

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 第2回事前評価

原子力化学と環境・放射線科学研究

第3期中長期計画の総括：

原子力化学：異相界面での分光技術の開発と放射性核種の界面反応機構の解明、経年変化を予測する反応モデルの構築、量子化学計算によるf元素の化学状態解析法の開発と計算に基づく新抽出剤設計、放射性廃棄物から対象元素を選択分離する材料・新原理分離法の開発と精度良い核種分析の成功により、ニーズに対応した研究開発において顕著な成果を上げた。

環境・放射線科学：大気拡散モデルの高分解能化と機能拡張、海洋拡散予測システム、水中核種測定システム、同位体測定・実験技術、飛跡構造や核熱連携等を解析可能な汎用放射線挙動解析コード、公衆の外部被ばく線量の詳細・迅速評価システムを開発し、1F事故対応など様々な課題解決への貢献や実用的システムの公開などにより研究成果を社会実装した。

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。

連携先：地方自治体、日本原燃、電力事業者、QST、JAXA、KEK、産総研、RIST、米国EPA、北海道大、弘前大、東北大、東京大、東工大、中央大、京都大、大阪大、広島大、九州大、英国クイーンズ大学ベルファスト、スウェーデンKTH、米国INL、医療・放射線機器・半導体関連企業医療・放射線機器・半導体関連企業

第4期中長期計画

研究開発テーマ：原子力化学研究

実施内容：

- 原子力科学技術に係る基礎基盤研究：

原子力研究開発の基盤となる③原子力化学について、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し、デジタルツイン+に化学を取り扱う機能を組み込む。

スマート分析法：マイクロ分析デバイス、自動分析技術、分子分光技術による化学状態分析、微粒子の状態分析

化学を取り扱う機能：分子化学に立脚した分析と反応機構評価

✓ 反応解析法開発、処分環境における化学挙動モデルの構築

- 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

✓ 緊急時における放射性核種の迅速分析

- 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。

✓ 水中でのα核種の挙動解明、デブリ分析技術、廃棄体の化学・放射線影響評価

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）
- 高レベル廃棄物処理プロセスへの高性能分離試薬設計の知見提供（日本原燃、デジタルツイン+）
- 燃料材料分析への反応解析手法の提供（デジタルツイン+）
- 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）

実施内容：

- 原子力科学技術に係る基礎基盤研究：
原子力研究開発の基盤となる③環境・放射線科学について、研究開発のDX化(デジタルツイン+)を推進し現象の解明に必要となるシミュレーション技術、計測・分析技術、実験データベースの開発及びさまざまな分野への応用研究を推進する。
 - ✓ 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・1F廃炉支援を通じて開発した技術の適用を進め、軽水炉等の安全性向上やその利用率向上等に資する。
 - ✓ 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
- 1F廃炉支援：
ALPS処理水及び廃炉作業に伴う汚染水の海洋放出に備えて、緊急時海洋環境放射能評価システムを高度化し、システム計算センター、福島部門と協力して海洋への環境影響評価を実施する。
 - ✓ 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

第4期中長期計画の実施計画

テーマ	達成目標	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
原子力科学技術に係る基礎基盤研究	<ul style="list-style-type: none">● 化学挙動研究に基づく反応予測、分離分析技術開発（交付金・科研費にて実施）● 環境動態デジタルツインの開発、環境問題の解決（交付金にて実施）● PHITSの高度化と応用研究、放射線影響評価の高度化（交付金にて実施）	分光法に基づく反応解析法開発				処分環境下の化学モデル構築			
		分析試薬設計・要素技術開発			前処理-分析のシームレス技術開発				
		結合モデル、化学・生物過程導入			環境動態デジタルツインの開発				
		同位体を利用した炭素循環研究手法の応用（モデリングを含む）、国外展開							
		第一原理計算モデルの開発			モデル実装、応用機能の開発				
		放射線影響解析モデルの開発			放射線防護・リスク評価研究				
原子力の安全性向上のための研究開発	<ul style="list-style-type: none">● 分析・評価技術を提供● 放射性物質の環境放出に対する対策検討への貢献（外部資金にて実施）	国/事業者等からのニーズに応じて、外部資金で実施する。							
1F廃炉支援	<ul style="list-style-type: none">● 廃棄物の保管・処分に必要な分析・評価技術を提供（外部資金にて実施）● ALPS処理水等の海洋放出に対する対策検討への貢献（交付金にて実施）	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。							

研究テーマの選定

- 原子力科学技術に係る基礎基盤研究として、放射性廃棄物処分技術の社会実装をめざした分離・分析試薬開発と放射性核種の化学モデル構築、革新的原子力システム構築に向けたスマート分析技術として自動分析技術開発、環境影響評価技術の高度化に向けた環境動態デジタルツインの開発と環境問題への応用、原子力や放射線分野に必要な技術基盤となるPHITSの高度化、放射線影響・放射線防護に関する研究を設定
- 原子力の安全性向上のための研究開発として、放射性廃棄物処分や緊急時における放射性核種の分析手法の開発、核燃料サイクル基盤技術開発、環境影響評価技術の適用として放射性物質の環境放出の監視と影響評価を設定
- 1F廃炉支援として、ALPS処理水及び汚染水の海洋放出に対する拡散予測の高度化と影響評価を設定

実施計画項目	第3期中計での成果（見込み）	アウトカムへの貢献 【】内：第4期中計の成果展望
原子力科学技術に係る基礎基盤研究	<ul style="list-style-type: none"> ● 新しい分光技術の開発による界面での化学挙動の知見獲得、量子科学計算に基づく抽出剤性能の予測、放射性廃棄物インベントリ評価用の核種分析法 ● 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、水中核種測定システム、同位体測定・実験技術開発、環境中核種挙動のデータ取得と解明 ● 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 	<ul style="list-style-type: none"> ● 使用済燃料処分の効率化・安全性向上への貢献【処分環境下の化学モデル】 ● スマート分析や放射性廃棄物処分に必要な核種分析への貢献【分析試薬の設計・分析自動化技術】 ● 環境中核種挙動の科学的知見の提供による原子力利用への理解醸成、様々な環境問題の対策立案への貢献【環境動態デジタルツイン】 ● 原子力・放射線施設の設計、放射線治療計画の高度化、防護指針の策定、放射線影響評価手法の高度化への貢献【PHITSの放射線影響解析統合パッケージ化】 ● 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の提供【放射線防護・放射線影響】
原子力の安全性向上のための研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 水素発生の温度依存性に関する基盤データ整備 ● 大気拡散データベースシステムWSPEEDI-DBによる地方自治体のモニタリング計画の最適化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 再処理プロセスにおける化学安全への貢献【事業者ニーズへの機動的対応】 ● 原子力事故時等の対策立案への貢献【環境放出の監視・影響評価システム】
1F廃炉支援	<ul style="list-style-type: none"> ● 1F廃棄物分析の高度化技術と汚染物表面の汚染状況の予測技術、1F燃料デブリの経年変化モデルの構築、1F滞留水中のα核種の存在状態解明 ● 海洋拡散予測システムSTEAMERの自動予測情報の提供 	<ul style="list-style-type: none"> ● がれき処分時の放射能分析への貢献【マイクロ分析技術】 ● デブリの長期保管・処分法検討への貢献【デブリ化学状態変化予測】 ● ALPS処理水等の海洋放出に対する理解醸成、風評被害対策立案への貢献【STEAMERの高度化と運用】

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)

最先端技術の導入による高度化
反応モデル構築と評価基盤データの提供
開発した技術のスピノフ

原子力の安全性向上のための研究開発

- 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

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

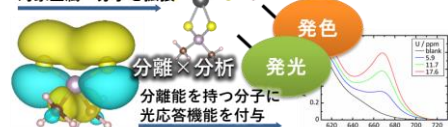
高性能分析試薬の設計・開発

性能評価データの自動集積

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

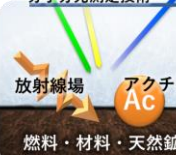


新試薬の反応予測

実験化学による知見

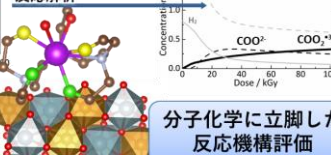
分子分光

化学状態情報を得る
分子分光測定技術



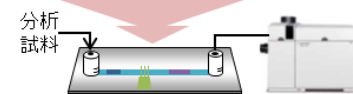
反応解析

化学構造を反映した
反応解析



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



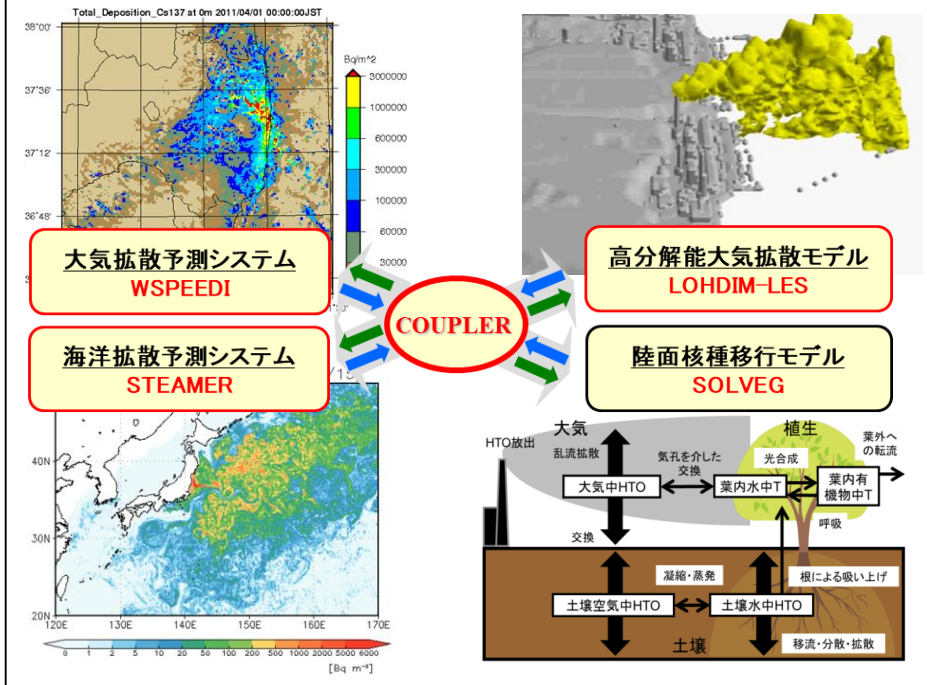
分析のシームレス化

反応解析による高度化

新規分析手法の適用

- 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

マルチスケール大気・海洋・陸域モデル結合



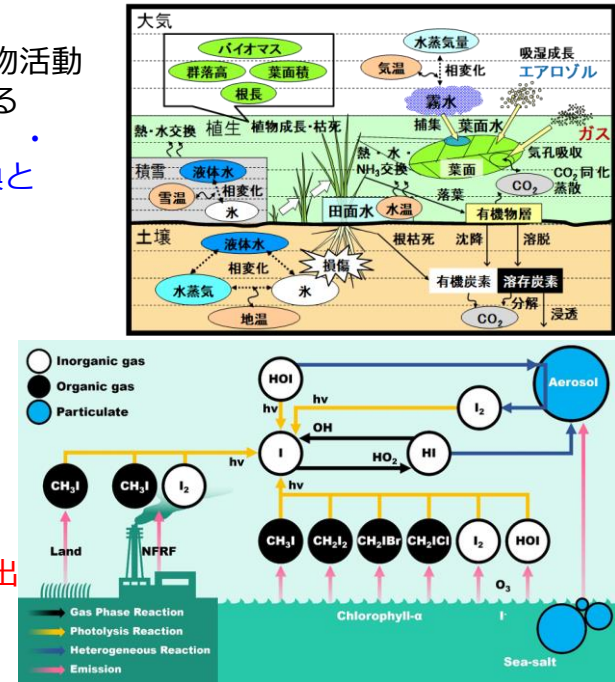
化学・生物過程の考慮（例）

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

+

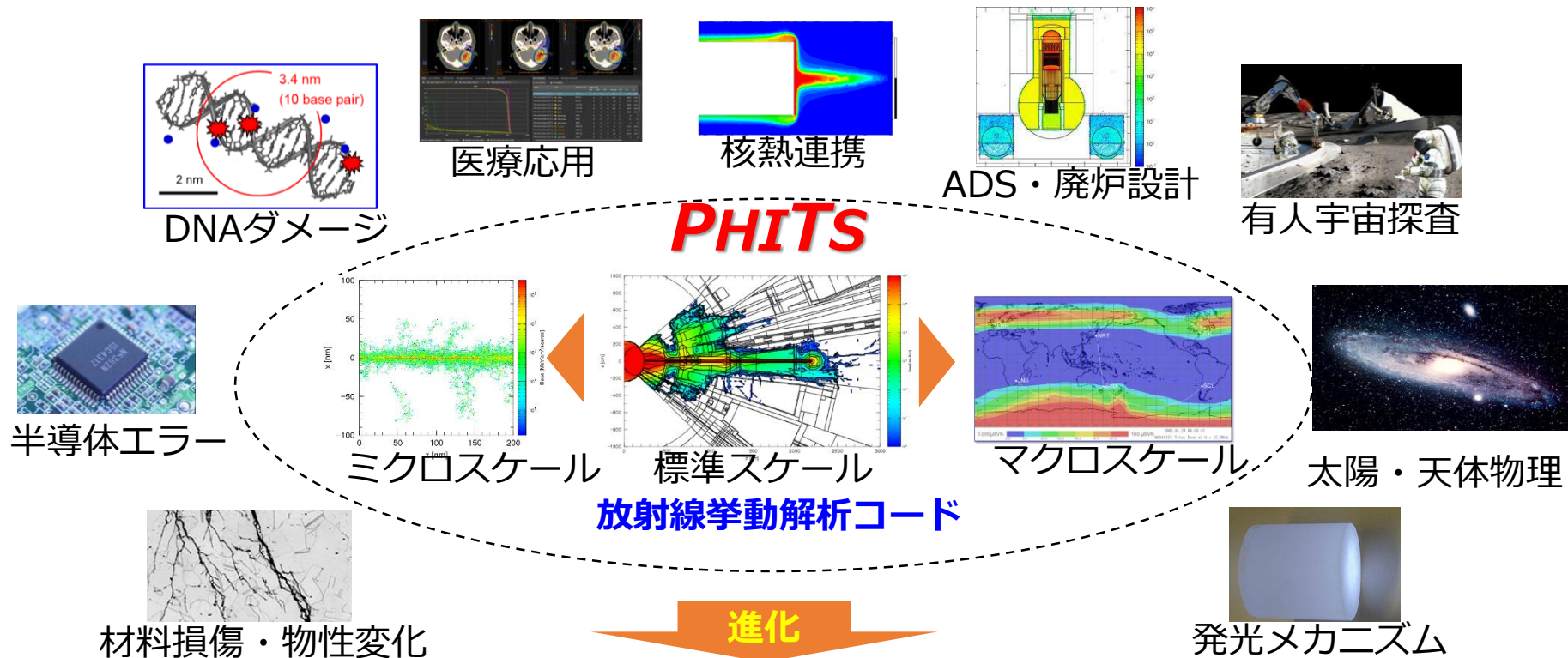
大気中・海洋中
ヨウ素化学変化

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）

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