

燃料無交換ナトリウム冷却小型高速炉（4S）概念

背景

当所では、昭和63年より安全性とメンテナンス性の高い小型高速炉（4S）の開発を実施している。4S炉は、寿命期間に亘り温度反応度係数が負であるため、炉停止失敗などの事故時でも炉心出力が自動的に下がり、炉心損傷に至ることはない（受動的炉停止）。また、自然循環を利用した崩壊熱除去システムにより、除熱源喪失事象においても、原子炉の冷却が可能である（受動的除熱）。この小型高速炉は、送電インフラの十分整備できていない地域や島嶼での電力供給、熱供給、海水淡水化等、原子力の多目的利用に貢献でき、将来の地域共生型エネルギーの有力なオプションとなりうると考えられる。

2000年に米国エネルギー省（DOE）により提唱された第4世代原子炉には、核拡散抵抗性の確保、エネルギー源としての持続可能性、炉心損傷頻度の飛躍的低減などが求められている。4S炉の受動的な炉停止および受動的除熱という安全上の特徴を継承しつつ炉心寿命を延長し、燃料無交換の密封型原子炉概念を構築することができれば、これらの要求条件を満たす原子炉概念の成立が期待できる。安全特性を維持しつつ、炉心を長寿命化する場合、燃焼欠損反応度に対する反射体価値不足が大きな課題である。また、小型炉の共通の課題であるスケールデメリットを克服し、建設コストを低く抑える必要がある。

目的

4S炉の優れた特性を維持させながら、これまで10年であった炉心寿命を30年に延長し、プラント寿命中の燃料交換の不要な高速炉概念を構築する。

主な成果

(1) 炉心

炉心槽を六角形状化し反射体を炉心槽へ近接配置する構造を採用することにより、反射体価値の相対的増加を図った（図-1）。また、固定吸収体の採用により、必要とされる反射体価値を低減させた。「炉心寿命30年」、「ボイド反応度係数を含む温度反応度係数は寿命期間中負の値を持つ」という条件下で連続モンテカルロ法による中性子輸送計算コードを用いた設計検討を行った結果、電気出力1万kWの炉心が成立することを確認した。

(2) 冷却系および建屋

原子炉容器の小型化、原子炉システムの物量削減のため、ループ型の冷却系を採用した（図-2）。主冷却系は1系統とし、1次・2次電磁ポンプ（EMP）、中間熱交換器（IHX）、蒸気発生器（SG）を1つの容器に収めた合体機器で構成される。崩壊熱除去系は、従来4S炉で採用していたRAVCS*¹とPRACS*²の組み合わせに対し、低出力であることから、より設備の簡素化が期待できるRVACSとSGACS*³の組み合わせとした。

高速炉用プラント解析コードCERESを用いた評価を行い、従来の4S炉と同様に、受動的な炉停止能力および受動的除熱能力を持つことを確認した。

原子炉建屋サイズに大きなインパクトを与えていたPRACS用空気冷却器等を省略でき、また、R/Vと合体機器を同レベルで配置したことから、原子炉建屋のコンパクト化が図れた（22m×16m、高さ11m、図-3）。

これらの検討により、燃料無交換で30年の炉心寿命をもつ出力1万kWの密封型小型高速炉の概念を構築することができた（表-1）。

今後の展開

タンク型システムとの経済性を含む比較評価、および市場性に関する検討を行う。

主担当者 原子力技術研究所 新型炉領域 上席研究員 西 義久

関連報告書 「燃料無交換ナトリウム冷却小型高速炉（4S）概念」電力中央研究所報告：T03058（2004年4月）

*1：原子炉容器空気冷却型崩壊熱除去系

*2：IHX組込型崩壊熱除去系

*3：SG容器空気冷却型崩壊熱除去系

5. 原子力発電／新型炉の概念構築

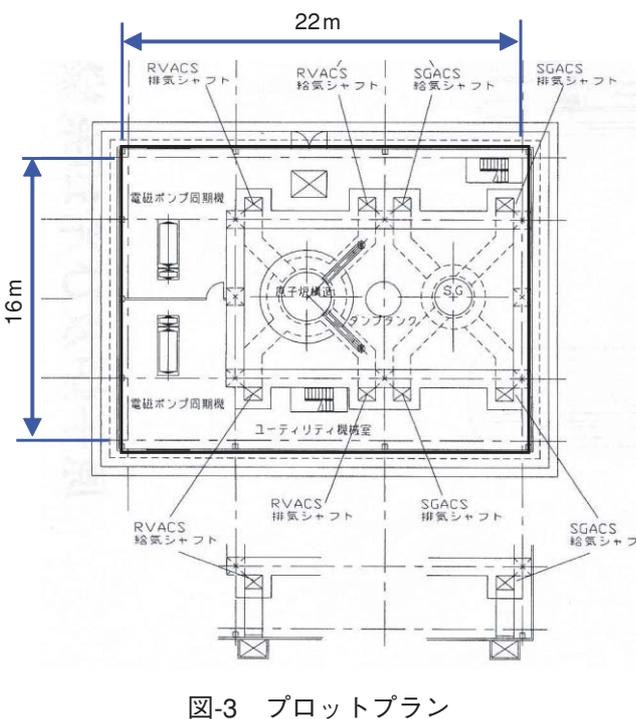
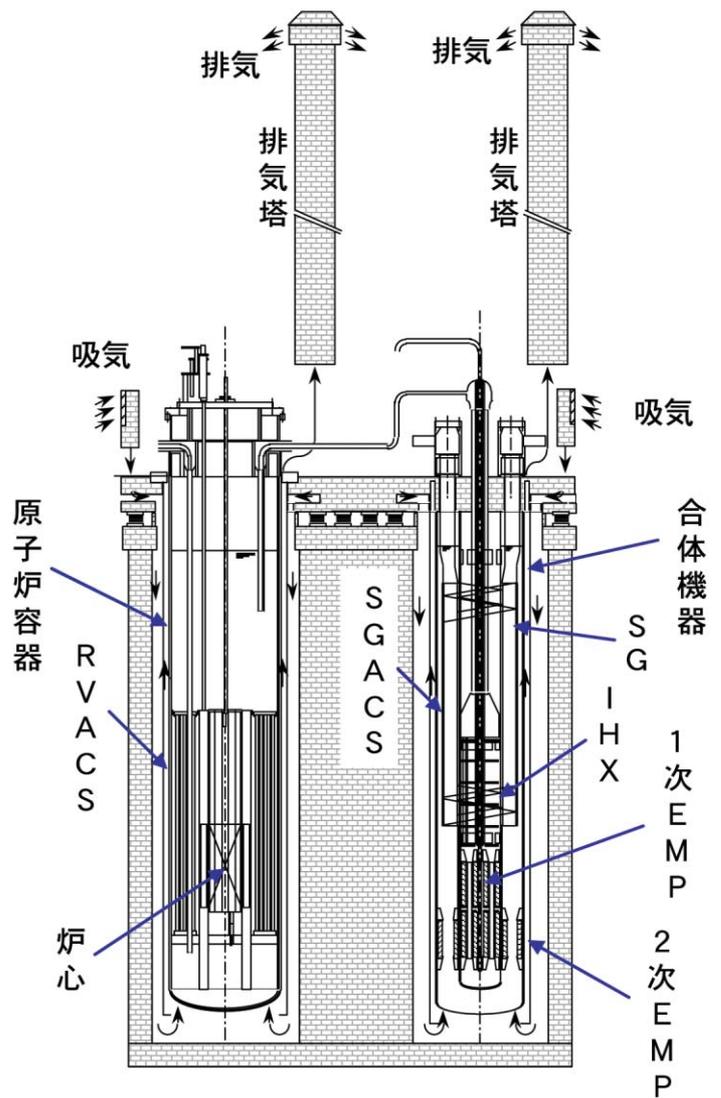
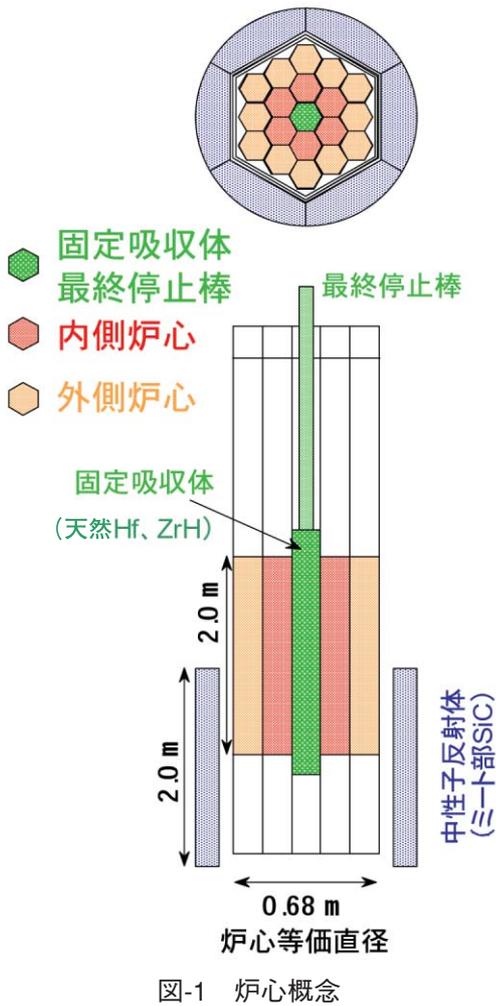


表-1 主要仕様

| | |
|---------|-----------------|
| 電気出力 | 10MW |
| 熱出力 | 30MW |
| 炉心寿命 | 30年 |
| 燃料 | 金属燃料U-24Pu-10Zr |
| 1次EMP | 直列2基 |
| 2次EMP | 並列4基 |
| IHX伝熱管長 | 直管型 |
| SG形式 | 一体貫流ヘリカル2重管 |
| 崩壊熱除去系 | PVACS、SGACS |
| 免振方法 | 水平免振 |