



JAEA-Evaluation

2015-008

DOI:10.11484/jaea-evaluation-2015-008

平成26年度 研究開発・評価報告書
評価課題「量子ビーム応用研究」（事後評価）

Assessment Report of Research and Development Activities in FY2014
Activity: “Quantum Beam Science Research” (Result Evaluation)

量子ビーム応用研究センター

Quantum Beam Science Center

原子力科学研究部門

Sector of Nuclear Science Research

September 2015

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2015

平成 26 年度 研究開発・評価報告書
評価課題「量子ビーム応用研究」(事後評価)

日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門
量子ビーム応用研究センター

(2015 年 6 月 23 日 受理)

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という)は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成 20 年 10 月 31 日内閣総理大臣決定)及びこの大綱的指針を受けて作成された「文部科学省における研究及び開発に関する評価の指針」(平成 21 年 2 月 17 日文部科学大臣決定)、ならびに原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」(平成 17 年 10 月 1 日制定、平成 21 年 8 月 19 日改正)等に基づき、量子ビーム応用研究に関する事後評価を量子ビーム応用研究・評価委員会に諮問した。

これを受けて、量子ビーム応用研究・評価委員会は、本委員会によって定められた評価方法に従い、原子力機構から提出された平成 22 年 4 月から平成 26 年 9 月までの量子ビーム応用研究センター(平成 26 年 4 月より、量子ビーム応用研究部門から名称変更)の運営ならびに量子ビーム応用研究の実施状況に関する説明資料の検討を行った。

本報告書は、量子ビーム応用研究・評価委員会より提出された事後評価の内容を取りまとめたものである。

本報告書は、研究開発・評価委員会(量子ビーム応用研究・評価委員会)が「国の研究開発評価に関する大綱的指針」等に基づき実施した外部評価の結果を取りまとめたものである。

日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究センター(事務局)

原子力科学研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2-4

Assessment Report of Research and Development Activities in FY2014
Activity: “Quantum Beam Science Research” (Result Evaluation)

Quantum Beam Science Center

Sector of Nuclear Science Research
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 23, 2015)

Japan Atomic Energy Agency (hereafter referred to as “JAEA”) consulted an assessment committee, “Evaluation Committee of Research Activities for Quantum Beam Science” (hereafter referred to as “Committee”) for result evaluation of “Quantum Beam Science”, in accordance with “General Guideline for the Evaluation of Government Research and Development (R&D) Activities” by Cabinet Office, Government of Japan, “Guideline for Evaluation of R&D in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology” and “Regulation on Conduct for Evaluation of R&D Activities” by JAEA.

In response to the JAEA’s request, the Committee assessed the research program of the Quantum Beam Science Center (hereafter referred to as “QuBS”) during the period from April 2010 to September 2014. The Committee evaluated the management and research activities of QuBS based on the explanatory documents and oral presentations.

Keyword: Quantum Beam Science Research

This evaluation report presents the result of third-party evaluation conducted based on the “General Guideline for the Evaluation of Government R&D Activities” by Cabinet Office, Government of Japan, etc.

目次

1. 概要	1
2. 量子ビーム応用研究・評価委員会の委員構成	2
3. 審議の経過	3
4. 評価方法	4
5. 評価結果（答申書）	6
付録（日本原子力研究開発機構作成資料）	17

Contents

1. Outline	1
2. Member list of the Evaluation Committee	2
3. Status of assessment	3
4. Procedure of assessment	4
5. Results of assessment (Committee Report)	6
Appendix (documents prepared by Japan Atomic Energy Agency)	17

This is a blank page.

1. 概 要

量子ビーム応用研究・評価委員会（以下、「本委員会」という。）は、日本原子力研究開発機構（以下、「機構」という。）からの諮問に基づき、機構から提出された量子ビーム応用研究センター（以下、「センター」という。）の運営及び量子ビーム応用研究の実施状況に関する説明資料（平成 22 年 4 月～平成 26 年 9 月）並びに量子ビーム応用研究センター長と同副センター長による口頭発表及び同職との質疑応答による事後評価を実施した。

その結果、本委員会は諮問されたセンターの運営及び量子ビーム応用研究については、概ね適切に実施されており、引き続き第 3 期においてもさらに発展させるべきものと評価した。事後評価結果の詳細については本文に示す通りであるが、特記すべき事項として以下の点が挙げられる。

○全体として研究は適切に行われ、所期の目標を確実に達成するとともに、優れた成果も数多く発表されており、センターの運営ならびに量子ビーム応用研究の実施状況は適切であると判断される。

○福島復興対応に係る研究開発は、機構がなすべき仕事として非常に重要であり、センターの果たした役割は非常に大きい。今後とも、センター及び関連する研究開発拠点の有する研究資源やポテンシャルを最大限発揮し、引き続き国民の負託に応えていくことが望まれる。

○センター及び関連する研究開発拠点は、我が国の量子ビームプラットフォームの確立における中核的存在であり、我が国の科学技術・産業全般を支える重要な基盤である。センター本来のミッションと福島復興対応のバランスも考慮の上、環境・エネルギー、物質・材料、医療・バイオ応用、先進ビーム技術など幅広い分野で、出口を意識した成果創出を今後とも推進していくことを期待する。

○今後、センター及び関連する研究開発拠点の新法人への移管により、現在の機構の量子ビーム応用研究の位置づけが変化することも十分予想されるが、いかなる状況下にあっても、量子ビームテクノロジーが、ナノテクノロジーやライフサイエンス等最先端かつ重要な科学技術・学術分野から医療、農業、工業等までの幅広い産業分野を支えていく上で必須の基盤であることに変わりはない。センター及び関連する研究開発拠点の移管に当たっては、リソースを公平かつ適切に機構から新法人に配分するとともに、移管後も機構と新法人の間で引き続き緊密な連携・協力関係を構築することが望まれる。

2. 量子ビーム応用研究・評価委員会の委員構成

雨宮 慶幸	東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 教授
有馬 孝尚	東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 教授
池田 泰久	東京工業大学 原子炉研究所 教授
金子美智代	トヨタ自動車株式会社 材料技術開発部 材料解析室 室長
佐治 英郎	京都大学 大学院 薬学研究科 教授
島田 義也	放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター 発達期被ばく影響研究プログラム プログラムリーダー
委員長 田川 精一	大阪大学 産業科学研究所 ビーム応用フロンティア研究分野長(特任教授)
多田 啓司	旭化成ケミカルズ株式会社 研究開発総部 担当部長 公益社団法人 日本化学会 フェロー
西澤 直子	石川県立大学 教授 東京大学 名誉教授
福山 秀敏	東京理科大学 総合研究機構 機構長
三木 邦夫	京都大学 大学院 理学研究科 教授
宮永 憲明	大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 教授
山田 和芳	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 所長

(五十音順)

3. 審議の経過

以下に、第2期中期目標期間（平成22年4月～）における委員会の審議の経過を示す。

- (1) 第6回量子ビーム応用研究・評価委員会：平成23年4月12日開催
 - ・量子ビーム応用研究部門の第1期中期目標期間の総括、及び第2期中期目標期間の運営方針
 - ・量子ビーム応用研究の進捗
 - ・量子ビーム研究施設の現状と課題
 - ・上記報告内容に対する質疑・意見交換

- (2) 第7回量子ビーム応用研究・評価委員会：平成24年3月22日開催
 - ・量子ビーム応用研究部門の概況
 - ・量子ビーム応用研究の進捗
 - ・上記報告内容に対する質疑・意見交換

- (3) 第8回量子ビーム応用研究・評価委員会【中間評価】：平成25年3月12日開催
 - ・量子ビーム応用研究部門の概況について
 - ・量子ビーム応用研究の進捗と今後の展開について
 - ・上記報告内容に対する質疑・意見交換

- (4) 『「量子ビーム応用研究」に関する中間評価』について：平成26年2月12日答申

- (5) 第9回量子ビーム応用研究・評価委員会：平成26年3月19日開催
 - ・原子力機構改革の状況
 - ・量子ビーム応用研究の進捗
 - ・上記報告内容に対する質疑・意見交換

- (6) 第10回量子ビーム応用研究・評価委員会（事後評価）：平成26年10月20日開催
 - ・事後評価及び事前評価の進め方について
 - ・第2期中期計画における量子ビーム応用研究の進捗
 - ・上記報告内容に対する質疑・意見交換

- (7) 評価結果のとりまとめ：平成26年10月～12月
各委員による評価結果をとりまとめ、全委員の合意のもと答申書を作成した。

- (8) 答申：平成26年12月12日

以上

4. 評価方法

○評価作業手順

機構から提出された第2期中期計画期間（平成22年4月～平成27年3月）における量子ビーム応用研究センターの運営及び量子ビーム応用研究*の実施に関する説明資料（事後評価資料）と、これを用いた同センター長及び副センター長による説明及びその後の質疑応答をもとに、本委員会所定の事後評価対象・項目に従い、研究開発課題評価実施規程第6条（3）に規定する事後評価の観点から評価を実施した。

○評価項目

量子ビーム応用研究センターの運営及び東海、高崎、木津、播磨の各地区における研究開発成果を評価対象とした。（評価項目は以下のとおり。）

1. 量子ビーム応用研究※の推進について（研究開発計画、研究推進方策及び組織・運営(内外との連携含む)、研究開発成果の発信・普及及び波及効果）
2. 福島復興への対応について（福島復興への対応体制・取組、福島復興対応研究：研究の達成度、成果の効果・効用・波及効果、将来展開、その他）
3. 各地区の研究開発成果について（研究開発の達成度、研究成果の効果・効用(アウトカム)・波及効果（インパクト）、将来への研究開発の展開・新たな課題への反映の検討、その他）

○事後評価：平成22年4月より平成27年3月末

*量子ビーム応用研究は、原子力科学研究所、高崎量子応用研究所、関西光科学研究所が実施する量子ビーム技術の開発・高度化研究を包含する。

以上

第 10 回量子ビーム応用研究・評価委員会 議事次第
(事後評価)

1. 日時 : 平成 26 年 10 月 20 日(月曜日)
2. 場所 : 航空会館 501、502 号室(東京都港区新橋1-18-1)
3. 議題 :
 - (1) 量子ビーム応用研究センター センター長挨拶 13:00-13:05 (5 分)
 - (2) 委員長挨拶 <以下、議長:田川委員長> 13:05-13:10 (5 分)
 - (3) 第 9 回評価委員会議事録(案)確認 13:10-13:15 (5 分)
 - (4) 研究開発・評価委員会と日本原子力研究開発機構の評価制度について
<説明:寺岡評価室長> 13:15-13:25(10 分)
 - (5) 事後評価及び事前評価の進め方について
<説明:田中研究推進室長> 13:25-13:30 (5 分)
 - (6) 第 2 期中期計画における量子ビーム応用研究の進捗
 - 全体概要 <説明:伊藤センター長> 13:30-13:50(20 分)
 - 福島復興研究 <説明:田中推進室長> 13:50-14:05(15 分)
 - 東海地区 <説明:内海副センター長> 14:05-14:30(25 分)
 - 高崎地区 <説明:伊藤センター長> 14:30-14:55(25 分)
 - <休憩> 14:55-15:05(10 分)
 - 木津地区 <説明:片山副センター長> 15:05-15:30(25 分)
 - 播磨地区 <説明:片山副センター長> 15:30-15:55(25 分)
 - (7) 質疑応答 15:55-16:25(30 分)
 - (8) 委員自由討論(closed) 16:25-16:55(30 分)
 - (9) 各委員からの講評 16:55-17:15(20 分)
 - (10) 委員長総評(事後評価の総括) 17:15-17:25(10 分)
 - (11) その他(事務連絡等) 17:25-17:30 (5 分)

以上

5. 評価結果（答申書）

平成 26 年 12 月 12 日

独立行政法人日本原子力研究開発機構
理事長 松浦 祥次郎 殿

量子ビーム応用研究・評価委員会
委員長 田川 精一

研究開発課題の事後・事前評価について（答申）

平成 26 年 7 月 1 日付け 26 原機（量）014 にて貴職より諮問のあった以下のことについて、別紙のとおり答申します。

記

【諮問事項】

- ・「量子ビーム応用研究」に関する事後評価
- ・「量子ビーム応用研究」に関する事前評価

以 上

事後評価

本委員会は、所定の評価方法に基づき、機構における「量子ビーム応用研究」に関する事後評価を行い、その結果を以下のとおり取りまとめた。

I. 量子ビーム応用研究の推進について

1. 研究開発計画

第2期中期目標として掲げた「環境・エネルギー、物質・材料科学、生命科学等、様々な分野における量子ビームの有効な利用を促進するため、先進的量子ビームの利用技術の高度化を行うとともに、量子ビームテクノロジーの普及と応用領域の拡大を目指した研究開発を進める」との目標を適切に達成するため、センターにおいては4地区（東海、高崎、木津、播磨）の縦の組織と、4領域（環境・エネルギー、物質・材料、医療・バイオ応用、先進ビーム技術）の横串に相当する分野分けからなるマトリクス型の組織形態が採用されている。この形態により、中性子、荷電粒子・RI、レーザー、放射光等、複数の量子ビームの相補的・補完的利用が促進され、数々の優れた成果の創成や向上に結びついたことは、高く評価される。

この体制の下、量子ビームを用いた基礎研究から応用研究まで、さらには量子ビームプラットフォームの整備や施設供用等、大学や公的研究機関、民間企業等との積極的な連携の下、非常に幅広い活動が概ねバランスよく実施されている。

目標設定に関しても、大きな方向性については正鵠を射たものであり、概ね評価できる。また個々の研究開発にも特色のあるものが多く、平成23年3月の東日本大震災による福島原発事故への対応により、一部変更を余儀なくされたことを考慮しても、中期計画に基づき着実に研究開発が進められている。途中から福島復興への対応を第一重要課題として位置付けたこと、また、その一方で、センターのこれまでの研究実績を基盤に、特徴を十分活かした研究課題を設定し、両者を効率的に推進したこと、出口も可能な限り明確化していくことに努めたこと、その結果、それぞれの領域において多くの有効な研究成果が得られたことに鑑みても、研究開発計画は妥当なものであったと評価できる。

2. 量子ビーム応用研究の推進方策及び組織・運営（内外との連携を含む）

センターは、その運営方針として、トップダウンとボトムアップの融合の下、センターの持つ利点や特徴を活かした横断的な「研究領域」を設定し、組織の縦割りによる弊害の最小化に努めるとともに、出口を意識した成果の創出を基本的な考え方として研究を推進してきた。この組織運営と研究推進方策の今第2期における改革は、今期それぞれの領域で優れた研究成果が多数創出されていることから、うまく機能しており、有効であったと評価できる。これは、個々の研究者、あるいは少数の研究者の集合体では達成の困難な研究も、横断的な体制構築により組織化して取り組むことで可能となることを示したものであり、こうした努力と成果についても高く評価できる。特に、トップダウンとボトムアップの融合に関しては、センター長や副センター長、ユニット長らがリーダーシップを発揮してトップダウンによる研究の方向性を示し、現場の研究者にこれを理解・納得させるとともに、現場からのボトムアップによる提案や意見をこれらセンターの幹部職員が常に把

握し、相互の理解や認識に大きなギャップが生じないようにする必要があるが、これに対する取組みとして、センター運営会議、研究交流会、研究成果報告会、センター長によるグループリーダーヒアリング、ユニット長会合等の、トップダウンとボトムアップ及び横方向の連携を目的とした会合が定期的実施されていたことは、センターのような 200 人を超える研究者が 4 地区にほぼ均等に分散した大きな組織において、縦横、さらにそれぞれの双方向からの意思疎通を密にする上では極めて有効であったと思われる。

なお、これらを常に有効な状態で機能させていくためには、継続的な取組みと合わせて不断の改善や見直しが必要であると考えられ、今後ともそうした取組みに期待したい。特にトップダウン的な運営方針は福島対応だけでなく、今後とも必要であり、そのために人員の補充を含め、センター長、副センター長を中心とした体制のより一層の充実、強化が望まれる。当面の課題としては、現在、兼務となっている高崎地区、木津地区の副センター長などに、適材適所で人材を早急に配置する必要がある。

また、マトリックス組織におけるテーマ設定については、機構のミッションやセンターの方針に基づくトップダウンだけでなく、研究者の共同発案を促すような仕組みも重要と考える。そのためにも、中間評価で提示したように、研究プロモーターのような役割の人材を各地区に配置することや、研究者にインセンティブを与えることも一考と思われる。

大学や民間企業では整備や維持が困難な各種の大型の量子ビーム施設を持ち、基礎研究から実用化に向けた応用研究まで、研究人材の層の厚さとピークの高さを確保しながら、極めて広範囲な研究開発活動が行われていることがセンターの特徴であり大きな強みでもある。この恵まれた研究基盤を量子ビームプラットフォームとして、今後ともしっかりと維持・強化していくとともに、研究成果を実用化に結びつけていくため、産業界などからのニーズを幅広く吸い上げるなど、外部との連携・交流をより強化するための体制整備が引き続き重要である。

なお、第 2 期において、センターの運営費交付金予算は 8 億円から 3.5 億円にまで減少しているが、この目減りを外部資金獲得で補う努力を積極的に行っており、この取り組みは高く評価できる。ただ、その獲得額は年々減少し、平成 26 年度では 5.6 億円（平成 26 年 9 月末現在）であり、今後ともより一層の積極的な予算獲得努力が必要である。特に若手の研究者が、機構から配分された経常的な研究費だけでなく、自分自身の努力で競争的研究資金を獲得することは、研究の動機づけにあたり非常に大きな意味を持っている。今後、この種の活動をさらに奨励しつつ、若手の発想や研究意欲がより一層発揮できる組織運営がなされることを切に望む。また、外部資金をはじめとする予算の確保に必要な活動は、単なる研究に必要な経費の確保という点に留まらず、研究開発活動の PDCA における重要な思考・判断のプロセスであると同時に、その研究開発の社会的意義・重要性を機構内のみならず広く社会にアピールする好機であり、人材育成の観点からも、外部資金を自らの意思で積極的に獲得できる研究者の育成は、組織として今後とも継続的に取り組むべき重要事項であると思われる。

さらに、予算に関しては、今後さらに運営費交付金が減少する可能性が高いことを念頭に、大学や産業界と連携した予算獲得活動の強化など、組織的な取り組み方針を考えていくことが必要と思われる。特に、大学、民間企業との共同研究は今後さらに資金的な意味でも、また出口を見据えた研究という意味でも、その重要性を増すと考える。外部に対するセンターのアクティビティの発信、

社会に対する成果の広報活動は今まで以上に積極的に実施して欲しい。

共同研究、委託研究、受託研究及び国際協定・協力の件数、主催又は共催した国際・国内会議の件数、学術論文、登録特許件数及びプレス発表件数等についても、年によって多少の凹凸は見られるものの、今期に関しては順調に推移しており、件数等定量的・形式的な面だけでなく、実施の必要性・意義やアウトカムに相当する実質的な部分においても、概ね良好な成果が得られているものと思われる。具体的な数値目標や計画達成に向けての詳細な年次計画を掲げることは、量子ビームを利用した基礎基盤研究分野においては、馴染みにくいものと思われるが、長期的展望に基づいた研究の推進は重要であり、産業応用とりわけ実用化を視野に入れた研究課題については、いつまでに何を何処まで達成すべきかを指標や定量的な尺度により示し、適切なチェック&レビューを行うことも今後必要と思われる。

さらに、機構と外部との間での人事交流のさらなる活性化も重要である。センターの研究職の年代別構成をみると、研究者として最も脂ののった年代である 30 代から 40 代の層が厚く、理想的であるが、今後ともこの層に人員構成のピークがくるよう常に維持していくためには、新たな人材確保が必要であり、機構は研究開発担当部署に対し、質的だけでなく量的な確保も両立させる観点に立った人材補給の努力を今後とも鋭意継続していく必要がある。

センターの抱える最大の懸案事項の一つとして、東日本大震災以降、東海地区における主要実験施設である研究用原子炉(JRR-3)の再稼働が未だ実現していないことが挙げられる。JRR-3 の重要性は、これまで創出された成果からも論を待たず、また J-PARC のパルス中性子と、JRR-3 の定常中性子の相補利用が非常に有効であることは、日本中性子科学会特別委員会の答申や、アメリカのオークリッジ研究所やヨーロッパにおける、定常炉とパルス中性子施設との密接な関係からも明らかであり、大学、産業界等からの JRR-3 の早期再稼働を求める強い声に鑑み、今後とも運転再開に向け、最大限の努力を続けて欲しい。

3. 研究開発成果の発信・普及及び波及効果

基礎から応用まで幅広い分野で研究成果が生まれており、年間約 400 報の学術論文の発表となって表れているのは、成果の創出と発信の点で、高く評価できる。但し、研究員の数(約 220 名)でみると、一人当たり約 1.8 報であり、さらなる成果の発信に努めて欲しい。なお、こうした論文発表の件数は、毎年コンスタントに出ているが、どの学術誌(インパクトファクターの値)に投稿したかも、今後意識して取り組むべきと考える。

また、一部の成果は製品化、ベンチャー企業の立ち上げ、他機関の量子ビーム施設への技術協力などの形で波及しているが、もっと積極的に分かりやすい情報発信により、センターのプレゼンスが、機構のステークホルダーにも身近に感じられるようにすると良い。

成果の発信に関しては、英文年報の発行、各種シンポジウムの開催、特筆すべき成果のプレス発表などを通じて、適切になされているものと評価されるが、優れた成果が数多くありながら、同様にそれらが必ずしも外部から見えてこない面もある。外部への情報発信、PRのあり方についてもさらに工夫が必要であろう。なお、原子力機構初のベンチャー企業を設立させたことは出口を意識した成果の創出というセンターの推進方策にかなうもので、特筆すべき成果として極めて高く評価できる。

II. 福島復興への対応について

1. 福島復興への対応体制・取組

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故後、機構の中期計画に新たに「福島第一原子力発電所事故への対処に係る研究開発」が加わったが、これに対して、センター及び関係する研究開発拠点が、放射性物質捕集材や除染技術開発、レーザー遠隔検知技術の開発等において、これまで培ってきた知見を生かし、柔軟かつ積極的に対応を行ったことを高く評価したい。

高分子系材料・機器の耐放射線性データベースの整備のように、過去からの蓄積が必要なものは、今後も地道に続けて欲しい。他の研究機関には担えない独自性を発揮してリードしていくことを期待しており、福島の問題だけでなく、今後、日本では廃炉工程に関するさまざまな研究が必要となることは確実である。このテーマは明らかにトップダウン方式で取り組む必要があり、量子ビームという特性が十分に活かせる、というケースに絞って、集中的な研究開発を行うようにうまく運営することが必要であろう。福島復興への対応には、短期間で実用化が期待できるものとある程度長期のものがあると思われる。それぞれの要求に合わせた対応に組織的に取り組むことで、継続的な福島復興への貢献を期待する。

なお、除染のみならず、福島原発内部の状況観測、及び廃炉に向けた機構全体の活動の中で、センター独自の活動、機構内連携の取り組みとそれへのセンターの関わり方についてより詳細な説明があった方が望ましい。健康相談やコミュニケーション活動については、地元に着した継続的活動として高く評価でき、敬意を表したい。150回の講習会を開催する等、福島復興に向けて研究面だけでなく、専門的知識を活かして環境モニタリングや広報活動も行っている点については、福島復興への取組みとして高く評価できる。今後とも、社会への放射線に対する正しい知識の普及やその他の広報活動にも引き続き積極的に取り組んで欲しい。

2. 福島復興対応研究

センターでは、それぞれのグループが特色を生かした福島復興対応の研究に取り組んでおり、どこにゴールを置くかで達成度は変わってくると考えられるが、絶対的な評価としては、実際に使える技術が複数出てきており、特に、放射光を利用してセシウム (Cs) 高選択性有機配位子を開発し、吸着剤として利用することによる農業用水の除染や、粘土鉱物など Cs 難剥離性物質の吸着メカニズムを解明し、それを廃棄物減容のために利用するシステムの開発など、復興に実質的に役立つ成果を得るために積極的に取り組んでいることは高く評価できる。今後さらに、これまでの知見を活かし、Cs 以外の核種用吸着剤の開発も望まれる。なお、Cs 高選択的クラウンエーテル型吸着剤の開発は、学術的にも興味深く重要な成果と考えられるが、コスト面、大量合成面から考えて、実用性があるかについての留意も必要である。また、粘土鉱物への吸着機構の解明については、福島復興課題としてだけの対応ではなく、より普遍性のある研究を進めることにより、粘土という天然ナノ物質の層間の特性を明らかにすることも望まれる。放射光は、他の量子ビーム源を用いて行われている復興課題への取り組みにとって強力な解析ツールとなり得るものであり、幅広い地区間連携協力が望まれる。また、放射線グラフト重合による Cs 捕集材の開発では、これを充填した家庭用浄水器の製品化を果たす等、被災地復興に貢献できる有効な成果を出している。これについては、普及に向け関係者によりさらに広く宣伝することが望まれる。

また、Csの生体分子への吸着機構を解明したタンパク質の構造研究は、的確な着眼点による優れた研究成果であり、今後福島復興に活かすことが望まれる。今後はこうした課題を整理するとともに明確なビジョンを持ち、これまでの研究実績を活かして研究を進めることが必要である。同時に、福島復興という出口を最大限意識しつつ、スピーディな成果が要求される研究で、人工改変タンパクを使用した吸着部位の解明という研究対象が最も適当なテーマであるかについても十分留意する必要がある。

今後はCs用だけでなく、ストロンチウムなど他核種の捕集材開発も期待されると同時に、Cs-137のリアルタイムイメージング技術開発も、優れた成果であると言える。これによりイオンビーム育種によって開発された植物におけるCs移行、集積をリアルタイムで解析することにより、土壌浄化用植物の開発、移行・集積の少ない農作物の開発が加速されると思われ、イオンビーム育種によるCs高吸収、低吸収ヒエの開発にも期待が持てる。低吸収、高吸収に関わる遺伝子が同定されれば、同じイネ科植物であるイネへの応用が可能である。なお、これらの開発を進める際、イネとヒエの混植を農家は望まないことや、ファイトレメディエーション後の残渣処理が難しいことなども考慮し、福島のニーズに即したものとすることが重要である。Cs-134とCs-137を分別して定量できる簡便な手法の開発も現場のニーズに合致したものであり、復興への貢献度が高い。今後とも、積極的な対応を期待する。

レーザーの利用に関しては、デブリの分析以外への適用についても検討されることが望まれる。また耐放射線性光ファイバーの研究も重要である。一方、高強度レーザーを用いて原子炉内の状態を把握するために、どのような技術が必要なのか、その際の課題が必ずしも明明解ではない。これらの点を明らかにした上で開発を手がけることが望まれる。

以上、福島復興対応についてはスピードが要求される中で大きな成果があり、現地住民の安全・安心に大きく寄与するものと思われる。また、個々のテーマについてはセンターの長期ビジョンのもと、これまでの研究実績を活かすとともに状況の変化に対応して課題を整理し、随時計画の見直しを行うことも必要である。

一部商品化もされる等、民生分野で実際に成果が上がっていることは高く評価できる一方で、今後何年もかかるであろう実際の除染に関して、センターの成果がどう活かされるのか、また何が足りないのか、解決の方策などのロードマップが示されていない。粘土鉱物に対するCs吸脱着機構の解明は、研究としては、大変興味深い。このメカニズムを活用した事例が今後出てくることを期待する。国を挙げて取り組むべき課題であり、成果の効果は大きくインパクトは大きい。粘土鉱物へのCsの吸着挙動の解明については、少しずつ成果が見えてきている。一方で、汚染物質減容化という目標に対し、どういう具体的寄与ができるのか、という点をもっと明確にして欲しい。時間分解XAFSという新手法による研究は、固体・溶液化学の分野に大きく貢献し得る。Cs捕集の問題は、それほど簡単に解決できるとは思えないが、自治体との連携や、福島でのフィールドワークなどを通じて、成果の波及効果を意識した研究が進められている。持っている高い科学力を活かして、①Csにより汚染した土壌廃棄物の減容化のために土壌への吸着物の性状の把握、脱離機構の解明、②水中の放射性Csの捕集に有効なグラフト重合捕集材の高度化・量産技術を確立し、それを用いた家庭用浄水器を開発して実用化に成功したこと、③浄化用植物、農作物へのCsの植物生体内動態を評価できるガンマカメラの開発とそれによる動態解析、④農作物を含む植物へのCsなどの取

り込みと分布、その抑制法の開発、など、復興に実質的に役立つ実用的な対応に積極的に取り組んでいることは特筆すべきであり、高く評価できる。

福島復興対応に係る国の研究開発については、これまでの除染や環境修復中心から今後は廃炉に向けた技術開発にその軸足を徐々に移していくものと考えられ、基礎科学に立脚してどのような研究開発課題があり、それを量子ビームプラットフォームの横断的利用でいかに解決できるか、センターに所属する研究者全員が、これに対して引き続き高い問題意識を持つことで、国民の負託に応えることができるとともに、組織の縦軸・横軸の機能のさらなる強化にも資するものと思われる。

なお、国民の関心の強い低線量被ばくの影響についても、放射線医学総合研究所等との業務分担を踏まえつつ、機構においてもその特長を活かした基礎研究が実施されることを期待する。今後は、より実用化を意識した取り組みが必要となろう。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 東海地区

(1) 医療・バイオ応用領域

東日本大震災による JRR-3 の停止やハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故による J-PARC の停止など、環境的に実験が困難な状況の中、海外施設の活用等で対応してきた努力を評価したい。それぞれのグループの達成度については、十分な達成度であると言えるが、「Cs を特異的に吸着するバイオ材料の創製」や「DNA 促進機構の解明」などに対し、一部の機構を解明しただけではどの程度の成果、進展があったのかを認めることができない。一方で基礎研究は「メカニズムを解明する」「中性子解析法により解析する」などの極めて抽象的な目標が掲げられており、達成度という意味の評価が困難である。なお、東日本大震災やハドロン実験施設における放射性物質の漏えい事故などがあってもかかわらず、J-PARC での国際的な研究活動が進められている点は評価できる。また、高度化した量子ビーム技術の医療バイオ領域への応用は特徴があり、有意義である上、着実に成果が得られている。

上記のような状況の中の研究成果という面でハンデもあったかと思うが、東海地区における中性子利用研究は、機構でしかできない研究の一つであり、また、中性子を放射光とを相補的に利用するという観点からも、着実に成果を上げている。基礎研究としての成果には十分なものがあり、医療・バイオ領域への中性子利用研究を普及させるということからも波及効果は大きい。アウトカム創出には解析する対象物質の選定が特に重要であると考えられる。Cs 吸着バイオ材料には出口が見えない。タンパク質の大型結晶の調製・構造解析はすばらしい成果であり、波及効果も大きいと思われる。医療・バイオ応用量子ビーム技術研究として、①高分解能中性子散乱によるタンパク質の構造・ダイナミクス解析、特に水和構造の解析、②Cs 等の金属の特異的吸着をするバイオ材料の開発など、センターの特徴を生かしたレベルの高い研究を行っており、高く評価できる。

今後も構造と機能の関係を研究テーマとするのであれば、計算科学のメンバーとの連携を強化すべきである。分子シミュレーション研究、分子ダイナミクス研究については、機構に特化した研究という点から、今後の方向性が読み取りにくい。タンパク質の構造解明に水和構造を加味することは非常に重要と考えられ、積極的に進めて欲しい。創薬につながる研究への発展、低線量被ばくとも関係した研究への展開も大いに期待したい。日本全体で、さまざまな手法による研究が行われて

おり、他研究機関とうまく連携をとって、量子ビームとシミュレーションだけで閉じない研究体制を敷くことが重要だと考える。中性子利用研究は機構として最も特色のある研究の一つであるので、今後の適切な体制作りを期待する。

(2) 物質・材料領域

超伝導体に関する研究において、大きな進展が見られている。JRR-3 の運転停止や、J-PARC の事故等があり、研究の遂行には苦労が伴ったことが容易に想像できる。機構独自の研究活動の主要な成果についてまとめるだけでなく、中性子・中間子プラットフォームの運営母体として、日本（あるいは世界）の物質・材料研究全般に対してどれだけ役立っているかがわかるような指標を準備しておくことが、極めて重要である。

鉄筋コンクリートの挙動解明は、研究現場でどうするのが大きな問題であり、中性子回折法の様々な分野への適用が期待し得る。JRR-3 の使用実績が 645 件と有効に利用されていることに見られるように、中性子ビームの利用研究に大きく寄与している。J-PARC での多くの装置の立ち上げと運営を行ってきた実績は、物質科学の推進の面から高く評価できる。特に、AMATERAS の装置性能は大変高いものがあり、今後、世界をリードするような基礎科学上の成果が出てくるものと期待される。

超伝導機構の解明は極めて重要なテーマだが、まだ先が見えない。今後、ユビキタス元素への代替技術にも共通する基礎技術になる可能性が高いので、元素の特徴に着目し、しっかりと研究を進めて欲しい。また、BNCT 技術の進展にも寄与して欲しい。パルス中性子源と定常中性子源の双方を運営している利点を活かすには、二つの中性子源をどのように使い分けるのか、あるいはどのように連携させるのかについて、機構が明確な指針を持つことが重要だと思われる。人的資源の問題もあるので、J-PARC 稼働前に動かしていた装置の一つ一つについての今後の具体的な方針を、日本中性子学会や東大物性研等とも意見交換しつつ、決めることが急がれる。

2. 高崎地区

(1) 医療・バイオ応用領域

PET 用 RI 薬剤の開発は一つの成果であり、人用への展開を加速して欲しい。量子ビーム技術の生体分子の構造・機能解析領域、医療・バイオ領域への応用は特徴的な研究であり、非常に有意義で、着実に成果が得られている。特に、イオンビームによるバイオ肥料微生物の突然変異解析技術の開発と植物の染色体レベルでの変異誘発制御技術の開発、治療や診断に有効な放射性化合物開発、放射線治療効果機序の解明、新しいイメージング技術開発による植物体内のイオン移動挙動の解析などの研究の成果は有効である。

臭素-76 (Br-76) を用いたがん診断技術の開発、レーザープラズマ軟 X 線顕微鏡の開発等、大きな成果をあげている。①ガンの診断に有効な PET 用診断薬としての Br-76 標識アミノ酸の合成に成功したこと、②高強度レーザーを活用したレーザープラズマ軟 X 線顕微鏡を開発し、生きている細胞内の構造のその場観察を可能としたこと、③効率よく目的の突然変異体を得られるというイオンビーム育種技術を利用して、実際に新たな清酒酵母の開発に成功したこと、④異なる細胞間でのバイスタンダー効果の誘導を実証し、放射線照射による治療における治療対象範囲外への影響も期待

できることを明らかにしたことなど、今後の医療分野、バイオ産業分野の進展に有効な研究成果をあげており、高く評価できる。

吟醸用清酒酵母の開発は地元酒造蔵との連携による地域活性化にも寄与するもので評価したい。一方で、研究成果に関しては、よりインパクトのあるテーマの選定を望みたい。群馬県でなく世界を驚愕させるレベルの育種技術に挑戦して欲しい。

(2) 環境・エネルギー領域

研究の基盤となる TIARA、電子線照射施設、ガンマ線照射施設等の稼働率がほぼ 100%を維持し有効に利用されており、これら施設が機能性材料創製、材料評価技術等の分野の進展や燃料電池膜の研究における機能向上に寄与していることに加え、半導体の欠陥に関して国際的な共同研究を行うなど、外部との連携研究を盛り上げ、結果的に大きな成果が上がっている点は率直に評価したい。

個々の研究テーマに関しては、産業応用を最終目的としているのであれば、企業との共同研究が進められていることが一つの指標となる。微量金属捕集材のように、実際に商品化までされているものについては、言うまでもないが、高崎地区全体の傾向として、研究として終わりではなく、実用化を強く意識したゴールイメージを持っているため、達成後の効果も大変分かりやすい。

金属捕集材については、出口としての商品化までしっかりなされており、大きな成果と認められる。水系におけるグラフト重合技術は、この分野のブレイクスルーになっているのではと思われ、アウトカムへの意識を高く持たれている点も高く評価できる。

生体適合性を目指した表面加工技術は、表面形状との基本的な因果関係を確立し、開発指針ができることが重要である。また、表面形状だけでなく、化学構造も大きく寄与することが当然予想されるので、それを考慮に入れた研究を進めて欲しい。TIARA、電子線照射施設、ガンマ線照射施設をより有効に活用し、これら施設でなければできない研究開発を今後も活発に行って欲しい。

(3) 先進ビーム技術領域

上記(2)と同様であるが、TIARA、電子線照射施設、ガンマ線照射施設をより有効に活用し、これらの施設でなければできない研究開発を今後も行って欲しい。大面積イオンビーム等のように、外部ユーザーの技術ニーズがきっかけとなり、共同研究を立ち上げ、それが技術開発として結実したことは高く評価できる。今後も、機構内のニーズだけでなく、こうした外部ユーザーのニーズ・意見を踏まえた技術開発・運営を心がけてほしい。

施設供用や成果普及に関しては、共用促進事業等の外部資金を獲得し、施設供用の促進等を図っていることに加え、放射線利用フォーラム等を毎年開催し、技術移転に関する取り組みを継続的に実施していることは高く評価できる。こうした取り組みにおいて、マンパワーは欠かせないものであるが、関連部署との連携等を図って対策を講じ、今後も継続的な実施に向けて努力して欲しい。

3. 木津地区

(1) 先進ビーム技術領域

当初の目標を概ね達成していると評価できる。J-KAREN や X-線レーザーをベースに 40 MeV 陽子線発生成功、鉄 (Fe) イオンの完全電離状態での加速に成功するなど、目覚ましい成果をあげ、かつ応用分野への展開へと進展させている。さまざまな高強度レーザーの開発に成功しており、達成度は高い。さらに、高次高調波発生新たなメカニズム提案、X 線レーザーのコヒーレンスを活

用した具体的応用などで進展が見られ、主力装置である J-KAREN については補正予算による高度化が進められた。

フェムト秒超高強度レーザーの開発とその利用研究は世界的に凌ぎを削る分野であり、J-KAREN-P (1 TW@0.1Hz) の早急な完成と利用研究における成果が望まれる。また、木津地区の基盤となるレーザー技術は、低繰り返し高ピーク強度レーザーと高繰り返し高平均出力レーザーの2つに大別できるが、超広帯域レーザーの分散制御、レーザー増幅媒質の熱効果などの共通課題がある。これらの共通課題について、両ユニットの連携体制も重要と考えられる。

今後のレーザー開発においては、目的を常に意識し、軍事的な応用を目指さない我が国ならではの人類に貢献できる用途を打ち出して欲しい。J-KAREN や X 線レーザーの供用については、外部に幅広く周知することで、益々の有効活用と研究成果の充実へと結び付けていく必要がある。

(2) 環境・エネルギー領域

当初の目標を概ね達成していると評価できる。将来の核変換に役立つ同位体分離法の開発、白金族系元素のレーザー誘起還元法による粒子化など、放射性廃棄物処理分野に貢献しうる研究成果をあげている。福島復興への対応を含め、優れた成果を着実にあげている。同位体分離用テラヘルツ (THz) 発生のためのピコ秒レーザー、医療応用等のためのファイバーレーザー(ベンチャー設立)、コンプトンガンマ線発生用電子加速器電子源への貢献などが評価できる。特に機構第1号ベンチャー企業「OK ファイバーテクノロジー社」の創立は、レーザー内視鏡などの実用化に向けた研究の輝かしい成果の現れであり、今後とも出口指向を重視して欲しい。

また、同位体分離用 THz レーザーの開発については、明確な達成目標とロードマップの下、着実に推進する必要がある。放射性廃棄物処理へのレーザー応用では、廃棄物処理分野の専門家と共同で研究を進めることで、有用な成果の創出に結び付けて欲しい。

4. 播磨地区

(1) 物質・材料領域

SPring-8 の専用ビームラインを用いて顕著な成果をあげており、高く評価できるが、水素貯蔵合金以外のテーマでは、明確な目標が設定されていない印象を受ける。一般に、基礎研究を進める上では、ビジョンが必要であり、そのビジョンの中での各々の実験成果としての位置付けがないと、何のためにその研究をしているのか、機構がやるべき研究かどうか理解されないのが、常に留意して欲しい。また、専用ビームラインを用いた研究の目的が機構のミッションとどうつながるのかを明確に意識しておく必要がある。アルミを用いた水素貯蔵合金の開発については、メカニズムの知見を活かし、有用なアウトカムを創出を期待したい。高圧下の水素の観測等は、水素貯蔵材料の開発に向かって一定のインパクトを与えており、共鳴非弾性 X 線散乱 (RIXS) の成果は、中性子、硬 X 線、軟 X 線の相補的な利用例として注目に値するが、その学術的・技術的有用性については広く周知する必要がある、しっかりとアピールして欲しい。

Cs の吸着過程の解明は、新規吸着材の開発に寄与できるかをしっかり見極めることが重要と考えられ、非常に基礎的な研究であるが、どう応用に展開するかを認識して進めることで、さらに有益な成果が創出されると思われる。また、今後も引き続き SPring-8 ビームライン運営の一端を担うの

であれば、ビジョンを持ったビームラインの高度化、特に、施設が SPring-8II へと高度化された場合の青写真などを描きながら、着実に整備を進めて欲しい。

(2) 環境・エネルギー領域

SPring-8 専用ビームラインを駆使して顕著な成果をあげており、高く評価できる。特に、粘土鉱物への Cs 吸着機構の解明研究、Ce(IV)の溶液構造に関する研究では、インパクトの大きな成果が出ており、外部との連携がうまく進んでいる点も高く評価できる。

白金触媒の代替として銅化合物に一定の進歩がみられたことは評価できる。元素戦略として重要な課題であり、さらなる大きな成果を期待したい。粘土層間の水の動きが Cs1 価正イオン (Cs⁺) の存在により容易になり、それにより層間から脱水するという知見は、これまでにない見解であり、今後の地層処分における緩衝材中の核種挙動研究に大きく貢献するものである。マイナーアクチノイド (MA) 分離用化合物の分子設計に関する研究も、国際的に注目されており、この分野の進展に大きく寄与しうる。また、環境汚染物質の減容化研究については、現場の要請をしっかりと認識・把握し、スピード感を持って取り組んで欲しい。

アクチノド化学の基礎研究を行う研究機関が少ない中、当該分野に係る最先端の研究を行っており、今後の更なる研究活動に期待したい。特に、時間分解 XAFS 測定法は、アクチノイド溶液化学、ひいては MA 分離法開発に大いに貢献し得るものであり、効率的かつ着実な推進が望まれる。

IV. まとめ

東日本大震災以降、原子力を取り巻く社会環境が劇的に変化する中で、我が国における量子ビーム応用研究の中核的組織として、その役割を果たすべく、状況の変化に対し柔軟かつ積極的に対応し、優れた研究成果を数多く創出した点は高く評価できる。人材育成、外部資金獲得、外部との連携強化等の見地からは、まだ十分でないと思われるところも散見されるが、総じて研究のレベルは高く、専門性の異なる研究グループの融合も有機的に進むなど、少なくとも組織として指向すべき方向性については、ほぼあるべき方向に進んできたものと思われる。今後も原子力・放射線のブランドとして、他の機関とも連携をとって大胆な課題に積極的に挑戦して欲しい。

第3期において、センター及び関連する研究開発拠点に関しては、途中から放射線医学総合研究所との移管統合による新法人への移行が予定されているが、当該法人は量子状態の現象解明とその成果の応用による量子科学技術研究全般を担う機関であり、また、我が国の量子ビームプラットフォーム確立のための基幹的な存在であって、いかなる状況下にあっても、これらに依拠する量子ビームテクノロジーが、ナノテクノロジーやライフサイエンス等の最先端かつ重要な科学技術・学術分野から医療、農業、工業等までの幅広い産業分野を支えていく上で必須の基盤であることに変わりはない。このため、センター及び関連する研究開発拠点の移管に当たっては、リソースを公平かつ適切に機構から新法人に配分するとともに、移管後も機構と新法人の間で引き続き緊密な連携・協力関係を構築することが望まれる。

その研究開発への取組みや今後の動向については、これからも期待を込めて注視していきたい。

以 上

付録

日本原子力研究開発機構作成資料

付録 1

研究開発課題の事後評価について（諮問）

This is a blank page.

26 原機(量)014

平成26年 7月 1日

研究開発・評価委員会
(量子ビーム応用研究・評価委員会)
委員長 田川 精一 殿

独立行政法人日本原子力研究開発機構
理事長 松浦 祥次郎

研究開発課題の事後／事前評価について (諮問)

「研究開発・評価委員会の設置について」(17(達)第42号)第3条第1項に基づき、
次の事項について諮問します。

記

〔諮問事項〕

- ・「量子ビーム応用研究」に関する事後評価
- ・「量子ビーム応用研究」に関する事前評価

以上

This is a blank page.

付録 2

事後評価説明資料

○第 2 期中期計画期間中における 量子ビーム応用研究の進捗

- 全体概要（伊藤センター長）
- 福島復興研究（田中研究推進室長）
- 東海地区（内海副センター長）
- 高崎地区（伊藤センター長）
- 木津地区（片山副センター長）
- 播磨地区（片山副センター長）

This is a blank page.



資料10A-1

第10回量子ビーム応用研究・評価委員会
(第2期中期計画 (H22-26年度) 事後評価)
平成26年10月20日



第2期中期計画期間中における 量子ビーム応用研究の進捗 (全体概要)

日本原子力研究開発機構 (JAEA)
原子力科学研究部門
量子ビーム応用研究センター(QuBS)

センター長 伊藤 久義

①



目次



1. 第2期中期目標、中期計画
2. 量子ビーム応用研究の推進方策
3. 組織・運営
4. 主な研究開発成果・技術移転
5. 基盤施設・設備の整備・高度化・供用
6. 福島復興に向けた活動
7. 人材育成、アウトリーチ活動
8. 独法評価の結果
9. 原子力機構改革

②



1-1. 第2期中期計画における量子ビーム応用研究の 位置づけと国の基本政策



【中期計画目次(H24年3月30日変更認可)】

- 福島第一原子力発電所事故の対処に係る研究開発
- 高速増殖炉サイクル技術の確立に向けた研究開発
- 高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発
- 核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発
- 量子ビームによる科学技術競争力向上と産業利用に貢献する研究開発

科学技術基本計画

- 第3期(H18-H22年度)
 - 重点4分野 = ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料
 - 推進4分野 = エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア
- 第4期(H23-H27年度)
 - ライフイノベーション、グリーンイノベーション
 - 震災からの復興、再生の実現

原子力政策大綱(H17年10月閣議決定)

量子ビームテクノロジーは、今後、ナノテクノロジーやライフサイエンス等最先端かつ重要な科学技術・学術分野から、医療・農業・工業等の幅広い産業までを支えていくことが期待されている。そこで、国は、大強度陽子加速器といった世界最先端の量子ビーム施設・設備を我が国の基幹的な共通科学技術インフラとして整備していくことに継続して取り組むとともに、こうした施設・設備において、産学官が連携して活用できる環境の整備や研究者及び開発者にとって利用しやすい柔軟性に富んだ共用・支援体制の整備等に取り組むべきである(抜粋)。

③



1-2. 量子ビーム応用研究に係る第2期中期目標



量子ビームによる科学技術の競争力向上と産業利用に貢献する研究開発

(1)多様な量子ビーム施設・設備の整備とビーム技術の研究開発

J-PARC加速器に関する開発、高強度パルス中性子利用技術の開発
 研究炉による中性子利用技術の開発
 荷電粒子・RI利用技術の開発
 光量子・放射光利用技術等の高度化

(2)量子ビームを応用した先端的な研究開発

環境・エネルギー、物質・材料科学、生命科学等の様々な分野における量子ビーム利用の促進
 先進的量子ビームの利用技術の高度化
 量子ビームテクノロジーの普及と応用領域の拡大

④



1-3. 福島復興研究に係る第2期中期目標



福島第一原子力発電所事故の対処に係る研究開発

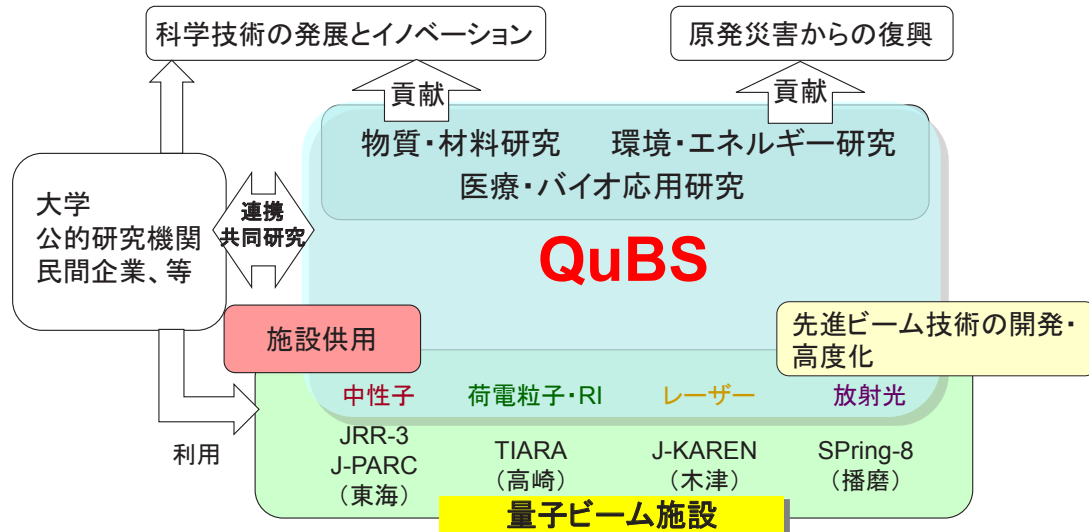
「東京電力(株)福島第一原子力発電所における中長期措置に関する検討結果(平成23年12月13日原子力委員会決定)」を踏まえ、事故を起こした原子力発電所の廃止措置等に向けた研究開発の実施について、政府・東京電力中長期対策会議研究開発推進本部の方針に基づき、関係省庁、研究機関等の関係機関、事業者等との役割分担を明確にし、連携を図りながら、確実かつ効率的に実施する。

また、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法に基づく基本方針(平成23年11月11日閣議決定)」を踏まえ、各省庁、関係地方公共団体、研究機関等の関係機関、事業者等と連携しつつ、必要な研究開発を実施する。

⑤



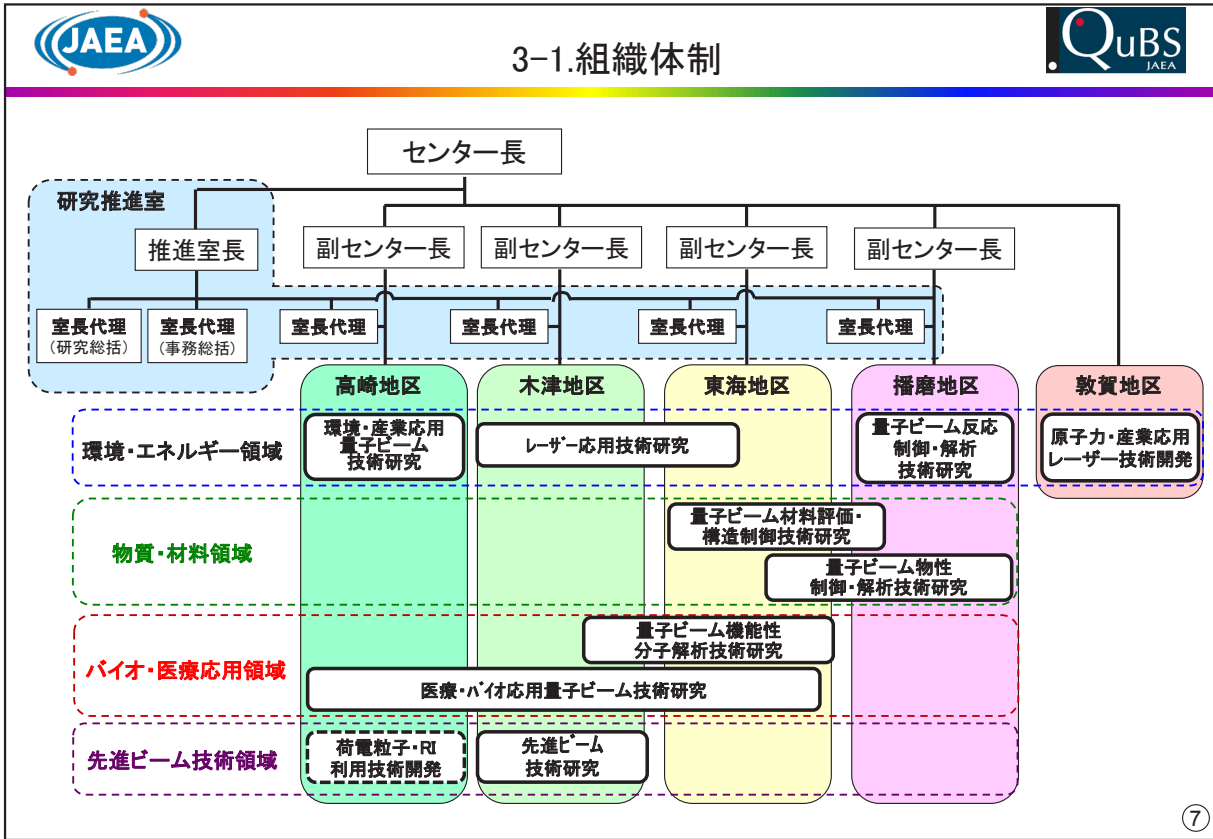
2. 量子ビーム応用研究の推進方策



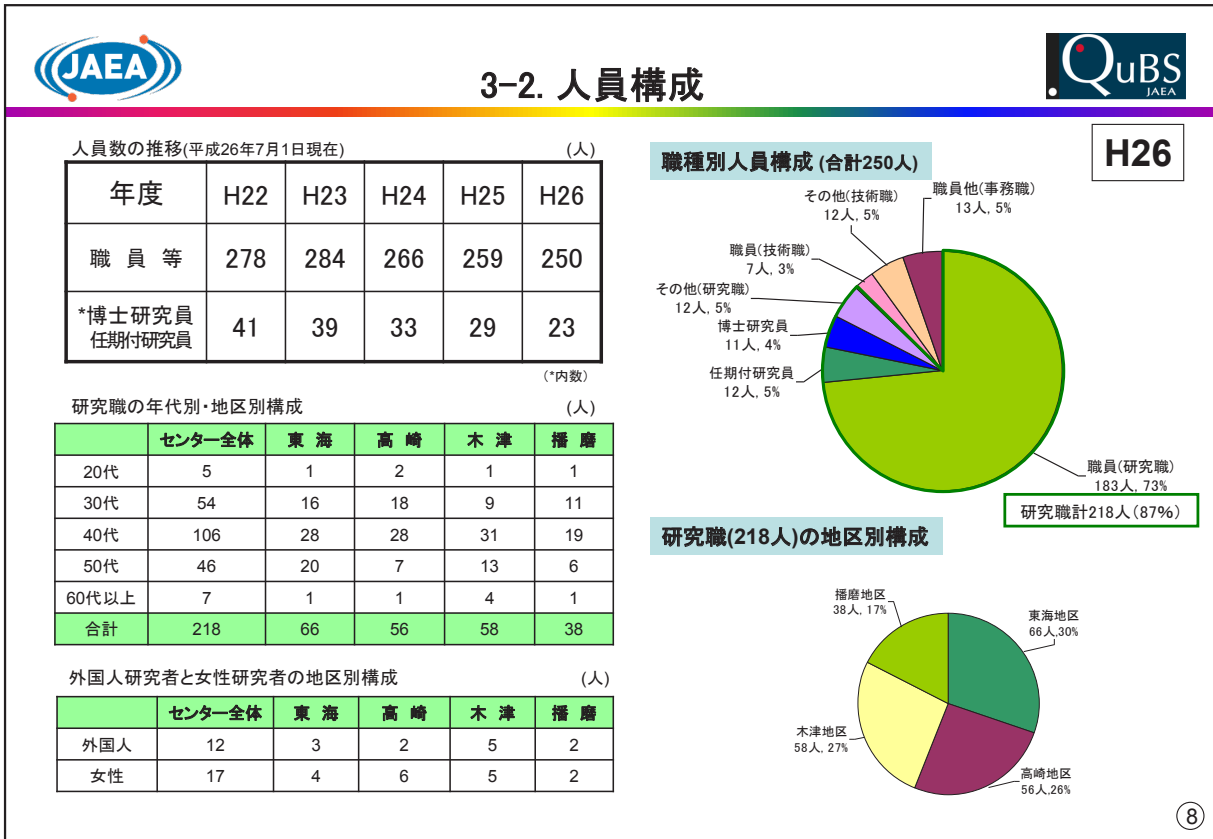
第2期中期計画の考え方(第2期中期計画_事前評価資料抜粋)

- 量子ビームの横断的利用
多様な量子ビームの有する優れた機能を総合的に活用するための量子ビームプラットフォームを確立すること
- 出口を意識した成果創出
量子ビームプラットフォームを基盤として、生命科学、先進医療、バイオ技術、物質・材料、環境・エネルギー等の科学技術分野において優れた成果を創出すること

⑥



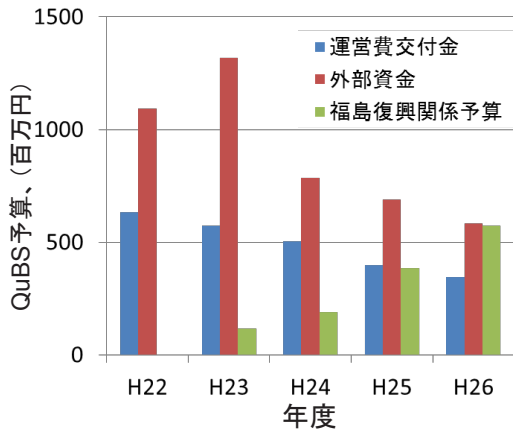
⑦



⑧



3-3. 研究推進に係る予算



H24年度 補正予算

- 量子ビームによる新奇材料創製の推進 (総額:68億円)
 - ・環境・産業利用研究棟、量子ビーム応用研究管理棟の整備
 - ・ビーム照射試料解析研究機器の整備、等
- J-KARENレーザー実験の高度化(総額:12億円)
 - ・高出力・高繰り返し装置、集光照射装置、等の整備

主な外部資金

- 最先端・次世代研究開発支援プログラム
 - 「新規ペプチド探索法と分子イメージングの融合による革新的ペプチド創薬システムの構築」(RI医療応用研究G, 石岡GL:総額135,200千円)
 - 「革新的レーザー駆動イオン加速手法の開発」(レーザー駆動粒子線研究G, 福田研究主幹:総額153,400千円)
- 原子力導入国における核不拡散・核セキュリティ体制の強化
 - 「レーザーコンプトン散乱ガンマ線源利用核共鳴蛍光非破壊測定」(ガンマ線核種分析研究G, 羽島GL:H24年度244,589千円)
- 光・量子融合連携研究開発プログラム
 - 「エネルギー貯蔵システム実用化に向けた水素貯蔵材料の量子ビーム融合研究」(高密度物質研究グループ 町田副主任研究員:H25年度:45,000千円)
 - 「中性子と放射光の連携利用によるタンパク質反応プロセスの解明(代表:京都大学)」(量子ビーム機能性分子解析技術研究U, 黒木UM:H25年度24,700千円)
 - 「小型加速器による小型高輝度X線源とイメージング基盤技術開発(代表:KEK)」(ガンマ線核種分析研究グループ 羽島GL:H25年度18,720千円)
- 光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発
 - 「融合光新創生ネットワーク(代表:大阪大学)」
 - (関西光学研究所、レーザー応用技術研究ユニット 杉山UM:平成25年度:73,153千円(H20年度から10年間))
- 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)
 - 「レーザーを活用した高性能・非破壊劣化インフラ診断技術の研究開発(代表:理研)」
 - (レーザー応用技術研究ユニット 河内室長代理)

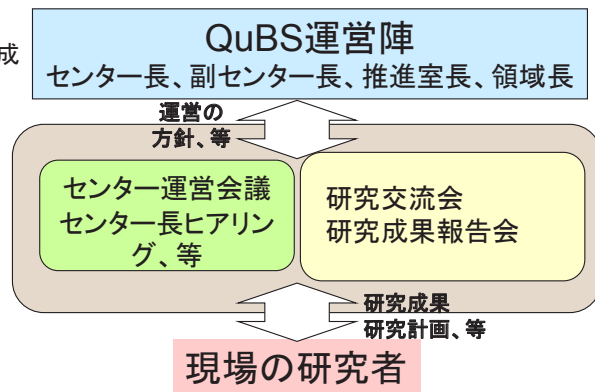
9



3-4. QuBSの運営



- センター運営会議
 - 月1回開催
 - センター長、副センター長、推進室長、領域長、等で構成
- センター長・副センター長ヒアリング
 - 年度予算・実施計画
 - 次期中期計画の研究計画
- 研究交流会
 - 全地区参加、年1回開催
 - 最新の研究成果、研究の方向性
 - 若手によるショートプレゼンテーション



開催年度	H22	H24	H25	H26
開催地区	高崎	木津	東海	播磨
参加人数	263	220	243	231
口頭発表	8	19	14	11
ポスター	182	157	171	151

- 研究成果報告会
 - 年1回開催
 - 各研究領域から、優れた成果を発表



H26年度 研究交流会の様子

10

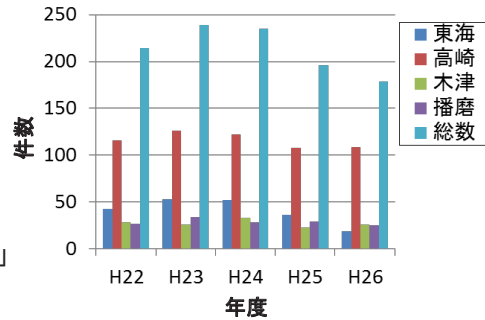


3-5. 外部機関との連携(国内)



1. 共同研究 (H26年度実績)

大学、等 : 東京大、大阪大、群馬大、他 (64 大学)
 研究機関 : 理研、物材機構、JAXA、等 (6 機関)
 民間企業 : 東芝、ダイハツ、島津製作所、他 (45 社)
 その他 : 自治体、農業団体、医療団体、他 (15 団体)



共同研究件数の年度推移

2. 他機関との研究協力

「量子ビームテクノロジーの先導的研究開発に関する研究協力協定」

協力機関: 物材機構、理研、原子力機構(3機関連携)

期間: 平成18年12月～

Aチーム : 燃料電池システム用キーマテリアルの開発

Bチーム : 次世代機能材料開発に向けた量子複雑現象の解明

「融合新光創生ネットワーク」

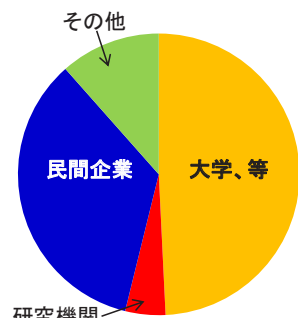
協力機関: 大阪大学、京都大学、分子科学研究所

期間: 平成20年8月～

「群馬大学と日本原子力研究開発機構との連携協力にかかわる協定」

協力機関: 群馬大学

期間: 平成23年2月～



共同研究の相手機関別の割合 (H26年度) ⑪



3-6. 外部機関との連携(国外)



(1) 主な研究連携

○「中性子散乱」日米科学技術協力研究

相手先: オークリッジ国立研究所(ORNL)

高中性子束炉(HFIR)の利用のために実験者を派遣

○イオンビーム照射利用分野の研究開発における科学協力に関する覚書

相手先: ドイツ重イオン研究所

イオンビーム照射における核飛翔の利用(有機材料、無機材料)、
重イオンによるDNA損傷、重元素の核化学等の分野における研究協力

○シンクロトロン放射光研究分野における協力取決め

相手先: 欧州放射光施設(ESRF)

ESRF及びSPRING-8の間において、材料科学分野における計測技術、
及び方法論等に関する研究協力を実施

(2) 国際協力(IAEAプロジェクト等)

○IAEA CRP 16748「環境汚染有機物質を含む排水の放射線照射処理」

期間: 平成22年12月～

○IAEA CRP 17021「半導体及び絶縁体のイオン照射欠損の研究及び

モデリングのための加速器の利用」

期間: 平成24年1月～

(3) 国内外施設の利用

○停止中の国内施設の状況に鑑み、国内外の施設を積極的に利用

HFIR(米)、HFR(仏)、FRM II(独)、HANARO(韓)、OPAL(豪)、ISIS(英)、
KUR(京大)、HUNS(北大)、RANS(理研)、等

QuBSにおける国際協定・協力

協定数	相手機関(国)
12	IAEA ORNL(米) ドイツ重イオン研究所(独) ラウエ・ランジェヴァン_ILLL(仏) 韓国原子力研究所_KAERI(韓) ベトナム原子力委員会_VAEI(越) ロシア科学アカデミー プロホフ一般物理研究所_GPI(露)

H26年9月現在の状況




ORNLに設置されている
Wide Angle Neutron Diffractometer (WAND)装置

⑫



3-7. 成果の発信・普及-1



○ 会議・シンポジウムの開催

QuBS国際会議
QuBS2010
 「6th Workshop of Speciation, Techniques and Facilities for Radioactive Materials at Synchrotron Light Sources and Other Quantum Beams Sources」
 開催場所：播磨地区 (SPring-8)、参加者数：93名(内、国外49名)、発表件数：口頭発表32件、ポスター36件

QuBS2012
 「IUCr High Pressure Commission Workshop 2012 “Advance in Crystallography at High Pressures”」
 開催場所：東海地区(水戸市)、参加者人数：95名(内、国外34名)、基調講演等口頭発表37件、ポスター発表44件


毎年開催される主要な国内会議

高崎量子応用研究シンポジウム： TIARA等の高崎地区の照射施設で得られた成果の報告会
 放射線利用フォーラム： 研究成果を基にした技術移転の取組等を群馬県内の企業等に紹介
 光量子シンポジウム： 光量子科学研究に係るJAEAの最新の研究成果を紹介
 JAEA放射光シンポジウム： JAEA専用BLで得られた成果の報告会

QuBSが主催・共催した主な国際・国内会議の数


国際会議					国内会議				
H22	H23	H24	H25	H26*	H22	H23	H24	H25	H26*
4	5	5	2	1	6	5	7	14	7

*H26年度は、平成26年9月1日時点の数字




第8回高崎量子応用研究シンポジウム
—高崎量子応用研究所50周年を迎えて—

13

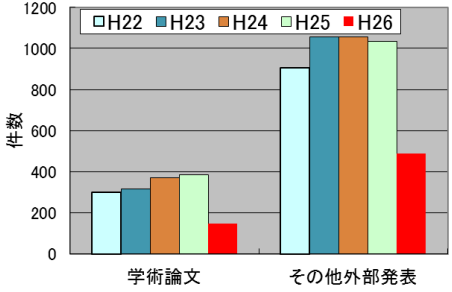


3-8. 成果の発信・普及-2



○ 学術論文、学会参加、プレス発表

成果発表推移(論文・その他外部発表)



受賞、特許、プレス発表件数 (括弧内の数字は機構内表彰)

	H22	H23	H24	H25	H26*
受賞	22(10)	21(10)	30(10)	27(14)	19(7)
特許登録	55	57	58	45	12
プレス発表	8	10	17	11	9

*H26年10月現在

○ Annual Reportの発行

Annual Report QuBS
 英文誌
 全地区のグループにおける1年間の研究活動、及び成果を報告

Annual Report on Neutron Science and Technology(東海)
 英文誌
 J-PARCセンターも含む中性子科学研究に関する1年間の研究活動を報告

JAEA Takasaki Annual Report (高崎)
 和文、または英文(英文を原則)
 高崎量子応用研究所で実施された研究開発の成果を取り纏めて公開(JAEA-Review)


光量子科学研究シンポジウム論文集(木津)
 和文、または 英文
 光量子科学研究シンポジウムにおける発表論文集(JAEA-Conf)

JAEA Symposium on SPring-8 Synchrotron Radiation Research Frontiers(播磨)
 英文
 その年の研究テーマに関する成果を取りまとめた放射光科学シンポジウムのアブストラクト集

○ HP、パンフレットの制作

QuBS HP
 適宜外部へ情報を発信

パンフレット
 QuBS全体版に加え、各地区毎に発行



14

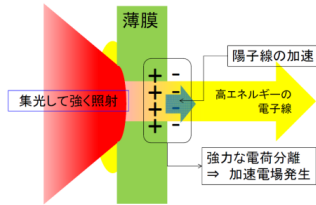


4-1. 主な研究開発成果-1



高強度超短パルスレーザーを高度化し、がん治療に向けた小型陽子線源を開発

(H24年7月プレス発表)



がん治療用小型陽子線加速器の実現へ道筋

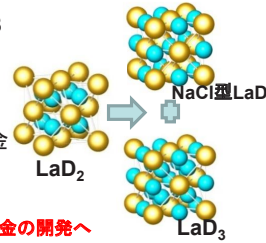
超高強度レーザーを薄膜に照射することで、小型化可能なレーザーとしては世界最高エネルギーとなる43MeVの陽子線の発生を確認し、既存の加速器を大幅に小型化する可能性を示した。

岩塩(NaCl)構造をもつレアアース金属の水素化物を発見

(H24年5月プレス発表)

J-PARCの中性子線とSPring-8の放射光を相補的に利用

NaCl構造をもつ1水素化物(LaD)の生成を発見
全ての金属中で唯一、希土類金属が3つの形態で水素を取り込むことを発見



高温の水素を吸収する希土類合金の開発への貢献が期待

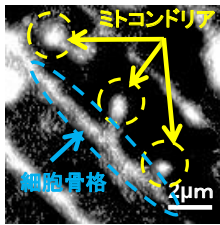
レーザープラズマ軟X線顕微鏡を開発し、生きた細胞内の超微細構造の観察に成功

(H23年8月プレス発表)

生きた細胞内の構造を90nm以下の高解像度で観察可能

生きている細胞内のミトコンドリアや細胞骨格を、世界で初めて撮像することに成功

細胞への放射線影響など、生命現象を理解する研究の有力な手段



細胞内の軟X線顕微鏡像

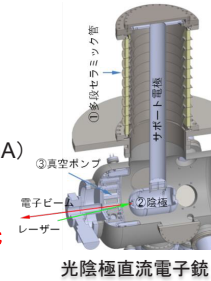
次世代光源用光陰極直流電子銃から500keV大電流ビーム生成に成功

(H25年3月プレス発表)

多段セラミック管の採用、陰極形状の最適化、電極周囲のポンプによる強力排気等により、陰極等からの放電を抑制

500keV電子ビームを大電流(2mA)で生成することに成功

高輝度・短パルスX線源など、次世代光源の開発に道筋



光陰極直流電子銃



4-2. 主な研究開発成果-2



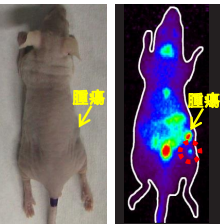
小さながんも見逃さない新しいRI薬剤を開発

(H22年6月プレス発表)

がんのPET診断用薬剤⁷⁶Br-MBBG(メタブロモベンジルグアニジン)を開発

粟粒ほど微小な褐色細胞腫¹⁾を画像上に鮮明に映し出すことに成功

がんの早期発見に威力を発揮し、早期治療による克服



PET画像診断で初めて見つけた小さな腫瘍(赤丸部)

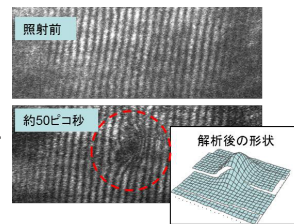
ナノスケールの金属表面形状変化を瞬時に観察

(H22年6月プレス発表)

表面観察用軟X線レーザー干渉計を開発

物体表面の形状変化1nmの深さ方向の分解能と10psの時間分解能で瞬間撮像に成功

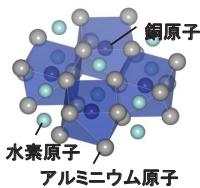
高機能薄膜生成のその場観察、構造相転移等の産業・基礎科学への利用に期待



赤外線レーザー照射前後のプラチナの表面形状の干渉像

アルミニウムを主原料とする新しい水素貯蔵合金の合成に成功

(H25年9月プレス発表)



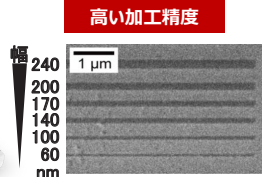
放射光その場観察技術によって、アルミニウム合金Al₂Cuの金属格子中の隙間に水素が入った侵入型水素化物であることを解明

軽量で安価なアルミニウムを主原料とした繰り返し水素吸放出可能な水素貯蔵合金の実現へ

集束イオンビームで生体に優しいプラスチックの精密微細加工技術を開発

(H25年12月プレス発表)

集束イオンビーム



加工表面(窪み部分)をダイヤモンド・ライカーカーボン様に改質し、細胞接着性の強弱を制御

医療材料の実用化へ期待



4-3. 技術移転、ベンチャー企業の設定



セシウム捕集材を開発し、浄水器に応用・製品化

(H24年11月、H26年3月、7月プレス発表)

電子線グラフト重合技術により、セシウムを選択的に吸着できる捕集材を開発*

モニター試験をH25年3月から、1年間実施

開発した捕集材を組み込んだ家庭用浄水器「クランセル®」を製品化 (H26年4月販売開始)



セシウム除去用給水器 クランセル®

(販売 倉敷繊維加工株式会社)

*倉敷繊維加工株式会社との共同研究

原子力機構初のベンチャー企業の設定

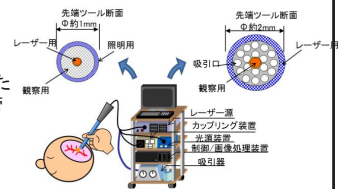
株式会社OKファイバーテクノロジー

(代表取締役:岡潔 主任研究員 光子融合研究Gr)

機構のベンチャー支援制度に基づく 低侵襲レーザー 脳血管壁除去装置 初のベンチャー企業として認定 (H25 年9月)

事業内容:

複合型光ファイバー技術を用いた医療機器システムや産業用配管等の検査・修理機器の研究開発及び製造販売

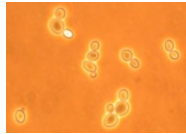


群馬県の新しい吟醸用清酒酵母の開発

(H24年12月プレス発表)

イオンビーム育種技術により、吟醸酒製造に適した新たな清酒酵母を開発*

風味のバランスが良く、従来の酵母にはない「甘い香り」をもつ新酵母を選定し、群馬県の新しい酵母として、県内の酒造蔵に頒布



新酵母の顕微鏡写真(左)と新酵母を使用して醸造・販売された吟醸酒(右)

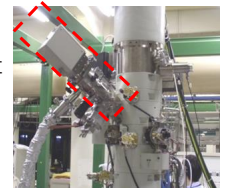
*群馬県立群馬産業技術センターとの共同研究

高効率X線回折格子の開発

(H25年11月プレス発表)

高エネルギー分解能多層膜X線回折格子分光器を開発*

- ・Li-K発光分析が可能
- ・高エネルギー分解能
- ・高い検出感度(数10 ppmの微量ホウ素などの検出が可能)



開発した分光器をTEMIに装着

日本電子製電子顕微鏡のEELSシステムに採用され、H26年11月より販売が開始

*JST、日本電子(株)、東北大学、(株)島津製作所との共同研究



5-1. 基盤施設・設備の整備・高度化



補正予算、外部資金、等を獲得・活用して量子ビーム施設・機器の設置・高度化

J-KARENの高度化 (平成24年度補正予算)

高線り返し・高エネルギーレーザーの設計、整備

ビームパワー

250TW → 1000TW(1PW)

線り返し率

シングルショット(30分毎) ⇒ 0.1Hz(10秒毎)



J-KAREN

新奇材料創製のための施設整備 (平成24年度補正予算)

研究棟の整備(H27年3月竣工予定)

先端分析装置等の整備

環境制御型透過電顕、X線光電子分光装置 顕微ラマン分光装置、マイクロフォーカスX線CT、等

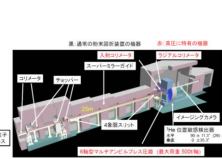


環境・産業利用研究棟(イメージ図)

超高圧中性子回折計の建設 (科研費新学術領域)

J-PARCのBL11に超高圧中性子回折計PLANETを建設

6軸型マルチアンビルプレス(圧極)を導入 本格的な高温高圧実験を展開



PLANET

圧極

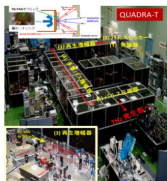
QUADRA-Tの施設整備

(光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発、等)

THz波発生用新型レーザーシステムの開発

1kHz/1ps高線り返し Ybレーザーシステムを開発し、THz波発生試験を開始

世界クラスの高光耐力性能をもつレーザーミラーを開発

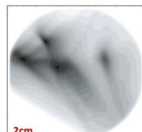


QUADRA-T光源システム

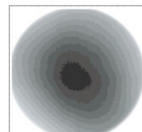
TIARAにおけるビーム技術開発

(光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発、等)

ビーム形状・強度の計測を可能にする照射チェンバーを設計・製作 均一度を制御した大面積均一ビーム形成技術を開発、等



従来の複雑な分布



2次元的なガウス分布に制御

SPring-8 BLの高度化

(平成24年度補正予算ナノテックプラットフォーム)

κ型X線回折計 高経年化した旧装置を新規更新。電池電極反応オブレンド観測等に貢献 窒化物系半導体製膜過程観察装置 既存の表面X線回折計に搭載し、研究対象を拡大



κ型X線回折計



窒化物系半導体製膜過程観察装置



5-2. 施設供用の促進



国の共用事業の活用

○先端研究施設共用促進事業 (H25年度より、先端研究施設共用促進・プラットフォーム形成事業に移行)

「研究用原子炉JRR-3 の中性子利用による施設共用促進」

対象施設: JRR-3

JRR-3ユーザーズオフィスの整備

JRR-3共用課題実施管理 システム(RING)の整備・運用

「明日を創り、暮らしを守る量子ビーム支援事業」

対象施設: TIARA、 γ 線照射施設

実験支援員3名を配置し、ビーム実験等を支援

H25年に6課題を実施、H26年に7課題を実施中

○ナノテクノロジーネットワーク (H23年度まで)

「放射光を利用したナノ構造・機能の計測・解析」

対象施設: SPring-8_JAEA専用BL

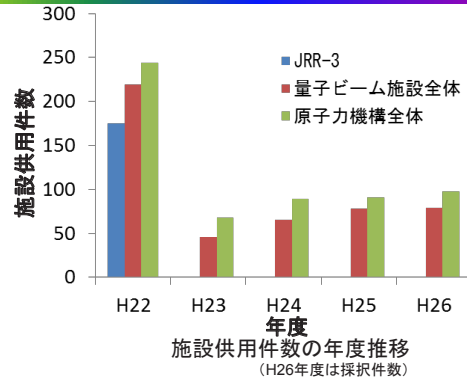
○ナノテクプラットフォーム (H24年度~)

「微細構造解析プラットフォーム」

対象施設: SPring-8 JAEA専用BL

ナノテクノロジープラットフォーム利用研究セミナーの開催 (2回開催/年)

新規テーマ・産業利用課題・他機関との連携研究を発掘・促進



ナノテクプラットフォーム利用セミナー

19

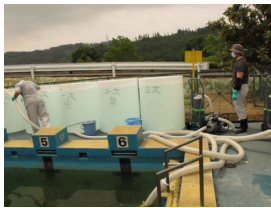


6. 福島復興に向けた活動

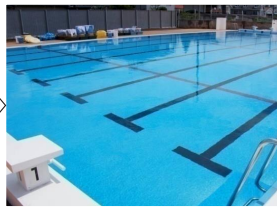


専門的知識を活かした環境モニタリング、コミュニケーション活動等

○福島県の学校プール水の調査・除染



ゼオライトとポリ塩化アルミニウム (PAC) による凝集・沈降によりセシウム除去



除染後のプール (検出限界以下)



マニュアルの作成に協力 (JAEA HP上で公開)

○一時帰宅プロジェクト支援活動への要員派遣

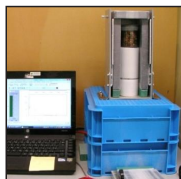


○セシウム134と137を個別・簡便に定量する分析法の開発・普及

放射線測定の実験家ではない方々のために、NaI(Tl)スペクトロメーターの測定結果を、表計算ソフトを用いて、セシウム134とセシウム137を区別して定量する簡便な手法を開発 (H24年6月プレス発表)



食品や土壌



NaI(Tl)スペクトロメーターによる測定

○「放射線に関するご質問に答える会」への講師派遣



20



7.人材育成、アウトリーチ活動



○大学等への講師の派遣

連携大学院、大学等への公開特別講座等の制度を活用

主な大学:茨城大学、同志社大学、福井大学、群馬大学、群馬高専、東京大学、等

講師を派遣した大学数

年度	H22	H23	H24	H25	H26
大学の数	13	11	14	18	11*

*H26年9月現在

○スーパーサイエンスハイスクールへの協力 (H22年度～)



講義の様子

○サイエンス倶楽部 播磨高原東中学校 (H22年度～)



実験指導の様子

○JST主催のサイエンスキャンプへの協力 (H22年度～)



実験指導の様子



○こども体験教室「群馬ちびっこ大学」(群馬大学主催)への協力(H23年度～)



高崎研の展示ブース



実験指導の様子

(21)



8.独法評価の結果



年度(平成)	評価結果	コメント(抜粋)
22	A	量子ビームを活用して、極短パルスレーザーによる先進ビーム技術開発、がんの正確な診断と治療に役立つRI薬剤の開発、マルチフェロイック磁気構造の解析等において、成果があった。また、「独立行政法人の事務・事業の見直しの基本方針」に従い、量子ビームテクノロジーを用いた生命科学に特化した研究について廃止することとなった。以上から、計画通りに履行したと認められる。
23	S	量子ビームによる科学技術の競争力向上と産業利用に貢献する研究開発については、被災したJ-PARCの早急復旧、セシウム捕集材の開発、物質・材料分野での孔(ホール)の運動量分布の可視化(世界初)、生きた細胞の内部構造の瞬時撮像(世界初)など、顕著な成果を挙げたと認められる。
24	S	○量子ビームを用いた成果は非常に優れており、高く評価したい。8億円近い外部資金の取得は研究面で外部から高く評価されていることを示すものである。 ○J-KARENによる高エネルギー陽子線発生など顕著な成果があった。論文への研究開発成果の発表も高く評価できる。 ○世界をリードする研究成果から、セシウム除去用カートリッジの製品化等、初期の目標を大きく上回る成果が得られたと評価できる。JRR-3 停止にもかかわらず、他の中性子施設を使い中性子利用研究を実施したと評価できる。
25	A	○アルミニウムを主原料とする合金を用いて侵入型水素化物を合成することに世界で初めて成功するとともに、Li分析も可能で電子顕微鏡に搭載できる高性能X線分光器の開発及びその製品化に貢献したこと等、ビーム源の開発、基礎から産業応用にわたって、特筆すべき研究成果を上げたことは評価できる。 ○セシウム汚染土壌の減容化を目指した研究プロジェクト「廃棄物減容化のためのセシウム脱離機構解明」を、原子力機構の関連部署、並びに大学・研究機関と連携・協力して実施し、円滑かつ確実な成果創出につなげている。 ○あまりに研究成果ばかりを求めて即成果的な研究課題を求めることなく、より基礎的で重要な課題にもマシントimeを割当てて、中長期的な成果を狙うような研究開発も同時に進めていってほしい。

(22)



9-1.日本原子力研究開発機構の改革の基本的方向



日本原子力研究開発機構の改革の基本的方向—安全を最優先とした組織への変革を目指して—
H25年8月8日 文部科学省 日本原子力研究開発機構改革本部

(1) 具体的な取組(抜粋)

- 社会的使命の再認識、明確な目標設定、トップの指示・考えを共有化する仕組みの再構築
- 研究開発部門と研究開発拠点のマトリックス体制の廃止、再構築

(2) 原子力機構の業務の基本的な考え方

- 日本における唯一の原子力に関する総合的研究開発機関として、その社会的使命、果たすべき役割を念頭に、総花的な業務内容を見直す。

(3) 業務の重点化の方向

- 以下の業務に原子力機構の資源を重点的に配分

東電福島第一原発事故への対応、
原子力の安全性向上に向けた研究、
原子力の基礎基盤研究とこれを支える人材育成
核燃料サイクルの研究開発(「もんじゅ」を中心とした研究開発)

量子ビーム研究及び核融合研究開発については、国内の他の研究機関への移管も含め、施設ごとに、状況を検証し原子力機構の業務からの切り離しを判断

23



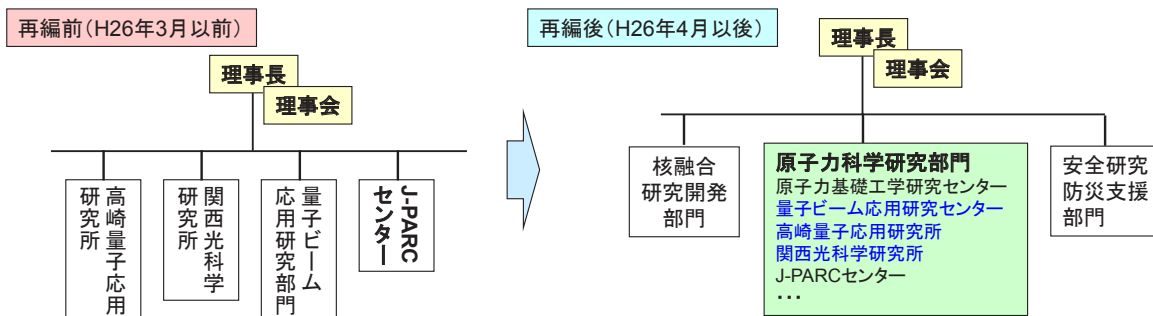
9-2.日本原子力研究開発機構の改革計画



自己改革 —「新生」へのみち—

原子力機構改革計画:H25年9月26日 策定

- 原子力機構のミッションを達成する「強い経営」を確立
大括り化の部門制(8部門・17事業所 ⇒ 6事業部門制)



○原子力機構の使命を再確認

原子力の専門人材と専門施設を擁する我が国唯一の原子力の総合的研究機関として、原子力利用に係る諸々の側面を支え、あらゆる事態に対応できるよう、以下の使命を重点的に実施

- 東電福島原発事故への対応
- 原子力の安全性向上に向けた研究
- 原子力基盤の維持・強化
- 核燃料サイクルの研究開発(「もんじゅ」を中心とした研究開発)
- 放射性廃棄物処理・処分技術開発

核融合研究開発と量子ビーム応用研究(一部)については分離・移管

24



資料10A-2



第10回量子ビーム応用研究・評価委員会
(第2期中期計画 事後評価)

平成26年10月20日

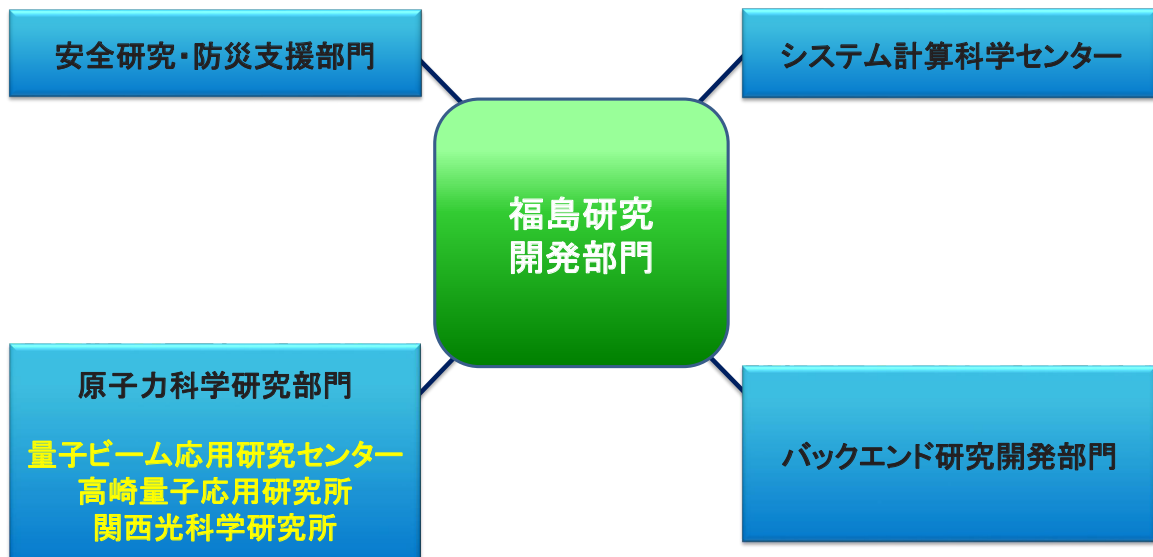
福島復興研究

研究推進室長: 田中 淳

①



原子力機構における体制



②



1. 量子ビームを駆使した研究・技術開発

- ・福島環境回復に関する研究開発(放射性物質捕集材・除染技術開発)
- ・福島第一原子力発電所用レーザー遠隔検知技術の開発

2. 除染・放射線計測技術の構築・普及、データベースの整備

- ・セシウム134と137を個別・簡便に定量する分析法の開発・普及
- ・高分子系材料・機器の耐放射線性データベースの整備
- ・福島県の学校プール水の調査・除染及び除染マニュアル作成への協力

3. 健康相談・コミュニケーション活動

- ・放射性物質分布マッピングのための土壌採取・環境モニタリング
- ・一時帰宅プロジェクト支援活動への要員派遣
- ・「放射線に関するご質問に答える会」への講師派遣
- ・全国からの依頼に対する放射線・放射性物質の基礎と食品への影響についての講演、等々

③



1-1. 量子ビームを駆使した研究・技術開発



A) 福島環境回復に関する研究テーマ

	研究テーマ名	実施グループ
1	グラフト重合捕集材の高度化・量産化技術開発	環境機能高分子材料研究グループ
2	植物残渣からのセシウム等回収に係る技術開発	環境機能高分子材料研究グループ
3	イオンビーム育種によるセシウム高/低吸収植物の開発	イオンビーム変異誘発研究グループ
4	イオンビーム育種によるセシウム濃縮菌の開発	イオンビーム変異誘発研究グループ
5	土壌-植物系におけるセシウム動態解析のためのガンマカメラの開発	RIイメージング研究グループ
6	セシウム汚染植物からのセシウム回収を目指した高機能セルロース分解酵素の開発	分子構造・機能研究グループ
7	高選択性捕集材の開発と量産化技術開発	アクチノイド錯体化学研究グループ
8	廃棄物減容化のためのCs脱離機構解明	量子ビーム反応制御・解析技術研究ユニット

B) 廃止措置に関する研究テーマ

	研究テーマ名	実施グループ
1	福島第一原発用レーザー遠隔検知技術の開発	レーザー量子制御研究グループ, 光量子融合研究グループ

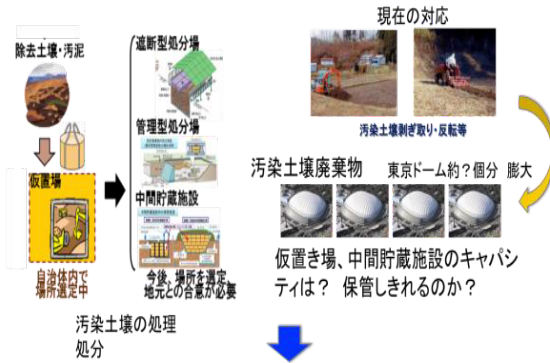
④



1-2. 廃棄物減容化のためのCs脱離機構解明-1



研究の背景: 放射性セシウムによる土壤汚染等による空間線量率を下げるため、表面土壤などの剥離が行われている。これらを仮置場、さらには中間貯蔵施設で保管し、30年後の最終処分を実施することになっている。



・安全な保管に関しては、一般的なセシウムに対する常識は、1960年代に構築されたが、いまだに想定外の土壤への吸脱着挙動が確認されている。セシウム挙動に関する詳細かつ健全なロジック(たとえばセシウムが、どこまでは動かないであろう、この程度は動くであろうという判断可能な科学的根拠など)が説明できないと、施設の管理基準が設定できない。

→客観的科学的根拠に基づくセシウム挙動理解(揺るぎない科学的基盤)が必要。

・最終処分に向けて、今後土壤廃棄物の減容化が必要。様々な減容化の実証試験が行われているが、必ずしも効率的な方法とはいえない。

→土壤の吸着物の性状を正確に捉え、的確な処理であるかの確認、あるいは新規方法の提案など“技術支援”することが必要。

- ・汚染土壤を安定に中間貯蔵できるか?
- ・汚染土壤の30年後の減容化は可能か?

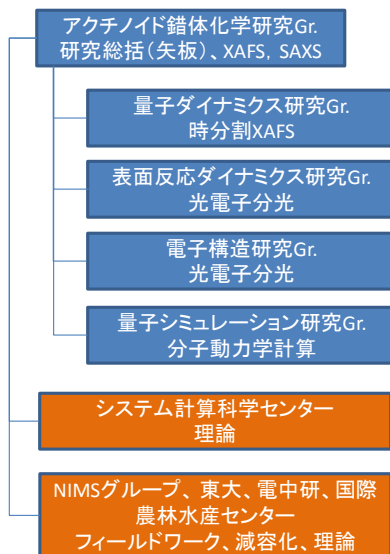
5



1-3. 廃棄物減容化のためのCs脱離機構解明-2



研究体制および分析分担



今中期における研究の総括

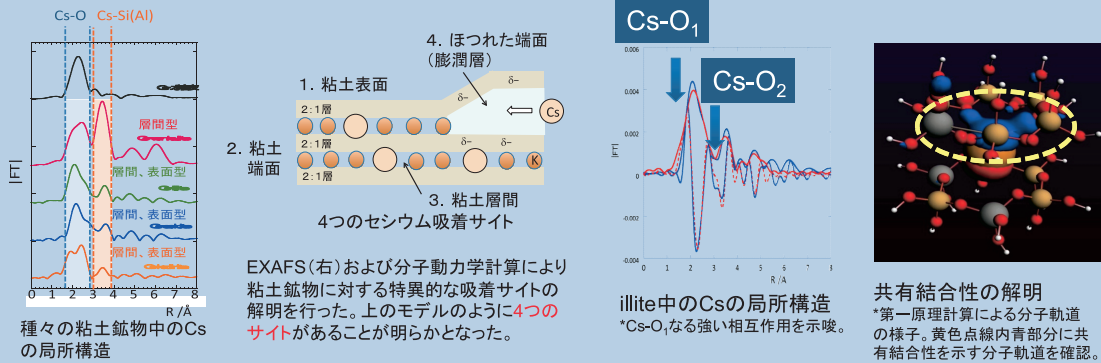
- ・粘土鉱物に対するCs吸脱着機構の解明
Cs選択性の機構解明
新しいCs取り込みモデルの構築
福島粘土吸着種の同定
- ・土壤廃棄物の減容化研究
新しい湿式分級法の開発
アルカリ共晶塩によるCs脱離研究
- ・技術リファレンスウェブサイトの概要検討
- ・地方自治体、大学での広報活動への協力

6

1-4.粘土鉱物に対するCs吸脱着機構- Cs選択性に関するメカニズム解明

研究目的: 福島第一原子力発電所の事故により放出された大量のセシウムによる環境汚染からの回復を目指し、粘土鉱物へのセシウム吸脱着機構解明を実施し、この基礎に基づいた様々な減容化手法の開発研究を実施する。

研究成果: 福島土壌における土壌中においては、いくつかの吸着サイトをおよび共有結合性などに基づくCs選択性に関するメカニズムなどを初めて明らかにした。



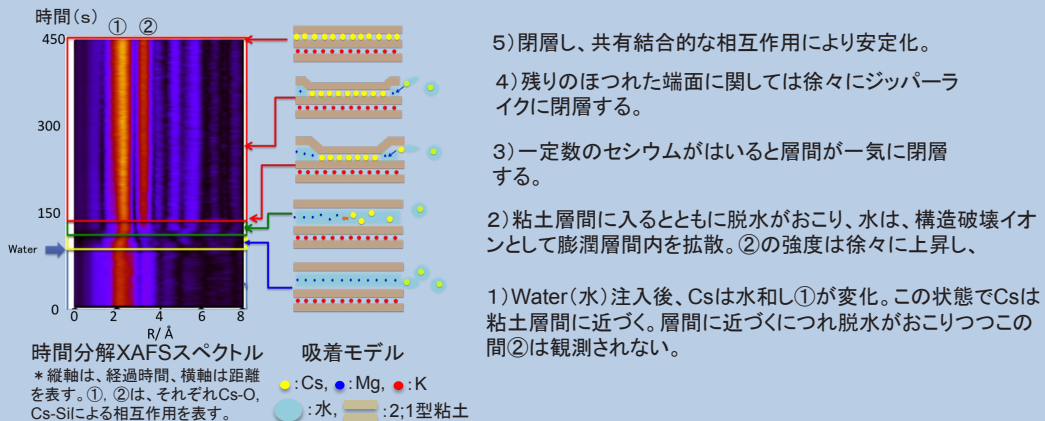
特記事項 ○ATOMΣ(2014)他に掲載。
○難剥離性Csの存在状態、選択性に関する新しい知見を提供。
今後の予定 ●酸によるCs剥離、アルカリ溶融塩処理の開発・高度化に貢献。
●保管に関する安定性評価に活用。

7

1-5.粘土鉱物に対するCs吸脱着機構- Cs取り込みモデルの構築

研究目的: 時間分解XAFS測定により、環境に放出されたセシウムが粘土に吸着する過程を詳細に追跡することにより、セシウム吸脱着過程における不可逆性などを議論することにより、安定性、減容化手法解明に資することを目的とする。

研究成果: セシウムが福島で多く産出する粘土鉱物に対する吸着過程を初めて明らかにした。



特記事項 ○ATOMΣ(2014)に掲載。
今後の予定 ●種々の粘土を用いるセシウム吸着ダイナミクスの体系化、難剥離性セシウムの剥離能開発に向けた技術開発を予定。

8

1-6.粘土鉱物に対するCs吸脱着機構- 福島粘土吸着種の同定

研究目的: イメージングプレート、TEM/SEM-EDS、 μ XRD法による福島汚染土壌の鉱物同定をすることにより、放射性セシウムの環境挙動解明、安定性の評価、減容化法の開発に資することを目的とする。

研究成果: 福島において放射性セシウムが特定の粘土に局在していることを初めて明らかにした。

福島の風化土壌を採取し、IPプレートにのせ、感光させる。

石英、長石系鉱物

風化黒雲母

様々な福島土壌試料からセシウムを含む粒子を抽出、FIBにより切断し、分析下結果、**風化黒雲母系鉱物に収着していることが分かった。**

イメージングプレートによる土壌中セシウムの分布の確認
福島土壌20,000粒のうち15粒にのみ放射性セシウムが吸着していることを明らかにした。
減容化の大きな指針を与えた。

特記事項 ○基礎的結果についてはES&T(2014)誌に掲載決定。
○この結果は、土壌廃棄物について原理的には1/1000まで減容化出来ることを示した。

今後の予定 ●黒雲母など特定鉱物に対する粒子としての性質を解明し、簡便な鉱物分離(湿式分級法、化学処理法など)の開発への貢献を図る。



1-7. 放射線グラフト重合によるセシウム捕集材の開発



研究開発の背景・目的

環境中に飛散した放射性物質を回収するため、特に水に溶存する放射性セシウム(Cs)を10 Bq/L以下まで除去可能な高分子捕集材の開発、その高性能化・量産化技術の開発を目指す。また、放射性物質で汚染した植物等残渣の減容化を図るため、残渣から効率的に放射性Csを抽出・回収する処理技術の確立を図る。当該技術の幅広い普及を通して、被災地復興に貢献する。

研究テーマ・活動内容

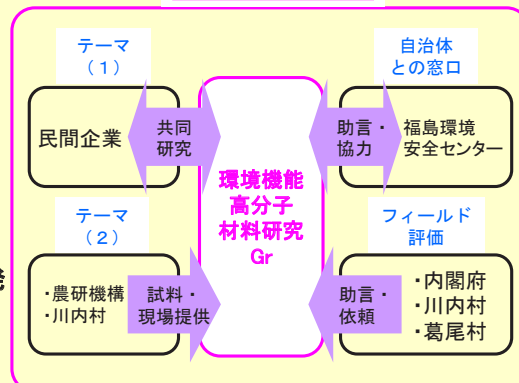
(1) グラフト重合捕集材の高度化・量産化技術開発

- 捕集材の開発
- 捕集材のフィールド評価
- 捕集材量産化技術の開発
- 捕集材を充填剤とする給水器の開発

(2) 植物残渣からのセシウム等回収に係る技術開発

- ひまわり搾油滓からのCs捕集試験
- 植物系除去物からのCs抽出試験
- Cs抽出液からのCs捕集試験

研究実施体制



1-8. グラフト重合捕集材の高度化・量産技術開発

研究目的: 水に溶存する放射性セシウム(Cs)を10Bq/L以下まで除去可能な高分子捕集材の開発、その高性能化・量産化を行い、環境除染への適用を目指す。

研究成果:

○福島県内幼稚園プールにおいて放射性Csを対象にしたフィールド評価を実施し、6トンの水の放流を実現

福島大附属幼稚園



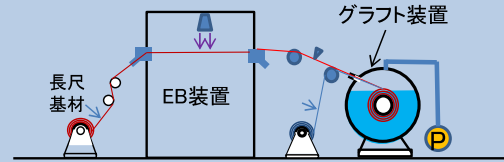
○飯舘村農業用水中から放射性Csの捕集試験を実施し、捕集材体積の2,000倍量の用水についてCs除去率100%を達成(科学技術戦略推進費)



飯舘村ため池

	Cs-134 (Bq/L)	Cs-137 (Bq/L)	計
井戸水中の放射性セシウム濃度	32.5	55.5	88.0
捕集材処理後の濃度	N.D	N.D	N.D

○水中の放射性Csを水道水の基準値である10Bq/L以下まで除去できる捕集材の開発に成功



○EB加速器とグラフト重合装置を一体化させた連続グラフト装置を開発し、ラボスケールの5,000倍規模に相当する30cm×35m(10m²)の捕集材の量産化合成条件を決定

○福島県川内村においてセシウム捕集材を充填剤とする給水器のモニター試験を実施し、飲用水の基準値以下まで除去できることを実証し、実用化。



家庭用給水器「クランセール®」

特記事項

- プレス発表:「水中の放射性セシウム除去用カートリッジを製品化」(H24年11月7日)
- プレス発表:「被災地域の復興の推進に向けた給水器の開発」(H26年3月27日)
- プレス発表:「セシウム除去用給水器「クランセール®」の販売開始」(H26年7月1日)

今後の予定

- 家庭用一括集中型および農業用水給水システムへ展開

⑪

1-9. 植物残渣からのセシウム等回収に係る技術開発

研究目的: 放射性物質で汚染した植物等残渣(搾り粕など)の減溶化を図るため、残渣から効率的に放射性Csを抽出・回収する処理技術の開発を行う。

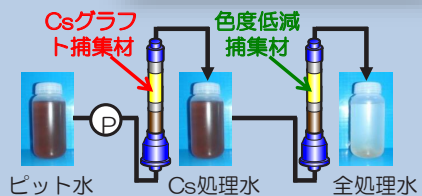
研究成果:

○バイオマス利用後のひまわり搾油滓からのCs抽出条件の最適化を進め、硫酸アンモニウム水溶液への室温、24時間浸漬により80%程度のセシウム抽出に成功。また、(1)で開発したグラフト捕集材により抽出液からCsを除去できることを確認。

○植物残渣から抽出したCs含有液の模擬液として、福島県内の草木廃棄物一時保管場所ピット排水を用い、植物腐敗成分であるフミン酸を含む腐植液中に溶存したCsの除去試験を実施した結果、放射性物質汚染対処特別措置法で定めた濃度限度(約80 Bq/L)以下まで除去できることを実証。

○フミン酸により着色した処理液は、色度低減型のグラフト捕集材により除色できることを確認。

除去物一時保管場所のピット水



約350 Bq/L (排水目安を超過) のピット水を特措法排出濃度限度までの除去を実証

特記事項

- 福島県内の一時保管場所植物残渣を対象にしたフィールドテストを計画
- 放射性セシウム抽出後残渣の葉土への適応試験を計画

今後の予定

- 燻蒸等の抽出及びグラフト捕集材による濃集技術を組み合わせることにより、焼却と同等以上の減容が可能な手法を構築する

⑫



1-10. 量子ビームを用いたセシウムの植物の吸着解析技術の開発



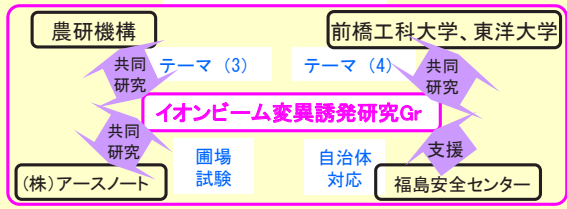
研究開発の背景・目的

放射性Csの土壌から植物への移行解明に役立つガンマカメラ技術、汚染農耕地でのCs除去や栽培に適した植物、二次濃縮による廃棄物減容化に適したCs濃縮菌を開発する。

研究テーマ・活動内容

- (3) Cs高/低吸収植物の開発
 - イオンビーム変異集団作製と候補株選抜
 - 試験圃場等におけるCs吸収能力の評価
- (4) Cs濃縮菌の開発
 - イオンビーム変異集団作製と候補株選抜
 - Cs濃縮効率の評価

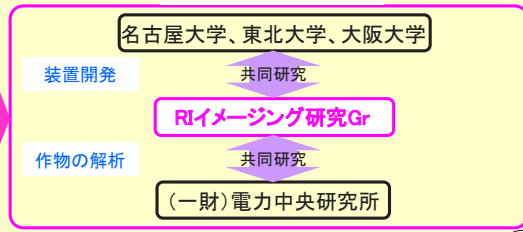
研究実施体制



研究テーマ・活動内容

- (5) 土壌-植物系におけるセシウム動態解析のためのガンマカメラの開発
 - 装置の開発および高度化
 - 重要作物におけるセシウム動態解析

研究実施体制



13

1-11. イオンビーム育種技術によるセシウム吸収植物、濃縮菌の開発

研究目的: イオンビーム育種技術を活用し、汚染農耕地の浄化に適したセシウム(Cs)高吸収植物及び作物や飼料としての利用に適したCs低吸収植物、ならびに二次濃縮による廃棄物減容化に適したCs濃縮菌を開発する。

研究成果:

【Cs高/低吸収植物の開発】

栽培ヒエ及びイネにイオンビームを照射して作製した変異植物集団から、高/低吸収変異候補個体を選抜。



水耕栽培によるイネの選抜

栽培ヒエでは計888系統(約4,400個体)から高吸収候補を48個体、低吸収候補を1個体選抜。

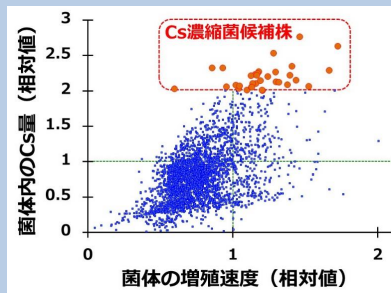
イネ(コシヒカリ)では計462系統(約2,700個体)から高吸収候補を7個体、低吸収候補を10個体選抜。

飼料イネ(ふくひびき)では計約2,300個体から低吸収候補を13個体選抜。

- ※ Cs濃度が2倍以上の栽培ヒエおよび1/2以下のイネ変異個体の獲得に成功した。
- ※ 福島県内圃場で試験栽培し、Cs吸収能力を評価中。

【Cs濃縮菌の開発】

イオンビーム照射により作製したデキノコッカス・ラジオデュランズの変異集団から、Cs濃縮菌候補株を選抜した。



- ※ Cs吸収変異体を選抜する方法を確立した。
- ※ 約3,000株の中から、野生株より2倍以上高く濃縮する33株のCs濃縮菌候補株を選抜した。

特記事項 ○JAEA Takasaki Annual Report (平成25年)等の報告書 3件
○学会・シンポジウム等での口頭・ポスター発表等 8件

今後の予定 ●今後、遺伝的に安定な低吸収変異系統を選抜し、セシウム移行抑制研究に利用する。 14

1-12. 土壌－植物系におけるセシウム動態解析のためのガンマカメラの開発

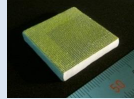
研究目的:放射性セシウム(Cs)の土壌から浄化用植物あるいは農作物への移行動態の解明に役立つガンマカメラ技術を開発する。

研究成果:

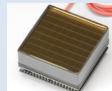
Cs-134, 137の高エネルギーガンマ線に対応し、植物器官の観察が可能な画質を備えたガンマカメラを開発



ブロック検出器



44×44マトリクス
GAGGシンチレータ
画素数・感度・耐湿性向上



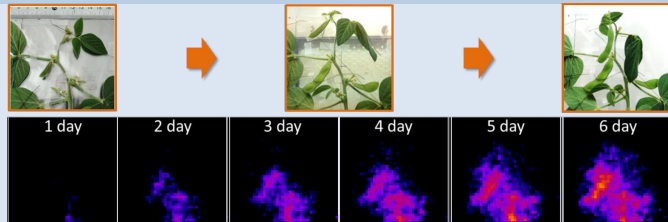
平板型位置弁別型
光電子増倍管:精度向上

遮蔽体

ピンホールコリメータ
孔径0.5 mm
許容角28° :ノイズ低減



開発したガンマカメラを用いて、収穫物の基準値超えが問題となっているダイズにおいて、Cs-137が成長中の子実に優先的に移行・集積していくことを動態画像により初めて見出した。



特記事項

- 平成26年1月 NIM AIに論文掲載(検出器構造に関して)
- 平成24年6月 放射線プロセスシンポジウム優秀賞受賞
- 平成24年11月 日本原子力学会関東・甲越支部第11回若手研究者発表討論会奨励賞受賞

今後の予定 ●果樹等も含めた重要作物のセシウム体内移行メカニズムの解明を目指した研究を行う

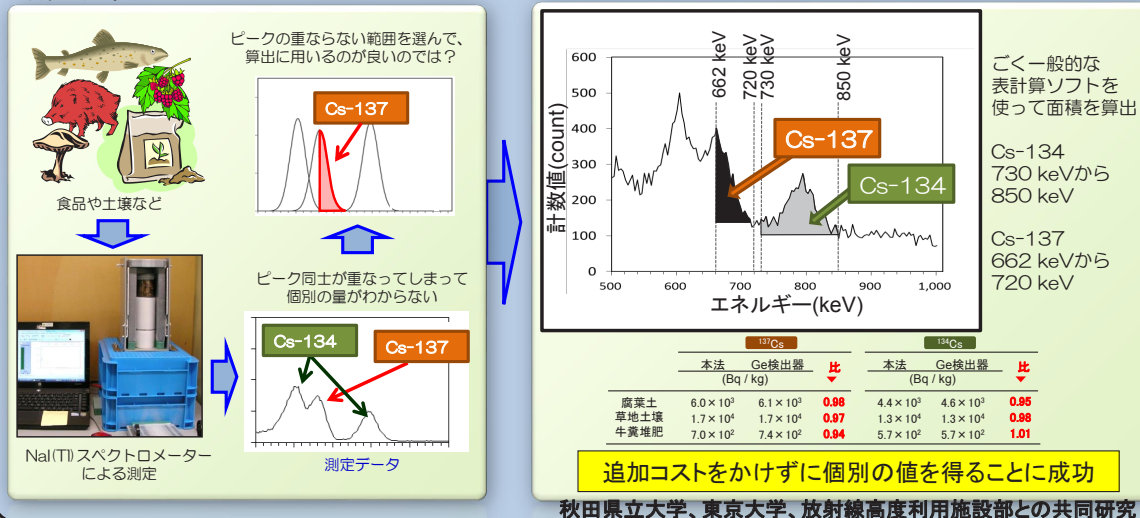
15

2. 除染・放射線計測技術の構築・普及、データベースの整備

2-1. Cs-134と137を個別に定量する簡便な手法の開発

研究目的:既に普及が進んでいる比較的安価なNaI(Tl)スペクトロメーターを用いて、食品や土壌などに含まれるCs-134とCs-137の値を簡便に得る手法を開発する。

研究成果: **非専門家を対象に普及型NaI(Tl)スペクトロメーターを用いて核種分析を行うコスト不要の手法を考案**



特記事項

- 平成24年6月 日本土壌肥科学雑誌に論文掲載、同月プレス発表
- 平成24年6月 放射線プロセスシンポジウム優秀賞受賞

16

2-2. 高分子系材料・機器の耐放射線性データベースの整備

研究目的: 高い放射線環境下で進められる東京電力株式会社福島第一原子力発電所(1F)の廃炉に向けた作業を支援するため、これまで原子力機構等が蓄積してきた高分子系材料・機器の耐放射線性試験等の結果をデータベースとして集約・整備し、公開する。

研究成果: **整備したデータベースの特徴**

- 878件の耐放射線情報を収録
(高分子材料423件、機器・部品223件、油脂・塗料103件、有機複合材料129件)
- 材料の種類、材料名、放射線の線種、照射雰囲気で絞り込みが可能
- 抽出結果の一覧表示・印刷が可能
- 耐放射線性の主要データを閲覧可能
- 詳細情報が記載された出典文献等のウェブサイトアドレス(URL)を収録

動作環境

Microsoft Windows VISTA 以降

入手方法

原子力コードセンターで配布

(要利用申請 <http://www.rist.or.jp/nucis/>)

検索画面の例



H24年6月プレス発表
上毛新聞に掲載

特記事項 ○機構外提供件数 7件、機構内提供件数 7件 (平成26年8月28日現在)
○平成24年度4月1日から原子力機構が蓄積してきた原子炉冷却材喪失事故(LOCA: Loss Of Coolant Accident)時の公開データの収録を開始。現在までに101件の登録準備を完了。平成26年度一般公開予定。

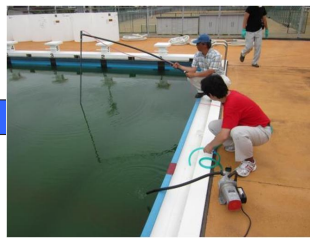
17



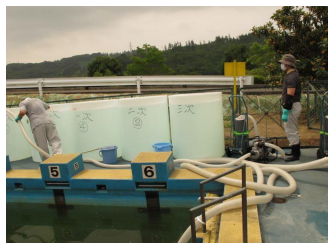
2-3 福島県の学校プール水の調査・除染 及び除染マニュアル作成に協力



除染前のプール(約200Bq/L)



プール水の採取後、移動式ゲルマ検出器で放射能計測



ゼオライトとポリ塩化アルミニウム(PAC)による凝集・沈降によりセシウム除去を行い、排水



プールの清掃



除染後のプール(検出限界以下)

除染試験・作業の結果と経験を基にマニュアルを作成・公開

18



3. 健康相談・コミュニケーション活動



放射性物質分布マッピングのための
土壌採取・環境モニタリング



一時帰宅プロジェクト支援活動への要員派遣



福島での「放射線に関するご質問
に答える会」への講師派遣



全国からの依頼に対する放射線・
放射性物質の基礎と食品への影
響についての講演





資料10A-3

第10回量子ビーム応用研究・評価委員会
(第2期中期計画 事後評価)

平成26年10月20日

量子ビーム応用研究の進捗 (東海地区)

副センター長: 内海 渉

①

発表の内容

- 施設の運転・利用状況
- 研究開発の体制
- 研究の進捗状況
- 総括

②

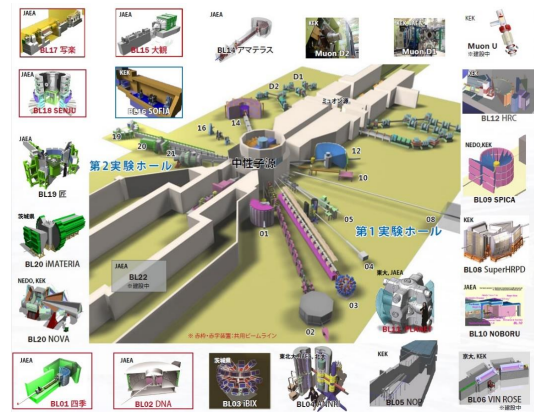
施設の運転・利用状況

3

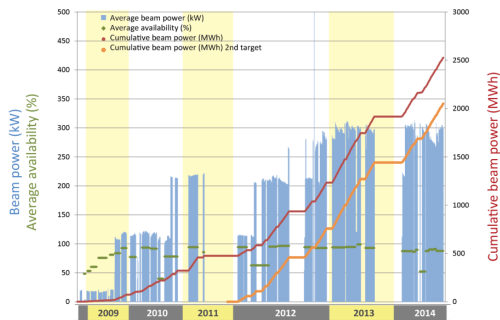
大強度陽子加速器施設 J-PARC

物質・生命科学実験施設

- 18本のビームラインが稼働、3本が建設中。(最大23本)
- 平成23年3月の震災により停止、H24年1月に一般利用再開。加速器の300kW運転により、パルス中性子強度が世界一に到達。
- 平成25年5月に発生したパロン実験施設の放射性物質漏洩事故により停止し、平成26年2月一般利用再開。



J-PARCの運転状況



第1実験ホール

第2実験ホール



4

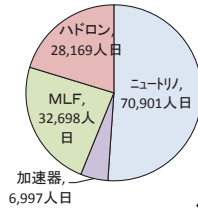
J-PARCユーザー来所数(実績数)

平成20年12月の稼働開始以来、
多くのユーザーがJ-PARCへ訪問している。
総数: 延べ**138,765人日**(H26.6末日現在)

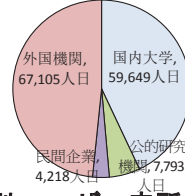
うち、H20年度 3,947人日
H21年度 27,555人日
H22年度 29,030人日
H23年度 15,539人日
H24年度 32,242人日
H25年度 21,728人日



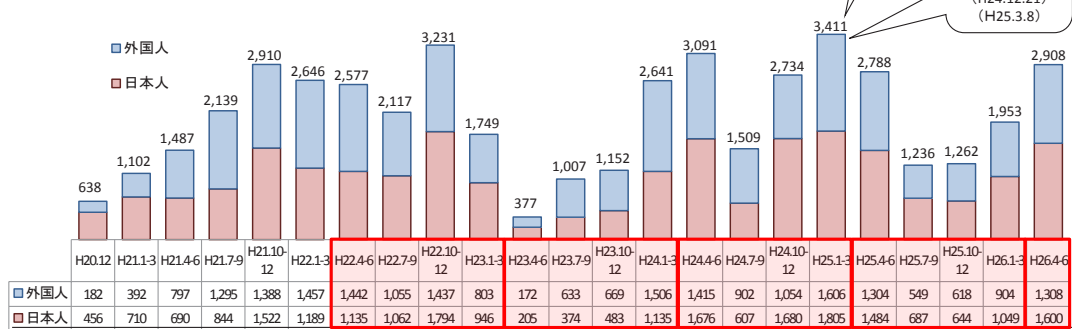
来所施設別集計(人日)



ユーザー所属別集計(人日)



外国人・日本人別ユーザー来所数(人日)

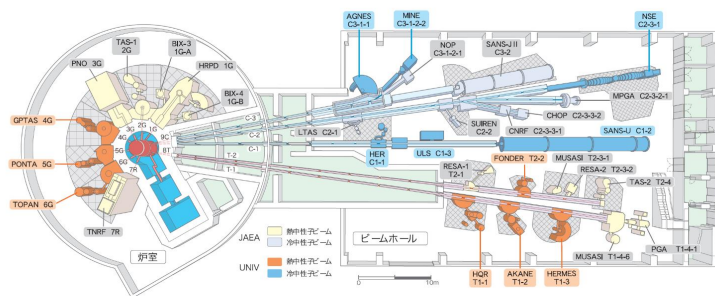


※H20.12は単月、H21.1～H26.6の間は各四半期内の月平均数

5

研究用原子炉 JRR-3

- 世界トップレベルの研究用原子炉として**中性子ビーム実験**や中性子照射試験に利用。(昭和37年初臨界、平成2年改造炉臨界、最大熱出力20MW)
- 平成21年11月より文部科学省「先端研究施設共用促進事業」開始。
- 平成22年度は174日の稼働。**震災により、現在運転停止中。**
- 平成25年12月に施行された研究炉の新規制基準に沿った適合性評価を実施し、平成26年9月に設置変更許可申請書を規制当局に提出。



原子力機構保有装置: 18台
(うち量子ビーム応用研究センター管理装置 14台)

大学保有装置: 14台

量子ビーム応用研究センター管理
中性子ビーム実験装置

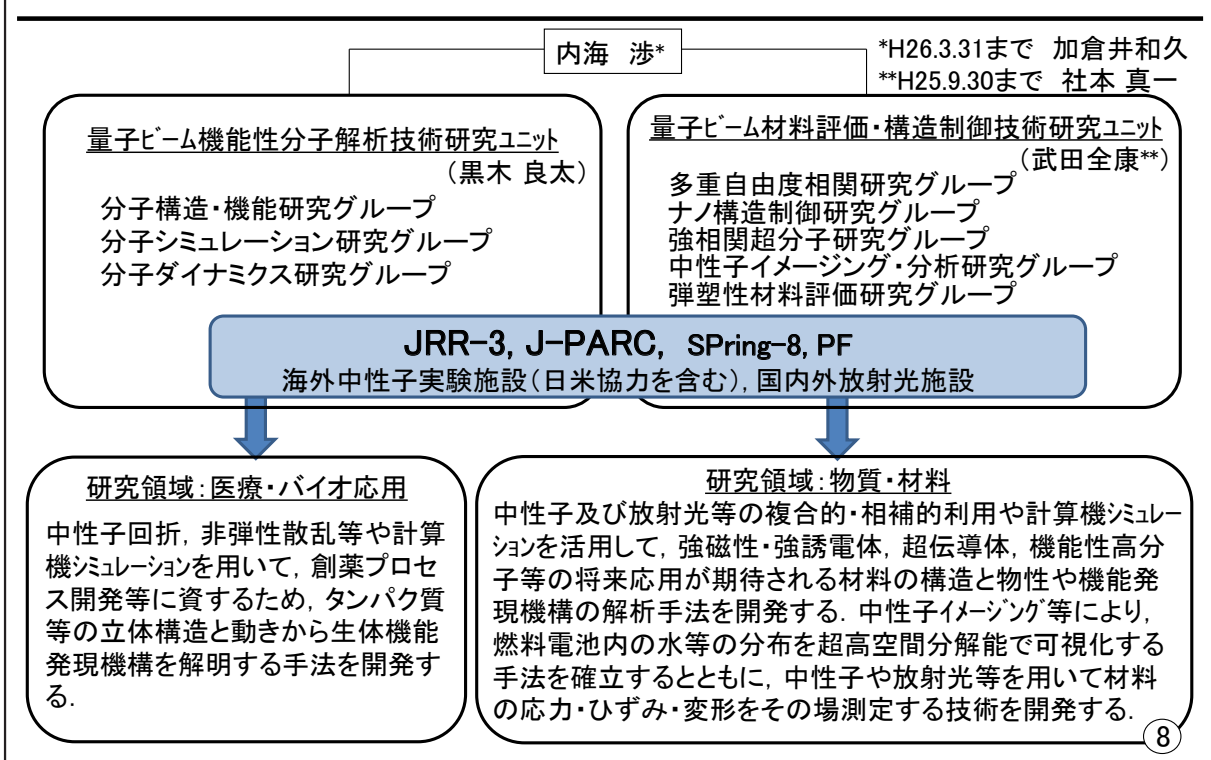
No.	装置略称	装置名称
1	HRPD	高分解能粉末中性子回折装置
2	BIX-3	生体高分子用中性子単結晶回折装置-3
3	BIX-4	生体高分子用中性子単結晶回折装置-4
4	TAS-1	三軸型偏極中性子分光器
5	PNO	精密中性子光学装置
6	TNRF	熱中性子ラジオグラフィ装置
7	MUSASI	多目的単色熱中性子実験ポート
8	PGA	即発ガンマ線分析装置
9	RESA-1	中性子応力測定装置-1
10	RESA-2	中性子応力測定装置-2
11	TAS-2	高分解能三軸型中性子分光器
12	LTAS	冷中性子三軸型分光器
13	CNRF	冷中性子ラジオグラフィ装置
14	SANS-J-II	集光型偏極中性子超小角散乱装置

6

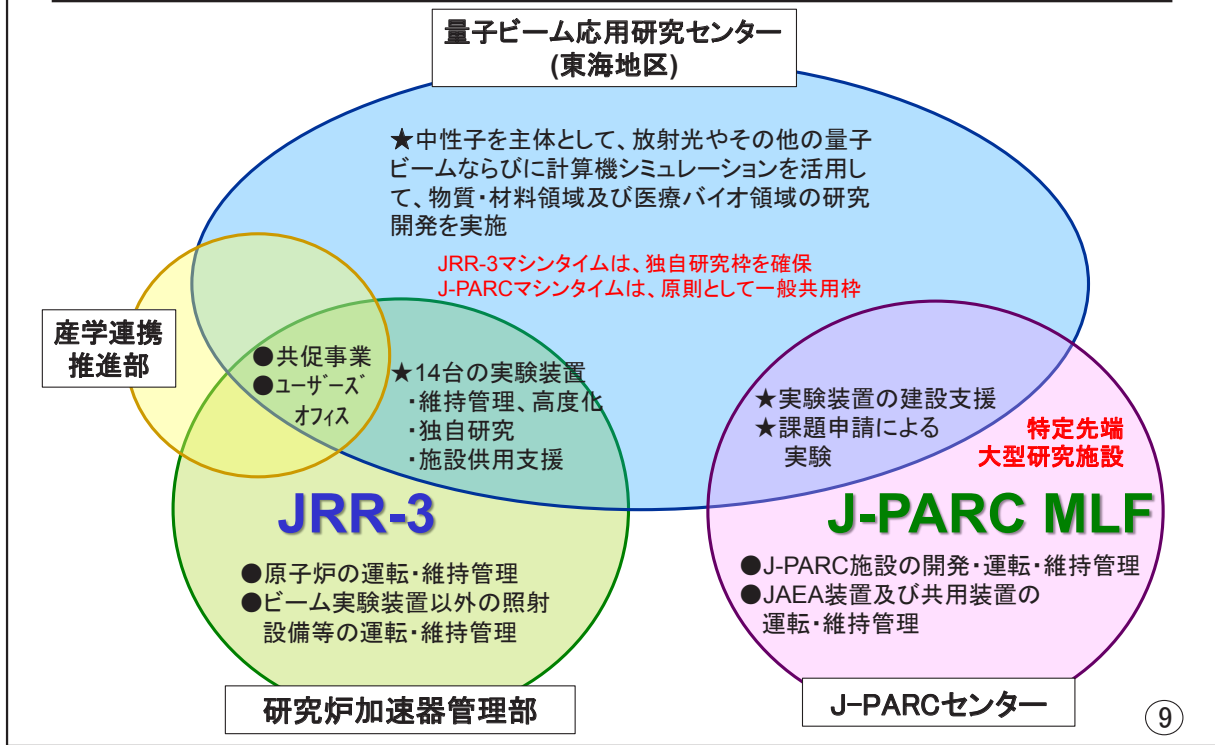
研究開発の体制

⑦

東海地区における研究開発の体制

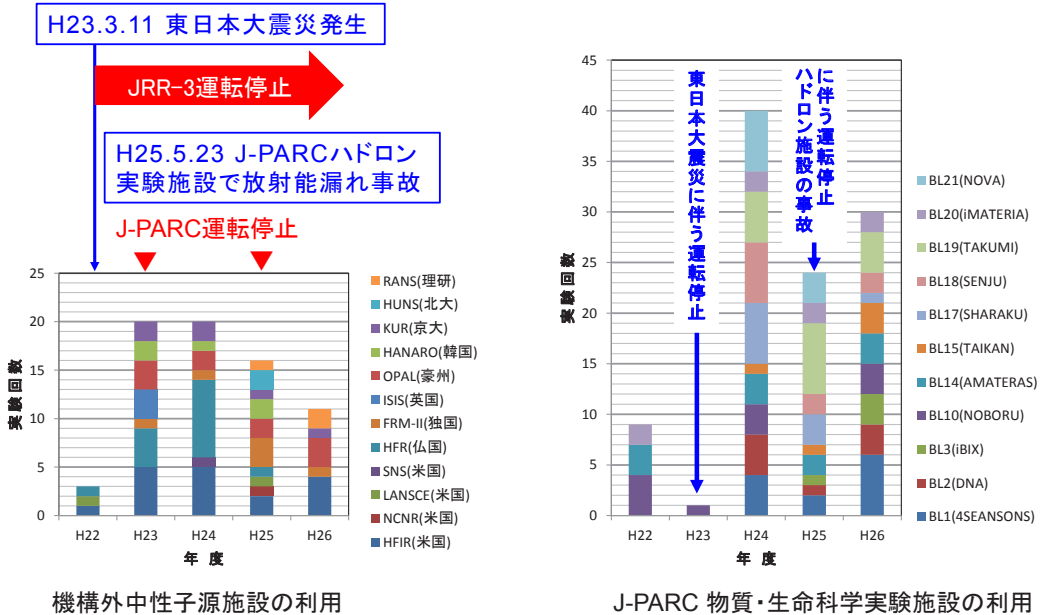


研究炉加速器管理部及びJ-PARCセンターとの役割分担



今中期におけるJRR-3以外における中性子源施設利用の推移

- ・ 震災直後は、海外の中性子源施設を積極的に利用して研究活動を継続
- ・ 長引くJRR-3の運転停止に、機構外中性子源施設とJ-PARC MLFの利用で対応



研究の進捗状況 (医療バイオ応用領域)

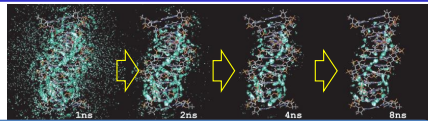
⑪

医療バイオ応用領域に対する取り組み (量子ビーム機能性分子解析技術研究ユニット)

**ユニット
研究の
展開**

原子力機構独自の量子ビーム(中性子)利用技術の開発・高度化を担うことによって、生命科学分野における学術研究・産業応用研究に貢献する。

量子ビーム利用による
生命科学への貢献



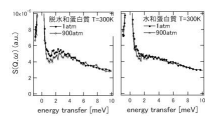
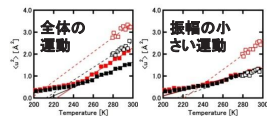
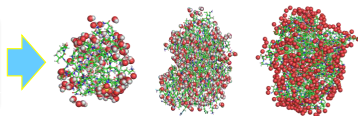
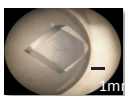
構造とダイナミクスをつなぎ機能予測へ
分子シミュレーション研究
【分子シミュレーション研究G】

ユニット内連携による
シナジーの創出

各研究Grの特色を生かした連携研究
【連携・プロジェクト研究】

水素・水和水を含む
精密な立体構造・機能の研究
【分子構造・機能研究G】

機能発現の動的側面をさぐる
分子ダイナミクス研究
【分子ダイナミクス研究G】



⑫

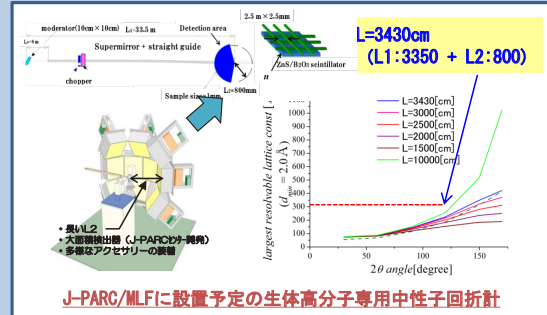
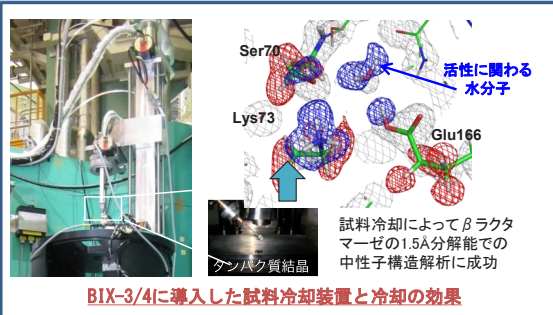
(1) 中性子利用基盤技術の開発および高度化

研究目的: JRR-3回折計の高度化およびJ-PARC/MLFへのタンパク質専用回折装置の詳細設計を行い、より重要性の高い試料の中性子回折データの確実な取得を目指す。

研究成果1(i): BIX-3/4に試料冷却装置を設置し、高い分解能の中性子回折データの取得に成功した。さらにJ-PARC/MLFパルス中性子回折装置の設計では、中性子移送シミュレーションにより、要求性能を満たすスペックを決定した。

BIX-3/4への吹き付け型試料冷却装置を導入により、βラクタマーゼ(Toho-1)の高分解能(1.5Å)中性子構造解析に成功。

新装置に要求される性能(格子定数250Åの試料において $d_{min}=2.0\text{Å}$ までの反射を分離)を満たす装置スペック(L1=3350mm, L2=800mm)を決定。



特記事項 K. Tomoyori et al., *J. Struct. Funct. Genom.* (2014)
MLF中性子実験装置部会において二次(最終)審査に合格(H24/9)

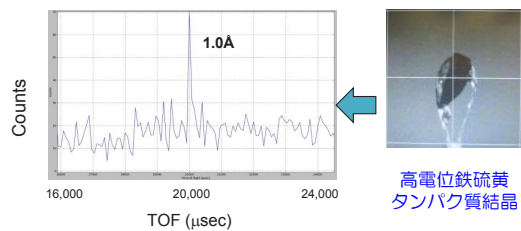
13

研究成果1(ii) (続き): 大型結晶作製技術(逐次試料添加法およびSNCC法)の高度化によって、創薬標的タンパク質(Hsp-90, Casein kinase-II)の大型結晶の作製に成功。また、抗凍結溶液とその多段階置換によって大型結晶試料の冷却法を確立した。

- 1) 逐次試料添加法:** タンパク質試料溶液を、シーディングした結晶化母液に添加し、長期間の結晶育成を自動化するシステムを構築[成果1, 2]。
- 2) SNCC法:** 結晶核形成を抑制する添加剤による結晶化スクリーニングシステム(SNCC法)を構築し、DNA結合タンパク質(Hsp-90)などの大型結晶を取得(下図)。

大型結晶試料冷却法の確立
大型結晶(2-4mm³)を、抗凍結溶媒へ多段階置換することによって、試料冷却下(100K)、iBIX(J-PARC/MLF, BL03)において高い分解能の中性子回折データの収集に成功。

	β-ラクタマーゼ	T4リゾチーム	DNA結合タンパク質
	細菌の抗生物質耐性に関与	細菌の細胞壁を構成する多糖類を加水分解する酵素	超高温菌由来で、高い熱安定性(150℃)をもつ
最適化前	pH 5.5 沈殿剤: 2.1 M 硫酸アンモニウム Protein: 20mg/mL	pH 7.0 沈殿剤: 2.0 M リン酸カリウム Protein: 18 mg/mL	pH 4.4 沈殿剤: 1.7 M 硫酸アンモニウム Protein: 20mg/mL
最適化後	pH 4.0 1.8 M +アゼトニトリル 1.9 M +Arg/Glu 0.5% (50mM)	pH 7.5 2.1 M +アゼトニトリル 2.0 M +グリセロール 10%	pH 4.4 1.7 M +ジオキサン 1.9 M +DMSO 1%
	Protein: 120 mg/mL	Protein: 54 mg/mL	Protein: 120 mg/mL



高電位鉄硫黄タンパク質においては、世界最高となる約1.0Å分解能(下図)、チトクロームb5還元酵素では、1.3Å分解能という極めて質の高い中性子回折データの取得に成功。(J-PARC/MLF, BL03)

- 特記事項**
- 「生体分子の大型結晶育成のための方法および装置」 新井 栄揮、黒木 良太 特開2011-11947(2011年1月20日公開)
 - Okazaki N. et al., *Acta Crystallogr F* 68, 49-52 (2012).

14

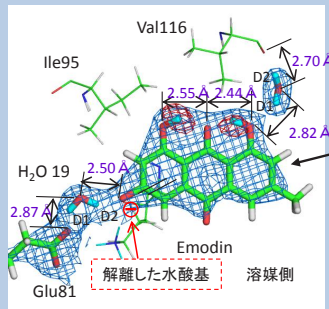
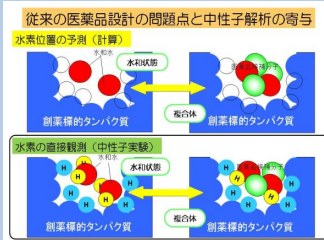
(2) 中性子および放射光の相補利用による分子構造機能解明

研究目的: 創薬研究において重要な解析対象である“創薬標的タンパク質”の水和構造および阻害剤結合構造を中性子回折法によって解析する。

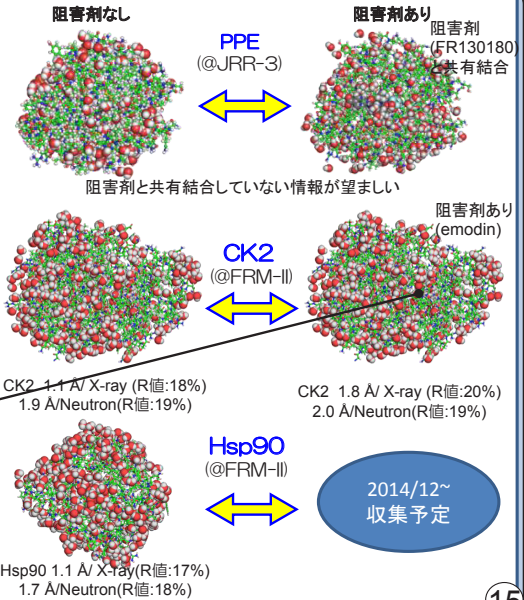
研究成果:

創薬標的タンパク質への阻害剤結合状態および非結合状態の実験的な解明が期待されている。しかし結合・非結合構造の両方が中性子解析された例はない。

2種の創薬標的タンパク質: プタ臓臓エラストラーゼ(PPE)、ヒト・カゼインキナーゼ(CK2)について、阻害剤結合・非結合状態の両方の中性子構造解析に成功した。



阻害剤(emodin)が結合したCK2の活性部位 (赤い表示は重水素の位置を示す。)



15

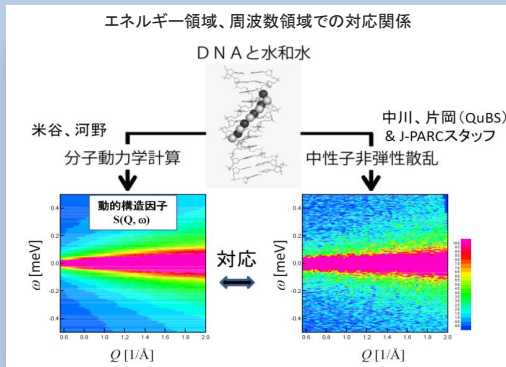
(3) シミュレーションと中性子散乱実験の統合的解析

-遺伝子発現に関わるDNA湾曲メカニズムの解明-

研究目的: DNA配列により湾曲のしやすさが異なるというシミュレーション計算予測の実験的検証とそのメカニズムの解明を行う。

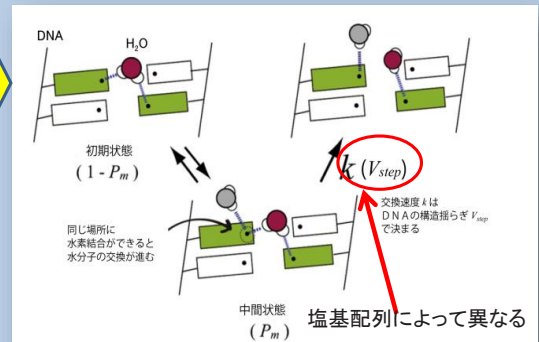
研究成果:

シミュレーション計算と中性子非弾性散乱実験それぞれから得られた、エネルギーと周波数の相関マップが良い一致を示すことから、シミュレーション計算から予測されたDNAの湾曲のしやすさが配列に依存することを実験的に裏付けた。



研究成果:

シミュレーションデータと実験データの統合的な解析により、DNAの湾曲しやすさは、DNA副溝に存在する水和水の水素結合の組換えやすさに依存することを発見した。



特記事項

H. Nakagawa et al., *Physical Review E*, 2014 in press. プレス発表(8/29)

16

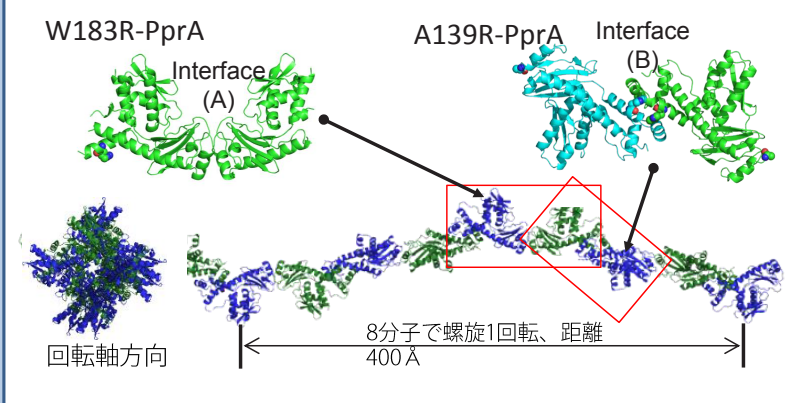
【連携研究】放射線抵抗性のキー蛋白質（PprA）の立体構造を解明

研究目的：放射線抵抗性細菌(Deinococcus radiodurans)由来のDNA修復促進タンパク質(PprA)の立体構造を解析し、DNA修復促進機能を解明する。

研究成果：

野生型PprAは、分子量50万～200万の会合体を形成。そこで分子会合を抑制する2種類の変異体(右図：W183R, A139R)を用いることにより、それらの立体構造解析に成功。

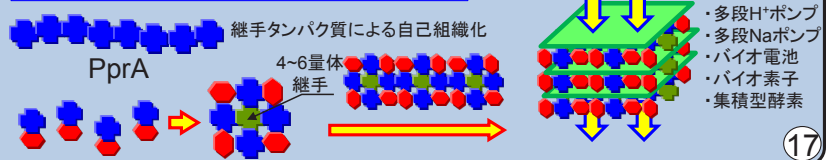
PprAは、分子間会合面を2つ(Interface-A, B)持ち、螺旋状ナノワイヤー構造を有するタンパク質であることを解明。



特記事項

- 1) M. Adachi et al., *Prot. Science.* (2014)
- 2) M. Adachi et al., Submitted for publication.

PprAの分子集積による新機能分子創製



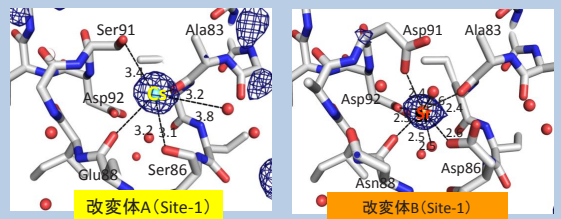
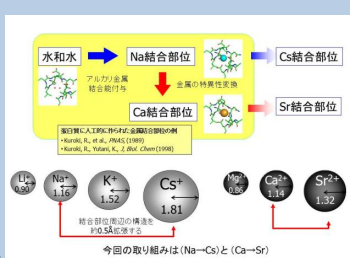
17

【福島関連】：セシウム等の金属を回収するバイオ材料の開発

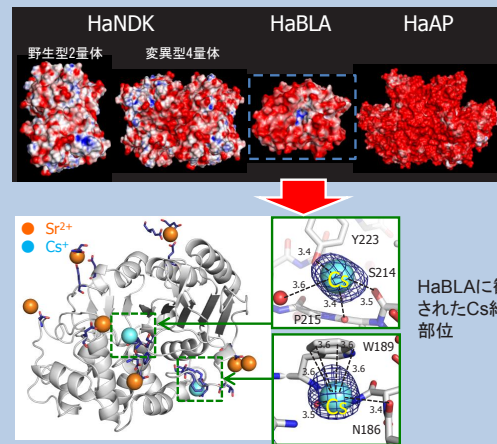
研究目的：タンパク質の分子認識機能を利用して、Cs等の有害金属を特異的に吸着するバイオ材料を創製する。

研究成果：

既存の金属結合部位(Ca結合部位)の特異性をCs結合部位への変換を試み、Cs結合を確認した(改変体A)。Cs-イオンの結合は、X線結晶構造解析から得られる電子密度により確認した。



研究成果：好塩性細菌由来蛋白質の立体構造解析(3構造)に成功するとともに、セシウムおよびSr結合部位を同定した。



特記事項

- 1) Arai S. et al., *Protein Sci.* 21, 498-510. (2010)
 - 2) Arai S. et al., *Acta Crystallogr D Biol Crystallogr.* 70, 811-820. (2014)
- 平成24年度 原子力機構 理事長表彰 “好塩性タンパク質の立体構造の解明とその応用”

18

研究の進捗状況 (物質・材料領域)

19

量子ビーム材料評価・構造制御技術研究ユニット

ユニットに
おける
研究の展開

原子力科学研究所(東海)を主たる活動の場として、中性子散乱技術およびイメージング技術の高度化を図り、物質・材料科学分野での応用を通じて先端的な科学技術分野の発展や産業の振興に資する。

中性子散乱技術

その場観察技術

外場(力、温度、電場、磁場)



核スピン偏極
技術の高度化



「写楽」

³He偏極スピン
フィルター実用化



基礎技術



高速・高分解能



○中性子イメージ増倍装置や斜入射法等の開発を進め、燃料電池内部の水分布を高時間・高空間分解能で観察し、ガス拡散層近傍における水分挙動を可視化。即発γ線分析の自動化、高度化を行い、バルク試料中重金属の非破壊分析の高効率化。

○偏極中性子散乱、核スピン偏極技術等、中性子を用いた実験技術・手法の開発を進め、超伝導体、磁性材料、ソフトマター等の構造と機能の関係を把握。

応用

低燃費
低コスト
高性能化



競争の中での協力



○海外を含めた外部機関との共同研究により研究競争力の向上を図る
・日米協力、三機関連携

○J-PARC/MLFとJRR-3の装置の相補利用。

集合組織解析、時分割測定

○中性子を用いた集合組織解析技術を開発し、放射光回折により材料内部の局所的ひずみを時分割計測するためのシステム構築。

20

(1) 中性子利用基盤技術の開発

J-PARC装置建設への貢献を通し中性子利用基盤の整備を行う

i) J-PARC中性子実験装置建設への貢献

◎ 超高压中性子回折装置 PLANET (高密度物質研究Gr)
 ◎ 物質情報3次元可視化装置RADEN (分析・イメージングGr)

◎ 主担当

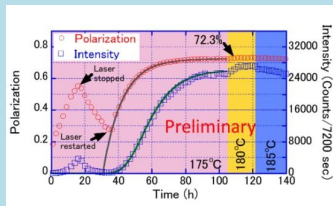
◎ 垂直型中性子反射率計 SHARAKU (多重自由度相関研究Gr)

特記事項 M. Takeda, *et al*, 国際会議招待講演3件

偏極中性子散乱, 核スピン偏極技術等, 中性子を用いた実験技術・手法の開発を進め, 超伝導体, 磁性材料, ソフトマター, 構造材料等の構造と機能の関係を解明する。

ii) 偏極中性子散乱法の高度化

In-situ SEOP スピンフィルターの開発 (量子ビーム基盤技術開発プログラム)

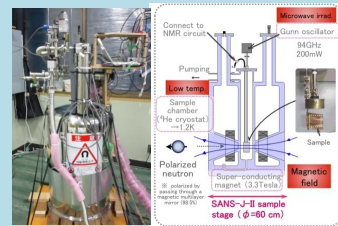


72.3% ³He Polarization

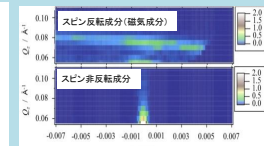
核スピン偏極コントラスト変調 (DNP)法の開発

55% Proton Polarization

- DNP法に必要な4条件
- ・低温 (1.2 K)
 - ・強磁場 (3.3 Tesla)
 - ・マイクロ波(94GHz)照射
 - ・電子スピン源 (安定ラジカル)の導入

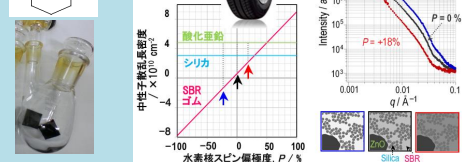


In-situ SEOP スピンフィルター@SHARAKU



磁気成分による偏極中性子鏡面・非鏡面反射の観測に成功

TEMPO (安定ラジカル)の導入法の最適化 偏極度の向上に寄与



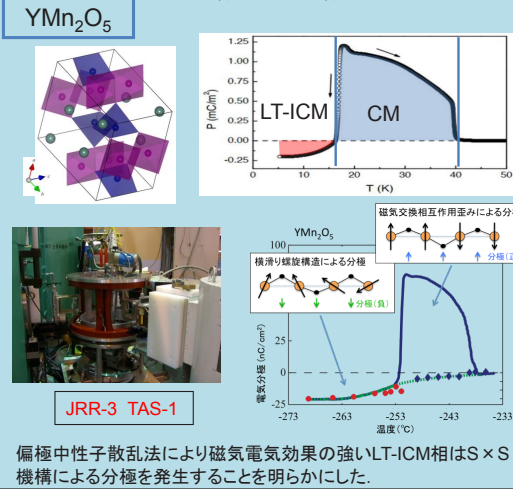
DNP法を多成分系であるタイヤ材料に適用. 含有するシリカの部分散乱関数を取得

特記事項 H. Hayashida, *et al*, J. Phys.:Conf. Ser., **528** (2014) 012020.
 Y. Noda, *et al*, J. Appl. Cryst. **44**, (2011) 503.

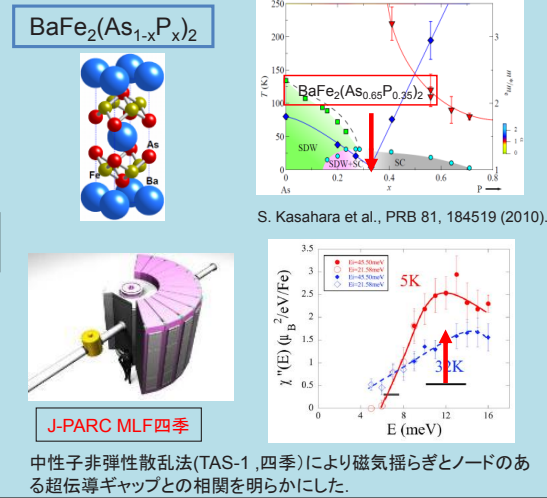
(2) 中性子散乱法による構造と機能の相関解明

偏極中性子散乱, 核スピン偏極技術等, 中性子を用いた実験技術・手法の開発を進め, 超伝導体, 磁性材料, ソフトマター, 構造材料等の構造と機能の関係を解明する。

i) マルチフェロイクス発現機構の解明 S-S か S×Sか?



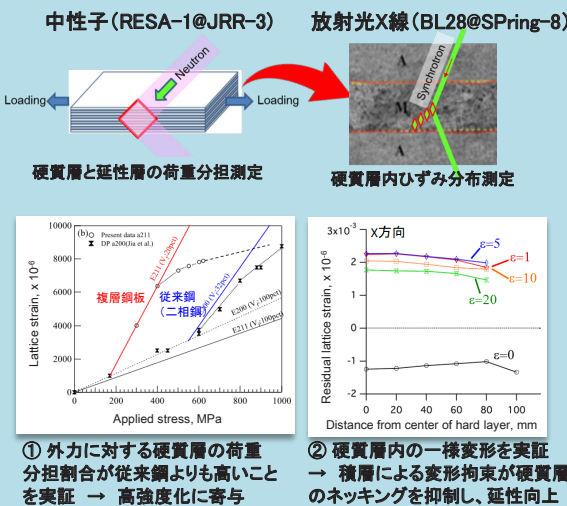
ii) 鉄系超伝導体における超伝導発現機構の探索



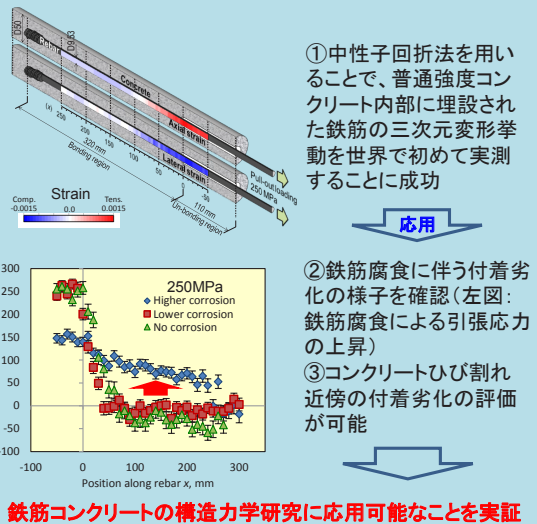
特記事項 S. Wakimoto *et al.*, Phys. Rev. B **88**, (2013) 140403(R).; S. Wakimoto *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) 074715. → JPSJ Most Cited Articles(TOP 10) in 2011; M. Ishikado, *et al.*, Phys. Rev. B **84** 144517 (2011).;国際会議 招待講演 4件 (23)

偏極中性子散乱, 核スピン偏極技術等, 中性子を用いた実験技術・手法の開発を進め, 超伝導体, 磁性材料, ソフトマター, 構造材料等の構造と機能の関係を解明する。

iii) 中性子-放射光の相補利用による複層鋼板の強度-延性バランス向上メカニズムの解明



iv) 鉄筋コンクリートの変形挙動測定技術開発



特記事項: M. Ojima, *et al.*, Scripta Materialia. **66** (2012), 139, H. Suzuki, *et al.*, Meas. Sci. Technol. **25** (2013) 025602; 国際会議 招待講演5件, 国内研究会 依頼講演 4-5件/年 (24)

日米中性子散乱協力事業

1980/5 「日米非エネルギー研究開発協定」締結(大平首相・カーター大統領)
1981 研究実施期間: STA(日)はJAERIをDOE(米)はORNLを指名

1983 STA-DOE協定署名(東京)、JAERI-DOE協定署名(ワシントン)
第1回運営委員会開催(DOE本部)
中性子回折計(WAND)設計承認



1984 WAND完成
(オークリッジ国立研究所 原子炉 HFIR (85 MW)に設置)

2004 WAND移設完了 (強度約10倍増)

2010 第28回運営委員会 (原子力機構)

2014 第32回運営委員会 (原子力機構)

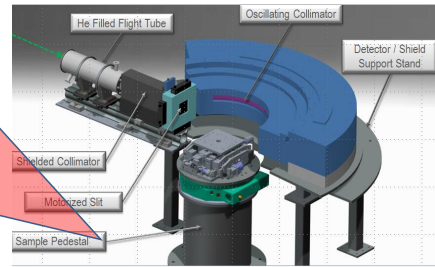
○高強度高精度計測化

【ナノ/材料研究】

セシウム吸着フェロシアン化ゲル、他

【エネルギー/環境材料】

鉄を添加した酸化物高温超伝導体、他



WANDアップグレード計画

第2期中期計画期間中の成果等

- ・HFIR訪問者数: 58名 (のべ人数)
- ・発表論文数: 45報
- ・プレス発表: 2件

25

研究の進捗状況 (研究炉加速器管理部)

26

JRR-3の冷中性子ビームの高強度化

【平成22年度】
テーパ型高性能中性子導管の開発

中性子を集光するため、先端形状をテーパ型とする中性子導管を設計した。解析の結果、約1.4倍の利得が得られることを確認した。

【平成23年度】
テーパ型高性能中性子導管の製作

前年度の設計に基づき、中性子ビームの集光性を高めたテーパ型中性子導管を製作した。

【平成24年度】
高性能減速材容器内における液体水素の挙動を評価

開発中の高性能減速材容器内での液体水素の温度分布、流れ、ポイドの発生状況の評価するため、流体解析ソフトを用いてシミュレーションを実施した。

【平成25年度】
高性能減速材容器の形状の見直し

前年度までに蓄積したデータを基に形状の最適化を進め、耐圧性に優れ、且つ製作が容易な形状に変更した。

[平成26年度] 減速材容器及びテーパ型中性子導管による総合評価

ホウ素中性子捕捉療法の乳がんへの適用拡大

【平成22年度】
中性子スペクトル調整用フィルタの開発

熱外中性子ビーム中の熱中性子割合が約65%低下し、深部線量が増加することを実験及び解析により確認

【平成23年度】
胸部専用コリメータの設計

胸部専用コリメータを用いることで、体表の腫瘍形状に一致した線量分布を与え、その他の正常組織の被ばく線量を抑えられることを解析により確認

【平成24年度】
全身被ばく線量評価による安全性の確認

専用コリメータを用いた全身被ばく線量評価より、各臓器の吸収線量を算出し、安全性確認に必要なデータを取得

【平成25年度】
総合評価及び報告書作成

乳がんコリメータの設計解析、臨床モデルによる線量評価解析、深部線量増強のための検討及び乳がん照射の固定方法の検討の結果、開発した乳がん照射技術が乳がん照射において十分適用可能であることを確認した。結果を、報告書(JAEA-Technology)に取りまとめた。

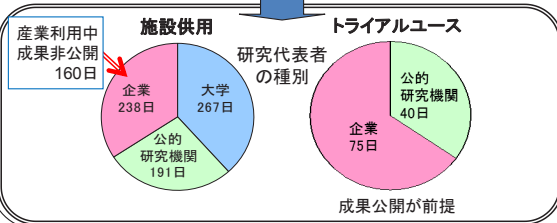
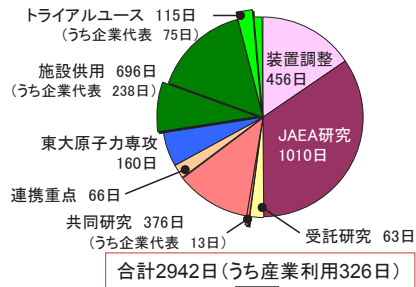
JRR-3における施設供用(H22年度)

ビーム利用課題件数(独自利用を含む): **645件**

- ・内部利用者数: 92名 (実人数)
- ・外部利用者数: **1,105名 (実人数)**
11,532名・日 (のべ人数)

H22年度より共用促進事業による支援開始
(JRR-3ユーザズオフィスの整備)

JAEA管理装置の利用日数内訳



- JRR-3共用課題実施管理システム(RING)の運用
- 施設共用技術指導員の配置



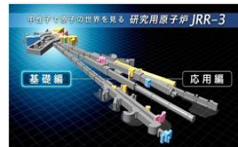
ユーザズオフィス窓口



JRR-3利用者居室の整備



展示スペースの整備



JRR-3紹介用ビデオ製作



ユーザズオフィスHPの開設

29

第2期中期計画の総括

- ・本中期計画期間初年度(平成23年3月)の東日本大震災及び平成25年5月の放射性物質漏洩事故により、中性子利用研究の中核施設であるJ-PARCとJRR-3の双方が長期停止を余儀無くされた。被災した施設・装置の復旧に全力を注ぐとともに、研究アクティビティの停滞を最小限に抑えるため、海外の中性子実験施設や国内外の放射光等各種量子ビーム実験施設の積極的利用を推進した。
- ・中性子利用基盤技術の開発においては、J-PARC設置の中性子反射率計、超高圧中性子回折装置の建設及び立ち上げの中核となるとともに、物質情報3次元可視化装置、物質構造解析装置、偏極中性子散乱装置の建設に協力した。また**生命科学専用中性子回折装置の建設提案及び設計を行った**。さらに、**結晶作製技術の高度化により大型創薬標的タンパク質結晶作製に成功するとともに、In-situ SEOP ³Heフィルターの開発や核スピン偏極コントラスト変調法の高度化など、偏極中性子散乱実験技術を進展させた**。
- ・利用研究においては、**創薬標的タンパク質(ブタ膵臓エラスターゼ、βラクタマーゼ他)の水素・水和構造解析、遺伝子発現に関わるDNA湾曲メカニズム解明、セシウム吸着能を有する人工改変蛋白質の創製、マルチフェロイックス材料や鉄系超伝導体の構造と機能、複層鋼板や鉄筋コンクリート等各種構造材料の応力解析をはじめとする数多くの成果を挙げ、400本以上の査読付き論文として発表するとともに、8件のプレス発表を行った**。

30



資料10A-4

第10回量子ビーム応用研究・評価委員会
(第2期中期計画 事後評価)

平成26年10月20日

量子ビーム応用研究の進捗 (高崎地区)

センター長:伊藤 久義

①

発表の内容

- 施設の運転・利用状況
- 研究開発の体制
- 研究の進捗状況
- 補正予算による研究環境整備状況
- 研究の総括

②

高崎地区における量子ビーム施設

イオン照射研究施設 (TIARA)



サイクロトロン

- 多様な照射実験に対応した短時間ビーム切替
- 世界最小径重イオンマイクロビーム
- 重イオンシングルイオンヒット (世界唯一)



タンデム加速器

- 世界最小レベルの重イオンマイクロビーム形成
- クラスターイオン照射
- デュアルビーム/トリプルビームライン (世界唯一)



シングルエンド加速器

- 軽イオンのサブマイクロビーム形成・描画
- 世界唯一の大気3D-マイクロPIXE分析

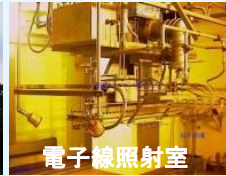


イオン注入装置

- フラーレンを含む多種イオンの加速
- 電子顕微鏡による照射下同時観察

世界初の材料・バイオ研究専用施設

電子線照射施設



電子線照射室

産業応用を目的とした日本
最初の大出力電子加速器
2 MV, 30 mA

ガンマ線照射施設



コバルト60線源

世界有数の大規模ガンマ線
照射施設

6桁の広い線量率範囲【3棟・8照射室】

3

施設の安定な運転に対する取り組み

持続的な故障予知と迅速な措置により
高い稼働率を維持

不具合と故障との関連に係る データベースの整備

サイクロトロン :	3,472件 (H11年~)	→
タンデム加速器 :	1,393件 (H 3年~)	}
シングルエンド加速器 :	1,050件 (H 5年~)	
イオン注入装置 :	794件 (H 5年~)	

データベースの活用(電気・真空等の 系統別検索、故障予知など)

迅速な措置により大きなトラブル・長期停止を回避

各年度の稼働率(%)				
H22	H23	H24	H25	H26
99.5	100.0	100.0	99.8	100.0
95.3	99.3	99.0	100.0	98.8

$$\text{稼働率} = \left(1 - \frac{\text{計画外停止時間}}{\text{計画運転時間}} \right) \times 100$$

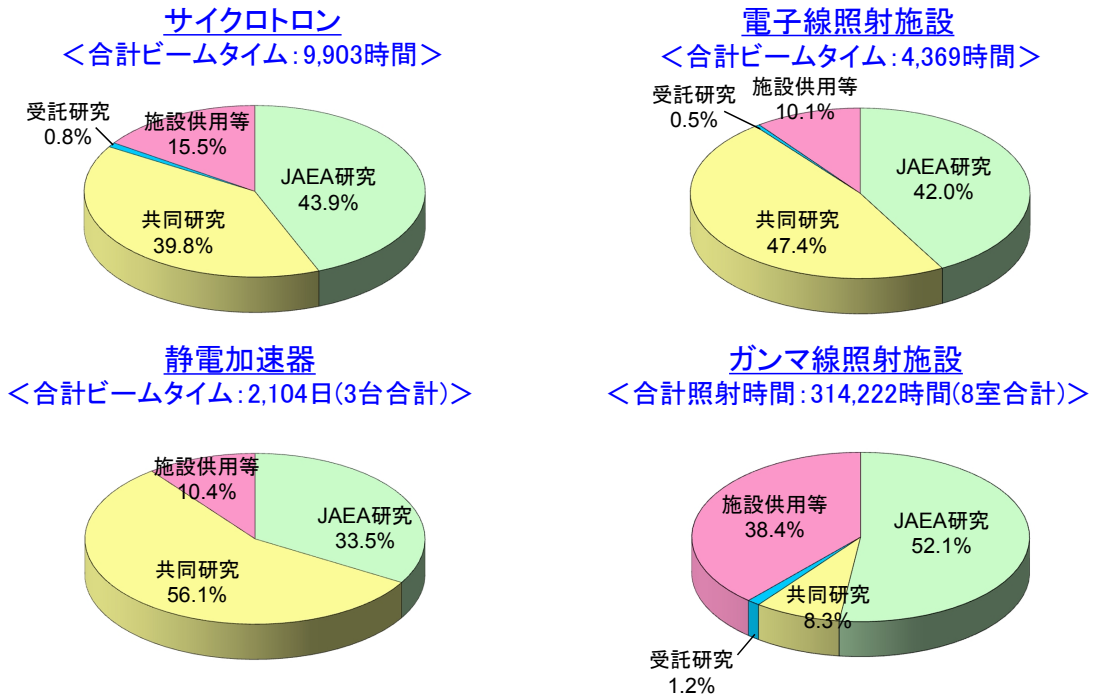
※ H26年度は6月末まで

計画外停止時間=加速器・ビームライン機器のトラブルによる停止時間
計画運転時間=法定点検、定期点検・保守などを除いた所期運転時間

安定な運転により【中期計画に基づく研究開発の遂行
施設供用の実施】に寄与

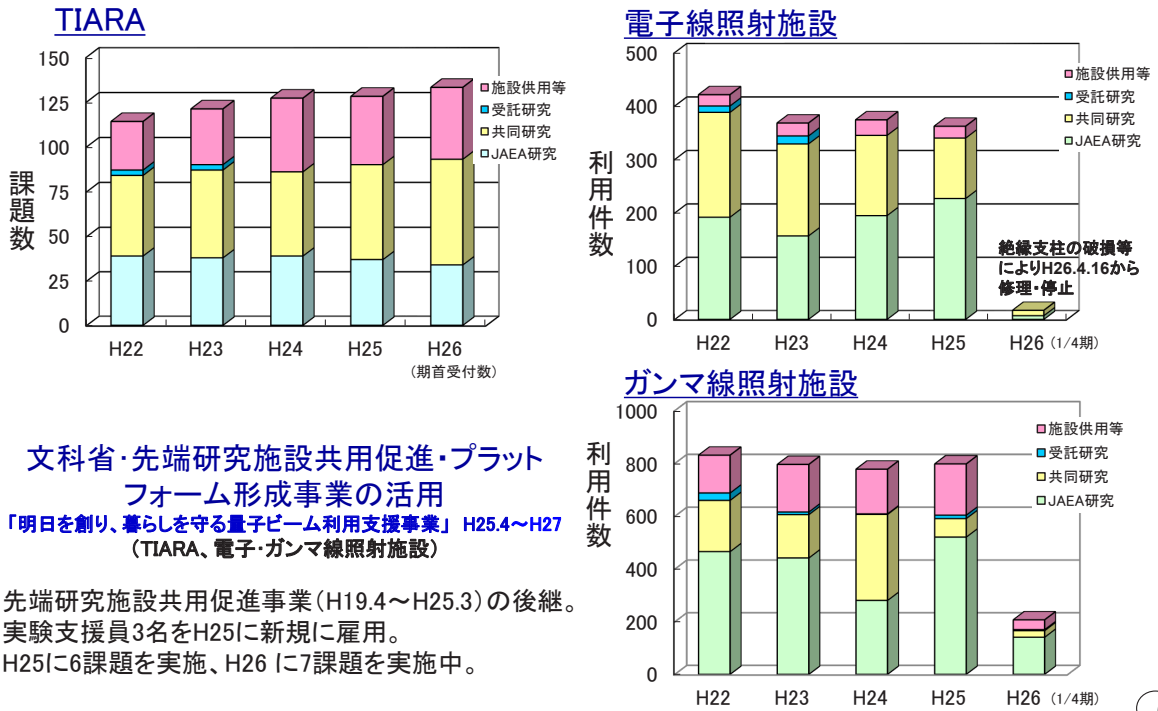
4

量子ビーム施設の運転・利用状況 (H22年4月～H26年6月)



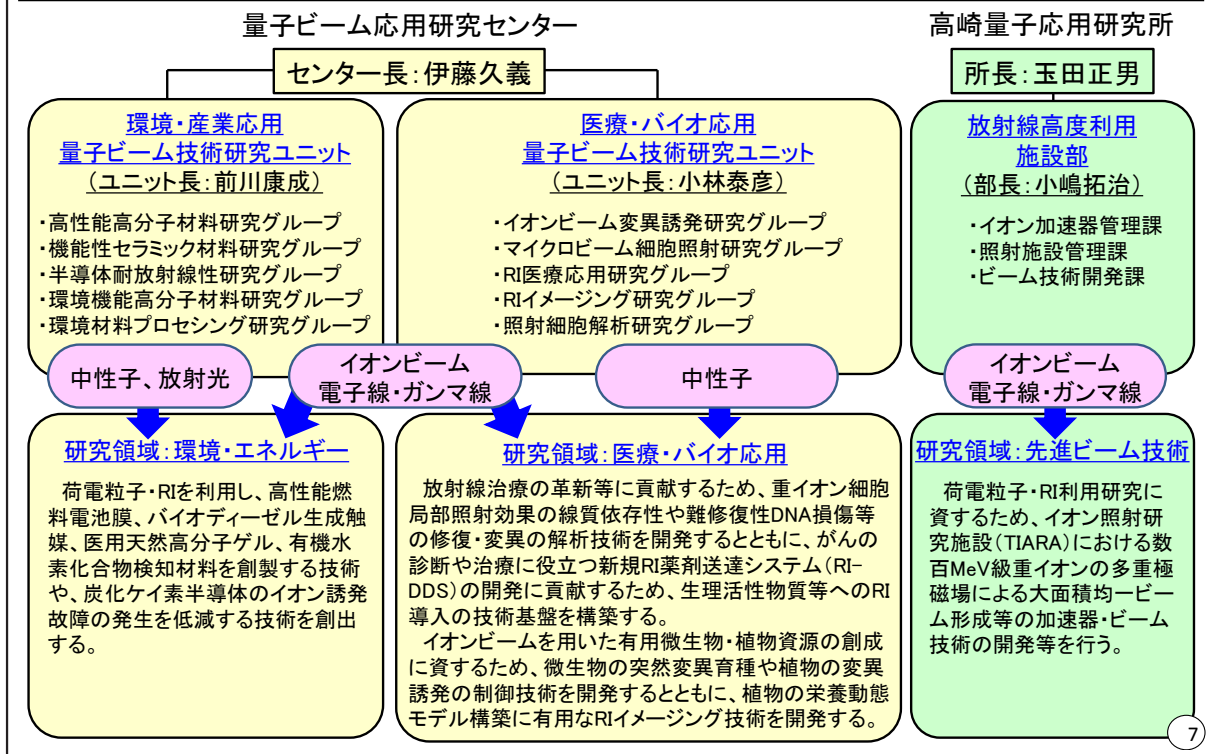
5

量子ビーム施設利用件数の推移 (H22年4月～H26年6月)



6

高崎地区における研究開発の体制



研究の進捗状況 (環境・エネルギー研究領域)

環境・エネルギー研究領域に対する取り組み (環境・産業応用量子ビーム技術研究ユニット)

ユニットにおける研究の展開

イオンビーム、電子線、ガンマ線の特長を最大限に活用して、他の手法では達成困難な機能性材料創製、先進的材料評価、環境保全・資源利用に関する研究開発を行う。

産業振興、新産業の創出

環境・エネルギー領域への貢献

国民生活の質の向上

機能性材料創製

低炭素社会の実現に向けた高性能燃料電池材料や有機水素化合物検知材料等の開発

先進的材料評価

宇宙や原子力施設で使用される半導体や高分子材料等の耐放射線性評価・強化技術の開発

環境保全・資源利用

環境浄化や有用資源回収のための高性能金属捕集材や天然・生分解性高分子材料等の開発

量子ビームの「つくる」「みる」特長を活かした研究開発の推進

- 橋架け
- グラフト重合
- 分解
- 異種原子導入
- 原子構造変化
- 電離
- 核反応
- 材料構造・化学反応解析など

世界最先端の施設・ビーム技術の活用

- マイクロビーム／シングルイオンヒット
- カクテルビーム
- 複合／均一照射など

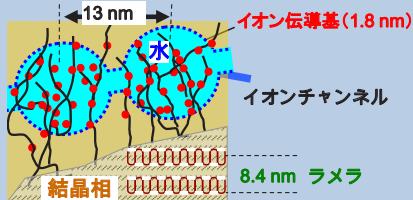
9

(1) 量子ビームを用いた高性能燃料電池膜の創製

研究目的: 量子ビームを利用した先進的な測定・解析・加工技術の研究開発を行い、環境・エネルギー分野の発展に貢献するため、荷電粒子・RI等を利用して高性能燃料電池膜を創製する技術を創出する。

研究成果:

○センター内外との研究協力関係を構築して、中性子、放射光、陽電子等の量子ビームの複合的利用により膜構造を詳細に解析し、グラフト型燃料電池電解質膜のイオンチャンネル構造等の階層構造と燃料電池特性との関連性を明確化

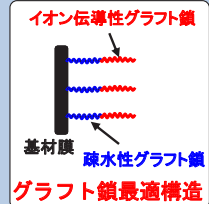


- ・水とイオン伝導基を含む十数nmのイオンチャンネル構造で導電性発現
- ・ラメラ結晶相が高耐久性に寄与

○膜構造解析結果を基に、イオンチャンネル構造制御の手法として放射線ブロックグラフト重合技術を編み出し、燃料電池膜の導電性向上に成功

○燃料電池膜と触媒電極との接合に使用するバインダーの組成を最適化することで、電池セルの出力特性が向上することを明らかにし、膜・触媒接合体の成型方法を確立

○芳香族炭化水素系高分子基材を用いたグラフト型高分子電解質膜について、電子・ガンマ照射を利用したブロックグラフト重合技術によるイオン伝導パスの制御により、低湿度条件下での出力と耐久性で世界トップレベルの性能を実証



特記事項 ○共同研究先と実施許諾6件締結、平成22年度理事長表彰【研究開発功績賞】受賞
○Polymer (2011)、J. Mater. Chem. (2012)、Macromolecules (2012, 2014)等に掲載
○国際会議ICNRE 2012、IRaP2014、IUMRS2014等で招待講演

10

(2) 放射線グラフト重合による微量金属捕集材の開発

研究目的: 環境負荷低減に向け放射線グラフト重合技術を高度化し、これを活用して産業界から求められている微量金属捕集材を開発して実用化に結び付け、幅広い成果の普及を図る。

研究成果: 半導体、フラットパネルディスプレイ製造工程の洗浄液に含まれる微量金属を効率良く除去可能なイオン交換繊維を開発し、実用化。実用化企業においてH23年3月に製造ラインを新設及びH26年2月に増設し、本格的に生産を開始。

○有機溶媒に代わる水系のエマルジョングラフト重合技術により、微量金属除去用イオン交換繊維の製造プロセスを改善し、当該繊維を充填したカートリッジを商品化



イオン交換繊維

製造プロセスの改善



商品名:メトレート®

金属除去繊維を充填したカートリッジの商品化

○エマルジョングラフト重合を適応した低線量技術により、放射線分解型素材の植物由来材料を用いたバイオディーゼル燃料用触媒の開発に成功

○エマルジョングラフト重合と架橋重合を融合させた手法により、放射性セシウムに対して高選択性のある除染材料の開発に成功し、商品化

○民間企業との共同研究により、環境水中からのヒ素、ホウ素等の微量金属を除去可能なフィルターを実用化



商品名:クラングラフト®

環境浄化用カートリッジ

特記事項

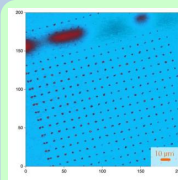
- プレス発表:「環境負荷低減、コストダウンに貢献できるイオン交換繊維の実用化に成功」(H22年6月)
- 表彰:日本イオン交換学会技術賞(H22年及びH23年)
- H23年度理事長表彰【研究開発功績賞】、実施許諾契約、国際会議等で招待講演

11

(3) イオンビームによる半導体の欠陥エンジニアリング

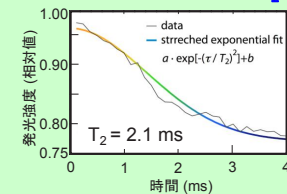
研究目的: 量子ビームを用いた新機能材料創製の一環として、半導体中の量子ビーム誘起欠陥を利用した室温作動量子デバイスの実現を目指し、イオンビーム照射等をもちいてダイヤモンドや炭化ケイ素(SiC)中に単一発光中心を形成する技術を開発する。

研究成果: 室温動作の量子ビットとして有望視されるダイヤモンド中の窒素-空孔(NV⁻)欠陥に着目して、Nイオン照準照射により長いスピン位相緩和時間(T_2)を有するNV⁻欠陥の形成技術を開発。N分子イオン注入を用いてNV⁻ペアの形成に成功。SiC中の炭素アンチサイト-炭素空孔(C_{Si}V_C)が単一発光中心であることを実証。



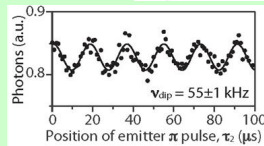
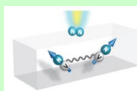
規則的に配置したNV⁻欠陥の共焦点顕微鏡イメージ

形成したNV⁻欠陥で最長2ms(従来350 μ s)のスピン位相緩和時間(T_2)を達成



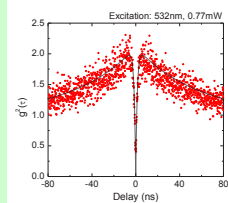
スピンエコー減衰測定結果

物材機構、筑波大との連携や日独国際協力により推進



NV⁻ペアの電子-電子二重共鳴測定結果

単一発光中心の実証



SiC中のC_{Si}V_Cのアンチバンチング測定結果

- 特記事項
- プレス発表:「ダイヤモンドを用いて量子コンピュータの実現に不可欠な量子エラー訂正に成功～量子情報デバイスの実用化・量子コンピューティングの実現に前進～」(H26年1月)
 - Nature (2014)、Nature Mat. (2014)等に掲載

12

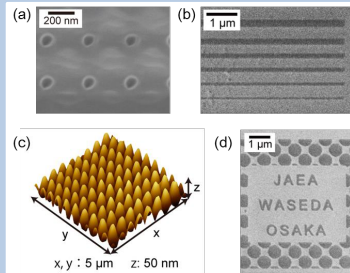
(4) 生体に優しいプラスチックの精密微細加工技術を開発

研究目的: 量子ビームを用いた微細加工・改質技術の高度化により、医療やバイオ研究に利用可能な生体親和性材料を創製する技術を開発する。

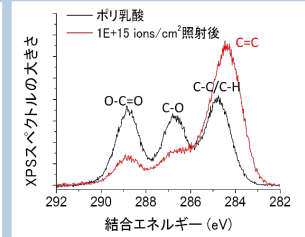
研究成果: 生体適合性と生分解性を併せ持つ代表的な医用プラスチックであるポリ乳酸に対し、試料の調製方法や、直径50 nm以下に絞った加速電圧30 kVのガリウムイオンビームの加工条件を最適化することで、精密微細加工と局所表面改質技術を開発



加工条件を最適化



ポリ乳酸表面の精密微細加工例
(形状のパターニング)



照射によりC=Cが増加。
C=Cの割合で細胞接着性の強弱が制御可能
(機能のパターニング)

【早稲田大学、大阪大学との共同研究】

量子ビームを利用して、マスクレスやモールドレスで局所的な形状や化学組成を制御した細胞接着性の高い材料を作製

特記事項 ○ プレス発表: 「高い細胞接着性を持つ生体に優しいプラスチックの開発に成功
— 集束イオンビームを使って医療材料の微細加工に新しい道 —」(H25年12月)
○ Appl. Phys. Lett. (2013)に掲載

13

研究の進捗状況 (医療・バイオ応用研究領域)

14

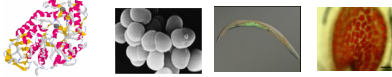
医療・バイオ応用研究領域に対する取り組み (医療・バイオ応用量子ビーム技術研究ユニット)

ユニットにおける
研究の展開

放射線の生物作用を基盤とし、新規の量子ビームテクノロジーを開発することにより、生物資源の創成や医療に貢献する研究開発を行う。

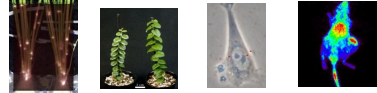
生命の共通原理

- ・生命多様性
- ・生物の放射線耐性メカニズム
- ・生体機能・代謝
- ・新しい放射線生物学



有用生物資源の創成

- ・有用遺伝子・タンパク質
- ・バイオ農薬・肥料・産業微生物
- ・環境耐性・浄化植物
- ・高品質な食料・食品の安定生産・供給技術

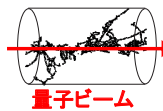


医療応用

- ・粒子線がん治療
- ・超早期診断・治療用薬剤
- ・低線量放射線リスクの解明

放射線作用の機構解明

物理 ・ 化学 ・ 生物過程



量子ビーム

- ・DNAの損傷
- ・DNA修復
- ・突然変異・がん
- ・細胞死
- ・生体影響
- ・進化

量子ビームバイオテクノロジー

- ・マイクロビーム細胞局所照射
- ・イオンビーム育種
- ・RI-DDS
- ・RIイメージング
- ・レーザープラズマ軟X線顕微鏡
- ・DNA損傷・修復解析技術



世界のCOEとしての量子ビームバイオサイエンス&テクノロジーの確立

15

(1) 小さながんも見逃さない新しいPET用RI薬剤の開発

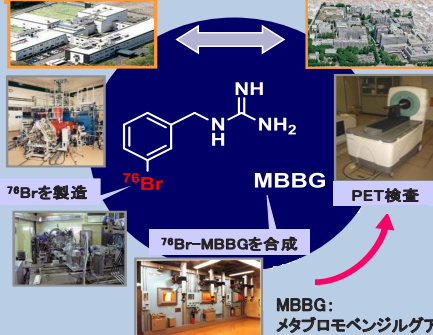
研究目的: 診断が困難な微小な褐色細胞腫に対して、ポジトロン断層撮像装置(PET)用の放射性同位元素として期待が高い臭素-76 (^{76}Br)を使った新しいがんの診断薬を作り出す。

研究成果: イオンビームで生み出した新規ハロゲンPET核種 ^{76}Br を、褐色細胞腫に特異的に取り込まれる化合物に導入し、群馬大学医学部と共同で新規PET診断薬を開発。 ^{76}Br の導入法や生体内での安定性などに関する知見獲得が中期計画の達成に大きく貢献。

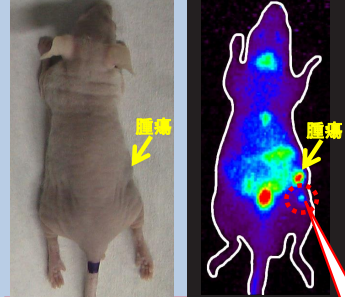
○ TIARAで製造した ^{76}Br を用いたMBBGの標識合成法を初めて開発し、群馬大学においてPET撮像を実施

原子力機構

群馬大学



○ ^{76}Br -MBBGを用いて微小な褐色細胞腫のPETによる画像化に成功



PET画像診断で初めて見つかった
小さな腫瘍(褐色細胞腫)

特記事項:

○H22年6月 プレス発表「小さながんも見逃さない新しいRI薬剤を開発— ^{76}Br -MBBGを用いて微小な褐色細胞腫のPETによる画像化に成功—」

○H22年9月 J. Nucl. Med.誌掲載「PET imaging of norepinephrine transporter (NET)-expressing tumors using ^{76}Br -meta-bromobenzylguanidine (^{76}Br -MBBG)」

○H23年10月 理事長表彰特賞受賞「量子ビームを活用したがんの精確な診断と治療に役立つ新規RI薬剤の開発」

16

(2) レーザープラズマ軟X線顕微鏡の開発

研究目的: 高強度レーザーを活用することにより、高い空間分解能と高い時間分解能を持ち、生きた細胞のその場観察が可能な顕微鏡を開発する。

研究成果: ○高輝度レーザープラズマ軟X線源と密着法を組み合わせ、生きている細胞の内部構造をそのまま観察できるレーザープラズマ軟X線顕微鏡の開発に成功
○レーザープラズマ軟X線顕微鏡により、生きている細胞内の微細構造やX線照射された細胞核の構造変化の高解像度その場観察を実現

レーザープラズマ
高強度レーザー
培養液
軟X線
X線感光材

X線感光材上に直接培養した細胞(密着法)

核膜 90nm 1µm

ミトコンドリア 細胞骨格 2µm

生きている細胞内の構造を90nmの高解像度での観察に成功

ミトコンドリアや細胞骨格等の細胞内小器官のその場観察に成功

レーザープラズマ軟X線顕微鏡を開発

奈良女子大学との共同で軟X線顕微鏡を活用

特記事項:

- H23年8月 プレス発表「初めて見た 生きた細胞の超微細構造の観察に成功 - 夢の顕微鏡: レーザープラズマ軟X線顕微鏡の開発で実現 -」
- H24年5月 大阪ニュークリアサイエンス協会賞受賞「レーザー励起X線源を用いた軟X線顕微鏡による細胞内小器官のその場観察技術の開発」
- H24年10月 理事長表彰特賞受賞「生きた細胞の内部構造をその場観察できるレーザープラズマ軟X線顕微鏡の開発」
- H26年4月 文部科学大臣表彰科学技術賞受賞「生きた細胞の内部構造をその場観察できる軟X線顕微鏡の研究」

17

(3) イオンビーム育種技術による新しい吟醸用清酒酵母の作出

研究目的: 効率よく目的の突然変異体が得られるというイオンビーム育種技術の特長を産業微生物の育種に応用して、従来にない、独自性を持った清酒用酵母を育種する。

研究成果: 原子力機構が独自に開発したイオンビーム育種技術を利用し、群馬県との連携により、吟醸酒醸造に適した新たな清酒酵母を開発。群馬県オリジナルの新しい吟醸用清酒酵母として実用化。

- イオンビーム育種技術で作り出した2000株以上の中から、風味のバランスが良く、従来の酵母にはない「甘い香り」をもつ新酵母を選定
- 新酵母は3年間の醸造試験の結果、十分な醸造適性があることを確認
- 「甘い香り」の原因遺伝子を特定

照射試料を調製

イオンビーム照射で変異誘発

優良株候補を選抜

新酵母を選定

変異遺伝子を解明

新酵母で醸造された吟醸酒

- 群馬県の新しい酵母として、県内の酒造蔵に頒布
- 群馬県の酒造蔵から新酵母で醸造された吟醸酒を販売
- 遺伝子情報を利用することで、有用株の早期選抜が可能に

特記事項:

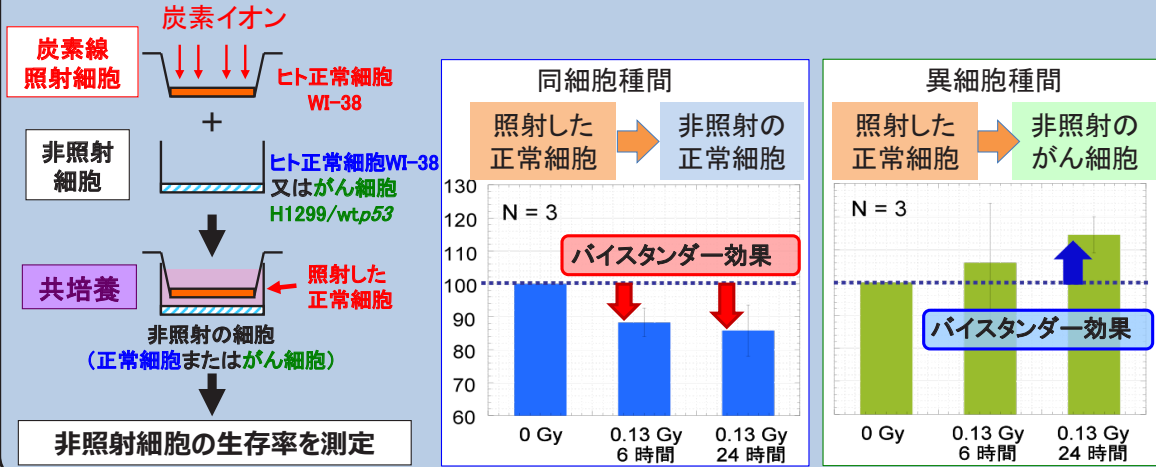
- H24年12月 プレス発表「群馬県の新しい吟醸用清酒酵母ができました！」
- H25年10月 理事長表彰研究開発功績賞「イオンビーム微生物育種法の開発」
- H26年 4月 日本原子力学会関東・甲越支部賞受賞「イオンビーム微生物育種技術による新規清酒酵母の開発とその実用化」

18

(4)異なる細胞種間のバイスタンダー効果の発見

研究目的： 異細胞種間および同細胞種間におけるバイスタンダー効果の誘導を検証し、重粒子線治療における治療対象範囲外への影響を明らかにする。

研究成果： ○異なる細胞種間での重イオン誘発バイスタンダー効果を実証
○照射細胞が同じでも、非照射細胞が異なれば、応答も異なることを発見



特記事項：

○H24年11月 日本原子力学会関東・甲越支部奨励賞受賞「放射線誘発バイスタンダー効果の網羅的検出—もたらされる影響は有害か、有益か？」

研究の進捗状況 (放射線高度利用施設部)

先進ビーム技術研究領域に対する取り組み (放射線高度利用施設部)

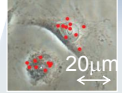
施設部における
研究の展開

ビーム生成、加速、計測、制御、照射に係る技術を開発し、ユーザーの多様な要求に応じて、放射線高度利用に貢献する。

加速器・ビーム技術

**マイクロ
ビーム**

直径 $\sim 1\mu\text{m}$
低線量放射線の
生物影響の解明



**大面積
均一
ビーム**



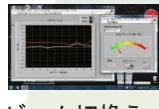
イオン穿孔フィルタ
の製造等への応用

**シングル
パルス
ビーム**

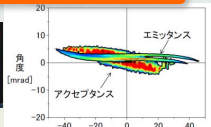
間隔 $=1\mu\text{s}\sim\infty$

水中に生成する
初期活性種の
時間挙動解明

加速器の高度化技術



ビーム切換え
時間短縮



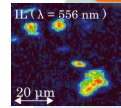
透過率向上

**MeV級重イオン
クラスターイオン
ビーム**

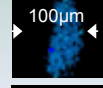
新規照射効果
分析への応用

ビーム応用技術

**イオン誘起
X線・ガンマ線・発光分析**

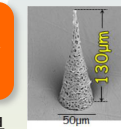


発光分析による
微粒子等の
化合物同定



特性X線に基づく
微量試料
(ゾウリムシ)
中の3次元元素
(Pb)分析

照射制御(描画)



3次元
微細加工技術

放射線・ビーム計測 (検出・線量測定)



高度がん
診断用コン
プトンカメラ

ニーズへの対応 + シーズ技術の提供

施設供用制度、共用促進事業による外部利用の拡大

大面積均一ビーム形成技術の開発

研究目的: 多重極磁場による数百MeV 級重イオンの大面積均一ビーム形成技術を確立し、量子ビーム照射効果研究及び機能性材料創製等への応用を推進する。

研究成果:

[平成22年度]

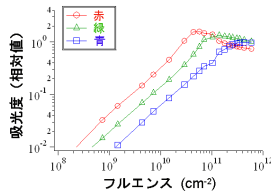
ビーム形状・強度の計測を可能にする照射チェンバーを設計・製作

真空中で22枚の放射線着色フィルムを交換して連続的なビーム特性試験を実現

[平成23年度]

放射線着色フィルムを用いたビーム強度分布計測技術を開発

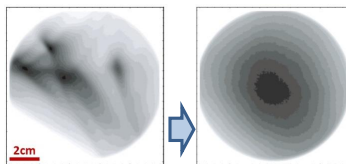
ビーム形状計測に必要な $1 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$ までの低フルエンス測定を手法を確立



[平成24年度]

均一度を制御した大面積均一ビーム形成技術を開発

Ta箔などを用いた多重散乱によるガウス様分布化の検討

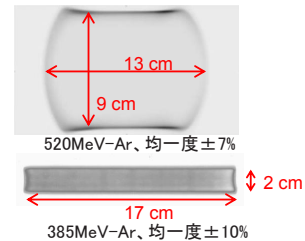


1.5 μm 厚のAl膜でガウス様分布化した10MeV-Hビーム
(放射線着色フィルムによる強度分布)

[平成25年度]

形状を制御した大面積均一ビーム形成技術を開発

四角状及びリボン状の大面積均一ビームを形成



520MeV-Ar、均一度 $\pm 7\%$

385MeV-Ar、均一度 $\pm 10\%$

[平成26年度]

目標性能(8cm \times 8cm、 $\pm 5\%$)達成と試験的研究利用の開始

10cm \times 10cm、 $\pm 5\%$ を達成

特記事項

○査読付論文7件

- [1] Y. Yuri et al., *Plasma and Fusion Res.* 9 (2014) 4406106.
- [2] A. Kitamura (Ogawa) et al., *Nucl. Instrum. Meth. B314* (2013) 47.
- [3] Y. Yuri et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* 81 (2012)

○関連特許4件

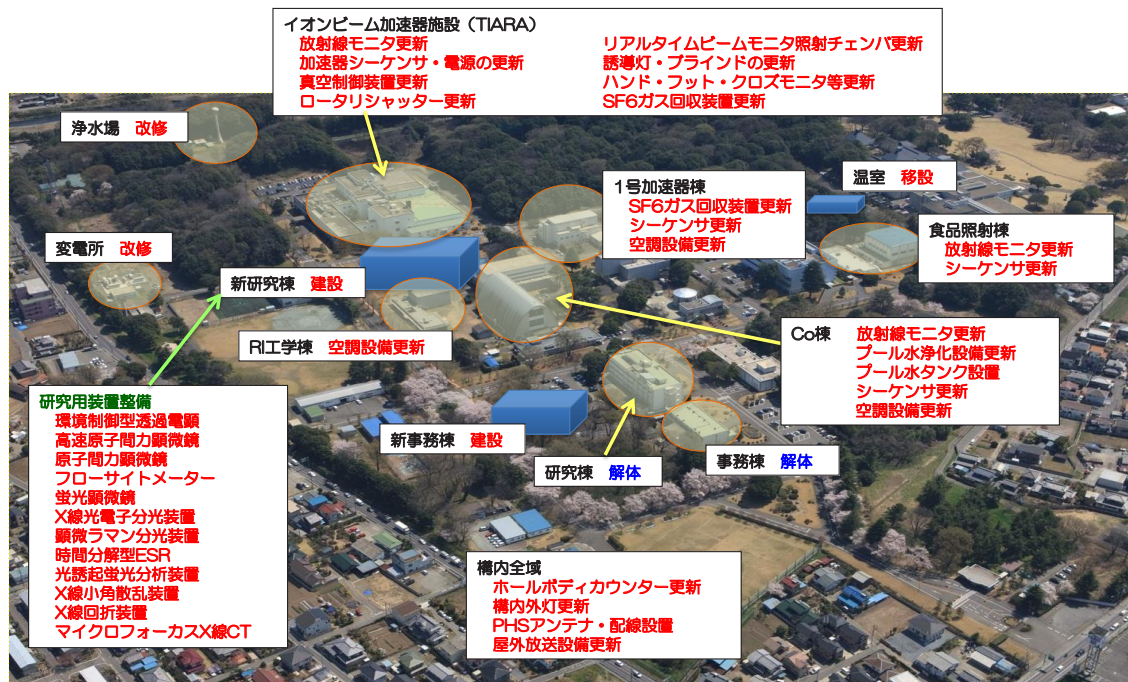
特願 2012-081758, 2013-066942, 2013-066946, 2013-067306

○表彰・受賞

加速器学会年会賞「原子力機構TIARAにおける多重極電磁石を用いた大面積重イオン均一ビームの形成」(2013年)

補正予算による研究環境整備状況

高崎研施設・設備整備の全容：平成の大改修



高崎量子応用研究所の研究環境整備 (H24年度補正予算:67.9億円)

● 環境・産業利用研究棟(地上3階建、免震構造)の整備(H27年3月竣工予定)



- ・老朽化が進む研究棟を更新するとともに、最新の研究分析装置を導入(H26年3月)し、量子ビームを用いた新奇材料創成研究を推進する。
- ・これに合わせて、特高変電所、浄水場の改修を行う。
- ・高崎研開所当初から使用してきた現在の研究棟は解体撤去する。

● 量子ビーム応用研究管理棟(地上3階建、免震構造)の整備(H27年1月竣工予定)



- ・高崎研の基幹機能と緊急対策機能を集約し、大規模地震などの災害発生にも、基幹機能を損なうことなく適格な対応を可能にする。
- ・高崎研開所当初から使用してきた現在の事務棟は解体撤去する。

● イオンビーム加速器施設の安全対策等(H26年3月整備完了)

- ・イオンビーム加速器施設(TIARA)、ガンマ線照射施設、電子線照射施設の放射線モニタや制御設備等を更新し、安全確保をより確実なものにする。
- ・実験室などの空調設備を更新し、作業環境の安全をより確実なものにする。

(25)

総括

- ・ 各研究領域の個別テーマは、センター内外や他機関、大学、産業界との連携を積極的に進め、年度計画に従い着実に研究を遂行し、以下の全研究テーマの中期計画の目標の達成を確実なものとするとともに、優れた成果の創出を行った。
 - － 環境エネルギー研究領域では、高性能燃料電池膜、バイオディーゼル生成触媒、医用天然高分子ゲル、有機水素化合物検知材料の創製技術や、炭化ケイ素半導体のイオン誘発故障発生の低減技術の創出
 - － 医療・バイオ応用研究領域では、重イオン細胞局部照射効果の線質依存性や難修復性DNA損傷等の修復・変異の解析技術を開発、生理活性物質等へのRI導入の技術基盤の構築、微生物の突然変異育種や植物の変異誘発の制御技術の開発、RIイメージング技術の開発
 - － 先進ビーム技術研究領域では、TIARAにおける数百MeV級重イオンの多重極磁場による大面積均一ビーム形成等の加速器・ビーム技術の開発等
- ・ 機構内外と密接に連携し、精力的に外部資金を獲得を行い、研究計画の着実な遂行と成果創出に結び付けた。
- ・ 優れた研究成果は積極的にプレス発表(11件)を行うとともに、放射線利用フォーラムin高崎、高崎研オープンセミナー等の開催や学会・地域等が開催する各種研究会、講演会等への参画を通して、研究成果の幅広く発信した。
- ・ 研究成果の社会還元促進のため、産連部と連携して、技術相談等、産業界のニーズを踏まえた技術普及活動に参画するとともに、実用化に向けた共同研究を推進するなど、成果の技術移転に向けて積極的に取り組み、金属捕集材の商品化等を達成した。

(26)



資料10A-5



第10回量子ビーム応用研究・評価委員会
(第2期中期計画 事後評価)

平成26年10月20日

量子ビーム応用研究の進捗 (木津地区)

副センター長: ボルトン ポール
片山 芳則

①

発表の内容

- 施設の運転・利用状況
- 研究開発の体制
- 研究の進捗状況
- 研究の総括

②

関西研木津における高強度レーザー装置(施設共用装置)

●高強度チタンファイヤレーザー (J-KAREN)

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| (1) パワーアンプモード | (2) ブースターアンプモード |
| 1) 照射エネルギー: 1J/pulse | 1) 照射エネルギー: 10J/pulse |
| 2) コントラスト比: 10^{-11} | 2) コントラスト比: 10^{-10} |
| 3) 波長: 800nm | 3) 波長: 800nm |
| 4) 繰り返し: 10Hz(最大)、1Hz (シングルショットも可能) | 4) 繰り返し: 30分に1回 (シングルショットのみ) |
| 5) パルス幅: 30フェムト秒 | 5) パルス幅: 40フェムト秒 |



H24年度補正予算(12億円)により、0.8PW, 0.1Hz化に必要な整備を実施。

●X線レーザー発生装置

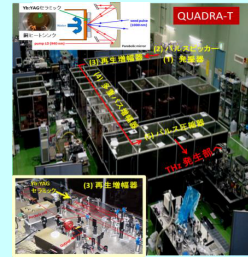
- 照射エネルギー: $1 \mu\text{J/pulse}$
- 波長: 13.9nm
- 繰り返し: 10秒に1回
- パルス幅: 約10ピコ秒
- ピーク輝度: $10^{26} \text{ phs/sec mm}^2 \text{ mrad}^2 \text{ 0.1\%bw}$



●THz発生用 QUADRA-T レーザー

- 照射エネルギー: 10 mJ/pulse
- 波長: $1 \mu\text{m}$
- 繰り返し: 1 kHz
- パルス幅: 1 ピコ秒

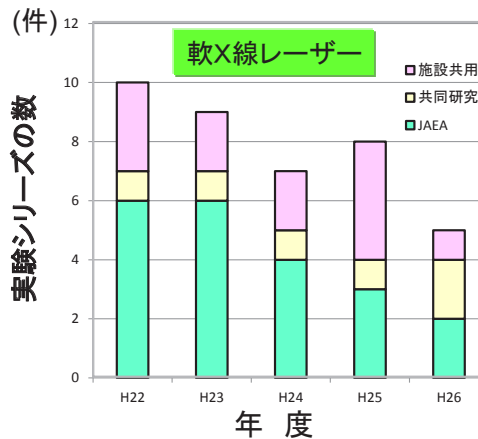
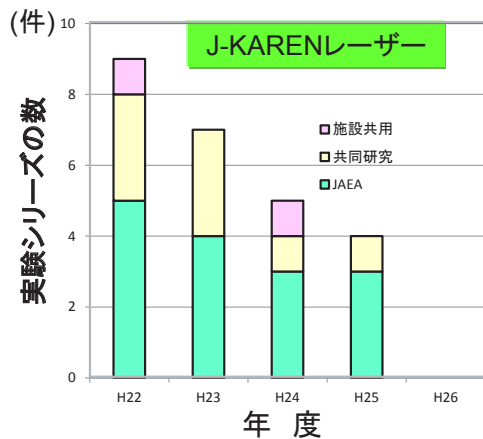
文科省融合光新創生ネットワークプログラムにより整備。H26年度より施設供用を開始



その他の装置についてはJAEA産学連携部HPに記載。 <http://sangaku.jaea.go.jp/3-facility/05-support/index-142.html>

③

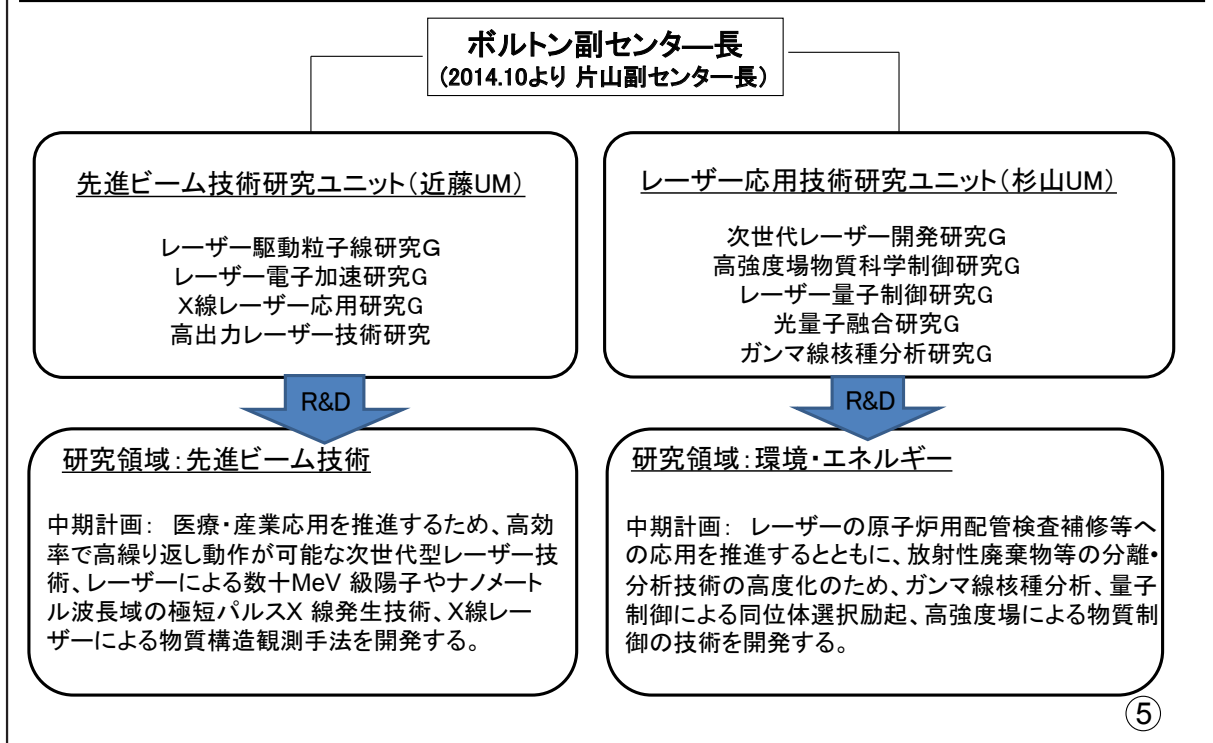
大型供用装置の利用件数の年度推移(H22-26年度)



- H26年度は、補正予算によりJ-KARENの高度化作業が行われたため、前期の運転は無。

④

木津地区における研究開発の体制



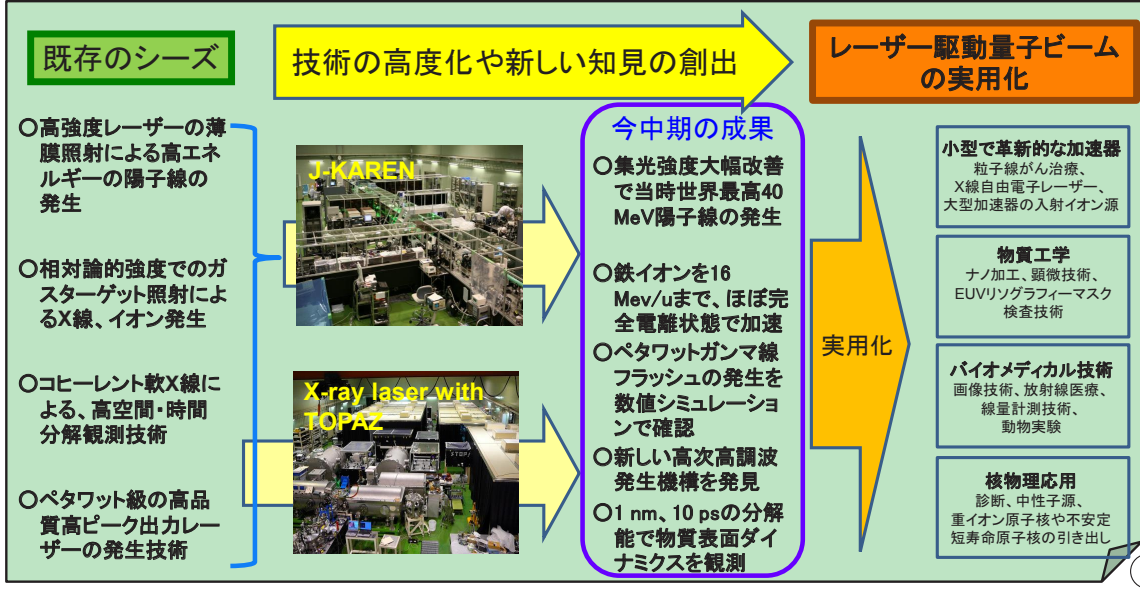
研究の進捗状況 (先進ビーム技術領域)

⑥

先進ビーム技術領域に対する取り組み (先進ビーム技術研究ユニット)

ユニットにおける
研究の展開

医療・産業応用を推進するため、レーザーによる数十MeV級陽子やナノメートル波長域の極短パルスX線発生技術、X線レーザーによる物質構造観測手法を開発する。

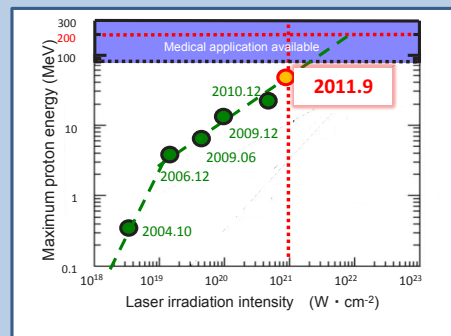
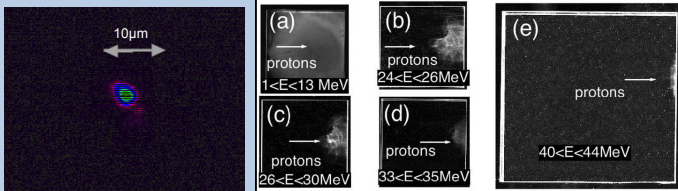


レーザー駆動陽子線加速で43MeV発生に初めて成功

研究目的： 粒子線がん治療のコンパクト化に資するなど、レーザー駆動イオン加速器の実現を目指し、レーザーによる数十MeV級陽子線を発生する。

研究成果：

レーザー集光強度を極相対論的強度である $10^{21}\text{W}/\text{cm}^2$ まで高め、小型化が可能なサブ100フェムト秒レーザーを使ったものとしては観測当時世界最高の43 MeVの陽子線発生に成功。



特記事項：

【プレス発表】「小型化可能なレーザーを用いて世界最高の40MeVの陽子線発生に成功」H24.7
【論文掲載】Opt. Lett. (2012)

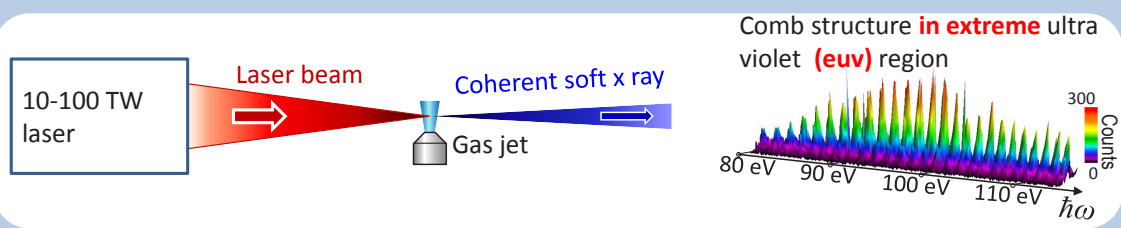
⑧

新しいX線発生機構による高次高調波X線の発見

研究目的: 新たな計測診断技術開発に資する基盤技術開発として、ナノメートル波長域の極短パルスX線発生技術を開発する。

研究成果:

ガスジェットターゲットを相対論的なレーザー強度で照射し、従来の高調波やX線発生とは異なる、以下の特性を持つ高次高調波X線が発生することを発見した。1) 奇数次だけではなく偶数次も発生。2) 直線偏光励起でも円偏光励起でも発生。3) トムソン散乱(単一電子の散乱)よりも格段に高強度。4) レーザーパワーで短波長化へのスケールが可能。



特記事項:

【プレス発表】「短波長化が可能なコヒーレントX線発生の原理実証に成功」H24.3
 【論文掲載】 Phys. Rev. Lett. (2012)

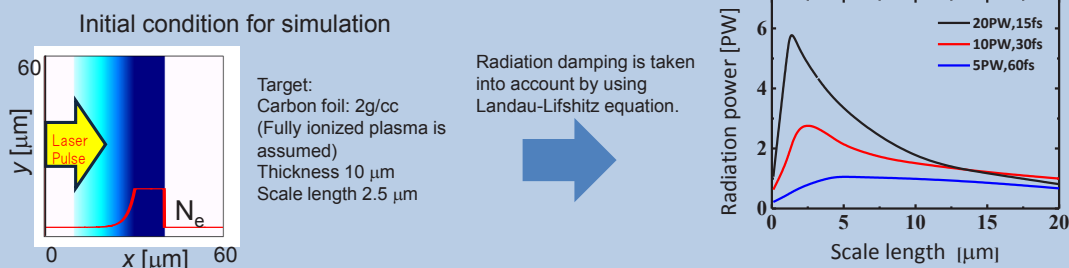
9

ガンマ線フラッシュを提唱

研究目的: 新たな計測診断技術開発に資する基盤技術開発として、極短パルスX線及びガンマ線発生技術を開発する。

研究成果:

レーザーを物質に照射した際に、放射減衰が支配的となるレーザー強度での発生ガンマ線強度を数値計算により評価した結果、レーザーパルス幅と同程度の膜厚の薄膜を使用すればマルチペタワットのガンマ線が発生することを予想。



特記事項:

【プレス発表】「高強度レーザーを用いた超高出力ガンマ線の発生機構を発見」H24.4
 【論文掲載】 Phys. Rev. Lett. (2012)

10

ポンプ・プローブ軟X線レーザー反射・干渉計による物質構造変化の観察

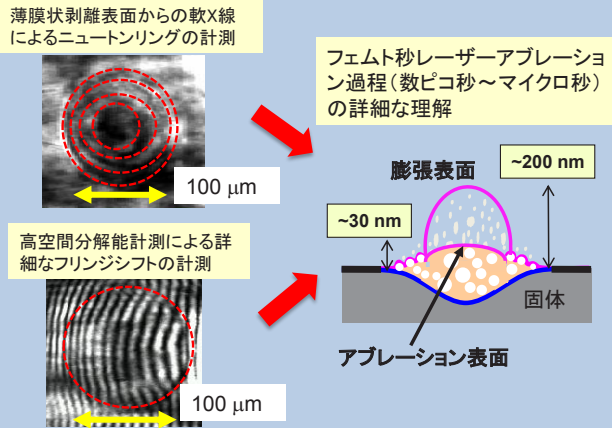
研究目的: 新たな計測診断技術開発に資する基盤技術開発として、X線レーザーによる物質構造観測手法を開発する。

研究成果:

レーザーアブレーションによる金属表面の過渡的形狀変化の観察について、ポンプ光とプローブ光の3ピコ秒精度のタイミングモニタリング手法の開発に成功した。

深さ方向 1ナノメートル、表面方向0.5ミクロン以下の空間分解能を持つ、ピコ秒時間分解計測手法の開発に成功した。

フェムト秒レーザーアブレーションによる白金、金、タングステン試料のピコ秒～マイクロ秒の過渡的形狀変化の観察に成功した。



特記事項:

- 【プレス発表】「ナノスケールの金属表面形状変化を瞬時に観察」H22.6
- 【論文掲載】Opt. Exp. 誌(2010)、Opt. Exp. 誌(2013)、Jpn. J. Appl. Phys. 等
- 【招待講演】SPIE 2011,2013、X線レーザー国際会議 2012,2014、ECLIM 2012等の国際会議にて招待講演 ⑪

J-KARENレーザーの高度化の実施

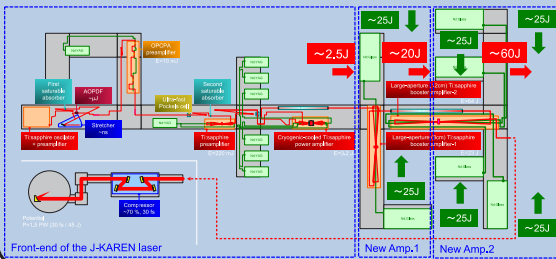
研究目的: 高エネルギー粒子線、高輝度X線等の線源開発のために、J-KARENレーザーの高度化を図る。

研究成果:

○ 高繰り返し・高エネルギーレーザーの設計、整備

高度化以前
ピークパワー : 250TW
繰り返し率 : シングルショット(30分毎)

高度化後(期待されるレーザー性能)
ピークパワー : 1000TW=1PW
繰り返し率 : 0.1Hz(10秒毎)



- ・J-KARENレーザーの高繰り返し、高エネルギー化のための、システム設計を行うと共に、必要なコンポーネントの整備を行い、調整を実施している。
- ・0.1Hzで動作するペタワットレーザーを整備する。

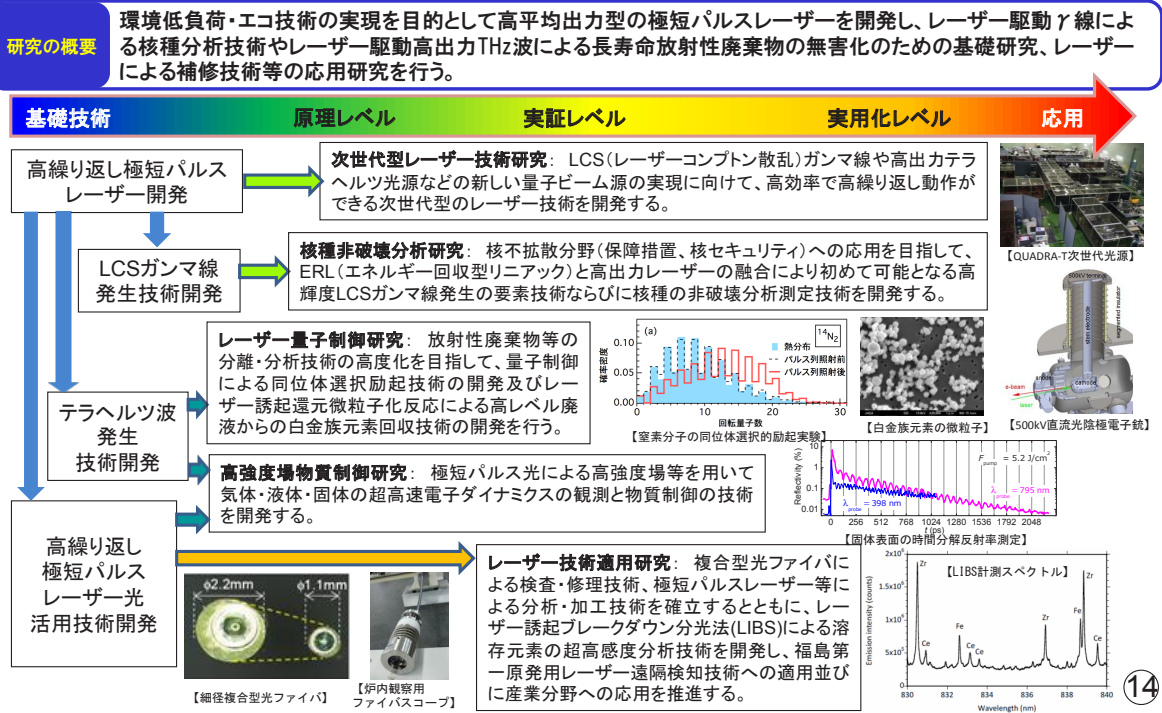
特記事項:

- 【補正予算】平成24年度補正予算12億円による高度化実施
- 【表彰・受賞】関連技術でレーザー学会業績賞(論文賞)受賞

研究の進捗状況 (環境・エネルギー領域)

13

環境・エネルギー領域に対する取り組み (レーザー応用技術研究ユニット)



14

(1) THz波発生用新型レーザーシステムQUADRA-Tの開発

研究目的: 同位体選択励起用の高出力テラヘルツ波を発生させるために、1kHzの高繰り返し周波数でピコ秒レーザーパルスが発生可能な新型のチャープパルス増幅レーザーシステムを開発する。

研究成果

◎ 薄ディスク型のYb:YAGをレーザー媒質に用いて繰り返し周波数1kHzで動作するピコ秒レーザーシステムを開発することに成功(図1)。ワットレベル(mJ/pulse)のレーザー出力にて1%(rms)の出力安定性を実現。

◎ H26年度より、供用施設として出力10Wレベルでの運用を開始。

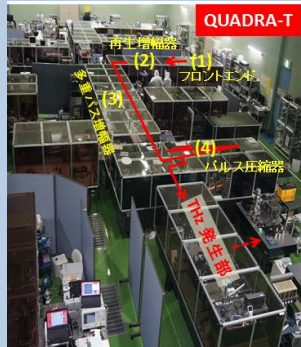
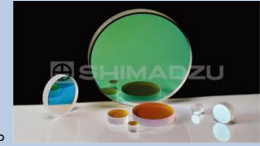


図1 QUADRA-T (高出力半導体励起 Yb:YAGレーザー)

◎ 島津製作所との高耐力レーザーミラーの共同研究において、75 J/cm² (@ 520ps)の光耐力をもつ多層膜無反射防止膜を開発した。



◎ 誘電体多層膜を用いたファブリペロー干渉条件を応用して、密着型グレーティングの回折効率を70%以上に改善することに成功。このデバイス(図2)を用いてマイクロジュールオーダーのテラヘルツ波の発生に成功。

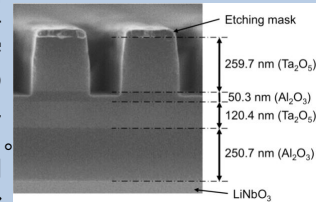


図2 テラヘルツ波発生用デバイス (非線形結晶上に作製した多層膜と回折格子)

QUADRA-T: highly Quality Ultra ADvanced RAdiation source -Tera Hertz

特記事項:

【プレス発表】「世界最高クラスの高耐力をもつレーザーミラーの開発に成功」H24.10。 H25.4より市販化開始。
【論文掲載】 Opt. Exp., (2013), Thin Solid Films, (2013), Opt. Exp., (2014).等

15

(2) レーザー量子制御による同位体選択励起の研究

研究目的: 放射性廃棄物の分離技術の高度化のため、フェムト秒チタンサファイアレーザー光を用いて、量子制御による同位体選択励起の原理を実証する。

研究成果

直線偏光をもつフェムト秒チタンサファイアレーザー光を光干渉システムによって8パルスに分割し、これを200Torrの室温の窒素ガスセルに入射させた(図1)。このレーザー光パルス列の間隔を、2種類の同位体窒素分子のうち、¹⁴N₂分子の回転周期に同調させた結果、¹⁴N₂分子の回転状態分布のみを熱平衡状態から選択的に移動させることに成功した(図2)。

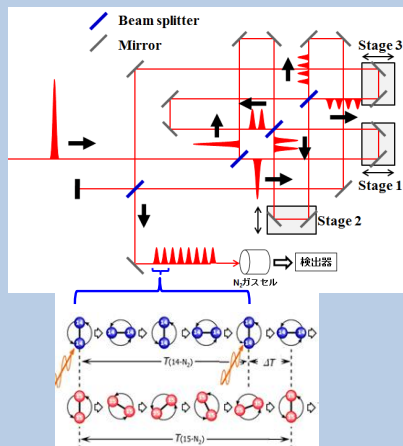


図1 8パルス列入射による窒素分子の同位体選択的回転状態分布移動試験(上段)及びパルス間隔と分子回転周期の関係(下段)

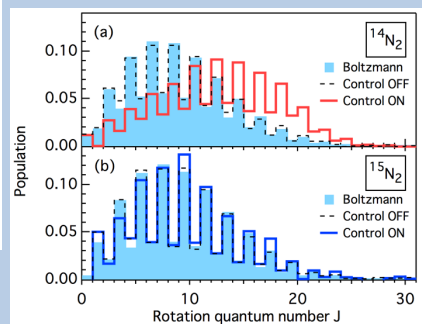


図2 ¹⁴N₂と¹⁵N₂分子の回転状態分布

空色の棒グラフは、熱平衡状態のボルツマン分布を示す。8パルス照射後の¹⁴N₂分子の分布(赤色実線)と¹⁵N₂分子の分布(青色実線)から同位体選択的加熱の原理が確かめられた。

特記事項

【特許取得】 分子の回転準位をカスケード的に励起する分子選択法: U.S. PAT. No. 8247762B2 (2012年8月)
【論文掲載】 JPS Conf. Proc. 1, 013093 (2014), Chin. J. Phys. (2013), Comp. Theo. Chem. (2012)等

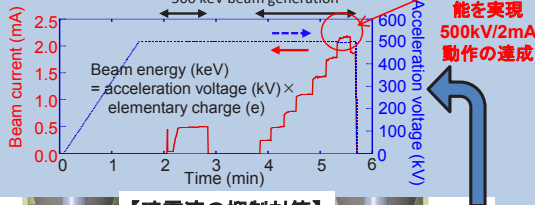
16

(3) 500kV/2mA光陰極直流電子銃の開発

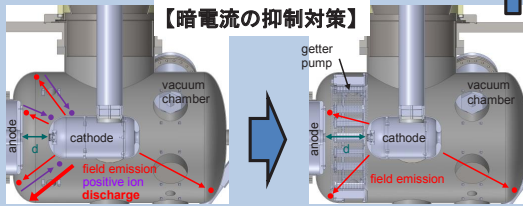
研究目的: レーザーコンプトンガンマ線による核種分析に必要な高輝度ガンマ線発生のための光陰極直流電子銃について、高電圧電子ビーム発生試験を行い、ガンマ線発生の実証試験に必要な電子銃の性能を確認する。

研究成果

【試験結果】

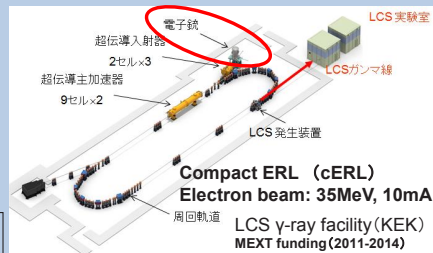


- ◎分割型セラミック管は世界標準となり、KEK、Cornell、JLAB、IHEPが同型機を製作。
- ◎世界最高性能の500 kV/2mAの電子ビーム発生に成功。
- ◎H25年10月にKEKに移設後、高輝度ガンマ線発生試験に向けた動作試験を実施。



問題点: 電界放出電子による真空容器面でのガス発生とイオン化により暗電流が発生。

解決策: 暗電流抑制のための陰極の形状・配置、また複数の真空ポンプの配置を最適化。



特記事項:

【プレス発表】「次世代光源用光陰極直流電子銃から500kV大電流ビーム生成に成功」H25.3、日刊工業新聞、日経産業新聞
【表彰・受賞】◎日本加速器学会賞(技術貢献賞):H26.8、◎理事長表彰(研究開発功績賞):H25.10

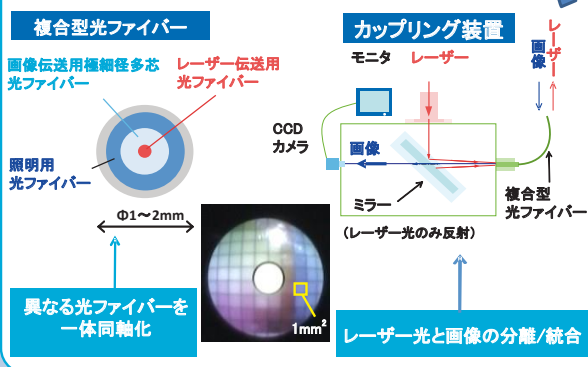
17

(4) 原子力機構初のベンチャー企業を設立

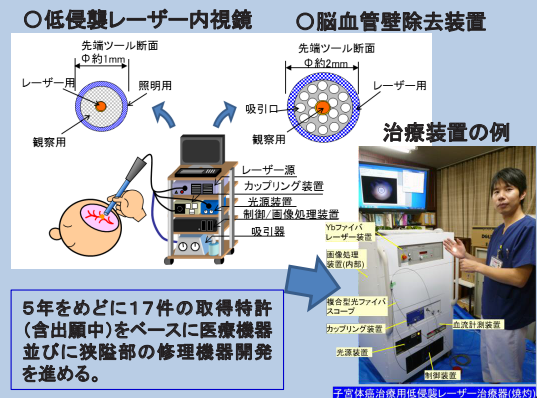
【予想外の成果】量子ビームによる産業応用に関する成果の創出に向けた取組として、原子力機構初の「ベンチャー」支援制度に基づき、株式会社OKファイバーテクノロジーが2013年9月25日に認定された。
当企業の事業内容は、複合型光ファイバー技術を用いた医療機器システムや産業用配管等の検査・修理機器の研究開発及び製造販売等である。

研究成果

【複合型光ファイバー構成図】



【様々な利用形態】



特記事項

【プレス発表】「原子力立県 命を救う技術求める やさしいメス レーザー」H24.01 中日新聞
【論文掲載】応用物理, Vol.80, No.12, pp.1069-1072, (2011)
【表彰・受賞】◎理事長表彰(研究開発功績賞):H23.10

18

福島第一原発用レーザー遠隔検知技術の開発

研究目的: 福島第一原発の原子炉内の状態把握を行うために、LIBS法と耐放射線性の光ファイバーによる内視鏡を合体させた新しい検知システムを開発する。

研究成果

◎高崎研においてLIBS用光ファイバーケーブルの1MGyのガンマ線照射試験を実施し、照射損傷時の使用可能波長領域の特定に成功(図1)。

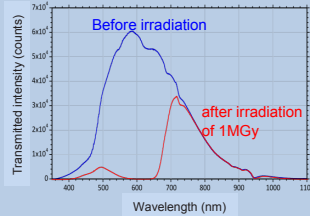


図1 光ファイバーの放射線損傷試験

◎耐放射線ファイバーとガスフロー型プローブヘッドの開発により水中固体試料を対象とする組成分析装置を開発。東電福島第一原発の模擬デブリの分析に成功(図2)。

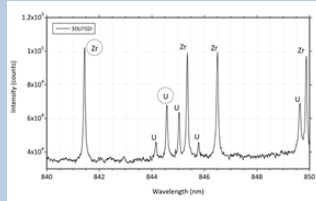


図2 LIBSによる模擬デブリの分析例

可搬型光ファイバーLIBSシステムプロト機



Specifications summary		
Laser Continuum Minilite II	Energy	0 ~ 40 mJ/pulse/unit
	Rep. rate	1 ~ 15 Hz
	Sync.	Int, ext
	Irrad. type	Single pulse, Double pulse (inter-pulse delay: optional choice)
Fiber-delivery Fiberguide Industries, Thorlabs	Length	3 ~ 20m
	Core dia.	0.55~1.0 mm, NA 0.12~0.22
	Core mat.	Quartz, High-OH
Pulsed delay generator		Stanford RS DG535
Fiber coupling box (Art science co. ltd.)		Al alloy, gas purged or low- pressure box
Probe head Thorlabs etc.		Achromatic lens pair f=19mm, f=50mm
Spectrometer Andor SP200A	Type	Czerny-Turner, 0.5m FL, f/6.5
	Fiber	2mmφ bundle, Low-OH, 2m
	Gratings	300g/mm@500nm(90nm), 1200g/mm@500nm(20nm), 1800g/mm@390nm(12nm)
Detector Andor Star DH340T		QE=23%@800nm
Dimensions		W1.2m, H1.4m, D0.45m
Weight		~120kg

• This 1st prototype machine was specially designed for near infrared irradiation measurement.
• AC100V operation is available.

特記事項:

【プレス発表】「福一事故炉でJAEAレーザー使い内部把握 基礎技術の成り立ち確認 分光し組成分析が可能」H26.6. 原子力産業新聞

【論文掲載】 J. Nucl. Sci. Tech, 51, pp.930 (2014), J. Nucl. Sci. Tech, 51, pp.944 (2014)

19

第2期中期計画の総括(木津地区)

先進ビーム技術研究

- J-KARENにより、高繰返し可能な装置としては世界最高となる43MeVの陽子線発生に成功。
- J-KARENの高度化(PW級への高出力化、高繰返し化)を進め、今中期内に完了する見込み。
- 相対論的強度のレーザー照射により、従来と異なる高次高調波X線が発生することを発見。
- 軟X線レーザー干渉計を開発し、レーザー加工時の試料表面のナノスケール形状変化の計測に成功。

レーザー応用技術研究

- 機構初のベンチャー「(株)OKファイバーテクノロジー」を起業。
- 福島対応(圧力容器/格納容器内部調査)に向けたLIBS分析用プロト機を開発。
- OLCSガンマ線を用いた核種分析法のための高電圧・大電流直流電子銃を開発。
- 量子制御による同位体分離技術の実現に向け、ピコ秒Ybレーザー(QUADRA-T)の開発を進め、それを用いた高強度テラヘルツ波発生試験を開始。また極短パルスレーザー光による窒素同位体分子の回転準位の分布移動を確認。

- ◎運営費交付金とともに多くの外部ファンドを活用した研究開発により成果を創出。
- ◎研究を更に発展させるためには、所内外における関連機関との連携の継続が必須。
- ◎補正予算によるJ-KAREN高度化により、高エネルギー粒子線発生技術開発等に向けたハードウェアが整備された。

20



資料10A-6

第10回量子ビーム応用研究・評価委員会
(第2期中期計画 事後評価)

平成26年10月20日

量子ビーム応用研究の進捗 (播磨地区)

副センター長: 片山 芳則

①

発表の内容

- 施設の運転・利用状況
- 研究開発の体制
- 研究の進捗状況
- 研究の総括

②

SPring-8に設置した原子力機構専用ビームライン概要

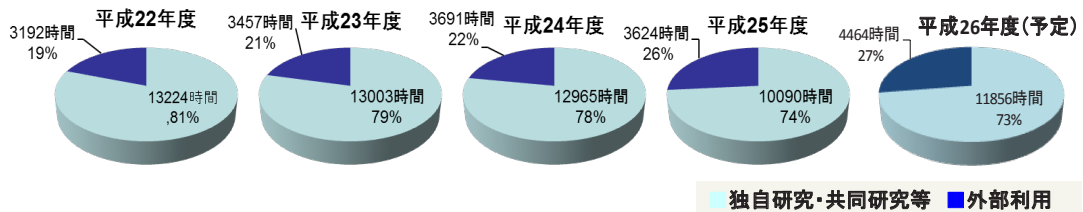
	名称と主な特徴	主な研究課題
硬X線ビームライン	量子ダイナミクスビームライン (BL11XU) 利用エネルギー：6~70keV In Vacuum結晶切り替え分光器 ⇒広範囲な光エネルギーに対応。効率的な課題実施。	<ul style="list-style-type: none"> ●アクチノイド抽出剤の開発 ●半導体量子ナノ構造製法の開発 ●neV分光法の高度化と材料研究への応用 ●遷移金属化合物の電子励起状態の研究
	物質科学ビームライン (BL14B1) 利用エネルギー：5~90keV (単色光)、5~150keV (白色光) 単色光と白色光を切替・選択 ⇒白色光で時分割XAFS、超高压粉末回折	<ul style="list-style-type: none"> ●電極表面構造の充放電下その場観察 ●金属の高温高圧下水素化反応の探索 ●誘電体の局所構造解析 ●土壌へのイオン取り込み過程のダイナミクス
	量子構造物性ビームライン (BL22XU) 利用エネルギー：3~70keV 2台の結晶分光器⇒広範囲な光エネルギーに対応。エネルギー下限端はウラン試料を、上限は10mm厚鉄鋼材料を透過することを考慮。	<ul style="list-style-type: none"> ●準結晶の構造・電子状態解析 ●金属・合金の水素吸蔵による構造変化 ●電荷・軌道・磁気秩序の研究 ●物質構造揺らぎの研究 ●残留応力解析
	重元素科学ビームライン (BL23SU) 利用エネルギー：0.35~2keV ツインヘリカルアンジュレータ ⇒高速左右円偏光スイッチングで高精度XMCDを実現	<ul style="list-style-type: none"> ●金属・半導体表面の反応ダイナミクス ●f電子系化合物のフェルミオロジー、磁性

(電子・磁気状態解析)

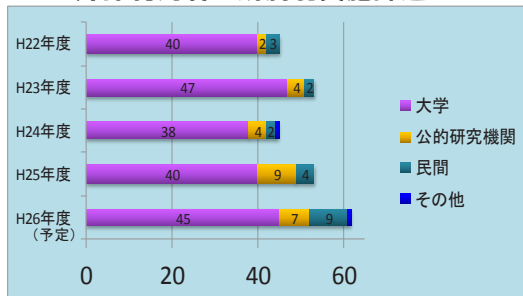
3

専用ビームラインの運転・利用状況

外部利用と独自研究等との利用時間の比率



外部利用者の所属別実施課題

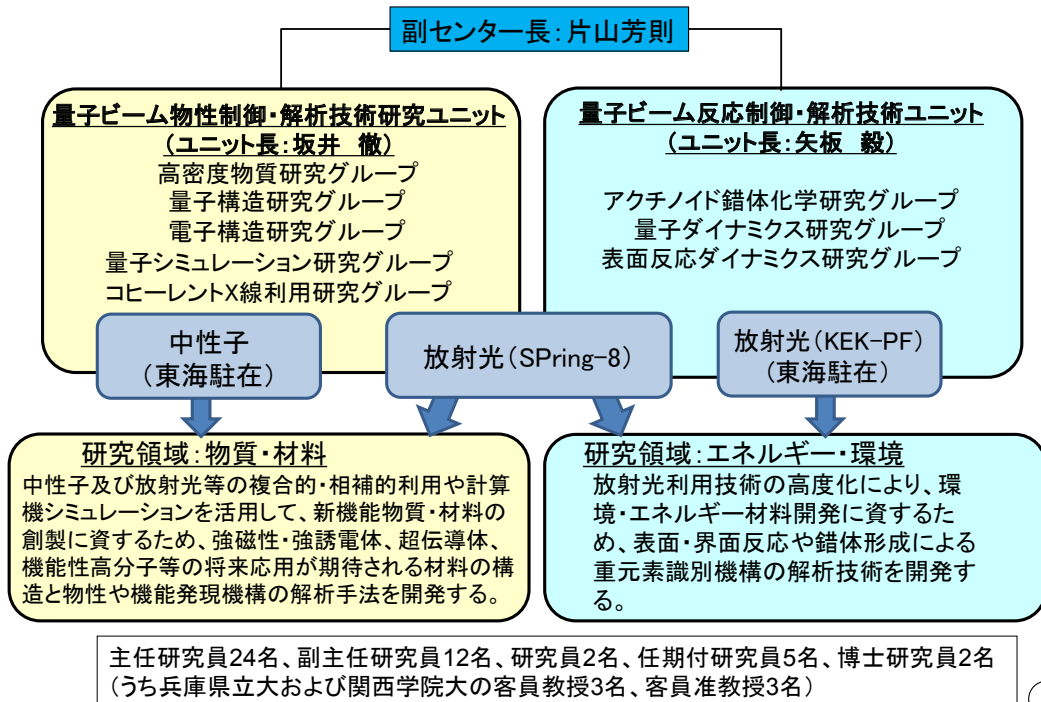


ナノテクノロジープラットフォーム事業の推進

- 先端研究設備の共用化促進を目的とする文科省プロジェクト((H24~30年度)
- JAEAは「微細構造解析プラットフォーム」に参画。専用BLを用いた研究支援
- 受託事業費(間接費込み) 33,760千円(H26年度)
- 補正予算(H24年度)による機器整備
窒化物系半導体成膜過程観察装置新規製作(BL11XU)
κ型回折計更新(BL14B1)
- 事業を通じて新規テーマ・産業利用課題・他機関との連携研究の掘り起こしを目指す

4

播磨地区における研究開発の体制



研究の進捗状況 (物質・材料領域)

⑥

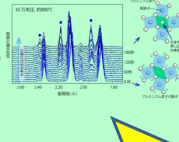
量子ビーム物性制御・解析技術研究ユニット(物質・材料領域)

研究開発の概要

SPring-8 内にある播磨地区を主たる活動の場として、放射光及び中性子等の複合的・相補的利用や大規模計算機シミュレーションを活用し、強磁性・強誘電体、超伝導体、機能性高分子等の将来応用が期待される材料の構造と物性や機能発現メカニズムの解析手法を開発して、新機能物質・材料の創製に資する。

多様なX線利用技術 中性子の相補利用

○放射光および中性子高圧下その場観察技術を利用した金属水素化物研究
○極低温・高磁場中共鳴X線回折による多極子相互作用の解明
○軟X線を利用した角度分解光電子分光実験によるウラン化合物の電子状態解明



最先端の解析技術を提供

極限環境下測定

高磁場極低温RXD
低温下軟X線分光
高圧下中性子回折

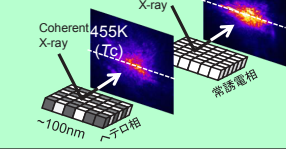


○超高圧中性子回折計建設

新技術

超単色X線
コヒーレントX線散乱
自由電子レーザー

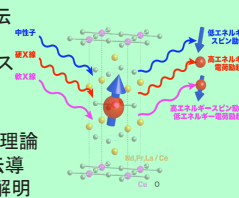
○コヒーレントX線散乱によるリラクスー強誘電体のナノドメイン観測



基礎技術

電子状態の解明

○銅酸化物高温超伝導体に対し、三種の非弾性散乱により、スピン・電荷励起の全体像を解明
○RIXSスペクトルの理論解析による鉄系超伝導体の超伝導機構の解明



応用

機構内外との協力

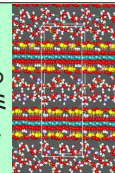


プロジェクトやネットワークによる外部機関連携により研究を推進
○NEDO事業(水素貯蔵材料)
○光・量子融合連携研究
○ナノテクプラットフォーム

時分割X線回折
分子動力学シミュレーション

その場観察・時間分解

○第一原理分子動力学シミュレーションとDXAFS実験を組み合わせさせてCsを吸着したパーミキュライトの層間水の脱水機構を解明

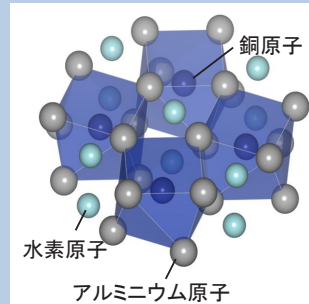
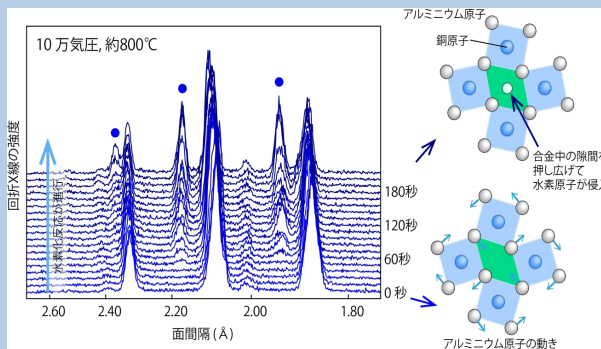


7

放射光を利用した新規水素貯蔵合金の創製

研究目的: アルミ系合金などの難水素化金属に活性の高い高温高圧水素を反応させ、その反応の進行を放射光を用いてリアルタイムで観察することにより、従来手法では得られない新規水素貯蔵合金材料の創製を行う。

研究成果: ● 高温高圧水素雰囲気中の反応を放射光を用いてリアルタイム観察。 ● 繰返し水素吸放出が可能な「侵入型」水素化物アルミ系合金で合成することに世界で初めて成功。



「侵入型」水素化物 Al_2CuH の結晶構造

特記事項

- APL Materials誌掲載、Top StoriesおよびEditor's picks、Most read this month (H25.12)に選出
- プレス発表(H25.9)、NEDO水素エネルギー白書2014に掲載、海外インターネットメディアで紹介
- 大阪ニュークリアサイエンス協会奨励賞(H26.5)

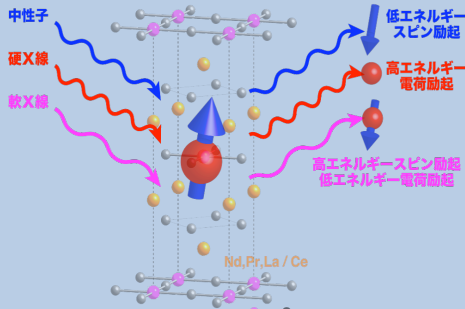
8

三種の量子ビーム非弾性散乱で銅酸化物高温超伝導体を観測

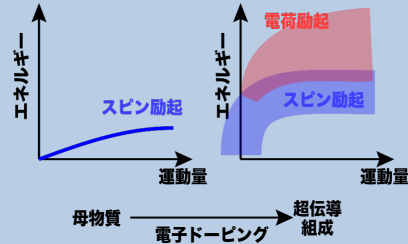
研究目的: 現在知られている超伝導体の中で最も高い転移温度をもつ銅酸化物高温超伝導体では、超伝導を担う電子の**スピンと電荷の動き(励起)**を知ることが、超伝導発現機構の理解に重要。**量子ビームの非弾性散乱を相補的に利用**することで観測に挑戦。

研究成果:

電子ドープ型銅酸化物高温超伝導体に対し、三種の非弾性散乱(軟X線・中性子・硬X線)に役割分担させて観測



電子ドープによる励起の変化を詳細に測定



電子ドープ型超伝導体では、ホールドープ型とは対照的に、電子がより動きやすい(遍歴的)状態にある

- このような電子の動きの統一的な記述モデルを探索
→ 超伝導発現機構解明に近づけると期待
- 非弾性散乱における量子ビーム相補利用研究の有用性を初めて実証

スピンと電荷の励起のエネルギー・運動量空間における全体像を明らかにすることに成功

特記事項: H26年4月 Nature Communications誌掲載、

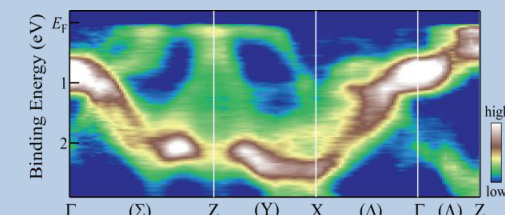
プレス発表(化学工業日報、日本産業新聞、電気新聞、科学新聞に掲載)

9

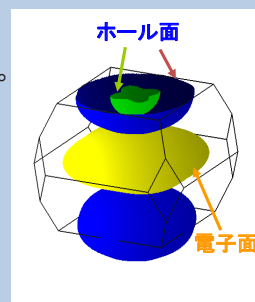
隠れた秩序を示すURu₂Si₂の電子状態

研究目的: URu₂Si₂ の正体不明の秩序状態や超伝導発現機構の解明に寄与するため、その3次元の電子構造を明らかにする。

研究成果: 軟X線放射光を利用した角度分解光電子分光実験によりURu₂Si₂のバンド構造並びにフェルミ面を明らかにした。



光電子分光により明らかにしたURu₂Si₂のバンド構造



光電子分光により明らかにしたURu₂Si₂の3次元のフェルミ面

➡ 隠れた秩序状態の発現舞台となる電子状態が遍歴描像で説明できることを示した。

特記事項

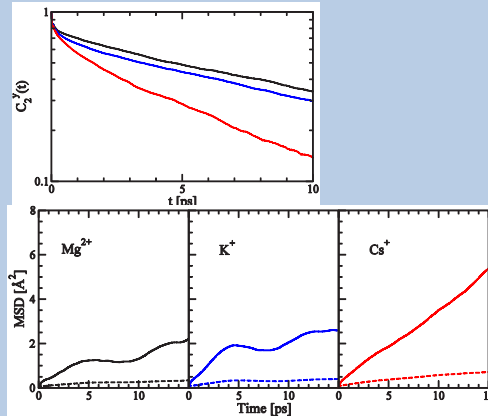
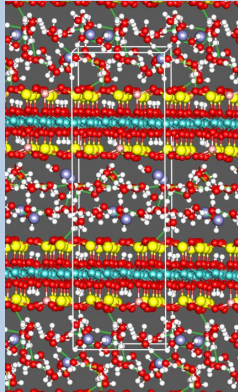
1. I. Kawasaki et al., Phys. Rev. B **83**, 235121 (2011).
2. I. Kawasaki et al., J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 124710 (2011).
3. I. Kawasaki et al., J. Phys.: Conf. Ser., **273**, 012039 (2011).

10

粘土鉱物におけるセシウムの吸着過程の研究

研究目的: 第一原理分子動力学シミュレーションとSPRing-8の放射光X線を用いたDXAFS実験を組み合わせ、Csを吸着したバーミキュライトの層間水の脱水機構を解明する。

研究成果: 粘土鉱物にセシウムが吸着、固定される過程の解明が進展



Cs⁺が層間に侵入
↓
Cs⁺が層間水の再配向・拡散運動を加速
↓
層間から脱水

特記事項 Clay Science誌に投稿

11

リラクサー強誘電体の巨大誘電応答の起源の解明

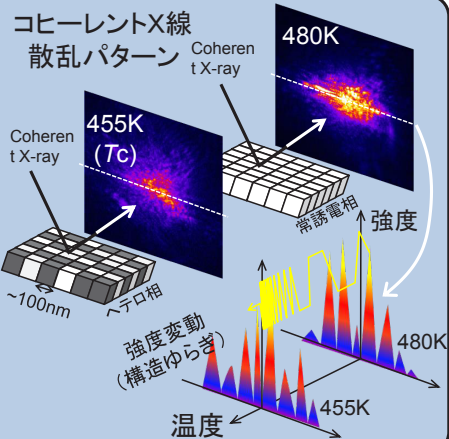
研究目的: コヒーレントX線散乱を利用し、リラクサー強誘電体 $Pb((Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}Ti_x)O_3$ における強誘電相転移現象およびその誘電物性への寄与を解明する。

研究成果:

常誘電-強誘電相転移 ($T_c = 455$ K) 近傍において、常誘電領域と強誘電領域が100 nm程度のサイズで共存するヘテロ相状態をコヒーレントX線で観測。

- 強誘電相転移の前駆現象としてのナノスケールの構造ゆらぎを見出した。
- ヘテロ相状態における構造ゆらぎが低周波領域 (< MHz) の誘電応答の増大 (2~4倍) の原因である。

ナノスケール構造を利用した高性能強誘電体の開発



特記事項:
H26年8月 Physical Review B誌に掲載決定
招待講演(国際会議3件、国内会議6件)、総説(国内1件)

12

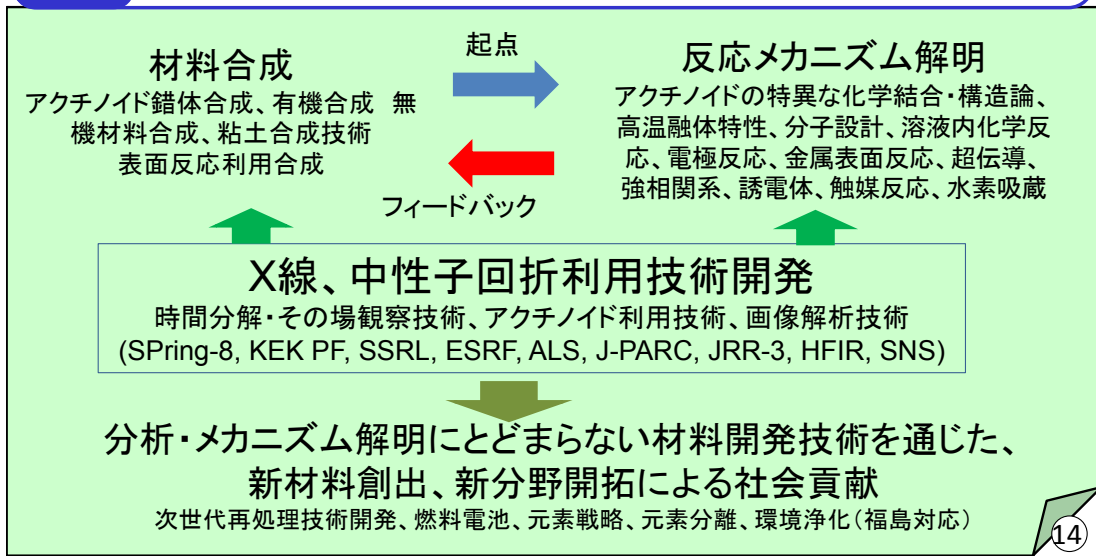
研究の進捗状況 (環境・エネルギー領域)

⑬

環境・エネルギー領域に対する取り組み (量子ビーム反応制御・解析技術研究ユニット)

ユニットにおける
研究展開

量子ビームを用いるその場観察等をはじめとした技術開発を実施し、これらの先端的な研究手法を様々な化学反応(現象)の解明に適用し、反応における主たる原理を明らかにする。これらの結果を基に環境・エネルギー分野を中心とした実用可能な材料、方法論の確立、問題解決に貢献する。

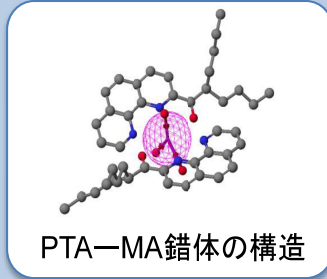
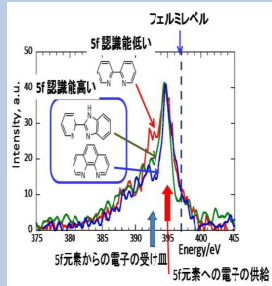


⑭

重元素溶液のイオン認識に関する研究

研究目的: 高レベル廃液中に存在するマイナーアクチノイド(MA)の分離・核変換技術の開発研究において効率的な分離のための配位子の創成は不可欠である。本研究は、3価アメリシウム、キュリウムに選択的な配位子の分子設計および実機適用可能な材料を開発することにある。

研究成果: 電子状態、構造解析結果に基づく分子設計研究によりハイブリッド型抽出剤PTAの開発に成功。実用化に向けた問題点に関する分子設計を継続中。



- 5f電子の有機分子との化学結合への関与を始めて実験的に解明。
- 現行のPUREXプロセス+高レベル廃液処理における概念に基づく処理工程を半分に簡素化し、二次廃棄物を大きく低減できる可能性を指摘。

特記事項

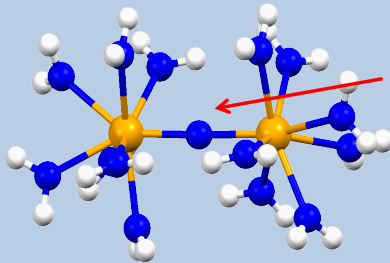
- Sep. Sci. Tech. に掲載。
- 特許が仏、米より注目されている。マンチェスター大との共同研究開始。

15

放射性廃棄物中元素の溶液構造に関する研究

研究目的: 再処理溶液の臨界安全の評価において極めて重要である、溶液に含まれる4価プルトニウム、セリウムの溶存状態を解明するため、4価セリウム水溶液を代替とした模擬溶液を用いたセリウムポリマーの存在状態解析を放射光EXAFSおよび密度汎関数法を用いて実施した。

研究成果: これまでのOHIによる架橋モデル予想とは異なり、Ce(IV)-O-Ce(IV)が直線的な構造をとる二核錯体が主要生成物であることがわかり、さらにCeを連結する酸素の活性が極めて高いことも新しく見いだした。臨界安全性の評価にくわえ、人工光合成のメカニズム解明にも大きく貢献した。



この直線的構造を持つ錯体の酸素が活性ポイントであることを見いだした。



Dalton Transのカバー

特記事項

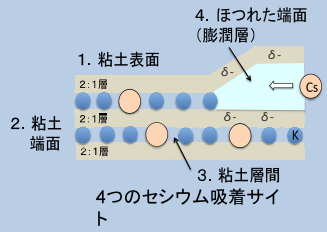
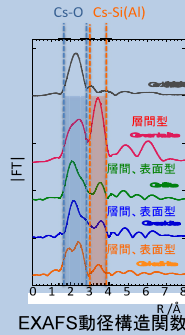
- Dalton Trans, 41, 7190-7192 (2012)に掲載; 同誌のカバーとして掲載された。
- 英国化学会注目論文としてChemistry Worldで取り上げられた。
- OH23年1月プレス発表。

16

減容化のための粘土鉱物へのセシウム吸脱着機構解明

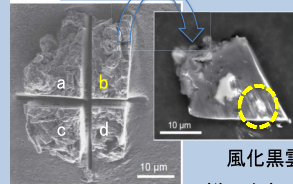
研究目的: 福島第一原子力発電所の事故により放出された大量のセシウムによる環境汚染からの回復を目指し、粘土鉱物へのセシウム吸脱着機構解明を実施し、この基礎に基づいた様々な減容化手法の開発研究を実施する。

研究成果: 福島土壌における土壌中においては、セシウムは主に風化系バイオタイトに濃縮すること、共有結合性など粘土鉱物のセシウムの特異的吸着挙動、固-固間移行挙動メカニズムなどを初めて明らかにした。

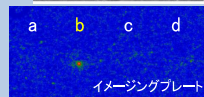


EXAFS(右)および分子動力学計算により粘土鉱物に対する特異的な吸着サイトの解明を行った。上のモデルのように4つのサイトがあることが明らかとなった。

石英、長石系鉱物



風化黒雲母



様々な福島土壌試料からセシウムを含む粒子を抽出、FIBにより切断し、分析した結果、**風化黒雲母系鉱物**に収斂していることが分かった。

特記事項

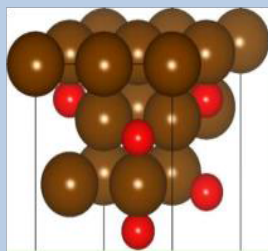
OATOMΣ(2014), ES&T(2014), Scientific Reports (2014)他に掲載。

17

元素戦略：自動車触媒の脱貴金属化研究

研究目的: 貴金属元素の省資源化を目指した元素戦略に基づき、自動車触媒の脱貴金属化を目指した材料開発に向けて、Cu酸化物の触媒機能について時間分散型XAFSにより明らかにする。

研究成果: 時間分散型XAFS(DXAFS)により脱貴金属触媒機能について解明。貴金属触媒と同等の性能を有することを解明。



銅酸化物触媒

・脱貴金属化に成功銅酸化物系触媒を提案し、限定条件下(60km/h定速、初期品)でPtと同等の性能を得た。



特記事項

- J. Appl. Phys. その他に掲載。
- H24年2月プレス発表(阪大による)
- 現在、ダイハツ工業による実用化に向けた研究開発が実施されている。
- 中山智弘(内閣官房国家戦略室政策参与)著の「元素戦略」に紹介された。(18)

第2期中期計画の総括

- 中期計画の目標に向けて、各研究グループとも所有する研究基盤の高度化や活用に務めるとともに、センター内外、機構内外との連携も積極的に進め、優れた成果を創出した。
- 原子力機構として重点的に取り組むこととなった「福島第一原子力発電所事故への対処に係る研究開発」についても、播磨地区の持つ様々な手法を積極的に適用し、貢献した。
 - 量子ビーム物性制御・解析技術研究ユニットでは、コヒーレントX線散乱や共鳴非弾性X線散乱等、様々な実験手法の高度化に加え、J-PARCの超高圧中性子回折計の建設・利用をはじめとする中性子の相補利用、理論や計算機シミュレーションによる解析を通じて、金属水素化物や超伝導体、ウラン化合物、強誘電体などの物性の解明に貢献した。
 - 量子ビーム反応制御・解析技術研究ユニットでは、放射光による時間分解・その場観察技術の高度化に加え、アクチノイド利用技術を活用し、化学反応の基礎的理解をふまえた重元素吸着材や脱貴金属触媒などの材料開発に貢献した。
 - 福島第一原子力発電所事故への対処については、様々な手法の活用によって、粘土鉱物へのセシウム吸脱着機構の解明、セシウム選択的吸着材の開発などに貢献した。
- 科研費をはじめ、受託研究など外部資金の獲得に努力し、成果を創出した。
- 開発された放射光利用技術は、ナノテクノロジーネットワークおよびナノテクノロジープラットフォーム事業による支援も含め、広く産官学の研究者へ提供し、幅広い成果の創出に貢献した。
- 研究成果は論文として発表すると共に、積極的にプレス発表を行った。放射光シンポジウムや利用研究セミナーなどによる成果の発信にも努めた。

付録 3

○事後評価結果の概要

This is a blank page.

事後評価結果の概要

1. 全体評価

全体評価	<p>○所期の目標を確実に達成するとともに、基礎研究から産業応用まで、多岐に亘る分野でプレス発表等に繋がる顕著な成果を数多く創出し、センター・各拠点の運営、及び量子ビーム応用研究の実施状況は適切と言える。また、福島復興対応に係る研究開発に関して、機構内外との緊密な連携の下、量子ビーム応用研究が果たした役割は非常に大きい。今後とも、センター及び関連研究開発拠点の有する研究資源やポテンシャルを最大限発揮し、引き続き国民の負託に応えていくことが望まれる。</p> <p>○機構の量子ビーム施設群は、我が国の量子ビームプラットフォームの中核的存在であり、科学技術・産業全般を支え、国際競争力の強化に資する重要な共通基盤である。今後も福島復興対応のバランスも考慮の上、環境・エネルギー・物質・材料、医療・バイオ応用、先進ビーム技術など幅広い分野で、量子ビームを総合的に活用し、出口を意識した成果創出を目指すことを期待する。また、量子ビーム応用研究の移管に当たっては、リソースを公平かつ適切に機構から新法人に配分し、移管後も機構と新法人の間で緊密な連携・協力関係を構築すべきである。</p>
------	---

2. 各項目に関する評価結果

(1) 量子ビーム応用研究の推進について

評価結果	<p>○研究計画について</p> <p>これまでの研究実績を基盤にして、機構が有する量子ビーム施設関連の特長・強みを活かして、出口を意識した研究課題を設定したことにより、各研究領域において数多くの優れた研究成果を創出してきた。急遽取り組むこととなった福島復興対応に関しても、柔軟に対応し、機構内外との連携の下、福島環境回復等で、大きな役割を果たしてきた。以上から、今中期計画の研究開発計画は妥当であったと評価できる。</p> <p>○量子ビーム応用研究の推進方策、組織・運営について</p> <p>量子ビームの横断的利用の促進に向けて、地区横断的な研究体制であるマトリクス型組織運営に取り組み、研究員間の共同研究ネットワークの広がりを作ったことは、各研究領域における優れた研究成果の創出に大きく寄与したと考えられ、全体的に成功したと評価できる。また、部門の運営方針としてトップダウンとボトムアップの融合の下、研究を推進してきた組織運営は、円滑に機能し、有効であった。</p> <p>○研究開発成果の発信・普及、波及効果について</p> <p>年間約 400 報の学術論文を発表し、一部の成果は製品化、ベンチャー企業の立ち上げ、他機関の量子ビーム施設への技術協力等のアウトカムとして結実している。また、ホームページやパンフレットの制作、年報の発行、優れた研究成果のプレス発表等、研究開発成果の発信普及に積極的に取り組んでいることは高く評価できる。</p>
------	--

(2) 福島復興への対応について

<p>評価結果</p>	<p>①研究開発の達成度について 各研究グループが特長を活かして、福島復興対応の研究開発に真摯に取り組み、掲げた目標・計画に対して、着実に進捗・達成している。特に、グラフト重合を応用したセシウム (Cs) 吸着材の開発は、その技術を基にした浄水器の商品化を短期間に実現し、また、放射光を利用して、Cs による汚染土壌廃棄物の減容化に関する研究開発も、吸着機構の解明等、大きな進捗を示した。</p> <p>②研究成果の効果・効用、波及効果について 放射光を利用した Cs により汚染した土壌廃棄物の減容化に関する研究開発、農作物への Cs の植物生体内動態を評価できるガンマカメラの開発、及び水中の放射性 Cs の捕集に有効なグラフト重合捕集材の高度化・量産技術を確立し、それを用いた家庭用浄水器を開発して実用化に成功したこと等、福島復興に実質的に役立つ技術開発に積極的に取り組んでいることは特筆すべきであり、研究成果も実用的、かつインパクトが大きく、高く評価できる。</p> <p>③将来への研究開発の展開、新たな課題への反映の検討について 独自性を発揮して、他の研究機関では取り組みが困難な福島復興に係る研究開発を先導していくことを期待する。今後も、福島復興に係る短期的・中長期的な課題に対して、量子ビームの特性を活かし、積極的かつ継続的に取り組んで、早期の復興に繋がる研究成果を創出して欲しい。また、高分子系材料・機器の耐放射線性データベースの整備のように、地道ではあるが、重要な取り組みは着実に続けるべきである。福島の問題だけでなく、今後、日本では廃炉工程に関する様々な研究が必要となることは確実であり、量子ビームという特性が十分に活かせる課題に対しては、集中的な研究開発を行うことも重要である。</p> <p>④その他 健康相談やコミュニケーション活動等の研究以外の貢献についても、地元に着した継続的活動として高く評価できる。福島復興に向けて、研究面だけでなく、専門的知識を活かして環境モニタリングや広報活動も行っており、高い評価に値する。</p>
-------------	--

(3) 研究開発成果について

①東海地区

<p>評価結果</p>	<p>①医療・バイオ応用領域 各グループの研究開発において、研究目標・計画を十分に達成している。高度化した量子ビーム技術の医療バイオ領域への応用は特徴があり、着実に成果が得られている。高分解能中性子散乱によるタンパク質の構造・ダイナミクス解析、特に水和構造の解析等は、基礎研究としての成果は十分であり、医療・バイオ領域への中性子利用の普及の観点からも波及効果は大きく、高く評価できる。アウトカムとして創薬につながる研究へと発展させるとともに、同じセンター内の他のバイオ関連研究への展開も検討して欲しい。また、外部の研究機関と緊密に連携をとって、量子ビームとシミュレーションだけで閉じない研究体制を敷くことも重要と考える。</p> <p>②物質・材料領域 超伝導体に関する研究に関して、その機構解明は極めて重要なテーマであり、大きな進展が見られている。しかし、未だ先が見えないところもある。着実に研究を進めて欲しい。J-PARCで多くの装置の立ち上げと運営に係ってきた実績は、物質科学の推進の面から高く評価できる。今後、これらの装置から、世界をリードするような基礎科学上の成果が出てくると期待される。中性子・ミュオンプラットフォームの運営母体として、日本（あるいは世界）の物質・材料研究全般に対する貢献度がわかるような指標を準備しておくことが今後重要と考える。</p> <p>③共通 東海地区における中性子利用研究は、原子力機構の強みを活かした研究の一つであり、中性子と放射光との相補的利用の観点からも、着実な成果を上げている。今後は、J-PARCとJRR-3の二つの中性子源の使い分け、連携に関して、明確な指針を持つことが重要である。人的資源に制限があるので、JRR-3の装置については、今後の具体的な方針を外部のコミュニティと意見交換しつつ、検討することが急務と言える。今中期計画においては、JRR-3の運転停止や、J-PARCの事故等にもかかわらず、環境的に実証が困難な状況の中、海外施設の活用等で対応してきた努力を評価する。また、医療分野へ更に貢献するため、ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）技術の進展にもできる限り寄与して欲しい。</p>
-------------	--

② 高崎地区

<p>評価結果</p>	<p>① 医療・バイオ応用領域 量子ビーム技術の医療・バイオ領域への応用は、特徴的な研究開発であり、着実に成果を上げている。PET 用診断薬としての臭素-76 (Br-76) 標識アミノ酸の合成、レーザープラズマ軟 X 線顕微鏡の開発、イオンビーム育種技術による新しい清酒酵母の開発、異なる細胞間でのパイスタンダー効果の誘導の実証等、医療分野、バイオ産業分野の進展に有効な研究成果をあげており、高く評価できる。特に、吟醸用清酒酵母の開発は地元酒造蔵との連携による地域活性化にも寄与するもので評価したい。今後は、更にインパクトのある成果が見込まれるテーマを選定を行い、当該分野の大きな進展に結び付けて欲しい。</p> <p>② 環境・エネルギー領域 TIARA、電子線照射施設、ガンマ線照射施設等を有効に利用するとともに、外部との連携研究にも積極的に取り組み、燃料電池膜の機能向上や半導体の欠陥エンジニアリング等、機能性材料創製や材料評価技術開発等の分野の進展に貢献する成果を着実に上げている。アウトカム・実用化への意識を明確に持っていることは高く評価できる。特に、金属捕集材については、セシウム捕集用浄水器として商品化まで実現しており、大きな成果である。また、産業応用が最終目的である研究テーマについては、企業と密接に連携し、共同研究を推し進めることが重要であり、これを踏まえて、引き続き産業界に貢献する成果の創出を期待している。</p> <p>③ 先進ビーム技術領域 研究の基盤となる施設の稼働率がほぼ 100%を維持していることは、高く評価できる。TIARA、電子線照射施設、ガンマ線照射施設を有効に活用し、これら施設の強みを活かした研究開発を行うとともに、機構内外のユーザーの研究ニーズに沿った技術開発を継続的に実施すべきである。</p>
-------------	--

③木津地区

評価結果

① 先進ビーム技術領域

当初の研究目標・計画を概ね達成している。J-KAREN や X-線レーザーをベースに 43MeV 陽子線の発生に成功したこと、鉄 (Fe) イオンの完全電離状態で加速することに成功したこと等、目覚ましい成果をあげ、かつ応用分野への展開へと進展させており、達成度は高い。また、高次高調波発生の新たなメカニズム提案、X-線レーザーのコヒーレンスを活用した具体的応用等についても進展が見られ、主力装置である J-KAREN の高度化も今後に期待が持てる。フェムト秒超高強度レーザーの開発とその利用研究は世界的に凌ぎを削る分野であり、J-KAREN-P の早急な完成と利用研究における成果創出が望まれる。研究開発のアウトカム・波及効果については、もう少し具体的なイメージを持って推進して欲しい。

② 環境・エネルギー領域

所期の研究目標・計画を概ね達成している。将来の核変換に役立つ同位体分離法の開発、白金族系元素のレーザー誘起還元法による粒子化など、放射性廃棄物処理分野に貢献可能であり、福島復興対応の研究も含め、優れた成果を著実にあげている。また、出口指向は重要であり、医療応用等のためのファイバーレーザー、コンプトンガンマ線発生用電子加速器電子源開発への貢献等は高く評価できる。特に、OK フライバーテック/ロジ社への創立は顕著な成果と言える。機構における重要課題の一つと考えられる同位体分離用テラヘルツ (THz) レーザーの開発については、明確な達成目標とロードマップが必要であり、放射性廃棄物処理へのレーザー応用を考えた場合、この分野のエキスパートと共同で進めることが肝要である。

③ 共通

木津地区の J-KAREN、X-線レーザー、THz レーザーに関して、共同利用が可能であることを広く周知することで、有効活用の促進、及び研究成果の更なる充実を図ることを望む。また、木津地区の基盤となるレーザー技術は、低繰り返し高ピーク強度レーザーと高繰り返し高平均出力レーザーの 2 つに大別できるが、超広帯域レーザーの分散制御、レーザー増幅媒質の熱効果などの共通課題がある。こうした課題解決を効率的・効果的に進めるためにも、両ユニットの連携体制は重要と考えられる。

④ 播磨地区

<p>評価結果</p>	<p>①物質・材料領域</p> <p>SPring-8を用いて顕著な成果をあげており、高く評価できる。高圧下の水素の観測等の一連の成果は、水素貯蔵材料の開発において、一定のインパクトを与えており、特に、アルミを用いた水素貯蔵合金の開発については、解明したメカニズムの知見を活かし、有用なアウトカムに繋がることを期待する。共鳴非弾性X線散乱 (RIXS) の成果は、中性子、硬X線、軟X線の相補的な利用例として、注目に値する。一方で、水素貯蔵合金以外の研究テーマについては、目標・位置づけが明確になっていない印象を受ける。学術・科学技術における有用性、原子力機構のミッションとしての適合性の観点から、今後十分な検討を加えるとともに、得られた成果の意義について理解を得る努力が必要と思われる。また、学術的成果を目標としているテーマでは、さらに高い成果を得るためにも、応用への展開を常に意識することを心掛けて欲しい。</p> <p>②環境・エネルギー領域</p> <p>SPring-8での専用ビームラインを用いて顕著な成果をあげており、高く評価できる。4価セリウム (Ce(IV)) の溶液構造に関する研究等、アクチノイド化学について最先端の研究を行っており、今後の進捗に期待する。また、マイナーアクチノイド分離用化合物の分子設計に関する研究も、国際的に注目されており、この分野の進展に大きく寄与できる。白金触媒代替としての銅化合物に関する研究開発は、元素戦略として重要な課題であり、一定の進歩がみられたことは評価できる。また、粘土鉱物へのCs吸着機構の解明研究で得られた成果は、福島復興のために有効であり、今後の地層処分における緩衝材中の核種挙動研究に大きく貢献するインパクトの高い成果と言える。外部との連携も緊密・円滑に進めており、高く評価できる。環境汚染物質の減容化の研究開発については、現場のニーズを的確に把握し、スピード感を持って取り組んで欲しい。</p> <p>③共通</p> <p>ビームラインの運営・管理の観点から、明確なビジョンを持ってビームラインの高度化を進める必要がある。特に、将来的に予想されるSPring-8-IIへの対応に向けた機器整備・高度化に関しては、計画性を持って取り組んで欲しい。</p>
-------------	---

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	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

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度、質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) 、濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

表5. SI接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率、工率、放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷、電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧)、起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光長	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量、比エネルギー分与、カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する際には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で“radioactivity”と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角加速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度、放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量、エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量、比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷密度、電気変位	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
モルエネルギー	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
モルエントロピー、モル熱容量	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
照射線量 (X線及びγ線)	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
吸収線量率	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
放射線強度	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
放射線輝度	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
酵素活性濃度	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値	
		名称	記号
分	min	1 min=60 s	
時	h	1 h=60 min=3600 s	
日	d	1 d=24 h=86 400 s	
度	°	1°=(π/180) rad	
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad	
秒	”	1”=(1/60)'=(π/648 000) rad	
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²	
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³	
トン	t	1 t=10 ³ kg	

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フォート	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm ² =10 ⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)A m ⁻¹

(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、符号「_e」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 เมตร系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロ	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

