

するため、 W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。

$$W_{T1} = W_P$$

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

W_{T1} , W_{T2} : 竜巻による複合荷重

W_w : 竜巻の風圧力による荷重

W_P : 竜巻による気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

5.2.2.5 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重（常時作用する荷重，自然現象）

(1) 設計対象施設に常時作用する荷重

設計対象施設に常時作用する荷重を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

積乱雲の発達時に竜巻と同時発生する可能性がある自然現象は、雷、雪、ひょう及び大雨であるが、これらの現象との組み合わせにより発生する荷重は、設計竜巻荷重に包絡される。

なお、貯蔵建屋の設計では、設計竜巻荷重と常時作用する荷重との組み合わせを考慮する。

- ・落雷：竜巻と落雷が同時に発生する場合においても、落雷による影響は雷撃であり、竜巻による荷重とは影響が異なる。
- ・積雪：リサイクル燃料備蓄センターの立地地域においては、竜巻が冬季に襲来する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが、上昇流の竜巻本体周辺では、竜巻通過時に雪は降らない。また、下降流の竜巻通過時や竜巻通過前に積もった雪の大部分は竜巻の風により吹き飛ばされるため、雪による荷重は十分小さく設計竜巻荷重に包絡される。
- ・ひょう：ひょうは積乱雲から降る直径 5 mm 以上の氷の粒であり、仮に直径 10cm 程度の大型のひょうを想定した場合でも、その質量は約 0.5kg である。竜巻とひょうが同時に発生する場合においても、直径 10cm 程度のひょうの終端速度は 59m/s、運動エネルギーは約

0.9kJであり、設計飛来物の運動エネルギーと比べ十分小さく、ひょうの衝突による荷重は設計竜巻荷重に包絡される。また、貯蔵建屋は鉛直方向に開口部を持たないため、ひょうが貯蔵建屋内に侵入することはない。

- ・ 降水：竜巻と降水が同時に発生する場合においても、降水により屋外施設に荷重の影響を与えることはなく、また、降水による荷重は十分小さいため、設計竜巻荷重に包絡される。

5.2.3 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象は、過去の竜巻被害状況及びリサイクル燃料備蓄センターの施設配置から、想定される事象として、火災、溢水及び外部電源喪失を抽出し、事象が発生した場合の影響評価を行ない、基本的安全機能が損なわれないことを確認した。

5.2.3.1 火災

竜巻随件事象として、リサイクル燃料備蓄センターの敷地内の危険物貯蔵設備が竜巻飛来物の衝突により破損し危険物が漏えいして発生する火災及び竜巻飛来物となった車両の積載燃料が漏えいして発生する火災が考えられる。

敷地内に設置する危険物貯蔵設備については、使用済燃料貯蔵施設がこれらの火災を想定しても基本的安全機能を損なわない設計とすることを確認している。

また、竜巻飛来物となった車両の火災については、燃料の量が限定されていることから敷地内に設置する危険物貯蔵設備に比べても影響は小さく、自衛消防隊が消火器や動力消防ポンプによる消火活動を行うことから、使用済燃料貯蔵施設が基本的安全機能を損なうことはない。

5.2.3.2 溢水

使用済燃料貯蔵施設は自然換気により使用済燃料集合体の崩壊熱を除去する設計であり、崩壊熱除去に水を使用しないこと及び貯蔵建屋近辺に屋外タンク等の大規模な溢水源がないことから、竜巻により、使用済燃料貯蔵施設

の基本的安全機能に影響を及ぼすような溢水は発生しない。

5.2.3.3 外部電源喪失

使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料集合体を金属キャスクに収納した状態で静的に貯蔵する施設であることから、竜巻により外部電源系統からの電気の供給が停止しても、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能に直接影響を及ぼすおそれはない。なお、計測設備、放射線監視設備、通信連絡設備等に対しては、外部電源喪失時には貯蔵建屋内に設置する無停電電源装置から給電し、給電時間を超える場合は電源車等からの給電又は代替計測により監視を継続する。

5.2.4 手順等

- (1) 大型の資機材(コンテナ, 物置等)で飛来物となる可能性のあるものは、想定される飛散挙動に応じて固縛・固定の飛散防止措置を実施することを手順に定める。
- (2) 設計飛来物(ワゴン車)を超える大きさの車両については、竜巻の襲来が予想される場合には飛来物とならないよう、想定される飛散挙動に応じて固縛や車両退避の飛散防止措置を実施することを手順に定める。

気象モデルの概要

解析には WRF モデル (Weather Research and Forecasting model) と呼ばれる数値気象モデルを用いている。WRF モデルは, 気象力学・物理現象を数値モデル化したメソスケール (竜巻の親雲の水平スケールに対応する水平方向 2km~20km 程度) の気象要素を解析できるコミュニティモデルとして世界的に利用されているモデルである。

主な計算条件は別添 1 - 1 表に示すとおりであり, 電中研による長期高解像度再解析データセット (橋本ら 2013) と同様の条件を採用しており, ネスティングと呼ばれる技法を用いて, 水平解像度 15 km で解析した結果をもとに水平解像度 5 km の解析結果を得る。これにより, 粗い水平空間分解能 (ECMWF ERA-Interim: 約 70 km, ECMWF ERA-40: 約 250 km) の初期・境界値データから詳細メッシュの環境場を解析することができる。

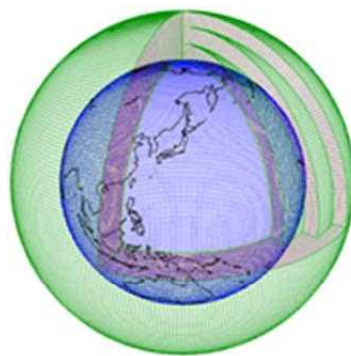
このモデルにより当時の環境場を解析 (再現) し, それをもとに突風関連指数を算出している。

水平グリッド間隔	15 km (親領域), 5 km (子領域)
鉛直層数	35
積分時間間隔	90 秒 (親領域), 30 秒 (子領域)
モデル上端気圧	50 hPa
初期・境界値データ	ECMWF-Interim (1989 年~), ERA40 (~1988 年)
ネスティング	フィードバック有
積雲対流スキーム	Kain-Fritsch (親領域のみ)
雲物理スキーム	Morrison 2-moment (両領域)
接地層スキーム	2-D Smagorinsky (両領域)
境界層スキーム	YSU (両領域)
地表面スキーム	Noah LSM (両領域)
放射スキーム (長波)	RRTM (両領域)
放射スキーム (短波)	Dudhia (両領域)

別添 1 - 1 表 WRF モデルセットアップの概要

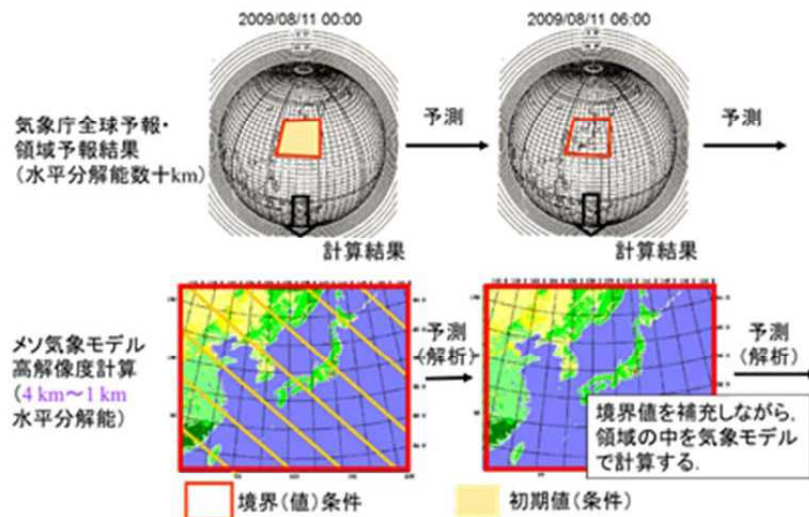
気象モデルとは、物理・力学的法則に基づいて、物理量の時間変化を計算機により数値的に解くために各諸過程を概念化したもので、気象庁による日々の気象予報もこの気象モデルを用いて実施されている。別添 1 - 1 図のように計算対象領域を 3 次元格子で覆い、各格子点上で気圧、風などの物理量を定義する。観測データや気象庁等の解析・予報結果をもとに計算開始時刻の物理量を決めて、計算領域境界部の値を時々刻々変化させながら（別添 1 - 2 図）、運動方程式、熱力学方程式、連続式、および水分量の保存式等を数値積分すると、将来時刻における気象要素の値が計算される。各方程式中の運動量や熱・水のソース・シンク項は各物理過程によって生み出される（例えば、水蒸気から水滴が生成されるとその潜熱が熱力学方程式中のソースとなる）が、気象モデルでは別添 1 - 3 図に示すような物理過程がモデル化され、力学系の各保存式のソルバーと連携している。

この種の気象モデルは、放射性汚染気塊の輸送量計算にも使用されており、WSPEEDI-II（Worldwide version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information；世界版緊急時環境線量情報予測システム第 2 版）では、本検討に用いた WRF モデルの前身に位置づけられる MM5（PSU/NCAR Mesoscale Model version 5；Dudhia 1993）が環境場の入力情報の作成に用いられている（山澤ら 1997）。WRF モデルは、MM5 の力学系・物理モデル共に大幅な改良が加えることにより開発されたものであり、現在米国においては気象の現業・研究の両面で活用されている。また、わが国を含めた諸外国においても広く活用されている。

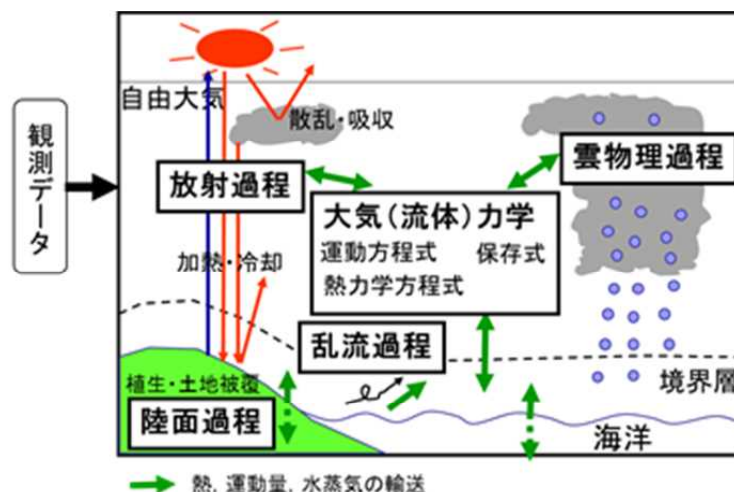


別添 1 - 1 図 計算グリッド構造の例

（気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html> より）



別添 1 - 2 図 気象モデルを用いた解析・予測計算の流れの概念図
(気象庁全球モデルを例に)



別添 1 - 3 図 気象モデルを用いた計算の模式図

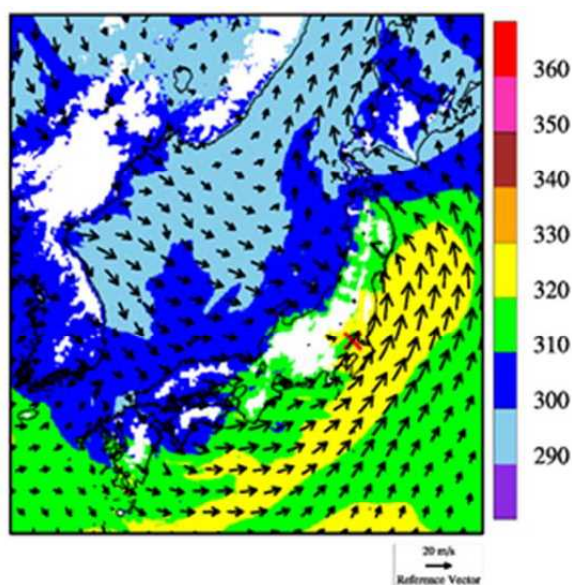
参考文献

- (1)Dudhia, J., 1993: A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR mesoscale model: validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. Mon. Wea. Rev., 121, 1493-1513.
- (2)山澤弘実, 茅野政道, 永井晴康, 古野朗子, 1997: 緊急時環境線量情報予測システム (世界版) WSPEEDI の開発と検証. 日本原子力学会誌, 39, 881-892.

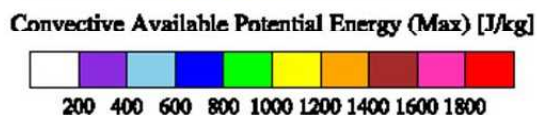
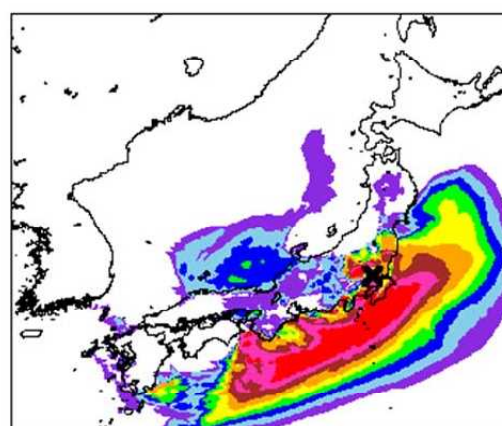
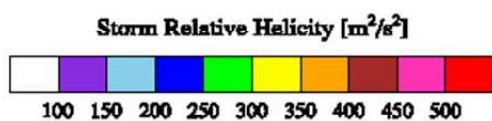
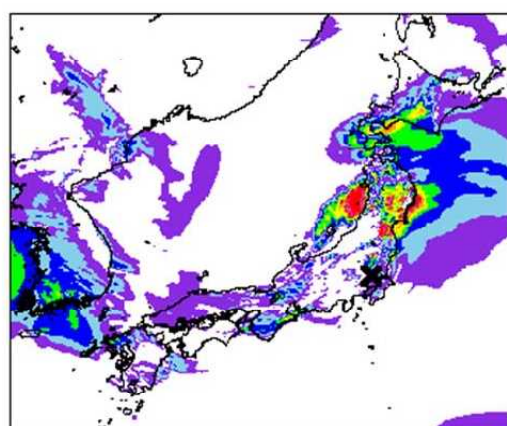
分析対象事例の個別概要

1. 2012/05/06(茨城県常総市) F3 事例 (気圧の谷・寒気移流)

太平洋側から南西風が吹き込む一方、大陸・日本海側側から寒気を伴う北よりの風が吹いており風のシアと大気不安定度が高まっている。SReH の値は東日本の太平洋側で非常に高いが、関東平野周辺では CAPE が非常に高く、3 個の竜巻がほぼ同時に発生した。

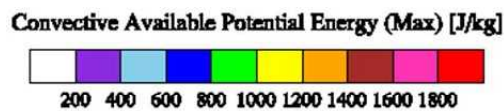
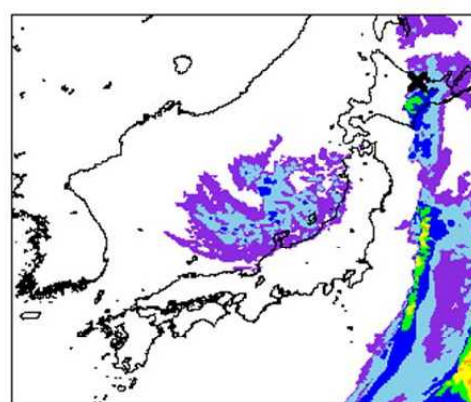
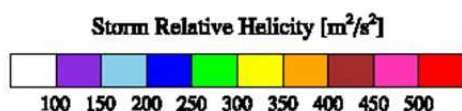
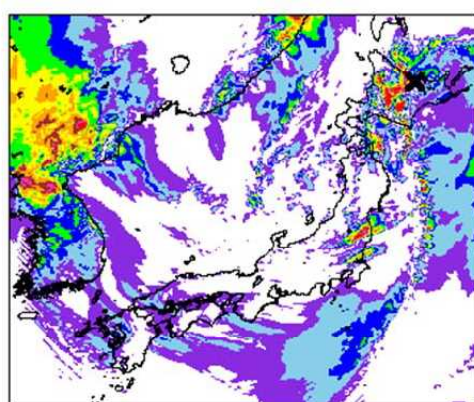
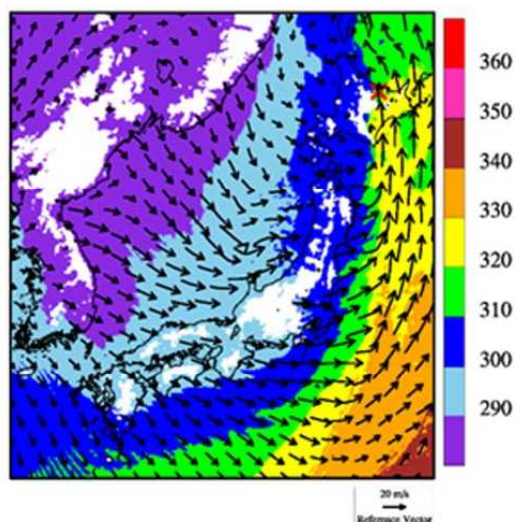


別添 2-1 図 2012/05/06 F3 事例における環境場と突風関連指数 (左) 500 m 高度における風向・風速および相当温位 (単位: K) (左下) SReH, (右下) 最大 CAPE



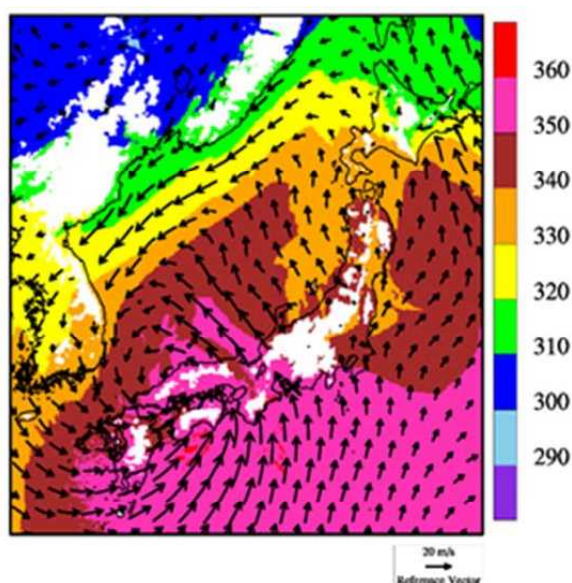
2. 2006/11/07(北海道網走支庁佐呂間町) F3 事例(寒冷前線・暖気の移流)(佐呂間竜巻)

寒冷前線の西側では北西～西よりの冷たい風(寒色系)が、東側では南よりの暖かい風(暖色系)が吹いており、気温差と風の収束により積乱雲が発生・発達しやすい状況にある。特に、道東・オホーツク地方には太平洋から暖かく、不安定な空気塊が流入している。大気不安定度は道東の中でも南側で高くなっており、非常に高い風のシア(高い SReH)と相まって親雲が発達しやすい状況が解析されている。なお、同日に、周辺地域において2個の小さな竜巻も発生した。日本海側の中でも能登半島周辺より北側で季節風が吹き込み、大気がやや不安定になっている(CAPEが高めになっている)が、SReHが低く、道東・オホーツク海地方の状況とは異なる。

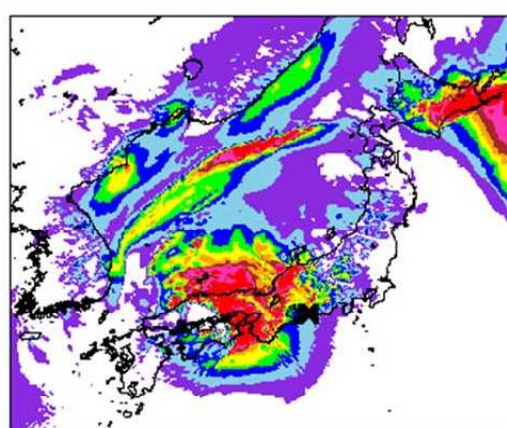


3. 1999/09/24(愛知県豊橋市) F3 事例 (台風)

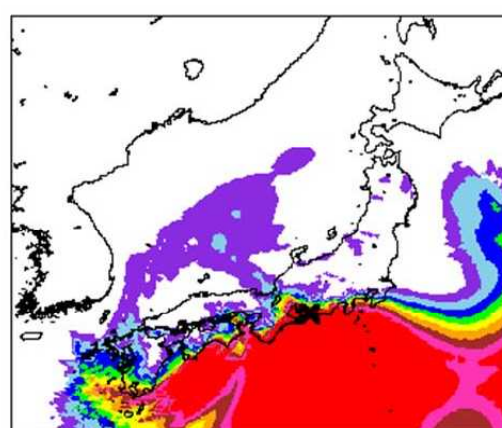
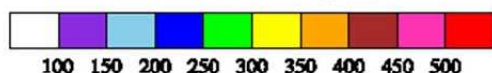
台風中心は隠岐の南西沖にあり、四国東部・紀伊半島の沿岸部および濃尾平野では、台風中心から遠く離れているが、太平洋側からの非常に不安定な暖湿流が流れ込み (CAPE が非常に大きく)、SReH も高くなっている。濃尾平野では4個の竜巻 (F1: 2個, F2: 1個, F3: 1個) が発生した。台風中心が日本海側にあり、日本海側の SReH は太平洋側に比べて決して小さくはないが、不安定度は格段に小さいのを見てとれる。



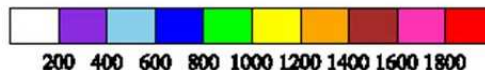
別添 2-3 図 1999/09/24 F3 事例における環境場と突風関連指数 (左) 500 m 高度における風向・風速および相当温位 (単位: K) (左下) SReH, (右下) 最大 CAPE



Storm Relative Helicity [m^2/s^2]



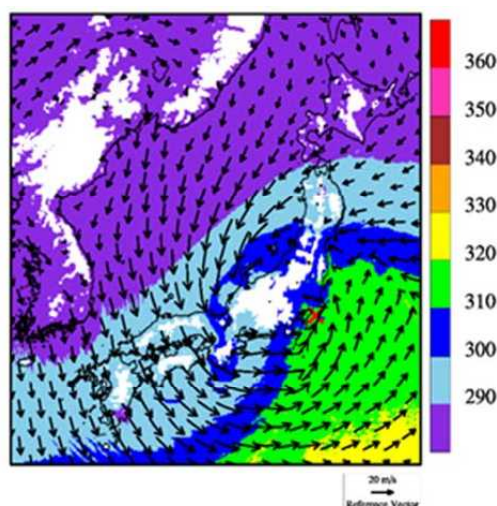
Convective Available Potential Energy (Max) [J/kg]



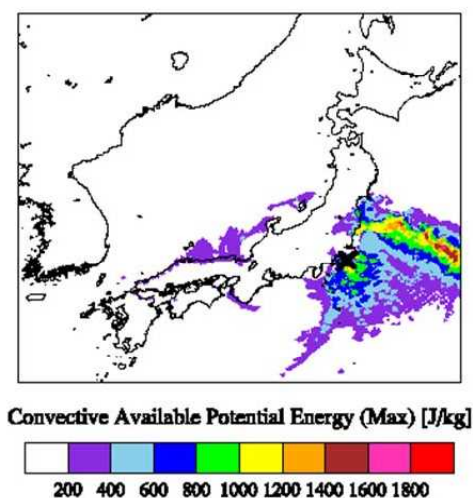
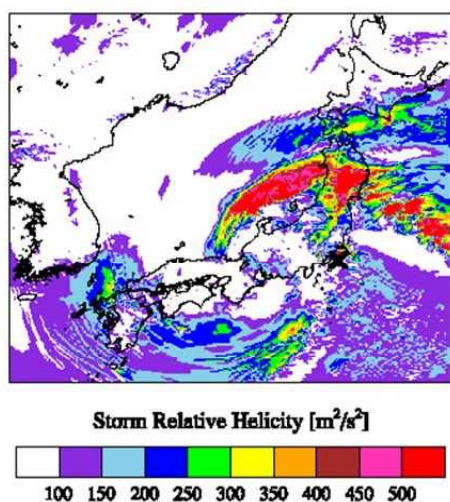
4. 1990/12/11(千葉県茂原市) F3 事例(暖気の移流・気圧の谷, 寒冷前線)

房総半島と日本海に低気圧があり, 房総半島の低気圧からは南西方向に寒冷前線が伸びている。そのため, 寒冷前線および房総半島にある低気圧を境に温位差が大きくなっている(寒色系と暖色系(緑色)の境が明瞭である)。房総半島には低気圧中心に向かって暖かく, 不安定な空気塊が流入しており, 房総半島では局所的に SReH の値も高い(×でやや見づらい)。房総半島周辺では大小7個の竜巻が発生した。

日本海側の低気圧をとりまくように, 特に北側で SReH が非常に高くなっているが, 温位が低く, CAPE の値も小さくなっている。一方, 福島県沖に CAPE の高い領域が見られるが, SReH の値は小さくなく, 相当温位も比較的 low, 房総半島周辺とは状況が異なる。

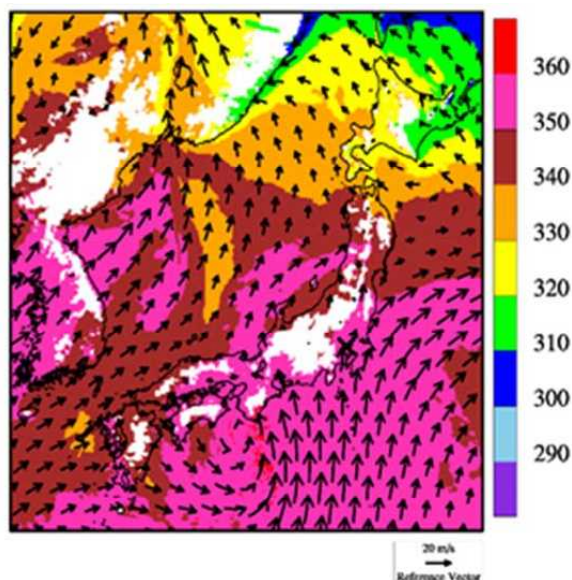


別添 2-4 図 1990/12/11 F3 事例における環境場と突風関連指数(左) 500 m 高度における風向・風速および相当温位(単位:K) (左下) SReH, (右下) 最大 CAPE

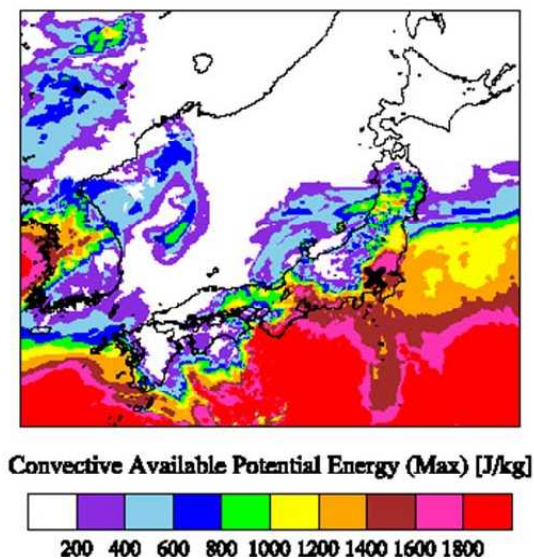
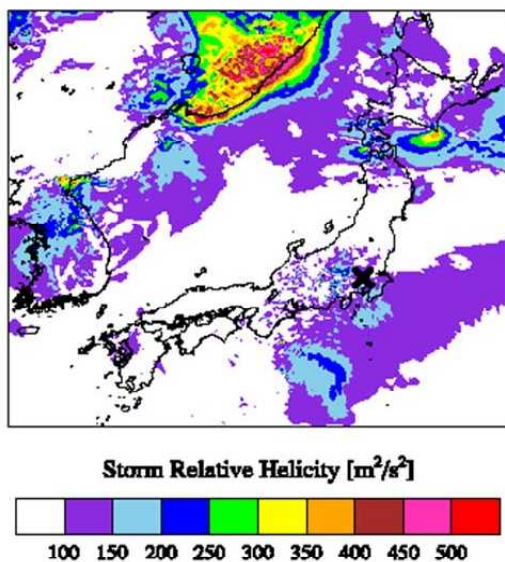


5. 1971/07/07(埼玉県浦和市) F3 事例 (台風)

台風の中心は紀伊半島の南西沖にあり，中部から東日本にかけては，太平洋側から非常に CAPE が高く，不安定な空気塊が流入している。SReH は，3. で示した豊橋竜巻ほど大きくはないが，発生地点周辺では SReH が比較的高くなっており(×でやや見づらい)，SReH と CAPE の両方が共に大きい環境場となっていた。

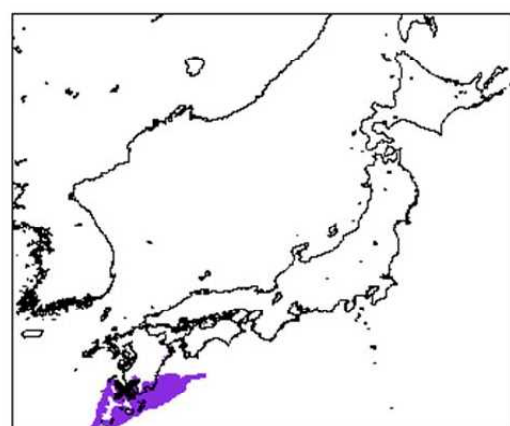
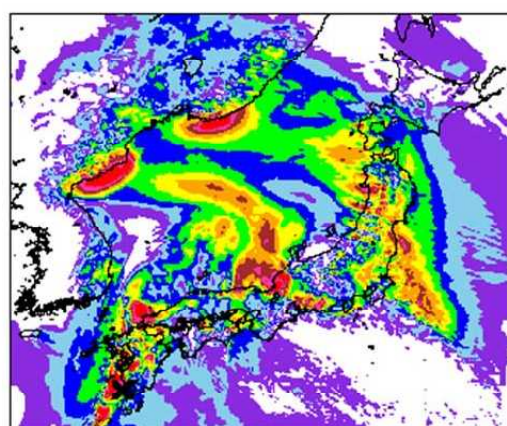
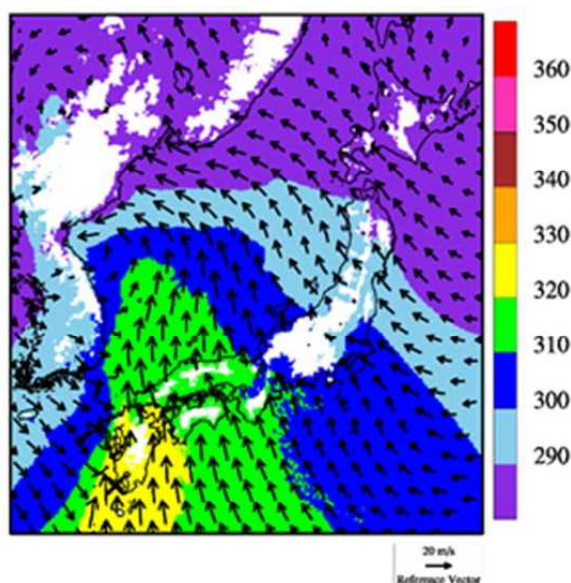


別添 2-5 図 1971/07/07 F3 事例における環境場と突風関連指数 (左) 500 m 高度における風向・風速および相当温位 (単位:K) (左下) SReH, (右下) 最大 CAPE



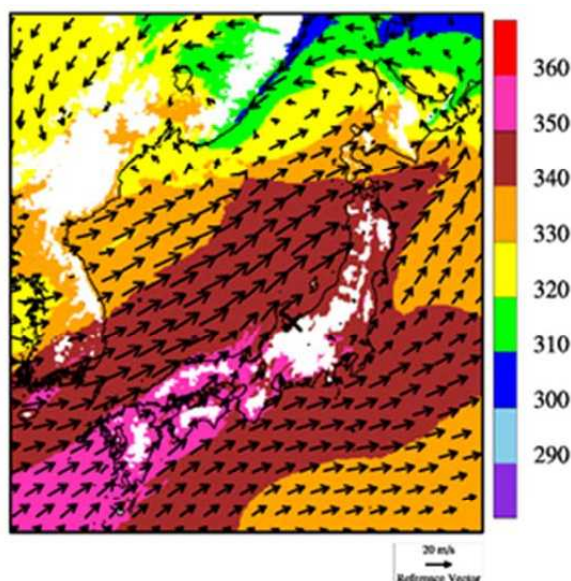
6. 1990/02/19(鹿児島県枕崎市) F2-F3 事例(寒冷前線・暖気の移流・その他(低気圧))

朝鮮半島東部の沖合にある低気圧から寒冷前線と温暖前線が伸び、九州から近畿にかけては比較的暖かい気流が太平洋側から流入している。その中でも発生地点周辺には最も暖かい空気塊が流入しており、鹿児島県南部では局所的に CAPE の値がやや高くなっている。しかし、CAPE 値は F3 竜巻事例に見られるほど高くない。一方、寒冷前線に沿って SReH が非常に高かった。不安定性にやや欠けていたのが、F3 規模には至らなかった理由の一つであると考えられる。

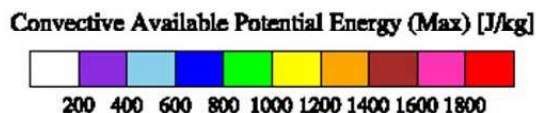
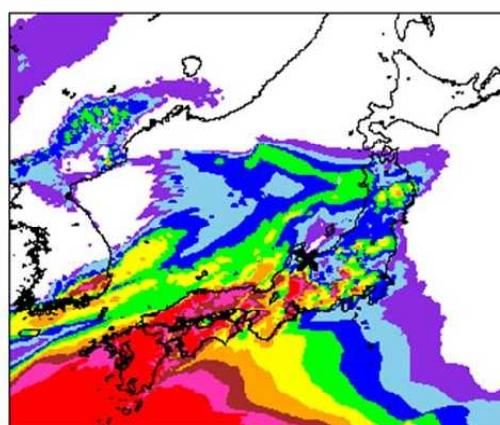
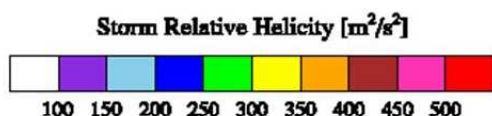
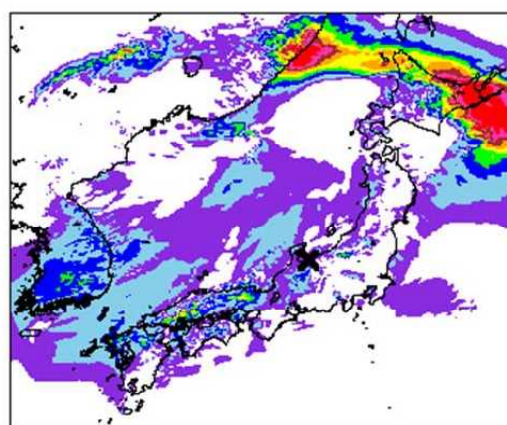


7. 1991/06/12(富山県魚津市) 日本海側 F2 事例 (寒冷前線・局地性擾乱)

日本海側沿岸に沿って寒冷前線があり、その北側では西南西の風が吹いている。空気塊の暖かさとしては太平洋側と同等のもの(茶色)が、対馬海峡から日本海に入り込んでおり、青森県沖まで到達している。ただし、大気不安定度は暖候期にしては大きくなく、寒冷前線南側の九州から近畿にかけての不安定度(CAPE 分布の赤い領域)と比べるとかなり小さい。SReH の値も特段高い傾向は見られず、F3 発生時の環境場とは様相が異なる。

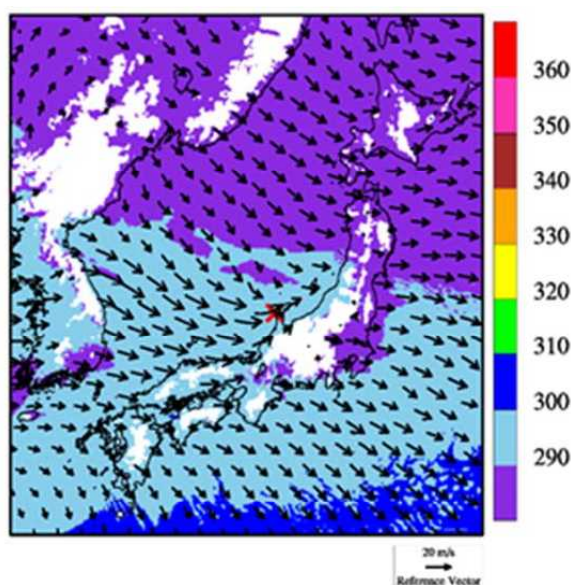


別添 2-7 図 1991/06/12 F2 事例における環境場と突風関連指数 (左) 500 m 高度における風向・風速および相当温位 (単位: K) (左下) SReH, (右下) 最大 CAPE

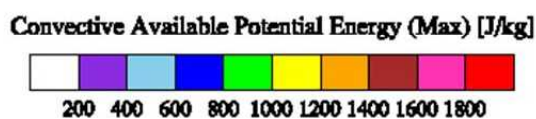
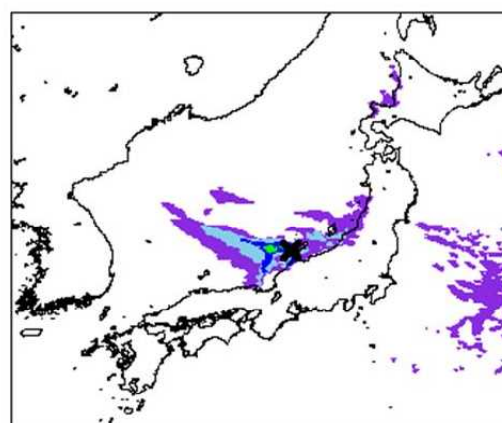
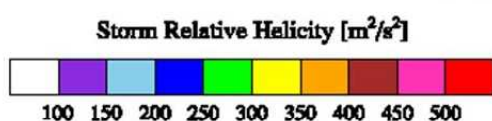
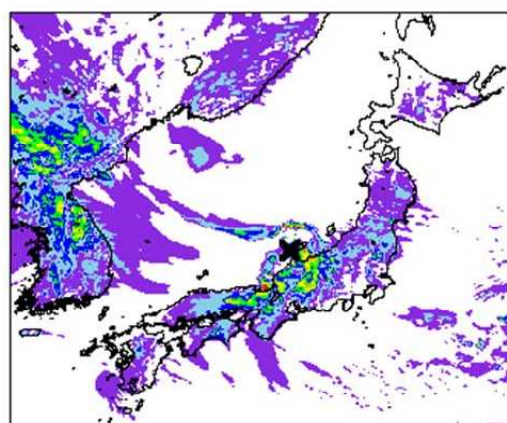


8. 1990/04/06(石川県羽咋郡富来町) 日本海側 F2 事例 (オホーツク海低気圧・気圧の谷)

オホーツク海にある低気圧と九州の南西海上にある高気圧との間で、西高東低の気圧配置となっており、朝鮮半島東部から季節風が能登半島から敦賀湾に向かって流れ込んでいる。冬季によく見られる状況といえる。能登半島周辺での不安定度の高さは、海上で寒気が暖められて大気が不安定になったことが原因であり、SReH も高めである。特に能登半島周辺では高い。不安定化のメカニズムは異なるが、2. で示した佐呂間竜巻と似た環境場になっている。ただし、SReH が佐呂間竜巻に比べて4割程度低く、これがF3 規模に達しなかった理由の一つであると考えられる。

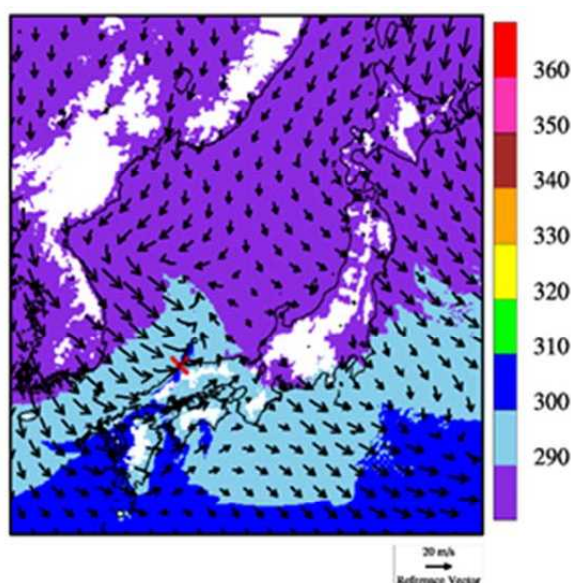


別添 2-8 図 1990/04/06 F2 事例における環境場と突風関連指数 (左) 500 m 高度における風向・風速および相当温位 (単位: K) (左下) SReH, (右下) 最大 CAPE

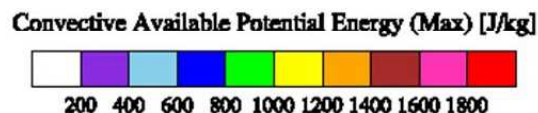
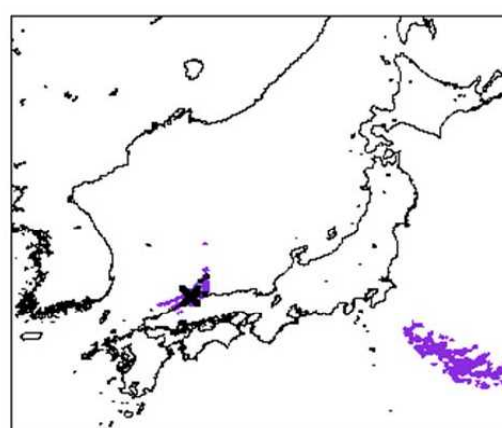
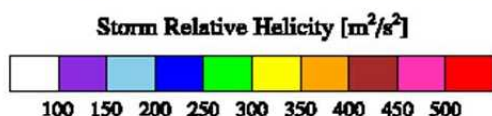
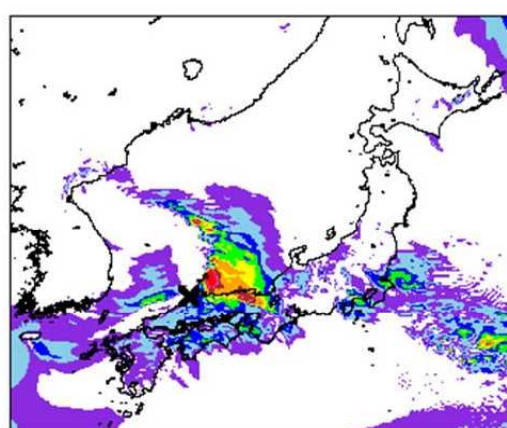


9. 1989/03/16(島根県簸川郡湖陵町) 日本海側 F2 事例 (局地性擾乱・寒気の移流)

西高東低の弱い冬型の気圧配置にあり、朝鮮半島から寒気が流入している。島根県の沖で渦状の流れが形成されており、SReH がかなり高くなっている。しかし、やや不安定な大気になっているものの、他の日本海側 F2 事例よりもさらに不安定度が低くなっており、環境場の観点では、F3 規模まで発達するには不安定度合が欠如していたと考えられる。

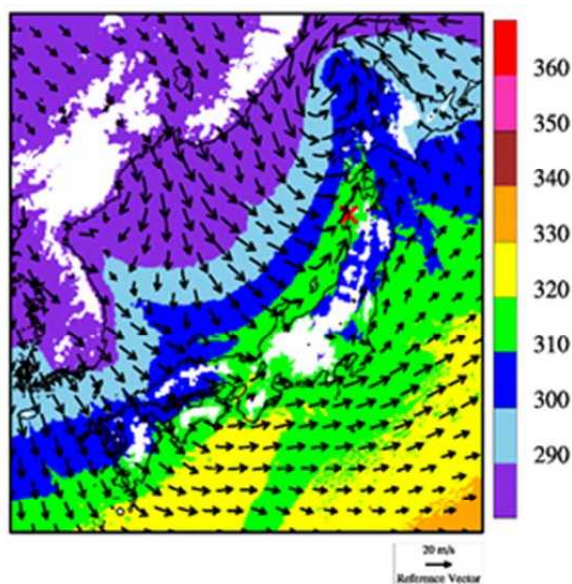


別添 2-9 図 1989/03/16 F2 事例における環境場と突風関連指数 (左) 500 m 高度における風向・風速および相当温位 (単位: K) (左下) SReH, (右下) 最大 CAPE

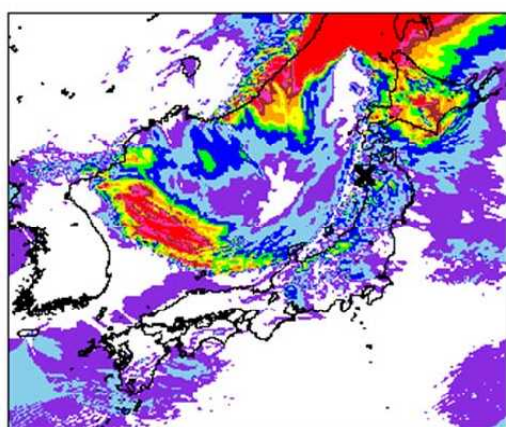


10. 1999/11/25(秋田県山本郡八森町) 日本海側 F1-F2 事例(日本海低気圧・寒冷前線)

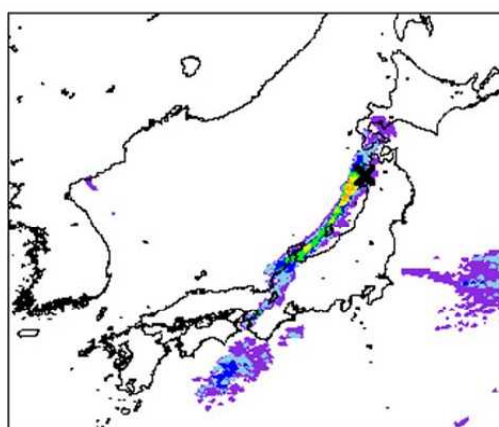
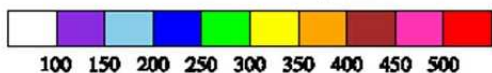
北海道の西海上にある低気圧から延びた寒冷前線が日本海沿岸を通過した際に発生した。寒冷前線上では温位のコントラスト(青色と緑色)が明瞭であり、寒冷前線に沿った地域の中でも発生地点周辺は SReH が比較的高く、CAPE の高い範囲の北端部に位置している。CAPE の大きさは、寒候期に発生した F3 竜巻事例を上回ったが、SReH は低かった。



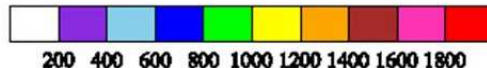
別添 2-10 図 1999/11/25 F1-F2 事例における環境場と突風関連指数(左) 500 m 高度における風向・風速および相当温位(単位: K)
(左下) SReH, (右下) 最大 CAPE



Storm Relative Helicity [m^2/s^2]



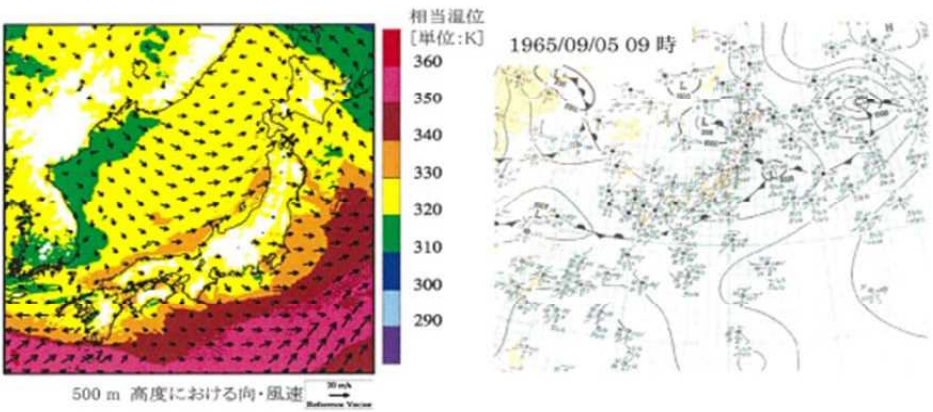
Convective Available Potential Energy (Max) [J/kg]



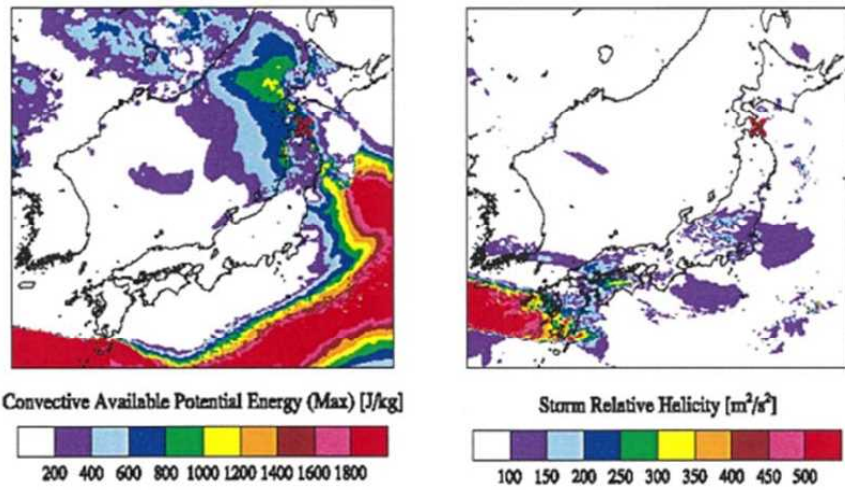
11. むつ市で発生した F2 竜巻について

東北太平洋側の東方沖の低気圧から伸びる前線で風向きが変わっているととも
に、前線の南側に不安定な暖かい空気塊が存在し CAPE 値が大きい。一方、北海道
南西沖の低気圧の西側においても CAPE 値からやや不安定であることが見てとれる。
しかし、二つの低気圧の間に位置する下北半島では、CAPE 値がそれほど大きくな
い。また、低気圧の中心を結ぶ閉塞前線上で風向の変化が見られ、この前線の通過
時に竜巻が発生したものと推測されるが、SReH の分布からは顕著な渦度の高さは
見られない。

発生日時	発生場所	F スケール	総観場
1965/09/05 11:40	青森県むつ市大平地区	(F2)	閉塞前線



別添 2－11 図(1) 風向・風速及び相当温位(左図)と天気図(右図, 気象庁 HP より)



別添 2－11 図(2) CAPE(左図)と SReH(右図)

別添 3

竜巻飛来物に関する現地調査について

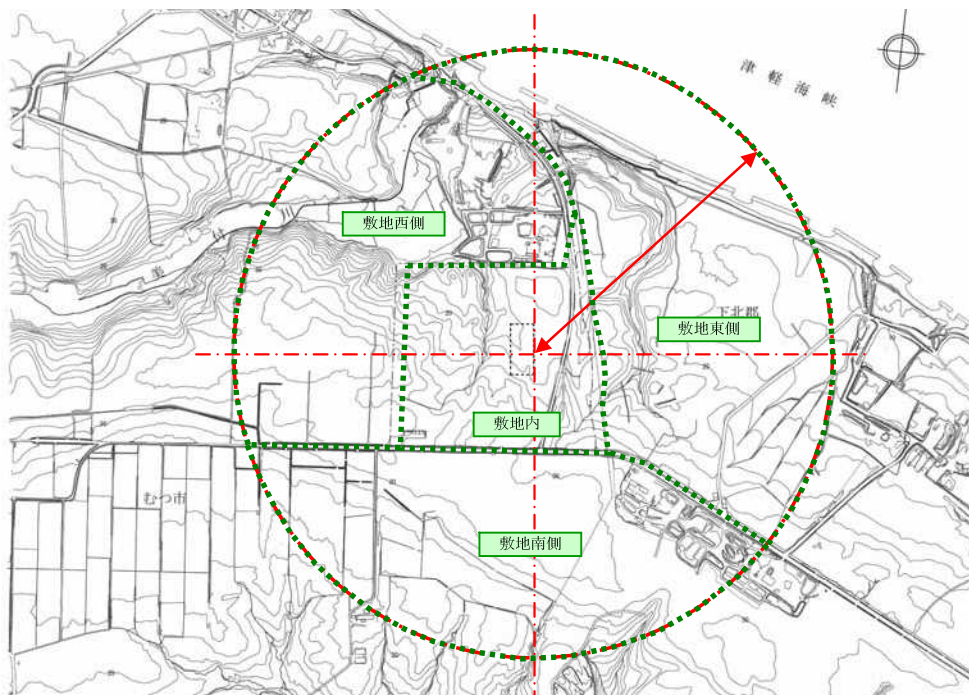
使用済燃料貯蔵施設において想定される竜巻による飛来物を調査し特定することを目的とし、竜巻飛来物に関する現地調査を平成 25 年 10 月 10 日～11 日、及び平成 27 年 10 月 29 日に実施した。

調査は、敷地内及び敷地外（貯蔵建屋を中心として半径 800m 程度の範囲）を対象としたが、敷地内については、貯蔵建屋に近接しており貯蔵建屋への影響が大きいと考えられる敷地内の物品をより詳細に調査する観点から、敷地内を対象に、調査対象範囲を事務建屋、車庫等 15 エリアに分割して、また敷地外については調査対象範囲を 3 エリアに分割し、各エリアにて目視により、常設物、仮設物のうち飛来物となりうる物品、及び二次飛来物（設置状況等から風圧や飛散による被害を受けて飛来物となりうる物）を抽出した。

敷地内の調査エリアを別添 3－1 図に、また敷地外の調査エリアを別添 3－2 図にそれぞれ示す。



別添 3－1 図 飛来物を特定するための調査エリアの位置（敷地内）



別添 3－2 図 飛来物を特定するための調査エリアの位置（敷地外）

現地調査を行った結果を調査エリア毎に示す。なお、調査により確認された物品を各々の写真に付記している。

(1) 調査エリア A：事務建屋

		
ガラス窓, 社名看板, 乗用車 フラッグポール[固定]		(屋上) 押出成形板, アルミルーバ, 室外機[固定]
		
(屋上) アルミ梯子, アルミルーバ	(屋上) 八木アンテナ, パラボラアンテナ	(屋上) 閃光灯
		
(屋上) 社名看板	(屋上) 扉[固定], U字溝	室外機[固定], 扉[固定], ガラス窓
		
ボックス型スピーカー	丸型スピーカー	(事務建屋北側) 物置
		
(事務建屋北側) 境界標		

(2) 調査エリア B：車庫

		
シャッター, 折板 (屋根), 消火器	物置	受変電設備[固定], 消火器

(3) 調査エリア C：受変電設備

		
発電機[固定], 看板, 消火器, 扉[固定], 室外機[固定]	換気フード	扉[固定]

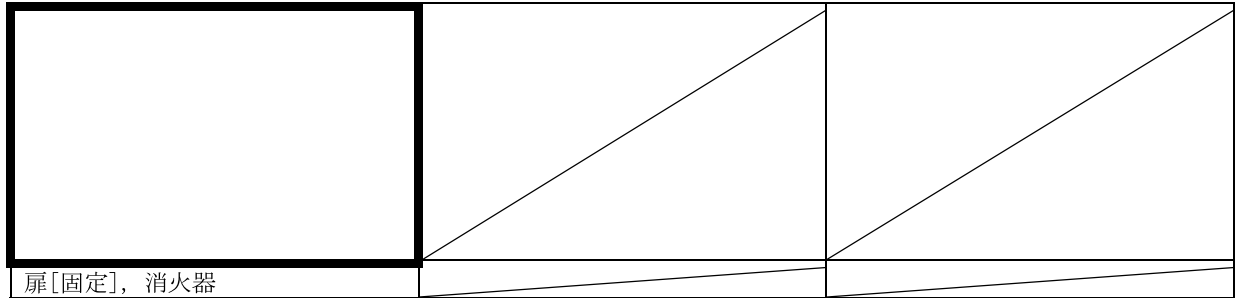
(4) 調査エリア D：給水施設

		
(北側) 扉[固定], ガラス窓	(南側) 扉[固定], 換気フード	

(5) 調査エリア E：特殊車両車庫

		
シャッター	折板 (屋根), 外壁 (押出成形板)	キャスク輸送車両

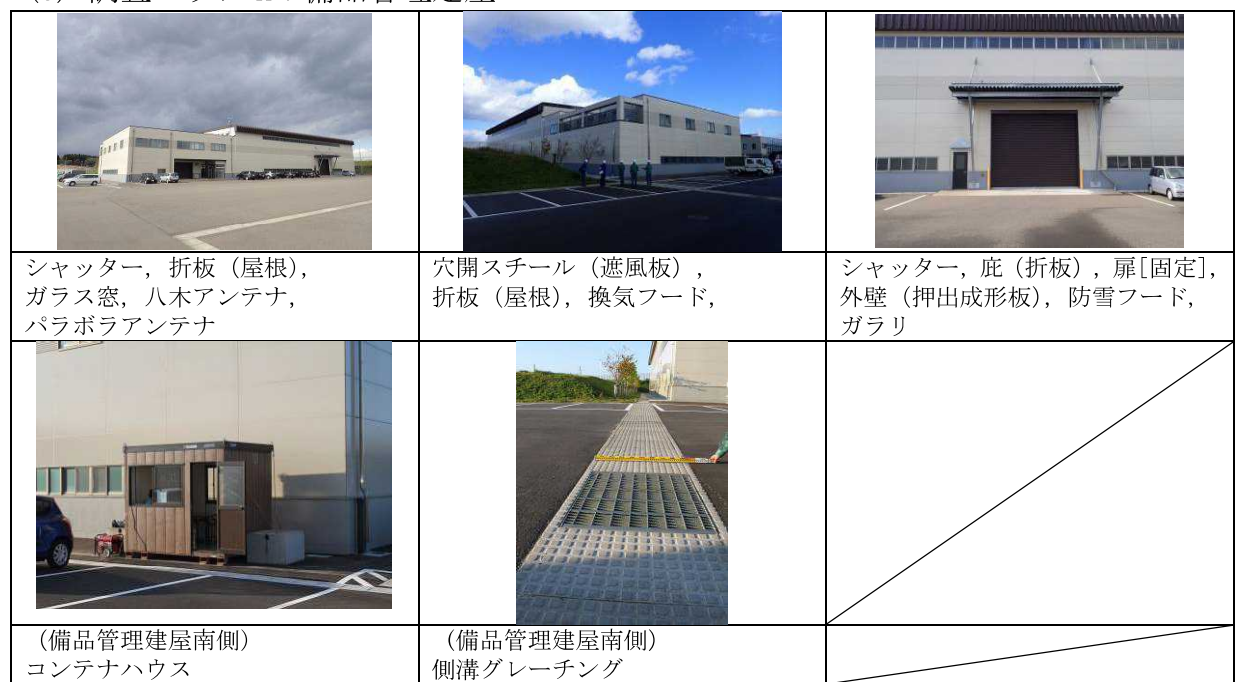
(6) 調査エリア F：地震観測小屋



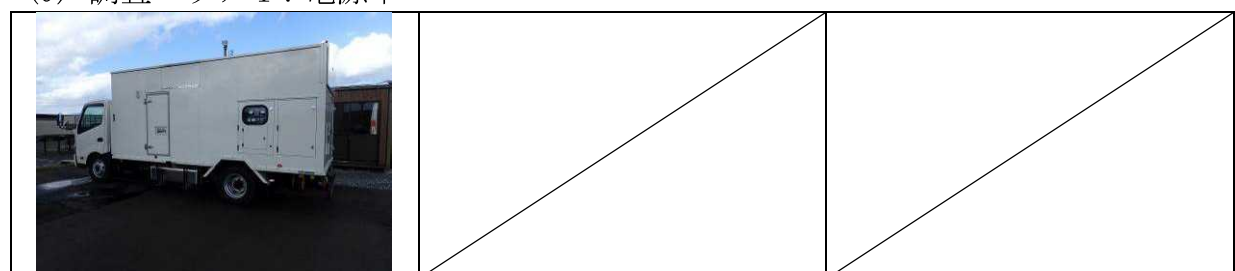
(7) 調査エリア G：コア倉庫



(8) 調査エリア H：備品管理建屋



(9) 調査エリア I：電源車




(10) 調査エリア J：展望台

		
展望台[固定]	展望台基礎[固定]	


(11) 調査エリア K：出入管理建屋

		
ガラス窓，扉[固定]， パラボラアンテナ	(屋上) 八木アンテナ，扉[固定]， アルミルーバ	(屋上) ボックス型スピーカー， 照明灯

(12) 調査エリア L：(東側) モニタリングポスト

		
扉[固定]，換気フード		

(13) 調査エリア M：ビジターハウス

		
ガラス窓，八木アンテナ， パラボラアンテナ		





(14) 調査エリア N：貯蔵建屋

		
遮風板（押出形成版）、換気フード、社名看板、アルミガラリ	（貯蔵建屋東側） 集水枡グレーチング	（貯蔵建屋南側） コンクリート板（集水枡蓋）
		
（貯蔵建屋西側） プラスチック板（敷板）	（貯蔵建屋西側） 鋼製パイプ	（貯蔵建屋西側） ゴミ袋（雑草）
		
（貯蔵建屋西側） コンクリート板（集水枡蓋）	（貯蔵建屋西側） カラーコーン	（貯蔵建屋南側） 砂利

(15) 調査エリア 0：一般部

		
閃光灯	標識	照明灯

(16) その他（敷地外）

		
(敷地外西側) 集水枡グレーチング	(キャスク搬出入道路) マンホール蓋	(キャスク搬出入道路) 側溝グレーチング
		
(敷地外南側) 集水枡グレーチング		

飛散評価手法について

1. 風速場モデル（ランキン渦モデル）

- ・ 非常に簡易な式で上空の水平方向の風速場を表現できる
 - － 半径方向風速及び上昇風速は、飛来物評価のため接線風速に係数を掛ける形で付加
- ・ 風速は半径にのみ依存（高さに依存しない）
- ・ 上昇流は全領域で存在する（地面からも風の吹き出しが存在する）
 - － 保守的ではあるが、特に地上の物体の挙動を評価する上で、実現象からの乖離が著しくなる

無次元座標 $r = R / R_m$

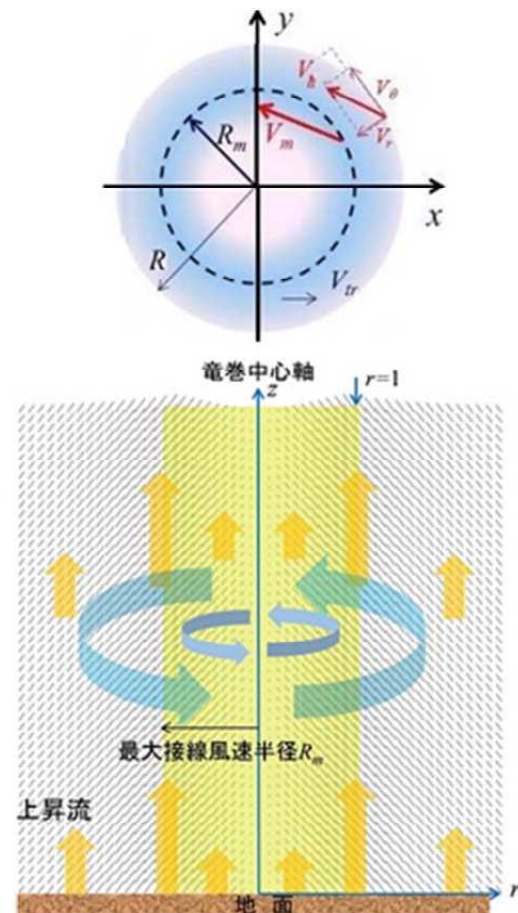
接線風速 $V_\theta = \frac{2V_m}{\sqrt{5}} F_r(r)$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases}$$

半径方向風速 $V_r = -\frac{1}{2} V_\theta$

上昇風速 $V_z = \frac{2}{3} V_\theta$

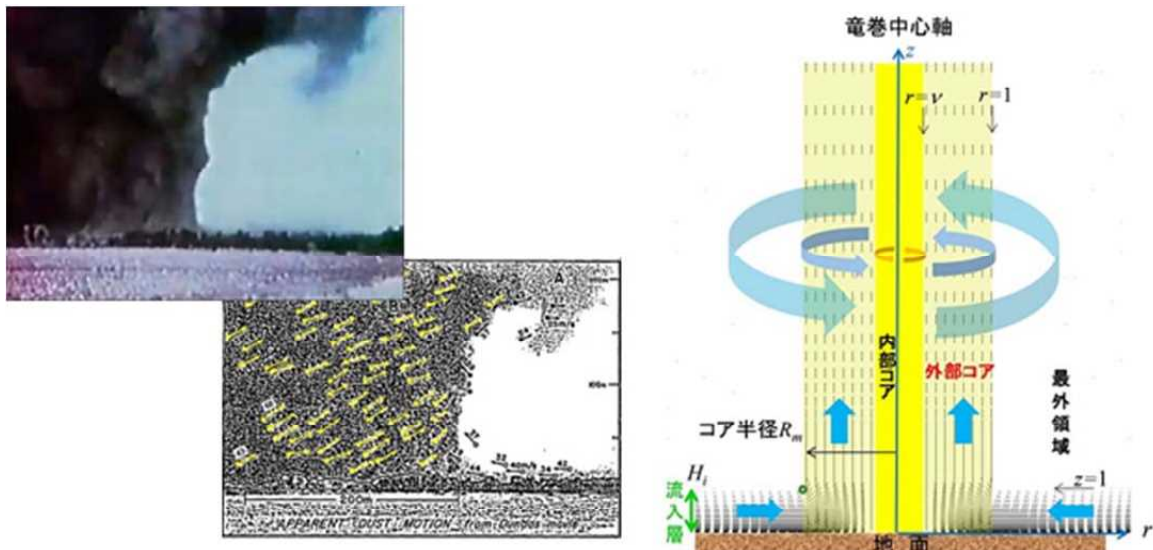
水平方向風速 $V_h = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2} = V_m F_r(r)$



Simiu, E. and Cordes, M., Tornado-Borne Missile Speeds, NBSIR 76-1050, 1976

2. 風速場モデル（フジタモデル）

- ・実観測に基づいて考案されたモデルであり、実際に近い風速場構造を表現
 - ー半径方向に3領域（内部コア、外部コア、最外領域）、
 - 高さ方向に2領域（流入層、非流入層）
 - ー地表面付近での竜巻中心に向かう強い水平方向流、及び外部コアにおける上昇流を表現
- ・比較的簡易な代数式により、高さ方向の風速分布や上昇風速も含めて風速場を表現できる
 - ー地表面付近の風速場をより良く表現しており、地上にある物体の挙動評価に適する



無次元座標 $r = R/R_m, \quad z = Z/H_i$

接線風速 $V_\theta = F_r(r)F_h(z)V_m$

$$F_r(r) = \begin{cases} r & (r < 1) \\ 1/r & (r \geq 1) \end{cases} \quad F_h(z) = \begin{cases} z^{k_0} & (z < 1) \\ \exp(-k(z-1)) & (z \geq 1) \end{cases}$$

$$V_r = \begin{cases} 0 & (r \leq \nu) \\ \frac{V_\theta \tan \alpha_0}{1 - \nu^2} \left(1 - \frac{\nu^2}{r^2} \right) & (\nu < r < 1) \\ V_\theta \tan \alpha_0 & (r \geq 1) \end{cases}$$

$$\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1 - z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

上昇風速

$$V_z = \begin{cases} \frac{3}{28} \frac{\eta V_m}{1 - \nu^2} A (16z^{\frac{7}{6}} - 7z^{\frac{8}{3}}) & (z < 1) \\ \frac{\eta V_m B \exp(-k(z-1))}{k(1 - \nu^2)} \{2 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases}$$

k_0, k, ν, η, A, B は定数

Fujita, T. T., Workbook of Tornadoes and High Winds for Engineering Applications, U. Chicago, 1978

3. 竜巻による風を受ける物体の挙動

・飛来物の運動方程式

$$\frac{d\mathbf{V}_M}{dt} = \frac{\rho C_D A}{2 m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M| (\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M) - g\mathbf{k} + L\mathbf{k}$$

└──────────①──────────┐ ② ③

\mathbf{V}_M : 飛来物の速度ベクトル
 \mathbf{V}_w : 飛来物位置での風速ベクトル
 \mathbf{k} : 鉛直上向きのベクトル
 ρ : 空気密度
 g : 重力加速度
 m : 飛来物の質量
 C_D : 飛来物の抗力係数
 A : 飛来物の見付面積

・各々の加速度の成分

①物体が空気から受ける力(抗力) : 物体がランダムに回転し、各面が均等に風を受けると仮定

$$\text{抗力係数} \times \text{見付面積} : C_D A = \frac{1}{3} (C_{Dx} A_x + C_{Dy} A_y + C_{Dz} A_z)$$

②重力

③物体の上下面での空気の流れの差による生じる力(揚力)

$$\text{揚力加速度} : L = \frac{\rho C_L a}{2 m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f\left(\frac{Z}{d}\right)$$

C_L : 地面での揚力係数
 a : 地上に置かれた物体の見付面積

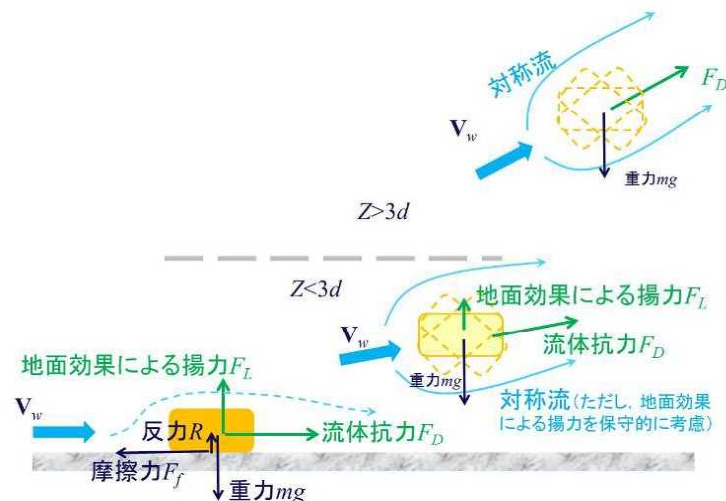
ー揚力の生じ方は、物体と地面の接触状態に依存(接触面が大きければ揚力は生じにくい)

ー接触状態を実際に確認するのは難しいことから、揚力を大きく見積もるため、地上にある物体にも揚力が作用すると仮定

ー物体と地面の距離が近い場合、揚力が生じる方向に空気の流れが地面の影響を受ける(地面効果)ため、実験に基づき係数を設定

$$f\left(\frac{Z}{d}\right) = \frac{1 - Z/3d}{1 + Z/d} (Z \leq 3d), \quad 0 (Z > 3d), \quad Z = z - \frac{d}{2}$$

(物体の高さが 0 の場合に 1, 寸法(高さ)の 3 倍の場合に 0 となる)



江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発，電力中央研究所 研究報告 N14002，2014.

- ・物体が揚力により浮き上がる際の挙動を理論的に評価するのは難しい
(物体の傾き，物体表面に生じる圧力の分布等まで模擬するのは現実的ではない)
- ・これに準ずる方法として，物体が浮き上がりやすくなる（すなわち，揚力が大きくなる）ように係数($C_L a$)を設定することで，飛散挙動の保守的な取扱いが可能になる
- ・一方，抗力係数×見付面積($C_D A$)と揚力係数×見付面積($C_L a$)の関係は， $C_D A > C_L a$ が成立
→係数として，揚力係数×見付面積($C_L a$)に代わり抗力係数×見付面積($C_D A$)を用いることで，物体が浮き上がりやすくなる評価とすることが可能

$$\text{揚力加速度： } L = \frac{\rho C_D A}{2m} |\mathbf{V}_w - \mathbf{V}_M|_{x,y}^2 f\left(\frac{Z}{d}\right)$$

$C_D A$ と $C_L a$ の比較

	$C_D A$	$C_L a$
円柱*(直径 D, 長さ L)	約 0.47DL	～0.2DL
自動車*(Dodge Dart)	約 129ft ²	約 48.7ft ²
自動車**(セダン, 1/6 模型)	約 12.1m ²	約 7.8m ²
自動車**(ミニバン, 1/6 模型)	約 14.6m ²	約 7.9m ²



・浮き上がりの判定

－揚力が重力を上回った場合に浮き上がりが発生

－上記と同様に、揚力係数×見付面積($C_L a$)よりも大きな抗力係数×見付面積($C_D A$)を用いることで、物体が浮き上がり始める風速(V_w)の条件が小さくなり、物体の浮き上がりを保守的に判定することが可能

$$\frac{\rho C_L a}{2} V_w^2 > g \quad \Rightarrow \quad \frac{\rho C_D A}{2} V_w^2 > g$$

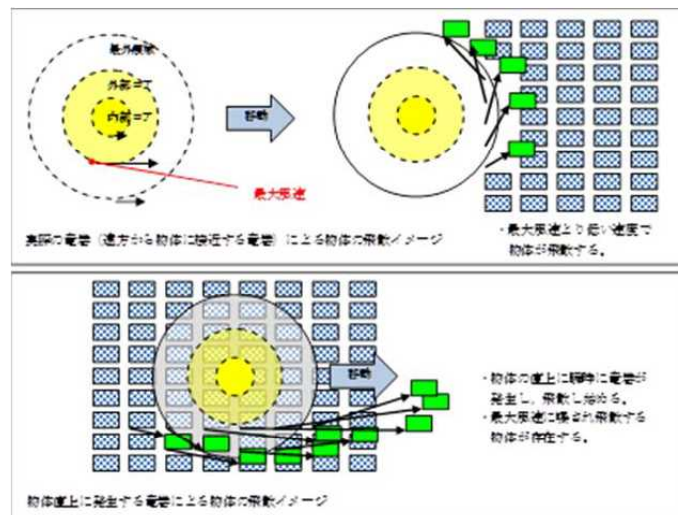
*EPRI, Wind Field and Trajectory Models for Tornado-Propelled Objects, report NP-748, 1978.

**Schmidlin, T., Hammer, B., King, P., Ono, Y., Miller, L. S. and Thumann, G., Unsafe at any (wind) speed?

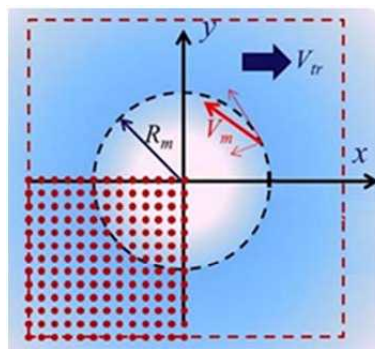
–Testing the stability of motor vehicles in severe winds–, Vol. 83, No. 12, pp. 1821–1830, 2002.

4. 多点配置の手法による不確かさを考慮した保守性

- ・竜巻が物体に与える速度の不確かさを考慮するため、多点配置の手法を採用
— 竜巻周囲に仮想的に多数個の評価対象物品を配置し各々につき評価を実施
(初期竜巻中心を中心とし、一辺が竜巻半径の4倍の正方形の領域に 51×51 個の物体を配置)
- 評価値 (速度, 高さ, 距離) として, 飛散させた物体のうち最大となるものを選択
- ・実際の竜巻は遠方から物体に近づくため, 最大風速より低い風速に曝され飛散
- ・物体の直上に竜巻を発生させる設定とすることで, 実際より厳しい結果を与える



飛散の比較イメージ



多点配置のイメージ

5. モデルの実事例との比較 ①F-スケールとの比較

- ・ F-スケール：竜巻等の突風により発生した建築物や車両等の被害状況から、竜巻風速を推定するために考案された指標
- ・ F-スケールで示されている自動車の被災状況と各スケールに対応する最大風速 (69m/s, 92m/s, 116m/s) を用いた自動車の飛散解析結果とを比較
- ・ 自動車の飛散評価結果は各スケールに対応する自動車の被災状況と概ね合致

F-スケールで示されている自動車の飛散状況

F-スケール	風速 (m/s)	自動車の被災状況
F2	50－69	cars blown off highway (自動車が道路からそれる)
F3	70－92	cars lifted off the ground (自動車が地面から浮上する)
F4	93－116	cars thrown some distances or rolled considerable distances (自動車がある距離を飛ばされる、または、かなりの距離を転がる)

自動車の飛散評価結果

F-スケール との対応	最大水平 風速 (m/s)	竜巻接線 風速 (m/s)	竜巻移動 速度 (m/s)	計算結果		
				速度 (m/s)	距離 (m)	高さ (m)
F2	69	59	10	1.0	1.4	0
F2*	89	59	30	23	25	0.9
F3	92	79	13	23	34	1.1
F4	116	99	17	42	59	3.1

(*)自動車の走行を考慮し、竜巻の移動速度を増大させた場合

江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，竜巻による物体の浮上・飛来解析コード TONBOS の開発，電力中央研究所 研究報告 N14002，2014. 他

6. モデルの実事例との比較 ②Grand Gulf 原子力発電所の竜巻事例

- ・建設中の Grand Gulf 原子力発電所(米国ミシシッピ州)に竜巻が来襲(1978. 4. 17)
- ・建設中の冷却塔内部に設置されていたクレーンが倒壊し、冷却塔の一部が破損する等の被害
- ・竜巻による物品の飛散状況が定量的に分かる事例として、資材置き場におけるパイプの散乱状況が報告されている
 - ーパイプを収納した木箱(一部は二段重ね)は浮上せずに転倒し、パイプが周辺7～9mに散乱(Pieces of pipe were scattered over the area, but none traveled more than 25-30 ft.)
 - ーパイプはコンクリート・石綿製、長さ8ft、直径(内径)8in.
 - ー通過時の竜巻規模はF2と考えられている



Grand Gulf 原子力発電所資材置き場におけるパイプの散乱状況

"Courtesy of Hathi Trust"

<http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015037472209#view=1up;seq=65>

7. モデルの实事例との比較 ②Gland Gulf 原子力発電所の竜巻事例

- パイプの飛散状況に対して、飛散評価を実施
 - 竜巻条件：設計竜巻風速 67m/s, 最大接線風速 53.6m/s, 移動速度 13.4m/s, コア半径 45.7m
 - 飛来物条件：直径(外径)9in. (0.2286m), 物体高さ 0.229m, 密度 1700kg/m³, 飛行定数 $C_p A/m$ 0.0080m²/kg
 - 初期配置：物体個数 51×51 個を、竜巻半径の 4 倍を一辺とする正方形内 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置
- 飛散評価の結果、パイプがほとんど飛散せず、木箱が倒れた影響で散らばったと思われる状況と概ね合致
- なお、ランキン渦モデルにより評価した場合、飛散距離や最大水平速度で実際の状況と比較して過度に保守的な評価結果

Grand Gulf 原子力発電所のパイプの飛散計算結果

風速場モデル	初期物体高さ	計算結果 (TONBOS)		
		飛散距離	飛散高さ ^{*2}	最大水平速度
フジタモデル	1m	1.2m	0.0m	4.9m/s
ランキン渦モデル	1m ^{*1}	42.6m	0.34m	30.7m/s
	40m	227m	0.34m	40.9m/s

*1：地上付近の風速場を模擬できていないが、比較のため同条件とした

*2：初期物体高さからの飛散高さ

日本保全学会原子力規制関連事項検討会，原子力発電所の竜巻影響評価について－設計風速および飛来物速度の評価－，2014.9.9

8. モデルの実事例との比較 ③佐呂間の竜巻事例

- ・北海道網走支庁佐呂間町で竜巻が発生(2006. 11. 7)
- ・4tトラックは約40m移動(初期位置と移動位置が判明している)



佐呂間竜巻(2006. 11. 7)による被災状況：工事事務所敷地内の車両被災
 (竜巻経路 → を追加)

9. モデルの実事例との比較 ③佐呂間の竜巻事例

- ・トラックに対し，車両と竜巻中心との距離を変化させて飛散評価を実施

－竜巻条件：設計竜巻風速 92m/s，最大接線風速 70m/s，移動速度 22m/s，コア半径 20m

－飛来物条件：車両長さ 8.1m，車両幅 2.24m，車両高さ 2.5m，車両重量 4000kg，飛行定数 $C_D A/m$ 0.0056m²/kg

（車種不明のため，三菱ふそう PA-FK71D の仕様とした）

－初期配置：竜巻中心からの距離は 18m，20m，22m の 3 ケースを実施

（竜巻は遠方から物体に近づくが，風速 60m/s 以下では浮上しない）

- ・軌跡は竜巻中心との位置関係に依存するが，各ケースとも飛散方向が実際の方向と概ね合致
- ・特に車両と竜巻中心との距離を 20m としたケースでは，飛散距離もほぼ正確に再現
- ・地上に設置された状況からの飛散挙動が再現できることを確認



佐呂間竜巻での 4 t トラックの飛散計算結果

日本保全学会原子力規制関連事項検討会，原子力発電所の竜巻影響評価について－設計風速および飛来物速度の評価－，2014.9.9

10. モデルの実事例との比較 ③佐呂間の竜巻事例

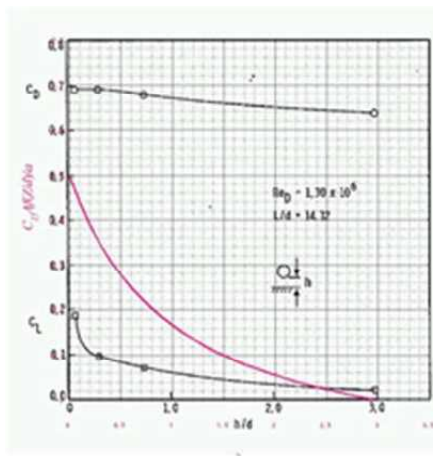
(多点配置を考慮した飛来物評価)

- ・多点配置を考慮した飛来物評価で佐呂間竜巻における4tトラックの被災事例を評価し、実際の被災状況と結果を比較
- ・パイプの飛散状況に対して、飛散評価を実施
 - －竜巻条件：設計竜巻風速 92m/s, 最大接線風速 78m/s, 移動速度 14m/s, コア半径 30m
 - －飛来物条件：三菱ふそう PA-FK71D の仕様（前に同じ）
 - －初期配置：物体個数 51×51 個を、竜巻半径の4倍を一辺とする正方形内 ($x, y = [-2R_m, +2R_m]$) に等間隔配置
- ・多点配置を考慮した飛散評価結果と実際の被災状況を比較した結果、保守性の観点からも妥当な結果が得られている
 - －最大飛散速度：36m/s (130 km/h) →被災後もほぼ元の外形を留めており、実速度は評価結果をはるかに下回ると推察
 - －最大飛散高さ：3.6m →乗員2名が幸い存命で救出されており、トラックが3.6m以上の高所から落下したとは考え難い
 - －最大飛散距離：63.4m →実際の飛散距離(約40m)を上回る

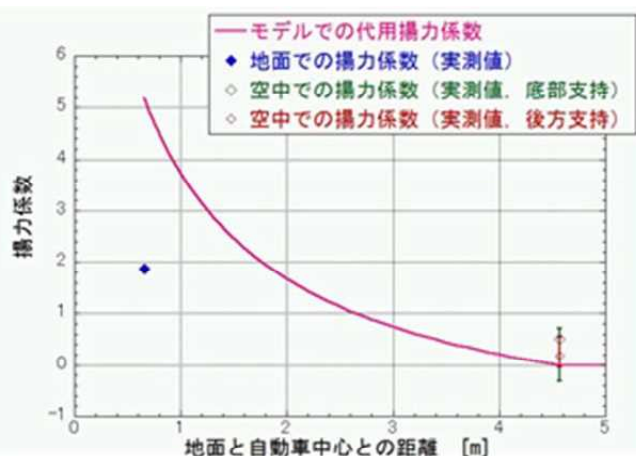
江口譲，杉本聡一郎，服部康男，平口博丸，原子力発電所での竜巻飛来物速度の合理的評価法，日本機械学会論文集，vol.81，No.823，2015

11. 今回用いた飛散評価手法の保守性 ①揚力係数の設定による保守性

- ・揚力を大きく見積もることによる、飛散評価上の影響
 - －初期状態（物体は地上に存在）では、浮き上がるかどうか
 - －浮き上がりやすい判定を行うことで、本来飛散しない条件の物体でも評価上飛散を発生させる
 - －飛散状態（物体は空中に存在）では、どれだけ浮き上がって飛散距離が長くなるか
 - －浮き上がることで滞空時間が長くなり、飛散距離が増加
 - －高さ方向に風速分布を持つ場合、高度を増すことでより周囲の風速（鉛直/水平）が増加して物体が加速され、飛散速度や飛散距離、浮き上がり高さが増加
- ・風洞実験の結果等を踏まえ、大きな揚力係数を設定することで揚力をより大きく見積もり、保守的な評価を実施



(円柱の場合)



(自動車の場合)

設定した揚力係数(抗力係数で代用)の、実際の揚力係数との比較

EPRI, Wind Field and Trajectory Models for Tornado-Propelled Objects, report NP-748, 1978.に基づく

12. 今回用いた飛散評価手法の保守性 ②多点配置の手法による保守性

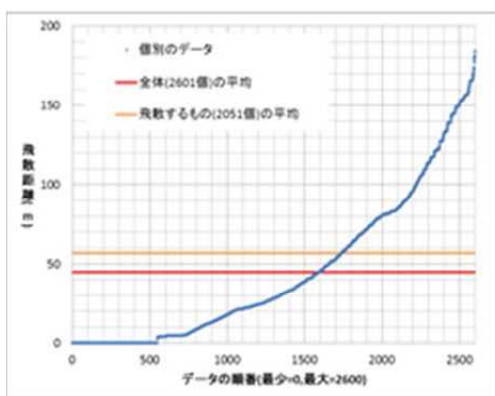
・多点配置(51×51=2601 個)の手法における評価結果の分布例

－飛散距離：最大値は平均(飛散するものの)の約3倍

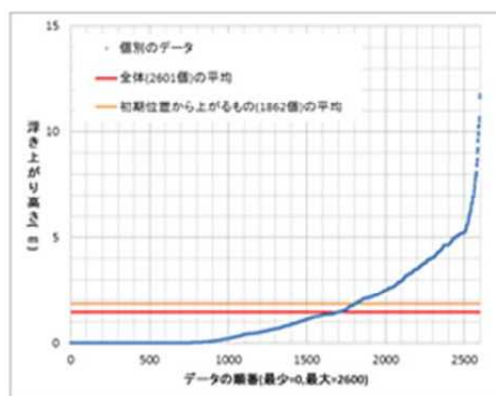
－浮き上がり高さ：最大値は平均(初期位置から上がるものの)の約6倍

→多点配置の手法により、竜巻が物体に与える速度の不確かさを考慮

－竜巻中心から見て進行方向後ろ側からの飛散のような、現実性の小さいケース(竜巻の進行に伴い風速がピークを過ぎてから飛散)も含めて評価を行っている



飛散距離の分布



浮き上がり高さの分布

- ・ワゴン車
- ・初期高さ 7.5m
- ・風速場はフジタモデル

設計竜巻に対する風速設定(100m/s)の保守性ともあわせ、飛散評価全体として一定の保守性を確保した評価となっている。

設計対象施設に対する竜巻飛来物の衝突による影響について

1. 金属キャスク

金属キャスクの外筒の板厚は約 2cm であり、重量のある、または鋭い物体が外筒上に落下した場合、外筒が貫通し、外筒により覆われている中性子遮蔽材(レジン)の一部が失われる可能性がありうることから、遮蔽機能が低下する場合を考える。なお、本体胴の板厚は約 25cm であり、本体胴の貫通に至るまでには大きな余裕があることから、金属キャスクの閉じ込め機能には影響しない。

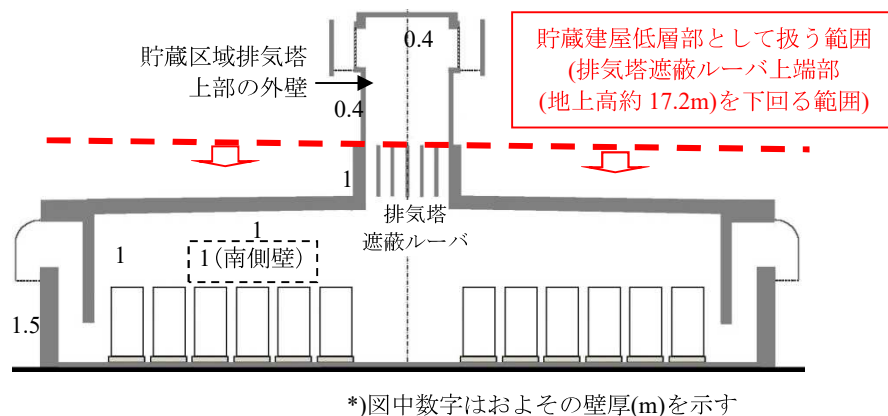
金属キャスク外筒への物体の落下により破損する中性子遮蔽材の範囲は一部に限定されると考えられるが、遮蔽機能の低下による影響を把握するため、非現実的ではあるが金属キャスクの全体にわたり中性子遮蔽材が完全に失われた極端な状態を仮定する。

このような場合を仮定しても金属キャスク周囲の線量は、核燃料輸送物としての特別の試験条件(輸送物の安全性を評価する観点から輸送法令に基づき想定する過酷な条件)を対象とした遮蔽解析(1m 貫通試験)の結果に基づき保守的に見積もっても 9mSv/h 程度(金属キャスク表面から 1m の位置)であり、特別の試験条件における設計基準(10mSv/h)を下回っている。また、敷地境界における線量の増加量は保守的に見積もっても $0.07 \mu\text{Sv/h}$ 程度と周辺監視区域外における線量限度($1\text{mSv/年} \div 0.11 \mu\text{Sv/h}$)を下回る値であり、著しい増加とはならない。なお、貯蔵中に金属キャスクの中性子遮蔽材が損傷するような事象が仮に生じた場合、輸送にあたっては輸送物としての適切な対処を行った上で実施する。

このように、金属キャスクへの竜巻飛来物の衝突については、そもそも可能性が極めて小さい状況で、極端に保守的な状態を仮定しても遮蔽機能の低下は設計基準の範囲内に留まり、また敷地周辺への影響も極めて小さいことから、竜巻飛来物が金属キャスクの基本的安全機能に直接影響する可能性は極めて小さく、貯蔵建屋の開口部を通過する飛来物を設定する必要はないと考えられる。

2. 使用済燃料貯蔵建屋

現実的には、竜巻飛来物の衝突により使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能を損なうことはないが、仮に竜巻飛来物の衝突により貯蔵区域排気塔上部の外壁に裏面剥離が発生したとしても、排気塔直下には金属キャスクを貯蔵しないことから、落下したコンクリート片が金属キャスクに衝突して影響を及ぼす可能性は小さく、また補修により建屋壁の遮蔽機能の復旧を図れることから、使用済燃料貯蔵建屋の基本的安全機能に影響はない。（別添5-1図参照）



別添5-1図 貯蔵区域断面図（東西方向）

第 11 条 外部からの衝撃による損傷の防止（火山）

< 目 次 >

1. 設計方針
2. 立地評価
3. 影響評価
4. 火山モニタリング
5. 手順等

1. 設計方針

- (1) 敷地周辺の火山については、その活動性や敷地との位置関係から判断して、設計対応不可能な火山事象が使用済燃料貯蔵施設に影響を及ぼす可能性は十分小さい。ただし、恐山については過去のマグマ噴火に伴う火砕物密度流が敷地に到達していることから、火山影響評価の根拠が維持されていることの確認を目的として火山活動のモニタリングを実施する。

モニタリングの結果、観測データに有意な変化があった場合は、火山専門家等の助言を踏まえ、最新の科学的知見に基づき可能な限りの対処を行うこととする。

降下火砕物（火山灰）としては、敷地近傍で確認された火山灰を考慮することとし、火山灰堆積量を30cmに設定する。また、降下火砕物の堆積状況に応じて、降下火砕物（火山灰）の除去を行い、基本的安全機能が損なわれることがないように、適切な処置を講ずる。

- (2) 使用済燃料貯蔵建屋に対する荷重の観点から、積雪と火山の影響（降下火砕物）の組合せによる重畳を考慮することとし、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なわないよう設計及び運用にて考慮する。

2. 立地評価

文献調査の結果、地理的領域の第四紀火山として55火山を抽出する。次に、将来の活動が否定できない火山として24火山を抽出する。

設計対応不可能な火山事象（火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ他、新しい火口の開口及び地殻変動）のうち、恐山の火砕物密度流については、過去最大規模の火砕物密度流が敷地に到達している。

恐山の活動は、古恐山と新恐山の活動に大別され、その間に約20万年の休止期間が存在する。現在は約8万年前から継続する熱水活動期である。

地球物理学的調査などの結果から、深さ20km以浅には大規模なマグマ溜まりが存在する可能性は小さく、深部から連続する火道も認められない。

以上より、恐山は現在も熱水活動が生じているものの、マグマ噴火に伴う火砕物密度流が施設に影響する可能性は十分に小さい。

ただし、過去のマグマ噴火に伴う火砕物密度流が施設に到達していることから、火山影響評価の根拠が維持されていることの確認を目的として供用期間中のモニタリングを行う。

具体的には、使用済燃料貯蔵施設は監視対象火山を恐山火山とし、火山専門家からなる火山活動評価委員会を設置し、火山活動のモニタリングにおいて地震活動、地殻変動、火山ガス状況等を監視・定期評価することとする。

火山モニタリングにおいて、観測データに有意な変化があった場合は、火山専門家等の助言を踏まえ、最新の科学的知見に基づき可能な限りの対処を行う。

3. 影響評価

3.1 設計対象施設

基本的安全機能を有する金属キャスクは、使用済燃料貯蔵建屋内に収容され、金属キャスク表面に伝えられた使用済燃料集合体の崩壊熱は、使用済燃料貯蔵建屋に設けられた給気口及び排気口を通じた自然換気方式により除熱される。また、基本的安全機能を確保するために必要な動的機器はない。

このため、基本的安全機能を確保するために、降下火砕物の影響から防護する設計対象施設を金属キャスク及び貯蔵建屋とする。

3.2 降下火砕物の設計条件及び特徴

(1) 降下火砕物の設計条件

使用済燃料貯蔵施設の敷地において考慮する降下火砕物の諸元として、文献調査、地質調査をもとに160km圏内外の火山活動状況等から抽出した結果、恐山、北海道駒ヶ岳、十和田の3火山が抽出された。3火山を対象に降下火砕物シミュレーションを行った結果から、恐山火山の降下火砕物による最大堆積層厚30cmを設計上考慮すべき降下火砕物堆積層厚とする。

また、密度については、恐山宮後テフラから採取した試料の密度試験結果を踏まえ 1.5g/cm^3 （湿潤状態）とする。

(2) 降下火砕物の特徴

各種文献の調査結果より、降下火砕物は以下の特徴を有する。

- a. 火山ガラス片、鉱物結晶片から成る⁽¹⁾。ただし、砂よりもろく硬度は低い⁽²⁾。
- b. 硫酸等を含む腐食性のガス（以下「腐食性ガス」という。）が付着している⁽¹⁾。ただし、金属腐食研究の結果より、直ちに金属腐食を生じさせることはない⁽³⁾。
- c. 水に濡れると導電性を生じる⁽¹⁾。
- d. 湿った降下火砕物は乾燥すると固結する⁽¹⁾。
- e. 降下火砕物粒子の融点は約 $1,000^{\circ}\text{C}$ であり、一般的な砂に比べ低い⁽¹⁾。

3.3 降下火砕物による影響因子

降下火砕物の特徴及び設計対象施設の構造や設置状況等を考慮し，降下火砕物が直接及ぼす影響（以下「直接的影響」という。）とそれ以外の影響（以下「間接的影響」という。）として選定する。

(1) 直接的影響

a. 荷重

使用済燃料貯蔵建屋に降下火砕物が堆積する場合，及び降下火砕物と積雪の堆積が重畳する場合について構造健全性を評価した結果，第1表及び第2表のとおり，いずれの場合も使用済燃料貯蔵建屋の構造健全性は維持される。

第1表 降下火砕物に対する使用済燃料貯蔵建屋屋根の評価結果

(単位：N/m²)

対象建屋	①降下火砕物による堆積荷重(30 cm・湿潤 1.5g/cm ³)	②許容堆積荷重*	判定
受入区域屋根	4,500	12,700	可 (①<②)
貯蔵区域屋根	4,500	17,900	可 (①<②)
センタータワー 屋根	4,500	11,300	可 (①<②)

*許容堆積荷重:使用している材料の許容応力度の比1.5[短期/長期]に基づき，設計で考慮されている常時荷重（自重，積載荷重，積雪荷重）から算出

第2表 降下火砕物と積雪の重量に対する使用済燃料貯蔵建屋 屋根の評価結果

(単位：N/m²)

対象建屋	①降下火砕物による堆積荷重 (30 cm・湿潤 1.5g/cm ³)	②積雪荷重 (170 cm・0.3 g /cm ³)	③=①+②	④許容 堆積荷重*	判定
受入区域屋根	4,500	5,100	9,600	12,700	可 (③<④)
貯蔵区域屋根	4,500	5,100	9,600	17,900	可 (③<④)
センタータワー屋根	4,500	5,100	9,600	11,300	可 (③<④)

*許容堆積荷重:使用している材料の許容応力度の比1.5[短期/長期]に基づき、設計で考慮されている常時荷重(自重、積載荷重、積雪荷重)から算出

なお、可能性は低いものの、積雪状態で降下火砕物が堆積して構造設計で考慮する荷重を上回ることはないように、管理基準・対応手順を社内マニュアルに定めて、除雪・除灰等を行う。

b. 粒子の衝突

降下火砕物は微小な鉱物結晶であり、その衝突による貯蔵建屋への影響については、「リサイクル燃料備蓄センター 事業許可基準規則への適合性について(第11条 外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻))」で設定している設計飛来物の影響に包絡されることから、粒子の衝突の影響を考慮する必要はない。

c. 閉塞

貯蔵建屋の給気口にはフードを、排気口には遮風板を設置し、降下火砕物が侵入しにくい構造とするとともに、給気口に設置するバードスクリーンは降下火砕物の粒径より十分に大きいメッシュとする。また、金属キャスクを貯蔵する貯蔵区域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であり十分に高い。

以上のことから、貯蔵建屋の給気口及び排気口の閉塞の影響を考慮する必要はない。

外気取入口からの降下火砕物の侵入により使用済燃料貯蔵建屋の付帯区域の換気空調系統のフィルタの目詰まりが生じても、金属キャスクの基本的安全機能が損なわれることはない。

なお、降下火砕物が発生するような火山事象が発生する場合には、給気口を確認し、必要に応じて付着した降下火砕物の除去を行う。

d．摩耗

設計対象施設には動的機器はないことから、摩耗の影響を考慮する必要はない。

e．腐食

貯蔵区域給気口からの降下火砕物の侵入が生じた場合でも、金属キャスクの二次蓋上面に保護カバーを取り付けることにより二次蓋シール部への降下火砕物の付着は抑制され、閉じ込め機能への影響はない。また、金属キャスクの外筒等は耐食性をもつ塗装を施すことから、降下火砕物の付着による腐食の短期的な影響はない。降下火砕物が発生するような火山事象が生じた場合には、金属キャスク等への降下火砕物の付着状況を確認し、必要に応じて付着した降下火砕物の除去を行う。

f．大気汚染

基本的安全機能の確保のために、監視盤室に監視員が常駐する必要があることから、大気汚染の影響を考慮する必要はない。

g．水質汚染

基本的安全機能の確保のために水を用いないことから、水質汚染の影響を考慮する必要はない。

h．絶縁低下

基本的安全機能の確保のために必要な電気系機器及び計測制御系機器がないことから、絶縁低下の影響を考慮する必要はない。

(2) 間接的影響

a. 外部電源喪失

降下火砕物により送電網が損傷し外部電源が喪失した場合においても使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なうことはなく、外部電源喪失時には無停電電源装置及び電源車等から計測設備、放射線監視設備の監視機能、通信連絡設備等の必要な負荷に給電できる。したがって、外部電源喪失の影響は考慮する必要はない。

b. 交通の途絶

基本的安全機能の確保のために、外部からの支援を必要とする機器はないことから、交通の途絶の影響は考慮する必要はない。

4. 火山モニタリング

(1) 恐山の評価

恐山については、火山フロントに位置する第四紀火山であり、噴気活動が認められ、ランクCの活火山に分類されている。また、敷地において、過去最大規模の噴火に伴う火砕流堆積物が確認されているため、詳細な調査を実施する。

恐山火山は、釜臥山を含む外輪山を形成した溶岩流の噴出を主体とする古恐山火山（約146万年前～約68万年前）と、約20万年程度の非活動期を挟んで現在の新恐山火山の活動期（約48年前以降）に大別される。

新恐山火山では、約48万年前～8万年前の期間はマグマが直接関与した活動であるが、8万年前～現在までの期間ではマグマが直接関与しない活動（熱水活動）が継続している。

なお、恐山火山の最後の噴火は6～8万年前の宮後テフラ（水蒸気噴火）である。

現在の恐山火山は、地震活動は非常に低調であり、また継続的な地形変位の累積を示す地殻変動も認められない。

また、宇曽利山湖北岸の地獄谷周辺では典型的な熱水活動（沸騰水の噴出）が継続しているが、噴気調査等によれば、マグマが直接関与する活動である可能性は小さい。

また、地震波トモグラフィ解析結果からも、深さ20 k m以浅には大規模なマグマ溜りが存在する可能性は小さい。

以上のように、恐山火山は、設計対応不可能な火山事象が、施設に影響を及ぼす可能性は十分小さいが、過去のマグマ噴火に伴う火砕物密度流が敷地に到達していることから、火山影響評価の根拠が維持されていることを継続的に確認することを目的として供用期間中のモニタリングを行う。

(2) 火山モニタリング

恐山については、公的な機関による火山関連の観測が行われていないため、当社として「地殻変動データ」、「地震観測データ」、「噴火口の状況や火山ガスの観測」等の火山モニタリングを独自に実施している。

また、社内に火山の専門家からなる火山活動評価委員会を設置し、定期的に火山モニタリングの結果を報告し、指導を仰いでいる。

また、常時モニタリングをしている、「地殻変動データ」、「地震観測データ」について有意な変化があるかどうかを判断する監視基準を設定する。

(3) モニタリングの監視基準

モニタリングの監視基準は、「地震観測データ」、「地殻変動データ」より、以下のように設定し、有意な変化があるかどうかを判断する。

- ・ 恐山噴気地帯を中心とする半径 5 k m 圏内の地震発生数が10回/月を超えた場合
- ・ 恐山(湯坂)を基点とする 4 基線の基線長変化で、2 測線同時に一週間連続で監視基準値を超えた場合（監視基準値は、前年データの $\pm 3 \sigma$ を超えた場合に、有意な変化があると判断）
- ・ 恐山(湯坂)を基点とする 4 基線の比高で、観測記録の 7 日移動平均が 2 測線同時に一週間連続で監視基準値を超えた場合（比高の管理基準については、季節間変動と思われるデータの揺らぎが大きいので、前年の 7 日移動平均との差分データの $\pm 3 \sigma$ を超えた場合に、有意な変化があると判断）

(4) 処置

前記(3)の 3 つの状態の変化のうち、いずれか一つの事象が認められた場合、当社は直ちに火山活動評価委員会を緊急招集する。

火山専門家等の助言を踏まえ、最新の科学的知見に基づき可能な限りの対処を行う。主な対処方針を以下に示す。

- ・ 火山活動のモニタリング強化
- ・ 使用済燃料を収納したキャスクの搬入停止

5. 手順等

降下火砕物の降灰後，点検及び除灰の対応を適切に実施するため，以下に係る手順等を社内マニュアルに定める。

- (1) 設計対象施設への影響を確認するための点検を実施する。
- (2) 点検によって降下火砕物の付着が確認された箇所について，付着した降下火砕物の分析を行うとともに，除去を実施する。
- (3) 降下火砕物の堆積や積雪により貯蔵建屋の構造設計で考慮した荷重を上回ることがないように，建屋に堆積した降下火砕物及び積雪の除去を実施する。

参考文献

- (1) 広域的な火山防災対策に係る検討会（第3回）（資料2），内閣府, 2012
- (2) 武若耕司，シラスコンクリートの特徴とその実用化の現状，コンクリート工学，Vol. 42，2004
- (3) 出雲茂人, 末吉秀一他, 火山環境における金属材料の腐食, 防食技術Vol. 39, 1990

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. 外部火災評価対象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空気の温度や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わない設計とする。

(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、貯蔵される高圧ガスの種類及び貯蔵量等から算出した危険限界距離が、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以下であることを確認することにより、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等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、算出される火炎輻射強度に基づき、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空気の温度や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わない設計とする

(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，陸上輸送等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. 外部火災評価対象と具体的な評価内容

考慮すべき貯蔵施設敷地外の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な評価内容

火災種別	考慮すべき火災	評価内容	評価項目	
森林火災	貯蔵施設敷地外10km以内に発火点を設定した貯蔵建屋に迫る森林火災	・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 ・森林火災評価に基づく評価対象設備の熱影響評価	・防火帯幅評価 ・熱影響評価 ・危険距離評価	二次的影響(ばい煙, 有毒ガス等)評価
近隣の産業施設の火災・爆発	貯蔵施設敷地外10km以内の石油コンビナート等の火災・爆発	・貯蔵施設敷地外の石油コンビナート等について貯蔵施設との距離, 地形等を考慮した貯蔵建屋の影響評価	・熱影響評価 ・危険限界距離評価	
	貯蔵施設敷地内の危険物貯蔵施設の火災	・貯蔵施設敷地内の危険物貯蔵施設火災による貯蔵建屋の熱影響評価	・熱影響評価	
航空機墜落による火災	貯蔵施設敷地への航空機墜落時の火災	・墜落を想定する航空機に相当する火災を想定した貯蔵建屋の熱影響評価	・熱影響評価	

2.1 評価対象施設

外部火災に対する評価対象設備については, 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、建屋内の空気温度と金属キャスク各部（ガスケット、レジン、胴、燃料被覆管等）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。

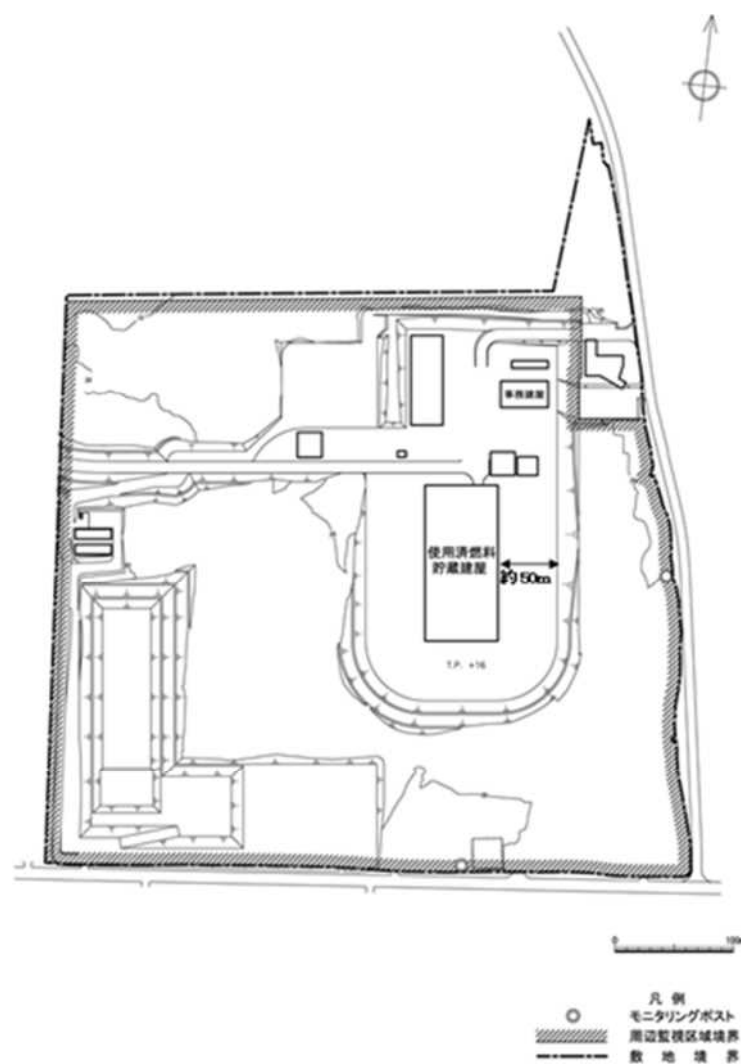
2.2.2 二次的影響評価

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評価対象設備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内貯蔵区域は金属キャスク及び各設備の点検、保守等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)

本評価は、貯蔵施設敷地外で発生する森林火災に対し、安全性向上の観点から、森林火災が敷地に迫った場合でも安全機能を有する設備を内包する貯蔵建屋に影響を及ぼさないこと、及び火災により発生する熱気流が貯蔵建屋内に侵入した場合においても金属キャスクに影響を及ぼさないことを評価するものである。

3.2 評価方法及び評価結果

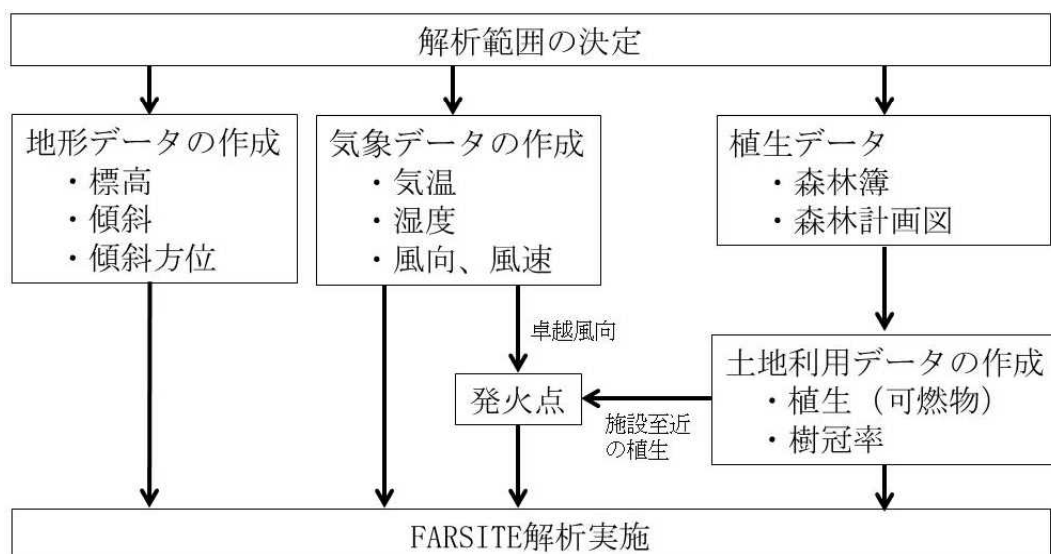
3.2.1 使用解析コード

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(FARSITE)」FARSITE(Fire Area Simulation)は、米国農務省 USDA 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 FARSITE 入力データの作成

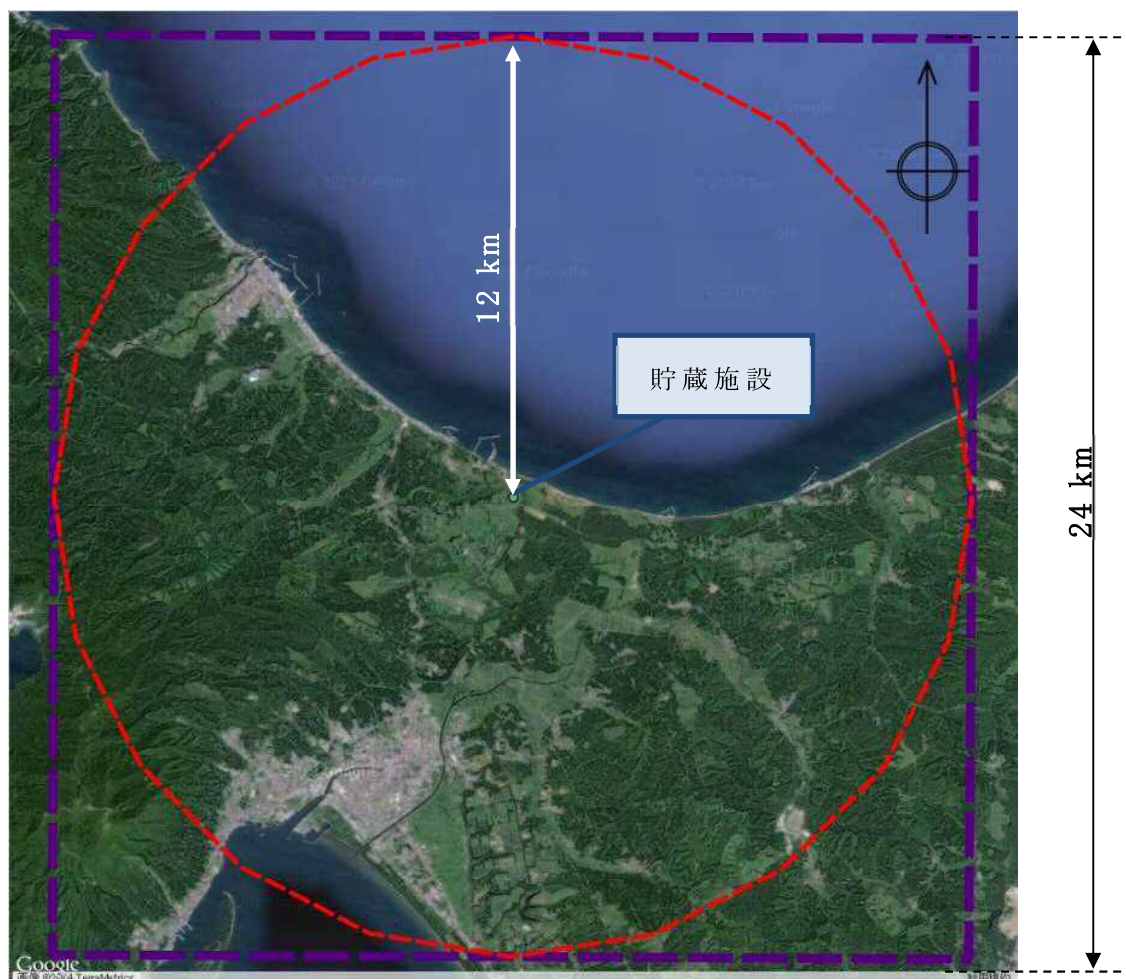
森林火災シミュレーションコード FARSITE により、貯蔵施設敷地外で発生する森林火災からの貯蔵建屋への影響評価の実施に際して、評価対象範囲を定めた上で必要となる入力データの作成を行った。データの作成フローについて第3図示す。



第3図 FARSITE 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

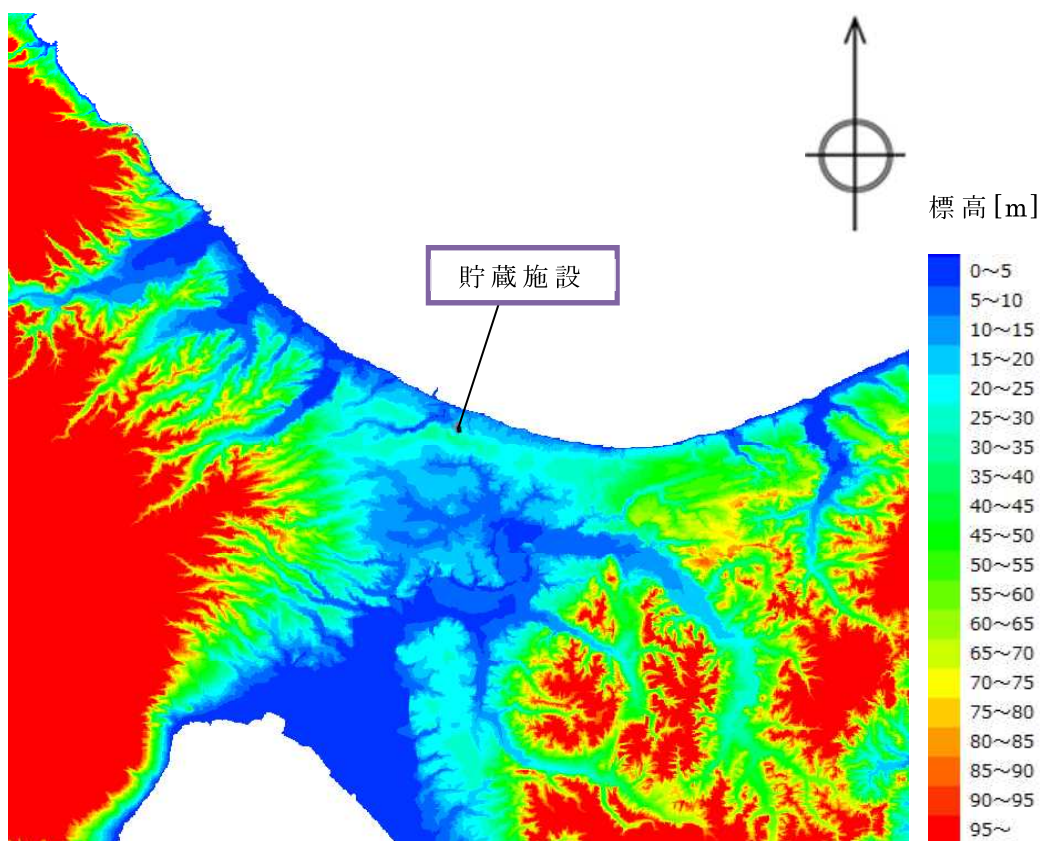
ガイドを参考とし、公開情報の中で最も空間解像度の高い 10m メッシュの標高データ（基盤地図情報 数値標高モデル, 2009 年公開）を用いた。また、公開データについて以下の修正を行った。

- ・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※¹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。

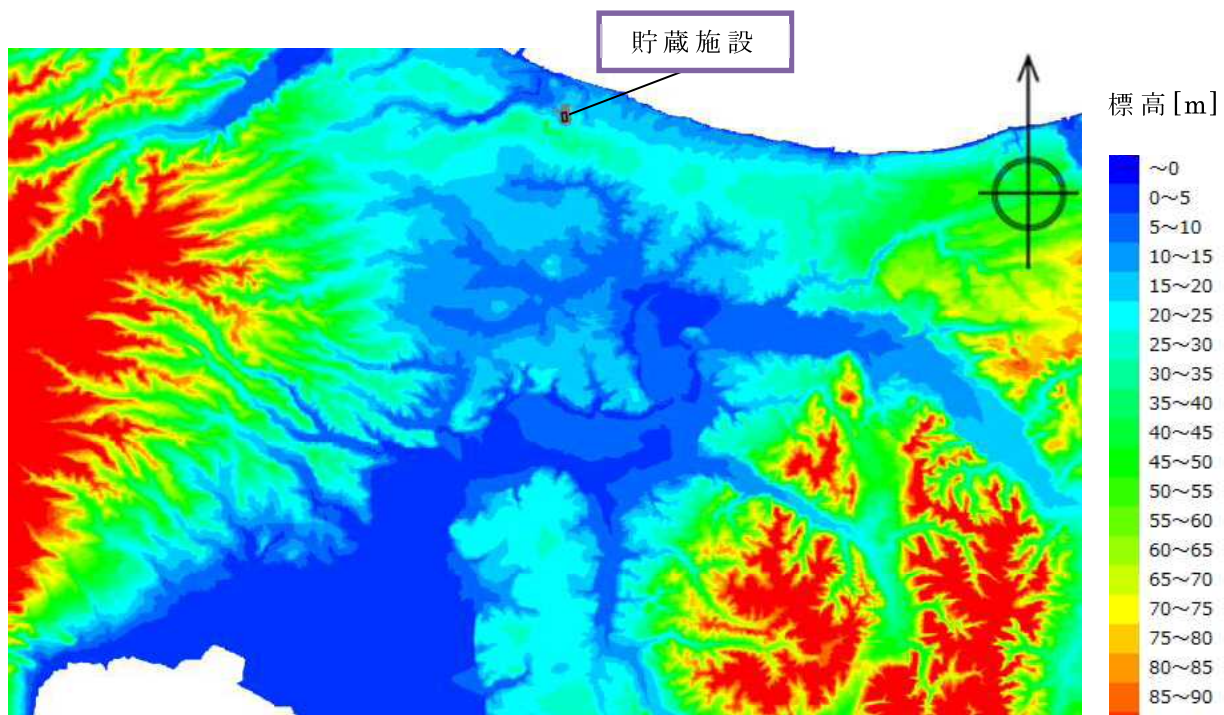
※1: 国土地理院公開ツール「地殻変動に伴う標高値補正を行う標高補正ソフトウェア

PatchJGD(標高版)」

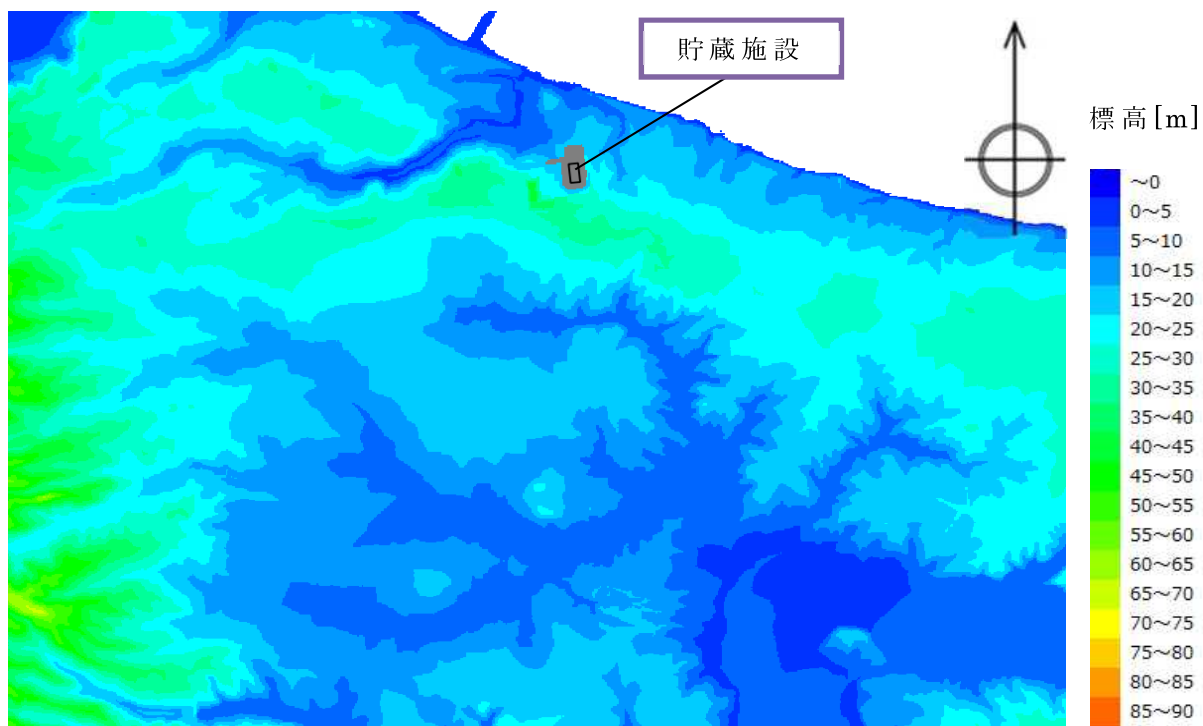
作成した標高データについて第 5 図に示す。



第 5 図 (1) 標高データ



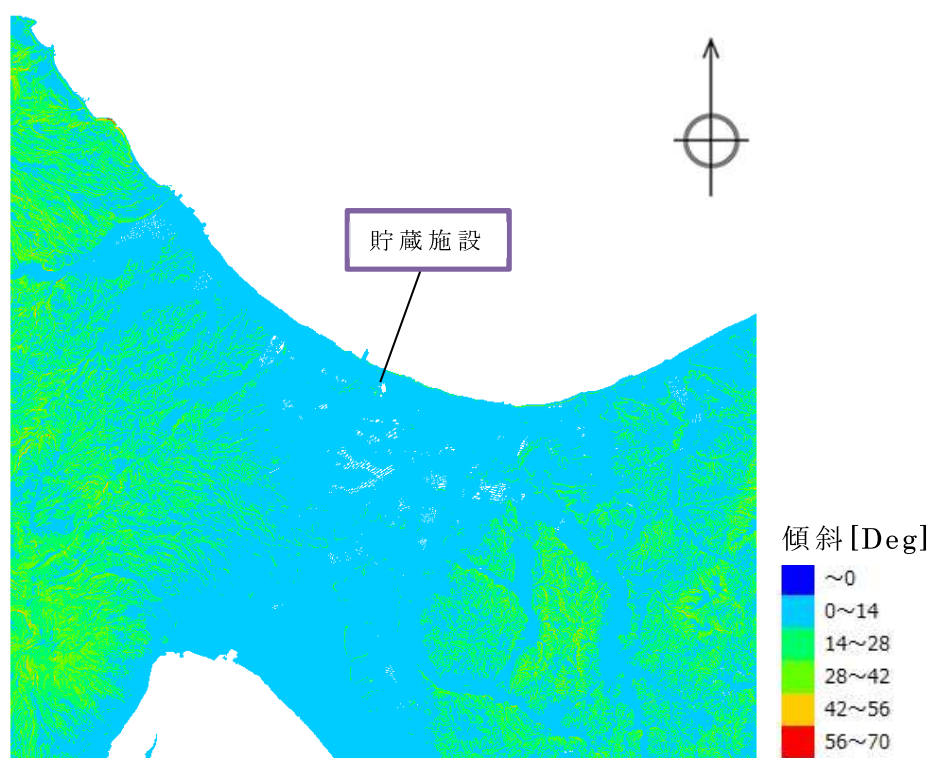
第 5 図 (2) 標高データ (拡大図)



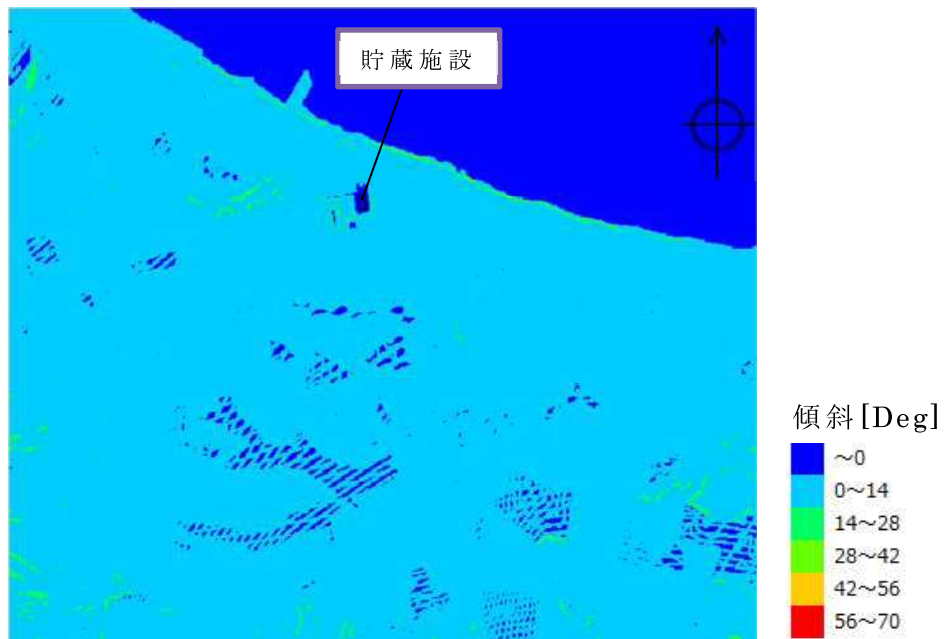
第 5 図 (3) 標高データ (拡大図)

(2) 傾斜及び傾斜方位

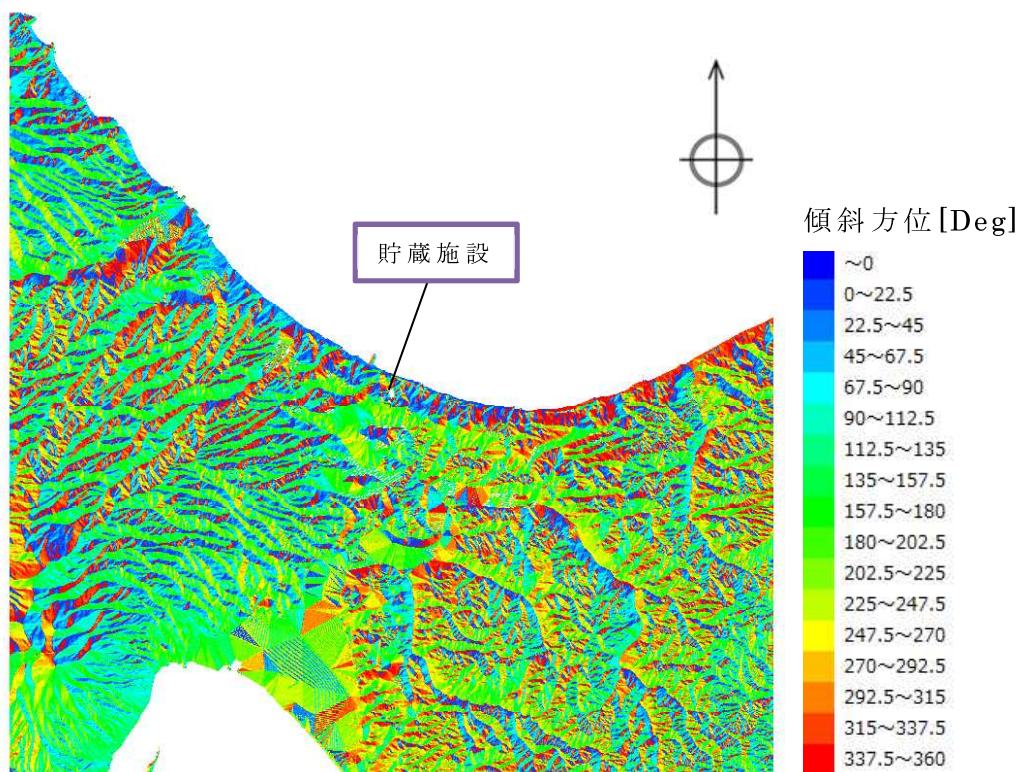
傾斜及び傾斜方位については、標高データより計算した。ただし、敷地内の法面部の傾斜については図面記載の傾斜を適用した。作成した傾斜データ、及び傾斜方位データについてそれぞれ第6図、第7図に示す。



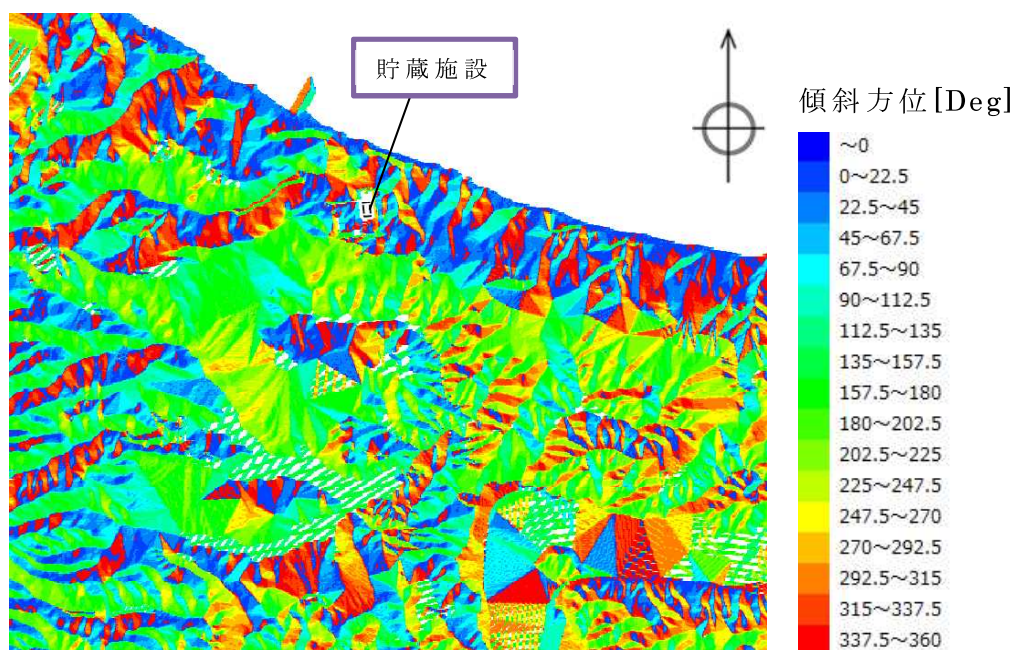
第6図(1) 傾斜データ



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

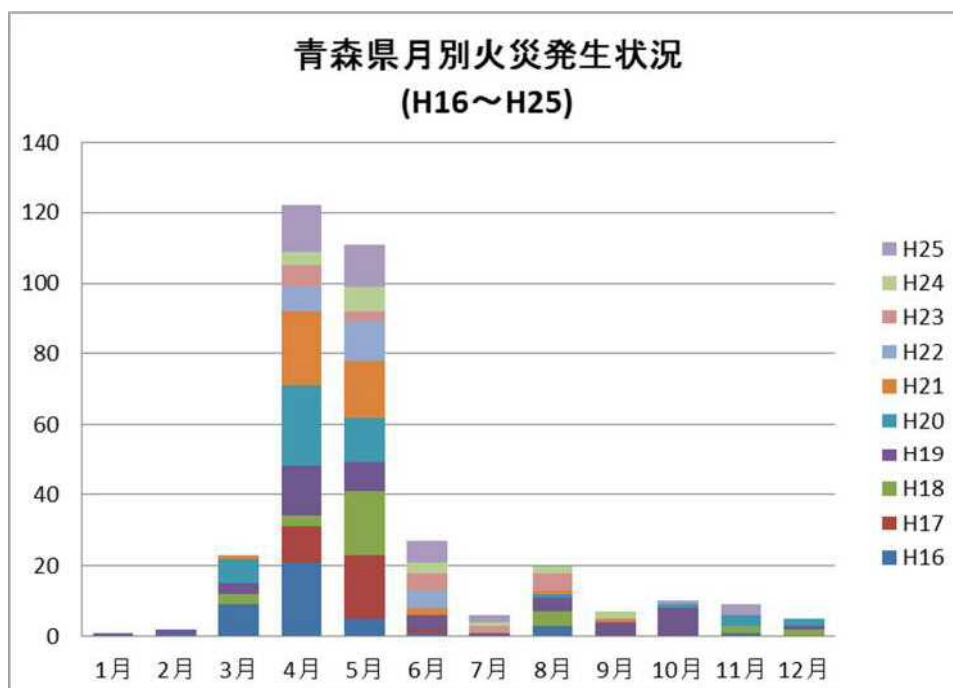
気象データの作成については、気象庁が公開している気象統計情報を用いて、貯蔵施設周辺にて起こりうる最悪の条件を検討するため、青森県内において火災発生件数の最も多い月における、貯蔵施設から至近の気象観測所の各データ（最高気温、最大風速、最小湿度）を用いて評価を実施した。

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 月までの期間でみても 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 8 km 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 8 km）

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 (°C) (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。

また，風向について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，気象条件の評価結果から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，卓越風向として南南西，西南西及び東を設定し，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，卓越風向は西南西，南南西，東とした。

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	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、JNES 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 JNES 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 (FARSITE 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 (FARSITE 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 (FARSITE 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 (FARSITE 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	1H	10H	100H	LiveH	LiveW	1HSAV	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質の面積/体積	生きた草の面積/体積	生きた木質の面積/体積	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 は NFFL FUEL MODEL	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 ³)×材積(m ³)/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。	文献の表面積・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必要があ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 森林可燃物等の設定（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※ ¹
アカマツ，クロマツ，カラマツ，トドマツ，他針葉樹 ※ ¹	マツとして森林簿記載の林齢ごとに分類	マツ※ ¹
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，クスギ，他広葉樹	落葉広葉樹として分類	落葉広葉樹※ ¹
マダケ，モウソウ	低層植生（Chaparral※ ² ）	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※ ² ）	ゴルフ場，その他農用地，田
建物用地，荒地	茂み（Brush※ ² ）	建物用地，荒地
芝	芝（Short Grass※ ² ）	芝

※¹ JNES 報告書に基づく植生

※² FARSITE 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，樹木等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※

※ JNES 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、スギ等）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、JNES 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	隠顕岩，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。

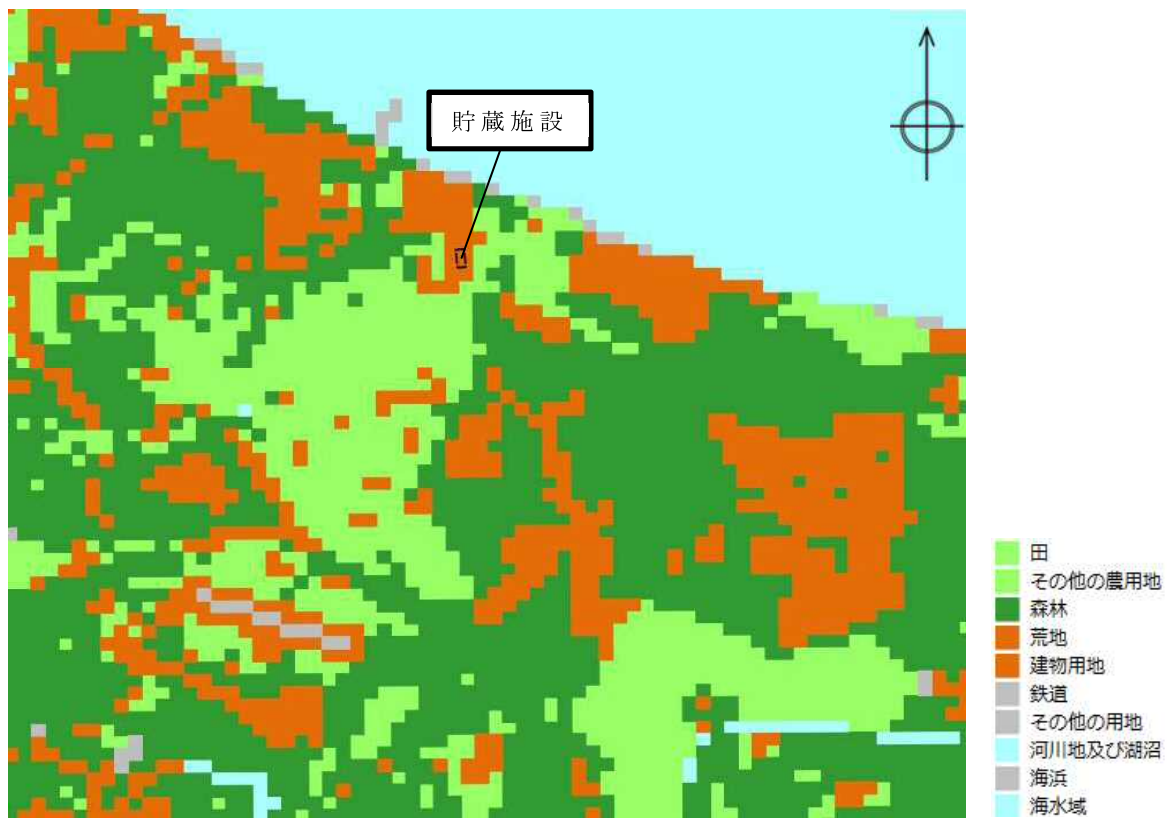
第 8 表 土地利用種別のモデル化

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 FARSITE に内蔵される区分値
- ・ 「田」，「その他の農用地」は JNES 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，JNES 報告書等に基づき低層植生（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」で樹木等はないため，非燃焼領域を適用
- ・ 「河川地及び湖沼」，「海水域」は樹木等がないため，非燃焼領域を適用
- ・ 「海浜」は「砂地や岩」であり樹木等はないため，非燃焼領域を適用
- ・ 「ゴルフ場」は JNES 報告書に基づき，高い草を適用
- ・ 「森林」の樹冠率は JNES 報告書に基づき，FARSITE 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等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。

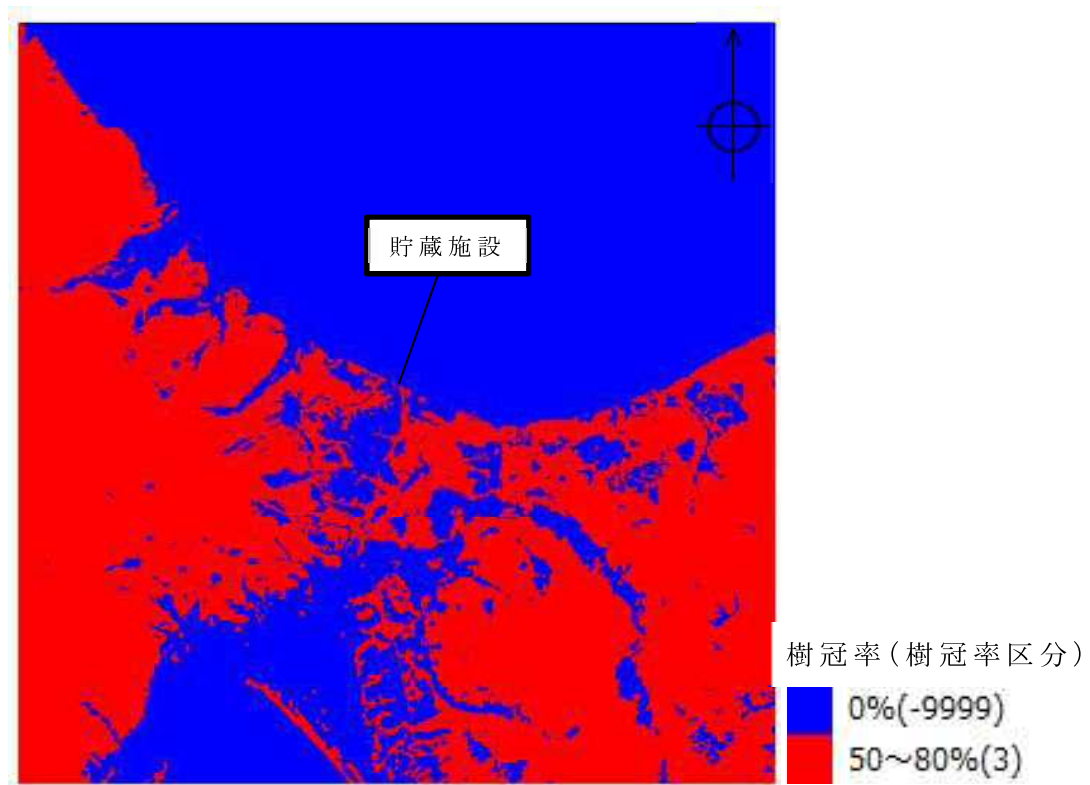
第 9 表 FARSITE 樹冠率カテゴリ

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

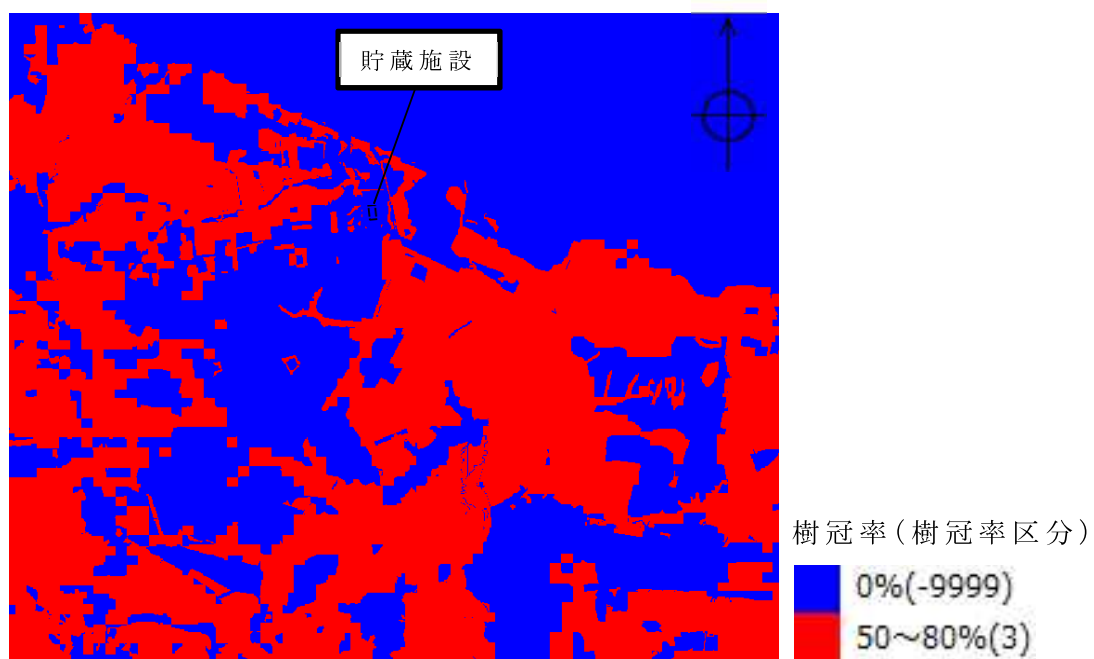
区分 3 と 4 については、第 10 表のとおり風速、日射の低減効果に関して区分 3 の方が保守的となっている。

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，森林計画図等の資料については，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。

第 11 表(1) 敷地周辺の森林簿

市町村	林班	林班支番	小班	施業番号	施業枝番	所在地大字	所在地小字	所在地地番	所在地枝番	実測面積	総材積	第1林種(人天別)	第1林種(区分)	第1樹種(針・広別)	第1樹種名	第1林齢
むつ市	164	2イ	71			関根	北関根	725		0.34	49	天然林	天然生林	広	ホカコウ	59
むつ市	164	2イ	72			関根	北関根	442		0.26	44	人工林	単層林	針	スギ	24
むつ市	164	2イ	73			関根	北関根	424		0.46	78	人工林	単層林	針	スギ	24
むつ市	164	2イ	74			関根	北関根	570	2	0.48	48	人工林	単層林	針	アカマツ	18
むつ市	164	2イ	75			関根	北関根	575		0.43	52	人工林	単層林	針	スギ	17
むつ市	164	2イ	76			関根	北関根	662		0.25	80	人工林	単層林	針	スギ	41
むつ市	164	2イ	77			関根	北関根	661		0.1	32	人工林	単層林	針	スギ	41
むつ市	164	2イ	78			関根	北関根	672		0.13	33	人工林	単層林	針	スギ	35
むつ市	164	2イ	79			関根	北関根	672		0.13	33	人工林	単層林	針	スギ	35
むつ市	164	2イ	80			関根	北関根	672		0.15	0	人工林	単層林	針	ヒバ	4
むつ市	164	2ロ	1			関根	北関根	655		1.67	200	天然林	天然生林	広	ホカコウ	42
むつ市	164	2ロ	2			関根	北関根	657	1	0.09	11	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	3			関根	北関根	657	2	0.25	28	天然林	天然生林	広	ホカコウ	36
むつ市	164	2ロ	4			関根	北関根	657	3	0.03	4	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	5			関根	北関根	657	4	0.07	8	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	6			関根	北関根	657	5	0.08	10	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	7			関根	北関根	657	6	0.1	12	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	8			関根	北関根	658	1	0.26	0	無立木地	未立木地			
むつ市	164	2ロ	9			関根	北関根	658	2	0.1	0	無立木地	未立木地			
むつ市	164	2ロ	10			関根	北関根	656		0.4	0	無立木地	未立木地			
むつ市	164	2ロ	11			関根	北関根	654		0.06	6	天然林	天然生林	広	ホカコウ	35
むつ市	164	2ロ	12			関根	北関根	650	1	0.8	0	天然林	天然生林	広	ホカコウ	5
むつ市	164	2ロ	13			関根	北関根	652		0.98	314	人工林	単層林	針	スギ	42
むつ市	164	2ロ	14			関根	北関根	651	1	0.49	49	天然林	天然生林	広	ホカコウ	35
むつ市	164	2ロ	15			関根	北関根	651	2	0.5	50	天然林	天然生林	広	ホカコウ	35
むつ市	164	2ロ	16			関根	北関根	650	2	0.45	54	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	17			関根	北関根	649		0.29	38	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
むつ市	164	2ロ	18			関根	北関根	648		0.2	28	天然林	天然生林	広	ホカコウ	54
むつ市	164	2ロ	19			関根	北関根	647		0.28	39	天然林	天然生林	広	ホカコウ	54
むつ市	164	2ロ	20		1	関根	北関根	646		0.74	81	天然林	天然生林	広	ホカコウ	36
むつ市	164	2ロ	20		2	関根	北関根	646		0.44	128	人工林	単層林	針	スギ	36
むつ市	164	2ロ	21		1	関根	北関根	645		0.49	5	天然林	天然生林	広	ホカコウ	10
むつ市	164	2ロ	21		2	関根	北関根	645		0.49	64	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
むつ市	164	2ロ	22			関根	北関根	644	2	0.46	133	人工林	単層林	針	スギ	39
むつ市	164	2ロ	23			関根	北関根	642		0.96	0	無立木地	未立木地			
むつ市	164	2ロ	24		1	関根	北関根	641		0.49	0	無立木地	未立木地			
むつ市	164	2ロ	24		2	関根	北関根	641		0.49	58	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	25		1	関根	北関根	640		0.4	52	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
むつ市	164	2ロ	25		2	関根	北関根	640		0.68	197	人工林	単層林	針	スギ	40
むつ市	164	2ロ	26			関根	北関根	639		0.3	36	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	27			関根	北関根	638		0.3	36	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	28			関根	北関根	637		0.78	94	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
むつ市	164	2ロ	29			関根	北関根	633	1	0.14	0	天然林	天然生林	広	ホカコウ	3

(林班 164, 小班イ, 施業番号 71, 林齢 59 年, ホカコウ ⇒ 落葉広葉樹)

第 11 表(2) 敷地周辺の森林簿

市町村	林班	林班支番	小班	施業番号	施業枝番	所在地大字	所在地小字	所在地地番	所在地枝番	実測面積	総材積	第1林種(人天別)	第1林種(区分)	第1樹種(針・広別)	第1樹種名	第1林齢
東通村	40	ロ	7			大和	浜ノ平		8	4.39	527	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
東通村	40	ロ	8			大和	浜ノ平		8	0.38	0	無立木地	未立木地			
東通村	41	イ	1			大和	浜ノ平		7	1.31	485	人工林	単層林	針	スギ	54
東通村	41	イ	1		2	大和	浜ノ平		7	7.42	1632	人工林	単層林	針	アカマツ	54
東通村	41	イ	2			大和	浜ノ平		9	13	3250	人工林	単層林	針	アカマツ	69
東通村	41	イ	3			大和	浜ノ平		6	0.29	41	天然林	天然生林	広	ホカコウ	54
東通村	41	イ	4			大和	浜ノ平		9	1.6	336	人工林	単層林	針	スギ	28
東通村	41	イ	5		1	大和	浜ノ平		9	4.3	1075	人工林	単層林	針	スギ	33
東通村	41	イ	5		2	大和	浜ノ平		9	1.53	383	人工林	単層林	針	スギ	35
東通村	41	イ	6		1	大和	浜ノ平		9	1.32	238	天然林	天然生林	針	アカマツ	41
東通村	41	イ	6		2	大和	浜ノ平		9	7	910	天然林	天然生林	広	ホカコウ	50
東通村	41	イ	6		3	大和	浜ノ平		9	0.42	4	天然林	天然生林	広	ホカコウ	8
東通村	41	イ	6		4	大和	浜ノ平		9	0.06	11	天然林	天然生林	針	アカマツ	41
東通村	41	イ	7			大和	浜ノ平		9	3.41	443	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
東通村	41	ロ	1			大和	船越		6	4.66	1165	人工林	単層林	針	スギ	35
東通村	41	ロ	2		1	大和	船越		6	6.44	1030	人工林	単層林	針	アカマツ	39
東通村	41	ロ	2		2	大和	船越		6	1.31	13	天然林	天然生林	広	ホカコウ	8
東通村	41	ロ	3			大和	船越		6	2.64	474	天然林	天然生林	広	ホカコウ	59
東通村	41	ロ	4			大和	船越		6	3.38	406	天然林	天然生林	広	ホカコウ	44
東通村	41	ロ	5			大和	船越		6	0.22	29	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
東通村	41	ロ	6		1	大和	船越		5	1.03	268	天然林	天然生林	針	アカマツ	74
東通村	41	ロ	6		2	大和	船越		5	0.79	198	人工林	単層林	針	スギ	32
東通村	41	ロ	6		3	大和	船越		5	0.53	111	人工林	単層林	針	スギ	27
東通村	41	ロ	7			大和	船越		5	0.6	150	人工林	単層林	針	スギ	32
東通村	41	ロ	8			大和	船越		5	0.4	66	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
東通村	41	ロ	9			大和	船越		5	1	200	天然林	天然生林	針	アカマツ	49
東通村	41	ロ	10			大和	船越		5	0.65	241	人工林	単層林	針	スギ	54
東通村	41	ロ	11			大和	船越		5	0.55	160	人工林	単層林	針	スギ	39
東通村	41	ロ	12			大和	船越		3	2.01	683	人工林	単層林	針	スギ	46
東通村	41	ロ	13			大和	船越		3	5.2	1768	人工林	単層林	針	スギ	49
東通村	41	ロ	14			大和	船越		3	2.01	221	天然林	天然生林	広	ホカコウ	39
東通村	41	ロ	15			大和	船越		3	0.64	93	天然林	天然生林	広	ホカコウ	59
東通村	41	ロ	16			大和	船越		3	1.18	171	天然林	天然生林	広	ホカコウ	59
東通村	41	ロ	17			大和	船越		2	1.49	343	天然林	天然生林	針	アカマツ	59
東通村	41	ロ	18			大和	船越		4	1.18	171	天然林	天然生林	広	ホカコウ	59
東通村	41	ハ	1		1	大和	金井沢		4	0.78	101	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
東通村	41	ハ	1		2	大和	金井沢		4	2.27	863	人工林	単層林	針	スギ	59
東通村	41	ハ	1		3	大和	金井沢		5	1.04	135	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
東通村	41	ハ	1		4	大和	金井沢		5	0.42	76	天然林	天然生林	針	アカマツ	41
東通村	41	ハ	2		1	大和	金井沢		3	1.43	186	天然林	天然生林	広	ホカコウ	49
東通村	41	ハ	2		2	大和	金井沢		3	0.12	25	人工林	単層林	針	スギ	29
東通村	41	ハ	2		3	大和	金井沢		3	0.49	83	人工林	単層林	針	スギ	23
東通村	41	ハ	2		4	大和	金井沢		3	0.12	44	人工林	単層林	針	スギ	54

(林班 40, 小班ロ, 施業番号 7, 林齢 44 年, ホカコウ ⇒ 落葉広葉樹)

(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。当会社は、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、造園施工管理技士等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

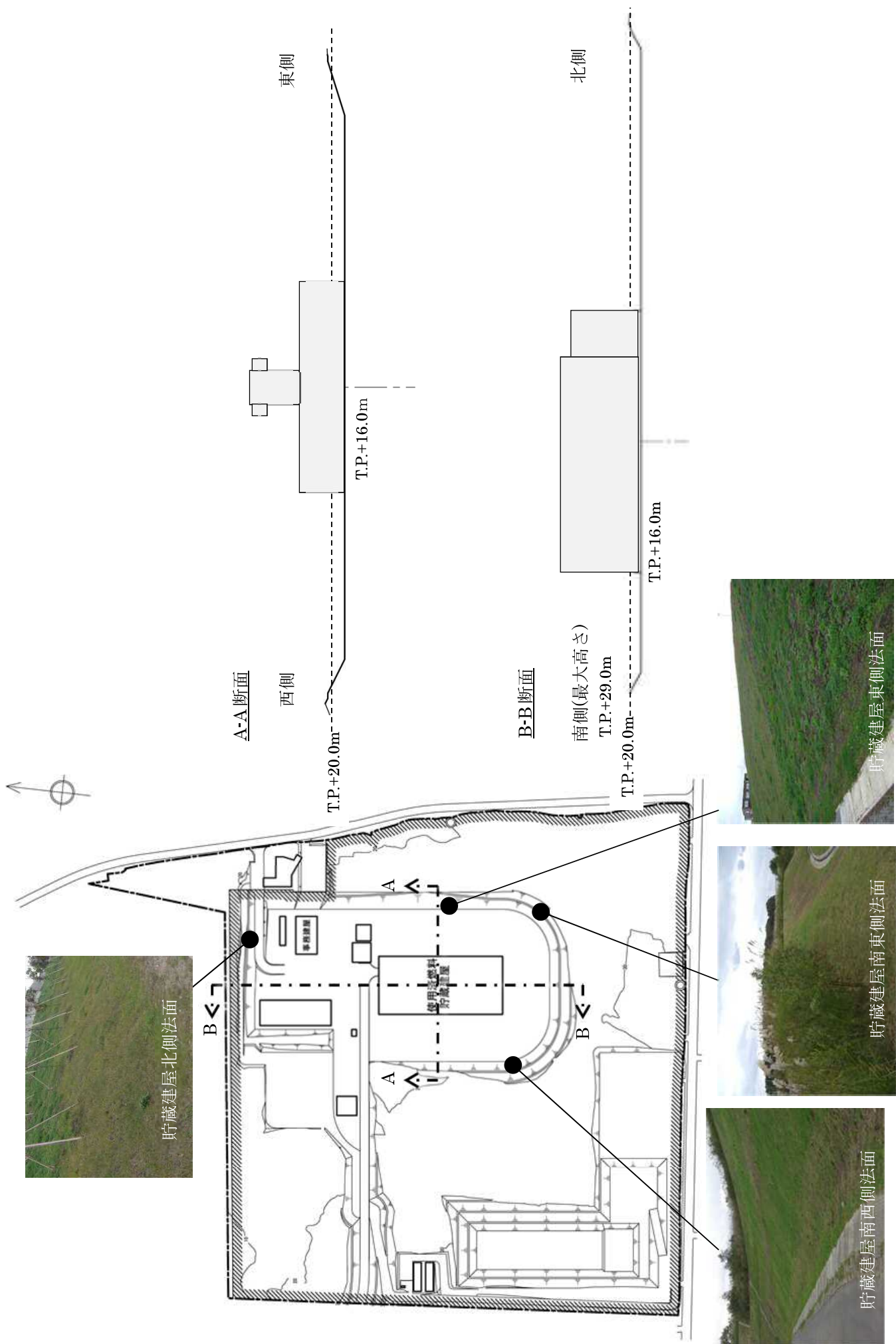
法面以外の敷地内の植生については、元が牧草地であったこともあり概ねススキ群やイネ科等の牧草であった。また貯蔵建屋の西側及び敷地北西側に一部クマイザサ群が見られた。所々に見られる林については、ミズナラ群やハンノキ群等の落葉広葉樹であった。

(c) 敷地周辺の植生について

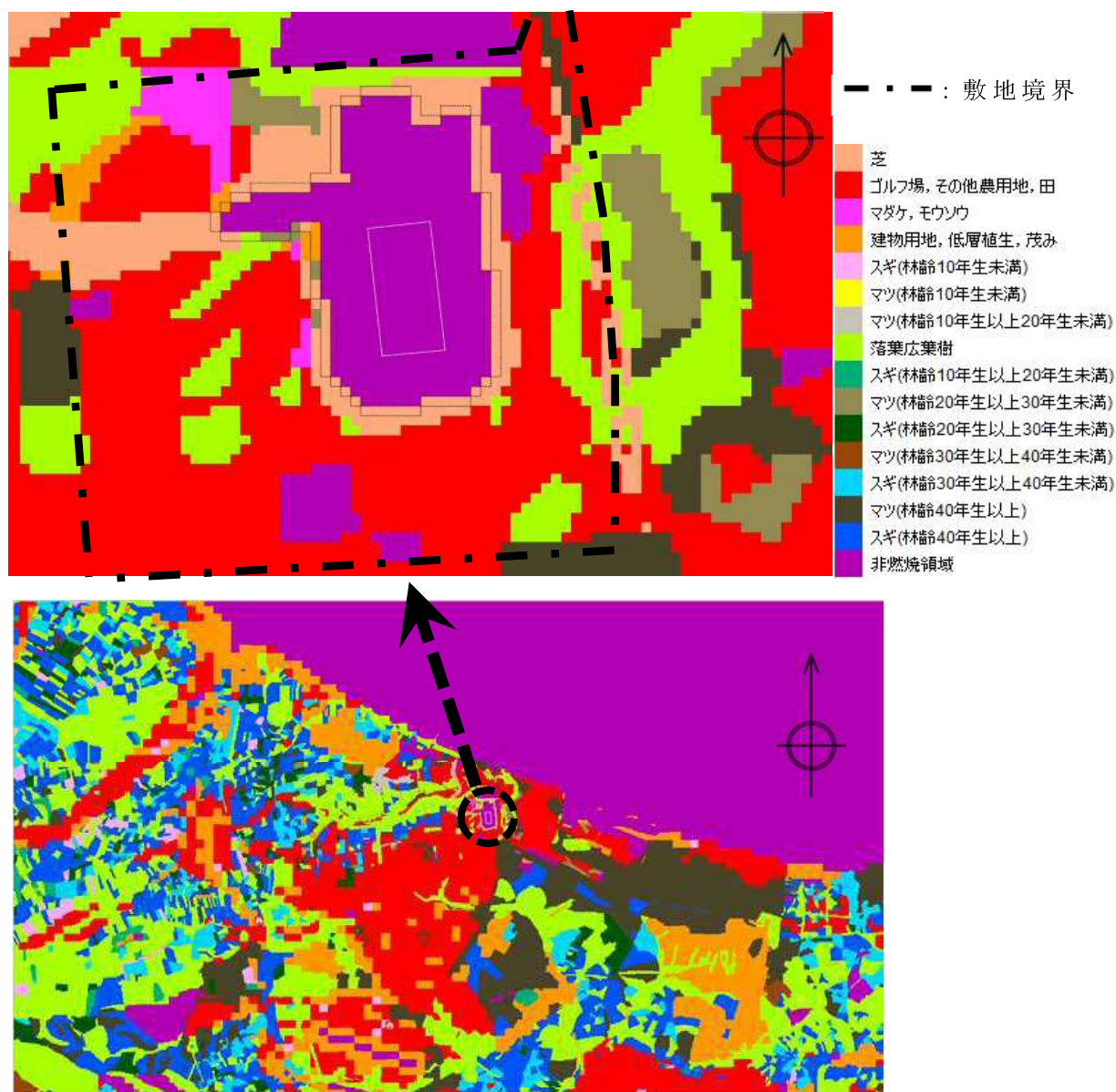
敷地周辺については、敷地の南側及び東側の道路沿いにアカマツ、クロマツの群落があり、林齢は低木群を除けば 40 年生以上であった。また、敷地の西側は一部アカマツ、クロマツ群や落葉広葉樹が見られるものの、ほとんどは畑であった。その他の植生は敷地内とほぼ同じであり概ねススキ群やイネ科等の牧草であった。

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 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(法面上はミズナ群)



貯蔵建屋北西側(クマヅナ群)



専用道路法面(芝、法面上はペンキ群)



貯蔵建屋北側法面(芝)



貯蔵建屋東側法面(芝)



貯蔵建屋東側法面上(スサキ群)



貯蔵建屋南東側法面(芝、スサキ群)



貯蔵建屋南東側法面上(スサキ群)



貯蔵建屋南西側法面(芝)



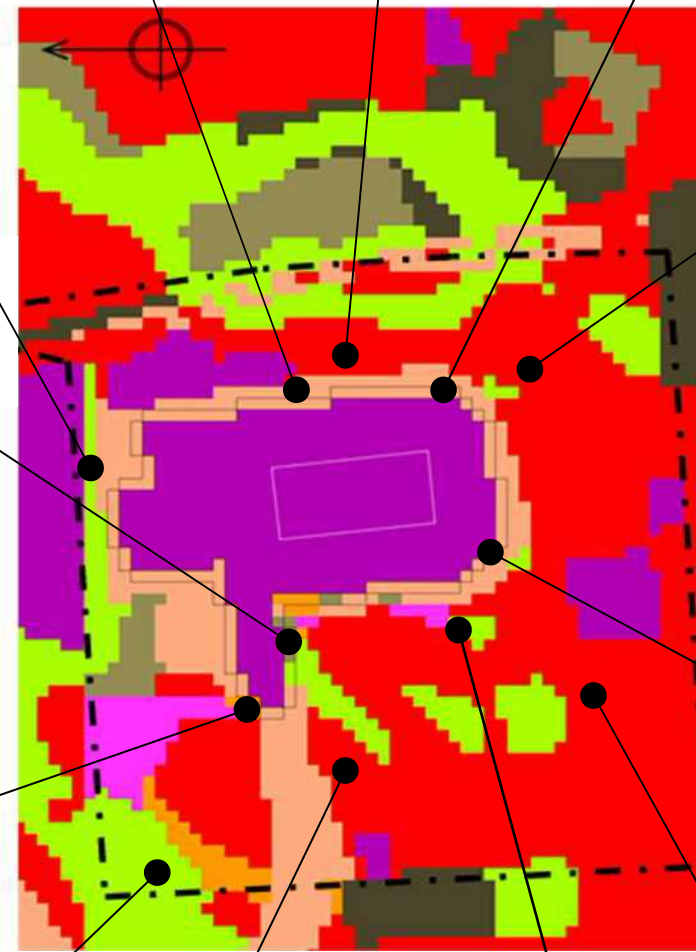
貯蔵建屋西側(牧草地とペンキ群)



貯蔵建屋西側森林(ペンキ群)

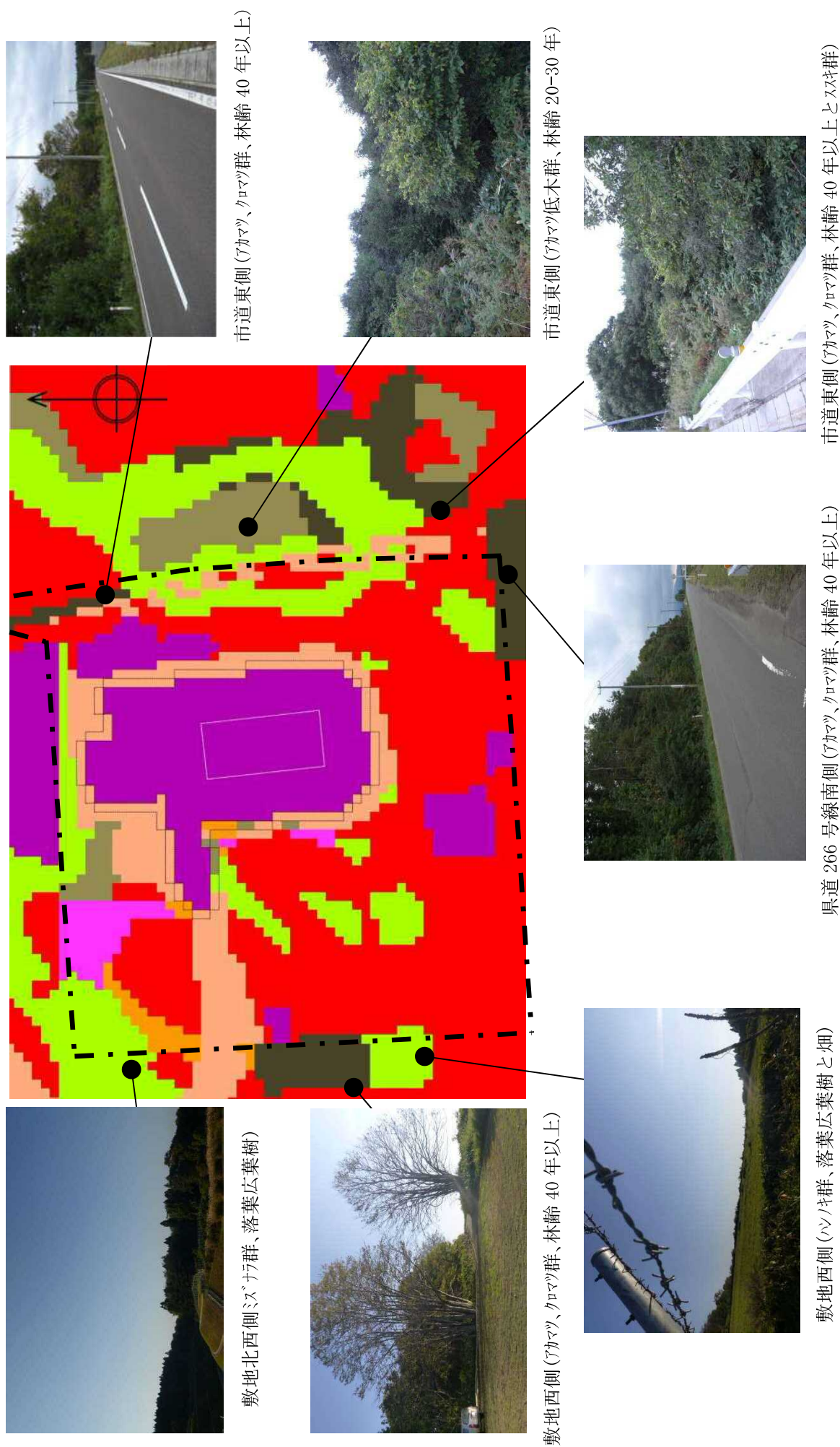


貯蔵建屋南西方向(牧草地)



第15図 貯蔵施設敷地内植生状況

— · — : 敷地境界



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に実施するとともに、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)

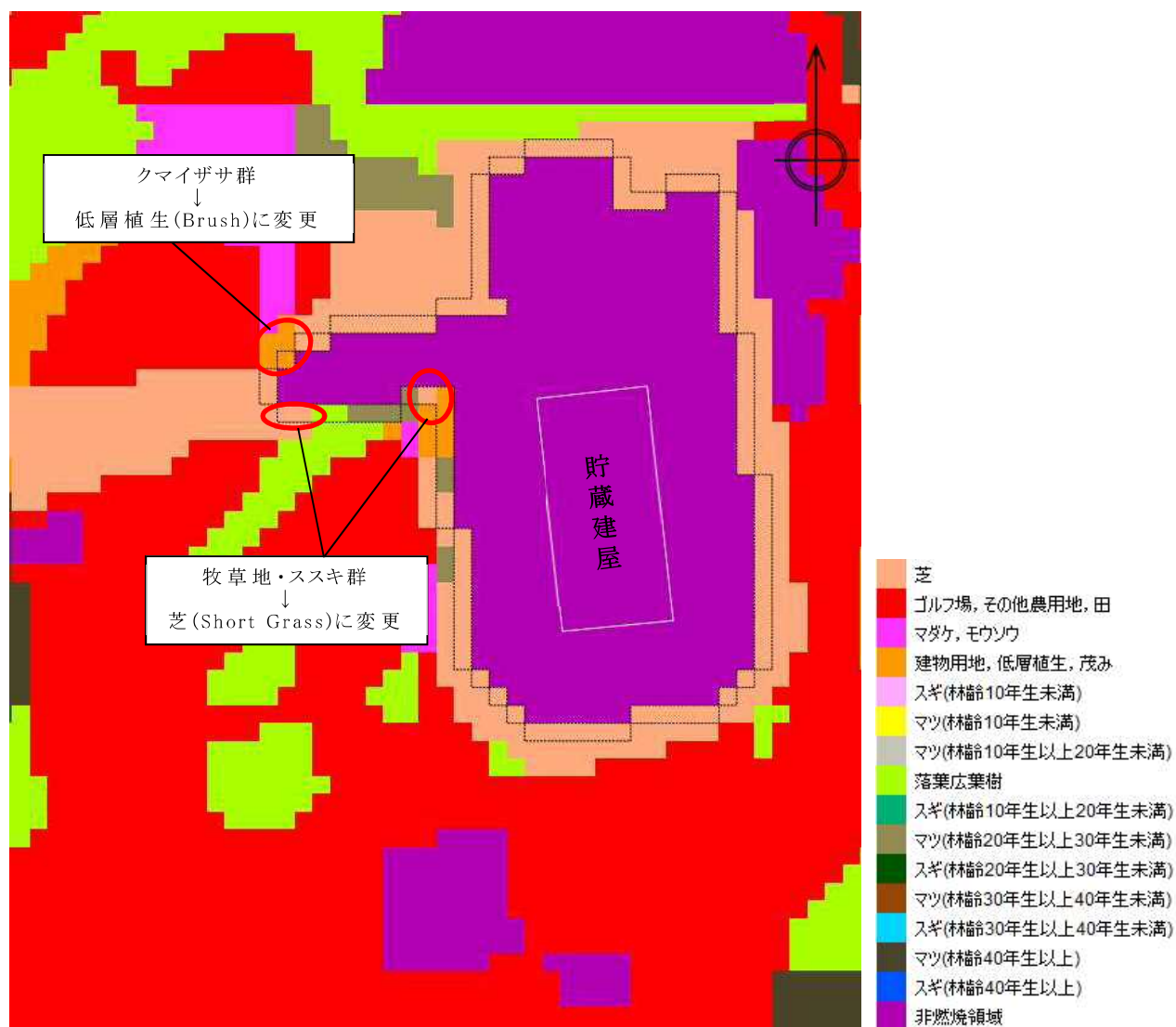
芝が生育している事務建屋周辺や法面部、及び貯蔵建屋周辺の非燃焼領域については、植生維持管理の観点及び人の往来が比較的頻繁であることから年3回の実施、敷地境界フェンス内外、市道、県道沿い、法面の草木が生育している場所については、生育状況の実績を考慮し年2回実施することとしている。

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隣近辺の牧草地・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）

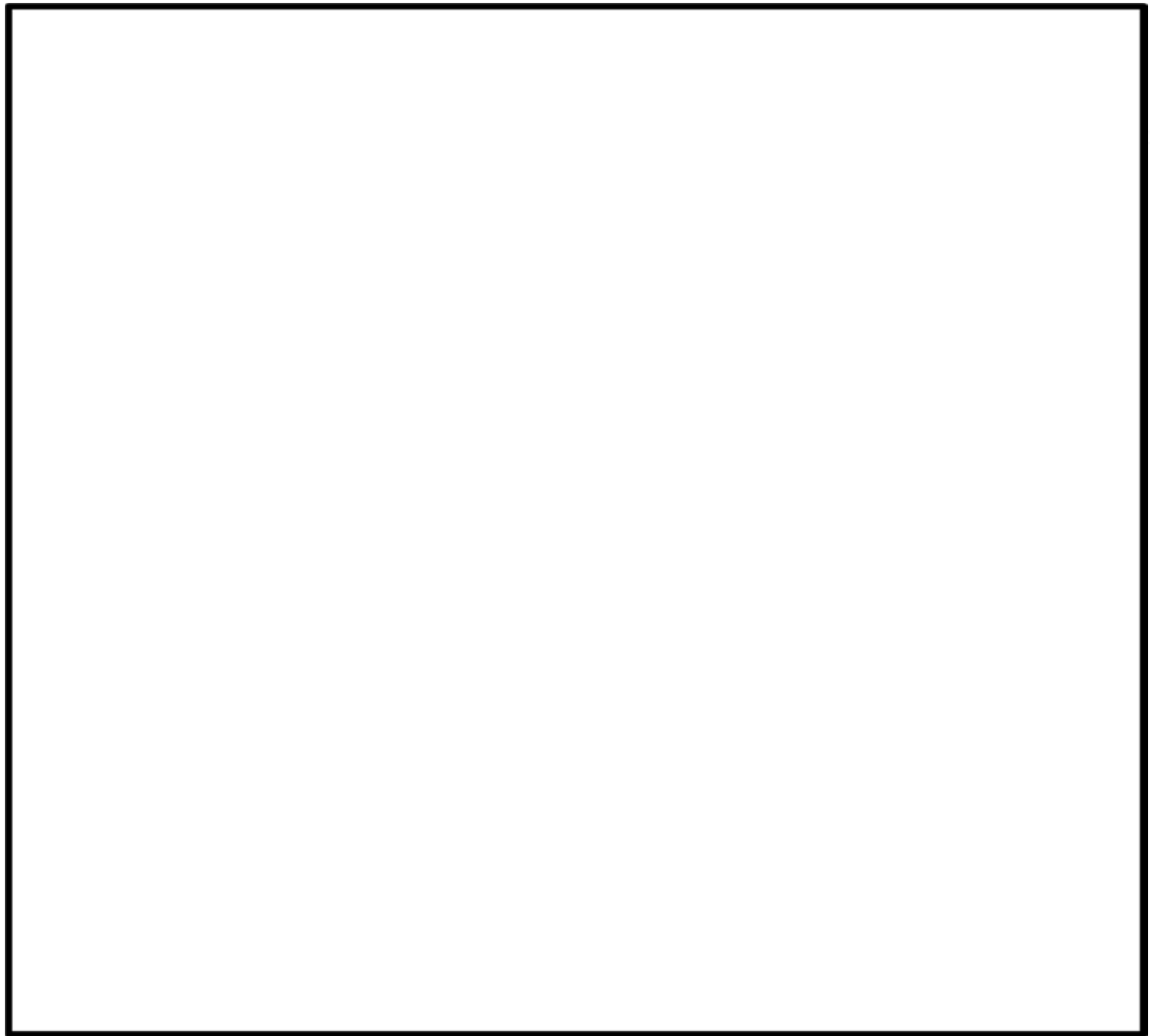
の植生とし、以降定期的にこの植生を維持・管理していくこととする。
伐採措置後の敷地内の植生について第 17 図に示す（第 14 図の上図の
抜粋再掲）。図中の赤枠で囲んだ部分が、伐採措置を施した後の植生を
示している。






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。



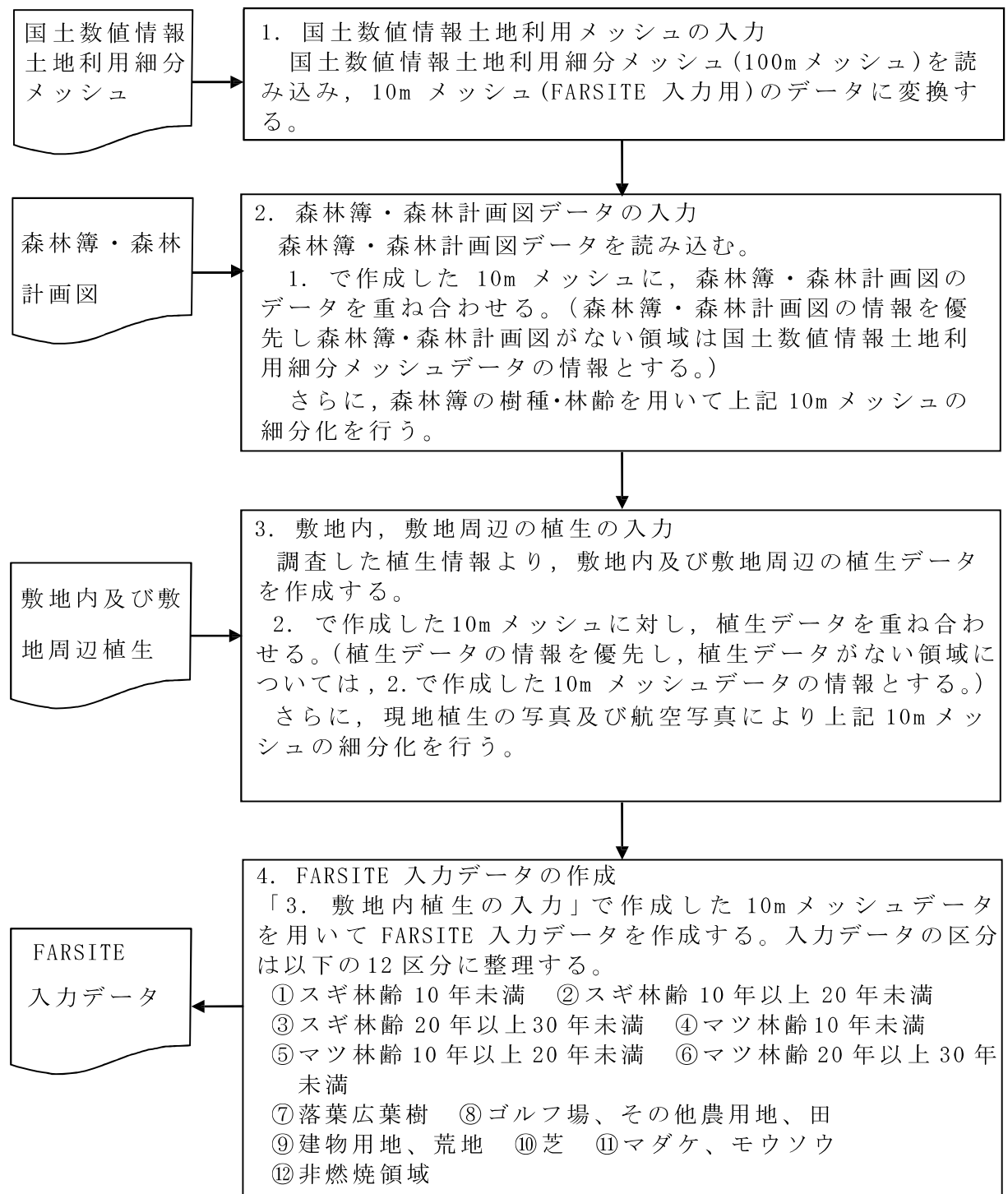
- ：芝生育部（芝刈り、除草）
 - ：法面（芝、背の低い草木→除草）
 - ：敷地境界周辺（背の低い草木→除草）
 - 赤点線枠：伐採対象範囲（クマイザサ群、牧草地・ススキ群）
- 上記以外の敷地内植生（茂み、落葉広葉樹の森林）については、現状の植生を維持すべく適宜管理

第 18 図 敷地内の植生管理対象区域

(4) FARSITE 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 (FARSITE 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，FARSITE への入力データを作成した。

第 19 図に FARSITE 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 FARSITE 入力データとの関係についてそれぞれ示す。



第 19 図 FARSITE 入力条件の設定手順

第 13 表(1) 土地利用情報と FARSITE 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 FARSITE 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・林画 林計図	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	-

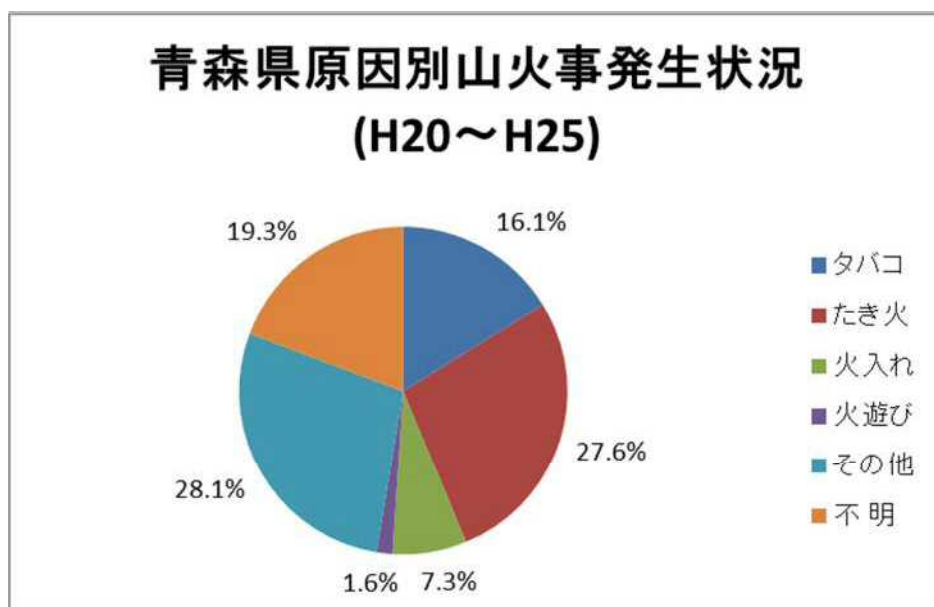
*：「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」（2012 年 6 月 独立行政法人 原子力安全基盤機構）

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)

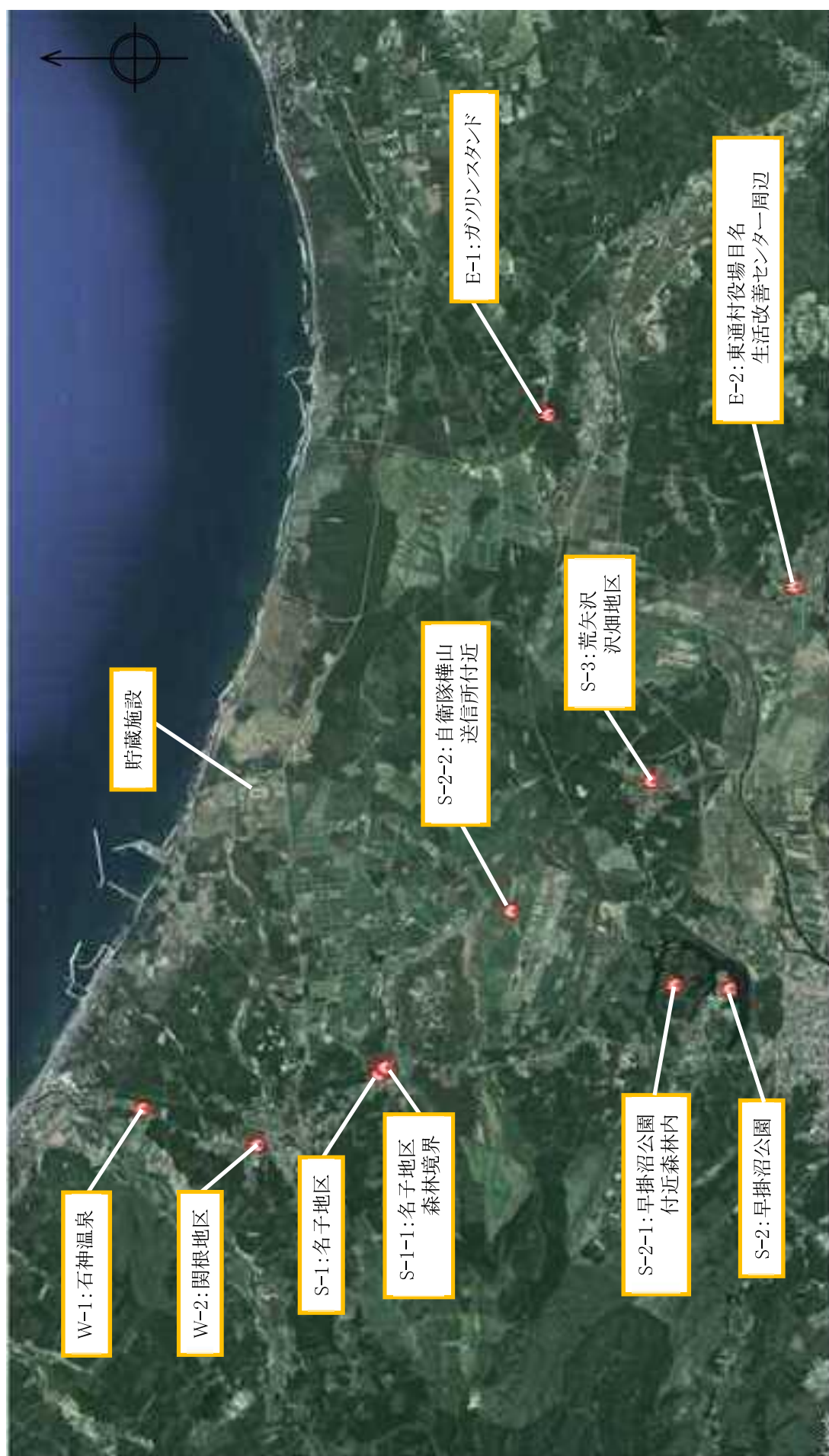
(d) 北西～東北東

- ・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（FARSITE 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）

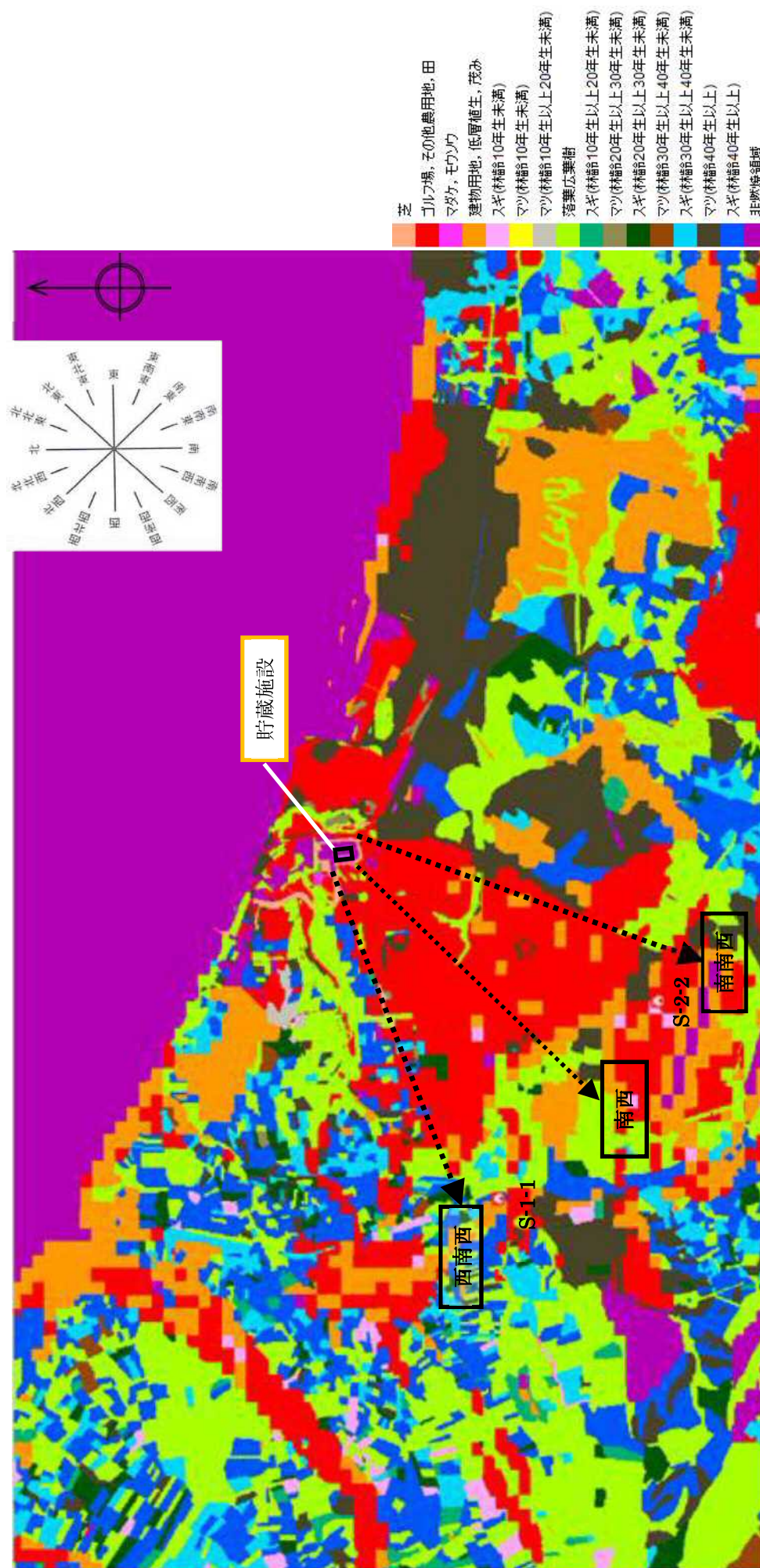
- ・貯蔵施設周辺（建屋標高 16m）はなだらかな台地であり，標高差はほとんどない。
- ・貯蔵施設の東南東～西南西は標高 30～40m 程度の丘が存在し，貯蔵施設周辺まで上り勾配となっている。
- ・西は，丘と標高の低い地形が混在し，唯一起伏のある方位である。
- ・西北西～東は海岸及び海域となっており，貯蔵施設よりも標高は低く貯蔵施設周辺に向かって上り勾配となっている。

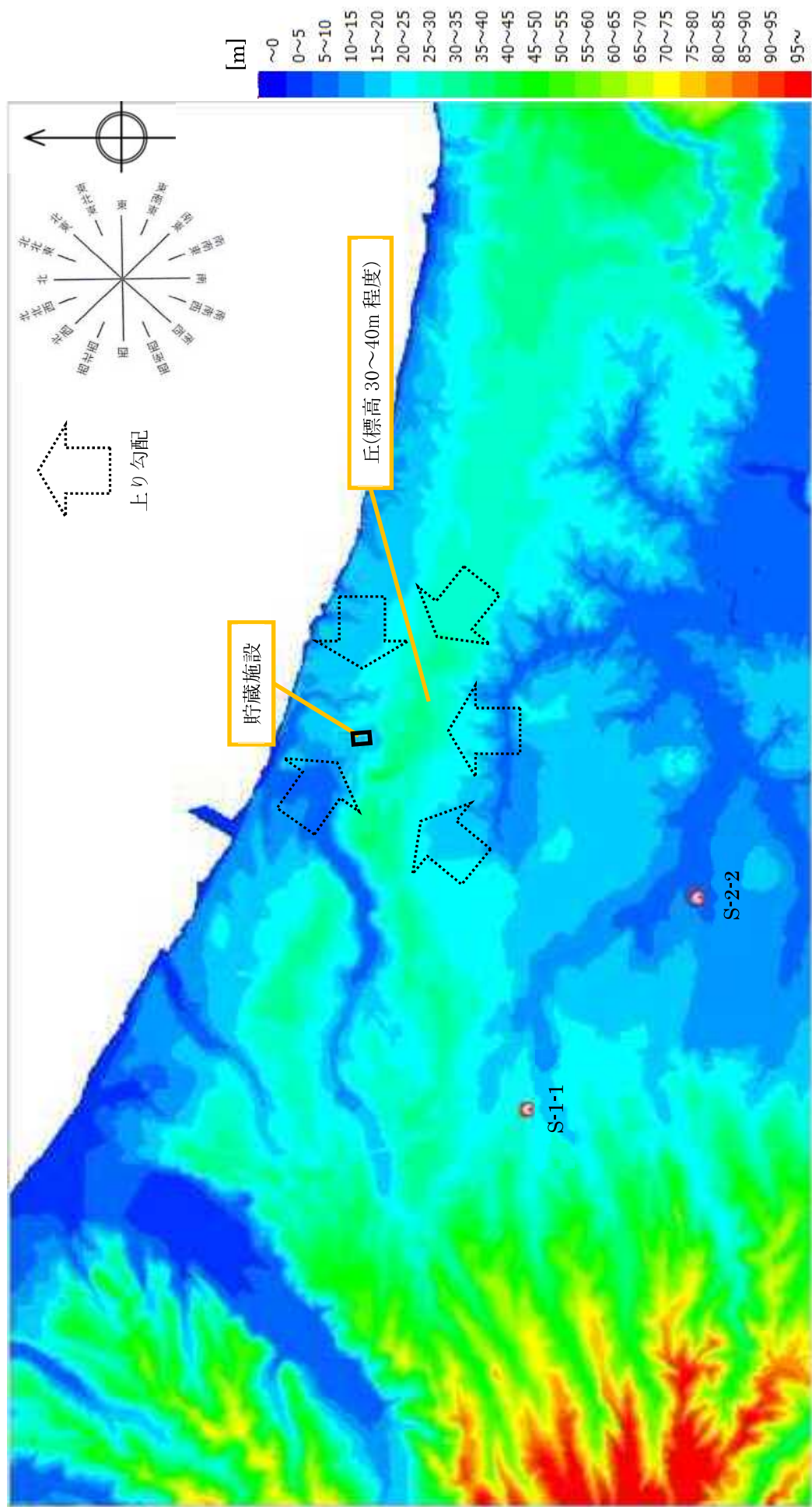
以上の結果をまとめて第 15 表に示す。これより，最も保守的は方位は西南西～南南西となり，またこれらは卓越風向でもあることから西南西～南南西を発火点の貯蔵施設からの方位として選定する。

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	㇏	○(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	㇏		
南西			
西南西	㇏		○(農用地)
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

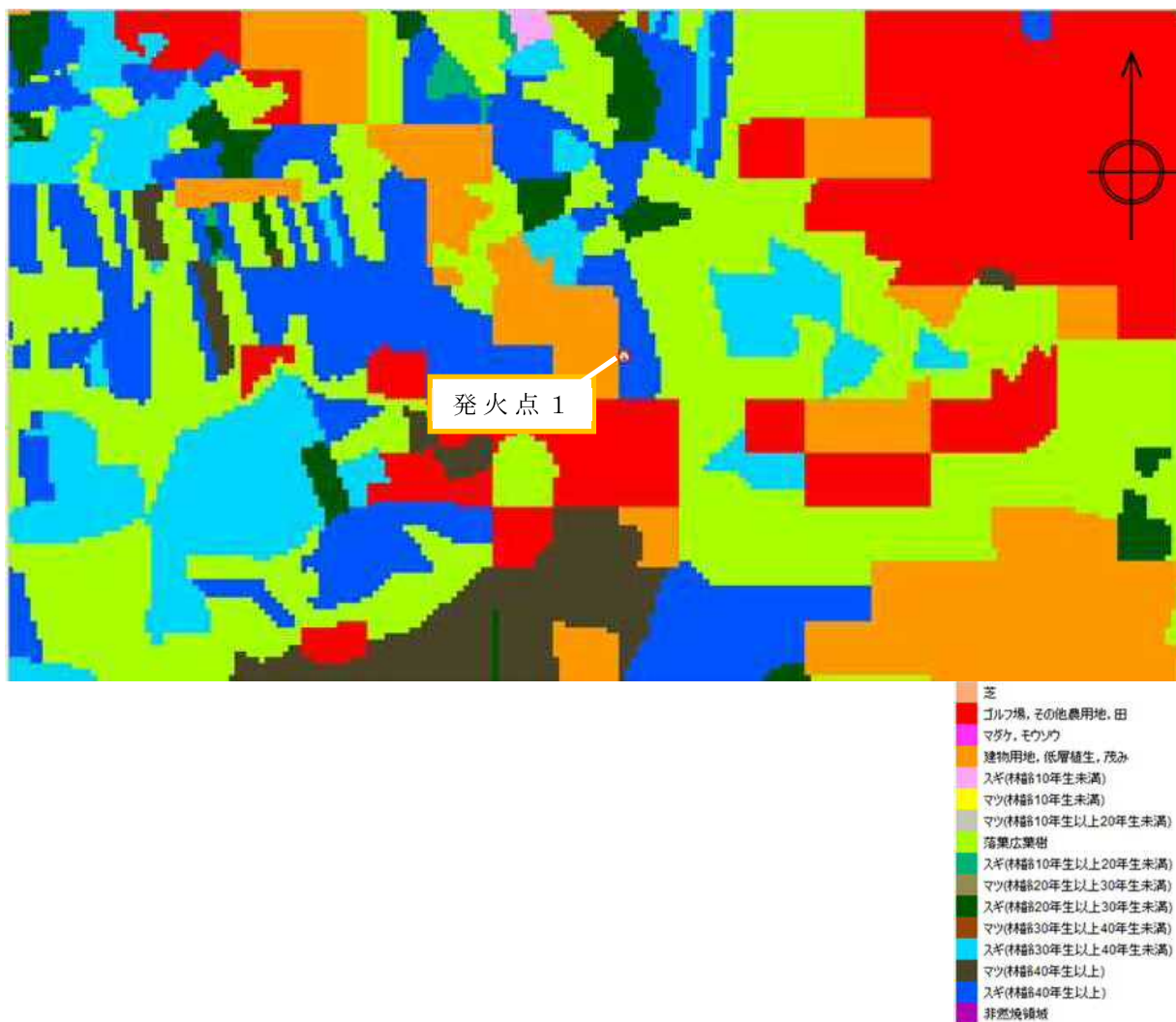
- ・発火点 1 と 2 の間となる南西方向については、植生が落葉広葉樹と低層植生の混在となっているところがあり、発火点 1，2 の近傍を占める農用地の延焼より延焼速度は遅く、逆に発火点 1，2 からの火災が延焼する可能性が高いと考えられる。また、出火リスクの高い集落もないことから、発火点 1，2 の評価結果に包絡されるものと考えられる。

(5) 追加発火点の選定（東：発火点 3）

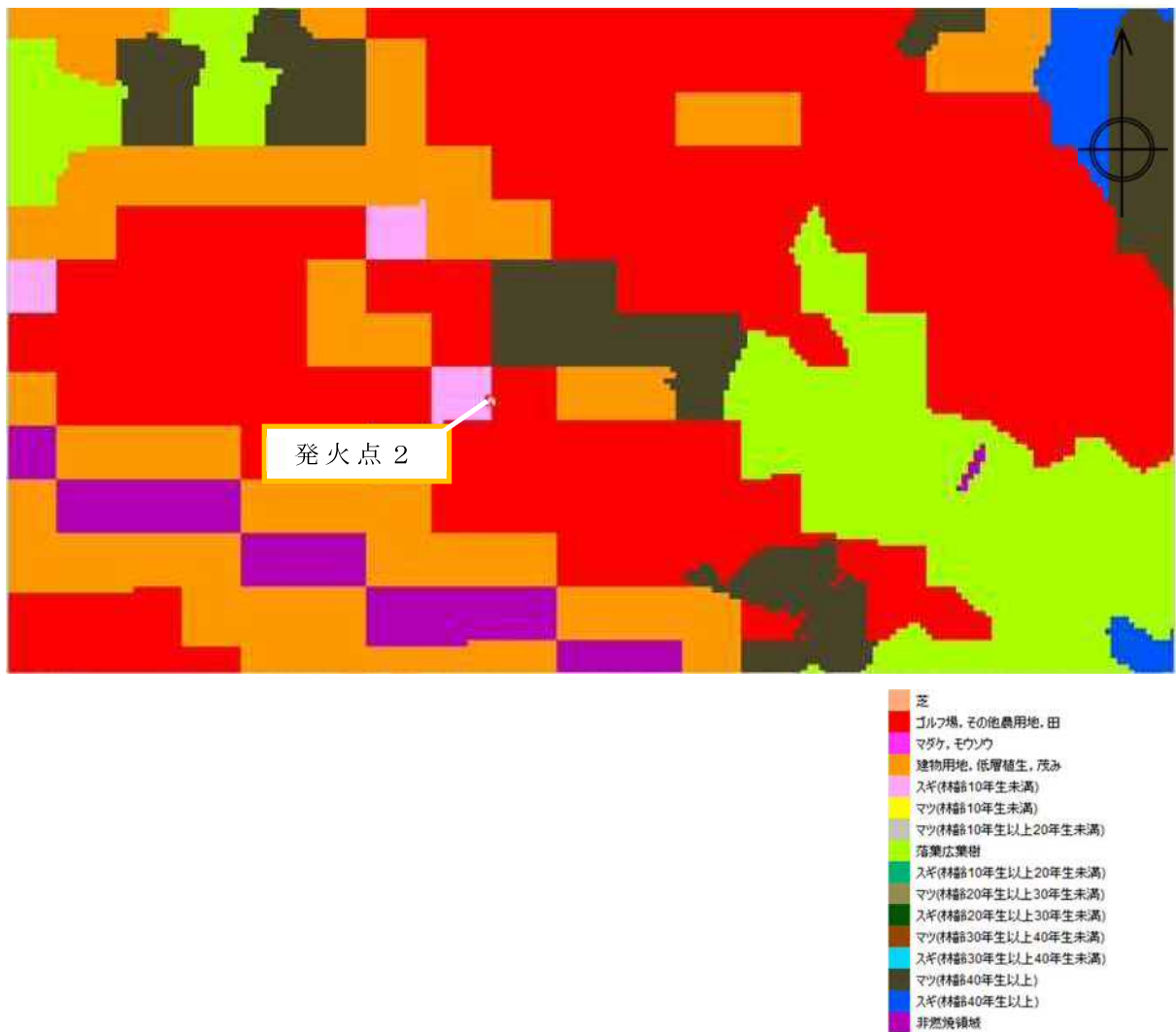
貯蔵施設東側については、市道を挟んで至近に森林（マツ）が存在し、卓越風向ではないが季節により強い風が吹く時期もあることから、貯蔵施設特有の立地条件に鑑み東側の地点について設定した。

- ・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

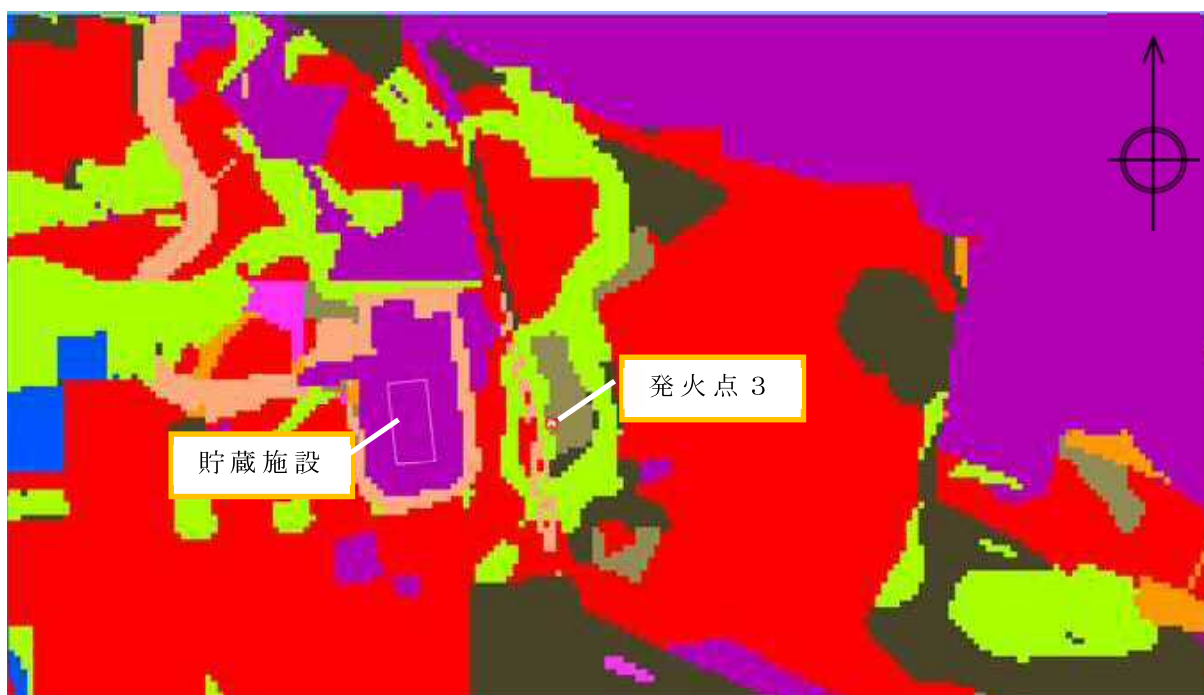
はマツ植生のみの場合より早くなり保守的な選定であると考えられる。



第 24 図 発火点 1 位置図（植生図及び航空写真）



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 FARSITE による森林火災影響評価

3.2.3.1 FARSITE 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 FARSITE による解析計算を実施した。FARSITE への入力データについて第 16 表に示す。

第 16 表 FARSITE 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	植生調査等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

FARSITE 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，または単位換算等を施した。

また，FARSITE からの出力データについて第 17 表に示す。

第 17 表 FARSITE 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 ²)	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 ²)	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

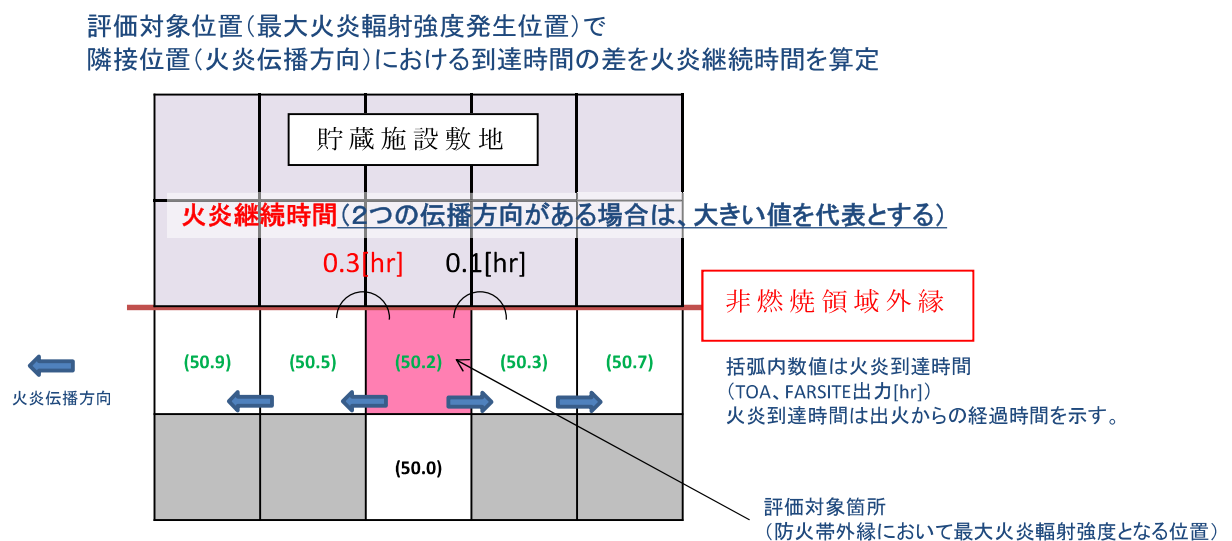
(1) 火炎継続時間の算出

FARSITE から得られる各データをもとに，評価に必要となる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 FARSITE 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
FARSITE 出力データより算出されるデータ	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 ²)	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。反応強度の最大発生位置と，その隣接位置（火炎伝播方向）における火炎到達時刻の差を火炎継続時間とする。
	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 FARSITE 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の外縁）における最大火線強度の位置から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。



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 FARSITE による解析を実施する場合、FARSITE 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。

FARSITE 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 FARSITE 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 FARSITE 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

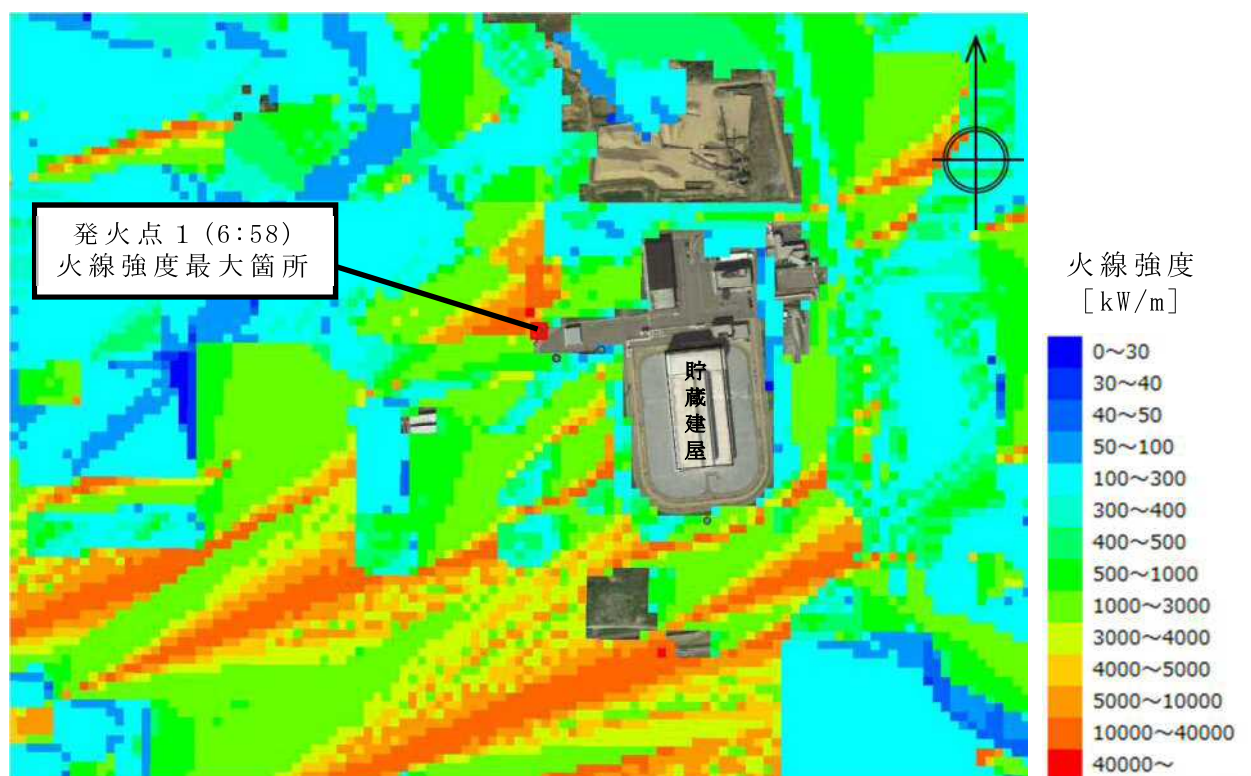
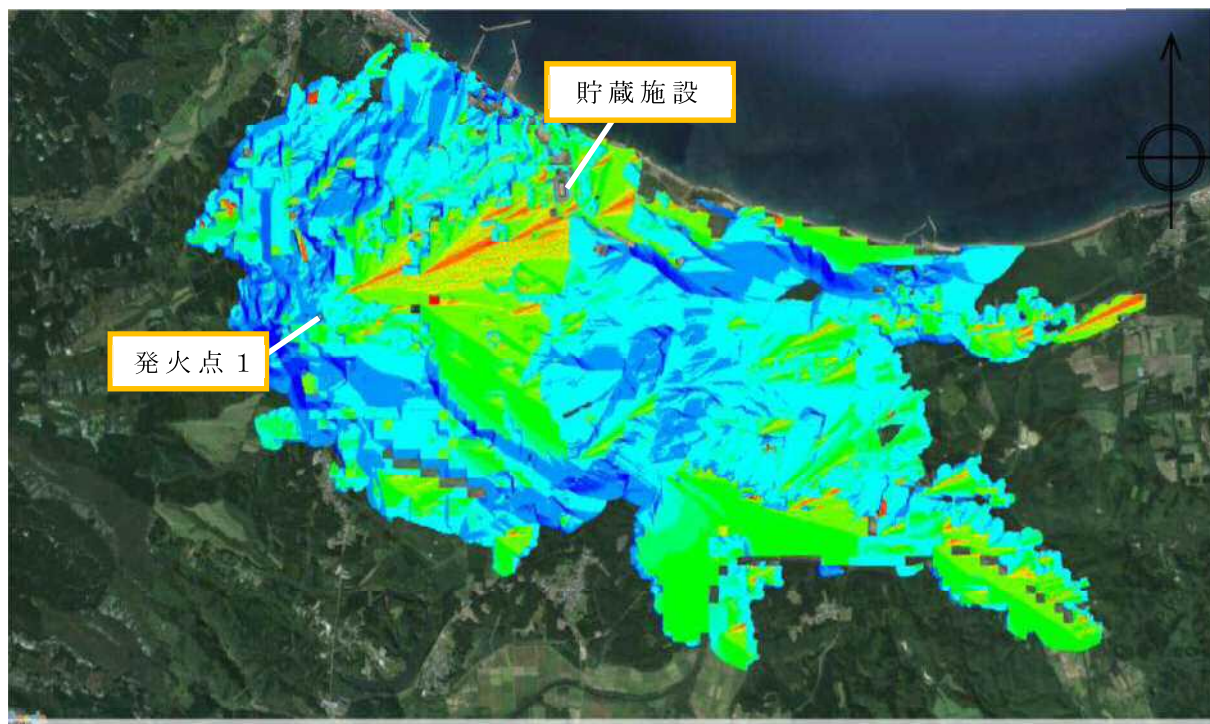
発火時刻	9:02	10:00	11:00	12:00
最大火線強度出現時刻	9:28	10:37	11:25	12:38
最大火線強度 [kW/m]	1556	1754	2016	1383
火炎到達時間 [h]	0.4	0.4	0.4	0.4

※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

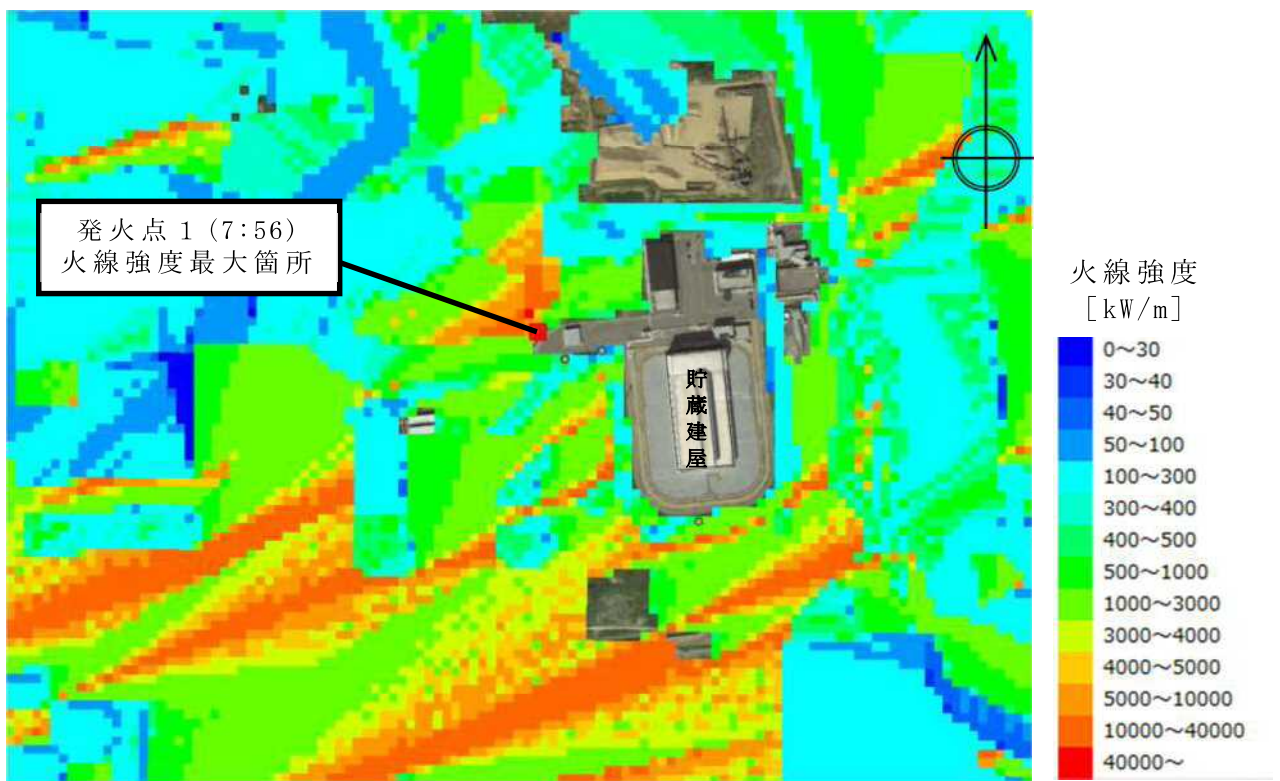
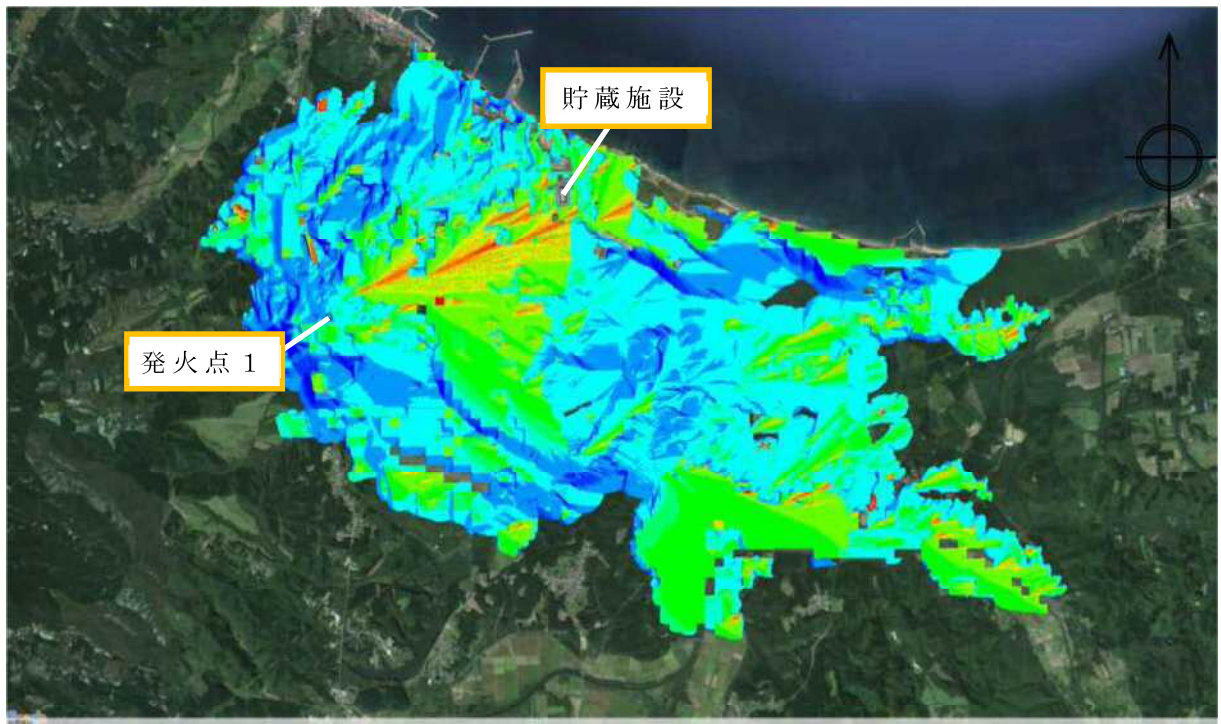
※網掛け部は各発火点における火線強度の最大値

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。

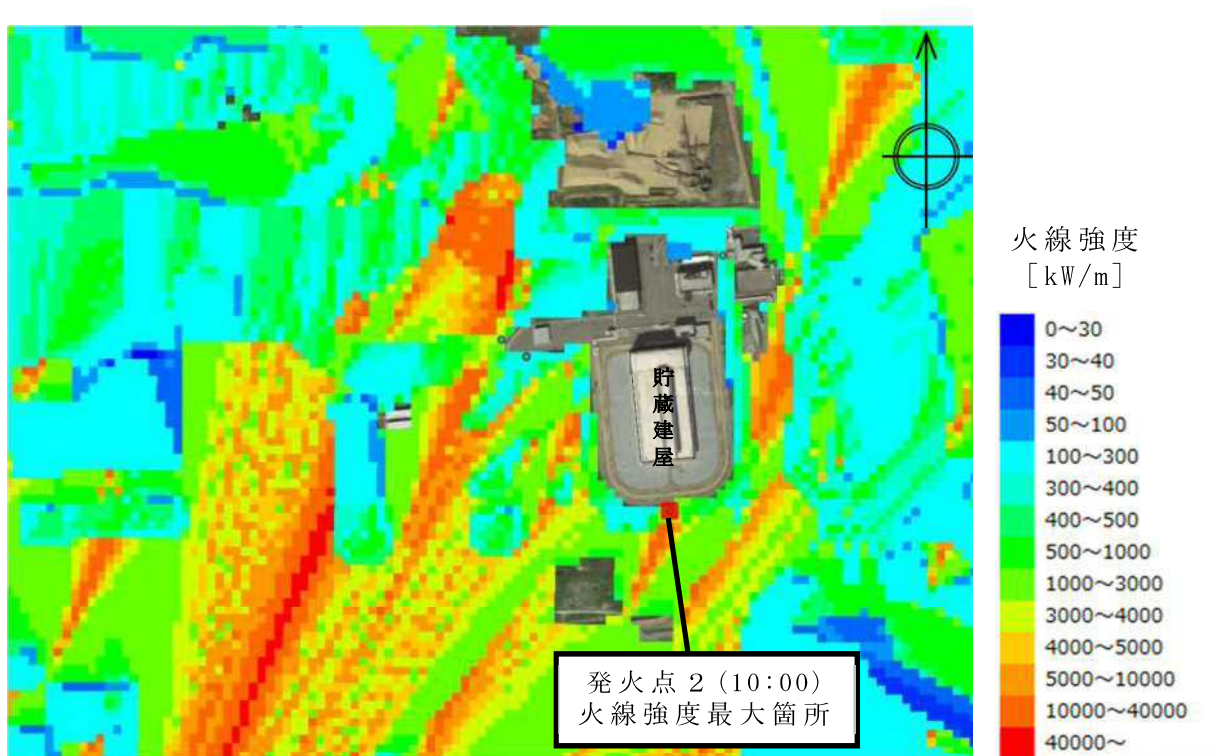
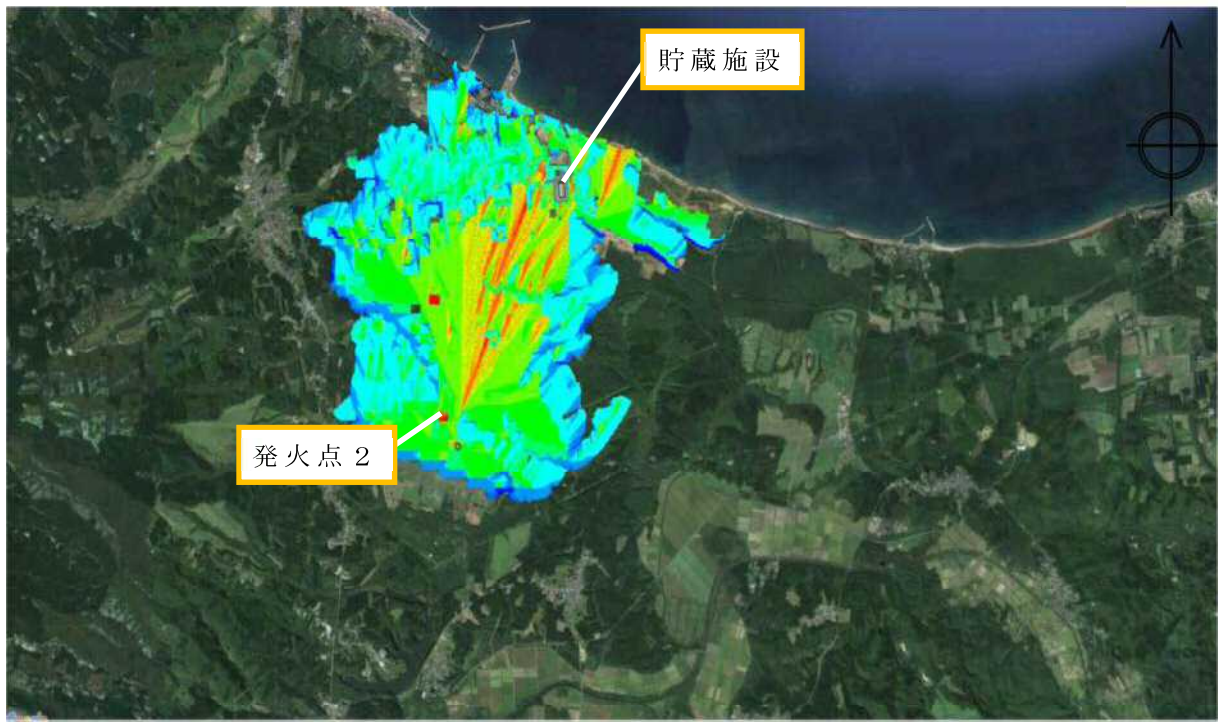
また、各発火点に対する最大火線強度分布及び最小火炎到達時間分布について第 28 図、第 29 図にそれぞれ示す。発火点 1 については、最大火線強度を発出した発火時刻 6:58、及び発火時刻 7:56 における 2 つの結果について示す。



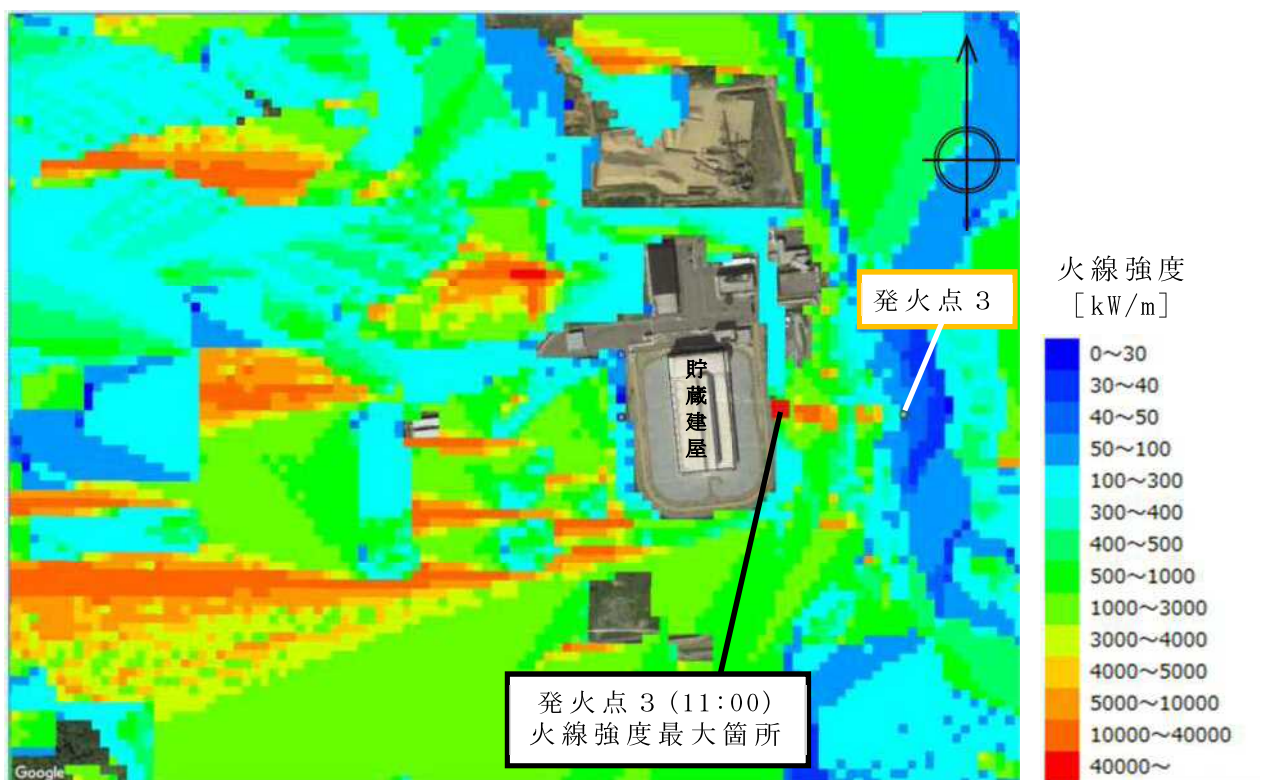
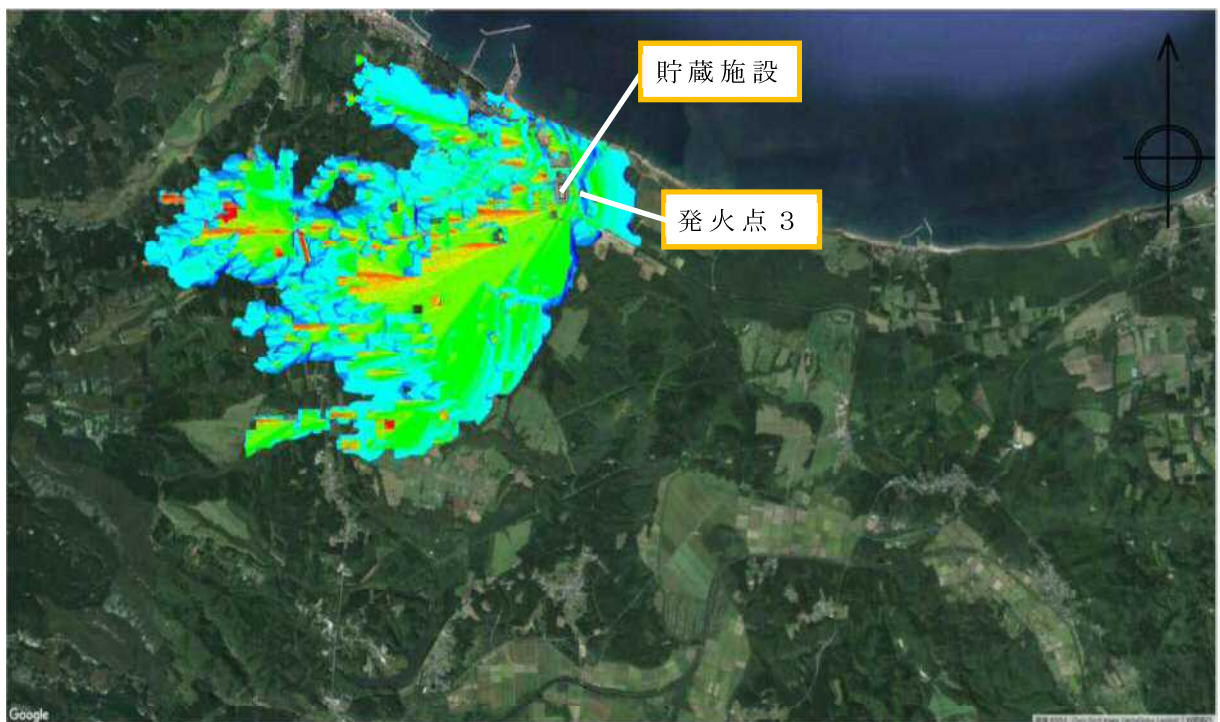
第 28 図(1) 発火点 1 (発火時刻：6:58)に対する火線強度分布
(下の図は同拡大図及び最大火線強度発生箇所)



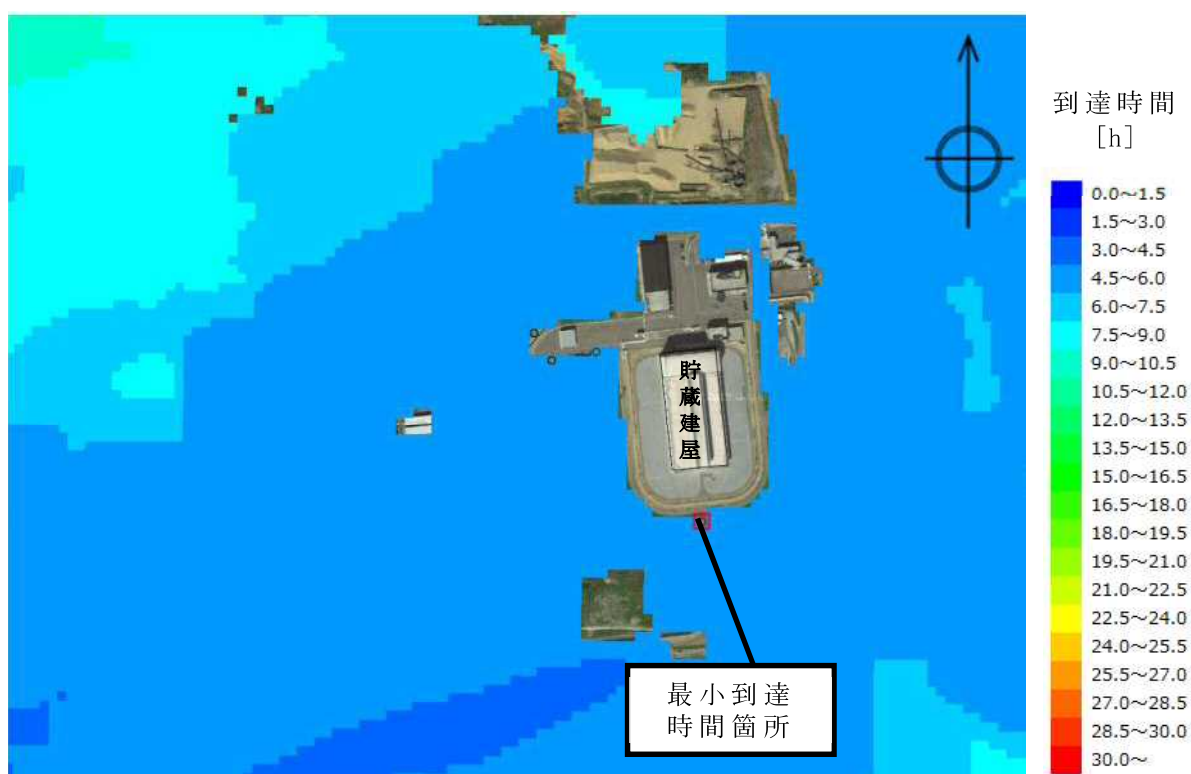
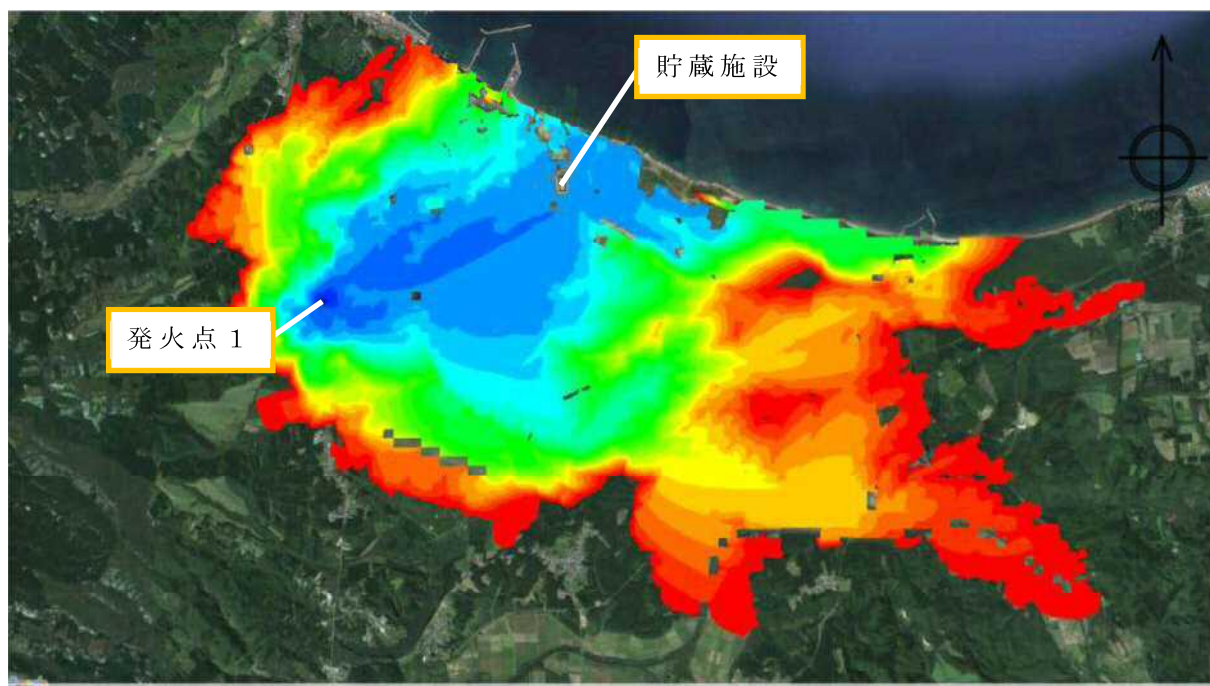
第 28 図 (2) 発火点 1 (発火時刻 : 7:56) に対する火線強度分布
(下の図は同拡大図及び最大火線強度発生箇所)



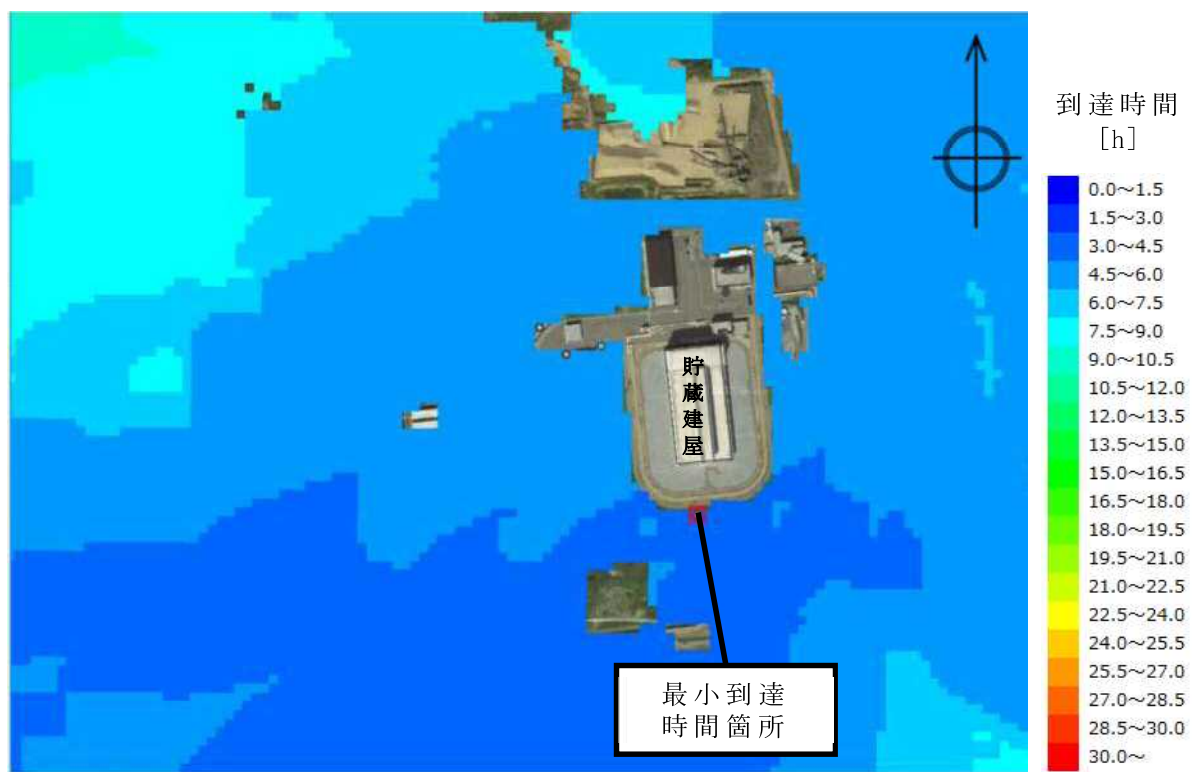
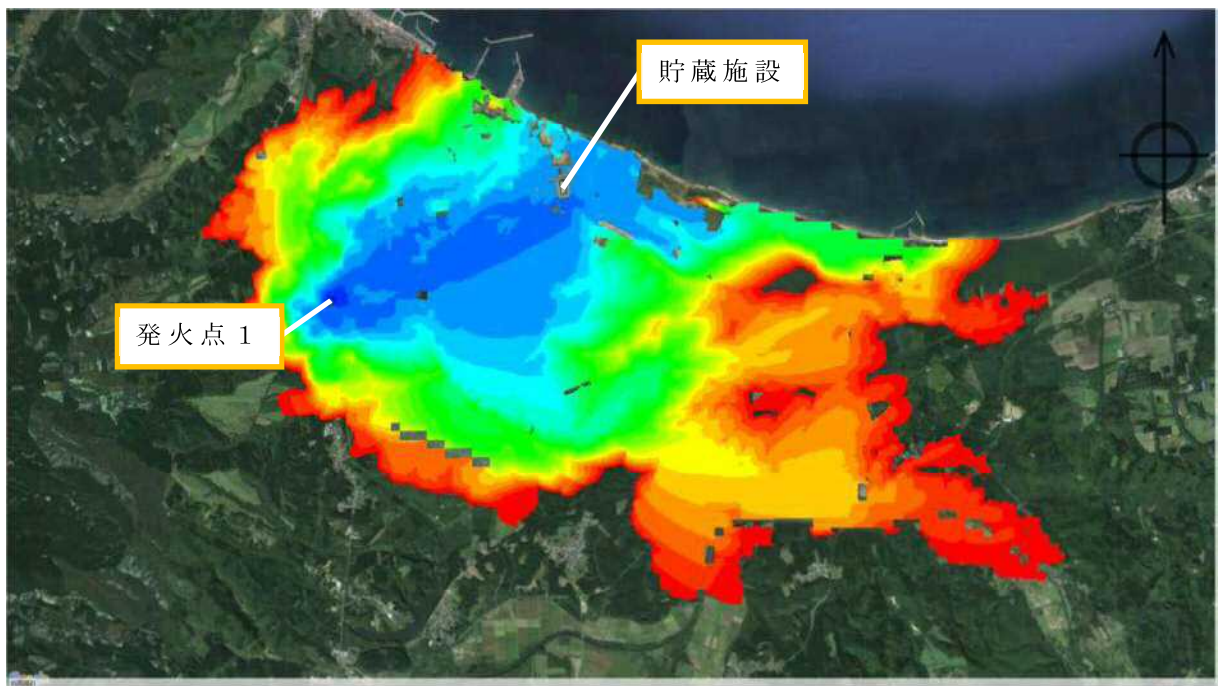
第 28 図 (3) 発火点 2 (発火時刻 : 10:00) に対する火線強度分布
(下の図は同拡大図及び最大火線強度発生箇所)



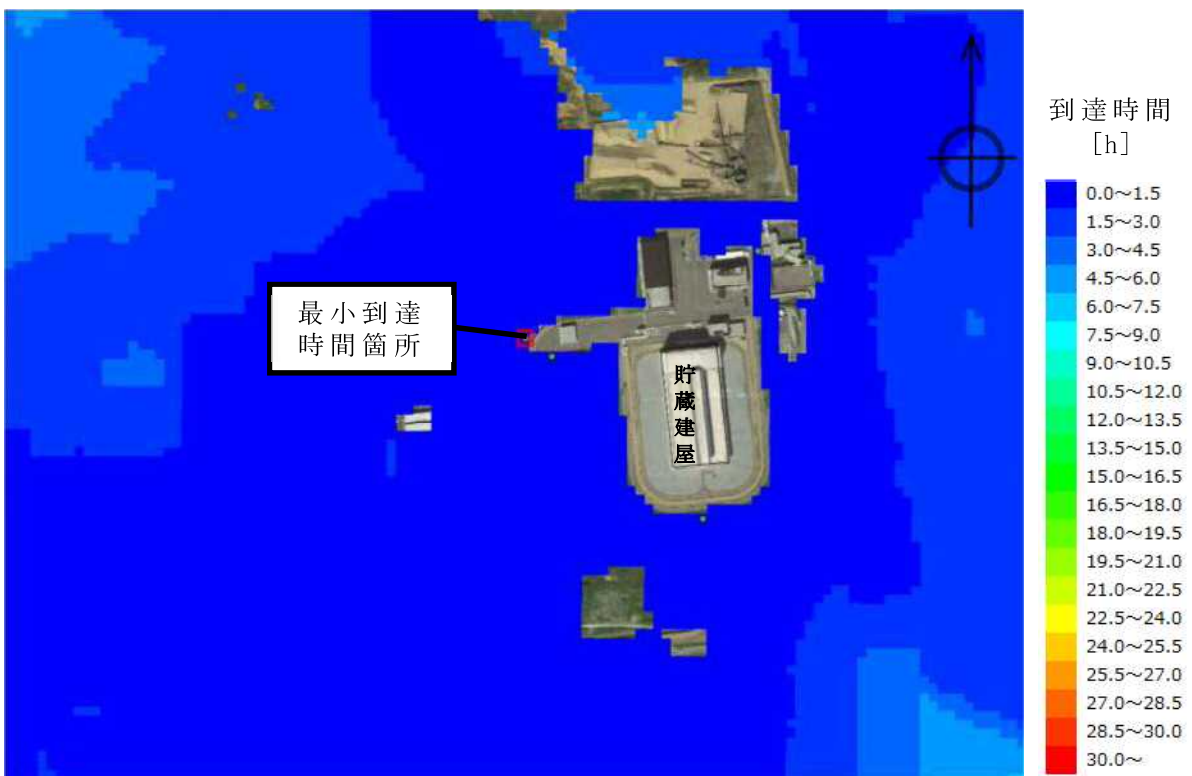
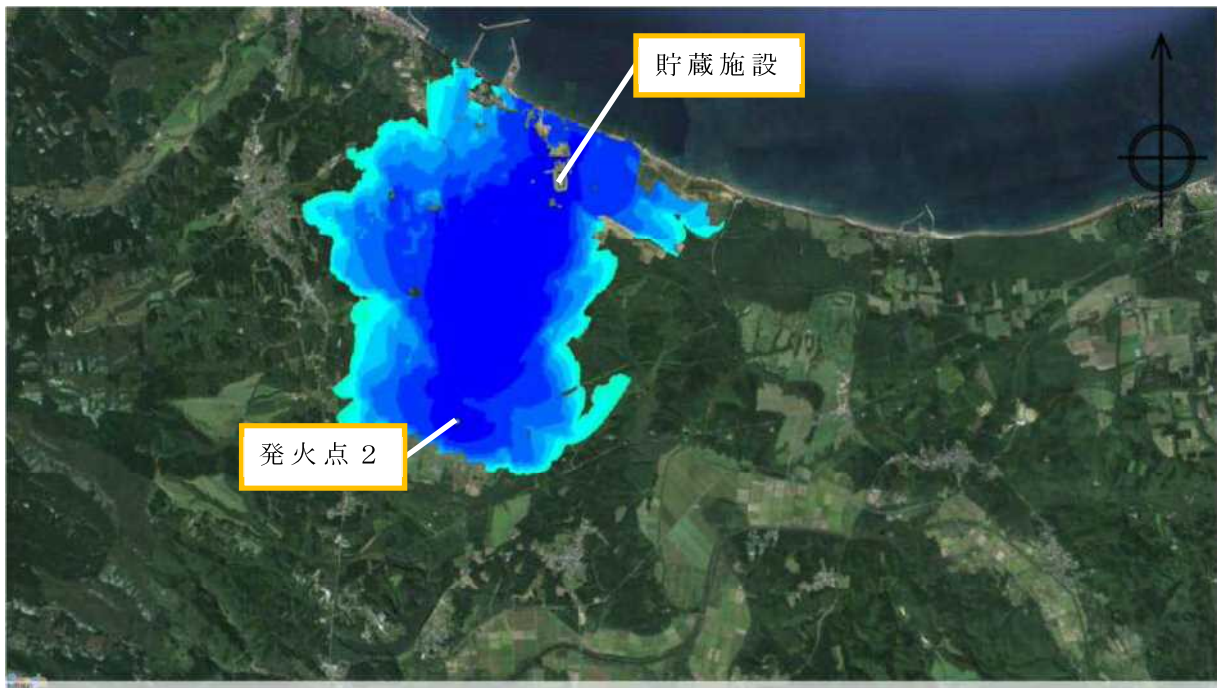
第 28 図 (4) 発火点 3 (発火時刻 : 11:00) に対する火線強度分布
(下の図は同拡大図及び最大火線強度発生箇所)



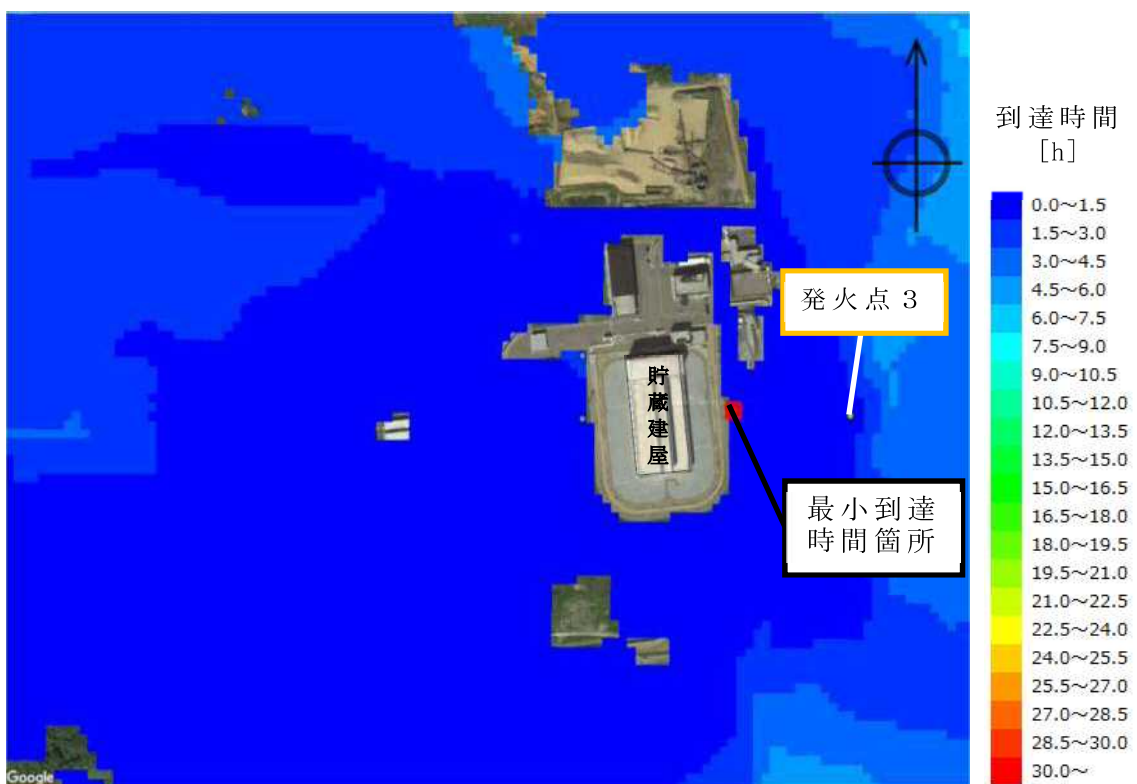
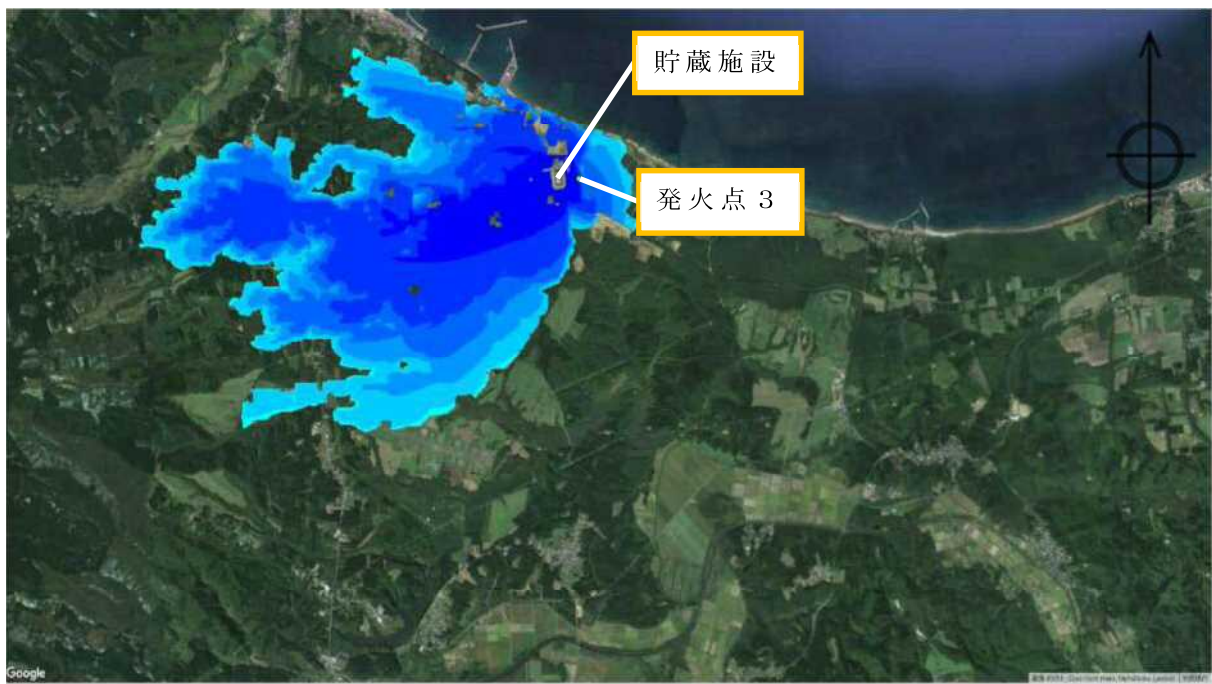
第 29 図(1) 発火点 1 (発火時刻：6:58)に対する火災到達時間分布
(下の図は同拡大図及び最小到達時間発生箇所)



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、評価対象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物品等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等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。

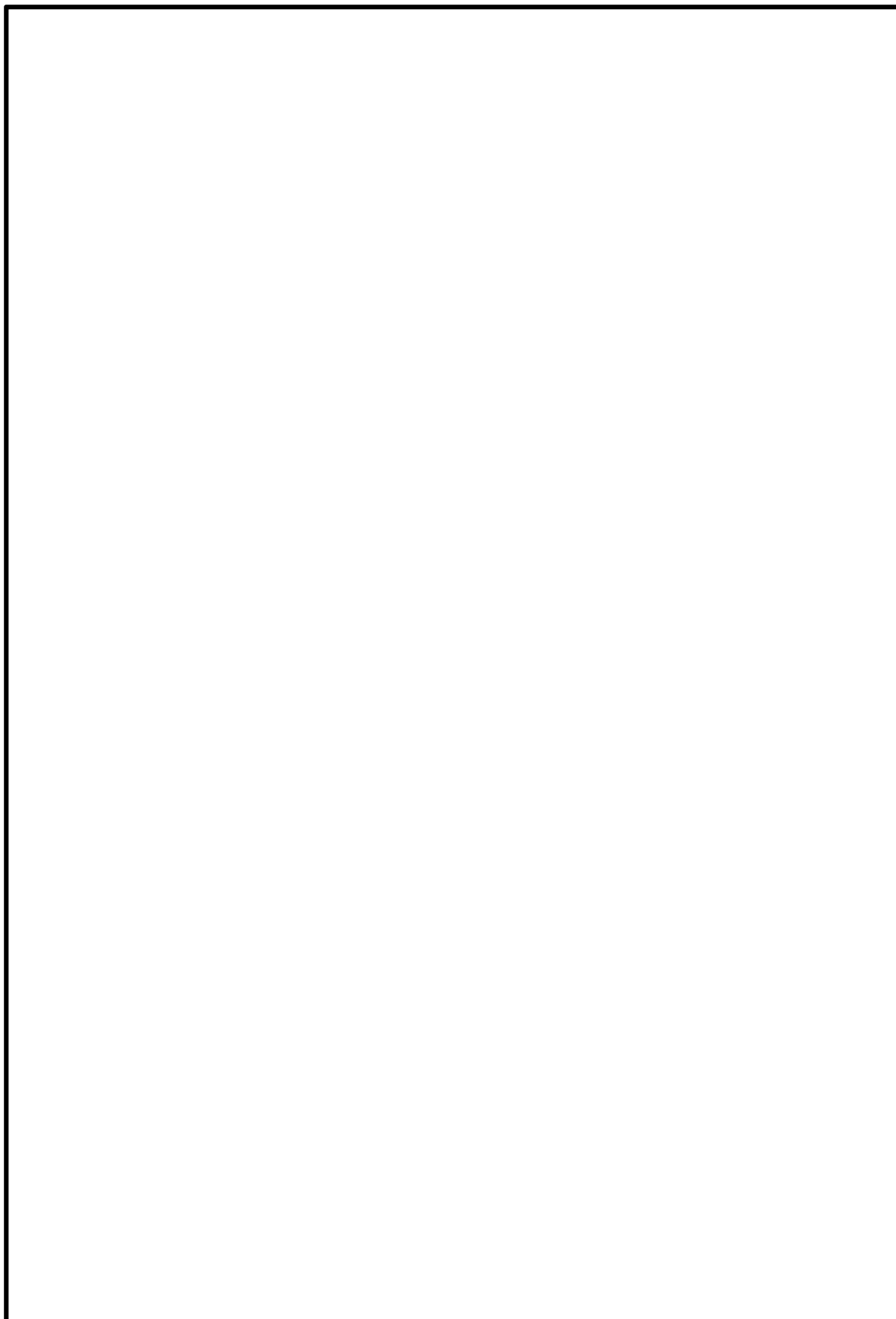
防火帯には延焼防止効果に影響を与えるような可燃物等は原則設

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等を設置する場合は必要最小限の機器等とし、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等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等が存在する。このため防火帯内に設置された機器等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等の対応方針、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 例	評価及び管理方針
不燃性の機器		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	局所的な設置機器	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		機器例	機器設置状況
可燃物を含む機器	局所的な設置機器	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		機器例	機器設置状況
可燃物を 含む機器	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 FARSITE による算出結果

発火点 1, 2, 3 における FARSITE 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 FARSITE 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 ²)	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
火炎到達時間(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 ²)	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いと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非燃焼領域付近へ事前放水を実施する等、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。