

第 11 条 外部からの衝撃による損傷の防止（外部火災）

<目 次>

1. 設計方針
2. 外部事象防護施設と具体的な評価内容
3. 森林火災に対する影響評価について
4. 近隣の産業施設等の火災・爆発に対する影響評価について
5. 航空機墜落による火災の影響評価について
6. 火災による金属キャスクへの影響について
7. 火災の重畳による影響評価について
8. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

（別 添）

- 別添 1 コンクリート許容温度（200℃）について
- 別添 2 軽油貯蔵タンクの地下化について
- 別添 3 航空機墜落確率の最新化による外部火災評価への影響について

## 1. 設計方針

### (1) 森林火災

想定される森林火災については、使用済燃料貯蔵施設周辺の植生、過去10年間の気象条件を調査し、使用済燃料貯蔵施設から直線距離10kmの間に発火点を設定し、森林火災シミュレーション解析コード（F A R S I T E）を用いて影響評価を実施し、森林火災の延焼を防ぐための手段として防火帯を設け、火炎が防火帯外縁に到達するまでの時間、使用済燃料貯蔵建屋外壁への熱影響及び危険距離を評価し、必要な防火帯幅、使用済燃料貯蔵建屋との離隔距離を確保することにより、使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能を損なわない設計とする。

また、火災の影響により使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度や空気の流れの状態が変化し、金属キャスクに影響を及ぼすことが考えられるため、火災による影響を考慮しても、金属キャスクの基本的安全機能を損なうことはない。

### (2) 爆発

リサイクル燃料備蓄センターから最も近い石油コンビナートは40km以上離れており、爆発を考慮する必要はない。また、リサイクル燃料備蓄センター周辺の高圧ガス類貯蔵施設の爆発については、使用済燃料貯蔵建屋から高圧ガス類貯蔵施設までの離隔距離を、貯蔵される高圧ガスの種類及び貯蔵量から算出した危険限界距離以上確保することにより、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なわない設計とする。

### (3) 近隣工場等の火災

リサイクル燃料備蓄センター周辺における近隣の産業施設の危険物貯蔵施設の火災及びリサイクル燃料備蓄センター敷地内の危険物貯蔵設備の火災については、算出される輻射強度に基づき、使用済燃料貯蔵建屋外壁の表面温度をコンクリート許容温度以下とすることにより、使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能を損なわない設計とする。

航空機墜落による火災については、使用済燃料貯蔵建屋を中心として墜落確率が $10^{-7}$ 回/施設・年に相当する標的面積をもとにした離隔距離を算出して墜落地点とし、使用済燃料貯蔵建屋外壁の表面温度をコンクリート許容温度以下とすることにより、使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能を損なわない設計とする。

また、火災の影響により使用済燃料貯蔵建屋内の雰囲気温度や空気の流れの状態が変化し、金属キャスクに影響を及ぼすことが考えられるため、火災による影響を考慮しても、金属キャスクの基本的安全機能を損なうことはない。

#### (4) 有毒ガス

リサイクル燃料備蓄センター周辺には、石油コンビナート等の有毒物質を貯蔵する固定施設はなく、陸上輸送用の可動施設についても、幹線道路から使用済燃料貯蔵施設は離れている。また、金属キャスク貯蔵期間中は金属キャスク及び各設備の点検、保守及び巡視の実施時以外に使用済燃料貯蔵建屋に人が常駐することはなく、外部火災に伴う有毒ガスの流入時には使用済燃料貯蔵建屋内の人員は迅速に避難することから、有毒ガスに対する使用済燃料貯蔵建屋の居住性を考慮する必要はない。

## 2. 外部事象防護施設と具体的な評価内容

考慮すべき外部火災及びその具体的な評価内容については第1表のとおりとする。

第1表 考慮すべき外部火災及びその具体的評価内容

火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	リサイクル燃料備蓄センター敷地外 10km 以内に発火点を設定した使用済燃料貯蔵建屋に迫る森林火災	<ul style="list-style-type: none"> <li>森林火災シミュレーション解析コード（FARSITE）を用いた森林火災評価</li> <li>森林火災評価に基づく外部事象防護施設の熱影響評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>防火帯幅評価</li> <li>熱影響評価</li> <li>危険距離評価</li> </ul>	二次的影響（ばい煙，有毒ガス）評価
近隣の産業施設，石油コンビナート及びリサイクル燃料備蓄センター敷地内の危険物貯蔵設備の火災・爆発	リサイクル燃料備蓄センター敷地外 10km 以内の近隣の産業施設，石油コンビナートの火災・爆発	<ul style="list-style-type: none"> <li>リサイクル燃料備蓄センター敷地外の近隣の産業施設，石油コンビナートについてリサイクル燃料備蓄センターとの距離，地形，燃料種類及び燃料貯蔵量を考慮した防護施設の影響評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱影響評価</li> <li>危険限界距離評価</li> </ul>	
	リサイクル燃料備蓄センター敷地内の危険物貯蔵設備の火災	<ul style="list-style-type: none"> <li>リサイクル燃料備蓄センター敷地内の危険物貯蔵設備火災による外部事象防護施設の熱影響評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱影響評価</li> </ul>	
航空機墜落による火災	リサイクル燃料備蓄敷地への航空機墜落時の火災	<ul style="list-style-type: none"> <li>墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した外部事象防護施設の熱影響評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱影響評価</li> </ul>	

### 2.1 外部事象防護施設

外部火災に対する防護施設については，外部火災の影響を受けた場合その設備のもつ基本的安全機能を喪失し，安全性の確保が損なわれるおそれのあるものを対象とする。

「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」第11条第2項において、「基本的安全機能を損なわないもの」について以下のとおり定めている。

- 一 使用済燃料貯蔵施設を構成する金属キャスクが，必要に応じてその他の構築物，系統及び機器と相まって，使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を維持できること。
- 二 貯蔵建屋を設置する場合には，外部からの衝撃によって貯蔵建屋が損傷したとしても，次の事項を満足すること。
  - ①金属キャスクが有する基本的安全機能に影響が波及しないこと。
  - ②適切な復旧手段及び復旧期間において，損傷を受けた貯蔵建屋の遮蔽機能及び除熱機能（金属キャスクの除熱機能を損なわない機能）が回復可能であること。
  - ③上記②の復旧期間において，事業所周辺の公衆に対して放射線障害を及ぼさないこと。

貯蔵施設において，使用済燃料は金属キャスク内に貯蔵されるが，使用済燃料自体は基本的安全機能を有する設備ではなく，これを安全に貯蔵するための金属キャスクが基本的安全機能を有する設備に該当するものである。

また，金属キャスクの基本的安全機能を確保する上で必要な施設，及びその他安全機能を有する施設を内包する使用済燃料貯蔵建屋（以下，「貯蔵建屋」という。）は，遮蔽機能及び除熱機能の一部を担っている施設であり基本的安全機能を確保する上で必要な施設である。

したがって，金属キャスク及び貯蔵建屋を外部事象防護施設（以下，「防護施設」という。）とし，これらがもつ安全確保に必要な機能が外部火災によって損なわれないことを評価することとする。

## 2.2 影響評価内容

### 2.2.1 熱影響評価

金属キャスクについては貯蔵期間中は貯蔵建屋にて保管され貯蔵建屋の外壁によって保護されていることから，金属キャスクを内包

する貯蔵建屋に関して、建屋の外壁に対する熱影響評価（貯蔵建屋外壁温度がコンクリートの許容温度である 200℃以下であることを確認する）を実施することにより貯蔵建屋の安全機能が損なわれないことを確認する。

貯蔵建屋については自然換気構造であり、外気が直接取り入れられる構造となっているため、外部火災により熱せられた外気が建屋内に侵入する懸念を考慮して、建屋内の雰囲気温度と金属キャスク各部（ガスケット、レジン、胴、燃料被覆管）の温度を比較することにより金属キャスクの安全性が確保されることを評価するとともに、防火帯幅の確保及び火災発生時の消火活動体制について確認する。

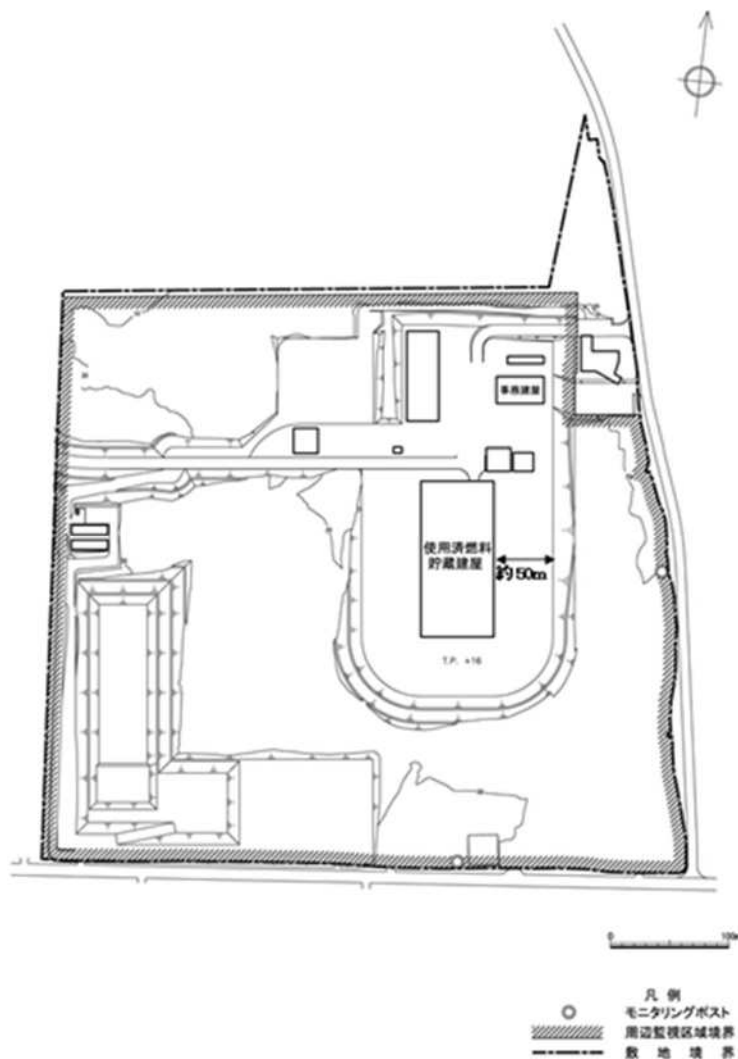
## 2.2.2 二次的影響評価

外部火災による二次的影響としては、外部火災により発生するばい煙及び有毒ガスによる影響が考えられる。これらについては、火災による上昇気流により上空に運ばれることを考慮すると、ばい煙及び有毒ガスが貯蔵建屋の近辺に滞留する可能性は小さいと考えられるが、貯蔵建屋の構造が自然換気方式であるため、ばい煙及び有毒ガスが直接建屋内に侵入することが考えられることから、ばい煙及び有毒ガスに対する建屋内の金属キャスク及びその他の設備への影響について評価を実施する。また、居住性の評価については、金属キャスク貯蔵期間中の貯蔵建屋の貯蔵区域は金属キャスク及び各設備の点検、保守及び巡視の実施時以外に人が常駐することはないが、事務建屋において貯蔵状況の監視のため 24 時間警備員による監視体制をとることとしており、火災発生時には貯蔵建屋内の監視盤室に移動の上監視を継続することとしていることから、監視継続のための人的な居住性の影響についても評価を実施する。

### 3. 森林火災に対する影響評価について

#### 3.1 貯蔵施設敷地内及び周辺の状況

貯蔵施設は、下北半島の津軽海峡側のほぼ中央部に位置し、周囲の敷地はなだらかな台地からなっている。敷地周辺はもともと牧草地帯であったことから敷地外には安全関連施設はない。また、貯蔵建屋は敷地内のほぼ中央に位置し、約 50m ほど離れた地点から法面となっており法面までの敷地には植物は生育していない。さらに法面の終端地点までにも背の低い草木以外際立って植物は生育していない。敷地の東側には道路をはさんで森林が存在しているが、貯蔵建屋のからの距離は約 100m 以上離れている。第 1 図に敷地概況図、第 2 図に敷地周辺の航空写真についてそれぞれ示す。



第 1 図 貯蔵施設敷地概況図



第2図 貯蔵施設敷地周辺航空写真(Google Mapをもとに作成)



## 3.2 評価方法及び評価結果

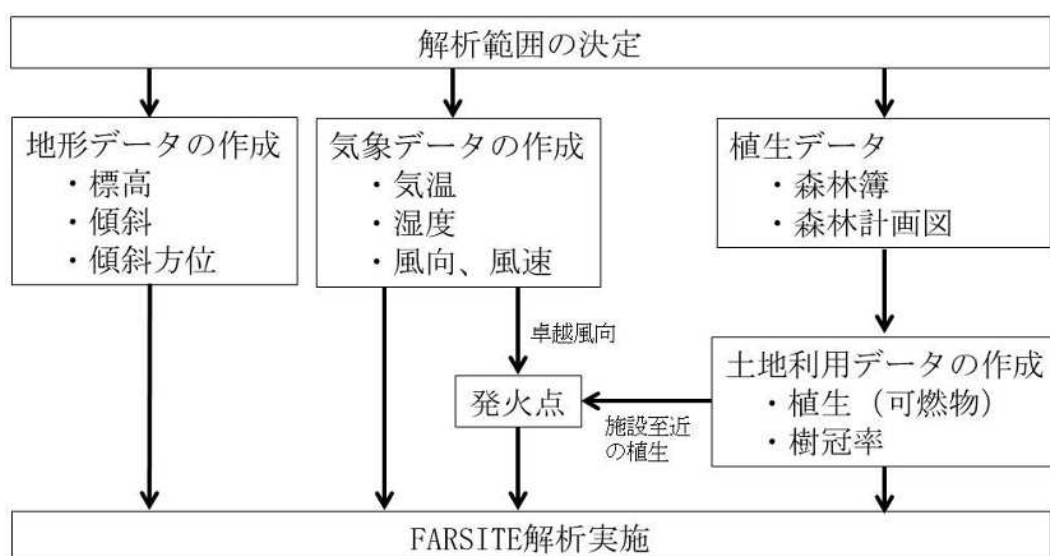
### 3.2.1 使用解析コード

森林火災評価にあたっては、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」（以下、「ガイド」という。）に基づき下記の解析コードを使用した。

「森林火災シミュレーション解析コード F A R S I T E (Fire Area Simulation)」は、米国農務省（U S D A ） Forest Service で開発された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、米国内の森林火災評価において実践的に利用されている。

### 3.2.2 F A R S I T E 入力データの作成

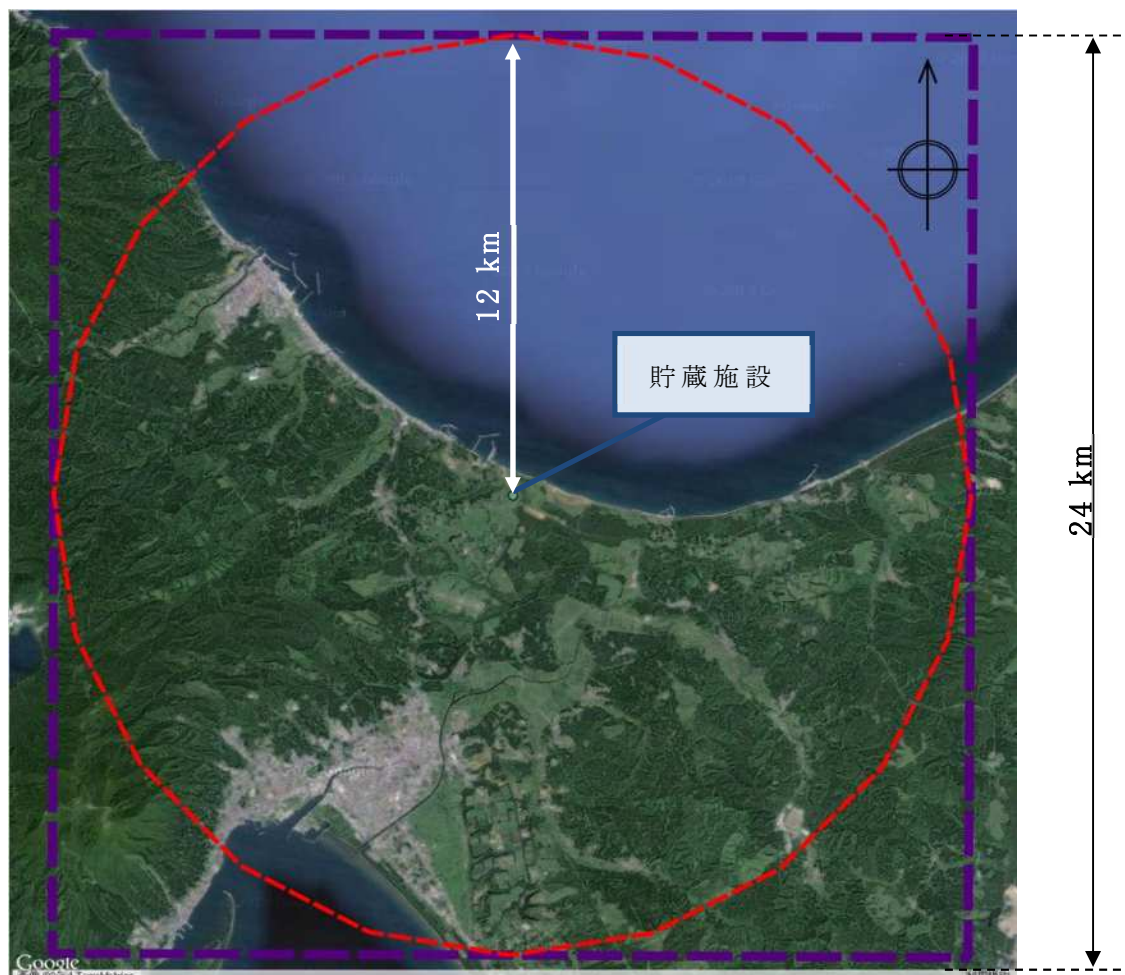
森林火災シミュレーションコード F A R S I T E により、貯蔵施設敷地外で発生する森林火災からの貯蔵建屋への影響評価の実施に際して、評価対象範囲を定めた上で必要となる入力データの作成を行った。データの作成フローについて第3図示す。



第3図 F A R S I T E 解析までの入力データ作成フロー

### 3.2.2.1 解析範囲

対象とする解析範囲は、ガイドを参考とし貯蔵施設より直線距離10kmを保守的に考慮して貯蔵施設の東西12km、及び南北12kmの正方形範囲とした。（第4図紫枠内）



第4図 解析対象範囲

### 3.2.2.2 地形データの作成

貯蔵施設周辺の現地の地形状況を可能な限り現実的に模擬するため、公開されている情報の中でより詳細なデータを用いて、標高、傾斜、傾斜方位の地形データを決定した。

#### (1) 標高

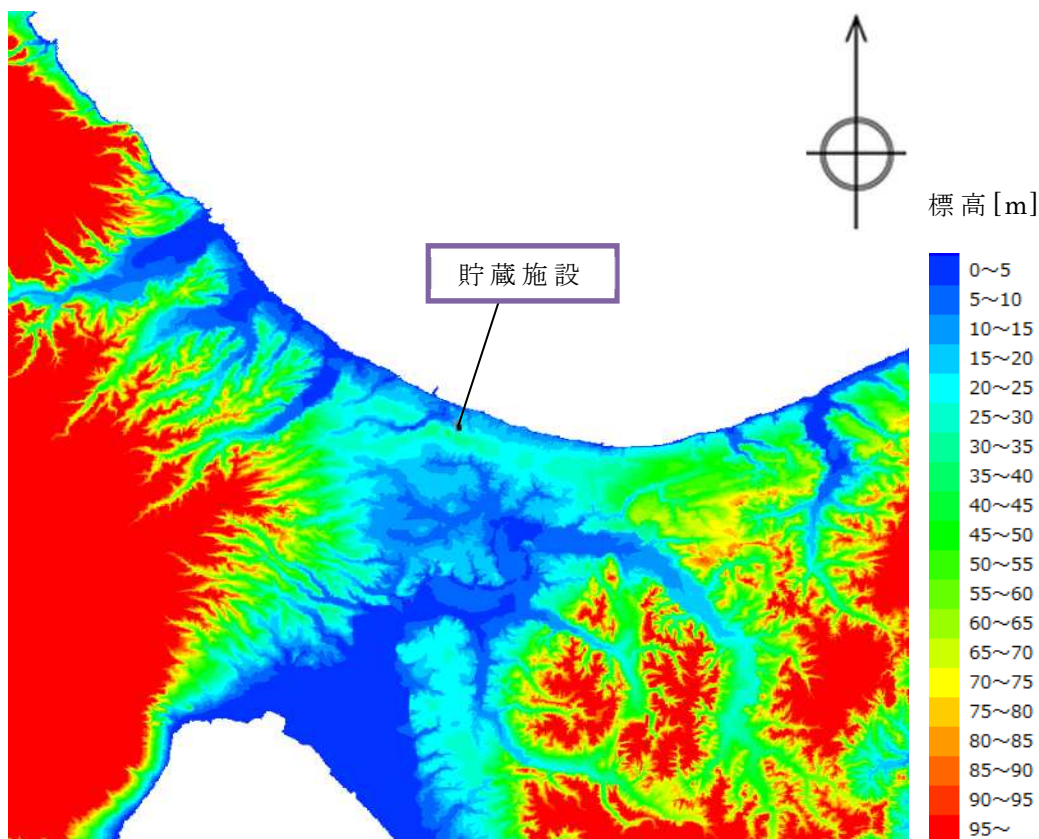
ガイドを参考とし、公開情報の中で最も空間解像度の高い 10m メッシュの標高データ(基盤地図情報 数値標高モデル, 2009 年公開)を用いた。また、公開データについて以下の修正を行った。

- ・東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下の影響について、国土地理院公開の補正パラメータ<sup>※1</sup>により考慮した。
- ・施設標高については、施設敷地図面における標高を適用した。

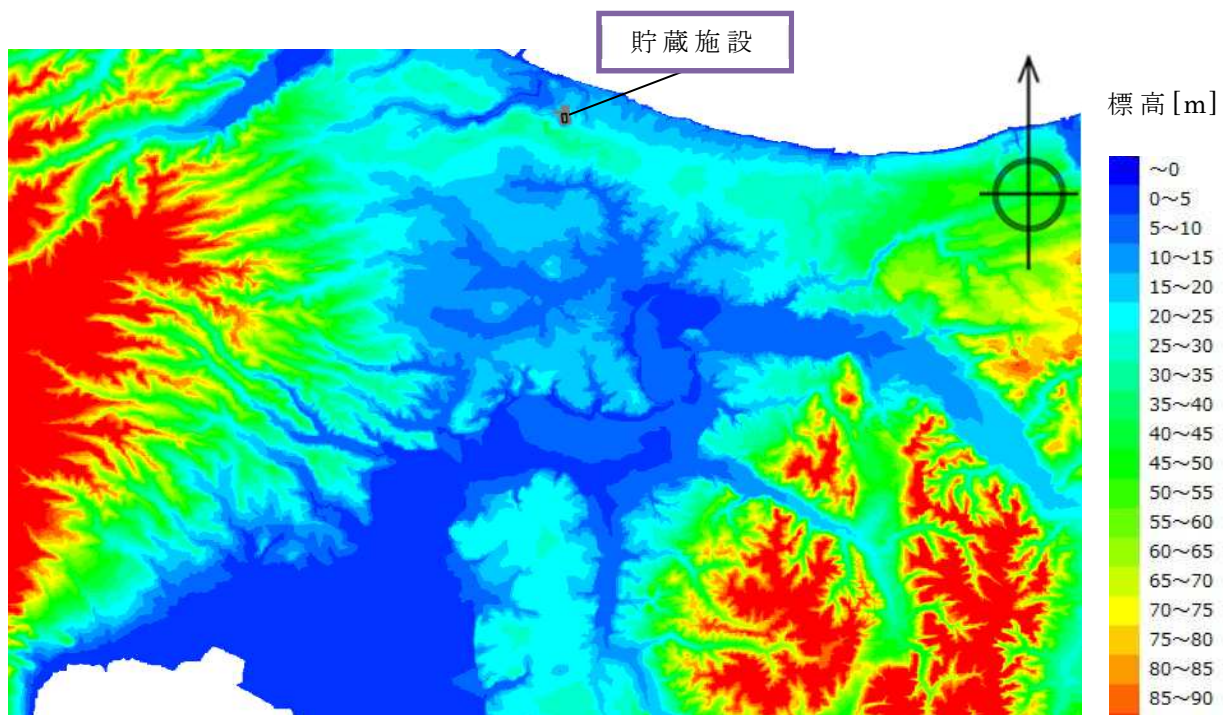
※1: 国土地理院公開ツール「地殻変動に伴う標高値補正を行う標高補正ソフトウェア

PatchJGD(標高版)」

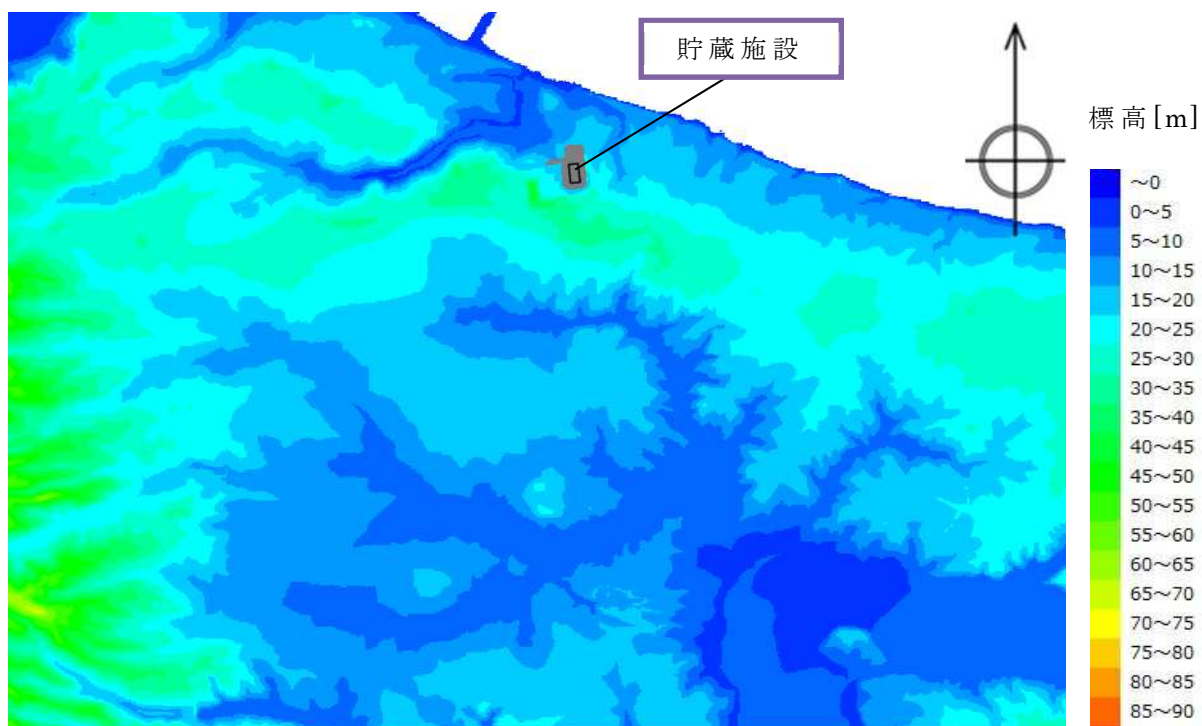
作成した標高データについて第 5 図に示す。



第 5 図 (1) 標高データ



第 5 図 (2) 標高データ (拡大図)

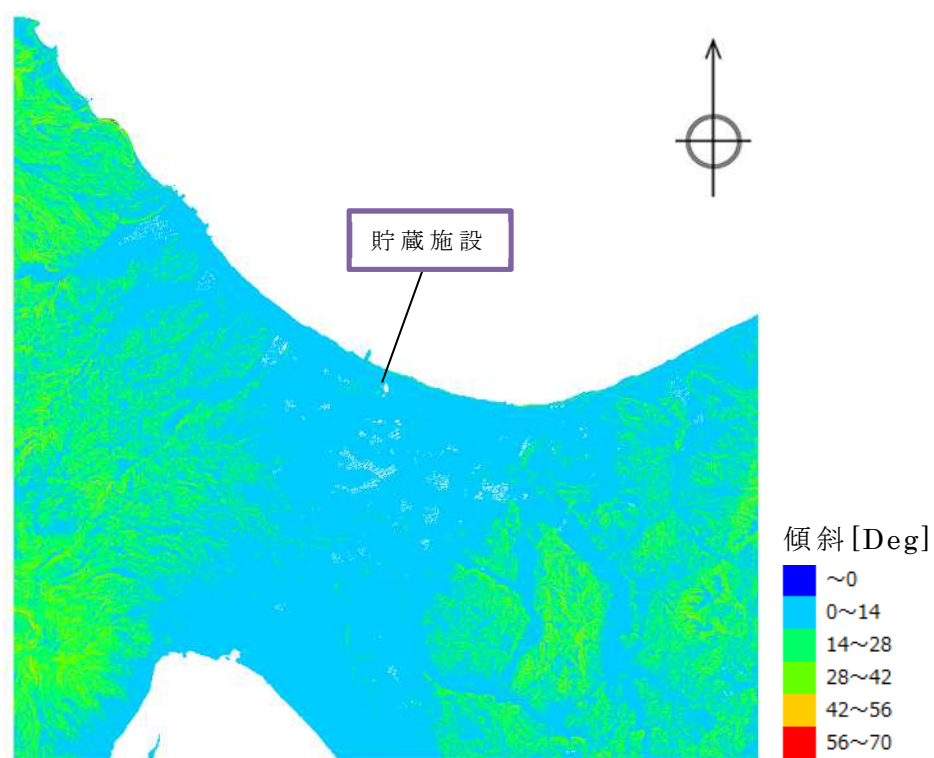


第 5 図 (3) 標高データ (拡大図)

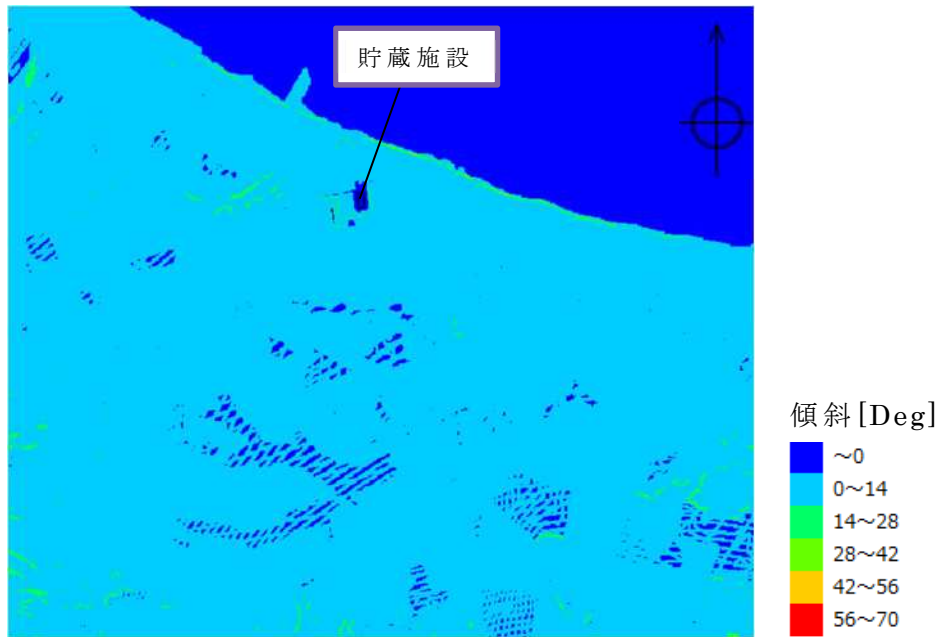


## (2) 傾斜及び傾斜方位

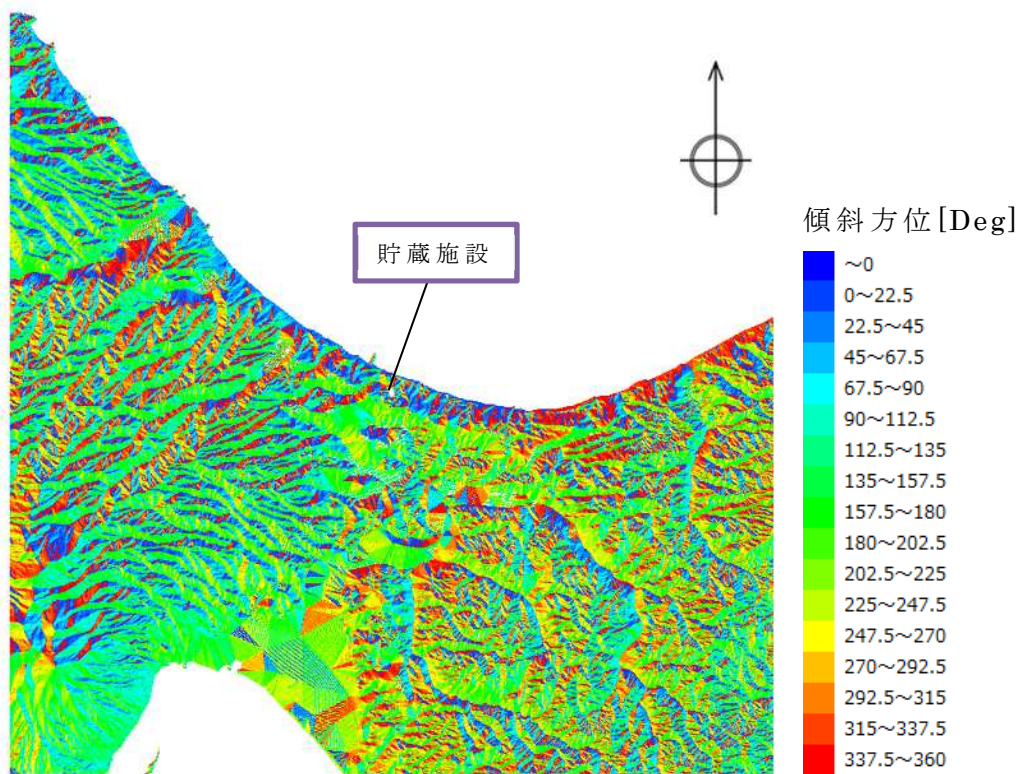
傾斜及び傾斜方位については、標高データより計算した。ただし、敷地内の法面部の傾斜については図面記載の傾斜を適用した。作成した傾斜データ、及び傾斜方位データについてそれぞれ第6図、第7図に示す。



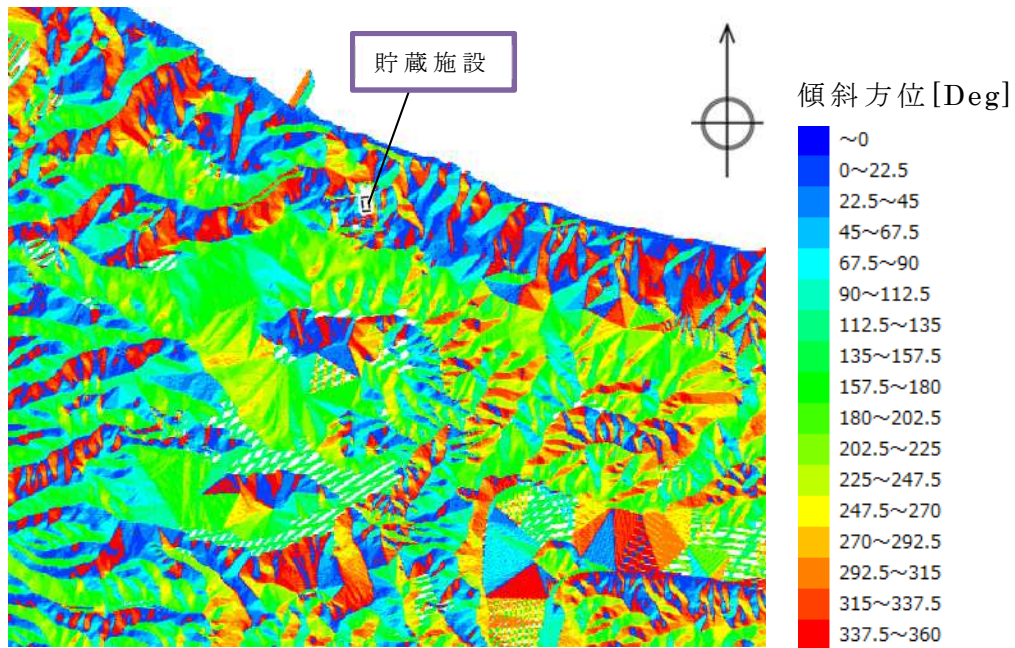
第6図(1) 傾斜データ



第 6 図 (2) 傾斜データ (拡大図)



第 7 図 (1) 傾斜方位データ



第 7 図 (2) 傾斜方位データ (拡大図)

### 3.2.2.3 気象データの作成

気象データの作成については、気象庁が公開している気象統計情報を用いて、貯蔵施設周辺にて起こりうる最悪の条件を検討するため、青森県内において火災発生件数の最も多い月における、貯蔵施設から至近の気象観測所の各データ（最高気温、最大風速、最小湿度）を用いて評価を実施した。

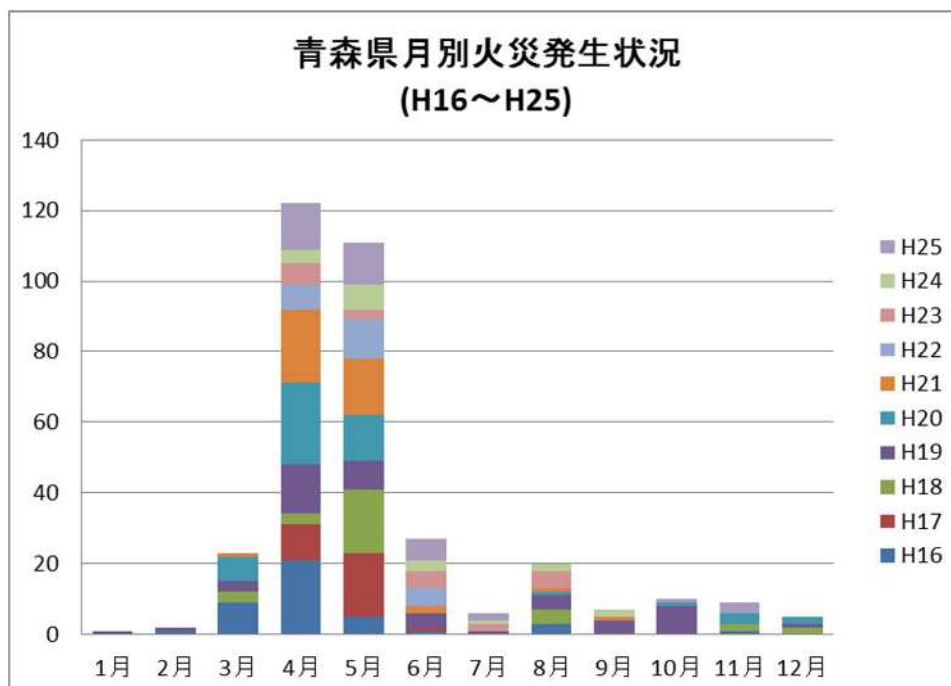
データの評価期間については、ガイドを参考とし至近の過去10年間として、2004年～2013年（平成16年～平成25年）の10年間とした。

#### (1) 火災発生件数対象月

青森県内の上記10年間における月別の火災発生件数は第8図のとおりであり、発生件数では4月が120件超と最も多い月ではある。しかしながら、翌5月についても110件程度と比較的多く、また3月から8月までの期間で見ても7月を除けば他の月より比較的件数が多い。

これらの結果を考慮し、気象データ評価の対象月としては、3月から8月までの6ヶ月間を対象とすることとした。





第8図 青森県月別火災発生件数（青森県防災HPより）

## (2) 対象気象観測所

貯蔵施設から最も近い観測所はむつ観測所であり約8km離れている。しかし、貯蔵施設周辺にはさらに以下の4つの地域観測所（小田野沢、大間、脇野沢、湯野川）があり、いずれの観測所も施設から50km圏内に位置しているため、これらの観測所のデータを踏まえて評価を実施した。貯蔵施設周辺の気象観測所の位置について第9図に示す。各観測所における観測項目については以下のとおり。

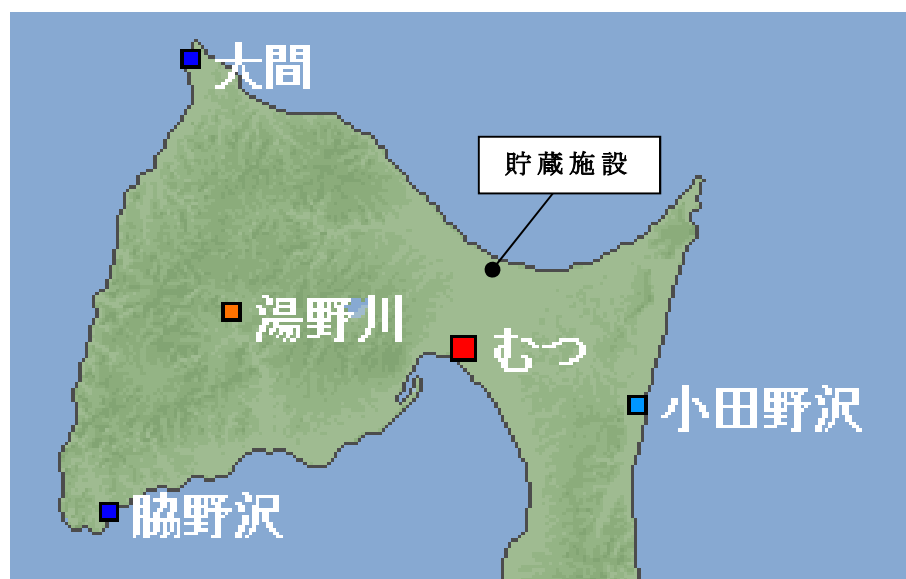
- ・むつ地域気象観測所（貯蔵施設から約8km）  
観測要素：気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深
- ・小田野沢地域気象観測所（貯蔵施設から約18km）  
観測要素：気温・降水量・風向風速・日照時間
- ・大間地域気象観測所（貯蔵施設から約33km）  
観測要素：気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深
- ・脇野沢地域気象観測所（貯蔵施設から約42km）  
観測要素：気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深

- ・湯野川地域気象観測所（貯蔵施設から約 23km）

観測要素：降水量

湯野川観測所については，観測要素が降水量のみであるため除外した。

また，貯蔵施設においても 2012 年 5 月より気象観測を開始しており，データの取得期間が短期間ではあるが評価の一助として参考とした。



第 9 図 貯蔵施設周辺の気象観測所位置図（気象庁HPより）

### (3) 気象データの作成

2004年から2013年までの10年間における各気象観測所の3月から8月までのそれぞれの観測データの最大値について第2表に示す。これらの結果より、上記期間における各観測要素の最大値は次のとおりとなった。

- ・最高気温：34.7（℃）（むつ観測所7月）
- ・最小湿度：13（%）（むつ観測所4月）
- ・最大風速：19（m/s）（小田野沢観測所5月）
- ・最大風速時風向：西南西

評価の結果、各観測所の立地条件により観測データの傾向に違いは見られるものの、最高気温、最小湿度及び最大風速時風向についてはむつ観測所のデータが最大値となっており、貯蔵施設から最も近い当観測所のデータを用いることはほぼ妥当であるものと考えられる。

風向についてはむつ観測所における最大風速時風向のうち最多である西南西を設定する。また、風向はそれぞれの地域特性によって左右されるものであり、最多風向のデータにおいては特に夏季期間に東方向からの風も比較的多い結果となっている。最大風速についても下北半島の突端(大間)や太平洋側(小田野沢)で風速が強い時期がある。これらの観測所の結果において、風速の強い時期はその多くが東方向との結果となったが、最多風向については敷地内の観測データも考慮した上で南南西と設定した。

また、東方向からの風についても、施設の東側には森林が近接しており、東方向からの風の影響も無視できないものと判断し、貯蔵施設特有の条件として東についても風向として設定することとした。

以上の結果を考慮して、卓越風向として西南西、南南西を設定した。また、東も風向として設定した。気象データとしては最高気温 34.7℃、最小湿度 13%、最大風速 19m/s とした。

## 第2表 各気象観測所観測データ

・各気象観測所データは2004年～2013年の10年間における各月の最大または最小値  
 ・参考のRFSデータは2012年5月～2013年12月までの各月の最大値  
 (\*:4月の最高気温データは装置点検により欠損していたため2014年4月の値を記載)

最高気温(℃)

(参考)

	むつ	小田野沢	脇野沢	大間	RFS(2012-2013)
3月	17.4	19.7	16.4	16.3	16.0
4月	22.2	20.6	21.2	21.1	20.6*
5月	26.1	24.5	26.2	23.3	22.9
6月	29.4	29.7	29.6	24.9	26.1
7月	34.7	33.0	33.1	32.5	29.5
8月	34.5	34.2	33.6	30.8	31.1

最小湿度(%) (小田野沢, 脇野沢, 大間については観測記録なし)

	むつ	小田野沢	脇野沢	大間
3月	17	—	—	—
4月	13	—	—	—
5月	15	—	—	—
6月	19	—	—	—
7月	33	—	—	—
8月	35	—	—	—

最大風速(m/s)

(参考)

	むつ	小田野沢	脇野沢	大間	RFS(2012-2013)
3月	14.4	16.3	12.5	16.5	18.9
4月	13.4	13.8	14.6	16.4	14.4
5月	15.4	19.0	13.2	15.1	11.6
6月	11.3	12.9	14.0	12.3	10.5
7月	10.2	17.2	12.5	12.6	12.7
8月	12.3	11.0	12.0	10.8	13.5

最大風速時風向

	むつ	小田野沢	脇野沢	大間
3月	西南西	西南西	東	西南西
4月	西南西	西	東	西南西
5月	西南西	西南西	東	南西
6月	西南西	西南西	東	西南西
7月	南西	西南西	東	西南西
8月	西	南西	東	西南西

最多風向

(参考)

	むつ	小田野沢	脇野沢	大間	RFS(2012-2013)
3月	南西	西	西	西	南南西
4月	南南西	西	西	西南西	南南西
5月	南南西	南東	東	東	南
6月	北北東	南東	東	東北東	南
7月	南南西	南東	東	東北東	南
8月	北北東	南東	西北西	東北東	南

### 3.2.2.4 土地利用データの作成

#### (1) 可燃物パラメータの設定

可燃物パラメータについては、「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」(2012年6月 独立行政法人原子力安全基盤機構) (以下, J N E S 報告書という) を参考として設定した。

- ・ 森林については樹種, 林齢で細分化し, 可燃物パラメータは J N E S 報告書に基づき設定した。可燃物パラメータの設定根拠について第3表に示す。
- ・ 敷地内に存在する芝生については, 維持管理されるものとして芝 (Short Grass) として分類 (F A R S I T E デフォルト植生)
- ・ 田, ゴルフ場, その他農用地については高い草 (Tall Grass) として分類 (F A R S I T E デフォルト植生)
- ・ 建物用地, 荒地については延焼しにくいものと考えられるが, 保守性を考慮して茂み (Brush) として分類 (F A R S I T E デフォルト植生)
- ・ マダケ・モウソウは樹高が低く, 森林と区分されないことから低層植生 (Chaparral) に分類 (F A R S I T E デフォルト植生)

上記に基づき分類を整理した植生区分について第4表に示す。また, 林齢による燃料区分の細分化について第5表に示す。

第3表 可燃物パラメータ (JNES 報告書より抜粋)

(資)表 B-7 FARSITE への追加植生タイプ  
 (※後藤他(2005)「日本で発生する山火事の強度の検討—Rothermelの延焼速度予測モデルを用いたByramの火線強度の推定—)

パラメータ	FMOD	下草の有無	IH	IOH	IOOH	LiveH	LiveW	IHSAV	LiveH SAV	LiveW SAV	Depth	XtMoist	DHt	LHt
単位	—		Ton/ha	Ton/ha	Ton/ha	Ton/ha	Ton/ha	l/cm	l/cm	l/cm	cm	%	J/kg	J/kg
意味	モデル番号		1時間以内に乾燥する木質のfuel量	10時間以内に乾燥する木質のfuel量	4日以内に乾燥する木質のfuel量	生きた草(herbaceous)のfuel量	生きた木質(woody)のfuel量	1時間以内に乾燥する木の面積/積	生きた草の面積/積	生きた木質の面積/積	林床可燃物の深さ	1時間以内に乾燥する木質で延焼が止まる水分量(ほぼ25~35%)	枯死可燃物(dead)の熱容量	生体可燃物(live)の熱容量
スギ(林齢10年生未満)	14	有	6.75	4.48	11.23	0	15.71	60.51	59	48	182.9	32	20963	20963
スギ(林齢10年生)	15	有	4.48	2.24	1.12	0	41.706947	60.51	59	48	182.9	32	20963	20963
スギ(林齢20年生)	16	有	4.48	2.24	1.12	0	108.180934	60.51	59	48	182.9	32	20963	20963
スギ(林齢30年生)	17	無	1.66	0	0	0	196.7316466	60.51	59	48	6.1	32	20963	20963
スギ(林齢40年生以上)	18	無	1.66	0	0	0	249.4683718	60.51	59	48	6.1	32	20963	20963
マツ(林齢10年生未満)	19	有	6.75	4.48	11.23	0	15.71	70.44	59	48	182.9	31	19958	19958
マツ(林齢10年生)	20	有	6.75	4.48	11.23	0	44.24034483	70.44	59	48	182.9	31	19958	19958
マツ(林齢20年生)	21	有	4.48	2.24	1.12	0	75.03323077	70.44	59	48	182.9	31	19958	19958
マツ(林齢30年生)	22	無	4.48	2.24	1.12	0	102.5613619	70.44	59	48	6.1	31	19958	19958
マツ(林齢40年生以上)	23	無	1.66	0	0	0	130.1950275	70.44	59	48	6.1	31	19958	19958
落葉広葉樹(28種)	24	有	6.75	4.48	11.23	0	62.65811065	149.48	59	48	182.9	25	18524	18524
備考	1~13	広葉樹林並びにスギ(林齢30年生未満)及びマツ(林齢30年生未満)に下草が存在することを仮定	森林簿等に基づき、胸高直径(m)ごとに、木質の面積当たり質量の平均値を以下の式により得る。 密度(kg/m <sup>3</sup> )×材積(m <sup>3</sup> )/面積(ha)			NFFL FUEL MODELの「Timber litter」デフォルト値を引用	枯死率を0%と仮定し、木質の面積当たり質量の平均値を用いる。	文献の面積-体積比を引用	NFFL FUEL MODELの「Timber litter」デフォルト値を引用		下草有のタイプは、NFFL FUEL MODELの「Chaparral (6 feet)」デフォルト値、下草無のタイプは、NFFL FUEL MODELの「Hardwood litter」デフォルト値をそれぞれ引用	文献の限界含水比を引用	文献の低位発熱量を引用	

※1HSAVの値は整数で入力するため小数点切上げ  
 ※落葉広葉樹(28種)の1HSAVは入力上限値130を適用

第4表 森林可燃物の設定（FARSITE植生設定）

植生	FARSITEパラメータ設定の考え方	FARSITEパラメータ区分
スギ, ヒノキ, ヒバ	スギとして森林簿記載の林齢ごとに分類	スギ <sup>※1</sup>
アカマツ, クロマツ, カラマツ, トドマツ, 他針葉樹 <sup>※1</sup>	マツとして森林簿記載の林齢ごとに分類	マツ <sup>※1</sup>
ナラ, キリ, クリ, ハンノキ, ブナ, カエデ, カツラ, ケヤキ, センノキ, ウダイカンバ, ミズナラ, イタヤ, コナラ, クヌギ, 他広葉樹	落葉広葉樹として分類	落葉広葉樹 <sup>※1</sup>
マダケ, モウソウ	低層植生 (Chaparral <sup>※2</sup> )	マダケ, モウソウ
ゴルフ場, その他農用地, 田, 高い草	高い草 (Tall Grass <sup>※2</sup> )	ゴルフ場, その他農用地, 田
建物用地, 荒地	茂み (Brush <sup>※2</sup> )	建物用地, 荒地
芝	芝 (Short Grass <sup>※2</sup> )	芝

※1 J N E S 報告書に基づく植生

※2 F A R S I T E デフォルト植生

上記以外の「道路」「鉄道」「海浜」「その他の用地」「河川地及び湖沼」「海水域」「伐採地跡」「未立木地」については、植生はないものとして非燃焼領域として設定した。

第5表 林齢で細分化する燃料区分

燃料区分	樹種区分	林齢区分 (林齢)	説明
27	1	0 (0~9)	スギ (10年生未満)
31	1	10 (10~19)	スギ (10年生)
33	1	20 (20~29)	スギ (20年生)
35	1	30 (30~39)	スギ (30年生)
37	1	40 (40~)	スギ (40年生以上)
28	2	0 (0~9)	マツ (10年生未満)
29	2	10 (10~19)	マツ (10年生)
32	2	20 (20~29)	マツ (20年生)
34	2	30 (30~39)	マツ (30年生)
36	2	40 (40~)	マツ (40年生以上)
30	3	- -	落葉広葉樹 <sup>*</sup>

※ J N E S 報告書に基づき、落葉広葉樹について、一般に高齢で下草の状況は林齢によってほとんど変化がないことを考慮し、林齢に依存しない可燃物パラメータとする

一般的に、林齢 40 年以上の森林（マツ，スギ）は，下草がほとんど存在せず延焼がしにくくなることを保守的に考慮して，J N E S 報告書考察を参考とし森林簿の林齢について第 6 表のとおり読み替えを行った。

第 6 表 林齢の読み替え

森林簿記載の林齢	読み替え後の林齢
林齢 10 年生未満	林齢 10 年生未満
林齢 10 年生以上 20 年生未満	林齢 10 年生以上 20 年生未満
林齢 20 年生以上 30 年生未満	林齢 20 年生以上 30 年生未満
林齢 30 年生以上 40 年生未満	
林齢 40 年生以上	

## (2) 土地利用データの作成

貯蔵施設周辺の森林領域以外の植生については，ガイドを参考とし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 100m メッシュの土地利用データを用いて確認を行った。（使用公開データ：国土数値情報 土地利用細分メッシュ，2009 年度）土地利用データについては，第 7 表に示す土地利用種別に応じて，樹種及び樹冠率のモデル化を行った。



第7表 土地利用種別（国土地理院HPより）

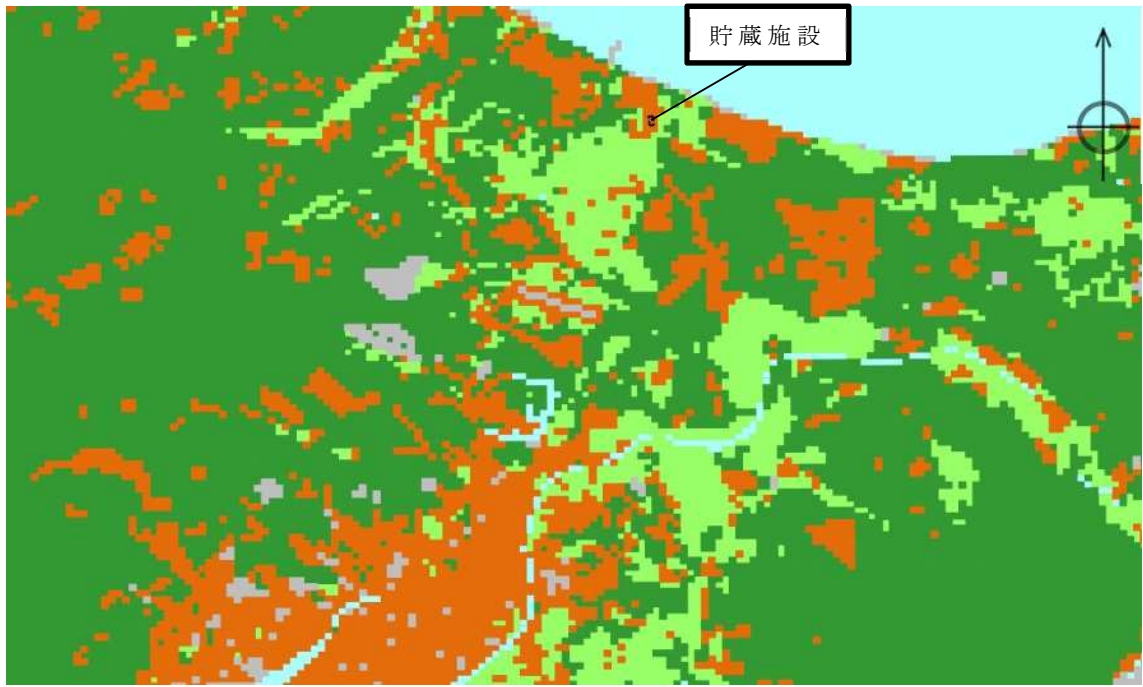
種別	定義
田	湿田・乾田・沼田・蓮田及び田とする。
その他の農用地	麦・陸稻・野菜・草地・芝地・りんご・梨・桃・ブドウ・茶・桐・はぜ・こうぞ・しゅろ等を栽培する土地とする。
森林	多年生植物の密生している地域とする。
荒地	しの地・荒地・がけ・岩・万年雪・湿地・採鉱地等で旧土地利用データが荒地であるところとする。
建物用地	住宅地・市街地等で建物が密集しているところとする
道路	道路などで、面的に捉えられるものとする。
鉄道	鉄道・操車場などで、面的にとらえられるものとする。
その他の用地	運動競技場，空港，競馬場・野球場・学校港湾地区・人工造成地の空地等とする。
河川地及び湖沼	人工湖・自然湖・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。
海浜	海岸に接する砂，れき，岩の区域とする。
海水域	隠頭岩，干潟，シーバースも海に含める。
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。

可燃物パラメータの設定方針に基づき整理した土地利用種別ごとのモデル化の一覧について第8表に示す。また，第10図に貯蔵建屋周辺の土地利用種別について示す。

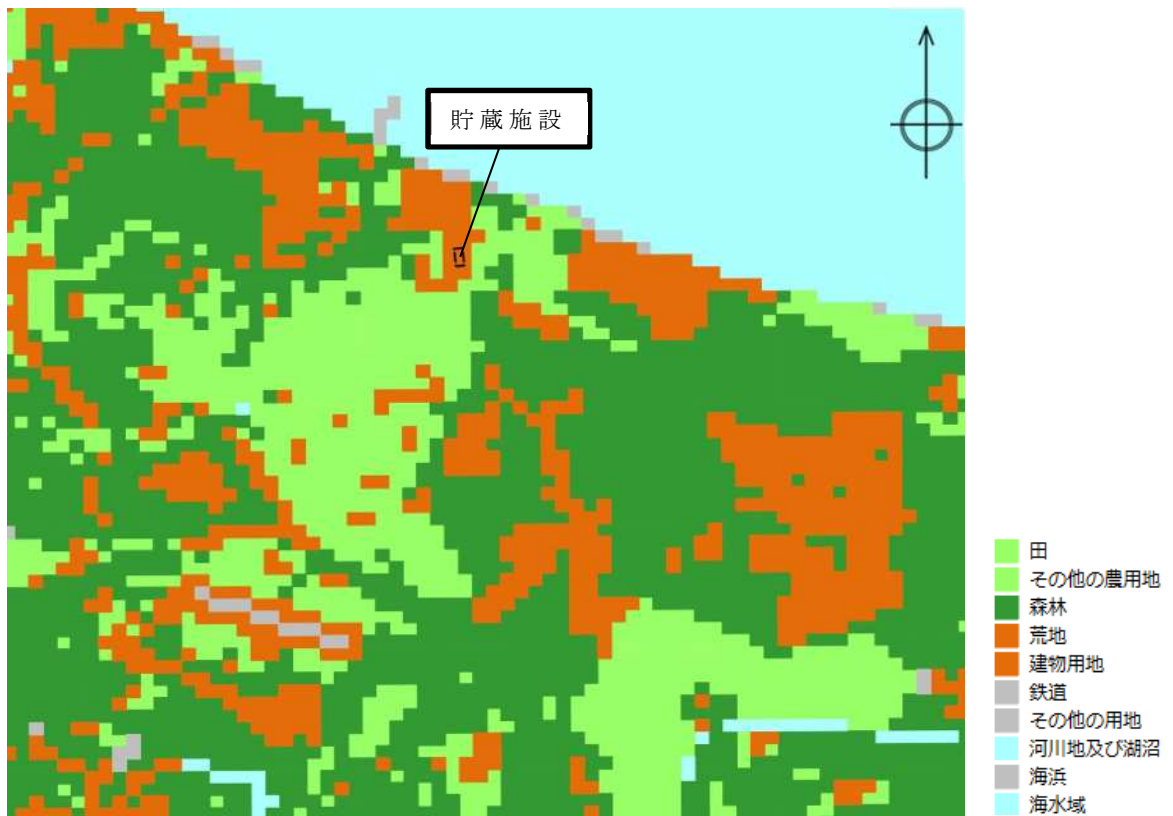
第 8 表 土地利用種別のモデル化

コード (土地利用区分)	燃料モデル (燃料区分)
田	高い草 (3)
その他の農用地	高い草 (3)
森林	森林簿の樹種・林齢により細分化 (0)
荒地	低層植生, 茂み (5)
建物用地	低層植生, 茂み (5)
道路	非燃焼領域 (99)
鉄道	非燃焼領域 (99)
その他の用地	非燃焼領域 (99)
河川地及び湖沼	非燃焼領域 (99)
海浜	非燃焼領域 (99)
海水域	非燃焼領域 (99)
ゴルフ場	高い草 (3)

- ・ ( )内は F A R S I T E に内蔵される区分値
- ・ 「田」, 「その他の農用地」は J N E S 報告書に基づき, 高い草を適用
- ・ 「森林」はガイドに従い, 森林簿 (樹種, 林齢) に基づき細分化する
- ・ 「建物用地」は「住宅地等の建物が密集している地域」であり延焼しづらいと想定されるが, 住宅地の植生が低密度で分布していると想定し, 低層植生 (Brush) を適用
- ・ 「荒地」は「しの地や湿地」を含むことから燃焼領域とし, J N E S 報告書に基づき低層植生 (Brush) を適用
- ・ 「道路」「鉄道」は樹木等はないため, 非燃焼領域を適用
- ・ 「その他の用地」は「運動競技場, 空港, 人口造成地の空き地」で植生はないため, 非燃焼領域を適用
- ・ 「河川地及び湖沼」, 「海水域」は植生がないため, 非燃焼領域を適用
- ・ 「海浜」は「砂地や岩」であり植生はないため, 非燃焼領域を適用
- ・ 「ゴルフ場」は J N E S 報告書に基づき, 高い草を適用
- ・ 「森林」の樹冠率は J N E S 報告書に基づき, F A R S I T E 区分「3」を適用 (樹冠率 50~80%)
- ・ 「森林」以外の領域 (高い草, 茂み) の樹冠率は不明であるが, どちらも保守性を考慮して 0%を適用する



第 10 図(1) 土地利用種別



第 10 図(2) 土地利用種別 (拡大図)

### (3) 樹冠率データの作成

樹冠率は、上空から森林を見た場合の平面上の樹冠が占める割合をいい、FARSITEでは、実際の森林状況による自然現象を可能な限り反映するため、樹冠率の割合が高くなると、風速の低減、地面草地への日照の低減の影響により火災が延焼しにくくなる。

FARSITEにおいては、第9表に示すとおり、樹冠率を4つのカテゴリに区分しいずれかを設定するようになっており、今回の評価においては植生調査データにより森林と定義できる区分3、4のうち保守的に区分3を設定した。その他の土地利用区分については、樹冠率0%(区分-9999)とした。作成した樹冠率データについて第11図に示す。

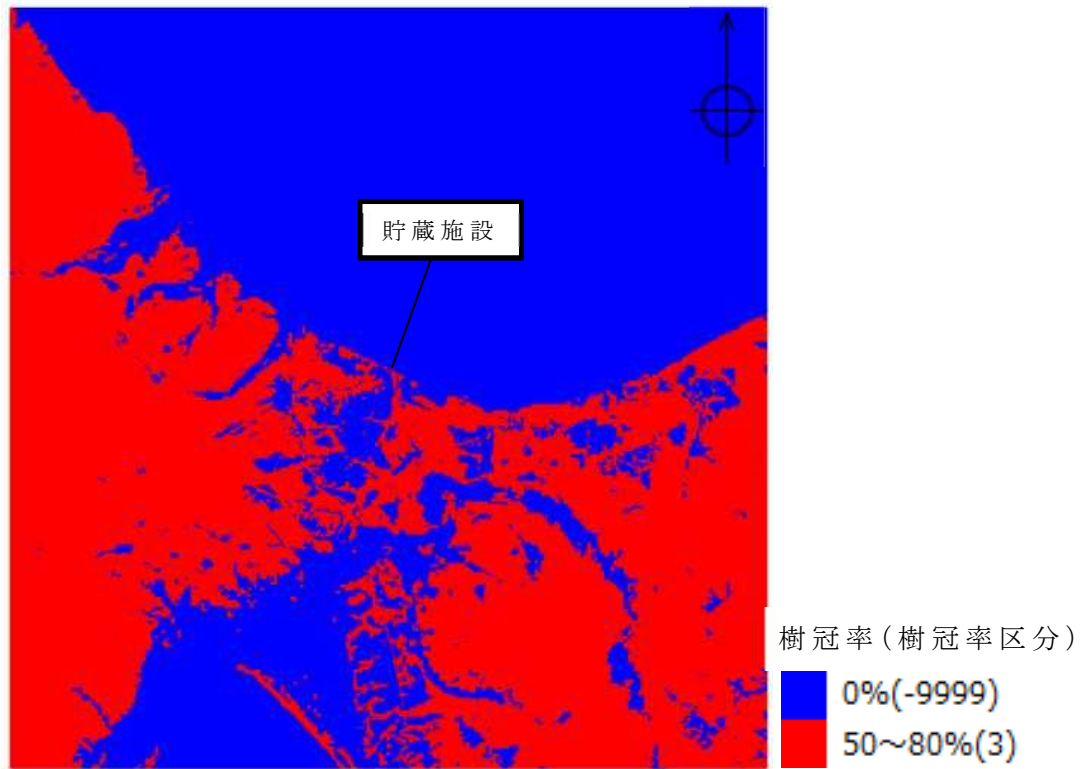
第9表 FARSITE 樹冠率カテゴリ

FARSITE 区分	樹冠率(%)	備考
1	～ 20	
2	21 ～ 50	非森林を含む領域
3	51 ～ 80	一般的な森林
4	81 ～ 100	原生林を含む森林

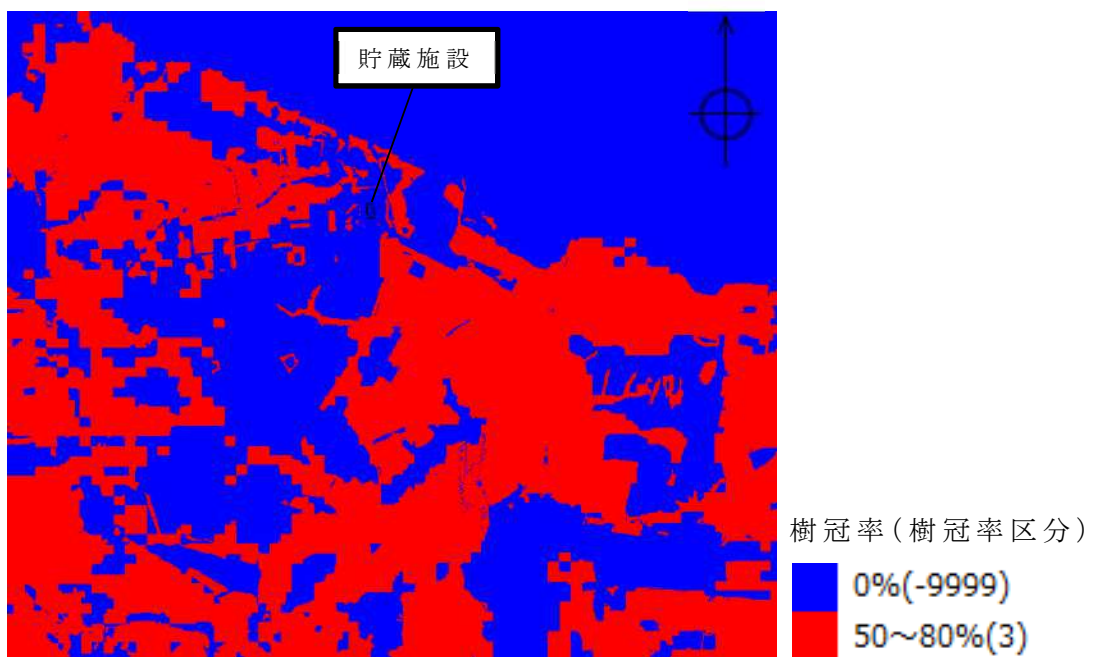
区分3と4については、第10表のとおり風速、日射の低減効果に関して区分3の方が保守的となっている。

第10表 樹冠率カテゴリ区分3、4の風速、日射の低減効果

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



第 11 図 (1) 樹冠率データ



第 11 図 (2) 樹冠率データ (拡大図)



### 3.2.2.5 植生データの作成

#### (1) 貯蔵施設周辺の植生

貯蔵施設敷地周辺における森林の植生については、ガイドを参考とし森林簿、森林計画図のデータをもとに確認した。第12図に、森林簿、森林計画図をもとに航空写真を重ね合わせることで作成した森林図について示す。

使用したむつ市及び東通村の森林簿、森林計画図の資料については、国有林については林野庁東北森林管理局（下北森林管理署）、民有林については青森県農林水産部林政課よりそれぞれ受領したものである。



第12図 敷地周辺の森林図（Google Mapをもとに作成）

また、植生入力に使用した森林簿（民有林）の例について第11表に示す。敷地周辺はそのほとんどが民有林であるが、森林簿データが電子情報でまとめられておりデータ量が膨大であるため、例として森林図中の黄色部に該当する森林簿データについて抜粋して示す。第11表中の黄色網掛け部が第12図の黄色部に該当す

るものである。

森林領域以外については、土地利用データに基づき植生データの作成を行った。





## (2) 貯蔵施設敷地内及び敷地周辺の植生

敷地内及び敷地周辺の植生については、敷地造成時の植生状況との比較をもとに現地調査も含めて実施した。植生調査については、現状敷地内の緑化維持業務を受託しており、敷地周辺の植生に詳しい環境事業専門会社に委託し実施した。当社は、環境事業専門会社として数十年の実績があり、調査者についても環境アセスメント士、造園施工管理技士の国家資格を保有し、植生調査に関し適切な力量を有していることを確認している。

### (a) 法面の植生について

第 13 図に法面の傾斜状況及び植生について示す。法面の最大高さは 13m であり、斜面勾配は最大で 1 : 2 となっている。法面一体については敷地造成時に芝の種子を吹き付けており、芝の植生となっている。

### (b) 敷地内の植生について

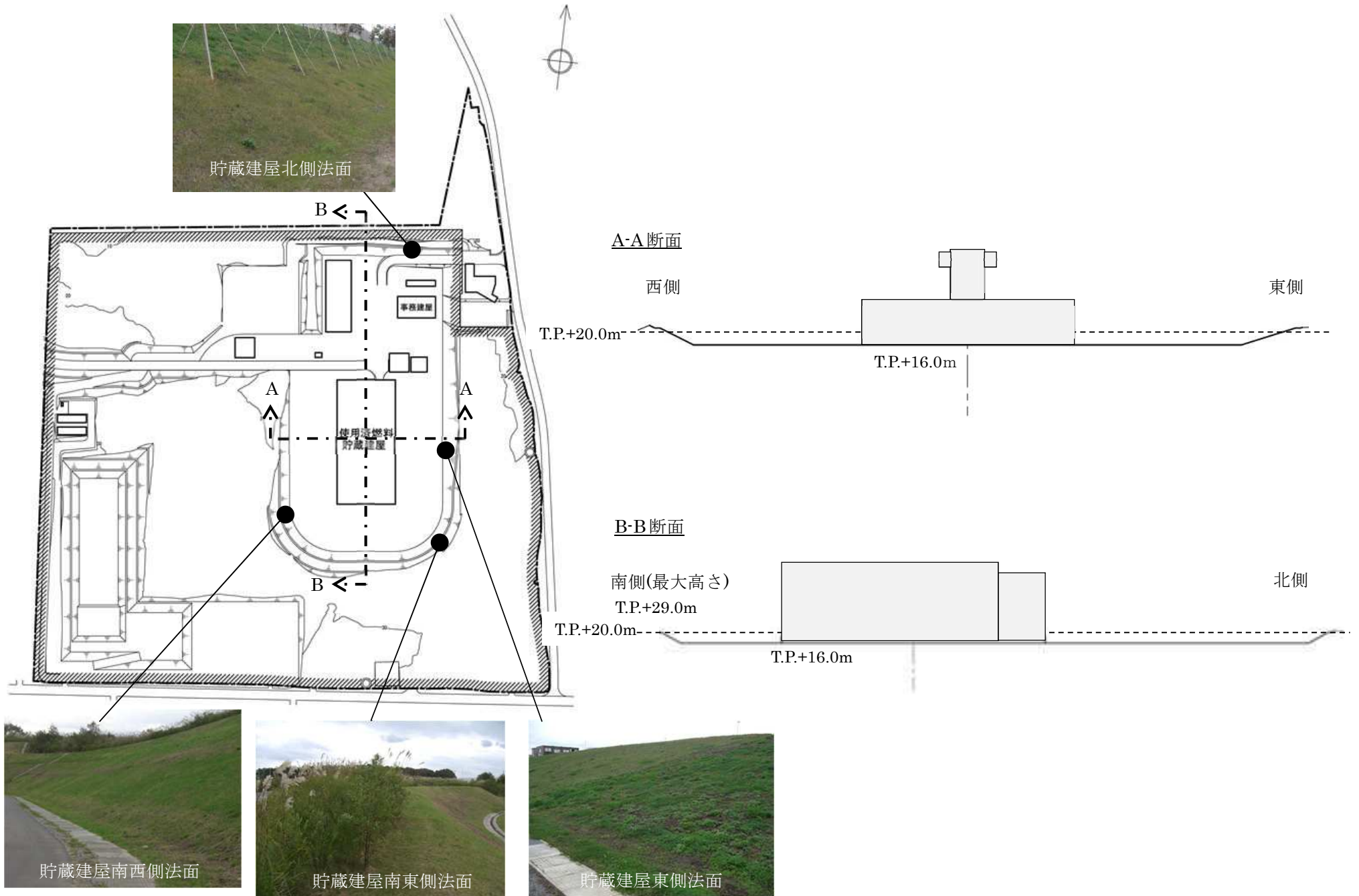
法面以外の敷地内の植生については、元が牧草地であったこともあり概ねススキ群やイネ科の牧草であった。また貯蔵建屋の西側及び敷地北西側に一部クマイザサ群が見られた。所々に見られる林については、ミズナラ群やハンノキ群の落葉広葉樹であった。

### (c) 敷地周辺の植生について

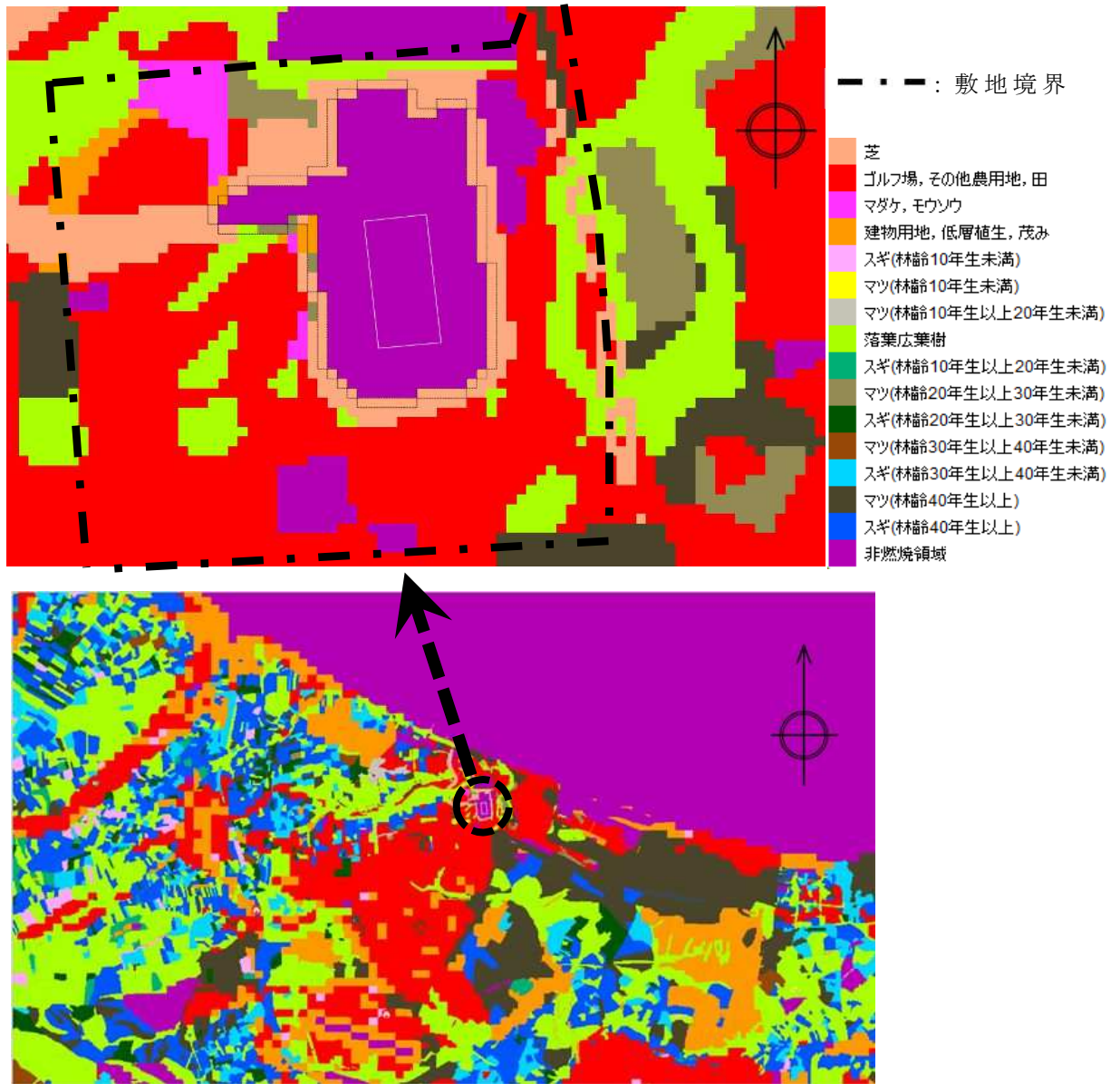
敷地周辺については、敷地の南側及び東側の道路沿いにアカマツ、クロマツの群落があり、林齢は低木群を除けば 40 年生以上であった。また、敷地の西側は一部アカマツ、クロマツ群や落葉広葉樹が見られるものの、ほとんどは畑であった。その他の植生は敷地内とほぼ同じであり概ねススキ群やイネ科の牧草であった。

以上の結果をもとに作成した植生図について第 14 図に示す。また、現地写真と合わせた敷地内及び敷地周辺の植生図について第

15 図， 第 16 図にそれぞれ示す。



第13図 法面の傾斜状況及び植生



色	植生による分類	FARSITE へのラメータ区分	備考
■	ハンノキ群, ミズナラ群	落葉広葉樹	
■	ススキ群, 牧草地(イネ科群)	ゴルフ場, その他農用地, 田	Tall Grass(高い草: 約 76cm)
■	クマイザサ群	マダケ, モウソウ	Chaparral(茂み: 約 183cm)
■	ノイバラ群	建物用地, 低層植生, 茂み	Brush(低層植生: 約 60cm)
■	アカマツ, クロマツ群	マツ	
■	アカマツ低木群	マツ	
■	芝草(法面)	芝	Short Grass(低い草: 約 30cm)
■	非燃焼領域	非燃焼	

第 14 図 貯蔵施設敷地内及び周辺の植生図 (詳細及び拡大図)





貯蔵建屋北西側(法面上はミズナラ群)



貯蔵建屋北西側(クイナサ群)



専用道路法面(芝、法面上はハナキ群)



貯蔵建屋北側法面(芝)



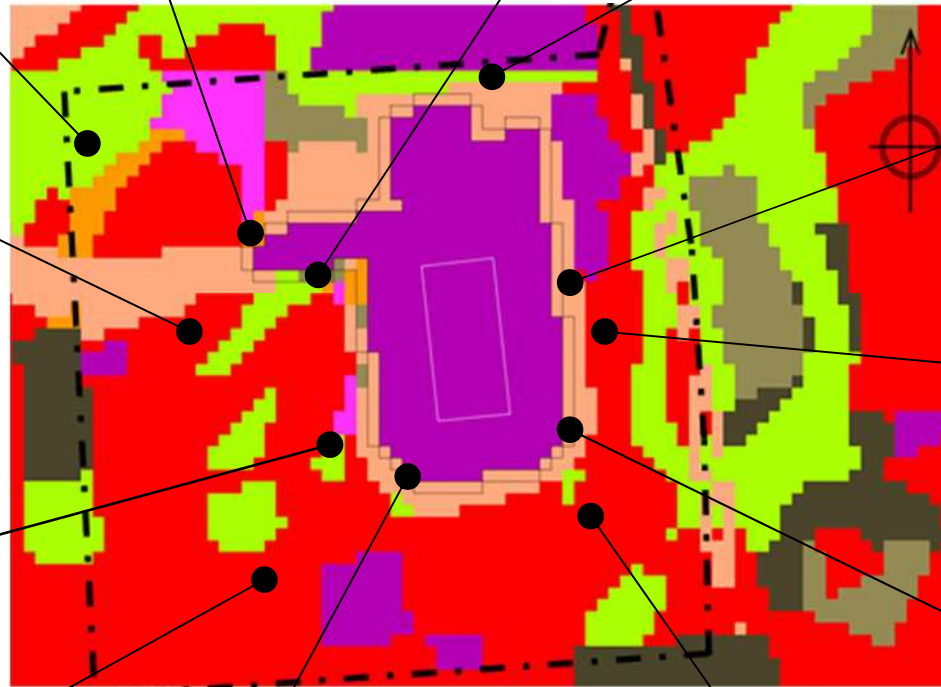
貯蔵建屋西側(牧草地とハナキ群)



貯蔵建屋西側森林(ハナキ群)



貯蔵建屋南西方向(牧草地)



貯蔵建屋東側法面(芝)



貯蔵建屋東側法面上(ススキ群)



貯蔵建屋南東側法面(芝、ススキ群)



貯蔵建屋南西側法面(芝)



貯蔵建屋南東側法面上(ススキ群)

--- : 敷地境界

第 15 図 貯蔵施設敷地内植生状況



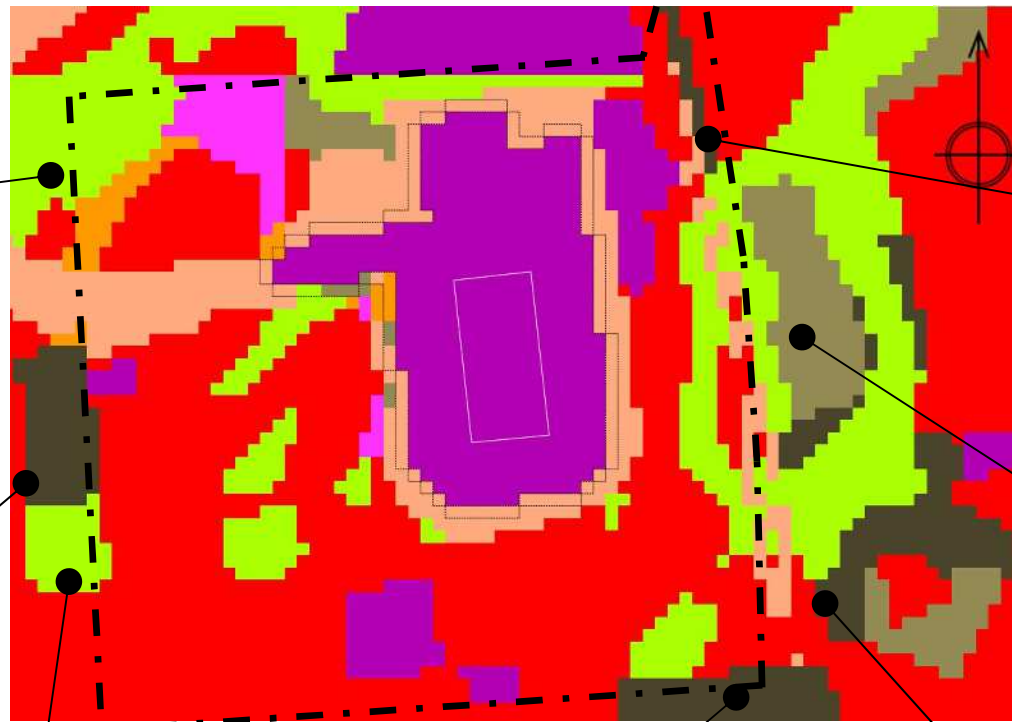
敷地北西側ミズナ群、落葉広葉樹



敷地西側(アカマツ、クロマツ群、林齢 40 年以上)



敷地西側(ハシナ群、落葉広葉樹と畑)



市道東側(アカマツ、クロマツ群、林齢 40 年以上)



市道東側(アカマツ低木群、林齢 20-30 年)



県道 266 号線南側(アカマツ、クロマツ群、林齢 40 年以上)



市道東側(アカマツ、クロマツ群、林齢 40 年以上とスギ群)

第 16 図 貯蔵施設敷地周辺植生状況

— ■ — : 敷地境界

### (3) 敷地内の植生管理について

冬季期間（12月～翌5月）を除き、敷地内の植生管理については、第12表の頻度にて定期的実施するとともに、期間中月1回の頻度で巡回管理を行い、草木の巡視を行い現状の植生を維持するため軽度な復旧作業を実施することとしている。

第12表 植生管理のための巡視頻度及び作業内容

場所	頻度(期間中)	実施内容
事務建屋，貯蔵建屋 周辺(法面)	3回	芝刈り・除草・集草・搬出
通路(フェンス内)	2回	除草・集草・搬出
通路(フェンス外)	2回	除草・集草・搬出
市道沿い	2回	除草・集草・搬出
県道沿い	2回	除草・集草・搬出
上記以外の敷地内植生	適宜	除草・枝払い (現状の植生の維持管理)

芝が生育している事務建屋周辺や法面部，及び貯蔵建屋周辺の非燃焼領域については，植生維持管理の観点及び人の往来が比較的頻繁であることから年3回の実施，敷地境界フェンス内外，市道，県道沿い，法面の草木が生育している場所については，生育状況の実績を考慮し年2回実施することとしている。

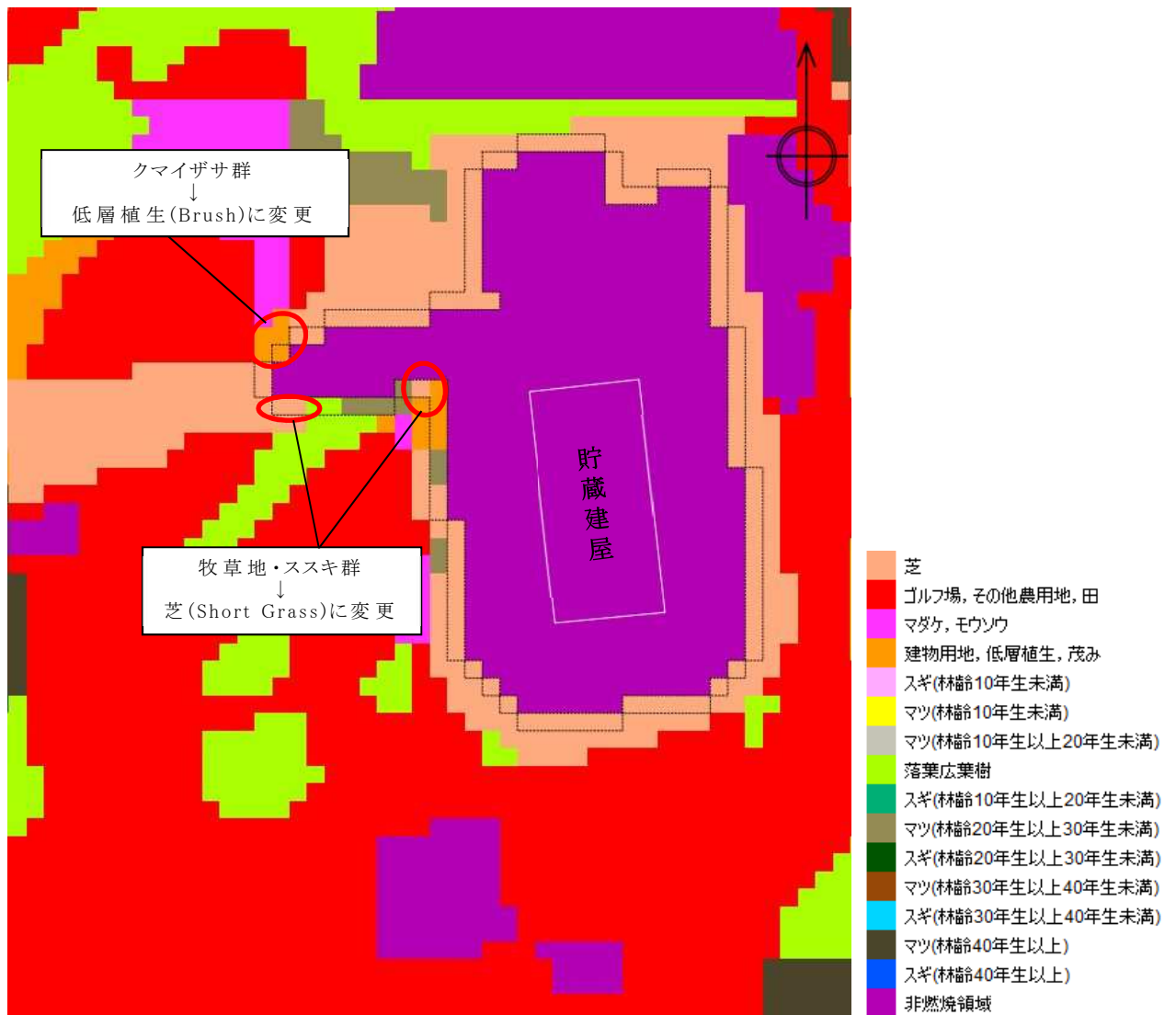
また，植生調査の結果，現状の植生管理対象区域外にある下記植生については，火災影響評価の観点から伐採管理が必要であることが判明した。

- ・貯蔵建屋北西部（非燃焼領域西側張出し部）のクマイザサ群（マダケ・モウソウ）
- ・貯蔵建屋西側法面上際近辺の牧草地・ススキ群（草高約76cmのTall Grass）

伐採措置については，事業開始前までに適切に実施することとする。本措置によりクマイザサ群については低層植生（草高約60cmのBrush），牧草地・ススキ群については芝（草高約30cmのShort Grass）



の植生とし、以降定期的にこの植生を維持・管理していくこととする。伐採措置後の敷地内の植生について第 17 図に示す（第 14 図の上図の抜粋再掲）。図中の赤枠で囲んだ部分が、伐採措置を施した後の植生を示している。

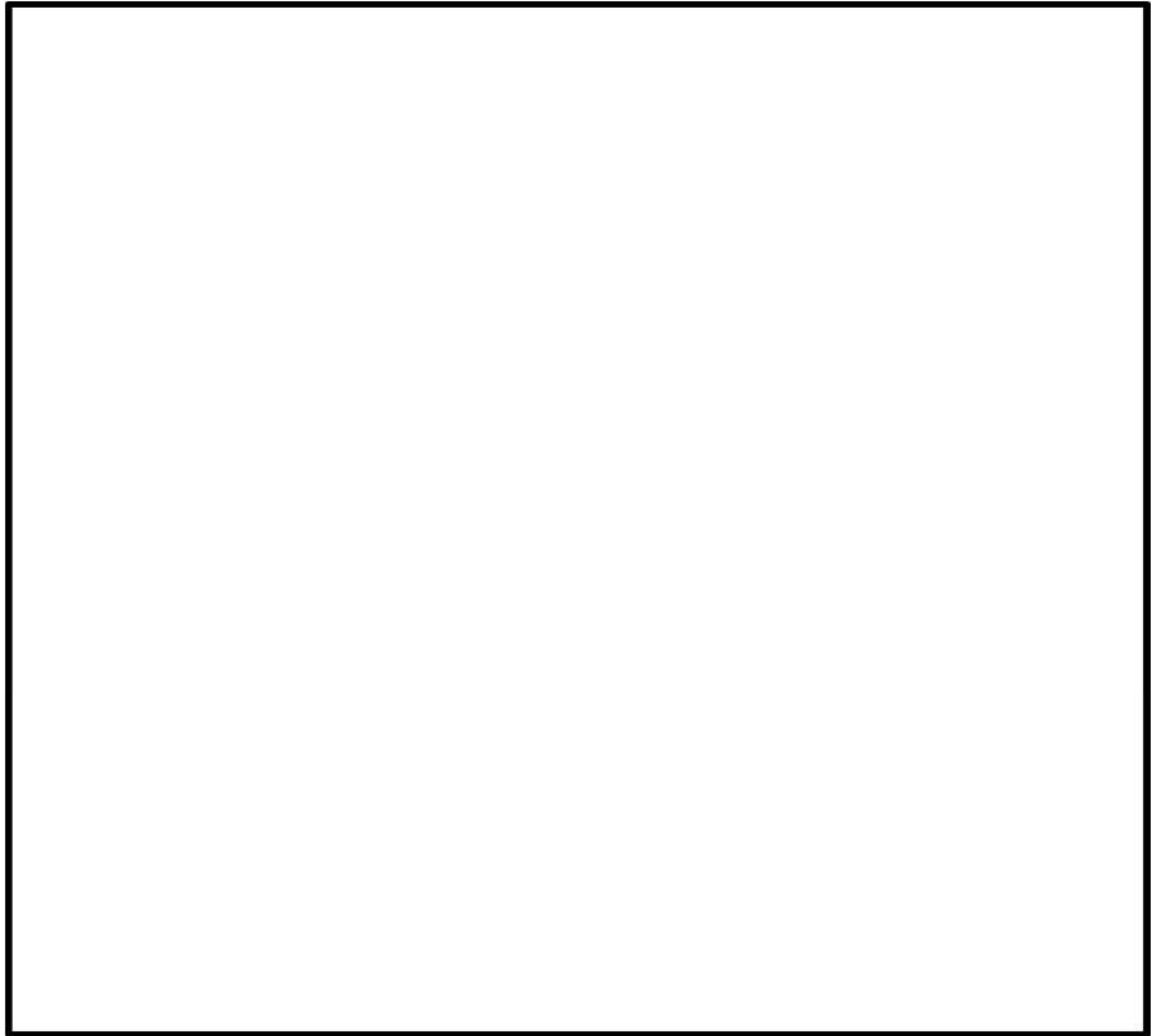





第 17 図 伐採措置後の敷地内植生

また、第 18 図に植生管理対象区域について示す。植生調査の結果、敷地周辺の植生については敷地造成前、遡れば戦後からほとんど変わっていないことを確認しており、今後の伐採措置後の経年的な植生の変化を考慮しても、全般的に大きく変化することはないと考え



られるが、今回の火災影響評価結果に影響を与えることのないよう、検討した敷地内の植生については伐採措置後の管理も含め現状を今後も維持すべく、適宜状況を監視しながら管理していくこととする。



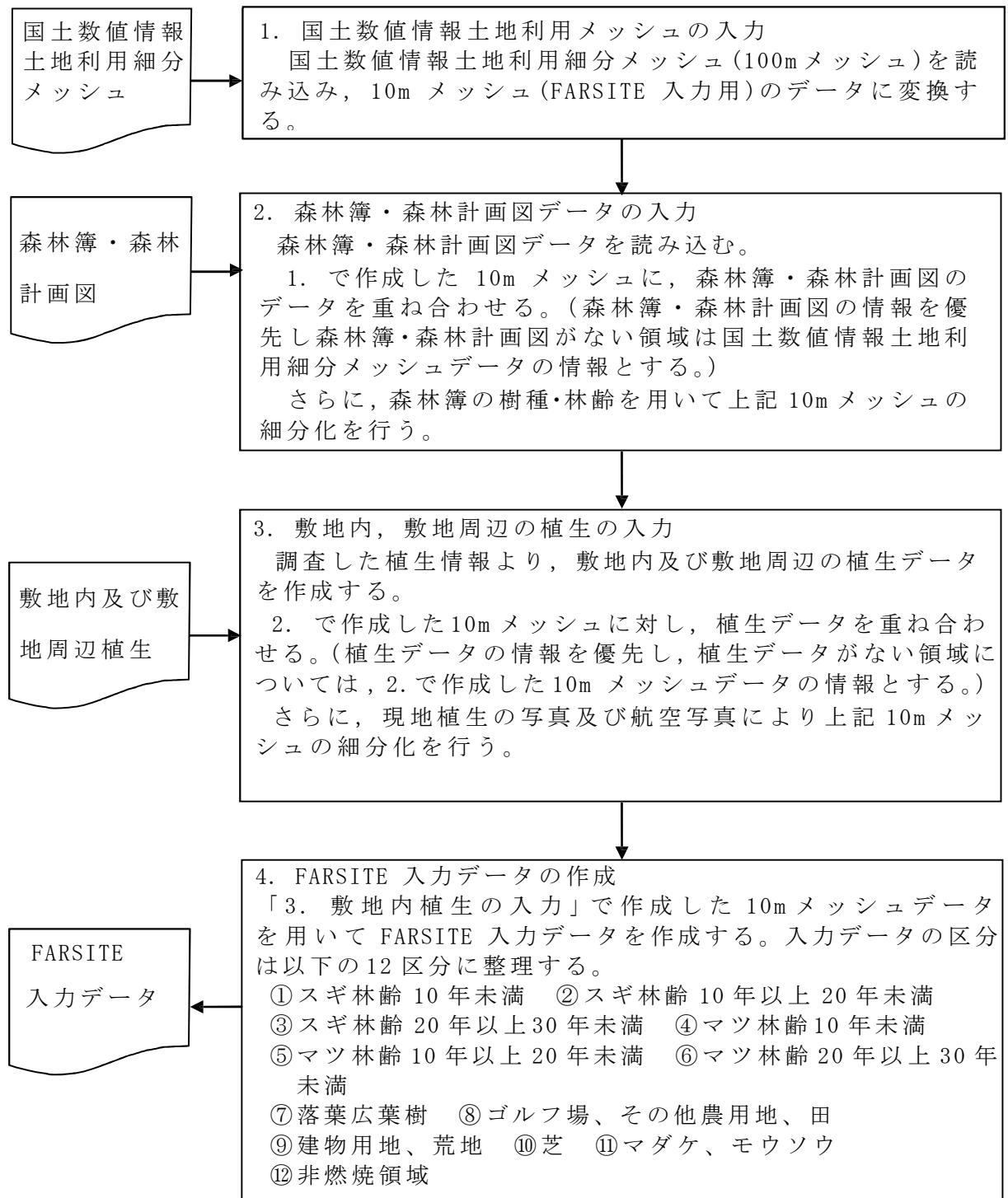
-  : 芝生育部（芝刈り、除草）
  -  : 法面（芝、背の低い草木→除草）
  -  : 敷地境界周辺（背の低い草木→除草）
  - 赤点線枠：伐採対象範囲（クマイザサ群、牧草地・ススキ群）
- 上記以外の敷地内植生（茂み、落葉広葉樹の森林）については、現状の植生を維持すべく適宜管理

第 18 図 敷地内の植生管理対象区域

#### (4) F A R S I T E 入力条件の設定について

前項で作成した植生データの入力にあたっては，国土数値情報土地利用細分メッシュを 10m メッシュ(F A R S I T E 入力用)のデータに変換し，これに森林簿，森林計画図のデータを照合して入力した。敷地内及び敷地周辺については，調査した植生情報をもとに作成した植生図のデータを 10m メッシュのデータに照合して入力した。このようにして作成した 10m メッシュデータをもとに，F A R S I T E への入力データを作成した。

第 19 図に F A R S I T E 入力条件の具体的な設定手順，また第 13 表に土地利用情報と F A R S I T E 入力データとの関係についてそれぞれ示す。



第 19 図 F A R S I T E 入力条件の設定手順

第 13 表 (1) 土地利用情報と F A R S I T E 入力データとの関係

	土地利用	FARSITE 入力データ		備考
		区分	樹種	
国土数値情報 土地利用細分 メッシュ	田	⑧	ゴルフ場, その他 農用地, 田	FARSITE の Tall Grass (高い草: 約 76cm)として 分類(Tall Grass は草地 の中で最も保守的なパラ メータ)
	その他農用地			
	森林	森林簿及び森林計画図に 従い樹種・林齢毎に設定		-
	荒地	⑨	建物用地, 低層植 生, 茂み	延焼しづらいと想定さ れるが, 保守的に FARSITE の Brush(低層 植生: 約 60cm)として分 類
	建物用地			
	道路	⑫	非燃焼領域	-
	鉄道			
	その他の用地			
	河川地及び湖 沼			
	海浜			
海水域				
ゴルフ場	⑧	ゴルフ場, その他 農用地, 田	FARSITE の Tall Grass (高い草: 約 76cm)として 分類	

第 13 表 (2) 土地利用情報と F A R S I T E 入力データとの関係

	樹種	FARSITE 入力データ		備考
		区分	樹種	
森簿・林森 林計画 図	スギ林齢 10 年未満	①	スギ林齢 10 年未満	FARSITE の初期設定にないため林齢及び樹種に応じた JNES 報告書*の可燃物パラメータを設定
	スギ林齢 10 年以上 20 年未満	②	スギ林齢 10 年以上 20 年未満	
	スギ林齢 20 年以上 30 年未満	③	スギ林齢 20 年以上 30 年未満	
	スギ林齢 30 年以上 40 年未満			
	スギ林齢 40 年以上			
	マツ林齢 10 年未満	④	マツ林齢 10 年未満	
	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	⑤	マツ林齢 10 年以上 20 年未満	
	マツ林齢 20 年以上 30 年未満	⑥	マツ林齢 20 年以上 30 年未満	
	マツ林齢 30 年以上 40 年未満			
	マツ林齢 40 年以上			
	落葉広葉樹	⑦	落葉広葉樹	
	マダケ, モウソウ	⑪	マダケ, モウソウ	FARSITE の Chaparral (茂み: 約 183cm) として分類
敷地内 植生	芝草	⑩	芝	FARSITE の Short Grass (低い草: 約 30cm) として分類
	高い草 (ススキ群, 牧草地)	⑧	ゴルフ場, その他農用地, 田	FARSITE の Tall Grass (高い草: 約 76cm) として分類
	クマイザサ群	⑪	マダケ, モウソウ	FARSITE の Chaparral (茂み: 約 183cm) として分類
	荒地 (ノイバラ群)	⑨	建物用地, 低層植生, 茂み	FARSITE の Brush (低層植生: 約 60cm) として分類
	落葉広葉樹 (ハンノキ群, ミズナラ群)	⑦	落葉広葉樹	落葉広葉樹用のパラメータを設定
	非燃焼領域	⑫	非燃焼領域	-

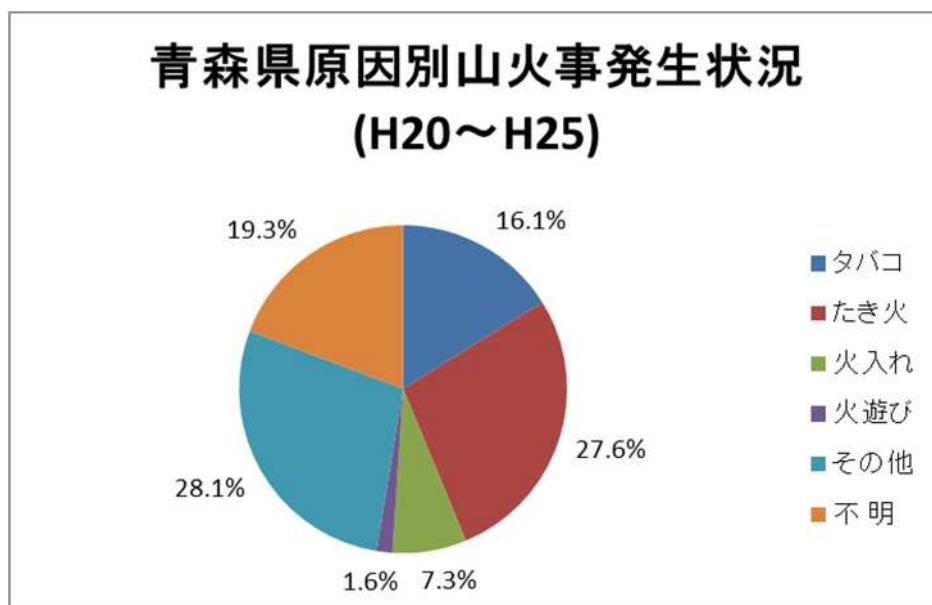
\* : 「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」 (2012 年 6 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構)

### 3.2.2.6 発火点の設定

発火点の設定にあたっては、ガイドを参考とし、貯蔵施設から直線距離 10km の範囲内において、気象条件の選定結果に基づく卓越風向や、人為的行為を考慮した道路沿いや田、建物を踏まえて設定した。

#### (1) 発火点の設定方針

- ・貯蔵施設からの各方位直線距離 10km の範囲内で、出火リスクがある箇所を発火点候補として抽出する。
- ・上記発火点候補のうち、貯蔵施設周辺までの地形及び植生の特性を考慮し、保守的な結果となる方位を選定し、発火点を設定する。
- ・設定にあたっては、卓越風向、及び青森県における森林火災の発生原因の調査結果（第 20 図参照）を踏まえた人為的行為による火災の発生頻度が高いと想定される地域（主要道路沿い及び集落）を考慮する。



(青森県防災HPより)

第 20 図 青森県原因別山火事発生状況（平成 20 年～25 年）

## (2) 発火点候補の選定

貯蔵施設から各方位へ直線距離 10km の範囲内で出火が想定される発火点候補について次のとおり検討を行った。

### (a) 東～南南東

- ・南東方向に位置するガソリンスタンドは県道 6 号線沿いであり，火の不始末による出火が想定される。(E-1)
- ・南南東方向に位置する貯蔵施設から最も近い集落内にある東通村役場目名生活改善センター周辺は，県道 6 号線沿いでもあり人為的行為による出火全般が想定される。(E-2)

### (b) 南～西南西

- ・西南西方向に位置する貯蔵施設から最も近い集落である名子地区は，集落が存在する国道 279 号線沿いであり，人為的行為による出火全般が想定される。(S-1, S-1-1)
- ・南南西方向に位置する早掛沼公園は，人が多く集結することを考慮すると，花火・たき火による出火が想定される。(S-2, S-2-1)
- ・南南西方向に位置する海上自衛隊樺山送信所の北側に位置する森林は，道路沿いで周囲に農用地が存在し，火入れ・たき火による出火が想定される。(S-2-2)
- ・南方向に位置する荒矢沢，沢畑地区は，道路沿いに集落が存在しており，人為的行為による出火全般が想定される。(S-3)

### (c) 西～西北西

- ・西北西方向に位置する石神温泉は，宿泊施設で国道 279 号線沿いであり人為的行為による出火全般が想定される。(W-1)
- ・西方向に位置する関根地区は国道 279 号線沿いに集落が存在しており，人為的行為による出火全般が想定される。(W-2)

### (d) 北西～東北東

- ・津軽海峡に面する海域であり出火のリスクはない。

以上の結果をまとめて第 14 表に、またそれぞれの発火点候補の位置について第 21 図に示す。

第 14 表 貯蔵施設からの方位別発火点候補

直線距離10km間にある発火点候補地			出火 リスク	出火リスクの詳細
方角	番号	位置		
東～南南東	E-1	ガソリンスタンド	○	県道6号線沿いにあるガソリンスタンドであり、火の不始末による出火が想定される。
	E-2	東通村役場目名生活改善センター周辺	○	人が集まる施設で県道6号線沿いであり、人為的行為による出火全般が想定される。
南～西南西	S-1	名子地区	○	民家等の集落が存在する国道279号線沿いであり、人為的行為による出火全般が想定される。
	S-1-1	名子地区森林境界付近	○	
	S-2	早掛沼公園内	○	公園であり人が多く集結することを考慮すると、花火・たき火による出火が想定される。
	S-2-1	早掛沼公園付近森林内	○	
	S-2-2	海上自衛隊樺山送信所付近	○	道路沿いであり、周囲には農用地が存在し火入れ・たき火による出火が想定される。
	S-3	荒矢沢、沢畑地区	○	民家等の集落が存在する道路沿いであり、人為的行為による出火全般が想定される。
西～西北西	W-1	石神温泉	○	人が集まる宿泊施設で国道279号線沿いであり、人為的行為による出火全般が想定される。
	W-2	関根地区	○	民家等の集落が存在する国道279号線沿いであり、人為的行為による出火全般が想定される。
北西～東北東	-	-	×	津軽海峡に面する海域であり出火のリスクはない。





第 21 図 発火点候補位置

### (3) 保守的な発火点の方位の選定

森林火災影響評価に関しては、発火点から貯蔵施設の間の地形及び植生が評価結果に影響を与えると考えられるため、(2)で検討した発火点候補から以下を考慮して保守的な発火点の方位を選定する。

- ・地形の効果では、上り勾配の方が延焼速度が速くなる。
- ・植生では、農用地（F A R S I T E区分における『ゴルフ場，その他農用地，田』）が延焼速度が速く，風下以外に火炎が速く延焼して火災の規模が大きくなる可能性が高い。また，森林については平地と比較して延焼速度が遅く，かつ林齢が高くなるほど延焼は遅くなる。

貯蔵施設周辺の植生の特徴については以下のとおりである。（第22図）

- ・貯蔵施設の北西～東北東は海域であり非燃焼領域である。
- ・貯蔵施設の南南西～西南西はほぼ農用地となっている。
- ・それ以外の方位は森林植生，農用地，荒地が混在しており，農用地より延焼速度は遅くなる。また，荒地については延焼速度が農用地より遅く森林より速い。

貯蔵施設周辺の地形の特徴については以下のとおりである。（第23図）

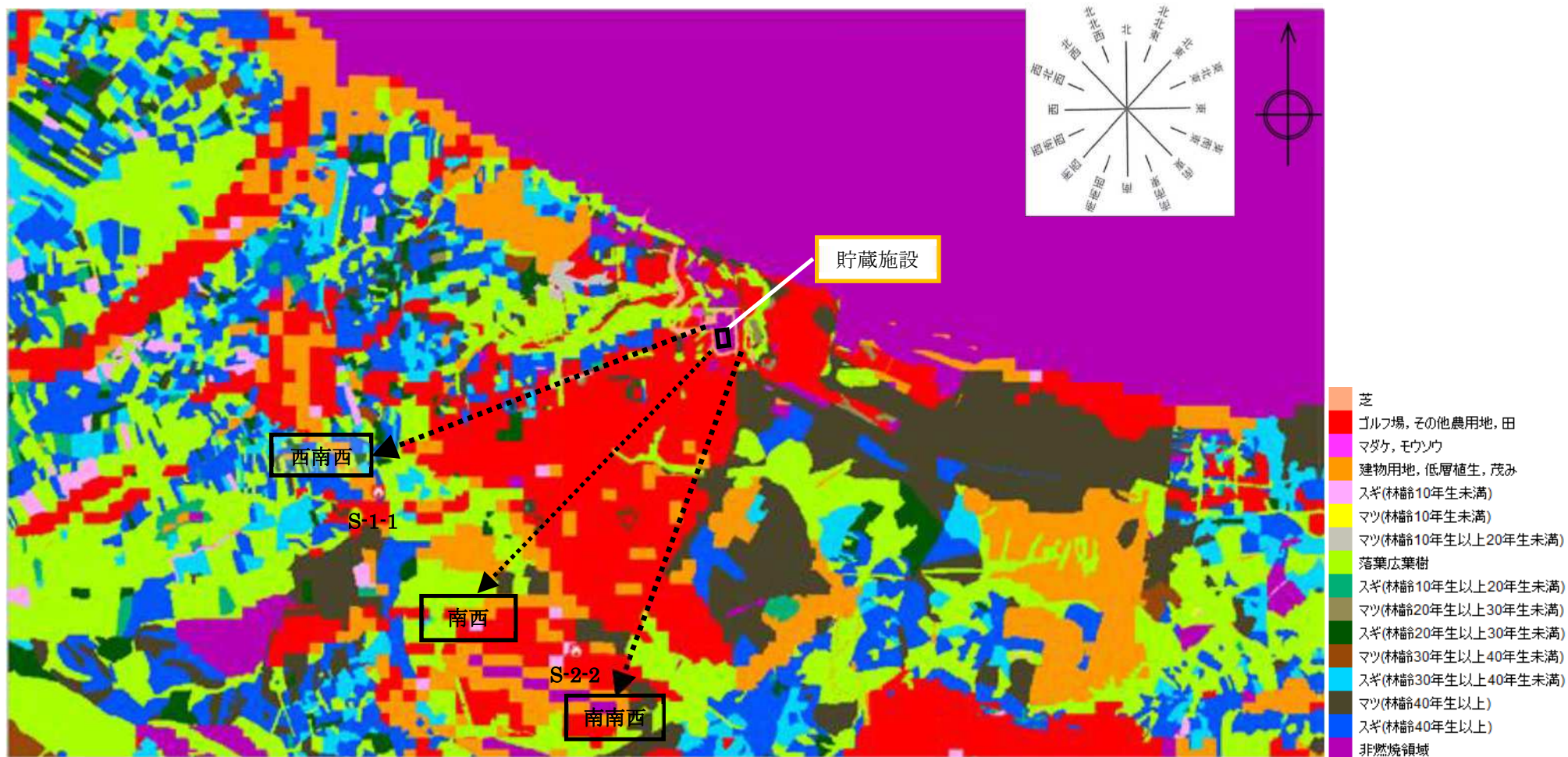
- ・貯蔵施設周辺（建屋標高 16m）はなだらかな台地であり，標高差はほとんどない。
- ・貯蔵施設の東南東～西南西は標高 30～40m 程度の丘が存在し，貯蔵施設周辺まで上り勾配となっている。
- ・西は，丘と標高の低い地形が混在し，唯一起伏のある方位である。
- ・西北西～東は海岸及び海域となっており，貯蔵施設よりも標高は低く貯蔵施設周辺に向かって上り勾配となっている。

以上の結果をまとめて第 15 表に示す。これより、最も保守的は方位は西南西～南南西となり、またこれらは卓越風向でもあることから西南西～南南西を発火点の貯蔵施設からの方位として選定する。

第 15 表 貯蔵施設周辺における地形及び植生の特徴

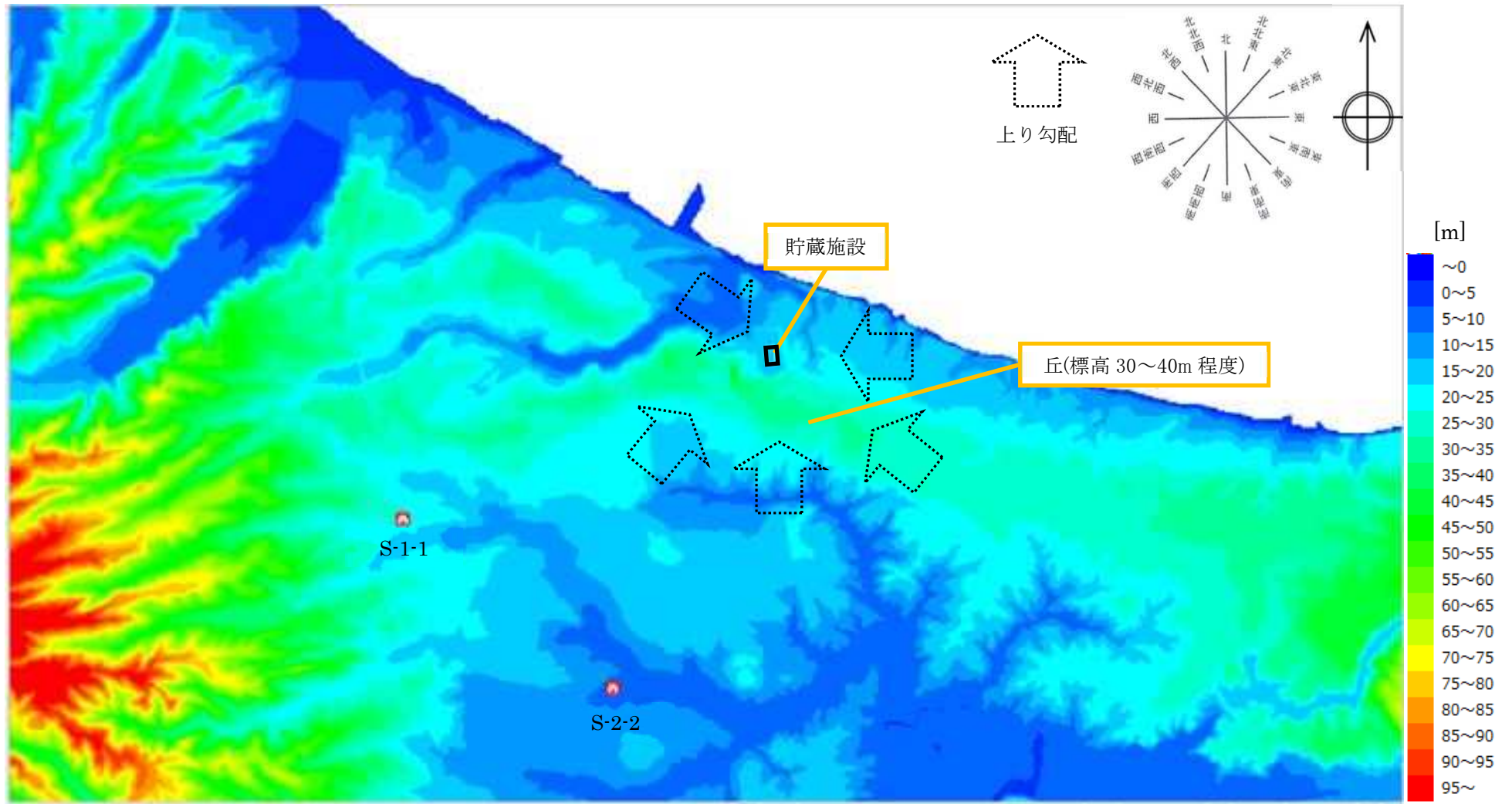
方位	気象条件より 選定した風向	地形の特徴	植生の特徴
北西		×(海域(非燃焼領域)であり延焼の可能性はない)	
北北西			
北			
北北東			
北東			
東北東			
東	レ	○(標高:低, 上り勾配)	△(複数植生が混在)
東南東		△(標高:中程度, 平坦)	
南東		○(近傍は標高:中程度, 上り 勾配)	
南南東			
南			
南南西	レ		○(農用地)
南西			
西南西	レ		
西		△(起伏がある)	△(複数植生が混在)
西北西		○(標高:低, 上り勾配)	

(○ : 保守性大 △ : 保守性中 × : 保守性小)



第 22 図 貯蔵施設周辺の植生





第 23 図 貯蔵施設周辺の標高

#### (4) 発火点の選定

(3)において選定した方位（西南西～南南西）に基づき，当該方位に属する発火点候補のうち最も保守的と考えられる以下の発火点1，2について設定した。

##### (a) 西南西（発火点1）

- ・選定した発火点候補のうち，西南西方向の発火点は名子地区(S-1)及び名子地区森林境界(S-1-1)の2箇所であるが，火災がより延焼しやすいと考えられる名子地区森林境界(S-1-1)を発火点1として選定した。(第24図)
- ・隣接している森林植生はスギ(林齢40年生以上)であり，その先は落葉広葉樹と農用地が広がっている。また，貯蔵施設から約3km離れており貯蔵施設に向かって上り勾配となっているため，火災が拡がりやすく保守的な評価が可能と考えられる。名子地区集落周辺において発火点を移動させても植生や地形に大きな差はないことから，評価結果に大きな差が出ることはないと考えられる。

##### (b) 南南西（発火点2）

- ・選定した発火点候補のうち，南南西方向の発火点は早掛沼公園内(S-2)，早掛沼公園付近森林内(S-2-1)及び海上自衛隊樺山送信所付近道路沿いの森林境界(S-2-2)の3箇所であるが，海上自衛隊樺山送信所は滑走路跡地で非燃焼領域となっており，早掛沼公園はそこからさらに貯蔵施設より遠方となるため，早掛沼公園付近からの火災の延焼の際に影響を及ぼすものと考えられる。このため，海上自衛隊樺山送信所付近(S-2-2)を発火点2として選定した。(第25図)
- ・隣接している森林植生はスギ(林齢10年生未満)と農用地であり，道路沿いでもあることから出火のリスクも考えられ延焼のしやすい条件と考えられる。貯蔵施設からは約2.5km離れてお

り、西南西と同様貯蔵施設に向かって上り勾配となっているため、火災も拡がりやすく保守的な評価が可能と考えられる。発火点2の周辺の植生や地形についても大きな差はないことから、発火点の移動により評価結果に大きな差は出ることはないと考えられる。

(c) 南西方向について

- ・発火点1と2の間となる南西方向については、植生が落葉広葉樹と低層植生の混在となっているところがあり、発火点1,2の近傍を占める農用地の延焼より延焼速度は遅く、逆に発火点1,2からの火災が延焼する可能性が高いと考えられる。また、出火リスクの高い集落もないことから、発火点1,2の評価結果に包絡されるものと考えられる。

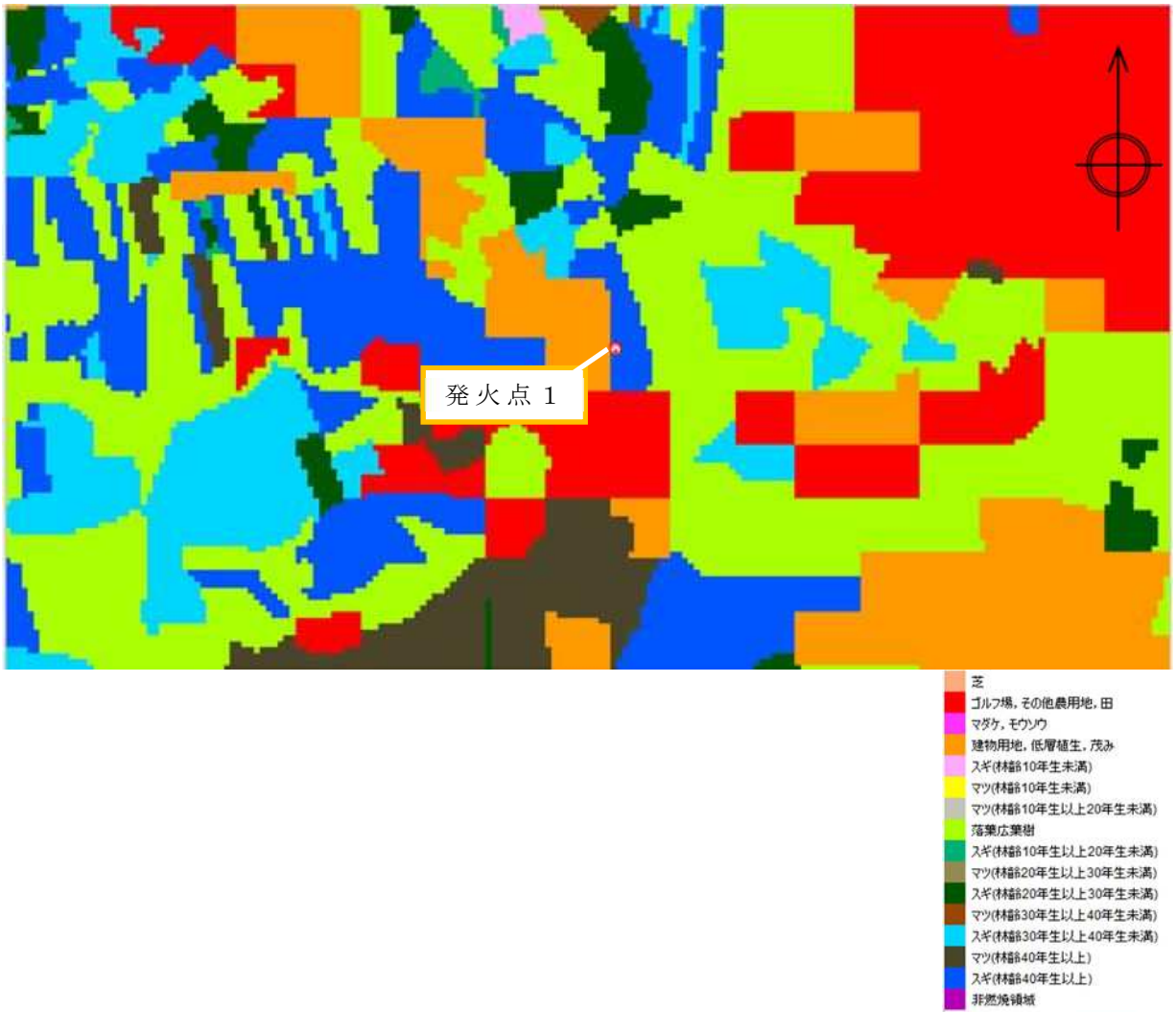
(5) 追加発火点の選定（東：発火点3）

貯蔵施設東側については、市道を挟んで至近に森林（マツ）が存在し、卓越風向ではないが季節により強い風が吹く時期もあることから、貯蔵施設特有の立地条件に鑑み東側の地点について設定した。

- ・貯蔵施設近隣から発火した場合、防火帯周辺に火災が到達するまでの時間が短くなり、火災による影響も大きくなることが考えられる。
- ・発火点候補の検討時における東側～南南東の発火点については、出火リスクはあるものの貯蔵施設から5km以上離れており植生状況も複数の植生が混在している状態であるため、貯蔵施設に至近の東側の森林からの出火という特有の条件を鑑みて、貯蔵施設東側の森林内を発火点3として設定した。（第26図）
- ・東側に位置する森林は、貯蔵施設東側で市道にも近く、人為的行為による出火が想定される。
- ・貯蔵施設からは約200m離れており、森林内の植生の境界（マツ（林齢20-30年生）と落葉広葉樹）を選定したことから延焼速度



はマツ植生のみの場合より早くなり保守的な選定であると考えられる。



第 24 図 発火点 1 位置図（植生図及び航空写真）

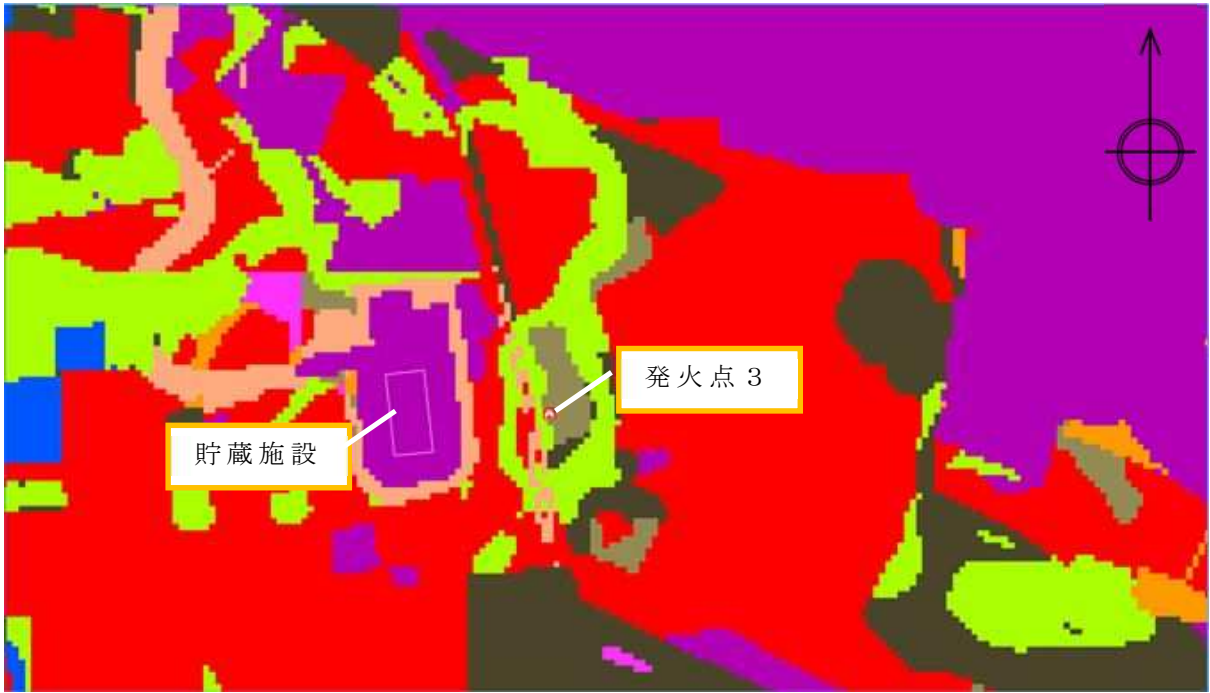


- 芝
- ゴルフ場, その他農用地, 田
- マダケ, モウソウ
- 建物用地, 低層植生, 茂み
- スギ(林齢10年生未満)
- マツ(林齢10年生未満)
- マツ(林齢10年生以上20年生未満)
- 落葉広葉樹
- スギ(林齢10年生以上20年生未満)
- マツ(林齢20年生以上30年生未満)
- スギ(林齢20年生以上30年生未満)
- マツ(林齢30年生以上40年生未満)
- スギ(林齢30年生以上40年生未満)
- マツ(林齢40年生以上)
- スギ(林齢40年生以上)
- 非燃焼領域



第 25 図 発火点 2 位置図 (植生図及び航空写真)





- 芝
- ゴルフ場, その他農用地, 田
- マダケ, モウソウ
- 建物用地, 低層植生, 茂み
- スギ(林齢10年生未満)
- マツ(林齢10年生未満)
- マツ(林齢10年生以上20年生未満)
- 落葉広葉樹
- スギ(林齢10年生以上20年生未満)
- マツ(林齢20年生以上30年生未満)
- スギ(林齢20年生以上30年生未満)
- マツ(林齢30年生以上40年生未満)
- スギ(林齢30年生以上40年生未満)
- マツ(林齢40年生以上)
- スギ(林齢40年生以上)
- 非燃焼領域



第 26 図 発火点 3 位置図 (植生図及び航空写真)

### 3.2.3 F A R S I T Eによる森林火災影響評価

#### 3.2.3.1 F A R S I T E入出力データ

3.2.2において評価した入力条件をもとに、森林火災影響評価に必要な評価項目についてF A R S I T Eによる解析計算を実施した。F A R S I T Eへの入力データについて第16表に示す。

第16表 F A R S I T Eへの入力データ

入力項目		入力値	備考
気象データ	風向	西南西	発火点1（卓越風向）
		南南西	発火点2（卓越風向）
		東	発火点3（貯蔵施設特有条件）
	風速(km/h)	69	周辺4観測所過去10年間の3～8月における最大値
	気温(℃)	35	
湿度(%)	13	周辺4観測所過去10年間の3～8月における最小値	
植生データ	場所	—	現地調査, 航空写真で特定した樹種毎の植生場所
	樹種	12区分	植生調査で特定した情報を入力 ①スギ林齢10年未満, ②スギ林齢10年以上20年未満, ③スギ林齢20年以上30年未満, ④マツ林齢10年未満, ⑤マツ林齢10年以上20年未満, ⑥マツ林齢20年以上30年未満, ⑦落葉広葉樹, ⑧Tall Grass(ゴルフ場, その他農用地, 田) ⑨Brush(建物用地, 荒地), ⑩Short Grass(芝), ⑪Chaparral(マダケ, モウソウ), ⑫非燃焼領域
	林齢	6区分	植生調査データに基づき, スギ, マツについて, 10年生未満, 10年生以上20年生未満, 20年生以上30年生未満の計6区分を設定
	樹冠率	区分3	針葉樹, 落葉広葉樹の森林については保守的な樹冠率区分3(一般的な森林)を入力し, それ以外は樹冠率0%とした。
土地利用種別データ, 地形データ	森林以外の土地	—	国土地理院データにより森林以外の建物, 河川等を再現
	地形, 標高	—	国土地理院データにより標高, 地形(傾斜角, 傾斜方向)を再現

F A R S I T E への入力にあたり，整数値に直す必要のあるものについては保守側に切り上げ，または単位換算を施した。

また，F A R S I T E からの出力データについて第 17 表に示す。

第 17 表 F A R S I T E からの出力データ

出力項目		内容
FARSITE 出力データ	火線強度 (kW/m)	火炎前線からの単位時間に放出される熱量。火炎の最前線における最大値を採用（防火帯幅の算出）
	火炎長 (km/h)	火炎の高さ。火炎最前線における値を採用（円筒火炎モデルの形態係数の算出）
	火炎到達時間 (h)	出火から火炎が火炎最前線に到達するまでの時間のうち最小値を採用（火災継続時間の算出）
	反応強度 (kW/m <sup>2</sup> )	単位面積当りの熱放出速度。火炎の最前線における最大値を採用（火炎輻射強度の根拠となる火災規模）
	延焼速度 (m/s)	火炎の延焼する速度。火線強度の最大値の発生位置における値を採用
	単位面積当り 熱量(kJ/m <sup>2</sup> )	単位面積当りの放出熱量。火線強度の最大値の発生位置における値を採用

### 3.2.3.2 最大火線強度及び火炎到達時間の算出

#### (1) 火炎継続時間の算出

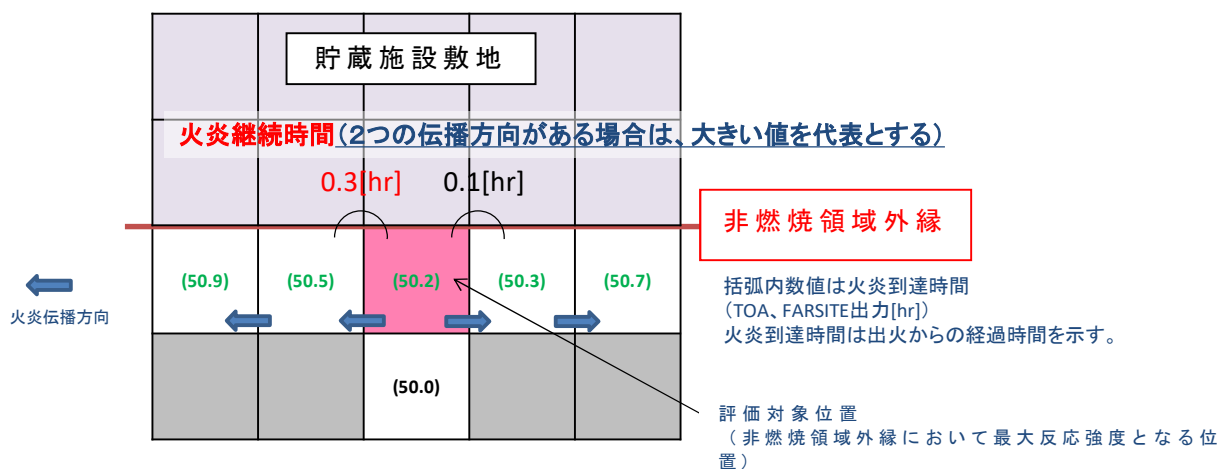
F A R S I T E から得られる各データをもとに，評価に必要な項目の算出を行った。算出項目について第 18 表に示す。

第 18 表 F A R S I T E 出力データより算出されるデータ

算出項目	内容, 算出方法
防火帯幅 (m)	火線強度から, ガイドに基づき Alexander and Fogarty の手法により評価
火炎輻射強度 (kW/m <sup>2</sup> )	反応強度に対して, 米国 NFPA の係数 (針葉樹の反応強度と火炎輻射強度の割合) である 0.377 を乗じて算出。
火炎継続時間 (h)	FARSITE 上のメッシュにおける火炎継続時間。発火点毎の解析における最大反応強度発生位置の火炎が隣接する位置 (火炎伝播方向) 伝播するまでの時間の差。
火炎到達幅 (m)	貯蔵施設から見た火炎の最前線における火炎前線の長さ。円筒火炎モデル火炎到達セル数×セル幅 (=10m) を火炎到達幅として算出。
燃焼半径 (m)	ガイドに基づき, 火炎長/3 として算出。

このうち, 火炎継続時間については F A R S I T E 上の 10m メッシュにおいて貯蔵建屋から見た火炎の最前線 (貯蔵建屋を囲む非燃焼領域の外縁) における最大反応強度発生位置から火炎が隣接する位置 (隣のメッシュ) に伝播するまでの時間を火炎継続時間とした。火炎は両隣のメッシュに伝播する場合は, 伝播までの時間が大きい方を採用した。概念図について第 27 図に示す。

評価対象位置 (最大反応強度発生位置) で隣接位置 (火炎伝播方向) における到達時間の差を火炎継続時間として算定



第 27 図 火炎継続時間の概念図



(2) 発火時刻の感度解析による最大火線強度及び火炎到達時間の評価

森林火災影響評価において F A R S I T E による解析を実施する場合、F A R S I T E への入力条件として気象条件、植生条件、土地・地形条件とともに日射についても考慮している。

F A R S I T E の解析における気象条件においては、気温は最高気温で一定、湿度は最小湿度で一定としており、時間の経過に伴い変化する日射量が可燃物の水分量（燃えやすさ）に影響することにより火線強度の値に影響を与えることから、日射の影響がもっとも大きくなると考えられる日中の時間帯（概ね 10 時～15 時の間）に火災の影響が最も大きくなるものと考えられる。

このため、この時間帯に火災が評価対象場所（燃焼領域と非燃焼領域の境界）に到達するよう発火時刻を設定し、得られた F A R S I T E の解析結果から火線強度の最大値及びそのときの火炎到達時間について評価を実施する。さらに、日射量が最大となるよう雲量 0（雲なし）、可燃物の水分量が少なくなるよう降雨量 0（降雨なし）を条件として追加し解析結果に保守性を持たせることとする。

設定した発火点 1，2，3 において森林火災が発生した場合を想定し、発火時刻を変更した感度解析により F A R S I T E にて算出した各発火点における最大火線強度及び火炎到達時間についてそれぞれ評価した結果を第 19 表に示す。

第 19 表(1) 発火点 1 における最大火線強度及び火炎到達時間

発火時刻	5:01	6:58	7:56	9:00	10:00	10:58
最大火線強度出現時刻	10:18	11:43	12:41	13:27	14:27	15:28
最大火線強度 [kW/m]	4292	6775	6217	5916	4059	3588
火炎到達時間 [h]	5.1	4.6	4.4	4.2	4.2	4.3

第 19 表(2) 発火点 2 における最大火線強度及び火炎到達時間

発火時刻	9:00	10:00	11:00	11:56	13:00
最大火線強度出現時刻	10:05	11:02	12:02	12:58	14:05
最大火線強度 [kW/m]	2431	2904	2783	2550	2463
火炎到達時間 [h]	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8

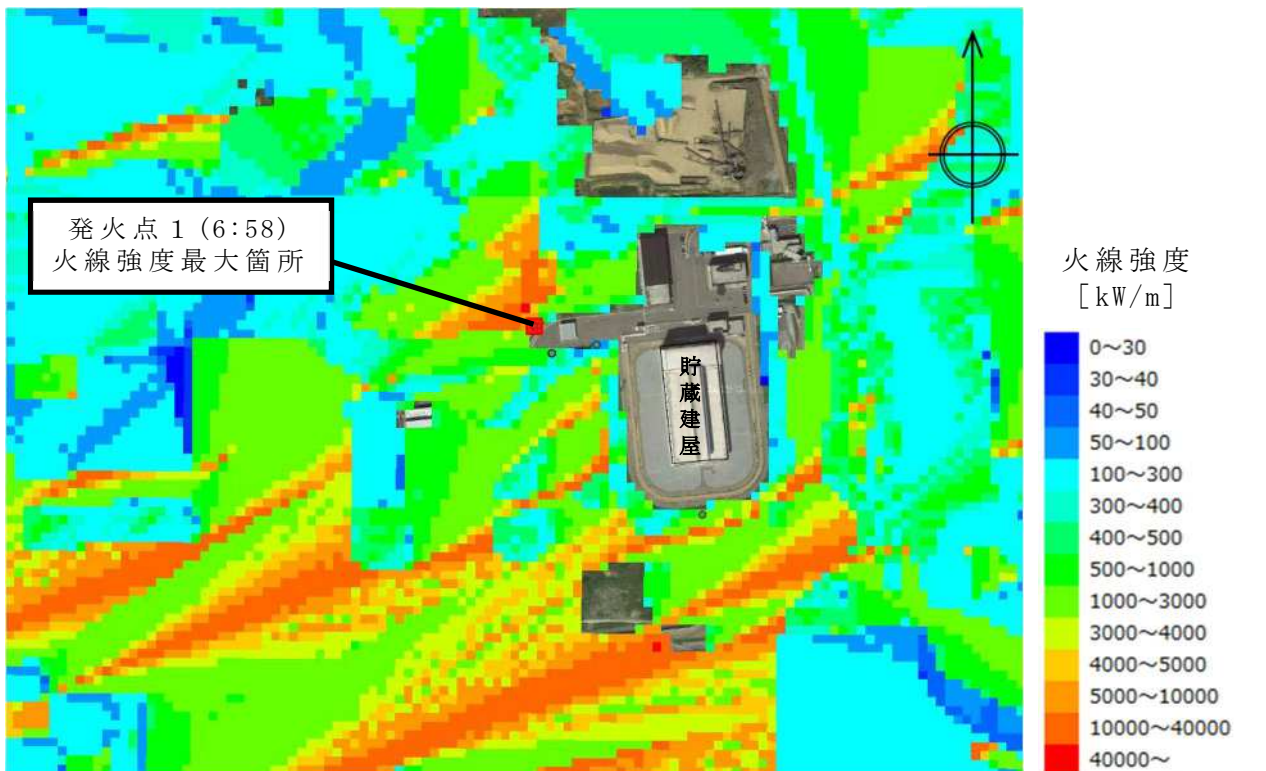
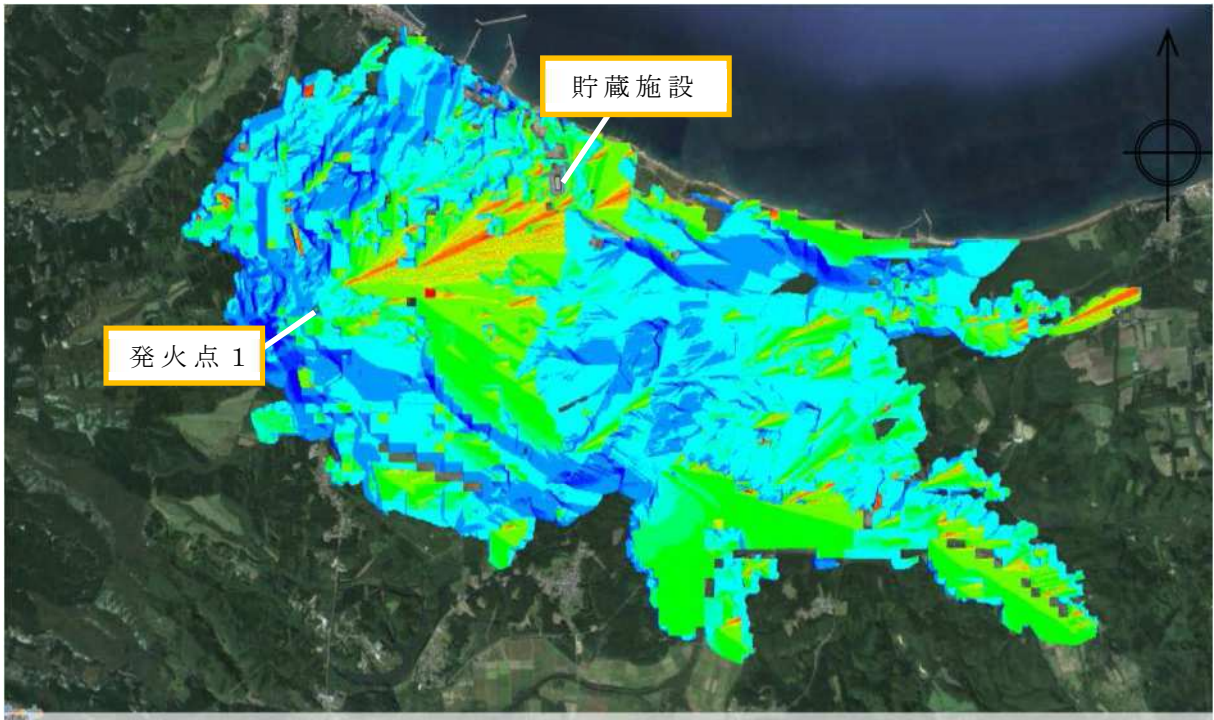
第 19 表(3) 発火点 3 における最大火線強度及び火炎到達時間

発火時刻	9:02	10:00	11:00	12:00
最大火線強度出現時刻	9:28	10:37	11:25	12:38
最大火線強度 [kW/m]	1556	1754	2016	1383
火炎到達時間 [h]	0.4	0.4	0.4	0.4

※火炎到達時間については保守的に小数第二位以下切下げ  
 ※網掛け部は各発火点における火線強度の最大値

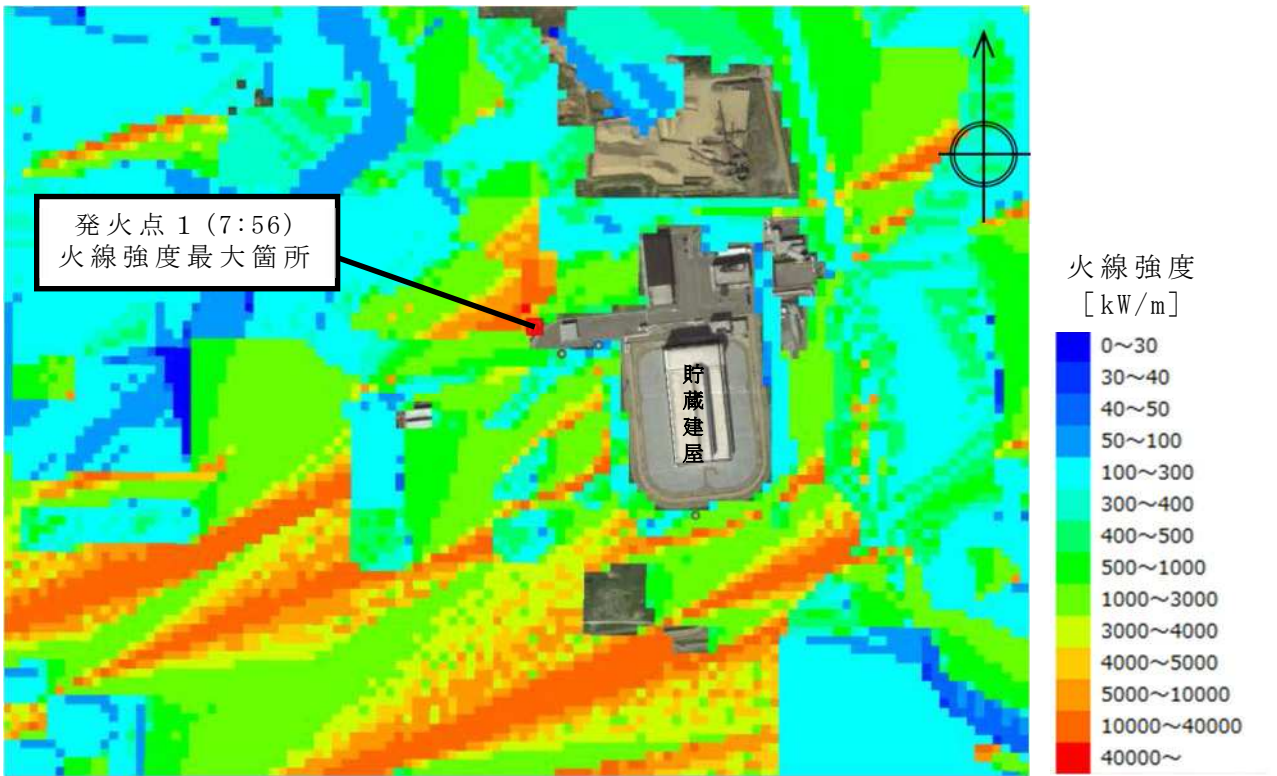
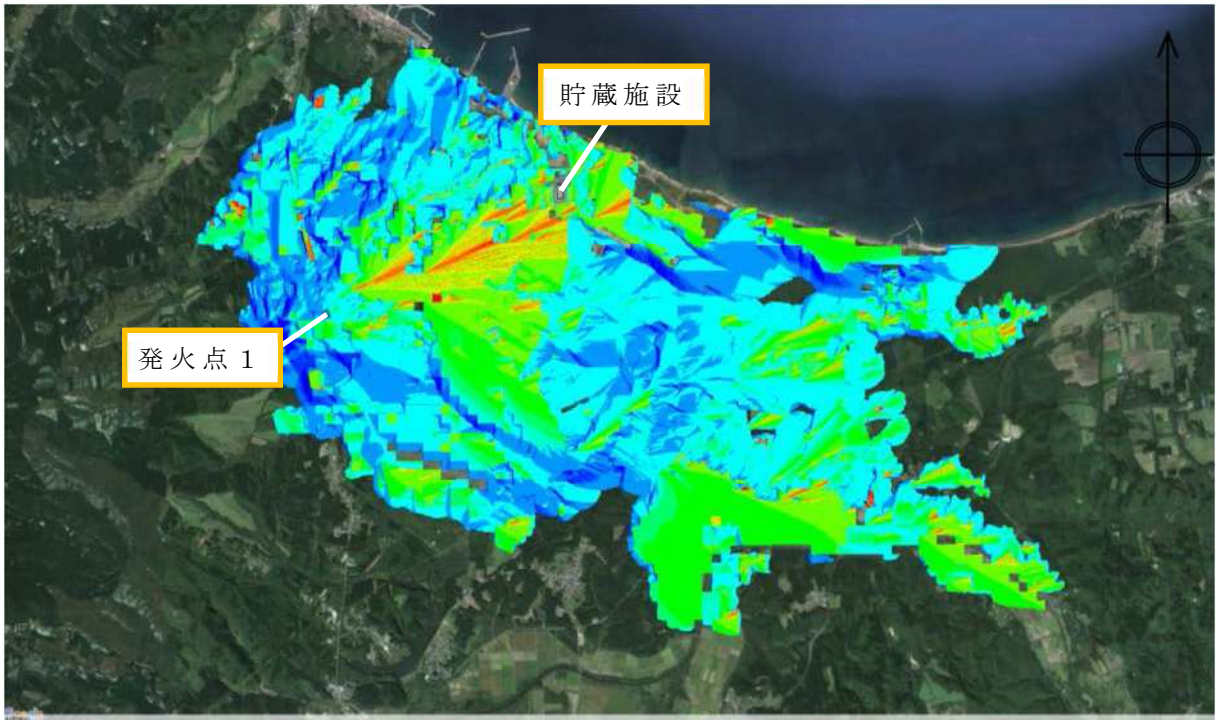
評価の結果、発火時刻については若干のずれはあるが、最大火線強度の値は概ね日中の 10 時～15 時に発出している結果となった。この結果より、最大火線強度の値は発火点 1 で発火時刻 6:58 における 6775 kW/m となった。

また、各発火点に対する最大火線強度分布及び最小火炎到達時間分布について第 28 図、第 29 図にそれぞれ示す。発火点 1 については、最大火線強度を発出した発火時刻 6:58、及び発火時刻 7:56 における 2 つの結果について示す。

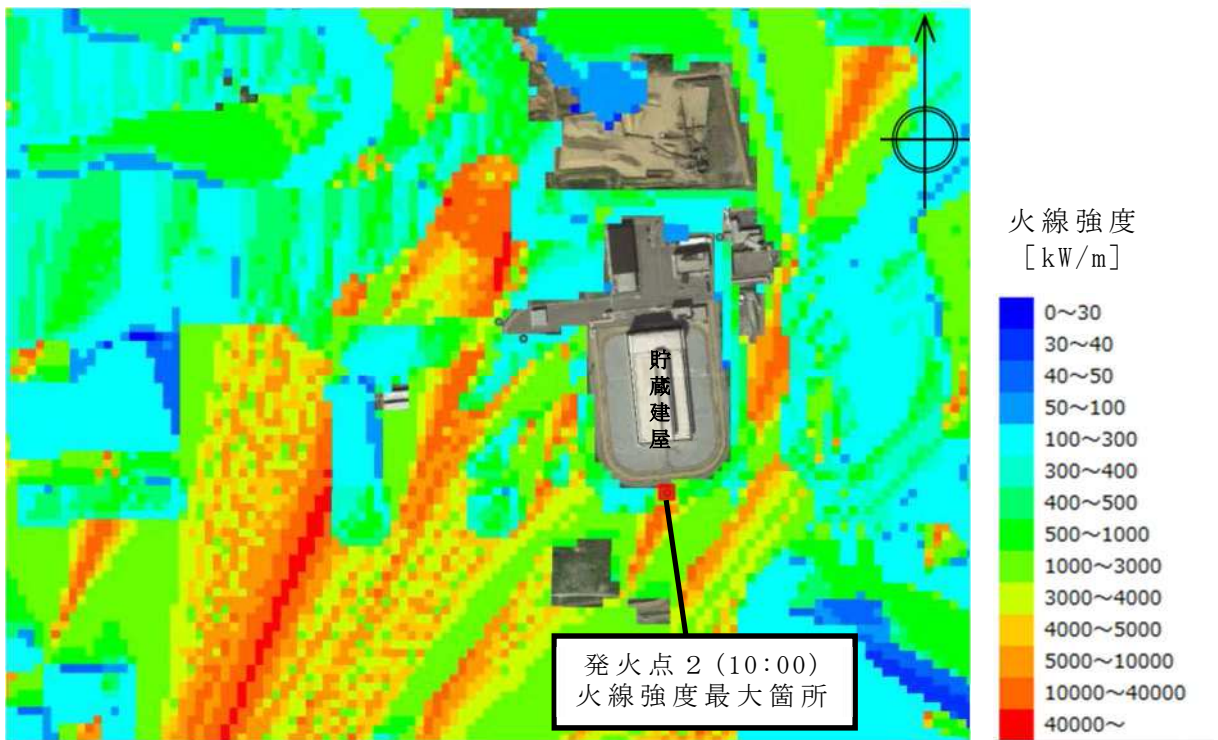
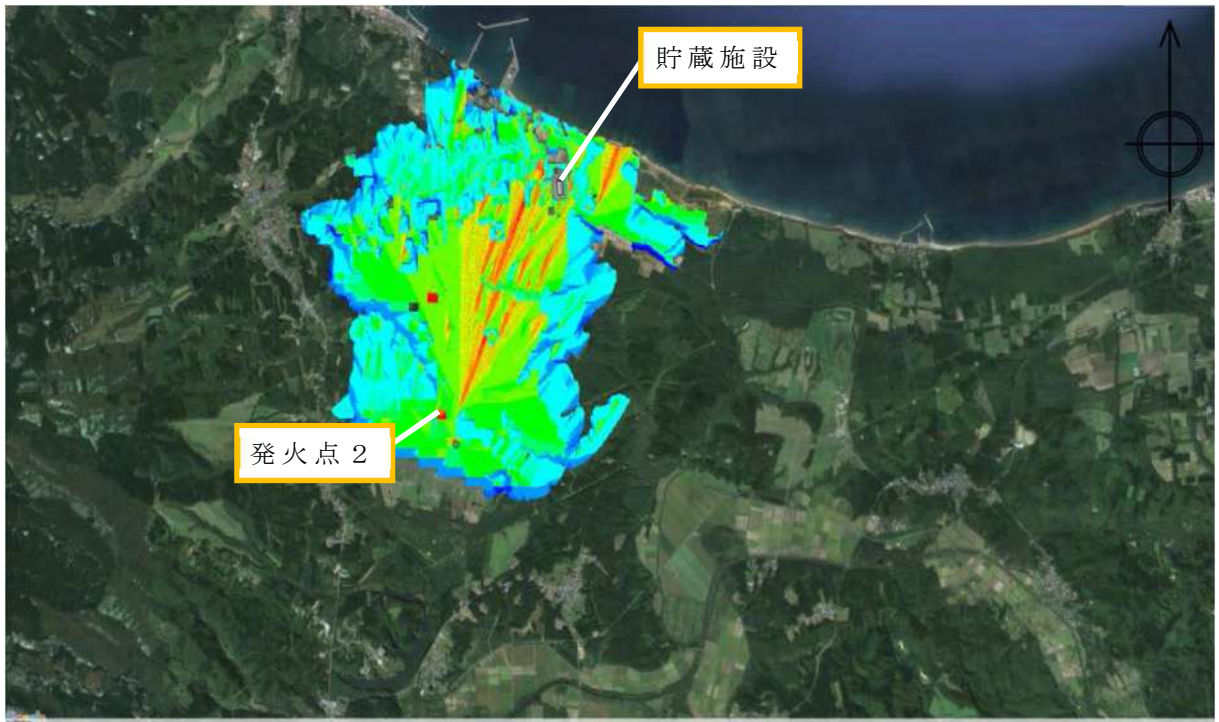


第 28 図 (1) 発火点 1 (発火時刻 : 6:58) に対する火線強度分布  
 (下の図は同拡大図及び最大火線強度発生箇所)



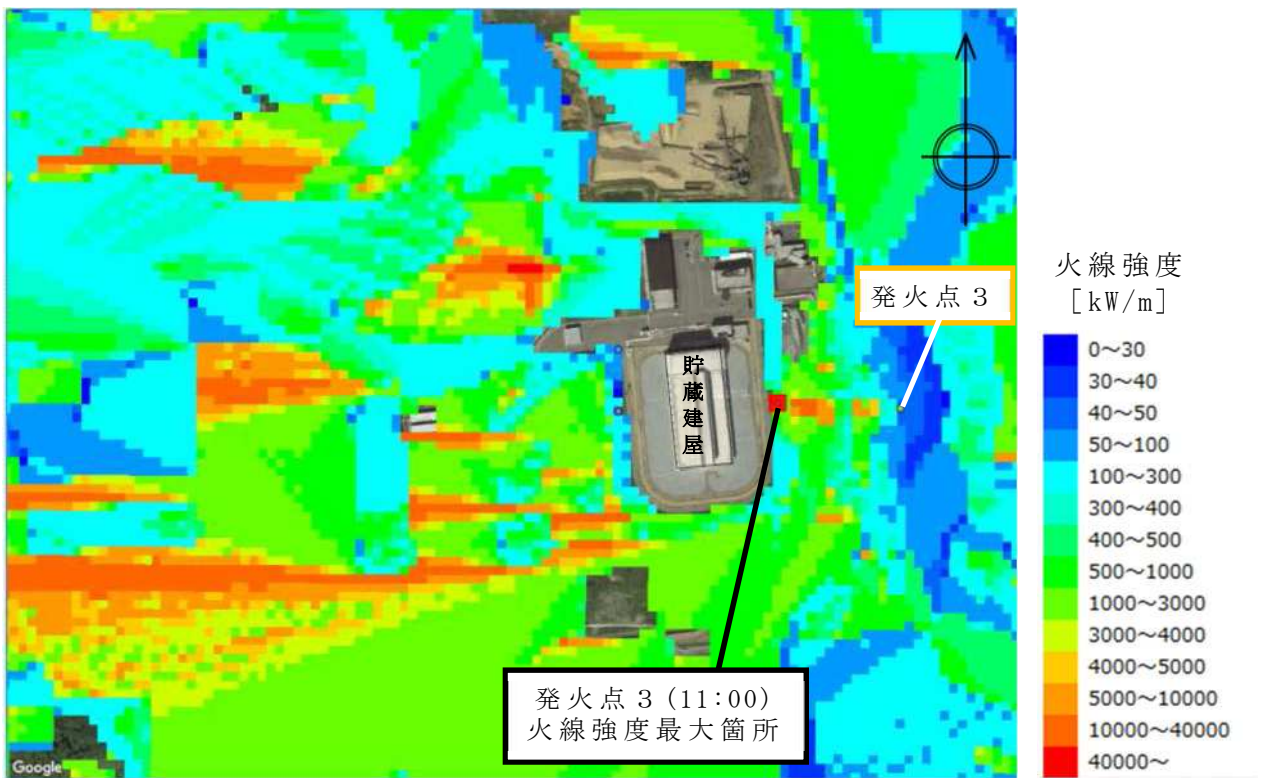
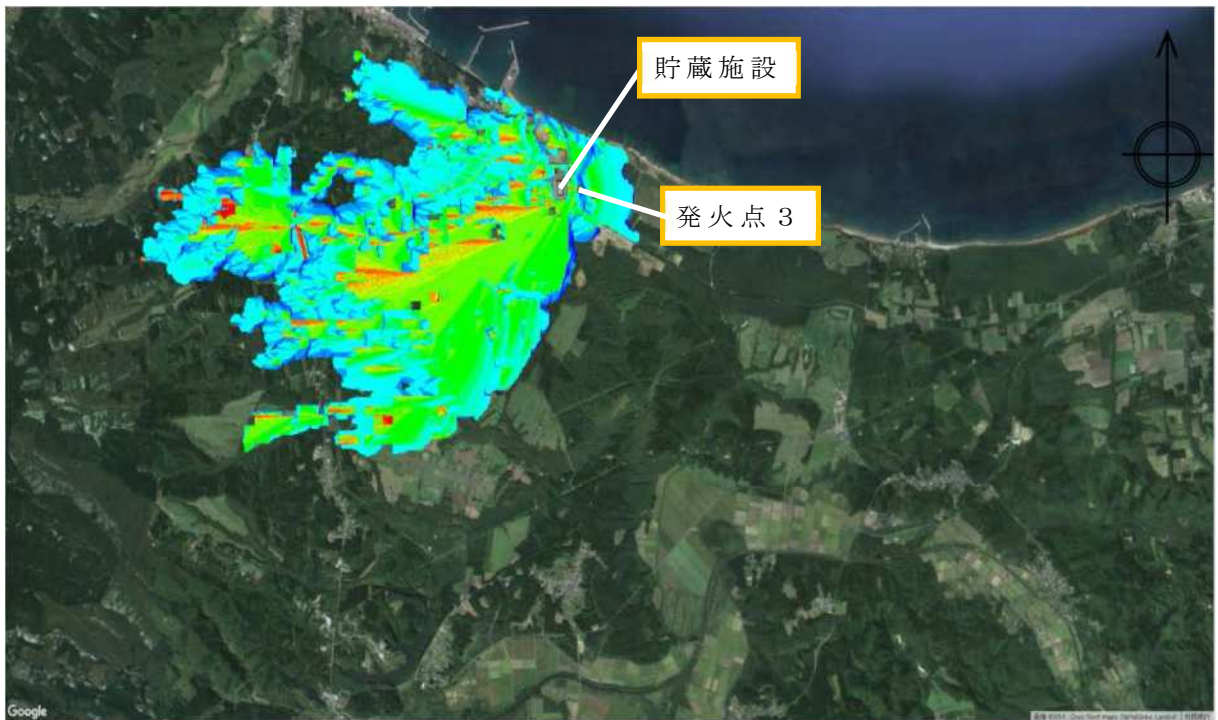


第 28 図 (2) 発火点 1 (発火時刻 : 7:56) に対する火線強度分布  
 (下の図は同拡大図及び最大火線強度発生箇所)

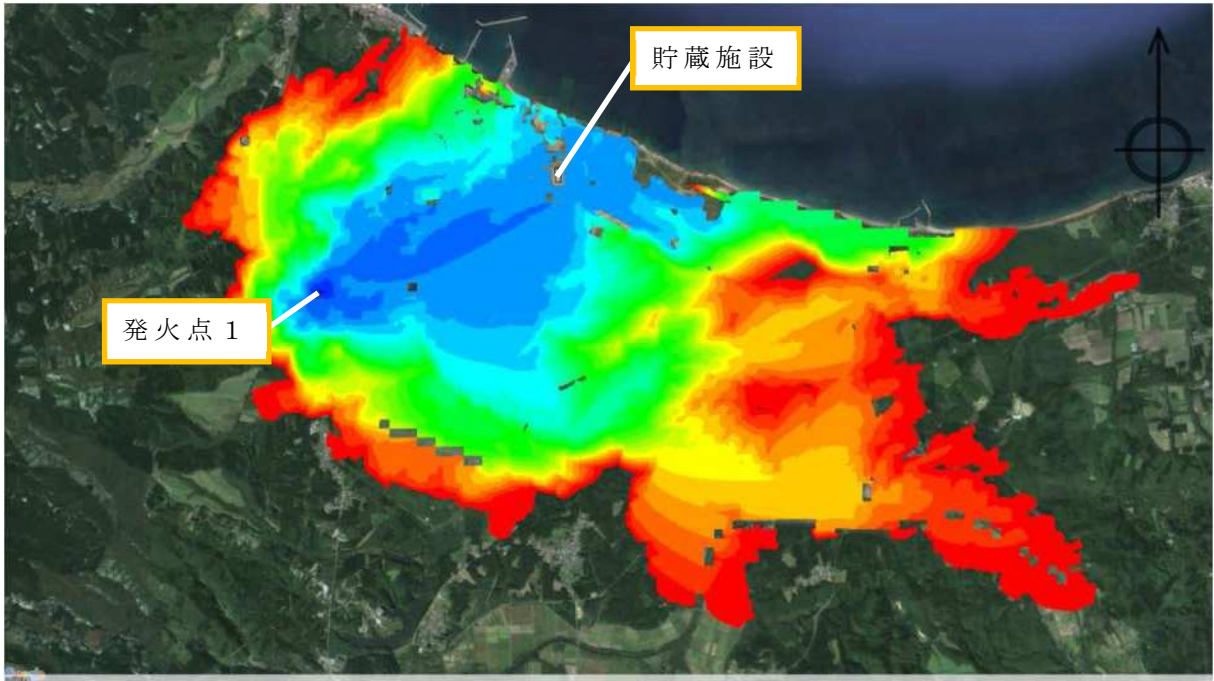


第 28 図 (3) 発火点 2 (発火時刻 : 10:00) に対する火線強度分布  
 (下の図は同拡大図及び最大火線強度発生箇所)



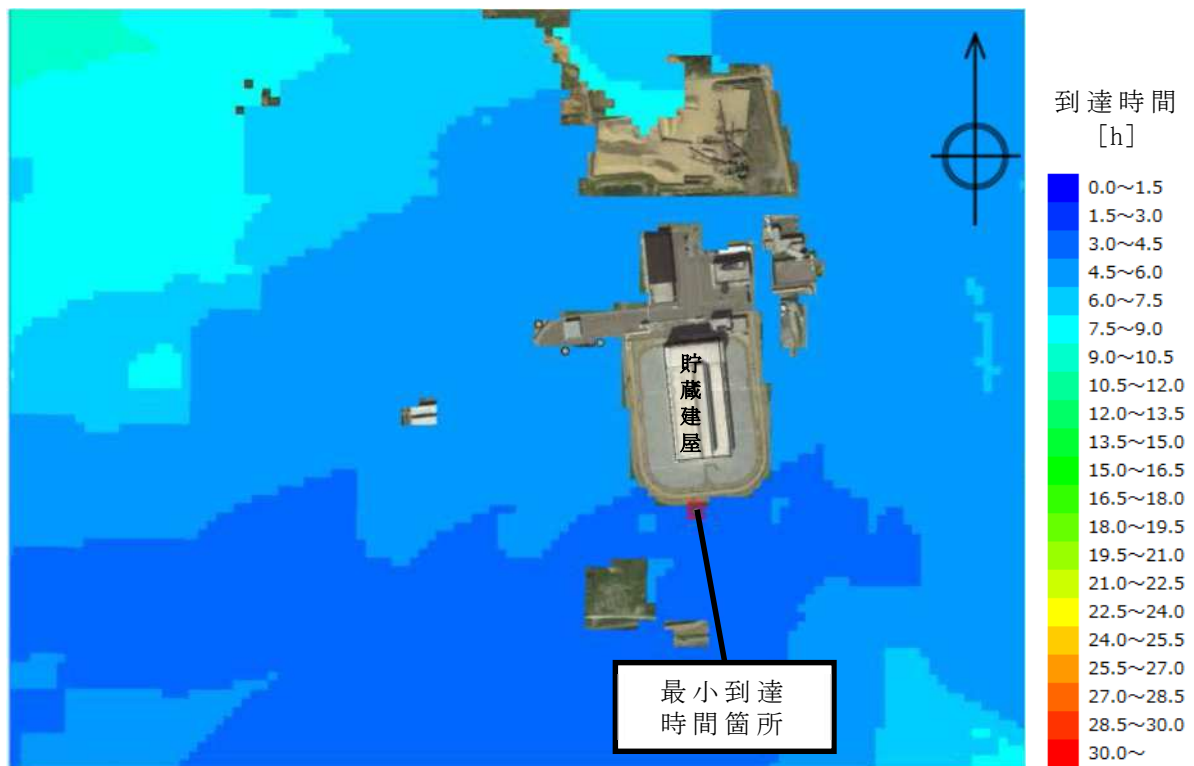
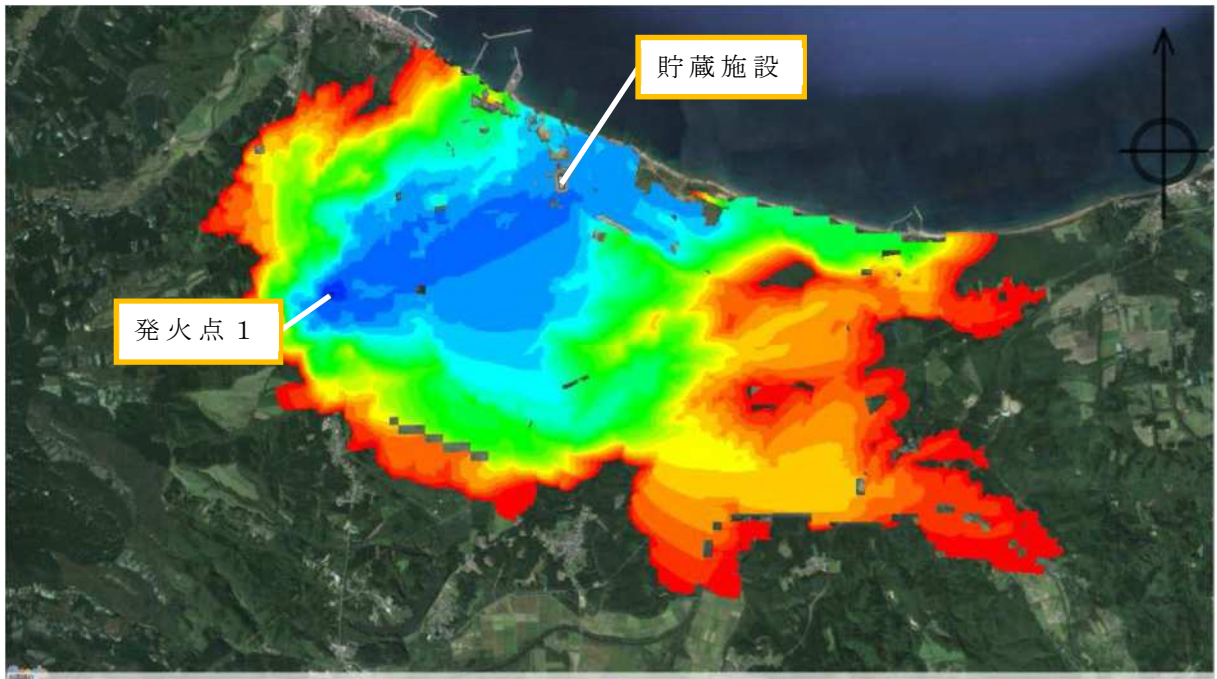


第 28 図 (4) 発火点 3 (発火時刻 : 11:00) に対する火線強度分布  
(下の図は同拡大図及び最大火線強度発生箇所)

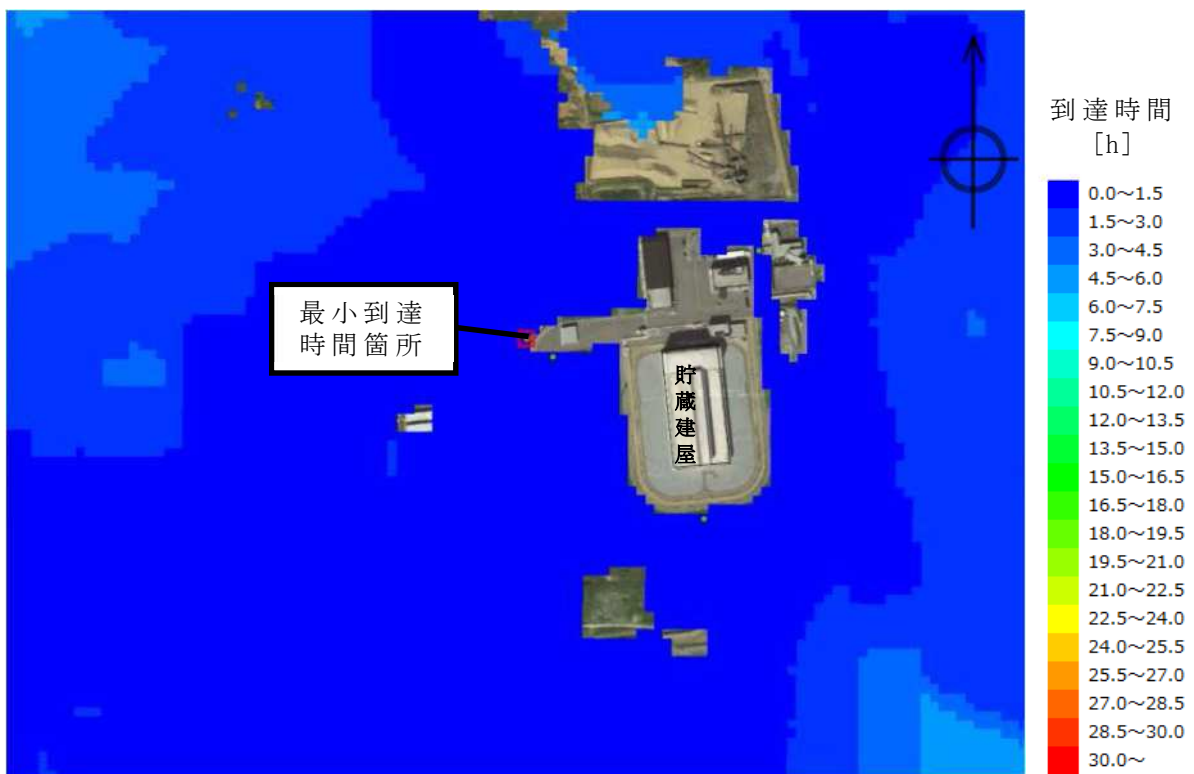
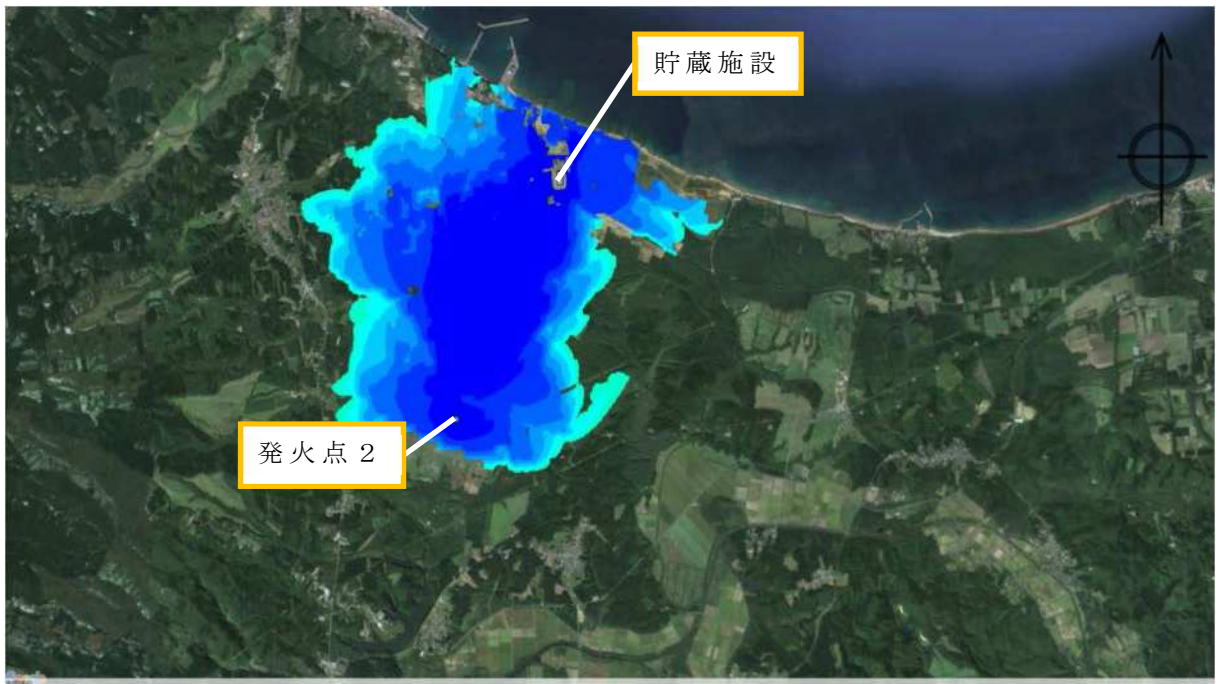


第 29 図(1) 発火点 1 (発火時刻 : 6:58) に対する火災到達時間分布  
 (下の図は同拡大図及び最小到達時間発生箇所)

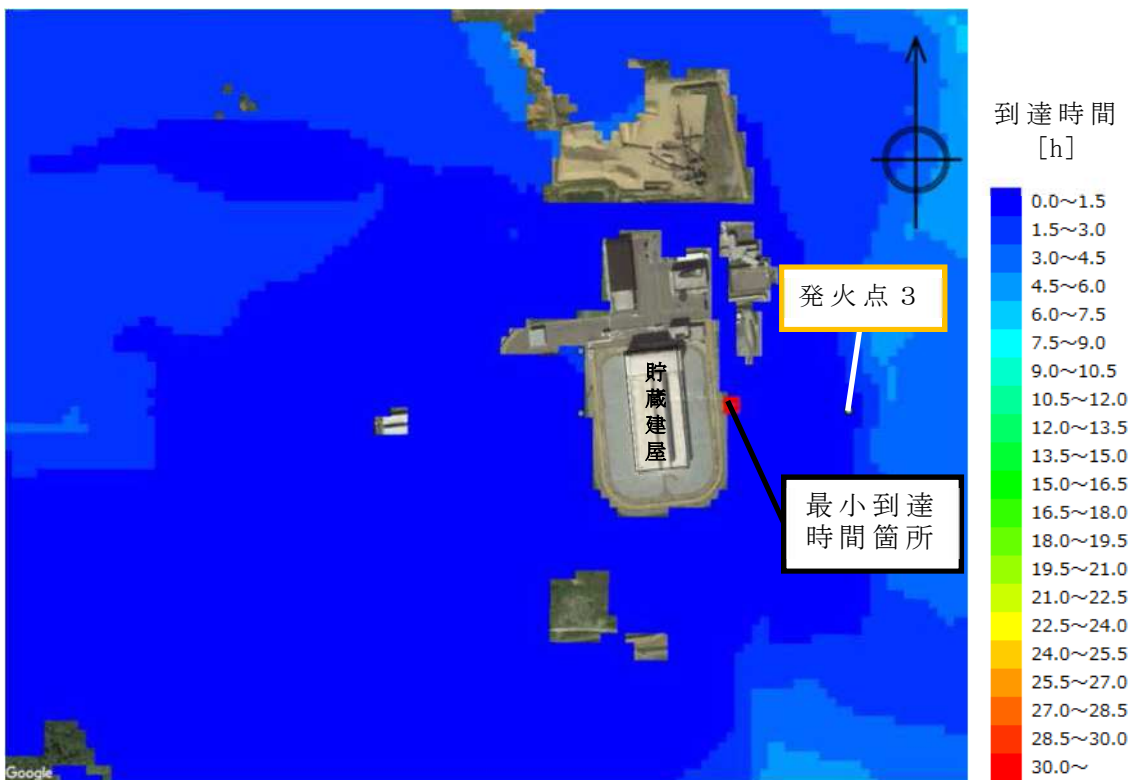
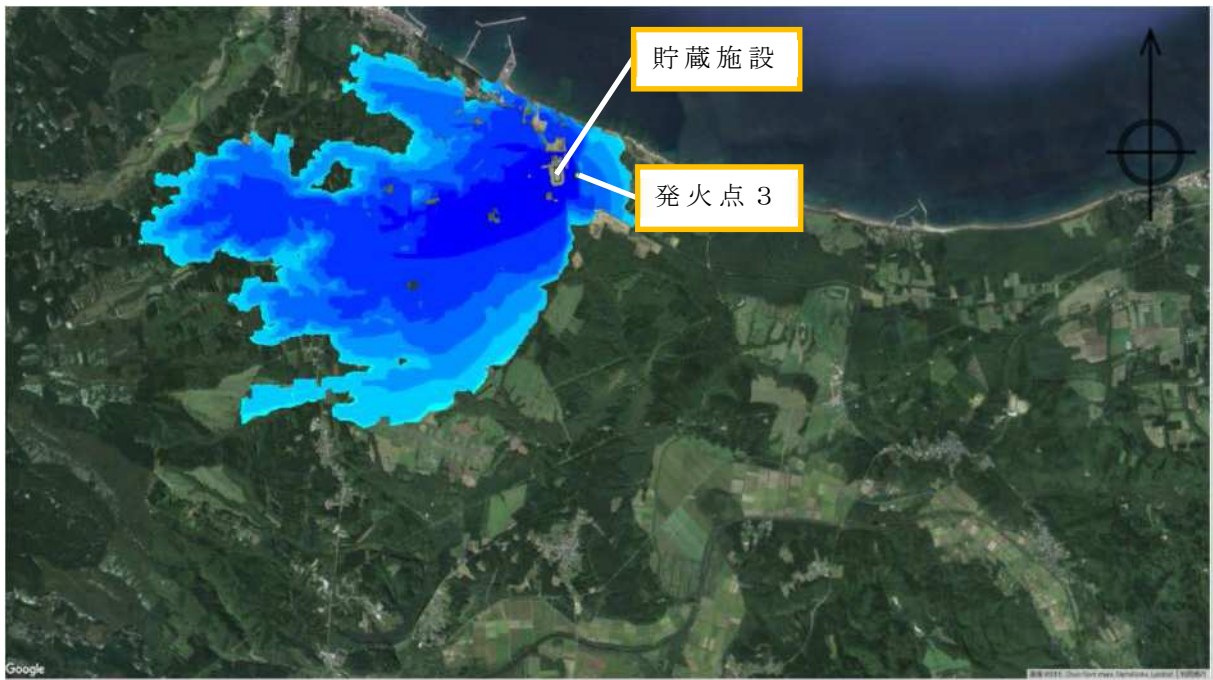




第 29 図 (2) 発火点 1 (発火時刻 : 7:56) に対する火災到達時間分布 (下の図は同拡大図及び最小到達時間発生箇所)



第 29 図 (3) 発火点 2 (発火時刻 : 10:00) に対する火災到達時間分布  
 (下の図は同拡大図及び最小到達時間発生箇所)



第 29 図 (4) 発火点 3 (発火時刻 : 11:00) に対する火災到達時間分布  
(下の図は同拡大図及び最小到達時間発生箇所)

### 3.2.3.3 防火帯の設定

防火帯の設定にあたっては、森林火災の延焼を防止することを目的として、防護施設である貯蔵建屋を囲み、かつ燃焼物や消火活動に支障をきたす機器、設備及び物品が設置されていない範囲を考慮して設定する。

第 19 表で示した 3 箇所の発火点における最大火線強度は、発火点 1 の 6775 kW/m であり、この値をもとにガイドによる“Alexander and Fogarty”の手法にて必要防火帯幅の評価を行った。評価にあたっては、保守的に風上に樹木がある場合を想定した評価を実施した。第 20 表に、ガイドより引用した火線強度と最小防火帯幅の関係について示す。

第 20 表 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	18.4	19.3	20.2	24.9	29.7	34.4	39.1

(外部火災影響評価ガイドより)

貯蔵施設において評価上必要となる防火帯幅は上記の表の網掛け部の数値より約 21.9 m と推定し、必要防火帯幅については 22 m と設定した。評価した防火帯幅をもとに設定した防火帯の設置位置図について第 30 図に示す。

必要防火帯幅 22 m を考慮し、貯蔵建屋及びこれに近接する各設備（出入管理建屋、受変電施設、エンジン発電機）を取り囲む幅 22 m のエリアを想定したが、このエリアは図中の薄紫色で示したアスファルト舗装が施された非燃焼領域に大部分が包絡されるものであり、貯蔵建屋の東西及び南側における防火帯はこの非燃焼領域の外縁から 22 m の幅としている。また、森林火災で評価した各発火点に対する最大火線強度の値については、いずれも非燃焼領域の外縁における評価値である。

防火帯には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物は原則設置

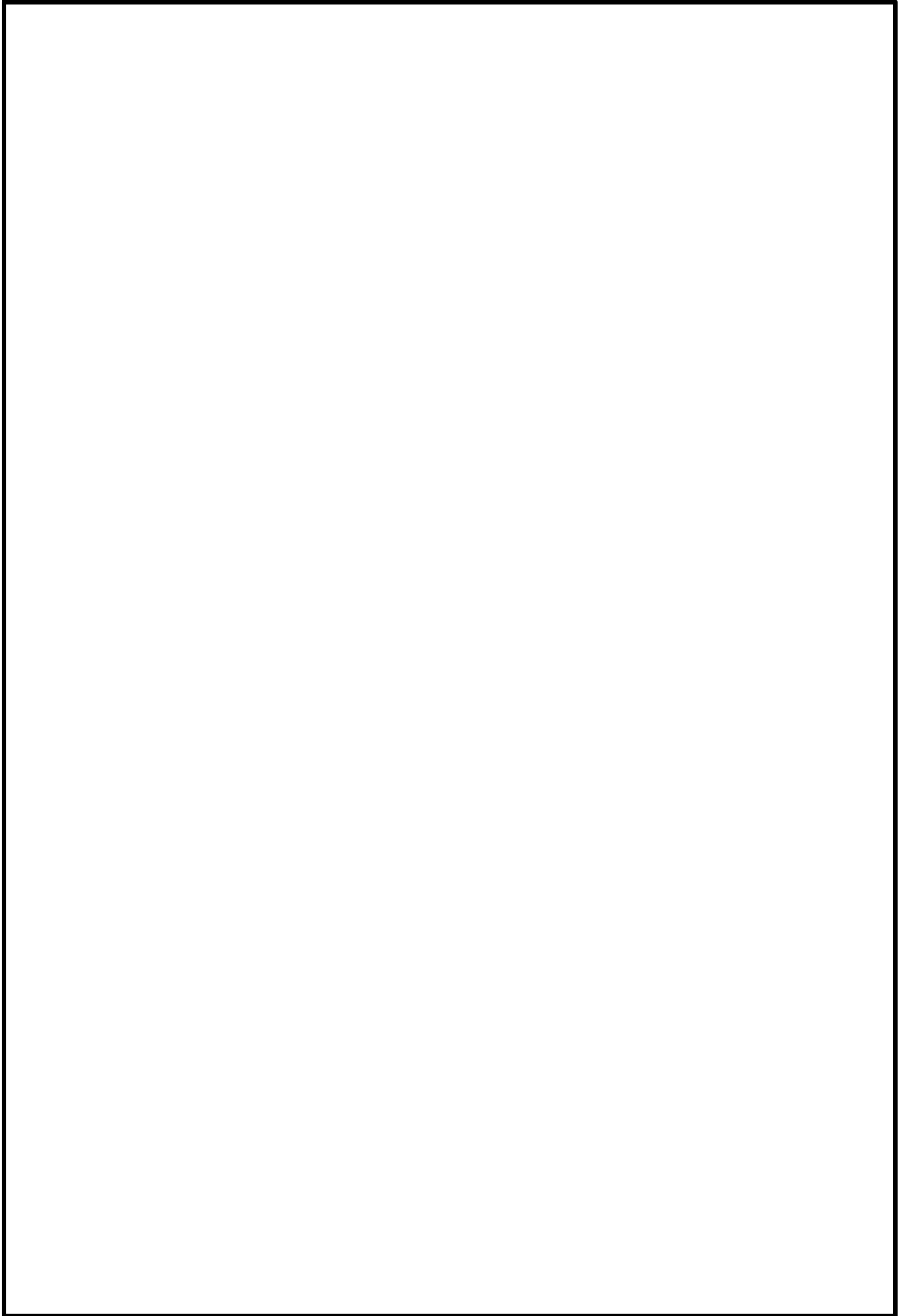


しない方針であるが，法令の要求等によりやむをえず防火帯内に可燃物を含む機器，設備及び物品を設置する場合は必要最小限の機器，設備及び物品とし，防火帯の延焼防止効果を損なわない設計とする。また，防火帯に一部かかる草地については除草により延焼防止を図ることとし，防火帯管理の観点より必要に応じてモルタル施工等の措置を施すとともに，防火帯における道路部は区分線等で明確に区分する。

防火帯の設定において敷地内道路配置や地形形状を考慮して設定したことから，防火帯内の一部に他の法令要求等による少量の可燃物を含む機器が存在する。このため防火帯内に設置された機器，設備及び物品の延焼防止効果への影響の有無を考慮し，必要な対策を講ずる設計とする。

第 21 表に防火帯内に設置される機器，設備及び物品の対応方針，及び第 22 表に防火帯内における可燃物の設置状況を示す。なお，森林火災発生時には防火帯に沿った消火活動を実施することとしており，防火帯上の少量の可燃物による延焼が発生したとしても延焼防止は可能であり，防火帯内側の防護対象施設に影響を与える事はない。

なお、防火帯については，定期的な点検を実施するとともに，点検結果に基づき適切に維持管理する。



第 30 図 防火帯及び非燃焼領域位置図

第 21 表 防火帯内に設置される機器等の評価及び管理方針

分 類		機器・設備・物品	評価及び管理方針
不燃性の機器・設備・物品		① 柵 ② コンクリート柱 ③ 鋼製ポール	火災により延焼しないため、防火帯の延焼防止効果に影響を与えないことから、対策不要
可燃物を含む機器・設備・物品	局所的な設置	① 照明灯 ② 盤	全ての可燃物が金属製の箱及び柱の中にあ り、火災が外部に拡大して防火帯の延焼防止 効果に影響を与えることがないことから対策 不要
		③ 端子箱類 ④ 監視カメラ	金属で覆われていない少量の可燃物による火 災は局所的な火災となるため、防火帯の延焼 防止効果に影響を与えないことから対策不要
防火帯を横断して設置		① ケーブル	埋設化により防火帯の延焼防止効果に影響を 与えないことから対策不要

第 22 表 (1) 防火帯内における可燃物の設置状況

分類		機器・設備・物品	機器設置状況
可燃物を含む機器・設備・物品	局所的な設置	① 照明灯	
		② 盤	



第 22 表 (2) 防火帯内における可燃物の設置状況

分類		機器・設備・物品	機器設置状況
可燃物を 含む機 器・設 備・物 品	局所的な 設置機器	③ 端子箱類	
		④ 監視カメラ	
	防火帯を 横断して 設置	① ケーブル	

### 3.2.3.4 F A R S I T Eによる算出結果

発火点 1, 2, 3における F A R S I T Eによる算出結果について第 23 表に示す（火線強度, 火炎到達時間については再掲）。各評価値については保守的に記載値の 1 つ下の小数点桁について切り上げ, または切り捨て処理を実施したものである。

第 23 表 F A R S I T Eによる算出結果一覧

項目	評価方法	発火点 1 (6:58)	発火点 1 (7:56)	発火点 2 (10:00)	発火点 3 (11:00)
火線強度(kW/m)	非燃焼領域外縁における最大値	6775	6217	2904	2016
反応強度(kW/m <sup>2</sup> )	非燃焼領域外縁における最大値	1016.1	948.0	986.9	1122.9
火炎長(m)	最大反応強度位置における値	1.3	1.4	1.1	0.6
火災到達時間(h)	非燃焼領域縁における最小値	4.6	4.4	0.8	0.4
延焼速度(m/s)	最大火線強度位置における値	0.75	0.70	1.98	1.39
単位面積当り熱量 (kJ/m <sup>2</sup> )	最大火線強度位置における値	9033	9008	1472	1456

### 3.2.3.5 森林火災発生時の貯蔵施設の対応

森林火災影響評価の結果に基づき, 森林火災が発生した場合の貯蔵施設の対応について検討した。

#### (1) 火炎到達時間について

森林火災評価結果より, 火炎の到達時間で最短のものは貯蔵施設東側の発火点 3 からの火炎で約 0.4 時間 ⇒ 約 24 分で貯蔵建屋周りの防火帯を含む非燃焼領域に達する予想となった。

非燃焼領域の存在により, 森林火災が貯蔵建屋まで達することはなく直接影響を及ぼすことはないと考えられるが, 森林火災の状況に応じて防火帯付近へ事前放水を実施し, 火炎の到達までに防護のための措置を講ずる。

貯蔵施設においては, 施設内の火災に対応するための自衛消防隊を組織しており, 24 時間体制で監視, 巡視, 初期消火及び事前放水に対応する。自衛消防隊の体制図を第 31 図に示す。

(2) 森林火災の覚知から火炎到達までの対応について

(a) 森林火災発生覚知段階

敷地周辺の森林火災発生については以下の方法で覚知する。

・ 地元自治体の防災情報

むつ市で提供している気象，火災，防犯等の防災情報を電子メールで配信する「むつ市防災かまふせメール」に，自衛消防隊各班長に貸与する社給携帯のメールアドレスを登録し，火災発生情報の内容を配信の都度確認し発生場所を特定する。この火災発生情報は，敷地周辺地域の場合は約 10 分程度で配信されており，鎮火の情報についても配信されている。

・ 公設消防及び警察からの連絡

・ 敷地内巡視及び監視時における発見

(b) 火炎が敷地近傍に迫るまでの段階

・ 現場状況の確認

自衛消防隊員（自衛消防副隊長，警備員）が，森林火災発生場所の状況を確認する。

・ 気象状況の確認

敷地内気象観測設備のデータにより風向及び風速を確認するとともに，気象庁のホームページ等により気象状況の予測データを確認する。

・ 敷地内の監視カメラを森林火災現場方向に向け，モニタで確認する。

・ 森林火災の対応準備を実施する。

①動力消防ポンプを防火帯の外側の防火水槽に設置し，ホースを火炎の接近方向に展張して緑地に事前放水する。また，状況に応じて枯草及び枯枝を撤去する。

②構内作業を中止する。また，火災の対応に必要な要員以外の者を貯蔵建屋から退出させるとともに，敷地の門扉を閉鎖し立入制限措置を行う。

- ③公設消防の出入管理及び誘導を行う。
- ④非燃焼領域及び防火帯内に可燃物がある場合は、状況に応じて撤去または搬出を行う。
- ⑤非燃焼領域の外側にある車両及び可燃性物品がある場合には、状況に応じて敷地外に移動または搬出を行う。

(c) 火炎が敷地境界を越えて防火帯近傍に迫るまでの段階

- ・動力消防ポンプを防火帯の内側の防火水槽に移動し、ホースを火炎の接近方向に展張して貯蔵建屋の外壁及び防火帯内設置設備に事前放水する。
- ・動力消防ポンプを使用する者は、消防服（防火服）を装着し、状況に応じて防護マスク、空気呼吸器（セルフエアセット）及びガス検知器・濃度計を用いて対応する。

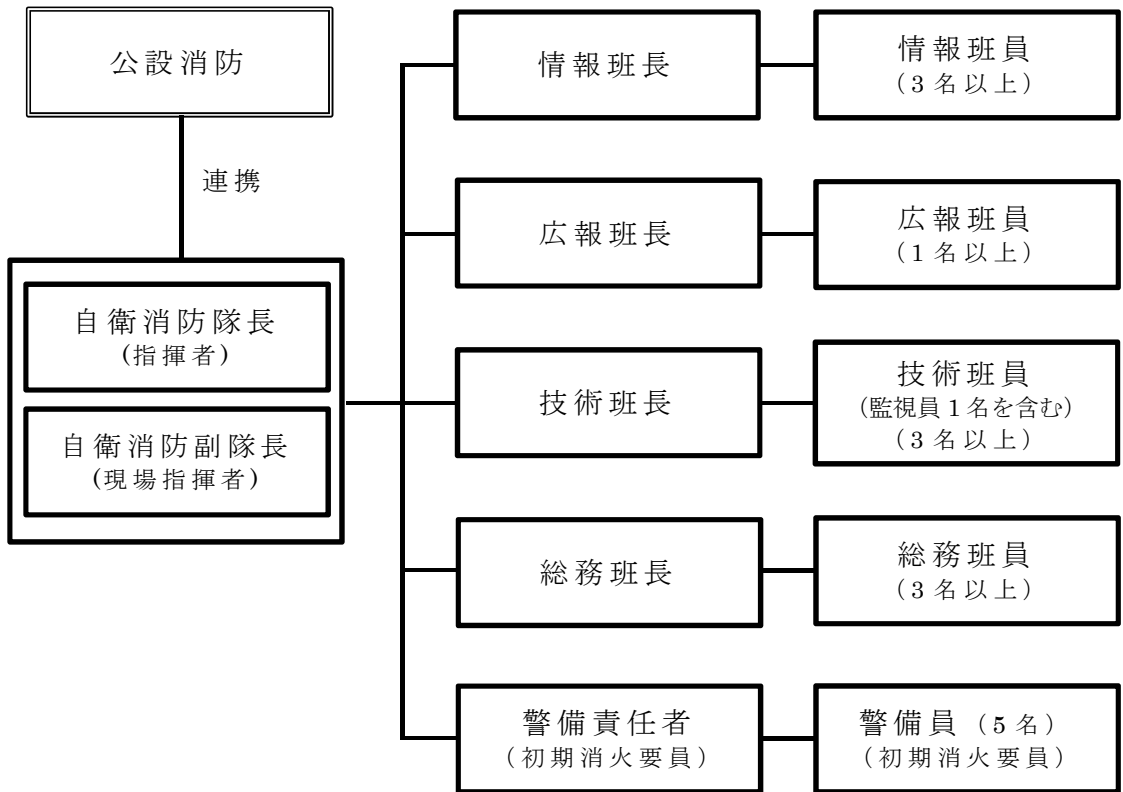
(d) 避難段階

- ・森林火災が想定外に続くことにより、人命に危険がおよぶ可能性がある場合は、火炎の接近方向と逆方向の、安全が確保できる場所まで一時的に避難する。

森林火災発生から火炎到達までの事前放水手順及び所要時間について第 24 表に示す。検討の結果、火災の覚知から事前放水の開始までは約 20 分で対応することが可能であることを確認した。森林火災影響評価における最短の火炎到達時間は、発火点 3 からの火炎であり、約 24 分で防火帯外縁に達するが、発火点 3 は貯蔵施設東側約 200m の森林内であり、火災の発生も容易に覚知しやすいことから、火炎到達前に事前放水を開始可能であると考えられる。

なお、消火活動に関する自衛消防隊の総合的な訓練を定期的に実施する。

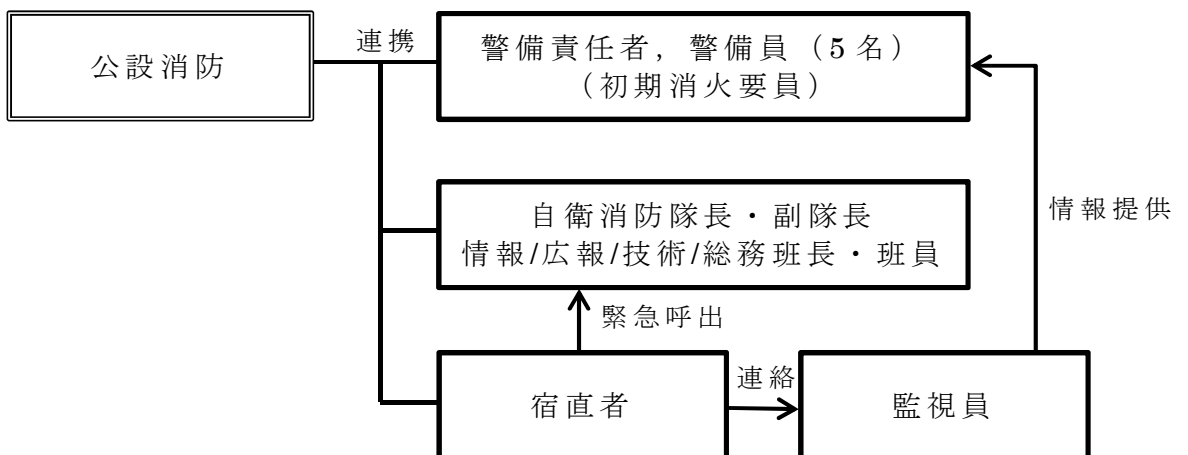
凡例  : 連携箇所



第 31 図 (1) 自衛消防隊体制図

平日通常時間帯及び緊急呼出後の自衛消防隊体制

凡例  : 連携箇所



第 31 図 (2) 自衛消防隊体制図

平日夜間及び休祝祭日の自衛消防隊体制

第 24 表 森林火災発生時の事前放水手順と所要時間

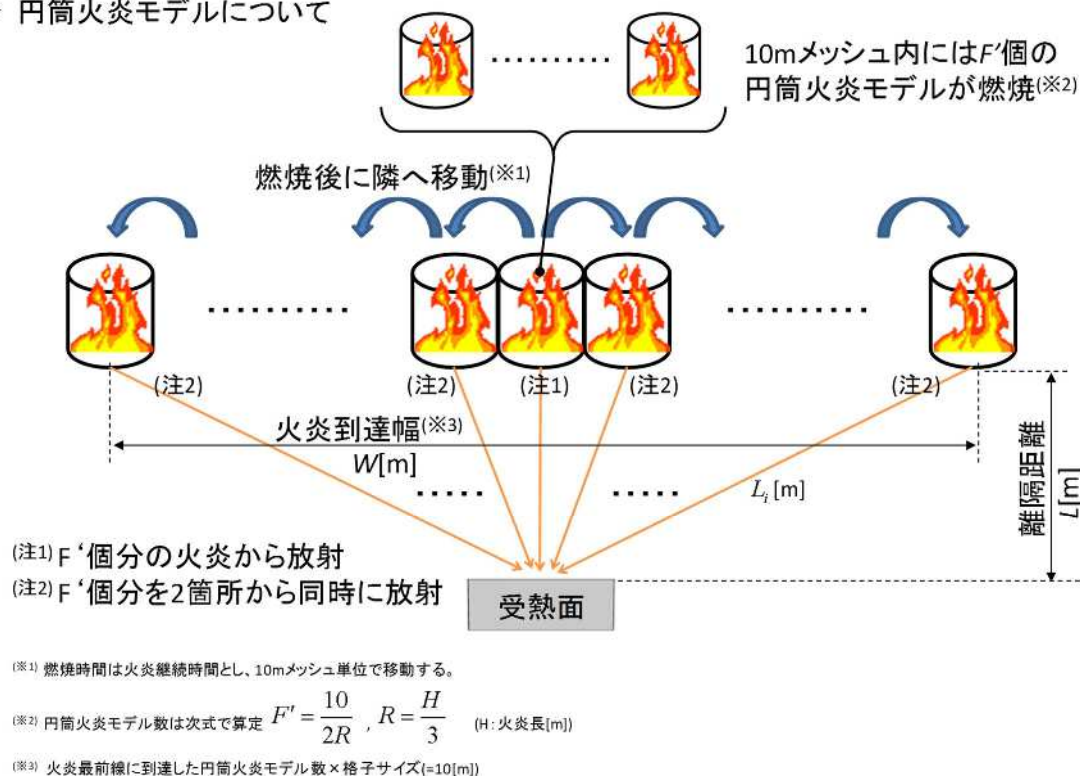
手順	内 容	所要時間(分)		
		0	10	20
火災発生	火災覚知から事前放水開始判断 ・ 発火点 1 : 西南西方向 3 km 先, 火炎到達時間 4.2 時間  ・ 発火点 2 : 南南西方向 2.5 km 先, 火炎到達時間 0.8 時間 (48 分)  ・ 発火点 3 : 東側方向 200m 先, 火炎到達時間 0.4 時間 (24 分) 敷地内から目視可能, 即時判断			
火災発見 ～放水指 示	警備責任者からの指示により 警備員が展開			
出動～放 水準備	動力消防ポンプ準備 (2 人) 動力消防ポンプ運転後, 1 人は 消防ホース展張に移動する。			
	消防ホース展張 (3 人) 防火帯東側から南側に消防ホ ースを展張する。 (20m / 巻 × 20 本)			
放水開 始	火炎の方向に応じて防火帯外 側の法面に放水する。 ・ 動力消防ポンプ操作 (1 人) ・ 筒先 (放水) 操作 (1 人) ・ 同上補助兼消火責任者 (1 人) ・ 消防ホース展張補助 (2 人)			



### 3.2.3.6 円筒火炎モデルによる森林火災影響評価

前項で評価した F A R S I T E 出力値に基づき、森林火災影響評価に必要となる各項目について算出した。評価にあたっては、ガイドを参考とし火災を円筒火炎としてモデル化し、この円筒火炎モデルが評価した火炎到達幅の分だけ横一列に並ぶものとして評価を実施した。円筒火炎モデルの概念図について第 32 図に示す。

#### ▶ 円筒火炎モデルについて



第 32 図 森林火災影響評価における円筒火炎モデルの概念図

以下に、評価手順について示す。

(1) F A R S I T E による出力結果から以下のパラメータを抽出

- ・ 反応強度： $I_R (W/m^2)$
- ・ 火炎長： $H (m)$
- ・ 火炎到達幅： $W (m)$
- ・ 火炎継続時間： $T_{fire} (s)$

※ 火炎長及び火炎継続時間は各 F A R S I T E 解析における最大反応強度位置（非燃焼領域外縁）における値

※ 火炎到達幅は非燃焼領域外縁で延焼したセル数×10(m)（メッシュサイズ）で算定

(2) 反応強度  $I_R$  から火炎輻射強度  $R_f$  を算出

- ・火炎輻射強度は、各発火点毎の F A R A S I T E 解析における最大反応強度を用いて算出する。
- ・火炎輻射強度の算出にあたっては、反応強度は炎から輻射として放出される熱エネルギーと火炎・煙として対流放出される熱エネルギーから求められることから、反応強度に対する火炎輻射強度の割合を求め、火炎輻射強度を算出する。
- ・このため、第 33 図に従い反応強度に対する火炎輻射強度の割合を算出した。



第 33 図 反応強度に対する火炎輻射強度の割合

- ・反応強度と火炎輻射強度の割合を算出した結果、落葉広葉樹は 0.371 であり、針葉樹は 0.377 であった。このため数値の大きい 0.377 を火炎輻射強度の割合として算出し、反応強度に 0.377 を乗ずることにより火炎輻射強度を算出した。

$$\rightarrow R_f = I_R \times 0.377$$

(3) 貯蔵建屋壁面における輻射強度の算出

算出した火炎長と燃焼半径を有する円筒火炎が第 32 図のとおり、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 10m）に延焼するものとして評価を実施した。

火炎から任意の位置にある受熱点における輻射強度に関しては、ガイドを参考とし円筒火炎モデルにおける円筒モデル 1 個の形態係数  $\phi$  を算出し、これを火炎輻射強度と乗ずることにより輻射強度  $E$  を算出した。

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

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

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

$$m = H/R \doteq 3$$

$$n = L/R$$

$$E = R_f \cdot \phi$$

$\phi$  : 形態係数,  $H$  : 火炎長 (m),  $L$  : 離隔距離 (m),

$E$  : 輻射強度 ( $W/m^2$ ),  $R_f$  : 火炎輻射強度 ( $W/m^2$ ),  $R$  : 燃焼半径 (m)

さらに、10m メッシュ内に燃焼半径から算出した  $F'$  個の円筒火炎が存在するものとして、上記で算出した輻射強度に円筒火炎数を乗じて貯蔵建屋の輻射強度を算出する。

$$E = F' \cdot R_f \cdot \phi_0 \quad (\text{中心位置の火炎})$$

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

前項で評価した F A R S I T E 出力値、及び提示した式を用いて算出した森林火災影響評価に必要な各項目の算出結果について第 25 表に示す。各評価値については、前項と同様保守的に 1 つ下の小数点桁について切り上げ、または切り捨て処理を実施したものである。

第 25 表 森林火災影響評価に必要な項目の算出結果

項目	評価方法	発火点1 (6:58)	発火点1 (7:56)	発火点2 (10:00)	発火点3 (11:00)
火炎放射強度 (kW/m <sup>2</sup> )	発火点毎の解析における最大反応強度に米国 NFPA の係数 0.377 を乗じて算出 <sup>*1</sup>	384	358	373	424
火炎継続時間(h)	発火点毎の解析における最大反応強度発生位置の火炎が隣接する位置(火炎伝播方向)に伝播するまでの時間の差 <sup>*2</sup>	0.08	0.1	0.14	0.04
火炎到達幅(m)	非燃焼領域外縁で延焼したセル数×10m で算出 <sup>*2</sup>	1050	1050	1050	1050
燃焼半径(m)	火炎長/3	0.5	0.5	0.4	0.2
放射強度(kW/m <sup>2</sup> )	形態係数×火炎放射強度	5.24	5.25	4.14	2.65

\*1:反応強度に対して, 米国 N F P A (National Fire Protection Association) の “SFPE HANDBOOK of Fire Protection Engineering” における針葉樹の反応強度と火炎放射強度の割合に関する係数 0.377 を乗じて算出

\*2:ガイドに基づき火災を円筒火炎モデルとし, 火炎到達幅の分だけ円筒火炎モデルが横一列に並ぶものとして評価した

### 3.2.4 森林火災に対する貯蔵建屋外壁の熱影響評価

#### 3.2.4.1 評価条件

森林火災影響評価の実施に関し，使用した入力パラメータについて以下に示す。

- ・ 離隔距離：22 m
- ・ 外壁厚み：1 m（貯蔵建屋外壁で最も薄い箇所の厚さ）
- ・ 外壁コンクリート許容温度：200 °C
- ・ 外壁コンクリート初期温度：50 °C
- ・ 外壁コンクリート物性（伝熱工学資料 第5版）  
密度： 2400 (kg/m<sup>3</sup>)  
比熱： 900 (J/kg/K)  
熱伝導率：1.2 (W/m/K)

貯蔵建屋はコンクリート製であるため，判断基準となる許容温度としては，一般的にコンクリートの強度にほとんど影響がないとされている 200°C（保守的にコンクリートの圧縮強度が変化しない温度を想定）とした。（別添1）

また貯蔵建屋は自然循環構造となっており，建屋の除熱設計において，建屋内の雰囲気温度は貯蔵区域における計測設備，放射線監視設備等の電気品の性能維持を考慮した 45°C以下となるよう設計されている。このため，建屋外壁の初期温度については，本値及び F A R S I T E への入力条件としても考慮したむつ観測所において観測開始以降最高値となる 34.7°C及び日射による温度上昇を保守的に考慮し，50°Cと設定した。

#### 3.2.4.2 貯蔵建屋外壁表面における熱影響評価について

##### (1) 貯蔵建屋外壁温度の算出

貯蔵建屋の外壁温度は，次式に示す次元非定常熱伝導方程式を解くことにより評価した。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

T : 温度 (K)   ρ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>)   C<sub>p</sub> : 比熱 (J/kg/K)

k : 熱伝導率 (W/m/K)   E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>/K)   L : 厚さ (m)

上式は、伝熱工学資料第5版に記載の式を一次元に簡略化したものである。森林火災時の熱影響評価においては、火炎からの輻射強度が一定値とならないため一般的に上式の解析解が存在しないことから、上式を有限差分法により導出した以下の離散式について、熱影響の評価式として用いた。

$$\frac{T_i^{t+\Delta t} - T_i^t}{\Delta t} = \alpha \frac{T_{i+1}^t - 2T_i^t + T_{i-1}^t}{\Delta x^2}$$

α = k / ρ · C<sub>p</sub>   t : 時間   i : 空間に対するインデックス

評価に際して、貯蔵建屋の外壁を厚さ方向に有数個 (n 個) のメッシュに分割し、外壁表面をインデックス 0、内壁表面をインデックス n として各インデックスにおける温度を算出した。評価のモデルについて第 34 図に示す。



第 34 図 評価モデル概念図

上記モデルにおいて、計算点 i における時刻 t + Δt の温度について以下の式で算出した。

$$T_i^{t+\Delta t} = T_i^t + \alpha \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (T_{i+1}^t - 2T_i^t + T_{i-1}^t)$$

外壁の外表面温度については、輻射強度 E を考慮し次式 (フーリ



エの熱伝導の式) で算出し、メッシュ毎に隣り合うインデックスにおける温度から次の時刻の温度を算出していき、内表面温度まで算出した。この時、外壁内表面での熱流束はないものとする(断熱状態)。

$$-k \frac{T_1^t - T_0^t}{\Delta x} = E \quad \Rightarrow \quad T_0^t = \frac{E \Delta x}{k} + T_1^t \quad (\text{外表面温度})$$

$$-k \frac{T_{n-1}^t - T_n^t}{\Delta x} = 0 \quad \Rightarrow \quad T_n^t = T_{n-1}^t \quad (\text{内表面温度})$$

## (2) 危険距離の算出

ガイドを参考とし、前項で算出した輻射強度が森林火災による輻射熱に対する貯蔵施設の危険輻射強度以下となるよう、危険距離を確保するものとする。火災の、火炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度は、火炎輻射強度に形態係数を掛けた値になる。

$$E = R_f \cdot \phi$$

$\phi$  : 形態係数,  $E$  : 輻射強度 ( $W/m^2$ ),  $R_f$  : 火炎輻射強度 ( $W/m^2$ )

次の式から形態係数  $\phi$  を求め、 $\phi > \phi_t$  なるように危険距離を算出する。

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

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

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

$$m = H/R \doteq 3$$

$$n = L_t/R$$

$L_t$  : 危険距離 (m),  $H$  : 火炎長 (m),  $R$  : 燃焼半径 (m)

$\phi_t$  は、各円筒火炎モデルの形態係数を合計した値であり、 $\phi_t = (\phi_i + \phi_{i+1} + \phi_{i+2} + \dots)$  となる。また、 $(i + (i+1) + (i+2) + \dots + (i+x))$  の円筒火炎モデル数の合計は  $F'$  個となる。

### 3.2.4.3 評価結果

発火点 1, 2, 3 における熱影響評価結果について第 26 表に示す。

各評価値については、前項と同様保守的に 1 つ下の小数点桁について切り上げ、または切り捨て処理を実施したものである。また、外壁及び内壁の温度については、設定した建屋外壁初期温度 50℃を加算した値である。

また、第 35 図～第 38 図に発火点別の建屋外壁温度上昇量の評価結果の時間変化グラフを示す。各図において (2) のグラフは、(1) のグラフの X 軸 (時間軸) を 5 時間まで拡大したものである。

第 26 表 貯蔵建屋の熱影響評価

項目	発火点 1 (6:58)	発火点 1 (7:56)	発火点 2 (10:00)	発火点 3 (11:00)
外壁外表面温度(℃)	128	138	132	75
外壁内表面温度(℃)	53	54	54	51
危険輻射強度(kW/m <sup>2</sup> )	9.87	8.83	7.41	20.87
危険距離(m)	15	16	16	7

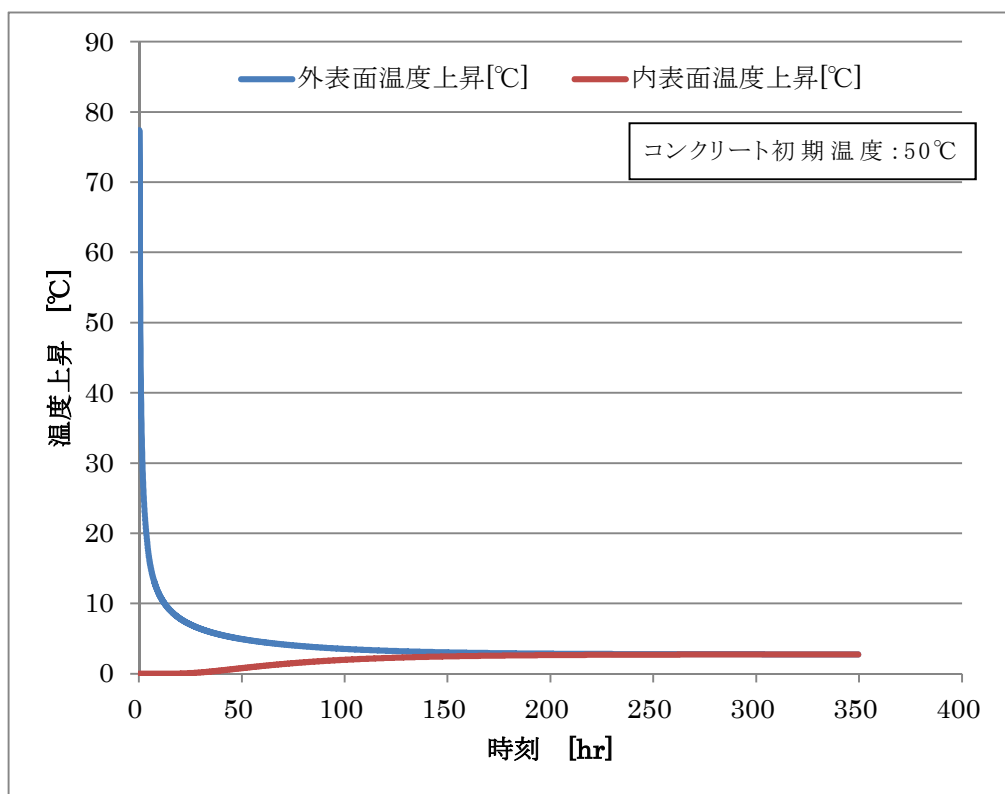
#### (1) 貯蔵建屋外壁温度の評価

森林火災による熱影響評価の流れに従って温度評価を実施したところ、貯蔵建屋外壁の初期温度を 50℃とした場合の外壁の最高温度は、F A R S I T E の解析結果のうち、最も貯蔵建屋への熱影響が大きくなる反応強度を出力した発火点 1 における発火時刻 7:56 の評価で 138℃程度となり、許容温度 200℃以下であることを確認した。

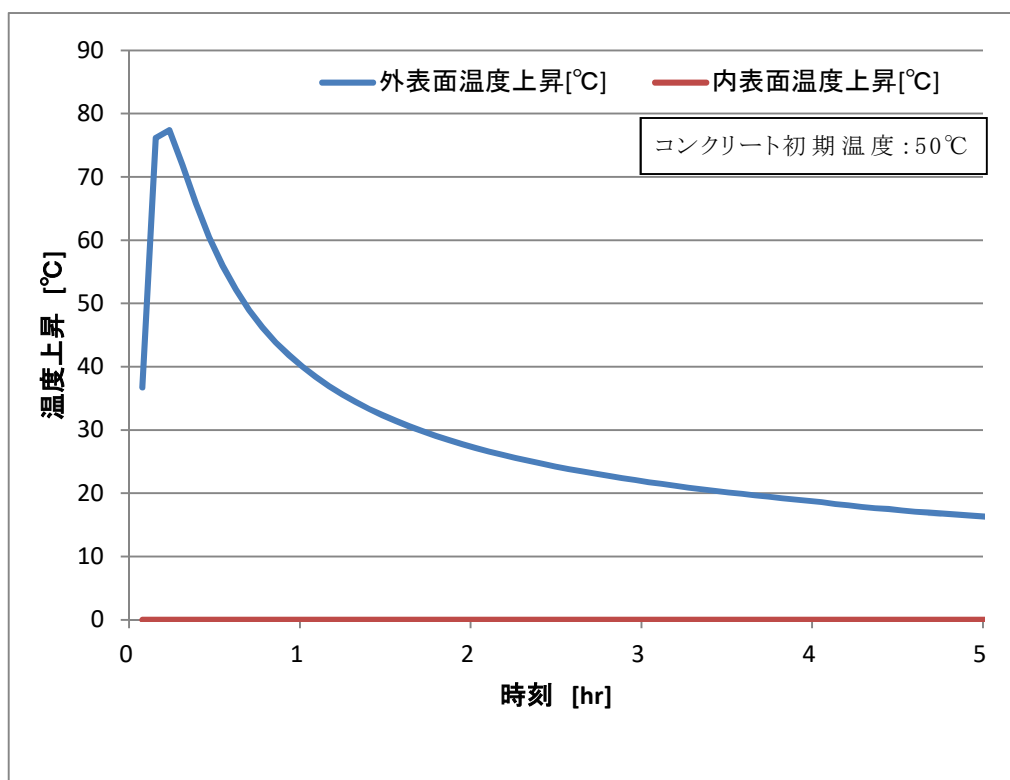
外壁温度については火災発生直後に最高温度となるが、その後輻射強度の低下に伴い徐々に低下する。これは、森林火災を円筒火炎としてモデル化した際、時間経過に伴い円筒火炎モデルが評価点より遠ざかるためである。

#### (2) 危険距離の評価

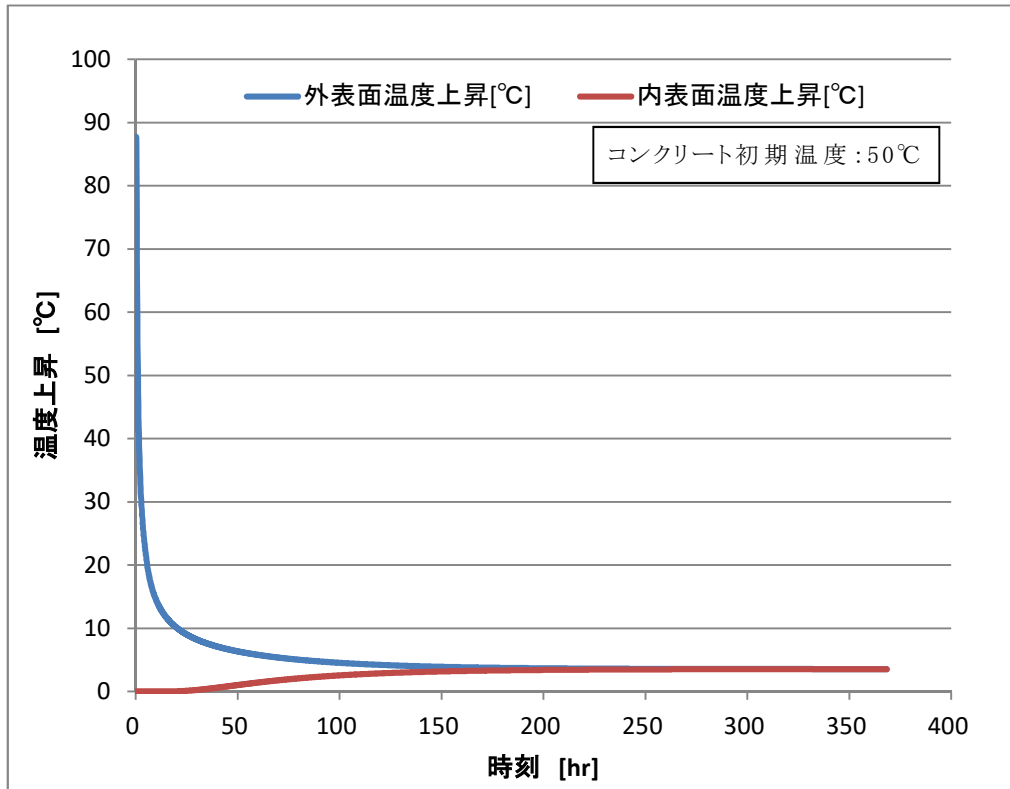
危険輻射強度から各発火点における危険距離を算出した結果、発火点1, 2, 3におけるいずれの評価結果においても必要防火帯幅である22 m以下であることから、貯蔵施設から防火帯外縁までの離隔距離については、想定される森林火災に対して評価上必要とされる危険距離以上であることを確認した。



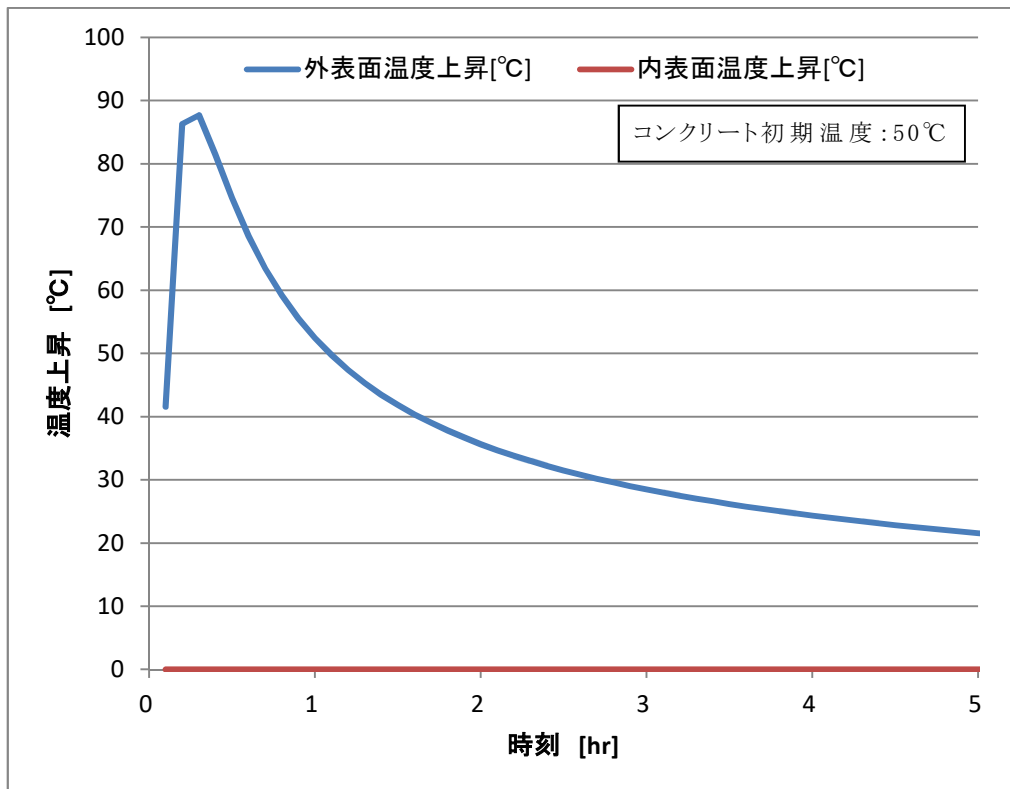
第 35 図 (1) 貯蔵建屋外壁 (内壁) 温度の時間変化 (発火点 1 (発火時刻 6:58))



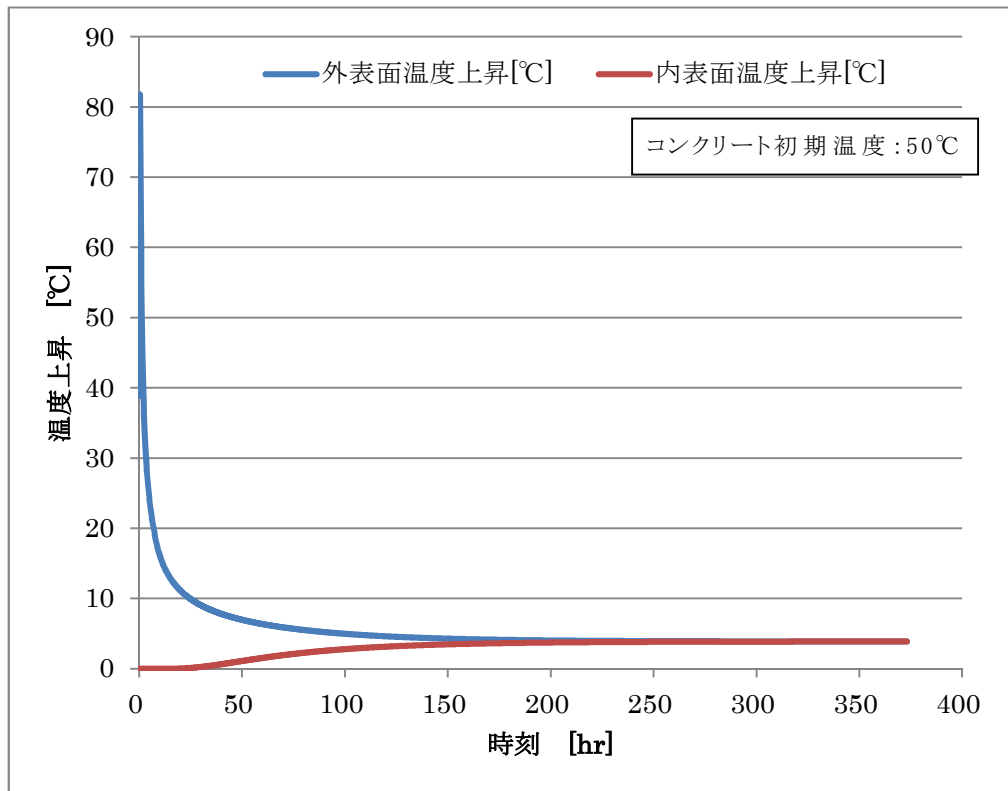
第 35 図 (2) 貯蔵建屋外壁 (内壁) 温度の時間変化 (発火点 1 (発火時刻 6:58))



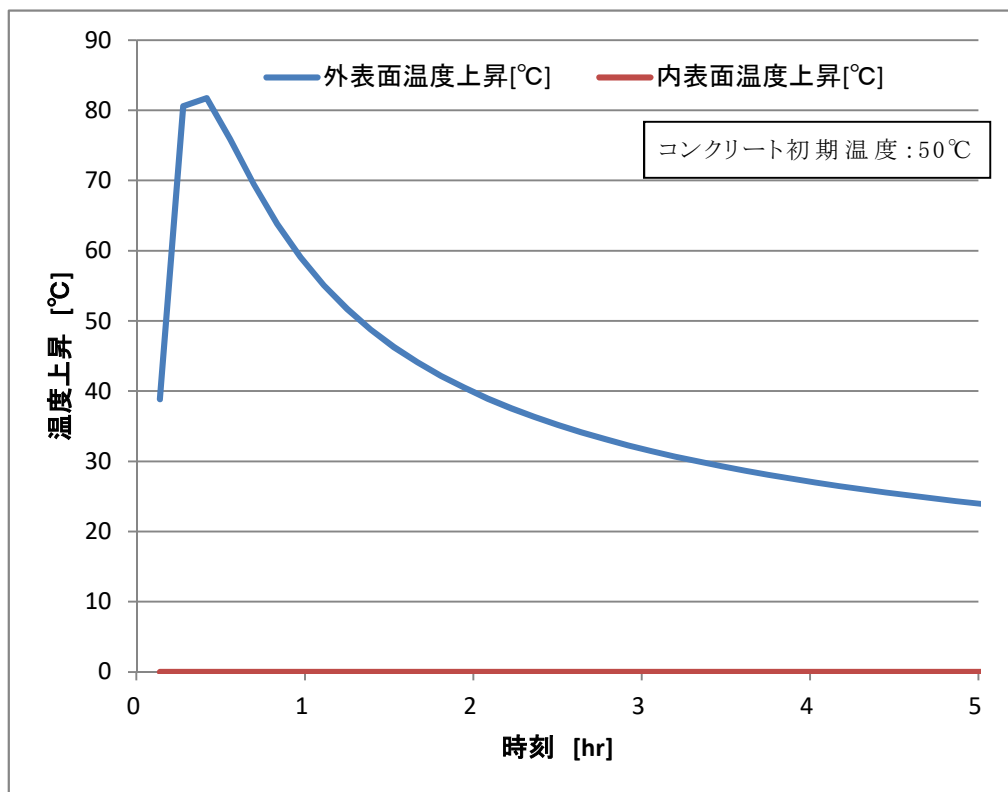
第 36 図 (1) 貯蔵建屋外壁 (内壁) 温度の時間変化 (発火点 1 (発火時刻 7:56))



第 36 図 (2) 貯蔵建屋外壁 (内壁) 温度の時間変化 (発火点 1 (発火時刻 7:56))

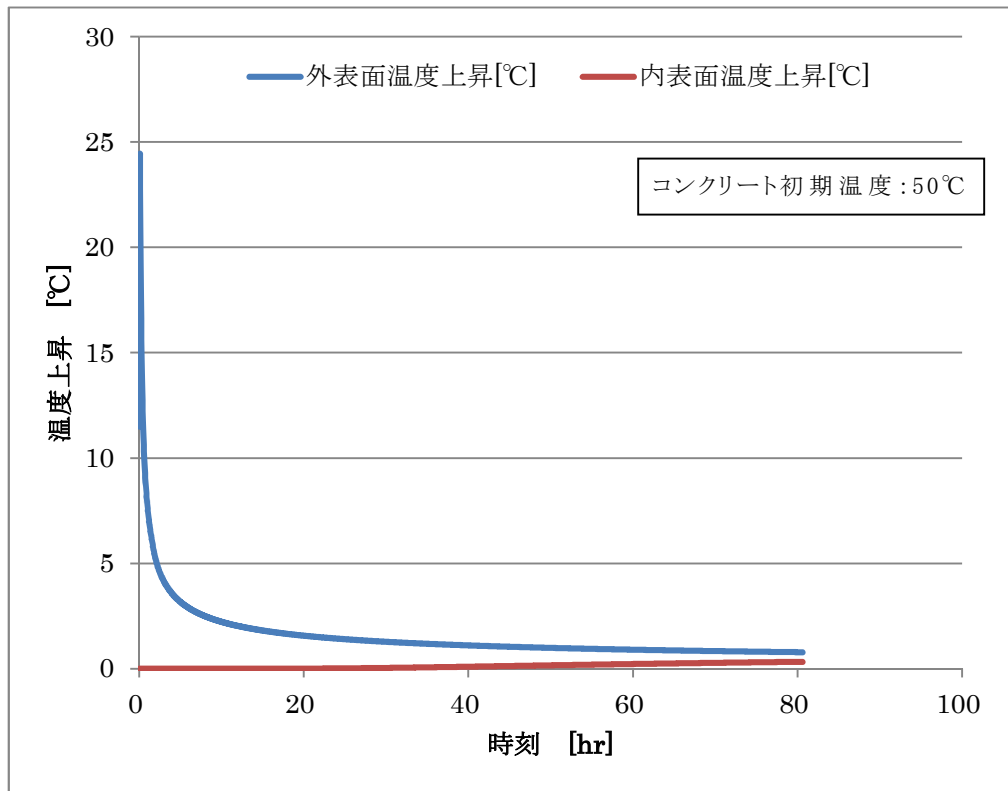


第 37 図 (1) 貯蔵建屋外壁 (内壁) 温度の時間変化  
(発火点 2 (発火時刻 10:00))

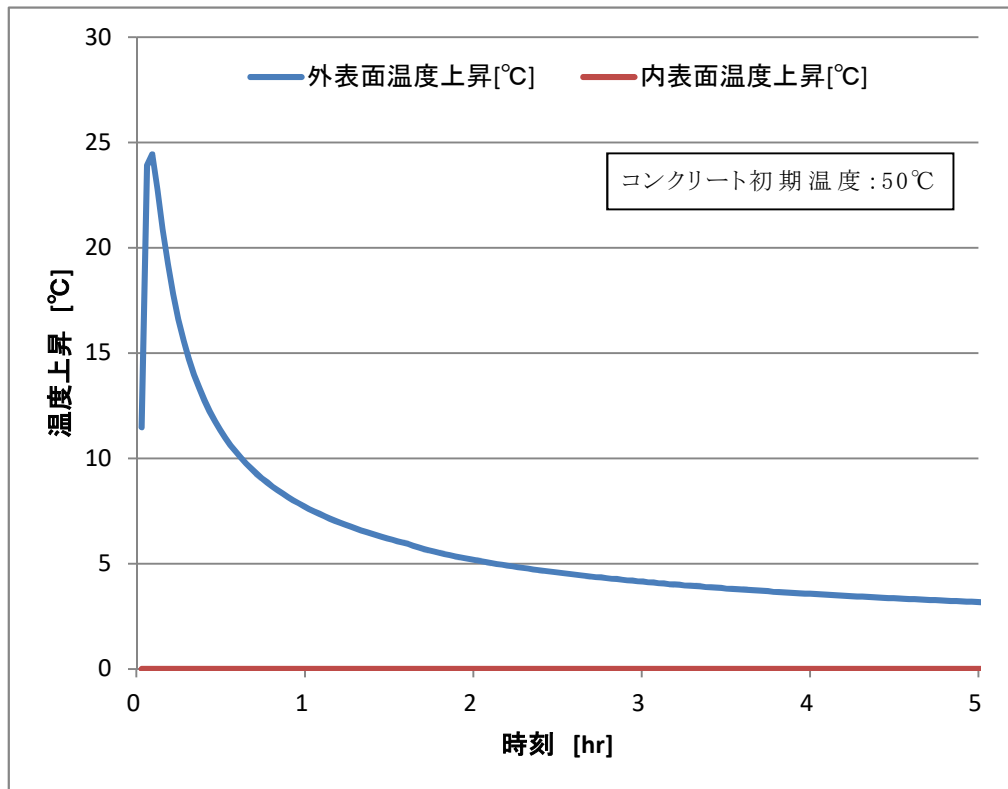


第 37 図 (2) 貯蔵建屋外壁 (内壁) 温度の時間変化  
(発火点 2 (発火時刻 10:00))





第 38 図 (1) 貯蔵建屋外壁 (内壁) 温度の時間変化 (発火点 3 (発火時刻 11:00))



第 38 図 (2) 貯蔵建屋外壁 (内壁) 温度の時間変化 (発火点 3 (発火時刻 11:00))

#### 4. 近隣の産業施設等の火災・爆発に対する影響評価について

##### 4.1 近隣の産業施設等の火災・爆発評価

###### 4.1.1 石油コンビナート等に関する評価

青森県内において、石油コンビナート等災害防止法第二条第二項に基づく「青森県石油コンビナート等防災計画（青森県石油コンビナート等防災本部 策定：昭和 52 年 3 月 3 日 最終修正：平成 23 年 3 月 24 日）第 1 章総則，第 4 節特別防災区域の範囲 4 頁から 11 頁」によれば、石油コンビナート等特別防災区域を指定する政令（昭和 51 年政令第 192 号）及び石油コンビナート等特別防災区域に係る区域の指定（昭和 51 年通商産業省・自治省告示第 1 号）で指定されている青森県の区域は次のとおりである。（第 39 図）



第 39 図 青森県石油コンビナート等特別防災区域  
(Google Map をもとに作成)

ガイドにおける石油コンビナート等の評価対象範囲は、貯蔵施設より火災評価で半径 10km 以内、ガス爆発で南北及び東西 10km としてお

り、最も至近のむつ小川原地区についても 40km 以上隔離していることから、貯蔵施設から 10km 以内に石油コンビナート等の施設はないことを確認した。

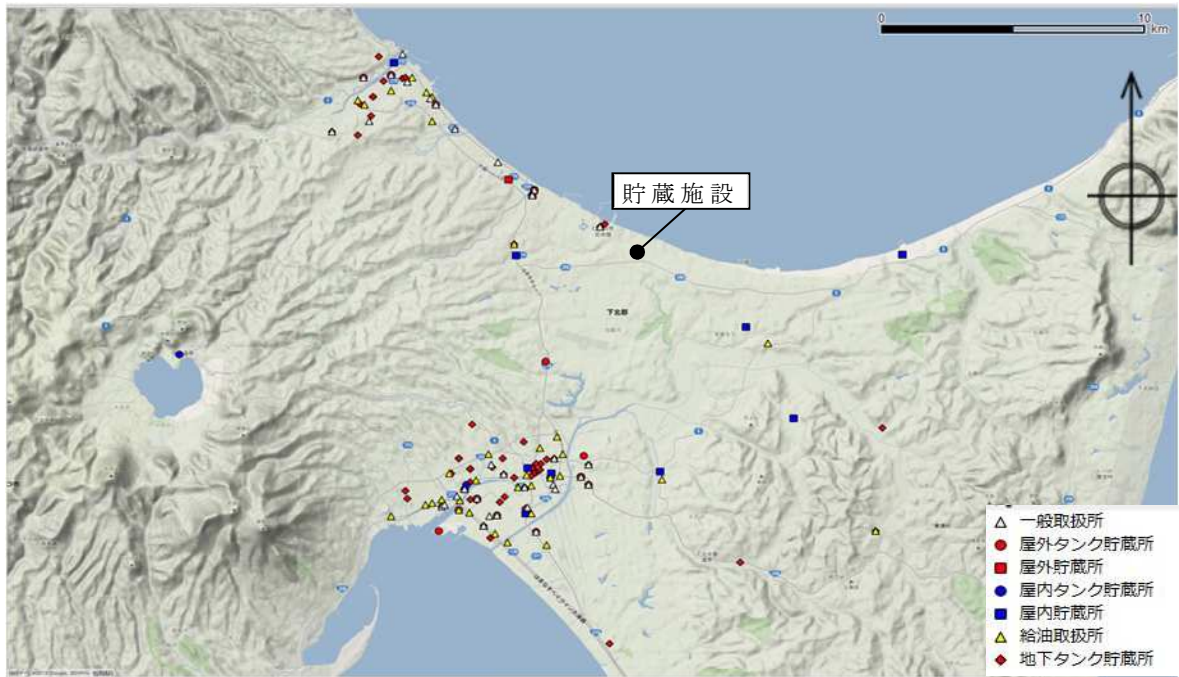
#### 4.1.2 石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設の火災・爆発による影響評価

##### 4.1.2.1 評価対象施設の選定

石油コンビナート以外の危険物貯蔵施設については、青森県防災消防課、及びむつ市消防本部に届出がされている当該施設について調査を行い、ガイドを参考として貯蔵施設から 10km 圏内に位置する敷地外の危険物貯蔵施設に対して、貯蔵施設に最も近い施設を抽出した。その結果、貯蔵施設から最短距離にある危険物貯蔵施設は、約 1 km 離れた地点にある貯蔵施設（地下タンク貯蔵所）であり、貯蔵物は第三石油類（重油）27kℓであった。また、同評価対象範囲において最も貯蔵量の大きい危険物貯蔵施設は、約 3 km 離れた地点にある貯蔵施設（屋外タンク貯蔵所）であり、その貯蔵物は第二石油類（灯油）924kℓであった。

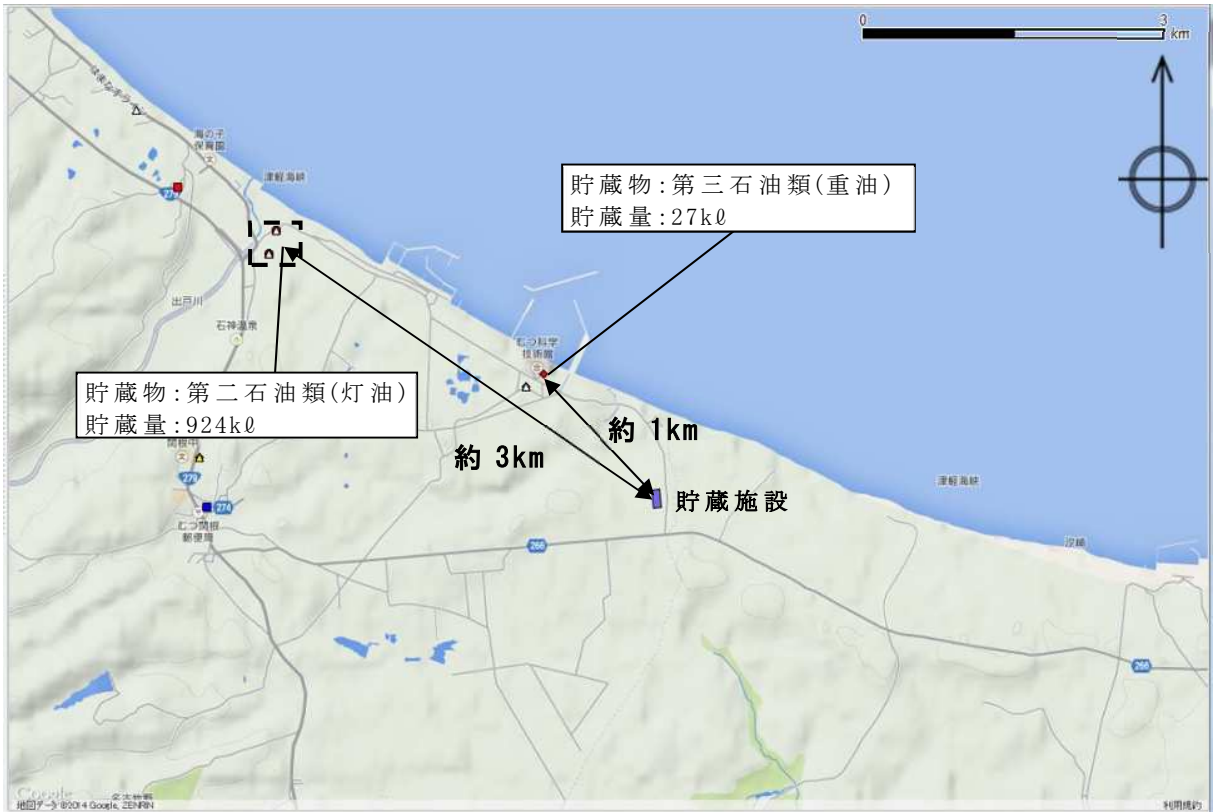
これより、本評価においては、貯蔵施設から 10km 圏内における最大貯蔵量となる危険物貯蔵施設と同等のタンクが貯蔵施設から最も近い距離 1 km の位置に存在するもの（貯蔵施設から 1 km の距離に貯蔵量 924 kℓの危険物貯蔵施設が存在するもの）と仮定し、これに火災が発生した場合の貯蔵施設への影響評価を実施した。

貯蔵施設からの上記危険物貯蔵施設の位置関係について第 40 図に示す。評価対象範囲において最も貯蔵量の多い危険物貯蔵施設が貯蔵施設に最も近い距離の位置に存在するものと仮定して評価を実施することは、条件的に最も厳しい評価となり、十分に保守的な評価である。



(a) 10km 圏内全体図

第 40 図(1) 貯蔵施設から 10km 圏内の危険物貯蔵施設の位置



(b) 施設周辺部拡大図



(c) 最大量石油類貯蔵施設付近拡大図 (図(b)点線枠部)

第 40 図(2) 貯蔵施設から 10km 圏内の危険物貯蔵施設の位置

#### 4.1.2.2 評価方法及び評価結果

##### (1) 火災発生源に関する入力データ

燃料の種類：灯油

燃料量：924 (kl)

火炎輻射強度：50000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書 B の灯油の値

質量低下速度：0.039 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805\*の Kerosene の値

燃料密度：820 (kg/m<sup>3</sup>) ※NUREG-1805 の Kerosene の値

防油堤面積：900 (m<sup>2</sup>) ※航空写真に基づき概算  
(第 40 図(c)赤枠内)

\*：米国 NRC における定量的な火災防護に関する危険分析方法

##### (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

貯蔵建屋からの離隔距離：1000 (m)

貯蔵建屋外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料 第 5 版の石灰岩コンクリートの値

##### (3) 評価方法

ガイド付属書 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」を参考とし、以下の手順で実施した。

###### (a) 燃焼半径の算出

防油堤面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して下記の式に基づき算出したところ、16.926 m となった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{900/\pi} = 16.9257 \Rightarrow 16.926 \quad (\text{m})$$

R：燃焼半径(m)，S：防油堤面積(=燃焼面積)(m<sup>2</sup>)



(b) 形態係数の算出

下記の式に基づき，円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ，0.0005536 となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$  : 形態係数，H : 火炎長 (m)，L : 離隔距離 (=1000 m)

(c) 輻射強度の算出

下記の式に基づき算出したところ，27.7 W/m<sup>2</sup> となった。

$$E = R_f \cdot \phi = 50000 \times 0.0005536 = 27.68 \Rightarrow 27.7 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)，R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

(d) 燃焼継続時間の算出

下記の式に基づき算出したところ，21615 s となった。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 924 / (900 \times 0.0000475) = 21614.1 \Rightarrow 21615 \text{ (s)}$$

ここで， $v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.039}{820} = 0.000047561 \Rightarrow 0.0000475$ ，

$$\pi R^2 = 900.0332 \Rightarrow 900$$

t : 燃焼継続時間 (s)，V : 燃料量 (m<sup>3</sup>)，v : 燃焼速度 (m/s)，

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s)， $\rho$  : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

(4) 貯蔵施設への影響評価結果

(a) 貯蔵建屋外壁温度の評価

(3)にて求めたパラメータにより，伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて，貯蔵建屋外壁温度分布を評価した。

$$T(x)-T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

$T(x)$ : 表面から  $x$  (m) の位置の温度 (°C),  $T_0$ : 初期温度 (=50 °C),  
 $k$ : 熱伝導率 (W/m/K),  $\kappa$ : 温度拡散率 ( $\kappa = k / \rho C_p$ ) (m<sup>2</sup>/s),  
 $\rho$ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>),  $C_p$ : 比熱 (J/kg/K)

貯蔵建屋外壁初期温度を 50°C とし、上式により外壁外表面温度上昇量を評価したところ、約 3°C となり、外壁外表面温度の評価結果は約 53°C となった。

本評価結果はコンクリート許容温度である 200°C を下回っており、これにより敷地外の危険物貯蔵施設の火災に関して貯蔵建屋への影響はないことを確認した。

#### (b) 危険距離の評価

火災による貯蔵建屋外壁温度が許容温度である 200°C となる際の貯蔵建屋からの離隔距離を危険距離として評価した。外壁初期温度 50°C を考慮すると、このときの外壁外表面温度上昇量は  $200 - 50 = 150$ °C となり、この時点での危険輻射強度は 1440.6 W/m<sup>2</sup> と算出される。この値より危険距離は約 138m と算出された。

評価した敷地外の危険物貯蔵施設から貯蔵建屋までの離隔距離は 1000m であることから、想定される敷地外の危険物貯蔵施設からの火災に対して評価上必要とされる危険距離以上であることを確認した。

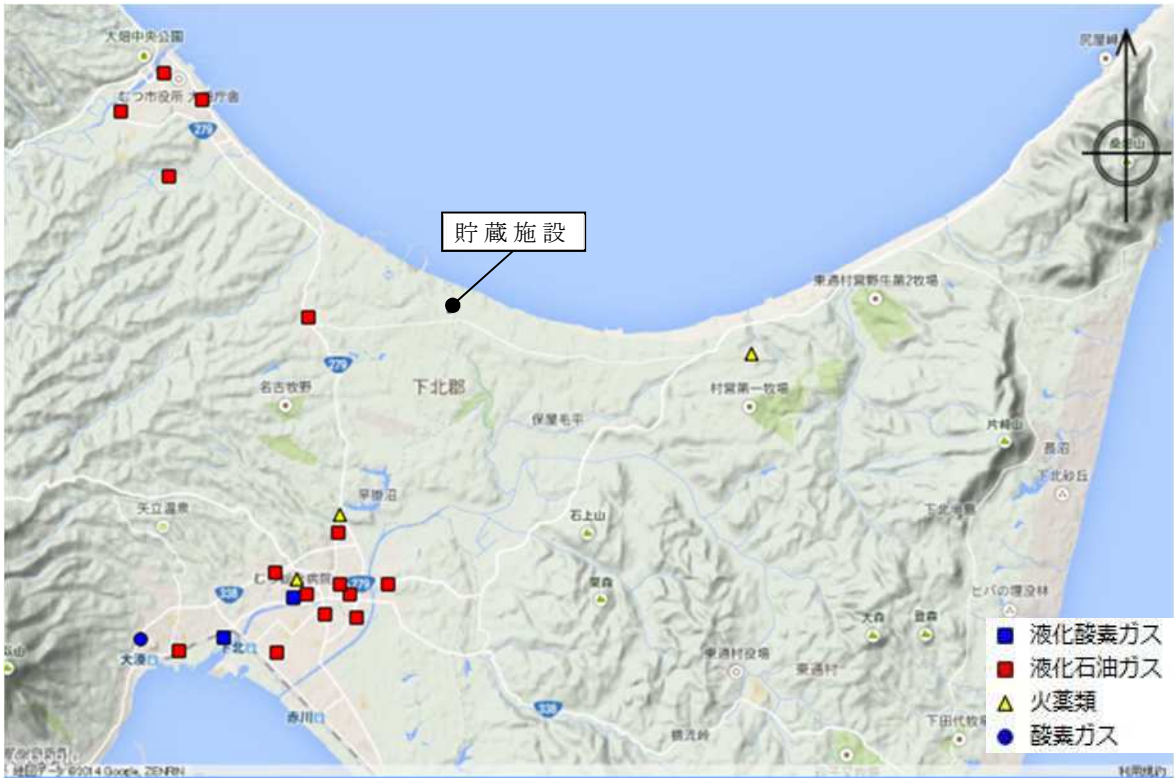
#### 4.1.3 石油コンビナート以外の高圧ガス類貯蔵施設の火災・爆発による影響評価

##### 4.1.3.1 評価対象施設の選定

石油コンビナート以外の高圧ガス類貯蔵施設に関して、前項と同様、青森県防災消防課、及びむつ市消防本部に届出がされている当該施設について、ガイドを参考として貯蔵施設から10km圏内に位置する高圧ガス類貯蔵施設に対して、貯蔵施設に最も近い施設を抽出した。その結果、貯蔵施設から最短距離にある高圧ガス類貯蔵施設は、約3km離れた地点にある貯蔵施設であり、貯蔵量は液化石油ガス400kgであった。また、同評価対象範囲において最も貯蔵量の大きい貯蔵施設は、約7km離れた地点にある貯蔵施設であり、貯蔵量は液化石油ガス22658kgであった。

これより、本評価においては、貯蔵施設から10km圏内における最大貯蔵量となる高圧ガス類貯蔵施設と同等の貯蔵量をもつタンクが、貯蔵施設から最も近い距離3kmの位置に存在するもの（貯蔵施設から3kmの距離に貯蔵量22658kgの高圧ガス類貯蔵施設が存在するもの）と仮定し、これがガス爆発を起こした場合の貯蔵施設への影響評価を実施した。

貯蔵施設からの上記高圧ガス類貯蔵施設の位置関係について第41図に示す。評価対象範囲において最も貯蔵量の多い高圧ガス類貯蔵施設が貯蔵施設に最も近い距離の位置に存在するものと仮定して評価を実施することは、条件的に最も厳しい評価となり、十分に保守的な評価である。



(a) 10km 圏内全体図



(b) 施設周辺部拡大図

第 41 図 貯蔵施設から 10km 圏内の高圧ガス類貯蔵施設の位置

#### 4.1.3.2 評価方法及び評価結果

##### (1) 火災発生源に関する入力データ

気象条件：無風状態

貯蔵ガス：液化石油ガス（プロパン）

貯蔵ガス K 値<sup>※1</sup>：888 ×1000（ガイドより引用）

貯蔵量：22658（kg）

貯蔵設備 W 値<sup>※2</sup>：4.76（貯蔵量(t)の平方根）

爆発形態：高圧ガスの漏えい後，引火によりガス爆発が発生

※1:K 値はコンビナート等保安規定第 5 条別表第二に掲げる数値

※2:W 値は重量 1 t 以上のガスが貯蔵されているタンクであれば(貯蔵量)<sup>1/2</sup>を，1 t 未満のタンクであれば貯蔵量(t)とする。

##### (2) 評価方法

ガイド付属書 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」を参考とし，以下の手順で実施した。

##### (a) 危険限界距離の算出

下記の式に基づき，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

λ：換算距離：14.4（m・kg<sup>-1/3</sup>）（ガイドより引用）

K：石油類の定数

W：設備定数

この式に，対象となる高圧ガス類貯蔵施設に係る数値を代入して算出すると

$$X=0.04\times 14.4\times\sqrt[3]{888\times 1000\times 4.76}=93.2\text{ (m)}$$

となり，危険限界距離は約 90m となった。

### (3) 貯蔵施設への影響評価結果

ガイドに基づき，想定される高圧ガス類貯蔵施設のガス爆発に対して，当該施設から貯蔵施設までの離隔距離が，評価上必要とされる危険限界距離以上であることを確認する。

貯蔵施設から当該高圧ガス類貯蔵施設までの離隔距離は約 3000m であり，算出した危険限界距離は約 90m であることから，離隔距離は，想定される敷地外危険物貯蔵設備からのガス爆発に対して評価上必要とされる危険限界距離以上であることを確認した。



## 4.2 敷地内の危険物貯蔵設備に対する火災評価

### 4.2.1 評価の考え方

貯蔵施設敷地内には、第 27 表に示す設備を設置する。また、敷地内での危険物貯蔵設備の配置を第 42 図に示す。これらの設備は危険物を内包することから、火災を想定した貯蔵建屋外壁への熱影響評価を実施する。評価方法については、4.1.2.2 と同様に行う。

第 27 表 貯蔵施設敷地内の危険物貯蔵設備

設備名		燃料種別	容量(kℓ)	離隔距離 (m)
エンジン発電機		軽油 (注 2)	1.031	27
電源車・据置型発電機 (注 1)		軽油 (注 2)	0.8375 (注 3)	70
キャスク輸送車両		軽油 (注 2)	1.08 (注 4)	107
モニタリング ポスト用 発電機	敷地東側	軽油 (注 2)	0.0696	138
	敷地南側	軽油 (注 2)	0.0696	164
電源車		軽油 (注 2)	0.2865	100 (注 5)
軽油貯蔵タンク(地下式)		軽油	12	－(注 6)

(注 1) 電源車については通常敷地南側の予備緊急時対策所付近に配備するが、外部電源喪失時は据置型発電機の位置に移動し使用するため合わせて評価した。

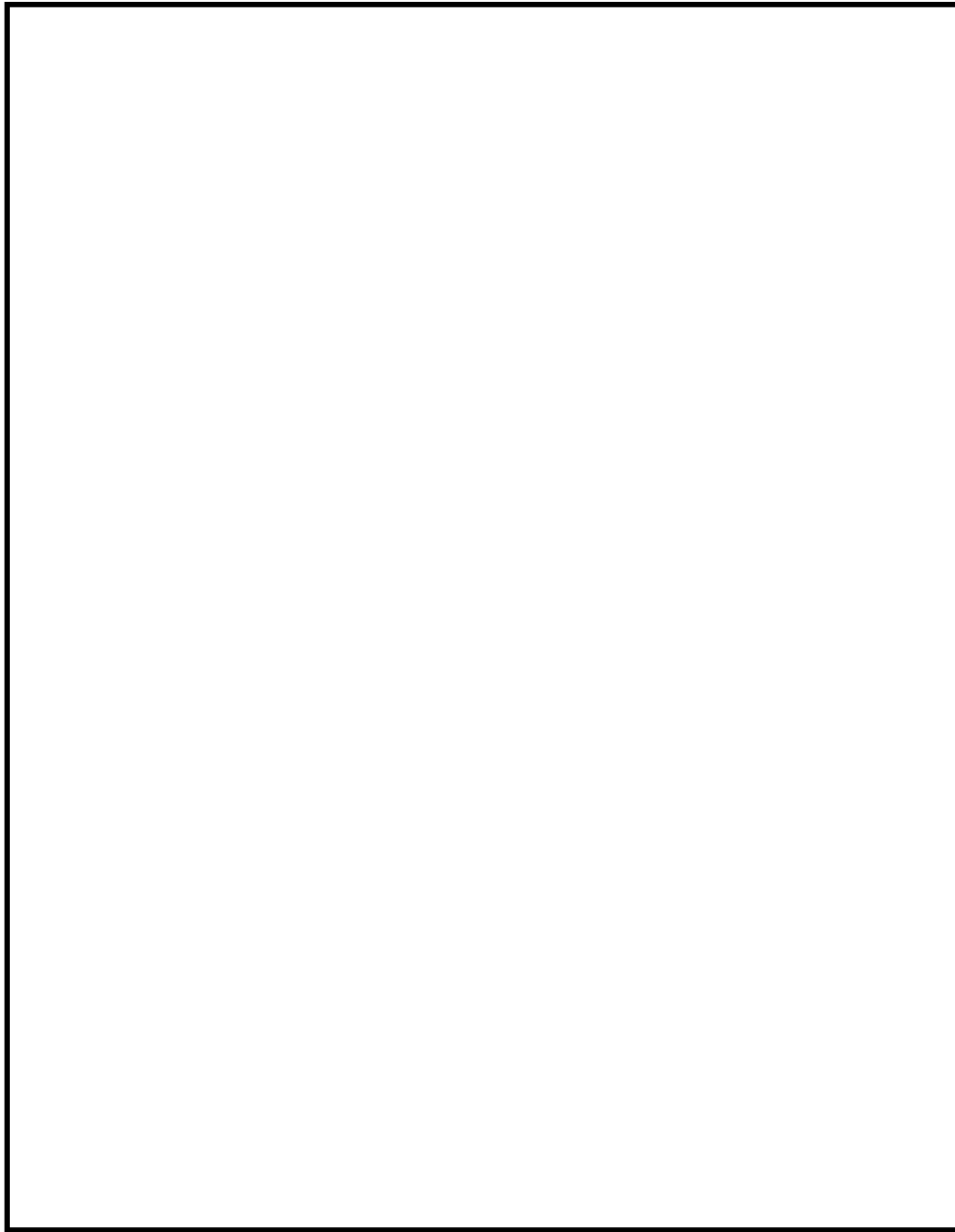
(注 2) 保守的に軽油と潤滑油を合わせて全て軽油とみなした。

(注 3) 設置場所が至近であるため一体とみなし、容量は電源車と据置型発電機の合算値

(注 4) キャスク輸送車両 2 両分の合算値

(注 5) 予備緊急時対策所を設置する高台のレイアウト上最も貯蔵建屋に近接する距離を保守的に設定した。

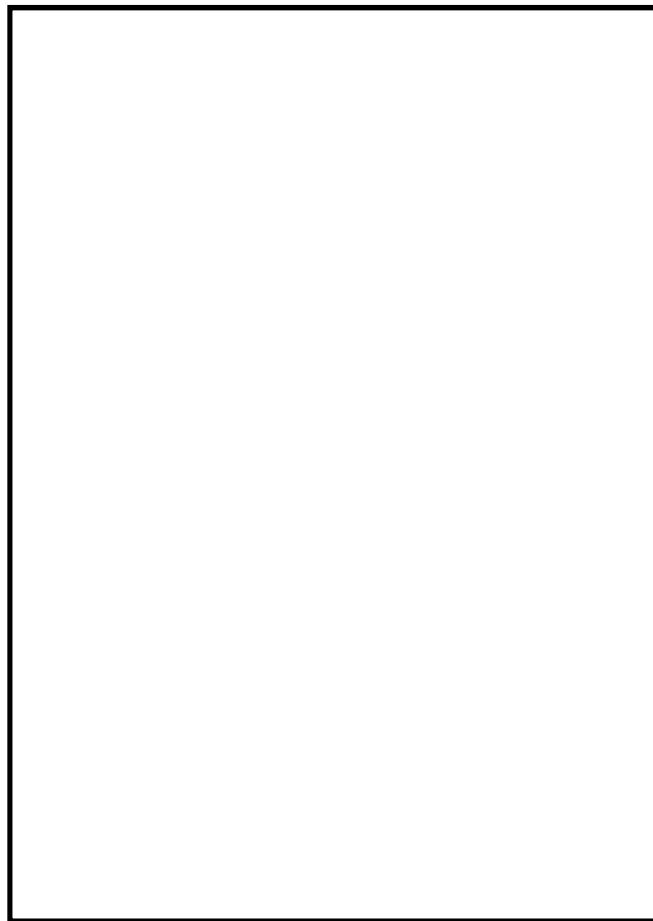
(注 6) 軽油貯蔵タンク(地下式)は外部火災評価の対象外とする(別添 2 参照)。



第 42 図 敷地内の危険物貯蔵設備の設置場所

#### 4.2.2 エンジン発電機の火災評価

貯蔵施設においては、核物質防護設備用として施設の長時間停電に対応する設備である非常用発電機としてエンジン発電機1基を設けている（第43図）。この発電機には、発電機本体に燃料用としての軽油タンク及びエンジン潤滑油タンクが内蔵されており、本設備から火災が発生した際の影響評価を行った。



第43図 エンジン発電機設置位置

##### (1) 火災発生源に関する入力データ

燃料の種類：軽油及び潤滑油であるが、保守性を考慮してすべて軽油とみなした。

燃料量：軽油 0.99 (kℓ) + 潤滑油 0.041 (kℓ) = 1.031 (kℓ)

火災輻射強度：42000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書Bの軽油の値

質量低下速度：0.044 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の Diesel Oil の値

燃料密度：860 (kg/m<sup>3</sup>) ※JIS K 2204-2007

燃焼面積：4.97 (m<sup>2</sup>) ※エンジン発電機の全長×全幅

## (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：27.3 → 27 (m)

貯蔵建屋外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第5版の石灰岩コンクリートの値

## (3) 評価方法

ガイド付属書 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」に従って、以下の手順で実施した。

### (a) 燃焼半径の算出

燃焼面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、1.258 m となった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{4.97/\pi} = 1.258 \quad (\text{m})$$

R：燃焼半径(m)，S：燃焼面積(m<sup>2</sup>)

### (b) 形態係数の算出

下記の式に基づき、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、0.004247 となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n=L/R$$

$\phi$  : 形態係数, H : 火炎長 (m), L : 離隔距離 (m)

(c) 輻射強度の算出

下記の式に基づき算出したところ 178.374 W/m<sup>2</sup> となり, 切り上げて約 178.4 W/m<sup>2</sup> とした。

$$E=R_f \cdot \phi = 42000 \times 0.004247 = 178.374 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

(d) 燃焼継続時間の算出

下記の式に基づき算出したところ 4059.6 s となり, 切り上げて約 4060 s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 1.031 / (4.97 \times 0.0000511) = 4059.6 \Rightarrow 4060 \text{ (s)}$$

$$\text{ここで, } v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.044}{860} = 0.000051163 \Rightarrow 0.0000511, \pi R^2 \doteq S = 4.97$$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s),

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s),  $\rho$  : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

(4) 貯蔵施設への影響評価結果

(a)～(d)にて求めたパラメータにより, 伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて, 貯蔵建屋外壁温度分布を評価した。

$$T(x)-T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T(x): 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub>: 初期温度 (=50 °C),

k : 熱伝導率 (W/m/K),  $\kappa$  : 温度拡散率 ( $\kappa = k / \rho C_p$ ) (m<sup>2</sup>/s),

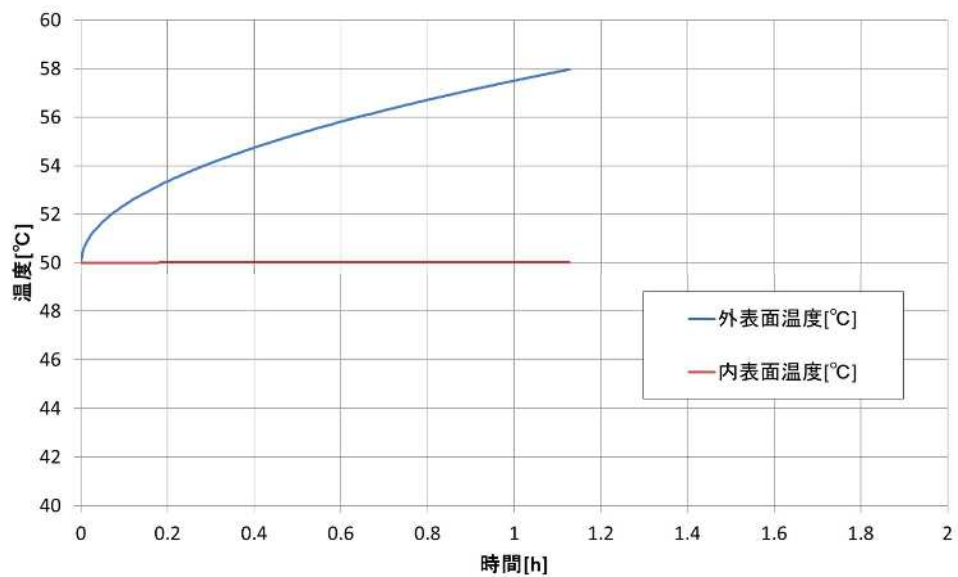
$\rho$  : 密度 (kg/m<sup>3</sup>), C<sub>p</sub> : 比熱 (J/kg/K)

貯蔵建屋外壁初期温度を 50°C として, 上式により外壁温度上昇量を評価したところ, 約 8°C となり, 貯蔵建屋外壁温度の評価結果は約 58°C となった。

本評価結果はコンクリート許容温度である 200°C を下回っており,

これによりエンジン発電機からの火災に関して貯蔵建屋への影響はないことを確認した。

第 44 図に時間に対する温度変化を示す。



第 44 図 貯蔵建屋外壁温度変化（エンジン発電機）



#### 4.2.3 電源車及び据置型発電機の火災評価

貯蔵施設においては、事業者の自主的な取組みとして電気設備に電源車を接続することが可能な設計とし、無停電電源装置の給電可能時間を超える長時間の停電が発生した場合におけるバックアップとして電源車1台及び据置型発電機を設置することとしている（第45図）。この電源車及び据置型発電機に付随している燃料用の軽油タンク及びエンジン潤滑油タンクから火災が発生した際の影響評価を行った。電源車は法面の上部に設置されているが、本評価では貯蔵建屋と同標高に設置されているものと仮定して評価を実施した。



第45図 電源車及び据置型発電機設置位置

##### (1) 火災発生源に関する入力データ

燃料の種類：軽油及び潤滑油であるが、保守性を考慮してすべて軽油とみなした。

燃料量：電源車：軽油 + 潤滑油(車 + 発電機)

$$= 0.25 + 0.03 + 0.0065 = 0.2865 \text{ (k}\ell\text{)}$$

据置型発電機：軽油 0.49 (kℓ) + 潤滑油 0.061 (kℓ)

$$= 0.551 \text{ (k}\ell\text{)}$$

$$\rightarrow \text{合計} : 0.2865 + 0.551 = 0.8375 \text{ (k}\ell\text{)}$$

火炎輻射強度：42000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書 B の軽油の値

質量低下速度：0.044 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の Diesel Oil の値

燃料密度：860 (kg/m<sup>3</sup>) ※JIS K 2204-2007

燃焼面積：20.754 (m<sup>2</sup>) ※電源車及び据置型発電機の寸法  
合計より算出

## (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：70 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第 5 版の石灰岩コンクリートの値

## (3) 評価方法

ガイド付属書 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」を参考とし、以下の手順で実施した。

### (a) 燃焼半径の算出

電源車及び据置型発電機の面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、2.571 m となった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{20.754/\pi} = 2.571 \text{ (m)}$$

R：燃焼半径(m)，S：燃焼面積(m<sup>2</sup>)

### (b) 形態係数の算出

下記の式に基づき、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従っ

て算出したところ，0.002632 となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$  : 形態係数, H : 火炎長 (m), L : 離隔距離 (m)

#### (c) 輻射強度の算出

下記の式に基づき算出したところ 110.544 W/m<sup>2</sup> となり，切り上げて約 110.6 W/m<sup>2</sup> とした。

$$E = R_f \cdot \phi = 42000 \times 0.002632 = 110.544 \Rightarrow 110.6 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

#### (d) 燃焼継続時間の算出

下記の式に基づき算出したところ 789.7 s となり，切り上げて約 790 s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 0.8375 / (20.754 \times 0.0000511) = 789.7 \Rightarrow 790 \text{ (s)}$$

ここで,  $v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.044}{860} = 0.000051163 \Rightarrow 0.0000511$ ,  $\pi R^2 \doteq S = 20.754$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s),

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s),  $\rho$  : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

#### (4) 貯蔵施設への影響評価結果

(a)～(d)にて求めたパラメータにより，伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて，貯蔵建屋外壁温度分布を評価した。

$$T(x) - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

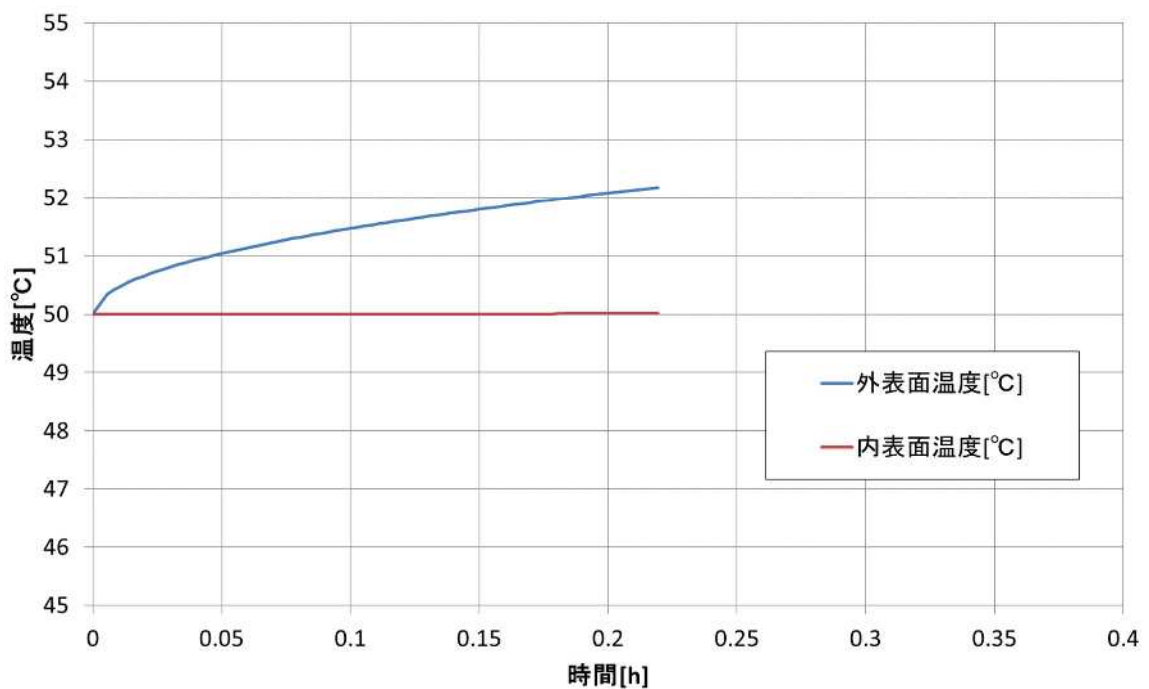
T(x) : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub> : 初期温度 (=50 °C),

$k$  : 熱伝導率 (W/m/K),  $\kappa$  : 温度拡散率 ( $\kappa = k / \rho C_p$ ) ( $m^2/s$ ),  
 $\rho$  : 密度 ( $kg/m^3$ ),  $C_p$  : 比熱 (J/kg/K)

貯蔵建屋外壁初期温度を  $50^\circ C$  として, 上式により外壁温度上昇量を評価したところ, 約  $3^\circ C$  となり, 貯蔵建屋外壁温度の評価結果は約  $53^\circ C$  となった。

本評価結果はコンクリート許容温度である  $200^\circ C$  を下回っており, これにより電源車及び据置型発電機からの火災に関して貯蔵建屋への影響はないことを確認した。

第 46 図に時間に対する温度変化を示す。



第 46 図 貯蔵建屋外壁温度変化 (電源車及び据置型発電機)

#### 4.2.4 キャスク輸送車両の火災評価

貯蔵施設敷地内の特殊車両庫には，キャスク搬送用の特殊車両として，キャスク輸送車両（6軸48輪式自走式ディーゼルエンジン車）2両が常時特殊車両庫に配備される予定となっている（第47図）。この車両に付随している燃料用の軽油タンク及びエンジン潤滑油タンクから火災が発生した際の影響評価を行った。



第47図 特殊車両庫設置位置

##### (1) 火災発生源に関する入力データ

燃料の種類：軽油及び作動油であるが，保守性を考慮してすべて軽油とみなした。

燃料量：1.08 (kℓ)

(燃料タンク 0.3 (kℓ) + 作動油タンク 0.24 (kℓ)) × 2

火炎輻射強度：42000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書Bの軽油の値

質量低下速度：0.044 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805のDiesel Oilの値

燃料密度：860 (kg/m<sup>3</sup>)

※JIS K 2204-2007

燃焼面積：60.5 (m<sup>2</sup>)

※車両の寸法より算出

(全長 9.48m, 全幅 3.19m) × 2 台)

## (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：107 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第5版の石灰岩コンクリートの値

## (3) 評価方法

ガイド付属書 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」を参考とし、以下の手順で実施した。

### (a) 燃焼半径の算出

車両 2 両の面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、4.389 m となった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{60.5/\pi} = 4.389 \quad (\text{m})$$

R：燃焼半径(m)，S：燃焼面積(m<sup>2</sup>)

### (b) 形態係数の算出

下記の式に基づき、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、0.003287 となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n=L/R$$

$\phi$  : 形態係数, H : 火炎長 (m), L : 離隔距離 (m)

(c) 輻射強度の算出

下記の式に基づき算出したところ 138.054 W/m<sup>2</sup> となり, 切り上げて約 138.1 W/m<sup>2</sup> とした。

$$E=R_f \cdot \phi = 42000 \times 0.003287 = 138.054 \Rightarrow 138.1 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

(d) 燃焼継続時間の算出

下記の式に基づき算出したところ 349.3 s となり, 切り上げて約 350 s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 1.08 / (60.5 \times 0.0000511) = 349.3 \Rightarrow 350 \text{ (s)}$$

$$\text{ここで, } v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.044}{860} = 0.000051163 \Rightarrow 0.0000511, \pi R^2 \doteq S = 60.5$$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s),

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s),  $\rho$  : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

(4) 貯蔵施設への影響評価結果

(a)～(d)にて求めたパラメータにより, 伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて, 貯蔵建屋外壁温度分布を評価した。

$$T(x) - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T(x) : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub> : 初期温度 (=50 °C),

k : 熱伝導率 (W/m/K),  $\kappa$  : 温度拡散率 ( $\kappa = k / \rho C_p$ ) (m<sup>2</sup>/s),

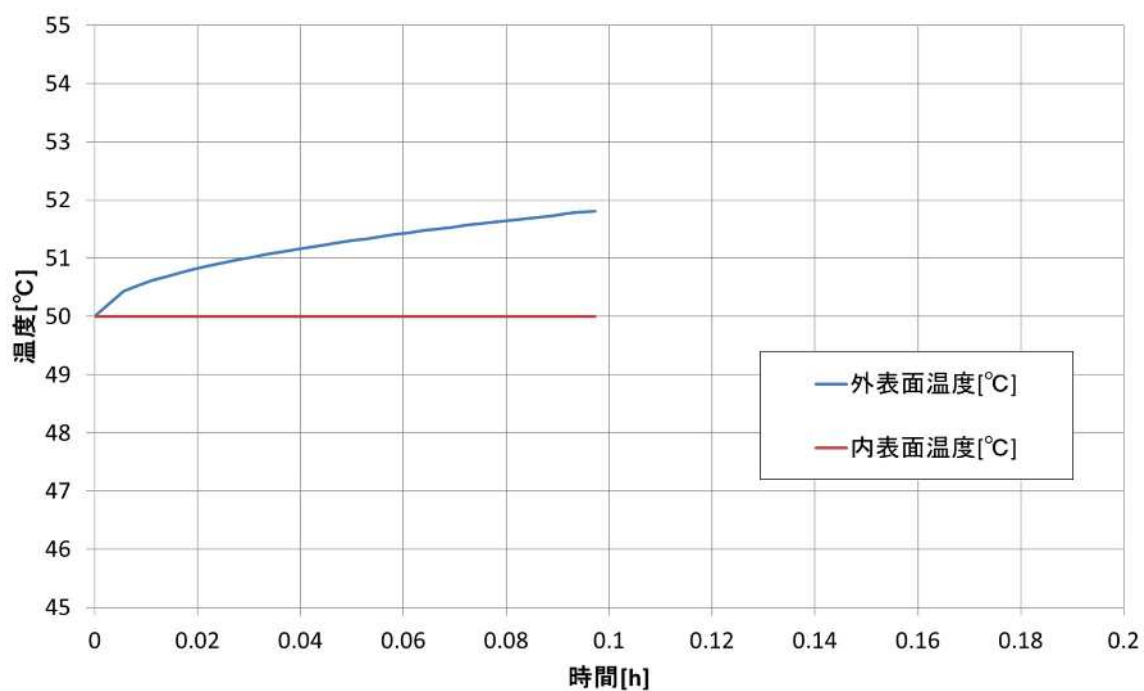
$\rho$  : 密度 (kg/m<sup>3</sup>), C<sub>p</sub> : 比熱 (J/kg/K)

貯蔵建屋外壁初期温度を 50°C とし, 上式により外壁温度上昇量を評価したところ, 約 2°C となり, 貯蔵建屋外壁温度の評価結果は約 52°C となった。



本評価結果はコンクリート許容温度である 200°Cを下回っており、これによりキャスク輸送車両からの火災に関して貯蔵建屋への影響はないことを確認した。

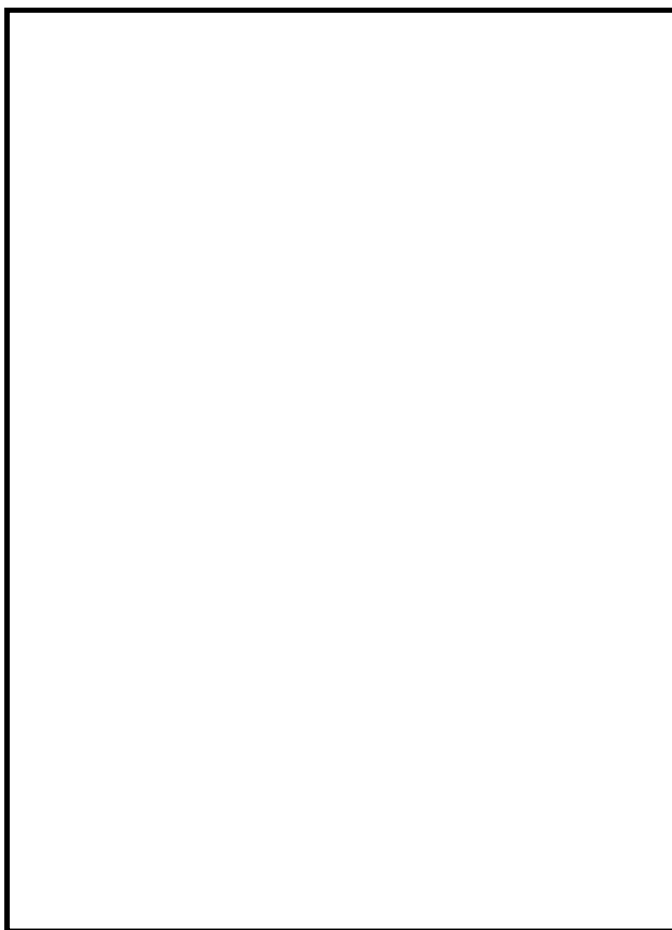
第 48 図に、時間に対する温度変化を示す。



第 48 図 貯蔵建屋外壁温度変化（キャスク輸送車両）

#### 4.2.5 モニタリングポスト用発電機の火災評価

貯蔵施設においては，周辺監視区域境界に外部放射線監視のためのモニタリングポスト（MP）が2箇所（貯蔵建屋東側及び南側）設置されており，常時監視のため発電機（据置型ディーゼル発電機）がそれぞれ備え付けられている（第49図）。この発電機に付随している燃料用の軽油タンク及びエンジン潤滑油タンクから火災が発生した際の影響評価を行った。なお，設置されている発電機は同型式のものである。いずれのMPも法面の上部に設置されているが，本評価では貯蔵建屋と同標高に設置されているものと仮定して評価を実施した。



第49図 モニタリングポスト用発電機設置位置

(1) 火災発生源に関する入力データ（東側，南側とも同じ）

燃料の種類：軽油及び潤滑油であるが，保守性を考慮してすべて

軽油とみなした。

燃料量：0.0696 (kℓ)

(燃料タンク 0.062 (kℓ) + 潤滑油タンク 0.0076 (kℓ))

火炎輻射強度：42000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書 B の軽油の値

質量低下速度：0.044 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の Diesel Oil の値

燃料密度：860 (kg/m<sup>3</sup>) ※JIS K 2204-2007

燃焼面積：1.001 (m<sup>2</sup>) ※発電機の寸法より算出

## (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：東側 138 (m)

南側 164 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第 5 版の石灰岩コンクリートの値

## (3) 評価方法

ガイド付属書 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」を参考とし、以下の手順で実施した。

### (a) 燃焼半径の算出

燃焼面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、東側、南側とも 0.565 m となった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{1.001/\pi} = 0.565 \quad (\text{m})$$

R：燃焼半径(m)， S：燃焼面積(m<sup>2</sup>)

### (b) 形態係数の算出

下記の式に基づき、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、東側： $3.212 \times 10^{-5}$ 、南側： $2.273 \times 10^{-5}$ と

なった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$  : 形態係数,  $H$  : 火炎長 (m),  $L$  : 離隔距離 (m)

#### (c) 輻射強度の算出

下記の式に基づき算出したところ,

東側 :  $E = R_f \cdot \phi = 42000 \times 3.212 \times 10^{-5} = 1.3490 \text{ W/m}^2$  となり,  
切り上げて約  $1.4 \text{ W/m}^2$  とした。

南側 :  $E = R_f \cdot \phi = 42000 \times 2.273 \times 10^{-5} = 0.9547 \text{ W/m}^2$  となり,  
切り上げて約  $1.0 \text{ W/m}^2$  とした。

$E$  : 輻射強度 ( $\text{W/m}^2$ ),  $R_f$  : 火炎輻射強度 ( $\text{W/m}^2$ )

#### (d) 燃焼継続時間の算出

下記の式に基づき算出したところ  $1360.7 \text{ s}$  となり, 切り上げて約  $1361 \text{ s}$  とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 0.0696 / (1.001 \times 0.0000511) = 1360.7 \Rightarrow 1361 \text{ (s)}$$

ここで,  $v = \frac{0.044}{860} = 0.000051163 \Rightarrow 0.0000511$ ,  $\pi R^2 \doteq S = 1.001$

$t$  : 燃焼継続時間 (s),  $V$  : 燃料量 ( $\text{m}^3$ ),  $v$  : 燃焼速度 (m/s),

$m$  : 質量低下速度 ( $\text{kg/m}^2/\text{s}$ ),  $\rho$  : 燃料密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

#### (4) 貯蔵施設への影響評価結果

(a) ~ (d) にて求めたパラメータにより, 伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて, 貯蔵建屋外壁温度分布を評価した。

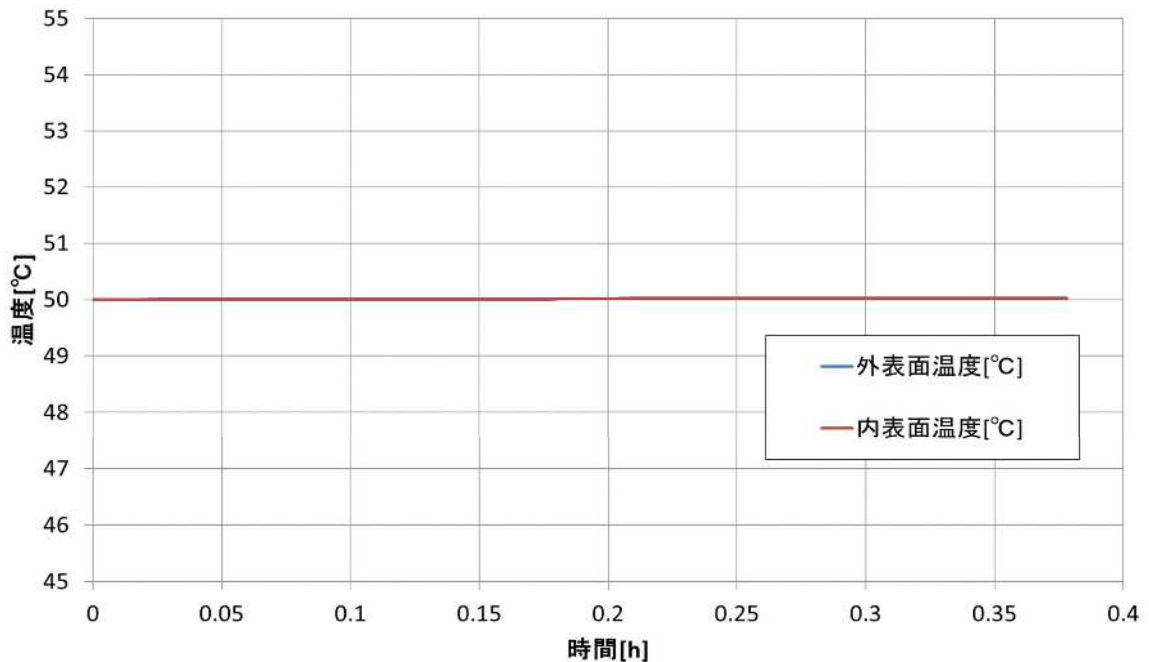
$$T(x)-T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

$T(x)$ : 表面から  $x$  (m) の位置の温度 (°C),  $T_0$ : 初期温度 (=50 °C),  
 $k$ : 熱伝導率 (W/m/K),  $\kappa$ : 温度拡散率 ( $\kappa = k / \rho C_p$ ) (m<sup>2</sup>/s),  
 $\rho$ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>),  $C_p$ : 比熱 (J/kg/K)

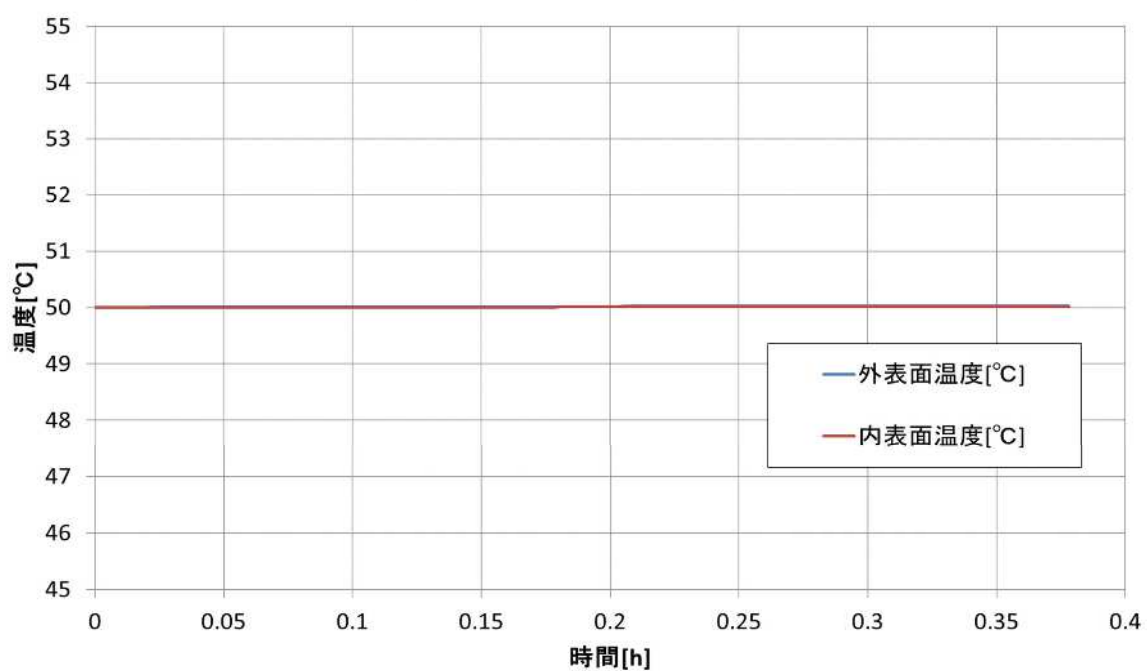
貯蔵建屋外壁初期温度を 50°C とし、上式により外壁温度上昇量を評価したところ、東側、南側とも約 1°C となり、貯蔵建屋外壁温度の評価結果は約 51°C となった。

本評価結果はコンクリート許容温度である 200°C を下回っており、これによりモニタリングポスト用発電機からの火災に関して貯蔵建屋への影響はないことを確認した。

第 50 図、第 51 図に、時間に対する温度変化を示す。



第 50 図 貯蔵建屋外壁温度変化  
(モニタリングポスト用発電機 東側)

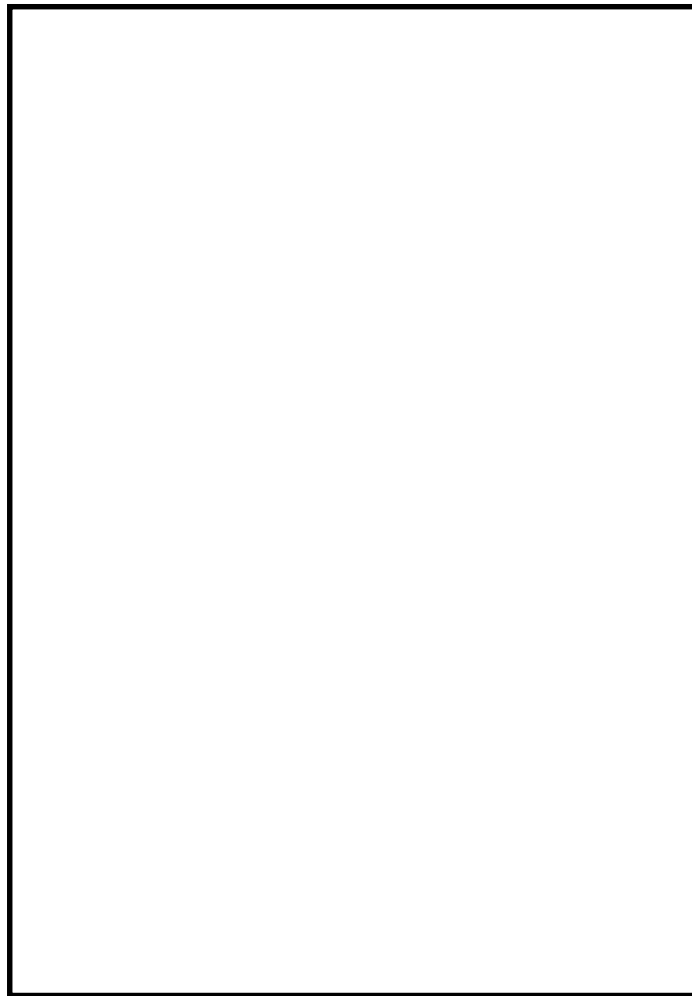


第 51 図 貯蔵建屋外壁温度変化  
 (モニタリングポスト用発電機 南側)

#### 4.2.6 電源車の火災評価

貯蔵建屋南側の敷地高台に予備緊急時対策所を設置する。4.2.3で評価した電源車及び据置発電機の電源車を、通常時には予備緊急時対策所の設置場所に配備する予定である。第52図に示すとおり貯蔵建屋と電源車の距離は少なくとも100m以上離れた位置になるため、離隔距離を100mとして影響評価を行った。

また、設置位置は貯蔵建屋より標高の高い地点であるが、本評価ではいずれも貯蔵建屋と同標高に設置されているものと仮定して評価を実施した。



第52図 電源車配備予定位置



(1) 火災発生源に関する入力データ

燃料の種類：軽油及び潤滑油であるが、保守性を考慮してすべて軽油とみなした。

燃料量：0.2865 (kℓ) (0.25+0.03+0.0065=0.2865)

火炎輻射強度：42000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書 B の軽油の値

質量低下速度：0.044 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の Diesel Oil の値

燃料密度：860 (kg/m<sup>3</sup>) ※JIS K 2204-2007

燃焼面積：14.874 (m<sup>2</sup>) ※電源車の寸法より算出

(2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：100 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第5版の石灰岩コンクリートの値

(3) 評価方法

ガイド付属書 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」を参考とし、以下の手順で実施した。

(a) 燃焼半径の算出

燃焼面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、2.176 m となった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{14.874/\pi} = 2.176 \quad (\text{m})$$

R：燃焼半径(m)， S：燃焼面積(m<sup>2</sup>)

(b) 形態係数の算出

下記の式に基づき、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、0.0009175 となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$  : 形態係数, H : 火炎長 (m), L : 離隔距離 (m)

#### (c) 輻射強度の算出

下記の式に基づき算出したところ, 38.535 W/m<sup>2</sup>となり, 切り上げて 38.6 W/m<sup>2</sup>とした。

$$E = R_f \cdot \phi = 42000 \times 0.0009175 = 38.535 \Rightarrow 38.6 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

#### (d) 燃焼継続時間の算出

下記の式に基づき算出したところ 376.9 s となり, 切り上げて約 377 s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 0.2865 / (14.874 \times 0.0000511) = 376.9 \Rightarrow 377 \text{ (s)}$$

ここで,  $v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.044}{860} = 0.000051163 \Rightarrow 0.0000511$ ,  $\pi R^2 \doteq S = 14.874$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s),

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s),  $\rho$  : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

### (4) 貯蔵施設への影響評価結果

(a)～(d)にて求めたパラメータにより, 伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて, 貯蔵建屋外壁温度分布を評価した。

$$T(x) - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T(x) : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub> : 初期温度 (=50 °C),

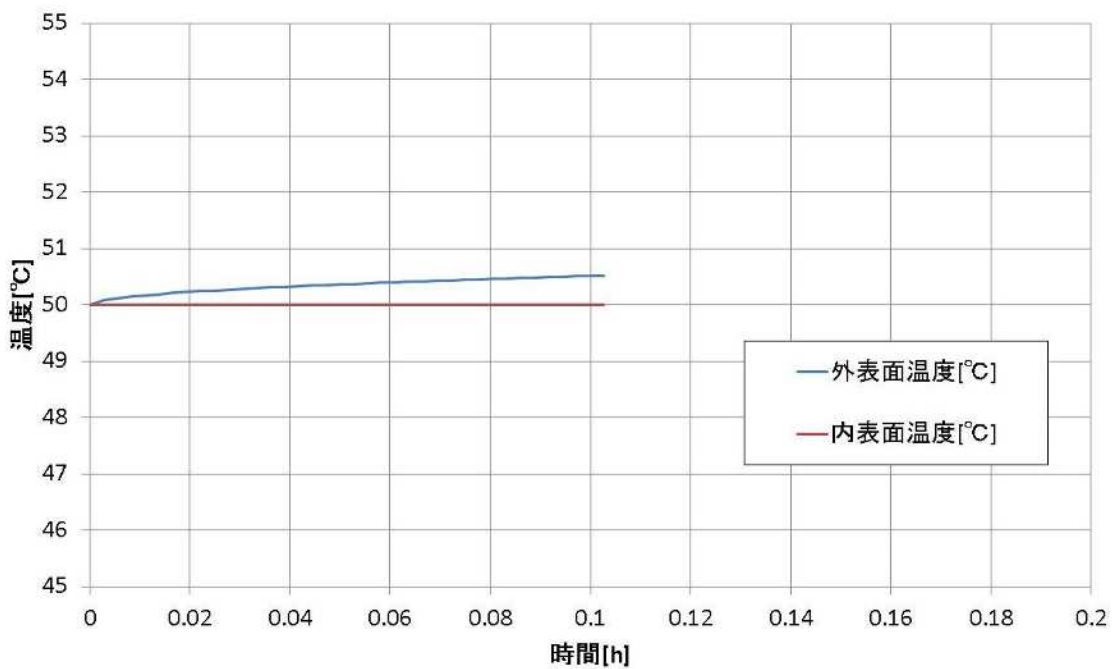
k : 熱伝導率 (W/m/K),  $\kappa$  : 温度拡散率 ( $\kappa = k / \rho C_p$ ) (m<sup>2</sup>/s),

$\rho$  : 密度 (kg/m<sup>3</sup>),  $C_p$  : 比熱 (J/kg/K)

貯蔵建屋外壁初期温度を 50℃として, 上式により外壁温度上昇量を評価したところ, 約 1℃となり, 貯蔵建屋外壁温度の評価結果は約 51℃となった。

本評価結果はコンクリート許容温度である 200℃を下回っており, 電源車からの火災に関して貯蔵建屋への影響はないことを確認した。

第 53 図に, 時間に対する温度変化を示す。



第 53 図 貯蔵建屋外壁温度変化 (電源車)

#### 4.2.7 評価結果まとめ

前項までに評価した, 敷地内の各危険物貯蔵設備における火災に対する評価結果について, まとめて第 28 表に示す。

第 28 表 敷地内危険物貯蔵設備における火災評価結果

対象設備 パラメータ	エンジン 発電機	電源車及び 据置型発電機	キャスク輸送 車両 (2両)	MP用 発電機		電源車
				東側	南側	
建屋からの 離隔距離 (m)	27	70	107	138	164	100
燃焼半径 (m)	1.258	2.571	4.389	0.565		2.176
形態係数	0.004247	0.002632	0.003287	$3.212 \times 10^{-5}$	$2.273 \times 10^{-5}$	0.0009175
輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )	178.4	110.6	138.1	1.4	1.0	38.6
燃焼継続時間 (s)	4060	790	350	1361		377
外壁温度 (°C)	58	53	52	51	51	51

評価結果より、敷地内危険物貯蔵設備の火災においては建屋から最も近い離隔距離であるエンジン発電機からの火災が最も厳しい評価結果となったが、建屋外壁の許容温度をいずれも下回っていることを確認した。

## 5. 航空機墜落による火災の影響評価について

### 5.1 評価の考え方

航空機墜落による火災の貯蔵建屋への影響評価については、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」に基づき評価を実施した。

評価対象とする航空機の選定については、「航空機落下事故に関するデータの整備」（独立行政法人 原子力安全基盤機構，JNES/SAE08-012 08 解部報-0012，平成20年3月）のデータをもとに，過去の国内における墜落事故の実績を，航空機の種類，飛行形態等に応じてカテゴリ別に分類する。具体的には，民間航空機については計器飛行方式（大型固定翼機）と有視界飛行方式（大型固定翼機，小型固定翼機，大型回転翼機，小型回転翼機），自衛隊機又は米軍機については大型／小型固定翼機，大型／小型回転翼機を訓練空域内／外及び基地から訓練空域への往復時のカテゴリに分けて，それぞれS62～H18の20年間における事故件数を調査した。事故件数が0の場合は，保守的に件数を0.5とした。ただし，民間航空機と自衛隊機又は米軍機では訓練中の事故等，その発生状況が必ずしも同一ではないこと，また自衛隊機又は米軍機の中においても機種により飛行形態が同一でないと考えられることから，これらの状況も踏まえて自衛隊機又は米軍機については攻撃性の少ない高高度飛行を行う大型固定翼機とそれ以外の機種を分けてカテゴリ分けを実施した。

これらカテゴリ別の事故件数から，それぞれの墜落確率を求めた結果について第29表に示す。計器飛行方式の民間航空機の墜落確率の算出にあたっては貯蔵施設上空にかかる航空路の延べ飛行距離が必要であるため，国土交通省の航空輸送統計年報（S63～H19分）のデータをもとに積算を行った。また，貯蔵施設上空には自衛隊機又は米軍機の訓練空域はないことから，訓練空域内の墜落事故については除外した。

第 29 表 カテゴリ別の航空機墜落確率の一覧

カテゴリ		墜落確率 (回／施設・年)	
民間航空機	①計器飛行方式（大型固定翼機）	$9.20 \times 10^{-10}$	
	有視界方式	②大型固定翼機	$1.09 \times 10^{-9}$
		③その他機種 <sup>*1</sup>	$1.11 \times 10^{-8}$
自衛隊機又は米軍機	訓練空域外の墜落事故 <sup>*2</sup>	④高高度飛行 <sup>*3</sup> を行う大型固定翼機	$1.79 \times 10^{-9}$
		⑤その他の機種 <sup>*1</sup>	$1.52 \times 10^{-8}$
	⑥基地－訓練空域往復時の墜落事故	$2.13 \times 10^{-8}$	

\*1:小型固定翼機，大型回転翼機，小型回転翼機

\*2:貯蔵施設上空には自衛隊機，米軍機の訓練空域はない

\*3:高度 5 万フィート以上の飛行（空中給油機，哨戒機等）

墜落のカテゴリについては上記のとおり①～⑥の 6 つに分類したが、このうち有視界方式民間航空機における②大型固定翼機，及び③その他の機種（小型固定翼機，大型回転翼機，小型回転翼機）については、いずれも自衛隊機又は米軍機の訓練空域外墜落事故における機種④及び⑤と同等あるいは燃料量の小さい機種であり，墜落確率もそれぞれ自衛隊機又は米軍の確率より小さいことから，有視界方式民間航空機の各カテゴリについては，より墜落確率の高い自衛隊機又は米軍機の訓練空域外墜落事故の同機種のカテゴリに包絡されるものとした。（②は④に包絡，③は⑤に包絡）

したがって，航空機墜落確率におけるカテゴリについてはさらに以下の 4 つに分類した。

- ① 民間航空機（計器飛行方式）の墜落事故
- ④ 自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうち高高度飛行を行う大型固定翼機）の墜落事故（民間航空機（有視界方式）のうち大型固定翼機を包絡）
- ⑤ 自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故（民間航空機（有視界方式）のうちその他機種を包絡）
- ⑥ 自衛隊機又は米軍機（基地－訓練空域間往復時）の墜落事故

分類した4つのカテゴリにおいて、燃料積載量が最大となる機種をそれぞれ選定した。評価対象とする航空機の選定結果について第30表に示す。

第30表 評価対象航空機の選定結果

評価項目	民間航空機 (計器飛行方式)	自衛隊機又は 米軍機 (訓練空域外 高高度飛行)	自衛隊機又は 米軍機 (訓練空域外そ 他の機種)	自衛隊機又は 米軍機 (基地－訓練 空域間往復時)
対象航空機	B747-400	KC-767(注1)	F-15(注2)	UH-60J(注3)

(注1) ボーイング767型機を母機とした空中給油・輸送機(航空自衛隊に配備)

(注2) 制空戦闘機(米空軍, 航空自衛隊に配備)

(注3) 海上自衛隊大湊飛行場に現状配備されている機種で最大の燃料搭載量となる救難ヘリコプター

## 5.2 評価方法及び評価結果

### 5.2.1 民間航空機(計器飛行方式)の墜落事故の火災評価

#### 5.2.1.1 墜落地点の想定

##### (1) 標的面積

「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」に基づき、墜落確率  $10^{-7}$  (回/炉・年) に相当する標的面積を算出する。貯蔵建屋の標的面積は  $0.0081 \text{ km}^2$  であることから、航空機の墜落確率が  $10^{-7}$  (回/炉・年) となる標的面積  $S$  を算出すると、

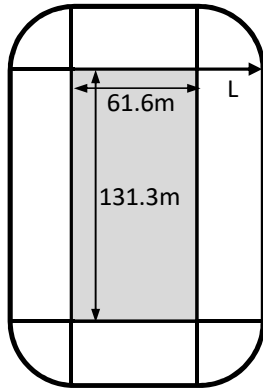
$$S = 10^{-7} / (9.20 \times 10^{-10}) \times 0.0081 \times 1000^2 = 880434.79 \text{ (m}^2\text{)}$$

となる。

##### (2) 離隔距離

前項で求めた標的面積より、第54図に示すように離隔距離を算出したところ、 $L = \text{約 } 469 \text{ m}$  となった。





$$\pi L^2 + 2(131.3 + 61.6)L + 131.3 \times 61.6 = S$$

これをLについて解くと

$$L = \frac{-(131.3 + 61.6) + \sqrt{(131.3 + 61.6)^2 - \pi(131.3 \times 61.6 - S)}}{\pi}$$

となる。

第 54 図 離隔距離算出のイメージ

### 5.2.1.2 火災影響評価

#### (1) 火災発生源に関する入力データ

想定機種：ボーイング 747-400

燃料の種類：JET A-1

燃料量：216.84 (kℓ) ※ボーイングジャパン web サイト記載値

火災輻射強度：50000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書 B の灯油の値

質量低下速度：0.039 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の灯油の値

燃料密度：840 (kg/m<sup>3</sup>) ※JIS K 2209-1991 の JET A-1 の値

燃焼面積：700 (m<sup>2</sup>) ※ボーイング社ホームページ資料「747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning」記載の同型機の機体図面より主翼底面積及び主翼部分の胴体下部及び水平尾翼部分を足したものを燃焼面積とした。

#### (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離 469 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第 5 版の石灰岩コンクリートの値

### (3) 評価方法

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」に従って、以下の手順で実施した。

#### (a) 燃焼半径の算出

燃焼面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、14.928 m となった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{700/\pi} = 14.928 \text{ (m)}$$

R : 燃焼半径 (m), S : 燃焼面積 (m<sup>2</sup>)

#### (b) 形態係数の算出

ガイドに従い、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、0.001973 となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$  : 形態係数, H : 火炎長 (m), L : 離隔距離 (m)

#### (c) 輻射強度の算出

ガイドに従い、次式により算出したところ、98.65 W/m<sup>2</sup> となり、切り上げて 約 98.7 W/m<sup>2</sup> とした。

$$E = R_f \cdot \phi = 50000 \times 0.001973 = 98.65 \Rightarrow 98.7 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

#### (d) 燃焼継続時間の算出

ガイドに従い、次式により算出したところ、6676.1 s となり、切り上げて 約 6677s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 216.84 / (700 \times 0.0000464) = 6676.1 \Rightarrow 6677 \text{ (s)}$$

$$\text{ここで, } v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.039}{840} = 0.000046429 \Rightarrow 0.0000464, \quad \pi R^2 \doteq S = 700$$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s),

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s), ρ : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

#### (e) 外壁温度の算出

伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて外壁温度分布を評価した。

$$T(x) - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T(x) : 表面から x(m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub> : 初期温度 (°C),

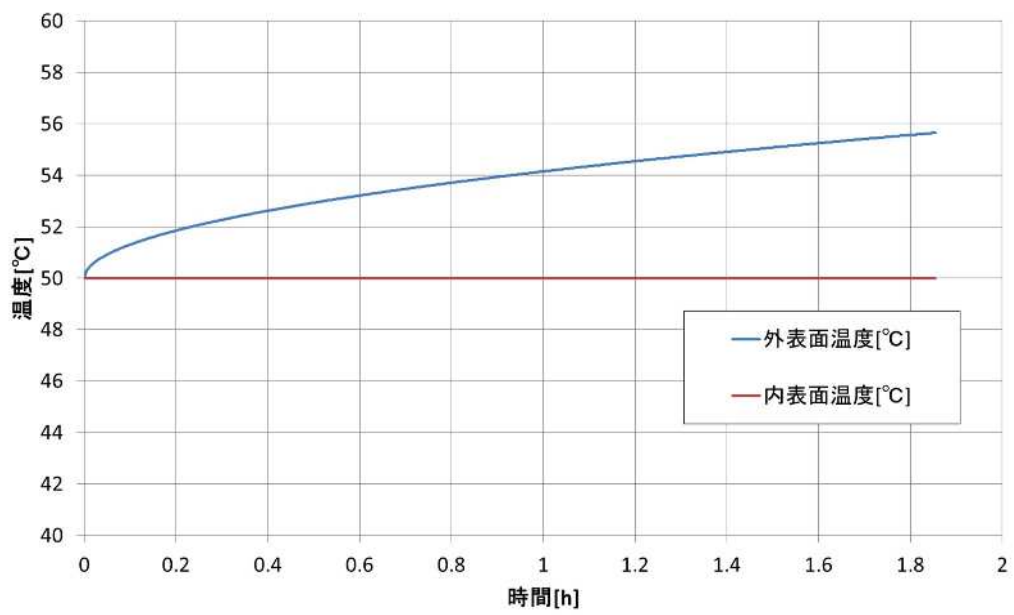
k : 熱伝導率 (W/m/K), κ : 温度拡散率 (κ = k / ρ C<sub>p</sub>) (m<sup>2</sup>/s),

ρ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>), C<sub>p</sub> : 比熱 (J/kg/K)

#### (4) 貯蔵建屋への影響評価

計器飛行方式民間航空機の墜落事故による火災に関して貯蔵建屋への影響評価を行ったところ、建屋外壁の最高温度は約 56°C となり許容温度である 200°C を下回ることを確認した。

第 55 図に時間に対する温度変化を示す。



第 55 図 貯蔵建屋外壁温度変化（計器飛行方式民間航空機）

## 5.2.2 自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうち高高度飛行を行う機種） の墜落事故の火災評価

### 5.2.2.1 墜落地点の想定

#### (1) 標的面積

「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」に基づき、墜落確率  $10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積を算出する。貯蔵建屋の標的面積は  $0.0081 \text{ km}^2$  であることから、航空機の墜落確率が  $10^{-7}$ （回／炉・年）となる標的面積  $S$  を算出すると、

$$S = 10^{-7} / (1.79 \times 10^{-9}) \times 0.0081 \times 1000^2 = 452513.97 \text{ (m}^2\text{)}$$

となる。

#### (2) 離隔距離

前項で求めた標的面積より、第 54 図に示すとおり離隔距離を算出したところ、 $L = \text{約 } 319\text{m}$  となった。

### 5.2.2.2 火災影響評価

#### (1) 火災発生源に関する入力データ

想定機種：KC-767

燃料の種類：JP-4

燃料量：145.04 (kℓ)

※世界航空機年鑑 2012-2013 記載値

火炎輻射強度：58000 ( $\text{W/m}^2$ )

※ガイド付属書 B のガソリンの値

質量低下速度：0.051 ( $\text{kg/m}^2/\text{s}$ )

※NUREG-1805 の JP-4 の値

燃料密度：760 ( $\text{kg/m}^3$ )

※NUREG-1805 の JP-4 の値

燃焼面積：405.2 ( $\text{m}^2$ )

※ボーイング社ホームページ資料「767 Airplane Characteristics for Airport Planning」記載の同型機の機体図面より主翼底面積及び胴体下部を燃焼面積と想定し面積を算出した

#### (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：319 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第5版の石灰岩コンクリートの値

### (3) 評価方法

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」に従って、以下の手順で実施した。

#### (a) 燃焼半径の算出

燃焼面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、11.357 mとなった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{405.2/\pi} = 11.357 \quad (\text{m})$$

R：燃焼半径(m)，S：燃焼面積 (m<sup>2</sup>)

#### (b) 形態係数の算出

ガイドに従い、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、0.002472となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$ ：形態係数，H：火炎長 (m)，L：離隔距離 (m)

#### (c) 輻射強度の算出

ガイドに従い、次式により算出したところ、143.376 W/m<sup>2</sup>となり、切り上げて約143.4 W/m<sup>2</sup>とした。

$$E=R_f \cdot \phi = 58000 \times 0.002472 = 143.376 \Rightarrow 143.4 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

(d) 燃焼継続時間の算出

ガイドに従い, 次式により算出したところ, 5334.5 s となり, 切り上げて約 5335 s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 145.04 / (405.2 \times 0.0000671) = 5334.5 \Rightarrow 5335 \text{ (s)}$$

ここで,  $v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.051}{760} = 0.000067105 \Rightarrow 0.0000671$ ,  $\pi R^2 \doteq S = 405.2$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s),

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s), ρ : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

(e) 外壁温度の算出

伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて外壁温度分布を評価した。

$$T(x) - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T(x) : 表面から x(m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub> : 初期温度 (°C),

k : 熱伝導率 (W/m/K), κ : 温度拡散率 (κ = k / ρ C<sub>p</sub>) (m<sup>2</sup>/s),

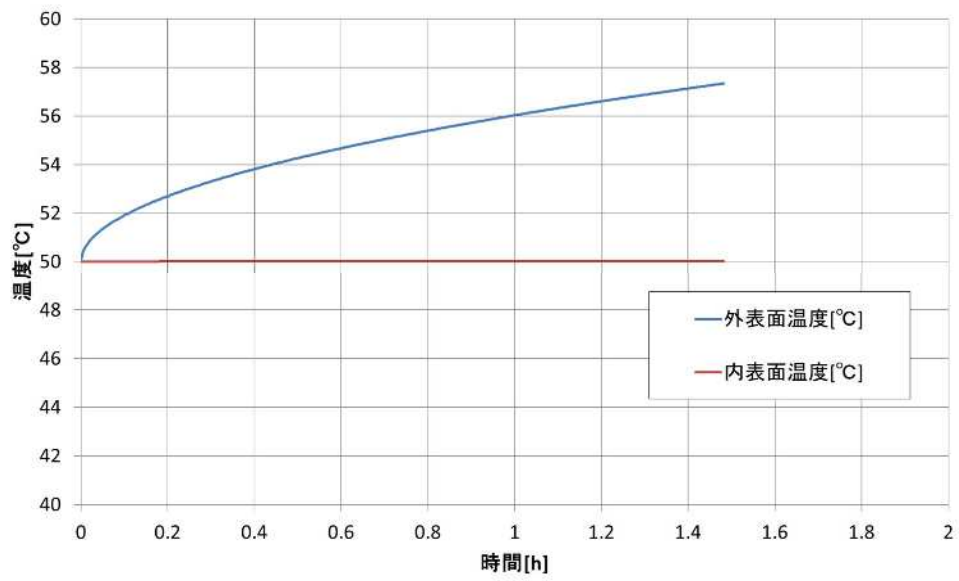
ρ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>), C<sub>p</sub> : 比熱 (J/kg/K)

(4) 貯蔵建屋への影響評価

自衛隊機又は米軍機 (訓練空域外のうち高高度飛行を行う機種) の墜落事故による火災に関して貯蔵建屋への影響評価を行ったところ, 建屋外壁の最高温度は約 58°C となり許容温度である 200°C を下回ることを確認した。

第 56 図に時間に対する温度変化を示す。





第 56 図 貯蔵建屋外壁温度変化（訓練空域外(高高度飛行)）

### 5.2.3 自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故の火災評価

#### 5.2.3.1 墜落地点の想定

##### (1) 標的面積

「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」に基づき、墜落確率  $10^{-7}$ （回／炉・年）に相当する標的面積を算出する。貯蔵建屋の標的面積は  $0.0081 \text{ km}^2$  であることから、航空機の墜落確率が  $10^{-7}$ （回／炉・年）となる標的面積  $S$  を算出すると、

$$S = 10^{-7} / (1.52 \times 10^{-8}) \times 0.0081 \times 1000^2 = 53289.47 \text{ (m}^2\text{)}$$

となる。

##### (2) 離隔距離

前項で求めた標的面積より、第 54 図に示すように離隔距離を算出したところ、 $L = \text{約 } 73 \text{ m}$  となった。

#### 5.2.3.2 火災影響評価

##### (1) 火災発生源に関する入力データ

想定機種：F-15

燃料の種類：JP-4

燃料量：14.87 (kℓ) ※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

火炎輻射強度：58000 ( $\text{W/m}^2$ ) ※ガイド付属書 B のガソリンの値

質量低下速度：0.051 ( $\text{kg/m}^2/\text{s}$ ) ※NUREG-1805 の JP-4 の値

燃料密度：760 ( $\text{kg/m}^3$ ) ※NUREG-1805 の JP-4 の値

燃焼面積：44.6 ( $\text{m}^2$ ) ※航空ジャーナル 2 月号増刊 F-15 イーグル記載の図面より算出した。

##### (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：73 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第5版の石灰岩コンクリートの値

### (3) 評価方法

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」に従って、以下の手順で実施した。

#### (a) 燃焼半径の算出

燃焼面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、3.768 mとなった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{44.6/\pi} = 3.768 \text{ (m)}$$

R：燃焼半径 (m)，S：燃焼面積 (m<sup>2</sup>)

#### (b) 形態係数の算出

ガイドに従い、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、0.005217となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$ ：形態係数，H：火炎長 (m)，L：離隔距離 (m)

#### (c) 輻射強度の算出

ガイドに従い、次式により算出したところ、302.586 W/m<sup>2</sup>となり、切り上げて約302.6 W/m<sup>2</sup>とした。

$$E = R_f \cdot \phi = 58000 \times 0.005217 = 302.586 \Rightarrow 302.6 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

(d) 燃焼継続時間の算出

ガイドに従い、次式により算出したところ、4968.8 s となり、切り上げて約 4969 s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 14.87 / (44.6 \times 0.0000671) = 4968.8 \Rightarrow 4969 \text{ (s)}$$

$$\text{ここで, } v = \frac{0.051}{760} = 0.000067105 \Rightarrow 0.0000671, \pi R^2 \doteq S = 44.6$$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s),

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s), ρ : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

(e) 外壁温度の算出

伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて外壁温度分布を評価した。

$$T(x) - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T(x) : 表面から x (m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub> : 初期温度 (°C),

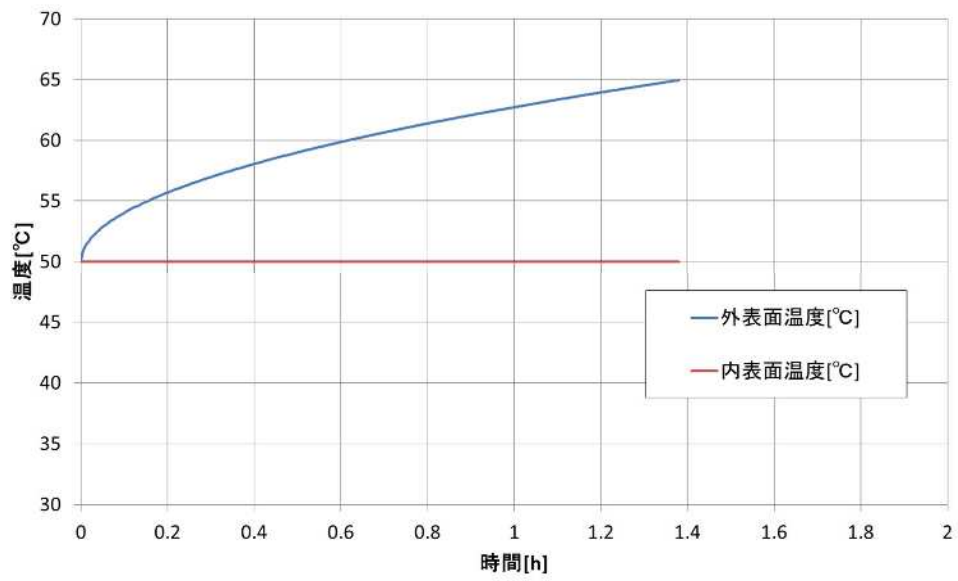
k : 熱伝導率 (W/m/K), κ : 温度拡散率 (κ = k / ρ C<sub>p</sub>) (m<sup>2</sup>/s),

ρ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>), C<sub>p</sub> : 比熱 (J/kg/K)

(4) 貯蔵建屋への影響評価

自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故による火災に関して貯蔵建屋への影響評価を行ったところ、建屋外壁の最高温度は約 65°C となり許容温度である 200°C を下回ることを確認した。

第 57 図に、時間に対する温度変化を示す。



第 57 図 貯蔵建屋外壁温度変化（訓練空域外（その他機種））

## 5.2.4 自衛隊機又は米軍機（基地-訓練空域間往復時）の墜落事故の火災評価

### 5.2.4.1 墜落地点の想定

#### (1) 標的面積

「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」に基づき、墜落確率  $10^{-7}$  (回/炉・年) に相当する標的面積を算出する。貯蔵建屋の標的面積は  $0.0081 \text{ km}^2$  であることから、航空機の墜落確率が  $10^{-7}$  (回/炉・年) となる標的面積  $S$  を算出すると、

$$S = 10^{-7} / (2.13 \times 10^{-8}) \times 0.0081 \times 1000^2 = 38028.17 \text{ (m}^2\text{)}$$

となる。

#### (2) 離隔距離

前項で求めた標的面積より、第 54 図に示すように離隔距離を算出したところ、 $L = \text{約 } 53 \text{ m}$  となった。

### 5.2.4.2 火災影響評価

#### (1) 火災発生源に関する入力データ

想定機種：UH-60J

燃料の種類：JP-5

燃料量：7.21 (kℓ) ※(最大離陸重量-空虚重量)/燃料密度  
= 燃料量とした

火炎輻射強度：50000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書 B の灯油の値

質量低下速度：0.054 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の JP-5 の値

燃料密度：810 (kg/m<sup>3</sup>) ※NUREG-1805 の JP-5 の値

燃焼面積：46.6 (m<sup>2</sup>) ※保守的に全長×全幅＝燃焼面積とした

#### (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：53 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料 第5版の石灰岩コンクリートの値

### (3) 評価方法

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」に従って、以下の手順で実施した。

#### (a) 燃焼半径の算出

燃焼面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、3.852 mとなった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{46.6/\pi} = 3.852 \quad (\text{m})$$

R：燃焼半径(m)，S：燃焼面積 (m<sup>2</sup>)

#### (b) 形態係数の算出

ガイドに従い、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、0.01035となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$ ：形態係数，H：火炎長 (m)，L：離隔距離 (m)

#### (c) 輻射強度の算出

ガイドに従い、次式により算出したところ、約 517.5 W/m<sup>2</sup>とした。

$$E = R_f \cdot \phi = 50000 \times 0.01035 = 517.5 \quad (\text{W/m}^2)$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

(d) 燃焼継続時間の算出

ガイドに従い, 次式により算出したところ, 2323.1 s となり, 切り上げて約 2324 s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 7.21 / (46.6 \times 0.0000666) = 2323.1 \Rightarrow 2324 \text{ (s)}$$

$$\text{ここで, } v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.054}{810} = 0.000066667 \Rightarrow 0.0000666, \pi R^2 \doteq S = 46.6$$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s),

m : 質量低下速度 (kg/m<sup>2</sup>/s), ρ : 燃料密度 (kg/m<sup>3</sup>)

(e) 外壁温度の算出

「伝熱工学資料 第5版」に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて外壁温度分布を評価した。

$$T(x) - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T(x) : 表面から x(m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub> : 初期温度 (°C),

k : 熱伝導率 (W/m/K), κ : 温度拡散率 (κ = k / ρ C<sub>p</sub>) (m<sup>2</sup>/s),

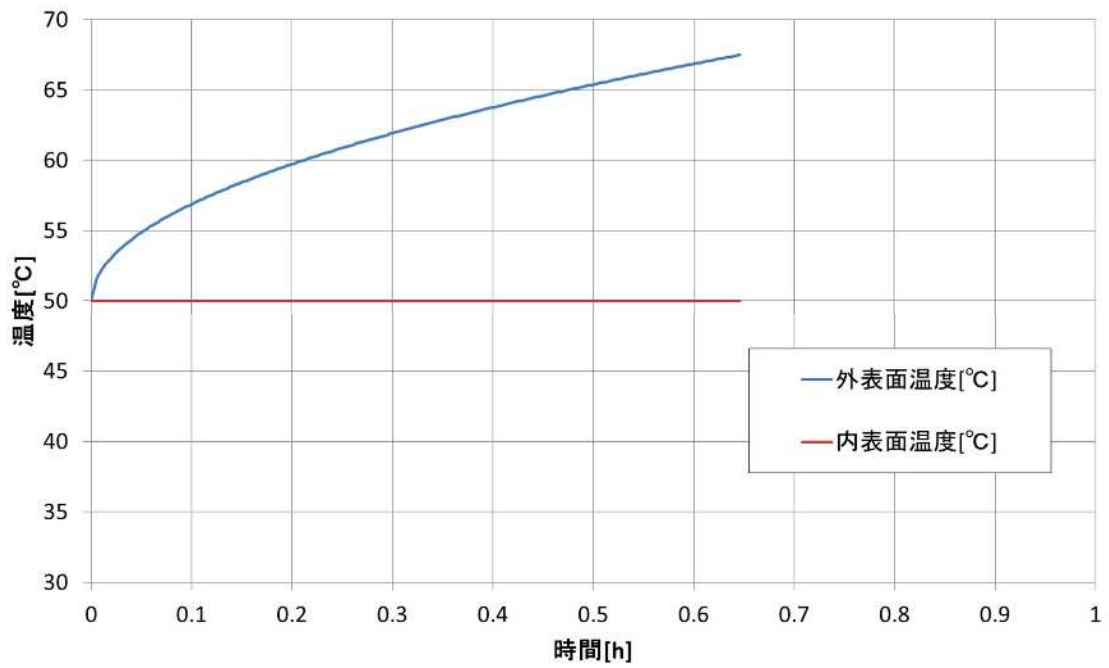
ρ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>), C<sub>p</sub> : 比熱 (J/kg/K)

(4) 貯蔵建屋への影響評価

自衛隊機又は米軍機 (基地-訓練空域間往復時) の墜落事故による火災に関して貯蔵建屋への影響評価を行ったところ, 建屋外壁の最高温度は約 68°C となり許容温度である 200°C を下回ることを確認した。

第 58 図に時間に対する温度変化を示す。





第 58 図 貯蔵建屋外壁温度変化（基地－訓練空域間往復時）

### 5.2.5 評価結果まとめ

以上，4つのカテゴリ別の評価結果一覧について，第31表に示す。

第31表 評価結果まとめ

評価項目	民間航空機 (計器飛行方式)	自衛隊機又は米 軍機 (訓練空域外高 高度飛行)	自衛隊機又は米 軍機 (訓練空域外そ 他の機種)	自衛隊機又は米 軍機 (基地－訓練空 域間往復時)
離隔距離(m)	469	319	73	53
燃焼半径(m)	14.928	11.357	3.768	3.852
形態係数	0.001973	0.002472	0.005217	0.01035
輻射強度(W/m <sup>2</sup> )	98.7	143.4	302.6	517.5
燃焼継続時間(s)	6677	5335	4969	2324
外壁温度(°C)	56	58	65	68

火災影響評価結果より，建屋外壁の表面温度が最高値となるものは，「自衛隊機又は米軍機(基地－訓練空域間往復時)」における68°Cであり，当該最高値においてもコンクリートの許容温度である200°C以下であることを確認した。

なお，この時の離隔距離は約53mとなったが，保守的に50m(事業変更許可申請書(平成26年1月15日申請)記載値)とした場合の外壁温度について評価した結果，輻射強度は581 kW/m<sup>2</sup>，外壁温度は約70°Cとなり許容温度200°C以下であることを併せて確認した。

## 6. 火災による金属キャスクへの影響について

### 6.1 評価の考え方

外部火災に関して、森林、敷地外危険物貯蔵施設、敷地内危険物貯蔵設備及び航空機墜落のそれぞれの要因に対して個別に評価を実施し、いずれも貯蔵建屋に影響のないことを確認したが、貯蔵建屋は自然換気構造であり、火災の影響によって建屋内の空気温度や流れの状態の変化が金属キャスクに影響を及ぼすことが考えられる。

輻射熱による建屋外壁温度評価以外に、各外部火災（森林、敷地外危険物貯蔵施設、敷地内危険物貯蔵設備及び航空機墜落）による建屋内空気温度の上昇量や金属キャスクの温度上昇量を算出し、金属キャスクの各部の温度と比較することで基本的安全機能に影響を及ぼすことのないことを確認する。評価対象とする各火災の評価結果については、それぞれ最も厳しい評価結果を用いる。火災により貯蔵建屋内の空気が加熱される過程及び温度や空気の流れの変化による金属キャスクの温度が上昇する過程については、以下が考えられる。

- ・貯蔵建屋外壁内表面からの熱伝達に起因する貯蔵建屋内空気温度上昇による金属キャスクの温度上昇
- ・熱気流の侵入に起因する貯蔵建屋内空気温度の上昇による金属キャスクの温度上昇
- ・貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合の金属キャスクの温度上昇

これらの過程についてそれぞれ建屋内空気温度の上昇量の評価を行い、上昇後の空気温度が金属キャスクに与える影響について評価を実施した。

また、金属キャスク各部材の評価基準について、第 32 表に示す。

第 32 表 金属キャスク各部の評価基準

評価部位	評価基準値 (°C)	設定根拠
胴，外筒，蓋	350	日本機械学会(JSME)設計・建設規格で定めている温度範囲の上限値を評価基準値として設定。
中性子遮蔽材	150	樹脂開発メーカーの技術資料，文献等を参考にしゃへい性能の健全性が維持される評価基準値として設定。
金属ガスケット	130	金属ガスケットの長期健全性に関する文献等から，長期間の閉じ込め機能が維持できる値として設定。
燃料被覆管	300	機械的特性の低下を防止する観点から，水素化物再配向及び照射硬化回復による機械的特性の低下が見られない制限温度として設定。

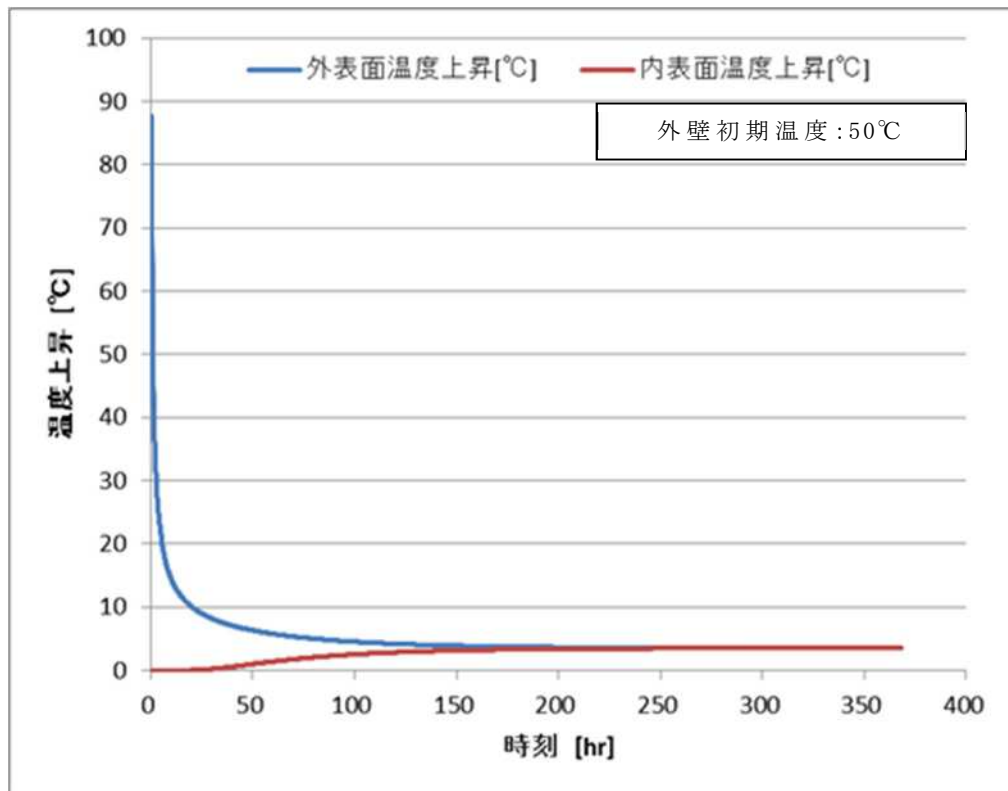
## 6.2 森林火災に伴う金属キャスクへの熱影響評価

### 6.2.1 貯蔵建屋外壁内表面からの熱伝達に起因する貯蔵建屋内空気温度上昇による金属キャスクへの影響

森林火災による火炎からの輻射熱により貯蔵建屋外壁温度が上昇し、外壁内表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の空気温度上昇を考える。

貯蔵建屋外壁は大きな熱容量を持っているため、貯蔵建屋外壁の外表面での温度上昇が内表面の温度に変化をもたらすまでには大きな時間遅れが伴う。外部火災による貯蔵建屋外壁への熱影響評価において、外壁温度が最も厳しい結果となった森林火災評価の発火点1(発火時刻 7:56)における外壁の温度変化を第59図に示す。建屋外壁の内表面の温度上昇は極めて緩やかであり、火災収束後の建屋外壁からの放熱を無視した評価でも、100時間以上の時間を経て最大でも5℃未満程度の上昇に留まっている。貯蔵建屋内空気への放熱を考慮しても貯蔵建屋内空気の温度上昇量も同程度と考えられる。

このため、外部火災の影響による外壁内表面温度上昇はわずかであることから、外壁内表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の空気温度上昇は無視できると考えられる。



第 59 図 森林火災による建屋外壁（外表面，内表面）温度上昇の時間変化（発火点 1（発火時刻 7:56））

### 6.2.2 熱気流の侵入に起因する貯蔵建屋内空気温度の上昇による金属キャスクへの影響

貯蔵建屋は自然換気構造であるため，森林火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により貯蔵建屋に向かうことが想定される。その場合，熱気流が給気口を通じて直接建屋内に侵入することで建屋内空気温度が上昇することが考えられるため，熱気流の影響による空気温度上昇についても評価を実施した。

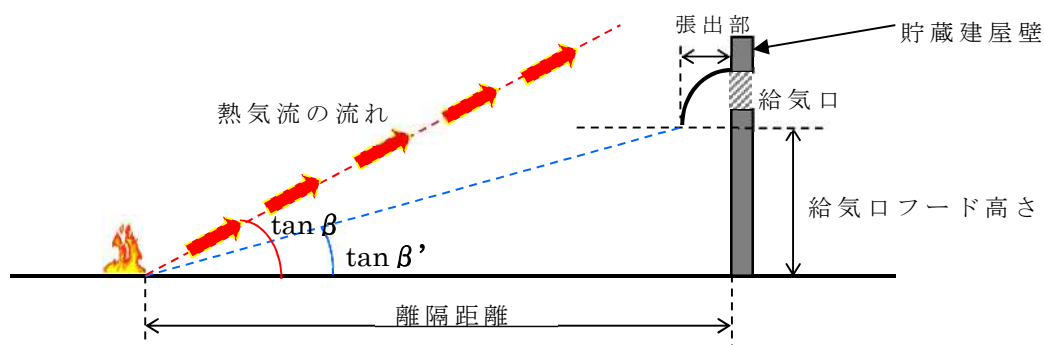
#### (1) 評価方針

火災源から発生した熱気流が風により直接給気口から侵入することで冷却空気入口温度が上昇する事象を想定する。

第 60 図に評価の概念図を示す。森林火災からの火災による熱気流の主軸傾き角 ( $\tan \beta$ ) が，火災発生源と給気口フード下端とを結ぶ直線の傾き角 ( $\tan \beta'$ ) より大きい場合は，熱気流は建屋上方へ拡散し建屋内空気温度への影響はないが，本評価においては保守的に熱気

流が直接給気口に当たる ( $\tan \beta = \tan \beta'$ ) 場合を想定し、その際の風速を設定する。

現実的には発火点の位置や上昇気流、また気象条件の影響も考慮すれば火災からの熱気流が全て給気口に到達し侵入することは考えられないが、本評価においては保守的に評価結果より得られた離隔距離に最大火線強度となる火災源を置き、発生する熱気流が直接給気口に侵入するような風速を設定して評価した。



第 60 図 評価概念図

## (2) 評価条件

### (a) 物性値

森林火災評価において作成した気象データの最高気温での空気の物性値 (35°C, 1 気圧) の値とする。

比熱 : 1.007 (kJ/kg/K)

密度 : 1.1463 (kg/m<sup>3</sup>)

### (b) 貯蔵建屋に関するデータ

- ・ 給気口フード高さ

6.7 (m)

- ・ 火炎から給気口フードまでの水平距離

給気口フードの張出しは 2 m であるため、火災影響評価による離隔距離より 2 m 減じた値となる。

22 - 2 = 20 (m)

- ・ 火災発生源と給気口フード位置を結ぶ直線の傾き ( $\tan \beta'$ )

$$\tan \beta' = 6.7/20 = 0.335$$

(c) 熱気流の主軸傾き角及び温度評価に係るパラメータ

・ 周囲空気温度 ( $T_0$ )

森林火災評価において作成した気象データの内最高気温を周囲空気温度とする。

$$T_0 = 34.7 \doteq 35 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

・ 風速 ( $U$ )

森林火災評価における最大火線強度の発生位置については、貯蔵建屋を取り囲む防火帯を含む非燃焼領域の外縁であり、建屋から 22 m 以上離隔している位置であるが、保守的に必要防火帯幅として算出した離隔距離 22 m を採用し、貯蔵建屋から 22 m 離れた地点で最大火線強度をもつ火災が発生したと想定し、この位置における火災による熱気流が給気口に直接当たるような風速を求めた。(第 60 図において  $\tan \beta = \tan \beta'$  となるときの風速) その結果、 $U = 3.72 \text{ (m/s)}$  となった。

(d) 熱源寸法 (D)

外壁温度が最大となった森林火災評価結果 (発火点 1 (発火時刻 7:56)) における燃焼面積から等価直径を算定する。

$$D = \sqrt{F' \cdot \pi \cdot R^2} = \sqrt{11.2782 \times \pi \times 0.4433333^2} = 2.64 \text{ (m)}$$

$$\text{円筒火炎個数}^{*1} : F' \text{ (個)} \quad (F' = 10/2R)$$

$$\text{燃焼半径}^{*2} : R \text{ (m)}$$

※1: 10m メッシュ内に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算定

※2: FARSITE 評価で得られた火炎長に 1/3 を乗じて算出した値

(e) 熱気流の主軸傾き角

佐賀の有風時の火災による熱気流の主軸傾き角式<sup>(7)</sup>を用いる。

$$\tan \beta = C_t \cdot \Lambda^{-k} \cdot Fr^{-\alpha}$$

$$Fr = U/\sqrt{D \cdot g}$$



ここで、

実験定数<sup>(7)</sup> :  $C_t (= 0.37)$  (-)

風速の無次元パラメータ :  $\Lambda = (U \cdot D^{1/3}) / (Q \cdot g / (C_p \cdot \rho \cdot T_0))^{1/3}$

フルード数 :  $Fr = U / \sqrt{D \cdot g}$  ( $D = 2.64$  (m))

重力加速度 :  $g (= 9.80665 \text{ m/s}^2)$

周囲空気温度 :  $T_0 (= 308.15 \text{ K})$

風速 :  $U \Rightarrow \tan \beta = C_t \cdot \Lambda^{-k} \cdot Fr^{-o} = \tan \beta'$  となる  $U$

密度 :  $\rho (= 1.1463 \text{ kg/m}^3)$

比熱 :  $C_p (= 1.007 \text{ kJ/kg/K})$

発生熱量 :  $Q$  (kW)

実験定数<sup>(7)</sup> :  $k (= 9/8)$

実験定数<sup>(7)</sup> :  $o (= -0.0975)$

### (f) 熱気流の主軸温度分布式

佐賀の有風時の火災による熱気流の主軸温度分布式<sup>(7)</sup>を用いる。

$$\Psi_{xm} \cdot \Lambda^s \cdot Fr^t = C_0 \quad \therefore \Psi_{xm} = C_0 / \Lambda^s \cdot Fr^t$$

$$\Psi_{xm} = \frac{\Delta \theta_m \cdot D^{1/3} \cdot X^{4/3}}{\left( \frac{Q^2 \cdot T_0}{C_p^2 \cdot \rho^2 \cdot g} \right)^{1/3}} \quad \therefore \Delta \theta_m = \frac{\Psi_{xm} \cdot \left( \frac{Q^2 \cdot T_0}{C_p^2 \cdot \rho^2 \cdot g} \right)^{1/3}}{D^{1/3} \cdot X^{4/3}} \quad (\text{K})$$

ここで、

温度上昇量 :  $\Delta \theta_m$  (K)

温度に関する無次元数 :  $\Psi_{xm}$

風下方向位置 :  $X (= 20 \text{ m})$

実験定数<sup>(7)</sup> :  $C_0 (= 1.32)$

実験定数<sup>(7)</sup> :  $s (= 1/2)$

実験定数<sup>(7)</sup> :  $t (= -0.8833)$

## (3) 評価結果

### (a) 発生熱量

FARSITE で得られた火炎輻射強度  $R_f^{*3}$  より火炎対流発散度を算出する。

火炎対流発散度 ( $I_{conv}$ ) = 反応強度 ( $I_R$ ) - 火炎輻射強度 ( $R_f$ )

得られた火炎対流発散度に燃焼面積を乗じて発生熱量を算出する。

$$Q = I_{conv} \cdot F' \cdot \pi \cdot R^2 \quad (\text{kW})$$

$$I_R = R_f / 0.377 \quad (0.377 : \text{米国 NFPA の係数(火炎輻射強度算出に用いた係数)})$$

$$\therefore I_{conv} = R_f \times (1 - 0.377) / 0.377 = 590.573 \quad (\text{kW/m}^2)$$

$$\begin{aligned} \therefore Q &= I_{conv} \cdot F' \cdot \pi \cdot R^2 = 590.573 \times 11.2782 \times \pi \times 0.4433333^2 \\ &= 4112.671 \quad (\text{kW}) \end{aligned}$$

※3: FARSITE 評価で得られた反応強度  $I_R$  に 0.377 を乗じて算出した値

(b) 熱気流の主軸傾き角

$$Fr = U / \sqrt{D \cdot g} = 3.72 / \sqrt{2.64 \cdot 9.80665} = 0.731$$

$$\begin{aligned} \Lambda &= (U \cdot D^{1/3}) / (Q \cdot g / (C_p \cdot \rho \cdot T_0))^{1/3} \\ &= (3.72 \cdot 2.64^{1/3}) / (4112.671 \cdot 9.80665 / (1.007 \cdot 1.1463 \cdot 308.15))^{1/3} \\ &= 1.062 \end{aligned}$$

$$\tan \beta = C_t \cdot \Lambda^{-k} \cdot Fr^{-o} = 0.37 \times 1.062^{-(9/8)} \times 0.731^{-(0.0975)} = 0.335$$

(c) 熱気流の主軸温度分布式

$$\Psi_{xm} = C_0 / \Lambda^s \cdot Fr^t = 1.32 / 1.062^{0.5} \cdot 0.731^{-0.8833} = 0.971$$

$$\begin{aligned} \Delta \theta_m &= \frac{\Psi_{xm} \cdot \left( Q^2 \cdot T_0 / C_p^2 \cdot \rho^2 \cdot g \right)^{1/3}}{D^{1/3} \cdot X^{4/3}} \\ &= \frac{0.971 \cdot \left( 4112.671^2 \cdot 308.15 / 1.007^2 \cdot 1.1463^2 \cdot 9.80665 \right)^{1/3}}{2.64^{1/3} \cdot 20^{4/3}} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 10 \text{ K} = 10 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

以上より，森林火災による熱気流の温度上昇は約 10℃と評価された。

現実には，火災源から発生した熱気流が貯蔵建屋の給気口に侵入するような風向及び風速の一定の条件が火災継続時間を通じて維持されるとは考えられないこと，また，貯蔵建屋は大きな空間体積を持っており熱気流の侵入から建屋内空気の温度上昇までには一定の時間遅れがあることから，火災による熱気流の温度上昇が直ちに建屋内空気の温度上昇に繋がることは考えられないが，森林火災により発生する熱気流の侵入による温度上昇量は最大でも約 10℃である。

ここで，第 33 表に定常状態（周囲空気温度 45℃）における金属キャスク各部の最大温度評価結果を示す。貯蔵建屋内空気温度が 10℃上昇したと仮定した場合 55℃となるが，定常状態における金属キャスク各部の温度(第 33 表の①)の値を上回らないことから，この値を超えて金属キャスクが周囲空気により熱せられることはなく，基本的安全機能に影響を与えるような金属キャスクの温度上昇をもたらすことはない。

第 33 表 金属キャスク各部の温度評価結果（最大値(℃)）

評価条件	一次蓋 金属ガス ケット	二次蓋 金属ガス ケット	一次 蓋	二次 蓋	外筒	胴	側部 レジ ン	燃料 被覆 管
①周囲空気温度 45℃の定常状 態(通常貯蔵 時)	89	85	96	85	113	142	128	259
②設計基準値	130	130	350	350	350	350	150	300
設計余裕(②-①)	41	45	254	265	237	208	22	41

### 6.2.3 貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合の金属キャスクへの影響

貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合として，現実には考えにくい金属キャスクの温度と周囲空気温度が同じとなり，建屋内のドラフト力が失われて金属キャスク表面における対流及び金属キャ

スク表面からの輻射が失われ断熱状態となることを仮定する。この場合、金属キャスク内の使用済燃料から発生する崩壊熱が全て金属キャスクの温度上昇に使われたものとして、金属キャスクの温度上昇を評価する。

金属キャスクが断熱状態となる時間を、森林火災評価において最も長い燃焼継続時間となった発火点 2 (発火時刻 11:00) における 540 秒間を保守的に 3 倍程度考慮して 1700 秒間と仮定すると、この間の金属キャスクの温度上昇  $\Delta T$  は次式で表される。

$$\Delta T = Q (\text{最大崩壊熱量}) \times t (\text{断熱時間}) \div C (\text{キャスクの熱容量})$$

$Q : 12.1 \text{ kW}$ ,  $t : 1700 \text{ s}$ ,  $C : 41850 \text{ kJ/K}$  (中性子遮へい材及び内部収納物を除く)

$$\therefore \Delta T = 12.1 \times 1700 \div 41850 = 0.4915 \approx 0.5 \text{ K} = 0.5 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

この温度上昇は、定常状態における金属キャスク温度の設計余裕 (第 33 表) に比べて非常に小さく、基本的安全機能に影響をもたらすような金属キャスクの温度上昇は考えられない。

### 6.3 敷地内危険物貯蔵設備の火災に伴う金属キャスクへの熱影響評価

#### 6.3.1 貯蔵建屋外壁内表面からの熱伝達に起因する貯蔵建屋内空気温度上昇による金属キャスクへの影響

6.2.1 のとおり、外部火災評価の内、貯蔵建屋外壁温度評価結果が最も厳しい結果となった森林火災（発火点 1（発火時刻 7:56））による熱影響でも貯蔵建屋外壁外表面温度 138℃に対し、外壁内表面温度は 5℃程度の上昇であった。

一方、敷地内危険物貯蔵設備の火災での貯蔵建屋外壁外表面温度評価で最も厳しい結果となったエンジン発電機の火災の熱影響による貯蔵建屋外壁外表面温度は 58℃で、内表面の温度上昇はほとんどなかった（第 44 図）。

したがって、森林火災（発火点 1（発火時刻 7:56））に包絡されるため、外壁内表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の空気温度上昇は無視できると考えられる。

#### 6.3.2 熱気流の侵入に起因する貯蔵建屋内空気温度の上昇による金属キャスクへの影響

貯蔵建屋は自然換気構造であるため、火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により貯蔵建屋に向かうことが想定される。その場合、熱気流が給気口を通じて直接建屋内に侵入することで建屋内空気温度が上昇することが考えられるため、熱気流の影響による空気温度上昇についても評価を実施した。ここでは、熱気流の給気口への侵入の可能性の観点から、貯蔵建屋からの距離が近く、かつ貯蔵建屋と同じ高さに設置されているエンジン発電機からの火災について評価を行った。また評価については、森林火災について評価した方法と同様の考え方にに基づき行った。

##### (1) 評価条件

- ・ 火炎から給気口フードまでの水平距離  
給気口フードの張り出し部が 2 m であることから,  $27.0 - 2.0 = 25.0$  (m)
- ・ 火災発生源と給気口フード位置を結ぶ直線の傾き ( $\tan \beta'$ )  
 $\tan \beta' = 6.7 / 25 = 0.2680 \Rightarrow 0.268$
- ・ 燃焼時発熱量 ( $\Delta H_{c, \text{eff}}$ ) : 44400 (kJ/kg) (NUREG-1805 に記載の値)
- ・ 質量低下速度 (m) : 0.044 (kg/m<sup>2</sup>/s) (NUREG-1805 に記載の値)
- ・ 燃焼面積 (S) : 4.97 (m<sup>2</sup>)
- ・ 熱源寸法 (D)  
燃焼面積から等価直径を算定する。(有効桁数小数点第 3 位で切り上げ)  
燃焼面積  $S = 4.97$  (m<sup>2</sup>) より  
$$D = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2.51555 \Rightarrow 2.52 \text{ (m)}$$
- ・ 風速 (U)  
熱気流が直接給気口にあたる風速として 6.34 (m/s) とした。

## (2) 評価結果

### (a) 発生熱量

燃焼時発熱量及び質量低下速度, 燃焼面積より次式を用いて発生熱量を算出する。

$$Q = (1 - \chi) \cdot \Delta H_{c, \text{eff}} \cdot S \cdot m \quad (\text{kW})$$

ここで,  $\chi$  は全発熱量のうち輻射として環境へ放射される熱量比 (放射分率) であり, 給気温度が保守的に評価されるように実験結果<sup>(8)</sup>から得られている最小値として 0.05 を採用した。算出した発生熱量は以下のとおり。

$$\begin{aligned} Q &= (1 - \chi) \cdot \Delta H_{c, \text{eff}} \cdot S \cdot m = (1 - 0.05) \times 44400 \times 4.97 \times 0.044 \\ &= 9223.923 \quad (\text{kW}) \end{aligned}$$

(b) 熱気流の主軸傾き角

$$Fr = U / \sqrt{D \cdot g} = 6.34 / \sqrt{2.52 \cdot 9.80665} = 1.275$$

$$\Lambda = (U \cdot D^{1/3}) / (Q \cdot g / (C_p \cdot \rho \cdot T_0))^{1/3}$$

$$= (6.34 \cdot 2.52^{1/3}) / (9223.923 \cdot 9.80665 / (1.007 \cdot 1.1463 \cdot 308.15))^{1/3}$$

$$= 1.362$$

$$\tan \beta = C_t \cdot \Lambda^{-k} \cdot Fr^{-o} = 0.37 \times 1.362^{-(9/8)} \times 1.275^{-(0.0975)} = 0.268$$

(c) 熱気流の主軸温度分布式

$$\Psi_{xm} = C_0 / \Lambda^s \cdot Fr^t = 1.32 / 1.362^{0.5} \cdot 1.275^{-0.8833} = 1.402$$

$$\Delta \theta_m = \frac{\Psi_{xm} \cdot \left( \frac{Q^2 \cdot T_0}{C_p^2 \cdot \rho^2 \cdot g} \right)^{1/3}}{D^{1/3} \cdot X^{4/3}}$$

$$= \frac{1.402 \cdot \left( \frac{9223.923^2 \cdot 308.15}{1.007^2 \cdot 1.1463^2 \cdot 9.80665} \right)^{1/3}}{2.52^{1/3} \cdot 25^{4/3}} \Rightarrow 18 \text{ K} = 18 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

以上より，エンジン発電機からの火災による熱気流の温度上昇は約 18℃と評価された。

現実には，火災源から発生した熱気流が貯蔵建屋の給気口に侵入するような風向及び風速の一定の条件が火災継続時間を通じて維持されるとは考えられないこと，また，貯蔵建屋は大きな空間体積を持っており熱気流の侵入から建屋内空気の温度上昇までには一定の時間遅れがあることから，火災による熱気流の温度上昇が直ちに建屋内空気の温度上昇に繋がることは考えられないが，敷地内危険物貯蔵設備の火災により発生する熱気流の侵入による温度上昇量は最大でも約 18℃である。

ここで，貯蔵建屋内空気温度が定常状態（周囲空気温度 45℃）から 18℃上昇したと仮定した場合 63℃となるが，定常状態における金属キャスク各部の温度（第 33 表の①）の値を上回らないことから，この値を超えて金属キャスクが周囲空気により熱せられることはなく，基本

的安全機能に影響を与えるような金属キャスクの温度上昇をもたらす  
ことはないと考える。



### 6.3.3 貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合の金属キャスクへの影響

貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合として、現実には考えにくいですが金属キャスクの温度と周囲空気温度が同じとなり、建屋内のドラフト力が失われて金属キャスク表面における対流及び金属キャスク表面からの輻射が失われ断熱状態となることを仮定する。この場合、金属キャスク内の使用済燃料から発生する崩壊熱が全て金属キャスクの温度上昇に使われたものとして、金属キャスクの温度上昇を評価する。

金属キャスクが断熱状態となる時間を、燃焼継続時間が最大となるエンジン発電機火災の燃焼継続時間 4060 秒間を保守的に 3 倍程度考慮して 13000 秒間と仮定すると、この間の金属キャスクの温度上昇  $\Delta T$  は次式で表される。

$$\Delta T = Q (\text{最大崩壊熱量}) \times t (\text{断熱時間}) \div C (\text{キャスクの熱容量})$$

$Q : 12.1 \text{ kW}, t : 13000 \text{ s}, C : 41850 \text{ kJ/K}$  (中性子遮へい材及び内部収納物を除く)

$$\therefore \Delta T = 12.1 \times 13000 \div 41850 = 3.759 \approx 3.8 \text{ K} = 3.8 (^{\circ}\text{C})$$

この温度上昇は、定常状態における金属キャスク温度の設計余裕 (第 33 表) に比べても小さく、基本的安全機能に影響をもたらすような金属キャスクの温度上昇は考えられない。

## 6.4 航空機墜落による火災に伴う金属キャスクへの熱影響評価

### 6.4.1 貯蔵建屋外壁内表面からの熱伝達に起因する貯蔵建屋内空気温度上昇による金属キャスクへの影響

6.2.1 のとおり、外部火災評価の内、貯蔵建屋外壁温度評価結果が最も厳しい結果となった森林火災（発火点 1（発火時刻 7:56））による熱影響でも貯蔵建屋外壁外表面温度 138℃に対し、外壁内表面温度は 5℃程度の上昇であった。

一方、航空機墜落による火災での貯蔵建屋外壁外表面温度評価で最も厳しい結果となった「自衛隊機又は米軍機（基地－訓練空域往復時）」の火災の熱影響による貯蔵建屋外壁外表面温度は 68℃で、内表面の温度上昇はほとんどなかった（第 58 図）。

したがって、森林火災（発火点 1（発火時刻 7:56））に包絡されるため、外壁内表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の空気温度上昇は無視できると考えられる。

### 6.4.2 熱気流の侵入に起因する貯蔵建屋内空気温度の上昇による金属キャスクへの影響

貯蔵建屋は自然換気構造であるため、火災により発生する熱気流が周囲の風況の影響により貯蔵建屋に向かうことが想定される。その場合、熱気流が給気口を通じて直接建屋内に侵入することで建屋内空気温度が上昇することが考えられるため、熱気流の影響による空気温度上昇についても評価を実施した。ここでは、熱気流の給気口への侵入の可能性の観点から、貯蔵建屋からの距離が近い「自衛隊機又は米軍機（基地－訓練空域間往復時）」について評価を行った。また評価については、森林火災について評価した方法と同様の考え方にに基づき行った。

#### (1) 評価条件

- ・火災から給気口フードまでの水平距離

給気口フードの張り出し部が 2 m であることから、

$$50.0 - 2.0 = 48.0 \text{ (m)}$$

- ・ 火災発生源と給気口フード位置を結ぶ直線の傾き ( $\tan \beta'$ )  
$$\tan \beta' = 6.7/48 = 0.1395 \Rightarrow 0.140$$
- ・ 燃焼時発熱量 ( $\Delta H_{c, \text{eff}}$ ) : 43000 (kJ/kg) (NUREG-1805 に記載の値)
- ・ 質量低下速度 (m) : 0.05 (kg/m<sup>2</sup>/s) (NUREG-1805 に記載の値)
- ・ 燃焼面積 (S) : 46.6 (m<sup>2</sup>)
- ・ 熱源寸法 (D)

燃焼面積から等価直径を算定する。(有効桁数小数点第 3 位で切り上げ)

$$\text{燃焼面積 } S = 46.6 \text{ (m}^2\text{) より}$$

$$D = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}} = 7.7028 \Rightarrow 7.71 \text{ (m)}$$

- ・ 風速 (U)

熱気流が直接給気口にあたる風速として 18.08 (m/s) とした。

## (2) 評価結果

### (a) 発生熱量

燃焼時発熱量及び質量低下速度、燃焼面積より次式を用いて発生熱量を算出する。

$$Q = (1 - \chi) \cdot \Delta H_{c, \text{eff}} \cdot S \cdot m \quad (\text{kW})$$

ここで、 $\chi$  は全発熱量のうち輻射として環境へ放射される熱量比 (放射分率) であり、給気温度が保守的に評価されるように実験結果<sup>(8)</sup> から得られている最小値として 0.05 を採用した。算出した発生熱量は以下のとおり。

$$\begin{aligned} Q &= (1 - \chi) \cdot \Delta H_{c, \text{eff}} \cdot S \cdot m = (1 - 0.05) \times 43000 \times 46.6 \times 0.054 \\ &= 102794.940 \quad (\text{kW}) \end{aligned}$$

### (b) 熱気流の主軸傾き角

$$Fr = U / \sqrt{D \cdot g} = 18.08 / \sqrt{7.71 \cdot 9.80665} = 2.079$$

$$\Lambda = (U \cdot D^{1/3}) / (Q \cdot g / (C_p \cdot \rho \cdot T_0))^{1/3}$$

$$= (18.08 \cdot 7.71^{1/3}) / (102794.940 \cdot 9.80665 / (1.007 \cdot 1.1463 \cdot 308.15))^{1/3}$$

$$= 2.524$$

$$\tan \beta = C_t \cdot \Lambda^{-k} \cdot Fr^{-o} = 0.37 \times 2.524^{-(9/8)} \times 2.079^{-(0.0975)} = 0.140$$

(c) 熱気流の主軸温度分布式

$$\Psi_{xm} = C_0 / \Lambda^s \cdot Fr^t = 1.32 / 2.524^{0.5} \cdot 2.079^{-0.8833} = 1.586$$

$$\Delta \theta_m = \frac{\Psi_{xm} \cdot \left( \frac{Q^2 \cdot T_0}{C_p^2 \cdot \rho^2 \cdot g} \right)^{1/3}}{D^{1/3} \cdot X^{4/3}}$$

$$= \frac{1.586 \cdot \left( \frac{102794.94^2 \cdot 308.15}{1.007^2 \cdot 1.1463^2 \cdot 9.80665} \right)^{1/3}}{7.71^{1/3} \cdot 48^{4/3}}$$

$$\Rightarrow 29 \text{ K} = 29 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

以上より、航空機墜落に伴う火災による熱気流の温度上昇は約29°Cと評価された。

現実には、火災源から発生した熱気流が貯蔵建屋の給気口に侵入するような風向及び風速の一定の条件が火災継続時間を通じて維持されるとは考えられないこと、また、貯蔵建屋は大きな空間体積を持っており熱気流の侵入から建屋内空気の温度上昇までには一定の時間遅れがあることから、火災による熱気流の温度上昇が直ちに建屋内空気の温度上昇に繋がることは考えられないが、航空機墜落に伴う火災により発生する熱気流の侵入による温度上昇量は最大でも約28°Cである。

ここで、貯蔵建屋内空気温度が定常状態（周囲空気温度45°C）から29°C上昇したと仮定した場合74°Cとなるが、定常状態における金属キャスク各部の温度（第33表の①）の値を上回らないことから、この値を超えて金属キャスクが周囲空気により熱せられることはなく、基本的な安全機能に影響を与えるような金属キャスクの温度上昇

をもたらすことはないと考え。

#### 6.4.3 貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合の金属キャスクへの影響

貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合として、現実には考えにくいですが金属キャスクの温度と周囲空気温度が同じとなり、建屋内のドラフト力が失われて金属キャスク表面における対流及び金属キャスク表面からの輻射が失われ断熱状態となることを仮定する。この場合、金属キャスク内の使用済燃料から発生する崩壊熱が全て金属キャスクの温度上昇に使われたものとして、金属キャスクの温度上昇を評価する。

金属キャスクが断熱状態となる時間を、燃焼継続時間が最大となる「①民間航空機（計器飛行方式）」の燃焼継続時間 6677 秒間を保守的に 3 倍程度考慮して 21000 秒間と仮定すると、この間のキャスクの温度上昇  $\Delta T$  は次式で表される。

$$\Delta T = Q (\text{最大崩壊熱量}) \times t (\text{断熱時間}) \div C (\text{キャスクの熱容量})$$

$Q : 12.1 \text{ kW}$ ,  $t : 21000 \text{ s}$ ,  $C : 41850 \text{ kJ/K}$  (中性子遮へい材及び内部収納物を除く)

$$\therefore \Delta T = 12.1 \times 21000 \div 41850 = 6.072 \approx 6.1 \text{ K} = 6.1 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

この温度上昇は、定常状態における金属キャスク温度の設計余裕（第 33 表）に比べても小さく、基本的安全機能に影響をもたらすような金属キャスクの温度上昇は考えられない。

## 7. 火災の重畳による影響評価について

### 7.1 評価の考え方

火災の重畳については、貯蔵施設敷地外における火災どうし及び貯蔵施設敷地内における火災どうしがそれぞれ同時に発生した場合を考慮する。このため、敷地外については森林火災と近隣の産業施設等の火災の重畳、敷地内については敷地内危険物貯蔵設備と航空機墜落による火災の重畳についてそれぞれ評価を行った。

### 7.2 森林火災と近隣の敷地外危険物貯蔵施設の火災の重畳による影響評価

森林火災評価における発火点と、近隣の敷地外危険物貯蔵所の立地点は貯蔵施設からの方位が異なるため、森林火災の誘発による近隣の敷地外危険物貯蔵所の火災は考えにくいだが、偶発的にこれらの火災が重畳して発生した場合の影響について考察を行った。

#### 7.2.1 火災による貯蔵建屋外壁への影響及び加熱された貯蔵建屋外壁内表面からの熱伝達

森林火災の場合については、最大で外壁外表面温度は138℃となり、温度上昇量は約90℃となったが、外壁内表面温度の上昇は極めて緩やかであり、貯蔵建屋外壁内表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の空気温度上昇についてはほとんど無視できる。

一方、敷地外危険物貯蔵施設の火災については、輻射による貯蔵建屋外壁外表面温度の上昇は約3℃程度と、森林火災における評価結果に比べてはるかに小さい。

このことから、森林火災と敷地外危険物貯蔵施設の火災を重畳させた場合でも、その影響については森林火災単独の場合とほぼ同様であり、貯蔵建屋外壁及び金属キャスクの基本的安全機能への影響は無視できる。

### 7.2.2 熱気流の侵入に起因する貯蔵建屋内空気温度の上昇による金属キャスクへの影響

火災による熱気流が給気口を通じて直接建屋内に侵入することで建屋内空気温度が上昇することが考えられるが、森林火災の場合については熱気流による温度上昇量を約 10 °C と評価しており、熱気流の侵入による貯蔵建屋内の空気温度の上昇がこれを上回ることはない。

一方、敷地外危険物貯蔵施設については、評価対象施設の貯蔵建屋からの離隔距離は約 1 km と遠く離れており、この場所から発生した熱気流が直接給気口に当たるような状況は想定しにくく影響はない。

このことから、火災により生じる熱気流の給気口からの侵入について、森林火災と敷地外危険物貯蔵施設の火災を重畳させても、森林火災単独の場合における影響を上回らないと考えられる。

以上より、森林火災と敷地外危険物貯蔵施設の火災を重畳させた場合でも、影響については森林火災単独の場合とほぼ同様であり、金属キャスクのもつ基本的安全機能への影響はない。



### 7.3 敷地内危険物貯蔵設備の火災と航空機墜落による火災の重畳による影響評価

敷地内危険物貯蔵設備の火災と航空機墜落による火災に対する影響評価についても、それぞれ個別の評価においていずれも貯蔵建屋への影響はないことを確認しているが、これらの事象が重畳した場合個別の評価結果より厳しい結果となることが予測されるため、重畳による評価を実施した。評価対象については、航空機墜落、及び敷地内危険物貯蔵設備による火災とも、最も厳しい評価結果となった下記事象を採用した。

- ・敷地内危険物貯蔵設備による火災：エンジン発電機
- ・航空機墜落による火災：自衛隊機又は米軍機（基地-訓練空域往復時）（対象機種：UH-60J）

上記において、航空機墜落による火災の評価結果より離隔距離が約53 mであるのに対し、エンジン発電機の設置位置（離隔距離）は約27 mであることから、航空機が直接エンジン発電機上に墜落することは考えにくい。このことから、重畳の状況としては航空機の墜落により発生した火災がエンジン発電機の火災を誘発することにより重畳火災となった場合の影響評価について実施した。航空機墜落による火災における離隔距離については保守的に事業許可申請書記載値である50 mで評価を行った。

#### 7.3.1 貯蔵建屋外壁温度の影響評価

##### (1) 火災発生源に関する入力データ

- ・エンジン発電機による火災

燃料の種類：軽油及び潤滑油であるが、保守性を考慮してすべて軽油とみなした。

燃料量：軽油 0.99 (kℓ) + 潤滑油 0.041 (kℓ) = 1.031 (kℓ)

火災輻射強度：42000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書Bの軽油の値

質量低下速度：0.044 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の Diesel Oil の値

燃料密度：860 (kg/m<sup>3</sup>) ※JIS K 2204-2007

燃焼面積：4.97 (m<sup>2</sup>) ※エンジン発電機の全長×全幅

・航空機墜落による火災

想定機種：UH-60J

燃料の種類：JP-5

燃料量：7.21 (kℓ) ※(最大離陸重量－空虚重量)／燃料密度

火炎輻射強度：50000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド附属書Bの灯油の値

質量低下速度：0.054 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の JP-5 の値

燃料密度：810 (kg/m<sup>3</sup>) ※NUREG-1805 の JP-5 の値

燃焼面積：46.6 (m<sup>2</sup>) ※全長×全幅

### 7.3.2 貯蔵建屋に関する入力データ

建屋からの離隔距離：エンジン発電機による火災 27 (m)

航空機墜落による火災 50 (m)

外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料 第5版の石灰岩コンクリートの値

### 7.3.3 評価方法

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」を参考とし、評価を実施した。

- ・建屋外壁温度は、森林火災評価と同様、一次元非定常熱伝導方程式を差分法により解くことで評価した。
- ・航空機が墜落し火災が発生することによって、発電機の燃料タンクの火災が誘発される状況を考慮するにあたり、以下の3ケースについて考察した。

ケース1：航空機とエンジン発電機が同時に燃焼開始する場合

ケース 2 : 航空機の燃料の半分が燃焼後, エンジン発電機が燃焼を開始する場合

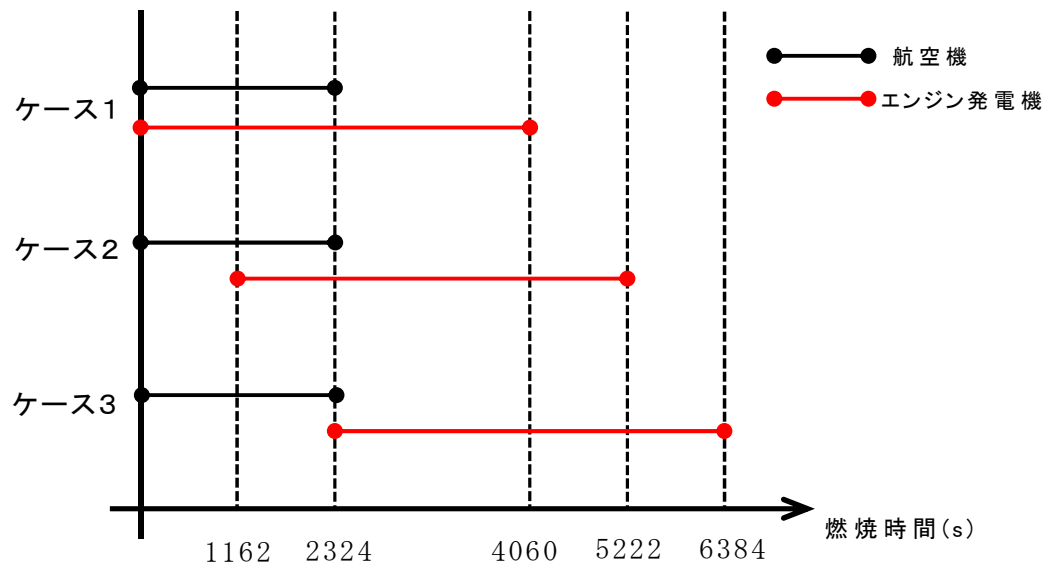
ケース 3 : 航空機の燃料が燃え尽きた後, 同時にエンジン発電機が燃焼を開始する場合

航空機墜落による火災, 及びエンジン発電機による火災評価結果における輻射強度と燃焼継続時間について第 34 表に示す。

第 34 表 エンジン発電機及び航空機墜落による火災評価結果

	輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )	燃焼継続時間 (s)
エンジン発電機による火災	178.4	4060
航空機墜落による火災	581.0	2324
エンジン発電機 + 航空機	759.4	—

また, 2つの火災の燃焼時間の関係を表した模式図について第 61 図に示す。



第 61 図 エンジン発電機及び航空機墜落による火災における  
燃焼時間の模式図

各ケースにおける燃焼経過時間と輻射強度の関係については第 35 表のとおりである。各ケースにおける貯蔵建屋外壁温度評価結果は第 62 図のとおりである。

第 35 表 各ケースにおける燃焼経過時間と輻射強度の関係

(ケース 1)

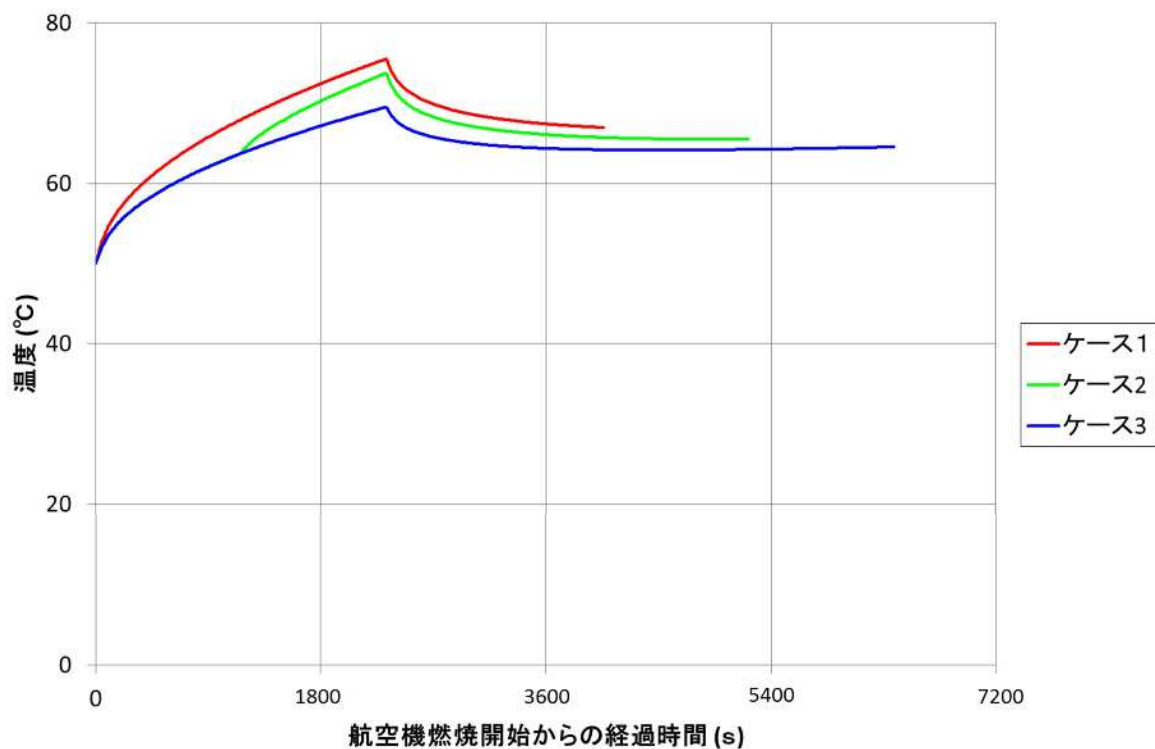
燃焼経過時間 (s)	輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )
0～2324	759.4
2324～4060	178.4
4060～	0

(ケース 2)

燃焼経過時間 (s)	輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )
0～1162	581.0
1162～2324	759.4
2324～5222	178.4
5222～	0

(ケース 3)

燃焼経過時間 (s)	輻射強度 (W/m <sup>2</sup> )
0～2324	581.0
2324～6384	178.4
6384～	0



第 62 図 火災重畳による建屋外壁の温度変化

第 62 図において、温度は外壁初期温度 50℃を加算した値であり、外壁温度の最大はいずれのケースも航空機墜落による火災の燃焼が終了した時間となっている。これらの最大値について、第 36 表に示す。

第 36 表 各ケースにおける貯蔵建屋外壁面最高温度

	温度 (°C)
ケース 1	76
ケース 2	74
ケース 3	70

以上の結果より、いずれのケースにおいてもコンクリートの許容温度である 200℃以下であることが確認でき、航空機墜落による火災と敷地内危険物貯蔵設備等の火災が重畳した場合においても貯蔵建屋外壁への影響はないことを確認した。

#### 7.3.4 貯蔵建屋外壁内表面からの熱伝達に起因する貯蔵建屋内空気温度上昇による金属キャスクへの影響

火炎からの輻射熱により貯蔵建屋外壁温度が上昇し、外壁内表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の空気温度上昇については、航空機墜落による火災単独の場合、エンジン発電機の火災単独の場合のいずれの場合も貯蔵建屋外壁の内表面の温度上昇はほとんど生じていない（第44図，第58図）。また、両者の重畳による外壁外表面温度は最大で約76℃であることから、6.2.1のとおり、森林火災（発火点1（発火時刻7:56））に包絡されるため、外壁内表面からの熱伝達による貯蔵建屋内の空気温度上昇は無視できる。

#### 7.3.5 熱気流の侵入に起因する貯蔵建屋内空気温度の上昇による金属キャスクへの影響

各火災単独の評価結果よりエンジン発電機による火災の離隔距離は27 m、航空機墜落による火災の離隔距離は50 mであることから、航空機がエンジン発電機上に墜落することは想定できないため、航空機の墜落により発生した火災がエンジン発電機の火災を誘発する場合を想定すると、発生した熱気流は給気口において混合されて流入する。混合された熱気流の温度は重畳することなく凡そ各発火源の熱気温度を平均した温度になると考えられるため、両火災の評価を合算した場合よりも発火源別の評価の方がより保守的な結果になる。

航空機墜落及びエンジン発電機による火災の熱気流が直接給気口フードに当たる流速での温度評価を実施したところ、航空機火災の温度上昇のほうが大きかった。そこで、エンジン発電機についても、航空機火災において給気口に直接当たる場合の流速で計算を実施した。

##### (1) 評価条件

##### (a) 火炎から給気口フードまでの水平距離

給気口フードの張り出し部が 2 m であることから

- ・ 航空機 :  $50.0 - 2.0 = 48.0$  (m)
- ・ エンジン発電機 :  $27.0 - 2.0 = 25.0$  (m)

(b) 火災発生源と給気口フード位置を結ぶ直線の傾き ( $\tan \beta'$ )

- ・ 航空機 :  $\tan \beta' = 6.7/48 = 0.1395 \Rightarrow 0.140$
- ・ エンジン発電機 :  $\tan \beta' = 6.7/25 = 0.2680 \Rightarrow 0.268$

(c) 燃焼時発熱量 ( $\Delta H_{c, \text{eff}}$ )

- ・ 航空機 : 43000 (kJ/kg) (NUREG-1805 に記載の値)
- ・ エンジン発電機 : 44400 (kJ/kg) (NUREG-1805 に記載の値)

(d) 質量低下速度 (m)

- ・ 航空機 : 0.054 (kg/m<sup>2</sup>/s) (NUREG-1805 に記載の値)
- ・ エンジン発電機 : 0.044 (kg/m<sup>2</sup>/s) (NUREG-1805 に記載の値)

(e) 燃焼面積 (S)

- ・ 航空機 : 46.6 (m<sup>2</sup>)
- ・ エンジン発電機 : 4.97 (m<sup>2</sup>)

(f) 熱源寸法 (D)

燃焼面積から等価直径を算定する。(有効桁数小数点第 3 位で切り上げ)

- ・ 航空機 : 燃焼面積  $S = 46.6$  (m<sup>2</sup>) より

$$D = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}} = 7.7028 \Rightarrow 7.71 \text{ (m)}$$

- ・ エンジン発電機 : 燃焼面積  $S = 4.97$  (m<sup>2</sup>) より

$$D = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2.51555 \Rightarrow 2.52 \text{ (m)}$$

(g) 風速 (U)

評価結果の厳しくなった航空機の主軸が直接給気口にあたる 18.08 (m/s) とした。

(2) 評価結果



(a) 発生熱量

燃焼時発熱量及び質量低下速度，燃焼面積より次式を用いて発生熱量を算出する。

$$Q=(1-\chi)\cdot\Delta H_{c,eff}\cdot S\cdot m \quad (\text{kW})$$

ここで， $\chi$  は全発熱量のうち輻射として環境へ放射される熱量比（放射分率）であり，給気温度が保守的に評価されるように実験結果<sup>(8)</sup>から得られている最小値として 0.05 を採用した。算出した発生熱量は以下のとおり。

・ 航空機：

$$\begin{aligned} Q_1 &= (1-\chi)\cdot\Delta H_{c,eff}\cdot S\cdot m = (1-0.05)\times 43000\times 46.6\times 0.054 \\ &= 102794.940 \quad (\text{kW}) \end{aligned}$$

・ エンジン発電機

$$\begin{aligned} Q_2 &= (1-\chi)\cdot\Delta H_{c,eff}\cdot S\cdot m = (1-0.05)\times 44400\times 4.97\times 0.044 \\ &= 9223.923 \quad (\text{kW}) \end{aligned}$$

(b) 熱気流の主軸傾き角

・ 航空機

$$\begin{aligned} Fr &= U/\sqrt{D\cdot g} = 18.08/\sqrt{7.71\cdot 9.80665} = 2.079 \\ \Lambda &= (U\cdot D^{1/3})/(Q_1\cdot g/(C_p\cdot \rho\cdot T_0))^{1/3} \\ &= (18.08\cdot 7.71^{1/3})/(102794.940\cdot 9.80665/(1.007\cdot 1.1463\cdot 308.15))^{1/3} \\ &= 2.524 \end{aligned}$$

$$\tan \beta = C_t\cdot \Lambda^{-k}\cdot Fr^{-o} = 0.37\times 2.524^{-(9/8)}\times 2.079^{-(0.0975)} = 0.140$$

・ エンジン発電機

$$\begin{aligned} Fr &= U/\sqrt{D\cdot g} = 18.08/\sqrt{2.52\cdot 9.80665} = 3.637 \\ \Lambda &= (U\cdot D^{1/3})/(Q_2\cdot g/(C_p\cdot \rho\cdot T_0))^{1/3} \\ &= (18.08\cdot 2.52^{1/3})/(9223.923\cdot 9.80665/(1.007\cdot 1.1463\cdot 308.15))^{1/3} \\ &= 3.883 \end{aligned}$$

$$\tan \beta = C_t\cdot \Lambda^{-k}\cdot Fr^{-o} = 0.37\times 3.883^{-(9/8)}\times 3.637^{-(0.0975)} = 0.091$$

(c) 熱気流の主軸温度分布式

・ 航空機

$$\Psi_{xm} = C_0 / \Lambda^s \cdot Fr^t = 1.32 / 2.524^{0.5} \cdot 2.079^{-0.8833} = 1.586$$

$$\Delta \theta_m = \frac{\Psi_{xm} \cdot \left( Q_1^2 \cdot T_0 / C_p^2 \cdot \rho^2 \cdot g \right)^{1/3}}{D^{1/3} \cdot X^{4/3}}$$
$$= \frac{1.586 \cdot \left( 102794.94^2 \cdot 308.15 / 1.007^2 \cdot 1.1463^2 \cdot 9.80665 \right)^{1/3}}{7.71^{1/3} \cdot 48^{4/3}}$$

$$\Rightarrow 29 \text{ K} = 29 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

・ エンジン電機

$$\Psi_{xm} = C_0 / \Lambda^s \cdot Fr^t = 1.32 / 3.883^{0.5} \cdot 3.637^{-0.8833} = 2.096$$

$$\Delta \theta_m = \frac{\Psi_{xm} \cdot \left( Q_2^2 \cdot T_0 / C_p^2 \cdot \rho^2 \cdot g \right)^{1/3}}{D^{1/3} \cdot X^{4/3}}$$
$$= \frac{2.096 \cdot \left( 9223.923^2 \cdot 308.15 / 1.007^2 \cdot 1.1463^2 \cdot 9.80665 \right)^{1/3}}{2.52^{1/3} \cdot 25^{4/3}}$$

$$\Rightarrow 27 \text{ K} = 27 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

以上の結果から，エンジン発電機火災と航空機墜落が重畳した場合の熱気流の温度上昇は最大で約 29℃であり，熱気流の侵入による貯蔵建屋内の空気温度の上昇がこれを上回ることはない。

### 7.3.6 貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合の金属キャスクへの影響

貯蔵建屋内の空気温度が外部火災により上昇した場合、金属キャスクへの熱影響として、①金属キャスクが高温に晒されることにより金属キャスクの温度が上昇する、②貯蔵建屋内の空気の流れが変化することにより金属キャスクの除熱状態が変化し、金属キャスクの温度が上昇する、の2つの影響が考えられる。

金属キャスクの除熱は、金属キャスク表面からの輻射、及び金属キャスク表面における貯蔵建屋内空気の対流により行われているが、建屋外壁からの熱伝達による外壁内表面からの輻射や熱気流の侵入により貯蔵建屋内の空気温度が極端に上昇した場合、熱の流れが逆転し金属キャスクが加熱される可能性が考えられる。

前項で評価したとおり、想定される火災の重畳に伴う貯蔵建屋内空気の温度上昇は最大でも29℃程度であり、周囲空気温度が29℃上昇したと仮定した場合74℃となるが、定常状態における金属キャスク各部の温度（第33表の①）の値を上回らないことから、この値を超えて金属キャスクが周囲空気により熱せられることはなく、基本的安全機能に影響を与えるような金属キャスクの温度上昇をもたらすことはない。

また、貯蔵建屋内の空気の流れが変化した場合として、現実には考えにくい金属キャスクの温度と周囲空気温度が同じとなり、建屋内のドラフト力が失われて金属キャスク表面における対流及び金属キャスク表面からの輻射が失われ断熱状態となることを仮定する。この場合、金属キャスク内の使用済燃料から発生する崩壊熱が全て金属キャスクの温度上昇に使われたものとして、金属キャスクの温度上昇を評価する。

金属キャスクが断熱状態となる時間を、エンジン発電機火災（4060秒間）と航空機墜落に伴う火災のうち燃焼継続時間が最大となる場合（①民間航空機（計器飛行方式）による火災：6677秒間）で、燃焼継続時間の長い6672秒間を保守的に3倍程度考慮して21000秒間

と仮定すると，この間のキャスクの温度上昇  $\Delta T$  は次式で表される。

$$\Delta T = Q (\text{最大崩壊熱量}) \times t (\text{断熱時間}) \div C (\text{キャスクの熱容量})$$

$Q : 12.1 \text{ kW}$ ，  $t : 21000 \text{ s}$ ，  $C : 41850 \text{ kJ/K}$  (中性子遮へい材及び内部収納物を除く)

$$\therefore \Delta T = 12.1 \times 21000 \div 41850 = 6.072 \approx 6.1 \text{ K} = 6.1 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

この温度上昇は，定常状態における金属キャスク温度の設計余裕 (第 33 表) に比べても小さく，基本的安全機能に影響をもたらすような金属キャスクの温度上昇はない。

## 8. ばい煙及び有毒ガスの影響評価について

### 8.1 評価の考え方

外部火災により発生するばい煙及び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ことを考慮すると、ばい煙及び有毒ガスが貯蔵建屋の周辺に滞留する可能性は低いと考えられるが、万一ばい煙及び有毒ガスが貯蔵建屋内の侵入した際に、貯蔵建屋及び金属キャスクに与える影響について評価を実施する。

貯蔵建屋内には、金属キャスク以外に、金属キャスクを取扱う上で必要な各設備（天井クレーン、搬送台車等）やエリアモニタの検知器等の設備が存在するが、いずれもばい煙や有毒ガスによって金属キャスクの基本的安全機能に直接影響を及ぼす設備はなく、またポンプ等の電気機器も存在しない。建屋内に侵入したばい煙については、建屋の構造上長時間滞留することは考えにくく、金属キャスクを含む建屋内の各設備に大きな影響を与えることはないものと考えられる。また、短時間でもばい煙や有毒ガスの環境に晒された金属キャスクや各設備に対する長期的な影響についても、建屋内の状況の常時監視や毎日の巡視点検、及び定期的な設備の詳細点検・保守の実施により都度異常の有無を確認することができ、安全性を確保できるものと考えられる。

有毒ガスについては、外部火災により発生すると考えられる物質においては、IDLH\*対象物質である一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)等が考えられるが、これらは人体に対する影響を左右するものであり、また腐食性のある二酸化硫黄については、長時間の環境下に晒された場合貯蔵建屋内の検知器や電源端子箱等に影響を及ぼす可能性も考えられるが、通常の点検や保守で対処可能であることから、有毒ガスに対する影響評価に対しては考慮する必要はない。

また、建屋内で発生する火災に関し、ケーブル被覆管等の燃焼により塩化水素が発生する可能性があるが、金属キャスクに接続されるケーブルを含めキャスク周辺のケーブルについては難燃性ケーブルを使

用するため火災の可能性は低く，万一発火した場合においても建屋内に常備しているセルフエアセットや酸素ボンベ等の防護装置を装着の上迅速な消火活動が可能であることから，塩化水素ガスに関しても特に考慮する必要はない。

これより，貯蔵建屋内の金属キャスク以外の設備については外部火災に対する影響評価は考慮する必要はない。

\*:IDLH(Immediately Dangerous to Life of Health)

30分暴露によって生命及び健康に直ちに危険を及ぼす環境空気中の物質の濃度限度値，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。発電炉の安全審査においても，中央制御室の居住性への影響評価で対象とされている物質。

なお，事務建屋及び備品管理建屋の一部は従業員の執務のためのものであり，基本的安全機能を有する設備に対し直接操作を行うことにより当該機能を維持する設備は設置されておらず人員が常駐する必要はない。外部火災発生の際には，事務建屋内の人員は速やかに避難することで危険を回避することができることから，事務建屋については外部火災に対する影響評価について考慮する必要はないものとする。また，出入管理建屋，受変電設備建屋及び備品管理建屋については，いずれも常時人が常駐することではなく，また基本的安全機能を有する設備に対し直接操作を行うことにより当該機能を維持する設備は設置されていないため，外部火災に対する影響評価について考慮する必要はない。

## 8.4 影響評価結果

### 8.4.1 貯蔵建屋への影響評価

外部火災によるばい煙については貯蔵建屋の給排気口より侵入することが考えられるが，ばい煙の粒子径は一般的にはマイクロメートル( $\mu\text{m}$ )のオーダーであるため，外部からのばい煙等の付着により給排気口が閉塞される可能性は極めて低い。

また，貯蔵建屋の給気口の位置は地上高さ約6m，排気口の位置は地

上高さ約 23m であり，さらに給気口にフード，排気口に遮風板が設置されている。これらの設置高さについては，過去の気象観測記録による最大積雪量 170cm<sup>\*1</sup>，及び降下火砕物最大堆積層厚約 30cm<sup>\*2</sup>と比較しても十分高い位置にあり，ばい煙等を含む異物の堆積による給排気口の閉塞はない。

\*1：むつ特別地域気象観測所の積雪観測記録（1935年～2007年）における最大積雪量（1977年2月15日）

\*2：洞爺火山灰による最大堆積層厚  
（\*1, \*2とも「使用済燃料貯蔵事業許可申請書」添付書類八 記載値）

また，給排気口の開口寸法等の仕様について，第37表に示す。

第37表 貯蔵建屋給排気口の仕様

		開口寸法	仕様
給気口	貯蔵区域	幅約 4000mm × 高さ約 3500mm (片壁面あたり 12 箇所，計 24 箇所設置)	・防雪フード設置(防鳥網 φ 1.5mm × 20mm 格子，地上面からフード下端までの高さ約 6700mm)
	受入れ区域	幅計約 15000mm × 高さ約 3000mm	・防雪フード設置(防鳥網 φ 1.5mm × 20mm 格子，地上面からフード下端までの高さ約 6200mm)
排気口	貯蔵区域	幅約 8000mm × 高さ約 3000mm (片壁面あたり 12 箇所，計 24 箇所設置)	・遮風板設置(ガラリメッシュ約 30mm 幅，地上面から遮風板下端までの高さ約 22700mm)
	受入れ区域	幅計約 28000mm × 高さ約 1300mm	・遮風板設置(ガラリメッシュ約 30mm 幅，地上面から遮風板下端までの高さ約 19300mm)

#### 8.4.2 金属キャスクへの影響評価

建屋内に侵入したばい煙の熱による金属キャスクへの影響については，ばい煙の建屋内への侵入から短時間の場合は，建屋内の安全が確認でき次第速やかに金属キャスクやその他の設備の状況について点検を実施し，必要に応じて清掃等を実施することにより安全性を確保できる。

建屋内に侵入したばい煙，有毒ガスについては，建屋の構造上長時間滞留することは考えにくく，金属キャスクを含む建屋内の各設備に

大きな影響を与えることはないものと考えられる。また、短時間でもばい煙や有毒ガスの環境に晒された金属キャスクや各設備に対する長期的な影響についても、建屋内の状況の常時監視や毎日の巡視点検、及び定期的な設備の詳細点検・保守の実施により都度異常の有無を確認することができ、安全性を確保できることから、外部火災に対する二次的影響の評価についてはばい煙及び有毒ガスによる評価を実施することとする。

#### 8.4.2.1 金属キャスクの閉じ込め機能について

金属キャスクについては、放射性物質を限定された空間に閉じ込めるための以下の配慮がなされている。

- ① 蓋及び蓋貫通孔のシール部には長期間にわたって閉じ込め性能を維持する観点から耐熱性、耐食性を有し、耐久性の高い金属ガスケットを用いる。
- ② 金属キャスク本体を堅固な構造とし、蓋部は一次蓋、二次蓋の二重蓋構造とする。閉じ込め境界は、本体胴、一次蓋、バルブカバー及び金属ガスケットとする。また、本体胴、一次蓋、二次蓋、バルブカバー、圧力センサ及び金属ガスケットからなる空間を閉じ込め監視圧力境界とする。
- ③ 金属キャスク内部は負圧とし、蓋間空間はあらかじめ正圧とすることにより圧力障壁を設ける。
- ④ 蓋間空間の圧力を監視することにより、万一、いずれかの金属ガスケットに漏えいが生じた場合、閉じ込め機能低下が検出できる構造とする。この場合でも、金属キャスク内部の負圧は維持され、内部気体が直接大気中に放出されることはない。
- ⑤ 万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、蓋を追加装着できる構造を有すること等、閉じ込め機能の修復性を考慮する。

上記の配慮により金属キャスクは密封構造となっており、境界内

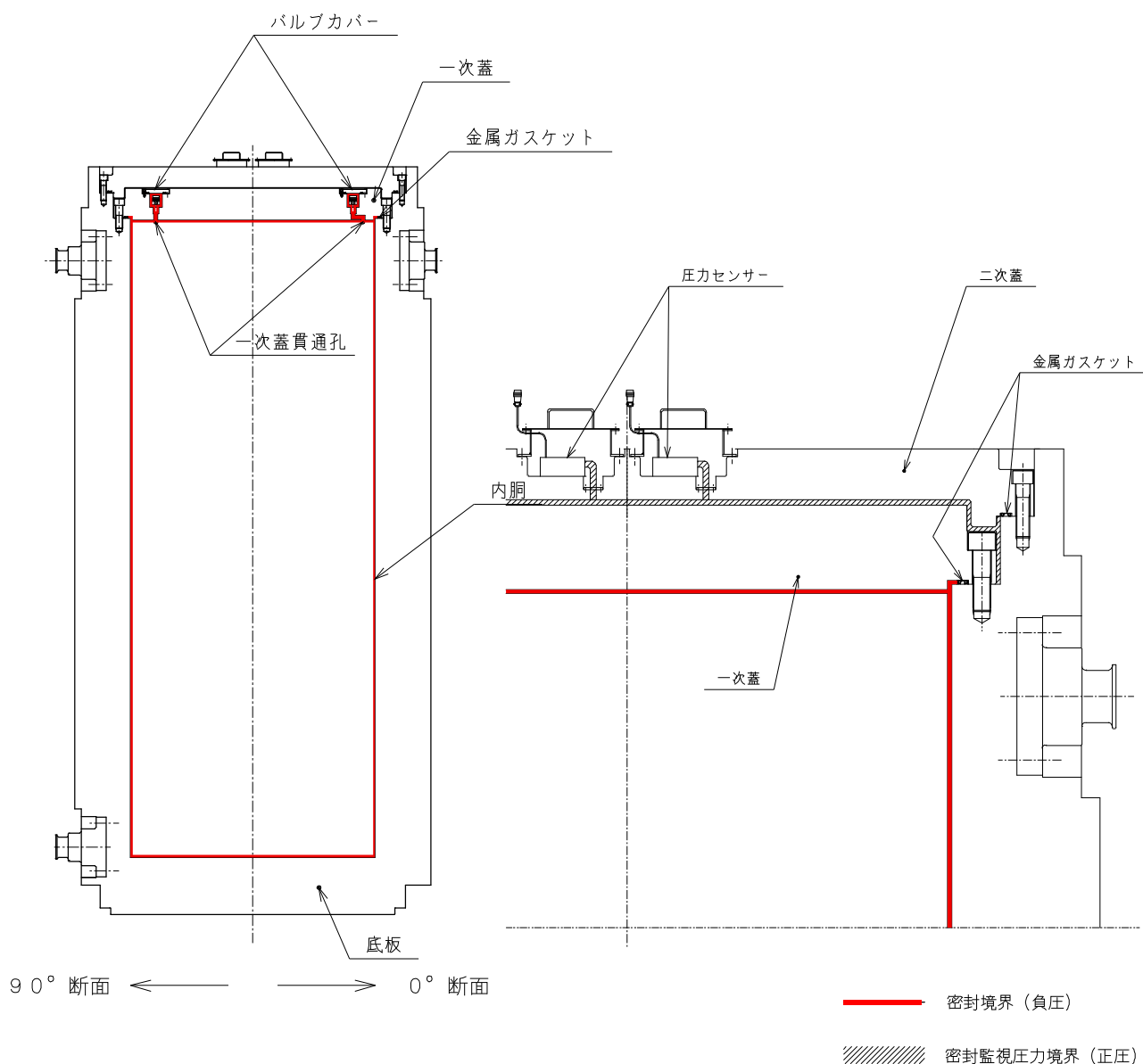


部を負圧にすることで閉じ込め機能を保っている。金属キャスクの密封境界部について第 63 図に示す。

金属キャスクへのばい煙、有毒ガスの影響については、金属キャスク本体へのばい煙の付着あるいは二次蓋と金属キャスク本体の間隙から侵入し二次蓋の金属ガスケットに付着することが考えられるが、金属キャスク本体については、外気に触れる部材において塗装等の防錆処置を施してあり、直接外気に触れる外筒、二次蓋等の塗装には、耐食性のほかに耐放射線性・汚染除去性・耐熱水性が求められる原子力プラントでは多く使用されているエポキシ樹脂系塗料が用いられている。同じく外気に触れる蓋ボルトには耐摩耗性に優れたメッキを施してある。このため、ばい煙や腐食性のある有毒ガスに対しても影響はないものとする。なお、塗装の防錆効果を考慮せずキャスク本体素材である炭素鋼の全面腐食を仮定して評価したところ、数 mm 程度（60 年間）の減肉であり実用上問題となる腐食量にはならない結果となったことを確認している。

また、貯蔵状態においては、二次蓋の上面について傷や汚れの対策を施すとともに、海塩粒子等の付着や異物の侵入を抑制する。

さらに、貯蔵期間中は定期的に外観検査を行い、塗装表面の都度清掃や、傷などがつき金属表面が露出した場合は補修塗装を行う計画であることから、ばい煙及び有毒ガスによる金属キャスクへの影響はないものと判断する。



第 63 図 金属キャスクの密封境界部

#### 8.4.2.2 三次蓋取付フランジ部の保護について

金属キャスクの貯蔵期間中は，下記の目的のため金属キャスクの二次蓋上部に対策を施すこととしている。自主的に実施する対策の例として，二次蓋上部への保護カバーの設置が考えられる。

- ①三次蓋取付フランジ部（ゴムOリングシール面と蓋取り合い面で構成）は，貯蔵後輸送時の密封境界を形成する部分であり，傷

防止及び防錆処理の観点から保護が必要である。

- ②二次蓋端面と本体側二次蓋取り合い面（嵌め合い部）の隙間への異物混入防止及び防錆処理面の保護，及び二次蓋ボルト取付部への異物混入防止とボルト着座部の保護のために，二次蓋ボルト部を覆うような構造とする。
- ③現場における定期点検において柔軟な確認作業が行えるよう，保護カバーを設置する場合は容易に取外しが可能な構造，寸法，重量とする。

以上の理由から，保護カバーを設置する場合，その材料には軽量のエンジニアリングプラスチックを使用することとしている。保護カバーの設置概要図について第 64 図に示す。三次蓋フランジ面に装着後は，ズレ防止のため三次蓋ボルト穴にピンを設置する。また，その取扱い性を考慮し人力でも取り扱えるように分割式とし，容易に取外しが可能な設計とする。

したがって，金属キャスクの保守点検時における二次蓋のボルト穴や三次蓋シール面の確認時においても，保護カバーがその実施に影響することはない。

使用を予定しているエンジニアリングプラスチックは，MC ナイロン（登録商標）という名称であるナイロン 6（ $\{CO-(CH_2)_5-NH\}_n$ ）と呼ばれるポリアミド樹脂であり，重合法及び成形方法を改善した大形素材で，機械的強度や耐油性に優れ汎用的に使用されている。以下に，その特徴を示す。

- ・耐熱性：連続使用温度 120℃ に対し，貯蔵中の蓋部温度は 90℃ 程度であることから耐熱性が問題となることはない。
- ・耐燃性：JIS による酸素指数(22%以下が可燃性)は 26%であり可燃性材ではなく，また ASTM D635（燃焼速度試験）において自己消火性\*を有する材料と定義されている。

(\*自己消火性：単独で燃焼を継続しない性質)

- ・耐放射線性：放射線照射量が  $10^4$  Gy を超えてから機械特性の変

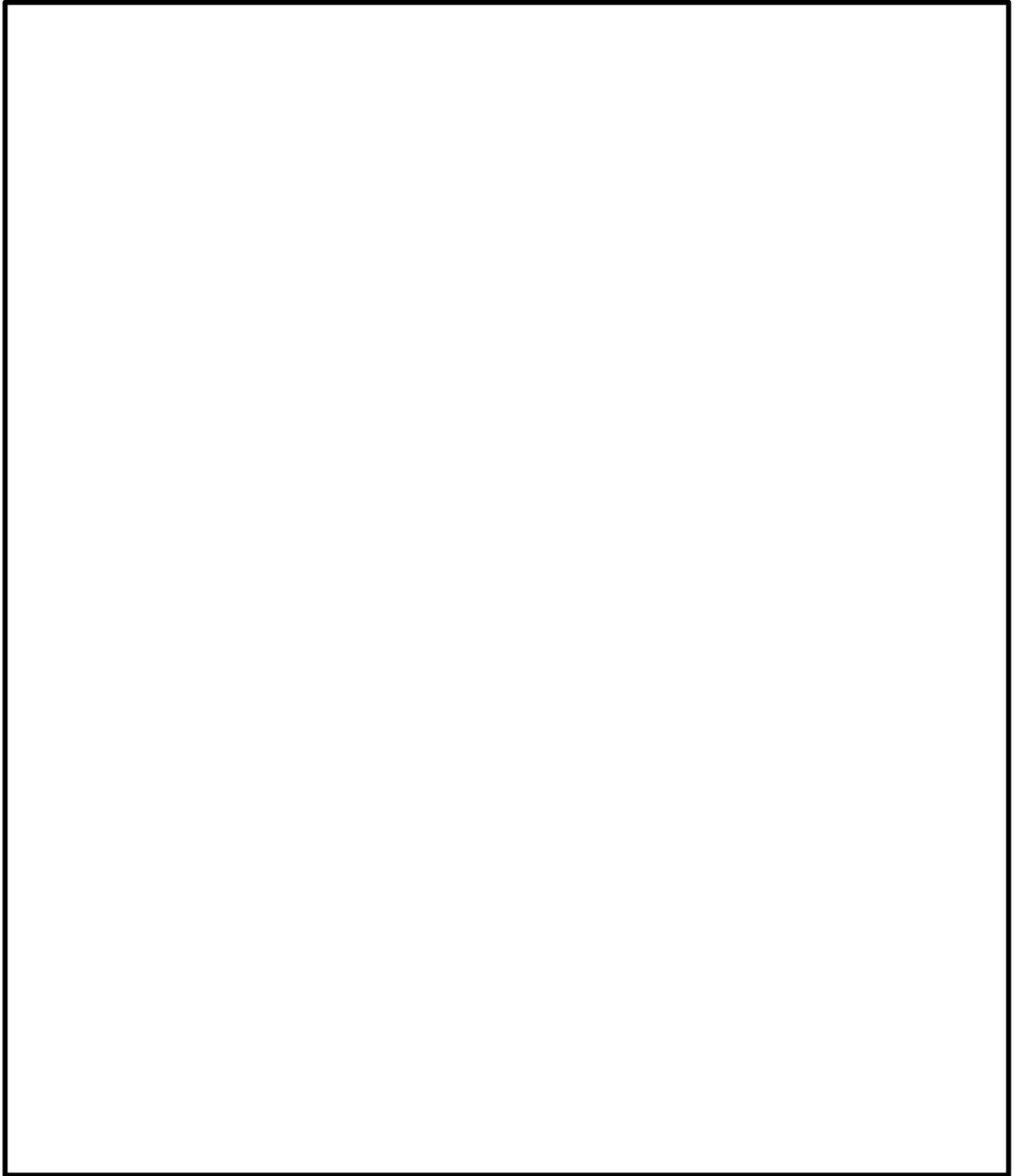
化が見られるが，貯蔵中（50年間）の当該部の照射量は最大で  $10^2$  Gy 程度であることから50年間の貯蔵においても放射線による劣化が問題となることはない。

- ・ 耐候性：材料メーカーの3年間の屋外試験で紫外線や雨に晒しても有意な劣化がなかったことが確認されており，耐候性に優れている。
- ・ 耐錆性：三次蓋取付フランジ部のシート面の錆に対しては，海風による錆発生を低減でき，またシート面に接する部分についても樹脂であることから異種金属の接触による錆発生（腐食）もない。

金属キャスクは，貯蔵期間中は自然換気構造である貯蔵建屋にて保管されるが，保護カバーは上記の特徴をもつ材料を用いているため，貯蔵建屋内にばい煙が侵入した場合においても，貯蔵中の金属キャスクに影響を及ぼすことはない。



枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



第 64 図 金属キャスク保護カバー設置概要図

## 8.5 居住性への影響評価

貯蔵建屋及び事務建屋の居住性の影響については、外部火災により発生する有毒ガスに対する評価となる。外部火災により発生すると考えられる有毒ガスについては、IDLH 対象物質である一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)が考えられるが、これらは人体に対する影響を左右するものである。

貯蔵建屋については、金属キャスク貯蔵期間中は金属キャスク及び各設備の点検、保守の実施時以外に人が常駐することはない、火災発生時には建屋内の人員は迅速に安全な場所に避難することにより危険を回避することができることから、居住性への影響については考慮する必要はない。

事務建屋は従業員の執務のための建屋であり、基本的安全機能を有する設備に対し直接操作を行うことにより当該機能を維持する設備は設置されておらず人員が常駐する必要はない。外部火災発生の際には、事務建屋内の人員は速やかに避難することで危険を回避することができることから、事務建屋については外部火災に対する居住性への影響については考慮する必要はないものとする。

貯蔵建屋や事務建屋からの避難の際、有毒ガスの影響が懸念される場合でも、原子力防災資機材の一環として貯蔵施設内に設置されているエアボンベ等の防護装置により対処することができる。

以上より、外部火災による有毒ガスに対する居住性への影響はない。

## 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」  
(平成 25 年 6 月)
- (2) 青森県石油コンビナート等防災計画 (平成 23 年 2 月修正)
- (3) 日本機械学会「伝熱工学資料 改訂第 5 版」
- (4) 「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について (平成 21・06・25 原院第 1 号 (平成 21 年 6 月 30 日原子力安全・保安院一部改正))」(原子力安全・保安部会, 原子炉安全小委員会)
- (5) 「航空機落下事故に関するデータの整備」(独立行政法人 原子力安全基盤機構, JNES/SAE08-012 08 解部報-0012, 平成 20 年 3 月)
- (6) 国土交通省 H P 「航空輸送統計調査 年報」(昭和 63 年～平成 19 年分)  
<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/syousaikensaku.html>
- (7) 「正方形熱源の風下における温度分布 (佐賀武司)」(東北工業大学紀要 I 理工学編 第 16 号 1996)
- (8) 自治省消防庁消防研究所「大規模石油タンクの燃焼に関する研究報告書」(H11/9)p7 Figure 1.2



## コンクリート許容温度（200℃）について

コンクリートの熱影響に対する圧縮強度については、実証試験の結果<sup>(1)</sup>より 200℃程度以下までであれば常温の状態とほとんど変化がなく、影響も少ないことが確認されている。

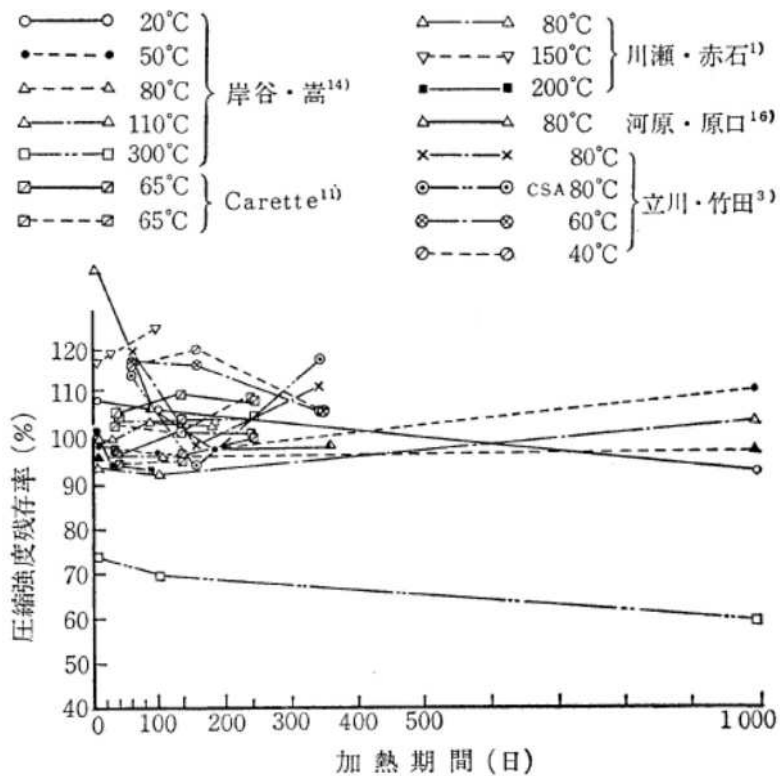
この実証試験における供試体の加熱方法については、供試体の内外温度差と供試体内の温度分布の不均一を小さくし、熱応力の影響を小さくするため 100℃/hr にてそれぞれの計画加熱温度（常温（20℃）及び 100℃～600℃まで 100℃刻みの計 7 パターン）まで加熱し、計画加熱温度到達後は供試体内部温度が均一となるようにそれぞれの計画加熱温度にて 24 時間保持させ、その後自然冷却により降温している。供試体の加熱パターンについて、別添 1 - 1 図に示す。



別添 1 - 1 図 コンクリート供試体加熱パターン

加熱後の供試体については、加熱温度 300℃までは外観上の変化も認められなかったことから、コンクリート温度 200℃において 24 時間保持した状態でもコンクリートの強度については異常がないことが確認できる。

また、他の論文<sup>(2)</sup>においても、コンクリート材料の耐熱性を評価する場合には、加熱温度のほかに加熱期間が問題になるとしており、各実験結果を比較した上で、加熱期間が100日以下の短期である場合には、加熱期間が短い方が圧縮強度の低下はより少ないものと評価している（別添1-2図）ことから、上記、コンクリート温度200℃において24時間保持した状態でもコンクリートの強度については異常がないことの妥当性を示しているものと考えられる。



別添1-2図 加熱期間と圧縮強度残存率の関係

一方、森林火災によって外壁表面温度が最高で約138℃となった場合（発火点1（発火時刻7:56）における評価結果）のコンクリート温度上昇に対する時間変化については、別添1-3図に示すとおり2時間以内に加熱前の温度に戻ることが確認されることから、24時間と比較しても十分短時間であることが確認できる。また、その他の発火点（1（発火時刻6:58）、2、3）における評価結果に対しても別添1-4図のとおり約2時間以内で加熱前の温度に戻ることが確認されること

から、同様に 24 時間と比較して十分短時間であることが確認できる。

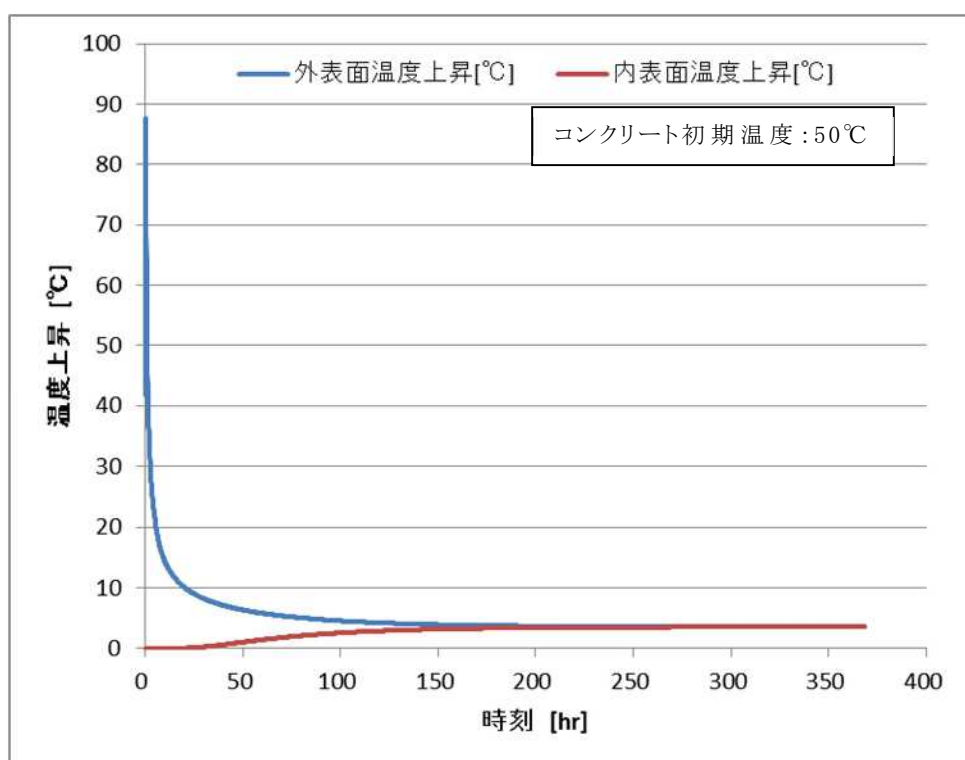
このことから、概括的にコンクリートの熱影響に対する強度については、200℃程度以下までであれば常温とほとんど変化がなく影響も少ないと考えられるため、貯蔵建屋外壁の許容温度については 200℃と定めた。

※コンクリート制限温度値(200℃)：

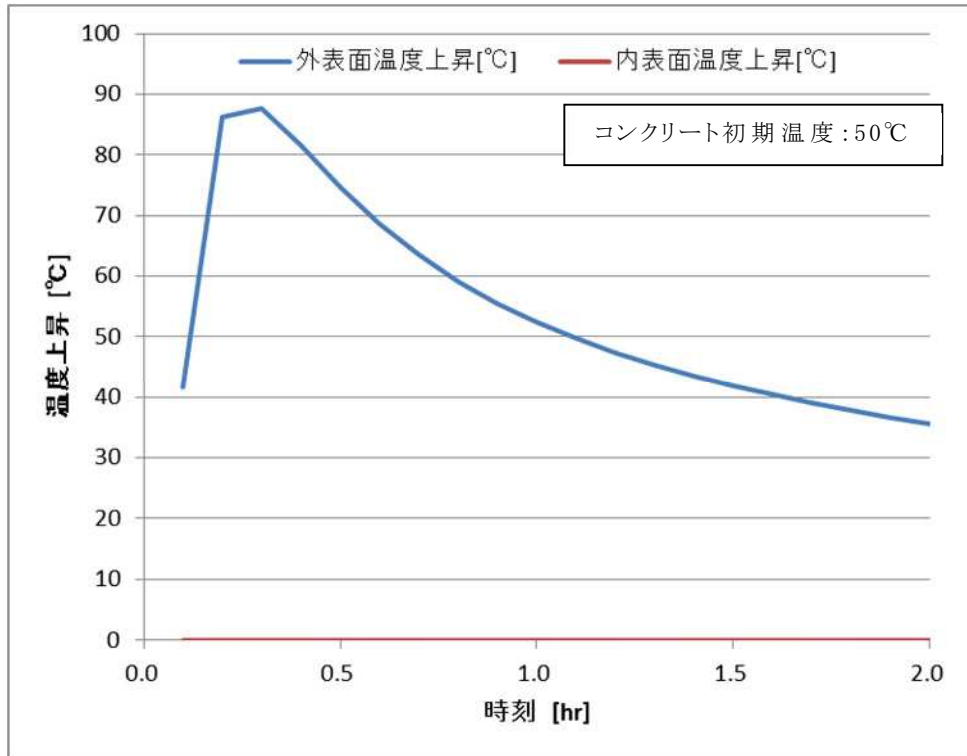
各文献値をもとにしたコンクリートの熱影響に対する温度上限値（新規制基準に対する安全審査で各事業者も採用している値）

#### 参考文献

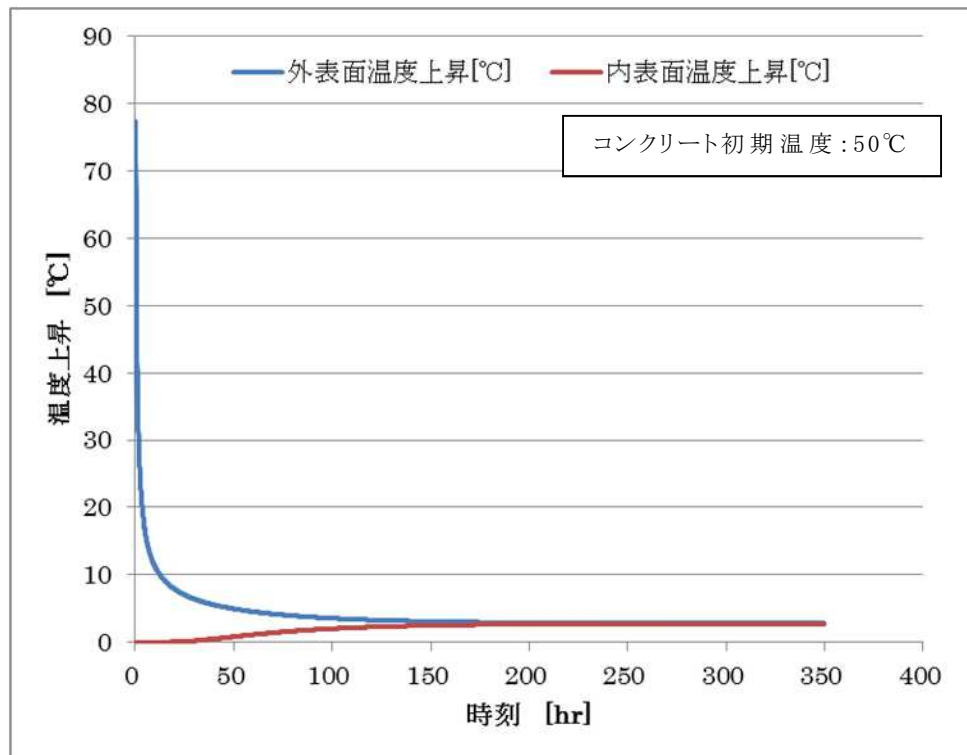
- (1) 論文「高温加熱を受けた高強度コンクリートの強度特性に関する研究」  
(コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, 2003)
- (2) 論文「高温下のコンクリートの物性」(コンクリート工学 Vol.22(1984) No.3)



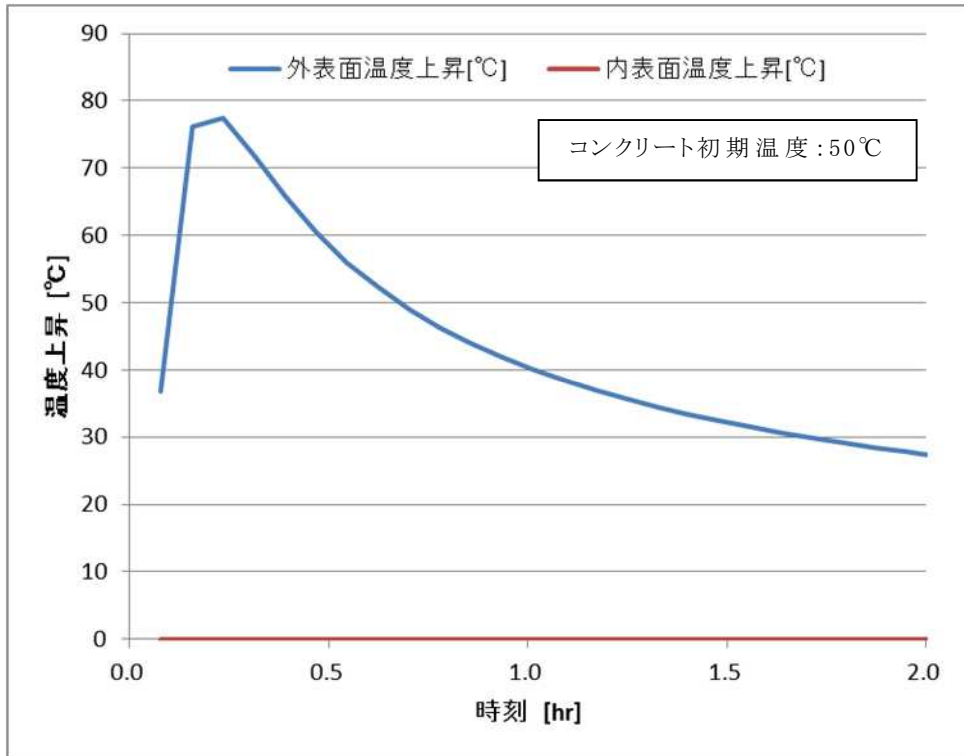
別添 1 - 3 図(1) 貯蔵建屋外壁（内壁）温度の時間変化  
（発火点 1（発火時刻 7:56））



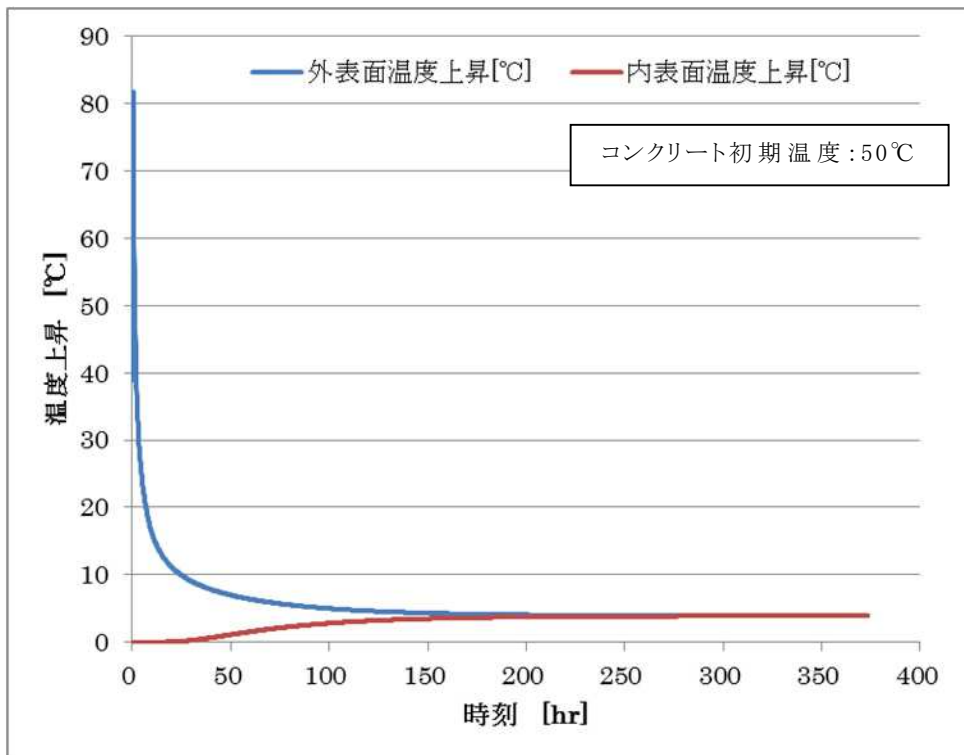
別添 1 - 3 図(2) 貯蔵建屋外壁（内壁）温度の時間変化  
（発火点 1（発火時刻 7:56））



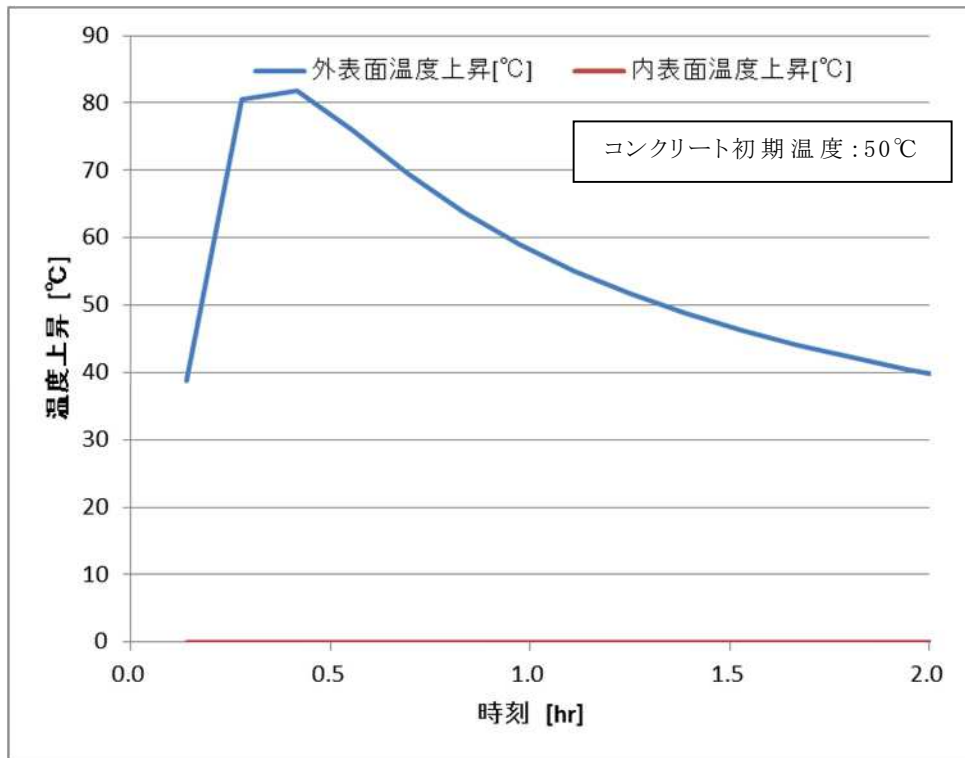
別添 1 - 4 図(1) 貯蔵建屋外壁（内壁）温度の時間変化  
（発火点 1（発火時刻 6:58））



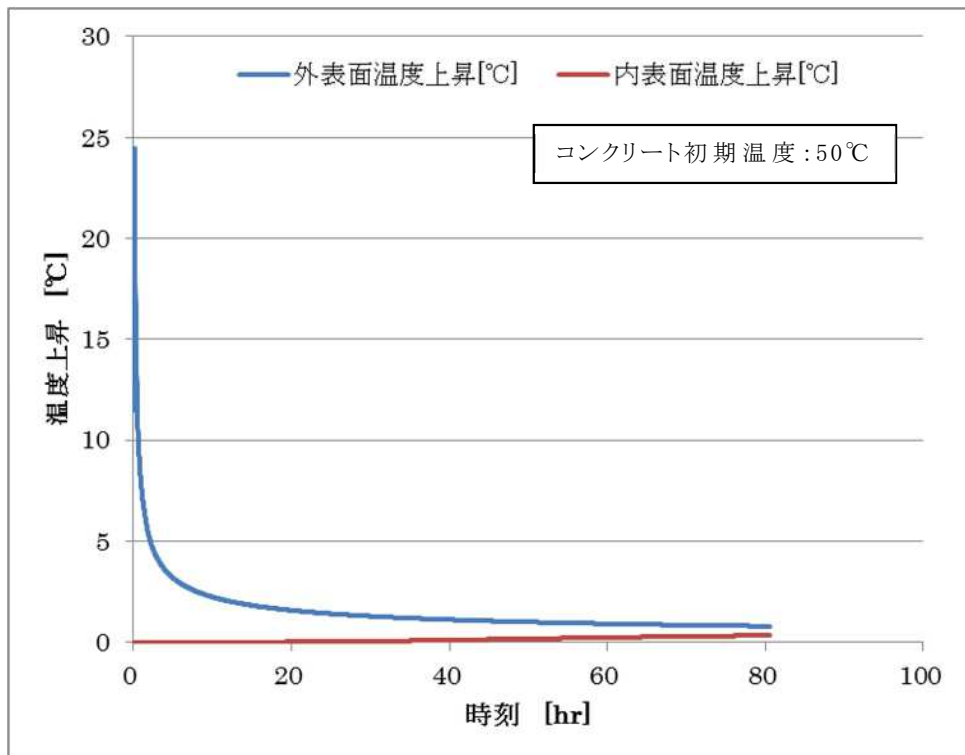
別添 1 - 4 図(2) 貯蔵建屋外壁（内壁）温度の時間変化  
（発火点 1（発火時刻 6:58））



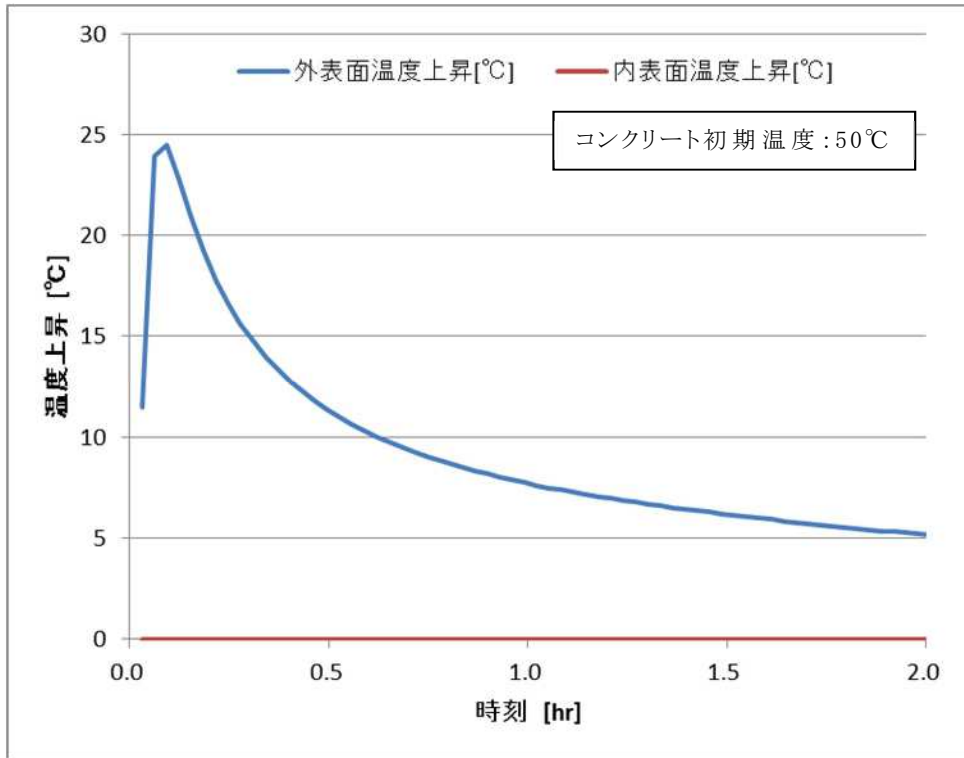
別添 1 - 4 図(3) 貯蔵建屋外壁（内壁）温度の時間変化  
（発火点 2（発火時刻 10:00））



別添 1 - 4 図(4) 貯蔵建屋外壁（内壁）温度の時間変化  
（発火点 2（発火時刻 10:00））



別添 1 - 4 図(5) 貯蔵建屋外壁（内壁）温度の時間変化  
（発火点 3（発火時刻 11:00））



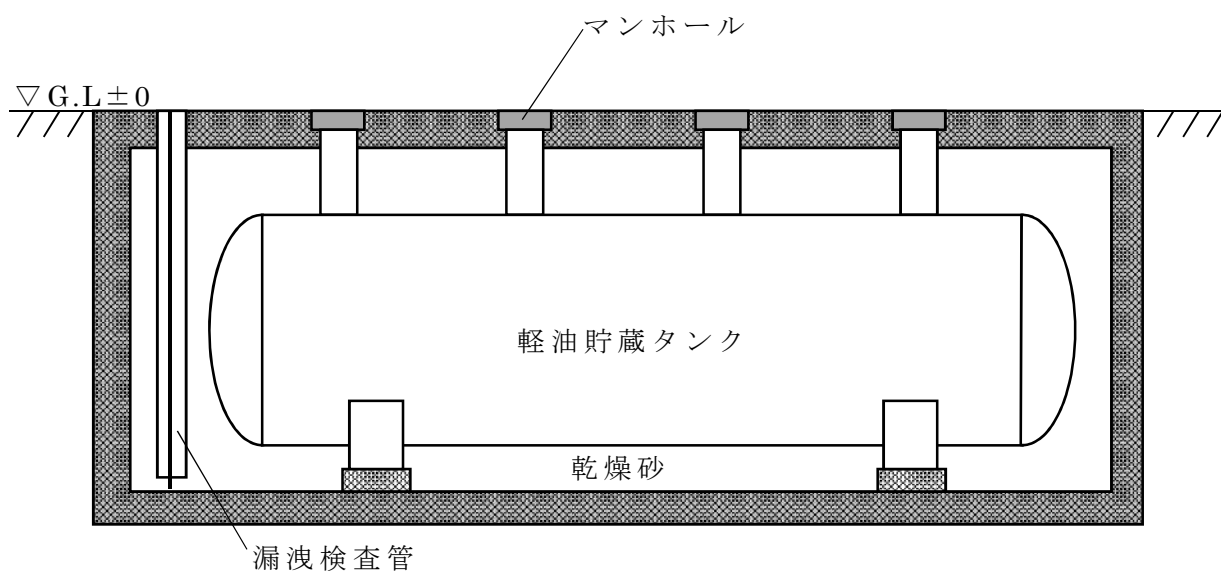
別添 1 - 4 図(6) 貯蔵建屋外壁（内壁）温度の時間変化  
（発火点 3（発火時刻 11:00））

## 軽油貯蔵タンクの地下化について

軽油貯蔵タンクは、「危険物の規則に関する政令」及び「危険物の規制に関する規則」に適合する地下タンク貯蔵所として設計するため、地表面で火災が発生する可能性は低い。

また、タンク地上部のマンホールも含め、地上で発生する火炎からの輻射熱の影響を受けない構造とする。

以上から、軽油貯蔵タンクは、外部火災源の対象から除外する。軽油貯蔵タンクの構造概要図を別添 2 - 1 図に示す。



別添 2 - 1 図 軽油貯蔵タンクの構造概要



## 航空機墜落確率の最新化による外部火災評価への影響について

## 1. 航空機墜落確率の再評価

航空機墜落による外部火災評価に用いたカテゴリ毎の航空機墜落確率について、NRA 技術ノート「航空機落下事故に関するデータ（平成10～29年）」（NTEN-2019-2001）に基づき再評価した。別添3-1表に外部火災評価に用いた墜落確率との比較を示す。

「自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故」のみわずかではあるが墜落確率が上昇した。その他のカテゴリについては、既評価と同等か若干低い結果となった。

したがって、航空機墜落による火災評価についてのみ別添3-1表の墜落確率にて貯蔵建屋外壁温度評価を実施し、影響を確認する。

別添3-1表 カテゴリ毎の航空機墜落確率の比較

カテゴリ		墜落確率（回／施設・年）	
		既評価	再評価
民間航空機	計器飛行方式（大型固定翼機）	$9.20 \times 10^{-10}$	$9.11 \times 10^{-10}$
自衛隊機又は 米軍機	訓練空域 外の墜落 事故	高高度飛行を行う大型 固定翼機	$1.79 \times 10^{-9}$
		その他の機種	$1.52 \times 10^{-8}$
	基地－訓練空域往復時の墜落事故	$2.13 \times 10^{-8}$	$2.13 \times 10^{-8}$

## 2. 自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故による外部火災再評価

### 2.1 墜落地点の想定

#### (1) 標的面積

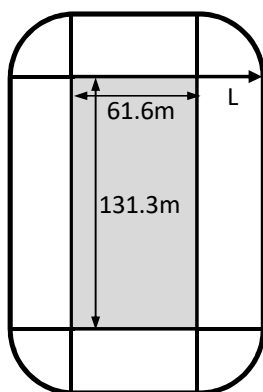
「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」に基づき、墜落確率  $10^{-7}$  (回/炉・年) に相当する標的面積を算出する。貯蔵建屋の標的面積は  $0.0081 \text{ km}^2$  であることから、航空機の墜落確率が  $10^{-7}$  (回/炉・年) となる標的面積  $S$  を算出すると、

$$S = 10^{-7} / (1.59 \times 10^{-8}) \times 0.0081 \times 1000^2 = 50943.40 \text{ (m}^2\text{)}$$

となる。

#### (2) 離隔距離

前項で求めた標的面積より、別添 3-1 図に示すように離隔距離を算出したところ、 $L = \text{約 } 70 \text{ m}$  となった。



$$\pi L^2 + 2(131.3 + 61.6)L + 131.3 \times 61.6 = S$$

これをLについて解くと

$$L = \frac{-(131.3 + 61.6) + \sqrt{(131.3 + 61.6)^2 - \pi(131.3 \times 61.6 - S)}}{\pi}$$

となる。

別添 3-1 図 離隔距離計算イメージ

### 2.2 火災影響評価

#### (1) 火災発生源に関する入力データ

想定機種：F-15

燃料の種類：JP-4

燃料量：14.87 (kℓ) ※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  
 火炎輻射強度：58000 (W/m<sup>2</sup>) ※ガイド付属書 B のガソリンの値  
 質量低下速度：0.051 (kg/m<sup>2</sup>/s) ※NUREG-1805 の JP-4 の値  
 燃料密度：760 (kg/m<sup>3</sup>) ※NUREG-1805 の JP-4 の値  
 燃焼面積：44.6 (m<sup>2</sup>) ※航空ジャーナル 2 月号増刊 F-15 イー  
 グル記載の図面より算出した。

## (2) 貯蔵建屋に関する入力データ

貯蔵建屋からの離隔距離：70 (m)

貯蔵建屋外壁の熱的物性：

密度：2400 (kg/m<sup>3</sup>)

比熱：900 (J/kg/K)

熱伝導率：1.2 (W/m/K)

※伝熱工学資料第 5 版の石灰岩コンクリートの値

## (3) 評価方法

ガイド付属書 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」に従って、以下の手順で実施した。

### (a) 燃焼半径の算出

燃焼面積と同じ面積を持つ円を底面とする円筒火炎を想定して算出したところ、3.768 m となった。

$$R = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{44.6/\pi} = 3.768 \text{ (m)}$$

R：燃焼半径 (m)，S：燃焼面積 (m<sup>2</sup>)

### (b) 形態係数の算出

ガイドに従い、円筒火炎に対する形態係数の算出方法に従って算出したところ、0.005675 となった。

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

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

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

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

$\phi$  : 形態係数, H : 火炎長 (m), L : 離隔距離 (m)

(c) 輻射強度の算出

ガイドに従い, 次式により算出したところ, 329.15 W/m<sup>2</sup> となり, 切り上げて 約 329.2 W/m<sup>2</sup> とした。

$$E = R_f \cdot \phi = 58000 \times 0.005675 = 329.15 \Rightarrow 329.2 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E : 輻射強度 (W/m<sup>2</sup>), R<sub>f</sub> : 火炎輻射強度 (W/m<sup>2</sup>)

(d) 燃焼継続時間の算出

ガイドに従い, 次式により算出したところ, 4968.8 s となり, 切り上げて約 4969 s とした。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v} = 14.87 / (44.6 \times 0.0000671) = 4968.8 \Rightarrow 4969 \text{ (s)}$$

ここで,  $v = \frac{m}{\rho} = \frac{0.051}{760} = 0.000067105 \Rightarrow 0.0000671$ ,  $\pi R^2 \doteq S = 44.6$

t : 燃焼継続時間 (s), V : 燃料量 (m<sup>3</sup>), v : 燃焼速度 (m/s)

(e) 外壁温度の算出

伝熱工学資料第5版に記載の半無限固体の非定常温度分布の式を用いて外壁温度分布を評価した。

$$T(x) - T_0 = \frac{2E\sqrt{\kappa t}}{k} \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\kappa t}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) \right]$$

T(x) : 表面から x(m) の位置の温度 (°C), T<sub>0</sub> : 初期温度 (°C),

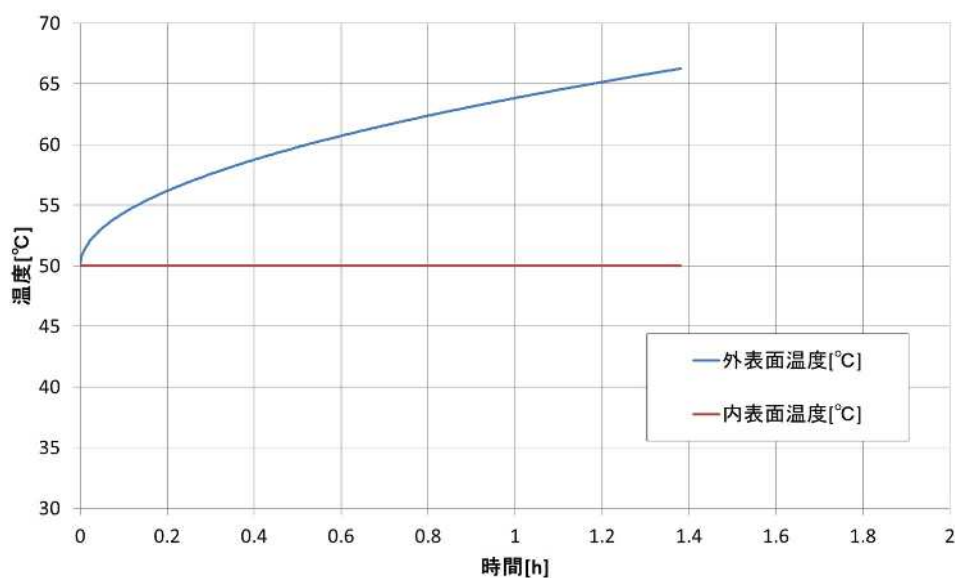
k : 熱伝導率 (W/m/K),  $\kappa$  : 温度拡散率 (=k/ρC<sub>p</sub>) (m<sup>2</sup>/s),

ρ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>), C<sub>p</sub> : 比熱 (J/kg/K)

(4) 貯蔵建屋への影響評価

自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故による火災に関して貯蔵建屋への影響評価を行ったところ、建屋外壁の最高温度は約 67℃となり、既評価よりも約 2℃ほど上昇した結果となった。また、外壁の許容温度である 200℃を下回ることを確認した。

別添 3 - 2 図に、時間に対する温度変化を示す。



別添 3 - 2 図 貯蔵建屋外壁温度変化（訓練空域外（その他機種））

### 2.3 まとめ

最新の墜落確率を用いた「自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故」による火災の貯蔵建屋外壁温度評価結果は、既評価（65℃）に対し約 2℃高い約 67℃となった。既評価の航空機墜落による火災の中で最も厳しい「自衛隊機又は米軍機（基地-訓練空域間往復時）の墜落事故」の火災評価（68℃）に包絡されることを確認した。

最新の航空機墜落確率を全カテゴリに適用した場合、「自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）の墜落事故」による火災の評価は、墜落確率が増加したことで離隔距離が短くなることにより、保守的な結果になるが、「民間航空機（計器飛行方式）の墜落事故」の

火災評価のみわずかではあるが墜落確率が減少したことで離隔距離が長くなるため、既評価に比べて非保守的な評価となる。

しかし、前述のとおり、最新の墜落確率による「自衛隊機又は米軍機（訓練空域外のうちその他の機種）」の評価結果は、既評価の中で最も厳しい「自衛隊機又は米軍機（基地-訓練空域間往復時）の墜落事故」の火災に包絡される結果となることから、既評価は、網羅性、代表性の観点から航空機墜落事故による火災評価として保守的である。

なお、熱気流の侵入による貯蔵建屋雰囲気温度上昇による金属キャスクへの影響評価や敷地内危険物貯蔵設備との火災の重畳による影響評価については、最も厳しい「自衛隊機又は米軍機（基地-訓練空域間往復時）の墜落事故」を基に評価している。