

平成16年度新クロスオーバー研究の年次評価結果について（案）

平成17年4月19日
原子力委員会
原子力試験研究検討会

1. 評価実施の経緯

平成16年度から開始された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」）については、今年度が事業開始初年度である。今回の評価に当たっては、評価者とプロジェクトリーダー（以下「PL」）をはじめとする被評価者との継続的な議論の積み重ねが、今後の研究開発を効率的・効果的に進めていく上で重要であるという観点から評価を実施した。今回の評価では、研究開始から間もないことから、研究開発の進捗状況を勘案し、また研究実施者に過剰の負荷とならないよう配慮し、今後のよりよい研究に繋がるような自由な意見交換の機会として1月に研究評価WGを開催した。

2. 評価の基本方針

新クロスオーバー研究は、検討会による研究テーマの設定及びPLの指名によるトップダウン方式の研究制度であり、選定された2テーマはともに、既往の知見の確認ではなく、実験データの不足している未踏領域への外挿とその体系化という極めて挑戦的な研究である。

したがって、その研究評価にあたっては、国際的先導性の観点に立ち、最新の知見に基づいて研究の意義を明らかにするとともに、技術のブレークスルーや創造的技術の創出につながる、質の高い優れた研究を効果的・効率的に推進し、研究活動の活性化を図ることがその主眼となる。

また、その一方で、限られた研究資金の重点的、効率的配分を図るとともに、広く国民の支持と理解を得るため、評価内容を被評価者はもちろん一般国民に対してもわかりやすく提示することも、このような重点的研究の評価においては重要な観点となる。そのためには、評価者と被評価者との建設的な議論も重要な評価の成果であると考えられることも大切である。

新クロスオーバー研究の評価に当たっては、以上について留意して、目標に向けての研究が効率的・効果的に行われているかの評価に加え、研究全般の高度化のための方策などに資する助言等を付与することに主眼を置く。

3. 評価実施テーマ及び実施時期

3-1 評価実施テーマ

- (1) 低線量域放射線に特有な生体反応の多面的解析
- (2) 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

3-2 実施時期

平成17年1月27日(木) 15:00~17:10 (第3回WG)

4. 評価結果総評

新クロスオーバー研究「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」、「低線量域放射線に特有な生体反応の多面的解析」の2テーマは、ともに(1)本質的に複雑な事象の予測・外挿という極めて困難な課題への挑戦、(2)不確実性を内包する課題についての現実的な問題解決方策の提案という2つの特徴を有している。こうした複雑で不確実性のある困難な課題への挑戦には、プロジェクトチームとしての問題解決への執念、緻密で柔軟な思考、斬新な構想、組織力・実行力、粘り強い試行錯誤等が要請される。

今回の評価に係る両プロジェクトリーダーからのヒアリングでは、ともに国際ワークショップの開催と研究の進捗状況の説明を中心に行われた。研究の開始から間もないということはあるが、ヒアリングでの議論を通して、プロジェクトリーダーのリーダーシップの努力が認められる。

今後とも両テーマにおいては、プロジェクトチームに参画する研究機関・研究担当者間のより一層の連携を図り、クロスオーバー性を発揮することによって、困難な問題に対するブレークスルーをもたらすことが期待される。

また、研究の実施に当たっては、プロジェクトチーム内のみならず、国際的な視野にたった連携を図ることによって、海外の同様な研究と相補的に進めるとともに、より効率的・効果的に研究を推進することが望まれる。

さらに、今回のWGでは時間的な制約もあり、WG委員との深い議論までには至らなかったが、今後とも研究実施者側と評価者側との議論と、そこでの意見等を踏まえた研究の実施が、研究全般の高度化と活性化に繋がることも期待するところである。

<添付資料>

参考 1-1 総合所見シート「低線量域放射線に特有な生体反応の多面的解析」

参考 1-2 総合所見シート「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について

原子力基盤クロスオーバー研究は、原子力の基盤技術開発の一環として、複数の研究機関の研究ポテンシャルを結集して実施する必要がある研究テーマについて、研究機関間の積極的な研究交流により研究開発を推進する制度として平成元年度に発足した。

以来、3期15年間にわたって、原子力基盤技術分野における重点技術領域の研究について、原子力委員会のトップダウンによる研究テーマ設定に基づき研究開発が実施され、すぐれた研究成果を挙げてきた。

平成16年度から開始された新たな原子力基盤クロスオーバー研究（「新クロスオーバー研究」）においては、研究テーマの設定のみならず、その研究テーマを総理するプロジェクトリーダー（以下、「PL」という。）をあわせて指名し、PLの強力なリーダーシップの下、実験データの不足している未踏領域（高線量領域及び低線量領域）におけるデータの外挿と最新の予測手法によるその体系化という極めて挑戦的な研究を実施している。

2004年次評価・総合所見シート

研究テーマ名 (プロジェクト名) : 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)	
研究参画機関名 : (独) 放射線医学総合研究所、近畿大学、東北大学、(独) 理化学研究所、国立医薬品食品衛生研究所、日本原子力研究所、国立感染症研究所、(財) 環境科学技術研究所	
項 目	要 約
1. 研究テーマの概要	<p>高レベル放射線が人体に有害であることについては膨大な情報の蓄積があるが、低レベル放射線の人体影響に関しては、その本格的検討が緒についたばかりである。現時点では、低レベル放射線のリスクは高レベルでの影響を直線的に外挿して評価されており、uncertaintyを内包する。今後の原子力・放射線利用の展開を考えると、科学的根拠に基づいた放射線防護指針が必要であり、その基盤として低線量放射線リスクの評価が求められている。</p> <p>以上のような状況を踏まえて、本プロジェクトでは8研究機関、11グループの参加を得て、以下の項目について研究を推進する。</p> <p>(1) マウス個体および培養細胞を用いて突然変異、染色体異常、あるいは遺伝子発現変化を指標として低線量放射線の影響を評価する研究。</p> <p>(2) 低線量放射線と化学物質との複合効果に関する研究。</p> <p>(3) 放射線の作用を修飾する要因に関する研究。</p> <p>(4) DNAの損傷あるいは修復を対象としてコンピュータシミュレーションによる放射線影響のモデル化に関する研究。</p> <p>これらの研究により、低線量放射線のリスク評価に資する情報とともに、外部からの「ストレス」に対する生体の応答という基礎科学として興味深い情報が得られるものと期待される。</p>
2. 年次評価	
(1) 【必要性】	[必要性] 目的・目標は妥当であり、見直しの必要はない。
・目的・目標の妥当性 (目的・目標の見直しの必要性)	[独創性、新規性] 本プロジェクトの独創性、新規性に優れた部分として、副課題の一つに低線量放射線と化学物質との複合効果についての研究があり、欧米の同様のプロジェクトでこれに類似のものはない。また極低線量率でマウスを連続照射し、生涯飼育して発ガン等の影響を解析する研究は、これまで世界的に類例がなく、またすでに得られている成果には貴重なものがある。これら2つを核に研究の展開を図れば、これまででない独創性・新規性が生まれる可能性がある。 <p>なお、低線量放射線影響の課題は、すでに米国エネルギー省が大規模予算のもとに10年計画で研究を推進している。また最近ヨーロッパでも同様の研究が始まった。諸外国での類似の研究において、基本的な概念や手法は本課題と同様である。そのため、今回のプロジェクトで、全ての副課題が独創性・新規性に富んでいるということではない点は、致し方ないところである。</p>
・独創性、新規性	
(2) 【効率性】	[研究手法]
・研究手法 (進め方の見直しの必要性)	マウス個体・培養細胞での突然変異と遺伝子発現解析、放射線影響のモデル化などは標準的な手法であり、本課題にとって必要な研究である。ただ、放射線影響のモデル化については、欧米のすでに推進されている同様のプロジェクトでも見るべき成果がなかなかでない状況である。今回のプロジェクトがこのような閉塞的状況をどのように打ち破るかに注目したい。
・年次展開	[年次展開] 年次展開については、妥当と判断される。本研究課題はさまざまな副課題の統合の上に立っている。また生命科学はたとえ分子レベルの解析であっても現象記述的である。それゆえ生命科学領域の大きな課題について年次ごとの厳密な計画を立て、その展開を予測す

<ul style="list-style-type: none"> ・連携体制 ・予算配分 ・その他研究交流（国際的展開等） 	<p>るのは非常に困難である。以上の判断に立ち、本課題の年次展開は評価すべきものと判断される。</p> <p>[連携体制] 連携に関わる機関及び参画している研究者はいずれも高いレベルの研究能力を有している。本プロジェクトにおけるこれまでの経過を見るに、各機関における個々の副課題の研究展開は明らかである。しかしながらこれらの副課題が有機的に統合され効率よい連携研究が推進されるか否かについては、若干疑問が残る。ただ、ゲノムプロジェクトのような単純解析型研究とは異なり、個体や細胞を対象とする複合解析型の研究では、参画する研究者が高い能力を持てば持つほど有機的な連携を推進することは困難になるのが通例である。その点から判断するに、本プロジェクトをここまで進展させてきたプロジェクトリーダーの能力に敬意を払いたい。</p> <p>[予算配分] 概ね問題ないと判断される。</p> <p>[その他] 国際シンポジウムや国際共同研究を適宜展開しているものと見受けられる。先に述べたが、米国エネルギー省で先行しているプロジェクトやヨーロッパで始まったプロジェクトに十分注目し、これらに参画している研究者、あるいはプロジェクトそのものの国際研究交流を常に行い、相互に補完しうるプロジェクトに育て上げる必要がある。</p>
<p>(3) 【有効性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・目標達成時における科学的意義 ・目標達成時における他分野、一般社会への波及効果 	<p>[科学的意義] 本プロジェクトは2つの側面を持っていると理解される。社会的な意義と学術的意義である。後者について、本研究の根幹をなす低線量に特異的な生体反応は、損傷応答機構として非常に重要な課題であり、これにはマイクロアレイ解析などの分子レベルの解析が回答を与えてくれる可能性がある。さらに本プロジェクトのもう一つの中心課題である個体レベルの解析は、単なる分子レベルの機構からは説明し得ない新しいパラダイムを示すものが得られる可能性があり期待される。とりわけ個体の特定組織での突然変異の生じ方や生じた変異細胞の消長は、組織レベルの防御機構や構成細胞の動態を考慮してのみ理解しうるからである。組織レベルでの放射線応答は、従来の分子・細胞中心の生命科学に新しい組織・個体というパラダイムをもたらすと判断され、その意味で学術的意義は大きいと判断される。</p> <p>[波及効果] 上で述べたように、組織・個体の生命科学が新しいパラダイムとして登場する可能性があり、その波及効果は大きい。 また、本研究からの成果が長期的には、社会一般の原子力・放射線の利用に対する理解の促進につながることを期待する。</p>
<p>(4) 【クロスオーバー性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研究の効率化、成果の相乗効果 ・プロジェクトリーダーのリーダーシップ 	<p>すでに(2)で述べたように、十分にクロスオーバー性を確保するには、関係する機関・研究者が本プロジェクトの目的を十分に理解し、研究の方向を揃え、これまで以上に緊密な連絡をとりつつ研究の推進に当たる必要がある。これによって相乗的な効果が生まれ、よい成果があられると判断される。</p> <p>プロジェクトリーダーは、当該領域において高い評価を受けている研究者である。これまでのプロジェクトの進展の様子から判断するに、広い分野にわたる副課題のそれぞれを十分に理解しており、大変よいリーダーシップを発揮していると判断される。</p>
<p>3. 研究テーマの高度化に向けての留意点・アドバイス等</p> <p>すでに述べたが、本プロジェクトのように目的指向性の高い研究は、参画するメンバーが十分にこれを理解し、おのおの果たす役割を十分に認識する必要がある。また欧米において類似のプロジェクトが先行しており、これらについての情報収集と研究交流をさらに活発に行うことが望ましい。</p>	

4. その他

低線量という分布の極値に相当する研究には、実験とモデルから得られる情報の統合が鍵と考えられることから、この点に注視して欲しい。

5. 総合評価

本プロジェクトでは、低線量放射線の影響について多面的に解析するが、これは低線量放射線リスクについて科学的な知見を収集するという将来的な目的をもったものである。放射線の与えるエネルギーは量子化されているため、低線量放射線といえども単一の光子により影響される細胞にとっては、1 mGy以下になりうることはない。このような極微量のイオン化事象に対して、細胞がどのように応答するかは、これまでの生命科学で行われることがなかった命題で、非常に興味深いものがある。その意味で、本研究は高く評価されるべきであろう。

評価責任者氏名： 岩田 修一

2004年次評価・総合所見シート

研究テーマ名 (プロジェクト名) : 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)	
研究参画機関名 : 日本原子力研究所、(財)電力中央研究所、東京大学、北海道大学、九州大学、独立行政法人物質・材料研究機構他	
項目	要 約
1. 研究テーマの概要	本研究の目的は、燃料セラミックス材料がもっている自己修復する力、すなわち組織を本来の安定な配列に戻したり、新しい安定な形を作ったりする機能(自己組織化)の数学的な定式化(モデル)を見出すことにあり、このモデルを物理的な実験によって検証することにある。さらに、この現象を予測する技術の開発を目指す。本研究では、実験科学、計算科学、応用数学などを総合して研究を進める。加速器シミュレーションによって核分裂で生じる事象を調べ、第一原理計算と分子動力学計算による準安定な複合欠陥の情報とあわせ、上記組織変化の主構造を探索する。さらに予測に用いる計算コードを開発するとともに、その予測手法を、発電所現場における新技術の導入や、現場での開発研究に適応するための検討を行う。
2. 年次評価 (1) 【必要性】 ・目的・目標の妥当性 (目的・目標の見直しの必要性) ・独創性、新規性	<p>[必要性]</p> <p>軽水炉燃料の材料として二酸化ウラン(UO₂)が使われ始めてから約50年経過したが、その高性能(燃焼にともなう体積変化が極めて小さく、核分裂生成物を外に出しにくい)の理由は物理・化学的にいまだ解明されていない。集合体最高燃焼度で65~70MWd/kgMを超える将来の高燃焼度化で本研究によって組織変化のメカニズムが解明され、細粒化が材料学的視点から予測可能になれば、燃料材料改良による高性能化や高信頼性化が可能となると期待されるものであり、原子力試験研究検討会の定めた推進すべき研究テーマを具現化する内容となっている。</p> <p>[独創性、新規性]</p> <p>原子燃料セラミックスの細粒化・カリフラワー構造形成の基本プロセスである“照射下の界面形成”のメカニズム解明を行うこと、照射下・高線量での類似の現象に対し実用性のある予測計算手法(計測を含むシステム)を開発し提案することにより、照射下の材料ふるまいの研究に新たな世界が開けることが期待される。</p>
(2) 【効率性】 ・研究手法(進め方の見直しの必要性) ・年次展開 ・連携体制	<p>[研究手法]</p> <p>本研究は6つのサブグループに分けて実施する。実験に2グループ、理論と計算解析に3グループ、とりまとめに1グループである。実験は加速器によるシミュレーションと実燃料を用いた試験からなる。理論解析は第一原理計算並びに分子動力学計算、数学的研究、並びに計算コード開発とからなる。</p> <p>実験と理論解析の対応については、研究の進捗に合わせて、より緊密に繋げることを心掛けて欲しい。全体として整合性のある進め方をねらっていると考えられる。</p> <p>[年次展開]</p> <p>6つのサブグループで前半3年間と後半2年間で進める計画である。グループ1ではワークショップと取りまとめを、理論担当の3グループではそれぞれのタスクを前・後半に、実験担当の2グループでは加速器と原子炉を用いた計画からなる。</p> <p>ロードマップに示されているが、研究の進捗状況に合わせてそれぞれ別のチェック&レビューを行うとともに、担当者間の、特に実験と理論間の横の連携を強化することを心掛けて欲しい。</p> <p>[連携体制]</p> <p>幹事機関を日本原子力研究所とし、電力中央研究所、東京大学、北海道大学、九州大学、独立行政法人物質・材料研究機構等で連携して進め、電力会社による協力、および事務局を設置しての国際ワークショップ開催で、国内外専門家の協力も得てとりまとめを進めている。今後、グループ内の横の連携と国際的連携をより積極的に行うよう留意して欲しい。</p>

<ul style="list-style-type: none"> ・予算配分 ・その他研究交流（国際的展開等） 	<p>[予算配分] 概ね問題ないと思われる。また国際共同研究が加われば予算の追加も必要になってくると思われる。</p> <p>[その他] 平成16年度には、第3回日中物質・材料・分子設計シンポジウム及び第1回国際ワークショップ—原子燃料の照射による乱れと自己修復—が開催された。平成17年度には水炉燃料挙動国際会議（京都10月）のサテライト会議開催が予定されている。 国内の燃料メーカー等も含めた研究会を持つことが有効ではないかと思われる。 国外の研究提携機関は、UCLA(米国)、ブラッセル自由大学(ベルギー)、超ウラン元素研究所(EURATOM)、EdF/CEA(Saclay, Cahdarache)(仏)、スタズヴィック研究所(スウェーデン)などであり、積極的な国際的展開が図られているといえる。</p>
<p>(3) 【有効性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・目標達成時における科学的意義 ・目標達成時における他分野、一般社会への波及効果 	<p>[科学的意義] 照射・高線量のもとで、秩序ある組織がつくりだされる(創発)プロセス自己組織化が明らかになれば、照射の理解がおおきく進むと考えられる。さらに、数理科学的にも、先見的エンジニアリング構築の観点からもその意義は極めて大きい。</p> <p>[波及効果] 本研究の結果、将来の高燃焼化で、燃料の細粒化の予測と制御が可能になれば、原子炉の長期サイクル運転や使用済み燃料体数の低減などが可能になり経済的な利益が得られると期待される。非線形現象の予測が可能になれば、多くの分野への波及が期待される。また、自己組織化の理解・認識が一般社会に現実のものとして広まれば、核燃料に対する安全・安心の観点からその波及効果は大きい。</p>
<p>(4) 【クロスオーバー性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研究の効率化、成果の相乗効果 ・プロジェクトリーダーのリーダーシップ 	<p>理論的研究との組合せ、複数の理論手法および加速器と原子炉実験の相乗効果をねらっている。 ただし同一分野の研究者との交流に留まっている印象があり、直接的には過去の燃料の照射研究の蓄積を活かす、間接的には原子炉構造材料の照射研究や核融合炉材料の照射研究における成果を活かす工夫が必要と考えられる。 また、個々の課題の目標とプロジェクト全体の目標との間を埋めながら進めて欲しい。</p> <p>業績と経験ともに十分であり、専門分野の知見をもとに理論と実験をまとめる努力をしている。今回示されたロードマップの案・目標により進捗状況が具体的に把握され、今後の展開が期待される。テーマの具体化にあたり、より広い分野の専門家を加えて集中的な検討を行うこともより有効と考えられる。</p>
<p>3. 研究テーマの高度化に向けての留意点・アドバイス等 実験的アウトプットが出始めているので、従来のデータベースをしっかりと引用しつつ、まず今回のシンプルな系(FP・希ガス等を含まない)について理論的アプローチとの対応・つながりを確実なものとし、今後の複雑系への基本ステップを構築してはどうかと思われる。また、この際広い領域の人材を適宜活用されたいと思われる。 数理解析については、まずモデリング部分をより重視することが有効であると思われる。</p>	
<p>4. その他 テーマの目的・目標のとらえ方として、これを2部門としてとらえる見方がある。燃料のUO₂の工学的解決を目指すものと、高線量領域の材料挙動制御を目指すものとする。これらに対してそれぞれの専門家を集め密度の濃い取組みを進めるという構想が、評価委員から提案されている。今回の中間評価では、ロードマップに基づいた議論にまでは至らなかったが、リスクを含みつつ、ロードマップに沿って進むことも一つの選択肢であると考えられる。また、メカニズムの解明と工学的なターゲットの関係及び加速器照射の妥当性について明確にしながらか進めて欲しい。研究の推進に当たっては、問題点を抽出し自己批判しながら進めて欲しい。</p>	

5. 総合評価

高線量領域での未解決課題へのチャレンジとして価値がある。核燃料の高燃焼に伴って生ずる新しい組織(細粒化、リム組織)の発生を1つのターゲットとしてその機構解明と高燃焼度に貢献する予測・制御コードの開発など先見的工学の確立を目指している。困難な課題に新しい概念の構築、理論的解析、加速器と原子炉照射実験を組合わせた企画である。

高線量領域における新しいエンジニアリングの構築を目指し、実際の核燃料における要求性能との具体的な係わり、原子炉照射実験と加速器実験との役割、より積極的にクロスオーバー性を図るなどを盛り込んだロードマップ案・目標が具体性をもって提案された。ヒアリングでは時間的な制約から幹事機関をはじめサブリーダーの積極的な議論への参加とそれぞれのサブテーマの意味についての説明を得るには至らなかった。

評価責任者氏名： 岩田 修一