

3. 安全確保への取り組み

3-3. 安全設計の具体例

(1) 従来から考慮している対策

これまでの安全設計において、事故に至る可能性を考慮した対策に取り組んでいます。

これらの事例についてご紹介します。

- ①放射性物質の漏えい対策
- ②臨界事故対策
- ③使用済燃料等の落下対策
- ④放射線遮へい
- ⑤崩壊熱除去
 - ⑤-1 燃料貯蔵プールの崩壊熱除去
 - ⑤-2 高レベル放射性廃液等の崩壊熱除去対策
 - ⑤-3 ガラス固化体の崩壊熱除去対策
 - ⑤-4 MOX粉末の崩壊熱除去対策

①放射性物質の漏えい対策

漏えいの発生防止対策

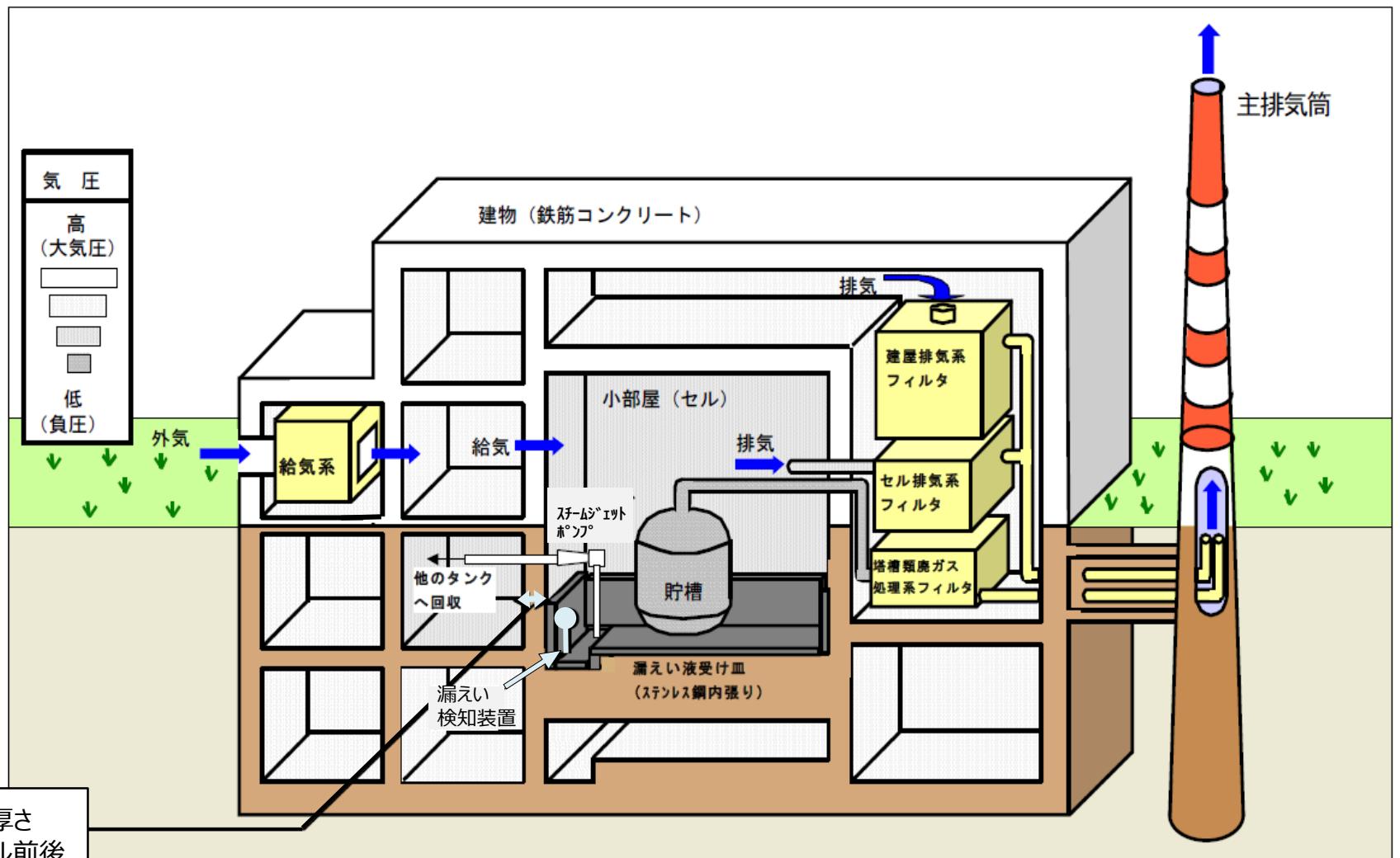
- 放射性物質を取り扱う機器（貯槽、配管等）は、腐食しにくいステンレス鋼やジルコニウム等の材料を使用するとともに、腐食に対する余裕を考慮した厚さとしています。
- 放射性溶液を取り扱う配管は、溶接構造にする等、漏えいしにくい設計としています。

漏えいの拡大防止対策

- 漏えいが発生した場合でも、施設内に漏えい液を確実に閉じ込められるよう、以下の設計としています。
 - ・プルトニウムや高レベル放射性廃液を取り扱う機器（貯槽、配管等）は、床面をステンレス鋼で内張りした厚い頑丈な鉄筋コンクリートの壁（1メートル程度）に囲まれた小部屋（セル）に設置しています。
 - ・万一の漏えいに備え、漏えい検知装置、漏えい液を回収するための設備を設置しています。

漏えいの影響緩和対策

- 漏えいの発生に伴い、空気中に放射性物質が移行します。これを施設外に放出しないように、以下の設計としています。
 - ・建物内部の気圧を「建物」、「小部屋（セル）」、「機器（貯槽、配管等）」の順に低くし、気体状の放射性物質を建物の内側に閉じ込めます。
 - ・「建物」、「小部屋（セル）」、「機器（貯槽、配管等）」内の空気は、フィルタ（排気処理系）により放射性物質を除去した後に、主排気筒から放出します。



壁の厚さ
1メートル前後

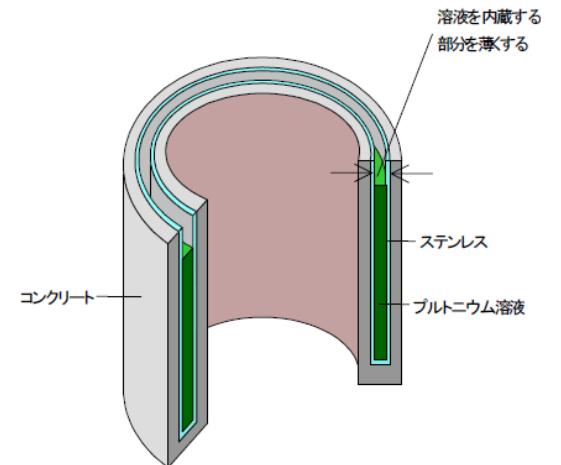
② 臨界事故対策

臨界に係る異常の発生防止対策

ウラン、プルトニウムが多量に集まることを防ぐとともに、核分裂を引き起こす中性子を取り除いたり、中性子を機器の外に逃がしやすくすることで、臨界の発生の防止を図っています。

<主な対策>

- ・形状寸法管理 : ウラン、プルトニウムを取り扱う機器溶液を内蔵する部分を薄くすることで中性子を機器の外に逃がしやすくします。
- ・濃度管理、質量管理 : 核分裂を起こすウラン、プルトニウムの量（重さや溶液の濃さ）を制限します。
- ・中性子吸収材管理 : 中性子を吸収しやすい物質（ホウ素等）を機器の材料に加えることにより、中性子を取り除きます。



【形状寸法管理の例(環状タンク等)】

臨界に係る異常の拡大防止対策

- 溶解槽に供給する硝酸の「流量低」、「密度低」等によりインターロックで自動的にせん断機を停止。
- 粉末缶のMOX粉末の重量が所定量以内であることを確認し、粉末缶払出装を起動。
- プルトニウム洗浄器のアルファ線検出器の「計数率高」により警報を発報（運転員が工程を停止）。

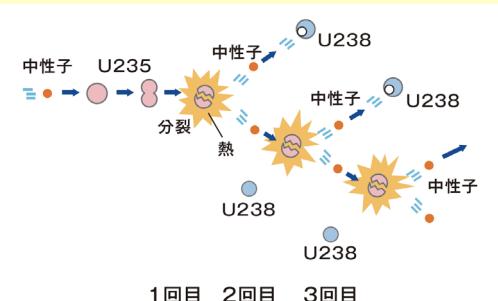
臨界事故の影響緩和対策

- 臨界管理上重要な施設（溶解槽）においては、仮に臨界が発生したとしても、中性子吸収材（硝酸ガドリニウム）を自動的に注入することにより、速やかに未臨界にする（核分裂連鎖反応を止める）措置を講ずることが出来ます。
- 臨界の発生に伴い、空気中に放射性物質が移行します。これを施設外に放出しないように、以下の設計としています。
 - ・建物内部の気圧を「建物」、「小部屋（セル）」、「機器（貯槽、配管等）」の順に低くし、気体状の放射性物質を建物の内側に閉じ込めます。
 - ・「建物」、「小部屋（セル）」、「機器（貯槽、配管等）」内の空気は、フィルタ（排気処理系）により放射性物質を除去した後に、主排気筒から放出します。
- 厚いコンクリート（1メートル程度）の壁により、放射線を遮へいし、一般公衆、作業員の被ばくを最小限に抑えます。

《解説》 臨界

中性子がウラン235やプルトニウム239等の核分裂性物質にあたると核分裂が起きます。核分裂に伴い、新たな中性子とともに熱エネルギーが発生します。

新たに発生した中性子が別の核分裂性物質にあたることで、再び核分裂が起きます。このように核分裂が連鎖的に継続することを臨界といいます。



③使用済燃料等の落下対策

落下の発生防止対策

- 使用済燃料集合体、ガラス固化体を取り扱う設備では、吊りワイヤを二重化、駆動電源の喪失時にも落下しない機械的な保持機能（フェイルセーフ）を採用しています。

落下の拡大防止対策

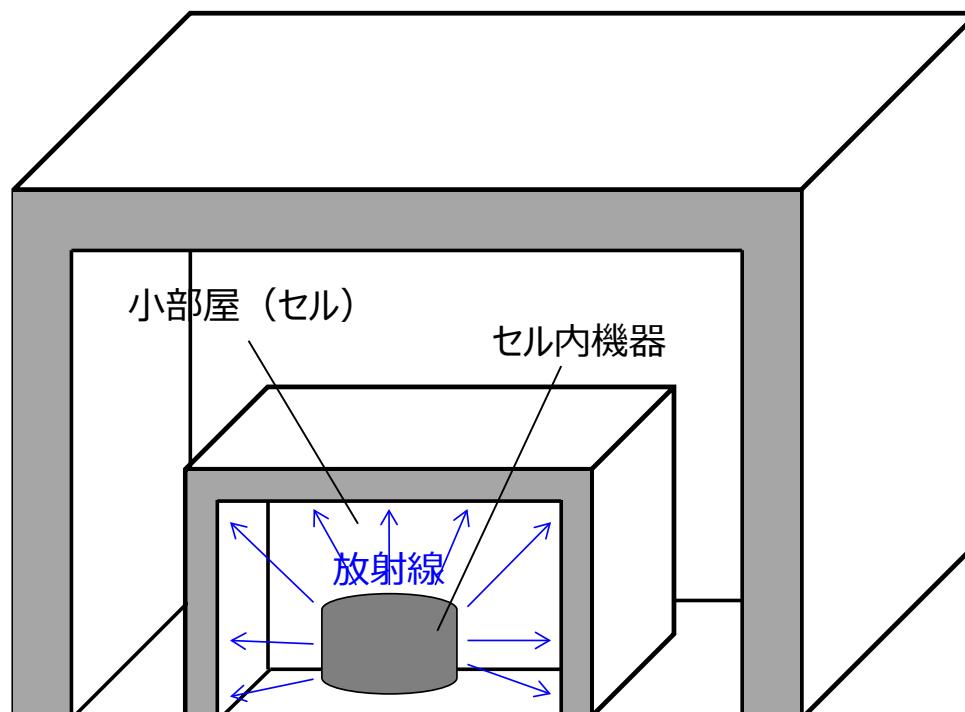
- 使用済燃料集合体、ガラス固化体を取り扱う設備は、吊り上げ高さを制限することにより、万一の落下においても使用済燃料集合体、ガラス固化体が破損することがないようにしています。

落下の影響緩和対策

- 落下により使用済燃料集合体が破損した場合には、集合体内の放射性物質が空気中に移行します。これを施設外に放出しないように、フィルタにより放射性物質を除去した後に、換気筒から放出します。
- 燃料貯蔵プールの内面には、漏水を防止するためにステンレス鋼の内張りをしています。これは、使用済燃料集合体の落下によっても機能を喪失することがなく、燃料貯蔵プールの水を保持し続けられるようにしています。

④放射線遮へい

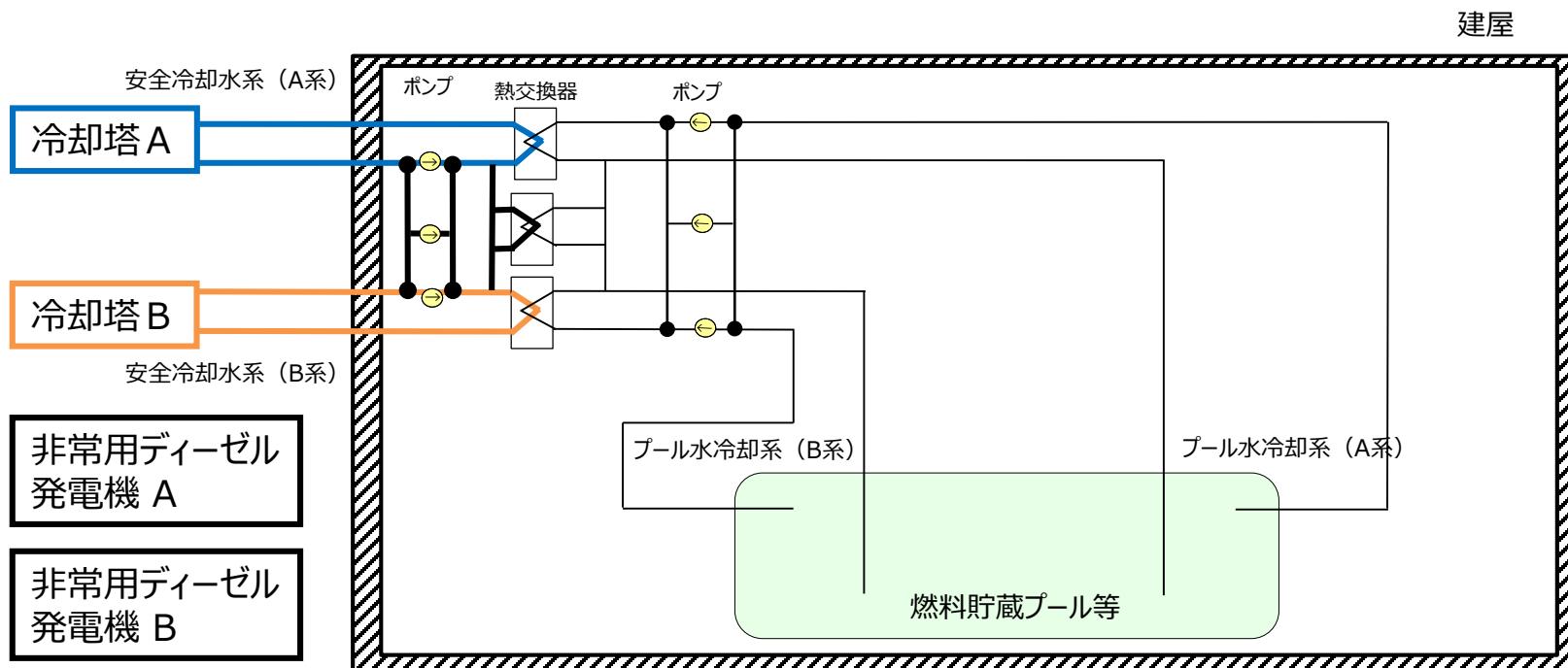
- 厚い頑丈な鉄筋コンクリートの壁（1メートル程度）や鉛板等で作られた小部屋（セル）により、放射線を遮へいします。



⑤ 崩壊熱除去

⑤-1 燃料貯蔵プールの崩壊熱除去

燃料貯蔵プール等では、使用済燃料の崩壊熱を除去するため、冷却系統を二重化しています。

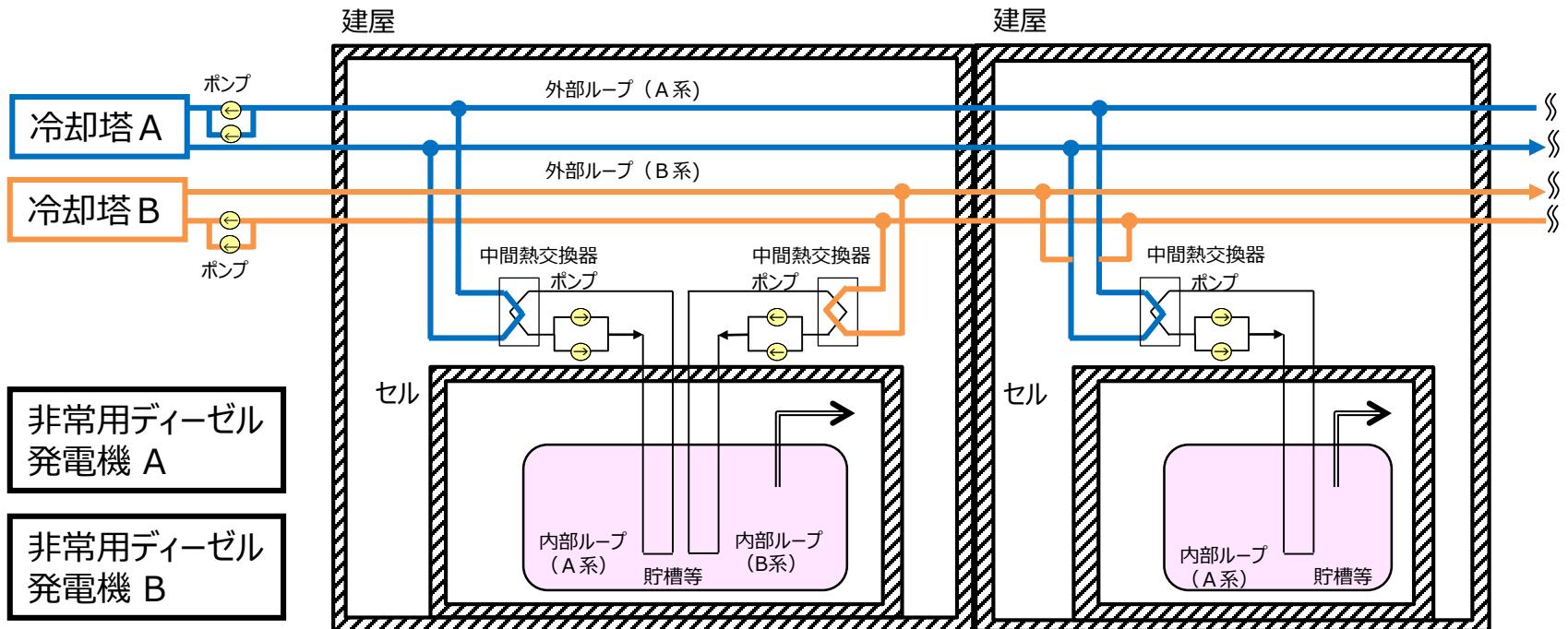


- 冷却水の系統は、燃料貯蔵プール等で発生する崩壊熱を除去するプール水冷却系と、除去した熱を外部へ排出するための安全冷却水系により構成されています。
- 安全冷却水系は独立した2系列により構成し、1系列の運転でも各燃料貯蔵プール等の崩壊熱除去に必要な容量を有する設計としています。また、各系列の冷却塔およびポンプは多重化することにより信頼性を向上させています。
- プール水冷却系は冷却機能が喪失してから燃料の露出に至るまでの時間が長く、1系列でも冷却機能を有しており、ポンプおよび熱交換器は多重化することにより信頼性を向上させています。
- 冷却塔およびポンプは、外部電源が喪失した場合には、非常用所内電源系統にて冷却を維持します。

⑤ 崩壊熱除去

⑤-2 高レベル放射性廃液等の崩壊熱除去対策

高レベル放射性廃液等を取り扱う設備では、高レベル放射性廃液等の崩壊熱を除去するため、冷却システムを二重化等しています。

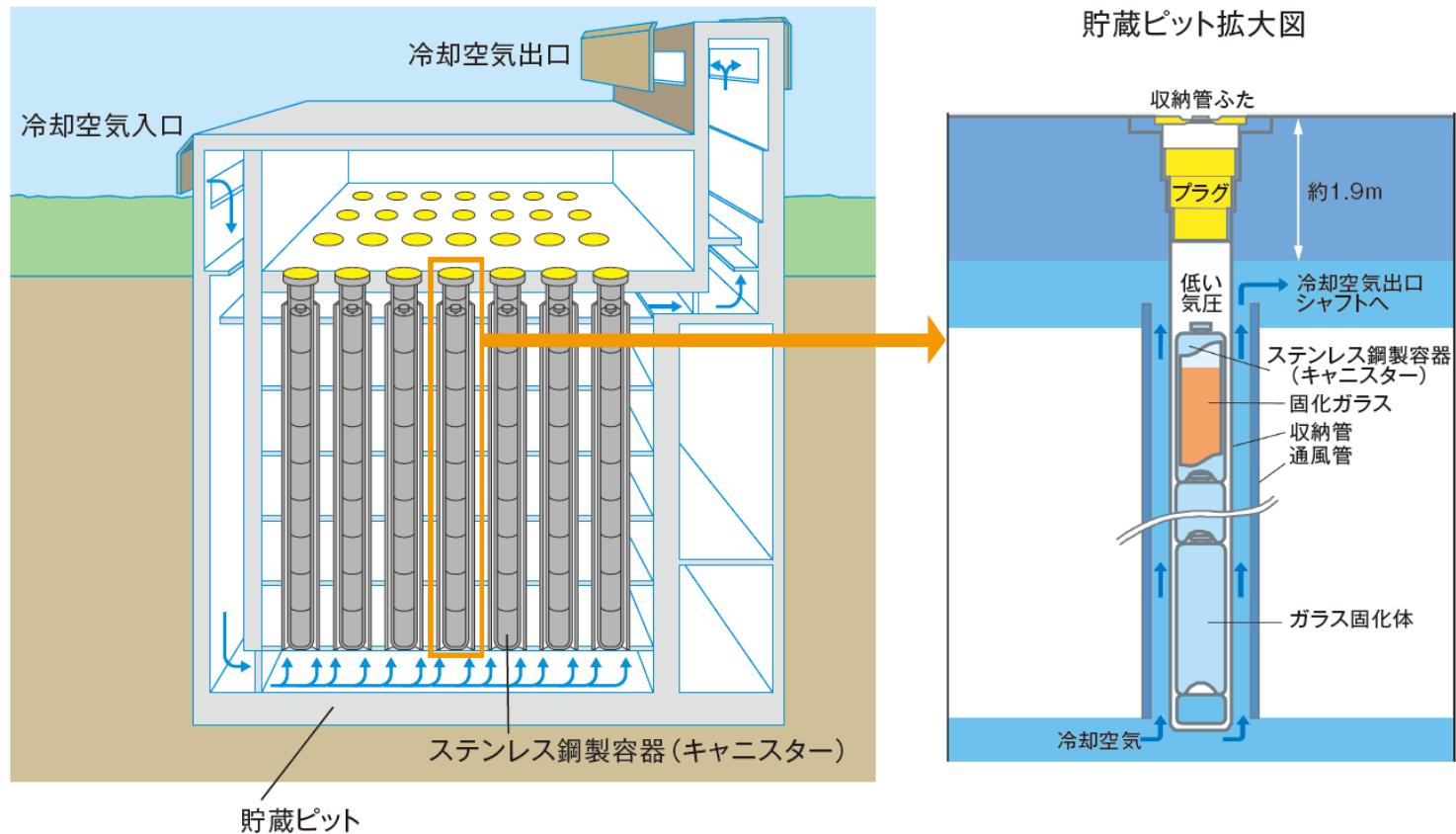


- ・冷却水の系統は、貯槽等で発生する崩壊熱を除去する内部ループと、除去した熱を外部へ排出するための外部ループにより構成されています。
- ・外部ループは独立した2系列により構成し、1系列の運転でも各貯槽等の崩壊熱除去に必要な容量を有する設計としています。また、各系列の冷却塔およびポンプは多重化することにより信頼性を向上させています。
- ・内部ループは冷却機能が喪失してから沸騰に至るまでの時間が比較的長い貯槽等については1系列で構成し、ポンプは多重化することにより信頼性を向上させています。一方、冷却機能が喪失してから沸騰に至るまでの時間が短い貯槽等については2系列により構成し、1系列の運転でも貯槽等の崩壊熱除去に必要な容量を有する設計としています。また、ポンプは多重化することにより信頼性を向上させています。
- ・冷却塔およびポンプは、外部電源が喪失した場合でも機能を期待出来るよう、非常用所内電源系統に接続しています。

⑤ 崩壊熱除去

⑤-3 ガラス固化体の崩壊熱除去対策

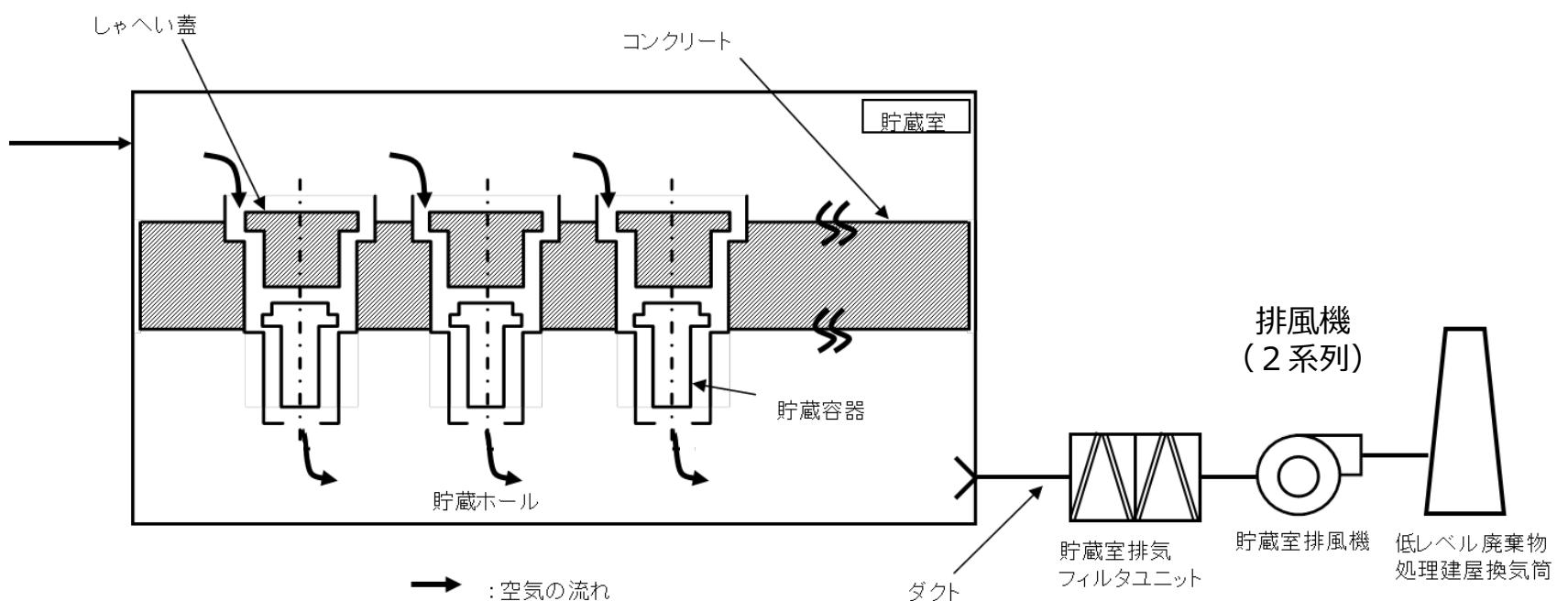
ガラス固化体を貯蔵するピットは、ガラス固化体から発生する崩壊熱により自然に空気の流れが発生する設計とすることで、ガラス固化体の崩壊熱を適切に除去する設計としています。



〔出典〕日本原子力文化財団/原子力・エネルギー図面集

⑤-4 MOX粉末の崩壊熱除去対策

ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末（MOX粉末）から発生する崩壊熱は、貯蔵室からの換気（排気）により適切に除去出来る設計としています。



3. 安全確保への取り組み

3-3. 安全設計の具体例

(2) 強化した対策

これまでの安全設計に加え、新規制基準を踏まえて安全設計を強化しました。

これらの事例についてご紹介します。

注) 以下（以降のページも同様）、括弧内の条文番号は参考資料(p50)に示す「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（再処理施設の新規制基準として施行）の各対策の条文番号を意味する

- ①火災等による損傷の防止（第5条）
- ②地震・津波による損傷の防止（第7条、第8条）
- ③外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）
【落雷】
- ④外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）
【航空機落下】
- ⑤外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）
【外部火災】
- ⑥電源の確保（第25条）

①火災等による損傷の防止（第5条）

火災等により、再処理施設の安全上重要な施設の機能が損なわれないようにします。



従来から考慮している対策

火災・爆発の発生防止対策

- ・再処理工場では、火災・爆発が発生する条件（燃えるものがあること、空気（酸素）があること、着火源（火）があること）を取り除くことで、火災・爆発の発生防止を図っています。
- ・重要な設備には、不燃性または難燃性材料を使用しています。
- ・静電気が発生するおそれがある機器には、接地（アース）をしています。
- ・油を取り扱う機器は、温度を適切に管理します。
- ・小部屋（セル）内に油が漏えいした場合には、漏えいを検知して直ちに回収します。
- ・機器の中に水素ガスが溜まらないよう、空気を流して水素ガスを追い出します。

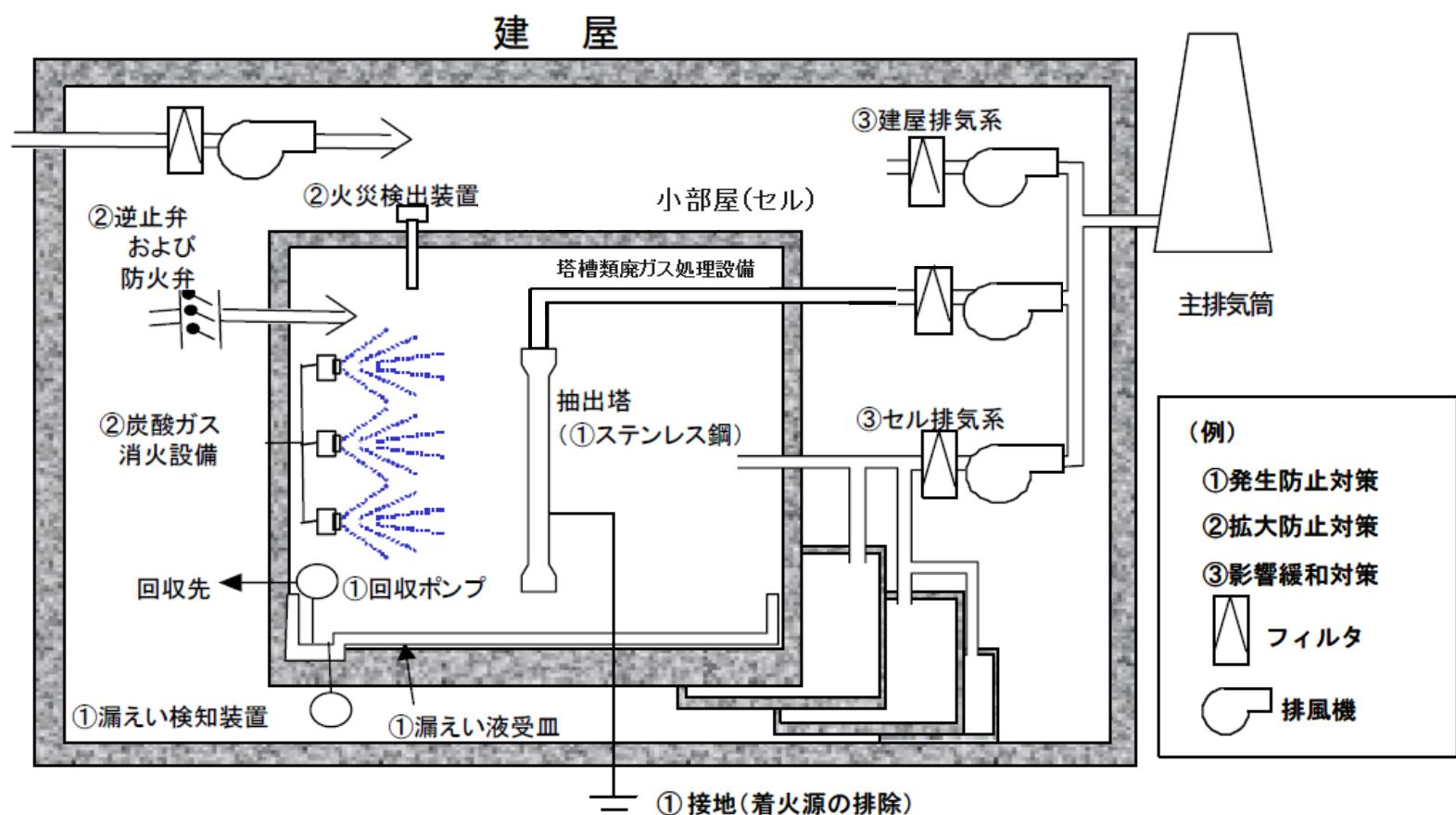
それでも、発生した場合の拡大防止対策

- ・万一の火災に備えて、火災感知設備、消火設備を設置し、火災を検知した場合には速やかに消火を行います。
- ・適切に設置された耐火壁により、延焼を防止します。

それでも、発生した場合の影響緩和対策

火災により、放射性物質を含むばい煙が発生します。これを施設外に出さないように、以下の設計としています。

- ・機器または小部屋（セル）内を負圧（屋外よりも気圧が低い状態）に維持して、放射性物質を小部屋（セル）の内側に閉じ込めます。
- ・機器または小部屋（セル）内の空気は、フィルタ（排気処理系）を通し、出来る限り除去した後、主排気筒から放出します。

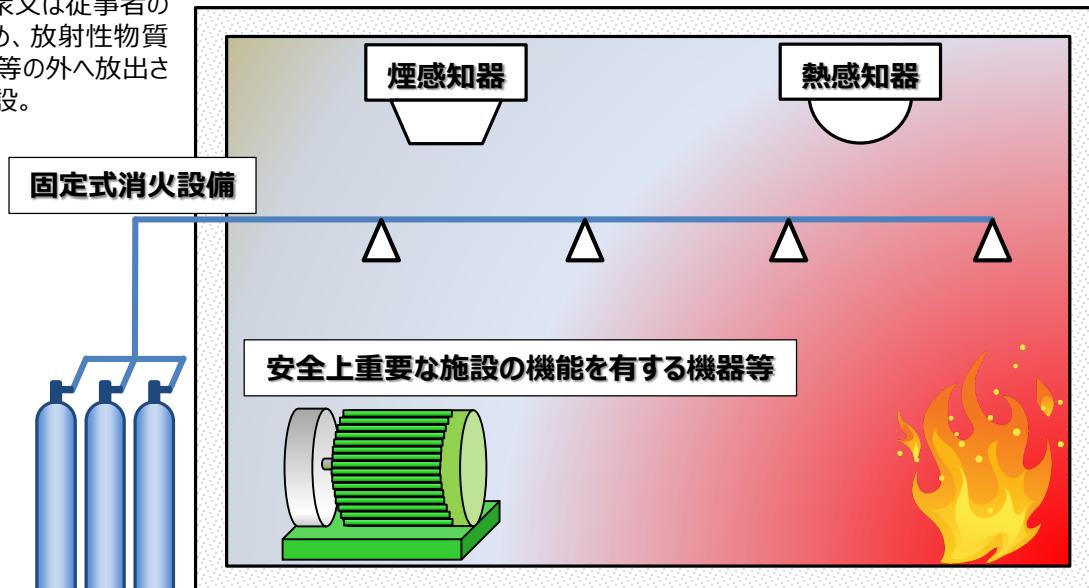


強化した 対策（新規制基準を踏まえた対策）

火災感知器の多様化により、火災を早期に感知し、固定式消火設備により消火します。

- ・安全上重要な施設※および放射性物質貯蔵等の機能を有する機器が設置される場所には、煙感知器、熱感知器等の種類の異なる感知器を組み合わせることで、当該機器周辺で発生した火災を早期に感知します。
- ・さらに、人による消火活動が困難な場所には、固定式消火設備を設置することで、火災を消火します。

※安全機能の喪失による公衆又は従事者の放射線障害を防止するため、放射性物質又は放射線が再処理施設等の外へ放出されることを抑制・防止する施設。



煙感知器

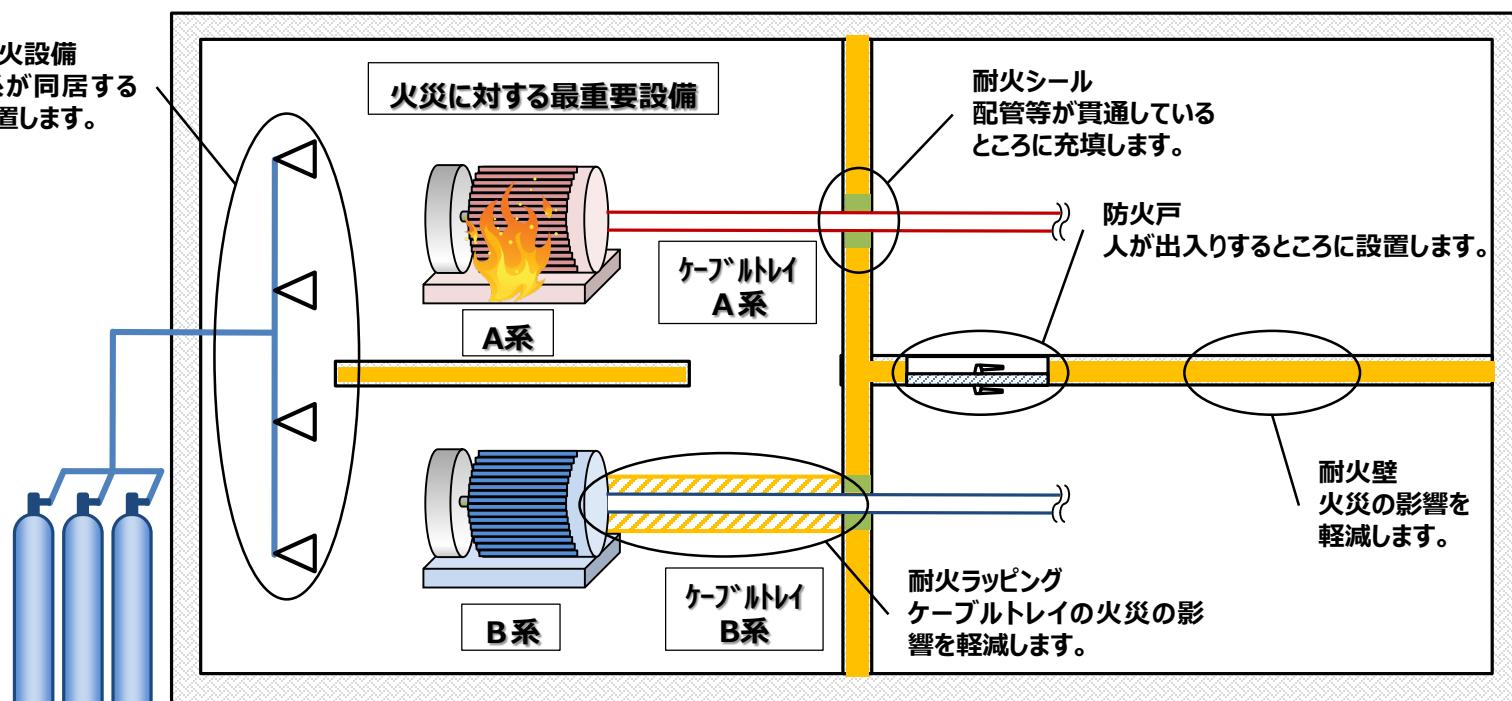


熱感知器

火災による影響軽減対策を行います。

- ・火災が発生してもその影響が及ばないように、耐火壁（防火戸、耐火シール等を含む）により分離します。
- ・安全上重要な施設のうち、特に火災対策が必要な設備については、多重化した系統（A系、B系）の一方で火災が発生しても、互いに火災影響を受けないように分離します。

固定式消火設備
A系B系が同居する
部屋に設置します。



※異なる原理の感知器の設置については図中では省略する。

②地震・津波による損傷の防止（第7条、8条）

地震・津波により、機器等が損傷し、再処理施設の安全上重要な施設の機能が損なわれないようにします。



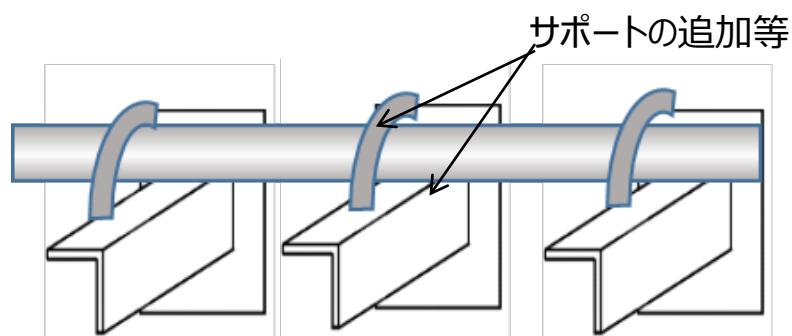
従来から考慮している対策（地震）

基準地震動を450ガルと設定し、それに耐えられるよう必要な対策を行ってきました。

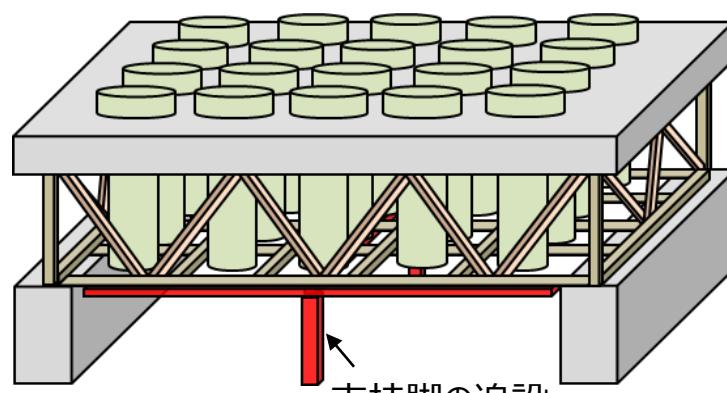
強化した対策（新規基準を踏まえた対策）

基準地震動を700ガルに引き上げ、それに耐えられる補強工事を行います。

【補強工事の例】



配管耐震補強工事

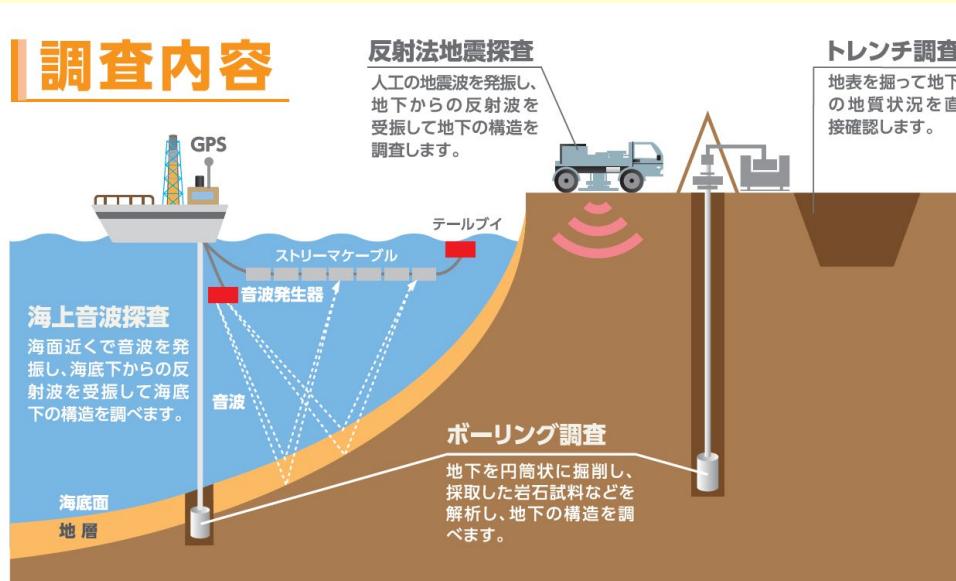


MOX粉末貯蔵建屋の耐震性向上工事

《解説》 基準地震動とは？

敷地周辺で発生する可能性のある最大の地震を想定し、設定した地震の揺れの強さです。『ガル』という単位であらわします。

基準地震動の再評価では、様々な調査を行うとともに、2011年東北地方太平洋沖地震等の最新の知見を踏まえて、700ガルを含む地震波形10ケースを基準地震動に設定しています。

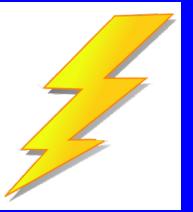


《解説》 津波対策は大丈夫？

2011年東北地方太平洋沖地震に起因する津波や最新知見を踏まえて評価した結果、再処理工場は想定される津波の高さに対して十分高く立地していることを確認しました。



③外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）【落雷】



非常に大きな雷が落ちた際、計器や機器が損傷し、正常な動作が損なわれないようにします。

従来から考慮している対策

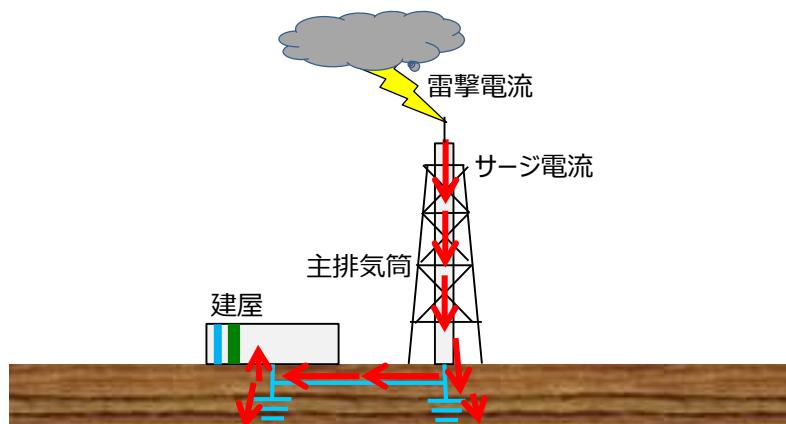
避雷設備（避雷針）を設置することで、落雷による機器の損傷を防止しています。

強化した対策（新規基準を踏まえた対策）

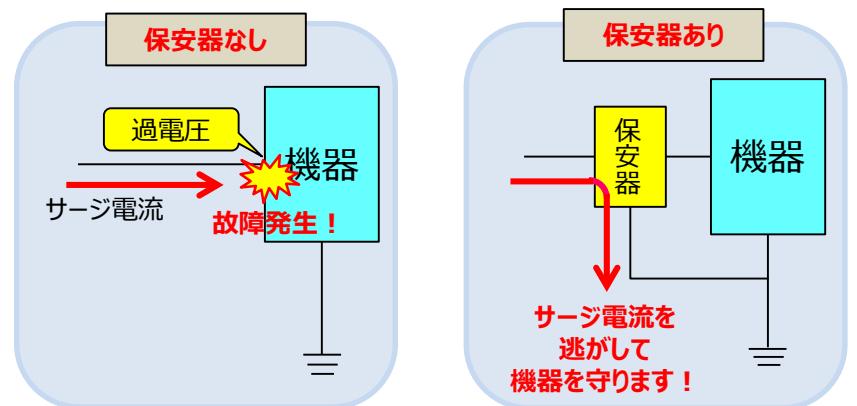
さらに大きな落雷（安全上重要な施設には雷撃電流270kA）を想定し、それに耐えられる対策を行います。

【対策の例】

- 雷が落ちるポイントおよびサージ電流の侵入経路を絞り込みます。



- 安全上重要な施設の計測制御設備等に保安器を設置し、落雷により発生するサージ電流から機器を守ります。



《解説》 さらに大きな雷の想定方法は？

再処理工場の敷地で過去に観測された最大規模の落雷211kA（キロアンペア）を参考に、余裕をもった値として、安全上重要な施設に対する雷撃電流を150kA（キロアンペア）から270kA（キロアンペア）としました。

※1kA（キロアンペア） = 1,000A（アンペア）

《解説》 雷はどのくらいところに落ちやすいの？

雷は、高いところに落ちやすい性質があります。再処理工場では主排気筒が最も高く、高さが約150mもあるため、一番雷が落ちやすいと言えます。

《解説》 雷撃電流とは？

落雷によって生じる大電流のことをいいます。この値が大きいほど、大きな落雷とすることができます。

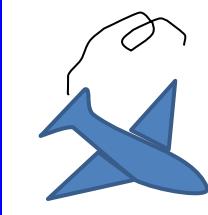
《解説》 避雷針があっても建屋内に電流が入り込むことある？

落雷による雷撃電流は、避雷針、接地導線等を通して拡散していく過程で、建屋内に設置されている機器に対して影響を与えることがあります。

《解説》 サージ電流とは？

避雷針等に落雷すると雷撃電流は接地線を通して拡散し、最終的に大地に放流されます。雷撃電流が拡散する過程では、その一部がサージ電流となって建物や機器に流れ、一時的に過電圧が発生する場合があります。

④外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）【航空機落下】

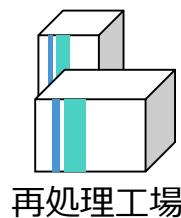


自衛隊機、米軍機などの航空機落下により安全機能が損なわれないようにします。

従来から考慮している対策

航空機が再処理工場に落下する可能性は極めて小さいものの、万が一に備えた対策をとっています。

- ・再処理工場は、三沢空港、民間定期航空路および三沢対地訓練区域から離れています。
- ・また、航空機は原則として原子力関係施設上空を飛行しないよう規制されています。



再処理工場

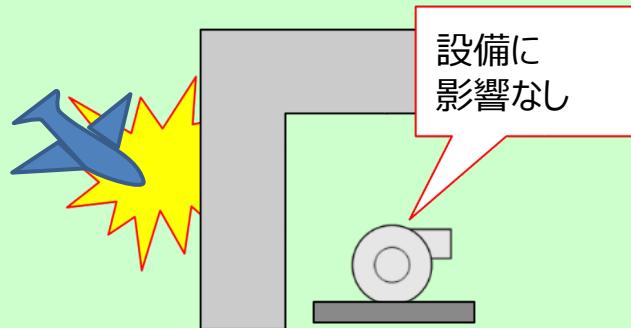
約10km



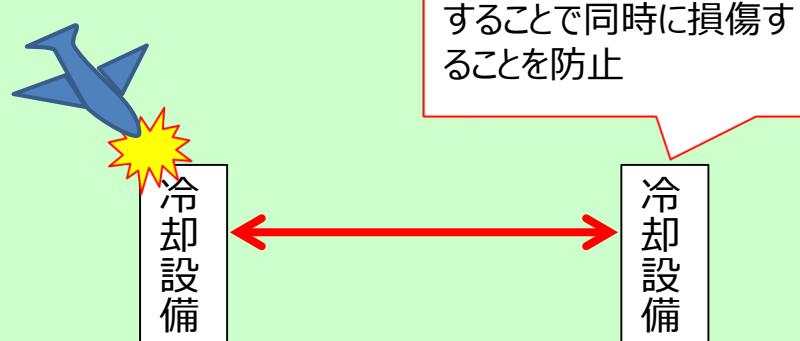
三沢対地訓練区域

【航空機の落下対策】

● 堅固な構築物による保護

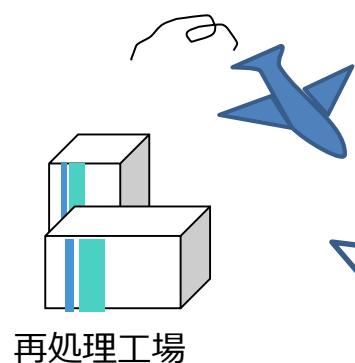


● 離隔距離の確保



強化した 対策（新規制基準を踏まえた対策）

航空機が再処理工場に落下する確率を評価し、必要な安全性が確保されていることを確認しました。



再処理工場

航空機の落下確率
0.000000046回/年
(4.6×10^{-8} 回/年)

国の定めた防護設計の要否判断基準（ 10^{-7} 回/年）を超えないことから、航空機落下に対する追加の対策は必要ないと評価しています。

それでも...

訓練飛行中の自衛隊機、米軍機が再処理工場に落下したとしても、従来からの対策によって、再処理工場の安全機能が損なわれることはありません。

《解説》 落下確率はどのように評価しているの？

- ・落下確率は、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」（平成14.07.29原院第4号（平成14年7月30日原子力安全・保安院制定））に基づき、航空機の飛行回数や落下事故のデータなどから評価しています。

⑤外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）【外部火災】



森林火災や近隣工場の火災等が発生した際、その熱により安全機能が損なわれないようにします。

従来から考慮している対策

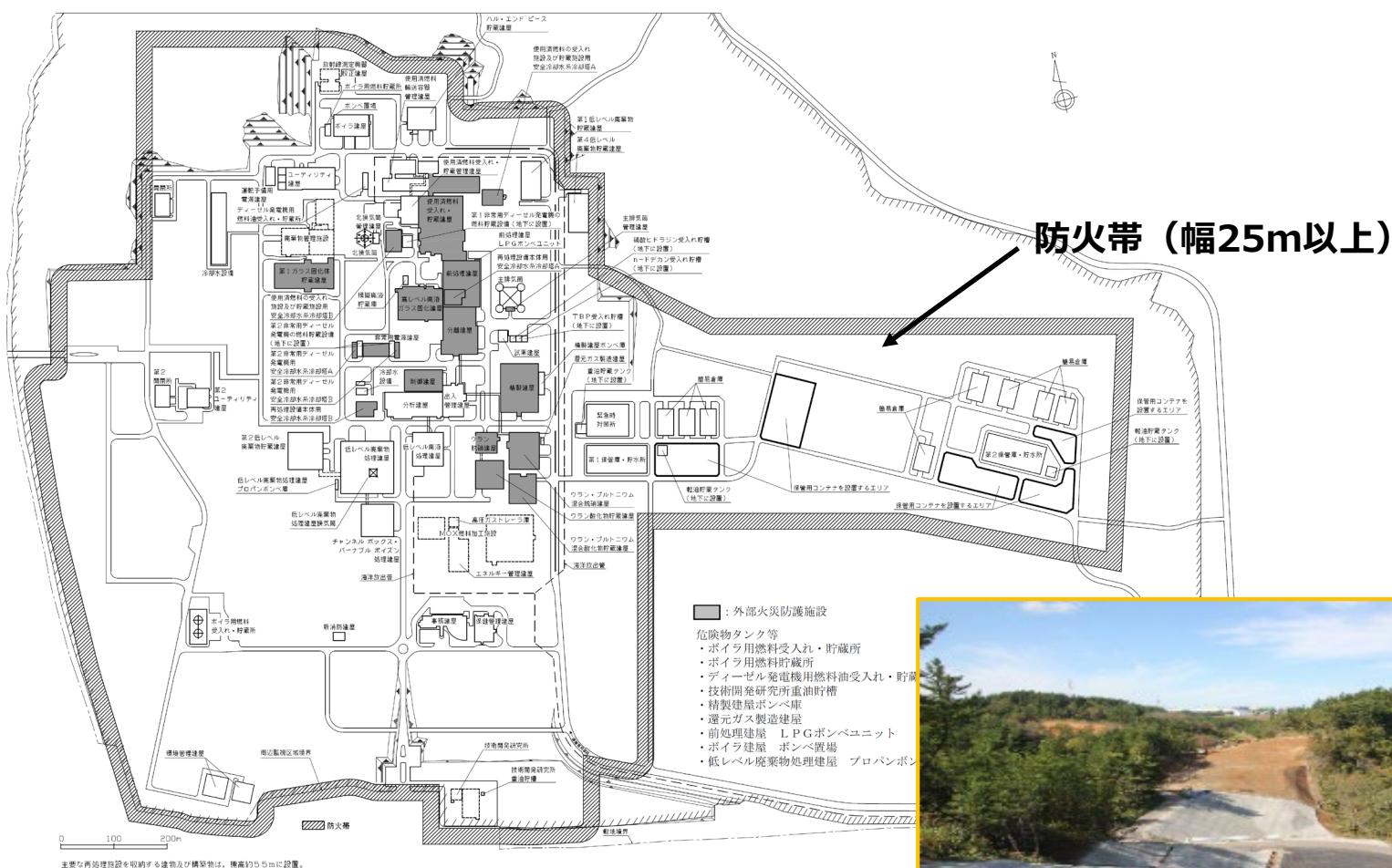
外部火災対策の必要がないことを確認しています。

強化した対策（新規基準を踏まえた対策）

《解説》 外部火災

再処理施設敷地内外で発生する火災であり、敷地内は危険物タンクの火災等をいい、敷地外は森林火災、近隣の工場火災等をいいます。

外部火災（敷地外）により施設の安全機能が損なわれないよう防火帯を設置します。



外部火災（敷地内）により施設の安全機能が損なわれないことを評価・確認しました。

《解説》 防火帯とは？

外部火災からの延焼被害を食い止めるために設置する、可燃物が無い帯状の地域のことです。

《解説》 防火帯幅はどうやって決めたの？

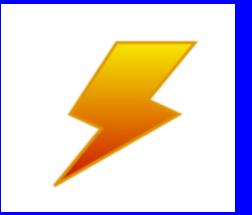
「外部火災影響評価ガイド」（平成25年6月19日 原子力規制委員会制定）に基づき、再処理施設から10kmの範囲内の居住地域や人の立ち入りがある作業エリア（工場等）を発火点1～3として選定した上で、再処理施設から12kmの範囲内での可燃物（植生）、風向きを考慮して火災を想定し、防火帯の幅を算出しました。

また、外部火災による熱の影響がないことを評価により確認しています。



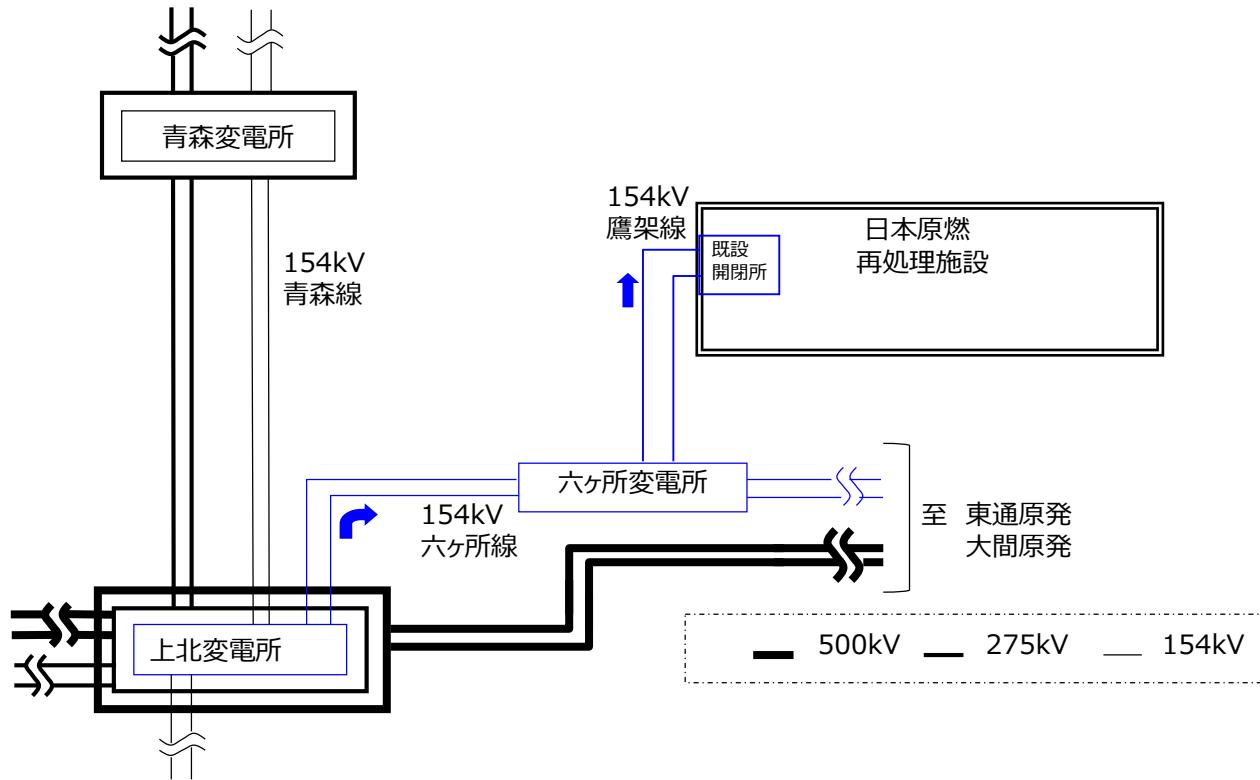
⑥電源の確保（第25条）

外部電源が喪失すると、施設内の機器が停止するため、必要な安全機能を損なわれないようにします。



従来から考慮している対策

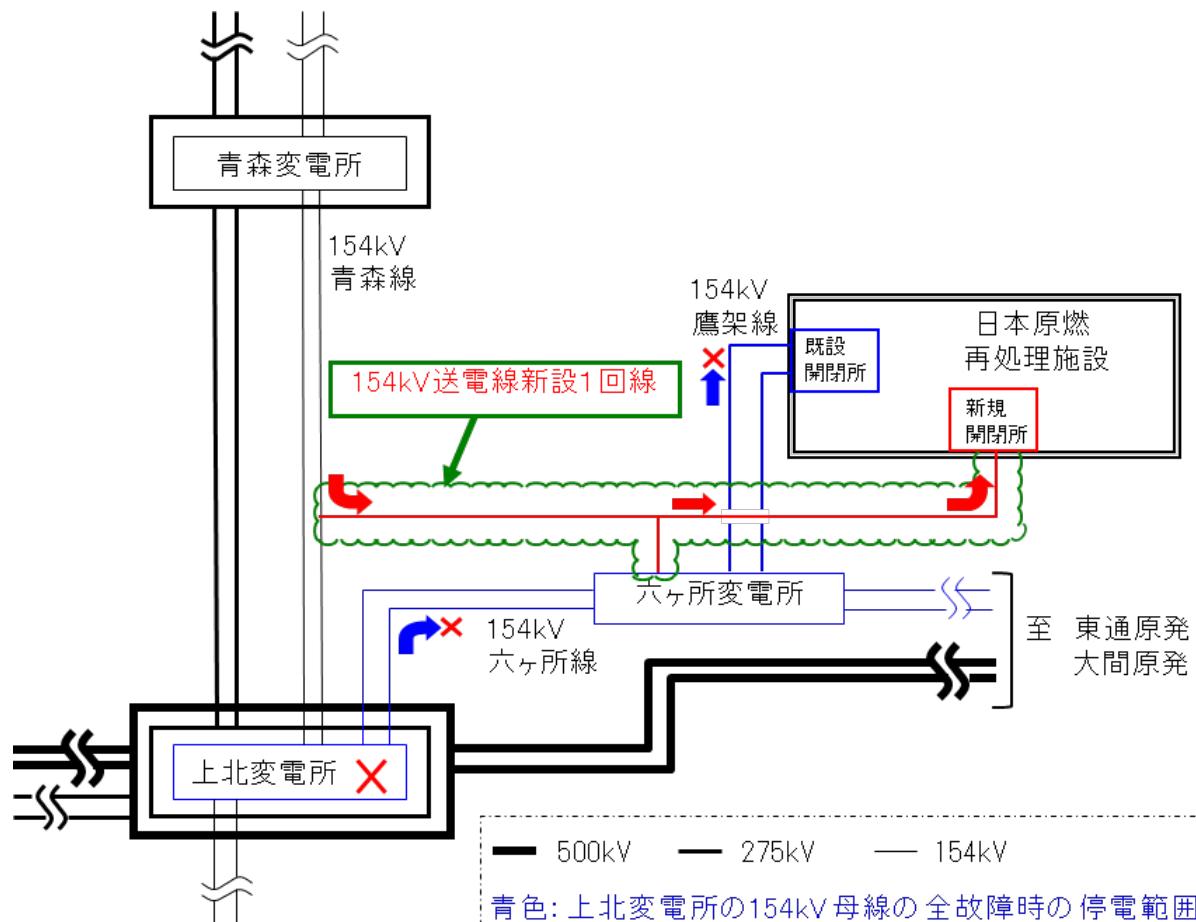
- ・上北変電所や六ヶ所変電所からの独立した異なる2つの送電線から、必要な電力を受電出来ます。



強化した 対策

外部電源の信頼性を向上します。

- ・上北変電所や六ヶ所変電所からの送電が停止した場合でも、他のルートで受電出来るよう、これらの変電所を経由しない新たな送電線を設置しています。（自主対策設備）



3. 安全確保への取り組み

3-3. 安全設計の具体例

(3) 新たに追加した対策

新規制基準を踏まえて、安全設計の強化として新たに追加した対策の事例についてご紹介します。

- ①外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）【竜巻】
- ②外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）【火山】
- ③再処理施設への人の不法な侵入等の防止（第10条）
- ④溢水による損傷の防止（第11条）
- ⑤化学薬品の漏えいによる損傷の防止（第12条）

①外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）【竜巻】



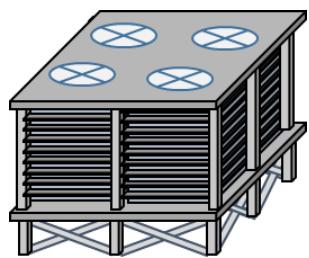
竜巻による風圧や竜巻により発生する飛来物等によって、再処理施設の安全上重要な施設の機能が損なわれないようにします。

追加した 対策（新規基準を踏まえた対策）

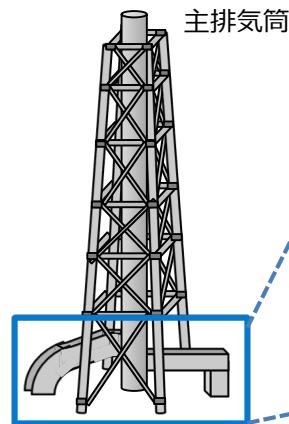
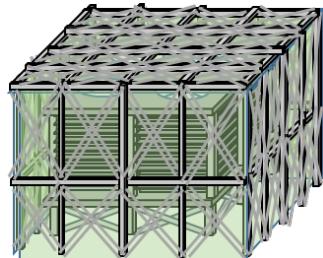
竜巻の最大風速を100m/秒と設定し、それに耐えられる対策を行います。

【対策の例】

- 防護ネットや防護板を設置し、竜巻による飛来物から守ります。

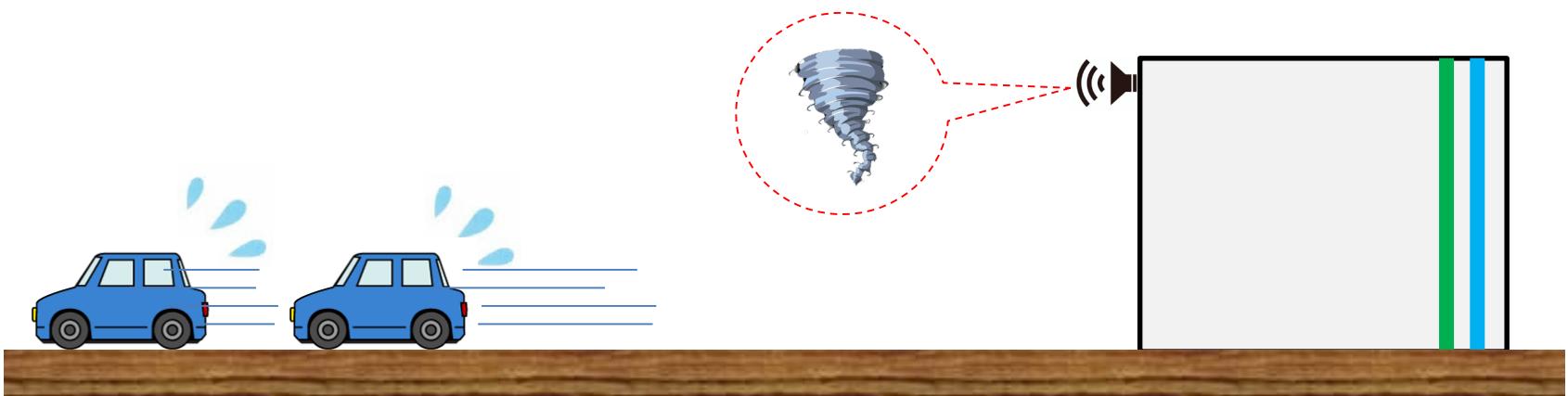


防護ネットの設置
〈冷却塔〉



防護板の設置
〈屋外ダクト、屋外配管、排気モータ〉

- 竜巻の発生のおそれがある場合には、施設から車両を遠ざけます。



《解説》 竜巻の最大風速の設定方法は？

再処理工場が立地する地域と気象条件が類似する地域での過去最大規模の竜巻（最大風速69m/秒）および日本全国で発生した過去最大規模の竜巻（最大風速92m/秒）をもとに余裕を持った値に設定しています。

《解説》 最大風速100m/秒の竜巻の強さは？

鉄骨系プレハブ住宅や鉄骨造の倉庫の上部構造の著しい変形や倒壊が生じたりします。また、車両が強風で飛ばされます。

②外部からの衝撃による損傷の防止（第9条）【火山】

火山の噴火により、安全機能が損なわれないようにします。



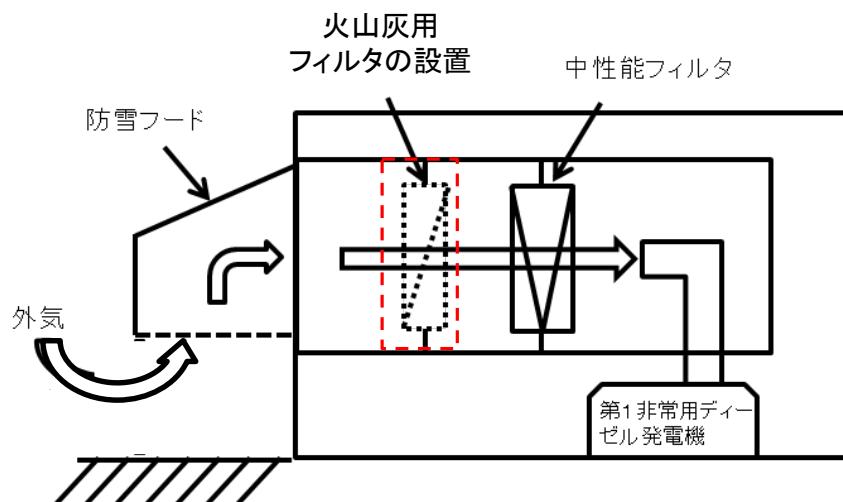
追加した 対策（新規基準を踏まえた対策）

火山の噴火に伴う降灰による設備の故障を防ぎます。

【対策の例】

- 外気取入口※1への火山灰用フィルタの取り付けにより、火山灰を取り込まないようにします。

※1 第1非常用ディーゼル発電機、第2非常用ディーゼル発電機、安全圧縮空気系空気圧縮機の外気取入口



第1非常用ディーゼル発電機外気取入対策(例)



フィルタ交換のイメージ

火山活動をモニタリングします。

巨大噴火の可能性は十分小さいですが、モニタリングの結果、観測データに有意な変化があった場合は、火山専門家の助言を踏まえ、当社が総合判断を行い対処内容を決定します。

(対処例)

- ・使用済燃料の受入れを停止、新たなせん断処理を停止します。
- ・再処理している途中の核燃料物質等については、ウラン酸化物粉末、ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末やガラス固化体にします。

《解説》 どのくらいの火山灰が降ると想定していますか？

約20万年前の八甲田火山の噴火を参考に、最大55cmの火山灰が降ることを想定しています。

③再処理施設への人の不法な侵入等の防止（第10条）

人の不法な侵入、不正な物品の持ち込みまたは不正アクセス行為により、安全機能が損なわれるおそれがあります。



追加した 対策（新規制基準では安全確保の観点から不法な侵入等の防止を求めています。これらの対策は従来から「使用済燃料の再処理の事業に関する規則」に従い実施していますので、実質的に追加する対策はありません。）

人の不法な侵入等を防止します。

- ・再処理施設への人の不法な侵入等を防止するため、区域の設定、人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護、巡視、監視をしています。
- ・区域の出入口で身分確認をした上で立入りさせています。

不正な物品の持ち込みを防止します。

再処理施設への不正な爆発性物件等の持ち込みを防止するため、持ち込み点検を行っています。

不正なアクセスを防止します。

外部からの不正アクセス行為を防止するため、情報システムに対する外部からの不正アクセスを遮断する措置等を講じます。

④ 溢水(第11条) ⑤ 化学薬品の漏えいによる損傷の防止(第12条)



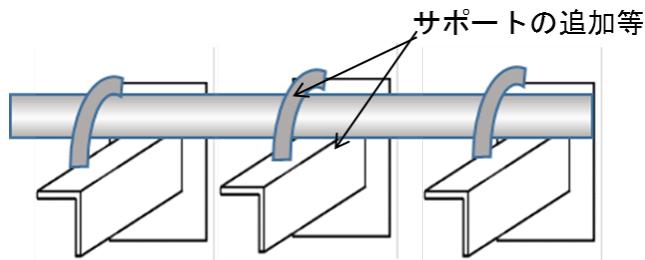
地震による機器や配管の破損等で、施設内に水や化学薬品が溢れ出し、安全機能が損なわれないようにします。

追加した 対策 (新規基準を踏まえた対策)

水や化学薬品の漏えい量を減らします。

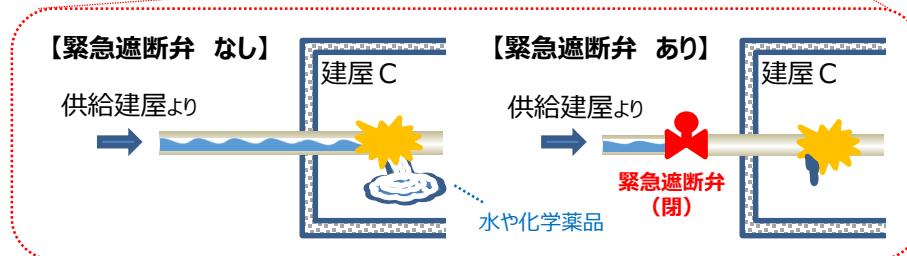
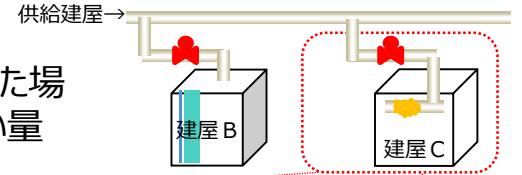
【耐震性の強化】

水や化学薬品が通る配管や機器の耐震性を強化します。



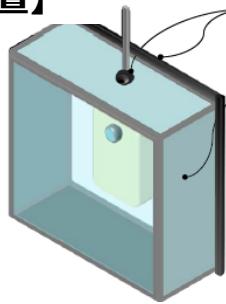
【緊急遮断弁の設置】

一定以上の規模の地震を検知した場合緊急遮断弁を閉じることで漏えい量を最小限に抑えます。

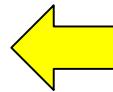


機器に水や化学薬品が被らないようにします。

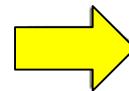
【パネルの設置】



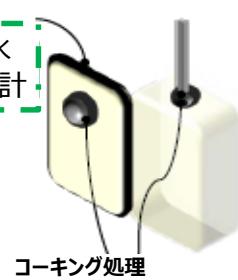
- コーキング処理**
 - ・想定する被水圧に耐える設計
- パネル設置**
 - ・想定する被水圧に耐える設計
 - ・防護する設備の耐震クラスに準ずる設計



- パッキン交換**
 - ・想定する被水圧に耐える設計



【防水性の強化】



機器のある部屋に水や化学薬品が流入しないようにします。

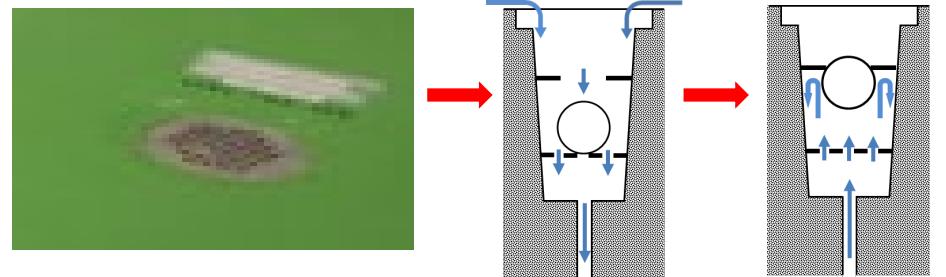
【堰や防水扉の設置】

水等を堰き止めます。



【逆流防止の設置】

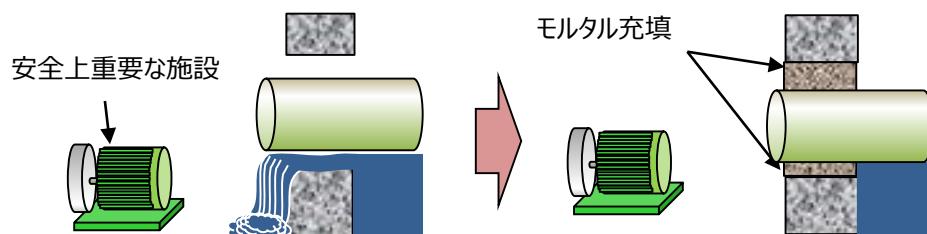
床排水口からの逆流を防ぎます。



逆流防止

【配管貫通部の充填】

配管貫通部の隙間をなくします。



《解説》 溢水 (いつい) とは？

地震による機器・配管の破損などにより、施設内に水や化学薬品が溢れ出すことをいいます。