

平成16年度終了課題の事後評価結果について（案）

平成18年4月25日  
原子力委員会  
原子力試験研究検討会

1．評価対象課題

平成16年度に研究を終了した先端的基盤研究の24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

生体・環境影響基盤技術分野	： 10 課題
物質・材料基盤技術分野	： 9 課題
知的基盤技術分野	： 1 課題
防災・安全基盤技術分野	： 4 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・環境影響基盤技術	2	6	2	10
物質・材料基盤技術	3	6	0	9
知的基盤技術	1	0	0	1
防災・安全基盤技術	2	2	0	4
計	8	14	2	24

#### < 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 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
- 参考 5 原子力試験研究検討会委員名簿

## 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・環境影響基盤技術分野

平成 16 年度で研究期間が終了した先端的基盤研究 10 課題について、平成 17 年 12 月 19 日に事後評価のためのヒアリングを行った。

#### 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 2 課題、B 評価 6 課題、C 評価 2 課題 となった。

今回、事後評価を行った 10 課題の研究期間は、3 年 (4 課題 ; 後 3、後 4、後 5、後 6)、4 年 (2 課題 ; 後 1、後 2)、または 5 年 (4 課題 ; 後 7、後 8、後 9、後 10) であった。研究期間が 3 年であった 4 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 2 課題及び 5 年の 4 課題に関しては、事前評価と研究開始 3 年度目の中間評価も併せて行われた。

事後評価が A であった「後 3 : 大量放射線照射宿主におけるウイルス感染防御、治療に関する基礎的研究」(研究期間 3 年)では、ヒトが大量の放射線を照射された場合 (例えば骨髄移植の前処置として、10Gy 程度の放射線を全身一回照射する) に起こるウイルス感染の病態の把握と予防法、治療法に関して、マウスを使った基礎的な研究が行われた。その結果、致死的な感染に対し、照射 3 日前までにアジュバンド併用経鼻ワクチンを接種することにより獲得免疫を誘導し感染を防御できることを証明した。この成果は、骨髄移植などで全身照射を受ける患者に、前もってワクチンを接種することで、照射後の免疫不全状態でも感染を防御することが可能であることを示した。このような基礎的研究の成果が、放射線照射が用いられる医療現場での日和見感染によるリスクを低減し、予後を向上させることが期待される。

同じく、事後評価が A であった「後 7 : 悪性脳腫瘍に対する中性子捕捉療法 加速器の開発と新たな治療法への展開」(研究期間 5 年)では、組織内での透過率を高めるため、(熱中性子ではなく)よりエネルギーの強い熱外中性子を非開頭で照射す

るための至適照射線量を決定すると共に、照射システムの構築と実用化に成功した。ちなみに、悪性神経膠腫に対して Protocol - 1998 を用いて BNCT を行った時の生存期間中央値は 15.3 ヶ月であったが、Protocol-2001～2002 による生存期間中央値は 19.5 ヶ月へ改善され、患者さんの QOL も良好であることが確認された。これらの成果に対して、主研究担当者は、第 10 回国際中性子捕捉療法学会（2000 年 10 月、ドイツ・エッセン）で HATANAKA AWARD を受賞し、また、当該研究チームは平成 16 年度日本原子力学会賞・技術賞を“線量評価コード JCDS と患者セッティング装置を組み合わせた医療照射支援システムの開発”について受賞した（2005 年 3 月）。

一方、2 課題が C 評価となった。「後 5：放射線抵抗性骨髄幹細胞の特徴解析とその増幅に関する研究」（研究期間 3 年）では、事前評価（B 評価）で行ったコメント、すなわち“「造血幹細胞には抵抗性の種類が存在することを前提としているようであるが、それを確認しないまま研究を進めることには疑問が残る。」、および「放射線抵抗性幹細胞の特異的マーカーを検索する予定であるが、その前に、放射線照射によって生き残った細胞が放射線抵抗性であるかどうかを確認すべきである。」”との指摘が、適切に生かされずに研究が開始された可能性がある。また、実験計画を立てる前に、放射線生物学専門家等の他の研究者との交流が行われなかったとも見受けられた。さらに、研究期間中に研究施設の移転があり、半年間ほど動物実験に支障をきたしたことも、成果が少なかった原因の一つと思われる。他方、サイトカインのアポトーシス抑制効果など本研究で得られた成果を生かして、そのメカニズム等を更に追究することを期待したい。

もう 1 課題、「後 10：陸水境界域における自然浄化プロセス評価手法の開発に関する研究」（研究期間 5 年）においても、事前評価でのコメントに沿った当初計画の適切な修正なしに、研究が開始されたものと思われる。また、中間評価での指摘も、その後の研究の進行に適切に反映されたとは見受けられず、原子力試験研究にふさわしい研究とはならなかった。なお、研究の 3 年度以降、研究担当者数が 5 名から 2 名に減少した。減員した 3 名が分担していた研究内容が問題無く継承・遂行されたか否かの判定は困難であった。

## 2．物質・材料基盤技術分野

平成 16 年度で終了した先端的基盤研究 9 課題について、平成 17 年 12 月 20 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9課題において、3件をA評価、6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。

後13「材料照射損傷により生成する不活性ガス析出物の原子レベル解析と安定性評価に関する研究」は、電子顕微鏡によるナノサイズの液体や固体状析出物の観察手法を開発し、注入したXeイオンからなる非平衡析出物の原子レベルの規則的な層構造を世界ではじめて観測することに成功しており、原子力材料において重要な不活性ガスの基本的挙動について重要な知見を得ている。

後17「挿入光源を利用した動的過程の高度評価法に関する研究」は、高輝度アンジェレーター放射光の偏光特性を用いたビームライン分光計測系を世界に先駆けて開発したもので、従来より短波長領域の真空紫外領域における偏光測定が可能となり、糖鎖や糖タンパク質の立体構造解析を行う生命起源に関する研究など、分子化学・物性物理学・生命科学の新分野の開拓に繋がるものである。

後18「超高強度レーザーによる高エネルギー粒子・放射源に関する研究」は、レーザーとプラズマを利用したレーザー粒子加速によって従来型の高周波加速器に比べて格段に小型の加速器を実現するための基礎技術開発を目的として、世界ではじめて準単色電子ビームの加速に成功しており、超小型高エネルギー加速器の実現可能性を示すブレークスルーとして評価される。

以上の3課題については論文による成果の発表も十分に行われており今後の波及効果が期待される。

以下の6件はB評価とした。このうちで、後16「KrF レーザーによる核融合に関する研究」は、レーザー核融合用ドライバーに必要な大出力の高繰り返し動作技術の開発に成功しておりAに近いB評価であった。後11「レーザー計測を利用した強磁場中におけるプラズマ生成初期過程の研究」は強磁場中で動作する質量分析分光装置の開発に成功し、後12「原子力材料用分散知識ベースの創成に関する研究」は具体例として溶接継手強度評価や複合材料熱物性のシステムを構築し、後14「低エネルギーX線精密回折分光技術の開発に関する研究」はシリコン格子定数測定により波長標準を整備し、後15「重イオンマイクロビームによる化学結合状態分析法に関する研究」は材料表層を対象とする高性能分光器を開発し、後19「2段式反応焼結による繊維強化炭化ケイ素複合材の研究」はBNなどのコーティングを使わない製法を開発するなど、それぞれ原子力試験研究として成果を挙げており、今後、さらに成果の取り纏めや応用につなげることが期待される。

## 3. 知的基盤技術分野

本分野については、平成17年12月14日に1終了課題について、6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事後評価した。

事後評価課題20は、放射線標準の高精度化および新しい計測手法の確立、とくに数百eV領域の軟X線フルエンスの絶対測定および5～9MeV領域の高速中性子標準の確立を目標としている。軟X線の標準としては極低温カロリメータおよび高精度の多段電極電離箱を開発し、信頼性の高い測定技術を実現した。高速中性子線の標準については、精度のよい高速中性子校正システムを完成させ、放射能標準では、肺がんの発症リスク評価に貢献できる微量放射性ガス濃度の高精度校正システムを完成させた。また副次的ではあるが、中性子・イオン照射Fe/Cr多層膜の磁気抵抗変化から新しい高速中性子線量計開発の見通しを得ている。

以上のとおり、必要な新工夫の検出器や関連する高精度測定技術の研究開発がほぼ順調に進められているのでA評価とした。

なお、軟X線フルエンス標準については国際基幹比較が予定され、またこれに関連する希ガスの吸収断面積データはNISTの評価データベースに取り入れるなど国際的な広がりも高く評価できる。

#### 4．防災・安全基盤技術分野

本分野では、平成16年度に研究を終了した4課題について、平成17年12月16日に8名のWG委員が出席してヒアリングを行うとともに、欠席委員からの書面によるコメントを考慮し調査票および関連資料をもとに事後評価した。

##### 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、研究内容の適正な評価、これまでの評価結果及び研究成果のフォローアップや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

4課題の評価結果はA2課題、B2課題であった。

A評価となった「後21」は、種々の5価有機リン系、カルボニル系等の新規化合物を合成し、金属への配位挙動を明らかにすることにより、放射性廃棄物中の超ウラン元素の高効率な抽出を図ることを目的としており、TRU元素の抽出剤として、特にリンの他に2個の窒素を環の中に含むホスホン酸アミド構造を有するキレート剤の中に、従来より優れた特性を示す抽出剤を見出した。また、アクチニドを用いてトレーサーレベルで抽出特性を検討し、 $UO_2^{2+}$ や $Pu^{4+}$ について優れた結果を得た。今後、実用の観点からの研究が期待される。同じくA評価の「後23」は、地層処分システムの安全評価に必要な地層内の空間的不均一性等を考慮した地下水流動現象の解明と数値的予測技術の開発を目的とし、非常に基礎的ではあるが、格子ボルツマン法に基づき、地層内地下水の微小流動の3次元数値解析コードを開発し、複雑多孔質体内部の流れ場をマイクロメートルオーダーの空間解像度で解明することに成功した。低レベル放射性廃棄物処分施設の廃棄体から発生するガスを難透水部に通気させる能力の評価、土壤汚染物質の移動予測と制御、化学物質分析デバイスの最適化設計など、広く応用が期待される。

B評価となった「後22」は、耐用年数に達する原子力発電施設の解体処分を効率的に行う制御発破工法を開発し、人間への放射能暴露を最小限に抑えることを目的としている。コンクリート切断用成形爆薬の開発では、ライナー材金属より発生する金属ジェットの特性を明らかにし、コンクリート材料を切断できることを示した。また、環境低負荷解体技術では、成形爆薬の爆轟時に発生する衝撃振動の制御技術を確立した。研究成果は評価できるものの、原子力関連施設への実用化には解決すべき課題も多いと思われる。また、B評価の「後24」は、照射済み核燃料等運搬船の耐衝突防護構造の安全評価手法に関して、適用可能な手法と知見に基づき、社会通念としても無理なく受け入れられる合理的で新しい安全解析技術を提供することを目的とし、衝突シナリオの検討、FEM解析手法の適用ガイドラインの作成およびこれに基づく安全性判定手法の提案など、所定の成果が得られた。本研究は行政支援のための研究であり、その役割を十分に果たしたものと評価できる。



## 課題の研究概要について

## &lt; 生体・環境影響基盤技術分野 &gt;

**後 1 放射線照射を受けた天然医療材料の組織再生に及ぼす影響評価に関する研究（国立医薬品食品衛生研究所）**

コラーゲン、キチン、アルギン酸及びヒアルロン酸等の天然由来医療材料は高い生体適合性を持っているが、その起源故、微生物汚染制御が難しい欠点も持っている。中でもエンドトキシン（LPS）汚染は品質管理上の大きな問題となる。本研究では、線照射前後の LPS 活性を解析し、材料存在下での線による LPS 不活化効果と材料の物理化学的变化を定量的に解析した。また、線照射した天然医療材料の骨組織再生への影響を解析すると共に、皮下埋植試験を実施し、線照射した天然医療材料の組織再生への適合性を評価した。

コラーゲンを始めとする天然医療材料に混在する LPS は、次亜塩素酸ナトリウムを併用した線照射処理により効果的に不活化できることを見出した。また、キチンを除き、本照射条件では材料自体も分解し、顕著な分子量低下をもたらした。キチンスポンジ及びアルギン酸不織布への線照射は表面構造と骨芽細胞の機能に影響を与えなかった。線照射によってキチンスポンジの生体親和性は変化を受けず、アルギン酸不織布の生体親和性は僅かに向上し、両材料には線滅菌が適用可能であることが判明した。一方、線照射したコラーゲンスポンジには骨芽細胞の増殖促進効果が認められ、骨形成量の増加が確認された。また、線照射コラーゲンスポンジは未照射品と比較して生体吸収性が加速され、埋植後、炎症所見を示すことなく速やかに新生血管を含む生体結合組織に置換されることが判明した。線照射コラーゲンは、骨芽細胞の骨形成能促進機能があると共に、生体内で速やかに自己組織に置換する性質を持つため、優れた骨再生用材料になり得る可能性がある。

**後 2 細胞周期特異的に応答する放射線トキシコゲノム手法による低線量放射線検知システムの開発（国立医薬品食品衛生研究所）**

造血組織は、造血前駆細胞からその分化系末梢血に至るヒエラルキーを構成

しており、分化段階に応じた発現遺伝子の機能が拮抗的な相互関係を持っていることが知られている。このため表題に示した放射線トキシコゲノム手法の導入に当たり、1. 造血幹・前駆細胞に特異的な細胞周期測定法の開発、2. セルソータによりソートする分画の分取、及び 3. 放射線特異的トキシコゲノム手法による検討、の3点に分けて研究を進めた。即ち、第1については、世界に先駆けて同細胞周期測定法の開発が完成し、その中で未分化な造血幹細胞分画の Dormant な分画が発生後期から若齢成熟期にいたる過程で次第に形成され、以後老齢化するまで全く出入りのない、流入流出のない分画として機能することなど、これまでに知られていなかった知見を得た。第2については、既存の手法による分取法を整えた。第3については、2. で確立した分画の低線量放射線影響を見るに先立ち、トキシコゲノム手法による非分画骨髓細胞による検討を行った。その結果、非照射の各個体における不確定性の確率的多様性と、照射個体におけるむしろ確定性の、より多様性に乏しい収束像とにプロファイリングが分かれることを発見した。

幹細胞分画の低線量における結果の解析の直前までの段階に留まったが、上記の1.3.における発見は今後の研究の重要な基礎となるものと考えた。

### 後3 大量放射線被照射宿主におけるウイルス感染防御、治療に関する基盤的研究（国立感染症研究所）

個体に対する放射線照射の機会近年医療の現場で増えつつある。放射線治療により大量の放射線照射を受けた個体が示す副作用のなかで最も重要なものは免疫担当細胞の破壊による免疫力の低下である。免疫力の低下により健常人では問題とならないウイルス、細菌、真菌などの病原体による致死的な日和見感染を生ずる。本研究で我々は放射線照射時でも機能しうる生体のウイルス感染に対する防御機構を解析した。インフルエンザウイルス感染に対しては最短で放射線照射の3日前にアジュバント併用経鼻ワクチンを接種する事によりNALTにおける免疫細胞がプライムされ放射線耐性となって致死的な感染から防御できる事が明らかとなった。またToll like receptor (TLR)3の刺激により自然免疫を誘導する事によりウイルス感染から防御できさらにその機構は放射線に対し抵抗性がある事が合成二重鎖RNA poly(I:C)の経鼻接種およびインフルエンザウイルス、ヘルペスウイルスの感染実験により明らかとなった。またその分子メカニズムとしては誘導されるIFN- $\gamma$ の発現パターンとウイルス抑制が関連している事から関与が示唆されてきたが、それに加えレセプターであるTLR3自身の発現誘導されていることがわかった。これら自然免疫誘導物質によるウ

ウイルス抑制効果が 線照射時にも示された事は今後 線照射に伴うウイルス感染症の重症化を抑制する方法として応用が考えられ実用化に向けた基礎研究に有用な情報を得ることができた。

#### 後 4 放射線に対する細胞内センサーと生体防御に関する研究（国立感染症研究所）

日常的な細菌やウイルス感染を容易にする放射線障害の治療には、免疫機能の再生が最も有望であると考えられる。本研究では、造血細胞の成熟に異常を呈する Translin 遺伝子欠損マウス (TSN-KO) を用いて、放射線に対する生体防御機構の解明を試み、以下のような結果を得ることができた。(1) Atm 遺伝子欠損マウスにおけるリンパ球の分裂と放射線感受性の関係から、Translin 蛋白の発現が Atm kinase を頂点とする細胞周期制御機構に支配されていることを明らかにした。(2) TSN-KO マウスに半致死量の放射線 (6 Gy) を照射し、脾臓における造血能の回復をコロニー形成を指標にして比較すると、正常マウスの 50% に低下していた。すなわち、放射線照射後の造血機能の再生に Translin 遺伝子が深く関わっていることを示している。(3) 放射線照射によって、Translin 蛋白の核内移行が nitric oxide (NO) 依存的に誘導されることも判明した。この事実は放射線による DNA 損傷を識別する機構の存在を示唆しているものと考えられる。

本研究では、DNA 障害を感知して細胞分裂を制御する新たな因子の発見には至らなかったが、Translin 遺伝子が造血細胞の分化成熟を介して放射線に対する生体防御の一翼を担っていることを示すデータが得られた。今後、放射線障害の予防や治療に不可欠な免疫機能の再生に関する基盤と応用研究に発展することが期待される。

#### 後 5 放射線抵抗性骨髓幹細胞の特徴解析とその増幅に関する研究（国立成育医療センター）

骨髓造血幹細胞の一部は放射線照射に抵抗性を示し、特定のサイトカインによって増幅可能であることが報告されている。これらの細胞の特性を明らかにすることによって、放射線被爆の際の重篤な造血不全（出血、貧血、感染症など）に対する新規治療法に応用することが期待される。われわれは、マウス骨髓細胞の培養系を用いて放射線抵抗性に対する種々のサイトカインの効果について検討したところ、M-CSF、GM-CSF、G-CSF について、放射線照射後にサイト

カインを添加した場合に骨髓細胞のアポトーシス抑制する作用を認めた。さらに、放射線を照射したマウスに対しての作用について検討したところ、G-CSF および GM-CSF については、照射後 2 時間の時点で  $1.0 \mu\text{g/g}$  を投与した場合に、非投与群に比較して、数日間の生存日数の延長を認めた。この作用の機序については今後の検討が必要であるが、これらのサイトカインには放射線抵抗性幹細胞を増幅し、その分化や増殖を促進する作用があるものと考えられる。そこで、骨髓間質細胞株に Jagged-1 等の造血間細胞の維持にかかわる遺伝子を導入し、これらの細胞上でヒト骨髓幹細胞を維持させる実験系を作成し、この培養系が放射線抵抗性幹細胞の特性解析に有用であることを確認した。今後、これらの実験系を用いて、G-CSF および GM-CSF による放射線抵抗性幹細胞の増幅作用について解析を行って行く予定である。

## 後 6 遺伝子破壊法、アンチセンス RNA 発現法を用いた DNA 修復遺伝子の放射線障害修復に於ける機能解析（独立行政法人 国立健康・栄養研究所）

放射線による癌の発生率が、他の変異源と比較して特別に高いわけではないが、「癌をもたらす遺伝子上の突然変異がどういうメカニズムで生成されるのか」という研究は重要でありながら、体系的な研究は少なかった。本課題は遺伝子破壊法、アンチセンス RNA 発現法といった分子生物学的手法を用いて特定の DNA 修復遺伝子だけが機能しない状態の細胞株を作製し、それに於ける放射線照射後の突然変異を解析することにより、放射線による突然変異生成のメカニズムを明らかにする事を目的とした。

放射線による DNA 損傷は一本鎖切断、二本鎖切断、塩基離脱、塩基修飾など多種多様である。そして、その損傷の各々についてある修復系が単独で、或いは複数の修復系が連続的に働いて損傷を修復する。元通りには修復できなかったとき突然変異が生成し、アポトーシスによる排除機構からも逃れたときその変異が固定されると考える。具体的には組換え修復系、末端再結合、ヌクレオチド除去修復系、損傷バイパス複製系、細胞周期チェックポイント等が関与するが、まず、これらの修復系を中心的に担う遺伝子を破壊して、それらの放射線傷害修復、及び放射線突然変異に対する各修復系の役割、寄与を判定した。又、突然変異率の測定法の検討及び破壊株についての性状解析を行った。

特に、損傷バイパス複製系については、ヒトの遺伝病である色素性乾皮症ヴァリアント群細胞やニワトリ DT40-RAD18 破壊株、同じく PoI 破壊株を用いて、詳細に解析した。その結果、予想に反して、放射線傷害に対しては、損傷バイパス複製系があまり機能しない事が明らかになった。この解析の過程で、紫外

線等の損傷バイパスをある医薬品が阻害することを発見し、癌細胞を効率良く細胞死させる「抗癌剤」の特許として、現在、出願準備中である（3月出願予定）。

## 後7 悪性脳腫瘍に対する中性子捕捉療法 加速器の開発と新たな治療法への展開（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有効な治療効果を発揮する治療法は未だ少なく、特に Glioblastoma 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12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。しかしながら原子炉より得られる中性子を用いざるを得ないため様々な制約が存在し、医療専用原子炉を持たない我が国ではスムーズに研究を進める妨げにもなっている。このため BNCT をより安全かつ効果的な治療法に発展させるには医療施設において BNCT が行える状況に改善する必要がある。

本研究では原子炉に代わる中性子捕捉療法に必要な中性子を取り出せ、かつ医療施設に設置可能な小型加速器を開発する事を目的とし、開発に必要な各種条件を求めた。また治療成績の改善を図り、QOLの向上を図るため従来用いられてきた熱中性子に代えエネルギーの高い熱外中性子を導入を計画した。その結果以下の成果が得られた

1)原子炉を用いて行われる BNCT に基づき熱外中性子の至適照射線量を確立できた。

2)熱外中性子線の臨床治療への利用の可能性と有用性ならびに安全性が確認できた。

3)原子間力顕微鏡を用い、ボロン化合物の局在を画像学的に証明出来た。

4)脳腫瘍内ならびに脳組織内における線量同時モニターの開発が出来た。

5)ターゲットの開発（Li、Be ターゲットの比較と除熱システム）の検討が行われた。

6)加速器を用いた BNCT における新たな照射計画の作成システムの構築が行われた。

7)開発された線量評価システムを用い臨床治療研究を行うことができた。

以上の結果より今後研究を進めることにより加速器を用いた BNCT へ展開することが期待できる。さらに原子間力顕微鏡を用い、ボロン化合物の局在を画像学的に証明出来たことにより、今後 Microdosimetry による細胞レベルにおける

線量評価システムの開発が可能となった。また本研究により開発されたコンピュータシステムを用いた線量評価システムを利用することにより、加速器開発により臨床側からの条件提示がより正確に行われることとなり、今後より現実的に加速器の開発に進展することが期待されるものである。

## 後 8 中性子放射化分析法の環境影響元素・物質研究に対する新利用法と高度化技法の開発（独立行政法人 農業環境技術研究所）

中性子放射化分析法を用いる同位体存在比のアクチバブルトレーサ法の開発を行ない、環境影響元素・物質研究の改善・高度化を行なう。

その1つとして、自然存在比（ $^{81}\text{Br}$  と  $^{79}\text{Br}$ ）が大きく異なる臭素安定同位体試薬溶液を水のトレーサとして野外で利用する方法を開発した。野外畑ほ場で臭素安定同位体を用いる方法は重水の野外での土壌浸透水の動きと矛盾せず、大まかに水動態を把握するトレーサに適用可能であることが示された。作物の生育している水田においても本法の有用性が明らかとなった。本法は重水では使えない蒸発濃縮法が使用でき、また重水を一度用いた後に適用できるので、野外における水トレーサの選択幅を広げたことになる。さらに臭素安定同位体試薬が臭素そのものの野外でのトレーサ試験に適用できることも示しており、臭素を含むハロカーボン等の動態追跡への利用が期待できる。

次に、安定同位体重金属（ $^{114}\text{Cd}$ ,  $^{108}\text{Cd}$ ,  $^{64}\text{Zn}$ ,  $^{98}\text{Mo}$ ,  $^{74}\text{Se}$ ）を栽培環境中に添加し、植物への移行を調査する方法を開発した。陽イオン交換樹脂（Cd, Zn）あるいは陰イオン交換樹脂（Mo, Se）で前処理することにより、水と移動しやすい形態と考えられている土壌有機物（フルボ酸）を高濃度に同位体元素で標識化できた。安定同位体重金属（ $^{114}\text{Cd}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ）で標識化したフルボ酸は土壌での解離は極めて少なく、有機重金属（Cd, Zn）の土壌中トレーサとして利用可能と考えられた。安定同位体重金属 $^{114}\text{Cd}$ を添加した培養液で稲を水耕栽培し、カドミウムの吸収に関して品種やカドミウムの添加形態によって差が出ることを明らかにした。今後、土壌に集積したカドミウム浄化技術の開発等に役立つことが期待できる。

## 後 9 ガス交換能を有する肺胞モデルの開発と健康影響評価への応用（独立行政法人 国立環境研究所）

肺胞におけるガス交換は、気相側のⅠ型肺胞上皮細胞と血液側の血管内皮細胞が基底膜と呼ばれる細胞外基質を挟んで隣接する厚さサブミクロンの構造

(呼吸膜)を介して行われるが、呼吸膜構造体を *in vitro* で構築することを目指し、肺の発生において線維芽細胞の共存下で血管内皮細胞直下のコラーゲン基質に基底膜が形成され内皮組織が出来上がる過程を模して血管内皮細胞による組織構築を行い、新たに確立した血管内皮組織の構築と統合し、コラーゲン薄膜を介して肺胞上皮細胞と血管内皮細胞を背中合わせに培養、肺胞上皮・血管内皮共培養組織の構築を目的とした。

呼吸膜は、ガス交換能を発揮するため約 300nm という極めて薄い構造を維持する必要があり、生物が進化の過程で獲得した貴重な資質でもある。これを、培養面積全体に亘って、サブミクロン程度の厚さのコラーゲン線維の基質層を作製して、肺胞上皮細胞と血管内皮細胞を両面から播種することは、力学的強度の観点から、極めて困難である。そこで、大きな開口数のメッシュ支持体にコラーゲン線維を不織布の様に疎に張り付けることで作製し、更にコラーゲン線維に擬似マトリックスを塗布することで細胞接着性を高める技術を開発した。この超薄膜コラーゲン基質の両面に、肺胞上皮細胞と血管内皮細胞を播種・共培養することで呼吸膜を作製した。

## 後 10 陸水境界域における自然浄化プロセス評価手法の開発に関する研究 (独立行政法人 国立環境研究所)

陸水境界域(海浜、干潟、湿地、湖沼、河川等)は人間活動における安息の場を提供するのみならず、野生生物の生息地としても重要な場である。一方、人間活動に由来する各種有機汚染物質の流入・集積が生じやすい場でもある為、本境界域の有する自然浄化能を把握することは、場の保全及び将来予測の上で重要である。しかしながら、陸水境界域は土壌環境と水域環境の性質を併せ持つ複合環境であるため、その場の有機物分解プロセスを解明し、自然浄化能を評価することは大変困難であり、種々の手法を組み合わせ複合的に評価する必要がある。この為、本研究では、「外来汚染物質とその場の環境由来の有機物の炭素安定同位体比が異なることを利用した、現場における汚染有機物の分解速度把握手法の開発」、「ラベル位置の異なる放射性炭素ラベル有機物を用いた、炭素循環プロセス評価手法の開発」、及び「有機物分解を担う微生物群集の有機汚染物質負荷に対する応答把握手法の開発」の3つの手法の開発を同時に行った。その結果、現場での石油分解速度測定にめどをつけ、また、場の栄養環境により有機分解プロセス及び、そのプロセスを行う微生物群集構造が影響を受けることを明らかにした。今後、3手法を同時に有機物汚染現場に応用することにより、有機物分解速度及びそのプロセスを把握し、環境改善につなげて行くこ

とが期待される。

## **<物質・材料基盤技術分野>**

### **後 1 1 レーザー計測を利用した強磁場中におけるプラズマ生成初期過程の研究（独立行政法人 物質・材料研究機構）**

核反応などによって発生する高エネルギー光に晒された気体分子は、電離してイオンになったり、化学結合を切断されてイオンやラジカル片となり、活発な化学反応を引き起こす契機となる。この状態はプラズマ生成の初期過程とみなすことができる。生成したイオンやラジカルは、一般に電子スピンをもつ常磁性であるため、強磁場中ではスピン多重項によるエネルギー分裂（ゼーマン効果）が起こり、レーザー分光により電離や解離の過程を、詳細に調べることができる。本研究の目的は、電離や解離といった反応素過程を強磁場中でレーザー分光学的に観測できる一般的な手法を開発し、強磁場中におけるそれらの反応素過程を詳細に観測して、プラズマ生成の初期過程を分光学的に解明することである。

この目的のため、超導電マグネットの発生する 10 T までの強磁場中に超音速分子線を発生し、レーザー多重共鳴法によりイオン化して、生じたイオンを質量分析して検出する装置の開発を行った。イオンは磁場からローレンツ力を受けて散逸してしまうため、強磁場中の質量分析は一般に困難と考えられてきたが、我々はイオンの散逸を最小限にする新規なイオン光学系を開発することにより、10T の強磁場中でも質量分解能 ( $m/m$ ) = 200 を達成することに成功した。この装置により、強磁場中における質量選別分子線分光が可能となり、イオン化過程や解離過程に対する強磁場効果の観測を行った。

### **後 1 2 原子力材料用分散知識ベースの創成に関する研究（独立行政法人 物質・材料研究機構）**

これまでの材料研究と産業活動で蓄積されてきた大量の材料データおよび経験・理論は、材料科学において貴重な知識であり、研究開発およびエンジニアリング設計の重要な基盤である。最近の数年間で、材料特性などの数値データを管理・提供する材料データベースの開発が進みつつあるが、材料理論知識を対象とした知識ベース開発の報告は殆どされていない。本研究は、様々な材料



データベースとリンクした原子力材料の関連知識を格納する知識ベースの創成を目的とする。我々は、知識データの記述方式やシステム構造、知識データの表示方式、データベースとの連携など、材料知識ベース構築のための各技術面についての研究を行った。その成果に基づいて、知識の収録・保管、テキストや図・表・数式等を Web ブラウザ表示できる高度な知識ベースなど、材料理論と専門家の知識を利用したシミュレーションツールを開発し、物質・材料研究機構の各種材料データベースとリンクして、新たに溶接継手強度評価システムと複合材料熱物性予測システムを構築した。更に、それらを実際の材料研究で応用し、その有用性と信頼性を確認することができた。現在、本研究で開発された知識ベース、データベース、シミュレーションシステムをインターネットで公開しており、大きな社会貢献が期待できる。

### 後 1 3 材料照射損傷により生成する不活性ガス析出物の原子レベル解析と安定性評価に関する研究（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、材料照射により非平衡な照射誘起析出物が生成する。これらのうち不活性ガス析出物は、本質的に固体中での溶解度が極めて小さいため材料中に蓄積されることで多くの傷害を発生させ、これらガス析出物の挙動が構造材料の寿命を決定する重要な因子と考えられている。しかし、材料中に溶解しない不活性ガスの性質から、熱平衡条件での核生成・成長の機構解明研究が不可能であり、原子レベルでの構造解析、析出挙動の統一的な理解は得られていない。

本研究では、He や Xe 等の不活性ガス注入下での原子力材料の原子レベル構造変化を調べ、不活性ガス析出物の挙動についての評価を行い、照射に起因する材料の変化を原子レベルから解明することを目的とした。この研究により、微少空間に閉じこめられた希ガス液体の規則化を観察することに世界で初めて成功した。固体-液体界面において液体原子が固体界面の影響で規則的な層状構造を持つことは理論的には予測されていたが、実験的には確認されていなかった。今回、材料中の析出物の固体-液体界面を高分解能電子顕微鏡法で詳細に調べることで、世界で初めて実験的に成功した。固体-液体界面においては、液体原子は固体界面の影響を強く受けており、粒子のサイズを小さくしていくことで中に閉じこめられる原子の構造が変化し、これまで観察されたことのない構造を得ることが可能になり、新材料の創製に貢献することが期待される。

#### 後 1 4 低エネルギー X 線精密回折分光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）

X 線を用いる研究において高精度の波長マーカー（波長またはエネルギーが正確に測定された X 線放射。単色性が良く、環境により変化しないものほど望ましい）は、その基礎研究並びに応用研究においても不可欠のものであるが、これまでは放射光などの高品質の X 線を生かすことのできるものはなかった。

本研究では、特に低エネルギー X 線の波長測定精度向上を目指して、SI 単位にトレーサブルな新たな高精度の波長マーカーの設定のための測定装置製作、測定評価、また設定されたマーカーを低エネルギー領域で活用する技術の研究を行った。

波長マーカーとしては<sup>57</sup>Fe（鉄の同位体）の核共鳴線（14.4keV）（線は発生方法が異なるのみで、X 線と同じエネルギーの高い光）を第一の対象とし、標準回折結晶と校正された角度設定装置を用いたボンド法（結晶に単色の X 線を照射すると回折結晶が特定の方向を向いたときだけ X 線が回折される。その回折角度と格子定数から波長を求める方法）で行う。そのために、角度自己校正型の角度設定装置の製作、格子定数の標準となる標準シリコン結晶の格子定数の精密測定、結晶評価などにより、1 ppm を切る精度を達成した。また、別な手法による、より低エネルギーの<sup>83</sup>Kr（クリプトンの同位体）の核共鳴線（9.4keV）波長測定に参加（高エネルギー加速器研究機構、東京大学）した。

これらの測定結果は、低エネルギー領域（20keV 以下）で活用される波長マーカーとして標準化され、今後の放射光を利用した分析、精密計測において数倍程度の高精度化につながることを期待される。

#### 後 1 5 重イオンマイクロビームによる化学結合状態分析法に関する研究（独立行政法人 産業技術総合研究所）

材料表層の化学結合状態を非破壊的に分析するための手段として、空間分解能や感度の点で有望なイオンマイクロビーム励起の高分解能粒子励起 X 線分光法（高分解能 PIXE 法）による材料分析技術の開発を目的として、(1)イオン励起 X 線を高効率、高（空間・エネルギー）分解能で分析できる局所・高分解能粒子励起 X 線分光装置、および(2)実用材をそのままの状態に分析するために必要となるイオンマイクロビームの真空外取り出し技術の開発を行った。その結果、(1)において曲げ半径の小さな大型の円筒型分光結晶と空間分解能に優れる

X線 CCD を組み合わせることにより、1 結晶の分光器としては限界に近いエネルギー分解能と、イオン励起 X 線用の分光装置としては最高レベルの感度をもつ装置の開発に成功し、重イオンマイクロビームによる 100 ミクロン以下の空間分解能での化学結合状態分析が実現した。また、(2)において、耐放射線性高分子であるポリイミドの薄膜を通してイオンマイクロビームを取り出すシステムを構築し、最小で 13 ミクロンのビーム径を得た。その際、試料を薄膜窓ごと動かす新しい試料保持方法を提案した。また、イオンマイクロビームを取り出した際の取り出し窓の損傷（窓の厚さや組成）をラザフォード後方散乱（高速のイオンを試料に照射し、試料の原子により後方に散乱されたイオンのエネルギー分布を測定することにより、試料の深さ方向の組成分析を非破壊的に行う方法）を用いてリアルタイムで調べることができ、損傷の度合いや損傷の起き方は、雰囲気ガスの種類に依存して大きく変わることがわかった。

以上の成果により、高分解能 PIXE 法の化学結合状態分析法としての可能性が示された。今後、従来の分析法では難しい微量元素の化学結合状態分析への展開が期待される。

## 後 1 6 KrF レーザーによる核融合に関する研究(独立行政法人 産業技術総合研究所)

レーザーによる核融合方式は、小出力でコンパクトな核融合炉を実現できるため、その原理検証が進められている。実用炉には、紫外光を高効率で繰り返し発生できる KrF（フッ化クリプトン）レーザーが最適と考えられており、出力パルスエネルギー 3-5kJ の単発動作システムが開発され、照射実験が行われてきた。本研究では、これまで未着手であった繰り返し動作技術の開発、及び核融合反応高効率化のための超高強度パルス照射効果の検証を行った。繰り返し動作のために、新たに長寿命の磁気スイッチを用いた高電圧発生回路や、水冷と放射冷却を併用した大電流電子ビーム発生・透過ダイオード構造を開発した。これらを組み合わせた原型 KrF レーザー増幅器（出力エネルギー 20J 相当）により、1Hz の頻度で 1 時間、2Hz で 30 秒の安定な連続動作を実証した。累積では 1 万ショット以上の耐久性も実証された。KrF レーザーで超高強度パルスを発生するため、新たに誘導散乱を用いた短パルスフロントエンドを開発し、この出力を強飽和増幅しパルス幅 0.8ps、エネルギー 1J のパルスを得た。高精度で集光することにより、 $1 \times 10^{19} \text{W/cm}^2$  の紫外光としては、世界最高の照射強度を達成した。このパルスを平面ターゲットに照射し、高い吸収率で吸収され大量の高速電子が発生されるため核融合の高効率化に有用であることが検証された。

## 後 17 挿入光源を利用した動的過程の高度評価法に関する研究（独立行政法人 産業技術総合研究所）

放射光挿入光源（偏光アンジュレータ）は、高強度、波長可変、偏光可変などの特徴を有する高機能量子放射線である。これは新しい機能性材料の創生や新たな物質分析技術の開発など極めて有用なものである。本研究では、加速器制御技術の高度化により、アンジュレータ放射を高度に利用する技術の確立を目指すと共に、新たな分光計測技術を開発し、動的評価法の確立に向けた放射光利用技術の開拓を行うことを目的とした。

挿入光源からの放射を利用し物性分析を行うための計測システムを開発した。偏光アンジュレータの能力を最大限に発揮させるための光学系、ビームモニターシステム、加速器・挿入光源制御システム、分光計測系制御システムの開発を行い、蓄積リング、挿入光源、ビームライン分光計測系を系統的に制御するシステムの構築に成功した。これにより放射光の偏光を交流的に変調することによる紫外から軟 X 線領域における円二色性（右回り・左回り円偏光の差分）の測定を実現した。円二色性は X 線構造解析や NMR と同様に構造測定手法として知られている。NMR と比して高感度であるために微量の試料でも測定が可能であり、かつ、あらゆる試料形態において（結晶化の必要なし）その構造情報を得ることができるために、円二色性は糖鎖や糖タンパクの立体構造予測手法として有力なツールと期待できる。さらに、高輝度放射光とレーザー光を用いて、光照射下で物質の局所構造を高感度に調べる手法を開発し、1mg 以下の物質の光構造変化の構造研究が可能になった。

## 後 18 超高強度レーザーによる高エネルギー粒子・放射源に関する研究（独立行政法人 産業技術総合研究所）

レーザーとプラズマを利用した粒子加速技術によって、従来型の高周波加速器に比べて 1/100 ~ 1/1000 の大きさの加速器を実現するために必要な(1)プラズマによる超高強度レーザー光の長距離伝播技術の開発および(2)プラズマチャンネル中でのプラズマ波の大振幅励起と加速の最適化技術の開発を目標に研究を進め、2TWのレーザーパワーでプラズマを生成して、1mm以下の長さで最高30MeVの電子加速に成功した。また、弱いレーザーパルス(約  $10^{15}\text{W}/\text{cm}^2$ )でガスを加熱して発生する衝撃波を反射させ、中空密度分布を形成するための実験を行

い、原理的に可能であることを示した。電子密度を制御した実験の過程で電子密度が  $1.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$  近傍のプラズマから、エネルギーが 7-15MeV の準単色電子ビームを得ることができた。同時にプラズマ波が励起される様子も捉えており、これは世界初の成果である。実用を見据えた規模のレーザー装置で最高 30MeV のエネルギーの電子加速に成功したことで 10MeV 近いエネルギーの準単色電子ビームの発生条件を見出したこと、さらに加速の相似則を見出したことは、今後の学術および応用の面でその意義は大きい。

本成果をもとに、レーザープラズマ加速器産業化フォーラムを立ち上げるなど、今後の展開が期待される。

## 後 19 2 段式反応焼結による繊維強化炭化ケイ素複合材（独立行政法人 産業技術総合研究所）

核融合炉の第一壁材として、耐熱性、高熱伝導性、耐熱衝撃性、耐放射線特性に優れた繊維強化炭化ケイ素複合材の研究が行われているが、気相法 (CVI 法) や有機ケイ素ポリマーの含浸・熱分解法 (PIP 法) では 1 ヶ月程度作製期間が必要である。緻密な複合材を得ることができる溶融含浸法は、作製期間が 1 週間程度と短いものの、繊維が高価で且つ核変換で問題のある BN (窒化ホウ素) 等のコーティングをしなければ繊維と溶融シリコンが反応する。よって、反応焼結法と溶融含浸法を用いた新たな 2 段式反応焼結法で、繊維に BN 等のコーティングをしないで緻密な繊維強化炭化ケイ素複合材を短期間に作製する方法を確立することを目的とした。

溶融シリコンと繊維との反応は、フェノール樹脂からの緻密なアモルファス炭素で繊維をコーティングすることにより抑制できた。また、繊維織布間のマトリックスとして多孔質のカーボンペーパーにシリコン粉末及びフェノール樹脂を塗布すると、反応焼結により多孔質炭化ケイ素が生じ、溶融シリコンとの濡れ性がよく、緻密な複合材を得ることができ、曲げ強度 200 ~ 250MPa、弾性率 110 ~ 150GPa、密度  $2.2 \text{g/cm}^3$ 、開気孔率 1% の複合材が 8 日間程度で作製できた。更に、SiC 粉末をカーボンペーパー部に加えることにより組織を均一化でき、また、大型化に必要な接合も容易に行うことができた。

### < 知的基盤技術分野 >

## 後 20 先端領域放射線標準の確立とそ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)

原子力エネルギー技術、大型加速器等の発展による放射線利用方式の変革に伴って、利用される放射線の種類、エネルギー範囲、強度が変貌しつつある。

本研究では、そのニーズの変遷に対応した種々の先導的な放射線標準の確立と高度化に関する研究開発を行った。

放射光を用いた軟X線領域の光子フルエンス絶対測定法では、希薄気体充填多段電極型イオンチェンバーを用いて、不確かさ 3-15%の放射光単色軟X線（100-1000eV）フルエンス標準の確立に成功した。また、光子エネルギーに対するダイナミックレンジが広い極低温カロリメータを新規に開発した。イオンチェンバーの測定結果と良好な一致が得られ、軟X線標準の高度化を図ることができた。また、従来、測定データの少なかった 50-1200eV の領域で不確かさ 1%以内で測定した希ガス気体吸収断面積は、国際的にも非常に高く評価されている。

従来型の発生源を用いたX線・γ線の線量標準の高度化では、標準測定器である自由空気電離箱と空洞電離箱による絶対測定に関連した種々の補正係数を実験およびモンテカルロ計算により評価し、高精度な照射線量・空気カーマ標準を設定した。また、国際度量衡委員会が主催する国際比較で良好な結果が得られた。

環境レベルで重要な放射能標準では、産総研の保有するラジウム標準液のバブリング技術と比例計数管を組み合わせた放射性ガス校正システムを開発し、原子力発電所周辺で使用される環境モニターなどを 1kBq 以下でも高精度で校正できる体制が確立できた。平成 18 年度に国際比較に参加する。

高速中性子フルエンス標準の確立では、原子炉と核融合炉の両方に共通する 5MeV から 9MeV のエネルギー範囲で、準単色中性子の発生法、フルエンス・エネルギー精密測定法（世界最高レベルの 1.7%を達成）および校正方法に関する要素技術を開発し、速中性子フルエンス校正システムの基盤を構築した。また、GMR(巨大磁気共鳴)型放射線検出器が He イオン等軽イオンに対し高い放射線感受率を示すことが判明し、中性子等に対する核反応利用の新規の GMR 型放射線検出器開発の目処が得られた。

### < 防災・安全基盤技術分野 >

## 後 2 1 核廃棄物関連金属配位性のヘテロ元素系化合物の開発（独立行政法人産業技術総合研究所）

本研究は、種々の 5 価有機リン系、カルボニル系等の新規化合物を合成し、金属イオンへの配位挙動を明らかにすることにより、使用済み核燃料廃液中の金属イオンの高効率な抽出を目指したものである。

産総研で開発した新規合成法を用いて、 $P=O$  と  $C=O$  を組み合わせた化合物や  $C=S$  と  $C=O$  を組み合わせた化合物を種々合成し、硝酸酸性水溶液からの希土類金属イオンの抽出力を検討した結果、 $P=O$  を含む五員環化合物に効果のあるものが認められた。

そこで  $P=O$  を含む種々の構造の五員環有機リン化合物について広く検討した結果、環の中にリンの他に二個の窒素を含むホスホン酸アミド構造のものが一般的に優れた抽出性能を示すことを見いだした。特に、リン上にアリール基(ベンゼン環を持つ置換基)を有し、窒素上に直鎖アルキル基(枝わかれのない炭化水素の置換基)を持つものは、従来優れた性能を示すとされている CMPPO(現在知られている高効率抽出材の代表例)より高い抽出性能を示し、窒素上に長鎖アルキル基(長い炭化水素の置換基)を持つものは、CMPPO より二桁程度高い分配係数を示し、また、リン上のフェニル基上に長鎖アルコキシ基が置換されたものは、三桁高い分配係数を示した。

これらの化合物について、使用済み核燃料廃液に含まれるアクチノイドの抽出分離適用性をトレーサーレベルで検討したところ、 $UO_2^{2+}$ 、 $Pu^{4+}$ 、 $Am^{3+}$  に対して高い抽出力を示し、特に窒素上に炭素数 4 から 7 の直鎖アルキル基を持つものが、従来再処理に用いられている TBP(リン酸トリブチル)に比べて数万倍に達する極めて高い抽出力を示すことを見いだした。また、炭素数 4 のものや、リン上にオクチルオキシフェニル基(炭素 8 個と酸素とベンゼン環のつながった置換基)を持つものは、従来よい抽出剤のなかった  $NpO_2^{2+}$  に対しても高い抽出力を示し、五員環ホスホン酸アミド系化合物がアクチノイドイオンの抽出剤として極めて優れていることを明らかにした。

## 後 2 2 放射化コンクリート構造物の環境低負荷解体に関する研究(独立行政法人 産業技術総合研究所)

生体遮蔽構造物は放射能の漏洩防止のため、従来の構造物と比較して堅固なコンクリート構造設計となっており、従来の解体方法をそのまま適用することはできない。このため、本研究では、この堅固な構造物の解体を効率的かつ安全に実施するため、発破による高エネルギーを利用した制御発破工法を開発するために、コンクリート切断用成形爆薬の開発とコンクリート材料の動的破壊

特性の解明を行った。また、環境への負荷を最小にするには、コンクリート構造物を放射化の程度に応じて分別解体することが必要であり、原子力施設の解体で発生するコンクリート構造物の放射化別解体技術も検討した。

コンクリート切断用の成形爆薬の開発では、ライナー材に用いられる金属により発生する金属ジェットの発生機構と挙動を明らかにした。アルミ材では、金属プラズマ化した状態であるが、銅および亜鉛メッキ鋼板では、金属体としてプラズマ化せず飛翔する。また、モルタルブロック供試体による切断実験から密度の大きい金属ライナーの相違とライナー角度による切断効果を明らかにし、コンクリート材料を切断できることを示した。コンクリート材料の動的破壊機構の解明では、爆薬から駆動される衝撃荷重を受けるモルタル材料の破壊実験を実施し、ホプキンソン効果による動的引張強度計測から動的引張強度は、ひずみ速度の  $1/3$  乗に比例して引張強度が大きくなることを示した。環境低負荷解体技術では、成形爆薬の爆発で発生する衝撃振動の低減法として、波動干渉法をモルタルブロックによるモデル実験と碎石場による現場実験から検討し、卓越周波数による時間差の設定で振動低減効果があることを示した。

## 後 2 3 微視的数値解析手法による地層環境内の物質拡散現象予測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）

近年、我が国では、原子力発電で生じた高レベル放射性廃棄物の地層処分システムの安全性評価のため、長時間かけて地下水によって深部の処分場から地表に運ばれる恐れのある放射性物質が人間に及ぼす影響の検討が求められている。このため、本研究では、地層内の物質移動現象を微視的に解明し、高精度で予測できる新しい数値解析技術の基礎開発を目的として研究を行い、以下の成果を得た。

- 1) 新しい流体計算モデルに基づき微小な地下水流れの数値解析コードを開発し、約 100 分の 1mm の高い解像度のコンピュータシミュレーションで砂岩を模擬した多孔質(多数の小さな穴を持つ)物体を通る液体流れを解明した。
- 2) X 線 CT 装置を用いて岩石を模擬した多孔質金属片の断層撮影と 3 次元形状再構成を行い、約 1000 分の 69mm の高解像度で物体構造データを生成できた。
- 3) X 線 CT 用の広域・高解像度の検出器を開発し、従来検出器よりも高い空間分解能と従来と同等の明るさでの画像撮影を実現できた。
- 4) 上記 1) の解析コードと 2) の物体データを用いて、多孔質体内流れに対して実験結果と定性的に良く一致する流量と圧力増加を得ることに成功した。
- 5) 毛管現象で重要な接触角について、理論値と比較して 5% 以内の高精度の計算



結果を実現する境界条件の開発と、解析コードへの組み込みに成功した。

以上の成果は、放射性廃棄物地層処分以外の様々な微視的流れの数値解析へも応用できる。また、副次的な成果として、空気-水のような質量差の大きな 2 種類の流体が混在する流れをさらに効率良く計算できる国内外で初めての数値計算法の開発にも成功した。これは我が国における流体科学の分野で、学術的に新規性の高いものである。

## 後 2 4 照射済核燃料等運搬船の耐衝突防護構造の安全評価手法に関する研究 (独立行政法人 海上技術安全研究所)

国土交通省からの要望により、核燃料等運搬船の耐衝突構造に関して、新たな解析手法を開発すると共に、新基準案を策定することを目指した。このために、( 1 )現在の海上運航実態を反映した衝突事故シナリオの設定、( 2 )FEM シミュレーション解析法を評価手段として導入、( 3 )合理的な安全性判定基準の策定、の各研究目標を設定した。

海上運航実態を反映させた想定事故シナリオとして、仮想衝突船を VLCC (排水量 290,000DWT が外洋航行速度で衝突)に設定した。従来基準の仮想衝突船であった T2 タンカー (排水量 23,400 トン)と比較して、安全性確保の観点から説得性が格段に向上した。

核燃料等運搬船の簡略部分構造模型を用いて圧潰破断実験を実施し、実験結果と解析結果を比較検証しながら FEM シミュレーション解析の信頼性を向上させることができた。FEM モデルの作成及び、解析技術上の課題を抽出して、この解析法を運搬船の安全性評価に適用する場合のガイドラインを取り纏めた。FEM シミュレーション解析によれば、衝突破壊の程度が定量的に且つ視覚的に確認できることから、合理的な安全性判定に資するところが大きいことが確認できた。

安全性を証明するためには、FEM シミュレーション解析を用いて衝突破壊のシミュレーション解析を実施し、「衝突時に船体部材が運搬物に接触しないこと」を示すが必要であるとの結論に達した。

## 平成16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
後1	生	厚生労働省	国立医薬品食品衛生研究所	放射線照射を受けた天然医療材料の組織再生に及ぼす影響評価に関する研究	B
後2	生	厚生労働省	国立医薬品食品衛生研究所	細胞周期特異的に応答する放射線トキシコゲノム手法による低放射線検知システムの開発	B
後3	生	厚生労働省	国立感染症研究所	大量放射線被照射宿主におけるウイルス感染防御、治療に関する基盤的研究	A
後4	生	厚生労働省	国立感染症研究所	放射線に対する細胞内センサーと生体防御に関する研究	B
後5	生	厚生労働省	国立成育医療センター	放射線抵抗性骨髄幹細胞の特徴解析とその増幅に関する研究	C
後6	生	厚生労働省	独 国立健康・栄養研究所	遺伝子破壊法・アンチセンスRNA発現法を用いたDNA修復遺伝子の放射線障害修復に於ける機能解析	B
後7	生	厚生労働省	独 国立療養所香川小児病院	悪性脳腫瘍に対する中性子捕捉療法—加速器の開発と新たな治療法への展開—	A
後8	生	農林水産省	独 農業環境技術研究所	中性子放射化分析法の環境影響元素・物質研究に対する新利用法と高度化技法の開発	B
後9	生	環境省	独 国立環境研究所	ガス交換能を有する肺胞モデルの開発と健康影響評価への応用	B
後10	生	環境省	独 国立環境研究所	陸水境界域における自然浄化プロセス評価手法の開発に関する研究	C

No.	分野	省	機関	課題名	総合評価
後11	物	文部科学省	独 物質・材料研究機構	レーザー計測を利用した強磁場中におけるプラズマ生成初期過程の研究	B
後12	物	文部科学省	独 物質・材料研究機構	原子力材料用分散知識ベースの創成に関する研究	B
後13	物	文部科学省	独 物質・材料研究機構	材料照射損傷により生成する不活性ガス析出物の原子レベル解析と安定性評価に関する研究	A
後14	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	低エネルギーX線精密回折分光技術の開発に関する研究	B
後15	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	重イオンマイクロビームによる化学結合状態分析法に関する研究	B
後16	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	KrFレーザーによる核融合に関する研究	B
後17	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	挿入光源を利用した動的過程の高度評価法に関する研究	A
後18	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	超高強度レーザーによる高エネルギー粒子・放射源に関する研究	A
後19	物	経済産業省	独 産業技術総合研究所	2段式反応焼結による繊維強化炭化ケイ素複合材	B
後20	知	経済産業省	独 産業技術総合研究所	先端領域放射線標準の確立とその高度化に関する研究	A
後21	防	経済産業省	独 産業技術総合研究所	核廃棄物関連金属配位性のヘテロ元素系化合物の開発	A
後22	防	経済産業省	独 産業技術総合研究所	放射化コンクリート構造物の環境低負荷解体に関する研究	B
後23	防	経済産業省	独 産業技術総合研究所	微視的数値解析手法による地層環境内の物質拡散現象予測の高度化に関する研究	A
後24	防	国土交通省	独 海上技術安全研究所	照射済核燃料等運搬船の耐衝突防護構造の安全評価手法に関する研究	B

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）：放射線照射をうけた天然医療材料の組織再生に及ぼす影響評価に関する研究 （国立医薬品食品衛生研究所）	
研究期間及び予算額：平成13年度～平成16年度（4年計画） 40,337千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	天然医療材料（コラーゲン、アルギン酸、キチン類、ヒアルロン酸）に混在するエンドトキシン(LPS)の $\gamma$ 線照射による不活化と、 $\gamma$ 線照射した天然医療材料を組織再生用マトリックスとして使用する場合の適合性を解析し、最適な照射条件と照射線量を明らかに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>・当初予定の成果としては、</li> <li>1) LSPのリムルス活性は天然素材共存下では耐<math>\gamma</math>線を示したが、次亜塩素酸ナトリウム/<math>\gamma</math>照射併用処理により有意に低下することを明らかにした。</li> <li>2) キチン類を除けば、<math>\gamma</math>線照射により、素材自体の分子量の低下が起こった。</li> <li>3) <math>\gamma</math>線照射したコラーゲンスポンジの表面構造に変化は見られなかったが、<math>\alpha</math>鎖の分解でらせん構造が減少した。<math>\gamma</math>線照射したコラーゲンスポンジには骨芽細胞の増殖効果が見られ、骨形成量が増加した。<math>\gamma</math>線照射したキチンスポンジとアルギン酸不織布の表面構造には変化は見られなかった。</li> <li>4) ラット皮下埋植試験では、<math>\gamma</math>照射したコラーゲンスポンジは生体吸収性が加速され、速やかに生体結合組織に置換された。</li> <li>・特筆すべき成果：<math>\gamma</math>線照射コラーゲンは、ヒト正常骨芽細胞の分化能を促進し、速やかに自己組織に置換する性質を持つので、優れた骨再生材料になる可能性がある。</li> <li>・副次的な成果：なし</li> <li>・論文、特許等：論文5編、口頭発表10件、特許申請1件（酸性電解除菌水処理によるエンドトキシンの不活性化。国立医薬品食品衛生研究所/ダイキン工業）</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>・研究は、従来のガス滅菌法の代替としての<math>\gamma</math>線照射法を検討し、安全な天然医療材料の提供をめざしたもので目的・目標の設定は妥当であった。特に、LPSの不活性化は天然材料を利用するためには不可欠である。</li> <li>・当初の計画は、4種類の天然医療材料について毎年ひとつの素材を検討するようにしていたが、より良い素材を選択するためには、同時並行で素材の検討を行うことを考えても良かったのではないかと。</li> <li>・研究費の総額は4千万円であり、研究内容からすると経費がかかりすぎとの指摘があった。</li> <li>・研究の進捗状況は、おおむね予定通りであった。</li> <li>・特筆すべき研究交流は行われていない。</li> <li>・当初の計画をほぼ達成していることから、研究者の能力は評価される。</li> </ul>
4. その他	<p>事前評価：B      中間評価：B</p> <p>酸性電解水にLPS不活性化効力が認められたことにより、特許申請を行っているが、本研究で行った<math>\gamma</math>線照射法との比較検討が求められる。</p>
5. 総合評価	B
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）：細胞周期特異的に応答する放射線トキシコゲノム手法による低線量放射線検知システムの開発（国立医薬品食品衛生研究所）	
研究期間及び予算額：平成13年度～平成16年度（4年計画） 30,827千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	本研究の目的は、1) その基盤を既に自家開発していた細胞周期測定法（プロモデオキシユリジン（BrdUrd）を取り込んだ細胞へ近紫外線を照射）の完成度を高め、それを用いて造血幹・前駆細胞特異的な細胞周期関連遺伝子を検索し、関連遺伝子チップの選別を試みると共に、2) 新しい低線量放射線検知システムを確立することである。担当者らの当初目標の要は、上記2つの課題の統合と、その低線量域放射線影響検知への適応である。
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	当初予定の成果：1) 独自に紫外線照射装置を開発し、造血前駆細胞に特異的な細胞周期測定法（BUUV法）を樹立した。2) BUUV法を用いて骨髓造血前駆細胞の細胞周期を解析し、ベンゼンの造血抑制機構を明らかにした。 特筆すべき成果：1) BUUV法を用いて、造血前駆細胞の中には長期間分裂増殖しない機能細胞が存在することを証明した。2) DNAチップによる発現遺伝子の解析により、純系同処置マウス間においても、遺伝子発現プロファイルが異なることを発見した。 副次的な成果：マウス個体間にみられる遺伝子発現プロファイルのバラツキは、化学物質処理と放射線照射とは異なることが分かった。 論文、特許等：近紫外線を用いたBUUV法は新規性のある手法であるが、特許取得には至らなかった。本研究課題に関連した多くの論文が学術雑誌に掲載されていることから、当初目的1) については、十分な研究成果の報告が行われたと判断できる。
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：本研究の目的は1) 造血前駆細胞特異的な細胞周期測定法（BUUV法）の確立、2) 細胞周期抑制物質を用いた造血幹細胞の機能解明、3) DNAチップを用いた遺伝子発現プロファイリングによる放射線特異的な応答遺伝子の検索及び4) 応答遺伝子を指標とした低線量放射線影響検知システムの開発である。最終目標である低線量放射線影響測定系を確立するために、まず造血前駆細胞特異的な細胞周期測定法（BUUV法）を開発し、BUUV法を用いて化学物質（ベンゼン）による造血幹細胞の機能解析を行うとともに、これらの細胞についてDNAチップによる放射線感受性遺伝子を検索することは理に適っているが、多様な細胞像を示す骨髓細胞をそのまま用いるか限りでは安定した結果は期待できない。 研究計画設定の妥当性：独自の細胞周期測定法（BUUV法）を樹立して、細胞周期進行抑制を定量化できたことは高く評価できるが、マウス骨髓細胞のマイクロアレイ解析は、マウス個体差や不均一な細胞集団を扱うことによるデータのバラツキが避けられず、セルソーターによる細胞分画法を導入するなど再検討する必要がある。 研究費用の妥当性：上記のように、本研究では放射線応答遺伝子スクリーニングの手法に問題があり、この点で、マイクロアレイ解析に過剰な費用が投入されたと言える。 研究の進捗状況：上記の研究目的の1) については、BUUV法が特許取得に至らなかったものの、興味ある多くの研究成果が得られ、既に種々の学術論文発表もなされているので、順調に研究が進展したものと判断できる。2) はほとんど手つかずの状態である。 研究交流：目的（課題）1) については、国際レベルで活発な研究交流が行われた。 研究者の研究能力：既に多くの研究成果が学術論文に発表されているので、主担当者及び担当者の研究能力は高いものと判断される。
4. その他	事前評価：B 中間評価：B
5. 総合評価	B
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）：大量放射線照射宿主におけるウイルス感染防御、治療に関する基盤的研究 （国立感染症研究所）	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成16年度（3年計画） 16,740千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<ol style="list-style-type: none"> <li>ヘルペス潜伏感染マウスを用い放射線照射量と再活性化の関係を解析する。</li> <li>大量放射線照射宿主におけるヘルペス潜伏感染の再活性化時に発現するウイルス遺伝子を同定、定量する。</li> <li>潜伏ウイルス再活性化時に発現する遺伝子のうち発症予防および治療のターゲットとなりうる分子を同定する。</li> <li>健常マウスからの末梢血および骨髓細胞の分画導入による大量放射線照射マウスの潜伏ウイルス再活性化の抑制効果の解析。</li> <li>2,3で得られた基礎データを元に再活性化時に発現するウイルス遺伝子産物で感作したマウスの血球分画導入による、ウイルス再活性化抑制効果の解析。</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>宿主への大量放射線照射によるウイルス感染症の発症、憎悪、再活性化について宿主側、ウイルス側の双方から解析し総合的な予防法、治療法の確率を目指した研究である。大量放射線照射によりウイルス感染症の憎悪の遷延化が認められ、非致死量のウイルス感染でも致死性的となることが明らかになった。それらの致死的な感染に対し、照射3日前までにアジュバンド併用径鼻ワクチンを接種することにより獲得免疫を誘導し感染を防御できることを証明した。当初予定されていた大量放射線による潜伏ヘルペスウイルス再活性化時の遺伝子同定、定量化などはヘルペス潜伏感染のガンマ線による再活性化が安定せず、結果が得られなかった。しかし、ウイルス感染部位である粘膜局所での自然免疫誘導、具体的には合成二重鎖poly(I:C)の事前投与により、ヘルペス、インフルエンザ感染の抑制が可能であることを証明し、しかもこれがガンマ線照射後でも有効であることを示した。これらの結果は骨髓移植などで全身照射を受ける患者に前もってワクチンを接種することで照射後の免疫不全状態でも感染を防御することが可能であることを示し、この成果はきわめて大きい。放射線照射が用いられる医療現場での日和見感染によるリスクを低減し、予後を向上させることが期待できる。</p> <p>副次的な成果として成人T細胞白血病（ATL）のモデルマウス作製を行ったことがあげられる。</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>本研究は放射線照射宿主の潜伏感染ウイルスの再活性化機構を解明し、予防と治療に役立たせようとするもので、目的目標の設定は妥当である。研究計画のうちヘルペスウイルスの放射線照射後の再活性化が安定しなかったため、必要なデータを得ることができなかったが、宿主への大量放射線照射によるウイルス感染の憎悪についてはマウスを用いたインフルエンザウイルス感染、ヘルペスウイルス感染での問題点を明らかにし、それらの克服法としてアジュバンド併用径鼻ワクチンの有効性を示した。</p> <p>これは臨床現場に直結した成果であり、当初の研究設定とは多少ずれるが大変重要な成果である。</p> <p>研究費は妥当であり、十分な研究の進展がみられている。研究者の能力も優れており、今後の研究の展開が期待できる。</p>
4. その他	<p>事前評価：B</p> <p>放射線照射に先立つワクチン接種が有効である点は臨床応用への重要な知見である。今後、有効な接種時期と機構の解明が期待される。</p> <p>発表論文の謝辞に、当研究費を受けたことを記入すること。</p>
5. 総合評価	A
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）：放射線に対する細胞内センサーと生体防御に関する研究（国立感染症研究所）	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成16年度（3年計画） 11,254千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	放射線に対する生体防御機構を解明する上で、染色体分配や細胞分裂機構に関わる因子の解析は極めて重要である。分裂の盛んな細胞に強く発現するDNA結合タンパク質であり研究担当者が発見したTranslinの遺伝子を欠損するマウス（Translin-KOマウス）を作成して、放射線に対する生体防御機構の解明を試みた。Translinタンパク質は放射線によるゲノムDNAの損傷を感知して染色体分配機構を防御すると推定されたので、以下の研究を行った。 (1)Translinの細胞増殖における役割を解析するために、Ataxia telangiectasia 原因遺伝子を欠損したマウスを用いて、放射線照射後の細胞分裂とTranslinの関連について詳細に検討する。(2)TranslinがどのようにしてDNA複製を促進し、放射線によるDNAの損傷を識別するのかを明らかにする。(3)放射線による細胞分裂の停止機構を知る目的で、細胞周期過程におけるTranslinの発現制御機構を解析する。また、放射線によるDNA傷害を感知して細胞分裂を制御する因子の存在の可能性を検討した。
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	本研究では、TranslinがDNA損傷を感知して染色体分配機構を制御する等のシグナルとなっているとする作業仮説に基づいて研究が行われたが、放射線によるDNA障害を感知して細胞分裂を制御する新たな因子すなわち放射線に対する細胞内センサーの発見にはいたらなかった。しかしながら、重要な副次的な成果を挙げている。Translin-KOマウスにおいて正常マウスと比較して放射線照射後の造血機能の回復に遅れが認められ、同時にTranslinが細胞質から核内に移行することが明らかにされた。この現象はiNOSの阻害剤で認められなくなるので、放射線によるNOの生成が関与していることが示唆され、さらにTranslinの発現がAtm kinaseを頂点とする細胞周期制御機構によって調節されていることも示唆された。以上の結果は、Translin遺伝子が造血細胞の分化・成熟を介して、放射線に対する生体防御の一翼を担っていることを示唆している。
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	本研究の目的、目標としている内容は、より普遍的かつ実践的な研究的内容であるが、当初の作業仮説通りには研究が進まず、放射線に対する細胞内センサーの同定という当初の目的から離れた。その点で研究計画設定の妥当性は低かったと言わざるを得ない。しかし、副次的な結果として質の高い貴重な成果を挙げている。研究は進展し新たな展望が開けており、今後更なる研究成果が期待される。研究者の能力もしっかりしており、研究費用に充分見合った研究成果が達成され、研究交流も活発に行われている。従って当初の計画に見合った成果を挙げたとはいえないが、妥当な研究であったと判断できる。
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	

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）：放射線抵抗性骨髄幹細胞の特徴解析とその増幅に関する研究 （国立成育医療センター研究所）	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成16年度（3年計画） 7,928千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	マウスおよびヒト骨髄細胞を用いて、放射線照射後に生き残る骨髄造血幹細胞（放射線抵抗性幹細胞）の特徴を明らかにする。マウス骨髄移植などのモデルを用いて、放射線照射による造血抑制を、サイトカインの投与による放射線抵抗性幹細胞の増幅により予防できる治療プロトコルを作成する。
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>・当初予定の成果は、1)マウスおよびヒト骨髄細胞中に含まれる放射線抵抗性幹細胞の定量、2)サイトカインを作用させた場合の放射線抵抗性幹細胞数変化の定量的観察、3)マウスへの放射線照射による造血不全モデルを用いて、サイトカイン投与による造血不全予防・治療プロトコルの作成であった。これに対し得られた成果は、培養細胞にM-CSF、GM-CSF、G-CSF、IL-3などのサイトカインを添加した場合に、アポトーシス抑制作用を認めたことと、G-CSFとGM-CSFをX線照射2時間後のマウスに投与することで生存日数の延長を認めたことである。</p> <p>・副次的な成果はなかった。</p> <p>・本研究の内容を直接報告した論文等の成果発表はなかった。</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>・事前評価における、「造血幹細胞には抵抗性の種類が存在することを前提としているようであるが、それを確認しないまま研究を進めることには疑問が残る。」、および「放射線抵抗性幹細胞の特異的マーカーを検索する予定であるが、その前に、放射線照射によって生き残った細胞が放射線抵抗性であるかどうかを確認すべきである。」との指摘が生かされていなかった可能性がある。</p> <p>・研究期間中に、研究施設の移転があり、半年間ほど動物実験に支障をきたしたことも、成果が少なかった原因の一つと思われるが、実験計画を立てる前に、放射線生物学専門家等の他の研究者との交流が必要であった。</p> <p>・サイトカインのアポトーシス抑制効果などの本研究で得られた成果を生かして、そのメカニズム等を追究することが期待される。また、3年間の研究成果を必ず公表されたい。</p> <p>・放射線抵抗性を示す幹細胞類似細胞が得られる可能性があったとしているが、放射線抵抗性の定量的評価を行うことが重要と思われる。</p>
4. その他	事前評価：B
5. 総合評価	C
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）：遺伝子破壊法、アンチセンスRNA発現法を用いたDNA修復遺伝子の放射線傷害修復に於ける機能解析（独立行政法人 国立健康・栄養研究所）	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成16年度（3年計画） 9,698 千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	本課題は遺伝子破壊法、アンチセンスRNA発現法を用いて特定のDNA修復遺伝子が機能しない状態の細胞株を作製し、それらに於ける放射線照射後の機能を解析することにより、放射線による突然変異生成のメカニズムを明らかにする。
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	<p>ニワトリDT40細胞で突然変異率を測定する系として、当初予定していた6-TG耐性を指標とした実験系を試みたが不成功、新たにウアバイン耐性を指標とする系を確立した。この系を使ってrad30とrad54変異株における変異頻度を測定した。損傷がどのように突然変異を生むかを解析するため DT40細胞において「損傷バイパス複製」の検出方法を確立し、紫外線損傷、X-線損傷の複製後修復について検討を加えた。また、当初は予定していなかったカンプトテシンによる損傷のバイパス修復の機構についても解析を行った。</p> <p>ヒトがん細胞での損傷バイパス複製の系に、種々の阻害剤を加える実験を行ったところ、正常細胞での損傷バイパスは阻害しないが、がん細胞および抗腫瘍剤で処理された細胞の損傷バイパスを阻害する新成分を発見した。これを用いることで損傷バイパスの機構が解明されることはもちろん、これを使って効率的にがん細胞を殺すことができれば医療への応用が期待される。現在これに関しては特許の申請を検討している。</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>研究目的に挙げていた遺伝子破壊株については、他の研究所などから分譲してもらうことですませている。また、RNAi実験についてはまだ検討の段階でほとんど進んでいない。従って、それらの破壊株を用いての放射線損傷の修復過程の解析は、損傷バイパスに関してのみ遂行された。従って、当初の研究目標、計画の設定が十分妥当であったとはいえないが、少なくとも損傷バイパスの検出系を作り、それによって紫外線と放射線による損傷の複製後修復が異なる機構で起きることを示したことは、評価できる。また、新たな阻害剤を発見した点も同様に評価できる。研究費は妥当であったが、当初に懸念した研究に携わる人数の寡少が研究を遅滞させたと考えられる。研究交流、協力は、ある程度はなされている。ヒアリングでのプレゼンテーションには今ひとつの工夫が欲しい。</p>
4. その他	<p>事前評価：B</p> <p>特許申請は、所属機関の担当者との緊密な連携のもとに、準備を進められたい。</p>
5. 総合評価	B
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）：悪性脳腫瘍に対する中性子捕捉療法—加速器の開発と新たな治療法への展開— （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12年度～平成16年度（5年計画） 20,342千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	1. 深部、あるいは浸潤性の悪性脳腫瘍に対する必要十分量の照射線量の決定。 2. 必要十分量の中性子線量を得るための加速器の開発。 3. 加速器を用いたBNCTに利用可能な新たな照射計画の作成システムの構築。 4. 新たなボロン化合物の開発ならびに検討。
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               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熱外中性子を用いた照射線量が決定された。</li> <li>2. 加速器開発設計の基本構想が立案された。開発のため必要なターゲット冷却装置の研究をすすめてきた。</li> <li>3. 照射計画システムの構築がなされ、実用化された。</li> <li>4. 新規ボロン化合物については、基礎的な開発研究がなされているが、臨床応用までには至らなかった。</li> </ol> </li> <li>・特筆すべき成果               臨床を行ううえで、十分な線量照射や照射計画作成システムなどが実用化されており、臨床応用可能な加速器の基本計画の立案がされた。             </li> <li>・副次的な成果</li> <li>・論文、特許               論文数も内容も十分である。             </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               妥当である。             </li> <li>・研究計画設定の妥当性               妥当である。             </li> <li>・研究費用の妥当性               妥当である。             </li> <li>・研究の進捗状況               新規のボロン化合物開発以外、問題ない。             </li> <li>・研究交流               必要な分野の研究者と積極的に交流し、成果を得ている。また、熱中性子治療の研究会を立ち上げたり、2006年度に国際学会を主催する実績を積んだ。             </li> <li>・研究者の研究能力               十分である。             </li> </ul>
4. その他	事前評価：B 中間評価：A
5. 総合評価	A
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）：中性子放射化分析法の環境影響元素・物質研究に対する新利用法と高度化技法の開発 （（独）農業環境技術研究所）	
研究期間及び予算額：平成12年度～平成16年度（5年計画） 79,465 千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>すでに確立された放射化分析法の内容およびその利用法を見直し、また、他の競合する分析法に対する優位性・特徴などを生かした新しい利用・解析法の開発、や放射化分析法の高度化を図る。さらに、これら技法を環境影響元素・物質の農林生態系における動態や影響評価に対する研究に応用する。</p> <p>人工的に存在比を変えた試薬を調整し、環境中に散布したあとに放射化分析を行うこと（アクチバブルトレーサ法）で、重金属や水の動態の追跡に応用する。具体的には土壌浸透水のより改善された追跡手法として、自然存在比（<math>^{81}\text{Br}</math> と <math>^{79}\text{Br}</math>）とは大きく異なる臭素安定同位体試薬溶液を水のトレーサとして野外で利用する方法の開発を目標とする。またカドミウム等の安定同位体重金属を栽培環境中に添加し、植物への移行を調査する方法の開発を目標とする。</p> <p>またこれまで分析データの蓄積が少なかった農林生態系における土壌-土壌水-作物系のハロゲン等の元素比を正確に分析する。さらに研究用原子炉に付置された短寿命照射施設を利用したフッ素分析法について検討する。</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>当初予定の成果としては、(1) 臭素を用いたアクチバブルトレーサ法を野外での水トレーサとして利用できることを示したこと、(2) 安定同位体としてのCd等をトレーサとして利用し、イネへの移行を調べるなどの結果を得ているので、予定通りと言える。</p> <p>特筆すべき成果として、研究担当者らは臭素トレーサとしての利用をあげているが、特筆と言うほどではないと思われる。また、副次的成果は、前処理方式による標識化調整の違いを挙げているが、やや定量性に欠けるとと思われる。</p> <p>発表論文は、国内学会発表あるいは和文誌発表が中心であり、国際誌への発表が全くない。5年間で8000万円かけた研究としては極めて不足である。</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>研究開始時の事前評価で指摘した点が、そのままになっているのは誠に残念である。「アクチバブルトレーサの方法は広く用いられている」と5年前に指摘したにも拘らず、これがそのまま進められたのは、放射線の農業分野への応用とその日本における波及効果という点に価値があると考えられたからであろうと推測される。</p> <p>元素分析法として中性子放射化分析法のみに限っているので、方法論的にも巾が狭くなっている。</p> <p>研究費用についても、アイソトープ施設の運転経費など、本来研究所で負担すべきものが積算されており、学術的観点からのみ評価を担当した委員会の意見としては、研究費用上の最適化が計られたとは考えられないところがある。</p> <p>Cdに限って言えば、中性子放射化分析法がかなり感度が良く、旧原研の分析センターでも最近イネ汚染の観点から極めて熱心に分析を進めているので、この点でタイムリーであったと言えよう。これらの研究成果を、可及的速やかに国際誌に投稿されることを期待する。</p>
4. その他	事前評価：B 中間評価：B
5. 総合評価	B
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）：ガス交換能を有する肺胞モデルの開発と健康影響評価への応用 （独立行政法人 国立環境研究所）	
研究期間及び予算額：平成12年度～平成16年度（5年計画） 48,410千円（一般管理費込み）	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>肺胞におけるガス交換は、気相側のI型肺胞上皮細胞と、血液側の血管内皮細胞が基底膜と呼ばれる細胞外基質を挟んで隣接するサブミクロン厚の構造（呼吸膜）を介して行われる。本研究では、この呼吸膜構造体を <i>in vitro</i> で構築することを目指す。</p> <p>研究開発日程の前期では、線維芽細胞の共存下で血管内皮細胞直下のコラーゲン基質に基底膜が形成され、内皮組織が出来上がる肺の発生過程を模して血管内皮細胞による組織構築を行う。コラーゲン・ゲルに包埋した線維芽細胞との共培養下で、血管内皮細胞をコラーゲン線維上に播種し、基底膜形成と血管内皮組織の構築を行う。</p> <p>後期では、これまでに確立した肺胞上皮組織の構築と、新たに確立した血管内皮組織の構築を統合し、コラーゲン薄膜を介して肺胞上皮細胞と血管内皮細胞を背中合わせに培養し、肺胞上皮・血管内皮共培養組織を構築する。その後は、ホロファイバー内に血管内皮共培養組織を構築する。</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>・当初予定の成果： 血管内皮細胞を生体中に近い状態で培養し、基底膜形成に成功。</p> <p>・特筆すべき成果： 肺胞上皮細胞が作製した基底膜構造体を培養基質に用いて、気道上皮細胞の再構築が可能になった。</p> <p>・副次的な成果： 新たなコラーゲン線維薄膜基質の作製方法を考案した。</p> <p>・論文・特許等： 2000～2005年の間に7編の論文を発表 2001～2003年の間に5件の特許公開があり、2003～2005年の間に4件の特許出願がある。これらは米国・欧州に国内移行手続済または手続中。</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>・目的・目標の設定の妥当性： <i>in vitro</i> で生体と同等の細胞構造を構築し、それを健康影響評価に役立てることを目的としており、この意欲的な目的・目標の設定は妥当である。</p> <p>・研究計画設定の妥当性： ガス交換能を有する肺胞モデル組織をホロファイバー内に構築するという研究は重要であるが、難しい課題である。その難しさに相応した研究計画を設定すべきところ、妥当性を欠いたところがあって、当初の最終目標を達成できなかった。したがって、ラジオアイソトープを利用した当初計画研究の展開等には至っておらず、どこが原子力試験研究なのかが不明なまま研究期間が終わっている。</p> <p>・研究費用の妥当性： おおむね妥当である。</p> <p>・研究の進捗状況： 当初の目標を達成できなかったということのみから判断すれば進捗状況は良好とは言えないが、本研究のアプローチの困難さを明確にし、別の人工肺胞モデル構築に向けた判断を当該研究者自身が示していることは評価できる。</p> <p>・研究交流： 関連分野の研究者との交流をもっと行うべきである。</p> <p>・研究者の研究能力： ほぼ十分である。</p>
4. その他	事前評価： A 中間評価： A
5. 総合評価	B
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）：陸水境界域における自然浄化プロセス評価手法の開発に関する研究 （独立行政法人 国立環境研究所）	
研究期間及び予算額：平成12年度～平成16年度（5年計画） 28,133千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	陸水境界域（海浜、干潟、湿地、湖沼、河川等）すなわち水辺および浅深水域は人間活動における安息の場を提供するのみならず、野生生物の生息地としても重要な場であり、例えばラムサール条約等で当該域の重要が指摘され、場の保護が行われている。一方、人間活動に由来する各種有機汚染物質の流入・集積が生じやすい場でもある為、本境界域の有する自然浄化能を把握することは、場の保全及び将来予測の上で重要であり、人工海浜・河岸の造成、干潟埋立に伴う代替地の選定等においても極めて重要である。この為、本研究では海浜、ヨシ原等湿地帯、湖等において、自然浄化能を把握するためにまずそのプロセスを解明するための自然浄化プロセス評価手法の開発を行う。
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>・有機汚染物質の分解時に発生するCO<sub>2</sub>の炭素同位対比が天然有機物のそれと異なることに注目し、自然条件下での有機汚染物質の分解速度等を解析する手法（安定同位体法）を開発し、その有効性を基礎実験により検討している。有機物分解に関与する微生物の同定を試み、有機物分解の機構を微生物群衆構造の分析に基づいて評価しようとしたが、具体的な知見は得られておらず、その可能性を示唆する段階に留まっている。</li> <li>・野外におけるCO<sub>2</sub>の捕集装置を開発しその有用性を確認する等、試料採取を含めた有機物質分解の評価・分析法を提示している。</li> <li>・微生物分解により生成するCO<sub>2</sub>試料を炭酸塩として固定・保存する手法を開発することにより、試料の保存中を向上させると共に分析の再現性を向上させた。</li> <li>・5年間の研究期間に、口頭発表論文はあるものの、掲載済みの査読付き研究論文は1編（掲載年は2003年）のみである。</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・目標の設定が一般的段階に留まっている。「自然浄化プロセスの評価手法」には種々の視点、方法が考えられることから、「自然浄化を有機物の分解の視点から把握し、その速度を発生CO<sub>2</sub>により評価する」との立場を明確にした上で研究の目的をより具体的に設定するべきであったといえる。</li> <li>・有機物の分解速度を把握する方法としては、有機物濃度を直接測定する方法、有機炭素量や全炭素量(TOC)、生物学的酸素要求量(BOD)や化学的酸素要求量(COD)を測定する方法等、炭素同位対比を用いる方法に比較してより簡便で汎用的な方法が現に使用されている。これら既存の方法との優劣を比較する課題等を研究計画に位置づける必要があったといえる。</li> <li>・研究内容に照らして、特に研究の当初年度（2年間）において、研究費がやや過大ではなかったか。</li> <li>・当初計画を適切に修正することなく、研究が開始されたと思われる。</li> <li>・特記すべき研究交流は行われていない。</li> <li>・研究の3年度以降、担当研究者が5名から2名に減少した。減少した3名が分担していた研究内容が問題無く継承・遂行されたか判定が困難である。</li> </ul>
4. その他	<p>事前評価：B 中間評価：B</p> <p>事前・中間評価でのコメントが適切に反映されず、原子力試験研究にふさわしい研究とならなかった。</p> <p>査読付き発表論文は、研究の中間年度（2003年）において発表された1件のみである。蓄積された研究成果に関する論文発表を期待する。</p> <p>開発された「安定同位体法」を既存の評価法と比較し、その特色を明らかにされることを期待する。</p>
5. 総合評価	C
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）：レーザー計測を利用した強磁場中におけるプラズマ生成初期過程の研究 （物質・材料研究機構）	
研究期間及び予算額：平成12年度～平成16年度（5年計画） 71,540千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	高エネルギー光に晒された気体分子は、電離してイオンになったり、化学結合を切断されて解離し様々なイオンや中性ラジカルの破片となり、活発な化学反応を引き起こす。このとき生成するイオンやラジカル・原子などは、電子スピンをもつ常磁性であることが多いので、強磁場に強い影響を受けることが予想される。本研究では、分子に波長可変パルスレーザー光の多重共鳴を利用して、イオン化エネルギー以上のエネルギーを与え、そこから起こる電離や解離過程を精密に測定するレーザー分光手法を開発するとともに、これらの過程に対して強磁場が与える影響を解明する。
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>・当初予定／特筆すべき／副次的成果</p> <p>強磁場中における電離や解離のダイナミクスの詳細観測を行うために、10テスラまでの強磁場中で質量分析分子線分光を可能とする装置を開発した。この装置は、様々な研究分野への応用が期待される。不安定中間ラジカル分子に対する強磁場効果の研究は十分な成果を挙げるにいたらなかった。</p> <p>・副次的な成果としては、強磁場中の分子の電子構造を解析するための一般的な理論の構築に成功している。</p> <p>・論文、特許等</p> <p>いくつかの重要な論文を出しているが、比較的少ない。</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>・目的・目標の設定の妥当性</p> <p>超伝導磁場による10T程度の強磁場が実験室レベルで簡単に使用できる状況により新たな研究領域が生じつつある。本研究は、強磁場中での精密なレーザー分光法の一般的な手法を開拓しようとするものであり、技術の発展をふまえた計画である。</p> <p>中間評価でのコメントを活かし目標を明確にし、他機関との協力を進めればなお良かった。今後はこの研究のテーマに関する具体的な出口の設定が重要ではないか。</p> <p>・研究計画設定の妥当性</p> <p>強場研究施設を利用し、効率的に実施できるテーマである点に妥当性がある。既存のレーザーを活用して、強磁場中質量分析分光装置を作製し、励起電子エネルギーレベルの磁場変化観測にこぎつけた。</p> <p>・研究費用の妥当性</p> <p>研究費用は妥当と考えられる。</p> <p>研究担当者は実績のあるレーザー分光の専門家であるが、強磁場を利用する実験では、狭い空間での測定や漏れ磁場対策などの制約をクリした。</p> <p>・研究の進捗状況</p> <p>当初計画していた、不安定中間ラジカル分子に対する強磁場効果の研究は十分な成果を挙げるにいたらなかったが、その過程で多くのノウハウを蓄積しており、新規装置の開発に活かされた。これらは今後より広範な応用に期待したい。</p> <p>・研究交流</p> <p>交流は全般的に不足している。大学を含むより広い研究者との交流を進めることが必要である。そうすれば当該分野はより活発化することが期待できる。</p> <p>・研究者の研究能力</p> <p>より多くの成果や論文発表を行なうことが今後期待される。装置は完成しておりアイデアをだして成果を論文につなげてほしい。</p>
4. その他	事前評価：B 中間評価：B 開発した手法の応用や利用に関する研究をより広く追求するとともに、成果の公表につとめてほしい。
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

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）：原子力材料用分散型知識ベースの創成に関する研究（物質・材料研究機構）	
研究期間及び予算額：平成12年度～平成16年度（5年計画） 70,024千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	原子力関連研究機関で構築してきた原子力材料のデータベースを基に、関連知識を整理格納した知識ベースを整備することによって、原子力材料の諸問題を解決するに有用な、ユーザフレンドリーな知識管理、提供、発見のための支援システムを創成す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>原子力材料に関する知識の収録、保管および図表や数式等の表示機能をもつ知識ベースと、専門家の知識を利用した知識発見ツールを実現し、それに基づいて具体的事例として溶接継手強度評価システムと複合材料熱物性予測システムの構築を図った。</li> <li>複合材料熱物性予測システムは次世代原子力材料として期待されている材料設計、特性評価のツールとして活用が期待される。また、本研究で工夫されたコンピュータ処理技術は構造化知識ベースの構築や材料データベースの標準化のための重要な基盤技術になるものとして評価できる。</li> <li>作成した予測システムの応用化を図り、金属基複合材料、熱遮蔽コーティング材に関する材料指針を取得している。</li> <li>成果は幅広く発表されているが、本成果のアピールや広く関係者の意見を取り入れる見地から、具体的事例を伴った総合的な報告（論文）として、原子力学会誌等に投稿することを勧める。また、本研究のテーマと5年の研究期間を考えると特許申請もあれば良かった。</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>原子力材料に関する知識データベースの確立は原子力基礎・基盤技術を支える研究として重要である。原子力材料に関するファクトデータをベースに、2つの具体的事例をテーマとして、専門家、一般ユーザの利用可能な知識データシステムの構築を図るものであり、目的・目標の設定は妥当である。</li> <li>複合材料の熱物性予測システムについてはデータベースと連携した知識システムの構築が、溶接継手強度評価については高温クリープ条件下での強度評価システムの構築が図られており、研究計画の設定はほぼ妥当であった。ただし研究活動の維持に関する対応は十分とはいえない。</li> <li>研究費用は、ほぼ妥当であったと判断される。</li> <li>スタッフの事情により、途中において、データベースの内容を溶接継手強度評価から複合材の熱物性予測に変更したが、当初計画はほぼ予定通りに進捗している</li> <li>原子力関係機関（日本原子力研究所、核燃料サイクル開発機構）との研究交流が図られているがより活発にするとともに、レベルの高度化、効率化などの見地から、大学、民間などの知識を広く活用する必要がある。</li> <li>研究者の研究能力に関しては、関係機関における専門知識と過去に実施した材料データフリーウェイの開発経験、情報科学に関する知識は十分と判断された。ただし、実施機関はヒアリングにおいて研究計画の部分的報告のみでなく、5年間の計画全般に対応すべきことを指摘しておきたい。</li> </ul>
4. その他	<p>事前評価：A 中間評価：B</p> <p>二つの具体的事例について構築した原子力材料に関する知識ベースシステムを次世代炉や核融合炉の研究開発といった実際の場で活用することが重要である。現場での有用性を高めるためにも、民間、大学などを含め、関連分野からの広い知識を取り入れていってほしい。</p>
5. 総合評価	B
評価責任者氏名： 阿部 勝憲	

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）：材料照射損傷により生成する不活性ガス析出物の原子レベル解析と安定性評価に関する研究（物質・材料研究機構）	
研究期間及び予算額：平成12年度～平成16年度（5年計画） 124,500千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	<p>放射線環境下で使用される原子力材料では、材料照射により非平衡な照射誘起析出物が生成する。これらのうち不活性ガス析出物は、本質的に固体中での溶解度が極めて小さいため材料中に蓄積されることで多くの傷害を発生させ、これらガス析出物の挙動が構造材料の寿命を決定する重要な因子と考えられている。しかし、材料中に溶解しない不活性ガスの性質から、熱平衡条件での核生成・成長の機構解明研究が困難であり、原子レベルでの構造解析、析出挙動の統一的な理解は得られていない。</p> <p>本研究では、HeやXe等の不活性ガス注入下での原子力材料の原子レベル構造変化を調べ、不活性ガス析出物の挙動・安定性についての評価を行い、照射に起因する材料の変化を原子レベルから解明することを目的としていた。</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>・ 不活性ガスイオンを原子力材料に注入し、照射誘起析出物の構造的な変化や析出挙動を解明しようという目標は、Xeについては当初予定した以上の成果を挙げており、高い評価に値する。一方、Heについては、Xeの場合に比べ挙動解明が限界的である。</li> <li>・ 特筆すべきは、高分解能電子顕微鏡観察に基づき、液体状態の希ガス析出物と母相、あるいは固体結晶析出物との相互作用を、原子レベルの精度で詳細に解明できたことである。特に、液体原子が固-液界面近くで規則的な層構造を持つことを、世界で初めて観測することに成功している。</li> <li>・ 副次的な成果として、イオン照射による特性X線誘起放射により軽元素を分析する手法や、電子顕微鏡によるナノサイズの液体や固体状析出物の観察手法の開発において、世界をリードする成果を挙げた。</li> <li>・ 論文の件数は多く、評価に値する。しかし、重要論文の第一著者の多くが外来研究員であるように見受けられるのは、課題を残す。国の大きい支援を得て行なわれた研究の成果発表については、基本科学技術の開発責任者が表に立つようにしてほしい。論文数に比べて特許件数が少ないので、特許取得も重要な目標の中に含めるべきである。</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>・ 世界最高級の実験装置を用いて、不活性ガスイオン注入に基づく照射誘起析出物の構造変化並びに析出挙動を解明しようという目標設定は、先端的な成果の達成に結びつき、妥当であったと言える。</li> <li>・ 研究計画設定はほぼ妥当であったと言えるが、軽元素（He）に対する計画が十分ではなかったように見える。重元素（Xe）の結果から軽元素の場合を推測するなどの検討を進めてほしい。</li> <li>・ 研究費は、大規模な装置の運転・維持費を含むことを考えれば、妥当と思われる。</li> <li>・ 微粒子析出挙動の観察結果に基づき、その機構論的な解釈を進めていくことが望まれる。</li> <li>・ 研究交流にはかなりの努力のあとが見え、評価に値する。</li> <li>・ 研究者の能力は高いと評価できるが、第一著者足りうるプロパーの研究者をもっと増やすよう努力してほしい。</li> </ul>
4. その他	<p>事前評価：A 中間評価：A</p> <p>Xeの成果をHe挙動の予測につなげるとともに、粒界の役割など原子力材料における応用に心がけてほしい。</p>
5. 総合評価	A
評価責任者氏名： 阿部 勝憲	



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）：低エネルギーX線精密回折分光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12年度～平成16年度（5年計画） 58,704千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	X線を用いる基礎研究並びに応用研究の場では精度信頼性向上のために高精度の波長マーカの設定が不可欠である。この研究では低エネルギーX線の波長を正確に測定するため、SI波長標準に準拠した高精度の波長マーカの設定を目指している。計画では核共鳴γ線（14.4keV）のレーザ波長標準に基づいた絶対測定を行い、さらに近傍の核共鳴γ線の波長の絶対測定も行う。この時の精度目標を0.1ppmレベルに、さらに核共鳴γ線（14.4keV）による相対測定を低エネルギー側に拡張し、その時の精度を10ppm程度とするものである。
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 要素研究を行い、自己校正型高精度角度設定装置を開発し、その不確かさ0.1秒を達成した。さらにレーザ波長標準に基づくシリコン標準回折結晶の格子定数の精密測定を0.04ppmで行えるようにし、結晶評価のための格子定数比較装置の建設により0.05ppmで測定できるようにした。その結果、<sup>57</sup>Feの核共鳴散乱波長の測定を0.1ppmレベルで行えるようになっている。光干渉計とX線干渉計の複合干渉計を用いて我が国の標準回折結晶の格子定数を不確かさ0.04ppmで決めることに成功している。</li> <li>・ 高感度格子定数比較装置は高エネルギー加速器研究機構(KEK)との共同研究により開発して測定不確かさ0.005ppmの性能を持ち、世界で初めて大きな面積(60 mm× 60 mm)内の格子定数の分布を0.01 ppmの分解能で2次元マッピングすることに成功した。0.05ppmで格子定数の校正された標準物質を供給するのみならず、モノクロメータ等の高精度X線光学素子の評価への寄与も期待できる。</li> <li>・ 特になし</li> <li>・ 論文(投稿中を含む) 7件、口頭発表 6件、特許出願 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>・ 波長マーカの波長精度に従来と比較して大幅な向上が達成され、X線精密計測分野への寄与は大きく、目的は妥当であった。</li> <li>・ 最終目標を達成するための計画は妥当であったが、常時共同で研究を行う研究者がいなかったことはこの研究の更なる展開が遅れた要素であると考ええる。それ故、今後このような研究を行う場合は、常時共同で行える研究者を募るべきである。</li> <li>・ 妥当である。</li> <li>・ 多少遅延がみられるがほぼ計画通りである。しかし、前述したように1人で行った研究と見られることから、きちんとした計画のもとに共同研究を行い、研究の進捗を速めるべきである。</li> <li>・ 高エネルギー加速器研究機構の研究者と研究交流が行われている。論文発表では本研究担当者の貢献を重視すべきであった。</li> <li>・ 研究者の研究能力は十分であるが、より共同研究者を増やす努力も必要である。</li> </ul>
4. その他	事前評価：A 中間評価：B 今後とも成果の公表につとめてほしい
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

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）：重イオンマイクロビームによる化学結合状態分析法に関する研究 （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16年度（5年計画） 51,069千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	材料表層のミクロン領域の化学結合状態を非破壊かつ高感度で分析するための基盤技術を開発する。このために以下の開発を行う。 1) 重イオンマイクロビームにより励起された特性X線を高いエネルギー分解能と空間分解能で高効率に分析できる、局所・高分解能粒子励起X線分光装置を開発する。 2) さらに、重イオンマイクロビームを真空外に取り出し、非破壊で材料表層のミクロン領域を分析するようにする。
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	1) 化学状態分析を行なうために、検出器として結晶分光を採用した。結晶分光の欠点である低検出効率をX線CCDカメラを用いて位置検出することにより、10倍程度の感度を上げ、さらに平板結晶に換えて湾曲結晶を用いたvon Hamas式分光法を採用して、検出感度を通常のスキャン型のものに比べ数十倍の高感度を得た。また、この方式により、化学状態を分析できる高エネルギー分解能も得た。 2) 耐放射線性ポリイミド薄膜を用いて、陽子イオンマイクロビームを大気中に取り出すシステムを開発した。  ・ 局所・高分解能粒子励起X線分光装置の開発を行うとともに、イオンマイクロビームの真空取り出し技術を開発した。  ・ 特になし。  ・ 発表論文数4件、口頭発表6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	・ 材料表層のミクロン領域の化学結合状態を、非破壊かつ高感度で分析するための基盤技術を開発することは、重要な先端科学の基盤技術であり、目的・目標の設定は妥当である。  ・ 最初の3年間で装置の開発を行い、残りの2年間は応用研究を行うべきであった。  ・ von Hamas式分光器、CCDカメラおよび重イオンビームライン散乱槽が主な費用であることを考えると当初の予算より少額で行なえた可能性もあると思われる。 ・ 分光装置は完成したが、大気重イオン分析、分析応用については残された課題もある。 ・ 情報交換をより多く行なうべきである。  ・ 研究グループは4名で構成されているが、実質的には1名で行なっているように思われる。このため、十分に成し遂げられなかった課題もある。
4. その他	事前評価：A 中間評価：B 今後、X線スペクトルにおける重イオン衝撃による化学状態の強調、マイクロビーム走査又は試料の移動による化学状態分析の画像化、ピンホールを通しての大気中での重イオン分析の検討などをさらに進めることにより本研究の成果を役立て、また成果の公表につとめてほしい。
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

表9

## 事後評価 内部評価共通フォーマット

研究課題名（研究機関名）： KrFレーザーによる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10年度～平成16年度（7年計画） 501,015千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	1) レーザー核融合用ドライバースにとって不可欠な課題である高繰返し動作について、大出力KrFレーザーの高繰返し動作技術確立し、システム動作を実証する。 2) 紫外光による高速点火方式の可能性検証を目的に必要な超高照射パワー密度を実現し、平面ターゲット照射により基礎過程とその波長依存性を明らかにする。
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	・電子ビーム励起KrFレーザーの高繰返し動作技術を開発し、繰返し頻度2Hz、励起エネルギー230J、連続運転時間1時間が達成された。また、紫外レーザーによる相対論的強度の集光強度向上がなされた。高速電子温度は従来の波長スケーリングと一致することが示された。  ・開発した高電圧スイッチング用の磁気スイッチ、放射・強制冷却を併用した電子ビームダイオードなど数万ショット以上の耐久性が実証された。高強度紫外レーザーの照射では、従来の赤外線レーザーの実験と比較して高い吸収率が観測され、高エネルギー効率の高速点火方式への可能性が示された。  ・レーザー高強度照射実験のなかで開発された簡便なピコ秒パルス発生方法は今後、幅広い応用につながる可能性がある。  ・論文発表も多く特許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	・レーザー核融合を実現する上で不可欠であるレーザードライバースの高い繰返し周波数における運転動作の実証、ならびに、紫外線レーザーによる高速点火方式の可能性検証を目指した本研究は、レーザー核融合の実現にむけた重要なマイルストーンとなる課題であり、目的と目標はほぼ妥当であった。  ・レーザーの実現可能性を実証するために、大型電子ビーム励起装置を構築し、ダイオードの耐久性を実証するなど、計画は妥当であった。  ・本研究を遂行する上で妥当なものと判断される。  ・電子ビーム励起レーザードライバースにおいて、その耐久性が実証され、核融合炉用ドライバースを見通すことができた。開発技術の応用の検討を進めればなお良かった。  ・大阪大学や東京工業大学を始め米国NRLとの交流を行っているが、レーザー閉じ込め実験との連携がもっとあれば良かった。  ・研究論文や口頭発表件数より、研究従事者の研究能力は高いと評価できる。
4. その他	（核融合分野での）中間評価：B 得られたレーザー技術開発成果を広く応用する可能性について検討を続け、7年間の研究の集約とアピールに向けたさらなる努力を期待する。
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）：挿入光源を利用した動的過程の高度評価法に関する研究 （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16年度（5年計画） 115,851千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	加速器制御技術の高度化による放射光挿入光源（偏光アンジュレータ）の利用技術の開拓を目指しており、具体的には(1)偏光アンジュレータビームラインの構築と蓄積リング・アンジュレータ・分光計測系の制御システムの開発、(2)偏光アンジュレータを用いた分光分析技術（円二色性分光）とイメージング技術（光電子顕微鏡）の開発、(3)放射光挿入光源とレーザーの同期によるポンプ・プローブX線分光法の開発、(4)ピクセルアレイ検出器(PAD)による蛍光X線計測を用いた物質構造変化の微視機構解明、を目標とする。
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>・想定していた成果はほぼ得られた。すなわち、偏光アンジュレータからの放射を利用したビームラインシステムの開発、挿入光源の高輝度性と偏光性を利用したアミノ酸の構造変化の研究、表面動的過程イメージング技術の開発、金属表面の化学反応のリアルタイム画像の観察を成功させた。</li> <li>・従来よりも短波長領域180nm以下の真空紫外領域における円偏光二色性(CD)測定が可能になった点である。糖鎖や糖タンパク質の立体構造解析を可能にした。</li> <li>・生命起源に関する研究や、ポンプ・プローブ法による高密度局所構造解析の高度化を進めた。</li> <li>・論文、学会発表は充分あったが、特許も検討してほしい。</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>・高輝度アンジュレータ放射光の偏光特性を用いたビームライン分光計測系を世界に先駆けて開発することを目的として設定したのは、これまで開発されたTERAS施設の有効性を生かし、いち早く分子化学・物性物理学・生命化学の新分野の開拓を可能ならしめる点で研究の成功確立を高めたものであったと言える。</li> <li>・アンジュレータ光を使う点で相関はあるものの独立な二つの研究グループをまとめた研究計画であった。個々の研究は科学的に価値のある知見を見いだすことを目的とした妥当な研究計画であった。</li> <li>・偏光アンジュレータビームラインの構築がはいっていたことを考慮すると妥当であった。</li> <li>・少ない研究人員の状況の中でほぼ期待された成果が得られたといえる。</li> <li>・十分にあった。</li> <li>・少ない人員のなかで予想通りの成果を上げることが出来たことは十分な研究能力を証明している。</li> </ul>
4. その他	事前評価：B 中間評価：A 今後の応用展開を積極的に進めてほしい。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

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）：超高強度レーザーによる高エネルギー粒子・放射源に関する研究（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16年度（5年計画） 73,093千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	レーザーとプラズマを利用したレーザー粒子加速によって従来型の高周波加速器に比べて1/100～1/1000の大きさの加速器を実現するために必要な基礎技術の開発を目的として、 (1)プラズマによる超高強度レーザー光の長距離伝播技術の開発および、(2)プラズマチャンネル中でのプラズマ波の大振幅励起と加速の最適化技術の開発を目標とする。
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	・(1)の長距離伝播技術については研究当初に世界的に先端の地位を保持していたと認められるが(2)の目的の達成を優先することに変更があったため、研究は(2)に集中された。その結果、世界で最初に準単色電子ビームの加速に成功した。超小型高エネルギー加速器の実現可能性を示すブレイクスルーをなした点で高く評価できる。  ・論文数は充分であり、プレス発表も行っている。しかし、加速の物理機構を実証する研究の性格上、論文の数よりは、世界最初（ブレイクスルー）の名誉が確固として世界的に認知されるような発表がなされるべきであった。研究所は組織としてもっと監督・注意すべきであった。
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	・超小型加速器の実用化という革新技术の開発にチャレンジする魅力ある研究であり、その目的と目標は妥当であった。  ・途中で研究の優先順位を変更したがその結果、ブレイクスルーをあける成果を世に示すことが出来たのは研究のリスクをよく理解しつつ推進した点で高く評価できる。  ・限られた予算内でも良く考えて実行し、世界的な成果をあげたと認められる。波及効果の大きい革新技术の開発でブレイクスルーを世界で最初にあげられる可能性が出てきた段階（研究優先順位変更時）で予算と人員の見直しがなされてもよかった。  ・単色電子加速に世界に先駆けて成功しただけでなく加速の条件を実験によって明らかにしつつあり、研究は順調に行われたといえる。  ・一応は他機関との共同研究を行ない、プラズマ計測等で研究の成果に寄与させたことは評価できるが、加速機構の解明、最適条件の研究、実用化技術等の本道で世界のリーダーとしての役割が果たせるように、より積極的な人材交流を努力すべきであった。  ・研究者らの研究能力は充分高いと評価できる。
4. その他	事前評価：A 中間評価：B  本研究は今後の応用研究が期待されるので、次は実用化に向けて継続すべきである。
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

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）：2 段式反応焼結による繊維強化炭化ケイ素複合材（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16年度（5年計画） 61,099千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	開発した新技術の2 段式反応焼結法を適用することによって、核変換で問題となるBN等のコーティングを繊維に施すことなく、緻密な繊維強化炭化ケイ素複合材を作製する方法を確立し、15 cm程度の大きさの複合材を作製することを目的としている。最終目標として、曲げ強度：200MPa、曲げ弾性率：120GPa、開気孔率：3%以内、残留シリコン量：10wt%以下、熱伝導率：20W/mK、耐熱性：1200℃、耐熱衝撃性：1000℃で150MPaを設定している。
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>・当初予定の成果：フェノール樹脂からの緻密なアモルファス炭素を利用して繊維と熔融シリコンとの反応を制御し、さらにマトリックスの（Si/C）組成を変化させることにより、複合材料の強度特性を制御できることを明確化した。この結果、曲げ強度、曲げ弾性率、開気孔率等で当初の目標を達成したが、耐熱衝撃性は検討できていない。</li> <li>・特筆すべき成果：マトリックス中にSiC粉末を加えることにより、残存している閉気孔と未反応炭素をほぼゼロにすることに成功した。さらに、炭素化後にスラリーを塗布して2 段焼結すれば容易に接合することを見だし、それにより複合材の大型化を可能にした。</li> <li>・副次的な成果：2 段式反応焼結法を、高価な繊維ではなく、特異な形状の材料に適用することによって、軽量・多孔質のセラミック材料を低コストで作製できることを見だし、特許申請している。これらの材料は高効率な触媒担体や高温用フィルターとしての利用可能性がある。</li> <li>・論文・特許等：論文発表：2件。口頭発表：10件。特許：2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：繊維強化SiC複合材は高温強度に優れ、低放射化材料として期待されているが、繊維とマトリックスの界面制御にBNコーティングを用いると核融合炉条件では中性子照射による核変換で照射損傷及び放射化が起こり使用できない。本研究はこれを解決するために、開発した新技術の2 段式反応焼結法を適用し、BNコーティングをしないで繊維強化SiC複合材を作製する方法の確立を目的としており、その目標設定も定量的であり、妥当と考える。</li> <li>・研究計画設定の妥当性：目標とする繊維強化SiC複合材を得るために、マトリックスの組織制御、シリコンの溶浸条件等の材料製造条件を検討し、最適条件を見いだして後、接合・大型化のための検討を行い、材料特性値を評価する手法の計画は妥当と考える。</li> <li>・研究費用の妥当性：妥当と考える。</li> <li>・研究の進捗状況：2 段式反応焼結法の有効性を明らかにし、繊維にBN等のコーティングをすることなく緻密な繊維強化炭化ケイ素複合材を短期間に製造する方法を確立したことは優れた成果であるが、耐熱衝撃性等の一部特性の評価が未達である。</li> <li>・研究交流：国内外の大学および企業の研究者と研究交流、情報交換を実施している。</li> <li>・研究者の研究能力：繊維強化SiC複合材の2 段式反応焼結法は当該研究者らが発明した新しい製造プロセスで、研究者の研究能力は高いが、核融合炉用としての材料評価はこの分野の専門家との共同研究を推奨する。</li> </ul>
4. その他	<p>事前評価：B 中間評価：A</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・製造法の開発、材料評価、応用に関する研究成果をしっかりと論文にまとめて欲しい。</li> <li>・2 段式反応焼結法は、低コストで軽量多孔質材料の製造にも適用することが可能で、幅広い分野への応用が期待できる。</li> </ul>
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：阿部 勝憲	

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）：先端領域放射線標準の確立とそ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11年度～平成16年度（6年計画） 260,214千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	放射線発生法の発展や利用法の多様化に伴い、新しい計測手法の開発やより高精度の放射線標準の確立が掲げられていた。特に、目標の一つである数100eV領域放射光軟X線フルエンスの絶対測定法の開発は、この分野のこれからの発展を考えると非常に重要である。5-9 MeV領域の高速中性子標準の確立は原子炉材料の照射損傷量や放射能量の正確な評価には欠かせない。また、ラドン等の微量放射能標準の確立は、環境放射能問題を科学的に評価する作業に繋がり、地道ながら社会的意義が大きい。総合的に見て、やや総花的な感もあるが十分に意義のある目的・目標が掲げられていた。
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	<p>・ 軟X線標準の確立については、新工夫の極低温カロリメータ及び高精度の多段電極電離箱が開発され、信頼性の高い測定技術を実現させた。高速中性子標準については、5-9 MeV領域の準単色中性子発生装置（ビームライン）を整備し、精度のよい高速中性子校正システムを完成させた。放射能標準では、肺がんの発症リスク評価に貢献できるラドン等の微量放射性ガス濃度の高精度校正システムを完成させた。</p> <p>・ 高精度の放射光X線フルエンス標準が確立され、国際基幹比較が予定されている。また、軟X線計測技術開発に関連して測定された希ガスの吸収断面積データがNISTの評価データベースに取り入れられたことも特筆できる。</p> <p>・ 高速中性子標準に関連して、中性子・イオン照射Fe/Cr多層膜（GMR素子）の磁気抵抗変化特性から新しい高速中性子検出器（線量計）開発の見通しを得ている。副次的な成果であるが新しい展開が期待される。</p> <p>・ 軟X線標準、高速中性子標準の確立に関しては、相当数の論文発表がなされているが、放射能標準の確立については、研究従事者数を考えても発表論文数はやや少ない。特許取得数は少なく、もっと申請すべきと思われる。</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>・ 1. でも述べているが、原子力や加速器技術の進歩に伴う放射線の発生・利用の高度化、多様化に対応して適切な目的・目標が設定されていた。</p> <p>・ 研究員数は妥当で、概して予定通り研究開発が実施された。研究計画は妥当であった。</p> <p>・ 放射線標準、放射能標準の確立のための精密放射線発生装置や高精度検出器や新しい測定技術の開発費としては妥当な額であった。</p> <p>・ 軟X線標準、高速中性子標準、放射能（特に環境放射能）標準の確立に関して、必要な新工夫の検出器や関連する高精度測定技術の研究開発がほぼ順調に行なわれた。実験と理論計算との整合性もよい。</p> <p>・ 放射光施設を利用し、GMR素子開発では他機関との研究交流を実施した。放射線・放射能標準の確立の成果に関して、国際比較が予定されていた。</p> <p>・ 理論解析、実験技術、データ分析、装置システム設計等、得意分野を有する研究者が集まっていた。研究論文の発表状況から見ても本研究者グループの研究開発能力は十分であった。</p>
4. その他	中間評価：A
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：小柳義夫	

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）：核廃棄物関連金属配位性のヘテロ元素化合物の開発 （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12年度～平成16年度（5年計画） 40,126千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	超ウラン元素等の核反応生成物に関する分離・抽出プロセスをさらに効率化して、放射性廃棄物総量を抑える必要性が高まる中、現在、超ウラン元素の抽出分離や再処理により発生する高レベル廃液から超ウラン元素を分離するため、ホスフィンオキシド類や、イオン交換樹脂が用いられている。一方、次世代の抽出剤の候補として、各種の5価有機リン化合物や、各種のキレート剤についての検討が各国で開始されている。本研究は、種々の5価有機リン系、カルボニル系等の新規化合物を合成し、金属への配位挙動を明らかにすることにより、放射性廃棄物中の超ウラン元素の高効率な抽出に資することを目標とした。
2. 研究成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 当初予定の成果 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ TRU元素の抽出剤として、P=O, C=Oを含む化合物やC=S, C=Oを含む化合物を合成し、硝酸溶液中で希土類元素の抽出特性を検討した。その結果、特にリンの他に2個の窒素を環の中に含むホスホン酸アミド構造を有するキレート剤の中に、CMPOより優れた特性を示す抽出剤が見いだされた。また、アクチニドを用いてトレーサーレベルで抽出特性を検討し、<math>UO_2^{2+}</math>や<math>Pu^{4+}</math>について優れた結果を得た。</li> </ul> </li> <li>・ 特筆すべき成果 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 核分裂生成元素に対する抽出特性は低いが、アクチニドに優れた抽出特性を示す点は、高次プルトニウムやAm, Cmの分離に期待を持たせる。</li> </ul> </li> <li>・ 副次的な成果 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 9-オキソ-9-ホスファフルオレン類の蛍光挙動。</li> </ul> </li> <li>・ 論文、特許等 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 学術論文6報、特許4件の成果をあげており、期待に応える成果と評価する。</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 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新しい抽出剤の開発は重要なテーマである。1に示すように、目的目標の設定は妥当である。</li> </ul> </li> <li>・ 研究計画設定の妥当性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 抽出剤の合成と、抽出特性の評価を行っている。研究計画はおおむね妥当である。</li> </ul> </li> <li>・ 研究費用の妥当性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究目標を達成するため、おおむね適切な研究費用と判断する。</li> </ul> </li> <li>・ 研究の進捗状況 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 当初研究計画に基づいておおむね順調に推移したと評価する。</li> </ul> </li> <li>・ 研究交流 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日本原子力研究所先端基礎研究センター、同物質化学研究部と研究交流の実をあげた。</li> </ul> </li> <li>・ 研究者の研究能力 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 関連する有機合成における反応に精通しており、本研究を遂行する上で適任と評価できる。</li> </ul> </li> </ul>
4. その他	<p>事前評価：A      中間評価：B</p> <p>トレーサーレベルのアクチニドを用いるところまで研究が進んだが、実用の観点からの研究が次の課題として期待される。</p>
5. 総合評価	A
評価責任者氏名：澤田義博	



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）：放射化コンクリート構造物の環境負荷解体に関する研究 （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16年度（5年計画） 29,758千円		
項 目	要 約	
1. 当初の目的・目標	耐用年数に達する原子力発電施設の増加に伴い、その解体処分を効率的に行うことが求められている。特に、生体遮蔽構造物は放射能の漏洩防止のため、堅固なコンクリート構造設計となっていることから、従来の解体方法をそのまま適用できない。そこで、本研究では、この堅固な構造物の解体を効率的かつ安全に実施するために、発破による高エネルギーを利用した制御発破工法を開発し、人間への放射能暴露を最小限に抑えることを目的とする。また、生体遮蔽構造物は反応炉からの暴露状態により放射化の程度が異なる。このため、解体時および処分時の環境への負荷を最小限にするために、コンクリート構造物を放射化の程度に応じて分別解体する技術を開発することを目標とした。	
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>・コンクリート切断用成形爆薬の開発では、ライナー材金属より発生する金属ジェットの特性を明らかにし、コンクリート材料を切断できることを示した。また、環境低負荷解体技術では、成形爆薬の爆轟時に発生する衝撃振動の制御技術を確立した。</li> <li>・成形爆薬によるコンクリート構造物の解体手法を提示した。</li> <li>・歪速度が極めて大きい領域で、コンクリート材料の動的破壊特性に関する実験資料を得た。</li> <li>・論文8件、口頭発表15件、論文賞1件と、ほぼ満足すべき発表が成されている。</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・目標の設定がやや楽観的であった点是否めない。実用に向けて解決すべき課題も視野に入れて、目的・目標を設定することが望まれる。基礎的研究であれば、それなりのしぼり込みをすべきである。</li> <li>・コンクリート材料の動的破壊機構の解明、環境低負荷解体技術の開発の2本化した研究計画は、本研究を基礎資料を得るためのものであると捉えれば、概ね妥当な研究計画である。</li> <li>・本研究を遂行に必要な不可欠な最低限度の研究費用であり、妥当なものと判断される。</li> <li>・当初計画に基づいて進捗したと判断できる。</li> <li>・（財）原子力施設デコミッショニング研究協会や民間企業と適宜交流が図られている。</li> <li>・研究担当者は爆発研究、安全工学に関して長年の経験を有しており、本研究を遂行する上で適任と目される。成果の発表も相当な水準で行われている。</li> </ul>
4. その他	<p>事前評価：B      中間評価：B</p> <p>研究成果は評価できるものの、原子力関連施設への実用化には解決すべき課題も多いと思われる。</p>	
5. 総合評価	B	
評価責任者氏名：澤田義博		

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）：微視的数値解析手法による地層環境内の物質拡散現象予測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14年度～平成16年度（3年計画） 11,918千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	高レベル放射性廃棄物の地層処分システムの安全評価に必要な地層内の空間的不均一性等を考慮した地下水流動現象の解明と高精度の数値的予測技術の開発を目的とし、目標としては、(1)格子ボルツマン法(LBM)に基づき、地層内拡散流動の数値解析コードを開発する。(2)マイクロフォーカスX線CT(以下、 $\mu$ -XCT)計測によって計測した地層サンプルの内部構造データを数値解析における物体の境界条件に利用する。(3)多孔質内流れに関連して、摩擦抵抗、流量等に関する実験式の予測と比較して5%以内の計算精度を実現する。(4)毛管現象に関する実験結果や理論解と比較して5%以内の計算精度を実現する二相流体LBMの濡れ性モデルを開発する。
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常に基礎的ではあるが、地層内地下水の微小流動の3次元数値解析コードを開発するとともに、解析コードを用いて、砂岩を模擬した複雑多孔質体内部の流れ場をマイクロメートルオーダーの空間解像度で解明することに成功した。</li> <li>得られた成果の数値解析コードは、原子力分野ではなく、むしろ、土壤汚染物質の移動予測と制御、マイクロ流路を利用した化学物質分析デバイスの最適化設計等のための微視的流体数値解析などへの適用が期待される。</li> <li>空気-水のような高密度比二相流計算法を取り扱うことが可能なナビアーストックス・フェーズフィールド法の基盤技術に成功し、学術的新規性の高いが副次的成果が得られた。</li> <li>論文発表7件、奨励賞1件等、成果発表は十分にされている。しかし、目標とした地層処分分野での発表がなく、原子力分野への成果反映が望まれる。</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>高レベル放射性廃棄物地層処分環境内の物質拡散現象に、なぜ、高密度比二相流を取り扱う必要があるか明確でない。このような検討が地層処分に必要な課題とは何かを明確にする必要があった。</li> <li>地層処分での地下水流動の評価は岩盤割れ目内の流動が支配的である。本研究計画に設定した岩石内の微視的な物質拡散現象評価が地層処分との関連性に弱い。しかし、研究成果は非常に基礎的であり、原子力分野以外にも広く応用されるものである。学術的には非常に高い価値がある。</li> <li>総額1200万円と、比較的低額の予算で十分な成果が得られ、研究費用は妥当なものと判断される。</li> <li>微視的数値解析による物質拡散現象予測を目標とした研究は順調に進捗したと判断できる。</li> <li>地層処分の関係機関との研究交流実績が見られない。地層処分の安全評価の考え方について、関係機関と意見交換すべきであった。</li> <li>流体工学、計算科学の専門として、非常に高い能力を有していると判断される。</li> </ul>
4. その他	<p>事前評価：B</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>物質拡散現象予測手法の開発として、非常にレベルの高い成果が得られた。</li> <li>目標としていた地層処分への適用性は弱いと思われるが、副次的に得られた気液界面捕捉アルゴリズムは、低レベル放射性廃棄物処分施設において、廃棄体から発生するガスを難透水部（主にベントナイト材料から成る）に通気させる能力評価に応用されると期待される。</li> <li>原子力部門と関係が薄い分野への成果発表となっている。今後、原子力部門（特に処分部門）で評価されるような分野（例えば、原子力学会、地下水学会、地盤工学会等）への発表が期待される。</li> </ul>
5. 総合評価	A
評価責任者氏名： 澤田義博	

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）：照射済み核燃料等運搬船の耐衝突防護構造の安全評価手法に関する研究 （海上技術安全研究所）	
研究期間及び予算額：平成14年度～平成16年度（4年計画） 32,743千円	
項 目	要 約
1. 当初の目的・目標	本研究は、適用可能な手法と知見に基づき、社会通念としても無理なく受入れられる合理的で、新しい安全解析技術を提供することを目的としている。国土交通省による当該構造要件の見直しに際して、新しい解析技術を基礎とした安全基準の考え方を提供するものとして重要な意義を持つ。
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>衝突シナリオの検討、FEM解析手法の適用ガイドラインの作成およびこれに基づく安全性判定手法の提案など、概ね、当初予定通りの成果が得られている。</li> <li>特段の成果とまではいえないが、本手法は船舶沈没事故の原因解明、テロ対策法への応用などが期待される。</li> <li>FEM解析手法が当初の想定以上に有効であることが確認された。</li> <li>事故例のデータベースは公表されている。しかし、基準作成という課題の性格からとはいえ、成果の对外発表が全く行われていないのは物足りない。研究成果の透明性を確保するためにも、何らかの形で内容を公表し、外部の批判に晒すことが必要ではないか。</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>運搬船の耐衝突構造の新しい基準案を策定するという、国土交通省の要望により設定された課題に対して、当初想定成果を得ており、課題の目的・目標は妥当であった。</li> <li>研究計画の根幹であるFEM解析の導入に関して、部分実験と組み合わせてその適用性を証明し、基準案を作成したことから、計画の設定は妥当であったといえる。</li> <li>桁模型の圧潰実験、シミュレーション解析からなる内容から見て、ほぼ順当な予算規模であったと判断される。</li> <li>衝突シナリオ作成、要素試験を通じた既存プログラムの適用法の開発、安全判定基準の策定と手順を踏んで、3ヵ年で所期の目的を達成しており、研究は順調に進捗した。</li> <li>特に研究交流は行われていないが、電事連から協力を受けるとともに、本研究成果に基づき、新建造船関係者に助言を行っている。</li> <li>研究者は、船舶構造に豊富な知識を有しており、十分な研究遂行能力を有している。</li> </ul>
4. その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前評価：B</li> <li>本研究は行政支援のための研究であり、その役割を十分に果たしたものと評価できる。</li> </ul>
5. 総合評価	B
評価責任者氏名：澤田 義博	

## 原子力試験研究検討会委員名簿

(平成18年3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
(加減・評価WG主査)	あべ かつのり 阿部 勝憲	東北大学大学院工学研究科教授
(物質材料WG主査)	いしい たもつ 石井 保	三菱マテリアル(株)原子力顧問
	いのうえ ひろかず 井上 弘一	埼玉大学理学部教授
(知的基盤WG主査)	おやなぎ よしお 小柳 義夫	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
	きたむら まさはる 北村 正晴	東北大学未来科学技術共同研究センター副センター長
	こいずみ ひであき 小泉 英明	(株)日立製作所役員待遇フェロー
(防災安全WG主査)	さわだ よしひろ 澤田 義博	名古屋大学大学院工学研究科教授
(生体環境WG主査)	しま あきひろ 嶋 昭紘	(財)環境科学技術研究所長
	せきもと ひろし 関本 博	東京工業大学原子炉工学研究所教授
	たつみ こういち 巽 紘一	(財)放射線影響協会放射線疫学調査センター長
	みやけ ち え 三宅 千枝	元大阪大学工学部教授