

新クロスオーバー研究について

平成 15 年 8 月 5 日
原 子 力 委 員 会
原子力試験研究検討会

1. 新クロスオーバー研究の検討経緯

原子力基盤クロスオーバー研究（クロスオーバー研究）は、原子力基盤技術研究の中で特に複数の研究機関のポテンシャルを結集し、これらの積極的な研究交流の下に研究開発を推進する制度として平成元年度に発足した。しかしながら、制度発足以来十余年が経過し、クロスオーバー研究を取り巻く状況は予算を含め大きく変化している。平成 16 年度の概算要求に向け、これらの状況を整理するとともに、新たなクロスオーバー研究（新クロスオーバー研究）の展開方策について決定すべき時期を迎えている。

原子力試験研究検討会（以下「検討会」という。）においては、「原子力試験研究費の配分の基本方針に関すること」を検討する責務を負う立場から、平成 14 年 3 月 22 日に開催した第 4 回検討会を皮切りに、現行の第 3 期研究後における新クロスオーバー研究の展開方策について、鋭意検討を重ねてきた。

平成 15 年 3 月 6 日に開催した第 6 回検討会において、クロスオーバー研究は、今後とも原子力委員会のトップダウンによる重点的研究を行う研究制度として継続する必要があることを確認する一方、クロスオーバー研究を取り巻く状況がさまざまに変化していることから、この機に、単なる制度の継続ではなく、より高いクロスオーバー性（研究機関間の連携による成果の相乗効果）が発揮できるよう制度そのものの抜本的な見直しの必要があるとの結論に至った。

2. 新クロスオーバー研究の概要

上記の経緯を踏まえ、検討会においては、クロスオーバー研究を取り巻く状況を整理するとともに、原子力委員長をはじめ、さまざまな分野の有識者から意見を伺いつつ、さまざまな角度から検討を重ねてきた。

去る平成 15 年 7 月 24 日、第 7 回検討会において、新クロスオーバー研究に関する検討結果について審議が行い、その基本方針を決定したので、ここに報告するものである。

新クロスオーバー研究の主なポイントは以下のとおりである。

- (1) 研究テーマの設定のみならず、研究テーマ全体を統括するプロジェクトリーダーをあわせて原子力試験研究検討会のトップダウンにより指名し、プロジェクトリーダーが研究実施にあたる機関の構成を含め、研究の全体計画を構想するものとする。
- (2) 法人予算の厳しい財政状況を鑑み、予算を原子力試験研究費に一元化するとともに、原子力試験研究検討会により選定された幹事機関に資金を一元的に投入することにより、予算の一体的・弾力的運用を図る。
- (3) 新たにクロスオーバー研究評価WGを設置し、従来の研究テーマを構成する分担課題毎の評価ではなく、クロスオーバー性に重点をおいた研究テーマ全体に対する評価体制を確立するとともに、構成機関の見直しを含め、評価結果の研究計画全体への一体的反映を行う。
- (4) 推進すべき研究テーマとして、原子力技術の原点に立ち戻り、エネルギー利用と放射線利用という2大支柱について、それぞれ線量の高いところ及び線量の低いところに焦点を当てた挑戦的課題を設定した。

< 添付資料 >

- (参考 1) 原子力基盤クロスオーバー研究の展開について
- (参考 2) 平成 1 5 年 7 月 2 4 日付、原子力試験研究検討会決定
- (参考 3) 原子力試験研究検討会研究評価ワーキンググループの設置について
- (参考 4) 新クロスオーバー研究 研究構想

原子力基盤クロスオーバー研究の展開について

平 成 1 5 年 7 月

原 子 力 委 員 会
研 究 開 発 専 門 部 会
原子力試験研究検討会

目 次

は じ め に	5
第 1 章 原子力基盤クロスオーバー研究のあゆみ	6
第 2 章 原子力基盤クロスオーバー研究の実施状況について	8
1．各技術領域における研究テーマの概要	8
(1) 放射線生物影響分野	8
(2) ビーム利用分野	9
(3) 原子力用材料技術分野	10
(4) ソフト系科学技術分野	10
(5) 計算科学技術分野	11
2．研究推進システムの現状	12
(1) 研究推進体制	12
(2) 予算的枠組み	12
(3) 国際的展開	13
(4) 研究評価の実施	13
第 3 章 原子力基盤クロスオーバー研究の新たな展開について	14
1．原子力基盤クロスオーバー研究の基本的考え方	14
2．クロスオーバー研究の推進方策	15
(1) プロジェクトリーダー - の指名と幹事機関の選定	15
(2) クロスオーバー研究評価WGの設置	15
(3) 予算の一元化による一体的・弾力的運用	16
(4) 研究交流の促進によるクロスオーバー研究の高度化・活性化	17
3．推進すべき研究テーマ	18
(1) 高線量域における原子力用材料等の挙動予測・制御に関する研究	19
(2) 低線量域における放射線の生物影響に関する研究	20
 (参考資料 1) 原子力試験研究検討会における検討経緯、構成員等	21
(参考資料 2) 原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画	22
(平成 1 2 年 1 1 月 2 4 日原子力委員会) 抜粋	

は　じ　め　に

昭和６２年６月に策定された「原子力開発利用長期計画」（以下「第７次長期計画」という。）において、創造的科学技术の育成が基本目標の一つに掲げられ、その中で基礎研究の充実、先導的プロジェクト等の効率的推進とともに、原子力技術の先進国として、既存の原子力技術にブレークスルーを引き起こし、基礎研究とプロジェクト開発を結びつける基盤技術開発の重点的推進を図ることとされた。これを受け、昭和６２年９月に原子力委員会基盤技術推進専門部会（以下「基盤部会」という。）が設置され、基盤部会の下で我が国における原子力基盤技術の研究が推進されてきた。

原子力基盤クロスオーバー研究（以下「クロスオーバー研究」という。）は、第７次長期計画に定められた原子力基盤技術における重点分野の研究について、複数の研究機関のポテンシャルを結集し、研究機関間の積極的な研究交流のもと、研究開発を推進するための制度として平成元年度に発足した。

クロスオーバー研究は、３期（１期５年間）にわたって実施しており、現在、第３期研究の最終年度を迎えている。これまでの研究活動を通じて、概ね優れた研究成果を挙げてきており、所期の目標を達成しつつある。また、平成１２年１１月に策定された「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（以下「現行長期計画」という。）においても、基盤研究は原子力分野のプロジェクト研究及び科学技术分野の発展に寄与すること、また、研究開発の進め方については、個々の研究組織や研究活動の独自性はいかしつつも、これらの間の有機的連携が図られるように、研究活動の相互乗り入れ、ネットワーク化を進めることが重要であることが明記されており、今後も引続きクロスオーバー研究の推進を図っていくことが必要である。

しかしながら、近年、原子力技術、ひいては、科学技术を取り巻く状況は、大きく変化してきており、これらの状況を整理するとともに、新たな研究テーマの設定、推進体制の高度化を図りつつ、研究資源のより一層の重点化を図っていくことが必要である。

本資料は、これらを踏まえ、原子力基盤クロスオーバー研究の新たな推進方策について取りまとめたものである。

第1章 原子力基盤クロスオーバー研究のあゆみ

我が国における原子力開発利用は、従来のキャッチアップ型技術開発から脱却し、原子力開発利用における技術先進国の一員として、従来の技術体系に飛躍を与える創造的・革新的技術開発に積極的に取り組む必要があった。また、次世代に向けた原子力の在り方を模索し、提言としていくことが今日の日本の原子力界に問われている課題であった。

このような認識の下、第7次長期計画において創造的科学技术の育成が基本目標の一つに掲げられ、その中で基礎研究の充実、先導的プロジェクト等の効率的推進とともに、原子力技術の先進国として、既存の原子力技術にブレークスルーを引き起こし、基礎研究とプロジェクト開発を結びつける基盤技術開発の重点的推進を図ることが提言された。

この提言に基づき設置された基盤部会は、昭和63年7月に「原子力基盤技術の推進について」を取りまとめ、第7次長期計画に示された原子力用材料技術、原子力用人工知能技術、原子力用レーザー技術及び放射線リスク評価・低減化技術の4技術領域において、推進すべき技術開発の効率的な推進方策を具体的に示した。

この基盤部会報告に沿って、原子力基盤技術の中で、各研究機関のポテンシャルの結集が必要であり、個々の研究機関単独では速やかに成果を得ることが困難な多岐に亙る技術開発要素からなる研究をクロスオーバー研究として、平成元年度から国立試験研究機関及び特殊法人（日本原子力研究所、理化学研究所及び旧動力炉・核燃料開発事業団）等の研究ポテンシャルを有機的に連携して開始した。いわば、クロスオーバー研究は、国立試験研究機関、特殊法人等が連携・協力することによる相乗効果により研究開発を効率的に推進し、原子力分野で開発された基盤技術の研究成果を産業や社会を含めた他分野に波及することを目的とした研究制度であり、自らの技術分野に埋没しがちであった原子力技術にブレークスルーを引き起こし、ひいては我が国の科学技术全体を先導していくような原子力技術を研究開発するシステムであった。

その後、クロスオーバー研究は、平成5年4月の基盤部会報告「原子力基盤技術開発の新たな展開において」を踏まえ、知的活動支援、放射線ビーム利用先端計測・分析及び原子力用計算科学を新たに技術領域に追加し、拡張・発展

させた第2期クロスオーバー研究を平成6年度から開始した。さらには、平成6年6月に策定された「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（以下「第8次長期計画」という。）及び平成10年3月の基盤部会報告「原子力基盤クロスオーバー研究の展開について」を踏まえ、第2期研究の7技術領域（原子力用材料、原子力用人工知能、知的活動支援、原子力用レーザー、放射線リスク評価・低減化、放射線ビーム利用先端計測・分析及び原子力用計算科学）を5技術領域（放射線生物影響分野、ビーム利用分野、原子力用材料技術分野、ソフト系科学技術分野及び計算科学技術分野）に組み替え、平成11年度から第3期クロスオーバー研究が開始されており、現在、第3期研究の最終年度を迎えている。

第2章 クロスオーバー研究の実施状況について

クロスオーバー研究は、平成元年度に開始され、14年余が経過した。その間、クロスオーバー研究は、第1期研究（平成元年度～平成5年度）、第2期研究（平成6年度～平成10年度）を経て、現在、第3期研究（平成11年度～平成15年度）の最終年度を迎えている。第3期研究においては、国立試験研究機関、独立行政法人及び特殊法人等において、（1）放射線生物影響分野、（2）ビーム利用分野、（3）原子力用材料技術分野、（4）ソフト系科学技術分野、（5）計算科学技術分野の5技術領域において研究開発が進められており、平成15年度現在、のべ32研究機関により8つの研究テーマの研究開発が行われている。また、平成15年度の予算総額は、約3.6億円となっている。

5技術領域において実施中の研究テーマの概要及び研究推進体制の現状は、以下のとおりである。

1. 各技術領域における研究テーマの概要

（1）放射線生物影響分野

放射線障害修復機構の解析による生体機能解明研究

本研究テーマは、第1期の「放射線による染色体異常の高速自動解析システムに関する研究」、第2期の「新たなDNA解析手法を応用した放射線突然変異の検出・解析技術の開発」に引き続いて推進されているもので、放射線による損傷部位のナノレベルでの検出から、その修復及び突然変異を誘発する一連の過程を生体分子工学技術で解析し、また、シミュレーション計算に基づき放射線と生体高分子の基礎作用過程の理論的裏付けを行い、最新のナノレベル画像システムの開発研究を行う。そして、修復機構の解明による回復促進解析系への利用を図るものである。平成15年度現在、7研究機関が参加している。

放射性核種の土壌生態圏における動的解析モデルの開発

本研究テーマは、第1期の「放射性核種の環境中移行の局地規模総合モデルに関する研究」、第2期の「陸域環境における放射性核種の移

行に関する動的解析モデルの開発」に引き続いて推進されているもので、放射性核種等が土壌生態圏に負荷された直後から中期にわたる非平衡状態の移行挙動を解明し、土壌生態圏に放出された放射性核種濃度の時間的、空間的变化を予測できる動的解析モデルの開発を目指すものである。平成 15 年度現在、5 研究機関が参加している。

(2) ビーム利用分野

高品位陽電子ビームの高度化及び応用研究

本研究は、第 2 期の「陽電子ビームの発生・制御技術の高度化に関する研究」に引き続いて推進されているもので、高品位陽電子ビームを用いた新しい陽電子分光技術の確立を目指し、パルス陽電子寿命測定、反射高速陽電子線回折、電子スピン構造解析、陽電子寿命・運動量相関測定、陽電子消滅誘起オージェ電子分光、陽電子ビーム掃引 2 次元表面解析等のシステム構築とビーム応用技術の開発を行い、高品質ビーム応用の具体的方策を明らかにするものである。平成 15 年度現在、4 研究機関が参加している。

マルチトレーサーの製造技術の高度化及び利用研究

本研究テーマは、第 3 期から開始されたもので、周期表上の有用元素の多くが同時に供給できるマルチトレーサー法は、生物学、医学、環境科学、化学、材料科学の研究に画期的なブレイクスルーを与えた。マルチトレーサー利用に係るニーズに応え、さらにマルチトレーサー製造技術を高度化し、「次世代マルチトレーサー技術」を開発する。特に、マルチトレーサーの自動分離装置及びマルチトレーサーの動きを画像化する MT - G E I (複数核種同時ガンマ線イメージング装置: Multitracer-ray Emission Imaging) 装置の創出を目指すものである。平成 15 年度現在、3 研究機関が参加している。

アト秒パルスレーザー技術の開発及び利用研究

本研究では、高次高調波の発展型であるアト秒パルスの発生技術を確立するとともに、固体材料の構造変化の解析を通して開発した超短パル

スレーザー光の利用研究を展開するものである。本研究テーマは、第3期から開始されたもので、フェムト秒からアト秒の極短時間に起こる原子・分子の内殻電子励起、自動電離、分子解離等の超高速現象の解明が実現できるとともに、電子の高励起状態や高速緩和に関わる固体材料・構造物の特性変化、機能低下を解析することが可能となる。また、その能動的な制御は新材料・素材の創製につながるものと期待される。平成15年度現在、2研究機関が参加している。

(3) 原子力用材料技術分野

原子力用複合環境用材料の評価に関する研究

本研究テーマは、第1期の「原子力極限環境材料の開発に関する研究」、第2期の「複合環境用マルチコンポジットマテリアルの開発」に引き続いて推進されているものであり、開発材及びその場解析等の開発手法について、放射化試験を含む実環境模擬条件における適応性を評価し、実用技術としての最適化を図り、実用化に必要な特性データを整備するものである。平成15年度現在、4研究機関が参加している。

(4) ソフト系科学技術分野

人間共存型プラントのための知能化技術の開発

本研究テーマは、第1期の「原子力用人工知能を具備した原子力施設のシステム評価研究」、第2期の「自律型プラントのための分散協調知能化システムの開発」及び「原子力施設における知的活動支援の方策に関する研究」に引き続いて推進されているものであり、人間と共存する次世代プラントの具現化のための方法論と基盤技術を開発することを目指し、プラントメンテナンスの高度化・効率化を行うための、実プラントをデジタル化したVR空間（情報場）を提案するとともに、その核としての環境サーバーを開発、利用し、情報場の空間、時間、人間協調という3つの軸へのさらなる展開、統合による次世代プラントメンテナンス技術の開発を行うものである。平成15年度現在、3研究機関が参加している。

(5) 計算科学技術分野

計算科学的手法による原子力施設における物質挙動に関する研究

本研究テーマは、第 2 期の「原子力用構造物の巨視的 / 微視的損傷の計算科学的解析法の開発とその応用」及び「計算科学的手法による原子力分野の複雑現象の解明」に引き続いて推進されているものであり、原子炉の高経年化に関する原子力機器の健全性の問題に対して、並列計算機を用いた大規模数値シミュレーション等の計算科学的手法を積極的に活用し、ミクロからマクロのマルチスケールの観点から、材料、熱・流動・構造及びマルチスケール計算技術の研究を行うものである。平成 15 年度現在、4 研究機関が参加している。

2. 研究推進システムの現状

(1) 研究推進体制

第3期におけるクロスオーバー研究は、原子力委員会のトップダウンにより定められた各技術領域の研究テーマに対して、関係研究機関が個別に課題を応募し、事前評価を経て課題が採択され、課題採択後に研究テーマ毎に設けられた研究交流委員会において研究機関の連携・協力を図りつつ研究交流を推進している。研究交流委員会の主査には、外部有識者が就任し、第3者の視点で研究を統括するとともに、構成メンバーには研究実施者の他、大学、民間企業の有識者も参加し、産学官の連携体制を確立している。

本方式は、参加研究機関の自主性を生かしつつ、研究を推進する上で、極めて有効な方式であるといえる反面、研究テーマ全体としての目標設定、研究分担体制等について十分な事前検討を行うことが難しく、そのため、研究を統括する各研究交流委員会の主査のリーダーシップが発揮されにくいという一面があった点は否めないところである。

(2) 予算的枠組み

第3期におけるクロスオーバー研究に係る予算については、文部科学省の内局予算である(項)原子力試験研究費(各府省所管の国立試験研究機関及び独立行政法人の一括計上予算)並びに主要機関である日本原子力研究所、理化学研究所及び独立行政法人放射線医学総合研究所の各法人予算の自主財源という2本立ての予算により運用されている。さらに、個々の研究機関の判断で、大学又は民間企業との間で共同研究・受委託研究を実施している。また、大学や民間企業の研究者を客員研究員として研究機関に招へいするなど、予算面においても、大学及び民間企業の研究ポテンシャルを有効に活用し、産学官の連携による研究を展開している。

本方式は、限られた資金の中で、既存の予算的枠組み生かしつつ、国立試験研究機関、独立行政法人及び特殊法人等のみならず、大学及び民間企業といった優れた研究ポテンシャルを活用する上で、有効に機能してきた。しかしながら、ここ数年、厳しい予算状況が続いており、研究活動のより一層の効率化、重点化が必要となっているにもかかわらず、研究予算につ

いては、研究機関毎に配分されていること、特に各法人予算については、法人の経営判断等に左右されるところが大きいことなどから、制度全体における柔軟かつ弾力的な資源配分が困難となっている。

(3) 国際的展開

第 2 期に引続き、第 3 期においても参加研究者の海外研究機関等への派遣及び海外の研究者の招へいを行うとともに、各交流委員会において、適宜、国際シンポジウムやワークショップを開催し、意見の交換、成果の普及に努めてきた。これらの活動はクロスオーバー研究における研究者間の研究交流に有効であったが、今後は研究機関間の連携を図る必要がある。

(4) 研究評価の実施

第 3 期クロスオーバー研究については、「原子力試験研究における評価の進め方について」（平成 13 年 5 月原子力試験研究検討会）に基づき研究評価を実施してきた。具体的には、各研究テーマを構成する個別課題について、分野別に設置された研究評価WGにおいて、書面及びヒアリングによるピアレビューを実施している。評価結果については、原子力委員会のホームページに公開するとともに、予算配分等に反映している。ただし、自主財源で参加している法人の予算については、研究評価結果に加えて、各法人における経営方針の変更等に伴い、各研究課題に対する予算額の変動を行わざるを得ない状況も存在している。

第3章 クロスオーバー研究の新たな展開について

1. 新たなクロスオーバー研究の基本的考え方

平成元年にスタートしたクロスオーバー研究も、第3期研究の最終年度を迎えている。第1期から第3期までのクロスオーバー研究は、第7次長期計画及び第8次長期計画の改定等にあわせて技術領域及び研究テーマの変遷を図りつつ、国立試験研究機関、独立行政法人及び特殊法人等が協力することによる相乗効果によって原子力基盤技術に関する研究開発を効率的に推進することと、原子力分野で開発された基盤技術の研究成果を産業や社会を含めた他分野に波及することを目的に推進されてきた。平成13年度に実施された外部専門家による第3期研究の中間評価においては、各研究課題に対する評価が実施され、概ね優れた研究成果を挙げているところである。しかしながら、前章でも述べたとおり、クロスオーバー研究を取り巻く状況は大きく変化し、特に法人については、厳しい予算状況により、自主財源による今後の研究への参加が困難との経営判断が示されているところである。

このような背景のもと、平成16年度から開始する新たな原子力基盤クロスオーバー研究（以下「新クロスオーバー研究」という。）については、これまでの第1期から第2期、及び、第2期から第3期における技術領域及び研究テーマの見直し（継続・中止・追加）に留まらない制度全般の抜本的な見直しを行い、より高いクロスオーバー性（連携による相乗効果、効率化）を有する制度へと進化を図る必要がある。次節においてそのための具体的な推進方策を述べる。

2. 新クロスオーバー研究の推進方策

(1) プロジェクトリーダー - の指名と幹事機関の選定

第3期研究までの制度においては、トップダウンで示された研究テーマに対して、参画を希望する機関が個別に研究課題を応募し、採択された後にグループを組む方式であった。したがって、機関間の連携体制が事前に十分に検討されておらず、クロスオーバー性が発揮されにくい傾向があった。さらに、研究テーマ全体を束ねる研究交流委員会の主査についても、課題が採択された後に、研究機関間の調整役として就任するため、リーダーシップが発揮されにくいという側面もあった。このため、新クロスオーバー研究においては、研究テーマとあわせてプロジェクトリーダーを指名し、指名を受けたプロジェクトリーダーが研究の構成機関等も含め、研究の全体計画を策定することにより、高いクロスオーバー性が期待できる研究を実施することを目指すものである。

また、研究テーマの遂行にあたり、研究を実施する構成機関の中に幹事機関を置き、研究計画の策定、国際会議の開催、研究成果のとりまとめ、契約事務等に関し、プロジェクトリーダーとの緊密な連携の下、その他の構成機関との業務の調整を行うものとする。これにより予算の一元的投入及び弾力的な予算配分が可能となる。幹事機関については、推進する研究テーマにおいて技術的知見を有することはもちろん、契約事務等において実績があるとともに、支援部門の事務体制が整っており、かつ、高い事務処理能力を有する機関を総合的に勘案して選定するものとする。

(2) クロスオーバー研究評価WGの設置

第3期研究における研究評価については、原子力試験研究検討会の下、分野毎に設置された評価WGにおいて、課題の採択・継続の是非（ABC評価）を主眼とした分担課題への事前及び中間評価が行われており、研究テーマ全体（1つのテーマは、2～7つの分担課題で構成）としての評価が実施されていないという経緯があった。

また、評価結果の予算配分への反映について、原子力試験研究費で実施される課題については、一定の基準に基づき評価結果が予算等に反映されているのに対し、法人予算で実施される課題については、評価結果の他、

各法人の経営方針等の変更により予算の増減が行われており、評価結果に基づく予算配分が十分に行われていないという側面があった。

これらの点を踏まえ、新クロスオーバー研究における研究評価については、研究テーマとしての一体性のある評価の実施、評価結果の予算配分への適切な反映等の観点から、原子力試験研究検討会の下に、一元的に評価を行うためのクロスオーバー研究評価WGを新たに設置することとする。

本WGにおいては、研究テーマ内容に関するピアレビューの実施のみならず、研究計画を推進するための責任体制、研究分担体制、予算配分等について評価を行うとともに、研究計画全体への助言・指導を行い、研究計画全般の高度化を図るとともに、成果の発信をはじめ、他の研究分野、一般社会への成果の波及に向けた方策についても議論を行うものとする。

なお、本WG委員の選定にあたっては、研究テーマに関連する分野の有識者のみならず、周辺分野の有識者、民間企業の研究者等の参画についても考慮する必要がある。

(3) 予算の一元化による一体的・弾力的運用

第3期までの研究においては、(項)原子力試験研究費の他、日本原子力研究所、理化学研究所及び独立行政法人放射線医学総合研究所等の原子力研究を主たる業務に含む機関の自主財源(法人予算)による予算が持ち寄り研究が実施されてきた。

これらの状況を踏まえ、新クロスオーバー研究においては、原子力試験研究費に予算を一元化し、予算を幹事機関に一元的に投入することにより、共通経費の確保、資源配分等について弾力的運用が可能となるように措置する。また、プロジェクトリーダーが策定する研究計画に基づき、予算等の資源配分方針を決定することとし、評価結果については、研究計画策定に適切に反映することとする。これにより、第3期研究までの制度に比して全体の予算規模こそ縮小するものの、遥かに高い一体性を有する制度となることが期待される。

(4) 研究交流の促進による新クロスオーバー研究の高度化・活性化

新クロスオーバー研究の特色は、国の内外を問わず、研究に参加した研究者間の交流、シンポジウムの開催等の交流による研究の高度化・活性化が挙げられる。そこで、国内においては、研究テーマに参画する研究機関を国立試験研究機関、独立行政法人、特殊法人等のみならず、構成機関に大学及び民間研究機関等が参加し易い支援方策について考える必要がある。また、国際的展開においては、従来にも増して研究者の派遣・招聘を実施し、国際シンポジウム、国際ワークショップ等を開催するなど海外の第一線の研究者との研究交流を図ることはもとより、海外機関との共同研究、調査委託等を通じ、常に海外における最新の研究動向を把握しつつ、研究交流の積極的な国際展開を図る必要がある。

3．推進すべき研究テーマ

平成元年度に発足したクロスオーバー研究も、現在第3期研究の最終年度を迎えており所期の目標を達成しつつある。

クロスオーバー研究は、これまでの十余年にわたる研究開発活動を通じて、原子力分野で開発された基盤技術の研究成果を産業や社会を含めた他分野に波及することを目的に、第7次長期計画及び第8次長期計画等に定められた原子力基盤技術における重点分野の研究について、複数の研究機関のポテンシャルを結集し、研究機関間の積極的な研究交流による相乗効果によって研究開発を効率的に推進してきた。その間、数多くのユニークなテーマ（第1期～第3期合計で23テーマ）が実施され、概ね優れた成果を挙げてきた。

一方、現行長期計画においては、重点的に実施すべき具体的な分野の記述はされていないが、原子力の基盤研究は原子力のプロジェクト研究及び他の科学技術分野の発展に寄与する旨が述べられており、引続きその重要性は変わっていない。

これらの状況を踏まえ、平成16年度から実施する新クロスオーバー研究においては、これまでのクロスオーバー研究で主眼とされてきた社会を含めた他分野への成果の波及に力点を置きつつも、原子力技術の本来意義、特殊性を見つめ直した研究テーマの設定が必要不可欠である。まず、原子力技術の本来意義を考えた場合には、原子力発電に代表されるエネルギー供給手段としての技術（エネルギー利用技術）と、医療、工業、農業等の分野で身近な国民生活や産業活動に広く利用されている放射線の利用技術（放射線利用技術）に大別される。原点に戻って原子力の潜在的可能性について考えてみた場合、原子力技術そのものが広大な未踏領域への不断の挑戦を必要とする高度技術であり、さまざまな新事象、複雑事象に対する予測と評価が要請される技術分野であることが挙げられる。特に、放射線の線量に着目してみた場合、線量の非常に低いところと、逆に線量の非常に高いところではそれが顕著である。すなわち、線量の低いところでは、放射線の影響そのものの判読が困難であり、一方、高いところでは、実機ベースでのデータそのものが少なく、また容易には手に入らないという状況が存在する。

さらに、現行長期計画の「第1部、第3章、4．原子力科学技術」の部分においても以下のとおり記載がある。

「我が国のこれまでの原子力分野での研究開発は、欧米先進国の成功と失敗例に学びながら効率的な二番手として一定の成果をあげてきた。このため、新しいアイデアを創造する意欲に欠け、基礎的な部分の研究が立ち遅れたとの指摘や、市場のニーズの変化に対して計画の進め方が硬直的になりがちであるといった指摘がなされている。我が国が原子力分野のフロンランナーとなり、また、将来に対する不確実性が増している今日の状況下では、独創性に富む研究を重視し、また、最新の知見や変化する社会の要請を的確に計画に反映させつつ着実に取り組む柔軟性が重要となってきた。」

したがって、上記に鑑み、新しいクロスオーバー研究においては、原子力技術の原点に立ち戻り、エネルギー利用及び放射線利用という2大支柱について、それぞれに線量の高いところ及び低いところに焦点を当てた挑戦的課題を設定した。これらの課題は新規データの獲得や多面的な解釈が付随する複雑な事象であり、新たな情報獲得にダイナミックに連動した予測手法と、予測結果に迅速かつ先見的に対処するための手法についての研究開発を必要とする。これらの手法は、原子力分野のみならず他分野へも大きな波及効果を与えるものであり、原子力分野での研究がコアになった、例えば予測の科学や先見的工学とでもいうべき新しい手法・学問分野確立への第1歩を踏み出すべく、下記の2テーマを設定する。

(1) 高線量域における原子力用材料等の挙動予測・制御に関する研究

複雑極限環境下で利用される原子力用材料技術については、原子力技術の発展の中核を担う基幹的要素技術であり、他の分野への大きな波及効果が期待される。

本テーマでは、研究や産業の現場における新たな知見の獲得と既知のデータ、モデルをダイナミックに統合して、個々の材料特性の予測・評価・診断・制御技術を考察し、新たに獲得した知見の評価と体系化、既往の知見との融合による安全で効率的な材料活用のための方案作成までを視野に入れた材料挙動予測・制御のための工学的手法を開発する。

(2) 低線量域における放射線の生物影響に関する研究

放射線は、現代社会において、医療・農業・工業といった分野で広く国民生活の質の向上に貢献しているが、一方で放射線は人間の五感で感知できない上、取り扱いを誤れば健康に影響を及ぼすといった「恐ろしさ」が形成されていることも事実である。特に低線量域における放射線の生物影響はまだ完全には解明されておらず、国民の放射線に対する安全・安心の理解増進のためにも重要な研究である。

本テーマにおいては、最新の計測・解析・予測の技術を取り入れた生体分子を指標とする定量的影響評価法の開発を進め、現在の放射線の物理的な吸収線量をベースとした線量単位とは異なったアプローチによる、新しい生物影響に関する評価体系の構築を行う。

(参考資料 1)

原子力試験研究検討会における検討経緯、構成員等

1 . 原子力試験研究検討会会議開催経過

第 4 回 平成 1 4 年 3 月 2 2 日 (金)

第 6 回 平成 1 5 年 3 月 6 日 (木)

第 7 回 平成 1 5 年 7 月 2 4 日 (木)

2 . 原子力委員会 研究開発専門部会 原子力試験研究検討会名簿 (平成 1 5 年 6 月現在)

岩 田	修 一	東京大学大学院工学系研究科教授
阿 部	勝 憲	東北大学大学院工学研究科教授
石 井	保	三菱マテリアル株式会社原子力顧問
井 上	弘 一	埼玉大学理学部教授
小 柳	義 夫	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
北 村	正 晴	東北大学未来科学共同研究センター副センター長
小 泉	英 明	株式会社日立製作所基礎研究所主管研究長
澤 田	義 博	名古屋大学大学院工学研究科教授
嶋	昭 紘	東京大学名誉教授
関 本	博	東京工業大学原子炉工学研究所教授
三 宅	千 枝	元大阪大学工学部教授
村 田	紀	財団法人放射線影響協会放射線疫学調査センター長

(五十音順)

原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画 (平成12年11月原子力委員会)の抜粋

第1部 原子力の研究、開発及び利用の現状と今後の在り方

第3章 我が国の原子力研究、開発及び利用の現状と今後

4. 原子力科学技術

(前 略)

我が国のこれまでの原子力分野での研究開発は、欧米先進国の成功と失敗例に学びながら効率的な二番手として一定の成果をあげてきた。このため、新しいアイデアを創造する意欲に欠け、基礎的な部分の研究が立ち遅れたとの指摘や、市場のニーズの変化に対して計画の進め方が硬直的になりがちであるといった指摘がなされている。我が国が世界の原子力分野のフロンランナーとなり、また、将来に対する不確実性が増している今日の下では、独創性に富む研究を重視し、また、最新の知見や変化する社会の要請を的確に計画に反映させつつ着実に取り組む柔軟性が重要となってきた。

第2部 原子力の研究、開発及び利用の将来展開

第4章 原子力科学技術の多様な展開

2. 多様な先端的研究開発の推進

(前 略)

(基礎・基盤研究)

原子力科学技術の基礎研究は原子力の多様な可能性を引き出し、将来の技術革新につながるようなシーズを生み出す。また、この分野の基礎研究は原子力分野のプロジェクト研究及び他の科学技術分野の発展に寄与する。国は、これらの研究について競争的な資金の活用も考慮し、研究者の独創性を重視し、適切な評価を行いつつ推進することが必要である。

３．研究開発の進め方

３－１．研究環境の整備

社会のニーズに応えようとする応用研究が基礎科学の新分野を生み、基礎科学の知的好奇心に基づく基礎研究が逆に新技術を生む可能性に着目して、原子力分野においても、基礎研究と応用研究の連携協力を強化することが重要である。また、研究開発の学際化が進む中で、創造性豊かな研究、革新的技術の開発、円滑な技術移転等が求められている今日の状況に鑑み、個々の研究組織や研究活動の独自性をいかしつつも、これらの間での有機的連携が図られるように、研究活動の相互乗り入れ、ネットワーク化を進めることが重要である。

（後 略）

(参考 2)

原子力基盤クロスオーバー研究（新クロスオーバー研究）
における研究テーマの設定、プロジェクトリーダーの指名
及び幹事機関の選定について

平成 1 5 年 7 月 2 4 日
原子力試験研究検討会決定

標記について、以下のとおり決定する。

研究テーマ：照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング

(1) プロジェクトリーダー

木下 幹康（きのした もとやす）

財団法人 電力中央研究所狛江研究所原子力システム部上席研究員

(2) 幹事機関

日本原子力研究所

研究テーマ：低線量域放射線に特有な生体反応の多面的解析

(1) プロジェクトリーダー

小野 哲也（おの てつや）

東北大学大学院医学系研究科医科学専攻細胞生物学講座ゲノム生物学分野教授

(2) 幹事機関

独立行政法人放射線医学総合研究所

以 上

原子力試験研究検討会研究評価ワーキンググループの設置について

平成 1 5 年 7 月 2 4 日
原 子 力 委 員 会
原子力試験研究検討会

1 . 趣旨

原子力試験研究の的確かつ効率的な評価のために、原子力試験研究検討会(以下、「検討会」という。)の下に、分野毎の研究評価ワーキンググループ(以下、「WG」という。)を設置する。

2 . WGの構成

WGの構成は当面、以下のとおりとする。

- (1) 物質・材料基盤技術WG (原子力用材料、レーザー計測等)
- (2) 知的基盤技術WG (計算科学技術、ソフト系科学技術)
- (3) 防災・安全基盤技術WG (耐震・防災、バックエンド技術)
- (4) 生体・環境影響基盤技術WG (放射線生物影響研究、環境影響研究)
- (5) クロスオーバー研究推進WG
- (6) クロスオーバー研究評価WG

なお、検討会では、必要に応じWG等の追加、廃止等を行うことができる。

3 . 構成員

- (1) WGの主査は、検討会の委員のうちから検討会座長が指名する。
- (2) WGの構成員は、WG主査が有識者の中から推薦する。
- (3) WGの主査については、検討会座長がこれを兼ねることができる。

4 . WGの運営

- (1) WGの議事運営にあたっては、研究課題の新規性や知的所有権の保護に配慮することとする。
- (2) 評価対象課題が複数の分野にわたる場合など、必要に応じ、合同WGを開催することができる。

以上

新クロスオーバー研究 研究構想 (テーマ)

1. 課題名 (プロジェクトリーダー 氏名) 照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング (木下 幹康)			
2. 構成機関及び研究担当者 [注 1]		[注 2]	
機関名: 東京大学	所属:	担当者氏名:	担当:
機関名: 日本原子力研究所	所属:	担当者氏名:	担当:
機関名: 北海道大学	所属:	担当者氏名:	担当:
機関名: 九州大学	所属:	担当者氏名:	担当:
機関名: 理科大	所属:	担当者氏名:	担当:
機関名: 電力中央研究所	所属:	担当者氏名:	担当:
機関名: 電力会社	所属:	担当者氏名:	担当:
3. 研究期間 平成16年 4月 ~ 平成21年 3月 (5年計画)			
4. 研究予算および研究者数			
	研究予算	研究者	
平成 16年度	120,000 千円	20	人年
平成 17年度	(予定) 120,000 千円	(予定)	20 人年
平成 18年度	(予定) 120,000 千円	(予定)	20 人年
平成 19年度	(予定) 120,000 千円	(予定)	20 人年
平成 20年度	(予定) 120,000 千円	(予定)	20 人年
合計	(予定) 600,000 千円	(予定)	100 人年
5. 研究目的・目標 [注 3]			
<p>原子力発電所の現場で用いられている構造・燃料材においては、ときとして予想外の材料挙動 (亀裂発生、腐食、形状変化など) を示すことがあり、原子力発電の信頼性を高めるために新たなエンジニアリングが求められている。そのひとつの切り口として、照射・高線量領域での材料挙動に対して、ナノスケールで始まるクラスター化が、材料全体にひろがったマクロな挙動として発現する非線形的に進む巨視的状态への移行過程を、自己組織化的なプロセスとして捉える方法がある。</p> <p>このプロセスの制御においては、線型性を仮定した予測手法による決定論的な制御方法は有効ではなく、使用現場の状況に合わせたホリスティックなアプローチによる新たな制御手法の開発が望ましい。本研究ではその手始めとして照射に対する材料固有の自己修復機能などの材料挙動に関する知識をできるかぎり獲得するとともに、現場の状況因子を取り入れ、現場においてシミュレーションを可能とする手法を開発する。</p> <p>現実自己修復機能が発現している典型例として核分裂照射下の原子燃料セラミックス材料がある。すなわち核分裂に伴う80MeV程度の核分裂片による照射のもとで、十数時間で1Dpaに至る急激な損傷量にもかかわらず結晶構造を安定に保ち、体積増加もなく核分裂エネルギーが熱化されている。そのメカニズムは照射下での結晶再生機能にある。また数年の炉内燃焼の後には結晶マトリックス内で飽和した核分裂生成物 (Xenon等) の保持が続けられるように、自発的に結晶構造を細粒化させカリフラワー構造と呼ばれるフラクタル的構造をつくり、より高燃焼度でも安定な結晶組織に変化する。本研究ではこのセラミックス燃料挙動を作業用の研究対象とし、照射・高線量による影響を定量的かつ多面的に解析し、その特性を明らかにしたい。具体的には</p> <p>(1) 照射・高線量下での自己修復プロセスがみられる材料 (原子燃料セラミックス等) について、発電現場環境での材料のトータルライフ挙動を、即時的にシミュレーションするコードを開発する。</p> <p>(2) 発電現場での材料挙動を把握する手法について、高線量下での自己修復挙動に着目してこれを創案し、現場適用の可能性を評価する。</p> <p>(3) 計算科学的方法を用いて、ナノスケールから巨視的状态への自己組織化的な非線形的過程について、作業対象を特定しメカニズムの解明を進める。</p> <p>(4) 非線形数学的方法を用いて、材料の制御を可能にするしきい条件等の相関式表現の導出を進め、シミュレーションコードの要素に用いる非線形プロセスモデルにとりまとめる。</p> <p>(5) 実験観察として加速器や電顕観察等によりナノスケールでのデータを取得し、プロセスモデルの検証に用いる欠陥構造生成から巨視的構造の発生に至るデータを取得する。</p> <p>これらの解析と開発作業により、現場で用いられている構造・燃料材の挙動につき、自律的なものも含めその予測制御にむけた一歩を進め、ナノスケールの知見と数学的論理にもとづいて、原子力発電所の安全性・健全性を管理する立場でその説明責任が果たせるようにすることが本研究の目標である。</p>			

6. 研究計画・研究内容[注4]

- (1) シミュレーションコードの開発については、計算目的の構築と設計およびプログラミング作業を構成要素となるサブモデルの開発にあわせてすすめる。作業は東大（本郷）をその拠点として関連する研究機関の密接な連絡のもとで有機的に進める。
- (2) 材料の挙動を発電現場で把握する手法については、電力会社の協力を得て軽水炉発電の発電所現場の因子を調査し、電力中央研究所において燃料材料（セラミックス材、被覆管材）の自己組織化的なプロセスの因子との相互関係を解析し、観測方法を創案して現場でのシミュレーション融合の観点からこれを評価する。
- (3) 計算科学的方法については、照射による結晶欠陥構造の発現 - ナノ構造の発生 - ミクロ構造への発達、の各ステージについて、部分要素に分けた素過程の解明と、自己組織化の計算機による再現方法の開発と、2つのアプローチを平行して進める。前者では第一原理分子動力学法、後者ではキネティックモンテカルロ法等を主として適用する。この研究には、理科大、東大、電中研が主として関わる。
- (4) 非線形数学的方法については、プリゴジン学派の開発した非線形反応速度論方程式系の解析手法をもとに、セラミックス材料での細粒化現象を研究対象にして、非線形メソスコピック材料理論の領域の開拓を進める。Goniem-Walgraefの方法を中心に照射欠陥・転位等の反応速度論を計算科学的方法から得たデータをもとに開発を進める。九大、北大、東大、電中研が主に関わる。
- (5) 実験観察については、核分裂片照射の効果に関するセラミックス照射観察試験を実施する。細粒化再現の試みとして50～150MeVの希ガス原子(Xenon)等を二酸化ウラン模擬物質(CeO₂)に照射して、核分裂トラックによる照射損傷の詳細を高分解能電子顕微鏡で観察する。核分裂生成物の蓄積シミュレーションのため希ガス原子のイオンインプランターによる打ち込みの併用を行う。これにより、電子励起とカスケード損傷の2つのモードの格子損傷への影響を観察する。また、高照射量で照射した試料を再度照射することによって、核分裂片が通過することによる照射損傷の回復（瞬時高温化による焼鈍）を観察する。この研究には、原研、九大、電中研が主に関わる。

7. 期待される成果・波及効果（原子力研究開発・科学技術全般への波及効果等）[注5]

本研究は、発電所の現場に於いて発生する照射・高線量領域において、その発生の予想が困難であった事象に関して、現場の環境因子をもとにナノスケールのプロセスの知識を基盤において予測するあたらしい技術の礎をつくることを目標にしている。とくに創発的挙動（ここではプロセスの個々の要素の挙動からは演繹的に予想できず、要素が統計的な大数集合して始めて発生する挙動を言う）は、現場で起きる多くの現象の一部ではあるが、その予想が可能になれば、手法をさらに一般化することで、これまでのエンジニアリング課題のいくつか（燃料セラミックス材の細粒化、燃料被覆管の水素脆化、被覆管のノジュラー腐食、原子炉配管の放射化学的環境下の応力腐食割れ、）の制御への第一歩を進めることができる。これにより既往の知見との融合による安全で効率的な材料活用、材料挙動制御のためのエンジニアリング手法が開発されると期待される。

8. 関連研究の国内外の状況[注6]

原子力発電に用いる材料の制御に関しては、とくにフランスE d Fのフォンテンブロー研究所において、燃料材料および压力容器材料のシミュレーションコードの開発が十数年来続けられており、さらに欧州議会の予算等を潤沢に用いたプロジェクトが2004年から開始される。ここでは即時的（インタラクティブ）シミュレーションコードの開発がその成果として期待されている。とくにフランスの特徴として第一原理計算をジルコニウム合金および鋼材研究の中心におき、原子素過程をもとにトータルな材料性能（健全性・安全性）を評価するコードを開発している。その系統的なミクロからマクロに繋ぐ研究開発体制には学ぶべきものが多い。

またUCLAのGhoniem教授のもとでは、自己組織化過程の非線形反応速度論による解析について、プリゴジン学派との共同研究によって1985年頃から20年近くの成果が集約され近々に大部の教科書が出版され予定である。これは核融合材料の研究が中心ではあり軽水炉には適用されたことはないが、対象は類似であり数学的な手法は確立されている。また、計算科学について同じくUCLAでキネティックモンテカルロ法を同種の自己組織化問題に適用する作業が進んでおり、本研究で採用する方針は国際的に見ても妥当な方向をもっていると考えられる。

一方、我が国では、上記とは独立にセラミックス燃料の高燃焼度化の研究から、生命系に類似した複雑系の研究が1990年代初頭の実験的かつ理論的にスタートした。実験的には8年間にわたる電中研主催の国際共研HBRP(HIGH BURNUP RIM PROJECT)にてセラミックス燃料の細粒化データが詳しく蓄積され、自己組織化過程のデータは十分存在する。平行して電中研にて照射欠陥の反応速度論的な不安定性の解析的な研究を始め形態形成の理論モデル構築を進めてきた。今後の残すところの課題は、基礎過程の同定と、計算機的ならびに実験的な再現である段階にある。これらのプロセスの解明が成功裏にすすめば、本研究の成果としてのシミュレーションコード開発が可能となると期待される。

9. 予定している研究交流体制（共同研究、国際的な研究者交流、設備や成果の相互利用、研究報告会の開催等）[注7]

米国（主としてUCLA、LLNL）、欧州（主としてフランスE d F、CEA-Cadarache、など）の主要メンバーを集めた国際的な会議を多数回開催し、これらの機関独自の研究計画との連携をもって、緊密な連携をもってすすめたい。UCLAと解析的手法の開発に於いて、また仏E d FおよびCadaracheとは計算科学的な解析において協力を進めたい。

とくに、これらの共同研究参加者にマイルストーンを明確に意識してもらうために、ロードマップを策定して適時に国際的な会議開催を企画し実現させたい。

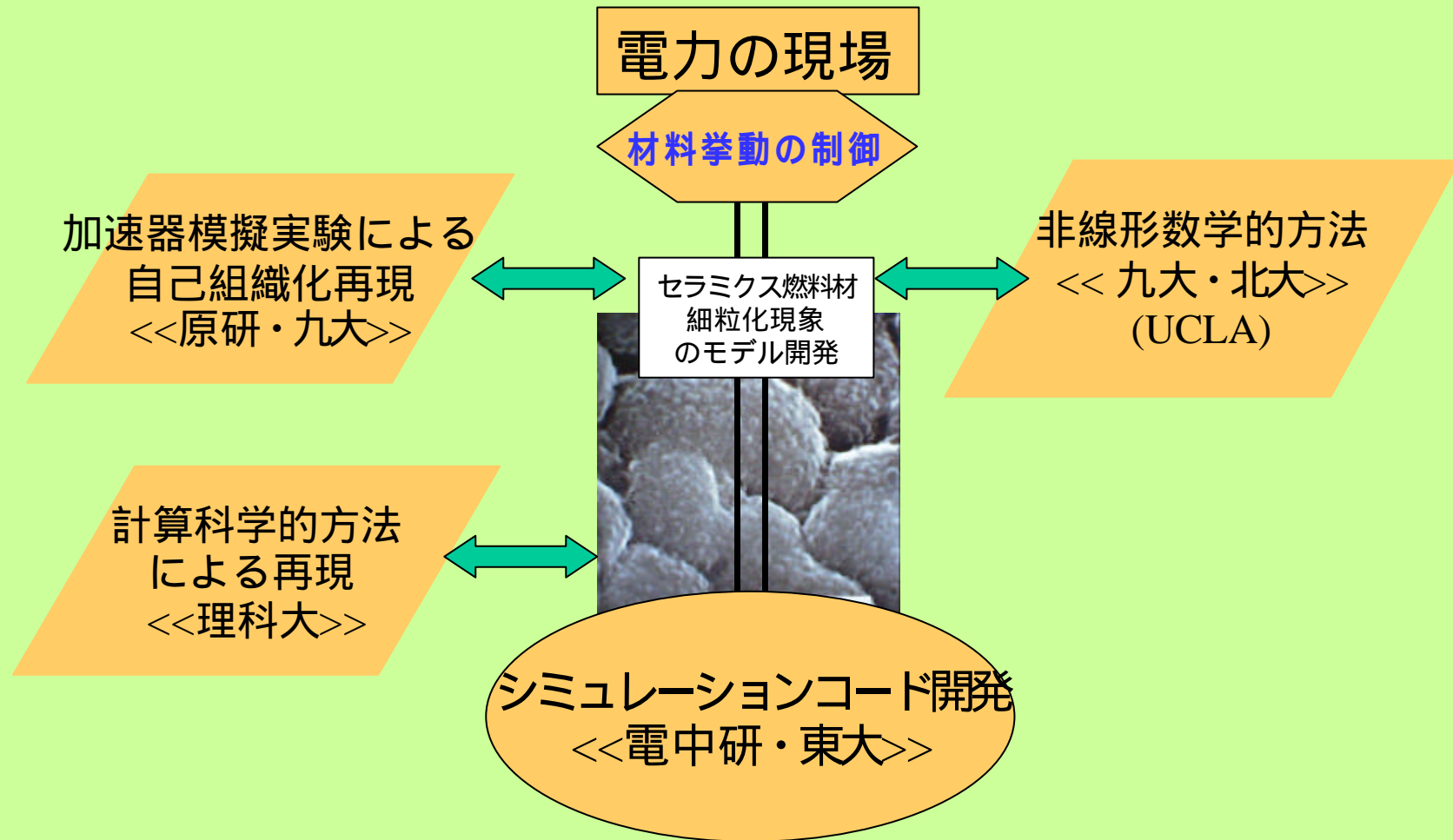
10. 予想される困難

発電炉の現場に於いて、シミュレーションコードの利用、ならびに自己修復機能等の材料挙動の観測を受け入れてもらうためには、そのコードの信頼性はもちろんのこと、特に現場実務とのきわめて良好な関係の構築が課題である。シミュレーションの有効性について、具体的に発電現場に於いて材料の管理制御への意識を変化させるくらい明確な成果を出すことができるか、大きな壁を前にしていると考ええる。しかしながら、非線形数学の適用は、エンジニアリング技術の将来に向けた大きな流れであり、実現すれば現場での、ホリスティック（総合的）な観測方法、制御方法が実現すると期待される。

シミュレーションモデルの開発においては、現象を明確に表ししかも単純化された非線形数学モデルの開発が最も困難である。本計画のサブプログラムである計算科学と模擬実験によってその妥当性が検証できるかどうか、その総合的かつ強く連携した有機的な研究運営（プロジェクトマネジメント）が大きな課題であり、成功の鍵となると考えられる。

プロジェクトリーダー 氏名： 木下 幹康

照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング



新クロスオーバー研究 研究構想（テーマ）

1．課題名（プロジェクトリーダー 氏名） <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">低線量域放射線に特有な生体反応の多面的解析（小野 哲也）</div>																															
2．構成機関及び研究担当者[注1] <div style="float: right; text-align: right;">[注2]</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">機関名：放射線医学総合研究所</td> <td style="width: 10%;">所属：</td> <td style="width: 30%;">担当者氏名：</td> <td style="width: 30%;">担当：</td> </tr> <tr> <td>機関名：国立医薬品食品衛生研究所</td> <td>所属：</td> <td>担当者氏名：</td> <td>担当：</td> </tr> <tr> <td>機関名：日本原子力研究所</td> <td>所属：</td> <td>担当者氏名：</td> <td>担当：</td> </tr> <tr> <td>機関名：理化学研究所</td> <td>所属：</td> <td>担当者氏名：</td> <td>担当：</td> </tr> <tr> <td>機関名：国立感染症研究所</td> <td>所属：</td> <td>担当者氏名：</td> <td>担当：</td> </tr> <tr> <td>機関名：近畿大学</td> <td>所属：</td> <td>担当者氏名：</td> <td>担当：</td> </tr> <tr> <td>機関名：東北大学</td> <td>所属：</td> <td>担当者氏名：</td> <td>担当：</td> </tr> </table>				機関名：放射線医学総合研究所	所属：	担当者氏名：	担当：	機関名：国立医薬品食品衛生研究所	所属：	担当者氏名：	担当：	機関名：日本原子力研究所	所属：	担当者氏名：	担当：	機関名：理化学研究所	所属：	担当者氏名：	担当：	機関名：国立感染症研究所	所属：	担当者氏名：	担当：	機関名：近畿大学	所属：	担当者氏名：	担当：	機関名：東北大学	所属：	担当者氏名：	担当：
機関名：放射線医学総合研究所	所属：	担当者氏名：	担当：																												
機関名：国立医薬品食品衛生研究所	所属：	担当者氏名：	担当：																												
機関名：日本原子力研究所	所属：	担当者氏名：	担当：																												
機関名：理化学研究所	所属：	担当者氏名：	担当：																												
機関名：国立感染症研究所	所属：	担当者氏名：	担当：																												
機関名：近畿大学	所属：	担当者氏名：	担当：																												
機関名：東北大学	所属：	担当者氏名：	担当：																												
3．研究期間 平成16年 4月 ～ 平成21年 3月（ 5年計画）																															
4．研究予算および研究者数 <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 35%;">研究予算</th> <th style="width: 35%;">研究者</th> <th style="width: 15%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平成 16年度</td> <td>120,000 千円</td> <td>20 人年</td> <td></td> </tr> <tr> <td>平成 17年度</td> <td>（予定）120,000 千円</td> <td>（予定）20 人年</td> <td></td> </tr> <tr> <td>平成 18年度</td> <td>（予定）120,000 千円</td> <td>（予定）20 人年</td> <td></td> </tr> <tr> <td>平成 19年度</td> <td>（予定）120,000 千円</td> <td>（予定）20 人年</td> <td></td> </tr> <tr> <td>平成 20年度</td> <td>（予定）120,000 千円</td> <td>（予定）20 人年</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">合計</td> <td>（予定）600,000 千円</td> <td>（予定）100 人年</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					研究予算	研究者		平成 16年度	120,000 千円	20 人年		平成 17年度	（予定）120,000 千円	（予定）20 人年		平成 18年度	（予定）120,000 千円	（予定）20 人年		平成 19年度	（予定）120,000 千円	（予定）20 人年		平成 20年度	（予定）120,000 千円	（予定）20 人年		合計	（予定）600,000 千円	（予定）100 人年	
	研究予算	研究者																													
平成 16年度	120,000 千円	20 人年																													
平成 17年度	（予定）120,000 千円	（予定）20 人年																													
平成 18年度	（予定）120,000 千円	（予定）20 人年																													
平成 19年度	（予定）120,000 千円	（予定）20 人年																													
平成 20年度	（予定）120,000 千円	（予定）20 人年																													
合計	（予定）600,000 千円	（予定）100 人年																													
5．研究目的・目標[注3] <p style="margin-top: 10px;">16Gy以上の高線量放射線の生物影響については過去の多くの研究から概要が理解され、ヒトにおいては障害の治療法の開発まで進んでいる。しかしながら16Gy以下の放射線及び低線量率長期被曝の影響については必要性は強調されながらも、研究の推進が不充分であり、高線量域での生物効果を低線量域へ外挿してよいか、あるいは低線量で実質的閾値があるのかという素朴な疑問にも答えられない状況にある。そこで本研究では生体影響の指標を染色体、DNA、mRNAの変化にしぼり、低線量放射線による影響を定量的かつ多面的に解析し、その特性を明らかにしたい。具体的には、</p> <p>(1) 低線量率で長期曝露を行ったマウス等を用い、染色体異常、DNA突然変異、mRNAマイクロアレイ解析を行い、線量効果関係を明らかにする。</p> <p>(2) 適応応答及びバystander(bystander)効果の有無とその実体を解析し、低線量及び低線量率効果に特有なメカニズムを探る。</p> <p>(3) DNA損傷・修復のコンピュータモデル化により低線量放射線影響解析のin silico化を計る。</p> <p>(4) 化学物質と低線量放射線の複合効果の解析により、ヒトの実際の環境により近い系での影響評価を行う。</p> <p>これらの解析により、低線量域放射線の生体影響について理解を深め、社会に対しても説得力のある情報を発信するのが目的である。</p>																															
6．研究計画・研究内容[注4] <p style="margin-top: 10px;">(1) 低線量長期曝露の影響については青森県環境科学技術研究所あるいは放医研、あるいは京都大学放射線生物研究センターの施設を借用し、自然放射線の数10倍、数100倍、数1000倍の線量をマウスに長期曝露させ、DNA上の突然変異頻度、染色体異常頻度、mRNAの変化をいくつかの臓器で解析する。mRNA についてはマイクロアレイ法を用いる。これらの研究により、低線量域での放射線影響が分子レベルでどのようなものか、また実質的閾値があるのかどうかについての基礎データが得られると考えている。この研究には放医研（染色体）、近畿大（突然変異）、東北大（マイクロアレイ）が主に関わる。</p> <p>(2) 適応応答については遺伝子の組換えが容易に検出できるように改変した培養細胞系を用い、放射線による組換え誘発に対し適応応答の有無を明らかにするとともにmRNA の変化を解析しそのメカニズムを探る（理研、放医研）。またバystander効果については、細胞内小器官を別々に照射できるように絞ったマイクロビーム線を開発し、それを用いて細胞内局所照射の細胞への影響並びにバystander効果の実体を明らかにする（原研・高崎）。</p> <p>(3) 放射線がどのようにDNAに損傷を生じるかをモンテカルロ法を用いてコンピュータ上でシミュレーションする。これまでに低LET放射線がDNA単体に照射された場合についてはかなり解析が進んでいるので、今後異なるLET放射線についての損傷の解析を進めること、さらに細胞内の条件に近似させるためクロマチン構造を作った時、並びにDNA修復酵素が働いた時の</p>																															

<p>6．研究計画・研究内容（続き）</p> <p>シミュレーションを行う（原研・東海）。またこのシミュレーションの信憑性を確かめるため実際のDNA、クロマチン、修復酵素、細胞を用いた結果と対比させてゆく（国立感染症研究所）。</p> <p>(4) マウス及び培養細胞を用い、タバコの成分である4-methylnitrosamino-1,3-pyridyl-1-butanone(NNK)による突然変異誘発が低線量放射線照射によりどのような影響を受けるかについて明らかにすると同時に、そのメカニズムについても解析し、放射線と化学物質の複合的な作用について明らかにする（国立医薬品食品衛生研究所）。</p> <p>なお計画の最後に示した研究機関は研究に関与する主な機関を示したものであり、それぞれの研究者間で密接な連絡を取りながら研究の成果を高められるよう計画している。</p>
<p>7．期待される成果・波及効果（原子力研究開発・科学技術全般への波及効果等）[注5]</p> <p>本研究により、マウスの染色体異常、DNA突然変異、遺伝子発現変化を指標とした低線量域での線量効果関係が明らかにされ、かつそのメカニズムについても一定の理解が進むであろう。それに伴い、実質的閾値の有無についても結果が得られるであろう。またDNA損傷・修復のモデル化は放射線の生体影響をコンピュータで推測することを可能にする基礎として、さらに複合影響の解析はヒトの現実に近い複雑な環境下でのリスクの新しい評価法の基礎として、新しい研究に向けた挑戦の基盤研究となろう。</p> <p>これらの結果はそれだけでヒトに対する低線量放射線影響を決める材料にはならないが、低線量放射線に対する漠然とした人々の不安に対し、科学的な観点から答えてゆく唯一の道であろう。このような研究の結果が、低線量放射線のリスクの実体を具体的に解明してゆく足がかりになると考える。</p> <p>なお、年間数10mGyとか数100mGyの放射線は地球上の高バックグラウンド地域で実在する線量である。このような一種の外的ストレスが恒常的に存在する時に生体は何らかのストレス応答反応をしていることは十分に予測され得るし、もしその手掛かりがみつければ、環境と生命の関連性を理解する新しい知見となろう。</p>
<p>8．関連研究の国内外の状況[注6]</p> <p>低線量放射線の生物影響については欧米でもその重要性が認識されているが、多くの研究は高線量を用いたメカニズムの解析や細胞のモデル系を用いた解析であると理解している。そのような中で、最近青森県の環境科学技術研究所がマウスを用い、400日連続曝露で20mGy、400mGy、8000mGyのガンマ線を照射した時の寿命及び発癌率への影響を明らかにしたことは、モデル動物を用いて実質的閾値の存在を実証した研究として世界的にも多くの注目を集めている（論文投稿中）。この研究は自然放射線レベルの10倍から数100倍といった低いレベルの放射線の影響について実験的に証明することが可能であることを示している点でも大きなインパクトを与えている。今後、さまざまな生体指標を用いて低線量影響を明らかにしてゆく良いモデルになるであろう。</p>
<p>9．予定している研究交流体制（共同研究、国際的な研究者交流、設備や成果の相互利用、研究報告会の開催等）[注7]</p> <p>本研究に参加する研究者の多くは、過去に多くの共同研究、研究交流をしている実績があり、その基本姿勢は本研究でも引き継がれる。情報交換や共同研究推進、成果発表のため少なくとも年に2回のミーティングを計画している。またコンピュータモデル化については高線量域研究との連携が可能であり、開かれたプロジェクト推進を予定している。国際的な研究交流についても費用が許すのであれば是非活発に行い、研究の推進に役立てたい。</p>
<p>10．予想される困難</p> <p>本研究のひとつの柱としてマウスを低線量で長期曝露することを考えているが、これが出来るのは青森県の環境科学技術研究所（環境研）か放医研、放生研ぐらいである。7月19日時点で環境研に打診し基本的な承諾を得たが、マウスの匹数、照射開始時期等である程度の制限を余儀なくされる可能性はある。</p> <p>低線量放射線の生物影響は、非照射群との差が見られなかった場合、検出限界以下だから差がみられないのか、もともと差が無いのかの判断が困難である。この点に関しては放射線に対する生体反応の基本的なメカニズムを参照して推測することとなる。</p> <p>プロジェクトリーダー 氏名： 小 野 哲 也</p>

低線量域放射線に特有な生体反応の多面的解析

放射線照射
《環境研》

マウス染色体異常《放医研》

DNA突然変異《近畿大》

マイクロアレイ《東北大》

定例ミーティング
交流会議の開催

適応応答
《理研》

Bystander 効果
《原研・高崎》

モデルの裏づけ
《感染研》

化学物質との複合効果
《国立衛研》

コンピューターシミュレーション
《原研・東海》

低線量放射線リスクの実体の解明