



JY-101-1

**第53条（多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止）に係る説明書
-炉心損傷防止措置、格納容器破損防止措置の資機材及び手順-**

2021年11月30日

**日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高速実験炉部**

目 次

- **炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置に係る資機材の設計方針**
- **炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置、資機材、手順及び自主対策の整理**
- **炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置の手順及び資機材の概要**
- **炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置に係る手順**
- **炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置に係る資機材**

1. 各レベルの独立性

第3レベル以下の設計基準事故対処設備、第4レベルの1の炉心損傷防止措置及び第4レベルの2の格納容器破損防止措置をそれぞれ講じ、前段の措置の機能喪失を仮定して独立性を有するように設計する。

なお、大規模ナトリウム火災対策については、第4レベルとは独立した設備を設置し、可搬型の設備を活用して位置的分散を図る。

例1) 原子炉停止機能喪失事象

炉心損傷防止措置：後備炉停止系による原子炉停止

格納容器破損防止措置：損傷炉心物質の原子炉容器内での冷却・保持

例2) 崩壊熱除去機能喪失事象

炉心損傷防止措置：主冷却系自然循環による崩壊熱除去

格納容器破損防止措置：損傷炉心物質の原子炉容器破損後の安全容器内での冷却・保持

2. 資機材の設計方針

新設の資機材及び既設の資機材ともに、基準地震動による地震力に対して機能を喪失しないように整備するとともに、火災の発生防止並びに火災の早期感知及び消火について、必要な火災防護対策を実施することにより、地震や火災による損傷を防止する設計とする。また、電源を必要とするものは、非常用電源設備より給電する。

なお、地震時には、原子炉は、自動停止するため、原子炉手動停止に係る燃料破損検出系（カバーガス法）の検知機能の耐震設計についてはこの限りではない。

**炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置、資機材、手順及び
自主対策の整理**

炉心損傷防止措置、資機材、手順及び自主対策の整理（1/2）

事象グループ	評価事故シーケンス	炉心損傷防止措置	主な資機材(括弧内は主な関連系を示す。)	手順(括弧内は主な自主対策を示す。)
炉心流量喪失時 原子炉停止機能喪失 (ULOF)	外部電源喪失及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(ULOF(i))	代替原子炉トリップ信号(「1次主循環ポンプトリップ」)、 後備炉停止系用論理回路、 後備炉停止系による原子炉自動停止	「1次主循環ポンプトリップ」信号検出器、計測装置 後備炉停止系用論理回路 後備炉停止制御棒 核計装検出器、計測装置 関連するプロセス計装検出器、計測装置 (非常用電源設備) (圧縮空気供給設備)	後備炉停止系による原子炉自動停止時手順 (①手動スクラムボタンにより原子炉保護系を動作させて原子炉を停止させる手順)※1 (②手動操作による制御棒駆動機構の制御棒保持電磁石励磁断又は後備炉停止制御棒駆動機構の後備炉停止制御棒保持電磁石励磁断により制御棒又は後備炉停止制御棒を挿入する手順)※1 (③制御棒駆動機構又は後備炉停止制御棒駆動機構により手動操作にて制御棒又は後備炉停止制御棒を挿入する手順。) ※1 なお、上記の自主対策は、炉心損傷防止措置の機能を喪失したと判断した場合に、炉心の状態によらず実施するものとし、①～③の順に実施する。
	外部電源喪失及び原子炉保護系(スクラム)動作失敗の重畳事故(ULOF(ii))			
	1次主循環ポンプ軸固着及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(ULOF(iii))			
過出力時 原子炉停止機能喪失 (UTOP)	出力運転中の制御棒の異常な引抜き及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(UTOP(i))	制御棒連続引抜き阻止インターロック、 代替原子炉トリップ信号(「原子炉出口冷却材温度高」)、 後備炉停止系用論理回路、 後備炉停止系による原子炉自動停止	制御棒連続引抜き阻止インターロック 「原子炉出口温度冷却材温度高」信号検出器、計測装置 後備炉停止系用論理回路 後備炉停止制御棒 核計装検出器、計測装置 関連するプロセス計装検出器、計測装置 (非常用電源設備) (圧縮空気供給設備)	同上
	出力運転中の制御棒の異常な引抜き及び原子炉保護系(スクラム)動作失敗の重畳事故(UTOP(ii))			
除熱源喪失時 原子炉停止機能喪失 (ULOHS)	2次冷却材流量減少及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(ULOHS(i))	代替原子炉トリップ信号(「原子炉出口冷却材温度高」)、 後備炉停止系用論理回路、 後備炉停止系による原子炉自動停止	「原子炉出口温度冷却材温度高」信号検出器、計測装置 後備炉停止系用論理回路 後備炉停止制御棒 核計装検出器、計測装置 関連するプロセス計装検出器、計測装置 (非常用電源設備) (圧縮空気供給設備)	同上
	2次冷却材流量減少及び原子炉保護系(スクラム)動作失敗の重畳事故(ULOHS(ii))			
	2次冷却材漏えい及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(ULOHS(iii))			後備炉停止系による原子炉自動停止時手順 2次冷却材ナトリウム漏えい時手順
局所的燃料破損 (LF)	冷却材流路閉塞(千鳥格子状)事故	燃料破損検出系による異常検知及び手動スクラムによる原子炉停止	カバーガス法燃料破損検出設備(一式)	燃料破損検出時原子炉手動スクラム手順 (①手動操作による制御棒駆動機構の制御棒保持電磁石励磁断又は後備炉停止制御棒駆動機構の後備炉停止制御棒保持電磁石励磁断により制御棒又は後備炉停止制御棒を挿入する手順)※2 (②制御棒駆動機構又は後備炉停止制御棒駆動機構により手動操作にて制御棒又は後備炉停止制御棒を挿入する手順。) ※2 (③1次アルゴンガス系排気ラインの隔離弁閉止手順)※3

以下の自主対策は、炉心損傷防止措置の有効性を確認した上で、安全性向上のために自主的に講じる措置である。

※1:本操作は運転員が中央制御室で数分以内に実施できるため、炉心損傷を防止できる可能性があるが、操作に時間を要する可能性を考慮し、自主対策としている。なお、炉心損傷の防止に間に合わない場合でも、炉心の出力を低下させ、影響を緩和する手段となり得る。

※2:炉心損傷防止措置により炉心の損傷は防止されるが、さらなる安全性の向上のため、万一の機能喪失に備え、原子炉の出力を低下させる手順である。

※3:炉心損傷防止措置により炉心の損傷は防止されるため、多量の放射性物質の放出は防止されるが、さらなる安全性の向上のため、放射性物質の放出経路を閉止する手順である。

炉心損傷防止措置、資機材、手順及び自主対策の整理（2/2）

事象グループ	評価事故シーケンス	炉心損傷防止措置	主な資機材(括弧内は主な関連系を示す。)	手順(括弧内は主な自主対策を示す。)
原子炉容器液位確保機能喪失による崩壊熱除去機能喪失(LORL)	1次冷却材漏えい(安全容器内配管(内管)破損)及び安全容器内配管(外管)破損の重畳事故(LORL(i))	冷却材の安全容器内保持及び補助冷却設備による強制循環冷却	安全容器一式 補助冷却設備一式 (原子炉容器液面計検出器、計測装置) (非常用電源設備) (補機冷却設備) なお、補助冷却設備を自動起動させる信号は原子炉容器液面低低信号とする。	安全容器内での1次主冷却系内管及び外管からの漏えい時手順 (①補助冷却設備手動起動手順)※1 なお、上記の自主対策は、炉心損傷防止措置(補助冷却設備による強制循環冷却)の機能を喪失したと判断した場合に、炉心の状態によらず実施する。
	1次冷却材漏えい(1次主冷却系配管(内管)破損)及び1次主冷却系配管(外管)破損の重畳事故(LORL(ii))	主冷却系サイフォンブレイクによる冷却材保持及び補助冷却設備による強制循環冷却	主冷却系サイフォンブレイク 補助冷却設備一式 (原子炉容器液面計検出器、計測装置) (非常用電源設備) (補機冷却設備) なお、補助冷却設備を自動起動させる信号は原子炉容器液面低低信号とする。	安全容器外での1次主冷却系内管及び外管からの漏えい時手順 (①補助冷却設備手動起動手順)※1 (②原子炉容器外面冷却手順)※2 なお、上記の自主対策は、炉心損傷防止措置(補助冷却設備による強制循環冷却)の機能を喪失したと判断した場合に、炉心の状態によらず実施するものとし、①～②の順に実施する。
	1次冷却材漏えい(1次補助冷却系配管(内管)破損)及び1次補助冷却系配管(外管)破損の重畳事故(LORL(iii))	補助冷却系サイフォンブレイクによる冷却材の保持及び主冷却系(2ループ)による自然循環冷却	補助冷却系サイフォンブレイク 1次主冷却系、2次主冷却系 (原子炉容器液面計検出器、計測装置) (非常用電源設備) (圧縮空気供給設備) なお、補助冷却系サイフォンブレイク弁を自動動作させる信号は、原子炉容器液面低低、1次補助冷却系ナトリウム漏えい及びポニーモータトリップ信号とする。	1次補助冷却系の内管及び外管からの漏えい時手順 (①1次主冷却系強制循環機能の復旧手順)※3 (②1次補助冷却系の手動サイフォンブレイク及び原子炉容器出入口弁閉止手順)※4 なお、②の自主対策は、補助冷却系サイフォンブレイクに異常が認められた場合に実施する。
交流動力電源が存在し、かつ原子炉容器液位が確保された状態での崩壊熱除去機能喪失(PLOHS)	外部電源喪失及び強制循環冷却失敗の重畳事故(PLOHS(i))	主冷却系(2ループ)による自然循環冷却	1次主冷却系、2次主冷却系 関連するプロセス計装検出器、計測装置 (非常用電源設備) (圧縮空気供給設備)	自然循環崩壊熱除去手順 (①1次主冷却系強制循環機能の復旧手順(外部電源復旧時))※3
	2次冷却材漏えい及び強制循環冷却失敗の重畳事故(PLOHS(ii))	主冷却系(1ループ)による自然循環冷却		自然循環崩壊熱除去手順 2次冷却材ナトリウム漏えい時手順 (①1次主冷却系強制循環機能の復旧手順)※3 (②原子炉容器外面冷却手順)※2 なお、②の自主対策は、炉心損傷防止措置の機能を喪失したと判断した場合に、炉心の状態によらず実施する。
全交流動力電源喪失による強制循環冷却機能喪失(SBO)	全交流動力電源喪失(外部電源喪失及びディーゼル発電機起動失敗)事故	主冷却系(2ループ)による自然循環冷却		全交流動力電源喪失時手順 (①手動による崩壊熱除去手順(仮設発電機又は仮設計器による監視を含む。))※5 (②ディーゼル発電機機能の復旧手順)※6

以下の自主対策は、炉心損傷防止措置の有効性を確認した上で、安全性向上のために自主的に講じる措置である。

※1:強制循環機能喪失の要因によっては、機能を復旧できる可能性があるため、自主対策として実施する。

※2:本操作を実施すれば炉心損傷を防止できるため、補助冷却設備等による炉心損傷防止措置に加えて、信頼性向上のためのバックアップの位置付けで整備する。

※3:強制循環機能喪失の要因によっては、機能を復旧できる可能性があるため、自主対策として実施する。

※4:本操作を実施すれば液位を確保できるため、1次補助冷却系の自動サイフォンブレイクによる液位確保機能に加えて、信頼性向上のためのバックアップの位置付けで整備する。

※5:全交流動力電源喪失時であっても崩壊熱の除去に必要な機能は喪失しない設計とするが、全交流電源喪失が長期化し、駆動源や監視系の電源が枯渇した場合の対応の信頼性向上のために、主冷却機ベーンの手動操作手順の整備、仮設発電機等を用いた監視を実施する。

※6:ディーゼル発電機機能喪失の要因によっては、機能を復旧できる可能性があるため、自主対策として実施する。

格納容器破損防止措置、資機材、手順及び自主対策の整理（1/2）

事象グループ	評価事故シーケンス	格納容器破損防止措置	主な資機材(括弧内は主な関連系を示す。)	手順(括弧内は主な自主対策を示す。)
炉心流量喪失時 原子炉停止機能喪失 (ULOF)	外部電源喪失及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(ULOF(i))	非常用冷却設備による原子炉容器内強制循環冷却 1次主冷却系：強制循環冷却 2次主冷却系：自然循環冷却 回転プラグを含む原子炉容器構造による即発臨界超過時のナトリウム噴出量の抑制 原子炉格納容器構造による即発臨界超過時の噴出ナトリウム等の影響緩和(閉じ込め機能維持)	1次主冷却系強制循環設備 2次主冷却系自然循環 原子炉容器、回転プラグ(非常用電源設備) (圧縮空気供給設備)	ULOF及びUTOPにおける炉心損傷防止措置の機能喪失時 原子炉容器内冷却手順 (①1次アルゴンガス系排気ラインの隔離弁閉止手順)※1 (②格納容器手動アイソレーション手順)※2
	外部電源喪失及び原子炉保護系(スクラム)動作失敗の重畳事故(ULOF(ii))			
	1次主循環ポンプ軸固着及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(ULOF(iii))			
過出力時 原子炉停止機能喪失 (UTOP)	出力運転中の制御棒の異常な引抜き及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(UTOP(i))			
	出力運転中の制御棒の異常な引抜き及び原子炉保護系(スクラム)動作失敗の重畳事故(UTOP(ii))			
除熱源喪失時 原子炉停止機能喪失 (ULOHS)	2次冷却材流量減少及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(ULOHS(i))	負の反応度係数などの固有の物理メカニズムによる出力低減と冷却系による冷却(1次主冷却系強制循環冷却、2次主冷却系自然循環冷却)	1次主冷却系強制循環設備 2次主冷却系自然循環(非常用電源設備) (圧縮空気供給設備)	ULOHSにおける炉心損傷防止措置の機能喪失時手順 (①手動スクラムボタンにより原子炉保護系を動作させて原子炉を停止させる手順)※3 (②手動操作による制御棒駆動機構の制御棒保持電磁石励磁断又は後備炉停止制御棒駆動機構の後備炉停止制御棒保持電磁石励磁断により制御棒又は後備炉停止制御棒を挿入する手順)※3 (③制御棒駆動機構又は後備炉停止制御棒駆動機構により手動操作にて制御棒又は後備炉停止制御棒を挿入する手順。)※3 (④制御棒駆動機構の軸押し込み手順。)※4 なお、①～③の自主対策は、炉心損傷防止措置の機能を喪失したと判断した場合に、炉心の状態によらず実施し、①～③の順に実施する。④の自主対策は、①～③の自主対策が機能しなかった場合において、原子炉が高温で安定静定している場合に実施する。
	2次冷却材流量減少及び原子炉保護系(スクラム)動作失敗の重畳事故(ULOHS(ii))			
	2次冷却材漏えい及び原子炉トリップ信号発信失敗の重畳事故(ULOHS(iii))			
局所的燃料破損(LF)	冷却材流路閉塞(千鳥格子状)事故	ULOF及びUTOPと同じ	同左	—

以下の自主対策は、炉心損傷防止措置の有効性を確認した上で、安全性向上のために自主的に講じる措置である。

※1: 格納容器アイソレーションにより、多量の放射性物質の放出は防止されるが、さらなる安全性の向上のため、放射性物質の放出経路を閉止する手順である。

※2: 格納容器アイソレーションは自動で動作するが、本操作を実施すればアイソレーション可能であるため、信頼性向上のためのバックアップの位置付けで整備する。

※3: 本操作は運転員が中央制御室で数分以内の実施できるが、操作に時間を要する可能性を考慮し、自主対策としている。なお、炉心損傷防止措置の機能を喪失しても高温での安定状態に移行するため、操作を実施するための時間は確保される。

※4: 本操作は現場対応班員が原子炉格納容器内で実施する手順であり、操作に時間を要する可能性を考慮し、自主対策としている。なお、炉心損傷防止措置の機能を喪失しても高温での安定状態に移行するため、操作を実施するための時間は確保される。

格納容器破損防止措置、資機材、手順及び自主対策の整理（2/2）

事象グループ	評価事故シーケンス	格納容器破損防止措置	主な資機材(括弧内は主な関連系を示す。)	手順(括弧内は主な自主対策を示す。)
原子炉容器液位確保機能喪失による崩壊熱除去機能喪失(LORL)	1次冷却材漏えい(安全容器内配管(内管)破損)及び安全容器内配管(外管)破損の重畳事故(LORL(i))	コンクリート遮へい体冷却系を用いた安全容器外面冷却による損傷炉心物質の安全容器内保持・冷却 安全板による原子炉冷却材バウンダリの過圧の防止 ナトリウム流出位置(安全板設置位置:原子炉格納容器内(床下))における熱的影響緩和措置として、ヒートシンク材・断熱材を敷設	コンクリート遮へい体冷却系 安全容器 1次アルゴンガス系 安全板 ヒートシンク材・断熱材 (非常用電源設備) (補機冷却設備)	安全容器内での1次主冷却系内管及び外管からの漏えい事故における炉心損傷防止措置の機能喪失時手順 (①1次アルゴンガス系排気ラインの隔離弁閉止手順)※1 (②格納容器手動アイソレーション手順)※2
	1次冷却材漏えい(1次主冷却系配管(内管)破損)及び1次主冷却系配管(外管)破損の重畳事故(LORL(ii))	コンクリート遮へい体冷却系を用いた原子炉容器外面冷却による炉心損傷の防止	コンクリート遮へい体冷却系 予熱室素ガス系 (非常用電源設備) (補機冷却設備)	安全容器外での1次主冷却系内管及び外管からの漏えい事故における炉心損傷防止措置の機能喪失時手順
	1次冷却材漏えい(1次補助冷却系配管(内管)破損)及び1次補助冷却系配管(外管)破損の重畳事故(LORL(iii))	受動的な安全特性を活用した主冷却系(1ループ)による自然循環冷却	1次主冷却系、2次主冷却系 関連するプロセス計装検出器、計測装置 (非常用電源設備) (圧縮空気供給設備)	1次補助冷却系での内管及び外管からの漏えい事故における炉心損傷防止措置の機能喪失時手順 (①1次主冷却系強制循環機能の復旧手順)※3 (②原子炉容器外面冷却手順)※4 なお、②の自主対策は、主冷却系(1ループ)による自然循環冷却機能を喪失したと判断した場合に、炉心の状態によらず実施する。
交流動力電源が存在し、かつ原子炉容器液位が確保された状態での崩壊熱除去機能喪失(PLOHS)	外部電源喪失及び強制循環冷却失敗の重畳事故(PLOHS(i))	受動的な安全特性を活用した主冷却系(1ループ)による自然循環冷却	同上	自然循環崩壊熱除去手順 (①原子炉容器外面冷却手順)※4 なお、上記の自主対策は、主冷却系(1ループ)による自然循環冷却機能を喪失したと判断した場合に、炉心の状態によらず実施する。
	2次冷却材漏えい及び強制循環冷却失敗の重畳事故(PLOHS(ii))	コンクリート遮へい体冷却系を用いた安全容器外面冷却による損傷炉心物質の安全容器内保持・冷却 安全板による原子炉冷却材バウンダリの過圧の防止 ナトリウム流出位置(安全板設置位置:原子炉格納容器内(床下))における熱的影響緩和措置として、ヒートシンク材・断熱材を敷設	コンクリート遮へい体冷却系 安全容器 1次アルゴンガス系 安全板 ヒートシンク材・断熱材 (非常用電源設備) (補機冷却設備)	2次冷却材漏えい及び強制循環冷却失敗事故における炉心損傷防止措置の機能喪失時手順 (①1次アルゴンガス系排気ラインの隔離弁閉止手順)※1 (②格納容器手動アイソレーション手順)※2
全交流動力電源喪失による強制循環冷却機能喪失(SBO)	全交流動力電源喪失(外部電源喪失及びディーゼル発電機起動失敗)事故	受動的な安全特性を活用した主冷却系(1ループ)による自然循環冷却	1次主冷却系、2次主冷却系 関連するプロセス計装検出器、計測装置 (非常用電源設備) (圧縮空気供給設備)	全交流動力電源喪失時手順 (①手動による崩壊熱除去手順(仮設発電機又は仮設計器による監視を含む。))※5 (②ディーゼル発電機機能の復旧手順)※6

以下の自主対策は、炉心損傷防止措置の有効性を確認した上で、安全性向上のために自主的に講じる措置である。

※1:格納容器アイソレーションにより、多量の放射性物質の放出は防止されるが、さらなる安全性の向上のため、放射性物質の放出経路を閉止する手順である。

※2:格納容器アイソレーションは自動で動作するが、本操作を実施すればアイソレーション可能であるため、信頼性向上のためのバックアップの位置付けで整備する。

※3:1次主冷却系強制循環機能喪失の要因によっては、機能を復旧できる可能性があるため、自主対策として実施する。

※4:本操作を実施すれば炉心損傷を防止できるため、1次主冷却系(1ループ)による自然循環措置に加えて、信頼性向上のためのバックアップの位置付けで整備する。

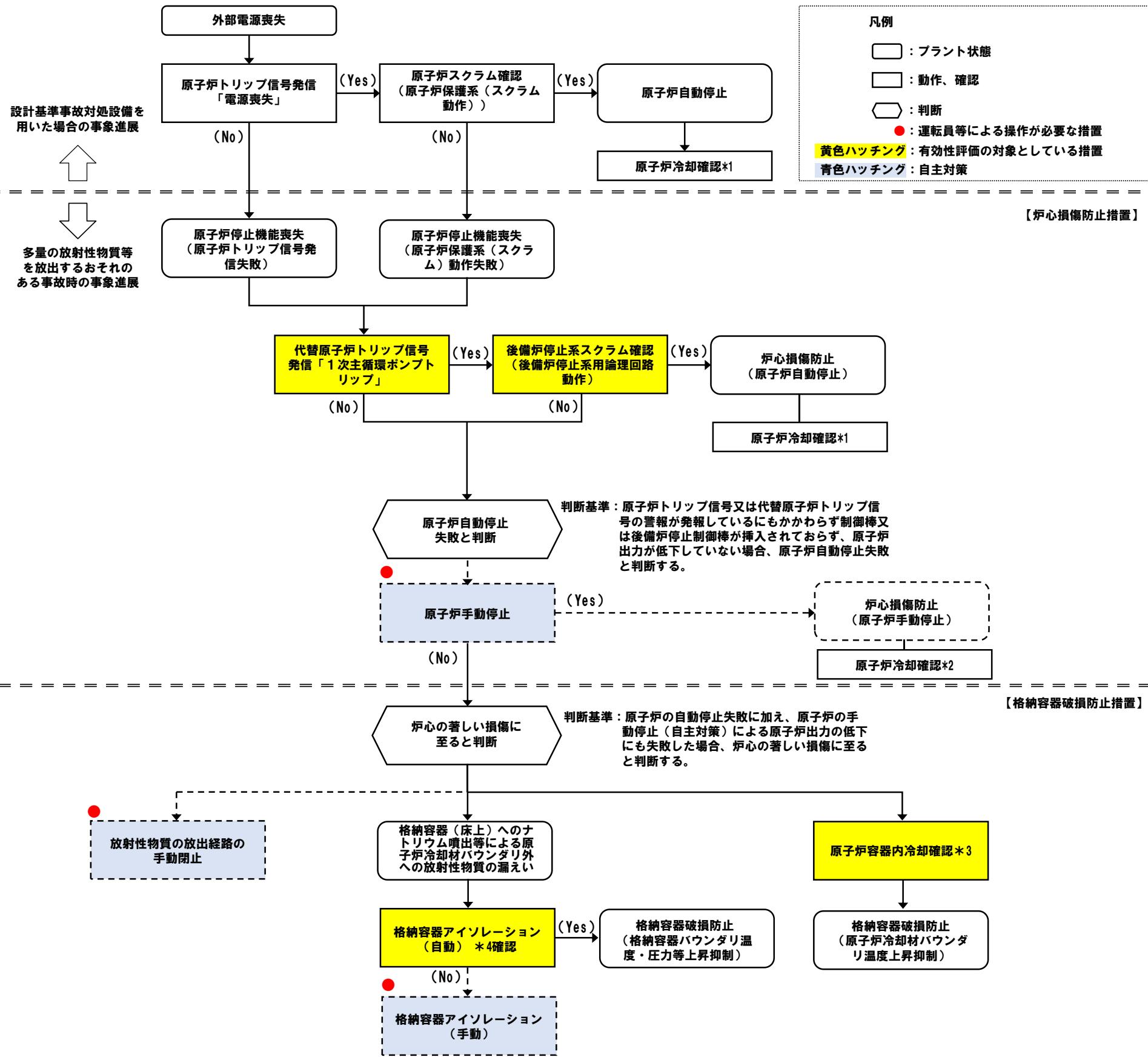
※5:全交流動力電源喪失時にあっても崩壊熱の除去に必要な機能は喪失しない設計とするが、全交流電源喪失が長期化し、駆動源や監視系の電源が枯渇した場合の対応の信頼性向上のために、主冷却機ベーンの手動操作手順の整備、仮設発電機等を用いた監視を実施する。

※6:ディーゼル発電機機能喪失の要因によっては、機能を復旧できる可能性があるため、自主対策として実施する。

炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置の手順及び資機材の概要

※：ULOF、UTOP及びULOHSを抜粋

炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置の手順及び資機材の概要（ULO-F）

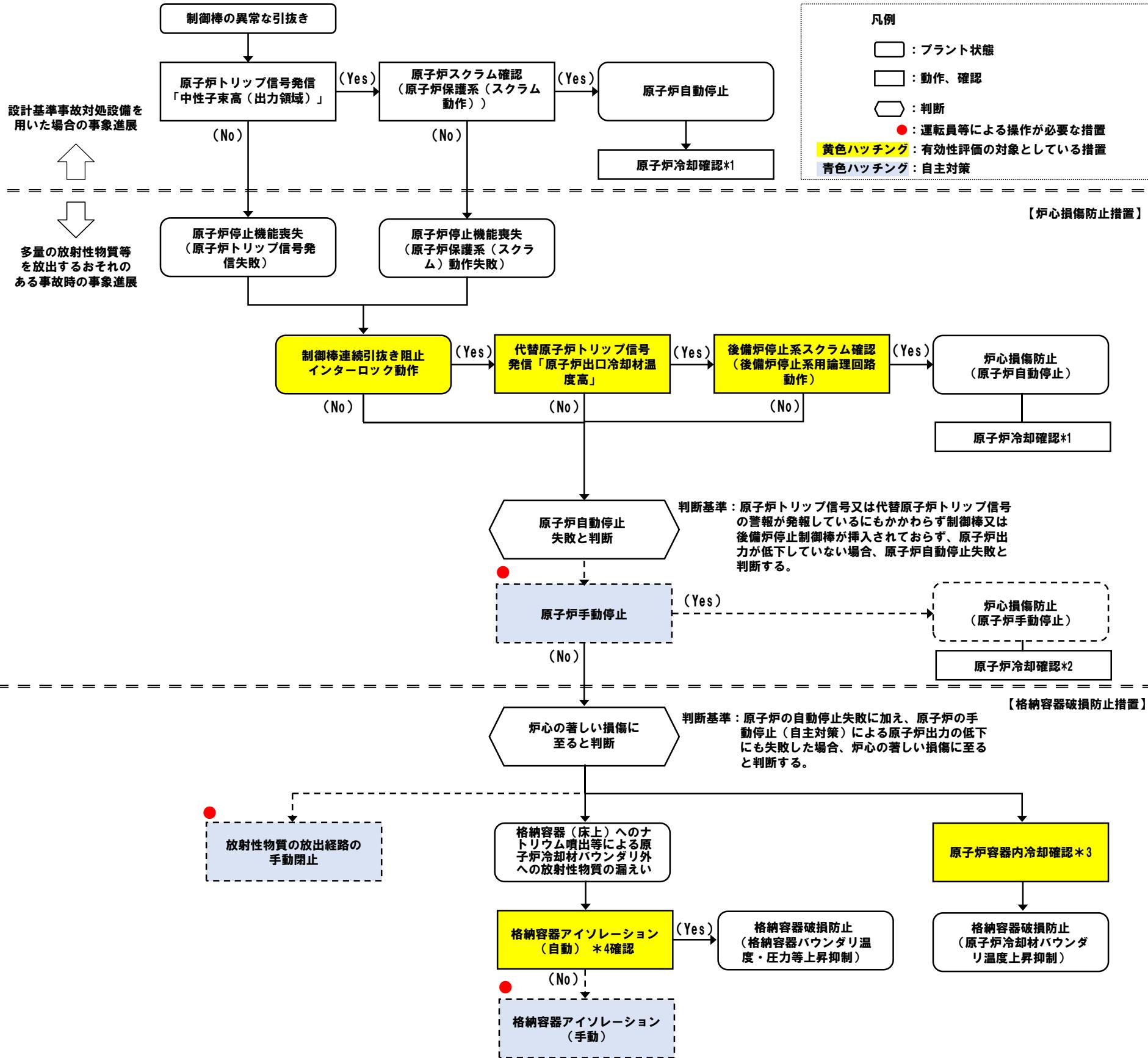


- 【設計基準事故対処設備及び手順】**
- 設計基準事故対処設備**
- 原子炉トリップ信号（「電源喪失」）
 - 安全保護回路
 - 制御棒
 - 原子炉停止後の除熱機能（MS-1）
- 関連する手順**
- 原子炉自動停止手順

- 【炉心損傷防止措置に係る主な手順及び資機材】**
- 資機材（下線：自主対策に係る資機材）**
- 代替原子炉トリップ信号（「1次主循環ポンプトリップ」）
 - 後備炉停止系用論理回路
 - 後備炉停止制御棒
 - 原子炉停止後の除熱機能（MS-1）
 - 手動スクラムボタン
 - 制御棒又は後備炉停止制御棒保持電磁石励磁スイッチ等
 - 制御棒又は後備炉停止制御棒駆動機構及び操作スイッチ
- 関連する手順（下線：自主対策に係る手順）**
- 後備炉停止系による原子炉自動停止手順
 - 原子炉手動停止手順

- 【格納容器破損防止措置に係る主な手順及び資機材】**
- 資機材（下線：自主対策に係る資機材）**
- 原子炉停止後の除熱機能（MS-1）
 - 回転プラグを含む原子炉容器構造
 - 格納容器構造（隔離弁の一部を含む。）
 - 1次アルゴンガス系隔離弁（排気側）
 - 手動アイソレーションボタン
- 関連する手順（下線：自主対策に係る手順）**
- 損傷炉心物質の原子炉容器内冷却手順（1次アルゴンガス系の排気ラインの隔離を含む。）
 - 格納容器アイソレーション手順（手動含む。）

*1: 炉心（健全）/1次主冷却系（強制循環：低流量）/2次主冷却系（自然循環）/主冷却機（自然通風）
 *2: 炉心（健全又は損傷）/1次主冷却系（強制循環：低流量）/2次主冷却系（自然循環）/主冷却機（自然通風）
 *3: 炉心（著しい損傷）/1次主冷却系（強制循環：低流量）/2次主冷却系（強制又は自然循環）/主冷却機（強制又は自然通風）
 *4: 炉心の著しい損傷、格納容器（床上）へのナトリウム噴出等により、格納容器内の圧力、温度及び床上放射能レベルが異常に上昇した場合

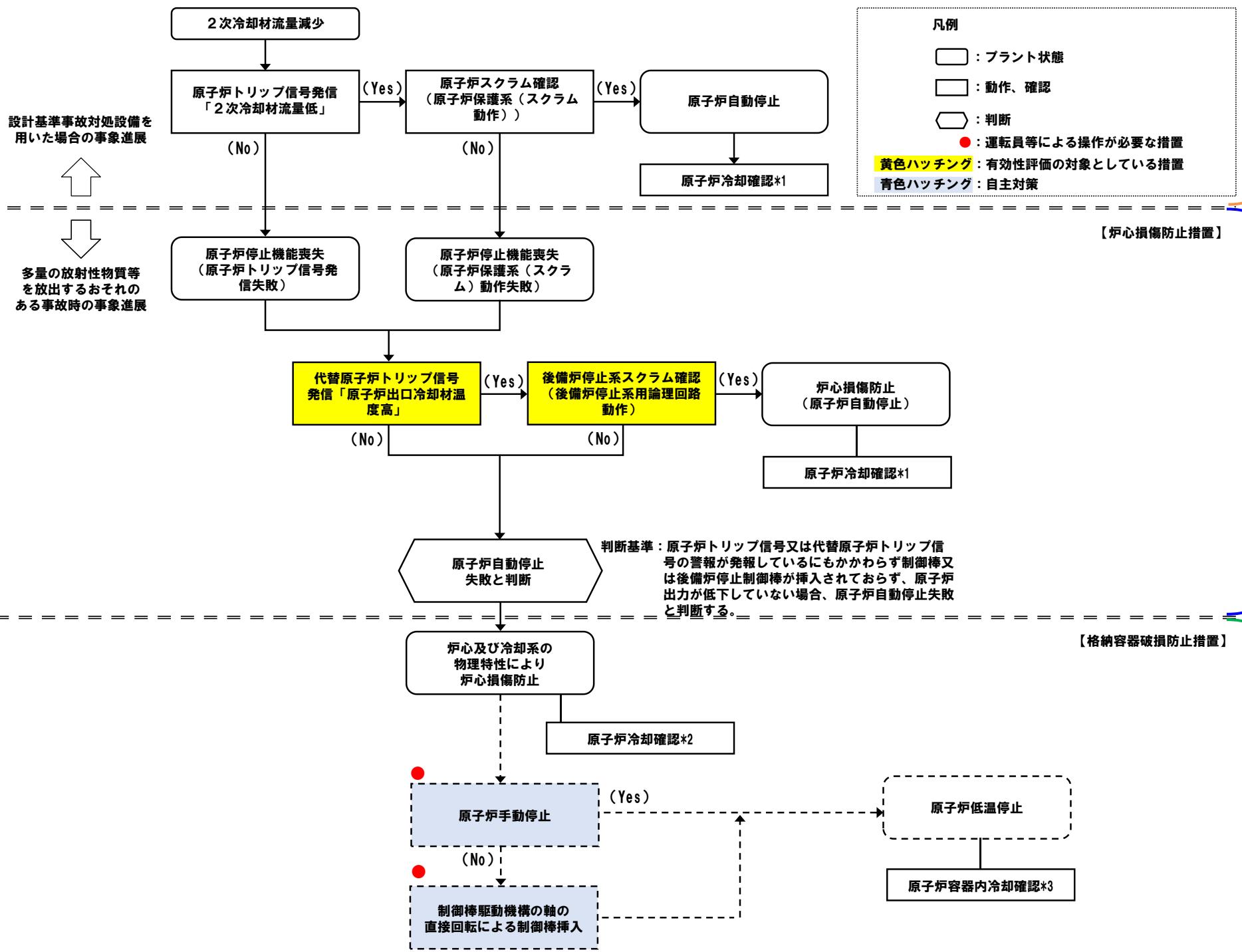


- 【設計基準事故対処設備及び手順】**
- 設計基準事故対処設備
- 原子炉トリップ信号（「中性子束高（出力領域）」）
 - 安全保護回路
 - 制御棒
 - 原子炉停止後の除熱機能（MS-1）
- 関連する手順
- 原子炉自動停止手順

- 【炉心損傷防止措置に係る主な資機材及び手順】**
- 資機材（下線：自主対策に係る資機材）
- 代替原子炉トリップ信号
 - 後備炉停止系用論理回路
 - 後備炉停止制御棒
 - 制御棒連続引抜き阻止インターロック
 - 原子炉停止後の除熱機能（MS-1）
 - 手動スクラムボタン
 - 制御棒又は後備炉停止制御棒保持電磁石励磁スイッチ等
 - 制御棒又は後備炉停止制御棒駆動機構及び操作スイッチ
- 関連する手順（下線：自主対策に係る手順）
- 後備炉停止系による原子炉自動停止手順
 - 原子炉手動停止手順

- 【格納容器破損防止措置に係る主な資機材及び手順】**
- 資機材（下線：自主対策に係る資機材）
- 1次主冷却系（強制循環：主電動機/ポニーモータ）
 - 2次主冷却系（強制循環：電動機/自然循環）
 - 主冷却機（強制通風：主送風機/自然通風）
 - 回転プラグを含む原子炉容器構造
 - 格納容器構造（隔離弁の一部を含む。）
 - 1次アルゴンガス系隔離弁（排気側）
 - 手動アイソレーションボタン
- 関連する手順（下線：自主対策に係る手順）
- 損傷炉心物質の原子炉容器内冷却手順（1次アルゴンガス系の排気ラインの隔離を含む。）
 - 格納容器アイソレーション手順（手動含む。）

*1: 炉心（健全）/1次主冷却系（強制循環：低流量）/2次主冷却系（自然循環）/主冷却機（自然通風）
 *2: 炉心（健全又は損傷）/1次主冷却系（強制循環：定格又は低流量）/2次主冷却系（自然循環）/主冷却機（自然通風）
 *3: 炉心（著しい損傷）/1次主冷却系（強制循環：定格又は低流量）/2次主冷却系（強制又は自然循環）/主冷却機（強制又は自然通風）
 *4: 炉心の著しい損傷、格納容器（床上）へのナトリウム噴出等により、格納容器内の圧力、温度及び床上放射能レベルが異常に上昇した場合



【設計基準事故対処設備及び手順】

設計基準事故対処設備

- 原子炉トリップ信号（「2次冷却材流量低」）
- 安全保護回路
- 制御棒
- 原子炉停止後の除熱機能（MS-1）

関連する手順

- 原子炉自動停止手順

【炉心損傷防止措置に係る主な資機材及び手順】

資機材（下線：自主対策に係る資機材）

- 代替原子炉トリップ信号（「原子炉出口冷却材温度高」）
- 後備炉停止系用論理回路
- 後備炉停止制御棒
- 原子炉停止後の除熱機能（MS-1）
- 手動スクラムボタン
- 制御棒又は後備炉停止制御棒保持電磁石励磁スイッチ等
- 制御棒又は後備炉停止制御棒駆動機構及び操作スイッチ

関連する手順（下線：自主対策に係る手順）

- 後備炉停止系による原子炉自動停止手順
- 原子炉手動停止手順

【格納容器破損防止措置に係る主な資機材及び手順】

資機材（下線：自主対策に係る資機材）

- 1次主冷却系（強制循環：主電動機/ポニーモータ）
- 2次主冷却系（自然通風）
- 主冷却機（自然通風）
- 制御棒駆動機構の軸の直接回転に必要な治具

関連する手順（下線：自主対策に係る手順）

- 原子炉自動停止失敗時手順（除熱源喪失時）
- 制御棒駆動機構の軸の直接回転手順

*1: 炉心（健全）/1次主冷却系（強制循環：低流量）/2次主冷却系（自然循環）/主冷却機（自然通風）
 *2: 炉心（健全）/1次主冷却系（強制循環：定格）/2次主冷却系（自然循環）/主冷却機（自然通風）
 *3: 炉心（健全）/1次主冷却系（強制循環：低流量）/2次主冷却系（自然循環）/主冷却機（自然通風）

炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置に係る手順

※：ULOF、UTOP及びULOHSを抜粋

－後備炉停止系による原子炉自動停止手順－

手順	判断等に用いるパラメータ	備考
① 異常事象が発生した場合、当直長は、運転員に原子炉スクラム（自動停止）状況の確認を指示する。		
② 運転員（中央制御室）は、「a. 原子炉トリップ信号の発信及び原子炉スクラム（自動停止）」又は「b. 代替原子炉トリップ信号の発信及び後備炉停止系による原子炉スクラム（自動停止）」を確認するとともに、「c. 原子炉出力の低下」を確認、監視する。	a. について ・ 原子炉トリップ信号警報 ・ 原子炉スクラム警報 b. について ・ 代替原子炉トリップ信号警報 ・ 原子炉スクラム警報 c. について ・ 核計装（線形出力系）指示値 ・ 核計装（起動系）指示値	※ 本操作は、運転員1名で実施
②' 上記②において、原子炉トリップ信号又は代替原子炉トリップ信号に係るパラメータが原子炉スクラム（自動停止）の条件を満たしているにもかかわらず制御棒又は後備炉停止制御棒が挿入されておらず、原子炉出力が低下していない場合、当直長は、原子炉自動停止失敗と判断し、運転員に原子炉手動停止手順への着手を指示する。【自主対策】	・ 原子炉トリップ信号又は代替原子炉トリップ信号に係るパラメータ指示値 ・ 核計装（線形出力系）指示値	※ 原子炉手動停止に係る手順は、「原子炉手動停止手順」に示す。
③ 運転員（中央制御室）は、原子炉スクラム（自動停止）後の冷却系の状態を確認、監視する。 ・ 冷却系の状態 1次主冷却系：強制循環（低流量） 2次主冷却系：自然循環 主冷却機：自然通風	1次主冷却系について ・ 1次主冷却系流量指示値 ・ 原子炉容器出入口冷却材温度指示値 2次主冷却系について ・ 2次主冷却系流量指示値 主冷却機について ・ 主冷却器出入口冷却材温度指示値	※ 本操作は、運転員2名で実施

－原子炉手動停止手順【自主対策】－

手順	判断等に用いるパラメータ	備考
<p>① 異常事象が発生した際に、原子炉トリップ信号又は代替原子炉トリップ信号に係るパラメータが原子炉スクラム（自動停止）の条件を満たしているにもかかわらず制御棒又は後備炉停止制御棒が挿入されておらず、原子炉出力が低下していない場合、当直長は、原子炉自動停止失敗と判断し、運転員に原子炉手動停止手順への着手を指示する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉トリップ信号又は代替原子炉トリップ信号に係るパラメータ指示値 ・ 核計装（線形出力系）指示値 	
<p>② 運転員（中央制御室）は、以下の順に原子炉手動停止操作を実施する。</p> <p>a. 手動スクラムボタンを押し、原子炉保護系（スクラム）を動作させる。</p> <p>b. 励磁制御棒全数スイッチの切り、各制御棒又は後備炉停止制御棒の励磁スイッチの切り、若しくは各制御棒又は後備炉停止制御棒の励磁電源スイッチを切りとする。</p> <p>c. 各制御棒又は後備炉停止制御棒の駆動機構スイッチを挿入として個別に挿入する。</p>		<p>※ 本操作は、炉心の著しい損傷の防止に間に合わない場合でも、原子炉の出力を低下させ、影響を緩和する手段となり得るため、炉心の状態によらず実施する。</p> <p>※ 本操作は、運転員1名で実施</p>
<p>③ 運転員（中央制御室）は、原子炉手動停止後の冷却系の状態を確認、監視する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 冷却系の状態 <ul style="list-style-type: none"> 1次主冷却系：強制循環（定格又は低流量） 2次主冷却系：強制又は自然循環 主冷却機：強制又は自然通風 	<p>1次主冷却系について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1次主冷却系流量指示値 ・ 原子炉容器出入口冷却材温度指示値 <p>2次主冷却系について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2次主冷却系流量指示値 <p>主冷却機について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 主冷却器出入口冷却材温度指示値 	<p>※ 本操作は、運転員2名で実施</p> <p>※ ②のb. 又はc. の操作による場合、冷却系は操作前の状態を維持</p>

炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止に係る手順

－ 損傷炉心物質の原子炉容器内冷却手順（【自主対策】を含む。）－

手順	判断等に用いるパラメータ	備考
<p>① 炉心流量喪失又は過出力に至る異常事象が発生し、原子炉の自動停止の失敗に加え、原子炉の手動停止【自主対策】による原子炉出力の低下に失敗した場合、当直長は、炉心の著しい損傷に至ると判断し、運転員に損傷炉心物質の原子炉容器内冷却手順等への着手を指示する。</p>		
<p>② 運転員（中央制御室）は、冷却系の状態により損傷炉心物質が原子炉容器内で冷却されていることを確認、監視するとともに冷却系の温度を速やかに低下させる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 冷却系の状態（炉心流量喪失時） <ul style="list-style-type: none"> 1次主冷却系：強制循環（低流量） 2次主冷却系：強制又は自然循環 主冷却機：強制又は自然通風 ・ 冷却系の状態（過出力時） <ul style="list-style-type: none"> 1次主冷却系：強制循環（定格又は低流量） 2次主冷却系：強制又は自然循環 主冷却機：強制又は自然通風 	<p>1次主冷却系について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1次主冷却系流量指示値 ・ 原子炉容器出入口冷却材温度指示値 <p>2次主冷却系について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2次主冷却系流量指示値 <p>主冷却機について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 主冷却器出入口冷却材温度指示値 	<p>※ 本操作は、運転員2名で実施</p>
<p>③ 運転員（中央制御室）は、格納容器内の状態を監視するとともに、格納容器内の温度、圧力又は放射能レベルが原子炉保護系（アイソレーション）の作動設定値に達した場合、格納容器アイソレーションに至ることを確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 格納容器内温度指示値、高警報 ・ 格納容器内圧力指示値、高警報 ・ 格納容器内床上線量率指示値、高警報 	<p>※ 本操作は、運転員1名で実施</p> <p>※ 格納容器アイソレーションに係る手順は、「格納容器アイソレーション手順」に示す。</p>
<p>④ 運転員（中央制御室）は、1次アルゴンガス系の排気ラインの隔離弁を「閉」とする。【自主対策】</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 隔離弁の状態表示灯 	<p>※ 本操作は、運転員1名で実施</p>

－原子炉自動停止失敗時の手順（除熱源喪失時）－

手順	判断等に用いるパラメータ	備考
<p>① 除熱源喪失に至る異常事象が発生し、原子炉トリップ信号又は代替原子炉トリップ信号に係るパラメータが原子炉スクラム（自動停止）の条件を満たしているにもかかわらず制御棒又は後備炉停止制御棒が挿入されておらず、原子炉出力が低下していない場合、当直長は、原子炉自動停止失敗と判断し、運転員に原子炉自動停止失敗時の手順（除熱源喪失）への着手を指示する。</p>		
<p>② 運転員（中央制御室）は、原子炉自動停止失敗後の冷却系の状態を確認、監視する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 冷却系の状態 <ul style="list-style-type: none"> 1次主冷却系：強制循環（定格） 2次主冷却系：自然循環 主冷却機：自然通風 	<p>1次主冷却系について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1次主冷却系流量指示値 ・ 原子炉容器出入口冷却材温度指示値 <p>2次主冷却系について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2次主冷却系流量指示値 <p>主冷却機について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 主冷却器出入口冷却材温度指示値 	<p>※ 本操作は、運転員2名で実施</p>
<p>③ 運転員（中央制御室）は、原子炉手動停止手順に着手する。</p>		<p>※ 原子炉手動停止に係る手順は、「原子炉手動停止手順」に示す。</p>
<p>④ 上記③において、原子炉手動停止ができなかった場合、現場対応班長は、制御棒駆動機構の軸の直接回転による挿入手順の着手を指示する。</p>		<p>※ 制御棒駆動機構の軸の直接回転による挿入に係る手順は、「制御棒駆動機構の軸の直接回転手順」に示す。</p>

炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止に係る手順

－格納容器アイソレーション手順（【自主対策】を含む。）－

手順	判断等に用いるパラメータ	備考
<p>① 当直長は、炉心の著しい損傷に至ると判断した場合等、格納容器内の温度、圧力又は放射能レベルが上昇するおそれがある場合、運転員にこれらの監視の強化を指示する。</p>		
<p>② 運転員（中央制御室）は、格納容器内の状態を監視するとともに、格納容器内の温度、圧力又は放射能レベルが原子炉保護系（アイソレーション）の作動設定値に達した場合、原子炉保護系（アイソレーション）が動作し、自動で格納容器アイソレーションに至ることを確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 格納容器内温度指示値、高警報 ・ 格納容器内圧力指示値、高警報 ・ 格納容器内床上線量率指示値、高警報 ・ 隔離弁の状態表示灯 	<p>※ 本操作は、運転員1名で実施</p>
<p>②' 上記②において、自動で格納容器アイソレーションに至らない場合、運転員（中央制御室）は、以下の順で手動アイソレーションを実施する。 【自主対策】</p> <p>a. 手動アイソレーションボタンを押し、原子炉保護系アイソレーションを動作させる。</p> <p>b. 個別の隔離弁の操作スイッチを「閉」とする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 隔離弁の状態表示灯 	<p>※ 本操作は、運転員1名で実施</p>

－制御棒駆動機構の軸の直接回転手順【自主対策】－

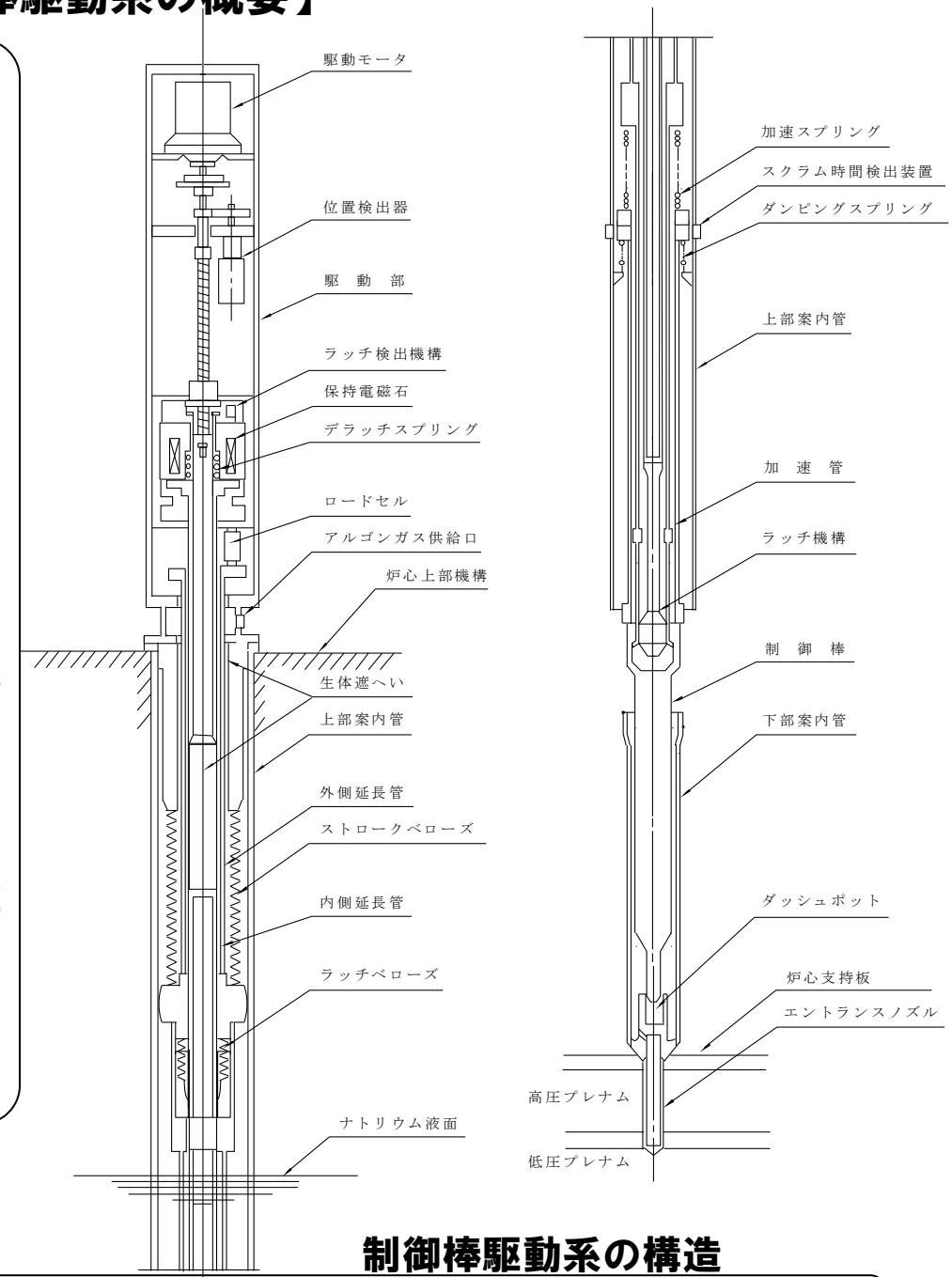
手順	判断等に用いるパラメータ	備考
① 除熱源喪失に至る異常事象が発生し、原子炉自動停止の失敗に加え、原子炉手動停止に失敗した場合、現場対応班長は、現場対応班員に制御棒駆動機構の軸の直接回転手順への着手を指示する。		
② 現場対応班員（格納容器（床上））は、原子炉上部の線量率を測定し、異常がないことを確認する。		※ ②～③の手順は、現場対応班員5名で実施する。 ※ 現場対応班員の被ばくを防止するための防護措置を講じる。
③ 現場対応班員（格納容器（床上））は、以下の手順で制御棒駆動機構の中間部上ハウジングを切り離し、制御棒を手動で挿入する。 <ul style="list-style-type: none"> a. 駆動部の電源を遮断し、電源ケーブルを切り離す。 b. 駆動部ハウジング内の加圧ガスを停止する。 c. 駆動部の中間部上ハウジングを切り離す。 d. 駆動部の駆動軸に手動ハンドルを取り付ける。 e. 手動ハンドルを時計まわりに回転させ、延長管を下降（制御棒を挿入）させる。 f. 駆動部が完全に挿入されたことを下端表示灯により確認する。 		※ 本操作に当たって、運転員（中央制御室）は、原子炉出力等の監視を強化し、異常が生じた場合には、現場対応班員に連絡する。

炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置に係る資機材

原子炉停止機能（1/8）

【制御棒及び制御棒駆動系並びに後備炉停止制御棒及び後備炉停止制御棒駆動系の概要】

- 独立した4式の制御棒及び制御棒駆動系を設置
制御棒4本を炉心第3列に配置
- 独立した2式の後備炉停止制御棒及び後備炉停止制御棒駆動系を設置
後備炉停止制御棒2本を炉心第5列に配置
- 原子炉スクラム時には、保持電磁石励磁断により、制御棒がデラッチ
制御棒は、自重で落下するとともにスプリングにより加速されて炉心に落下・挿入され、原子炉は停止（バネ加速重力落下方式）
- 後備炉停止系は、主炉停止系による原子炉停止が不能の場合でも、原子炉を停止するように設計
- 原子炉スクラムに必要な機能（バネ加速重力落下方式）は、炉心の反応度（原子炉の出力）を制御するために使用する機能（ボールナットスクリュ方式）の故障が発生した場合においても動作可能
- スクラム時挿入時間は、保持電磁石励磁断から反応度価値90%挿入までが0.8秒以下となるように設計（本原子炉施設では、異常事象発生時の事象進展が速いため、制御棒による速やかな反応度投入が必要）
- 制御棒及び後備炉停止制御棒は、基準地震動 S_0 の設計用地震波に基づく最大想定変位時においても十分な余裕をもって挿入できるように設計



制御棒駆動系の構造

【関連設備】

- 後備炉停止系用論理回路
原子炉保護系の論理回路とは別の論理回路を新設し、論理回路の動作に係る多様性及び独立性を確保
- 制御棒連続引抜き阻止インターロック
出力運転中に、制御棒の連続引抜き時間が3秒（有効性評価では連続引抜き時間として4秒を設定）となると、引抜きを自動的に阻止するタイマーリレーを新設し、「原子炉出口冷却材温度高」によるトリップ信号の発信まで出力が過度に上昇することを防止
- これらの設備は、基準地震動による地震力に対して機能を喪失しないように整備、また、非常用電源設備より給電

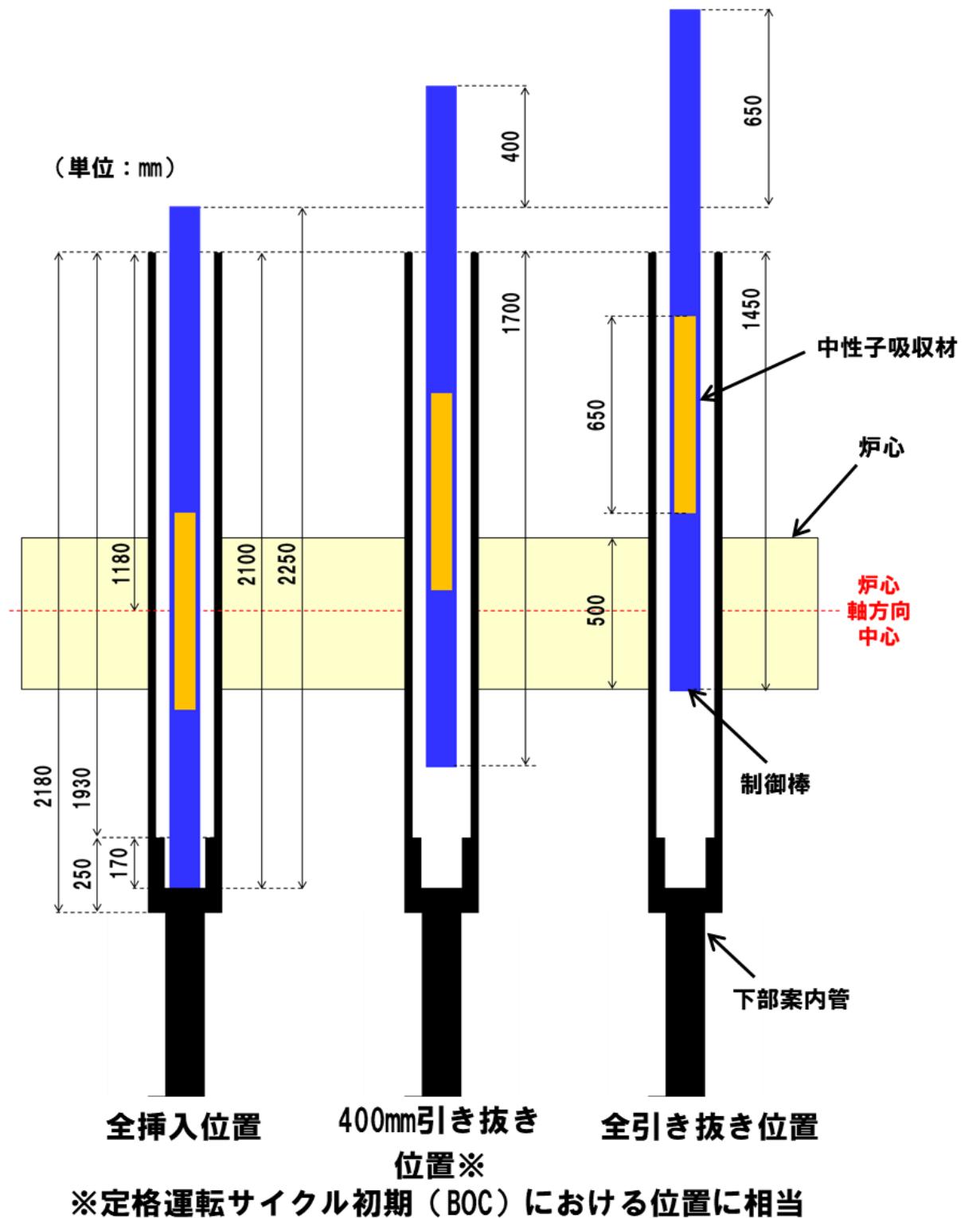
【原子炉停止システムの構造概要】

制御棒（後備炉停止制御棒含む。）
が全引き抜き位置にあっても、
60%以上が下部案内管内部に位置



- 制御棒の下方に、制御棒の下降を阻害するものは存在しない。
- 制御棒下部案内管は、他の集合体とは独立して設置され、制御棒の落下・挿入をガイドする役割を果たす。

駆動ストローク：約65cm



制御棒と制御棒下部案内管の相対位置関係

【原子炉停止システムの急速挿入失敗の原因として想定される共通原因故障 (1/3) -全体概要-】

① 原子炉トリップ信号

【設計基準】 1種類の原子炉トリップ信号に対して、それぞれ独立した検出器を複数設けることで、原子炉トリップ信号発信に係る独立性及び多重性を確保
 【BDBA】 設計基準事故対処設備とは別の検出器により、原子炉トリップ信号発信に係る多様性及び独立性を確保

② 安全保護回路

【設計基準】 原子炉保護系（スクラム）の論理回路は、それぞれ独立した2台を設けることで、ロジック回路の作動に係る独立性及び多重性を確保
 【BDBA】 設計基準事故対処設備とは別の後備炉停止系用論理回路を設け、後備炉停止系用論理回路からのトリップ遮断器を設けることで、論理回路の作動に係る多様性及び独立性を確保

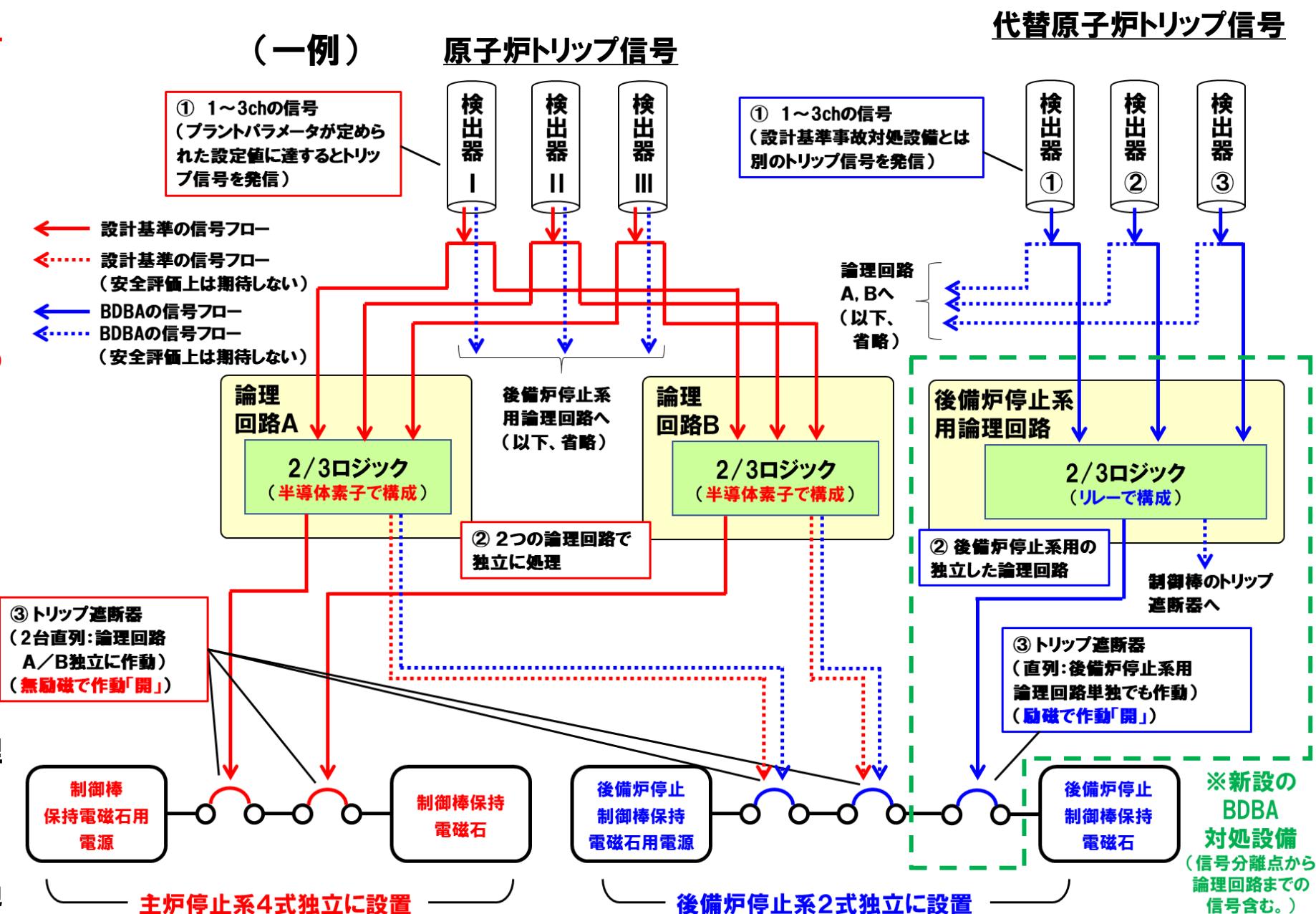
③ 制御棒の急速挿入

制御棒等の保持電磁石用電源は、論理回路に対応してトリップ遮断器を設けることで、制御棒等の切離しに係る独立性及び多重性を確保
 また、制御棒等の急速挿入に係る共通原因故障の防止対策を講じ、必要な信頼性を確保

- 原子炉停止に係る施設は独立性及び多重性を確保しており、単一故障を想定しても、停止機能を喪失することはない、必要な信頼性を確保
- 運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故では、主炉停止系の反応度価値の最も大きな制御棒一本が全引き抜き位置に固着した場合を想定し、主炉停止系のみで原子炉を安全に停止できることを確認
- BDBAでは、後備炉停止系の急速挿入のみで炉心損傷を防止できることを確認

※ 「BDBA」：多量の放射性物質等を放出するおそれのある事故

第403回核燃料施設等の新規規制基準適合性に関する審査会合：資料-1の内容に同じ



【原子炉停止システムの急速挿入失敗の原因として想定される共通原因故障（2/3）-原子炉トリップ信号の多様化の確保-】

- 設計基準事故対処設備として考慮した原子炉トリップ信号^{※2}の発信失敗を想定したとしても、残された既設の原子炉トリップ信号を活用することにより、選定した異常事象の全てに対して独立で多様な代替原子炉トリップ信号^{※4}を確保

既設の原子炉保護系の作動項目	過渡・事故事象 ^{※1}	設計基準事故対処設備 (原子炉トリップ信号 ^{※2})	BDBAの事象Gr ^{※3}	BDBA対処設備 (代替原子炉トリップ 信号 ^{※4})	第3信号
中性子束高（出力領域）	未臨界状態からの制御棒の異常な引抜き 出力運転中の制御棒の異常な引抜き 主冷却器空気流量の増大	中性子束高（出力領域）	過出力時 原子炉停止機能喪失	原子炉出口冷却材温度高	手動スクラム
中性子束高（中間領域／起動領域）	—	—	—	—	—
炉周期短（中間領域／起動領域）	—	—	—	—	—
原子炉出口冷却材温度高	—	—	—	—	—
原子炉入口冷却材温度高	主冷却器空気流量の減少 2次冷却材漏えい事故 主送風機風量瞬時低下事故	原子炉入口冷却材温度高	除熱源喪失時 原子炉停止機能喪失	原子炉出口冷却材温度高	2次主循環ポンプトリップ、手動スクラム
1次冷却材流量低	1次冷却材流量減少 1次主循環ポンプ軸固着事故	1次冷却材流量低	炉心流量喪失時 原子炉停止機能喪失	1次主循環ポンプトリップ	原子炉出口冷却材温度高、手動スクラム
2次冷却材流量低	2次冷却材流量減少 2次主循環ポンプ軸固着事故	2次冷却材流量低	除熱源喪失時 原子炉停止機能喪失	原子炉出口冷却材温度高	2次主循環ポンプトリップ、手動スクラム
炉内ナトリウム液面低	1次冷却材漏えい事故	炉内ナトリウム液面低	炉心流量喪失時 原子炉停止機能喪失	1次主循環ポンプトリップ	原子炉出口冷却材温度高、手動スクラム
炉内ナトリウム液面高	—	—	—	—	—
1次主循環ポンプトリップ	—	—	—	—	—
2次主循環ポンプトリップ	—	—	—	—	—
電源喪失	外部電源喪失	電源喪失	炉心流量喪失時 原子炉停止機能喪失	1次主循環ポンプトリップ	2次主循環ポンプトリップ、手動スクラム
手動スクラム	—	—	—	—	—

※1：原子炉保護系の作動設定値に至らないものを除く

※2：既設の原子炉トリップ信号のうち、設計基準事故対処設備として考慮（「過渡変化の解析」及び「事故経過の解析」において考慮）する信号

※3：原子炉停止機能の喪失を想定する事象Grに対して整理

※4：既設の原子炉トリップ信号のうち炉心損傷防止措置として考慮する信号

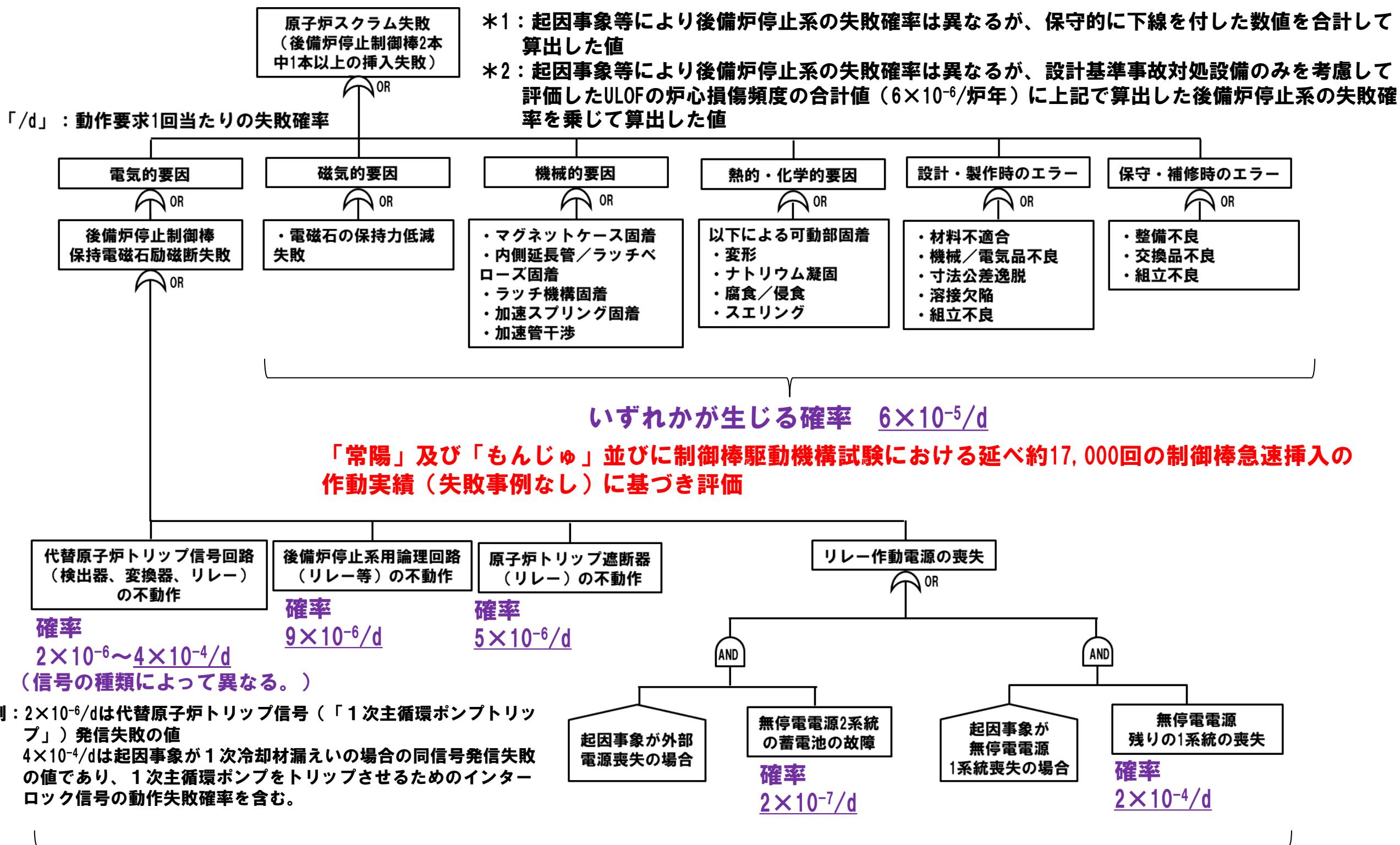
【原子炉停止システムの急速挿入失敗の原因として想定される共通原因故障（3/3） -要因・故障例・防止対策のまとめ-】

分類		具体的な故障例	防止対策
内的事象	機械的要因	<ul style="list-style-type: none"> ・ マグネットケース固着 ・ 内側延長管／ラッチペローズ固着 ・ ラッチ機構固着 ・ 加速スプリング固着／加速管干渉（自重による落下） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実績に基づく構造信頼性の確保 ・ 使用前の検査等による性能確認
	熱的・化学的要因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 変形による可動部固着 ・ ナトリウム凝固による可動部固着 ・ 腐食／侵食による可動部固着 ・ スエリングによる可動部固着 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製作時の材料管理／寸法管理 ・ 間隙部へのナトリウム凝固防止設計 ・ 高温配置によるナトリウム凝固防止設計 ・ ナトリウム純度管理 ・ 照射量管理
	電氣的・磁氣的要因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保持電磁石励磁断失敗 ・ 電磁石の保持力低減失敗 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保持電磁石励磁断の多重化 ・ 保持電磁石の適切な設計 ・ 使用前の検査等による性能確認 ・ フェイルセーフ設計
	設計・製作時のエラー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 材料不適合、機械／電気品不良 ・ 寸法公差逸脱、溶接欠陥、組立不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実績に基づく設計・製作の信頼性の確保 ・ 使用前の検査等による性能確認
	保守・補修時のエラー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 整備不良、交換品不良、組立不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実績に基づく保守・補修の信頼性の確保 ・ 使用前の検査等による性能確認
外的事象	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震による制御棒挿入阻害 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震時の挿入性を確保
	その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自然現象（地震以外）による制御棒挿入阻害 ・ 自然現象による外部電源喪失 ・ 自然現象による外部火災他 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外殻施設（建物）による防護 ・ フェイルセーフ設計

内的事象起因の機械的な共通原因故障に対しては上記の防止対策を講じる設計とし、外的事象のうち機械的な影響が大きいと考えられる地震による共通原因故障に対しては、基準地震動を一定程度超えた範囲まで制御棒の挿入性が確保されるよう設計する。本設計により、想定すべき故障は偶発故障となり、後備炉停止系による制御棒の多重化により必要な信頼性が確保できる。

【フォールトツリーによる後備炉停止系の失敗確率の評価】

- 後備炉停止系の偶発故障による失敗確率は、 $7 \times 10^{-4}/d^{*1}$ と十分に低く、高い信頼性を確保
- 後備炉停止系によって、ULOFの炉心損傷頻度は、約 $6 \times 10^{-6}/\text{炉年}$ から約 $4 \times 10^{-9}/\text{炉年}^{*2}$ となり、十分に低く抑制



構成機器は高速炉特有の機器でなく、発電炉と同様の信頼性を有すると評価

【後備炉停止系等を考慮したPRAによる事象グループULOF、UTOP及びULOHSの発生頻度の評価】

設計基準事故対処設備に加えて後備炉停止系等の炉心損傷防止措置を考慮した内部事象出力運転時レベル1PRAにより原子炉停止機能喪失に係る事象グループULOF、UTOP及びULOHSの発生頻度を後備炉停止系の失敗確率が起
因事象及び主炉停止系の失敗要因に依存することも適切に考慮して評価

原子炉停止機能喪失に係る 事象グループ	発生頻度 (/炉年)
ULOF	1.1×10^{-10}
UTOP	2.5×10^{-11}
ULOHS	2.6×10^{-10}
合計	4.0×10^{-10}

【実用発電用原子炉における類似の評価との比較】

国内の実用発電用原子炉のうち、制御棒を重力によって炉心へ挿入する点が「常陽」と類似する加圧水型軽水炉（PWR）を対象に、シビアアクシデント対策を考慮したPRAによって評価された炉心損傷頻度のうち、原子炉停止機能喪失によるものを調査した。

平成29年7月から令和2年5月までの期間に届出のあったPWRの安全性向上評価届出書を参照した結果、シビアアクシデント対策を考慮した内部事象出力運転時の事故シーケンスグループ別炉心損傷頻度において、事故シーケンスグループ「原子炉停止機能喪失」の炉心損傷頻度は、 10^{-9} /炉年程度であった。

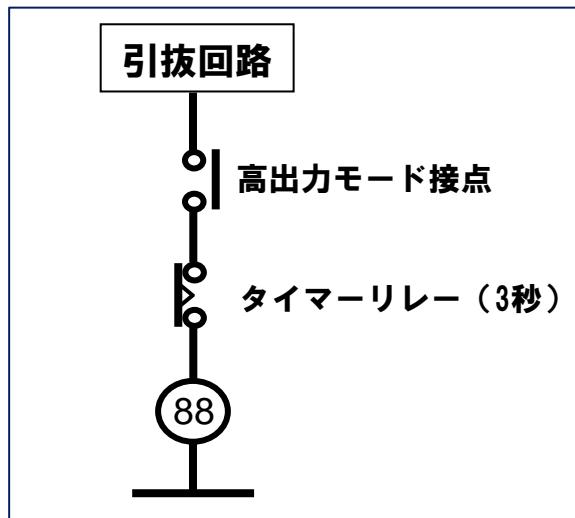
「常陽」における原子炉停止機能喪失に係る事象グループULOF、UTOP及びULOHSの発生頻度の合計値は、後備炉停止系等の炉心損傷防止措置を考慮した場合、約 4×10^{-10} /炉年であり、シビアアクシデント対策を考慮したPWRの事故シーケンスグループ「原子炉停止機能喪失」の炉心損傷頻度と同様に低い水準に抑制されている。

【制御棒連続引抜き阻止インターロック】

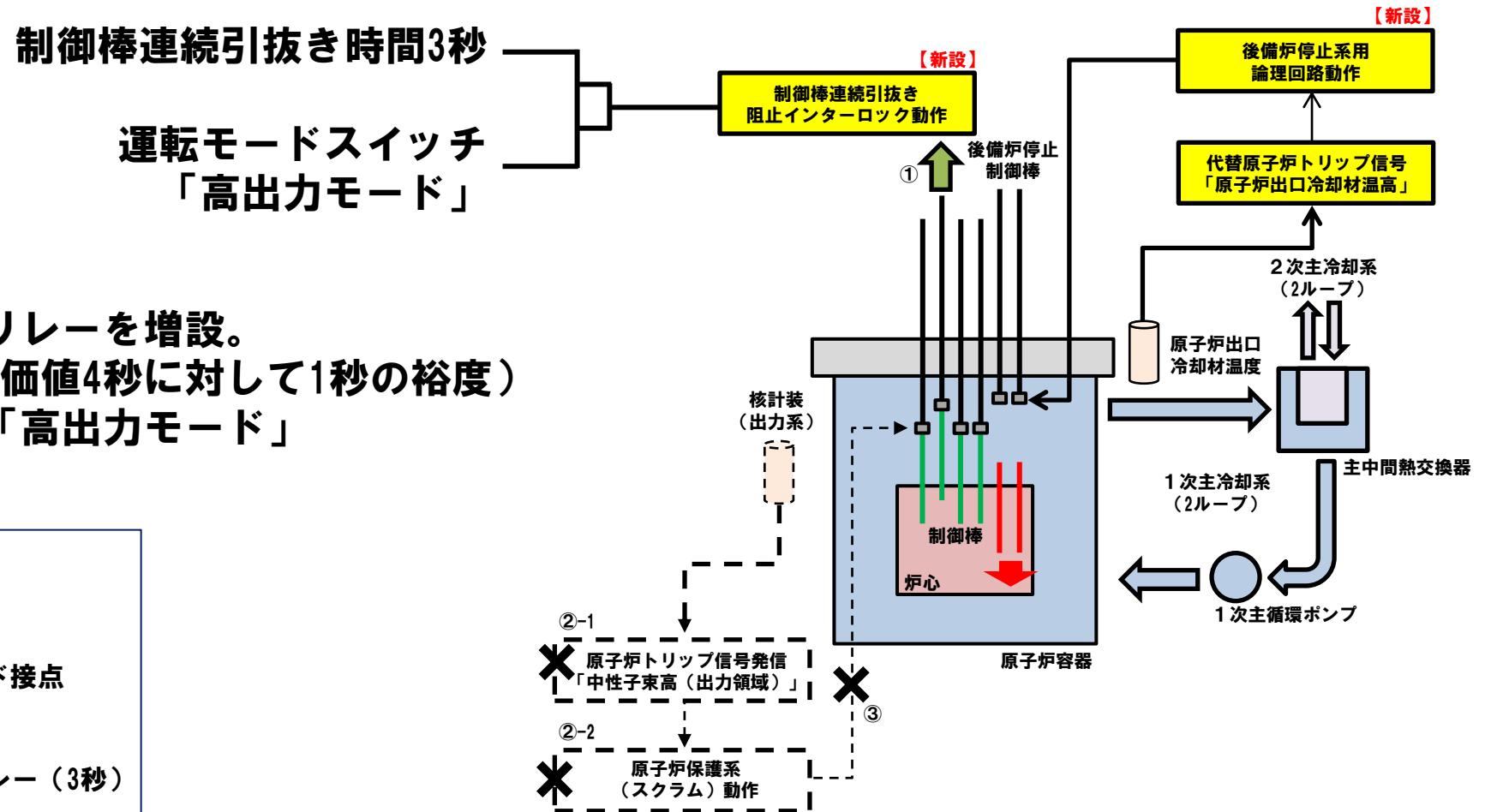
- ・出力運転中に、制御棒の連続引抜き時間が3秒となると、引抜きを自動的に阻止するタイマーリレー（約3秒）を設けることにより、UTOP有効性評価で設定する連続引抜き時間4秒を超えない設計とする。
- ・制御棒駆動機構駆動回路と同じ非常用電源設備より給電するものとする。

【基本設計】

基本構成：引抜回路にタイマーリレーを増設。
 設定：タイマー設定3秒（評価値4秒に対して1秒の裕度）
 作動条件：運転モードスイッチ「高出力モード」
 待機条件：限時動作b接点



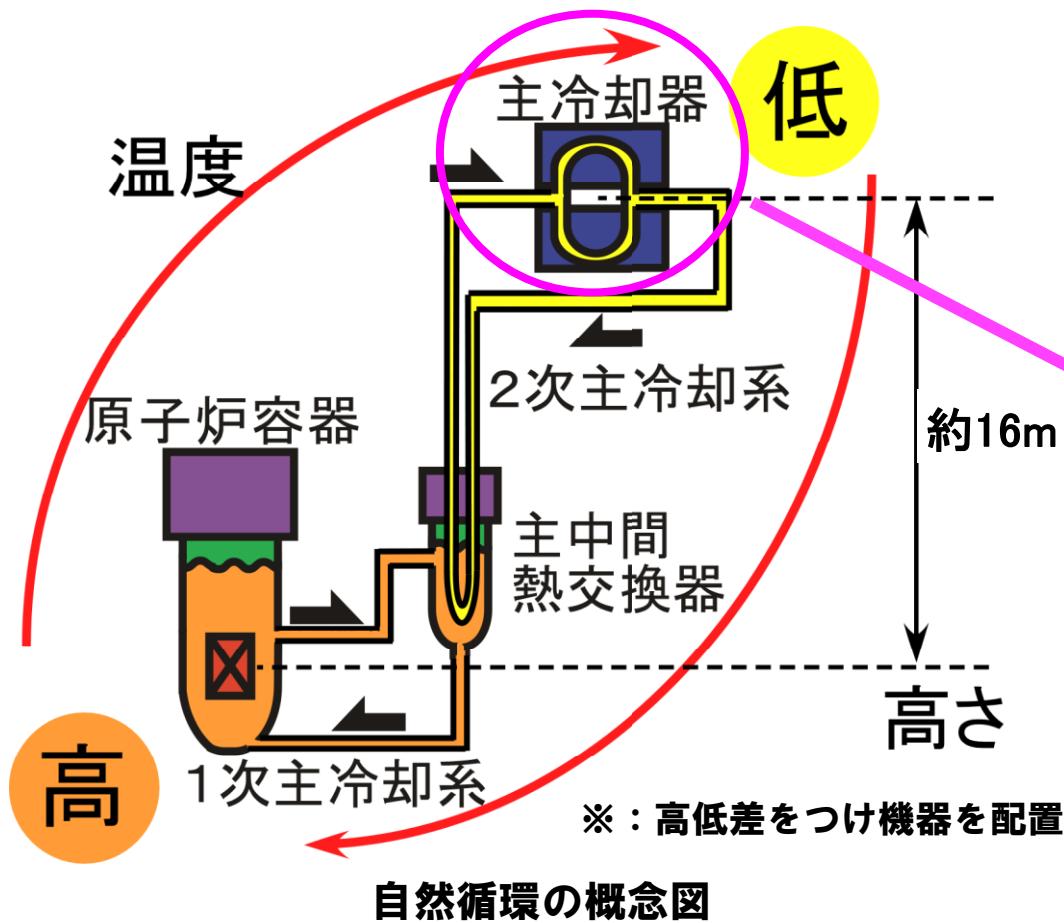
制御棒連続引き抜き阻止インターロックの基本構成等（待機条件を含む）



UTOPの事象進展及び炉心損傷防止措置の概要図

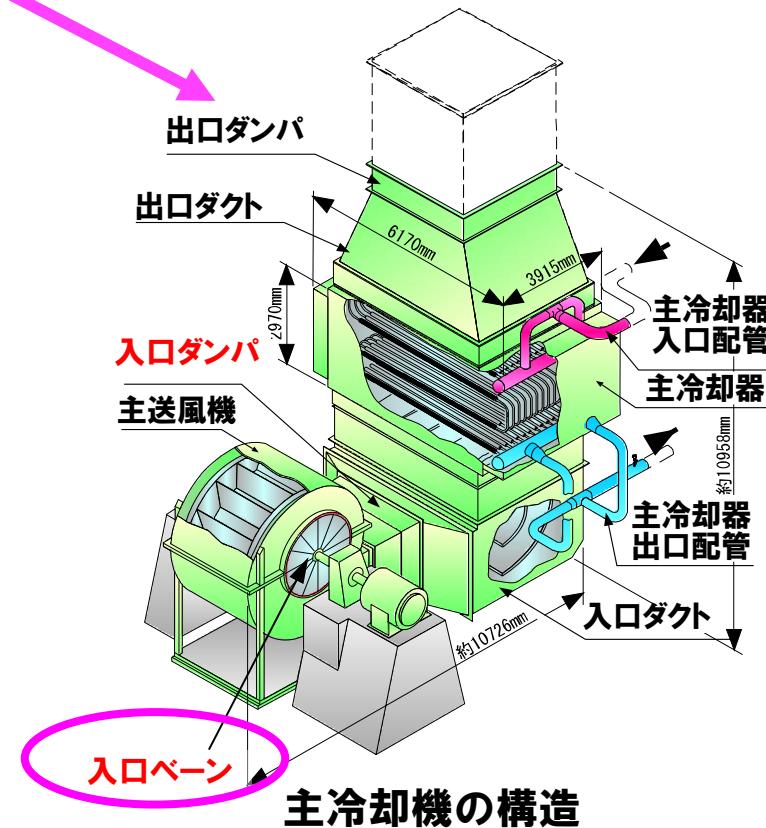
【主冷却系による自然循環冷却 (1/2)】

- 原子炉停止後の崩壊熱除去期間中に主冷却系又は補助冷却設備の強制循環冷却に失敗した際に使用
- 適切な高低差で機器を配置し、冷却材の密度差を駆動力とした信頼性の高い措置であり、強制循環機能喪失に伴い、受動的に自然循環冷却に移行し（運転員操作不要）、運転員は1次主冷却系及び2次主冷却系の温度及び流量等により、自然循環冷却状態を監視する。



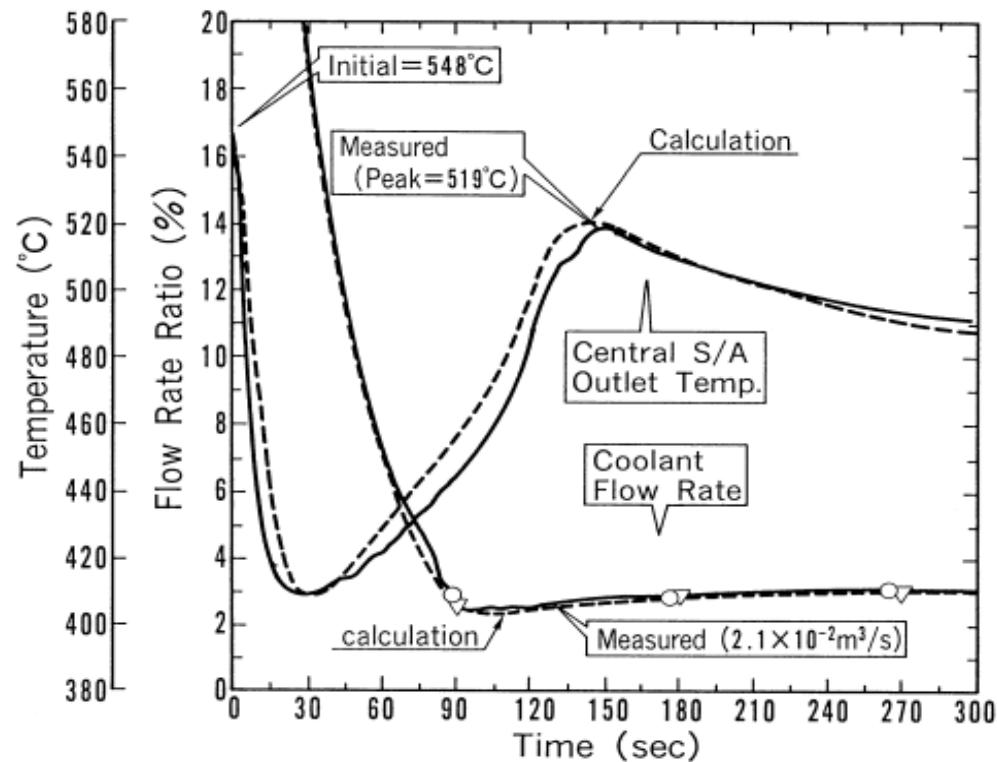
【主冷却機の自然通風除熱の制御】

- 主冷却機の入口ベーン・ダンパの開度を自動制御（交流無停電電源系より給電）
- 主冷却機の入口ベーンは開度を9.5%以下に制限し、過冷却を防止

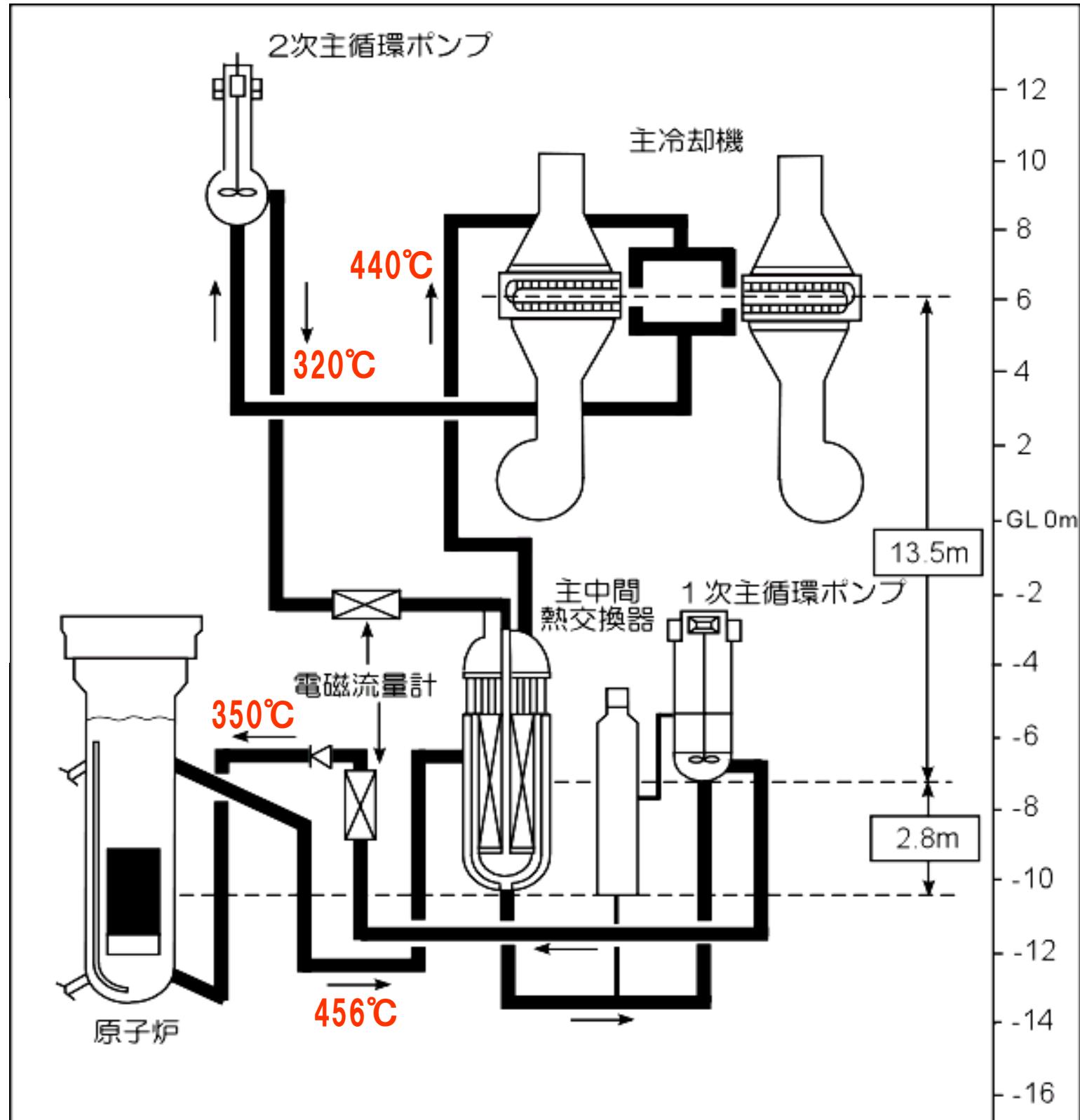


【主冷却系による自然循環冷却 (2/2)】

過去の自然循環試験の実績
(MK-II炉心 (100MW))



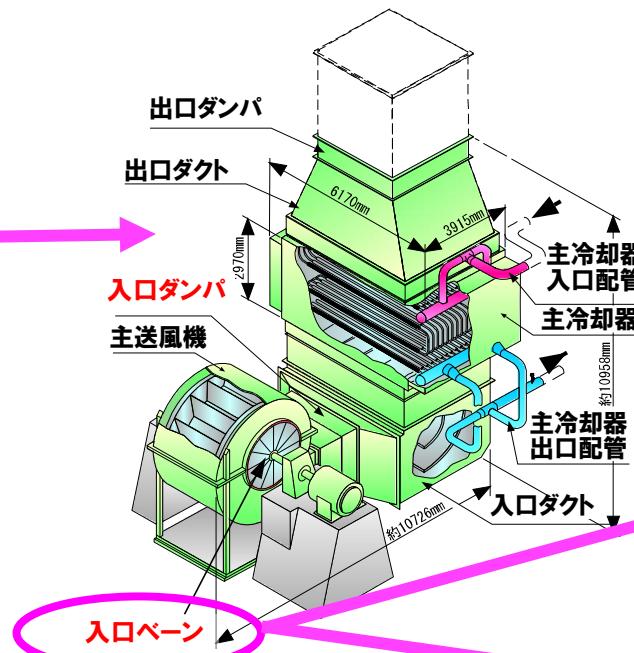
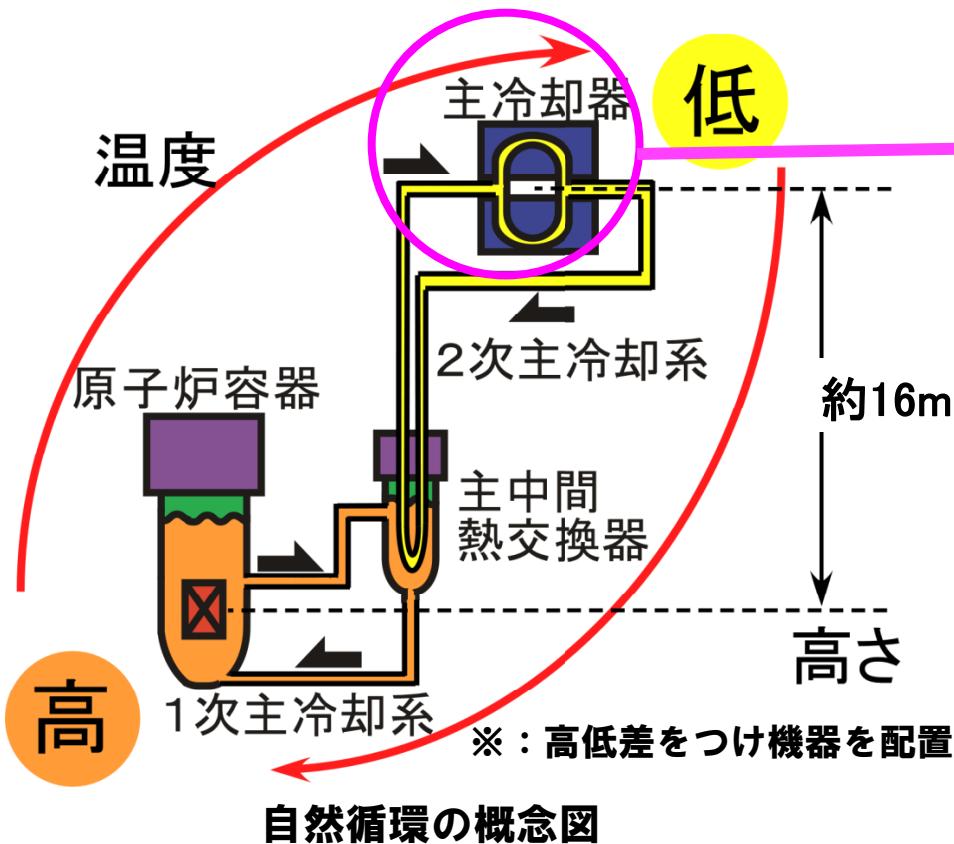
注) 図中の温度は、MK-IV炉心定格運転の状態



主冷却系の機器等の配置

【全交流動力電源喪失 (SBO) 時の主冷却系の自然循環冷却】

- 原子炉停止後の崩壊熱除去期間中に、全交流動力電源が喪失し、強制循環冷却に失敗した場合に、主冷却系の自然循環により崩壊熱を除去 (SBO以外のPLOHSと同じ措置)
- 適切な高低差で機器を配置し、冷却材の密度差を駆動力とした信頼性の高い措置であり、強制循環機能喪失に伴い、受動的に自然循環冷却に移行し (運転員操作不要)、運転員は1次主冷却系及び2次主冷却系の温度及び流量等により、自然循環冷却状態を監視する。



入口ベンドライブユニット



仮設計器による冷却材温度測定



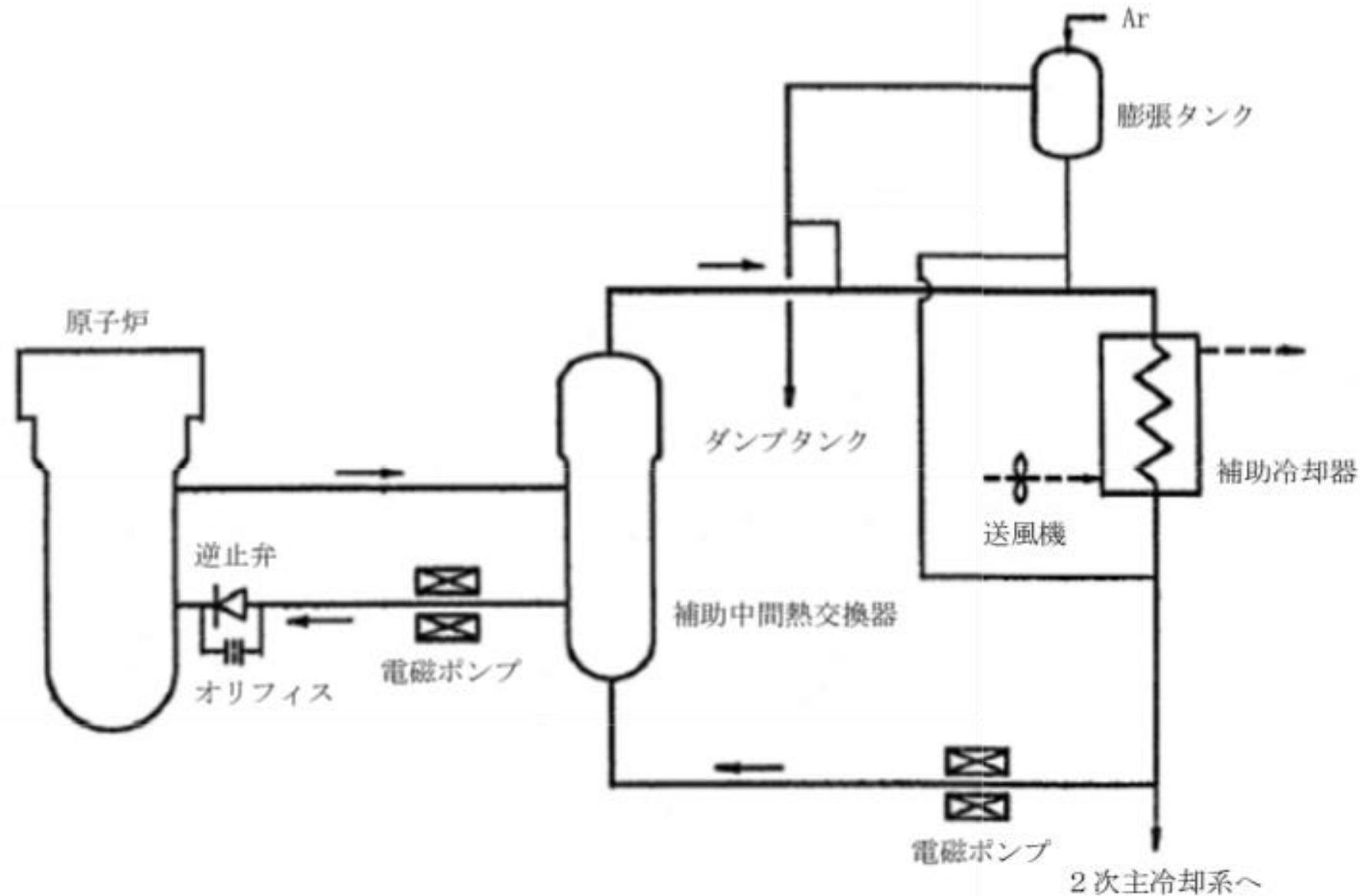
夜間のSBOを想定した訓練

【全交流動力電源喪失時の主冷却機の自然通風除熱の制御】

- 無停電電源により機能する温度制御系及びタンクに蓄えられている圧縮空気により駆動する入口ベーン等により、冷却材温度は自動で制御され、自然循環により崩壊熱を除去
- 全交流動力電源喪失が長期間続いた場合に備え、仮設計器により冷却材温度等を監視し、手動で入口ベーン等の開度を調整する手順を整備
- 入口ベーンは開度を9.5%以下に制限し、過冷却を防止

【補助冷却設備による強制循環冷却】

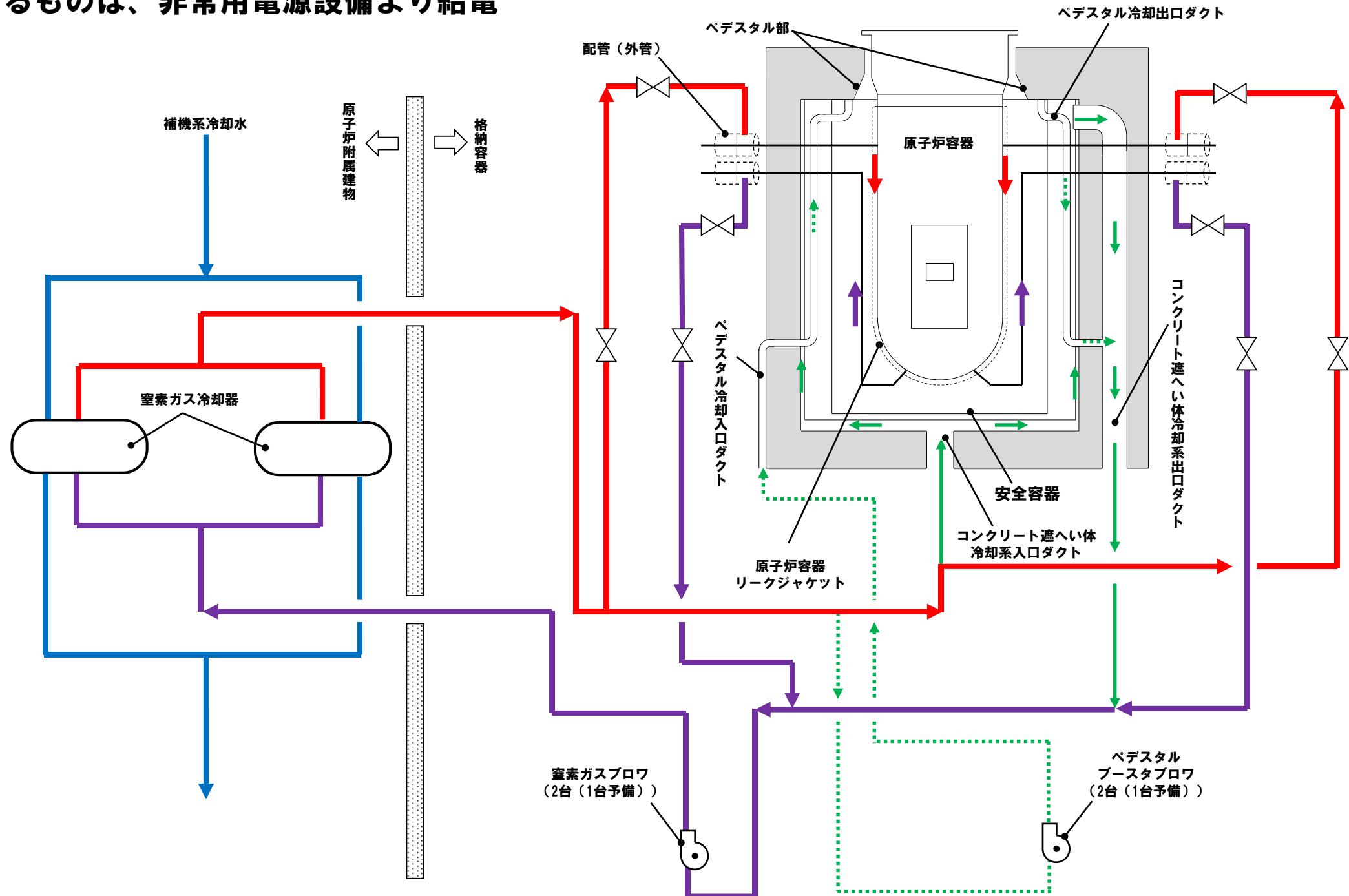
- 原子炉停止後の崩壊熱除去期間中に原子炉容器の冷却材液位が1次主冷却系の循環に必要な液位を下回る等、主冷却系による冷却に失敗した際に使用（基本的に原子炉容器冷却材の液位が所定の液位まで低下した時点で自動で起動）
- 補助冷却設備は、主冷却系と独立した系統
- 使用する機器等は、基準地震動による地震力に対して機能を喪失しないように整備、また、電源を必要とするものは、非常用電源設備より給電



補助冷却設備の概念図

【コンクリート遮へい体冷却系による原子炉容器外面冷却】

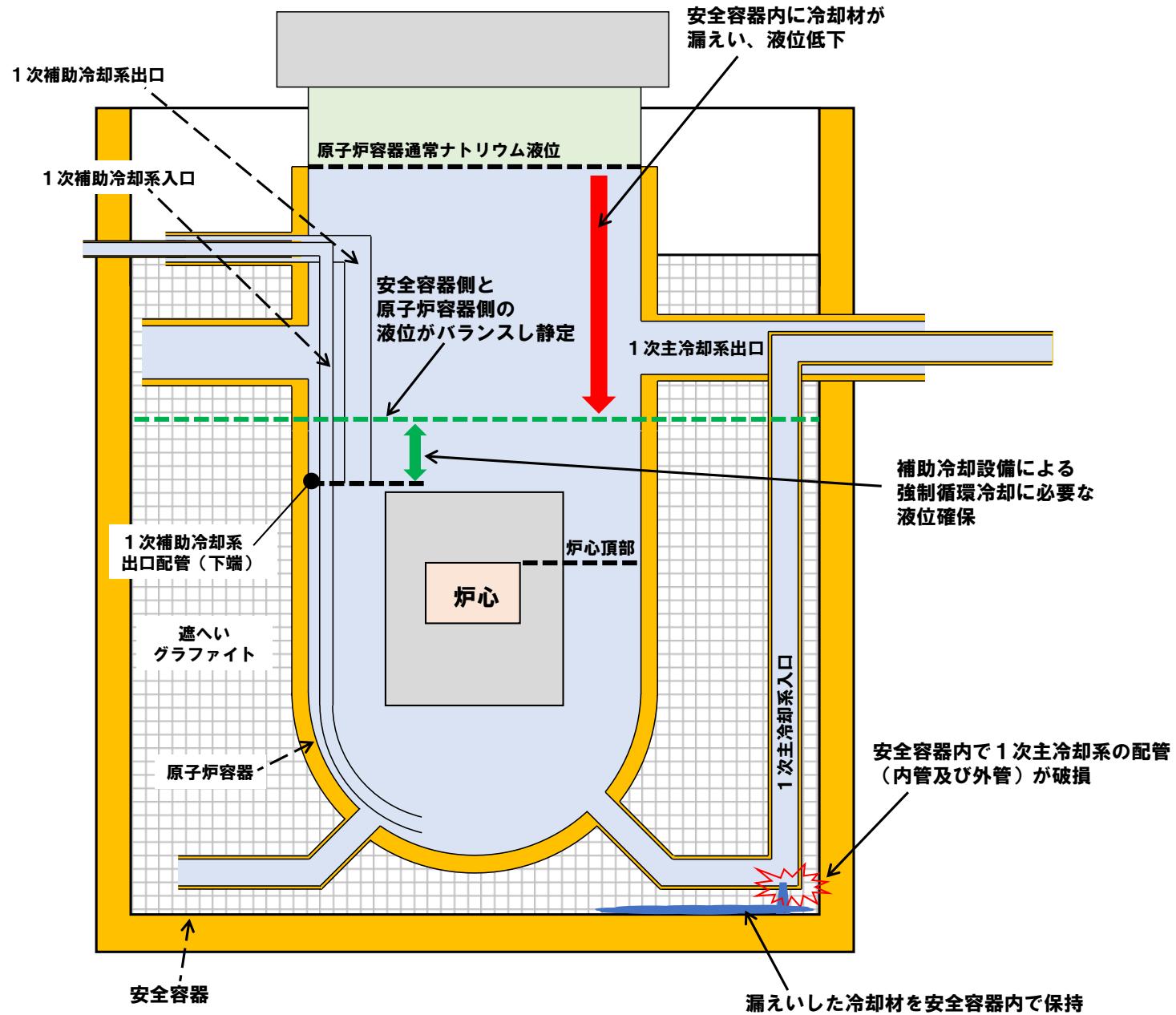
- 1次冷却材の漏えいにより窒素ガス流路を喪失する場合を除く事故時に使用可能（コンクリート遮へい体冷却系を予熱窒素ガス系と接続し、原子炉容器等の二重構造の間隙部に窒素ガスを通気）
- コンクリート遮へい体冷却系は、主冷却系と独立した系統
- 使用する機器等は、基準地震動による地震力に対して機能を喪失しないように整備、また、電源を必要とするものは、非常用電源設備より給電



コンクリート遮へい体冷却系による原子炉容器外面冷却の概念図

【安全容器内での冷却材の保持】

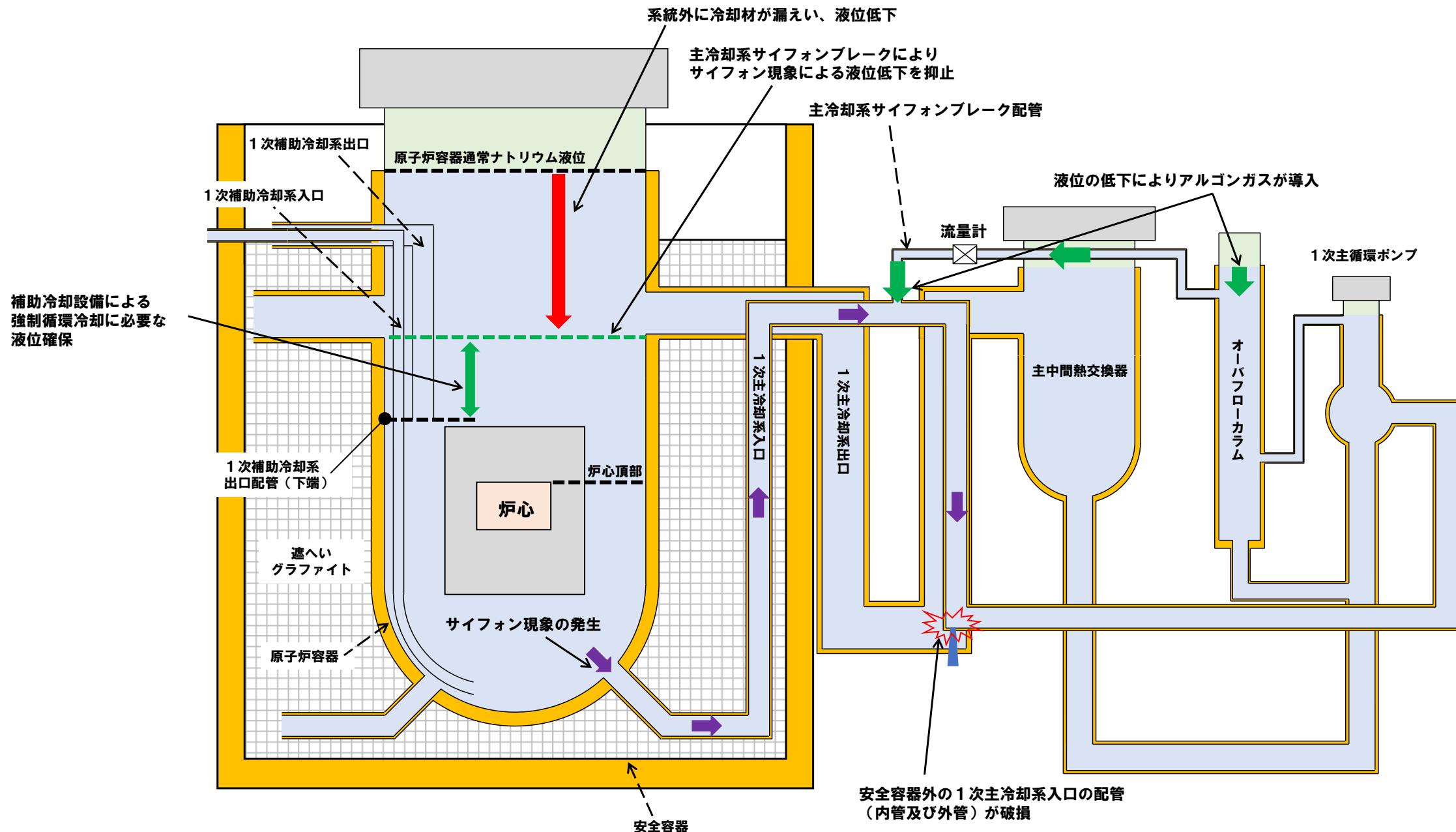
- 安全容器内に設置される1次主冷却系の配管（内管及び外管）が破損した際に、安全容器内で漏えいした冷却材を保持することで、補助冷却設備の強制循環冷却に必要な液位を確保（電源及び運転員操作不要）
- 安全容器は、基準地震動による地震力に対して機能を喪失しないように整備



安全容器内での冷却材の保持の概念図

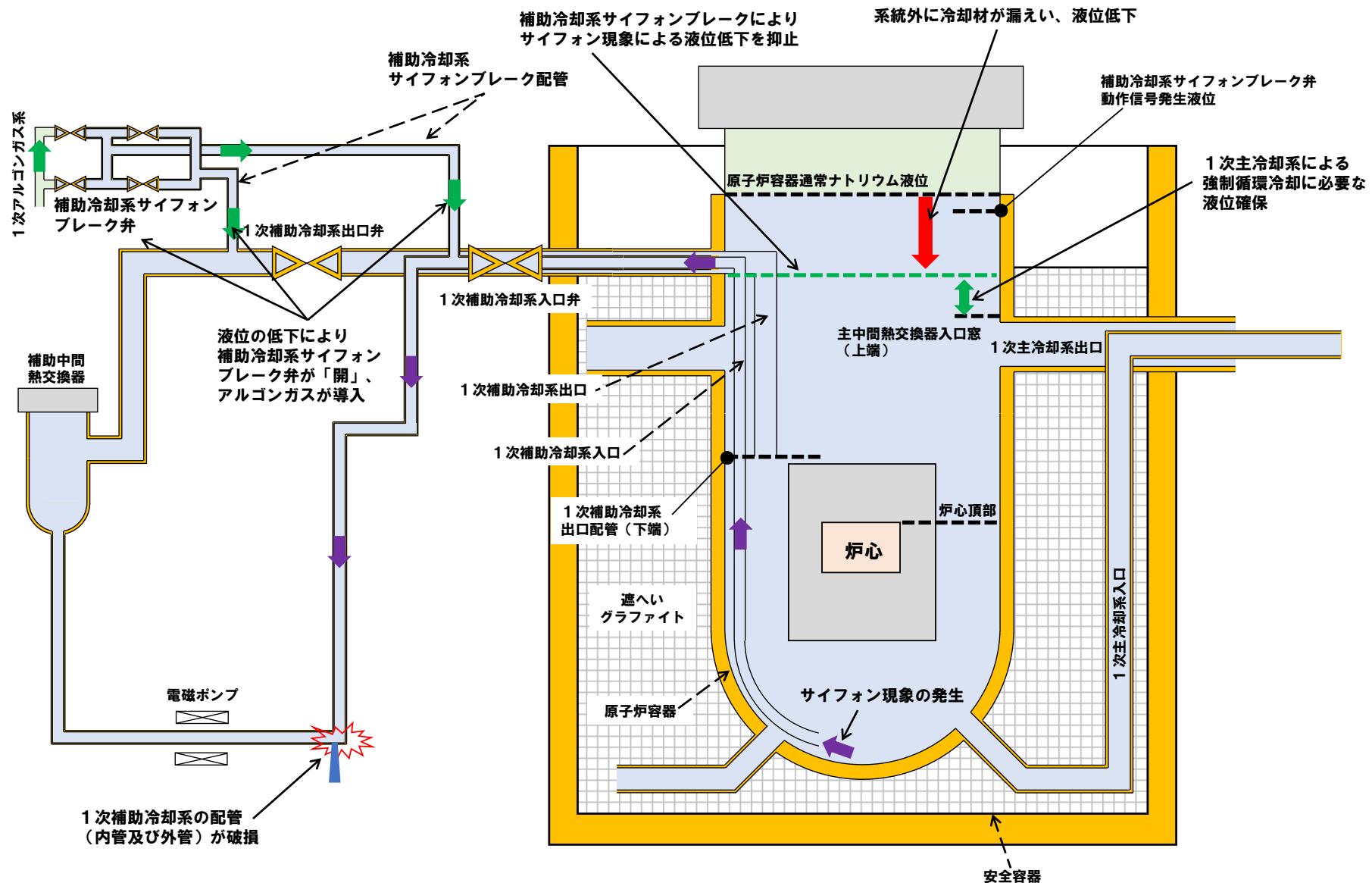
【主冷却系サイフォンブレーク】

- 安全容器より外側の1次主冷却系入口の低所配管（内管及び外管）が破損した際に、サイフォン現象による原子炉容器の冷却材液位の低下を、主冷却系サイフォンブレーク配管からアルゴンガスが導入されることにより抑止し、補助冷却設備の強制循環冷却に必要な液位を確保する。
- アルゴンガスは、配管等の適切な配置により、オーバフローコラムの液位低下に伴い、受動的に導入され（電源及び運転員操作不要）、**運転員は炉内ナトリウム液面計の指示値により、主冷却系サイフォンブレークの成否を確認する。**
- **主冷却系サイフォンブレーク配管は、通常運転時に凝固・閉塞が生じることを防止するため、差圧により常時ナトリウムを流動させる設計とするとともに、配管内のナトリウムの流動を確認できるように電磁流量計を設置し、運転員が常時監視している。なお、サイフォンブレーク配管内の流量が異常に低下した場合には、中央制御室に警報を発し、異常を検知できる設計としている。**
- 主冷却系サイフォンブレーク配管等は、基準地震動による地震力に対して機能を喪失しないように整備



【補助冷却系サイフォンブレーク】

- 1次補助冷却系の低所配管（内管及び外管）が破損した際に、サイフォン現象による原子炉容器の冷却材液位の低下を、補助冷却系サイフォンブレーク配管からアルゴンガスを導入することにより抑止し、1次主冷却系の循環に必要な液位を確保する。
- 1次補助冷却系のナトリウム漏えいの検知（2 out of 28）、原子炉容器の冷却材液位低低（NsL-320mm）、ポニーモータ1台停止の条件が成立した時点で、自動で補助冷却系サイフォンブレーク弁が「開」となりアルゴンガスが導入される。また、補助冷却系サイフォンブレーク弁は、中央制御室での操作、及び現場での直接操作を可能とする。
- 使用する機器等は、基準地震動による地震力に対して機能を喪失しないように整備する。また、電源を必要とするものは、非常用電源設備より給電する。
- 補助冷却系サイフォンブレーク失敗を仮想した場合にあって、1次補助冷却系の出入口弁（電源：直流無停電電源系）を「閉」とすることにより、1次主冷却系の循環に必要な液位の確保が可能である。



補助冷却系サイフォンブレークの概念図

【損傷炉心物質等の原子炉容器内閉じ込め（ULOF、UTOP及びLF）】

- ULOF、UTOP及びLFにおいて、炉心損傷防止措置が機能しないと仮定した場合、炉心の著しい損傷に至る可能性がある。
- 炉心の著しい損傷が生じる場合に、非常用冷却設備による原子炉容器内の強制循環冷却によって、原子炉容器底部等に再配置された損傷炉心物質を原子炉容器内で冷却・保持する。

冷却設備の運転状態

事象グループ	1次主冷却系	2次主冷却系
ULOF	強制循環冷却 （ポニーモータ／2ループ）*1	強制又は自然循環（2ループ）
	強制循環冷却 （ポニーモータ／1ループ）*2	強制循環（1ループ）
UTOP	強制循環冷却 （主電動機又はポニーモータ／2ループ）	強制又は自然循環（2ループ）
LF	強制循環冷却 （主電動機又はポニーモータ／2ループ）	強制又は自然循環（2ループ）

*1：異常事象が1次主循環ポンプ軸固着を除く場合

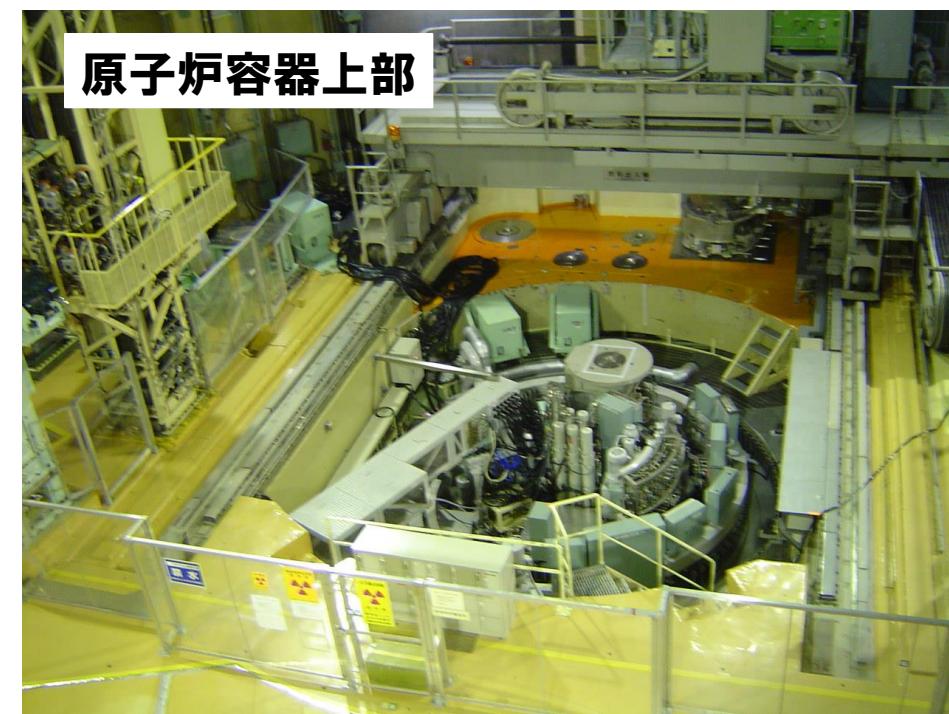
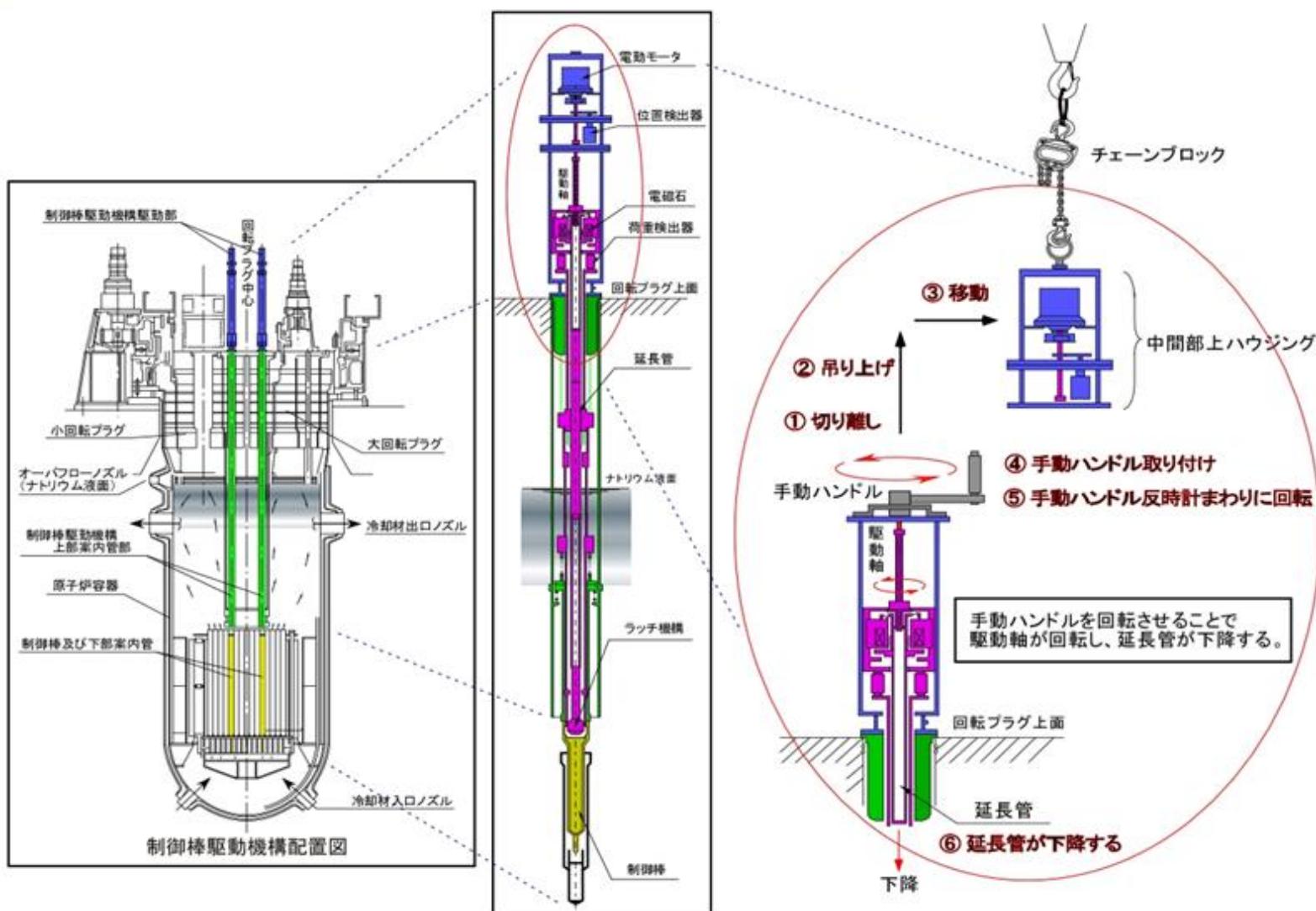
*2：異常事象が1次主循環ポンプ軸固着の場合

【格納容器内閉じ込め（ULOF、UTOP及びLF）】

- ULOF、UTOP及びLFにおいて、炉心損傷防止措置が機能しないと仮定した場合、炉心の著しい損傷に至る可能性がある。
- 炉心の著しい損傷が生じ、また、機械的エネルギーが発生した際に、①回転プラグを含む原子炉容器構造により即発臨界超過時のナトリウム噴出量を抑制、また、格納容器（床上）にナトリウムが噴出した場合には、②大きな自由空間体積を有する格納容器構造により噴出したナトリウム等による影響を緩和し、格納容器の破損を防止し、施設からの多量の放射性物質等の放出を防止する。

【物理的特性による格納容器破損防止（ULOHS）】

- ULOHSにおいては、炉心損傷防止措置が機能しないと仮定した場合であっても、固有の物理メカニズム（負の反応度係数等）による出力低減及び冷却系による冷却によって、炉心の著しい損傷が防止され、格納容器の破損及び施設からの多量の放射性物質等の放出も防止される。
- 上記の状態は、比較的高温での安定静定状態であるため、中央制御室での以下の操作により低温の安定静定状態に移行させる。
 - ・ 手動スクラム
 - ・ 制御棒又は後備炉停止制御棒保持電磁石励磁断
 - ・ 制御棒駆動機構又は後備炉停止制御棒駆動機構の手動挿入
- さらに、自主対策として、直接、制御棒駆動機構の軸を回転させ制御棒を炉心に挿入する設備、手順を整備する。対策実施時は、作業場所（原子炉容器上部）の線量率を測定し、異常がないことを確認するとともに、局所排風機の設置、半面マスク等の防護具、線量計の着用により作業者の被ばくを管理・低減する措置を講じる。



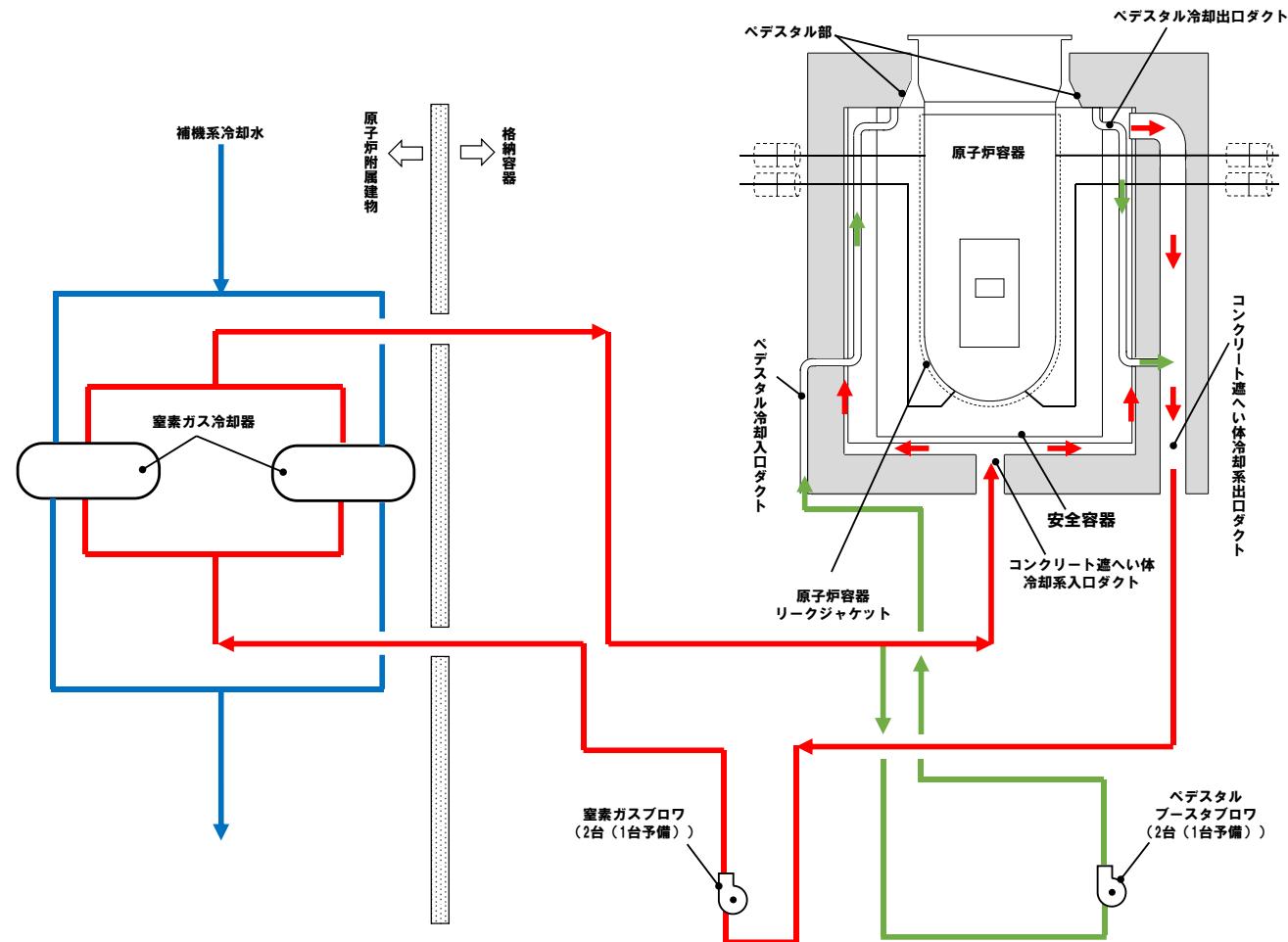
【現場へのアクセス性】
 作業場所（原子炉容器上部）は、特別な装備を必要とせず、地上階フロアから入域が可能。

【作業性】
 作業は、仮設足場等を必要とせず、原子炉容器上部において、必要な手順の実施が可能。

制御棒駆動機構の軸の回転操作（自主対策）の概念図

【格納容器閉じ込め（LORL及びPLOHS）（1/2）】

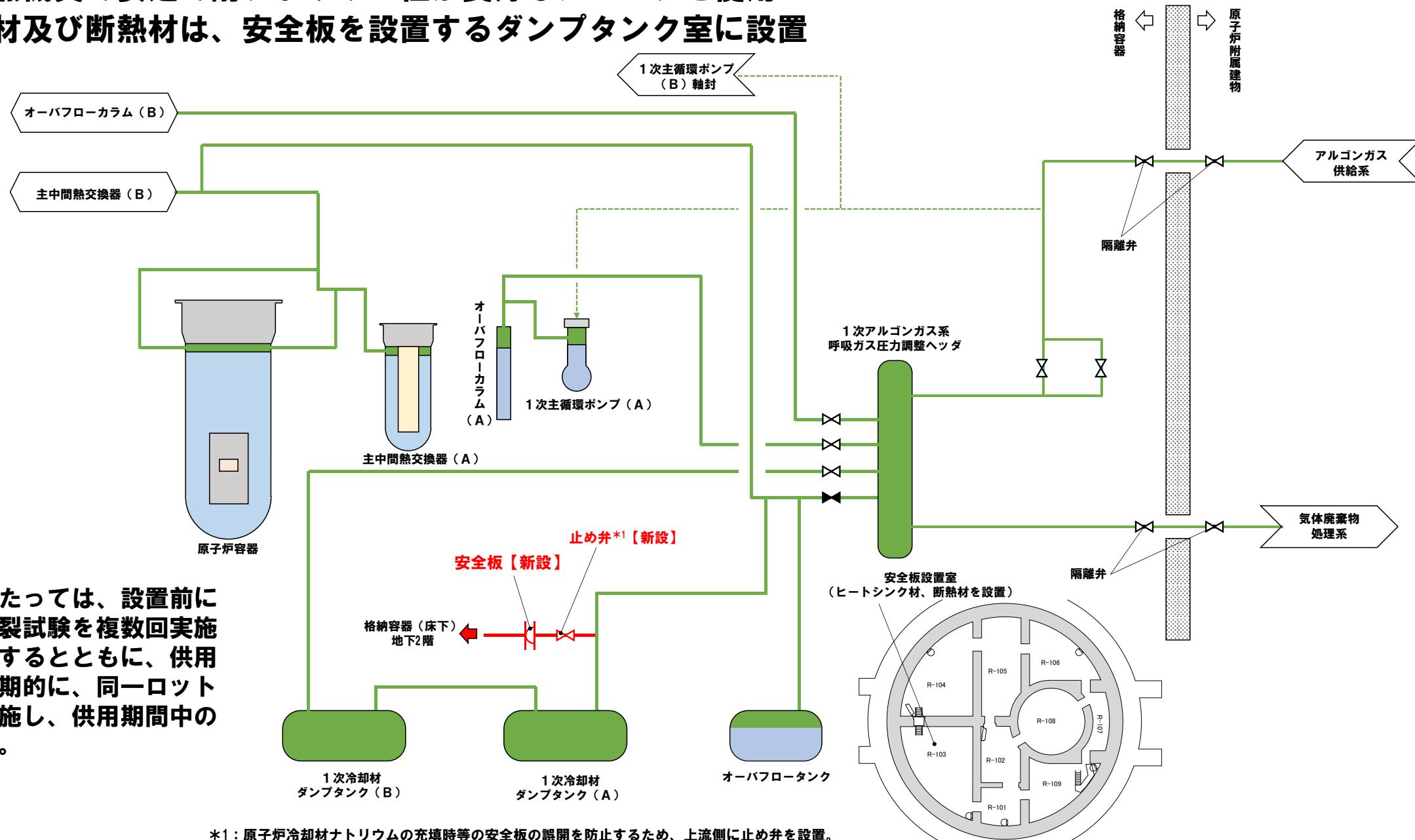
- LORL及びPLOHSにおいて、炉心損傷防止措置が機能しないと仮定した場合、炉心の著しい損傷に至る可能性がある。
- 格納容器の破損を防止し、施設からの多量の放射性物質等の放出を防止するため以下の措置を講じる。
 - ① 原子炉容器外に流出した損傷炉心物質等をコンクリート遮へい体冷却系を用いた安全容器外面冷却により安全容器内で保持・冷却
 - ② 安全板によって主中間熱交換器の原子炉冷却材バウンダリ（1次・2次境界）の過圧破損を防止
 - ③ 安全板を通じて格納容器（床下）に流出した冷却材の熱的影響をヒートシンク材及び断熱材で緩和
- 使用する機器等は、基準地震動による地震力に対して機能を喪失しないように整備
- 電源を必要とするものは、非常用電源設備より給電
- ①について、コンクリート遮へい体冷却系の窒素ガスの流路は、通常運転時に同じ（基本的に操作不要）



コンクリート遮へい体冷却系を用いた安全容器外面冷却の概念図

【格納容器閉じ込め（LORL及びPLOHS）（2/2）】

- 前ページの②について、安全板※1は、原子炉建物地下2階のダンプタンク室の1次アルゴンガス系に新たに設置
- 安全板までの配管部にはベーパーラップ及びヒータ等を設置し、通常運転時及び事象発生時のナトリウムの凝縮による閉塞を防止
- 安全板の破裂圧力は、約9.8kPaに設定（通常運転時の原子炉カバーガス圧力：約0.98kPa）
- 安全板が破裂した際には、安全板に設置した導線の切断（断線）を検知し、中央制御室に警報を発報
- 原子炉冷却材の充填時等の安全板の誤開を防止するため止め弁を設置
- 前ページの③について、ヒートシンク材には、流出したナトリウムからの吸熱効果を大きくするため、比熱が大きく、かつ、無機質で安定で耐ナトリウム性が良好なアルミナを使用
- ヒートシンク材及び断熱材は、安全板を設置するダンプタンク室に設置



※1：安全板の製作にあたっては、設置前に同一ロットでの破裂試験を複数回実施して信頼性を検証するとともに、供用中においても、定期的に、同一ロットでの破裂試験を実施し、供用期間中の信頼性を確保する。

*1：原子炉冷却材ナトリウムの充填時等の安全板の誤開を防止するため、上流側に止め弁を設置。

安全板の設置箇所

原子炉建物地下2階平面図

【ULOF、UTOP、ULOHS及びLFにおける原子炉の停止に係る主な資機材】

資機材		主な機器等	主な左記の関連系
代替原子炉トリップ信号	「1次主循環ポンプトリップ」信号（2式）	検出器（2式）	
	「原子炉出口冷却材温度高」信号（3式）	検出器、計測装置	非常用電源設備
後備炉停止系用論理回路（1式）【新設】		論理回路、遮断器	非常用電源設備
制御棒連続引抜き阻止インターロック*1（1式）【新設】		タイマーリレー	非常用電源設備
後備炉停止制御棒（2本）		制御材	
後備炉停止制御棒駆動系（2式）		駆動機構、上部案内管、下部案内管	非常用電源設備
燃料破損検出系*2	カバーガス法燃料破損検出設備（1式）	検出器、計測装置	非常用電源設備
核計装*3	起動系（2式）	検出器、計測装置	非常用電源設備
	線形出力系（3式）	検出器、計測装置	非常用電源設備
関連するプロセス計装*3		検出器、計測装置	非常用電源設備

*1：異常事象が「出力運転中の制御棒の異常な引抜き」の場合に使用

*2：局所的燃料破損（LF）において使用

*3：原子炉の停止状態の監視に使用するもの

炉心損傷防止措置及び格納容器破損防止措置に係る資機材（2/5）

【主冷却系の自然循環冷却に係る主な資機材】

資機材		主な機器等	主な左記の関連系
1次主冷却系	原子炉冷却材バウンダリ（2ループ）	1次主冷却系の原子炉冷却材バウンダリに属する配管、容器等（主中間熱交換器（2基）を含む。）	
2次主冷却系	冷却材バウンダリ（2ループ）	冷却材バウンダリに属する配管、容器等（主冷却器（4基/2ループ）を含む。）	
	主冷却機入口ダンパ*1（2式/ループ）	ダンパ、ドライブユニット	非常用電源設備、圧縮空気供給設備
	主冷却機インレットベーン*1（2式/ループ）	ベーン、ドライブユニット	非常用電源設備、圧縮空気供給設備
関連するプロセス計装*2		検出器、計測装置	非常用電源設備
仮設計器		仮設計器	
可搬型発電機		可搬型発電機	

*1：全交流動力電源喪失（SBO）時を含め、入口ダンパ及びインレットベーンは、駆動源を喪失した場合であっても、運転員の手動操作により代替できるものとし必要な信頼性を確保する。

*2：原子炉の停止状態の監視に使用するものであり、SBO時を含め、運転員の仮設計器による監視及び可搬型発電機により必要な信頼性を確保する。

【補助冷却設備による強制循環冷却に係る主な資機材】

資機材		主な機器等	主な左記の関連系
1次補助冷却系	原子炉冷却材バウンダリ	1次補助冷却系の原子炉冷却材バウンダリに属する配管、容器等（補助中間熱交換器（1基）を含む。）	
	循環ポンプ（電磁ポンプ）（1基）	電磁ポンプ	非常用電源設備、補機冷却設備
2次補助冷却系	2次補助冷却系のバウンダリ	2次補助冷却系のバウンダリに属する配管、容器等（補助冷却器（1基）を含む。）	
	循環ポンプ（電磁ポンプ）（1基）	電磁ポンプ	非常用電源設備、補機冷却設備
	補助送風機（1基）	送風機	非常用電源設備
	入口ダンパ*1（1式）	ダンパ、ドライブユニット	非常用電源設備、圧縮空気供給設備
	インレットベーン*1（1式）	ベーン、ドライブユニット	非常用電源設備
関連するプロセス計装*2		検出器、計測装置	非常用電源設備

*1：入口ダンパ及びインレットベーンは、駆動源を喪失した場合であっても、運転員の手動操作により代替できるものとし必要な信頼性を確保する。

*2：原子炉の停止状態の監視に使用するもの

【コンクリート遮へい体冷却系による原子炉容器外面冷却に係る主な資機材】

資機材		主な機器等	主な左記の関連系
コンクリート遮へい体冷却系	窒素ガスブロワ（2台（1台予備））	ブロワ	非常用電源設備
	窒素ガス冷却器（2基）	冷却器（水冷却）	補機冷却設備、非常用電源設備
	コンクリート遮へい体冷却系と予熱窒素ガス系の連通弁（8台）	ガス（窒素）作動弁	非常用電源設備、ガス供給設備*1
予熱窒素ガス系	予熱窒素ガス系仕切弁（4台）	電動弁	非常用電源設備
関連するプロセス計装*2		検出器、計測装置	非常用電源設備

*1：動作に必要なガスは、アキュムレータにより確保する。

*2：原子炉の安定停止状態の監視に使用するもの

【原子炉冷却材液位の確保に係る主な資機材】

資機材		主な機器等	主な左記の関連系
安全容器（1基）		容器	
1次主冷却系	主冷却系サイフォンブレイク配管（1式/ループ）	配管（内管）	
	1次主冷却系配管（外管）（1式/ループ）	配管（外管）	
	リークジャケット（1式）	リークジャケット	
1次補助冷却系	補助冷却系サイフォンブレイク弁（4台）	電動弁	非常用電源設備
	プロセス計装（炉内ナトリウム液面）（3式）	検出器、計測装置	非常用電源設備
	1次補助冷却系配管（外管）（1式）	配管（外管）	
	リークジャケット（1式）	リークジャケット	

【損傷炉心物質等の原子炉容器内閉じ込めに係る主な資機材】

資機材		主な機器等	主な左記の関連系
1次主冷却系	原子炉冷却材バウンダリ（2ループ）	1次主冷却系の原子炉冷却材バウンダリに属する配管、容器等（主中間熱交換器（2基）を含む。）	
	1次主循環ポンプポニーモータ（2台）	ポニーモータ	非常用電源設備、潤滑油供給系
2次主冷却系	冷却材バウンダリ（2ループ）	冷却材バウンダリに属する配管、容器等（主冷却器（4基/2ループ）を含む。）	
	主冷却機入口ダンパ*1（2式/ループ）	ダンパ、ドライブユニット	非常用電源設備、圧縮空気供給設備
	主冷却機インレットベーン*1（2式/ループ）	ベーン、ドライブユニット	非常用電源設備、圧縮空気供給設備
燃料破損検出系	カバーガス法燃料破損検出設備	検出器、計測装置	非常用電源設備
1次アルゴンガス系	隔離弁（2台）	電動弁	非常用電源設備
関連するプロセス計装*2		検出器、計測装置	非常用電源設備

*1：入口ダンパ及びインレットベーンは、駆動源を喪失した場合であっても、運転員の手動操作により代替できるものとし必要な信頼性を確保する。

*2：損傷炉心物質等の原子炉容器内での閉じ込め状態の監視に使用するもの

【損傷炉心物質等の格納容器内閉じ込めに係る主な資機材】

資機材		主な機器等	主な左記の関連系
原子炉格納施設	格納容器（1基）	容器	
	格納容器の隔離弁（1式）*1	手動弁、電磁弁、電動弁、ガス作動弁	非常用電源設備、圧縮空気供給設備、ガス供給設備
安全容器（1基）		容器	
コンクリート遮へい体冷却系	窒素ガスブロワ（2台（1台予備））	ブロワ	非常用電源設備
	ペDESTALブースタブロワ（2台（1台予備））	ブロワ	非常用電源設備
	窒素ガス冷却器（2基）	冷却器（水冷却）	補機冷却設備、非常用電源設備
1次アルゴンガス系	安全板（1台）【新設】	安全板	
ヒートシンク材・断熱材（1式）		ヒートシンク材・断熱材	
関連するプロセス計装*2		検出器、計測装置	非常用電源設備

*1：駆動源を喪失した場合であっても、運転員の手動操作により代替できるものとし必要な信頼性を確保する。

*2：損傷炉心物質等の安全容器内での保持状態及び格納容器内の状態の監視に使用するもの