

# 高速増殖炉研究開発成果報告会 講演要旨

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
T	N1410 94-008	1994.5.20
<p>この資料は技術管理室保存資料です            閲覧には技術資料閲覧票が必要です            動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室</p>		

平成6年2月21日

動力炉・核燃料開発事業団

# 目 次

1. 高速増殖炉研究開発の概況 .....	1
理事 須田 忠 義	
2. 高速増殖炉燃料のふるまい .....	8
大洗工学センター燃料材料開発部長 長 井 修一朗	
3. ナトリウムと高温構造	
－ナトリウム機器の健全性評価技術－ .....	11
大洗工学センター機器構造開発部長 今 津 彰	
4. 高速増殖炉の安全性	
－合理的安全論理の確立に向けて－ .....	14
大洗工学センター安全工学部長 相 澤 清 人	
5. 高速増殖炉の明日を展望する	
－新たな高速炉炉心概念－ .....	17
動力炉開発推進本部開発計画室長 伊 藤 和 元	

## 1. 高速増殖炉研究開発の概況

理 事

須田 忠義

### 1. はじめに

動燃は、我が国の原子力開発利用長期計画（原子力委員会，昭和62年）に沿って、安全性，信頼性，及び経済性の高いプルトニウム利用体系の確立を目指して、高速増殖炉及びその燃料サイクルの技術開発を進めている。

高速増殖炉開発を巡り、米国，英国，独国等の原子力先進各国は厳しい状況にあるが、我が国は着実に開発を進め、原型炉「もんじゅ」は、今春の初臨界に向けその準備が進められている。

動燃では、実験炉「常陽」の運転・照射，原型炉「もんじゅ」の性能試験，及び高速増殖炉の実用化を目指した基盤技術の研究開発を進める一方、高速増殖炉の特長を活かす研究としてアクチニドリサイクルシステムの開発等にも取り組んでいる。以下にその成果の概況をまとめる。

### 2. 高速実験炉「常陽」の状況

「常陽」は、燃料・材料の照射試験を主な目的として運転を続けており、平成6年3月までの予定で第10回定期検査を行っている。

現在のMK-II炉心は、1サイクル当たりの運転日数70日、燃焼度5万7千MWd/tの条件で、実証炉用燃料材料照射，日仏交換照射，大学からの要請による各種材料の照射等内外のニーズに対応した照射試験を進めている。また、燃料設計最適化のためのデータ取得を目的とした高線出力試験等新たな照射試験を展開している。

一方、実用炉での目標集合体取出平均燃焼度（15万～20万MWd/t）を踏まえ、照射技術の高度化，照射炉心の高性能化を図るため、高度化計画（MK-III）を開始した。冷却系設備等の一部機器の設計に取りかかる等の準備を進めるとともに、この1月27日には設置変更許可を申請した。

### 3. 高速増殖原型炉「もんじゅ」の状況

平成3年5月から開始した「もんじゅ」の試運転は、総合機能試験を平成4年12月に完了した。現在、炉心特性、遮へい特性、プラント特性を調べるため、130項目に及ぶ性能試験の段階に入っている。

燃料製造施設のトラブルでやむを得ず全体工程を変更したものの、その後は燃料製造、性能試験ともに順調に進んでいる。昨年10月13日に燃料装荷を開始し、11月3日内側炉心108体の装荷を完了した。本年1月には、全ての初装荷燃料の製造を終了した。その後、外側炉心の装荷作業を継続しており今年4月に予定している初臨界達成を目指し、着実に臨界試験を進めている。初臨界達成後、炉物理試験、核加熱試験、出力試験など本格運転に向けた性能試験を実施していく。

### 4. 研究開発の状況

#### 4.1 高速増殖炉の実用化に向けた基盤技術の研究開発

「常陽」及び「もんじゅ」の設計・製作・建設・運転の経験をもとに、プラントの大型化・高性能化、安全性・信頼性及び経済性の一層の向上を目指した開発課題に取り組んでいる。これらは、高速増殖炉の実用化時期を原子力長期開発利用計画に沿って2020年代から2030年頃とし、実用化までのリードタイムを考慮して進めている。

##### (1) システム評価研究

「常陽」、 「もんじゅ」の開発経験とこれまでの研究成果を踏まえ、60～130万KWe級の大型炉設計評価研究を行い、原子炉容器のノズル構造を回避して原子炉容器上部から配管を出し入れし、1次系配管を大幅に短縮する概念（ヘッドアクセス方式ループ型炉）等について実用化見通しとそれに必要な開発課題の明確化を進めている。これらの中で、60万KWe級プラントの研究成果は、実証炉設計の考え方の検討に反映された。

また、受動的な安全特性を強化したプラント概念の構築と成立性評価に関する検討を進めている。

## (2) 安全性研究開発

熱流動に関しては、プラントの通常運転時、異常時の事象推移における熱流動挙動の解明を進める一方、自然循環を設計に取り入れられるよう熱流動安全解析コードの改良・整備を実施している。

プラント事故事象に関する研究では、炉内ソースタームやナトリウム火災等の事故に対する解析コードの整備を進めている。

炉心の安全性に関しては、事象の進展防止、挙動解明及び固有の安全評価機能の追求並びにそのモデル化を目標に CABRI 試験（仏国）等国際協力を活用しつつ研究を進めている。

確率論的安全評価（PSA）研究に関しては、大型炉の安全設計・評価の方針策定に資するため、炉心損傷事故推移の予備解析・事故シナリオの検討を進めるとともに信頼性データベースの拡充を図っている。

また、炉内安全性試験の検討とそれに対応可能な高速炉安全性試験炉の概念の検討を進めている。

## (3) 炉物理研究開発

炉心解析法の開発については、核特性解析の精度を向上させるため 3次元輸送効果の検討を行う等、核・熱設計手法の整備を進めている。大型炉用炉定数調整手法については、燃焼特性に対する核設計精度の向上を狙った研究を進めている。また、仏国との技術協力の一環としてスーパーフェニックス炉心のベンチマーク計算を実施し、双方の解析法の比較検討を行った。

遮へい研究に関しては、米国と共同で実施した大型高速炉遮へい実験（JASPER実験）で得られた成果を基に 3次元解析コード及び遮へい基本データベースの整備を進めており、この結果は実証炉設計研究に反映されている。

## (4) 構造・材料開発研究

構造・材料の研究開発は、プラントの高温化、機器・配管の合理化高性能化を目標に進めている。材料開発については、高速炉構造用 316及び蒸気発生器用の改良 9Cr系鋼等の新しい材料の適用性評

価に資するデータ整備を進めている。

構造解析の研究では、非線形解析コード、き裂欠陥挙動計算コードの高度化研究を進めている。一方、構造物強度評価技術の高度化に向けてクリープ疲労評価法、構造不連続部、溶接部等の設計評価法に関する開発を進めている。

#### (5) 機器システム開発研究

2次系削除システムの開発研究では、2重管蒸気発生器の開発、2重管リーク検出系の開発、2次系削除プラントの安全評価に関する解析コードの開発及び安全論理の構築を実施している。

機器の合理化を目指した開発研究として、自己作動型停止機構、高性能電磁ポンプ等の開発を進めている。配管短縮技術の開発では、トップエントリー方式を含めた新しい概念の安全性、信頼性を検証するための試験研究について予備的検討を進めている。また、ナトリウム技術については、「常陽」、「もんじゅ」の開発を通じ培ってきた技術をベースに、一層の知見の蓄積や安全基準策定等を実施するための研究機能の充実を目指し、ナトリウム試験施設の整備を進める一方、研究資源の効率的な利用を促進する観点から、外部からの利用も含めた施設の運用体制整備の検討を進めている。

また、運転保守技術の高度化研究として、「もんじゅ」性能試験データを活用してプラント動特性解析コードの検証整備を進めるとともに、原子炉容器廻り、蒸気発生器伝熱管、及び1次系主冷却配管の供用期間中検査システムの開発を進めている。

#### (6) 燃料材料研究開発

高燃焼度燃料開発については、実証炉用被覆管の候補材料となっている改良オーステナイト鋼（PNC 1520）について、FFTF（米国）での燃料・材料の照射に加え、「常陽」で燃料ペレット最高燃焼度16万MWd/tを目指した太径燃料（一部中空ペレット燃料）の照射試験を実施し、優れた耐スエリング性等を確認しつつある。さらに、実用化に向けての高燃焼度（集合体取り出し平均燃焼度15万～20万MWd/t）を実現し得る優れた耐スエリング性と高温強度を有する

酸化物分散強化型フェライト鋼 (PNC ODS)の開発を進めており、評価のための試験を実施している。

高線出力化に向けて、「常陽」において太径燃料の高線出力試験を実施し、燃料設計最適化のための溶融限界データを取得するとともに温度評価精度の向上を図っている。燃料の信頼性については、EBR-II (米国)において過渡過出力試験及び破損燃料継続照射試験を実施し、データの拡充に努めている。

これらの照射データに基づき、燃料挙動解析コードの改良、燃料・材料のデータベース・設計基準の拡充・整備を進めている。

#### (7) 「もんじゅ」を中心に据えたプラントに則した技術開発

「もんじゅ」を通じて得られた技術成果、及びこれに基づき高度化された高速増殖炉技術は、国内ばかりでなく世界の高速増殖炉開発にとって貴重な成果となる。そこで、今後「もんじゅ」はプラント機器・設備の性能、運転保守技術、増殖性能の確認を行いプラント技術を実証していく。さらに、高速増殖炉の実用化に向けて、予知予防技術、異常診断技術等に関するプラント機器・設備の高度化を進めるとともに、炉心の高燃焼度化、高線出力化のための検討を行う。

#### 4.2 高速増殖炉の特長を活かすための研究開発

新型燃料については、ウラン・プルトニウム混合酸化物 (MOX) 燃料に比べてより高熱伝導度、高重金属密度の特性を持つ窒化物燃料等の新しい燃料技術に関する検討を進めている。窒化物燃料については、受動的安全性追求のための炉心特性評価及び炉心概念の検討を進めるとともに「常陽」で試作ペレットを照射するための準備を進めている。また高速炉利用の多様化を図る研究として、高プルトニウム富化度炉心、ウランを使用しない炉心等プルトニウムの増殖を調整する炉心の検討を進める。

使用済み燃料からプルトニウム、ウランに加えてアクチニド核種を取り出し、高速増殖炉へリサイクルするシステム (リサイクルシ

システム)は、環境保全、経済性の向上、核拡散抵抗性の観点から優れているので、今後このシステムを構築するための研究開発を精力的に展開する。その一環として進めている高速増殖炉によるアクチニド核種の燃焼研究に関しては、アクチニドの燃焼特性の検証とアクチニドを含む燃料の照射挙動及び健全性評価を行うため、アクチニド分析技術の開発を進めるとともに、「常陽」におけるアクチニドを添加したMOX燃料ピンの照射の準備を進めている。

## 5. 国際協力

基盤技術の研究開発に関連する国際協力は、高速増殖炉研究開発運営委員会(原電、動燃、電中研、原研)の調整の基に進められており、日本と米国、日本と欧州(仏、独、英)の運営委員会間で交換した覚書に基づき、情報交換、共同研究等を実施している。

また、動燃は仏国(CEA)英国(AEA)との間で先進技術分野における協力協定を交わしており、革新的FBR技術、廃棄物処理処分を中心に基盤技術、革新技術に関する技術交流及び「もんじゅ」-フェニックス炉(仏国)間、「もんじゅ」-PFR(英国)間で技術者の交換を行っている。

また、高速増殖炉の特長を活かすための研究開発については、マイナーアクチニド燃焼、プルトニウム燃焼の研究を仏国原子力庁(CEA)と協力して進めている。

高速増殖炉開発に当たっては、国際的な理解を得ることが重要であり、大洗工学センター、敦賀新型炉センターを国際的な研究開発の場となるよう整備するとともに、引き続き技術者交流、共同研究等の協力を積極的に進める。

## 6. 今後の展開

今後も、高速増殖炉開発にとって必要となる研究開発を展開する。実用化に向けて着実に基盤技術の研究開発を進めるとともに、高速増殖炉の特長を活かすための研究を進め、高速増殖炉の技術体系を確かなもの



とする。

特に実証炉については、日本原子力発電㈱との「高速増殖実証炉の研究開発に関する技術協力基本協定」に基づき技術者の派遣、技術情報の提供、コンピュータプログラムの使用許諾、共同研究等を引き続き積極的に行い、その開発推進に協力していく。

## 2. 高速増殖炉燃料のふるまい

大洗工学センター燃料材料開発部長

長井 修一朗

### 1. はじめに

高速増殖炉の実用化を図る上での課題の1つとして、燃料の高性能化（高燃焼度化，高線出力化）があげられる。この課題を解決するためには、MOX燃料，炉心材料，これらの組み合わせである燃料ピン及び燃料集合体の照射下でのふるまいを把握し，燃料設計に反映することが肝要である。

### 2. 高速増殖炉燃料のふるまいの特色

高速増殖炉燃料は，軽水炉燃料と比べて出力密度が高く，低圧ではあるが，高温ナトリウムと高い高速中性子フラックスの環境下で使用される。従って高温強度が強く，ナトリウム及びMOX燃料との両立性に優れたステンレス鋼を炉心材料として使用している。

燃料集合体の構造上の特色としては，集合体の発熱量に見合った冷却材流量配分を行うため，及び集合体の剛性を高めるためラップ管構造を採用している。燃料ピンは，炉心高さと同程度のガスプレナム長さを持ち，かつ燃料被覆管の外側には隣接する燃料ピンとの間隔を一定に保持するため，スペーサワイヤが巻き付けられている。

上記の様な使用環境と構造上の特色を持つ燃料集合体及び燃料ピンの照射下でのふるまいとして，以下のものがあげられる。

#### ① 集合体のふるまいとしては

- ・ラップ管のボイドスエリングによる伸び，及び対面間の温度差とボイドスエリング差による湾曲
- ・冷却材圧力によるクリープ及びボイドスエリングによるラップ管の膨れ
- ・燃料ピンバンドルの温度及びボイドスエリング差による湾曲

がある。

② 燃料ピン及び燃料ペレットのふるまいとしては

- ・ F. P. ガス放出によるピン内圧の上昇
  - ・ F. P. ガス圧力によるクリープ及びボイドスエリングによる被覆管の外径増加
  - ・ 被覆管内外面の腐食
  - ・ 燃料温度が高いことによる中心空孔形成等の燃料組織変化
  - ・ 燃料の気体状及び固体状 F. P. によるスエリング
  - ・ 酸素及びプルトニウムの半径方向移動
- などがあげられる。

3. 燃料のふるまいと健全性

これらの燃料のふるまいのなかで、燃料の健全性を評価する上で重要な項目として、燃料中心温度、燃料ピンの外径増加および被覆管のクリープ損傷がある。

① 燃料中心温度

燃料温度が融点に達しないよう燃料温度制限を設けている。燃料温度解析上重要な因子としては、燃料組織変化、熱伝導度及び燃料の融点がある。燃料温度評価の精度向上を図るために、熱電対による中心温度測定及び溶融限界出力試験を実施するとともに、燃料ピン挙動解析コード“CEDAR”の開発を行っている。

② 燃料ピンの外径増加

燃料ピンの外径増加により冷却材流路面積が減少するため、冷却材及び被覆管の温度上昇を生ずると予想される。このような現象は、「常陽」燃料では顕在化していないが、将来燃料の高燃焼度化が図られた場合には、考慮すべき事象となる。従って、スエリングの少ない炉心材料の開発を行うとともに、燃料ピンの束のふるまいを解析する“BAMBOO”コードの開発、及び照射後試験にて詳細に調べるためのコンピュータトモグラフィ装置の開発を実施している。

### ③ クリープ損傷

核分裂ガスの放出により燃料ピンの内圧が漸増するため、大きなプレンナム容積を持たせて圧力増加を緩和している、とはいえ、内部からの圧力により被覆管のクリープ損傷を受けるので、クリープ累積損傷和を評価することにより燃料ピンの破損を防止している。クリープ損傷評価で重要なその他の因子としては、被覆管温度及び被覆管の肉厚減少がある。被覆管のクリープ寿命の延長を図るため、高温強度と耐スエリング性の両立をねらった酸化物分散強化型フェライト鋼の開発を行っている。

## 4. 破損燃料のふるまい

万一、燃料が炉内で破損した場合を想定して、米国DOEと共同で破損燃料の継続照射試験（RBCB試験）をEBR-II炉にて行っている。この試験では、燃料-Na反応生成物は燃料外周表面に安定に存在しており、かつ燃料の冷却材中への放出は極めて少ないことが認識された。

## 5. まとめ

高速増殖炉燃料のふるまいは複雑かつ相互に関連し合っているため、各々の事象を独立に評価するより、むしろ総合的に評価する方が合理的である。動燃にて実施した数多くの照射試験によって得られた知見は燃料ふるまい解析コード“CEDAR”，燃料ピンバンドルのふるまい解析コード“BAMBOO”，及び破損燃料挙動解析コード“SAFFRON”及び関連するデータベースに集約されている。

高速増殖炉燃料の開発は、より一層の高燃焼度化、信頼性の向上を目指しており、さらに広範囲で高精度の照射試験を実施し、そこから得られた知見を上記のふるまい解析コードに集約し、高性能燃料の設計・開発に反映させていく。

### 3. ナトリウムと高温構造

－ナトリウム機器の健全性評価技術－

大洗工学センター機器構造開発部長

今 津 彰

#### 1. はじめに

冷却材としてNaを使用することに関連する開発課題の中で、Na機器の構造健全性評価技術に関する最近の研究開発の主要成果を報告する。

Naの性質に起因する高速増殖炉の構造設計上の特徴として、高温設計、耐熱応力設計、Na環境効果評価があげられる。「もんじゅ」の構造設計を行うために、動燃は「高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針」をその当時の研究開発成果等に基づき作成した。実証炉開発さらには高速増殖炉の実用化に向けて、プラントの経済性向上が求められる。このためには系統設計、構造設計を大幅に合理化する必要があるが、その設計成立性は構造健全性の評価基準を満たし得るかどうかによることが多い。一方、実証炉以降プラントの運転温度は高温化を指向し、また機器は大型化する傾向にあり、熱応力の増大とクリープ特性の顕著化というより厳しい条件が課せられる。

このような背景のもとで動燃では構造健全性評価技術の一層の高度化のために体系的な研究開発を進めてきた。

#### 2. 高性能構造材料の開発

原子炉容器等の材料として高速炉構造用 316鋼(316FR鋼)を実証炉への適用を目指して開発している。母材成分の最適化に続いて、高温長時間の破損機構の解明や材料強度基準作成のため、Na環境効果と中性子照射効果の評価も含めた研究を実施してきた。その結果上記環境効果も含めて、本材料は優れた特性を持ち、従来材に比べて設計許容値の大幅な増大が期待できることが明らかになった。

蒸気発生器用材料としては、各種高クロム系鋼の中から改良9Cr-1Mo鋼をスクリーニング試験の結果選択した。その後大気中、Na中、水・蒸気中での破損機構解明、材料強度基準の作成のため各種試験、評価を実施した。

またこれら材料は、構造物モデルのNa中熱過渡強度試験により、構造物としての強度も把握している他に、Na試験装置の一部にも積極的に使用している。さらに、「常陽」のMK-Ⅲ計画で交換予定の中間熱交換器には、316FR鋼を適用する予定である。材料強度基準案も作成しており、本材料は実証炉に適用可能と言える。

### 3. クリープ疲労評価法の高度化

材料の破損クライテリアの検討と評価法の高度化に焦点をあてて研究開発を進めている。前者については微視的損傷過程の観察に基づき新概念延性消耗則を提案し、長時間強度の予測信頼性が従来より向上できる見通しが得られた。後者については、「もんじゅ」の基準と同様に弾性解析ベースの評価法を基本にするが、過渡熱応力の特性を詳細に分析してその高度化を図っている。一方、このような評価手法が持つ破損に対する裕度を確認するために、構造物強度確性試験施設(TTS)等のNa試験装置を用いて、構造物モデルに過渡熱応力を繰り返し負荷して破損に至らせるまでの強度試験を体系的に実施している。この結果「もんじゅ」の設計基準に比べて設計許容値を大幅に高められる見通しが立っている。

### 4. 溶接継手評価法の開発

今後溶接継手を広範に採用するニーズが高まると予想される。このため高温Na中で使用する溶接継手に対する信頼性の高い評価法を開発する必要がある。溶接継手を構成する母材、溶着金属および熱影響部の材質的違いをその機械的性質の差異でモデル化した評価手法を開発している。その妥当性を材料試験や比較的単純な構造モデルのNa中熱過渡強度試験で検証した。またTTSを用いた大型構造物モデルでの試験データも得

られている。

## 5. 構造解析法の高度化

高速増殖炉の設計特有なニーズに応えるため、先端的構造解析技術の開発が求められる。構造解析法の高度化は「もんじゅ」の開発段階から、動燃が自主開発した汎用非線形構造解析プログラムFINASの機能拡張という形で進めてきた。近年特に力を入れたのは、最新の非弾性構成式の開発と組み込み、座屈解析機能の充実、炉心集合体の群振動解析、流体構造連成解析等である。

## 6. まとめ

高速増殖炉の合理的な構造設計の成立性を規定する重要な基盤技術である構造健全性評価技術の高度化が着実に進展して、その成果は実証炉の設計基準に反映されつつあり、設計の飛躍的合理化さらには高速炉の実用化のために充分活かされるものと考えられる。

また、これら研究開発および「常陽」をはじめ25年に及ぶNa機器ならびにNa試験装置の使用経験から、Naバウンダリの破損防止とNaの取扱に関して実績に裏付けられた信頼性の高い技術を有している。

## 4. 高速増殖炉の安全性

－合理的安全論理の確立に向けて－

大洗工学センター安全工学部長 相澤 清人

### 1. 高速増殖炉の安全性

動燃では発足以来、高速増殖炉の開発に当たって安全性研究を重点的に実施してきている。

「常陽」および「もんじゅ」の開発のための安全性研究は完了し、その成果を踏まえつつ「常陽」及び「もんじゅ」の運転安全性の一層の向上のための研究、並びに実証炉以降の高速増殖炉の実用化に向けた安全性研究を進めているところである。実用段階の高速増殖炉においては、安全性、経済性及び信頼性の一層の向上が不可欠であり、そのため高速増殖炉の安全上の特長を十分に活かした「合理的な安全論理」の確立が必要である。

「常陽」は順調な運転を継続してきており、この間に高速炉の安全設計評価にとって貴重なMK-I、MK-IIの2つの炉心体系における炉心核熱流力特性、燃料特性、プラント動特性、自然循環除熱移行など炉内及びシステム全体の過渡応答特性、FP及びCPの生成・移行特性、高速炉特有の機器を中心とした信頼性データベース(CREDO)、更には運転・保守支援システムの開発と適用経験などについての知見を蓄積してきた。これらの知見は、高速炉のもつ高い安全性を実証するとともに、もんじゅ以降の高速炉の開発に的確に反映されてきている。

「もんじゅ」は初臨界を本年春に控えているが、炉心燃料の異常時健全性については、国際共同プロジェクトであるCABRI、EBR-IIなどの炉内安全性試験や大型安全解析コードの開発適用を通じて、またナトリウムを冷却材として使用することに係わる安全性については、「常陽」を初めとする大洗工学センターの多数のナトリウム試験施設等の運転経験、並びにSAPFIRE、SWAT施設を用いた各種ナトリ



ウム化学反応の事故模擬試験の実施等を通じて確認されている。「もんじゅ」では、現在、プラント全般に亘る性能試験を実施中であるが、大洗工学センターでは、こうしたプラント過渡試験データの解析評価等を通じて、高速増殖炉プラントの持つ安全裕度（スケール則ほか）の確認を進めるとともに、将来の高速増殖炉の安全設計評価手法の高度化整備を世界に向けて開かれた形で進めようとしている。また、CREDOへの「もんじゅ」データの取り込みを開始するとともに、一層の運転安全性向上を目指して、「もんじゅ」の運転・保守支援システム、並びにリビングPSAシステムが開発されており、今後はその適用研究を通じて実用化を図っていく計画である。

こうした成果を踏まえ、短期的には実証炉の許認可に係わる安全性研究、中長期的には高速増殖炉の実用化を目指した合理的な安全論理構築のための基盤的な研究を進めている。

合理的な安全論理の構築に当たっては、システムの簡素化を図りつつ、一層の安全性、信頼性の向上を可能とすることが肝要である。このためには、高速増殖炉の安全上の特徴を考慮しつつ、固有の安全性や受動的安全性の強化を通じて、システムの簡素化と信頼性（多様性等）や安全裕度の確保とを両立させるとともに、マン・マシーン・インタフェースの一層の向上を図っていく必要がある。こうした観点から、高速増殖炉が大きなサブクール度と優れた熱伝達特性を有しているという特徴に着目した「異常時に速やかな炉停止と崩壊熱除去を受動的に可能とする特性の評価」に係わる研究の結果、並びにナトリウムの化学的特性に着目した「ソースターム及びナトリウムの漏洩・燃焼減少の評価」に係わる研究の結果を報告する。また、設計基準事象はもとより、それを超える事象に対しても適切な安全余裕を有する合理的な安全論理を構築するためには、「深層防護」の考え方に基づく決定論的アプローチを基軸としつつ、事故の防止対策と影響緩和対策とのバランスを適切にとることが肝要である。このためには、炉心損傷の最確評価手法や高速炉に対するPSA手法の高度化研究が重要となる。こうした観点から、「高速増殖炉燃料の破損閾値」、並びに「損傷炉心のエナジェティクス評価手法」

に関する研究の進展について報告する。

これまでに得られた成果によれば、軽水炉と比べても高速増殖炉の特徴がリスクを増大することはなく、そのリスクは十分に低い水準にあり、且つ実用化に向け高速炉の安全上の特長を十分に活かしつつ、高度の安全性、信頼性とより一層の合理性を併せ持つプラント概念の実現のために有効な技術基盤の整備の見通しが得られつつあるといえる。

## 5. 高速増殖炉の明日を展望する

— 新たな高速炉炉心概念 —

動力炉開発推進本部開発計画室長

伊藤 和元

日本の高速増殖炉開発は、原型炉「もんじゅ」の臨界を間近に控えるとともに、実証炉開発も具体化に向け検討が進んでおり、着実な進展をみている。一方、海外においては高速増殖炉開発の最先端を進んでいたフランスを中心とした欧州においても開発計画の見直しが行われ、長期的には増殖炉を本格的に導入することが必要としながらも、短期的にはプルトニウム需給バランスを調整するプルトニウム燃焼技術や長半減期核種廃棄物量の低減を狙ったマイナーアクチニド燃焼技術の研究に開発の重点を移している。また、米国等では日本の高速増殖炉及び燃料サイクル開発の推進に対し核不拡散の観点から懸念を示す意見がみられる。

このような背景の中で、動燃は次の研究開発を進める考えである。

### 1. 高速増殖炉基盤技術の開発

高速増殖炉の技術体系の確立に向け、安全性、信頼性、経済性を確保するための主要な基盤技術開発を進めていく。この成果は、適宜実証炉計画に反映する。

- ・ システムの簡素化
- ・ 炉心・燃料の高性能化
- ・ 構造・材料および熱流動評価技術の高度化
- ・ 合理的安全論理の確立
- ・ 「もんじゅ」を中心としたプラント技術の総合評価及び高度化

### 2. 高速増殖炉の特長を活かすための研究開発

高速増殖炉および燃料サイクルを巡り、環境調和性、核拡散抵抗性、

プルトニウム需給バランス，わかり易いシンプルな安全性などへの期待が強まっており，これらの要求を満たす新たな高速炉炉心概念の検討を行った。

#### (1) マイナーアクチニド燃焼炉心

長半減期核種であるマイナーアクチニド（MA；Np, Am, Cm）は高速炉の炉心では燃料となる。また，これらをプルトニウムと一緒に燃料としてリサイクルすることにより，高レベル廃棄物中のこれらの核種の量を低減でき環境調和性を増すと同時に，核拡散抵抗性の向上，再処理プロセスの簡素化が期待できる。

このため，燃料へのMA添加量，種類，炉心構成（高さ，燃料ピン径など）原子炉出力，燃料種類などをパラメータとして炉心特性，マスバランスを解析した。この結果，5%程度のMAを均一に炉心燃料に添加しても炉心特性に大きな影響を与えずMA燃焼が可能であり，同一出力規模の軽水炉で生成されるMA量の約6倍を燃焼できる見通しを得た。

#### (2) プルトニウム燃焼炉心

プルトニウム需給バランスを適切なものとする上で，プルトニウムの増殖または燃焼を自由にできることが望ましい。プルトニウム燃焼を促進させる炉心概念について，炉心構成（高さ，燃料密度など），原子炉出力などをパラメータに炉心特性を解析した。この結果，高速炉は増殖比（転換比）約1.2~0.5が達成可能であり，さらに高次化したプルトニウムの燃焼も可能であることから，プルトニウムのリサイクルに適している。

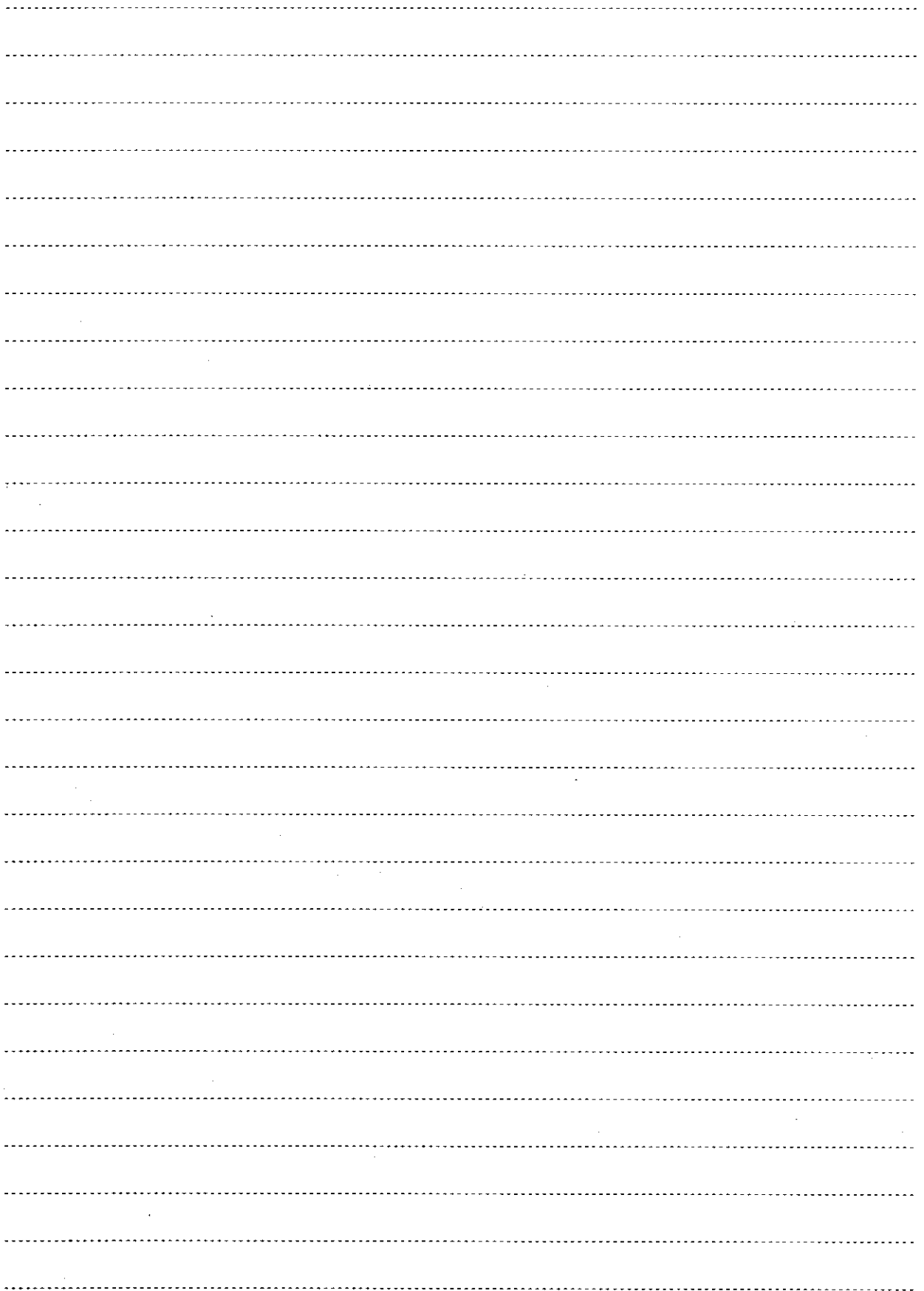
#### (3) 新型燃料炉心

窒化物燃料は，熱伝導度が良く，ナトリウムとの共存性がよい。この特長を最大限に利用し，わかり易いシンプルな安全特性を持つ大型の受動的な安全炉心概念を検討した。この結果，窒化物燃料をナトリウムボンド型とし，扁平炉心や燃料線出力の低減と組み合わせることにより，異常な過渡変化時に制御棒が仮に挿入されなくても，受動的な特性により出力が減少し安定な冷却ができる大型炉心を設計できる見通

しを得た。

これら高速増殖炉の持つ特長を活かし、将来の社会の多様な要求に応じていくことは、高速増殖炉のみならず原子力エネルギー利用の定着化に資する上で重要性が増していくものであり、研究開発を展開していく。

A series of horizontal dashed lines for writing, consisting of 20 lines.



複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107

東京都港区赤坂1丁目9番13号

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

電話 03(3586)3311