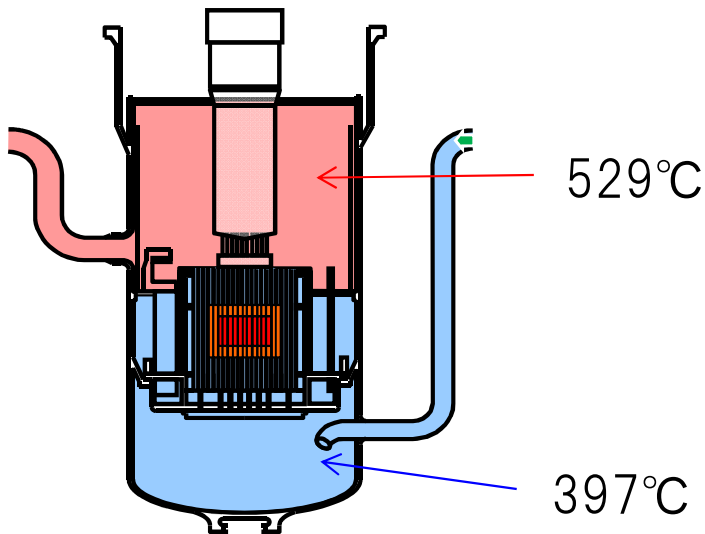


参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

ホットベッセル原子炉容器等の設計評価技術(1/2)

ホットベッセル(もんじゅ、SNR-300(計画中止)、CRBR(計画中止))

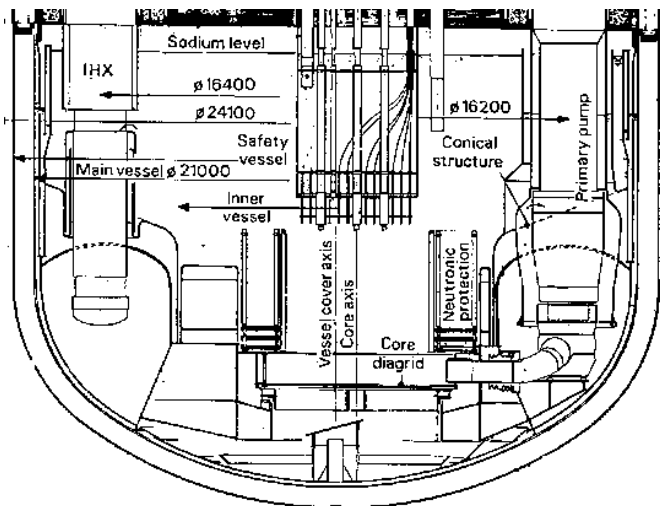


- 原子炉容器は信頼性の高い工場製作／検査
 - 炉壁温度が高いため健全性確保／評価は技術力および実機における実証が不可欠。
 - 原子炉構造はシンプルかつ容器径小
- ↓
- かつて米、独等世界でも検討されていた本技術を原型炉で実証する場合は「もんじゅ」のみ。
 - 本技術の実証は日本技術(＝ループ型技術)の国際競争における優位性を確立する。

コールドベッセル(フェニックス、スーパーフェニックス、BN-600)

<設計例(スーパーフェニックス)>

<特徴／開発状況>



- 原子炉容器は現地製作
 - 炉壁温度が低いため健全性評価が容易
 - 炉壁冷却構造は複雑かつ容器径が増大
 - 炉壁冷却構造における流力振動トラブル経験あり
- ↓
- コールドベッセルには流動安定性、炉壁冷却の安定性、熱効率の維持を達成するための複雑な構造が必要で、確立された設計は無い(ASTRIDでは従来炉と形状を大きく変更する予定)。

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

ホットベッセル原子炉容器等の設計評価技術(2/2)

細目	性能試験			2Cy		3Cy		4Cy		5Cy ~ 9Cy										10Cy以降	
	40%出力プラント確認試験	燃料交換	出力上昇試験第1サイクル	定期点検	第2サイクル	定期点検	第3サイクル	定期点検	第4サイクル	定期点検第5	定期点検第6	定期点検第7	定期点検第8	定期点検第9	定期点検第10	...					
「もんじゅ」工程案 (検討の前提条件)	経年変化の監視																				
①プラント特性試験 データの取得	CRD駆動試験／特性確認、温度揺らぎ等データ取得			出力変更、プラントトリップ時の原子炉容器と関連したデータ及び定検時機器データ取得			定検時機器データ取得	定検時機器データ取得	→												
②設計時性能・機能の 確認	CRD、しゃへいプラグ等の試験結果検討及び設計評価			第1サイクル後の性能・機能評価(原子炉容器)			第2サイクル後の性能・機能評価		初期故障まとめ										原子炉容器ISI		
③設計ツール妥当性 評価	制御棒駆動機構駆動部分解点検																				
期待される 研究開発成果	炉上部プレナム温度評価等の結果による設計用ツールの妥当性評価			①40%試験データによるホットベッセル構造の原子炉容器の設計条件の妥当性及び構造健全性の確認 ②データに基づくCRD、しゃへいプラグ等の機器の性能・機能の評価まとめ ③原子炉構造関連の設計ツールの妥当性の確認			③出力上昇試験および第1回の定期検査対象範囲設備・機器等の成績をもととした設計条件の妥当性及び構造健全性評価		③2Cy運転データおよび第2回定期検査対象範囲設備・機器等の成績をもとに第1Cyと第2Cy時のデータの差異の分析による設計条件の妥当性評価(複数のサイクル影響評価)		②初期故障分析による設計妥当性のまとめ ②サーベイランス試験片による照射影響および設計評価 ②継続運転による長期的な構造健全性の実証 ②定格運転を通じたホットベッセル原子炉容器、制御棒駆動機構等ナトリウム冷却系大型機器の健全性実証						②原子炉容器ISIデータによる設計妥当性の評価				

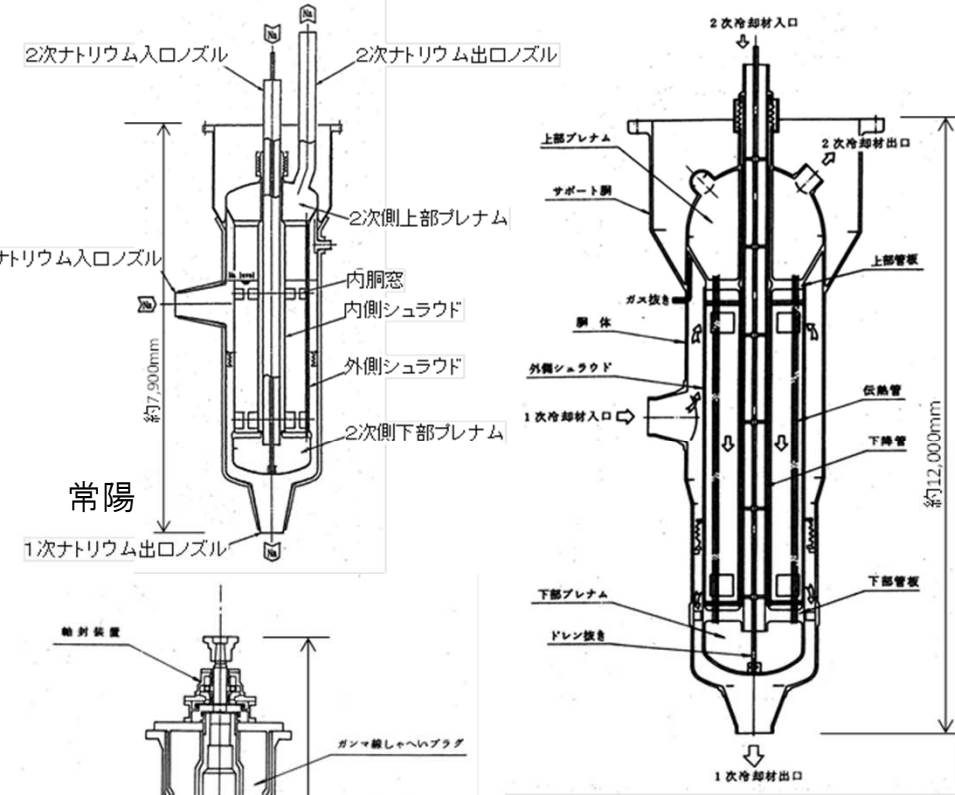
参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

大型機器設計・評価技術 (1/2)

【代表要素例：中間熱交換器(IHX)】

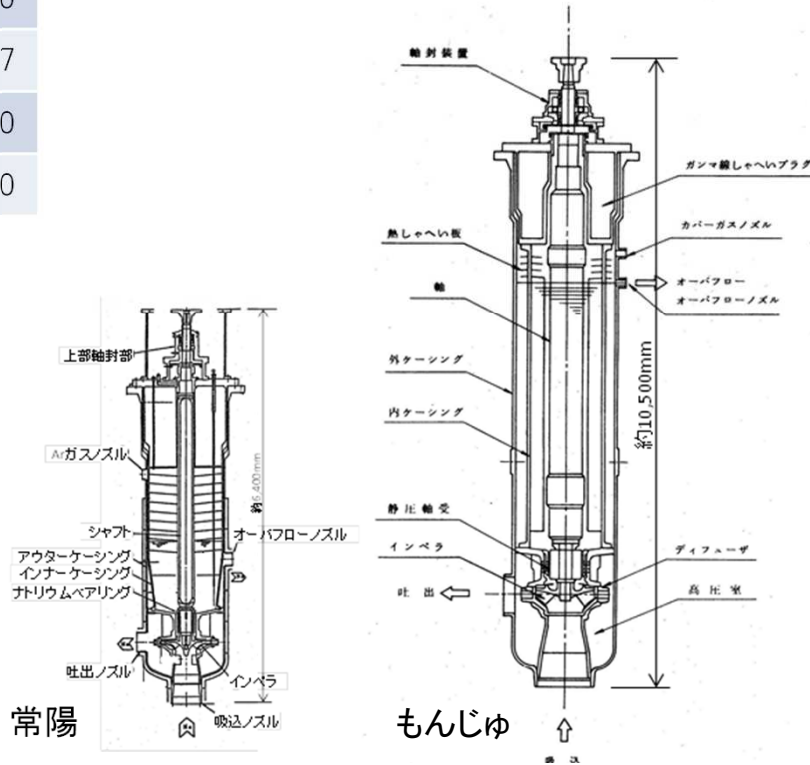
- IHX伝熱管は直管構造のため、容器内の径・周方向温度分布を均一化する設計が重要。そのため、「もんじゅ」相当の大型機器で性能を実証する。
- 「もんじゅ」を用いてIHXの構造健全性を確認するため、高応力部である管板の構造健全性を評価し、設計の妥当性を確認する。

諸元	常陽	もんじゅ
伝熱管本数(本)	2,088	3,200
伝熱管直径(mm)	19	21.7
伝熱管長(mm)	2,930	約5,000
胴径(mm)	1,840	3,000



【代表要素例：機械式ポンプ】

- ナトリウム炉に特徴的な長尺の機械式ポンプの設計妥当性(熱過渡、回転安定性、ナトリウム生成物対策)を実証する。



参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

大型機器設計・評価技術 (2/2)

細目	性能試験			2Cy		3Cy		4Cy		5Cy ~ 9Cy									10Cy以降				
	40%出力プラント確認試験	燃料交換	出力上昇試験 第1サイクル	定期点検	第2サイクル	定期点検	第3サイクル	定期点検	第4サイクル	定期点検	第5	定期点検	第6	定期点検	第7	定期点検	第8	定期点検	第9	定期点検	第10	...	
「もんじゅ」工程案 (検討の前提条件)																							
①プラント特性試験データの取得	1次主冷却系、2次主冷却系等データ取得			出力変更、プラントトリップ時の冷却系機器と関連したデータ及び定検時機器データ取得			定検時機器データ取得		経年変化の監視														
②設計時性能・機能の確認	40%データによる1次主冷却系、2次主冷却系機器の試験結果検討及び設計評価			第1サイクル後の性能・機能評価 (冷却系機器)			第2サイクル後の性能・機能評価		1次主配管ISI		初期故障まとめ											熱交換器性能及び線量変化データ取得	
③設計ツール妥当性評価	熱過渡及び熱流動評価手法等の設計ツールの妥当性評価																						
期待される研究開発成果	①40%試験のプラント特性試験の結果による設計評価結果 ②データに基づく1次・2次主冷却系機器等の性能試験における性能・機能の評価まとめ ③冷却系機器関連の設計ツールの妥当性の確認結果			③出力上昇試験および第1回の定期検査対象範囲設備・機器等の成績をもとにした設計妥当性評価のまとめ(熱交換器構造健全性評価等)			③2Cy運転データおよび第2回定期検査対象範囲設備・機器等の成績をもとに第1Cyと第2Cy時のデータの差異の分析による設計条件の妥当性評価(複数のサイクル影響評価)			②初期故障分析による設計妥当性のまとめ ②継続運転による長期的な構造健全性の実証データ ②1次、2次主循環ポンプ、中間熱交換器等の点検データにより経年劣化の設計時の評価方法の妥当性確認 ②定格運転を通じたナトリウムポンプ等ナトリウム冷却系大型機器の健全性実証													

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

ナトリウム炉特有の計測設備の設計・評価技術 (1/4)

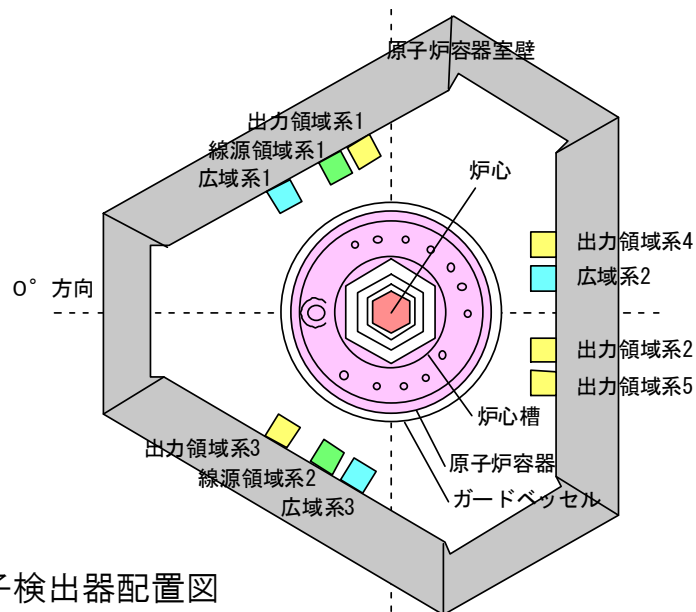
ループ型特有な又はFBRプラントに特有な計測設備について、性能試験・本格運転を通して性能・信頼性確認を行うとともに、実機での経年データ(検出器性能の変化、寿命等)を蓄積する。

中性子検出器特性の試験データ

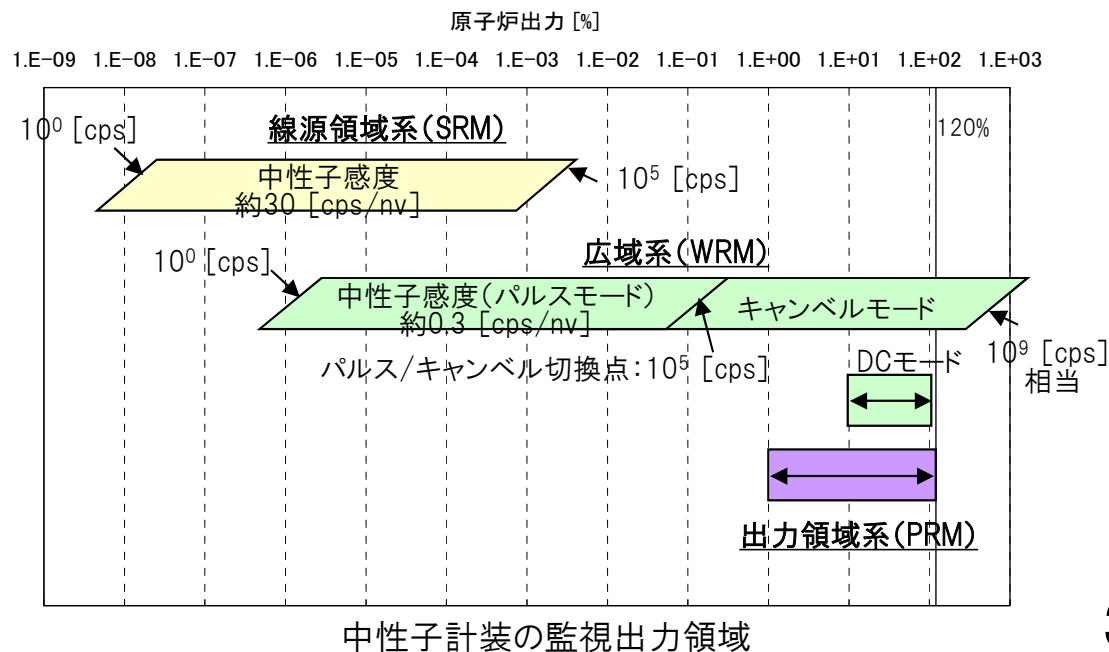
「もんじゅ」では、ループ型炉の特徴として、中性子計装が原子炉容器外に水平横方向に配置されており、このような計装での炉心監視の有効性を実機で確認する。

なお、中性子計装の調整作業として各出力段階に応じて、線源領域系(SRM)、広域系(WRM)のプラトー、ディスクリ特性の確認、WRMのパルス／キャンベル切替特性の確認及び出力領域系(PRM)の熱出力校正、飽和特性確認、ガンマ線補償特性の確認を行う。

注) 炉心中心から中性子検出器に至るまでには、中性子束の5桁以上の減衰を生ずる。このような巨大複雑体系に於ける炉外配置の中性子検出性能の実証は、実機である「もんじゅ」でしか実施できない。



中性子検出器配置図



中性子計装の監視出力領域

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

ナトリウム炉特有の計測設備の設計・評価技術 (2/4)

水漏えい検出器特性の試験データ

水漏えい検出系は、プラント起動時等の過渡状態において信号に変化が生じることが知られている。

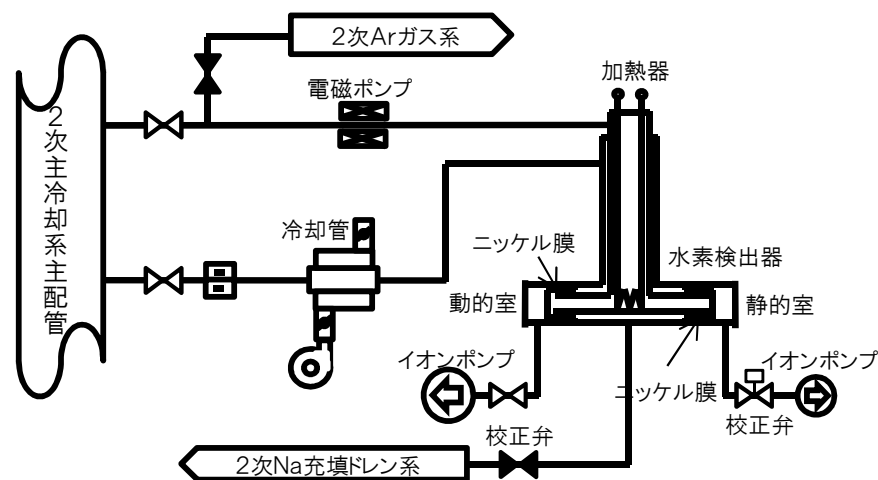
「もんじゅ」性能試験では、起動時等各運転状態における指示値を測定して、警報設定値の最適化を検討していく。特に、蒸気発生器伝熱管から2次冷却系に透過してくる水素の挙動を確認することで、蒸気発生器伝熱管からの透過水素量や水漏えい検出系のリーク検出の有効性を評価する。

本格運転以降も、長時間の使用実績を基にした検出性能の変化及び寿命等を評価する。これらのデータは、将来炉プラント設計に貴重なデータとなる。

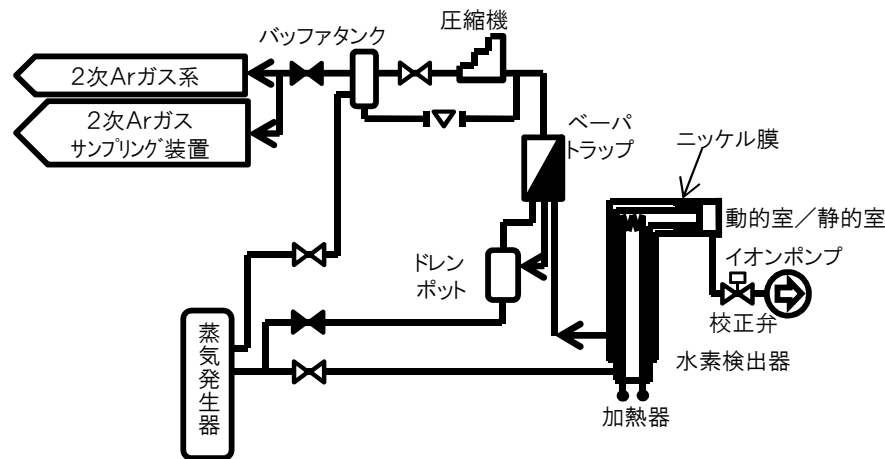
取得するデータ及び情報

- ・ 蒸気発生器伝熱管からの水素透過量データ
- ・ リーク検出性評価
- ・ 定常運転時の2次冷却系(ナトリウム中、アルゴンガス中)水素濃度のバックグラウンドとその揺らぎの実測値 など

注) これらのデータは、水系を有する大型ナトリウム施設でしか取得できず、「もんじゅ」で実施する事が最適である。



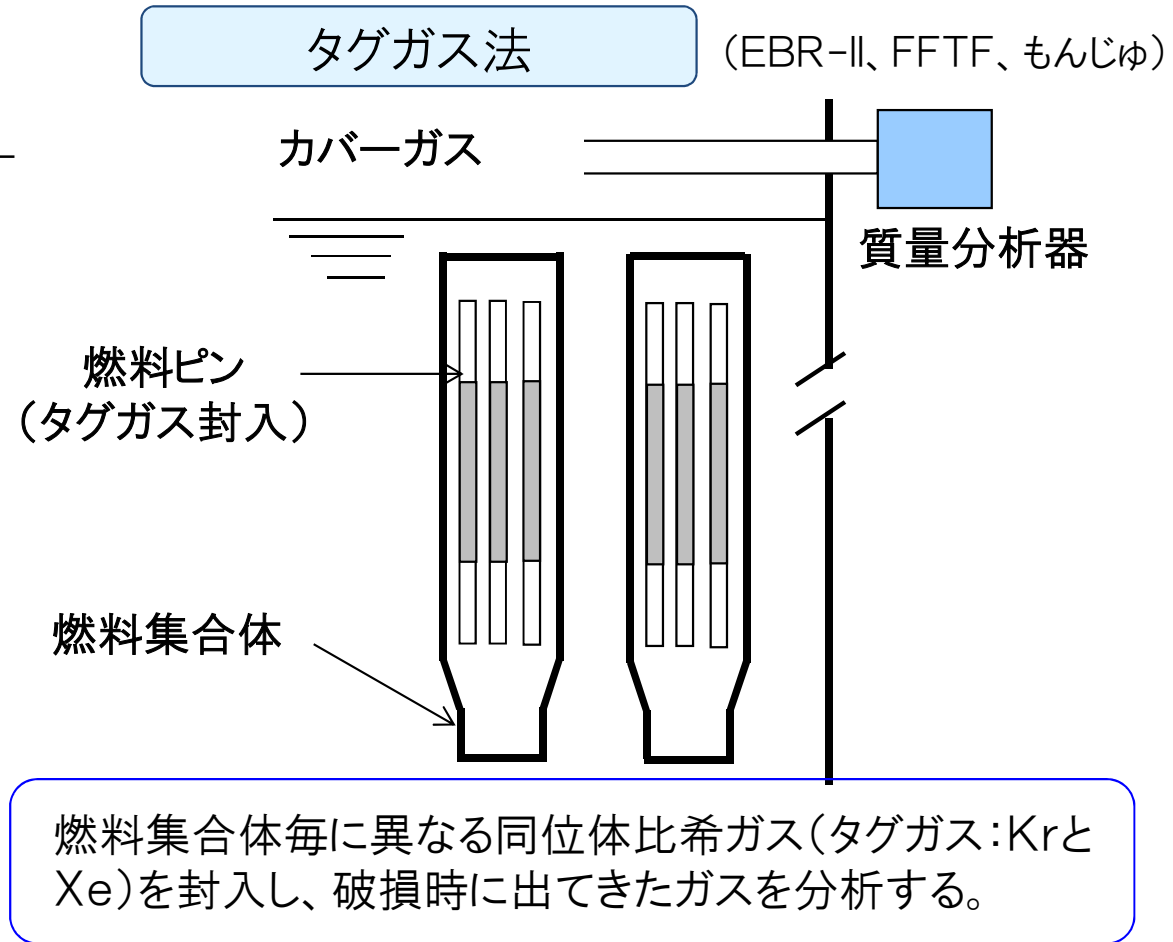
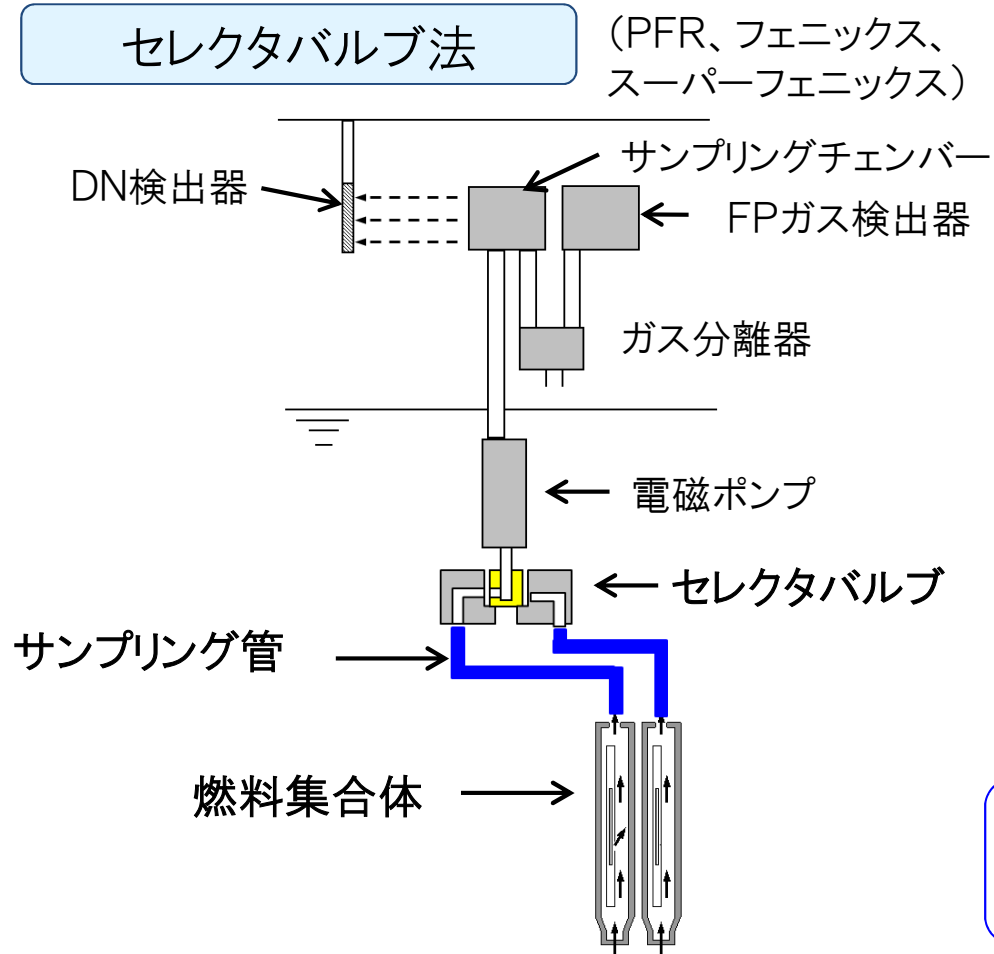
ナトリウム中水漏えい検出設備



アルゴンガス中水漏えい検出設備

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

ナトリウム炉特有の計測設備の設計・評価技術 (3/4)



- 従来炉でDN検出について良好な実績がある。
- DN検出では破損がある程度拡大しないと検出できないことが課題。

- EBR-II、FFTFで良好な実績がある。原型炉は「もんじゅ」のみ。
- 小規模な破損の段階で検知が可能な特徴がある。
- 原型炉レベルの大きなカバーガス容積で運用に必要なバックグラウンドを確保することが重要。

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

ナトリウム炉特有の計測設備の設計・評価技術 (4/4)

細目	性能試験			2Cy		3Cy		4Cy		5Cy ~9Cy					10Cy以降							
	40%出力プラント確認試験	燃料交換	出力上昇試験 第1サイクル	定期点検	第2 サイクル	定期点検	第3 サイクル	定期点検	第4 サイクル	定期点検	第5 点検	定期点検	第6 点検	定期点検	第7 点検	定期点検	第8 点検	定期点検	第9 点検	定期点検	第10 点検	...
「もんじゅ」工程案 (検討の前提条件)																						
ナトリウム炉特有計測設備設計評価																						
① 炉外核計装の設計技術	性能・機能確認試験									初期故障まとめ												
② FFDの設計技術	試験結果検討および設計評価									国際協力の可能性有り												
③ ナトリウム漏えい検出技術	設計手法の妥当性評価			第1Cy性能・機能の評価		第2Cy性能・機能の評価																
④ 水漏えい検出技術						炉外核計装交換 (SRM)		水漏えい検出設備交換 Na漏えい検出設備 (SID) 交換		炉外核計装交換 (WRM, PRM)					タゲガス活性炭吸着床交換							
⑤ タゲガス式燃料破損位置検出技術																						
⑥ 新型計装技術開発	データ収録	データ収録		データ収録		データ収録/検証		データ収録/検証		データ収録/検証												
	測定結果の評価							改良/改善														
期待される研究開発成果				①~⑤ 設計手法の妥当性評価		①~⑤ 出力上昇試験および第1回の定期点検対象範囲設備・機器等の成績をもととした設計妥当性評価のまとめ		①~⑤ 性能・機能の評価 ・2Cy運転データおよび第2回定期検査対象範囲設備・機器等の成績をもとに第1Cyと第2Cy時のデータの差異の分析による設計条件の妥当性評価(複数のサイクル影響評価)		①~⑤ 初期故障分析による設計妥当性のまとめ ⑥ 新型計装技術の確立												

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

燃料取扱システム設計技術 (1/2)

燃料交換、燃料処理・貯蔵などの燃料取扱作業を通じて、「もんじゅ」燃料取扱システムの性能を確認し実証するとともに、燃料取扱作業の信頼性向上、作業期間短縮のための運転ノウハウ、設計改良に資する知見を集積する。

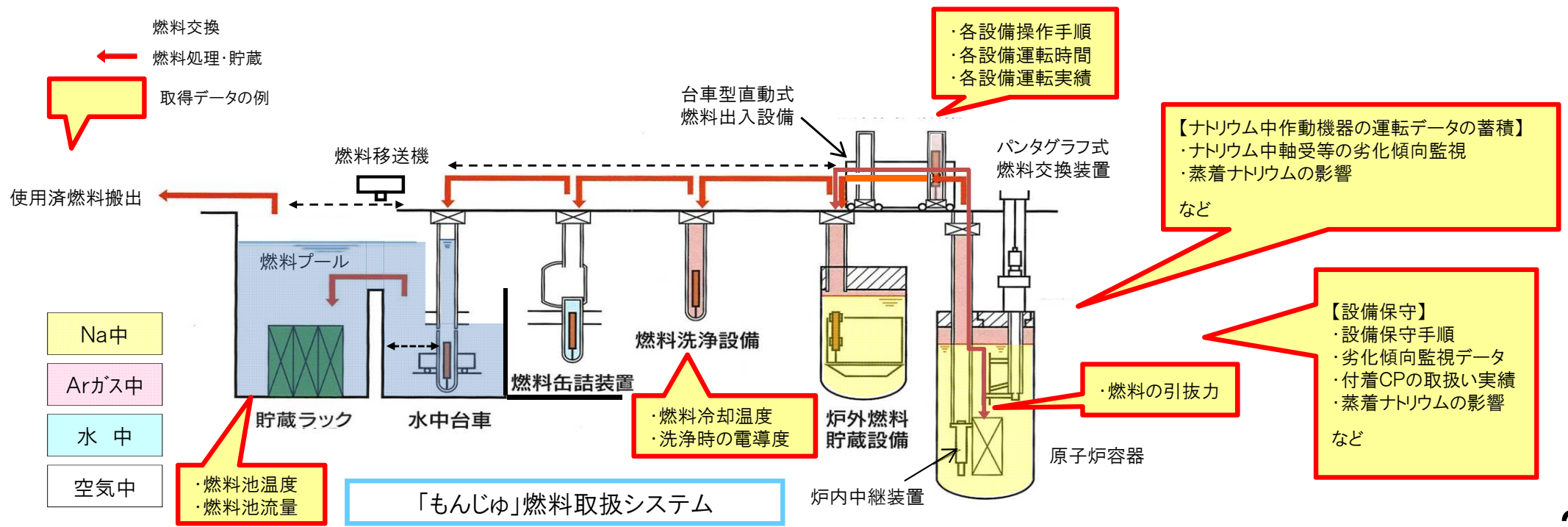
燃料取扱システムの実機作業
 ○燃料交換
 ○燃料処理・貯蔵
 など

【取得したデータをもとに評価を実施】

- ①燃料取扱システムの遠隔自動操作性の評価
- ②燃料取扱機器に係る保全技術の評価
- ③ナトリウム中作動機器のナトリウム軸受等の劣化傾向、CP付着、蒸着ナトリウム等の影響評価
 など

【成果】

- ①燃料取扱システムの運転操作技術の検証
- ②燃料取扱機器に係る保全技術(放射化機器の取扱い含む)の検証
- ③CPを含んだ蒸着ナトリウムの除去技術の検証
- ④将来炉の燃料取扱システム設計等に資する知見の取得
 など



参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

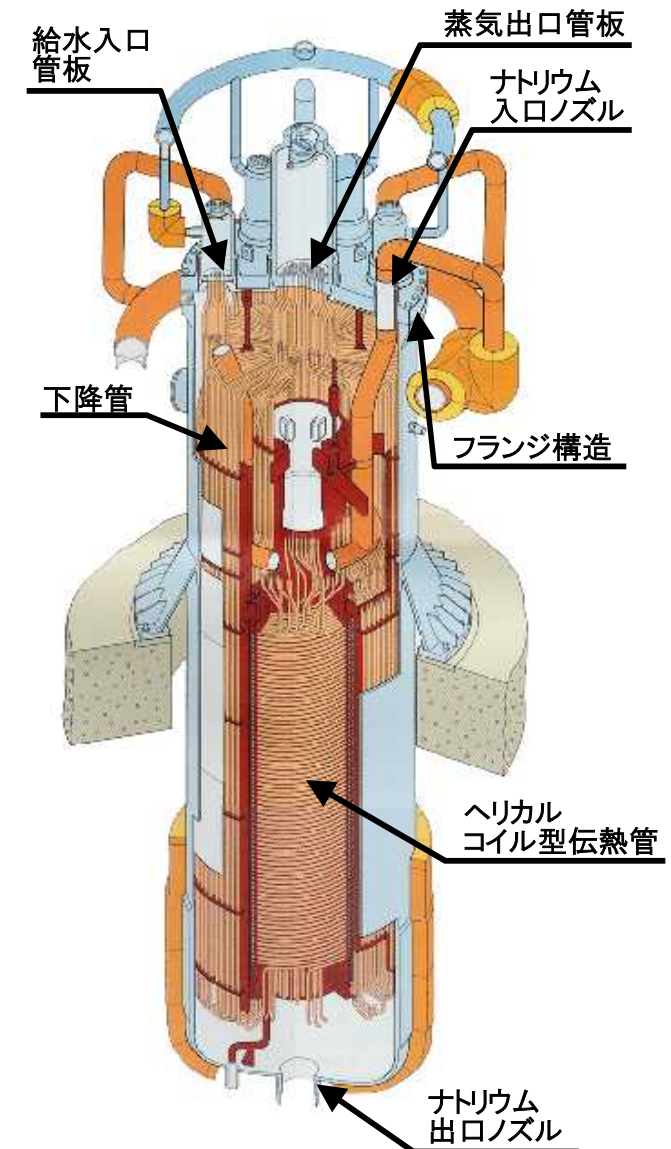
燃料取扱システム設計技術(2/2)

細目	性能試験			2Cy		3Cy		4Cy		5Cy ~ 9Cy					10Cy以降	
「もんじゅ」工程案 (検討の前提条件) ① 燃料取扱システム 設計評価 (燃料交換機器、燃料 移送及び貯蔵システム)	40%出力プラント確認試験	燃料交換	出力上昇試験第1サイクル	定期点検	第2サイクル	定期点検	第3サイクル	定期点検	第4サイクル	定期点検第5	定期点検第6	定期点検第7	定期点検第8	定期点検第9	定期点検第10	...
	燃料処理	燃料交換	燃料処理	燃料交換	燃料処理	燃料交換	燃料処理	燃料交換	燃料処理	燃料交換・燃料処理						
	・運転データの蓄積 ・保守データの蓄積 ・不具合データ及び対策処置経験等の蓄積			・運転データの蓄積 ・保守データの蓄積 ・不具合データ及び対策処置経験等の蓄積			・運転データの蓄積 ・保守データの蓄積 ・不具合データ及び対策処置経験等の蓄積			・運転データの蓄積 ・保守データの蓄積 ・不具合データ及び対策処置経験等の蓄積						
	【40~100%運転後】 → 運転装置、保守実績、遠隔操作技術評価			【数サイクル100%運転後】 → 運転装置、保守実績、遠隔操作技術検証			しゃへいプラグ駆動部分解点検									
	期待される研究開発成果			①40%~100%出力運転後の燃料交換、燃料処理等の遠隔自動操作性(運転手順、運転時間等)の評価、保守実績の評価			①5年程度の運転保守経験を踏まえた、劣化傾向監視データ、運転データ(ナトリウム中軸受等の劣化傾向監視、蒸着ナトリウムの影響等)			①燃料取扱作業(交換・洗浄・貯蔵等)を通じて、我が国独自のシステムが単純な台車型直動式燃料取扱システムの性能実証(燃料引抜き力、運転時間、ナトリウム蒸気蒸着防止設計の検証等) ①しゃへいプラグ駆動部分解点検(エラストマシール等交換)					①高燃焼度の燃料取扱によるシステム実証(取出平均燃焼度約8万MWd/t燃料)	

●蒸気発生器等機器設計評価

実機データによる蒸気発生器設計検証、定格運転を通じた蒸気発生器の経年特性把握、及び健全性実証を行う。

- 実機データ(性能試験データ)による、蒸気発生器設計検証(熱交換性能、運転性能、流動安定性、複数系統の干渉を含む制御性、水素移行量等)
- 実機データ(性能試験データ)による蒸気発生器ブロー特性の評価
- 実機データ(性能試験データ)による蒸気発生器関連評価手法の検証
- 定格運転を通じた蒸気発生器の経年特性(水側汚れ、水素移行量等)、主要構造の健全性実証



参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

蒸気発生器等設計・評価技術 (2/2)

細目	性能試験			2Cy		3Cy		4Cy		5Cy ~ 9Cy					10Cy以降							
	40%出力プラント確認試験	燃料交換	出力上昇試験 第1サイクル	定期点検	第2サイクル	定期点検	第3サイクル	定期点検	第4サイクル	定期点検	第5	定期点検	第6	定期点検	第7	定期点検	第8	定期点検	第9	定期点検	第10	...
「もんじゅ」工程案 (検討の前提条件)																						
① プラント特性試験データの取得	蒸気発生器伝熱特性等の設計時性能のためのデータ取得			出力変更、プラントトリップ時の蒸気発生器と関連したデータ及び定期点検時機器データ取得			定期点検時機器データ取得				経年変化の監視											
② 設計時性能・機能の確認	蒸気発生器の伝熱性能、流動安定性、構造健全性評価等の試験結果検討及び設計評価			第1サイクル後の性能・機能評価 (蒸気発生器)			SG 伝熱管 ISI		第2サイクル後の性能・機能評価		初期故障まとめ					熱交換器、純度管理、水素移行量変化まとめ						
③ 設計ツール妥当性評価	蒸気発生器系流動安定性関連の設計ツールの妥当性評価																					
期待される研究開発成果	①40%性能試験の結果から蒸気発生器の設計妥当性評価(蒸気発生器のプロア時間を測定し、ナトリウム水反応の拡大防止の観点から要求されているプロア時間が確保されていることを確認)			②出力上昇試験および第1回の定期点検対象範囲設備・機器等の成績をもととした設計妥当性評価のまとめ			②、③ 2Cy運転データおよび第2回定期検査対象範囲設備・機器等の成績をもとに第1Cyと第2Cy時のデータの差異の分析による設計条件の妥当性評価(複数のサイクル影響評価)					①初期故障分析による設計妥当性のまとめ ②熱交換性能、水素移行量変化のまとめ(5Cy後) ②SG伝熱管ISIデータの分析によるSG信頼性評価(3Cy後) ②定格運転を通じた蒸気発生器の経年特性、健全性実証 ①、② 継続運転による長期的な構造健全性の実証データ取得と検証										

参考資料3-1-2 ②機器・システム設計技術

発電所補助システム設計技術(1/2)

ループ型特有、又はFBRプラントに特有な換気空調設備及びメンテナンス冷却系設備について、設計妥当性確認、運用性実証、経年特性把握を行う。

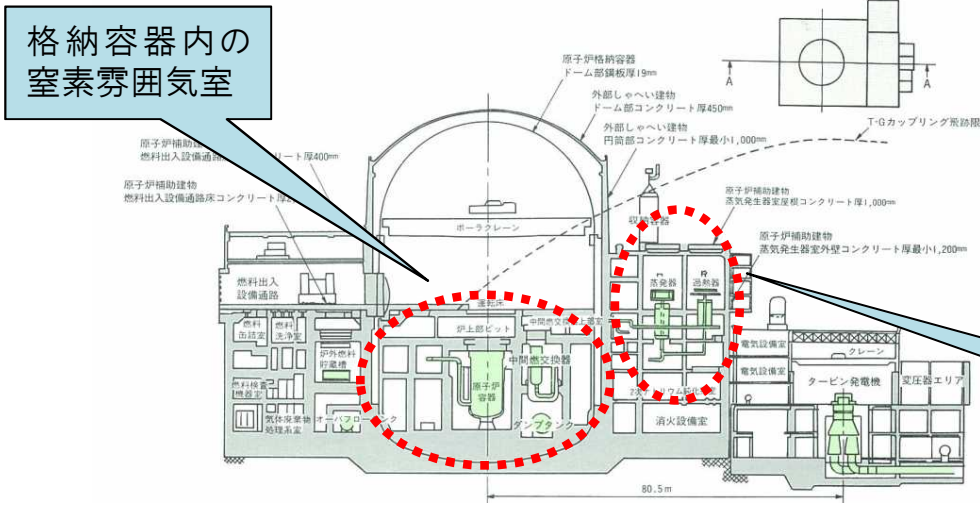
① 換気空調設備設計評価

性能試験データにより、窒素雰囲気室及び熱負荷変動の大きい蒸気発生器室の室温データを取得し、換気空調設備の設計妥当性を評価する。

② メンテナンス冷却系設計評価

性能試験データにより、中間熱交換器、空気冷却器の除熱特性データを取得し、設計妥当性を確認する。

- 主冷却システムのプラントメンテナンス時に炉心からの崩壊熱を除去することを目的とする。
- 中間熱交換器、電磁ポンプ、空気冷却器等から成るナトリウム冷却高速炉固有の設備。



格納容器内の窒素雰囲気室

熱負荷変動の大きい蒸気発生器室(空気雰囲気)

