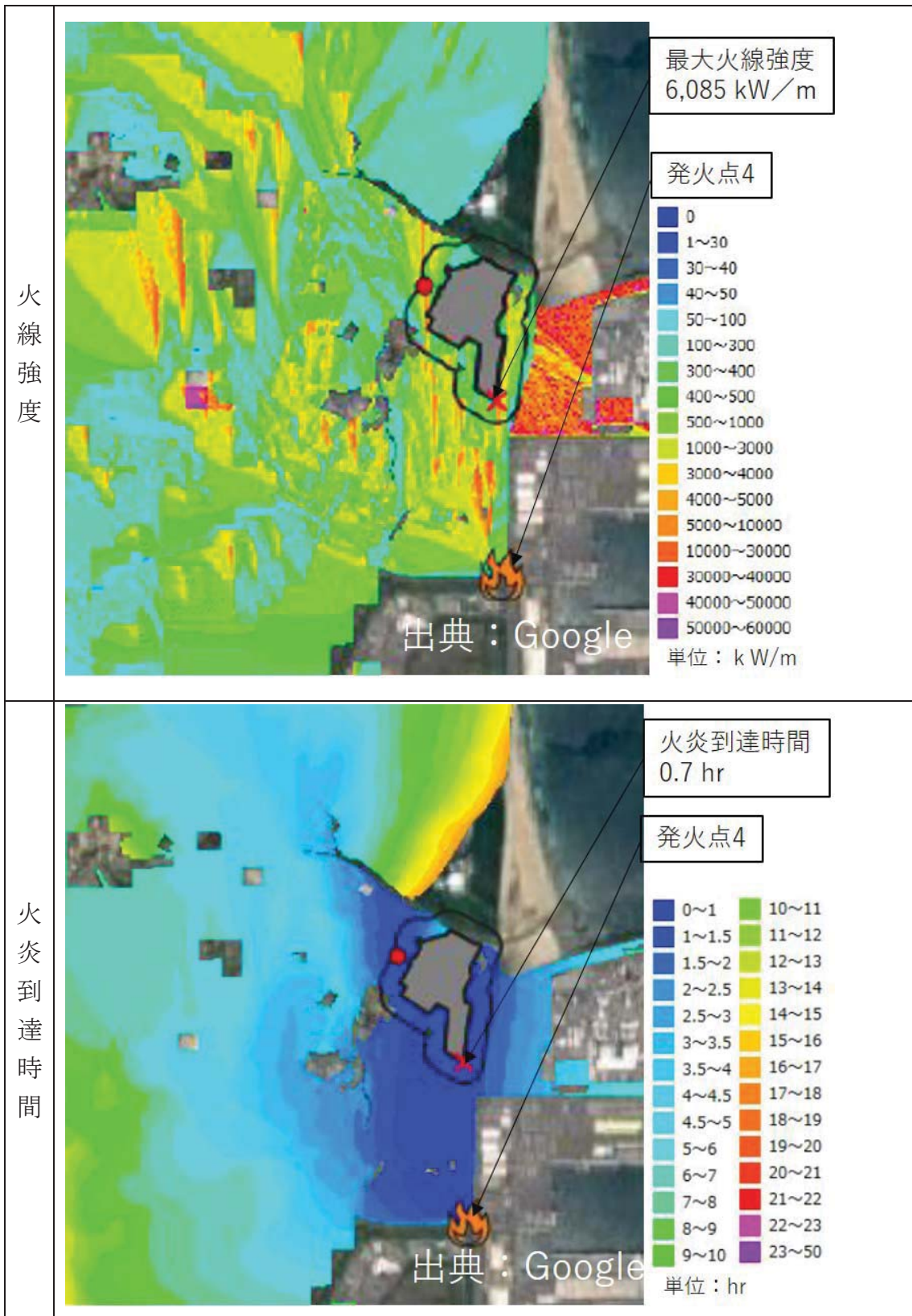


図 1-4 発火点 4 の延焼状況

核燃料サイクル工学研究所自衛消防隊について

1. 概要

核燃料サイクル工学研究所では核燃料サイクル工学研究所内及び近隣地域において発生した火災等の災害から従業員の生命並びに核燃料サイクル工学研究所の財産を保護するとともに、災害による被害を軽減することを目的自衛消防隊として消防班が組織されている。消防班は5分隊構成とし、そのうち1分隊は常駐隊である。常駐隊を除く各分隊は8名の班員をもって編成し、常駐隊は4名の班員をもって編成する。消防班の組織図を図1-1に示す。

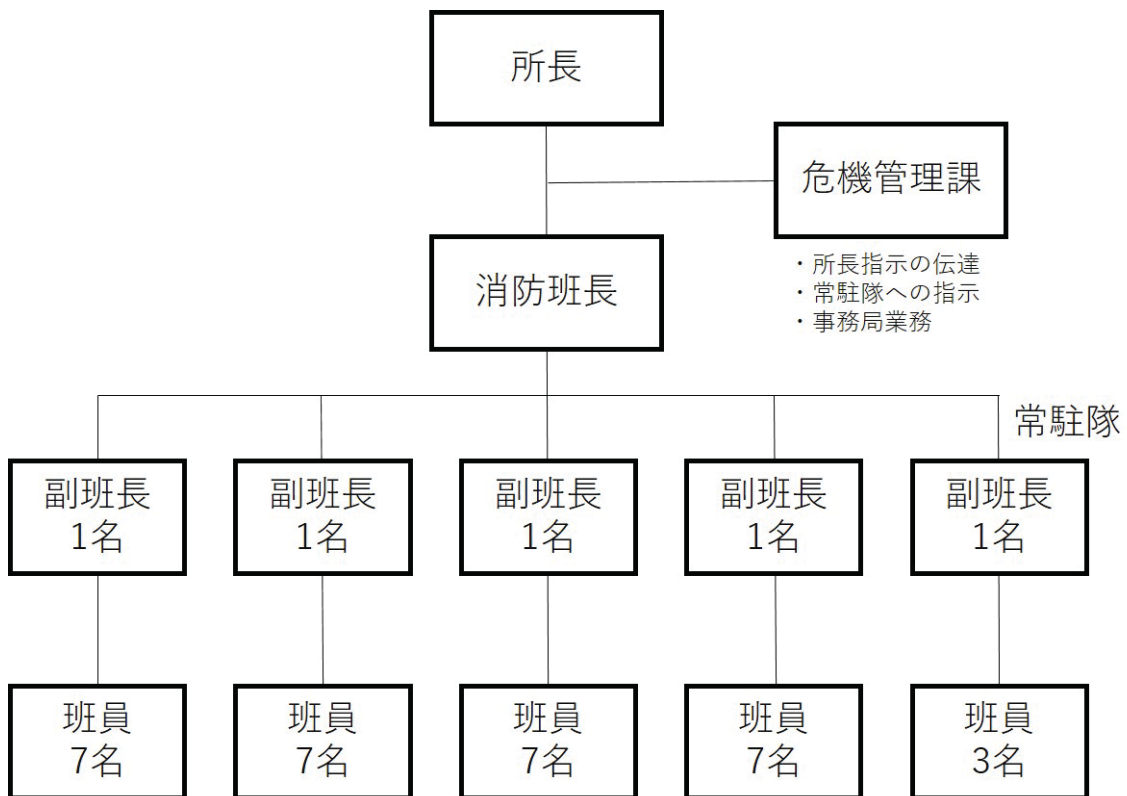


図 1-1 消防班の組織図の位置関係

2. 消防設備

森林火災が発生した際の消火活動に使用する消防設備として以下の設備を備えている。

2.1 消防タンク車

消防タンク車の仕様を表 2.1-1 に示す。消防タンク車の写真を図 2.1-1 に示す。

2.2 消防化学車

消防化学車の仕様を表 2.2-1 に示す。消防化学車の写真を図 2.1-1 に示す。

2.3 屋外消火栓

屋外消火栓の仕様を表 2.3-1 に示す。

表 2.1-1 消防タンク車の仕様

タンク容量	1,500ℓ
放水量	2.8m ³ /min
台数	3 台

表 2.2-1 消防化学車の仕様

タンク容量	1,500ℓ
放水量	2.8m ³ /min
消火剤	合成界面活性剤消火薬剤
消火剤量	300ℓ
台数	1 台

表 2.3-1 屋外消火栓の仕様

核燃料サイクル工学研究所内	102 か所
再処理施設内	41 か所
防火帯内	7 か所
放水ホース	3 本 × 20m



図 2.1-1 消防タンク車



図 2.2-1 消防化学車

6-1-4-3-2-4-3

3. 訓練

3.1 自衛消防隊

消防班は、毎月 2 回消防訓練を行っている。

訓練では、召集訓練、消防車を用いての操作訓練、放水訓練等を行っている。

3.2 合同訓練

核燃料サイクル工学研究所では、公設消防との連携強化を目的として、年 1 回以上公設消防と合同消火訓練を行っている。

訓練では、消防車を用いての操作訓練、放水訓練、中継給水訓練等を行っている。

合同訓練風景を図 3.2-1 に示す。



図 3.2-1 合同訓練風景

熱影響評価方法について

1. パラメータの算出

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について^[1]」(以下「ガイド」という。)に従い、FARSITE 解析結果である反応強度、火炎長、火炎到達時間から、熱影響評価に必要なデータを算出した。熱影響評価に用いたデータの説明を表 1-1 に、FAESITE 出力データ及び算出データを表 1-2 に示す。

火炎継続時間については、最大火炎輻射強度の発生メッシュと隣接メッシュにおける火炎到達時間の差より算出した。2 つ以上の伝播方向がある場合は、最大時間を選択した。森林火災評価における火炎継続時間の概念図を図 1-1 に示す。

表 1-1 評価方法一覧

項目		出力値の内容	評価方法
FARSITE 出力	火線強度 [kW/m]	火炎前線から単位時間に放出される熱量	敷地境界から 100 m 範囲における最大値ただし常陸那珂火力発電所の敷地は除外
	反応強度 [kW/m ²]	単位面積当たりの熱放出速度であり，火炎輻射強度の根拠となる火炎規模	敷地境界から 100 m 範囲における最大値ただし常陸那珂火力発電所の敷地は除外
	火炎長 [m]	火炎の高さ	最大火炎輻射強度（反応強度）位置における値
	火炎到達時間 [hour]	出火から火炎の前線が該地点に到達するまでの時間	敷地境界における最小値
	延焼速度[m/s]	火炎の延焼する速さ	最大火線強度位置における値
	単位面積当たり熱量[kJ/m ²]	単位面積当たりの放出熱量	最大火線強度位置における値
FARSITE 出力より算出したデータ	火炎輻射強度 [kW/m ²]	反応強度に米国 NFPA の係数 0.377 を乗じて算出	
	火炎継続時間 [hour]	到着時間から算出	最大火炎輻射強度位置と隣接する位置（火炎伝播方向）における到達時間の差の最大値（図 1-1 参照）
	火炎到達幅 [m]	敷地境界の火炎最前線の長さ	敷地境界で延焼したセル数×10 m で算定
	燃焼半径 [m]	火炎長に基づき算出	ガイドに従い，火炎長/3 で算定

表 1-2 FAESITE 出力データ及び算出データ

項目	発火点 1	発火点 2	発火点 3	発火点 4
火炎長 [m]	1.6	1.2	1.7	1.1
火炎到達時間 [hour]	12.9	2.1	1.8	0.7
火炎輻射強度 [kW/m ²]	438	435	440	439
火炎継続時間 [hour]	0.06	0.12	0.05	0.13
火炎到達幅 [m]	780	1,620	1,620	1,620
燃焼半径 [m]	0.6	0.4	0.6	0.4

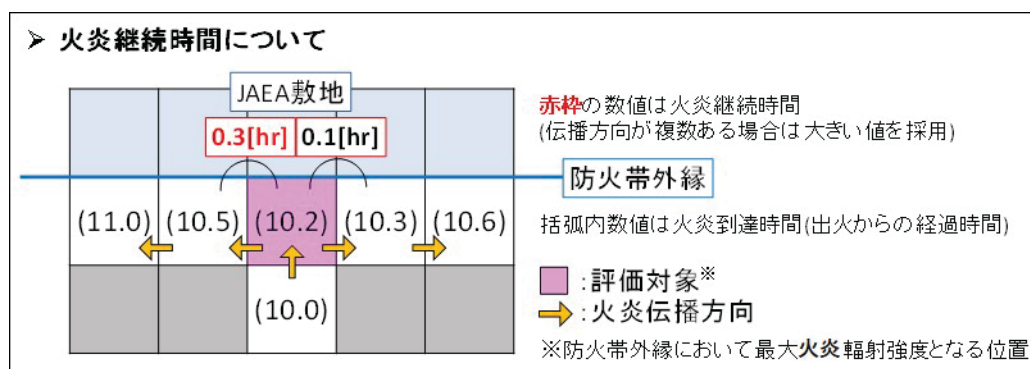


図 1-1 森林火災評価における火炎継続時間の概念図

2. 輻射強度の算出

表 1-2 で算出したデータに基づき、評価対象建屋受熱面における輻射強度を算出した。ガイドに従って、算出した火炎長と燃焼半径を有する円筒火炎が火炎到達幅の分だけ横一列に並ぶものとし、離隔距離分だけ離れた位置にある円筒火炎から燃焼開始後、火炎継続時間経過後に隣接するセル（セル幅 10 m）に延焼するものとした。図 2-1 に森林火災評価における円筒火炎モデルの概念図を示す。円筒火炎による輻射強度に関しては、ガイドに従って円筒火炎モデルの形態係数を算出し、これを火炎輻射強度と乗ずることで輻射強度を算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right]$$

$$A = (1+n)^2 + m^2$$

$$B = (1-n)^2 + m^2$$

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

ϕ : 形態係数

H : 火炎長 [m]

L : 離隔距離 [m]

R : 燃焼半径 [m]

さらに 10 m メッシュ内には燃焼半径から算出した F' 個の火炎が存在するものとして、評価対象が受ける輻射強度に火炎数を乗じて算出した。

$$E = F' \cdot R_f \cdot \phi \quad (\text{中心位置の火炎})$$

$$E = 2 \cdot F' \cdot R_f \cdot \phi \quad (\text{中心以外の火炎, 移動後})$$

E : 輻射強度 [W/m²],

ϕ : 形態係数

R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]

F' : 円筒火炎モデル数 (10m メッシュ)

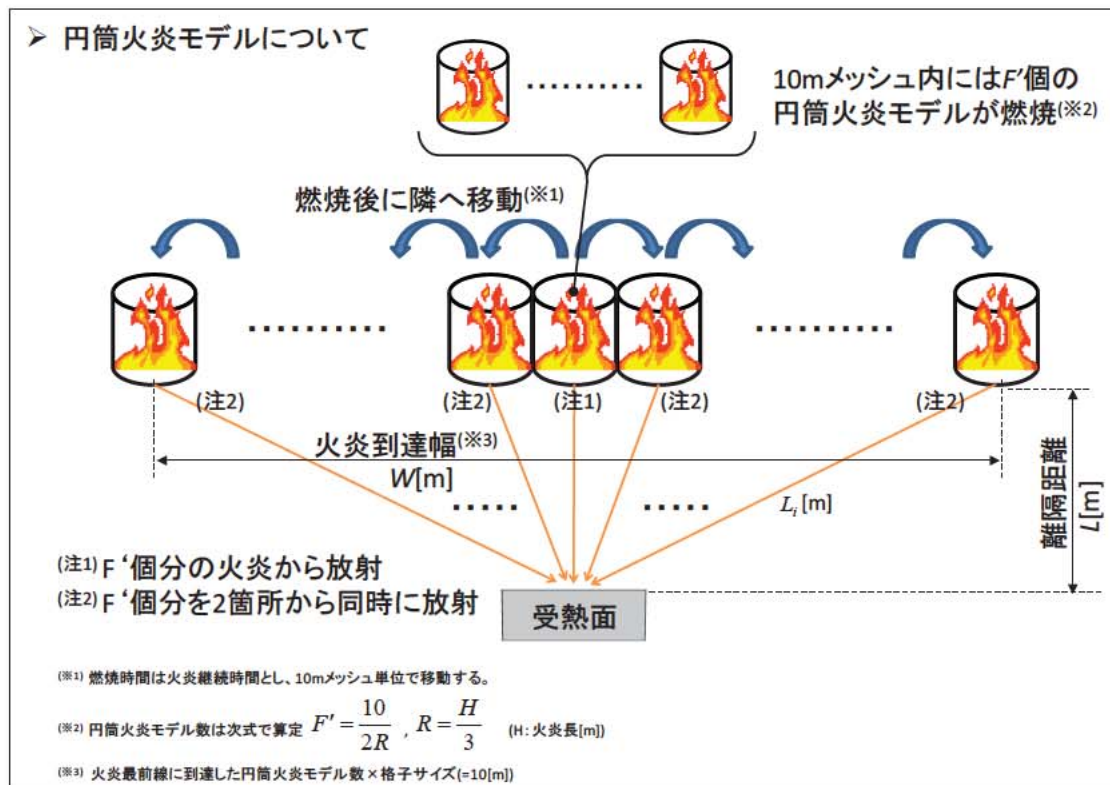


図 2-1 森林火災評価における円筒火炎モデルの概念図

3. 熱影響評価

3.1 離隔距離

熱影響評価対象施設から最も近い再処理施設敷地境界までの離隔距離を用いて評価を行った。熱影響評価対象施設から最も近い再処理施設敷地境界までの離隔距離を表 3-1 及び図 3-1 に示す。

3.2 許容温度

3.2.1 コンクリート製建屋

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200°C以下とした。(別紙参考 6-1-4-2-3-5-1 参照) なお、外壁にはガラリ、配管貫通部等が存在するが、これらに対する火災影響は敷地内火災に包絡されるため本評価では対象外とした。

3.2.2 第二付属排気筒

火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材 (SMA41) の強度が維持される保守的な温度 350°C*以下とした。

* 「発電用原子力設備規格 材料規格 (JSMR)」に基づき、鋼材における常温時の強度が維持される保守的な温度である 350°Cを許容温度とする。

3.3 評価方法

3.3.1 コンクリート製建屋

建屋外壁温度は次式に示す 1 次元非定常熱伝導方程式^[2]を差分法により解くことで評価した。また、同式を用いて、外壁表面の温度が 200°Cとなる輻射強度を算出した。

$$\begin{aligned} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \\ -k \frac{\partial T}{\partial x} &= E - h(T - T_0) \quad (x = 0) \\ \frac{\partial T}{\partial x} &= 0 \quad (x = L) \end{aligned} \quad (1)$$

T	: 温度	[°C]
ρ	: 密度	(2,400 [kg/ m ³])
C_p	: 比熱	(963 [J/kg/K]) ^[3]
k	: 熱伝導率	(1.74 [W/ m/K]) ^[3]

- E : 輻射強度 [W/m²]
 L : 厚さ [m]
 h : 熱伝達率 (17.0 [W/m²/K]) [4]
 T_0 : 周囲空気温度 (50 [°C]) ※

※ : 水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

(1) 式で求めた輻射強度となる形態係数 Φ を、ガイドに従い (2) 式により算出した。

$$E = R_f \cdot \phi \quad (2)$$

E : 輻射強度 [W/m²]
 R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]
 ϕ : 形態係数

(2) 式で求めた形態係数 ϕ となる危険距離 L をガイドに従い (3) 式より算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi m} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \quad (3)$$

$$A = (1+n)^2 + m^2$$

$$B = (1-n)^2 + m^2$$

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

- ϕ : 形態係数
 H : 火炎長 [m]
 L : 離隔距離 [m]
 R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、最も近い防火帯外縁から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

3.3.2 第二付属排気筒

第二付属排気筒外壁温度は定常状態における温度評価とし、次式に示す熱バランス^{〔5〕}を解くことで評価した。また、同式を用いて、外壁表面の温度が350℃となる輻射強度を算出した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \quad (1)$$

T : 温度 [°C]

E : 輻射強度 [W/m²]

h : 熱伝達率 (17.0 [W/m²/K])^{〔4〕}

T_0 : 周囲空気温度 (50 [°C])[※]

※：水戸地方気象台で観測された過去 10 年間の最高気温に保守性を持たせた値

(1) 式で求めた輻射強度となる形態係数 ϕ を、ガイドに従い (2) 式により算出した。

$$E = R_f \cdot \phi \quad (2)$$

E : 輻射強度 [W/m²]

R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]

ϕ : 形態係数

(2) 式で求めた形態係数 ϕ となる危険距離 L をガイドに従い (3) 式より算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi m} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \quad (3)$$

$$A = (1+n)^2 + m^2$$

$$B = (1-n)^2 + m^2$$

$$m = H / R$$

$$n = L / R$$

ϕ : 形態係数

H : 火炎長 [m]

L : 離隔距離 [m]

R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、最も近い防火帯外縁から影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

表 3-1 熱影響評価対象施設から最も近い再処理施設敷地境界までの離隔距離

施設名称略	離隔距離(m)
HAW	37
TVF	21
第二付属排気筒	71

*離隔距離は保守性を考慮し、小数点第1位で切り下げ

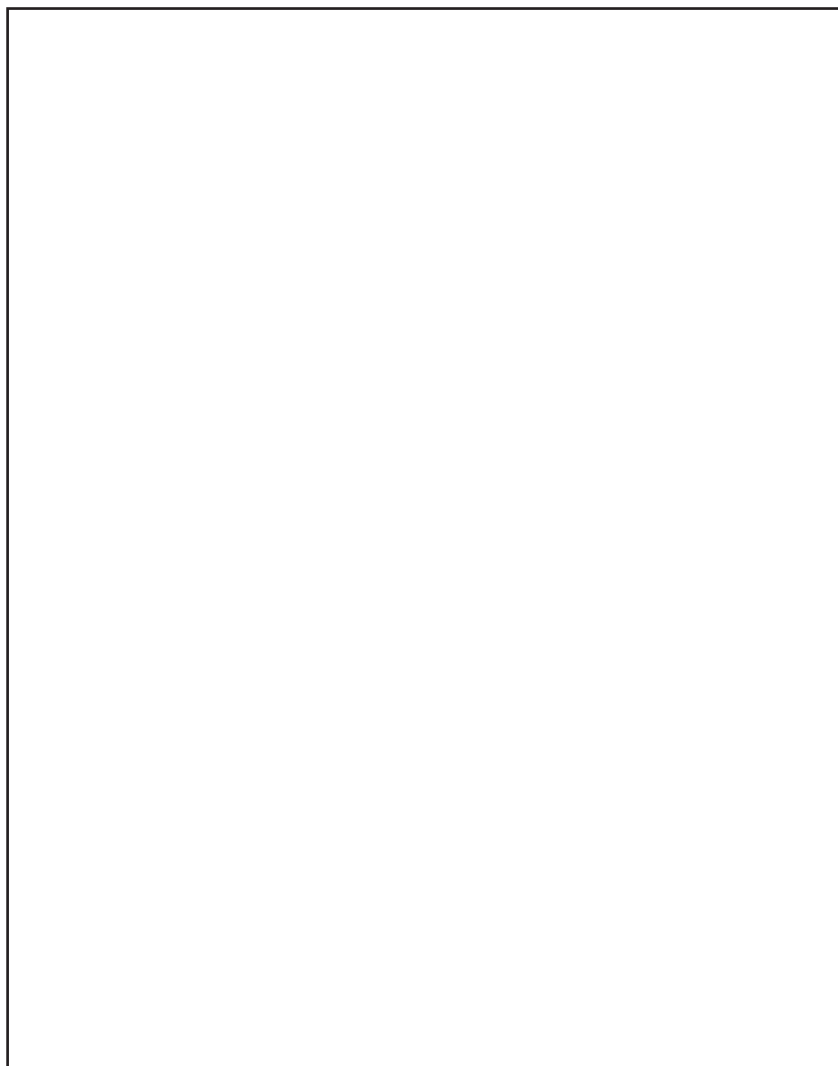


図 3-1 熱影響評価対象施設から最も近い再処理施設敷地境界までの離隔距離

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 A 森林火災の原子力発電所への影響評価について，平成 25 年 6 月。
- [2]伝熱工学 東京大学出版会（1995）
- [3]日本建築学会．原子炉建屋構造設計指針 同解説（1988）

[4]空気調和・衛生工学便覧 空気調和・衛生工学会 (2010)

[5]建築火災のメカニズムと火災安全設計, 原田和典, (財) 日本建築センター,
(2007)

コンクリートの許容温度について

1. コンクリートの許容温度

「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人 日本建築センター）」^[1]に基づき、コンクリートの強度が維持される温度である 200℃を許容温度として設定する。図 1-1 に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。

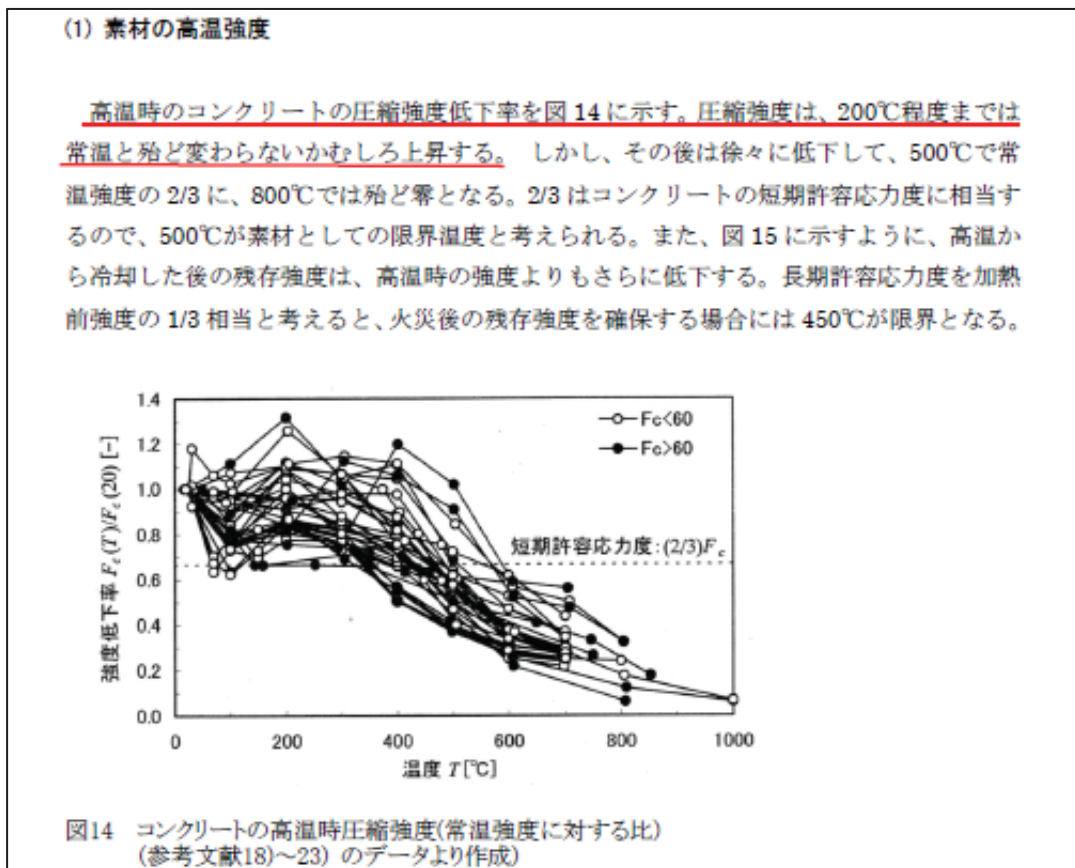


図 1-1 「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋

2. 参考文献

- [1] 建築火災のメカニズムと安全設計，原田和典，財団法人日本センター，2007年

防火帯の管理方針について

1. はじめに

森林火災評価結果に基づき、森林火災による施設への延焼防止対策として、高放射性廃液貯蔵場（HAW）ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒の周囲に防火帯を設定する。防火帯内に他の法令要求等による可燃物を含む機器等を設置する場合は必要最小限とし、防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする。防火帯の管理方法について以下に示す。

2. 防火帯の管理方針

防火帯の設定に当たっては、樹木を伐採する等、可燃物を排除し、防火帯内に草木が生えないように、モルタル吹付け、砂利、防草シート等の処理を行う。

また、防火帯は表示板等で明確に区別するとともに、構内道路の一部を防火帯として使用している箇所については、駐車禁止の措置等により、原則的に可燃物がない状態を維持する。

防火帯には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物を含む機器等は、原則的に設置しない方針であるが、防火帯の位置設定においては施設建家、構内道路等の条件を考慮して設定するため、他の法令要求等により標識等を設置する場合は、延焼防止効果への影響の有無を評価し、必要な対策を講じる設計とする。

表 1-1 に防火帯内に設置される機器等の例について示す。

表 1-1 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針の例

分類		対象例	評価及び管理方針
不燃性の機器等		<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート製建屋 ・ 排気筒 ・ 送電線 ・ ケーブル 	火災により燃焼しない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから、当該対象に対して対策は不要である。
可燃性を含む機器等	局所的な設置機器	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標識 ・ 構内監視カメラ 	局所的な火災に留まるため防火帯の機能に影響はない。防火帯延焼防止効果に影響を与えないことから、当該対象に対して対策は不要である。
	防火帯を横断して設定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 道路 	道路上に設定される防火帯内は車両の駐車禁止、可燃物を配置しない管理を行うことで、延焼防止効果に影響を与えない。

6-1-4-2-3-6-2

有毒ガス・ばい煙影響評価の方法

1. 概要

外部火災により発生するばい煙については、火炎による上昇気流により上空に運ばれるため、ばい煙が防護対象設備の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが、ばい煙及び有毒ガスが設備に与える影響について、評価を実施する。

2. 評価対象

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド^[1]」では、ばい煙による安全上重要な設備に対する影響として、燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等が挙げられている。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機、蒸気及び工業用水の供給施設）については事故対処設備として配備する設備により代替するため、ばい煙の影響が想定される設備として、「外気を取り込む空調系統」について評価を実施する。また、建屋内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気が取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。影響評価対象設備を表 2-1 に示す。

なお、ばい煙の粒形については浮遊粒子状物質の粒形である $10\ \mu\text{m}$ ^{[2] [3]}を想定し、PM10により評価した。

表 2-1 ばい煙及び有毒ガスによる影響評価対象

分類	評価対象設備	
機器への影響	外気を取り込む空調系統	換気系設備
居住性への影響	外気を取り込む空調系統	HAW 内居住空間 TVF 内居住空間

3. 評価結果

3.1 外気を取り込む空調系統

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の換気系統の給気用のファン入口にはフィルタが設置されている。捕集率 85%以上（粒形 10 μm ）のプレフィルタおよび捕集率 97%以上（粒形 0.3 μm ）のフィルタを有しているため、外部火災で発生する粒径が一定以上のばい煙は、このフィルタにより侵入を阻止可能である。また、ばい煙によるフィルタの閉塞については、給気圧又は施設負圧を監視することで検知可能である。

したがって、ばい煙の影響により外気を取り込む空調系統に直ちに影響を与えることはない。

HAW 換気系の系統概略図を図 3-1 に、TVF 換気系の系統概略図を図 3-2 に示す。に示す。

3.2 居住性評価

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に侵入する有毒物質（CO, CO₂, PM10（ばい煙））の最大濃度を「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」^[4]で判断基準とされている

Immediately Dangerous to Life of Health^{* [5]}（以下「IDLH」という。）と比較することで、有毒ガスに対する評価を実施し、作業員に影響を及ぼさないことを評価した。

森林火災により発生する有毒ガス及びばい煙の濃度については、FARSITE の解析である火災による有毒ガス発生量、風速及び大気拡散度に基づき、原子力施設の安全審査で使用される有風時プルーム式を用いて、評価対象となる原子炉施設の有毒ガス濃度を求めた。表 3.2-1 に、森林火災に対する有毒ガス濃度の最大値及び発生時刻を表 3.2-2 に、森林火災に対するばい煙濃度の最大値及び発生時刻を示す。

詳細な評価方法及び評価に必要な入力データは、別紙参考 6-1-4-2-3-7-1 に示す。

その結果、全ての評価対象において IDLH 以下であり、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の居住性が直ちに損なわれることはないと評価できた。

運転員が常駐するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の制御室については、30 分以内に給気ダンパを閉止して外気と隔離することを可能とする措置を講じる。また、外部火災発生時に高放射性廃液貯蔵場（HAW）制御室に常駐する必要はないため、30 分以内に退避可能であるとともに、外部火災の影響下で現場操作等が必要な場合に備えて、酸素マスク等の装備を配備す

る。以上の安全対策により森林火災時においても施設内で必要な活動を継続することができる。

※：30分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり，脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

表 3.2-1 有毒ガス濃度最大値及び最大値発生時刻

CO₂濃度

発火点	HAW		TVF	
	最大濃度 [ppm]	発生時刻 [hr]	最大濃度 [ppm]	発生時刻 [hr]
発火点 1	206	2.5	238	2.0
発火点 2	74	1.5	68	1.5
発火点 3	20	3.0	23	6.5
発火点 4	4	1.5	14	1.0

IDLH	40,000[ppm]
------	-------------

CO 濃度

発火点	HAW		TVF	
	最大濃度 [ppm]	発生時刻 [hr]	最大濃度 [ppm]	発生時刻 [hr]
発火点 1	17.77	2.5	18.91	1.0
発火点 2	6.80	0.25	6.02	0.25
発火点 3	0.92	9.0	1.14	9.0
発火点 4	0.41	1.5	1.03	1.0

IDLH	1,200[ppm]
------	------------

表 3.6.2-1 ばい煙濃度最大値及び最大値発生時刻
ばい煙 (PM10) 濃度

発火点	HAW		TVF	
	最大濃度 [mg/m ³]	発生時刻 [hr]	最大濃度 [mg/m ³]	発生時刻 [hr]
発火点 1	0.52	2.5	0.52	2.5
発火点 2	0.18	0.25	0.16	0.25
発火点 3	0.03	9.0	0.04	6.5
発火点 4	0.02	1.5	0.04	1.0

IDLH	1,750[mg/m ³]
------	---------------------------

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド，平成 25 年 6 月．
- [2]環境庁告示25号，大気汚染に係る環境基準について，昭和48年5月8日
- [3]森本 正俊，ばい煙発生施設からのばいじん粒子の解析，愛知県環境調査センター所報，38号，p.1-6，(2010)
- [4]原子力規制委員会，有毒ガス防護に係わる影響評価ガイド，平成29年4月．
- [5]The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH),Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values (<https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>)

有毒ガス・ばい煙発生量の算出について

1. 評価方法

FARSITE 解析より得られた各種発生量及び発生熱量を入力とした。

FARSITE の解析結果のうち、有毒ガス・ばい煙濃度評価に用いるデータを以下に示す。

- (a) CO₂発生量
- (b) CO 発生量
- (c) PM10 発生量
- (d) 発熱量

前述の入力データ(a)～(d)を用いて、以下に示す評価式より評価対象施設における有毒ガス・ばい煙濃度を求めた。[1]

(有風時プルーム式)

$$C_{xyz} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right)$$

(有風時浮力プルーム上昇量評価式 CONCAWE 式)

$$H_e = 0.175Q_H^{1/2} u^{-3/4}$$

- C_{xyz} : 濃度[体積分率または kg/m³]
- Q : 有毒ガス発生量[m³/s または kg/s]
- H_e : 有効発生高さ[m]
- σ_y, σ_z : 拡散パラメータ
- Q_H : 廃棄熱量[cal/s]
- u : 風速[m/s]
- y : 排気プルーム軸からの距離[m]
- z : 発生源と給気口との鉛直方向距離[m]

複雑地形の影響については、CRSTER モデルにより考慮した。図 1-1 に概念図を示す。[2]

- ・ 発生源の標高 \geq 評価点の標高
→ 発生源の標高を評価点の標高とする
- ・ 発生源の標高 $<$ 評価点の標高
→ 評価点の標高をそのまま用いる

浮遊粒子状物質の評価については、ストークスの式より粒子の沈降速度を考慮した。図 1-2 に概念図を示す。

$$V_G = \frac{2(D/2)^2 \cdot \rho_s \cdot g}{9 \cdot \varepsilon \cdot \rho_a}$$

V_G : 粒子の沈降速度[m/s]

D : 粒形[m]

ρ_s : 粒子の密度[g/m³]

g : 重力加速度[m/s²]

ε : 空気の動粘性係数[m²/s]

ρ_a : 空気の密度[g/m³]

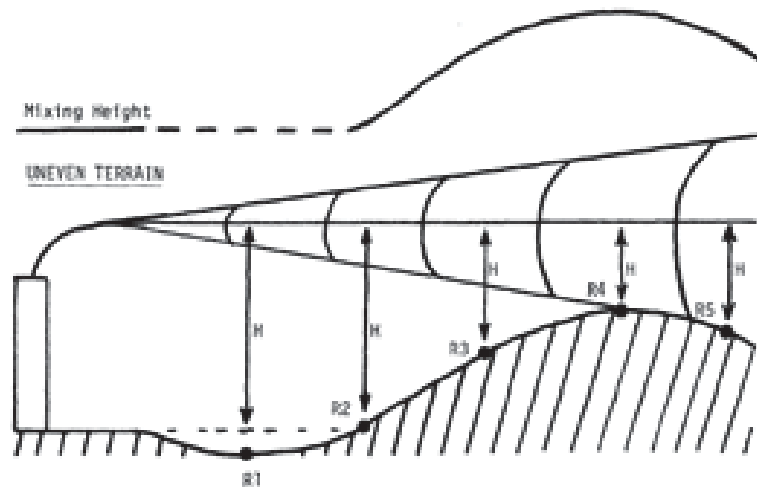


図 1-1 CRSTER コードで採用されている複雑地形効果の概念図

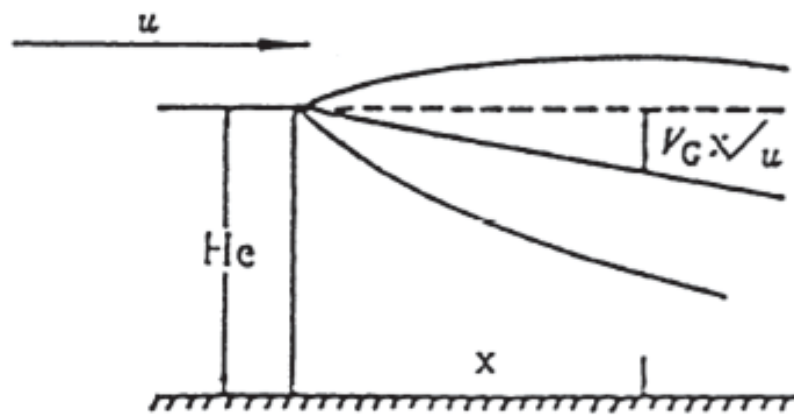


図 1-2 有毒ガス・ばい煙の重力沈降の概念図

2. 評価に必要な入力データ

評価の実施にあたって、以下に示す入力データを設定した。

- ・評価対象の位置及び高さ
- ・有毒ガス・ばい煙の発生量
- ・火災源からの発熱量
- ・気象等の環境条件

以下に、その詳細を示す。

2.1 評価対象の位置

有毒ガス・ばい煙は、浮力プルームを形成して上空に到達後に拡散することから、各評価対象施設における評価点位置は建家の天井中心位置とした。評価点高さは T.P.基準で設定した。表 2-1 に評価点の高さを示す。

2.2 有毒ガス・ばい煙の発生量

FARSITE の計算結果により出力される有毒ガス・ばい煙発生量を採用した。評価対象とした成分は以下のとおりである。

- ・有毒ガス： CO 及び CO₂
- ・ばい煙： PM10

2.3 火災源からの発熱量

浮力プルームの上昇量算出のために用いる。2.3 と同様に FARSITE の計算結果出力を採用した。

2.4 気象等の環境条件

風向及び風速については、FARSITE の入力値と同じ値を採用した。

また、評価においては大気拡散パラメータ(表 2-2)を指定する必要がある。大気拡散パラメータについては、プルーム軸が上空数十 m～数百 m に位置するため、地表付近の有毒ガス・ばい煙濃度に対しては、拡散が強いほど濃度が高くなり保守的な評価となるため、最も拡散が強くなる大気安定度 A における拡散パラメータを採用した。

2.6 実施ケース

森林火災評価実施ケースにおいて、発火点 1～4 での有毒ガス・ばい煙濃度評価を実施した。

表 2-1 有毒ガス・ばい煙評価における評価点の高さ

評価対象	評価点	評価点 地上高(m)	標高(T.P.+m)	
			地上(敷地面)	評価点高さ
HAW	入気チャンパー	21.00	6.00	27.00
TVF	給気筒 (入気口)	25.45	7.65	33.10

表 2-2 大気拡散パラメータ(Briggs の内挿式)

Pasquill type	σ_y, m	σ_z, m
Open-Country Conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban Conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.001x)^{1/2}$
C	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.00015x)^{-1/2}$

3. 実施結果

図 3-1 から図 3-12 に、有毒ガス・ばい煙濃度の最大発生時刻における濃度分布を示す。

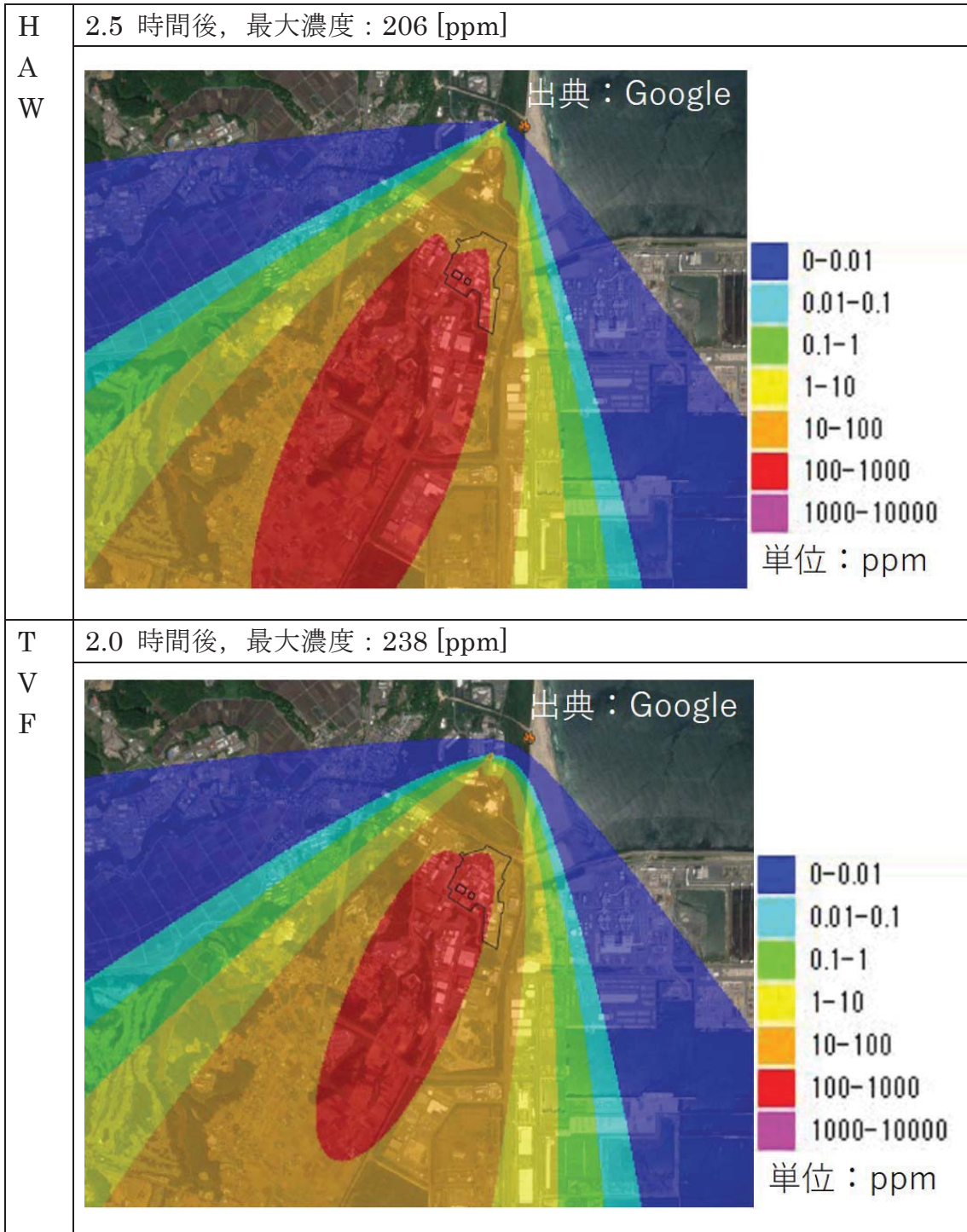


図 3-1 CO₂濃度分布 (発火点 1)

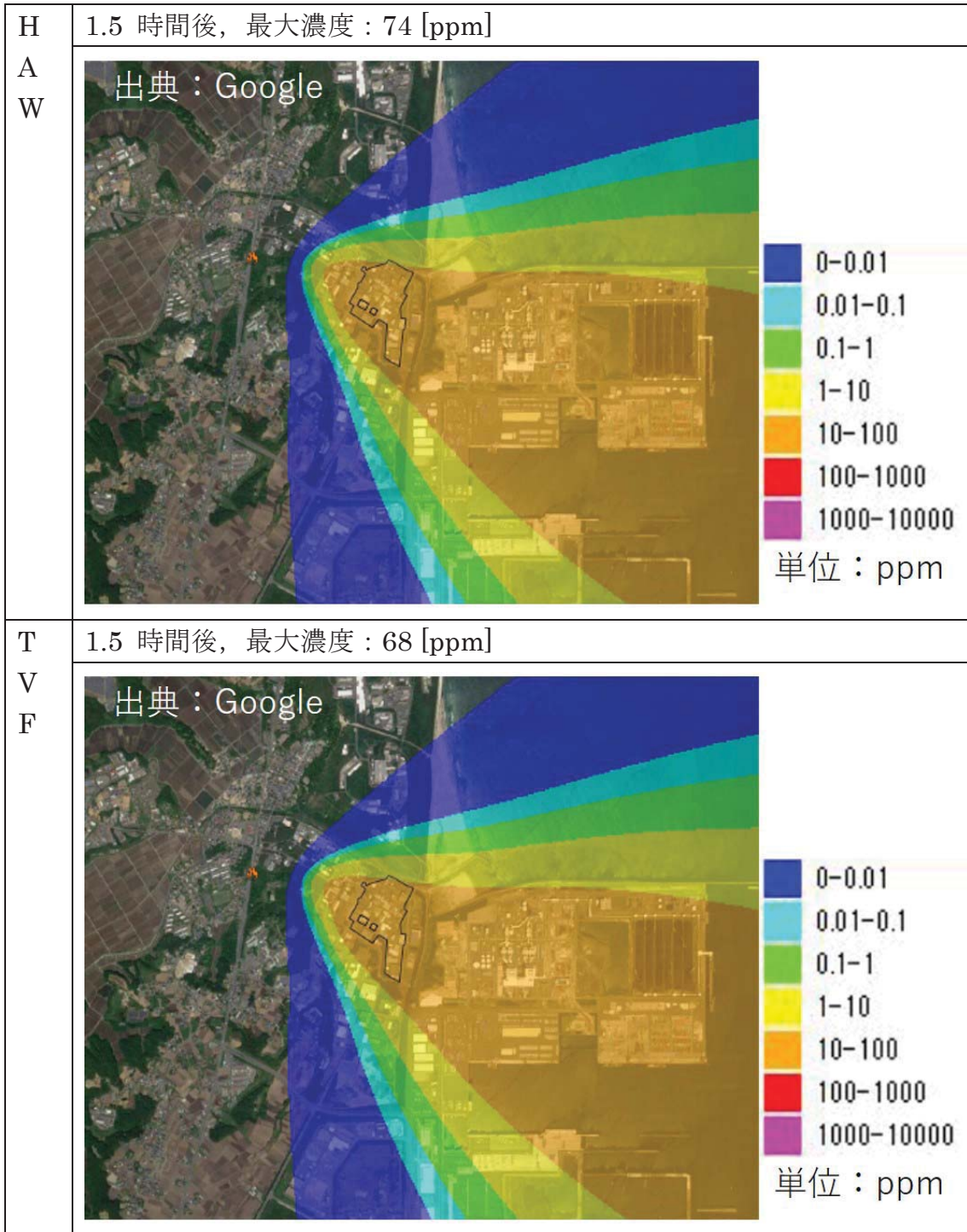


図 3-2 CO₂濃度分布 (発火点 2)

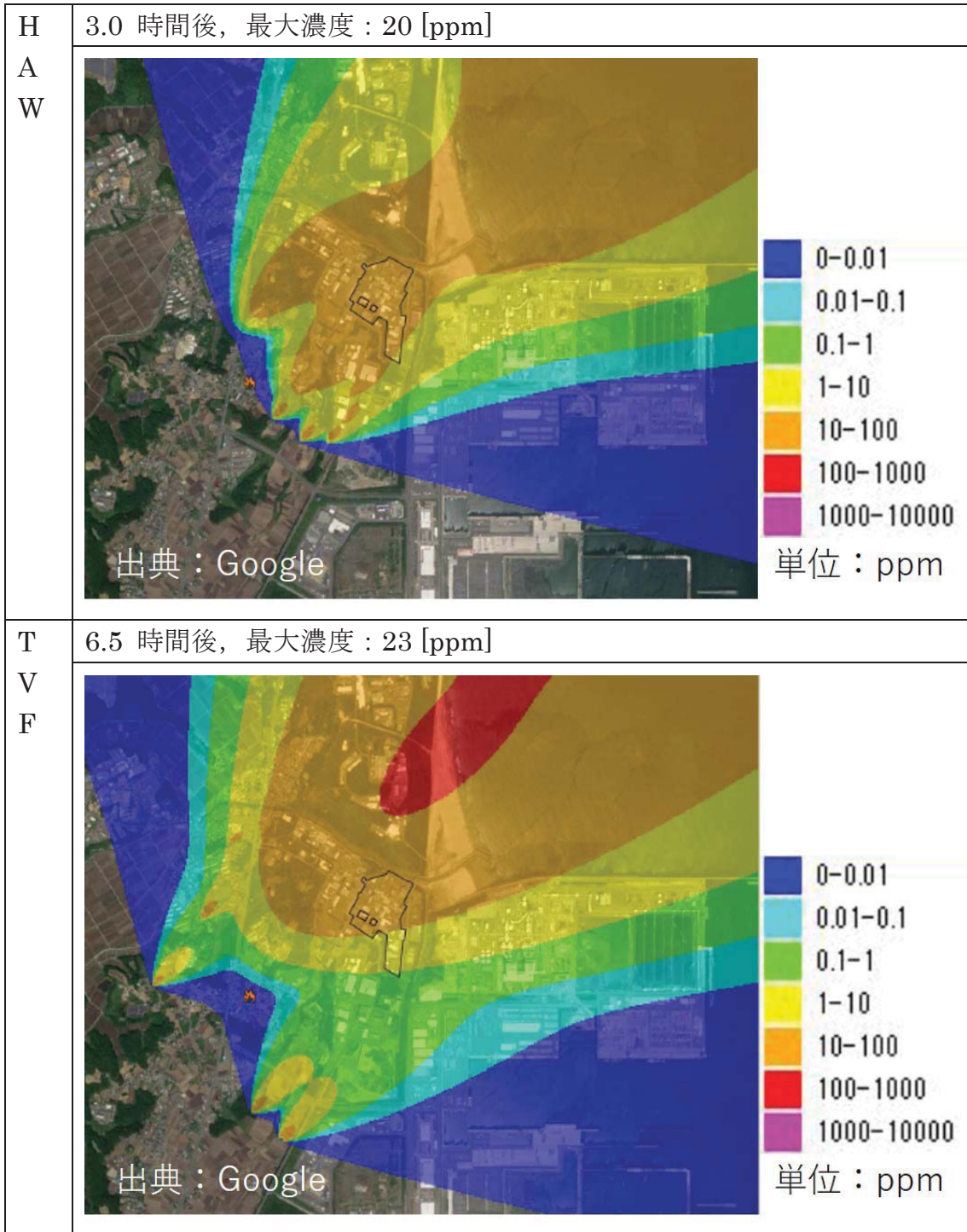


図 3-3 CO₂濃度分布 (発火点 3)

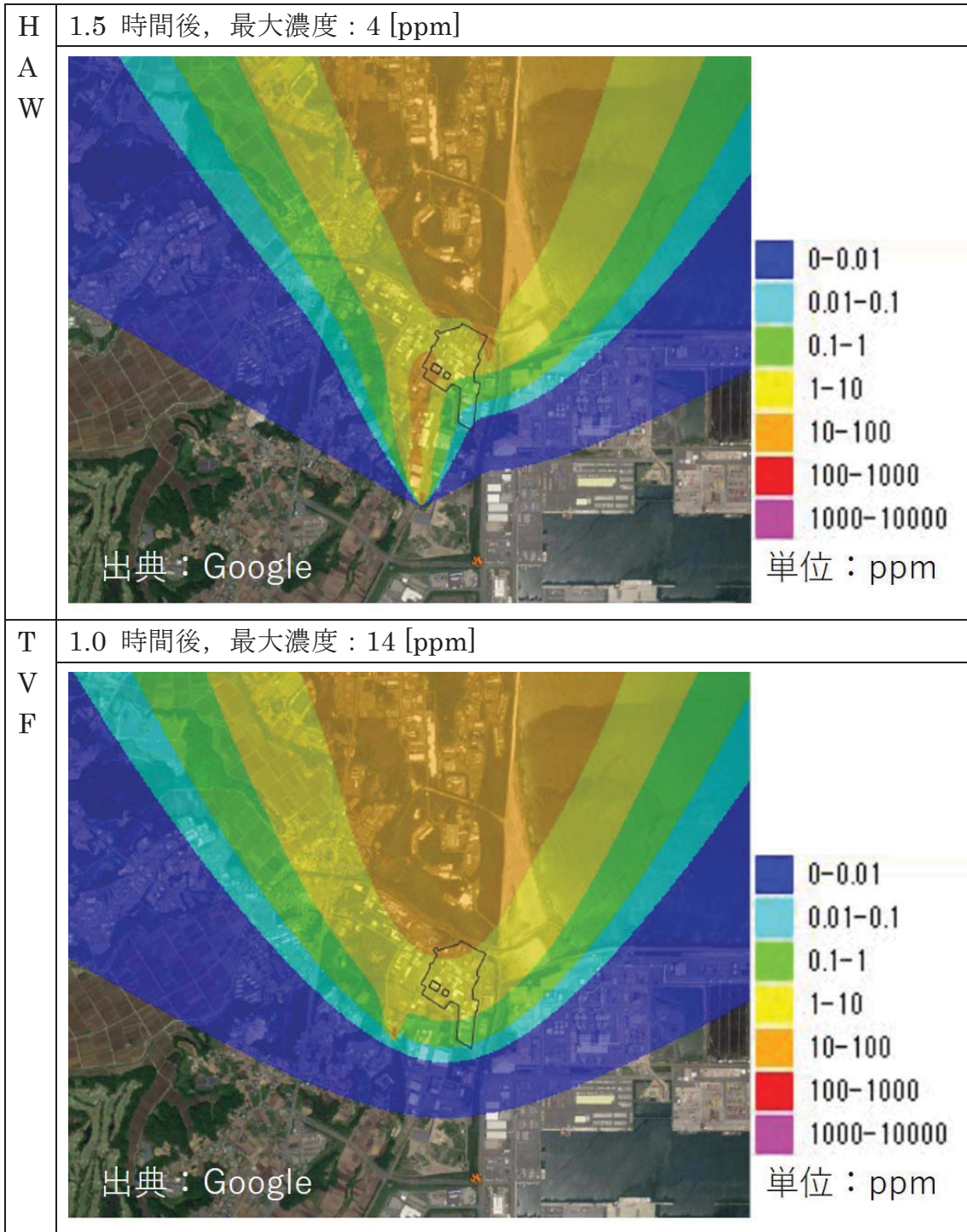


図 3-4 CO₂濃度分布 (発火点 4)

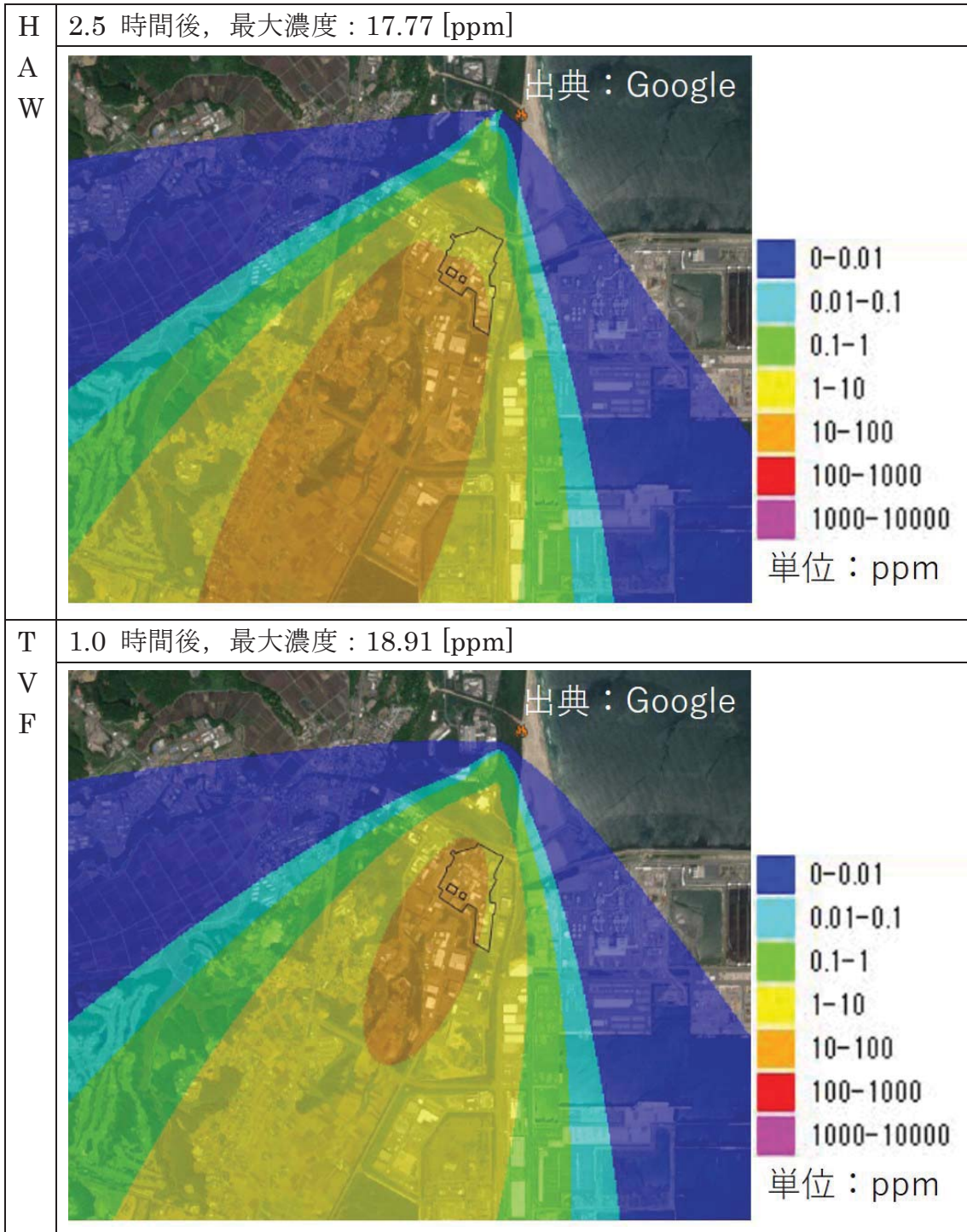


図 3-5 CO 濃度分布 (発火点 1)

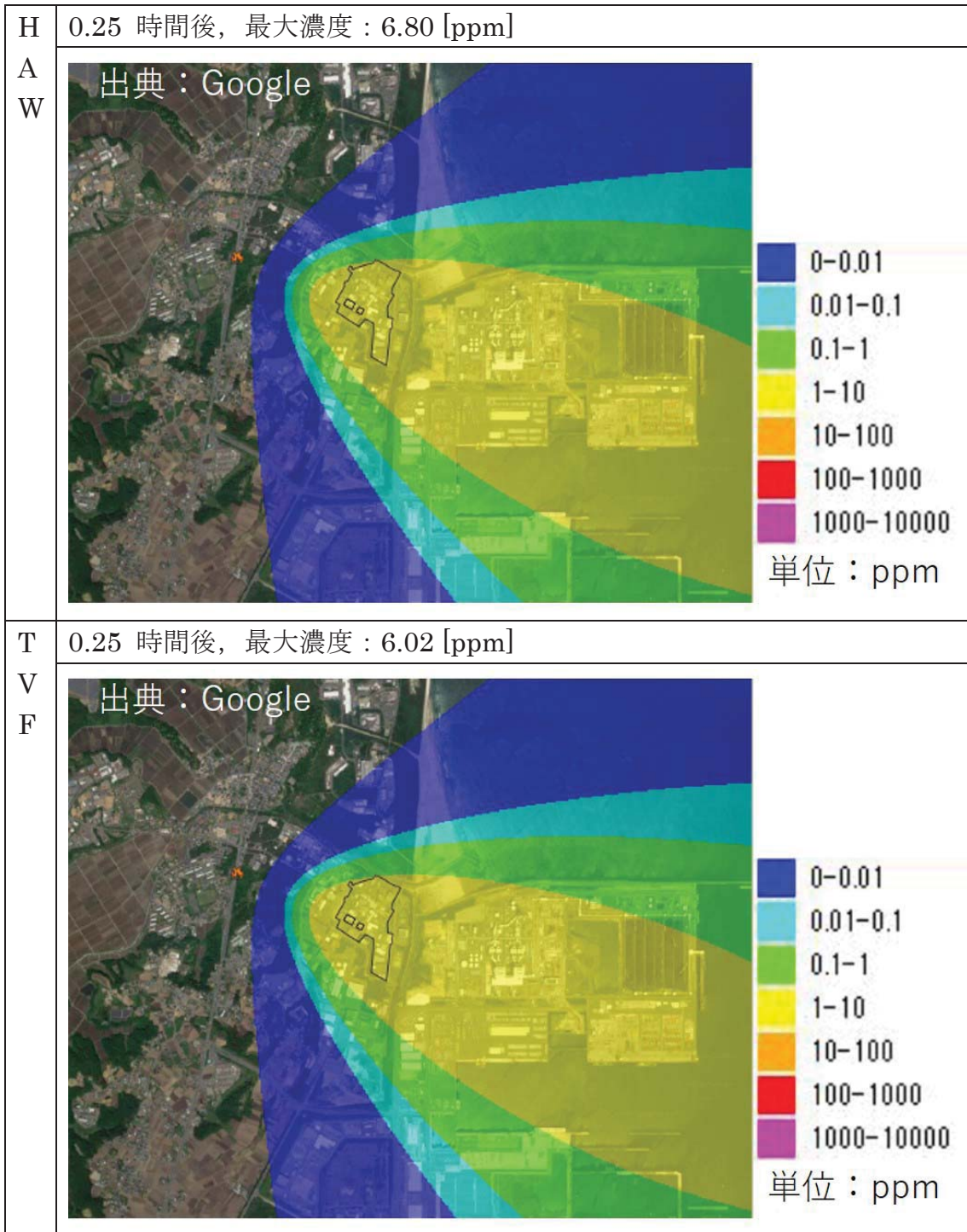


図 3-6 CO 濃度分布 (発火点 2)

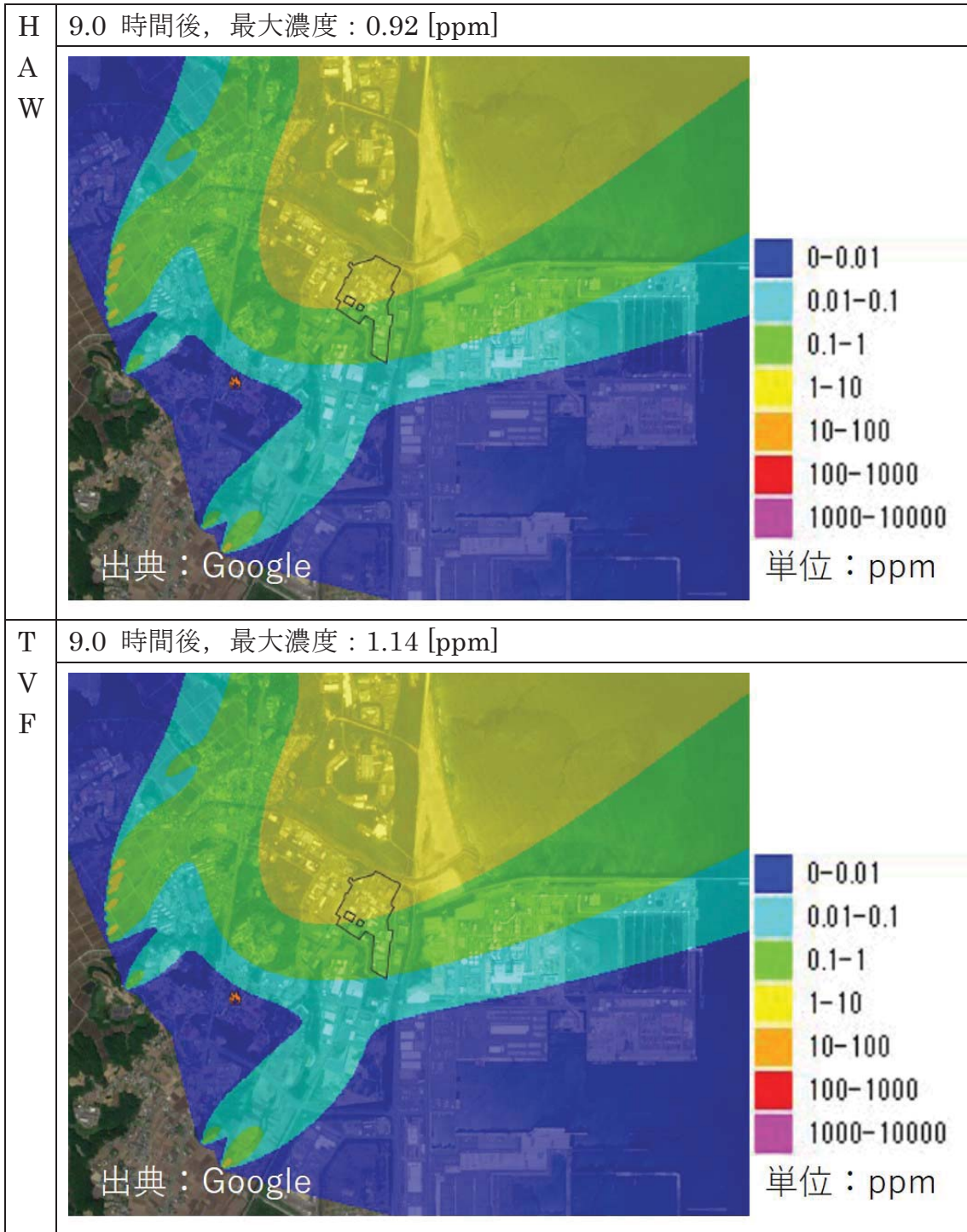


図 3-7 CO 濃度分布 (発火点 3)

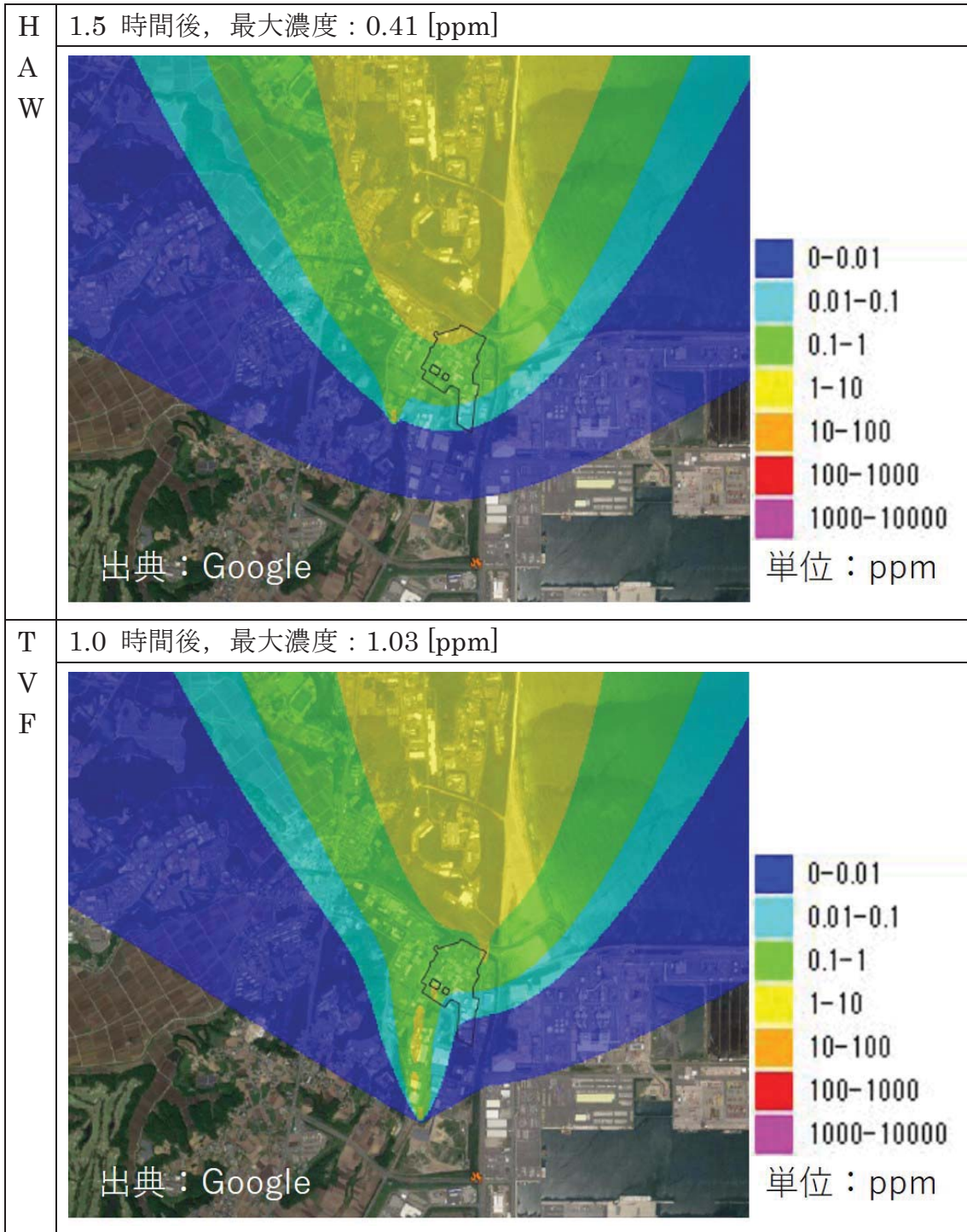


図 3-8 CO 濃度分布 (発火点 4)

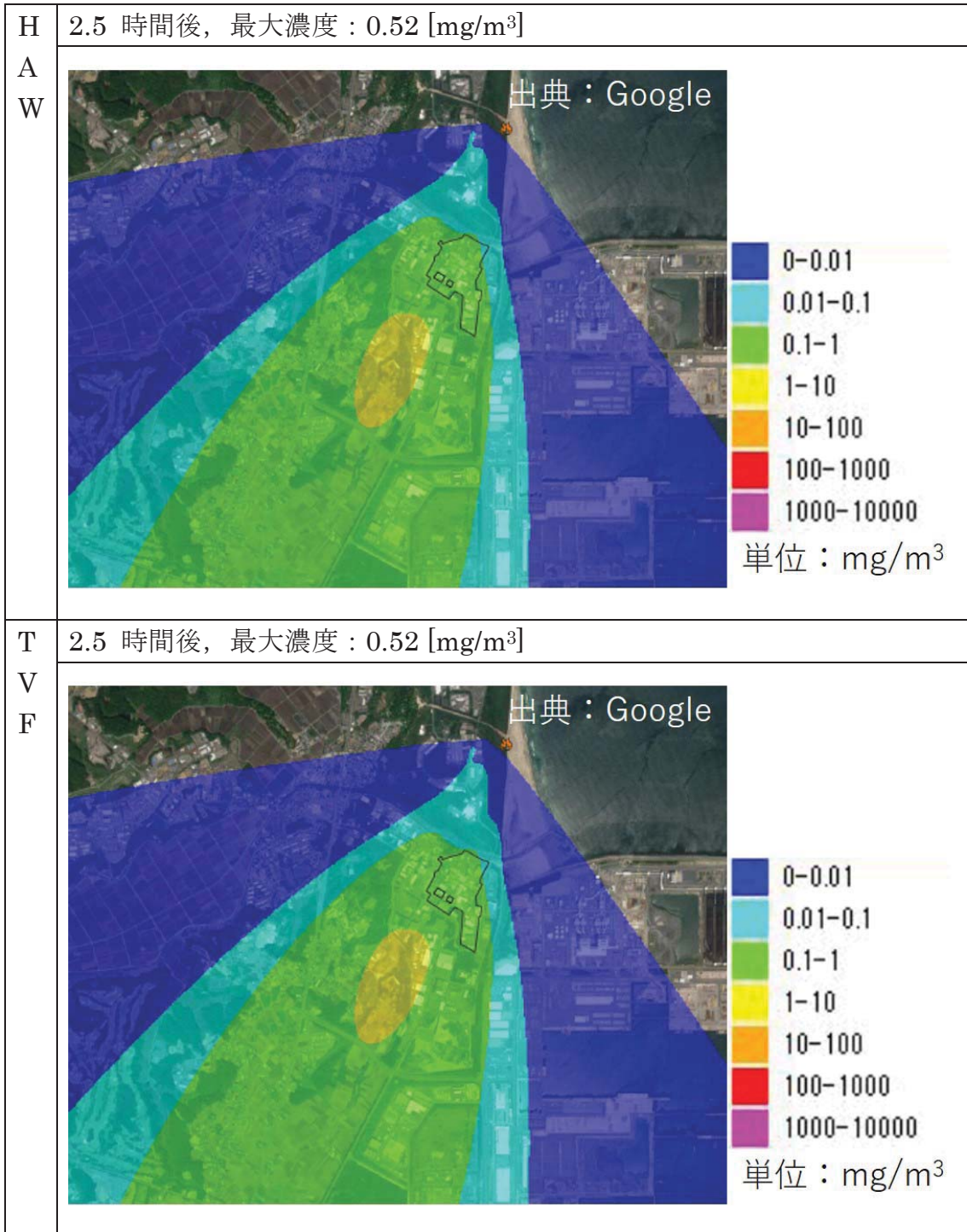


図 3-9 PM10 濃度分布 (発火点 1)

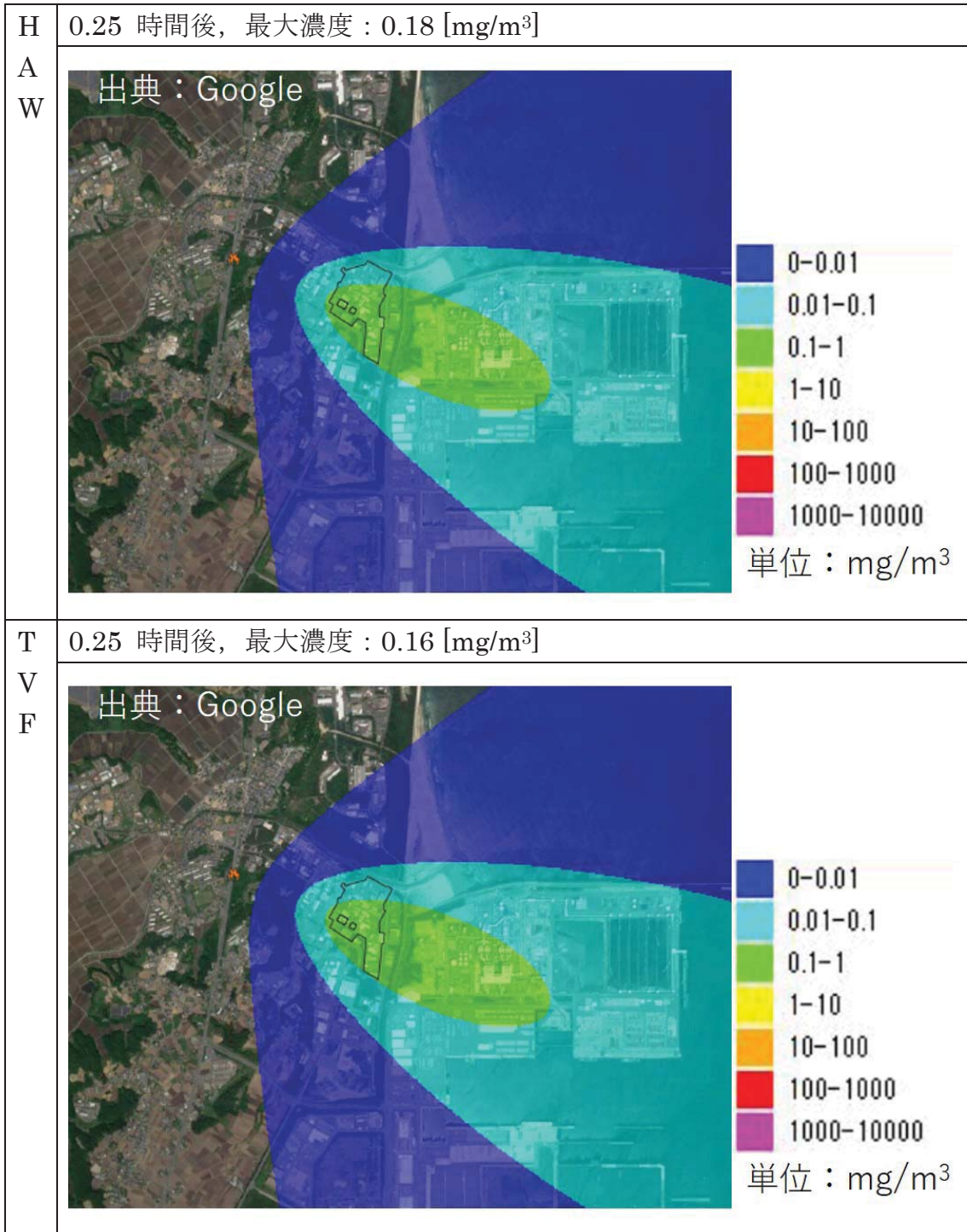


図 3-10 PM10 濃度分布 (発火点 2)

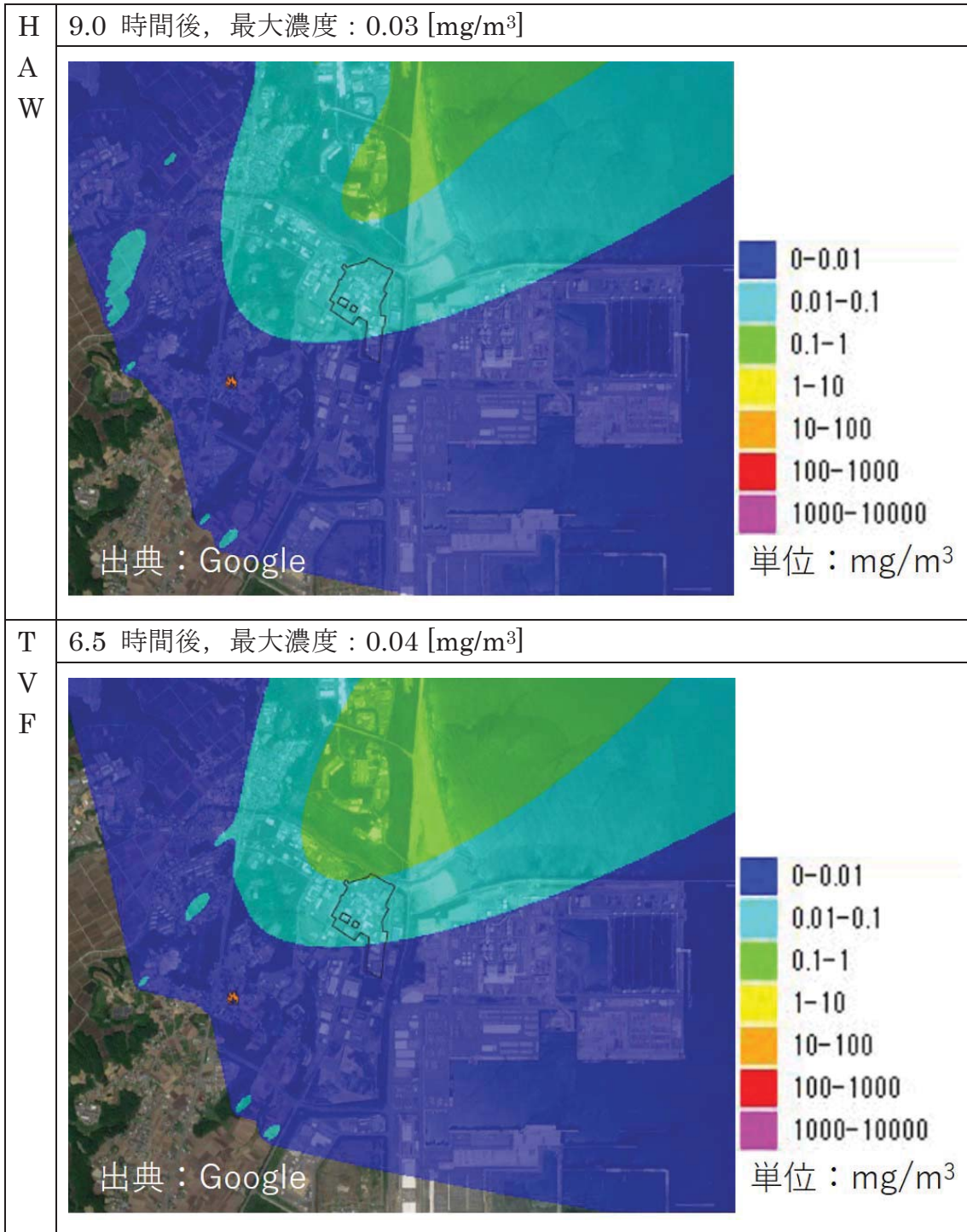


图 3-11 PM10 濃度分布 (発火点 3)

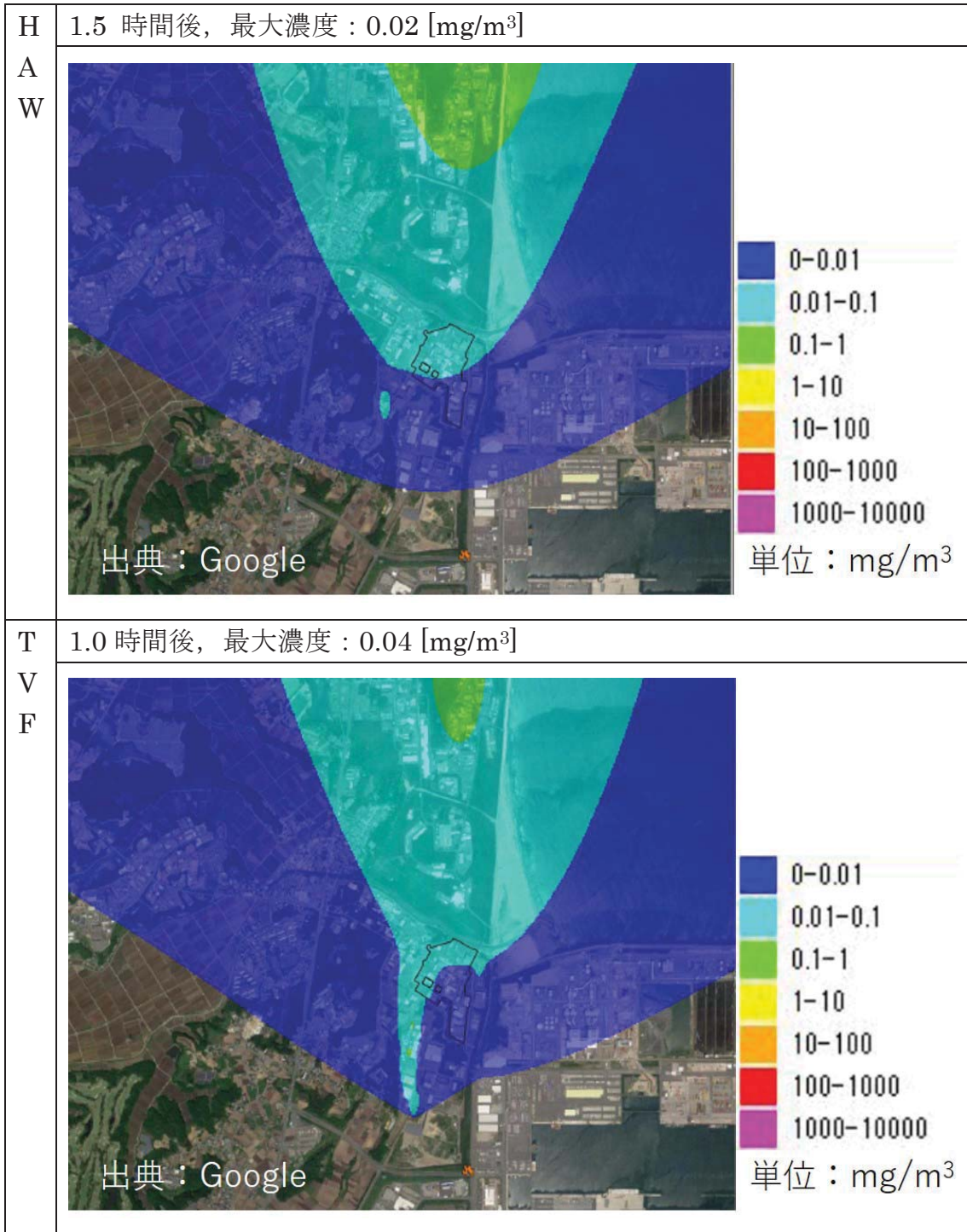


図 3-12 PM10 濃度分布 (発火点 4)

4. 参考文献

- [1] 公害研究対策センター, 「窒素酸化物総量規制マニュアル[新版]」.
- [2] EPA-450/2-77/013, “User’s Manual for Single-Source (CRSTER) Model.

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術
開発棟の近隣の産業施設の火災・爆発影響評価に関する説明書

1.基本方針

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所（再処理施設）（以下、「再処理施設」という）の廃止措置計画において、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の外部火災（石油コンビナート等火災・爆発）に対する安全対策の検討は、「添付資料6-1-4-2-1 再処理施設の廃止措置を進めていく上での外部火災対策の基本的考え方」に基づいて行う。また、影響評価については「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（原子力規制委員会，平成25年6月19日）^[1]（以下「ガイド」という。）を参考に実施する。

2. 石油コンビナート等について

茨城県内において石油コンビナート等災害防止法により石油コンビナート等特別防災区域に指定されているのは以下の区域である（茨城県地域防災計画資料編^[2]より抜粋）。また、石油コンビナート等特別防災区域を図2-1に示す。

- (1) 茨城県鹿嶋市大字国末字北浜山，字南浜山及び字海岸砂地，大字泉川字北浜山，字南浜山，字浜屋敷及び字沢東，大字新浜，大字光字光2番地から4番地並びにこれらの区域に介在する道路の区域。
- (2) 茨城県神栖市北浜1番地から4番地まで，3番地及び4番地に隣接する国有無番地，6番地から16番地まで，19番地の1（工業専用地域（都市計画法（昭和43年法律第100号）第1条第12項に規定する地域をいう。以下同じ。）に限る。），19番地2,20番地から24番地まで，27番地，3671番地6，3671番地37から3671番地41まで，3671番地44から3671番地46まで，6223番地54，6223番地55（工業専用地域に限る。），6223番地60，6223番地61並びに6318番地，奥野谷字浜野6223番地65，6225番地40，6225番地806，6225番地821，6225番地832及び6225番地833並びに宇東和田5588番地2，5590番地9，5591番地1，5598番地1，5599番地7及び5600番地5，東和田(39番地1及び39番地2を除く。)並びに東深芝1番地から20番地まで，21番地2から21番地4まで，22番地2，2番地3，22番地17から22番地21まで，34番地9,34番地10及び34番地13から34番地21まで並びに宇高山2988番地の区域並びに当該区域に介在する道路の区域。

これらの石油コンビナート等特別防災区域に指定されている区域は，再処理施設から10 km以上（53 km）離れていることから評価対象外とした。再処理施設と石油コンビナートとの位置関係を図2-2に示す。



図 2-1 石油コンビナート等特別防災区域（鹿島臨海地区）



図 2-2 再処理施設と石油コンビナートとの位置関係

3.石油類貯蔵施設における火災熱影響評価

以下のデータを基に石油類貯蔵施設における火災熱影響評価を実施した。

3.1 評価条件

3.1.1 評価対象施設

再処理施設から 10 km の範囲内には石油類貯蔵施設が約 500 ヶ所存在する。再処理施設から 10 km 以内に存在する石油類貯蔵施設を図 3.1-1 に示す。

この調査結果をもとに、以下の方針に従い、評価対象施設を絞り込み、評価対象となった石油類貯蔵施設を表 3.1-1 に示す。

- (1) 再処理施設に隣接し、貯蔵量が多いタンクを保有する東京電力（株）常陸那珂火力発電所内の貯蔵施設について温度評価を実施した。なお、同火力発電所の危険距離よりも遠くにあり、かつ上記の評価対象としたタンクよりも貯蔵量が少ないタンクについての評価は本評価に包絡できるため、評価対象から除外した。
- (2) 東京電力（株）常陸那珂火力発電所内のタンクよりも貯蔵量が多く、同火力発電の評価に包絡できないについては施設を個別に評価対象とした。

3.1.2 石油類貯蔵施設における火災の想定

石油類貯蔵施設の火災の想定は以下のとおりとした。

(1) 想定条件

- a.評価対象とする石油類貯蔵施設は、東京電力（株）常陸那珂火力発電所（軽油貯蔵タンク、2号軽油サービスタンク）、出光興産(株)日立油槽所と(株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナルを合算したものとした。
- b.タンクの燃料は満載した状態を想定した。
- c.離隔距離は評価上厳しくなるよう、a.で想定した危険物タンクの位置から再処理施設までの直線距離とした。
- d.火災はタンクの破損等による防油堤内の全面火災を想定した。
- e.気象条件は無風状態とした。
- f.火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるために、半径が1.5 m以上の場合で、火炎の高さ（輻射体）を半径の3倍にした円筒火炎モデルを採用した。

3.2 データの算出

熱影響評価を実施するため、以下のデータを算出した。

- ・石油類貯蔵施設及び燃料に係るデータ
- ・燃焼半径の算出
- ・燃焼継続時間の算出

- ・石油類貯蔵施設と影響評価対象施設までの離隔距離
- ・形態係数の算出
- ・輻射強度の評価

データの算出過程を別紙 6-1-4-3-3-1 に示す。石油類貯蔵施設と再処理施設までの離隔距離を表 3.2-1 に示す。石油類貯蔵施設と再処理施設の位置関係を図 3.2-1 及び図 3.2-2 に示す。

3.3 外壁に対する熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

東京電力(株)常陸那珂火力発電所（軽油貯蔵タンク，2号軽油サービスタンク）を発火源と想定した場合及び出光興産（株）日立油槽所及び(株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナルを合算したものを発火源と想定した場合のコンクリート外壁面及び第二付属排気筒の温度評価を実施した。

(2) 評価手法

a.許容温度

コンクリート製建家については，火災時における短期温度上昇を考慮した場合において，コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200°C *1を許容温度とした。第二付属排気筒については，鋼材（SMA41）の強度が維持される保守的な温度 350°C *2以下とした。

*1 「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人 日本建築センター）」に基づき，コンクリートにおける常温時の強度が維持される保守的な温度である 200°C を許容温度とする。

*2 「発電用原子力設備規格 材料規格（JSMR）」に基づき，鋼材における常温時の強度が維持される保守的な温度である 350°C を許容温度とする。

b.コンクリート外壁面熱影響評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして，コンクリート製建家表面の温度上昇を評価した。コンクリート外壁に対する熱影響評価結果を第3.3-1表に示す。評価の詳細を別紙 6-1-4-3-3-2に示す。

評価の結果，コンクリート表面の最高温度は 52.7°C であり，許容温度である 200°C 以下であることを確認した。延焼防止に必要な距離である危険距離についても離隔距離を下回っていることを確認した。

c.第二付属排気筒熱影響評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間，一定の輻射強度で第二付属排気筒が昇温されるものとして，第二付属排気筒の温度上昇を評価した。第二付属排気筒に対する熱影響評価結果を第3.3-2表に示す。評価の詳細を別紙

6-1-4-3-3-2に示す。

評価の結果、第二付属排気筒の最高温度は52.2℃であり、許容温度である350℃以下であることを確認した。延焼防止に必要な距離である危険距離についても離隔距離を下回っていることを確認した。

第 3.1-1 表 再処理施設周辺に位置する評価対象となった石油類貯蔵施設

事業所名	評価採用油種	数量 [m ³]
東京電力(株) 常陸那珂火力発電所 軽油貯蔵タンク	軽油	7,322.6
東京電力(株) 常陸那珂火力発電所 2号軽油サービスタンク	軽油	150
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ 日立オイルターミナル (※)	ガソリン	22,019

(※) 日立油槽所と日立オイルターミナルについては隣接して設置されているため、2施設の貯蔵数量を合算して評価を実施した。また、当該施設は複数の油種が混在して貯蔵されていることから、当該施設で貯蔵されている油種の中で最も保守的な物性値となるガソリンが一律貯蔵されているとみなして評価を実施した。

第 3.2-1 表 石油類貯蔵施設と影響評価対象施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	1,600
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	600
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	6,800

第 3.3-1 表 コンクリート外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 [°C]	危険距離 [m]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	52.7	195
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	50.5	29
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	50.3	257

第 3.3-2 表 第二付属排気筒に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 [°C]	危険距離 [m]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	52.2	97
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	50.4	15
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	50.2	127

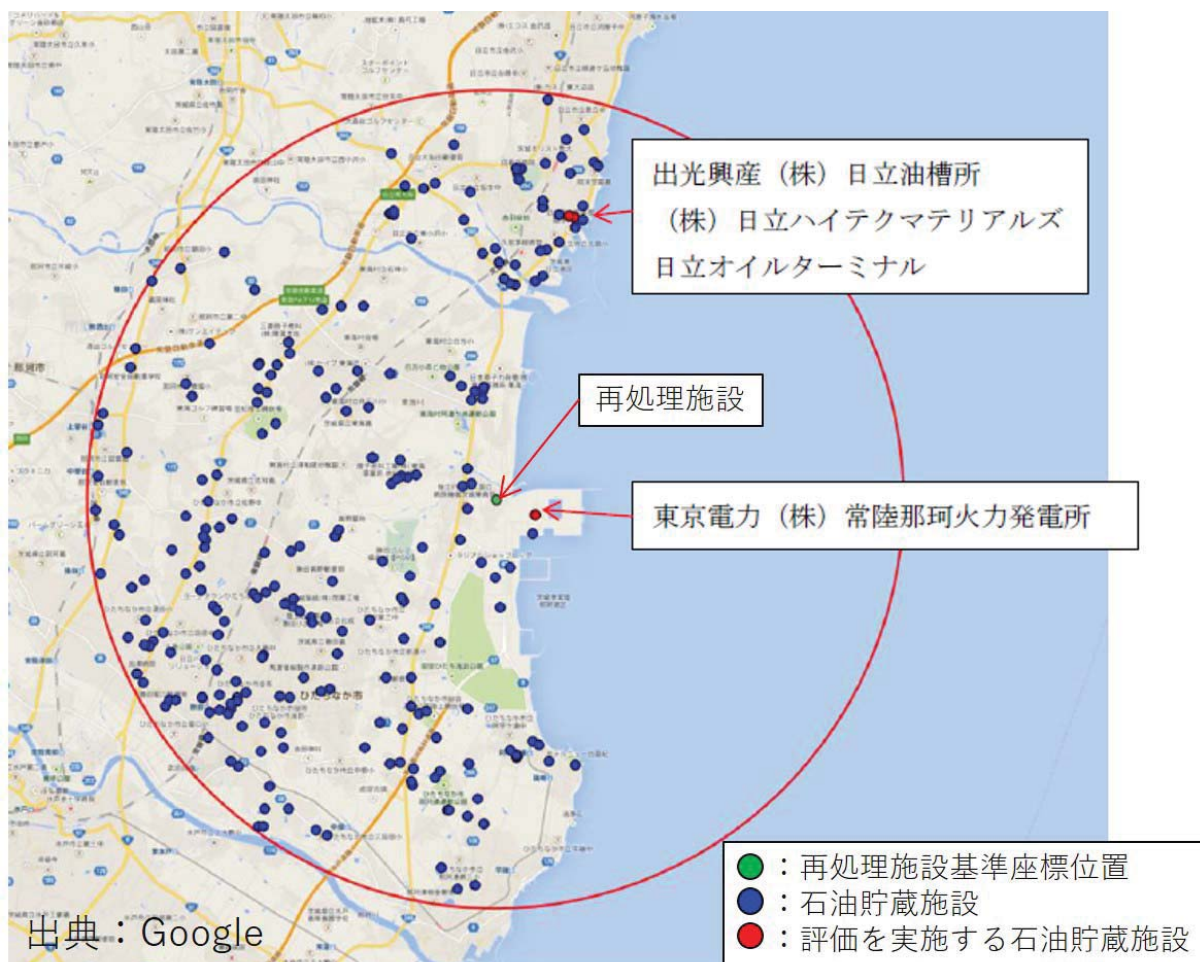


図 3.1-1 再処理施設から 10km 以内に存在する危険物貯蔵施設

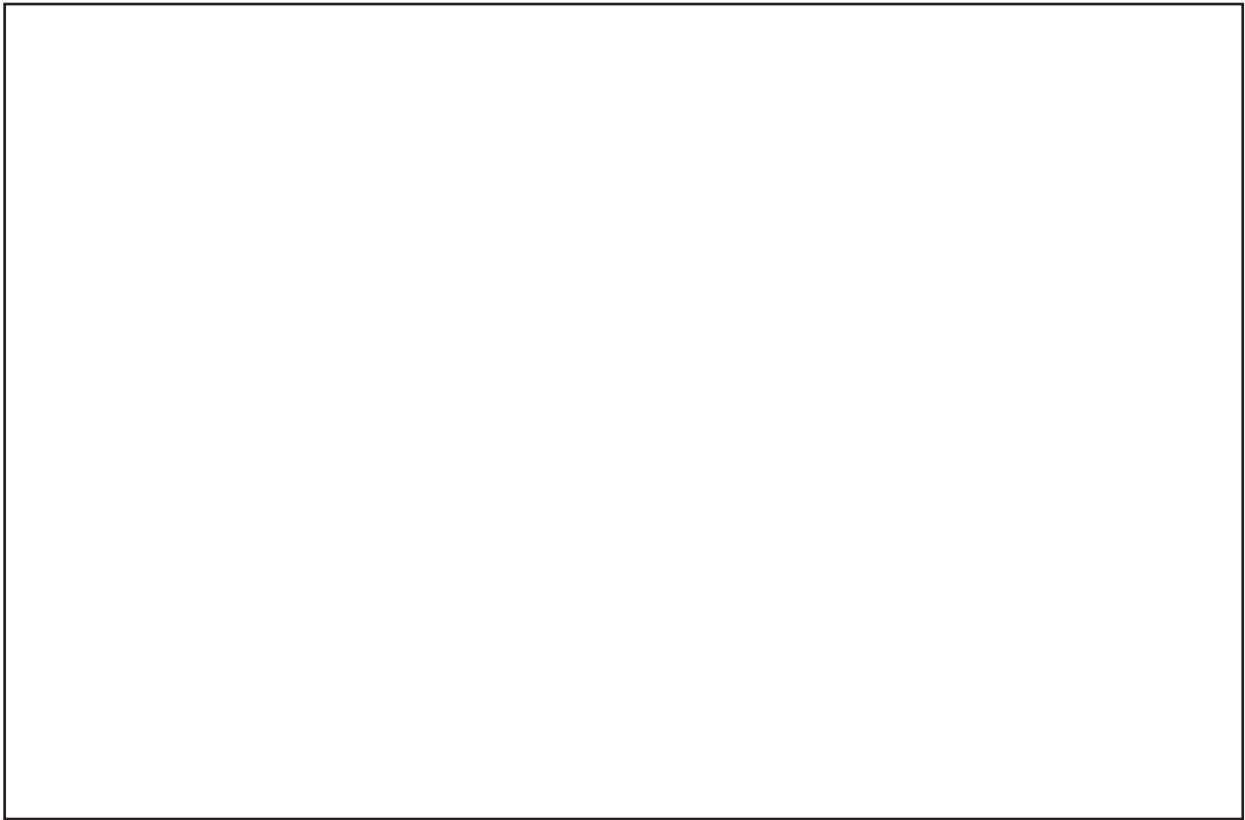


図3.2-1 石油類貯蔵施設と再処理施設の位置関係（1）

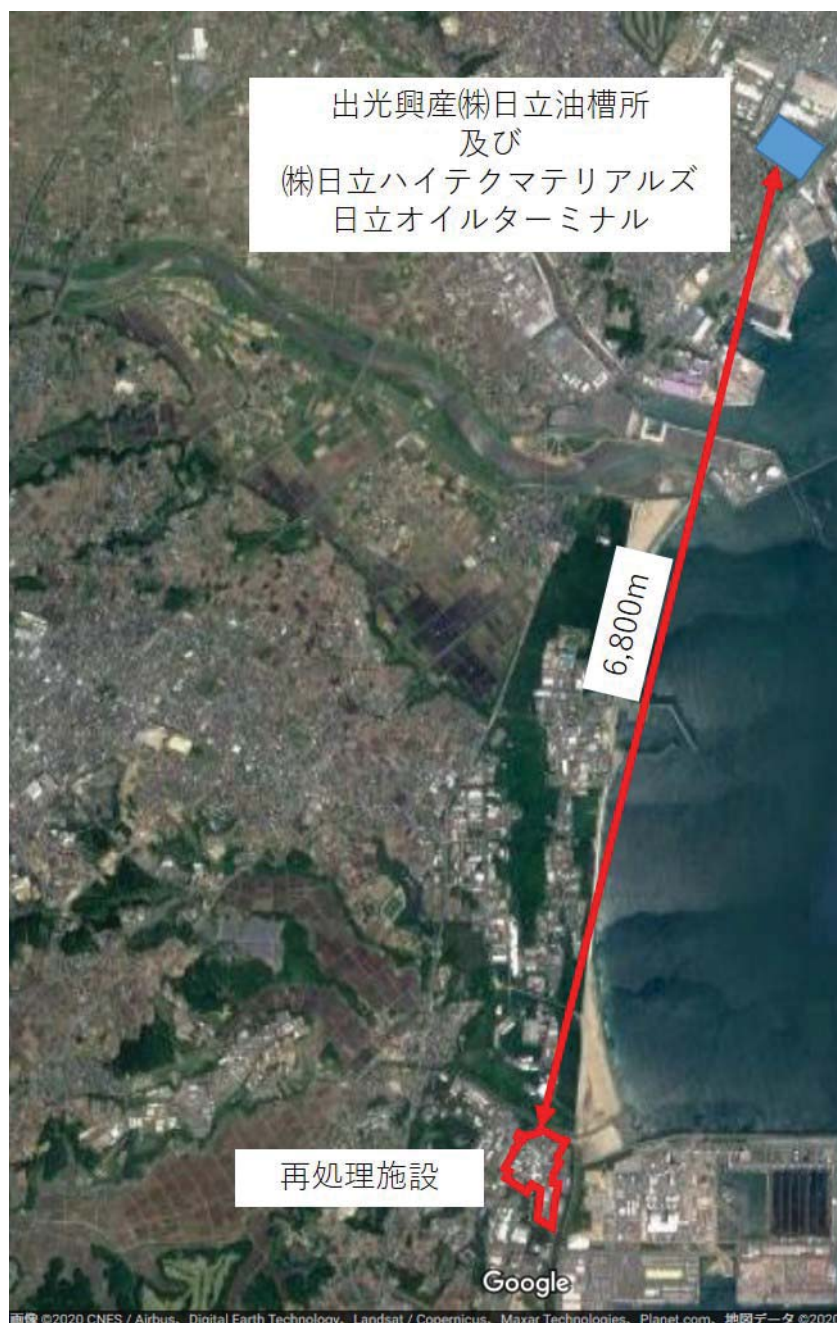


図3.2-2 石油類貯蔵施設と再処理施設の位置関係（2）

4. 有毒ガス影響評価

外部火災により発生する有毒ガスについては、火災による上昇気流により上空に運ばれる。また、敷地外10 km以内には、石油コンビナート等特別防災区域に指定される石油コンビナート施設はなく、最も近くにある評価対象となった石油類貯蔵施設まで600 mと十分に離れていることから、敷地外を発生源とした有毒ガスの影響を考慮する必要はない。評価の詳細を添付別紙6-1-4-3-3-3に示す。

5. ばい煙影響評価

5.1 目的

外部火災により発生するばい煙については、火災による上昇気流により上空に運ばれる。また、敷地外10 km以内には、石油コンビナート等特別防災区域に指定される石油コンビナート施設はなく、最も近くにある評価対象となった石油類貯蔵施設まで600 mと十分に離れていることから、敷地外を発生源としたばい煙の影響を考慮する必要はないが、ばい煙が防護対象設備の周辺に滞留する可能性を考慮し、ばい煙が設備に与える影響について、評価を実施する。

5.2 ばい煙評価方法

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の入気口位置における、外部火災によるばい煙の影響を評価した。

5.3 ばい煙影響評価結果

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の入気口にはフィルタが設置されていることから、施設の健全性に影響はないことが確認された。HAW換気系の系統概略図を図5.3-1に、TVF換気系の系統概略図を図5.3-2に示す。評価の詳細を別紙6-1-4-3-3-3に示す。

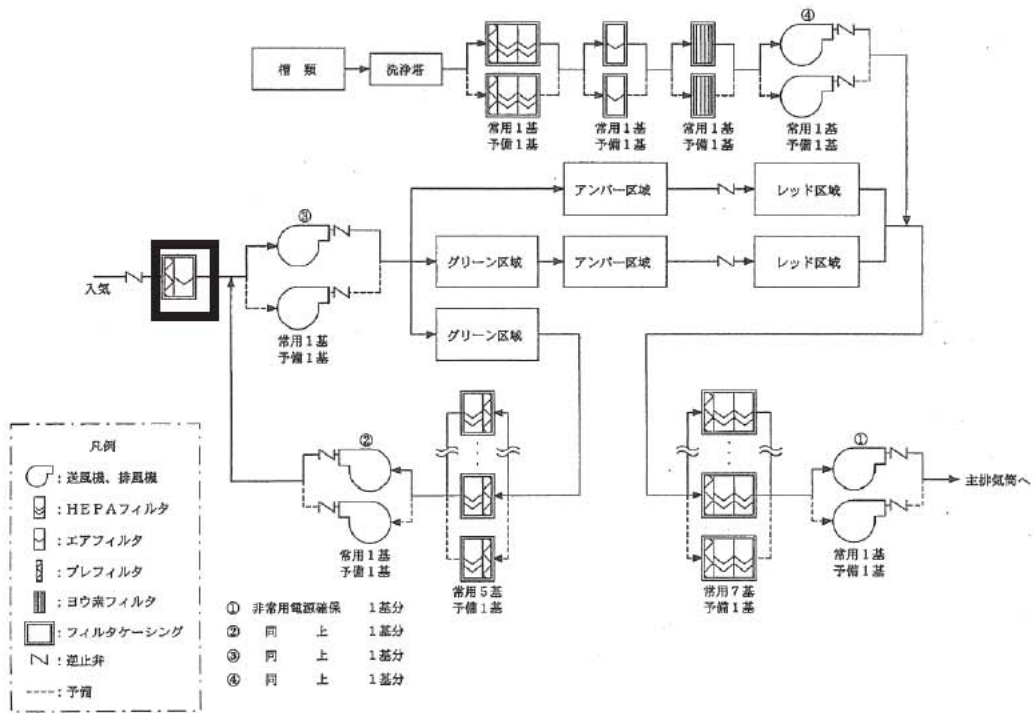


図 5.3-1 HAW 換気系の系統概略図

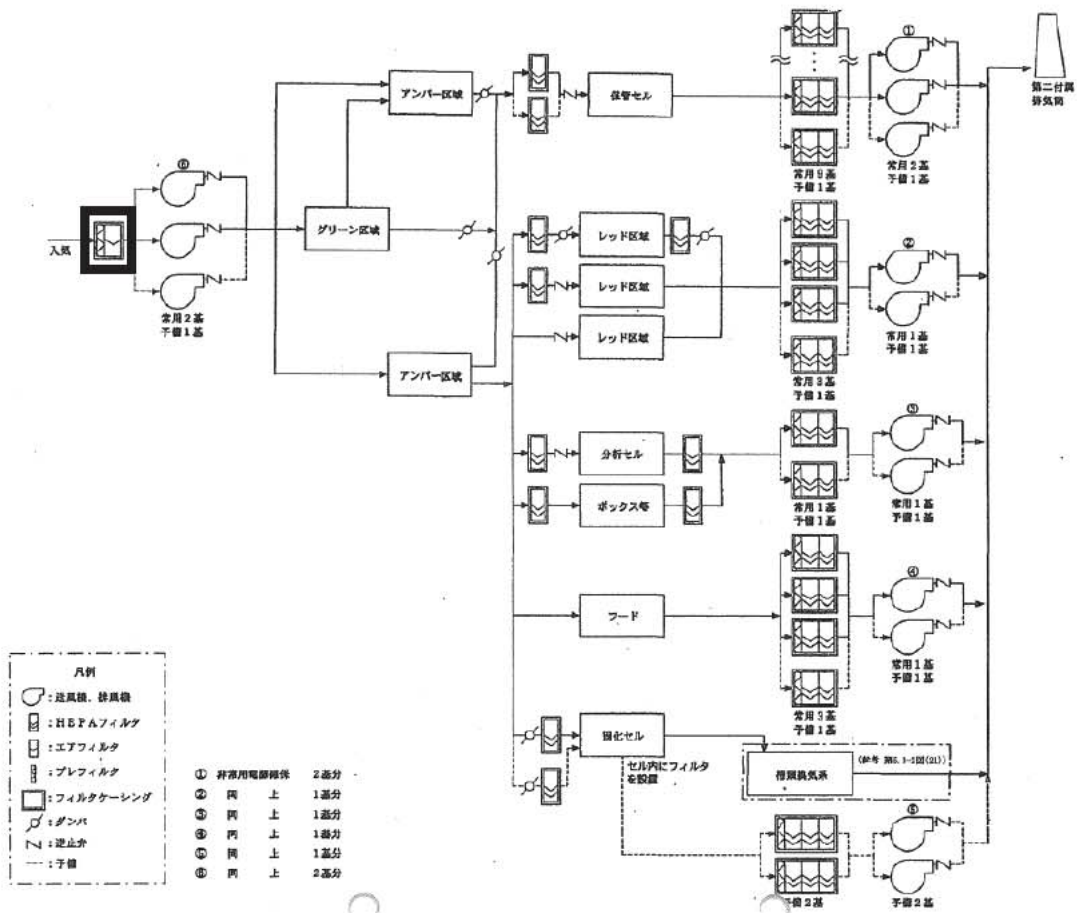


図 5.3-2 TVF 換気系の系統概略図

6. 高圧ガス貯蔵施設のガス爆発影響評価

以下のデータを基に高圧ガス貯蔵施設におけるガス爆発影響評価を実施した。

6.1 評価条件

6.1.1 評価対象施設

再処理施設から 10 km の範囲内には高圧ガス貯蔵施設が複数存在する。その中で最大となる東京ガス（株）の日立 LNG 基地内にある 1 号 LNG、LPG タンク及び現在建設中の 2 号 LNG タンクを評価対象とした。再処理施設と日立 LNG 基地の位置関係を図 6.1-1 に示す。

6.1.2 高圧ガス貯蔵施設におけるガス爆発の想定

高圧ガス貯蔵施設におけるガス爆発の想定条件は以下のとおりとした。

- a. 評価対象とする高圧ガス貯蔵施設は、東京ガス（株）の日立 LNG 基地内にある 1 号 LNG、LPG タンク及び現在建設中の 2 号 LNG タンクとした。評価対象となった日立 LNG 基地の想定条件を表 6.1-2 に示す。
- b. タンクの高圧ガスは満載した状態を想定した。
- c. 気象条件は無風状態とした。
- d. 高圧ガス漏洩，引火によるガス爆発とした。

6.2 データの算出

ガス爆発影響評価を実施するため、以下のデータを算出した。

- ・ 設備定数
- ・ 危険限界距離

データの算出過程を別紙 6-1-4-3-3-4 に示す。

6.3 爆風圧の影響評価

(1) 影響評価対象範囲

東京ガス（株）の日立 LNG 基地内にある 1 号 LNG、LPG タンク及び現在建設中の 2 号 LNG タンクを合算したものを爆発源と想定した場合のガス爆発による爆風圧の影響評価を実施した。

(2) 評価手法

a. 危険限界距離

ガス爆発の爆風圧が 0.01 MPa 以下になる距離である危険限界距離を算出した。

b. 爆風圧の影響評価結果

東京ガス（株）の日立 LNG 基地内にある全てのガスを合算し、爆風圧影響

を評価した。爆風圧の影響評価結果を表6.3-1に示す。

評価の結果、危険限界距離は407 mであり、離隔距離である4 km以下であることを確認した。

表6.1-2 日立LNG基地の想定条件

想定爆発源	ガス種類	タンク容量 [m ³]
1号LNGタンク	液化天然ガス (メタン)	230,000
LPGタンク	液化石油ガス (プロパン)	50,000
2号LNGタンク	液化天然ガス (メタン)	230,000

表 6.3-1 爆風圧の影響評価結果

想定火災源	危険限界距離 [m]	離隔距離 [m]
東京ガス (株) 日立LNG基地	407	4,000



図6.1-1 再処理施設と日立LNG基地の位置関係

7.結論

再処理施設から10 kmの範囲内の石油貯蔵施設において火災が発生した場合、再処理施設のコンクリート製建家表面及び第二付属排気筒評価の温度上昇を評価した結果、コンクリート表面の最高温度52.7℃であり、許容温度を下回ることから高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の健全性に影響を与えないことを確認した。また、第二付属排気筒表面の最高温度52.2℃であり、許容温度を下回ることから第二付属排気筒の健全性に影響を与えないことを確認した。

核燃料サイクル工学研究所周囲には石油コンビナート等特別防災区域に指定される石油コンビナート施設はなく、最も近くにある評価対象となった石油類貯蔵施設まで600 mと十分に離れていることから、敷地外を発生源とした有毒ガスの影響を考慮する必要はない。また、ばい煙の影響評価については、評価対象建家の入気口にはフィルタが設置されていることから、施設の健全性に影響はないことを確認した。

再処理施設から 10 km の範囲内の高圧ガス貯蔵施設においてガス爆発が発生した場合、危険限界距離は隔離距離を下回っており、再処理施設の健全性に影響を与えないことを確認した。

以上の結果から、再処理施設の敷地外において火災及び爆発が発生した場合、高放射性廃液貯蔵場（HAW）、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒への影響はなく、これらの施設に内包される安全機能を有する構築物・系統及び機器に影響を及ぼさないものと評価した。

8. 参考文献

- [1] 原子力規制委員会，原子力発電所の外部火災影響評価ガイドの制定について，平成25年6月.
- [2] 茨城県防災会議 茨城県地域防災計画 資料編

石油類貯蔵施設からの熱影響評価：データの算出について

1. 石油類貯蔵施設及び燃料に係るデータ

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について^[1]」（以下「ガイド」という。）に従い、石油類貯蔵施設からの熱影響評価を行った。石油類貯蔵施設及び燃料に係るデータを表1-1に示す。

表 1-1 石油類貯蔵施設及び燃料に係るデータ

想定火災源	燃料の種類	燃料量 [m ³]	輻射発散度 ^{※1} [W/m ²]	質量低下 速度 ^{※2} [kg/m ² /s]	燃料密 度 [kg/m ³]	防油堤 面積 [m ²]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	軽油	7,322.6	42,000	0.044	860 ^{※3}	7,200
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	軽油	150	42,000	0.044	860 ^{※3}	160
出光興産(株)日立油槽所及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	ガソリン	22,019	58,000	0.055	783 ^{※4}	7,100

※1：ガイド記載値

※2：NUREG-1805記載値

※3：JIS K2204-2007記載値

※4：JIS K2202-2012記載値

2. 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、ガイドに従い、燃焼半径Rは防油堤面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出した。

$$R = \sqrt{S/\pi} \quad [\text{m}]$$

R：燃焼半径 [m]， S：防油堤面積（＝燃焼面積） [m²]

計算結果は小数点第4位以下を切り上げとした。

石油類貯蔵施設の燃焼半径を表2-1に示す。

表 2-1 石油類貯蔵施設の燃焼半径

想定火災源	防油堤面積 [㎡]	燃焼半径 [m]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	7,200	47.874
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	160	7.137
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	6,800	47.540

3. 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度（＝質量低下速度／燃料密度）で除して算出した。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t ：燃焼継続時間 [s]， V ：燃料量 [m³]
 R ：燃焼半径 [m]， v ：燃焼速度 [m/s]

計算結果は小数点以下を切り上げとした。

石油類貯蔵施設の燃焼継続時間を表3-1に示す。

表 3-1 石油類貯蔵施設の燃焼継続時間

想定火災源	燃料量 [m ³]	燃焼半径[m]	質量 低下速度 [kg/m ² /s]	燃料密度 [kg/m ³]	燃焼継続 時間 [s]
東京電力(株)常陸那珂火力発電 所軽油貯蔵タンク	7,322.6	47.874	0.044	860	19,903
東京電力(株)常陸那珂火力発電 所2号軽油サービスタンク	150	7.137	0.044	860	18,347
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ 日立オイルターミナル	22,019	47.540	0.055	783	44,178

4. 石油類貯蔵施設と再処理施設までの離隔距離

石油類貯蔵施設と再処理施設までの離隔距離を表4-1に示す。

表 4-1 石油類貯蔵施設と再処理施設までの離隔距離

想定火災源	離隔距離[m]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	1,600
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	600
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	6,800

5. 形態係数の算出

ガイドに従い、形態係数 ϕ は以下の式から算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1}\left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}}\right) + \frac{m}{t} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし、 $m = \frac{H}{R} \div 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1+n)^2 + m^2$, $B = (1-n)^2 + m^2$

ϕ : 形態係数, L : 離隔距離 [m], H : 炎の高さ [m], R : 燃焼半径 [m]
 m, n, A, B は小数点第5位以下を四捨五入した。

石油類貯蔵施設の形態係数を表5-1に示す。

表 5-1 石油類貯蔵施設の形態係数

想定火災源	離隔距離[m]	燃焼半径[m]	形態係数[-]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	1,600	47.874	1.75E-03
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	600	7.137	2.73E-04
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	6,800	47.540	9.39E-05

6. 輻射強度の算出

ガイドに従い、火災の火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度 E は、輻射発散度に形態係数を乗じて算出した。

$$E=Rf \cdot \varphi$$

E : 輻射強度 [W/m²], Rf : 火炎輻射強度 [W/m²], φ : 形態係数

計算結果は小数点第3位以下を切り上げとした。

石油類貯蔵施設の輻射強度を表6-1に示す。

表 6-1 石油類貯蔵施設からの輻射強度

想定火災源	燃料輻射発散度 [W/m ²]	形態係数 [-]	輻射強度 [W/m ²]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	42,000	1.75E-03	73.50
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号 軽油サービスタンク	42,000	2.73E-04	11.47
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	58,000	9.39E-05	5.45

7. 参考文献

[1]原子力規制委員会, 原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について, 平成 25 年 6 月.

石油類貯蔵施設からの熱影響評価：外壁に対する熱影響評価について

1. 影響評価対象範囲

東京電力(株)常陸那珂火力発電所（軽油貯蔵タンク、2号軽油サービスタンク）及び出光興産（株）日立油槽所及び(株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナルを合算したものを発火源と想定した場合のコンクリート外壁面及び第二付属排気筒の温度評価を実施した。

2. 評価手法

2.1 許容温度

2.1.1 コンクリート製建家

コンクリート製建家については、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度200℃を許容温度とした。（別紙参考6-1-4-3-3-2-1）

2.1.1 第二付属排気筒

第二付属排気筒については、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材（SMA41）の強度が維持される保守的な温度350℃*以下とした。

* 「発電用原子力設備規格 材料規格（JSMR）」に基づき、鋼材における常温時の強度が維持される保守的な温度である350℃を許容温度とする。

2.2 コンクリート外壁面熱影響評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式^[1]よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリート外壁表面の温度Tが許容温度200℃以下であるかを評価した。また、同式を用いて、外壁表面の温度が200℃となる輻射強度を算出した。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{h}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) - \exp\left(\frac{h}{\lambda}x + \frac{h^2}{\lambda^2}\kappa t\right) \left\{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + \frac{h}{\lambda\sqrt{\kappa t}}\right)\right\}\right] \quad (1)$$

T : コンクリート表面から x [m]の位置の温度[℃]

T_0 : 初期温度 (50 [℃]) *¹

h : 熱伝達率 (17 [W/m²/K]) ^[2]

κ : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda/(\rho C_p)$) [m²/s]

ρ : コンクリート密度 (2400 [kg/m³]) ^[3]

C_p : コンクリート比熱 (963 [J/kg/K]) ^[3]

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/m/K]) ^[3]

E : 輻射強度[W/m²]

- t : 燃焼継続時間[s]
 x : コンクリート壁表面深さ (0 [m])
 ※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

(1) 式で求めた輻射強度となる形態係数 Φ を、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について^[4]」(以下「ガイド」という。)に従い(2)式により算出した。

$$E = R_f \cdot \phi \quad (2)$$

- E : 輻射強度 [W/m²]
 R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]
 ϕ : 形態係数

(2) 式で求めた形態係数 ϕ となる危険距離 L をガイドに従い(3)式より算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \quad (3)$$

- ϕ : 形態係数
 H : 火炎長 [m]
 L : 離隔距離 [m]
 R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

なお、温度については小数点1桁で切り上げし、危険距離についてはメートル単位で、切り上げとした。

コンクリート製外壁に対する熱影響評価結果を表2.2-1に示す。

コンクリート製建家表面の温度上昇を評価した結果、コンクリート表面の最高温度は52.7℃であり許容温度である200℃以下であることを確認した。コンクリート製建家表面の温度が、コンクリートの許容温度200℃以下となる危険

距離についても離隔距離を下回っていることを確認した。

2.3 第二付属排気筒熱影響評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の熱バランス式^[5]より第二付属排気筒の温度上昇を求め、第二付属排気筒の温度Tが許容温度350℃以下であることを評価した。また、同式を用いて、第二付属排気筒の温度が350℃となる輻射強度を算出した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \quad (1)$$

T : 温度 [°C]

E : 輻射強度 [W/m²]

h : 熱伝達率 (17.0 [W/m²/K])^[2]

T₀ : 周囲空気温度 (50 [°C])^{*1}

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

(1)式で求めた輻射強度となる形態係数Φを、ガイドに従い(2)式により算出した。

$$E = R_f \cdot \phi \quad (2)$$

E : 輻射強度 [W/m²]

R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]

φ : 形態係数

(2)式で求めた形態係数φとなる危険距離Lをガイドに従い(3)式より算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \quad (3)$$

φ : 形態係数

H : 火炎長 [m]

L : 離隔距離 [m]

R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

なお、温度については小数点1桁で切り上げし、危険距離についてはメートル

ル単位で、切り上げとした。

第二付属排気筒に対する熱影響評価結果を表2.2-2に示す。

第二付属排気筒の温度上昇を評価した結果、第二付属排気筒の最高温度は52.2℃であり許容温度である350℃以下であることを確認した。第二付属排気筒の温度が、鋼材（SMA41）の許容温度350℃以下となる危険距離についても離隔距離を下回っていることを確認した。

表 2.2-1 コンクリート外壁に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 [°C]	危険距離 [m]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	52.7	195
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	50.5	29
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	50.3	257

表 2.2-2 第二付属排気筒に対する熱影響評価結果

想定火災源	評価温度 [°C]	危険距離 [m]
東京電力(株)常陸那珂火力発電所軽油貯蔵タンク	52.2	97
東京電力(株)常陸那珂火力発電所2号軽油サービスタンク	50.4	15
出光興産(株)日立油槽所 及び (株)日立ハイテクマテリアルズ日立オイルターミナル	50.2	127

3. 参考文献

- [1]安全工学講座1 火災1983年海文堂出版
- [2]空気調和・衛生工学便覧 空気調和・衛生工学会 (2010)
- [3]日本機械学会 伝熱工学資料改訂第5版 (2009)
- [4]原子力規制委員会, 原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について, 平成 25 年 6 月.
- [5]建築火災のメカニズムと火災安全設計, 原田和典, (財)日本建築センター, (2007)

コンクリートの許容温度について

1. コンクリートの許容温度

「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人 日本建築センター）」^[1]に基づき、コンクリートの強度が維持される温度である 200℃を許容温度として設定する。図 1-1 に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。

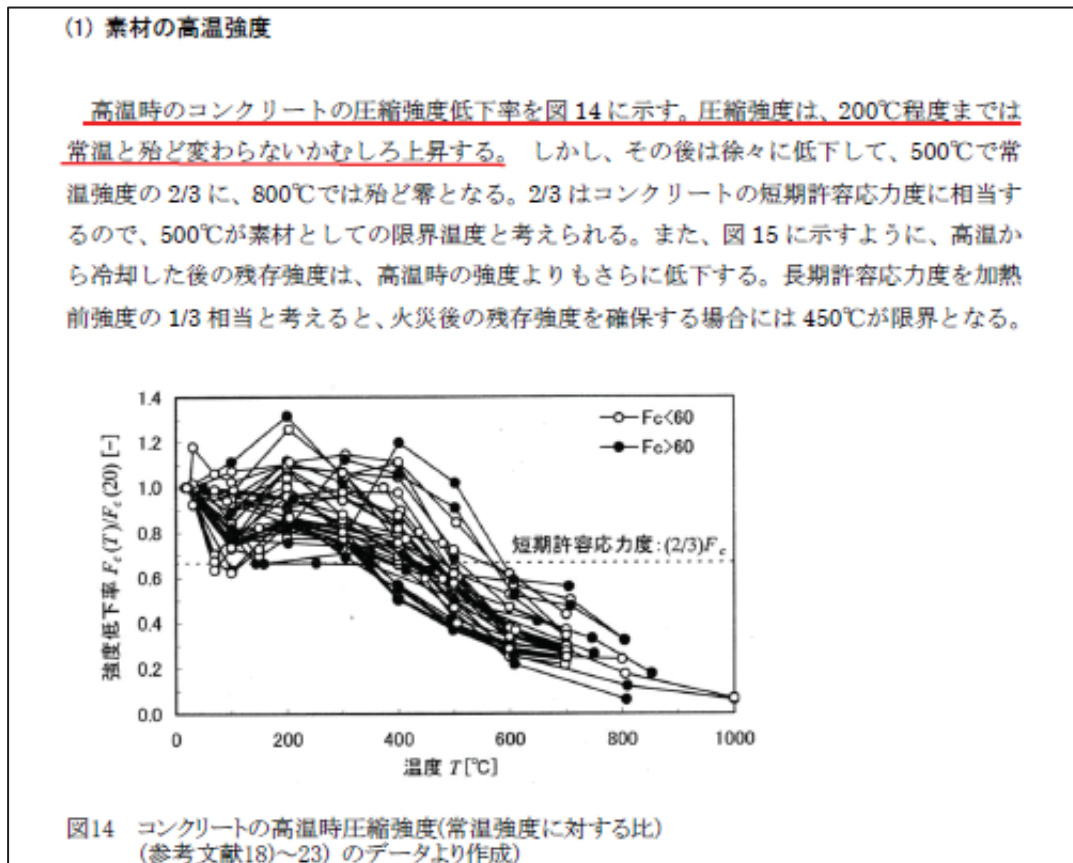


図 1-1 「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋

2. 参考文献

[1] 建築火災のメカニズムと安全設計，原田和典，財団法人日本センター，（2007）

有毒ガス及びばい煙の影響評価について

1. 概要

外部火災により発生するばい煙については、火災による上昇気流により上空に運ばれる。また、敷地外10 km以内には、石油コンビナート等特別防災区域に指定される石油コンビナート施設はなく、最も近くにある評価対象となった石油類貯蔵施設まで600 mと十分に離れていることから、敷地外を発生源とした有毒ガスの影響を考慮する必要はないが、ばい煙が防護対象設備の周辺に滞留する可能性を考慮し、ばい煙が設備に与える影響について、評価を実施する。

2. 評価対象

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド^[1]」では、ばい煙による安全上重要な設備に対する影響として、燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等が挙げられている。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機、蒸気及び工業用水の供給施設）については事故対処設備として配備する設備により代替するため、ばい煙の影響が想定される設備として、「外気を取り込む空調系統」について評価を実施する。また、建家内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気を取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。影響評価対象設備を表2-1に示す。

なお、ばい煙の粒形については浮遊粒子状物質の粒形である10 μm^{[2] [3]}を想定し、PM10により評価した。

表 2-1 ばい煙及び有毒ガスによる影響評価対象

分類	評価対象設備	
機器への影響	外気を取り込む空調系統	換気系設備
居住性への影響	外気を取り込む空調系統	HAW 内居住空間 TVF 内居住空間

3. 評価結果

3.1 外気を取り込む空調系統

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の換気系統の給気用のファン入口にはフィルタが設置されている。捕集率85%以上（粒形10μm）のプレフィルタおよび捕集率97%以上（粒形0.3μ）のフィルタを有しているため、外部火災で発生する粒径が一定以上のばい煙は、このフィルタにより侵入を阻止可能である。また、ばい煙によるフ

フィルタの閉塞については、給気圧又は施設負圧を監視することで検知可能である。

したがって、ばい煙の影響により外気を取り込む空調系統に直ちに影響を与えることはない。

HAW換気系の系統概略図を図3-1に、TVF換気系の系統概略図を図3-2に示す。

3.2 居住性評価

再処理施設から最も近くにある評価対象となった石油類貯蔵施設まで600 mと十分に離れていることから、敷地外を発生源とした有毒ガスの影響はない。

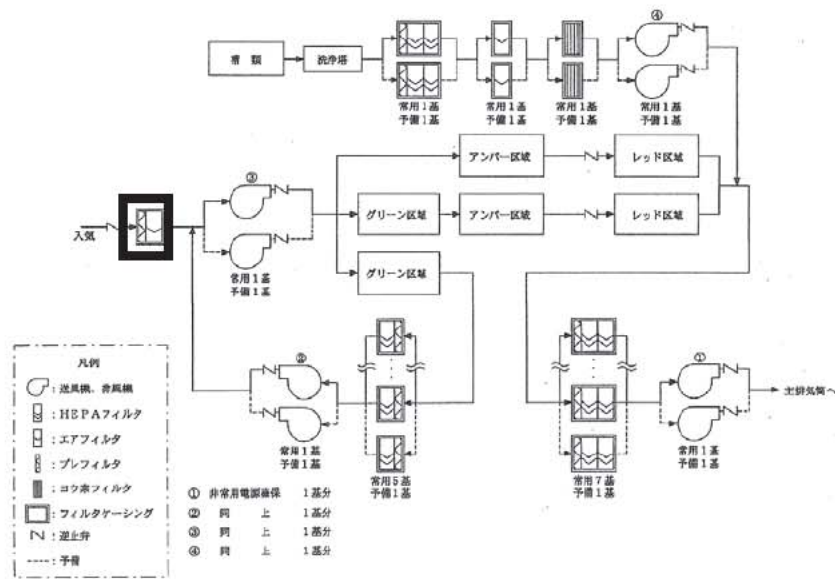


図 3-1 HAW 換気系の系統概略図

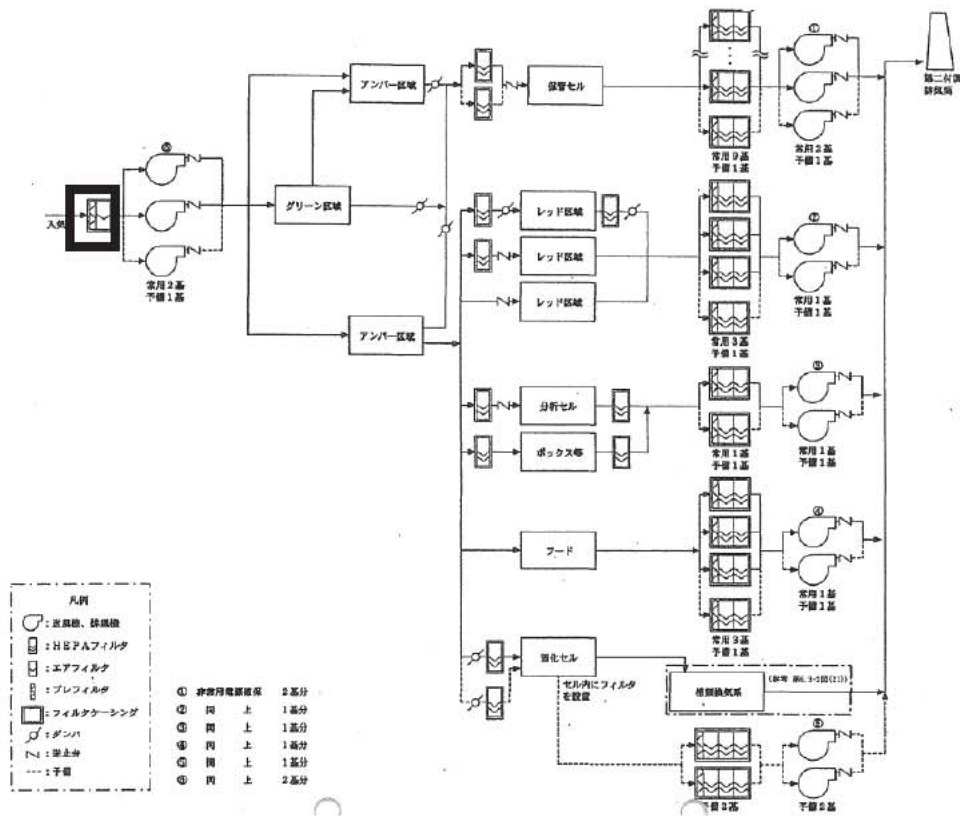


図 3-2 TVF 換気系の系統概略図

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド，平成25年6月.
- [2]環境庁告示25号，大気の汚染に係る環境基準について，昭和48年5月8日
- [3]森本 正俊，ばい煙発生施設からのばいじん粒子の解析，愛知県環境調査センター所報，38号，p.1-6，(2010)

高圧ガス貯蔵施設のガス爆発影響評価

1. 影響評価対象範囲

再処理施設より約4000 mの位置にある東京ガス（株）の日立LNG基地内にある1号LNGタンク、LPGタンク及び現在建設中の2号LNGタンクを合算したものを爆発源と想定した場合のガス爆発影響評価を「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について」^[1]（以下「ガイド」という。）に基づき実施した。

2. 高圧ガス貯蔵施設及びガスに係るデータ

石油類貯蔵施設及び燃料に係るデータを表2-1に示す。

表2-1 石油類貯蔵施設及び燃料に係るデータ

	1号LNGタンク	LPGタンク	2号LNGタンク
ガス種類	液化天然ガス (メタン)	液化石油ガス (プロパン)	液化天然ガス (メタン)
タンク容量 [m ³]	230,000	50,000	230,000
ガス密度 [kg/m ³]	424.8 ^{※1}	620 ^{※2}	424.8 ^{※1}
K値 [-] ^{※3}	714	888	714
ガス質量 [t]	97,704	31,000	97,704

※1：伝熱工学資料第5版記載値

※2：JIS K2240-2013 記載値

※3：ガイド記載値

3. 評価手法

日立LNG基地内には2種類のガスが貯蔵されているため、ガイドに基づき以下の式より危険限界距離を算出した。

$$X = 0.04\lambda\sqrt[3]{K \times W}$$

X：危険限界距離[m]

λ：換算距離 (14.4[m・kg^{-1/3}])

K：石油類の定数[-]

W：設備定数[-]

また、ガイドには、2つ以上のガスがある場合においては、それぞれのガスの量（単位 トン）の合計量の平方根の数値にそれぞれのガスの量の当該合計量に対する割合を乗じて得た数値に、それぞれのガスに係るKを乗じて得た数値の合計により、危険限界距離を算出するとある。

それぞれのガス量の当該合計量に対する割合は表2-1より

$$\text{液化天然ガス（メタン）} : A = (97704 + 97704) / (97704 + 31000 + 97704) \\ = 0.863$$

$$\text{液化天然ガス（プロパン）} : B = 31000 / (97704 + 31000 + 97704) \\ = 0.137$$

次にガスの量の合計値の平方根であるWtは表2-1より,

$$Wt = \sqrt{97704 + 31000 + 97704} = 475.823$$

したがって、危険限界距離Xは,

$$X = 0.04 \times 14.4 \sqrt{(714 \times 1000 \times A \times Wt) + (888 \times 1000 \times B \times Wt)} = 407$$

以上より、日立LNG基地までの距離4000 mは危険限界距離407 mを上回っているため、日立LNG基地がガス爆発を起こしても再処理施設への影響がないことを確認した。

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会, 原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 B 石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について, 平成 25 年 6 月.

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術
開発棟の航空機墜落による火災に関する説明書

1.基本方針

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所（再処理施設）（以下、「再処理施設」という）の廃止措置計画において、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の外部火災（原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災）に対する安全対策の検討は、「添付資料 6-1-4-2-1 再処理施設の廃止措置を進めていく上での外部火災対策の基本的考え方」に基づいて行う。また、影響評価については「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（原子力規制委員会，平成25年6月19日）^[1]（以下「ガイド」という。）を参考に実施する。

2.航空機墜落における火災熱影響評価

以下のデータを基に航空機墜落における火災熱影響評価を実施した。

2.1 評価条件

2.1.1 航空機墜落における火災の想定

航空機墜落の火災の想定は以下のとおりとした。

(1) 想定条件

- a. 航空機は当該再処理施設における航空機落下評価の対象機種のうち燃料積載量が最大の機種とした。
- b. 航空機は燃料を満載した状態を想定した。
- c. 航空機の落下は再処理施設敷地内であって落下確率が 10^{-7} （回/炉・年）以上になる範囲のうち再処理施設への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定した。
- d. 航空機の墜落によって燃料に着火し、火災が起こることを想定した。
- e. 気象条件は無風状態とした。
- f. 火災は円筒火炎モデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とした。

(2) 輻射強度の算定

油火災において任意の位置にある輻射強度（熱）を計算により求めるために、半径が1.5 m以上の場合で、火炎の高さ（輻射体）を半径の3倍にした円筒火炎モデルを採用した。

2.1.2 航空機の選定

航空機落下確率評価では、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落下確率を求めている。また、機種によって装備、飛行形態等が同一ではなく、落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。したがって、これらを考慮したカテゴリごとに航空機墜落による火災の影響評価を実施する。

考慮する航空機落下に関する諸条件を表 2.1.2-1 に示す。選定の詳細を別紙 6-1-4-3-4-1 に示す。

2.2 データの算出

熱影響評価を実施するため、以下のデータを算出した。

- ・ 航空機及び燃料に係るデータ
- ・ 燃焼半径の算出
- ・ 燃焼継続時間の算出
- ・ 航空機墜落地点と影響評価対象施設までの離隔距離
- ・ 形態係数の算出
- ・ 輻射強度の評価

データの算出過程を別紙 6-1-4-3-4-1 及び別紙 6-1-4-3-4-2 に示す。航空機落下確率が 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積より、航空機落下確率評価で標的面積として考慮している影響評価対象施設からの離隔距離(墜落地点)を求めた。なお、各施設間の距離が短く、航空機が落下しない範囲が重なる場合も、保守的に重なった面積を再分配せず離隔距離を求めた。落下事故のカテゴリごとの離隔距離を表 2.2-1 に示す。航空機落下確率が 10^{-7} (回/炉・年) に相当する範囲を図 2.2-1 に示す。

計器飛行方式民間航空機の②航空路を巡航時については、対象航空機が同じ B747-400 でありより離隔距離の短い有視界方式民間航空機の③大型機(大型固定翼機および大型回転翼機)の評価に内包されるため評価対象外とした。

有視界方式民間航空機の④小型機(小型固定翼機および小型回転翼機)については、燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3 m^3 と F-15 の 15 m^3 に比べて年連搭載量が少ないため、より離隔距離の短い自衛隊機又は米軍機の⑦基地-訓練空域間往復時の評価に内包されるため評価対象外とした。

自衛隊機又は米軍機の訓練区域外を飛行中の⑥その他の大型固定翼機、小型固定翼機および回転翼機については、対象航空機が同じ F-15 でありより離隔距離の短い自衛隊機又は米軍機の⑦基地-訓練空域間往復時の評価に内包されるため評価対象外とした。

2.3 外壁に対する熱影響評価

(1) 影響評価対象範囲

カテゴリ毎における航空機墜落によって発生する火災を想定した場合のコンクリート外壁面及び第二付属排気筒の温度評価を実施した。

(2) 評価手法

a. 許容温度

コンクリート製建家については、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度 200°C を許容温度とした。第二付属排気筒については、鋼材(SMA41)の強度が維持される保守的な温度 350°C 以下とした。

b. コンクリート外壁面熱影響評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁

が昇温されるものとして、コンクリート製建家表面の温度上昇を評価した。コンクリート外壁に対する熱影響評価結果を表2.3-1に示す。評価の詳細を別紙6-1-4-3-4-3に示す。

評価の結果、コンクリート表面の最高温度は77.9℃であり、許容温度である200℃以下であることを確認した。延焼防止に必要な距離である危険距離についても離隔距離を下回っていることを確認した。

また、航空機が森林に落下した場合の航空墜落による火災と森林火災との重畳を考慮し評価をしたとしてもコンクリート表面の最高温度は148.9℃であり、許容温度である200℃以下であることを確認した。重畳評価結果を表2.3-2に示す。評価の詳細を別紙参考6-1-4-3-4-3-2に示す。

c. 第二付属排気筒熱影響評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で第二付属排気筒が昇温されるものとして、第二付属排気筒の温度上昇を評価した。第二付属排気筒に対する熱影響評価結果を第2.3-3表に示す。評価の詳細を別紙6-1-4-3-4-3に示す。

評価の結果、第二付属排気筒の最高温度は82.5℃であり、許容温度である350℃以下であることを確認した。延焼防止に必要な距離である危険距離についても離隔距離を下回っていることを確認した。

また、航空機が森林に落下した場合の航空墜落による火災と森林火災との重畳を考慮し評価をしたとしても第二付属排気筒の最高温度は109.5℃であり、許容温度である350℃以下であることを確認した。重畳評価結果を表2.3-4に示す。評価の詳細を別紙参考6-1-4-3-4-3-2に示す。

表2.1.2-1 考慮する航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離発着時	B737-800	
	航空路を巡航時	B747-400	
有視界方式 民間航空機	大型機 (大型固定翼機および大型回転翼機)	B747-400	
	小型機 (小型固定翼機および小型回転翼機)	Do228-200	
自衛隊機 又は米軍機	訓練区域外 を飛行中	空中給油機等, 高高度での巡航 が想定される大型固定翼機	KC-767
		その他の大型固定翼機, 小型固 定翼機および回転翼機	F-15
	基地－訓練空域間往復時	F-15	

表2.2-1 考慮する航空機

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 [m]
計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離発着時	B737-800	228
	②航空路を巡航時	B747-400	315
有視界方式 民間航空機	③大型機 (大型固定翼機および大型回転翼機)	B747-400	209
	④小型機 (小型固定翼機および小型回転翼機)	Do228-200	95
自衛隊機 又は米軍機	訓練区域外 を飛行中	⑤空中給油機等, 高高度での巡 航が想定される大型固定翼機	200
		⑥その他の大型固定翼機, 小型 固定翼機および回転翼機	58
	⑦基地－訓練空域間往復時	F-15	39

表 2.3-1 コンクリート外壁に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度 [°C]	危険距離 [m]
飛行場での離発着時		B737-800	51.9	23
大型機（大型固定翼機および大型回転翼機）		B747-400	63.9	57
訓練空域外を 飛行中	空中給油機等，高高度での巡航 が想定される大型固定翼機	KC-767	59.7	46
基地－訓練空域間往復時		F-15	77.9	15

表 2.3-2 重畳評価結果

施設	壁面温度[°C]
HAW	106.9
TVF	148.9

表 2.3-3 第二付属排気筒に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度 [°C]	危険距離 [m]
飛行場での離発着時		B737-800	52.3	15
大型機（大型固定翼機および大型回転翼機）		B747-400	64.8	36
訓練空域外を 飛行中	空中給油機等，高高度での巡航 が想定される大型固定翼機	KC-767	61.0	31
基地－訓練空域間往復時		F-15	82.5	11

表 2.3-4 重畳評価結果

施設	壁面温度[°C]
第二付属排気筒	109.5

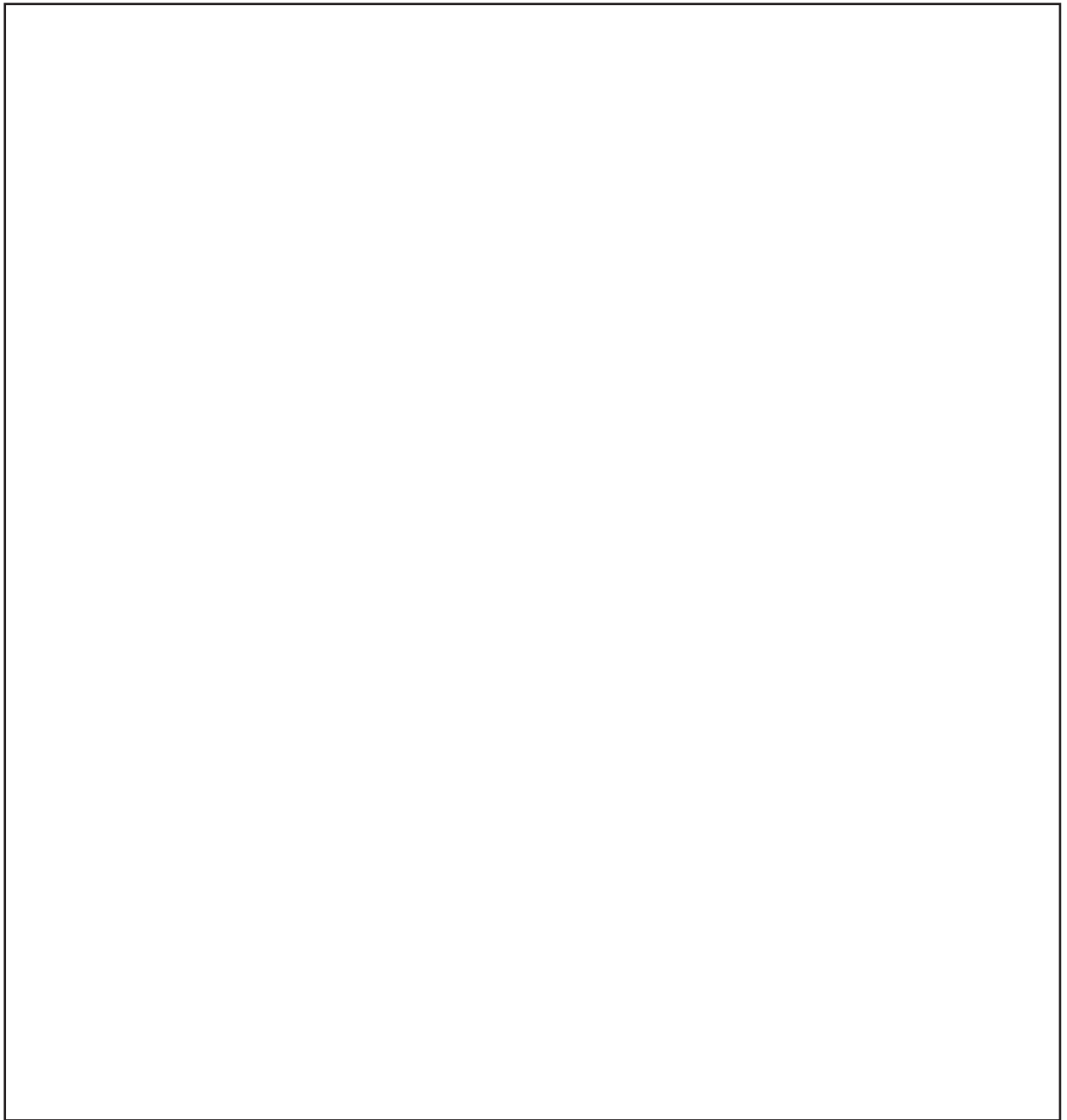


図 2.2-1 航空機落下確率が 10^{-7} (回/炉・年) に相当する範囲

3. 有毒ガス影響評価

3.1 目的

再処理施設における施設の入気口位置における、外部火災による有毒ガス濃度の評価を実施した。

想定事象は2.で実施した航空機墜落における火災とした。

3.2 評価手法

火災による有毒ガス発生量、風速及び大気拡散度に基づき、原子力施設の安全審査で使用される有風時プルーム式を用いて、評価対象施設入気口における有毒ガス濃度を評価した。入気口における有毒ガス濃度の計算に用いる手法を別紙 6-1-4-3-4-4 に示す。

図 3.2-1 に、評価手法の概要を示す。

本評価では、航空機墜落における火災を想定し、火災により発生する有毒ガスの入気口位置における濃度を求めた。火災源に対して算出した入気口位置の有毒ガス濃度を評価値として、「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」^[2]で判断基準とされている IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health)^[3]の値以下であることを確認した。IDLH 値を表 3.2-1 に示す。

評価手順は以下のとおりである。

- ① 火災源から発生する有毒ガス発生量を算出する。
- ② 火災源における排気熱量を算出する。
- ③ 排煙上昇過程式を用いて、入気口中央の地表面からの高さと同くなる風速を求める。
- ④ 有風時プルーム式を用いて、入気口における有毒ガス濃度を求める。

3.3 評価に用いるデータ

3.3.1 評価対象となる入気口

以下の2か所の入気口を評価対象とした。

- ・高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 入気チャンバー
- ・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟給気塔

3.3.2 火災発生時の有毒ガス発生量の算出

有毒ガスの発生量は以下のとおり算出した。

- ・CO₂発生量：環境省の温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル^[4]に基づき算出
- ・CO発生量：原油火災試験^[5]の計測結果を採用
- ・SO₂及びNO₂発生量：米国EPA（環境省）及びFAA（連邦航空局）が提示するEmission Factorを使用^[6]^[7]

3.3.3 評価対象及び火災源に関するデータ

以下を火災源とした。

(1) 航空機墜落における火災

- ・計器飛行方式民間航空機 B737-800
- ・有視界方式民間航空機大型機 B747-400
- ・自衛隊機及び米軍機(訓練空域外高高度飛行)KC-767
- ・自衛隊機及び米軍機(基地-訓練空域往復)F-15

有毒ガス影響評価を実施するため、以下のデータを算出した。

- ・評価対象に関するデータ (離隔距離, 高低差)
- ・燃焼特性に関するデータ (発熱量, 質量低下速度, 他)
- ・火災源に関するデータ (燃焼面積, 風速, 他)
- ・拡散パラメータ

データの算出を別紙 6-1-4-3-4-4-1 に示す。

3.4 有毒ガス影響評価結果

表3.4-1～表3.4-4に有毒ガス影響評価の結果及びIDLH値を示す。

危険物タンクの火災を想定した有毒ガス影響評価については、全対象についてIDLH値以下となった。

表 3.2-1 IDLH(Immediately Dangerous to Life and Health) 値

基準	ガス濃度 [ppm]			
	CO ₂	CO	S0 ₂	N0 ₂
IDLH 値	40,000	1,200	100	20

表 3.4-1 評価結果(計器飛行方式民間航空機 B737-800)

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ		ガス濃度[ppm] (IDLH 値)			
			oy [m]	oz [m]	CO ₂ (40,000)	CO (1,200)	SO ₂ (100)	NO ₂ (20)
HAW施設入気チャンバー	21.000	35.0	17.165	11.407	171	2.75	0.05	0.28
TVF開発棟給気塔	25.450	28.8	17.165	12.295	192	3.1	0.05	0.32

表 3.4-2 評価結果(有視界方式民間航空機大型機 B747-400)

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ		ガス濃度[ppm] (IDLH 値)			
			oy [m]	oz [m]	CO ₂ (40,000)	CO (1,200)	SO ₂ (100)	NO ₂ (20)
HAW施設入気チャンバー	21.000	58.5	15.83	10.893	643	10.36	0.16	1.06
TVF開発棟給気塔	25.450	48.3	15.833	11.803	718	11.57	0.17	1.19

表 3.4-3 評価結果(自衛隊機及び米軍機(訓練空域外高高度飛行)KC-767)

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ		ガス濃度[ppm] (IDLH 値)			
			oy [m]	oz [m]	CO ₂ (40,000)	CO (1,200)	SO ₂ (100)	NO ₂ (20)
HAW施設入気チャンバー	21.000	51.8	15.198	10.651	611	9.44	0.09	0.97
TVF開発棟給気塔	25.450	42.7	15.198	11.589	681	10.52	0.10	1.08

表 3.4-4 評価結果(自衛隊機及び米軍機(基地-訓練空域往復)F-15)

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ		ガス濃度[ppm] (IDLH 値)			
			oy [m]	oz [m]	CO ₂ (40,000)	CO (1,200)	SO ₂ (100)	NO ₂ (20)
HAW施設入気チャンバー	21.000	8.3	3.328	7.028	2918	45.08	0.41	4.92
TVF開発棟給気塔	25.450	6.8	3.328	8.445	2962	45.76	0.42	5.00

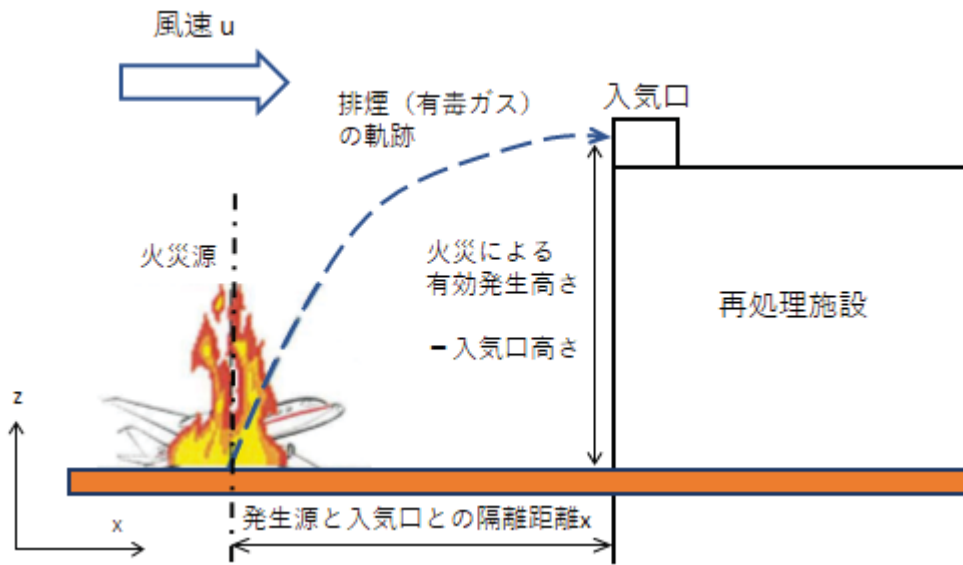


図 3.2-1 入気口における有毒ガス濃度評価手法の概要

4. ばい煙影響評価

4.1 目的

再処理施設における施設の入気口位置における、外部火災によるばい煙濃度の評価を実施した。

想定事象は、2.で実施した航空機墜落における火災とした。

4.2 評価手法

「3. 有毒ガス影響評価」と同様な手法により、評価対象施設入気口におけるばい煙濃度を評価した。入気口におけるばい煙濃度の計算に用いる手法を別紙 6-1-4-3-4-4 に示す。

本評価では、航空機墜落における火災を想定し、火災により発生するばい煙の入気口位置における濃度を求めた。火災源に対して算出した入気口位置のばい煙濃度を評価値として、「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」で判断基準とされているIDLH 値以下であることを確認した。IDLH 値を表 4.2-1 に示す。

評価手順は以下のとおりである。

- ① 火災源から発生するばい煙発生量を算出する。
- ② 火災源における排気熱量を算出する。
- ③ 排煙上昇過程式を用いて、入気口中央の地表面からの高さと同くなる風速を求める。
- ④ 有風時ブルーム式を用いて、入気口におけるばい煙濃度を求める。

4.3 評価に用いるデータ

4.3.1 評価対象となる入気口

以下の2か所の入気口を評価対象とした。

- ・高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 入気チャンバー
- ・ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟給気塔

4.3.2 火災発生時のばい煙発生量の算出

ばい煙の発生量は以下とおり算出した。

- ・ばい煙発生量：消防研報告書^[8]より、煙収率^(※)は0.10～0.15となることから、保守的に煙収率0.15として算出
- (※)煙収率：燃料中の炭素が煙に変換する割合

4.3.3 評価対象及び火災源に関するデータ

以下を火災源とした。

(1) 航空機墜落における火災

- ・計器飛行方式民間航空機 B737-800
- ・有視界方式民間航空機大型機 B747-400
- ・自衛隊機及び米軍機(訓練空域外高高度飛行)KC-767
- ・自衛隊機及び米軍機(基地-訓練空域往復)F-15

ばい煙影響評価を実施するため、以下のデータを算出した。

- ・評価対象に関するデータ（離隔距離，高低差）
- ・燃焼特性に関するデータ（発熱量，質量低下速度，他）
- ・火災源に関するデータ（燃焼面積，風速，他）
- ・拡散パラメータ

データの算出を添付別紙 6-1-4-3-4-4-1 に示す。

4.4 ばい煙影響評価結果

表4.4-1～表4.4-4にばい煙影響評価の結果を示す。

危険物タンクの火災を想定した有毒ガス影響評価については、すべての評価対象においてばい煙の濃度はIDLH値以下であり、また評価対象建家の入気口にはフィルタが設置されていることから、施設の健全性に影響はないことが確認された。HAW換気系の系統概略図を図4.4-1に、TVF換気系の系統概略図を図4.4-2に示す。

表 4.2-1 IDLH(Immediately Dangerous to Life and Health) 値

基準	ばい煙濃度[mg/m ³]
IDLH 値	1,750

表 4.4-1 評価結果(計器飛行方式民間航空機 B737-800)

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ		ばい煙濃度[mg/m ³]
			oy [m]	oz [m]	IDLH 1,750[mg/m ³]
HAW施設入気チャンバー	21.000	35.0	17.165	11.407	17
TVF開発棟給気塔	25.450	28.8	17.165	12.295	19

表 4.4-2 評価結果(有視界方式民間航空機大型機 B747-400)

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ		ばい煙濃度[mg/m ³]
			oy [m]	oz [m]	IDLH 1,750[mg/m ³]
HAW施設入気チャンバー	21.000	58.5	15.83	10.893	62
TVF開発棟給気塔	25.450	48.3	15.833	11.803	70

表 4.4-3 評価結果(自衛隊機及び米軍機(訓練空域外高高度飛行)KC-767)

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ		ばい煙濃度[mg/m ³]
			oy [m]	oz [m]	IDLH 1,750[mg/m ³]
HAW施設入気チャンバー	21.000	51.8	15.198	10.651	59
TVF開発棟給気塔	25.450	42.7	15.198	11.589	66

表 4.4-4 評価結果(自衛隊機及び米軍機(基地-訓練空域往復)F-15)

評価対象	高低差 [m]	風速 [m/s]	拡散パラメータ		ばい煙濃度[mg/m ³]
			oy [m]	oz [m]	IDLH 1,750[mg/m ³]
HAW施設入気チャンバー	21.000	8.3	3.328	7.028	281
TVF開発棟給気塔	25.450	6.8	3.328	8.445	285

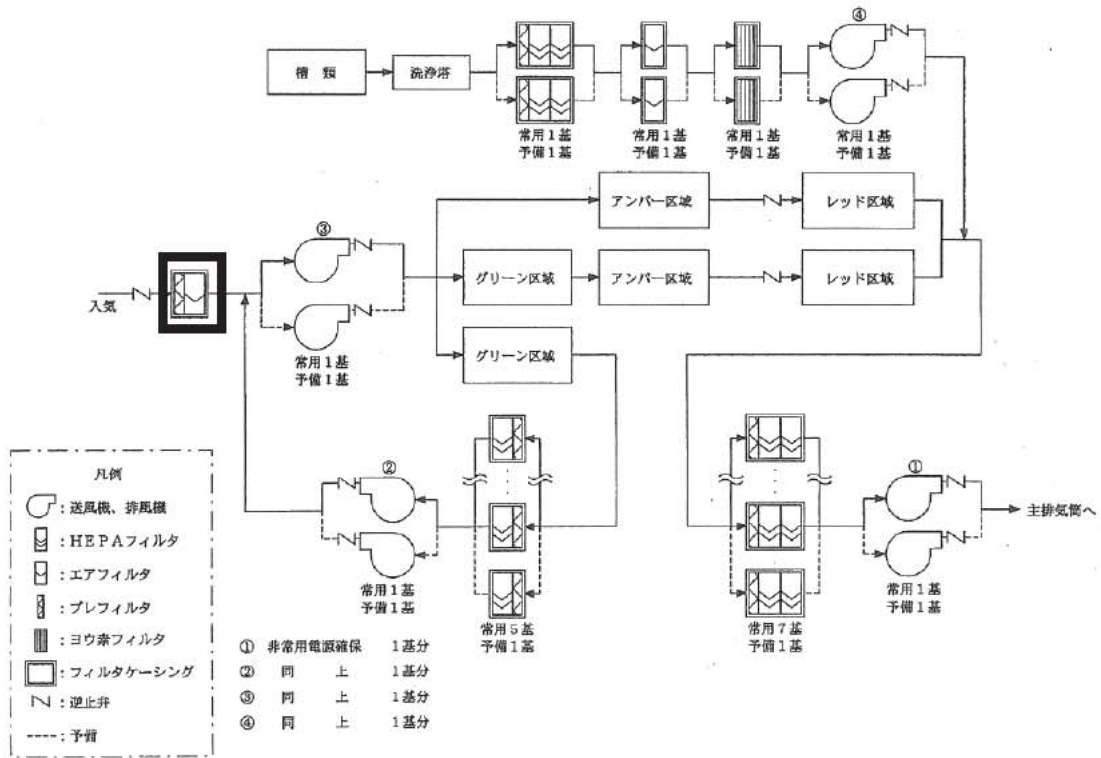


図 4.4-1 HAW 換気系の系統概略図

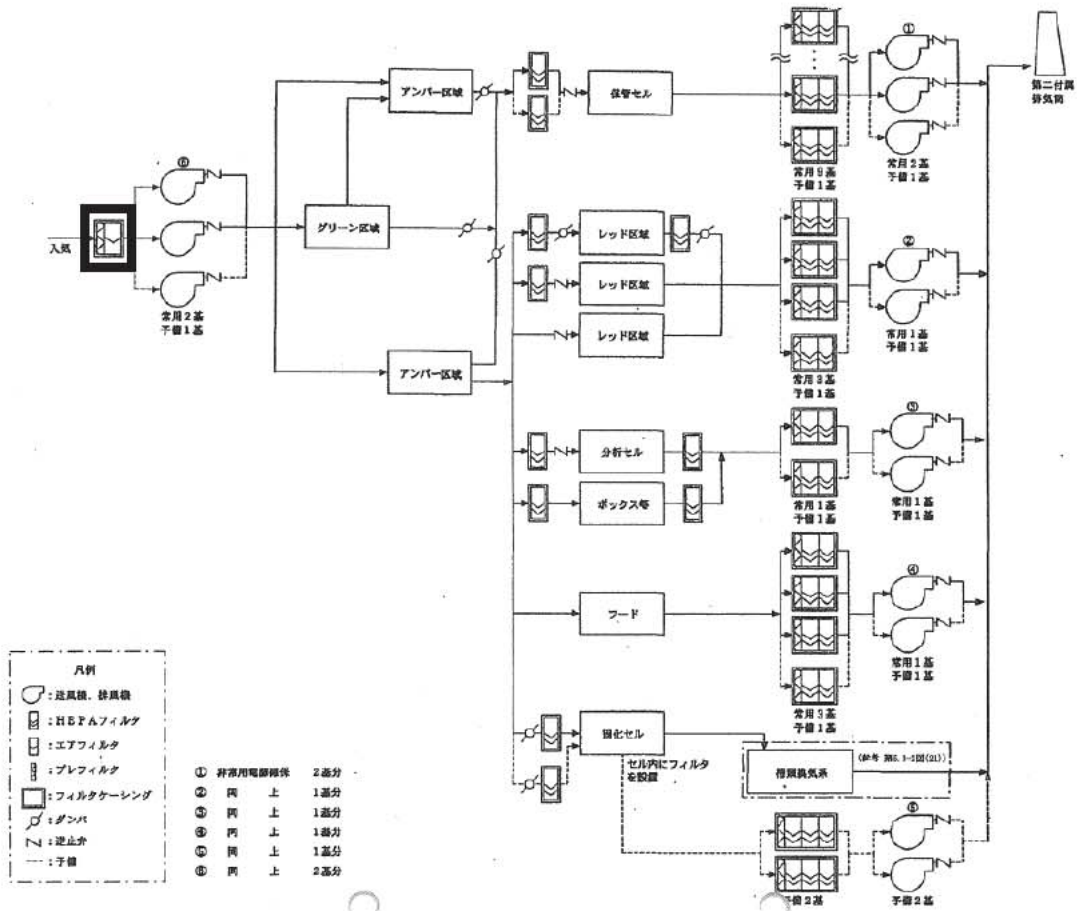


図 4.4-2 TVF 換気系の系統概略図

5.結論

落下確率が 10^{-7} （回/炉・年）以上になる範囲のうち再処理施設への影響が最も厳しくなる地点に墜落した航空機において火災が発生した場合、再処理施設のコンクリート製建家表面及び第二付属排気筒の温度上昇を評価した結果、コンクリート表面の最高温度は 77.9°C であり、許容温度を下回ることから高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の健全性に影響を与えないことを確認した。また第二付属排気筒の最高温度は 82.5°C であり、許容温度を下回ることから第二付属排気筒の健全性に影響を与えないことを確認した。

なお、航空機が森林に落下した場合の航空墜落による火災と森林火災との重畳を考慮し評価をしたとしてもコンクリート表面の最高温度は 148.9°C であり、許容温度である 200°C 以下であることを確認した。また同様に、第二付属排気筒の最高温度は 109.5°C であり、許容温度である 350°C 以下であることを確認した。

落下確率が 10^{-7} （回/炉・年）以上になる範囲のうち再処理施設への影響が最も厳しくなる地点に墜落した航空機において火災が発生した際の有毒ガスの濃度はIDLHの値を下回ることから、有毒ガスによる影響はないことを確認した。また、同火災を想定したばい煙の影響評価については、すべての評価対象においてばい煙の濃度が低く、また評価対象建家の入気口にはフィルタが設置されていることから、施設の健全性に影響はないことを確認した。

以上の結果から、再処理施設の敷地内外において火災及び爆発が発生した場合、高放射性廃液貯蔵場（HAW）、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒への影響はなく、これらの施設に内包される安全機能を有する構築物・系統及び機器に影響を及ぼさないものと評価した。

6. 参考文献

- [1] 原子力規制委員会, 原子力発電所の外部火災影響評価ガイドの制定について, 平成25年6月. [1] 茨城県防災会議 茨城県地域防災計画 資料編
- [2] 建築火災のメカニズムと火災安全設計 (財団法人 日本建築センター)
- [3] 原子力規制委員会 有毒ガス防護に係る影響評価ガイド (平成29年4月)
- [4] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values (<https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>)
- [5] 環境省温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル (Ver3.4)
- [6] Ross J.L., Ferek R.J. and Hobbs P.V., " Particle and Gas Emissions from an In Situ Burn of Crude Oil on the Ocean" ,J. Air & Water Manage. Assoc. ,46 , pp.251-259(1996).
- [7] U.S. EPA AP-42, " Compilation of Air Pollutant Emission Factors Volume I: Stationary Point and Area Sources".
- [8] FAA, "Air Quality Procedures for Civilian Airports & Air Force Bases".
- [9] 消防研究所研究資料第46号, 大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書 (平成11年)

航空機墜落における火災熱影響評価：対象航空機について

1. 対象航空機の選定

航空機落下確率評価では、評価条件の違いに応じたカテゴリに分けて落下確率を求めている。また、機種によって装備、飛行形態等が同一ではなく、落下事故件数及び火災影響の大きさに差がある。したがって、これらを考慮したカテゴリごとに航空機の選定を実施した。落下事故のカテゴリを表1-1に示す。

1.1 計器飛行方式民間航空機

計器飛行民間航空機の落下事故には、「①飛行場での離発着時」における落下事故及び「②航空路を巡航時」における落下事故がある。

①については、再処理施設から約33 km離れた位置に茨城空港があり、最大離着陸距離（最大離着陸地点（航空路誌（AIP）に記載された離着陸経路において着陸態勢に入る地点あるいは離陸態勢を終える地点をいう。）までの直線距離）約56 kmを半径とし、飛行場の滑走路端から滑走路方向に対して±60°の扇型区域に再処理施設が存在するため、評価対象とする。詳細を別紙参考6-1-4-3-4-1-1及び別紙参考6-1-4-3-4-1-2に示す。

①における航空機は、茨城空港の定期便のうち、燃料積載量が多い航空機（B737-800）を選定した。

②については、再処理施設上空に航空路が存在するため、評価対象とする。詳細を別紙参考6-1-4-3-4-1-3に示す。

②における航空機は、評価対象航空路を飛行すると考えられる定期便のうち燃料積載量が最大の航空機（B747-400）を選定した。

1.2 有視界飛行方式民間航空機

有視界飛行方式民間航空機の落下事故には、「③大型機（大型固定翼機及び大型回転翼機）」の落下事故と「④小型機（小型固定翼機及び小型回転翼機）」の落下事故がある。

③における航空機については、全国の有視界飛行が可能な民間航空機のうち、燃料積載量が最大となる航空機（B747-400）を選定した。

④における航空機については、全国の有視界飛行が可能な小型民間航空機のうち、燃料積載量が最大となる航空機（Do228-200）を選定した。

1.3 自衛隊機又は米軍機

自衛隊機又は米軍機の落下事故には、「訓練空域内で訓練中及び訓練空域外を飛行中⑤⑥」の落下事故と「⑦基地－訓練空域間往復時」の落下事故がある。

⑤⑥については、再処理施設周辺上空には自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないため、訓練空域外を飛行中の落下事故を評価対象とする。

⑤における航空機については、全国の自衛隊機及び米軍機のうち燃料積載量

が最大となる航空機（KC-767）を選定した。

⑥における航空機については、全国の自衛隊機及び米軍機のうち空中輸送機の高高度での巡行が想定される大型機を除き燃料積載量が最大となる航空機（F-15）を選定した。

⑦については、再処理施設周辺の太平洋沖合上空に自衛隊機の訓練空域があり、再処理施設は自衛隊の百里基地と訓練空域間の想定飛行範囲（基地と訓練空域間を往復時の飛行範囲として、想定される区域）内に位置することから、自衛隊機の落下事故を評価対象とする。

⑦における航空機については、百里基地に所属する自衛隊機のうち燃料積載量が最大となる航空機（F-15）を選定した。

表1-1 落下事故のカテゴリ

落下事故のカテゴリ		
計器飛行方式 民間航空機	①飛行場での離発着時	
	②航空路を巡航時	
有視界方式 民間航空機	③大型機 (大型固定翼機および大型回転翼機)	
	④小型機 (小型固定翼機および小型回転翼機)	
自衛隊機 又は米軍機	訓練区域外 を飛行中	⑤空中給油機等, 高高度での巡 航が想定される大型固定翼機
		⑥その他の大型固定翼機, 小型 固定翼機および回転翼機
	⑦基地－訓練空域間往復時	

2. 離隔距離の評価

影響評価対象施設として、高放射性廃液貯蔵場（HAW）、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒を考慮し、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について（内規）」（平成21・06・25原院第1号）の航空機落下確率評価式に基づき、カテゴリ毎に落下確率が 10^{-7} （回/炉・年）に相当する面積を算出し、その結果を用いて影響評価対象施設に対する離隔距離を算出した。離隔距離の算出方法を別紙参考6-1-4-3-4-1-4に示す。

2.1 計器飛行方式民間航空機

2.1.1 ①飛行場での離発着時

$$Pd,a = fd,a \cdot Nd,a \cdot A \cdot \Phi d,a(r, \theta)$$

6-1-4-3-4-1-2

$P_{d,a}$: 対象施設への離着陸時の航空機落下確率 (回/年)
 $fd_{,a} = D_{d,a} / E_{d,a}$: 対象航空機の国内での離着陸時事故率
 (回/離着陸回)
 $D_{d,a}$: 国内での離着陸時事故件数 (回)
 $E_{d,a}$: 国内での離着陸回数 (離着陸回)
 $N_{d,a}$: 当該飛行場での対象航空機の年間離着陸回数 (離着陸回/年)
 A : 標的面積 (km^2)
 $\Phi_{d,a}(r,\theta)$: 離着陸時の事故における落下地点確率分布関数
 ($/\text{km}^2$)

飛行場	茨城空港
$fd_{,a}^{*1}$	約 1.43×10^{-7} (= 4/27,887,158)
$N_{d,a}^{*2}$	4210
$\Phi_{d,a}(r,\theta)^{*3}$	2.855×10^{-4}
空港までの距離 *4	約33.2 km
滑走路方向に対する角度 *5	11.72°
最大離着陸距離 *6	約56 km (30 nm)

※1 離着陸時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)より、平成5年～平成24年において離着陸時に1件、着陸時に3件。

離着陸回数は、平成5年～平成24年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表 1.輸送実績」における運航回数の国内の値及び国際の値の合計値。

※2 H24年空港管理状況調書(国土交通省)における百里(共用)の着陸回数を2倍した値。

※3 別紙参考6-1-4-3-4-1-5のとおり

※4 再処理施設と空港の緯度及び経度から、測量計算サイトより算出。

※5 別紙参考6-1-4-3-4-1-2のとおり

※6 AIP JAPANに基づき設定。別紙参考6-1-4-3-4-1-1参照

これらの式より $P_{d,a} = 10^{-7}$ に相当する標的面積 A を求めると約 0.58 km^2 となる。求めた標的面積より影響評価対象施設の離隔距離を求めると、228 mとなる。

2.1.2 ②航空路を巡行中の落下事故

$$P_c = f_c \cdot N_c \cdot A/W$$

Pc : 対象施設への巡航中の航空機落下確率 (回/年)

fc=Gc/Hc :

単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率 (回/(飛行回・km))

Gc : 巡航中事故件数 (回)

Hc : 延べ飛行距離 (飛行回・km)

Nc : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数 (飛行回/年)

A : 標的面積 (km²)

W : 航空路幅 (km)

	直行経路	広域航法経路
対象航空路 ^{※1}	IWAKI(IXE)－SWAMP IWAKI(IXE)－ KISARAZU(KZE)	Y30 (LOTUS－SWAMP)
Fc ^{※2}	約 5.13×10 ⁻¹¹ (=0.5/9,740,013,768)	
Nc ^{※3}	365	33580
W ^{※4}	14.816	18.52

※1 別紙参考6-1-4-3-4-1-3のとおり

※2 巡行時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)より、平成5年～平成24年において0件であるため、0.5件発生したものとして評価。

延べ飛行距離は平成5年～平成24年の「航空輸送統計年報 第1表 総括表」の暦年輸送実績の国内の合計値。

※3 国土交通省航空局への問い合わせ結果(ピークデイの値)を365倍した値。別紙参考6-1-4-3-4-1-6参照。

※4 直行経路については「航空路等設定基準」を参照した。広域航法経路については、航法精度を航空路の幅とみなして用いた。

(1 nm=1.852 km として換算した。) 別紙参考6-1-4-3-4-1-3参照

これらの式よりPc=10⁻⁷に相当する標的面積Aを求めると約1.06 km²となる。求めた標的面積より影響評価対象施設の離隔距離を求めると、315 mとなる。

2.2 有視界飛行方式民間航空機

2.2.1 ③大型機 (大型固定翼機及び大型回転翼機)

$$Pv = (fv/Sv) \cdot A \cdot \alpha$$

Pv : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

fv : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

Sv : 全国土面積 (km²)

A : 標的面積 (km²)

α : 対象航空機の種類による係数

f _v ^{*1}	大型固定翼機 0.025 (=0.5/20) 大型回転翼機 0.05 (=1/20)
S _v ^{*2}	37.2 万
α ^{*3}	1

※1 事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)より、平成5年～平成24年において大型固定翼機で0件、大型回転翼機で1件。0件であったものは0.5件発生したものとして評価。

※2 「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)による。

※3 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について(内規)」(平成21年6月 経済産業省原子力安全・保安院)による。

これらの式より $P_v = 10^{-7}$ に相当する標的面積Aを求めると約0.50 km²となる。求めた標的面積より影響評価対象施設の離隔距離を求めると、209 mとなる。

2.2.2 ④小型機 (小型固定翼機及び小型回転翼機)

$$P_v = (f_v/S_v) \cdot A \cdot \alpha$$

P_v : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_v : 単位年当たりの落下事故率 (回/年)

S_v : 全国土面積 (km²)

A : 標的面積 (km²)

α : 対象航空機の種類による係数

f _v ^{*1}	小型固定翼機 1.75 (=35/20) 大型回転翼機 1.20 (=24/20)
S _v ^{*2}	37.2 万
α ^{*3}	0.1

※1 事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)より、平成5年～平成24年において小型固定翼機で35件、大型回転翼機で24件。

※2 「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)による。

※3 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について

(内規)」(平成21年6月 経済産業省原子力安全・保安院)による。

これらの式より $P_v = 10^{-7}$ に相当する標的面積 A を求めると約 0.13 km^2 となる。求めた標的面積より影響評価対象施設の離隔距離を求めると、 95 m となる。

2.3 自衛隊機又は米軍機

2.3.1 訓練区域外を飛行中 ⑤空中給油機等, 高高度での巡航が想定される大型固定翼機

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率 (回/年)

A : 標的面積 (km^2)

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積 (km^2)

f_{so}^{*1}	自衛隊機 0.025 (=0.5/20) 米軍機 0.05 (=1/20)
S_o^{*2}	自衛隊機 29.5 万 米軍機 37.2 万

※1 事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)より、平成5年～平成24年において自衛隊機で0件、米軍機で1件。0件であったものは0.5件発生したのものとして評価。

※2 「航空機落下事故に関するデータ」(平成28年6月 原子力規制委員会)による。

これらの式より $P_v = 10^{-7}$ に相当する標的面積 A を求めると約 0.46 km^2 となる。求めた標的面積より影響評価対象施設の離隔距離を求めると、 200 m となる。

2.3.2 訓練区域外を飛行中 ⑥その他の大型固定翼機, 小型固定翼機および回転翼機

$$P_{so} = f_{so} \cdot A / S_o$$

P_{so} : 訓練空域外での対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{so} : 単位年当たりの訓練空域外落下事故率 (回/年)

A : 標的面積 (km^2)

S_o : 全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積

(km²)

fso ^{※1}	自衛隊機 0.35 (=7/20) 米軍機 0.20 (=4/20)
So ^{※2}	自衛隊機 29.5 万 米軍機 37.2 万

※1 事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）より，平成5年～平成24年において自衛隊機で7件，米軍機で4件。

※2 「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）による。

これらの式より $P_v = 10^{-7}$ に相当する標的面積 A を求めると約 0.058 km^2 となる。求めた標的面積より影響評価対象施設の離隔距離を求めると，58 m となる。

2.3.3 ⑦基地－訓練空域間往復時

(想定飛行範囲内に原子炉施設が存在する場合)

$$P_{se} = f_{se} \cdot A / S_{se}$$

P_{se} : 対象施設への航空機落下確率 (回/年)

f_{se} : 基地と訓練空域間を往復中の落下事故率 (回/年)

A : 原子炉施設の標的面積 (km²)

S_{se} : 想定飛行範囲の面積 (km²)

fse ^{※1}	自衛隊機 0.25 (=5/20)
Sse ^{※2}	175,720
fse / Sse ^{※3}	3.00×10^{-6}

※1 離着陸時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）より，百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲内における自衛隊機の移動時の事故件数は平成5年～平成24年において0件であったため，全国の基地－訓練空域間の落下実績5件を用いた。

※2 全国の基地－訓練空域間往復時の想定飛行範囲の面積。

※3 f_{se} , S_{se} から算出された約 1.42×10^{-6} 回 / (年・km²) を保守的に2倍し切り上げた値。

別紙参考6-1-4-3-4-1-7参照

これらの式より $P_v = 10^{-7}$ に相当する標的面積 A を求めると約 0.033 km^2 となる。求めた標的面積より影響評価対象施設の離隔距離を求めると，39 m となる。

る。

茨城空港の最大離着陸距離

再処理施設から約 33 km 離れた位置にある茨城空港の最大離着陸距離は 55.56 km (30 nm) であるため、評価対象とする。

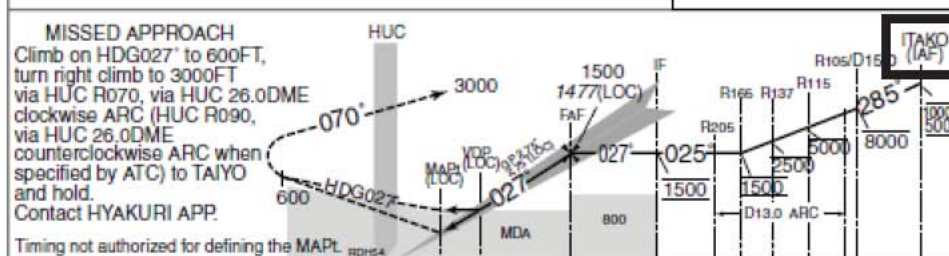
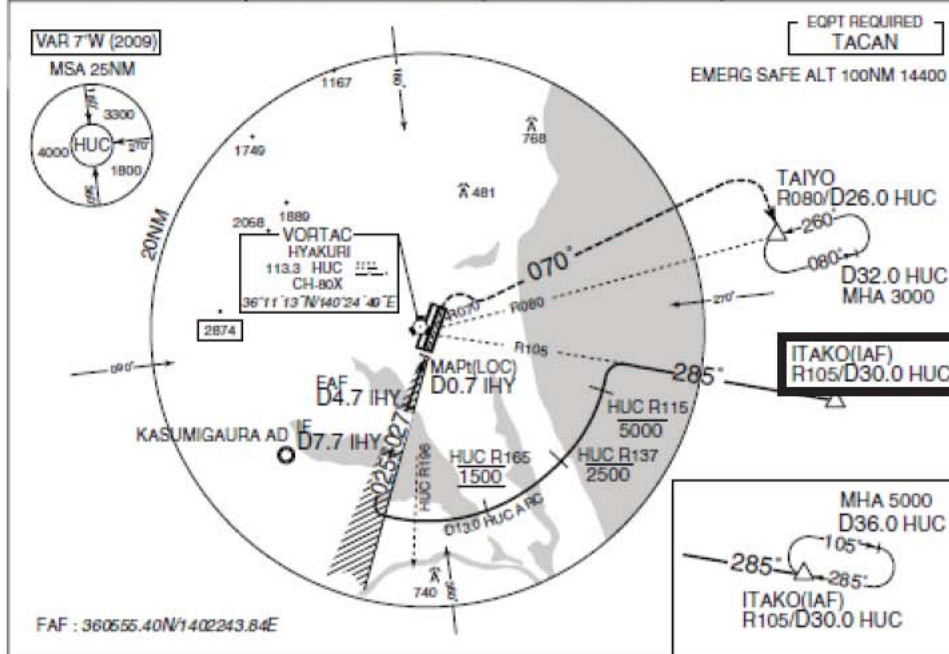
RJAH-AD2-24.15

AIP Japan
HYAKURI

INSTRUMENT APPROACH CHART

RJAH / HYAKURI ILS Y or LOC Y RWY03R

HYAKURI APP 120.1 - 123.875 305.7 - 362.3	ILS - LOC 109.3 IHY ILS-GP 332.0 ILS-DME CH-30X	HYAKURI TWR 118.025- 126.2 236.8 - 323.8 119.5G - 275.8G	RADAR AVBL
-------------------------------------------------	----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	------------



DME to IHY	0.7	1.4	4.7	7.7
NM to THR	0	0.5	1.2	4.5

CAT	THR elev. 107		AD elev. 107			
	DA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	RVR/CMV	MDA(H)	VIS
A	307 (200)	750	480 (373)	900	580 (473)	1600
B				1000		
C				1400	660 (553)	3200
D						

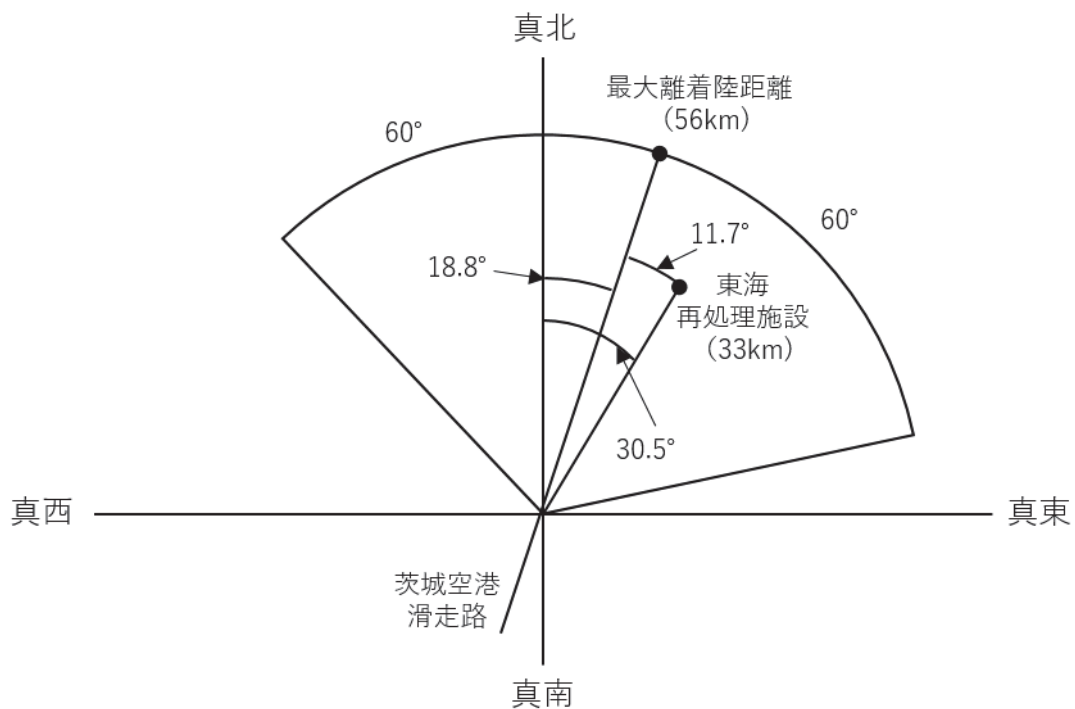
出典 : AIP

茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港—再処理施設の角度

茨城空港の磁方位は 26° ※1より，茨城空港の偏角を考慮し，真方位は約 18.8° である。※2

また，茨城空港—再処理施設の方位は約 30.5° （真方位）である。※3

したがって，茨城空港の滑走路方向に対する茨城空港—再処理施設の角度は，約 11.7° となる。



※1 茨城空港利用促進等協議会より

※2 国土地理院磁気偏角一覧図（2015年値）を基にしたHPツールより計算

※3 茨城空港と東海第二発電所の緯度，経度より計測

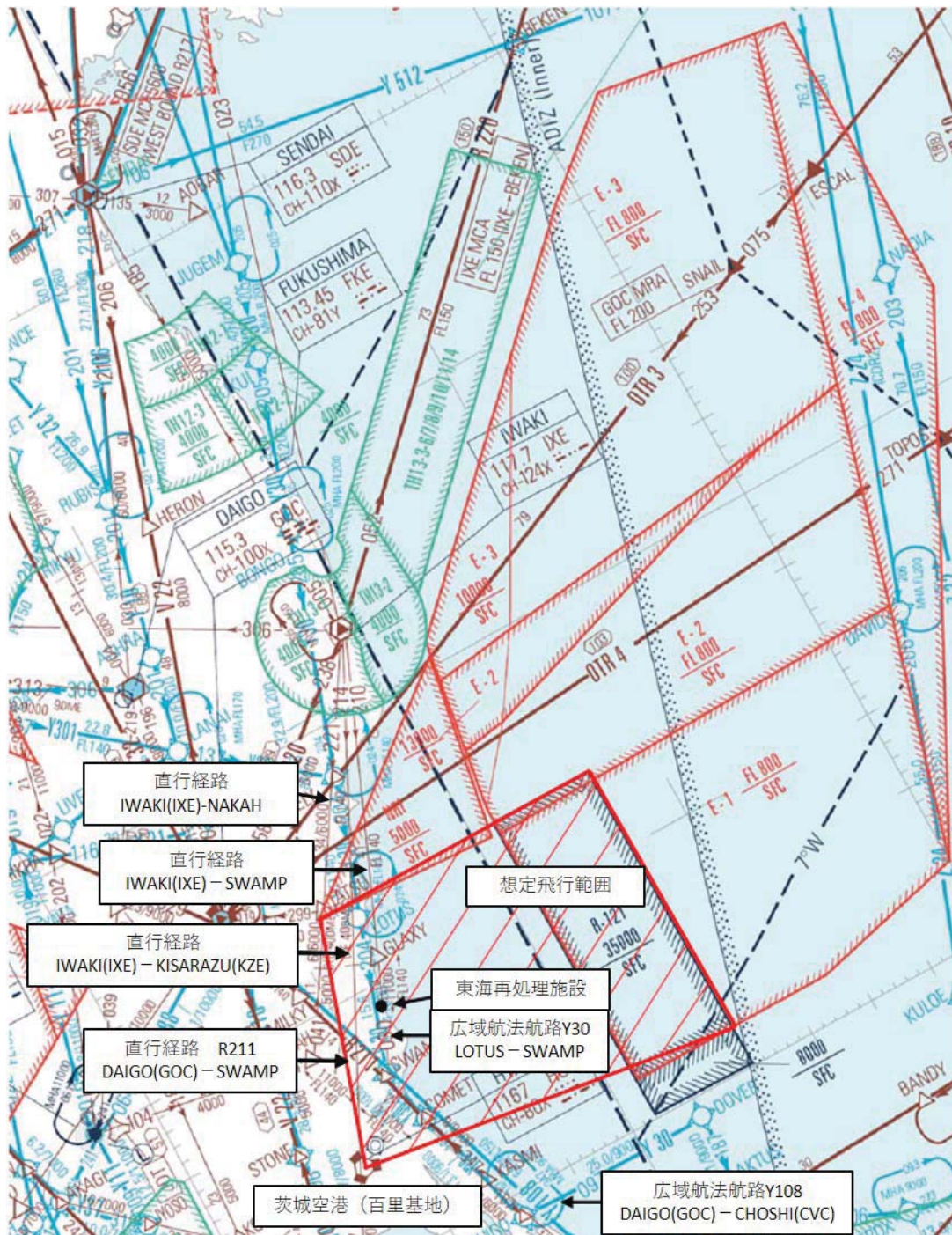
再処理施設周辺における航空路と各航路の幅

各航空路の中心線と再処理施設の最小距離が各航空路の片側の航空路幅を下回るものを評価対象として選定した。

周辺の航空路の名称	航空路の中心線と再処理施設の最小距離 ^{※1}	片側の航空路幅 ^{※2}	評価対象
直行経路 R211 DAIGO(GOC)－SWAMP	10.13 km	7 km	×
直行経路 IWAKI(IXE)－SWAMP	0.20 km	約 7.41 km (4 nm)	○
直行経路 IWAKI(IXE)－ KISARAZU(KZE)	5.14 km	約 7.41 km (4 nm)	○
直行経路 IWAKI(IXE)-NAKAH	16.70 km	約 7.41 km (4 nm)	×
広域航法航路 Y30 LOTUS－SWAMP	1.72 km	約 9.26 km (5 nm)	○
広域航法航路 Y108 (DAIGO(GOC)－ CHOSHI(CVC))	10.05 km	約 9.26 km (5 nm)	×

※1 施設と航空路の緯度及び経度より計測した。

※2 航空路 R211 については、「航空路の指定に関する告示」に記載の値とした。直行経路については、「航空路等設定基準」を参照した。RNAV 経路については、航法精度を航空路幅とみなして用いた。(1 nm=1.852 km として換算した。)



エンルートチャート (再処理施設付近)

離隔距離の算出方法について

1. 考え方

各影響評価対象施設における離隔距離が一定に確保されるように、影響評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲の面積の和が落下確率 10^{-7} (回/炉・年) に相当する面積となるまで標的面積を拡大させたときの離隔距離を算出した。

2. 離隔距離算出方法

2.1 断面が矩形の場合

影響評価対象施設の各辺の長さを (a_i , b_i) とした場合、離隔距離を L とすると、当該影響評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲 (面積: S_i) は以下の式で表される。断面が矩形の場合の離隔距離の概念図を図 2.1-1 に示す。

$$S_i = \pi L^2 + 2(a_i + b_i)L + a_i b_i \quad (1)$$

2.2 断面が円形の場合

影響評価対象施設の半径の長さを (R_i) とした場合、離隔距離を L とすると、当該影響評価対象施設近辺の航空機が落下しない範囲 (面積: S_i) は以下の式で表される。断面が円形の場合の離隔距離の概念図を図 2.1-2 に示す。

$$S_i = \pi(R_i + L)^2 = \pi L^2 + 2\pi R_i L + \pi R_i^2 \quad (2)$$

2.3 影響評価対象施設

影響評価対象施設である高放射性廃液貯蔵場 (HAW)、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟及び第二付属排気筒の施設データを表 2.3-1 に示す。

2.4 離隔距離の算出結果

(1) (2) 式を用いて、全ての影響評価対象施設に対して S_i を計算し、それらを合計した上で L について解くことで離隔距離が得られた。

表 2.3-1 施設データ

施設名	a_i	b_i	R_i
HAW 施設	34.95 m	36.65 m	—
TVF 開発棟	44.30 m	59.80 m	—
第二付属排気筒	—	—	3.23 m

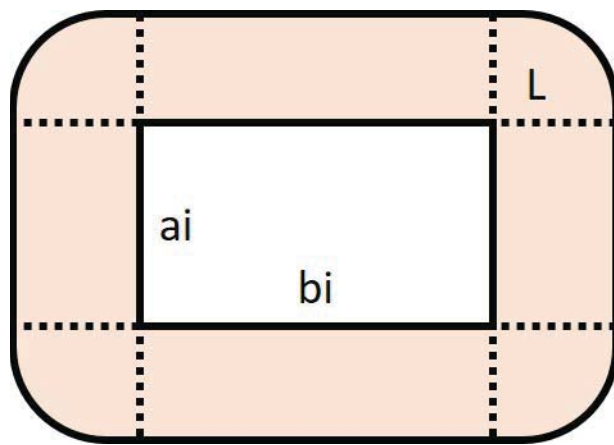


図 2.1-1 断面が矩形の場合の離隔距離の概念図

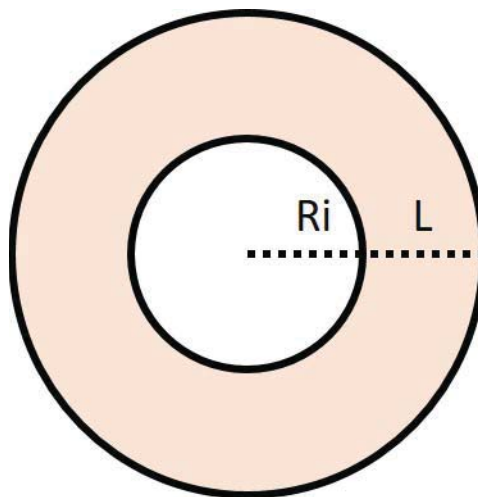


図 2.1-2 断面が円形の場合の離隔距離の概念図

計器飛行方式民間航空機における
離着陸時の事故における落下地点確率分布関数の算出

1. 考え方

「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率に対する評価基準について（内規）」に基づき、計器飛行方式民間航空機の「①飛行場での離着陸時」における落下事故の確率分布関数には、滑走路端から最大離着陸地点までの直線距離（ r_0 ）内の内円で滑走路方向両側に対し $\pm 60^\circ$ 以内の扇型に一様な分布又は周方向で正規分布を仮定し、評価結果が厳しい方を用いる。

2. 確率分布関数の算出

2.1 一様分布

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} \quad (\text{/km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (\text{km}^2)$$

r_0 : 最大離着陸地点までの直線距離 (55.56 km)

これらの式より一様分布における茨城空港での落下事故の確率分布関数 $\Phi(r_0, \theta)$ を求めると、 $1.55 \times 10^{-4} \text{ /km}^2$ となる。

2.2 正規分布

$$\Phi(r_0, \theta) = \frac{1}{A_{d,a}} f(x) \quad (\text{/km}^2)$$

$$A_{d,a} = \frac{2}{3} \pi r_0^2 \quad (\text{km}^2)$$

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cong 2.1 \times \exp\left(\frac{-30.42x^2}{\pi^2 r_p^2}\right)$$

$$A \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx \equiv \int_{-\pi r/3}^{\pi r/3} P dx \equiv \frac{2}{3} \pi r_p$$

$$\sigma = \frac{\pi r}{3 \times 2.6}$$

r_0 : 最大離着陸地点までの直線距離 (55.56 km)

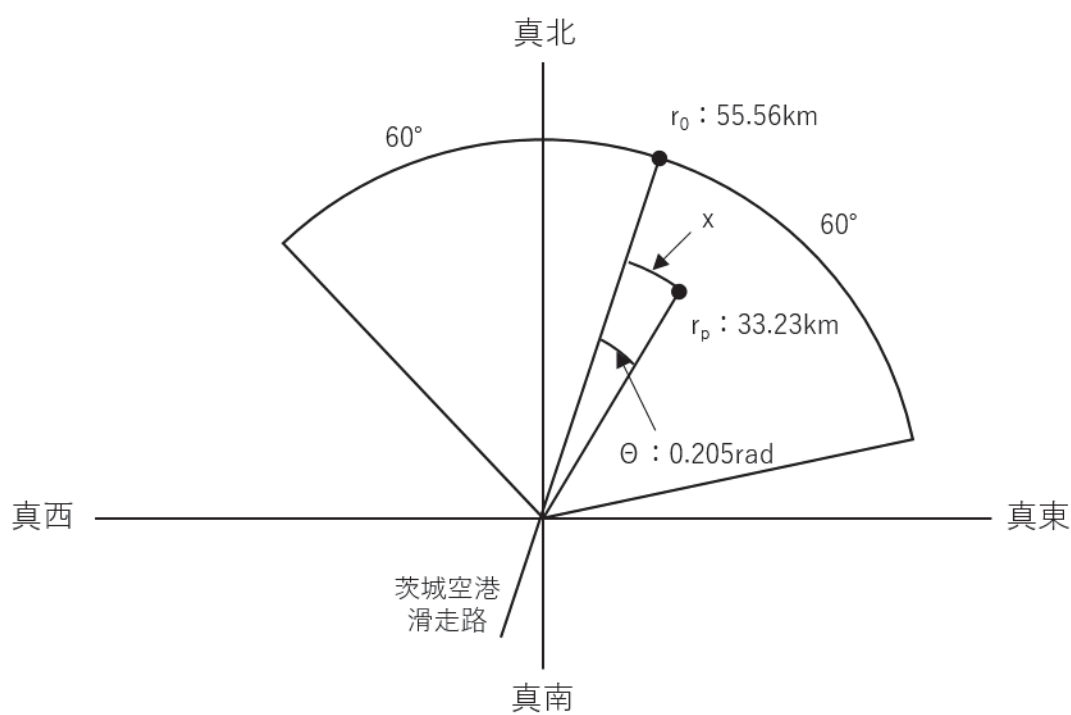
x : 滑走路軸上から原子炉施設までの距離（周方向）(6.80 km)

$x = r_p \times \theta$

θ : 滑走路方向に対する空港—再処理施設の角度 (0.205 rad)

r_p : 滑走路端から再処理施設までの距離（径方向）(33.23 km)

これらの式より正規分布における茨城空港での落下事故の確率分布関数 $\Phi(r_0, \theta)$ を求めると、 $2.85 \times 10^{-4} / \text{km}^2$ となる。



2.3 算出結果

以上の結果より、より厳しい正規分布を仮定した方法を用いることとした。

ピークデイにおける航空交通量について

国土交通省航空局交通管制部に問い合わせたピークデイにおける航空交通量を示す。

対象経路	平成 24 年ピークデイにおける航空交通量
IWAKI(IXE)－SWAMP	0
IWAKI(IXE)－KISARAZU(KZE)	0
Y30 (LOTUS－SWAMP)	92

基地－訓練空域間往復時の落下事故における航空機落下確率の推定について

1. 評価方法

基地－訓練空域間往復時の落下事故における航空機落下確率の推定にあたり、再処理施設上空に存在する「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」において、過去 20 年間に於ける事故実績はない。しかし、全国では基地－訓練空域間往復時の落下事故における航空機落下が過去 20 年間に 5 件発生している。

そこで、本航空機落下確率の算出においては、実際に落下事故実績のある全国の基地と訓練空域間を往復時の落下事故件数及び全国の基地の想定飛行範囲の面積を用いて算出した全国平均の基地－訓練空域間往復時の航空機落下確率を 2 倍した値（以下「全国平均の落下確率の 2 倍値」という。）を「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」の落下事故における航空機落下確率とする。

以下に、全国平均の落下確率の 2 倍値を用いる考え方を示す。

- 百里基地特有の特殊な機種は配備されていない。また、全国では基地－訓練空域間往復時に合計 5 件の落下事故実績があるにも関わらず、百里基地－訓練空域間往復時では落下事故実績がないこと等を考慮すると、百里基地の落下確率は全国平均に対して同程度又はそれ以下と考えられる。
- 落下事故実績が存在する全国平均の落下確率を参考としたうえで、保守性を確保するために全国平均の落下確率の 2 倍値を百里基地－訓練空域間往復時の落下確率として採用する。
- 百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲の面積は小さいこと、防衛省による原子力関連施設上空の飛行は原則として行わないよう制限されていること等を考慮すると、全国平均の落下確率の 2 倍値には実際の落下確率より十分高いと考えられる。図 1-1 に「原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）」を示す。

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

昭和 44 年 2 月 6 日
陸幕航第 59 号

改正 平成 10 年 3 月 23 日陸幕運第 145 号 平成 19 年 1 月 9 日陸幕法第 1 号
平成 19 年 3 月 28 日陸幕法第 61 号 平成 21 年 2 月 3 日陸幕法第 10 号

各方面総監
中央即応集団司令官 殿
中央管制気象隊長
航空学校長

陸上幕僚長の命により
総務課長

（例規 99）

原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）

標記について、さきに防衛事務次官の指示に基づきその実施について通達したところであるが、その後さらに細部について示されたので、今後下記により実施されたい。

なお、陸幕航第 583 号（43. 9. 2）は廃止する。

記

- 1 原子力関連施設上空の飛行は、原則として行わないものとする。
- 2 管制機関の指示又は原子力関連施設の位置等の関係から、やむを得ずその上空を飛行する必要がある場合には、動力装置の停止等緊急事態が発生してもこれらの施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行するものとする。
- 3 原子力関連施設は航空路図誌（防衛省監修）に記載され、その設置・廃止等の状況は逐次追録されるので、関係者に当該施設の位置を周知徹底させるものとする。

図 1-1 「原子力関連施設上空の飛行制限について（通達）」

2. 評価結果

1.で示した評価方法により，基地－訓練空域間往復時の落下事故における航空機落下確率に必要なデータを算出した。

$$Pse = fse \cdot A/Sse$$

Pse：対象施設への航空機落下確率（回／年）

fse：基地と訓練空域間を往復中の落下事故率（回／年）

A：原子炉施設の標的面積（km²）

Sse：想定飛行範囲の面積（km²）

fse ^{※1}	自衛隊機 0.25 (=5/20)
Sse ^{※2}	175,720
fse / Sse ^{※3}	3.00 × 10 ⁻⁶

※1 離着陸時の事故件数は、「航空機落下事故に関するデータ」（平成28年6月 原子力規制委員会）より，百里基地－訓練空域間の想定飛行範囲内における自衛隊機の移動時の事故件数は平成5年～平成24年において0件であったため，全国の基地－訓練空域間の落下実績5件を用いた。

※2 全国の基地－訓練空域間往復時の想定飛行範囲の面積。

※3 fse, Sseから算出された約1.42×10⁻⁶回／（年・km²）を保守的に2倍

3. 全国平均の落下確率の2倍値を用いることの保守性について

「基地（百里基地）－訓練空域間往復時」は過去20年間落下実績がなく，航空機落下確率算出時の発生件数の与え方に不確かさが存在する一方で，全国の基地－訓練空域間の往復時は過去20年間で5件落下実績が存在する。全国平均の落下確率は，評価の母集団を大きくすることにより落下事故件数を実績値（5件）に基づき評価していること，基地－訓練空域間を往復時の落下確率が基地毎に大きく異なることは考えにくいことを考慮すると，全国平均の落下確率は国内における平均的な落下確率として信頼性があると考ええる。本評価ではさらに保守性を考慮するために全国平均の落下確率の2倍値を用いることとする。

また，原子力関連施設上空の飛行を原則行わないよう制限されていること，やむを得ず原子力関連施設の上空を飛行する必要がある場合には，動力装置の停止等緊急事態が発生しても原子力関連施設に危害を及ぼさないような高度及び経路で飛行することについて評価上考慮しておらず，この点においても保守性は確保されている。

航空機墜落における火災熱影響評価：データの算出について

1. 航空機墜落における火災熱影響評価

1.1 評価機種を選定

別紙 6-1-4-3-4-1 により抽出した航空機より、他のカテゴリの評価に内包されるものについては、以下のとおり評価対象外とした。落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種を表 1.1-1 に示す。

- (1) 計器飛行方式民間航空機の②航空路を巡航時については、対象航空機が同じ B747-400 でありより離隔距離の短い有視界方式民間航空機の③大型機（大型固定翼機および大型回転翼機）の評価に内包されるため評価対象外とした。
- (2) 有視界方式民間航空機の④小型機（小型固定翼機および小型回転翼機）については、燃料搭載量が最大となる Do228-200 であっても 3 m³と F-15 の 15 m³に比べて燃料搭載量が少ないため、より離隔距離の短い自衛隊機又は米軍機の⑦基地－訓練空域間往復時の評価に内包されるため評価対象外とした。
- (3) 自衛隊機又は米軍機の訓練区域外を飛行中の⑥その他の大型固定翼機、小型固定翼機および回転翼機については、対象航空機が同じ F-15 でありより離隔距離の短い自衛隊機又は米軍機の⑦基地－訓練空域間往復時の評価に内包されるため評価対象外とした。

1.2 各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータを表1.2-1に示す。

表1.1-1 落下事故のカテゴリごとの離隔距離と評価機種

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 [m]
計器飛行方式 民間航空機	飛行場での離発着時	B737-800	228
有視界方式 民間航空機	大型機 (大型固定翼機および大型回転翼機)	B747-400	209
自衛隊機 又は米軍機	訓練区域外を飛行中，空中給油機等，高高度 での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	200
	基地－訓練空域間往復時	F-15	39

表 1.2-1 各カテゴリ航空機及び燃料に係るデータ

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃料の種類	燃料量 [m ³]	輻射発散度 [W/m ²]	質量低下速度 [kg/m ² /s]	燃料密度 [kg/m ³]	燃焼面積 [m ²]
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離発着時	B737-800	JET A-1	26.02 ^{※1}	50,000	0.039 ^{※4}	840 ^{※5}	126 ^{※6}
	有視界方式民間航空機	B747-400	JET A-1	216.84 ^{※1}				700 ^{※6}
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中 空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	JP-4	145.04 ^{※2}	58,000	0.051 ^{※4}	760 ^{※4}	406 ^{※6}
	基地－訓練空域間往復時	F-15	JP-4	14.87 ^{※3}				45 ^{※7}

※1：ボーイングジャパン ホームページ“737, 747 型機情報”

※2：「世界航空機年間 2012-2013」記載値

※3：航空ジャーナル 2月号増刊 F-15 イーグル（航空ジャーナル社 昭和 55 年 2 月 5 日発行）記載値

※4：NUREG-1805 記載値

※5：JISK2209-1991 記載の 1 号の値

※6：ボーイング社 web 資料記載の図面より、主翼並びに胴体下部が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値

※7：※3 記載の機体図面より燃料タンクの配置並びに大きさを想定し面積を算出した値

2. 燃焼半径の算出

円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は燃焼面積を円筒の底面と仮定して以下の通り算出した。

$$R = \sqrt{S/\pi} \quad [\text{m}]$$

R：燃焼半径[m]，S：燃焼面積[m²]

小数点第4位以下を切り上げた。

航空機の燃焼半径を表2-1に示す。

表 2-1 航空機の燃焼半径

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃焼面積 [m ²]	燃焼半径 [m]
計器飛行方式民	飛行場での離発着時	B737-800	126	6.334
有視界方式民間 航空機	大型機（大型固定翼機および大型回転翼機）	B747-400	700	14.928
自衛隊機又は米 軍機	訓練空域外を飛行中空中 給油機等，高高度での巡航が想 定される大型固定翼機	KC-767	406	11.369
	基地－訓練空域間往復時	F-15	45	3.785

3. 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度（＝質量低下速度／燃料密度）で除して算出した。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}$$

t : 燃焼継続時間 [s], V : 燃料量 [m^3], R : 燃焼半径 [m], v : 燃焼速度 [m/s]
 計算結果は小数点以下を切り上げとした。
 航空機の燃焼継続時間を表3-1に示す。

表 3-1 航空機の燃焼継続時間

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃料量 [m ³]	燃焼半径 [m]	質量低下速度 [kg/m ² /s]	燃料密度 [kg/m ³]	燃焼継続時間 [s]
計器飛行方式民間航空機	飛行場での離発着時	B737-800	26.02	6.334	0.039	840	4,451
	有視界方式民間航空機	大型機（大型固定翼機および大型回転翼機）	B747-400	216.84			14.928
自衛隊機 又は米軍機	訓練空域外を飛行中、空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	145.04	11.369	0.051	760	5,325
	基地－訓練空域間往復時	F-15	14.87	3.785			4,925

4. 形態係数の算出

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について^[1]」(以下「ガイド」という。)に従い、以下の式から形態係数を算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right] - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right] \right\}$$

ただし $m = \frac{H}{R} \cong 3$, $n = \frac{L}{R}$, $A = (1 + n)^2 + m^2$, $B = (1 - n)^2 + m^2$

ϕ :形態係数, L:離隔距離[m], H:炎の高さ[m], R:燃焼半径[m]

m,n,A,B は小数点第 5 位以下を四捨五入した。

航空機の形態係数を表4-1に示す。

4-1 表 航空機の形態係数

落下事故のカテゴリ		対象航空機	離隔距離 [m]	燃焼半 径[m]	形態係数 [-]
計器飛行方式	飛行場での離発着時	B737-800	228	6.334	1.50E-03
有視界方式民間航空機	大型機(大型固定翼機および大型回転翼機)	B747-400	209	14.928	1.00E-02
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中空中給油機等, 高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	200	11.369	6.40E-03
	基地-訓練空域間往復時	F-15	39	3.785	1.90E-02

5. 輻射強度の評価

ガイドに従い、火炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度は、輻射発散度に形態係数をかけた値になる。

$$E = Rf \cdot \phi$$

E:輻射強度[W/m²], Rf:輻射発散度[W/m²], ϕ :形態係数

計算結果は小数点第3位以下を切り上げとした。

航空機の輻射強度を表5-1に示す。

表 5-1 航空機設からの輻射強度

落下事故のカテゴリ		対象航空機	燃料輻射 発散度 [W/m ²]	形態係数 [-]	輻射強度 [W/m ²]
計器飛行方式	飛行場での離発着時	B737-800	50,000	1.50E-03	75
有視界方式民間航空機	大型機（大型固定翼機および大型回転翼機）	B747-400		1.00E-02	500
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	58,000	6.40E-03	372
	基地－訓練空域間往復時	F-15		1.90E-02	1,102

6. 参考文献

[1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について，平成 25 年 6 月．

航空機墜落における火災熱影響評価：外壁に対する熱影響評価について

1. 影響評価対象範囲

カテゴリ毎における航空機墜落によって発生する火災を想定した場合のコンクリート外壁面及び第二付属排気筒の温度評価を実施した。

2. 評価手法

2.1 許容温度

2.1.1 コンクリート製建家

コンクリート製建家については、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、コンクリート圧縮強度が維持される保守的な温度200℃を許容温度とした。(別紙参考6-1-4-3-4-3-1参照)

2.1.1 第二付属排気筒

第二付属排気筒については、火災時における短期温度上昇を考慮した場合において、鋼材（SMA41）の強度が維持される保守的な温度350℃*以下とした。

* 「発電用原子力設備規格 材料規格（JSMR）」に基づき、鋼材における常温時の強度が維持される保守的な温度である350℃を許容温度とする。

2.2 コンクリート外壁面熱影響評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の一般解の式^[1]よりコンクリート表面の温度上昇を求め、コンクリート外壁表面の温度Tが許容温度200℃以下であるかを評価した。また、同式を用いて、外壁表面の温度が200℃となる輻射強度を算出した。

$$T = T_0 + \left(\frac{E}{h}\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{kt}}\right) - \exp\left(\frac{h}{\lambda}x + \frac{h^2}{\lambda^2}kt\right) \left\{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{kt}} + \frac{h}{\lambda\sqrt{kt}}\right)\right\}\right] \quad (1)$$

T : コンクリート表面から x [m]の位置の温度[℃]

T_0 : 初期温度 (50 [℃]) *¹

h : 熱伝達率 (17 [W/m²/K]) ^[2]

κ : コンクリート温度伝導率 (= $\lambda/(\rho C_p)$) [m²/s]

ρ : コンクリート密度 (2400 [kg/m³]) ^[3]

C_p : コンクリート比熱 (963 [J/kg/K]) ^[3]

λ : コンクリート熱伝導率 (1.74 [W/m/K]) ^[3]

E : 輻射強度[W/m²]

t : 燃焼継続時間[s]

x : コンクリート壁表面深さ (0[m])

※1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

(1) 式で求めた輻射強度となる形態係数 Φ を、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書C原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について^[4]」(以下「ガイド」という。)に従い(2)式により算出した。

$$E = R_f \cdot \phi \quad (2)$$

E : 輻射強度 [W/m²]

R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]

ϕ : 形態係数

(2) 式で求めた形態係数 ϕ となる危険距離 L をガイドに従い(3)式より算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi m} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \quad (3)$$

ϕ : 形態係数

H : 火炎長 [m]

L : 離隔距離 [m]

R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。なお、天井スラブは以下の理由により、外壁の評価に包絡されるため実施しない。

- ・火炎長が天井スラブより短い場合、天井スラブに輻射熱を与えないことから熱影響はない。
- ・火炎長が天井スラブより長い場合、天井スラブに輻射熱を与えるが、その輻射熱は外壁に与える輻射熱より小さい。

なお、温度については小数点1桁で切り上げし、危険距離についてはメートル単位で、切り上げとした。

コンクリート製外壁に対する熱影響評価結果を表2.2-1に示す。

コンクリート製建家表面の温度上昇を評価した結果、コンクリート表面の最高温度は77.9℃であり許容温度である200℃以下であることを確認した。コン

クリート製建家表面の温度が、コンクリートの許容温度200℃以下となる危険距離についても離隔距離を下回っていることを確認した。

2.3 第二付属排気筒熱影響評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で外壁が昇温されるものとして、下記の熱バランス式^[5]より第二付属排気筒の温度上昇を求め、第二付属排気筒の温度Tが許容温度350℃以下であることを評価した。また、同式を用いて、第二付属排気筒の温度が350℃となる輻射強度を算出した。

$$T = \frac{E}{2h} + T_0 \quad (1)$$

T : 温度 [°C]

E : 輻射強度 [W/m²]

h : 熱伝達率 (17.0 [W/m²/K])^[2]

T₀ : 周囲空気温度 (50 [°C])^{*1}

*1 : 水戸地方気象台で観測された過去10年間の最高気温に保守性を持たせた値

(1)式で求めた輻射強度となる形態係数Φを、ガイドに従い(2)式により算出した。

$$E = R_f \cdot \phi \quad (2)$$

E : 輻射強度 [W/m²]

R_f : 火炎輻射強度 [W/m²]

φ : 形態係数

(2)式で求めた形態係数φとなる危険距離Lをガイドに従い(3)式より算出した。

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A - 2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \quad (3)$$

φ : 形態係数

H : 火炎長 [m]

L : 離隔距離 [m]

R : 燃焼半径 [m]

上記のとおり危険距離を算出し、影響評価対象施設までの離隔距離を下回るか評価を実施した。

なお、温度については小数点1桁で切り上げし、危険距離についてはメートル単位で、切り上げとした。

第二付属排気筒に対する熱影響評価結果を表2.2-2に示す。

第二付属排気筒の温度上昇を評価した結果、第二付属排気筒の最高温度は82.5℃であり許容温度である350℃以下であることを確認した。第二付属排気筒の温度が、鋼材（SMA41）の許容温度350℃以下となる危険距離についても離隔距離を下回っていることを確認した。

表 2.2-1 コンクリート製外壁に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度 [℃]	危険距離 [m]
計器飛行方式	飛行場での離発着時	B737-800	51.9	23
有視界方式民間航空機	大型機（大型固定翼機および大型回転翼機）	B747-400	63.9	57
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	59.7	46
	基地－訓練空域間往復時	F-15	77.9	35

表 2.2-2 第二付属排気筒に対する熱影響評価結果

落下事故のカテゴリ		対象航空機	評価温度 [℃]	危険距離 [m]
計器飛行方式	飛行場での離発着時	B737-800	52.3	15
有視界方式民間航空機	大型機（大型固定翼機および大型回転翼機）	B747-400	64.8	36
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外を飛行中空中給油機等、高高度での巡航が想定される大型固定翼機	KC-767	61.0	31
	基地－訓練空域間往復時	F-15	82.5	11

3. 参考文献

- [1]安全工学講座1 火災1983年海文堂出版
- [2]空気調和・衛生工学便覧 空気調和・衛生工学会（2010）
- [3]日本機械学会 伝熱工学資料改訂第5版（2009）
- [4] 原子力規制委員会、発電所の外部火災影響評価ガイド 附属書 C 原子力発電所の敷地内への航空機墜落による火災の影響評価について、平成 25 年 6 月。

[5]建築火災のメカニズムと火災安全設計, 原田和典, (財) 日本建築センター,
(2007)

コンクリートの許容温度について

1. コンクリートの許容温度

「建築火災のメカニズムと火災安全設計（財団法人 日本建築センター）」^[1]に基づき、コンクリートの強度が維持される温度である 200℃を許容温度として設定する。図 1-1 に「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋を示す。

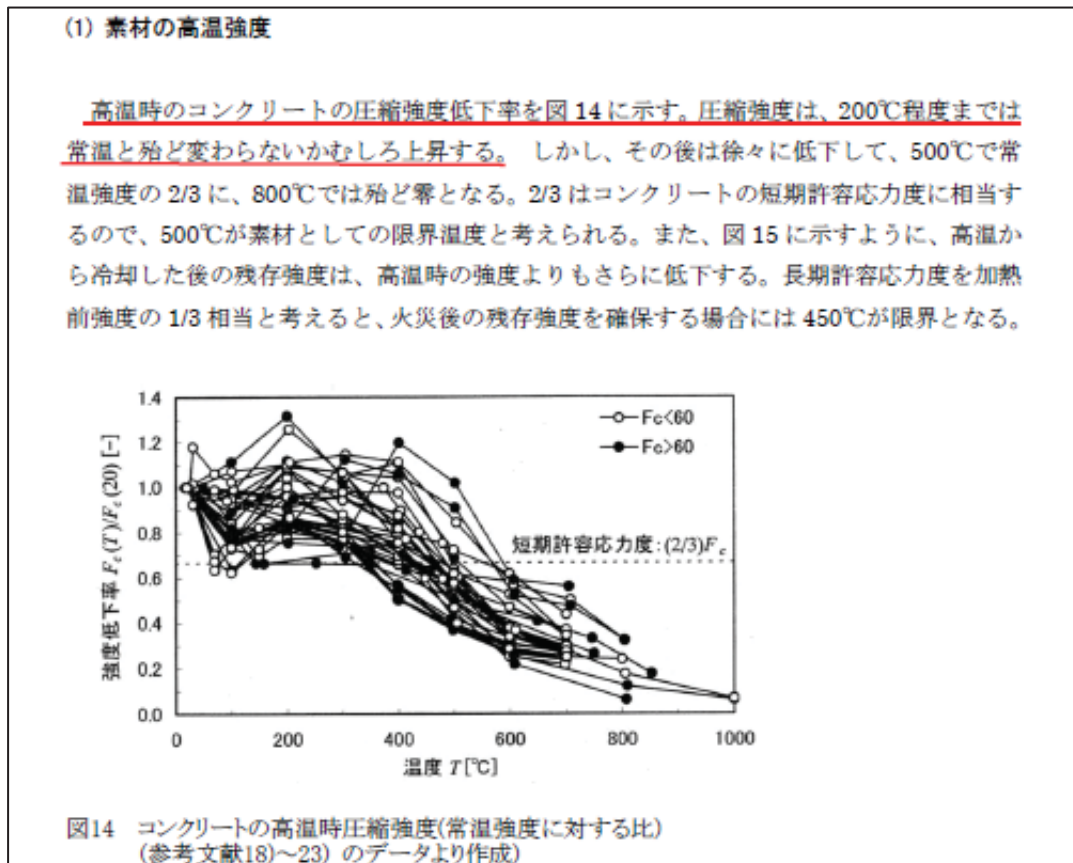


図 1-1 「建築火災のメカニズムと火災安全設計」の抜粋

2. 参考文献

[1] 建築火災のメカニズムと安全設計，原田和典，財団法人日本センター，2007年

航空機墜落火災と森林火災の重畳評価

1. 重畳評価で想定するケースの検討

航空機が森林に落下したことを想定して、航空機墜落火災と森林火災による重畳評価を実施した。

航空機墜落火災として想定する機種は別紙 6-1-4-3-4-3 の評価結果より、最も熱影響が大きい F-15 とした。

火災火災として想定するケースは添付資料 6-1-4-3-2 の評価結果より、コンクリート製建家については最も熱影響が大きい発火点 1，第二付属排気筒については発火点 3 とした。

2. 評価に使用したデータ

重畳評価に使用したデータを表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 重畳評価に使用したデータ (コンクリート製建家)

火災源	HAW		TVF	
	壁面温度[°C]*	上昇温度[°C]	壁面温度[°C] *	上昇温度[°C]
航空機墜落火災 (F-15)	77.9	27.9	77.9	27.9
森林火災 (発火点 1)	79	29	121	71

※初期温度は 50°C

表 2-2 重畳評価に使用したデータ (第二付属排気筒)

火災源	HAW	
	壁面温度[°C]*	上昇温度[°C]
航空機墜落火災 (F-15)	82.5	32.5
森林火災 (発火点 3)	77	27

※初期温度は 50°C

3. 評価結果

両火災源の上昇温度より重畳評価を行った。重畳評価結果を表 3-1 に示す。

どのケースにおいてもコンクリートの許容温度 200°C 及び鋼材 (SMA41) の許容温度 350°C を下回ることを確認した。

表 3-1 重畳評価結果

施設	壁面温度[°C] ※	許容温度[°C]
HAW	106.9	200
TVF	148.9	200
第二付属排気筒	109.5	350

※初期温度は 50°C

有毒ガス及びばい煙の影響評価について

1. 概要

外部火災により発生するばい煙については、火災による上昇気流により上空に運ばれるため、ばい煙が防護対象設備の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが、ばい煙及び有毒ガスが設備に与える影響について、評価を実施する。

2. 評価対象

「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド^[1]」では、ばい煙による安全上重要な設備に対する影響として、燃焼生成物の換気又は空気供給系からの侵入による電気故障、非常用ディーゼル発電機の故障、有毒ガスによる影響等が挙げられている。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機、蒸気及び工業用水の供給施設）については事故対処設備として配備する設備により代替するため、ばい煙の影響が想定される設備として、「外気を取り込む空調系統」について評価を実施する。また、建家内にばい煙及び有毒ガスを含んだ外気を取り込まれた場合の居住性の観点から評価を実施する。影響評価対象設備を表2-1に示す。

なお、ばい煙の粒形については浮遊粒子状物質の粒形である10 μm ^{[2] [3]}を想定し、PM10により評価した。

表 2-1 ばい煙及び有毒ガスによる影響評価対象

分類	評価対象設備	
機器への影響	外気を取り込む空調系統	換気系設備
居住性への影響	外気を取り込む空調系統	HAW 内居住空間 TVF 内居住空間

3. 評価結果

3.1 外気を取り込む空調系統

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の換気系統の給気用のファン入口にはフィルタが設置されている。捕集率85%以上（粒形10 μm ）のプレフィルタおよび捕集率97%以上（粒形0.3 μm ）の高性能フィルタを有しているため、外部火災で発生する粒径が一定以上のばい煙は、このフィルタにより侵入を阻止可能である。また、ばい煙によるフィルタの閉塞については、給気圧又は施設負圧を監視することで検知可能である。

したがって、ばい煙の影響により外気を取り込む空調系統に直ちに影響を与

えることはない。

HAW換気系の系統概略図を図3-1に、TVF換気系の系統概略図を図3-2に示す。

3.2 居住性評価

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に侵入する有毒物質（CO, CO₂, PM₁₀（ばい煙））の最大濃度を「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」^{〔4〕}で判断基準とされているImmediately Dangerous to Life of Health[※]^{〔5〕}（以下「IDLH」という。）と比較することで、有毒ガスに対する評価を実施し、作業員に影響を及ぼさないことを評価した。

なお、外部火災発生時に高放射性廃液貯蔵場（HAW）制御室に常駐する必要はなく、30分以内に退避可能である。

※：30分曝露によって生命及び健康に対する即時の危険な影響を与える濃度限度値であり、脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている。

3.2.1 影響評価手法

火災による有毒ガス及びばい煙の発生量、風速及び大気拡散度に基づき、原子力施設の安全審査で使用される有風時ブルーム式を用いて、評価対象施設入気口における有毒ガス濃度及びばい煙濃度 C_{xyz} を評価した。

（有風時ブルーム式）^{〔6〕}

$$C_{xyz} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left(\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right) \quad (1)$$

（Briggsの排煙上昇過程式）^{〔7〕}

$$H_e = 1.6F^{\frac{1}{3}} \cdot x^{\frac{2}{3}} \cdot u^{-1} \quad (2)$$

- C_{xyz} : 濃度
- Q : 有毒ガス・ばい煙発生量 (Nm³/s)
- H_e : 有効発生高さ (m)
- σ_y, σ_z : 拡散パラメータ (m)
- u : 風速 (m/s)
- F : 排熱フラックス (m⁴/s³) = 0.037 Q_H
- Q_H : 排気熱量 (kcal/s) = $\dot{m}A\Delta H_{c,eff}$
- $\Delta H_{c,eff}$: 焼却時発熱量 (kcal/kg)
- A : 燃焼面積 (m²)
- \dot{m} : 質量低下速度 (kg/m²/s)
- x : 発生源と入気口との離隔距離 (m)

z : 発生源と入気口との鉛直方向距離 (m)
 y : 排気プルーム軸からの距離 (m)

図 3.2.1-1 に、入気口における有害ガス・ばい煙濃度評価手法の概要を示す。

本評価では、航空機墜落火災を想定し、それぞれの火災により発生する有毒ガス及びばい煙の入気口位置における濃度を求める。評価手順は以下のとおりである。

- ① 火災源から発生する有毒ガス・ばい煙発生量 Q を算出する。
- ② 火災源における排気熱量 Q_H を算出する。
- ③ 式 (2) を用いて、入気口中央の地表面からの高さ H_e と等しくなる風速 u を求める。
- ④ 式 (1) を用いて、入気口における有害ガス・ばい煙濃度を求める。

有毒ガスの場合、それぞれの火災源に対して算出した入気口位置の有毒ガス濃度の合算値を評価値として、IDLHの値以下であることを確認した。評価結果を表3.2.1-1から表3.2.1-8に示す。算出に用いた詳細なデータを別紙参考6-1-4-3-4-4-1に示す。

その結果、全ての評価対象においてIDLH以下であり、高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及びガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の居住性が直ちに損なわれることはないと評価できた。

運転員が常駐するガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の制御室については、30分以内に給気ダンパを閉止して外気と隔離することを可能とする措置を講じる。また、外部火災発生時に高放射性廃液貯蔵場

(HAW) 制御室に常駐する必要はないため、30分以内に退避可能であるとともに、外部火災の影響下で現場操作等が必要な場合に備えて、酸素マスク等の装備を配備する。以上の安全対策により航空機の墜落による火災時においても施設内で必要な活動を継続することができる。

表 3.2.1-1 ガス濃度評価結果(計器飛行方式民間航空機 B737-800)

評価対象	ガス濃度[ppm] (IDLH 値)			
	CO ₂ (40,000)	CO (1,200)	SO ₂ (100)	NO ₂ (20)
HAW入気チャンバ	171	2.75	0.05	0.28
TVF給気塔	192	3.1	0.05	0.32

表 3.2.1-2 ばい煙濃度評価結果(計器飛行方式民間航空機 B737-800)

評価対象	ばい煙濃度[mg/m ³]	
	IDLH	1,750[mg/m ³]
HAW入気チャンバー	17	
TVF給気塔	19	

表 3.2.1-3 ガス濃度評価結果(有視界方式民間航空機大型機 B747-400)

評価対象	ガス濃度[ppm]			
	(IDLH 値)			
	CO ₂ (40,000)	CO (1,200)	SO ₂ (100)	NO ₂ (20)
HAW入気チャンバー	643	10.36	0.16	1.06
TVF給気塔	718	11.57	0.17	1.19

表 3.2.1-4 ばい煙濃度評価結果(有視界方式民間航空機大型機 B747-400)

評価対象	ばい煙濃度[mg/m ³]	
	IDLH	1,750[mg/m ³]
HAW入気チャンバー	62	
TVF給気塔	70	

表 3.2.1-5 ガス濃度評価結果(自衛隊機及び米軍機(訓練空域外高高度飛行)KC-767)

評価対象	ガス濃度[ppm]			
	(IDLH 値)			
	CO ₂ (40,000)	CO (1,200)	SO ₂ (100)	NO ₂ (20)
HAW入気チャンバー	611	9.44	0.09	0.97
TVF給気塔	681	10.52	0.10	1.08

表 3.2.1-6 ばい煙濃度評価結果

6-1-4-3-4-4-5

(自衛隊機及び米軍機(訓練空域外高高度飛行)KC-767)

評価対象	ばい煙濃度[mg/m ³]	
	IDLH	1,750[mg/m ³]
HAW入気チャンバー	59	
TVF給気塔	66	

表 3.2.1-7 ガス濃度評価結果(自衛隊機及び米軍機(基地-訓練空域往復)F-15)

評価対象	ガス濃度[ppm]			
	(IDLH 値)			
	CO ₂ (40,000)	CO (1,200)	SO ₂ (100)	NO ₂ (20)
HAW入気チャンバー	2918	45.08	0.41	4.92
TVF給気塔	2962	45.76	0.42	5

表 3.2.1-8 ばい煙濃度評価結果(自衛隊機及び米軍機(基地-訓練空域往復)F-15)

評価対象	ばい煙濃度[mg/m ³]	
	IDLH	1,750[mg/m ³]
HAW入気チャンバー	281	
TVF給気塔	285	

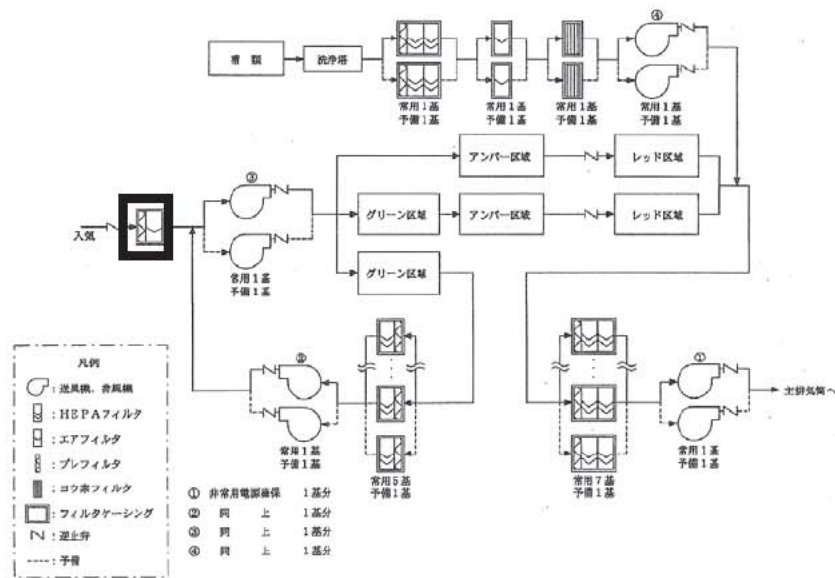


図 3.2-1 HAW 換気系の系統概略図

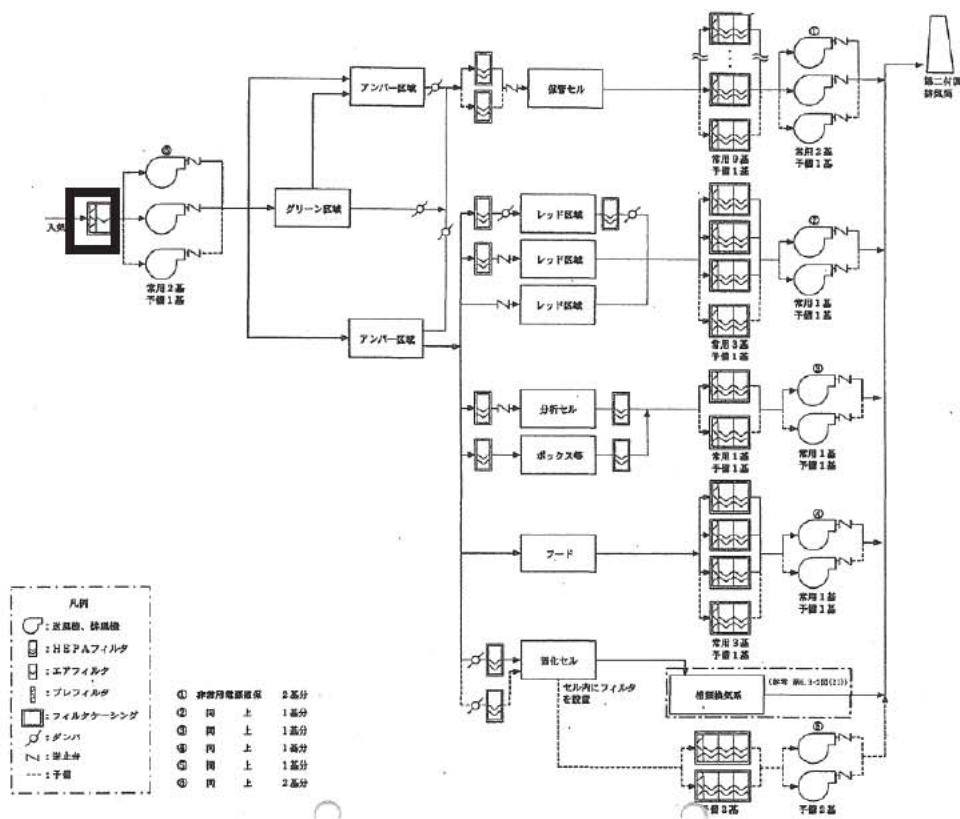


図 3.2-2 TVF 換気系の系統概略図

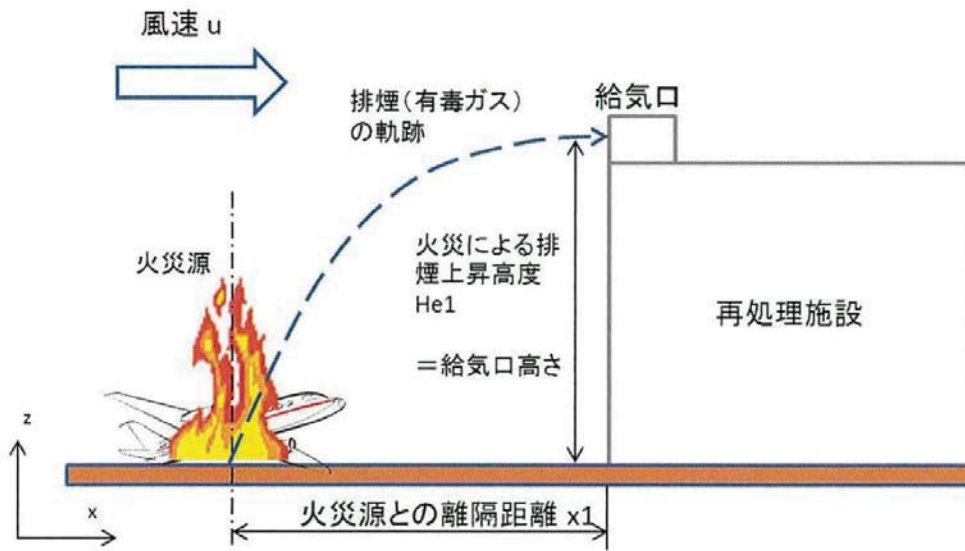


図 3.2.1-1 入気口におけるばい煙濃度評価手法の概要

4. 参考文献

- [1]原子力規制委員会，発電所の外部火災影響評価ガイド，平成25年6月.
- [2]環境庁告示25号，大気の汚染に係る環境基準について，昭和48年5月8日
- [3]森本 正俊，ばい煙発生施設からのばいじん粒子の解析，愛知県環境調査センター所報，38号，p.1-6，(2010)
- [4]原子力規制委員会，有毒ガス防護に係わる影響評価ガイド，平成29年4月.
- [5]The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH),Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values (<https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>)
- [6]公害研究センター窒素酸化物総量規制マニュアル
- [7]S.R.Hanna, G.A.Briggs and R.P.Hosker,Jr., “Handbook on Atmospheric Diffusion” , pp.13-15,DOE/TIC-11223.,U.S. DOE.

有毒ガス及びばい煙の影響評価：データの算出について

1. 評価対象及び火災源に関するデータ

表1-1から表1-4に評価対象からの距離に関するデータを示す。

表 1-1 計器飛行方式民間航空機 B737-800

評価対象	離隔距離 [m]	高低差 [m]
HAW施設入気チャンバー	228	21.000
TVF開発棟給気塔	228	25.450

表 1-2 有視界方式民間航空機大型機 B747-400

評価対象	離隔距離 [m]	高低差 [m]
HAW施設入気チャンバー	209	21.000
TVF開発棟給気塔	209	25.450

表 1-3 自衛隊機及び米軍機(訓練空域外高高度飛行)KC-767

評価対象	離隔距離 [m]	高低差 [m]
HAW施設入気チャンバー	200	21.000
TVF開発棟給気塔	200	25.450

表 1-4 自衛隊機及び米軍機(基地-訓練空域往復)F-15

評価対象	離隔距離 [m]	高低差 [m]
HAW施設入気チャンバー	39	21.000
TVF開発棟給気塔	39	25.450

2. 火災発生時の有毒ガス・ばい煙の発生量の算出

表2-1に燃焼特性に関するデータを、表2-2に火災源に関するデータ示す。

表 2-1 燃焼特性に関するデータ

	JetA-1	JP-4
発熱量 [kJ/kg] ^{※1}	43,200	43,500
[kcal/kg] ^{※2}	10,300	10,300
質量低下速度 [kg/m ² /s] ^{※1}	0.039	0.051
Emission Factor [kg/kg]		
CO ₂ ^{※3}	2.9290	3.0530
CO ^{※4}	0.0300	0.0300
SO ₂ ^{※5}	0.0010	0.0006
NO ₂ ^{※5}	0.0050	0.0050
ばい煙 ^{※6}	0.1433	0.1493

※1：NUREG-1805 記載値

※2：1 J=4.184 cal で換算し百の位に丸めた

※3：環境省の温室効果ガス排出量算定・報告マニュアルに基づき算出
[1]

※4：原油火災試験の計測結果を採用 [2]

※5：米国 EPA（環境省）および FAA（連邦航空局）が提示する
Emission Factor を使用 [3] [4]

※6：消防研報告書より，煙収率※は 0.10～0.15 となることから，保守的に煙収率 0.15 として算出 [5]

表 2-2 火災源に関するデータ (航空機)

火災源	油種	燃焼面積	燃料消費速度	排出熱量	排熱フラックス	ガス発生量[Nm ³ /s]				ばい煙発生量
		[m ²]	[kg/s]	[kcal/s]	[m ⁴ /s ³]	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂	[kg/s]
計器飛行方式 民間航空機 B737-800	Jet A-1	126.0	4.91	50,500	1,868	7.322	0.118	0.0018	0.012	0.704
有視界方式 民間航空機大型機 B747-400	Jet A-1	700.0	27.30	281,100	10,400	40.708	0.656	0.0096	0.067	3.913
自衛隊機及び米軍機 (訓練空域外高高度飛行) KC-767	JP-4	406.0	20.70	213,200	7,888	32.174	0.497	0.0044	0.051	3.091
自衛隊機及び米軍機 (基地-訓練空域往復) F-15	JP-4	45.0	2.29	23,500	869	3.560	0.055	0.0005	0.006	0.342

※：ガス発生量=燃料消費速度×Emission Factor×22.4(L/mol) ÷ガス成分の分子量

※：ばい煙発生量=燃料消費速度×Emission Factor

3. 評価対象

表3-1から表3-4に入気口における風速を示す。

表 3-1 計器飛行方式民間航空機 B737-800

評価対象	離隔距離 [m]	高低差 [m]	排熱 フラックス [m ⁴ /s ³]	風速 [m/s]
HAW入気チャンバー	228	21.000	1,868	35.0
TVF開発棟給気塔	228	25.450	1,868	28.8

表 3-2 有視界方式民間航空機大型機 B747-400

評価対象	離隔距離 [m]	高低差 [m]	排熱 フラックス [m ⁴ /s ³]	風速 [m/s]
HAW入気チャンバー	209	21.000	10,400	58.5
TVF給気塔	209	25.450	10,400	48.3

表 3-3 自衛隊機及び米軍機(訓練空域外高高度飛行)KC-767

評価対象	離隔距離 [m]	高低差 [m]	排熱 フラックス [m ⁴ /s ³]	風速 [m/s]
HAW入気チャンバー	200	21.000	7,888	51.8
TVF給気塔	200	25.450	7,888	42.7

表 3-4 自衛隊機及び米軍機(基地-訓練空域往復)F-15

評価対象	離隔距離 [m]	高低差 [m]	排熱 フラックス [m ⁴ /s ³]	風速 [m/s]
HAW入気チャンバー	39	21.000	869	8.3
TVF給気塔	39	25.450	869	6.8

4. 拡散パラメータ

前述の表3-1から表3-4において、風速は6 m/s以上となっている。

表4-1に示す大気安定度分類表より、風速6 m/s以上については大気安定度CまたはDとなることから、保守性を考慮して大気拡散の弱い大気安定度Dを採用した。

表4-2に示すPasquill・Gifford図の近似関係（風下距離0～1000 m）の安定度E、F、Dの式より拡散パラメータを算出した。算出した拡散パラメータは風による拡散しか考慮されていないため、鉛直方向の拡散パラメータについては、浮力拡散を考慮するために表4-3に示す $\Delta H e^2/10$ を加えた値を採用した。

表 4-1 大気安定度分類表

風速 (U) m/s	日射量 (T) kW/m ²				放射収支量 (Q) kW/m ²		
	T ≥ 0.60	0.60 > T ≥ 0.30	0.30 > T ≥ 0.15	0.15 > T	Q ≥ -0.020	-0.020 > Q ≥ -0.040	-0.040 > Q
U < 2	A	A-B	B	D	D	G	G
2 ≤ U < 3	A-B	B	C	D	D	E	F
3 ≤ U < 4	B	B-C	C	D	D	D	E
4 ≤ U < 6	C	C-D	D	D	D	D	D
6 ≤ U	C	D	D	D	D	D	D

(発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針^[6]より抜粋)

表 4-2 拡散パラメータ（窒素酸化物総量規制マニュアル^[7]より抜粋)

Pasquill・Gifford 図の近似関係

$$\sigma_y(x) = Y_y \cdot x^{\alpha_y}$$

安定度	α_y	Y_y	風下距離 x [m]
D	0.929	0.1107	0～1,000
E	0.921	0.0864	0～1,000
F	0.929	0.0554	0～1,000

$$\sigma_z(x) = Y_z \cdot x^{\alpha_z}$$

安定度	α_z	Y_z	風下距離 x [m]
D	0.826	0.1046	0～1,000
E	0.788	0.0928	0～1,000
F	0.784	0.0621	0～1,000

表 4-3 拡散パラメータ σ_z

TABLE 2. SUMMARY OF RECOMMENDATIONS FOR INTERIM CHANGES IN THE WORKBOOK VALUES OF THE DISPERSION PARAMETERS σ_y AND σ_z

For crosswind spread σ_y , irrespective of the terrain roughness, release height and sampling duration up to up to about 1 hour, use the formula*

$$\sigma_y/x = \sigma_\theta f(x), \sigma_\theta \text{ in radians}$$

with σ_θ the best available estimate of the standard deviation of the wind direction fluctuation for the sampling time of interest and for the height at which \bar{u} is specified, and with values of $f(x)$ as follows:

x(km)	0.1	0.2	0.4	1	2	4	10	>10
f(x)	0.8	0.7	0.65	0.6	0.5	0.4	0.33	$0.33(10/x)^{1/2}$

For $x \geq 20$ km add to the square of the σ_y as obtained above the quantity $0.03\Delta\theta^2 x^2$ and take the square root to give the total σ_y , with $\Delta\theta$ the total change of mean wind direction over the depth of the plume.

For vertical spread σ_z , for any sampling time for a surface release, and say >10 min for an elevated release (see Section 2), use the existing Workbook curves with adjustment or constraint as follows:

- For terrain with z_0 different from 3 cm apply factors based on F. B. Smith's nomogram (Ref. 5 or Ref. 6, p 377)
- To allow for 'urban heating' adopt a stability category one-half category more unstable than that prescribed in the normal way in the Workbook
- For evaluating the concentration at the surface from a surface release, consider estimates of the effective mixed depth h' at the mid-time of sampling, recognizing especially its growth from very small values on stable nights, and then adopt either σ_z as given by the curves, or $0.8h'$, whichever is the smaller, for substitution in Eq (4).
- For buoyant plumes, increase the σ_z obtained from the curves by adding $\Delta H^2/10$ where ΔH is the estimated plume rise.

23

*. / see Notes on Table 2'

(Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling Part II ⁽⁸⁾ より抜粋)

5. 参考文献

[1]環境省温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル (Ver3.4)

[2] Ross J.L., Ferek R.J. and Hobbs P.V., "Particle and Gas Emissions from an In Situ Burn of Crude Oil on the Ocean", J. Air & Water Manage. Assoc. , 46, pp.251-259(1996).

[3] U.S. EPA AP-42, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors Volume I: Stationary Point and Area Sources".

[4] FAA, "Air Quality Procedures for Civilian Airports & Air Force Bases".

[5]消防研究所研究資料第46号, 大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書 (平成11年) .

[6]発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針(昭和57年1月28日) 原子力安全委員会決定 (初版)

[7]公害研究センター窒素酸化物総量規制マニュアル

[8]Summary Report of the NCAQ Atmospheric Dispersion Modeling Panel Volume 2: Prepared for The National Commission on Air Quality, March 1980