

茨城県原子力安全対策委員会
東海第二発電所
安全性検討ワーキングチーム(第11回)
ご説明資料

東海第二発電所

事故対応基盤について (計装設備への対応)

平成30年11月19日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、☐ は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

目 次

1. 福島第一原子力発電所事故の教訓	2-4- 3
2. 計装設備の主要な変更	2-4- 6
3. 計装設備の概要	2-4- 7
4. 新たな安全対策	2-4- 8
5. まとめ	2-4-17

補足説明資料 事故対応基盤について(計装設備への対応)

1. 福島第一原子力発電所事故の教訓(1／3)



【事故の推移】

【事故の教訓】

【対応方針】

地震の発生

外部電源の喪失

大津波の襲来

全電源の喪失

(浸水による多重故障及び共通要因故障)

原子炉の冷却機能の喪失

炉心の損傷

格納容器の破損, 原子炉建屋
への放射性物質, 水素の漏えい

原子炉建屋の水素爆発

環境への大規模な
放射性物質の放出

計装設備への電源供給
が喪失したため機能喪失
に至った。

パラメータの変動範囲が
計測範囲を超える等の状
況となり原子炉施設の状
態把握が困難になった。

① 電源供給の多様化

② 計測系の耐震性・耐環
境性強化又は計器追
設

③ 代替パラメータによる
監視・推定手順の明確
化

④ 可搬型計器の配備

1. 福島第一原子力発電所事故の教訓(2/3)

＜福島第一原子力発電所の事故の推移と教訓(計装設備に関して)＞

- ① 地震により外部電源が喪失したが、非常用ディーゼル発電機が設計どおりに作動し、交流電源^{*1}、直流電源^{*2}とも確保 ⇒ 計装設備は機能維持
- ② その後の想定を超える津波襲来による冷却用海水ポンプ^{*3}の被水や蓄電池や配電盤の冠水により交流電源、直流電源とも喪失 ⇒ 計装設備の機能喪失→持ち込んだバッテリーを接続し計測するが監視計器は限定的
- ③ シビアアクシデント(炉心損傷・放射性物質放出等)の進展による環境悪化や計測範囲の超過により測定できない計器が発生 ⇒ 代替パラメータや他のパラメータによる推定手段の整備が不十分



計装設備に関する事故の教訓

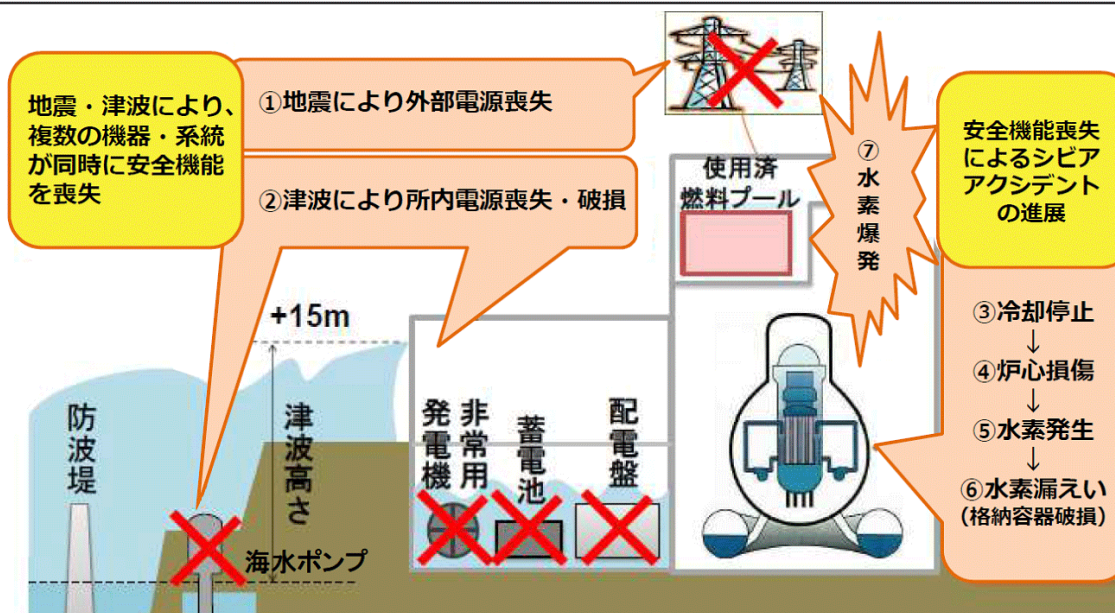
- ◆ 外部事象による共通原因故障に係る脆弱性を克服する観点から電源の多様性が図られていなかった。
また、交流電源が復帰する前に直流電源が枯渇した。
- ◆ 計測設備の仕様がシビアアクシデント時の厳しい環境条件やパラメータの変動範囲を考慮した仕様になっていなかった。
- ◆ 当該パラメータの計測ができない場合に代替パラメータによりプラント状態を監視・推定する手順が十分に整備されていなかった。

*1 交流電源 : 主にポンプモータの駆動等に用いる電源

*2 直流電源 : 主にプラントの状態監視・制御に用いる電源

*3 海水ポンプ : 非常用ディーゼル発電機を冷却するためのポンプ

- 福島第一原発事故では地震や津波により、複数の機器・系統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の進展を食い止めることができなかった



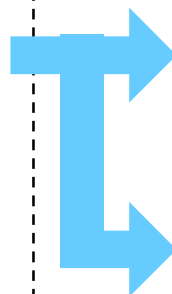
1. 福島第一原子力発電所事故の教訓(3／3)



＜福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた計装設備に係る対応方針＞

計装設備に関する事故の教訓

◆電源の多様性が図られていなかった。
また、交流電源が復帰する前に直流電源が枯渇した。



非常用ディーゼル発電機が機能喪失した場合を想定し、常設代替高圧電源装置、可搬型代替低圧電源車等を設置することにより、電源を多様化する。

代替交流電源の復旧まで電源(直流)の供給を行えるよう、蓄電池の容量を増加する。
(第8回「電源設備」にて説明済。)

◆シビアアクシデント時の環境条件や変動範囲を考慮した仕様になっていなかった。



重大事故等対処時に監視が必要なパラメータの計測が行えるよう、計器設置場所の環境条件やパラメータの予想変動範囲を評価し、耐震性・耐環境性強化や計器追設を行う。

◆代替パラメータによる監視や状態推定の手順の整備が不十分であった。



代替パラメータによる推定の流れと手順の優先順位を明確にする。



さらに、

代替電源の喪失等、不測の事態を想定し、乾電池を電源とする可搬型計測器を配備する。

2. 計装設備の主要な変更

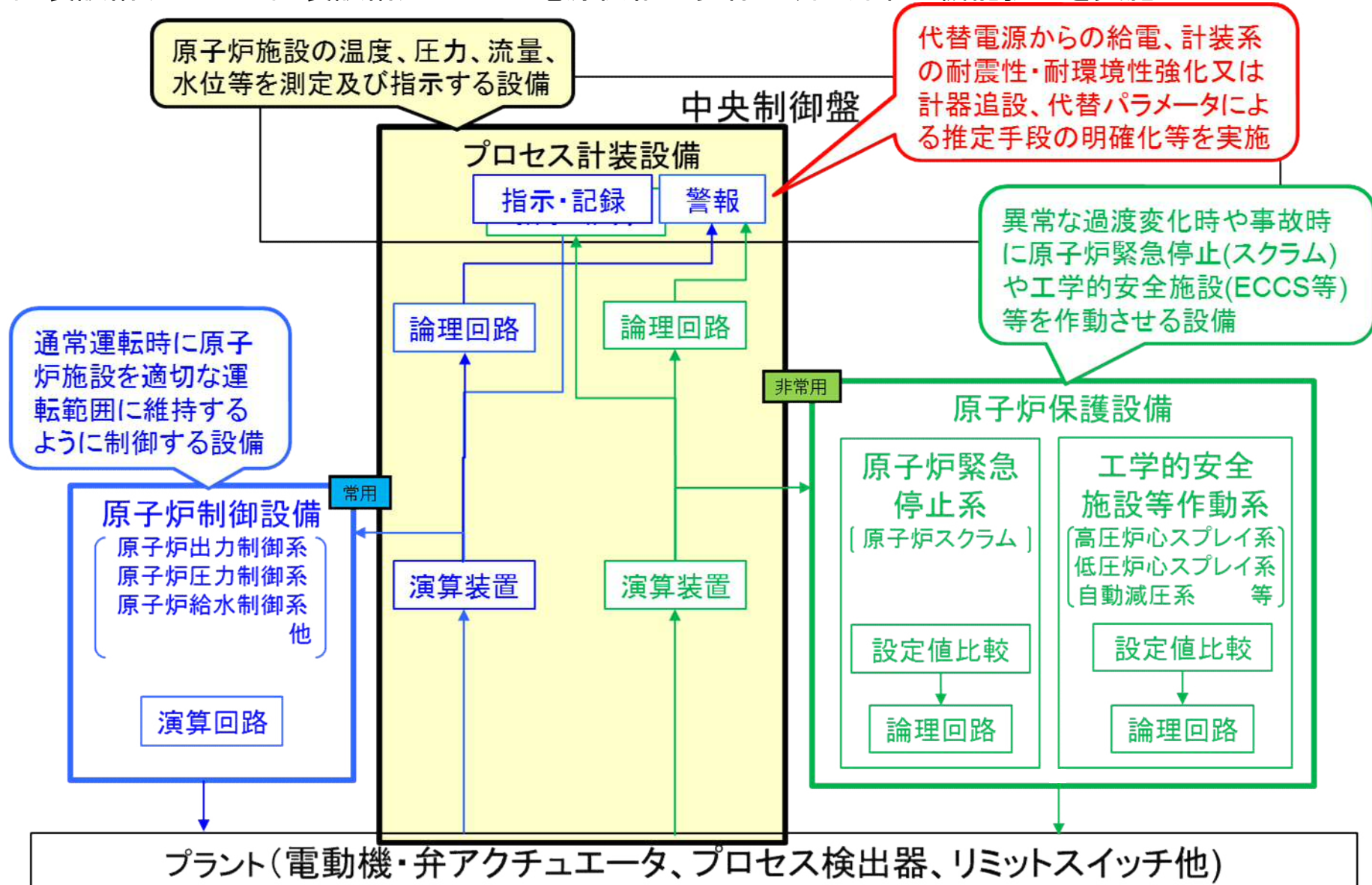


対応方針	従来の対策	新たな対策	備考
① 電源供給の多様化	● 非常用所内電源又は直流電源(無停電電源装置を含む)による給電	● 左記に加えて、常設代替交流電源設備、可搬型代替交流電源設備、常設代替直流電源設備又は可搬型代替直流電源設備による給電を追加	新規 〔2-4-8〕
② 計装系の耐震性・耐環境性強化又は計器追設	● 設計基準事故時の予想変動範囲、耐震性・耐環境性を満足する計装系を設置	● 重大事故等時の予想変動範囲、耐震性・耐環境性が左記を上回るものについて、耐震性・耐環境性強化又は計器追設 ● 重大事故等時対処設備の設置に伴い新たに計測が必要な計装系を追加	強化 新設 〔2-4-9〕 〔2-4-10〕 〔2-4-11〕 〔2-4-12〕
③ 代替パラメータによる推定手順の明確化	—	● 計器故障時等に代替パラメータにより原子炉施設の状態を把握又は推定する手段と優先順位を明確化	新規 〔2-4-13〕
④ 可搬型計器の配備	—	● 計器電源が全て喪失した場合に備え、乾電池を電源とした可搬型計測器を配備(測定値と換算表により対象パラメータを計測)	新規 〔2-4-14〕

3. 計装設備の概要



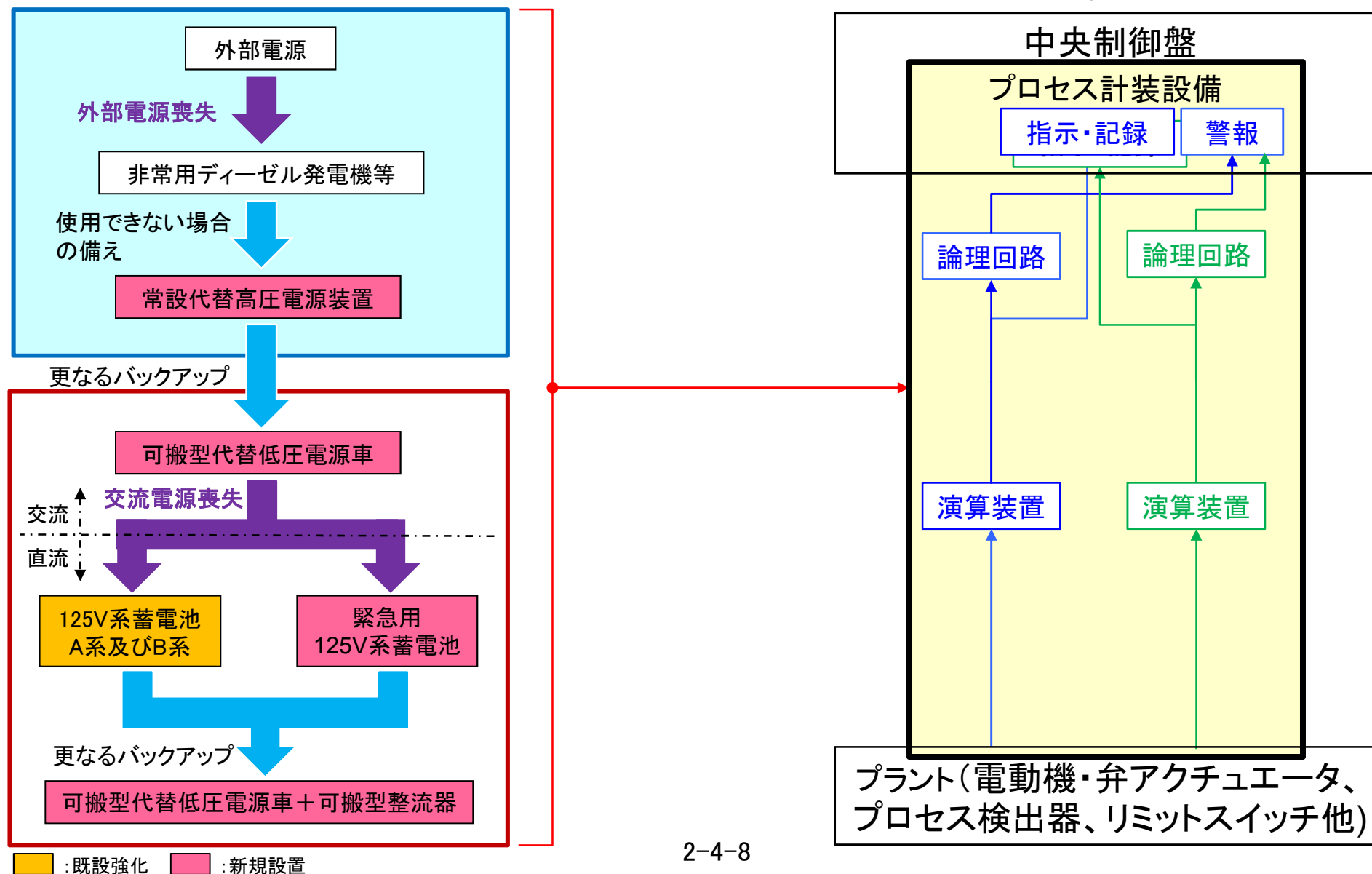
○計装設備(プロセス計装設備)について電源供給の多様化、計測系の機能強化を実施



4. 新たな安全対策 ①電源供給の多様化



○計装設備(プロセス計装設備)に対し、常設代替交流電源設備、可搬型代替交流電源設備、常設代替直流電源設備又は可搬型代替直流電源設備による給電を追加することで信頼性を向上

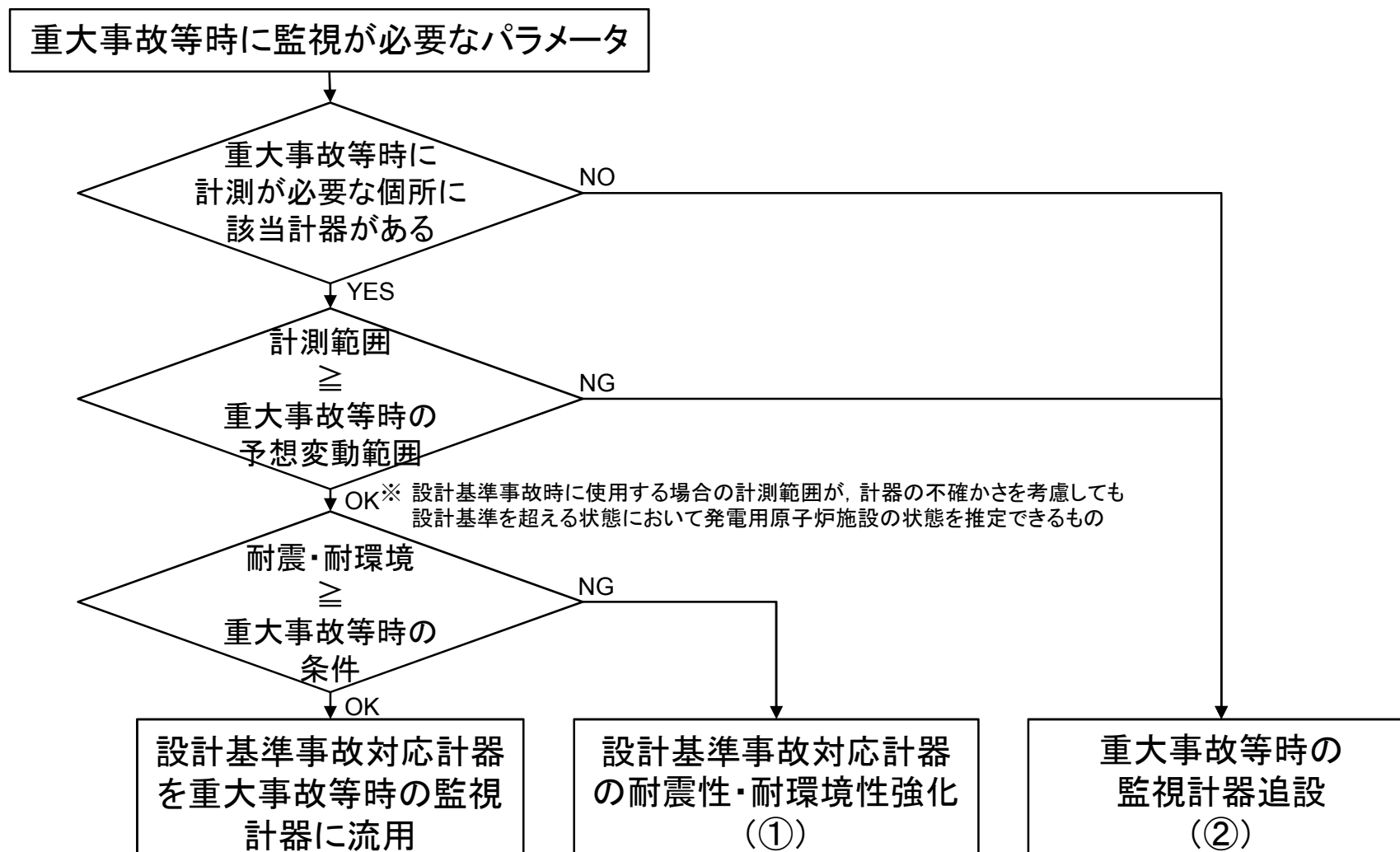


4. 新たな安全対策



②計装系の耐震性・耐環境性強化又は計器追設(1／5)

○重大事故等対処時に監視が必要なパラメータを計測するため、耐震性・耐環境性強化又は監視計器の追設を実施



4. 新たな安全対策



②計装系の耐震性・耐環境性強化又は計器追設(2/5)

○設計基準事故対応計器の耐震性・耐環境性強化又は重大事故等時の監視計器追設を実施したものは以下のとおり。

①設計基準事故対応計器の耐震性・耐環境性強化	②重大事故等時の監視計器追設
- 原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力 - 高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力 - 残留熱除去系ポンプ吐出圧力 - 低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力 - 残留熱除去系熱交換器入口温度、出口温度 - 原子炉隔離時冷却系系統流量 - 高圧炉心スプレイ系系統流量 - 原子炉圧力(SA) - 原子炉水位(広帯域) - ドライウェル圧力 - サブプレッション・チェンバ圧力 - サブプレッション・プール水位 - 格納容器雰囲気放射線モニタ(D/W、S/C) - 残留熱除去系海水系系統流量(A系)※	- 常設高圧代替注水系ポンプ吐出圧力 - 常設低圧代替注水系ポンプ吐出圧力 - 代替循環冷却系ポンプ吐出圧力 - 代替循環冷却系ポンプ入口温度 - 高圧代替注水系系統流量 - 低圧代替注水系原子炉注水流量(常設ライン用、常設ライン狭帯域用、可搬ライン用、可搬ライン狭帯域用) - 代替循環冷却系原子炉注水流量、格納容器スプレイ流量 - 原子炉水位(SA広帯域、SA燃料域) - ドライウェル雰囲気温度 - サブプレッション・チェンバ雰囲気温度 - サブプレッション・プール水温度 - 格納容器下部水位、水温 - 格納容器内酸素濃度(SA)、水素濃度(SA) - 代替淡水貯槽水位 - 西側淡水貯水設備水位 - 低圧代替注水系格納容器スプレイ流量(常設ライン用、可搬ライン用)、格納容器下部注水流量 - 原子炉建屋水素濃度 - フィルタ装置出口放射線モニタ(高レンジ、低レンジ) - 耐圧強化ベント系放射線モニタ - 使用済燃料プールエリア放射線モニタ(高レンジ、低レンジ) - 原子炉圧力容器温度 - フィルタ装置水位、圧力、スクラビング水温度、入口水素濃度 - 緊急用海水系流量残留熱除去系熱交換器、残留熱除去系補機 - 静的触媒式水素再結合器動作監視装置 - 使用済燃料プール水位・温度(SA広域) - 使用済燃料プール監視カメラ

※B系は設置変更許可申請時点で既に重大事故等時の耐環境性を有する計器に交換済であったため、設計基準事故対応計器を重大事故等時の監視計器に流用

4. 新たな安全対策

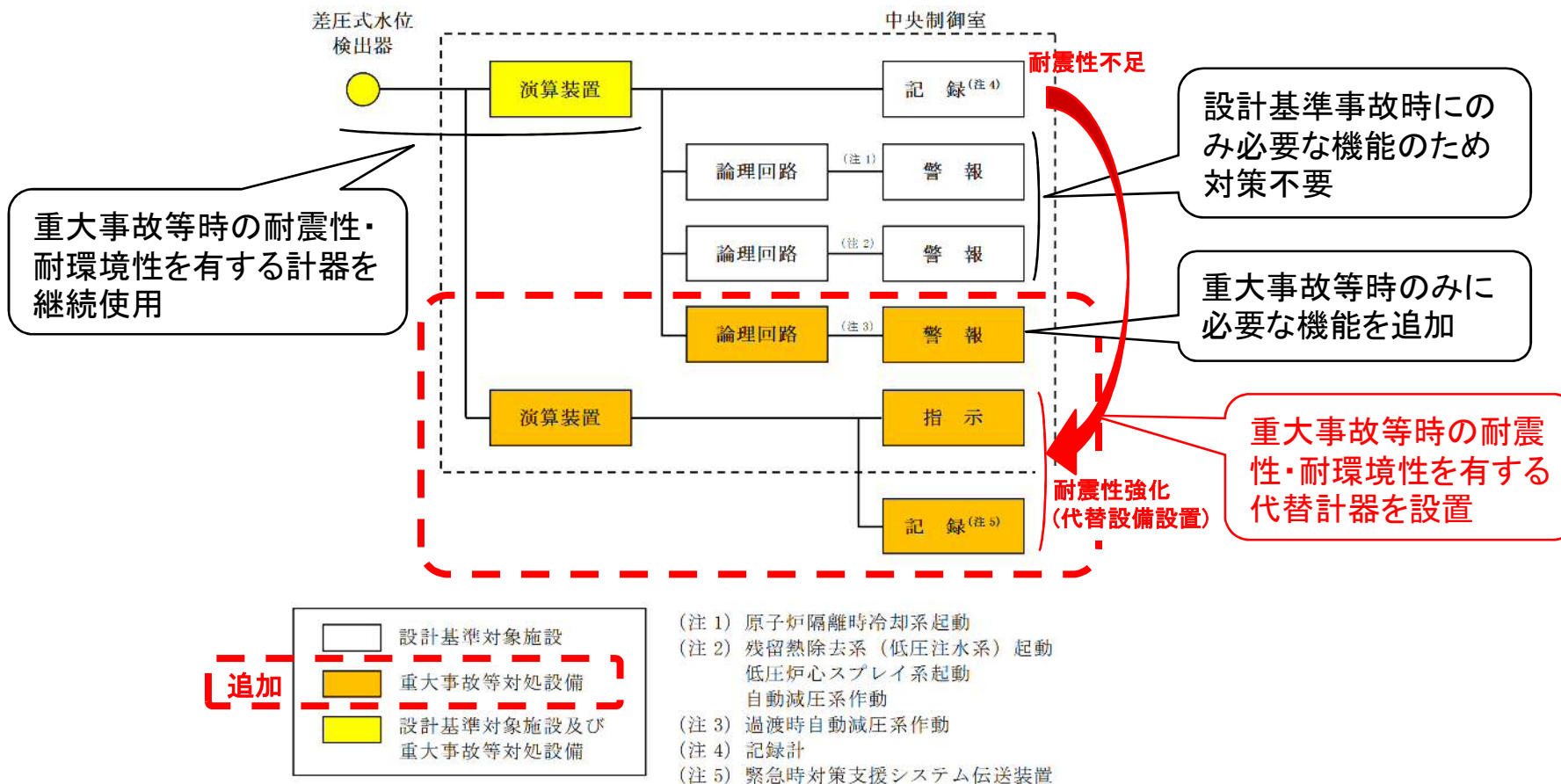
②計装系の耐震性・耐環境性強化又は計器追設(3/5)

①設計基準事故対応計器※の耐震性・耐環境性強化

パラメータ例

- ・ 原子炉水位(広帯域)
- ・ 低圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力
- ・ 残留熱除去系ポンプ吐出圧力

※ 設計基準事故時に使用する場合の計測範囲が、計器の不確かさを考慮しても設計基準を超える状態において発電用原子炉施設の状態を推定できるもの



原子炉水位(広帯域)の概略構成図

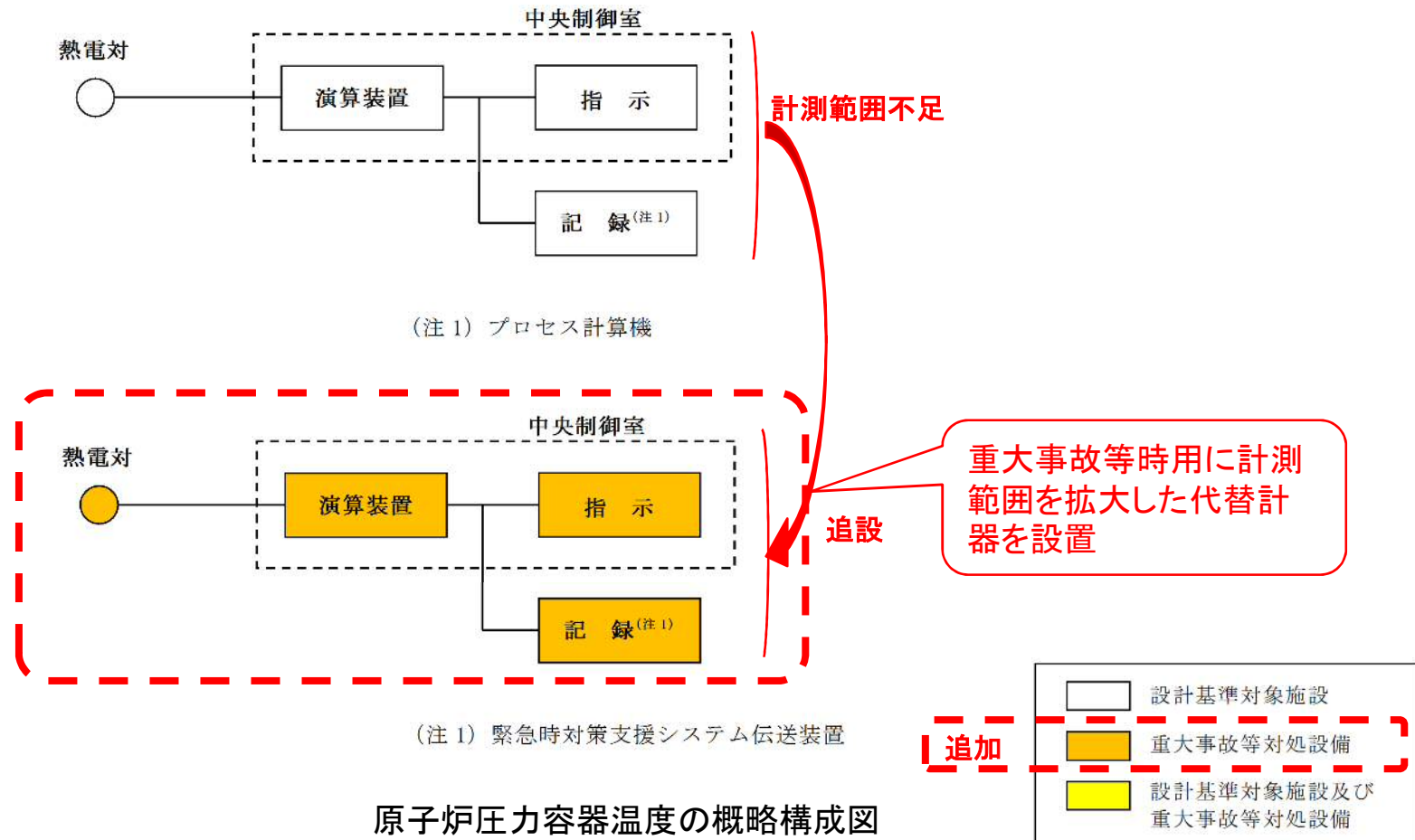
4. 新たな安全対策

②計装系の耐震性・耐環境性強化又は計器追設(4/5)

②重大事故等時の監視計器追設

パラメータ例

- ・ 原子炉圧力容器温度
- ・ ドライウェル雰囲気温度
- ・ サプレッション・チェンバ雰囲気温度
- ・ サプレッション・プール水温度



4. 新たな安全対策

②計装系の耐震性・耐環境性強化又は計器追設(5/5)

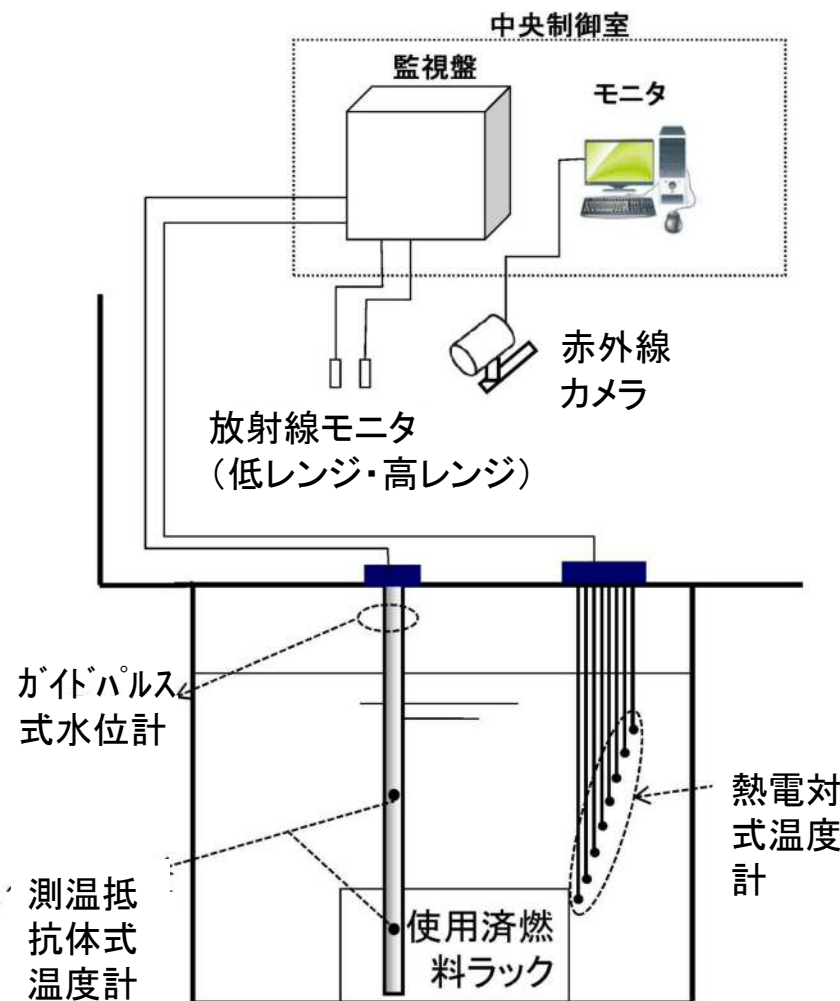
重大事故等時の監視計器追設：使用済燃料プールの監視強化

○従来の設備は異常検知(通常状態からの逸脱の検知)が目的であったが、重大事故等時の状態把握のため、**測定箇所、測定範囲、耐環境性を向上させた監視設備を追設**

監視項目	従来設備	追加設備
水位	レベルスイッチ2台 ・通常水位近傍を監視	水位計(ガイドパルス式*)1台 ・ SFP底面近傍まで 連続測定可能 ・ 耐環境性向上 ($\sim 100^{\circ}\text{C}$ 蒸気環境)
温度	熱電対式温度計1台 ・通常水位近傍の温度を監視	熱電対式温度計1式** ・ 燃料頂部付近まで8点 の温度測定可能 ・ 耐環境性向上 ($\sim 100^{\circ}\text{C}$ 蒸気環境)
		測温抵抗体式温度計2台 ・ 燃料体付近まで2点 の温度測定可能 ・ 耐環境性向上 ($\sim 100^{\circ}\text{C}$ 蒸気環境)
放射線	放射線モニタ1台 ・従事者の放射線防護の観点から10mSv/hまでを監視	放射線モニタ(低レンジ・高レンジ各1台) ・重大事故等時の監視を目的として 10^5Sv/hまで を監視 ・ 耐環境性向上 ($\sim 100^{\circ}\text{C}$ 蒸気環境)
カメラ	ITV1台 ・SFP廻り監視用	赤外線カメラ1台 ・ 赤外線監視機能 により照明停電時や蒸気雰囲気においても監視可能 ・専用空冷装置により 耐環境性向上 ($\sim 100^{\circ}\text{C}$ 蒸気環境)

* :パルス信号を発信し水面からの反射波を受信するまでの時間遅れから水位を測定する。

** :福島事故後の緊急安全対策にて設置済



追加設備概要図

4. 新たな安全対策



③代替パラメータによる推定手順の明確化(1/2)

- 重大事故等への対処時に、炉心損傷防止対策、格納容器破損防止対策等を成功させるために把握することが必要な原子炉施設の状態を直接監視するパラメータ(主要パラメータ)を対象として、計器の故障等により、対象パラメータを計測することが困難となった場合に、対象パラメータを推定する有効な情報を把握できる代替パラメータを抽出し、対象パラメータとの関係性や代替パラメータの確からしさを考慮し、推定手順と優先順位を決定

分類	対象パラメータ(主要パラメータ)※
原子炉圧力容器内の温度	原子炉圧力容器温度
原子炉圧力容器内の圧力	原子炉圧力、原子炉圧力(SA)
原子炉圧力容器内の水位	原子炉水位(広帯域、燃料域)、原子炉水位(SA広帯域、SA燃料域)
原子炉圧力容器への注水量	高圧代替注水系系統流量、低圧代替注水系原子炉注水流量、代替循環冷却系原子炉注水流量 原子炉隔離時冷却系系統流量、高圧炉心スプレイ系系統流量、低圧炉心スプレイ系系統流量 等
原子炉格納容器内の温度	ドライウェル雰囲気温度、サブプレッション・チェンバ雰囲気温度、サブプレッション・プール水温度 等
原子炉格納容器内の圧力	ドライウェル圧力、サブプレッション・チェンバ圧力
原子炉格納容器内の水位	サブプレッション・プール水位、格納容器下部水位
原子炉格納容器内の水素濃度	格納容器内水素濃度(SA)
原子炉格納容器内の放射線量率	格納容器内雰囲気放射線モニタ(D/W、S/C)
未臨界の維持又は監視	起動領域計装、平均出力領域計装 等
最終ヒートシンクの確保	代替循環冷却系原子炉注水流量、代替循環冷却系ポンプ入口温度、残留熱除去系系統流量 等
格納容器バイパスの監視	原子炉圧力、ドライウェル圧力、高圧炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力 等
水源の確保	サブプレッション・プール水位、代替淡水貯槽水位、西側淡水貯水設備水位
原子炉建屋内の水素濃度	原子炉建屋水素濃度
原子炉格納容器内の酸素濃度	格納容器内酸素濃度(SA)
使用済燃料プールの監視	使用済燃料プール水位・温度(SA広域)、使用済燃料プール温度(SA) 等

※対象パラメータ(主要パラメータ)の全リスト及び代替パラメータによる推定手順・方法については補足説明資料参照

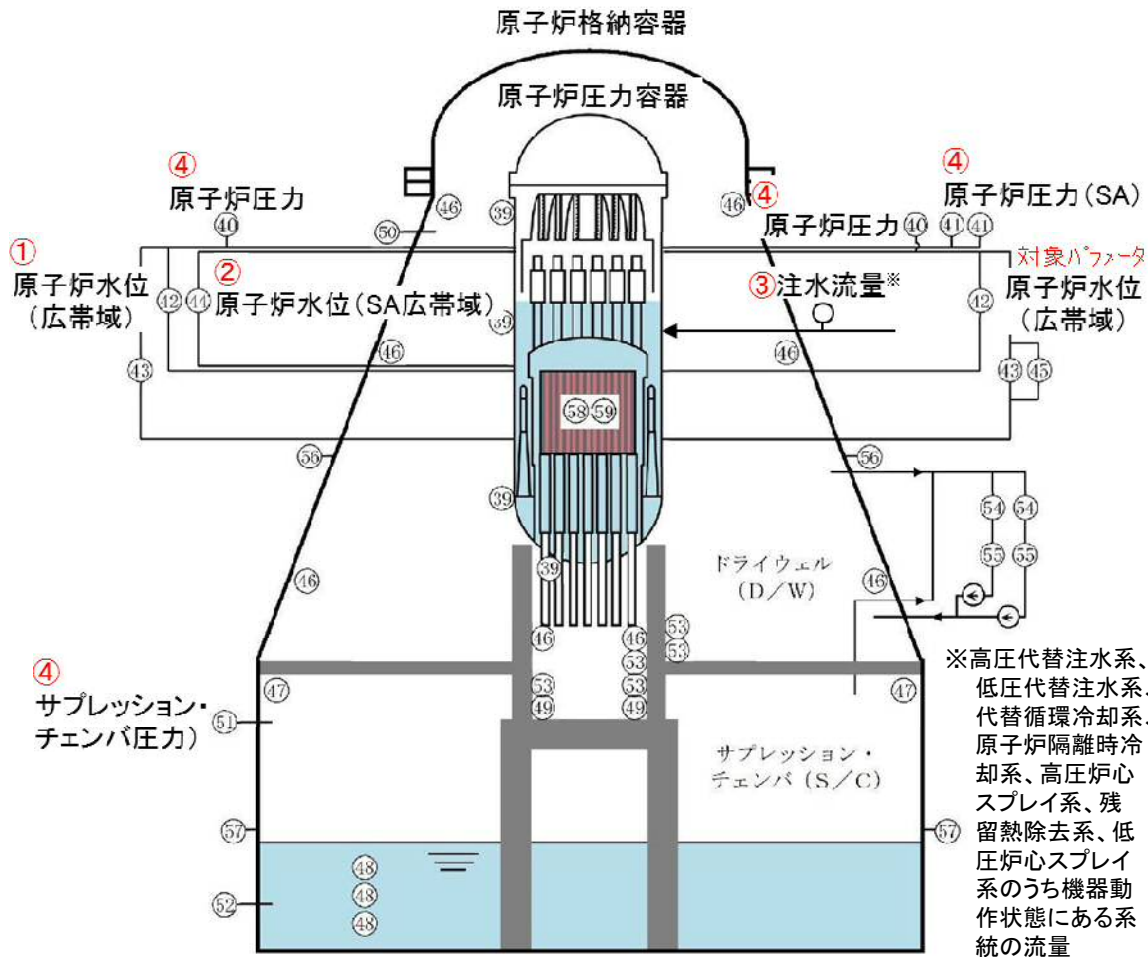
4. 新たな安全対策



③代替パラメータによる推定手順の明確化(2/2)

代替パラメータによる推定手順と優先順位: 原子炉水位(広帯域)

○計器の故障等により、原子炉水位(広帯域)(対象パラメータ)の計測が困難となった場合には、「推定手順と優先順位」に示す①～④の順で代替パラメータにより原子炉の水位を推定する。



推定手順と優先順位

原子炉水位(広帯域)(対象パラメータ)の監視

故障等

① 原子炉水位(広帯域)の他チャンネルによる監視

故障等

② 原子炉水位(SA広帯域)による監視

故障等

③ 原子炉圧力容器への注水流量※と崩壊熱除去に必要な水量の差を水位に換算し、直前まで判明していた水位から原子炉水位を推定



故障等

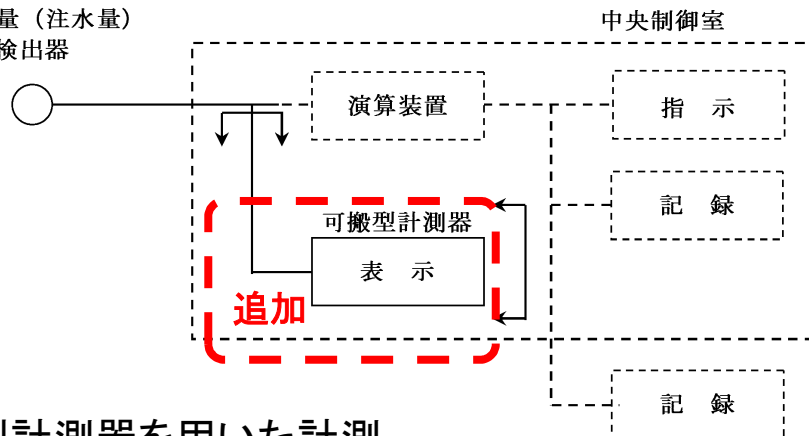
④ 原子炉圧力又は原子炉圧力(SA)とサプレッション・チェンバ圧力の圧力差(差圧)から原子炉圧力容器の満水を推定(炉心冷却状態を確認)

1. 原子炉圧力容器への注水を継続
2. 逃がし安全弁から水が流出
3. 原子炉格納容器内の圧力が上昇
4. 原子炉圧力又は原子炉圧力(SA)とサプレッション・チェンバ圧力の圧力差(差圧)が発生
5. 差圧が一定値以上であれば原子炉圧力容器は満水と推定(炉心の冷却状態を確認)

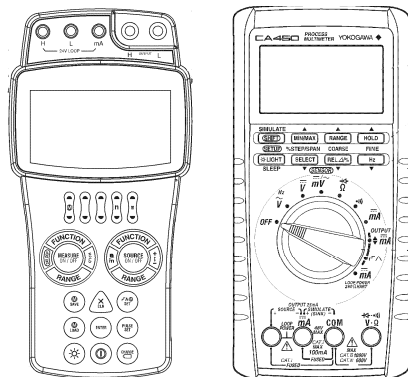
4. 新たな安全対策 ④可搬型計器の配備

○更なる対策として、代替電源の喪失等、不測の事態を想定した場合でも、原子炉压力容器及び原子炉格納容器内の温度、圧力、水位、注水量等の特に重要なパラメータの測定が可能となるよう、**乾電池を電源とする可搬型計測器を配備**（測定値と換算表により対象パラメータを把握）

温度、圧力、水位
及び流量（注水量）
検出器



可搬型計測器を用いた計測
概略構成図



可搬型計測器の例

- ・配備数 : 39個（予備39個）
- ・監視パラメータ : 右表のとおり

炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策等に係るパラメータ
- ・保管場所 : 中央制御室
緊急時対策所（予備）
- ・測定場所 : 中央制御室

↔ 内は可搬の範囲を示す。

監視パラメータ	
原子炉压力容器温度	サブプレッション・チェンバ圧力
原子炉圧力	サブプレッション・プール水位
原子炉圧力（S A）	格納容器下部水位
原子炉水位（広帯域）	フィルタ装置水位
原子炉水位（燃料域）	フィルタ装置圧力
原子炉水位（S A広帯域）	フィルタ装置スクラビング水温度
原子炉水位（S A燃料域）	代替循環冷却系ポンプ入口温度
高压代替注水系系統流量	代替循環冷却系格納容器スプレイ流量
原子炉隔離時冷却系系統流量	残留熱除去系熱交換器入口温度
高压炉心スプレイ系系統流量	残留熱除去系熱交換器出口温度
低压代替注水系原子炉注水流量（常設ライン用）	残留熱除去系海水系系統流量
低压代替注水系原子炉注水流量（常設ライン狭帯域用）	緊急用海水系流量（残留熱除去系熱交換器）
低压代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン用）	緊急用海水系流量（残留熱除去系補機）
低压代替注水系原子炉注水流量（可搬ライン狭帯域用）	代替淡水貯槽水位
代替循環冷却系原子炉注水流量	西側淡水貯水設備水位
残留熱除去系系統流量	常設高压代替注水系ポンプ吐出圧力
低压炉心スプレイ系系統流量	原子炉隔離時冷却系ポンプ吐出圧力
低压代替注水系格納容器スプレイ流量（常設ライン用）	高压炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力
低压代替注水系格納容器スプレイ流量（可搬ライン用）	代替循環冷却系ポンプ吐出圧力
低压代替注水系格納容器下部注水流量	残留熱除去系ポンプ吐出圧力
ドライウェル雰囲気温度	低压炉心スプレイ系ポンプ吐出圧力
サブプレッション・チェンバ雰囲気温度	常設低压代替注水系ポンプ吐出圧力
サブプレッション・プール水温度	静的触媒式水素再結合器動作監視装置
格納容器下部水温	使用済燃料プール温度（S A広域）
ドライウェル圧力	使用済燃料プール温度（S A）

- ◆ 常設代替高圧電源装置，可搬型代替低圧電源車等の新設により電源を多様化し，外部電源及び非常用ディーゼル発電機が使用できない場合においても，プラントの状態を監視又は推定する手段を確保
- ◆ 重大事故等に対処するために必要なパラメータを計測又は監視及び記録する多様な設備を設置又は保管。
また、計器故障等に備えて，代替パラメータを用いた対象パラメータの推定手段と優先順位を明確化
- ◆ 更なる対策として、代替電源も含む全ての電源が喪失した場合等の不測の事態に備え，原子炉圧力容器及び原子炉格納容器内の特に重要なパラメータの計測用に，乾電池を電源とした可搬型計測器を配備

これらの対策により、重大事故等が発生した場合においても、プラントの状態を適切に把握又は推定できることを確認している。

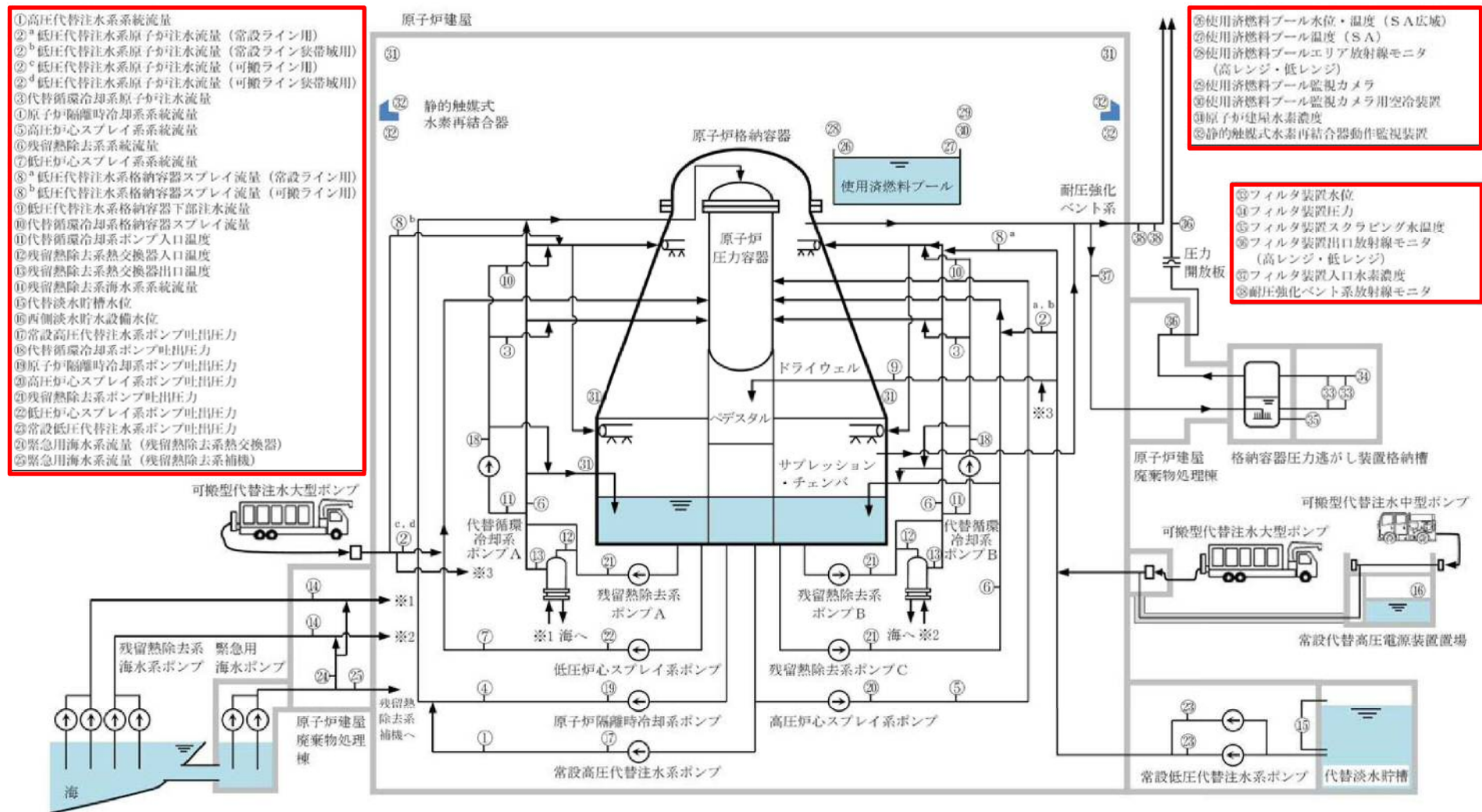
(補足説明資料 事故対応基盤について(計装設備への対応))

補足説明資料 目 次

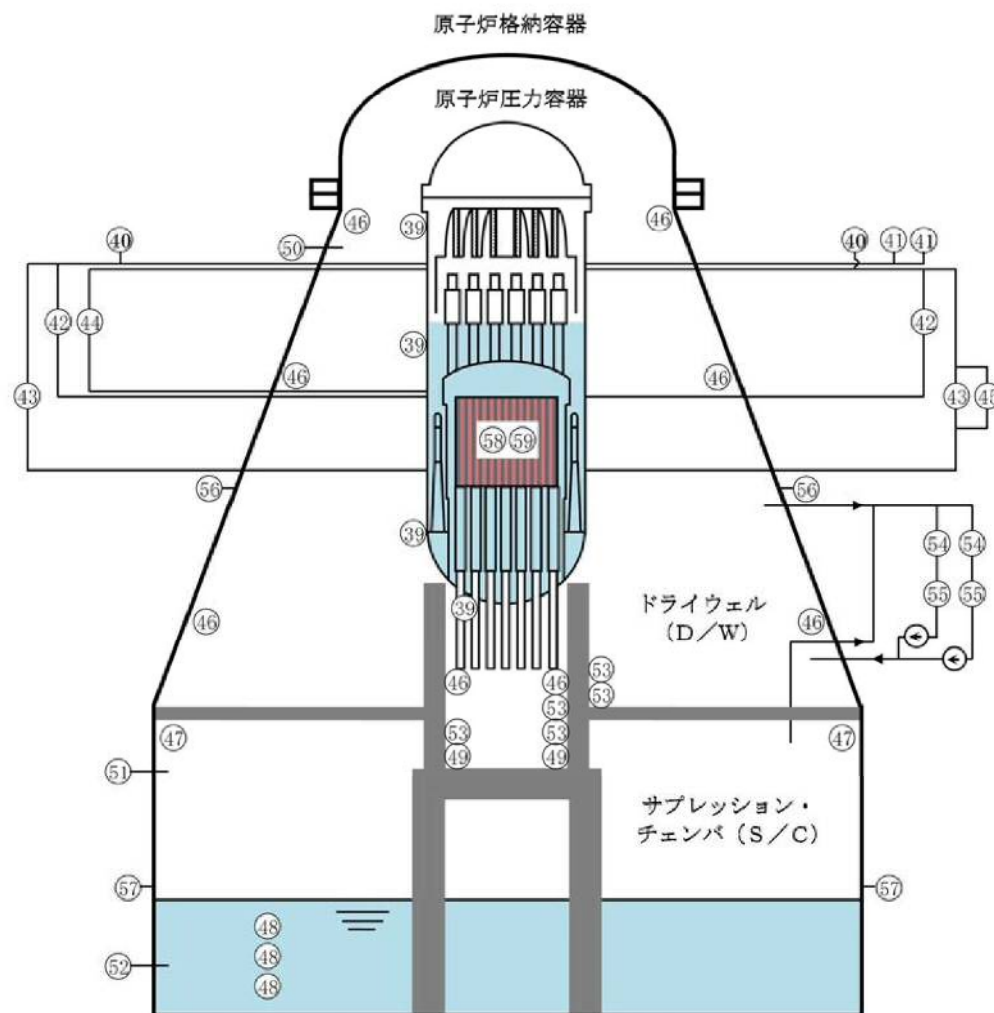
1. 計装設備(重大事故等対処設備)の系統概要図	2-4-20
--------------------------------	--------

1. 計装設備(重大事故等対処設備)の系統概要図(1/2)

○重大事故等に対処するために監視が必要なパラメータを計測する計器を適切に設置し、プラント状態を確実に把握・推定できるようにしている。



1. 計装設備(重大事故等対処設備)の系統概要図(2/2)



- | | |
|----------------------|-----------------------|
| ③ 原子炉圧力容器温度 | ⑪ ドライウエル圧力 |
| ④ 原子炉圧力 | ⑫ サブプレッション・チェンバ圧力 |
| ⑪ 原子炉圧力 (S/A) | ⑬ サブプレッション・プール水位 |
| ⑫ 原子炉水位 (広帯域) | ⑭ 格納容器下部水位 |
| ⑬ 原子炉水位 (燃料域) | ⑮ 格納容器内水素濃度 (S/A) |
| ⑭ 原子炉水位 (S/A広帯域) | ⑯ 格納容器内酸素濃度 (S/A) |
| ⑮ 原子炉水位 (S/A燃料域) | ⑰ 格納容器雰囲気放射線モニタ (D/W) |
| ⑯ ドライウエル雰囲気温度 | ⑱ 格納容器雰囲気放射線モニタ (S/C) |
| ⑰ サブプレッション・チェンバ雰囲気温度 | ⑲ 起動領域計装 |
| ⑱ サブプレッション・プール水温度 | ⑳ 平均出力領域計装 |
| ㉑ 格納容器下部水温 | |

