

## 平成18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18年度に研究を終了した先端的基盤研究の19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 : 11 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 : 1 課題

### 3. 評価の実施方法

今回の評価は「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1「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	5	3	3	11
物質・材料基盤技術	3	4	0	7
システム基盤技術	1	0	0	1
計	9	7	3	19

#### <添付資料>

- 参考1 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2 各分野における研究評価の実施状況について
- 参考3 研究課題の研究概要について
- 参考4 評価結果一覧及び各課題毎の総合所見

## 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13年11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、以下の観点に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18年度で研究期間が終了した先端的基盤研究11課題について、平成19年12月21日に事後評価のためのヒアリングを行った。ヒアリング欠席委員からは、文書によって評価を徴した。

## 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における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、特に、(1) 研究計画に関する事前評価でのコメントが計画案修正に適切に取り込まれたか否か、(2) 中間評価でのコメントが残留研究期間での研究の軌道修正に適切に反映されたか、(3) 得られた成果が学会誌等に適切に発表されたか、(4) 特許取得等の成果があったか、(5) 新たな研究の展開が期待できる成果があったか、について留意しつつ、総合的に評価した。

## 2) 評価結果の概要

結果は、A評価—5課題、B評価—3課題、C評価—3課題 となった。

今回、事後評価を行った11課題の研究機関は、3年(3課題; 後6、後7、後10)、4年(3課題; 後2、後3、後4)、5年(5課題; 後1、後5、後8、後9、後11)であった。研究期間が3年であった3課題については、事前評価のみが行われた。一方、研究期間が4年の3課題及び5年の5課題に関しては、事前評価と研究開始の3年度目の中間評価も併せて行われた。

2-1) 事後評価がAであった「後2:  $\gamma$ 線照射を利用したナノキャビティをもつハイドロゲルの調製とタンパク質製剤への応用に関する研究」(研究期間4年)では、保存中のタンパク質の分解という従来の方法では解決が困難な問題点を克服するため、水酸基を多数有するデキストランなどの高分子にメタクリル酸グリシジルを修飾し、比較的低線量(といえども0.3kGy)の $\gamma$ 線照射によってタンパク質共存下に高分子をハイドロゲル化し、ゲルの網目によって形成されるナノキャビティの中にタンパク質1分子ずつを封じ込めることによって、タンパク質の保存安定性を確保する技術を開発することを目標とした。本研究では、デキストランとポリエチレングリコールをゲル化して、数 $\mu\text{m}$ のマイクロスフェアを作るための最適な試薬濃度および $\gamma$ 線重合のための照射条件を明らかにし、ゲルにタンパク質を閉じ込めることで、乾燥過程や保存中に起こるタンパク質の分解と失活を抑えることができ、タンパク質の安定化を図るゲル調製技術を確立した。また、ゲル化線量の検討から、比較的低線量の0.3kGyでゲル化ができることを明らかにし、吸収線量の低減化により、放射線照射によるタンパク質の機能失活を抑えることができることを $\beta$ -ガラクトシダーゼについて示した。なお、研究成果は毎年、学会発表されてはいるが、投稿準備中という原著論文による公表を急ぐ必要がある。

2-2) 同じく、事後評価がAであった「後4：超低線量放射線により誘発されるDNA二本鎖切断モデル細胞の構築と、それを用いたDNA修復の研究」(研究期間4年)では、DNA二本鎖切断(DSB)によるゲノムの変化を解明し、低線量放射線のリスク評価に反映させ、DSBの哺乳類細胞における修復機構を明らかにすることを最終目的として、遺伝子組換え技術を用いて、ゲノムの特定部位一ヶ所にDSBを生じさせ、その後の損傷(DSB)修復過程を詳細に解析した。本系では非相同組換え(NHEJ)、及び相同組換え(HR)修復を同一遺伝子レベルで検出でき、極めて限られた数のDSBがどの様にして突然変異誘発を引き起こすのかを調べることにより、従来困難とされていた極低線量放射線による生物影響の分子機構を解明することを目的とした。本研究では、ゲノムの特定部位1箇所にDSBを誘引させる技術を確立し、その後の修復様式を分子生物学的手法により解析することに成功した。また、近接したDSBがそれぞれ別々に修復されるより、むしろ融合して大きなDNA欠失を生じる事を明らかにする一方、2つのDSBの融合により新たなI-Sce I部位の形成が起きる場合のあることも観察し、これらの事実からNHEJによる修復にもエラーを伴わない修復経路が存在することを示した。なお、この研究では、研究課題名にある「超低線量放射線」は使われなかったが、使用した培養細胞1個のゲノムあたり1DSBを生じる $\gamma$ 線量が0.025Gy程度と見積もられているので、制限酵素によって「ゲノムあたり1DSB」が生じる本実験系は、 $\gamma$ 線照射に「換算」すれば、0.025Gyという低線量を扱う実験に相当する、との担当者による説明は、よしとした。ただし、この手法が、放射線照射によって生じるDSBの誘発・修復と同一視出来るかどうかの検証が必要である。

2-3) 事後評価がAであった「後5：マイクロSPECTを利用した機能画像の定量化と循環器疾患の実験的治療研究への応用」(研究期間5年)では、ピンホールの原理を応用したSPECT(single photon emission computed tomography)画像法において、従来は困難だった組織中の正確な放射性薬剤の濃度分布の定量計測を実現するための新しい撮像法、及び画像再構成法を構築し、特に画像の歪みと不均一な解像度の問題を解決するための新しい画像計測手法を確立することを目的とした。また、SPECT撮像を行うプロトタイプシステムを構築し、この画像データに本研究で開発した方法を適用することで正確な放射能濃度分布画像を計測できることを実験的に検証し、ラット及びマウスの組織中の放射性薬剤の動態を解析することで、心筋の組織血流量及びイオンポテンシャルを定量評価する手法を確立して、ラット脳におけるベンゾジアゼピン受容体の結合能を定量的に評価する解析手法を確立することを目的とした。本研究では、SPECT撮像法の弱点であった歪み補正の原因がラドン変換の不完全性にあることをつき止め、完全性を満たす撮像軌道で撮像する事により顕著な画像改善が得ることができ、ラットの局所心筋血流量の定量計測に成功した。また、本研究の成果により、小動物の脳血流、心筋血流の測定が可能となった事により新しい研究分野を出現させるという副次的な成果をあげることもできた。得られた成果は、6編の原著英文論文、8題の口頭講演、4件の受賞、4件の特許出願(うち3件は既に特開)として公開されている。これは、数学、物理、薬学、生理学といった多くの分野の研究者達が学融合的に研究を行った結果であり、この研究体制は当該研究機関において現在も継続して維持・機能しているとのことである。

2-4) 以上のA評価課題とは、その性質を異にする研究課題「低エネルギー電子ビーム利用による臭化メチルくん蒸代替食品貯蔵害虫防除技術の開発」(研究期間5年)では、米、小麦、クリなど農産物の収穫後の殺虫処理に、1MeV未満の低エネルギー電子ビーム照射を導入し、臭化メチルくん蒸の代替となる実用的な新規処理技術を開発することにより、農産物のポストハーベストにおける化学薬剤使用を低減し、食糧の安全確保および環境問題の解決に寄与することを目的とした。本研究では、食品の品質に影響しない低エネルギー電子ビーム(60keV, 10kGy)によるコクゾウムシ(コメ害虫)の生育ステージごとの殺虫効果を明らかにした。また、コクゾウムシ幼虫は、低用量の薬剤(ホスフィン)と低エネルギー電子ビームの併用で100%殺虫可能であることを明らかにするとともに、コクゾウムシ幼虫の殺虫効果は、電子ビームの到達距離と玄米中での幼虫の分布位置に依存していることをMRI観測で明らかにした。実用的な側面が強いこの課題が、平成13年(2001年)に申請された時の事前評価は、その学術的な側面から「B」評価であったが、平成16年(2004年)度に行った中間評価では、線量評価についての精度向上という保留条件付きで「A」評価となった。結果としては、オゾン層を破壊する臭化メチルの使用が、先進国においては2005年から禁止されるという緊急対応を要する国家課題に、タイムリーに応える研究基盤が原子力試験研究によって整えられたことになった。ただし、この技術の実用化に向けては、電子線や放射線利用技術への社会的な理解を得た上で、パイロットスケールでの実証試験などが必要であろう。

## 2. 物質・材料基盤技術分野

平成18年度で終了した先端的基盤研究7課題について、平成20年1月9日に7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、3件をA評価、4件をB評価とした。A評価とした3課題の概要は以下のとおりである。それぞれ顕著な成果を得るとともに論文発表と特許取得の努力も十分になされている。

後12「高熱伝導性同位体材料に関する研究」は、熱物性に及ぼす同位体効果を明らかにして新しい概念の高熱伝導性材料を開発しようとするもので、プラズマCVD法

により炭化珪素やダイヤモンドの高純度炭素（化合物）同位体材料を合成することに成功して、自然界の材料に比べて50%以上の熱伝導度を達成している。

後13「励起中性粒子線によるスピン偏極計測に関する研究」は、スピン偏極準安定ヘリウム原子線という特色あるビームで表面物性を分析しようとする試みで、表面で散乱されたヘリウム原子のスピン依存性を世界で初めて観測することに成功し、新しい磁性体や有機分子素子への応用研究が期待される。

後15「高効率磁場核融合に関する研究」は、構造が簡単で経済性に優れた磁場閉じ込め核融合を設計できる可能性のある逆磁場ピンチ方式について、閉じ込め性能と安定性の向上をはかり、高い温度および高い磁場効率のプラズマ閉じ込めに成功しており、ITERにつながる計測用イオンビーム源の開発成果も得られている。

以下の4件はB評価としたが、それぞれ計画した成果がほぼ得られており、今後さらに成果の取りまとめや応用につなげることが期待される。後14「超伝導磁気分離技術を用いた放射性物質分離法に関する研究」は、再処理プロセスに適用する物質分離手法を目指して、磁場空間を制御してイオン分離を行う可能性を示している。後16「動的アニール・ソフトイオンビームプロセスによる高品質半導体基盤技術の研究」は、ダイヤモンド半導体デバイスの実現を目指して、高濃度のボロンの新しい注入法やダイヤモンド薄膜を開発している。後17「超高輝度 KHz プラズマ X 線源とその応用の研究開発」は、レーザーによりコンパクトなプラズマ X 線源を開発しようとするもので、レーザー関連要素技術の開発を行っている。

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放射線環境での機能確認や他分野への応用につなげる研究のフォローをさらに進めることが有効であろう。

### 3. システム基盤技術分野

本分野については、平成19年12月12日にWG委員4名により終了課題1件についてヒヤリングを実施した。なお、当日欠席の3名の委員から寄せられたチェックシート書面による審査結果も、総合評価に反映した。

終了課題（後19）「高選択性分離膜による放射性廃液処理と放射性廃棄物エミッションの低減化の研究」の評価結果はA評価であった。

本課題は、放射性同位元素に対して高い選択性を有するキャリア輸送系を用いて、特定の有害な放射性元素のみを高効率で濃縮・除去しうる分離膜デバイスを開発することを目的としている。再処理廃液に含まれるマイナー・アクチニドを分離回収するための有機ゲル膜の開発、次いで実用化に一步近づけるために中空系PIMモジュールを製作して、アクチニドのモデル物質であるセリウムイオンについて実験室レベルで回収可能なことを示した。実用的な放射性廃液処理システムには至っていないが、実験室レベルでの濃縮については計画以上の進展が見られ、液膜分離に実用化の方向性

を与えるものと評価できる。なお、今回は実現しなかったが、計画当初から原子力関連機関との協同が望まれる。



## 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 電子線照射食品の検知に関する研究（国立医薬品食品衛生研究所）

現在、我が国において、ジャガイモの芽止めを除いて、照射食品は原則禁止となっている。一方、諸外国、特に発展途上国では、規制緩和と先進国の援助により、多くの種類の照射食品の流通が可能となっている。これらの実態を背景に H17 年に原子力委員会は、照射食品技術の普及を目指すべく方針を立てた。その中で、照射食品の検知技術は重要不可欠な技術とされ、早期の実用化が期待された。一方、従来のコバルト 60 のガンマ線を応用する食品照射よりもむしろ、電子線照射が普及している現状をふまえ、この研究では電子線照射技術を応用して生産される照射食品の検知技術の研究を行い、このような期待に応えようとした。対象食品は一般的な生鮮食品とした。

電子線照射の線量評価法を確立し、アラニン線量計で線量評価を可能にし、研究に必要な照射食品を供給した。ついで、GC 法のなかのシクロブタノン法について精査し、その基礎を固めた。TL 法についても同様にその基礎を検討し、照射香辛料、照射乾燥野菜等の試験法への足がかりをつくり、厚労省 TL 試験法成立への布石となった。現在この試験法は検疫所を中心に実際に照射食品の検知に使用されて、実績を上げている。微生物法はグラム陰性菌数を用いる方法や放射線耐性菌を調べ、検知に使用できる原理を編み出した。このように一連の本研究は期待された成果を上げ、我が国の食品照射という原子力の平和利用拡大に一つの道をつけたといえる。しかし、広範なニーズに対応するために、今後ともさらに検知の原理を開発する地道な努力が必要だろう。

#### 後 2 $\gamma$ 線照射を利用したナノキャビティをもつハイドロゲルの調製とタンパク質製剤への応用に関する研究（国立医薬品食品衛生研究所）

タンパク質は有用な薬理効果を有するにもかかわらず、不安定なために医薬品としての開発が断念される場合も多く、製剤化の過程およびその後の長期保存中において安定性が確保できるようなタンパク質の安定化技術の開発が望まれている。本研究においては、 $\gamma$ 線照射を利用し、ハイドロゲルの網目によって形成されるナノキャビティの中にタンパク質を 1 分子ずつとじ込めることによって、タンパク質の安定性を確保し、医薬品として適用可能な製剤化技術を確

立することができた。まず、デキストランの水溶液がポリエチレングリコール水溶液中で微小な液滴を形成することを利用し、ポリエチレングリコールの分子量や $\gamma$ 線の照射線量などの最適化を行い、注射剤として使用可能なマイクロメーターサイズのハイドロゲルを調製する手法を確立した。次に、モデルタンパク質である $\beta$ -ガラクトシダーゼの凍結乾燥時の失活がハイドロゲルマイクロスフェア中ではほとんど抑えられること、また、その後の長期保存においても、ゲル化していないデキストラン中にくらべ安定であることを明らかにした。さらに、ゲル化によってデキストランの水酸基とタンパク質の間の相互作用が強まり、タンパク質の運動性が抑制されることによって安定化されることを明らかにし、本法が汎用的なタンパク質の安定化法であることを明らかにした。

ゲル中のタンパク質の抽出に用いたデキストラナーゼが化学的に架橋したデキストランゲルも分解することを利用して、タンパク質の保存安定性を確保したハイドロゲルマイクロスフェア製剤に、放出制御機能を付与した新規のタンパク質製剤の開発という新たな原子力試験研究への展開がなされた。

### 後3 細胞治療・再生医療における放射線照射ストローマ細胞の有用性確保に関する研究（国立医薬品食品衛生研究所）

細胞治療薬の開発において、幹細胞の増幅や機能細胞への分化誘導にストローマ細胞を用いることが非常に有用である場合が多い。しかし、造血幹細胞や前駆細胞の増幅・分化支持能（造血支持能）を担う分子の機構については十分な検討はなされていない。本研究では、ストローマ細胞の有用性確保を目指して、(1)ストローマ細胞の放射線照射の最適化、(2)造血支持能を担うストローマ細胞が発現する分子の探索とその遺伝子の同定、(3)探索した分子を高発現するヒトストローマ細胞の樹立とその有用性評価を行うことを当初の目的として研究を行った。(1)に関しては、放射線照射により支持能が増強される細胞と変わらない細胞があること、造血支持能が既知のOp9細胞では4-12Gyの照射により造血支持能が増強され、照射時に抗酸化剤を用いるとさらに造血支持能が亢進することを明らかにした。放射線照射によりストローマ細胞からStem Cell Factorなどの因子の産生が顕著に亢進することも判明した。(2)に関しては、Swiss 3T3細胞がOp9細胞と同等の造血支持能を有することを明らかにし、これら造血支持能を有する細胞と支持能を持たない細胞の細胞膜画分のタンパク質発現差異解析及び質量分析により、造血支持能を担う分子の候補として22個のタンパク質を同定した。これらのタンパク質について、抗体やsiRNA等を用いた機能解析を行い、造血支持能を担う4つの候補分子を得た。現在、候補分子

の過剰発現系による解析を進めており、今後、(3)のヒストローマ細胞の樹立が期待される。候補分子については特許申請を予定している。

#### 後4 超低線量放射線により誘発されるDNA二本鎖切断モデル細胞の構築と、それを用いたDNA修復の研究（国立医薬品食品衛生研究所）

放射線による遺伝子損傷の一つとしてDNAの二本鎖切断(DSB)があり、これが放射線発がんの主たる原因と考えられている。我々が日常的に被爆する可能性のある低線量放射線についてもDSBによる発がんの危険性が予測されるが、低線量の放射線によるDSBのゲノムに対する影響はその検出が困難であることからそのリスク評価については問題点が多い。本研究では、制限酵素を利用してヒトゲノム中の特定部位にDSBを発生させ、その運命と、それに対する生体反応を完全にトレースする系を構築し、DSBのほ乳類細胞における修復機構の解明と、そこで得られた知見を低線量放射線のリスク評価に反映させることを目的とした。ヒト細胞ゲノムの特定部位にI-SceI制限酵素部位の導入しDSBを確実に発生させる系の構築に成功した。これはわずか0.05Gyの線量に相当する。発生したDSBの大部分は非相同的接合(NHEJ)に修復され、相同組換え(HR)修復に関与はわずかであった。NHEJは従来エラー発生型修復と考えられてきたが、突然変異を起こさないNHEJ修復も示唆された。このことは低線量放射線の閾値の存在を示唆するものである。2つのDSB発生モデルの構築にも成功した。近接した複数のDSBは高線量モデルになりうるが、この場合、染色体レベルの大きなゲノム変化が高頻度に観察された。線量効果は遺伝子変異の量だけでなく、その変異タイプにも影響を与えることが示された。Ku、p53遺伝子のノックダウン細胞の作成し、DSB修復に対する影響をしたところ、KuはNHEJをp53はHRの異常を介して染色体レベルの変異を誘発することが示された。これらタンパクは遺伝的安定化機構を有し、放射線防護において重要な役割をもつ。

#### 後5 マイクロSPECTを利用した機能画像の定量化と循環器疾患の実験的治療研究への応用（国立循環器病センター）

ピンホールの原理を応用したSPECT撮像法において、従来は困難だった組織中の正確な放射性薬剤の濃度分布の定量計測を実現するための新しい撮像法、および画像再構成法を構築した。特に画像の歪みと不均一な解像度の問題を解決するための新しい画像計測する手法を確立する。既存のガンマカメラにピンホ

ールコリメータを装着した装置においてSPECT撮像を行うプロトタイプシステムを構築し、この撮像データに本研究で開発した方法を適用することで正確な放射能濃度分布画像を計測できることを実験的に確認した。これらの背景技術のもとに、ラットおよびマウスの組織中の放射性薬剤の動態を解析することで、心筋の組織血流量およびイオンポテンシャルを定量評価する手法の開発に成功した。

以上、上記に述べた研究開発によって、従来はマイクロPETでのみ可能とされた実験小動物の生理・生化学機能のインビボイメージング評価が、マイクロSPECTによって、より高解像度で、かつ簡便に行えるようになった。

## 後6 siRNAを用いた放射線感受性を決定する生体分子の機能解析に関する研究 (国立成育医療センター)

放射線は癌治療の有力な手段のひとつであると同時に、人体に様々な障害を引き起こす。この二面性を細胞レベルで説明する現象として、細胞周期の停止とアポトーシスとよばれる細胞死があげられる。放射線によって誘導されるアポトーシスは、主として癌抑制遺伝子p53によって引き起こされる。現在15種類以上のp53の標的遺伝子が細胞死を誘導するとして報告されているが、総合的に見て、どの遺伝子がどれほど重要か解釈は大変難しい。最近small interference RNA (siRNA)と呼ばれる二本鎖RNAによって、対応する遺伝子の発現が抑制される現象が明らかとなり、非常に強力な遺伝子ノックダウンの手段として注目されている。本研究ではp53の下流でアポトーシス誘導に関与すると考えられる多種類の候補遺伝子に対するsiRNAを作製し比較検討することによって、放射線によって誘導される細胞死のメカニズムを詳細に検討することを目的に実験を行った。

放射線照射によってアポトーシスが誘導される複数の癌細胞株で、BCC3 (Puma) の発現抑制によってアポトーシスが強力的に抑制されたことからPumaはp53の下流ではたらくがん抑制遺伝子、あるいは予後や化学療法剤感受性を制御する遺伝子である可能性が示された。一方Pumaと同じBcl-2ファミリーに属するPMAIP1 (Noxa) はいずれの細胞でも発現抑制がアポトーシスに影響を与えなかった。しかしBaxとPuma、あるいはBaxとNoxaをとともに発現抑制するといずれの単独抑制より強い効果が見られ、両遺伝子は協調して機能している可能性が示唆された。本成果は放射線療法の有効性と副作用の予知に貢献すると考えられる。

## 後7 新しい I-125 シード線源による前立腺癌の放射線治療に関する臨床的研究（国立病院機構東京医療センター）

前立腺癌の治療である前立腺摘出術やホルモン治療は患者の性生活の質の低下を引き起こすことが多く、欧米ではそれらに代わるものとして放射線治療、とりわけ組織内照射が標準的な治療として台頭している。欧米でもっとも普及している I-125 シード線源のわが国への導入がいよいよ平成 15 年に認められた。わが国の患者にも社会にも負担の少ない画期的な治療法となることが期待されている。しかし、小線源の取り扱いに全く経験のない泌尿器科領域に新しい小線源治療を国レベルで普及させることは実際には容易ではない。患者 1 名に 100 個近くのシード線源を計画通り正確に埋め込み、145Gy 以上の大線量を安全に前立腺組織に集中させる技術を医師らが早々に習得しなければならない。

まず、欧米で行われている治療方法を日本の施設でも再現し、日本人の場合でも同様の治療が可能であることを確認する必要がある。治療に伴う急性期有害事象を調査し、線量評価との関係を明らかにする。同時に医療従事者に線源の取り扱いを安全に指導し、患者・家族や社会にも十分な説明をし、永久挿入療法安全性を確認し、周囲への理解を求める。さらに、新しい治療技術の教育を行うセンターの役割を当院で担い、実技を含めた講習を計画実施する。以上により、新しく導入される I-125 シード線源の安全取り扱いとそれによる前立腺癌の治療を早急に確立する。

## 後8 植物のアルミニウムストレス関連タンパク質のタンデム型加速器質量分析法及びPIXE法による解析（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構）

これまでに pH5 以下の酸性土壌では土壌中アルミニウム (Al) がイオン化し、一般的作物の生育を阻害することが知られていた。また植物の酸性土壌耐性機構については、同一種の中で比較的耐性を示す品種が非耐性品種に比べ土壌中の過剰 Al イオンを植物内に吸収しないように根から Al キレート有機酸を分泌する Al 排除機構を持つと解明されていた。一方で高度酸性・Al 耐性土壌である亜熱帯牧草ルジグラスは、その植物内に Al を吸収することが知られ、新規な酸性・Al 耐性機構が推定されていた。しかし細胞内における超微量 Al の状態については従来の分析感度 (ppb オーダー) で測定できず、その高度酸性・Al 耐性機構研究は明らかにされていなかった。本研究では、超微量の  $^{26}\text{Al}$  (1fg/mg; 1ppt レベル) を分析できるタンデム加速器質量 (AMS) で植物細胞内 Al の存在部位、ま

たルジグラス培養細胞系においてAlストレス誘導タンパク質、Al結合タンパク質を解析し、また現在微量<sup>27</sup>Al (1ng/ug; 1ppmレベル) を分析しているPIXE法・放射光蛍光X線分析 (SRXRF) 法を開発・利用してルジグラスの酸性・Al耐性機構の解析を目的とした。根から吸収されるAlイオンは細胞オルガネラ内の核、ミトコンドリア、葉緑体に存在し、比較的Al耐性である大麦品種に比べ葉内の核やミトコンドリアに多く存在することが特徴的であった。植物体では自己の環境pHがAlをイオン化しないpH5以上である時、至適pH(約4.2)へ環境pHを酸性化させる好酸性機構が示された。この時更なるAlストレスはいくつかのタンパク質を誘導し、それらはプロテオーム解析から酸性キチナーゼ以下8種が同定された。一方培養細胞は同様に好酸性機構を示すが、Alが十分にイオン化する至適pHでもAlをあまり吸収しない。一方、その至適pHより酸性なpH3.5ストレスがあり同時にAlストレスがある時、その環境pHをpH5付近までアルカリ化し、Alのイオン化を軽減させるが、至適pH4.2条件に比べAlは多量に細胞内に吸収された。すなわち至適pHより酸性なpH3.5ストレスに対してはAl排除機構とAlを細胞内に取り込む2つの機構がある。その時細胞タンパク質の内除核細胞質膜系を非変性ゲルろ過高速クロマトグラフィーで分画し各画分をAMS分析すると、特定の画分に<sup>26</sup>Al結合タンパク質が存在し、その結合タンパク質の等電点はpI5.0付近、分子量4~5万ダルトンであった。その結合タンパク質は9種(分子量1万ダルトン付近)内の複数個が構成する複合体タンパク質であり、それらはAlストレスによる誘導されない。これまで生体には金属と結合するタンパク質が多く発見され、その23%(重量%)が鉄であるフェリチンから、多くの金属タンパク質は0.1%の金属と結合していることが知られている。非変性電気泳動しフィルターに転写後CBB染色して検出できる金属結合タンパク質量の検出限界値10ngに結合する0.1%(10pg)の金属を非破壊的に測定することを目標にした結果、PIXE法、SRXRF法では100pgオーダーで準定量的測定する手法を開発し、Al結合タンパク質解析には更なる高感度化を必要とした。

## 後9 低エネルギー電子ビーム利用による臭化メチルくん蒸代替食品貯蔵害虫防除技術の開発 (独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構)

貯蔵食品害虫の防除は大部分を臭化メチルによるくん蒸に依存してきたが、オゾン層を破壊するとの指摘から、モントリオール議定書により先進国では2005年までに検疫用、不可欠用途などを除き廃止されることが決定している。当面の代替法としては、リン化水素などのくん蒸剤の使用が考慮されているが、害虫が薬剤抵抗性を獲得する懸念や化学薬剤の環境負荷の点から、物理処理に

よる完全殺虫が望まれている。本研究では、米などの農産物の収穫後の殺虫処理に、低エネルギー電子ビーム照射を導入し、臭化メチルくん蒸の代替となる実用的な新規処理技術を開発することを目的とした。パイロットスケールの実用機を用いて、穀物の可食部に到達しないエネルギー60keVの電子ビームで、害虫に食害された米やアズキを処理すると、穀物を外部から食害するノシメマダラメイガでは、害虫の生育ステージに関わらず100%の殺虫が可能であった。アズキを食害するアズキゾウムシ、米を食害するコクゾウムシの殺虫率は85%以上で、完全殺虫は不可能であった。これは、アズキや、米の内部で発育する幼虫が、電子の到達しないような場所に生息することで説明された。アズキゾウムシに対しては電子線のエネルギーを100keVまで上げれば、アズキの発芽力を損なうことなく殺虫できることが明らかになった。コクゾウムシに対しては低エネルギー電子ビーム照射後、低濃度のリン化水素で短時間くん蒸することにより完全殺虫を実現することができた。このように、透過力が非常に小さく米の品質に影響を及ぼさない60keVの電子ビーム処理とくん蒸処理を組み合わせることで、薬剤使用量を大幅に低減しても完全殺虫を達成できることが実験室レベルで示され、新しい実用的な殺虫法を提案することができた。

#### 後10 魚類細胞をモデルとする低線量放射線の生物影響の解明（独立行政法人水産総合研究センター）

低線量放射線の生物影響とその作用メカニズムを解明するため、本研究では、アポトーシス感受性の異なる魚類培養細胞およびゼブラフィッシュ胚を研究材料として、1Gy以下の $\gamma$ 線照射による細胞機能および胚発生への影響を最新の分子細胞生物学の手法によって解析した。低線量照射後の遺伝子発現パターンの変化およびリン酸化シグナルを追跡し、生体において低線量放射線に応答し、ホルミシス作用に関与するシグナル経路を調べた。その結果、ATM、CDC48およびp53が1Gy以下の低線量 $\gamma$ 線照射によってリン酸化される低線量照射のバイオマーカーとなること、ストレス誘導性シグナル経路であるMAPキナーゼ群が放射線ホルミシスの分子機構を担うことを見いだした。とくに重要な発見は、放射線照射によって生じたDNA二重鎖切断によって活性化する放射線応答の初発酵素であるATMが、CDC48のセリン残基Ser-784をリン酸化することによって、異常タンパク質の分解を促進するという、新しい分子機構を解明した点である。このような放射線応答を解析するための新規リン酸化抗体を開発し、特許化した。

## 後 1 1 低線量放射線の内分泌攪乱作用が配偶子形成過程に及ぼす影響に関する研究（独立行政法人国立環境研究所）

ヒトの健康に対して低線量放射線曝露が及ぼすリスクには不明な点が多い。低線量の雄精巣への影響を検討することで、1) 低線量放射線による内分泌攪乱作用の検出およびメカニズム解析（内分泌攪乱作用解析）、2) 低線量放射線による内分泌機能の変動が突然変異発生に及ぼす影響の解析（突然変異解析）を実施した。

1) 内分泌攪乱作用解析：X-照射装置にて、0.03, 0.1, 1, 5 Gy の放射線を7週齢 C57BL/6J 雄マウスに照射したところ、低線量（0.03 Gy）でも非曝露個体でパルス状に観察される精巣内テストステロン値が低値に収束する傾向があることがわかった。さらに低線量 X 線（0.03 Gy）曝露を遮蔽により、頭部のみ、あるいは下腹部のみにわけて実施したところ、頭部に対する X 線照射でテストステロンのパルス状分泌が収束する抑制されたため、視床下部-下垂体系が低線量放射線の感受性部位である可能性が示唆された。

2) 突然変異解析：体内で発生した点突然変異と欠失突然変異を同時に検出できる遺伝子導入マウスである *gpt delta* マウスを用い、X 線（1, 5 Gy）を曝露した。最高線量 5 Gy 照射後 60 日で精巣内の欠失突然変異頻度が有意に上昇したが、欠失突然変異の上昇が見られなかった 1 Gy 照射でも点突然変異の誘導が観察された。すなわち精巣では欠失突然変異が発生しない線量で点突然変異が発生し、従来はメガ・ベース規模の大きな DNA 欠失が放射線照射のマーカークと考えられていたが、点突然変異も放射線照射のマーカークとなる可能性が示唆された。また、ガンマ線（1, 5 Gy）を線量率（0.1, 1, 600 mGy/min）を変えつつ照射したところ、5 Gy の照射では、線量率が低いほど欠失突然変異の頻度は上昇し、1 Gy の照射線量でも、線量率 1 mGy/min の条件下で 600 mGy/min よりも高い欠失突然変異の発生率を示した。したがって、線量率が低いほど欠失突然変異の頻度は上昇することが明らかになった。

本研究により、低線量放射線照射のリスク評価の基盤となる新たな生体影響を明らかに出来た。



## ＜物質・材料基盤技術分野＞

### 後 1 2 高熱伝導性同位体材料に関する研究（独立行政法人物質・材料研究機構）

周期表に現れる多くの物質は質量の異なる同位体から構成されるが、同位体といえば、トレーサー利用が主で材料としてはウラン等の特殊な例しかなかった。しかし、特定の同位体で構成された材料が実現すると核的な特性のみならず材料の物性面でもこれまでにない特異な特性が期待される。本研究では、高純度の Si、SiC、C の同位体化合物を合成し、熱物性に及ぼす同位体効果を明らかにするとともに、これら同位体材料の組織、熱物性に及ぼす照射効果を調べ、耐照射性高熱伝導同位体材料開発への基礎データを得る事を目的とした。 $^{28}\text{SiF}_4$  や  $^{12}\text{CH}_4$  の同位体濃縮ガスより直接、 $^{28}\text{SiC}$ 、 $^{12}\text{C}$  同位体薄膜をプラズマ CVD により作製した。特に  $^{28}\text{SiF}_4$  は熱力学的に約  $2000^\circ\text{C}$  まで安定であるがプラズマ化で容易に SiC に変換できた。厚さ 1mm 以下の薄膜用の熱伝導測定素子を作製、 $^{12}\text{C}$  同位体ダイヤモンド薄膜が自然界の約 2 倍の高熱伝導性を有する事を確認した。 $^{12}\text{C}$  ダイヤモンド薄膜は多結晶体であり粒界を多く有するが、同位体による効果が粒界による劣化作用に優ることを見出した。この熱伝導については、Callaway モデルを基に同位体散乱効果、粒界効果等を考慮した式を導出し、実験データとの比較により同位体効果を明らかにした。同位体は基本的に不純物、欠陥と同様と捕らえることができ、導出された式は照射欠陥に対しても適用できる。電子顕微鏡内で Xe イオンを照射しながら CVD SiC、SiC 繊維の組織変化を観察した。最大  $2 \times 10^{21}$  イオン/ $\text{m}^2$  の照射に対して Xe バブルが観察されたが格子の乱れなど大きな組織変化は観察されず、SiC は耐イオン照射性に優れている事が判明した。

### 後 1 3 励起中性粒子線によるスピン偏極計測に関する研究（独立行政法人・物質材料研究機構）

電氣的に中性を保ったまま高いエネルギー状態にある準安定励起 He 原子などの励起中性粒子線は、放射線の性質である空気に対する電離作用を示すことが知られる。これをさらにスピン偏極してスピン計測に利用する表面計測法を高度化と応用を図ることを目的とし、微視的スピン偏極計測手法とするための空間分解能を付与する技術開発、スピントロニクス材料の最表面磁性の解明、ビーム照射によるナノメーター構造の制御技術の開発を進めた。

その結果、6極磁子を用いたスピン選別と同時に収束する技術開発に成功し、100%近い偏極度と従来の100倍のビーム密度を達成した。これをさらにビーム化することにより2次元走査像を得て、当初の目的を完遂した。2次元走査法で空間分解能を付与できることが実証されたことから、放出電子顕微鏡との組み合わせによりナノメーターのスピン像計測機分子にスピン偏極が誘起されるデータを示した。さらに、2次電子を含む試料電流がスピン偏極を反映することを検証した。散乱準安定He原子を計測して、生き残り確率に表面電子のスピン偏極が反映されることを初めて実験的に明らかにした。また、偏極He\*から偏極He<sup>+</sup>を生成してビームを形成し、スピン偏極イオン散乱分光法が可能であることを示した。

これらの研究成果は、界面を模擬した表面のスピン偏極、薄膜や吸着有機分子の誘起スピン偏極などスピン工学へ展開されつつあり、学術研究にとどまらず産業応用への波及効果も期待される。

#### 後14 超伝導磁気分離技術を用いた放射性物質分離法に関する研究（物質・材料研究機構）

核燃料リサイクルプロセスでは、その各段階において物質分離が行なわれる。超伝導磁気分離は、原理的に高速・高効率の物質分離が実現し、廃フィルターなどの2次廃棄物を大幅に低減できるという特徴を有するため、放射性廃棄物を低減できる高能率な核燃料リサイクルプロセスの確立に寄与すると期待される。そこで、本研究では、コールド試料の使用による実験と計算機シミュレーション等により、超伝導磁気分離技術の研究開発を行なった。まず、酸化物超伝導コイルを用いて磁気分離用大口径超伝導マグネットシステムを構築し、プロセス応用の際に重要となる高速励消磁が可能なること、安定に連続運転できることを確認した。また、磁気分離用フィルター材を評価し、耐酸性、分離性能、経済性、耐久性の観点からSUS430の50~500 $\mu$ m程度の金網がフィルター材として適切であることを示した。U化合物や白金族の分離を意図し、磁化率を模擬したコールド試料による超伝導磁気分離の実験的な評価を行ない、液相中および気相中で十分な分離性能を得るための条件決定指針を得た。超伝導磁気分離が気相中の常磁性微粒子にも適用できることを明らかにした。さらに、磁場下の粒子の流体中での挙動をシミュレーションできる計算コードを開発した。これを用いてフィルター材の空間配置や、空間磁場分布、粒子種、粒子サイズ、流体流速などの条件をパラメータとした粒子挙動計算を行ない、超伝導磁気分離効率に与える影響を評価した。このシミュレーションモデルは、放射性物質の

ように実験的検討が困難な物質の分離条件を検討する際に有効であると考えられる。本研究により超伝導磁気分離が核燃料リサイクル過程に關与する物質の分離に適用可能なことが示され、その条件検討のための手法を確立できた。

## 後 1 5 高効率磁場核融合に関する研究(独立行政法人産業技術総合研究所)

制御熱核融合を目指した高温プラズマの磁場による閉じ込め研究においては、磁場の利用効率、即ち、プラズマの圧力を、その閉じ込めに必要な磁場の圧力で割った値 ( $\beta$  値) を、いかに高めるかということが大きな課題である。

逆磁場ピンチと呼ばれる閉じ込め方式では、プラズマの中心部と周辺部で、磁力線の向きが 90 度以上変化している点に特徴があり、この変化によりプラズマを安定化することができる。理論解析では、30%程度の高い  $\beta$  値のプラズマ閉じ込めが可能であることが示されている。しかし、空間変化の大きい磁場構造を維持するために、磁場揺動の発生が避けられず、これまでは高  $\beta$  を実現することができなかった。この点を解決するため、大型逆磁場ピンチ実験装置 TPE-RX において、以下の能動的制御による閉じ込め向上の研究を進めた。

- (1) 外部から与える閉じ込め磁場波形の適切な制御による磁場揺動の抑制。
- (2) 閉じ込めが良いと予想される中心部の選択的加熱による閉じ込め向上。

まず、中心加熱に関しては、高集束性能を持った中性粒子入射加熱装置を開発して、ビームエネルギー 25keV、ピークパワー 1.6MW、焦点のパワー密度  $1\text{GW}/\text{m}^2$  を実現し入射実験を行った。入射効率の良くない磁場への垂直方向入射でも、電子温度の向上を観測することができた。次いで、パルスポロイダル電流駆動 (PPCD) と呼ばれる外部のトロイダル磁場を段階的に深くする手法を用いることにより、閉じ込め性能の飛躍的向上を達成した。即ち、電子温度は 400 から 1500eV へ、電子密度は  $0.5 \times 10^{19}$  から  $10^{19} \text{m}^{-3}$  へ、 $\beta$  値は 5 から 30% へ、粒子閉じ込め時間は 10 倍程度 ( $\sim 25\text{ms}$ ) への向上を実現した。

## 後 1 6 動的アニール・ソフトイオンビームプロセスによる高品質ダイヤモンド半導体基盤技術の研究(独立行政法人産業技術総合研究所)

ダイヤモンドは次世代の耐環境、エネルギー、情報エレクトロニクスや放射線、光検出用材料として応用が期待される半導体材料であり、その電子デバイス作製にはイオンビームプロセスを用いたドーピング (不純物添加) による電気伝導性制御が必要不可欠である。しかしながら、シリコン等の従来の半導体

材料に対して適用されてきたイオンビームプロセスをダイヤモンドにそのまま適用することは、ダイヤモンドに特有の照射損傷の発生と蓄積が生じるため困難である。このため、本研究では、イオン注入時に同時に生成される照射欠陥を、高温でイオン注入を行うことやレーザー励起を利用する等の動的なアニール(熱処理)手法を用いて、その場で即時に修復することにより、添加不純物の電氣的活性化を促す試みを行った。その結果、高ドーズ(照射線量)のイオン注入によるダイヤモンドのグラファイト化を回避しつつ、高濃度のボロンをダイヤモンドに注入することが可能になり、結果として非常に低い電気抵抗(抵抗率:  $\sim 1\text{m}\Omega\text{cm}$ 、シート抵抗:  $\sim 50\Omega/\text{Sq}$ )を有するp型ダイヤモンド半導体伝導層を、イオン注入法によって形成できることが明らかになった。また、プラズマ CVD(化学気相堆積)法による高品質単結晶薄膜合成技術の開発をあわせて行うことにより、応用上重要な中エネルギー領域(イオンのエネルギーが数10~数100keV)のイオン注入によるp型高移動度キャリアの生成が可能になった。さらに、ホール効果(キャリアのp型あるいはn型判定を行う)測定を用いたイオン注入法(窒素イオンを使用)によるn型伝導層の形成の検証に初めて成功した。

これらの新たな知見や技術は、ダイヤモンドベースの高出力・高周波デバイスや放射線検出器等を創製する上で必要とされる基盤的なデバイス形成プロセスに役立つものと期待できる。

## 後 17 超高輝度 kHz プラズマ X線源とその応用の研究開発(独立行政法人産業技術総合研究所)

短パルスレーザー技術の進展により、短パルス X線の発生が可能になり、超高速現象の X線観測がデモンストレーションされている。種々の X線応用が開拓される期待があるが、時間平均パワーが極めて低いことが大きな障害となっている。また、1kHz フェムト秒 Ti:S レーザーを用いた kHz 繰り返し X線源の報告があるが、レーザーから X線への変換効率が  $10^{-6}$  程度以下と低い。

当所における本研究グループの考察では、パルスエネルギーを数 mJ にすれば、変換効率数%も可能で、X線源のパワーの数桁向上が見込まれるものの、マルチ kHz レーザーのパルスエネルギーを大きくするとレーザーロッドの熱レンズ効果が深刻になり、レーザー発振すら停止してしまう。一方、X線源の kHz 化の別の課題は、ターゲット供給法である。テープターゲットでは、例えばテープ長 50m の場合、1kHz で運転すると持続時間は僅か数分になる。そこで、本研究では、この二つの技術課題に取り組んだ。

フェムト秒 Ti:S レーザーの高出力化では、熱レンズ効果を軽減する極低温冷却方式の採用とともに、変換効率の最大化の理論考察に基づいた共振器設計により、1kHz システムで、励起光源から Ti:S レーザーへの光—光変換効率で、世界最高の 37%を達成した。10kHz システムで、従来の再生増幅器の世界最高パワー十数 W を大きく上回る 54W を実現した。回転ロッドターゲットに 1kHz システムの出力を集光し、X線発生 of 閾値が数 mJ であることが確認された。X線変換効率は 1%程度と推測している。ターゲットに関しては、液滴供給方式を考案・技術開発し、長時間運転の展望を得た。

## 後 18 トリチウム吸蔵材料における蓄積ヘリウムの非破壊観測技術の開発 (独立行政法人産業技術総合研究所)

核融合の燃料であるトリチウムを長期にわたり安全に保存するためには合金系吸蔵材料の使用が有望である。ところが、トリチウムの崩壊に伴って生成するヘリウム-3 が材料内部に蓄積されることにより吸蔵材料の特性が変化してしまうことが安全上問題となっている。このため、蓄積ヘリウム量をモニタリングする技術の開発が望まれている。

本研究では、トリチウム吸蔵材料における内部蓄積ヘリウムを非破壊・非接触で観測する技術を開発することを目標とした。手法としては、固体核磁気共鳴 (NMR) 法を用い、蓄積ヘリウムの定量および存在状態に関する観測を行った。また、現場での使用を考えて、測定装置は経済的かつ乗用タイプのワゴン車で運搬可能なサイズおよび重量を想定した。本研究の開発の結果、多孔質材料のナノ空間にヘリウム-3 を導入したモデル試料において、ヘリウム-3 NMR シグナルを非破壊・非接触で検出することができた。他の手法では非破壊・非接触でヘリウム-3 を検出することはできない。小型装置では、既設の卓上型固体 NMR 分光器を改造することにより、1 気圧下では 1 時間で S/N 比約 5 のシグナルが得られた。50 気圧下では 32 秒で S/N 比 5.1 のシグナルが得られた。この装置は、0.2 m<sup>3</sup>、150 kg である。

一方、既設の超伝導 NMR 装置を改造することにより、非常に高感度でヘリウム-3 NMR シグナルを検出することができた。この装置を用いることにより、ヘリウム-3 の定量の可能性を示し、ピーク位置の変化および緩和時間 (ヘリウム-3 の核スピンを励起したときに、もとの状態にもどる速度を表すパラメータ) からヘリウム-3 の状態に関する情報が得られる可能性を示した。

## <システム基盤技術分野>

### 後 19 高選択性分離膜による放射性廃液処理と放射性廃棄物エミッションの低減化の研究(独立行政法人産業技術総合研究所)

放射性廃液の減量化のため、放射性元素に対して高い選択性を有するキャリア輸送系を用いて、特定の有害な放射性元素のみを高効率で濃縮・除去しうる分離膜デバイスを開発することを目標に、本研究は、単にキャリア輸送系を構築するのみに留まらず、高安定性と高透過性を同時に満たす実用的な液膜デバイスの開発、さらには、そのデバイスを組み込んだ実用的な放射性廃液処理システムの開発を目指したものである。

アクチノイドの抽出剤として知られる CMPO(octyl(phenyl)-N,N-diisobutyl carbamoylmethylphosphine oxide)および TODGA(N,N,N',N'-tetraoctyl-3-oxapentane diamide)をキャリアとして採用し、当研究グループが開発した有機ゲル膜 PIM(polymer inclusion membrane)を作製することにより、アクチノイドのモデル物質であるセリウムイオンが促進輸送により濃縮できることを確認した。供給液側のセリウムイオンの 99%以上を受容側に移行させることができるため、受容側の液量を小さくしておけば、セリウムイオン(実際の系ではアクチノイド)の濃縮、廃液の減量化を行うことができる。さらに、実用化実証試験のためのベンチスケール機を作製するための中空糸 PIM については、後処理法を提案し、それによって製膜した中空糸 PIM モジュールにより、上述の平膜型 PIM と同様のセリウムイオン濃縮能を有することを示した。これらの成果および提案により、今後、放射性廃液の総量が著しく削減され、放射性廃棄物エミッションの低減化が可能になるものと期待される。

## 平成18年度終了課題評価結果一覧

No.	分野	省	機関	課題名	総合評価
1	生	厚生労働省	国立医薬品食品衛生研究所	電子線照射生鮮食品の検知に関する研究	B
2	生	厚生労働省	国立医薬品食品衛生研究所	$\gamma$ 線照射を利用したナノキャビティをもつハイドロゲルの調製とタンパク質製剤への応用に関する研究	A
3	生	厚生労働省	国立医薬品食品衛生研究所	細胞治療・再生医療における放射線照射ストロマ細胞の有用性確保に関する研究	C
4	生	厚生労働省	国立医薬品食品衛生研究所	超低線量放射線により誘発されるDNA二本鎖切断モデル細胞の構築と、それを用いたDNA修復の研究	A
5	生	厚生労働省	国立循環器病センター	マイクロSPECTを利用した機能画像の定量化と循環器疾患の実験的治療研究への応用	A
6	生	厚生労働省	国立成育医療センター	siRNAを用いた放射線感受性を決定する生体分子の機能解析に関する研究	A
7	生	厚生労働省	独 国立病院機構 東京医療センター	新しいI-125シード熱源による前立腺癌の放射線治療に関する臨床的研究	B
8	生	農林水産省	独 農業・食品産業技術総合研究機構	植物のアルミニウムストレス関連タンパク質のタンデム型加速器質量分析法及びPIXE法による解析	C
9	生	農林水産省	独 農業・食品産業技術総合研究機構	低エネルギー電子ビーム利用による臭化メチルくん蒸代替食品貯蔵害虫防除技術の開発	A
10	生	農林水産省	独 水産総合研究センター	魚類細胞をモデルとする低線量放射線の生物影響の解明	B
11	生	環境省	独 国立環境研究所	低線量放射線の内分泌攪乱作用が配偶子形成過程に及ぼす影響に関する研究	C
12	物	文部科学省	独 物質・材料研究機構	高熱伝導性同位体材料に関する研究	A
13	物	文部科学省	独 物質・材料研究機構	励起中性粒子線によるスピン偏極計測に関する研究	A
14	物	文部科学省	独 物質・材料研究機構	超伝導磁気分離技術を用いた放射線物質分離法に関する研究	B
15	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	高効率磁場核融合に関する研究	A

## 平成18年度終了課題評価結果一覧

No.	分野	省	機関	課題名	総合評価
16	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	動的アニール・ソフトイオンビームプロセスによる高品質ダイヤモンド半導体基盤技術の研究	B
17	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	超高輝度kHzプラズマX線源とその応用の研究開発	B
18	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	トリチウム吸蔵材料における蓄積ヘリウムの非破壊観測技術の開発	B
19	シ	経済産業省	独 産業技術総合研究所	高選択性分離膜による放射性廃液処理と放射性廃棄物エミッションの低減化の研究	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）：電子線照射生鮮食料品の検知に関する研究（国立医薬品食品衛生研究所）	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成18年度（5年計画） 56,256千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	<p>電子線照射の特徴を生かした食品照射がこれから広まることが予想されているが、我が国に於いては、照射された食品の吸収線量の推定方法はまだ確立されていない。したがって、5 MeV～10 MeVの電子線を照射した食品中に残留する照射痕跡を検知して線量を評価する方法を確立する必要がある。</p> <p>本研究を計画した当時、検知法の原理は限定的であったので、新たに魚介類、野菜等の生鮮食料品を対象に、その中に生じる放射線分解物質を検出し同定を試みることにした。一方、放射線分解物として既知であった炭化水素を検出する方法については、適用できる生鮮食料品の範囲は狭いと考えられ、ESR法を用いて生鮮食料中に生じるラジカル類を検出する方法を検討して新たな検知に関する切り口を探すことにした。これと平行し、水分の多い生鮮食品試料について、ESR法の適用範囲を調べることにした。ついで、水分とは関係なく用いることのできるTL法について、基礎的な検討を行い、さらにコメットアッセイ法を生鮮野菜等に適用して実用化を図る。その他広範囲に必要な検討を行い、検知法の基礎固めを行うことを目指す。</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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当初予定の成果：再現性良く電子線照射食品をつくって研究に供することが可能になった。糖成分を含む食品について、電子線照射の痕跡をESR法で検知する方法の基礎的な検討を行い、保存条件との関係などを明らかにした。電子線照射で生成する炭化水素類またはシクロブタノン類をガスクロマトグラフ法で検出する方法を検討し、検知範囲を明らかにした。熱ルミネッセンス法については基礎データを集めた。</li> <li>・特筆すべき成果：熱ルミネッセンス法について、実用展開に資するデータを得た。</li> <li>・副次的な成果：熱ルミネッセンス線量計の基礎的な性質を解明した。</li> <li>・論文、特許等：査読を経た学術論文に分類されるもの9編、その他の論文等13編、特許0件、口頭発表43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>・目的・目標の設定の妥当性：現在及び将来の食糧事情を考えれば本研究の重要性は明確であり、目的・目標の設定は妥当である。</li> <li>・研究計画設定の妥当性：当初の計画設定は妥当であったが、検討すべき分析方法が多いにも拘わらず研究者数が少なく、進捗状況に照らした計画の練り直しが必要であった。結果的に妥当性にやや欠ける。</li> <li>・研究費用の妥当性：研究成果をみる限り、やや妥当性に欠ける。</li> <li>・研究の進捗状況：研究者数が少なく、順調であったとは言えない。</li> <li>・研究交流：方法を実用化している外国の研究者との交流をもっと行うべきで、その点において十分とは言えない。</li> <li>・研究者の研究能力：検討課題の難しさと多さを考慮すると負担過多は否めない。</li> </ul>
4. その他	事前評価一B
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)： $\gamma$ 線照射を利用したナノキャビティをもつハイドロゲルの調製とタンパク質製剤への応用に関する研究(国立医薬品食品衛生研究所)	
研究期間及び予算額：平成15年度～平成18年度(4年計画) 35,868千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	近年のゲノム科学の発展はタンパク質の機能を解明し、病気との関連を明らかにしつつあり、タンパク質を医薬品として用いることへの期待が高まっている。不安定なタンパク質を安定化し、製剤化およびその後の長期保存中における安定性を確保することはタンパク質を医薬品として用いるために不可欠である。本研究においては、保存中のタンパク質の分解という従来の方法では解決が困難な問題点を克服するため、水酸基を多数有するデキストランなどの高分子にメタクリル酸グリシジルを修飾し、低線量の $\gamma$ 線照射によってタンパク質共存下に高分子をハイドロゲル化し、ゲルの網目によって形成されるナノキャビティの中にタンパク質1分子ずつを封じ込めることによって、タンパク質の保存安定性を確保する技術を開発することを目標としている。
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・デキストランとポリエチレングリコールをゲル化して、数<math>\mu\text{m}</math>のマイクロスフェアを作るための最適な試薬濃度および<math>\gamma</math>線重合のための照射条件が明らかになった。ゲルにタンパク質を閉じ込めることで、乾燥過程や保存中に起こるタンパク質の分解と失活を抑えることができるようになった。タンパク質の安定化を図るゲル調製技術を確立した。</li> <li>・ゲル化線量の検討から、比較的低線量の0.3kGyでゲル化ができることを明らかにした。吸収線量の低減化により、タンパク質の機能失活を抑えることができることを<math>\beta</math>-ガラクトシダーゼについて示した。</li> <li>・デキストランの分解酵素をマイクロスフェアに内包させることで、タンパク質の安定化と放出制御機能の両方を備えた製剤開発を目的とした次期の原子力試験研究に発展した。</li> <li>・学会発表4件、公表論文2報、準備中論文1報。</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>・ゲルの網目構造に薬剤を内包させることにより、分解を受けやすいタンパク質を安定に保存する技術の確立を目指した研究目標の設定は妥当であった。</li> <li>・<math>\gamma</math>線によるゲル化は余計な重合試薬を使う必要がないことから、薬剤調製法としては望ましく研究計画は妥当であり、重合手法としての<math>\gamma</math>線の利用は原子力試験研究の目的に合致していた。</li> <li>・研究費用はおおむね妥当であった。</li> <li>・当初予定の成果は達成されており、問題なく研究は進捗したと判断される。放出制御機能を付加したマイクロスフェアの開発研究へつながった。</li> <li>・学会発表による成果公表が毎年なされていることから、情報発信と研究者交流は行なわれた。</li> <li>・本研究の目標が予定通りに達成されたこと、そして次の新しい研究へと結びついたことから研究者の研究能力は高いと判断される。</li> </ul>
4. その他	<p>投稿準備中の論文の完成が望まれる。</p> <p>ゲル化によるタンパク質の安定化は、キャビティ中での分子運動抑制に関係すると考えられることから、放射光などを利用したゲル構造の解析を検討されたい。</p> <p>事前評価-A</p>
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）：細胞治療・再生医療における放射線照射ストローマ細胞の有用性確保に関する研究 (国立医薬品食品衛生研究所)	
研究期間及び予算額：平成15年度～平成18年度（4年計画） 44,210千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	ヒトまたは動物の細胞や組織を培養、加工し、さまざまな疾患の治療に用いる細胞・組織利用医薬品の開発には、細胞治療に用いる幹細胞や前駆細胞の増幅や機能細胞への分化誘導にストローマ細胞との共培養が有用である場合が多い。そのためにはストローマ細胞を予め放射線照射し、その増殖能を不活性化することが必要と考えられる。このストローマ細胞の放射線処理による不活化条件については十分な検討はなされておらず、またその支持能を担う分子の同定もされていない。本研究では、このような幹細胞や機能細胞の誘導に支持細胞として用いられるストローマ細胞の有効性や安全性確保を目的として、ストローマ細胞の放射線照射条件の最適化を行うとともに支持能を担っている分子を探索し、これを高発現するヒト由来細胞を作製を意図している。担当者らは造血幹細胞や前駆細胞を支持する細胞をストローマ細胞と位置づけている。
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	当初予定の成果： Op9細胞の他に、SWISS/3T3細胞の放射線照射(4-12Gy)による造血細胞支持能の増強が確かめられたが、他の2種類の細胞には放射線照射による造血細胞支持能の増強は見られない。造血細胞支持能を担う分子の候補として22個のタンパク質を同定し、これらタンパク質について更に抗体やsiRNAなどによる機能解析を行い、造血支持能を担う複数の候補分子を明らかにした。しかし、これらのタンパク質を高発現するストローマ細胞の樹立には至っていない。 論文、特許等： 4年間の研究で学会発表は3編認められるが、論文発表は見られない。造血支持能を担う複数のタンパク質候補の確認をヒト細胞を用いる強制発現系で確認中で、その結果によって特許を申請し、その後に論文を発表する計画であると言う。
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	目的・目標の設定の妥当性： マウス由来のストローマ細胞の放射線照射による機能亢進を調べることによって、造血細胞支持能を担うタンパクを同定し、それを高発現するストローマ細胞を樹立するという研究目的・目標の設定は、ストローマ細胞の必要性、重要性から妥当と思われる。 研究計画設定の妥当性： 担当者らは造血幹細胞のコロニー形成能の支持を判定基準としており、幹細胞増殖の支持を念頭においているが、中間評価では、ストローマ細胞の機能として細胞増殖支持能だけでなく、細胞分化の支持能も必要で、両者を分けて調べる必要性が指摘された。 研究費用は概ね妥当と思われる。 研究の進捗状況： 結果的に目的を達成できなかったこと、特許出願や論文発表が見られないことから、研究計画とそれに沿った研究の遂行は適切とは言い難い。 研究交流： 最近ヒト骨髄の間葉系幹細胞が遺伝子組み込みによって樹立されたことが既に報告されているようにこの分野は急速に進歩している。これらの周辺研究状況の変化に応じて、研究者間の研究交流を活発に行い、遺伝子組み込みよりヒト由来のストローマ細胞の樹立を最初から試みるのも1方法かもしれない。
4. その他	最終的には、治療を必要とする患者自身からの造血幹細胞及びストローマ細胞の樹立によって、造血機能を再生する技術の確立が望まれる。 事前評価-A
5. 総合評価	C
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）：超低線量放射線により誘発されるDNA二本鎖切断モデル細胞の構築と、それを用いたDNA修復の研究（国立医薬品食品衛生研究所）	
研究期間及び予算額：平成15年度～平成18年度（4年計画） 54,709千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	本研究では、DNA二本鎖切断(DSB)によるゲノムの変化を解明し、低線量放射線のリスク評価に反映させ、DSBの哺乳類細胞における修復機構を明らかにすることを最終目的としている。そのため、遺伝子組換え技術を用いて、ゲノムの特定部位一ヶ所にDNA二本鎖切断(DSB)を生じさせ、その後の損傷(DSB)修復過程を詳細に解析した。本系では非相同組換え(NHEJ)、及び相同組換え(HR)修復を同一遺伝子レベルで検出でき、極めて限られた数のDSBがどの様にして突然変異誘発を引き起こすのかを調べることにより、従来困難とされていた超低線量放射線による生物影響の分子機構を解明することを目的とした。
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	当初予定の成果： ヒトリンパ芽球細胞(TK6株)チミジンキナーゼ(TK)遺伝子内にI-SceI部位を導入し、制限酵素(I-SceI)遺伝子を発現させることにより、ゲノムの特定部位1箇所にDSBを誘起させる技術を確認し、その後の修復様式を分子生物学的手法により解析することに成功した。DSBの殆どはNHEJによって修復され、HR機構の関与は全体の約1%程度と少ないことが明らかにされた。NHEJによって生じるDNA欠失は極めて小さく、修復に伴う誤りを小さくする機構の存在が示唆された。siRNAによって作成されたp53ノックダウン細胞では、異常修復による転座などの染色体異常の発生が多いことが明らかにされた。 特筆すべき成果： I-SceI部位を2つ導入した細胞を作成し、クラスターDSBのモデル細胞として利用出来た。この方法により、近接したDSBはそれぞれ別々に修復されるより、むしろ融合して大きなDNA欠失を生じる事が明らかにされた。一方、2つのDSBの融合により新たなI-SceI部位の形成が起きる場合のあることも観察された。この事実は、NHEJによる修復にもエラーを伴わない修復経路が存在することを示している。NHEJによるDNA欠失には逆向きの配列を伴う複雑な再構成もみられ、これはゲノム不安定性の機構の1つと考えられた。 副次的な成果： トランスフェクション法の改良により、従来の方法に比べて100倍以上の頻度でI-SceIベクターを細胞に導入出来るようになった。この方法は体細胞での効率の高い遺伝子発現法、ジーンターゲット法に応用可能である。 論文、特許等： これらの成果はレベルの高いいくつかの国際学術雑誌に論文として発表されている。
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	本研究では、ゲノムの特定部位のチミジンキナーゼ(TK)遺伝子内に1つのI-SceI部位を導入し、そこに1つのDSBを生じさせる手法で、その後のDSB修復過程を詳細に分析することにより、低線量放射線(ガンマ線0.025Gyで1DSB/ゲノムがランダムに生じる)によって生じるDSBの修復機構を明らかにすることを最終目的としている。この方法は独創的で、合理的な目標設定である。この手法が、放射線照射によって生じるDSB修復と同一視出来るかどうかの検証も必要であるが、研究は順調に進み顕著な成果が得られている。 研究費に設備備品の占める割合は高いが、実験遂行に必要と認められる。 研究遂行には、国内・国際的な交流が行われ、カリフォルニア大学との共同研究で共著論文も発表している。 研究成果はレベルの高い国際学術雑誌に論文として発表されて、研究者の研究能力も高い。
4. その他	今後この手法を用いた研究が普及し、更なる発展が期待される。 事前評価-A
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)：マイクロSPECTを利用した機能画像の定量化と循環器疾患の実験的治療研究への応用(国立循環器病センター)	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成18年度(5年計画) 56,175千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	<p>1. ピンホールの原理を応用したSPECT影像法において、従来は困難だった組織中の正確な放射性薬剤の濃度分布の定量計測を実現するための新しい撮像法、及び画像再構成法を構築する。特に画像の歪みと不均一な解像度の問題を解決するための新しい画像計測手法を確立する。</p> <p>2. 既存のガンマカメラにピンホールコリメータを装着した装置においてSPECT撮像を行うプロトタイプシステムを構築し、この影像データに本研究で開発した方法を適用することで正確な放射能濃度分布画像を計測できることを実験的に検証する。</p> <p>3. ラット及びマウスの組織中の放射性薬剤の動態を解析することで、心筋の組織血流量及びイオンポテンシャルを定量評価する手法を確立する。ラット脳におけるベンゾジアゼピン受容体の結合能を定量的に評価する解析手法を確立する。</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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当初予定の成果 <ul style="list-style-type: none"> <li>1. ピンホールの原理を応用したSPECT撮像法の弱点であった歪み補正の原因がラドン変換の不完全性にあることをつき止め、完全性を満たす撮像軌道で撮像する事により顕著な画像改善が得られた。</li> <li>2. ラットの局所心筋血流量の定量計測に成功した。</li> <li>3. モンテカルロシミュレーションコードの開発により、さらに画像改善が期待される結果となった。</li> </ul> </li> <li>・特筆すべき成果 <ul style="list-style-type: none"> <li>ラドン変換の不完全性をつき止めた事と完全性に対応する装置設計を行ったこと。</li> </ul> </li> <li>・副次的な成果 <ul style="list-style-type: none"> <li>小動物の脳血流、心筋血流の測定が可能となった事により新しい研究分野が出現した事。</li> </ul> </li> <li>・論文、特許等 <ul style="list-style-type: none"> <li>十分あり、国際的評価も高い。</li> </ul> </li> </ul>
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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目的・目標の設定の妥当性 <ul style="list-style-type: none"> <li>小動物用のPET開発が先行する中、申請者はピンホールを用いたSPECT装置の開発を成功させた研究的意義は大きい。</li> </ul> </li> <li>・研究計画設定の妥当性 <ul style="list-style-type: none"> <li>小動物用にSPECT装置を開発するために、画質改善のためのアルゴリズムを検討し、改善策を見だし、それを装置作成に結実させたことの評価は高い。</li> </ul> </li> <li>・研究費用の妥当性 <ul style="list-style-type: none"> <li>成果に比し妥当ないし小額かもしれない。</li> </ul> </li> <li>・研究の進捗状況 <ul style="list-style-type: none"> <li>ほぼ満足できる成果である。</li> </ul> </li> <li>・研究交流 <ul style="list-style-type: none"> <li>フィンランドのKuopio大学その他多くの施設との研究交流があり。成果の一部は研究交流のたまものと考えられる。</li> </ul> </li> <li>・研究者の研究能力 <ul style="list-style-type: none"> <li>十二分である。</li> </ul> </li> </ul>
4. その他	この装置を用いた小動物の実験から種々の新知見が見いだされる事を期待する。 事前評価-A
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）： siRNAを用いた放射線感受性を決定する生体分子の機能解析に関する研究 (国立成育医療センター)	
研究期間及び予算額：平成16年度～平成18年度（3年計画） 11,814千円	
項目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>RNA interference(RNAi)を用いてp53標的遺伝子の発現を抑制し、放射線によって癌細胞に誘導されるアポトーシスへの影響を探る研究である。</p> <p>まず、現在知られているp53標的遺伝子(Bax, Noxa, Puma, p53AIP等)に対するsmall interference RNA (siRNA)を1遺伝子につき複数合成し、効率よく発現を抑える配列を決定する方法(方法1)と、長いRNAを試験管内で合成するためのプラスミドを作り、更にそれを2本鎖にした後、やはり試験管内で短いsiRNAを作製する方法(方法2)を実施する。出来上がったsiRNAを野生型のp53を持ち、放射線感受性のある細胞株に導入して細胞死に与える影響を解析する。遺伝子発現の抑制が細胞死に与える影響が大きい遺伝子ほどこの経路で重要な働きを演じている遺伝子ということになる。</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	<ul style="list-style-type: none"> <li>方法2を用いた場合には非特異的な細胞毒性が認められたが、方法1では期待通りの結果が得られた。</li> <li>BH3ドメインのみを持つBcl-2ファミリーメンバーであるBBC3(Puma)の発現抑制をした時に細胞死が最も抑制され、BBC3の発現とその放射線による変化が放射線感受性の重要な指標となる可能性を示した。またNoxaとBaxは、それぞれ単独では十分な効果がなかったが、組み合わせによって強い細胞死抑制効果があることが分かった。</li> <li>相同組換えによる遺伝子ノックアウトの方が、siRNA法に比べて確実な遺伝子の発現抑制が可能であり、今後の遺伝子の機能解析に有用なことが分かった。</li> <li>2004年から2007年までに9件以上の研究論文と数多くの口頭発表が行われた。</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>当初の研究目的と目標は無理なく妥当であったと考えられる。</li> <li>siRNAの作成法のうち、方法2は細胞毒性が強く、研究の遂行に適さないと判断されるまで時間がかかったが、本研究が開始された時点では十分な情報がなくやむを得なかった面がある。方法1で十分な成果が得られたため、計画設定は妥当であったと考えられる。</li> <li>siRNAの合成に費用がかかるため、研究費用は妥当であったと考えられる。</li> <li>siRNAの合成方法2についての評価に時間がかかったようであるが、おおむね予定通りの研究成果が得られ、多数の論文も出されている。本課題の成績自体の報告については、論文作成中とのことである。</li> <li>実験に用いた細胞株やプラスミドの供与で、複数の研究機関と交流があった。</li> <li>研究開始時には非常に新しかった手法を用いて研究を進め、一定の研究成果を得たことから研究者の研究遂行能力は十分であったと判断される。</li> </ul>
4. その他	<p>本課題で得られた成績の報告については継続的に論文作成中とのことであり、できるだけ早期の発表を期待したい。</p> <p>事前評価－A</p>
5. 総合評価	Ⓐ
評価責任者氏名：嶋 昭紘	

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）：新しいI-125シード線源による前立腺癌の放射線治療に関する臨床的研究 (独立行政法人国立病院機構東京医療センター)	
研究期間及び予算額：平成16年度～平成18年度（3年計画） 8,934千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	<p>I-125シード線源のわが国への導入が平成15年9月より認められた。しかし、小線源の取り扱いに全く経験のない泌尿器科領域に新しい小線源治療を国レベルで普及させることは実際には容易ではない。医療従事者に線源の安全な取り扱いを指導し、患者・家族や社会にも十分な説明をし、理解を求め、緊急時の対応も慎重に進める必要がある。新しく導入されるI-125シード線源の安全取り扱いとそれによる前立腺癌の治療体制を早急に確立し、その教育を行うセンターを計画し、急激に増加するわが国の前立腺癌の治療に貢献することを研究目的とする。</p> <p>具体的な目標：1年目に、新しい線源の安全な取り扱い方法を習熟し、医療従事者・患者・家族の安全を確認する。治療に必要な周辺機器を整備・開発を進める。2年目に、線量分布の評価と線量評価を超音波とCTにより行い、前立腺組織の経時的変化を確認する。急性有害事象と安全性の確認を行う。3年目に、生物学的な評価を加えると同時に、治療の確立と普及を目指した教育センター構想を実現する。</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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当初予定の成果 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 安全な取扱いを習熟するための安全管理に関するガイドラインの安全性を確認した。</li> <li>2. 術前術後の線量評価を行った。</li> <li>3. 短期的有害事象の評価を行った。</li> <li>4. 安全性を確保するための技術講習会の実施した。</li> </ol> </li> <li>・特筆すべき成果 安全ガイドラインの遵守で安全性が確保された。</li> <li>・副次的成果 全国施設との交流によりシード線源全例登録が可能となり、前向きのコホート研究を実施中である。</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>・目的・目標の設定の妥当性 放射線治療の研究には、新しい生物学的知見、治療方法の開発、新規の臨床研究、治療適応の拡大を狙ったものが一般的であるが、この研究では治療の安全性と普及を目的としている。この研究は、本来はIV相試験という形で行われるべきである。しかし、原子力試験研究という枠の中でこの研究が実施され、本治療法の全国の全症例を登録する事により前向きのコホート研究が実施されたというのは、特筆すべき事であり、今後、重要な成果が期待される。</li> <li>・研究計画設定の妥当性 目的・目標に沿ったものである。</li> <li>・研究費用の妥当性 妥当である。</li> <li>・研究の進捗状況 十分である。</li> <li>・研究交流 全国レベルの交流である。</li> <li>・研究者の研究能力 不足はない。</li> </ul>
4. その他	事前評価－A
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)：植物のアルミニウムストレス関連タンパク質のタンデム型加速器質量分析法及びPIXE法による解析 (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14年度～平成18年度 (5年計画) 33,218千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	一般作物に比べ高度酸性土壌耐性あるいは好酸性土壌性である亜熱帯牧草ルジグラスは、多量なAlを細胞内に吸収し、既知の酸性土壌耐性機構以外の新規な耐性機構を具えると推定されている。1) ルジグラス培養細胞・植物体を用いて、その酸性土壌(酸性・ <sup>27</sup> Alストレス)への応答に関する生理解析と、 <sup>27</sup> Alの同位体 <sup>26</sup> Alをトレーサーとしたタンデム加速器質量分析法(AMS)での測定により、新規なAlストレス関連タンパク質の内Al結合タンパク質を生化学的に解析する。2) <sup>27</sup> Alストレスにより誘導される蛋白質・遺伝子を変性2次元電気泳動・TOF/MS/MSを用いてプロテオーム解析し、そのアミノ酸配列情報を利用した遺伝子単離、さらにマイクロアレイ法による <sup>27</sup> Alストレスに促進される遺伝子探索を行う。3) PIXEの定量的高感度 <sup>27</sup> Al測定法の開発と <sup>27</sup> Al結合タンパク質解析を行う。
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>・ Alを体内に多量に吸収・集積するルジグラスに注目し、吸収されたAlが核、ミトコンドリアで蛋白質と結合して集積すること、細胞に取り込まれたAlは非イオン性界面活性剤可溶性物質に結合し、結合蛋白質(当電点は訳pI5付近)のうち非蛋白質型はアルカリ性ストレスに対する酸性化において特異的であること等を明らかにした。</li> <li>・ Alストレスに誘導される蛋白質として、新規酸性キチナーゼ、0-methyltransferase、アブシジン酸・ストレス誘導蛋白質、UDPグルコース・蛋白質トランスグリコシラーゼ等を同定した。また、新規酸性キチナーゼの蛋白質構造を明らかにした。</li> <li>・ 蛋白質結合Alを高感度定量分析するためのPIXE分析法(2～3万ダルトンのAlが4分子結合するAl結合蛋白質を50ngで分析可能)を開発した。</li> <li>・ 特記すべき副次的成果は認められない。発表された研究論文は研究初年度の1件のみであり、特許は出願されていない。</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>・ (1)ルジグラス培養細胞系を用いた生理学的Alストレス応答解析、(2)Alストレスによるルジグラス誘導蛋白質・遺伝子解析、(3)蛋白質結合Al高感度分析のためのPIXE分析法開発が並列して進められており、全体としての統一された研究目的が不明確である。</li> <li>・ 東京大学PIXE装置の使用に制約があったとはいえ、特に中間評価を受けた時点での研究計画の吟味・再調整に遺漏があったのではないかと認められない。</li> <li>・ 当初計画に照らして特記すべき研究費用に関する問題点は認められない。</li> <li>・ 中間評価時点で確認された、東京大学PIXE装置の使用制約は、照射装置の改良等により克服された。当初計画の原子力試験研究としての主目的である「微量<sup>27</sup>Alの高感度PIXE分析法の開発」はほぼ達成された。5年の研究期間中に学術誌等への研究成果の発表は研究開始初年度の1件のみであり、口頭発表は7件、特許は出願されていない。</li> <li>・ 研究担当者が所属する大学、センター内において主として研究が実施されたようである。</li> <li>・ 当初目的を達成するに足る研究能力を有していたといえる。</li> </ul>
4. その他	研究開始時点でのマシンタイムの制約から東京大学PIXE装置を十分に利用できできなかったことが、特に中間評価時点以降の研究の統一的進行に影響を及ぼしたと思われる。研究計画の吟味・再調整に課題を残したと思われる。事前評価-B 得られた成果をとりまとめ、学術誌等へ積極的に発表することを期待する。
5. 総合評価	C
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）：低エネルギー電子ビーム利用による臭化メチルくん蒸代替食品貯蔵害虫防除技術の開発 (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14年度～平成18年度（5年計画） 43,002千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	米、小麦、クリなど農産物の収穫後の殺虫処理に、1MeV未満の低エネルギー電子ビーム照射を導入し、臭化メチルくん蒸の代替となる実用的な新規処理技術を開発する。 これにより、農産物のポストハーベストにおける化学薬剤使用を低減し、食糧の安全確保および環境問題の解決に寄与する。
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・食品の品質に影響しない低エネルギー電子ビーム(60keV, 10kGy)によるコクゾウムシ(コメ害虫)の生育ステージごとの殺虫効果を明らかにした。殺虫効果は卵、蛹、成虫は100%であったが、幼虫は日齢に依存した。アズキゾウムシ(小豆害虫)は低エネルギー電子ビームで100%殺虫可能であり、クリシギゾウムシ(クリ害虫)は400Gyのγ線で殺虫可能であることを明らかにした。</li> <li>・コクゾウムシ幼虫は、低用量の薬剤(ホスフィン)と低エネルギー電子ビームの併用で100%殺虫可能であることを明らかにした。</li> <li>・コクゾウムシ幼虫の殺虫効果は、電子ビームの到達距離と玄米中での幼虫の分布位置に依存していることをMRI観測で明らかにした。</li> <li>・論文発表7報、学会発表11件、特許出願1件「穀物の殺虫方法」、総説解説4編。</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>・くん蒸剤である臭化メチルの使用禁止により、代替殺虫法の開発が求められていることから、低エネルギー電子ビームを利用する殺虫技術の開発を目指した本研究は、食糧の安定確保と安定供給を目指す当該研究機構および原子力試験研究のミッションからも妥当であった。</li> <li>・研究対象を重要度の高い穀類に絞った実用面を重視した研究計画であった。低エネルギー電子ビームの利用は、照射設備の小型化、容易な遮蔽性、電源の遮断による安全性の確保など、γ線源と比べると有利な点があるが、必ずしも100%の殺菌効果が期待できない場合もあることが明らかになり、本殺菌法の限界の一端を明らかにした研究計画の設定は妥当であった。</li> <li>・研究経費は妥当であった。</li> <li>・コメ、小麦、大豆、クリについて、本手法による殺菌効果の全体像を明らかにしたことから、ほぼ計画通りに進捗したと言える。低エネルギー電子ビームは、利便性・安全性においては優れているが、殺菌能力には限界があることから、そのことを考慮した低エネルギー電子ビームの殺菌技術利用法の検討が求められる。</li> <li>・海外研究者との共同研究や実用面での他機関との積極的な交流は評価される。</li> <li>・本研究の研究成果が7報の論文として公表されていること、また、国内学会および国際会議で活発な研究報告がなされていることなど、研究者の高い研究能力が発揮された。</li> </ul>
4. その他	事前評価－A
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）：魚類細胞をモデルとする低線量放射線の生物影響の解明 (独立行政法人水産総合研究センター)	
研究期間及び予算額：平成16年度～平成18年度（3年計画） 20,447千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	低線量域での被ばくリスク評価とホルミシス作用の解明は原子力の利用開発の上での重要な課題であり、実験動物を用いた高度な研究が必要である。そこで、本研究は、魚類細胞およびゼブラフィッシュ胚を用いて低線量放射線の生物影響を解明することを目的とした。
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	当初予定の成果： 低線量ガンマ線による生物影響のマーカーとして、ATM, CDC48, p53のリン酸化が利用できることを明らかにした。また、ストレス誘導シグナル伝達経路のMAPキナーゼ群が低線量ガンマ線によって活性化され、ホルミシス作用との関連性が推定された。 特筆すべき成果： 低線量放射線に対する新規応答経路であるCDC48リン酸化を見出し、リン酸化部位のセリン784に対する特異的抗体を開発した。 副次的な成果： CDC48リン酸化によって異常タンパク質の分解を促進する新しい分子機構を解明した。この異常タンパク質分解経路としてオートファジーによる経路の存在が示唆された。 論文、特許等： 低線量ガンマ線照射に関する論文1編、関連する論文2編が国際ジャーナルに投稿中である。CDC48の新規リン酸化抗体の作成に関して特許出願中である。
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	目的・目標の設定の妥当性： 事前評価でも指摘されているが、実験計画と研究目的との間に大きな論理的飛躍があり、魚類細胞モデルの実験によってヒトの低線量放射線のリスク評価やホルミシス作用を解明することが出来るとは理解し難い。目的に向けた多くのステップの何処のステップを、魚類細胞をモデルにして解明するのかを具体的に示すべきである。 研究計画設定の妥当性： 魚類細胞を用いる低線量放射線の応答機構を研究する実験技術を確立するための計画は妥当で、その成果も予定通り得られている。新しい予期しない成果も得られている。しかし、CDC48タンパクは変温動物としての魚類で低温条件下で誘導される分子として発見された経緯があり、マウスやヒトのような恒温哺乳動物で同じ現象が起こるかどうかの検証が必要である。なお、魚類細胞や魚類胚を用いる利点は、細胞レベルと個体レベルを関連付けるための実験で、多くの個体を取り扱える点にあることは、考慮して可。 研究交流に関しては、食品総合研究所と横浜市立大と共同して研究を遂行してきた。 研究担当者は細胞生物学、遺伝子工学を専門とし、本研究課題を遂行する能力は高いと思われる。
4. その他	事前評価－B
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）：低線量放射線の内分泌攪乱作用が配偶子形成過程に及ぼす影響に関する研究 (独立行政法人国立環境研究所)	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成18年度（5年計画） 25,785千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	ヒトの健康に対して低線量放射線が及ぼすリスクには不明な点が多い。本研究課題では、低線量の放射線が内分泌機能、特に生殖内分泌機能に及ぼす影響を、特に雄の精巣を対象として詳細に検討し、同時に配偶子形成過程における放射線による突然変異の発生率について新しいモデル動物を用いることで、1) 低線量放射線による内分泌攪乱作用の検出およびメカニズム解析（内分泌攪乱作用解析）、2) 低線量放射線による内分泌機能の変動が突然変異誘発に及ぼす影響の解析（突然変異解析）を実施する。さらにこれらの実験から、低線量放射線影響のリスク評価の基礎データをを得ることを目的とする。
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ トランスジェニックマウスの作成は断念したが、突然変異検出が可能なgpt-deltaマウスを用いて、放射線照射による精巣での突然変異発生率と変異スペクトルを解析した。5Gyの線量では、照射後60日で欠失突然変異頻度が有意に上昇することを確認した。また、欠失突然変異が観察できない低線量1Gyでも、点突然変異が観察された。</li> <li>・ 頭部に放射線照射したマウスのデータから、視床下部一下垂体から体内のテストステロンに影響を及ぼす系が存在する可能性が考えられた。</li> <li>・ 特筆すべき副次的な成果は得られなかった。</li> <li>・ なし。時間が経過しないうちに成績をまとめて、できるだけ論文発表を行う必要がある。</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>・ 環境有害因子が哺乳類の雄性生殖腺に与える影響を研究してきた研究担当者が設定する目的や目標としては妥当と考えられる。</li> <li>・ 低線量放射線が内分泌系に与える影響をWhole body(マウス)で評価することは容易ではないので、もう少しテーマを絞って行っても良かったのではないと思われる。</li> <li>・ 多量の実験結果の解析を賃金職員を雇用して行かせたとのことであり、妥当であったと思われる。</li> <li>・ 中間評価の段階から以降には、研究に明瞭な進捗が見られなかったように思われる。研究発表も十分ではなかったため、本研究で得られた成績を至急に整理し、報告することが望まれる。</li> <li>・ 放射線照射のために理化学研究所や放射線医学総合研究所の協力を得た。</li> <li>・ 内分泌攪乱に関する研究の部分については十分な研究能力を有していると思われるが、低線量の放射線影響を評価するためには、実験計画の段階で放射線影響の専門家のアドバイスをもっと受けるべきであったと思われる。</li> </ul>
4. その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 5Gyの<math>\gamma</math>線では、線量率が低いほど欠失突然変異の頻度が上昇する現象が認められたとのことであったが、精巣の細胞周期なども含めて、多角的に解析すべきと思われる。</li> <li>・ 低線量放射線の内分泌系への影響の感受性部位が脳である可能性は十分に考えられるので、引き続き検討されたい。事前評価-B</li> </ul>
5. 総合評価	○C
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）：高熱伝導性同位体材料に関する研究（物質・材料研究機構） 研究期間及び予算額：平成14年度～平成18年度（5年計画） 77,537千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	<p><math>^{28}\text{SiC}</math>、<math>^{12}\text{C}</math>等の高純度炭素化合物同位体材料を合成し、熱物性に及ぼす同位体効果を明らかにして、新しい概念の高熱伝熱性材料を提供する。さらに、これら同位体材料の組織、熱特性に及ぼすHeイオン等による照射特性評価を行い、耐照射損傷高熱伝導性同位体材料開発への基礎データを得ることを目的としている。このため、下記目標を設定している。</p> <p>(1) 同位体純度99%以上の高純度同位体結晶材料を合成する。</p> <p>(2) 厚さ:1mm以下、2x2mmの微小領域材料の熱伝導測定技術を開発し、合成した同位体材料の熱伝導度は自然界の材料に比べて50%以上であることを示す。</p> <p>(3) 組織及び熱物性とHe、Xeイオン等の照射効果との関連を明らかにする。</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>(1) <math>^{28}\text{SiC}</math>、<math>^{12}\text{C}</math>同位体薄膜をプラズマCVDによって同位体濃縮ガスから直接作製できることに成功し、上記の目標に示す高熱伝導性材料を開発できた。</p> <p>(2) 数nm～数百nmサイズの微細線用の熱伝導測定用素子（<math>20\mu\text{m}</math>角）及び測定装置を開発した。</p> <p>(3) <math>2\times 10^{21}</math>イオン/<math>\text{m}^2</math>のXeイオン照射下でXeバブルが観察されたが、大きな組織変化はないことを確認した。また、<math>^{12}\text{C}</math>ダイヤモンド薄膜の熱伝導に及ぼす電子線照射の影響を明らかにした。</p> <p>・厚さ1mm以下の薄膜熱伝導測定用素子を作製、測定し、<math>^{12}\text{C}</math>ダイヤモンド薄膜においても自然界の約2倍の高熱伝導性を確認できた。また、熱伝導に及ぼす同位体濃度の影響を明確にし、熱伝導に及ぼす同位体、結晶形態（単結晶、多結晶）等の影響を統一的に示す式を導出した。</p> <p>・Si単結晶、SiC薄膜合成過程でSi及びSiCナノワイヤーが生成されることを見出した。直径:数nm～数百nm、長さ:最大20mmの高アスペクト比ワイヤーの合成に成功した。SiCナノメータを有するSiC/SiC複合材料は従来材に比べて2倍の強度を示すものが得られた。</p> <p>・論文:50報、特許:10件、特許実施許諾:2件、データベース:3件、表彰:3件など十分である。</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>・本研究は同位体レベルの高純度化により、最終的に耐照射特性のよい高熱伝導性材料を開発しようとする独創性の高い研究であり、原子力の先端的・先導的基礎・基盤研究として妥当な目的・目標設定がされている。</p> <p>・開発しようとする同位体材料の合成、ならびに合成した同位体材料の熱伝導度の目標は明確に設定されており、計画は妥当であったと考える。しかし、熱物性と照射との関連に関しては、照射源、照射量等をより定量化し、明確に目標を設定した方が良かったと考える。</p> <p>・ほぼ妥当と考える。</p> <p>・目標とする成果が十分得られており、順調に進捗したと判断する。しかし、熱物性に及ぼす照射の影響については、実験が長時間かかる等の困難性もあり、今後の課題として残されている。</p> <p>・内外の多くの機関と関係を持ちつつ推進している。</p> <p>・目標とする成果、副次的成果も著しく、高い研究能力を十分に発揮したと判断される。</p>
4. その他	<p>(1) 耐照射損傷高熱伝導性同位体材料開発のために、熱物性と照射との関連について継続して研究してほしい。</p> <p>(2) 高熱伝導性同位体材料は半導体、バイオ、医学等原子力以外の分野への応用も考えられる。副次的に得られた高強度ナノワイヤーの応用も含め、今後実用化研究を積極的に推進してほしい。</p>
5. 総合評価	A
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）：励起中性粒子線によるスピン偏極計測に関する研究（物質・材料研究機構）	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成18年度（5年計画） 96,031千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	<p>スピン偏極準安定He原子線を用いる表面計測法を高度化するとともにスピン計測への応用を図ることを目的とし、以下の目標を掲げている。</p> <p>1)スピン偏極準安定原子計測法に空間分解能を付与するための技術開発を行い、スピン偏極の微視的計測手法としての機能を持たせる。2)この手法を応用して、高密度磁気記録技術への応用につながる物質最表面の磁性をはじめとし薄膜積層過程や吸着層や材料表面微小構造がスピン偏極に及ぼす影響を解明する。3)イオンビームや電子ビーム照射によって制御した微細な凹凸によってもたらされる局所の変調が磁性等に及ぼす影響を明らかにする。</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>・ NdFeB系永久磁石を用いた6極磁石を作成し、3重項ヘリウム準安定中性励起原子ビームを半値幅約2mmに収束させることに成功している。最大ビーム密度として、従来の100倍である6nA/mm<sup>2</sup>を得ている。準安定ヘリウム原子線の偏極率はほぼ100%であり、更にスピン反転器を開発して98%以上の反転を可能にした。開口径70μmの孔を通し、試料を移動することにより、90μmの空間分解能で試料表面のスピン偏極分布を得ている。</p> <p>絶縁体と磁性体の界面の磁性が材料に大きく依存することを、スピン偏極測定より明らかにした。また、有機分子素子へのスピン機能付加をスピン偏極測定により検定できることを明らかにした。</p> <p>イオン照射による凹凸の計測に対して、スパッタ収率に基づく方法を開発した。</p> <p>・ 試料のスピン情報を得るために、表面で散乱されたヘリウム原子を測定し、準安定ヘリウム原子線のスピン依存散乱現象を世界で初めて観測することに成功した。</p> <p>・ 同上。</p> <p>・ 論文数79件、口頭発表148件、特許3件と多くの成果を上げている。</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>・ 本研究は、スピン偏極中性粒子による表面との相互作用の研究およびそれに基づく表面物性の分析方法の開発であり、既存の方法では、得られない多くの物性情報が得られることが期待できる技術として高く評価できる。</p> <p>・ 本研究は、多くの既存の技術の応用に基づいていることもあり、研究計画設定は妥当である。</p> <p>・ 開発した装置の内容を鑑みれば概ね妥当である。</p> <p>・ 限られた期間において多くの成果を上げ、研究は順調に行われた。今後、放出顕微鏡などの他の観察技術と組み合わせることにより、高空間分解能でのスピン情報を得る技術が期待できる。</p> <p>・ 北海道大学、Bielefeld大学（独）、中国科学技術大学と共同研究しており、国内外において活発に交流を行っている。</p> <p>・ Physical Review Lettersなどに受理されるなど、評価の高い研究成果を挙げており、また発表論文数も非常に多く、研究能力は十分である。</p>
4. その他	
5. 総合評価	A
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）：超伝導磁気分離技術を用いた放射性物質分離法に関する研究（物質・材料研究機構） 研究期間及び予算額：平成14年度～平成18年度（5年計画） 77,364 千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	核燃料サイクル技術の確立に向けて、再処理プロセスにおける物質分離手法として、超伝導磁気分離技術を導入して、その適用性を調査・検証する研究開発で、特に、適用効果の大きいと期待される清澄工程への適用性について、放射性物質を模擬した試料(コールド試料)を用いた実験と計算機シミュレーションによって評価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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・酸化物超伝導コイルを用いて開発した磁気分離実験装置と微細粒子発生装置を組合せたシステムを製作して、液相、気相流体中での分離性能に関する実験を行うと共に、3次元空間磁場と粒子挙動評価をするための計算機シミュレーションコードの開発および実験との対照を行い、十分な分離性能を得るための条件決定指針および分離効率に与える各種パラメータ（空間磁場分布、粒子の種類・サイズ、流速等）の影響に関する評価結果を得ている。</li> <li>・磁気分離用フィルター材としてナノワイヤーを用い、磁場空間を制御するで、イオン分離を可能にする知見を得ている。</li> <li>・超伝導磁気分離技術を活用し、ナノ粒子の分級、収集を可能にする知見を得ている。</li> <li>・磁気分離に関する成果報告が多数なされている一方、本研究成果を反映した、再処理工程への適用性に関する論文、発表が行われていない。本研究テーマに則した論文発表を原子力学会誌等に投稿することを要望する。また、放射性物質分離手法としての、新たな応用技術に関わる特許申請があつて然るべきと思われる。 論文9編、口頭発表16件、表彰1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>・核燃料サイクル技術の高度化に向けた研究は重要で、関連技術と位置付けられる本研究目的は妥当であったが、取得成果を踏まえた、再処理プロセスへの適用性評価を行うところまでには至っていない。</li> <li>・前半の実験用システムの製作、模擬コールド試料による分離性能試験および分離条件解析用計算コードの開発は、ほぼ、計画どおりであったが、後半に力点をおく予定であった、実用化の際の問題点、実用化に必要な条件に関する検討結果は得られていない。</li> <li>・当該研究所における、これまでの超伝導関連技術とその磁気分離応用研究の実績をベースにおいて進めており、研究費用としては、ほぼ妥当である。</li> <li>・試験研究の手順、実施面において、前半はほぼ、計画設定どおりであったが、後半において、中間評価の段階での指摘事項（実用化に関わる要件を総合的に整理、評価しつつ進めること）を踏まえた検討作業は実施されていない。</li> <li>・研究目的に照らし、日本原子力研究開発機構とは、より実態のある研究交流があるべきであった。（中間評価時点での指摘事項）</li> <li>・超伝導関連技術ならびに磁気分離応用研究の実績を踏まえて進めており、これらの面における研究能力は高いものがあるが、研究目的に掲げた、再処理工程への適用性、実用性に関する検討評価については、努力不足に終わっている。</li> </ul>
4. その他	本分離法が微細な弱磁性粒子まで対象を上げられる可能性があることから、自然界の化学分離、活性汚泥処理等、環境改善技術分野での応用が考えられる。
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）：高効率磁場核融合に関する研究（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12年度～平成18年度（7年計画） 810,375千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	原子力委員会の定めた第三段階核融合研究開発基本計画に基づき、構造が簡単で経済性に優れた簡略型核融合炉への物理的・技術的基盤を確立することを目的として、逆磁場ピンチ（RFP）方式によるプラズマ閉じ込め性能と安定性の向上を図り、高温・高ベータプラズマの長時間閉じ込めを実現すること、また、ダイナモ効果、局所磁場揺動、磁気面の生成と崩壊、周辺乱流、等のRFPプラズマにおいて観測される現象の理解を通して、トラスプラズマの閉じ込め物理の総合的理解に貢献することが本研究の目標である。
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>・高温（1500eV）・高ベータ（30%）のプラズマ閉じ込めの達成、RFP閉じ込め比例則の発見、準単一ヘリカル状態の閉じ込め性能の向上と制御された生成法の発見、低アスペクト比プラズマの生成・維持と理論解析、高パワー中性粒子ビーム入射（NBI）装置の開発でレベルの高い成果が得られた。</p> <p>・高性能プラズマ閉じ込めの実現とその長時間維持への展開、高パワー中性粒子ビーム入射（NBI）装置の開発で高い集束性を持ったビームの実現、MHD不安定性の制御・利用による準単一ヘリカル状態の生成・維持法の発見は特筆すべき成果である。</p> <p>・高パワー密度中性粒子ビーム入射装置を利用した研究の展開としてITERのアルファ粒子計測用ヘリウムイオンビーム源の開発等、フーリエ分光法を用いたトムソン散乱計測法の開発等</p> <p>・誌上発表103件、口頭発表241件、特許申請6件、データベース化1件など十分である。</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>・主要な目標である高温（1500eV）・高ベータ（30%）のプラズマ閉じ込めの実現、並びに準ヘリカル状態の制御された生成法の発見等の物理的に重要な研究成果を得ている点から判断して、目的・目標の設定は妥当であった。</p> <p>・電源の整備による高閉じ込め運転の実現と計測機器の整備によるその性能の確認、高等束高パワー中性粒子ビームの開発とそのプラズマへの入射実験等の実施状況から判断して妥当であった。</p> <p>・7年間の後半では厳しい予算状況ではあったが、関連機関の協力を得て計画を進めたと考えられる。</p> <p>・研究成果や外部発表状況から見て、適切に進捗したと認められる。</p> <p>・逆磁場ピンチ研究のセンターとして、IEA協定によりイタリア、スウェーデン、米国との積極的な交流を行うなど、国内外の研究機関・大学との共同研究や協力研究、人材交流、ワークショップの開催、その他、多くの実績をあげた。また、アルファ粒子計測用のヘリウムビーム源の開発などITERへの貢献についても成果をあげている。</p> <p>・研究の進捗状況、得られた成果、論文や口頭発表の件数から見て、本研究を遂行するのに、十分な能力を有していると認められる。</p>
4. その他	逆磁場ピンチ研究の国際的なセンターとしての役割を果たしたことは高く評価できる。本研究で得られた研究成果をRFP方式プラズマ閉じ込めの基本的データベースとして集大成してほしい。トカマク方式やヘリカル方式の磁場閉じ込めに対しても有用な知見となることが期待される。開発した要素技術の応用についても留意してほしい。
5. 総合評価	A
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）：動的アニール・ソフトイオンビームプロセスによる高品質ダイヤモンド半導体基盤技術の研究（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13年度～平成18年度（6年計画） 112,842千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	ダイヤモンド半導体デバイスの実現を目指し、イオン・レーザー同時照射や高温での注入等の、イオン注入時に生成される照射欠陥をその場即時に修復することにより、照射損傷の蓄積を抑え、ドーパントの活性化を促す手法の開発を行う。高品質なp型およびn型の伝導型制御、電極や接合形成等、ダイヤモンド半導体デバイス創製のために必要な基盤技術の確立を目指す。
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ p型ダイヤモンド半導体伝導層の形成研究として、グラファイト化を回避して高濃度のボロンをダイヤモンド中に注入することに成功し、また、高温でのアニールとCVD単結晶薄膜合成技術の組み合わせによりp型高移動度キャリアの生成に成功した。さらに窒素イオンの注入によりn型電気伝導性を示すダイヤモンド薄膜の形成に成功した。これらの成果は評価できるが、原子力試験研究としての耐放射線に関する研究成果が不十分である。</li> <li>・ 特に、その場アニール効果を利用してグラファイト化を回避しつつ高濃度のボロンをダイヤモンドに注入することに成功した。</li> <li>・ 副次的な成果として、1600度の超高温アニールによりp型キャリア濃度の増大させる成果が得られた。</li> <li>・ 特許（8件）に関しては十分と考えられる。査読付き論文（報告では11報）がもう少しほしい。</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>・ イオン注入技術を利用したP型ならびにn型ダイヤモンド半導体の基盤技術を確立することを目的とし、原子力試験研究としての目的に添ったダイヤモンド半導体素子を製作するという目的・目標の設定は問題ない。</li> <li>・ 研究計画の中で、「ダイヤモンド研究センター」という研究体制ならびに研究設備の整った環境下での研究であったため、それなりの成果があがったといえるが、耐放射線の研究にいたる計画が明確でなかった。</li> <li>・ 研究費は妥当。</li> <li>・ 研究の進捗状況は特許件数を考えると、順調に進んでいたと考えられる。</li> <li>・ 研究交流に関して、通常の研究交流は努力されているが、耐放射線関連でもあればよかった。</li> <li>・ 研究担当者の変化があっただが、継続して研究が行われたと考えられるので、研究者の研究能力に問題はないと考える。</li> </ul>
4. その他	多くの成果が得られているが、中間評価で指摘された照射効果に関する検討が不十分であったのは、原子力試験研究として物足りない。
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): 超高輝度kHzプラズマX線源とその応用の研究開発 (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14年度～平成18年度(5年計画) 54,809千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	プラズマをX線源とするコンパクトなサイズで数kHz以上の繰り返しの数keV X線の発生技術の開発とX線レンズ開発、並びに生物応用技術の開発を行う。その結果として、放射光で生まれた新技術の産業化を容易にする。また、これまでのX線管や放射光では困難であった新技術創成を目指す。これらを実現するために、1) 10kHz, 数mJフェムト秒レーザーの開発(プラズマ励起源)、2) 液体ジェットノズルターゲットの開発(ターゲット供給技術)、3) 中空円筒X線屈折レンズの開発(X線集光光学)、4) 高繰り返しkeV X線照射細胞観察技術の開発(生物応用技術)、を行う。
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>・ 現在急速に発展している分野であり、最初の目標が達成できると重要なデータベースになると考えられた。この分野の研究の多くはナノ秒パルスを使い実用性の高い大線量X線発生をめざしている。その中であってフェムト秒高繰り返しパルスを使った研究は国研らしい研究であり、貴重なデータベースになると期待している。</li> <li>・ レーザー開発が終了しX線の発生が行われたが、X線のパラメーター計測およびその応用研究が不十分である。周辺にこのような計測の専門家や機器が存在するので、もっとそのような人・物の活用も含めた研究が望まれる。</li> <li>・ 特筆すべき成果として、Tiサファイア再生増幅器では1kHzで世界最高の光-光変換効率を達成した。</li> <li>・ 副次的な成果として、高出力レーザーの極低温冷却方法を開発。</li> <li>・ 特許は6件あるが、論文2編は少ない。X線関係の論文はまだ出ていない。</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>・ 妥当である。着眼点はよい。</li> <li>・ 妥当である。</li> <li>・ 後半で厳しかったと考えられる。その分既存のX線計測機器の活用等を計るべきであった。</li> <li>・ レーザーに関する研究に主体をおいており、最初の目標のプラズマX線源の評価が十分に達成されていない。当然X線光学系やターゲット供給技術に関する成果や生体観測応用まで至らなかった。これらはマンパワーや予算に整合しない。しかし計測機器の入手は困難でなく安価であるので少なくともこの段階までは進め、データベースとしての確立が望まれる。今後に期待する。</li> <li>・ 近隣にこのような研究を行っているところが数カ所存在する。これら研究者との研究交流は不十分である。このレーザーを活かしたX線発生と国内他グループとの比較検討が今後必要である。</li> <li>・ レーザー技術に対する寄与はあった。しかしこの研究はレーザーのX線源への応用でありこの辺りが不足しているかもしれない。</li> </ul>
4. その他	レーザーのX線リソグラフィへの応用などの社会に対する重要性が増している。X線光学系やターゲット供給技術等は他の国内グループと連携して進めていくべきである。特に産総研としての重要性を認識し、今後データベースの確立に努めて欲しい。
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）：トリチウム吸蔵材料における蓄積ヘリウムの非破壊観測技術の開発 (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16年度～平成18年度（3年計画） 23,965千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>核融合の燃料であるトリチウムを長期にわたり安全に保存するためのトリチウム吸蔵材料における内部蓄積ヘリウムを非破壊・非接触で観測する技術を開発する。</li> <li>手法としては、固体NMR法を用いる。</li> <li>蓄積ヘリウムの定量および存在状態（内圧など）の観測手法を確立する。</li> <li>NMRスペクトルの観測に要する時間は10時間以下とする。</li> <li>測定装置は、経済的かつ乗用タイプのワゴン車で運搬可能な0.2 m<sup>3</sup>以内、150 kg以下。</li> </ul>
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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>多孔質材料中の微小空隙に存在するHe-3ガスを非破壊、非接触で検出するシステムを、固体NMR法に基づき考案し、その実現可能性を示した。小型化と可搬型化の可能性も示した。</li> <li>超伝導NMR装置を用いた高感度測定により、He-3ガスの定量測定と存在状態に関しての情報を得られる可能性を明らかにした。</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>小型化、可搬化により、一人で運べるくらいの簡便な検出器としてNMRが使える可能性を示した。</li> <li>副次的な成果は特になし。</li> <li>論文2編、特許出願1件、口頭発表6件とやや少ない。</li> </ul>
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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力基盤技術として、トリチウム貯蔵材料中でのHe-3の蓄積量と存在状態を非破壊的に測定する手法を開発する必要があるとの認識から研究目標を設定し、世界に先駆けて材料中の微細空隙に存在するHe-3の非破壊的、非接触の測定手法開発への途を示した成果は評価できる。しかし、実際のトリチウム貯蔵材料中に存在するHe-3は、空隙中だけでなく、溶解したりトラップされて存在するものもかなりあると考えられるので、それらへの測定可能性も追求したほうがよかった。</li> <li>上記したように、内部蓄積He-3のうち、微細気泡に蓄積するもののみを測定するのか、固体中に溶解したりトラップされているものも測定しようとするのかを、研究開始時に明確化しておくほうがよかった。</li> <li>おおむね妥当と考える。</li> <li>大きな目標からは遠いが、研究費用の額から言えば、ほぼ予定通り進捗したと考える。</li> <li>原子力研究開発機構の研究者等と積極的な交流を行い、将来のユーザーの要望をもっと取り込むべきであったと考える。</li> <li>材料照射損傷の基礎的な知識を欠いているように見受けられる。その他の点では優れた能力を発揮したと考える。</li> </ul>
4. その他	成果を実際のトリチウム吸蔵材料中でのHe-3測定に適用可能なシステムの開発につなげてほしい。また、一般的に多孔性材料中でのガスの挙動解明への手法としての応用の可能性も追求してほしい。
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）：高選択性分離膜による放射性廃液処理と放射性廃棄物エミッションの低減化の研究 （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14年度～平成18年度（5年計画） 61,709千円	
項目	要約
1. 当初の目的・目標	本研究では、放射性廃液の減量化のため、放射性同位元素に対して高い選択性を有するキャリア輸送系を用いて、特定の有害な放射性元素のみを高効率で濃縮・除去しうる分離膜デバイスを開発することを目的とする。本研究では、単にキャリア輸送系を構築するのみに留まらず、高安定性と高透過性を同時に満たす実用的な液膜デバイスの開発、さらにはそのデバイスを組み込んだ実用的な放射性廃液処理システムを開発することを目指す。本研究の成果・提案により、放射性廃液の総量が著しく削減され、放射性廃棄物エミッションの低減化が可能になるものと期待される。
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	熱や放射性毒性の面で対応が求められる、再処理廃液に含まれるマイナー・アクチニドを分離回収するための有機ゲル膜、ついで実用化に一步近づけるために中空糸PIMモジュールを製作して、アクチニドのモデル物質であるセリウムイオンについて実験室レベルで回収可能なことを示した。実用的な放射性廃液処理システムには至っていないが、実験室レベルでの濃縮については計画以上に進んだ。概ね目標を達成できたと評価できる。 有機ゲル膜や中空糸PIMモジュールの性能向上には、新たなキャリアの開発が期待されるが、申請時に期待していなかった新しいキャリアの開発に成功した。液膜分離に実用化の方向性を与えた。 国際誌に8報掲載され、特許も1件出願している。研究成果について申し分ない。
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	研究者の当該分野の長年の研究実績に裏打ちされており、目的・目標は妥当である。 中間評価で指摘された実用化については課題も残ったが、それ以外では綿密な研究計画のもとに設定されていて、研究計画設定は妥当なものである。 本研究課題を進めるに当たって、既存の設備も有効に利用されている。研究費は妥当なものである。 実用化の面、膜の化学的耐久性の面で課題が残ったが、概ね目標を達成できたと評価できる。 原子力研究開発機構との共同研究を探ったが成果は得られなかった。この点、当初からの取り組みが必要であった。一方、大学教員や学生を受け入れ、二つの大学と共同研究を行った。研究成果をあげる上で有効であったと評価できる。 高い研究能力を実績として示していると評価できる。
4. その他	もう少し原子力研究の視点に立った研究展開が期待される。
5. 総合評価	(A) B C
評価責任者氏名：澤田義博	