

研究開発評価課題 「原子力基礎工学研究」に関する 第4期中長期計画における

中間評価

原子力化学・環境・放射線科学研究

目指すもの：（第4期終了時にあるべき姿）

- ✓ 原子力化学：放射性核種の反応・ダイナミクス研究の知見と開発を進める分光技術・計算化学技術を応用して、**廃棄物の処分環境での化学挙動モデルの構築や全分析工程を自動化するマイクロ分析デバイスの開発**を行い、放射性廃棄物の新しい処理・保管・処分法の社会実装を支援する基礎データと技術を提供する。
- ✓ 環境科学：化学・生物過程も考慮して原子力施設周辺から全球までの環境動態をシームレスに計算し、計測データとの融合により現実をほぼ再現するシステムを**完成**させる。これにより、放射能の環境放出に対して合理的で実効性の高い対策立案を可能にするとともに、様々な環境問題の解決に貢献する。
- ✓ 放射線科学：PHITSの利便性の改良、**高精度・多機能化を進め、放射線影響解析統合パッケージとして進化**させ、国内外の放射線に関わる様々な研究を加速させる。また、生体のDNA損傷から生物影響までを記述できる手法の開発、線量解析技術の高度化等の研究を進め、放射線影響・防護に関する国内外の要求に応える。

To the Future / JAEA

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 核種分析前処理分離工程の 自動化分析デバイス開発 | 前処理と計測を一体化する シームレス分析技術開発 |
| 放射性物質移行予測大気・海洋・ 陸域統合モデルの開発 | 統合モデルと観測データを 融合した計算技術の開発 |
| 飛跡構造解析モード等の 第一原理計算モデル開発と検証 | 医療応用・線量評価等の モデル実装，応用研究 |
| 国/事業者等からのニーズに応じて、外部資金で実施する。 | |
| 東京電力や関係機関、福島部門からのニーズに従い実施する。 | |
| 国／事業者及び福島部門からのニーズに従い実施する。 | |

原子力化学研究の中長期目標

化学挙動研究に基づく反応予測、分離分析技術開発

新原子力の実現

JAEA2050+

持続可能な原子力

イノベーション

- バックエンド問題の解決
- 放射性核種の環境中挙動予測
- 分析技術開発
- 核医薬RIの製造技術

革新的原子力システム研究開発
デジタルツイン+

- スマート分析技術
- 化学を取り込む機能の組込み

革新的基盤技術開発
(リアル空間)

1

最先端技術の導入による高
反応モデル構築と評価基盤
開発した技術のスピノフ

4

の提供

原子力の安全性向上のため
の研究開発

2

基盤データ・技術による貢献

- 再処理プロセスでの化学・放射線安全
- 緊急時の放射性核種迅速分析

3

1F廃炉支援

技術・知見による貢献

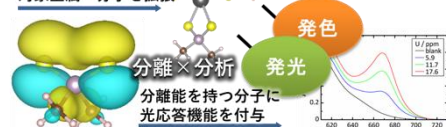
- 放射性廃棄物分析
- デブリの保管・処分
- 汚染水の処理法確立

原子力科学技術に係る基礎基盤研究

量子化学

計算手法を高度化
対象金属・分子を拡張

分子設計



新試薬の反応予測

実験化学による知見

高性能分析試薬の設計・開発

性能評価データの自動集積

分子分光

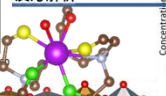
化学状態情報を得る
分子分光測定技術



放射線場
燃料・材料・天然鉱物

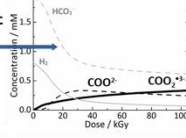
反応解析

化学構造を反映した
反応解析



化学構造
分光データに基づく
分子化学の理解

分子化学に立脚した
反応機構評価



前処理のトップダウン・集積化

分析
試料



濃縮 状態制御 分離 検出

分析のシームレス化

反応解析による高度化

新規分析手法の適用

計画

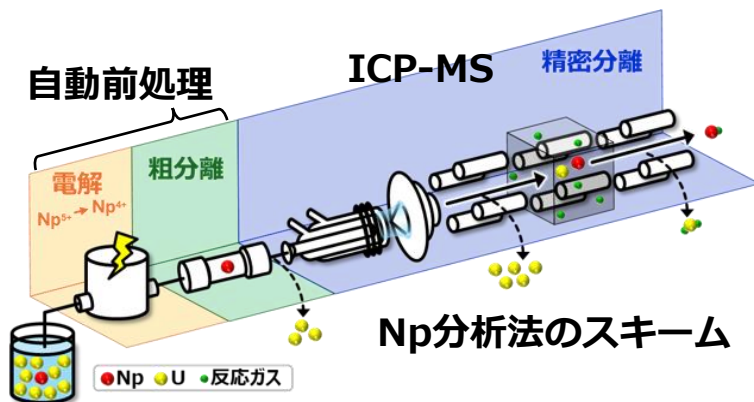
放射性核種の反応とダイナミクス研究により得られた知見に基づき、放射性核種の反応モデルを構築し、新規分離分析試薬、スマート分析法を開発する。

進捗

- ①自動分析デバイス（R4-R6）を統合し、ICP-MS用試料前処理を自動化（特許出願）
- ②Npの錯形成・安定化と蛍光機能を持つ試薬を開発、ゲル電気泳動法によりNpの選択的な分析が可能であることを実証（Inorg. Chem.誌 表紙採用）

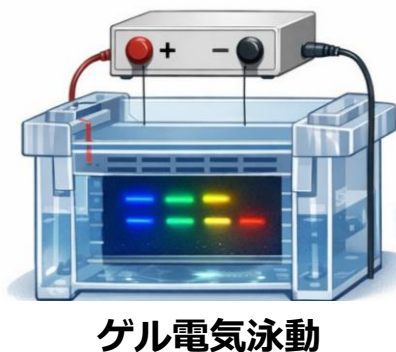
①²³⁷Np自動分析システムの開発

- Npの価数調整・分離を連続フロー式で行うデバイスを開発し、²³⁷Npの自動分析に成功
- 25分（従来法（4日）の約1/100）で分析可能**
- 放射性廃液にも適用可能であることを確認



②ゲル電気泳動用新規分離分析試薬

- 水溶液中のNpを5価の状態に安定化させ、かつ蛍光性を持つ分離分析試薬を開発
- ゲル電気泳動で分離、蛍光分光法で測定することで検出下限 0.017 pg の高感度分析に成功**



Np(5価)+分離試薬：安定
 → 電気泳動+蛍光で検出

他An+分離試薬：不安定
 → 泳動中に分解、蛍光で検出されない

分析ニーズ（省力・自動・遠隔・熟練不要）に応える技術開発、社会実装に向け知財化・民間企業と連携
 学術論文 2報（Inorg. Chem. 表紙採用, Analyst Hot Article） 1報投稿中（JRNC）, 特許出願 1件（特願 2025-151958）

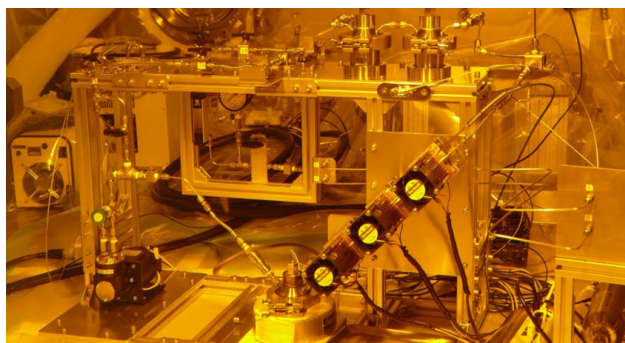
予定展開

デバイス毎の分析自動化、システム統合を達成、今後は長寿命核種のシームレス分析メソッドの確立に取り組む。また、定量に加えて化学状態分析性能を向上させ、放射性廃棄物の処理・処分に貢献する。

- ①再処理における放射線化学に関する基礎データを事業者と連携して整備
 - ②長寿命核種の迅速分析法を確立、1F実デブリの分析に技術協力、 ^{90}Sr 等の分析値を提供
- 放射線化学の知見・基礎データ、分析技術の開発で事業者等の安全に関するニーズに対応**

①日本原燃受託事業

- 高レベル放射性廃液の放射線分解による水素発生温度依存性を実測し、事故時の水素リスク評価に資する基盤データを整備した。



コンクリートセル内に設置した水素発生試験装置

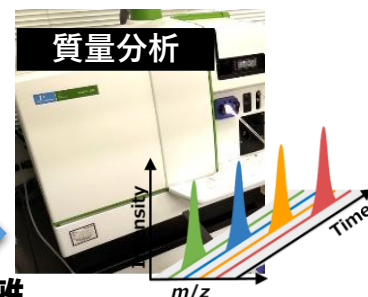
②福島大受託研究 (廃炉・汚染水・処理水対策事業)

- 従来、純 β 線放出核種の分析は数週間を要するが、固相抽出とイオンクロマトグラフ (IC) を併用し、 ^{36}Cl 、 ^{90}Sr 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I を**1時間程度で一斉分離**することに成功した。

イオンクロマトグラフ



核種を分離



事業者・規制行政の共通理解の醸成のため、得られた成果を学術論文として公開。再処理や福島廃炉に関するデータや技術的な知見を広く提供した。

①学術論文 1報掲載 (JNST)、1報投稿中(JNST)、②2報準備中 (Sci. Rep., JNST 事業者側確認中)。

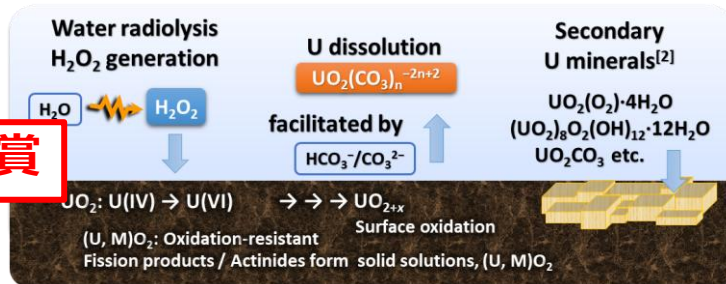
予定
展開

再処理関連では安全解析の要素技術の開発、福島支援ではニーズに応じた分析技術の提供を継続

R4：ウラン酸化物の放射線化学反応のデータを整備、日本放射線化学会より**学会賞を受賞**
 R5：ウラン酸化物・模擬デブリのラマン分析データを整備、**JNST Most Popular Article**
 R6：高感度放射光分析により実環境試料中の微量ウランのイメージングに成功、**共同プレス**
 R7：放射性廃棄物を対象に積み上げてきた知見・分析技術で**1F実デブリ分析に協力**

R4

学会賞

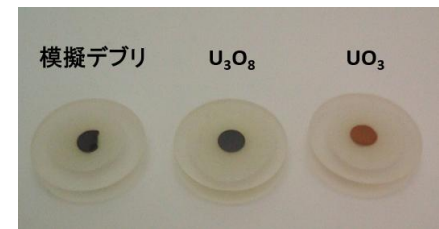


ウラン酸化物の放射線化学反応のスキーム

→ 1Fデブリ・使用済燃料の経年変化に関する知見を整備

R5

受賞



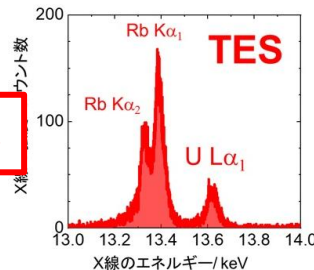
分析した模擬デブリ等試料

各種ウラン酸化物、模擬デブリ成分のラマンデータ整備

→ 1Fデブリ分析でのラマン活用の基盤構築

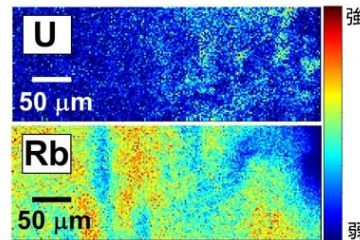
R6

プレス



超電導型・高分解能の検出器 (TES) を導入

→ 環境中の核種移行挙動把握の強力なシース



R7



1F実デブリ分析に協力

- ・ ラマン分光分析
模擬デブリデータと比較
デブリ試料の化学状態評価
- ・ SEM-EDX分析
含有元素の定性・分布

核燃料物質や放射性廃棄物の反応性研究・分析法開発を継続、知見や技術は直接処分やデブリ分析に反映
 学術論文 9報 (JNM, Inorg. Chem., Sci. Rep. 他), 1報準備中 (1Fデブリ分析結果) 共同プレス2件。
 基礎知見の獲得とデータ整備を継続的に進め、直接処分技術開発 (エネ庁受託事業) 燃料デブリ分析 (エネ庁補助事業) に貢献。

核種分離の基礎知見創出、要素技術開発

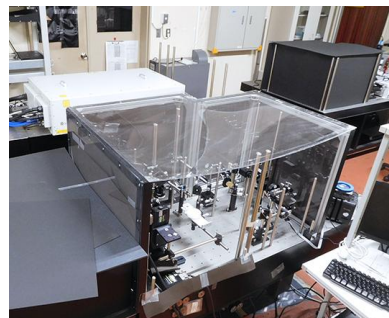
基礎基盤

R4：放射性核種等の溶媒抽出過程（金属イオンの水相から油相への移動）における界面反応の機構解明、**論文誌の表紙に採用、日本分光学会より奨励賞を受賞**

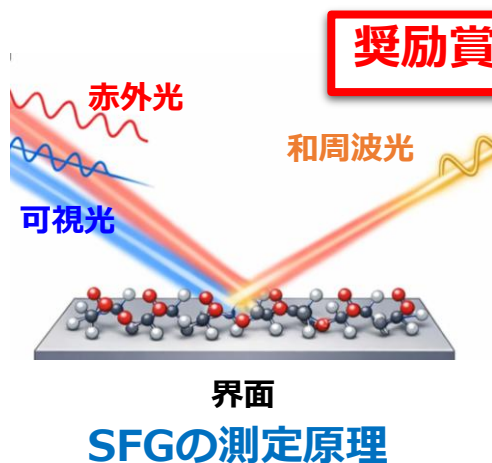
R7：白金族元素（Rh, Ru, Pd）の塩酸系相互分離技術を開発（プレス準備中）

核種分離の基礎知見・技術のスピノフ：レアメタルの再資源化

R4


SFG装置

二種レーザーの同時照射で界面から生じる和周波光を分析、溶媒抽出の過程でウランイオンと抽出剤の1：1錯体が形成されることを明らかにした。


SFGの測定原理
奨励賞

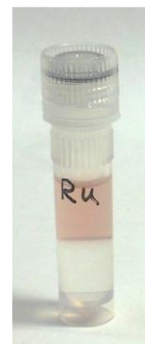
R7

Ruのイオン対抽出
塩酸溶液（下）→油相（上）

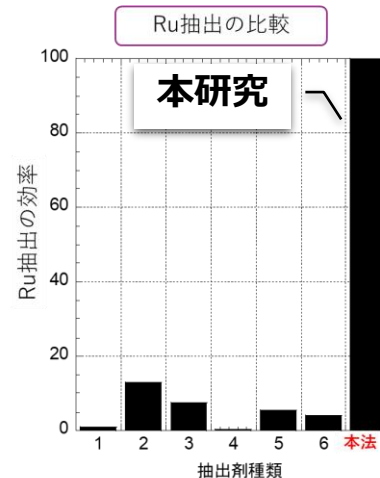
抽出前



抽出後



白金族（Ru, ピンク色）の溶媒抽出実験と抽出率の既往研究との比較

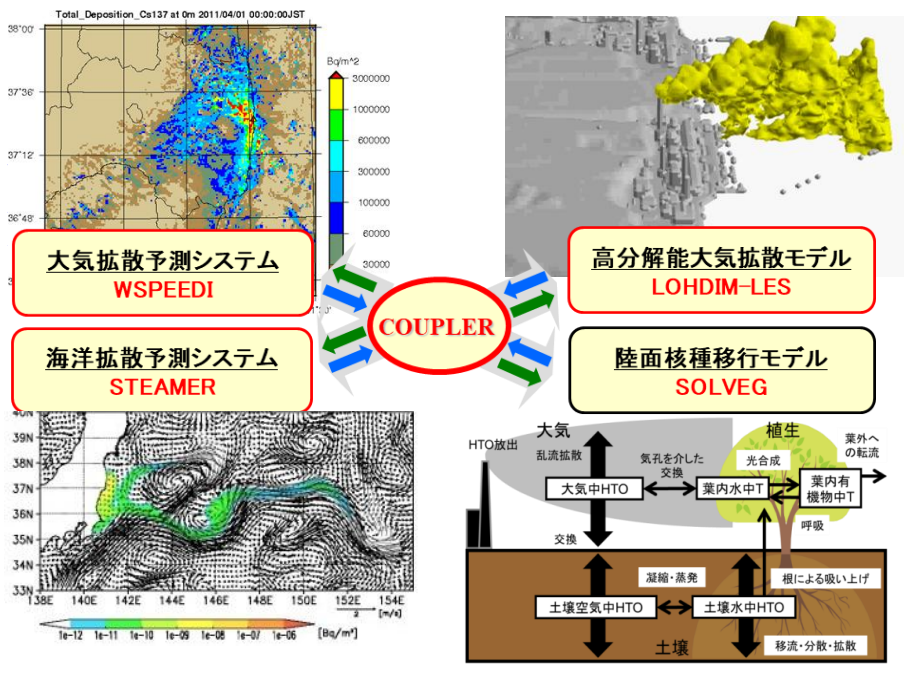


日本分光学会奨励賞。分離変換プロセスや有用金属の回収など、将来の処理処分オプションに求められる基礎知見を整備し、要素技術を開発した。

学術論文 5報掲載（J. Phys. Chem. L 表紙採用, JNST他）1報投稿中（J. Molec. Liquid, 掲載時にJAEA代表のプレスリリースを予定）

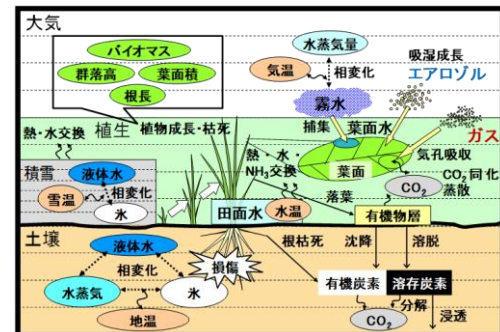
- 大気・海洋・陸域モデル結合による環境循環と化学・生物の複雑な相互作用の考慮
- 計測データとの融合により現実をほぼ再現するシステムの開発

マルチスケール大気・海洋・陸域モデル結合



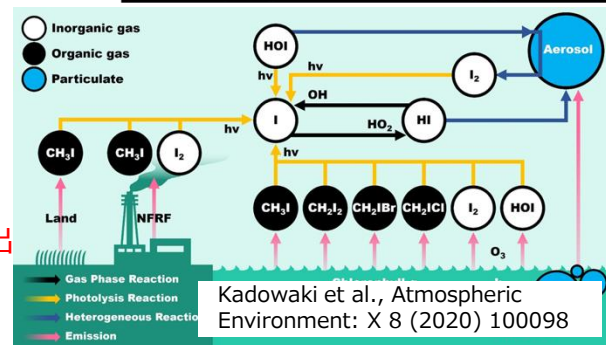
化学・生物過程の考慮 (例)

陸上・水中の植物活動
(光合成) による
水 (トリチウム) ・
炭素 (^{14}C) 交換と
有機物への蓄積



大気中・海洋中
ヨウ素化学変化

1F処理水放出、
再処理工場の放出
で重要な核種の
環境動態再現



- 原子炉建屋影響を考慮した局地高分解能計算から全球スケールまで、大気・海洋・陸域複合系における放射性物質の環境循環のシームレスな再現
- 複雑な挙動で環境中を循環する核種 (トリチウム、 ^{14}C 、ヨウ素) の精緻な移行予測
- 現実を限りなく再現した模擬環境を基盤にした高精度な影響評価、シミュレーション実験による対策立案に貢献 (1F処理水放出・再処理工場稼働時の環境影響評価)
- 応用範囲の拡張 (温暖化メカニズム解明など)

計画

局所域から広域までのシームレス大気拡散モデル、海洋拡散モデル、陸域核種移行モデルによる統合モデルを開発する。

進捗

大気・海洋・陸域モデルに化学・生物過程を導入して高度化するとともに、これらを結合した統合モデルを開発し、1F事故へ適用することにより有効性を実証

- ・ 日本原子力学会賞技術賞「局所域高分解能大気拡散・線量評価システム」(令和5年3月)
- ・ 日本原子力学会賞技術賞「大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DB」(令和6年3月)

シームレス大気拡散計算と化学過程の導入

局所域：10 m分解能

1F事故シミュレーション

構造物の気流・拡散への影響を考慮可能

領域：100 m + 500 m
分解能

広域：2.5 km分解能

ヨウ素の拡散中の性状変化と沈着後の再放出を考慮可能

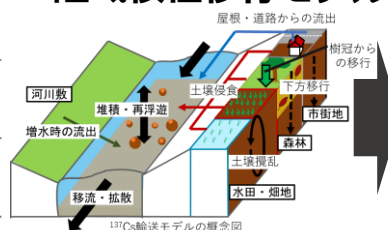
結合計算例：大気モデル + 陸域モデル

大気拡散モデルによる1F事故Cs-137沈着分布

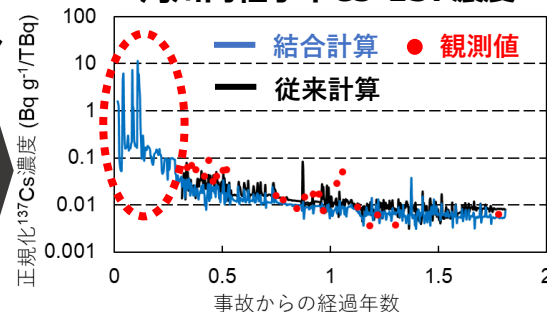
3月14日 → 3月16日 → 3月18日 → 4月1日

時間発展を入力

陸域核種移行モデル



河川内粒子中Cs-137濃度



- ・ シームレス大気拡散および核種の化学変化と沈着後の再放出を考慮した計算を可能とした。
- ・ 大気・海洋・陸域統合モデルを開発し、観測値の取得が困難な事故直後の核種の動態評価を可能とした。
- ・ 関連する成果を論文10報として公開し、計算コードを外部に38件提供した。

予定展開

計算シミュレーションと計測データ(放射線測定、気象観測など(次スライド参照))を融合した環境動態デジタルツインを構築し、放射性物質の環境放出や様々な環境問題の解決に貢献する。

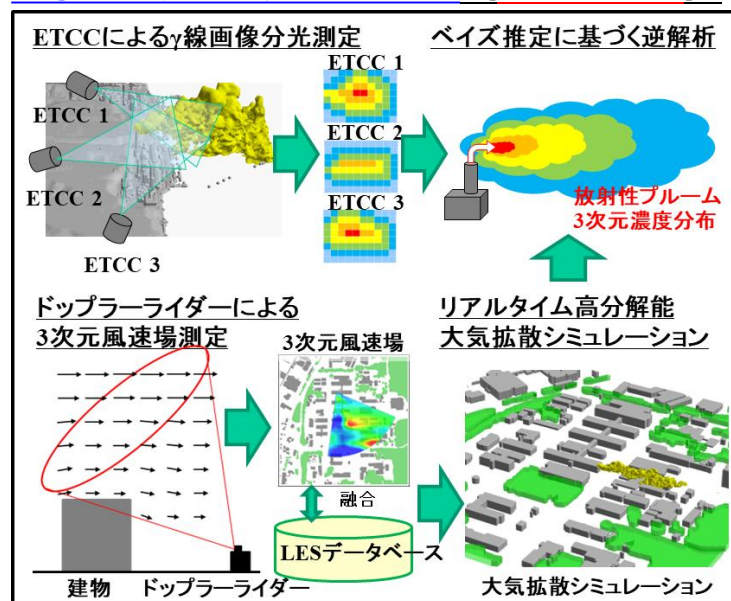
計画外の成果：安全性向上 放射性物質の環境放出に対する対策検討

安全性向上

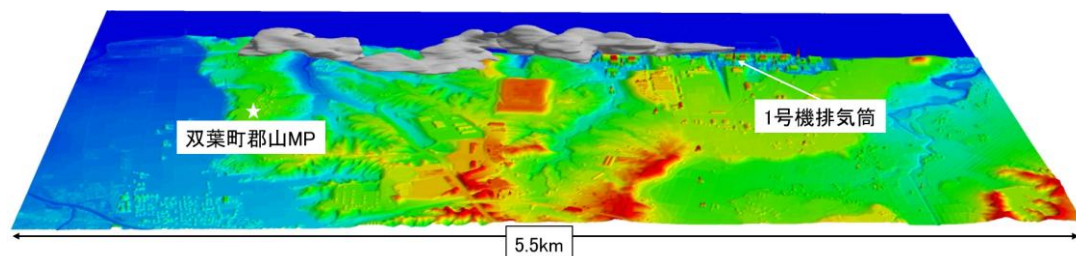
放射性物質の環境放出に対するリアルタイム監視・影響評価システムを開発

- 1F英知事業での成果を発展させ、**原子力規制庁からの受託研究及び依頼解析**に対して、原子力安全・防災研究所（機構内）と連携して研究開発を推進
- 事業者（中部電力、四国電力、日本原燃）、関係法人（日本海洋科学振興財団）、民間企業との受託研究や共同研究**を通じて、ニーズ・シーズにマッチングした研究開発を推進

コンプトンカメラ（ETCC）と大気拡散モデルによるプルーム定量可視化（規制庁受託）



1F事故大気拡散の実態解明：局所域高分解能大気拡散解析（規制庁からの依頼解析）



- プルームの画像解析に基づき、気象計算条件を設定（NHKと協力）
- 「第50回東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（令和7年3月、原子力規制委員会）」にて報告

規制庁「先進的モニタリングシステム構想」へ実装

- プルーム定量可視化および放出量推定の実現性を予備的な試験により検証し、論文1報として公開した。
- 外部資金9件（政府2件、事業者3件、法人1件、民間1件、科研費2件）を獲得した。

予定
展開

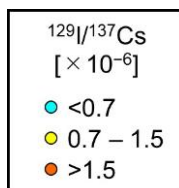
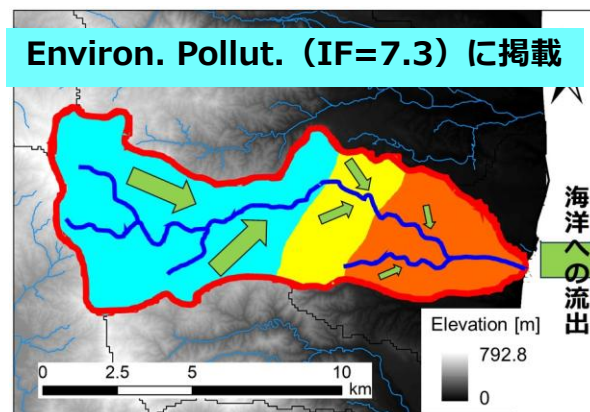
ETCCについて屋外環境における耐久能力・高線量場での測定能力などを検証し、モニタリング手法として実用化する。さらに、原子力施設を対象として開発したシステムの社会実装を推進し、放射性物質の環境放出に対する対策検討に資する。

福島廃炉安全工学研究所（機構内）と連携して取得した観測データを活用し海洋拡散予測システムSTEAMERの高度化として、海水・大粒子・海底堆積物間の核種移行の考慮、生物過程の導入により、生物への放射線影響評価が可能なコードを開発

- ALPS処理水の海洋放出に対する影響評価結果を公表：**「福島近海に生息するヒラメ体内のトリチウム量を推定する」（令和7年10月プレス発表：原子力機構、環境科学技術研究所）**

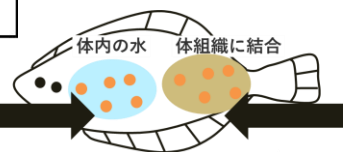
放射性物質の海洋への流出量を推定（観測）

福島県内河川流域における $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比

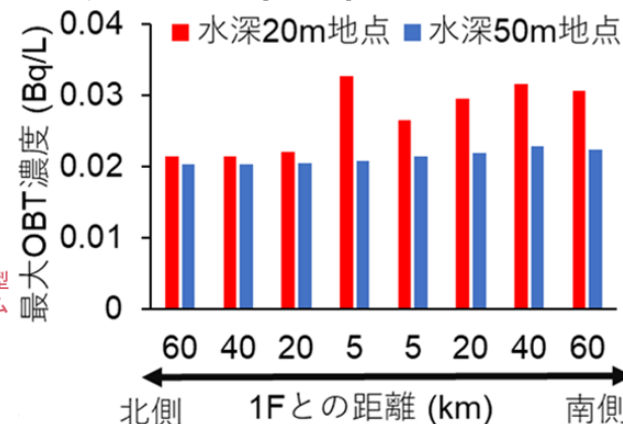


Environ. Sci. Technol. (IF=11.3) に掲載

自由水型
トリチウム



各評価点におけるヒラメ体内最大OBT濃度



- 事故から数年以降、河川からの継続的な ^{129}I の流出は海底堆積物中 ^{129}I 量に殆ど寄与していない

放射性物質の環境中挙動に関する科学的知見
モデル高度化のための基礎データ

- 最大OBT濃度は雨水・河川水より1桁程度低く、摂取した場合の被ばく線量も極めて低い

ALPS処理水の海洋放出への理解醸成
海産物の安全性の担保および風評被害の防止

- 原子力基礎基盤研究で開発した技術と知見に基づき、1F事故およびALPS処理水の海洋放出に係る環境影響評価の重要な情報を提供した。
- 関連する成果を論文8報（内、高IF論文6報）として公開した。

同位体を利用した地球温暖化への応用研究

基礎基盤

同位体を利用した炭素循環研究を国内外の多数の研究機関と連携して推進し、スピノフ研究として原子力イノベーションを創出

- アジア原子力協力フォーラム（FNCA）気候変動研究を推進（**FNCA2025優秀チーム賞**）
- 乾燥と湿潤の繰り返しが土壌のCO₂放出を増大させることを解明
（令和7年1月プレス発表：新潟大学、九州大学、原子力機構）
- 土壌微生物バイオマスの新たな測定法を約40年ぶりに提案
（令和7年5月プレス発表：新潟大学、九州大学、原子力機構）

地球温暖化に伴う降水パターンの変化がCO₂放出量に及ぼす影響を解明

対照区（水分一定区）



CO₂

VS

DWCs（乾燥・湿潤の繰り返し）



1.3~3.7倍
のCO₂放出

- 微生物細胞や活性金属-有機物錯体成分の破壊がCO₂放出増大に寄与

風乾土水抽出法により従来法と同様に土壌微生物中有機物量を測定可能

クロロホルム燻蒸-抽出
（従来法; Vance et al., 1987 など）



本研究で新たに提案した
風乾土水抽出法



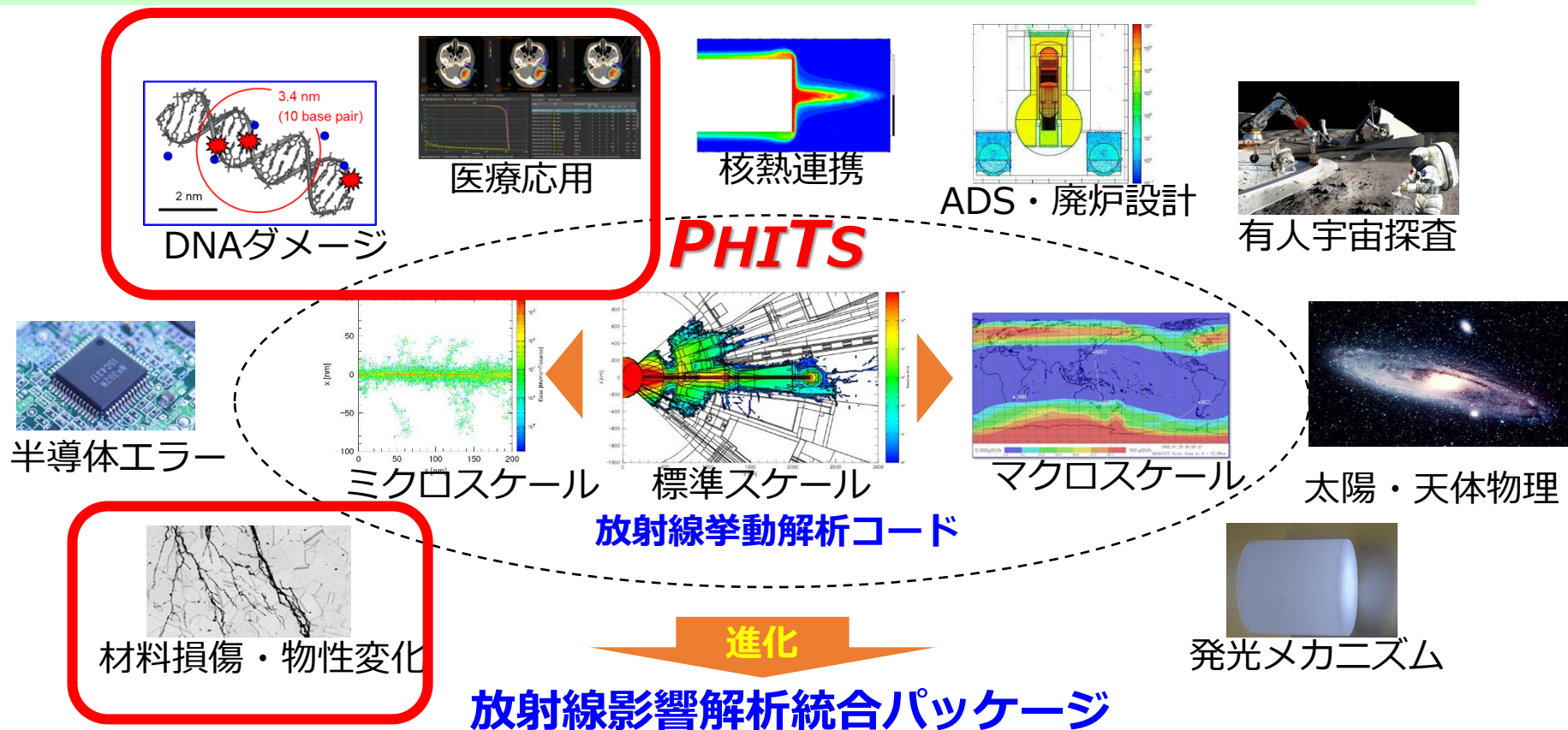
- 土壌微生物中有機物量の大規模データセット構築を飛躍的に推進

- 地球温暖化に伴って顕在化する極端気象現象が土壌CO₂放出に及ぼす影響を解明し、新たに提案した測定法により地球規模のデータセットを構築することで、地球環境の将来予測の精度向上に資する。
- 上記プレス発表以外に、関連する成果を論文4報（内、高IF論文2報）として公開した。

放射線科学研究の中長期目標

PHITSの高度化と応用研究、放射線影響評価の高度化

放射線挙動解析コードから放射線影響解析統合パッケージへと進化



- 第一原理計算に基づく材料損傷、物性変化、生物影響などの評価モデル開発
- 医療・宇宙開発・半導体産業など様々な分野でのイノベーション促進
- 「放射線科学を全ての人に」をキャッチコピーにデファクトスタンダード化を目指す

計画

放射線影響評価の高度化として、物理過程に続く、化学過程を扱えるコードを開発する。

進捗

任意物質中で任意イオンビームのナノスケール挙動を計算可能なITSART、3次元可視化ソフトウェアPHIG-3Dを活用し、**放射線による水分子の分解とその後の挙動を視覚的に追跡する計算プログラム「化学コード」を開発し、PHITSへ実装（令和7年4月プレスリリース）**

物理過程計算コード
PHITS-KURBUC / ITSART

化学過程計算コード
PHITS-Chem

ラジカル生成

拡散運動・化学反応

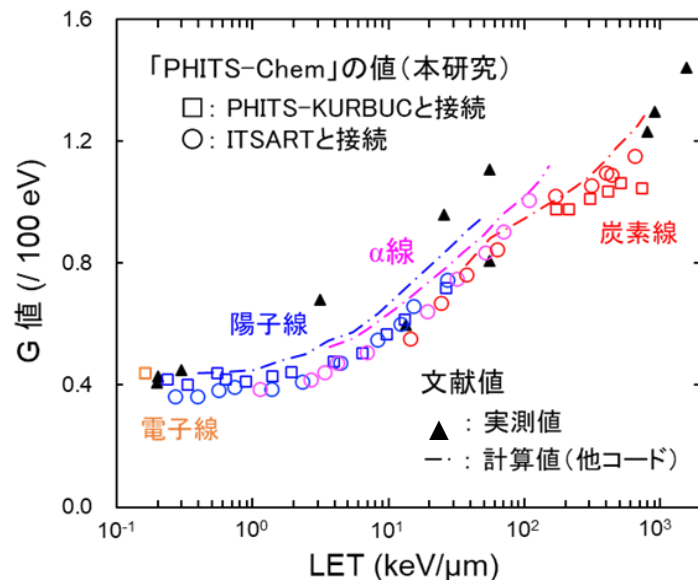
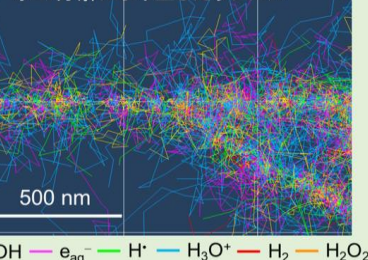
シミュレート

挙動を追跡

PHITS-Chemの計算過程

- 物理過程計算コードによるイオン入射に対する飛跡を計算（左上図）
- イオン入射によるラジカル生成、拡散運動・化学反応を計算（上図）
- 生成したラジカルの水中での挙動を可視化（左図）

水の分解により生じたラジカル



照射後 10^{-6} 秒におけるLETと水素のG値の関係
実験値(▲)を他コード(線):過大評価、本研究(○●○●):再現

本成果を論文3報として成果公開、プレスリリースし、本コードを実装したPHITSコードを公開した。イオン線と水の衝突反応で発生する13種類の分解生成物（OHラジカル、水和電子、水素ラジカル、ヒドロニウムなど）の計算が可能。¹Y. Matsuya et al., Physical Chemistry Chemical Physics. 27, 6887-6898 March (2025).

予定展開

「FLASH療法」や炭素線治療など、重粒子線照射時の生物効果の解明に応用。

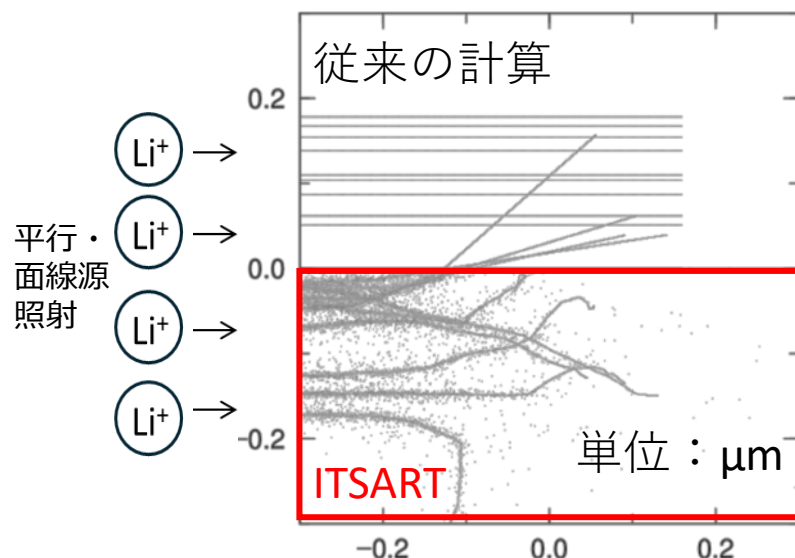
計画

進捗

材料科学、放射線影響等の分野で求められる機能を強化・実装し、応用分野を拡大する。

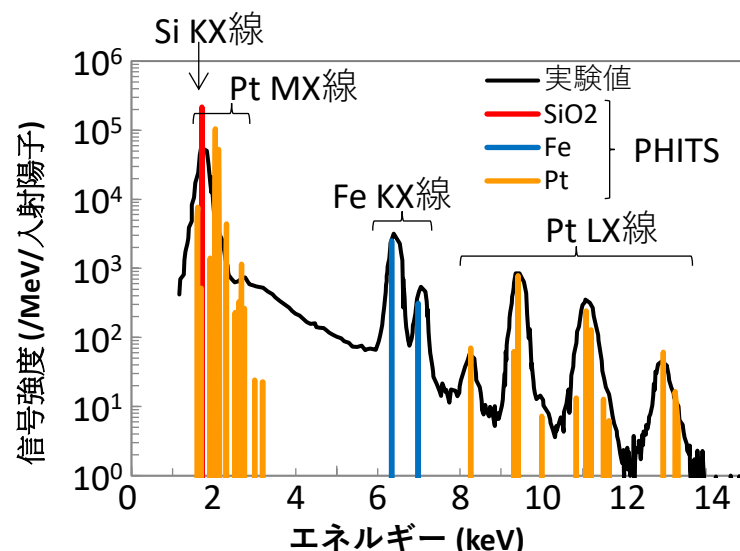
- 任意物質中で任意イオンビームのナノスケール挙動を計算可能な**ITSART**をさらに改良し、計画を先取りして応用研究を推進
- 原子反応(PIXE、Auger電子)計算機能を追加し、**PHITSの材料科学応用への道を開拓**

鉄に照射されたLiイオンの軌跡計算



標的原子の電離など、nm規模で軌跡を計算可能

Fe, Pt, Si積層試料の測定結果との比較



材料分析技術PIXEの測定値を再現

本成果は高IF論文¹に成果公開された。¹T. Ogawa et al., Comp. Phys. Com., (2025).

任意イオンの任意物質中のnm挙動計算モデルの応用範囲は広く、ユーザーによる応用研究も進行中。

予定
展開

材料損傷、検出器応答、炉材料劣化、再処理溶媒の劣化、での展開を推進。さらに応用分野を拡大。

“放射線照射後”の原子や分子の挙動を解析可能な手法を開発

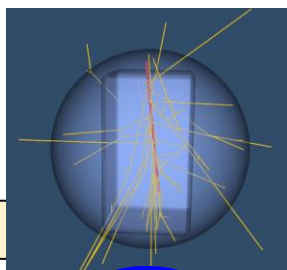
基礎基盤

物質を構成する原子の電子状態を第一原理的に計算可能なコードとPHITSを組み合わせ、“放射線照射後”の原子や分子の挙動を解析可能な計算手法を開発し、物質の放射線影響に関する様々な応用研究を実施^{1, 2, 3}。

物理過程



放射線挙動計算



物理化学過程

OpenMX,



第一原理電子状態計算

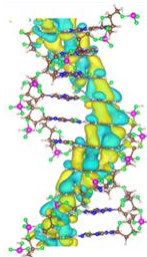


PHITS+DFT (密度汎関数法)

“放射線照射後”の原子や分子の挙動を解析する計算手法 (特許出願中)

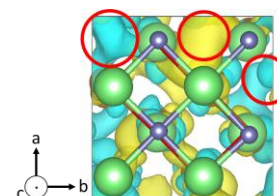
応用

(a) DNA損傷研究¹



放射線照射後のDNAの原子・分子・電子等の挙動から、切断箇所・切断数等を解析。

(b) 磁気メモリ放射線影響研究²

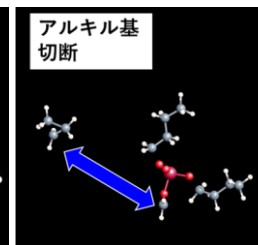
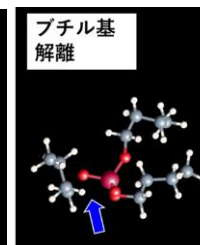
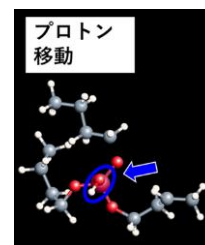


次世代コンピュータに用いられる磁気メモリの原理を解明。

(c) DNAやRNA等、有機化合物を用いた新規材料探索³

ハロゲン原子をドーピングすることで、通常は絶縁体の有機化合物ウラシルに金属のような電子状態が生じる現象を計算的に発見。新たな材料開発につながる技術革新を目指す。

(d) 抽出剤放射線影響研究 (投稿準備中)



高レベル廃液のレアアース抽出材の挙動解明や放射線耐性の高い抽出材開発を目指す。

本成果を論文3報として成果公開し、本手法について特許出願した (特願2025-144016)。材料科学、新規物性予測等の研究に活用する。¹ T. Sekikawa et al., Nucl. Inst. Method B, 548, 165231 (2024)., ² T. Sekikawa et al., J. Appl. Phys. 137, 203901 (2025)., ³ To be Published

その他、特筆すべき成果：プレス発表 (7件：代表4件)、R6年度文部科学大臣表彰・科学技術賞、コード配布 (合計約12000人、R6新規登録1500件)

中長期計画

- 放射性核種の反応・ダイナミクス研究の知見と開発を進める分光技術・計算化学技術を応用して、**廃棄物の処分環境での化学挙動モデルの構築や全分析工程を自動化するマイクロ分析デバイスの開発**を行い、放射性廃棄物の新しい処理・保管・処分法の社会実装を支援する基礎データと技術を提供する。

令和7年度までの実績

- 界面化学種の動力学について**放射性核種の反応モデルを構築**し、モデルを応用した設計により高感度検出を実現する新規分離分析試薬を開発した。
 - ^{237}Np について**化学状態の制御と分離が可能な一体型自動化デバイスを開発**し、ICP-MS分析用の試料前処理を自動化に成功した。
- 令和7年度目標の**反応モデルと自動化デバイス開発を計画通り達成**

4期終了までの計画

- 界面化学種の動力学に関する反応モデルについて、**処理・処分環境における放射性核種の挙動解析への適用性を検証**する。
- 化学状態の制御と分離が可能な一体型自動化デバイスについて、**多様な核種分析に適用できるように機能向上してシームレス分析技術を確立**する。

中長期計画

- 化学・生物過程も考慮して原子力施設周辺から全球までの環境動態をシームレスに計算し、計測データとの融合により現実をほぼ再現するシステムを完成させる。これにより、放射能の環境放出に対して合理的で実効性の高い対策立案を可能にするとともに、様々な環境問題の解決に貢献する。

令和7年度までの実績

- 大気・海洋・陸域モデルに化学・生物過程を導入して高度化するとともに、これらを結合した統合モデルを開発し、1F事故へ適用することにより有効性を実証した。
→ 令和7年度目標の統合モデル開発を計画通り達成

4期終了までの計画

- 大気・海洋・陸域統合モデルに観測データを融合する計算技術確立し、環境動態デジタルツインを構築する。

中長期計画

- PHITSの利便性の改良、高精度・多機能化を進め、放射線影響解析統合パッケージとして進化させ、国内外の放射線に関わる様々な研究を加速させる。また、生体のDNA損傷から生物影響までを記述できる手法の開発、線量解析技術の高度化等の研究を進め、放射線影響・防護に関する国内外の要求に応える。

令和7年度までの実績

- PHITSコードの飛跡構造解析計算に関する物理コードを検証し、放射線による水分子の分解とその後の挙動を視覚的に追跡する計算プログラム「化学コード」を開発しPHITSへ実装した。
→ 令和7年度目標のモデル開発と検証を計画通り達成

4期終了までの計画

- 飛跡構造解析計算・化学コードに生命・材料科学分野で利用されてきたコード・モデルを有機的に統合して分子レベルでの放射線影響（DNA損傷や物性変化など）を評価可能な計算手法を確立し、応用研究を実施する。

その他の成果

原子力化学・環境・放射線科学研究

中長期計画外の成果

- 廃棄物や燃料デブリを対象とした経年変化研究や分析技術開発の成果に基づいて、実燃料デブリの分析に協力、ラマン分光スペクトルやSr-90の定量分析結果を提供した。
- 分光測定で積み上げた知見と再処理・分離研究で開発してきた抽出剤を組み合わせ、白金族元素の分離法を提案。溶媒抽出のみで塩酸系でのRu・Rh・Pdの相互分離に成功。
- 温暖化に伴う降水パターンの変化によって引き起こされる土壌の乾燥と湿潤の繰り返しによって、土壌から放出されるCO₂の量が大きく増大することを明らかにした（令和7年1月プレス発表）。また、土壌微生物バイオマスの新たな測定法を約40年ぶりに提案した（令和7年5月プレス発表）。
- 海洋拡散モデル及び生態系移行モデルを組み合わせ、福島近海に生息するヒラメ体内のトリチウム量を推定し、科学的知見に基づいてALPS処理水の海洋放出による風評被害の防止に貢献した（令和7年10月プレス発表）。
- 任意の放射線に対応した初の国産汎用放射線挙動解析コードPHITSに関して令和6年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 開発部門を受賞した（令和6年4月）。PHITSは世界76カ国で約1万人の研究者や技術者に利用され、国内外の放射線関連研究や産業の活性化に寄与している。
- PHITSコードの拡張パッケージを用いて、これまで困難だったナノスケールの放射線挙動を解析することによって、材料分析・材料科学に関する応用研究を進めた。また、PHITSコードと密度汎関数法（DFT）を用いた第一原理計算を組み合わせた手法を開発し、応用研究を進めた。

令和7年度計画と実績

原子力化学・環境・放射線科学研究

令和7年度計画

- 核種分析をスマート化するため、化学状態の制御と分離が可能な一体型自動化デバイスを構築し、核種分離に関する反応解析法を整備する。
- 原子力事故時や通常運転時における放射性物質の移行予測が可能な環境シミュレーションシステム（環境動態デジタルツイン）を構築するために、シームレス大気拡散計算手法を適用した大気・海洋・陸域の統合モデル開発を進める。
- 学術・産業界ニーズとのマッチングを進め、PHITSを放射線影響解析統合パッケージへと進化させるために、これまでに開発した物理・化学コードを生物コードへ発展させる研究に着手するとともに、両コードを活用してDNA損傷計算を実施する。

令和7年度実績

- 放射性核種分析をスマート化するために、化学状態の制御と分離が可能な一体型自動化デバイスの開発を進め、ICP-MS分析用の試料前処理を自動化に成功した（特許出願）。核種分離の基礎知見として、分光測定の結果から界面化学種の動力学について反応モデルを構築した。
- 放射性物質の移行予測が可能な環境シミュレーションシステム（環境動態デジタルツイン）を構築するため、局所域高分解能大気拡散モデル（LOHDIM-LES）、領域緊急時環境線量情報予測システム（WSPEEDI）及び広域大気化学輸送モデル（GEARN-FDM）を融合したシームレス大気拡散計算手法を適用し、大気・海洋・陸域の統合モデルを開発した。本モデルを1F事故に適用して試験計算を実施し、包括的な環境影響評価が可能であることを確認した。
- PHITSコードを学術・産業界からのニーズに応じた放射線影響解析統合パッケージとするため、飛跡構造解析計算に関する物理コードの検証および飛跡構造解析計算に使用する化学コードについて可視化機能を拡張した（令和7年3月、4月プレス発表）。

第4期終了までの計画

原子力化学・環境・放射線科学研究

- 核種分析をスマート化するため、処理・処分環境における放射性核種の挙動について反応モデルの適用性を検証する。化学状態の制御と分離が可能な一体型自動化デバイスを用いたシームレス分析技術を確立する。
- 原子力事故時や通常運転時における放射性物質の移行予測を高度化するために、大気・海洋・陸域統合モデルに観測データを融合する計算技術を確立し、環境動態デジタルツインを構築する。
- 学術・産業界ニーズとのマッチングを進め、PHITSを放射線影響解析統合パッケージへと進化させるために、これまでに開発した物理・化学コードと生命・材料科学分野で利用されてきたコード・モデルを有機的に統合し、分子レベルでの放射線影響（DNA損傷や物性変化など）を評価可能な計算手法を確立し、応用研究を実施する。

目指すもの：(第4期終了時にあるべき姿)

- ✓ 原子力化学：放射性核種の反応・ダイナミクス研究の知見と開発を進める分光技術・計算化学技術を応用して、廃棄物の処分環境での化学挙動モデルの構築や全分析工程を自動化するマイクロ分析デバイスの開発を行い、放射性廃棄物の新しい処理・保管・処分法の社会実装を支援する基礎データと技術を提供する。
- ✓ 環境科学：化学・生物過程も考慮して原子力施設周辺から全球までの環境動態をシームレスに計算し、計測データとの融合により現実をほぼ再現するシステムを完成させる。これにより、放射能の環境放出に対して合理的で実効性の高い対策立案を可能にするとともに、様々な環境問題の解決に貢献する。
- ✓ 放射線科学：PHITSの利便性の改良、高精度・多機能化を進め、放射線影響解析統合パッケージとして進化させ、国内外の放射線に関わる様々な研究を加速させる。また、生体のDNA損傷から生物影響までを記述できる手法の開発、線量解析技術の高度化等の研究を進め、放射線影響・防護に関する国内外の要求に応える。

原子力イノベーションに向けた取組

化学挙動研究で培った分析技術と化学的知見に最先端の分光・AI技術を取り入れ、RIの医療応用や放射線利用を視野に、原子力分野内外の課題解決に資する技術として実用化を進める。また、これまでに構築したネットワークをさらに強化させ、産業界や大学と連携して、様々な分野の多様なスピンオフ研究にも適用し、新たな原子力イノベーションの創出を目指す。

実施内容：

●原子力科学技術に係る基礎基盤研究：

- ✓ 放射性核種の反応とダイナミクス研究により得られた知見に基づき、新規分離分析試薬、スマート分析法を開発する。
- ✓ 環境動態デジタルツインシステムの開発と環境問題への応用研究
- ✓ 同位体を利用した炭素循環研究手法の地球温暖化研究への応用研究
- ✓ PHITSの放射線影響解析統合パッケージ化と様々な分野での応用研究
- ✓ 放射線影響・放射線防護に関する研究

●原子力の安全性向上のための研究開発：

ステークホルダーからの課題・ニーズを把握し、安全研究センター等の機構内外の他部署と連携して原子力基礎基盤研究を通じて開発した技術の適用性検証を進め、軽水炉等の安全性向上に資する。

- ✓ 核燃料再処理における化学や放射線に関する基礎データや評価技術、長寿命核種の分析法確立
- ✓ 放射性物質の環境放出に対するリアルタイム監視・影響評価システムの開発

実施内容：

● 1F廃炉支援：

東京電力、関係機関からの課題・ニーズを把握し、原子力基礎基盤研究を通じて取得・蓄積した知見と技術に基づき、福島部門等と連携して基礎データや分析評価技術を提供し、1F廃炉を支援する。

✓ 海洋拡散予測システムSTEAMERの高度化と運用

アウトカム(反映先)

- 放射性廃棄物分析への自動分析技術の提供（1F廃炉、BE部門）
- 放射性廃棄物処分時の核種移行評価の知見提供（BE部門）
- 1F廃炉へのデブリの化学状態変化の予測技術、汚染水中の放射性核種の状態把握・予測技術、廃棄体の保管・処分に係る安全性評価の基礎データの提供（1F廃炉）
- 放射性物質の環境中挙動に関する科学的知見・予測結果・詳細影響評価の提供による原子力利用への理解醸成、風評被害対策、原子力事故時の対策立案への貢献
- 原子力・放射線施設の設計、放射線治療計画の高度化、放射線防護指針の策定、放射線影響評価手法の高度化への貢献
- 放射線影響の発生に関する科学的知見、放射線防護の基礎となる放射線リスクの新知見を提供