

FaCTプロジェクト進捗状況 (炉システム分野)

| | |
|-----------------------------|------|
| ①配管短縮のための高クロム鋼の開発 | p1-2 |
| ②システム簡素化のための冷却系2ループ化 | p3 |
| 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 | p4 |
| ④原子炉容器のコンパクト化 | p5-6 |
| ⑤システム簡素化のための燃料取扱い系の開発 | p7 |
| ⑥物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化 | p8 |
| ⑦炉心燃料の開発 | p9 |
| ⑧配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発 | p10 |
| ⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 | p11 |
| ⑩保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発 | p12 |
| ⑪受動的炉停止と自然循環による炉心冷却 | p13 |
| ⑫炉心損傷時の再臨界回避技術 | p14 |
| ⑬大型炉の炉心耐震技術 | p15 |
| ○実用炉・実証炉の設計研究 | p16 |

赤字:2008年度までの検討において、設計に影響を与える可能性がある課題として抽出された内容

青字:2011年度からの概念設計の本格化に先立ち、大学等の知見も活用し2010年度よりその開発に着手すべき課題(設計評価ツール群の整備)

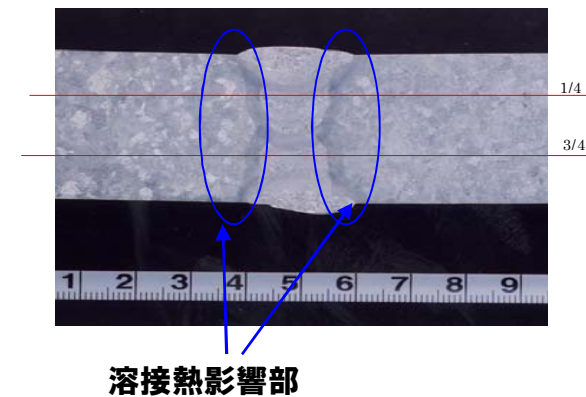
①配管短縮のための高クロム鋼の開発(1)

技術開発の概要

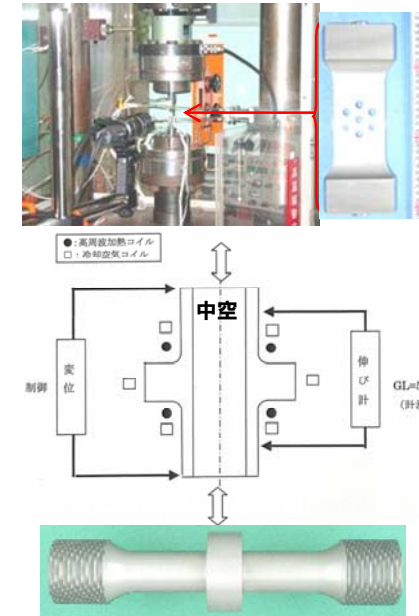
- 実用炉では、冷却系配管等にステンレス鋼に比べ熱膨張率が低く、かつ高強度である高クロム構造材(12Cr鋼もしくは改良9Cr鋼)を使用して配管の短縮化を図り、建設・保守コストの低減を図る設計としている。なお、両材料は、火力発電所等では既に使用実績がある。
- そのために、FBR用12Cr鋼あるいは改良9Cr鋼の高温における材料強度基準を整備するとともに、最適な溶接施工技術を確認する。また、高クロム鋼の材料特性を十分に考慮したうえで、高温構造設計指針の整備を図る。
- 高クロム鋼製の各種構造要素(大型管板、大口径配管、等)の製作性および長時間健全性を試験により確認する。



改良9Cr鋼、12Cr鋼の
クリープ試験装置



溶接継手 試験片



構造不連続試験体疲労試験の例

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|-------------------------|--|---|---|
| 改良9Cr鋼の 材料強度基準 整備 | <ul style="list-style-type: none"> ・溶接部の材料強度を評価する手法(溶接継手クリープ疲労強度評価法)を作成し、長時間データ※2により妥当性を検証すること ・改良9Cr鋼-ステンレス鋼異材溶接施工法を提案し、長時間データ※3によりその健全性を示すこと | <ul style="list-style-type: none"> ・溶接継手クリープ疲労強度評価に必要な試験(約2,000時間までのクリープ試験)を実施した。また、溶接熱影響部での損傷(Type-IV損傷)による強度低減の懸念が発生したため、既存のデータに基づき、それらを考慮した継手許容値を暫定した ・改良9Cr鋼-ステンレス鋼異材溶接継手を6種類試作し、それらに対する引張試験などの短時間試験を実施した | <ul style="list-style-type: none"> ・溶接継手各部の10,000時間を超える試験データおよび継手クリープ疲労試験データを取得することによって、それらのデータに基づき評価法を提示可能 ・長時間の追加データに基づき、左記の暫定許容値を確認 ・試作した異材溶接継手に対する10,000時間を超える長時間性能試験データを得ることによって、最適施工法を提示可能 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・極厚鍛鋼品(実機:約100トン)、薄肉小径管および2重管(実機:約35m)、SG主要構造(管-管板接合、9Cr鋼CSEJ※4)に関する試作を行い、その製作性を確認すること | <ul style="list-style-type: none"> ・極厚鍛鋼品は実機条件を評価可能な規模の鋼塊(約50トン)を製作した。薄肉小径管および2重管は、現状の鋼材メーカー設備で可能な最大規模の試作を実施することとし、これまで、それぞれ17mおよび10mまでの試作を完了した ・管-管板接合は狭隙部溶接装置を開発、CSEJは小型モデル(φ240mm)の試作と高温疲労試験を実施した | <ul style="list-style-type: none"> ・鍛錬・熱処理を模した約50トン鋼塊による極厚鍛鋼品試作、2重管の15mまでの試作、管-管板接合部性能試験、CSEJ性能試験を以って、これらの製作性を確認可能 ・なお、蒸気発生器用の2重管は、代替技術として、市販品をベースとした設計検討も実施 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・製品形状ごとに材料強度基準案を作成し、設計評価への適用性を長時間データ※2に基づき示すこと | <ul style="list-style-type: none"> ・各製品形状ごとに、必要な材料特性試験の計画を策定したうえで、引張試験や約3,000時間までのクリープ試験および初期の金属組織観察・分析を実施した | <ul style="list-style-type: none"> ・10,000時間を超える長時間試験および損傷材の金属組織観察・分析結果に基づき、設計評価に適用可能な材料特性を得ることが可能 |
| FBR用12Cr鋼の仕様選定と性能試験 | <ul style="list-style-type: none"> ・W-Mo、Nb-V添加量等の化学成分仕様ならびに熱処理条件最適化の暫定案を長時間データ※2に基づいて提示すること | <ul style="list-style-type: none"> ・W-Mo調整材およびNb-V調整材を製作し、引張試験や約5,000時間までのクリープ試験および初期の金属組織観察・分析を実施した ・なお、2007年7月に12Cr鋼は実用炉に向けて、材料開発を進めることとした※1 | <ul style="list-style-type: none"> ・10,000時間を超える長時間試験および損傷材の金属組織観察・分析結果に基づき、最適な化学成分仕様と熱処理条件を絞り込むことが可能 |

※1:2007年7月以前の製鋼メーカー等との技術的打合せの過程で技術的難易度が高い(既存材料では靱性が不足し、それを向上させるためには微量元素を成分調整した新材料の開発が必要)ことが判明した。これを受け、2007年7月の機構内炉設計調整会議にて、冷却系機器配管の構造材料にその当時見通しのある改良9Cr鋼を採用し、そのFBR適用に関する研究開発に投資を集中すること、12Cr鋼についてはFBR実用化を目指す上でポテンシャルを持った有望材料であり、当面着実に材料開発を実施していくことを決定した。

※2:550℃×60年相当。600℃加速試験では約17,700時間。2011年3月ごろ到達見込み。

※3:450℃×60年相当。500℃加速試験では約11,500時間。2010年12月ごろ到達見込み。

※4:CSEJ: Convuluted Shell Expansion Joint、熱膨張差による変位を吸収するための部材

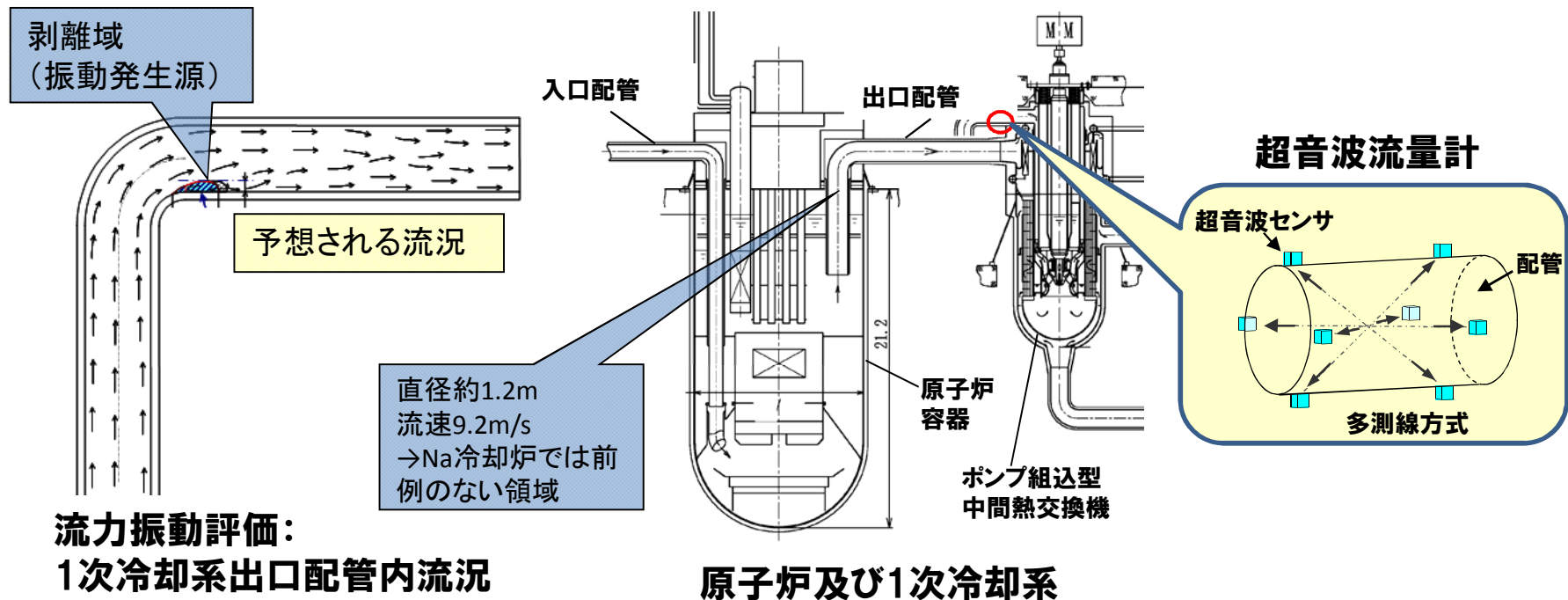
①配管短縮のための高クロム鋼の開発(2)

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|-----------------|--|---|---|
| 高温構造設計 指針の整備 | <ul style="list-style-type: none"> ・実証炉で採用予定の改良9Cr鋼容器・管および特殊構造の設計評価法を作成し、各種試験により検証すること | <ul style="list-style-type: none"> ・容器の設計評価法の整備方針を設定し、構造不連続(IHXの容器と管板の接続部分など)試験体に対する疲労試験(6体計画5体完了)等を実施した ・配管の設計評価法の整備方針を設定し、座屈試験(6体計画1体完了)および、配管繰返し変位試験(6体計画1体完了)を実施した ・管板の設計評価法の整備方針を設定した。Na中熱過渡試験体(1体)を設計・製作した | <ul style="list-style-type: none"> ・構造不連続部に対する疲労試験(6体)および3,000時間クリープ疲労試験(5体)を完遂し、評価法の妥当性を検証可能 ・配管座屈試験(6体)および繰返し負荷試験(6体)を完遂し、評価法の妥当性を検証可能 ・約4,500時間のNa中熱過渡試験を完遂し、解体検査結果を用いて評価法の妥当性を検証可能 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・改良9Cr鋼製配管のLBB(Leak Before Break: 破断前漏洩)評価法を作成し、その適用可能性を示すこと | <ul style="list-style-type: none"> ・材料と構造の特徴を的確に反映したLBB評価法の検討に着手した ・評価に使用する改良9Cr鋼の破壊靱性データを取得した(118体計画76体完了) | <ul style="list-style-type: none"> ・検討結果に基づきLBB評価法を提案し、配管破壊試験によってその妥当性を検証可能 ・溶接部と時効材を含む改良9Cr鋼破壊靱性データ整備を完遂し、評価に適用可能 |

②システム簡素化のための冷却系2ループ化

技術開発の概要

- 実用炉においては、電気出力150万kWeで冷却系を2ループとし、ループ毎の機器を大型化することにより、システムを簡素化し、建設・保守コスト低減を図る。
- 2ループ化に伴い、配管が大型化し、冷却材の流速も大きくなるが、これにより配管系の破損につながる振動や材料損耗が発生しないことを、実証試験等により確認することが必要。
- 強磁性材料の改良9Cr鋼を用いるため、従来の電磁流量計採用が困難であり、超音波流量計の開発が必要。



| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|-----------|--|--|--|
| 流力振動評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・実機流速条件(9.2m/s)での流力振動評価手法を確立すること ・配管の健全性に関する設計評価を実施し、以下の判断条件※を満たすことを確認すること <p>※判断条件: 当該部の繰返し応力\leq構造材料の疲労限界値(当該温度550度の場合49MPa)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・実機流速条件(9.2m/s)で1/3縮尺の水流動試験を行い、入口条件が整流状態にあるデータを取得した ・本評価手法によって、配管健全性について、左記の判断条件を満たすことを確認した <p>当該部の繰返し応力(28MPa*)\leq構造材料の疲労限界値(49MPa)</p> <p>*設計条件に依存して変化する値</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・左記の水流動試験を行い、実機で想定される入口条件(旋回流、偏流)でのデータを取得する。これにより、流力振動評価手法を確立し、左記の判断条件を満たすことが確認できる。 ・さらに、実機に想定される複雑な流れ場について設計評価手法を整備するため、2010年度より原子炉上部プレナム、出口配管、中間熱交換器が連結した条件での水流動試験を行い、評価手法を検証し、2015年の概念設計取りまとめに反映する |
| 超音波流量計の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・センサと遠隔交換機構の設置環境に係わる条件※¹及び信号処理装置に対する性能要求※²を満足する超音波流量計測システム(センサ、遠隔交換機構、信号処理装置)の仕様を設定すること ・安全保護系に適用できることを実証するための課題(次期開発課題)を設定し、解決策・計画を示すこと <p>※¹:定格温度395℃、事故時最高温度530℃ ※²:直線性$\pm 2\%$以内、出力信号変動率$\pm 5\%$以内、応答時間0.3s以内</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・超音波流量計測システムの基本仕様を設定した ・センサ、遠隔交換機構を試作して各々の要素試験を行い、所定の機能要件※³を満足すること、左記の設置環境に係わる条件でセンサと遠隔交換機構を設置できることを確認した ・信号処理装置を試作してナトリウム中を伝搬する超音波の減衰データをナトリウム試験で取得し、所定の機能要件※³を満足することを確認した ・試作した信号処理装置を用いて超音波受信信号データを水流動試験で取得し、左記の信号処理装置に対する性能要求※²を満足することを確認するとともに、左記の仕様のうち最も重要な測線数※⁴を4と設定した <p>※³:センサ: 事故時温度過渡(低温停止時計画最低温度170℃\leftrightarrow事故時最高温度530℃、5回)に耐えること 遠隔交換機構: 押付力:4kN以上・均一で安定、押付位置精度:$\pm 1\text{mm}$以下、押付力角度:鉛直に対して$\pm 0.1^\circ$以下 信号処理装置: ナトリウム中で、入力超音波信号を増幅器の最高増幅度100dBに対して60dBで処理可能 ※⁴:超音波センサ(一対)の設置数</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・センサと遠隔交換機構を組み合わせた高温・温度サイクル試験を行う。この試験で取得したデータと左記で取得した信号処理装置のデータを基に、センサと遠隔交換機構の設置環境に係わる条件※¹及び信号処理装置に対する性能要求※²を満足する超音波流量計測システムの仕様を設定する ・左記の次期開発課題について、課題解決を確認するための試験計画を設定して、当初目標を達成する |

③ 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

技術開発の概要

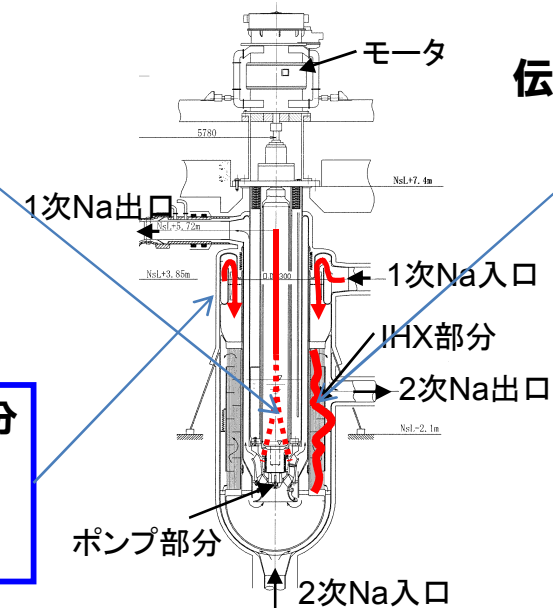
- 実用炉では、1次冷却系の熱交換器にポンプを内蔵することにより、冷却系配管の簡素化、物量削減を行い、建設コストの低減を図る。
- ポンプの回転に伴う振動に熱交換器の伝熱管が耐えうる（伝熱管の磨耗量が規定値内に収まる）こと、長軸ポンプの安定性、原子炉からの流れが伝熱部に均等に流入する流動成立性があることを、解析及び実証試験により確認することが必要。

長軸ポンプの開発

長軸かつ小ケーシング径で相対的に剛性の低いポンプの回転安定性を確保する技術

内部流動の最適化

- ・伝熱管への均一な流量配分
- ・リークフロー機内処理
- ・軸接液部ガス巻込み防止
- ・キャビテーション防止、等



伝熱管の振動・摩耗防止

ポンプ振動によるIHx伝熱管のフレTTING摩耗を防止する技術

| 開発課題 | | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|---------------------|------------------|---|--|--|
| ポンプ振動による伝熱管摩耗防止技術開発 | 振動伝達を制御する設計手法の確立 | 機器内の振動発生及び振動伝達を評価し、固有値を±10%以内の精度で評価可能な解析モデルを構築・検証すること | ・1/4試験体を用いた振動伝達試験による振動伝達解析モデルの開発・検証を実施し、モード解析による固有値評価精度が最大でも9%であることを確認し、成果目標を達成した | 振動の固有値評価に加えて、振動振幅についても精度が向上し、目標を超える精度で解析可能である。 |
| | 伝熱管摩耗特性評価 | 炉寿命中の伝熱管摩耗量を評価可能で、かつその摩耗量が現実的な値（約0.5mm以内）となること | <ul style="list-style-type: none"> ・軽水炉のSG伝熱管の振動・摩耗評価コードで評価し、炉寿命中の摩耗量は0.290mmであり、摩耗量が現実的な値となることを暫定的に確認した ・伝熱管の振動・衝突に関する実験データを取得するため、以下の装置を製作した <ul style="list-style-type: none"> ✓ 衝突・摩耗モデル構築のため1/1スケール伝熱管の振動試験装置 ✓ 管束振動モデル評価精度向上のため、伝熱管群液中振動試験装置 | 左記試験は2009年度中にデータ取得の予定である。試験で得られたワークレート値とにより伝熱管摩耗評価モデルが完成し、実機評価して左記の成果目標を達成する |
| 長軸柔構造ポンプの成立性確認 | | <ul style="list-style-type: none"> ・軸の振動安定性が確保できるポンプの設計が可能となること ・下部軸受けが損傷した場合、損傷が拡大する前にポンプ停止が可能な軸振動モニタリング手法を開発し、ポンプ試験体に適用すること | <ul style="list-style-type: none"> ・1/4試験体でのポンプ試験で、高減衰軸受けの採用により長軸ポンプの回転安定性を確保できることを暫定的に確認した ・高減衰軸受けの振動減衰特性データ取得のため軸受け水試験装置を製作した ・軸受けに印加される水力部の振動データ取得のため、1/4.75水力部水流動試験装置を製作した ・モニタリング手法開発に関しては、1/4試験体を用いた試験を実施し、下部軸受けの健全性をモニタリング可能なことを実験的に確認し、成果目標を達成した | 左記試験は2009年度中にデータ取得の予定である。得られた試験データによりポンプ設計が可能となる |
| 冷却材流動等の最適化 | | <ul style="list-style-type: none"> ・ポンプ入口でキャビテーション（気泡の発生）及びナトリウム液面におけるガスの巻込みが発生しないことを実験的に確認すること ・リークフロー戻りラインの機能を確保できることを確認すること ・ポンプ内自由液面からのガス放出量予測のための試験データを得ること | <ul style="list-style-type: none"> ・左記の課題に関し、それぞれ流動解析を実施し、設計可能であることを暫定的に確認した ・現象を実験的に確認するため、以下の試験を準備中 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 1/4試験体での下部プレナムガス巻込み試験 ✓ 1/4.75水力部水流動試験によるキャビテーションの確認 ✓ リークフロー処理水試験による機能確認試験 ✓ ポンプ内ナトリウム液面からのガス巻込みを評価可能な水流動試験 | 2009年度に試験データを取得する予定。取得されたデータにより左記の成果目標を達成する |

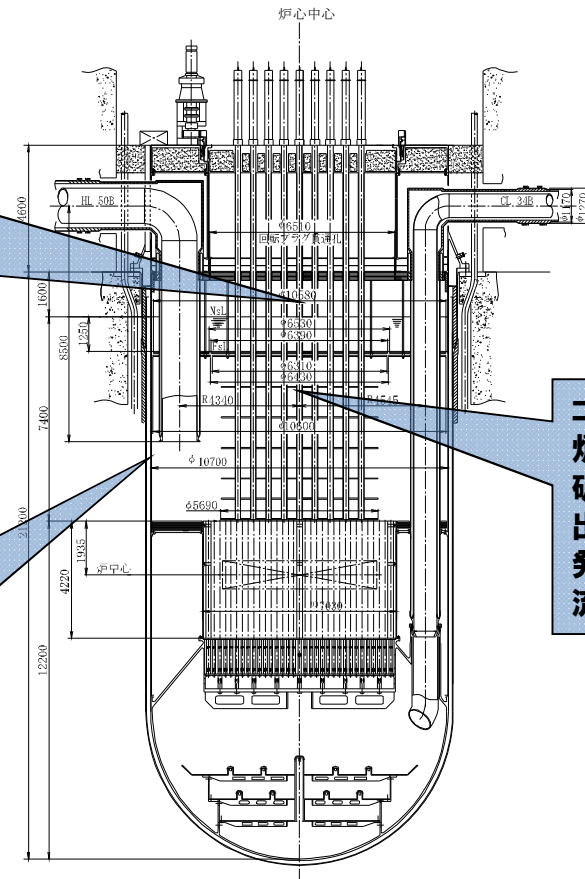
④原子炉容器のコンパクト化(1)

技術開発の概要

- 建設コスト削減に有効な原子炉容器のコンパクト化に伴い、ナトリウムの流速が大きくなる箇所において、原子炉容器上部の気体の巻き込みを防止する構造物の開発が必要。
- また、コンパクト化に伴い繰り返し熱応力による変形と疲労が増加するため、評価手法高度化が必要。

コンパクトな原子炉容器内でのガス巻き込みの防止や温度成層化の緩和が可能な炉内熱流動の適正化

550℃で用いられる原子炉容器の構造健全性評価が可能な高温構造設計評価技術の開発

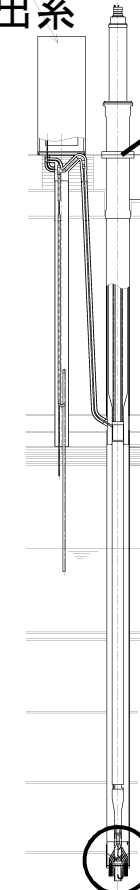


原子炉容器コンパクト化を可能とする技術

コンパクトな原子炉容器に適合する破損燃料位置検出系(FFDL)の開発及び炉内計装流力振動の評価

ガス検出系

遅発中性子検出系



セレクトバルブ

FFDL概念図(セレクトバルブ方式)

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|-----------|--|---|--|
| 炉内熱流動の適正化 | <p>・原子炉容器内のナトリウム液面におけるガスの巻き込み(ガス巻き込み)、液中渦による気泡の発生(キャビテーション)を抑制^{*1}できる構造を提示すること</p> <p>^{*1}: ガス巻き込み判定基準: 試験では10分間での巻き込み回数0 キャビテーション判断基準: 実機キャビテーション係数8.2以下</p> | <p>・2重のディッププレート(液面下に設置した水平板)により、10分間でのガス巻き込み回数が0で、ガス巻き込みの発生を防止できることを水試験で確認した</p> <p>・整流板により、実機キャビテーション係数を約30%の余裕を持って下回り、液中渦によるキャビテーションの発生を防止できることを水試験で確認した</p> | <p>・ディッププレートの簡素化(1重)、整流板の改良を行い、ナトリウム物性値の影響を評価するための試験データを取得する。これにより、左記判定基準を満たしてガス巻き込み及び液中渦によるキャビテーションを抑制できる構造を提示できる</p> <p>・さらに、実機に想定される複雑な流れ場について設計評価手法を整備するため、2010年度より、上部プレナム、炉上部構造、出口配管等の実機形状を模擬した水流動試験を行い、評価手法を検証し、2015年の概念設計取りまとめに反映する</p> |
| | <p>・停止後の温度成層化現象(低温と高温の流体が層を形成し、高温側550℃、温度差は最大200℃となり得る)による急峻な温度分布を緩和する構造を提示し、構造健全性に支障を及ぼさないことを示すこと</p> <p>・炉心出口部(燃料集合体出口温度550℃に対し制御棒出口は100℃程度低い)での高サイクル熱疲労(流体の温度変動が構造物に疲労損傷を与える)を防止する構造を提示し、構造物健全性に支障を及ぼさないことを示すこと</p> | <p>・緊急炉停止後に崩壊熱除去系で除熱すれば、蒸気発生器で除熱する場合に比べて温度成層化現象による温度分布を約1/3に緩和でき、原子炉容器への荷重を設計制限値以下にできることを解析で確認した</p> <p>・代表的な制御棒の周辺における流体の温度変動幅を実機換算で30℃以内(母材であれば疲労損傷が発生しない)に抑制し、炉心出口部での高サイクル熱疲労を防止できることを水試験で確認した</p> | <p>・左記の温度分布緩和効果を水試験及び実機を対象とした解析で確認する。これにより、緊急炉停止後の温度成層化現象による急峻な温度分布を緩和する構造を提示し、構造健全性に支障を及ぼさないことを示すことができる</p> <p>・左記の温度変動幅抑制効果を制御棒以外の低温チャンネルを対象とした水試験と実機を対象とした解析で確認する。これにより、炉心出口部での高サイクル熱疲労を防止する構造を提示し、構造物健全性に支障を及ぼさないことを示すことができる</p> |

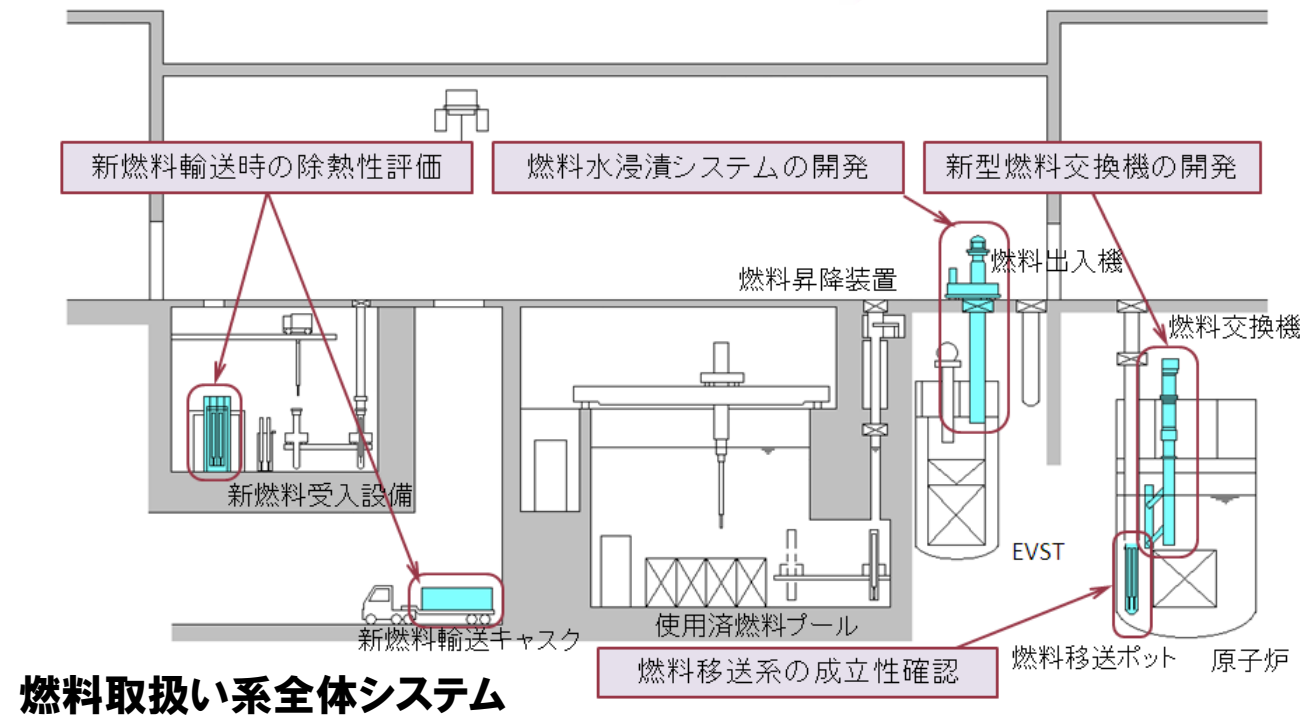
④原子炉容器のコンパクト化(2)

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|--------------------|--|--|--|
| 高温構造設計評価技術の開発 | ・550℃で用いられる原子炉容器(ホットベッセル概念)の成立性を評価するための、熱荷重設定法と非弾性解析法を含む高温構造設計評価技術を示すこと | ・熱荷重設定法及び材料の非弾性特性を模擬できる非弾性解析法を示した ・中越沖地震を踏まえた地震条件とした場合、原子炉容器の肉厚の増大が必要となり、液面付近での熱応力を低減するため、起動日数を3日程度に延長する必要性が生じた | ・運転中の材料の履歴(繰返し硬化特性)を模擬できるように左記の非弾性解析法を拡張する。これと左記の熱荷重設定法により、ホットベッセル成立性を評価できる高温構造設計評価技術を提示できる ・ホットベッセルに対する代替技術として、炉壁保護構造も検討する |
| | ・原子炉構造の主要部に対する検査の必要性及び検査を実施する場合の方法・頻度(供用期間中検査要求)を、構造信頼性評価結果に基づき提示できること | ・供用期間中検査要求について、左記の構造信頼性評価結果を得るとともに、検査の重要度、方法、頻度などの基本的考え方を示した。 | ・左記の基本的考え方に従い原子炉構造の主要部に対する供用期間中検査要求の適用方法を示す。これと左記で得た構造信頼性評価結果に基づき、原子炉構造の主要部に対する検査の必要性及び検査を実施する場合の供用期間中検査要求を提示できる |
| | ・原子炉容器用316FRリング鍛鋼品(実証炉で直径9m程度)製作技術を提示し、材料強度基準整備に必要な仕様および許容値を設定できること | ・原子炉容器用316FRリング鍛鋼品の製作性課題(①炭素および窒素の成分調整、②鍛錬性)を抽出した。 ・316FR鋼の既存の板材および鍛鋼品において取得された材料強度データを整理した | ・鉄鋼メーカーで対応可能な、原子炉容器用316FRリング鍛鋼品の製作性課題の解決策を示す。これを基に、当該鍛鋼品の製作技術を提示する ・原子炉容器用316FRリング鍛鋼品を模擬した素材の材料試験を実施する。この試験で得られる材料強度データと左記で整理した材料強度データを基に、材料強度基準整備に必要な仕様および許容値を提示する |
| 破損燃料位置検出系(FFDL)の開発 | ・炉心上部機構スリット部の各燃料集合体からの冷却材の流れが、炉心上部機構に設置する検出管により2%以上の相対濃度(燃料集合体出口との濃度比)で検出できること ・炉心上部機構スリット部の破損燃料の同定が数集合体レベルで可能であること | ・水試験によって、スリット部に位置するすべての燃料集合体からの冷却材の流れが、検出管により2%以上の相対濃度で検出できることを確認した ・水試験及び流動解析によって、スリット部の破損燃料の同定が数集合体レベルで可能であることを確認した | ・2009年度に、実機環境における検出精度を考慮した条件において、スリット部の破損燃料の同定レベルを評価する。これと左記の水試験及び流動解析による確認結果により、成果目標を達成できる |
| | ・プラント条件・寿命を想定したナトリウム中耐久試験(約3500サイクル)を実施して、セレクトバルブ摺動部の摩耗深さがコーティング厚さ(50μm)以下であることを確認する | ・大型炉の炉心上部機構と整合するセレクトバルブ構造を設計し、設計したセレクトバルブ構造を実規模で模擬したナトリウム中耐久試験装置を製作した | ・2009年度にナトリウム中耐久試験(約3500サイクル)を実施して、セレクトバルブ摺動部の摩耗深さを評価する。これにより、成果目標を達成する |
| 炉内計装流 力振動評価 | ・計装配管が冷却材流れに対して傾斜した条件(45度程度まで)にて、既存の流力振動評価手法の適用性を確認する ・実機設計の計装配管の流力振動に対する構造健全性を確認する(無次元流速<1) | ・計装配管が冷却材流れに対して傾斜した条件(45度程度まで)での流力振動試験の実施方法を整理した ・既存の流力振動評価方法を調査し、実機の炉内計装配管に対する評価手法を整理した ・実機設計の計装配管の流力振動解析を実施し、保護管の設置等の設計対応により計装配管の構造健全性確保が可能であることを確認した(無次元流速(0.48*)<1) *設計条件に依存して変化する値 | ・計装配管が流れに対して傾斜した条件(45度程度まで)で流力振動試験を実施する。これにより、既存の流力振動評価手法の適用性を確認する ・2008年度までに、実機設計の計装配管の流力振動に対する構造健全性を確認した(無次元流速<1) |

⑤システム簡素化のための燃料取扱い系の開発

技術開発の概要

- 切込付炉心上部機構と可変アーム型の新型燃料交換機の組合せにより原子炉容器径を大幅に低減。
- 燃料交換機動作の高速化、および一度に2集合体の移送が可能なナトリウムポットを用いた2集合体移送により燃料交換時間を短縮。
- 乾式洗浄後に水プールに直接浸漬するシステムを採用して洗浄・缶詰設備を合理化、および洗浄廃液等の廃棄物を低減。
- 超ウラン元素(TRU)を含有した高発熱の新燃料集合体を輸送するためのキャスクの開発。

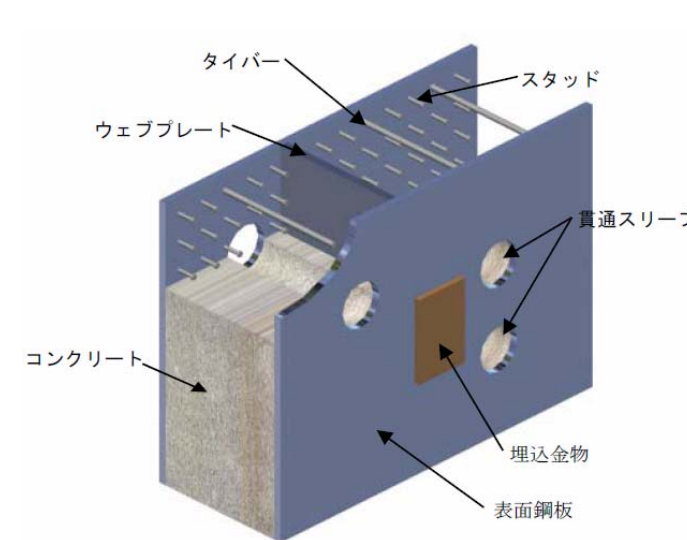


| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|--------------|---|---|---|
| 新型燃料交換機の開発 | 地震時の切込付炉心上部機構との干渉回避、位置決め精度確保、引抜き・挿入荷重2.5 t、燃料交換速度（1集合体当りの交換時間：約30分）を気中モックアップ試験などにより確認し、実用炉に求められる基本仕様を提示できること | <ul style="list-style-type: none"> ・ 気中モックアップ試験において、耐震性（地震時の切込付炉心上部機構との干渉回避）、位置決め精度、引抜き・挿入荷重、動作速度が以下の目標を達成することを確認した ✓ 機器との干渉回避：最大荷重取扱時（2.5t）の目標変位（±15mm以内）達成、剛性・振動特性データ（固有値、減衰比）取得 ✓ 位置決め精度：位置誤差目標値（±3mm）以内を達成 ✓ 動作速度：交換時間30分相当の各動作速度を達成 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 気中モックアップ試験にて取得した剛性・振動特性データに基づき、中越沖地震を踏まえた最新の地震条件にて剛性及び耐震評価を実施する。同試験にて取得した位置決め精度、動作速度データに基づき、実機設計及び実機適用性を評価する ・ 以上の評価結果を基に、左記の成果目標である実用炉に求められる基本仕様を提示する |
| 燃料移送系の成立性確認 | ナトリウム（以下「Na」）ポットによる2集合体移送中の事故時の間接冷却性能など、主要な除熱性能を確保できること（1集合体発熱量の最大値22.4kW（暫定）に対して燃料温度制限：24hr以内：630℃、24hr以上：600℃）の技術的根拠を試験・解析により提示すること | <ul style="list-style-type: none"> ・ Naポット試験片を製作し、その表面にNaが付着した状態での当該表面の放射率データを取得した。 ・ 実規模で製作したNaポット試験体の除熱性能試験を行い、当該ポットにNaが付着した状態でのNaポット除熱性能データを取得した。前記で取得した表面放射率データを反映して解析モデルを構築し、当該除熱性能データに基づき検証した ・ 前記の除熱性能試験において、Naポットを囲む案内管へのNa蒸気付着が除熱能力を低下させる可能性があることを課題として抽出した | <ul style="list-style-type: none"> ・ 左記で検証した解析モデルを実機Naポット除熱解析に適用し、実機Na環境における除熱能力及び健全性確保要件を満足することを定量評価する ・ Na付着試験を実施しNa付着の除熱能力への影響を評価する ・ 以上の評価結果を基に、左記の成果目標であるNaポットによる主要な除熱性能確保の技術的根拠を提示する |
| 燃料水浸漬システムの開発 | 実用炉に用いる内部ダクト付き燃料集合体の残存Naに対するアルゴンガス乾式洗浄の除去能力を試験により確認すること | <ul style="list-style-type: none"> ・ 内部ダクト乾式洗浄試験及び模擬集合体乾式洗浄試験を実施し、内部ダクト付き燃料集合体の残存Naに対する乾式洗浄の除去能力の評価に必要なデータを取得した ・ 既往乾式洗浄試験結果と比較し、試験体下部のNa残留量が少ない等の効果について分析した | <ul style="list-style-type: none"> ・ 内部ダクト付き燃料集合体の乾式洗浄後の残存Na量は、2008年度までに取得したデータに基づき実機適用性評価により確認する ・ 既往乾式洗浄試験との相違点を評価し、今後の追加試験要否を判断する |
| 新燃料輸送時の除熱性評価 | 現行原子力発電所の荷役設備条件（125 t 以下）に合致して船舶輸送が可能で、代表的なTRU含有新燃料集合体を5体以上装荷できるキャスク設計の成立性*1を解析により確認すること *1：遮へい特性（表面2mSv/hr、表面から1mで0.1mSv/hr）、温度制限（被覆管材：395℃（酸化雰囲気では300℃）、遮へい材：150℃） | <ul style="list-style-type: none"> ・ 新燃料集合体の除熱媒体としてヘリウム（気体）と水（液体）を候補選定した。燃料発熱条件（暫定値）にて、5体用ヘリウムキャスク及び10体用水キャスクの構造概念及び基本仕様を設定し、伝熱解析により左記の成立性*1を確認した。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 最新の燃料発熱条件を反映して見直したキャスク構造概念の伝熱解析により、燃料発熱量と収納体数についてのキャスク成立範囲を確認する ・ 許認可を想定した今後の開発計画を提示する |

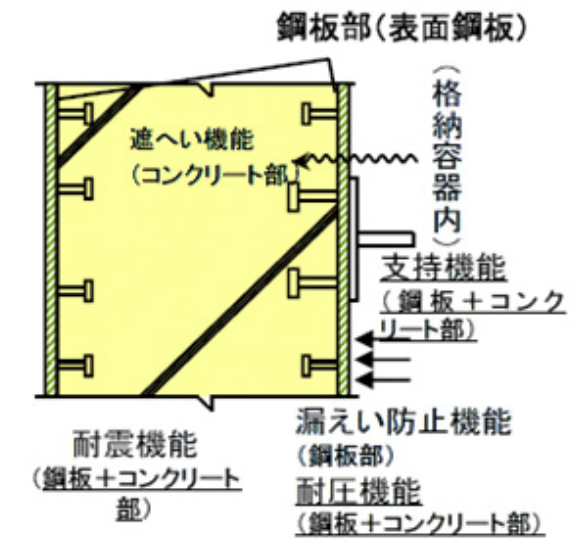
⑥物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化

技術開発の概要

- 表面鋼板のモノコックとしての強度+コンクリートによる補強(SC造)により、従来構造(RC構造)より高い強度を実現。
- 高い強度を活かし矩形形状の格納容器を構成可能(建屋容積20%削減目標)。
- 鋼鉄構造部は工場生産可能、コンクリート型枠不要の特徴を持ち、現地建設工期の短縮が可能(現地建設工期4年→3年へ短縮)。



SC(鋼板コンクリート)構造



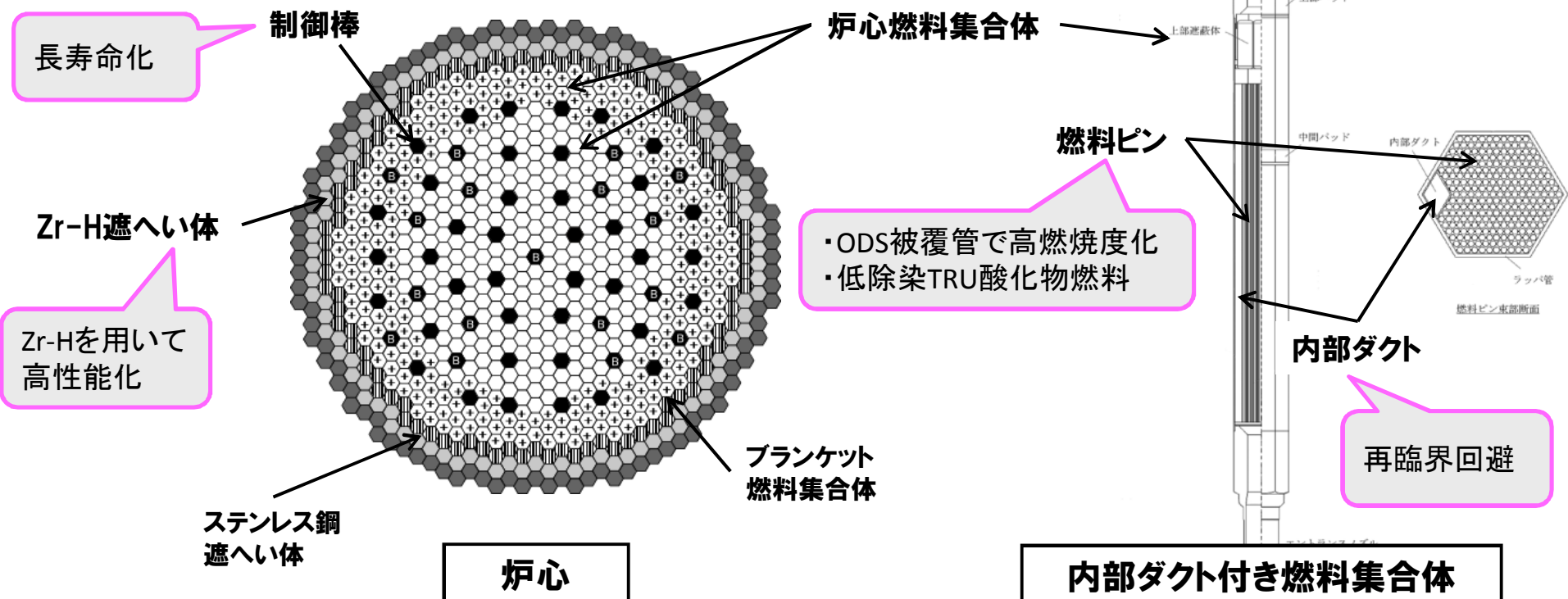
SC造概念図

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|-----------|--|--|--|
| 格納容器のSC造化 | <ul style="list-style-type: none"> ・建屋一体型矩形格納容器に適したSC基本構造が提示されること ・SC造格納容器(SCCV)の一般部位(壁一般部)特性把握試験7項目と特定部位(コーナー部と貫通部)特性把握試験2項目を実施すること ・上記試験結果を用いて、SCCVの過酷事故事象時の機能*1維持を評価するための解析手法を開発すること ・上記解析手法を用いて、SCCVの過酷事故事象時の機能*1が維持されることを確認すること <p>*1:ナトリウム漏えいを含む過酷事故を想定しても支持機能・耐圧機能・漏えい防止機能・耐震機能</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・SC基本構造を暫定した ・評価条件を最高温度700℃、20分継続、最高圧力50kPaに暫定して、一般部位特性把握試験7項目を開始し、4項目について終了した。特に評価温度条件のみを鋼板部に負荷する試験では、漏えい防止機能が維持されることを確認した ・上記試験結果について、予備解析と事後解析を実施し、解析手法整備のデータベースとした | <ul style="list-style-type: none"> ・引続き一般部位特性把握試験を実施して残り3項目を終了する。また特定部位特性把握試験2項目を実施する ・上記試験の予備解析と事後解析を行い、SCCVの過酷事故事象時の機能維持を評価するための解析手法を開発する ・上記解析手法を用いて、SCCVの過酷事故事象時の機能*1が維持されることを確認する ・2011年以降、SCCVの構造設計に用いる強度解析手法を試験を踏まえて高度化すると共に、SCCVのための技術基準を整備する計画である |

⑦炉心燃料の開発

技術開発の概要

- 耐スエリング性と高温強度を両立させた酸化物分散強化型(ODS)被覆管を開発し、高燃焼度(取出平均150GWd/t)を達成する。
- 実用化燃料サイクル技術開発に合わせ低除染TRU燃料の照射性能を評価する。
- 燃料集合体は、実用化プラント概念の安全設計論理に適合する内部ダクト付き集合体を開発。



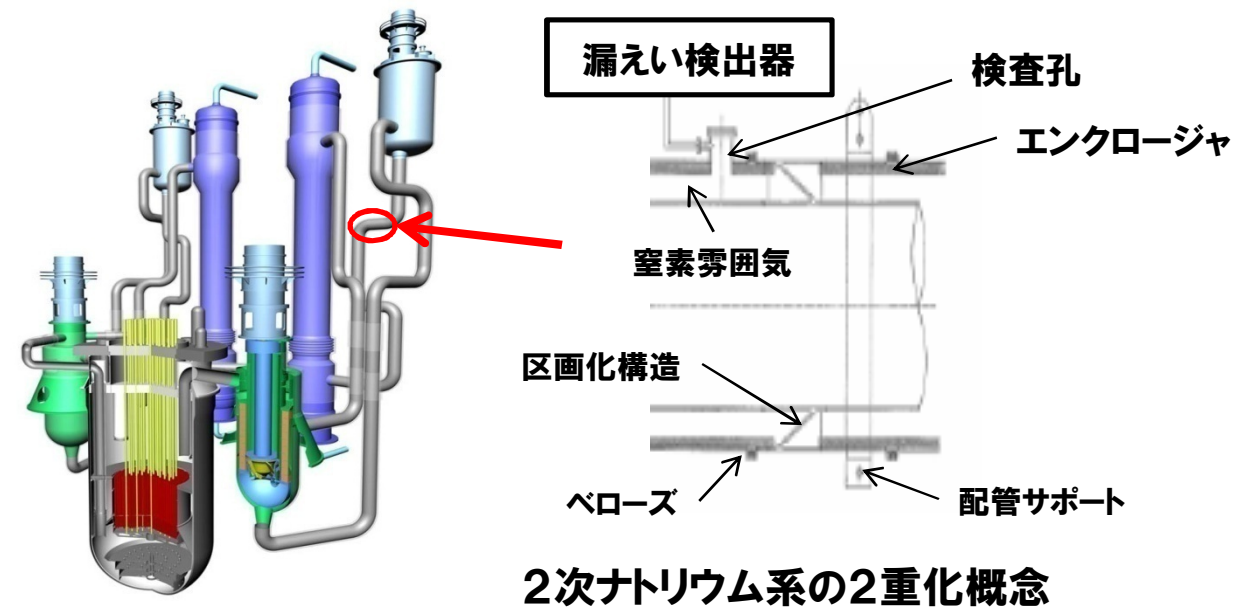
実用FBRの炉心、燃料集合体の構造

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|------------------|---|---|---|
| 高燃焼度燃料・材料研究開発 | ピーク燃焼度150GWd/tにおけるODS被覆管の内面腐食深さが従来のオーステナイト鋼被覆管と同等であることを確認すること | ・BOR-60で、ODS被覆管燃料ピンを照射中。現在、120GWd/tに到達した。なお、50GWd/t(720℃)では、顕著な内面腐食は発生していないことを確認済 | ・ODS被覆管燃料ピンについて、2010年には、150GWd/tのODS被覆管燃料ピン内面腐食データを取得し確認する ・なお、2010年目標達成には、「常陽」スケジュールは影響なし |
| 低除染TRU酸化物燃料の照射特性 | 照射初期Am再分布挙動の見込み(濃度増加=製造時x1.3程度)、40GWd/tまでのAm含有燃料ピン健全性データを取得すること | ・「常陽」照射試験により、照射初期(24hrまで)のAm再分布挙動データを一部取得した | ・40GWd/t到達・データ取得のスケジュールについては、「常陽」再起動のスケジュールが明確になった時点で検討する ・2010年時点では、照射初期データと解析による外挿で評価する |
| 長寿命制御棒の開発 | ピーク燃焼度 200×10^{20} cap/ccを超えるまでACMI(吸収材-被覆管機械的相互作用)が発生しない制御棒の設計結果を示すこと | ・ピーク燃焼度 200×10^{20} cap/ccを超えるまでACMIが発生しない制御棒の概念を設計検討した | ・2010年までにさらに詳細検討結果を整理し、設計結果を提示することが可能 ・照射試験等具体的なR&D課題・今後の計画を整理する予定 |
| 高性能遮へい体の開発 | 高速中性子照射で過剰な膨れが生じないこと、過剰な水素解離が生じないことを確認すること | ・炉外試作試験等を実施し、「常陽」照射試験の準備中 | ・データ取得のスケジュールについては、「常陽」再起動のスケジュールが明確になった時点で検討する ・2010年時点では、海外から購入した照射試験情報に基づいて評価することで達成可能 |
| 再臨界回避集合体研究開発 | 内部ダクト付き集合体ラッパ管構造の試作を完了すること | ・内部ダクトの試作試験を実施し、寸法精度などを評価中。内部ダクトねじ留め構造では試作を実施済。さらに、内部ダクト付きラッパ管の組立技術について基礎試験を実施し、実機での組立方法を検討した | 組立装置検討を進めており、2010年に試作を完了する |

⑧配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発

技術開発の概要

- 冷却系配管が破損しナトリウムが空気中に漏洩した場合、激しく燃焼を起こし、反応生成物が建屋内に飛散するため、復旧作業に多くの時間・労力を必要とする。
- このため、冷却系配管を二重化し、二重配管の隙間は区画化するとともに、窒素を充填しておくことにより、仮に内管が破損した場合でもナトリウムの漏洩量を限定でき、かつ、燃焼、飛散を防止し、復旧作業を容易にすることが可能。
- 限定された微少なナトリウム漏洩を早期かつ確実に検出する技術を開発する。

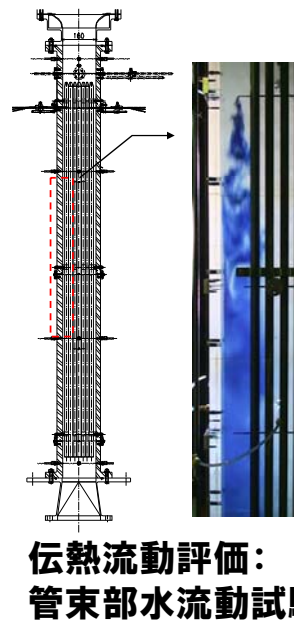
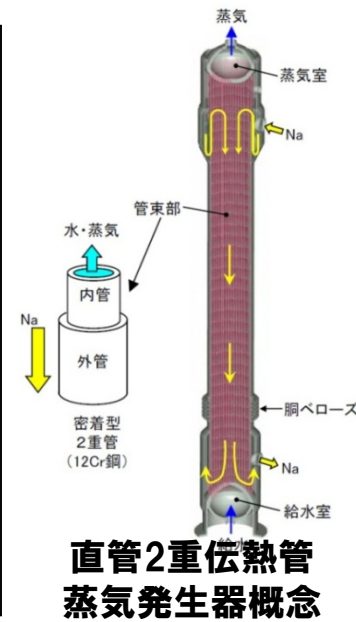


| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|---------------------|--|---|--|
| 微量Na漏洩検出計の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・検出計感度（100g/hの漏えいを24時間以内に検知）、信号信頼性（誤信号防止=Naの選択的検知性※1、Na温度※2等の感度影響因子の影響）を確認すること ・検出計の感度要求およびプラント適用条件（雰囲気、耐久性、サイズ）を満たす漏洩検出システムの基本仕様を示すこと <p>※1: Naの蛍光波長(589nm)を識別 ※2: 運転温度～530℃</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・検出計の基本仕様（レーザーブレークダウン蛍光発光検出器＋漏洩Naエアロゾル移送用ガスサンプリング系）を設定して、検出に関わる基本特性（Naの識別性、Na蛍光発光特性）を評価した ・検出感度についてはレーザーブレークダウン蛍光発光検出要素を試作し、模擬漏洩試験を実施して、検出要素単体としての感度（100g/h級の漏洩検出能力）を確認した ・信号信頼性については、誤信号を与える要因を検討した上で、試験によりNaの選択的検知性※1を確認し、誤信号防止が可能であることを示した ・漏洩Na拡散予測手法の解析モデルを作成した | <ul style="list-style-type: none"> ・Na漏洩検出計要素の試作・試験を実施し、Na温度※2、雰囲気が検出計感度と信号信頼性に与える影響を把握して、検出感度や信号信頼性を確認する ・左記の解析モデルを用いて漏洩Naの拡散挙動を予測し、ガスサンプリング系によるNa濃度の減衰特性を把握する。その減衰特性を条件とする漏洩検出試験を実施し、左記の漏洩検出システムの基本仕様を提示可能 |

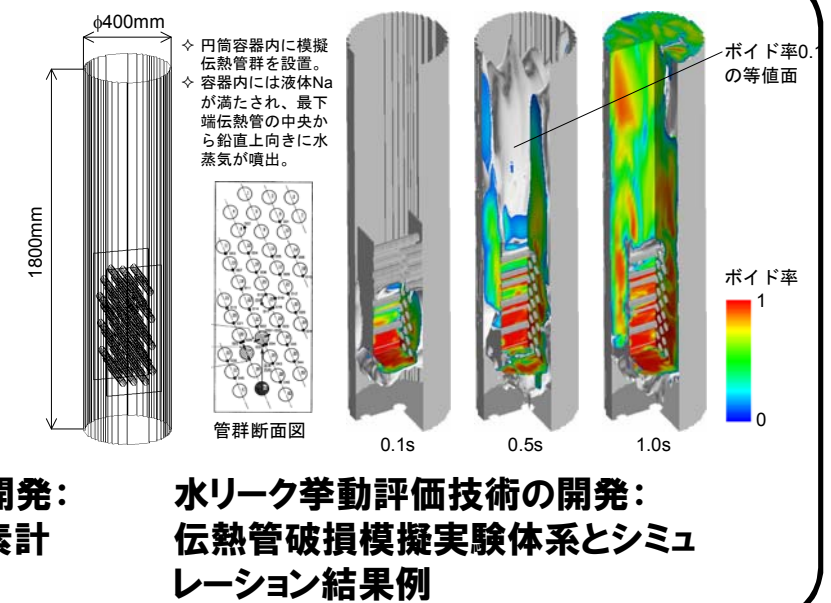
⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発

技術開発の概要

- 大型蒸気発生器において、Na-水反応を排除して稼働率や安全性を向上させる観点で、信頼性の高い2重管方式を採用する。さらに、2重管は管-管溶接構造を無くし、且つ良好な検査精度を確保するために、直管とする。
- 大型化及び直管2重管構造に伴う主要構造物内の熱流動特性の評価、SG漏洩を早期に検出するためのリーク検出計開発、及び安全論理構築のためのNa-水反応評価手法の高度化と評価が必要。



SG漏えい検出系の開発：
改良型Ni拡散膜水素計
（薄肉拡散膜）



| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|-----------------|--|---|--|
| 伝熱流動評価 | <p>実機高圧条件（～20MPa）での伝熱評価式および水側流動安定性の評価精度を向上させ、実機の流動が安定して運転可能なことを確認できること</p> <p>Na側の温度・流速分布が均一で、伝熱管の座屈が無いことを水流动試験と解析評価により示すこと 内部熱過渡に対する管束部構造健全性を示すこと</p> | <ul style="list-style-type: none"> 原型炉設計で使用した水側流動安定性評価コードを用いた解析評価により、有効伝熱長29mで安定して運転可能であることを暫定的に確認した SG伝熱流動設計コードとしてMSGコードを開発し、以下の点について改良を実施中 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 高圧条件（～20MPa）での評価精度を向上させる伝熱評価式を取得するため、ヒータ加熱水流动試験を実施中 ✓ 水側流動不安定の予測精度向上のための解析モデルを改良中 MSGコードを利用して、発生応力を暫定評価し、応力が許容値（8700N）以下であり、伝熱管座屈が発生しないことを確認した 試験データによる解析モデル検証のため、管束部を対象とした水流动試験を実施した。蒸気発生器の管束部入口を対象とした水流动試験を準備中 | <ul style="list-style-type: none"> ヒータ加熱水流动試験結果による伝熱評価式のMSGコードへの反映と解析モデルの高精度化により成果目標は達成可能 蒸気発生器の管束部と管束部入口を対象とした水流动試験、及びMSGコードと汎用流動解析コードによる3次元詳細解析により、Naの流動状況を把握し、水流动試験で得られた知見を設計に反映することにより、管束部構造健全性は確認可能 |
| SG漏えい検出系の開発 | <p>新型検出計センサの開発が完了し、検出時間が従来の60秒から30秒程度にまで向上すること</p> | <ul style="list-style-type: none"> Ni拡散膜水素計に関する過去の知見から、安全保護系への適用のため、及び応答性向上のための改良点を抽出した上で、検出時間が30秒程度にまで短縮可能であることを確認した Ni拡散膜の薄肉化等の応答性向上（60s→30s）に係る要素技術を開発した。Ni拡散膜を薄肉化（0.5mm→0.25mm）し、ガス中の検出特性試験に着手した | <ul style="list-style-type: none"> Ni拡散膜水素計について、ガス中の検出特性試験により、検出時間向上の成果目標の達成を確認する |
| 水リーク挙動試験・評価技術開発 | <p>Na/水反応現象やそれが伝熱管に及ぼす影響を把握可能な機構論的解析評価システム（「SERAPHIM」「伝熱管熱移行解析手法」等）を開発し、SG水リーク時の2次破損（ウェステージ*1、高温ラブチャ*2による）の有無を評価できること</p> <p>*1 ウェステージ：水リーク時の反応ジェットによる隣接伝熱管の減肉現象 *2 高温ラブチャ：水リーク時に伝熱管内の冷却が十分でない場合に発生する内圧による伝熱管の破裂現象</p> | <ul style="list-style-type: none"> 下記3つの解析コードで構成するNa/水反応現象機構論的解析評価システムの整備（解析モデル開発に必要となる基礎実験等含む）を実施中 <ul style="list-style-type: none"> ✓ SERAPHIM: 破損した伝熱管から噴出する水蒸気と周囲のNaで形成される反応ジェット挙動を解析する多成分多相流解析コード ✓ TACT: 反応ジェットに晒される隣接伝熱管の温度・応力を解析 ✓ RELAP5: 隣接伝熱管の水側境界条件を提供 SERAPHIM, TACTについてはプロトタイプを完成、RELAP5については既存伝熱相関式の適用性を基礎実験と解析により部分的に確認した | <ul style="list-style-type: none"> 2009年度末までに、解析モデル構築のための複数の基礎実験を終了させるとともに、SERAPHIMは化学反応モデル構築・組み込み、高精度化の改良、基本検証を、TACTは流動計算部の高度化と基本検証を、RELAP5は伝熱相関式改良・適用性確認を完了する 2010年には総合検証のための実験を実施するとともに、解析評価システムを高度化し、2次破損の有無を評価できることを確認する 様々な設計オプションに対して早期Na検知やNa/水反応による破損伝搬に対する安全裕度を評価するため、2010年度より最新の計測技術と組み合わせたNa/水反応現象の機構論的解明と解析モデルの開発を行い、2015年の設計概念構築に反映する |

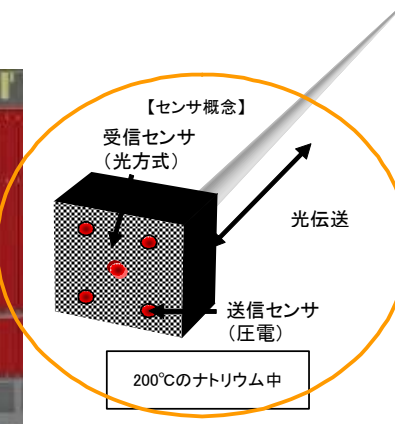
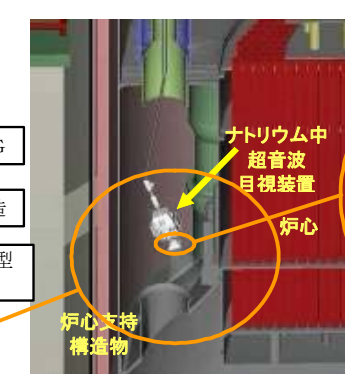
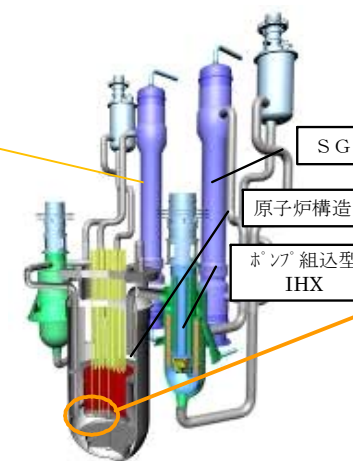
⑩保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発

技術開発の概要

- 従来、目視による検査が困難であった不透明なナトリウム中で検査するための超音波による可視化技術を開発するとともに、ナトリウム中を遊泳する搬送装置を開発する
- 多数の2重伝熱管による蒸気発生器の保守の観点から、検査速度及び検査精度の優れた保守・補修技術を開発する



2重管蒸気発生器
伝熱管検査技術



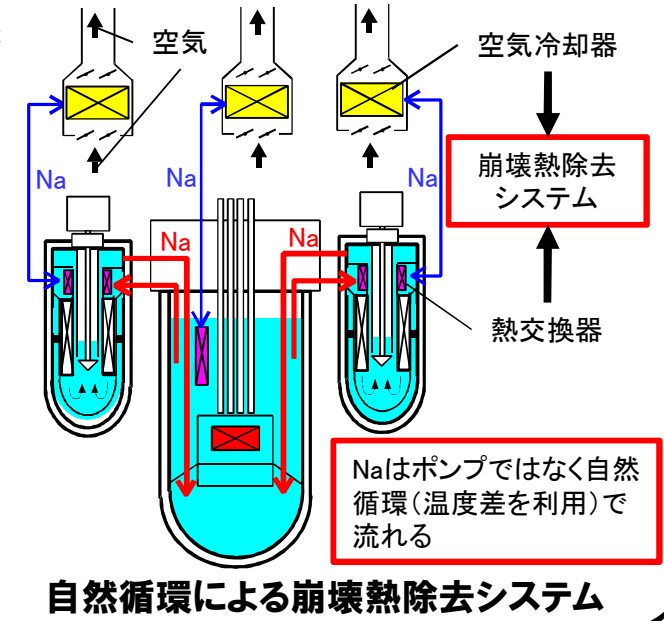
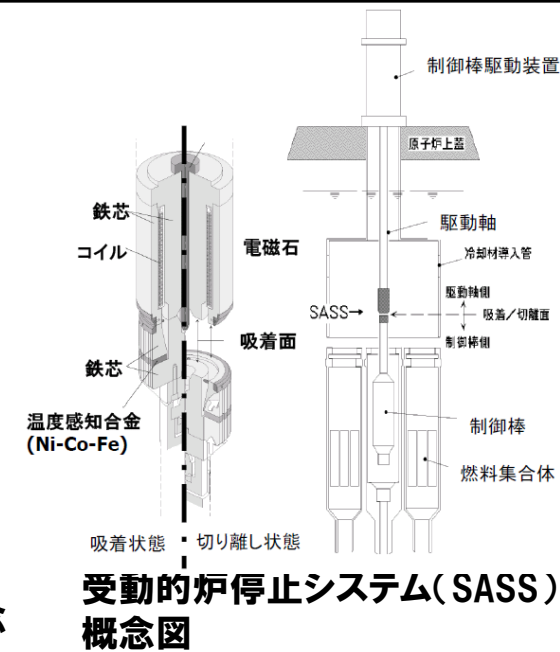
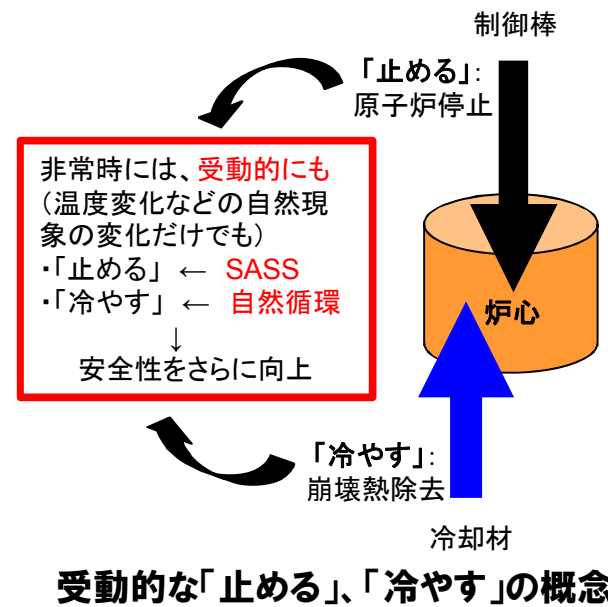
ナトリウム中検査・補修技術の開発

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|-----------------------|---|--|---|
| ナトリウム中検査・補修技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・ナトリウム中での可視化装置の要素試験において、解像度0.3mm、体積検査装置の最小検出深さ5.0mmを達成すること ・搬送装置について、水中で±10mmの精度で位置検出ができ、所定位置へ移動できること。また、ナトリウム中でも同等の位置検出性、制御性を確保できることを確認する | <ul style="list-style-type: none"> ・試作した可視化装置の水中試験により0.2mmの解像度を確認しており、ナトリウム中に換算すると0.3mmの解像度になる。体積検査装置については、ナトリウム中試験により深さ5.0mmの傷を検出できることを確認した。 ・搬送装置推進用の小型電磁推進機構の試作及びナトリウムループ試験を実施し、必要な性能を有することを確認した。ナトリウム仕様の搬送装置の製作を実施中。 | <ul style="list-style-type: none"> ・左記の実績により、可視化性能(解像度0.3mm)及び体積検査性能(最小検出深さ5.0mm)については目標を達成した ・水中での位置検出(±10mmの精度)及び所定位置への移動について、水中試験で確認する ・2009年度に可視化装置単体でのナトリウム中試験、2010年度に遊泳ビークルに搭載した状態でのナトリウム中試験を実施することにより、ナトリウム中での位置検出性及び制御性を確保できることを確認する |
| 2重管蒸気発生器伝熱管検査・補修装置の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・超音波検査(UT)及びガイドウェーブ法(超音波検査法の一つ)センサの2重伝熱管検査への適用性を確認する ・リモートフィールド式渦電流探傷検査(RF-ECT)センサで伝熱管支持板部外管の強度上許容できる深さの減肉(20%深さの減肉など)を検出できることを確認する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・回転方式及びマルチ方式のUTプローブ、2種類のガイドウェーブセンサを試作し、単管試験により20%深さの減肉が検出できることを確認した ・RF-ECTセンサについては、伝熱管外面の20%深さの減肉の検出性確認試験を実施し、検出可能であることを確認した。 | <ul style="list-style-type: none"> ・UT及びガイドウェーブセンサについて、検出感度に余裕があることから、2重伝熱管での目標は達成可能。今後、2重管での試験により確認を実施する ・RF-ECTセンサについては目標を達成した |

11 受動的炉停止と自然循環による炉心冷却

技術開発の概要

- 非常時における炉停止のための制御棒操作を受動的(パッシブ式)システムおよび、「もんじゅ」でも確認されている自然循環能力を活用した崩壊熱除去システムを採用して、確実に炉停止・冷却を行えるシステムを開発し、非常時の安全性をさらに向上。
- 受動的炉停止システムとして、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し、制御棒操作に磁石を用い炉心過熱時には制御棒が自動的に炉内に挿入されるシステム(SASS)を構築。

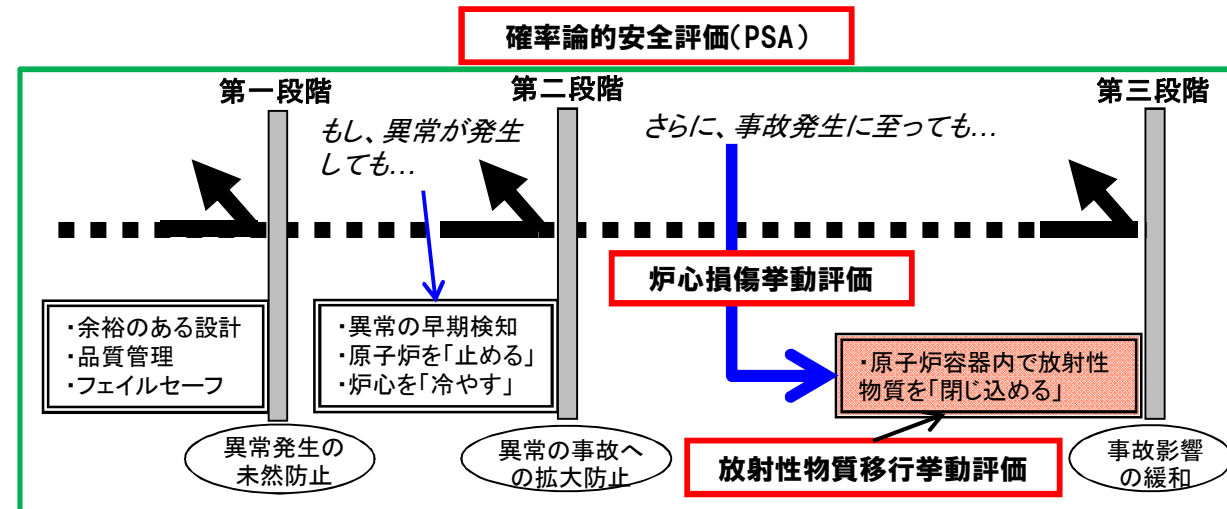


| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|-----------|---|---|---|
| 受動的炉停止の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・従来SASS(切離れ温度680℃)の構成材料(鉄心材と温度感知合金)について、実用炉を想定した中性子量($6 \times 10^{18} \text{n/cm}^2$以上)を照射し影響を確認すること ・実用炉の炉心条件等に適合したSASSの仕様を設定し、研究開発計画を提示すること ・SASS有効性解析において、冷却材流量喪失事象(ULOF)時の冷却材温度が沸点(1020℃)以下であることを確認すること | <ul style="list-style-type: none"> ・FBRサイクル実用化戦略調査研究フェーズ2で「常陽」を用いて開始した従来SASS(切離れ温度680℃)の構成材料の照射試験を継続し、目標中性子照射量($6 \times 10^{18} \text{n/cm}^2$以上)を達成し、照射の影響は小さいことを確認した。 ・実用炉へ対応させるため、SASSの切離れ温度を670～660℃に設定した。これに従い、温度感知合金の成分を調整した6種類の温度感知合金候補材を作製した。 ・切離れ温度を670℃と想定した場合のSASS有効性解析の結果、ULOF時の冷却材最高温度が1006℃であり、暫定的に目標を達成していることを確認した。 | <ul style="list-style-type: none"> ・実用炉設計進捗にあわせてSASSの設計仕様を定める。特に、温度感知合金データを採取して切離れ温度670～660℃に適合する温度感知合金を選択し、SASSの仕様を設定し、研究開発計画を提示する ・選択した温度感知合金を用いたSASSで有効性(ULOF時の冷却材温度が沸点(1020℃)以下)を確認する ・SASSの安全裕度を評価するため、2010年度よりSASSのモックアップ試験体による機能試験とその結果を用いてSASSシステムの実証性を評価するための手法を開発し、2015年の設計概念構築に反映する |
| 自然循環流動試験 | <ul style="list-style-type: none"> ・自然循環評価手法を開発し、水流動試験およびNa試験により、手法を検証すること ・開発した手法により実機での自然循環除熱が確実に機能すること(事故を含む代表事象に対して炉心の健全性を確保できること*1)を示すこと <p>*1: 異常な過渡変化に対して、燃料被覆管温度が900℃以下であること等の制限条件を満たすこと</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・水試験により、停電時(外部電源喪失事象)において、高い自然循環流量(定格の約3%に相当)が確保できることを示した ・Na試験では、崩壊熱除去系冷却器の伝熱管形状を実寸大で模擬した試験装置を製作し、過渡試験データを得た ・1次系全体を3次元でモデル化した自然循環評価手法を開発し、水試験を用いた検証に着手した ・自然循環時の炉心最高温度を評価する上で、自然循環に特有な浮力の効果などを考慮した評価手順を構築した ・現状の評価手法によって、暫定的な実機の評価を実施し、自然循環除熱が確実に機能することを確認した | <ul style="list-style-type: none"> ・水試験及びNa試験を継続するとともに、これらにより自然循環評価手法を検証する ・検証した評価手法によって、実機の評価を実施し、事故を含む代表事象に対して炉心の健全性を確保できることを示す ・これまで、着実に試験と評価手法の検証が進捗しており、目標は達成可能 ・自然循環崩壊熱除去機能の安全裕度を評価するため、2010年度より原子炉容器内の伝熱流動特性を模擬したナトリウム試験やその結果を許認可に反映するための評価手法を開発し、2015年の設計概念構築に反映する |

⑫炉心損傷時の再臨界回避技術

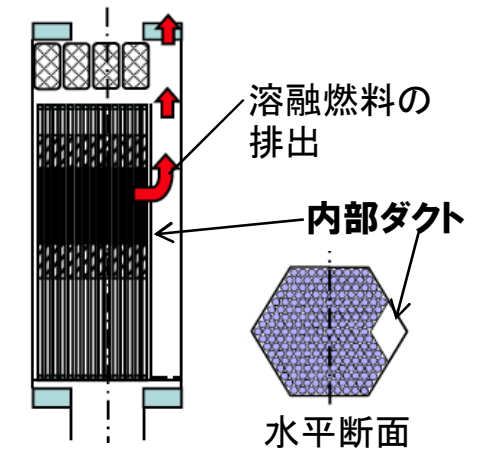
技術開発の概要

- 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燃料集合体(内部ダクト付き燃料集合体)により、このような事故条件下での溶融燃料の炉心内での移動による厳しい再臨界を回避しつつ、原子炉容器内で安定冷却するシステムを確立し、事故時の安全性向上を図る。



再臨界回避による安全性向上と関連課題

安全設計・評価方針の整備



内部ダクト付き燃料集合体

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|--------------------|---|---|--|
| 炉心損傷挙動評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・内部ダクト付き燃料集合体を用いた場合、溶融燃料が炉心外へ流出すること（炉心残存燃料に占める溶融燃料の割合が10%以下）を示すこと ・100%の炉心燃料が原子炉容器内に再配置された状況において安定に冷却できることを示すこと | <ul style="list-style-type: none"> ・内部ダクト付き燃料集合体を用いて溶融燃料が鉛直下方に流出することをカザフスタンの研究炉IGRで試験を行い確認した。その結果を用いて、鉛直上方に溶融燃料が流出できるような内部ダクト付き燃料集合体を用いた場合の実機解析を行い、溶融した燃料の大半（炉心残存燃料に占める溶融燃料の割合が10%以下）が流出することを示した ・100%の炉心燃料が原子炉容器下部構造に一度に再配置した状態を仮定して、その炉心燃料が原子炉容器内で安定に冷却できることを解析で確認した | <ul style="list-style-type: none"> ・IGRを用いた試験により、内部ダクト付き燃料集合体を用いて溶融燃料が鉛直上方に流出する結果を取得する。その結果を用いて実機解析を行い、内部ダクト付き燃料集合体を用いた場合、溶融燃料が炉心外へ流出すること（炉心残存燃料に占める溶融燃料の割合が10%以下）を示す。 ・100%の炉心燃料が原子炉容器上部及び下部構造に再配置された状態（量や到達時間など）を解析によって示し、安定に冷却できることを示す ・炉心物質再配置・冷却過程を明確にするため、2010年度より溶融燃料の微粒化試験などの再配置試験とそれに基づく設計評価手法を開発し、2015年の設計概念構築に反映する |
| 確率論的安全性評価（PSA）適用検討 | <ul style="list-style-type: none"> ・レベル1PSA^{*1}について、内的事象PSA（出力運転時、停止時）の予備的評価を終了し、安全目標（炉心損傷頻度＜10⁻⁶/炉年）への充足性を示すとともに、地震PSAを実施し基準地震動Ssに対する余裕を確認すること ・レベル2PSA^{*2}について、評価手法を整備するとともに、確率設定のための技術的根拠を整理し、安全目標（格納容器機能喪失頻度＜10⁻⁷/炉年）への充足性を示すこと <p><small>*1: レベル1PSA: 炉心損傷頻度の評価 *2: レベル2PSA: 格納容器破損に伴う核分裂生成物の環境への放出量評価</small></p> | <ul style="list-style-type: none"> ・レベル1PSAについて、出力運転時の内的事象PSAを行い、安全目標（10⁻⁶/炉年未満）を満たすことを確認した（2.3x10⁻⁸/炉年）。免震装置を備えたFBRの地震PSAを行い、代表的な事象（集合体飛上りなど）に対して基準地震動Ssに対し約20%以上の余裕があることを確認した ・レベル2PSAについて、再配置過程および格納容器内事象推移のための評価手法の整備・検証を進めた。技術的根拠の整理に必要な事故の影響に与える重要因子を抽出した | <ul style="list-style-type: none"> ・レベル1PSAについて、最新の設計に基づき内的事象PSAの予備的評価を実施し、左記の安全目標への充足性を示す。免震装置を始めとした設計改善を踏まえて、地震PSAにより余裕の改善を確認する ・リスク情報活用設計手法整備として、2010年度からPSAツールによりリスクに対する重要度を分析して設備設計に反映し、2015年の設計概念構築に資する ・レベル2PSAについて、評価手法の整備・検証、及び技術的根拠の整理を2009年度に完了する。この結果に基づいたレベル2PSAを実施し、安全目標への充足性を示す |
| 放射性物質移行挙動評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・2500～3000℃に加熱したFBR燃料からのプルトニウム（Pu）及び核分裂生成物（FP）の放出率に関する分析手法を確立すること | <ul style="list-style-type: none"> ・2500℃および3000℃に加熱したFBR燃料からのPu及びFPの放出について、分析手法検討用の3試料の分析試行データを得た | <ul style="list-style-type: none"> ・燃料の加熱試験と分析を追加実施し、Pu及びFP放出の定量分析手法を確立する |
| 安全設計・評価方針の整備 | 安全設計方針と安全評価方針の素案を作成し、2010年度以降の工程を策定すること | 設計進捗に応じて安全設計・評価方針の第1次素案を作成した | 左記の第1次素案を改定して成果目標に挙げた素案を作成し、関係機関との調整により2010年度以降の工程を策定する |

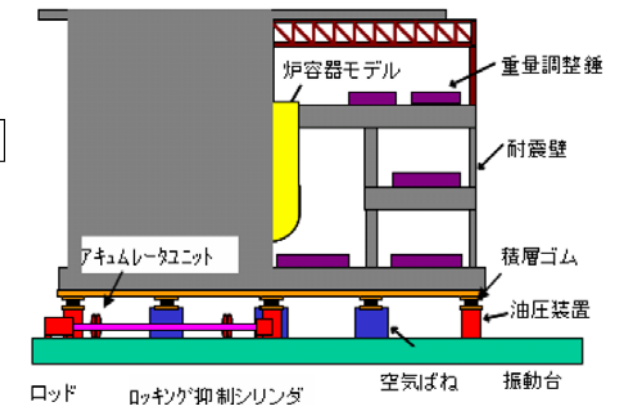
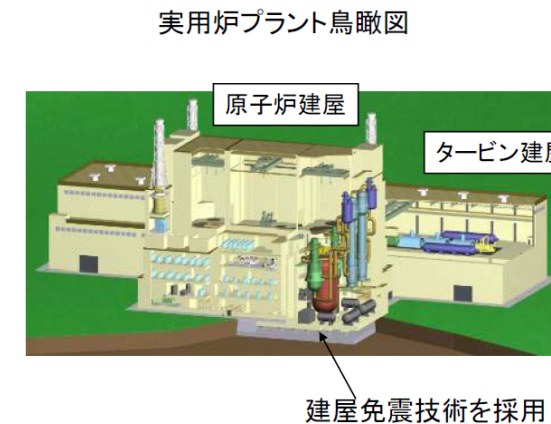
⑬大型炉の炉心耐震技術

技術開発の概要

- 炉心の耐震性として地震時に集合体飛び出し等を抑制する設計が必要である。地震発生時に炉心は燃料集合体同士が摩擦・衝突しながら振動するために、複雑な挙動を示す。安全裕度を確認するために集合体の群振動を明らかにする。
- 3次元免震を採用した場合、地震荷重の制約から解放されることから、FBR特有の熱応力に対して最適の設計が可能となる。また、想定内であればいかなる地震動にも対応可能であるため、従来の耐震設計と異なり立地条件にかかわらず建屋設計を標準化することが可能。さらに、今後予想される耐震基準強化への対応にも有効。



炉心耐震性評価手法の開発：
実寸単体試験体



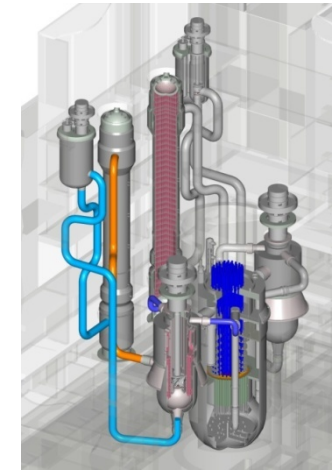
建屋全体3次元免震システム試験

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|----------------------|---|---|---|
| 炉心耐震性評価手法の開発（水平免震条件） | <p>水平応答（変位、衝突荷重）、上下応答（飛上り量）の解析評価手法を開発・整備し、3次元群振動解析評価方針案を策定する</p> <p>このため、以下の4種類の試験を実施し3次元群振動の挙動データ（上記手法の検証用）を取得する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実寸単体試験 ・群体系試験（1/1.5縮尺、最大37体） ・列体系試験（1/1.5縮尺、最大32体） ・多数体試験（1/2.5縮尺、300体程度） | <ul style="list-style-type: none"> ・地震時の炉心の3次元振動挙動（群振動）に影響を及ぼす因子を抽出し、各因子の効果を把握するための試験計画を立案した。試験計画に基づき、4種類の試験体を設計・製作した。これまでに、第1段階である実寸単体試験を終了した ・上記の影響因子を考慮した解析評価手法を整備をした。実寸単体試験に対応する試験解析により、単体挙動までの解析評価手法の検証を進めた ・中越沖地震を踏まえた地震条件に対する方策として、水平免震装置特性の適合化が必要となり、装置の仕様を検討した | <ul style="list-style-type: none"> ・2009年度に、群体系試験、列体系試験を実施する。また、2010年度に、多数体試験を実施し、各種条件下（因子の影響）における隣接集合体間の衝突に関するデータを取得する ・対応する試験解析との比較検討を通して、衝突の影響等が適切に考慮できるように、左記の解析評価手法を整備する ・計画通り進捗しており、成果目標である3次元群振動解析評価方針案は策定可能である |
| 3次元免震技術の開発 | <p>実用炉に適用可能な免震装置案*2を提示する</p> <p>*2: 既往研究により、水平方向は積層ゴムで、上下方向は空気ばね免震装置と油圧機構によるロッキング抑制装置の組み合わせで構成される3次元免震システムが有望との検討結果が得られている。本開発は、このシステムを実用炉に適用するための開発</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・空気ばね免震装置を実用炉に適用（適切に配置）する場合、既往研究において開発した装置の常時使用圧力1.6MPaを3.5MPaに高圧化することが必要となる。高圧空気ばねの実現に向けた課題の整理と解決方策（空気ばねの耐圧試験計画）をまとめた ・油圧機構によるロッキング抑制装置を実用炉に適用する場合、常時使用圧力25MPaを実現すること及び油圧システムの合理化が必要となる。このような油圧システムの実現に向けた課題の整理、開発方策をまとめた | <ul style="list-style-type: none"> ・空気ばね（ゴム膜）の耐圧試験を行い、ゴム膜の強度評価手法の整備と合わせて、常時使用圧力3.5MPa（破断圧力17.5MPa）の空気ばねが実現できることを示す ・油圧システム（シール部）の耐圧試験を行い、常時使用圧力25MPa（設計耐圧100MPa）が実現できることを示す。油圧機構の合理化（構成部品の一体化と高減衰化）構造案を提示する ・計画通り進捗しており、実用炉に適用可能な免震装置案を提示可能である |

実用炉・実証炉の設計研究

技術開発の概要

- 実用炉の設計研究
2050年より前のFBR本格導入に向けたFBRサイクル技術仕様の目標理念(開発目標)を踏まえた設計要求に対し、それを満たす電気出力150万kWeの実用炉概念を、2010年の採否判断で採択される革新技術の成果を反映して構築する。
- 実証炉の設計研究
2050年頃のFBR本格導入に向け、2025年頃の運転開始を目標とした実証炉の概念を構築する。2011年からの概念設計の着手のため、実証炉の出力等の仕様を暫定する。



実証炉の例

| 開発課題 | 2010年の主な成果目標 | 2008年度末の実施状況 | 今後の展開と2010年目標達成見通し |
|----------|---|--|---|
| 実用炉の設計研究 | <ul style="list-style-type: none"> 開発目標及びそれを踏まえた設計要求を設定する 革新技術の採否判断結果を踏まえて、設計要求を満たす電気出力150万kWeのプラント概念の設計結果を提示する | <ul style="list-style-type: none"> 安全性及び信頼性、持続可能性、経済性に関する開発目標を設定し、各々に対する設計要求を以下のように設定した <ul style="list-style-type: none"> ※1:安全性及び信頼性: 炉心損傷の発生頻度: 10^{-6}/炉・年以下、検査要求に適合する検査機器の具体化など 持続可能性: MA含有率: 1~5%程度など 経済性: 他の基幹電源、次世代の軽水炉と競合し得ることなど 150万kWeのプラント概念について、プラント諸元を暫定の上、炉心仕様、1次・2次主冷却系及び崩壊熱除去系の系統仕様、主要機器の仕様・構造(原子炉容器、炉内構造物、ポンプ組込型IHX、1次・2次主冷却系配管、蒸気発生器)、主要機器周辺(電気計装設備、燃料取扱設備、タービン設備)の系統構成と機器仕様を定めた。プラントの運転制御方法、原子炉建屋とタービン建屋及び建屋内部の機器配置を設定した。これらの仕様・構造に基づくプラント概念が、革新技術の導入を前提に、設定した設計要求を満たすことを確認した | <ul style="list-style-type: none"> 今後継続して、各設備の仕様に関する詳細化、具体化を進めるとともに、革新技術を代替する概念の検討を行う。その検討結果と、2010年の採否判断で採択される革新技術の成果を踏まえた上で、左記の設計要求を満たす電気出力150万kWeのプラント概念の設計結果を提示する 設計に影響を与える可能性のある主な課題として、以下を挙げて対応策を検討中 <ul style="list-style-type: none"> ①耐震条件の見直しに伴う原子炉容器板厚増 ②炉容器の大型リング鍛造品の製作性 ③改良9Cr鋼溶接部強度低下 ④シームレス大口径配管の製作性 ⑤長尺2重管伝熱管の製作性 ⑥「常陽」停止にともなう照射試験の遅れ |
| 実証炉の設計研究 | <ul style="list-style-type: none"> 2011年からの概念設計に向けて、採用する革新技術及び炉の出力等の仕様を暫定する | <ul style="list-style-type: none"> 75万kWeのプラント概念について、プラント諸元を暫定の上、炉心仕様、1次・2次主冷却系及び崩壊熱除去系の系統仕様、主要機器の仕様・構造(原子炉容器、炉内構造物、ポンプ組込型IHX、1次・2次主冷却系配管、蒸気発生器)、主要機器周辺(電気計装設備、燃料取扱設備、タービン設備)の系統構成と機器仕様を定めた。プラントの運転制御方法、原子炉建屋とタービン建屋及び建屋内部の機器配置を設定した。また、比較評価の観点から電気出力を50万kWeとした場合のプラント概念の仕様を定めた | <ul style="list-style-type: none"> 今後継続して、各設備の仕様に関する詳細化、具体化を進めるとともに、電気出力75万kWe、50万kWeの各プラント概念について、大型化に伴う構造・機器の製作性への影響、実現性に関する技術的リスク、革新技術の実証性の観点から比較評価を行う。その結果に基づき、2011年からの概念設計に向けて、採用する革新技術及び炉の出力等の仕様を暫定する |