

JAERI-Review

2005-016



JP0550139



放射線利用研究専門部会
総括評価結果報告書

2005年3月

研究評価委員会

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2005

編集兼発行 日本原子力研究所

放射線利用研究専門部会総括評価結果報告書

日本原子力研究所
研究評価委員会

(2005年3月3日受理)

研究評価委員会は、原子力二法人統合により設立される新法人での事業の開始に向け、中期計画作成の参考とするため、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、9名の外部専門家で構成される放射線利用研究専門部会を設置し、放射線利用研究に関して原研から新法人へ引き継がれると想定される事業について、総括評価を実施した。

放射線利用研究専門部会は、平成16年6月から平成16年8月にかけて、当該部門の評価活動を実施した。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会会合（平成16年7月29日開催）における被評価者の説明に基づき、研究評価委員会によって定められた評価項目、評価の視点、評価の基準に従って行われた。

同専門部会が取りまとめた評価結果報告書は、平成16年12月1日に行われた研究評価委員会会合に提出され、審議された。審議の結果、研究評価委員会は、この評価結果を妥当と判断した。本報告書は、その評価結果である。

Report of the Summative Evaluation by the Advisory Committee
on Research for Radiation Applications

Research Evaluation Committee

Japan Atomic Energy Research Institute
Suehiro-cho, Kashiwa-shi, Chiba-ken

(Received March 3, 2005)

The Research Evaluation Committee of the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) set up an Advisory Committee on Research for Radiation Applications in accordance with the "Fundamental Guideline for the Evaluation of Research and Development (R&D) at JAERI" and its subsidiary regulations. The Advisory Committee on Research for Radiation Applications evaluated the adequacy of the plans of research for radiation applications to be succeeded from JAERI to a new research institute which will be established by integration of JAERI and the Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC).

The Advisory Committee consisted of nine specialists from outside the JAERI conducted its activities from June 2004 to August 2004. The evaluation was performed on the basis of the materials submitted in advance and of the oral presentations made at the Advisory Committee meeting which was held on July 29, 2004, in line with the items, viewpoints, and criteria for the evaluation specified by the Research Evaluation Committee.

The result of the evaluation by the Advisory Committee was submitted to the Research Evaluation Committee, and was judged to be appropriate at its meeting held on December 1, 2004.

This report describes the result of the evaluation by the Advisory Committee on Research for Radiation Applications.

Keywords: Research Evaluation Committee, Advisory Committee, Evaluation of Research and Development, Summative Evaluation, Research for Radiation Applications

目 次

評価の経緯について

平成16年度研究評価委員会委員

はじめに	1
総合所見	2
1. 総括評価の目的	3
2. 評価の方法	3
2.1 放射線利用研究専門部会の構成	3
2.2 評価対象分野	3
2.3 評価対象期間	3
2.4 評価の視点	4
2.5 評価のプロセス	4
3. 評価対象内容	5
3.1 放射線利用研究における研究開発等の計画	5
3.2 放射線利用研究	5
3.3 放射線源・ビーム技術開発	10
4. 評価結果	13
4.1 放射線利用研究における研究開発等の計画	13
4.2 放射線利用研究	15
4.3 放射線源・ビーム技術開発	18
おわりに	20
参考:専門部会からの計画内容修正提言	37

Contents

Evaluation Process

FY2004 Evaluation Committee Member List

Introduction	1
Executive Summary	2
1. Purpose of Summative Evaluation	3
2. Evaluation Method	3
2.1 Organization of the Advisory Committee	3
2.2 Target of Evaluation	3
2.3 Target Term	3
2.4 Evaluation Items	4
2.5 Evaluation Process	4
3. Materials for Evaluation	5
3.1 Research Plan for Radiation Applications	5
3.2 Research for Radiation Applications	5
3.3 Development of Radiation Source and Beam Technology	10
4. Results of Evaluation	13
4.1 Research Plan for Radiation Applications	13
4.2 Research for Radiation Applications	15
4.3 Development of Radiation Source and Beam Technology	18
Concluding Remarks	20
Reference: Suggestions by the Advisory Committee to the Proposed Plan	37

評価の経緯について

研究評価委員会事務局
(企画室 研究評価推進室)

研究評価委員会（委員長：西澤潤一 岩手県立大学長）は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」（平成10年4月策定）及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」（平成10年4月策定、平成11年4月改正）に基づき、放射線利用研究に関する原研から新法人へ引き継がれると想定される事業について総括評価を実施するために、「放射線利用研究専門部会」を平成16年6月に設置した。

放射線利用研究専門部会（部会長：田川精一 大阪大学産業科学研究所副所長・教授）は、9名の外部専門家で構成され、平成16年7月29日に専門部会会合を開催した。同専門部会は、研究評価委員会によって定められた方法に従って評価を実施し、評価結果を研究評価委員会に提出した。

研究評価委員会は、平成16年12月1日に第13回研究評価委員会を開催し、放射線利用研究専門部会長から「放射線利用研究専門部会総括評価結果報告書」の説明を受け、審議を行った。その結果、研究評価委員会は、同専門部会の評価結果が妥当なものと判断し、研究評価委員会委員長は、同報告書を平成17年2月7日付けで日本原子力研究所理事長に答申した。

平成 16 年度研究評価委員会委員

委 員 長	西澤 潤一	岩手県立大学長
委員長代理	秋山 守	(財)エネルギー総合工学研究所理事長
委 員	秋元 勇巳	三菱マテリアル(株)名誉顧問
	菊田 惇志	(財)高輝度光科学研究センター参与
	草間 朋子	大分県立看護科学大学学長
	小林 敏雄	(財)日本自動車研究所長
	齋藤 鐵哉	物質・材料研究機構監事
	白木 良一	電気事業連合会原子力開発対策委員会委員長
	代谷 誠治	京都大学原子炉実験所長
	田川 精一	大阪大学産業科学研究所教授
	田中 知	東京大学大学院工学系研究科教授
	本島 修	自然科学研究機構核融合科学研究所長
	山崎 敏光	東京大学名誉教授

(委員については五十音順)

はじめに

研究評価委員会は、日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構を統合して新たに設立される法人（以下「新法人」という。）での事業の開始に向け、中期計画作成の参考とするため、「原子力二法人の統合に関する報告書」で述べられている「新法人の業務とその推進の方向」及び新法人設立に係る現法人による準備検討を踏まえ、原研から新法人へ引き継がれると想定される事業について、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、新法人での最初の中期計画期間と想定される平成17年度から平成21年度の5年間で実施が想定される計画について、これまでの日本原子力研究所（原研）の研究開発の成果を踏まえて総括的にその計画を評価することとし、そのため原研の事業を6部門（基礎・基盤研究、原子力エネルギー研究開発、安全研究、放射線利用研究、核融合研究開発、研究支援・連携活動等）に区分して、各専門部会を設置し、その計画の評価を実施した。

本評価結果報告書は、そのうち放射線利用研究に関する評価結果である。本評価は、研究評価委員会の定めた研究評価実施要領に従って、平成16年6月から8月にかけて評価を実施し、専門部会会合は平成16年7月29日（木）に開催した。

本評価では、日本原子力研究所が実施して来た放射線利用研究のうち、新法人へ引き継ぐ以下の分野を評価対象とした。

評価対象分野1：放射線利用研究

評価対象分野2：放射線源・ビーム技術開発

評価に当たっては、本部門としての計画の妥当性を評価するとともに、各研究開発分野の目的・意義、設定目標、研究開発等の進め方の妥当性について評価・検討した。

評価の具体的な進め方としては、まず、研究開発担当部署から提出された事前評価用資料に基づき、各委員から第一次の評価所見・質問を求めて、これを集約した。次いで、専門部会会合を開催し、被評価部門から評価用資料の説明及び一次評価で委員から出された質問に対する補足資料を用いた回答がなされ、これに対する質疑応答が行われた。その際、各委員から出されていた質問に対する詳細な回答書が別にあらかじめ用意された。その後に各委員から最終的な評価コメント及び5段階評価点を得て、これを評価結果として集約した。また、多様な意見は相互に矛盾するがあつてもできるだけそのまま収録することとして、報告書案を取りまとめた。さらに、委員全員の報告書案のレビューを踏まえて、本報告書を完成させた。

本専門部会による事前評価の結果が、今後の新法人での研究開発の活動に役立てられ、日本唯一の原子力研究開発機関での新たな放射線利用研究に寄与することを願うものである。

本専門部会の委員各位には、限られた研究評価期間の中で熱意溢れる御協力を賜ったことに対し、ここに深甚なる謝意を表する。

平成16年10月
放射線利用研究専門部会
部会長 田川 精一

総合所見

21世紀においては、様々な分野への放射線の利用技術の展開により、より高度な先端技術の創出が期待できる。それゆえに、非常に広い分野での放射線利用研究を推進することを基本方針とし、放射線利用の世界の中核的研究拠点を目指す国家的プロジェクトとして推進する本計画は高く評価できる。放射線利用研究では、加速器あるいは研究用原子炉といった大型施設が必須であるが、そのような大型研究施設は、国策を反映しうる適切な国内の研究組織が所有し、基礎・基盤研究から産業応用への研究機会を保持し、我が国の国際競争力を維持することが肝要である。この意味で、原研が大型加速器や研究用原子炉を開発・建設し、我が国の広範な研究者に研究機会を提供してきたことは、高く評価され、新法人においても最重要事項として位置づけられるべきである。

総合科学技術会議による国「科学技術基本計画のポイント」中の「重要政策」には、「基礎研究の推進」が明記されていることから、本計画においてもこれを反映した内容が含まれることが必要である。また、中期計画の作成に際しては「前文」において、国「科学技術基本計画」から説き起こし、「原子力二法人の統合に関する報告書」の内容、特に「原子力の基礎・基盤研究等」の重点4項目のうちの「放射線利用研究」を引用・指摘することが必須である。

「放射線利用研究」で示された、放射線の利用に基づいた、機能性材料の創製、先進医療技術の開発、環境保全技術の開発は、21世紀における国民の福祉の向上に大きく貢献することが期待でき、本計画の目的・意義は高く評価できるものである。設定されている「社会的・経済的ニーズに対応した研究開発を強力に推進するとともに、基礎研究の発展に積極的に貢献する」という目的は妥当である。ただ、放射線は、国民一般にはなかなか受け入れ難い面もあるため、その利用については従来以上に積極的にその利点と成果を説明していく必要がある。そのためにも、放射線利用ならではの特徴のある成果を開拓し、アピールする努力を期待したい。

「放射線源・ビーム技術開発」で示された、中性子、荷電粒子、光量子、放射光など先進的な放射線源とビーム技術の高度化は新法人の使命であり意義は大きい。先進的な放射線源と、関連するビーム技術の高度化は、新法人以外の研究所や大学と協力して、是非今後も積極的に進めていただきたい。このように、計画の目的・意義は概ね妥当であるが、ビーム利用は非常に多様性に富み様々な成果が期待できるので、計画が中性子科学に重点をあまりにも置きすぎ、世界的に高い評価を受けている実績のある他のビーム技術開発が疎かにならないようにすべきである。

新法人における放射線利用研究の新たな展開に際して、予算獲得面で配慮すべき点は、外部資金の有効活用であろう。今後、国の科学研究予算、とりわけ原子力研究開発予算の状況に鑑み、外部資金（競争的資金）の活用は重要であるといえる。新法人の中期計画策定時には、この点を十分に配慮されたい。

1. 総括評価の目的

新法人での事業の開始に向け、中期計画作成の参考とするため、「原子力二法人の統合に関する報告書」で述べられている「新法人の業務とその推進の方向」及び新法人設立に係る現法人による準備検討を踏まえ、原研から新法人へ引き継がれると想定される事業のうち、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づいて、「放射線利用研究専門部会」を設置して、新法人において日本原子力研究所が引き継ぐと想定される研究開発に必要な「放射線利用研究」関連の活動で平成17年度から平成21年度実施すると想定される事業について評価する。

2. 評価の方法

2.1 放射線利用研究専門部会の構成

専門部会長 田川 精一 大阪大学産業科学研究所副所長・教授
 評価委員

専門委員 石井 慶造 東北大学大学院工学研究科教授

〃 倉内 紀雄 (株) 豊田中央研究所顧問

〃 小林 直人 産業技術総合研究所理事・評価部長

〃 坂田 誠 名古屋大学大学院工学研究科教授

〃 土屋 裕 浜松ホトニクス(株)理事兼中央研究所所長代理

〃 簿野 嘉彦 東京工業大学名誉教授

〃 三間 圭興 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター教授

〃 吉沢 英樹 東京大学物性研究所附属中性子科学研究施設設施設長・教授

2.2 評価対象分野

放射線利用研究専門部会の評価対象分野は以下の通りである。

評価対象分野1 : 放射線利用研究

評価対象分野2 : 放射線源・ビーム技術開発

2.3 評価対象期間

平成17年度から平成21年度までの5年間を評価対象期間とする。

2.4 評価の視点

評価の視点は、以下のとおりとする。

- (a) 目的・意義の妥当性
- (b) 設定目標の妥当性
- (c) 研究開発等の進め方の妥当性
- (d) その他の所見

2.5 評価のプロセス

1次評価及び2次評価の2段階で評価を実施する。1次評価では、評価用資料に基づき、上記「2.4 評価の視点」に示す4項目について評価を行うとともに、質問事項があれば、これを示す。2次評価では、専門部会での説明及び質疑応答を踏まえ、最終評価を行うとともに、5段階評価（5：優れている、4：やや優れている、3：普通、2：やや劣っている、1：劣っている）を行う。

3. 評価対象内容

3.1 放射線利用研究における研究開発等の計画(図 1.1、「別添」参照、以下同じ)

研究炉、加速器、レーザー、SPring-8 等の先端研究施設から生み出される中性子、イオンビーム、電子線、ガンマ線、光量子、放射光等の各種放射線の持つ探索子としての「観る」機能と作用子としての「創る」機能を最大限に活用し、物質・材料科学、生命科学・バイオ技術、環境保全技術等の研究開発分野における他の手法では達成困難な高度な放射線利用技術の研究開発等を着実に進める。

これらの放射線利用研究の推進により、原子力利用の新たな領域を開拓し、先端的科学技術分野の発展に貢献するとともに、工業、農業、医療、環境等の幅広い分野における高度な放射線利用技術の開発とその成果の応用展開・技術移転等を通じ、新産業の創出等の産業活動の促進、医療の高度化や環境保全への貢献を図る。

上記の研究開発を推進するため、世界最先端の中性子源等の放射線源及び利用施設整備を始め、関連する装置開発、ビーム技術開発等の研究基盤の開発整備を進める。

最先端の放射線源ならびに放射性同位体 (RI) 施設等を最大限にかつ有機的に利用できる世界でも数少ない研究開発機関として、先端的な研究開発を所内外の密接な連携の下に推進し、放射線利用研究における中核的研究拠点として、我が国の科学技術の発展と新たな産業創出の中心的な役割を果たすとともに、国際的な中核研究拠点の役割を担う。

3.2 放射線利用研究

3.2.1 実績

研究炉、イオン照射研究施設 (TIARA)、タンデム加速器、電子線照射施設、ガンマ線照射施設及び RI 施設、レーザー施設、大型放射光施設を用い、物質・材料科学、生命科学・バイオ技術、環境保全技術等の研究開発で、科学技術の発展や産業活動の促進に貢献した。

平成 11 年度以来、学術論文 1319 報、特許出願 247 件、プレス発表 22 件の成果を収めた。これらの成果を基に、特許 17 件を民間企業 6 社に技術移転し実用化とともに、原研ベンチャー支援制度に基づき設立された 4 社のベンチャー企業を含め、新産業の創出を目指した産業界との連携を強化した。各分野での主要な成果は以下のとおり。

(1) 物質・材料科学分野

中性子利用研究では、研究炉からの中性子を利用して、結晶格子振動エネルギーや原子振動振幅の測定による超イオン伝導の前駆現象を解析し、その機構を明らかにした。また、メタンハイドレート中のメタン分子の運動エネルギーを測定することに成功し、水分子で出来た籠に内包されるメタン分子の回転運動の様子を明らかにした。中性子回折による産業用材料の非破壊的残留応力解析法を確立し、我が国における中性子の産業利用を先導した。

イオンビーム、電子線、ガンマ線等の荷電粒子や RI を利用した研究（荷電粒子・RI 利用研究）では、機能材料の研究開発として、放射線橋かけとグラフト技術を用いた高

性能燃料電池用高分子電解質膜の開発に成功し(図 2.1.1)、将来の水素社会の実現に向けて放射線利用技術が大きく貢献できる可能性を示した。また、放射線グラフト重合法で合成した有用金属捕集材を用いて、世界で初めて海水から 1kg のウランを回収し(図 2.1.2)、日本国内でウラン資源を確保できる可能性を示した。炭化ケイ素半導体で世界最高のチャンネル移動度を持つ電界効果トランジスタの試作に成功するとともに、TIARA における宇宙線模擬実験を通し、宇宙用太陽電池・集積回路の寿命予測技術を確立し(図 2.1.3)、国の宇宙開発事業の推進に貢献した。高輝度陽電子ビーム技術の開発により、世界で初めて反射高速陽電子回折パターンの観測に成功し、陽電子ビームによる最表面物性研究への途を拓いた。

光量子・放射光利用研究では、X 線レーザーを用いて、超高速・省電力のナノデバイス材料として注目されている強誘電体であるチタン酸バリウム表面の微小分極構造の動的挙動をピコ秒の時間分解で初めて観察した(図 2.1.4)。また、セシウム原子の近接励起準位を 10^3 の高い比率で選択励起できることを実証し、短パルスレーザーの波形制御を用いた量子制御による高効率同位体分離技術の途を拓いた。SPring-8 に設置した X 線非弾性散乱装置を用いて、強相関電子系物質のペロブスカイト Mn 酸化物における軌道励起を観測した(図 2.1.5)。さらに、高圧下において単元素の液体リンが圧力によって急激な構造変化を起こすことを発見した(図 2.1.6)。放射光を用いて、自己修復可能な自動車排ガス浄化触媒メカニズムを解明し(図 2.1.7)、性能劣化のない次世代の自動車用触媒の開発に貢献した。再処理・群分離技術への応用のため、新しい高性能抽出剤であるテトラオクチル-3-オキサペンタン-1, 5-ジアミドの性能や抽出機構を、放射光を用いた金属錯体の構造解析を通して明らかにした。

(2) 生命科学・バイオ技術分野

中性子利用研究では、世界に先駆けて高効率中性子イメージング検出器や生体物質大型単結晶育成に成功し、世界最高性能の生体物質結晶構造解析装置を完成させた。これを用いて、中性子による B 型 DNA やミオグロビンの水素・水和構造の決定に成功するとともに、ミオグロビンと周囲の水分子の結合形態に 4 つのパターンがあることを突き止めて新薬候補物質の探索に役立つ結合強度や電場分布に関する情報を得た。(図 2.1.8) さらに、中性子小角散乱法により筋収縮制御で重要な役割を果たす細い筋肉フィラメント上のトロポニン C や平滑筋ミオシンの構造変化を初めて観測した。

荷電粒子・RI 利用研究では、イオンビームを用いた突然変異誘発により新品種のカーネーション等を作出し、イオンビーム育種という新学問分野を確立するとともに、イオンビーム植物育種技術の優れた特長と実用性を実証した(図 2.1.9)。また、イネ等での耐病性品種の育成に成功するとともに、紫外線耐性に関わる新規遺伝子の単離に成功した。生きた細胞を重イオンマイクロビームで狙い撃ちするシングルイオンヒット照射技術を開発し、イオン 1 個で正常な細胞分裂が阻害されることを見出した。ポジトロン放出核種を用いた植物のイメージング法を確立し、生きた植物内の物質移行を画像化することに成功し、有用な植物の選別に役立つことを示した(図 2.1.10)。先進のがん診断・治療用 Re-186 等の製造・標識研究を進め、Re-186 標識抗体が、がん治療に有効であることを実験的に明らかにし(図 2.1.11)、医療技術への応用に貢献した。

光量子・放射光利用研究では、放射線によるDNA損傷機構解明のため、DNA塩基の一つであるグアニンの軟X線照射中のその場観察を常磁性共鳴装置を用いて行い、生成する短寿命ラジカルを初めて観測した(図2.1.12)。また、レーザープラズマからの高輝度X線を利用した密着型X線顕微法を開発し、磁性バクテリアを観察した(図2.1.13)。粒子線によるがん治療技術の高度化のためのレーザー駆動イオン発生研究において、広範囲なパラメータでの粒子発生解析やファントムへの粒子照射における線量分布計算が可能な超並列計算(720 CPU)環境の構築を行い、イオン加速機構や発生粒子の高エネルギー化などの条件を明らかにした。

(3) 環境保全技術分野

環境浄化技術では、電子線によるごみ燃焼排煙中のダイオキシン分解試験により90%以上の分解率を実証(図2.1.14)するとともに、放射線グラフト重合を用いた有害重金属除去材料の開発に成功した。環境にやさしい新材料の開発では、これまで不可能と思われていた天然高分子材料の放射線橋かけによる生分解性ハイドロゲルの創製に成功し、これを用いた床ずれ防止マット、保冷材等を実用化するとともに、生分解性熱収縮チューブの開発に成功した(図2.1.15)。また、RI中性子源を用いた土壤中の水分・油分同時計測法の基本的技術を確立した。

3.2.2 今後の計画

3.2.2.1 背景・目的・意義

放射線利用技術は、国が進めるナノテクノロジー・材料、環境、生命科学、情報通信、エネルギー、製造技術、等の科学技術重点分野において、その進展に必要不可欠な新材料の創製、新観測・測定技術開発等の有力な手段であることに鑑み、放射線利用研究の中核的研究機関として、世界レベルの先端的な各種放射線源を最大限に活用し、社会的・経済的ニーズに対応した研究開発を強力に推進するとともに、基礎研究の発展に積極的に貢献する。

物質・材料科学分野では、個々の放射線の特長を生かした放射線源の相補的な利用を進めることにより、物質・材料の構造、機能、反応、及び制御に係わる研究を進め、材料物性や機能の発現機構の解明と新たな物性・機能を持つ物質・材料の創製を行うとともに、耐放射線性評価技術等の原子力材料に係る基盤技術の開発を行い、産業利用を図る。生命科学・バイオ技術分野では、タンパク質の構造と機能の研究並びに放射線の生物への照射効果・影響等に関する研究、生体機能解明並びにRIの医療利用研究等を進めることにより、創薬、植物資源の創成、先進的医療等への貢献を目指す。環境保全技術の分野では、環境汚染物質の測定技術及び有害物質除去技術等の開発を行い、環境浄化や自然環境保護に貢献する。これら研究開発の成果については、産業界等への早期の技術移転を図り、我が国の持続的発展と国民の福祉の向上に向けて、産業創出、医療技術の高度化及び環境保全に貢献する。

3.2.2.2 設定目標

(1) 物質・材料科学分野

エネルギー関連材料では、自動車用燃料電池の実用化を目指し、電子線とイオンビームを用いて、水素透過が従来膜の1/10の高プロトン伝導性高分子電解質膜を開発し、110°Cで500時間以上の耐久性試験などの実証試験を行って、技術移転、実用化を図るとともに、このプロトン伝導機構を中性子を用いて解明し、さらなる高性能化を目指す。また、中性子を用いたメタンハイドレートなどのガス包摂水化物の包摂機構（図2.2.1）の解明を行う。原子力エネルギー材料の研究では、放射光を用いたX線吸収分光法、回折法により、アクチノイドの抽出・分離材やX線励起による触媒機能発現物質の分子・結晶構造、電子状態、機能の関連等を解明する。応力腐食割れの機構解明と対策の確立を目指し、放射光X線や中性子を用いて、表面から内部に至る3次元応力分布測定法やレーザー非熱蒸発加工による残留応力除去技術を開発する（図2.2.2）とともに、原子炉解体時の2次汚染の低減に繋がるレーザーを用いた非熱切断技術を開発する。荷電粒子を用いた高分子材料の耐放射線性評価技術の開発、レーザーを用いた放射性ヨウ素などの同位体分離の実証など、原子力エネルギー開発に資する研究開発を推進する。

電子デバイス関連材料では、放射線照射による劣化評価結果に基づき、半導体素子の材質や構造から放射線劣化が予測できるモデルを完成するとともに、10MGyでも作動可能なSiCトランジスタを開発する（図2.2.3）。また、中性子による核変換を利用した半導体ナノ同位体材料、水素終端処理したシリコン基盤上のナノ薄膜、環境保全材料としてのFe-Si半導体等の創製技術と中性子によるナノ構造解析手法を開発する。次世代の高速・省電力磁気記録材料、オプトエレクトロニクス材料の開発を目指し、X線レーザーと放射光を活用した強誘電体の極微細構造とその機能、ナノ構造化された金属、半導体、酸化物の特異な物性・機能の発現機構を解明するとともに、クラスターイオンビームを用いた照射時の物質中の電子的エネルギー伝達・緩和過程の解明を行う。レーザーを用いたシリコンの同位体濃縮及び医療分野で需要の見込まれる炭素、酸素同位体濃縮技術の開発を行う（図2.2.4）。

産業応用を目指した新機能性材料の開発では、高温強腐食性環境等で用いるフィルタ材として、電子線不融化技術を用いたSiCマイクロチューブ及び水素分離能を持つSiC薄膜等を開発するとともに、イオンビーム等を用いたSiC薄膜等の表面への各種機能性素材形成技術の開発を行う（図2.2.5）。また、電子・ガンマ線による放射線橋かけとグラフト技術を用い、水中有害・有用金属捕集材の金属吸着選択機能を向上する。先進的な中性子ラジオグラフィー、中性子即発ガンマ線分析技術を開発して、工業材料や農水産物のイメージング解析、微量元素分析への応用を行うとともに、材料内部残留応力解析、材料構造解析等の産業利用促進を図るための中性子回折技術及び解析法を開発する。

物質科学関連では、Spring-8を用いたX線散乱、磁気円二色性測定により、 спин、軌道、電子状態を解明し（図2.2.6）、ウラン化合物や強相関電子系物質の磁性と超伝導の共存状態、超伝導発現に繋がる電子・格子相互作用を解明するとともに、任意の方向に偏極させた中性子を利用して材料の磁気構造やスピニ格子相互作用を解析する実験手法を開発する。ソフトマテリアルでは、基幹物質である水の広い温度、圧力領域での分子構造、イオン化構造を放射光を用いて決定し、水素結合と化学反応性を解明する。

上記研究開発を効率的に実施するため、材料創製等に対する指針を与えるための第一

原理計算等の非経験的な手法を用いた有機・無機材料等の構造、機能、反応に係わる理論的・工学的解析、高強度レーザーによる高エネルギー粒子やX線の効率的発生のためのシミュレーションによる予測研究等を行う。

(2) 生命科学・バイオ技術分野

生命科学分野では、生体高分子試料調整や単結晶育成技術開発を強化し、疾病に関する生体高分子や化学反応の触媒となる酵素等の、創薬や産業に波及効果の高い生体物質についての中性子構造解析を行うとともに、アミロイド纖維形成機構など異常タンパク質の凝集機構を解明するための中性子纖維回折法を開発する。また、計算機シミュレーションと中性子非弾性散乱実験による生体の運動と機能を解明する手法を開発する(図2.2.7)。

バイオ技術分野では、 $1\mu\text{m}$ に集束した重イオンマイクロビーム照射技術を確立して細胞へのイオン照射効果の解明を進め、放射線抵抗性細菌等を用いた有用物質生産系を開発する(図2.2.8)。イオンビーム育種技術を用いて新花卉などの実用品種を作出するとともに、紫外線耐性遺伝子等の有用遺伝子資源を開発し、環境耐性・浄化作物などの新品種を作出する。(図2.2.9)。ポジトロンイメージング技術により植物の養分・環境汚染物等の輸送機構を解明し、安全な食糧の生産及び植物による環境浄化技術を開発する(図2.2.10)。

医療分野のニーズに合ったがん治療用小型加速器実現に貢献するため、医療機関などと連携して、Tキュークレーザーの金属薄膜ターゲットへの照射による陽子発生研究を行い、数10MeV級までの高エネルギー化やエネルギースペクトルの準単色化を目指した開発を行う(図2.2.11)。また、粒子線とX線の生体影響の比較を行う。「水の窓」波長域(2~4nm)のレーザープラズマX線源を利用して、マクロファージの細胞機能(食機能)の発現の観察など、100nm以下の分解能で生きたままの細胞等の瞬時観察を可能とするX線顕微鏡を開発する(図2.2.12)。がん治療用無担体Re-188等の製造技術を確立し、がんに特異的に集積する標識化合物を開発するとともに、診断・治療に適した微小線源としてフラーレンなどへの各種RI注入技術を確立する(図2.2.13)。一本の光ファイバで診断と治療が可能となるレーザーを用いた複合型光ファイバ装置を产学研連携して開発する。

(3) 環境保全技術分野

電子線を用いて、有機性大気汚染物の初期濃度の90%以上を捕集・無害化するシステム、及び排水中環境ホルモンを濃度10ng/L以下に低減・不活性化する技術を開発する(図2.2.14)。放射線橋かけ技術を用い、汎用ポリマーとして使用可能な生分解性プラスチック材料を創製する。中性子多重即発ガンマ線分析による、米等の食品中のカドミウムや土壤中の重金属等の環境有害物質に関する極微量元素測定技術、及びRIを用いた土壤中汚染物質測定技術(図2.2.15)を確立し、実用化を図る。

3.2.2.3 研究開発等の進め方

これまでに培ってきた放射線物理学、放射線化学、放射線生物学等に関する学術的基盤、中性子利用技術、放射線照射技術、RI取扱い技術、先進的レーザー技術、放射光利

用技術、計算技術等の最先端の利用技術、関連分野の幅広い研究人材、ならびに JRR-3、JRR-4、TIARA、タンデム加速器、電子線・ガンマ線照射施設、RI 施設、レーザー、SPring-8 等の先端的施設を最大限に活用し、先進的な放射線利用技術の研究開発を推進する。大強度陽子加速器施設（J-PARC）の運転開始後は、JRR-3 と J-PARC の双方の特徴を活かした中性子利用研究を効率的に進める。（図 2.2.16）放射線利用部門はもとより、原子力エネルギー研究開発部門や基礎・基盤研究部門などの所内関連部門との総合的原子力研究開発機関の特長を生かした連携により、研究開発を効果的に進める。また、国内の大学、研究機関、産業界との研究協力、人的交流などの連携を進めるとともに、研究成果の普及とその活用の促進に積極的に取り組む。さらに、産業界のニーズを適切に反映した技術移転の促進に努める。また、放射線利用研究の国際的中核拠点として、欧米を始めとする世界各国との国際協力を進める。

3.3 放射線源・ビーム技術開発

3.3.1 実績

中性子利用施設の技術開発では、世界最大級のパルス核破碎中性子源を実現する J-PARC 計画（図 3.1.1）を平成 13 年度から順調に進めている。（図 3.1.2）加速器建設に関しては、世界最高輝度の負イオン源（図 3.1.3）、高周波四重極加速器、ドリフトチューブリニアック（図 3.1.4）及び 3GeV シンクロトロン用セラミックダクトの開発等、確実に成果を上げた。また、核破碎中性子源用水銀ターゲットの圧力波に起因する損傷機構を解明した。これらの成果により、世界最大強度レベル（1 MW）の陽子ビームで駆動する核破碎中性子源施設の建設のための要素技術が確立した。また、高分解能 2 次元位置敏感中性子検出器の基礎技術及び世界最高性能のスーパーミラーの製造技術を開発し、研究炉（JRR-3）熱中性子導管への適用により中性子強度の約 6 倍の増強を達成するとともに、これらを基に J-PARC に設置する中性子実験装置の設計を行った。また、熱中性子から熱外中性子の範囲で中性子ビームのエネルギーを任意に制御できる照射設備を JRR-4 に開発整備するとともに BNCT（ホウ素中性子捕捉療法）線量評価システム（JCDS）を開発し、悪性脳腫瘍等に対する BNCT 研究に貢献した。（図 3.1.5）

荷電粒子・RI 利用のためのビーム技術開発では、大気中で微量元素の 2 次元濃度分布を測定できる大気マイクロ PIXE 分析技術を開発し、 $1 \mu\text{m}$ の空間分解能で生物細胞内の元素分布の測定に世界で初めて成功するなど（図 3.1.6）、生命科学・医学をはじめとした幅広い分野の研究の発展に貢献した。また、サイクロトロンにおいて、短時間で加速イオン種とエネルギーを切り替えられるカクテルビーム加速技術を開発し、宇宙用半導体素子のシングルイベント耐性評価等に貢献した。

光量子・放射光利用のための光量子源、ビーム技術開発では、小型で高ピーク出力光を発生する T キューブレーザーの開発で世界最高ピーク出力 850TW を達成した（図 3.1.7）。このレーザーを用いて、コンパクト電子加速技術や高エネルギーイオン発生技術の研究開発を進め、世界最高の 300MeV 電子加速や MeV 級の陽子ビームの発生を実証した。また、光源の高出力化、小型化に重要なレーザー結晶の原子層レベルでの接合技術を開発し、技術移転による製品化に結び付けた。X 線レーザーでは、過渡励起方式に

より世界最短波長 8.8nm での発振や波長 13.9nm での完全コヒーレント化を世界で初めて実現した（図 3.1.8）。超伝導リニアック自由電子レーザーでは、世界で初めて本格的な発振に成功し、世界最高出力(2.3kW)を達成するとともに、超伝導加速器部での完全エネルギー回収技術を開発し、産業・医療分野で利用可能な高効率、高出力レーザー源の可能性を実証した（図 3.1.9）。また、世界最高性能の放射光研究施設として大型放射光施設 SPring-8 を理化学研究所と協力して建設・整備し（図 3.1.10）、科学技術・学術審議会より高く評価された。

平成 11 年度以来、学術論文 590 報、特許出願 131 件、プレス発表 22 件の成果を収めた。

3.3.2 今後の計画

3.3.2.1 背景・目的・意義

放射線利用研究を強力に推進し、さらなる展開を図るため、中性子、荷電粒子・RI、光量子・放射光などの先進的な放射線源と関連するビーム技術の高度化を進める。

中性子利用施設の整備では、平成 12 年 8 月の原子力委員会と学術審議会合同の大強度陽子加速器施設評価専門部会の評価に従い、高エネルギー加速器研究機構（KEK）と共同して、J-PARC を建設することにより、東海研究所に中性子科学研究の基盤を確立する。これにより、既設の研究炉とともに中性子科学における国内外の研究拠点として、物質・生命科学及び産業利用の革新的な発展を図る。また、加速器駆動核変換による高レベル放射性廃棄物管理の高度化に向けた研究開発を推進するために、核変換実験施設の建設を目指す。中性子装置開発では、研究炉の冷中性子ビームの性能向上並びに中性子実験装置の高度化を行う。また、先進的なイオンビーム利用研究のため、ナノビーム化などのビーム・加速器技術の開発を行うとともに、放射線利用の産業界への拡大を目指して、超高輝度、極短パルス、高コヒーレント等の特徴を有する先進的レーザーを用いた小型陽子線加速器等の高性能放射線源の開発を進める。

3.3.2.2 設定目標

中性子利用技術開発では、平成 19 年度末までに、J-PARC 第 I 期分の建家、加速器、物質・生命科学実験施設の建設及び安全管理システムの構築を着実に進め、放射線等安全に係わる国の許認可を取得し、ビーム調整試験を経て施設を完成させる（図 3.2.1）。平成 20 年度に J-PARC 施設の供用を開始するとともに、高出力陽子ビーム制御及び安定化技術の開発を進め、平成 21 年度末までに 100 kW の陽子ビーム出力を達成する。さらに、陽子ビーム出力を 1 MW まで向上させるため、リニアックの出射エネルギーの 200MeV から 400MeV への増強に平成 20 年度に着手する。J-PARC 中性子ビームの性能向上のための中性子線源等の高性能化を行うとともに、放射線安全技術向上のための研究開発を行う。中性子装置開発では、平成 20 年度末までを目標に、J-PARC に 6 台の中性子実験装置を順次整備するとともに（図 3.2.2）、関連要素技術である高速・高効率中性子検出器、スーパーミラー中性子導管、中性子光学素子などを開発する。J-PARC 第 II 期施設の 400-600MeV 超伝導リニアック、核変換物理実験施設及び核変換工学実験施設建設につい

て、国の評価を受け、建設に着手する。研究炉の冷中性子ビーム性能向上として、現状の 10 倍の冷中性子強度を目指し、減速材容器の最適化、耐放射線中性子導管の開発等を行う。また、革新的な中性子計測法、装置等の開発を目指し、中性子レンズ・プリズム・ミラー等の特殊中性子光学素子の開発を行う。

荷電粒子・RI 利用技術開発では、軽イオンナノビーム形成技術、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の世界最小のビーム径を持つ数百 MeV 級重イオンビーム形成技術、この重イオン 1 個を狙った場所に高速で照射するシングルイオンヒット技術等のビーム・加速器技術の開発を進めるとともに、イオン照射システムの設計検討を行う。

光量子・放射光利用技術開発では、レーザー技術とその利用による放射線源の極短パルス化や高輝度化として、ペタワット・レーザーの主パルスとプレパルスの強度比を 10^8 倍以上向上させ、パルス整形技術を確立するとともに、高エネルギー物理への貢献を目指したコンパクト・レーザー電子加速技術を開発する。X 線レーザーへの応用展開のため、0.1Hz の繰り返し発振を実現する。また、超伝導自由電子レーザーの高出力化を行い、20kW の平均出力を達成する。放射光の高輝度、コヒーレンス性の利用技術の高度化として、時分割測定、マイクロビーム化による測定、多重極限環境下での測定等の技術開発を行うとともに、フェムト秒レーザープラズマ X 線との相補的な活用を図るとともに、レーザーとの掛け合わせによる短波長源（ガンマ線源）の開発とその利用や、エネルギー回収型放射光源などの次世代光源の技術開発を行う。

3.3.2.3 研究開発等の進め方

中性子利用施設の整備については、平成 15 年 11 月の科学技術・学術審議会の下での評価作業部会による中間評価に従い、J-PARC 第 I 期計画分については平成 19 年度完成、平成 20 年度供用開始を目指すとともに、ビーム出力強度向上のためにリニアックの出射エネルギー増強を行う。また、第 II 期計画の核変換実験施設については、技術検討を進めるとともに、原子力委員会等他の国レベルの検討結果を踏まえ、計画を具体化する。J-PARC 施設整備にあたっては、KEK と共同で効率的かつ着実に実施するとともに、欧米並びにアジア諸国との国際協力を進める。

放射線の利用研究のための放射線源開発、ビーム技術開発においては、利用のニーズに合致した先端的技術開発を効率的、効果的に進める。

4. 評価結果

4.1 放射線利用研究における研究開発等の計画 (評価点：4.6)

21世紀においては、様々な分野への放射線の利用技術の展開により、より高度な先端技術の創出が期待できる。それゆえに、非常に広い分野での放射線利用研究を推進することを基本方針とし、放射線利用の世界の中核的研究拠点を目指す国家的プロジェクトとして推進する本計画は高く評価できる。

放射線利用研究では、研究用原子炉あるいは加速器といった大型施設が必須であるが、そのような大型研究施設は、国策を反映しうる適切な国内の研究組織が所有し、基礎・基盤研究から産業応用への研究機会を保持し、我が国の国際競争力を維持することが肝要である。この意味で、原研が研究用原子炉や大型加速器を開発・建設し、我が国の広範な研究者に研究機会を提供してきたことは、高く評価され、新法人においても最重要事項として位置づけられるべきである。

総合科学技術会議による国「科学技術基本計画のポイント」中の「重要政策」には、「基礎研究の推進」が明記されていることから、本計画においてもこれを反映した内容が含まれることが必要である。また、中期計画の「前文」では、国「科学技術基本計画」から説き起こし、「原子力二法人の統合に関する報告書」の内容、特に「原子力の基礎・基盤研究等」の重点4項目のうちの「放射線利用研究」を引用・指摘することが必須である。

新法人は我が国で唯一の原子力関連科学技術の基盤を担う研究機関となる。その観点から放射線利用研究が我が国の原子力科学技術研究全体のなかで適切に位置づけされるべきである。

長期展望にたった重点研究課題としてJ-PARCを推進することは適切であるが、既に、原研として、多くの研究実績を挙げ、広範な利用者を有し、社会や国際交流への貢献を行っている他の施設の利用環境の整備、基礎基盤技術の開発は社会及び研究者の幅広い理解と支持を得る上で不可欠である。

現在より格段に大きなパワーのレーザーと物質との反応は未知の領域であり、そこから新規産業創成のためのさまざまな基盤技術が生まれる可能性があり、今後レーザパワーの向上とその応用研究が重要である。

产学研官連携に関して、研究テーマの設定の段階から応用先である「産」との対話・連携を可能とする仕組みを早急に作る必要があり、そのための専門の部署を設置して、戦略的に進めることも重要である。一方、原研と大学等の学術研究の連携を十分活用出来るように体制を整備し、開かれた国家的研究機関として大学等の研究者にとっても共同利用が十分可能となるような制度設計がなされることを望みたい。優秀な人材が集まる魅力的な研究所としての存在感を示すなど、種々の方策を進めることを期待したい。

高エネルギー物理学において大型加速器が、例えば中性微子の質量の発見というような根源的な智の探求に用いられることに対比するとき、放射線利用研究は、基礎研究から産業応用までの著しく広範な研究分野に利用され、国民の生活や福祉の向上に貢献しており、大型研究設備ではあっても、そのあり方が著しく異なることに留意されねばな

らない。放射線利用研究計画には原子力利用の新たな領域を開拓し、先端的科学技術分野の発展に貢献するとともに、工業、農業、医療、環境等の分野への貢献を図るとあるが目標を具体的にすべきである。

本計画は、各種放射線のもつ独特な「観る」機能と「創る」機能の両者について、国 の進める科学技術重点分野（ナノテクノロジー・材料、生命科学、エネルギー、環境等）にうまく対応した研究計画となっており、今までの研究成果も踏まえ高く評価される。また放射線源・ビーム技術開発も世界を先導できる計画で評価できる。

放射線利用技術を「物質・材料科学」「生命科学・バイオ技術」「環境保全技術」の分野で展開することとしているが、どの分野も他の分野と有機的に絡んでおり、放射線の利用も互いに重なりあった研究分野の創成と応用も視野に入れた計画も推進すべきである。ナノテクノロジーは、21世紀の技術の主役となることが予想され、本計画においても、放射線とナノテクノロジーの融合分野への取り組みを入れているが、より明確にする必要がある。

4.2 放射線利用研究

(a) 目的・意義の妥当性

(評価点：4.8)

放射線の利用に基づいた、機能性材料の創製、先進医療技術の開発、環境保全技術の開発は、21世紀における国民の福祉の向上に大きく貢献することが期待でき、本計画の目的・意義は高く評価できるものであり、設定されている「社会的・経済的ニーズに対応した研究開発を強力に推進するとともに、基礎研究の発展に積極的に貢献する」という目的は妥当である。新法人が放射線高度利用の基盤を支え、我が国の持続的発展と国民の福祉に貢献する意義は、非常に高い。ただ、放射線は、国民一般にはなかなか受入れ難い面もあるため、その利用については従来以上に積極的にその利点を説明していく必要がある。そのためにも、放射線利用ならではの特徴ある成果を開拓し、アピールする努力を期待したい。

一般に基礎研究の新規性が大きいほど自ずから新しい応用研究との新しいインテフェイスが構築されることが多いようであるが、応用研究に直接アプローチするほかに、基礎研究のこのような役割、目的、意義に着目することも必要である。また、放射線利用研究としての基礎・基盤研究にもう少し触れてもよい。

個別には、核燃料サイクルの基礎研究においても放射線利用研究の成果が寄与することを望みたい。また、強度、伝導性、磁性、燃焼反応で技術の壁を突破できるような新現象の発見に努めて欲しい。

産業界への技術移転は必ずしも容易ではないので、放射線利用による分析・評価、耐放射線性評価・生物照射効果など他の手法では得られない特徴を伸ばし、極めて少数でもよいから確実に実用化していくという手法で計画を進めるのがよい。一方、基盤研究については、大学等との共同研究をより一層活性化することを望む。

(b) 設定目標の妥当性

(評価点：4.4)

各研究分野において、これまでの成果に基づき、非常に周到で細部に渡って、さらに発展性の高い設定目標が立てられており、かつ多岐にわたる分野で意欲的な目標を設定しており、高く評価できる。ただし、3分野の個別の具体的な目標は詳細に掲げられているが、全体の設定目標が3分野の個別目標の前に書くことができるよい。今後5カ年間に絞れば、重点主義をとり、メリハリをつけて国の科学技術の発展に貢献する方針を強く打ち出すべきである。設定された3つの個別分野では、以下の指摘をしたい。

物質科学関連での分析・物性評価手法を利用しての最先端科学の解明は是非進めて頂きたいが、世界一流の成果を出すこと、及びその成果を効果的にアピールすること、が公的研究機関としての責務である。この分野では、半導体の耐放射線性に関する研究、オプトエレクトロニクス材料の開発、強相関電子系物質の構造・電子状態の解明などを推奨したい。また、放射線利用のポテンシャルの高さから判断すると水素の研究は原研が最も強い分野で、世界をリードできる。メタンハイドレードだけでなく水素の包摶機構の研究を展開すべきである。

生命科学・バイオ技術の分野では、放射線利用の導入が比較的新しく、興味ある研究課題が多くある。いくつかの分野では、世界をリードする技術開発が大いに期待できる

ので、是非知的財産の確保などの方策を忘れずに行っていただきたい。この分野では、タンパク質・水の動きと構造、イオンビーム植物育種技術、がん治療を目指した高エネルギー粒子生成、先進的医療用 RI の開発研究などを推奨したい。また、植物用 PET による植物の代謝機構の研究は原研の独創的研究であり、その成果は世界に発信されていくべきものである。それゆえに、単に植物用 PET によるイメージングの応用研究を展開して行くのではなく、世界でもまだ開発されていない 0.2mm 以下の高分解能の植物用 PET の開発を計画設定に入るべきである。イオンビーム育種では花ではなく米、麦、とうもろこし、いもなどの主力農産物の研究を展開すべきである。

環境の分野での放射線利用はまだ限定的であるが、提示された課題はほぼ妥当であろう。今後は実用化の可能性を、厳しく見定め、実用化できるものはぜひ実現を期待したい。この分野では、微量環境汚染物質除去技術などを推奨したい。

(c) 進め方の妥当性

(評価点 : 4.4)

放射線の利用が非常に多様であることを考えると、放射線利用の技術研究開発を、研究分野間、原研内組織間、原研・大学間、民間・原研間、国際間など様々な連携を重視して進めることは、的を得た研究開発の進め方である。装置技術と利用研究が有機的に結合して研究開発が進められていることを高く評価する。

J-PRAC の建設の推進と研究炉との相補的利用の効率的研究の推進もまことに適切である。特に、我が国における唯一の原子力の中核機関となる以上、研究用原子炉への配慮は、格段に重要性を増す。この点で、世界屈指の研究炉である JRR-3 の高度化を今期 5 カ年 の目標に適切に配し、原子力法人としての使命を果たし続けることが大いに望まれる。

個別には、J-PARC の利用は積極的に推進し、世界に先駆けた多数の成果を生み出すことを期待する。他の記述に関しては、より「選択と集中」を図るよう期待したい。また、物質材料、光量子、生命・バイオ等の分野で ITBL 等、計算科学推進センターとの連携を十分考え、ハードとソフトの研究開発がバランスよく進められることを望む。

産業界への技術移転は、必ずしも容易ではないので、そのための具体的方策を積極的に進めることを期待したい。産業界との連携の仕組みを早急に作る必要がある。一方、放射線利用技術を民間に普及する技術者の育成も計画に組み入れるべきである。特に、医療応用に関しては、その技術を医者が利用できるように支援する技術が必要である。

(d) その他の所見

- ・基礎研究および基礎基盤研究に関する記述が弱い。
- ・研究の進め方として、①研究者の自発性を尊重するボトムアップ的研究課題の設定とそのための研究推進マネジメント、②特定の課題を解決するために集中的に資源を投入するトップダウン的課題の選定とそのための研究推進マネジメント、を適切に選択して、原研としての研究開発の責務を効率的に果たすことを期待したい。
- ・科学技術の継承の観点から、任期後の PDF の活用の方策を考えておくことが必要がある。これは長期の研究プロジェクトの成功に不可欠である。

- ・新法人の使命として、研究炉、大型加速器、RI 利用は、健全なバランスの上に推進されるべきであるが、新法人が我が国唯一の原子力の基盤技術・基礎研究を支える研究機関であることを想う時、研究用原子炉が広範な研究分野の基礎研究において果たしている役割に留意して、研究炉における研究の推進は、新法人でしかできない使命として位置づけ、その使命を我が国の中で適切に果たしていくことを強く要望する。

4.3 放射線源・ビーム技術開発

(a) 目的・意義の妥当性

(評価点：4.8)

中性子、荷電粒子、光量子、放射光など先進的な放射線源とビーム技術の高度化は新法人の使命であり意義は大きい。先進的な放射線源と、関連するビーム技術の高度化は、新法人以外の研究所や大学と協力して、是非今後も積極的に進めていただきたい。

今後5カ年に関しては、中性子利用にかかるJ-PARCの建設と、既設の研究炉の革新的な高度化を怠りなく図ることが、新法人の目標として最重要である。新法人の長期計画においては、放射線研究の中核機関として、加速器、RI利用、研究炉の適切なバランスを取り、基盤研究を推進することが肝要である。以上のように、計画の目的・意義は概ね妥当であるが、ビーム利用は非常に多様性に富み様々な成果が期待できるので、計画が中性子科学に重点をあまりにも置きすぎ、他のビーム技術開発が疎かにならないようすべきである。

個別には、強力放射線の利用研究と密着して放射線源・ビーム技術開発を進めていることを高く評価する。J-PARCは物質・生命科学への期待も大きいと思うが、寿命の短い核への変換による高レベル放射性廃棄物処理に大きな国家的意義を認める。技術の継承のため、原研内もしくはメーカーとの連携の窓口となる物作りを含めた施設の整備が重要である。一方、各種技術の大学等との共同開発をより一層進めることを望む。

(b) 設定目標の妥当性

(評価点：4.4)

計画の設定目標は概ね評価できる。J-PARCの有効利用には、検出器などの関連技術の開発がきわめて重要になるが、設定目標には、明確にそのことが書かれており妥当である。J-PARC関連の目標はほぼ妥当であり、早期の完成・運用を期待したい。このため、今後の重点的な資源投入も視野に入れていただきたい。しかし、中性子利用施設以外は放射線利用研究を推進してゆく目標としては弱い。

個別には、高エネルギー重イオンマイクロビームのエネルギーを1GeV/核子近くまでに上げることによって、全く新たなマイクロビーム応用が展開されることが期待できる。強力中性子源や超高強度レーザーの開発は世界水準に達しており、開発目標として妥当である。長期的な展望より、ペタワットレーザー開発後の超高強度レーザー技術の発展に向けた計画とその利用方策につき一層の検討を望む。高エネルギーマイクロビームによるミクロン治療などの研究分野を展開すべきである。ただし、イオンビームの高度化計画や、レーザーを用いた放射線源の開発に関する目標があまり革新的に見えない。

(c) 進め方の妥当性

(評価点：4.4)

原研ではこれまで、プロジェクト的研究開発に成功しており、示された研究開発の進め方は概ね妥当である。国の関係委員会等における議論、提言を尊重して、具体的な研究開発を進めることは、当然のことであり、着実な研究開発により、我が国の高度放射線利用研究の中核を担う組織として遺憾なくその使命を果たすことが望まれる。ただ、放射線利用研究を推進してゆくための放射線源・ビーム技術開発を考えた時、中性子利用施設だけでなく、他の施設においても創意・工夫による高度化は不可欠と思うが、そ

のような記述が弱い。

個別には、J-PARC 第Ⅰ期計画は具体的であり妥当である。しかし、J-PARC の計画に、他のビーム開発が影響されないように、研究の進め方に配慮が必要とされる。高出力レーザーについては、年々海外のメーカーへの依存性が高まっており。原研が先導してその悪循環を断ち切ることを期待する。

(d) その他の所見

- ・基礎基盤的な研究に対する記述が弱い。
- ・核破碎による廃棄物処理は高深度埋設処理と競合するよう見えるが、競合技術ではなく補完技術と考えられ、核破碎短寿命化→高深度埋設処理が答えと思う。核変換設備は第Ⅱ期となっているが計画が縮小することなくしっかりと進めて欲しい。
- ・公的資金の投入の優先課題選定は困難であるが、投入する以上は国際的な競争に是非とも勝てる戦略で進めて頂きたい。
- ・光量子源に関する技術開発は新規産業創成のための基盤技術開発という観点からきわめて重要であり、世界に広がる日本発の新しい成果を期待する。

おわりに

放射線利用研究専門部会は、原研が新法人へ引き継がれると想定される事業のうち、放射線利用研究の部門で平成17年度から平成21年度の5年間で実施すると想定される研究開発課題の評価を実施した。原研から提示された資料には、新法人における重要な柱の一つである放射線利用研究に関する計画が明確に示されており、その内容は概ね妥当と判断した。非常に広い分野での放射線利用研究を推進することを基本方針とし、放射線利用の世界の中核的研究拠点を目指す本計画が、新法人において、我が国における放射線利用研究の新たな展開を切り開くことを期待する。最後に、あらためて本専門部会による事前評価の結果が、今後の新法人での新たな研究開発に寄与することを願う。

別表

放射線利用研究専門部会評価点一覧

項目	評価点	標準偏差
1. 放射線利用研究における研究開発等の計画	4.6	0.50
2. 放射線利用研究 (a) 目的・意義の妥当性	4.8	0.42
(b) 設定目標の妥当性	4.4	0.46
(c) 進め方の妥当性	4.4	0.68
3. 放射線源・ビーム技術開発 (a) 目的・意義の妥当性	4.8	0.33
(b) 設定目標の妥当性	4.4	0.46
(c) 進め方の妥当性	4.4	0.50

別添

表1 平成16年度予算・人員（放射線利用研究）

予算単位：百万円

分野／項目	予算					人員			
	補助金			外部資金	特別会計	合計	職員	その他	
	研究経費	維持費	施設整備費						
分野1 利用/ 中性子	84	7	0	31	0	122	15	14	29
分野1 利用/ 荷電粒子・RI	244	7	0	33	8	292	81	23	104
分野1 利用/ 光量子 ・放射光	392	0	0	617	0	1,009	77	11	88
分野2 線源/ 中性子	1244 (556)	56 (2)	10,572 (0)	409 (61)	0 (0)	12,280 (619)	66 (4)	56 (3)	122 (7)
分野2 線源/ 荷電粒子・RI	97	0	0	0	0	97	11	2	13
分野2 線源/ 光量子 ・放射光	289	133	0	0	0	422	29	2	31

注：1) 外部資金には、競争的資金、公募特会、受託を含む。

2) 人員の「その他」は、常勤者で、任期付研究員、業務協力員、博士研究員、特別研究生、外
来研究員、特別会計要員、研究フェロー、リサーチフェローの合計人数。

3) 分野2 線源/中性子の（ ）内は中性子利用技術開発分。

表 2-1 中性子利用研究の資源配分・人員計画

			金額単位：百万円					
年度			H17	H18	H19	H20	H21	合計
予算	補助金	研究経費	206	353	339	370	364	1,632
		維持費	7	7	7	7	7	35
		施設整備費						
	外部資金 ¹⁾		0	0	0	0	0	0
	特別会計							
	合計		213	360	346	377	371	1,667
人員	職員		25	48	53	59	62	
	その他 ²⁾		17	23	23	25	25	
	合計		42	71	76	84	87	

注：1) 外部資金には、競争的資金、公募特会、受託を含む。

2) 人員の「その他」は、常勤者で、任期付研究員、業務協力員、博士研究員、特別研究生、外来研究員、特別会計要員、研究フェロー、リサーチフェローの合計人数。

表 2-2 中性子利用技術の資源配分・人員計画

			金額単位：百万円					
年度			H17	H18	H19	H20	H21	合計
予算	補助金	研究経費	538	2,687	2,663	924	118	6,930
		維持費	2	2	2	363	628	997
		施設整備費						
	外部資金 ¹⁾		1	1	0	0	0	0+2
	特別会計							
	合計		541	2,690	2,665	1,287	746	7,929
人員	職員		13	23	28	32	35	
	その他 ²⁾		3	6	7	8	9	
	合計		16	29	35	40	44	

注：1) 外部資金には、競争的資金、公募特会、受託を含む。

2) 人員の「その他」は、常勤者で、任期付研究員、業務協力員、博士研究員、特別研究生、外来研究員、特別会計要員、研究フェロー、リサーチフェローの合計人数。

表3 J-PARC の資源配分・人員計画

			金額単位：百万円					
年度			H17	H18	H19	H20	H21	合計
予算	補助金	研究経費	435	328	300	252	569	1,884
		維持費	795	3,805	8,539	10,281	10,281	33,701
		施設整備費	19,364	19,831	16,073	9,906	10,812	75,986
	外部資金 ¹⁾		1					1
	特別会計							
	合計		20,595	23,964	24,912	20,439	21,662	111,572
人員	職員		84	103	121	118	118	
	その他 ²⁾		79	86	117	157	157	
	合計		163	189	238	275	275	

注：1) 外部資金には、競争的資金、公募特会、受託を含む。

2) 人員の「その他」は、常勤者で、任期付研究員、業務協力員、博士研究員、特別研究生、外来研究員、特別会計要員、研究フェロー、リサーチフェローの合計人数。

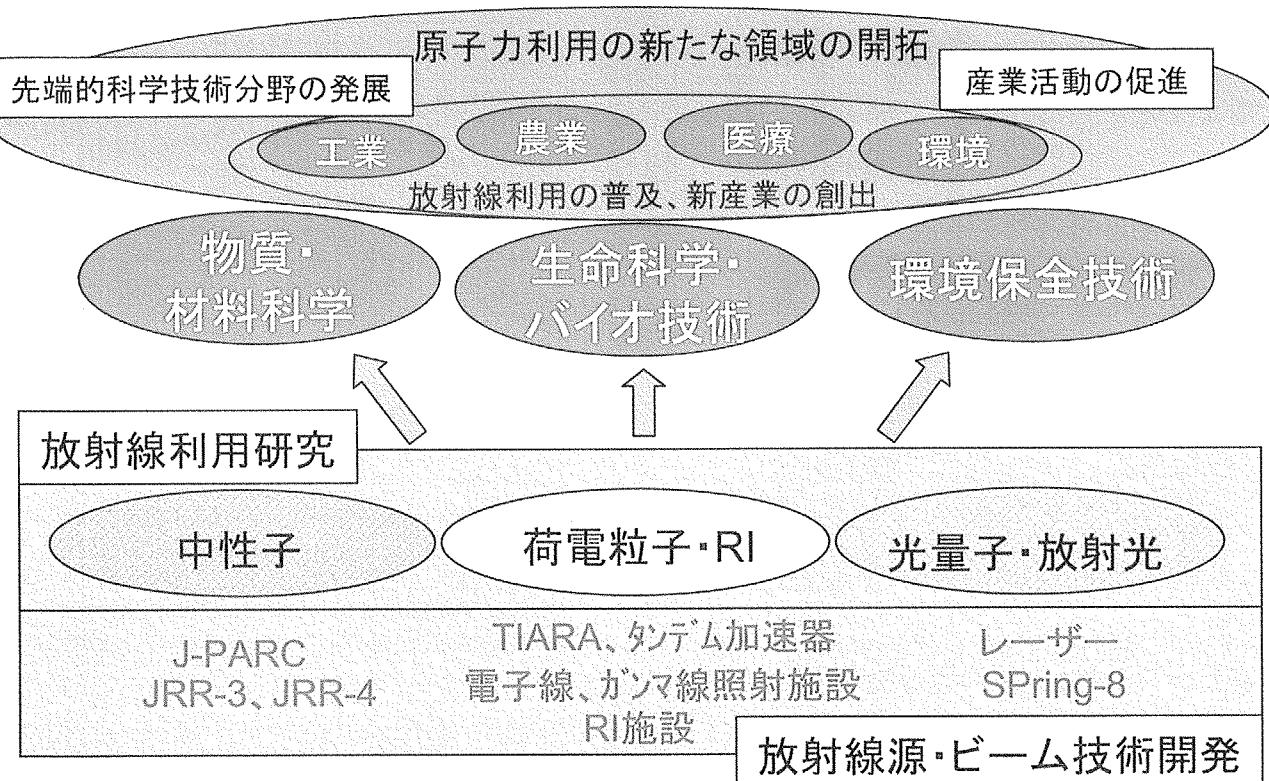


図1.1 放射線利用研究の展開

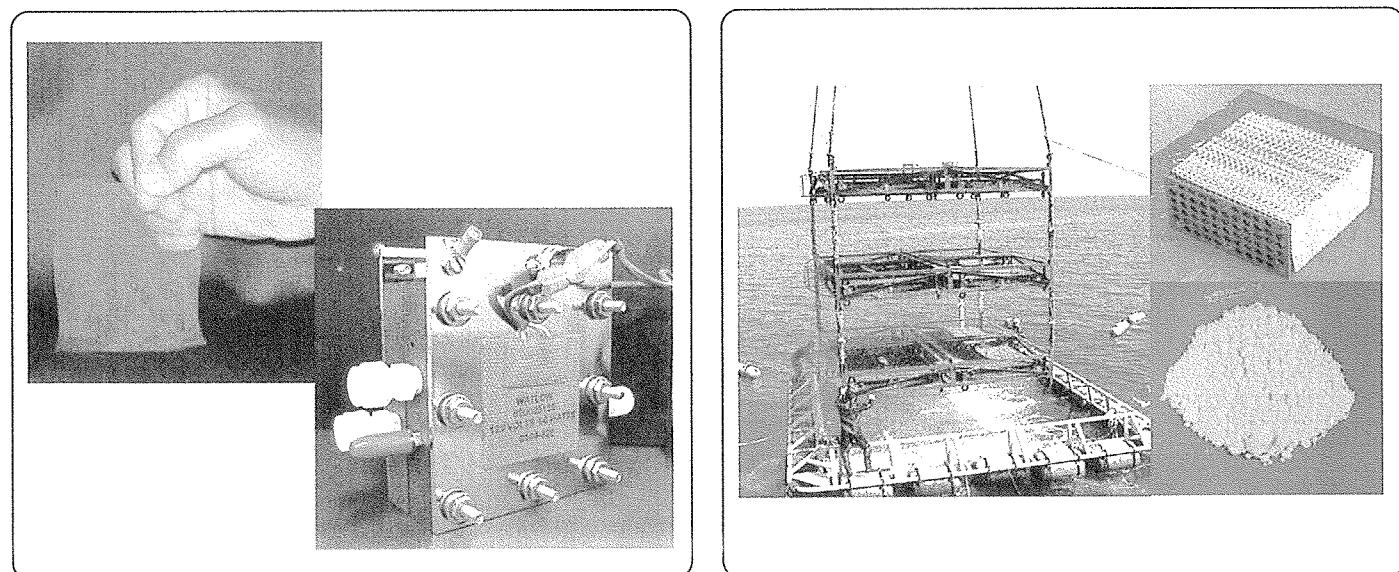


図2.1.1 水素社会の実現に重要な燃料電池の実用化に向け、放射線橋架けとグラフト技術により、従来の隔膜と比べて6倍のメタノール濃度でも使用可能で3倍の初期出力をを持つ高性能燃料電池用隔膜を開発した。

図2.1.2 放射線グラフト重合法により製作した有用金属捕集材を用いて、海水中より世界で初めて1kgのウランを回収し、コスト面の課題を克服すれば日本独自でウラン資源を確保できる可能性を示した。

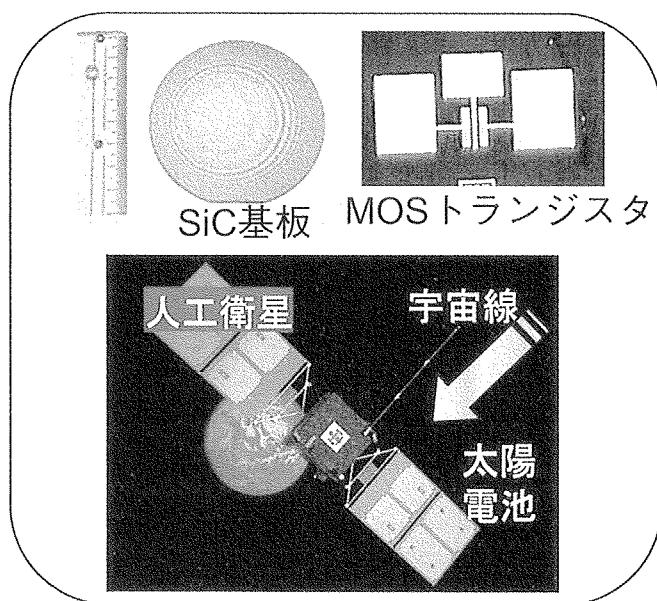


図2.1.3 SiC結晶作成技術を改良し、世界最高のチャンネル移動度を持つ金属酸化物半導体（MOS）電界効果トランジスタの試作に成功するとともに、宇宙用半導体素子・太陽電池の寿命予測技術を確立した。

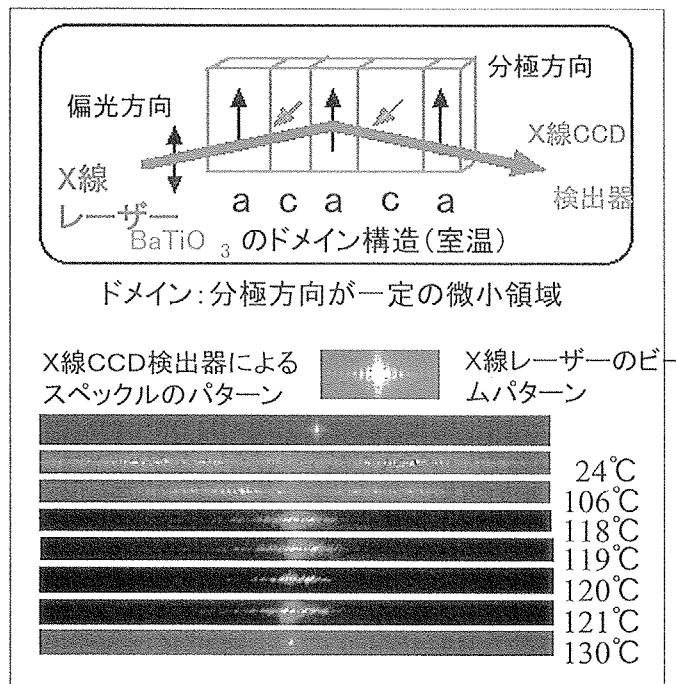


図2.1.4 温度を変化させた場合の瞬間スペックルパターン。X線レーザーを用いて、 BaTiO_3 の表面微細構造をピコ秒で観測し、臨界温度（キュリー温度）122°C付近での表面構造の変化を捉えた。

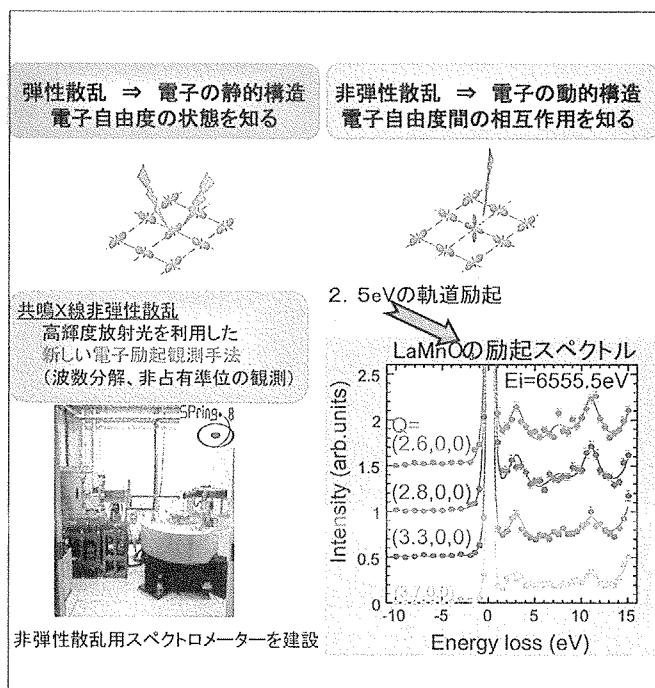


図2.1.5 X線散乱の精密測定による電子状態の静的・動的秩序構造の決定。放射光の特性を利用して初めて可能になった。

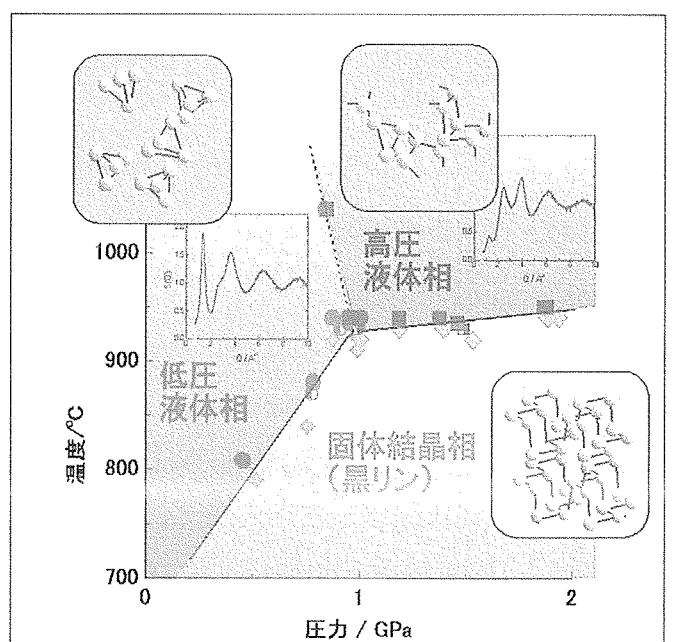


図2.1.6 温度920°C以上、圧力約1万気圧の高温高圧下で、液体リングが70%の密度の不連続増加を伴って相転移することを見出した。液体の1次相転移の発見であり、液体研究に新展開をもたらした。

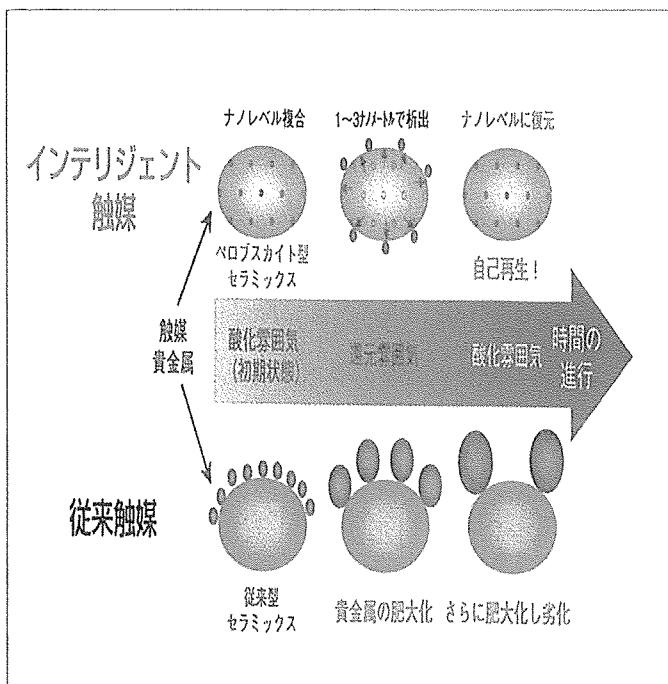


図2.1.7 自己修復する触媒の機能・機構を解明。触媒機能の長時間持続可能なインテリジェント触媒の設計指針を与えた。

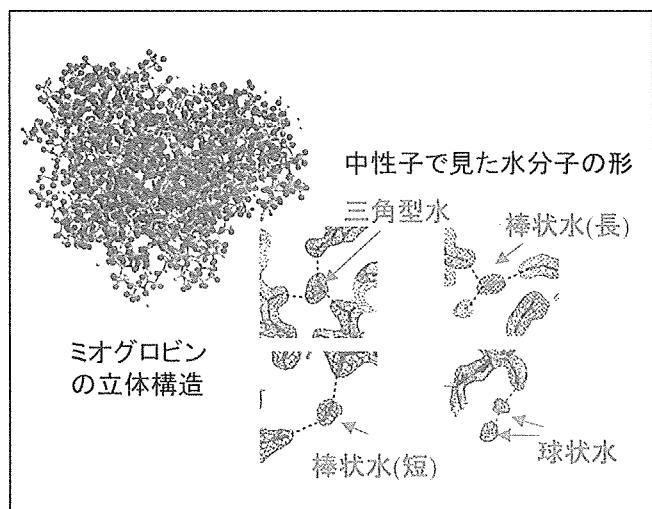


図2.1.8 中性子で決定したミオグロビンの立体構造と水分子の形状。ミオグロビンの水素・水和構造を決定し、水分子に4つの結合パートーンがあることを突き止め、結合強度や電場分布に関する情報を得た。

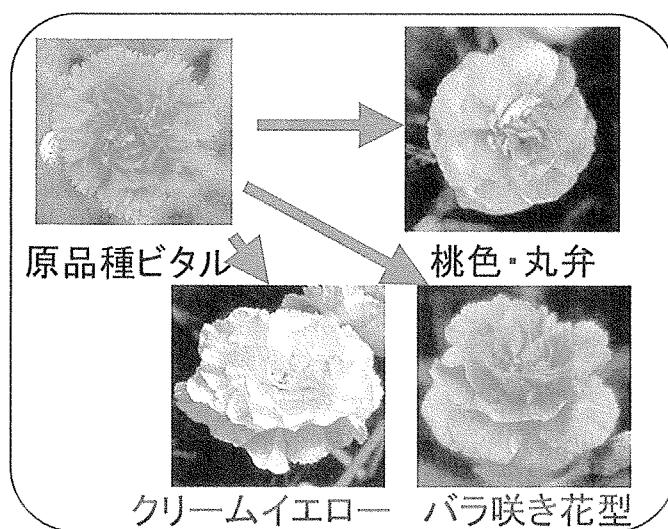


図2.1.9 イオンビームを用いて高頻度に新規突然変異体を誘発させ、イネ、ムギ、タバコでの耐病性品種の育成に成功するとともに、キクやカーネーションでは実用化に繋がる品種育成を達成した。

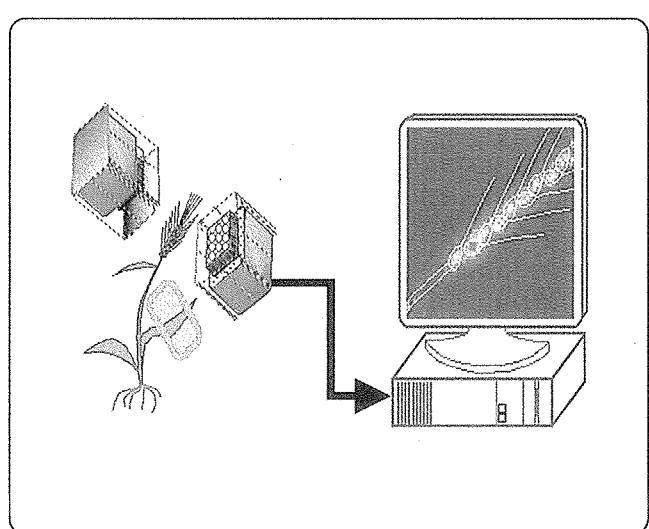


図2.1.10 ポジトロン放出核種を用いた植物のイメージング法を世界に先駆けて確立し、生きた植物内での物質移行を画像化することに成功した。本技術により、植物の劣化環境への応答機能解明の研究を大きく進展させた。

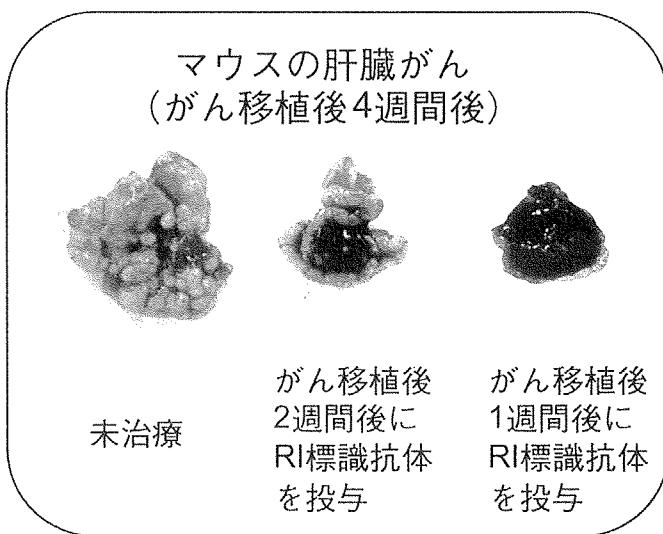
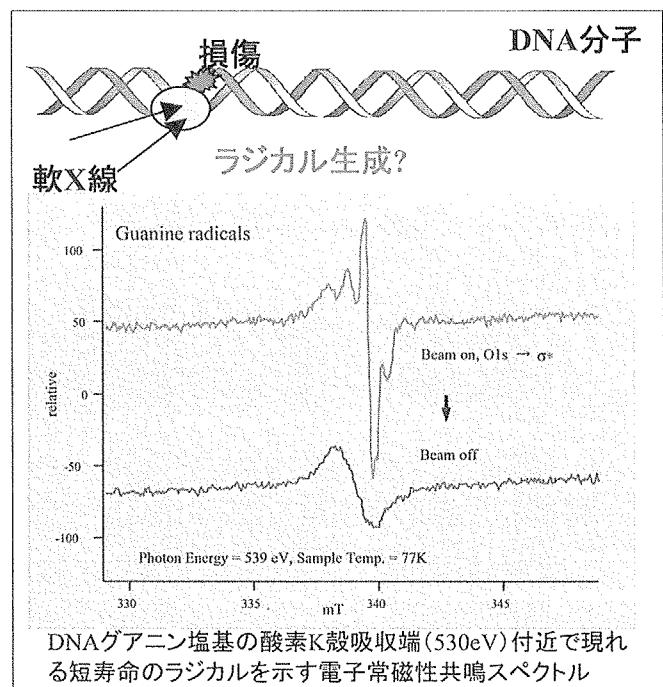


図2.1.11 がんに集積する抗体へ¹⁸⁶Re標識した化合物のがん治療効果を実験的に確認し、RIを利用したがん治療の実用化の可能性を示した。



DNAグアニン塩基の酸素K殻吸収端(530eV)付近で現れる短寿命のラジカルを示す電子常磁性共鳴スペクトル

図2.1.12 軟X線照射中にのみに現れるDNA塩基（グアニン）ラジカルの電子常磁性共鳴スペクトル観測に世界で初めて成功した。

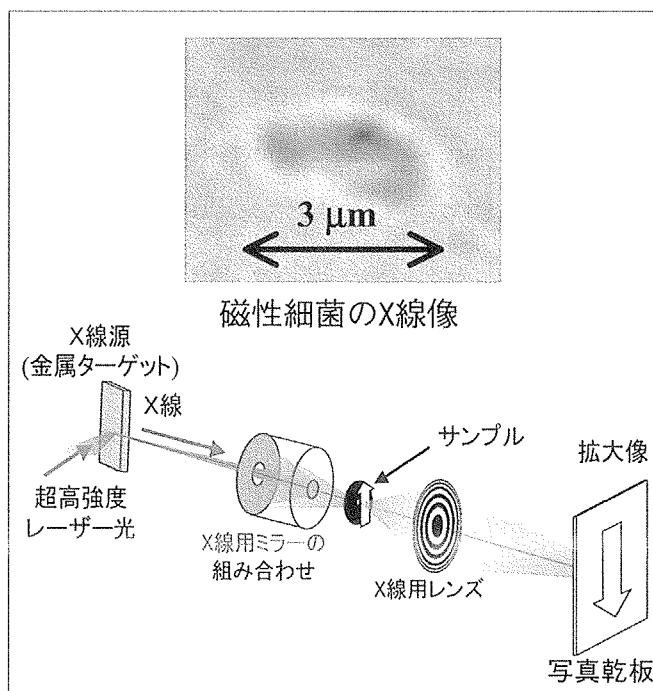


図2.1.13 超高強度レーザーで生成した極短パルスX線による磁性バクテリアの像を観察した。

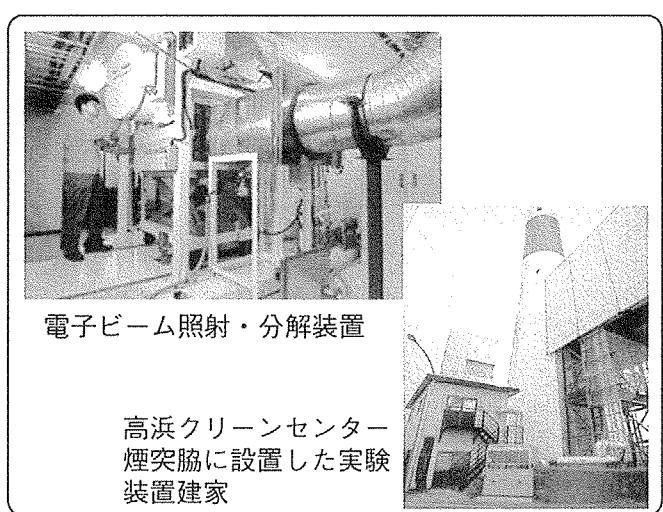


図2.1.14 電子線によるごみ燃焼排煙中のダイオキシン分解試験により90%以上の分解率を実証し、本方法が環境保全に有望な手段であることを示した。

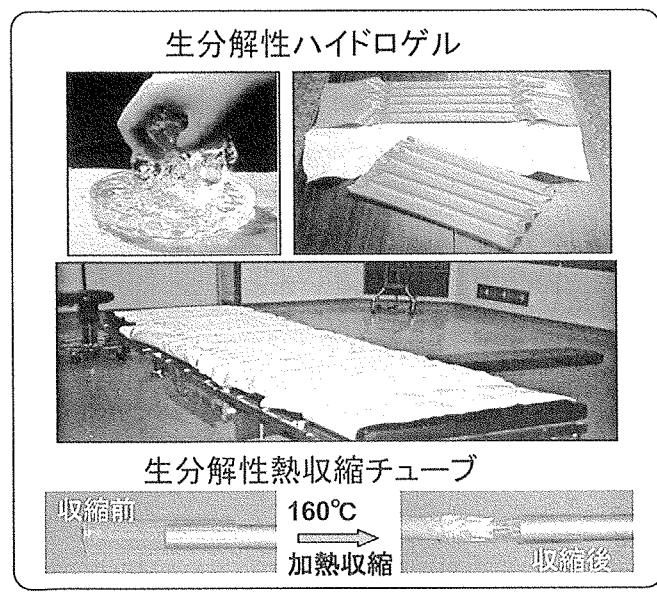


図2.1.15 でんぶん、セルロース等の天然高分子材料の放射線橋かけにより生分解性ハイドロゲルの創製に成功し、これを用いた床ずれ防止マットが実用化した。また、生分解性熱収縮チューブの開発にも成功し、放射線が環境にやさしい新材料の創製に極めて有効であることを実証した。

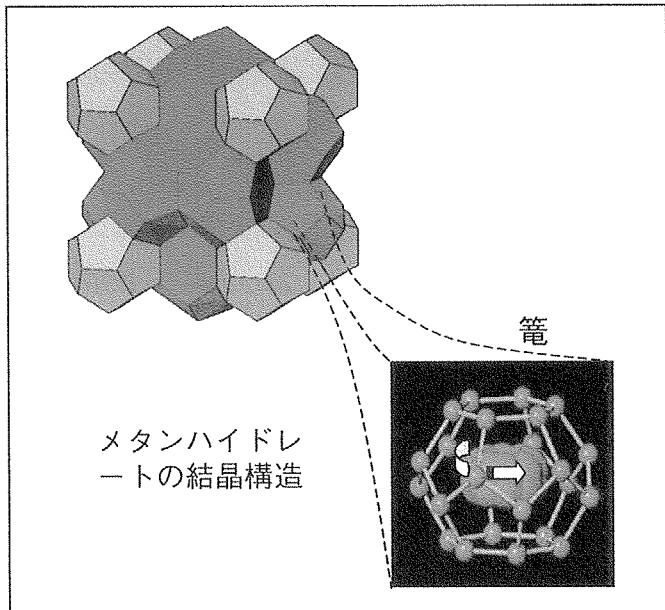


図2.2.1 中性子散乱によるメタンハイドレートの包摶機構の解明。メタンハイドレートは水分子でつながった籠の中にメタンガス分子を内包している。中性子を利用して、構造と運動の解明を行うことが出来る。

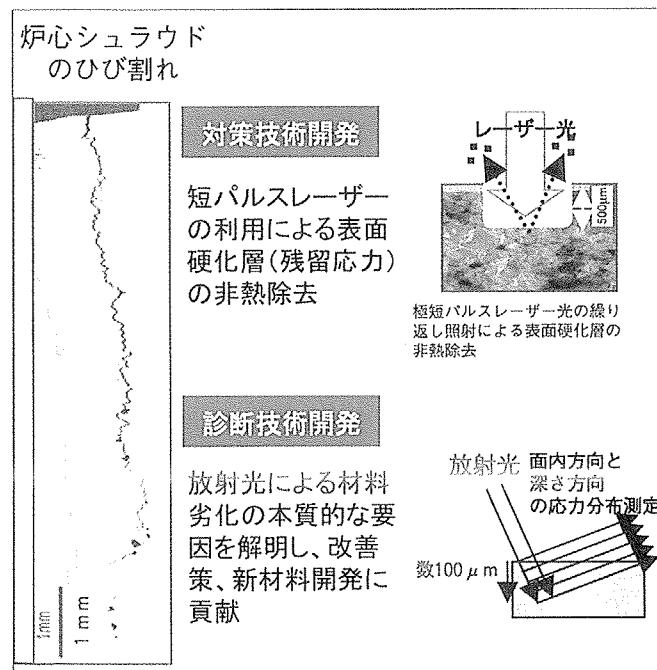


図2.2.2 極短パルスレーザーを用いた非熱除去による応力腐食割れ原因の除去。放射光による表面応力層の診断による要因解明と新材料開発への貢献。

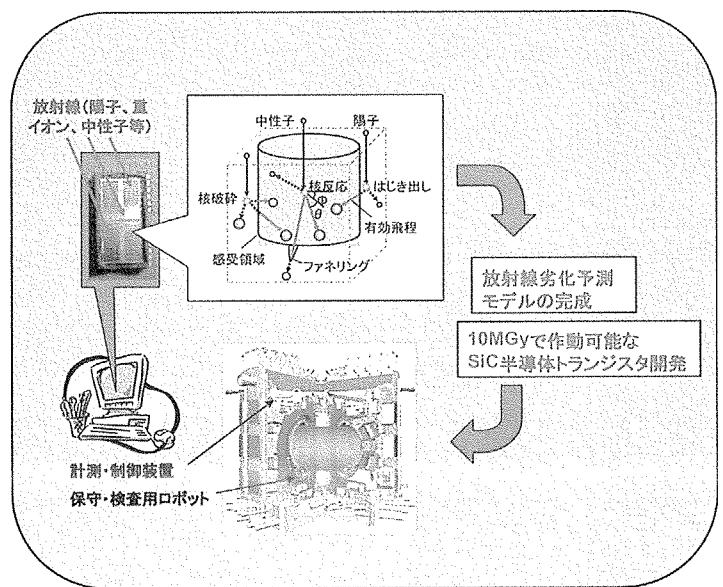


図2.2.3 半導体素子の材質や構造から放射線劣化が予測できるモデルを完成する。また10MGyで作動可能なSiCトランジスタを開発する。

レーザーによる同位体の大量濃縮技術の開発

- シリコン同位体(^{28}Si 、 ^{29}Si 、 ^{30}Si)の利用
高熱伝導性半導体基板(CPUの高性能化)
 $\text{高濃縮}^{28}\text{Si} \rightarrow \text{室温での熱伝導率60%向上}$
 $\rightarrow \text{クロック高速化、高集積化}$
- 3次元ナノ半導体
急峻なPN接合面のナノサイズ半導体
- 中性子照射 $^{30}\text{Si} \rightarrow ^{31}\text{P}$
- 炭素、酸素同位体の濃縮
医療分野(診断用試薬)への利用
 ^{13}C — ピロリ菌検査試薬
 ^{18}O — PET(陽電子断層撮影)用試薬

図2.2.4 レーザーによる高効率の同位体分離技術により、同位体を利用することで拓かれる、医療、情報などの様々な領域に貢献できる。

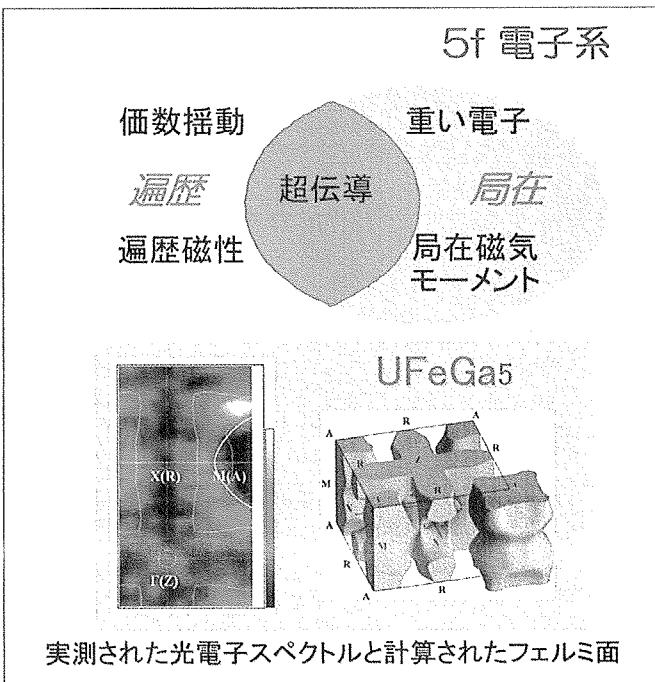


図2.2.6 ウラン化合物の電子物性の解明
ウラン化合物は異方的超伝導、複雑な磁気秩序状態などの特異な振る舞いを示す。電子構造を放射光を用いて解明する。

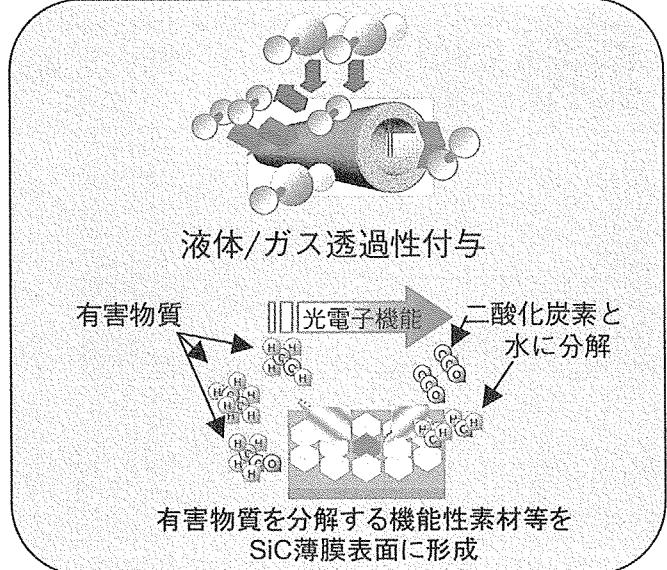


図2.2.5 フィルター材用にSiCマイクロチューブを開発するとともに、水素分離能を持つSiC薄膜等を開発する。また、SiC薄膜等の表面への各種機能性素材形成技術の開発を行う。

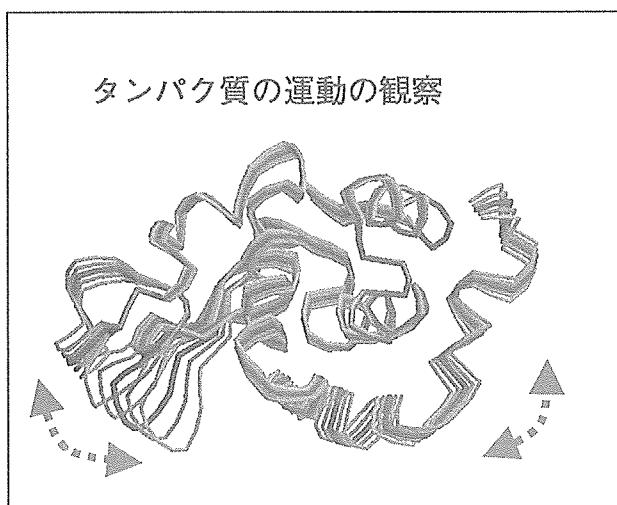


図2.2.7 タンパク質の形の動き
リゾチームタンパク質の活性部位が、矢印の方向に蝶番のようにゆっくり大きく振動していることを示す。この運動に関する計算機シミュレーションと中性子散乱実験データを総合的に解釈し、生態機能を解明する。

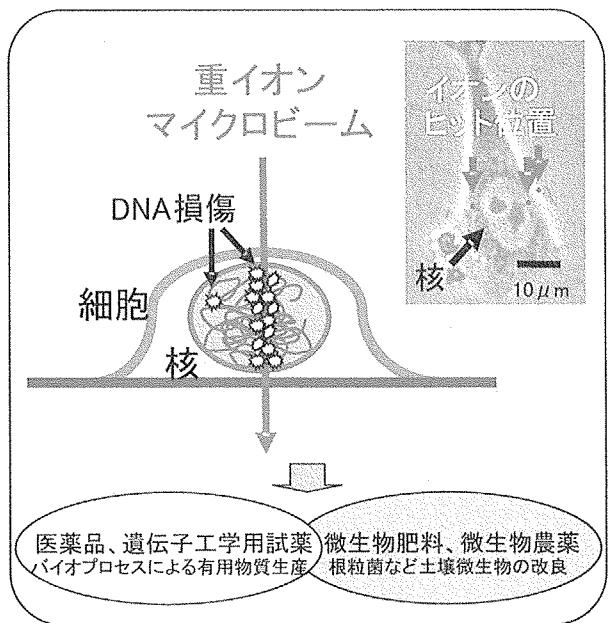


図2.2.8 1 μmに集束した重イオンマイクロビーム照射技術を確立して細胞へのイオン照射効果の解明を進め、放射線抵抗性細菌等を用いた有用物質生産系を開発する。

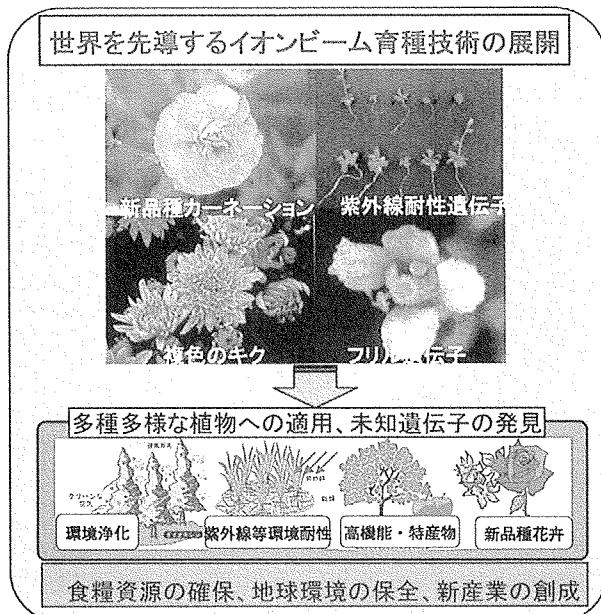


図2.2.9 イオンビーム育種技術を用いた紫外線耐性遺伝子等の有用遺伝子資源の開発、環境耐性・浄化作物や新花卉などの実用新品種の作出を行う。

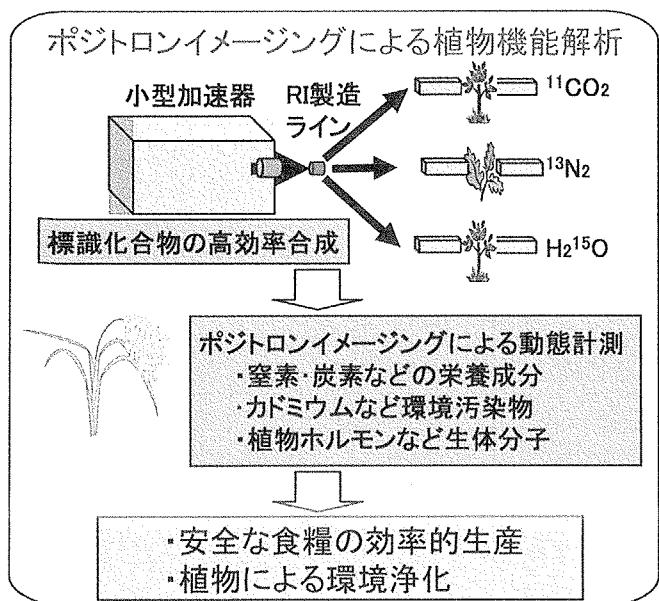


図2.2.10 ポジトロンイメージング技術による植物の養分・環境汚染物等の輸送機構を解明し、安全な食糧生産、環境浄化技術を開発する。

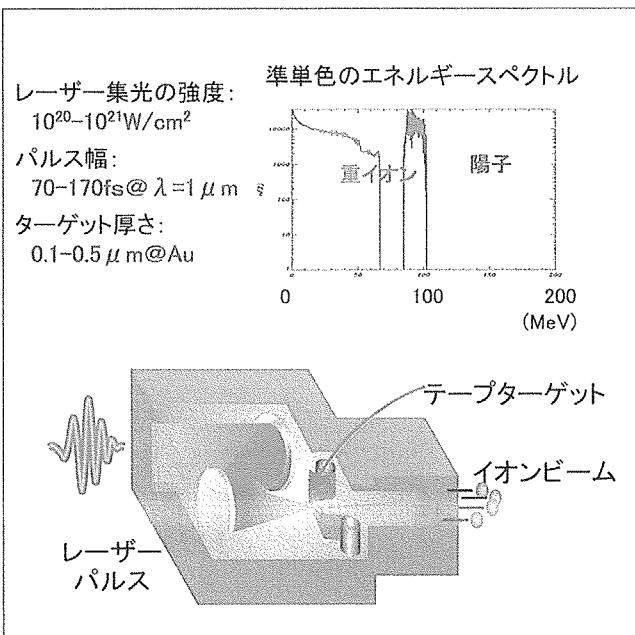


図2.2.11 高強度極短パルスレーザーによる高エネルギーイオン生成の研究開発により、がん治療用小型加速器への貢献を行う。

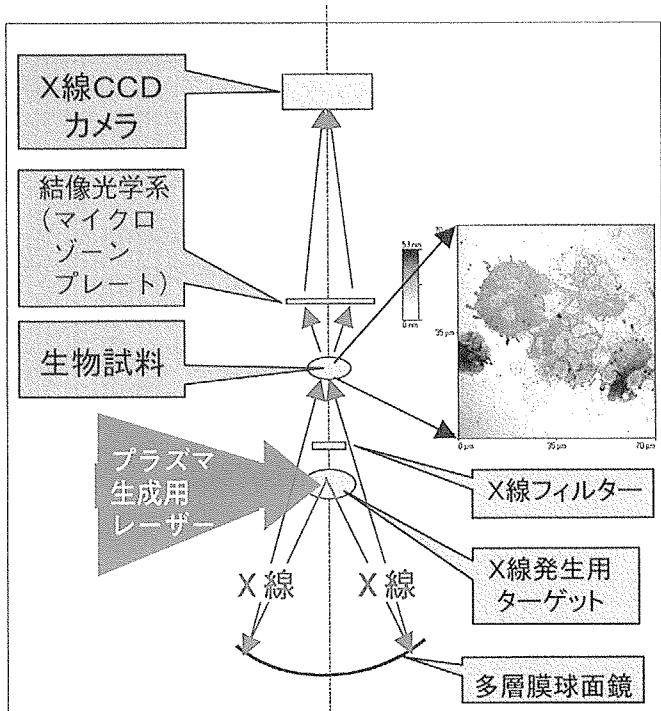


図2.2.12 レーザープラズマX線顕微鏡の開発
高輝度で短時間露光が可能と言う特徴により、今まで不可能であった生きたままの細胞の高い空間分解能での観察を可能とする。

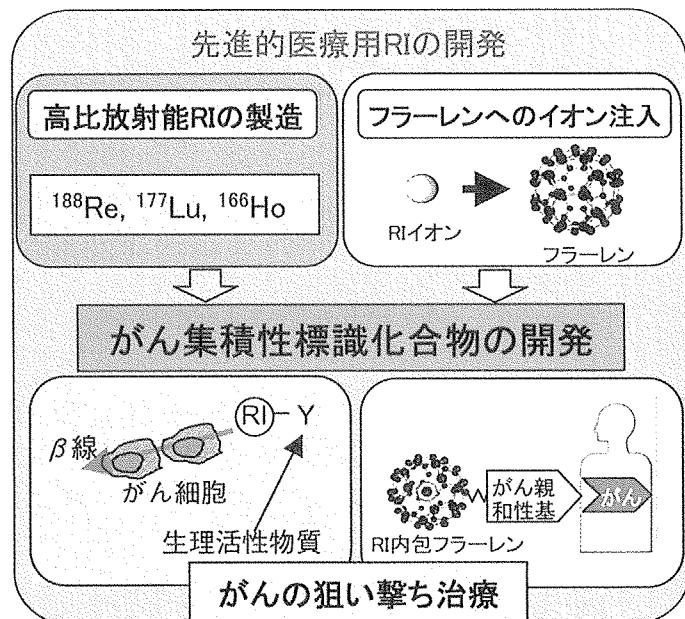


図2.2.13 高比放射能RIの製造技術及びフラー
レン等への各種RI注入技術を確立し、
がんに集積させるための標識化合物
を開発する。

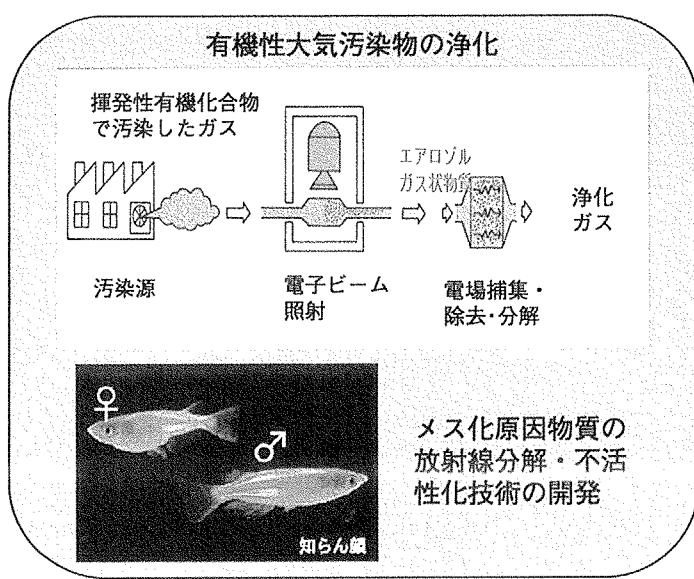


図2.2.14 有機性大気汚染物を環境基準値
以下にする捕集・無害化システム、環境ホルモン分解・不活性
化技術を開発する。

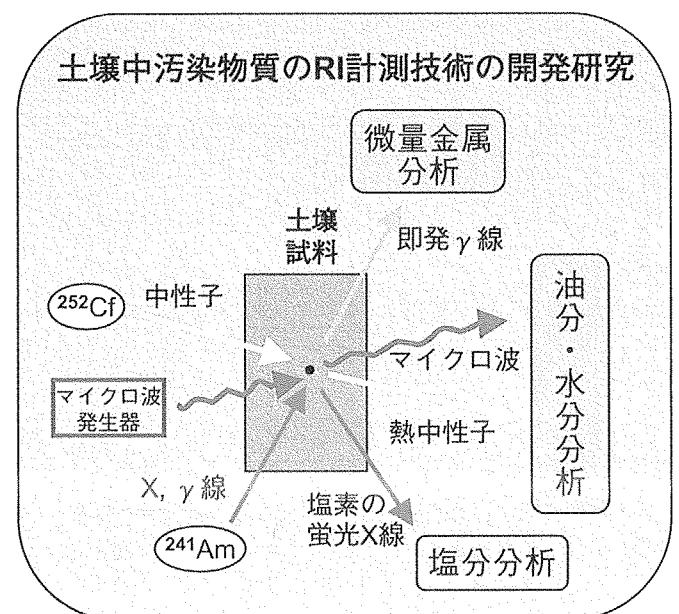


図2.2.15 RI等からの中性子、X・γ線及び
マイクロ波等を利用して、土壤中の油分・水分
及び塩分分析する技術を開発する。

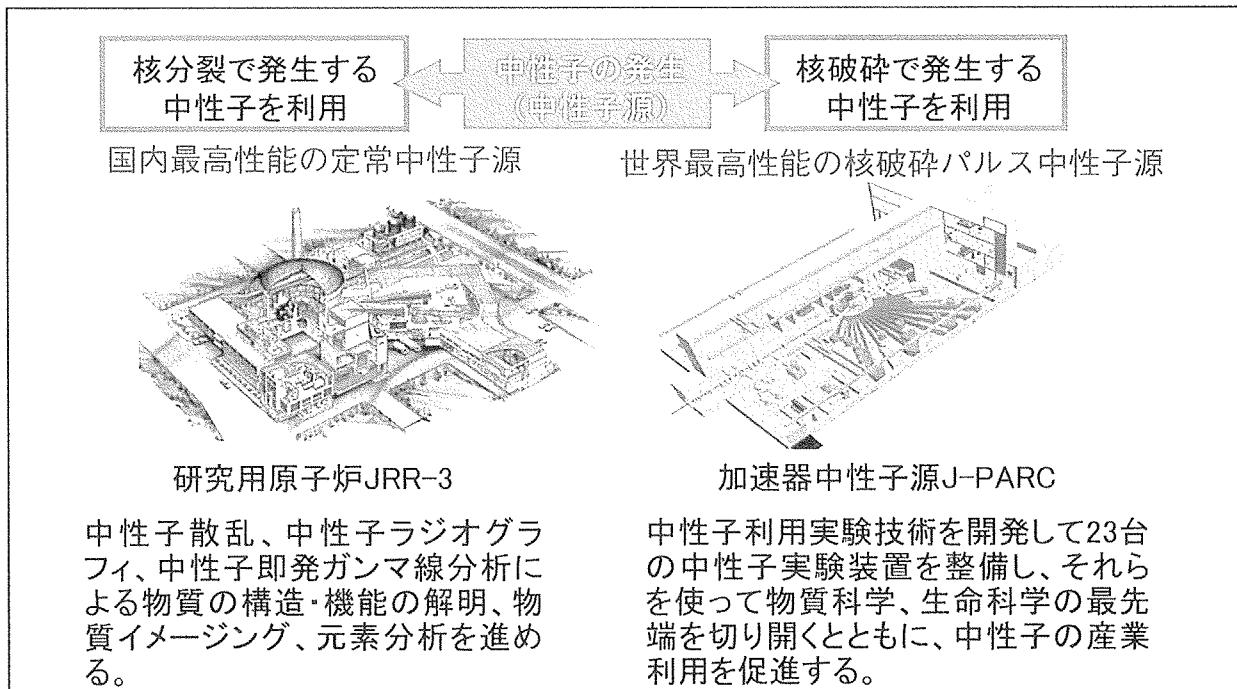
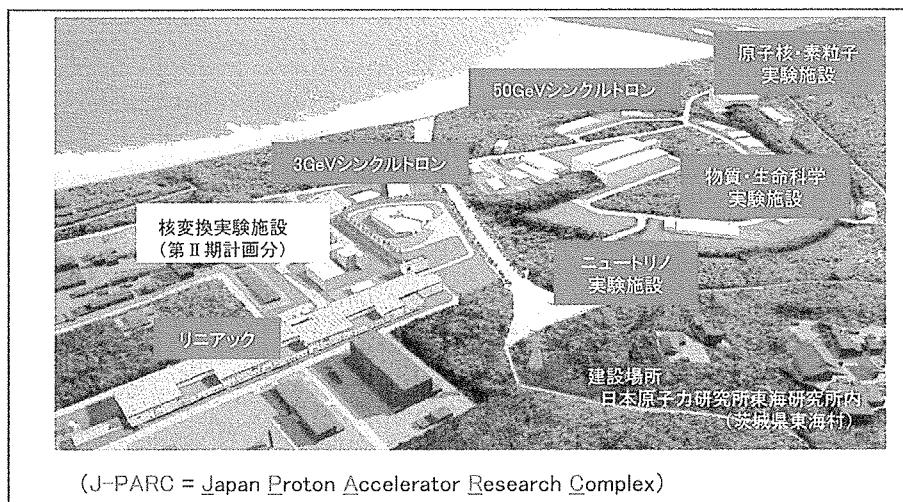


図2.2.16 中性子利用研究の進め方
定常中性子とパルス中性子の双方の特徴を活かした中性子利用研究を展開する



**図3.1.1 J-PARC完成
予想図
(第Ⅰ期計画分)**

世界最高レベルのビーム強度を有する複合陽子加速器施設を建設し、多彩な二次粒子を用いた新しい研究手段を提供し、物質科学、生命科学、原子核・素粒子物理学など広範な基礎科学研究と技術開発を推進する。

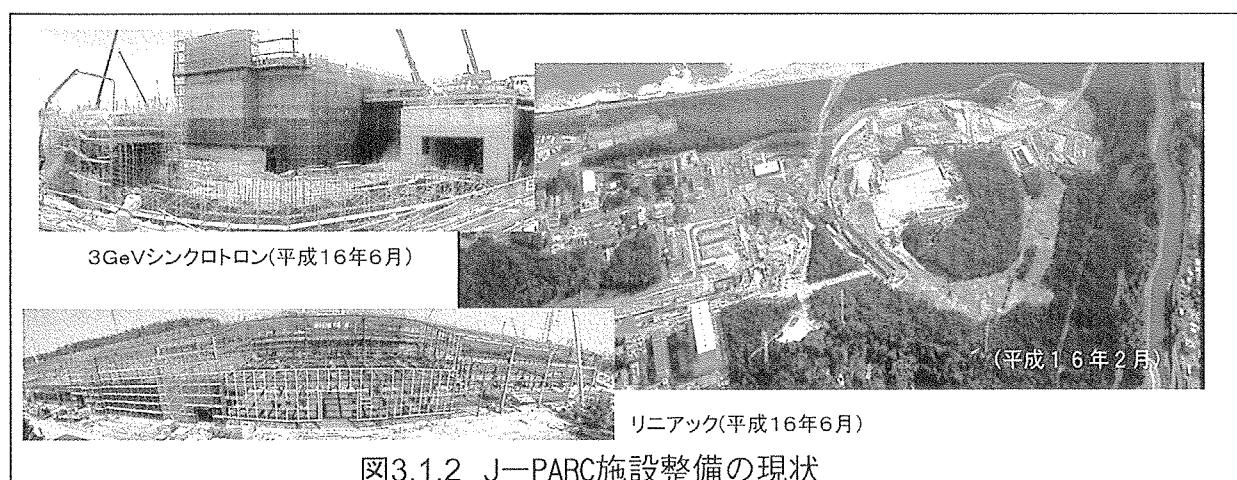


図3.1.2 J-PARC施設整備の現状

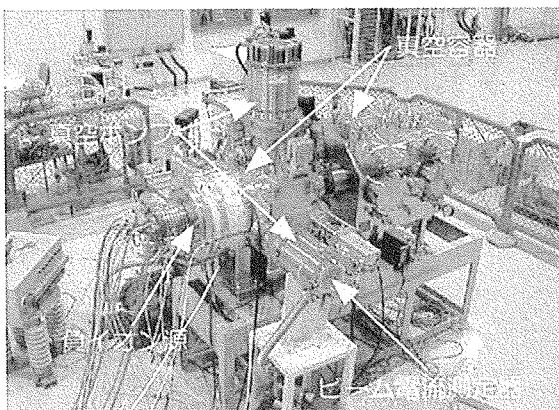


図3.1.3 負水素イオン源
イオン源は加速器の先頭に位置し、ここから発生したイオンを加速する。本イオン源は、大強度陽子加速器計画で必要な目標性能60mAを上回る72mAの引き出し電流を達成した（平成13年8月）

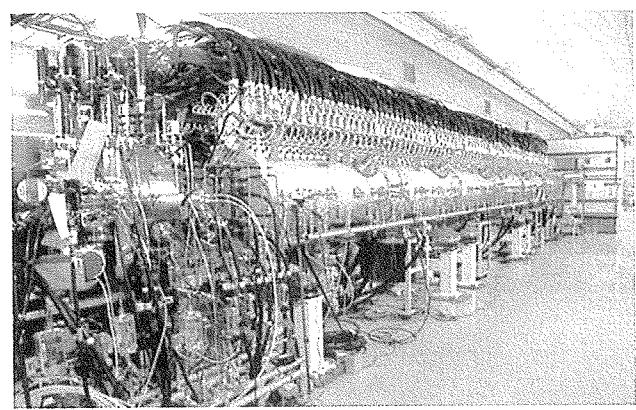


図3.1.4 ドリフトチューブリニアック
KEK内の陽子リニアック棟の地下トンネル内に設置されたドリフトチューブリニアックの第1空洞（右側の黄色の円筒）。ビームは左隅から入射され、加速エネルギー（20MeV）および電流値（30mA）とも当初の目標を達成した（平成15年11月）。

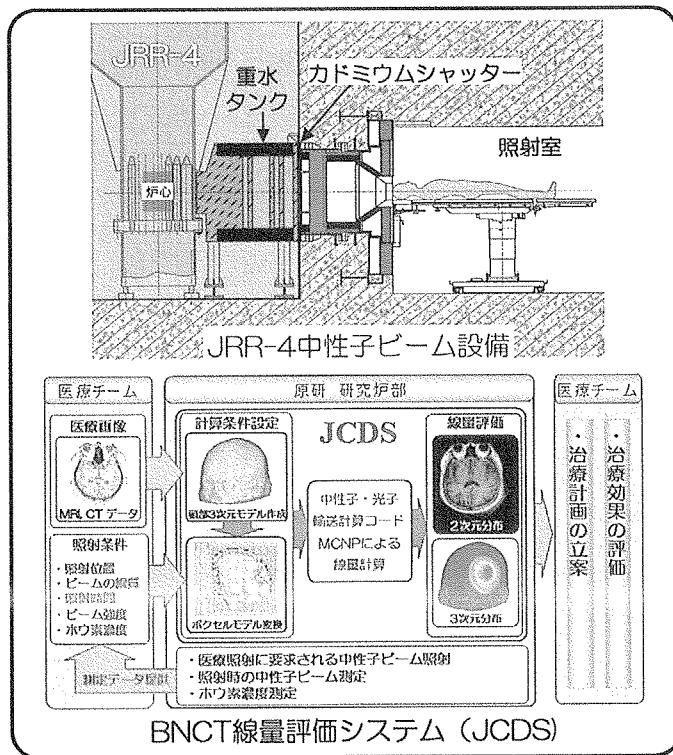


図3.1.5 中性子ビームのエネルギーを任意に制御できる照射設備を開発し、JRR-4に整備するとともに、悪性脳腫瘍に対するBNCT（ホウ素中性子捕捉療法）研究のための線量評価システムを開発した。

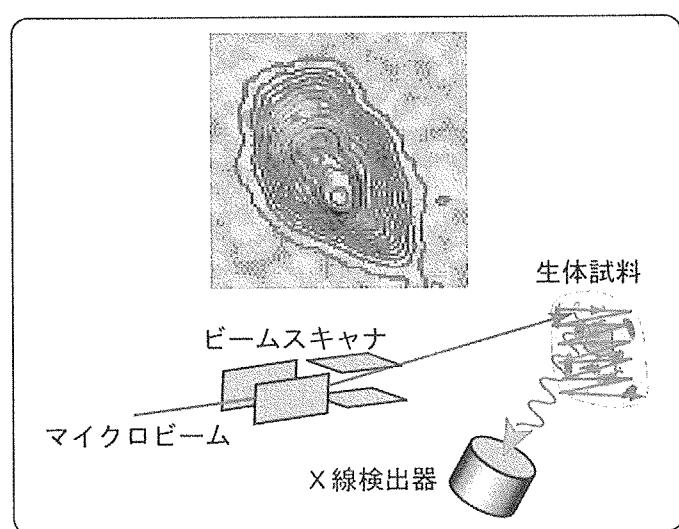


図3.1.6 シングルエンド加速器からのマイクロビームを利用した大気マイクロPIXE分析技術の開発により、空間分解能 $1\mu\text{m}$ で生物試料の元素分布測定を可能とし、医学利用等への新しい研究分野を拓いた。

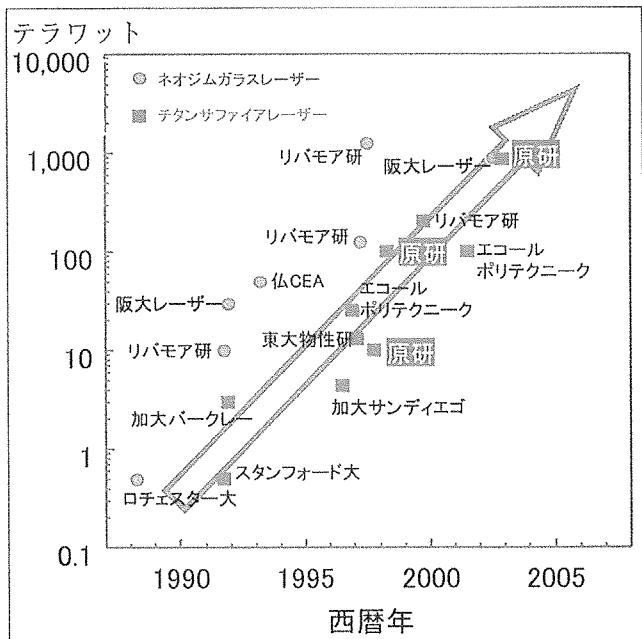


図3.1.7 T-キューブレーザーとして、30兆分の1秒（33フェムト秒）という極めて短い時間であるが、世界最高の出力である850兆ワット（0.85ペタワット）のレーザー光を発生させることに成功した。（従来値の1.5倍）

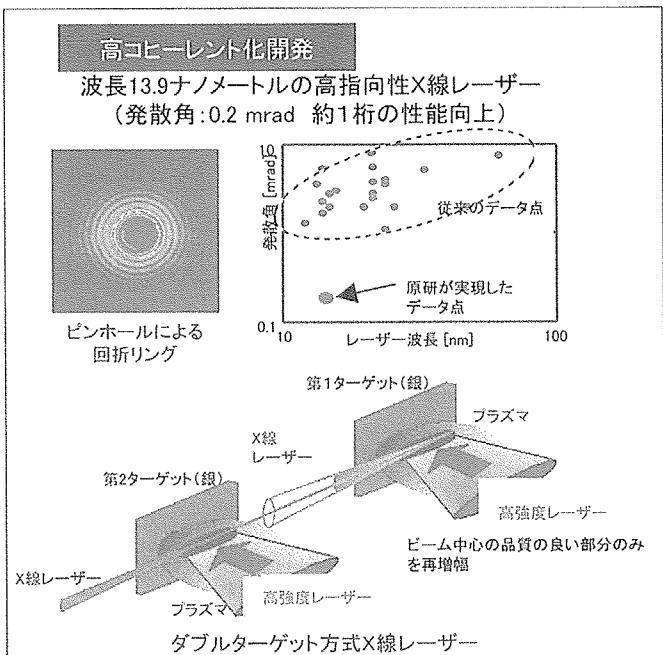


図3.1.8 ダブルターゲットを用いた手法により波長13.9ナノメートルでこれまでにない高指向性X線レーザー（発散角：0.2 mrad 約1桁の性能向上）を実現した。

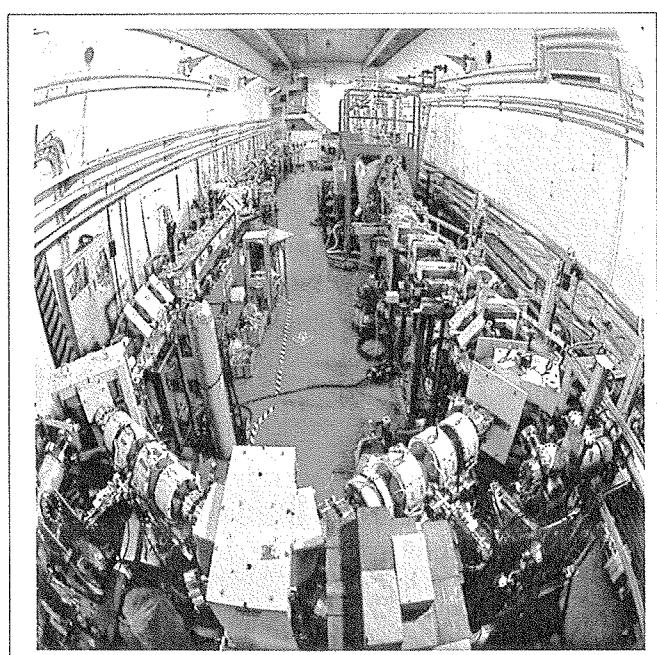


図3.1.9 光のコストが低いなどの特徴から、医療や産業での利用が期待される自由電子レーザーの研究において、世界最高値である、連続出力2.3キロワットの実現、およびエネルギー回収技術（投入した電力の大部分を回収すること）の開発に成功した。

SPring-8における原研専用ビームライン

- 重元素科学用ビームライン(BL23SU: 0.5 ~ 5keV)
波長の長いX線により生体物質や重元素の分光研究
- 材料科学用ビームライン I (BL14B1: 4 ~ 100keV)
高温高圧下や電位下、レーザー照射などに伴う結晶構造の変化、液体やガラスなどの複雑系の研究
- 材料科学用ビームライン II (BL11XU: 6 ~ 70keV)
物質の振動状態や電子状態、成長中の結晶表面の構造の研究
- 量子構造物性用ビームライン(BL22XU: 3~70keV)



図3.1.10 SPring-8における原研専用ビームライン。物質の結晶、電子、磁気構造の微細構造測定、および表面反応、極限環境反応過程のその場観察が可能になった。

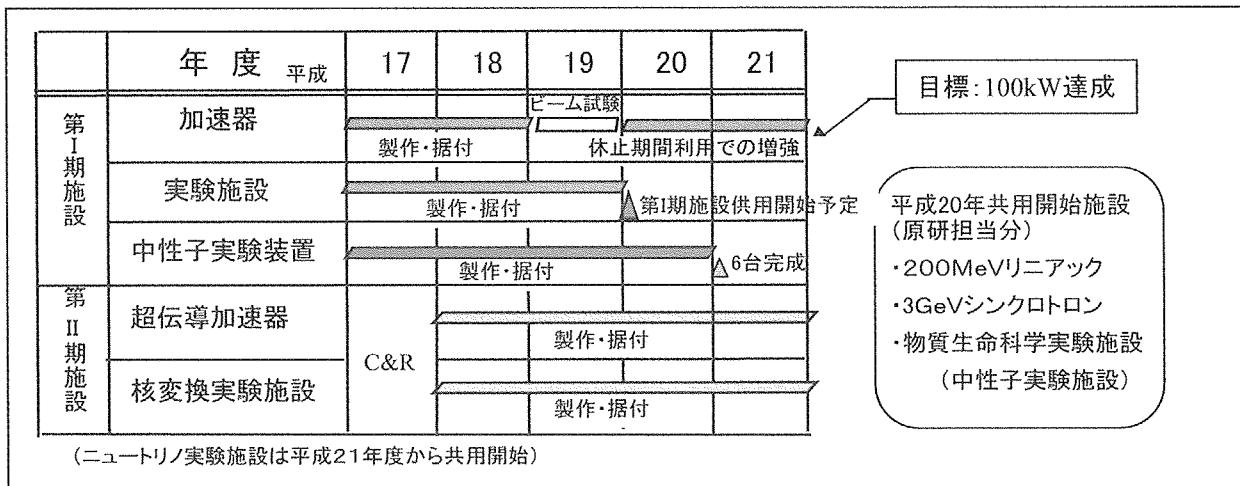


図3.2.1 大強度陽子加速器計画スケジュール

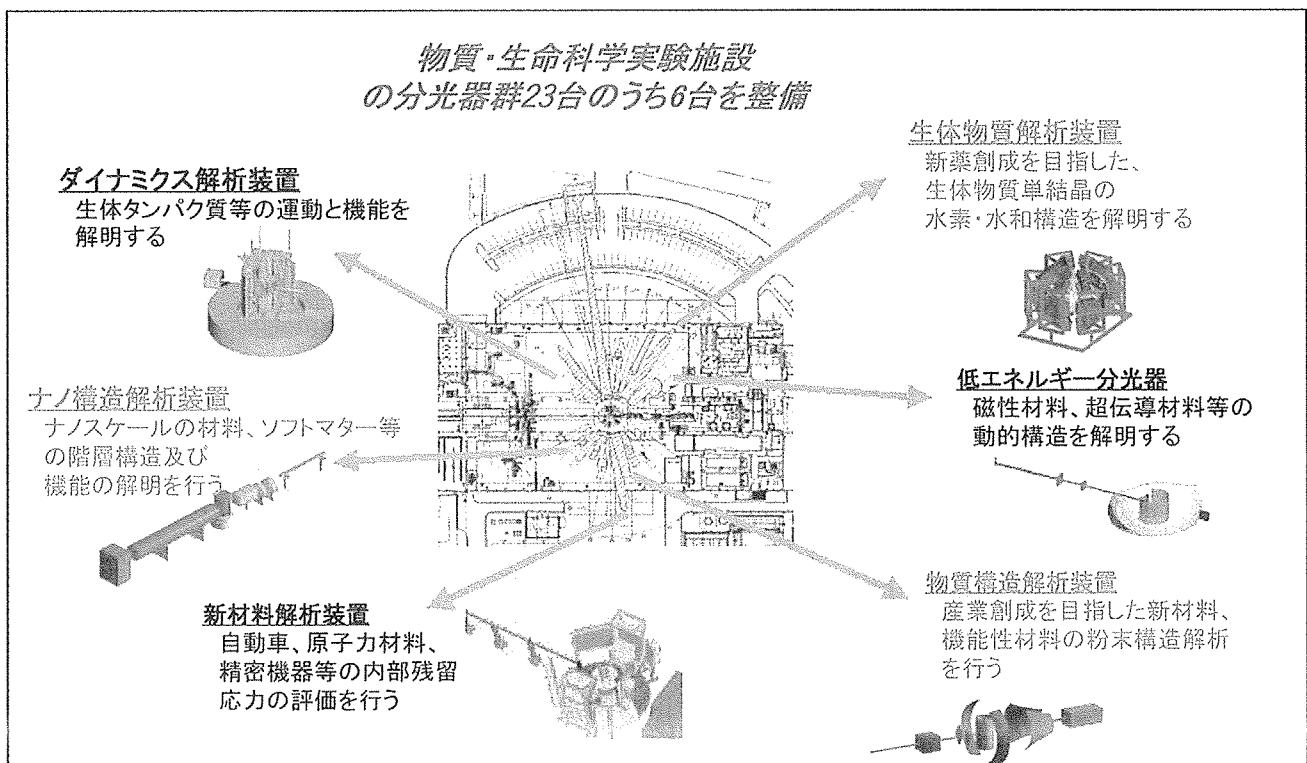


図3.2.2 J-PARC施設稼動にあわせて整備する中性子実験装置

平成19年度から始まるJ-PARCパルス中性子ビーム供給にあわせ6台の中性子実験装置を開発・整備。

専門部会からの計画内容修正提言

当専門部会は、原研から提示された平成17年から5カ年の計画を対象とした評価を行い、本報告書の4章に示す評価結果を得た。提示された計画及び本評価を参考に作成されると想定される新法人の中期計画が、より優れた計画になることを願うものである。その意味で、当部会は、原研側から評価の過程で示された説明や得られた評価結果を反映させて、計画内容の修正を提言することとし、本評価報告書に参考資料として掲載した。

提言-1

放射線源・ビーム技術開発に関する今後の計画の背景・目的・意義で、放射線利用の産業界への拡大を目指したときにレーザーを用いることに限定する表現は好ましくないので、取り消し線部の削除を提言する。

3.3.2 今後の計画

3.3.2.1 背景・目的・意義

放射線利用研究を強力に推進し、さらなる展開を図るため、中性子、荷電粒子・RI、光量子・放射光などの先進的な放射線源と関連するビーム技術の高度化を進める。

中性子利用施設の整備では、平成12年8月の原子力委員会と学術審議会合同の大強度陽子加速器施設評価専門部会の評価に従い、高エネルギー加速器研究機構(KEK)と共同して、J-PARCを建設することにより、東海研究所に中性子科学研究の基盤を確立する。これにより、既設の研究炉とともに中性子科学における国内外の研究拠点として、物質・生命科学及び産業利用の革新的な発展を図る。また、加速器駆動核変換による高レベル放射性廃棄物管理の高度化に向けた研究開発を推進するために、核変換実験施設の建設を目指す。中性子装置開発では、研究炉の冷中性子ビームの性能向上並びに中性子実験装置の高度化を行う。また、先進的なイオンビーム利用研究のため、ナノビーム化などのビーム・加速器技術の開発を行うとともに、放射線利用の産業界への拡大を目指して、超高輝度、極短パルス、高コヒーレント等の特徴を有する先進的レーザーを用いた小型陽子線加速器等の高性能放射線源の開発を進める。

提言-2

放射線源・ビーム技術開発に関する今後の計画の設定目標で、荷電粒子・RI利用技術開発がマイクロビーム・シングルヒットという狭い領域に偏り過ぎているので、下線部の加筆を提言する。

3.3.2.2 設定目標

中性子利用技術開発では、平成19年度末までに、J-PARC第Ⅰ期分の建家、加速器、物質・生命科学実験施設の建設及び安全管理システムの構築を着実に進め、放射線等安全に係わる国の許認可を取得し、ビーム調整試験を経て施設を完成させる(図

3. 2. 1)。

平成 20 年度に J-PARC 施設の供用を開始するとともに、高出力陽子ビーム制御及び安定化技術の開発を進め、平成 21 年度末までに 100 kW の陽子ビーム出力を達成する。さらに、陽子ビーム出力を 1 MW まで向上させるため、リニアックの出射エネルギーの 200MeV から 400MeV への増強に平成 20 年度に着手する。J-PARC 中性子ビームの性能向上のための中性子線源等の高性能化を行うとともに、放射線安全技術向上のための研究開発を行う。中性子装置開発では、平成 20 年度末までを目標に、J-PARC に 6 台の中性子実験装置を順次整備するとともに（図 3. 2. 2）、関連要素技術である高速・高効率中性子検出器、スーパーミラー中性子導管、中性子光学素子などを開発する。J-PARC 第Ⅱ期施設の 400–600MeV 超伝導リニアック、核変換物理実験施設及び核変換工学実験施設建設について、国の評価を受け、建設に着手する。研究炉の冷中性子ビーム性能向上として、現状の 10 倍の冷中性子強度を目指し、減速材容器の最適化、耐放射線中性子導管の開発等を行う。また、革新的な中性子計測法、装置等の開発を目指し、中性子レンズ・プリズム・ミラー等の特殊中性子光学素子の開発を行う。

荷電粒子・RI 利用技術開発では、軽イオンナノビーム形成技術、 $1 \mu\text{m}$ 以下の世界最小のビーム径を持つ数百 MeV 級重イオンビーム形成技術、この重イオン 1 個を狙った場所に高速で照射するシングルイオンヒット技術等のビーム・加速器技術の開発を進めるとともに、イオン照射システムの設計検討を行う。荷電粒子の利用研究は基礎基盤研究から産業応用に渡る幅広い分野の利用者を有しているので、利用者のニーズ・測定技術とも合致した先端的なビーム技術を的確に選択して技術開発を行う。

国際単位系 (SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
力	ニュートン	N	$m \cdot kg/s^2$
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m^2
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$N \cdot m$
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	$A \cdot s$
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバー	Wb	$V \cdot s$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	$cd \cdot sr$
照度	ルクス	lx	lm/m^2
放射能	ベクレル	Bq	s^{-1}
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L, l
トントン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- ECC関係理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バー	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
9.80665	1	2.20462	
4.44822	0.453592	1	

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ポアズ})(\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストークス})(\text{cm}^2/\text{s})$$

圧	MPa(=10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事を熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605J (計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻³	0.238889	9.47813 × 10 ⁻³	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184J (熱化学)
9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855J (15°C)
3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁷	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868J (国際蒸気表)
4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仮馬力)
1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499W
1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	1	

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		1	100
3.7 × 10 ¹⁰	1		0.01	1	

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

放射線利用研究専門部会総括評価結果報告書

R100
古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています