



原子力基礎工学研究の 総合評価等について

原子力科学研究部門
原子力基礎工学研究センター

評価対象	総合評価
原子力基礎工学研究の総合評価 ①項目4:原子力安全性向上 (含む③項目2福島第一原子力発電所事故への対処) ②項目5:原子力基礎基盤 (含む③項目2福島第一原子力発電所事故への対処) ④項目7:減容化・有害度低減	S

中長期計画に基づいた 原子力基礎工学研究を実施し、数多くの成果と計画外成果を創出した。得られた成果を大学、産業界、国際機関との協働を通じて、積極的に供用、活用することで積極的に成果の最大化を図った。

学術分野、産業界等において活用、実用化が大きく期待されるなどの特に顕著な実績を上げたと評価した。

総合自己評価

【研究成果の達成度と当初計画の妥当性】

S

計画外含めた多くの成果抛出により、研究開発の達成度は特に顕著と評価する。

- 各研究分野において成果が高く評価され、**論文賞(14件)、文部科学大臣表彰等(8件)をはじめ学協会賞を受賞(119件)**した。
- 軽水炉・核工学に関する研究開発を計画通り達成できており計画は妥当であった
 - ✓ 原子力基礎工学で用いられるコード類を多数整備した。JENDL-5、FRENDY、MVP等の公開
- 燃料材料に関する研究開発を計画通り達成できており計画は妥当であった
 - ✓ 原子力燃料材料挙動評価のための測定・計算手法を開発し、材料劣化挙動等のメカニズムを解明してモデル/データベースとして公開した。
 - ✓ **構造材すき間腐食挙動の解明、FP化学挙動モデルのSA解析コードへの実装完了など、計画を超える成果を挙げた。**
- 原子力化学に関する研究開発を計画通り達成できており計画は妥当であった。
 - ✓ 液体・固体界面の分光分析法を開発し、界面反応・溶解反応・再沈殿・析出反応などの反応モデルを構築した。
 - ✓ 量子化学計算による化学状態の解析手法をマイナーアクチノイド(MA)向けに最適化し、分離メカニズムの解明に成功した
- 環境・放射線科学に関する研究開発を計画通り達成できており計画は妥当であった。
 - ✓ 大気拡散モデルの高分解能化と機能拡張、海洋拡散システム、環境中核種挙動データ取得した。
 - ✓ 放射線飛跡構造や核熱連携等の解析を可能とする汎用放射線挙動解析コード、公衆の受ける外部被ばく線量を詳細かつ迅速に評価するシステム、高線量環境下における核種同定システム及び生体試料中核種分析法の開発を行った。
- 減容化・有害度低減に関する研究開発を計画通り達成できており計画は妥当であった。
 - ✓ 二次廃棄物の発生量を低減化したMA分離プロセスを開発し、**実廃液試験によって約0.3gのMAを回収して技術的成立性を示す**とともに、新たな混合溶媒によるAm分離プロセスの簡素化につながる結果を得た。
 - ✓ 外部ゲル化法によって希土類で**良好な球状粒子作製条件を確立して高純度窒化物を得る**とともに、ZrN母材燃料について微粉碎と気孔形成材による**焼結密度制御をTRUで実証**した。
 - ✓ **$^{15}\text{N}_2$ ガスの同位体濃縮プラント実現性を確認**し、循環精製による経済的利用技術を実証した。
- 計画外の成果を多数創出した。
 - ✓ 低コスト・可搬型非破壊核物質検知装置の原理実証の成功、**核セキュリティ(ウラン)に対応した非破壊分析装置の開発**
 - ✓ BWR事故時のホウ素制御材成分の化学的作用によるセシウム再蒸発等、FP化学挙動を解明してデータベース(ECUME)を構築するとともに、産業界と共同してデータベースを解析コードに組み込み、実装化した。
 - ✓ 海水混入商用炉の压力容器のすき間部で想定される腐食性イオンによるすき間腐食挙動解明に向けて、すき間部水質をin-situで測定可能なセンサーを開発し、すき間部水質とその時間変化はバルク水質と異なるなど、腐食環境が根本的に異なることを明らかにした。
 - ✓ 電子状態の計算シミュレーションによって合金化による材料の「割れにくさ」等の機械特性への影響を評価する手法を構築し、マグネシウム合金の添加元素最適化への指針を提示した。
 - ✓ **WSPEEDI-DBを活用した自治体の防災計画への貢献**、複雑なDNA損傷プロセスやシンチレーション検出器の光出力の仕組みの解明した。
 - ✓ 世界各国の平均**宇宙線被ばく線量の評価**、原爆被ばく線量再評価、**国際的な放射線防護基準やデータの見直しに貢献**した。
 - ✓ 計算化学技術を応用した**事故時挙動予測の基礎となる溶液内化学モデルを構築**した。

基盤分野(基礎工4分野)で得られた成果は、原子力安全性向上、分離変換研究、福島第一原子力発電所事故への対処への貢献し、研究成果の社会への反映は特に顕著と評価する。

- **データベース等の公開：3件、解説記事(含む書籍)の公開：20件、受託研究：158件、特許出願等知的財産は22件申請した。**
- 軽水炉・核工学に関する研究成果は十分に社会への反映した。
 - ✓ 核計算コード・核データ、炉物理コード、熱流動コード等の**軽水炉安全性向上に必要なコード類をニーズに応じて提供した。**
 - ✓ 原子力委員会提唱した知識基盤として軽水炉長期利用・安全プラットフォーム、燃料サブプラットフォーム、**軽水炉過酷事故プラットフォーム(基礎工が主体的に主導)**に主体的に参画し、知識基盤集約・技術課題の整理等に貢献した。
- 燃料材料に関する研究成果は十分に社会への反映した。
 - ✓ 既存軽水炉用事故耐性燃料(ATF)開発について、最重要の開発マイルストーンとなる照射試験開始に漕ぎつけるなど、**燃料メーカー、プラントメーカー及び大学と連携して国内開発の取りまとめと推進に大きく貢献した。**
 - ✓ 軽水炉システム機器材料の健全性評価については、**再処理プラント環境での腐食量予測モデルを事業者に提示し、審査マニュアル等に反映された**
 - ✓ 軽水炉安全性向上のための重大事故時ソースターム高度化に不可欠な**FP化学挙動モデルを解析コードに組み込み事業者等に提示した。**
- 原子力化学に関する研究成果は十分に社会への反映した。
 - ✓ 放射線作用下での化学変化を明らかにした成果は、**再処理プラントにおける加熱時の水素発生G値の基盤データ取得の基盤データを事業者提供した。**
 - ✓ 微粒子状α核種の状態分析の研究では、1F滞留水中の固形分に含まれるマイクロメートルサイズの**微粒子状ウランの存在状態を検出・化学種の同定により、1F廃炉へ向けた分析結果として事業者提示した。**
- 環境・放射線科学に関する研究成果は十分に社会への反映した。
 - ✓ 緊急時海洋環境放射能評価システムSTEAMERは、**1FのALPS処理水の海洋放出や廃炉に伴う汚染水漏えい等の対策の参考情報として活用された。**
 - ✓ 大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DBは、**国や国際機関による1F事故の被ばく線量評価、島根県における原子力発電所周辺のものタリング地点の配置の妥当性検証**に活用された。
 - ✓ 放射線挙動解析コード(PHITS)が**住重製の治療計画システムNeuCureTMのエンジンに採用**され、ホウ素中性子捕捉療法を受ける患者の線量評価への利用が開始された。
 - ✓ 宇宙線被ばく線量についての新たな**バックグラウンド線量の国際標準の提唱、公衆の被ばく線量評価に関する米国の技術指針改定**に貢献した。
- 減容化・有害度低減に関する研究成果は十分に社会への反映した。
 - ✓ 第六次エネルギー基本政策(令和3年10月)で、「加速器を用いた核種変換など、・・・を推進する。」とされており、**高レベル廃棄物処分の環境負荷低減に寄与する技術の開発として科学技術政策の推進に貢献した。**
 - ✓ MA分離用抽出剤、非接触の融点測定技術等、**一般産業への展開が可能な成果**を得た。

【研究成果の展開・発展】

A

産業界のニーズ・シーズ提供行い、異分野連携による原子力イノベーション実現に向けた新たな基盤研究に主体的・積極的に取り組んでおり研究成果の展開・発展の達成度は十分以上と評価する。

- 軽水炉・核工学に関する研究成果の展開・発展は十分以上に行った。
 - ✓ 第3期で開発した高詳細度シミュレーションシステム(JUPITER等)は、**第4期での研究開発のDX化の基盤**となった。
 - ✓ 科学警察研究所と共に核物質のアクティブ型検知装置の小型化は、大規模イベントにおける不審物検査等での活用が期待される。
- 燃料材料に関する研究成果の展開・発展は十分以上に行った。
 - ✓ 再処理機器材料腐食量予測モデル、FP化学挙動データベース等の拡充や解析コード等への組み込み・計算評価により、再処理機器材料交換時期検討、窒化物燃料設計、ソースターム評価、事故耐性燃料開発等の**アウトカムへの貢献に向けた取り組みを事業者等と協力して継続**していく。
 - ✓ 第3期で開発した材料腐食挙動評価のための環境への外部照射技術やすき間センサーは、第4期で実施を予定しているスマート技術による燃料材料開発のリアル側の合理的な実験技術の基盤となった。また、各種燃料材料挙動データやメカニズムに基づくモデルは、バーチャル側の基盤となり、両者を併せて研究開発をすすめ、環境影響要因等を模擬した「**スマート技術による原子力燃料材料開発のDX化**」をすすめていく。
- 原子力化学に関する研究成果の展開・発展は十分以上に行った。
 - ✓ 第3期で開発したマイクロ化学チップによる分析法開発技術、化学反応モデルは、第4期で実施予定の**革新的化学分析技術や次世代スマート燃料材料評価技術に発展させ研究開発のDX化の基盤**となる。
- 環境・放射線科学に関する研究成果の展開・発展は十分以上に行った。
 - ✓ 第3期で開発した計算コードは、次期中長期計画において実施予定のデジタルツイン+にも反映させ、**環境・放射線科学研究のDX化を主導**していく。
- 減容化・有害度低減に関する研究成果の展開・発展は十分以上に行った。
 - ✓ 第3期において**MA分離及びMA燃料技術については技術的成立性を示すことができた**ことから、第4期では**準工学的な展開に向けたさらなる基盤研究を展開**し、技術基盤を確立する。
 - ✓ ADS研究ではTEF-T、TEF-Pの検討結果を踏まえ、計算科学を活用した要素技術研究を実施してきた。第4期ではさらに発展させる計画である。
 - ✓ ADS研究は、従来の原子炉技術に加速器および高エネルギー物理を組み組み合わせた点がイノベティブであり、**ADS研究の遂行のため多分野の研究者を協働させ、研究開発を主導**する。

国際協力：14件、共同研究：332件を行っており国内外他機関との連携は特に顕著と評する。

- 1F廃炉支援として福島部門と連携し多数の研究成果を創出した。
 - ✓ 1F廃炉に向けた研究開発:MVPの解析結果を利用した燃料デブリの臨界性評価 ツールの作成、デブリの経年劣化に関連する基盤データの取得等で貢献した。
 - ✓ 事故時に注入された海水が混入した状態でラジオリシス（放射線分解水質）が生じる因子が重畳した系での影響を評価するモデルを構築し、データベースとして整備した。
 - ✓ 茨城地区への1F燃料デブリ受入・分析に向けて、東電、NDF、CLADSと調整しつつ原科研内横断的チームを構築し、一連の分析スキーム（加工、固体分析、完全溶解、元素分離、化学・同位体分析）を確立した。
 - ✓ 環境回復に係る研究開発:土壌へのCs吸着挙動の解明では汚染土壌の除染、減容化処理に指針を与える成果、森林の地表面に沈着した放射性Cs の移行に関する観測及び実験等で貢献した。
- 量研機構等の国内研究機関、国内大学等と多くの共同研究を行った。
- OECD/NEAへの職員派遣、NSC(原子力科学委員会)副議長・委員就任、NSC下の 各種専門委員会活動への参加により、原子力基盤研究の発展を国際的にリードした。
- フランス原子力庁やベトナム原子力庁との研究交流、米国LANLとの共同実験、米国EPAとの研究協定などの海外研究機関との連携を推進した。
 - ✓ CEAとのSTC2.2（多重リサイクルのためのアクチニド分離：新型炉部門と合同）、STC4.1.1（原子力炉物理分野における先進シミュレーションコード開発）、STC4.8（革新的なシステムのための炉物理実験及び核データの改良）、STC No.4.9（原子力材料の腐食研究）No.7.1（FP挙動研究）及びVTTとの協定締結、イオン照射・原子炉照射の検討（PSI、SCK・CENとの連携調整）した。
 - ✓ 米国EPAとの研究協定により米国の公衆の被ばく線量に関する新しい基準の策定へ貢献した。
- IAEACRP(協力研究計画)、ICRP(国際放射線防護委員会)作業グループ等において、国際標準となるデータを提供した。
- C-14分析技術を用いた炭素循環解明手法を活用し、アジア原子力協力フォーラム(FNCA)気候変動科学プロジェクトに貢献した。
- 事業者等や民間と多くの協力を行うことにより、原子力燃料材料の事業者等による実装化（設計・安全性評価）に有用な知見、モデル、解析手法等を多数提供した。
- 事故トラブルに関する原因究明への協力を行った。
 - ✓ 大洗研究開発C燃料研究棟汚染事故の原因究明、事故時被爆線量評価への協力、J-PARC排風機用プーリーのき裂発生原因調査等への協力等を行った。

【研究成果の発信】

A

研究成果を論文として着実に発信し、多数のプレスリリースと開発コードの提供と講習会を行い、**研究成果の発信は十分以上であり積極的に行っていると評価する。**

- **査読付き論文数は845報を創出(うち高IF論文掲載(IF>5)を40報)し、成果のプレスリリースは33件を創出した。**
- JAEA開発コード(MVP, PHITS, FRENDY等)の提供、海外講習会で利用者の拡大を促進した。
 - ✓ 講習会(PHITS)：4246名(国内)/1159名(国外)、講習会(FRENDY)：88名(国内)/26名(国外)
 - ✓ コード配布：4851 件、DB配布：181 件

【人材育成に関する取組】

A

多くの学生や若手研究者受け入れを通じた指導、大学講師としての派遣、外国留学への派遣等を行っており、人材育成に関する取組を積極的に行っていると評価する。

- 学生や若手研究者受け入れを通じた指導、大学講師としての派遣、外国留学への派遣等を行った。
 - ✓ 講師派遣：のべ131人(東京大、茨城大、北海道大、政策研究大、筑波大、東北大、千葉工業大、東工大、長岡技大、福井高専、福井大、時習館高校SSH等)
 - ✓ 夏期等実習生受入：337名、博士研究員受入：23人、海外派遣：7名、外国人受入：18名

評価項目	軽水炉・核工学	燃料・材料	原子力化学	環境・放射線	分離変換技術*	総合評価
(1)研究成果の達成度と当初計画の妥当性	S	S	S	S	A*	S
(2)研究成果の社会への反映	S	S	S	S	S*	S
(3)研究成果の展開・発展	A	A	A	A	A*	A
(4)国内外他機関との連携	S	S	S	S	A*	S
(5)研究成果の発信	S	S	S	S	A*	S
(6)人材育成に関する取組	A	A	A	A	A*	A
研究分野別総合評価	S	S	S	S	A*	S

*分離変換技術研究専門部会に基づく**暫定評価値**

令和3年度実績自己評価(R3.12現在)

自己評価

総合評価

計画外含めた多くの成果抛出により、研究開発の達成度は十分以上と評価する。

R3年度は、論文賞等(2件)、査読付き論文数は70報を創出し、成果のプレスリリースは6件を創出しており予定通りに進捗している。

【軽水炉・核工学に関する研究開発】

- ✓ 中性子共鳴領域の核データを系統的に導出・評価して目的別核データファイルとして整備すると共に、汎用評価済核データファイルを作成した。
- ✓ 高線量核物質測定システムの要素技術を体系化し、高速中性子直接問かけ法を基にした核物質計量管理技術確立し、この技術を用いた計量管理用装置を開発した。また、高線量核物質の測定のための統合型非破壊測定装置を開発した。
- ✓ 核データ処理コードを作成・公開し、また核特性コードの機能追加・公開した。
- ✓ センシング技術の応用（スピンオフ）研究として、α線がん治療薬の実用化に資するα線放出核種の非破壊分析装置を開発した。

【燃料材料に関する研究開発】

- ✓ 原子力構造材料の劣化挙動予測モデル開発として、応力腐食割れ発生挙動に及ぼす低温熱時効の影響に関する陽電子消滅等のデータを取得して妥当性を検証し、劣化挙動予測モデルを構築した。
- ✓ すき間部や放射線環境下における腐食挙動データ取得、及びラジオリシス解析等を用いた腐食影響因子解析を行い、実験データとの比較により妥当性検証した腐食量評価モデルを開発した。
- ✓ 窒化物燃料製造に関する基盤研究として、燃料模擬物質やウランを用いた粒子作製試験を行うため、ゾルゲル法による粒子作製装置を構築した。

【原子力化学に関する研究開発】

- ✓ ウランに選択的な吸着樹脂を充填したマイクロチップを設計・製作し、共存する元素から高効率にウランを分離することに成功した。同マイクロチップを用いて、海水成分含む液体試料のウランを精度よく定量分析することに成功した。
- ✓ 被覆管成分や構造材成分を含有する各種模擬デブリを、過酸化水素との反応実験やX線照射実験により性状変化を検討した結果、ウランの溶解反応や変質層の形成が認められるが、各種の模擬デブリは総じてウラン酸化物よりも化学的に安定であることを明らかにした。これらの知見はデブリ取り出し時の汚染拡大の可能性に関する評価に貢献すると期待される。
- ✓ 微細化したウラン微粒子の水中での凝集挙動を調べ、コロイドとして安定に存在する微細粒子と凝集沈殿する微粒子が存在することを見出した。ウラン酸化物微粒子を微細化することにより表面状態の変化が生じ短時間でU(VI)に酸化されることを明らかにした。

A

自己評価(続き)

総合評価

【環境・放射線科学に関する研究開発】

- ✓ 高分解能大気拡散モデルLOHDIM-LESの事前計算で構築した平均・乱流風速データベースと3次元風速場観測データとの融合により、リアルタイムで現実の拡散状況を詳細に再現可能な実用的拡散計算手法を開発し、簡易拡散実験との比較により有効性を実証した。
- ✓ WSPEEDI-DBの大気拡散予測の不確実性をAIを活用して評価する機能を開発した。
- ✓ PHITSに放射線の飛跡構造解析機能を実装し、マクロスケールからミクロスケールの練成計算等を可能とする汎用放射線挙動解析コードとして完成した。
- ✓ 令和2年度に開発した実効線量換算係数データベースを活用し、公衆の受ける外部被ばく線量を詳細かつ迅速に評価するシステムを完成させた。

【減容化・有害度低減に関する研究開発】

- ✓ MA分離用抽出剤の基礎データを取得するとともに実廃液試験のデータと合わせて計算コードによる解析を実施し、統合化したMA分離プロセスを構築した。
- ✓ 窒化物燃料の主概念であるZrN母材燃料について技術的な成立性を示した。また、模擬物質によるレーザー局所加熱による融点測定を実施した。
- ✓ 粒子輸送・熱流動・構造連成解析を用いてターゲットおよびビーム窓のより成立性の高い概念を提示予定。未臨界炉心構築時の未臨界度監視概念の加速器モードなどを具体化した。
- ✓ 鉛ビスマス試験ループにおいて実機を模擬した総合的条件下で長時間安定運転を行うことにより運転技術を確立した。(12/8時点で約3,000時間) また、酸素濃度制御下での腐食データおよび、ADS実機環境を模擬した加速器照射試験データを取得し、候補材の適用性評価を行った。

A

軽水炉安全性向上に係る基盤技術

連携

機構内：安全研究・防災支援部門
機構外：エネ庁、規制庁、
エネ総工研、電力・メーカー、
日本原燃

軽水炉D、燃材D
を中心に対応

福島第1廃炉・環境影響評価 連携

機構内：福島研究開発部門、
廃炉国際共同研究C等
機構外：東京電力、NDF、
環境省、エネ庁等

バックエンド（BE）基盤技術 連携

機構内：J-PARC、
核燃料・BE研究開発部門、
高速炉・新型炉研究開発部門等
機構外：日本原電、日本原燃、
電力

ADSは分離変換D
を中心に対応

コード・データベース・
新技術の提供、人材の育成

原子力利用のための基盤の維持・強化
新たな原子力利用技術の創出

核・炉工学、燃料・材料工学、
原子力化学、環境・放射科学

拠点、他センターと連携し
て
原子力基盤研究の
中央研究所的役割を果たす

国際協力

OECD/NEA, IAEA, ICRP, FNCA
等への参加による成果の国際展
開及び国際協力の強化

環境科学、放射線科学

- 環境動態、環境影響評価技
術の提供
- 放射線の医療、産業利用促
進。放射線防護

産官学連携

- 原子力イノベーション基盤連携Cを通じた
産業界との共同研究推進
- 原子力イノベーション事業(NEXIP)によ
る民間と連携したイノベーション創出
- SAプラットフォーム知識基盤整備

研究基盤を支える連携

機構内：原科研、先端基礎C、
物質科学C、計算科学C、
J-PARC等
機構外：大学、国立研究機関等

核セキュリティ

連携

機構内：核不拡散・
核セキュリティ総合支援C
機構外：科警研、欧州JRC