

(4) 地形マップの作成

森林火災進展解析コード FARSITE に入力する地形マップは、以下の 3 種類である。

- 標高マップデータ (Elevation)
- 傾斜角マップデータ (Slope)
- 傾斜方向マップデータ (Aspect)

上記のうち、標高マップデータは図 1 0 に示した基盤地図情報データ (参考文献[3]) を使用する。他の 2 つは附属書 A に従い、標高マップデータから算出する。この算出には、地理情報解析ソフト ArcGIS を使用した。

ArcGIS を用いて算出した傾斜角マップデータを図 1 3 に、傾斜方位マップデータを図 1 4 にそれぞれ示す。

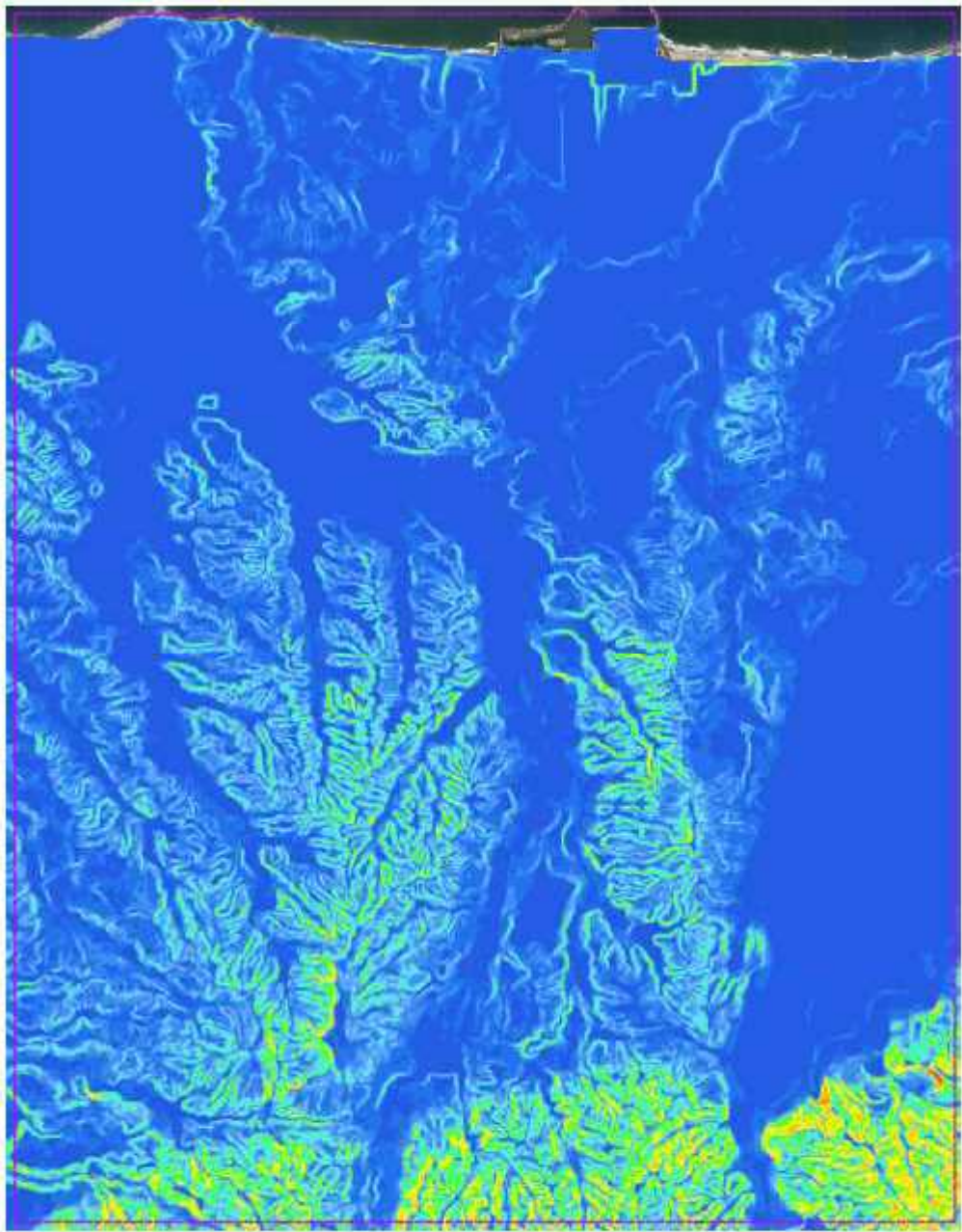


図 1-3 傾斜角マップデータ

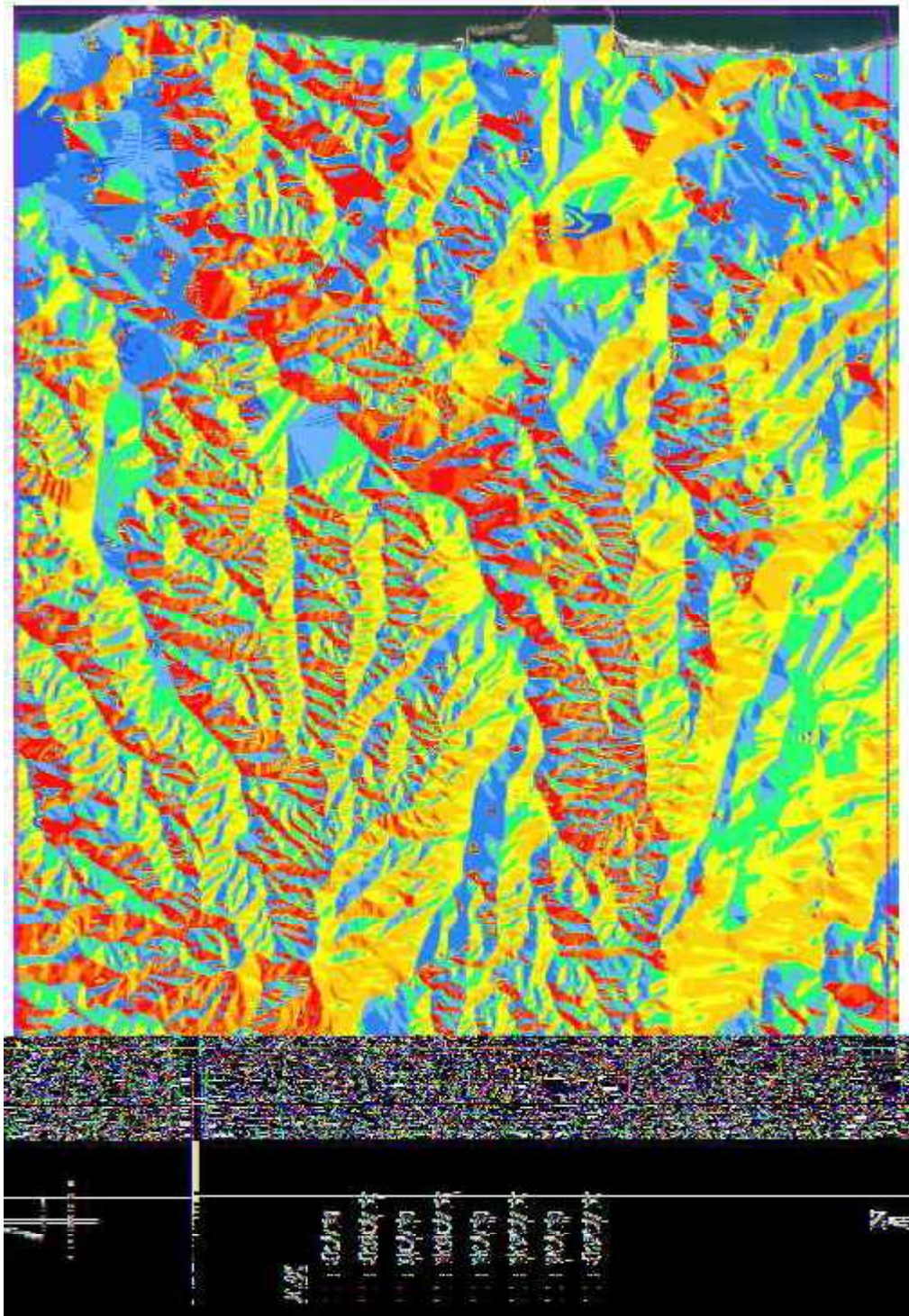


図 1 4 傾斜方位マップデータ

(5) 可燃物マップの作成

森林火災進展評価に用いる FARSITE の入力である可燃物マップは、以下の 5 種類である。これらはすべてラスターデータ（メッシュデータ）の形式となっている。

- ・可燃物マップデータ (Fuel Model)
- ・樹冠率マップデータ (Canopy Cover)
- ・樹高マップデータ (Stand Height)
- ・枝下高さマップデータ (Canopy Base Height)
- ・樹冠かさ密度マップデータ (Canopy Bulk Density)

上記のうち、可燃物マップデータは植生データ、土地利用データ、現地植生調査結果を ArcGIS を用いてすべて統合して作成する。他 4 つのマップデータは、すべて樹木の樹冠部に関するデータであり、可燃物マップ上のデータに基づいて設定する。

まず、植生データ・土地利用データ・現地植生調査結果を統合する。統合した植生の分布を図 1-5 に示す。~~このとき、除草を実施して管理する領域（図 1-6 参照）及び中間貯蔵施設（図 1-7 参照）を統合した植生に反映する。~~

次に、統合した植生に応じて各メッシュに FARSITE 可燃物モデル（植生に応じて FARSITE に入力される草地、中低木、倒木といった可燃物の区分、以下「可燃物モデル」という）を設定する。設定した可燃物モデルの分布を図 1-8-6 に、使用した可燃物モデル一覧を表 1-10～表 1-11 にそれぞれ示す。このとき、保守側の想定として、図 1-5 の植生データに対して可燃物の存在量を多く想定した可燃物モデルを設定する（表 1-12～表 1-15 参照）。

さらに、設定した可燃物モデルに応じ、樹冠データ（樹冠率・樹高・枝下高さ・樹冠かさ密度）を設定する。樹冠データについては、データを正確に調査することが困難であるため、一律に以下の値を使用した。4 種類の樹冠データ分布を図 1-9-7～図 2-2-0 に示す。

・樹冠率：区分 3

（FARSITE デフォルトで設定されている 4 区分のうち、保守側の想定として、一般的な森林である区分 3 を一律で使用。なお、区分 1 と 2 は非森林を含む領域であり、区分 4 は原生林のように植生が密な想定のため、地表近くの風が植生に遮られて弱まり、火災規模が小さくなる。）

- ・樹高：15m（FARSITE デフォルト値を一律で使用）
- ・枝下高さ：4m（FARSITE デフォルト値を一律で使用）
- ・樹冠かさ密度：0.2 kg/m³（FARSITE デフォルト値を一律で使用）

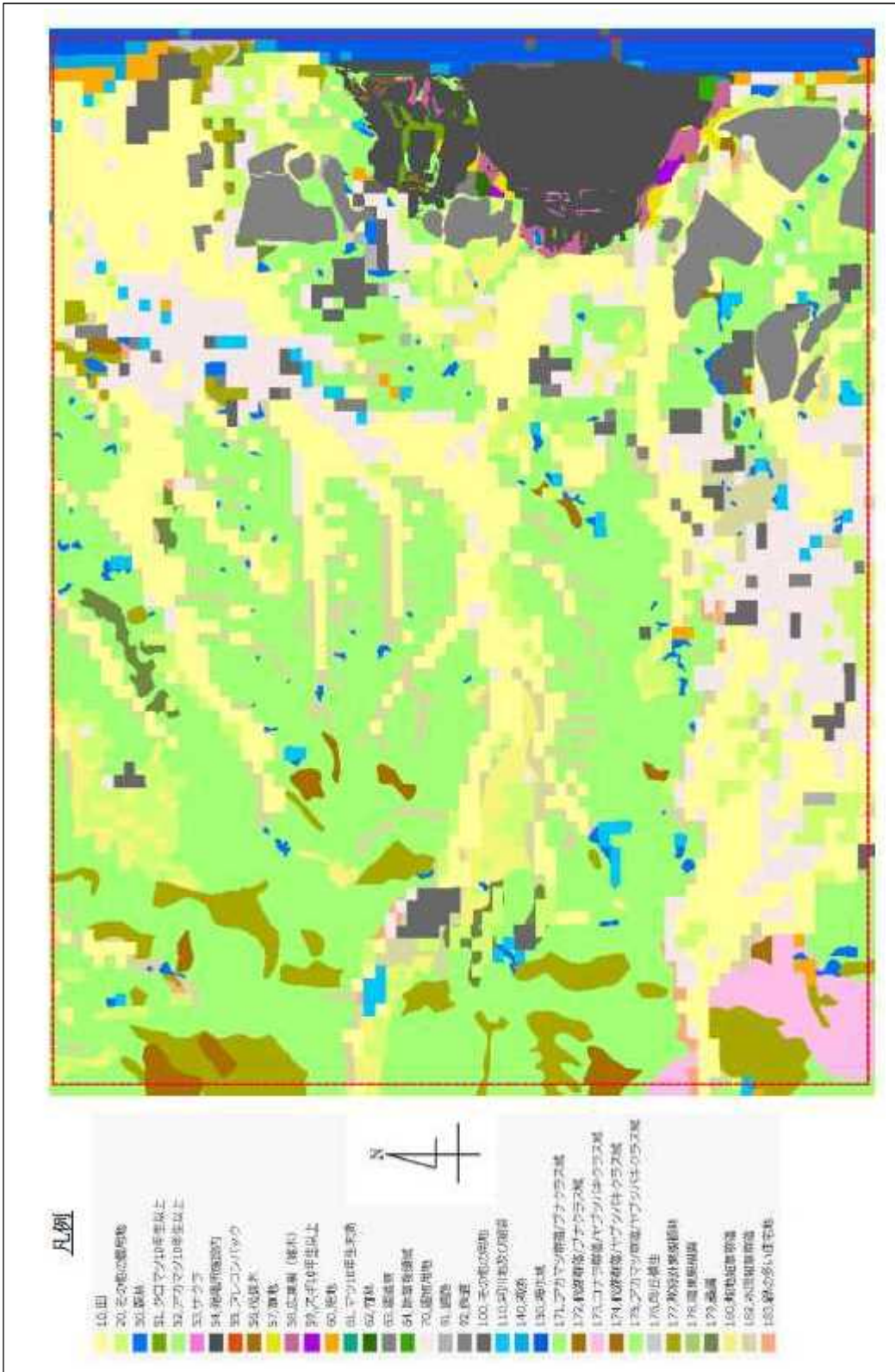


図 15 植生データ・土地利用データ・現地植生調査結果を統合した 1F 周辺植生マップ

伐採木貯留槽周辺は、現地植生調査結果より10年生未満の実生マツが分布する。10年生未満のマツは火線強度が大きくなることが予想されるため、当該領域においては除草を実施し、燃えやすい植生が繁茂しないよう管理したものと仮定する。除草後の領域については、刈り残しや新たな雑草の繁茂を考慮して、可燃物モデルNo.1「丈の低い草地」に区分する。

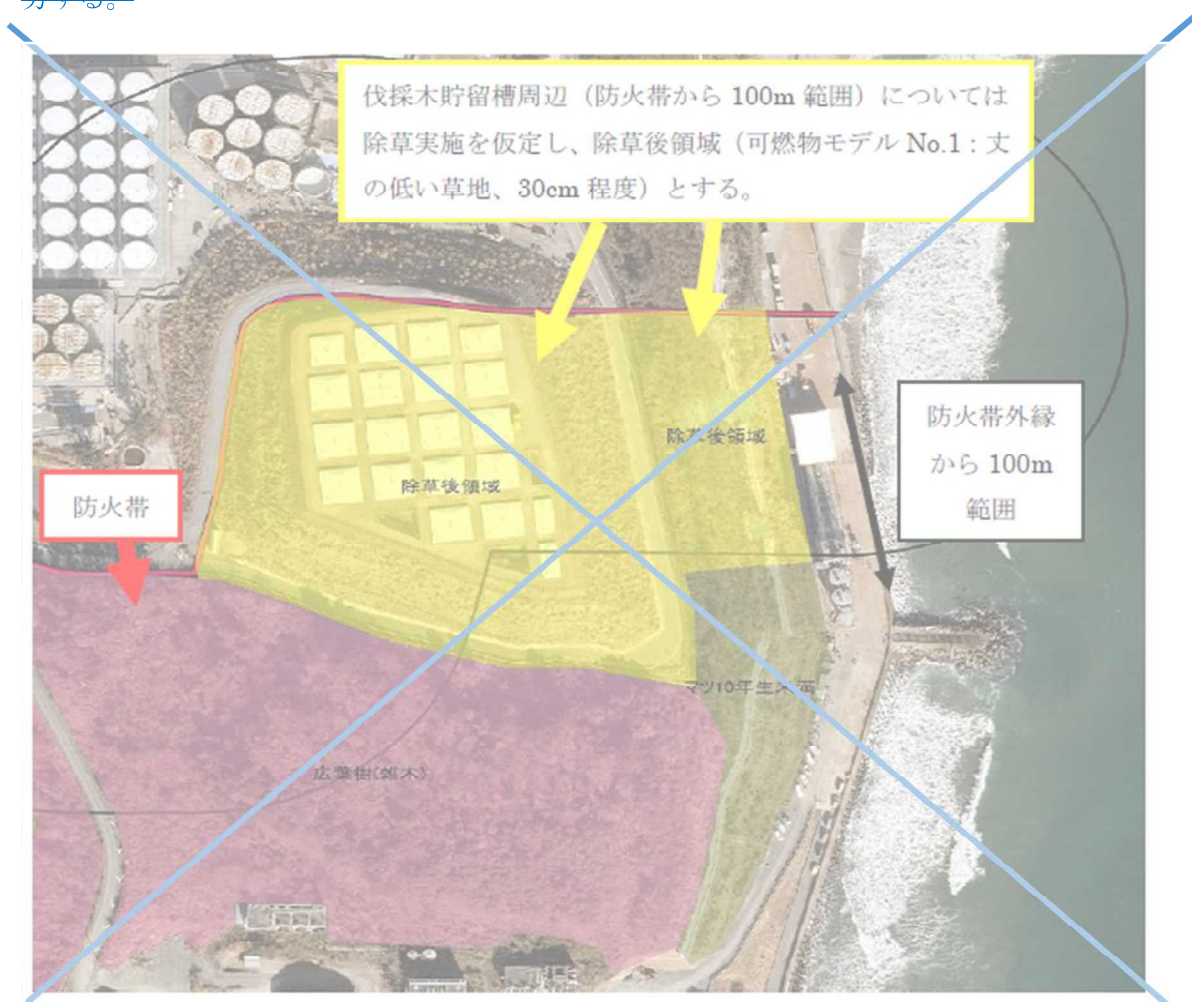


図1-6 除草を実施する範囲について

1F 周辺においては除染廃棄物の中間貯蔵施設の整備が進行中である（参考文献[7]）。中間貯蔵施設の整備により、広範囲にわたって土地が整地され、植生の無い領域が広がると考えられる。

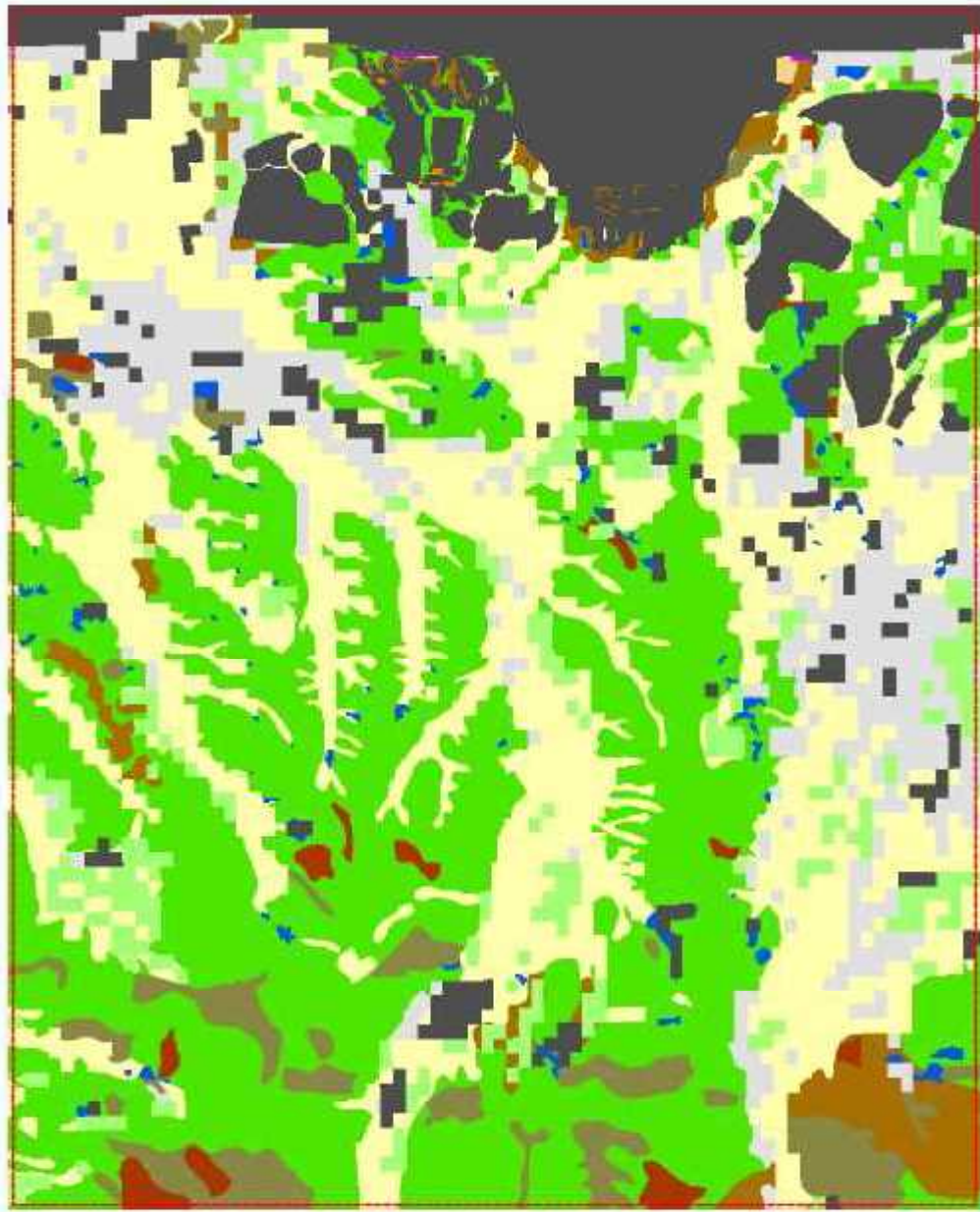
これを踏まえ、本解析評価においては、2019 年 8 月時点における最新公開情報（参考文献[7]）をベースに、整地が完了した領域（下図矢印のさす領域、参考文献[7]中に整備状況の記載あり）を非植生領域として可燃物マップに反映することとした。



＜出典＞ 中間貯蔵施設環境安全委員会第 15 回会合
資料 1「中間貯蔵施設事業の状況について（2019 年 8 月）」2 ページ（参考文献[7]）

図 1-7 中間貯蔵施設の反映について

図は最新の情報に合わせ評価中



凡例

- : 除草後領域
- : 木の高い草地
- : 低木の茂み
- : 茂み
- : 森林
- : 倒木
- : スギ 10 年生
- : マツ 10 年生未灌
- : マツ 10 年生
- : 落葉広葉樹
- : 非植生領域
- : 伐採木

※太字+下線部の領域は
樹木が存在。

※「除草後領域」の詳細は、
3.3-25 ページの備考参照

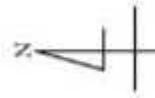


図 1-8-6 IF 周辺の可燃物マップ

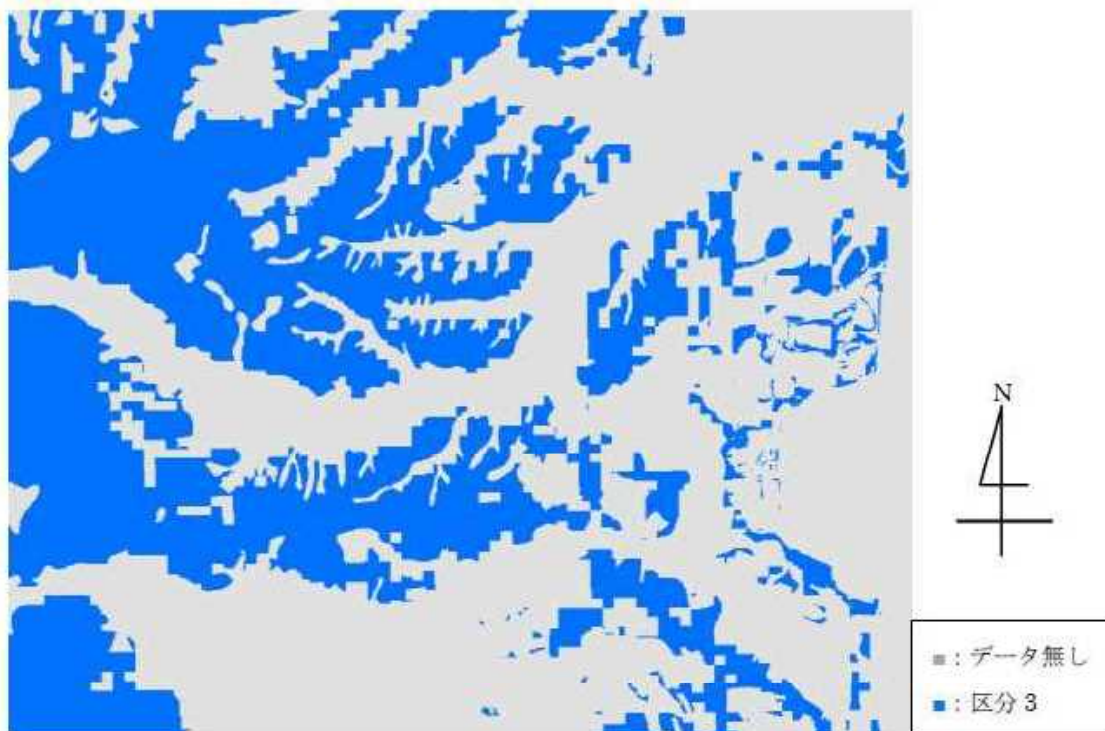


図1-9-7 樹冠率マップ

図は最新の情報に合わせ評価中

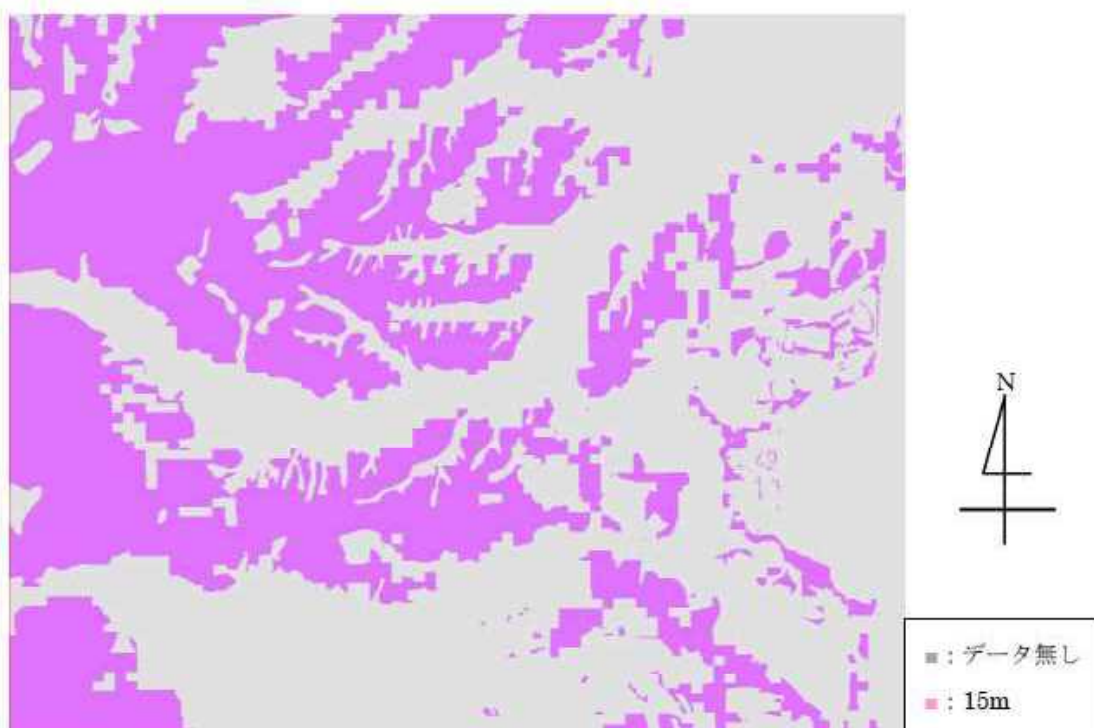


図2-0-18 樹高マップ

図は最新の情報に合わせ評価中



図2-1-19 枝下高さマップ

図は最新の情報に合わせ評価中



図2-2-0 樹冠かさ密度マップ

図は最新の情報に合わせ評価中

表 1 0 本解析評価で使用する可燃物モデル概要 (FARSITE デフォルト)

可燃物 モデル No.	種類	植生の特徴	燃え方の特徴
1	Short Grass 丈の低い草地	30cm 程度の丈の草が一様に 広がった草原。	FARSITE デフォルトの草地の可 燃物モデル (No. 1~3) 中では最 も火線強度が小さいモデル。但 し延焼速度は大きく、火が広が りやすい (参考文献[5])。
3	Tall Grass 丈の高い草地	1/3 以上が乾燥した状態の、 丈の平均が 1m 程度の草原。	FARSITE デフォルトの草地の可 燃物モデル (No. 1~3) 中では最 も火線強度が大きくなる保守 的なモデル (参考文献[5])。
4	Chaparral 低木の茂み	丈が約 1.8m あるいはそれ以 上の低木に覆われ、燃えや すい枝葉が多く積み上がっ ている土地。	極小径 (約 6mm 以下) で発火し やすい枝や葉などの可燃物量 が大きく、かつ可燃物堆積高さ が大きいため、火線強度が非常 に大きくなる保守的なモデル (参考文献[5])。
5	Brush 茂み	低木に覆われているが下草 が少ない土地、あるいは、若 く含水量の大きい低木に覆 われた土地。	可燃物全体に占める生体可燃 物量 (含水量が多い) の割合が 高く、火線強度は大きくなり にくいモデル (参考文献[5])。
10	Timber litter /Understory リターと低木	一般的な森林。	FARSITE デフォルトの森林の可 燃物モデル (No. 8~10) の中 では最も可燃物堆積高さが大き く、火線強度は大きくなる。一 般的な「森林」はこのモデルで 表現できる (参考文献[5])。
13	Heavy Slash 倒木	切り倒された森林、あるい は倒木が多い土地。	面積あたりの可燃物量は No. 1 ~13 のモデル中最大。火は広が りやすいが、火線強度はゆっく り上昇する (参考文献[5])。

表 1 1 本解析評価で使用する可燃物モデル概要（カスタム可燃物モデルとして設定）

可燃物モデル No.	種類	植生の特徴	燃え方の特徴
15	スギ 10 年生	10 年生のスギ林。下草丈は 1.8m 程度を想定。	JNES-RC-Report（参考文献 [87]）で使用されていた可燃物モデル。スギ 20 年生以上の可燃物モデルに比べて生体可燃物量が少ない。
19	マツ 10 年生未満	10 年生未満のマツが一様に分布した植生。下草丈は 1.8m 程度を想定。	JNES-RC-Report（参考文献 [87]）で使用されていた可燃物モデル。マツの可燃物モデル（No. 19～23）中で最も生体可燃物量が少ないため、火線強度が大きくなりやすい。
20	マツ 10 年生	10 年生のマツ林。下草丈は 1.8m 程度を想定。	JNES-RC-Report（参考文献 [87]）で使用されていた可燃物モデル。生体可燃物量が可燃物モデル No. 19 に比べて大きいため、湿分量が多くなり火線強度は小さくなる。他パラメータは全て No. 19 と同じ。
24	落葉広葉樹	平均的な落葉広葉樹林。下草丈は 1.8m 程度を想定。	JNES-RC-Report（参考文献 [87]）で使用されていた可燃物モデル。No. 15 や No. 20 に比べて生体可燃物量が大きい。
81	伐採木	伐採木を平均 4m 程度の高さに積み上げて保管している領域。	可燃物モデル No. 13 の可燃物堆積高さと同面積当たり可燃物量を、 $4\text{m} \div 90\text{cm} = 4.4$ 倍に修正した可燃物モデル。詳細は添付資料 4 参照。 (4m: 伐採木積上げ高さ, 90cm: 可燃物モデル No. 13 の堆積高さ)

表 1 2 植生に応じた可燃物モデルの設定方法（土地利用データ）

データ区分	可燃物モデル	設定根拠
田	No. 3 Tall Grass (丈の高い草地)	K サイト評価（参考文献[6]）の想定を踏襲し可燃物モデル No. 3 でモデル化する。
その他の農用地	No. 4 Chaparral (低木の茂み)	「その他の農用地」には果樹園など低木の多い農地も含まれることから、K サイト評価（参考文献[6]）の想定を踏襲し可燃物モデル No. 4 でモデル化する。
荒地	No. 5 Brush (茂み)	植生が少ない領域と考えられるが、K サイト評価（参考文献[6]）の想定を踏襲し保守側に可燃物モデル No. 5 でモデル化する。
建物用地		
森林	No. 10 Timber litter / Understory (リターと低木)	環境省の植生調査データが無く、国土交通省の土地利用データで「森林」区分となっている領域は、FARSITE デフォルトの森林の可燃物モデル No. 8～10 中で最も保守性の高い No. 10 でモデル化する（K サイト評価（参考文献[6]）の想定を踏襲）。
道路	No. 99 非植生領域	道路、鉄道、水域などは樹木等が無いと考えられるため、K サイト評価（参考文献[6]）の想定を踏襲し非植生領域とする。
鉄道		
その他の用地		
河川地及び湖沼		
海浜		
海水域		

表 1 3 植生に応じた可燃物モデルの設定方法 (植生データ) (1/2)

データ区分	可燃物モデル	設定根拠
畑地雑草群落	No. 3 Tall Grass (丈の高い草地)	雑草群落や牧草地等は草地と想定できることから, FARSITE デフォルトの草地の可燃物モデル No. 1~3 中で, 最も保守性の高い No. 3 でモデル化する。
牧草地, ゴルフ場		
水田雑草群落		
落葉果樹園	No. 4 Chaparral (低木の茂み)	K サイト評価 (参考文献[6]) の想定を踏襲し果樹園は低木の多い農地と想定して, 可燃物モデル No. 4 でモデル化する。
竹林	No. 4 Chaparral (低木の茂み)	竹林は生長が早く可燃物が密集しやすいと考えられるため, K サイト評価 (参考文献[6]) の想定を踏襲し火線強度が大きくなりやすく保守性の大きい可燃物モデル No. 4 でモデル化する。
砂丘植生	No. 5 Brush (茂み)	土地利用データの「荒地」と同等の植生と想定し, 可燃物モデル No. 5 でモデル化する。
緑の多い住宅地	No. 5 Brush (茂み)	土地利用データの「建物用地」と同等の植生と想定し, 可燃物モデル No. 5 でモデル化する。
伐跡群落/ ブナクラス域	No. 13 Heavy Slash (倒木)	伐跡群落は倒木が多い領域と想定し, 倒木の多い土地の可燃物モデル No. 11~13 中で最も保守性の高い No. 13 でモデル化する。
伐跡群落/ ヤブツバキクラス域		

表 1 4 植生に応じた可燃物モデルの設定方法 (植生データ) (2/2)

データ区分	可燃物モデル	設定根拠
常緑針葉樹植林	No. 15 スギ 10 年生	1F 構外の常緑針葉樹植林は林齢が不明であるが、10 年生未満のスギが一様に分布するような植生でないことを航空写真で確認の上、保守的に 10 年生と想定し可燃物モデル No. 15 でモデル化する。
アカマツ群落/ ブナクラス域	No. 20 マツ 10 年生	1F 構外のマツ群落は林齢が不明であるが、10 年生未満のマツが一様に分布するような植生でないことを航空写真で確認の上、保守的に 10 年生と想定し可燃物モデル No. 20 でモデル化する。
アカマツ群落/ ヤブツバキクラス域		
カスミザクラ コナラ群落 /ブナクラス域	No. 24 落葉広葉樹	1F 構外の広葉樹群落については、広葉樹の種類に関わらず「落葉広葉樹」にまとめ、可燃物モデル No. 24 でモデル化する (K サイト評価 (参考文献 [6]) の想定を踏襲)。
コナラ群落/ ヤブツバキクラス域		
桑園	No. 24 落葉広葉樹	桑は落葉性の高木あるいは低木であること (参考文献[98]) から、桑園は落葉広葉樹林と同等の植生と想定し可燃物モデル No. 24 でモデル化する。

表 1 5 植生に応じた可燃物モデルの設定方法 (現地植生調査結果)

データ区分	可燃物モデル	設定根拠
アカマツ 10 年生以上	No. 20 マツ 10 年生	1F 構内のアカマツ・クロマツは、実生マツ以外は林齢が 10 年生以上だが、保守側に可燃物モデル No. 20「マツ 10 年生」とした。
クロマツ 10 年生以上		
サクラ	No. 24 落葉広葉樹	1F 構内の街路樹はほぼ全てサクラであることから、落葉広葉樹の可燃物モデル No. 24 とした。
スギ 10 年生以上	No. 15 スギ 10 年生	1F 構内のスギは林齢が 10 年生以上だが、保守側に可燃物モデル No. 15「スギ 10 年生」とした。
マツ 10 年生未満	No. 19 マツ 10 年生未満	1F 構内の実生マツは林齢が 10 年に満たないため、可燃物モデル No. 19「マツ 10 年生未満」とした。
広葉樹 (雑木)	No. 24 落葉広葉樹	クスギ等の広葉樹からなる雑木林は、可燃物モデル No. 24「落葉広葉樹」とした。
竹林	No. 4 Chaparral (低木の茂み)	表 1 3「竹林」と同様。
草地	No. 3 Tall Grass (丈の高い草地)	樹木が少なく草が繁茂した植生領域は、草地の可燃物モデルの中で最も厳しいモデルである No. 3「丈の高い草地」とした。
伐採木	No. 81 伐採木	伐採木の堆積高さは平均約 4m であったことから、これをもとに伐採木の可燃物モデル No. 81 を作成し設定した。
除草後領域	No. 1 Short Grass (丈の低い草地)	除草を実施する領域 (図 1-6 参照) は刈り残しや新たに少量繁茂する草を考慮し、平均丈 30cm 程度の可燃物モデル No. 1「丈の低い草地」とした。

2.1.2.34 気象情報・火災件数の収集及び分析

森林火災影響評価の入力のうち気象条件は附属書Aに従い、森林火災の発生件数が多い月の過去10年間※の気象データを調査し、現地で起こり得る最悪の条件を検討する必要がある。また発火点条件は附属書Aに従い、風向を卓越風向としたときの発電所風上に設定する必要がある。

よって、日本全国及び福島県の森林火災発生件数と1F周辺で観測された過去10年間の気象データを調査し、気象条件及び発火点条件を設定した。

※本評価は2019年に実施したものであるため、2019年から過去10年間のデータを用いている。

(1) 火災発生件数の分析

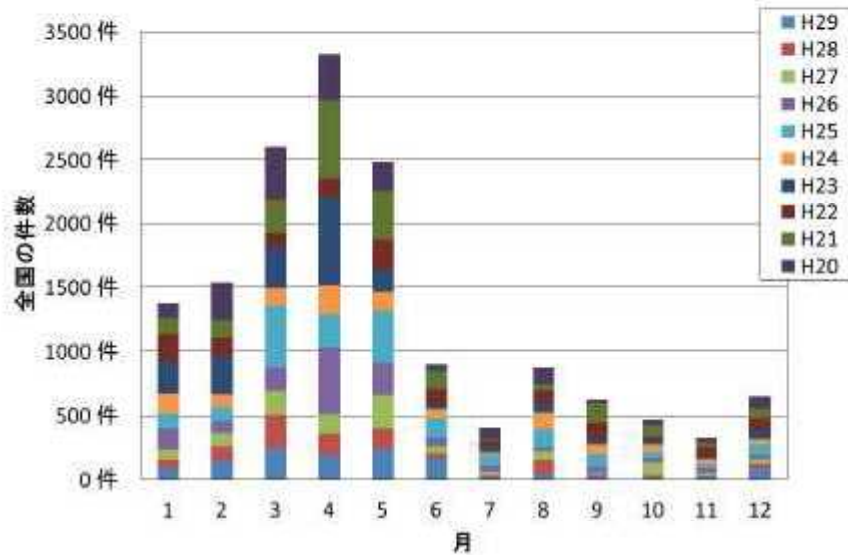
日本全国における森林火災の発生件数は消防庁発行「消防白書」(参考文献[49])より、福島県における森林火災の発生件数は福島県農林企画課発行「福島県農林水産業の現状」(参考文献[10])より、それぞれ調査した。過去10年間(平成20年～29年)に発生した森林火災は、全国、福島県ともに3～5月に件数が多い(図2-3-1参照)。よって、1F森林火災の影響評価に用いる気象条件は、森林火災発生件数の多い3～5月の気象条件から設定することとした。

また、「消防白書」(参考文献[49])より、全国の森林火災の出火原因割合を調査した。平成15～24年度の林野火災の主な発生原因は図2-4-2に示すとおり、件数の多い順でたき火約4500件、火入れ約2300件、放火(疑い含む)約1500件となっている。いずれの発生原因も、民家、田畑周辺あるいは道路沿いで発生する人為的行為となっている。

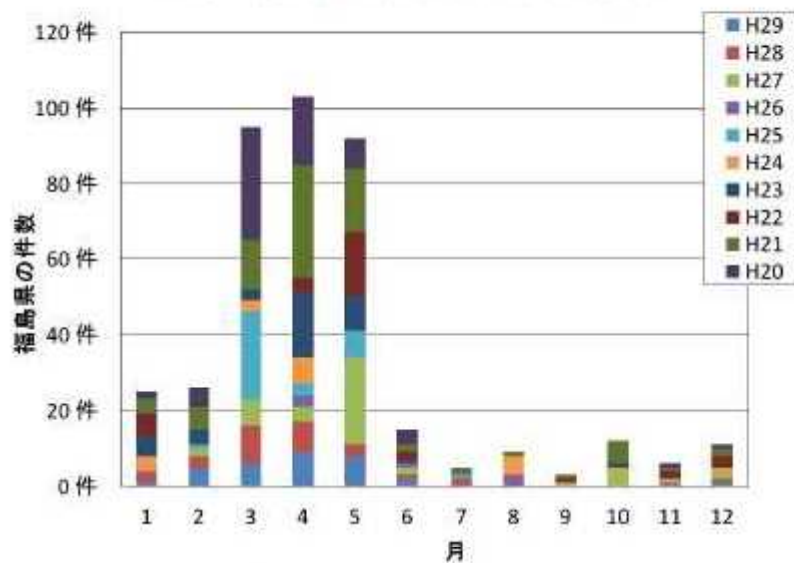
ここで、1F周辺は立ち入り制限区域であることから、人間が立ち入るのは常磐道ないし主要国道近辺に限られると想定され、常磐道沿いあるいは国道沿いを発火点と設定することが適切と考えられる。

よって附属書Aの記載通り、人為的行為が予想される道路沿いに発火点を設定することとした。

過去 10 年間の全国及び福島県における森林火災発生件数の調査を行い、3～5 月にかけて森林火災の発生件数が多いことを確認した。



全国の森林火災発生件数 (平成 20 年～29 年)



福島県の森林火災発生件数 (平成 20 年～29 年)

<出典>

全 国：平成 20～29 年度版 消防白書（消防庁、参考文献[17]）より作成

福島県：令和元年 7 月版 福島県農林水産業の現状（福島県、参考文献[18]）より作成

図 2-3-1 森林火災調査結果

全国の原因別森林火災発生件数(H21～30年)

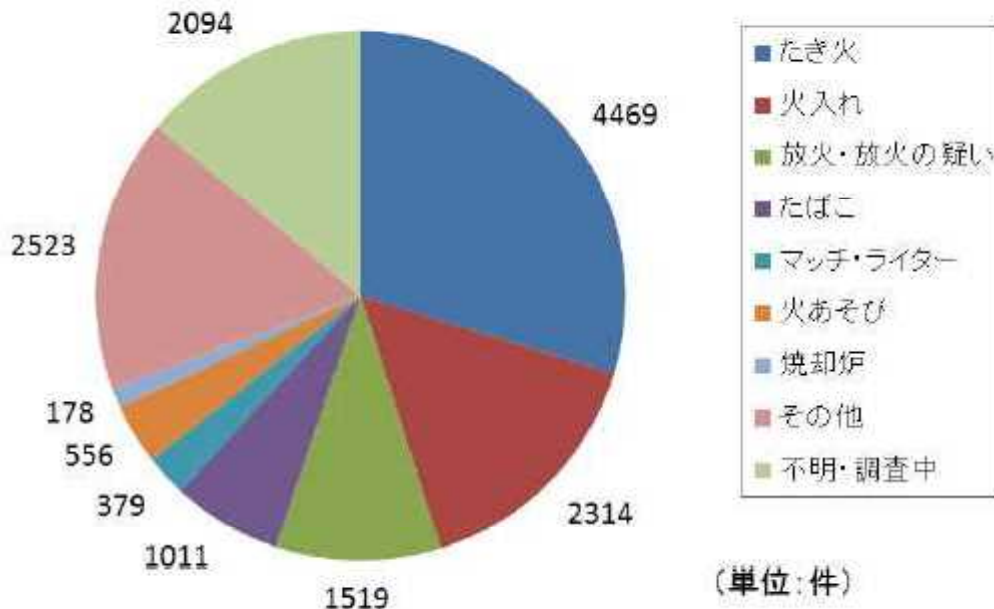


図 2-4-2 森林火災の出火原因割合 (平成 21～30 年)

(2) 入力気象条件の設定

前述のように、森林火災の発生件数の多い 3～5 月の気象条件から設定する。3～5 月の過去 10 年間の気象データ（気象庁が公開している気象統計情報、参考文献[121]）を調査し、卓越風向，最大風速，最高気温，及び最小湿度の条件を選定した（表 1-6 参照）。

福島県における気象統計情報の観測所位置を図 2-5-3 に示す。風向，風速及び気温は 1F 付近の浪江町，川内町，及び広野町の地域気象観測システム（アメダス）の値を調査し，3 地点における 3～5 月の過去 10 年間における卓越風向，最大風速，及び最高気温とした。

湿度を観測している観測所は図 2-5-3 より、「福島」「小名浜」「若松」「白河」とある。しかし、「小名浜」以外の 3 地点は 1F から距離が遠く，かつ内陸に位置することから，「小名浜」の値を調査し，3～5 月の過去 10 年間における最小湿度を解析に使用した。また，附属書 A の記載に従い雲量及び降水量はともに 0 と設定した。[詳細については以降に後述する。](#)

卓越風向の設定

浪江町，川内町，及び広野町で観測された過去 10 年間の 3～5 月の最大風速観測時風向及び最多風向を図 2-6-4 に，卓越風向を表 1-7 にそれぞれ示す。

1F 周辺において最も発生頻度が高いのは西北西の風と読み取れる。このことから，本解

析評価に使用する卓越風向は西北西とした。

一方、浪江のデータに限れば、発生頻度が最も高いのは西風である。また JNES-RC-Report（参考文献[87]）において西風が解析評価に使用されていたことも考慮し、西風も卓越風向に含めて解析評価に使用することとした。

なお、南南東や南東の風は 1F 東側が海であることを考慮し、解析評価に使用しないこととした。

最大風速の設定

浪江町、川内町、及び広野町で観測された過去 10 年間の 3～5 月の最大風速及びその観測時の風向を表 1 8 に示す。

1F 周辺において過去 10 年間の 3～5 月に観測された最大風速は、2013 年 4 月に広野で観測された 16.4m/s である。以上から、本解析評価においては 16.4m/s を、3～5 月に 1F 周辺で起こり得る最悪の条件（最大風速）として使用することとした。

また、上記の 16.4m/s の観測時風向は西北西であり、3～5 月の二番目に大きい風速（16.3m/s、2017 年 4 月に浪江町にて観測）の観測時風向は西であることから、卓越風向として西北西と西を設定することが妥当と確認できた。

最高気温・最小湿度の設定

浪江町、川内町、及び広野町で観測された過去 10 年間の 3～5 月の最高気温と、小名浜で観測された過去 10 年間の 3～5 月の最小湿度を、併せて表 1 9 に示す。

気温については、2018 年 5 月に広野で観測された 33.5℃が、~~過去 10 年間の 3～5 月の~~過去 10 年間の 3～5 月の 1F 周辺における最高気温である。湿度については、2011 年 4 月に小名浜で観測された 13%が、~~過去 10 年間の 3～5 月の 1F 周辺における~~過去 10 年間の 3～5 月の 1F 周辺における最小湿度である。

以上から、3～5 月に 1F 周辺で起こり得る最悪の条件（気温、湿度）として、気温 33.5℃、湿度 13%を解析評価に使用する。

雲量・降水量の設定

附属書 A の記載に従い、保守側の想定として雲量及び降水量はともに 0 と設定した。

表 1 6 過去 10 年間の 3～5 月の卓越風向・最大風速・最高気温・最小湿度

3～5 月 卓越風向[16 方位]	3～5 月 最大風速[m/s]	3～5 月 最高気温[°C]	3～5 月 最小湿度[%]
西北西／西	16. 4	33. 5	13



観測表は 1 時間毎に自動で更新しています。
このため、機器や通信の不良・メンテナンスによりデータが欠落したり、データの修正を行う場合があります。

シンボル	観測所の種類	観測要素
■	気象台	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深・湿度・気圧
■	測候所・特別地域気象観測所	気温・降水量・風向風速・日照時間・湿度・気圧
■	測候所・特別地域気象観測所	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深・湿度・気圧
■	地域気象観測所(アメダス)	降水量
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間
■	地域気象観測所(アメダス)	気温・降水量・風向風速・日照時間・積雪深

< 出典 > 気象庁 HP : http://www.jma.go.jp/jp/amedas_h/map25.html

図 2-5-3 福島県内の気象観測所位置

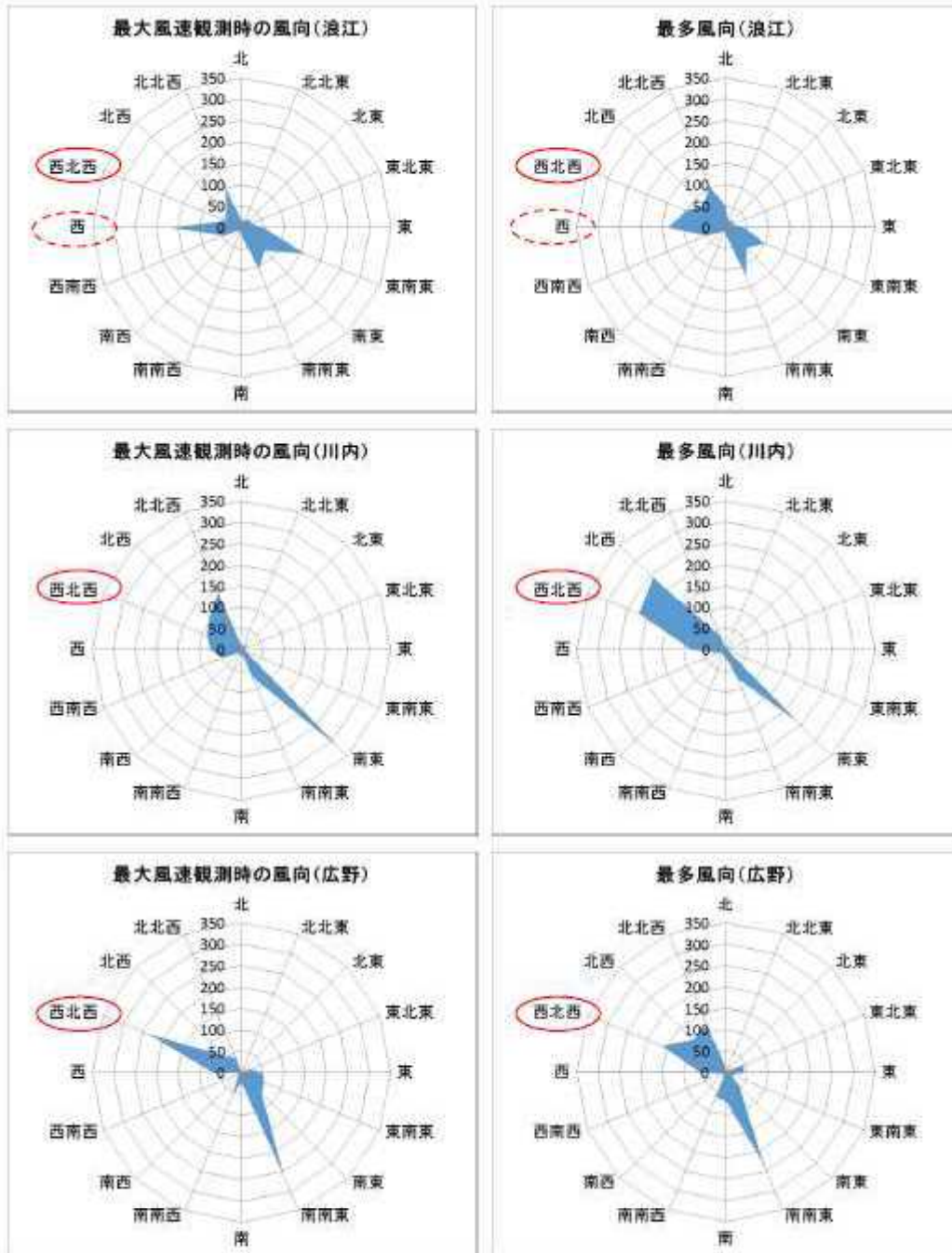


図 2-6-4 最多風向及び最大風速観測時の風向

表 1 7 各地点における 2010～2019 年の 3～5 月の卓越風向（最多風向）

年	月	卓越風向（浪江）	卓越風向（広野）	卓越風向（川内）
2019	3	西/北北西	西北西	北西
	4	南南東	南南東	北西
	5	南南東	南南東	南東/南南東/西北西
2018	3	北北西	南南東	北西
	4	北北西	西北西	南東
	5	南南東	南南東	南東
2017	3	北西	西/西北西/北北西	西北西
	4	南東	南南東	南東/西北西
	5	東南東	南南東	南東
2016	3	西/西南西/西北西	西	北西
	4	北/東南東	北西	北西
	5	南南東	南南東	南東
2015	3	西	西北西	南東/北西
	4	東南東/南南東/北北西	北北西	南東
	5	南南東	南南東	北西
2014	3	西	西北西	西北西/北西
	4	西/南南東	西北西	西北西
	5	東南東/西北西	南南東	北西
2013	3	西	西北西	西北西/北西
	4	西/北西	西北西	北西
	5	南南東	南南東	南東
2012	3	西北西	西北西	西北西
	4	西/北東	西北西	南東
	5	東南東/西北西	南南東	南東
2011	3	西北西	西北西	西北西
	4	南南東	南南東	西北西/北西
	5	南東	南南東	南東
2010	3	北北西	北北西	西北西
	4	北北西	北北西	西北西
	5	東南東	南南東	南東

※青・水色で塗りつぶした箇所が卓越風向。

灰色で塗りつぶした箇所は海からの風であり評価に考慮しない。

表 1 8 各地点における 2010～2019 年の 3～5 月の最大風速及びその観測時風向

年	月	最大風速 [m/s]	最大風速観測時 風向[16 方位]	最大風速 観測地点
2019	3	10.7	西	浪江
	4	13.1	西南西	浪江
	5	9.8	南南東	浪江
2018	3	14.3	西南西	浪江
	4	10.9	西	浪江
	5	6.8	南西	浪江
2017	3	9.5	西北西	広野
	4	16.3	西	浪江
	5	9.5	西	浪江
2016	3	12.3	西北西	広野
	4	10.4	西北西	浪江
	5	10.2	西	浪江
2015	3	13.8	西	浪江
	4	9.6	西	浪江
	5	10.0	西北西	広野
2014	3	11.6	西北西	浪江
	4	11.1	西北西	広野
	5	13.0	西	浪江
2013	3	16.3	西北西	広野
	4	16.4	西北西	広野
	5	8.4	西	浪江
2012	3	10.3	西北西	広野
	4	11.0	西南西	広野
	5	9.4	西北西	広野
2011	3	8.2	西北西	広野
	4	12.2	西北西	広野
	5	13.7	西	浪江
2010	3	14.4	西	浪江
	4	14.5	西	浪江
	5	8.3	西北西	広野

※青で塗りつぶした箇所が、最大風速及び観測時風向。

水色で塗りつぶした箇所が、二番目に大きい風速及び観測時風向。

表 1 9 各地点における 2010～2019 年の 3～5 月の最高気温及び最小湿度

年	月	最高気温 [℃]	最高気温 観測地点	最小湿度 [%]	最小湿度 観測地点
2019	3	22.1	浪江	21	小名浜
	4	24.2	浪江	15	小名浜
	5	32.2	川内	20	小名浜
2018	3	24.9	浪江	19	小名浜
	4	31.3	浪江	21	小名浜
	5	33.5	浪江	25	小名浜
2017	3	17.7	浪江	20	小名浜
	4	27.7	広野	20	小名浜
	5	31.7	川内	18	小名浜
2016	3	21.0	浪江	16	小名浜
	4	25.4	浪江	21	小名浜
	5	29.8	川内	21	小名浜
2015	3	22.4	川内	19	小名浜
	4	32.0	浪江	20	小名浜
	5	30.9	浪江	24	小名浜
2014	3	24.2	浪江	20	小名浜
	4	25.0	浪江	15	小名浜
	5	30.2	川内	24	小名浜
2013	3	24.0	浪江	18	小名浜
	4	24.7	浪江	23	小名浜
	5	27.1	浪江	26	小名浜
2012	3	23.7	浪江	19	小名浜
	4	28.1	川内	20	小名浜
	5	25.4	浪江	24	小名浜
2011	3	14.9	広野	21	小名浜
	4	24.9	浪江	13	小名浜
	5	30.4	浪江	23	小名浜
2010	3	21.2	川内	25	小名浜
	4	22.0	浪江/広野	23	小名浜
	5	27.7	浪江	29	小名浜

※青で塗りつぶした箇所が、最高気温、最小湿度

(3) 発火点の設定

設定方針を以下に示す。

発火点の設定方針

- ・ 1F からの直線距離 10km の間に設定する。
- ・ 陸側方向（1F の東側は海）の風上を選定する。
- ・ 風向は前項にて選定した卓越風向（西北西，西）とする。
- ・ 人為的行為を考え、交通量が多く火災の発生頻度が高いと想定される道路（常磐道，国道 6 号等）沿いを選定する。

上記の設定方針に加えて，発火点から 1F までの距離が火災の規模及び火災到達時間に影響を与えることを踏まえ，図 2-7-5 及び図 2-8-6 に示すように発火点を 4 点設定した。以下に，各発火点の設定理由及び設定の妥当性確認を示す。

(ケース 1)

1F 近隣からの発火の方が防火帯周辺に火災が到達するまでの時間が短くなることから，1F 敷地境界周辺の国道 6 号線沿いの発火を想定する。防火帯までの距離が短くなり，かつ最大風速記録時の風向である西北西方向の国道 6 号線沿いに発火点を選定する（防火帯から約 1.3km）。

ケース 1 の発火点周辺は水田（評価では「Tall Grass（丈の高い草地）」のデータを入力）が広がっており平坦な地形である。

(ケース 2)

1F 遠方からの発火の方が火災の規模が大きくなる（火災前線が広がり，発電所構内を同時期に取り囲むような火災となる）ことから，1F から距離が遠く，かつ人間活動が多い常磐道沿いの発火を想定する。発電所から見て最大風速記録時の風向である西北西方向の常磐道沿いに発火点を選定する（防火帯から約 6.1km）。

ケース 2 の発火点周辺はアカマツ（評価ではマツ 10 年生のデータを入力）の植生が広がっており，その先は田畑が広がる。また，1F に向けて下り勾配である。

(ケース 3)

卓越風向として西方向からの風も一部存在することを考慮して，1F 西側の発火を想定する。

この際の発火点は，JNES-RC-Report（参考文献[87]）にて使用された発火点である，国道 6 号沿いの田（防火帯から約 2km）を使用する。

ケース 3 の発火点周辺は水田が広がっており平坦な地形である。

(ケース 4)

ケース 3 同様に 1F 西側の発火を想定する。また、ケース 2 同様に火災の規模拡大の観点から、発電所からの距離が遠い発火点を想定する。この際の発火点は、JNES-RC-Report (参考文献[87]) にて使用された発火点である国道 35 号沿いの田 (防火帯から約 6.7km) を使用する。

ケース 4 の発火点周辺は水田が広がっており平坦な地形である。

~~上記のケース 1~4 に加えて、本評価における解析の妥当性と条件設定の保守性を確認することを目的に、JNES-RC-Report (参考文献[8]) で使用された気象条件を用いた解析を、以下 2 ケース行うこととした。~~

~~(ケース 5)~~

~~ケース 3 と同じ発火点ならびに JNES-RC-Report (参考文献[8]) において比較的評価条件の厳しいケース 7 (湿度が最小、気温が最大、風速が 2 番目に大きい) の気象条件を用いて解析を行う。~~

~~(ケース 6)~~

~~ケース 4 と同じ発火点ならびに JNES-RC-Report (参考文献[8]) において比較的評価条件の厳しいケース 7 の気象条件を用いて解析を行う。~~

設定した 4 つの発火点を図 2-7-5 及び図 2-8-6 に示す。また、上記ケース 1~6 の解析評価に使用する気象条件を表 2-0 に示す。

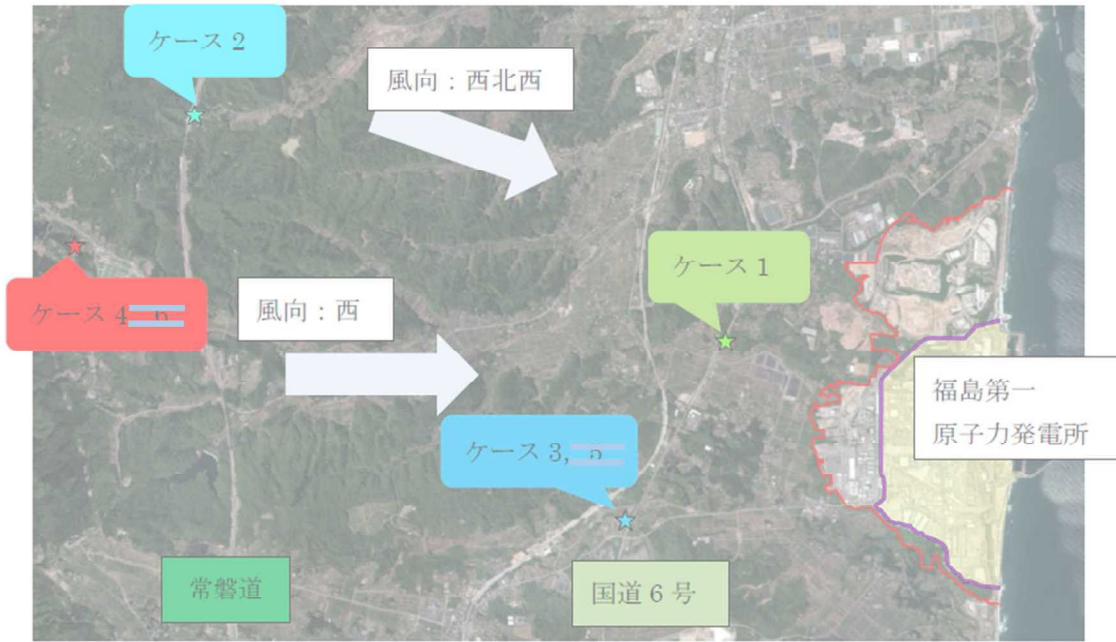


図 2-7-5 想定発火点位置 (衛星写真)



図 2-8-6 発火点位置と道路位置 (ArcGIS 標準地図)

表 2 0 各ケースの入力気象条件

ケース No.	風向 [16 方位]	風速 [km/h]	気温 [°C]	湿度 [%]	備考
1	西北西	59 ¹⁾	34 ²⁾	13	過去 10 年間の気象データから設定された、3~5 月に 1F 周辺で起こり得る最も厳しい気象条件。
2	西北西	59 ¹⁾	34 ²⁾	13	
3	西	59 ¹⁾	34 ²⁾	13	
4	西	59 ¹⁾	34 ²⁾	13	
5	西	52.2³⁾	30³⁾	5	JNES-RC-Report (参考文献[8]) において比較的評価条件の厳しいケース 7 の気象条件。
6	西	52.2³⁾	30	5	

1) 表 1 8 に示した風速 16.4m/s を km/h 単位 (FARSITE 入力用の単位) に換算した値。

2) ~~JNES-RC-Report (参考文献[8]) において比較的厳しい風速条件 (14.5m/s) を km/h 単位に換算した値。~~

3) ~~表 1 9 に示した気温 33.5°C を整数値に切り上げた値。~~

2.1.2.45 火災進展評価

地形マップ・可燃物マップ気象条件・発火点条件を入力として、FARSITE を用いて森林火災進展解析を実施し、1F に到達する火災の規模及び火災到達時間を評価する。

本評価においては、表 2 1 に示す①～⑩④の 104 ケースを実施した。~~発火時刻によって解析結果は変動するため、北側、南側それぞれにおいて最大火線強度が観測される発火時刻を入力し、各ケース 1～6 それぞれに対して北側・南側 2 ケースを実施した。~~

キャスク仮保管設備は北側エリアに属しており、西側には新事務本館や協力企業棟等の建造物が多いことから、北側防火帯近傍に南側からの輻射は届きにくいことが考えられる。これを踏まえ、コンクリートモジュールと距離が近い北側からの火災進展解析のみを実施した。

表 2 1 評価ケース一覧

ケース No.		評価ケース
1	北側	① +
	南側	
2	北側	②
	南側	③
3	北側	④③
	南側	⑤
4	北側	⑥④
	南側	⑦
5	北側	⑧
	南側	⑨
6	北側	⑩ +
	南側	

~~1) ケース 1, 6 では同じ発火時刻条件のときに北側、南側ともに最大火線強度を観測した。~~

FARSITE に入力する条件は 2.1.1 項に基づき以下の通りとする。

森林火災の想定

- ・ 植生データは森林の現状を把握するため、樹種や生育状況に関する情報を有する自然環境保全基礎調査植生調査データの空間データを入手し、その情報を元に可燃物パラメータを保守的に設定した。
- ・ 気象条件は 1F 近傍の観測地点における過去 10 年間（2010～2019 年）の気象データを調査し、森林火災の発生件数の多い 3～5 月の最小湿度、最高気温及び最大風速の組み合

わせとした。~~但しケース5及び6については、JNES-RC-Report（参考文献[8]）のケース7の気象条件を踏襲することとした~~

- ・上記の気象データ調査結果から、最大風速観測時の風向及び卓越方向を考慮して、風向は西北西及び西に設定した。
- ・発火点は1F風上、直線距離10kmの間に設定した。発火源は人為的行為を考慮し、道路沿いを発火点とした。
- ・放水等による消火活動は期待しない。

評価指標

表2-2に示す評価指標のうち、火炎輻射発散度及び火炎輻射強度以外はFARSITEを用いて算出する。火炎輻射発散度と火炎輻射強度はFARSITE出力を基に別途算出する。また、火炎到達幅についてはKサイト評価（参考文献[6]）同様、防火帯長さとする。

表2-2 森林火災の評価指標及び評価の観点

評価指標	評価の観点	FARSITE 出力有無
延焼速度[km/h]	・火炎発生後、どの程度の時間で1Fに到達するのか	○
火炎到達時間[h]		○
火線強度[kW/m]	・1Fに到達し得る火災の規模はどの程度か ・必要となる消火活動能力や防火帯の規模はどの程度か	○
反応強度[kW/m ²]		○
火炎長[m]		○
単位面積当たり熱量[kJ/m ²]		○
火炎輻射発散度[kW/m ²]		出力から別途算出
火炎輻射強度[kW/m ²]		出力から別途算出
火炎到達幅[m]		○（防火帯長さとする）

解析範囲

解析範囲はJNES-RC-Report（参考文献[8]）における解析範囲広さ（南北8.5km、東西11km）を参考に、図2-7の発火点4点をカバー可能な南北7km、東西9kmとした。

入力条件及び解析設定

主要な入力条件とその設定方法を表2-3に示す。FARSITEの解析設定を表2-4及び表2-5に示す。

防火帯の設定

本評価における1F防火帯の設定位置を図2-9-7に示す。1F近傍の可燃物分布も併せて図2-9-7に示す。

1F 西側は非植生領域（駐車場、建物など）が広範囲に分布し、可燃物は街路樹等が点在するのみである。また、1F 北側は整地区画や建物といった非植生領域が多く、防火帯近傍に火災が到達する領域は限られる。このことから、1F 西側、北側の火線強度は南側に比べて小さくなると考えられる。本評価では、図 2-9-7 中の赤矢印に示すように防火帯を北・西・南の 3 区画に分割して、防火帯幅を評価することとした。防火帯幅の評価に用いる最大火線強度は、FARSITE 解析上では 1F 西側に延焼が広がらないと想定できることから、北側防火帯近傍、南側防火帯近傍それぞれにおける最大火線強度を算出することとした。また、防火帯の内側まで火災が到達する可能性を考慮し、実際の防火帯の最内側のみを設定した。

表 2 3 FARSITE の主要な入力条件及びその設定方法

入力条件	作成方法
<ul style="list-style-type: none"> ・可燃物マップデータ ・樹冠率マップデータ ・樹高マップデータ ・枝下高さマップデータ ・樹冠かさ密度マップデータ 	<p>可燃物マップデータは附属書 A に従い、下記データを統合して作成。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・土地利用データ ・植生データ ・現地植生調査結果 <p>樹冠率・樹高・枝下高さ・樹冠かさ密度マップデータは、森林の可燃物モデルが設定されたメッシュに対し以下の値に設定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・樹冠率：区分 3 ・樹高：15m ・枝下高さ：4m ・樹冠かさ密度：0.2kg/m³
<ul style="list-style-type: none"> ・標高マップデータ ・傾斜角マップデータ ・傾斜方位マップデータ 	<p>標高マップデータは附属書 A に従い、国土地理院の基盤地図情報 数値標高モデルデータ（参考文献[3]）を使用。</p> <p>傾斜角及び傾斜方位マップデータは、ArcGIS を用いて標高データより算出。</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・風速，風向，気温，湿度 ・降水量，雲量 ・発火点 	<p>風速，風向，気温，湿度は附属書 A に従い，1F 周辺における過去 10 年間の 3～5 月（森林火災の多い月）の気象データから設定。</p> <p>降水量，雲量は保守側の想定として，ともに 0 と設定。</p> <p>発火点は，1F 風上の道路沿いに設定。</p>

表 2 4 FARSITE の解析設定 (1/2)

解析設定	設定条件	設定方法
緯度 (Latitude)	37 度	1F が立地する福島県大熊町の緯度 (約 37 度 2 分, 参考文献[132]) を, 日射量の大きくなる赤道側に切り下げて設定。
可燃物の初期水分量 (Moisture)	初期水分量については下記に設定し, コンディショニング機能を使用。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 1h¹⁾ : 5% ・ 10h¹⁾ : 8% ・ 100hr¹⁾ : 12% ・ 生体可燃物 : 100% (木質, 草どちらも) 	初期水分量は K サイト評価 (参考文献[6]) 同様, FARSITE のデフォルト値を入力。 水分量は気温・湿度・日射等により変化するため, 発火時刻の 30 日前から現地の状況をシミュレートし, 初期水分量が平衡に達した状態から発火させる (コンディショニング機能, K サイト評価 (参考文献[6]) の設定を踏襲)。
火災伝播速度の制御 (Adjustment)	全て 1 を入力。	特定の可燃物モデルに対し, 火災伝播速度を係数倍して, 火災の広がり方を制御するパラメータ (参考文献[2])。 K サイト評価 (参考文献[6]) の設定を踏襲し, FARSITE デフォルト値である 1 (=制御無し) を入力。
燃焼継続時間 (Burn Period)	0 時~24 時	夜間は燃焼を止めるなど, 燃焼が継続しない時間を指定する際に使用するパラメータ (参考文献[2])。 本評価においては, 保守側の想定として燃焼が止まることは考えず, 0 時~24 時の間燃焼が継続するものとした。

1) 1h, 10h, 100h はそれぞれ, 1 時間, 10 時間, 100 時間以内に乾燥する可燃物を表す。可燃物の粒子径で表すと, 1h は 6.35mm 以下, 10h は 6.35mm~25.4mm, 100h は 25.4mm~76.2mm の可燃物に相当する (参考文献[2])。

表 2 5 FARSITE の解析設定 (2/2)

解析設定	設定条件	設定方法
樹冠火・飛び火等の設定 (Fire Behavior Option)	FARSITE デフォルト設定から変更しないものとした。	樹冠火の進展解析モデル，飛び火の着火確率等を設定する機能（参考文献[2]）。 K サイト評価（参考文献[6]）の設定を踏襲し，FARSITE デフォルトのまま変更しないものとした。
解析期間 (Duration)	<ul style="list-style-type: none"> ・発火時刻： 夏至（6月21日）の日射量が大きくなる10：00～14：00の間に最大火線強度が発生するよう，各ケースについて設定。 ・終了時刻： 発火時刻の24時間後。 	<p>発火時刻については，日照による草地及び樹木の乾燥に伴い火線強度が増大することから，これらを考慮して火線強度が最大となるように設定した（K サイト評価（参考文献[6]）と同じ設定）。</p> <p>終了時刻については林縁（防火帯近傍100m範囲内）がすべて延焼するように設定した。</p>
時間ステップ (Time Step)	1分	K サイト評価（参考文献[6]）の設定を踏襲。
境界線空間解像度 (Perimeter Resolution)	10m	K サイト評価（参考文献[6]）の設定を踏襲し，メッシュサイズ10mと同じ値とした。
空間解像度 (Distance Resolution)		

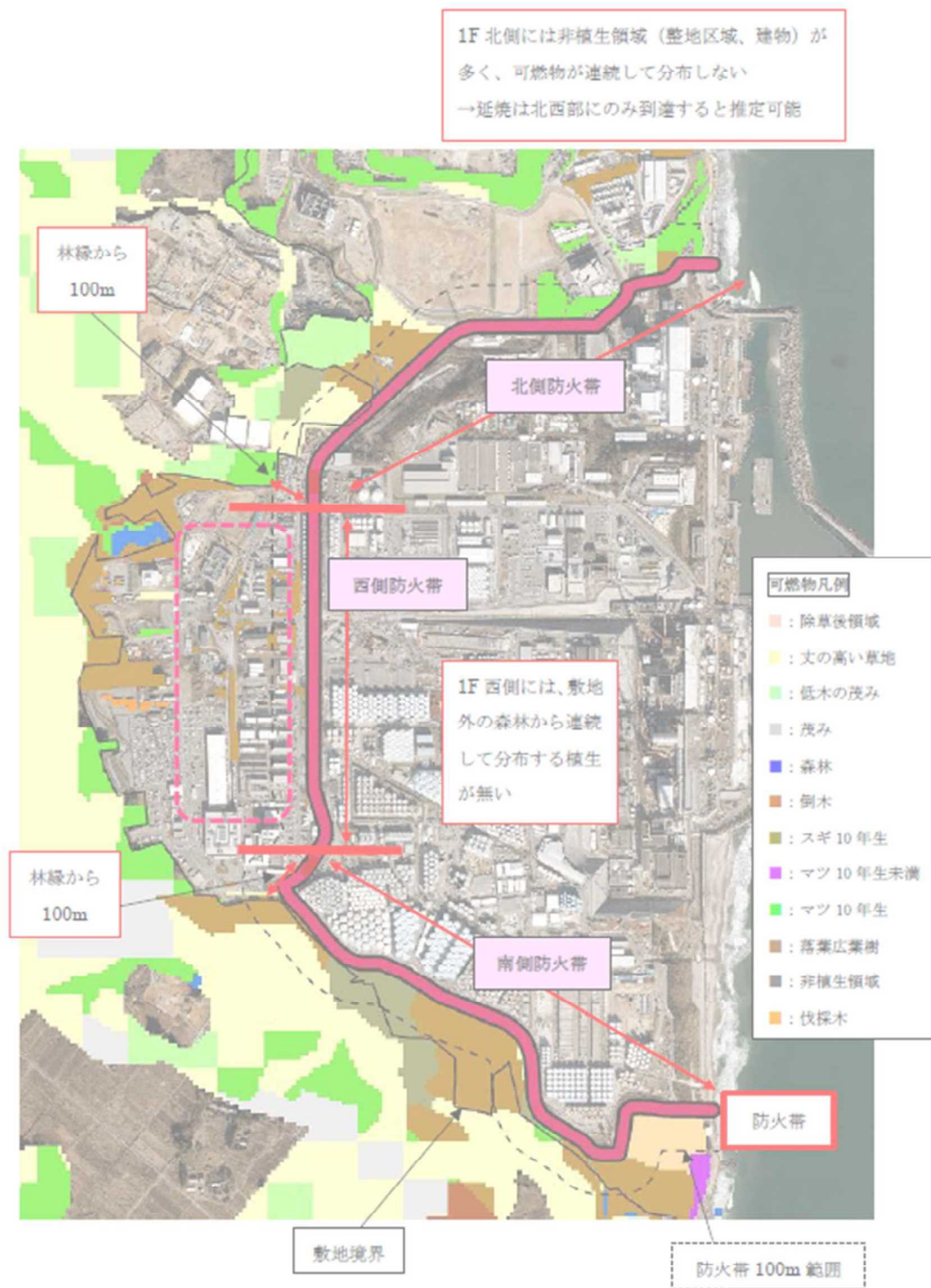


図 2-9-7 1F 防火帯及び周辺の可燃物分布

FARSITE による森林火災進展解析による、ケース 1～64 の解析結果概要（火炎到達時間，最大火線強度，最大火線強度観測時刻，発火時刻）を表 2.6 に示す。解析結果のうち，火炎到達時間分布と火線強度分布を図 3.0.2.8～図 4.9.3.5 に示す。

防火帯近傍 100m 範囲内における最大火線強度は、~~北側、南側とも~~ケース 3（西風，1F から約 2km の発火点）で発生した。発生個所は図 2.9.7 と火線強度分布図とを比較し，1F 敷地外の草地（可燃物モデル No. 3）であることが確認された。また、~~西側防火帯近傍 100m 範囲内には火炎が到達しなかったことから、西側防火帯近傍の最大火線強度は 0kW/m とした。~~

~~ケース 3 と 5，ケース 4 と 6 は JNES-RC-Report（参考文献[8]）で使用されていたものと同じ発火点（参考文献[8]）を使用している。気象条件にも JNES-RC-Report（参考文献[8]）ケース 7 と同じ条件を用いたケース 5，6 の結果が，今回設定した気象条件（ベースケース）のケース 3，4 とおおむね一致することから，今回設定した条件による解析は妥当なものと考えられる。~~

表中の値は品質確認中

表 2 6 FARSITE 解析結果概要

ケース No.		発火から火炎が 林縁に到達する までの時間	最大火線強度 [kW/m]	最大火線強度 観測時刻	発火時刻
1	北側	1 時間 20 分	11655	13 : 51	10 : 30
	西側	到達しない	0	=	
	南側	1 時間 21 分	33804	11 : 36	
2	北側	10 時間 40 分	11005	13 : 15	0 : 20
	西側	到達しない	0	=	=
	南側	8 時間 50 分	30815	12 : 43	4 : 10
3	北側	3 時間 25 分	17986	10 : 25	7 : 00
	西側	到達しない	0	=	=
	南側	25 分	36965	10 : 45	10 : 30
4	北側	3 時間 18 分	16166	12 : 08	8 : 50
	西側	到達しない	0	=	=
	南側	4 時間 50 分	32065	12 : 12	6 : 50
5	北側	2 時間 30 分	20897	12 : 00	9 : 30
	西側	到達しない	0	=	=
	南側	26 分	36155	10 : 16	10 : 00
6	北側	3 時間 16 分	19408	11 : 16	8 : 00
	西側	到達しない	0	=	
	南側	3 時間 50 分	33823	12 : 14	

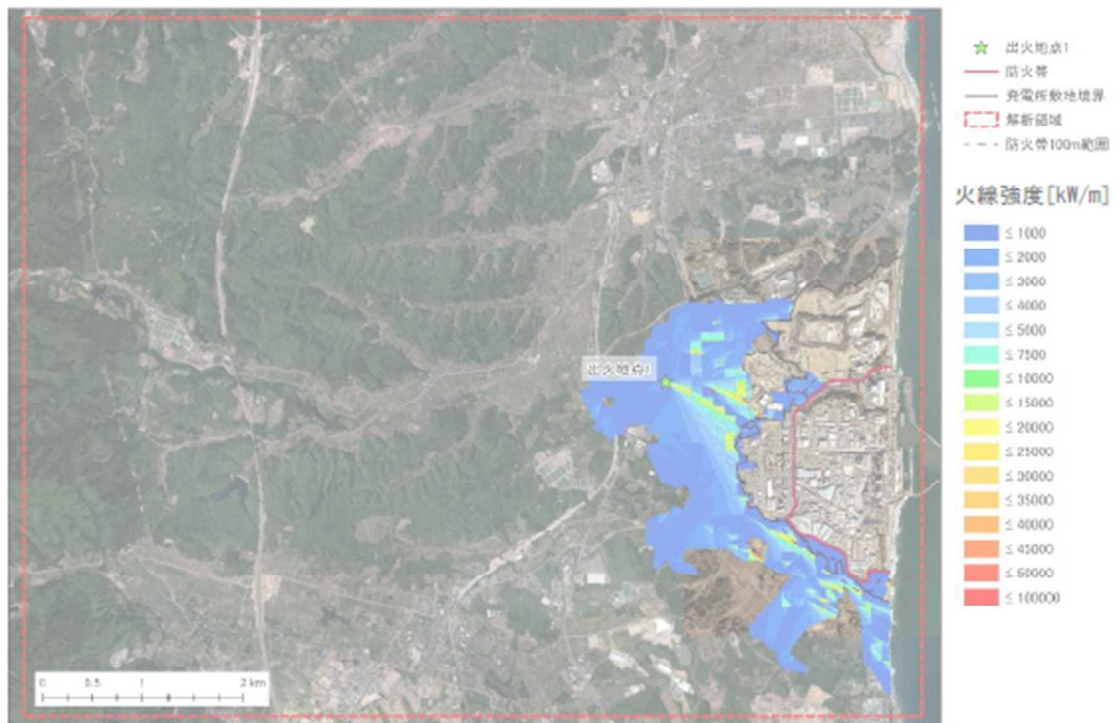
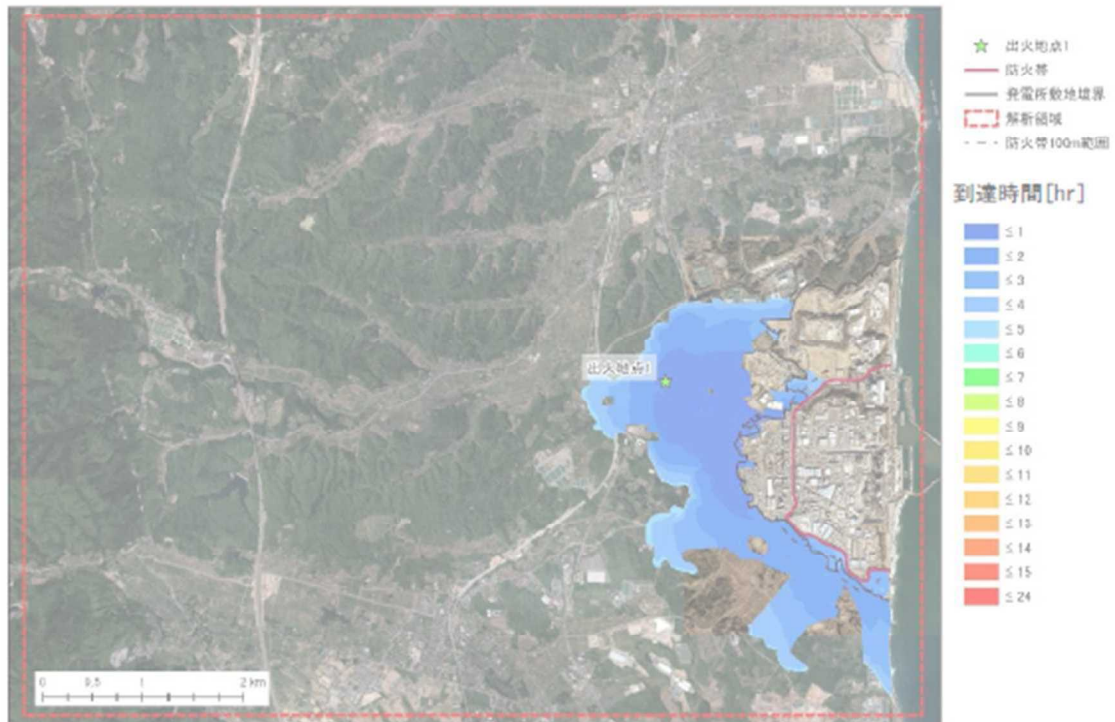


図3-0-28 ケース1解析結果（上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）

※ケース1は同一条件で北側，南側防火帯近傍の最大火線強度を観測。

図は品質確認中

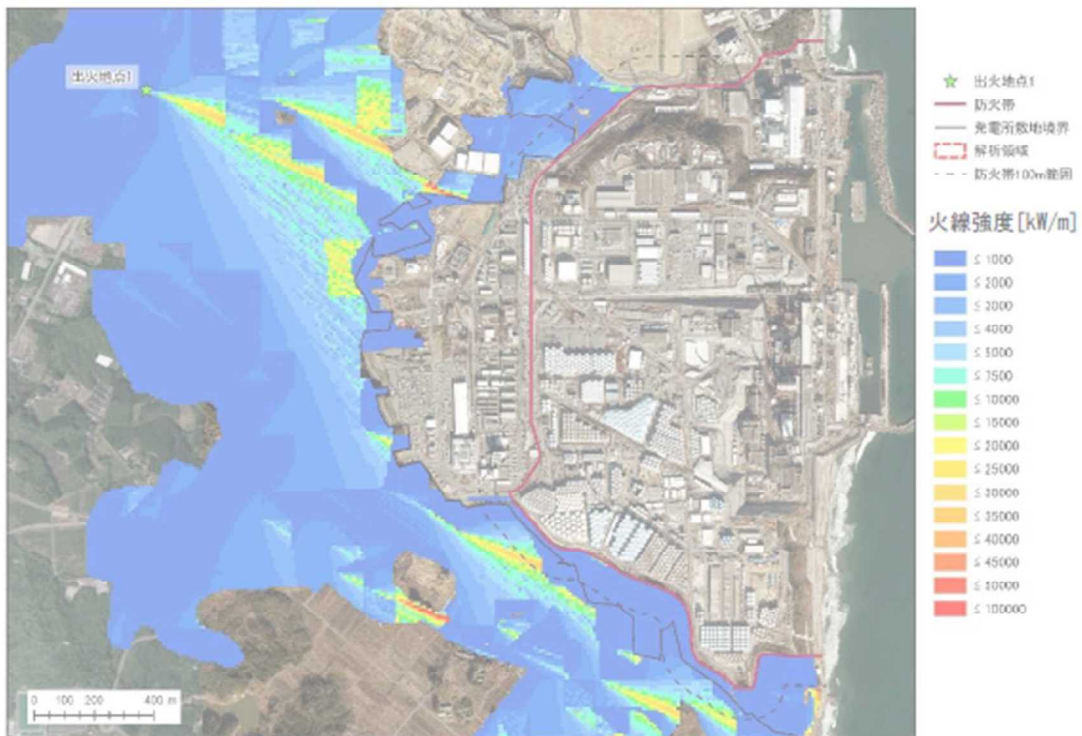


図3-1-2-9 ケース1解析結果 敷地周辺拡大 (上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布)

※ケース1は同一条件で北側、南側防火帯近傍の最大火線強度を観測。

図は品質確認中

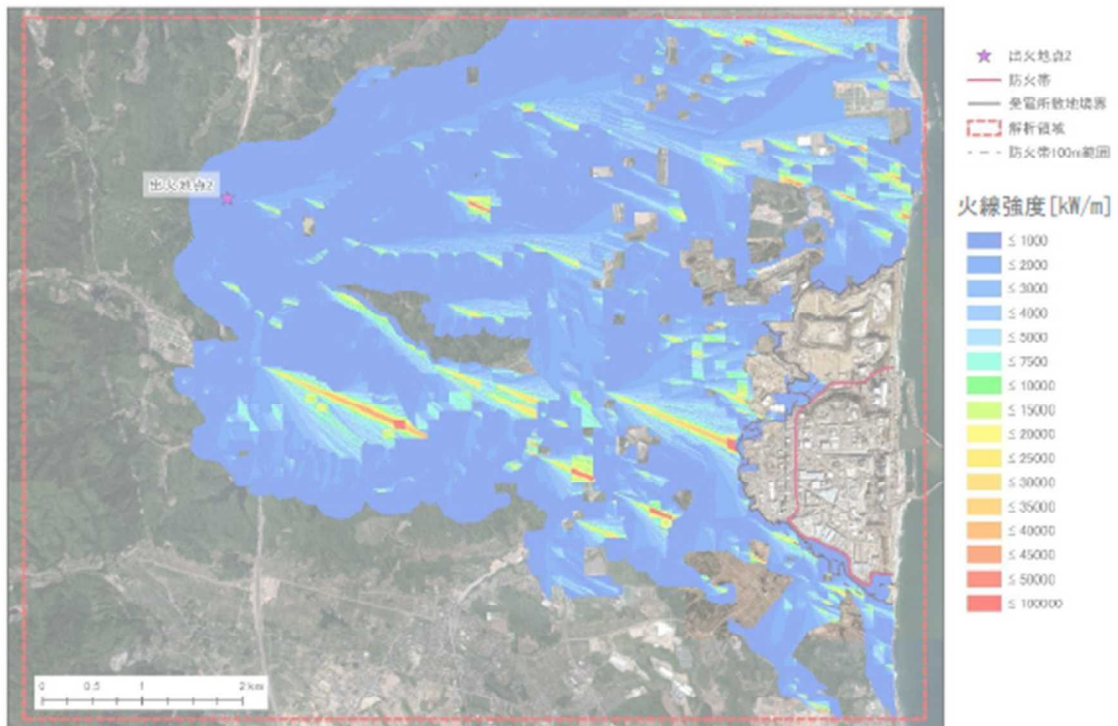
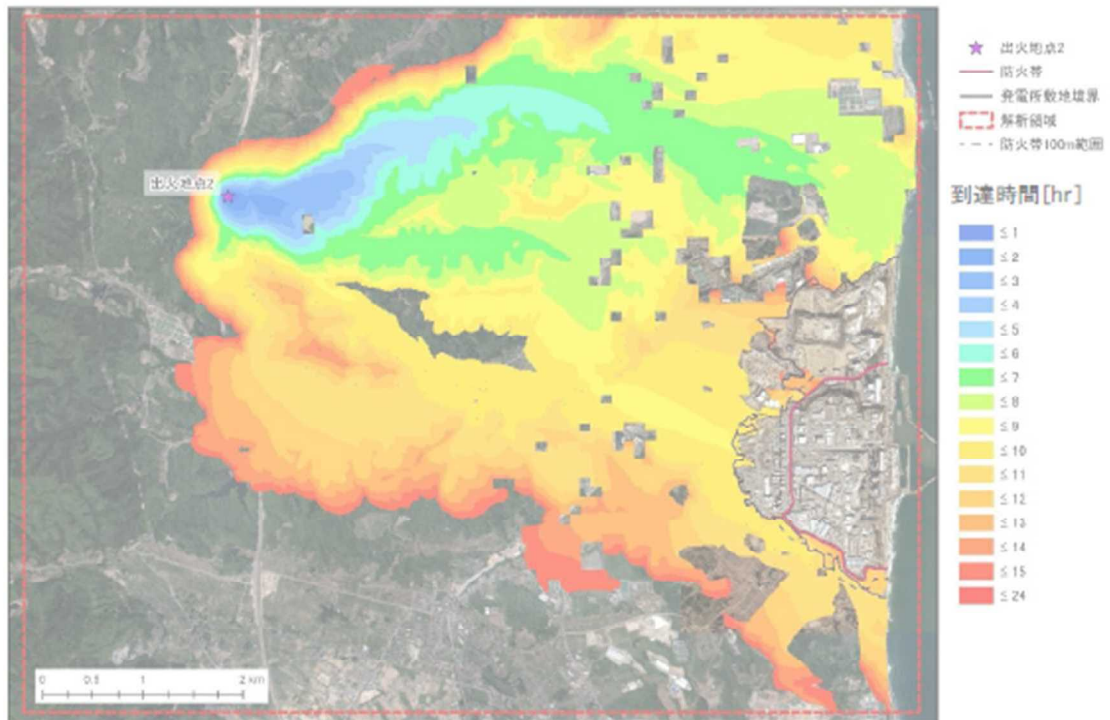


図 3-2-0 ケース 2 解析結果（北側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件）
 （上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）

図は品質確認中

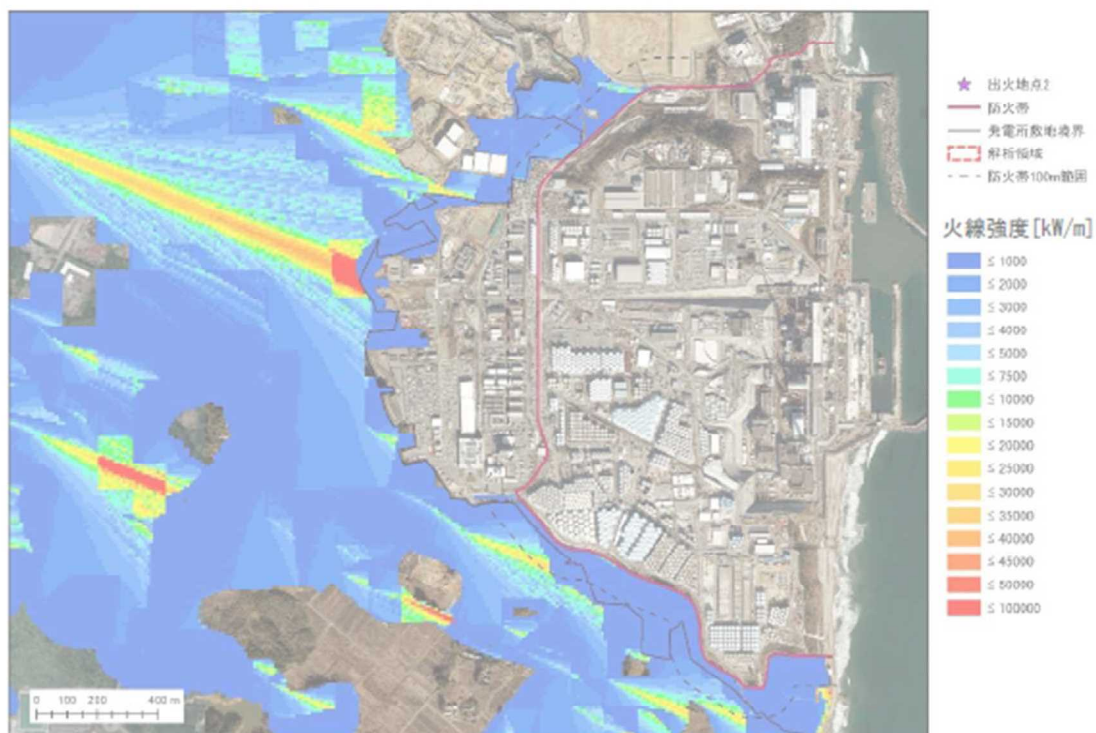
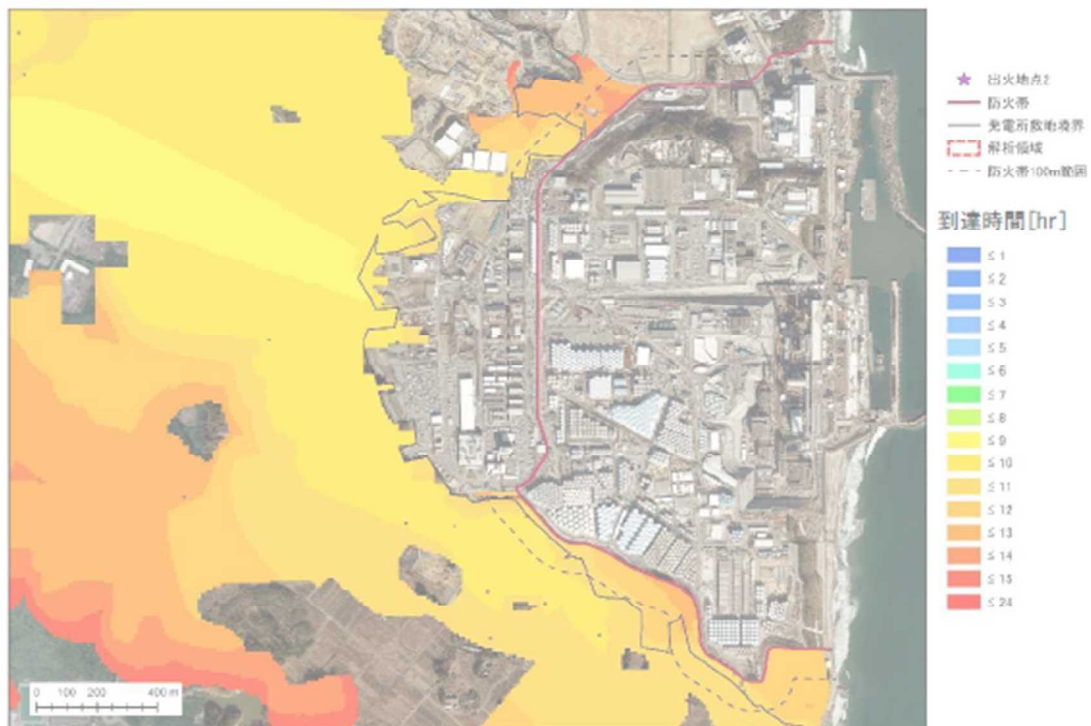


図 3-3-1 ケース 2 解析結果(北側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)敷地周辺
 拡大

(上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布)

図は品質確認中

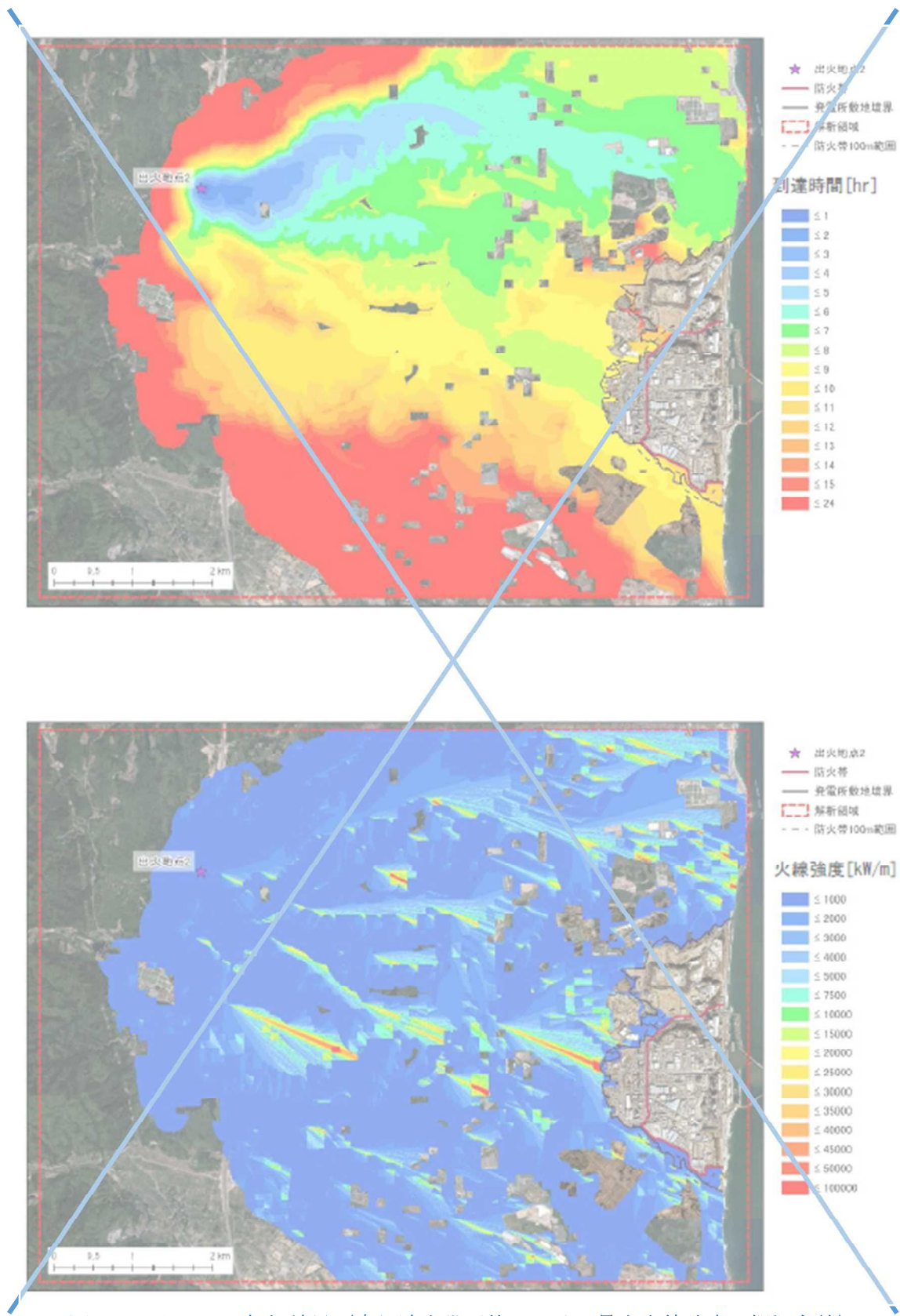


図3-4 ケース2解析結果（南側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件）
 （上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）

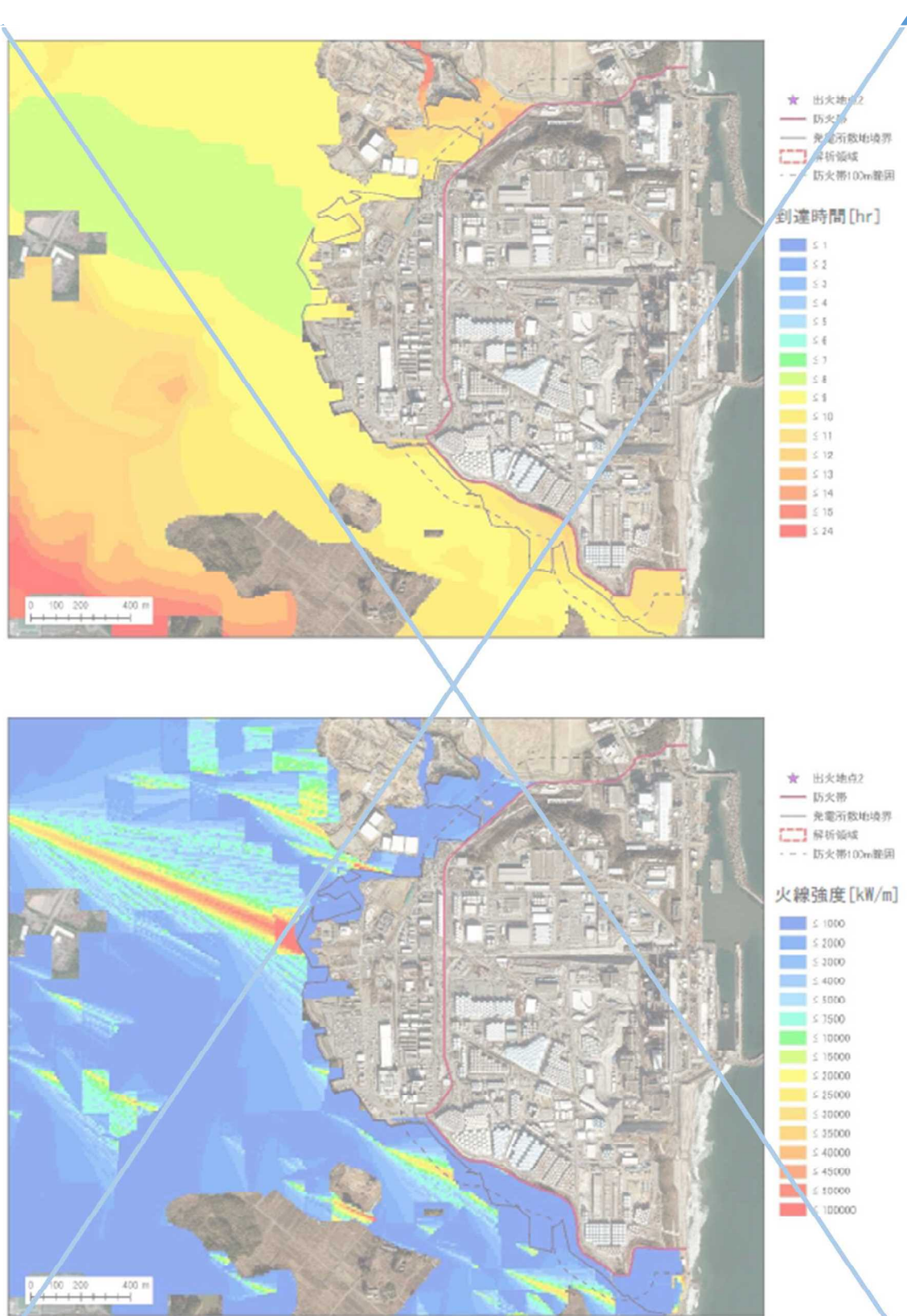


図3-5 ケース2解析結果(南側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)敷地周辺拡大
 (上:火炎到達時間分布, 下:火線強度分布)

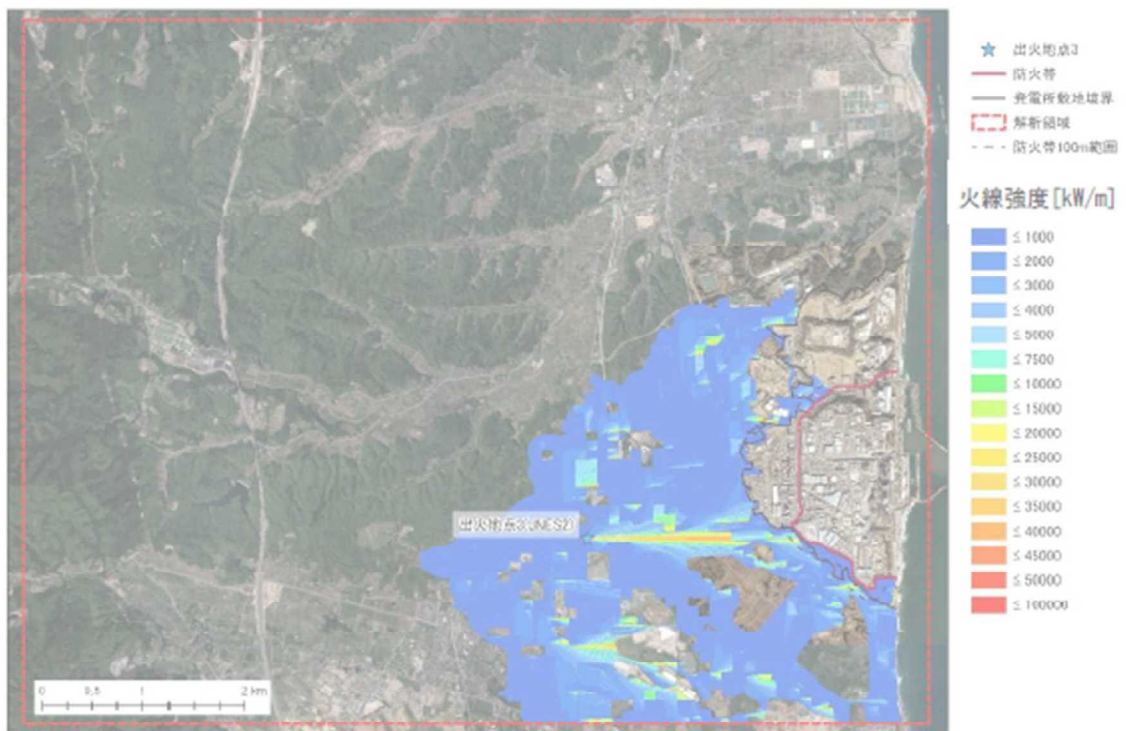
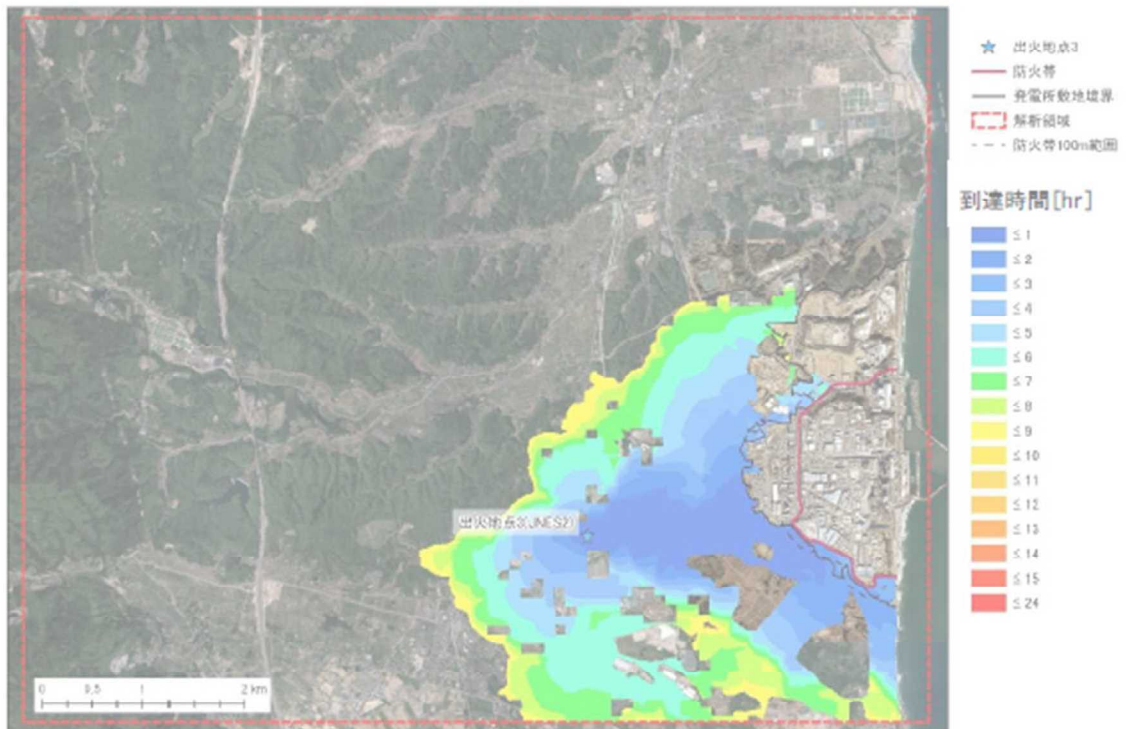


図 3-6-2 ケース 3 解析結果（北側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件）
 （上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）

図は品質確認中

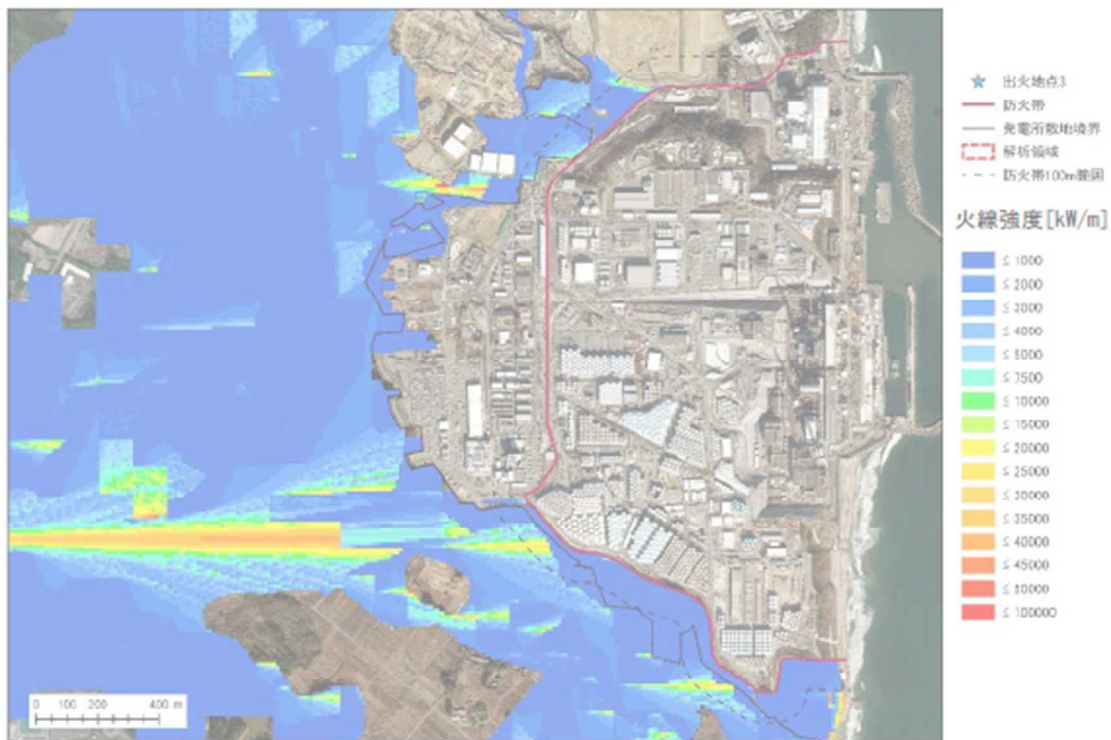


図 3-7-3 ケース 3 解析結果(北側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)敷地周辺
 拡大
 (上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布)

図は品質確認中

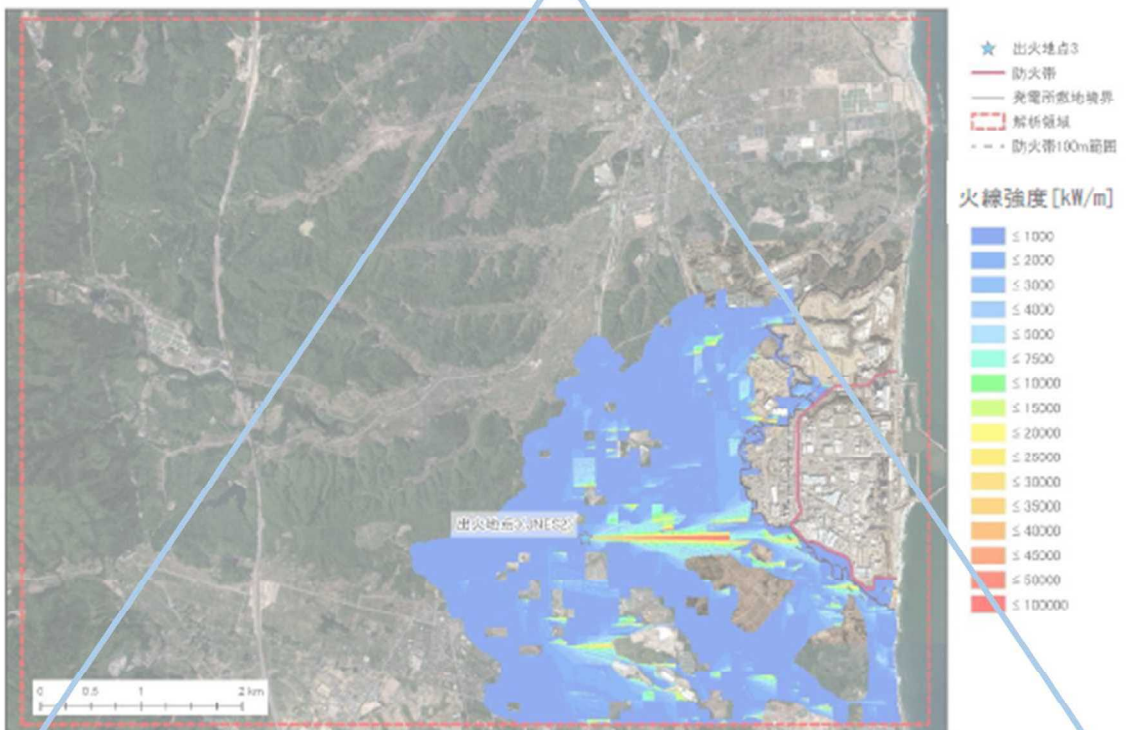
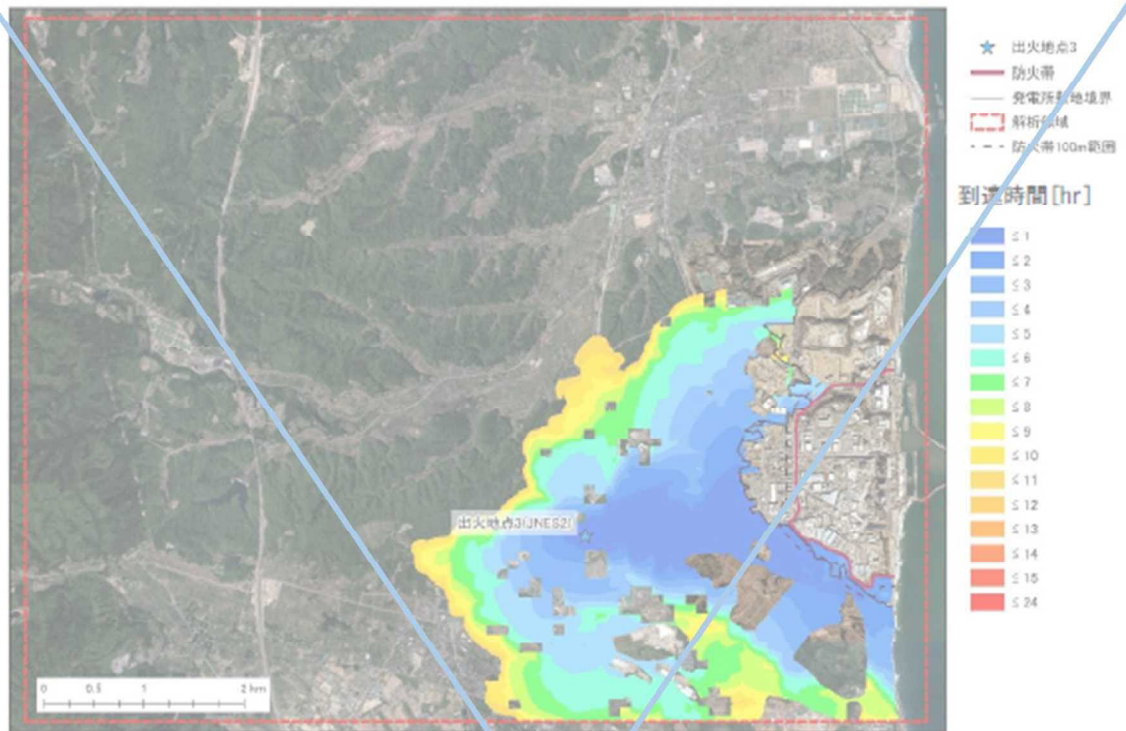


図3-8 ケース3 解析結果（南側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件）
 （上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）

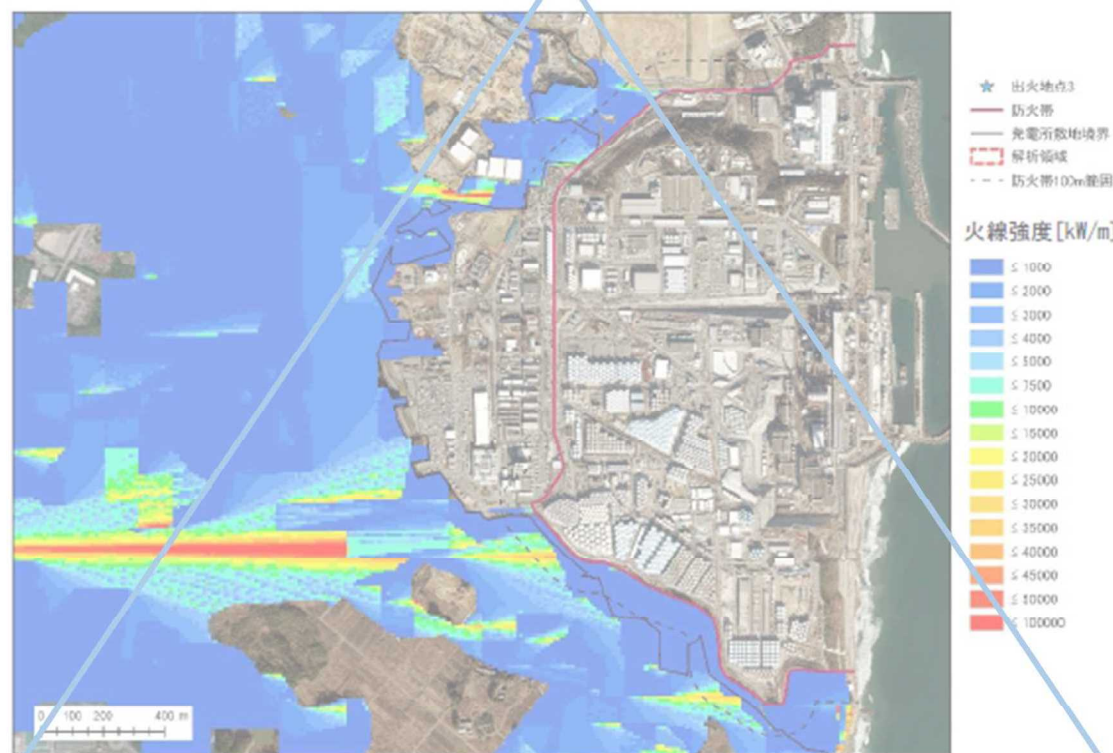


図3-9 ケース3解析結果(南側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)敷地周辺拡大
 (上: 火炎到達時間分布, 下: 火線強度分布)

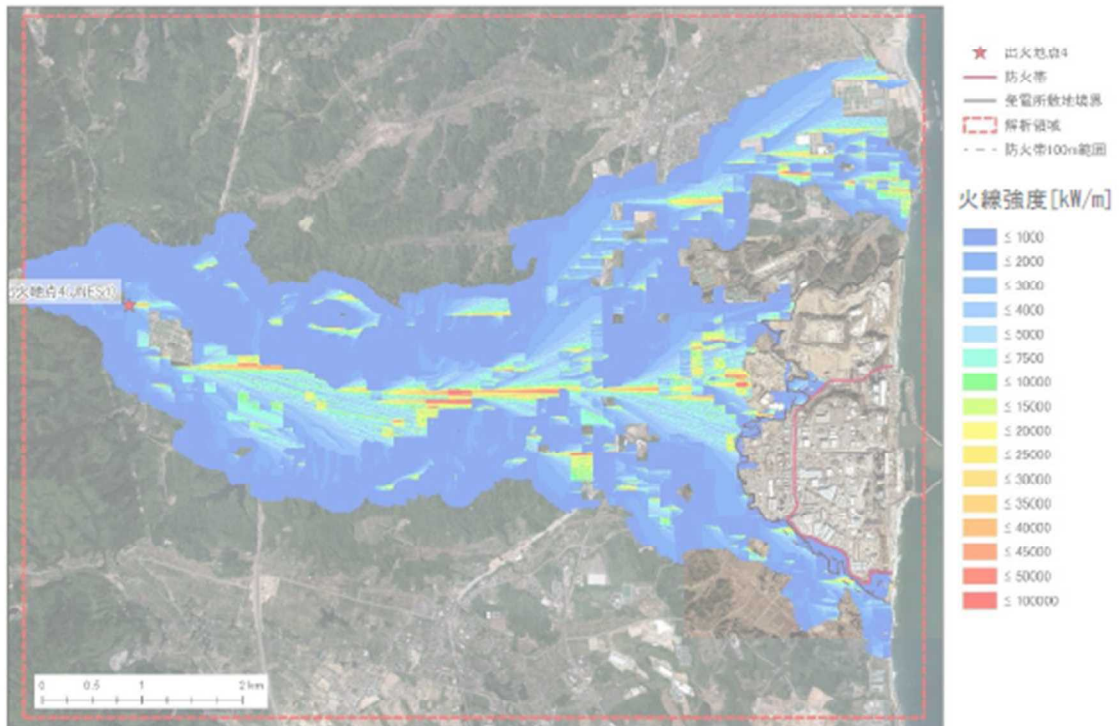
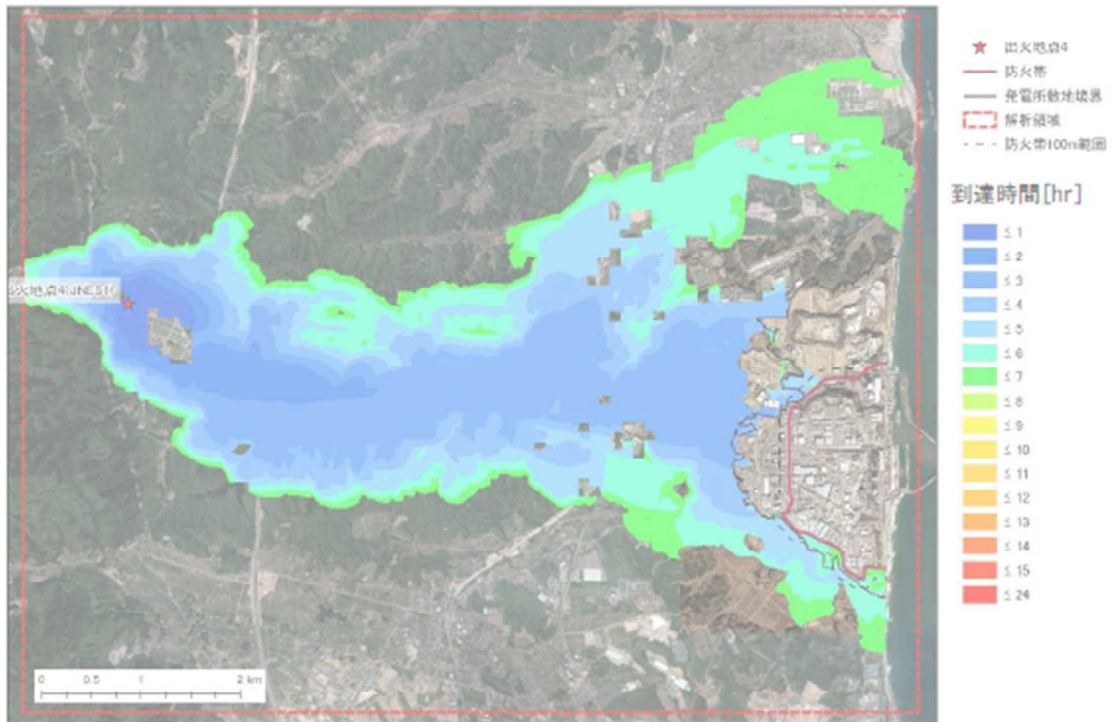


図4-3-4 ケース4解析結果（北側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件）
 （上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）

図は品質確認中

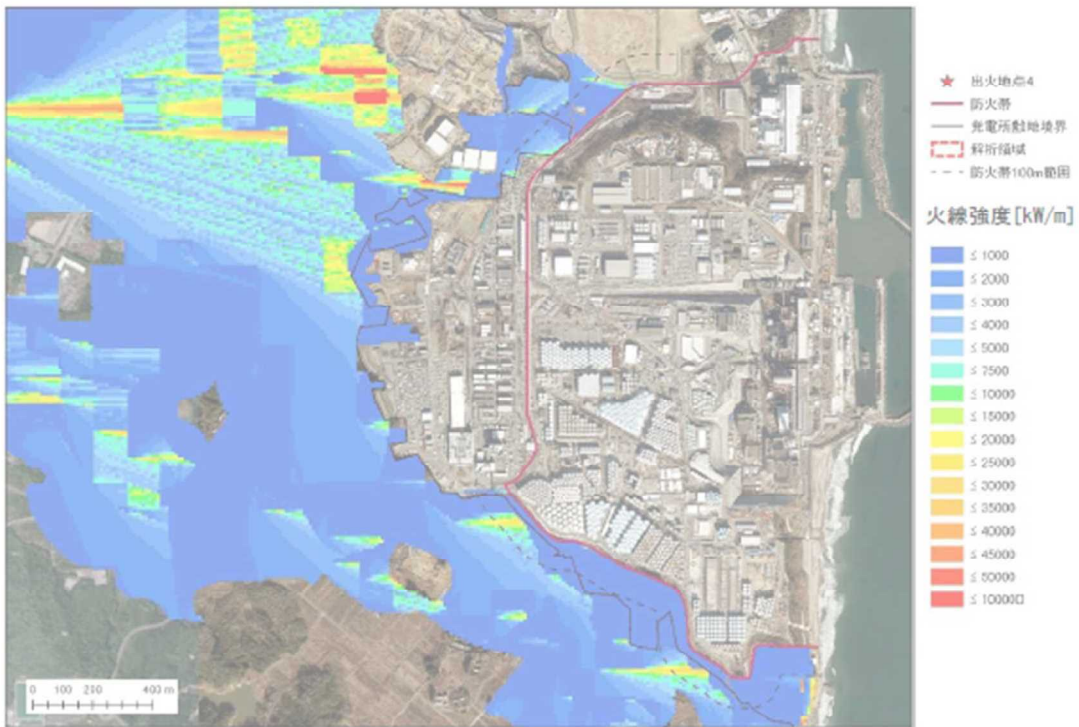
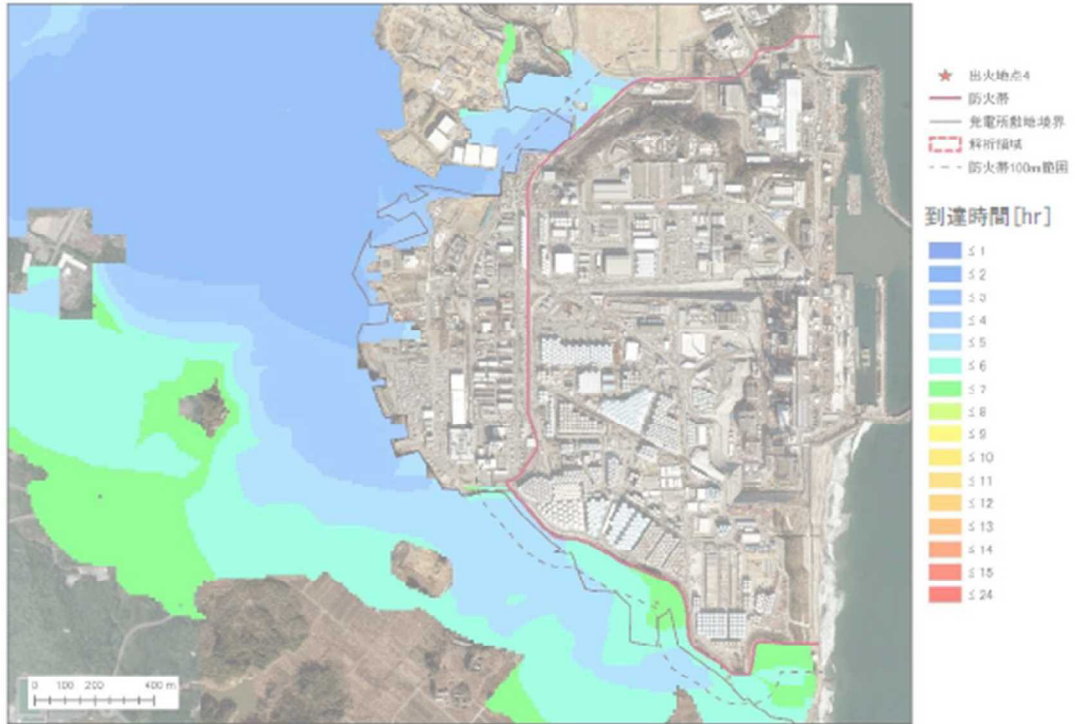


図4-1-35 ケース4解析結果(北側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)敷地周辺拡大
 (上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布)

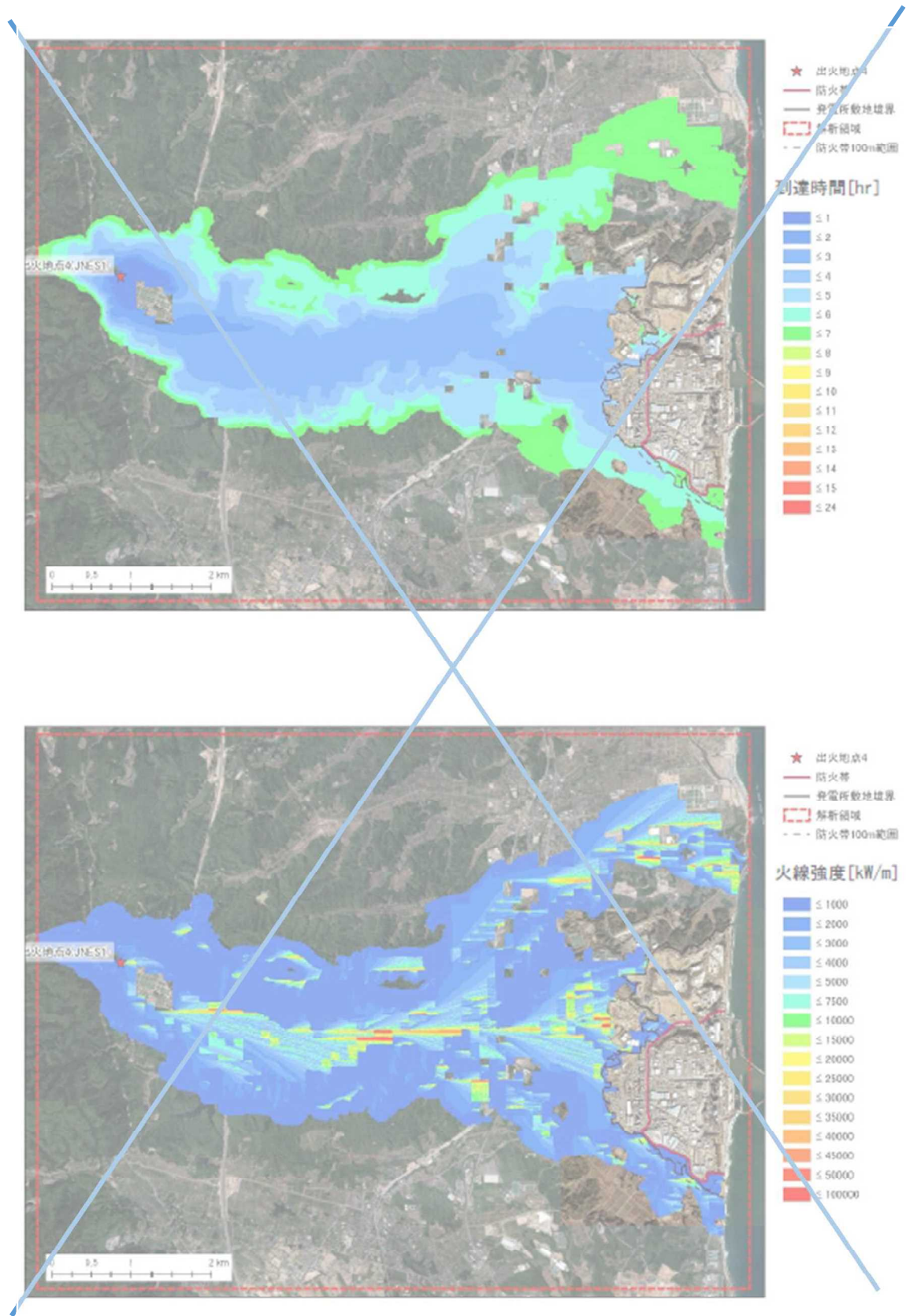


図4-2 ケース4解析結果（南側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件）
 （上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）

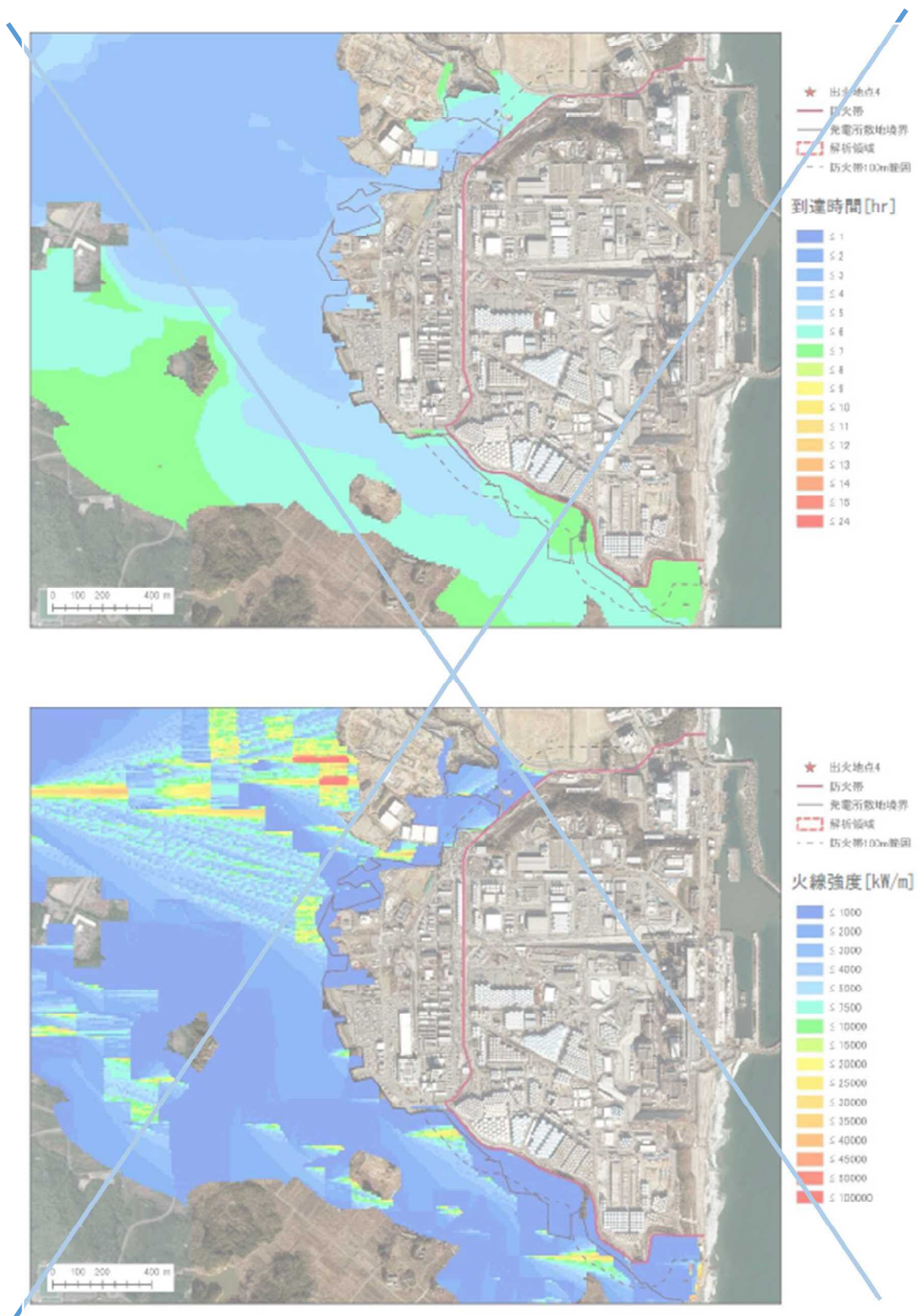


図4-3 ケース4解析結果(南側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)敷地周辺拡大
 (上: 火炎到達時間分布, 下: 火線強度分布)

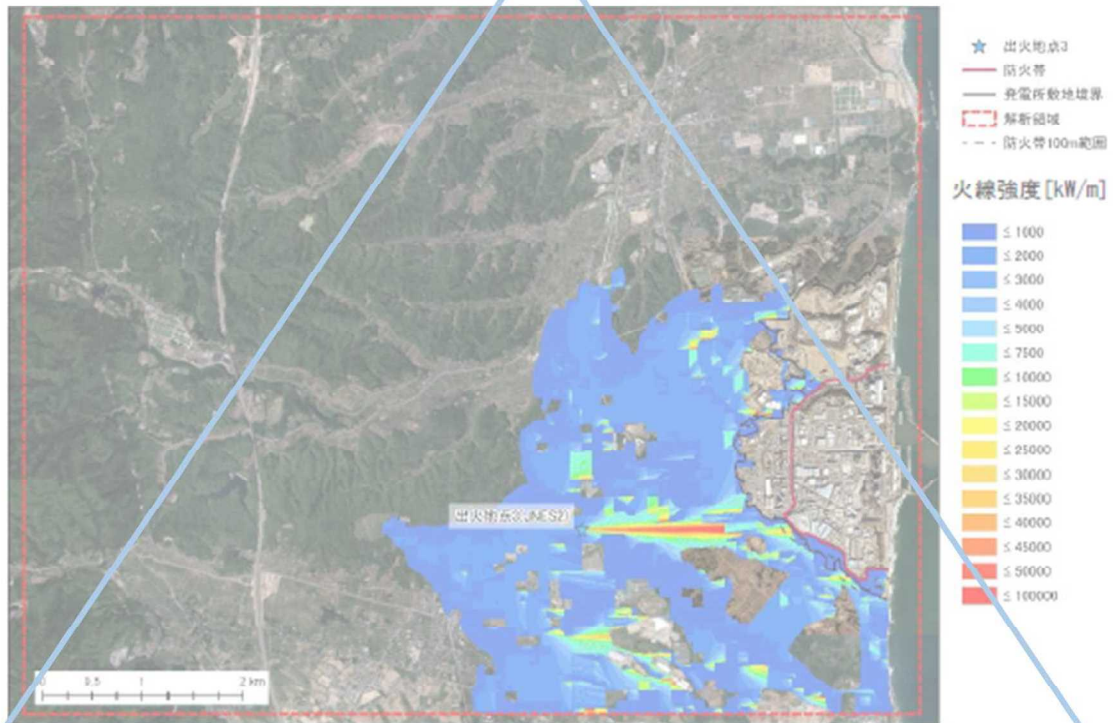
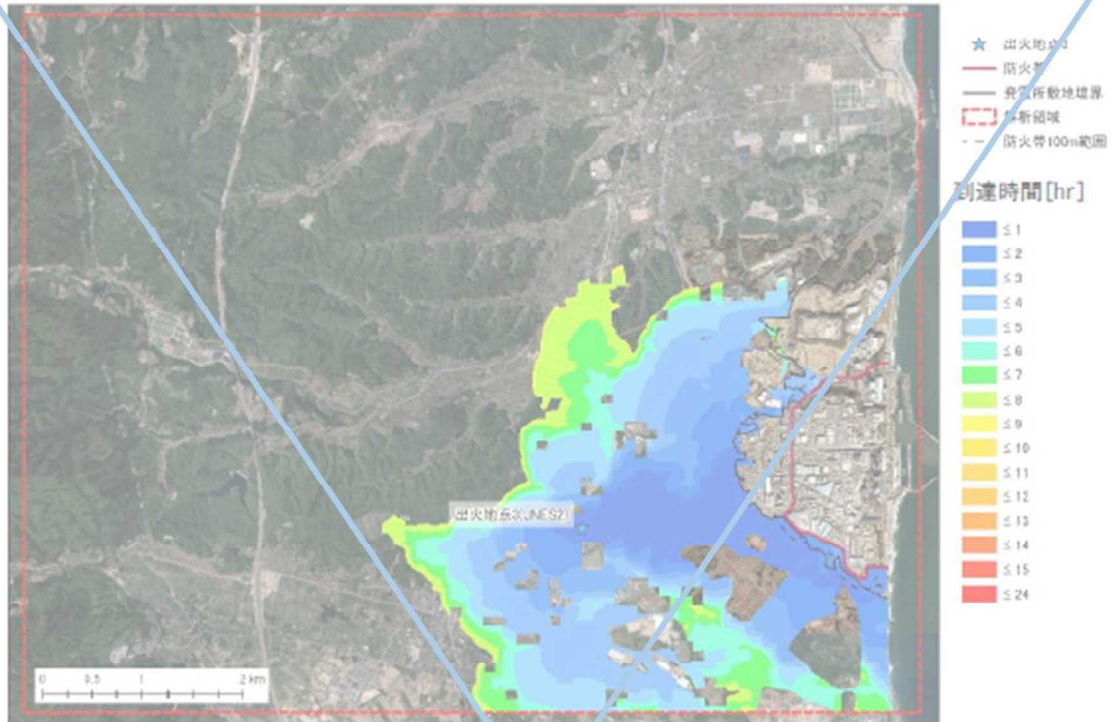


図4-4 ケース5 解析結果（北側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件）
 （上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）

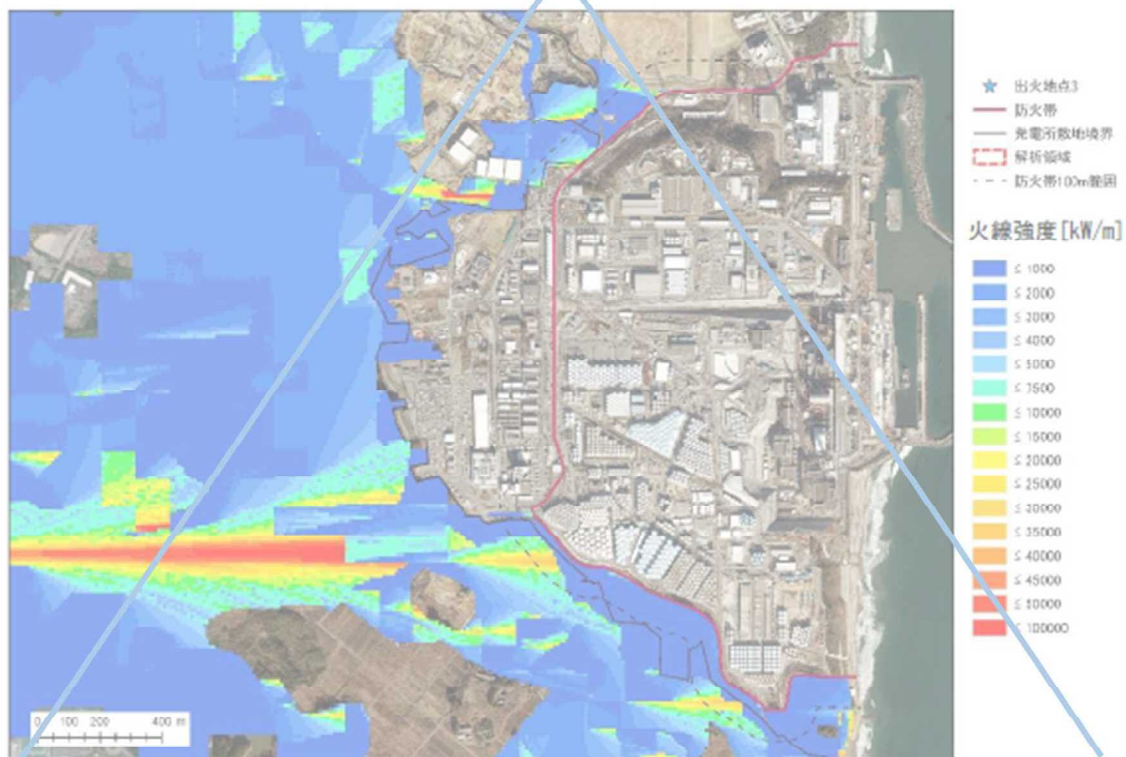
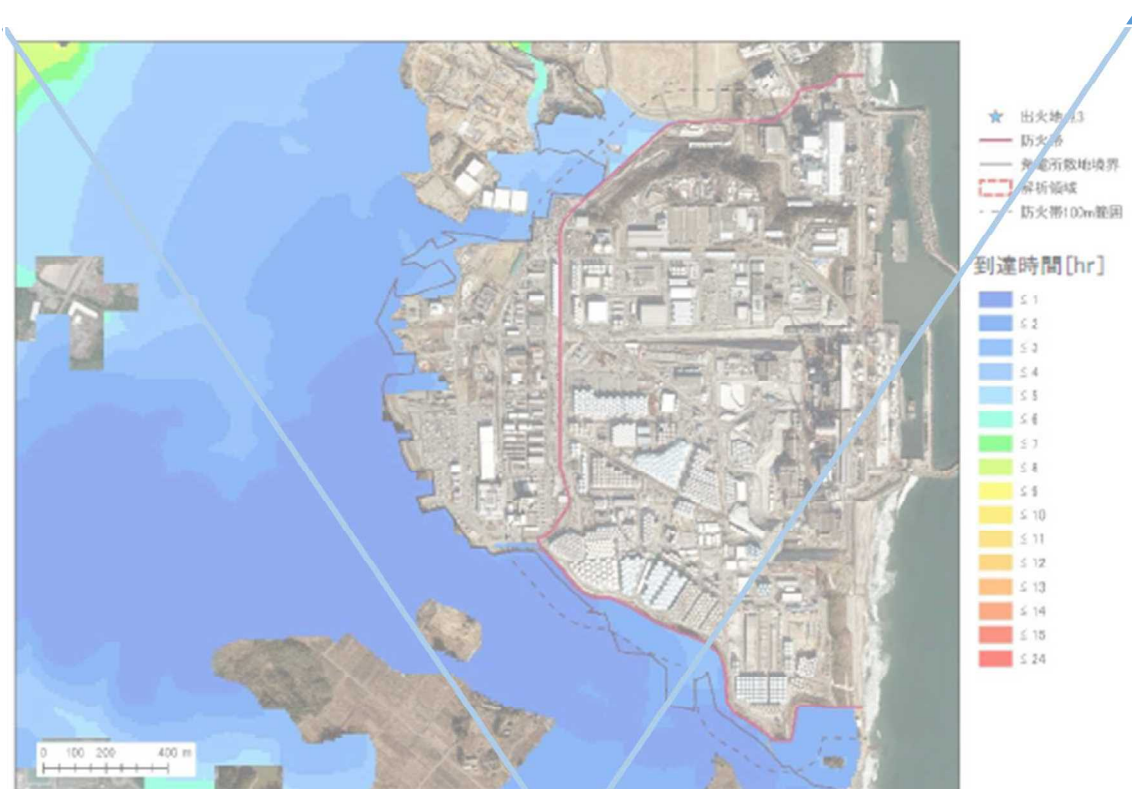


図4-5 ケース5解析結果(北側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)敷地周辺拡大
 (上: 火炎到達時間分布, 下: 火線強度分布)

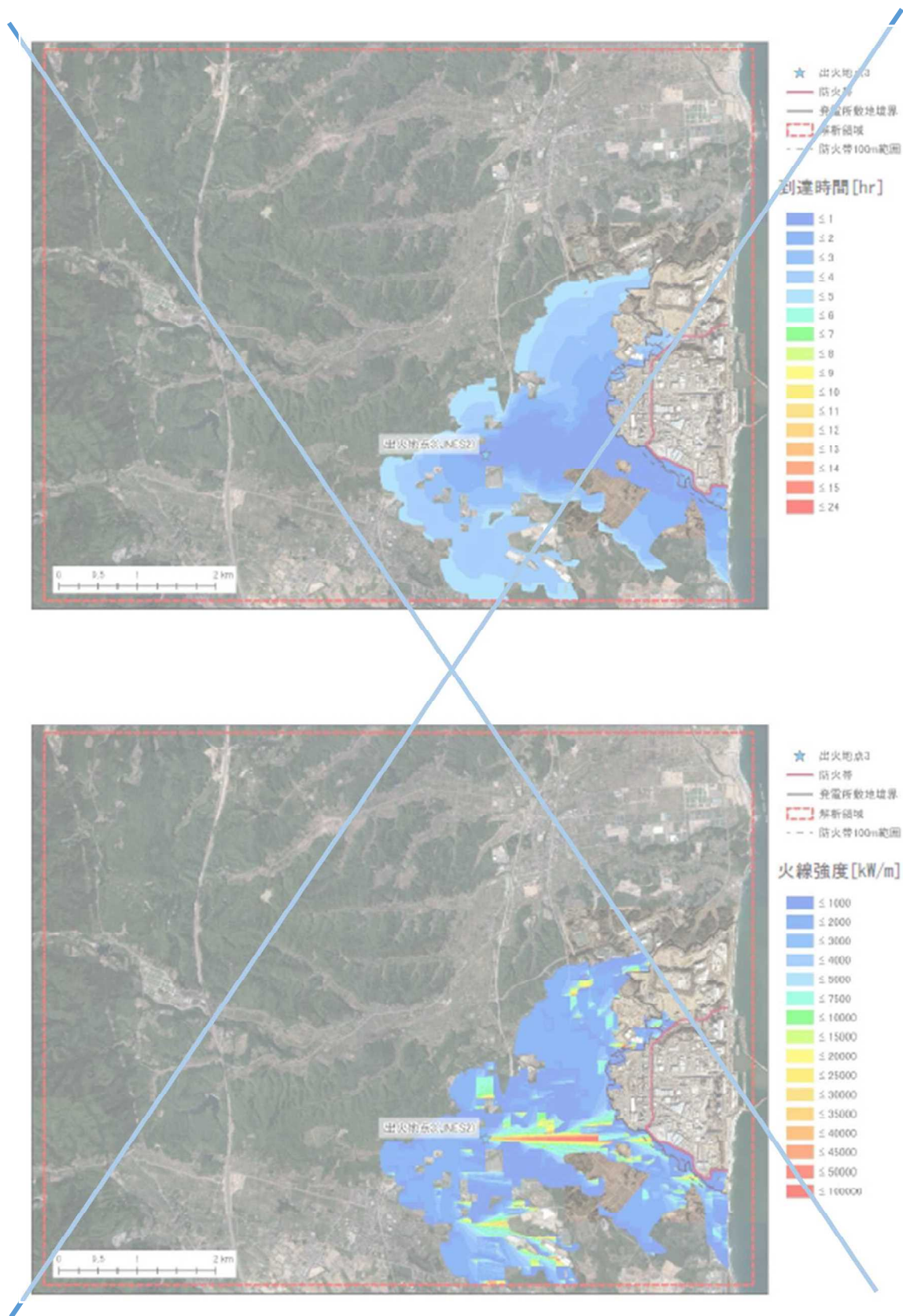


図4-6 ケース5解析結果(南側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)
 (上: 火炎到達時間分布, 下: 火線強度分布)

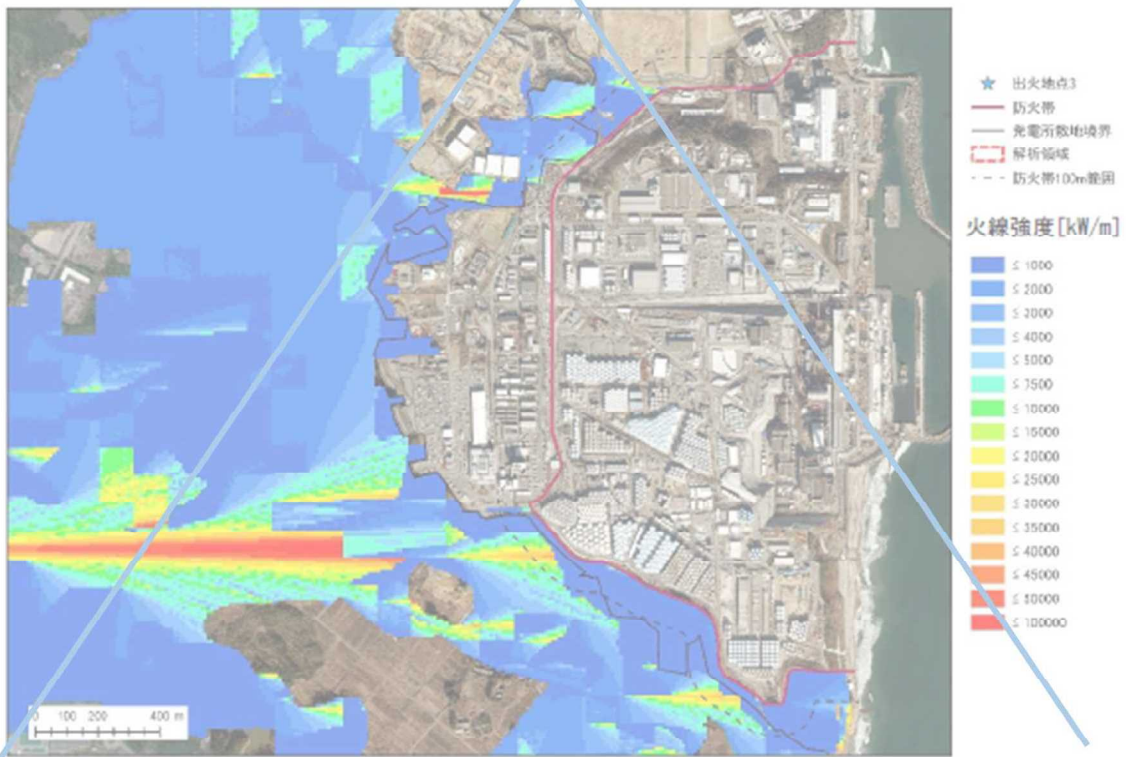


図4.7 ケース5 解析結果(南側防火帯近傍における最大火線強度の観測条件)敷地周辺拡大
 (上: 火炎到達時間分布, 下: 火線強度分布)

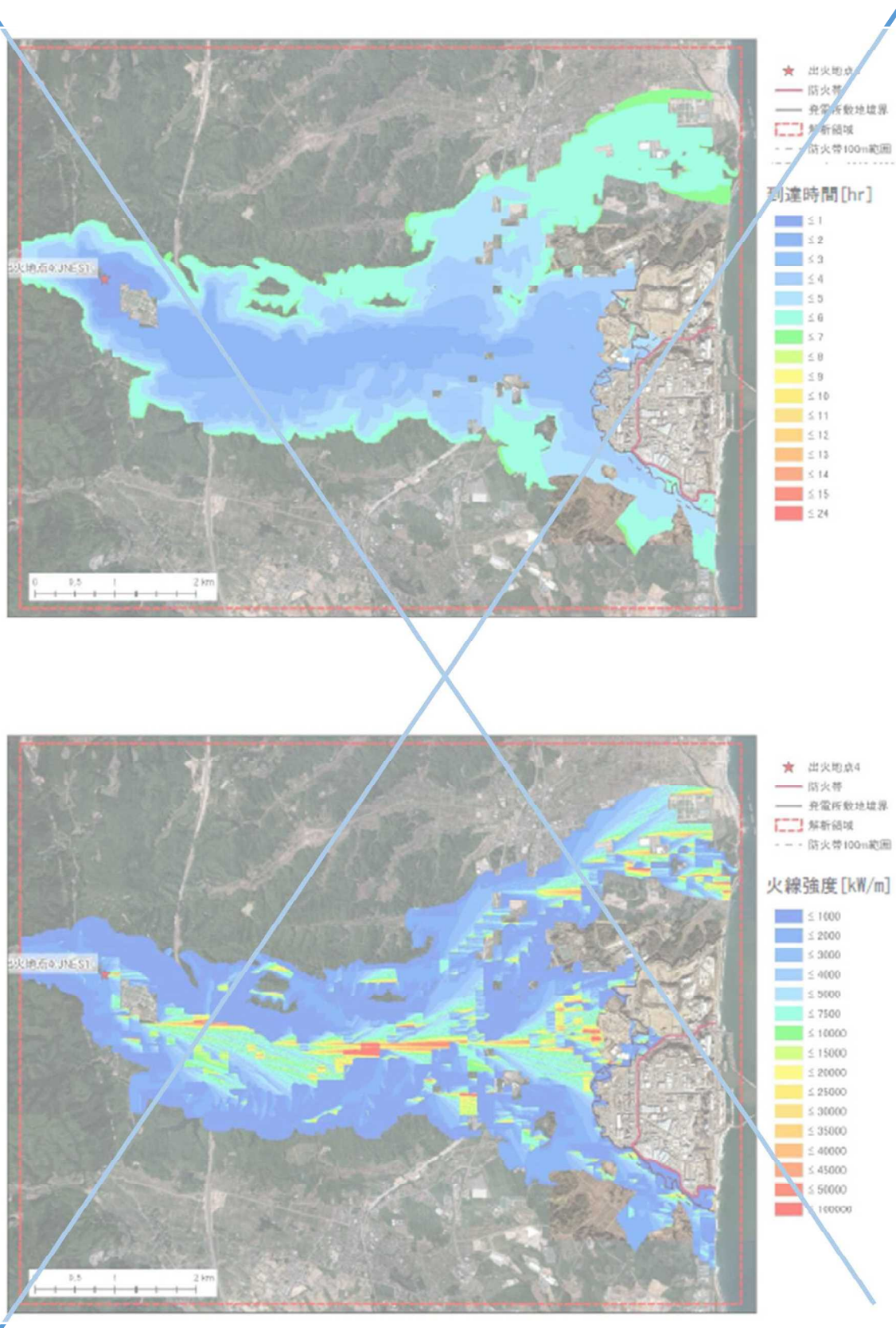


図4-8 ケース6 解析結果（上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布）
 ※ケース6 は同一条件で北側，南側防火帯近傍の最大火線強度を観測。

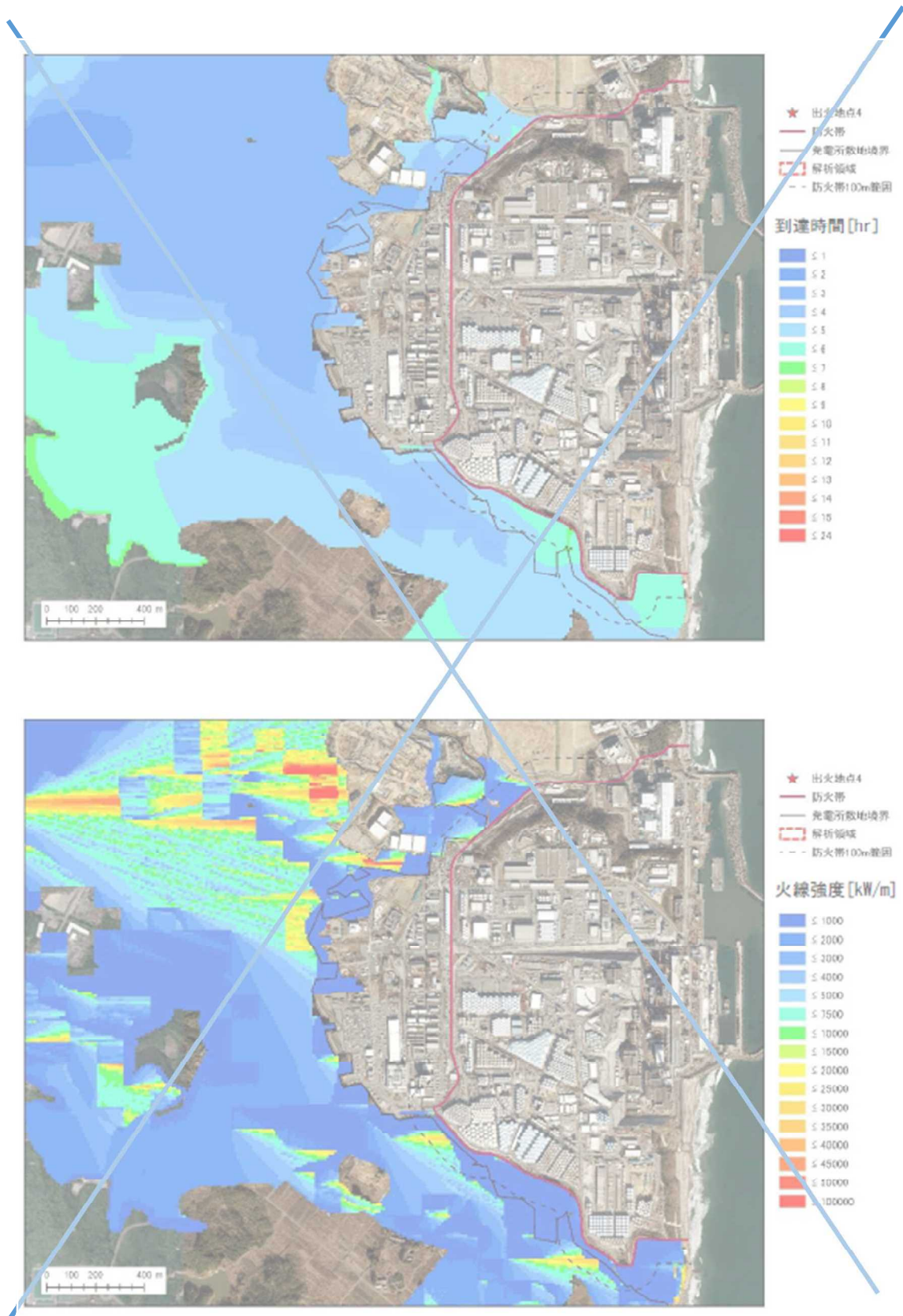


図4-9 ケース6 解析結果 敷地周辺拡大 (上：火炎到達時間分布，下：火線強度分布)
 ※ケース6 は同一条件で北側，南側防火帯近傍の最大火線強度を観測。

2.1.2.56 影響評価

FARSITE の解析結果を用いて、コンクリートモジュールに対する森林火災の影響を評価する。評価の手順としては、まず設備の外表面が火災の燃焼継続時間の間に一定強度の輻射を受けると仮定し、表面温度が許容限界温度に達する輻射強度を危険輻射強度として求める。次に、算出された危険輻射強度から逆算した離隔距離を、危険距離として求める。

危険距離の評価後、一定の輻射強度で昇温されるものと仮定して、熱影響評価（温度評価）を実施する。コンクリートモジュールと防火帯間の離隔距離で火災が発生した場合にコンクリートモジュールが受ける熱量を算出し、コンクリートの制限温度を超えることが無いか評価する。

必要データの整備

熱影響評価にあたっては、附属書Aに従い火炎を図5-0-36に示すような円筒に近似し、防火帯外縁に円筒火炎モデルを1列に並べる想定とする（図5-1-37参照）。この円筒火炎の表面から発せられる輻射（火炎輻射発散度 R_f [kW/m²]) を用いて、設備の受ける輻射を評価する。

まず、図5-0-36の円筒火炎（火炎到達幅 W [m]・奥行き D [m]・火炎長 H [m]）を仮定すれば、火線強度 IB [kW/m] が「火炎最前線での単位幅あたりの発熱速度（単位時間当たり発熱量）」と定義される。このとき、火災で発生する発熱量に輻射熱割合 χ （輻射熱に寄与する割合）を考慮し、輻射熱は円筒火炎の側面及び上面から放射されると仮定すると、発熱量の保存から下式(1)が成立する。

$$\begin{aligned} & (\text{円筒火炎 1 個の側面積} + \text{上面積} [\text{m}^2]) \times \text{円筒火炎個数} [-] \times \text{火炎輻射発散度} [\text{kW}/\text{m}^2] \\ & = \text{火線強度} [\text{kW}/\text{m}] \times \text{火炎到達幅} [\text{m}] \times \text{輻射熱割合} [-] \\ \therefore (2\pi RH + \pi R^2) \times F \times R_f & = IB \times W \times \chi \cdots (1) \end{aligned}$$

式(1)において、附属書Aに従い火炎半径 R [m] = $H/3$ 、円筒火炎の個数 $F = W/2R$ とすると、下式(2)が成立する。

$$R_f = \frac{6\chi IB}{7\pi H} \cdots (2)$$

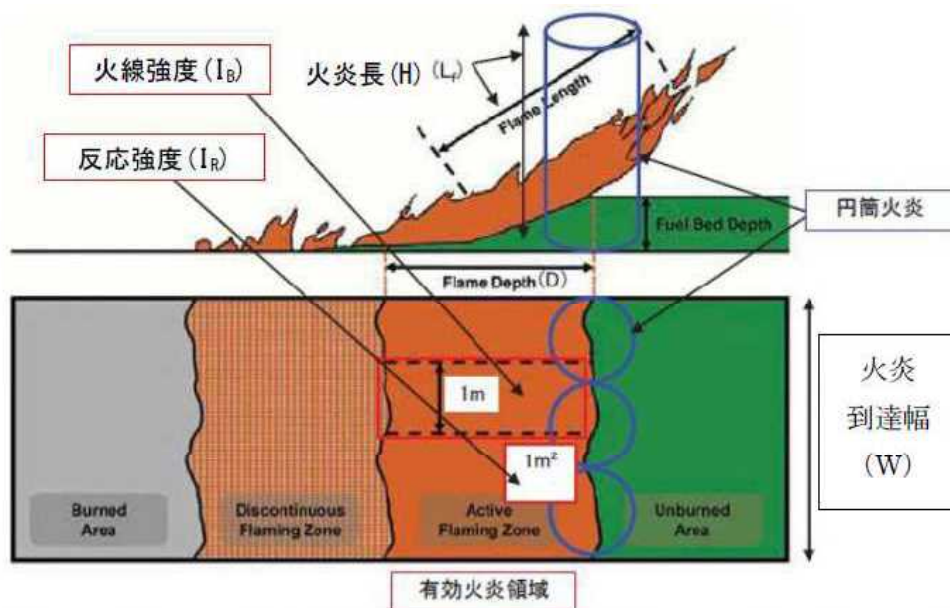
輻射熱割合は、Kサイト評価（参考文献[6]）の設定を踏襲し、下記3種類の値のうち最も大きい値である0.377を使用した。

- ・草地：0.35（米国国立標準技術研究所（NIST）の使用値）
- ・針葉樹：0.377（米国防火技術者協会（SFPE）発行ハンドブック*より算出）
- ・落葉広葉樹：0.371（米国防火技術者協会（SFPE）発行ハンドブック*より算出）

*：THE SFPE HANDBOOK of Fire Protection Engineering FOURTH EDITION)

上式を用いて算出した火炎輻射発散度 R_f [kW/m^2] を表 3.6-5 2 7 に示す。北側、南側ともに最大火線強度が観測されたケース 3 (北側：発火時刻 7 : 00、南側：発火時刻 10 : 30) の解析結果を使用している。

なお、1F 西側には新事務本館や協力企業棟等の建造物が多いことから、北側防火帯近傍に南側からの輻射は届きにくいことが考えられる。これを踏まえ、火炎輻射発散度は北側、南側それぞれにおいて別々に算出した。



(出典 : Andrews, P.L., et. al. (2011): How to Generate and Interpret Fire Characteristics Charts for Surface and Crown Fire Behavior. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-253.)

図 5-0-3 6 円筒火炎モデルと火線強度の概念

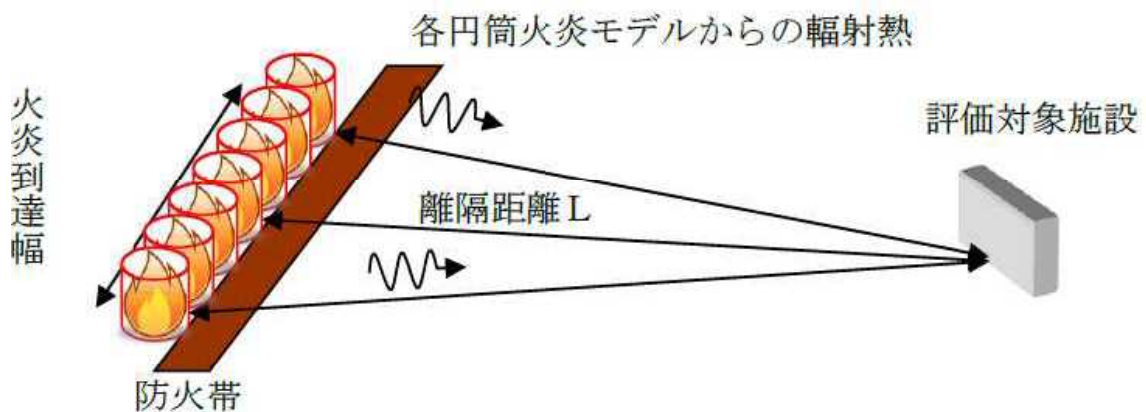


図 5-1-3 7 熱影響評価の評価体系 (円筒火炎モデルの並べ方)

□内の値は品質評価中

表 2.7 熱影響評価に使用するパラメータ一覧

データ区分	可燃物モデル		備考
	北側	南側	
火線強度 I_B [kW/m]	17986	36965	FARSITE 解析結果 (ケース 3 ¹⁾) 防火帯近傍 100m 範囲内の最大値
火炎長 H [m]	7.02	9.78	FARSITE 解析結果 (ケース 3 ¹⁾) 最大火線強度観測メッシュにおける値
火炎到達幅 W [m]	1220	1560	北側・ 南側 の防火帯長さ
燃焼継続時間 [分]	11	8	ケース 3 ¹⁾ において, 火炎からの輻射で評価対象設備が熱せられる時間の長さ ²⁾
熱輻射割合 χ [-]	0.377	0.377	K サイト評価 (参考文献[6]) 同様, 草地・針葉樹・落葉広葉樹のうち最大のもの (針葉樹の値) を一律で使用
燃焼半径 R [m]	2.34	3.26	$R=H/3$
円筒火炎モデル数 F [-]	261	239	$F=W/2R$, 整数値に切り上げ
火炎輻射発散度 R_f [kW/m ²]	263.5	388.8	式(2)より算出

1) FARSITE 解析結果のうち, 火線強度が最大となったケース 3 を選択。最大火線強度の値を採用するため, ~~北側においては発火時刻 7:00, 南側においては発火時刻 10:30~~の値を使用。

2) K サイト評価 (参考文献[6]) 同様, 100m ÷ 防火帯近傍 100m 範囲内における延焼速度平均値 で算出。

~~北側は 100m ÷ 9.60m/分 ÷ 11 分, 南側は 100m ÷ 14.05m/分 ÷ 8 分。~~
北側は 100m ÷ 9.60m/分 ÷ 11 分, 南側は 100m ÷ 14.05m/分 ÷ 8 分。

危険距離の評価

K サイト評価（参考文献[6]）で使用されていた建屋温度評価体系（図5-2-3 8 参照）を用いて評価を行う。コンクリートモジュールにおける危険輻射強度を算出する。輻射強度 E [kW/m²] を一定とし，下式(3)の一次元非定常熱伝導方程式を用いて，建屋外表面温度がコンクリートの許容限界温度 200°C に達する E を危険輻射強度 E_{\max} [kW/m²] とする。本解析評価においては，有限差分法を使用して式(3)の数値解を求めている。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \dots (3)$$

ここに， T は温度 [°C]， t は時刻 [s]， x は建屋壁内における外面からの距離 [m] である。 α は熱拡散率 [m²/s] であり，コンクリートの熱伝導率 k [W/m・K]，密度 ρ [kg/m³]，比熱 c [J/kg・K] から下式(4)で算出される。上述の設備の評価に使用するパラメータ（内外表面熱伝達率，熱伝導率，密度，比熱，熱拡散率，吸収率，外気温度）を表 2 8 に示す。

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \dots (4)$$

次に，危険輻射強度から危険距離を算出する。火炎輻射発散度 R_f [kW/m²] の円筒火炎から離隔距離 L_t [m] だけ離れた受熱点が受ける輻射強度 E [kW/m²] は下式(5)で表される。

$$E = R_f \cdot \phi \dots (5)$$

ここに， ϕ は形態係数（無次元）である。森林火災影響評価の場合，火炎到達幅 W [m] の分だけ円筒火炎モデルが横一列に F 個（ $F=W/2R$ ）だけ並ぶものと仮定して評価を行う

（図5-1-3 7 参照）。そのため式(5)の形態係数 Φ は，下式(6)に示すように円筒火炎 F 個分の形態係数の総和となる（図5-3-3 9 参照）。

$$\Phi = \phi_1 + 2 \times \sum_{i=2}^{(F-1)/2} \phi_i \dots (6)$$

なお，受熱点から離隔距離 L_i [m] の位置にある任意の円筒火炎 1 個の形態係数 Φ_i は火炎長 H [m] と離隔距離 L_i の関数として下式(7)で算出される。

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

$$m = \frac{H}{R} \cong 3, n = \frac{L}{R}, A = (1+n)^2 + m^2, B = (1-n)^2 + m^2 \dots (7)$$

□内の値は品質評価中

円筒火炎の火炎放射発散度 R_f の値が表 2 7 に示した値（北側で 263.5 kW/m^2 ）で一定のとき、前頁で算出した危険放射強度 $E_{max}[\text{kW/m}^2]$ とすると、下式(8)が成立する。式(8)を用いて、 $\phi > \phi_t$ となる最大の距離 L_t を危険距離として算出する。

$$E_{max} = R_f \cdot \phi_t \cdot \dots (8)$$

コンクリートモジュールの危険距離評価結果を表 2 9 に示す。想定される森林火災において、評価上必要とされる危険距離（約 87m ）に対し、1F 防火帯の外縁（火炎側）からコンクリートモジュールまでの間の離隔距離が危険距離以上であることを確認した。

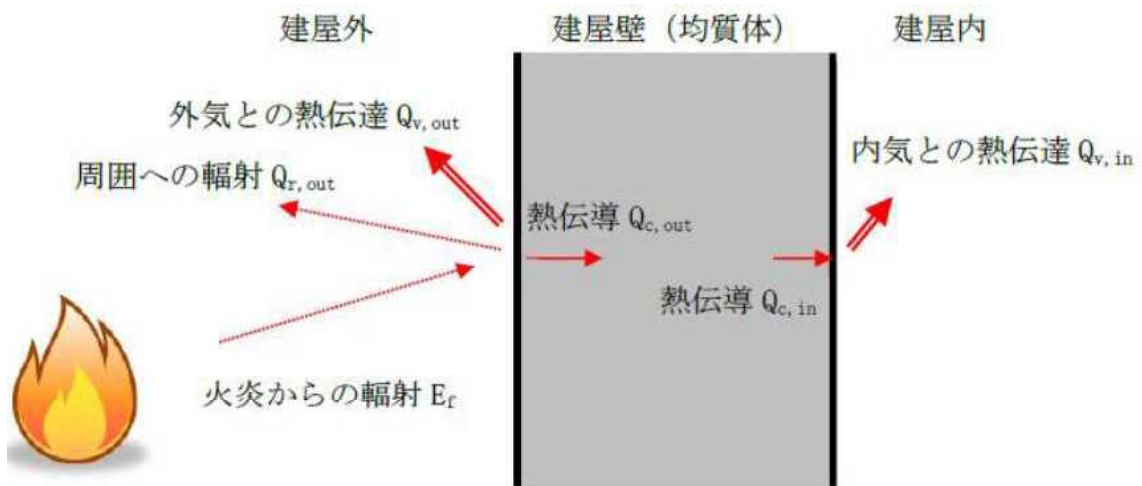


図5-2-38 コンクリートモジュール温度評価体系図

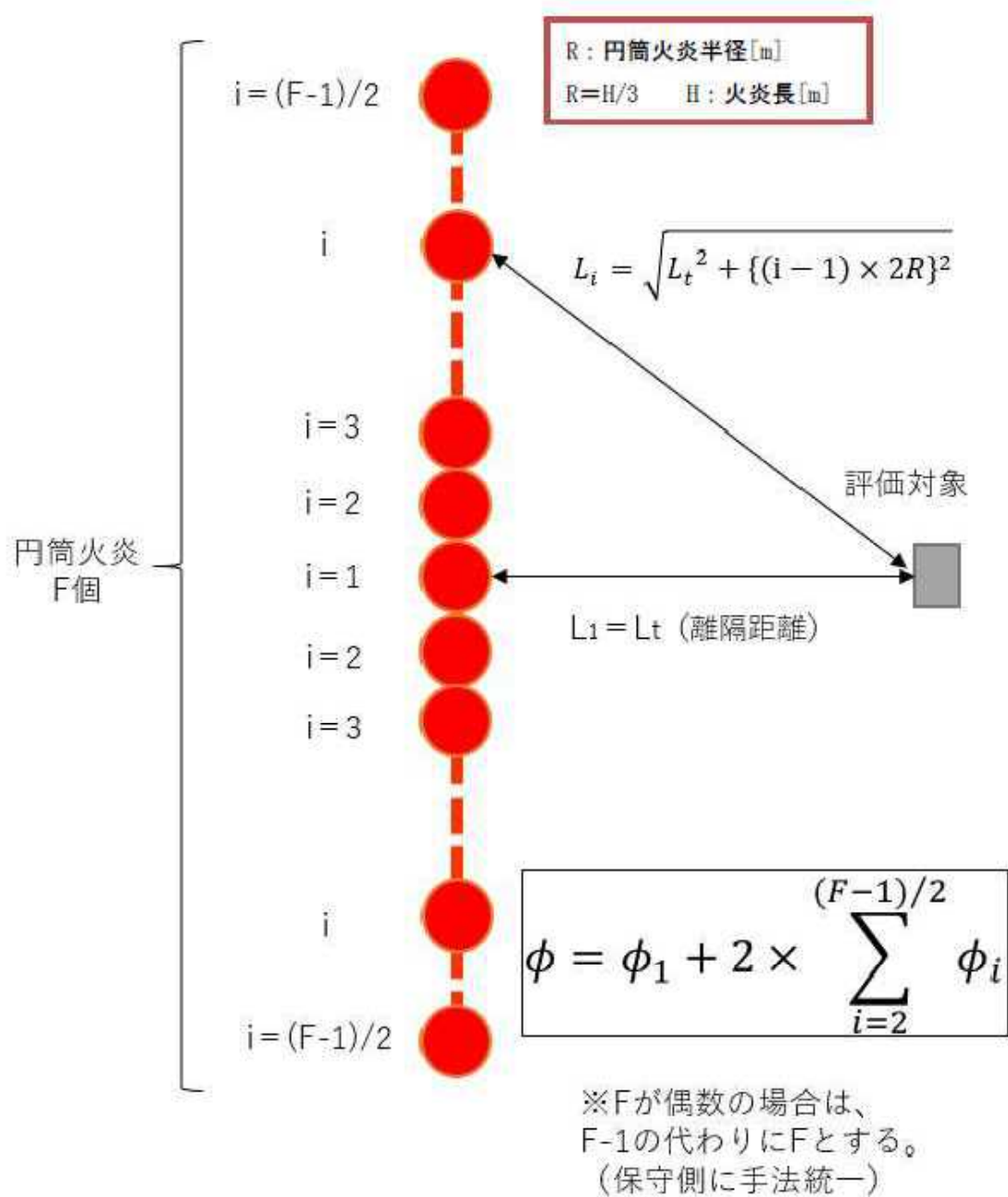


図5-3-39 形態係数の算出イメージ

表 2 8 熱影響評価の評価用パラメータ

パラメータ	値	設定方法
外表面熱伝達率 h_{out} [W/m ² ・K]	63.813 34.88375	Kサイト評価（参考文献[6]）同様，Jurges の式より算出。 ($h_{out}=7.2 \times U^{0.78}$ ，風速 $U=16.4$ m/s)
内表面熱伝達率 h_{in} [W/m ² ・K]	8 3.488375	夏季に垂直壁内面において一般的に使用される値（空気調和ハンドブック（参考文献[14]）より）。
熱伝導率 k [W/m・K]	1.2 1.6279	一般的な石灰岩質コンクリートの値を使用（伝熱工学資料（第5版）（参考文献[15]）より）。 Kサイト評価（参考文献[6]）同様，建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書より設定。
密度 ρ [kg/m ³]	2400 2200	
比熱 c [J/kg・K]	900 879.07	
外面放射率（吸収率） ε [-]	0.94 0.95	
熱拡散率 α [m ² /s]	5.56×10^{-7}	式(4)を用いて，熱伝導率，密度及び比熱から算出。
外気温度 T_{out} [°C]	50 60	Kサイト評価（参考文献[6]）同様，外壁面の相当外気温（約41°C）を切り上げた値。 コンクリートモジュールの除熱評価における屋根面最高温度（59.6°C）を切り上げた値。

1) 空気調和ハンドブック（参考文献[143]）より，相当外気温は下式で算出可能。

相当外気温 = (吸収率/外表面熱伝達率) × 日射量 + 外気温度

吸収率及び外表面熱伝達率は表 2 8 記載の値，外気温度は FARSITE 解析に使用した気温

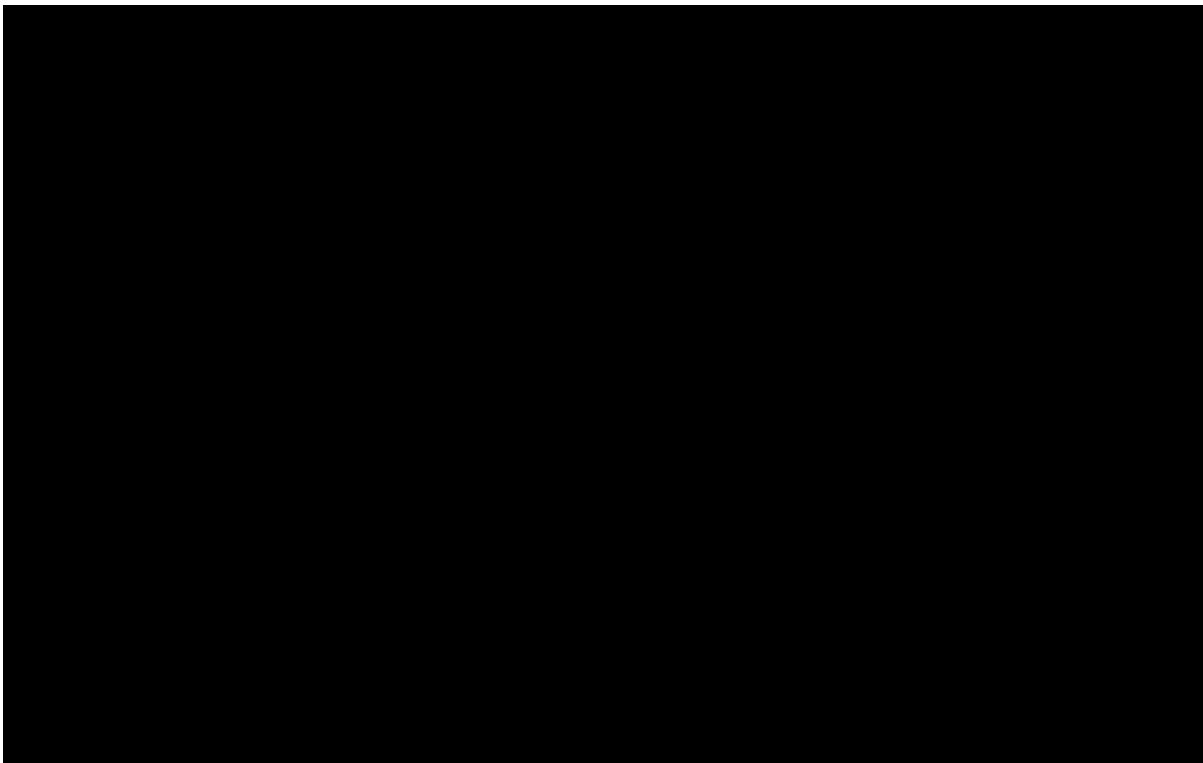
34°Cとした。日射量は，空気調和ハンドブック（参考文献[143]）より，東京の7月23日10時～14時における垂直外壁面の日射量の最大値約500W/m²を使用した。

□内の値は品質評価中

表 2 9 コンクリートモジュールの評価結果

パラメータ	値
壁厚[m]	0.2 ¹⁾
内気温度[°C]	41 ²⁾
危険輻射強度[kW/m ²]	19.67 ³⁾
形態係数φ[-]	0.0746 ³⁾
危険距離 Lt[m]	87 ³⁾
離隔距離 L[m]	190 ⁴⁾

- 1) 1F 実施計画 2.13 乾式キャスク仮保管設備 II-2-13-8 より抜粋。
- 2) 1F 実施計画 2.13 乾式キャスク仮保管設備 II-2-13 添 4-42 より、コンクリートモジュールの排気温度は最大で 40.3°C であるため、整数値に切り上げる。
- 3) 火炎到達幅 220m, 火炎輻射発散度 263.5 kW/m², 燃焼継続時間 11 分 (表 2 7 中の北側防火帯の値) を使用して算出。
- 4) ~~本評価で設定した防火帯内側からの離隔距離。実際のキャスク仮保管設備の西端から防火帯外側までの距離は約 308m である。図 5-4 参照。~~



~~図 5-4 コンクリートモジュールと防火帯の離隔距離~~

熱影響の評価

前項にて危険距離に対し十分な離隔距離があることから、コンクリートモジュールが生気温度の 200℃に達することは無いことを確認した。ここで、森林火災が発生した場合にコンクリートモジュールが何℃まで温度上昇するかを評価する。

一定の輻射強度で昇温されるものと仮定して、熱影響評価結果（温度評価）を実施する。コンクリートモジュールは北側防火帯近傍に位置することから、北側防火帯近傍の火炎輻射発散度を使用する。図5-2-38に示した建屋温度評価体系を用いて、下式(8)の1次元の非定常熱伝導方程式により温度評価を行う。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \dots (8)$$

□内の値は品質評価中

評価の結果、コンクリートモジュールは制限温度の 200℃に到達することはないことを確認した。コンクリートモジュールの評価結果を表30に、燃焼継続時間11分後の外壁面・内壁面温度の変化を図5-5-40に示す。

コンクリートモジュール内部のキャスク本体に対する熱影響についても併せて評価する。キャスクへの熱影響は、中性子遮蔽材としての機能を持つレジンが熱影響により制限温度に到達するかを評価する。

レジンが熱分解反応を起こし遮蔽材としての機能を損なう温度は 220℃以上であるため、キャスク表面が 220℃に到達しなければレジンへの影響は無いといえる。表30の通り、森林火災発生時のコンクリートモジュール内表面温度は42℃であり、キャスク表面の温度が 220℃に到達することは無いといえることから、キャスク本体に対する森林火災の熱影響は無い。

表 3 0 コンクリートモジュールの熱影響評価結果

パラメータ	値	設定方法	
外表面熱伝達率 h_{out} [W/m ² ・K]	63.813 34.88375	表 2 8 参照	
内表面熱伝達率 h_{en} [W/m ² ・K]	8 3.488375		
熱伝導率 k [W/m・K]	1.2 1.6279		
密度 ρ [kg/m ³]	2400 2200		
比熱 c [J/kg・K]	900 879.07		
外面放射率 (吸収率) ϵ [-]	0.94 0.95		
熱拡散率 α [m ² /s]	5.56×10 ⁻⁷		
外気温度 T_{out} [°C]	50 60		
内気温度 T_{in} [°C]	41		表 2 9 参照
壁厚 L [m]	0.2		表 2 7 参照 ¹⁾
火炎輻射発散度 R_f [kW/m ²]	263.5		
燃焼継続時間 t [分]	11	表 2 9 参照	
離隔距離 L_t [m]	190	式(6), (7)を用いて算出	
形態係数 ϕ [-]	0.0300	式(5)を用いて算出	
輻射強度 E_{1f} [W/m ²]	7907	T= 11 分後の値 (図 5 4 参照)	
外表面温度 [°C]	112		
内表面温度 [°C]	42 ²⁾		

1) 北側防火帯近傍で最大火線強度を観測した、ケース 3 発火時刻 7 : 00) の値。

2) 1F 実施計画 2.13 乾式キャスク仮保管設備 II-2-13 添 4-39 より内表面許容温度は 65°Cである。

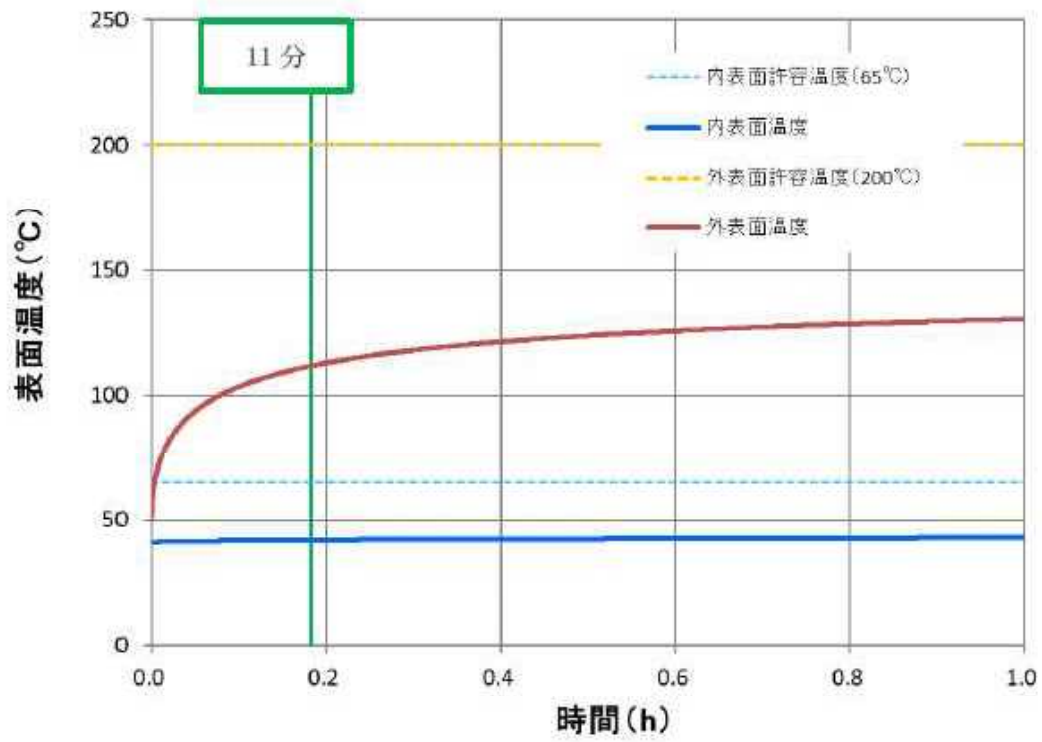


図-5-5-40 コンクリートモジュールの表面温度時間変化

図は品質確認中

2.2 近隣の産業施設の火災・爆発

近隣の産業施設の火災・爆発で評価する内容はガイドの附属書B「石油コンビナート等火災・爆発の原子力発電所への影響評価について（以下、「附属書B」という。）」に基づく。附属書Bでは発電所敷地外の産業施設を石油コンビナート等としているが、石油コンビナート以外にもガソリンスタンドのような危険物貯蔵施設、工場用ガスタンクのような高圧ガス貯蔵施設が存在することから、以下の通り評価を分けることとする。

- ・石油コンビナートの火災・ガス爆発影響評価
- ・危険物貯蔵施設の火災影響評価
- ・高圧ガス貯蔵施設の火災・ガス爆発影響評価

2.2.1 石油コンビナートの火災・ガス爆発影響評価

産業施設のうち、石油コンビナートは危険物の貯蔵量が特に多く、火災・ガス爆発が発生した場合の影響が大きいため個別に評価を実施する。

(1) 評価対象施設

評価対象は発電所敷地外の半径10km圏内に存在する、石油コンビナート等災害防止法で規制される特別防災区域内の特定事業所とする。

福島県内の特別防災区域は「広野地区」「いわき地区」の二か所であり、これらはそれぞれ福島第一原子力発電所から約21km及び約60kmの場所にあり、いずれも福島第一原子力発電所から10km以遠である（図5-6-41）。以上より、評価対象範囲内に石油コンビナート及び特定事業所は存在せず、キャスク仮保管設備に影響を及ぼすことはない。



注) 図の位置はおおよそその場所を表している

図-5-6-4 1 福島県内の石油コンビナート等特別防災区域の位置と福島第一原子力発電所までの距離

2.2.2 危険物貯蔵施設の火災影響評価

福島第一原子力発電所から 10km 圏内における危険物貯蔵施設を抽出して火災影響を評価する。~~ここで、危険物貯蔵施設の抽出に先立ち評価に要するパラメータを仮設定し、10km 圏内にどのような危険物貯蔵施設がある場合にコンクリートモジュールに影響があるのかを評価する。~~

(1) 評価条件

具体的な評価指標を表 3 1 に示す。

表 3 1 評価指標及び評価の観点

評価指標	内容
輻射強度 [W/m^2]	火災の炎から任意の位置にある点（受熱点）の輻射強度
形態係数 [-]	火災と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径 [m]	防油堤規模より求めた燃焼半径
危険距離 [m]	延焼防止に必要な距離

上記の評価指標は、受熱面が輻射帯の底部と同一平面上にあると仮定して評価する（図 5-7-4 2 参照）。油の液面火災では、火炎面積の半径が 3m を超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射熱発散度の低減が無いものとする。

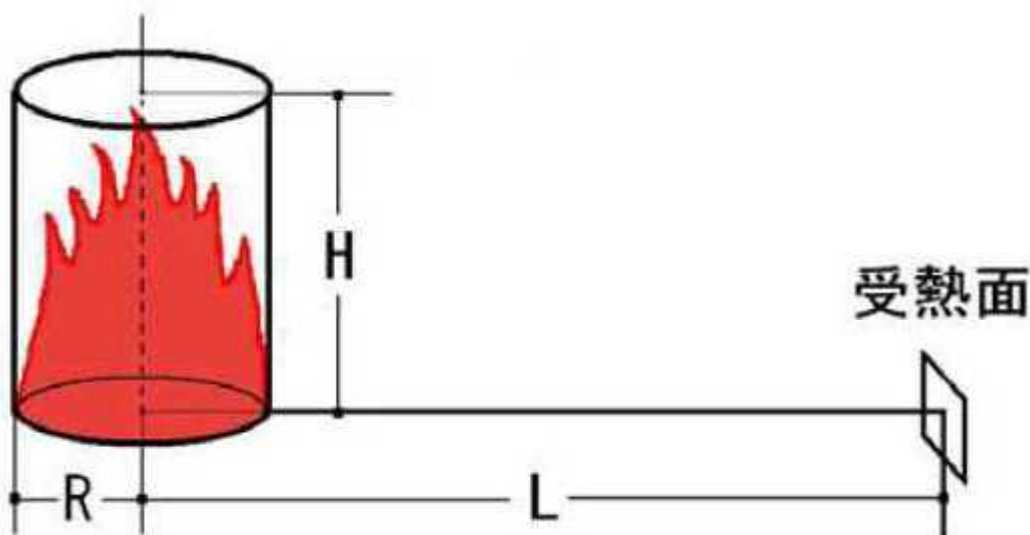


図 5-7-4 2 火災発生時の評価モデル仮定

評価に必要なデータを表 3 2 に示す。

表 3 2 評価に必要なデータ

データ種類	整備要領
輻射発散度[W/m ²]	燃焼する可燃物によって決まる定数
防油堤規模	防油堤の縦及び横の大きさ 火災が発生する面積であるため燃焼面積[m ²]と読み替える
危険輻射強度[W/m ²]	原子炉施設の外壁、天井スラブ等の輻射熱に対する耐熱性を輻射強度で示したもの

本評価では燃焼半径及び危険距離を複数設定し、燃焼半径に対する危険距離毎の輻射強度を算出し、コンクリートモジュールの危険輻射強度を下回る条件を評価する。燃焼半径を燃焼面積、危険距離を離隔距離に置き換え、表 3 3 の通り危険物、燃焼面積及び離隔距離を設定する。危険物の種類は外部火災影響評価ガイドに記載されているもののうち最も輻射発散度の大きいn-ヘキサンを設定する。コンクリートモジュールの危険輻射強度は 2.1.2.5 項で算出した値を用いる。

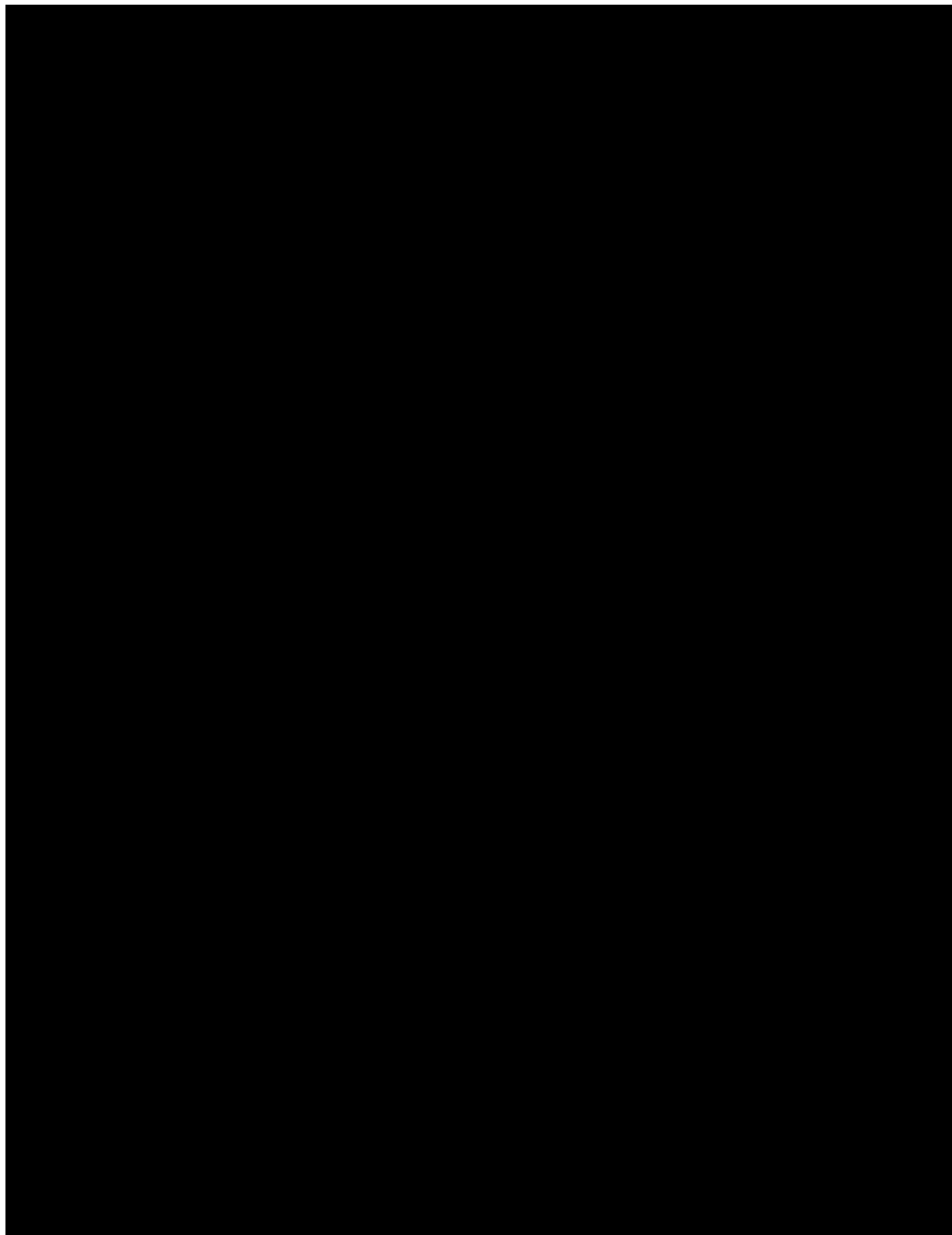
表 3 3 危険物火災の評価条件

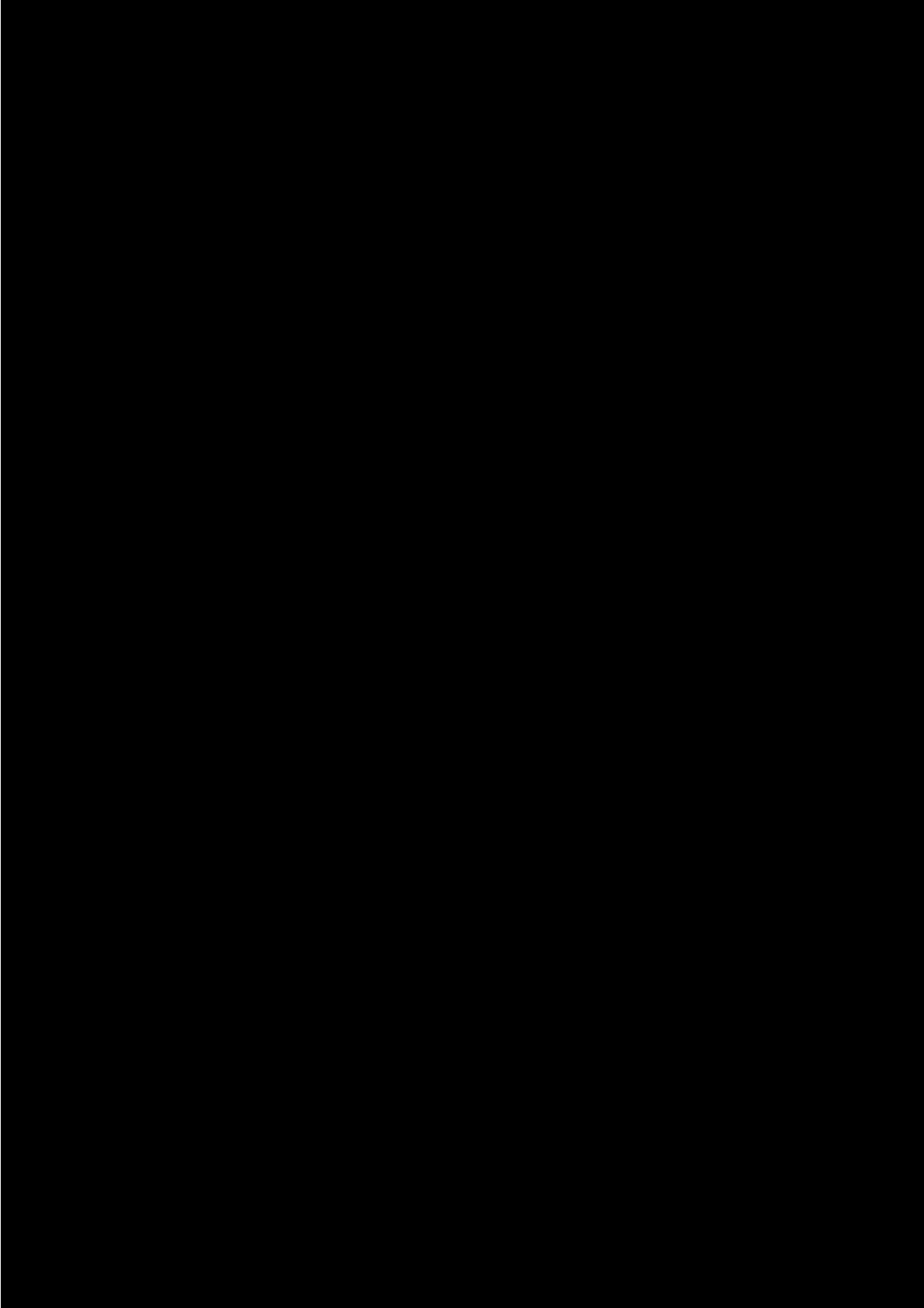
危険物の種類	n-ヘキサン
輻射発散度[kW/m ²] ¹⁾	85
燃焼面積[m ²]	1,000・10,000・50,000・100,000
離隔距離[m]	100・200・300・400・500・600・700・800・900・1,000・1,500・2,000
危険輻射強度[W/m ²]	19760

1) 附属書Bより

福島第一原子力発電所から 10km 圏内の危険物貯蔵施設を表 3 3 に示す。

表 3 3 福島第一原子力発電所から 10km 圏内に位置する危険物貯蔵施設





福島第一原子力発電所から 10km 圏内における危険物貯蔵施設の最大貯蔵量は No. 37 の [REDACTED] であり、福島第一原子力発電所から最短の危険物貯蔵施設までの距離は No. 38 の約 0.85km である。仮に最短距離の危険物貯蔵施設に最大貯蔵量 ([REDACTED]) があつたと仮定して熱影響評価を行う。評価条件は以下の通り。なお、主要な貯蔵物は第二石油類であることから、危険物は放射発散度の高い灯油と仮定する。

表 3 4 危険物火災の評価条件

危険物の種類	灯油
貯蔵量[kl]	[REDACTED]
放射発散度[W/m ²] ¹⁾	50×10 ³
防油堤面積[m ²]	[REDACTED]
質量低下速度[kg/m ² ・s] ²⁾	0.039
燃料密度[kg/m ³] ²⁾	820
燃焼速度[m/s] ³⁾	4,76×10 ⁻⁵

- 1) 附属書B より
- 2) NUREG-1805 より
- 3) 燃焼速度＝質量低下速度÷燃料密度

(2) 燃焼半径の算出

燃焼半径は防油堤規模より算出する。防油堤面積に等しい円筒火災を生ずるものと想定し、燃焼半径 R[m]を算出する。

$$R = (S / \pi)^{0.5}$$

S : 防油堤面積 (火炎円筒の底面積) = [REDACTED]

~~Rは設定する燃焼面積毎に異なる値となる。~~

[REDACTED]

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

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

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

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³], m : 質量[kg]

ここで, V= [] として燃焼継続時間を求めると,

$$t = [] \\ = 0.5 [\text{h}]$$

(34) 危険輻射強度の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間, 一定の輻射強度でコンクリートモジュールが昇温されるものとして, 下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より, コンクリートの表面温度が 200°C となる危険輻射強度を求める。

$$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}} + 1 \right) \frac{h}{\varepsilon E}}$$

出典 : 田中 哮義, 改訂版建築火災安全工学入門, 日本建築センター

T₀ : 初期温度[60°C], E : 輻射強度[W/m²], ε : コンクリート表面の放射率 (0.95) ※,

h : コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※, k : コンクリート熱伝導率[1.6W/mK] ※,

ρ : コンクリート密度[2200kg/m³] ※, c : コンクリート比熱[879J/kgK] ※, t : 燃焼継続時間[s]

※ : 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

$$E = 10282 [\text{W/m}^2]$$

(5) 形態係数の算出

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, 輻射発散度に形態係数を掛けた値になる。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 危険輻射強度[W/m²], R_f : 輻射発散度[W/m²], φ : 形態係数

E_{max} = 10282, R_f = 50 × 10³ とすると, φ は 0.20564 となる。

~~形態係数は以下の式で求められる。~~

(6) 危険距離の算出

火炎から任意の位置にある点 (受熱点) の形態係数は以下の式から求まる。次の式から危険距離を算出する。

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

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

φ : 形態係数, L : 危険距離[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

φ が 0.20564 と求められていることから、危険距離 L は 254[m] となる。

通常の評価では評価対象の危険放射強度、火災の放射強度から形態係数を算出し、上記の式を用いて危険距離を算出する。本評価では火災の放射強度を固定し、表 3-3 の燃焼面積と離隔距離を入力することで条件ごとの形態係数及び危険放射強度を算出する。

(4) 危険距離評価結果

各燃焼面積において n-ヘキサンによる火災が発生した場合の、離隔距離ごとの放射強度は表 3-4、表 3-5 の通り。

燃焼面積が 100,000m² の場合、400m の離隔距離があれば火災による放射強度がキャストの許容放射入熱流束を下回る。同様に、燃焼面積 50,000m² の場合離隔距離 300m、燃焼面積 10,000m² の場合離隔距離 200m、燃焼面積 1,000m² の場合離隔距離 100m があれば火災による熱影響は無いといえる。福島第一原子力発電所敷地外の周囲 10km 圏内の危険物貯蔵施設の設置状況については、現在調査中である。

(5) 熱影響評価結果

一定の放射強度で昇温されるものと仮定して、熱影響評価結果（温度評価）を実施する。

2.1.2.5 項と同様に北側防火帯近傍の火炎放射発散度を使用する。図 5-2 に示した建屋温度評価体系を用いて、下式(1)の 1次元の非定常熱伝導方程式により温度評価を行う。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \dots (1)$$

敷地外火災においては燃焼継続時間を改めて設定する必要があるため、敷地外の危険物貯蔵施設の設置状況調査完了後に評価を行う。コンクリートモジュール内部のキャスト本体に対する熱影響についても同様。

(7) 火災による熱影響の有無の評価

最大貯蔵量の危険物貯蔵施設における危険距離は約 254m であり、離隔距離約 850m が危険距離を上回っていることを確認した。よって、発電所敷地外の危険物貯蔵施設において火

災が発生した場合においてもコンクリートモジュールへの影響はない。

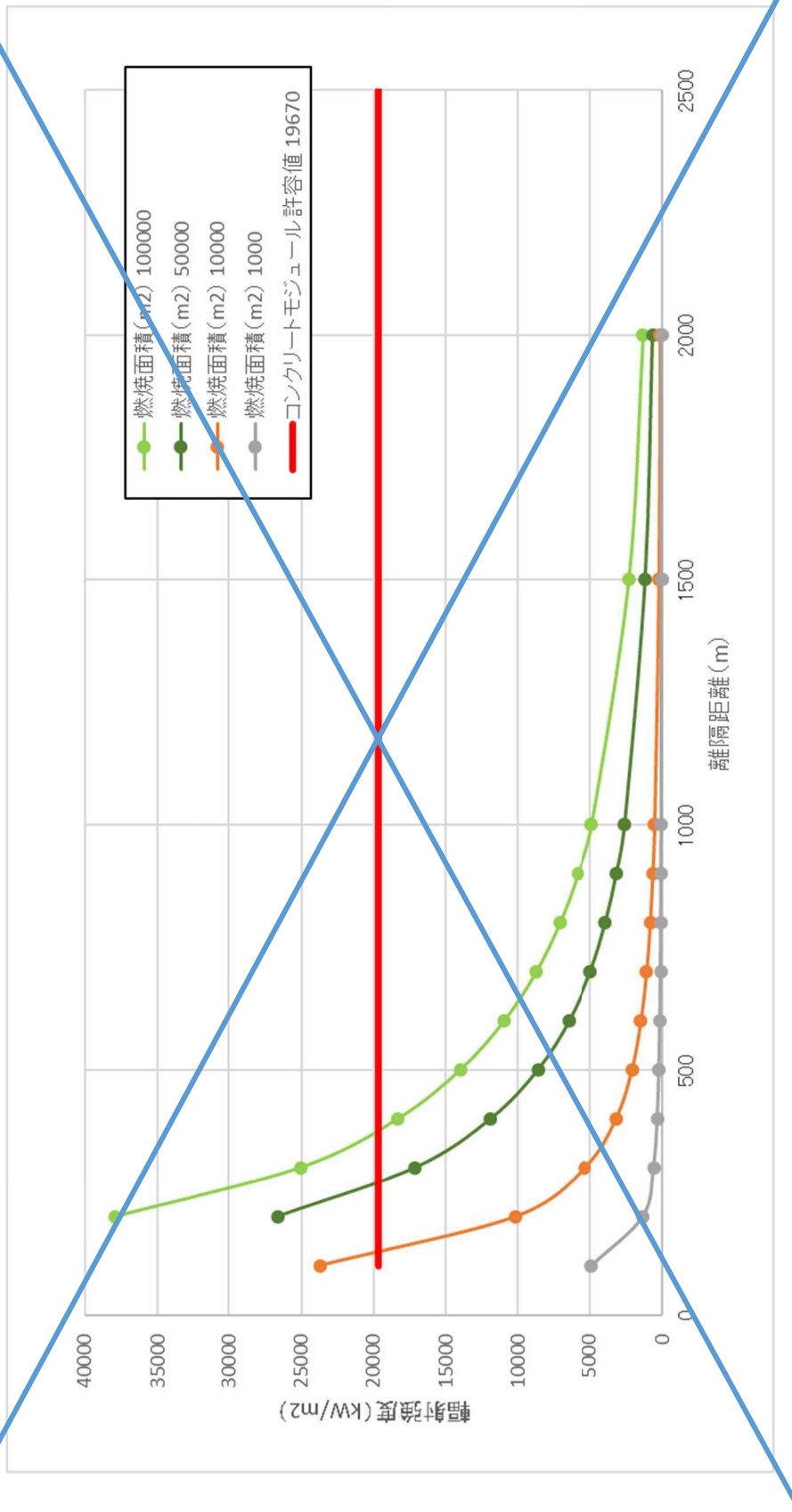
表3-4 輻射強度 (W/m²) 対比表

燃焼面積 (m ²)	離隔距離 (m)											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
100,000	≧ ¹⁾	37900.08	25081.63	18322.65 ²⁾	13996.06	10967.01	8755.38	7102.27	5845.28	4874.98	2309.40	1319.87
50,000	≧ ¹⁾	26668.69	17111.37 ²⁾	11896.76	8621.78	6450.52	4961.92	3911.32	3149.65	2583.64	1175.06	662.81
10,000	23726.56	10174.88 ²⁾	5342.43	3186.27	2087.2	1463.9	1080.08	828.25	654.62	530.06	234.62	131.48
1,000	4874.98 ²⁾	1319.87	589.10	330.61	211.02	146.19	107.20	81.94	64.66	52.31	23.17	13.01

1) 燃焼半径が100mを超えるため算出不可である。

2) 各燃焼面積に対し、輻射強度がコンクリートモジュールの許容輻射入熱流束を下回り、かつ離隔距離が最も小さい値である。

表 3-5 輻射強度対比グラフ



2.2.3 高圧ガス貯蔵施設の火災・ガス爆発影響評価

福島第一原子力発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設を抽出して火災・ガス爆発影響を評価する。~~2.2.2 項と同様に、高圧ガス貯蔵施設の抽出に先立ち評価に要するパラメータを仮設定し、10km 圏内にどのような高圧ガス貯蔵施設がある場合にコンタリートモジュールに影響があるのかを評価する。~~

(1) 評価条件

火災影響評価における具体的な評価指標及び評価に必要なデータは 2.2.2 項と同様である。ガス爆発影響評価における具体的な評価指標を表 3-6-5 に、評価に必要なデータを表 3-7-6 に示す。

表 3-6-5 評価指標及び評価の観点

評価指標	内容
危険限界距離[m]	ガス爆発の爆風圧が 0.01MPa 以下になる距離 (人体に対して影響を与えない爆風圧)

表 3-7-6 評価指標及び評価の観点

評価指標	内容
石油類の K 値	コンビナート等保安規定第 5 条別表第二に掲げる数値 危険物毎に設定される定数である
貯蔵設備又は 処理設備の W 値	コンビナート等保安規定第 5 条貯蔵設備又は処理設備の区分に応じて次に掲げる数値 貯蔵設備：液化ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力（単位トン）の数値の平方根の数値（貯蔵能力が一トン未満のものにあつては、貯蔵能力（単位 トン）の数値）、圧縮ガスの貯蔵設備にあつては貯蔵能力（単位 立方メートル）を当該ガスの常用の温度及び圧力におけるガスの質量（単位トン）に換算して得られた数値の平方根の数値（換算して得られた数値が一未満のものにあつては、当該換算して得られた数値） 処理設備：処理設備内にあるガスの質量（単位 トン）の数値

—(2) 火災熱影響評価

—2.2.2 項と同様、燃焼半径及び危険距離を複数設定し、燃焼半径に対する危険距離毎の輻射強度を算出し、コンクリートモジュールの危険輻射強度を下回る条件を評価する。表 3-8 の通りガス、燃焼面積及び離隔距離を設定する。ガスの種類は外部火災影響評価ガイドに記載されているもののうち最も輻射発散度の高いエチレンを設定する。コンクリートモジュールの危険輻射強度は 2.1.2.5 項で算出した値を用いる。

表 3-8—ガス火災の評価条件

ガスの種類	エチレン
輻射発散度[kW/m ²] ^{*)}	134
燃焼面積[m ²]	1,000・10,000・50,000・100,000
離隔距離[m]	100・200・300・400・500・600・700・800・900・1,000・1,500・2,000
危険輻射強度[W/m ²]	19760

1) 附属書Bより

—燃焼半径、輻射強度の算出については 2.2.2 項と同様である。

各燃焼面積においてエチレンによる火災が発生した場合の、離隔距離ごとの輻射強度は表 3-9、表 4-0 の通り。

—燃焼面積が 100,000m² の場合、2,000m の離隔距離があれば火災による輻射強度がキャスクの許容輻射入熱流束を下回る。同様に、燃焼面積 50,000m² の場合離隔距離 300m、燃焼面積 10,000m² の場合離隔距離 200m、燃焼面積 1,000m² の場合離隔距離 100m があれば火災による熱影響は無いといえる。福島第一原子力発電所敷地外の周囲 10km 圏内の危険物貯蔵施設の設置状況については、現在調査中である。

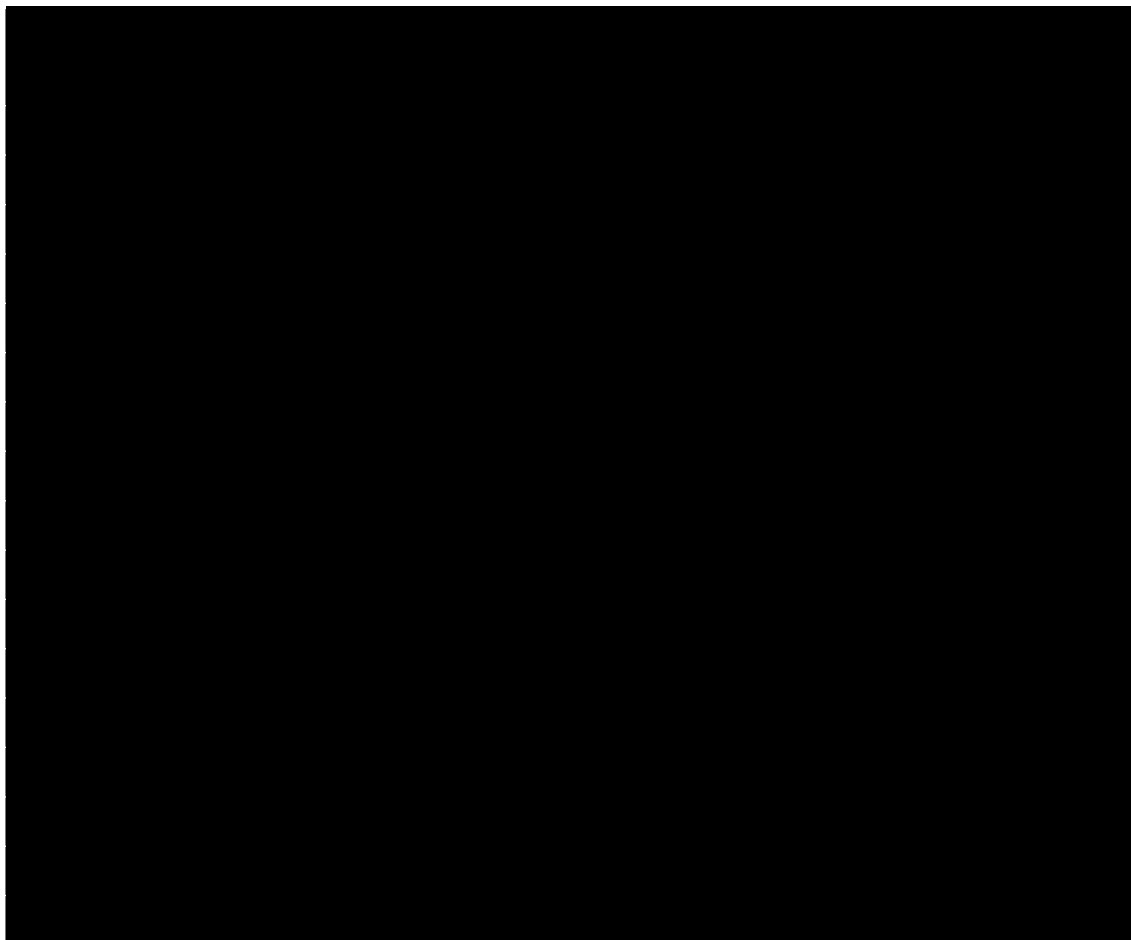
—(3) 熱影響評価結果

—2.2.2 項と同様に熱影響評価結果（温度評価）を実施する。算出方法も同様で、燃焼継続時間を改めて設定する必要があるため、敷地外の高圧ガス貯蔵施設の設置状況調査完了後に評価を行う。コンクリートモジュール内部のキャスク本体に対する熱影響についても同様。

福島第一原子力発電所から 10km 圏内の高圧ガス貯蔵施設を表 3.7 に示す。

高圧ガスの種類及び貯蔵量は調査中

表 3.7 福島第一原子力発電所から 10km 圏内に位置する高圧ガス貯蔵施設

A large black rectangular area redacting the content of Table 3.7, which lists high-pressure gas storage facilities within a 10km radius of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

福島第一原子力発電所から 10km 圏内における高圧ガス貯蔵施設の最大貯蔵量は No. の○ [] であり、福島第一原子力発電所から最短の高圧ガス貯蔵施設までの距離 No. の約○km である。仮に最短距離の高圧ガス貯蔵施設に最大貯蔵量 () があつたと仮定して熱影響評価を行う。評価条件は以下の通り。

表 3.8 高圧ガス火災の評価条件

危険物の種類	
貯蔵量[kl]	
輻射発散度[W/m ²] ¹⁾	高圧ガスの種類及び貯蔵量の調査完了後、 評価を実施する
防油堤面積[m ²]	
質量低下速度[kg/m ² ・s] ²⁾	
燃料密度[kg/m ³] ²⁾	
燃焼速度[m/s] ³⁾	

- 1) 附属書Bより
- 2) NUREG-1805 より
- 3) 燃焼速度＝質量低下速度÷燃料密度

(2) 燃焼半径の算出

燃焼面積は、防油堤面積に等しいものとする。したがって、燃焼半径 R[m]の防油堤面積を円筒の底面と仮定し算出する。

$$R = (S / \pi) 0.5$$

S : 防油堤面積 (火炎円筒の底面積) = [m²]

$$R = (\sqrt{\pi}) 0.5 = [m]$$

(3) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}, \quad v = \frac{M}{\rho} \quad \text{より}, \quad t = \frac{m}{\pi R^2 \times M}$$

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

M : 質量低下速度[kg/m²・s], ρ : 密度[kg/m³], m : 質量[kg]

ここで, m = ρ × V = [kg], M = [kg/m²・s]として, 燃焼継続時間を求めると,

$$t = \sqrt{\quad} (\times) = [s] = [h]$$

(4) 危険輻射強度の算出

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間, 一定の輻射強度でコンクリートモジュールが昇温されるものとして, 下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より, コンクリートの表面温度が 200℃となる危険輻射強度を求める。

$$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18h\sqrt{t}} + 1 \right) \frac{h}{\varepsilon E}}$$

出典 : 田中 哮義, 改訂版建築火災安全工学入門, 日本建築センター

T₀ : 初期温度[60℃], E : 輻射強度[W/m²], ε : コンクリート表面の放射率 (0.95) ※,

h : コンクリート表面熱伝達率[34.9W/m²K]※, k : コンクリート熱伝導率[1.6W/mK]

※, ρ : コンクリート密度[2200kg/m³] ※, c : コンクリート比熱[879J/kgK] ※, t : 燃焼継続時間[s]

※ : 建築設計竣工図書 原子炉建屋構造計算書

$$E = [W/m^2]$$

(5) 形態係数の算出

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

$$E_{\max} = R_f \times \phi$$

E_{\max} : 危険輻射強度[W/m²], R_f : 輻射発散度[W/m²], ϕ : 形態係数

$E_{\max} = 0$, $R_f = 0$ とすると, ϕ は0となる。

(6) 危険距離の算出

火炎から任意の位置にある点（受熱点）の形態係数は以下の式から求まる。次の式から危険距離を算出する。

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

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

ϕ : 形態係数, L : 危険距離[m], H : 火炎高さ[m], R : 燃焼半径[m]

ϕ が0と求められていることから, 危険距離Lは0[m]となる。

(7) 火災による熱影響の有無の評価

最大貯蔵量の高圧ガス貯蔵施設における危険距離は最大でも約0mであり, 離隔距離が危険距離を上回っていることを確認した。よって, 発電所敷地外の高圧ガス貯蔵施設において火災が発生した場合においてもコンクリートモジュールへの影響はない。

(8) ガス爆発影響評価

ガス爆発が発生した場合の危険限界距離を求め, キャスク仮保管設備から高圧ガス貯蔵施設への離隔距離が危険限界距離以上であることを確認する。

高圧ガスの種類及び貯蔵量の調査完了後, 評価を実施予定

表39 高圧ガス爆発の評価条件

ガスの種類	
K値 ¹⁾	
貯蔵量[t]	
W値 ²⁾	

1) 附属書Bより

2) 貯蔵設備におけるガス貯蔵能力の数値の平方根の数値

危険限界距離は以下の式より算出する。

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

X : 危険限界距離[m], λ : 換算距離 14.4[m \cdot kg^{-1/3}], K : 石油類の定数, W : 設備定数

X =

表 3 9 の条件において、危険限界距離は〇m となる。〇〇ガス貯蔵量〇t 規模のガス貯蔵設備のガス爆発の場合で〇m の離隔距離があれば、爆風圧はコンクリートモジュールに影響を与えない。

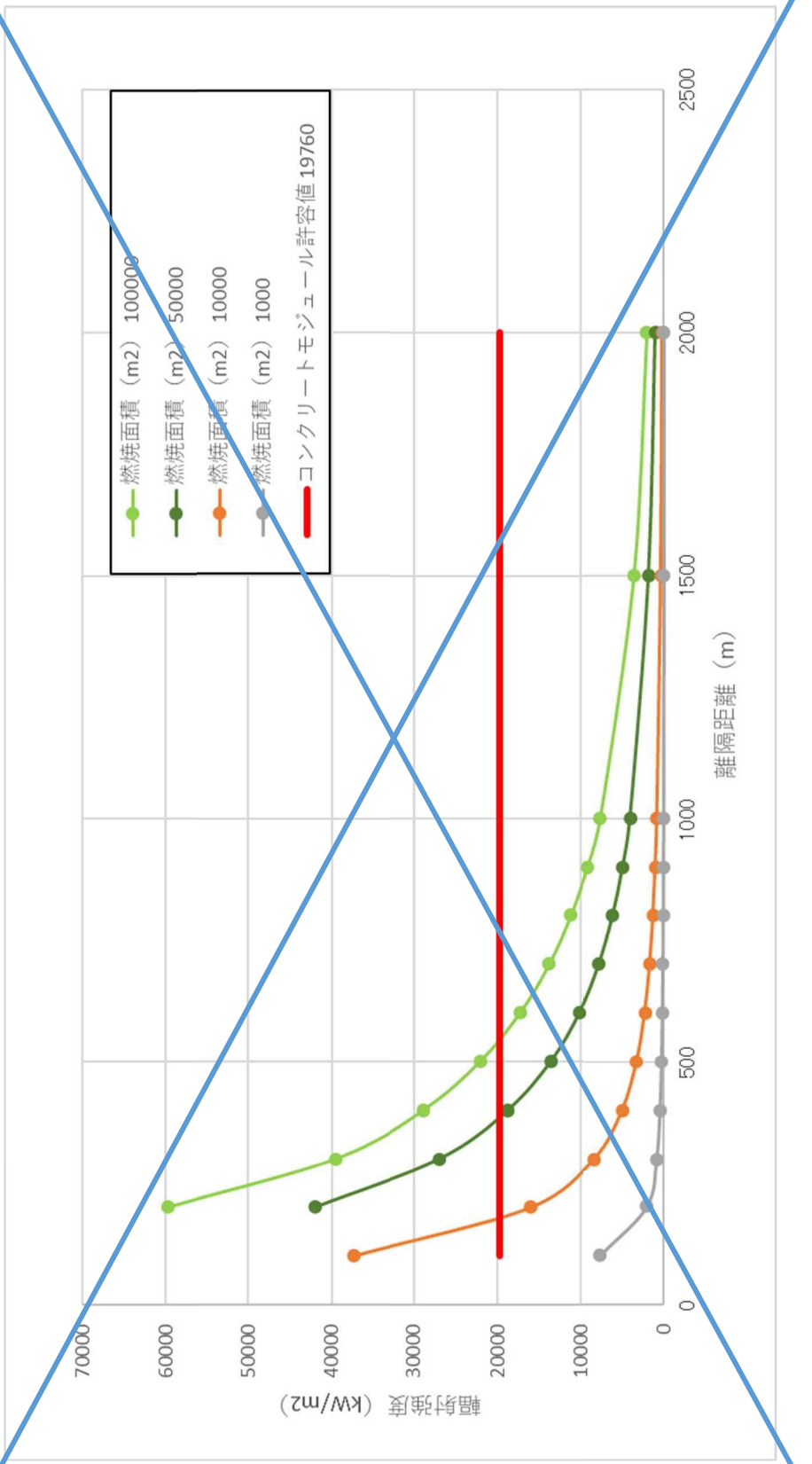
表 3-9 輻射強度対比表

燃焼面積 (m^2)	離隔距離 (m)										
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500
100,000	59762.55	39540.45	28885.11	22064.37	17289.17 ¹⁾	13802.60	11196.51	9214.90	7685.25	3640.69	2080.74
50,000	42042.4	26975.56	18754.89 ²⁾	13591.97	10169.05	7822.32	6166.08	4965.33	4073.04	1852.44	1044.90
10,000	37404.22	16040.40 ²⁾	8422.18	5023.05	2307.79	1702.71	1305.71	1031.99	835.63	369.87	207.28
1,000	7685.25 ²⁾	2080.74	928.69	521.20	230.47	168.99	129.17	101.93	82.47	36.52	20.50

1) 燃焼半径が100mを超えるため算出不可である。

2) 各燃焼面積に対し、輻射強度がコンタリートモジュールの許容輻射入熱流束を下回り、かつ離隔距離が最も小さい値である。

表4-0 輻射強度対比グラフ



~~(3) ガス爆発影響評価~~

~~ガス爆発が発生した場合の危険限界距離を求め、キャスタ仮保管設備から高圧ガス貯蔵施設への離隔距離が危険限界距離以上であることを確認する。本評価においては、福島第一原子力発電所から約11kmの地点に規模の大きい高圧ガス貯蔵施設があることが調査により判明しているため、この施設を参考に評価を行う。~~

~~表4-1の通り評価条件を設定する。火災と同様にエチレンが貯蔵されていると仮定する。貯蔵量は上記の高圧ガス貯蔵施設を参考に33tとする。~~

表4-1 高圧ガス爆発の評価条件

ガスの種類	エチレン
K値 ²⁾	1,130,000
貯蔵量[t]	33
W値 ²⁾	5.745

1) 附属書Bより

2) 貯蔵設備におけるガス貯蔵能力の数値の平方根の数値

~~危険限界距離は以下の式より算出する。~~

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

~~X: 危険限界距離[m], λ : 換算距離14.4[m \cdot kg^{-1/3}], K: 石油類の定数, W: 設備定数~~

$$X = 107.45$$

~~表4-1の条件において、危険限界距離は107.45mとなる。エチレン貯蔵量33t規模のガス貯蔵設備のガス爆発の場合で200mの離隔距離があれば、爆風圧はコンクリートモジュールに影響を与えない。福島第一原子力発電所敷地外の周囲10km圏内の高圧ガス貯蔵施設の設置状況については、現在調査中である。~~

2.3 航空機墜落による火災

航空機墜落に伴う火災で評価する内容は、ガイドの付属書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」に基づき、評価を実施する。

2.3.1 航空機墜落の火災影響評価

航空機落下確率評価では、評価手法及び対象航空機の大きさの違いを考慮して落下確率を求めている。火災の影響は対象航空機の燃料積載量に大きく依存することから、別紙1に示すとおり、大型航空機と小型航空機に分類し、また、民間航空機と自衛隊航空機又は米軍航空機（以下、軍用航空機とする）に分類し以下のカテゴリごとに火災影響評価を実施する。

表4-2-40 航空機の分類

落下事故カテゴリ		分類
(1) 計器飛行方式民間航空機	1) 飛行場での離着陸時	—注1
	2) 航空路を巡航中	(1) 大型民間航空機
(2) 有視界飛行方式民間航空機		
(3) 自衛隊機又は米軍機	1) 訓練空域外を飛行中	(3) 大型軍用航空機
	2) 基地—訓練空域間往復時	(4) 小型軍用航空機
		—注2

注1：福島第一原子力発電所は、福島空港からの最大離着陸地点以遠に位置するため対象外（別紙2）

注2：福島第一原子力発電所は、基地—訓練空域間の往復の想定範囲内に入らないため対象外

(1) 航空機墜落の火災の想定

- 航空機は、福島第一原子力発電所における航空機落下評価の対象航空機のうち燃料積載量が最大の機種とする。
- 航空機は燃料を満載した状態を想定する。
- 航空機の落下は発電所敷地内であって落下確率が 10^{-7} [回/炉・年] 以上になる範囲のうちキャスク仮保管設備への影響が最も厳しくなる地点で起こることを想定する。
- 航空機の落下によって燃料に着火し火災が起こることを想定する。
- 気象条件は無風状態とする。
- 火災は円筒火炎をモデルとし、火炎の高さは燃焼半径の3倍とする。

表4-3-4 1 燃料積載量が最大の機種

分類	航空機	選定理由
大型民間航空機 (固定翼, 回転翼)	A380	民間の大型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
小型民間航空機 (固定翼, 回転翼)	Do228-200	民間の小型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
大型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)	KC-767 (空中給油機)	主要自衛隊航空機(別紙3)の大型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定
小型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)	UH-2	主要自衛隊航空機(別紙3)の小型航空機の中で燃料積載量が最大規模のものを選定

(2) 評価手法の概要

本評価は、福島第一原子力発電所に対する航空機墜落の火災影響の有無の評価を目的としている。具体的な評価指標とその内容を以下に示す。

表4-4-4 2 評価指標及びその内容

評価指標	内容
輻射強度[W/m ²]	火災の炎から任意の位置にある点(受熱点)の輻射強度
形態係数[-]	火炎と受熱面との相対位置関係によって定まる係数
燃焼半径[m]	航空機燃料タンクの投影面積より求めた燃焼半径
燃焼継続時間[s]	火災が終了するまでの時間
離隔距離[m]	キャスク仮保管設備を中心にして落下確率が10 ⁻⁷ [回/炉・年]以上になる地点とその地点からキャスク仮保管設備までの直線距離
許容温度[°C]	想定火災に対しキャスク仮保管設備外壁コンクリートモジュール壁面が熱影響のない温度

上記の評価指標は、受熱面が輻射帯の底部と同一平面上にあると仮定して評価する。油の液面火災では、火炎面積の半径が3mを超えると空気供給不足により大量の黒煙が発生し輻射発散度が低減するが、本評価では保守的な判断を行うために、火災規模による輻射発散度の低減がないものとする。

航空機落下による火災の輻射熱に対するキャスク仮保管設備外壁コンクリートモジュール壁面の表面温度が許容温度を超えないこと及びキャスク本体への熱影響がないことを評価する。

(3) 評価対象範囲

評価対象範囲は、発電所敷地内であって落下確率が10⁻⁷ [回/炉・年] 以上になる範

圏のうちキャスク仮保管設備への影響が最も厳しくなる区域とすることから、福島第一原子力発電所における航空機落下確率評価の対象航空機を、大型民間航空機、小型民間航空機、大型軍用航空機、小型軍用航空機に分類し、それぞれの機種の落下確率の合計が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積を算出し、その結果からキャスク仮保管設備からの離隔距離を以下のとおり算出する。

(4) 標的面積の算出

a. 大型民間航空機及び小型民間航空機の標的面積の算出

(a) 計器飛行方式民間航空機の航空路を巡航中の落下事故

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

P_c : 対象施設への巡航中の航空機落下確率[回/年]

N_c : 評価対象とする航空路等の年間飛行回数[飛行回/年]

A : キャスク仮保管設備の標的面積[km²]

W : 航空路幅[km]

$f_c = G_c / H_c$: 単位飛行距離当たりの巡航中の落下事故率[回/飛行回・km]

G_c : 巡航中事故件数[回]

H_c : 延べ飛行距離[飛行回・km]

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表4-5-4-3 標的面積の算出結果

設備名称 パラメータ	福島第一原子力発電所 キャスク仮保管設備		
	広域航法経路 (Y30)	直行経路 MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE)	直行経路 SENDAI (SDE) - IWAKI (IXE)
対象航空路 ^{注1}			
N_c ^{注2}	9490	182.5	365
A ^{注3}	0.01	0.01	0.01
W ^{注4}	18.52	14.816	14.816
f_c ^{注5}	0.5/11,759,413,566 = 4.25×10^{-11}		
P_c	2.18×10^{-10}	5.24×10^{-12}	1.05×10^{-11}
P_c (合計)	2.34×10^{-10}		

注1 : 福島第一原子力発電所周辺の航空図 (AIPエンルートチャート) による。(別紙4)

注2 : 国土交通省航空局への問合せ結果 (ピークデイの値) を365倍した値。ただし、令和4年のピークデイにおける飛行回数が0回の場合は、保守的に0.5回とみなし、年間182.5回とする。(別紙5)

□内の値は最新の情報に合わせ評価中

注3：キャスク仮保管設備の水平面積の合計値は0.01km²以下であるので標的面積は0.01km²とする。（別紙6）

注4：「飛行方式設定基準」による。

注5：巡航中事故件数は、平成13年～令和2年の間で0件のため、保守的に0.5件とする。延べ飛行距離は、平成13年～令和2年の「航空輸送統計年報、第1表 総括表、1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内の値を合計した値。（別紙7）

(b) 有視界飛行方式民間航空機の落下事故

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

P_v ：対象施設への航空機落下確率[回/年]

f_v ：単位年当たりの落下事故率[回/年]

S_v ：全国土面積[km²]

A ：キャスク仮保管設備の標的面積[km²]

α ：対象航空機の種類による係数

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表4-6-4-4 落下確率の算出結果

パラメータ	大型固定翼機	大型回転翼機	小型固定翼機	小型回転翼機
f_v 注	0.5/20=0.025 注2	1/20=0.05	22/20=1.1	17/20=0.85
S_v 注	372,000			
α 注	1.0	1.0	0.1	0.1
A	0.01	0.01	0.01	0.01
P_v	6.72×10^{-10}	1.34×10^{-9}	2.86 2.96×10^{-9}	2.28×10^{-9}
P_v (合計)	7.26×10^{-9}			

注：「NTEN-2023-2001 NRA技術ノート 航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ）による。

以上より、

大型民間航空機の落下確率（ P_c （計器飛行方式）+ P_v （大型固定翼機）+ P_v （大型回転翼機））が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積 A_1 [km²]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A_1 = 10^{-7} \div (2.34 \times 10^{-10} + 6.72 \times 10^{-10} + 1.34 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.445 \text{ [km}^2\text{]}$$

小型民間航空機の落下確率（ P_v （小型固定翼機）+ P_v （小型回転翼機））が 10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積 A_2 [km²]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A2 = 10^{-7} \div (2.862.96 \times 10^{-9} + 2.28 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.191 [\text{km}^2]$$

b. 大型軍用航空機及び小型軍用航空機の標的面積の算出

福島第一原子力発電所の上空には訓練空域がないため、軍用航空機の落下確率Psoを求める式は、以下のとおりとなる。

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

Pso：訓練空域外での対象施設への航空機落下確率[回/年]

fso：単位年当たりの訓練空域外落下事故率[回/年]

So：全国土面積から全国の陸上の訓練空域の面積を除いた面積[km²]

A：キャスク仮保管設備の標的面積[km²]

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表4-7-4-5 落下確率の算出結果

パラメータ	大型自衛隊機	大型米軍機	小型自衛隊機	小型米軍機
fso ^注	4/20=0.2	3/20=0.15	11/20=0.55	1/20=0.05
So ^注	294,000	371,500	294,000	371,500
A	0.01	0.01	0.01	0.01
Pso	6.80×10 ⁻⁹	4.03×10 ⁻⁹	1.87×10 ⁻⁸	1.34×10 ⁻⁹
Pso (合計)	3.09×10 ⁻⁸			

注：「NTEN-2023-2001 NRA技術ノート 航空機落下事故に関するデータ（平成13～令和2年）」（令和5年3月 原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ）による。

以上より、

□内の値は最新の情報に合わせ評価中

大型軍用航空機の落下確率（Pso（大型自衛隊機）+Pso（大型米軍機））が10⁻⁷[回/炉・年]となる標的面積A3[km²]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A3 = 10^{-7} \div (6.80 \times 10^{-9} + 4.03 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.092 [\text{km}^2]$$

小型軍用航空機の落下確率（Pso（小型自衛隊機）+Pso（小型米軍機））が10⁻⁷[回/炉・年]となる標的面積A4[km²]を計算すると以下のとおりとなる。

$$A4 = 10^{-7} \div (1.87 \times 10^{-8} + 1.34 \times 10^{-9}) \times 0.01 = 0.050 [\text{km}^2]$$

(5) キャスク仮保管設備からの離隔距離の算出

(4)で求めた面積が、評価対象となるキャスク仮保管設備コンクリートモジュール外壁面から等距離の離隔をとった場合の標的面積と等しくなる距離を離隔距離L[m]とし、離隔距離Lを算出した結果を以下に示す。また、各航空機の離隔距離を図5-8-43に示す。

評価値は最新の情報に合わせ評価

表4-8-46 キャスク仮保管設備からの離隔距離の算出結果

項目		大型 民間航空機	小型 民間航空機	大型 軍用航空機	小型 軍用航空機
対象航空機		A380	Do228-200	KC-767	UH-2
キャスク仮保管設備	コンクリートモジュール外壁面までの離隔距離[m]	322	193	119	74

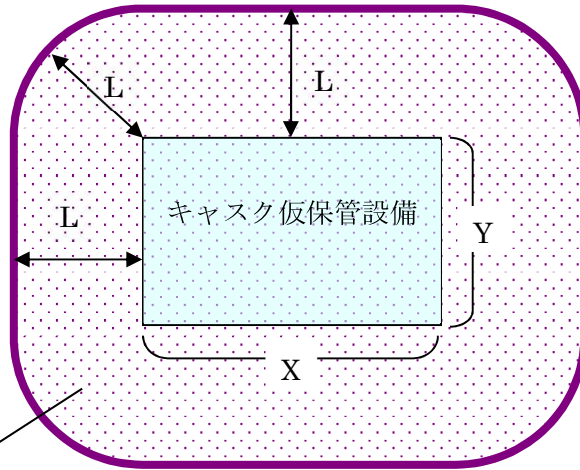
※：航空機墜落による危険物貯蔵施設の重畳火災も考慮し、キャスク仮保管設備から最も近い屋外危険物取扱設備の離隔距離(181m)位置に危険物屋外貯蔵所があると仮定し、重畳評価を実施する。



図5-8-43 各航空機の墜落位置

図及び評価値は最新の情報に合わせて評価中

10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積の考え方は、以下のとおり。



10^{-7} [回/炉・年]となる標的面積=S

図-5-9-4 4 標的面積の考え方

キャスク仮保管設備外壁面から等距離の離隔をとり、 10^{-7} [回/炉・年]となる標的
面積をSとした場合、以下の式が成り立つ。

$$S = XY + 2LX + 2LY + \frac{\pi L^2}{4} \times 4$$

$$\pi L^2 + 2(X + Y)L + XY - S = 0$$

二次方程式の解の公式より、以下の式となる。

$$L = \frac{-(X + Y) + \sqrt{(X + Y)^2 - \pi(XY - S)}}{\pi}$$

(6) 必要データ

評価に必要なデータを以下に示す。下表に示すとおり、小型民間航空機は大型軍用航空機と比べ輻射発散度が小さく、燃料タンク面積も小さく、離隔距離も離れていることから大型軍用航空機の評価に包絡される。

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表-4-9-47 航空機火災影響評価に必要なデータ

項目	大型 民間航空機	小型 民間航空機	大型 軍用航空機	小型 軍用航空機
想定する航空機	A380	Do228-200	KC-767	UH-2
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	320	2.39	145.03	1.87
輻射発散度[kW/m ²]	50	50	58	58
燃焼速度[m/s]	6.666×10 ⁻⁵ 6.67×10 ⁻⁵	6.666×10 ⁻⁵ 6.67×10 ⁻⁵	6.710×10 ⁻⁵ 6.71×10 ⁻⁵	6.710×10 ⁻⁵ 6.71×10 ⁻⁵
燃料タンク面積[m ²]	871	27	295	17
キャスク仮保管設備外壁 面までの離隔距離[m]	322	193	119	74

※出典については、参考資料1参照

(7) 燃焼半径の算出

航空機墜落による火災においては墜落の状況によって、様々な燃焼範囲の形態が想定されるが、円筒火炎モデルとして評価を実施するため、燃焼半径は対象とした航空機燃料タンクの投影面積を円筒の底面と仮定して以下のとおり算出する。

$$R = (S/\pi)^{0.5}$$

R：燃焼半径[m]

S：燃料タンク投影面積（火炎円筒の底面積）

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表-5-0-48 燃焼半径の算出結果

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
想定する航空機	A380	KC-767	UH-2
燃料タンク面積[m ²]	871	295	17
燃焼半径[m]	16.7	9.69	2.33

(8) 形態係数の算出

次の式から形態係数を算出する。

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

ただし、

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

ϕ : 形態係数

L : 離隔距離 [m]

H : 火炎高さ [m]

R : 燃焼半径 [m]

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表 5-1-49 形態係数の算出結果

項目		大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
燃焼半径 [m]		16.7	9.69	2.33
キャスク仮 保管設備外 壁面	離隔距離 [m]	322	119	74
	形態係数	0.005235 0.004731	0.012968 0.011102	0.001924 0.001807

(9) 輻射強度の算出

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、輻射発散度に形態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \phi$$

E : 輻射強度

R_f : 輻射発散度

ϕ : 形態係数

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表 5-2-50 輻射強度の算出結果

項目		大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射発散度 [kW/m ²]		50	58	58
兼用キャス ク外壁面	形態係数	0.005235 0.004731	0.012968 0.011102	0.001924 0.001807
	輻射強度 [W/m ²]	261.78 236.56	752.15 643.92	111.57 104.83

(10) 燃焼継続時間の算出

燃焼継続時間は、燃料量を燃焼面積と燃焼速度で割った値になる。

$$t = \frac{V}{\pi R^2 \times v}, \quad v = \frac{M}{\rho} \quad \text{より,} \quad t = \frac{V \times \rho}{\pi R^2 \times M}$$

t : 燃焼継続時間[s]

V : 燃料積載量[m³]

R : 燃焼半径[m]

v : 燃焼速度[m/s]

M : 質量低下速度[kg/m²・s]

ρ : 密度[kg/m³]

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表 5-3-5 1 燃焼継続時間の算出結果

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
燃料量[m ³]	323	145.03	1.87
燃料タンク面積 πR ² [m ²]	871	295	17
質量低下速度[kg/m ² ・s]	0.054	0.051	0.051
燃料密度[kg/m ³]	810	760	760
燃焼速度[m/s]	6.666 × 10⁻⁵ 6.67 × 10 ⁻⁵	6.710 × 10⁻⁵ 6.71 × 10 ⁻⁵	6.710 × 10⁻⁵ 6.71 × 10 ⁻⁵
燃焼継続時間[hour]	1.53	2.04	0.46

※出典については、参考資料-2 参照

(11) 評価結果

a. ~~キャスク仮保管設備~~コンクリートモジュール外壁の耐火性能評価

(a) 許容温度

本評価で用いる許容温度については、一般的にコンクリートの強度に影響がないとされる200℃※とする。

※原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，財団法人 日本建築センター

(b) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度で~~キャスク仮保管設備~~コンクリートモジュール外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容温度以下であるか評価を実施する。

$$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18 h \sqrt{t}} + 1 \right) \frac{h}{\varepsilon E}}$$

出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

T_0 ：初期温度 [~~50~~60℃]

E：輻射強度 [W/m²]

ε ：コンクリート表面の放射率 (0.95)，

h：コンクリート表面熱伝達率 [34.9W/m²K]，

k：コンクリート熱伝導率 [1.6W/mK]，

ρ ：コンクリート密度 [2200kg/m³]，

c：コンクリート比熱 [879J/kgK]，

t：燃焼継続時間 [s]

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表-5-4-5-2 キャスク仮保管設備外壁面の温度評価結果

項目	大型民間航空機	大型軍用航空機	小型軍用航空機
輻射強度[W/m ²]	261.78	752.15	111.57
	236.56	643.92	104.83
燃焼継続時間[hour]	1.53	2.04	0.46
表面温度[℃]	5565	6472	5262

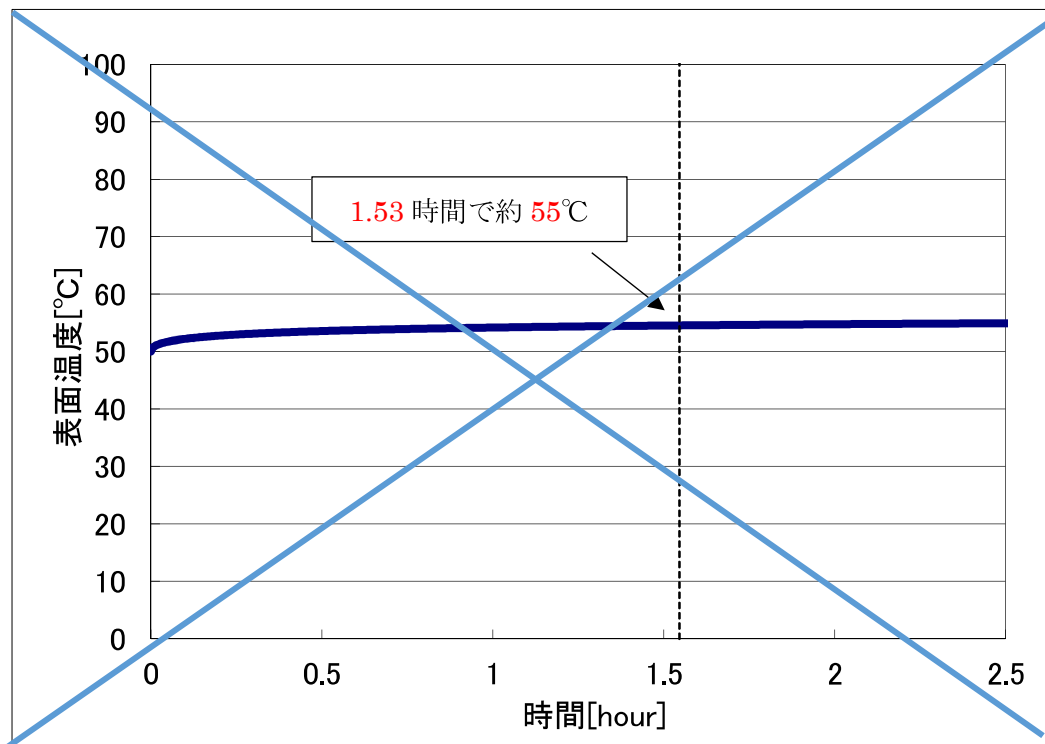


図 6 0 外壁面温度推移 (大型民間航空機)

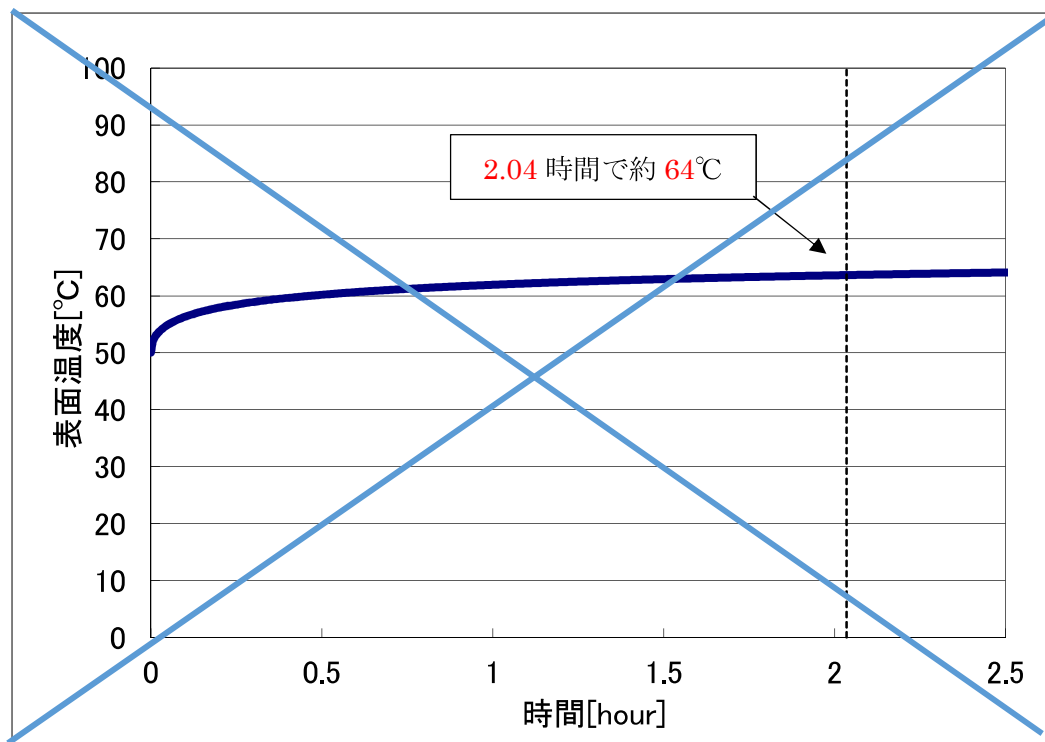


図 6 1 外壁面温度推移 (大型軍用航空機)

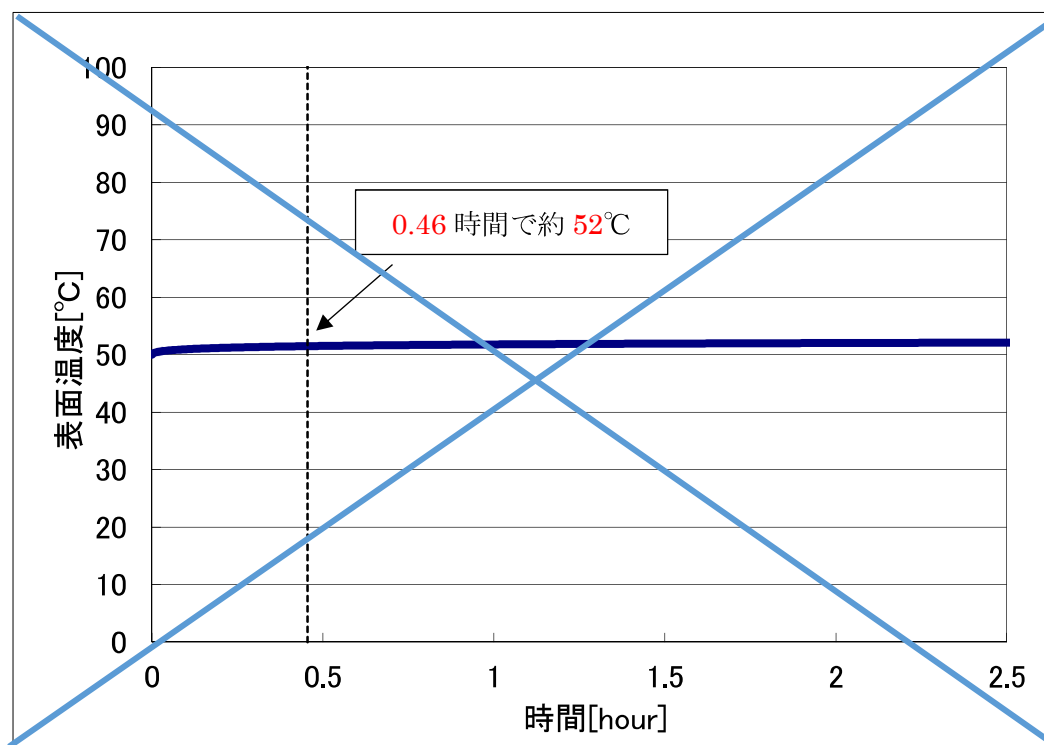


図 6 2 外壁面温度推移 (小型軍用航空機)

図及び評価値は最新の情報に合わせ評価中

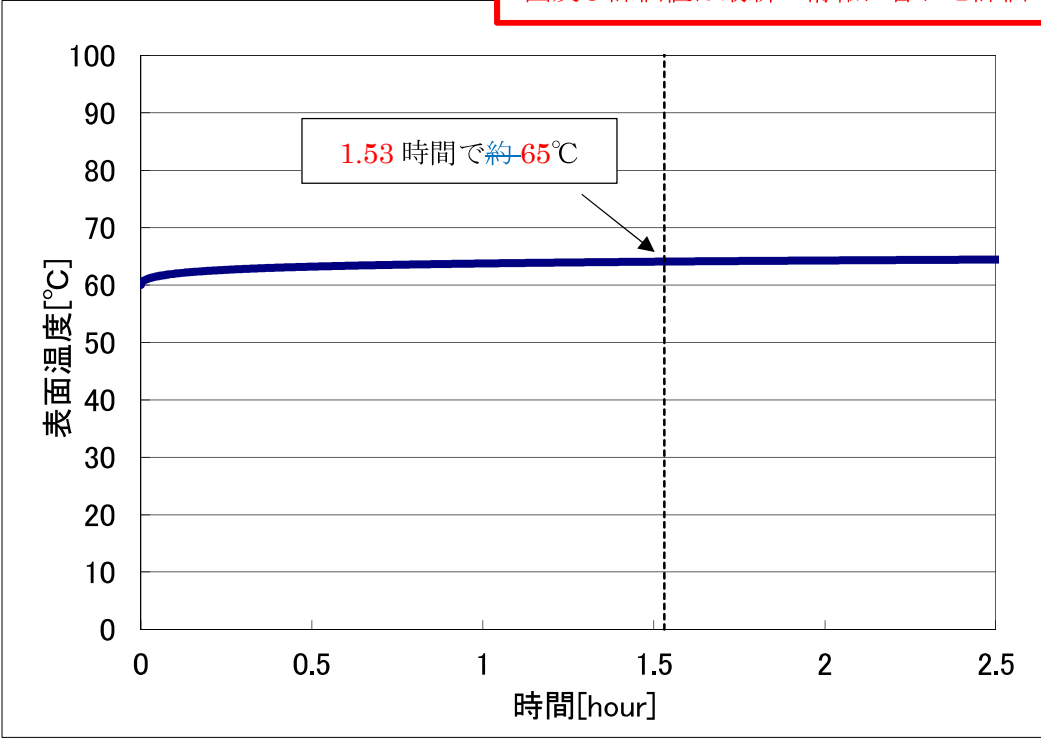


図6-0-45 コンクリートモジュール外壁面温度推移（大型民間航空機）

図及び評価値は最新の情報に合わせ評価中

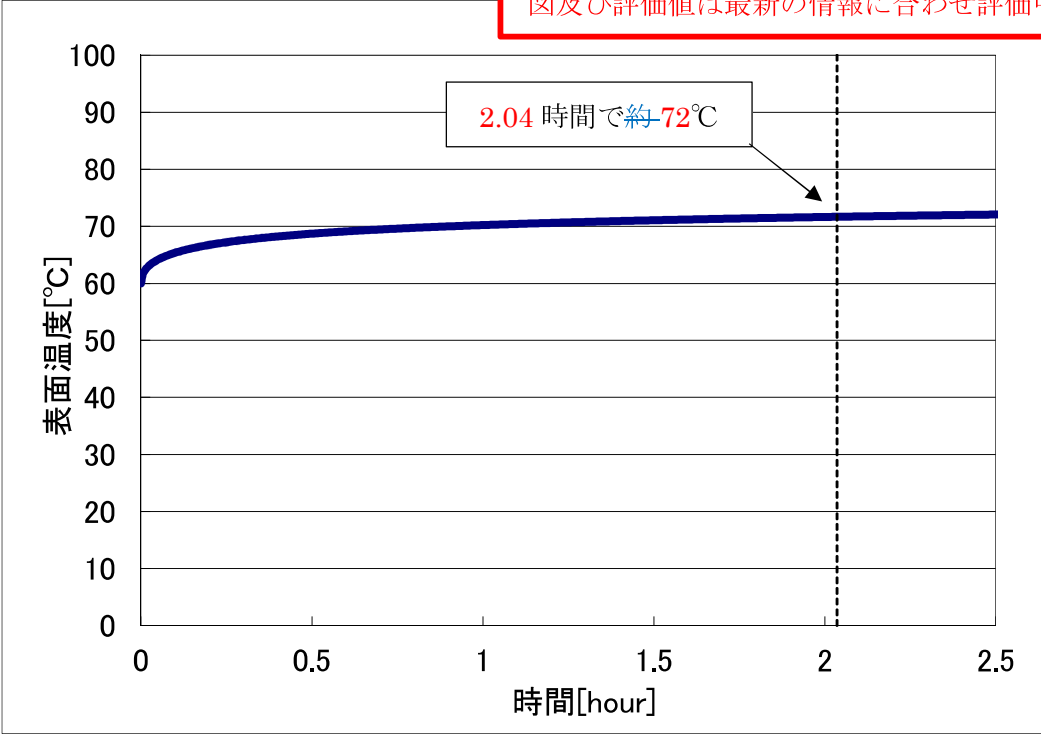


図6-1-46 コンクリートモジュール外壁面温度推移（大型軍用航空機）

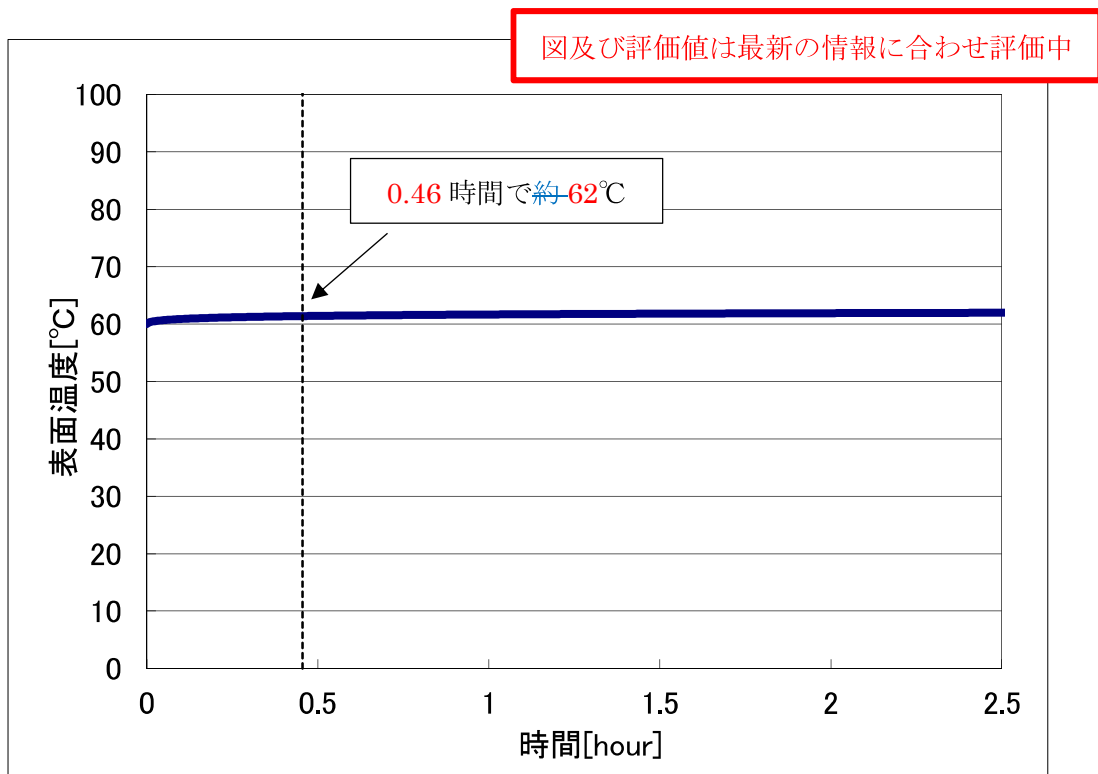


図-6-2-47 コンクリートモジュール外壁面温度推移（小型軍用航空機）

(12) 航空機墜落火災と危険物貯蔵設備火災の重畳

a. 重畳する危険物貯蔵設備の選定

航空機火災が発生した場合に重畳を考慮する危険物貯蔵設備を検討する。航空機落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる航空機墜落位置とその周辺の危険物施設位置を図6-3に示す。廃止措置作業に伴う敷地内のレイアウト変更も加味し、キャスク仮保管設備から最も近いNo. 1危険物屋外貯蔵所B (181m)に、福島第一発電所構内で現実的に大容量保管され、かつ、放射発散度が大きいガソリンが、最も危険物を内包する設備 (No. 2危険物屋外貯蔵所)、かつ、最も広い床面積 (No. 1～No. 10気絶縁油タンクの堰の総面積) で設置されたとして、評価を実施する。

キャスク仮保管設備から181m範囲で航空機落下が想定される機種は小型軍用航空機、大型軍用航空機であり、キャスク仮保管設備への熱影響は大型軍用航空機の方が大きい。よって大型軍用航空機(KC-767)が落下した際に、ガソリン火災が重畳すると仮定し熱影響評価を実施する。なお、航空機落下位置は、航空機落下火災による影響が最も厳しくなるよう落下確率が 10^{-7} [回/炉・年]となる位置とする。

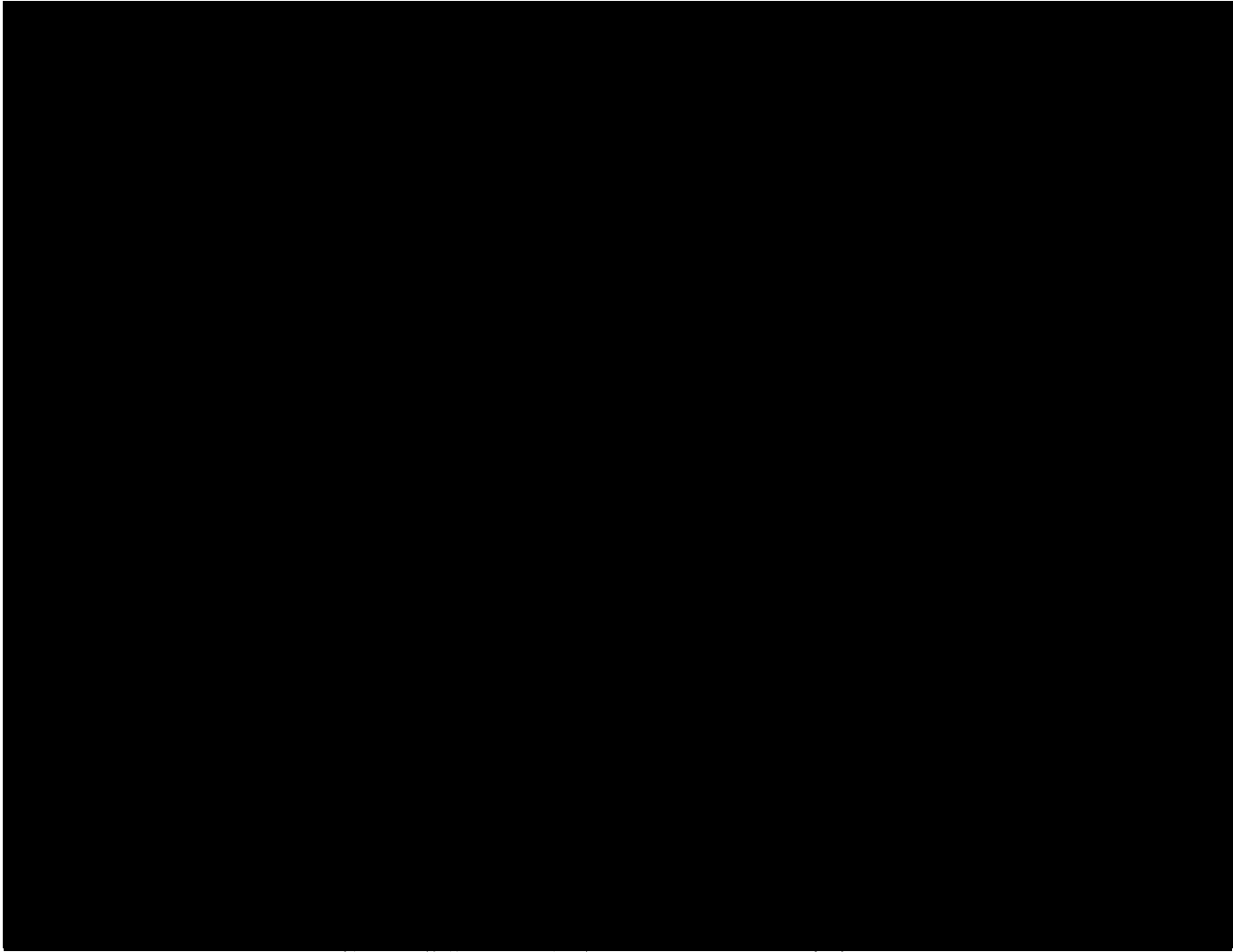


図6-3-4 8 航空機墜落位置と危険物タンクの重畳を考慮する位置

b. キャスク仮保管設備に対する影響評価 ~~(ガソリントankとの重畳)~~

- (a) ~~キャスク仮保管設備の受熱量~~コンクリートモジュール外壁面温度評価
 評価に必要なデータは以下のとおり。

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表 ~~5-5-3~~ 5.3 ガソリントank火災影響評価に必要なデータ

項目	ガソリントank	大型軍用航空機 (KC-767)
燃料の種類	ガソリン	JP-4
燃料量[m ³]	1488	145.03
輻射発散度[kW/m ²]	58	58
燃焼速度[m/s]	6.711 ×10 ⁻⁵ 6.71×10 ⁻⁵	6.711 ×10 ⁻⁵ 6.71×10 ⁻⁵
燃焼面積[m ²]	676	295
燃焼半径[m]	14.67 14.7	9.69
キャスク仮保管設備までの距離[m]	181	119
燃焼継続時間[hour]	9.11	2.04

次の式から形態係数を算出する。

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

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

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

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表 ~~5-6-5~~ 6.4 形態係数の算出結果

項目	ガソリントank	大型軍用航空機 (KC767)
キャスク仮保管設備までの距離[m]	181	119
燃焼半径 R[m]	14.67 14.7	9.69
形態係数	0.019346	0.012968 0.011102

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、輻射発散度に形態係数をかけた値となる。次式から輻射強度を算出する。

$$E = R_f \times \phi$$

E：輻射強度

R_f：輻射発散度

φ：形態係数

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表5-7-5-5 輻射強度の算出結果

項目	ガソリントank	大型軍用航空機 (KC-767)
輻射発散度[kW/m ²]	58	58
形態係数	0.019346	0.012968 0.011102
輻射強度[W/m ²]	1122.09	752.15643.92

ここで重量を考慮した場合、航空機墜落による火災と同時にガソリントankが延焼する場合は輻射強度が大きくなり、航空機が落下後時間においてガソリントankが発火する場合は燃焼継続時間が大きくなることから、それらを包絡するように、評価を実施する（図6-4-4-9）

□内の値は最新の情報に合わせ評価中

航空機とガソリントankが同時に延焼する場合の輻射強度Eは、以下のとおり。

$$E = 1122.09 \text{ (ガソリントank)} + 752.15643.92 \text{ (大型軍用航空機)}$$

$$= 1874.241766.01$$

航空機が墜落後時間においてガソリントankが発火する場合の最大の燃焼継続時間tは、以下のとおり。

$$t = 9.11 \text{ (ガソリントank)} + 2.04 \text{ (大型軍用航空機)}$$

$$t = 11.15 \text{ [時間]}$$

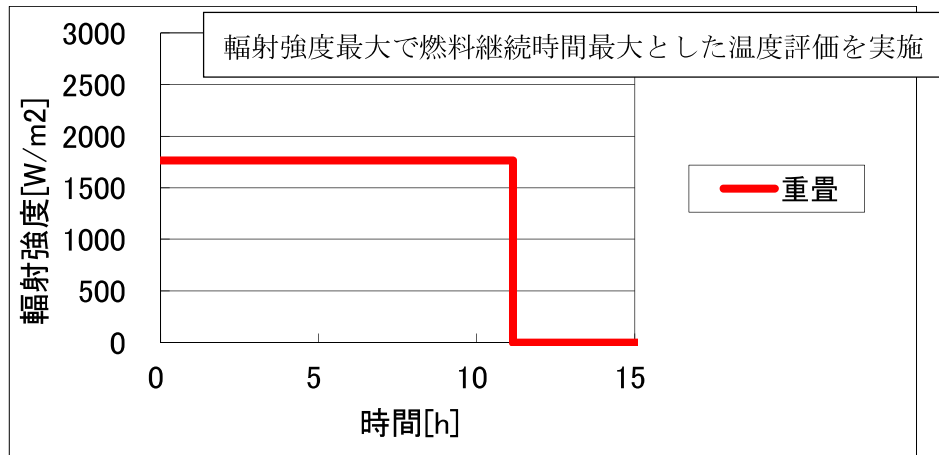
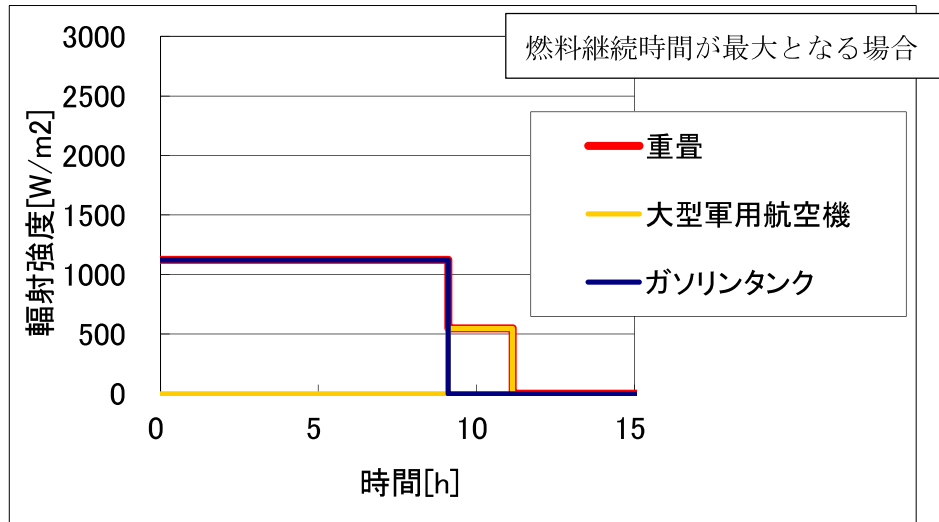
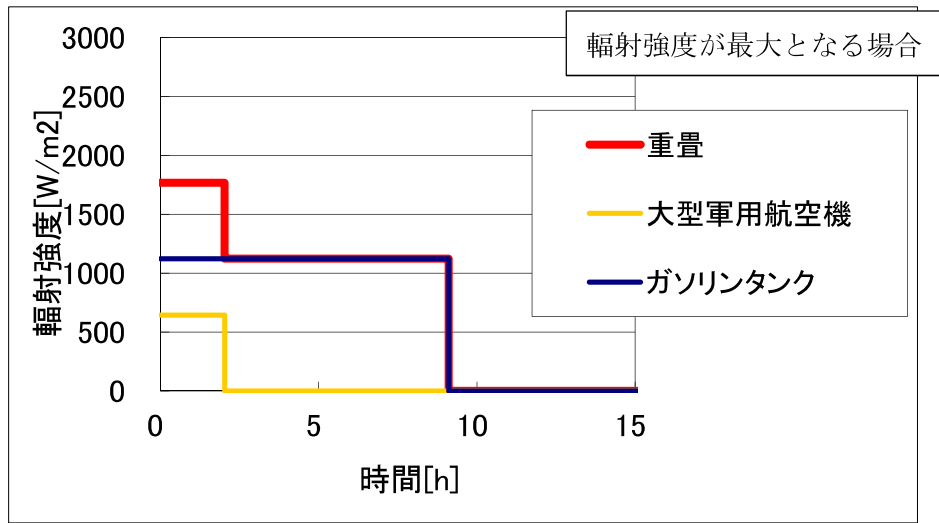


図-6-4-4-9 重畳を考慮した場合の輻射強度及び燃料継続時間の関係

図及び評価値は最新の情報に合わせ評価中

(b) 耐火性能の評価結果

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でキャスク仮保管設備外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式の解の式より、コンクリートの表面の温度上昇を求め、コンクリートの表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施する。

$$T_s = T_0 + \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{k\rho c}}{1.18 h \sqrt{t}} + 1 \right) \frac{h}{\epsilon E}}$$

出典：原田和典，建築火災のメカニズムと火災安全設計，日本建築センター

T_0 ：初期温度 [50°C]，E：輻射強度 [W/m²]，ε：コンクリート表面の放射率 (0.95)，
h：コンクリート表面熱伝達率 [34.9W/m²K]，k：コンクリート熱伝導率 [1.6W/mK]，
ρ：コンクリート密度 [2200kg/m³]，c：コンクリート比熱 [879J/kgK]，t：燃焼
継続時間 [s]

表 5-8 キャスク仮保管設備外壁面の温度評価結果

項目	ガンリタンクと航空機の重畳
輻射強度[W/m ²]	1874.24 (-1122.09+752.15)
燃焼継続時間[hour]	11.15 (-9.11+2.04)
表面温度[°C]	93

火災が発生した時間から燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でコンクリートモジュール外壁が昇温されるものとして、下記の一次元非定常熱伝導方程式より、コンクリートの外表面の温度上昇を求め、コンクリートの外表面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施する。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

T：温度

t：時刻

x：建物壁内における外壁面からの距離

α：熱拡散率

以下に評価結果を示す。

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表 5 6 コンクリートモジュール外壁面の温度評価結果

項目	ガソリントankと航空機の重畳
輻射強度[W/m ²]	1766.01 (=1122.09+643.92)
燃焼継続時間[hour]	11.15 (=9.11+2.04)
外壁面表面温度[°C]	96

評価の結果、コンクリートモジュール外壁面温度は96°Cとなり、許容限界温度を下回ることから、熱影響はない。

(b) コンクリートモジュール内壁面温度評価

火災が発生した時間から、燃料が燃え尽きるまでの間、一定の輻射強度でコンクリートモジュール外壁が昇温されるものとして、コンクリートモジュール内壁の温度上昇を求め、コンクリートの内壁面温度が許容限界温度以下であるか評価を実施する。

評価に必要なパラメータを示す。

評価値は最新の情報に合わせ評価中

表 5 7 航空機火災影響評価に必要なパラメータ

項目	パラメータ	備考
外気温度[°C]	60	コンクリートモジュールの除熱評価における屋根面最高温度(59.6°C)を切り上げた値。
外壁面熱伝達率[W/m ² K]	34.88375	コンクリートの外壁面熱伝達率
内壁面熱伝達率[W/m ² K]	3.488375	コンクリートの内壁面熱伝達率
壁の熱伝導率[W/mK]	1.6279	コンクリートの熱伝導率
熱拡散率[m ² /s]	8.42×10 ⁻⁷	コンクリートの熱拡散率
壁厚[m]	0.2	-

以下の式に示す一次元非定常熱伝導方程式を用いて、コンクリートモジュール内壁面温度を求める。

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2}$$

T : 温度

t : 時刻

x : 建物壁内における外壁面からの距離

α : 熱拡散率

以下に評価結果を示す。

図及び評価値は最新の情報に合わせ評価中

表 5 8 コンクリートモジュール内壁面の温度評価

項目	危険物タンクと航空機の重畳
輻射強度[W/m ²]	1766.01 (=1122.09+643.92)
燃焼継続時間[hour]	11.15 (=9.11+2.04)
内壁面温度[°C]	87

評価の結果、コンクリートモジュール内壁面温度は87°Cとなり、許容限界温度を下回ることから、熱影響はない。

図及び評価値は最新の情報に合わせ評価中

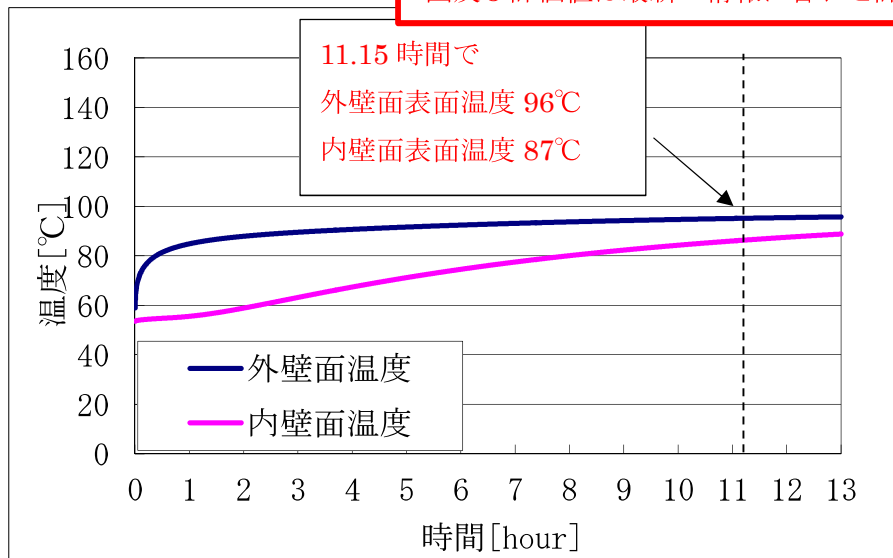


図 5 0 コンクリートモジュール外壁及び内壁面温度推移
(大型軍用航空機墜落火災とガソリタンク火災の重畳)

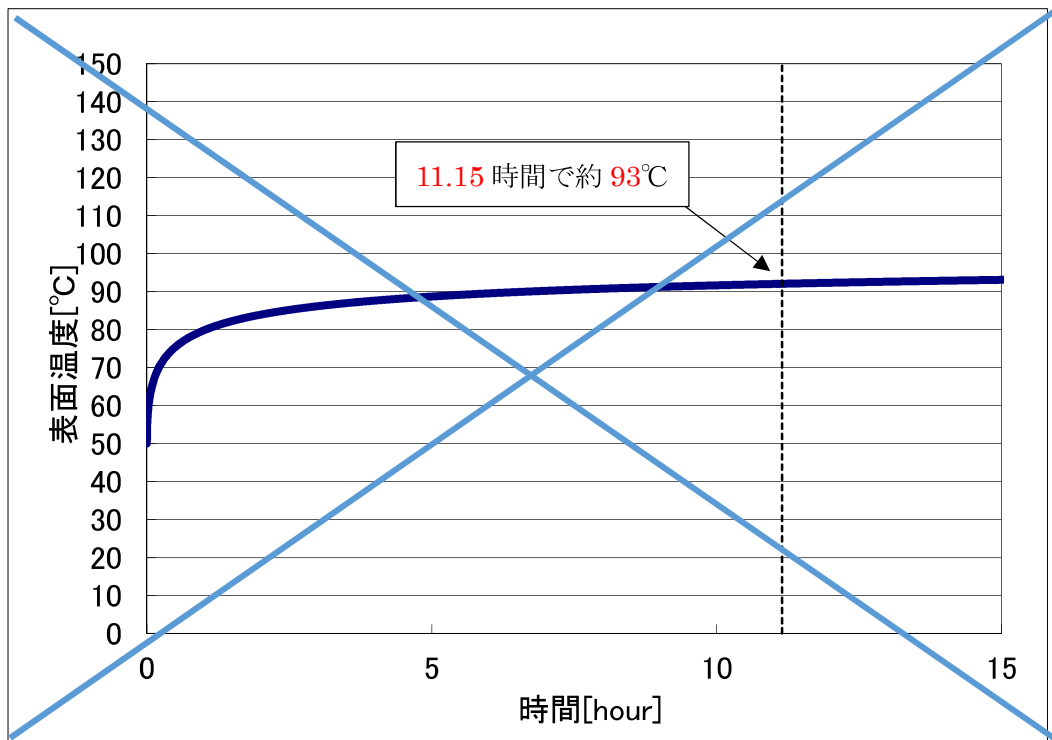


図 6 5 外壁面温度推移 (ガソリタンクと航空機の重畳)

(13) 評価結果

以上の結果から、航空機墜落による火災が発生した場合を想定したとしても、~~キャスク仮保管設備外~~コンクリートモジュール壁面の温度が許容温度を超えないことから、キャスク仮保管設備に熱影響をおよぼすことはないと評価する。

~~コンクリートモジュール内部のキャスク本体に対する熱影響についても併せて評価する。キャスクへの熱影響は、中性子遮蔽材としての機能を持つレジンが熱影響により制限温度に到達するかを評価する。~~

~~レジンが熱分解反応を起こし遮蔽材としての機能を損なう温度は 220°C 以上であるため、キャスク表面が 220°C に到達しなければレジンへの影響は無いといえる。~~

航空機墜落によるコンクリートモジュール表面温度は約 93°C であり、2.1.2.5 の森林火災の熱影響の評価に包絡されることから、~~キャスクとはなく、キャスク本体への熱影響はない。~~

□内の値は最新の情報に合わせ評価中

コンクリートモジュール内部のキャスク本体に対する熱影響についても併せて評価する。保守的にコンクリートモジュール内壁面評価温度をコンクリートモジュール内部空気平均温度とした場合^{*}、除熱評価におけるキャスク周囲の設計基準温度 45°C を 42°C 程度超過する恐れがある。除熱評価における各部材の評価温度に超過温度 42°C を上乗せした場合、最も評価が厳しくなるバスケット部材のボロン添加ステンレス鋼においても、

設計基準温度 300℃に対し、上乘せ評価温度は283℃であり、設計基準温度を超えることはない。他の部材についても同様に短期的な使用における制限温度を超過することはなく、安全機能は維持できるものとする。

※コンクリートモジュール内の除熱評価において、モジュール内空気平均温度は、モジュール内壁面温度未達となることから、モジュール内壁面温度をモジュール内空気平均温度とすることは保守的な設定である。

表 評価対象航空機の種類

		民間航空機		自衛隊機、在日米軍機
		計器飛行方式	有視界飛行方式	
固定翼 (ジェット旅客機等)	大型機	定期便：評価対象 (例) 大型旅客機 (B747、B777 等)	定期便：該当なし	評価対象 自衛隊機 (F-4EJ 改、F-15 等) 在日米軍機 (F-16、F/A-18 等)
		不定期便：評価対象外 (注1)	不定期便：評価対象 (例) 海上保安庁のパトロール機 (ヒューコック 90 型等) 民間の社有機 (三菱式 MU-300 型等) 等	
	小型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象 自衛隊機 (T-1 等)
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 本土-離島間コミュータ (DHC-6、BN-2 等) 軽飛行機 (セスナ 172 等)	
回転翼 (ヘリコプター)	大型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象 自衛隊機 (MH-53 等) 在日米軍機 (CH-53 等)
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 資材輸送 (ハール 214B、AS332 等) 等	
	小型機	定期便：評価対象外(注2)	定期便：評価対象外(注2)	評価対象 自衛隊機 (OH-6 等) 在日米軍機 (UH-1 等)
		不定期便：評価対象(注3)	不定期便：評価対象 (例) 離島間コミュータ (SA365 等) 資材輸送、緊急医療、報道用等 (アエロスハール AS350、川崎 BK117)	

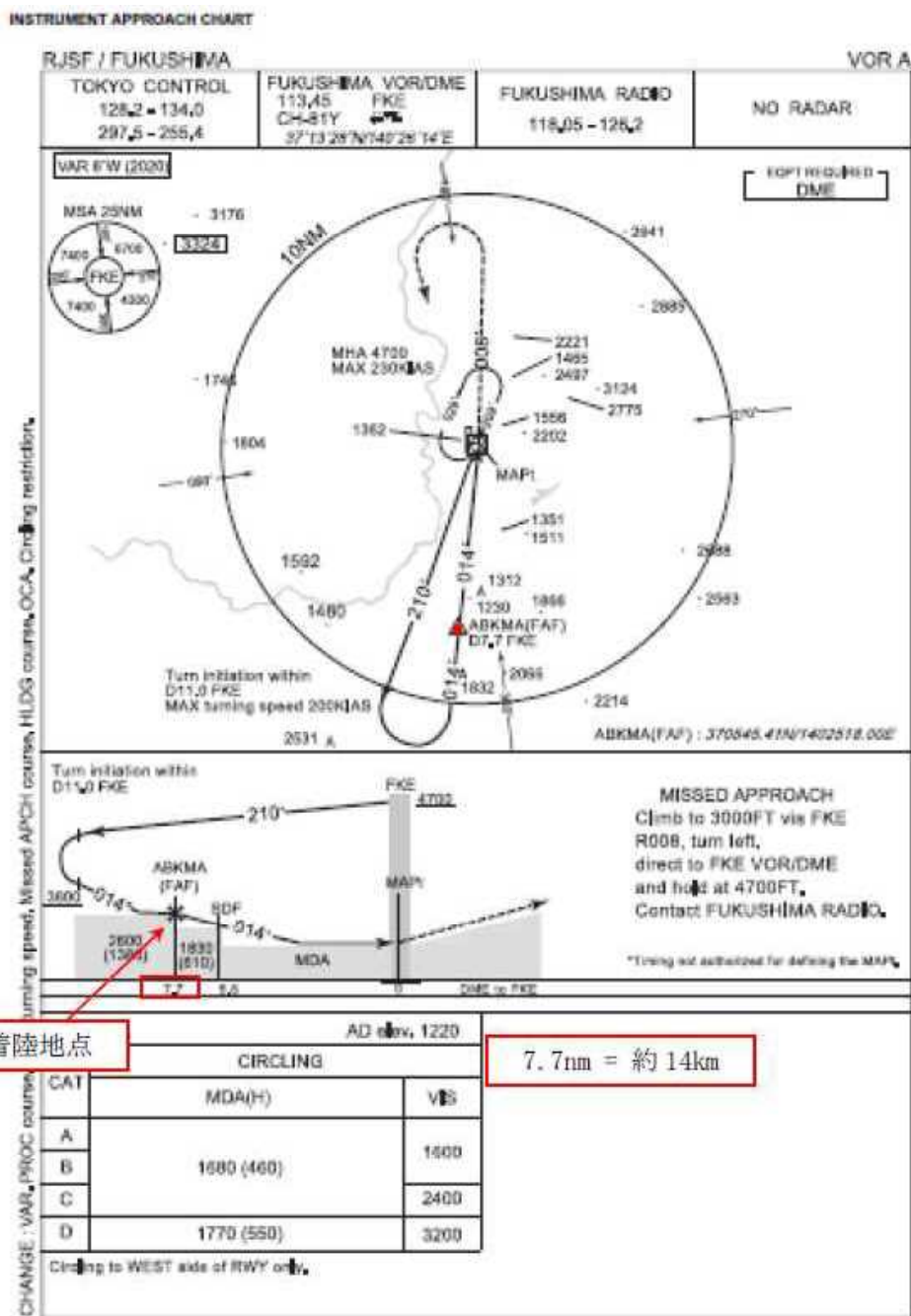
(注1) 計器飛行方式で飛行する大型固定翼機の不定期便は、定期便と比べて運航回数が極めて少ないことから、評価対象外とする。

(注2) 小型固定翼機及び回転翼機の定期便については、定期航空運送事業者の登録機数の割合から、運航頻度が大型機の定期便の数%であると判断できることから評価対象外とする。

(注3) 小型固定翼機及び回転翼機では、リクエストベースで計器飛行方式による飛行が可能となっているが、原則としては、有視界飛行方式による飛行形態を取っていることから、本基準では、全て有視界飛行方式として評価することとする。

※： 実用発電原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について (内規) より抜粋

- 大型民間航空機 (固定翼, 回転翼)
- 小型民間航空機 (固定翼, 回転翼)
- 大型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)
- 小型軍用航空機 (固定翼, 回転翼)



最大離着陸地点

7.7nm = 約 14km

図 福島空港のアプローチチャート

(出典：AIP-JAPAN，国土交通省航空局，令和5年4月)

表 主要自衛隊航空機の仕様

所属	形式	機種	保有数[機]	全長[m]	全幅[m]	燃料積載量[l]
陸上自衛隊	大型固定翼	LR-2	8	14	18	2040
	小型回転翼	AH-1S	48	14	3	980
	小型回転翼	OH-1	37	12	3	953
	小型回転翼	UH-1J	115	13	3	833
	小型回転翼	UH-2	1	13	3	1870 ^{*1}
	大型回転翼	CH-47J/JA	50	16	4/5 ^{*2}	3899
	大型回転翼	UH-60JA	40	16	3	2722
	大型回転翼	AH-64D	12	15	6	1421
	テイルローター機	V-22	9	17	15	4449
海上自衛隊	大型固定翼	P-1	4	38	35	- ^{*3}
	大型固定翼	P-3C	75	36	30	34820
	大型固定翼	US-2	6	33	33	- ^{*3}
	大型回転翼	SH-60J	46	15	5	1361
	大型回転翼	SH-60K	39	16	5	1361
	大型回転翼	MCH-101	5	20	5	5250
航空自衛隊	大型固定翼	F-15J/DJ	201	19	13	11932kg 15318
	大型固定翼	F-2A/B	92	16	11	4675 ^{*3}
	大型固定翼	F-35A	27	16	11	10220
	大型固定翼	C-1	7	29	31	15709
	大型固定翼	C-2	14	44	44	- ^{*3}
	大型固定翼	C-130H	13	30	40	26344
	大型固定翼	KC-767	4	49	48	145033 ^{*4}
	大型固定翼	KC-130H	3	30	40	26344
	大型固定翼	E-2C	10	18	25	7002
	大型固定翼	E-2D	3	18	25	7002
	大型固定翼	E-767	4	49	48	- ^{*3}
	大型回転翼	CH-47J	15	16	5	3899
	大型回転翼	UH-60J	140	16	5	2722

令和 5 年版防衛白書より作成。燃料積載量は日本航空機全集 ~~2013(鳳文書林)~~2023(鳳文書林出版販売), 世界航空機年鑑 ~~2012-2013(酣燈社)~~2022-2023 年版(せきれい社)より。なお, 灰色で網かけした航空機は小型航空機。

※1 : ~~小型・大型航空機の燃料が最大のものになる~~

UH-2 のベースとなっているヘリコプター「SUBARU BELL 412EPX」の SPECIFICATIONS(Bell Flight 社ホームページ資料)より算出した値

※2 : UH-1H, UH-1J の全長がそれぞれ 12, 13m, CH-47J, CH-47JA の全幅がそれぞれ 4, 5m を意味する

※3 : P-1 (哨戒), ~~US-2(救難)~~, ~~C-2(輸送)~~, E-767 (早期警戒管制) の燃料積載量は不明だが, 機体サイズ及び用途を考えると, KC-767 (空中給油) より燃料補給機は少ないと推定する

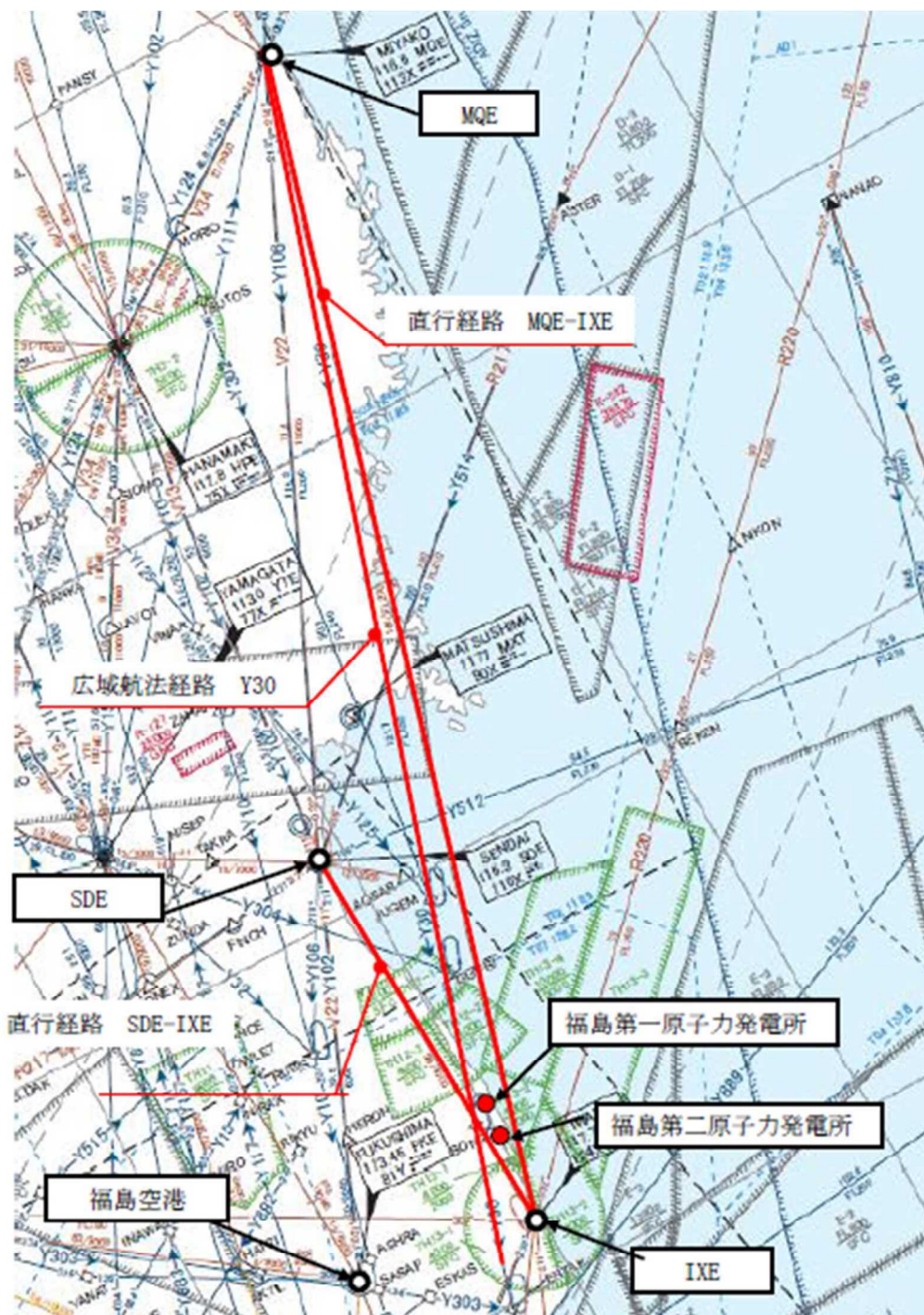


図 福島第一原子力発電所周辺の航空図

(出典：AIP-JAPAN，国土交通省航空局，令和5年4月)

表 飛行回数

福島第一原子力発電所

各航空交通 管制部 ピークデイ ^{注1}		広域航法経路 (Y30)	直行経路 MIYAKO (MQE) - IWAKI (IXE)	直行経路 SENDAI (SDE) - IWAKI (IXE)
札幌 管制	2022 年上半期 (2022. 6. 7) 交通量	16	0	0
	2022 年下半期 (2022. 8. 29) 交通量	25	0	0
東京 管制	2022 年上半期 (2022. 6. 23) 交通量	18	0	1
	2022 年下半期 (2022. 12. 21) 交通量	18	0	0
神戸 管制	2022 年上半期 (2022. 1. 7) 交通量	26	0	1
	2022 年下半期 (2022. 12. 20) 交通量	17	0	0
評価に用いる数値		26×365 日 =9490 便/年 間	0.5×365 日 =182.5 便/ 年間 ^{注2}	1×365 日 =365 便/ 年間

注1：国土交通省航空局に問い合わせ入手したデータ。ここでピークデイとは、各航空交通管制部が全体として取り扱った交通量が半年間で最も多かった日のことであり、当該経路における交通量が半年間で最も多かった日とは必ずしも一致しない。

注2：実際の便数は0であるが、保守的に0.5とする。

表 標的面積

単位：km²

発電所	対象	合計	標的面積
福島第一原子力発電所	キャスク仮保管設備	0.006990	0.01

機器配置図寸法から面積を算出した。

延べ飛行距離について

延べ飛行距離は、平成 13 年～令和 2 年の「航空輸送統計年報，第 1 表 総括表，1. 輸送実績」における運航キロメートルの国内便のみの合計値とする。

なお，国際便については，日本国内での運行距離ではないため考慮していない。また，日本に乗り入れている外国機は運行距離の実績の公開記録がないため考慮していない。

ただし，国際便及び外国機が日本国内で墜落した場合は事故件数としてカウントし，事故率が保守的となるようにしている。

表 運航距離

	日本国機の運行距離 (飛行回・k m)
平成 13 年	489,803,107
平成 14 年	498,685,881
平成 15 年	519,701,117
平成 16 年	517,485,172
平成 17 年	527,370,038
平成 18 年	555,543,154
平成 19 年	559,797,874
平成 20 年	554,681,669
平成 21 年	544,824,157
平成 22 年	548,585,258
平成 23 年	555,144,327
平成 24 年	608,215,704
平成 25 年	657,480,703
平成 26 年	680,472,532
平成 27 年	684,055,797
平成 28 年	685,451,299
平成 29 年	691,345,014
平成 30 年	692,529,394
令和元年	705,489,833
令和 2 年	482,751,536
合 計	11,759,413,566

FARSITE

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

- ◆ホイヘンスの原理に基づく火災の拡大に加え、樹冠火、加速、飛び火等に関する追加的なモデルによる統合的な解析が可能
- ◆空間的な環境条件の変化に従い火災の拡大・強度に関するパターンを地理情報により空間的に提示することが可能

ホイヘンスの原理に基づく火災拡大のモデルには多くの事例がある (Coleman and Sullivan 1996; Finney 1994; Finney and Ryan 1995; Knight and Coleman 1993; Richards and Bryce1995) が、FARSITE では Richards (1990, 1995) によって開発された火災拡大モデルを用いている。また、FARSITE では、地表を伝播する火災、樹冠を伝播する火災、伝播の加速、飛び火の4つの挙動を別々に取り扱うことができる。具体的には、以下のモデルを採用している。

挙動タイプ	使用モデル
地表を伝播する火災	Rothermel の拡大方程式 (Albini 1976; Rothermel1972) に基づく。
樹冠を伝播する火災	Van Wagner (1977, 1993) に基づく。 CanadianForest Fire Behavior Prediction System (Forestry Canada Fire Danger Group 1992) と同様。
伝播の加速	Cheney (1981), Cheney and Gould (1997) に基づく。発火燃料の追加, 燃料の乾燥化, 風速の増加に起因する。
飛び火	Albini の方程式 (1979) に基づく。

1. 延焼速度

$$R = \frac{60I_R\xi(1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b\varepsilon Q_{ig}}$$

R : 延焼速度 (m/min)

I_R : 放射熱 (反応強度) (kW/m²)

ξ : 反応強度のうち隣接可燃物の加熱に使われる割合

ϕ_w : 風速係数

ϕ_s : 傾斜角係数

ρ_b : 可燃物の堆積密度 (kg/m³)

ε : 着火温度まで加熱される可燃物の割合

Q_{ig} : 可燃物が着火するのに必要な熱量 (kJ/kg)

$Q_{ig} = 581 + 2594M_f$ (M_f : 可燃物の含水比)

2. 火線強度

$$I_B = I_R \frac{12.6R}{\sigma}$$

I_B : 火線強度 (kW/m)

σ : 可燃物の表面積/体積比 (cm⁻¹)

3. 火炎長

$$L_f = 0.0775I_B^{0.46} \quad L_f : \text{火炎長 (m)}$$

4. 単位面積当り熱量

$$H_A = I_B \frac{60}{R}$$

H_A : 単位面積当り熱量 (kJ/m²)

5. 火炎輻射強度

$$I_R = \frac{1}{60} \Gamma' w_n h \eta_M \eta_S$$

I_R : 火炎輻射強度 (kW/m²)

Γ' : 理想熱分解速度 (1/min)

w_n : 可燃物単位面積当りの乾燥重量 (kg/m²)

h : 発熱量 (kJ/kg)

η_M : 可燃物中の水分による熱分解速度減少係数 (-)

η_S : 可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数 (-)

一方、FARSITE を利用する上での留意事項としては、以下が挙げられる。

- ◆煙の発生について考慮されていない
- ◆生体燃料の水分量の多様性については考慮されていない
- ◆気象・風の条件については一地点のデータのみを入力となる
- ◆空間的な環境条件の影響は使用データの空間解像度に依存することから、目的に応じた適切なデータを選定する必要がある
- ◆市街地等の非植生域については評価を行えないため、非植生域は一種の防火帯として作用する。

具体的な評価指標と観点を以下に示す。

評価指標	評価の観点
1. 延焼速度[km/h]	火災発生後、どの位の時間で施設に到達するのか 消火活動が可能な時間はどの程度か
2. 火線強度[kW/m]	施設に到達し得る火災の規模はどの程度か 必要となる消火活動の能力や防火帯の規模はどの程度か
3. 火炎長[m]	
4. 単位面積当り熱量[kJ/m ²]	
5. 火炎輻射強度 (kW/m ²)	

上記の評価指標は、現地の土地利用（森林、農地、居住地等の分布）、地形（標高、傾斜角度等）、気象条件（風向・風速、気温、湿度等）に大きく依存することから、これらを可能な限り考慮した評価を行う必要がある。

FARSITE の計算実行に最低限必要な入力ファイルを示す。

入力ファイル名	内容
6. ラスタ入力ファイル	標高データ (Elevation) 傾斜角データ (Slope) 傾斜方向データ (Aspect) 可燃物データ (Fuel Model) 樹冠率データ (Canopy Cover)
7. その他入力ファイル	火災伝播速度の制御 (Adjustment) Fuel 水分初期値 (Fuel Moisture) 気象要素 (Weather) 風速 (Wind)

FARSITE において採用しているホイヘンスの原理に基づく火災の拡大モデルを図1に示す。

図1のAは可燃物の燃焼特性，風速及び風向が一樣である場合の火災の拡大を示しており，図1のBは可燃物の燃焼特性，風速及び風向が場所によって異なる場合の火災の拡大を示している。

可燃物の燃焼特性，風速及び風向が一樣の場合は，各素元波（素元波とは波面上の各点から出る球面波のことである。）の包絡線は楕円形を維持する。可燃物の燃焼特性，風速及び風向が場所によって異なる場合は，燃焼特性及び風速によって素元波の成長速度が増減し，風向によって素元波の成長方向が決定される。

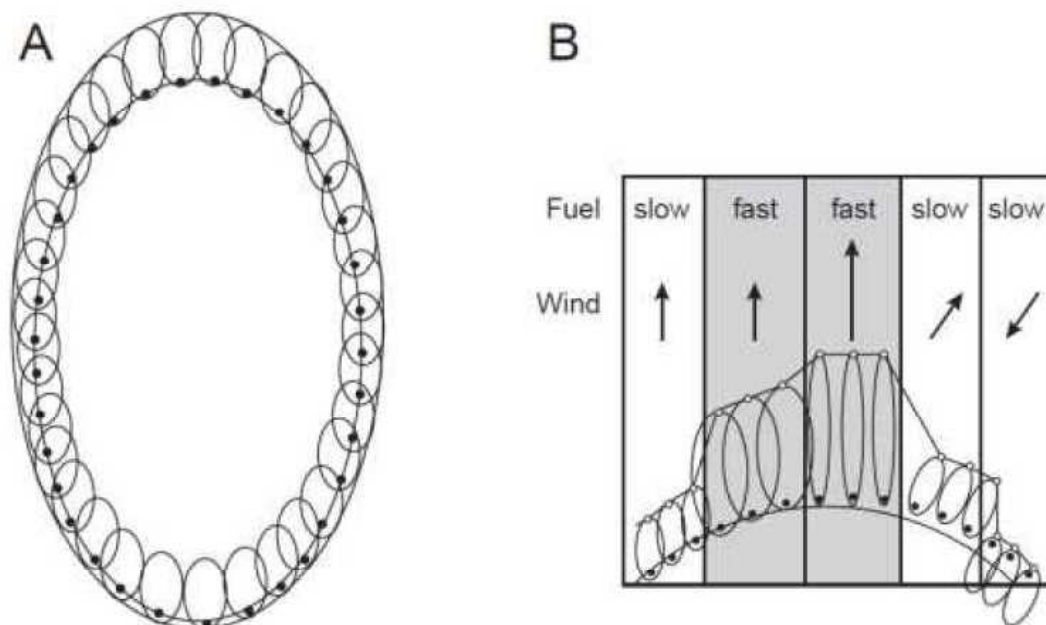


図1 FARSITEの火災拡大モデル

(Mark A. Finney, 2004, “FARSITE: Fire Area Simulator—Model Development and Evaluation”, p.3 より引用)

航空機墜落による火災の影響評価に用いたデータについて

1. 航空機の仕様について

表 1 航空機の仕様

項目	大型 民間航空機	小型 民間航空機	大型 軍用航空機	小型 軍用航空機
想定する航空機	A380	Do228-200	KC-767	UH-2
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4
燃料量[m ³]	320.00 ¹⁾	2.38 ²⁾	145.03 ³⁾	1.87 ⁴⁾
燃料タンク面積[m ²]	871 ⁴⁵⁾	26 ⁵⁶⁾	280 ⁶⁷⁾	12 ⁷⁸⁾

- 1) Dimension & key data, Airbus 社ホームページ
- 2) 日本航空機全集 2013~~2023~~, (鳳文書林出版販売(株)発行) 記載値
- 3) 世界航空機年鑑 2012-2013~~2022-2023~~ 年度 (れきれい社) に記載の燃料重量及び燃料密度 (NUREG-1806) から算出した値
- 4) UH-2 のベースとなっているヘリコプター「SUBARU BELL 412EPX」の SPECIFICATIONS (Bell Flight 社ホームページ資料) より算出した値
- 45) Airbus 社ホームページ資料「A380 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING」の機体図面より、主翼、主翼と交差する胴体部及び尾翼の面積からフラップ等の面積を除いた面積が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値 (図 1)。
- 56) 日本航空機全集 2013 に記載の図面から、主翼及び主翼と交差する胴体部の面積からフラップ等の面積を除いた面積が燃料タンク面積と同等と想定し算出した値 (図 2)
- 67) ボーイング社ホームページ資料「767 Airplane Characteristics for Airport Planning」の機体図面より、KC-767 のベースとなっている航空機 B767-200ER の主翼、主翼と交差する胴体部及び補助燃料タンクが搭載される床下貨物室の面積からフラップ等の面積を除いた面積を燃料タンク面積として算出した値 (図 3)
- 78) Bell Flight 社ホームページ資料「SUBARU BELL 412EPX SPECIFICATIONS」の機体図面より、UH-2 のベースとなっているヘリコプター「SUBARU BELL 412EPX」の機体の投影面積を燃料タンク投影面積と同等と想定した値 (図 4)

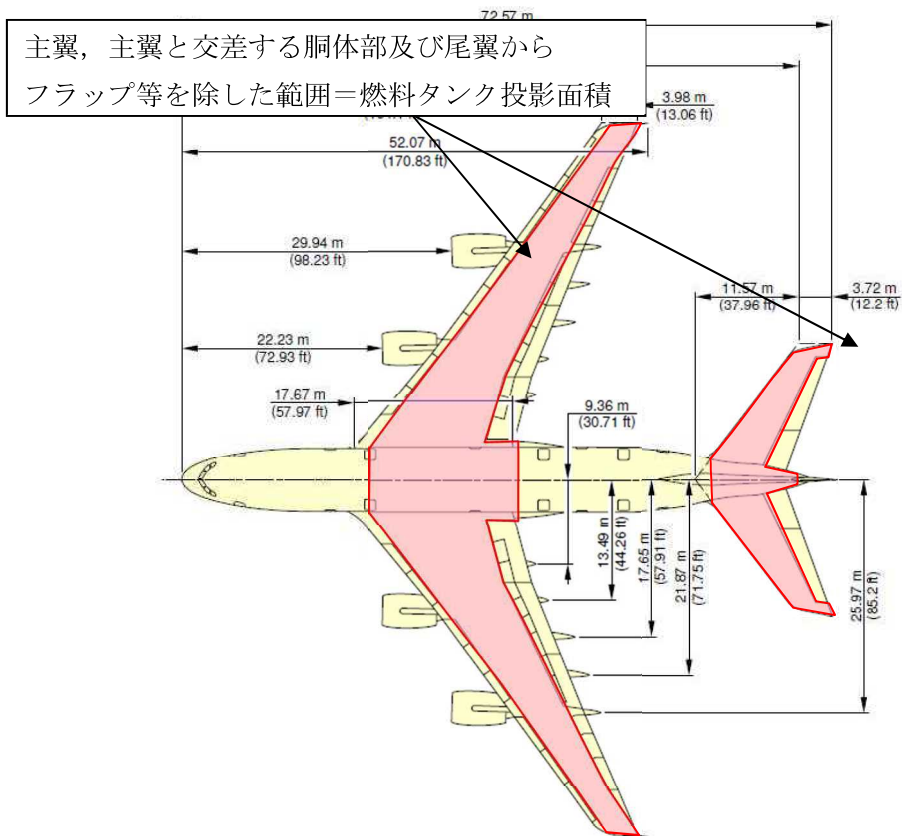


図1 燃料タンク投影面積 (B747-400A380)

(出典 : A380 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING)

主翼及び主翼と交差する胴体部からフラップ等
を除いた範囲=燃料タンク投影面積

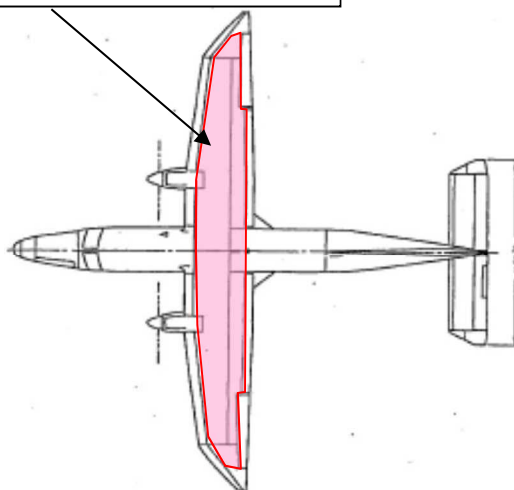


図2 燃料タンク投影面積 (Do228-200)

(出典 : 日本航空機全集 2013-2023)

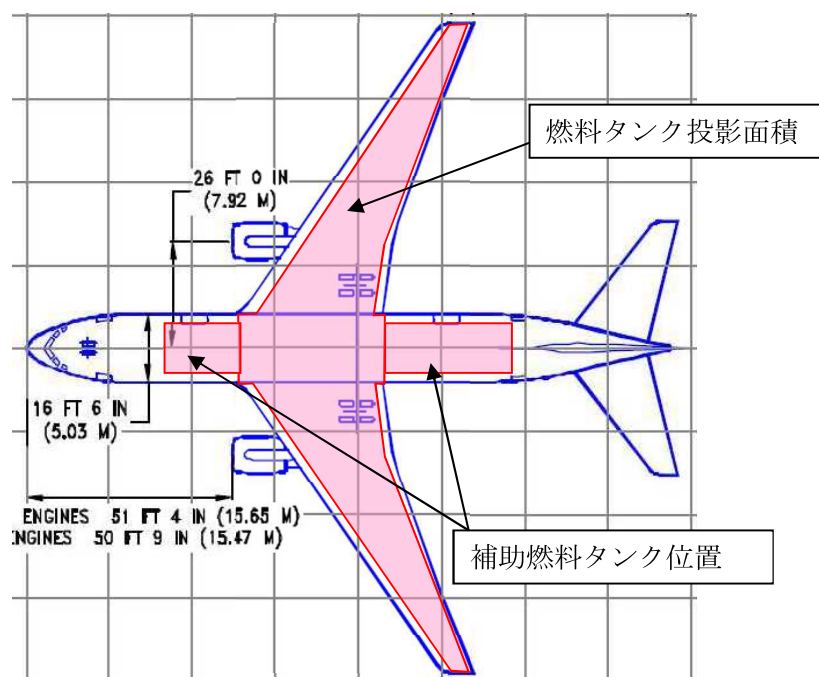


図3 燃料タンク 投影面積(KC-767)

(出典：767 Airplane Characteristics for Airport Planning)

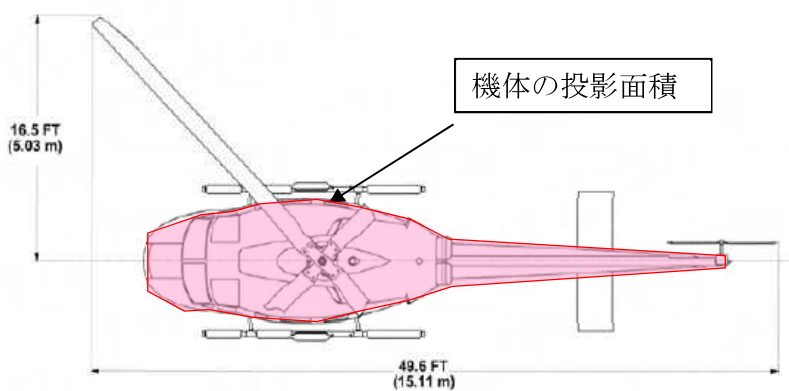


図4 燃料タンク 投影面積(UH-2)

(出典：SUBARU BELL 412EPX SPECIFICATIONS)

2. 燃料物性値について

ジェット燃料は、JIS規格では1号の灯油型（低析出点）、2号灯油型及び3号広範囲沸点型（ガソリン型）の3種類があり、ASTM規格のJet A-1, Jet A, Jet Bに相当する。また、MIL規格では、JP-4（ガソリン型）、JP-5（灯油型）やJP-8（灯油型）があり、日本の民間航空機では安全性の高い1号（灯油型）が使用されており^{※1}、軍用航空機ではJP-4が使われている^{※2}。よって、民間航空機の燃料の種類はJet A-1（灯油型）、軍用航空機はJP-4とする。

火災影響評価において使用する燃料物性値のうち、放射発散度及び質量低下速度については、Jet A-1燃料に関する明確な知見がない。このため、Jet A-1は灯油型であることから、放射発散度は灯油の値を採用する。

また、Jet A-1の質量低下速度、密度については、NUREG-1805において、JP-4、JP-5の質量低下速度、密度が与えられていることから、同じ灯油型であるJP-5の値を採用する。なお、JP-5の方がJP-4より燃焼速度が遅く、燃焼継続時間が長くなるので保守的である。

軍用航空機の燃料（JP-4）は、ガソリン系の燃料であることから、放射発散度はガソリン・ナフサの値を採用し、質量低下速度、密度は、NUREG-1805のJP-4の値を採用する。

※1：公益社団法人 石油学会 HP

※2：石油便覧 JX日鉱日石エネルギーHP

表2 評価対象航空機の燃料物性値

項目	大型 民間航空機	小型 民間航空機	大型 軍用航空機	小型 軍用航空機
想定する航空機	A380	Do228-200	KC-767	AH-1S
燃料の種類	Jet A-1	Jet A-1	JP-4	JP-4
放射発散度[kW/m ²]	50.0 ¹⁾	50.0 ¹⁾	58.0 ²⁾	58.0 ²⁾
質量低下速度[kg/m ² ・s]	0.054 ³⁾	0.054 ³⁾	0.051 ⁴⁾	0.051 ⁴⁾
燃料密度[kg/m ³]	810 ³⁾	810 ³⁾	760 ⁴⁾	760 ⁴⁾
燃焼速度[m/s]	6.666 ×10 ⁻⁵ 6.67×10 ⁻⁵	6.666 ×10 ⁻⁵ 6.67×10 ⁻⁵	6.710 ×10 ⁻⁵ 6.71×10 ⁻⁵	6.710 ×10 ⁻⁵ 6.71×10 ⁻⁵

1) 評価ガイド 附属書Bにおける灯油の値

2) 評価ガイド 附属書Bにおけるガソリン・ナフサの値

3) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program に記載のJP-5(灯油型)の値

4) NUREG-1805, Fire Dynamics Tools (FDTs): Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program 5に記載のJP-4(ガソリン型)の値
NUREG-1805より抜粋。

参考文献

- [1] 福島県農林水産部 森林簿（平成 24 年度樹立）
- [2] 米国農務省（USDA Forest Service）FARSITE Technical Reference.
- [3] 国土交通省国土地理院（2016） 基盤地図情報 数値標高モデル 10m メッシュデータ
<https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem>
- [4] 環境省自然環境局（1979～1998）自然環境保全基礎調査 植生調査データ（1/50,000 縮尺）第 2～5 回植生調査
<http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html>
- [5] 国土交通省（2016） 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- [6] 東京電力ホールディングス 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉 外部火災影響評価について. 6 条-別添 4(外火)-1.
- [7] ~~環境省 中間貯蔵施設環境安全委員会第 15 回会合
資料 1「中間貯蔵施設事業の状況について（2019 年 8 月）」~~
http://josen.env.go.jp/chukanehozou/action/safety_commission/#article15
- [8] 独立行政法人原子力安全基盤機構（2012） 福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価, JNES-RC-2012-0002.
- [98] 養蚕技術研究所 養蚕 第 1 章 養蚕と養蚕業.
http://www.silk.or.jp/silk_gijyutu/yousan.html
- [109] 消防庁 消防白書（2010 年度版～2019 年度版）
<https://www.fdma.go.jp/publication/#whitepaper>
- [110] 福島県 農林企画課 福島県農林水産業の現状（令和元年 7 月版）
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36005b/norinkikaku2.html>
- [121] 気象庁 各種データ資料
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- [132] 国土交通省国土地理院 福島県 市区町村の役所・役場及び東西南北端点の経度緯度（世界測地系）
https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/CENTER/kendata/fukushima_heso.pdf
- [143] 井上宇市（2018） 空気調和ハンドブック改訂 5 版, 丸善出版
- [154] 日本機械学会 伝熱工学資料（第 5 版）

Ⅱ.14.③ 外部人為事象に対する設計上の
考慮への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

14. 設計上の考慮

③外部人為事象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，想定される外部人為事象によって，施設の安全性を損なうことのない設計であること。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器に対する第三者の不法な接近等に対し，これを防御するため，適切な措置を講じた設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

キャスク仮保管設備は，想定される外部人為事象によって，施設の安全性を損なうことのない設計とする。

キャスク仮保管設備に対する第三者の不法な接近等に対し，これを防御するため，適切な措置を講じた設計とする。

対応方針

~~施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものと~~
~~とする。~~

○ 外部人為事象に対する設計上の考慮

- ・想定される外部人為事象としては，航空機落下，ダム崩壊及び爆発，漂流した船舶の港湾への衝突等が挙げられる。本特定原子力施設への航空機の落下確率は，これまでの事故実績等をもとに，民間航空機，自衛隊機及び米軍機を対象として評価した（原管発管 21 第 270 号 実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価結果について（平成 21 年 10 月 30 日））。その結果は約 3.6×10^{-8} 回/炉・年であり， 1.0×10^{-7} 回/炉・年を下回る。したがって，航空機落下を考慮する必要はない。また，特定原子力施設の近くには，ダム崩壊により特定原子力施設に影響を及ぼすような河川並びに爆発により特定原子力施設の安全性を損なうような爆発物の製造及び貯蔵設備はない。また，最も距離の近い航路との離隔距離や周辺海域の流向を踏まえると，航路を通行する船舶の衝突により，特定原子力施設が安全機能を損なうことはない。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器に対する第三者の不法な接近，妨害破壊行為（サイバーテロ等の不正アクセス行為を含む）及び核物質の不法な移動を未然に防止するため，下記の措置を講ずる。
 - ① 安全機能を有する構築物，系統及び機器を含む区域を設定し，それを取り囲む物的障壁を持つ防護された区域を設けて，これらの区域への接近管理，入退域管理を徹底する。
 - ② 探知施設を設け，警報，映像監視等，集中監視する設計とする。

③ 外部との通信設備を設ける。

(実施計画：Ⅱ-1-14-1～2)

具体的な設計及び措置

キャスク仮保管設備内へアクセスするための防護フェンスは施錠管理されており，第三者が容易にアクセス出来ない措置を講じている。

Ⅱ.14.④ 火災に対する設計上の考慮への
適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

14. 設計上の考慮

④火災に対する設計上の考慮

火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて，火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

キャスク仮保管設備は，火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて，火災により施設の安全性を損なうことのない設計とする。

対応方針

○ 火災に対する設計上の考慮

火災により施設の安全性が損なわれることを防止するために火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせた措置を講じる。

(実施計画：II-1-14-2)

具体的な設計及び措置

2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

(中略)

2.13.1.6 自然災害対策等

(中略)

○(2) 火災

火災の発生が考えられる箇所について，火災の早期検知につとめるとともに，消火器を設置することで初期消火を可能にし，火災により安全性を損なうことのないようにする。

(実施計画：II-2-13-~~3~~4)

○ 火災発生防止の措置

キャスク仮保管設備エリア内には、コンクリートモジュール（乾式キャスク保管）、乾式キャスク仮保管設備監視装置盤、クレーンが設置されており、それぞれ可能な限り難燃・不燃材を使用しており、火災の発生と延焼を防止している。

必要な個所に消火器を設置することで、初期消火を可能にし、当該火災により安全性を損なうことがないようにする。

また、防火管理要領に基づき、図1に示す通り、本設備の周辺に防火水槽や屋外消火栓が設置されており、初期消火は、構内初期消火隊が実施する。

なお、当該設備は、消防法の消火器設置の対象ではない。

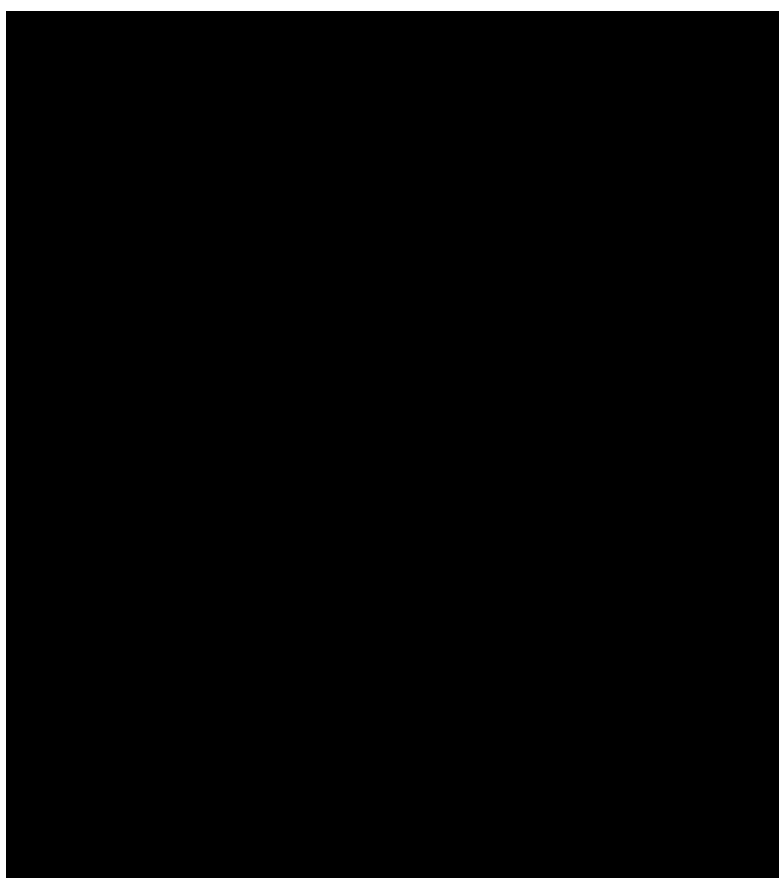


図1 消防設備の設置位置

Ⅱ.14.⑤ 環境条件に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

14. 設計上の考慮

⑤環境条件に対する設計上の考慮

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計であること。特に，事故や地震等により被災した構造物の健全性評価を十分に考慮した対策を講じること。

措置を講ずべき事項への適合方針

キャスク仮保管設備は，経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計とする。

対応方針

○ 環境条件に対する設計上の考慮

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，それぞれの場所に応じた圧力，温度，湿度，放射線等に関する環境条件を考慮し，必要に応じて換気空調系，保温，遮へい等で維持するとともに，そこに設置する安全機能を有する構築物，系統及び機器は，これらの環境条件下で期待されている安全機能が維持できるものとする。特に，事故や地震等により被災した構造物については，健全性評価を実施して対策を講じる。

(実施計画：II-1-14-2)

具体的な設計及び措置

2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

(中略)

2.13.1.6 自然災害対策等

(中略)

(4) 環境条件

乾式キャスクの除熱機能，密封機能，遮蔽機能，臨界防止機能及びコンクリートモジュールの除熱機能については，保守的な環境条件にて設計を行っている。またその他の経年的な影響についても，監視や定期的な巡視点検等を行うことで劣化等の早期発見に努め，機能維持を図る。

また，キャスク仮保管設備に保管する乾式貯蔵キャスクのうち，津波により一時的に水没したとみられるキャスク保管建屋に保管している既設9基については，必要な点検