



中部電力

2021年11月22日
静岡県防災・原子力学術会議
(原子力分科会)

浜岡原子力発電所における内部火災及び 内部溢水への対応状況について

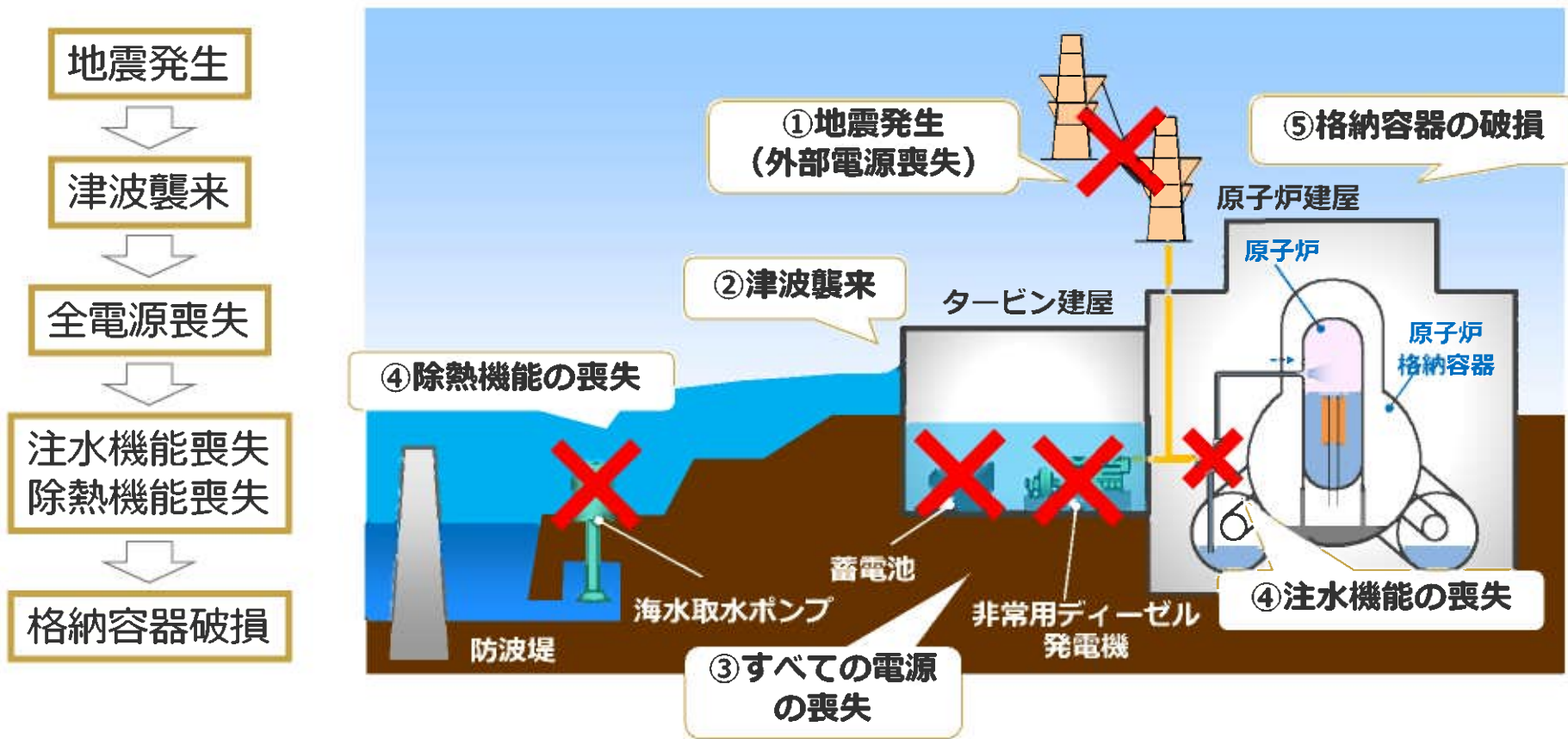
中部電力株式会社

2021年11月22日

- 1 はじめに
- 2 内部火災への対応
- 3 内部溢水への対応

1 はじめに

- 地震発生後、制御棒が自動挿入され原子炉は停止
- 地震の影響による外部電源喪失も、非常用ディーゼル発電機が起動し、原子炉の冷却機能は維持
- 津波により、複数の機器・システムが同時に安全機能を喪失
- さらに、その後のシビアアクシデントへの進展を食い止めることができなかった



福島第一原子力発電所事故を踏まえた対策

	項目
地震・津波への対応	<ul style="list-style-type: none">・基準地震動の想定引き上げ・耐震補強工事の実施・基準津波の想定引き上げ・防波壁や水密扉等の設置
シビアアクシデントへの対応	<ul style="list-style-type: none">・炉心損傷防止対策・格納容器破損防止対策

設計基準事象への対応

・シビアアクシデントに至らせないために、原子炉施設で発生する可能性のある**火災・溢水への対応強化**や、竜巻などの自然災害への対応を実施。

2 内部火災への対応

2-1 内部火災対策の目的および強化

2-2 内部火災対策

2-3 まとめ

参考 新規制基準（内部火災対策）の概要

2-1 内部火災対策の目的および強化

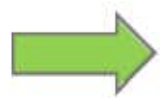
▶ 原子力発電所における火災の態様

原子力発電所では、火災源となり得る機械設備、電気設備が存在し、想定する火災として以下がある。

油火災・・・ 機械設備の潤滑油や非常用ディーゼル発電機に用いる燃料油が漏えいし、発生する火災

電気火災・・・ 短絡やトラッキングによって、電気設備やケーブルに発生する火災

水素燃焼・・・ 直流電源設備に用いられる蓄電池や、放射線分解により発生する水素が燃焼して発生する火災



これらの火災の発生を防止し、万が一発生した場合、速やかに感知・消火を行うとともに、安全機能を有する設備に対する影響を軽減する必要がある。

2-1 内部火災対策の目的および強化

内部火災対策の目的

原子炉施設の安全機能（止める・冷やす・閉じ込める）を維持するために必要な設備（以下、「防護対象設備」）を火災から防護する。

（多重性を有する系統が同時にその安全機能を喪失しないよう対策を実施する）

従前の想定と対策

① 機器からの潤滑油漏えいに対し、堰等を設置

② 耐延焼性を確認したケーブルを使用し、電源やケーブルで発生した火災の拡大を防止

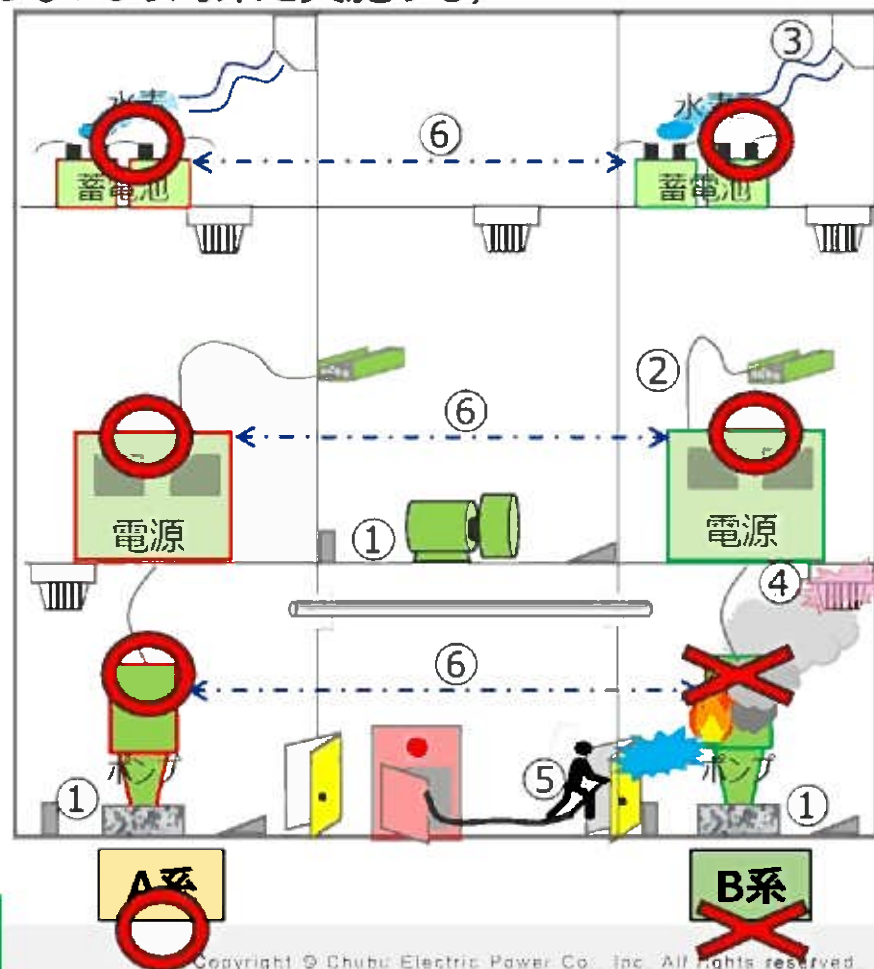
③ 蓄電池からの水素漏えいに対し、換気風量を確保し、水素滞留を防止

④ 消防法に基づき、煙/熱/炎の火災感知方式のうち1種類を設置

⑤ 消火器/消火栓等を設置し、人による消火活動

⑥ 重要な設備は離隔距離を設けることで、火災伝播による影響を軽減

防護対象設備が同時に機能喪失することはない



発生防止

感知・消火

影響軽減

2-1 内部火災対策の目的および強化

➤ 想定の見直し

発生した火災に対して、従来の対策が機能しないことを想定した場合、多重性を有する系統が同時にその安全機能を喪失する可能性がある。

発生防止

①漏えいした潤滑油の発火によるケーブル等への延焼

②電源盤等で発生した火災が継続し他の設備への燃え移りを起こす

③換気不良時の水素濃度上昇と水素の燃焼による蓄電池の機能喪失

感知・消火

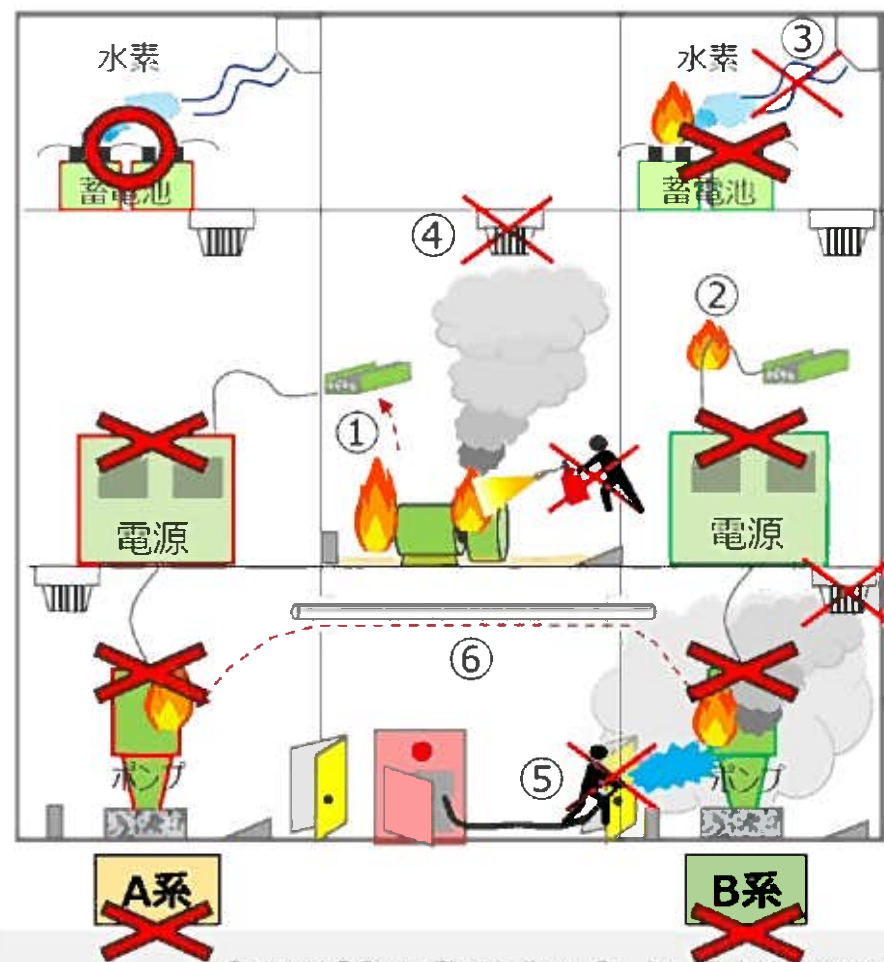
④火災感知の遅れによる火災の拡大

⑤煙の充満のため、人による消火が困難となることによる火災の拡大

影響軽減

⑥配管貫通部等を通じた隣室等への火災伝播

防護対象設備が同時に機能喪失する恐れ



2-1 内部火災対策の目的および強化

➤ 見直した想定への対応

見直した想定に対して、多重性を有する系統が同時にその安全機能を喪失する可能性を低減するために、以下の対策を講じる。

発生防止

①漏えいした潤滑油の拡大防止のため油受け設置

②ケーブルには、耐延焼性に加え、自己消火性も確認

③換気不良時の水素濃度上昇を把握する水素濃度検出器設置

④異なる種類の感知器により火災を感知

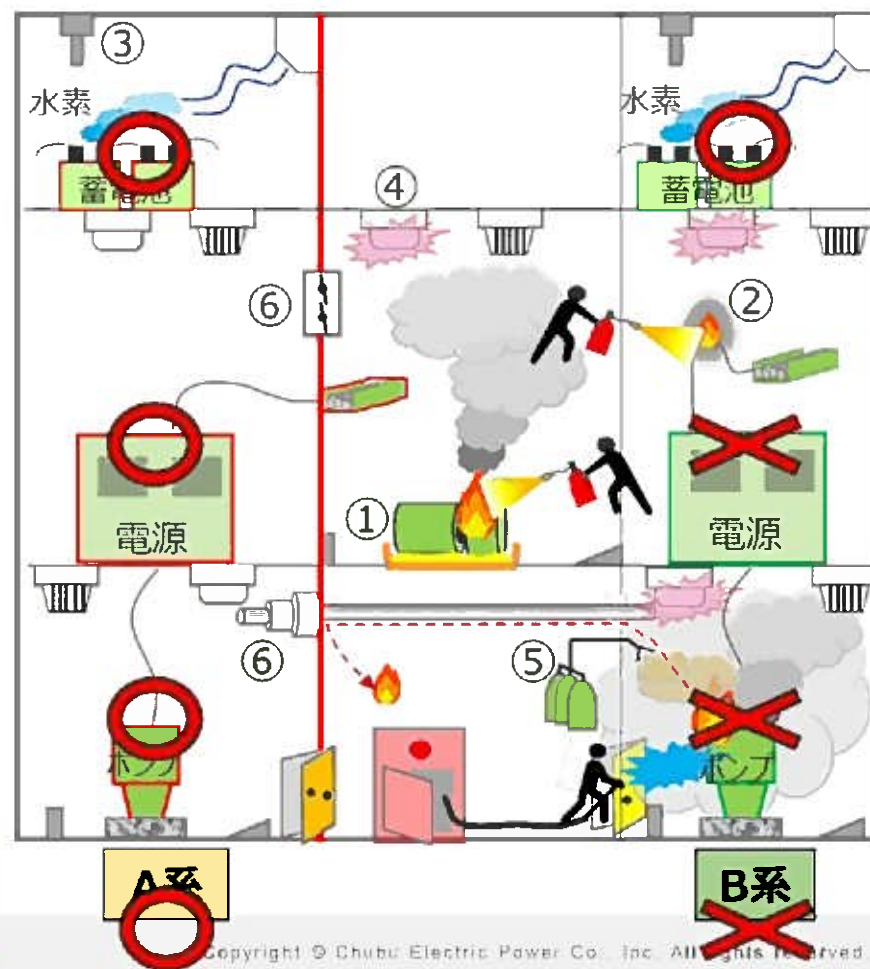
⑤消火困難な箇所への固定式消火設備の設置等

⑥火災伝播経路の閉止

感知・消火


影響軽減

防護対象設備が同時に機能喪失する可能性を低減



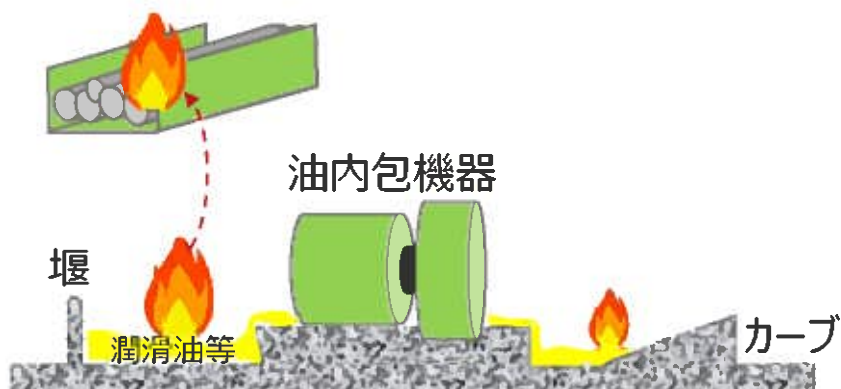
2-2 内部火災対策 潤滑油の漏えい拡大防止 (1)

●漏えいした潤滑油の発火によるケーブル等への延焼


 潤滑油の漏えい範囲を小さくすることにより、火災が生じた場合でも、その影響範囲を小さくする

～従前の対策～

→堰により潤滑油の漏えい拡大を防止

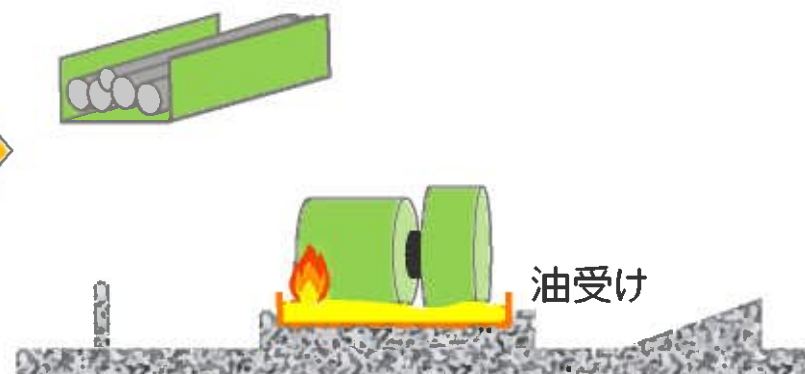


左記に加えて



～対策強化～

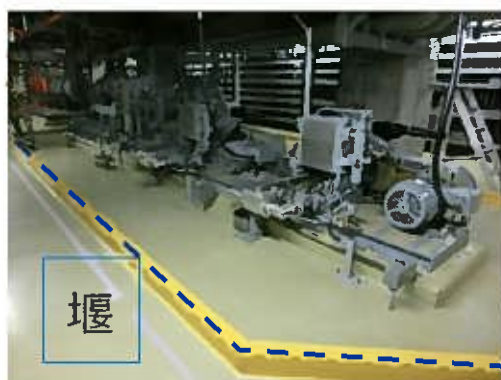
→油受けの追加設置



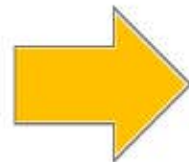
2-2 内部火災対策 潤滑油の漏えい拡大防止 (2)

➤ 潤滑油の漏えい拡大を防止する対策

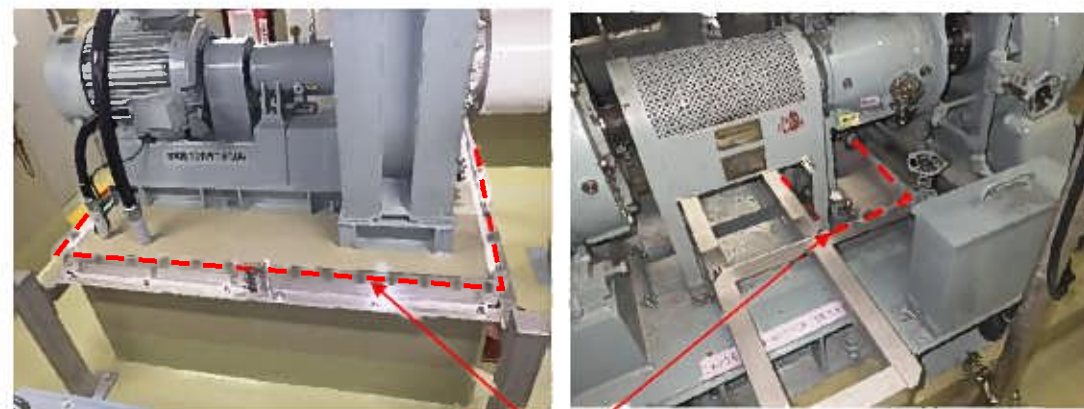
軽油等を扱う機器の周囲には、
堰を設置



左記に
加えて



潤滑油を使用している機器には、**油受けを追加**



油受け

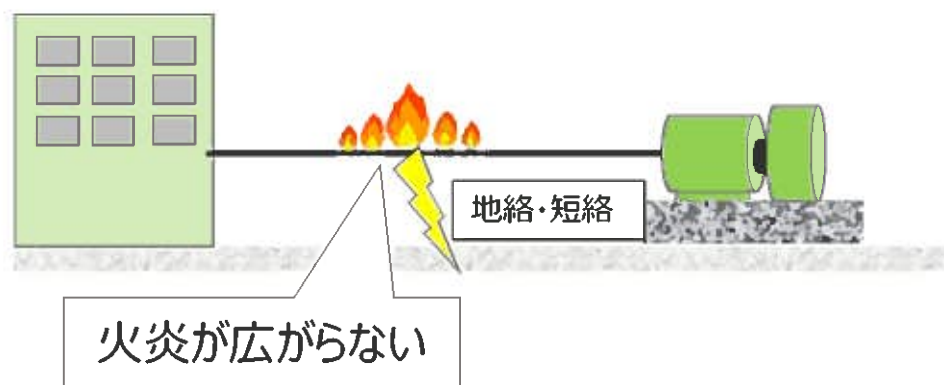
2-2 内部火災対策 ケーブルの燃え広がり防止 (1)

●ケーブル火災の燃え広がり

➡ **耐延焼性※¹に加えて、自己消火性※²を確認する**

～従前の対策～

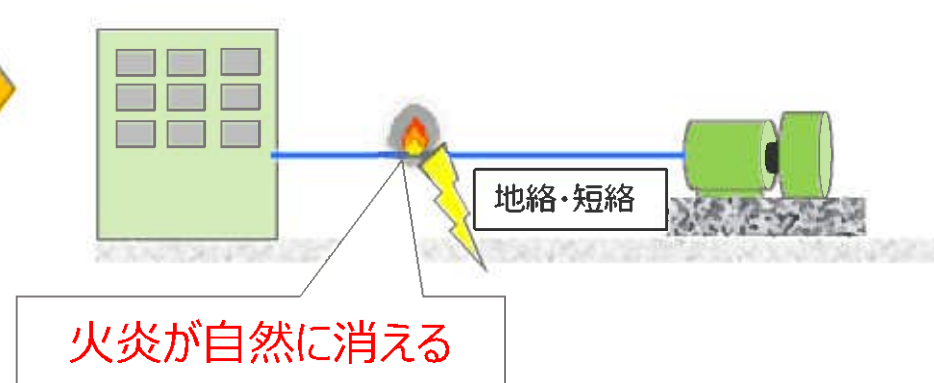
→耐延焼性が確認されたケーブル



左記に加えて

～対策強化～

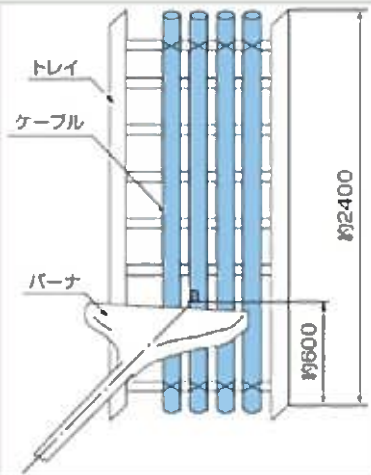
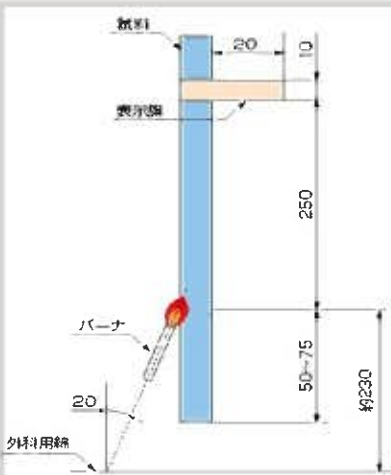
→自己消火性の確認を追加



※1 耐延焼性：加熱源を除去した場合にその燃焼部が広がらない性質

※2 自己消火性：加熱源を除去した場合に火炎が自然に消える性質

2-2 内部火災対策 ケーブルの燃え広がり防止 (2)

	延焼性 (IEEE383試験)	自己消火性 (UL垂直燃焼試験)
試験装置概要	 <p>単位：mm</p>	 <p>単位：mm</p>
試験内容	バーナを点火し、20分経過後にバーナの燃焼を停止し、そのまま放置してケーブルの燃焼が自然に停止したならば試験を終了する。	表示旗を取り付けた試料を垂直に保持し、20度の角度でチリルバーナの炎をあてる 15秒着火、15秒休止を5回繰り返し、試料の燃焼の程度を調べる
燃焼源	リボンバーナ	チリルバーナ
バーナ熱量	73.3MJ/h (70,000BTU/h)	2.14MJ/h
使用燃料	天然ガスもしくはプロパンガス	工業用メタンガス
判定基準	<ol style="list-style-type: none"> ① バーナを消火後、自己消火したときのケーブルのシースおよび絶縁体の最大損傷長が1800mm未満であること ② 3回の試験いずれにおいても、上記を満たすこと 	<ol style="list-style-type: none"> ① 残炎による燃焼が60秒を超えないこと ② 表示旗が25%以上焼損しないこと ③ 落下物によって底部の外科用綿が燃焼しないこと

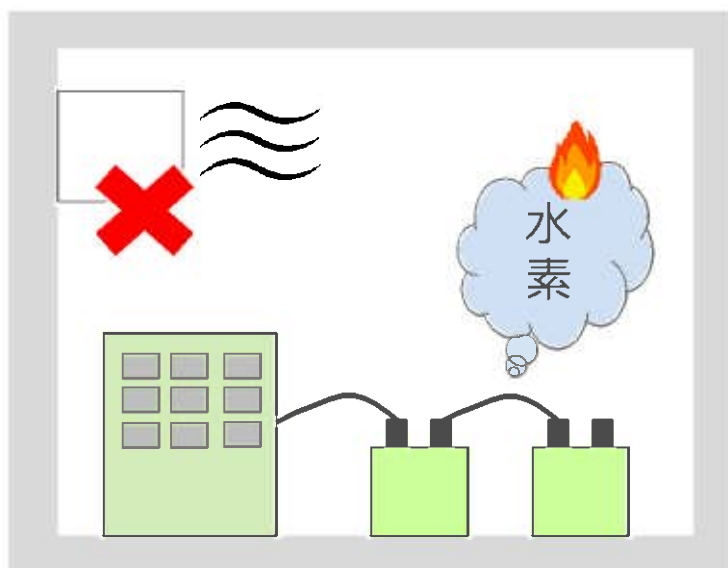
2-2 内部火災対策 蓄電池室の水素対策 (1)

● 換気不良時の水素濃度上昇と水素の燃焼による蓄電池の機能喪失

➡ 蓄電池室の水素濃度上昇を検知する

～従前の対策～

→換気設備により水素滞留防止

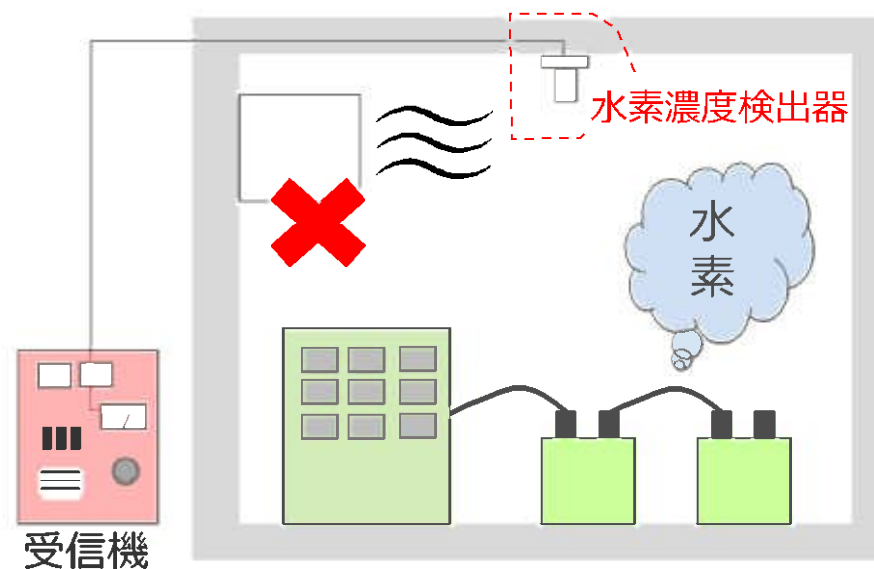


左記に加えて



～対策強化～

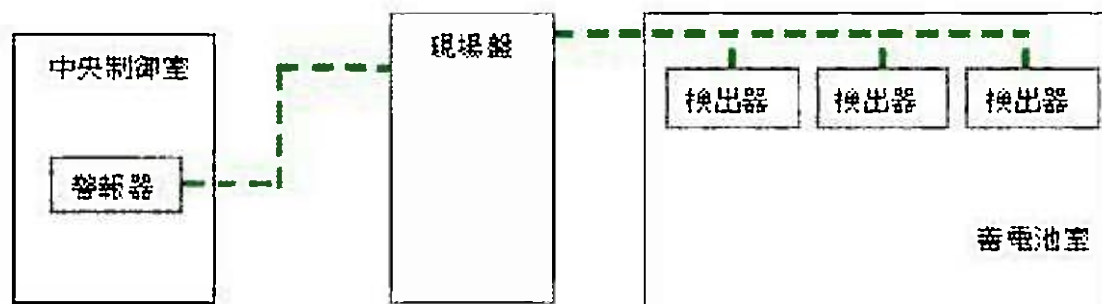
→水素濃度検出器により水素滞留を検知



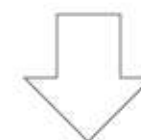
2-2 内部火災対策 蓄電池室の水素対策 (2)

➤ 蓄電池室の水素対策

水素漏えいの可能性がある鉛蓄電池を設置する蓄電池室には、新たに水素濃度検出器を設置し、水素濃度上昇時に中央制御室に警報を発生させる。



水素濃度検出器 (例)



中央制御室へ警報を発生



蓄電池室及び
空調吸い込み口例

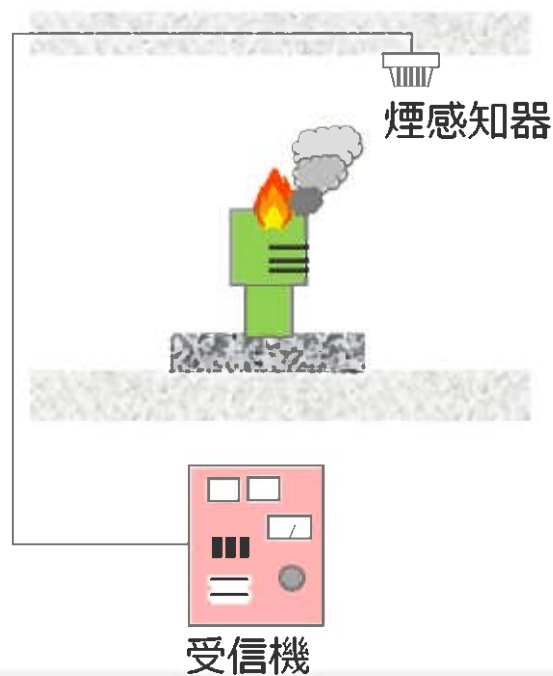
2-2 内部火災対策 火災の感知 (1)

●火災感知の遅れによる火災の拡大

 火災を早期・確実に感知する

～従前の対策～

→消防法に基づき煙/熱/炎感知器のうち
1種類を設置

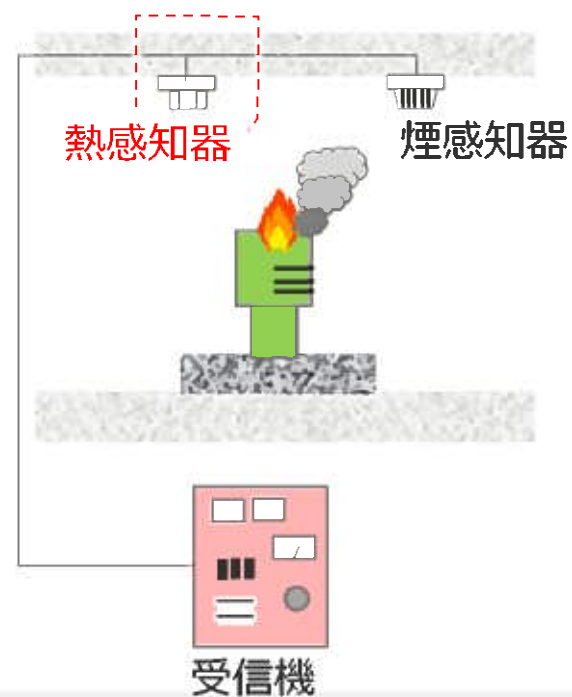


左記に
加えて



～対策強化～

→異なる種類の感知器を設置



2-2 内部火災対策 火災の感知 (2)

- 防護対象設備を設置しているエリアには、以下の感知器を新たに設置する。
 火災を早期に感知できるよう異なる種類の感知器を組み合わせて設置

【煙】 感知器



- ・光電式スポット型
- ・設定値：
減光率10%
- ・自動試験機能あり

【熱】 感知器



- ・定温式
スポット型
- ・設定値
：70℃
- ・自動試験
機能あり

【炎】 感知器



- ・赤外線式
炎感知器
- ・自動試験
機能あり

火災受信機盤



防災盤

自動火災報知設備
総合操作盤

- ・中央制御室に設置
- ・作動感知器毎の特定が可能
- ・外部電源喪失時に機能を喪失しないよう非常用電源より受電

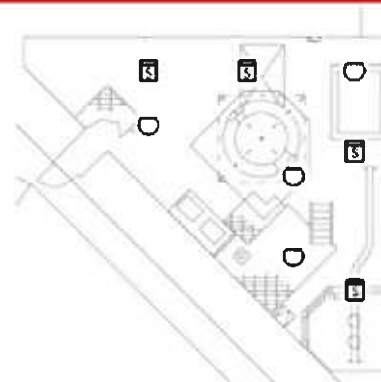
2-2 内部火災対策 火災の感知 (3)

- ・4号機全体で、約4,000個の火災感知器を追加設置（対策前：約1,500個）
- ・消防法に基づき、湿度、気流等の環境条件を考慮して設置

火災感知器の選定例

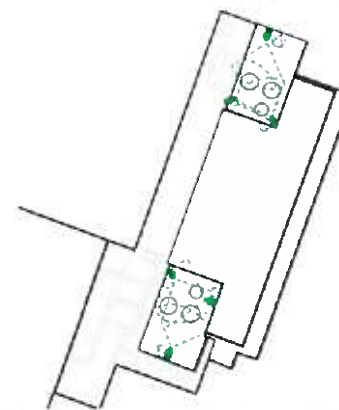
適用箇所（例）	煙	熱	炎
一般的な箇所 （通路、ECCSポンプ室）	○	○	
屋外（海水ポンプエリア）		○	○
大空間の箇所（燃料取替床）	○ （光電式）		○
湿度高・結露発生場所 （トレンチ）	○ （防滴）	○ （防滴）	
可燃性ガスの発生箇所 （蓄電池室、軽油タンク内部）	○ （防爆）	○ （防爆）	
高線量箇所 （主蒸気管トンネル室）	○※	○※	

※放射線の影響を受けにくい熱電対や耐放射線試験に合格したものを設置



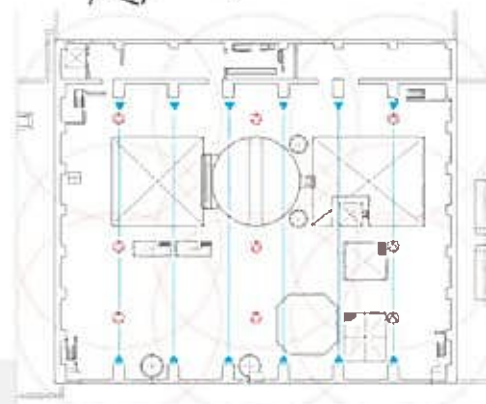
←ECCSポンプ室

- S : 煙感知器
- : 熱感知器



←海水ポンプエリア

- : 熱感知カメラ
- ▲ : 炎感知器



←燃料取替床

- ▲ : 炎感知器
- ▲ : 煙感知器

2-2 内部火災対策 消火 (1)

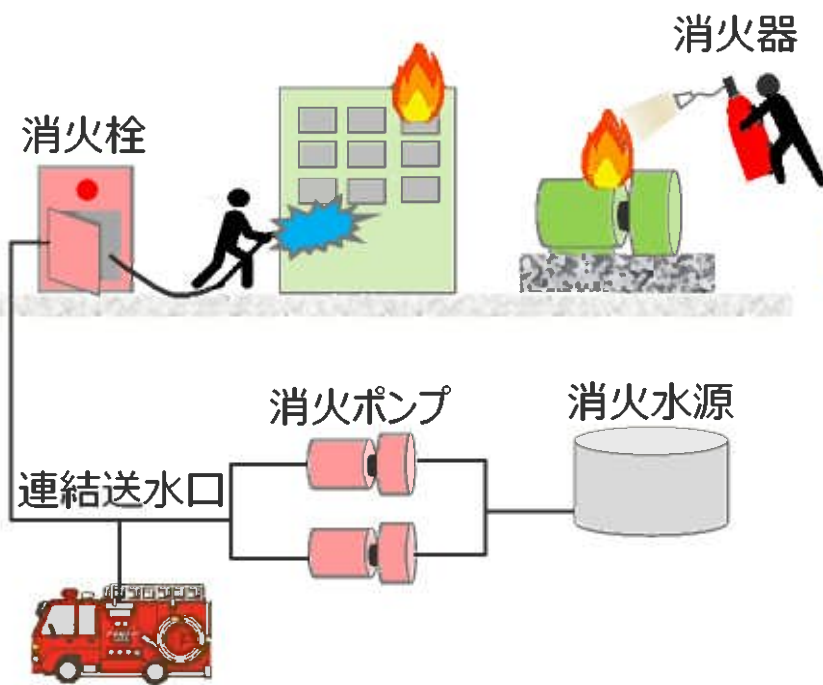
● 煙の充満のため、人による消火が困難となることによる火災の拡大



- ・火災を早期・確実に消火するため消火設備を追加する
- ・消火手段や水源の多重化・多様化を図る

～従前の対策～

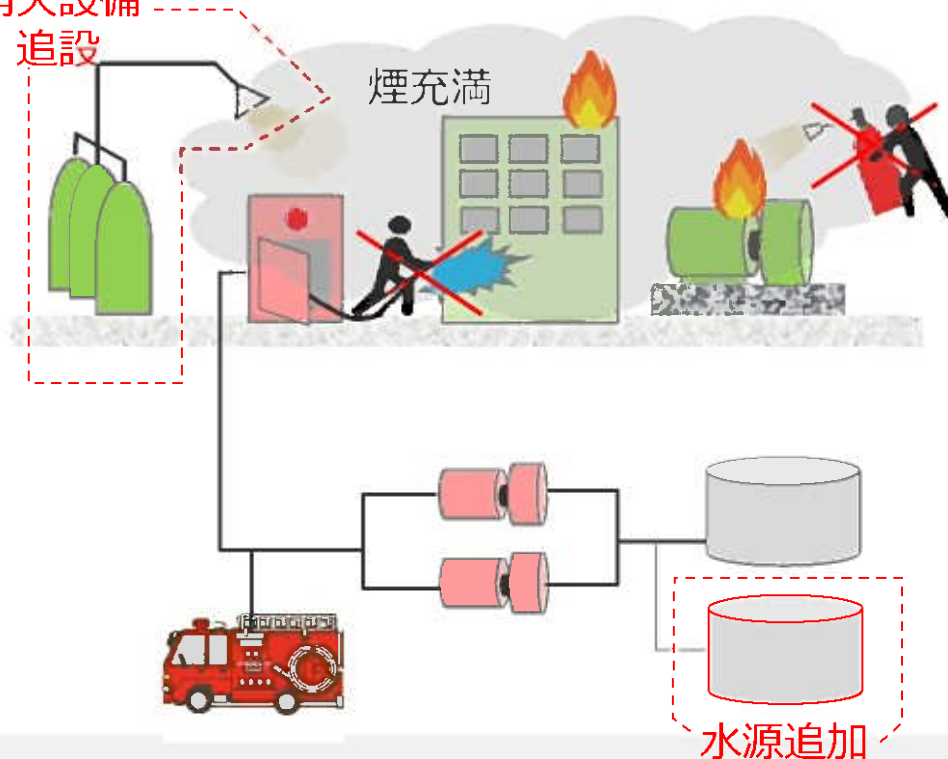
→消防法に基づき消火設備設置



左記に加えて

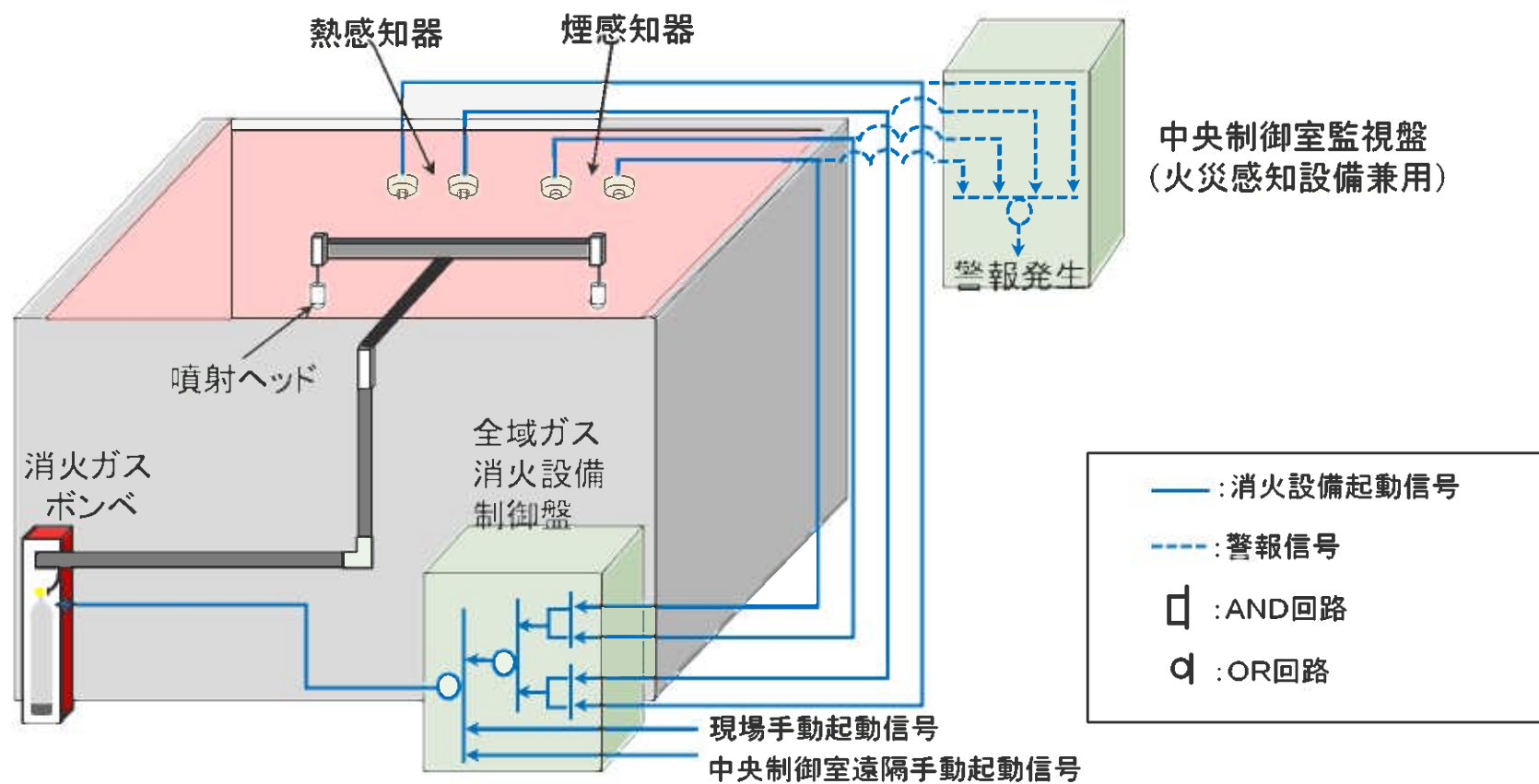
～対策強化～

固定式消火設備追設 → 消火手段や消火設備の増強を図る



2-2 内部火災対策 消火 (2)

- 火災発生時に煙の充満等により消火が困難となるところに対して、自動または手動操作により起動する「固定式消火設備」を設置
- 外部電源喪失時に機能を喪失しないよう非常用電源より受電



全域ガス消火設備の例

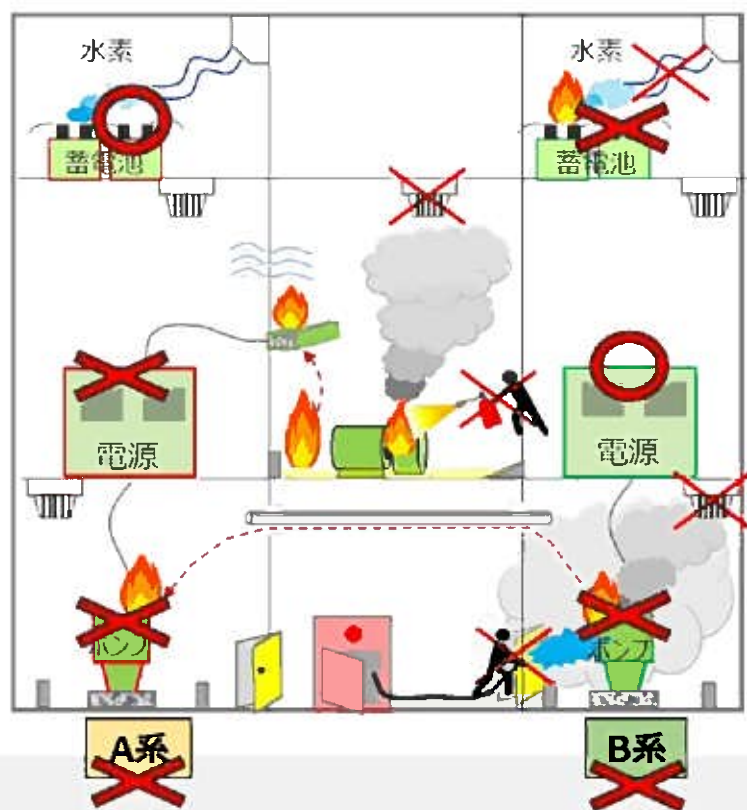
2-2 内部火災対策 影響軽減対策 (1)

● 配管貫通部等を通じた隣室等への火災伝播

-
- ・火災の伝播経路を断つ
 - ・耐火壁は、試験等により耐火能力を確認する

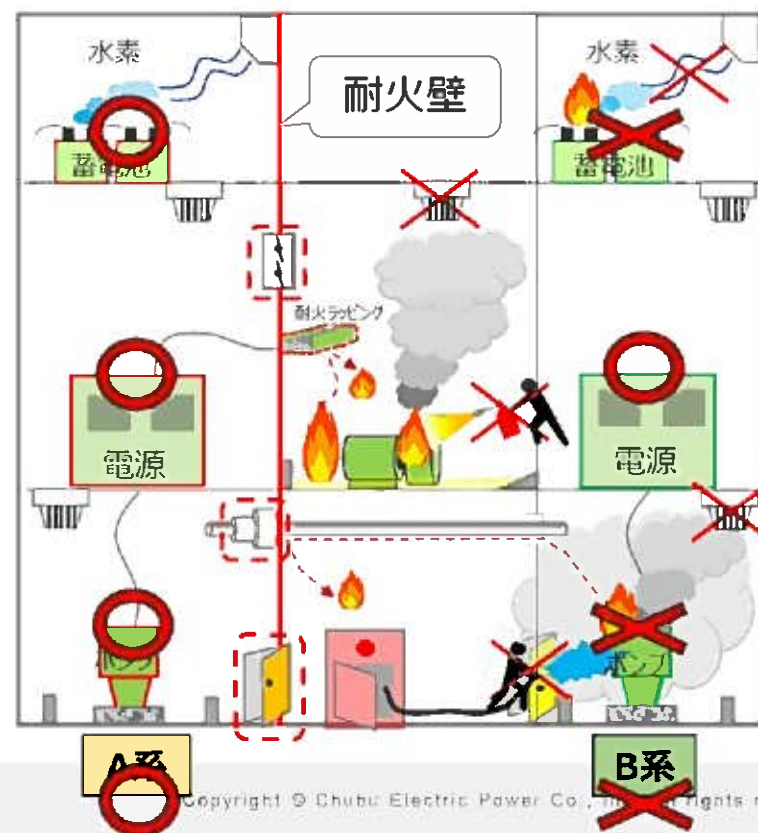
～従前の対策～

→安全機能を有する設備を分散配置



～対策強化～

→耐火壁/隔壁によって、火災の伝播を阻止

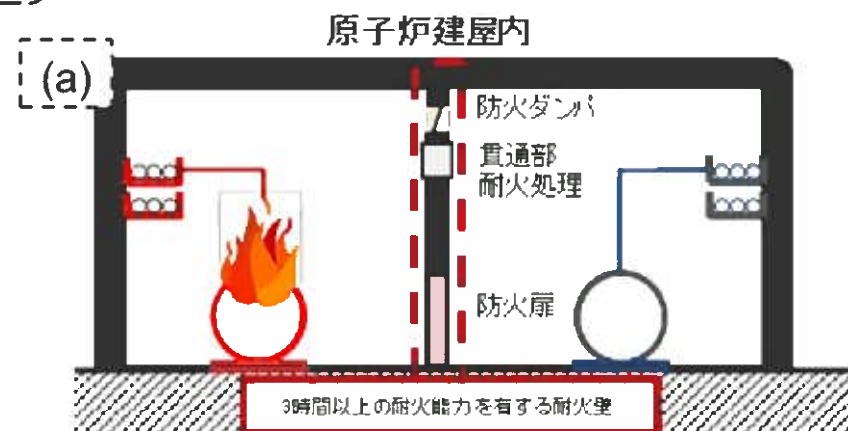


2-2 内部火災対策 影響軽減対策 (2)

➤ 部屋ごとの系統分離と、部屋内の系統分離の方策は以下の通り

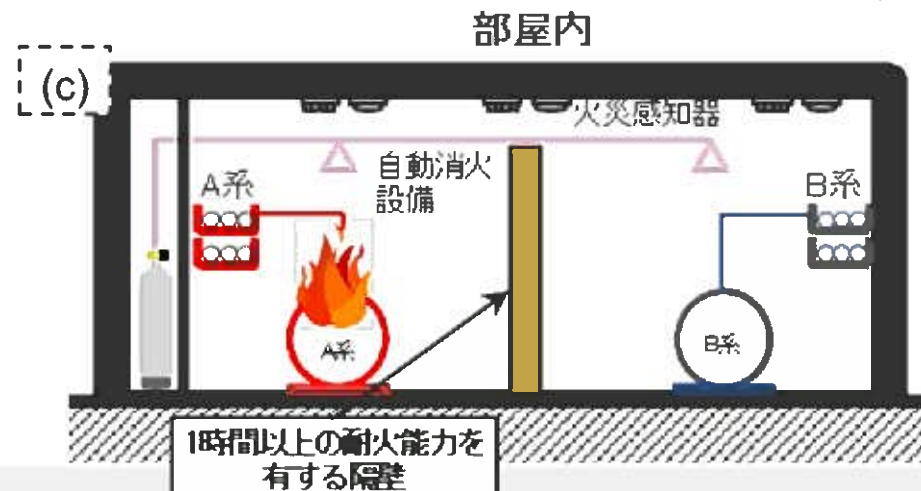
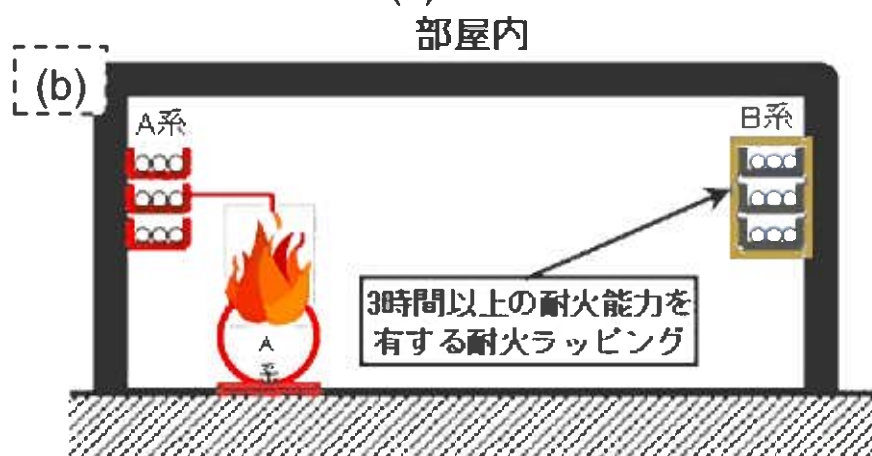
・部屋ごとの系統分離

防護対象設備を設置する部屋は、(a) 3時間以上の耐火能力を確認した耐火壁によって、他の部屋から分離



・部屋内の系統分離

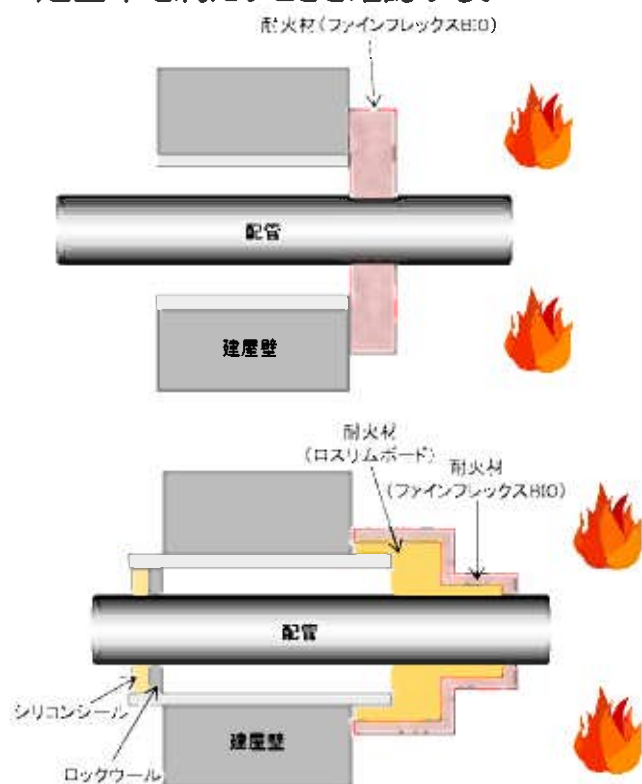
同じ部屋内に設置された異なる安全区分の防護対象設備は、(b) 3時間以上の耐火能力を確認した隔壁（耐火ラッピング等）又は、(c) 1時間以上の耐火能力を確認した隔壁 + 火災感知器・自動消火設備を設置し、分離



2-2 内部火災対策 影響軽減対策 (3)

◆耐火試験方法

建築基準法（ISO834）の加熱曲線で試験体を耐火炉内側から加熱し，非加熱面が判定基準を満たすことを確認する。



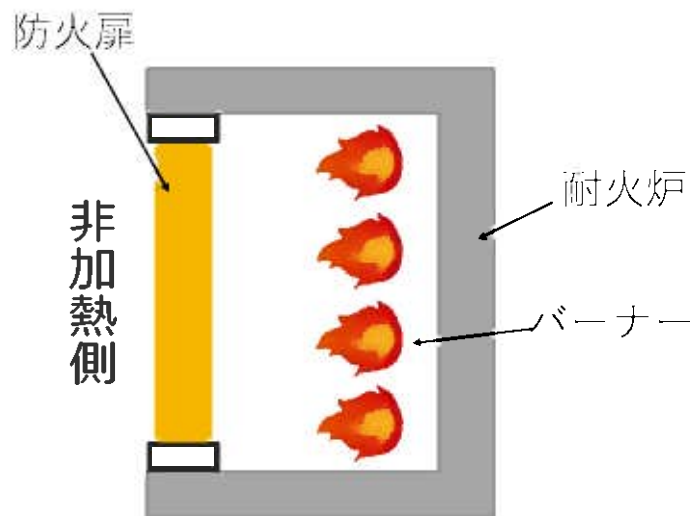
配管貫通部耐火試験イメージ図

試験体仕様	配管貫通部	配管貫通部
耐火材	ファイナフレックス	ロスリムボード ファイナフレックス
開始前		
3時間試験終了後		
判定基準	<ul style="list-style-type: none"> ・非加熱面側に達する隙間や亀裂などが生じないこと ・非加熱面側に10秒を超えて発炎を生じないこと ・非加熱面側に10秒を超えて火炎が噴出しないこと 	
試験結果	判定基準を満足していることを確認した	

2-2 内部火災対策 影響軽減対策 (4)

◆耐火試験方法

建築基準法 (ISO834) の加熱曲線で片面を加熱した場合に、判定基準を満たすことを確認する。



防火扉耐火試験イメージ図

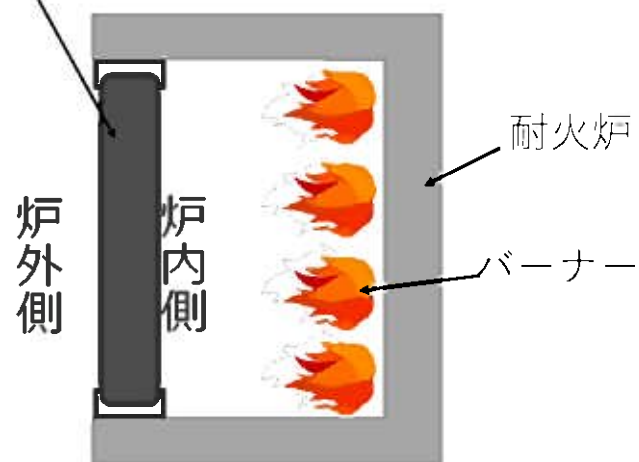
試験体仕様	両開き鋼製扉 (非加熱側：蝶番側)	両開き鋼製扉 (非加熱側：蝶番反対側)
開始前		
3時間試験終了後		
判定基準	<ul style="list-style-type: none"> ・非加熱面側に達する隙間や亀裂などが生じないこと ・非加熱面側に10秒を超えて発炎を生じないこと ・非加熱面側に10秒を超えて火炎が噴出しないこと 	
試験結果	判定基準を満足していることを確認した	

2-2 内部火災対策 影響軽減対策 (5)





◆耐火試験方法

建築基準法（ISO834）の加熱曲線で片面を加熱した場合に、判定基準を満たすことを確認する。

防火ダンパ



防火ダンパ耐火試験イメージ図

試験体仕様	炉外側	炉内側
開始前		
3時間試験終了後		

判定基準

- ・非加熱面側に達する隙間や亀裂などが生じないこと
- ・非加熱面側に10秒を超えて発炎を生じないこと
- ・非加熱面側に10秒を超えて火炎が噴出しないこと

試験結果

判定基準を満足していることを確認した

2-3 まとめ

- ・発生した火災に対して従前の対策が機能しないことを想定
- ・より厳しい火災想定に対して、「火災の発生防止」「感知・消火」「影響軽減」の3方策を強化



火災により、多重性を有する系統が
同時にその安全機能（止める・冷やす・閉じ込める）を
喪失することがないように安全性を向上

～今後、本内容について、新規制基準適合性確認の審査を受けて参ります～

参考 新規制基準（内部火災対策）の概要

■ 新規制基準における内部火災対策について

「**实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則**」の8条（火災による損傷の防止）及び引用される「**实用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準**」に基づき以下の通り対策を実施。

審査基準の主な内容		対策内容
発生防止	<ul style="list-style-type: none"> ・主要構造材への不燃/難燃材料の使用 ・油漏えい防止 ・水素燃焼防止 など	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルの耐延焼性/自己消火性の確認 ・堰/油受けの設置 ・換気による水素の滞留防止/水素検知器設置 など
感知・消火	<ul style="list-style-type: none"> ・異なる感知方式の感知器による早期感知 ・消火困難箇所への固定式消火設備設置 ・消火水源の多重化/多様化 など	<ul style="list-style-type: none"> ・煙&熱感知器、熱&炎感知器等 組合わせて設置 ・煙等により消火活動が困難な箇所に、固定式ガス消火設備等を設置 ・消火栓の水源として水タンクを追加
影響軽減	<ul style="list-style-type: none"> ・多重化/多様化された設備/ケーブル間での系統分離 など	<ul style="list-style-type: none"> ・防火扉の設置、ケーブルトレイや配管貫通部に対する耐火材などの施工により、火災の延焼を防止 など

3 内部溢水への対応

3-1 内部溢水対策の目的および強化

3-2 内部溢水の評価プロセス

3-3 内部溢水対策

3-4 まとめ

参考 新規制基準（内部溢水対策）の概要

3-1 内部溢水対策の目的および強化

➤ 内部溢水対策の目的

原子炉施設の安全機能（止める・冷やす・閉じ込める）を維持するために必要な設備（以下、「防護対象設備」）を溢水から防護する。

（多重性を有する系統が同時にその安全機能を喪失しないよう対策を実施する）

➤ 従前の想定と対策

溢水事象を考慮した対策を実施してきた

① 溢水が発生した場合には建屋内排水系により溢水を排水する

② 堰等により他系統（図のB系）への溢水の伝播を防止する

最地下階の防護対象設備の部屋には水密扉等を設置し溢水の流入を防止する



防護対象設備が同時に機能喪失することはない

3-1 内部溢水対策の目的および強化

➤ 想定の見直し

発生した溢水に対して、従前の対策が機能しないことおよび保守的に伝播する溢水量を想定した場合、多重性を有する系統が**同時にその安全機能を喪失する可能性**がある。

① 建屋内排水系による排水を保守的に期待しない場合、溢水水位が上昇する

② 開口から他系統へ溢水が伝播する

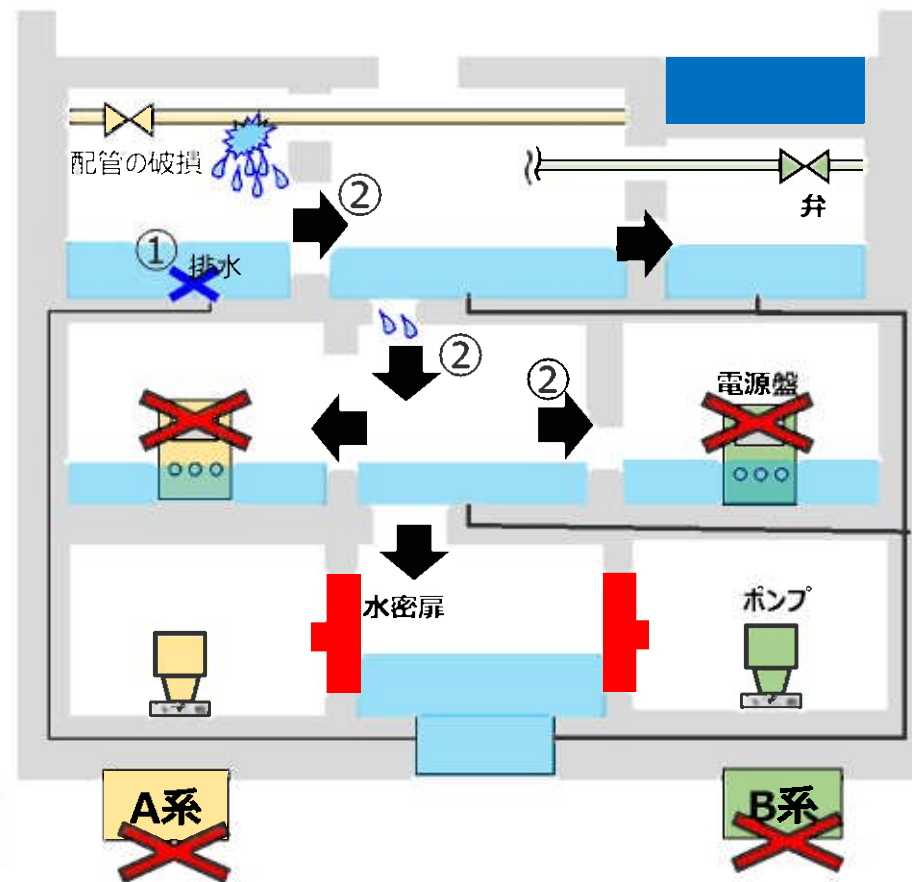


開口例 (一般扉)



開口例 (貫通孔)

防護対象設備が同時に機能喪失する恐れ



3-1 内部溢水対策の目的および強化

➤ 内部溢水対策の強化

想定の見直しにより、原子炉施設の安全機能が喪失する恐れがあることから、発生した溢水事象に対し、以下のプロセスで定量的に評価を実施し、対策を強化する。

➤ 内部溢水の評価プロセス

① 溢水量の算出

溢水事象に応じて溢水源を網羅的に抽出し、**溢水量を定量的に算出**

② 溢水伝播の評価

部屋間の接続状況を踏まえ、**溢水が伝播する部屋を特定し、当該部屋の水位を算出**

③ 安全機能維持の判定

全ての防護対象設備を対象として**溢水影響の有無を判定し、原子炉施設の安全機能が維持されるよう対策を強化**

3-2 内部溢水の評価プロセス

① 溢水量の算出

溢水量は想定する溢水事象の特性に応じてそれぞれ以下のとおり算出する。

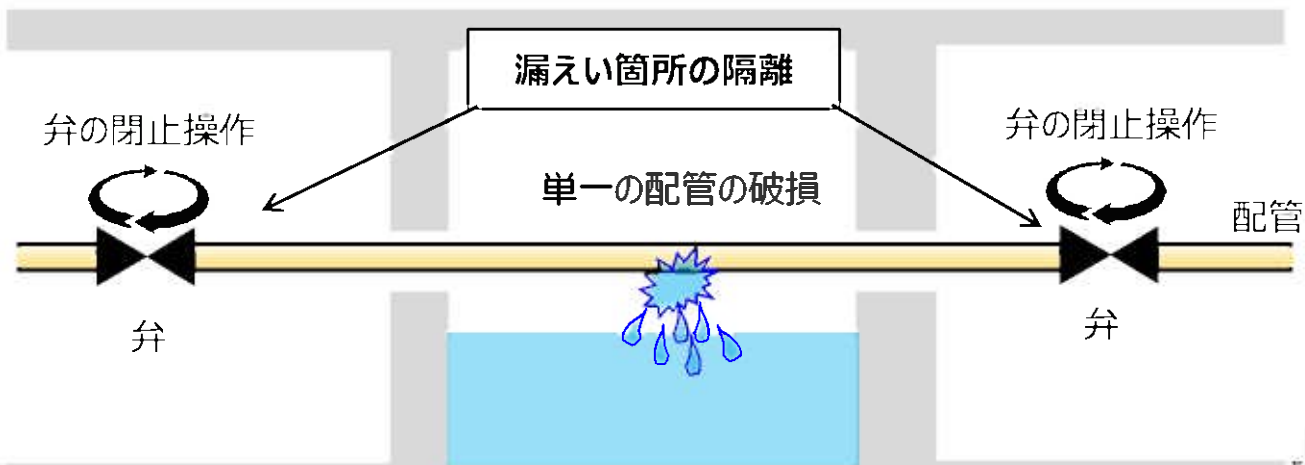
➤ 想定破損による溢水

単一の配管の破損を想定する溢水事象

(基本的に全ての配管 (耐震Sクラス配管含む) を溢水源として考慮する)

溢水量の考え方

- 溢水源となる配管の口径・圧力に基づく漏えい流量に対し、運転員が漏えい箇所を隔離するまでの所要時間を掛け合わせることで算出する。



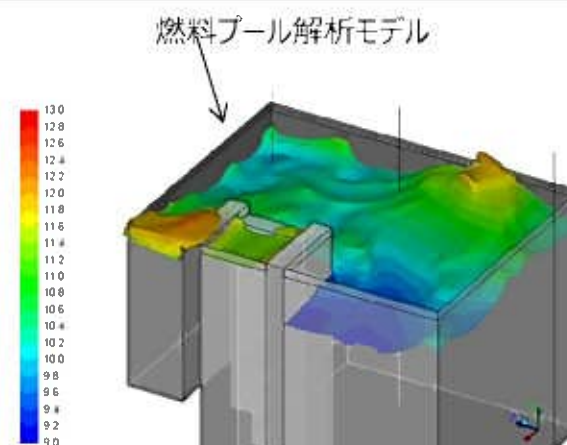
3-2 内部溢水の評価プロセス

➤ 地震起因による溢水

- 耐震性が確保されていない全ての低耐震クラス機器・配管の複数同時破損による溢水事象
- 地震による燃料プール水の揺動（燃料プールスロッシング）に伴う溢水事象

溢水量の考え方

- 運転員による隔離操作に期待しない条件のもと、溢水源となる**システムの保有水全量**が漏れいすることを想定する。システムの保有水量は、配管の口径・全長や機器の容量等に基づき算出する。
- 燃料プールの解析モデルを作成し、3次元流動解析によりスロッシング量を算出する。



【燃料プールスロッシング解析】

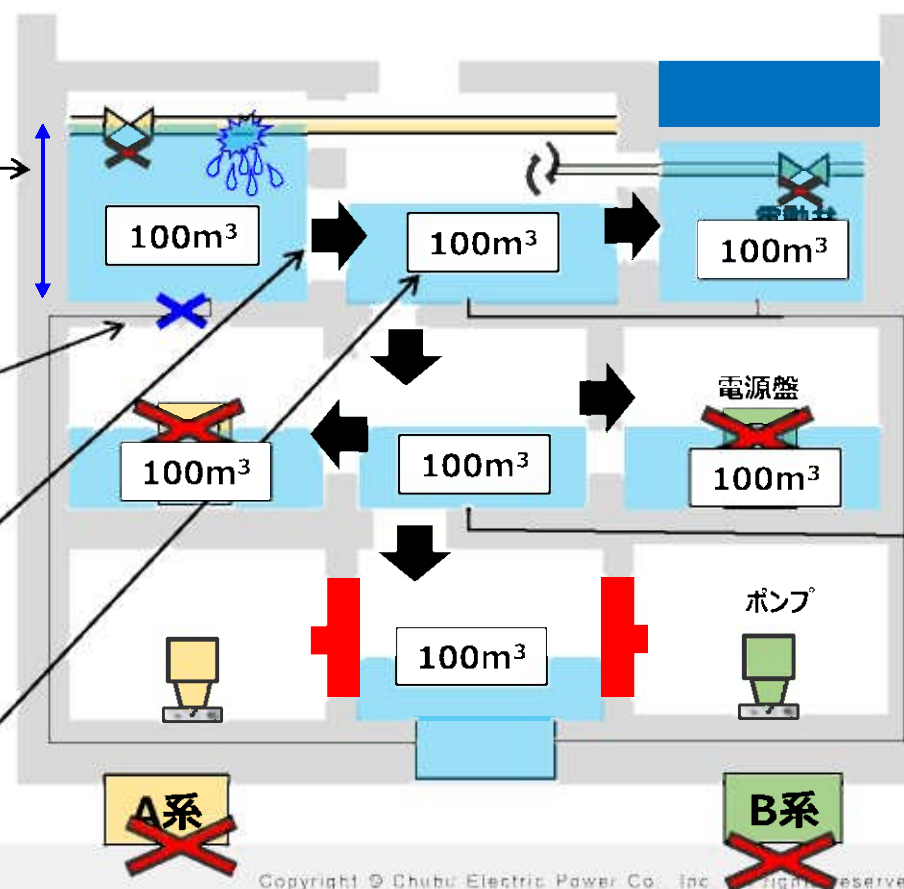
3-2 内部溢水の評価プロセス

② 溢水伝播の評価

部屋間の接続状況（開口の有無、開口高さ）を踏まえ、溢水が伝播する部屋を特定し、当該部屋の水位を算出する。

溢水伝播評価の考え方

- 発生した溢水量と部屋の床面積から水位を算出する。
- 水位の算出においては、保守的に建屋内排水系による排水を期待しない。
- 溢水水位が開口高さより高い場合、接続する部屋に溢水が伝播するとして評価する。
- 伝播する溢水量は流入元の溢水量全量を保守的に想定する。



3-2 内部洪水の評価プロセス

③安全機能維持の判定

全ての防護対象設備を対象として洪水影響の有無を判定（設置高さとも洪水水位を比較）し、原子炉施設の安全機能が維持されるかを確認する。

安全機能評価の考え方

設備	設備の設置高さ	設置箇所の洪水水位	洪水影響の有無
ポンプA	0.5m	> 0m	⇒ 無
電源盤A	0.5m	< 2.0m	⇒ 有
電動弁A	3.0m	= 3.0m	⇒ 有
⋮	⋮	⋮	⋮
ポンプB	0.5m	> 0m	⇒ 無
電源盤B	0.5m	< 2.0m	⇒ 有
電動弁B	2.0m	< 3.0m	⇒ 有
⋮	⋮	⋮	⋮

約
9
5
0
機
器

洪水影響有の設備が一つ以上あるためA系の機能喪失と判定

洪水影響有の設備が一つ以上あるためB系の機能喪失と判定

A系B系が同時に機能喪失するため、安全機能の維持は不可 ⇒ 洪水対策を強化

3-2 内部溢水の評価プロセス

➤ 没水・被水・蒸気に対する影響評価

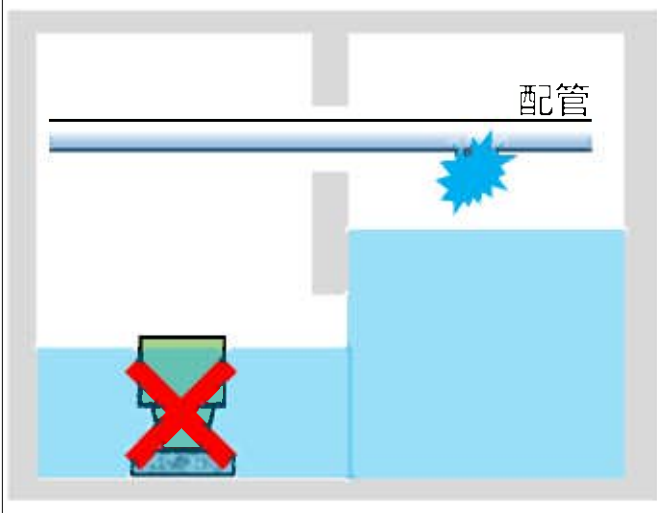
前述の評価は防護対象設備の没水影響を確認するための評価であるが、同様に、被水・蒸気影響についても評価を実施している。

【没水】

設備の一部又は全てが水に浸かる状態

➤ 機能喪失判定

防護対象設備の設置箇所の水位が設備の設置高さを超える場合※

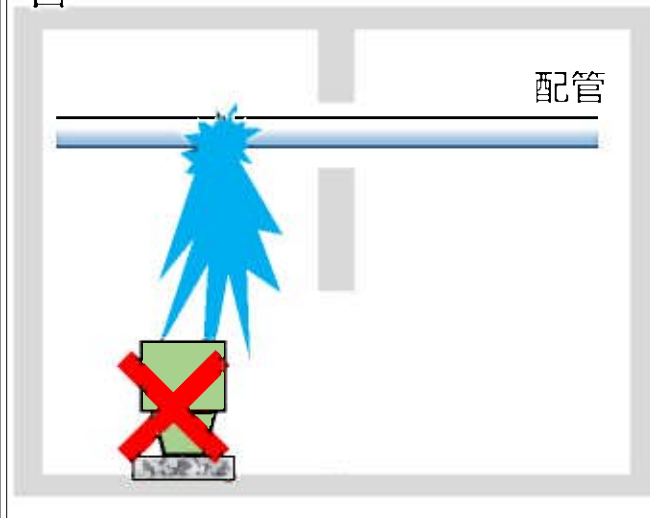


【被水】

設備の一部又は全てが散水にさらされる状態

➤ 機能喪失判定

被水発生源から、防護対象設備が直視可能範囲に設置されている場合※

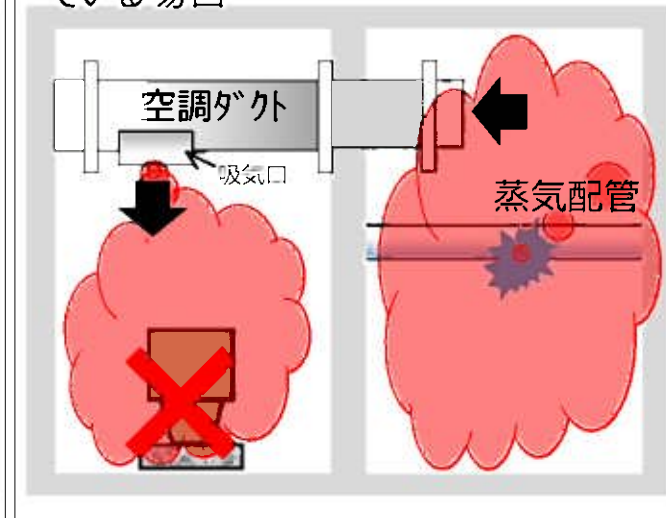


【蒸気】

設備の一部又は全てが蒸気にさらされる状態

➤ 機能喪失判定

防護対象設備の設置箇所が蒸気発生箇所と空調ダクト等で接続されている場合※

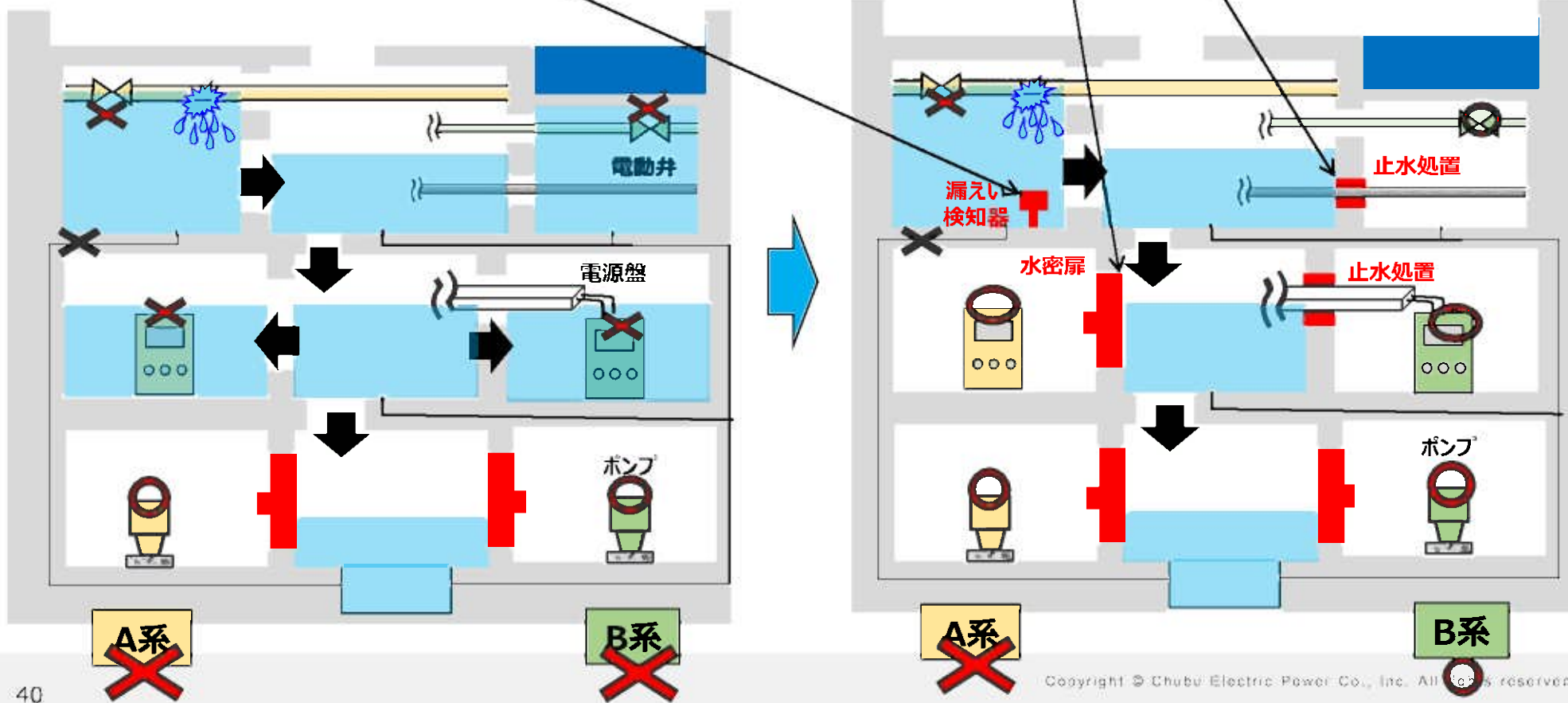


※没水・被水・蒸気に対するそれぞれの設備対策が実施されている場合を除く

3-3 内部漏水対策 想定破損による漏水への対策

- 漏水源の早期隔離のため、必要な部屋に**漏えい検知器**を設置

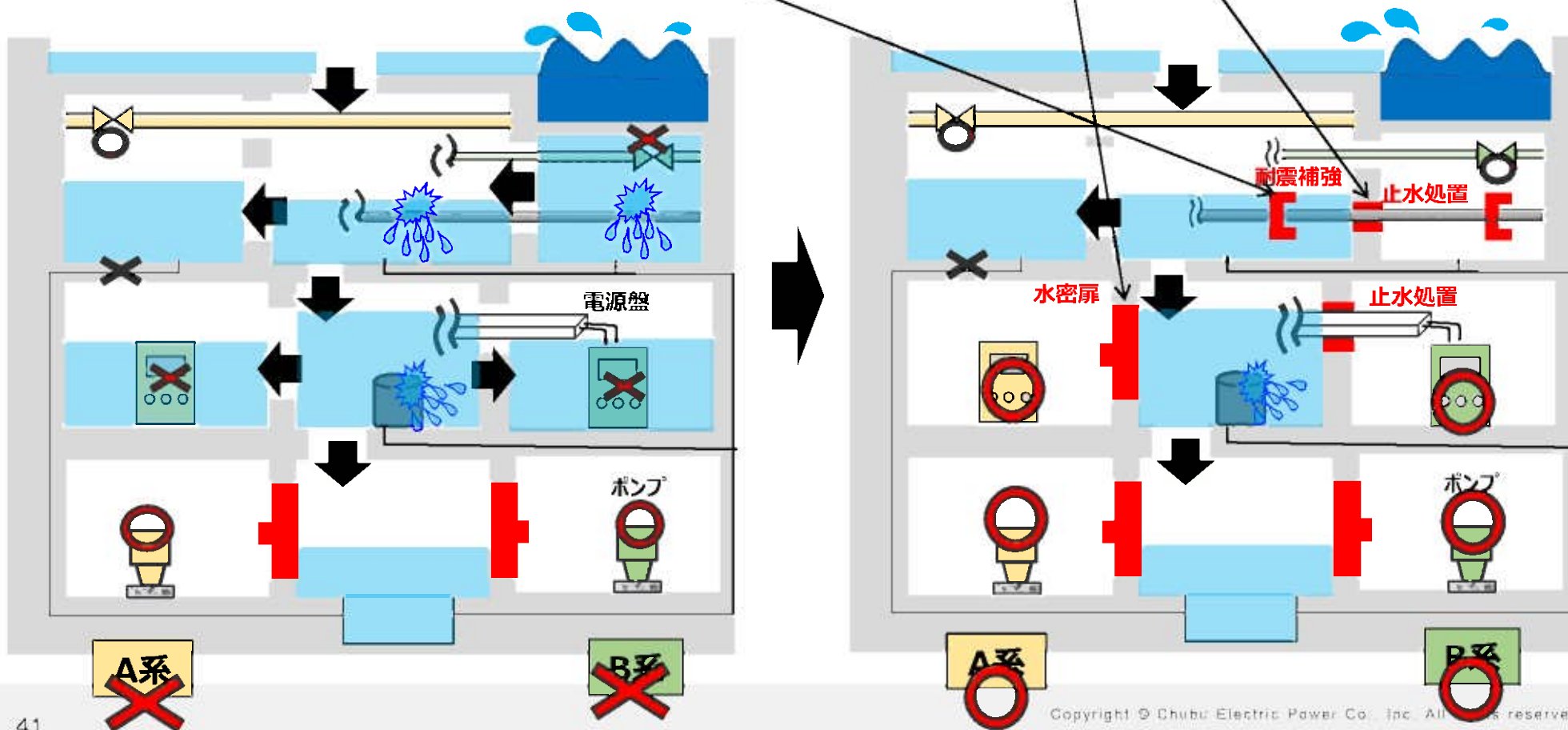
- 防護対象設備の設置箇所への漏水伝播を防止するため、**水密扉**や**貫通部止水処置**を設置



3-3 内部溢水対策 地震起因による溢水への対策

- 防護対象設備への溢水影響の大きい低耐震クラス配管・機器の**耐震補強**を行い、地震時の溢水量を低減

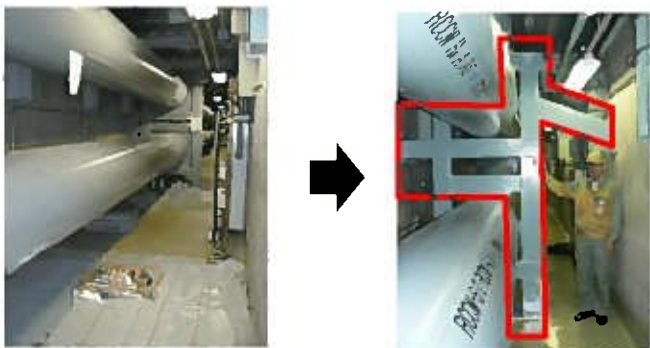
- 防護対象設備の設置箇所への溢水伝播を防止するため、**水密扉**や**貫通部止水処置**を設置



3-3 内部溢水対策

➤ 対策例

耐震補強



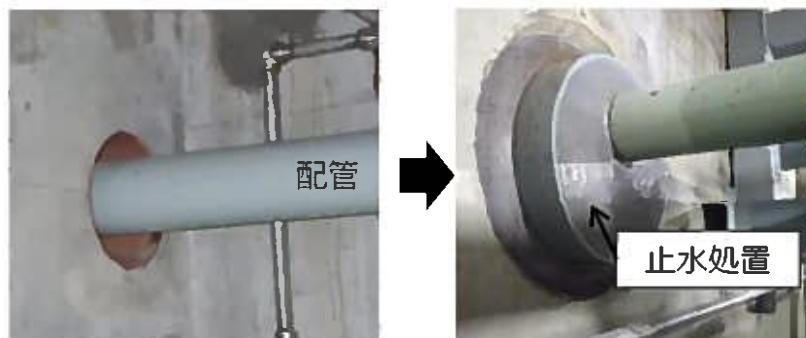
水密扉



漏えい検知器



止水処置（配管）



止水処置（電路）



3-4 まとめ

- ・発生した溢水に対して従前の対策が機能しないことを想定
- ・より厳しい溢水想定に対して、「溢水量の算出」「溢水伝播の評価」「安全機能維持の判定」を行い、対策を強化



溢水により、多重性を有する系統が
同時にその安全機能（止める・冷やす・閉じ込める）を
喪失することがないように安全性を向上

～今後、本内容について、新規制基準適合性確認の審査を受けて参ります～

参考 新規制基準（内部溢水対策）の概要

■ 新規制基準における内部溢水対策について

「**实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則**」の9条（溢水による損傷の防止等）、「**原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド**」に基づき以下の通り評価・対策を実施。

審査基準の主な内容		対策内容
溢水量の算出	溢水事象（「想定破損による溢水」「地震起因による溢水」など）に応じて溢水源を網羅的に抽出し、溢水量を算出	<ul style="list-style-type: none"> ・漏えい検知器の設置 ・水密扉の設置 ・配管貫通部止水処置 ・電路貫通部止水処置 など
溢水伝播の評価	部屋間の接続状況を踏まえ、溢水が伝播する部屋を特定し、当該部屋の水位を算出	
安全機能維持の判定	全ての防護対象設備を対象として溢水影響（没水・被水・蒸気）の有無を判定し、原子炉施設の安全機能が維持されることを確認	

