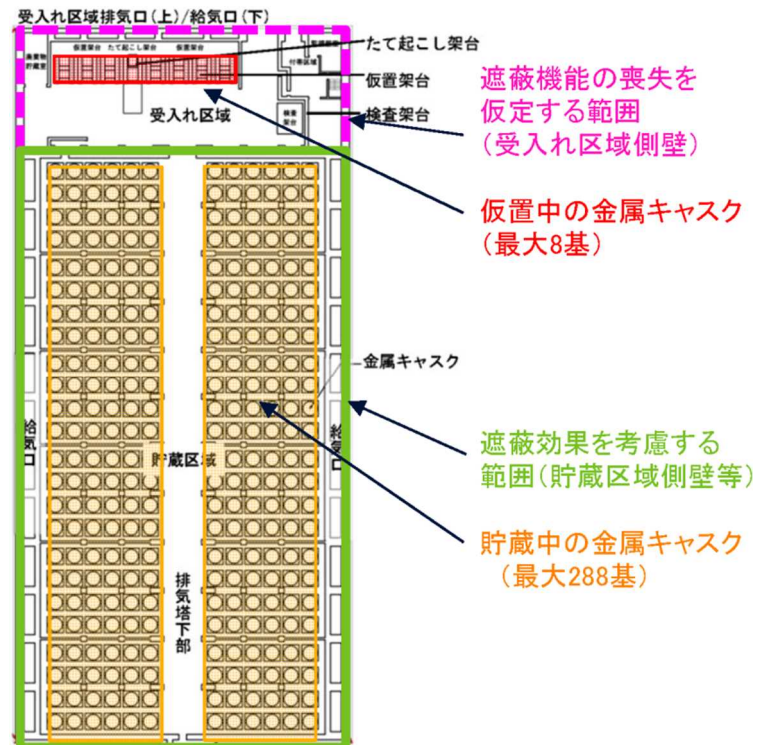


の瓦礫撤去を想定) 及び貯蔵区域に通じる遮蔽扉部分の遮蔽機能の回復 (遮蔽体の設置) を考慮し, 復旧期間は前者を3ヶ月, 後者を1ヶ月とする。



第 5-3 図 貯蔵建屋壁の遮蔽機能喪失の仮定

e. 線量評価位置は, 受入れ区域の金属キャスクからの寄与が大きいため, 第 5-4 図に示すように受入れ区域に近い北方向 (受入れ区域外壁から約 150m) とする。なお, 貯蔵建屋の遮蔽設計評価では貯蔵区域からの線量が最大となる東方向 (貯蔵区域中心から約 170m) で評価している。



第 5-4 図 線量評価位置

遮蔽評価条件を第 5-3 表に示す。

第 5-3 表 遮蔽評価条件

項目	条件	備考
解析コード	MCNP-4C (3次元連続エネルギーモンテカルロ法コード)	「使用済燃料貯蔵建屋の遮蔽設計」における評価に用いるコードと同様
断面積ライブラリ	MCNPDLC-200/MCNPDATA	ENDF/B-VIをベースとしてMCNP用に作成された内蔵ライブラリ
実効線量換算係数	ICRP Publication74の前方-後方照射条件(AP)	—
線源条件	金属キャスク基数は貯蔵区域288基, 受入れ区域8基(最大基数) 線源強度はBWR用大型キャスク(タイプ2)の遮蔽評価結果と同等になるよう設定	—
金属キャスクの状態	受入れ区域8基のうち5基については, 落下物の衝突による中性子遮蔽材の損傷を仮定	—
貯蔵建屋の状態	受入れ区域の外壁(北側, 東側及び西側)及び天井の遮蔽機能喪失を仮定 貯蔵区域遮蔽扉は開放状態を仮定	遮蔽扉が津波襲来時に開放されている場合を考慮
遮蔽機能の復旧期間	受入れ区域の遮蔽機能の回復は考慮しない 金属キャスク損傷部の遮蔽機能: 3ヶ月 貯蔵区域遮蔽扉部の遮蔽機能: 1ヶ月	金属キャスク損傷部については, 受入れ区域の瓦礫撤去(期間は受入れ区域の建屋物量に基づき解体手順を踏まえて~2ヶ月程度と想定)後に追加遮蔽体を設置し, 併せて3ヶ月程度を要すると想定
線量評価点	北方向の敷地境界(受入れ区域外壁から約150m)	線量の寄与が大きな受入れ区域の金属キャスクに近い, 北方向の敷地境界とする

(2) 遮蔽評価の結果

上記の評価方法に基づき敷地境界外における公衆の実効線量を評価した結果を第5-4表に示す。敷地境界外における公衆の実効線量は年間で約 7.8×10^{-1} mSvであり、年間1mSvを超えないことを確認した。

第5-4表 敷地境界外における公衆の実効線量の評価結果

受入れ区域に存在する 金属キャスクからの実効線量（年間）	約 7.6×10^{-1} mSv*
貯蔵区域に存在する 金属キャスクからの実効線量（年間）	約 1.9×10^{-2} mSv
実効線量合計（年間）	約 7.8×10^{-1} mSv

*)このうち金属キャスクの中性子遮蔽材損傷部からの実効線量（年間）は約 1.4×10^{-1} mSvである。

(3) 結論

仮想的な大規模津波に伴う波力による受入れ区域の損傷を仮定し、かつ受入れ区域に金属キャスクが仮置きされている一時的な状態にて落下物の衝突を考慮しても、敷地境界外における公衆の実効線量が遮蔽機能の回復を考慮して年間1mSvを超えず、使用済燃料貯蔵施設の遮蔽機能が維持されることを確認した。

6. 衝撃を受けた金属キャスクの対策

衝撃を受けた金属キャスクの安全機能を確認するための検査又は試験及び当該安全機能を健全に維持するための保守又は修理，並びに施設外への搬出に必要な確認ができるよう，以下の手段を講ずるものとする。

- ・設計貯蔵期間中において，衝撃を受けた金属キャスクの基本的安全機能を確認するための検査及び試験並びに同機能を維持するために必要な保守及び修理ができる手段を講ずる。

- ・衝撃を受けた金属キャスクを使用済燃料貯蔵施設外へ搬出するための必要な確認ができる手段を講ずる。なお，搬出までの間は金属キャスクを適切に保管する。

(1) 衝撃を受けた金属キャスクの使用済燃料貯蔵施設外搬出における要求事項

衝撃を受けた金属キャスクを，保守又は修理，並びに必要な確認をした上で，施設外への搬出する上で，「核燃料物質等の工場又は事業所外における運搬に関する規則」（以下，「事業所外運搬規則」という。）において，BM型輸送物に相当する要求事項を第6-1表に示す。

第6-1表 BM型輸送物の技術上の基準の概要

	通常の輸送要件	一般の試験条件	特別の試験条件
未臨界性	臨界しない	臨界しない	臨界しない*
遮蔽性	表面で2mSv/h以下 (表面から1mで 0.1mSv/h以下)	表面の最大線量当量 率が著しい増加せず	表面から1mで10mSv/h 以下
密封性	—	1時間あたり、A ₂ 値の 10 ⁻⁶ を超えないこと	1週間あたり、A ₂ 値を超 えないこと
除熱性	—	表面温度が85℃以下、 容器の健全性を維持す る温度以下	上記を満足する前提と して、必要な部位が機 能を維持する温度以下
その他	通常の温度変化や振 動等で、健全性を維持	上記を満足する前提と して、容器が概ね弾性 範囲であること	上記を満足する前提と して、必要な部位が破 断、損傷等しないこと

*) 乾式容器では燃料破損時の未臨界性確保のため二重の水密境界を要求

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（抜粋）

第13条（安全機能を有する施設）

- 1 第1項に規定する「安全性を損なわないもの」とは，当該使用済燃料貯蔵施設以外の原子力施設との間，又は当該使用済燃料貯蔵施設内で共用するものについて，その機能，構造等から判断して，共用によって当該使用済燃料貯蔵施設の安全性に支障を来さないものをいう。
- 2 第2項に規定する「当該施設の安全機能を確認するための検査又は試験及び当該安全機能を健全に維持するための保守又は修理ができるもの」とは，以下の設計をいう。
 - 一 設計貯蔵期間を通じて，金属キャスクの基本的安全機能を確認するための検査及び試験並びに同機能を維持するために必要な保守及び修理ができるようになっていること。また，金属キャスクを当該使用済燃料貯蔵施設外へ搬出するために必要な確認ができるようになっていること。
 - 二 金属キャスク取扱設備（使用済燃料貯蔵施設内において金属キャスクの移送等の取扱いに供される設備のことをいう。以下同じ。）は，動作中に金属キャスクの基本的安全機能を損なうことがないよう，必要な検査，修理等ができるようになっていること。

第五条 A型輸送物に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

- 五 周囲の圧力を六十キロパスカルとした場合に、放射性物質の漏洩がないこと。
- 七 表面における最大線量当量率が二ミリシーベルト毎時を超えないこと。ただし、専用積載として運搬する核燃料輸送物であつて、核燃料物質等車両運搬規則（昭和五十三年運輸省令第七十二号）第四条第二項並びに第十九条第三項第一号及び第二号に規定する運搬の技術上の基準に従うもののうち、安全上支障がない旨の原子力規制委員会の承認を受けたものは、表面における最大線量当量率が十ミリシーベルト毎時を超えないこと。
- 八 表面から一メートル離れた位置における最大線量当量率（コンテナ又はタンクを容器として使用する核燃料輸送物であつて、専用積載としないで運搬するものについては、表面から一メートル離れた位置における最大線量当量率に原子力規制委員会の定める係数を乗じた線量当量率）が百マイクロシーベルト毎時を超えないこと。ただし、…承認を受けたときは、この限りでない。
- 九 原子力規制委員会の定めるA型輸送物に係る一般の試験条件の下に置くこととした場合に、次に掲げる要件に適合すること。
 - イ 放射性物質の漏洩がないこと。
 - ロ 表面における最大線量当量率が著しく増加せず、かつ、二ミリシーベルト毎時を超えないこと。

第六条 BM型輸送物に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

- 一 前条第一号から第八号までに定める基準。ただし、同条第六号イに定める要件は、適用しない。
- 二 原子力規制委員会の定めるBM型輸送物に係る一般の試験条件の下に置くこととした場合に、次に掲げる要件に適合すること。
 - イ 前条第九号ロの要件
 - ロ 放射性物質の一時間当たりの漏洩量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと。
 - ハ 表面の温度が日陰において摂氏五十度（専用積載として運搬する核燃料輸送物にあつては、輸送中人が容易に近づくことができる表面（その表面に近接防止枠を設ける核燃料輸送物にあつては、当該近接防止枠の表面）において摂氏八十五度）を超えないこと。
- 二 表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えないこと。
- 三 原子力規制委員会の定めるBM型輸送物に係る特別の試験条件の下に置くこととした場合に、次に掲げる要件に適合すること。
 - イ 表面から一メートル離れた位置における最大線量当量率が十ミリシーベルト毎時を超えないこと。
 - ロ 放射性物質の一週間当たりの漏洩量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと。
- 四 運搬中に予想される最も低い温度から摂氏三十八度までの周囲の温度の範囲において、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- 五 原子力規制委員会の定める量を超える量の放射能を有する核燃料物質等が収納されている核燃料輸送物にあつては、原子力規制委員会の定める試験条件の下に置くこととした場合に、密封装置の破損のないこと。ただし、安全上支障がないと原子力規制委員会が認める場合は、この限りでない。

第十四条 第三条又は前条の規定に従つて運搬することが著しく困難な場合であつて、安全な運搬を確保するために必要な措置を採り、かつ、これらの規定によらないで運搬しても安全上支障がない旨の原子力規制委員会の承認を受けたときは、これらの規定によらないで運搬することができる。この場合において、当該運搬する物の最大線量当量率は、表面において十ミリシーベルト毎時を超えてはならない。

(2) 衝撃を受けた金属キャスクの基本的な対応方針

前章までに述べたとおり，十分な保守性を有する仮想的な大規模津波を設定し，水深係数3を用いた波圧に基づいて受入れ区域の損傷を想定し，それに伴う落下物や津波漂流物に対して金属キャスクの閉じ込め機能が維持されることを確認している。

衝撃を受けた金属キャスクについて，外観，線量当量率，表面温度確認により，「遮蔽」，「閉じ込め」，「除熱」，「臨界防止」に関する性能確認の初期確認を行い，落下物の状況等を確認して，衝撃を与えた事象が，既に閉じ込め機能が維持可能と評価している静的解析評価条件を網羅していることを確認する。このことにより，金属キャスク一次蓋の健全性を評価する。

衝撃を受けた金属キャスクについて，以下の対応を行う。

- ・漏えい箇所に実施可能な漏れ止め材の充填や漏れ止め溶接を実施
- ・遮蔽材の欠損を補修

衝撃を受け，必要な追加補修ないし追加遮蔽を実施した金属キャスクについて，遮蔽性，密封性，除熱性，未臨界性，構造健全性等について，データ採取及び解析により確認を行う。

これにより，事業所外運搬規則第6条に基づく一般の試験条件，特別の試験条件を満足することを確認し，通常輸送により，使用済燃料貯蔵施設外へ搬出を行う。

一般の試験条件，特別の試験条件の満足を確認できない場合には，遮蔽性を確認するとともに，運搬に当たって講ずる障害防止のための措置を検討し，事業所外運搬規則第14条に定める特別措置により，使用済燃料貯蔵施設外へ搬出を行う。

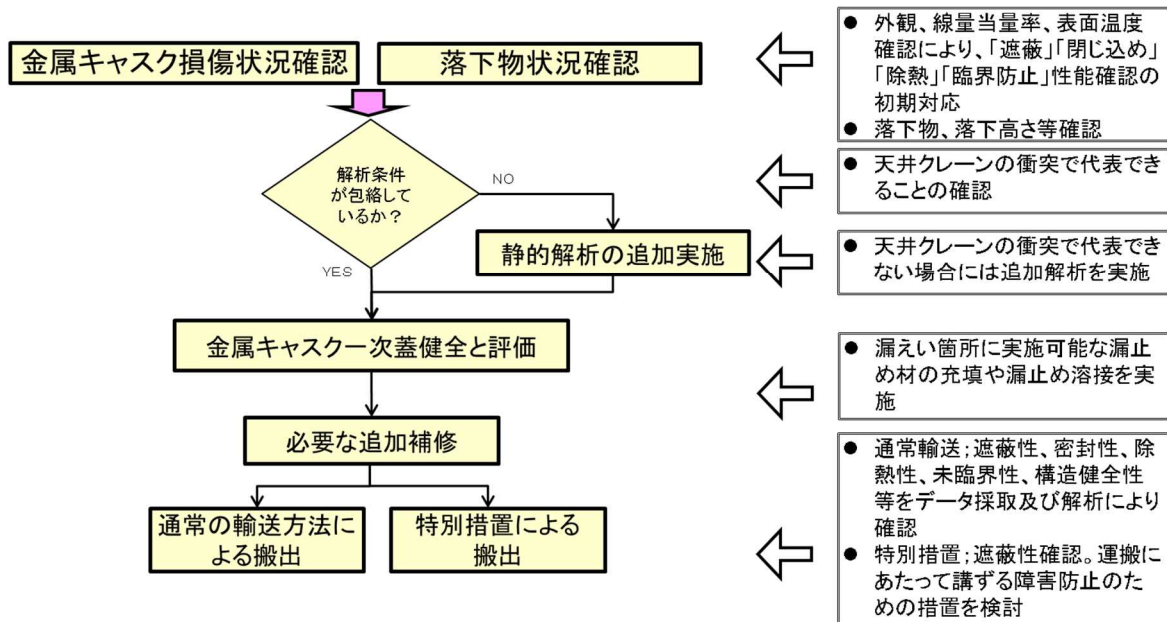
仮想的な大規模津波による受入れ区域損傷に伴う落下物の想定条件を第6-2表に示す。また，衝撃を受けた金属キャスクの基本的な対応方針（天井クレーン，天井スラブ，クレーンガード）を第6-1図(1)～(3)に示す。

第 6-2 表 仮想的大規模津波による受入れ区域損傷に伴う落下物の想定条件

	落下物	金属キャスク姿勢	緩衝体の有無
①	天井クレーン	水平(たて起こし架台)	なし
②	天井スラブ	縦(移動中)	なし
③	クレーンガーダ	水平(仮置架台) 水平(たて起こし架台)	あり なし

ケース①の対応フロー

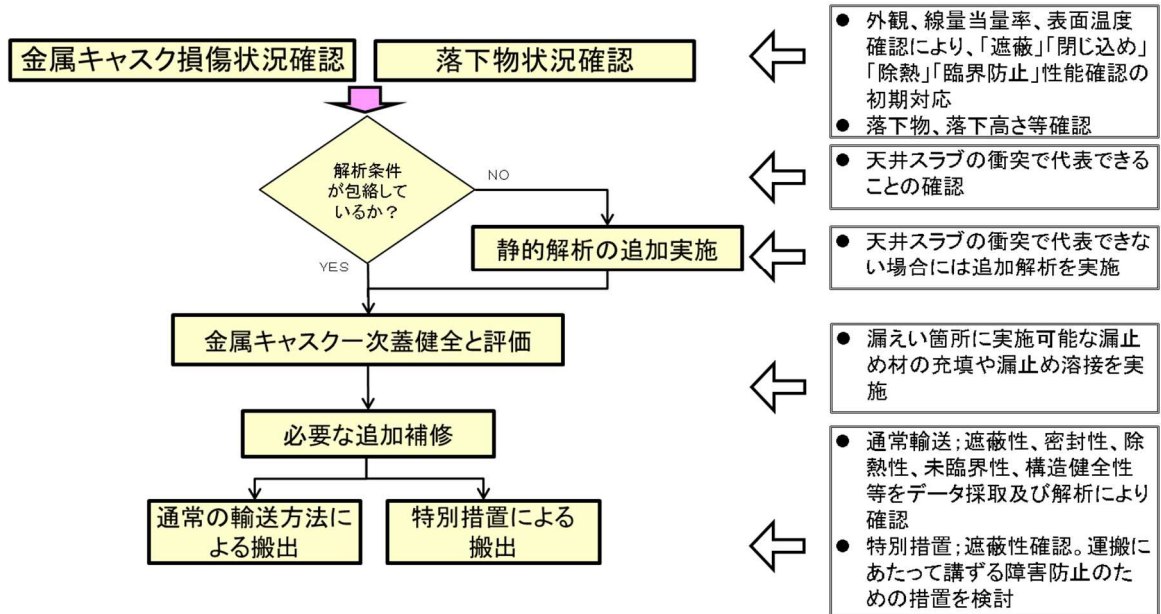
天井クレーンが、水平状態の金属キャスクに落下し、閉じ込め(密封)機能に影響のおそれ



第 6-1 図(1) 衝撃を受けた金属キャスクの基本的な対応フロー(天井クレーン)

ケース②の対応フロー

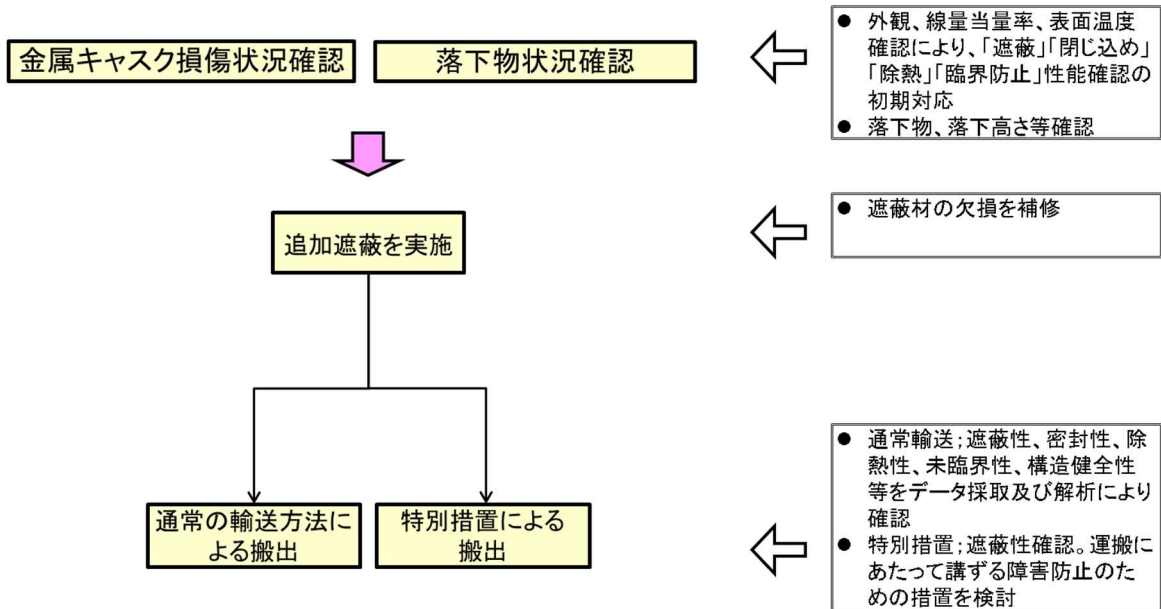
天井スラブが、縦状態の金属キャスクに落下し、密封機能に影響のおそれ



第 6-1 図(2) 衝撃を受けた金属キャスクの基本的な対応フロー (天井スラブ)

ケース③の対応フロー

クレーンガーダが、水平状態の金属キャスクに落下し、遮蔽機能に影響のおそれ



第 6-1 図(3) 衝撃を受けた金属キャスクの基本的な対応フロー (クレーンガーダ)

(3) 衝撃を受けた金属キャスクの基本的安全機能に係る初期確認，保守・修理，及び試験検査の対応について

a. 遮蔽に係る初期確認，保守・修理，及び試験検査の対応について

(a) 初期確認

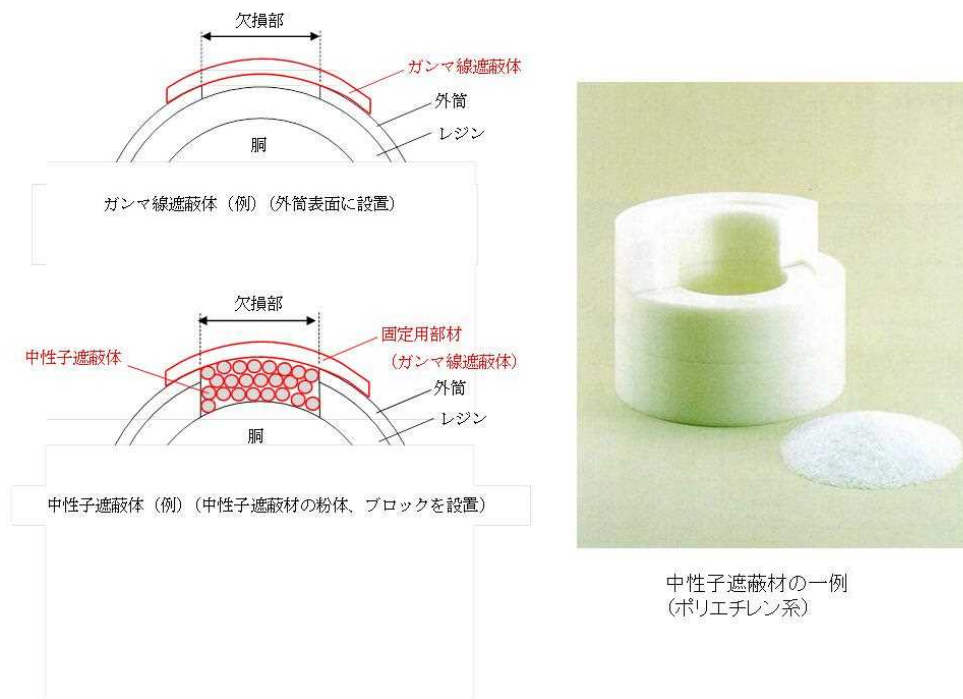
金属キャスクの損傷等により遮蔽機能が損なわれていないことの確認のため，雰囲気線量の測定として，該当する金属キャスクの周囲の線量上昇有無の確認を実施する。

具体的には，外観検査として外筒部の変形や損傷の有無確認を，キャスク線量当量率の測定として外観検査で異常がある箇所での線量当量率の測定をそれぞれ実施する。

(b) 保守・修理

外筒，中性子遮蔽材（レジン）の損傷の場合，敷地境界外における公衆の実効線量の評価条件を満足するよう追加遮蔽を行う。

第 6-2 図に，追加遮蔽の例を示す。



第 6-2 図 衝撃を受けた金属キャスクの追加遮蔽の例

(c) 搬出に必要な試験・検査

必要な追加遮蔽を行った上で、通常の輸送、一般の試験条件の線量当量率(金属キャスクの表面で 2mSv/h 以下、表面から 1m で 0.1mSv/h 以下) を満足することを線量当量率検査(γ 線と中性子の合計)にて確認する。第 6-3 図に中性子線用サーベイメータの例を示す。

事業所外運搬規則第 14 条に基づく輸送では、金属キャスクの表面で 10mSv/h 以下を満足するように、追加遮蔽や人が近づけないような手段を講ずる。



第 6-3 図 中性子線用サーベイメータの例

b. 閉じ込め(密封)に係る初期確認, 保守・修理, 及び試験検査の対応について

(a) 初期確認

金属キャスクの損傷等により閉じ込め(密封)機能が損なわれていないことの確認のため、以下の確認を実施する。

具体的には、雰囲気線量の測定として該当する金属キャスクの周囲の線量上昇がないことの確認を、外観検査として蓋部の変形や損傷、架台からの落下の有無の確認を、また最外層の蓋の気密漏えい検査を実施する。

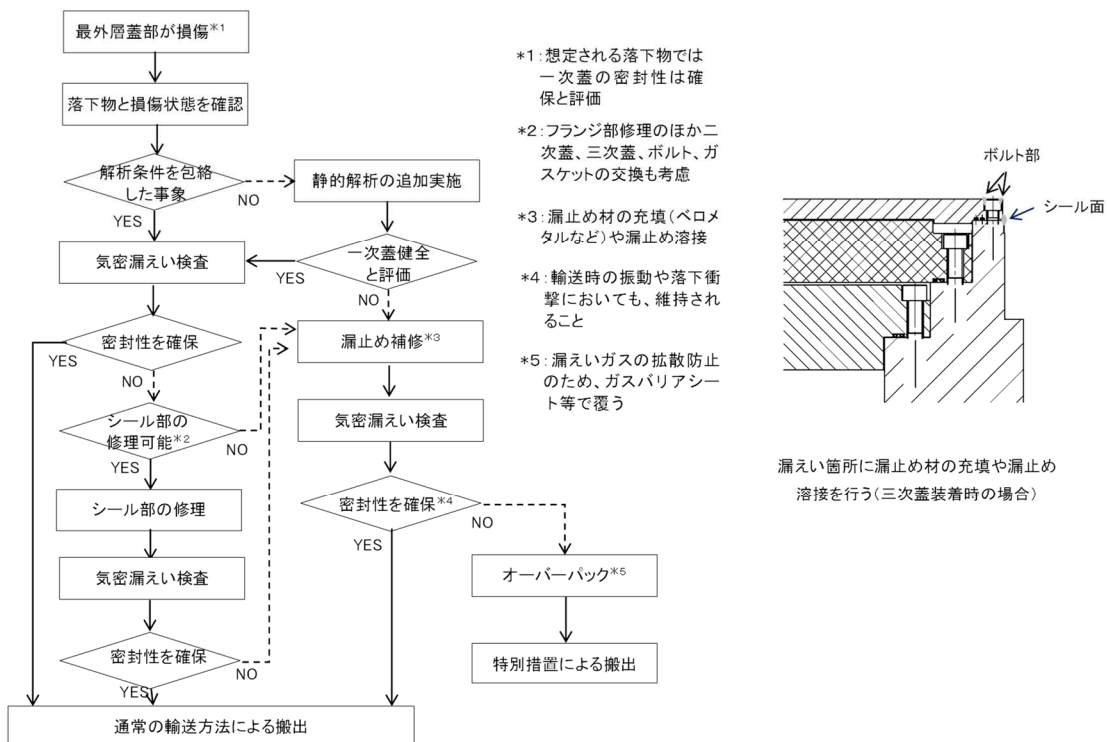
なお、最外層の蓋の気密漏えい検査については、損傷が軽微で通常の検査ができる場合は漏えい率を測定し、できない場合は「保守・修理」に移行する。

(b) 保守・修理

金属キャスクの一次蓋の密封性(敷地境界外における公衆の実効線

量が年間 1mSv に比べ極めて小さい) は確保される。

最外層の蓋に異常がある場合は、漏えい箇所に漏れ止め材の充填や漏れ止め溶接等追加補修を行う。第 6-4 図に補修フローを示す。



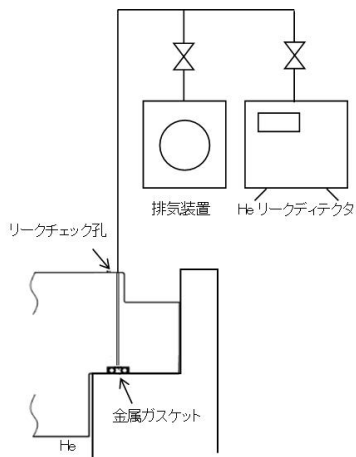
第 6-4 図 補修フロー

(c) 搬出に必要な試験・検査

必要な漏れ止めを行った上で、一般の試験条件の漏えい率を満足することを気密漏えい検査にて確認する。

事業所外運搬規則第 14 条に基づく輸送では、安全な運搬を確保するため放射線障害防止の措置(オーバーパック等の拡散防止)を講ずる。

第 6-5 図に、気密漏えい検査の例を示す。



第 6-5 図 気密漏えい検査(He リーク試験)の例

c. 除熱に係る初期確認，保守・修理，及び試験検査の対応について

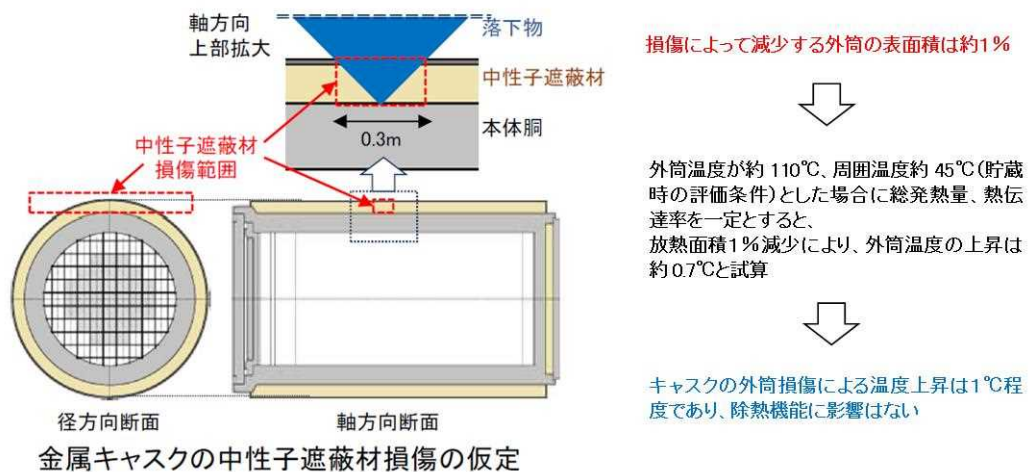
(a) 初期確認

金属キャスクの変形等により除熱機能が損なわれていないことの確認のため，外観検査として落下物や瓦礫を撤去した後に外筒部の変形や損傷の有無を確認するとともに，金属キャスクの表面温度の測定として表面温度の温度計による測定を実施する。

(b) 保守・修理

仮にクレーンガーダが落下し金属キャスクの外筒が損傷することにより放熱面積が減少しても，温度上昇はわずかである。第 6-6 図に想定する損傷に伴う除熱への影響を示す。

状況に応じて，落下物の撤去等により周囲に空間を設けて自然対流の促進を実施する。



第 6-6 図 想定する損傷に伴う除熱への影響

(c) 搬出に必要な試験・検査

使用済燃料貯蔵施設外へ搬出するために，輸送中に人が容易に近づくことができる表面（近接防止柵を設ける場合には，当該近接防止柵の表面）が法令基準を満足するか表面温度を測定する。

第 6-7 図に，可搬型温度計の例を示す。



第 6-7 図 可搬型温度計の例

d. 臨界防止に係る初期確認，保守・修理，及び試験検査の対応について

(a) 初期確認

金属キャスクの変形等により臨界機能が損なわれていないことの確認のため，雰囲気線量の測定として該当する金属キャスク周囲の線量上昇の有無を確認するとともに，外観検査として外筒部の変形や損傷，架台からの落下の有無を確認する。

なお，周囲の落下物や瓦礫は記録した上で，それらを撤去し，衝突しうる物が既往の評価事象である天井クレーンや天井スラブの衝突事象に包絡されることを確認する。

(b) 保守・修理

一次蓋の閉じ込め(密封)機能が維持されていれば水の浸入はないこと，除熱機能が維持されていれば，バスケットや燃料への影響はないこと及び落下物による衝撃力によるバスケットや燃料への影響はないことから，保守・修理は不要と考えられる。

(c) 搬出に必要な試験・検査

二重の水密性を試験で確認する。なお，冠水状態の未臨界を確保できる場合は，一重の密封性で輸送する場合もある。

遮蔽，閉じ込め，除熱及び臨界防止の各基本的安全機能につき，初期確認，保守・修理及び搬出に必要な試験・検査として実施する項目を第 6-3 表に示す。

第 6-3 表 衝撃を受けた金属キャスクの基本的安全機能に係る
初期確認, 保守・修理及び搬出に必要な試験・検査

	初期確認	保守・修理	搬出に必要な試験・検査
遮蔽	<ul style="list-style-type: none"> 外筒部の変形や損傷の有無を確認 金属キャスクの線量当量率の測定として外観検査で異常がある箇所での線量当量率の測定を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 外筒, 中性子遮蔽材(レジン)の損傷の場合, 敷地境界外における公衆の実効線量の評価条件を満足するよう追加遮蔽を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 必要な追加遮蔽を行った上で, 通常の輸送, 一般の試験条件の線量当量率を満足することを線量当量率検査で確認 事業所外運搬規則第 14 条に基づく輸送では, 金属キャスクの表面で線量当量率を満足するよう, 追加遮蔽や接近防止を実施
閉じ込め(密封)	<ul style="list-style-type: none"> 該当する金属キャスク周囲の線量上昇の有無を確認 蓋部の変形や損傷, 架台からの落下の有無を確認 最外層の蓋の気密漏えい検査を実施 (通常の検査が困難な場合は保守・修理に移行) 	<ul style="list-style-type: none"> 落下物が衝突しても金属キャスクの一次蓋の密封性は確保 最外層の蓋に異常がある場合は, 漏えい箇所に漏れ止め材の充填や漏れ止め溶接等追加補修を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 必要な漏れ止めを行った上で, 一般の試験条件の漏えい率を満足することを気密漏えい検査で確認 事業所外運搬規則第 14 条に基づく輸送では, 安全な運搬を確保するため放射線障害防止の措置(オーバーパック, 離隔距離の確保)を実施
除熱	<ul style="list-style-type: none"> 外筒部の変形や損傷の有無を確認 金属キャスクの表面温度の温度計による測定を実施 	<ul style="list-style-type: none"> 仮に金属キャスクの外筒が損傷し放熱面積が減少しても温度上昇はわずかと考えられるが, 状況に応じて落下物, 土砂及び津波漂流物の撤去により周囲に空間を設け自然対流を促進 	<ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料貯蔵施設外へ搬出するために, 輸送中に人が容易に近づくことができる表面(近接防止枠を設ける場合には, 当該近接防止枠の表面)が法令基準を満足するよう温度を測定
臨界防止	<ul style="list-style-type: none"> 該当する金属キャスク周囲の線量上昇の有無を確認 外筒部の変形や損傷, 架台からの落下の有無を確認(落下物や瓦礫は記録した上で撤去し, 衝突事象が既往の評価事象に包絡されることを確認) 	<ul style="list-style-type: none"> 保守・修理は不要と考えられる (閉じ込め機能が維持され水が浸入しないこと, 落下物によるバスケットや燃料への影響はないことから, 臨界の可能性は考え難い) 	<ul style="list-style-type: none"> 二重の水密性を試験で確認(冠水状態の未臨界を確保できる場合は一重で輸送する場合もある)

7. 敷地内の浸水を想定した対策

貯蔵建屋や事務建屋等主要な建屋は貯蔵建屋設置盤に設置されており、仮想的な大規模津波による敷地内の浸水を仮定することから、「6. 衝撃を受けた金属キャスクの対策」で実施する対策以外にも対策を講ずる。

遮蔽機能に関する対策として、受入れ区域が損傷した場合の遮蔽機能回復の応急復旧手段を講ずるとともに、津波襲来後に環境放射線管理、貯蔵建屋周辺の線量管理及び個人の被ばく管理を行えるよう手段を講ずる。

貯蔵区域で貯蔵中の金属キャスクは受入れ区域の損傷による落下物や津波漂流物による衝撃を受けることはなく、基本的な安全機能が損なわれるおそれはないが、津波襲来後の敷地内の浸水により通常の監視機能が喪失するため、外部支援等の準備が整い次第、金属キャスクの遮蔽機能、閉じ込め機能及び除熱機能の確認を行う代替計測に必要な手段を講ずる。

また、津波襲来後の活動インフラとして、事務建屋浸水後の活動の拠点としての予備緊急時対策所、津波襲来後の短期的な活動に必要な資材の保管場所としての高台資材保管庫及び活動に必要な電力を供給するための災害対応電源を準備するとともに、津波襲来後は、速やかに体制を整備する。

(1) 対策の全体方針

リサイクル燃料備蓄センターの主要既設設備の配置を第 7-1 図(1)に、主要既設設備に対する浸水の影響及び対応を第 7-1 表にそれぞれ示す。

主要な建物・構築物は T. P. +16m の貯蔵建屋設置盤に設置されており、仮想的な大規模津波（津波高さ T. P. +23m）による浸水が想定されるとともに、波圧による受入れ区域の損傷を仮定することから、このような状況を想定した対応を実施する。

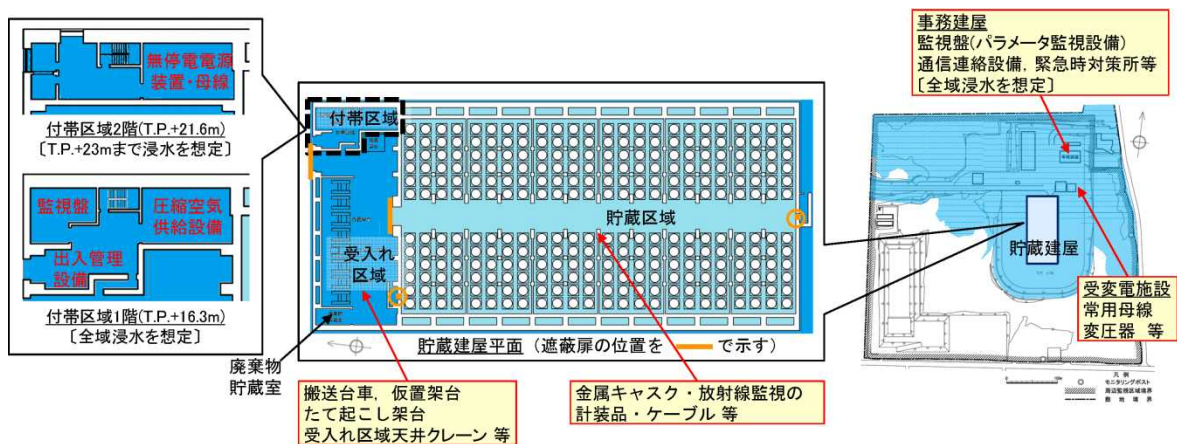
また、対応要員による基本的な安全機能維持の確認等は、津波の遡上波が到達しない標高（T. P. +30m）の敷地（以下「高台」という。）の予備緊急時対策所とする建物、可搬型計測機器、代替電源、燃料設備、資機材保管庫等を使用し対応する。予備緊急時対策所等の設置場所を第 7-1 図(2)に示す。

津波襲来後の対応のうち、金属キャスクの基本的な安全機能の維持を確認するための試験、検査及び当該確認結果のセンター外必要箇所への通信連絡については、速やかに対応し以後継続的に対応する。なお、基本的な安全機能のう

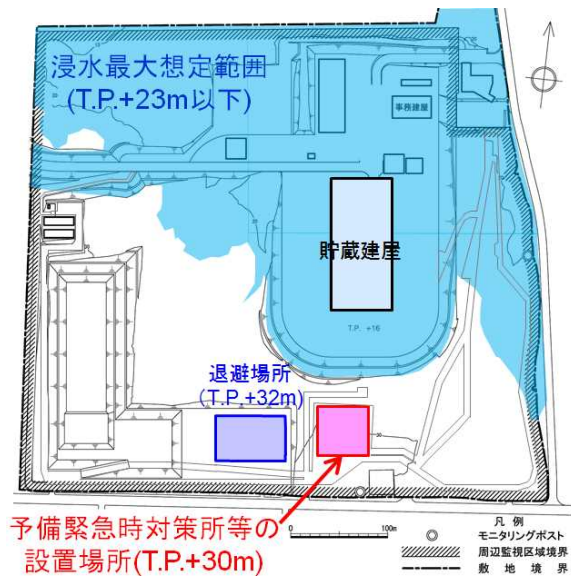
ち臨界防止機能維持については金属キャスクの設計で担保されることから、金属キャスクの基本的安全機能の維持を確認するための試験、検査の対象とする基本的安全機能は、遮蔽機能、閉じ込め機能及び除熱機能とする。

また、受入れ区域損傷に伴う重量物の落下・衝突の影響により万が一金属キャスクに損傷が認められた場合に、金属キャスクの基本的安全機能を維持するために必要な補修及び金属キャスクを施設外へ搬出するために必要な確認については、準備が整い次第順次実施する。

以上の措置に必要な設備及び資機材の仕様は、一定期間外部支援に期待できないことを考慮するとともに調達の可能性も考慮したものとする。また、高台の設備及び資機材の通常時における保管においては竜巻等の自然現象の影響を考慮する。



第 7-1 図(1) 主要既設設備の配置



第 7-1 図(2) 予備緊急時対策所等の設置場所

第 7-1 表 主要既設設備に対する浸水の影響及び対応

主要既設設備	主な影響	対応
<u>受入施設</u> ・天井クレーン ・搬送台車，圧縮空気供給設備 ・仮置架台，たて起こし架台，検査架台	・電源の喪失により天井クレーンによる移送が不能となる。 ・搬送台車及び圧縮空気供給設備の浸水により移送が不能となる。	・金属キャスクの基本的安全機能は確保されることから，短期的な金属キャスクの移送自体は必須とはならないため，中長期的に移送・搬送手段の復旧を図る。
<u>計測制御系統施設</u> ・金属キャスク蓋間圧力監視装置 ・金属キャスク表面温度監視装置 ・貯蔵建屋給排気温度監視装置	・監視盤室（貯蔵建屋）の浸水，計装品・ケーブル類の浸水，電源の喪失により機能を喪失する。	・基本的安全機能が確保されていることを継続的に確認するため，浸水及び機能喪失の程度に応じて，計装品やケーブル類の交換，代替計測等の手段により監視手段を確保する。 ・計装品・ケーブル類の予備品，代替計測機器，予備電源等を，津波が遡上しない場所に確保する。
<u>放射線管理施設</u> ・出入管理設備 ・個人管理用測定設備 ・エリアモニタリング設備 ・環境モニタリング設備	・付帯区域（貯蔵建屋）の浸水，電源の喪失等により，出入管理及び個人管理用測定の機能を喪失する。 ・監視盤室の浸水，ケーブル類の浸水，電源の喪失によりエリアモニタ，モニタリングポストの機能を喪失する。	・出入管理については，人による監視の強化で対応する。 ・代替計測に必要な機材（サーベイメータ）や予備の個人線量計等を，津波が遡上しない場所に確保する。
<u>電気設備</u> ・変圧器，遮断器，母線等 ・無停電電源装置	・受変電施設，電気品室（貯蔵建屋），ケーブル管路が浸水し，機能を喪失する。	・金属キャスク監視，放射線監視，通信連絡，設備復旧等の活動に要する予備の電源を，津波が遡上しない場所に確保する。
<u>通信連絡設備等</u>	・事務建屋内及び監視盤室（貯蔵建屋）内の設備が浸水し，機能を喪失する。	・予備の対応拠点及び機器（衛星携帯電話，無線連絡機器等）を，津波が遡上しない場所に確保する。
<u>廃棄施設</u>	・廃棄物貯蔵室が浸水し，ドラム缶が廃棄物貯蔵室外，敷地内及び敷地外へ漂流する可能性がある。	・廃棄物の発生は通常想定されず，また発生しても極めて少量であり影響は小さいと考えられるが，漂流防止対策として，水面に浮上するドラム缶は水面に浮上できる大きさのネットで覆う。
<u>消防用設備</u>	・監視盤室の浸水，ケーブル類の浸水，電源の喪失により火災感知設備の機能を喪失する。	・人による監視の強化で対応する。なお，既設電源が喪失している場合，貯蔵建屋内における電気火災発生の可能性は小さいと考えられる。なお，火災発生時には，津波が遡上しない場所に確保した消火器で消火する。

(2) 金属キャスク（貯蔵区域）の基本的安全機能の確認

貯蔵区域で貯蔵中の金属キャスクは受入れ区域の損傷による落下物や津波漂流物による衝撃を受けることはなく、基本的安全機能が損なわれるおそれはないが、津波襲来後の敷地内の浸水により通常の監視機能が喪失することから、基本的安全機能の確認を実施する手段を講ずる。

a. 金属キャスクの遮蔽機能の確認手段

通常時は、モニタリング設備により放射線量率を計測し、遮蔽機能が確保されていることを確認する。周辺監視区域境界付近のモニタリング設備として、周辺監視区域境界付近に固定モニタリング設備（モニタリングポスト2基及びモニタリングポイント12地点）を設置している。また、貯蔵建屋内のモニタリング設備として、エリアモニタリング設備（エリアモニタ）を設置している。

仮想的な大規模津波襲来により、電源設備及びモニタリングポスト1基が水没した場合、高台を拠点とした遮蔽機能維持の確認として、金属キャスクの可視範囲及び周辺の状況について外観目視確認を行い、金属キャスク表面の損傷状況及び落下物の状況を確認する。

併せて高台に配備された可搬型計測機器を用い、通常時に測定している定点の周辺監視区域境界付近（モニタリングポスト所在地2点）及び貯蔵建屋内（7点）について代替計測を実施し有意な放射線の線量当量率上昇が認められないこと確認する。

有意な放射線の線量当量率上昇を検知した場合は、その原因と疑われる金属キャスク各々の線量率測定及び外観の目視確認により当該金属キャスクを特定し、仮設遮蔽の設置、柵等による区画等の必要な措置を講ずる。

遮蔽機能維持の確認のための金属キャスク等へのアクセスに当たっては、損傷した受入れ区域の建屋構造材の落下及び津波漂流物の漂着が想定されることから、状況に応じ重機を用いこれらを除く。

b. 金属キャスクの閉じ込め機能の確認手段

通常時は、蓋間圧力監視装置により蓋間圧力を計測し、閉じ込め機能が確保されていることを確認する。

仮想的な大規模津波襲来により電源設備及び金属キャスクが水没した場合、高台を拠点とした閉じ込め機能維持の確認として、金属キャスクの可視範囲及び周辺の状態について外観目視確認を行う。

併せて周辺監視区域境界付近の線量当量率上昇がないことを可搬型計測機器にて確認し、有意な変化が認められない場合は外観目視確認結果と合わせて閉じ込め機能が損なわれていないと判断し、その後準備が整い次第仮設計器による代替計測を実施する。

遮蔽機能維持の確認のための金属キャスク等へのアクセス確保については、「a. 金属キャスクの遮蔽機能の確認手段」と同様である。

c. 金属キャスクの除熱機能の確認手段

通常時は、表面温度監視装置及び給排気温度監視装置により、金属キャスク表面温度及び貯蔵建屋の給排気温度を計測し、監視盤室にて監視し、除熱機能が確保されていることを確認する。

仮想的な大規模津波襲来により電源設備及び金属キャスク周辺が浸水した場合の高台を拠点とした除熱機能維持の確認として、金属キャスクの可視範囲及び周辺の状態について外観目視確認を行い、金属キャスクの損傷等の状態を確認する。併せて高台の可搬型計測機器を用い、通常時に測定している金属キャスクの表面温度検出器の近傍と給排気温度検出器近傍の代替計測を実施し、有意な温度上昇が認められないこと確認する。

除熱機能維持の確認のための金属キャスク等へのアクセス確保については、「a. 金属キャスクの遮蔽機能の確認手段」と同様である。

金属キャスク（貯蔵区域）の基本的な安全機能の確認として実施する項目の概要を、(4)で述べる津波襲来後の活動に必要な対策として実施する項目の概要と併せて第7-2表に示す。

(3) 代替計測

a. 遮蔽機能の代替計測

通常時は、貯蔵建屋内のモニタリング設備であるエリアモニタリング設備（エリアモニタ）及び周辺監視区域境界付近固定モニタリング設備

の内モニタリングポスト2基により放射線の線量当量率を計測し、遮蔽機能が確保されていることを確認する。

既設のモニタリング設備は、仮想的な大規模津波襲来による浸水の影響で電源設備及びモニタリングポスト1基が水没して機能喪失し、放射線の線量当量率の監視ができなくなることから、津波襲来後の確認は可搬型計測機器を用いた代替計測で対応する。

(a) エリアモニタリング設備

可搬型の放射線サーベイメータにより、ガンマ線と中性子を計測する。測定ポイントは通常時に測定している定点（貯蔵建屋内7点）とし、通常時測定値との比較により遮蔽機能の異常の判断を行う。

(b) 周辺監視区域境界付近モニタリング設備

可搬型の放射線サーベイメータにより、ガンマ線と中性子を計測する。測定ポイントは通常時に測定している定点（既設モニタリングポスト所在地2点）とし、通常時測定値との比較により遮蔽機能の異常の判断を行う。なお、可搬型の放射線サーベイメータは、参考に示すモニタリングポストの計測範囲のガンマ線及び中性子の線量当量率が測定可能である。

なお、通常時の測定値を大幅に超えるような測定値が得られた場合には、その原因と疑われる金属キャスク各々の線量率測定及び外観の目視確認を重点的に実施し、仮設の遮蔽の設置、柵等の物理的障壁設置による接近制限等必要な措置を講ずる。

使用機材は以下のとおりである。

・可搬型ガンマ線用サーベイメータ

計測方式 シンチレーション, 電離箱

数量 各1台*

・可搬型中性子線用サーベイメータ

計測方式 ^3He 比例計数管

数量 1台*

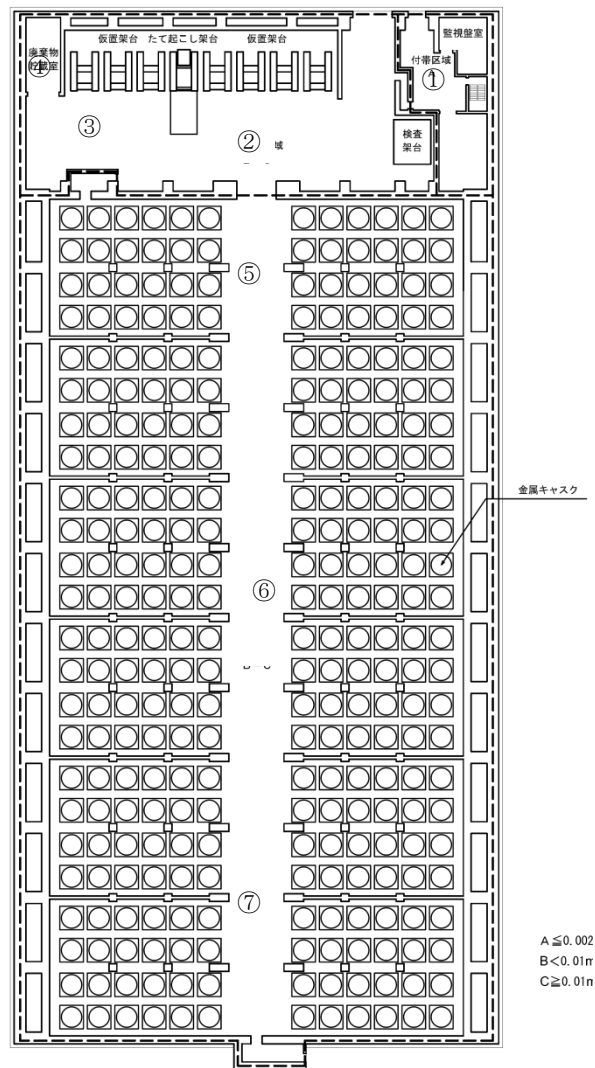
*) 点検校正のため高台資材保管庫から持ち出す場合は、通常使用してい

るサーベイメータの中から高台資材保管庫に補充する。

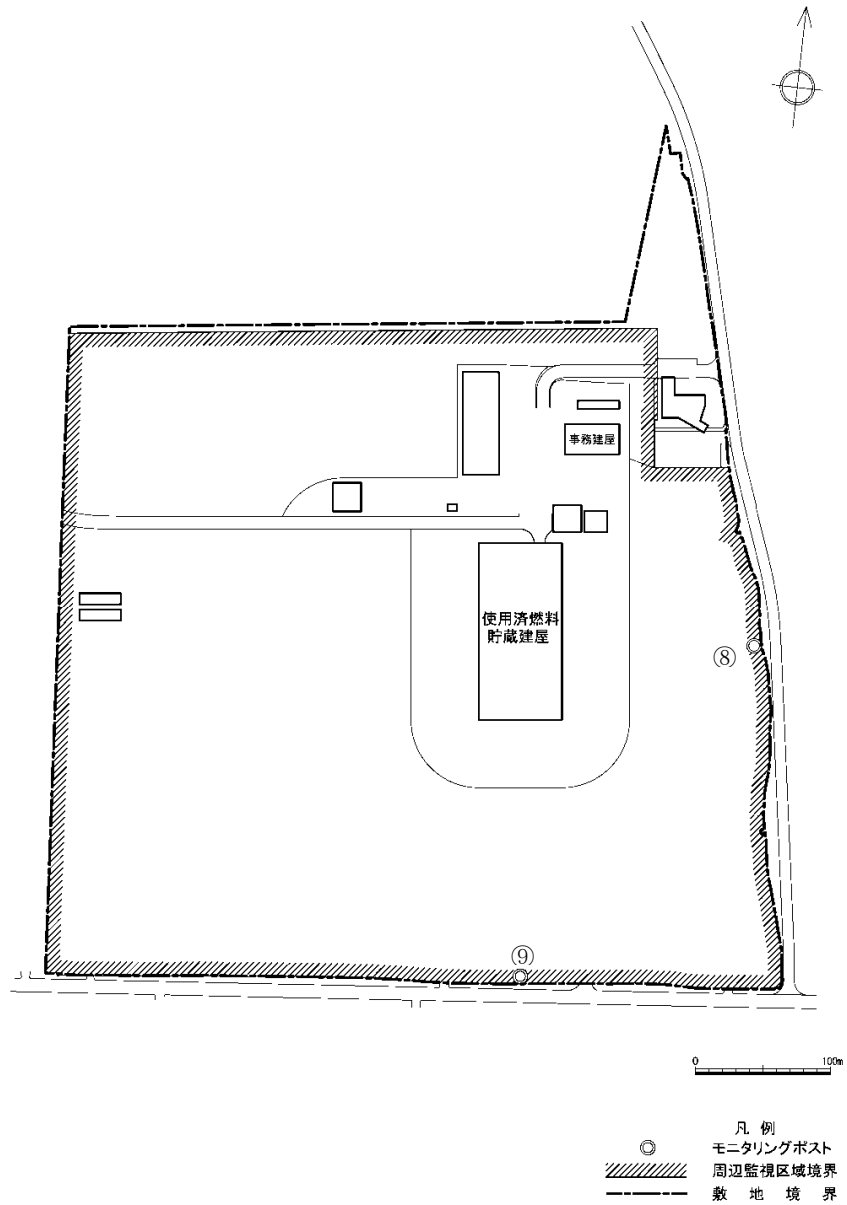
代替計測に用いる可搬型の放射線サーベイメータは、津波襲来時の浸水の影響を受けない高台の資材保管庫に保管し、速やかな確認ができるよう保管環境を維持する。

貯蔵建屋内の測定ポイントを第 7-2 図(1)に、周辺監視区域境界付近の測定ポイントを第 7-2 図(2)にそれぞれ示す。

貯蔵建屋 1 階



第 7-2 図(1) 貯蔵建屋内の測定ポイント



第7-2 図(2) 周辺監視区域境界付近の測定ポイント

(参考) モニタリングポストの計測範囲

	計測範囲
ガンマ線 (シンチレーション) (電離箱)	$10 \sim 10^4$ nGy/h
	$10^3 \sim 10^8$ nGy/h
中性子	$10^{-2} \sim 10^4$ μ Sv/h

b. 閉じ込め機能の代替計測

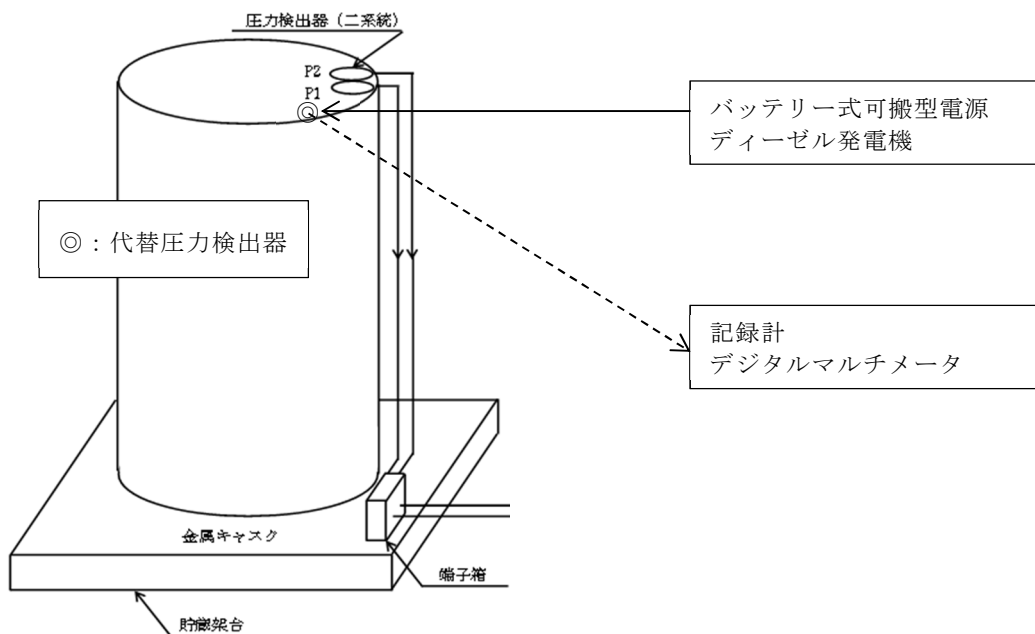
通常時は、蓋間圧力監視装置により金属キャスクの蓋間圧力を計測し、閉じ込め機能が確保されていることを確認する。

貯蔵区域に貯蔵中の金属キャスクについては、仮想的な大規模津波襲来時、貯蔵区域への津波の侵入に伴い金属キャスク上部まで水没し、既設の圧力検出器の機能喪失が想定される。蓋間圧力は可搬型計測機器による計測が困難であることから、津波の冠水状態が解消した後、清掃や仮設電源設備の設置等の準備作業を行い、代替の圧力検出器を取り付け、蓋間圧力を確認し有意な圧力低下が生じていないことを確認する。

(a) 蓋間圧力の確認

金属キャスクの蓋部にて代替の圧力検出器の取付けと仮設電源の接続を行い、出力信号をデジタルマルチメータあるいは記録計を接続して測定値を読み取ることとし、バッテリー式可搬型電源、ディーゼル発電機等を電源として用いる。

金属キャスクの蓋間圧力の代替計測の概要を第7-3図に示す。



第7-3図 金属キャスクの蓋間圧力の代替計測の概要

(b) 使用機材

使用機材は以下のとおりである。

- ・代替圧力検出器 最大 300 台程度^{*1} (うち予備 12 台^{*1})
- ・記録計又はデジタルマルチメータ 最大 10 台^{*1} (うち予備 2 台^{*1})
- ・バッテリー式可搬型電源又は可搬型ディーゼル発電機
2 台^{*2} (うち予備 1 台^{*2})

*1) いずれも金属キャスクの最大保管数量時

*2) 金属キャスクの保管数量に応じ変動

(c) 準備作業と期間

仮想的な大規模津波により貯蔵建屋内は浸水し、電源設備も浸水することから貯蔵建屋内の照明器具類もすべて使用できなくなる。そのため、海水の排水後、仮設照明の設置と並行して清掃作業を進めることになる。また、金属キャスクの上部まで浸水することから圧力検出器は使用できなくなり代替の圧力検出器の取付けが必要となるため、金属キャスク上部へのアクセス用足場の設置や金属キャスク蓋部の洗浄も必要となる。

代替計測の準備が完了したものから計測は開始することになるが、全 288 基の金属キャスクの代替計測準備完了までには、仮設照明設置等の準備作業を含めて約 2 ヶ月程度を有する見込みである（受入れ区域の金属キャスクは含まない）。

なお、福島第一原子力発電所及び東海第二発電所でのキャスク保管実績では、蓋間圧力の異常を検知した例は無く、また仮に基準漏えい率の 100 倍で漏えいしたとしても大気圧に達するまで約 3 ヶ月を要するとの評価^{*3}もあることから、最長で欠測期間が 2 ヶ月程度となるが、浸水による影響だけであり閉じ込め機能には問題はないと考えられる。

*3) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する規制要求の考え方（案）（原子力規制委員会使用済燃料輸送貯蔵兼用キャスク貯蔵に関する検討チーム、H29.6.26）

c. 除熱機能の代替計測

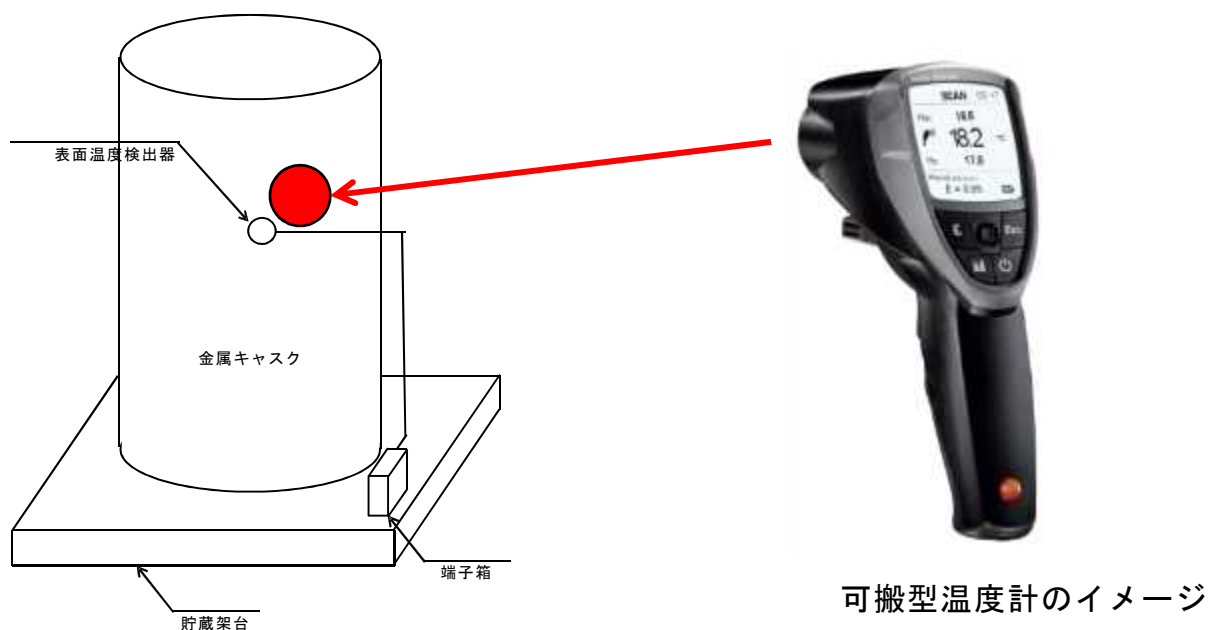
通常時は、表面温度監視装置及び給排気温度監視装置により、金属キャスク表面温度及び貯蔵建屋の給排気温度を計測し、監視盤室にて監視し、除熱機能が確保されていることを確認する。

仮想的な大規模津波襲来により電源設備及び金属キャスクが水没した場合、機能を喪失することから、高台に配備された可搬型計測機器を用い、通常時に測定している金属キャスクの表面温度検出器の近傍と給排気温度検出器近傍の代替計測を実施し、有意な温度上昇が認められないことを確認する。

(a) 金属キャスク表面温度

金属キャスク表面温度は、非接触型の可搬型温度計を用いて金属キャスクの表面温度検出器近傍の温度を計測する。

金属キャスク表面温度の代替計測の概要を第7-4図に示す。



第7-4図 金属キャスク表面温度の代替計測の概要

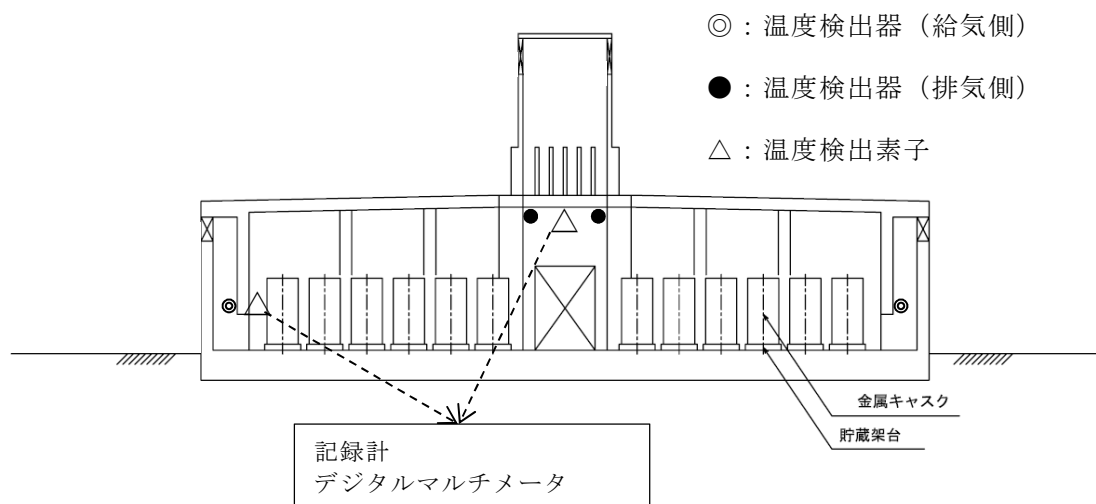
(b) 貯蔵建屋給排気温度

貯蔵建屋給排気温度は、測温抵抗体等の温度検出素子をポールに取り付けて既設給排気温度計近傍に近づけ、出力信号をデジタルマルチメータまたは記録計に接続して測定値を読み取る。

記録計、デジタルマルチメータの電源として、バッテリー式可搬型電源またはディーゼル発電機を用いる。

代替計測に用いる温度検出素子、可搬型温度計、電源等は高台の資機材保管庫に保管し、保管環境を維持するとともに適時充電が可能な設計とする。

貯蔵建屋給排気温度の代替計測の概要を第7-5図に示す。



第7-5図 貯蔵建屋給排気温度の代替計測の概要

d. 代替計測時の浸水想定及び漂流物の影響

代替計測時の貯蔵区域の浸水想定は、貯蔵区域－受入れ区域間の遮蔽扉が「開」のときに地震が発生し電源喪失することで速やかな「閉」操作が困難な状態での津波襲来を想定することから、受入れ区域の損傷と相まって、津波は貯蔵区域－受入れ区域間の遮蔽扉開口部から貯蔵区域内に流入する想定とし、同区域の浸水深は貯蔵建屋外と同じ7mとなり、一時的に高さ約5mの金属キャスク上部まで冠水状態となる。

このため、貯蔵区域の金属キャスクの外観目視確認及び代替計測については、同区域の冠水状態が解消（状況に応じ排水作業）した後、浸水とともに持ち込まれ貯蔵区域内に堆積した土砂、漂流物等を除去した上で実施する。

(4) 高台に設置する設備及び予め配備する資機材

a. 予備緊急時対策所

仮想的な大規模津波襲来時、事務建屋等の浸水により事務建屋内の緊急時対策本部が機能しないことから、高台にユニットハウス（軽量鉄骨プレハブ建築物）を設置し、仮想的な大規模津波襲来時の対応拠点とする。

予備緊急時対策所は、対応要員の居住環境を考慮し空調、照明等を設置し、外部電源が喪失した場合は電源車から給電する。



第 7-6 図 予備緊急時対策所
(イメージ)

b. 災害対応用電源

地震による送電鉄塔の倒壊等に伴い外部電源喪失が発生した場合でも、無停電電源装置から必要な機器への電源供給は継続され、無停電電源装置の給電時間を超える停電が発生した場合には電源車から無停電電源装置に電気を供給する設計としているが、仮想的な大規模津波襲来時には、無停電電源装置を含む電源設備も浸水し機能喪失が想定される。

仮想的な大規模津波襲来時は、既設の基本的な安全機能の監視装置も浸水により機能喪失し早期の復旧が見込めないことから、既設設備への早期の電源供給は不要である。

一方で、基本的な安全機能維持を確認するための検査、試験ができること等を満足するため、必要な活動は高台の予備緊急時対策所を拠点として対応することから、仮想的な大規模津波襲来時は、電源車により電気を供給する。

また、貯蔵建屋設置盤における対応（補修等復旧作業）に必要な電気は、可搬型ディーゼル発電機により供給する。

・電源車

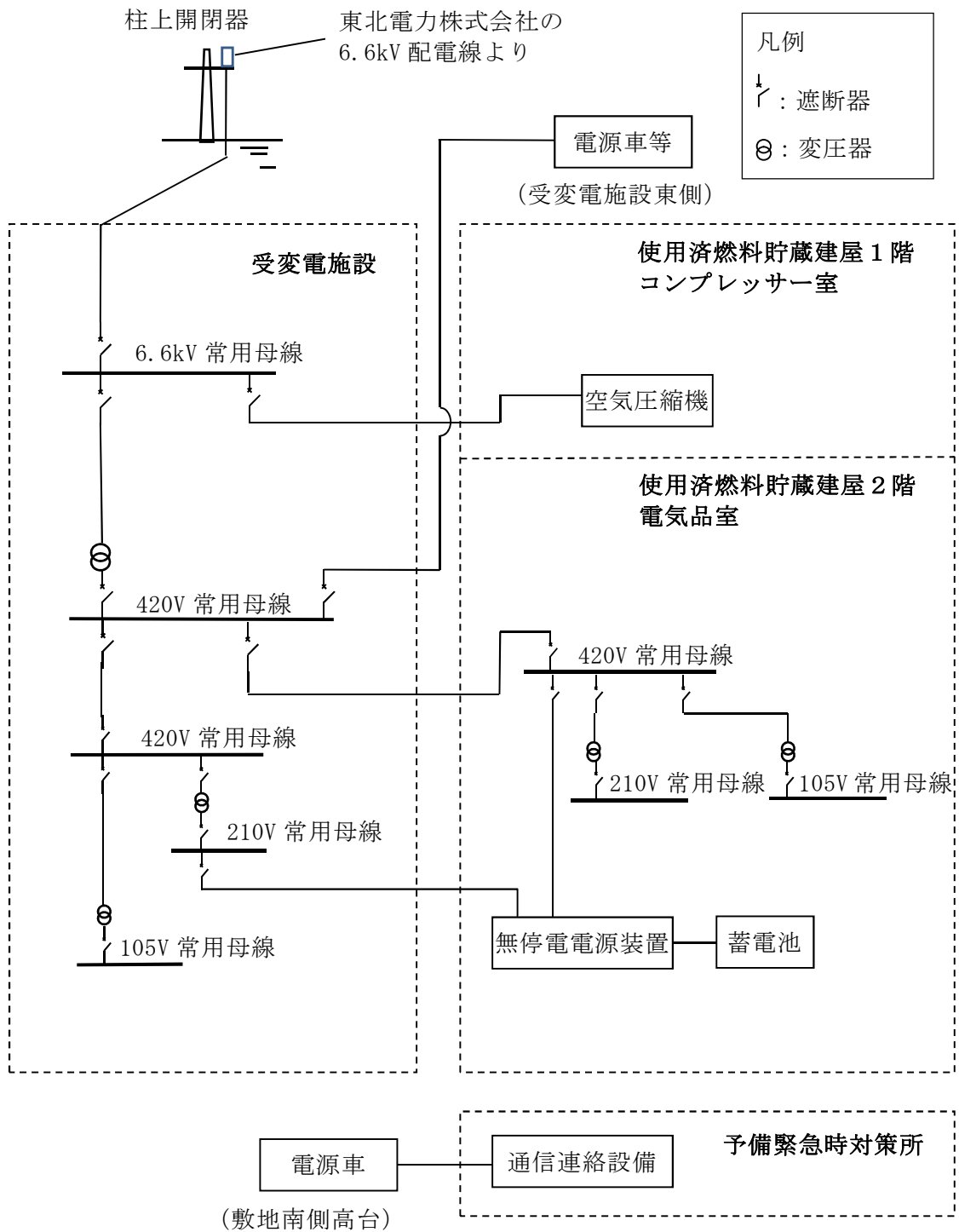
容量 250kVA

燃料 軽油

・可搬型ディーゼル発電機

燃料 軽油

リサイクル燃料備蓄センターの単線結線図を第7-7図に示す。



通常時、電源車は敷地南側高台に設置

外部電源喪失時には受変電施設東側に移動して給電

第7-7図 リサイクル燃料備蓄センターの単線結線図

c. 燃料設備

地下式の燃料貯蔵タンクを設置し、仮想的な大規模津波襲来時の対応に必要な電源車及び可搬型ディーゼル発電機の補給用軽油を貯蔵する。

電源を喪失した場合でも、電源車等への燃料の補給を行える手段を確保する。

・燃料貯蔵タンク（地下式）

容量(ℓ) 4000/個

個数 3（うち予備1）

d. 可搬型計測機器

「(3)代替計測」に記載のとおり。

e. 通信連絡設備

センター内外通信連絡設備の設計については「第21条 通信連絡設備等」に記載のとおりである。

仮想的な大規模津波襲来時は、事務建屋等が浸水し内包するセンター内外通信連絡設備が機能喪失することから、代替となるセンター内外通信連絡設備を使用する。

- ・衛星携帯電話, 衛星携帯電話接続の FAX
- ・携帯型無線連絡設備
- ・通信用バッテリー, 蓄電池

f. 放射線管理資機材

仮想的な大規模津波襲来時の対策要員による復旧作業等における放射線管理のため、放射線管理資機材を使用する。

- ・電子式線量計
- ・GM管式サーベイメータ
- ・装備（タイベック, 全面マスク等）

g. 資機材保管庫

資機材保管庫としてユニットハウスまたは防災備蓄倉庫を設置する。

資機材保管庫には、可搬型計測機器等に加え、対応要員用に食料、水等を配備しておく。

h. 重機等

仮想的な大規模津波による波圧により受入れ区域が損傷することから、落下・堆積した建屋構成材等について以下に例示する重機による撤去を想定する。また、津波漂流物の漂着が想定されることから、アクセス確保作業について重機による撤去を想定する。重機の燃料は軽油とし地下式の燃料貯蔵タンクを補給源とする。

また、復旧作業等に使用する軽油を燃料とする多目的車両を使用する。

- ・ホイールローダ
- ・バックホウ
- ・ユニック
- ・トラック
- ・多目的車両（普通車両）

i. 警報時の退避場所

大津波警報発生時には、津波の遡上波が到達しない退避場所に退避することとする。退避場所は予備緊急時対策所等の設置場所の西側（第7-1図(2)参照）であり、地震発生後の場合は退避場所の状況を確認の上、退避ルートを示す。

退避人員として社員約65人、協力会社約70人を見込み、最大200人を想定し一次避難所として900m²（4.5m²/人）以上を確保する。

（参考）1都4県の避難所面積

- ・一次避難所における避難者1人当たりの収納面積：1.57～2.93m²/人
- ・二次避難所における避難者1人当たりの収納面積：2.15～3.98m²/人
（中央防災会議「首都直下地震避難対策等専門調査会」による「首都直下地震避難対策等専門調査会報告」避難者に係る対策の参考資料(H20.10)より）

なお、津波状況の進展により、津波襲来後の活動（インフラの準備、敷地内状況の目視確認、外部への被災状況の通報連絡、金属キャスクの確認、放射線測定等）に要する要員のみを残す。

津波襲来後の活動に必要な対策として実施する項目の概要を、(2)で述べた金属キャスク（貯蔵区域）の基本的安全機能の確認として実施する項目の概要と併せて第7-2表に示す。

第7-2表 敷地内の浸水を想定して実施する項目の概要

項 目		概 要
金属キャスク (貯蔵区域) の基本的安全 機能の確認	遮蔽機能	<ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの可視範囲及び周辺の状態を目視確認し,金属キャスクの損傷等の状況を確認 ・可搬型計測機器により周辺監視区域境界付近及び貯蔵建屋内で代替計測を実施し,線量当量率の有意な上昇がないことを確認 ・線量当量率の有意な上昇がある場合は,測定及び目視確認により金属キャスクを特定し,仮設遮蔽の設置,柵,縄張り,区画及び掲示物による措置を実施
	閉じ込め 機能	<ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの可視範囲及び周辺の状態を目視確認 ・可搬型計測機器により線量当量率の有意な上昇がないことを確認し,準備が整い次第蓋間圧力の仮設計器による代替計測を実施
	除熱機能	<ul style="list-style-type: none"> ・金属キャスクの可視範囲及び周辺の状態を目視確認し,金属キャスクの損傷等の状況を確認 ・可搬型計測機器による金属キャスク表面温度測定及び仮設計器による貯蔵建屋給排気口近傍の温度の代替計測を実施し,温度の有意な上昇がないことを確認
津波襲来後の 活動に必要な 対策	予備緊急時 対策所	<ul style="list-style-type: none"> ・津波襲来後の金属キャスク監視,通信連絡及び緊急時対策本部の拠点を高台に設置
	災害対応用 電源	<ul style="list-style-type: none"> ・予備緊急時対策所に必要な電気を電源車により供給 ・復旧作業,貯蔵建屋内の仮設照明及び代替計測に用いる仮設計器に必要な電気を可搬型ディーゼル発電機により供給
	燃料設備	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油貯蔵タンクで電源車及び可搬型ディーゼル発電機の補給用燃料を貯蔵
	通信連絡 設備	<ul style="list-style-type: none"> ・代替となるセンター内外の通信連絡設備を使用
	放射線管理 資機材	<ul style="list-style-type: none"> ・復旧作業,貯蔵建屋内のモニタリング及び周辺監視区域付近のモニタリングにおける放射線管理のための放射線管理資機材を使用
	資機材 保管庫	<ul style="list-style-type: none"> ・可搬型計測機器や対応要員用の食料や水を配備する資機材保管庫を設置
	重機等	<ul style="list-style-type: none"> ・受入れ区域の損傷により落下した建屋構成材や津波漂流物を重機により撤去
	警報時の 退避場所	<ul style="list-style-type: none"> ・津波の遡上波が到達しない高台に退避場所を設置

仮想的大規模津波による浸水状況の補足説明

1. 目的

青森県の想定津波の2倍（T.P.+23m）が十分に保守的であることを異なる視点から確認するため、申請時の波源モデルのすべり量をどの程度大きくするとT.P.+23m程度の津波となるかを算定し、このすべり量が既往の知見に比べ十分に保守的であることを確認した結果、申請時の波源モデルのすべり量を2.4倍～2.5倍（平均すべり量21.7m～22.6m, 超大すべり量86.9m～90.5m）とすることで、施設設置盤と貯蔵建屋周りの水位がほぼT.P.+23mとなった。このすべり量は、既往の巨大地震及び将来予測のモデルのすべり量の2～3倍となっており（別添1-1図及び別添1-2図参照）、これからも仮想的な大規模津波は十分に保守的であると言える。

ここでは、貯蔵建屋周りの浸水及び流れの状況として参考にする観点から、当該解析の結果に基づき貯蔵建屋周りの浸水及び流れの状況を考察する。

2. 考察

(1) 等価なモデルによる浸水状況

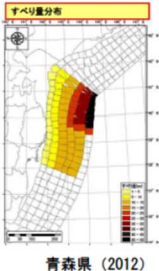
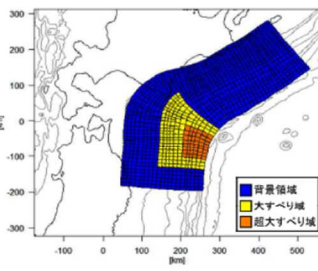
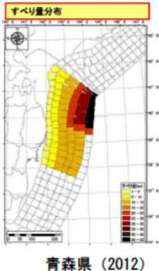
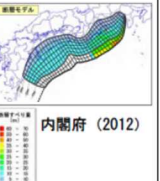
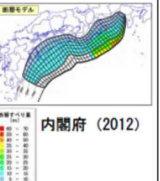
仮想的な大規模津波と等価なモデルにおける敷地沿岸の水位及び流速の経時的な変化を別添1-3図、敷地の水位及び流速の経時的な変化を別添1-4図にそれぞれ示す。また貯蔵建屋周りの水位及び流速の分布の経時的な変化並びに状況の説明を別添1-5図に示す。

(2) 等価なモデルによる浸水状況の考察

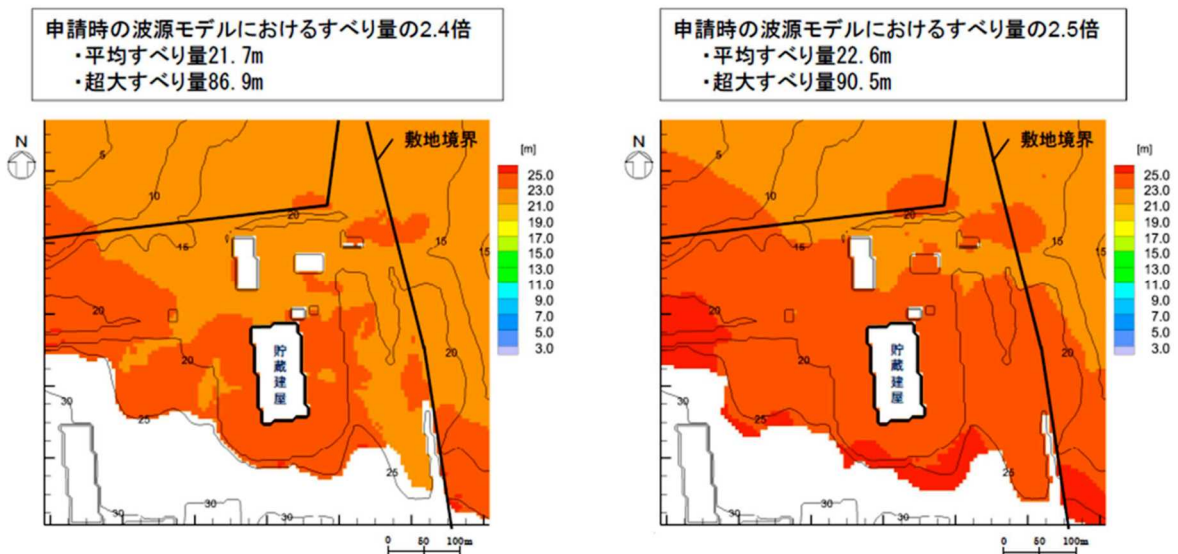
貯蔵建屋周りの浸水深、流速及び流向の推移から、貯蔵建屋周りの浸水状況について以下のとおりまとめられる。

- a. 津波による遡上波は、貯蔵建屋設置盤の北側の丘陵等を迂回する形で敷地の北西側より貯蔵建屋設置盤に到達する。
- b. 貯蔵建屋設置盤に到達した遡上波は、貯蔵建屋の北西角で2つの流れに分かれる。貯蔵建屋北側から東側に回り込む流れと貯蔵建屋西側から南側に回り込む流れに分かれる。

- c. 貯蔵建屋近辺において遡上波による比較的高い流速が発生する主なケースは、主に以下の2つである。
- (a) 浸水の初期段階における貯蔵建屋北西側での北西→南東方向の流れ（流速～7m/s）であり、貯蔵建屋設置盤への遡上波の流入の主成分として発生する。（別添 1-5 図のスナップショット②～③参照）
 - (b) 浸水の中期段階における貯蔵建屋外壁沿いでの発生貯蔵建屋の外壁に沿って発生する流れ（貯蔵建屋西側及び東側で北→南方向、貯蔵建屋南側で西→東方向、流速～10m/s）であり、貯蔵建屋設置盤内の拡がりを持った領域を浸水させ、水位（浸水深）を均一化する方向に発生する。（別添 1-5 図のスナップショット③～④参照）
- d. 貯蔵建屋北西角付近にて流れが分かれる際には、貯蔵建屋設置盤の拡がりを持った領域を浸水させ水位を均一化するように流れの方向の変化が形成されており、貯蔵建屋前面における流れのせき上げは顕著なものではない。貯蔵建屋外壁に加わる力の様相は、防波堤や防潮堤のような、遡上波を正面から受けて流れをせき止める（あるいは流れの方向を変える）方向に加わる力とは異なっている。
- e. 貯蔵建屋設置盤における水位（浸水深）と流速の関係は、おおむね相反する（水位（浸水深）が増すに従い、流速は低下していく）傾向にある。流れを発生させるメカニズムとして、遡上波自体が持つ力ではなく、下流側で水位を均一化する力（重力）の寄与が大きいことが考えられる。

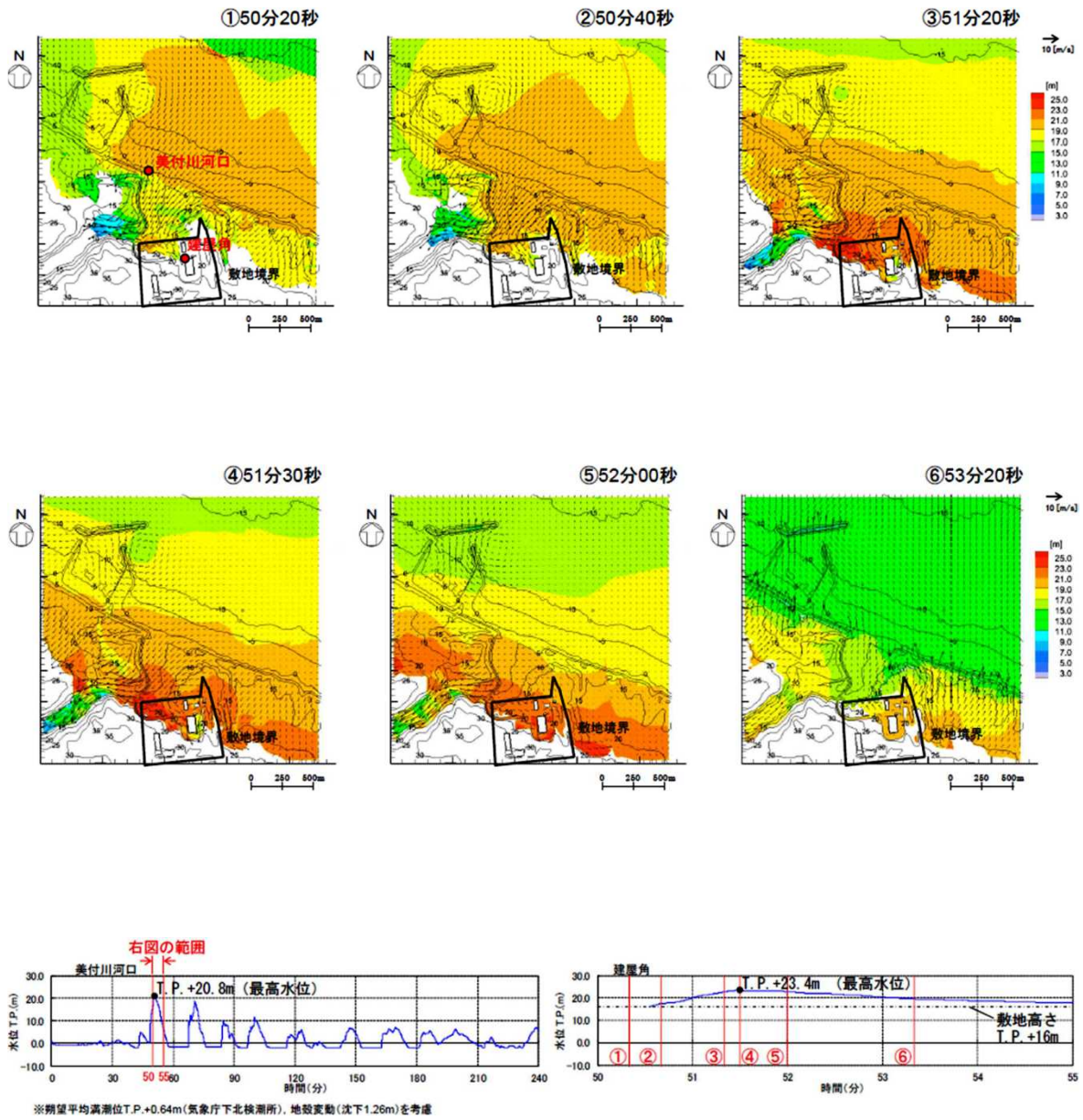
	検討モデル			巨大地震のすべり量に関する既往知見		
	青森県による津波想定	申請時の波源モデル	仮想的な大規模津波と等価なモデル 申請時の波源モデルの2.4~2.5倍	2011年東北地方太平洋沖型地震のモデル <杉野ほか(2014)>	南海トラフの巨大地震の津波断層モデル <内閣府(2012)>	世界のMw9.0クラスの巨大津波
モデル図						
Mw	9.0	9.07	9.32~9.34	9.1	9.1	9.5
断層面積	—	11.9万km ²	11.9万km ²	13.5万km ²	14万km ²	13.5万km ²
平均すべり量	—	9.05m	21.7 ~ 22.6m	10.4m	約10m	約11m
超大すべり量	45~50m	36.20m	86.9 ~ 90.5m	31.2m	約40m	28~32m
平均応力降下量	—	3.0MPa	7.2~7.5MPa	3.1MPa	3.0MPa	—

別添 1-1 図 検討モデルと既往知見における諸元の比較

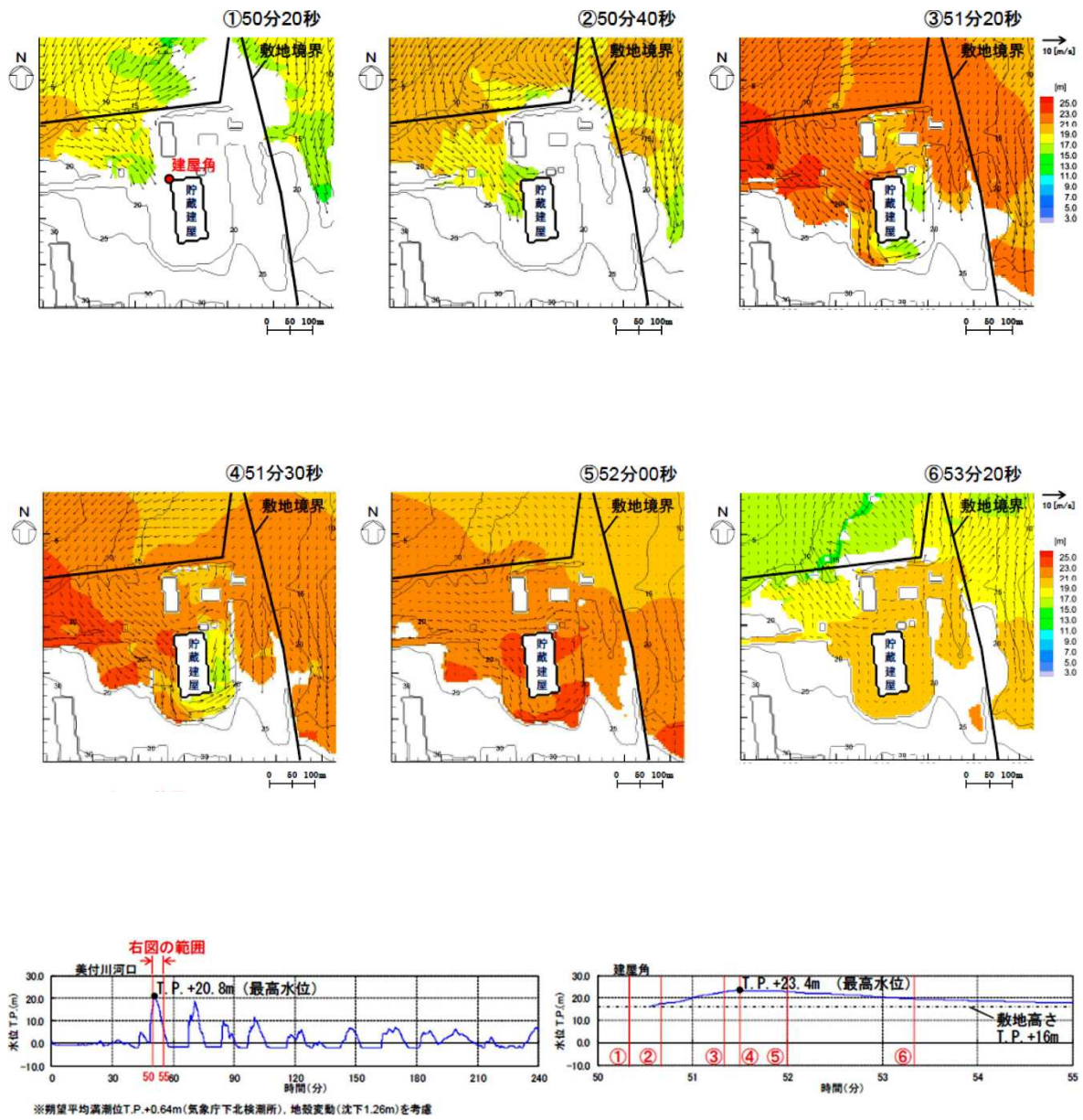


別添 1-2 図 仮想的な大規模津波と等価なモデルにおける最高水位分布*1

*1) 最高水位分布とは、各計算格子における全時刻歴の最高水位を図化したものである。
 *2) この解析結果は仮想的な大規模津波 23mの妥当性を検証するために実施したものである。



別添 1-3 図 仮想的な大規模津波と等価なモデルにおける
 水位及び流速のスナップショット (敷地沿岸)
 (申請時の波源モデルにおけるすべり量の 2.4 倍のケースを例示)



別添 1-4 図 仮想的な大規模津波と等価なモデルにおける
 水位及び流速のスナップショット（敷地）
 （申請時の波源モデルにおけるすべり量の 2.4 倍のケースを例示）

時刻	水位分布*	流速分布*	経時的な状況の説明
① 50分 20秒			<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵建屋設置盤の北側（海岸方向）には丘陵及び築堤状の自然地形があり、津波による遡上波はこれらの自然地形を迂回する形で、敷地の北西側から貯蔵建屋設置盤に到達する。
② 50分 40秒			<ul style="list-style-type: none"> 遡上波が貯蔵建屋の北西角に到達する。（貯蔵建屋外壁付近の浸水深は～3m程度） 遡上波は貯蔵建屋北側外壁に沿って東向きに進む水流と、貯蔵建屋西側外壁に沿って南向きに進む水流とに分かれる。 流速のピークは貯蔵建屋の北西側（図中○で示す領域）で生じている（流速～7m/s）が、貯蔵建屋設置盤の一部しか浸水していないことから、貯蔵建屋設置盤における流れは主に浸水域を拡げる方向に生じている。 このため、貯蔵建屋付近では流速は低下し、また流速の主成分は貯蔵建屋外壁と平行な方向に生じている。
③ 51分 20秒			<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵建屋設置盤の浸水が進むに従い、貯蔵建屋北側外壁沿いの流れは東側に、西側外壁沿いの流れは南側にそれぞれ回り込み、浸水域が拡大している。 海岸側の津波高さ上昇に伴い、貯蔵建屋北側の自然地形を乗り越える形で遡上波が到達するが、既に到達している北西側からの遡上波に遮られ、貯蔵建屋北側に流れが直接衝突する状況とはなっていない。 貯蔵建屋設置盤への遡上波として、貯蔵建屋に向かう流れ（流速～7m/s）が北西側で生じている。（図中○で示す領域） 貯蔵建屋の西側及び南側で速度の高い（～10m/s）流れが一部生じているが、貯蔵建屋設置盤を浸水させる方向の流れであり、貯蔵建屋外壁に沿う方向に流速の主成分が生じている。

*) 矢印は流向及び流速を示す

別添 1-5 図 仮想的な大規模津波と等価なモデルにおける水位及び流速のスナップショット（貯蔵建屋周り）（1/2）
（申請時の波源モデルにおけるすべり量の2.4倍のケースを例示）

時刻	水位分布*	流速分布*	経時的な状況の説明
④ 51分 30秒			<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯蔵建屋北西角では水位がピークに達し、また貯蔵建屋設置盤のほぼ全域が浸水に至る。 ・ 貯蔵建屋の北西側と南東側に水位の差があるため、水位を均一化する方向に、貯蔵建屋の外壁に沿って速度の高い流れが継続している。 ・ 一方、敷地北西側の津波高さがピークを越えつつあることから、貯蔵建屋設置盤の北西側からの遡上波の流速は低下し始める。 ・ 流向が南向きから東向きに変化する貯蔵建屋設置盤南西側の法面でせき上がりが見られるが、貯蔵建屋外壁付近では顕著なせき上がりは見られない。
⑤ 52分 00秒			<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯蔵建屋設置盤の浸水が進行することにより、水位が飽和状態に近づくとともに、貯蔵建屋設置盤の水位が均一に近い状態となる。 ・ このため、貯蔵建屋の外壁に沿った流れも含めて、貯蔵建屋の周囲における流速は大幅に低下する。
⑥ 53分 20秒			<ul style="list-style-type: none"> ・ 敷地北西側の津波高さが低下を始める。 ・ これに伴い、貯蔵建屋設置盤を浸水させていた海水が、標高の低い敷地の北西側から引き始めるため、浸水時とは逆向きの流れが生じる。 ・ 貯蔵建屋の周囲では、建屋東側→北側→北西側の流れ及び建屋南側→西側→北西側の流れが生じる。 ・ 海水が引き始めるとともに、貯蔵建屋設置盤の水位は低下を始める。

*) 矢印は流向及び流速を示す

別添 1-5 図 仮想的な大規模津波と等価なモデルにおける水位及び流速のスナップショット（貯蔵建屋周り）（2/2）
（申請時の波源モデルにおけるすべり量の 2.4 倍のケースを例示）

(参考) 津波解析に関する補足説明

津波解析の基礎方程式には、非線形長波理論として後藤・小川(1982)の方法を採用している。後藤・小川(1982)の方法の基礎方程式は連続式と運動方程式からなり、運動方程式には移流、圧力勾配、渦動粘性、底面摩擦を含む。なお、運動の鉛直成分は圧力分布に影響を及ぼさず、圧力は静水圧分布と仮定することで、津波の運動は平面二次元の問題として扱われる。

この式を入力された境界条件(地形条件)のもとで数値解析的に解くことで、未知数である η (水位)、 M (x 方向の流量)、 N (y 方向の流量)が算出される。

・連続の式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

・運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_{nl} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \gamma_{bl}^2 \left(\frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} \right) = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_{nl} \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \gamma_{bl}^2 \left(\frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} \right) = 0$$

ただし、

x, y : 水平方向座標, t : 時間, g : 重力加速度,

M, N : それぞれ x, y 方向の線流量, D : 水の厚さ ($D = h + \eta$),

h : もとの水深, η : 水位, K_{nl} : 海水の水平渦動粘性係数,

γ_{bl}^2 : 摩擦係数 ($= gn_1^2 / D^{1/3}$, n_1 : 海底のマニングの粗度係数)

である。

(出典：原子力発電所の津波評価技術 2016, 平成 28 年 9 月)

津波解析の計算条件を別添 1-1 表に示す。

別添 1-1 表 津波解析の計算条件

項目	計算条件
計算時間間隔	0.1 秒
計算開始潮位	T. P. + 0.64m (朔望平均満潮位)
基礎方程式及び 数値計算スキーム	非線形長波理論 (浅水理論) に基づく後藤・小川(1982)の方法
沖側境界条件	後藤・小川(1982)の自由透過の条件
陸側境界条件	敷地周辺：(計算格子間隔 80m~5m) の領域は陸上遡上境界条件 それ以外は完全反射条件
初期条件	Mansinha and Smylie(1971)の方法
海底摩擦係数	マニングの粗度係数 ($n=0.03s/m^{1/3}$)
水平渦動粘性係数	考慮していない

津波漂流物について

1. 目的

敷地内が津波により浸水した場合の津波漂流物による使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能への影響が考えられるため、調査により漂流物となる可能性のある物品を把握するとともに、調査結果に基づき物品の抽出を行い、大型の津波漂流物として参照する物品を設定する。

2. 津波漂流物調査

リサイクル燃料備蓄センターの敷地内及び敷地外で津波漂流物となる可能性のある物品を把握するため、津波漂流物調査を平成 28 年 11 月から 12 月にかけて実施した。

(1) 調査方法

a. 調査の範囲

津波漂流物の発生源として敷地内及び敷地外の両者が考えられることから、各々につき以下のように設定する。

(a) 敷地内

津波漂流物の発生源となり得る T. P. +23m 以下の範囲(仮想的な大規模津波により浸水する範囲)を中心として調査する。

(b) 敷地外

敷地周辺における主な施設の配置を別添 2-1 図に示す。

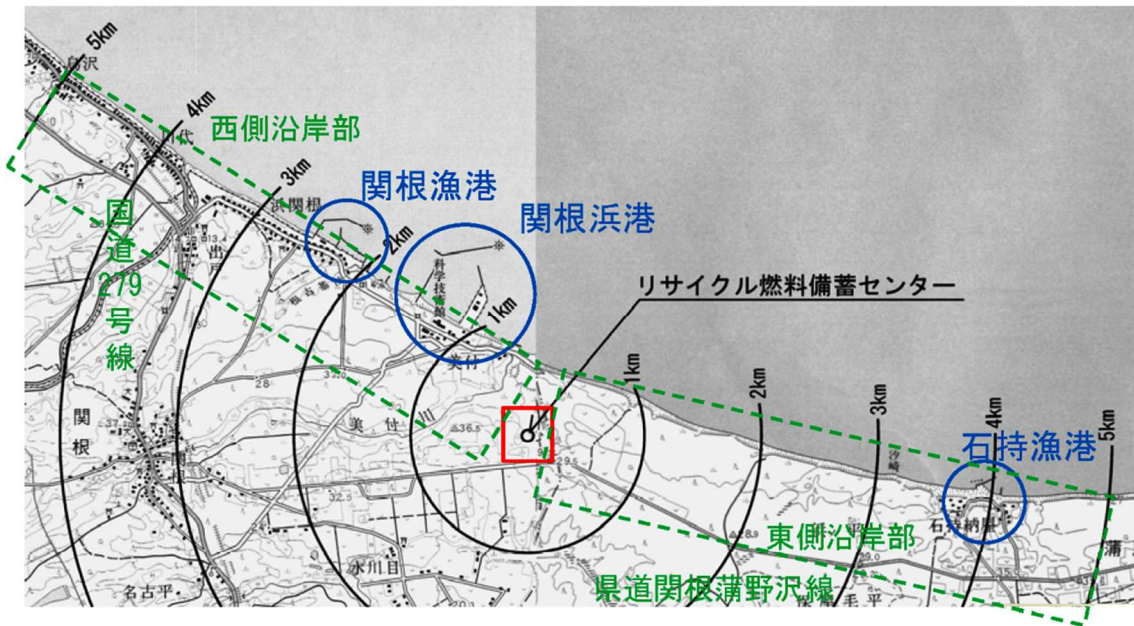
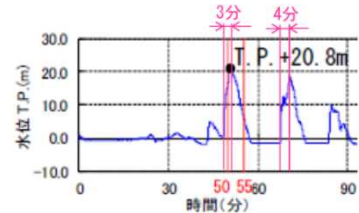
港湾施設は、日本原子力研究開発機構(JAEA)所有の関根浜港が西側約 1km に、第 1 種漁港の関根漁港が西側約 2km に、同じく石持漁港が東側約 4km にそれぞれ立地する。これらの港に寄港しない大型船舶は、別添 2-2 図に示すとおり敷地前面海域では沖合 10km 以遠を航行している。

陸上では関根浜港付近に、日本原子力研究開発機構(JAEA)青森研究開発センター及び海洋研究開発機構(JAMSTEC)むつ研究所が立地する。敷地外の西側沿岸部には国道 279 号線や市道等の道路が走り、これら

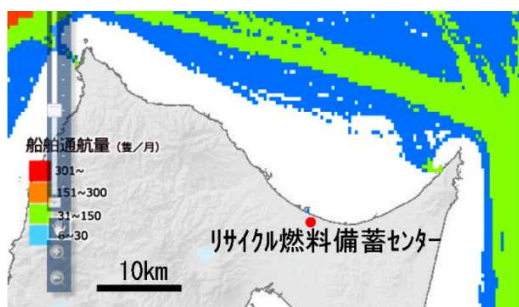
の道路沿いを中心に集落が存在する。敷地外の東側沿岸部には、海岸から約 1km 離れた内陸側の標高 30m 程度の場所を走る県道関根蒲野沢線があり、石持漁港付近を除いて海岸付近に目立った人工物はみられない。

仮想的な大規模津波に伴う漂流物の発生源として、貯蔵建屋を中心とした 5km* の範囲にある海岸沿いのおおむね標高 30m 以下の区域に対して調査範囲を設定することとし、前述の施設の配置状況を踏まえて西側沿岸部（関根浜港, JAEA, JAMSTEC, 関根漁港及び沿岸部の道路沿い）及び東側沿岸部（石持漁港及び沿岸部の道路沿い）に区分けして調査を実施する。

*) 仮想的な大規模津波と等価なモデルにおける津波評価（右図：別添 1-3 図の抜粋に追記）で押し波継続時間（第 1 波 + 第 2 波）に津波流速を乗じた移動距離を参考にして保守的に設定する。
 ((3分 + 4分) × 60s × 10m/s = 4200m ⇒ 5km)



別添 2-1 図 敷地周辺における主な施設の配置



別添 2-2 図 船舶自動識別装置搭載船の通行量実績 (2014 年 11 月) (海上保安庁「海洋台帳」に追記)

b. 調査対象物

調査対象物（津波漂流物の発生源となり得る物品を網羅的に抽出する観点から、項目及び確認方法を設定）

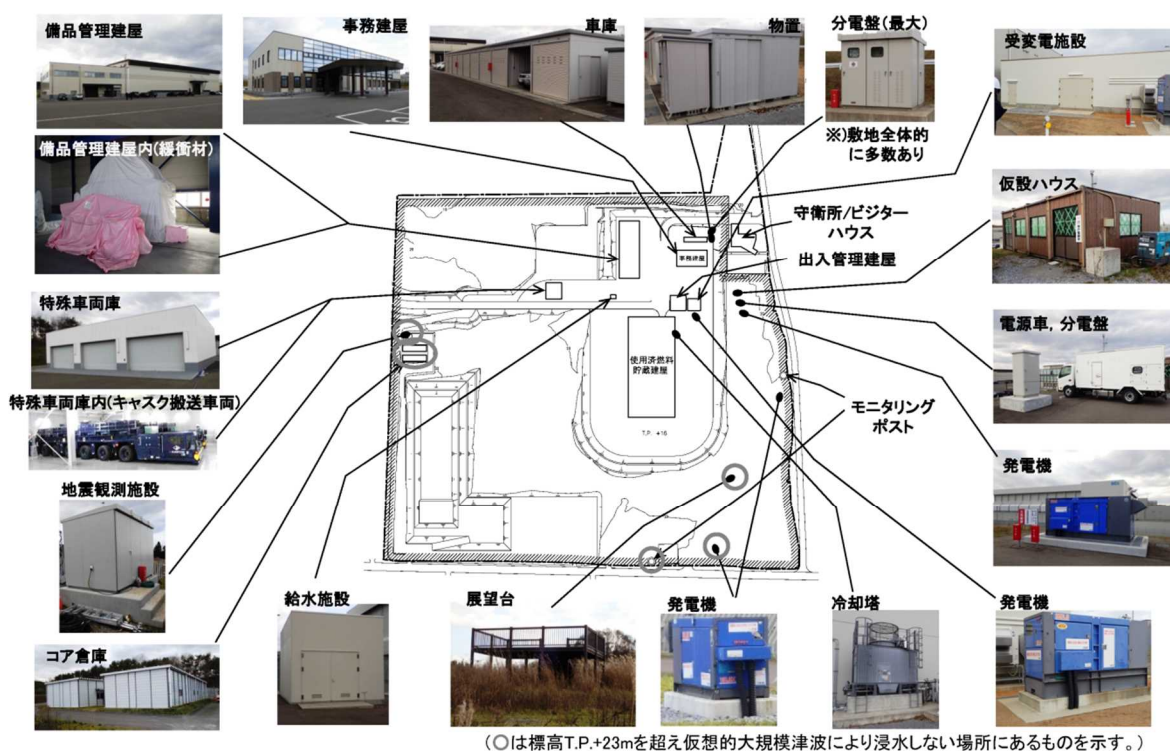
- ・船舶（海上及び陸上保管）、港湾施設（浮棧橋、浮標等）
- ・建築物、構築物（一般家屋、公共施設等（学校、郵便局、商店、集会所等）、産業施設等）
- ・タンク、コンテナ等
- ・車両（一般車両、大型車両等）

c. 調査方法

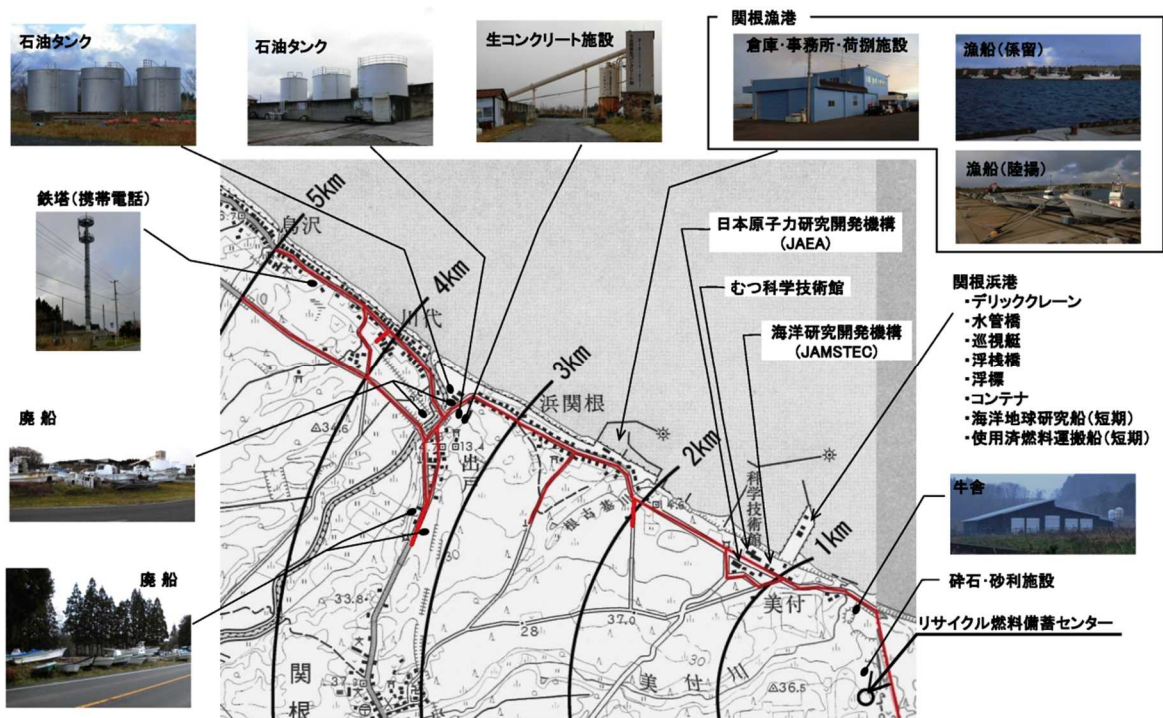
現地における目視確認を基本とし、運用状況等については関係者への聞き取りを実施する。

(2) 調査結果

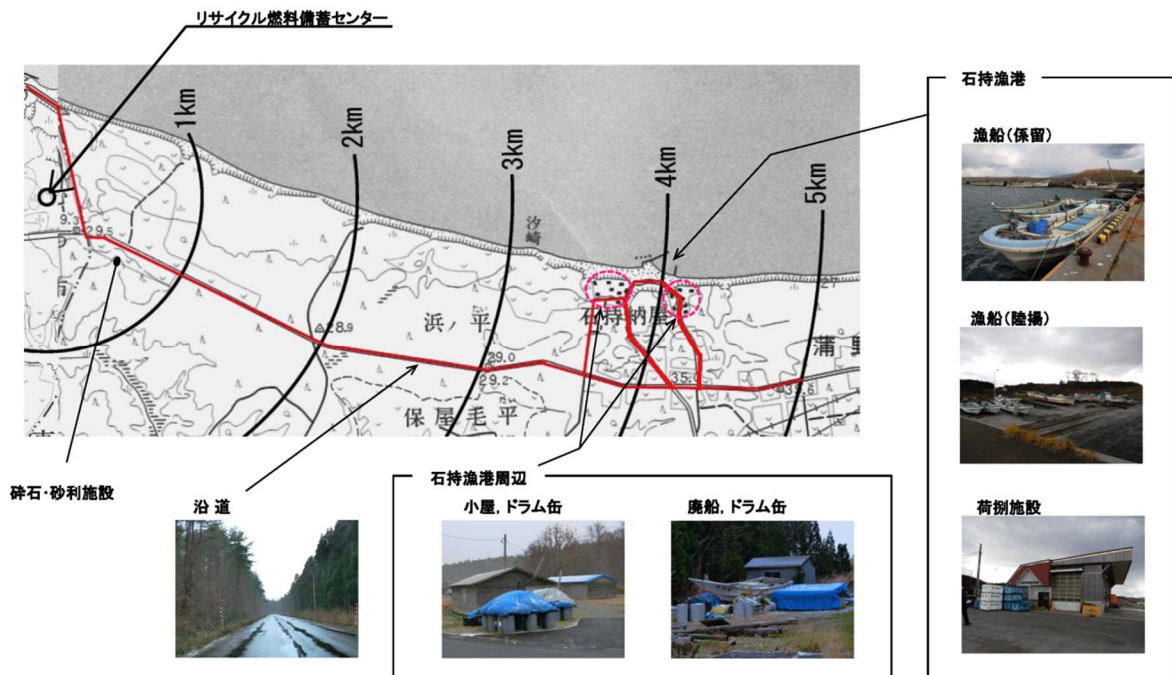
敷地内及び敷地外（西側沿岸部及び東側沿岸部）で確認された品目と確認箇所を別添 2-3 図(1)～(3)に示す。なお、各品目の詳細については 3. における抽出結果と併せて別添 2-2 表(1)及び(2)に示す。



別添 2-3 図(1) 確認された品目と確認箇所（敷地内）



別添 2-3 図(2) 確認された品目と確認箇所 (敷地外：西側沿岸部)



別添 2-3 図(3) 確認された品目と確認箇所 (敷地外：東側沿岸部)

3. 津波漂流物の抽出と設定

2.における津波漂流物調査結果に基づき、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能への影響の観点から物品の抽出を行い、大型の津波漂流物として参照する物品を設定する。

(1) 津波漂流物の抽出の考え方

津波漂流物の影響を考察する上では、発電炉における観点をベースに使用済燃料貯蔵施設の特徴を踏まえてスクリーニングの観点を設定する。スクリーニングの観点を別添 2-1 表に示す。

基本的安全機能の観点からは、金属キャスク等への津波漂流物の衝突による強度への影響が重要であることから、衝突に伴う運動エネルギーの付与が大きくなる大型の物品を抽出の対象とする。

大型の物品の範囲としては、竜巻における設計飛来物（ワゴン車：質量 1970kg）を参考に、おおむね乗用車レベル（1t 程度以上）とする。

また、漂流過程（漂流開始時、漂流中、衝突時）において変形、分解しやすい物品については衝突による影響が小さいと考えられることから、スクリーニングにおいて抽出の対象から除外する。

別添 2-1 表 津波漂流物のスクリーニングの観点

発電炉における観点	使用済燃料貯蔵施設における観点
<u>漂流物化するか</u> ・重量と浮力の相対関係により漂流物化しない ・設置状況より漂流物化しない ・退避可能であり漂流物化しない	・同左
<u>到達するか</u> ・距離、地形、流向より到達しない（発電所、取水口）	・個別状況を踏まえて評価する。
<u>閉塞させるか</u> ・取水口・取水路を閉塞させるか	・冷却に海水を使用しないこと、また貯蔵建屋給気口及び排気口（貯蔵区域及び受入れ区域）は津波浸水深より高い位置にあり津波漂流物が侵入する可能性は小さいことから、閉塞については考慮しない。 ・津波漂流物の衝突の影響が重要であることから、大型の物品を抽出する観点でスクリーニングを行う。

(2) 津波漂流物の抽出

2.における津波漂流物調査にて確認された物品を区分して整理し、漂流物として抽出すべき物品を抽出する。

抽出から除外する観点として、①漂流物化しない（水密性がなく大きな浮力が生じない、地面に固定されている、船舶等で退避可能）、②到達しない（距離、地形、流向から敷地に到達する可能性が小さい）及び③敷地に到達しても使用済燃料貯蔵施設への影響が小さい（大型の漂流物でない、漂流過程において変形・分解する）を踏まえる。

敷地内及び敷地外で確認された品目と抽出からの除外の有無を別添 2-2 表(1)及び(2)に示す。

(3) 大型の津波漂流物として参照する物品の設定

(2)にて津波漂流物として抽出した物品のうち、金属キャスク等への津波漂流物の衝突による強度への影響が大きくなる大型の津波漂流物として、質量が最大(約 36t)のキャスク搬送車両を設定した。

別添 2-2 表(1) 調査及び抽出の結果 (敷地内)

大区分	小区分	品目	漂流物として抽出*	備考	
建築物 構築物	鉄筋コンクリート造	守衛所/ビジターハウス, 出入管理建屋, モニタリングポスト	× (A1/A2)		
	鉄骨造	事務建屋, 車庫, 備品管理建屋, 特殊車両庫, 給水施設, 受変電施設	× (B2)		
	その他	発電機		○	質量: 約 5.2t (最大のもの)
		分電盤		○	質量: 約 3.9t (最大のもの)
		冷却塔		○	質量: 約 1.8 t
		ゲート		× (A1)	
タンク コンテナ 等	物置, 仮設 ハウス等	倉庫, 詰所, 仮設トイレ	○	質量: 約 2 t (最大のもの, 推定値)	
	その他	キャスク緩衝体 (備品管理建屋)	○	質量: 約 6t	
		貯蔵架台, 輸送用機材 (備品管理建屋)	× (A1)		
車両	特殊車両	キャスク搬送車両 (特殊車両庫)	○	質量: 約 36t	
		電源車	○	質量: 約 8t	
		動力消防ポンプ積載軽トラック (車庫)	○	質量: 約 1t	
	一般車両	乗用車, トラック, バス	○	質量: 約 13t (最大のもの: バス)	

*)漂流物として抽出しない事由の凡例

- (A1)水密性がなく大きな浮力が生じないため漂流物化しない
- (A2)設置状況より漂流物化しない
- (A3)退避可能であり漂流物化しない
- (A4)距離, 地形, 流向より到達しない
- (B1)大型の漂流物でない
- (B2)漂流過程において変形・分解し, 衝突による影響が小さいと考えられる

別添 2-2 表(2) 調査及び抽出の結果（敷地外）

大区分	小区分	品目	漂流物として抽出*2	備考
船舶 港湾施設	大型船舶	使用済燃料運搬船（関根浜港） 海洋地球研究船（同上）	×（A3）	津波警報発生時は緊急離岸することとしており、離岸手順を整備
	小型船舶	巡視艇（関根浜港） 漁船（関根漁港、石持漁港等） 廃漁船（敷地外西側沿岸部等）	○	質量：約 13t 質量：約 8t（最大のもの） （漁船に含まれる）
	港湾施設	浮棧橋（関根浜港） 浮標（同上）	○	質量：約 24t （目視寸法より推定） 質量：約 2.5t （海洋観測用）
		デリッククレーン（関根浜港） 水管橋（関根浜港） ケーソン（漁港）	×（A1）	
建築物 構築物*1	鉄筋コンクリート造	事務所、宿泊施設、 荷捌施設（漁港）、 水道施設、モニタリングポスト等	×（A1/A2）	
	鉄骨造	事務所、集会所、保育園、 コンビニエンスストア、 自動車工場、鉄工所、 水産加工場、牛舎、倉庫等	×（B2）	
	プレハブ	倉庫、小屋、詰所等 （関根浜港周辺等に多数分布）	×（B2）	
	木造	一般家屋、神社、小学校、 荷捌施設（漁港）、倉庫、小屋等	×（B2）	
建築物 構築物 （続き）	その他	セメントミキサ （生コン製造施設） ベルトコンベア（砕石・砂利施設、 生コン製造施設） 鉄塔（携帯基地局、気象観測塔等） 監視塔（漁港）	×（A1）	
		沈泥槽（砕石・砂利施設）	×（A1/A2）	
タンク コンテナ 等	タンク	石油タンク（敷地外西側沿岸部）	×（A4）	直線距離が約 3.5km で 途中に起伏あり
	コンテナ 物置 仮設ハウス	倉庫、小屋、詰所等 （関根浜港周辺等に多数分布）	○	質量：約 30.5t（20ft コンテナ最大総重量）
	ドラム缶	（漁港等に多数分布）	×（B1）	質量：約 20kg
車両	特殊車両	重機類（ショベルカー、フォーク リフト等）	×（A1）	
	一般車両	乗用車、トラック、バス	○	質量：約 13t （最大のもの：バス）

*1) 建築物・構築物の構造は推定を含む

*2) 漂流物として抽出しない事由の凡例は別添第 2-2 表(1)に同じ

有限要素法解析における境界条件の検討

1. 目的

「3. 貯蔵建屋の耐性評価」における貯蔵区域の南側外壁の有限要素法を用いた応力解析では、モデル四周の境界条件を固定条件として解析を行っている。しかしながら、貯蔵建屋南北方向には剛性の高い耐震壁及び屋上スラブがあるものの、モデル四周の節点には僅かながら変位が生じている可能性も否定できないことから、モデル四周の節点に生じる変位を考慮した場合の応力解析結果への影響を検討する。

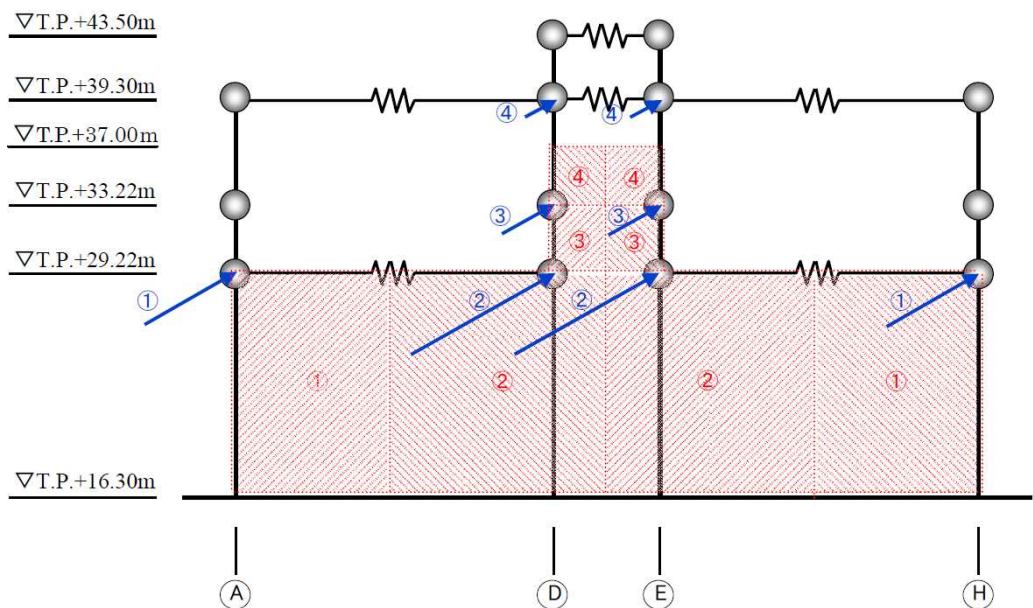
2. 外壁モデルによる解析の考え方

応力解析に用いるモデルは「3. 貯蔵建屋の耐性評価」で用いたモデルをそのまま用い、水圧により生じる貯蔵建屋南北方向の変位を有限要素法モデルの当該節点に強制変形として考慮した上で波圧を考慮した解析を実施し、変位を考慮しない解析結果との比較を行う。

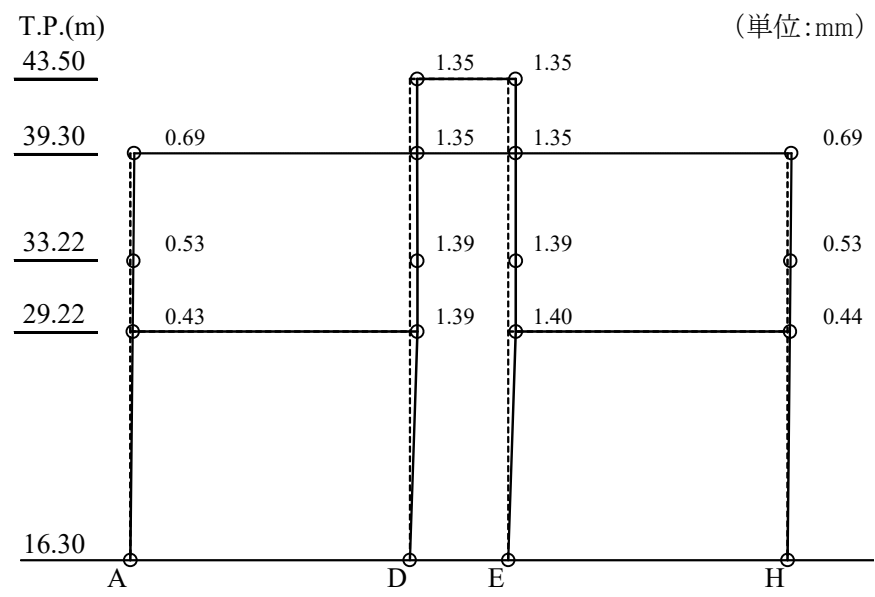
3. 波圧による貯蔵建屋南北方向の変位の算出

有限要素法モデルに考慮する変位量については、別添 3-1 図に示すように、貯蔵建屋多軸モデルに波圧を作用させ、波力による貯蔵建屋南北方向の建屋各位置の変位量を算出する。

その結果、別添 3-2 図に示すような変位量が算出された。



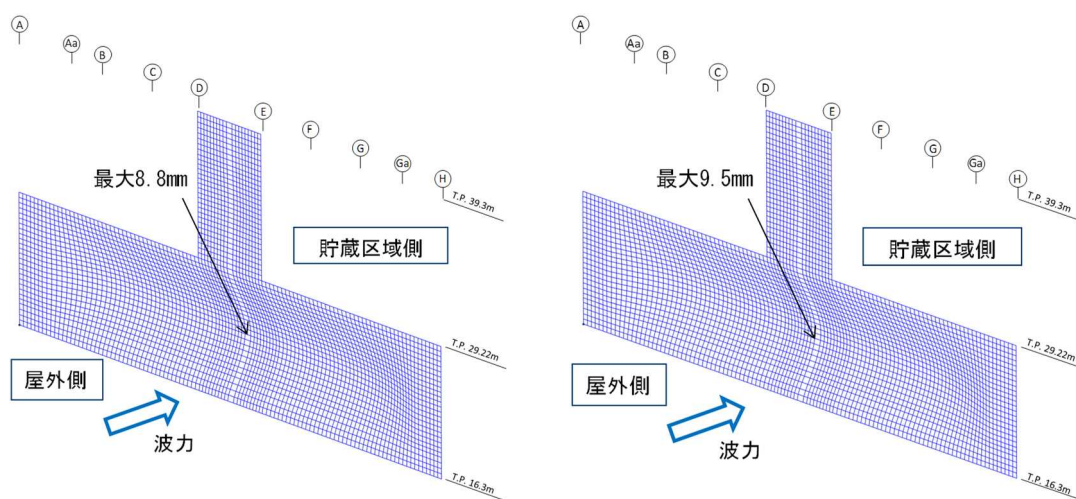
別添 3-1 図 貯蔵建屋多軸モデル及び質点に作用するする荷重



別添 3-2 図 波力による貯蔵建屋南北方向の変位

4. 境界条件の差異による解析結果の比較

モデル四周を固定とした解析結果と，貯蔵建屋南北方向の変位を考慮した解析との比較を別添 3-3 図及び別添 3-1 表に示す。



外壁の変形状態（周辺固定）

外壁の変形状態（変位考慮）

別添 3-3 図 外壁モデル外周の境界条件による変形状態の比較

別添 3-1 表 外壁モデル外周の境界条件によるひずみ及び応力の比較

評価項目	周辺固定	変位考慮	変位考慮 /周辺固定
コンクリート圧縮ひずみ ϵ_c	7.72×10^{-4}	7.95×10^{-4}	1.03
鉄筋引張ひずみ ϵ_t	1.37×10^{-3}	1.44×10^{-3}	1.05
面外せん断力 Q (kN/m)	1308	1319	1.01

両者の比較の結果，外壁モデル外周の境界条件による変形，ひずみ及び応力はいずれも両者でほぼ一致しており，外壁モデル外周の境界条件が計算結果に影響を与えないことを確認した。

面外せん断力に対する許容値の算出方法

1. 面外せん断力に対する許容値の考え方

貯蔵建屋南側外壁の面外せん断力に対応する許容値の設定に当たっては、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会, 1999. 11）」の 15 条「梁・柱及び柱梁接合部のせん断に対する算定」に示される係数 α を用いている。

係数 α は次式により算定される。

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1}$$

ここで

α : 部材のせん断スパン比による割り増し係数

M : 部材の曲げモーメント

Q : 部材のせん断力

d : 壁の有効せい (0.9m)

2. 算定に用いた応力

上記の係数 α の算出に用いた曲げモーメント及びせん断力には、有限要素法解析により求めた面外せん断力が最大となる要素の応力を用いている。

係数 α の算出に用いた曲げモーメント及びせん断力を別添 4-1 表に記す。

別添 4-1 表 係数 α の算出に用いた曲げモーメント及びせん断力

解析ケース	曲げモーメント (kN・m/m)	せん断力 (kN/m)	α の値
変位考慮せず	1939	1308	1.51
変位考慮	1986	1319	1.50

動的解析について

1. 目的

受入れ区域の損傷に伴う落下物の衝突に対する金属キャスクの構造解析として「4. 金属キャスクの閉じ込め評価」では衝突荷重を設定した上で静的解析を実施する手法を用いている。

一方、落下物の衝突挙動を動的解析により評価する手法もあり、許認可解析における使用実績や妥当性を確保するための前提条件、不確かさの扱い等の観点から課題はあるものの、落下物に対する金属キャスクの頑健性を示す上で一定の知見を得ることが可能と考えられる。

このため、静的解析の補足的な評価として動的解析を実施し、落下物の衝突に伴う全体的な挙動や静的解析で設定した荷重条件の妥当性の確認を行うとともに、参考評価として静的解析による評価が困難な項目（金属キャスク内に収納された燃料の健全性及び天井クレーン衝突時の金属キャスクの落下の可能性）について考察を行う。

2. 動的解析の実施

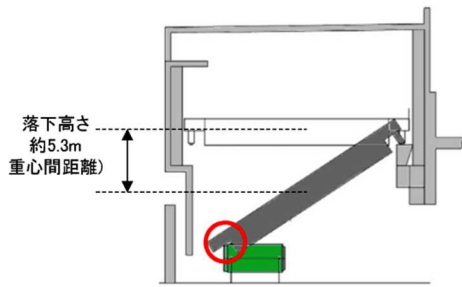
(1) 動的解析の条件

「4. 金属キャスクの閉じ込め評価」で評価を行った衝突想定条件のうち金属キャスクへの衝撃荷重が大きな天井クレーンの水平姿勢キャスクへの落下について動的解析を実施する。

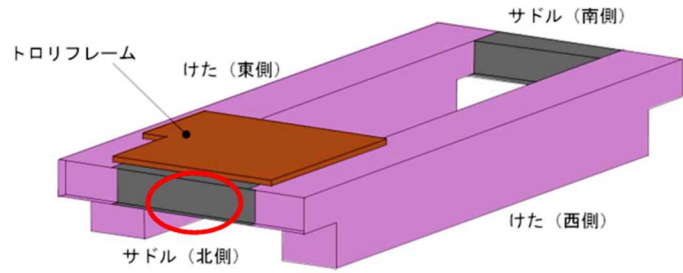
解析コードは衝撃・構造解析ソフトウェア LS-DYNA を用い、静的解析同様の天井クレーンの衝突状態（別添 5-1 図及び 5-2 図参照）の模擬や金属キャスクのモデル化を行う。

また天井クレーンはけたとサドルをシェル要素でモデル化し、トロリフレームはソリッド要素に一樣密度を与えて重量模擬する。

別添 5-1 表に動的解析の評価条件を示す。



別添 5-1 図 天井クレーンの
金属キャスクへの落下状態



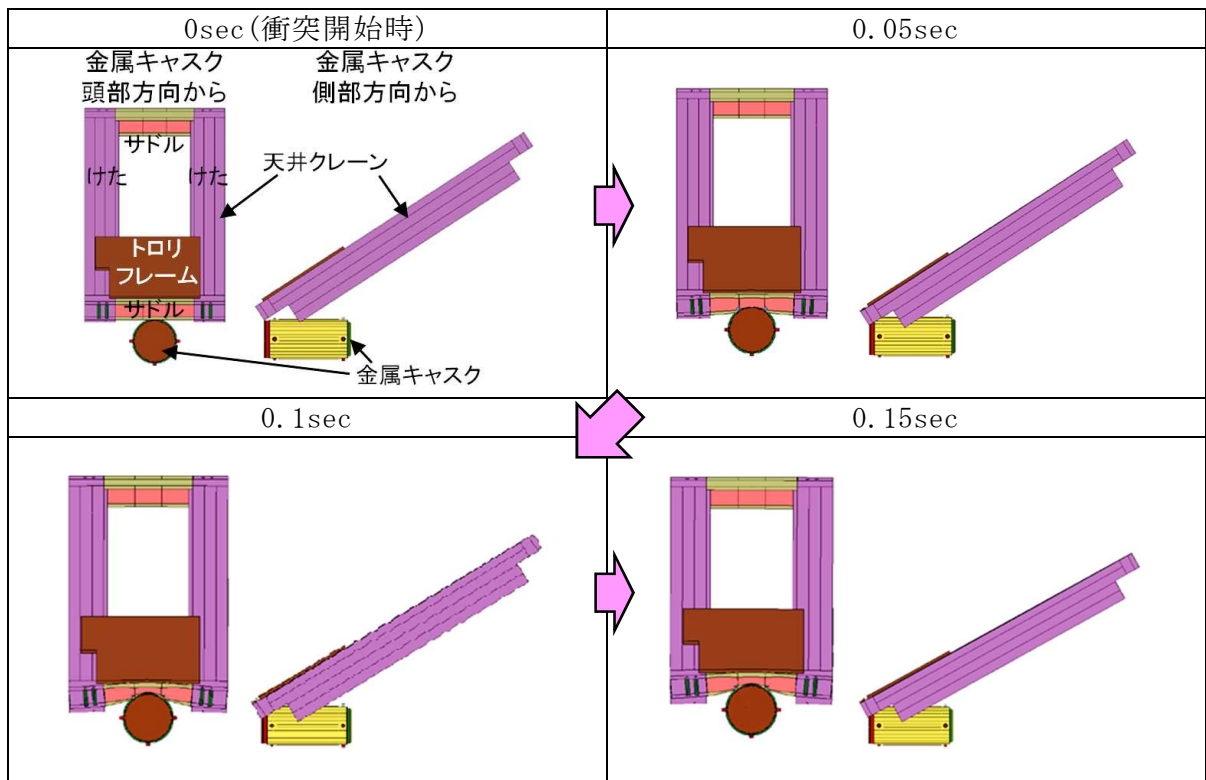
別添 5-2 図 天井クレーン概略図
(サドル (北側) が金属キャスクに衝突)

(2) 動的解析の結果

a. 全体的な挙動の確認

落下物の衝突に伴う全体的な挙動の確認のため、天井クレーンの水平姿勢キャスクへの衝突状態の確認を行う。金属キャスクへの衝突に伴う天井クレーンの形状変化を別添 5-3 図に示す。

天井クレーンのサドル（北側）が金属キャスクへ衝突した後にサドルの変形が進展しており、サドルの変形挙動は静的評価における荷重の設定の前提条件と整合している。



別添 5-3 図 金属キャスクへの衝突に伴う天井クレーンの形状変化

b. 静的解析の前提とした条件との比較

動的解析結果に基づき天井クレーンの衝突により金属キャスクに与える荷重を求めた結果は最大 6MN であり、静的解析の入力条件とした荷重である 48MN（第 4-3-2 表参照）が大きな保守性を持っていることを確認した。

また天井クレーンのサドル(北側)の変形量は最大で約 0.42m であり、静的解析の荷重設定で用いた変形量である約 0.55m（第 4-3-2 表参照）が保守的であることを確認した。

以上より、静的解析の前提とした衝突時の挙動や荷重設定の妥当性を確認した。

別添 5-1 表 動的解析の評価条件 (1/2)

項目	解析条件	備考
解析コード	LS-DYNA (衝撃・構造解析ソフトウェア)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ローレンス・リバモア国立研究所により開発された有限要素法 (DYNA3D) を基に開発された構造解析用の汎用コードであり, 衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力, ひずみや加速度応答等を算出 ・ 輸送物の設計承認, 発電用原子炉の設置許可*1 関連の解析で実績があり, また金属キャスク落下試験に基づく検証解析例*2 *1) 重大事故等対策の有効性評価 (水蒸気爆発時のペDESTAL構造評価) *2) 貯蔵建屋内金属キャスク落下衝撃解析手法の整備に関する報告書 (H18.6, (独)原子力安全基盤機構)
天井クレーンの衝突姿勢	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天井クレーンは南北方向を向いたまま, サドル部が金属キャスクの蓋部側面に衝突 ・ 天井クレーンは金属キャスクの直上より, 水平姿勢から 約 33° 傾斜させて衝突 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 受入れ区域の北側側壁で津波波力による応力が許容応力を超えることから, 天井クレーンが水平方向に回転することは考え難い ・ 受入れ区域の北側側壁が破損し, 南側の支持部を支点に回転して金属キャスクの蓋部に当たる状況を仮定 (なお, 密封境界部に作用する荷重が大きくなるよう, 一次蓋側面にサドル立板を衝突させる)
金属キャスクのモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 金属キャスクは全体形状を模擬 ・ 金属キャスクはたて起こし架台上を想定し, 水平姿勢で三次蓋を取り付けた状態 ・ 金属キャスクの支持部 (たて起こし架台) はモデル化せず, トラニオンを固定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 金属キャスクに緩衝体に取り付けられていない, たて起こし架台上を想定 (仮置架台上の金属キャスクには緩衝体に取り付けられており, 落下物の衝突に対しても蓋部を保護する上で相当の耐性を有すると考えられる) ・ 天井クレーンの衝突時の金属キャスクへの衝突荷重を大きくする観点から, 支持部 (たて起こし架台) の変形は考慮しない
落下物の衝突速度	約 10.2m/s	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天井クレーンの落下高さ (約 5.3m) に基づく位置エネルギーを運動エネルギーと等価として算出した速度

別添 5-1 表 動的解析の評価条件 (2/2)

項目	解析条件	備考
天井クレーンのモデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ けたとサドルをシェル要素でモデル化 ・ トロリフレームはソリッド要素に一樣密度を与えて重量模擬し、走行方向（南北方向）以外を拘束 	—
天井クレーンの質量	128t	—
天井クレーン部材の物性値	縦弾性係数：203000MPa ポアソン比：0.3 降伏応力：450MPa （サドルの場合） 引張強さ：555MPa（同上） 伸び：0.23（同上）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 縦弾性係数は鉄骨材料に基づき炭素量0.3%以下の炭素鋼の値を使用 ・ 降伏応力，引張強さ及び伸びは材料の実測値を使用（材料強度が高い方が，衝突荷重が大きく評価上厳しくなるため，規格値ではなくミルシートの値を使用）

3. 参考評価

静的解析による評価が困難な項目（金属キャスク内に収納された燃料の健全性及び天井クレーン衝突時の金属キャスクの落下の可能性）について、実施した動的解析の結果に基づき考察を行う。

(1) 金属キャスク内に収納された燃料の健全性

燃料は金属キャスクの内部にあるため落下物の荷重が直接作用せず、衝撃荷重がバスケット等を伝搬することによって影響を受けるため、動的解析の結果を参照して考察を行う。

天井クレーンの衝突により金属キャスクに与える加速度を求めた結果、金属キャスク（胴体中央）の加速度は最大でも 5G 程度となる。

一方、照射済の燃料被覆管を用いた動的座屈試験（次頁参照）が行われており、当該試験で得られた結果に基づき燃料棒の破断に至る加速度を推定した結果、燃料棒軸方向で約 980G、燃料棒径方向で約 5800G の加速度が必要と考えられる（別添 5-2 表参照）。

動的解析で得られた加速度は燃料棒の破断に至る加速度に比べ非常に小さいことから、天井クレーンの金属キャスクへの衝突時の衝撃で燃料棒が破断し、ペレットが燃料棒から逸脱する可能性は考え難い。

別添 5-2 表 動的座屈試験結果に基づく燃料棒破断に至る加速度の推定

荷重作用方向	燃料棒の破断が確認されていない荷重	試験結果より算出した破断に至る加速度	備考
燃料棒軸方向	46kN	約 980G	燃料棒 1 本当たりの質量 約 4.8kg（高燃焼度 8 × 8 燃料）
燃料棒径方向	0.5kN/mm	約 5800G	燃料棒の単位長さ当たりの質量 約 1.1×10^{-3} kg/mm タイロッド本数：8 本/集合体

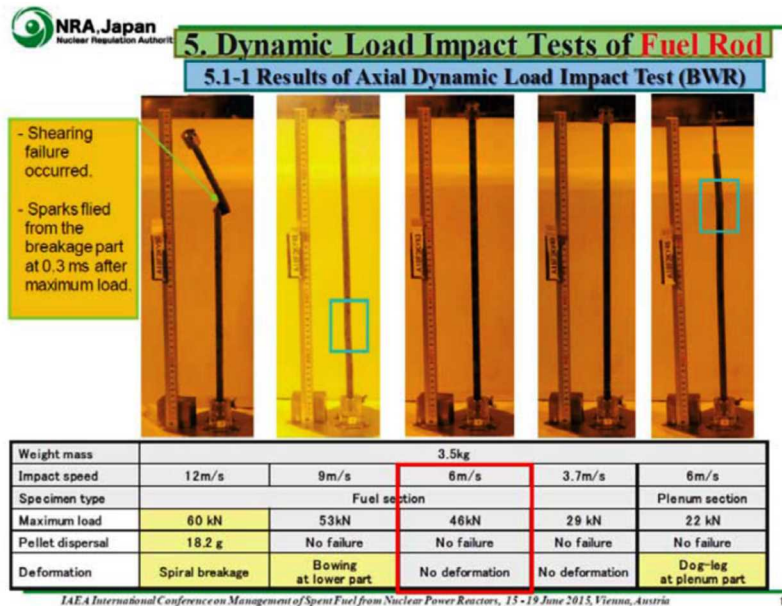
(参考) 燃料棒動的座屈試験*の概要

照射済の燃料被覆管に荷重を与えて燃料棒の破断の有無を確認する試験が以下のように実施されている。

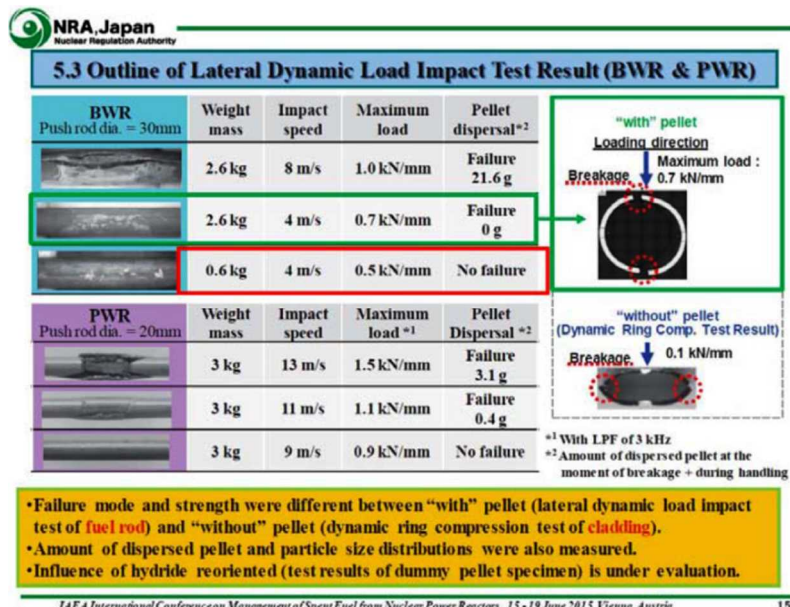
使用した被覆管は使用済燃料（9×9（A型）燃料，平均燃焼度 55.6GWd/t）から得たものであり，燃料棒平均高速中性子照射量(E>1MeV)は $10.3 \times 10^{25}/\text{m}^2$ である。

試験は，軸方向動的座屈試験として燃料棒の1スパン分（約500mm）を模擬した試験片に軸方向に動的荷重を与える試験及び径方向動的圧縮試験として燃料棒の一部（約150mm）を模擬した試験片に径方向に動的荷重を与える試験の2種類を実施している。

軸方向荷重で～46kN，径方向荷重で～0.5kN/mmの範囲で，燃料被覆管の破断が生じない結果が得られている。



別添 5-4 図(1) 燃料棒軸方向試験結果



別添 5-4 図(2) 燃料棒径方向試験結果

*) T. Hirose, M. Ozawa, A. Yamauchi, “Fuel Rod Mechanical Behaviour Under Dynamic Load Condition on High Burnup Spent Fuel of BWR and PWR”, International Conference on Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors: An Integrated Approach to the Back-End of the Fuel Cycle, 15-19 June 2015, Vienna, Austria

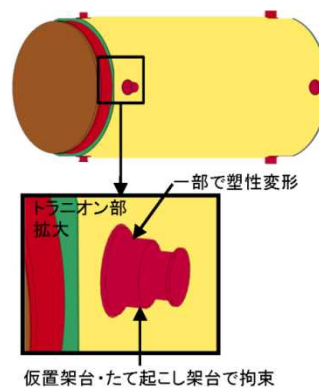
(2) 天井クレーン衝突時の金属キャスクの落下の可能性

受入れ区域で仮置中の金属キャスクは4箇所のトラニオンでたて起こし架台又は仮置架台に支持されており（別添 5-5 図参照），天井クレーンが落下して衝突した場合，衝突荷重によりトラニオンが破断し金属キャスクが落下する可能性が考えられる。

静的解析は保守的に設定した衝突荷重(48MN)を定常状態で与える状況を模擬しており，本来は瞬時的な荷重である衝突荷重を定常状態で与えていることから衝突時のトラニオンの健全性を確認する上では極めて保守的な前提となっているため，動的解析の結果に基づきトラニオン部の挙動を考察する。

動的解析の結果，トラニオンのひずみは最大でも 0.2%であり，天井クレーンの衝突荷重が加わっても，金属キャスクのトラニオンが破断してたて起こし架台及び仮置架台から落下する可能性は考え難い。

なお，たて起こし架台の下には衝撃吸収材を設置していること，また仮置架台上の金属キャスクには輸送用の緩衝体を取付けていることから，仮にトラニオンが破断して金属キャスクが落下しても，金属キャスクが受入れ区域の床面に直接衝突することはない。



別添 5-5 図 金属キャスクのトラニオン部

金属キャスクからの漏えい率について

1. 目的

受入れ区域の損傷により落下物や津波漂流物が金属キャスク蓋部に衝突した場合の金属キャスクからの漏えい量について「4. (5)閉じ込め機能の低下による影響」における評価では，落下物や津波漂流物の蓋部への衝突による横ずれ量として金属キャスクの構造に基づく最大値を考慮し，実験的知見に基づき保守的に設定する観点から金属キャスクからの漏えい率を $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ と設定している。

ここでは漏えい率の設定の考え方を整理するとともに，金属キャスクからの漏えい量に影響を与えるパラメータである漏えい率及び燃料破損割合について，変動による影響を考察する。

2. 金属キャスクからの漏えい率の設定

(1) 漏えい率の設定の考え方

金属キャスクの蓋部で横ずれが発生した場合の漏えい率への影響については，金属ガスケットの横ずれ量と漏えい率の関係としてこれまで試験による実測データが蓄積されている。

落下物や津波漂流物の衝突により金属キャスクの蓋部で発生する横ずれ量については動的構造解析による評価が可能であるが，動的解析は許認可解析における使用実績や妥当性を確保するための前提条件，不確かさの扱い等の観点から課題があることから，解析に依存しない方法として，金属キャスクの構造に基づく最大の横ずれ量を設定し，当該横ずれ量及び実験的知見に基づき金属キャスクからの漏えい率を保守的に設定することとする。

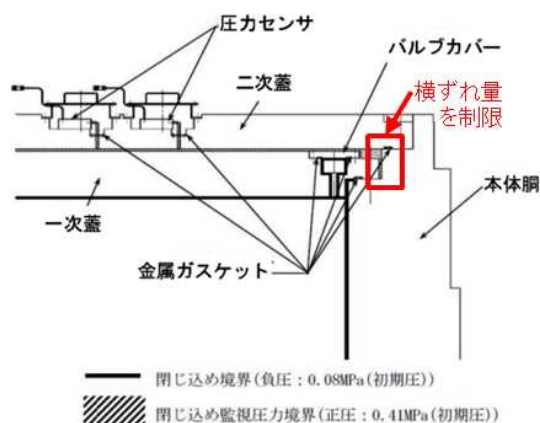
(2) 金属キャスクの構造に基づく横ずれ量の設定

金属キャスクの一次蓋や二次蓋の蓋部は，別添 6-1 図で示すように蓋の横ずれが容器本体で制限されるいわゆるインロー構造となっており，蓋部に荷重を受けても蓋の横ずれ量は最大でも本体胴フランジとの間隙に限定

される。

一次蓋と本体胴フランジの間隙は～2mm 程度であることから、ここでは発生する横ずれ量を 2mm と仮定する。

なお、ボルトとボルト穴との間隙は一次蓋と本体胴フランジとの間隙よりも大きいため、一次蓋の横ずれがボルトに干渉することはない。



別添 6-1 図 金属キャスクのシール部詳細

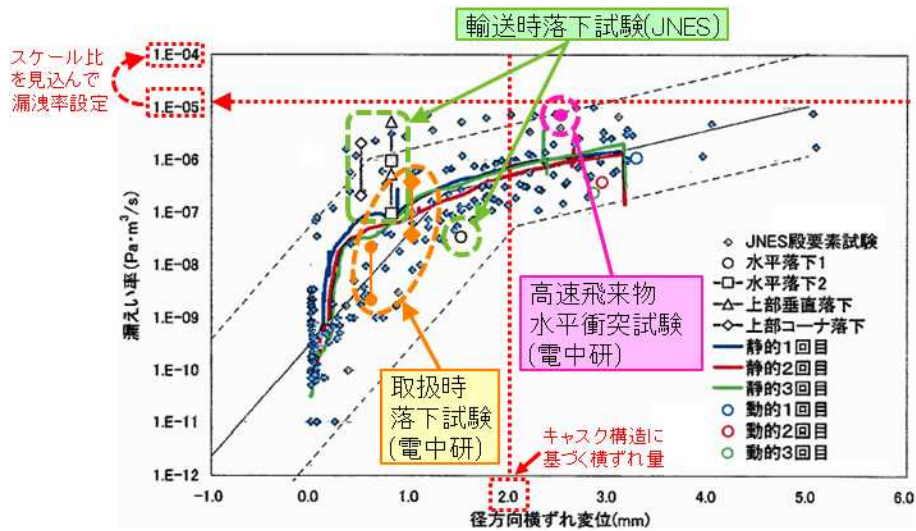
(3) 横ずれ量に基づく金属キャスクからの漏えい率の設定

金属ガスケットの横ずれ量と漏えい率の関係はこれまで試験による実測データが蓄積されており、これらを踏まえて漏えい率を設定し、プルームによる線量の評価条件として反映する。

動的横ずれ試験の結果として、横ずれ量と漏えい率との関係を整理したグラフを別添 6-2 図に示す。横ずれ量 2mm 程度では試験から得られた漏えい率の上限は $1 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 程度となっている。

動的横ずれ試験の試験体とした金属ガスケットは実キャスクの金属ガスケットの周径の約 1/10 であることから、上記の結果にスケール比を見込んで漏えい率を 10 倍とし、一次蓋の漏えい率を $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ と設定する。

なお、一次蓋の口開きについては、「4. 金属キャスクの閉じ込め評価」で密封境界部がおおむね弾性範囲内と評価しており、また仮に口開きが発生しても瞬時であることから、漏えい評価上は問題とならないと考えられる。別添 5 で実施した動的解析の結果でも一次蓋と本体胴の相対変位は 0.01mm 未満であり、有意な結果とはなっていない。



別添 6-2 図 動的横ずれ試験の結果の比較
 (*1 に既往の衝突試験結果等を加筆)

(4) 金属キャスクの実衝撃試験との比較

漏えい率の設定で参照する動的横ずれ試験は、衝撃試験機で試験体に衝撃を与えて横ずれを発生させる試験であることから、金属キャスクに実際に衝撃を与えた試験の結果と比較を行う。

実際に衝撃を与えた試験として、実機大金属キャスクの落下試験（緩衝体有及び緩衝体無）及び縮小サイズのキャスクに航空機エンジン模擬の飛来物を高速で衝突させた試験の例がある。

金属キャスクの実衝撃試験における横ずれ量と漏えい率との関係を別添 6-2 図に加筆するとともに、今回評価の衝突想定条件との諸元の比較を別添 6-1 表に示す。

金属キャスクの実衝撃試験による漏えい率のデータは動的横ずれ試験のデータのばらつきの範囲に収まっており、実衝撃試験であることによる漏えい率の有意な変化はみられず、また今回評価の衝突想定条件は、金属キャスクの実衝撃試験における運動エネルギー及び衝突荷重の範囲にほぼ含まれている。

このため、今回評価の衝突想定条件が金属キャスクへの実衝撃現象であることを考慮しても、金属キャスクの漏えい率の設定は妥当と考えられる。

別添 6-1 表 金属キャスクの実衝撃試験との諸元比較

項目	事象	衝突エネルギー	衝突荷重	備考
●今回評価の衝突想定条件	金属キャスク(水平姿勢)蓋部への天井クレーン落下	$3.7 \times 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$ (金属キャスク及び天井クレーンの吸収エネルギー)	6MN (別添5の動的解析結果に基づく)	—
●輸送時落下試験(JNES)*2	実機大キャスク(緩衝体有)の9m落下	$1.2 \times 10^7 \text{N}\cdot\text{m}$	35MN(水平落下) 81MN(垂直落下)	別添6-2図の出典(*1)ではスケール比や経年ファクタを考慮した漏えい率(二次蓋)をプロット
●取扱時落下試験(電中研)*3	実機大キャスク(緩衝体無)のコンクリート床板への水平落下(1m)等	$1.2 \times 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$	58MN(水平落下)	漏えい率(一次蓋)を上記落下試験と同様の考え方で別添6-2図に加筆 スケール比: $\times 1/10$ 経年ファクタ: $\times 100$ 及び $\times 1000$
●高速飛来物水平衝突試験(電中研)*4	1/2.5スケールキャスク(縦置)の蓋部に航空機エンジン模擬の飛来物(質量316kg)を高速(57.3m/s)で衝突	$8.2 \times 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$	30MN	衝突エネルギー及び衝突荷重は実スケール相当値を記載 衝突エネルギー: $\times 2.5^3$ 衝突荷重: $\times 2.5^2$ 漏えい率は実値を別添6-2図に加筆

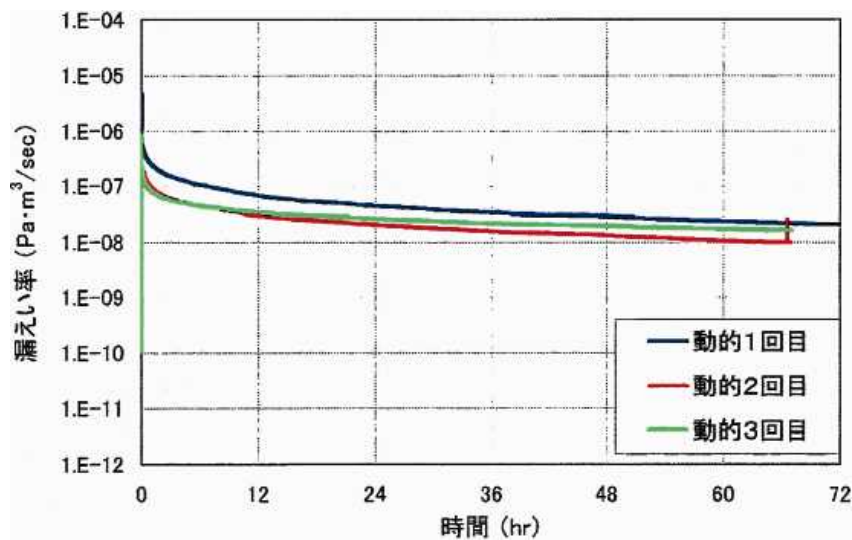
(項目欄の●の色は別添6-2図の加筆と合わせてある)

(5) 金属キャスクの漏えい率の保守性

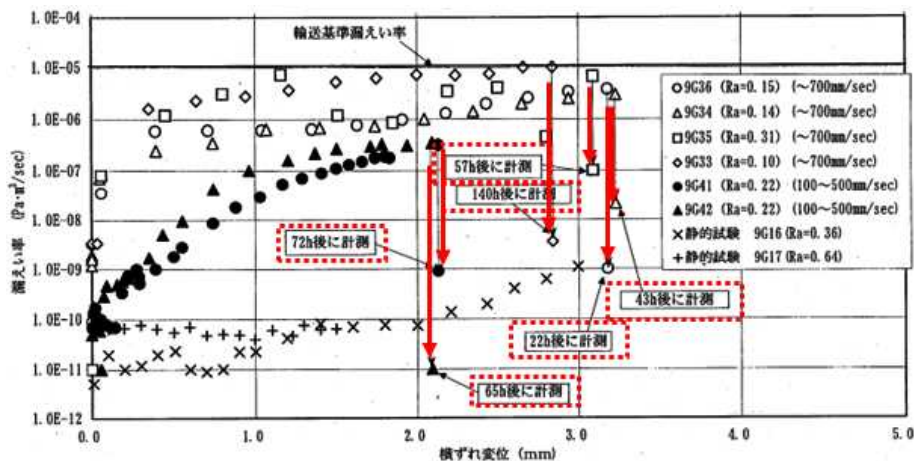
金属ガスケットの動的横ずれ試験では、別添 6-3 図(1)及び(2)に示すように、横ずれ発生後、時間の経過（数十時間程度）とともに一定程度の漏えい率の回復（おおむね 2 桁以上）がみられている。

漏えい率の回復がみられる機構としては、金属ガスケットに荷重が作用すると一時的に締付力が不足状態になり漏えい率は増加するが、ボルトに発生する応力が弾性範囲内であれば締付力は回復し、ガスケット接触面の隙間をアルミ材が徐々に埋めるためと考えられる。

このため、「4. (5) 閉じ込め機能の低下による影響」における評価条件（横ずれ発生直後の漏えい率を用い、その後の時間の経過による漏えい率の回復は考慮しない）は設定として保守的である。



別添 6-3 図(1) 時間の経過による漏えい率の経時変化^{*1}



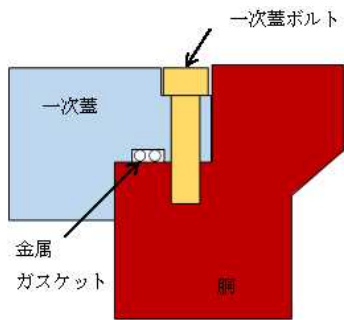
別添 6-3 図(2) 時間の経過による漏えい率の回復(*5 に加筆)

(参考) 金属ガスケットの漏えい率回復について

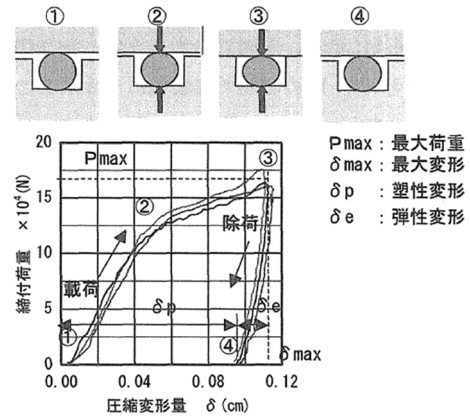
金属ガスケットは別添 6-4 図に示すように、一次蓋に設けられた溝部に取り付けられる締切型であり、金属ガスケットのつぶし代を考慮して深さを決定している。このため別添 6-5 図に示すように、一定量を超えたボルトの締付力は蓋と胴の接触部が受け持つことになるため、金属ガスケットが過度に圧縮変形することはない。

金属ガスケット部における漏えいは、別添 6-6 図に示すように金属ガスケット表面が蓋や胴のフランジ部に接触する面の微小な隙間に起因しており、金属ガスケットをボルト締付によって所定の締付力とすると、別添 6-7 図及び別添 6-8 図に示すように、ガスケット表面と対応面(蓋フランジの当たり面、あるいは、キャスク本体の当たり面)との隙間をガスケットに使用されているアルミ材が埋めることによって閉じ込める。

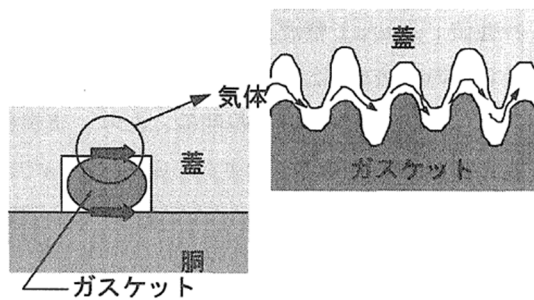
そこに荷重が作用すると、一時的に締付力が不足状態になり漏えい率は増加するが、ボルトに発生する応力が弾性範囲内であれば締付力は回復し、ガスケット接触面の状態が初期の状態と同様に隙間をアルミ材が徐々に埋めるため漏えい率は回復すると考えられている。



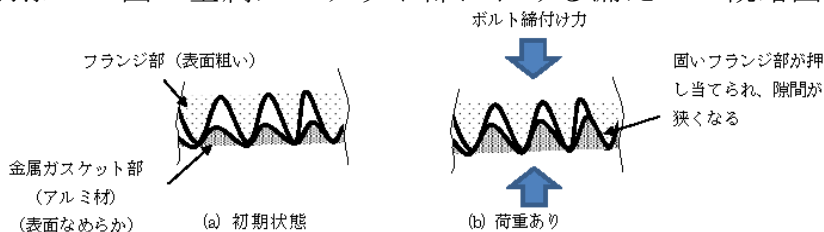
別添 6-4 図 一次蓋フランジ部 (模式図)



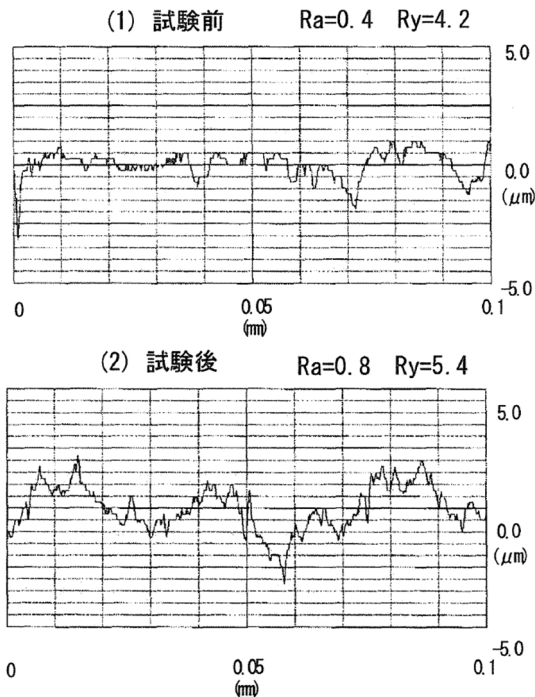
別添 6-5 図 金属ガスケットの圧縮復元特性*6



別添 6-6 図 金属ガスケット部における漏えいの概略図*6



別添 6-7 図 金属ガスケットの締付時の概念図



別添 6-8 図 漏えい率測定試験前後の金属ガスケットの表面粗さの比較*6
 (試験後 (締付終了後) の表面粗さ Ra がフランジの
 表面粗さ Ra=1.0 μm にほぼ等しくなっている)

- *1) 平成 19 年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (貯蔵設備長期健全性等確証試験) 報告書 ((財)電力中央研究所, H20.3)
- *2) 平成 15 年度金属キャスク貯蔵技術確証試験報告書 1/3 最終報告(04 基シ報-0007) ((独)原子力安全基盤機構, H16.6)
- *3) 金属キャスク落下時瞬時漏洩評価-実物大金属キャスク落下試験- ((財)電力中央研究所, H18.12)
- *4) 航空機衝突時の使用済燃料貯蔵施設の耐衝撃性評価(その2)-縮尺金属キャスクを用いた高速飛来物水平衝突試験- ((財)電力中央研究所, H21.5)
- *5) 平成 15 年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書 ((財)原子力発電技術機構, H15.9)
- *6) キャスク密封部における接面漏洩評価法の提案 研究報告:U01006 ((財)電力中央研究所, H13.7)

3. パラメータによる影響

金属キャスクからの漏えい量に影響を与えるパラメータである漏えい率及び燃料破損割合について、パラメータを変化させた場合の「4. (5) 閉じ込め機能の低下による影響」における評価への影響を考察する。

(1) 漏えい率による影響

評価で使用している金属キャスクからの漏えい率 $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ を増加させた場合の影響について考察する。

金属キャスクからの漏えい率を1桁増加させ $1 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ として第4.5-1 表の評価条件と同様の手法により評価すると、一次蓋からのガス漏えい率は約 $8.2 \times 10^{-9} \text{m}^3/\text{s}$ となり、漏えい率 $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ の場合(約 $8.0 \times 10^{-10} \text{m}^3/\text{s}$)の約10倍に増加する。

核分裂生成物の放出量はガス漏えい率にほぼ比例することから、核分裂生成物放出量は漏えい率 $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ の場合の10倍程度と考えられ、敷地境界外における公衆の実効線量についても同様の変動があると考えられるが、実効線量は $2 \sim 3 \times 10^{-3} \text{mSv}$ 程度であり、 $1 \text{mSv}/\text{年}$ と比べ極めて小さいことは同様と考えられる。

(2) 燃料破損割合による影響

評価では金属キャスク1基分の燃料集合体全数(69体)の燃料棒全数の破損を仮定する極めて保守的な条件を設定しているが、実際には金属キャスクの内部は負圧であり、ある程度の燃料棒の破損が発生しないと金属キャスク内部の負圧が維持され一次蓋からの漏えいが発生しない。

このため、金属キャスク内部が正圧となる燃料棒の破損割合を概算を行った結果、燃料集合体約18~19体相当となり、金属キャスク1基分の燃料集合体数(69体)の1/4程度を超えなければ、金属キャスク内が正圧とならず、一次蓋からの漏えいが発生しないと考えられる。

遮蔽機能復旧期間の想定について

「5. 使用済燃料貯蔵施設の遮蔽評価」の評価条件である遮蔽機能の復旧期間として、金属キャスク損傷部の遮蔽機能に3ヶ月、貯蔵区域遮蔽扉部の遮蔽機能に1ヶ月を想定している。これらの期間は、その内訳工程毎に、以下のよう
に想定している。

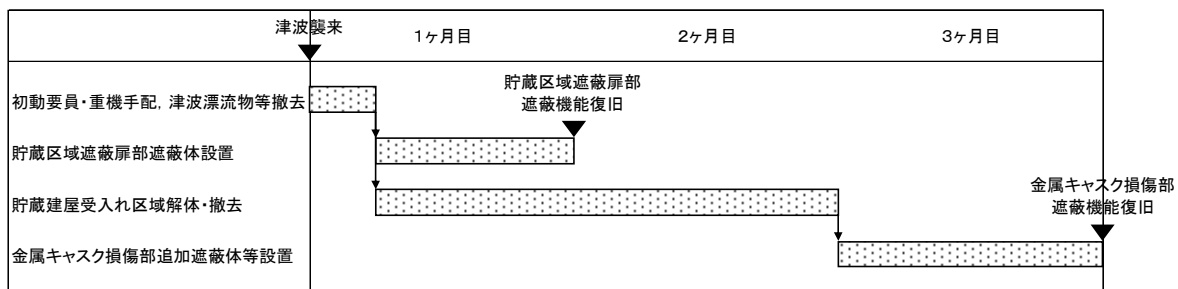
初動要員・重機の手配、及び貯蔵建屋へアクセスする道路上（津波浸水域）の津波漂流物等撤去の期間としては、1週間程度を想定している。この期間は、東北地方太平洋沖地震時の津波被災地での津波漂流物等撤去事例を建設会社より聞き取り、想定した期間である。

貯蔵区域遮蔽扉部への遮蔽体設置は、遮蔽扉が開放されている際に津波が襲来して閉止できなくなり、その部分の遮蔽が確保できなくなった際に実施するものである。遮蔽体設置は、土嚢袋にセメント等を満たして作成した土嚢を段積みして構築することを考え、期間としては、3週間程度を想定している。この期間は、貯蔵建屋の建設会社、及び遮蔽体の材料とするセメント等を扱う会社による見積工程を基に、想定した期間である。

損傷した貯蔵建屋受入れ区域の解体・撤去は、金属キャスク損傷部への追加遮蔽体設置の際、その設置場所や作業安全を確保するために実施するものである。保守的に、健全な状態の受入れ区域全域を解体・撤去するものとして考え、期間としては、7週間程度を想定している。この期間は、貯蔵建屋の建設会社、及び解体専門会社による見積工程を基に、想定した期間である。

金属キャスク損傷部への追加遮蔽体設置の期間としては、1ヶ月程度を想定している。この期間は、「6. 衝撃を受けた金属キャスクの対策」の「第6-2 図 衝撃を受けた金属キャスクの追加遮蔽の例」に示す遮蔽材の設置について、金属キャスクメーカーと共に検討し、想定した期間である。

これらの期間は、解体・撤去物量を多く見積もる等、保守的な想定に基づいており、冬期の積雪による影響等を考慮しても、津波襲来後に実現可能な期間となっている。



別添 7 図 遮蔽機能復旧工程（想定）

津波による波圧と地震荷重の組合せについて

「3. 貯蔵建屋の耐性評価」では津波による波圧と地震荷重の組合せは考慮しないとしているが、ここでは、仮想的な大規模津波による波圧と仮想的な大規模津波を発生させる本震に続いて発生する余震による荷重が同時に作用した場合を仮定し、貯蔵建屋の健全性について検討する。

1. 余震の規模

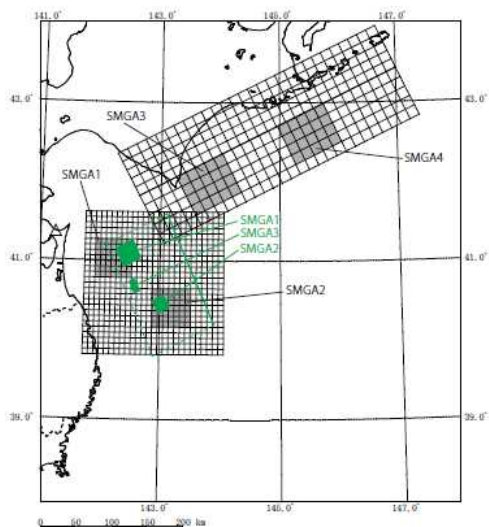
敷地の地震動を考慮する際に策定した、検討用地震の一つである「M9 プレート間地震（2011 年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震（Mw9.0）（三陸沖北部から根室沖の連動モデル）」を、津波評価に用いた「仮想的な大規模津波（等価な震源モデルの地震規模は Mw9.32～9.34）」と対応関係にある地震とし、余震を評価する際の本震と想定する（別添 8-1 図）。

余震は、本震の震源領域である三陸沖北部から根室沖を震源として発生するものと考えられる。この領域のうち、貯蔵建屋の健全性についての検討で考慮する余震は、敷地との距離を考慮し三陸沖北部を震源として想定する。三陸沖北部を震源とする、敷地に大きな影響のある地震として「想定三陸沖北部の地震（Mw8.3）（地震調査委員会策定）」があることから、この地震を余震として想定する（別添 8-2 図）。

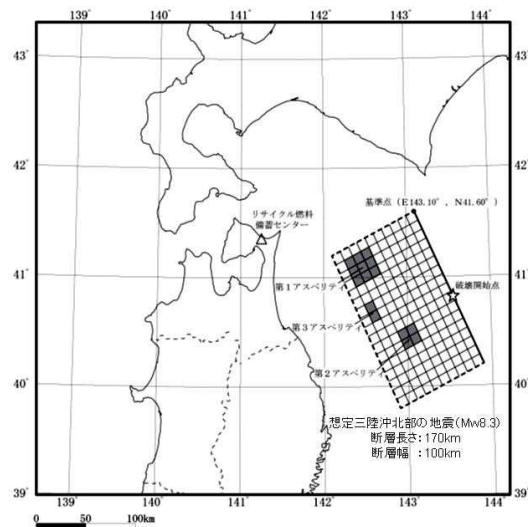
地震調査委員会の地震データを基に、過去の地震における本震の規模と最大余震の規模の関係を整理した（別添 8-1 表）。検討対象とした地震は、本震のマグニチュードが M7.0 以上で、かつ、本震と最大余震との時間間隔が 12 時間以内の地震とした。本震と余震のマグニチュードの差は 0.7～2.2 となる。これより、「想定三陸沖北部の地震（Mw8.3）」を、「M9 プレート間地震（2011 年東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震（Mw9.0）（三陸沖北部から根室沖の連動モデル）」の余震として想定するのは妥当であると考えられる。

2. 貯蔵建屋の健全性

仮想的大規模津波による波圧と余震による荷重による層せん断力と，地震応答解析モデルに基づき算定される貯蔵建屋の荷重～変形関係との比較を別添 8-3 図に示す。比較の結果，仮想的大規模津波による波圧と余震による荷重による層せん断力は，貯蔵建屋の荷重～変形関係において弾性範囲であり，十分な裕度を持つ値である。



別添 8-1 図 「M9 プレート間地震
(2011 年東北地方太平洋沖地震を
踏まえた地震 (Mw9.0)) (三陸沖北
部から根室沖の連動モデル)」の断
層モデル図



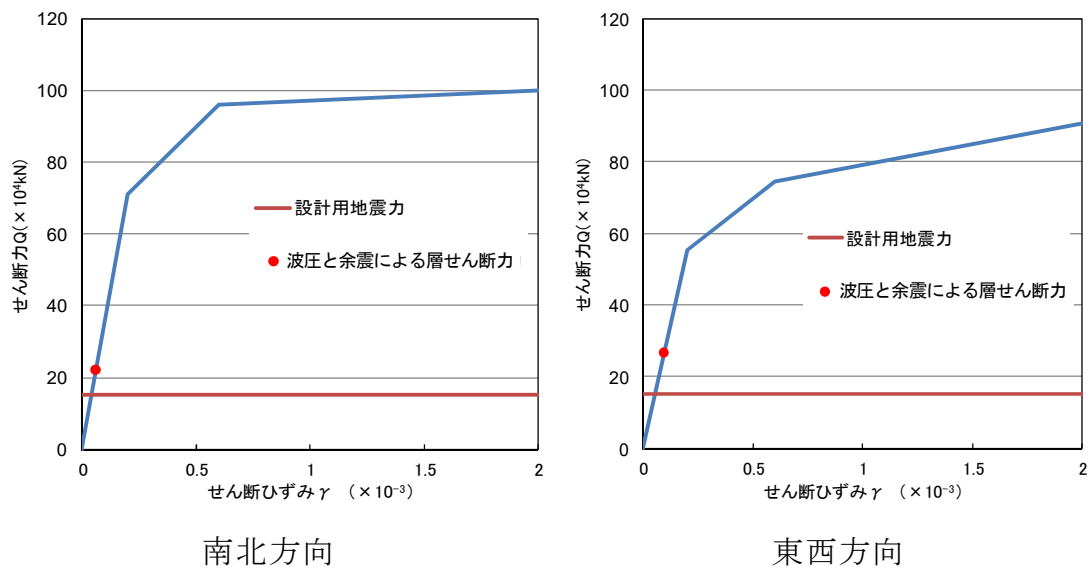
別添 8-2 図 「想定三陸沖北部の
地震 (Mw8.3)」の断層モデル図

別添 8-1 表 過去の地震における本震の規模と最大余震の規模の関係

No	発生年月日	震源	マグニチュード ^{※1}		時間差
			本震 M0	最大余震 M1	
1	1995. 1. 17	淡路島	7.3	5.4	1:52
2	2003. 5. 26	宮城県沖	7.1	4.9	6:20
3	2003. 9. 26	十勝沖	8.0	7.1	1:18
4	2004. 11. 29	釧路沖	7.1	6.0	0:04
5	2006. 11. 15	千島列島東方	7.9	6.7	1:12
6	2008. 6. 14	岩手宮城内陸	7.2	5.7	0:37
7	2008. 9. 11	十勝沖	7.1	5.7	0:12
8	2011. 3. 11	東北地方太平洋沖	9.0 ^{※2}	7.6	0:29
9	2012. 12. 7	三陸沖	7.3	6.6	0:13

※1) 気象庁マグニチュード

※2) モーメントマグニチュード Mw



別添 8-3 図 荷重～変形関係との比較 (1層 T.P. +16.3m～+29.22m)