

## 平成21年度終了課題の事後評価結果について

### 1. 評価対象課題

平成21年度に研究を終了した先端的基盤研究の16課題を対象に事後評価を行った。

### 2. 研究評価実施課題の分野別課題数

- |               |        |
|---------------|--------|
| ① 生体・環境基盤技術分野 | : 6 課題 |
| ② 物質・材料基盤技術分野 | : 7 課題 |
| ③ システム基盤技術分野  | : 3 課題 |
| ④ 知的基盤技術分野    | : 0 課題 |
| 合計 16 課題      |        |

### 3. 評価の実施方法

今回の評価は、参考1「原子力試験研究に係る研究評価実施要領」（平成13年5月15日、原子力試験研究検討会）及び、参考2「原子力試験研究の事後評価における評価の基本方針及び観点について」に基づき、実施された。

また、具体的な評価作業については、原子力試験研究検討会に分野毎に設置されている研究評価WGにおいて、研究担当者が作成した共通調査票（研究期間、研究予算、研究目標、得られた成果、成果の発表実績及び自己評価等を記載）及び研究担当者からのヒアリング（説明15分、質疑8分）により実施された。個別の課題に対する評価結果については、課題毎に定めた担当評価委員及びWG主査が研究成果や指摘事項等の概要をとりまとめた総合所見を作成し、A、B、Cの3段階評価による総合評価を行った。

評価の基準については以下のとおり。

- A：当初の計画以上の優れた成果が得られた。
- B：ほぼ当初の計画通りの成果が得られた。
- C：当初の計画以下の成果しか得られなかった。

#### 4. 評価結果一覧

分野名	総合評価			計
	A 評価	B 評価	C 評価	
生体・環境基盤技術	3 (5)	3 (3)	0 (0)	6 (8)
物質・材料基盤技術	4 (5)	3 (4)	0 (0)	7 (9)
システム基盤技術	2 (3)	1 (0)	0 (0)	3 (3)
知的基盤技術	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
計	9 (13)	7 (7)	0 (0)	16 (20)

(注) 上段は今回の評価結果課題数、(下段)は前回の評価結果課題数を示す。

#### <添付資料>

- 参考1 原子力基盤技術開発に係る研究評価実施要領
- 参考2 原子力試験研究の事後評価における評価の基本方針及び観点について
- 参考3 各分野における研究評価の実施状況について
- 参考4 研究課題の研究概要について
- 参考5 評価結果一覧及び各課題毎の総合所見

## 原子力基盤技術開発に係る研究評価実施要領

## 1. 原子力基盤技術開発に係る研究評価の基本的な考え方

研究評価は、基本的には研究開発の一層効果的な推進を行うために行うものであるが、基盤技術開発における研究評価は具体的に以下の項目を目的として行う。

- ① 国際的な先導性の観点に立って、技術のブレークスルーや創造的技術の創出に繋がる優れた研究を創成し、実施する。
- ② 厳しい財政事情のもと、限られた財政資金の重点的、効率的配分を図る。
- ③ 研究者の創造性が十分発揮されるような、柔軟かつ競争的で開かれた研究開発環境を実現する。
- ④ 国民に研究開発の実体を公開し、研究開発に対する国費の投入について、広く国民の支持と理解を得る。

研究の推進の方向としては、原子力委員会が策定した「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」(平成6年6月原子力委員会)、「原子力基盤技術開発の新たな展開について」(平成5年4月基盤技術推進専門部会)原子力基盤クロスオーバー研究の今後の展開について」(平成10年3月基盤技術推進専門部会)等に沿って行われるべきものであり、研究評価も上記4項目の原則を維持しつつ、常に評価結果が基盤技術研究開発の推進にフィードバックされるよう努める。

## 2. 評価の実施方法について

## (1) 評価対象

本実施要領で対象とするのは国費で推進される研究課題のうち、原子力基盤技術に係る研究課題全てとする。これら研究課題は、それぞれの研究機関において、その研究機関の評価の考え方に沿って評価を受けることになるが、基盤技術推進専門部会(以下「基盤部会」という。)においては基盤技術開発推進の方向性を含んだ視点で評価を実施するものとする。

## (2) ワーキンググループの設置と技術領域の区分

原子力基盤技術は、数多くのテーマと広範な技術領域を有しているため、効率的な評価を実施するためには基盤部会の下に幾つかのワーキンググループを設けることが適当である。技術領域の区分の仕方には、現在基盤技術開発研究課題で行っている技術領域(7分野: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)による分類、単独で実施する研究と原子力基盤クロスオーバー研究のような複数研究機関が連携・協力する研究等研究の性格による分類等、いくつかの方法が考えられる。

一方、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」において、原子力基盤技術の技術領域を現在の7技術領域から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)に整理・統合されていることを考慮して、基盤技術開発においては、この5技術領域のワーキンググループを設け、単独で実施する研究と原子力基盤クロスオーバー研究を併せて評価する。

## (3) 評価の時期

研究評価は、原則として事前・事後の各時期に行うものとする。また、中間評価は、当該研究課題の研究期間・内容・性格等も考慮しつつ、必要に応じて実施する。

## ① 事前評価

事前評価は、研究開発の方向性・目的・目標等の決定、着手すべき課題の決定、研究資金等の研究開発資源の配分の決定、期待される成果・波及効果の予測、研究開発計画・研究開発

手法の妥当性の判断等を行うために実施する。

事前評価については、次年度予算の概算要求を行う時期を勘案し、原則として当該研究課題を開始する前年度の4～6月に行う。

#### ②中間評価

中間評価は、研究開発の進捗状況の把握、研究開発の目的・目標の見直し、研究開発の進め方の見直し(継続、変更、中止等の決定)、研究資金等の研究開発資源の再配分の決定等を行うために実施する。

中間評価については、原則として、5年以上の期間に亘り研究を実施するものを対象とし研究開始後3年度目の4月～6月に行う。

#### ③事後評価

事後評価は、研究開発の達成度、成功・不成功の原因の把握・分析、研究計画の妥当性のレビュー、研究開発成果の波及効果の把握・普及、新たな研究課題の検討への反映等を行うために実施する。

事後評価については、原則として該当する研究開発が終了する年度の翌年度の10月～12月に行う。

#### ④定期的な研究進捗状況の把握

各研究課題についての的確な中間評価、事後評価を実施するためには、毎事業年度の研究の進捗状況等を常に把握し、必要に応じレビューを加えることが出来ることが必要である。このため、被評価者は事業年度毎の事業報告書を作成する等、評価者が評価しやすいようにすることが重要である。

#### (4) 評価の判断材料

評価の判断材料としては、研究計画、研究成果等を記載した書類と被評価者からのヒアリングの両方を用いる。また、この書類については、均一性を保つためにも統一された様式で行う。なお、この様式については、別添様式を参考に各ワーキンググループが当該領域の性格等を考慮して定める。

また、評価は、1. の基本的な考え方に沿って行うとともに、原子力基盤技術の技術領域の選定の考え方を参考にして行う。

#### (参考)

新たな可能性を拓く原子力研究開発の多様な展開(平成6年6月原子力委員会長期計画専門部会第四分科会)より抜粋

##### <放射線生物影響分野>

原子力開発利用の進展及び宇宙等への人類の活動領域の拡大を支える基盤技術開発として放射線の生物影響を体系的に明確化することは、安全確保の観点から極めて重要である。

##### <ビーム利用分野>

放射光、粒子線、レーザー等各種ビームの先端的利用は新たな原子力利用の途を拓くものであり、応用の幅が広い基盤技術としてこれを推進する。

##### <原子力用材料技術分野>

材料技術については、21世紀の新しい原子力技術の発展の鍵となる基幹的要素技術であり、他の分野への波及効果も大きいものと期待されることから基盤技術としてその研究開発を進める。

##### <ソフト系科学技術分野>

人間の知的活動の解明とそのコンピュータ等による代替技術の開発を含むソフト系科学技術の応用は、巨大かつ複雑な原子力施設の運転・保守等をより確実に扱い易いものにし、安全性の一層の向上等を図るために重要である。

##### <計算科学技術分野>

スーパーコンピュータの導入や並列処理化の進展等、近年の情報処理技術の高速化・高度化は目ざましく、これを基盤技術として積極的に原子力技術分野に応用することにより、新たな技術展開が可能となる。さらに、その研究成果は広く一般科学技術への波及効果が期待される。

(5) 評価者の選任、体制、任期

評価は、(2)で述べたように5つの技術領域に分けたワーキンググループにおいて実施することとする。各ワーキンググループは、5～10名の委員から構成し、その任期は2年間とし、再任に当たってはその必要性を十分検討するものとする。なお、基盤部会との連携を密に図るため、各ワーキンググループの委員(評価者)には基盤部会の委員を含むものとする。

ワーキンググループの評価者の選任に当たっては、評価対象となる研究課題が含まれる技術領域及びこれに関連する分野に精通している等十分な評価能力を有し、かつ、公正な立場で評価を実施できる外部専門家(評価実施主体にも被評価主体にも属さない専門家)を評価者とすることを原則とし、必要に応じて、評価対象となる研究課題とは異なる研究開発分野の専門家、有識者を加える。

(6) 評価手続き

ワーキンググループでは、研究実施者(被評価者)が作成した自己評価結果、研究実施者が所属する研究機関が実施した評価結果、研究実施者からの意見聴取、毎事業年度の研究進捗状況報告書等に基づき評価を実施する。

ワーキンググループでは委員の中から主査及び副主査を指名しておき、各研究課題毎に、各委員の評価結果を参考にして、主査(主査に事故等があった場合には副主査)が、ワーキンググループとしての評価結果をとりまとめ、基盤部会に報告する。

基盤部会では、ワーキンググループからの報告に基づき、基盤部会としての評価結果をとりまとめる。

(7) 評価結果の公開

研究開発の実態について国民によく知ってもらい、その理解を得るとともに、評価の透明性・公正さを確保するため、機密の保持が必要な場合を除き、個人情報、知的財産権等に配慮しつつ、各ワーキンググループが基盤部会に報告した評価結果及び基盤部会が取りまとめた評価結果をインターネット等を利用して一般に公開する。

(8) 評価結果の活用

評価結果は研究開発資源の重点的・効率的配分、研究開発計画の見直し等に適切に反映し、研究活動の一層の活性化を図る。

(9) 留意すべき事項

評価に際しては、評価の客観性を保つとともに評価者と被評価者の間で十分なコミュニケーションを図ることが重要である。

研究開発の評価を行う際には、評価者・被評価者双方において、一連の評価業務に係る作業が必要となるが、評価は研究開発活動の効率化・活性化を図り、より優れた成果を上げていくためのものであり、評価に伴うこれらの作業負担が過重なものとなり、かえって研究開発活動に支障が生ずるようなことにならないよう、十分な注意を払う必要がある。

また、評価結果の公開とは別に、国民の研究開発に対する理解を深めるため研究成果の積極的な公表を被評価者は進める必要がある。



## 原子力試験研究の事後評価における評価の基本方針及び観点について

### 1. 評価の基本方針

平成17年3月に内閣総理大臣決定された「国の研究開発評価に関する大綱的指針」に基づき、評価は、必要性、効率性、有効性の観点から実施する。

「必要性」については、科学的・技術的意義（先導性）、社会的・経済的意義（実用性等）、目的の妥当性等の観点から、「効率性」については、計画・実施体制の妥当性等の観点から、「有効性」については、目標の達成度、新しい知の創出への貢献、社会・経済への貢献等の観点から評価を行う。

特に、原子力試験研究の評価においては、科学技術を振興するため、優れた研究開発活動を奨励していくとの観点をもって適切な評価をすることで、研究開発活動の効率化・活性化を図り、より優れた研究開発成果の獲得、優れた研究者の養成を推進し、社会・経済への還元を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすことに重点を置く。

### 2. 原子力試験研究における事後評価の観点

ネガティブチェックよりもその後のフォローアップに主眼を置き、研究者の研究意欲の向上を図るとともに、研究成果を外に向かって積極的に発信することができるよう、原子力試験研究にふさわしい文化の形成を強く意識した評価を実施する。特に、今回の評価においては、以下の観点到留意した評価を行う。

- （1）事前・中間評価における評価結果のフォローアップを行うとともに、研究内容の適正な評価を実施
- （2）研究成果の原子力分野や他分野の学会、学会誌等への積極的発表の呼びかけ
- （3）原子力試験研究の成果として社会に向かってアピールすべき成果の指摘を行うとともに、インターネット等を通じて、国民に対してわかりやすく成果を発信することを推奨
- （4）実用化、産業利用、新産業の創出につながる成果に対するフォローアップの方策の助言を行うとともに、新たな研究の展開が見込まれる成果については、積極的にこれを奨励する。

総合評価については、事前・中間評価と同様にABCの3段階評価とする。

A：当初の計画以上の優れた成果が得られた。

B：ほぼ当初の計画通りの成果が得られた。

C：当初の計画以下の成果しか得られなかった。

但し、ABCの評価よりも前記の指導的コメントの充実に主眼を置く。

## 各分野における研究評価の実施状況について

### 1. 生体・環境基盤技術分野

平成22年3月末で研究期間が終了した6課題について、平成22年11月12日（金曜日）に6名（欠席2名）の委員出席のもとに研究成果に関するヒアリングを行い、事後評価結果をまとめた。各課題について研究担当者による15分の概要説明の後、質疑応答を行い、合計25分で可及的妥当な評価に務めた。各課題について全委員が作成した「事後評価チェックシート」を、分野が最も近い専任委員が「事後評価 総合所見共通フォーマット」の形にとりまとめ、それらを嶋が最終的に精査した。なお、今回の対象課題には、放射線診断及び放射線治療に関する課題が3題、また植物放射線育種に関する1課題があったので、これらの分野を専門とする2名の委員を補充した。

6終了課題のうち、1課題（後1）以外は研究期間が5年であり、後1課題を含めて全ての課題について3年目に中間評価を行った。事後評価結果は、A—3課題（後2，後5，後6）、B—3課題（後1，後3，後4）であった。

#### 【評価結果】

##### A評価課題：

後2：PET 胸部検査における体動補正システムの開発と定量的心筋機能評価の迅速・高精度化（国立循環器病センター（現 独立行政法人 国立循環器病研究センター））

後5：放射線被曝による生体障害の予防・治療のための細胞増殖因子とその利用技術に関する研究（独立行政法人 産業技術総合研究所）

後6：人体等価熱蛍光シート線量計による2次元線量測定システムの高度化に関する研究（独立行政法人 海上技術安全研究所）

##### B評価課題：

後1：深部悪性脳腫瘍に対する熱外中性子・アルファ線を用いた治療法の開発（独立行政法人 国立病院機構香川小児病院）

後3：放射線と化学物質の酸化的障害発現マーカープロファイリングの比較探索（国立医薬品食品衛生研究所）

後4：放射線照射によるニホンナシ主要品目の自家和合性突然変異体の誘発と選抜に関する研究（独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構）

#### 【参考】

A評価課題について：

## 後2：「PET 胸部検査における体動補正システムの開発と定量的心筋機能評価の迅速・高精度化」

当該研究では高精度の光学式トラッキング装置を用いて、被検者の動きをモニターし、PET データの体動を補正するシステムを構築した。さらに、この装置を用いて、X 線 CT 画像と PET 画像の自動重ね合わせシステムを構築し、通常の PET 検査では必須であるトランスミッション撮像を省くことに成功した。これらにより、被験者を PET に拘束することなく撮像でき、高精度で、かつ迅速な PET 胸部検査が可能となった。ここで得られた成果をもとにした新課題名「非固定型 PET 検査システムの開発」が、JST 平成 22 年度研究成果最適展開支援事業（A-STEP）探索タイプに採択され、島津製作所との共同研究により、成果の事業化・製品化を目指しているのは大変結構である。

## 後5：「放射線被曝による生体障害の予防・治療のための細胞増殖因子とその利用技術に関する研究」

放射線障害防止効果を期待しうる細胞増殖因子である、FGF1, FGF7, FGF10 の大量生産系と精製方法を確立した。マウス小腸クリプトの生細胞が放射線照射で減少することを指標として小腸上皮の放射線障害を評価し、各 FGF の事前腹腔内投与により放射線障害が有意に軽減できることを示すとともに、放射線照射による骨髄の有核細胞数減少の抑制効果も確認した。口腔粘膜障害治療薬として近年開発された FGF7 に比べて、FGF1 がより高い口腔粘膜障害治療効果を示す実験結果も得た。さらに FGF 分子の蛋白質エンジニアリングを行い、FGF1 と FGF2 のキメラ分子（FGF-C）を創製し、この分子が、天然型では最も高い活性を示した FGF1 よりも予防・治療効果が高いことを示した。米国では既にかん化学療法による口腔粘膜炎の発症抑制にヒトのケラチノサイト成長因子（製品名：palifermin）が有効であることが無作為 2 重盲検臨床試験で初めて示されているが（Vadhan-Raj S et al: Ann Intern Med 2010;153, 358-367）、palifermin は FGF-7 と同じ物質であり、この研究では分野の異なる専門家間の研究交流により一体的研究が実施され、共同での論文発表や特許出願に結びついている。

## 後6：「人体等価熱蛍光シート線量計による 2 次元線量測定システムの高度化に関する研究」

近年増加しているビーム状の放射線利用や放射線遮蔽欠損による局所的な被ばくに対応するために、生体等価なエネルギー特性を持つシート線量計を用いた簡便な 2 次元線量測定方法の確立を目指して、放射線に対して人体と等価なエネルギー応答特性を持つ 2 次元シート線量計及び線量計算コードを開発し、種々の条件下での被ばく線量を正確に測定・評価できる被ばく線量評価システムの基礎を確立した。種々の放射線検査や治療において、湾曲した体表面皮膚の線量を 2 次元の面として正確に評価することは困難であったが、非常に flexible なシート線量計が開発されればその臨床的有用性は十分であることから、特許として本技術が認められ、実際の応用現場での研究に進まれることを期待したい。



## 2. 物質・材料基盤技術分野

平成21年度で終了した先端的基盤研究7課題について、平成22年11月30日に8名のWG委員が出席してヒアリングを行い、調査票および関連資料をもとに総合的に判断し事後評価を行った。

### 1) 評価に際して重点を置いた点

評価に当たっては、「原子力試験研究の事後評価の基本方針及び観点について」の内容を基本方針とし、研究目的・目標、研究計画と具体的な進め方、得られた成果とその公表状況等をもとに、研究成果のフォローアップと社会へのアピールの奨励等に留意して、総合的に評価した。

### 2) 評価結果概要

先端的基盤研究7課題において、4件をA評価、3件をB評価とした。各課題の概要と評価は以下のとおりである。

#### 後7「先進原子力用複合材料の構造最適化シミュレーションシステム開発に関する研究」

原子力用の高温構造材料として有望な複合材料について、界面熱抵抗のミクロスケールの計算、複合材料スケールでの熱特性計算、構造体スケールの応力解析シミュレーション法を構築するとともに、熱特性の新しい測定方法を開発し、成果をまとめてウェブによりデータやシステムを公開している。ほぼ目標を達成しておりB評価とした。次世代原子力用複合材料の設計に役立つことが期待される。

#### 後8「照射に起因する材料粒界の準安定構造の原子レベル動的過程に関する研究」

原子炉材料の照射損傷で重要な粒界近傍におけるナノスケールの構造変化に関して、粒子線照射し応力を負荷した状態で捉えることに成功するとともに、電子ビームを用いた新しい高感度組成分析技術開発を行っている。ナノレベルでの3次元構造解析を実現しており、残された課題もあるが成果の公表も活発であり、A評価とした。今後は原子炉燃料の素過程のシミュレーションへの展開など期待される。

#### 後9「コンパクト偏光変調放射光源の開発とそれを用いた分光計測技術の高度化に関する研究」

放射光を高精度で利用するために、加速器・アンジェレータ・分光計測装置の統合システムを開発し、世界初の40ナノメートルまでの生体分子の真空

紫外円偏光二色性（CD）計測に成功するとともに、多くのアミノ酸や糖のデータベース構築を行っておりA評価とした。タンパク質や糖鎖などの高精度な立体構造解析は医薬品開発などへの応用が期待される。

#### 後10「低エネルギー光子による物質制御に関する研究」

低エネルギー光子を用いて物質の励起状態の局所構造解析を可能とするために、スピנקロスオーバーモデル系による高密度デジタル計測システムの開発に成功し、世界最高計数率を可能とするなど、顕著な成果を得ておりA評価とした。この技術をもとに、最高絶縁特性のシリコン酸化膜を見出すなど、光構造相転移の解明や光励起による新物質開発の波及効果が期待される。

#### 後11「レーザー加速電子ビームの高度化と利用技術に関する研究」

レーザー加速を用いて電子ビームを加速する実用化技術として、準単色電子ビームの高エネルギー化（140MeVまで）、大電荷量化、ビーム安定化を達成するとともに、硬X線発生に成功しており、A評価とした。今後の小型電子加速器の実現に向けた重要な技術開発であるとともに、指向性の高い準単色硬X線を利用して血管造影等の医療イメージングや核燃料物質等の重元素検出への応用が期待される。

#### 後12「原子力エネルギー利用高温水蒸気電解技術の開発」

原子力エネルギーを利用した高温水蒸気電解による水素製造システムの実現に必要なセル構成材料及び製造プロセスの開発に取組み、高温で高入力密度の電解セルとスタックの試作に成功している。ほぼ目標を達成しておりB評価とした。より実用的な電解システムの開発につなげるとともに、開発したセラミックス接合技術の応用が期待される。

#### 後13「放射線防護ならびに医療応用における国際規格に対応した高エネルギー中性子・放射能標準の確立と高度化に関する研究」

高エネルギー中性子の利用の基準とするために、加速器を用いた19MeV中性子発生方法と中性子フルエンスの絶対測定法の開発を行うなど、ISOに準拠した中性子フルエンス標準整備の基礎をつくっておりB評価とした。高エネルギー中性子標準や医療用密封小線源の線量標準の利用に貢献することが期待される。

以上の7件の研究について、いずれも原子力試験研究としてふさわしい成果が得られている。それらの成果を着実に社会に役立てるために、研究のねらいである原子力環境での機能確認あるいは原子力以外の他分野への応用につながるような積極的な展開が期待される。

### 3. システム基盤技術分野

本分野については、平成 22 年 11 月 18 日（木）に WG 委員 7 名のうち 6 名の出席を得て、事後評価 3 課題についてヒアリングを実施した。

評価結果は、事後評価 14 は A 評価、15 は B 評価、16 は A 評価である。

#### 後 14「原子力災害時の高線量被曝者スクリーニング用 in vivo 電子スピン共鳴（ESR）装置開発研究」

事後評価－A、中間評価－A （事前評価－A）

本研究は、原子力災害等において不特定多数の人々が高線量被ばくを受けた場合を想定し、緊急被曝医療における迅速な被ばく評価手法の確立に取り組んだものである。米国におけるプロトタイプ機器に新たな装置を組み込んで改良機器を完成させた。安全基盤研究分野の中で重要な研究であるといえる本研究は、着実な成果を上げており評価できる。

#### 後 15「深部岩盤掘削時の高精度破壊制御技術に関する研究」

事後評価－B、中間評価－A （事前評価－B）

高レベル放射性廃棄物の地下処分場建設の際に、岩盤の損傷を極力抑制することが求められる。発破工法でも機械掘削工法と同程度に岩盤への損傷領域を抑えることを試みた研究である。基礎的研究とモデル実験による実証試験は順調に進んだ。この成果から、構造物解体技術への適用可能性も期待できる。ただ、基礎的試験成果の原位置への適用性を検討する必要がある。

#### 後 16「超臨界発電用炉水浄化技術の開発に関する研究」

事後評価－A、中間評価－A （事前評価－A）

エネルギー効率の向上の観点から、超臨界発電への対応を目的とした高温高圧下での腐食データベースの拡充ならびに炉水浄化システムの開発研究である。基礎段階ではあるものの、高温下で吸着したコバルトは単純なイオン交換ではなく固定化される現象が見出された。また、放射性廃棄物処理に関して減容化の期待が持てる。放射性核種の処理・処分技術の高度化へ資する可能性があり、成果は高く評価できる。

## 研究課題の研究概要について

### <生体・環境基盤技術分野>

#### 後 1 深部悪性脳腫瘍に対する熱外中性子・アルファ線を用いた治療法の開発（独立行政法人国立病院機構香川小児病院）

悪性脳腫瘍に対する治療法：放射線療法、化学療法、免疫療法、遺伝子療法等をさまざまに組み合わせた集学的治療が行われている。最近では新しい治療法として陽子線治療や重粒子線治療などが開発・導入されたが、両者とも Bragg ピークを特徴とするために細胞レベルで正常組織内に浸潤する神経膠腫や星細胞腫に対する治療法としては適当とはいえない。その結果治療成績は神経膠腫では2年生存率が10%前後であり、生存期間中央値はわずか9～11ヶ月にすぎない。一方、悪性脳腫瘍に対する中性子捕捉療法(BNCT)は1968年以来わが国において継続して行われ、他の治療法にない優れた治療効果ならびに成績が報告されている。しかしながら深部腫瘍や小児に多い脳幹部腫瘍に対しては熱中性子が深部に到達しないため十分な治療効果が得られていない。今回の研究では熱中性子に代え熱外中性子を用いることにより熱中性子の透過率を高め深部腫瘍や脳幹部腫瘍に対する以下のような新たな治療法の開発を行うことを目的とした。

- 1) 熱外中性子に対する線量評価システムの開発を行い、深部腫瘍に対する照射計画ならびに照射システムの開発を行うこと。
- 2) 臨床治療を前進させるためには原子炉に代え中性子捕捉療法に必要な中性子が取り出せ、かつ医療施設に設置可能な小型加速器の開発が必要であり、臨床面から見た基礎的研究を行う。
- 3) 新たに多臓器の悪性腫瘍に対する治療研究を行い照射線量を上げるため新たなボロン化合物の開発、投与方法を開発する。

得られた主な成果を以下に示す。

- (1) 線量評価システムの開発が行われ、これを更に改良することで過去に行われた治療症例の照射線量の再検討を行い至適線量の算出を行った。
- (2) 必要十分量の中性子線量を得るための加速器の開発のための条件
  - a: Li あるいは Be ターゲットの比較と除熱システムの検討
  - b: ターゲット周囲のガンマー線、高速中性子の測定ユニットの開発を行った。その結果加速器を用いた BNCT における新たな照射計画の作成が可能となった。
- (3) 炭化ホウ素(B4C)ナノ粒子を用いた新たなボロン化合物の開発が開始された。(当初想定していなかったが副次的に得られた成果)

また、平成18年10月には、香川県高松市高松サンプォート国際会議場において、第12回国際中性子補足療法学会を開催し、21か国から195演題が発表された。



## 後2 PET 胸部検査における体動補正システムの開発と定量的心筋機能評価の迅速・高精度化（国立循環器病センター（現 独立行政法人国立循環器病研究センター））

本研究では高精度の光学式トラッキング装置を用いて、被検者の動きをモニターし、PET データの体動を補正するシステムを構築した。また、このシステムを利用して、X線 CT 画像と PET 画像の自動重ね合わせシステムを構築し、通常の PET 検査では必須であるトランスミッション撮像を省くことを目指した。これらにより、被検者を PET 装置に拘束することなく撮像でき、高精度で、かつ迅速な PET 胸部検査が可能となる。このシステムのソフトウェアを開発を行い、ファントム実験および臨床検査において検証し、その効果を確認した。さらに、マルチモダリティ画像重ね合わせシステムを開発し、胸部ファントムによる検証では、PET-MRI モダリティ間での自動位置合わせにおいて良好な結果が得られた。心壁運動の迅速な検査法および解析手法の開発も行い、150-水心臓 PET 検査で得られる心筋生理機能パラメーターが良く再現することを確認した。他のモダリティでの胸部検査への応用が期待でき、波及効果は大きい。一方、高価な光学式トラッキング装置を用いないプロトタイプシステムを作成し、その検証を行った。これにより、汎用的かつ安価なシステム構築の可能性を見いだした。

## 後3 放射線と化学物質の酸化的障害発現マーカープロファイリングの比較探索（国立医薬品食品衛生研究所）

放射線を含む化学物質などの異物と生体とのマイクロアレイによる相互作用の解析が進展した。ここでは酸化的障害に焦点をあて、放射線（ $\gamma$ 線）とベンゼン暴露によるマウスの遺伝子発現を、それぞれに共通に働く分子種と独自に働く分子種とにわけて分析し、それぞれの生体影響の特徴を明らかにするためのモデル実験を行った。実験的白血病誘発リスクを考慮して放射線は 3 Gy と 0.6 Gy の 1 回照射、ベンゼンは 300 ppm、6 時間/日、5 日/週、2 週間の間歇暴露とし、急性変化の収束した、暴露 4 週後の骨髓細胞を検索した。酸化的ストレス消去の対照としてチオレドキシン過剰発現マウスも参照した。対照群との群間比較による分散分析（ANOVA）で、放射線では 520 pbs、ベンゼンでは 263 pbs の各々のマウスに共通に発現する共通遺伝子（CG）が選別され、そのうち酸化的ストレス関連遺伝子では、前者で Kmo、Prdx2、Kdm5a など、後者で Cryl1、Gpx3、Kdm2a などと、同じ酸化還元酵素関連で異なった分子種の遺伝子発現が注目され、重複は見られなかった。他方、その数倍の頻度で確率論的にストカスティック遺伝子（SG：それぞれ 2,113 および 1,519 pbs）の発現が見られ、その酸化的ストレス関連遺伝子は、前者で Txnd2、Tyr、Cat など 138 pbs、後者で、SOD1、Txn2、Txnip など 114 pbs の、やはり異なった分子種の発現をみた。なお、放射線では、線量特異的に亢進/抑制する遺伝子も分別された。



#### 後4 放射線照射によるニホンナシ主要品種の自家和合性突然変異体の誘発と選抜に関する研究（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構）

ニホンナシは同一品種の受粉では結実しない自家不和合性の果樹であり、人工授粉を必要とし、結実安定の管理労力・コストが大きい。そこで主要品種である「幸水」等の自家不和合性品種にガンマ線を照射し、自家不和合性(S)遺伝子に突然変異を誘発し、受粉作業を必要とせず、結実安定性を有するニホンナシ新品種の育成を目指す。また自家和合性変異の原因を解明する。ガンマ線照射樹より採取された花粉を用いて育成されたニホンナシ個体群から自家和合性変異体が4個体選抜された。これらの和合性は花粉側、雌ずい側及びその両方（完全自家和合）の変異によることが明らかになった。S遺伝子の塩基配列の変化は見られなかったが、特に花粉側自家和合性個体については、親品種と同じ2倍体であるにも関わらず、S遺伝子とその周辺のみが倍化した花粉が発生し、この花粉の発生が本個体の自家和合性の原因である可能性が示された。さらに、この個体の後代の多くで自家和合性の性質を示し、果実品質の優れたものも存在したため、有用な母本となる可能性がある。不和合性花粉に含まれる和合性変異を獲得した花粉が優先的に交雑されることを利用した本手法により、ナシと同じ自家不和合性のメカニズムをもつと考えられる他のバラ科果樹（リンゴ、ウメ等）に同様の変異が誘発される可能性があると考えられた。

#### 後5 放射線被曝による生体傷害の予防・治療のための細胞増殖因子とその利用技術に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）

本研究では、放射線被曝による細胞死を抑制し、あるいは細胞増殖を促進することにより、粘膜障害や造血系障害を予防・治療するための分子とその利用技術を提供することを目的とする。すなわち、多種の細胞に活性を示す細胞増殖因子を対象として、高安定性と高分解耐性、長血中寿命などの特徴を付与するための蛋白質エンジニアリング技術を適用し、放射線照射による粘膜障害や造血系障害を予防・治療するための分子とその利用技術を開発することを目指した。

本研究においては、放射線障害防止効果を期待する天然型の細胞増殖因子である、FGF1、FGF7、FGF10の大量生産系と精製方法を確認した。マウス小腸クリプトの生細胞が放射線照射で減少することを指標とした放射線障害評価系を構築し、事前にFGFを腹腔内投与することにより、放射線障害が有意に軽減できることを示した。さらに、放射線照射により骨髄の有核細胞数が減少し細胞中のアポトーシスマーカーが亢進することを見だし、これを用いた放射線障害評価系を構築した。この系で、FGFの事前腹腔内投与により、細胞障害を有意に抑制できることを示した。さらにFGF分子の蛋白質エンジニアリングを行い、FGF1とFGF2のキメラ分子（FGFC）を創製した。この分子は、種々の放射線障害の評価系において、より高い予防・治療効果を発揮した。総括すると、細胞・組織・個体等様々なレベルでの放射線障害評価系を用いて様々なFGFの効果を解析した結果として、本研究計画後に臨床使用されるようになった天然型分子FGF7に比べてもFGF1が優れていることを示

し、作製した人工分子 FGFC は更に優れた予防・治療効果を有することを示した。

#### 後6 人体等価熱蛍光シート線量計による2次元線量測定システムの高度化に関する研究（独立行政法人海上技術安全研究所）

高感度熱蛍光体を材料としたフレキシブルなシート状の線量計を開発し、CCD カメラを用いた熱蛍光読取装置および熱蛍光量から線量への換算プログラムを整備することで、簡易的な2次元線量測定システムを確立した。シート線量計開発の過程において、これまで明らかにされていなかった熱蛍光体 LiF:Mg, Cu, P および LiF:Mg, Cu, Si の熱劣化の原因に関して、X 線回折による結晶構造解析、示差走査熱量測定による反応速度論解析及び X 線微細構造解析を用いて明らかにした。

また、高分子材料をバインダーとして加熱成型によりシートを製作する場合、製作時の熱履歴に依存した高分子の結晶化度が融点降下の原因になることを明らかにし、シート製作時の温度管理によりシート線量計の熱耐性を改善することが可能であることを示した。熱蛍光量測定装置については、読み取りの高速化及び高位置分解能とノイズの低減を実現する等、従来の測定装置と比較して性能を向上させた。加熱装置部分と受光部 CCD のデータ転送を連動させて熱蛍光量を測定する熱蛍光計測ソフトを製作した。シート線量計を用いた被ばく線量測定実験としては、X 線照射装置および Sr 線源を用いたファントム照射実験を行い、皮膚入射線量を求めることで本システムの有用性を確認した。

#### <物質・材料基盤技術分野>

#### 後7 先進原子力用複合材料の構造最適化シミュレーションシステム開発に関する研究（独立行政法人物質・材料研究機構）

核融合炉用材料は、高温、中性子照射など過酷な環境下で使用されることが多く、その材料特性の向上と信頼性の確保が要求されている。本研究は、これら蓄積してきた材料データとシミュレーション技術を活用、それに加えて界面解析や、熱膨張、弾性率、熱応力などのシミュレーション機能を新たに開発し、それを利用して、耐熱性や熱伝導特性、耐熱衝撃性に優れた材料の組み合わせ及び構造を探索するための複合材料統合シミュレーションシステムを開発することを目的とする。

本研究は、複合材料界面熱抵抗のシミュレーションシステム、有限要素法を利用した複合材料のミクロ領域熱伝導率、熱膨張率、弾性率、熱応力シミュレーション

システムならびに有限要素法を利用した円筒、板、ノゾルの構造体モデルの応力と熱応力シミュレーションシステムを開発した。さらに、ナノレベルからマクロレベルまで広範囲にわたる熱伝導と応力解析により、原子力構造体内部での使用が期待される複合材料の局所応力分布が予測可能である。

そのほかに、分子動力学シミュレーションを用いた異種材料界面の熱抵抗の計算及び界面熱抵抗の新しい実験測定手法を新たに確立した。

本研究で開発したシステムを利用して、核融合炉などの原子力用複合材料の信頼性の向上及び開発期間とコストの削減、また、本研究成果のパワーデバイスや熱電材料など幅広い分野での応用展開が期待される。

#### 後8 照射に起因する材料粒界の準安定構造の原子レベル動的過程に関する研究（独立行政法人物質・材料研究機構）

放射線環境下で使用される原子力材料では、材料への照射による損傷を受けて品質劣化がもたらされるが、その中で材料の結晶粒界は、粒界脆化や照射誘起応力腐食割れなどの現象が生じる起点となるため、その現象の解明は重要な研究課題である。それら現象の解明のため、材料への照射過程における粒界での原子構造変化および組成変化を原子レベルで動的に観察・解析した。Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> や SrTiO<sub>3</sub> などのセラミクス材料において、高温加熱しながら Xe イオン照射を行うことにより、照射イオンが粒内や粒界にナノ粒子として析出することを明らかにした。また、3次元観察技術として 180 度回転トモグラフィを開発し、ナノ結晶形状などの高分解能解析を行った。また、イオン照射下で増強される軽元素の特性 X 線励起現象に対するモデルを確立し、STEM において軽元素特性 X 線を高感度・高分解能で検出するための技術を確立した。さらに、材料内部における偏析原子クラスターやナノ粒子の ADF-STEM および ADF-共焦点 STEM による構造解析のためのシミュレーション手法を構築した。ADF-共焦点 STEM では深さ分解能が数 10nm となるため、粒界における偏析原子クラスターの三次元的検出が可能であることを明らかにした。

#### 後9 コンパクト偏光変調放射光源の開発とそれを用いた分光計測技術の高度化に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）

円偏光二色性（CD）はタンパク質の立体構造解析手法として広く利用されているが、従来装置では波長 140nm 以下の真空紫外領域での計測は不可能である。より短い波長領域で CD を計測することで、より高精度な立体構造解析や糖鎖等の従来では計測不可能だった試料への応用が可能になる。そこで本研究では上記波長領域に対応した真空紫外 CD 測定システム、およびそのための偏光光源であるコンパクト交流偏光変調放射光源を開発することを目的とした。

産総研電子蓄積リング TERAS にて CD 測定のための分光光学系・計測系の開発および装置較正方法の開発を行い、最短波長 40nm、精度 0.01%の CD 計測を実現した。この計測技術は波長領域において世界最高レベルであり、また放射光の偏光を交流的に変調した偏光変調分光法を実現しているのは本装置が世界唯一である。開発した計測システムを利用し、アミノ酸薄膜 20 種類、糖水溶液の真空紫外 CD スペクトルデータの取得を行い、さらに多くの生体関連分子についてのデータ蓄積を進めている。今後は本装置を用いたタンパク質・糖鎖等の生体分子立体構造解析と当該結果を基にした医薬品開発などが期待される。



## 後 10 低エネルギー光子による物質制御に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）

高速信号処理装置（デジタル信号処理計測システム）を開発し、それを用いて低エネルギー光子による物質制御に関する研究を行った。具体的には PCI ボードに FPGA 演算回路を集積した計 13 枚のボードと 1 枚の CPU ボードからなるバックプレーンを 2 基製作し、ピクセルアレイ検出器（既設）の 100 チャンネルデータを同時処理する高密度デジタル信号計測システムを開発した。信号を整形後、高速アナログ-デジタル変換し、検出されたイベント信号列から、各イベント間の時間を判定し、最大限のデータ列をデジタル演算に取り込むことにより、信号の揺らぎを抑制し計数率対分解能の関係を向上させた全 0.1GHz デジタル信号処理システムを完成した。本装置で開発された計測系はセグメントデータをあたかも 1 個の検出器のように扱え、効率の良いデータ処理が可能となった。光励起スピンクロスオーバー転移の局所構造変化を観察し、リガンド分子歪みにより特異な転移が説明できることを見いだした。放射光評価実験により放射線強度が増大すると信号中の DC 成分が変動し、ピークシフトとなることを見いだした。このため信号に重畳するバックグラウンド（DC 成分）を数式処理することにより、ピークシフトが生じない工夫を行った（特許出願中）。UV 光照射により世界最高の絶縁性能を有する高密度シリコン酸化膜が成長することを見いだした。

## 後 11 レーザー加速電子ビームの高度化と利用技術に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）

粒子加速器から発生する高エネルギーの粒子や光子は、原子力分野をはじめとして様々な分野で利用されている。現状では、加速器は特定の大型施設でのみ利用可能で、その小型化、汎用化が望まれている。高強度レーザーとプラズマの相互作用による粒子加速（レーザー加速）を用いて加速器の小型化が期待されている。レーザー加速によってフェムト秒の超短電子パルス発生も可能である。本研究では、レーザー加速を用いた小型電子加速器の実用化技術を確認するため、エネルギーの揃った準単色電子ビームを発生し、その高エネルギー化、大電荷量化、発生の安定化等の高度化を進めるとともに、フェムト秒 X 線発生等レーザー加速の特徴を生かした利用技術へと展開することを目指した。

レーザー加速電子ビームの高度化では、準単色電子ビームの高エネルギー化（ピークエネルギーの最高値 140 MeV）、大電荷量化（単色ピークの電子数の最高値  $8.1 \times 10^8$ ）を達成した。現在の高周波加速器からのビームに迫る電荷量を持つ準単色ビーム発生に成功した。準単色電子ビームの発生率を 90% に高め、安定発生にも成功した。準単色電子ビームの発生には、プラズマの電子密度制御、プレプラズマ発生の抑制が重要であることを明らかにした。また、粒子シミュレーションを用いて電子加速物理の解明を行い、準単色電子ビームは 10 fs の超短パルスであることも明らかにした。

レーザー加速電子ビームの利用技術では、レーザー加速で発生した準単色電子ビームとフェムト秒レーザーパルスを相互作用させ、レーザーコンプトン

散乱によって光子エネルギー50 keV、発散角 5 mrad の高い指向性を持つX線発生に成功した。また、フェムト秒電子線パルスならびにフェムト秒X線パルス発生を示唆する結果も得た。

## 後 1 2 原子力エネルギー利用高温水蒸気電解技術の開発（独立行政法人産業技術総合研究所）

高温ガス炉等の革新的原子炉で発生する熱を有効利用し、炭酸ガス排出がなく、高効率に水素を製造可能な高温水蒸気電解システムを実現するための固体酸化物形電解セル（SOEC）の製造プロセス開発を目的とし、動作温度 700～850℃、動作電圧 0.9～1.3V（電圧効率 160～110%に相当）、入力 5～20W 程度、ガスリーク率 1%以下の電解セルおよび入力 100W 程度のスタックの試作、試作したセル・スタックの運転実験で得られたデータをもとにした性能予測、本格開発時の技術課題の明確化を目指した。

研究では SOEC と類似の構造を持つ固体酸化物形燃料電池（SOFC）の製造技術を応用して電解質を薄膜化（10  $\mu$ m 程度）した円筒型電解セル・スタックの試作を試み、構成材料、製造条件の最適化、導電性接合材等の開発に取り組んだ結果、750℃、平均電解電圧 1.33V で入力 138W（セル当たりの入力 15.3W）、水素生成速度 724sccm の性能を得、セル・スタック性能目標を達成した。また、シミュレーションにより更なる性能向上の可能性を検討し、オーミック抵抗の低減等により内部抵抗を 65%程度まで低減できる可能性を得た。したがって、実験室レベルながら高温水蒸気電解の特長を生かし、通常の水電解と比較して飛躍的に電解効率が高い高温水蒸気電解スタックを実証することができた。さらに単セルを 1200 時間程度、一定電流密度（0.459A/cm<sup>2</sup>）で運転し耐久性を調査したところ 500 時間程度までは性能は一定であるがその後は 0.5mV/h 程度の割合で電解電圧の上昇が見られ、運転後の解体試験等では空気極の微細な剥離、セルとガス供給管の接続部のコーティングの劣化が観測された。

このような研究結果を総括すると今後、より実用的なシステムの開発にあたっての技術的課題はこれらの劣化を改善するとともに、電解電流密度の更なる向上、セルの大型化等によるシステム規模の拡大、さらには運転圧力の高圧化が重要であることが判明した。

## 後 1 3 放射線防護ならびに医療応用における国際規格に対応した高エネルギー中性子・放射能標準の確立と高度化に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）

最近の大型加速器を用いた放射線利用の進展、航空機搭乗員の被ばく評価等において、高エネルギー中性子のフルエンス標準の必要性が高まっている。特に放射線防護上重要であり、国際標準化機構が ISO 8529（放射線防護測定器の中性子校正法）で中性子エネルギー基準点と規定している、19MeV 付近の中性子フルエンス標準の確立が急がれる。また、最近の放射線治療に対応した線量、放射能標準の必要性も高まってきた。そこで、加速器を用いた T(d,n) 反応による 19MeV 単色中性子の発生と、その中性子場におけるフルエ



ンスの高精度絶対測定法を開発し、高エネルギー中性子のフルエンス標準の確立を目指した。また、医療用密封小線源の線量標準や現場測定器の簡易校正方法の確立を目指した。

19MeV 単色中性子の発生については、トリチウムターゲットで目的の中性子以外に発生する粒子の影響を相殺するため、ダミーターゲットを導入してバックグラウンドの大幅な低減を実現し、新たに最適設計を行った随伴粒子測定装置により中性子発生量測定を実現した。フルエンスの高精度絶対測定については、位置敏感型の比例計数管と Si 検出器によって構成されたカウンタテレスコープ式の中性子計数装置を開発し、高精度絶対測定を実現した。実際の校正で使用するモニタ検出器としては、二つの球形比例計数管及びポリエチレン減速材を組み合わせ、エネルギーレスポンスが 20MeV 程度まで平坦な中性子検出器を開発した。また、医療用密封小線源の線量標準向けの電離箱測定器を開発して標準を確立し、併せて現場測定器の簡易校正方法を開発した。上記成果を論文 8 件、口頭発表 38 件にまとめ公表した。

#### <システム基盤技術分野>

#### 後 1 4 原子力災害時の高線量被曝者スクリーニング用 in vivo 電子スピン共鳴装置 (ESR) 開発研究 (国立保健医療科学院)

原子力災害や核テロの際には、不特定多数が高線量の放射線被ばくの可能性がある、緊急被ばく医療のトリアージでは迅速な線量評価が必須である。本研究は、高線量被ばくにより惹起される歯におけるラジカルを、in vivo で測定する機器を用い、1 Gy 以上の被ばく者のスクリーニングを5分で可能とするシステムの開発を目標とし米国ダートマス大学で開発されたプロトタイプ機器に、高感度リゾネータを組み込んだ装置を Dart-Dose CMCR と連携して完成させた。

本装置を用い抜去歯に放射線を照射する実験を本院の研究倫理委員会の承認 (#09012) を得て実施し、ex vivo では、3-30 秒のスキャンを 30-90 回繰り返す計測で、1 Gy 照射を感度 73%、特異度 78%で、2 Gy 照射を感度 99.99%以上、特異度 98%で判定できることを確認した。併せて、放射線のエネルギー依存性を確認した。また放射線治療患者の歯牙でもシグナルを検出した。

歯だけでなく歯科用材料や繊維に放射線で比較的安定なラジカルが形成されるものがあることを見だし、線量評価の可能性を示した。なお、本装置は、試料を非破壊的に計測できるので歴史的に貴重な試料に対しても適用できる。

#### 後 1 5 深部岩盤掘削時の高精度破壊制御技術に関する研究 (独立行政法人産業技術総合研究所)

深部岩石試料の動的破壊特性の解明と損傷領域の評価では、爆薬駆動の水中衝撃波を利用した動的破壊特性の実験を考案し、ひずみ速度・応力速度の 1/3 乗に比例して引張強度が増加することが明らかになった。また、発破による損傷領域の検討では、モデル実験と現場での適用実験から検討し、岩石

の弾性波速度および密度変化から損傷領域を評価した。さらに、高精度破壊制御技術に関する研究では、透過材料を伝播する応力波を可視化し、干渉・伝播特性を解明し、応力波の干渉で亀裂の進展方向を制御する破壊制御法を示した。

#### 後 1 6 超臨界発電用炉水浄化技術の開発に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）

経済性の観点から注目されている超臨界軽水炉発電を想定した高温水浄化技術の開発に資することを目的に、配管などに使用される金属材料の高温高压水中での腐食挙動を評価し、炉水管理のための基礎データとして、腐食生成物の高温高压水中での溶解・析出データの蓄積及び腐食機構解明を行った。また、コバルトイオンなどを高温水中で除去可能な高温吸着材の開発を行うとともに、高温水中での吸着機構を解明した。

腐食データベースについては、高温水中でのステンレス鋼の腐食速度が温度、酸素濃度にほとんど依存せず、高酸素濃度領域の超臨界温度域においてもステンレス鋼の使用の可能性が示された。また、腐蝕溶解成分の金属酸化物溶解平衡について酸化還元反応を考慮した溶解平衡推算式を導出し、溶解度推算の妥当性を検証した。

高温吸着材の開発では、200℃を越える高温水中においても 1.0mmol/g 以上のコバルト吸着量を有する吸着材を見いだすとともに、多孔性ビーズに担持する手法を考案し、高温水流通系への適用を試み、本吸着材の実用化可能性が高いことを明らかにした。また、高温下で吸着したコバルトは吸着材構造中へ固定化される現象が見いだされ、放射性核種の処理・処分への適用も期待できる。

## 生体・環境基盤技術分野 (11月12日ヒアリング実施)

番号	府省	研究機関	課 題 名	評価
後 1	厚生労働省	独立行政法人 国立病院機構香川小児病院	深部悪性脳腫瘍に対する熱外中性子・アルファ線を用いた治療法の開発	B
後 2	厚生労働省	独立行政法人 国立循環器病研究センター	PET胸部検査における体動補正システムの開発と定量的心筋機能評価の迅速・高精度化	A
後 3	厚生労働省	国立医薬品食品衛生研究所	放射線と化学物質の酸化的障害発現マーカープロファイリングの比較探索	B
後 4	厚生労働省	独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構	放射線照射によるニホンナシ主要品目の自家和合性突然変異体の誘発と選抜に関する研究	B
後 5	経済産業省	独立行政法人産業技術総合研究所	放射線被曝による生体障害の予防・治療のための細胞増殖因子とその利用技術に関する研究	A
後 6	国土交通省	独立行政法人海上技術安全研究所	人体等価熱蛍光シート線量計による2次元線量測定システムの高度化に関する研究	A

## 物質・材料基盤技術分野 (11月30日ヒアリング実施)

番号	府省	研究機関	課 題 名	評価
後 7	文部科学省	独立行政法人 物質・材料研究機構	先進原子力用複合材料の構造最適化シミュレーションシステム開発に関する研究	B
後 8	文部科学省	独立行政法人 物質・材料研究機構	照射に起因する材料粒界の準安定構造の原子レベル動的過程に関する研究	A
後 9	経済産業省	独立行政法人 産業技術総合研究所	コンパクト偏光変調放射光源の開発とそれを用いた分光計測技術の高度化に関する研究	A
後 10	経済産業省	独立行政法人 産業技術総合研究所	低エネルギー光子による物質制御に関する研究	A
後 11	経済産業省	独立行政法人 産業技術総合研究所	レーザー加速電子ビームの高度化と利用技術に関する研究	A
後 12	経済産業省	独立行政法人 産業技術総合研究所	原子力エネルギー利用高温水蒸気電解技術の開発	B
後 13	経済産業省	独立行政法人 産業技術総合研究所	放射線防護ならびに医療応用における国際規格に対応した高エネルギー中性子・放射能標準の確立と高度化に関する研究	B

## システム基盤技術分野 (11月18日ヒアリング実施)

番号	府省	研究機関	課 題 名	評価
後 14	厚生労働省	国立保健医療科学院	原子力災害時の高線量被曝者スクリーニング用 in vivo 電子スピン共鳴 (ESR) 装置開発	A
後 15	経済産業省	独立行政法人産業技術総合研究所	深部岩盤掘削時の高精度破壊制御技術に関する研究	B
後 16	経済産業省	独立行政法人産業技術総合研究所	超臨界発電用炉水浄化技術の開発に関する研究	A

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：深部悪性脳腫瘍に対する熱外中性子・アルファ線を用いた治療法の開発 (独立行政法人国立病院機構香川小児病院)	
研究期間及び予算額：平成18年4月～平成21年3月（3年計画）平成20年度を平成21年度へ繰越し 21,096千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>本研究の目的は、以下の5点である。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 深部浸潤性の悪性脳腫瘍ならびに脳幹部腫瘍に対する必要十分量の照射線量を決定するための線量評価システムを開発し、熱外中性子の至適照射線量を確立する。</li> <li>2. 脳腫瘍内ならびに脳組織内における熱中性子に対する線量同時モニターの開発を行い、新たな照射システムを開発する。</li> <li>3. 必要十分量の中性子線量が得られる加速器を開発するための条件を求める。</li> <li>4. 加速器を用いた BNCTにおける新たな照射計画の作成。</li> <li>5. 新たなボロン化合物の開発ならびに投与方法の検討。</li> </ol>
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果</b>:線量評価システムの開発により熱外中性子の安全な照射方法の至適照射線量に関する研究が行われ、臨床使用が可能なが確認できており、当初の研究は臨床治療研究を除きほぼ達成された。この成果をもとに、専用の加速器を用いた照射システムの開発が進められている。</p> <p><b>特筆すべき成果</b>:第12回国際中性子療法学会を開催し、国際交流を進めることで、共同研究が始まった。（ドイツ Essen大学）</p> <p><b>副次的な効果</b>:香川大学工学部(石川善恵助教)および独立行政法人産業技術総合研究所(越崎直人)との間で共同研究が開始され、B4Cナノ粒子を用いた新たなボロン化合物の開発に着手できた。</p> <p><b>論文、特許等</b>:英文学術誌 19件</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p><b>目的・目標の設定の妥当性</b>:加速器ベースの熱外中性子を用いたBNCTの線量評価システムの開発は必要かつ重要であり、目標設定は妥当と思われる。しかしながら、このシステムを用いた臨床応用までを当初の目標としている一方、この部分が全く行われなかったことは偶発的なことではなく、その意味で臨床応用に関する目標設定は妥当性を欠く。</p> <p><b>研究計画設定の妥当性</b>:線量評価システムに関しては妥当である。研究費申請時の平成18年の2-3年前より京大原子炉休止は検討されていたことであり、そのことを勘案せずに研究計画に組み込んだ点は妥当性を欠く。</p> <p><b>研究費の妥当性</b>:臨床研究に関する部分は不適当。</p> <p><b>研究の進捗状況</b>:臨床研究の部分以外は計画通りに進捗し、副産物として、新たなボロン化合物開発に着手したことも評価できる。</p> <p><b>研究交流</b>:第12回国際中性子療法学会の開催、ドイツ・エッセン大学との共同研究等、大きな成果をあげている。</p> <p><b>研究者の研究能力</b>:十分である。</p>
4. その他	<p>京大原子炉並びに日本原子力研究開発機構の原子炉運転休止によって、計画実行に遅滞をきたしたことは遺憾であるが、後者のJRR-4については施設の不具合による計画外停止であったことは留意する必要がある。</p>
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：嶋 昭紘	

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：PET胸部検査における体動補正システムの開発と定量的心筋機能評価の迅速・高精度化 （国立循環器病センター（現 独立行政法人国立循環器病研究センター））	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 24,943千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	当該研究では高精度の光学式トラッキング装置を用いて、被検者の動きをモニターし、PETデータの体動を補正するシステムを構築する。さらに、この装置を用いて、X線CT画像とPET画像の自動重ね合わせシステムを構築し、通常のPET検査では必須であるトランスミッション撮像を省く。これらにより、被験者をPETに拘束することなく撮像でき、高精度で、かつ迅速なPET胸部検査が可能となる。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>線形変換による胸部体動補正法のためのソフトウェアを開発を行い、ファントム実験および臨床研究において検証し、その効果を確認した。</li> <li>マルチモダリティ画像重ね合わせシステムを開発し、胸部ファントムによる検証では、PET-MRIモダリティ間での自動位置合わせにおいて良好な結果が得られた。</li> <li>心壁運動の迅速な検査法および解析手法の開発や、<sup>15</sup>O-水心臓PET検査で得られる心筋生理機能パラメーターが良く再現することを確認した。</li> </ul> <p><b>特筆すべき成果：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>他のモダリティでの胸部検査への応用が期待でき、波及効果は大きい。</li> </ul> <p><b>副次的な成果：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高価な光学式トラッキング装置を用いないプロトタイプシステムを作成し、その検証を行い、有用性を確かめた。より汎用的かつ安価なシステム構築の可能性を見出した。</li> </ul> <p><b>論文、特許等：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>論文や技術報告、学会にて成果発表を行った。（英文学術誌3報、和文学術誌9報、口頭発表15件、特願2005-281567）</li> </ul>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p><b>目的・目標の設定の妥当性：</b> 胸部疾患のPET検査時の 体動補正システム開発がメインテーマであるが、これが実現されるとCTやMRI、PETでの他核種画像とのfusionなど他のモダリティへの応用が可能となり目標設定としては妥当である。</p> <p><b>研究計画設定の妥当性：</b> ほぼ、研究計画通り、良好な結果が得られており、計画設定は妥当であった。</p> <p><b>研究費の妥当性：</b> 妥当である。</p> <p><b>研究の進捗状況：</b> 開発されたシステムはファントム実験でも動物実験でも優れたシステムであった。また、USBシステムを用いた廉価の同様システムの開発もあり、計画以上に進捗したと言える。</p> <p><b>研究交流：</b> 国立循環器病研究センター病院部との研究交流は当然である。国際交流が望まれる。</p> <p><b>研究者の研究能力：</b> 十分である。</p>
4. その他	ここで得られた成果をもとにした新課題名「非固定型PET検査システムの開発」が、JST平成22年度研究成果最適展開支援事業（A-STEP）探索タイプに採択され、島津製作所との共同研究により、成果の事業化・製品化を目指しているのは大変結構である。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：嶋 昭紘	



## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：放射線と化学物質の酸化的障害発現マーカープロファイリングの比較探索 (国立医薬品食品衛生研究所)	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 23,813千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	本研究の目的は、放射線の酸化的DNA障害によって発現する遺伝子プロファイルの中から、照射後1ヶ月の遷延性変化を中心に障害応答性生物学的マーカー遺伝子群を抽出し、特異的プロファイリングとしてデータベース化することである。また、同じ酸化的DNA障害性の知られるベンゼンでのそれと比較検索し、双方共通のプロファイルについては、酸化的なDNA障害共通のプロファイルとして、それらを障害性発現の機構研究の糸口とすることを目指している。この目的を達成するために、酸化的ストレス影響の過剰反応系としてのチオレドキシン(Trx)遺伝子ヘテロノックアウト(KO)マウスで特異的に発現する遺伝子をスクリーニングし、得られたプロファイルを、Trx遺伝子過剰発現(Tg)マウスで確認選択する新しい試験系を用いた。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<b>当初予定の成果</b> ：放射線の酸化的DNA障害によって発現する遺伝子プロファイルのうち照射後1ヶ月の遷延性変化における、各群共通に変動を示すコモン・プロファイルとして、野生型マウスの非照射群と照射群の群間比較による分散分析 (ANOVA) によって、520個のprobe sets (pbs) が選別され、Ets1, Bcl6, Friend leukemia integrated 1などが含まれていた。一方ベンゼン暴露群では、非暴露群との群間比較により263pbs (GST, Apaf1, p27 <sup>KIP1</sup> などを含む) が選別された。尚、両者の重複は32pbsであり、Gene ontology (GO) 解析により、intracellular membrane-bound organelleのGO (MEF2C, alpha thalassemiaなどの21pbsを含む) をはじめ、抗アポトーシス、細胞分裂などのGOが得られた。 <b>特筆すべき成果</b> ：遺伝子毎に各マウスの発現強度を折れ線グラフでつないだアレイの線図が、非照射群では、個々の遺伝子発現が類似の収束プロファイルを示すのに対して、照射群のそれが分散像を示し、放射線の影響の不確定性のストカスティック・バリエーションが想定されたことから、試行的にPCAによる個別別データと和集合を採取し、晩発効果の予測に役割を果たす生物学的蓋然性を有するプロファイルを得た。 <b>副次的な成果</b> ：0.6Gyと3Gyの照射線量はそれぞれ線量特異的な遺伝子群の発現を誘発するものと想定していたが、その想定内容と異なり3Gyでエイジング関連遺伝子群がまた0.6Gy照射群でアポトーシスに引き続いて後程生ずると考えられる関連遺伝子群の発現が見出され、これらの遺伝子群の発現機構の線量特異性の解釈に新たな検討の余地を生んだ。 <b>論文発表</b> ：原著(8件)、総説(2件)、口頭発表(1件)など、成果を発表している。
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<b>目的・目標の設定の妥当性</b> ：酸化的DNA障害によって発現する遺伝子プロファイル・データベース作成のために、放射線をベンゼンと比較することが、原子力試験研究の課題として、適切であったか疑問が残る。 <b>研究計画設定の妥当性</b> ：酸化的ストレス影響の過剰発現系としてTrx遺伝子ヘテロノックアウトマウスを、消去系としてTrx遺伝子過剰発現マウスを用いる新しい試験系を採用したが、その特性が十分に発揮されたとはいえない。より低線量・長期曝露条件の実験が必要であったと思われる。 <b>研究費用の妥当性</b> ：中間評価の結果、研究費が削減された跡が認められる。Gene chip を用いる実験研究として問題はない。 <b>研究の進捗状況</b> ：特に指摘すべき問題はない。 <b>研究交流</b> ：米国FDAとのGene chip マイクロアレイ実験に関する研究交流等、国際レベルの交流が行われた。 <b>研究者の研究能力</b> ：特に指摘すべき問題はない。
4. その他	Gene chip マイクロアレイ実験の結果として多くのデータが得られている。成果として得られたデータベースを公開する段階に進んで戴きたい。また、ノックアウトマウスを用いる新たな試験系の有効な適用対象について検討する他、白血病を共通事象にして、放射線の効果とベンゼン（化学物質）の効果を遺伝子レベルでブリッジする可能性を検討する等、新たな課題への展開を期待する。
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：嶋 昭紘	

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：放射線照射によるニホンナシ主要品目の自家不和合性突然変異体の誘発と選抜に関する研究（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構）	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 17,958千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	ニホンナシは同一品種の受粉では結実しない自家不和合性の果樹であり、人手による受粉作業を行っているが、結実が不安定である。このため、管理労力、管理コストが大きい。そこで、現在の主要品種である「幸水」、有望品種の「あきづき」等の自家不和合性品種にガンマ線を照射して自家不和合性遺伝子に突然変異を誘発し、受粉作業を必要とせず、結実安定性を有するニホンナシ新品種の育成を目指す。また、自家不和合性変異の原因を解明し、リンゴ、ウメ等の自家不和合性が問題となる他の果樹への応用を目指す。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果</b>：ガンマ線照射樹より採取された花粉を用いて育成されたニホンナシ個体群から自家不和合性変異系統が4個体選抜された。これらの自家不和合性は花粉側、雌ずい側及びその両方（完全自家和合）の変異によることが明らかになった。また、ニホンナシで報告のない花粉側自家不和合性個体を獲得し、DNAの解析を行ったところ、これらの後代の多くは自家不和合性の性質を示したため、自家不和合性が後代に遺伝する可能性が示された。</p> <p><b>特筆すべき成果</b>：多くの不和合性花粉に含まれる和合性変異を獲得した花粉が優先的に交雑されることを利用した手法により、他のバラ科果樹（リンゴ、ウメ等）にも利用可能であることを見出した。</p> <p><b>副次的な成果</b>：ガンマ照射により自家不和合性に関与するS遺伝子（花粉側、花柱側）の塩基配列が変異することで和合性が獲得されると想定されたが、選抜された自家不和合性変異系統4個体には、少なくとも花柱側S遺伝子の塩基配列上に変異は見られず、S対立遺伝子が分離せず複数のS遺伝子を有する花粉が発生し、この花粉の発生が本個体の自家不和合性である可能性が示された。</p> <p><b>論文・特許等</b>：これらの成果は、口頭発表6件によりまとめられた。</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p><b>目的・目標の設定の妥当性</b>：ニホンナシの低コスト・省力化・安定生産に資する新品種開発を目的・目標に設定していることは妥当であり、ガンマフィールドでのガンマ線照射法と近年実績を上げている重イオンビーム照射法を用いて効果を検討しようとする方針は、原子力試験研究の在り方に合致する。</p> <p><b>研究計画設定の妥当性</b>：ニホンナシの和合性突然変異体選抜マーカーとしてS-RNase遺伝子型などに着目したことはきわめて妥当であり、放射線変異を分子生物学的レベルで証明する手段を得ることができた。しかし、研究対象について、実用品種が多様であることは理解できるが、ガンマ線と重イオンビームという原理的に効果が異なる線種の実験については、同じ品種で効果を比較する系を計画すべきであった。報告書に述べられている「あきづき」のデータは重イオンビーム照射で得られただけなので、十分とはいえない。</p> <p><b>研究費用の妥当性</b>：ナシだけでなくリンゴ、モモ、ウメ、イチゴなど、さまざまなバラ科果実による数千億円市場の将来にかかわる重要課題の割には極めて廉価な経費であるが、今後の発展に期待できる成果を上げたことは研究費用の効率として高い評価に値する。</p> <p><b>研究の進捗状況</b>：放射線照射により得られた4個体の和合性変異体の遺伝機構を解析し、変異の可能性を見出したことは評価できるが、最近の多様な照射法や植物組織培養技術などによる迅速な研究進展が意図されていないことをもどかしく思う。</p> <p><b>研究交流</b>：これを契機として、果樹研究所、農業生物資源研究所放射線育種場および理化学研究所間での和合性突然変異に関する研究交流が活発化することを期待する。</p> <p><b>研究者の研究能力</b>：突然変異体のスクリーニングが忍耐強く行われ、4個体の自家不和合性個体を獲得できたことや、S遺伝子マーカーによる解析を的確に進めて遺伝機構を推定したことなどから、当該研究者らの研究能力は十分に高いと判断できる。</p>
4. その他	
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：嶋 昭紘	

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：放射線被曝による生体障害の予防・治療のための細胞増殖因子とその利用技術に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 97,656千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	本研究では、放射線被曝による細胞死を抑制し、あるいは細胞増殖を促進することにより、粘膜障害や造血系障害を予防・治療するための分子とその利用技術を提供することを目的とする。これを達成するための計画として、多種の細胞に活性を示す細胞増殖因子を対象として、高安定性と高分解耐性、長血中寿命などの特徴を付与するための蛋白質エンジニアリング技術を適用し、放射線照射による粘膜障害や造血系障害を予防・治療するための分子とその利用技術を開発する。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果</b>：放射線障害防止効果を期待しうる細胞増殖因子である、FGF1, FGF7, FGF10の大量生産系と精製方法を確立した。マウス小腸クリプトの生細胞が放射線照射で減少することを指標とするWithers法を用いて小腸上皮の放射線障害を評価し、FGFの事前腹腔内投与により放射線障害が有意に軽減できることを示した。さらに、放射線照射による骨髄の有核細胞数減少の抑制効果を示した。口腔粘膜障害治療薬として近年開発されたFGF7に比べても、より活性の高いFGF1を提示する実験結果を得た。さらにFGF分子の蛋白質エンジニアリングを行い、FGF1とFGF2のキメラ分子（FGF-C）を創製し、この分子が、天然型では最も高い活性を示したFGF1よりも予防・治療効果が高いことを示した。</p> <p><b>特筆すべき成果</b>：米国で口腔粘膜の放射線障害防護に使用され始めた天然型細胞増殖因子FGF7に比べ、天然型細胞増殖因子FGF1がより高い防護活性を有することを示した。さらに、そのFGF1を凌駕する活性を持つ人工的分子としてFGF-Cを開発した。FGF分子の蛋白質エンジニアリングによって得られたFGF-Cは、FGF1とFGF2両者の長所を有し、安定であることから、医薬品としての有用性が高いと考えられる。</p> <p><b>副次的な成果</b>：糖鎖付加型FGF1の糖鎖構造の制御を目的として、宿主培養細胞の糖鎖生合成関連酵素の遺伝子発現を操作し、グリコサミノグリカン糖鎖の構造を制御できることを示した。さらに放射線被曝による皮膚障害や毛包細胞死に対しても、細胞増殖因子が防護効果を有することを示した。</p> <p><b>論文、特許等</b>：論文発表6編と学会発表30件を行い、複数の特許出願（4件）も行った。</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p><b>目的・目標の設定の妥当性</b>：放射線組織障害が標的組織の幹細胞の減少による場合には、細胞増殖因子を有効に作用させることによって障害発生を予防または治療することが可能で、そのような目標設定は合理的である。本研究開始時点での利用可能な分子は骨髄系組織障害にのみ適用可能なものであったが、腸管粘膜障害や口腔粘膜障害にも適用できる分子を開発する本課題は独自なもので、その目的・目標の当初設定は、妥当であったと考えられる。その後、米国FDAはがんの放射線化学療法に伴う口腔粘膜炎の症状軽減薬としてFGF-7を認可している。</p> <p><b>研究計画設定の妥当性</b>：本研究では、分子エンジニアリング技術により天然型のFGFを高安定性と活性で上回る高機能化増殖因子を糖鎖修飾体によって創造し、その有効性を示した。特に糖鎖修飾体の放射線防護活性が天然型よりも高機能な分子を創出できたことは特記すべき成果と言える。また、単にアポトーシス細胞死のみならず、腸管上皮クリプト幹細胞の生残細胞数を定量的指標にしていることも重要で評価できる。表皮や口腔粘膜炎の評価にもこの点今後の評価方法で注意すべき点である。</p> <p><b>研究費用の妥当性</b>：研究費用の使用状況は妥当である。予算額の削減がなければ糖鎖修飾体の大量生産が可能となり、より大きい成果が生み出された可能性が指摘されている。</p> <p><b>研究の進捗状況</b>：当初想定した目標をほぼ達成しているが、口腔粘膜炎の抑制に関する実験は行われていない。マクロ的な指標による粘膜炎抑制効果、さらに皮膚表皮幹細胞数に関する研究が望まれる。想定以上の成果も得られ、良好な進捗状況と言える。</p> <p><b>研究交流</b>：分野の異なる専門家間の研究交流により一体的研究が実施され、共同での論文発表や特許出願に結びついている。</p> <p><b>研究者の研究能力</b>：研究者チームはそれぞれの分野の専門家で、高い研究能力を発揮した。</p>
4. その他	米国では既にがん化学療法による口腔粘膜炎の発症抑制にヒトのケラチノサイト成長因子（palifermin）が有効であることが無作為2重盲検臨床試験で初めて示された。（Vadhan-Raj S et al: Ann Intern Med 2010;153:358-367）paliferminはFGF-7と同じ物質である。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：嶋 昭紘	



## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：人体等価熱蛍光シート線量計による2次元線量測定システムの高度化に関する研究 (独立行政法人海上技術安全研究所)	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 36,446千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>本研究では、近年増加しているビーム状の放射線利用や放射線遮蔽欠損による局所的な被ばくに対応するために、生体等価なエネルギー特性を持つシート線量計を用いた簡便な2次元線量測定方法を確立を目指して、以下の研究開発を行うことを目標としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>放射線に対して人体と等価なエネルギー応答特性を持つ2次元シート線量計及び線量計算コードの開発</li> <li>種々の条件下での被ばく線量を正確に測定・評価できる被ばく線量評価システムの確立</li> </ul>
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果</b>：高感度熱蛍光体を材料としたフレキシブルなシート状線量計を開発し、簡易的な2次元線量評価システムを確立するとともに、医療及び個人被ばく線量測定への適用性を実証した。この過程において、シート線量計の素材となる熱蛍光体LiF:Mg, Cu, Pで見られる熱劣化特性について、X線回折による結晶構造解析及び示差走査熱量測定による反応速度論解析を用いて明らかにするとともに、さらに他の熱蛍光体（LiF:Mg, Cu, Si）や発光体（ガラス素子：銀活性リン酸塩ガラス）にもX線微細構造解析を適用して、劣化機構および発光機構に対する知見を得た。また、高分子をバインダーとして加熱成型によりシートを製作する場合、製作時の熱履歴に依存した高分子の結晶化度が融点降下の原因になることを明らかにし、シート製作時の温度管理によりシート線量計の熱耐性を改善することが可能であることを示した。さらに、熱蛍光量測定装置については、読み取りの高速化及び高位置分解能とノイズの低減を実現する等、従来の測定装置と比較して性能を飛躍的に向上させた。</p> <p><b>特筆すべき成果</b>：熱分析による熱化学反応観測とXAFS（X線微細構造）による添加元素の価数評価から熱蛍光体の特性を評価した事例はこれまでに少なく、今後新しい観点からの熱蛍光体特性評価方法として活用されることが期待される。</p> <p><b>副次的な成果</b>：個人被ばくモニタリングに広く国内で用いられているガラス線量計との比較を行う中で、ガラス素子の発光特性に関する実験を千代田テクノ大洗研究所と共同で実施し、ガラス線量計のRadiophoto Luminescenceと呼ばれる現象の発光機構について、従来のモデルとは異なる価数変化を伴わない発光機構の可能性を示した。</p> <p><b>論文、特許等</b>：論文は査読付論文及び国際会議論文集で10件あり、十分な成果の発信を行った。また、シート線量計の加工法については、特許を出願準備中である。</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p><b>目的・目標</b>：種々の放射線検査や治療において、湾曲した体表面皮膚の線量を2次元の面として正確に評価することは難しい。非常にflexibleなシート線量計が開発されればその臨床的有用性は十分であることから、当該シート開発を目的としていることは妥当である。</p> <p><b>研究計画設定</b>：柔軟性をもつ2次元シートの開発と生体等価なエネルギー特性をもつTLD素材の利用を図る計画設定は目的・目標に沿ったもので妥当であった。ただ、近年利用が増加しているガラス線量計との差別化は求められる。</p> <p><b>研究費</b>：概ね妥当と判断される。</p> <p><b>研究の進捗状況</b>：テフロン及びシリコンベースで柔軟性を有する2次元シート線量計の開発と熱蛍光線量評価測定システムを完成させた。線量計の熱劣化の原因究明にも成果を上げた。</p> <p><b>研究交流</b>：TLDの国内供給メーカーの撤退があったが、韓国研究者からTLD素材の提供を受けるなど国際的な研究交流が行われた。</p> <p><b>研究者の能力</b>：一定の成果を上げていることから研究者の能力は高いと評価される。</p>
4. その他	特許として本技術が認められ、実際の応用現場での研究に進まれることを期待したい。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：嶋 昭紘	

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：先進原子力用複合材料の構造最適化シミュレーションシステム開発に関する研究 (独立行政法人物質・材料研究機構)	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 53,642千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	材料データベース、複合材料熱伝導特性予測技術などの研究によって蓄積してきたデータやシミュレーション技術を活用して、新たに界面解析や熱応力シミュレーション機能を導入した統合シミュレーションシステムを構築し、耐熱性、熱伝導特性、耐熱衝撃性に優れた核融合炉用材料として最適な材料の組合せと構造を探索するためのシミュレーションシステムを開発する。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果</b>：フォノン運動モデルによる複合材料界面熱抵抗のシミュレーションシステムの開発、有限要素法を利用したマイクロ領域熱伝導率、熱膨張率、弾性率、熱応力シミュレーションシステムの開発ならびに有限要素法を利用した円筒、板、ノズルの構造体モデルの応力と熱応力シミュレーションシステムの開発を行うとともに、SiC/SiC複合材料を対象として実験で検証した。</p> <p><b>特筆すべき成果</b>：ナノレベルからマクロレベルまで広範囲にわたる熱伝導と応力解析により、原子力用構造体内部での使用が期待される複合材料の局所応力分布が予測可能である。</p> <p><b>副次的な成果</b>：分子動力学シミュレーションを用いた異種材料界面の熱抵抗の計算、および界面熱抵抗の新しい実験測定手法を確立した。</p> <p><b>論文、特許等</b>：論文11件、著書1件、特許1件、口頭発表33件のほか、データベースならびにシミュレーションシステムをウェブにより一般公開。</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p>・<b>目的・目標の設定の妥当性</b>：物質・材料研究機構が蓄積してきた材料データベースやシミュレーション技術を活用し、核融合炉材料として優れた特性を有する複合材料を設計するためのシミュレーションシステムを開発することを目的としており、原子力分野への貢献が期待できることから、目的設定は妥当であったと言える。</p> <p>・<b>研究計画設定の妥当性</b>：複合材料の特性のシミュレーションのため重要な意味を持つ上記の3種のシミュレーションシステムの開発を目指したことは、適切であったと評価できる。さらに、シミュレーションシステムの妥当性を、実験により検証することを計画したことは、妥当であったと判断できる。</p> <p>・<b>研究費用の妥当性</b>：研究費用はソフト開発と実験にバランス良く配分されており、妥当と判断される。</p> <p>・<b>研究の進捗状況</b>：システム開発から実験検証にわたって多くの課題を含んでいたが、当初計画に沿いつつほぼ順調に進捗したと見なしうる。</p> <p>・<b>研究交流</b>：国内外の専門家との交流を積極的に行い、有用な意見、技術を取り入れながら研究を進めたことは評価される。一方、原子力分野の専門家との交流をもっと積極的に行うべきであった。</p> <p>・<b>研究者の研究能力</b>：多くの研究者の能力を融合して複合領域的な高度の研究課題を相当うまく処理できたことは、リーダーや関係した研究者の研究能力の高さを示している。一方、原子力分野の研究者の活用が十分でなかった。</p>
4. その他	今後は、核融合炉や高温原子炉材料分野の調査や交流を積極的に行い、成果を活かしてほしい。
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：阿部 勝憲	



表9

後 8

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：照射に起因する材料粒界の準安定構造の原子レベル動的過程に関する研究 （独立行政法人物質・材料研究機構）	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 59,872千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	材料の照射損傷の主な原因となる粒界偏析や粒界準安定構造の形成過程を、照射下で応力を印加しながらその場観察できる高分解能透過型電子顕微鏡を用いて、原子レベルで動的に観察し、脆化・割れの原因解明に資すること、及び照射下における電子励起状態を利用して照射誘起局在組成の高感度軽元素分析法を新しく開発することを目的としている。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<b>当初予定の成果</b> ：セラミックスにおいて、高温加熱しながらXeイオン照射を行うことにより、照射イオンが粒内や粒界にナノ粒子として析出することを明らかにするとともに、3次元観察技術として180度回転トモグラフィーを開発し、ナノ結晶形状などの高分解能解析を行っている。また、イオン照射下で促進される軽元素の特性X線励起現象に対するモデルを確立し、STEMにおいて軽元素特性X線を高感度・高分解能で検出する技術を確立している。さらに、材料内部における偏析原子クラスターやナノ粒子のADF-STEMおよびADF-共焦点STEMによる構造解析のためのシミュレーション手法を構築している。 <b>特筆すべき成果</b> ：180度回転トモグラフィー法とADF-共焦点STEM法が開発され、ナノスケールでの3次元解析を実現している。また、軽元素分析技術開発において、波長分散型のコンパクトな軽元素計測特性X線検出装置を開発し、高いエネルギー分解能と感度の双方を持たせることに成功している。 <b>副次的な成果</b> ：軽元素分析技術開発において、高感度な軽元素分析が可能となり、実用化に繋がっている。また、共焦点STEM法により容易に断層像が取得できることを明らかにしている。 <b>論文、特許等</b> ：論文31報、口頭発表56件、特許3件。
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	・ <b>目的・目標の設定の妥当性</b> ：照射によって引き起こされる原子力材料の劣化・脆化は結晶粒界に起因することが多い。従って、その原因となる粒界偏析や粒界準安定構造の形成過程をTEMによって直接動的に観察し、解明しようとする研究は有用であり、目的・目標の設定はほぼ妥当である。 ・ <b>研究計画設定の妥当性</b> ：研究目的に沿って、照射下かつ応力下での粒界のTEM観察の計画が立てられ、精力的に実験が行われた。その結果、粒内や粒界に析出する粒子の同定やその3次元的な分布の決定に成功し、これらについては顕著な成果が挙げられた。従って、これらの点における研究計画は妥当であったと判断される。一方、研究期間中に、粒界破壊の観察にまでいたことはなかった。この点については、応力を粒界に集中させるための工夫をホルダーに施すなど、研究計画の更新が必要であったと思われる。 ・ <b>研究費用の妥当性</b> ：論文31報、特許3件は十分な量の学術的成果と云える。よって、研究費用は妥当である。 ・ <b>研究の進捗状況</b> ：粒子線照射による材料粒界での準安定構造の原子レベル解析、その場観察、高感度組成測定技術開発や関連する計算などでは、当初の研究目標をほぼ達成したといえる。ただし、実際の原子力材料で起こっている問題につなげる点でより工夫すれば良かった。 ・ <b>研究交流</b> ：共同研究の相手先を訪問するなどして、一定の研究交流を行っている。 ・ <b>研究者の研究能力</b> ：研究能力については特に問題ないと判断される。
4. その他	粒界に応力を加えつつその破壊挙動をTEMでその場観察する研究は非常に重要である。本研究は、その困難な研究に挑戦したものであり、その姿勢は高く評価できる。この重要な技術を確立すべく、研究が継続されることを強く希望する。 また、今回の研究で用いられた材料や照射粒子は、必ずしも原子力研究と直結するものではなかった。その意味で、今後は、UO <sub>2</sub> の模擬材料であるCeO <sub>2</sub> を対象とする研究やKrイオンを照射粒子とする研究にも展開し、工学的意味のよりはっきりとした研究として大きく発展することを期待する。さらに、今回の成果を活かすためには、粒界構造の非平衡効果の一般化についてさらに深い検討が有効であると判断される。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

表9

後 9

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：コンパクト偏光変調放射光源の開発とそれを用いた分光計測技術の高度化に関する研究 （独立行政法人産業技術総合研究所）	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 64,190千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	生体分子立体構造解析を目指した高感度真空紫外円偏光二色性測定装置を実用化し、ライフサイエンスや物質・材料科学技術分野における最先端研究手段として提供するため、偏光アンジュレータの小型化と高性能化、加速器・分光計測装置の統合システムの構築により、ユーザーにとって扱い易いコンパクト交流偏光変調放射光源を開発する。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果：</b> 真空紫外分光器の高性能化、加速器制御の高度化を図り、波長分解能の向上、迷光の除去、光学系の偏光特性向上などが得られ、計測精度の向上と光学素子の耐久性能の向上に成功した。反射型偏光解析装置を開発し、高精度の偏光状態解析による計測システムの感度較正を行い、円偏光二色性強度の絶対測定が可能となった。これにより、ビームライン光学系の最適化を実現した。</p> <p>また、偏光アンジュレータの磁石列を正確に正弦運動させる機構を開発し、計測精度の向上、装置の振動低減化を図り、装置全体のコンパクト化に成功した。マシンパラメータを組み込んだプログラムをつくり、加速器、アンジュレータ、分光計測装置を統合的に制御するシステムを完成させた。</p> <p><b>特筆すべき成果：</b>生体試料を扱う要素技術を開発し、波長40nm程度までの世界初の極紫外線領域における正確な円偏光二色性スペクトルの測定に成功し、専用水溶液セルにより水溶液試料についても円偏光二色性データ取得が可能となった。アミノ酸薄膜20種類、アミノ酸水溶液、糖水溶液の真空紫外円偏光二色性スペクトルデータを取得し、更に多くの生体関連分子データ蓄積を進めた。これにより、糖鎖、糖タンパクなどの立体構造解析が可能となることが期待される。</p> <p><b>副次的な成果：</b>アミノ酸薄膜に真空紫外円偏光を照射することにより不斉分解が生じることを確認し、医薬品の異性体分離などの応用が期待される。また、アミノ酸の円偏光二色性スペクトル理論計算を実行し、分子構造と円偏光二色性スペクトルの対応関係を明らかにさせつつある。</p> <p><b>論文、特許等：</b>論文12報、口頭発表58件、受賞3件、イベント出展その他3件</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p>・<b>目的・目標の設定の妥当性：</b></p> <p>・<b>研究計画設定の妥当性：</b> 高感度真空紫外円偏光二色性測定装置を実用化し、ライフサイエンスや物質・材料科学技術分野における最先端研究手段として提供するため、測定系等の整備・構築を行うという目的・目標の設定及び研究計画の設定は妥当である。</p> <p>・<b>研究費用の妥当性：</b>研究費用も既存の装置を有効に活用して、今回の研究費用による装置の整備を行っているので研究費用は妥当である。</p> <p>・<b>研究の進捗状況：</b>真空紫外分光器の高性能化、加速器制御の高度化、波長分解能の向上、迷光の除去、光学系の偏光特性向上などが得られ、高精度の偏光状態解析、円偏光二色性強度の絶対測定、真空紫外円偏光測定が可能となった。また、装置全体のコンパクト化等の結果、加速器、アンジュレータ、分光計測装置を統合的に制御するシステムを完成させた。その結果、生体試料を扱う要素技術を開発し、波長40nm程度までの世界初の極紫外線領域における正確な円偏光二色性スペクトルの測定に成功した。研究の進捗は順調である。</p> <p>・<b>研究交流：</b>研究交流は広く行っているが、今後、装置が神戸大学以外にも利用されることを期待したい。</p> <p>・<b>研究者の研究能力：</b>装置の製作、装置による研究も順調に進んでおり、研究者の研究能力は高い。</p>
4. その他	現時点では新しい装置の実証データを除くと、新しく開発した装置で初めて測定できるようになった真空紫外波長領域よりも、従来測定可能であった180 nm以上の波長で測定されているので、この装置で初めて測定できるインパクトの高い研究成果を期待したい。また特許につなげることも期待する。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

表9

後10

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：低エネルギー光子による物質制御に関する研究 (独立行政法人産業技術総合研究所)	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 52,312千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	本研究は放射光を用いて光による局所的な原子配列の変化を実時間で観測する高感度分光計測技術を開発し、光による物質の構造と秩序制御のための新しい放射光利用技術の開拓を目的とする。最終目標は(1)高速信号処理装置（デジタル信号処理計測システム）の研究開発および(2)光励起状態の高感度局所構造に関する応用研究である。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果</b>：PCIボードにFPGA演算回路を集積した計13枚のボードと1枚のCPUボードからなるバックプレーンを2基製作し、ピクセルアレイ検出器（既設）の100チャンネルデータを同時処理する高密度デジタル信号計測システムを開発した。信号を整形後、高速アナログ-デジタル変換し、検出されたイベント信号列から、各イベント間の時間を判定し、最大限のデータ列をデジタル演算に取り込むことにより、信号の揺らぎを抑制し計数率対分解能の関係を向上させた。世界初の全0.1GHzデジタル信号処理システムは当初目標をクリアする成果である。</p> <p><b>特筆すべき成果</b>：市販のデジタル信号処理回路では制御ソフトが煩雑で実用的でなかったが、本装置で開発した計測系セグメントをデータベース化し、あたかも1個の検出器のようなシステムを実現させることにより、効率の良いデータ処理が可能となった。光励起スピントロニクスオーバー転移の局所構造変化を観察し、リガンド分子歪みにより特異な転移が説明できることを見出した。</p> <p><b>副次的な成果</b>：放射光評価実験により放射線強度が増大すると信号中のDC成分が変動し、ピークシフトとなることを見出したことにより、信号に重畳するバックグラウンド（DC成分）を数式処理して、ピークシフトが生じない工夫を行った（特許出願中）。また、UV光照射により世界最高の絶縁性能を有する高密度シリコン酸化膜が成長することを見出した。</p> <p><b>論文、特許等</b>：原著論文14報、口頭発表8件（招待講演を含む）</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p>・<b>目的・目標の設定の妥当性</b>：放射光を用いて光による局所的な原子配列の変化を実時間で観測する高感度分光計測技術を開発することは、実用材料の構造研究を行うときに非常に重要となる。目的・目標の設定は妥当である。</p> <p>・<b>研究計画の設定の妥当性</b>：高速信号処理装置（デジタル信号処理計測システム）の研究開発、および光励起状態の高感度局所構造に関する応用研究の計画は妥当と考えるが、応用研究の成果を十分出すためには、参加研究者を広げればもっと良かった。</p> <p>・<b>研究費用の妥当性</b>：デジタルソフトの開発での共同研究も活用しており研究費用は妥当であったと判断する。</p> <p>・<b>研究の進捗状況</b>：磁性ナノ半導体、光励起構造相転移、銅酸化物および鉄系超伝導体に適用し、低エネルギー励起状態の局所構造の高感度解析などの応用研究を展開しており、今後が楽しみな進捗状況にある。</p> <p>・<b>研究交流</b>：研究交流では、今着目されている研究課題を今回の装置を用いて積極的に研究を展開しており、今後が期待される。所内でも研究交流によって研究進捗を加速できればさらに良かった。</p> <p>・<b>研究者の研究能力</b>：開発した機器やレベルの高い学術誌の投稿や発表論文数などを鑑み、招待講演も多く、本研究の成果をこの分野の研究者が評価しているということから、研究者の研究能力は高いと判断される。</p>
4. その他	開発した機器、解析システムの実用化と、広く応用されることを期待する。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：阿部 勝憲	



表9

後11

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：レーザー加速電子ビームの高度化と利用技術に関する研究 (独立行政法人産業技術総合研究所)	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 144,733千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	本研究では、粒子加速器の飛躍的な小型化が可能な高強度レーザーとプラズマの相互作用による粒子加速（レーザー加速）を用いた小型電子加速器の実用化技術を確立するために、エネルギーの揃った準単色電子ビームを発生し、その高エネルギー化、大電荷量化、発生の安定化等の高度化を進めることを目的とする。また、開発技術の実用化を目指して、フェムト秒X線発生研究へと展開することも目的とする。
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<b>当初予定の成果</b> ：準単色電子ビームの高エネルギー化（ピークエネルギーの最高値70MeVを達成）、高電荷量化（単色ピーク内の電子数の最高値 $8.1 \times 10^8$ を達成）、準単色電子ビームの発生率を90%に高めた安定発生の成功、粒子シミュレーションを用いた電子加速物理の解明によるプレプラズマ発生がレーザーパルスのプラズマ中の長尺伝搬を阻害して電子加速に影響を与えること、準単色電子ビームは10fs程度の極短電子パルスであること等の解明により、レーザー加速電子ビームの高度化技術を開発した。 <b>特筆すべき成果</b> ：現在の高周波加速器からのビームに迫る単色ピーク内の電子数 $8.1 \times 10^8$ （電荷量130pC）を持つ準単色ビームの発生に成功した。 <b>副次的な成果</b> ：電子加速物理理解のために開発してきた粒子シミュレーションコードを、製品化あるいはオープンソースとしての公開が可能なレベルにまで高度化できた。 <b>論文、特許等</b> ：論文22件、解説6件、投稿中の論文2件、口頭発表48件。
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性  ・研究計画設定の妥当性  ・研究費用の妥当性  ・研究の進捗状況  ・研究交流  ・研究者の研究能力	・ <b>目的・目標の設定の妥当性</b> ：幅広い分野での応用が期待される小型電子加速器をレーザープラズマ加速によって実現するための技術開発、および実用化に向けた電子ビーム利用技術への展開を目的としており、原子力試験研究として妥当である。  ・ <b>研究計画設定の妥当性</b> ：出力ビームの安定化など要素技術としてクリアしなくてはならない技術の開発にも的確に対処し、難易度のかなり高い実験を遂行して成果目標を達成したことから計画設定は妥当であった。特に、シミュレーションコードを自ら開発し、実験結果の解析に活用したのは物理過程を正しく把握し、技術として確立する上で優れたアプローチと言える。  ・ <b>研究費用の妥当性</b> ：レーザーなど高度な装置の維持・改良などの費用を勘案すれば、妥当な研究費用である。  ・ <b>研究の進捗状況</b> ：電子ビームの高度化は当初の研究目標をほぼ達成したといえる。中間評価コメントを反映して計画を変更し困難なフェムト秒X線発生への目標には課題が残された。  ・ <b>研究交流</b> ：複数の研究機関との研究交流をしており、成果達成に生かされていると見做せる。  ・ <b>研究者の研究能力</b> ：準単色電子ビーム発生にはじめて成功するなど十分な能力を有している。
4. その他	今後、多くの波及効果が期待されるので、小型高エネルギー電子ビーム源として実用化し、その利用技術の開発研究を引き続き、行ってほしい。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：阿部 勝憲	



表9

後12

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：原子力エネルギー利用高温水蒸気電解技術の開発 (独立行政法人産業技術総合研究所)	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 71,256千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	原子力エネルギーを利用した、高温水蒸気電解による水素製造システムの実現に必要なセル構成材料及び製造プロセスの開発を目的とする。動作温度700～850℃、実用的な水蒸気利用率のもと、外部からの熱利用が可能になる電解電圧1.3V以下で水素が発生できる固体酸化物形電解セルの試作およびそれらのスタック化を図ることにより、入力電力100W程度のスタックの開発と運転試験を実施し、実用技術として期待される性能予測及び技術課題を明らかにする。
2. 研究成果 ・ 当初予定の成果 ・ 特筆すべき成果 ・ 副次的な成果 ・ 論文、特許等	<b>当初予定の成果</b> ：セル・スタックの開発については、集電体構造などを工夫しつつガスリークのないスタックを試作した（動作温度750℃、平均電解電圧1.35V、入力119W（セル当たりの入力13.2W）で水素生成速度616sccmを達成。）。また、シミュレーションにより更なる性能改善の可能性を明らかにした。 <b>特筆すべき成果</b> ：円筒形電解セルの試作で電解電圧1.3Vで電流密度0.4A/cm <sup>2</sup> （水素生成速度2.8sccm/cm <sup>2</sup> ）以上を達成し、高入力密度試作電解セルの開発と導電性シール材を開発した。 <b>副次的な成果</b> ：開発した導電性シール材は、本研究でのセル・スタック試作のほか、広く高温雰囲気で使用可能なものとしてすることができた。さらに、セル製造プロセス技術とその評価技術をも開発でき、これらの利用により電解セルのみならず異材質のセラミックス積層体試作を可能とした。 <b>論文、特許等</b> ：論文2報、特許2件、口頭発表3件、総説2件、依頼講演2件。
3. 事後評価 ・ 目的・目標の設定の妥当性 ・ 研究計画設定の妥当性 ・ 研究費用の妥当性 ・ 研究の進捗状況 ・ 研究交流 ・ 研究者の研究能力	・ <b>目的・目標の設定の妥当性</b> ：キーテクノロジーである、電解セル構成材料の開発とそのスタック化を図り、高温ガス炉の温度レベルに設定した動作温度で水素生成試験を実施する目標は妥当である。ただし原子炉系を含むトータルシステムとしての製造プロセスに関する検討も必要であった。 ・ <b>研究計画設定の妥当性</b> ：電解セルについては、構成材料、特に、電極に新たな工夫を試み、スタック技術の開発と併せて、ほぼ研究計画どおりの成果が得られている。動作温度とセル・スタックの性能や耐久性の関連等の調査を含めほぼ妥当である。 ・ <b>研究費用の妥当性</b> ：豊富な燃料電池技術研究の実績の下に、研究施設、関連知識等の活用を図ることができており、ほぼ、妥当な研究費用と考えられる。 ・ <b>研究の進捗状況</b> ：電解セル・スタック技術の研究開発は、当初の目標どおり、進捗しているが、今後、性能予測、システム機器の耐久性、信頼性等を評価するための関連データの取得が不可欠である。 ・ <b>研究交流</b> ：研究交流は電解セル、スタック技術に関する分野に重点を置いて実施されている。高温ガス炉による水素製造システム研究に多くの実績をもつ日本原子力研究開発機構（JAEA）との積極的な交流を必要とした研究テーマであった。 ・ <b>研究者の研究能力</b> ：固体酸化物燃料電池に関する研究実績と知見をベースにおいた、電解セルの研究に関する能力は十分に有している。
4. その他	原子炉系、水蒸気製造系を総合的に捉えた性能予測、技術的課題の整備等を実施して成果を活かすことを期待する。今後は、成果をより公表するとともに、他の水素生産方法との比較評価を踏まえ、実用化展望を図りつつ研究を進める必要がある。
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：放射線防護ならびに医療応用における国際規格に対応した高エネルギー中性子・放射能標準の確立と高度化に関する研究（独立行政法人産業技術総合研究所）	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 61,306千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>(1) 加速器を用いて14～21MeVの範囲の中性子を発生させ、高エネルギー領域の中性子フルエンス標準を新たに整備する。</p> <p>(2) 14～21MeVのエネルギーの単色中性子発生技術とそのフルエンスの高精度絶対測定法を開発する。</p> <p>(3) keV領域～21MeVに及ぶ広いエネルギー範囲の中性子フルエンス標準を供給可能とし、国際度量衡局が主催する国際比較を通して国際的に通用する標準を確立する。</p> <p>(4) 医療用の密封小線源や短半減期核種の標準を確立し、線源放射能と線量（治療効果）の両面管理を可能とするシステムを開発する。</p> <p>(5) 医療用短半減期核種放射能標準の確立と標準トランスファ技術を開発する。</p> <p>(6) 防護レベルの放射線標準校正方法を密封小線源を用いた方式で開発し、普及を図る。</p>
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p><b>当初予定の成果</b>：14～21MeV領域の中性子発生と中性子精密測定について世界的にも独自の技術を開発し、国際的な基準点である19MeVの中性子フルエンス標準を確立させて、国際比較の準備を整えた。また、I-125医療用密封小線源の線量標準を確立したほか、作業現場で利用しやすい現場測定器の校正方法を開発した。</p> <p><b>特筆すべき成果</b>：反跳陽子カウンタテレスコープやモニタ検出器など、他の分野にも広く応用が可能な中性子検出器が開発された。</p> <p><b>副次的な成果</b>：本研究の成果によって特性評価されたボナー球（減速材付検出器）により、高エネルギー中性子遮蔽実験における高精度な線量評価を可能にした。</p> <p><b>論文、特許等</b>：論文8件、口頭発表38件。</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p>・ <b>目的・目標の設定の妥当性</b>： 高エネルギー中性子の評価の必要性や密封小線源治療も国内外とも増える状況にあり、目的・目標設定は概ね妥当である。</p> <p>・ <b>研究計画設定の妥当性</b>： 当初設定された研究計画は概ね妥当であるか、目標がやや多すぎた。</p> <p>・ <b>研究費用の妥当性</b>： 放射能の標準化のための装置開発費として適当。競争的資金とも組合せて効率的に実施。</p> <p>・ <b>研究の進捗状況</b>： 19MeVの中性子フルエンス標準を確立させて、国際比較の準備を整えた。また、I-125医療用密封小線源の線量標準を確立するなど、目標をほぼ達成している。</p> <p>・ <b>研究交流</b>： 放射能の標準化のためには、多く観点からの考察が必要とされるが、このために名古屋大学、東北大学、KEK、日本アイソトープ協会、放射線医学総合研究所、産総研放射線標準研究室など産学官で研究協力、情報交換等交流が行われた。</p> <p>・ <b>研究者の研究能力</b>： 装置の開発も順調に行い、標準化も達成できたことにより、研究者の能力は評価できるが、目標がやや多すぎたように見える。</p>
4. その他	本研究で5年間で論文8編は少ない。口頭発表は38件もあるので、成果を論文としてもっと発表することが望まれる。今後、国際標準として確立することが期待される。
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：原子力災害時の高線量被曝者スクリーニング用in vivo電子スピン共鳴（ESR）装置開発研究（国立保健医療科学院）	
研究期間及び予算額：平成18年4月～平成22年3月（4年計画） 31,936千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>原子力災害や核テロの際には、施設関係者、防災担当者を含め不特定多数の人が高線量の放射線被ばくを受けるおそれがあるため、緊急被ばく医療におけるトリアージにおいては迅速な線量評価手法が必須である。本件は、高線量被ばくにより惹起される歯におけるラジカル量を、抜歯せずにin vivoの状態で測定評価する機器の開発を目的とする。</p> <p>In vivo評価可能な機器を国内に初めて導入し、1 Gy以上の被ばく者のスクリーニングを5分で可能とするシステムの開発を目標とする。</p>
2. 研究成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当初予定の成果</li> <li>・特筆すべき成果</li> <li>・副次的な成果</li> <li>・論文、特許等</li> </ul> <p>・<b>当初予定の成果</b>：放射線事故や核・放射線テロ後の線量評価に関する国際的研究会Bio-Doseでの情報交換を元に、米国ダートマス大学シュワルツ教授設計によるプロトタイプ機器の改良版に、共同研究者（平田拓）が開発した高感度リゾネータを組み込んだ装置を完成させた。本装置により、抜歯した歯に各線量の放射線を照射して評価するex vivoの実験を実施し、短時間測定でのESRシグナルとの良好な線量・効果関係を得ることができた。併せて、照射された放射線のエネルギー依存性も確認された。</p> <p>・<b>特筆すべき成果</b>：共同研究者（平田拓）が開発したループ型高感度リゾネータは、生体イメージングに応用されつつある。</p> <p>・<b>副次的な効果</b>：歯牙試料だけでなく救急隊員等が身に付ける装備品中に放射線被ばくにより比較的安定なラジカルが形成されることを見だし、線量評価の指標の一つとしての可能性を示した。</p> <p>・<b>論文、特許等</b>：国内外の学術誌に報告（英文1報、和文2報）するとともに、国内の学会において成果を報告（口頭発表2件）、ウェブサイトにて公開した。また、防災担当大臣表彰（1件）を受けた。</p>
3. 事後評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目的・目標の設定の妥当性</li> <li>・研究計画設定の妥当性</li> <li>・研究費用の妥当性</li> <li>・研究の進捗状況</li> <li>・研究交流</li> <li>・研究者の研究能力</li> </ul> <p>・<b>目的・目標の設定の妥当性</b>：原子力災害や核テロでは、不特定多数の人が高線量の被ばくを受けるおそれがある。この場合、迅速な線量評価手法が欠かせない。in vivoの状態で測定評価できる機器開発の目的、および、1 Gy以上の被ばく者のスクリーニングを5分で可能とするシステム開発の目標は妥当である。</p> <p>・<b>研究計画設定の妥当性</b>：すでに米国ダートマス大学でプロトタイプがある。事前評価において国内でまず1台の作成が望まれることが指摘され、その計画の中で工学的な専門家と、放射線生物、規制に関する専門家が連携し、有効な機器導入に結びついた。妥当であったと評価できる。</p> <p>・<b>研究費用の妥当性</b>：当初の予算が縮減されたため、配分予算で可能な範囲での研究を進めることとなった。やや予算不足。</p> <p>・<b>研究の進捗状況</b>：先方との打ち合わせを実施しながら、米国に研究者を派遣して研修を図り、適切に進めた。米国におけるプロトタイプ機器の改良版に新たな装置を組み込んで装置が完成した。ただ、人の口腔内でのデータ取得はできなかった。</p> <p>・<b>研究交流</b>：米国ダートマス大学との研究交流、山形大学、香川大学との研究交流も活発に行われた。</p> <p>・<b>研究者の研究能力</b>：主担当者はかつて放医研に在籍しJC0事故も担当した。他の研究者も含めて研究能力は十分といえる。</p>
4. その他	本研究は、安全基盤研究分野の中で重要な研究の一つである。人の口腔内でのデータ取得まで進めることが期待される。なお、成果の発表がやや少ない。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：佐藤 正知	



表9

## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：深部岩盤掘削時の高精度破壊制御技術に関する研究 (独立行政法人産業技術総合研究所)	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 27,873千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>本研究では、高レベル放射性廃棄物の地下処分場建設の際に岩盤を掘削する工法である発破工法に着目し、発破工法でも機械掘削工法と同程度に岩盤への損傷領域を抑えることが可能な深部岩盤掘削時の高精度破壊技術を確立するために、以下の研究開発を行うことを目的とする。</p> <p>1. 深部岩石の動的破壊特性の解明と損傷領域の評価 2. 高精度破壊制御技術の開発</p>
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<p>・<b>当初の予定の成果</b>：深部岩石の動的破壊特性に関する研究では、水中衝撃波による衝撃破壊実験にて、岩石の引張強度がひずみ速度の1/3乗に比例して大きくなることを示し、発破による岩盤掘削の定量的な評価を可能とした。また、岩石の弾性波速度及び密度変化から発破による損傷領域を評価した。X線CTによる亀裂進展状況を検証した結果、微小亀裂を制御可能であることを示した。</p> <p>高精度破壊制御技術開発では、モデル供試体と数値シミュレーションから最適起爆時間差を検討し、秒時差での最適破壊条件を求めることにより、損傷領域を抑制できることを示した。また、発生する応力波の干渉で亀裂の進展方向を制御する方法を、アクリル材及び岩石ブロックを用いた実験から示した。</p> <p>・<b>特筆すべき成果</b>：損傷領域を制御できることから、岩石材料以外のコンクリート材料等の脆性材料の動的破壊制御が可能であることを示し、構造物解体技術への適用といった岩盤以外の構造物の制御破壊への可能性を示した。</p> <p>・<b>副次的な成果</b>：爆薬を用いた水中衝撃波による動的破壊特性に関する実験で、平面波に近い衝撃荷重の調整可能性を見だし、超高压状態の標準試験法としての展開が期待できる。</p> <p>・<b>論文、特許等</b>：研究成果は、火薬学会、土木学会等で積極的に発表しており、また、海外での国際シンポジウムでも発表するなど、論文投稿5件、口頭発表10件を行った。</p>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<p>・<b>目的・目標の設定の妥当性</b>：高レベル放射性廃棄物処分場における岩盤堅坑および岩盤坑道を掘削する発破工法では、岩盤の損傷を極力抑制することが必要である。発破工法における破壊制御技術の高度な開発を目指した本研究の目的・目標は妥当である。</p> <p>・<b>研究計画設定の妥当性</b>：発破工法での岩盤破壊メカニズムを解明する室内での基礎的な試験および数値解析により研究計画は妥当であった。しかし、基礎的なモデル試験と原位置試験との乖離があり、今回の基礎的試験成果の原位置への適用性を検討する必要がある。</p> <p>・<b>研究費用の妥当性</b>：予算規模の縮小から現場規模による実証試験が困難であったと判断できる。しかし、現場規模の実証試験まで行わないと本研究の意味が薄れるので、当初計画に対しては予算不足との感がある。</p> <p>・<b>研究の進捗状況</b>：基礎的研究とモデル実験による実証試験はほぼ順調な進捗であった。これらの成果は岩石材料以外のコンクリート材料等の脆性材料の動的破壊制御にも可能であり、構造物解体技術への適用が可能である。</p> <p>・<b>研究交流</b>：関連する大学・外部研究機関との研究交流はあったが、地層処分を実施する機関や発破工法を施工する機関との交流が不足した感がある。</p> <p>・<b>研究者の研究能力</b>：各分野の専門から成る研究者を揃え、十分な研究能力はあったと判断できる。</p>
4. その他	<p>本研究の成果を現場規模での実証試験に進める必要がある。さらに平行して不均質岩盤をモデルにした基礎的な試験も進める必要がある。本来の目的である高レベル放射性廃棄物地層処分の実現場は存在しないので、当面は山岳トンネル等の掘削技術への適用が期待できる。</p>
5. 総合評価	B
評価責任者氏名： 佐藤 正知	



## 事後評価 総合所見共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）：超臨界発電用炉水浄化技術の開発に関する研究 (独立行政法人産業技術総合研究所)	
研究期間及び予算額：平成17年4月～平成22年3月（5年計画） 81,176千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>本研究では、経済性の観点から注目されている超臨界発電用の炉水浄化技術の基盤技術を確立することを目的とするもので、主な研究目標は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超臨界水中での金属材料の腐食機構の解明及び耐食材料の選定指針の提示</li> <li>・腐食生成物の高温熱水中での溶解・析出機構の解明</li> <li>・グラッドの主成分であるFeを始めとする遷移金属イオン種の溶存状態・化学形態の解明</li> <li>・原子炉冷却水を想定した腐食生成溶存化学種を高温条件下で除去可能な吸着材の開発と吸着機構の解明</li> <li>・開発した高温水浄化用吸着材を用いての、原子炉冷却水を想定した炉水浄化システムの開発</li> </ul>
2. 研究成果 ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>当初予定の成果</b>：腐食データベースの構築については、亜臨界温度から超臨界温度領域の高温水中でのステンレス鋼の溶解の温度依存性、酸素濃度依存性について検討し、腐食量は比較的少なく、環境中での損傷が皮膜の形成によって起こることが確認できた。</li> <li>高温吸着材の開発では、高温水用コバルト吸着材として、チタン酸カリウム、ニオブ酸カリウム、リン酸ジルコニウムなど目標としている1.0mmol/g以上のCo吸着量を超える吸着材を見出した。特にリン酸ジルコニウムは吸着速度も速く、高温水流通系においても高い吸着容量を有し、実用化可能性が高いことを確認した。</li> <li>・<b>特筆すべき成果</b>：高温下で吸着したコバルトは単純なイオン交換ではなく、固定化される現象が見出されたことから、放射性核種の処理・処分技術への適用も期待できる。</li> <li>・<b>副次的な成果</b>：高酸素濃度領域の超臨界温度域においてもステンレス鋼の使用可能性が示された。これにより、高価な合金を用いない高経済性配管システムの構築が期待される。</li> <li>・<b>特許、論文等</b>：論文4報(英文)、特許3件（登録1件、公開2件）、口頭発表10件（国際会議4件）</li> </ul>
3. 事後評価 ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>目的・目標の設定の妥当性</b>：エネルギー効率の向上の観点から、超臨界発電への対応を目的とした高温高圧下での腐食データベースの拡充ならびに炉水浄化システムの開発は目標として妥当な設定である。</li> <li>・<b>研究計画設定の妥当性</b>：データベースの構築、腐食機構の解明、高温下で適用可能なイオン交換吸着剤の開発に対して、まず基礎試験を行って可能性を提示するという計画は妥当な設定と言える。また、主に経済的理由で超臨界発電に対する注目度は低下気味であるため、既存の発電システムにも適用可能な浄化システムという観点を計画に取り入れているのは柔軟な計画設定である。</li> <li>・<b>研究費用の妥当性</b>：基礎的研究であることを鑑みれば妥当な予算配分である。</li> <li>・<b>研究の進捗状況</b>：超臨界発電システムが再び注目を集めたときに対応出来るよう試験内容が整理されており妥当な進捗状況と判断される。未だ基礎段階ではあるものの、放射性廃棄物処理に関して減容化の観点で有望な浄化システムが提案できる可能性もあり、計画以上に研究が進捗している。</li> <li>・<b>研究交流</b>：専門家集団である東北大学、日本大学の研究者との連携もしっかりなされており、妥当な交流実績を上げている。</li> <li>・<b>研究者の研究能力</b>：論文発表（英文3編、国際会議プロシーディングス1編）、口頭発表（10編）、特許出願（3件）いずれも努力しており、相応の研究能力が認められる。</li> </ul>
4. その他	特に無し
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：佐藤 正知	

原子力試験研究検討会 名簿

(平成 2 3 年 2 月)

氏 名		現 職
座長	いわた しゅういち 岩田 修一	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
(物質・材料WG主査)	あべ かつのり 阿部 勝憲	八戸工業大学エネルギー環境システム研究所長、教授 (社) 日本原子力産業協会 原子力システム研究懇話会 運営委員 日本原子力学会フェロー
(知的WG主査)	いしい たもつ 石井 保	工学院大学情報学部長
	おやなぎ よしお 小柳 義夫	東北大学未来科学技術共同研究センター客員教授
	きたむら まさはる 北村 正晴	(株) 日立製作所役員待遇フェロー
(システムWG主査)	こいずみ ひであき 小泉 英明	北海道大学大学院工学研究院 教授
(生体・環境WG主査)	さとう せいち 佐藤 正知	(財) 環境科学技術研究所 理事長
	しま あきひろ 嶋 昭紘	東京工業大学原子炉工学研究所教授
	せきもと ひろし 関本 博	(財) 放射線影響協会放射線疫学調査センター長
	たつみ こういち 巽 紘一	

平成 23 年 2 月 28 日  
内閣府 原子力政策担当室

## 原子力試験研究費について

### 1. 研究費の概要

我が国の原子力の開発利用に関する試験研究を一体的かつ総合的に推進することを目的として、昭和 31 年 2 月の閣議決定を根拠として、昭和 32 年に創設された予算制度（研究制度）。各府省の所管する試験研究機関等の実施する原子力利用に関する試験研究費を、文部科学省（平成 12 年までは科学技術庁）に一括計上し、必要に応じて各府省の予算に移し替えることとしている。対象となる試験研究機関は国研及び旧国研、研究期間は原則 5 年。

平成 22 年度は、5 省 8 機関（うち独法 5 機関）において、24 課題の研究を実施することとし、予算額 188 百万円を計上している。

なお、国研の独法化、研究資金の競争的資金化、大学における原子力研究基盤の縮小等の状況の変化に対応するため、制度改革を図り、平成 20 年度に「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ」を創設し、現行の制度を廃止することとなった。

（平成 20 年度より新規課題の採択を停止し、継続課題のみ実施。平成 23 年度には全ての課題が終了。）

### 2. 課題の選定・評価

原子力委員会は、関係行政機関の原子力利用に関する経費の見積り及び配分計画に関することを所掌する立場から、①新規課題の予算要求前に事前評価、②開始 3 年目に中間評価、③終了後に事後評価を実施し、研究の方向性や研究計画の見直し等についての助言・指導を行うとともに、評価結果に基づき、新規課題における採択の可否、継続課題における継続の可否、及び予算配分への反映等を実施している。

### 3. 研究分野

先端的基盤研究（研究期間：3～7 年 1 課題当たり 20 百万円前後／年）

#### ① 物質・材料基盤技術

原子炉等の安全に寄与する新材料の開発や物質・材料等の分析・計測技術の高度化を図るための基盤的技術（各種ビームの先端的利用等）の開発に関する研究

#### ② 知的基盤技術

原子力施設の運転・保守等の安全性の向上に資する知能システム技術及び計算科学技術の原子力分野への応用に関する研究

#### ③ システム基盤技術（防災・安全基盤技術）

原子力防災に資する耐震・防災技術及び放射性廃棄物の地層処分等、バックエンド対策に資する先端的技術の開発に関する研究

#### ④ 生体・環境影響基盤技術

放射線による突然変異の検出・解析、環境中の核種移行など、生体・環境への影響を解明するための先端的技術の開発に関する研究

以 上