

# ナトリウム冷却炉における技術開発課題

## 経済性に係る課題

### ○建屋容積・物量の削減

- ①配管短縮のための高クロム鋼の開発
- ②システム簡素化のための冷却系2ループ化
- ③1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発
- ④原子炉容器のコンパクト化
- ⑤システム簡素化のための燃料取扱系の開発
- ⑥物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化

### ○高燃焼度化による長期運転サイクルの実現

- ⑦高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発

## 信頼性向上に係る課題

### ○ナトリウムの取扱技術

- ⑧配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化
- ⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発
- ⑩保守、補修性を考慮したプラント設計

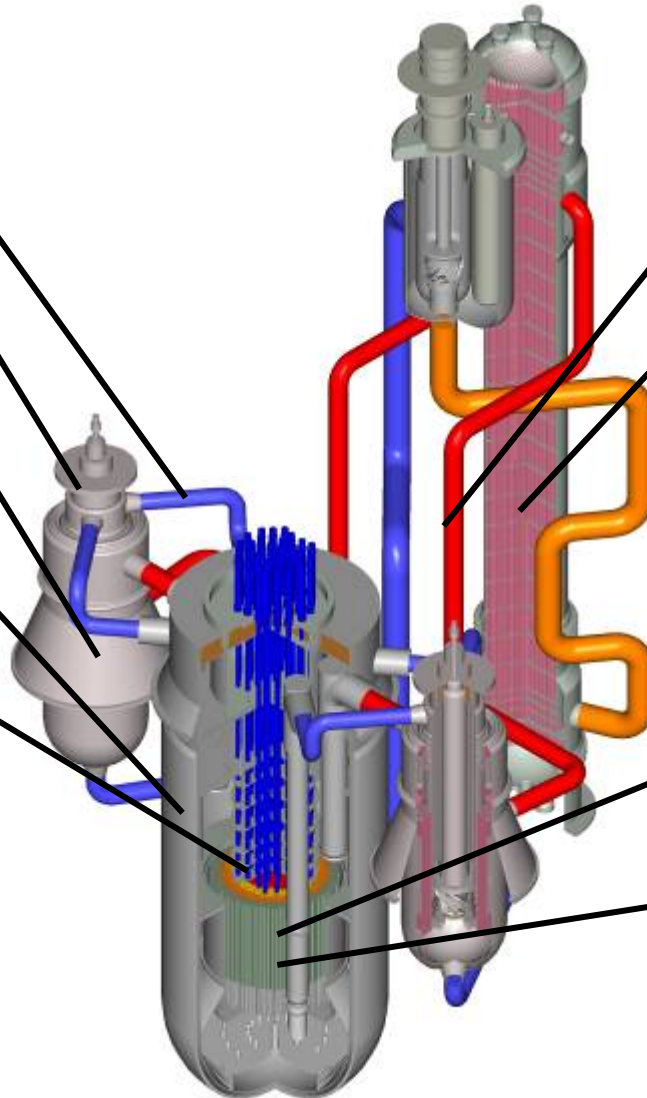
## 安全性向上に係る課題

### ○炉心安全性の向上

- ⑪受動的炉停止と自然循環による炉心冷却
- ⑫炉心損傷時の再臨界回避技術

### ○建屋の免震技術

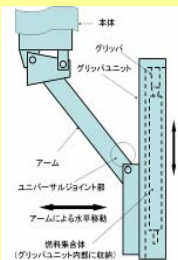
- ⑬建屋の3次元免震技術



# ナトリウム冷却炉における技術開発課題の詳細(1/5)

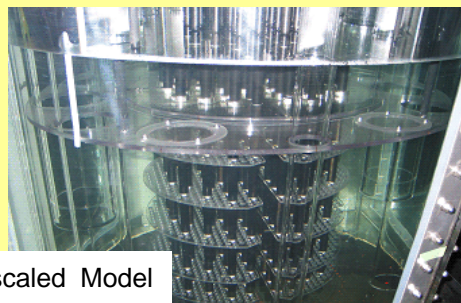
## ⑤システム簡素化のための燃料取扱系の開発

スリム型マニプレータ式燃料交換機



## ④原子炉容器のコンパクト化

- ナトリウム流速の増加
- ホットベッセル化(炉壁冷却削除)
- 単回転プラグの採用



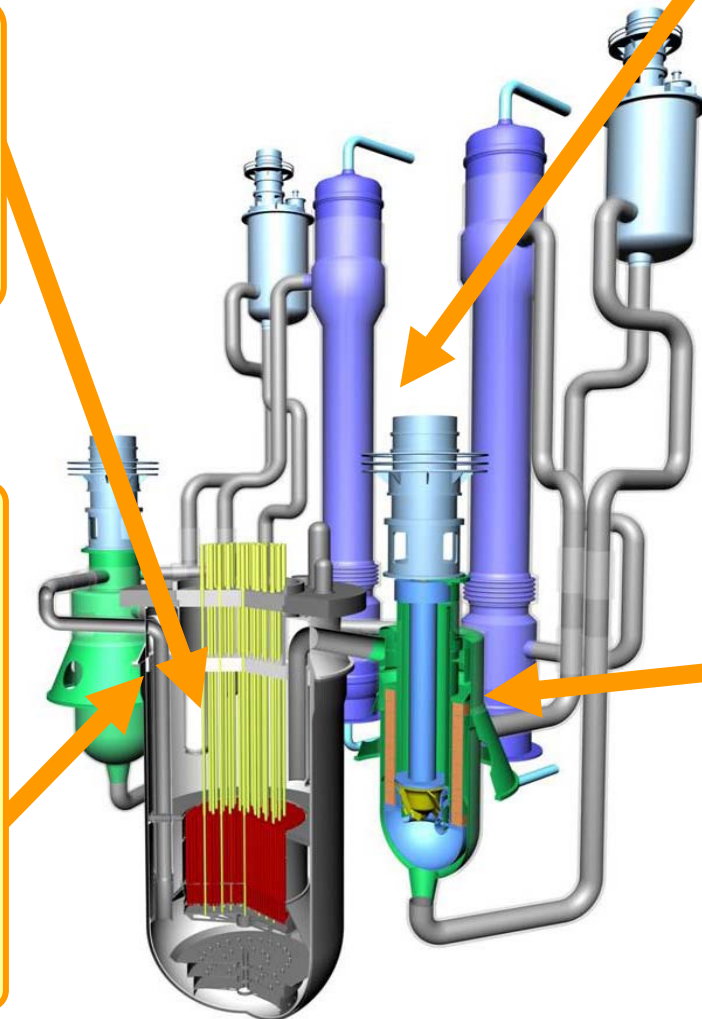
1/10<sup>th</sup> scaled Model

## ①配管短縮

→ 高クロム鋼の採用(高強度、低熱膨張)

## ②ループ数削減(2ループ化)

→ 配管内流速の増加と熱交換能力の拡大



## ③主循環ポンプ組込型中間熱交換器(IHX)



1/4<sup>th</sup> scaled Model

## (2) 技術開発課題

「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ最終報告書」では、これまでの概念検討や技術開発成果に基づき、主概念となるナトリウム冷却高速増殖炉、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造に関する今後の技術開発課題が抽出されている。その内容は概ね適切であると考えられるが、今後の研究開発にあたり、以下の事項を考慮すべきである。

### ① 革新技术

開発目標及び設計要求を満足する高速増殖炉を実現するためには、既存の技術だけでは達成が困難であり、新たな技術を導入する必要がある。導入すべき新たな技術は、これまでの研究開発の結果を踏まえ、今後の研究開発による技術的実現性が見通される可能性が高いものが数多く含まれている。新たな技術の中でも、特に、設計上重要な要素となっており、また、技術的難易度が高い技術については、革新技术として今後の研究開発において優先的に取り組む必要がある。

高速増殖炉の実用化戦略調査研究は、高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るまでの研究開発計画を2015年頃に提示することを目的に行われてきている。これを踏まえ、革新技术については、2010年に予定される評価において、2015年頃には研究開発が終了し、実証段階へ移行が可能との見通しが得られることを目標として、今後5年間、研究開発を行うこととする。

#### ア. ナトリウム冷却高速増殖炉

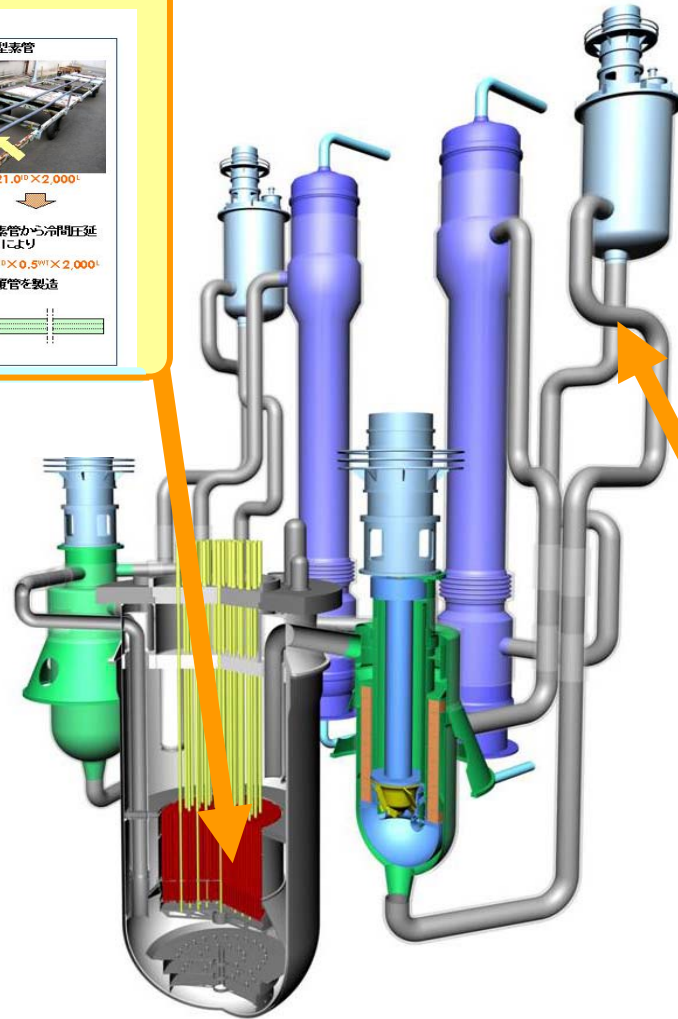
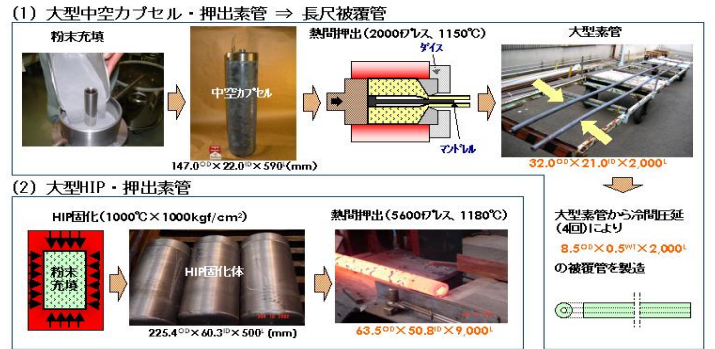
主概念として選定したナトリウム冷却高速増殖炉（MOX燃料）に関する革新技术は、以下の13課題である。

##### ○配管短縮のための高クロム鋼の開発

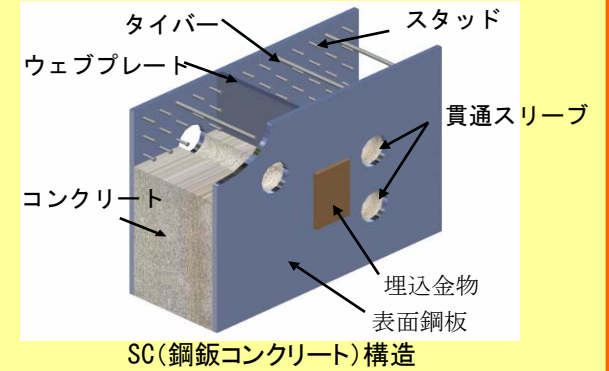
冷却系構造材料に従来の材料に比較して高強度・低熱膨張が特徴の高クロム鋼を適用し、熱膨張を低くすることにより熱応力緩和を

# ナトリウム冷却炉における技術開発課題の詳細(2/5)

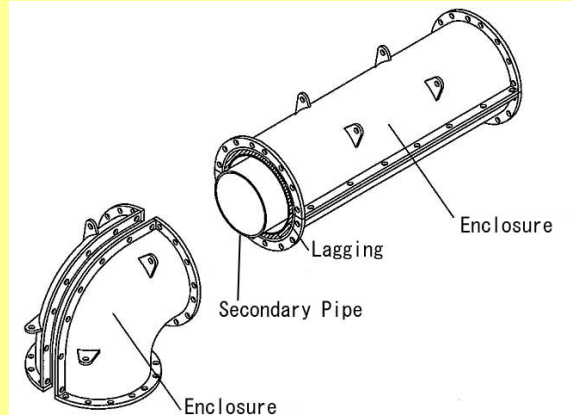
## ⑦ 高燃焼度化と長サイクル運転 → ODS鋼被覆管



## ⑥ 物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化



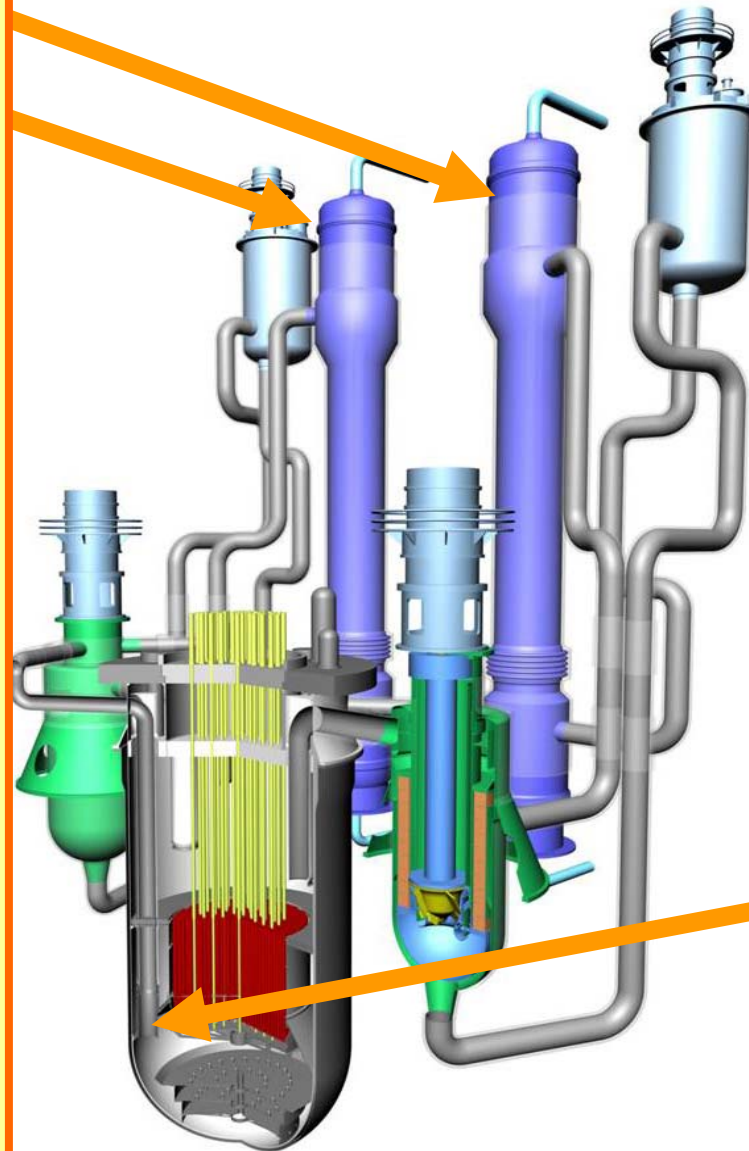
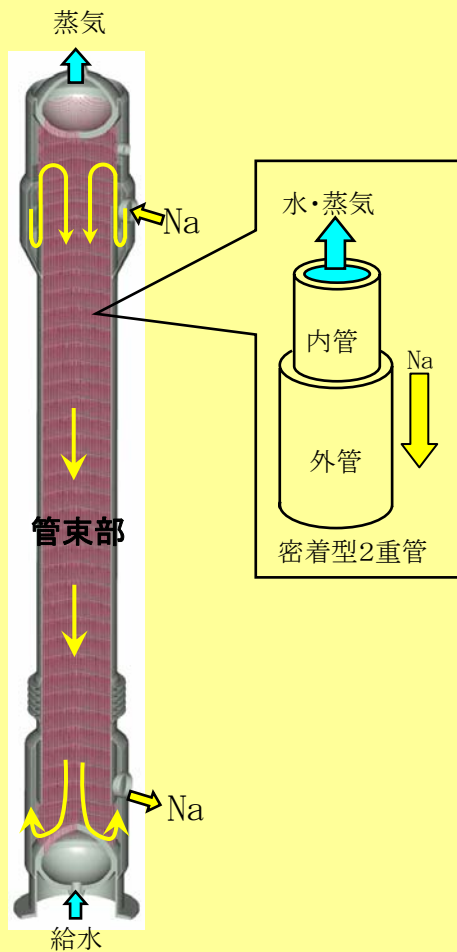
## ⑧ ナトリウム漏えい対策 → バウンダリの二重化



# ナトリウム冷却炉における技術開発課題の詳細(3/5)

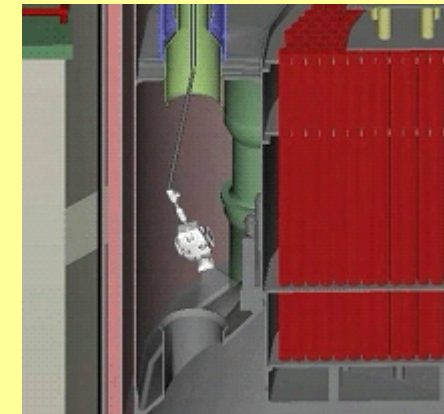
## ⑨ ナトリウム-水反応対策

→ 高信頼性2重管蒸気発生器



## ⑩ 保守・補修性の向上

→ 遠隔操作とナトリウム中目視装置等の開発



狙い、機器のコンパクト化、配管短縮を行い、建設コストの低減を図ることとしている。このため、高速炉の冷却系構造物のための高クロム鋼の開発が重要である。

#### ○システム簡素化のための冷却系２ループ化

150 万 kWe の炉でも冷却系を２ループとする概念を成立させるために、大口徑・高流速配管の流動安定性を確認することが必要である。これにより、冷却系機器の数を減らし、物量、補機類、及びその配置スペースを削減することにより、建設コスト低減を図ることとしている。

#### ○１次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発

１次系主循環ポンプを中間熱交換器中心部のスペースに組込み、機器数削減、ミドルレグ配管削除、及び配置スペース縮小により建設コスト低減を狙った概念を成立させるために、長軸ポンプの開発、ポンプから中間熱交換器への振動伝達防止に関する研究開発が必要である。

#### ○原子炉容器のコンパクト化

スリット付き炉上部構造、サーマルライナ削除、炉心コンパクト化、等により原子炉容器を小径化する概念を成立させるために、上部プレナム内流動の安定化、及び高温構造の健全性確保技術の確立が必要である。

#### ○システム簡素化のための燃料取扱系の開発

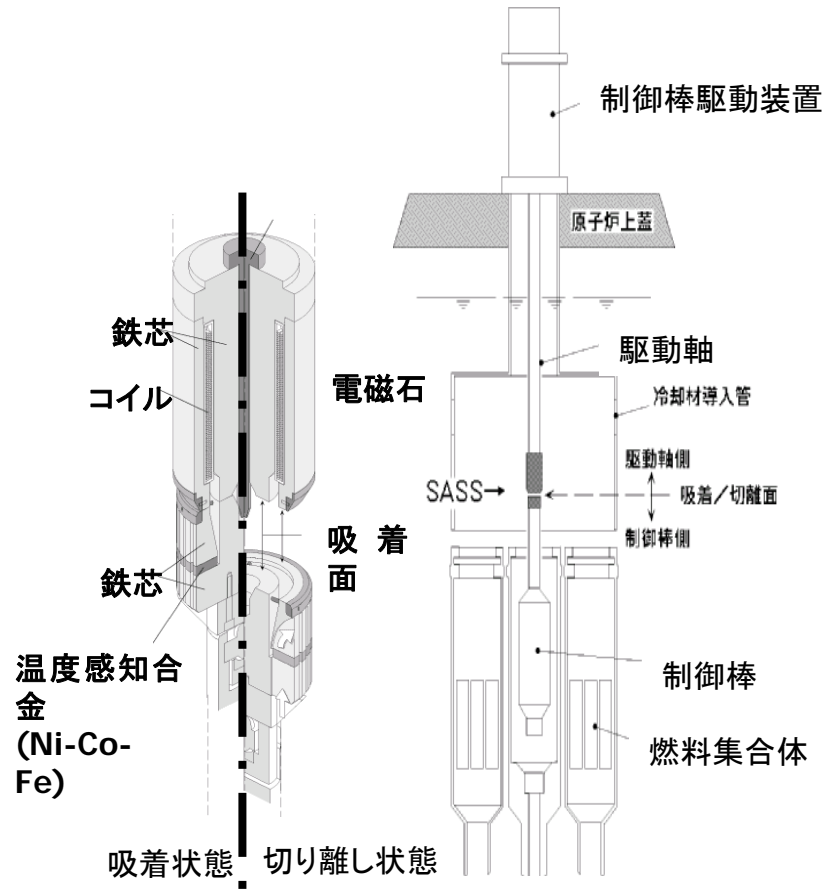
物量削減、廃棄物低減、稼働率向上のための高効率の燃料交換を実現する燃料取り扱いシステムの開発が重要である。

#### ○物量削減と工期短縮のための格納容器のＳＣ造化

建設コスト低減と建設工期短縮を実現する鋼板・コンクリート造

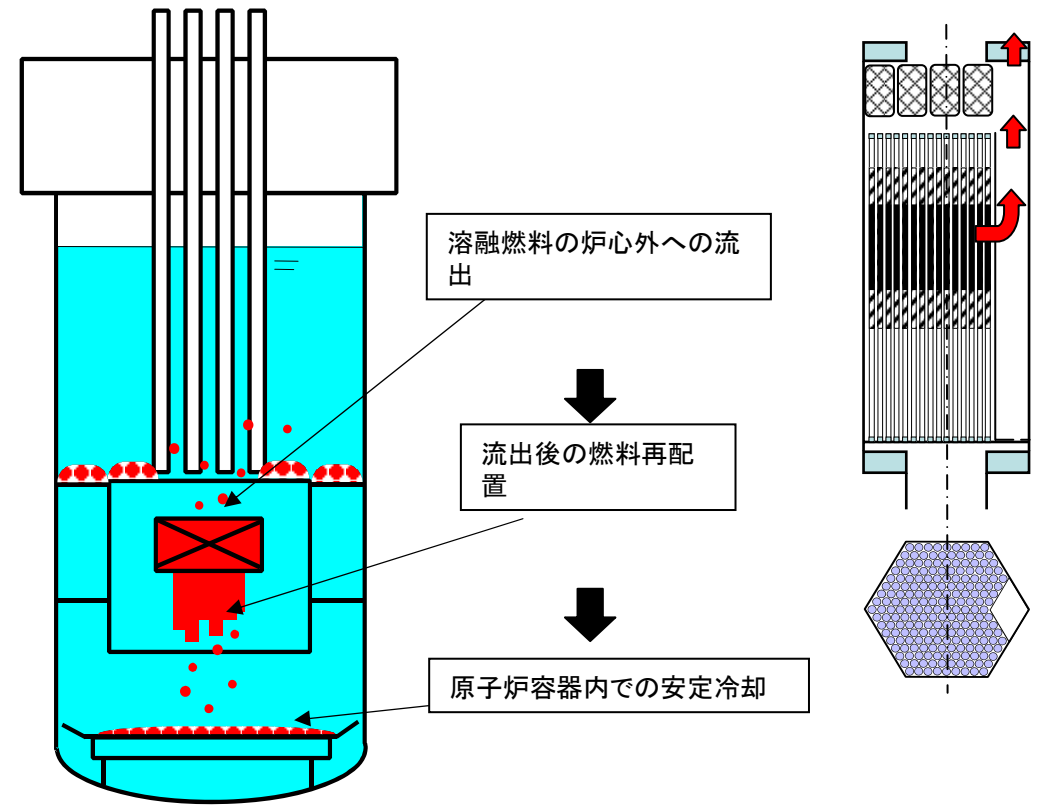
# ナトリウム冷却炉における技術開発課題の詳細(4/5)

## ⑪ 受動的炉停止と自然循環による炉心冷却



受動的炉停止システム

## ⑫ 炉心損傷時の再臨界回避技術

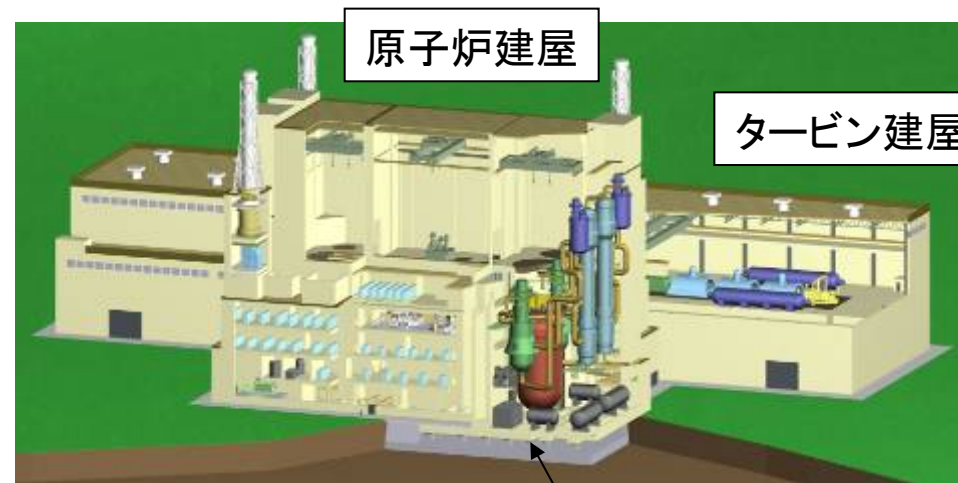


改良内部ダクト型燃料集合体 (S-FAIDUS型)

# ナトリウム冷却炉における技術開発課題の詳細(5/5)

## ⑬耐震性向上技術の開発

### 実用炉プラント鳥瞰図



建屋免震技術を採用



の格納容器の開発が重要である。

#### ○高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発

高燃焼度・高炉心出口温度を達成可能な被覆管材料である ODS 鋼の照射試験を、露国 BOR-60 炉、「常陽」、「もんじゅ」を用いて実施する必要がある。また、TRU 燃料ピン及び簡素化ペレット法で製造した中空燃料ピンや再臨界回避集合体の照射試験を行う必要がある。

#### ○配管 2 重化によるナトリウム漏洩対策強化

ナトリウム漏洩対策強化のため、主配管からのウェル・枝管削除、配管 2 重化・区画化、漏洩検出の高感度化を図った概念を成立させるために、レーザ式漏洩検出器を開発するとともに、破断前漏洩（LBB）評価手法を確立し LBB 概念の成立性見通しを得る必要がある。

#### ○直管 2 重伝熱管蒸気発生器の開発

蒸気発生器でのナトリウム-水反応を防止するため、伝熱管の信頼性向上、伝熱管の破損拡大防止が期待できる直管 2 重伝熱管蒸気発生器を開発することとしている。直管 2 重伝熱管蒸気発生器の製作性、構造健全性、ナトリウム-水反応特性を確認することが必要である。

#### ○保守、補修性を考慮したプラント設計

不透明、活性なナトリウム冷却材中での供用中検査（ISI）技術、2 重伝熱管蒸気発生器の伝熱管検査技術、ナトリウム中補修技術の確立が必要である。

#### ○受動的炉停止と自然循環による炉心冷却

磁石が一定以上の温度（キュリー点）に達すると磁力を失う性質を利用する受動的炉停止機構（SASS）の技術実証、及び自然循環に

# 燃料サイクルシステムにおける技術開発課題

(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

## 先進湿式法再処理

## 簡素化ペレット法燃料製造

①機械式解体・短尺せん断技術の開発

②高効率溶解技術の開発

③晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発

④U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発

⑤抽出クロマト法によるMA回収技術の開発

⑥廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発

⑦脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発

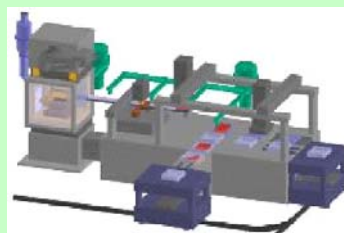
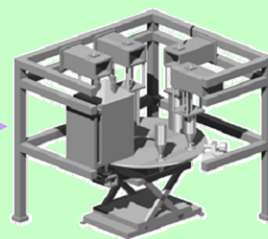
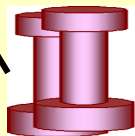
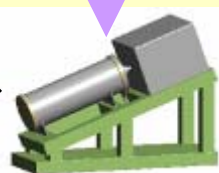
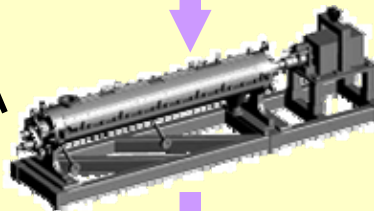
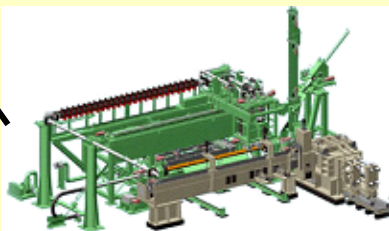
⑧ダイ潤滑成型技術の開発

⑨焼結・O/M調整技術の開発

⑩燃料基礎物性研究

⑪システム開発:セル内遠隔設備開発

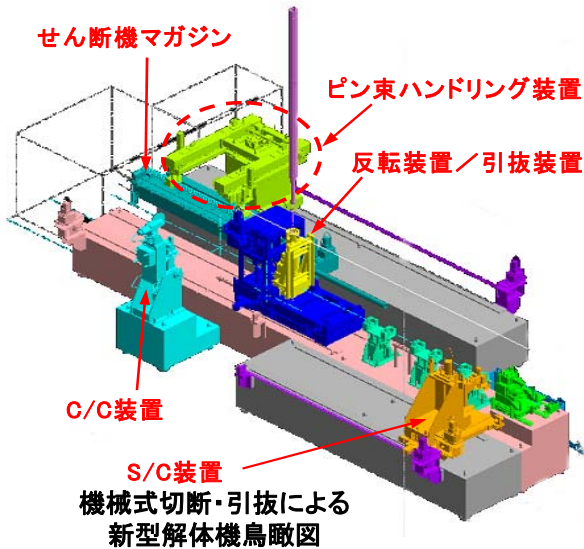
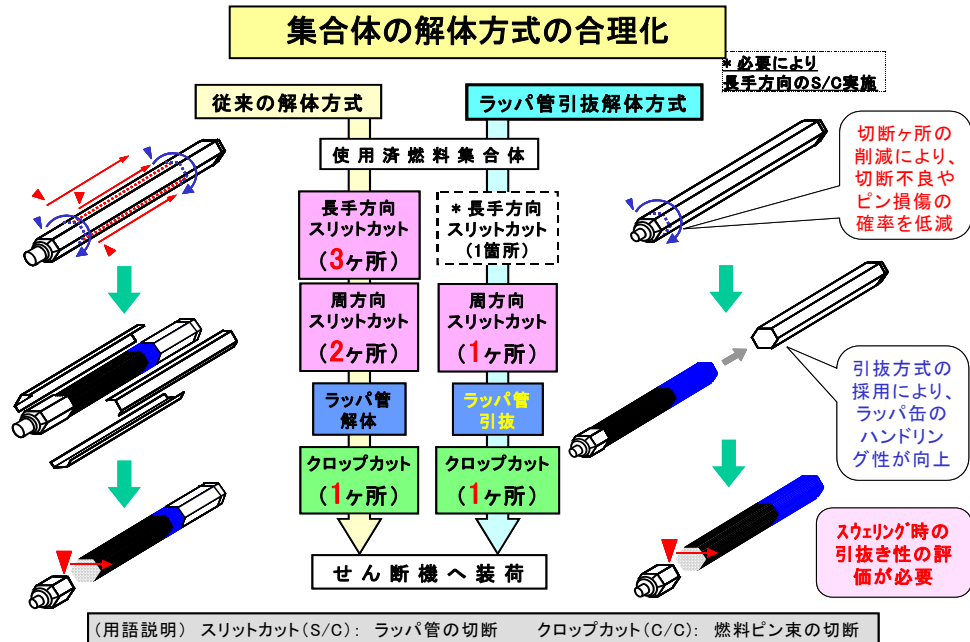
⑫TRU燃料取扱い技術



# 燃料サイクルシステムにおける技術開発課題の詳細(1/6)

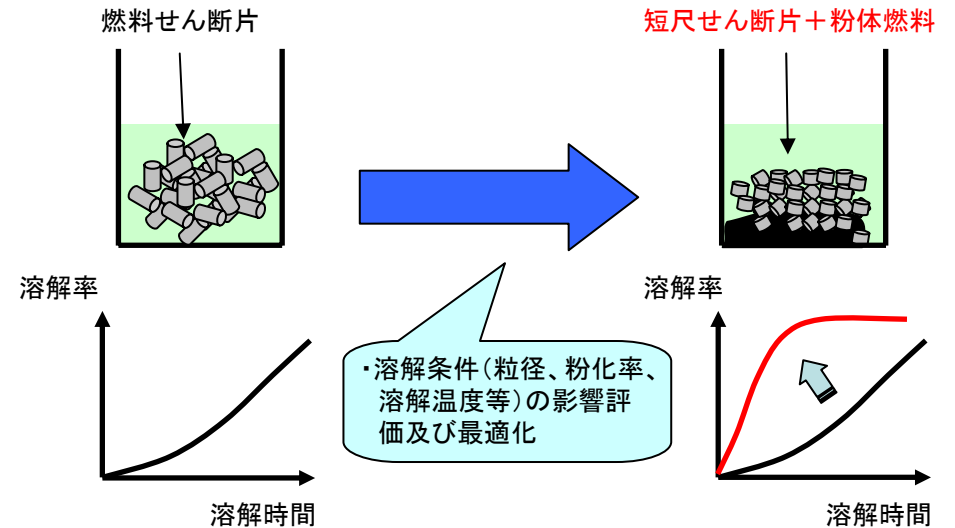
(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

## ① 機械式解体・短尺せん断技術の開発

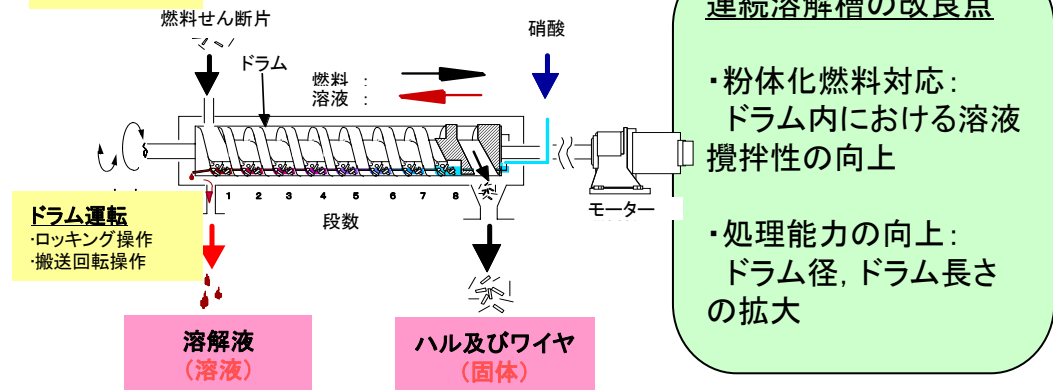


機械式切断治具による切断状況 (キュービトロン砥石)

## ② 高効率溶解技術の開発



燃料せん断片:  
・ハル  
・ワイヤ  
・燃料要素  
・せん断粉



よる崩壊熱除去性能の確認及び評価手法の確立が必要である。

#### ○炉心損傷時の再臨界回避技術

炉心損傷事故時に溶融燃料を炉心外に排出する経路を取り付けた集合体により、溶融燃料の再臨界を回避しつつ、冷却するシステムを確立することが重要である。

#### ○建屋の3次元免震技術

サイト毎の地震条件を均一化し、標準化による建設コスト低減効果が期待できる3次元免震技術を開発することとしている。3次元免震技術を確立するため、免震要素の開発と設計基準整備が必要である。

### イ．先進湿式法再処理＋簡素化ペレット法燃料製造

主概念として選定した、先進湿式法再処理及び簡素化ペレット法燃料製造に関する革新技術は、以下の12課題（再処理：6課題、燃料製造：6課題）である。

#### (再処理)

##### ○解体・短尺せん断技術の開発

解体システムについて、要素試験機及びシステム試験機により実証する必要があり、同様に所定の高粉化率のせん断片が得られるせん断システムを実証する必要がある。実使用済燃料のピン束形状やせん断時のピン性状の把握が重要である。

##### ○高効率溶解技術の開発




高粉化燃料の装荷に対応し、高金属濃度溶解液が得られる溶解プロセスについて、燃料粉化率や粒径等をパラメータとしたプロセス試験を実施し、溶解条件を最適化する必要がある。高粉化燃料のハンドリング性に優れ、処理容量の増大が図れる連続溶解槽の基本構

# 燃料サイクルシステムにおける技術開発課題の詳細(2/6)

## (先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

### ③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発

U 結晶中における Pu の存在比

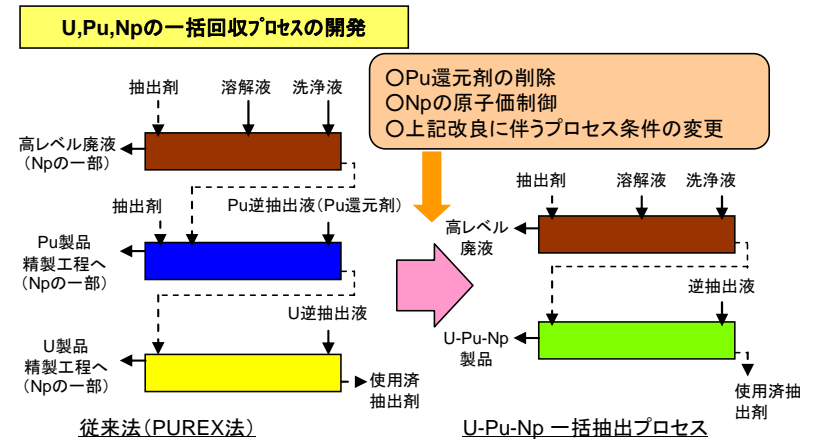
	U結晶の外観	Pu 比
Run1		100 : 0.3 (U) (Pu)
Run2		100 : 5 (U) (Pu)
Run3		100 : 1.5 (U) (Pu)

Pu(IV) のみの場合には母液に付着する  
Pu(VI) の場合には結晶に取り込まれる

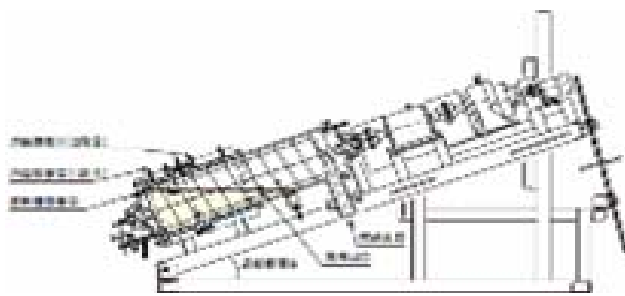
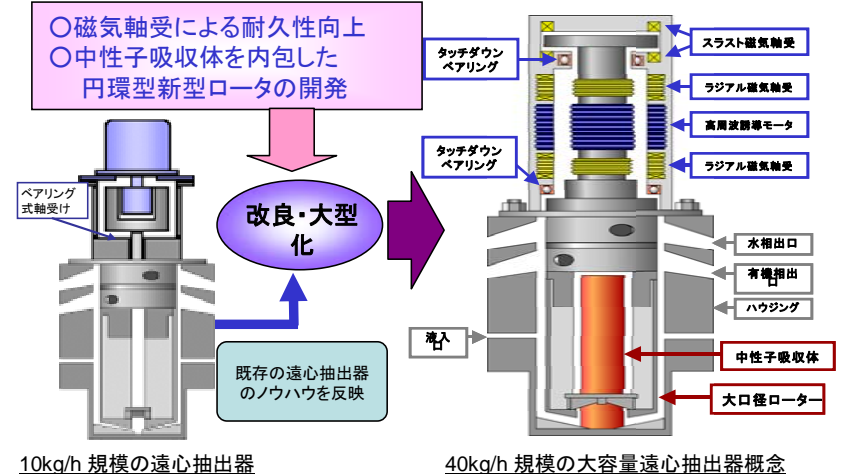
結晶中Uに対するPu、FPの除染係数 (DF)

		Pu	<sup>137</sup> Cs	<sup>155</sup> Eu
Run1 (急冷)	洗浄前	5.6	1.2	4.2
	洗浄後	25	0.8	27
Run2 (緩冷)	洗浄前	4.6	0.9	3.5
	洗浄後	19	0.9	19

### ④ U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発



### 大型プラント向け遠心抽出器の開発



連続晶析装置外観図



結晶分離機概念構造図

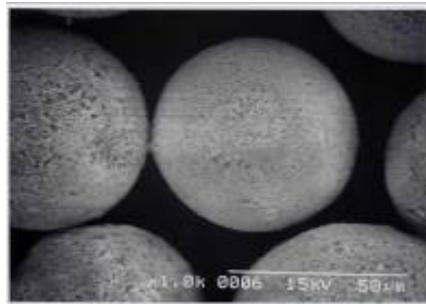
# 燃料サイクルシステムにおける技術開発課題の詳細(3/6)

(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

## ⑤ 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発

## ⑥ 廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発

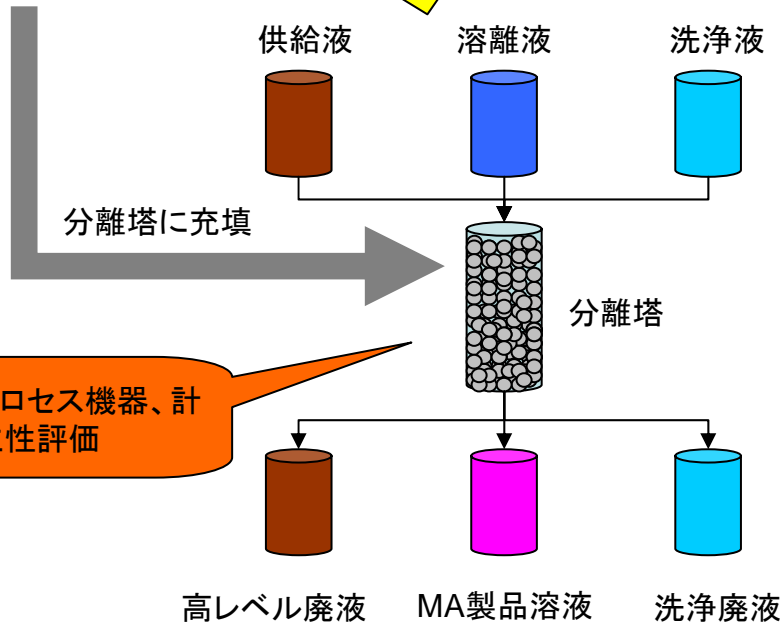
- 多孔質SiO<sub>2</sub> 粒子の表面にポリマー(スチレンジベニルベンゼン)を被覆(SiO<sub>2</sub>-P)
- SiO<sub>2</sub>-Pの表面に抽出剤(CMPO、TODGA、BTP等)を固定化



CMPO/SiO<sub>2</sub>-P吸着材外観

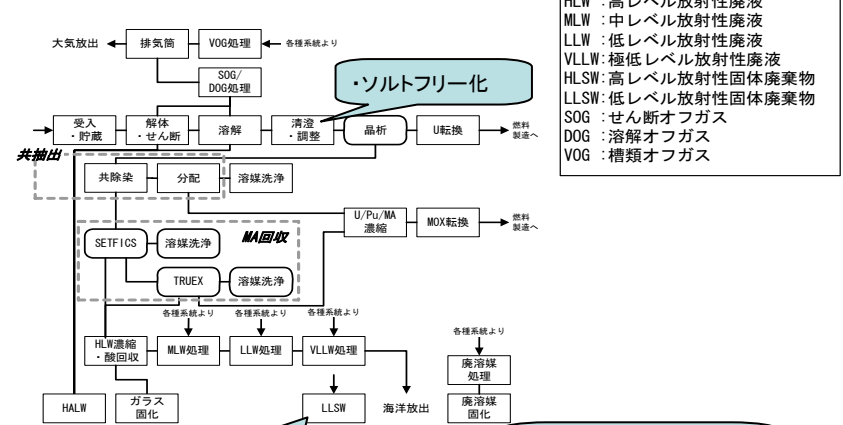
抽出剤の比較・評価・選定

・フローシートの作成  
・MA及びFP元素の挙動確認



・工学規模のプロセス機器、計装機器の成立性評価

### 先進湿式リファレンスシステム

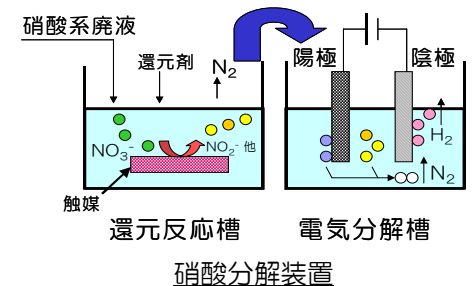
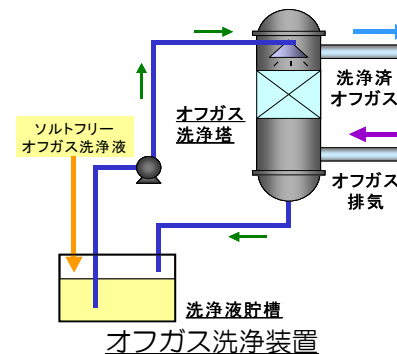


- HLW : 高レベル放射性廃液
- MLW : 中レベル放射性廃液
- LLW : 低レベル放射性廃液
- VLLW : 極低レベル放射性廃液
- HLSW : 高レベル放射性固体廃棄物
- LLSW : 低レベル放射性固体廃棄物
- SOG : せん断オフガス
- DOG : 溶解オフガス
- VOG : 槽類オフガス

・主工程及び周辺工程のソルトフリー化(金属イオンを含む試薬の排除)及び濃縮妨害試薬の排除による濃縮処理の効率化

・余剰硝酸の低減・分解

### ソルトフリー機器の開発



造を構築し、部分モックアップ機にて性能を実証する必要がある。  
また、ホット試験による溶解プロセスデータの拡充、解析コードの改良、機器の大型化と運転安定性の確保、攪拌性が両立する溶解槽内部構造の確立が重要である。

#### ○晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発

FP 等のウラン結晶への同伴核種の挙動を明らかにし、これを踏まえて晶析及び結晶洗浄精製手法やそれらの操作条件を最適化する必要がある、工学規模試験機を用いて処理能力、安定性、操作性について連続晶析装置を実証する必要がある、併せて、高濃度溶液・ウラン結晶の取り扱い技術等を実証する必要がある。また、セシウム等の除染係数の向上、晶析装置の運転制御（計装制御技術等）、溶液及び結晶の安定的移送に関する方策等の確立が重要である。大型化を想定した内部構造や安全性の検討（臨界安全等）が重要である。

#### ○ウラン、プルトニウム、ネプツニウムを一括回収する高効率抽出システムの開発

プロセス試験によりウラン、プルトニウム、ネプツニウム一括回収フローシートを最適化する必要がある。（ネプツニウム抽出挙動への亜硝酸濃度等の影響評価、各元素の低濃度領域におけるプロファイルデータ取得等が重要である）また、大処理量遠心抽出器（40kg/h）の基本性能、新型駆動機構の高耐久性の実証、工学規模ウラン試験によりシステムの成立性を確認する必要がある（遠隔保守性、インライン計装技術等が重要である）。

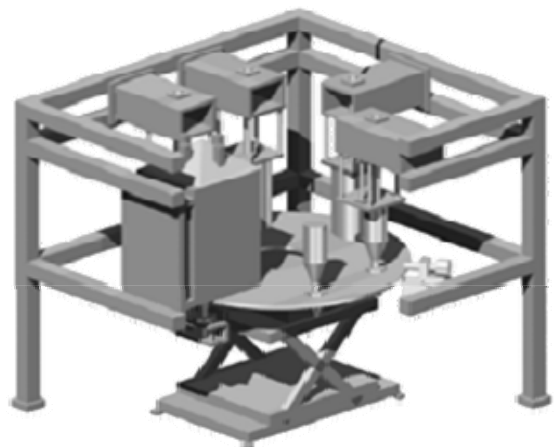
#### ○抽出クロマト法による MA 回収技術の開発

プロセス試験により、各種吸着材（抽出剤）を比較・評価（分離性能及び安全性）し最適なものを選定、フローシートを確立、MA 及び FP 元素の挙動を確認する必要がある。また、工学規模（10kg/h）試験により、プロセス機器（分離塔、回収塔等）の遠隔運転性・計装機器等の成立性を確認する必要がある。

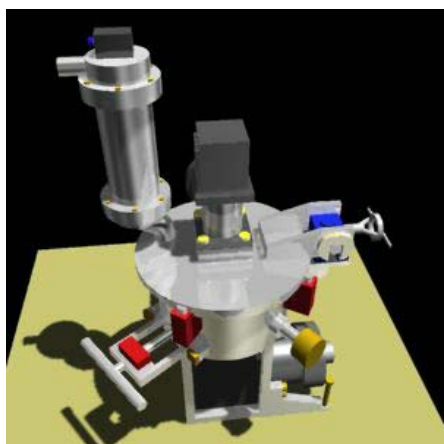
# 燃料サイクルシステムにおける技術開発課題の詳細(4/6)

(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

## ⑦ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発

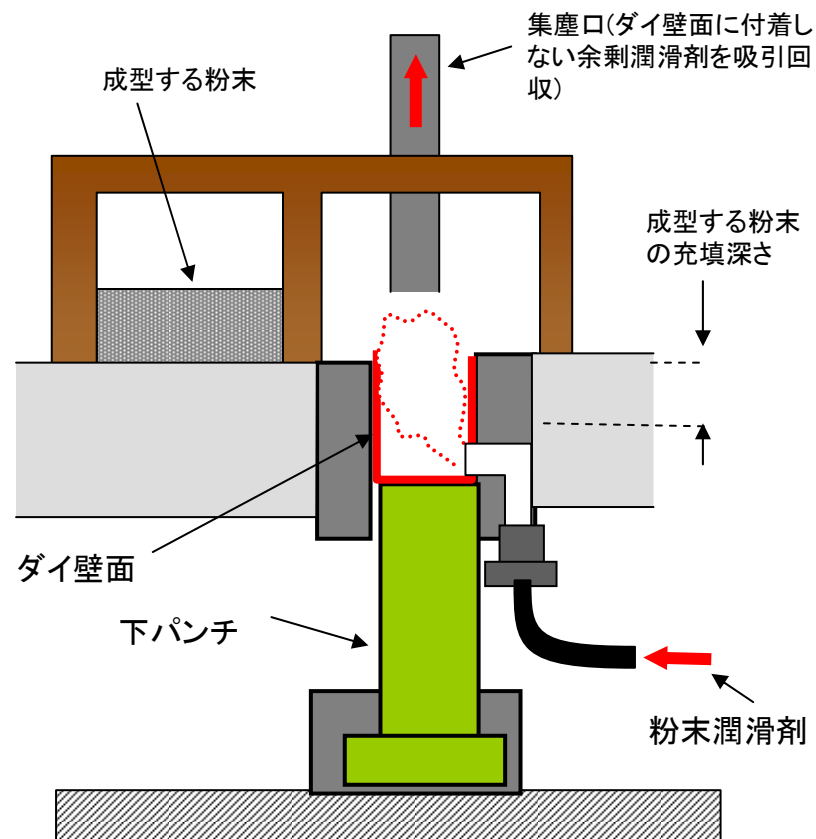


円筒型脱硝容器採用脱硝転換焙焼還元装置



転動造粒一体型脱硝転換装置(小規模試験機)

## ⑧ ダイ潤滑成型技術の開発



粉末潤滑剤(エアゾル状)をダイ下方から噴霧してダイ壁面に塗布する

### ダイ潤滑機構の概念

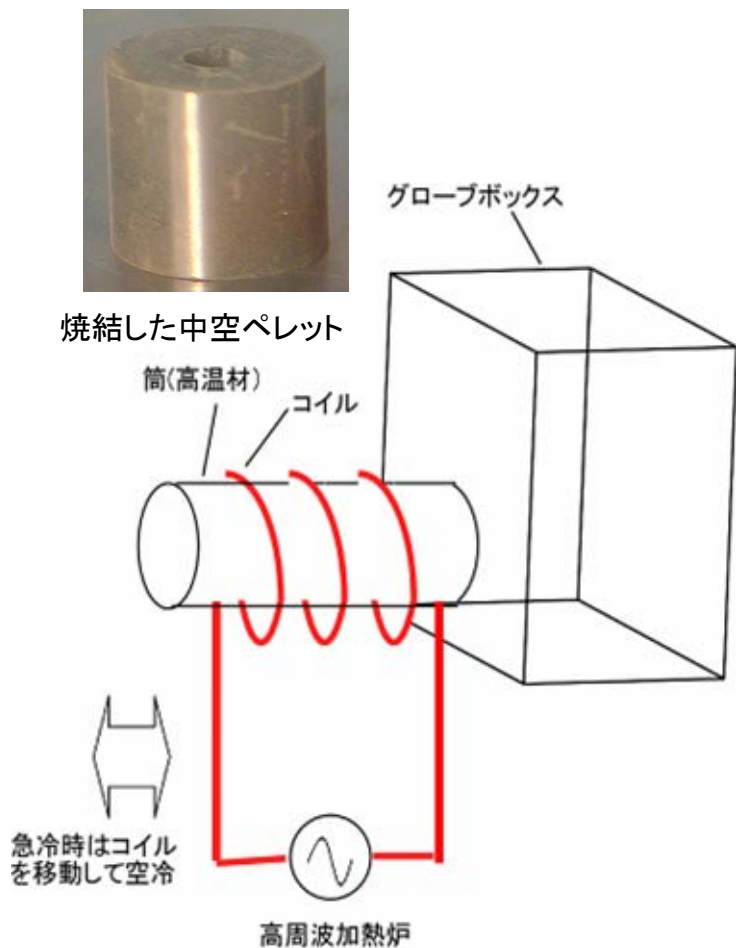


# 燃料サイクルシステムにおける技術開発課題の詳細(5/6)

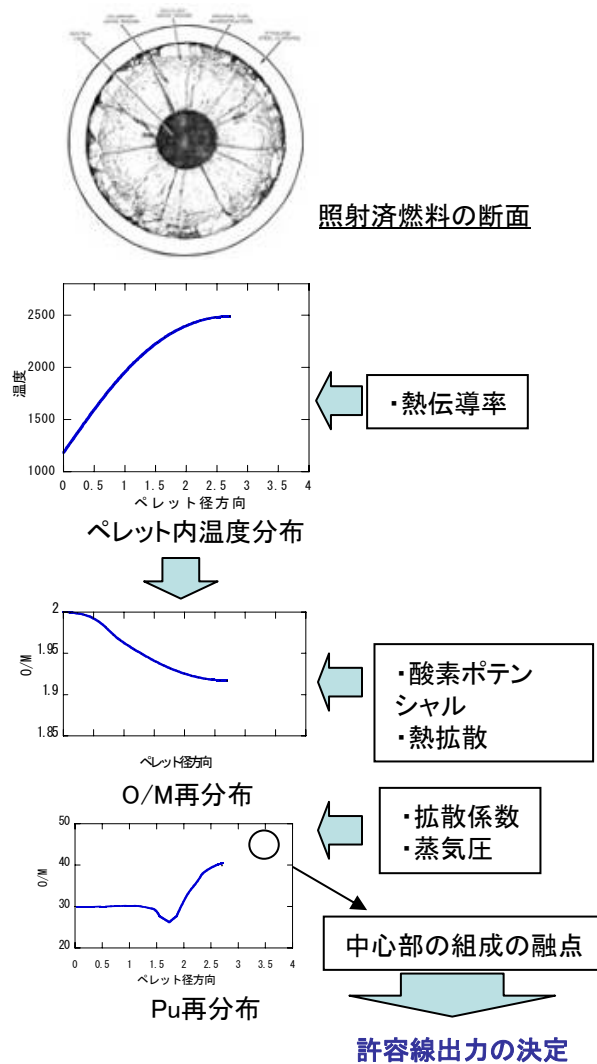
(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

## ⑨ 焼結・O/M調整技術の開発

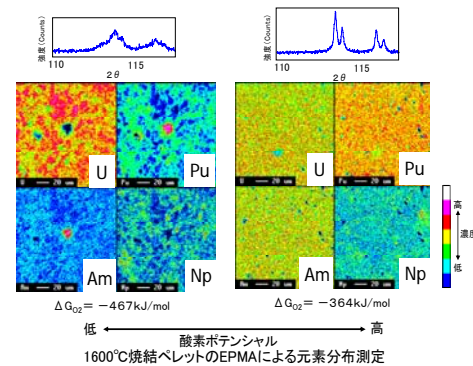
## ⑩ 燃料基礎物性研究(基礎物性と燃料設計コードの開発、基礎物性と燃料製造)



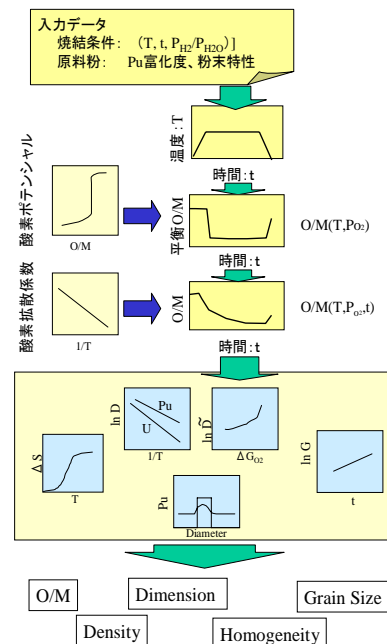
O/M 調整・焼結炉の概念



照射挙動解析手法の概念図



熱処理条件によって均質性が大きく異なる



焼結挙動解析手法の概念図

## ○廃棄物低減化（廃液 2 極化）技術の開発

オフガス処理工程等におけるソルトフリー化（濃縮妨害試薬の排除を含む）を、種々の試薬を対象にプロセス試験にて実証する必要がある。また、触媒等を利用した硝酸の分解技術について、その適用性を確認するとともに、ソルトフリープロセス条件に対応した工学規模装置を実証する必要がある。

## （燃料製造）

### ○脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発

脱硝加熱器などの転換装置に造粒機能を組み込み、転換工程で流動性の良い顆粒粉末を直接得られる技術を開発する必要がある。また、プロセスの工学規模成立性の評価、遠隔保守型脱硝転換造粒装置（量産型）の開発が重要である。

### ○ダイ潤滑成型技術の開発

小規模の MOX 用ダイ潤滑成型機（レシプロプレス）を設計・製作し、MOX 粉末、MA 含有 MOX 粉末でのダイ潤滑成型の最適運転条件の把握と安定運転できることを確認する必要がある。プロセスの工学規模成立性の評価、遠隔保守対応型ダイ潤滑成型装置（量産型）の開発が重要である。

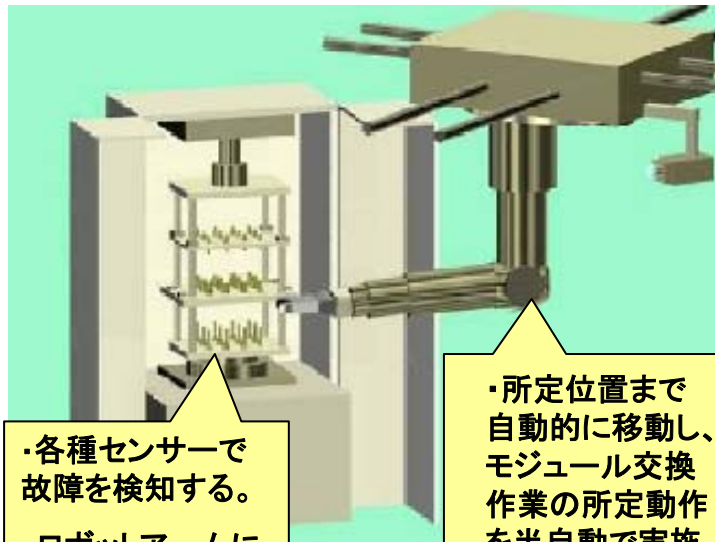
### ○焼結・O/M 調整技術の開発

MOX ペレット、MA 及び FP 含有 MOX ペレットの小規模焼結試験を実施し、品質を評価する必要がある。また、保守性を配慮した O/M 調整・焼結炉の熱処理方式などの調査を行い、選定した方式に基づき設計・製作し、ペレットの製造試験及び量産型の炉を開発する必要がある。熱処理条件の最適化、遠隔保守型 O/M 調整・焼結炉（量産型）の開発が重要である。

# 燃料サイクルシステムにおける技術開発課題の詳細(6/6)

(先進湿式法再処理+簡素化ペレット法燃料製造)

## ⑪ システム開発: セル内遠隔設備開発

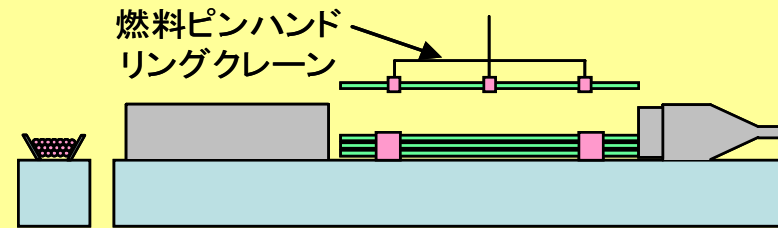


・各種センサーで故障を検知する。  
・ロボットアームにより故障したモジュールを交換する。

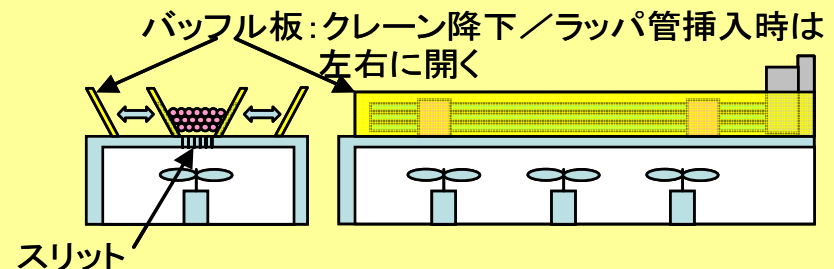
・所定位置まで自動的に移動し、モジュール交換作業の所定動作を半自動で実施する。

### 遠隔保守概念(ペレット成型装置の例)

## ⑫ TRU燃料取扱い技術:原料発熱影響評価



集合体組立装置仕様  
横置き組立  
燃料バンドル下部から強制冷却



集合体組立装置概念

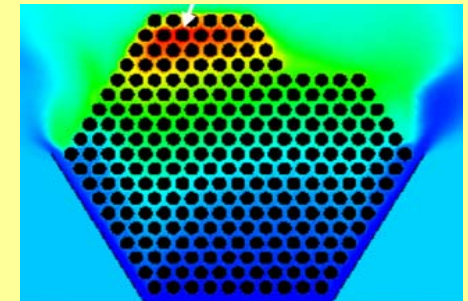
### 集合体組立時温度解析例

強制冷却、セル内気温:25℃

集合体設計:フェーズ2最終設計

HM重量:127.9kgHM(軸ブラ除く)

三次元熱流動解析コード  
AQUA および Fluent 使用



## ○燃料基礎物性研究

燃料設計に必要とする基礎物性データについて実験及び理論的に整備し、モデル化するとともに、得られた物性モデルを用いて挙動解析コードを開発する必要がある。照射実績が無い広範囲の燃料組成、照射条件でも評価可能となるよう、理論的に裏づけのある挙動解析コードとすることが重要である。また、熱処理中のペレット内の様々な変化を温度、時間、雰囲気関数として速度論的評価を可能とするため、基礎物性データを幅広く取得する必要がある。グリーンペレットから焼結が進む過程と焼結が進んだ過程の挙動を分けてデータ取得及びモデル化を行い、基礎物性データと合わせて体系化することが重要である。

## ○セル内遠隔設備開発

コールドモックアップ試験を中心に、製造設備のモジュール開発、モジュール開発に連動した遠隔ハンドリング機器を開発する必要がある。また、インライン粉末分析、ペレット検査迅速化技術を開発する必要がある。遠隔ハンドリング機器の開発、ホット試験による実証が重要である。

## ○ TRU 燃料取扱い技術

燃料集合体内流路の典型的な形状に対し詳細な流速分布や温度分布を計測できる試験機を製作し、試験結果から詳細なモデルを構築する必要がある。このために、集合体組立装置および燃料バンドルを模したコールドモックアップ試験装置を作成し、除熱効果を確認する必要がある。また、燃料サイクルシナリオに応じて多様な発熱の燃料に対する、改良モデルによる温度分布の評価、高発熱燃料に対応した集合体組立装置の設計への反映が重要である。

## ② 代替技術

主概念に設定した革新技术は、今後の研究開発により技術的実現性が高いと判断したが、技術的難易度が高く現時点では技術的実現性に

## 代替技術と設計への影響

	革新技術	内 容	代替技術案	代替技術採用の影響
①	ODSフェライト鋼被覆管	ODS鋼を用いることにより高燃焼度化と冷却材出口温度の高温化の両立を図る。	PNC/FMS鋼を用いた炉心設計	原子炉出口温度が550→520℃と低下、燃焼度維持のため燃料ピン長増加(原子炉容器大型化による物量増13%)、原子炉電気出力確保のための熱交換器大型化(原子炉建屋体積8%増)、建設コストが増加する。
②	高クロム鋼採用による配管短縮	熱膨張が少なく高温強度に優れる高クロム鋼材料の採用により配管短縮と機器物量削減を図る。	9クロム鋼を用いた冷却系設計	強度確保のための伝熱管肉厚増加と、熱伝導度低下を補うための伝熱面積増加により、IHX及びSG(物量13%増)が大型化し、建設コストが増加する。
③	ポンプ組込型中間熱交換器	1次循環ポンプを熱交換器内に組込むことにより1次冷却系配管の簡素化を図る。	ポンプ、中間熱交換器の分離配置	1次冷却系機器数が3→5と増加することにより、容器、ガードベッセルの物量増加(原子炉、1次冷却系物量7%増)、建屋の配置スペースが増加する。
④	2ループシステム	熱交換器の大型化と配管の大口径化によるシステムの簡素化を図る。	4ループ化	原子炉容器の大型化、冷却系機器及び配管物量が増加し(原子炉と冷却系の物量10%増)、建設コストが増加する。
⑤	高信頼性蒸気発生器	2重伝熱管蒸気発生器の採用により伝熱管破損時の影響を局限化し、信頼性向上を図る。	単管ヘリカルコイル型蒸気発生器	単管ヘリカルSGではプラント寿命期間中に伝熱管破損が発生する可能性が無視できない。このため、伝熱管補修のための炉停止、及びSGの交換経費を含めると2重管SGの場合よりも、経済性は低下する可能性がある。

課題を有していることも考慮する必要がある。今後集中的な研究開発を行うことなく革新技術の代替が可能と見込まれる既存技術に基づく技術を、革新技術に対する代替技術として選定している。革新技術は、2010年に予定される評価において一定の見通しが得られることを目標として研究開発が行われるが、万一、革新技術の技術的実現性が見通せないとの結果になった場合、選定した高速増殖炉システム概念を全体として変更するのではなく、代替技術の導入により性能や経済性の低下が予想されるが、その影響等を評価した上で、一部の革新技術を置き換えるべき代替技術として開発に値する概念かどうかを判断することになる。

### ③ 新たな革新技術の芽

今後の研究開発の進展により、将来、現時点で設定した革新技術よりも優れた新たな革新的な技術が出現する可能性が考えられる。「高速増殖炉の実用化戦略調査研究フェーズⅡ最終報告書」においても、先進湿式法に対して超臨界直接抽出法の可能性が検討され、現時点における技術的実現性の観点から先進湿式法が選択されているが、超臨界抽出法には、工程がより簡略化され、経済性が向上する可能性があるとされている。研究開発に当たっては、このように革新技術に替わりうる可能性を有する新たな革新技術の芽とも呼ぶべき技術についても留意すべきである。なお、新たな革新技術の芽として、発熱性 FP 等の分離技術、造粒が不要で焼結温度が低い焼結技術などが挙げられる。

(高速増殖炉の研究開発における留意点)

#### ① 蒸気発生器

##### ア. 二重伝熱管の採用

原子炉からの熱はナトリウムに伝えられ、蒸気発生器の中の伝熱管を介して、発電機を回す蒸気に伝えられる。この伝熱管の内側に水が外側にナトリウムが流れるが、水とナトリウムが直接接触することは安全性及び信頼性の確保の観点から重要な問題となる。「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ最終報告書」においては、

## 2重伝熱管蒸気発生器の製作性

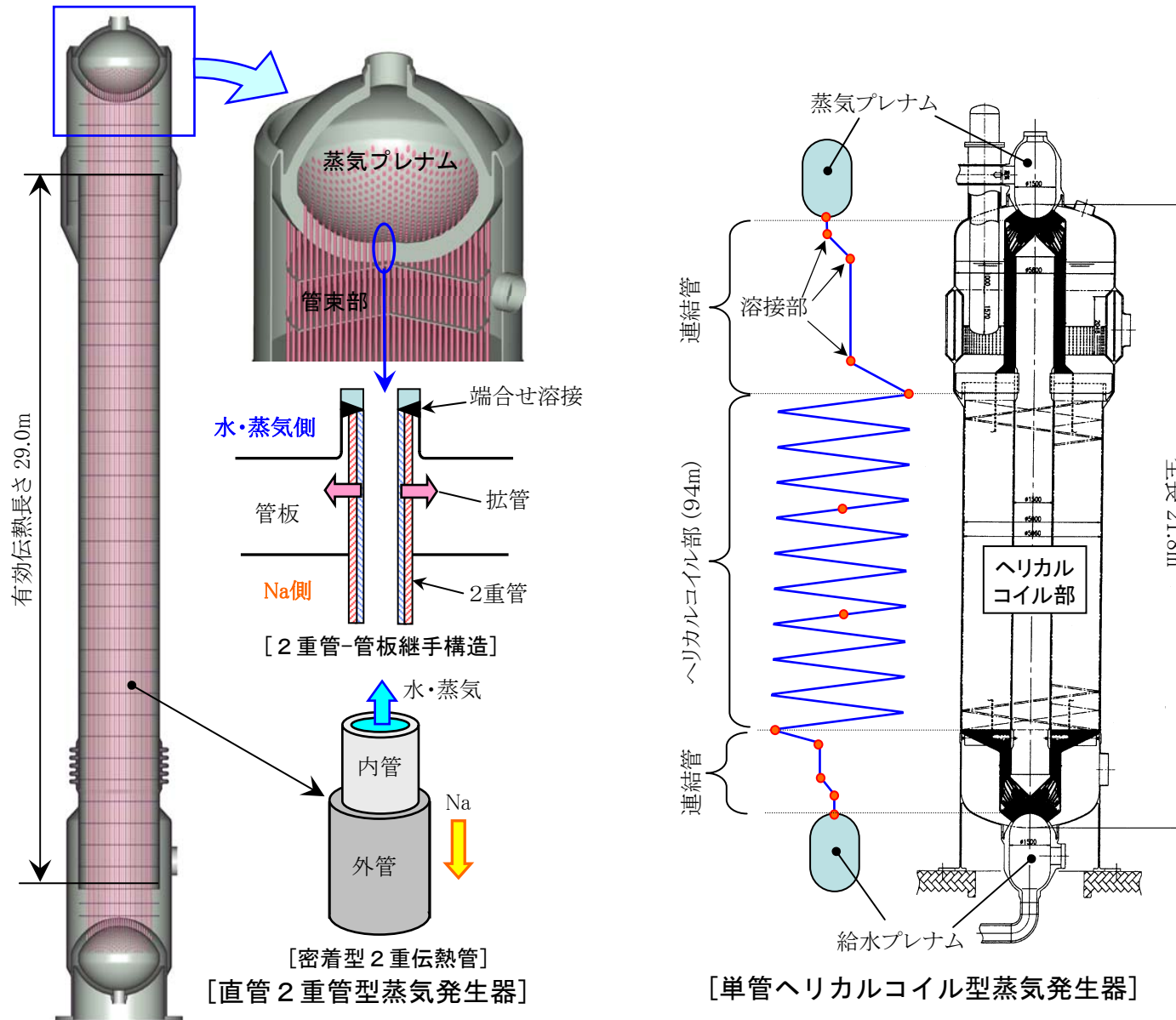
### [実績]

- ・ 約2mの長さの12Cr鋼密着2重管を試作
- ・ 旧動燃における1MWt2重管SG小型試験体等の製作時に全長20m程度の9Cr鋼2重伝熱管を製作した実績がある。
- ・ 伝熱管本数7,100本/基については、APWRの5,830本/基という実績があり、AP-1000では10,000本/基としていることから実現可能と考える。

### [課題]

- ・ 製作性については、以下の課題が残されており、フェーズ3において、製作手順を含めた検討を開始した。
  - － 2重伝熱管: 所定の面圧及びギャップ幅を有する35m級管の製作
  - － 球形管板: 高クロム鋼厚肉構造材の熱処理、及び3次元リガメント加工性（管台の削りだしと管板孔開け加工）
  - － 胴ベローズ: 高クロム鋼による削り出し製作性
  - － 管・管板溶接継手: 管台と2重管端部の溶接技術、及び高クロム鋼2重管の拡管技術

# ヘリカルコイル単管型との信頼性比較





安全性及び信頼性を確保する観点から伝熱管を二重化した蒸気発生器の開発、導入が提案されている。

国内外を含めこれまで運転されている、あるいは、現在海外で計画が進められている、ナトリウム冷却高速増殖炉の蒸気発生器のほとんどは、単管の伝熱管となっている。また、単管の蒸気発生器に比較して二重管蒸気発生器はコスト高となる。

安全性及び信頼性の向上の観点から、二重伝熱管蒸気発生器を主要な革新技術として開発を進めるものとする。既に、二重伝熱管を試作し製作可能性が示されているが、伝熱管は数多く必要となることから、製作にあたってのバラツキに留意する必要がある。

#### イ. 蒸気発生器の大型化と代替技術

「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ最終報告書」においては、2ループ化（原子炉から熱を取り出す流れを2系統とすること）が提案されている。このため、1ループに1つ設置される蒸気発生器に要求される熱交換量が多くなり、蒸気発生器伝熱管の表面積を大きくする必要がある。これに対応して、伝熱管を直管方式として蒸気発生器の全長は約 38 mとなる。

高速増殖原型炉「もんじゅ」で用いられている伝熱管は、熱交換に必要な表面積を確保するために、直管ではなくヘリカル（らせん状）の単管となっている。革新技術である二重伝熱管の開発に対し、代替技術として、「もんじゅ」で利用実績があるヘリカル型単管蒸気発生器が提案されているが、大型化に伴い伝熱管破損時の水リークの検知時間が長くなる。そのため、破損伝播の可能性が高くなるなど、単管蒸気発生器の大型化は容易でない。このため、水リーク検知手段の高度化や二重伝熱管蒸気発生器の代替技術として、小型の蒸気発生器を用い1ループあたりの蒸気発生器を複数とする方法（デメリットとして、経済性の低下に留意）なども念頭におくべきである。

#### ウ. 伝熱管二重化と安全設計思想