



- 高速増殖炉サイクルの研究開発 - 高速増殖炉の研究開発

1. 高速増殖炉固有の技術開発

1.1 安全性の研究

高燃焼炉心での変形ピンバンドル内の熱流動現象を予測する手法の開発についてレーザー誘起蛍光法の適用性検討を含め複雑形状流路に対する可視化画像を用いた熱流動特性計測技術の開発を進めた（筑波大学との先行基礎工学協力研究）。

全炉心熱流動評価手法の開発については、自然循環による崩壊熱除去に関し、インターラッパーフローの炉心部形状に関する依存性、流れの周方向依存性を明らかにするための水試験装置の調整等の準備を進めた。

仏国原子力安全防護研究所（IPSN）、独国カーlsruエ研究センター（FZK）と共同で開発している起因過程解析コードSAS4Aについては、CABRI試験解析を通じてプレナムガス放出モデルの適用性を確認した。また、IPSN、FZK、米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）との調整を行い、2002年初めにSAS4Aコードの基本統合バージョンを配布するための準備を進めた。電力中央研究所と共同で実施している金属燃料高速炉の炉心安全評価については、モデル開発計画の検討を進めた。

炉心崩壊過程解析手法の高度化については、蒸発・凝縮モデルにおける非凝縮性ガスの効果の多成分系でのモデル化や燃料ピン詳細モデル等を組み込んだ炉心崩壊過程解析コードSIMMER III及び3次元版のSIMMER IVの最新版を整備し、2000年11月に欧州各機関へ配布した。また、多様な炉型に対するSIMMER III解析モデルの追加については、水冷却炉やサイクル施設へ適用するため、各データ作成システムの整備改良を実施している。FZKとのSIMMER IVの核計算部の共同開発作業については、3次元核計算コード（THREEDANT）の組み込みを完了した。

炉心物質移動挙動試験については、熔融移動挙

動大型模擬試験装置（MELT II）を用いた冷却材逆流型溶融燃料冷却材熱的相互作用（FCI）試験を実施し、圧力発生挙動に係る基礎データを取得するとともに、試験データの分析と評価を進めた。IPSNとの共同研究で実施しているCABRI RAFT炉内試験については、破損燃料の冷却性に着目した試験（RB1、RB2）についてIPSN及びFZKと共同による総合評価をまとめた。また、溶融燃料のピン内分散挙動を確認する試験（LTX）については、破損挙動及び破損後挙動の評価をまとめた。

カザフスタン共和国国立原子力センター（NNC）の試験炉IGRを用いた再臨界回避に向けた試験研究（EAGLEプロジェクト）については、ペレットの不純物ガスの効果を調べる試験（GP）を実施し、試験後検査、結果分析及び解析評価を実施した。また、溶融燃料による壁の破損挙動を調べる試験（WF）の予測評価を行い、試験体の安全設計に反映した。炉外試験については、ナトリウムを用いない条件での要素試験（UTD 2）を実施した。また、大洗で技術会議及び運営委員会を開催（2001年12月3～7日）し、技術討議、スケジュール調整等を行った。

ソースターム評価手法の開発については、燃料からのFP放出挙動を評価するために、セシウムの化学形態・粒径・放出速度の評価に加え、KrとXeに関する評価及び文献調査を進めた。炉内ソースターム総合解析コードTRACERの開発については、プログラム構成の見直し・デバッグ等を終了し、コードマニュアルの整備を開始した。

ナトリウム燃焼試験については、燃焼残渣の安定化基礎試験の成果を第39回燃焼シンポジウム（2001年11月）に発表するとともに、確証試験の準備を進めた。ナトリウム・コンクリート反応試験については、燃焼ナトリウム中への水素注入試験の試験データ評価を実施した。

蒸気発生器に関する安全技術高度化研究に関しては、ナトリウム水反応試験装置 (SWAT 1R) を用いた熱伝達率測定試験についてブローダウン解析コード LEAP BLOW を用いた試験結果の検証解析を実施するとともに、反応生成物除去等の試験後処理作業を実施した。蒸気発生器水リーク試験装置 (SWAT 3R) を用いた水リーク試験については、LEAP BLOW コードを用いた予備解析を実施するとともに、反応ジェット解析コード LEAP JET を用いて反応ジェットに対するナトリウム流動効果の検討を実施した。また、水・蒸気系機能試験計画の検討を行うとともに、洗浄容器周辺設備、可視化についての温度ディスプレイシステム、制御装置へのカバーガス圧力制御機能追加等について検討を開始した。

確率論的安全評価 (PSA) 手法については、運転員によるシビアアクシデントマネジメントの手順の有効性をイベントツリー/フォールトツリー解析で評価できるように改良した統合型レベル 1 PSA プログラム (PIRAS) のユーザーズマニュアルを作成した。さらに、重金属炉の PSA 評価に資するために、露国の原子力潜水艦重金属冷却炉を対象とした機器の運転・故障データの調査・収集を進めた。信頼性データベースの開発・整備については、「常陽」の 2001 年 1 月～3 月の運転実績を機器信頼性データベース CORDS へ登録した。

1.2 炉心の開発

核特性解析手法の高度化については、セル計算コード SLAROM UF 等の改良を実施した。核設計基本データの整備については、臨界実験データベースの整備のための BFS 実験データの解析を実施するとともに、実機高速炉性能試験データベースの整備のための「常陽」解析を完了した。

「常陽」の炉心管理・照射技術として、炉心管理計算法の高度化を目的とした炉心管理コード (HESTIA) 検証のための MK II 炉心の記録計算を実施中である。また、FP 断面積を考慮した「常陽」の遮へい特性解析について、核データ国際会議 ND 2001 (2001 年 10 月) で発表した。使用済燃料のモニタリング技術開発については、「常陽」MK II 燃料 (燃焼度約 6.6 万 MWd/t) の崩壊熱測定と崩壊熱・線源解析コード ORIGEN による解析評価をまとめ、核データ国際会議 ND 2001 で発表した。

マイナーアクチノイド (MA)・核分裂生成物 (FP) 核変換測定評価については、鉛スペクトロメータを用いた FP 核種 (I 129) の中性子捕獲断面積測定の検討を実施した。フェニックスにおける MA 及び FP サンプル照射試験 (PROFIL R) 計画については、仏国原子力庁 (CEA) における MA・FP サンプルの調達、照射用集合体の製作、フェニックス炉への輸送等に係わる共同研究の内容を検討した。

核兵器解体 Pu 処分協力として、露国の BFS 2 臨界実験装置を用いた臨界実験について、炉中央部に MOX 燃料を配置した BFS 62 炉心体系の実験解析を実施した。露国の BN 600 ベンチマーク計算については、非均質効果及び燃焼解析に関する計算を終了するとともに、これらの炉心解析に使用する炉心解析コードの改良を実施した。

1.3 高温構造システムの研究

高サイクル熱疲労評価法の開発を目的として、流体側の温度変動挙動を把握するための並行 3 噴流ナトリウム試験では、乱流モデルを使用しない直接解析 (DNS 解析) と水試験結果の比較を国際水理学会 FMTH 2001 (2001 年 12 月) にて発表した。配管合流部のホット/コールドスポットの発生などの温度変動特性を明らかにするための長周期変動水試験では、温度変動測定試験の結果を国際会議 ICONE 10 (2002 年 4 月開催予定) で発表するための論文投稿を実施した。また、熱疲労強度データ取得のための構造物熱過渡試験装置 (TTS) の試運転で得られた温度変動データを整理するとともに、高サイクル熱疲労試験の計画を検討した。

実用化構造基準の開発を目的として、非弾性挙動と破損メカニズムの分析については、実用化戦略調査研究で対象としている原子炉容器の非弾性解析を実施し、弾塑性クリープ挙動を明らかにした。

システム化規格の骨格となる構造健全性の定量的評価の方法論開発については、破損確率、品質保証指数、設計係数の 3 種の方法論の検討を開始した。

損傷組織画像データベース作成のためのデータ入力システム (SMAT i) の作成を継続した。高温材料長時間試験については、 β 16FR 鋼、Mod. 9Cr1Mo 鋼等の長時間域クリープ試験、低ひずみ域クリープ疲労試験と試験後の冶金解析を実施してい

る。

溶接部損傷評価法については、溶接金属損傷評価を継続して実施している。

信頼性評価技術の開発は、高速炉のLBB（破断前漏えい）評価法の高度化に資するデータ取得を目的とした熱クリープ疲労き裂進展試験について、試験体の非破壊検査データの整理を実施した。また、き裂計測手法高度化のための検討の一環として、電磁誘導法によるき裂計測試験を実施した。ナトリウム化合物溶融体中の高温材料腐食研究については、ナトリウム漏えい対策設備の合理化を狙いとした腐食抑制物質の探索試験及びステンレス鋼の腐食速度評価試験を実施した。また、雰囲気制御下で微小ナトリウム漏洩試験を開始した。

ナトリウムとナトリウム化合物の熱力学基礎物性に関する研究については、 NaFe 複合酸化物の合成、熱分析、ラマン分析及び蒸気圧測定試験を実施するとともに、試験装置の改造準備を行った。また、 Na_4FeO_3 の合成・熱分析及びラマン分析に関する成果を電気化学会溶融塩討論会（2001年11月）で、 Na_4FeO_3 の蒸気圧測定結果を日本熱測定学会（2001年11月）でそれぞれ発表した。

損傷組織定量化技術開発については、損傷定式化に必要な材料試験計画の検討を実施した。実機損傷材の材料試験については、大型試験ループのサンプリング材の組織変化分析に着手した。またDICTRA等の解析ツールを用いた析出物生成の定量化手法について検討した。さらに、「常陽」プラグニング計の材料試験結果のまとめを実施するとともに、1次系配管材のサンプリングに着手した。

構造解析コードの整備については、汎用非線形解析コードFINASの振動解析機能に関する計算速度向上のためのプログラム改良を行い、Version.15の公開に向けた準備を実施している。

データベースの整備については、材料データベースシステムSMATの公開に向け、インターネット対応版整備のために、インターネット上のデータベースと解析コード間のデータ転送についての検討を実施した。

機器上下免震評価法の開発については、免震要素設計法、免震構造設計法の検討、1Hz減衰要素付加試験等の実施内容の詳細検討を行い、その結果のとりまとめを実施した。

耐震構造健全性評価法の高度化については、エルボ配管の振動特性、弾塑性挙動、限界挙動等を

把握するためのエルボ配管耐震試験を実施している。

伝熱流動数値実験研究については、相変化を伴う熱流動シミュレーション手法の開発に関し、混相流解析手法をナトリウム水反応実験に適用し、コード検証を実施している。

ナトリウム漏えい検出システムの高度化については、ナトリウム燃焼エアロゾルを用いたレーザーブレークダウン法によるナトリウム漏えい検出系の適用性を評価するため、感度評価予備試験を実施した。また、これまでに実施した漏えい検出基礎試験結果と感度評価試験結果の比較評価を実施した。

ナトリウム中流動現象計測手法開発については、高温用超音波トランスデューサーの試作を実施している。炉内・機器内の熱流動並びにナトリウム燃焼にかかわる各種現象の可視化計測技術の開発については、計測性能向上のためのデジタル信号処理による流速分布計測アルゴリズムの改良に向けた水中基礎試験の準備を実施した。

1.4 燃料・材料の開発

被覆管の実用化開発として進めている酸化物分散型被覆管（ODS）の開発について、製造コスト低減化を目的として海外メーカーにおける大型素管の製造条件の検討を実施した。材料評価として、ODS鋼照射のための許認可取得データ整備のために長時間クリープ試験を継続して物性データを取得するとともに、端栓溶接部クリープ破損に伴う健全性確認のためのマルテンサイト系ODS鋼のアルゴンガス中/ナトリウム中内圧封入型クリープ試験片の作製を実施している。また、ODS鋼等のナトリウム中腐食試験、ODS鋼のニッケル拡散挙動確認のための基礎調査試験を継続実施している。さらに、海外燃料被覆管材料の調査の一環として、CEAとの共研でPE16被覆管の照射後試験データの入手を実施している。高ニッケル鋼及び改良オーステナイト鋼被覆管の開発については、アルゴンガス中クリープ試験を実施した。

ラッパ管の実用化開発では、フェライト鋼とSUS316鋼の異材溶接部の強度評価に用いる試験片の製作を実施している。

被覆管の照射後試験については、ODSフェライト鋼照射材強度特性評価に必要な急速バースト試験を終了した。また、構造設計方針の検討として、

PNC316, PNC1520被覆管の強度信頼度評価を実施した。改良オーステナイト鋼(14Ni 25Cr鋼, 15Ni 35Cr鋼)の炉外内圧クリープ試験を継続するとともに破断試験片の組織観察を実施した。ラッパ管については, C型照射燃料集合体(C₄F)の外側ラッパ管のスエリング挙動式の作成を継続している。

日仏交換照射に係る照射集合体(C₄F)については, 燃料ピンの照射後試験を実施するとともにラッパ管の照射挙動について評価を継続した。原研との共同研究で進めている窒化物燃料の照射後試験については, 金相試験を完了した。また, 予備試験で良好な溶解性が得られたことから燃焼率測定試験を開始した。

TRU MOX燃料の評価として暫定的に用いるAm添加MOX燃料の熱伝導率評価式を作成した。また, 照射試験のため温度解析を開始した。

TRU MOX燃料製造技術開発として, 作成したMOXペレットの所期密度不足の原因究明のため, 長時間焼結試験の実施及び東海事業所プルトニウム燃料センターでのMOX製造試験を開始した。

制御棒の開発については, 「もんじゅ」制御棒長寿命化対応を目的とした照射試験装置AMIR 6の装荷キャプセル内試験片(B,Cペレット)の照射後試験及び切断作業を実施するとともに, 粒度分

布測定の前準備の一環として, 測定方法の確認と資材の整備を実施した。また, 「もんじゅ」長寿命制御棒設計用のB,Cペレットのスエリング式及びHe放出率の式を改定した。

2. 高速実験炉「常陽」

2001年10月31日に「常陽」メンテナンス建家で火災事故が発生し, MK III改造工事を中断している。なお, 事故調査委員会を設置し原因究明を終え, 復旧・対策を行っている。

2001年6月1日より実施している第13回定期検査では, 1次系余熱ヒータ接触器, 2次系液面計, 廃棄物処理施設等の点検を実施した。

安全対策工事については, ケーブル貫通口補修を完了し, 1次系Na回収処理装置製作, アルコール廃液処理詳細設計, 2次純化系C/T製作, 常陽変電所更新工事, 電源設備遮断機製作等は継続実施している。なお, 2001年11月以降は火災事故の影響により原子炉床下作業を中断している。

なお, 中断中のMK III改造工事については, 総合機能試験21項目中12件が完了したが, 残り9件は主循環ポンプ(A)の故障により中断した。

(大洗: 開発調整室)