



軽水炉工学・核工学に関する研究

原子力科学研究部門
原子力基礎工学研究センター
軽水炉工学・核工学ディビジョン

中長期計画(抜粋)と実施計画 - 安全性向上

① 項目4 安全性向上

● 中長期計画 II 3.(1)『原子力の安全性向上のための研究開発等』

- ・ 軽水炉等の安全性向上に資する燃材料及び機器、並びに原子力施設のより安全な廃止措置技術の開発に必要となる基盤的な研究開発を進める。
- ・ 具体的には、事故耐性燃料用被覆管候補材料の酸化・溶融特性評価手法や、使用済燃料・構造材料等の核種組成・放射化量をはじめとする特性評価手法等を開発する。
- ・ 開発した技術の適用性検証を進め、原子力事業者の軽水炉等及び自らが開発する原子力システムの安全性向上に資する。
- ・ 研究開発の実施に当たっては外部資金の獲得に努め、課題ごとに達成目標・時期を明確にして産業界等の課題やニーズに対応した研究開発成果を創出する。

● 実施計画

安全性向上	H27	H28	H29	H30	R01	R02	R03
[基礎基盤研究:事故発生防止] 炉内3次元熱流動挙動評価手法	二相流シミュレーション技術開発 燃料内ボイド率分布計測技術開発			炉内二相流シミュレーション技術開発, 限界熱流束評価技術開発(続)			
[基礎基盤研究:事故拡大防止] 溶融燃料材料挙動評価手法	溶融燃料下部ヘッド内 挙動評価手法開発			格納容器内溶融燃料挙動シミュレーション技術開発			
[基礎基盤研究適切な廃止措置] 放射化量評価手法	放射化ライブラリ作成			放射化計算システム構築			
[実装化開発:事故拡大防止] フィルターベント性能評価手法	フィルタードベント(FCVS)噴霧流挙動評価, FPエアロゾル性状評価			FCVS気泡流挙動評価, 液滴、壁面によるFP捕集挙動評価			
[実装化開発:適切な廃止措置] 機器の放射化量評価手法				放射化計算システムの検証[外部資金]		放射化量の評価	

第3期中長期計画 達成目標と成果 - 安全性向上

① 項目4 安全性向上

● 達成目標1: 炉内3次元熱流動挙動評価手法を構築

- 炉内3次元熱流動挙動を評価できる二相流シミュレーションコード: TPFITを開発した
- 原子炉内を模擬した体系での熱流動挙動測定技術を構築した
- 実験データを用いてTPFITを検証・適用性確認した
- 熱流動分野での積年の技術課題である限界熱流束評価に関する産学連携委員会※を設置し、機構論的限界熱流束評価に関する課題・技術展望整理を主導した
※日本原子力学会「原子炉における機構論的限界熱流束評価技術」研究専門委員会

● 達成目標2: 溶融燃料材料挙動評価手法を構築

- 溶融燃料材料挙動評価できる多相流シミュレーションコード: JUPITERを開発した
- 実験データを用いてJUPITERを検証・適用性確認した
- JUPITERによる溶融燃料の下部ヘッド・格納容器内挙動評価手法を構築した

● 達成目標3: フィルターベント性能評価手法を構築

- フィルターベントの除染係数評価のためのシミュレーションコード: TPFIT-LPTを開発した
- フィルターベント内の微粒子挙動・熱流動現象を再現する実験手法を開発した
- 実験データを用いてTPFIT-LPTを検証・適用性確認した

● 達成目標4: 放射化量評価手法を構築

- 放射化量評価に用いる核データライブラリを整備した
- 放射化量評価のための統合型放射能インベントリ評価システムを開発した
- 実験データを用いて統合型放射能インベントリ評価システムを検証・適用性確認した

● 中長期計画を超える成果

- 熱流動分野
 - ・ フィルターベント性能評価手法を発展させ、微粒子を含む気体の革新的浄化装置を開発した (特許取得)

主な成果 - 安全性向上（+ 1F廃炉への貢献）(1/2)

① 項目4 安全性向上

③ 1F廃炉研究開発

● 開発項目

- 溶融燃料材料挙動評価手法の構築

● 開発内容・成果

- シビアアクシデント(SA)時の複雑かつ広範囲の熱流動現象を再現できる**数値シミュレーションコードJUPITER**を開発
- JUPITERにより**格納容器下部への溶融物蓄積挙動・組成を評価**
- この分布を用いて、**溶融物の再臨界の可能性等を推定**

● アウトカム

- 本解析結果等を、SA対策機器の設計等に反映させることにより、**合理的なシビアアクシデント・マネジメントに資することができる**
- また、1Fの事故シナリオを解析条件として入力することにより、**1Fの各号機におけるデブリ分布予測等に活用できる**

● プレス発表/受賞の実績

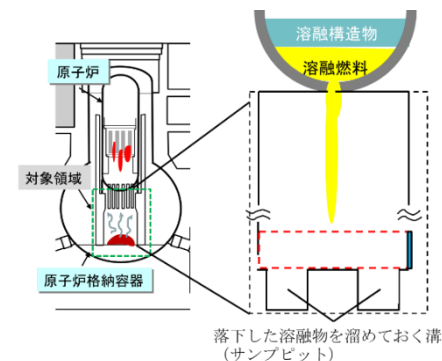
- プレス発表

『炉心溶融挙動を予測する新しい数値シミュレーションコードの開発 - デブリの詳細な組成分布の推定に光が見えた』
(2018.03.26)

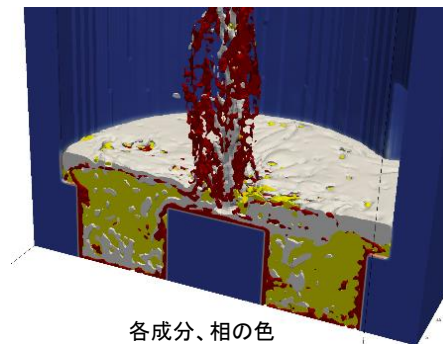
- 外部機関からの表彰・受賞

2018年度 日本原子力学会賞 技術賞

『値流体力学に基づく炉内溶融・移行挙動数値シミュレーションコードJUPITERの開発』



ペDESTALを模擬した計算体系



各成分、相の色

	溶融状態	凝固状態
核燃料	黄色	赤色
炉内構造物	黄色	茶色

溶融した核燃料・炉内構造物の分布や状態
(解析結果)

#

令和3年度計画と実績 - 安全性向上

① 項目4 安全性向上

● 令和3年度計画

- 原子炉システムの核特性や過酷事故時の燃料溶融挙動をシミュレーションするため、**混相流解析手法を適用した解析コードを公開**する。
- **フィルタードベント機器の除染係数について、開発した評価手法を適用して総合評価を行うとともに、使用済燃料や構造材料等の核種組成・放射化量を評価するため、計算システムの適用性検証**を行う。

● 令和3年度実績(みこみ)

【目標を達成】

- **混相流解析手法を適用した解析コードを開発・公開**した。
- **フィルターベント機器の除染係数評価手法を開発し、同機器に当該手法を適用して総合評価を行った。また、核種組成・放射化量を評価システムの開発・適用性検証**を行った。

中長期計画(抜粋)と実施計画 - 基礎基盤

② 項目5 基礎基盤

● 中長期計画 II 4.(1)1)『原子力基礎基盤研究』

- 原子力科学技術基盤の根幹をなす核工学・炉工学、燃料・材料工学、原子力化学、環境・放射線科学及び計算科学技術分野を体系的かつ継続的に強化する。
- 核特性、熱流動、環境動態、放射線輸送、耐震評価、シビアアクシデント時の炉内複雑現象等のモデル開発のための基礎データの拡充並びに信頼性及び妥当性検証のための測定手法や分析手法の開発を進め、データベース及びコンピュータシミュレーション技術の開発を進める。
- 課題やニーズに的確に対応した研究開発成果を産業界や大学と連携して生み出すとともにその成果活用に取り組む。

● 実施計画

基礎基盤		H27	H28	H29	H30	R01	R02	R03
核データ研究	〔測定〕	高精度測定技術開発 (J-PARC/ANNRIを活用)			MA, 構造材構成核種の断面積測定			
	〔評価〕	核データ評価手法高度化		原子炉廃止措置、核変換、医療分野等の 新たなニーズに対応した汎用核データライブラリの開発				
核特性計算コード開発		核データ処理コード、汎用炉心解析コード、全炉心詳細解析計算コードの開発						核特性計算コード システムの開発
マルチフィジックスコード開発 (核熱カップリグコード)		(産業界等の課題・ニーズに対応し、開発計画修正)				開発計画策定 核熱連成ツール構築(続)		
核物質非破壊測定技術		定量分析要素技術開発 (高速中性子問いかけ法,即発ガンマ線分析法,中性子共鳴透過分析法)						統合型測定技術の開発

第3期中長期計画 達成目標と成果 - 基礎基盤 (1/2)

② 項目5 基礎基盤

● 達成目標1:核データ研究(測定および評価)の推進

- 放射性核種の中性子断面積を高精度で測定可能とする中性子断面積測定手法を開発した
- 核データに対するニーズを受け、放射性核種の断面積測定データを拡充した
 - ・ 廃棄物に含まれる主要放射性核種:Am、Cm
 - ・ 原子炉構造材中に含まれる放射性核種核種:Nb、Ta など
- 核データに対するニーズを受け、目的別核データファイルを整備した
 - ・ 廃止措置用放射化断面積ファイル:JENDL/AD-2017
 - ・ 長寿命核分裂生成物の核変換断面積ファイル:JENDL/ImPACT-2018 など
- 評価済核データを整理・統合し、汎用核データライブラリー:JENDL-5を開発・公開した

● 達成目標2:核特性コードの開発

- 核データと核特性コードを繋ぐための核データ処理コード:FRENDYを開発した(国産初)
 - 評価済み核データから核特性コードまで、国産のみで核設計が可能に!
- ユーザーニーズに基づき、連続エネルギーモンテカルロコード:MVPを機能拡張※した
 - ※ 実効増倍率に対する摂動計算手法、厳密共鳴弾性散乱モデル、動特性パラメータ計算機能、など
- 燃焼計算要素コード:CRAMOを開発し、汎用炉心解析システム:MARBLEに組み込み公開した

● 達成目標3:核物質非破壊測定技術の開発

- 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を確立した
- 核物質計量管理技術を用いた計量管理用装置を開発した
 - 当該装置はNRAにて是認され、実機での計量管理に適用済み
- 高線量核物質の測定のために、3つの分析法※を統合した統合型非破壊測定装置を開発した
 - ※ ダイアウェイ時間差分析法(DDA)、即発ガンマ線分析(PGA)、中性子共鳴透過分析法(NRTA)

第3期中長期計画 達成目標と成果 - 基礎基盤 (2/2)

② 項目5 基礎基盤

● 中長期計画を超える成果

○ 炉物理分野

- ・ 産業界等からのニーズに基づき、
 - JENDL/AD-2017に基づくORIGENコード用ライブラリを作成した
 - JENDL-4.0/HEに基づくPHITSコード用ライブラリを作成した
 - 簡易燃料デブリ臨界性解析ツール:HANDを開発した
- ・ 産業界・規制当局の動きとも連動して、
 - 核熱カップリングコードの開発に着手し、
 - 集合体体系・定常状態を対象としたコードを開発した
 - 今後、全炉心体系や過渡事象を対象とした改良を推進する

○ 原子力センシング分野

- ・ 港湾施設等での核物質検査を想定し、
 - 中性子線源を回転させ、中性子束の変化で核物質を検知する手法を開発した
 - 当該手法を用いた非破壊核物質検知装置の原理実証に成功した
 - 低コスト化・可搬性が見込める装置であり、社会実装加速のための外部連携も推進中
- ・ 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
 - α 線がん治療の研究をしている大学等からも期待されており、社会実装加速のための外部連携も推進中
 - 雷による光核反応の観測に成功した
 - NATURE誌に掲載、英国物理学会 Physics World 今年の10大ブレイクスルーに選出

主な成果 - 基礎基盤 (1/4)

② 項目5 基礎基盤

● 開発項目

- 新たなニーズにも対応した核データライブラリーの開発

● 開発内容・成果

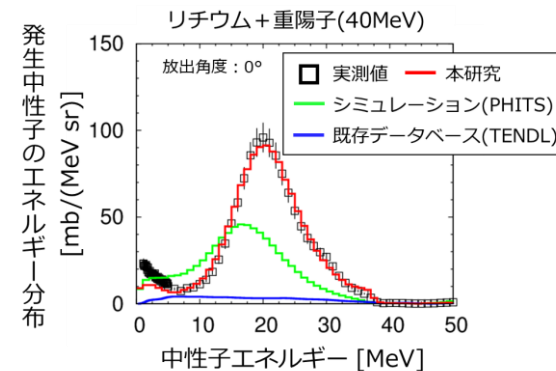
- 核変換、核融合、廃止措置等の新たなニーズにも対応した、
断面積データの新たな測定、核反応・核構造理論計算の改良
- これらを纏めたため特殊目的ファイルの構築
 - ・ 2015年: 崩壊データ、高エネルギーデータ
 - ・ 2017年: 廃止措置用放射化断面積、光核反応データ
 - ・ 2019年: LLFP核変換データ
 - ・ 2020年: 光核反応データ改訂版
 - ・ 2021年: 重陽子反応データ
- 断面積データの測定結果・核反応・核構造理論計算結果の反映、
特殊目的ファイルを統合し、**汎用核データライブラリJENDL-5として整備・公開**

● アウトカム

- 原子炉の核計算の信頼性向上、新たなニーズに対応することができる基盤データを提供

● プレス発表/受賞の実績

- プレス発表
 - 『原子核の基盤データベースJENDLの最新版を公開 -将来の「新原子力」へ向け世界最高レベルの信頼性・完備性をもつデータを提供』(2021.12.23) など5件
- 外部機関からの表彰・受賞
 - 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞『中性子共鳴分光法の大幅な革新とその応用研究』、その他 日本原子力学会賞/Article Award 8件



重陽子反応データの例

主な成果 - 基礎基盤 (2/4)

② 項目5 基礎基盤

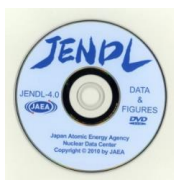
● 開発項目

- 高詳細度の炉物理(核特性)計算コードの開発

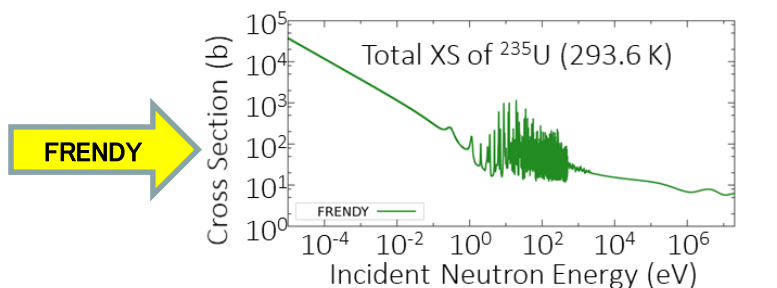
● 開発内容・成果

- 評価済み核データを処理して粒子輸送計算コードで用いる断面積ライブラリを作成する **核データ処理コードFRENDYの開発**
- 高忠実に計算体系をモデル化し、参照解レベルの高精度全炉心解析を実現する **連続エネルギーモンテカルロコードMVPに対する高機能の実装** ※

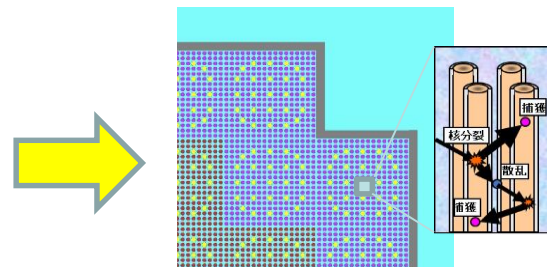
※ 実効増倍率に対する摂動計算機能、動特性パラメータ計算機能、遅発中性子のシミュレーション機能、多群定数生成機能など



核データライブラリJENDL



FRENDYによって処理したU-235全断面積



MVPによる炉心解析

● アウトカム

- 評価済み核データから炉心計算コードまで、**一貫した国産技術での核設計が可能に**
- デジタルツインへの展開のための基盤技術を確立

● プレス発表/受賞の実績

- 外部機関からの表彰・受賞
2018年度 日本原子力学会賞 特賞技術賞
『純国産次世代核データ処理システムFRENDYの開発』

主な成果 - 基礎基盤 (3/4)

② 項目5 基礎基盤

● 開発項目

- 高詳細度の核熱カップリングコードの開発

● 開発内容・成果

- 産業界の設計ツールの検証に資するべく、高詳細度の核・熱コードを連成させた核熱カップリングコードを開発

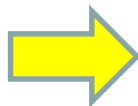
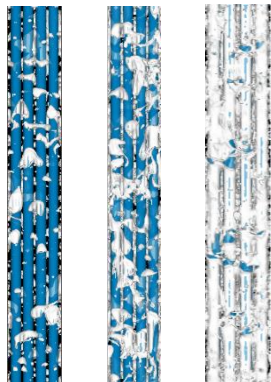
- ・ 核特性計算コード(MVP)、熱流動計算コード(TPFIT、JUPITER)

- 連成計算時の課題 - 主として、時間および空間解像度 - を抽出・解決

● 今後の動き

- 今後、産業界での試用を通じて機能追加等のニーズ把握 → コード修正
- 民間規格※のエンドースに併せて、設計ツールの検証に適用いただく
- さらに、全炉心体系や過渡事象を取り扱うことができるようコード改良

気泡流 チャーン流 環状流



核分裂率の比較

サブチャンネル内 領域分割数	詳細計算(1mmメッシュ、14×14)との差異		
	気泡流	チャーン流	環状流
2×2	0.08%	0.13%	0.40%
1×1	0.10%	0.14%	0.49%
1×1 (軸方向均質化)	0.25%	0.60%	1.56%

※ 日本電気協会原子力規格委員会『取替炉心の安全性の確認に用いる解析コードの適格性評価規程』において、『数学モデルが計算モデルに忠実に変換されていることを、厳密解、信頼できる計算結果、例えば不確かさが小さいと実証できる解析コードの計算結果などとの比較などによって確認する』と規定されている。

主な成果 - 基礎基盤 (4/4)

② 項目5 基礎基盤

● 開発項目

- 核セキュリティ用核物質検知技術の開発

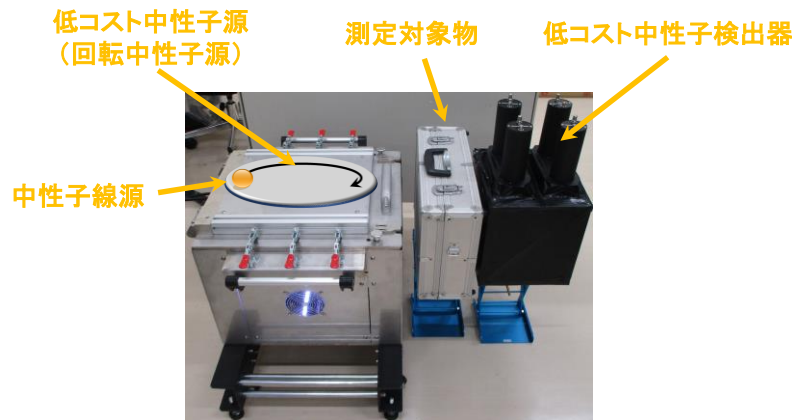
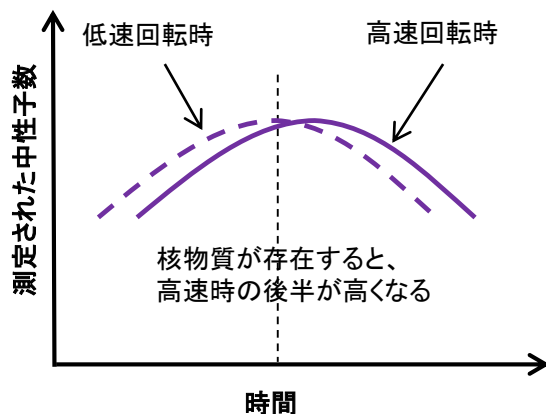
● 開発内容・成果

- 従来の非破壊核物質検知装置は高価で大型であり、より社会実装に適した**低コスト・可搬型の核物質検知技術および装置を開発**
- 低コスト・可搬型化の障害であった**中性子源・中性子検出装置に対する新原理を考案・実証**
- これらを組み込んだ**核物質検知装置試作機で、保安検査を想定した設計目標※を達成**

● アウトカム

※ 具体的な設計目標としては、『100gのU-235を15分で検知』とした。

- 従来技術では困難であった核物質検知への適用による、**核セキュリティ対策の推進に寄与**



● プレス発表/受賞の実績

- プレス発表『核物質を非破壊で確実に検知:低コストで可搬性に優れた核物質検知装置の原理実証実験に成功』(2021.6)
- 外部機関からの表彰・受賞
H31年 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞『核燃料物質管理のための革新的高感度センシング技術の開発』

令和3年度計画と実績 - 基礎基盤

② 項目5 基礎基盤

● 令和3年度計画

- 放射性廃棄物の核種生成や変換量の精度よい評価のために、**中性子共鳴領域の核データを系統的に導出**すると共に、**汎用評価済核データファイルを作成**する。
- また、照射済燃料や放射性廃棄物に含有される核燃料物質等を非破壊で定量するために、**高線量核物質測定システムの要素技術を体系化**する。
- 原子炉システムの核特性や過酷事故時の燃料溶融挙動をシミュレーションするため、**国産核特性計算コードシステムを完成し、公開**する。

● 令和3年度実績(みこみ)

【目標を達成】

- **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**を確立し、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。

【計画外または計画を超える成果、特筆すべき成果】

- 産業界・規制当局の動きとも連動し、**核熱カップリングコード開発に着手、集合体体系・定常状態を対象としたコードを開発**した。今後、全炉心体系や過渡事象を対象とした改良を推進する。
- 港湾施設等での核物質検査を想定し、**中性子束の変化で核物質を検知する手法を開発**した。また、本手法を用いた**低コスト・可搬型非破壊核物質検知装置の原理実証に成功**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。

軽水炉工学・核工学に関する自己評価 (1/7)

評価項目	自己評価
(1) 研究成果の達成度と当初計画の妥当性 ・ 研究開発の達成度(成功・不成功の原因の把握・分析)と妥当性 ・ 学会賞等の受賞数	S

研究開発の達成度と妥当性:

- 以下に挙げる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であると評価**した。
 - ・ 純国産核特性評価システムの構築: 汎用核データライブラリーJENDL-5、核データ処理コード:FRENDY、核特性コード:MVP
 - ・ 産業界・規制当局の動きとも連動した核熱カップリングコードの開発
 - ・ 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
 - ・ α 線放出核種の非破壊分析装置を開発
- 以下に示す**研究開発マネジメントシステムが上手く機能したことが主な成功要因と分析**した。
 - ・ 産業界や規制当局の課題意識・開発ニーズ把握のための情報収集・意見交換の促進、大学・企業等との共同研究推進
 - ・ それら情報を基に、既往研究成果(シーズ)や人的・資金的リソースも考慮した具体的な研究開発計画立案
 - ・ 研究開発計画に対する定期的なマネジメント
- 以上から、研究計画は妥当であったと評価する。

学会賞等の受賞数:18件 … 文部科学大臣表彰:2件、原子力学会賞・特賞:2件などは特筆に値する受賞である

- 受賞リスト
 - ・ 2016年 科学技術分野の文部科学大臣表彰『中性子共鳴分光法的大幅な革新とその応用研究』
 - ・ 2016年度 日本原子力学会賞 論文賞『Evaluation of neutron nuclear data on iodine isotopes』
 - ・ 2016年度 日本混相流学会賞 技術賞『詳細二相流解析コードTPFITの開発』
 - ・ 2016年度 日本原子力学会 JNST Article Award 2015『JENDL Actinoid File 2008』
 - ・ 2017年 英国物理学会 Physics World “今年の10大ブレイクスルー”『雷による光核反応』
 - ・ 2017年度 日本原子力学会賞 特賞・技術賞『実廃棄物ドラム缶中のウラン量を高精度で計量可能とする…』
 - ・ 2018年度 日本原子力学会熱流動部会優秀講演賞『シビアアクシデント時の燃料破損・溶融過程解析手法の高度化(1)(その2) …』
 - ・ 2018年度 日本原子力学会熱流動部会優秀講演賞『プール沸騰の垂直面伝熱面上における沸騰挙動に及ぼす圧力の影響』
 - ・ 2018年度 日本原子力学会熱流動部会奨励賞『福島第一原子力発電所事故評価のための海水の熱伝達挙動に関する研究』
 - ・ 2018年度 日本原子力学会賞 特賞・技術賞『純国産次世代核データ処理システムFRENDYの開発』
 - ・ 2018年度 日本原子力学会賞 技術賞『数値流体力学に基づく炉内熔融・移行挙動数値シミュレーションコード …』
 - ・ 2018年度 日本原子力学会賞 論文賞『Correction of the thermal neutron capture cross section of ^{241}Am …』
 - ・ 2018年度 日本原子力学会 JNST Article Award 2017『JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering』
 - ・ 2019年 科学技術分野の文部科学大臣表彰『核燃料物質管理のための革新的高感度センシング技術の開発』
 - ・ 2019年度 日本原子力学会賞 論文賞『Measurements of neutron total and capture cross sections of ^{241}Am …』
 - ・ 2019年度 日本原子力学会 JNST Article Award 2017『Neutron-capture cross-sections of ^{244}Cm and ^{246}Cm …』
 - ・ 2020年度 日本原子力学会熱流動部会優秀講演賞『時系列3次元界面形状データを用いた分散相追跡手法の検討』
 - ・ 2020年度 日本原子力学会賞 論文賞『Phenomenological level density model with hybrid parameterization of …』

軽水炉工学・核工学に関する自己評価 (2/7)

評価項目	自己評価
<p>(2) 研究成果の社会への反映</p> <ul style="list-style-type: none"> 研究開発成果の効果・効用(アウトカム)の把握・普及の程度 イノベーション創出への取組の妥当性 社会実装の達成度、取組の妥当性(技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む) 科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性 	S
<p>研究開発成果の効果・効用(アウトカム)の把握・普及の程度:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 産業界や規制当局の課題意識・開発ニーズ把握のための情報収集・意見交換を通じ、以下に示すように<u>研究開発成果の効果・効用を十分把握し、研究開発成果の普及にも大いに貢献</u>しており、<u>研究開発成果の効果・効用(アウトカム)の把握・普及は特に顕著であると評価</u>した。 <ul style="list-style-type: none"> 核データ断面積ファイルの開発・外部機関への提供 <ul style="list-style-type: none"> 廃止措置用放射化断面積ファイル: JENDL/AD-2017、光核反応データファイル: JENDL/PD-2016.1、長寿命核分裂生成物核変換断面積ファイル: JENDL/ImPACT-2018、重陽子反応データファイル: JENDL/DEU-2020、等 <ul style="list-style-type: none"> → 外部機関等における各種解析評価の精度向上に貢献 炉物理コード、熱流動コードの開発・外部機関への提供 <ul style="list-style-type: none"> 核データ処理コード: FRENDY、炉物理コード: MVP、放射化量評価システム、等 二相流シミュレーションコード: TPFIT、多相流シミュレーションコード: JUPITER、等 <ul style="list-style-type: none"> → 外部機関等において各種解析評価のVerificationツール(参照解の提示)として使用 原子力センシング技術の開発・外部機関への提供、実機として適用 <ul style="list-style-type: none"> 高速中性子直接問い合わせ法を用いた計量管理装置を原子力機構人形峠環境技術センターで実機適用 α線放出核種の非破壊分析装置を大学等へ提供、等 <p>イノベーション創出への取組の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 軽水炉工学・核工学研究開発の本質である「基礎基盤技術開発」および「基礎基盤技術を組み合わせた応用技術開発」について、シミュレーション技術や実験技術を駆使した科学的根拠に基づく知見取得により、適用範囲の限定排除や新たな概念による手法を構築しており、以下に示すように、<u>イノベーション創出への取組は妥当であると評価</u>した。 <ul style="list-style-type: none"> 統合汎用核データライブラリー: JENDL-5の開発 幾何形状の制限のない炉物理コード: MVPの開発 幾何形状の制限のない熱流動コード: TPFIT、JUPITERの開発 高線量核物質の測定のための、3つの分析法を統合した統合型非破壊測定装置の開発 α線放出核種の非破壊分析装置を開発、等 	

軽水炉工学・核工学に関する自己評価 (3/7)

評価項目	自己評価
<p>(2) 研究成果の社会への反映</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発成果の効果・効用(アウトカム)の把握・普及の程度 ・ イノベーション創出への取組の妥当性 ・ 社会実装の達成度、取組の妥当性(技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む) ・ 科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性 	S
<p>社会実装の達成度、取組の妥当性(技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む)</p> <p>● 以下に示す通り、研究開発成果が産業界等で活用されており、社会実装の取組は妥当で、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性に合致しており、さらにその達成度は十分以上であり、社会実装の達成度は特に顕著であると評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発成果を産業界に提供し活用 <ul style="list-style-type: none"> － 産業界において解析評価・実験等に活用 目的別核データファイル、核データ処理コード：FRENDY、炉物理コード：MVP、計量管理装置(人形峠環境技術センター)、等 － 産業界において解析評価システムの検証(Verification)に活用 核データ処理コード：FRENDY、炉物理コード：MVP、放射化量評価システム、熱流動コード：TPFIT、JUPITER、等 ・ 知識基盤プラットフォームへの主体的な参画 <ul style="list-style-type: none"> － 原子力委員会の提唱によるプラットフォームに委員として主体的に参画し、知識基盤集約・技術課題の整理等に貢献 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 <p>科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性</p> <p>● 第6次エネルギー基本計画に記載ある「2050年カーボンニュートラル」や「S+3E」を踏まえ、原子力安全の価値を再認識した“新原子力”による原子力イノベーションの創出を目指している。具体事項を以下に示すが、科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへ適合した研究開発を推進していると評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原則として、シミュレーション結果を実機設計に適用するためには、シミュレーション結果と実験・実測データとの比較による妥当性確認(Validation)が必要となるが、ポストコロナも見据えて、実験・実測データの代替になり得る高詳細度を持ったシミュレーションシステムを開発している。これらを活用することにより、大きな経済的・時間的リソースが必要となる実験・実測データが不要となる。 <ul style="list-style-type: none"> － 炉物理コード：MVP、熱流動コード：TPFIT、JUPITER、核熱カップリングコード ・ また、高詳細度シミュレーションシステムの開発に際しては、規制当局・学協会・産業界の動きに連動した開発計画としている(タイムリーに産業界で活用できるように)。 	

軽水炉工学・核工学に関する自己評価 (3/7)

評価項目	自己評価
<p>(2) 研究成果の社会への反映</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発成果の効果・効用(アウトカム)の把握・普及の程度 ・ イノベーション創出への取組の妥当性 ・ 社会実装の達成度、取組の妥当性(技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む) ・ 科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性 	S
<p>科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性(続き)</p> <p>● 社会的・経済的意義／ニーズへの適合性の観点から、科研費や産業界からの受託研究に積極的に取り組むとともに、研究開発成果の特許化にも積極的に取り組んでおり、<u>科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性は特に顕著であると評価</u>した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>科研費:63件、受託研究26件</u> <ul style="list-style-type: none"> - 核データ分野 科研費:22件、受託研究:14件 - 炉物理標準コード分野 科研費: 1件、受託研究: 8件 - 原子力センシング分野 科研費:20件 - 熱流動分野 科研費:20件、受託研究: 4件 ・ <u>特許申請:6件</u> <ul style="list-style-type: none"> - 原子力センシング分野 5件 (α 線放出核種分析方法・装置、RIを用いた中性子線源による核物質検知法、等) - 熱流動分野 1件 (気体の浄化方法・装置) 	

軽水炉工学・核工学に関する自己評価 (4/7)

評価項目	自己評価
<p>(3) 研究成果の展開・発展</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 将来/次期中長期計画への研究開発の展開、新たな課題への反映の検討 <p>● 産業界等のニーズ・課題を適宜適切に入手し、それらを研究開発計画に的確に反映させ、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 以下などを継続的に取り組んでいく <ul style="list-style-type: none"> － 核データの核種拡充、精度向上、等 － シミュレーションシステムの機能追加、精度向上、等 － 原子力センシング技術の機能追加、精度向上、小型化促進、等 ・ 国研でしか成し得ない、かつ“新原子力”による原子力イノベーションの実現に必須となる新たな基礎基盤研究課題に対して、主体的・積極的に取り組んでいく。 	A

軽水炉工学・核工学に関する自己評価 (5/7)

評価項目	自己評価
(4) 国内外他機関との連携	S
<p>● 国内外他機関との連携実績は73件であり、特に顕著な連携が図られていると評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 核データ分野: 国際協力4件、共同研究15件 <ul style="list-style-type: none"> 国際協力としてCERNのn_TTOF施設を用いて主要なマイナーアクチニドの一つであるCm-244, 246の中性子捕獲断面積の測定を実施するなど、J-PARC・ANNRIによる測定と合わせて、世界の実験施設を活用して断面積の高精度化を進めている。 IAEAの光核反応の研究協力に参加し、世界の最新の測定された理論計算に関する情報交換を実施し、光核反応データファイルJENDL/PD-2016.1の開発に成功し、また、JENDL/PD-2016.1 から多くのデータをIAEAへ提供して国際貢献を行っている。 九大と重陽子核反応に関する共同研究を実施し、重陽子反応理論計算の高精度化を行い、重陽子核反応データファイルJENDL/DEU-2020の開発に成功した。 炉物理分野: 共同研究3件 <ul style="list-style-type: none"> GNF-J・名古屋大学・北海道大学と核データ処理コードFRENDY開発に関する共同研究を実施し、多群定数生成機能の開発に成功するとともに、FRENDYの検証にも貢献している。 日立GEニュークリア・エナジーと軽水冷却高速炉の炉心設計に用いる核計算コードの妥当性評価に関する共同研究を実施し、MVPコードを用いた妥当性確認が着実に進展した。 日本原子力発電およびエネルギー総合工学研究所と統合型放射能インベントリ評価システムの開発に関する共同研究を実施し、当該システムを完成させた。 原子力センシング分野: 共同研究23件 <ul style="list-style-type: none"> 科学警察研究所と低コスト可搬型非破壊検知装置開発に関する共同研究を実施し、中性子源および中性子検出器の研究開発により核物質検知の原理実証に成功した。 福島県立医科大学およびQSTと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開発に関する共同研究を実施し、装置の実用化に向けた研究開発が着実に進展した。 理研と雷や雷雲に付随する高エネルギー放射線の発生機構に関する共同研究を実施し、雷による光核反応とガンマ線放出過程に関する研究開発を進め、顕著な成果が得られた。 熱流動分野: 共同研究28件 <ul style="list-style-type: none"> 炉内二相流挙動評価に関する共同研究(PWR:NDCおよび関西大学、BWR:GNF-J)を実施し、炉内二相流シミュレーション技術の実機適用性について検討を行った。 日立GEニュークリア・エナジー(株)とRBWRスぺーサ周囲の二相流挙動評価に関する共同研究を締結し、TPFITの実機適用に向けた研究開発が着実に進展した エネルギー総合工学研究所と過酷事故解析コードSAMPSONとJUPITERの連成解析手法の構築に関する共同研究を実施し、解析手法の実機適用に向けた研究開発が着実に進展した。 	

軽水炉工学・核工学に関する自己評価 (6/7)

評価項目	自己評価
<p>(5) 研究成果の発信</p> <ul style="list-style-type: none"> 研究開発課題／成果の社会的受容性(社会へ及ぼす影響度の想定)査読論文数/プレス発表 <p>● 査読付き主著論文数: 166報(うち高IF論文掲載(IF>5): 1報)、プレス: 10件と、極めて多くの成果を創出しており、研究開発課題／成果の社会的受容性は特に顕著であると評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 核データ分野 <ul style="list-style-type: none"> 査読付き主著論文数: 66報 プレス: 5件 <ul style="list-style-type: none"> 2018.10『放射性廃棄物は何へ、どれだけ変換されるか?』 2019.08『核変換のための基盤データの信頼性を大幅に向上』 2021.01『世界最高性能のガンマ線ビームと新開発の中性子検出器で光核反応データの真実を解明』 2021.02『新たな中性子利用開拓の鍵となる高精度核反応計算手法を開発』 2021.12『原子核の基盤データベースJENDLの最新版を公開』 炉物理分野 <ul style="list-style-type: none"> 査読付き主著論文数: 28報 原子力センシング分野 <ul style="list-style-type: none"> 査読付き主著論文数: 20報、うち高IF主著論文掲載(IF>5): 1報 … Analytical Chemistry (IF=6.986, 2020) 高IF共著論文掲載(IF>5): 5報 <ul style="list-style-type: none"> Nature (IF=41.577, 2017)、Physical Review Letter (IF=8.385, 2019)、Physical Review D (IF=5.296, 2020)、Physical Review C (IF=5.42, 2021)、Physical Review C (IF=5.42, 2021) プレス: 4件 <ul style="list-style-type: none"> 2016.06『ウラン廃棄物を封入したドラム缶中のウラン量を定量する非破壊測定装置の実用化に成功』 2017.11『雷が反物質の雲をつくる!? : 雷の原子核反応を陽電子と中性子で解明』 2021.06『核物質を非破壊で確実に検知: 低コストで可搬性に優れた核物質検知装置の原理実証実験に成功』 2021.08『最も分析困難な放射性核種の一つパラジウム-107の簡便な分析に成功』 熱流動分野 <ul style="list-style-type: none"> 査読付き主著論文数: 52報 プレス: 1件 <ul style="list-style-type: none"> 2018.03『炉心溶融挙動を予測する新しい数値シミュレーションコードの開発』 	S

軽水炉工学・核工学に関する自己評価 (7/7)

評価項目	自己評価
(6) 人材育成に関する取組 ・若手研究者の育成・支援への貢献の程度、特別研究生・夏期実習生	A
<p>若手研究者の育成・支援への貢献の程度、特別研究生・夏期実習生</p> <p>● 89名の学生受け入れ、3名の海外インターシップ受け入れ等を通じた指導、連携大学院方式による大学院生への指導、また大学・大学院への講師としての派遣、研究員の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した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・核データ分野 <ul style="list-style-type: none"> － 夏期休暇実習生: 28名受入、特別研究生: 1名受入、博士研究員: 2名受入、海外からのインターンシップ: 3名受入 － 大学への講師派遣: 東京大学専門職大学院、茨城大学大学院、北海道大学第大学院 ・炉物理分野 <ul style="list-style-type: none"> － 夏期休暇実習生: 24名受入、特別研究生: 1名受入 － 大学への講師派遣: 東京大学専門職大学院、茨城大学大学院、政策研究大学院大学 － その他: 人材育成センターにおける放射線遮へい講義(原子炉研修一般過程) ・原子力センシング分野 <ul style="list-style-type: none"> － 学生実習生: 1名受入 － その他: 中性子・ミュオンスクール、中性子ビーム利用基礎講習会、核化学夏の学校 ・熱流動分野 <ul style="list-style-type: none"> － 夏期休暇実習生: 27名受入、学生実習生: 2名受入、特別研究生: 2名受入、連携大学院方式による学生研究生: 3名受入 － 大学等への講師派遣: 東京大学専門職大学院、連携大学院方式による筑波大学大学院での指導 － その他: 人材育成センターにおける留学生実験実習指導 	

第3期中長期計画成果とその反映先

実施計画項目	中長期計画における成果(見込み)	アウトカムへの反映
<ul style="list-style-type: none"> 炉内3次元熱流動挙動評価手法 溶融燃料材料挙動評価手法 放射化量評価手法 フィルターバント性能評価手法 核データ研究 核特性計算コード開発 核物質非破壊測定技術 	<ul style="list-style-type: none"> 二相流シミュレーションコードTPFITの開発・適用性検証・公開 多相流シミュレーションコードJUPITERの開発・適用性検証・公開 放射化量評価システムの開発・適用性検証・公開 フィルターバント性能評価手法の開発・適用性検証・公開 目的別核データファイルの整備・公開 汎用核データライブラリー: JENDL-5の開発・公開 評価済み核データの処理(FRNDY)から炉心計算コード(MVP、MARBLE)までの、国産核設計核特性計算コード開発・公開 核物質計量管理技術の確立、計量管理用装置の開発 高線量核物質の測定のための統合型非破壊測定装置の開発 低コスト・可搬型非破壊核物質検知装置の原理実証 α線放出核種の非破壊分析装置の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 産業界の設計ツールの検証(Verification) シビアアクシデント(SA)解析結果を用いたSA対策機器最適配置への反映、SAマネジメントへの反映 産業界の設計ツールの検証(Verification) フィルターバント性能評価およびスペック最適化への反映 各種シミュレーションの高精度化 同上 産業界の設計ツールの検証(Verification) 核物質計量管理の信頼性向上 同上 同上 α線放出核種を用いた全身がん治療方法の実用化への貢献