JAEA-Evaluation
2010-003

平成21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
Activity：“Quantum Beam Science Research”
(Result Evaluation)

量子ビーム応用研究部門
Quantum Beam Science Directorate

September 2010
Japan Atomic Energy Agency
日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

本レポートは独立行政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。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 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
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, 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, 2010

JAEA-Evaluation 2010-003

平成２１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
量子ビーム応用研究部門

（２０１０年６月１６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 17 年 3 月 29 日内閣総理大臣決定、平成 20 年 10 月 31 日改訂）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指針」（平成 17 年 9 月 26 日制定、平成 21 年 2 月 17 日改正）等に基づき、平成 21 年 6 月 22 日に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。(43 ページ「研究開発課題の事後評価について（諮問）」参照)

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 17 年 10 月から平成 21 年 6 月までの量子ビーム応用研究部門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部門（事務局）
原子力科学研究所（駐在）；〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

JAEA-Evaluation 2010-003

Assessment Report of Research and Development Activities
Activity: "Quantum Beam Science Research" (Result Evaluation)

Quantum Beam Science Directorate

Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 16, 2010)

Japan Atomic Energy Agency (hereinafter referred to as "JAEA") consulted an assessment committee, "Evaluation Committee of Research Activities for Quantum Beam Science Research" (hereinafter referred to as "Committee") for result evaluation of "Quantum Beam Science Research", in accordance with "General Guideline for 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 activities of the Quantum Beam Science Research, which includes the management of the Quantum Beam Science Directorate (hereinafter referred to as "QuBS") from October, 2005 to June, 2009. The Committee evaluated the management and research activities in Quantum Beam Science based on the documents and oral presentations prepared by QuBS.

This report presents the results of the evaluation by the Committee.

Keywords: Quantum Beam Science Research

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 5
５．　評価結果（答申書） 12

付録（日本原子力研究開発機構作成資料） 39

Contents

1．　Outline 1
2．　Evaluation Committee of Research Activities for Quantum Beam Science Research 2
3．　Status of assessment 3
4．　Procedure of assessment 5
5．　Result of assessment（Committee Report） 12

Appendix　（documents prepared by Japan Atomic Energy Agency） 39

This is a blank page.

１．概要

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１７年３月２９日内閣総理大臣決定、平成２０年１０月３１日改訂）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指針」（平成１７年９月２６日文部科学大臣決定、平成２１年２月１７日改訂）、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日改訂）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１７年１０月から平成２１年６月までの量子ビーム応用研究部門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の検討、及び量子ビーム応用研究部門長、ならびに副部門長等の口頭発表、研究者へのインタビュー、質疑応答による評価を実施した。

その結果、本委員会は諮問された量子ビーム応用研究部門の運営及び量子ビーム応用研究の実施について、特に大きな問題はなく、概ね順調に進んでいると評価した。事後評価結果を本文に、また、その概要を事後評価総括（Executive Summary）として示した。

特記すべき事項として、

○各サイトの独自性を活かしながら研究基盤を着実に構築しつつ、部門内構成員の一体感を高めながら地区間の連携を推進してきた組織運営形態及びこれらに基づき、幅広い分野でオリジナリティーのあるすばらしい成果をあげていること

○部門の共通概念としての「量子ビームテクノロジー」について、産業界を含む国内での認知活動及び国内他機関との連携を通じて、この新概念の確立を行ってきたこと、併せて「量子ビームプラットフォーム」構想など文部科学省の量子ビームに関する政策推進に大きく貢献してきたこと

○中期計画に掲げた研究課題は、すべての項目について所期の目標を達成、または達成見込みであること

○当委員会が中間報告（平成 20 年 3 月 3 日答申）で指摘した事項に関して、部門内をつなぐ研究交流会や研究成果報告会への評価委員の参加や各サイトでの評価委員会開催などを通じて、研究者と直接意見交換が実現されたことにより、評価活動がより適切なものになったこと

○部門内外の生命科学研究者のボトムアップ的要請による「量子生命フロンティア研究特定ユニット」を設置し、成果をあげていること、

を高く評価する。

２．量子ビーム応用研究・評価委員会の委員構成

本委員会は、平成 18 年 1 月 1 日に設定後、平成 21 年 2 月 1 日に改選され、以下の 14 名（※答申時は 13 名）の委員で構成されている。

委員長	田川　精一	大阪大学　産業科学研究所・教授
委員長代理	岸本　直樹	独立行政法人　物質・材料研究機構 量子ビームセンター長
委員	雨宮　慶幸	東京大学大学院　新領域創成科学研究科 研究科長　教授
	岡村　正愛	キリンアグリバイオ株式会社 植物開発研究所・主任研究員
	金子美智代	トヨタ自動車株式会社　材料技術統括部 材料解析室　グループ長
	佐野　雄二	株式会社　東芝　電力システム社 電力・社会システム技術開発センター技監
	田中　隆治	財団法人　サントリー生物有機科学研究所 副理事長
	東嶋　和子	サイエンス・ジャーナリスト
	野田　　章	京都大学　化学研究所　教授
	※廣田　和馬	大阪大学大学院　理学研究科　教授
	（平成 22 年 1 月 28 日、逝去により委員退任）	
	福山　秀敏	東京理科大学　理学部　教授 総合研究機構　機構長
	古澤　佳也	独立行政法人　放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター・チームリーダー
	三木　邦夫	京都大学大学院　理学研究科　教授
	森　　敏	石川県立大学　客員教授

３．　審議の経過

(1)　第１回量子ビーム応用研究・評価委員会：平成 18 年 3 月 20 日開催
・量子ビーム応用研究・評価委員会の位置づけと役割について
・総括評価（事前評価）・中期目標・中期計画について
・量子ビーム応用研究の進捗と今後の展開について

(2)　第２回量子ビーム応用研究・評価委員会：平成 19 年 1 月 23 日開催
・第１回量子ビーム応用研究・評価委員会追加諮問事項（質問・意見）に対する回答について
・量子ビーム応用研究部門の運営方針について
・量子ビーム応用研究の進捗と今後の展開について

(3)　第３回量子ビーム応用研究・評価委員会【中間評価】:
平成 19 年 12 月 18 日開催
・量子ビーム応用研究部門の運営方針について
・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 20 年 3 月 3 日答申

(5)　第４回量子ビーム応用研究・評価委員会：平成 21 年 3 月 17 日開催
・量子ビーム応用研究・評価委員会の位置づけと役割について
・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

(6)　第５回量子ビーム応用研究・評価委員会【事後評価 5-1】:
平成 21 年 7 月 7 日開催
・事後評価及び事前評価の進め方について
・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

(7)　第５回量子ビーム応用研究・評価委員会【事後評価 5-2】:
平成 21 年 7 月 8 日開催
・高崎地区における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

(8)　第５回量子ビーム応用研究・評価委員会【事後評価 5-3】:
平成 21 年 7 月 22 日開催
・木津地区における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

(9)　第５回量子ビーム応用研究・評価委員会【事後評価 5-4】:
平成 21 年 7 月 23 日開催
・播磨地区における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

(10) 第５回量子ビーム応用研究・評価委員会【事後評価 5-5】:
平成 21 年 7 月 29 日開催
・東海地区における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

(11) 第５回量子ビーム応用研究・評価委員会【事後評価 5-6】:
平成 21 年 7 月 30 日開催
・事後評価に係る補足説明について
・量子ビーム応用研究部門の次期研究計画の概要について
・上記報告内容に対する質疑・意見交換

(12) 評価結果のとりまとめ：平成 21 年 8 月～平成 22 年 3 月
各委員による評価結果を委員長が取り纏め、全委員の合意のもと答申書を作成した。

(13) 答申：平成 22 年 3 月 25 日

４．評価方法

○評価作業手順

量子ビーム応用研究※の第１期中期計画（平成 17 年 10 月から平成 22 年 3 月）における研究開発の達成度、成功・不成功の原因の把握・分析、当初の研究開発計画の妥当性、研究開発成果の波及効果・普及の度合い、将来への研究開発の展開などを研究・評価委員会において評価した。

この目的のために、本委員会において定められた評価項目（以下に記す）に従い、原子力機構から提出された平成 17 年 10 月から平成 21 年 6 月までの量子ビーム応用研究部門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の検討、及び量子ビーム応用研究部門長ならびに副部門長等の口頭発表（付録２参照）、研究者へのインタビュー、質疑応答による評価を実施した（次ページの参考資料に事後評価当日のスケジュールを示す）。

○評価項目

「量子ビーム応用研究部門の組織運営」ならびに「各地区（東海、高崎、関西）における研究開発」を評価の対象とした。具体的に記すと以下のとおりである。

対象１「量子ビーム応用研究部門の組織運営」
(1) 量子ビーム応用研究部門の組織のあり方、運営の妥当性
(2) 部門内外との連携、機構内連携の取組み・進め方とその成果の妥当性

対象２「各地区における研究開発」
(1) 個別研究課題（中期計画外の成果も含む）について、その進め方と成果及び達成度の妥当性、成功・不成功の原因の把握・分析
(2) 当初の研究開発計画の妥当性
(3) 研究開発成果の波及効果・普及の度合い
(4) 将来への研究開発の展開

○評価対象期間：平成 17 年 10 月より平成 22 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。

（参考）

「量子ビーム応用研究」に関する事後評価　議事次第
［第5回量子ビーム応用研究・評価委員会　全体委員会（5-1）］

1．期日　：　平成21年7月7日（火曜日）　13：15～17：35

2．場所　：　高崎量子応用研究所　ベンチャー棟　大会議室

3．議題　：

（1）	量子ビーム応用研究部門　部門長挨拶	＜司会：研究推進室長＞	13:15-13:25（10分）
（2）	委員長挨拶	＜以下、議長：委員長＞	13:25-13:35（10分）
（3）	第4回評価委員会議事録（案）確認	＜説明；研究推進室長＞	13:35-13:45（10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；西評価室長＞	13:45-13:55（10分）
（5）	事後評価及び事前評価の進め方について	＜説明；研究推進室長＞	13:55-14:00（05分）
（6）	委員打ち合わせ（closed）		14:00-14:30（30分）
（7）	量子ビーム応用研究の進捗と今後の展開について（部門全体概要）	＜説明；藤井部門長　＞	14:30-15:15（45分）
（8）	質疑応答		15:15-16:00（45分）
（9）	委員自由討論（closed）		16:00-16:30（30分）
（10）	その他（事務連絡等）		16:30-16:35（05分）

4．施設視察

サイエンスプラザ、ガンマ線照射施設、TIARA　16:35-17:35（60分）

「量子ビーム応用研究」に関する事後評価　議事次第
［第5回量子ビーム応用研究・評価委員会　個別（高崎地区）委員会（5-2）］

1．期日　：　平成21年7月8日（水曜日）　9：00～15：35

2．場所　：　高崎量子応用研究所　ベンチャー棟　大会議室

3．議題　：

（1）　議事進行について	＜研究推進室長＞	09:00-09:05 (05 分)
（2）　委員長挨拶	＜以下、議長：委員長＞	09:05-09:10 (05 分)
（3）　量子ビーム応用研究の進捗について【事後評価　高崎総括】	＜説明；南波副部門長＞	09:10-09:40 (30 分)
（4）　質疑応答		09:40-10:10 (30 分)
（5）　バイオ応用技術研究の今後の展開について	＜説明；田中ユニット長＞	10:10-10:30 (20 分)
（6）　質疑応答		10:30-10:50 (20 分)
（7）　環境・産業応用研究開発の今後の展開について	＜説明；玉田ユニット長＞	10:50-11:10 (20 分)
（8）　質疑応答		11:10-11:30 (20 分)
（9）　高崎地区におけるビーム技術開発について	＜説明；田中部長＞	11:30-11:40 (10 分)
（10）質疑応答		11:40-11:50 (10 分)
	＜　昼休憩　＞	11:50-12:40 (50 分)
（11）研究現場視察/インタビュー		12:40-14:40(120 分)
（12）委員自由討論（closed）		14:40-15:10 (30 分)
（13）委員長講評		15:10-15:30 (20 分)
（14）その他（事務連絡等）		15:30-15:35 (05 分)

「量子ビーム応用研究」に関する事後評価　議事次第
［第5回量子ビーム応用研究・評価委員会　個別（関西（木津）地区）委員会（5-3）］

1．期日　：　平成21年7月22日（水曜日）　13：15～17：25

2．場所　：　関西光科学研究所　木津サイト　管理棟　大会議室

3．議題　：

（1）　議事進行について	＜研究推進室長＞	13:15-13:20 (05 分)
（2）　委員長挨拶	＜以下、議長：委員長＞	13:20-13:25 (05 分)
（3）　量子ビーム応用研究の進捗について【事後評価　関西（光分子）総括】	＜説明；水木副部門長＞	13:25-13:45 (20 分)
（4）　質疑応答		13:55-14:05 (20 分)
（5）　関西地区におけるビーム技術開発について	＜説明；河西所長＞	14:05-14:15 (10 分)
（6）　質疑応答		14:15-14:25 (10 分)
（7）　光量子科学研究の今後の展開について	＜説明；横山ユニット長＞	14:25-14:45 (20 分)
（8）　質疑応答		14:45-15:05 (20 分)
	＜　休　憩　＞	15:05-15:20 (15 分)
（9）　研究現場視察/インタビュー		15:20-16:40 (80 分)
（10）委員自由討論（closed）		16:40-17:10 (30 分)
（11）委員長講評		17:10-17:20 (10 分)
（12）その他（事務連絡等）		17:20-17:25 (05 分)

「量子ビーム応用研究」に関する事後評価　議事次第
［第5回量子ビーム応用研究・評価委員会　個別（関西（播磨）地区）委員会（5-4）］

1．期日　：　平成21年7月23日（木曜日）　10：15～14：30

2．場所　：　関西光科学研究所　播磨サイト　放射光物性研究棟４階　応接室

3．議題　：

（1）　議事進行について	＜研究推進室長＞	10:15-10:20 (05 分)
（2）　委員長挨拶	＜以下、議長：委員長＞	10:20-10:25 (05 分)
（3）　量子ビーム応用研究の進捗について【事後評価　関西（放射光）総括】		
	＜説明；水木副部門長＞	10:25-10:45 (20 分)
（4）　質疑応答		10:45-11:05 (20 分)
（5）　放射光科学研究の今後の展開について	＜説明；青木ユニット長＞	11:05-11:25 (20 分)
（6）　質疑応答		11:25-11:45 (20 分)
	＜　昼休憩　＞	11:45-12:45 (60 分)
（7）　研究現場視察/インタビュー		12:45-13:45 (60 分)
（8）　委員自由討論（closed）		13:45-14:15 (30 分)
（9）　委員長講評		14:15-14:25 (10 分)
（10）　その他（事務連絡等）		14:25-14:30 (05 分)

「量子ビーム応用研究」に関する事後評価　議事次第

［第5回量子ビーム応用研究・評価委員会　個別（東海地区）委員会（5-5）］

1．期日　：　平成21年7月29日（水曜日）　10：00～17：15

2．場所　：　原子力科学研究所　研究1棟　第六会議室

3．議題　：

（1）　議事進行について	＜研究推進室長＞	10:00-10:05 (05 分)
（2）　委員長挨拶	＜以下、議長：委員長＞	10:05-10:10 (05 分)
（3）　量子ビーム応用研究の進捗について【事後評価　東海総括】	＜説明；加倉井副部門長＞	10:10-10:40 (30 分)
（4）　質疑応答		10:40-11:10 (30 分)
（5）　量子ビーム応用研究の進捗について【事後・事前評価　特定ユニット総括】	＜説明；斉藤ユニット長＞	11:10-11:30 (20 分)
（6）　質疑応答		11:30-11:50 (20 分)
（7）　東海地区におけるビーム技術開発について	＜説明；佐川課長＞	11:50-12:00 (10 分)
（8）　質疑応答		12:00-12:10 (10 分)
	＜　昼休憩　＞	12:10-13:00 (50 分)
（9）　中性子生命科学研究の今後の展開について	＜説明；黒木ユニット長＞	13:00-13:20 (20 分)
（10）質疑応答		13:20-13:40 (20 分)
（11）中性子物質科学研究の今後の展開について	＜説明；社本ユニット長＞	13:40-14:00 (20 分)
（12）質疑応答		14:00-14:20 (20 分)
（13）中性子産業利用技術研究の今後の展開について	＜説明；松林ユニット長＞	14:20-14:40 (20 分)
（14）質疑応答		14:40-15:00 (20 分)
（15）研究現場視察/インタビュー		15:00-16:30 (90 分)
（16）委員自由討論（closed）		16:30-17:00 (30 分)
（17）委員長講評		17:00-17:10 (10 分)
（18）その他（事務連絡等）		17:10-17:15 (05 分)

「量子ビーム応用研究」に関する事後評価　議事次第
［第5回量子ビーム応用研究・評価委員会　全体委員会(5-6)］

1．期日　：　平成21年7月30日(木曜日)　9:30～16:15

2．場所　：　原子力科学研究所　研究1棟　第六会議室

3．議題　：

(1)　議事進行について	＜研究推進室長＞	09:30-09:35 (05 分)
(2)　委員長挨拶	＜以下、議長:委員長＞	09:35-09:45 (10 分)
(3)　機構からの補足説明	＜説明;藤井部門長＞	09:45-10:15 (30 分)
(4)　委員打ち合わせ(closed)		10:15-11:00 (45 分)
(5)　委員長講評 【事後評価総括】		11:00-11:45 (45 分)
(6)　量子ビーム応用研究部門　部門長挨拶		11:45-12:00 (15 分)
	＜　昼休憩　＞	12:00-12:50 (50 分)
(7)　量子ビーム応用研究の次期研究計画の概要	＜説明;藤井部門長＞	12:50-13:50 (60 分)
(8)　質疑応答		13:50-14:50 (60 分)
	＜　休　憩　＞	14:50-15:05 (15 分)
(9)　委員自由討論(closed)		15:05-15:35 (30 分)
(10)委員長講評		15:35-15:55 (20 分)
(11)量子ビーム応用研究部門　部門長挨拶		15:55-16:10 (15 分)
(12)その他(事務連絡等)		16:10-16:15 (05 分)
4. 施設視察　J-PARC　(希望者のみ)		16:15-17:15 (60 分)

５．評価結果（答申書）

平成 22 年 3 月 25 日

独立行政法人　日本原子力研究開発機構
理事長　　岡崎　俊雄　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評価について（答申）

当委員会に諮問（２１原機（量）０３１）のあった下記の事項について、その評価結果を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

以　上

（別紙）

独立行政法人　日本原子力研究開発機構
「量子ビーム応用研究に関する事後評価」
報告書

委員会委員

委員長	田川　精一	大阪大学　産業科学研究所・教授
委員長代理	岸本　直樹	独立行政法人　物質・材料研究機構 量子ビームセンター長
委員	雨宮　慶幸	東京大学大学院　新領域創成科学研究科 研究科長　教授
	岡村　正愛	キリンアグリバイオ株式会社 植物開発研究所・主任研究員
	金子美智代	トヨタ自動車株式会社　材料技術統括部 材料解析室　グループ長
	佐野　雄二	株式会社　東芝　電力システム社 電力・社会システム技術開発センター技監
	田中　隆治	財団法人　サントリー生物有機科学研究所 副理事長
	東嶋　和子	サイエンス・ジャーナリスト
	野田　　章	京都大学　化学研究所　教授
	廣田　和馬	大阪大学大学院　理学研究科　教授
	福山　秀敏	東京理科大学　理学部　教授 総合研究機構　機構長
	古澤　佳也	独立行政法人　放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター・チームリーダー
	三木　邦夫	京都大学大学院　理学研究科　教授
	森　　敏	石川県立大学　客員教授

事後評価総括（Executive Summary）

独立行政法人日本原子力研究開発機構（原子力機構）の「量子ビーム応用研究」に関する事後評価の諮問を受け、量子ビーム応用研究・研究評価委員会は、平成２１年７月７日～８日、7月２２日～２３日、7月２９日～３０日に高崎地区、関西地区（２サイト）、東海地区の現地視察及び若手研究者との懇談を含めた委員会を開催し、本委員会によって定められた評価方法に従い評価を実施した。その評価結果の概要は以下の通りである。

量子ビーム応用研究部門の組織運営

量子ビーム応用研究部門は、当初懸念のあった歴史的な生い立ちによる性格の違いや地域的な分散等の運営上の困難を克服して、東海、高崎、関西（木津サイト、播磨サイト）の３地区４サイトの独自性を活かしながら部門で共有する研究基盤を着実に構築するとともに、幅広い分野でオリジナリティーのある素晴らしい成果を上げており、非常に高く評価される。また、部門全体の運営を無理なく柔軟に行った結果として、部門内構成員の一体感が高められた一方、個別研究グループの自発性を尊重しながらサイト横断的な連携が強まり、量子ビームの相補的・複合的利用の進展等の相乗効果を生み出していることは高い評価に値する。このような試みは画期的であり、文部科学省が推進し、原子力委員会でも推奨してきた多様な量子ビーム・複数の量子ビーム施設の連携による相乗効果創出の成功例に挙げられる。また、多様な量子ビームの利用方法、種々の計測手法、広範な学問分野を若手研究者に自発的に学ばせる場を提供し、当該分野の将来を担う研究者育成に向けて道を切り拓いたことは高く評価できる。

さらに、産業界も含む国内での認知活動及び他機関との連携活動を通して、「量子ビームテクノロジー」という新概念の確立を行ってきたこと、「量子ビームプラットフォーム」構想など文部科学省の量子ビームに関する政策推進に大きく貢献してきたことは重要な意義を持つものである。

量子ビーム応用研究の推進

量子ビーム応用研究部門では、トップダウンとボトムアップの両方向から不断の努力がなされ、学術的、技術的なニーズに基づき活動を展開できる体制を構築し、物質・材料、環境・エネルギー、生命・医療等の科学分野の発展や産業の振興に向けた量子ビームの展開を目指し、産業界ではできない基礎的研究の推進と社会への成果還元の双方を部門全体としてうまくこなしている。このような部門運営に基づき、中期計画及び年度計画に掲げた研究計画は、すべての項目について所期の目標を達成するとともに、量子ビームの特長を活用して原子力機構のエネルギー関連事業に寄与しており、高く評価できる。加えて、部門内外の生命科学研究者のボトムアップ的要請に基づき、部門組織を超えた機構内連携として「量子生命フロンティ

ア研究特定ユニット」を新設し、効率的・効果的に研究が進められ、優れた成果を上げている点は特筆に値する。

機構外連携も理化学研究所、物質・材料研究機構との三機関連携など、従来の方式より踏み込んだ連携を展開するとともに、各サイトの実情に応じた外部機関との広範な連携も進んでおり、効率的な成果創出の観点からも重要視される。また、研究者が自らの研究以外に、施設共用制度における技術支援業務を行っていることも評価すべき点として挙げられる。

評価の視点ではあるが、当委員会が中間報告（平成 20 年 3 月 3 日答申）で指摘した事項に関連し、部門研究交流会や研究成果報告会への評価委員の参加、各サイトでの評価委員会開催などを通じて、研究者と直接意見交換が実現されたことにより、評価活動がより適切なものになっており、謝意を表したい。

各地区における研究開発の推進

東海地区は、「中性子科学、中性子応用」という地区の特長をよく活かして研究開発を進め、装置の開発、性能向上につとめ着実に成果を上げている。国家的な目標である「中性子プラットフォーム」整備の着実な進展への寄与および J-PARC／物質・生命科学実験施設（MLF）の本格的共用に向けて、J-PARC センターとの連携のもとで中性子実験装置の開発や運営システムの構築を進めつつある活動は高く評価される。

高崎地区は、重イオンマイクロビーム等の技術開発を照射研究目的と結合させることにより、新たな研究・開発の可能性を切り開き、放射線の生物的作用機構の理解に向かう研究を展開する一方で、産業利用に繋がった成果を多数上げてきていることは注目に値する。特に外部機関との連携が功を奏しており、研究の方針を見通すコーディネーターを配置した見識が高く評価される。また、世界最先端の照射施設･ビーム技術の開発･整備を進め、大学等の研究者への施設の共用にも心を砕いており特筆すべき活動である。

関西地区における、レーザー・放射光の総合研究拠点という地区の特長を明確にした研究活動は全体として非常に優れている。学術利用および産業利用において国研・大学・企業との連携に際して、自己の特長を提供し、外部資源を活用した進め方も高く評価される。木津サイトにおける極短パルス高強度レーザー、X線レーザー、エネルギー回収型自由電子レーザー等、先進的レーザー装置等の技術開発における成果は顕著である。播磨サイトにおける放射光施設については、機構専有ビームラインを 4 本所有し、ナノテクノロジー、物質・材料、環境・エネルギーの分野で光源の性能を引きだす多くの成果を挙げている。

量子生命フロンティア研究特定ユニットは、放射線生命作用、DNA 修復という、量子ビームの生命応用の基本原理となるテーマに取り組むため、現場研究者が中心となり部門内外の生命・バイオ関連の研究グループを横断的に連携させることで立ち上げたバーチャルな研究組織であり、各サイト・グループの力の結集により新発

見や新知見の獲得につなげた実績は、機構内の模範となる優れた事例であり、高く評価できる。

次期中期計画に向けた期待

第１期中期計画において、３地区４サイトを連携させ、各々の独自性を損なわずに、施設・人材の効率的な運用と多様な量子ビームの相補的・複合的利用等による相乗効果を生み出してきた部門の組織運営体制については、その柔軟性・機動性を失わないよう常に点検するとともに、人材交流を含めたサイト間の横断的ネットワークを一層強化し、更なる発展を期待したい。また、量子ビーム応用研究の推進では、部門内連携に加え、施設共用を含めた拠点等原子力機構内での連携、国内の大学・他研究機関・産業界等との連携、さらには国際的な連携・協力を強化することで、科学技術・学術の発展と産業の振興への一層の貢献を期待したい。

一方、研究を進めていく上で基盤となる予算及び人材の確保は大いなる制約が課せられており、それらの獲得には関係者の地道な努力の継続が不可欠である。特に次代を担う若手研究者の確保・育成については、我が国唯一の原子力研究機関としての使命であることを再度認識し、戦略的に取り組んでほしい。

研究成果の発信・普及については、積極的な取組みを今後も継続的に進めていくことが肝要である。関係者の努力により『量子ビーム』という用語は、近年、専門家の間では定着してきたが、より一層の成果発信やアウトリーチ活動等を通じて、一般国民への浸透に努められたい。これにより、原子力機構の社会的プレゼンスが更に高まるものと期待している。

事後評価報告

Ⅰ．量子ビーム応用研究部門の組織運営

１．組織のあり方について

日本原子力研究開発機構（原子力機構）は日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構という性格の大きく異なる２つの組織がひとつの「研究法人」として統合し、平成 17 年 10 月に発足した独立行政法人である。

「量子ビーム応用研究部門」は「量子ビーム」というコンセプトのもとに大型施設に依拠する中性子・荷電粒子・放射光・レーザー等にかかわる組織をひとつの研究部門として統括し、研究テーマに応じて施設間の相互連携協力を追求し、有機的研究活動を展開しようという組織設計のもとで誕生した。この部門には、国家的プロジェクトである J-PARC 本格稼働に向けた高度中性子計測装置の開発と JRR-3 の中性子利用研究を通して重要な寄与をしている東海地区、荷電粒子・放射性同位元素による有用遺伝子資源創成、新機能性材料の創成と評価、環境保全・資源活用技術開発を展開する高崎地区、レーザー先端技術開発を進める関西地区木津サイト、世界最高エネルギーにして最も高い安定性を持つ放射光源により新しい触媒開発をはじめ物質材料科学に大きな寄与をしてきている関西地区播磨サイトが属している。

部門が発足して４年が経過したが、当初懸念のあった歴史的な生い立ちによる性格の違いや地域的な分散等の運営上の困難を克服して、東海、高崎、関西（木津サイト、播磨サイト）の３地区４サイトの独自性を活かしながら部門で共有する研究基盤を着実に構築するとともに、幅広い分野でオリジナリティーのある素晴らしい成果を上げており、非常に高く評価される。また、部門全体の運営を無理なく柔軟に行った結果として、部門内構成員の一体感が高められた一方、個別研究グループの自発性を尊重しながらサイト横断的な連携が強まり、量子ビームの相補的・複合的利用の進展等の相乗効果を生み出していることは高い評価に値する。このような試みは画期的であり、文部科学省が推進し、原子力委員会でも推奨してきた多様な量子ビーム・複数の量子ビーム施設の連携による相乗効果創出の成功例に挙げられる。また、多様な量子ビームの利用方法、種々の計測手法、広範な学問分野を若手研究者に自発的に学ばせる場を提供し、当該分野の将来を担う研究者育成に向けて道を切り拓いたことは高く評価できる。

部門の共通概念としての「量子ビームテクノロジー」について、産業界も含む国内での認知活動および他機関との連携活動を通して、この新概念の確立を行ってきたこと、併せて、「量子ビームプラットフォーム」構想など文部科学省の量子ビームに関する政策推進に大きく貢献してきたことはとりわけ重要な意義を持つものである。

新しいコンセプトのもとに導入された量子ビーム応用研究は機構主要４事業「高速増殖炉サイクル技術開発」「核融合研究開発」「量子ビームテクノロジーの研究開

発」「高レベル放射性廃棄物の処理・処分」のひとつの柱として位置付けられるとともに、他の事業に対して量子ビームの特徴を活用して研究推進に寄与し、同時に第３期科学技術基本計画の重点４分野「ライフサイエンス」「情報通信」「環境」「ナノテク・材料」、および推進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」に貢献することを目標としてきた。この目標を達成すべく、部門内外との連携推進により高速増殖炉サイクル実用化研究開発（FaCT）プロジェクトをはじめとして原子力エネルギー分野の研究開発に貢献しており、さらに部門の急速な整備・強化により物質・材料、環境・エネルギー、生命・医療等の科学分野や産業界へ広く量子ビームを応用展開できる国際競争力を持つ組織に育ちつつある。また、産業界ではできない基礎的研究の推進と社会への成果還元の双方を部門全体としてうまくこなしており、高い評価に値する。

一方、独立法人評価において原子力機構における量子ビーム応用研究の評価項目は以下の 3 項目に大別されている。

（１）多様な量子ビーム施設・設備の戦略的整備とビーム技術開発

（２）量子ビームを利用した新しい測定・解析・加工技術の開発

（３）量子ビームの実用段階での本格利用を目指した研究開発

上記（１）は各研究開発拠点でのビーム技術開発にかかわり、量子ビーム応用研究部門の研究開発は（２）、（３）に該当するとされている。この（２）、（３）は相互に関係しており厳密に区別されるべきものではない。このような部門の研究活動の展開は多くの課題を抱えていることは想像に難くないが、関係者の多大な尽力により、課題克服に向けた新しいタイプの活動が具体的に推進されている。

部門発足後、平成 18 年 7 月、機構内連携としてボトムアップとトップダウンの両面が機能し、全員兼任の「量子生命フロンティア研究特定ユニット」が新設され、優れた成果を上げつつある。また、J-PARC 計画が持つ量子ビームサイエンス＆テクノロジーにおける重要性を認識し、平成 18 年 2 月に「J-PARC センター」が発足したのを受けて、平成 19 年 4 月に多数の関係研究者を J-PARC センターに移行し、J-PARC 建設の推進を図っている姿勢は機構本来の任務と整合性があり高く評価できる。また平成 19 年 10 月設置された機構内研究部門「光医療研究連携センター」とは強い連携を持ち、医療などの国民生活に密着した量子ビーム利用研究の展開を図っている。

第１期中期計画において、３地区４サイトを連携させ、各々の独自性を損なわずに、施設・人材の効率的な運用と多様な量子ビームの相補的・複合的利用等による相乗効果を生み出してきた部門の組織運営体制については、その柔軟性・機動性を失わないよう常に点検するとともに、人材交流を含めたサイト間の横断的ネットワークを一層強化し、更なる発展を期待したい。このような取組みにより「量子ビームサイエンス＆テクノロジー」の認知度、一般への定着度が高められるものと期待している。

２．部門の運営について

量子ビーム応用研究部門は「量子ビームテクノロジー」を共通概念とし、それを支える「量子ビームプラットフォーム」を基盤とする、東海地区の中性子、高崎地区の荷電粒子・ガンマ線、関西地区の放射光・レーザー、の諸施設によって構成されている。平成 21 年度時点で、それぞれの地区におおよそ 70 人、60 人、110 人の合計 240 人（うち外国人 10 人、女性 20 人）の研究職（うち職員 170 人）と事務職 11 人、技術職 24 人によって構成されている。原子力機構の中核組織として「人材流動ポンプ」としての役割が強く意識されている。部門長のもとに 3 名の副部門長が各地区の責任者を務めており、また部門長直属組織として研究推進室と特定ユニットがある。

部門の活動を担保する予算は平成 21 年度、東海 1.39 億円（うち人件費 0.42 億円）、高崎 1.12 億円（うち人件費 0.16 億円）、関西 2.25 億円（うち人件費 0.55 億円）、合計 5 億円の運営費交付金と外部資金計 11 億円（うち「量子生命フロンティア研究特定ユニット」0.38 億円）である。加えて、研究推進室（総括）運営経費 2,000 万円のうち、部門長留保金は 800 万円である。上記予算のほとんどは量子ビーム利用装置の維持・管理・運転に充当され、装置高度化および研究費は外部資金に大きく依存している。

機構発足時に導入した研究開発部門と研究開発拠点とが組織の縦糸と横糸の関係をもつマトリックス組織構成との要素も踏まえ、部門長は下記の運営方針を掲げ、部門の運営を行ってきた。

「量子ビームサイエンス＆テクノロジーの確立」

「量子ビームプラットフォームの構築」

「機構内外との連携研究、事業の推進」

「活力溢れる研究環境の実現」

機構発足時までは独立に運営をしていた、3 研究所 4 サイトに跨った本部門の一体運営は決して容易ではないが、部門長の強いリーダーシップと副部門長間の緊密なコミュニケーション、優れた指導力による部門融合への努力、活力溢れる研究環境の実現に資するボトムアップ重視の方針に基づいた精力的な取組により、第一に部門内連携を推進していくための前提となる量子ビームテクノロジーという共通概念を部門全体に浸透させたこと、第二に東海・高崎・関西の３地区４サイトそれぞれの特徴を失うことなく、有機的かつ連携がとれた活動を展開することが可能な組織として構築したこと、第三に構成メンバー間の意識の共有化と一体感が大きく進展したことは高い評価に値する。

量子ビーム応用研究部門では、トップダウンとボトムアップの両方向から不断の努力がなされ、学術的、技術的なニーズに基づき活動を展開できる体制を構築し、物質・材料、環境・エネルギー、生命・医療等の科学分野の発展や産業の振興に向けた量子ビームの展開を目指し、産業界ではできない基礎的研究の推進と社会への成果還元の双方を部門全体としてうまくこなしている。このような部門運営に基づ

き、中期計画及び年度計画に掲げた研究計画は、すべての項目について所期の目標を達成するとともに、量子ビームの特長を活用して原子力機構のエネルギー関連事業に寄与しており、高く評価できる。

さらに、個々の量子ビーム技術の開発とその応用、産業界との連携についても、多くの具体的事例があり、バランスも配慮され、現状の人員と資金レベルからみると効率的で、順調に運営されている。研究を進めていく上で基盤となる予算及び人材の確保は大いなる制約が課せられており、それらの獲得には関係者の地道な努力の継続が不可欠である。今後も、限られた資源を有効に活用し、力の分散を極力避けながら成果の効率的な創出に注力してほしい。また、研究資金面では、社会的認知度を反映して外部資金の獲得が進んでいるが、本来部門で進めるべき研究は外部資金で単発的に行えば足るものではなく、社会と政府から自己資金増の理解を得るような戦略的な取組みも必要となろう。スタートアップ資金として部門長裁量経費の充実など、トップダウンによる予算配分については積極的に実施できるようにすべきである。

また、量子ビームテクノロジーに関するシンポジウムを学術会議と連携して開催し、その結果を「量子ビームテクノロジー」として出版するなど、国内での量子ビームテクノロジーの認知活動の意義は大きい。特に、今回発刊された部門英文年報（Annual Report QuBS）は、部門の成果を一般に目に見える形でまとめ、且つグローバル化にも対応しており、注目に値する。

このように積極的な成果発信が行われたことにより、『量子ビーム』という用語は専門家にはかなり定着してきた。しかしながら、一般国民への浸透は緒についた段階であり、国民レベルの間でも広く受け入れられるようアウトリーチ活動など広報活動の一層の強化を期待する。これにより、原子力機構の社会的プレゼンスが更に高まるものと期待している。一方、部門の論文発表実績については、単に論文数で判断することは適当ではないものの、より多くの論文が書かれるよう努力されたい。

グローバル化の中で国際協力や人材育成は重要であり、今後も適切な対応がなされるよう心掛けてほしい。特に人材育成では、独立行政法人一律の整理合理化による人員削減を余儀なくされている現状において、若手研究者が急減することは、学術の継承の観点からもわが国の将来にとって大きな問題を生ずる可能性が高いと憂慮しており、早急な対処が望まれる。次代を担う若手研究者の確保・育成については、我が国唯一の原子力研究機関としての使命であることを再度認識し、戦略的に取り組んでほしい。

また、研究の将来展開を見据えた若手の登用、研究を将来につなげる熱意を植え付ける指導、育成した若手研究者の機構外への輩出などを長期的視点で進めることを要望したい。さらに部門内（機構内）連携を進める際に研究者の所属部署を移動する制度の導入は考慮に値する。同様に適切な人事交流のための方策も考慮すべきである。優れた人材を励まし、組織の将来への希望が持てるような状況を準備する

ことが肝要である。併せて、人材育成の観点から、全国共同利用機関で行われてきた運営同様な自由度の大きな共同利用や共同研究のスタイルの確立など、短期間の施設利用が行いやすい仕組みの導入も期待したい。

本部門は「量子生命フロンティア研究特定ユニット」「J-PARC センター」「光医療研究連携センター」にかかわり、部門や機構の組織を超えた大きな協力体制（人材の関与）が不可欠であり、組織としての対応には十分な配慮が必要となろう。特に平成 20 年 12 月より一部供用を開始した J-PARC での中性子利用を円滑に進める上でも、「J-PARC センター」とのより一層の連携は重要である。機構全体として、またその中で役割を果たすべき本部門の「集中」に向けた検討が必要となる。同様にライフサイエンスについては理化学研究所（理研）、ナノ・マテリアルサイエンスについては物質・材料研究機構（物材機構）に巨額の予算が投入され、多くの専門家集団を抱えていることから連携における役割分担には十分注意を払い原子力機構の特徴が生かされるように目標を定める必要がある。

３．連携促進について

（１）部門内連携

部門内での連携については、トップダウンとボトムアップの両方向から不断の努力がなされており、拠点に拘束されず、部門として学術的、技術的なニーズに基づき活動を展開できる体制ができつつある。生命・医療分野、ナノテクノロジー分野、物質・材料分野では多様な量子ビームを用いた研究開発が欧米でも強く望まれているが、本部門でも早くから多様な量子ビームの相補的・複合的利用の重要性を認識し、部門として対処してきている。具体的には、電子線を用いて機能性材料を創るグループが、中性子や放射光による構造解析や機能評価を高い垣根なしに行えるような、異なる量子ビームを併用した新たな研究開発に拠点の枠を超えて挑戦できる体制が着実に構築されている。今後は部門内連携のさらなる強化により、イオンビーム、レーザーを含めて相補的・複合的利用の枠を拡大することで、今までにない新しい研究が生み出されることを期待したい。いずれの活動についても産業界との強力な連携推進が望まれる。この観点から、有力な研究成果「HIV 創薬につながる解析」「がん診断治療面での標識薬剤と治療の高度化」などの研究成果を、「実用性の高いテクノロジー」につなげ、さらに確実なインダストリーに仕上げる「力」を期待したい。また、地区を越えた研究者の交流促進を目指し平成 20 年度から開始された部門研究交流会は連携推進に役立つものとして有益であるが、今後は部門外からの優れた研究者の参加も求め、適切なコメントを得ていく等の工夫も必要である。さらに、サイエンティフィック・アドバイザリーボードのような仕組みの導入も効果的と考えられる。

（２）機構内連携

機構内における連携では、主要事業間の連携協力の更なる強化を期待したい。具

体的には原子力エネルギー分野への貢献を目指した機構内連携を積極的に進めるとともに、得られた成果のアピールを行い、「量子ビーム応用研究部門」の存在感を一層増してほしい。これまでに、量子ビームの特徴を活かした高導電性高分子膜材料、半導体・高分子材料の耐放射線性評価、水素製造用電解質膜合成・評価などの材料がらみの研究から FaCT 連携推進や使用済炉解体技術などの原子力炉関連の研究まで幅広い研究が行われており評価に値するが、今後の連携強化により、新型炉開発、核燃料サイクルを支える技術開発や核融合に関連する加速器開発など他事業に対し、部門のアクティビティーがより積極的に発揮されれば、原子力における当部門の重要性をより明確化できる。

（３）機構外連携

機構外連携も理研、物材機構との三機関連携など、従来の方式より踏み込んだ連携を展開するとともに、各サイトの実情に応じた外部機関との広範な連携も進んでいる。大学等との連携としては、例えば群馬大学 21 世紀 COE プログラムを通した連携などが好事例として挙げられる。このような機構外連携の促進については、効率的な成果創出の観点からも重要である。また、研究者が自らの研究以外に、施設共用制度における技術支援業務を行っていることも評価すべき点である。

産業界との連携においては、今後は現場研究者へのインセンティブ付与、量子ビームプラットフォームの構築、研究コーディネーター制度の確立に加え、科学的原理実証に基づく実用化ロードマップの作成や、重点テーマ推進のための産独連携体の構築などを具現化する研究戦略マネージメントが重要となろう。

原子力機構における研究活動には産業界への寄与、つまり重要な研究成果を確実なインダストリーに仕上げる（「サイエンス・テクノロジー・インダストリー」(STI) サイクル）のための仕組みが当然期待される。関連技術の産業界への円滑な移転はわが国の国際競争力向上へも貢献するものとなる。部門３地区のうち、高崎地区においては問題をかなり克服していると判断されるが、SPring-8 の高輝度光科学研究センター(JASRI)におけるコーディネーターの例等も参考にしつつ、部門共通の仕組みの導入ないしは活性化が望まれる。例えば適当なテーマ事例（燃料電池ないしタンパク質）を選んでケーススタディを試みることは有効であろう。この際、物質・材料とバイオ・創薬の分野では状況に大きな違いがあることに十分留意すべきである。後者では製薬会社において膨大な開発事業が展開されている。さらに、研究成果を産業界に近い学会、例えば、金属学会、材料学会、機械学会、鉄鋼協会等で積極的に発表し進んで研究者の民間との交流を考慮すべきである。これらの努力は実効性のある研究成果の発信の工夫とならんで、原子力機構が社会からより高く評価され社会的なプレゼンスを高めるためにも必要である。

（４）今後の課題

連携研究を更に推進させ、その結果として社会的・世界的に波及効果のある真の

意味での先端的研究が育つためには、研究基盤支援組織の確立をはじめとする部門内戦略の策定が課題となる。この問題は部門内にとどまらず、機構全体における課題でもある。研究開発活動においては長期的展望をすることが本質的に重要であり、決して「事業所的効率主義」にならないよう十分な注意をしつつ、部門方針について大目標、中目標、小目標を策定し、それぞれにマイルストーンを置き、そのロードマップに基づき、毎年成果を検討してロードマップを見直すことは検討に値する。この際に世界的な位置付けを意識した研究開発を推進するとともに、21 世紀の科学の中心である物質科学および生命科学から生まれる「エネルギー・材料」「環境」「医療」「生活の質向上」に貢献するための取り組みが必要となり、量子ビームプラットフォームへの産業界の積極的な参加を可能とする制度の工夫が望まれる。

研究体制構築のインパクトは国内ばかりでなく国際的にも大きく、量子ビームテクノロジーに関する国際的な認知活動の展開により「中国科学院との量子ビーム応用研究分野における研究協力取り決め」が平成 19 年 7 月に締結された意義は大きい。今後は研究の世界における位置付けや国際性を考慮しつつ諸外国との連携協力の強化・拡幅を期待したい。

このように、量子ビーム応用研究の推進では、部門内連携に加え、施設共用を含めた拠点等原子力機構内での連携、国内の大学・他研究機関・産業界等との連携、さらには国際的な連携・協力を強化することで、科学技術・学術の発展と産業の振興への一層の貢献を期待したい。

Ⅱ．各地区における研究開発

１．東海地区

本地区には、中性子生命科学研究ユニット、中性子物質科学研究ユニット、中性子産業利用技術研究ユニットが所属する。また J-PARC センター、原子力科学研究所研究炉加速器管理部と密接な関係を持っている。

（１）総括

「中性子科学、中性子応用」という地区の特長をよく活かして研究開発を進め、装置の開発、性能向上につとめ着実に成果を上げている。国家的な目標である「中性子プラットフォーム」整備の着実な進展への寄与および J-PARC/物質・生命科学実験施設（MLF）の本格的共用に向けて、J-PARC センターとの連携のもとで中性子実験装置の開発や運営システムの構築を進めつつある活動は高く評価される。

「生命」については、今後の創薬のキーとなるタンパク質の構造解析を、国研大学連携・企業連携により自他の特徴を生かして成果を出し、社会的インパクトの強いエイズウイルス創薬を目標としていること、および「物質」では、ナノ物質創製、新エネルギー材料という重要課題に集中し、燃料電池の開発やクリーンな社会の実現につながる研究を行っていることは評価される。「産業利用」では、残留応力測定において中性子ならではの明確な成果を上げ、それを社会的に認知させる時期に来ている。放射光と中性子といった相補的分析手段を有機的に結びつけ、従来にない先端的分析手法を確立し、企業を含む広範なユーザーに提供するために必要なサポート人員及びサポートスキームの確立が急務である。物材機構、理研との協力協定にもとづく燃料電池に関する研究における原子力機構の役割分担にも依存することであるが、必要であれば機構内材料開発部門と計測部門との連携を強化し、より積極的に取り組み、機構の位置付けを明確にすべきである。「中性子利用」による具体的な研究成果およびその社会的な意義について、より積極的な「広報活動」の展開が必要である。その際に放射光と中性子の役割分担および JRR-3 と J-PARC の相補的利用のあり方を明確にし、それを公開する必要がある。

強力な中性子ビームを用いた研究は原子力機構ならではのものであり、生命科学、物質科学およびそれらの産業利用において、基礎研究と応用を見据えた研究開発がバランス良く進められている。中性子利用装置の開発に努め、「中性子プラットフォーム」の整備・活用という困難な仕事を着実に発展させ、J-PARC センターとの連携のもと、昨年末の J-PARC/MLF の共用開始にスムースに繋げたことは高く評価される。研究においては、生体タンパク質のダイナミクスや燃料電池など、社会的インパクトの高い重要テーマを取り上げ、中性子ならではの成果を着実に挙げている。物質材料および生体物質の研究に関しては多くの実績があり、また産業応用に関しても積極的に取り組んでいる。JRR-3 に加え、J-PARC/MLF を用いた中性子利用が本格化しつつあり、エイズウイルス対策に役立つ HIV 構造解析、水和構造の生命作用などに関する優れた成果が得られている。今後は、この HIV 構造解析の結果を製

薬・病理応用に展開すること、水和構造の生命作用を放射線生体作用機構の解明につなげることが重要である。また、研究推進に当っては、関西地区との密接な連携を通して放射光、X線との併用をより一般化することが肝要である。さらに、先端的基礎科学の推進と産業利用に向けての施設・設備の開放については、バランスを取りつつ推進する舵取りが重要となる。今後は、トライアルユース等による中性子の民間利用の促進をはじめ、産業界や大学との連携を一層強化し、当該分野の中核機関としての役割を果たすことを期待される。

（2）研究開発の目的・目標、計画と成果

1）生命・医療分野

今後の創薬のキーとなるタンパク質の構造解析を、国研大学連携・企業連携により自他の特徴を生かして成果を出し、社会的インパクトの強いエイズウイルス創薬を目標としている。このような生体高分子やタンパク質の構造研究は一般の支持が得られやすいが中性子を用いる利点をより明確にアピールする必要があろう。実際、タンパク質の構造解析では、放射光利用技術が急速に発展しており、大きな結晶を必要とする中性子の位置づけが問われよう。たとえば構造解析は放射光、NMR で、中性子は専ら機能解析に徹するというすみ分けも考えられる。

中性子を用いた水素を含む高分解能精密構造解析によりタンパク質等の生体高分子の構造と機能の解明を進め、国内の研究をリードし、その成果は世界的にも注目されている。特に、社会的インパクトの強いエイズウイルス対策に役立つことが期待される HIV ウイルスの活性発現を抑制するタンパク質の構造を世界で初めて決定した成果は、中性子の利点を生かし、X 線との相補的な融合を行ったものとして高く評価される。これは JRR-3 稼働開始時からの持続的な努力の賜物である。今後も、中性子と X 線の特徴を十分に生かし、またそれらを融合した、タンパク質の構造と機能に関する基礎科学的研究、あるいは創薬を意識した応用研究の推進を期待したい。また、中性子を利用するタンパク質構造研究では、量子ビームの優位性を生かして生命機能の本質の解明に寄与する課題設定が望まれる。

中性子非弾性散乱等による水和水のダイナミクスに関する研究は、素晴らしい特色のある仕事である。分子科学領域でダイナミクス・構造科学の研究が進捗し、基本的なダイナミクスや構造から、その生体高分子の機能の解明につながると、一つの分子の働きの解明から系としての生物の機能への展開が求められるようになるので、将来の展開を先読みしながら戦略的に研究を推進する必要がある。

2）物質・材料分野

強相関電子系におけるスピン・格子結合の様子や固体中のプロトンの配置変化に関する物性研究と平行して偏極中性子解析法、中性子イメージング・分析法や光学技術の開発の努力が注がれていることは J-PARC の本格運用を目前に控えて本部門として適切な取り組みである。物性・材料評価において、中性子ビームで得られる

情報はユニークだが、限界もある。従って他部門、あるいは他組織との研究協力が従来にも増して重要となろう。

過去数年間の当該分野の研究の充実ぶりは目覚ましい。最近では我が国で発見された鉄ニクタイド系超伝導に対して、初期の段階から主導的な立場で研究を展開し、この分野の発展に大きく貢献している。偏極中性子解析法によるマルチフェロイック化合物等の研究成果は、中性子の特色を生かしたもので高く評価される。また、理研、物材機構との三機関連携の下、パルス中性子回折により負熱膨張物質 $Mn_3Cu_{1-x}Ge_xN$ の格子歪みの要因を微視的に解明したことは、画期的で評価できる。このような成果の発信に当っては、一般の人（研究者であっても専門外の人も含め）に、新発見、新規開発技術がどう「国民生活に役立ち、実用化促進」につながるかを、研究事例によりわかりやすく説明していくことが重要である。

３）環境・エネルギー分野

産業利用推進の観点から専門のユニットを設けて積極的な展開を図っている。また、部門内・部門間連携重点テーマである「燃料電池」関連、「がん照射評価技術開発」で着実な技術の高度化を実現した。JRR-4 を用いたホウ素中性子補足療法（BNCT）の照射回数が飛躍的に増大しつつあるのは、粒子線がん治療と相補的な BNCT 治療を支える観点から評価できる。今後のより一層の医療照射技術の高度化に期待したい。サイエンスの成果を社会に評価される技術・産業に結びつける方策のより強力な追求が望まれる。

また、次世代のエネルギー開発の鍵を握る電池材料の分野においては J-PARC のパルス中性子による結晶構造解析の貢献が期待されている。JRR-3 における企業ユーザーの研究が行いやすくなるような仕組み作りに数年前から取り組み、その成果が徐々に現れてきている。

４）先進的ビーム利用のための技術開発・装置整備

中性子残留応力測定技術の開発は、産業利用の中心となる可能性があり、放射光との相補的利用も含めて大いに期待される。中性子イメージング等の開発は、燃料電池の開発に貢献が期待されるなど社会的インパクトが大きく、中性子の特色を生かした技術として着実な発展が見受けられる。

（３）将来への研究開発の展開

中性子と放射光の役割分担について、相補的利用技術およびハイブリッド測定技術の開発等より詳細な検討が必要である。たとえば、軽元素、特に水素の物質中での観測に力を発揮するという考えに対して、現在では「水素を見るために中性子を利用する」必要はなく、X 線でも水素原子がはっきりと観測可能となっている現状を直視すべきである。直径 5 ミクロン程度の放射光 X 線も実用化され、大きな単位格子をもつタンパク質結晶でも高分解能の X 線結晶構造解析が可能となっている。

タンパク質の中性子結晶構造解析には正確な現状認識をもった慎重な判断が必要である。

産業利用について、中性子に対する民間企業のバリアがまだ高いように思われる。燃料電池の研究、残留応力測定のように中性子ならではの成果をプレス発表など宣伝することが必要であろう。特に J-PARC は国家プロジェクトとして、産業利用も重点項目になっていることから、認知度を高め社会の理解を得ることにより社会により近づく努力が必要である。インテリジェント触媒成果とその後の発展計画の仕組みを作った SPring-8 の場合のように、トライアルユース、戦略活用プログラムなど、企業が無料で使用できるプランを文科省に申請するなど、積極的な取り組みを望みたい。また、J-PARC の本格稼動を控え、放射光と中性子といった相補的分析手段を有機的に結びつけ、従来にない先端的分析手法を確立し、企業を含む広範なユーザーに提供するために必要なサポート人員及びサポートスキームの確立が急務である。

放射光と中性子の役割分担と並んで JRR-3 と J-PARC の相補的利用のあり方や中性子利用の社会的意義に関しての広報活動の重要性を認識し、それを実行することが必要である。平行して、部門あるいは J-PARC の中性子グループが関連コミュニティーからの強い信頼や支持を得続けていくための取組みが必要と思われる。今後コミュニティーへの情報発信だけでなく、コミュニティーからの新鮮な意見を常に汲み上げる仕組みが部門の中に求められる。

J-PARC スタート後の JRR-3 の利用については、ハードとソフトの両面で世界規格と同等あるいはそれを越える新しい取組みが早急に望まれる。より具体的には、ハード面では、特に JRR-3 の冷中性子ビームの強度増強計画の早急実現、ソフト面では、年間の運転日数を欧米の原子炉並に引き上げることの必要性がある。この観点で、欧米においては JRR-3 と同クラスの原子炉が、実効的ビーム強度の増強に向けて、あらゆる具体的施策を打ち出していることは大いに参考になる。これら JRR-3 についての取組みは、J-PARC のロードマップとの整合性がとれた活動であるべきことは言うまでもない。

なお、中性子利用において問題とされるところは常に放射光と比較される点であろう。中性子については本当に学術的価値の際だって高いデータを出すことが急務であり、その対策も必要である。

２．高崎地区

本地区は、バイオ応用技術研究ユニット、環境・産業応用研究開発ユニットにより構成される。

（１）総括

重イオンマイクロビーム等の技術開発を照射研究目的と結合させることにより、新たな研究・開発の可能性を切り開き、放射線の生物的作用機構の理解に向かう研究を展開する一方で、産業利用に繋がった成果を多数上げてきていることは注目に値する。特に、外部機関との連携が功を奏していると思われる。この際、研究の方針を見通すコーディネーターを配置した見識が高く評価される。具体的には、群馬大 21 世紀 COE にも協力しつつ、DNA 修復促進タンパク質 PprA の機能解明と修復試薬の実用化をはじめとして、世界初の環境浄化植物の開発、がん遺伝子 Bcl2 高発現がん細胞に対する重粒子線治療の有効性の解明、自動車燃料電池膜の作製技術開発、バイオプラスチック、生分解性ゲルの開発等、環境、医療、材料の多くの分野において荷電粒子・ガンマ線等を用いて多数の成果を収めていることは高く評価できる。これらの研究に対して物性科学的な視点が加わればますます発展が期待される。量子線利用について TIARA/ RIBF/HIMAC の連携が望まれる。本地区の研究活動は、部門間連携を通して、物質・材料科学と並んで 21 世紀の社会を担う基礎科学である生命科学に対しての原子力機構のかかわり方に大きな影響を与える可能性がある。したがって、機構全体としての「原子力機構におけるバイオサイエンス・バイオテクノロジー」に関する戦略策定に強く関与し、方針を明確にして必要となればその結果を強力に社会にアピールすることは効果的であろう。

世界最先端の照射施設･ビーム技術の開発･整備を進め、大学共同利用等による大学等の研究者への施設の共用にも心を砕いており特筆すべき活動である。特に、イオン照射研究施設 TIARA を文部科学省イノベーション創出事業のトライアルユース制度等を通して外部機関に広く開放し、連携を通じて成果が上がっていることは、良いモデルケースを提供している。トライアルユースは民間参入の門戸を広げる良い方法である上、産業界連携ではコーディネーターの果たした役割が大きい。また、外部ユーザーによる研究と内部研究者の研究は、機構の研究全体の評価の点からは分けて捉える必要はないが、外部の研究者の研究内容が広がりすぎ、離散的に見える点には注意を有する。外部研究者への支援業務と、内部研究者の研究目標を明確にし、それに対応した評価が必要である。

研究面では、世界最高水準の分解能 1 μm 以下に及ぶ重イオンマイクロビームの実現とそれを用いたバイスタンダー効果の解明や重粒子線の重篤な細胞照射効果の発見等の特筆すべき成果を創出している。加えて、高崎地区の伝統的な強みを生かした高分子の放射線加工の研究でも、家庭用・自動車用燃料電池材料の開発、レアメタル捕集実証研究等の国民生活の向上に役立つ独自性に富む研究成果を挙げており、高い評価に値する。

民間企業との産業応用、大学等の研究者への共同利用、独自に行っている基礎と応用研究のいずれも特筆すべき成果を多数挙げているが、今後は世界で高崎地区でしかできないような世界最高水準のビーム技術の開発･整備、発展性のある新しい研究テーマの推進、産業応用基盤技術の高度化に向けた基礎過程解明への取組み、中性子・放射光等の他の量子ビームとの連携強化が望まれる。

これらとあわせ、地区としての大変特徴のある経験を部門全体で共有し、優れた研究成果を「社会に評価される技術、産業」に結びつける有能な人材の組織的な確保の方策を検討することは原子力機構全体にとっても有益であろう。また、このような成果の客観的な指標として、企業との共同研究件数、特許取得件数、技術料収入、さらに可能であれば応用製品の市場（企業による販売実績額）等が提示されることは高崎地区の産業への寄与についてのアピールとなり、同時に基礎研究および産業界との連携推進いずれにとっても重要な情報となろう。

（２）研究開発の目的・目標、計画と成果

１）生命・医療分野

荷電粒子・ガンマ線による照射と解析プローブとしての利用の両面で国内外の当該分野の研究をリードしている。群馬大学 21 世紀 COE に協力しつつ、DNA 修復促進タンパク質 PprA の機能解明と修復試薬の実用化をはじめとして、世界初の環境浄化植物の開発、がん遺伝子 Bcl2 高発現がん細胞に対する重粒子線治療の有効性の解明、バイオプラスチック、生分解性ゲルの開発等環境等、多くの分野において重イオンビーム等を用いて多数の成果を収めていることは高く評価できる。

遺伝子創成に向けた量子ビーム応用では、花の育種から、大規模クロップ（コメ）、環境（浄化植物）、微生物産業（日本伝統の酒・醤油など発酵工業）まで幅広く実績を積み重ねてきた。群馬大学 21 世紀 COE との「医学・生物学研究」に関する連携、「量子生命フロンティア研究特定ユニット」による機構内連携を進めた取組みは高く評価される。特に、マイクロビーム技術を医療面での貢献に活用し成果を出した点は注目に値する。また、「量子生命フロンティア研究特定ユニット」での「がん治療診断 RI-DDS」、「DNA 修復タンパク質構造機能解明」の研究開発は今後優れた成果につながることが期待される。さらに、重イオン照射に対する細胞応答の分子機構の解明、ポジトロンイメージング技術の高度化とカドミウム動態の解明、先進医療用 RI 薬剤の開発等も優れた成果であり、評価に値する。

今後はマイクロビームの医療応用や放射線のリスク評価への展開、カドミウム動態解明に基づく植物による環境浄化などの応用拡大が期待されるが、現象論的な評価だけに留まらず、外部との連携協力の強化等を通して、幅広い条件での実験や新しい評価・解析手法の導入等を行い、本質的メカニズムの解明を目指してほしい。

２）物質・材料分野

ガンマ線・電子線グラフト重合技術による燃料電池材料の開発は、高崎地区の伝

統的な強みを生かしたものであり、特に長時間安定な高分子電解質膜を開発した意義は大きい。これらの研究に対して物性科学的な視点が加われば更に強力になろう。さらにいくつかのテーマの更なる追求と大型化を期待する。燃料電池の研究では中性子との共同研究が進んでいる。今後は、電極材の開発への取り組みを期待する。外部との連携として、三機関連携の「燃料電池システム用キーマテリアル開発」、「加速器テクノロジーによる医学生物学研究」などの連携推進は高く評価される。文科省「先端イノベーション創出事業」において、民間が非常に利用しやすいシステムを実現したことは、技術移転・汎用化をさらに加速するものとして大きな成果である。連携強化の活動を行い、さらに大きな成果となることを期待する。今後は、高耐久性燃料電池膜の開発、自動車燃料電池膜の作製技術開発、中性子散乱法による燃料電池膜の構造解析などの成果をあわせ、「燃料電池の実用化に貢献する技術開発に仕上げる」体制つくり、部門連携の成果といえる結果の実現を期待する。加えて、燃料電池の出力電圧の絶対値、使用温度を含めたベンチマーキング等を考慮し、企業連携により実用化に結び付ける研究を展開してほしい。

水素分離用炭化ケイ素（SiC）セラミックス薄膜の改良、酸化タングステン（WO_3）を用いた水素検知材料の開発等も水素利用に貢献する成果として期待できる。また、化合物半導体素子の耐放射線性は継続して進めるべき課題である。

高崎地区の材料開発は、他地区とは異なり、「固体物理」や「材料科学」の観点での基礎的探求は少ないように思われることから、今後は他地区との連携を通して基礎的知見の取得にも積極的に取り組んでほしい。

3）環境・エネルギー分野

環境・エネルギー分野への貢献として、放射線架橋とグラフト重合技術を生かしたレアメタル捕集高分子の開発研究はわかりやすい成果である。新しい原理追究ではなく実用化を目指すのであれば、経済性の評価や他の技術との比較等が重要であり、民間企業と連携して成果の応用にも力を入れた点は適切な進め方である。同様に、電子ビームと触媒を併用した揮発性有機化合物（VOC）処理装置はキシレンの大幅除去に成功しており、社会的にインパクトが大きい。今後は上記の成果をもとに、産業利用成果のより大きなテーマ、たとえば実用化レベルにある「電子ビーム＆触媒ハイブリッド VOC 処理装置」の産業化等への取組を期待したい。

4）先進的ビーム利用のための技術開発・装置整備

重イオンビームの高度化では、数百 MeV 級のエネルギーでビーム径 1μm 以下のマイクロビームを実現し、高速シングルイオンヒット技術を開発した成果は、高崎研が誇る世界最高水準の技術開発であり、新しい応用を拓くと期待される。一方、ナノテクノロジーの分野では、ビーム径が数 10 nm のイオンビームや数 nm の電子ビームが日常的に利用されているが、高エネルギーのマイクロビーム形成では本技術が世界唯一であり、三次元加工などへの応用が期待できる。

また、イオンマイクロビームの応用として、大気マイクロ PIXE 技術により「肺組織内アスベスト検出・種類同定」に成功するなど、社会的にもニーズの高い早期診断への貢献をしたことは産学との連携をうまく活用した成果として高く評価できる。今後はマイクロ PIXE の微小領域・微量物質定量技術としての性能限界を明確にし、他の分析手法に対する優位性を明らかにしていく必要がある。

（３）将来への研究開発の展開

本地区の研究活動は、部門との連携を通して、物質・材料科学と並んで 21 世紀の社会を担う基礎科学である生命科学に対しての原子力機構のかかわり方の方向性に大きな影響を与える可能性がある。したがって、機構全体としての「原子力機構でのバイオサイエンス・バイオテクノロジー」に関する戦略策定に強く関与し、方針を明確にして必要となればその結果を強力に社会にアピールすべきであろう。

一方で本地区の生命科学分野の活動については、個々の研究成果の実用的社会的意義は評価されるが研究間のつながりが必ずしも強くない。これは応用面・実用面を重視した結果と想像される。しかし、部門の発展期となる今後は、サイエンスを前面に出し、研究対象に繋がりのある継続性の高い研究に移行していく必要があろう。このような腰をすえた息の長い研究は原子力機構のような大きな研究機関でのみ可能であり今後の発展を期待する。

三機関連携による燃料電池システム用キーマテリアルの開発は国際的にも激しい競争の状態にあり、高崎地区のみならず、東海地区や関西地区と一体となり、理研、物材機構と有機的な研究開発推進を期待する。このような応用研究では他組織との共同研究の際に生ずる種々の問題に対して成果の主張、知財権などの権利の主張を確固たる方針を持って行う必要があり、原子力機構執行部のリーダーシップが必須となろう。同時に、国が設置した機関／装置の間で決して良い連携が取られず資源の有効利用が行われない状況もしばしば見られ、説明責任を果たせないと思われる状況もままある。量子ビーム科学を推進する立場で原子力機構がリーダーシップをとってこれをコーディネートするような仕組みを導入することは相互にとって大きなプラスであり、このことについての原子力機構の見識を期待したい。今後も、高崎地区には、産業界において実施が困難な研究を率先して行うフロントランナーとしての自負を期待している。

３．関西地区

本地区は光量子ビーム利用研究ユニット、先進光源開発研究ユニット、放射光科学研究ユニットより構成される。（※途中でユニット編成変更あり）

（１）総括

レーザー・放射光の総合研究拠点という地区の特長を明確にした研究活動は全体として非常に優れている。学術利用および産業利用において国研・大学・企業との連携に際して、自己の特長を提供し、外部資源を活用した進め方も高く評価される。

木津サイトにおける極短パルス高強度レーザー、Ｘ線レーザー、エネルギー回収型自由電子レーザー等先進的レーザー装置等の技術開発における成果は顕著である。高品質のレーザー駆動陽子線の繰返し発生に成功しており、将来の小型粒子線がん治療器への道を切り開いている。これからは開発された装置を駆使した物質科学および生命科学への展開が期待される。特に極短パルス高強度レーザーで最高出力 850TW 及び 10 の 8 乗を上回るコントラスト比を達成するとともに、レーザー加速による 5MeV 程度までの陽子ビーム発生、レーザー同位体分離、X 線レーザー等、先進的レーザー装置の開発が着実に進展している。またＸ線レーザー構造解析法の研究、アト秒光源開発等はユニークで魅力的である。今後は、先進レーザー技術を我が国において定着させるため、原子力機構には産業界との橋渡しの役割を期待したい。

播磨サイトにおける放射光施設については、機構専有ビームラインを 4 本所有し、ナノテクノロジー、物質・材料、環境・エネルギーの分野で光源の性能を引きだす多くの成果を挙げている。今後新材料の機能性の理解に大きな威力を発揮すると期待される。文科省の委託事業「キーテクノロジー研究開発の推進”ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発”」（「元素戦略」）として企業との連携を通して自動車排気ガス処理装置に使われている触媒におけるナノ粒子の生成消滅機構を解明し貴金属をほとんど使わない触媒、インテリジェント触媒、の開発に道を開いたことは高く評価される。このようなペロブスカイト型酸化物触媒の微視的機構解明をはじめ、金属水素化物の合成と構造・物性研究、強相関電子系物質の研究、応力測定技術の向上は、いずれも放射光の強みを生かしたものであり、意義は大きい。高圧、強磁場等の特殊条件下での構造解析や反応機構解明等の推進に加え、東海地区との連携により中性子回折との併用も進められているのが注目される。研究については大学研究者との共同研究が多く、好奇心に基づく研究遂行の色彩が濃い。基礎科学分野で機構外との交流を図りやすい分野であるので、今後は若手教育や人材育成の面でも貢献を期待したい。

レーザー・放射光の総合研究拠点という地区の特性特長を明確にし、それを部門として共通理解し研究活動を推進していること、ナノテク NEDO 戦略拠点として数々の連携のもとに個別の成果に結び付けている点など、研究活動は全体として非常に優れている。学術利用および産業利用において国研・大学・企業との連携に際

して、自己の特長を提供し、外部資源を活用した進め方も高く評価される。「元素戦略」関連の成果は、本部門がサイエンスを技術開発と産業化に結びついた「社会に評価される成果」であり、これをうみだした運営は評価される。なお、播磨・木津２サイト間のより強力な連携をもとに１地区としての連帯感のある組織作りについては今後の課題である。

成果の発信・普及に関しては、一般の人々に対して、基礎的研究の成果がどう社会貢献につながるかを説明することが重要となる。また、今後は産業利用、実用化促進で自分達のレベルがどの位置にあるのかを認識し、実用化への展開も図ることが期待される。また産業界からの放射光利用を考える場合、JASRI の産業利用推進室がすぐ頭にうかび、それに相当する原子力機構の産連部プロジェクト推進室は影がうすい。また機構の共用プログラムについて特徴を強く打ち出すとともに、その広報に努めるべきである。

（２）研究開発の目的・目標、計画と成果

１）生命・医療分野

粒子線がん治療装置のレーザー加速による小型化が光医療研究連携センターを中心に進められており、高品質のレーザー駆動陽子線の繰返し発生、ビーム伝送の成功に加え、短パルス性を反映した放射線照射効果の特異性等に関する研究が開始されつつあり、注目に値する。また、レーザープラズマＸ線顕微鏡を開発し、ミトコンドリアの観察に成功しており、光量子シミュレーションによる生体分子構造解析研究とともに、今後の進展が期待される。

２）物質・材料分野

最先端分光法を用いた、強相関電子系物質の研究において、超伝導を示す「重い電子」の局在・遍歴転移の直接観察に成功し、物質の基礎物性理解に寄与している。また文科省の委託事業「キーテクノロジー研究開発の推進”ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発”」（「元素戦略」）として自動車排気ガス処理装置に使われている触媒におけるナノ粒子の生成消滅機構を解明し貴金属をほとんど使わない触媒、インテリジェント触媒、の開発に道を開いたことは高く評価される。

非弾性Ｘ線散乱による電子励起やコヒーレント光を用いたスペックル観測などは、SPring-8 の専用ビームラインを使っている特色が見られる。高温高圧Ｘ線回折によるアルミニウム水素化物の解析や酸化物超伝導体の電子相関効果の基礎的機構を共鳴非弾性散乱で解明した成果は注目すべきものであり、今後は応用への進展を期待したい。金属水素化物の合成と構造・物性研究は、燃料電池システムの水素貯蔵タンクなどの開発に必須なものであり、より重点的な開発が必要である。Ｘ線構造解析による水素化物はNEDO「水素貯蔵材料事業」拠点として材料開発への寄

与を期待したい。企業と共同で進めてきたインテリジェント触媒の開発は基礎物性科学的な研究と応用上の需要が見事につながった極めて優れた成果であり社会的なインパクトが大変大きい。この成果が「脱貴金属触媒」を目指す「元素戦略」（文科省の委託事業「キーテクノロジー研究開発の推進”ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発”」）の採択に繋がり今後の進展が期待される。これらの研究が進展する中で、金属と水素の相互作用の研究については、播磨サイトの 8 グループのうち 5 グループが関与して組織的に取り組んでいる。また、触媒に関する研究も精力的に行われており、継続的な展開を望みたい。

ペロブスカイト型酸化物触媒のガス雰囲気下での触媒反応機構を明らかにした成果についても、放射光の特質を生かしたものであり、社会的にも科学的にもインパクトが大きい。今後は「成功した課題から発展させたテーマ」で、可能な限り大きな成功にまで育てて収穫するという執念を持って取り組むことが望まれる。

3）環境・エネルギー分野

レーザーによる原子力材料の検査技術開発および放射光による 3 次元分布測定・評価技術の開発による炉の管壁検認、さらに「再処理技術」というテクノロジーの難題を解決することを目指した X 線分光による錯体・溶融塩化学・イオン認識解明は、いずれも原子力機構にとって極めて大切な課題に対する研究であり、機構のミッションに照らして極めて適切である。このような重要課題についての基礎的な観点からの研究に対して適切な資源配分が行われる事が必要である。今後、次世代再処理技術展開をより具体的計画とすること、またレーザーピーニングによる表面残留応力の非熱除去については試験片の準備について再検討が望まれる。この際、大学における原子力基礎工学部門や電力会社、原子力プラントメーカーの研究者との連携を密にして推進することは有効であろう。放射光を利用した高張力鋼の残留応力測定は、分解能 100μm の観測に成功しており、今後中性子と組み合わせることで構造物の健全性評価に大いに貢献すると期待される。

アクチノイド物質の抽出・分離のためのフェナントロリンアミド（PTA）錯体の合成は、原子力機構の特徴を生かした研究である。短パルスレーザーを用いた軽水炉ステンレス鋼のレーザー非熱加工においても、残留応力除去技術として着実な進展があった。また、酸素同位体分離技術についても、作業分子の 2 波長赤外多光子解離実験に成功するなど、着実に成果を上げている。

4）先進的ビーム利用のための技術開発・装置整備

大出力レーザー、超短パルスレーザー、赤外 FEL などの開発が行なわれており、いずれも応用研究にも非常に高いポテンシャルがある成果を得ている。極短パルス高強度レーザー、X 線レーザー、エネルギー回収型自由電子レーザー等先進的レーザー装置の開発における成果は顕著である。高品質のレーザー駆動陽子線の繰返し発生に成功しており、将来の小型粒子線がん治療器への道を切り開いている。また、

レーザー源を用いて単色エネルギー電子ビームの発生に成功し、小型電子加速器の実現に向けて進捗があった。技術的にはレーザーによる電子・イオン加速、relativistic flying mirrors、等の目立った成果が上がり始めている。これからはそれらを駆使した物質科学および生命科学へ応用が期待される。

極短パルス高強度レーザーにおける 10 の 8 乗を上回るコントラスト比の実現は次世代レーザー技術の開発の観点から注目に値するのみならず、レーザーイオン加速の高エネルギーへの進展の見地からも大きな意義がある。また、アト秒新光源開発に向けて、フライングミラーを用いた極端紫外光発生実験の成功は理論面から非常に重要である上、アト秒パルス高輝度X線発生の観点からも特筆に価する。いずれのビーム技術も高いレベルにあるが、今後は世界の中でのベンチマークの明確化あるいは具体的な応用を見据えた研究テーマの設定が望まれる。なお極短パルスレーザーを用いた位相制御の実験については、2 つのパルス間隔が数 100fs と長いことから、技術的に難しい問題がなければ、使いやすい方法になろう。

（３）将来への研究開発の展開

放射光について新体制が発足して成果も順調に出ており、これからの更なる発展が期待される。この段階で短期（2 年）・中期（5 年）・長期（10 年）各々で、科学・技術・産業のサイクルに重要な寄与をし得る課題（サブテーマ）についての戦略を検討することは有効であろう。ナノテク材料、環境エネルギーともに大きな潜在的社会的インパクトをもつ課題についての具体的な成果を期待する。医療への貢献は社会的な認知度を高めることに大きく寄与する。自他の特長・資源を有効活用しつつ国研・大学・企業とより強く連携し、産業利用、学術利用の強力な展開を期待する。近い将来基礎科学として極めて重要となる生体関連物質についての微視的な研究について、東海地区中性子との連携により生体関連物質の構造決定と並行してスペクトロスコピー（分光）の同時計測可能性追求は大きな目標となろう。このことに関連して諸実験装置のアップグレードや隣接する理化学研究所、JASRI、姫工大さらには神戸・次世代スーパーコンピューターなどとの連携により更なる発展が期待される。

レーザーについて、機構は従来型の RF 加速器と大パワーレーザーという大規模研究資源の両者を併せ持つ数少ない研究機関である。今後一層レーザープラズマ相互作用と従来型 RF 加速技術の連携・融合にも意を用い、SLAC（米国スタンフォード線型加速器センター）で行われているような、従来型の加速器を用いたプラズマ加速等の研究が育つ土壌の形成を期待する。このようなレーザー光源開発とそれを利用した２次ビーム開発研究に比べて、これら線源を量子ビームとして利用する応用研究については目標設定が必要となる。たとえば、レーザー電子加速に関する超小型電子加速器実現に対する本部門の取り組み姿勢は明確でない。一方、本部門がレーザー光源開発で国際的にも主導権をとるためには、基盤技術、特に心臓部の単結晶開発などを機構内あるいは部門内で行う必要がある。なお X 線自由電子レーザ

ーはX線レーザーと放射光の技術バックグランドを持つ関西地区の特徴が出せる領域と認識されるが、試料・データ収集等の実効性について説得力ある説明が求められる。また波長 13.9nm の X 線レーザーについては、産業利用として EUV リソグラフィーなどの分野へ貢献することが期待される。

なお本地区は他の地区と異なり地理的に離れた２サイトによって構成されるため副部門長は地区全体の研究活動を十分に把握し２サイト間の意思疎通・交流・連携の推進に格段の努力をすべきである。

４．量子生命フロンティア研究特定ユニット

（１）総括

「放射線生命作用、DNA 修復」という、量子ビームの生命応用の基本原理となるテーマに取り組むため、現場研究者が中心となり部門内外の生命・バイオ関連の研究グループを横断的に連携させることで、量子ビームテクノロジーをキーワードとして生命科学のフロンティアを追究するバーチャルな研究組織を立上げ、各サイト・グループの力の結集により新発見や新知見の獲得につなげた実績は、機構内の模範となる優れた事例であり、高く評価できる。今後は部門組織を超えた大きな協力体制がさらに重要になってくると思われるが、外部資金主体での運営には不安があり、資源の適切な配分を期待したい。

（２）研究開発の目的・目標、計画と成果

１）生命・医療分野

放射線生物作用・DNA 修復タンパク質などの生命研究と、がん診断・外部照射放射線治療の計算機を利用した高度化などの医療研究の両面で著しい成果を挙げている。重イオン照射の線質効果については、放射線化学と生化学のアプローチを組み合わせた特長ある研究を展開している。クラスター損傷の空間分布を知る技術開発は注目すべきものであり、効果の現象論的解明にとどまらず、本質的機構に迫れるよう今後研究が発展することを期待したい。DNA 修復タンパク質の構造・機能解明は社会的インパクトも高く、外部機関との連携を活用していくことで、医療・創薬への貢献が期待される。RI-ドラッグデリバリーシステム（DDS）開発研究は、機構らしい研究であり、大学との連携により将来的に大きな実りが望める。放射線ガン治療の高度化に向けて中性子捕捉療法（BNCT）等の技術開発も着実に進展している。

This is a blank page.

付録

付録１　研究開発課題の事後評価について（諮問）

付録２　事後評価説明資料

This is a blank page.

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.

２１原機（量）０３１
平成21年6月22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　　岡崎　俊雄

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。

〔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

○ 部門運営方針（藤井部門長）
○ 東海地区における研究開発の概要（加倉井副部門長）
○ 高崎地区における研究開発の概要（南波副部門長）
○ 関西地区における研究開発の概要（水木副部門長）
○ 量子生命フロンティア研究の概要（斎藤ユニット長）

This is a blank page.

第5回量子ビーム応用研究・評価委員会

－事後評価－

部門運営方針

日本原子力研究開発機構 (JAEA)
量子ビーム応用研究部門 (QuBS)

部門長　藤井保彦

1

目次

1. 評価の視点
2. QuBSの運営方針
3. 目標・組織・人員・予算
4. 中期目標と中期計画（QuBS関連）
5. 独法評価結果の経年変化（QuBS関連）
6. H19独法評価結果（QuBS関連）
7. マネジメント（事務管理・研究開発）
8. JAEA内外との連携
9. 成果の発信

2

1. 評価の視点

事後評価

現中期計画(H17.10~H22.3)における研究開発の達成度

① 研究開発の目的、目標、計画と成果
（視点） 研究開発の達成度、成功・不成功の原因の把握・分析、当初の研究開発計画の妥当性

② 研究開発成果の普及
（視点） 成果の発信、普及と波及効果の把握

③ 研究開発の実施体制
（視点） 組織、部門の運営、予算、人材育成、新テーマ育成

④ 将来への研究開発の展開
（視点） 新たな課題への反映の検討

⑤ 総合評価

3

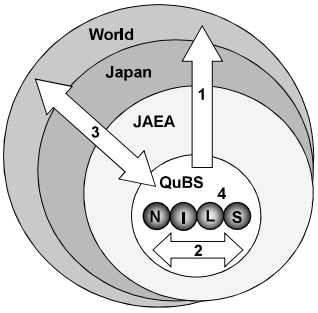
2. QuBSの運営方針

1. 量子ビーム・サイエンス＆テクノロジーの確立
・科学技術基本計画に貢献する先導的な基礎・応用研究から産業・医療利用
・国際拠点形成を目指した量子ビーム研究推進

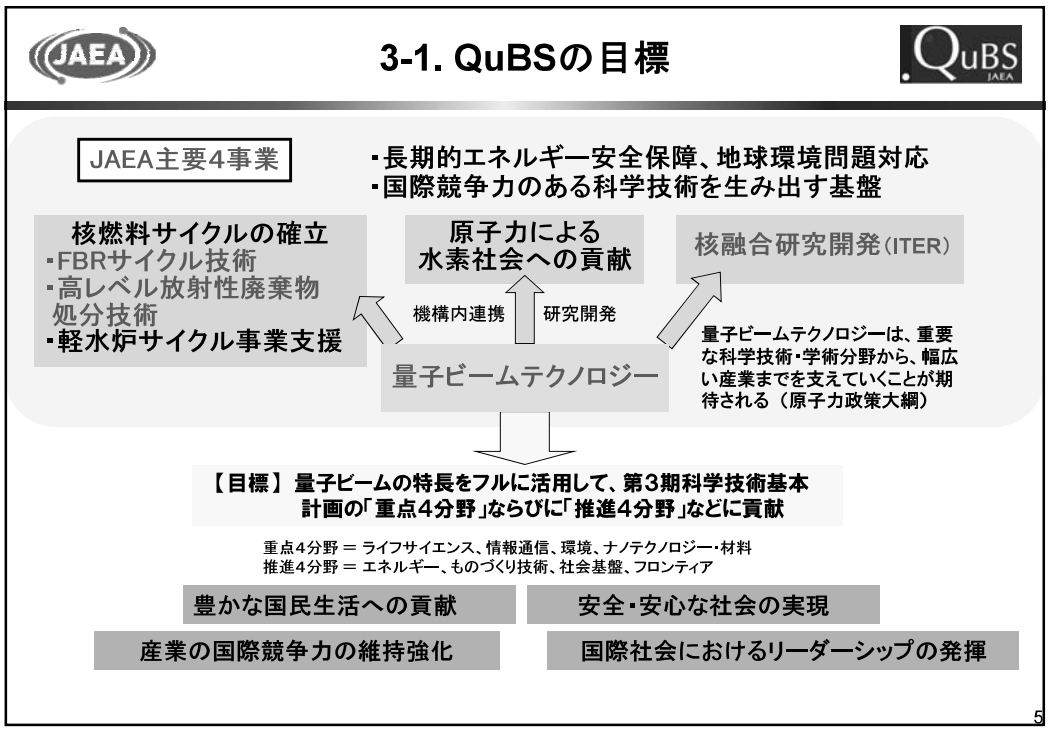
2. 量子ビーム・プラットフォームの構築
・先進的かつ安定な量子ビーム利用のための量子ビーム開発拠点との協同
・横断的量子ビーム利用の基盤形成

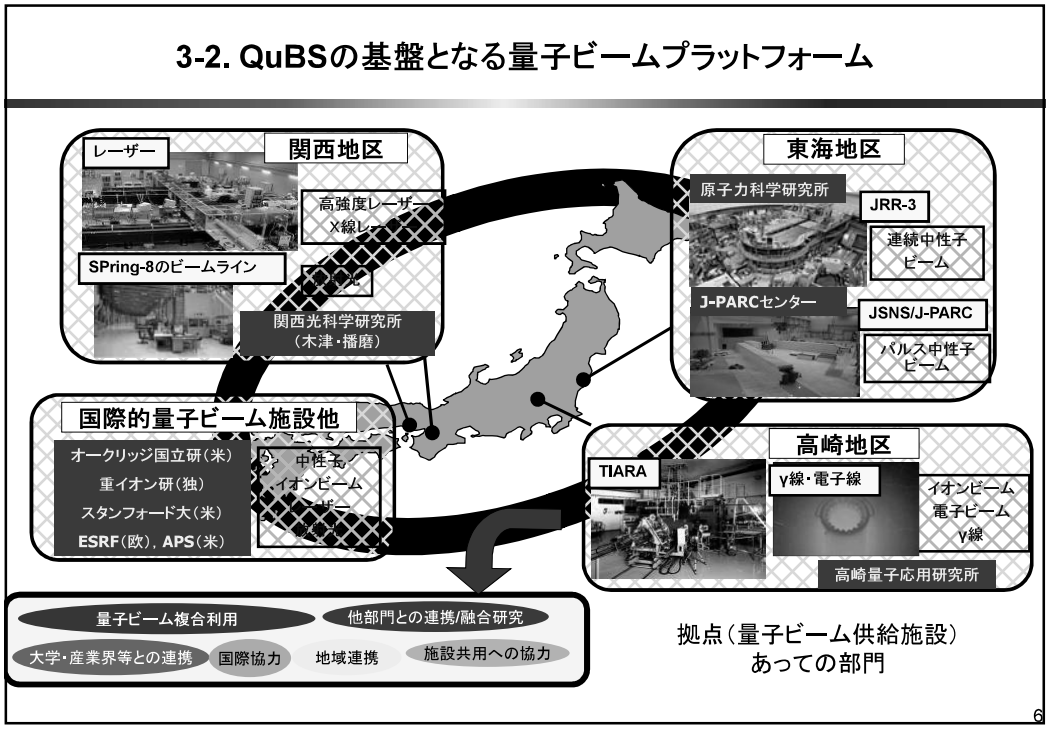
3. JAEA内外との連携研究、事業の推進
・JAEA主要事業への貢献、J-PARC利用研究の推進
・国内外機関との研究協力、地域との協力の推進

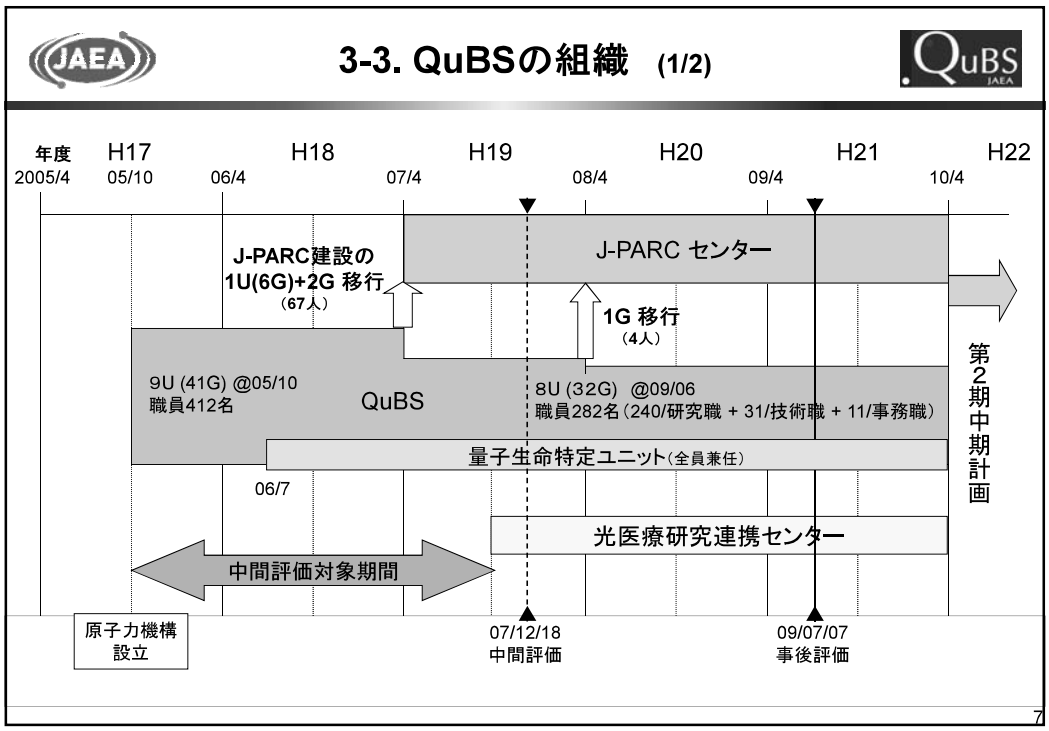
4. 活力溢れる研究環境の実現
・JAEA内外との先導的な人材交流促進と人材育成
・QuBS横断的な研究促進とそのための機動的環境整備



4


3-1. QuBSの目標
JAEA主要4事業
・長期的エネルギー安全保障、地球環境問題対応
・国際競争力のある科学技術を生み出す基盤
核燃料サイクルの確立
・FBRサイクル技術
・高レベル放射性廃棄物処分技術
・軽水炉サイクル事業支援
原子力による水素社会への貢献
核融合研究開発（ITER）
機構内連携
研究開発
量子ビームテクノロジー
量子ビームテクノロジーは、重要な科学技術・学術分野から、幅広い産業までを支えていくことが期待される（原子力政策大綱）
【目標】量子ビームの特長をフルに活用して、第3期科学技術基本計画の「重点4分野」ならびに「推進4分野」などに貢献
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
豊かな国民生活への貢献
安全・安心な社会の実現
産業の国際競争力の維持強化
国際社会におけるリーダーシップの発揮
5

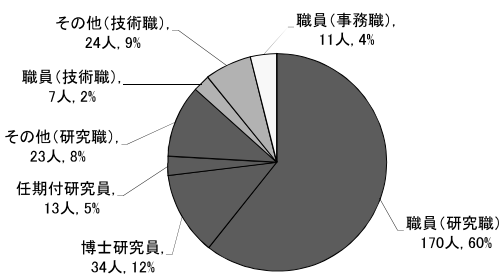

3-2. QuBSの基盤となる量子ビームプラットフォーム
関西地区
レーザー
高強度レーザー
X線レーザー
SPring-8のビームライン
関西光科学研究所
（木津・播磨）
東海地区
原子力科学研究所
JRR-3
連続中性子ビーム
J-PARCセンター
JSNS/J-PARC
パルス中性子ビーム
国際的量子ビーム施設他
オークリッジ国立研（米）
重イオン研（独）
スタンフォード大（米）
ESRF（欧），APS（米）
中性子
イオンビーム
高崎地区
TIARA
γ線・電子線
イオンビーム
電子ビーム
γ線
高崎量子応用研究所
量子ビーム複合利用
他部門との連携/融合研究
大学・産業界等との連携
国際協力
地域連携
施設共用への協力
拠点（量子ビーム供給施設）
あっての部門
6


3-3. QuBSの組織 (1/2)
年度
H17
H18
H19
H20
H21
H22
2005/4
05/10
06/4
07/4
08/4
09/4
10/4
J-PARC建設の
1U(6G)+2G 移行
(67人)
J-PARC センター
1G 移行
(4人)
9U (41G) @05/10
職員412名
QuBS
8U (32G) @09/06
職員282名(240/研究職 + 31/技術職 + 11/事務職)
量子生命特定ユニット(全員兼任)
06/7
光医療研究連携センター
中間評価対象期間
第2期中期計画
原子力機構
設立
07/12/18
中間評価
09/07/07
事後評価
7

3-2. QuBSの組織 (2/2)
予算:運営費交付金 496百万円; 人員:職員等 282人、博士研究員＋任期付研究員 47人
(予算:平成21年度実施ベース、職員等の人件費を除く)
(人員:平成21年6月末現在)
部門長(特別研究員): 藤井 保彦(部門統括)
研究推進室:伊藤 久義
事務総括:関野英夫
東海地区総括:山本博之、高崎地区総括:松橋信平、関西地区総括:永島圭介
経営企画部担当:(主)朝岡 秀人
(副)加藤 崇
量子生命フロンティア研究特定ユニット
斎藤公明
放射線生命作用解明研究グループ
DNA修復タンパク質解析グループ
創薬標的たんぱく質解析グループ
がん診断・治療用RI-DDS開発グループ
外部照射放射線治療高度化グループ
← JAEA内横断的組織
(量子ビーム応用研究部門、原子力基礎工学研究部門、先端基礎研究センター、
J-PARCセンター、 システム計算科学センター、研究炉加速器管理部)
東海地区 運営費交付金 139百万円
研究系職員等 70人
副部門長: 加倉井 和久
中性子生命科学研究ユニット 黒木良太
生体分子構造機能研究グループ
生体分子シミュレーション研究グループ
生体物質ダイナミックス研究グループ
中性子物質科学研究ユニット 社本真一
中性子偏極解析磁性研究グループ
ナノ材料創製研究グループ
新エネルギー材料研究グループ
中性子産業利用技術研究ユニット 松林政仁
中性子イメージング・分析研究グループ
中性子残留応力解析研究グループ
高崎地区 運営費交付金 112百万円
研究系職員等 59人
副部門長:南波 秀樹(高崎量子応用研究所長)
バイオ応用技術研究ユニット 田中 淳
量子ビーム遺伝子資源研究グループ
マイクロビーム細胞照射研究グループ
ポジトロンイメージング動態解析研究グループ
環境・産業応用研究開発ユニット 玉田正男
高導電性高分子膜材料研究グループ
物質選択性セラミック材料研究グループ
半導体・高分子材料耐放射線性評価研究グループ
金属捕集・生分解性高分子研究グループ
有害有機化合物除去技術研究グループ
・J-PARCセンター(H17.2 発足)
・光医療研究連携センター(H19.10 発足)
との連携
関西地区 運営費交付金 245百万円
研究系職員等 110人
副部門長:水木 純一郎
光量子科学研究ユニット 横山 淳
X線利用研究グループ
レーザー物質制御研究グループ
高強度場利用研究グループ
レーザー電子加速研究グループ
光量子シミュレーション研究グループ
次世代レーザー開発研究グループ
光量子融合研究グループ
ERL光量子源開発研究グループ
放射光科学研究ユニット 青木勝敏
放射光技術開発グループ
X線量子構造研究グループ
X線量子ダイナミックス研究グループ
放射光高密度物質科学研究グループ
放射光重元素構造化学研究グループ
放射光表面・薄膜創製研究グループ
放射光先端物質電子構造研究グループ
放射光量子シミュレーション研究グループ
8

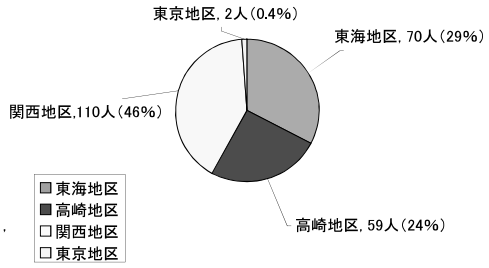
3-2. QuBSの人員構成 (H21)

職種別人員構成 (合計282人)



研究職計 240名(85%)

研究職(240人)の地区別構成



外国人研究者数と女性研究者数について (人)

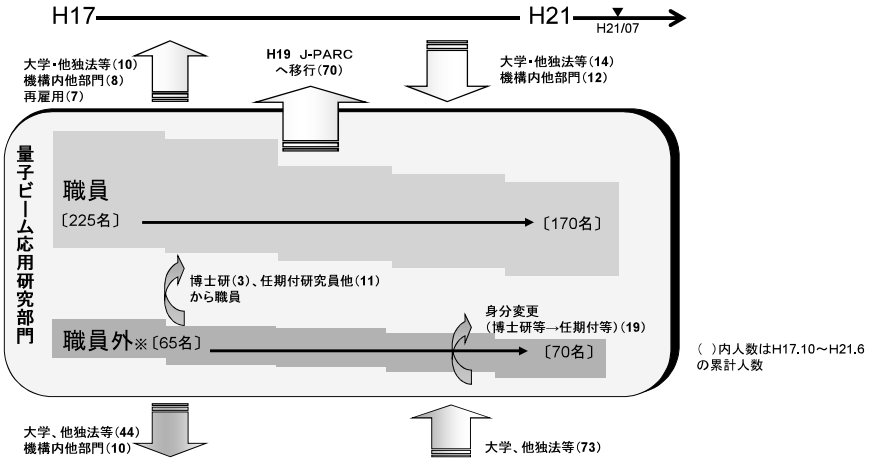
	部門全体	東海地区	高崎地区	関西地区
外国人	11	2	2	7
女性	20	6	7	7

研究職の年齢別・地区別構成 (人)

	部門全体	東海地区	高崎地区	関西地区	東京地区
20代	23	4	9	10	0
30代	108	28	25	54	1
40代	84	28	20	36	0
50代	22	8	5	9	0
60代	3	2	0	1	0
合計	240	70	59	110	1

9

3-3. QuBSの人事の流動性



○中核的研究機関として人材流動ポンプの役割を果たし当該研究分野の活性化を図る使命
　・人材確保と人事交流 ⇒ 機構内研究者の外部への異動奨励、人材育成とリーダー育成
○今後の課題
　・流動の阻害要因(給与・退職金・年金など)

10

3-4. QuBSの予算 (1/2)

単位：百万円（カッコ内は外部資金）

各地区	平成17年度下期	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度
東 海	422 (284)	1,426 (581)	169 (105)	155 (164)	139 (521)
高 崎	61 (56)	140 (66)	114 (96)	121 (79)	112 (73)
関 西	257 (595)	255 (325)	215 (416)	267 (523)	245 (470)
部門長留保金（主な用途）	18（優秀論文研究奨励、優秀研究促進、研究諸費補填）	22（優秀論文研究奨励、独法評価S候補研究促進、研究諸費補填）	8.5（優秀論文研究奨励、独法評価S候補研究促進）	7（部門研究交流会）	8（部門研究交流会）
合 計 運営費交付金（外部資金）	※740 (935)	※1,821 (972)	498 (650) うち特定ユニット(33)	543 (800) うち特定ユニット(34)	496 (1,102) うち特定ユニット(38)

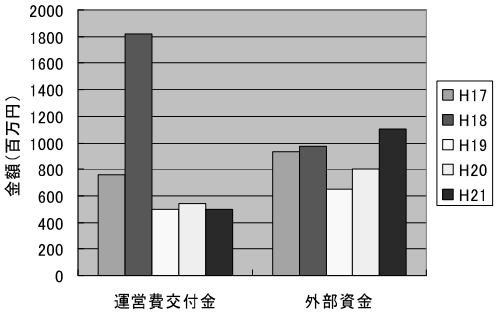
※J-PARC予算含む
(H17=346、H18=1,278)

○現状と課題
・量子ビーム利用装置の現状維持（維持・管理・運転）が精一杯
・装置高度化および研究費は外部資金に大きく依存
⇒ 競争的資金獲得　ボトムアップ的科研費／基礎研究（基礎体力）
トップダウン的助成金／国策課題（研究独法使命）
・開発拠点側と共闘して、安定した量子ビームの供給と高度化資金獲得努力
○今後の課題
・拠点側の推進室機能（計画管理室など）充実
・科学技術の基礎・基盤として重要な大型施設の安定運転（競争的資金を削減してでも支援が重要）

11

3-4. QuBSの予算（外部資金獲得状況） (2/2)

外部資金



外部資金のうち、H21年度において部門の取得した科研費は236百万円であり、機構全体の取得した科研費（521百万円）の45.2%を占める。

主な外部資金 [H21年度実績(百万円)]
- 高温高圧中性子実験で拓く物質科学の総括と研究支援（科研費・新学術領域研究）（分担: 内海渉）[273]
- 「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発／基礎的・共通的課題に関する技術開発／物質輸送現象可視化技術（超高空間分解能中性子ラジオグラフィ技術の開発、及び燃料電池対応用パルス中性子イメージング技術の開発）」(NEDO) (代表: 松林政仁) [112]
- 「希少金属代替材料開発プロジェクト/希土類磁石向けディスプロシウム使用量低減技術開発」(NEDO) (代表: 武田全康) [47]
- 水素貯蔵材料先端基盤事業(NEDO) (代表: 町田晃彦) [133]
- 原子力システム研究開発事業基盤研究(科学技術振興機構)「レーザー加工技術の組合わせによるFBR熱交換器伝熱管内壁検査技術の高度化」(代表: 西村昭彦) [39]

12

4. JAEAの中期目標及び中期計画 (1/4)

量子ビーム応用研究部分抜粋

各研究課題の進捗状況と今後の計画の詳細については別資料に整理

研究課題2.○：東海地区における中性子科学研究
研究課題2.○：高崎地区における荷電粒子・RI利用研究
研究課題2.○：関西地区における光量子・放射光科学研究

中期目標	中期計画
2. 量子ビームの利用のための研究開発 中性子、荷電粒子・放射性同位元素(RI)、光量子・放射光等の量子ビームの高品位化や利用の高度化等を目指した量子ビームテクノロジーの研究開発により、ライフサイエンス、ナノテクノロジー等の様々な科学技術分野における優れた成果の発出に貢献し、先端的な科学技術分野の発展や産業活動の促進に資する。 (1)多様な量子ビーム施設・設備の戦略的整備とビーム技術開発 多様で高品位な量子ビームを得るため、以下のビーム発生・制御技術開発を行う。	2. 量子ビームの利用のための研究開発 中性子、荷電粒子・放射性同位元素(RI)、光量子・放射光等の量子ビームの高品位化や利用の高度化等を目指した量子ビームテクノロジーの研究開発により、ライフサイエンス、ナノテクノロジー等の様々な科学技術分野における優れた成果の発出に貢献し、先端的な科学技術分野の発展や産業活動の促進に資する。 (1)多様な量子ビーム施設・設備の戦略的整備とビーム技術開発

13

4. JAEAの中期目標及び中期計画 (2/4)

1) 高エネルギー加速器研究機構(KEK)と協力して大強度陽子加速器(J-PARC)の開発を進め、高出力の陽子ビームを制御及び安定化するための技術の高度化により、100ｋWの陽子ビーム出力を達成する。 中性子利用のための利用技術開発として、高強度パルス中性子用の検出器、中性子光学素子等の開発を進める。 また、J-PARCに中性子利用設備・機器を整備する外部機関に対して、必要な技術情報の提供等の支援を行う。	『①高エネルギー加速器研究機構(KEK)と協力して大強度陽子加速器(J-PARC)の開発を進め、高出力の陽子ビームを制御及び安定化するための技術の高度化により、100ｋWの陽子ビーム出力を達成する。』① 現J-PARCセンター(評価の対象外) 『②中性子利用のための利用技術開発として、高強度パルス中性子用の検出器、中性子光学素子等の開発を進め、中性子利用実験装置の開発に活用する。』『③また、J-PARCに中性子利用施設を整備する外部機関に対して、必要な技術情報の提供等の支援を行う。』②研究課題2.8(現J-PARCセンター), 研究課題2.11, ③研究課題2.7(現J-PARCセンター)
2) 研究炉による中性子利用技術及び光量子・放射光利用技術等の高度化を進める。 研究課題2.12	『冷中性子ビームについて現状(JRR-3においては 約 1× 10^8 n/cm^{2}sec)の約10倍の強度を目指すとともに、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)等、中性子利用技術高度化の研究開発を行う。』
研究課題2.21	『荷電粒子・RI利用研究を推進するため、ビーム径1μm以下の数百MeV級重イオンマイクロビーム形成等のビーム技術、加速器技術及び照射技術の開発等を行う。』
研究課題2.22 研究課題2.24	光量子・放射光の利用技術開発では、『ペタワット・レーザーの主パルスとプレパルスの強度比10^8倍への向上』、『X線レーザーで0.1Hzの繰返し発振を実現する。』また、『アト秒パルス高輝度X線の発生を可能とする短パルス小型高強度レーザー技術、エネルギー回収型次世代放射光源実現のための低エミッタンス大電流電子銃を開発する。』
研究課題2.28	『がん治療用等のレーザー駆動小型陽子加速器の実現に貢献するため、レーザーによるMeV級の高エネルギー陽子の発生を実現するとともに、エネルギースペクトルの準単色化を目指す。』

14

4. JAEAの中期目標及び中期計画 (3/4)

(2)量子ビームを利用した先端的な測定・解析・加工技術の開発

ライフサイエンス、材料・ナノ科学等の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一層の高品位化や利用の高度化を行う。重イオンマイクロビームの細胞局部照射技術を確立するとともに、中性子非弾性散乱法のタンパク質動的挙動解析への応用に目途をつける。

研究課題 2.1 | 研究課題 2.2 | 研究課題 2.3

研究課題 2.4 | 研究課題 2.5 | 研究課題 2.6

研究課題2.11 | 研究課題 2.9 | 研究課題2.10

研究課題2.14

研究課題2.13

研究課題2.15

研究課題2.25

研究課題2.33 | 研究課題2.32

研究課題2.31

研究課題2.30

(2)量子ビームを利用した先端的な測定・解析・加工技術の開発

『生体高分子用中性子回折計の高度化、タンパク質に対する中性子非弾性散乱法及び中性子小角散乱法等、生命科学研究に中性子を利用するための研究開発を推進する。』

『中性子非弾性散乱法中性子小角散乱法等の高度化技術開発、偏極中性子解析法やパルス中性子を利用した物質の構造解析法の開発等を行い、物質科学、ナノテクノロジー・材料研究に中性子を利用するための研究開発を推進する。』

『位置分解能1mm以内の中性子即発γ線分析、材料内部残留応力の測定・解析、材料構造解析等の中性子回折利用技術及び解析法の開発を進める等、中性子を利用した非破壊測定・解析技術の確立に向けた研究開発を推進する。』

『細胞の放射線応答解明のため、重イオンマイクロビームを用いた細胞局部照射技術を確立する。』また、『有用遺伝子資源創成によるイオンビーム育種技術や、植物中の物質動態解明のためのポジトロンイメージング技術等、荷電粒子・RIの利用技術の高度化研究を推進する。』

『生きたままの細胞等の瞬時観察を可能とするレーザープラズマＸ線顕微鏡の要素技術を開発する。』『放射光とレーザーの相補的利用による物質の構造解析法を開発する。』

『放射光による時分割測定法を開発することにより、アクチノイド物質の抽出・分離、触媒反応に関するその場観察法を確立するほか、多重極限環境下でのＸ線回折実験技術開発や、酸化物超伝導体の電子状態等の解明のための共鳴非弾性散乱法の開発等を行い、放射光利用技術の高度化を推進する。』

15

4. JAEAの中期目標及び中期計画 (4/4)

(3)量子ビームの実用段階での本格利用を目指した研究開発

量子ビームを利用した研究開発のうち、近い将来における産業界による実用段階の本格利用が見込まれるものについては、民間事業者への技術移転等を拡充し実用化を促進するため、産業界と密接に連携して実用化を目指した研究開発を進める。

研究課題2.18

研究課題2.17

研究課題2.16

研究課題2.19

研究課題2.20

研究課題2.29

研究課題2.27

(3)量子ビームの実用段階での本格利用を目指した研究開発

量子ビームを利用した研究開発のうち、これまでの研究成果の蓄積により近い将来における実用化が見込まれる以下のものについては、民間事業者と分担、協力して実用化を目指した研究開発を行い、適正な対価負担を求める。

『荷電粒子を利用して、高付加価値材料・素子の創製に貢献するため、半導体の放射線劣化の予測モデルを構築するとともに、10MGyの耐放射線性を有する炭化ケイ素(SiC)トランジスタ、水素と不純物の分離比が10対1以上の水素分離能を持つSiCセラミック薄膜、家庭用高耐久性燃料電池膜等を開発する。』

『荷電粒子を利用して、環境浄化・保全に貢献するため、生分解性高分子材料を開発するとともに、大気中の有機汚染物質を捕集・無害化する技術を開発する。』

『放射光と中性子を用いて、材料の表面から内部に至る残留応力の3次元分布測定法を開発し、エンジン等の機器の評価に応用する。』

『短パルスレーザーを用いた、応力腐食割れ(SCC)防止等に有効な非熱蒸発加工による残留応力除去技術を開発するとともに、高効率の同位体分離技術、同位体材料創製技術を開発する。』

16

5. 独法評価の経年変化（QuBS関連）

項目名	評価の経年変化			
量子ビームの利用のための研究開発	17年度	18年度	19年度	20年度
(1)多様な量子ビーム施設・設備の戦略的整備とビーム技術開発（評価項目：9）	A	S	S	(S)
(2)量子ビームを利用した先端的な測定・解析・加工技術の開発（評価項目：10）	S	A	S	(A)
(3)量子ビームの実用段階での本格利用を目指した研究開発（評価項目：11）	A	A	A	(A)

17

評価項目：9　多様な量子ビーム施設・設備の戦略的整備とビーム技術開発（1／2）

J-PARCの中期計画に対応する具体的業務

高エネルギー加速器研究機構（KEK）と協力してJ-PARCの開発を進め、高出力の陽子ビームを制御及び安定化するための技術の高度化により、100kWの陽子ビーム出力を達成する。

●J-PARC施設の建設；リニアック、3GeVシンクロトロン、物質・生命科学実験施設(MLF)建設の終了
●J-PARC施設の性能；100kWの陽子ビーム出力の達成
●J-PARC施設の運用；施設の供用運転開始

J-PARCの中期計画達成に向けた年度実績展開と残された課題の概要

	これまでの実績				残された課題	備　考
	H17（評価A）	H18（評価S）	H19（評価S）	H20（評価S）	H21	
建設	・MLFでは、建家建設工事全体の70%を終了。	・リニアック、3GeVシンクロトロン建屋の完成ならびに加速器関係の据付調整開始。	・MLFの完成、中性子源機器の据え付けならびに総合試験の実施。【建設完了】	・大強度陽子加速器計画、第Ⅰ期の終了。 ・リニアックビームエネルギー増強計画の開始による第Ⅱ期の早期開始。		
性能	・リニアックでは、イオン源等の据付工事を全体の80%、据え付けた機器それぞれの単体性能試験を全体の10%まで進めた。	・パイモード安定化ループなど最新技術によりリニアック所期性能181MeV加速の早期達成（年度目標：50MeV）。【S評価理由】	・セラミックダクトや新磁性合金の開発によりビーム出力50kWの運転実現により年度目標(4kW)を早期達成。【S評価理由】	・新加速器技術により115.6kW×40分の高出力ビーム運転に成功（12月6日）し、中期目標達成。 ・MLFで初のパルス中性子発生に成功。		独自の新技術開発、人材育成、国内外の協力体制整備などによりJ-PARC施設建設ならびに目標性能の実現を早期に達成。
運用	・KEKとの連携強化、一体的運営と研究協力を推進するためのJ-PARCセンターの設立。			・12月23日よりMLF供用運転を開始。 ・光熱費約25%、施設委託業務費約20%の経費削減を達成。	・J-PARC施設の供用運転の実施。 ・既設の中性子利用実験装置に関する運転管理及び施設供用の継続。	

18

多様な量子ビーム施設・設備の戦略的整備とビーム技術開発（2／2）

中期計画に対応する具体的業務（J-PARC以外）

●中性子利用技術開発：冷中性子ビームについて現状の約10倍の強度を目指す。ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)等、中性子利用技術高度化の研究開発。
●荷電粒子・RI利用技術開発：ビーム径1μm以下の数百MeV級重イオンマイクロビーム形成等のビーム技術、加速器技術及び照射技術開発。
●光量子・放射光利用技術開発：ペタワット・レーザーの主パルスとプレパルスの強度比10^8倍への向上、X線レーザーで0.1Hzの繰返し発振の実現。アト秒パルス高輝度X線の発生を可能とする短パルス小型高強度レーザー技術、エネルギー回収型次世代放射光源実現のための低エミッタンス大電流電子銃開発。
●光医療技術開発：がん治療用等のレーザー駆動小型陽子加速器の実現に貢献するため、レーザーによるMeV級の高エネルギー陽子発生の実現。エネルギースペクトルの準単色化を目指す。

中期計画達成に向けた年度実績展開と残された課題の概要（J-PARC以外）

	これまでの実績				残された課題	備考
	H17（評価A）	H18（評価S）	H19（評価S）	H20（評価S）	H21	
中性子利用技術開発	・冷中性子ビーム高強度化のため、高性能減速材容器の中性子利得解析及び発熱分布解析を完了。	・BNCT高度化について、主に用いられる座位照射に対応させ、臥位照射と同等の位置精度を達成。	・冷中性子ビーム高強度化のため、グラスカーボン及びNaガラス基板の耐放射線スーパーミラーの試験試料を製作し、照射試験を実施。	・試験試料の照射後試験を行い、Naガラス基板の耐放射線スーパーミラーについて剥離がなく健全であることを確認。	・高性能減速材及びスーパーミラーの適用により、冷中性子ビーム強度を評価し、当初(JRR-3, 1x10^8 n/cm^{2}sec)の約10倍の強度となることを確認。	
荷電粒子・RI利用技術開発	・数百MeV級重イオンマイクロビーム形成のための集束レンズ系の精密位置制御システム等のビーム技術開発を進め、1.7μmのビーム径形成に成功。	・径1μm以下の数百MeV級重イオンビームの形成に世界で初めて成功。【S評価理由】	・数百MeV級重イオンマイクロビーム高速照準シングルイオンヒット用走査型照準装置の要素機能を確認。	・肺組織中アスベスト繊維の位置・種類を特定する二次元画像化技術を開発。 ・ビーム径1μm以下の数百MeV級重イオンで、毎分600ヒット以上のシングルイオンヒットを実現。		
光量子・放射光利用技術開発	・250kVの大電流電子銃の陰極を製作し、高電圧印加試験等を実施。	・ペタワットレーザーの前置増幅器段でコントラスト比10^8を達成。	・X線レーザーで0.1 Hzの繰返し発振を実現。 ・光速飛翔鏡によるアト秒パルス高輝度X線発生技術を実現。【S評価理由】	・高繰返し軟X線レーザーの安定化を実現し、利用研究を開始。	・250kVの低エミッタンス大電流電子銃の次世代放射光源としての性能を確認。	
光医療技術開発	・レーザー駆動陽子線発生について偏光依存性を明確化。	・2.2MeVまでの陽子線発生と位相回転手法によるエネルギーの単色化を実現。【S評価理由】	・レーザーから陽子線へのエネルギー変換効率3%を実現。【S評価理由】	・陽子線とX線の同時イメージングなどの利用技術開発研究を実施。	・レーザー駆動陽子線の生体物質等への照射効果を調べ、治療技術としての有用性を検証。	19

評価項目：10　量子ビームを利用した先端的な測定・解析・加工技術の開発（1／2）

中期計画に対応する具体的業務（達成すべきこと）

●中性子科学研究：中性子を利用した各種解析法の高度化技術開発。生命科学研究、物質科学、ナノテクノロジー・材料研究分野における研究開発の推進。中性子を利用した非破壊測定・解析技術の確立に向けた研究開発の推進。
●荷電粒子・RI利用研究：重イオンマイクロビームを用いた細胞局所照射技術の確立。有用遺伝子資源創成によるイオンビーム育種技術や、植物中物質動態解明のためのポジトロンイメージング技術等、荷電粒子・RI利用技術の高度化研究の推進。
●放射光・光量子科学研究：生きたままの細胞等の瞬時観察を可能とするレーザープラズマX線顕微鏡の要素技術開発。放射光とレーザーの相補的利用による物質の構造解析法の開発。アクチノイド物質の抽出・分離、触媒反応に関するその場観察法の確立ほか多重極限環境下でのX線回折実験技術開発、酸化物超伝導体の電子状態等解明のための共鳴非弾性散乱法の開発等による放射光利用技術高度化の推進。

中期計画達成に向けた年度実績展開と残された課題の概要

	これまでの実績				残された課題	備　考
	H17（評価S）	H18（評価A）	H19（評価S）	H20（評価A）	H21	
中性子科学研究	・創薬標的タンパク質の調整システム整備によるHIVプロテアーゼの大量調整の成功。従来比10倍の修復能を持つDNA修復試薬として製品化。【S評価理由】 ・フランス等との共同研究により、3次元偏極中性子解析装置を用いた非弾性散乱測定を実現。 ・冷間圧延のステンレス鋼におけるひずみ測定等を対象に、様々な部材に対する非破壊測定・解析技術の開発を推進。	・高分解能の中性子解析データの収集による医学生物学的に重要な創薬標的タンパク質の大型単結晶の立体構造解析に成功。 ・中性子回折実験により宇宙に強誘電体の氷が存在することを明らかにし、新学術分野への量子ビーム利用の可能性を世界に提示。 ・標準単一セル燃料電池のCT撮影によりアノード/カソードの流路弁別を可能にし、CT撮影に必要な空間分解能 100 μm に目途。	・量子ビームの相補利用により、重要な創薬標的蛋白質であるHIV-プロテアーゼの全原子構造解析に成功。【S評価理由】 ・鉄鋼材料中のナノ析出物やこれに水素が捕捉された構造の評価に対し、集光型高偏極中性子小角散乱法の有効性を検証。 ・非対称モノクロメーターの開発・適用と検出器の改良により、残留応力測定の効率を約20 倍向上させ、産業界からの需要増への態勢を整備。	・HIV-プロテアーゼに関し、結晶の大型化により1.9Å分解能の全原子構造解析に成功。機能や阻害に直接関与する水素原子をさらに高い位置精度で同定。 ・「三機関連携」の枠組みの下、パルス中性子を用いた局所ナノ構造解析により、負の熱膨張機構の解明に迫る知見を提供。 ・ミリオーダーの空間分解能を有する多元素CT画像を得ることにより三次元元素分析測定システムを構築。	・生命科学、物質科学、材料研究に中性子を利用するための解析技術等の高度化を継続し、有効性を検証。 ・位置分解能1mm以内の中性子即発γ線分析法を開発。	20

量子ビームを利用した先端的な測定・解析・加工技術の開発（2／2）

中期計画達成に向けた年度実績展開と残された課題の概要

	これまでの実績 H17（評価S）	H18（評価A）	H19（評価S）	H20（評価A）	残された課題 H21	備考
荷電粒子・RI利用研究	・量子ビームを応用した技術開発の成果が、従来比10倍の修復能を持つDNA修復試薬として製品化。【S評価理由】 ・ポジトロンイメージングにより生きたイネのカドミウム蓄積状況の観察に成功。【S評価理由】	・遺伝子資源創成の研究では、キク科植物新品種を作出するとともに、有用遺伝子から産出した新タンパク質の機能を解明。 ・ポジトロンイメージングの研究では、植物の葉中での炭素動態に関する画像データの数理的解析に世界で初めて成功。 ・イオンビーム育種研究会、植物機能解析イメージングに係る共同研究等、産業界、大学等からのニーズに応える連携を推進。	・バイスタンダー効果が極一部の細胞への重イオン照射で起こることや、難治性がんの治療に重イオン照射が有効であることなどを発見し、重粒子線がん治療や放射線生物影響解明につながる新規で重要な成果を取得。【S評価理由】	・バイスタンダー細胞に重イオン照射細胞とは異なる遺伝子誘導メカニズムの存在を発見。 ・ポジトロンイメージング技術で、登熟期のイネにおけるカドミウム動態が鉄より亜鉛に近く、穂へのみ移行することを明示。 ・N-13標識窒素ガスの効率的な製造・精製方法を確立し、ダイズ根粒窒素固定の画像化に成功。	・イオンビームにより誘発される大規模なゲノム変異の解析などによりイオンビーム育種技術を高度化。 ・ポジトロンイメージング技術を用いて植物のカドミウム吸収特性を解明。	
放射光・光量子科学研究	・X線顕微鏡の開発では、システムの基本設計を完了し、シュバルトシルド結像光学系の製作と性能確認を完了。 ・共鳴X線非弾性散乱実験から、酸化物超伝導体におけるCuの3d電子情報を得ることに成功し、さらに、光学フォノンの異常なソフト化と超伝導転移温度との相関を発見。	・放射光とX線レーザーを相補的に利用した強誘電体のスペックル測定に成功。 ・時分割XAFS法を開発し、ペロブスカイト型酸化物触媒について、実環境下で1 msec の時間分解能での測定を達成。	・これまで開発されたピリジンジアミド(PDA)のイオン認識性能を約10倍上回る化合物フェナントロリンアミド（PTA）を創製。 ・X線回折測定から、希土類金属水素化物YH_3の特異な圧力誘起相転移機構を解明。	・PTAの高度化を進め、マイナーアクチノイドの分離性能に優れた新規抽出剤の開発に成功。 ・X線回折法を用いて、アルミニウムの水素化・脱水素化反応のその場観察を実現し、新奇な軽元素水素化物であるAlH_3の合成を達成。	・レーザープラズマX線顕微鏡の主たる要素技術開発として、光源一体型試料ホルダーの性能を確認。 ・放射光の時分割測定法をアクチノイド物質の抽出・分離、反応過程観測に応用し、有効性を検証。	

21

評価項目：11　量子ビームの実用段階での本格利用を目指した研究開発（1／2）

中期計画に対応する具体的業務（達成すべきこと）

●荷電粒子を用いた環境・産業応用研究開発：荷電粒子を利用して高付加価値材料・素子の創製に貢献するため、半導体の放射線劣化の予測モデルを構築。10MGyの耐放射線性を有する炭化ケイ素(SiC)トランジスタ、水素と不純物の分離比が10対1以上の水素分離能を持つSiCセラミック薄膜、家庭用高耐久性燃料電池膜等を開発。環境浄化・保全に貢献するため、生分解性高分子材料および大気中の有機汚染物質を捕集・無害化する技術を開発。

●放射光・光量子を用いた材料加工・評価技術開発：放射光と中性子を用い材料の表面から内部に至る残留応力の3次元分布測定法を開発し、エンジン等の機器の評価に応用。短パルスレーザーを用いた応力腐食割れ(SCC)防止等に有効な非熱蒸発加工による残留応力除去技術の開発。高効率の同位体分離技術、同位体材料創製技術の開発。

中期計画達成に向けた年度実績展開と残された課題の概要

	これまでの実績 H17（評価A）	H18（評価A）	H19（評価A）	H20（評価A）	残された課題 H21	備考
荷電粒子を用いた環境・産業応用研究開発	・太陽電池サブセルの放射線劣化の主要因特定。 ・家庭用高耐久性燃料電池膜の開発や畜産廃棄物処理に有効な生分解性高分子開発などで産業界と連携した研究開発を実施。 ・基礎工部門と連携してピンホールのないSiCセラミック薄膜の開発を推進。	・温泉中のスカンジウム捕集試験や生分解性ゲルの開発など、地域、企業と連携した研究開発を実施。 ・グラフト重合技術の応用として、環境負荷の少ないメガネダミーレンズや電力損失が極めて少ないミリ波アンテナ基板の開発に成功。 ・他部門・他拠点と連携し、燃料電池電解質膜の水素製造プロセスへの適用や、東濃地科学センターの湧水処理などに寄与。	・トランジスタの放射線誘起電流シミュレーション技術などの研究開発を実施。 ・企業と密接に連携を図ることにより、柔軟性のある生分解性ポリ乳酸の開発に世界で初めて成功。	・宇宙用三接合太陽電池の発電特性の放射線劣化を予測するモデルを構築。 ・金属−半導体電界効果トランジスタや静電誘導型トランジスタが耐放射線性に優れることを明らかにし、10MGy耐性達成に目途。 ・芳香族炭化水素系高分子を基材とする電解質膜・触媒接合体の成型技術を確立し、家庭用燃料電池膜に要求される80℃、4万時間以上の耐久性を実証。 ・放射線橋かけ技術を応用し、生分解性材料から使い捨てソフトコンタクトレンズ製造に見通し。	・SiCトランジスタの10MGy耐性の実証。 ・SiCセラミック薄膜による水素と不純物の分離比10対1以上の性能の実証。 ・小型電子加速器と触媒を併用した大気中の有機汚染物質を捕集・無害化する装置のシステムを設計。	

22

量子ビームの実用段階での本格利用を目指した研究開発（2／2）

中期計画達成に向けた年度実績展開と残された課題の概要

	これまでの実績 H17（評価A）	H18（評価A）	H19（評価A）	H20（評価A）	残された課題 H21	備考
放射光・光量子を用いた材料加工・評価技術開発	・放射光X線と中性子線の相補的な利用により、表面から内部までの応力・歪分布が評価できることを検証。 ・レーザー光の波形と位相制御により、セシウム原子を極めて短時間に選択励起できることを実証。	・放射光を用い、高温高圧水中でのSUS 316Lステンレス鋼の亀裂進展の様子、フェライト鋼燃料被覆管の応力分布を明確化。 ・原子炉構造材用ステンレス鋼に対して短パルスレーザーを照射し、残留応力除去が可能であることを確認。	・放射光による応力測定法の評価実験を行い、従来法では数時間を要する鉄鋼材料の表面から150μmまでの深さの応力分布を、数分で測定できることを実証。 ・レーザーによる酸素同位体分離の作業分子として含酸素不飽和炭化水素2,3-ジヒドロピランが優れていることを明示。	・レーザー駆動3次元アトムプローブについて、次世代原子力システム研究開発部門と連携して高速増殖炉用ODS鋼サンプルの分析を実施。 ・レーザーによる同位体分離技術の開発では、酸素同位体分離に関して赤外照射実験を実施し、2波長光照射により従来より低いレーザーフルエンスで高い分解確率が得られることを確認。	・放射光を用いた残留応力の三次元分布測定法によりエンジン等の機器の応力分布評価に応用。 ・短パルスレーザーを用いた非熱蒸発加工の原子炉の保守技術開発への応用による有効性の検証。	

23

7-1. QuBSのマネジメント（事務管理、研究開発）

地理的に離れたサイトの機動的運営と有機的結合

○部門運営管理

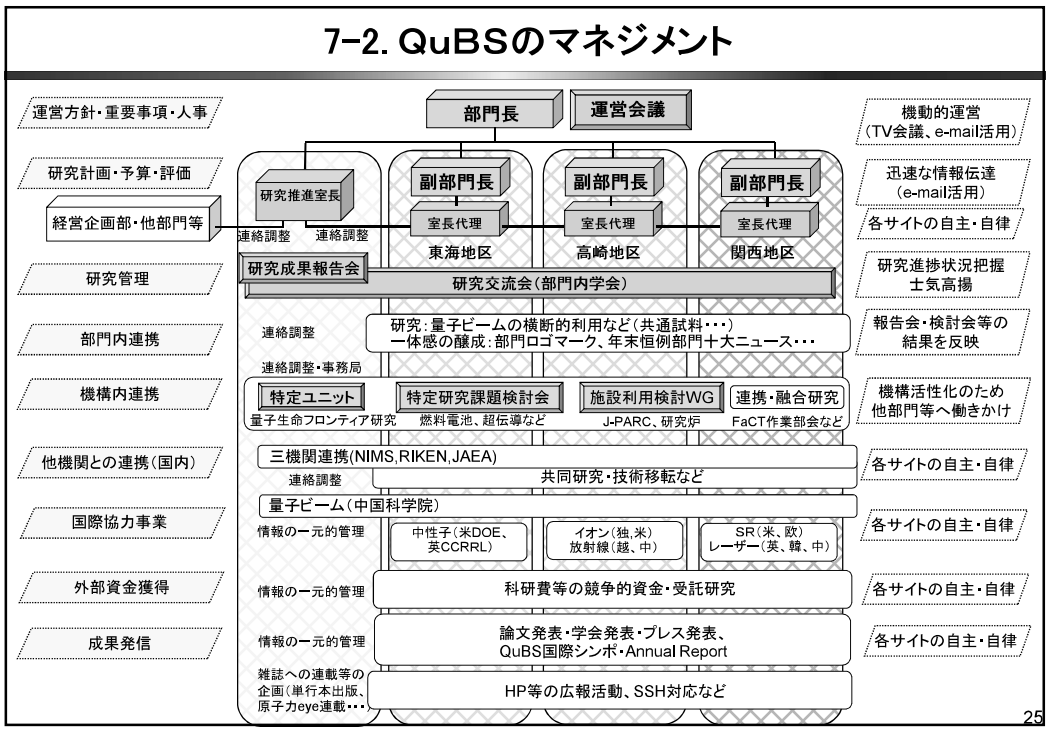
- 部門長（統括）、副部門長（各地区統括）
- 研究推進室の研究戦略対応と事務管理対応に専任化
  研究推進室長（総括）、室長代理（事務管理）、室長代理（各地区）
- 部門運営会議（1回／月）

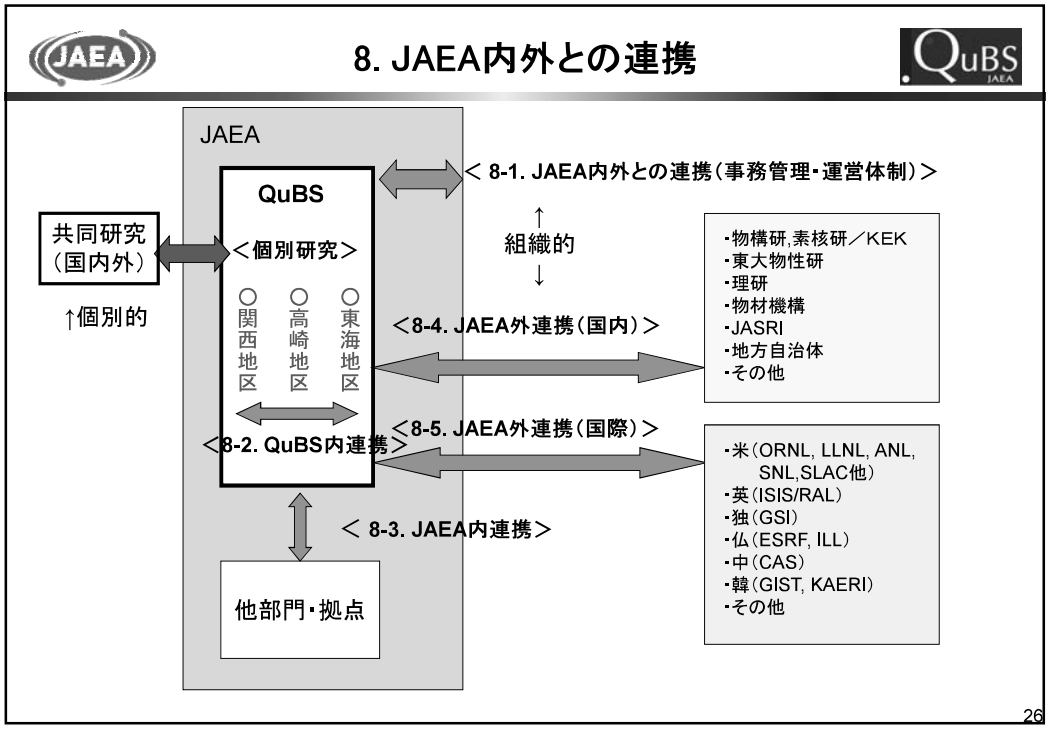
○各地区の研究開発能力（コアコンピテンス）強化→個別研究課題

○部門内連携・融合

- 横断的研究課題検討会
  ⇒ 基礎的課題や国策的重要課題推進（超伝導、燃料電池、残留応力など）
- 部門内の様々な研究テーマの交流により新規連携課題発掘
- 部門交流会開催（部門内学会に相当）（1回／年：2008播磨、2009東海、・・・）
  ⇒ トップダウン的仕掛けからボトムアップへ
- QuBS国際シンポジウム開催
  QuBS2006：ICM2006サテライト(8月)：中性子・放射光・ミュオン・NMRの相補的利用に関する国際会議
  QuBS2008：7th PNCMI (9月)：物性研究における偏極中性子利用全体を議論する国際集会
  QuBS2009：MECA SENS V (11月):中性子を用いたひずみ応力解析評価に関する国際会議
- 部門年次研究成果報告書（英文ハイライト）発行
- 研究成果報告会開催（1回／年）

24


7-2. QuBSのマネジメント
運営方針・重要事項・人事
研究計画・予算・評価
経営企画部・他部門等
研究管理
部門内連携
機構内連携
他機関との連携（国内）
国際協力事業
外部資金獲得
成果発信
部門長
運営会議
研究推進室長
副部門長
室長代理
連絡調整
東海地区
高崎地区
関西地区
研究成果報告会
研究交流会（部門内学会）
研究：量子ビームの横断的利用など（共通試料・・・）
一体感の醸成：部門ロゴマーク、年末恒例部門十大ニュース・・・
連絡調整・事務局
特定ユニット
量子生命フロンティア研究
特定研究課題検討会
燃料電池、超伝導など
施設利用検討WG
J-PARC、研究炉
連携・融合研究
FaCT作業部会など
三機関連連携(NIMS,RIKEN,JAEA)
共同研究・技術移転など
量子ビーム（中国科学院）
情報の一元的管理
中性子（米DOE、英CCRRL）
イオン（独,米）放射線（越、中）
SR（米、欧）レーザー（英、韓、中）
科研費等の競争的資金・受託研究
論文発表・学会発表・プレス発表、QuBS国際シンポ・Annual Report
雑誌への連載等の企画（単行本出版、原子力eye連載・・・）
HP等の広報活動、SSH対応など
機動的運営（TV会議、e-mail活用）
迅速な情報伝達（e-mail活用）
各サイトの自主・自律
研究進捗状況把握 士気高揚
報告会・検討会等の結果を反映
機構活性化のため他部門等へ働きかけ
25


8. JAEA内外との連携
JAEA
QuBS
＜個別研究＞
○関西地区
○高崎地区
○東海地区
＜8-2. QuBS内連携＞
共同研究（国内外）
↑個別的
＜ 8-1. JAEA内外との連携（事務管理・運営体制）＞
↑
組織的
↓
＜8-4. JAEA外連携（国内）＞
・物構研,素核研／KEK
・東大物性研
・理研
・物材機構
・JASRI
・地方自治体
・その他
＜8-5. JAEA外連携（国際）＞
・米（ORNL, LLNL, ANL, SNL,SLAC他）
・英（ISIS/RAL）
・独（GSI）
・仏（ESRF, ILL）
・中（CAS）
・韓（GIST, KAERI）
・その他
＜ 8-3. JAEA内連携＞
他部門・拠点
26

8-1. JAEA内外との連携（事務管理・運営体制）(1/2)

会議体	東海地区	高崎地区	関西地区		連携先部門・拠点 （設置年月） ・業務内容
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光	
量子ビーム研究開発計画検討会議	○	○	○	○	J-PARCセンター、先端基礎センター、原科研、経営企画部、産学連携推進部、研究炉加速器管理部 （H19.4） ・国が進める「イノベーション25」への取組み ・文科省「量子ビーム研究開発作業部会」、「光科学推進懇談会」、「J-PARC中間評価部会」の活動への協力や提案 ・文科省が推進する「先端研究施設共用イノベーション創出事業」などへの応募 ・その他の重要施策・事業への取組み
研究炉施設利用検討WG	○				J-PARCセンター、先端基礎センター、経営企画部、産学連携推進部、研究炉加速器管理部 （H19.1） ・ JRR-3の稼働率向上、J-PARC利用との仕分けなどを検討（中間報告書を作成中）
量子ビーム応用研究部門―J-PARCセンター連絡会議	○				J-PARCセンター （H18.4） ・協議予算、人員配置、J-PARCの建設、今後の運用等に関して緊密に連携
MLF運営調整会議	○				物構研（KEK）、J-PARCセンター （H19.3） ・J-PARC中性子・ミュオン実験施設MLF運営への施設側（KEK, JAEA）意見の調整
J-PARC施設利用検討WG	○				J-PARCセンター、先端基礎センター、経営企画部、産学連携、放射線高度利用施設 （H18.11） ・J-PARCと既存施設（JRR-3）の利用検討
原科研連絡会議	○				原科研および研究部門他 （H17.10） ・原科研（東海）地区の拠点と研究部門との情報、意見交換

27

8-1. JAEA内外との連携（事務管理・運営体制）(2/2)

会議体	東海	高崎	関西		連携先部門・拠点 （設置年月） ・業務内容
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光	
JRR-3利用調整会議	○				先端基礎センター、J-PARCセンター、研究炉加速器管理部 ・JRR-3ビームタイム調整、装置設備配置改良
TIARA等専門部会		○			高崎量子応用研究所、大学、公的研究機関、民間企業（H17.10） ・TIARA等の高崎地区照射施設の外部利用を施設共用制度により推進するため、その運営や体制について審議する。
先端イノベーション課題選定委員会		○			高崎量子応用研究所、民間企業（H19.4） ・文部科学省からの受託事業「先端研究施設共用イノベーション創出事業」において、民間企業から応募してきた利用課題を審査し選定する。
連絡調整会議		○			高崎量子応用研究所管理部、放射線高度利用施設部 先端基礎研究センター、産学連携推進部 （H17.10） ・高崎地区全体の業務の進捗状況の把握 ・経営情報の伝達
合同連絡会議		○			放射線高度利用施設部、先端基礎研究センター （H19.4） ・量子ビーム照射技術開発と応用研究開発に関する情報と課題の共有
特定ユニット勉強会		○			量子生命フロンティア研究特定ユニット他 （H18.7） ・機構内のバイオ・ライフサイエンス研究者間の交流と研究内容の検討
集束式重イオンマイクロビーム研究開発打合せ		○			高崎研放射線高度利用施設部 （H17.10） ・数百MeＶ級集束方式重イオンマイクロビームの開発と研究利用の推進
関西光科学研究所運営会議			○	○	関西研および研究部門他 （H17.10） ・関西研（木津・播磨）地区の拠点と研究部門との情報、意見交換

28

8-2. QuBS内での連携研究

研究課題	東海	高崎	関西		特定ユニット	備考
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光		
バイオ技術・ライフサイエンス	○	○	○		○	
生体分子の立体構造決定に向けたシミュレーションに関する研究開発	○		○			
高温超伝導機構解明	○			○		
金属水素化物の合成と構造・物性	○			○		
高導電性高分子材料開発	○	○				
アニオン伝導型燃料電池の開発	○	○		○		
残留応力評価と除去	○		○	○		

29

8-3. JAEA内での連携研究 (1/5)

研究課題	東海	高崎	関西		特定ユニット（3研究部門＋3開発拠点）	連携先 部門・拠点
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光		
高速増殖炉サイクルFaCT連携推進（量子ビーム応用）	○		○	○		次世代原子力システム研究開発部門、敦賀本部
量子ビーム利用による高速炉用フェライト鋼のナノサイズ分散粒子形態制御に関する研究	○		○			次世代原子力システム研究開発部門
実空間と逆格子空間の相補的測定による量子複雑現象の連携・融合研究	○			○		システム計算科学センター、J-PARCセンター、次世代原子力システム研究開発部門
深部地下環境中における元素の化学状態の解明研究		○		○		先端基礎研究センター
新規有用遺伝子資源探索		○			○	東濃地科学センター、幌延深地層研究センター
金属の長期安定性事例評価研究	○					地層処分研究開発部門
再処理環境下におけるグリース等の耐放射線性に係る研究	○					核燃料サイクル工学研究所
遺伝性心筋症原因蛋白質の構造異常とダイナミクスの相関の解析	○					システム計算科学センター

30

8-3. JAEA内での連携研究 (2/5)

研究課題	東海	高崎	関西		特定ユニット（3研究部門＋3開発拠点）	連携先 部門・拠点
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光		
J-PARCにおける超高圧下中性子回折研究の推進	○					J-PARCセンター
J-PARC/MLFの匠を利用したIn-situ材料評価技術の検討	○					J-PARCセンター
中性子共鳴吸収即発γ線分析の開発研究	○					J-PARCセンター
高温ガス炉燃料用ZrC被覆層の電子分光法によるCの電子状態の測定	○					原子力基礎工学研究部門
水素製造用電解質膜合成・水素発生効率評価		○				次世代原子力システム研究開発部門、原子力基礎工学研究部門
湧水中のホウ素・フッ素除去技術の開発		○				地層処分研究開発部門、東濃地科学センター
処分システム放射線影響調査		○				地層処分研究開発部門、ニアフィールド研究グループ
時間分解分光測定によるアクチノイドからのα粒子影響機構の解明		○				地層処分研究開発部門、原子力基礎工学研究部門
高分子材料・機器の耐放射線性評価		○				J-PARCセンター 、ITER、核燃料サイクル工学研究所、安全研究センター

31

8-3. JAEA内での連携研究 (3/5)

研究課題	東海	高崎	関西		特定ユニット（3研究部門＋3開発拠点）	連携先 部門・拠点
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光		
処分環境下における微生物バリア性能に関する研究		○				先端基礎研究センター
TC1ポート（TIARA）におけるイオンビーム線量測定の超高精度化		○				原子力基礎工学研究部門
バイオマスを利用した高レベル廃液からの有用金属の回収		○				原子力基礎工学研究部門
水素製造用高性能セラミックフィルターの開発		○				原子力基礎工学研究部門
フェムト秒レーザーによるFBG耐熱性向上のための可能性検討試験			○			次世代原子力システム研究開発部門
レーザー非熱加工による耐熱FBG加工技術開発			○			次世代原子力システム研究開発部門
ファイバーレーザー照射微細貴金属粉溶接による蒸気発生器伝熱管の補修技術の高度化			○			次世代原子力システム研究開発部門
γ線による石英光ファイバー劣化損傷機構の解明とコネクター構造の開発			○			次世代原子力システム研究開発部門

32

8-3. JAEA内での連携研究 (4/5)

研究課題	東海	高崎	関西		特定ユニット（3研究部門＋3開発拠点）	連携先 部門・拠点
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光		
ファイバーレーザー照射溶接補修技術の標準化に向けた現象論的解釈の高度化			○			次世代原子力システム研究開発部門
使用済炉（ふげん）解体技術			○			敦賀本部
酸化物分散強化型フェライト鋼高温加熱製造過程における酸化物粒子分布の放射光その場観察に基づく析出機構の解明				○		次世代原子力システム研究開発部門
量子ビームイメージングによる抽出クロマトおよび溶融塩電解分離液体流動解析				○		次世代原子力システム研究開発部門
量子ビームを用いた酸化物分散強化型鋼複相組織の形成機構解明とその制御				○		次世代原子力システム研究開発部門
アルカリ酸化物塩中でのアクチニド元素の溶存状態に係わる基礎検討				○		次世代原子力システム研究開発部門
位置分解能高速XAFS技術の開発と抽出クロマト技術の課題解決への応用				○		次世代原子力システム研究開発部門、核燃料サイクル技術開発部門

33

8-3. JAEA内での連携研究 (5/5)

研究課題	東海	高崎	関西		特定ユニット（3研究部門＋3開発拠点）	連携先 部門・拠点
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光		
錯体・溶融塩の構造化学とイオン認識機構の解明				○		次世代原子力システム研究開発部門、核燃料サイクル技術開発部門、原子力基礎工学研究部門
マイナーアクチノイドの炉物理特性試験装置に関する基礎技術研究				○		次世代原子力システム研究開発部門、原子力基礎工学研究部門
高温高圧水中下における応力腐食割れ機構解明のための応力その場観察測定				○		原子力基礎工学研究部門
原子力機構専用ビームラインBL-23SUの高度化―日本ナノサイエンスセンター構築を目指して―				○		先端基礎研究センター
アクチノイド単結晶構造解析システムの確立と応用				○		先端基礎研究センター

34

8-4. JAEA外との連携研究（国内）（1/2）

研究課題	東海	高崎	関西		特定ユニット	連携先
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光		
「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」（三機関連携）	○	○			○	物材機構、理研、原子力機構(H18.12) ・燃料電池キーマテリアル ・量子複雑系・超電導物質
J-PARCにおける中性子利用技術	○					茨城県、J-PARCセンター
サイエンスフロンティア21構想	○					茨城県、原子力機構（東海地区）他 ・J-PARCを核とした一大先端産業地域の形成に向けた県中性子実験装置整備の支援と中性子の産業利用の促進
中性子ビーム高度制御技術による中性子分光器の開発と応用研究	○					東京大学、北海道大学、首都大学東京、理化学研究所 ・連携重点研究
物質輸送現象可視化技術プロジェクト	○					東京工業大学、神戸大学、東京都市大学、J-PARCセンター、原子力基礎工学研究部門(H20) ・NEDOプロジェクト「物質輸送現象可視化技術プロジェクト」の実施
群馬大学21世紀COEプログラム「加速器テクノロジーによる医学・生物学研究」		○				群馬大学、原子力機構（高崎地区） ・加速器工学と医学・生物学研究の融合による新しい細胞生物学研究分野の創出と世界最先端の医療技術の開発
地域結集型共同研究事業開発プログラム		○				群馬県、群馬高専、群馬大学 ・家畜排泄物のエネルギー転換及び資源化

35

8-4. JAEA外との連携研究（国内）（2/2）

研究課題	東海	高崎	関西		特定ユニット	連携先
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光		
地域新生コンソーシアム研究開発事業		○				群馬県産業支援機構、群馬県内企業 ・温泉水中のスカンジウムの捕集に関する研究開発
原子力試験研究費 （新クロスオーバー研究）		○			○ （基礎工）	放医研、東北大、近畿大、環境研、理研、国立衛研、感染研 ・低線量域放射線に特有な生体反応の多面的な解析研究
生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業		○				キリンアグリバイオ、埼玉県農総センター、東京農工大、農研機構花き研 ・イオンビームとゲノム情報を活用した効率的な花き突然変異育種法の開発
けいはんな光医療バレー研究会			○			けいはんな新産業創出交流センター　(H17.9) ・重点研究分科会を設置し、けいはんな光医療バレー構想の充実と発展を図る。
阪大レーザー研との「連携融合」事業			○			大阪大学レーザーエネルギー学研究センター　(H18.4) ・連携融合研究「ペタワットレーザー駆動単色量子ビームの科学」の推進および実施を図る。
ナノテク支援連絡会				○		物質・材料研究機構、高輝度光科学研究センター（H19.5） ・「ナノテクノロジー・ネットワーク」及び「重点ナノテクノロジー支援」の推進、実施等について協議

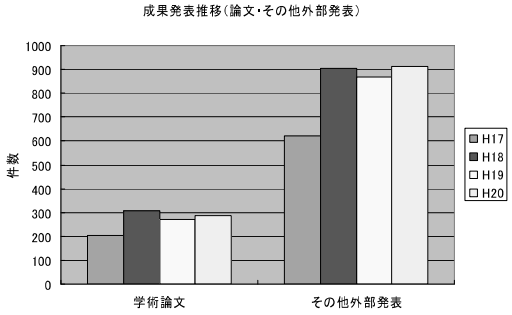
36

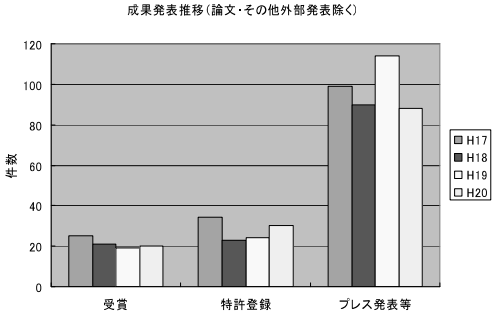
8-5. JAEA外との連携研究（国際）

研究課題	東海	高崎	関西		連携先 部門・拠点
	中性子	ｲｵﾝﾋﾞｰﾑ等	ﾚｰｻﾞｰ	放射光	
日中「量子ビーム」協力協定	○	○	○	○	中国科学院CAS－原子力機構JAEA（H19.7）
日米科学技術協力「中性子散乱」	○				米国エネルギー省DOE（オークリッジ国立研ORNL）－文科省MEXT（原子力機構JAEA）（S56）
偏極中性子研究に重点を置く中性子科学分野における協力	○				フランス、ラウエ・ランジュバン研究所ILL
イオン照射に関する研究協力		○			独国重イオン研究所GSI
電子回路の放射線照射効果の研究		○			米国エネルギー省DOE
放射線加工処理分野における研究協力		○			マレーシア原子力研究所 ベトナム原子力委員会
先進加速器及び宇宙物理学の応用に関する協力			○		米国スタンフォード大学
超短パルス高強度レーザー研究			○		韓国、中国、英国
シンクロトロン放射光研究協力				○	欧州放射光施設ESRF

37

9. 成果の発信





最近の特筆すべき成果・話題:
- インバー効果の100年にわたる謎に迫る～世界最大の負の熱膨張を示す物質で格子歪みを発見
  - Physical Review Letter 誌に掲載(H20.11)
  - プレス発表(H20.11)
- 植物ポジトロンイメージング技術により共生的窒素固定の観察に成功～ポジトロン放出RI（N-13）で標識した窒素ガスの製造・計測法を開発
  - Soil Science and Plant Nutrition誌に掲載予定(H21, in press)
  - プレス発表プレス発表(H21.3)
- クリーンな水素エネルギー社会実現へ向けた材料開発へ指針～水素とアルミニウムの直接反応によるアルミニウム水素化物の合成に世界で初めて成功
  - Applied Physics Letters誌に論文掲載(H20.10)
  - プレス発表(H20.10)

広報活動:
- 英文ハイライト誌の創刊
- 「量子ビーム・テクノロジー革命」出版(FY2006)
- アウトリーチ活動 (各地区で、SSH、サイエンスカフェなどに対応)

38

This is a blank page.

中性子科学研究の位置付け

量子ビーム高度利用計測・加工・創製技術の開発
量子ビームテクノロジーの学術利用・産業利用促進

JRR-3定常中性子ビーム利用（H20年12月以降のJ-PARCパルス中性子ビーム利用）による
中性子科学推進の中核的機関としての量子ビーム応用研究部門

中性子生命科学研究ユニット (ユニット長: 黒木良太)
- 研究課題2．1 医学生物学的に重要なタンパク質の構造研究
- 研究課題2．2 生体物質機能解析手法の高度化研究
- 研究課題2．3 生体物質ダイナミクスの研究

中性子物質科学研究ユニット (ユニット長: 社本真一)
- 研究課題2．4 偏極中性子解析法の開発とその利用
- 研究課題2．5 ナノ物質の創製とその構造・機能研究
- 研究課題2．6 新エネルギー材料の研究

中性子産業利用技術研究ユニット (ユニット長: 松林政仁)
- 研究課題2．9 中性子イメージング・分析法の開発研究
- 研究課題2．10 中性子残留応力測定技術の開発研究

J-PARCセンターに移行(2.7, 2.8はH19年4月以降；2.11はH20年4月以降)
- 研究課題2．7 パルス中性子実験装置の開発・整備
- 研究課題2．8 高強度パルス中性子用検出器・光学素子の開発研究
- 研究課題2．11 中性子光学技術の開発と応用

研究炉加速器管理部（原子力科学研究所）
- 研究課題2．12 研究炉の高度化の技術開発

共同研究、大学共同利用　　施設一般共用、産業界トライアルユース

大学、研究機関　　企業、地方自治体、国

②

個別研究課題に係る成果

③

研究課題 2．1	医学生物学的に重要なタンパク質の構造研究

研究のねらい

結晶回折法によるタンパク質の立体構造研究は、その機能の解明や有用分子創製において具体的なイメージと作業仮説を与える。本研究は、原子力機構が有する量子ビームテクノロジーを駆使して医学生物学的に重要な蛋白質の構造研究を行い、その機能解明や有用分子創製を行う。

主要な成果

1.治療のための標的となるタンパク質（受容体・酵素）

2. 水素水和水が重要な機能要素と考えられるタンパク質

分子配向制御技術の開発

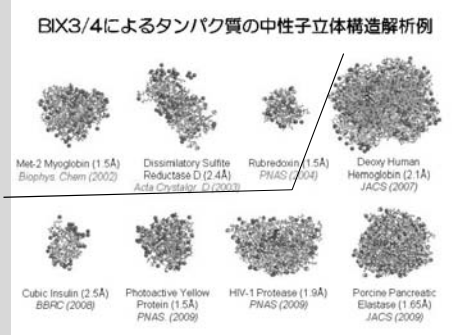
結晶化技術開発 | 結晶大型化技術

タンパク質の構造機能研究

X線結晶構造解析 → 中性子結晶構造解析

・科学的な知見
・産業応用研究
（創薬研究支援）

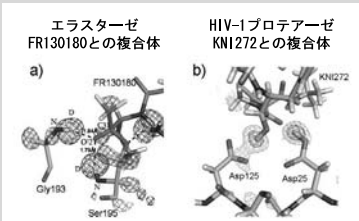
J-PARC, JRR3の有効活用



中期計画以前

中期計画期間
（5つのタンパク質解析）

全原子構造解析から得られた新しい知見



2つの創薬標的タンパク質の活性部位

⑤

成果（つづき）

○ アダプタータンパク質や変異導入による効果的な結晶化技術によるタンパク質の立体構造解析

一般的に結晶化が困難な膜タンパク質や糖タンパク質の結晶化および立体構造解析に成功した。6構造（未発表4構造を含む）

○ J-PARC 茨城県生命物質構造解析装置の建設と定常炉中性子回折計の高度化

茨城県生命物質構造解析装置(iBIX)の建設を完了するとともに、定常炉中性子回折計のバックグラウンドノイズの低減に成功した。

J-PARCに稼動を開始したiBIX（左）

研究用原子炉（JRR-3）に設置され、稼働中のBIX-4（右）

生命科学研究に中性子を利用するための研究開発を推進し、中性子回折計の高度化を実現し、医学生物学的に重要な創薬標的タンパク質の全原子構造解析に成功した。

達成のポイント

タンパク質を対象とした研究において成果の高さを決めるのは、研究資源の確保、独自技術の優位性と成果のわかりやすさである。一連の研究には、i) 試料調製技術、ii) 結晶大型化技術という“技術的な優位性”があるとともに、研究試料の重要性と成果のわかりやすさという“研究企画力”による成果であるとも言える。

原子力機構内に備わっていない装置等の研究資源を利用するために、積極的に外部機関と連携して研究を推進した。

成果発信・波及効果

・査読付論文数(H17-H21)：22報（IF6以上の論文8報）
1)有馬ら*J.Biol.Chem* (2005),2)玉田ら*PNAS* (2006), 3)小江ら*Science* (2007)
4)茶竹ら*JACS* (2007), 5)山崎・玉田ら*JBMR*(2008), 6)山口ら*PNAS*(2009),
7)安達ら*PNAS*(2009), 8)玉田ら*JACS*(2009)

・プレス発表 3)についてH20.4.25、6)についてH20.12.29、7)についてH21.3.5プレス発表。その他H20.2.21、H21.5.12に関連記事が掲載

・中性子・放射光を用いた構造生物学研究において高い成果を創出。企業と共同で立体構造情報から創薬研究を実施中。

今後の計画・展望

・社会的関心の高いタンパク質の全原子構造解析を推進する。

・JRR-3とともにJ-PARCの利用を想定し、中性子を使ってより早く確実に解析できる技術を構築する。

・中性子とX線を同時に使ったタンパク質構造解析手法を確立する。

・取得した構造データから有用分子を創製するため、分子間相互作用のメカニズム解明へ向けて、構造、ダイナミクス、シミュレーション研究の連携を強化する。

⑥

研究課題 2. 2　生体物質機能解析手法の高度化研究

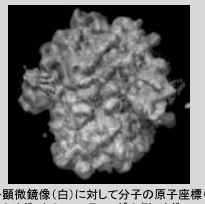
研究のねらい

- タンパク質、核酸の分子機能を立体構造に立脚した計算機シミュレーションにより解明すること。
- 細胞内超分子の低分解能構造情報から、原子レベルで構造、ダイナミクスを得る手法を開発すること。

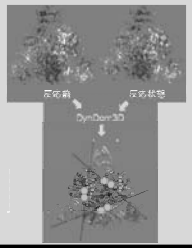
成果

○ 大規模シミュレーションシステムの開発

- 電子顕微鏡像など低解像度の構造情報をガイドにしながら高解像度の分子を当てはめて、全体として原子分解能の超分子のモデルを構築するプログラムを開発。
- 超分子を含むあらゆる生体分子の構造変化を解析、可視化できるプログラム(DynDom3D)を開発（英国東アングリア大学との共同研究、JST戦略的国際科学技術協力推進事業）。



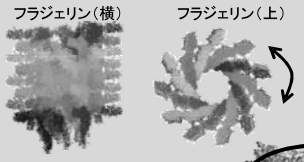
電子顕微鏡像(白)に対して分子の原子座標(カラーのリボン)のフィッティングの例、リボソーム。



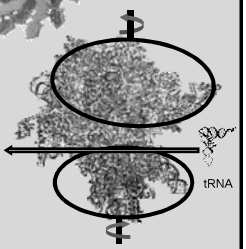
- 分子の反応遷移状態のダイナミクスを解析することが可能

○ 大規模シミュレーションシステムによる細胞内生命現象の解明

・細菌の運動方向を決めているモーター関連タンパク質（フラジェリン、約250万原子の系）の、左巻き右巻きの構造転移機構を解明。



・遺伝情報を翻訳してタンパク質を合成する分子機械、リボソーム（タンパク質とRNAの複合体）とそれがつくる新生ペプチド鎖の複合体（水分子含め約200万原子の系）で、新生ペプチド鎖の移動を制御しているトンネル構成タンパク質のアミノ酸残基を特定することに成功。

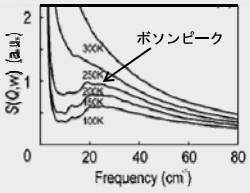


tRNA転位に寄与するリボソームのねじれ運動

成果(つづき)

○ 中性子散乱実験とシミュレーション法との組み合わせ手法の開発

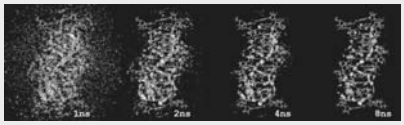
・ボゾンピークの起源が、タンパク質に強く水和した水の影響によって起こることをシミュレーション計算により明らかにした。



・DNAの塩基配列に依存した構造変形のしやすさを明らかにした。

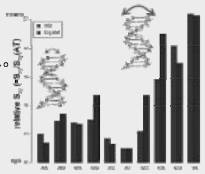
・構造変形のしやすさと水和パターンの多様性を整理し、その関係を統一的かつ簡潔に記述することに成功。

・シミュレーション計算により、正確に水和量を計算することに成功。



・溶媒効果の定量的解析基盤の確立。

・細胞内におけるDNAの高次構造形成と遺伝子発現制御機構の関係を明らかにする学術的な寄与。



達成のポイント

・大規模シミュレーションシステムの開発とともに、インハウスでの解析手法の開発。

・さまざまなシミュレーション技術や物理、化学、生物学の知見を持ち合わせたグループ員同士の徹底的な議論。

・外部資金の獲得。

・シミュレーション結果と直接比較できる実験を行っている外部の第一線級の研究者との協力関係。

成果発信・波及効果

- Nat. Chem. Biol., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, J.Am.Chem.Soc., Biophys. J. など一流学術雑誌に29本の論文を発表。
- 海外からの招待講演　４件。
- Review Article の執筆依頼　４件。Journal の reviewer 依頼など。
- 分子機能発現と構造変化の関係を明らかにした。また、分子の反応遷移過程の原子モデルの構築方法の開発により、その遷移過程のダイナミクス解析が可能になった。

今後の計画・展望

おもにタンパク質と核酸の分子認識機構やその相互作用に関わる機能発現機構を解明するために、これまでの成果を発展させ、シミュレーション計算及びインフォマティクスにもとづいた分子機能発現機構の解明と量子ビームによる散乱データを活かした生体高分子の立体構造精密化方法の開発を行う。

特に、計算結果にもとづいて検証実験を行い、その結果をフィードバックすることにより、計算方法の改良、改善に努める。

⑧

研究課題 2. 3　生体物質ダイナミクスの研究

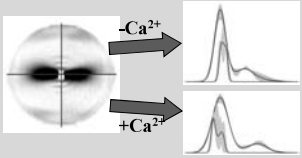
研究のねらい

・生体物質の機能発現に関わる構造変化とダイナミクスとの相関を、水和水のダイナミクスとの関連性において解明する。
・生体物質の機能ー構造ーダイナミクス相関の解明を目的とした研究のための中性子散乱（小角散乱・回折、非弾性散乱）の方法論を開発する。

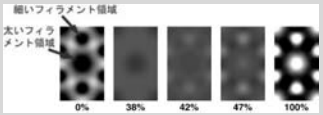
成果

○ 中性子繊維回折法の確立

・(重水素化した)筋収縮制御蛋白質トロポニンCを含む筋肉の細いフィラメントの中性子繊維回折実験を行い、筋収縮が阻害される-Ca^{2+}の状態及び収縮可能となる+Ca^{2+}の状態でトロポニンCの配向が変化することを明らかにした。



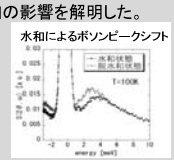
・コントラスト変調法を用いた筋肉の中性子繊維回折実験を行い、筋肉を構成する蛋白質複合体成分（太いフィラメントと細いフィラメント）の散乱長密度が異なることを明らかにした。

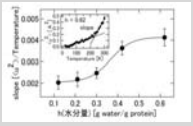


以上の研究を通して中性子繊維回折の方法論を確立した。

○ 蛋白質ダイナミクスに対する水和の影響

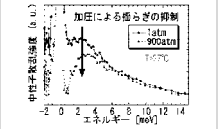
・蛋白質スタフィロコッカルヌクレアーゼの中性子非弾性散乱測定を種々の水和率下で実施し、動力学転移やボソンピークに対する水和の影響を解明した。



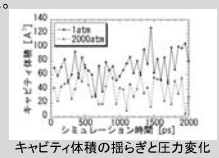


○ 蛋白質ダイナミクスの圧力効果の研究

・高圧中性子非弾性散乱実験から加圧により蛋白質機能発現に重要な低エネルギーダイナミクスが著しく抑制されることを示すと共に、計算機解析により加圧によりキャビティ体積が減少することを示した。蛋白質構造内部のキャビティは、多数の原子が集団的に揺らぐ低振動の揺らぎに必要であることを示した。



蛋白質の中性子散乱スペクトルの圧力変化

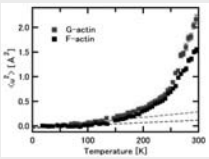


キャビティ体積の揺らぎと圧力変化

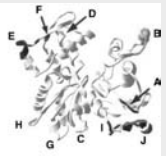
成果（つづき）

○ 蛋白質アクチンのダイナミクスの研究

・F-アクチン及びG-アクチンの中性子非弾性散乱実験を行い、繊維状重合体であるF-アクチンと単量体であるG-アクチンでダイナミクス（運動特性）が異なり、それが、構造状態による分子表面のループ領域の動的特性の違いによることを明らかにした。



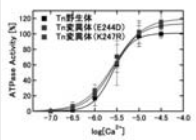
F- & G-アクチンの運動特性の温度依存性



アクチン分子の構造。赤及び緑が柔らかい領域。緑が重合により硬くなる領域

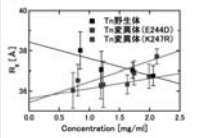
○ 心筋症発症関連蛋白質トロポニン変異体の研究

・遺伝性心筋症発症原因の一つである蛋白質トロポニン変異体の機能異常の様態を明らかにし、計算機解析により変異部位付近の水素結合ネットワークの異常と関連することを示した。さらに小角散乱実験により、変異に伴う構造変化の証拠を得た。



変異体の活性の異常亢進

変異体部位付近の水素結合ネットワークの乱れ



変異体の構造変化の検出

以上の研究を通して中期計画の目標は達成された。

達成のポイント

・生体物質の実験では、よい試料を調製することが成功の鍵をにぎる。本グループで確立した蛋白質重水素化技術や蛋白質複合体再構成などの試料調製技術の確立が非常に重要であった。

・中性子散乱の種々の手法（小角散乱、繊維回折、非弾性散乱、準弾性散乱、非干渉性弾性散乱）の組み合わせのみならず、生化学的手法やシミュレーションとの有機的連携による研究推進が重要であった。

成果発信・波及効果

・査読付論文数：16報
（Biophys. J. 95 (2008) 2916.（蛋白質ダイナミクスに対する水和の影響）、Biophys. J. 94 (2008) 4880.（アクチンのダイナミクス）、J. Mol. Biol. 367 (2007) 16.（細いフィラメントの中性子繊維回折）、Biochem. Biophys. Res. Com. 382 (2009) 205.（心筋症）など）

・中性子繊維回折は種々の系に適用可能。中性子非弾性散乱の方法論の確立は今後の発展の基礎。心筋症変異は将来的な治療戦略の基礎となりうる。

今後の計画・展望

○ 中性子非弾性散乱の方法論の高度化

・J-PARCにおける非弾性散乱分光器による研究推進を目指した方法論のさらなる高度化（圧力をパラメータとした測定法の開発など）

○ 医学・生物学的に重要な生体物質の研究

・心筋症関連変異蛋白質や神経疾患関連蛋白質など医学・生物学定期に重要な生体物質系の機能発現における構造変化の解析およびダイナミクスの役割の解明

⑩

研究課題 2. 4	偏極中性子解析法の開発とその利用

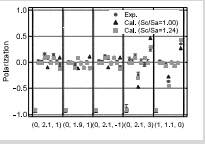
研究のねらい

定常炉とパルス中性子源においてスピン一格子物性の研究を行うための3次元偏極中性子解析法を含む偏極中性子解析法の開発を行い、これらの偏極中性子を用いた先端的な中性子分光法を駆使して新機能磁性物質における物性を微視的に解明する。

偏極中性子解析や強磁場中中性子散乱を活用

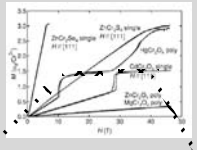
○ スピンフラストレート系におけるスピン一格子相関の研究

3次元偏極解析によるカイラリティーや楕円螺旋構造の検証

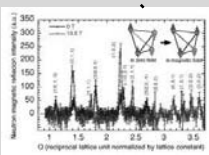


パイロクロア格子

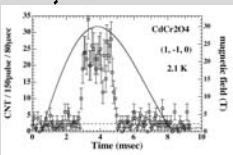
$CdCr_2O_4$, $HgCr_2O_4$



磁化プラトーの磁気構造解明

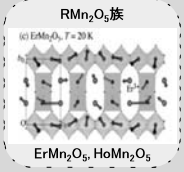


定常及びパルス磁場による高磁場測定



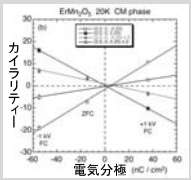
○ マルチフェロイック系の磁気構造解析

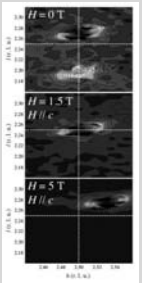
RMn_2O_5族



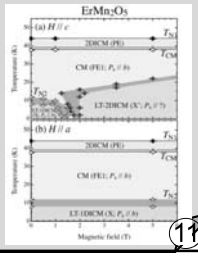
$ErMn_2O_5$, $HoMn_2O_5$

カイラリティーと電気分極の相関





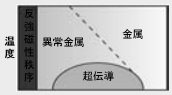
誘電率と磁気秩序相図の相関



11

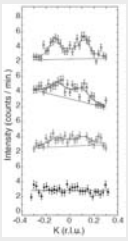
○ 中性子及び放射光X線散乱を活用した高温超伝導研究

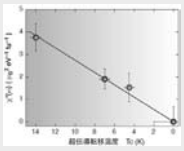
超伝導状態とスピン及び電荷揺らぎの相関



Sr濃度（ホール濃度）

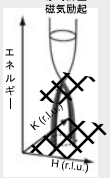
スピン情報を中性子非弾性散乱実験から





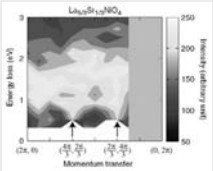
超伝導転移温度がスピン揺らぎの大きさに比例

砂時計型磁気励起



縦ストライプ構造からの磁気や電荷励起

電荷情報をX線非弾性散乱から



ストライプ秩序における電荷揺らぎの発見

○ ^{3}He白色中性子偏極フィルターの開発に着手

^{3}Heフィルターセルとレーザーシステム

達成のポイント

新しい偏極中性子解析技術及び高磁場、高圧，電場試料環境を開発して、是等の中性子散乱技術を駆使して産学の物質及び材料研究グループとの主体的共同研究を推進する事により、多種類の磁性新機能物質の研究において、基礎から応用研究に幅広く中性子利用を促進する事ができた。また放射光研究グループとの連携により、スピンと格子或は電荷の自由度の相関に関する研究がスタートした。

成果発信・波及効果

M. Matsuda et al., Nature Physics 3 (2007) 397, S. Wakimoto et al., Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 157001等の98編の論文発表

会議、学会発表：121件（国際会議：46件；国内会議：75件）

PNCMI2008/QuBS2008偏極中性子国際集会主催

プレス発表：「強く相互作用した電子の集団励起を世界で初めて観測ー高温超伝導機構解明への応用にも期待ー」 脇本秀一、石井賢司

今後の計画・展望

○ 新機能材料を含む多重自由度系物質の研究

- JRR-3及びJ-PARCにおける偏極中性子解析法の開発とその利用を推進して、定常及びパルス中性子源施設を相補的に活用して上記の新機能材料の基礎及び応用研究を促進する。
- 次期中期計画ではこの中性子ビーム技術開発に軸足をおいた、放射光X線等の量子ビームを相補利用する多重自由度系物質研究を先導して、量子ビーム研究プラットフォームの構築に寄与する。

12

研究課題 2. 5	ナノ物質の創製とその構造・機能研究

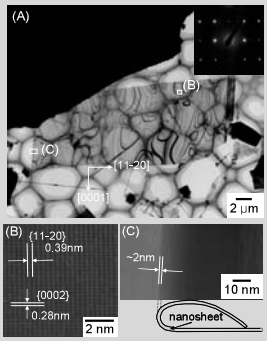
研究のねらい

量子ビームのより先端的な活用を目指して、これまでにない解析手法の独自開発を行うとともに、先進的なナノ材料や物質の創製および単結晶育成を行い、新機能・新現象を探索する。

成果

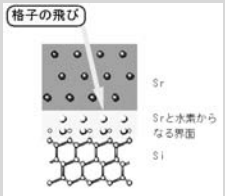
○ ナノ材料創製研究

- SiCナノチューブ、SiCナノカプセル、TiCナノチューブの合成に成功。
- 幅が5μm以上と広く、厚みが2nm以下と世界で最も薄い単結晶Si_3N_4ナノシートの合成に成功(右図)[1]。

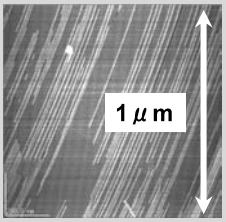


○ Si基板上でのナノ薄膜研究

- 水素単原子層の導入により、Si基板上に作製したSr単結晶薄膜において、Siとの12%の格子不整合を、Sr単原子層で克服した[2]。

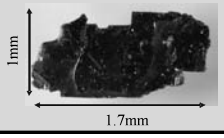


- 電流印加により、Si(110)最表面の構造を広大に単一ドメイン化することに成功。



○ 超伝導体単結晶育成

- 鉄系高温超伝導体$PrFeAsO_{1-y}$の大型単結晶育成に成功⇒放射光による非弾性散乱実験に供す



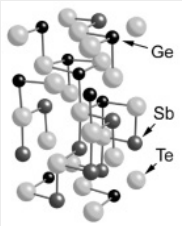
13

成果(つづき)

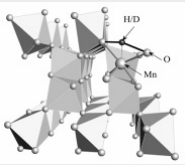
○ 中性子によるナノ構造解析

- ナノ物質のサイズ、形状効果を補正した結晶PDF解析法を開発⇒パルス中性子を用いた新しい解析手法を提示
- 同様な解析手法を用いて以下を実施

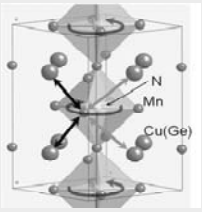
a) 光相変化記録材料結晶相(右図)における格子歪みを発見



b) 金吸着マンガン酸化物ナノ粒子の構造を解明(下図)



c) 巨大な負の熱膨張を示す物質でMn_6N八面体の回転による大きな格子歪みを発見(右図)[3]



「三機関連携」量子複雑現象チームの成果

達成のポイント

- 物材機構、理研、原子力機構による「三機関連携」の中核グループとして、3者による研究協力を推進した結果、成果の創出を加速することができた。
- 科学研究費補助金など外部資金に採択される機会に恵まれ、最先端の基礎学術研究を展開することができた。

成果発信・波及効果

- 査読付論文:89件 / 特許出願:8件、など
  [1] T. Taguchi et al., Nanotechnology 19 (2008) 485601.
  [2] H. Asaoka et al., Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 201911.
  [3] S. Iikubo et al., Phys. Rev. Lett. 101 (2008) 205901. (プレス発表)
- 巨大な負熱膨張を示す物質に係る成果⇒百年来の謎とされる「インバー効果」の解明への期待
- 光相変化記録材料など、実用性の高い材料を研究対象とし、民間企業との共同研究により研究成果を発展させている。

今後の計画・展望

- 定常型(JRR-3)とパルス型(J-PARC/MLF)の中性子と放射光X線を相補的に活用し、ナノ構造解析を進める。
- シリコン等を母材とした先進的なナノ材料や物質の創製および単結晶の育成を行う。
- 高温超伝導の機構解明に向けた研究を推進する(現在、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業における「新規材料による高温超伝導基盤技術」を代表として受託)。

14

研究課題 2. 6　新エネルギー材料の研究

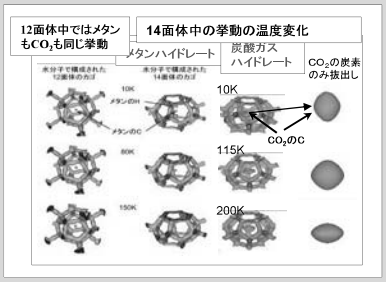
研究のねらい

メタンハイドレート、地球温暖化阻止として期待される炭酸ガスハイドレートやキセノンガスハイドレートを用いて、内包ガスの違いから生じる結晶構造変化を中性子散乱法によって系統的に調べ、ハイドレートのガス内包特性を解明する。また、固体中のプロトンの配置変化と移動の微視的メカニズムを、高圧・低温条件下での中性子散乱実験により研究し、プロトンが創る新たな物性・機能を解き明かす

成果

○ ガスハイドレートの構造

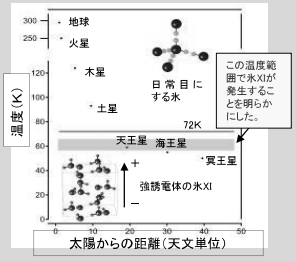
- 次世代のエネルギー資源であるメタンハイドレートや地球温暖化防止として期待できる炭酸ガスハイドレートなどのガス包摂水化物の構造変化を中性子回折実験により探査。
- 10Kから分解温度直下までのホストケージ内のメタンや炭酸ガス分子の運動の詳細を最大エンタルピー法解析により解明。



○固体中のプロトンの配置変化と移動

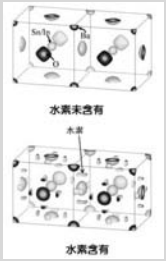
ー強誘電性氷の存在ー

- 低温領域で氷中の水素の秩序化が促進され、強誘電性の氷(XI)が形成されることを世界に先駆けて解明。超高圧低温条件下においても、その存在を確認。
- 天王星、海王星、冥王星に強誘電体の氷が存在することを提案。



ー電池材料の結晶構造ー

- 高い水素移動度を有するペロブスカイト型燃料電池材料における結晶中の水素位置を決定。
- Li二次電池正極材料における伝導経路を示唆する原子核密度分布像を得ることに成功。



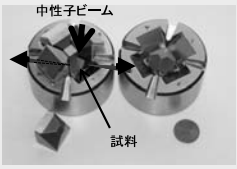
ペロフスカイト型燃料電池用固体電解質材料の原子核密度分布

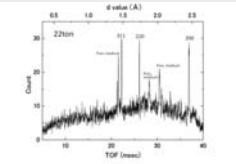
15

成果(つづき)

○ 超高圧下粉末中性子回折実験技術の開発

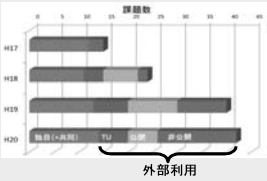
- キュービックアンビル型高圧装置、高圧ガス装置などの技術開発により、J-PARC、JRR-3における超高圧下その場粉末中性子回折実験を可能に。





○ 粉末中性子回折装置の外部利用拡大

- 高分解能粉末中性子回折装置(HRPD)は、施設共用制度やトライアルユースの導入により、外部ユーザーによる研究、とりわけ産業利用が大幅に増大。



中期計画を達成

達成のポイント

- JRR-3設置の高分解能中性子回折装置(HRPD)が安定して運転され、その性能を発揮したこと。最大エントロピー法等による解析手法が研究目的に合致していたこと。
- 日米協力プログラムによりオークリッジ研究所の実験装置を効果的に利用できたこと。

成果発信・波及効果

- 査読付き論文71本、新聞報道4件、テレビ報道1件

A.Hoshikawa, N.Igawa, H.Yamauchi, Y.Ishii, Physica B 385-386 (2006) 567-570."Neutron Powder Diffraction Study of Methane Hydrate by the Rietveld Refinement and Maximum Entropy Method"
H.Fukazawa, A.Hoshikawa, Y.Ishii, B.C.Chakoumakos, J.A. Fernandez-Baca, Astrophysical Journal Letters 652 (2006) L57-L60."Existence of ferroelectric ice in the Universe"
W.Utsumi, H.Kagi, et al. , Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 600 (2009) 50-52."Neutron powder diffraction under high pressure at J-PARC"
H.Fukazawa, A.Hoshikawa, et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 600 (2009) 279-281."Existence of Ferroelectric Ice on Planets"

- 性能向上のための構造情報からの開発指針
- 宇宙における強誘電性氷の観測による検証の提案

今後の計画・展望

- 高強度パルス中性子(J-PARC)利用による粉末中性子回折実験の新展開ならびに連続中性子とのバランスのとれた相補的利用。
- 超高圧下での中性子散乱実験による物質材料科学、地球科学の拡大。

16

研究課題 2. 9　中性子イメージング・分析法の開発研究

研究のねらい

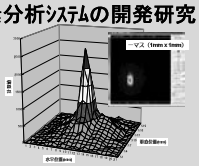
* 即発γ線分析の特徴である非破壊・多元素同時分析の特徴を生かした三次元元素分析システムの開発を行い、各種工業材料、考古遺物、地質試料への適用等、産業利用の促進を図る。
* 国の重要な施策に位置づけられる燃料電池の開発に資するため電池内部の水を高精度で可視化できる中性子イメージング技術の開発を行うとともに、同技術の産業利用への展開を図る。

成果

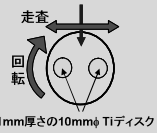
○ 即発γ線三次元元素分析ｼｽﾃﾑの開発研究

集光中性子導管の導入

焦点スポット(1x4mm)の強度が約4倍に増加



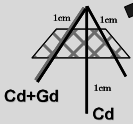
小試料(～0.1mmφ)を駆動し1mmのスポット画像を得ることに成功
【位置分解能: 3 mm (FWHM)】



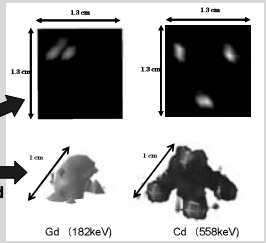
Tiディスク

再現性の良い元素分布CT像を取得

三次元元素分析測定システムを構築し、ミリオーダーの空間分解能を有する初期的な多元素CT画像の取得に成功した。



元素別断層イメージング



元素別3Dイメージング

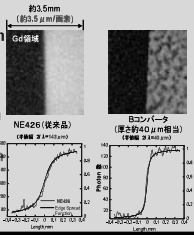
○ 燃料電池開発のための可視化技術開発

・NE426相当
(厚さ:>100μm)　約140μm

・^{6}LiF:ZnS
(厚さ:30μm)　約50μm

・B_2O_3:ZnS
(厚さ:40μm)　約40μm

薄型化　高分解能



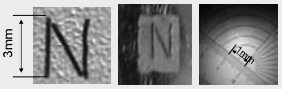
*J-PARCセンターとの連携協力により実施

17

成果(つづき)

○ 微小領域撮像システムの開発

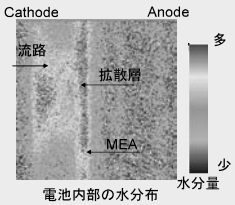
シンチレータとカメラの間に集光レンズを組み込むとともに、超高感度のEM(Electron Multiplier)-CCDカメラを採用した微小領域撮像システムを開発し画素サイズ4μmでの可視化を可能とした



中性子ラジオグラフィによるCdワイヤ(0.25mmφ)の画像　可視光による画像(画素サイズ:4μm)

○ ｶﾞｽ拡散層, MEA中の生成水高空間分解能可視化

ｺﾘﾒｰﾀ比可変のﾋﾟﾝﾎｰﾙｺﾘﾒｰﾀを開発・導入し高解像度薄型シンチレータと組合せたシステムにより、燃料電池のガス拡散層及びMEA中の生成水の分布を画素サイズ14.5μmで3分間の照射時間で可視化



電池内部の水分布

達成のポイント

- 即発γ線三次元元素分析ｼｽﾃﾑの開発研究：部門内の連携協力(中性子光学ｸﾞﾙｰﾌﾟ)，機構内の連携協力(原子力基礎工学研究部門)により課題を達成できた。
- 燃料電池開発ための可視化技術開発：機構内の連携協力(J-PARCｾﾝﾀｰ，原子力基礎工学研究部門)に加えて外部組織との共同研究を強力に進めることにより達成できた。

成果発信・波及効果

- 査読付論文数:54報
- 報道：テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」の「サイエンスエッチ第1回」で中性子ラジオグラフィがJ-PARC施設とともに取り上げられた。
- 燃料電池開発のための可視化技術開発は自動車業界等の燃料電池開発企業の期待を受け、NEDOから大型の外部資金を得た。

今後の計画・展望

○ イメージング研究

- 水素、水等の分布を非破壊かつ高空間・時間分解能で可視化できる中性子イメージング技術の開発並びに基盤整備。

○ 分析研究

- 各種中性子放射化分析の遠隔自動分析ｼｽﾃﾑ開発並びに量子ビーム応用分析技術の相補的な利用による標準物質開発、環境科学、地球惑星科学、固体物性科学等への応用を展開し、その有用性の実証を目指す

18

研究課題 2．10	中性子残留応力測定技術の開発研究

研究のねらい

中性子残留応力測定の高精度化・高効率化を達成するとともに、大型構造物の応力測定を実現する。開発した技術を多様な材料研究および産業利用に展開する。

成果

○ 残留応力解析用中性子回折装置RESAの高度化とRESA-IIの整備

□RESAの高度化

- 一次元検出器の導入
- 大型回折計の導入
- 非対称モノクロメータの導入
- 縦収束コリメータの導入

⇒ 約20倍の測定効率向上

⇩

大型構造物に対する高精度・高効率応力測定の実現

□RESA-IIの整備

JRR-3ガイドホールのT2-3高角ポートにRESA-IIを整備

⇩

中性子応力測定装置の2台体制によりマシンタイム不足を解消

⇩

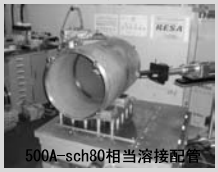
産業利用促進に貢献

○ 高精度応力測定技術の開発と応用

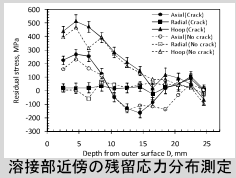
□溶接構造物の高精度応力測定技術開発

熱影響部の組織変化や熱塑性ひずみの発生を考慮した高精度応力測定技術を開発

⇩ **実機相当大型構造物の応力測定に応用**



500A-sch80相当溶接配管



溶接部近傍の残留応力分布測定

□粗大結晶粒材の高精度応力測定技術の開発

試料揺動法の導入により高精度応力測定を実現

□中性子回折法による試料表面近傍の応力測定技術開発

材料表面部の高精度残留応力測定を実現

□中性子応力測定技術の応用

- ナトリウム冷却型実用FBRの蒸気発生器の構造設計支援
- JRR-3施設共用を積極的に実施

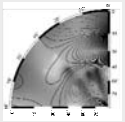
⇒ **産業利用促進に貢献**

19

成果（つづき）

○ 材料の変形挙動評価技術の開発と応用

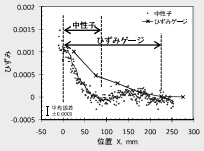
□ミクロ組織因子の定量評価技術の開発



- **プロファイル解析技術の開発**

第二種ひずみ，集合組織，転位密度，転位セルサイズなどのミクロ組織因子の定量評価技術の確立

□コンクリート構造物中の鉄筋のひずみ分布測定



中性子回折法を初めて適用

本来の定着長さは、従来のひずみゲージ法で測定した定着長さよりも短い可能性のあることを確認

□中性子回折用低温引張試験機の開発

5K以下の極低温環境において引張変形挙動を測定できる世界最高性能の中性子回折用低温引張試験機を開発

□ZrC粒子分散型金属ガラスの変形挙動評価

- 変形挙動のモデル化（セルフコンシステントモデル）
- 圧縮変形挙動の解明

□超伝導線材の応力・ひずみ効果に関する研究

室温および低温環境において、超伝導線材の残留ひずみや超伝導相のひずみ変化挙動の評価に成功

中期計画を達成

達成のポイント

外部資金および機構内ファンドに積極的に申請することにより、毎年比較的潤沢な予算を獲得できたことが、中性子回折装置の高度化や各研究の効率的実施を実現し、中期計画の達成につながったと考える。

成果発信・波及効果

査読付論文数：27件

- H Suzuki et al., Powder Diffraction, 24(2) in press.
- S Machiya et al., Supercond. Sci. Technol. 21 (2008) 054007.
- H. Suzuki and T. Holden, J. Strain Analysis, 41, 575-582 (2006).

◆高精度応力測定技術や材料評価技術の開発・高度化により、中性子産業利用の普及・促進に大きく貢献。

◆中性子応力測定技術の多分野への展開。

今後の計画・展望

○ 材料工学研究への展開

第一期中期計画で築いた研究基盤をもとに、高温、低温、機械的負荷等の実使用環境下での「その場」材料評価技術の開発研究を行うとともに、中性子や放射光を相補的に利用した材料工学研究を展開。

1) 中性子回折法を用いたその場材料評価システムの構築
2) 中性子および放射光を利用した材料工学研究の展開

環境エネルギー問題解決につながる環境調和型材料開発などのアウトカム創出に貢献

20

研究課題 2．12　研究炉の高度化の技術開発

研究のねらい

先端的な科学技術分野の発展や産業活動の促進に資するため、研究炉側の役割として、JRR-3の冷中性子ビーム強度の増強を図り、かつ、JRR-4の医療照射技術の高度化を図る。

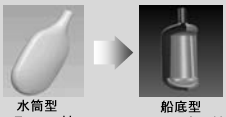
成果

○ 高性能減速材容器の開発

- 冷中性子ビーム高強度化のため、高性能減速材容器の中性子利得解析及び発熱分布解析を実施した。
- 高性能減速材容器の強度解析を実施した。

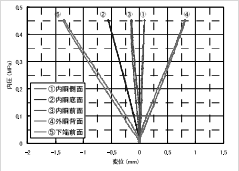
約2倍の強度の冷中性子ビームが得られることを確認した。

最適な材質及び形状を選定



水筒型 ステンレス材　　船底型 アルミニウム材

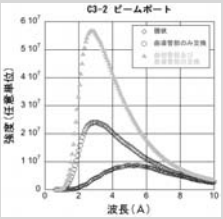
- 耐圧試験等を実施するための模擬容器を製作し、耐圧試験及び繰返し疲労試験を実施し健全性を確認した。
- 高性能減速材容器の流動特性試験を実施し、サーモサイフォン現象を確認した。



- 冷中性子源本体設備の通常時及び単一機器故障時の安全解析を実施した。

○ 高性能中性子導管の開発

- 冷中性子導管の輸送効率向上のため、高性能Ni/Ti多層膜スーパーミラー（3Qc、反射率80%）を成膜した高性能中性子導管の設置状態における利得の変化を解析的に評価した。(図はC3-2ビームポートの計算結果)
- スーパーミラーの耐放射線性確認のための照射試験実施し、その結果、Naガラス基板に成膜したスーパーミラーについて剥離がなく健全であることを確認した。
- 実験装置における中性子ビーム強度及び中性子ビームの発散の計算を実施し、その結果、C2-1ビームポートに設置している中性子三軸分光器では約3倍の利得が得られることを確認した。



21

成果（つづき）

○ JRR-4の医療照射技術の高度化

- 適用拡大への対応として、頭頸部癌に適用した延長コリメータを実用化し、頭頸部癌の適応拡大に成功。

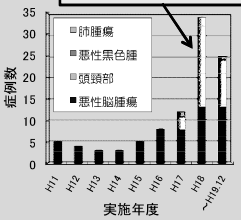
平成17年下期から20年度の期間に、66回の照射を実現。

脳腫瘍：31回、頭頸部癌：32回、肺腫瘍：2回、悪性黒色腫：1回

延長コリメータ

延長コリメータによる頭頸部癌照射

頭頸部癌の症例数が増加



JRR-4での症例数の推移

- BNCT実施時に患者に付与される中性子及び線量をリアルタイムで評価するシステムを開発。性能試験で検証を行い、BNCTに適用可能であることを確認。

1日3回のBNCTを実現する見通しが得られた。

達成のポイント

- 既存施設の効率的な利用を念頭に、改良における問題点の抽出及び解決方法の適切な選択によることが、目標達成における重要な点であったと考えている。
- 大学病院の医師と密接に連携して技術開発を実施したこと、及びBNCTの普及活動により、ユーザー数の獲得を精力的に行ったため。

成果発信・波及効果

- 平成19年度プレス発表：「研究炉「JRR-3」からの中性子ビーム　分岐装置を小型化」（H19.9.28, 日刊工業新聞）、「中性子を効率運搬　原子力機構、測定用　実験時間1/10」（H19.9.28, 日経産業新聞）
- 平成18年度文部科学大臣賞 若手科学者賞「中性子捕捉療法分野における医療照射支援システムの研究」(H18.4.18)、「臨床研究100例突破 原子力機構 病巣狙い撃ちで成果」（H19.2.17, 日経新聞）

今後の計画・展望

- 平成21年度までに開発してきた、高性能減速材容器の開発及び輸送効率向上の研究成果に基づき、研究ニーズに応じたJRR-3冷中性子ビームの高強度化を目指す。
- JRR-4の医療照射技術の高度化では、乳癌、肝臓癌等の他の臓器、部位への照射を可能にする技術開発及び線量評価の精度向上のための技術開発を実施する。

22

トピックス 2. 1 「三機関連携」による量子複雑現象の解明研究

研究のねらい

量子ビームテクノロジーの先導的研究開発により、我が国の科学技術・学術及び産業の振興に資する。
特に、次世代機能材料開発に向けた量子複雑現象の解明を行うために、三機関の力を結集し、施設を横断的に活用して、物質・材料を創製・評価し、その高機能化を目指す

体制

H18.12.20 研究協力協定締結

○原子力機構 (中性子物質科学研究U、放射光科学研究U、先端基礎研究センター、J-PARCセンター、システム計算科学センター)
物質・材料：高温超伝導体、f 電子系物質、ナノ物質
計測：中性子散乱、放射光、ミュオン

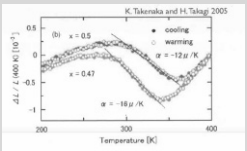
○物材機構
物質・材料：低次元量子磁性体、強磁性強誘電体、ナノ材料、エキゾチック超伝導体、希土類籠状物質、f電子系物質
計測：放射光、超強磁場

○理 研
物質・材料：負の熱膨張材料、強相関電子系材料、有機導体
計測：放射光、ミュオン、STM、光電子分光

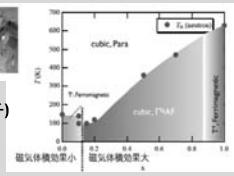
成果

○ 負熱膨張機構の解明に関する研究(理研との共同研究)

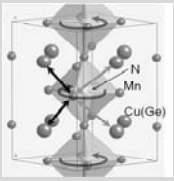
① 室温付近で巨大な負の熱膨張を示す$Mn_3Cu_{1-x}Ge_xN$系で、大きな磁気体積効果を示す組成と磁気構造との関連を**定常中性子**により発見[1]



JRR-3
(定常中性子)

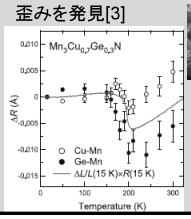


②**パルス中性子**回折による結晶PDF解析を用いて、この系でMn_6N八面体の回転による大きな格子歪みを発見[2]



プレス発表
(2008年11月)

③**放射光**でGe原子周りの大きな格子歪みを発見[3]



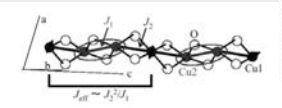
SPring-8
(放射光)

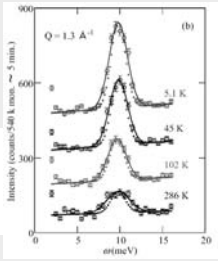
23

成果(つづき)

○ 低次元量子スピン系における隠れたエネルギーギャップの観測(物材機構との共同研究)

- 1/3磁化プラトーを示すトライマー鎖物質$Cu_3(P_2O_6OD)_2$の非弾性中性子散乱実験により、この系のエネルギーギャップを初めて検証[4]





○ 鉄系高温超伝導体に関する研究(外部資金による共同研究)

- 鉄系高温超伝導体$PrFeAsO_{1-y}$の大型単結晶育成に成功⇒放射光X線非弾性散乱実験により得られた格子振動[5]が理論計算により隠れた磁気秩序を仮定することで説明できることがわかった
- JST研究領域「新規材料による高温超伝導基盤技術」に採択

新たな成果創出のポイント

- 「量子ビームテクノロジー」の黎明期において、三機関の相補的役割の重要性が強調された
- 各機関の高い研究ポテンシャルが結集した具体的成果を早期に創出することができた
- 各個別研究課題の特性に応じて、柔軟な研究協力体制を構築することができた

成果発信・波及効果

- 査読付論文：12件

[1] S. Iikubo et al., Phys. Rev. B 77 (2008) 020409Rv.
[2] S. Iikubo et al., Phys. Rev. Lett. 101 (2008) 205901.
[3] J. Matsuno et al., Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 181904.
[4] M. Hase et al., Phys. Rev. B 73 (2006) 104419.
[5] T. Fukuda et al., J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) 103715.

- 理研が発見した負熱膨張性マンガン窒化物は既に市販され、各種産業機器の構造部材・部品としての利用も大いに期待されている
- 巨大な負熱膨張を示す物質に係る知見⇒百年来の謎とされる「インバー効果」の解明への期待

今後の計画・展望

- パルス(J-PARC)・連続(JRR-3)中性子ならびに放射光の相補的利用による研究の拡充
- 「量子ビームプラットフォーム」により、さらに緊密な三機関間での共同研究を推進
- マシンタイムの優先的確保

24

トピックス　2．2	物質科学、ナノテクノロー・材料研究への中性子利用の研究開発

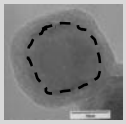
研究のねらい

中性子非弾性散乱法・中性子小角散乱法等の高度化技術開発、偏極中性子解析法やパルス中性子を利用した物質の構造解析法の開発等を行い、物質科学、ナノテクノロジー・材料研究に中性子を利用するための研究開発を推進する。

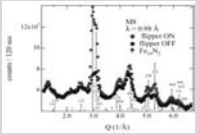
○ 偏極中性子粉末解析法による磁性ナノ微粒子の定量的評価法の開発

- 茨城県研究会における議論からトライアルユースを経て共同研究へ。
- 偏極中性子粉末解析法による，ラミネート層を持つ磁気ナノ微粒子に対する定量的解析法を確立。
- 偏極中性子小角散乱を用いた微粒子構造解析。

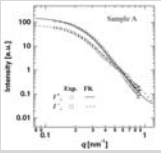
$Fe_{16}N_2$ナノ微粒子



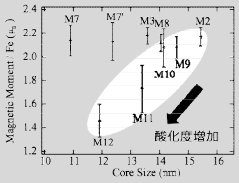
TAS-1偏極中性子粉末解析



SANS-J 偏極中性子小角散乱



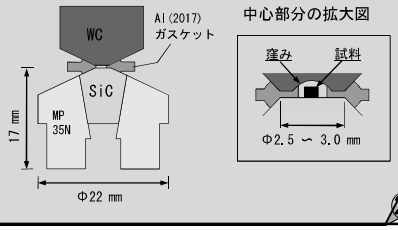
- 次世代大容量磁気記録テープ用磁気ナノ微粒子の作成条件と磁気特性の相関を明らかにすることに成功
- さらなる高性能、高密度化への指針を与え、開発の方向性を明示した



○ 10GPa級単結晶中性子磁気回折を目指した超高圧力発生技術の開発

- 超硬(WC)とSiCを組み合わせたハイブリッドアンビルを考案し、単結晶中性子回折実験としては世界最高の10GPaの圧力発生に成功。
- 超高圧力下単結晶中性子回折法により、希土類化合物の4f電子の軌道および磁気状態を圧力で直接制御できることを確認。

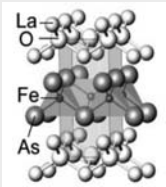
開発に成功した中性子回折用超高圧発生装置



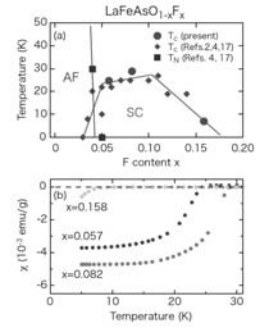
25

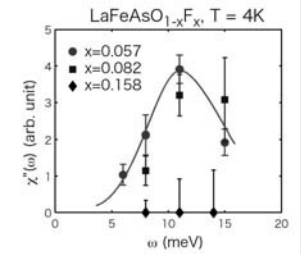
○ 鉄系超伝導物質における超伝導状態とスピン揺らぎの相関

３機関連携の枠組みからJSTプロジェクトの発足



良質の$LaFeAsO_{1-x}F_x$粉末試料の合成



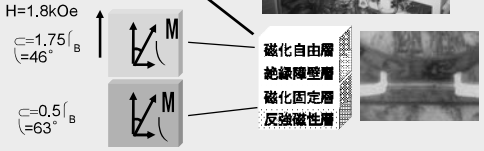


中性子非弾性散乱による超伝導状態におけるスピン揺らぎの検証

○ 中性子反射率計SUIRENでの偏極中性子利用環境の整備

- JRR-3に設置されている中性子反射率計SUIRENで偏極中性子オプションの整備を行った。
- HDDの記録高密度化を実現するために重要な読み取りヘッド用磁性多層膜の磁気構造解析を可能にし，高性能化に貢献

偏極中性子反射計SUIREN



○ 中性子小角散乱法によるNd-Fe-B焼結磁石の構造解析

- 国の「希少金属代替材料開発プロジェクト／希土類磁石向けディスプロシウム使用量低減．技術開発」を他法人とともに受託し，中性子小角散乱法により，保磁力機構と内部平均構造の相関を明らかにした。

26

中性子科学研究 | 中性子利用各分野における総括

中性子生命科学分野

- 生命科学研究に中性子を利用するための研究開発
  - 生体分子の構造解析
  - 生体分子シミュレーション
  - 生体物質ダイナミクス
- ユニット内、機構内(特定ユニット他)、外部機関との連携強化による研究の展開
  - 構造機能の解明による創薬研究支援
  - 生体構造・ダイナミクス情報の融合

中性子物質科学分野

- 物質科学研究のための先端的中性子散乱実験ならびに解析手法の開発
  - 偏極中性子解析
  - 高圧下中性子散乱実験
  - PDF(対相関関数)による解析
- 部門内連携による量子ビームの相補的利用
  - 中性子と放射光の利用によるフラストレート系におけるスピン－格子相関の解明
- 機関間連携の促進による成果の社会的還元の加速
  - 三機関連携
  - 大学ならびに企業との連携

中性子産業利用分野

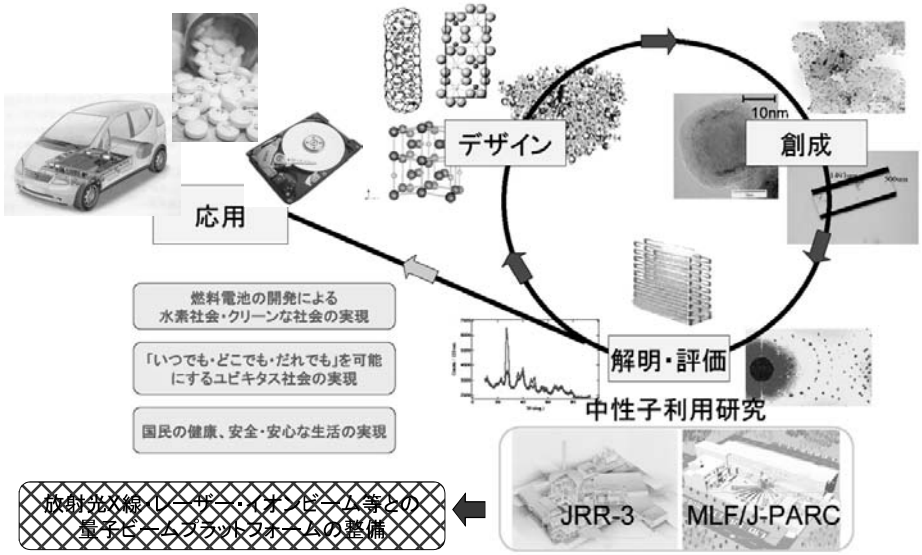
- 中性子産業利用の重点的推進
  - 燃料電池における水の高精度可視化、大型物の残留応力解析
  - 施設共用、特にトライアルユースへの協力
- 部門内連携、機関間連携による量子ビームの相補的利用
  - 中性子と放射光の相補的利用によるラジオグラフィ、微量元素分析、残留応力解析

㉗

量子ビームを利用した先端的な測定・解析技術の開発 | 量子ビームテクノロジーの学術・利用研究の促進

中性子生命科学研究 **中性子物質科学研究** **中性子材料工学研究**

中性子利用による基礎及び利用研究の融合



㉘

荷電粒子・RI利用研究の成果と展望

ー 高崎地区における研究開発の概要 ー

平成21年7月8日

日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門
高崎量子応用研究所
南波 秀樹

高崎地区における研究開発課題

量子ビーム応用研究部門 副部門長：南波秀樹

バイオ応用技術研究ユニット ユニット長：田中淳

研究課題 2．13	量子ビームを用いた有用遺伝子資源創成の研究	量子ビーム遺伝子資源研究グループ
研究課題 2．14	細胞に対する重イオンマイクロビーム照射効果の研究	マイクロビーム細胞照射研究グループ
研究課題 2．15	ポジトロンイメージング動態解析研究	ポジトロンイメージング動態解析研究グループ

環境・産業応用研究開発ユニット ユニット長：玉田正男

研究課題 2．16	高導電性高分子膜材料の研究	高導電性高分子膜材料研究グループ
研究課題 2．17	物質選択性セラミック材料の研究	物質選択性セラミック材料研究グループ
研究課題 2．18	半導体・高分子材料の耐放射線性評価に関する研究	半導体・高分子材料耐放射線性評価研究グループ
研究課題 2．19	金属捕集・生分解性高分子の研究開発	金属捕集・生分解性高分子研究グループ
研究課題 2．20	有害有機化合物除去技術の開発	有害有機化合物除去技術研究グループ

高崎量子応用研究所 所長：南波秀樹

放射線高度利用施設部 部長：田中茂

研究課題 2．21	ビーム技術・加速器技術・照射技術の開発	ビーム技術開発課

①

量子ビーム応用研究部門内/部門間連携

バイオ応用技術研究ユニット

- 量子ビーム遺伝子資源研究G
  - 特定ユニット「DNA修復タンパク質解析G」
  - 特定ユニット「放射線生物作用解明G」
- マイクロビーム細胞照射研究G
  - 特定ユニット「放射線生物作用解明G」
  - 群馬大学21世紀COEプログラム「加速器テクノロジーによる医学・生物学研究」
  - 高エネルギー重イオンマイクロビームの開発
- ポジトロンイメージング動態解析研究G
  - 特定ユニット「がん診断・治療用RI・DDS開発G」
  - 群馬大学21世紀COEプログラム「加速器テクノロジーによる医学・生物学研究」

環境・産業応用研究開発ユニット

- 高導電性高分子膜材料研究G
  - 三機関連携「燃料電池システム用キーマテリアルの開発」
  - 水素製造に用いる電解質膜の合成と水素発生効率の評価（次世代、原子力基礎工）
- 物質選択性セラミック材料研究G
  - 三機関連携「燃料電池システム用キーマテリアルの開発」
  - 水素製造に用いる高性能セラミックフィルターの開発（原子力基礎工）
- 半導体・高分子材料耐放射線性評価研究G
  - 高エネルギー重イオンマイクロビームの開発
  - J-PARC機器の耐放射線性評価（J-PARC）
  - ITER機器の耐放射線性評価（ITER）
  - 再処理用グリースの耐放射線性評価（核サ研）
  - 原子炉用ケーブル材料の耐放射線性評価（安全セ、施設部）
  - 地上中性子による半導体誤作動評価（J-PARC）
- 金属捕集・生分解性高分子研究G
  - 湧水中のホウ素、フッ素除去技術の開発（東濃）
  - 三機関連携「燃料電池システム用キーマテリアルの開発」
- 有害有機化合物除去技術研究G
  - 特定ユニット「放射線生物作用解明G」

放射線高度利用施設部

- ビーム技術開発課
  - 群馬大学21世紀COEプログラム「加速器テクノロジーによる医学・生物学研究」
  - 高エネルギー重イオンマイクロビームの開発

②

個別研究課題に係る成果

③

研究課題 2．13 | **量子ビームを用いた有用遺伝子資源創成の研究**

研究のねらい

微生物及び植物の遺伝子・タンパク質の同定と機能解明を通じて、有用遺伝子資源を創成するとともに、技術移転を推進して、有用遺伝子資源のライフサイエンス分野での実用化を図る。

成　果

○ **放射線抵抗性細菌由来のDNA修復促進タンパク質PprAの機能を解明し、バイオ研究用DNA修復試薬として実用化**

遺伝子診断の高度化、創薬開発のスピードアップが期待される

H18年1月プレス発表

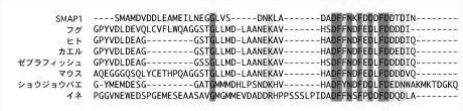
従来品の10倍高効率のDNA修復試薬「TA-Blunt Ligation Kit」

○ **新規遺伝子*UVI4*が核内倍加の制御因子であることを発見し、植物の新たな紫外線耐性機構を解明**

イオンビーム照射により取得したシロイヌナズナの紫外線耐性変異体の解析で発見

H18年3月プレス発表
H18年4月 Plant Journal誌に掲載

○ **植物形態形成に重要な植物ホルモンの情報伝達に関わる新規遺伝子*SMAP1*の機能を解明**



イオンビーム照射により取得したシロイヌナズナの植物ホルモン応答変異体の解析で発見

H18年9月 Plant Journal誌に掲載

○ **イオンビーム育種によりキク科の多年草オステオスペルマムの新花色品種の育成に成功**

今までにないパステルカラーでストライプを持つ新品種「ヴィエントフラミンゴ」

親品種の有用形質を保持したまま、ワンポイント改良

群馬県農業技術センターとの共同研究

H19年5月プレス発表

④

成果（つづき）

○ **無側枝性輪ギク「新神2」が完成**

全国40以上の農協・花市場などの農業団体で許諾栽培を展開

鹿児島県との共同研究

低温開花性が付与された神馬系品種の決定版「新神2」

○ **イオンビームを用いて環境浄化能の高い蔓性植物新品種の育成に成功**

世界で初めて、突然変異で実用植物の環境浄化能を高めることに成功

広島大との共同研究

H19年8月プレス発表

二酸化窒素高吸収能を持つ新品種「KNOX」

○ **新規遺伝子*AtREV1*が損傷乗り越えDNA複製を行い突然変異誘発促進機能を持つことを発見**

イオンビーム照射により取得したシロイヌナズナの紫外線感受性変異体の解析で発見

H19年11月Plant Physiology誌に掲載

○**イオンビーム育種で、少ない窒素肥料でも多収となるイネ系統を作出**

環境配慮型持続的農業に貢献

滋賀県農業技術振興センターとの共同研究

以上の成果により中期計画を達成

達成のポイント

- **遺伝子・タンパク質研究のエキスパートが集結**
- **日本独自のイオンビーム育種技術を発展**
- **外部試験研究機関との連携や、量子生命フロンティア研究特定ユニットの設置により研究を加速**

成果発信・波及効果

- **査読つき論文：37件**
  Hase et al, Plant J. 47, 317 (2006) 等
- **受賞：放射線影響研究奨励賞（H19）、科学技術分野の文部科学大臣表彰・若手科学者賞（H20）、他**
- **プレス発表：「DNA修復する遺伝子発見、産業利用に成功」（H18年1月、10誌掲載）など、4件**
- **農業分野、環境分野、医学分野へ波及**

今後の計画・展望

○**微生物遺伝子資源研究**

バイオ肥料などの有用な微生物資源の創成のため、イオンビームを用いた微生物突然変異育種技術の高度利用研究を行う

○**植物遺伝子資源研究**

植物機能の理解と生産力向上に向けた、イオンビーム変異誘発の革新的な制御技術の開発を行う

⑤

研究課題 2．14 | **細胞に対する重イオンマイクロビーム照射効果の研究**

研究のねらい

細胞の放射線応答解明のため、重イオンマイクロビーム細胞局部照射技術を開発するとともに、マイクロビームを用いて個々の細胞の放射線応答を確定的に調べる。マイクロビームで生体組織の一部を破壊することによってその機能を解析する。

成　果

重イオンマイクロビーム細胞照射技術の開発

放射線高度利用施設部との連携

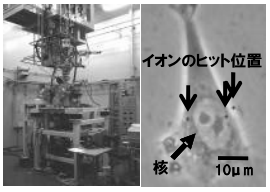
- ○ 既存のアパーチャー式マイクロビーム細胞照射装置の制御系を改良し、1標的当たりの照準動作時間を0.7秒以下に半減
- ○ 新規の集束式マイクロビームを用いた細胞照準照射用顕微鏡を遠隔操作で制御するプログラムを開発

細胞照射効果の解明

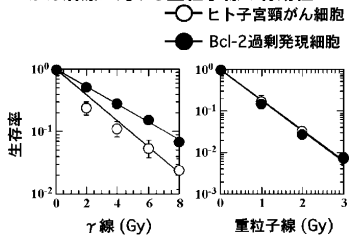
群馬大21世紀COE共同研究

- ○ ヒト正常線維芽細胞を用いて、重イオン照射後に生き残った細胞の子孫細胞では、形態学的分化誘導（老化）が加速されることを見出した　H20年1月 Mutat. Res.誌に掲載
- ○ ガンマ線やX線に抵抗性を示すがん遺伝子Bcl-2過剰発現細胞は、重粒子線には抵抗性を示さないことを証明、重粒子線治療が有効である可能性を示唆　H20年11月 Radiother. Oncol.誌に掲載　H20年6月プレス発表

アパーチャー式重イオンマイクロビーム細胞照射装置



がん治療に対する重粒子線の有効性



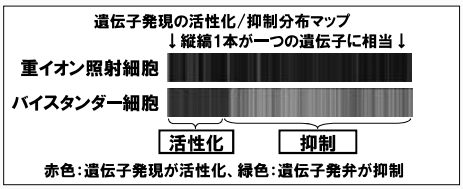
⑥

成果（つづき）

細胞照射効果の解明

群馬大21世紀COE、新クロスオーバー共同研究

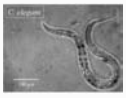
- ○ 重イオン照射細胞とバイスタンダー（周囲の非照射）細胞では、発現誘導される遺伝子群が大きく異なることを発見　H20年6月 Mutat.Res.誌に掲載



- ○ マイクロビーム生物研究連絡会を発足、第8回マイクロビーム細胞放射線応答研究国際ワークショップ（2008年）を招致、国内の研究を先導

細胞照射効果の解明

- ○ 神経系のモデル生物線虫では、条件付け途中で照射したときのみ化学走性学習が顕著に亢進することを発見　H20年3月FASEB J.誌に掲載



食品照射

- ○ 生マンゴーの照射を検知する新規ESR測定法を開発

以上の成果により中期計画を達成見込

達成のポイント

- 世界初の重イオンマイクロビーム細胞照準照射システムを独自に開発
- 放射線生物学、細胞生物学、計算科学など多彩な専門家からなるグループ構成
- 群馬大21世紀COE、原子力基盤クロスオーバー研究、独GSI等外部研究機関との連携、量子生命フロンティア研究特定ユニットの設置により研究を加速

成果発信・波及効果

- 査読つき論文：52件
  Funayama et al., JRR. 49, 71 (2008) 等
- 受賞：放射線影響学会奨励賞（H17、H19）、宇宙生物科学会奨励賞（H20）他
- プレス発表：「重粒子線はがん遺伝子に打ち克つ」（H20年6月、7誌掲載）
- 粒子線がん治療など医学分野に波及

今後の計画・展望

○マイクロビーム生体影響研究

放射線治療の革新や低線量放射線の影響評価に貢献するため、マイクロビーム等を用いて、放射線、特に重イオンの生物作用の全容解明を目指す

○食品照射

照射食品検知法など食品照射に関わる研究開発を行う

⑦

研究課題 2．15 | **ポジトロンイメージング動態解析研究**

研究のねらい

植物による栄養成分や環境汚染物の吸収・輸送・蓄積を定量的に解析・評価する方法の開発など、ポジトロンイメージング技術の高度化を図り、カドミウムの吸収が少ないイネ品種の選抜など安全な食糧の効率的な生産技術や、植物による環境浄化技術の開発などに貢献する。

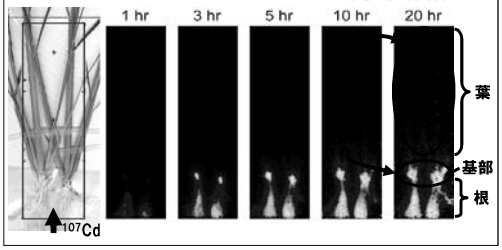
成　果

ポジトロンイメージング技術の高度化

○ ^{107}Cdトレーサの製造法を開発し、イネのカドミウム吸収・輸送を初めて観測

秋田県立大との共同研究　　H18年3月プレス発表

ポジトロンイメージングによるカドミウム動態計測画像



○ イネの根から穂へ到るカドミウム移行経路を解析
投与Cd量の約1/100が7時間後に穂まで到達することを発見

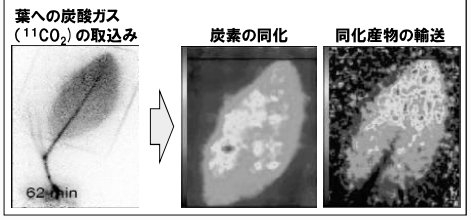
○ 光合成産物の輸送・分配の伝達関数解析に成功

H18年9月　Soil Science & Plant Nutrition誌論文賞

高濃度CO_2環境下における光合成産物の輸送速度の定量化から、全部位での増加を導出

○ 光合成による炭素同化・輸送のコンパートメントモデル解析に成功

葉の炭素同化と同化産物輸送を弁別して定量解析



H18年11月 IEEE NNS/MIC Conference Trainee Award
H19年10月IEEE TNS誌、H20年7月Plant Sci.誌に掲載

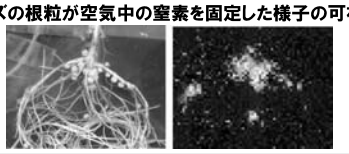
8

成果（つづき）

○ ^{13}N標識窒素ガスの迅速な製造・精製・投与法を開発し、共生的窒素固定の画像化に初めて成功

新潟大との共同研究　　H21年3月プレス発表

ダイズの根粒が空気中の窒素を固定した様子の可視化



新規がん診断・治療用RIの開発

群馬大21世紀COE共同研究

○ 診断・治療用^{64}Cu, ^{67}Cuの新規製造法を開発

H20年6月特許出願

○ 抗体への標識及びマウス体内動態の可視化に成功

H21年J Radioanal Nucl Chem誌印刷中

マウスの腫瘍へ集積した^{64}Cu標識抗体のPETイメージング

新規薬剤^{64}Cu-TETA-NuB2を高収率で合成することに成功、悪性リンパ腫への明瞭な集積を確認

以上の成果により中期計画を達成見込

達成のポイント

- 農学、核化学、放射線計測学の研究者が集結し、ポジトロンイメージング技術を高度化
- 大学、公的機関などと連携し、オールジャパン体制で植物イメージング研究を先導
- 群馬大21世紀COE、量子生命フロンティア研究特定ユニットの設置によりRI医療応用研究を加速

成果発信・波及効果

- 査読つき論文：26件
  Matsuhashi & Fumimaki et al, SSPN. 51, 417 (2005) 等
- 受賞：SSPN誌最優秀論文賞 (H18)、日本原子力学会関東甲越支部若手研究者発表討論会研究奨励賞 (H19) 他
- プレス発表：「イネのカドミウム追跡　蓄積過程を画像化」(H18年3月、10誌掲載)など、2件
- 植物栄養動態のシステム的理解に発展
- 国内における新規PET核種の研究利用を促進

今後の計画・展望

○植物栄養動態RIイメージング研究

「RIイメージング技術」の開発とその応用としての実用的な食糧・有用物質生産技術の開発を目指す

○RI医療応用研究

腫瘍への効率的なRI送達とがんの精確な診断を可能とするRI-DDSの開発を目指す

9

研究課題 2．16 | **高導電性高分子膜材料の研究**

研究のねらい

量子ビームを総合的に活用して、燃料に水素を利用する家庭用及び自動車用燃料電池に適用可能な高耐久性電解質膜を開発する。

成　果

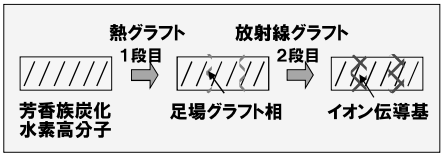
高耐久性電解質膜の開発

○ ガンマ線・電子線グラフト重合による家庭用高耐久性燃料電池膜の開発

芳香族炭化水素高分子の高安定性に着目

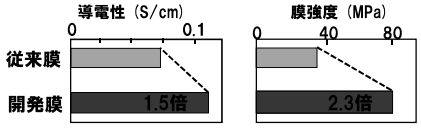
長所
・高温に強い
・薬品・放射線に強い

短所
・グラフト重合が困難



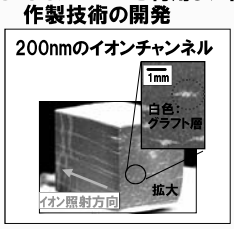
熱・放射線2段グラフト重合技術を編み出し、高強度基材へのイオン伝導基の導入に成功

グラフト重合技術の活用による電解質膜の高性能化



高導電性と膜強度の両立を実現。さらに、80℃、4万時間以上の安定作動を耐久性加速試験で実証。

○ イオンビームを利用した自動車用燃料電池膜の作製技術の開発



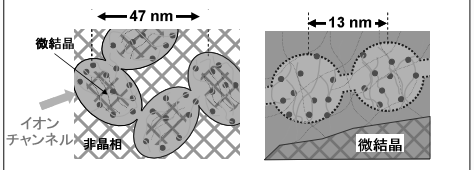
導電性、膜強度、寸法変化で市販膜、ガンマ線グラフト膜を凌ぐ特性の獲得を確認

⑩

成果（つづき）

○ 中性子小角散乱による燃料電池膜の構造解析

作製した電解質膜をnm～μmオーダーで解析



基材膜によって異なるイオンチャンネル構造が出力特性や耐久性に重要であることを解明

熱化学法ISプロセス高効率化のためのヨウ化水素濃縮膜の開発

○ 放射線グラフト重合で製作したフッ素系電解質膜にグラフト架橋処理で耐熱性を付与、濃縮膜に適用

高温（100℃）での膜劣化を抑制でき、ヨウ化水素濃縮に必要なエネルギーも従来膜の1/2に低減

以上の成果により中期計画を達成見込

達成のポイント

- 放射線グラフト重合と熱重合の組合せ（ブレークスルー）により芳香族高分子を電解質膜化、高温耐久性と導電性の両立に成功
- 中性子小角散乱など量子ビームの観る機能で得た情報を高性能電解質膜の合成にフィードバック

成果発信・波及効果

- 査読つき論文：63件
- 特許出願：18件
- 受賞：文部科学大臣若手科学者賞、他3件
- プレス発表：「家庭用燃料電池に最適な高耐久性電解質膜の開発に成功」（H20年9月19日）
  ⇒自動車メーカー等から問合せ、2社と共同研究

今後の計画・展望

○高性能電解質膜の開発
- ナノイオン伝導経路を形成するための放射線ブロックグラフト重合法の確立
- イオンビームを併用して耐熱性高分子基材に作製した微細孔に導電性グラフト鎖を形成する技術の開発
- 中性子・陽電子により高性能電解質膜に最適な構造を解明

高温低加湿で作動可能な燃料電池の実現

⑪

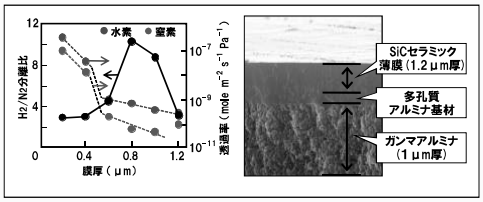
研究課題 2．17 | **物質選択性セラミック材料の研究**

研究のねらい

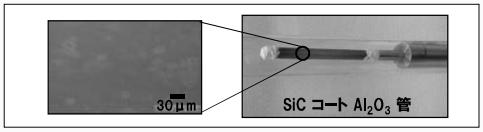
水素の製造・貯蔵・輸送・消費に必要な水素分離フィルターの実現を目指し、水素と不純物の分離比が10対1以上の炭化ケイ素（SiC）セラミック薄膜等を開発するとともに、水素の安全な取扱いに不可欠な水素センサーの開発を目指し光学式水素検知材料を創製する。

成　果

○水素分離SiCセラミック薄膜の開発

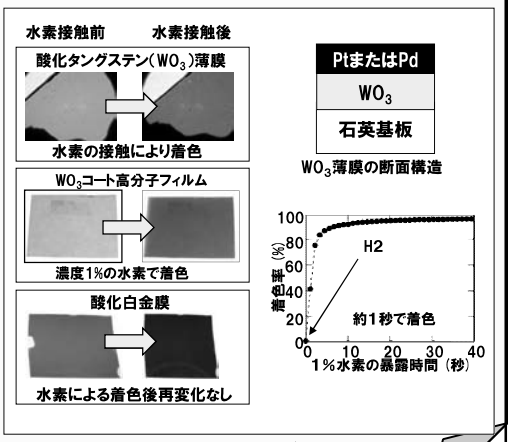


高品質SiC薄膜（0.2μm厚）を積層し、高い水素分離能達成の膜厚条件0.8～1.0μmを導出



アルミナ管両端を閉塞し、ケイ素高分子溶液浸漬により亀裂の無いSiCセラミック薄膜形成に成功

○光学式水素検知材料の開発

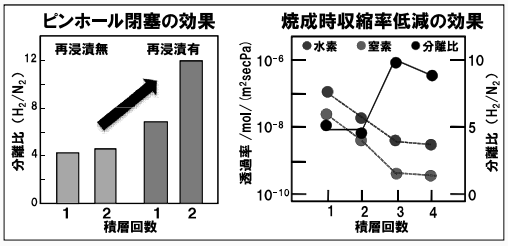


薄膜形成時の酸素濃度とW/O元素組成比の調整により、着色速度の改善に成功

⑫

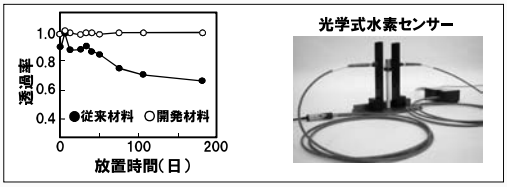
成果（つづき）

○水素分離SiCセラミック薄膜の開発



水素分離性能を大幅に向上し、室温分離比10、250℃の分離比70を達成

○光学式水素検知材料の開発



着色特性が低下しない水素検知材料を実現し、光学式水素センサーとしての動作を実証

以上の成果により中期計画を達成見込

達成のポイント

- 多孔質アルミナ基材を用いたSiC薄膜作製の基礎技術を確立
- 前駆体高分子材の無酸素架橋により、焼成時の収縮量が減少する新事実を発見
- 一軸配向した結晶性の良いWO3薄膜が着色性能に優れる新事実を発見し、そのメカニズムを解明

成果発信・波及効果

- 査読つき論文：46件
- プレス発表：2件
- 孔径制御可能な多孔質SiCセラミックス合成技術開発
- 民間企業による光学式水素センサー実用化研究へ進展

今後の計画・展望

○有機ハイドライド検知材料の創製

水素の貯蔵・輸送・供給源用有機ハイドライドからの水素漏洩を色変化で検知するセンサー材料を開発

○原子炉用高分子材料の健全性評価技術の開発

原子炉ケーブル用高分子材料の劣化メカニズムを解明、実機条件に即した健全性評価技術を見直し/高度化

⑬

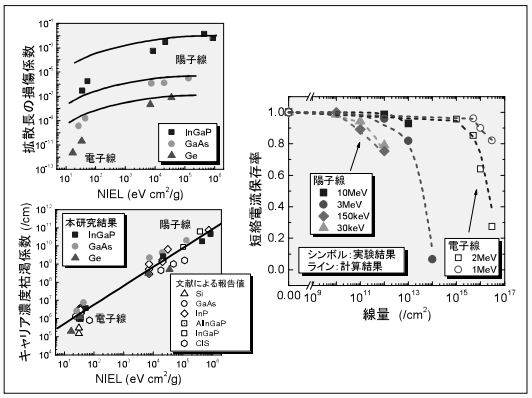
研究課題 2．18 | **半導体・高分子材料の耐放射線評価の研究**

研究のねらい

量子ビームを利用した高付加価値素子の創製に貢献するため、半導体の放射線劣化の予測モデルを構築するとともに、原子力分野等への応用を目指し、10MGyの耐放射線性を有する炭化ケイ素（SiC）トランジスタを開発する。

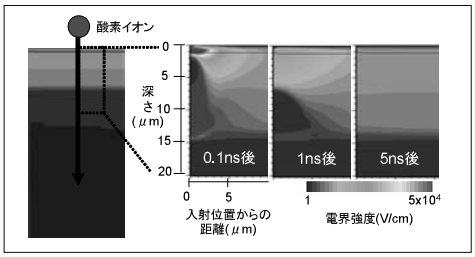
成　果

○宇宙用三接合太陽電池の放射線劣化予測モデル構築



非イオン化エネルギー損失（NIEL）を太陽電池劣化の主要物性パラメータの指標に劣化モデル構築に成功

○半導体デバイスの放射線劣化・誤動作のモデル化



イオン入射によるダイオード内電界強度分布の時間変化シミュレーションに成功、イオン誘起電荷の伝播挙動を解明

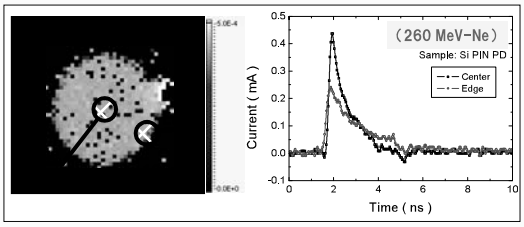
○高分子材料・機器類の耐放射線性評価

J-PARC機器等の耐久性・健全性を評価、プロジェクト推進に大きく貢献

⑭

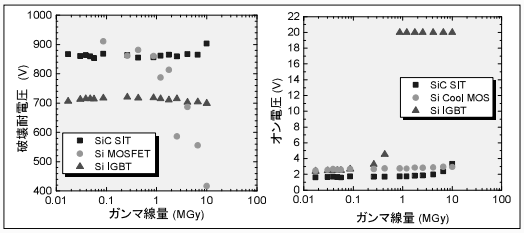
成果（つづき）

○半導体デバイスの放射線劣化・誤動作のモデル化



集束型高エネルギー重イオンマイクロイオンビームによるSi PIN型ダイオードのイオン誘起過渡電流測定に成功

○耐放射線性SiC半導体の開発



SiC接合型トランジスタで10MGy耐性を達成。Si MOSトランジスタやIGBTより耐放射線性に優れることを実証

以上の成果により中期計画を達成見込

達成のポイント

- **世界をリードする「世界唯一の照射・評価技術」開発**
- **実験的観測と数値解析による研究の効率化**
- **JAXA、AIST、SNLや企業・大学との共同研究を活用**
- **外部資金を活用した関連研究の推進**

成果発信・波及効果

- **査読つき論文：73件**
- **受賞：第12回放射線プロセスシンポジウム　奨励賞（H19）、他1件**
- **宇宙機器の寿命・信頼性予測技術や新型太陽電池・半導体素子の効率的な開発に貢献**

今後の計画・展望

○半導体耐放射線評価研究

原子力・加速器・核融合施設や宇宙機器の高信頼性・長寿命化に必須な、耐環境・極限エレクトロニクス技術のキーマテリアルであるSiCの実用化に貢献するため、SiCのシングルイベント効果を解明し、耐性強化技術を開発

⑮

研究課題 2．19 | **金属捕集・生分解性高分子の研究**

研究のねらい

量子ビームを利用して環境浄化・保全に貢献するとともに、技術移転による産業振興に寄与するため、放射線橋かけとグラフト重合技術を用いて生分解性高分子材料及び金属捕集高分子材料を開発する。

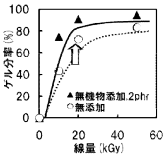
成　果

生分解性高分子の研究（橋かけ）

○ 照射温度による粘性変化を利用したゲル分率（40-60％）の制御法を開発

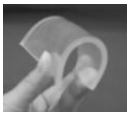
○ 無機物添加によりゲル分率の向上

ゲル分率の制御で、吸水率が向上、吸着材により色度を89％低減



ポリ乳酸：眼鏡のダミーレンズに応用の見通し

○ 植物由来プラスチックの応用範囲を大幅に拡大



放射線橋かけ条件の最適化により植物由来プラスチックの熱変形耐性や強度・伸長率向上に成功

H19年6月プレス発表

金属捕集高分子の研究

○ グラフト試薬を水系に分散させるエマルション系で、12倍の反応率が向上（効率的グラフトプロセス）

○ 希少金属を資源化

地域新生コンソーシアム研究開発事業

温泉水中のスカンジウムを95％以上回収可能

H20年10月プレス発表

○ 表面改質処理

ミリ波アンテナ基板に応用可　H18年9月プレス発表

○ グラフト水処理材でビル空調用循環水の水質改善

装置の実用化に成功

H20年7月プレス発表

高崎研
規模：90 ton
鉄濃度：0.27ppm

16

成果（つづき）

生分解性高分子の研究

○ 植物由来プラスチックの応用範囲を大幅に拡大（つづき）

H18年12月プレス発表

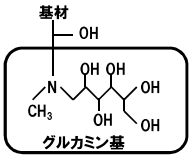
植物由来の生分解性弾性ゲルを開発、パック剤などに利用可

○ セルロース誘導体ゲルの機械的強度向上

コンタクトレンズに応用の見通し

金属捕集高分子の研究

○ 地下湧水中のホウ素除去に関する機構内連係



東濃地科学センターの湧水中フッ素・ホウ素除去用捕集材作製に応用

以上の成果により中期計画を達成見込

達成のポイント

- 効率的な橋かけ、グラフト重合の手法とプロセスの開発
- 成果の発信とエンドユーザーとのマッチング
- 外部資金獲得、成果展開事業等の活用による技術移転の促進

成果発信・波及効果

- 査読つき論文：62件
- 受賞：2nd Asia-Pacific Symposium on Radiation Chemistry（H20）、他9件
- 新聞報道：30件、テレビ放映：7件
- 波及効果：H20地域イノベーション創出事業に採択（群馬県の地元企業3社と、H21-23）

今後の計画・展望

○金属捕集研究

放射線グラフト重合技術を利用して廃油からバイオディーゼルを生成可能な繊維状触媒材料を合成

エネルギー資源確保に貢献

○バイオポリマー研究

放射線橋かけ技術を駆使してバイオマス由来高分子材料を用いたナノサイズ微粒子の作製技術を開発、低副作用の徐放性薬剤用基材へ応用

17

研究課題 2. 20 | **有害有機化合物除去技術の開発**

研究のねらい

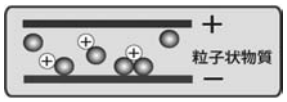
環境浄化・保全に貢献するため、塗料溶剤に使われるキシレンなどの揮発性有機化合物（VOC）を電子ビームで酸化分解し、生成する中間副産物（ガス状及び粒子状物質）を触媒及び帯電・捕集により、無害化する技術を開発する。

成　果

H19：混合VOCの90％分解

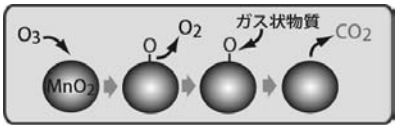
加速電圧相違による分解挙動等を解析

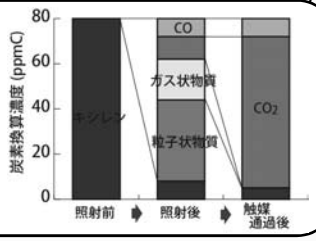
H17：粒子状物質の90％帯電捕集



VOC → ラジカル反応 → 中間物質処理 → CO_2 → 浄化空気

H18：MnO_2触媒による中間物質無害化





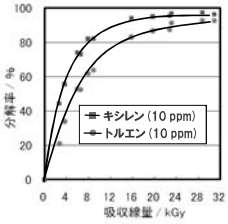
H20：500 m³/hで90％分解、70％無機化

ガス処理専用加速器

⑱

成果（つづき）

○実規模模擬排ガス中VOCの分解挙動

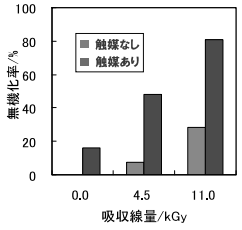


100～500 m³/hの混合系で90％以上の分解率を達成

⇩

～2,000 m³/hのスケールアップ処理試験を計画中

○二酸化マンガン触媒による照射副産物の酸化



500 m³/hの混合系で90％以上の無機化率を達成

⇩

照射副産物処理も含めたシステム開発に着手

以上の成果により中期計画を達成見込

達成のポイント

- 二酸化マンガン触媒に照射で発生したオゾンを接触させ、酸化触媒化することでガス及び粒子状物質を無機化する手法を開発
- プロトタイプのガス処理専用電子加速器による実規模流量試験に成功

成果発信・波及効果

- 査読つき論文：51件
- 受賞：日本放射線化学会奨励賞（H18）
- 放射線場における触媒の活性誘起に関する基礎的知見の獲得

今後の計画・展望

○水中有害物分解除去研究

パルスラジオリシスにより発生する水中活性種と水中環境負荷物質の反応速度定数を決定する。また、律速反応をシミュレーション解析により明らかにし、その制御技術と放射線併用による分解挙動を解明する。

⇩

水中微量難分解性化合物の放射線分解技術開発

⑲

研究課題 2．21 | **ビーム技術・加速器技術・照射技術の開発**

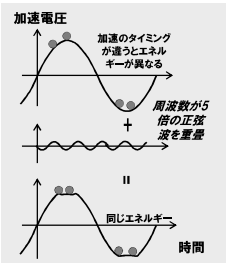
研究のねらい

荷電粒子・RI利用研究を推進するため、ビーム径1μm以下の数百MeV級重イオンマイクロビーム形成等のビーム技術、加速器技術及び照射技術の開発等を行う。

成　果

○世界最小径のマイクロビームを形成

φ0.7μmを可能にしたサイクロトロンRF電圧フラットトップ加速



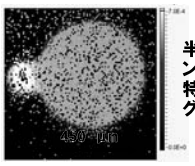
マイクロビームレンズ

5μm角の格子点に高精度でイオンを1個づつ狙い撃ち

数百MeV級重イオン集束式マイクロビーム形成技術の開発により260MeV-^{20}Neイオンビームで 0.7μmの世界最小ビーム径を実現

H19年9月プレス発表　　（中期目標を早期達成）

○高速シングルイオンヒットを実現



半導体素子（Si ダイオード）のイオンビーム誘起過渡電流（TIBIC）特性の高空間分解能イメージングを実現

1μm以下の260MeV-Neビームを用いて、世界初の1,500ヒット/分の高速シングルイオンヒット技術を開発　　半導体照射実験に利用開始（H20）

○世界最先端の照射施設・ビーム技術の開発・整備

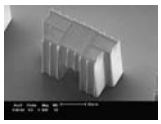
- ・AVFサイクロトロン高度化
- ・シングルイオンヒット技術
- ・イオンビームナノ加工

文部科学省　量子ビーム基盤技術開発プログラム受託事業
多様なイオンによる高精度自在な照射技術の開発
（H20-24）

⑳

成果（つづき）

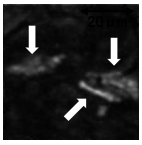
○プロトン描画（PBW）技術の開発



加工深さ50μm、最大アスペクト比1:50の三次元ナノ構造物の製作に世界で初めて成功

H19年2月プレス発表

○大気マイクロPIXE技術の開発



マイクロPIXE分析により肺組織内のアスベストの検出・種類の特定に成功

H20年11月プレス発表

○新ビーム開発・クラスターイオン加速

- ・サイクロトロン：6種
- ・イオン注入装置：2種
- ・タンデム加速器：2種とクラスターイオンの大電流化

○先端研究施設共用イノベーション創出事業による産業界向け研究開発の支援

H19-20年度：5千万円/年　H21-23年度：補助事業

以上の成果により中期計画を達成

達成のポイント

数百MeV級重イオンマイクロビームの形成は、サイクロトロン本体の高安定化およびビームの高品位化と、世界最先端のマイクロビーム形成技術との融合により実現

成果発信・波及効果

- ・査読つき論文：32件
- ・受賞：日本原子力学会関東・甲越支部技術貢献賞（18年）、他2件
- ・プレス発表：3件

数百MeV級重イオンマイクロビームは、半導体デバイスの耐放射線性研究や生物細胞照射影響評価研究の進展を加速

今後の計画・展望

○イオンビーム加速・照射技術の高度化

数百MeV級重イオンの多重極磁場による低フルエンス大面積均一ビーム形成等の加速器・ビーム技術の研究開発を行う。

㉑

荷電粒子・RI利用研究の将来展望
人類社会の福祉
国民生活の水準向上
科学技術の進歩
産業の振興
工業
農業
医療
環境
イノベーション
高品質・環境浄化植物
産業微生物
がん治療・診断
高分子ゲル材料
水分解・水素発生セラミック材料
燃料電池自動車
生命科学・先進医療・バイオ技術領域
○食糧資源の確保や環境保全に貢献する湯用生物・遺伝子資源の創成
○重粒子線がん治療・放射線生物影響解析のための重イオンマイクロビーム局部照射
○生物の機能を解明・活用するための総合技術としてのRIイメージング技術
○QOLの高い診断・治療を実現する診断・治療用RI-DDS
環境・エネルギー領域
○地球環境・エネルギー問題を克服する水素利用・燃料電池技術
○原子力エネルギーや宇宙開発に貢献する耐放射線性評価・新材料技術
○環境と調和する循環型社会実現のための有用資源回収・バイオマス活用技術
量子ビームの有する機能を最大限に活用
イオン照射研究施設（TIARA）
ガンマ線照射施設
世界最先端の照射施設・ビーム技術の開発・整備
電子線照射施設
22

光量子・放射光科学研究の展開

－　関西地区における研究開発の概要　－

関西文化学術研究都市

播磨科学公園都市
SPring-8

平成21年7月22日

日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門
副部門長　水木 純一郎

関西地区の研究概要1

木津サイトの研究内容と施設

研究内容　先進的なレーザー光源の開発とそれを用いた物質科学（特に、物性研究、物質分離等）や生命科学への応用

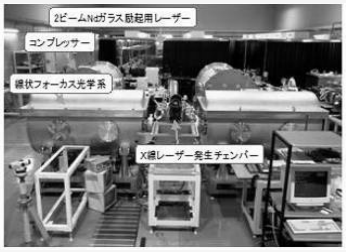
先進的なレーザー装置群

極短パルス高強度レーザー

小型で世界最高出力
850TWを実現

高コントラスト比

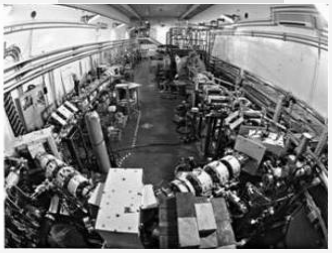
X線レーザー



波長8.8～46.9nmで発振

空間フルコヒーレンスの実現

エネルギー回収型自由電子レーザー



連続出力2.3kWの実現

エネルギー回収技術の開発

①

関西地区の研究概要2

播磨サイトの研究内容と施設

研究内容　放射光を利用した反応・機能のダイナミックスの観測とそれに基づいたナノ機能物質創成・量子制御

原子力機構の専用ビームライン

JAEA量子ダイナミクス

BL11XU

6～70keVのＸ線を利用して、物質の振動状態や電子状態、成長中の結晶表面の構造などの研究に使用。

JAEA物質科学

BL14B1

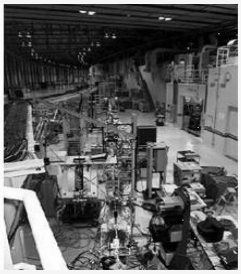
4～100keVのＸ線を利用して、高温高圧下や電位、レーザー照射などに伴う結晶構造の変化、液体やガラスなどの複雑系の研究に使用。

JAEA量子構造物性

BL22XU

3～70keVのＸ線を利用して、重元素や高圧下での物性研究に使用。

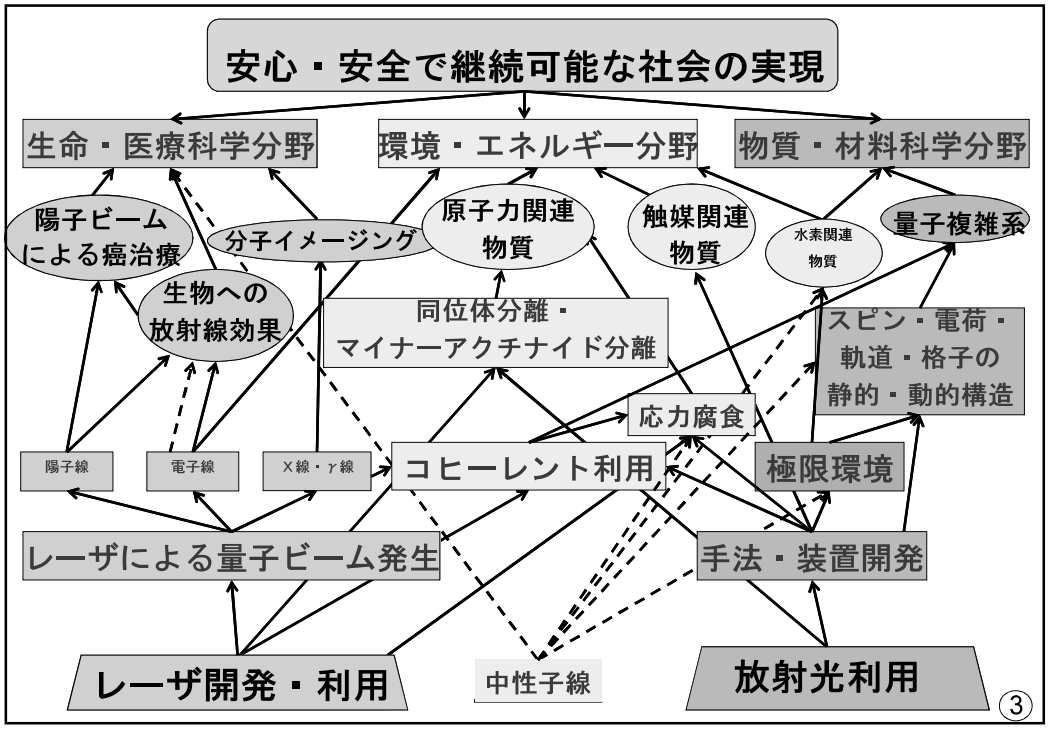
JAEA重元素科学



BL23SU

波長の長い軟Ｘ線による生体物質や重元素の分光研究に使用。

②



③

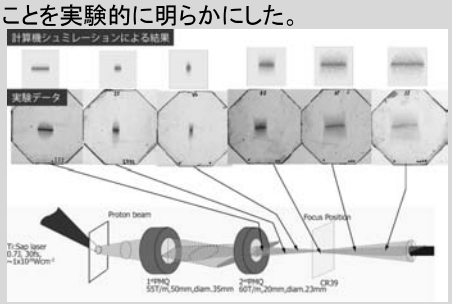
研究課題 2. 22	高強度レーザーによるイオン発生の研究

研究のねらい

がん治療用等のレーザー駆動小型陽子加速器の実現に貢献するため、レーザーによるMeV級の高エネルギー陽子の発生を実現するとともに、エネルギースペクトルの準単色化を目指す。

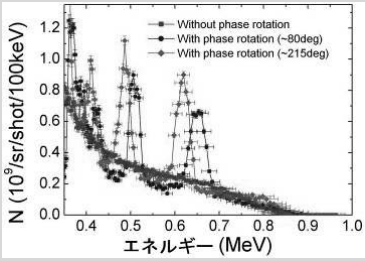
成果

J-KAREN レーザーシステムを用いた繰り返し1Hzで陽子線発生実験を行い最大7MeVの陽子線を得た。また陽子線の伝送・収束の実験を行った。永久4重極磁石を用いることで、エネルギーMeV、時間幅数ナノ秒、10^7個の準単色陽子線を1～3mm程度に収束できることを実験的に明らかにした。



位相回転法による陽子線の準単色化の実証

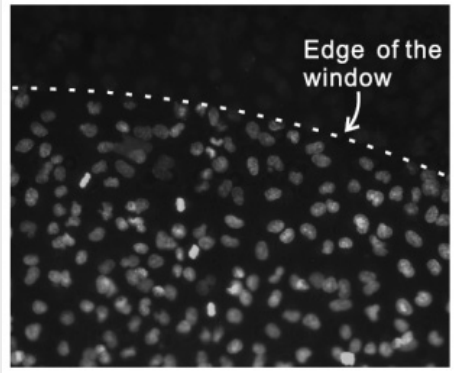
適切な周波数の高周波電場を陽子線に適用する「位相回転法」により、高品質の準単色の陽子線を繰返し生成することに成功した。
高周波電場を印加することによってエネルギースペクトルの単色化が図られ、そのピーク強度が約3倍にまで増大した。



4

成果（つづき）

医療応用への貢献を目指して、レーザー駆動高エネルギー粒子発生の技術開発を継続して進めるとともに、発生ビームを用いた細胞照射実験や材料照射実験などの利用研究を行った。下に、DNA二重鎖切断を示す蛍光蛋白質の発光像を示す。



達成のポイント

グループ横断で進めてきたJ-KARENレーザーの高度化と安定運転、レーザービーム照射装置の整備、各種リアルタイム計測装置の開発が並行して順調に進み、レーザー駆動陽子線発生の最適化などを比較的容易に行うことができるようになったことによる。このため研究員のモティベーションが高まり、良いアイデアの実験を行うことができた。

成果発信・波及効果

- 査読付論文数：46件
- 代表的な論文
  - M. Nishiuchi et al. Phys. Plasmas 15, 053104 (2008)
  - M. Nishiuchi et al. Appl. Phys. Lett. 94, 061107 (2009).
  - M. Ikegami et al. Phys. Rev. Special Topics Accelerators and Beams (in press).
  - A. Yogo et al., Appl. Phys. Lett. 94, 181502 (2009).
  - K. Ogura et al., Appl. Phys. Express 2, 066001(2009)
- 学術的または産業応用的な波及効果
  - レーザー駆動陽子線材料照射装置
  - テラヘルツ波を含むレーザー駆動マルチビーム発生装置

今後の計画・展望

レーザー駆動粒子線実用化を目指し、発生陽子線の高エネルギー化、発生の安定化、高繰り返し化、発生陽子線の伝送・収束・照射及び本陽子線の特徴を最大限生かした利用を対象とした研究を推進する。利用研究としては、レーザー駆動陽子線の生体物質への照射効果を調べるため細胞照射実験、産業利用が期待されるレーザー駆動陽子線の材料照射、材料放射化の基礎的研究を推進する。

5

研究課題 2．23	レーザー電子加速に関する研究

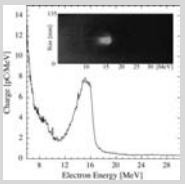
研究のねらい

レーザー加速により、従来の高周波空胴を用いた加速の100～1000倍の加速勾配を得ることが出来、さらに十数フェムト秒の電子ビームを生成出来る。また、新たな小型高強度レーザー技術の開発により、アト秒パルス高輝度X線を可能にする。

成果

○安定な準単色電子ビームの発生

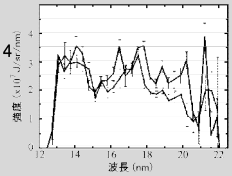
- 我々が発見した斜め衝突入射型電子加速法による発生電子ビームの品質の向上に成功。
- コントラスト比を改良したレーザー光を用いることで、140 MeV, 100pCの準単色電子ビームの発生に成功。
- レーザーのコントラスト比改善（10^{-6}→10^{-8})により、電子発生の高度化（再現性向上、電荷量10倍）を実証。



エネルギー　　：14.4 ± 0.7 MeV
エネルギー分散　：10.6 ± 1.5 %
電荷量　　：21.8 ± 3.8 pC
エミッタンス　　：1.6 ± 0.2 π mm mrad

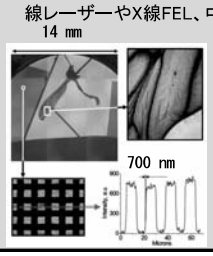
○フライングミラーによる光子発生

- 原子力機構で発明した航跡波をフライングミラーとして用いて、レーザー光を反射させ、周波数を50-114倍に上昇させる原理検証に成功。
- 対向入射方式の実施により、その反射率がほぼ理論通りに得られることを実証。得られた光子数は、4000倍以上に向上。
- 理論的には、アト秒（<340 as）パルスが生成。



○クラスターによる高輝度X線源の開発

- CO_2とHe混合ガスを用いたクラスター軟X線により、高輝度な軟X線源(～18Å)を実証。
- LiF結晶を検出器に用い、高分解能(～700 nm)を達成。X線レーザーやX線FEL、中性子線にも応用された。



軟X線源の特徴:

コンパクト、デブリフリー: テーブルトップサイズ（1-10 Hz）

光子数: 3×10^{10} photon/sr/pulse

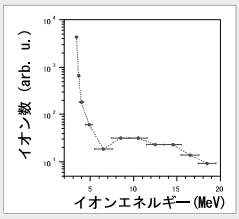
輝度：1.6×10^{23} photon/s/mm^2/mrad^2/0.1%BW

6

成果（つづき）

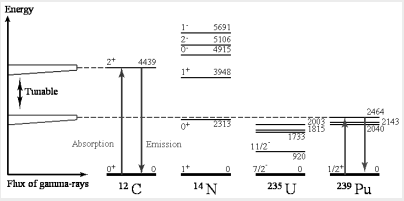
○クラスターからのイオン発生

- クラスターターゲット開発により、小型レーザー(150mJ/40fs)での高エネルギーイオン(18 MeV/n)生成に成功。
- シミュレーションにより、この新しい加速機構を定量的に解明。



○レーザー逆コンプトン散乱γ線による非破壊測定法の開発

- 従来不可能であった金属で遮へいされた物質の非破壊計測手法を発明。
- 核共鳴蛍光散乱で15mmの鉄で遮蔽された爆発物の模擬物質中の^{12}Cと^{14}Nを計測し、原理検証に成功。



達成のポイント　　**中期目標を達成済**

- 理論、シミュレーション、実験を行うメンバーから成るチームとして編成し、課題に対して基本的な観点からアプローチすることができた点。
- 機構の先進的レーザー装置、多面的な計測装置、高性能スーパーコンピュータ、理論物理学の手法の駆使。
- 世界的な研究者、研究所との交流による競争力の維持、研鑽。

成果発信・波及効果

- 論文発表を積極的に行うと共に、インパクトのある成果はプレス発表を積極的に実施（国内プレス発表3件）。
- フライングミラーの成果は海外の雑誌等(Science Now)にも紹介され、国内外の学会にて招待講演を受けるなど大きなインパクトを与えた。
- 我々が発明、実証した方式などが世界各地で使われている。

今後の計画・展望

○ アト秒電子線・X線の発生研究開発

- 実用レベルの安定・パラメータの制御可能な小型レーザー電子加速器の開発
- フライングミラー技術を発展させ、アト秒コヒーレントX線源の研究開発。さらには超高強度場実現などの基礎科学分野へ貢献。

○ レーザー逆コンプトン散乱γ線による核検認技術の開発

- 20年度までに開発してきた逆コンプトンγ線発生技術や原子核計測技術を用いて、原子力分野や核安全に重要な技術を開発。（核検認グループとして統合）

7

研究課題 2. 24	X線レーザーの利用研究と高度化開発

研究のねらい

0.1Hzの高繰返しのX線レーザーを発生を実現させるとともに、高繰返し空間フルコヒーレントX線レーザーの出力エネルギー及びポインティングの更なる安定化を図り、物性研究をはじめとする利用研究に供する。

成果

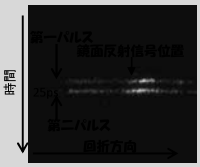
○ 高繰返し励起レーザー装置TOPAZによる0.1Hz繰り返しフルコヒーレント軟X線レーザーの開発

- 冷却効率に優れたジグザグスラブ増幅器を用いた0.1Hz高繰返しX線レーザー励起装置(TOPAZ)を完成させた。更にこのTOPAZを用いてダブルターゲット方式による空間フルコヒーレント軟X線レーザーの0.1Hz動作を可能にした。

TOPAZ**レーザー主増幅部**

- 0.1Hz繰り返し軟X線レーザーの実現により、コヒーレント軟X線利用研究を物性研究をはじめとする研究分野に展開していくことが可能になった。

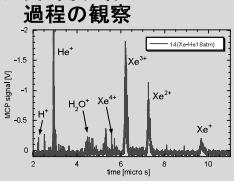
○ フルコヒーレント軟X線レーザーによる強誘電体の相転移直上での揺らぎの時間相関の計測に成功



$BaTiO_3$**のスペックルのストリーク像**

時間間隔が可変の軟X線レーザーダブルパルスを用いて、強誘電体$BaTiO_3$の相転移近傍におけるドメイン構造に起因した時間相関スペックル信号を世界で初めて観測した。

○ 高輝度X線パルスによるXeクラスターの内殻電離過程の観察



内殻電離Xeクラスターからの生成イオンのスペクトル

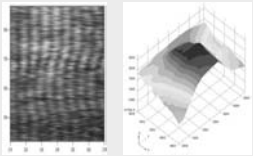
軟X線レーザーによるXeクラスターの内殻電離を行ない、生成イオンを**飛行時間計測法により**観測した。照射X線パルスが高輝度になると、Xe^{2+}よりもXe^{3+}が多く生成することを明らかにした。

8

成果(つづき)

○ 軟X線レーザー干渉計による物質表面のナノ構造の観察

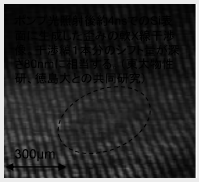
- ダブルロイズ鏡を利用した軟X線レーザー干渉計を開発し、高さ10nmの隆起を持ったテストサンプルのシングルショット干渉像の取得に成功した。



シリコン表面に生成した高さ10nmのPtの隆起の軟X線干渉像(左図)と、解析によって得られた隆起の鳥瞰図(右図)

○ 軟X線レーザー干渉計によるレーザーアブレーション過程のポンプ&プローブ計測

- 開発したダブルロイズ型軟X線干渉計を用いてシリコン表面のレーザーアブレーションのポンププローブ計測を行い、この手法により表面ナノスケールダイナミクスが計測できることを示した。



軟X線レーザーの0.1Hz高繰返し化を達成し、それによる利用研究を展開したことにより中期計画を達成した。

達成のポイント

- 高繰り返しX線レーザーの開発に関しては、以前開発したCPAガラスレーザーでの開発で蓄積した知識・経験が十分に活かされ、技術的に新しい部分(矩形の励起レーザービームのイメージリレー)の技術開発に集中できたことが挙げられる。
- X線レーザーを利用研究に供する上で、外部共同研究者との密接な連携を行なったことが挙げられる。また積極的に施設共用を進めることで、ユーザーからの要望が光源技術の高度化につながった。

成果発信・波及効果

- 査読付論文数18件

Ochi et al. Applied Optics 46, 1500–1506 (2007).

Namba et al. Phys. Rev. Lett. 99, 043004 (2007).

H17年池田賞"Pico-second view of microscopic scale polarization"

- ピコ秒の分解能でナノスケールの情報が単一ショットで得られる現在唯一の光源であり、これまで有効な手法が存在しなかった、物質科学における揺らぎ現象や破壊現象の研究分野を進展させることを可能にした。

今後の計画・展望

○ X線レーザーによるナノスケールダイナミクス観察

- コヒーレント軟X線は、次世代の光源として科学分野だけでなく、医学や産業の広範囲な分野から注目されている。軟X線レーザーの特徴である、コヒーレンス、短パルス性、単色性を最大限活用することで、物質のナノスケールダイナミクス観察やナノスケール構造生成を可能にするポンププローブX線レーザー干渉計測やポンププローブスペックル計測等の高度なコヒーレントX線利用光学技術の開発を目指し、上記分野への利用研究を進める。

9

研究課題 2. 25	軟X線顕微鏡の要素技術開発

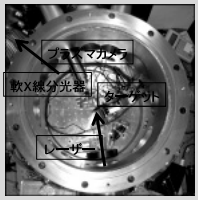
研究のねらい

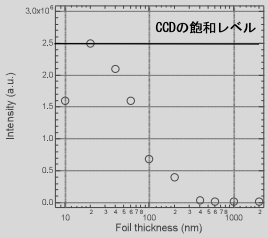
「水の窓」波長域（2～4nm）のレーザープラズマX線源を利用して、生きたままの細胞等の瞬時観察を可能とするレーザープラズマX線顕微鏡の要素技術を開発する。

成果

○ 軟X線プラズマカメラによる水の窓波長域レーザープラズマX線源の評価実験を実施

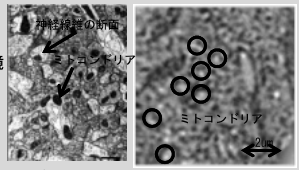
- フレネルゾーンプレートを用いた軟X線プラズマカメラを開発し、水の窓波長域（2.3～4.4nm）におけるレーザープラズマX線源の評価実験を実施した。極薄膜金ターゲットを高出力パルスレーザー(600ps, 10J)で照射することにより高効率に水の窓領域の軟X線パルスを発生させることに成功した。厚さ20nmの金極薄膜において最大輝度が得られることがわかった。





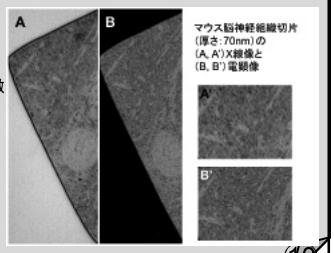
○ マウス脳神経組織切片のX線顕微観察を実施

- レーザープラズマX線源を用いた密着型X線顕微鏡により、エポキシ包埋された厚さ70nmのマウスの脳神経組織切片の観察を実施。



エポキシ包埋されたマウスの脳神経組織の切片（厚さ70nm）の電子顕微鏡像（左）とX線像（右）

- 同一の切片の透過型電子顕微鏡による観察結果と直接比較することにより、X線顕微鏡像の中のミトコンドリアや神経線維の断面像の位置を正確に特定することに成功。

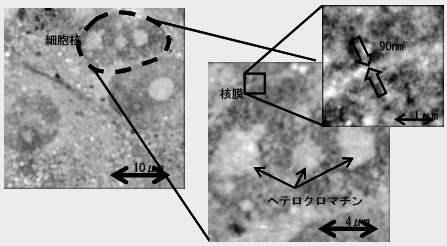


10

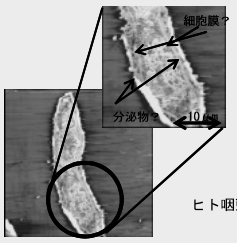
成果（つづき）

○ 生理活性化にある生きたままの細胞の撮像実験を実施

- 生理活性化にある細胞を真空中で長時間保持する機構を開発することで、マウスの精巣ライディッヒ細胞およびヒト咽頭癌細胞の生きたままの姿を100nm以下の空間分解能で撮像することに成功した。



マウスの精巣ライディッヒ細胞の観察結果



ヒト咽頭癌細胞の観察結果

達成のポイント

- 生理活性化にある細胞を生きたままの状態で高い空間分解能で観察するためには、高輝度X線源の開発が必須条件である。関西光化学研究所の有する高輝度レーザー技術とX線レーザー開発で培ってきたX線発生に関する知見を最大限に活用することにより、高輝度X線源の開発に成功した。

成果発信・波及効果

・査読付論文：Appl. Phys. B 87, (2007) 615、JJAP **46**, (2007) L717 他、合計8本

・波及効果：今中期計画において開発した超極薄膜金ターゲットを用いた高輝度X線源は、EUVリソグラフィー等の高輝度X線源を必要とする産業分野に利用可能である。

今後の計画・展望

○ 放射線の生物影響の機構解明

・今中期計画により開発した、生きたままの細胞の瞬時観察を可能とするX線顕微鏡の要素技術を最大限活用し、放射線照射により生じるDNA損傷に起因した細胞レベルの構造変化を観察するX線顕微鏡を開発する。このX線顕微鏡で得られる結果と、同じDNA損傷を時間分解THz分光等の分子レベルで調べた結果や計算機シミュレーションによる結果と比較することで、放射線生物影響の機構解明を目指す。

・今中期計画終了後、グループ再編の可能性有り。

11

研究課題 2. 26 | レーザーの高度化開発

研究のねらい

ペタワット(超短パルス高強度)レーザーの主パルスとプレパルスの強度比を10の8乗以上へ向上する。

成果

OPCPA(光パラメトリックチャープパルス増幅)方式を開発し、主パルスとプレパルスの強度比(コントラスト比)が10の8乗を超える3テラワット出力のレーザー光の発生に成功した。

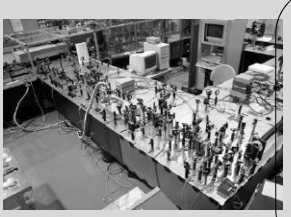
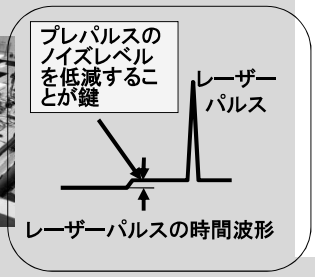


図1. OPCPAレーザー装置.



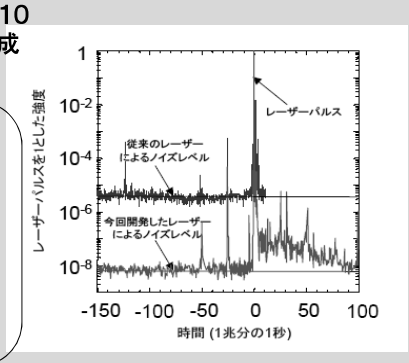


図2. レーザー光強度の比較.

12

成果(つづき)

3次自己相関法を用いて、ペタワットレーザーのコントラスト比を計測し、10の10乗を達成した。また、レーザーの固体ターゲット照射による反射光を計測することで(図1)、照射ターゲット上でのコントラスト比10の8乗以上を確認した(図2)。
これらの結果より、中期目標を達成した。

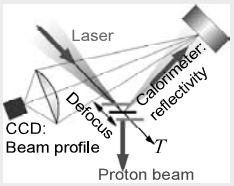


図1 実験配置図.

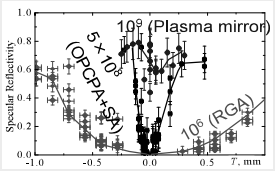


図2 ターゲット位置に対する反射率特性.

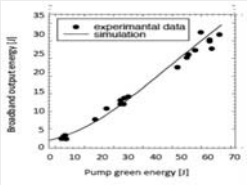


図3 レーザー出力500 TW相当の達成.

100J級ガラスレーザーシステムを整備し、最終増幅段を用いてレーザー出力強度を1桁アップすることに成功し、高強度でのレーザー照射実験を開始した。

新たな成果創出のポイント

光源開発において、これまでの主流であった最高性能(最大ピーク出力、最短パルス幅など)の追求に代わり、利用研究に要求される性能(高コントラスト比、出力安定性など) の獲得を主目的として開発したこと。

成果発信・波及効果

◎査読付学術論文数 (51件)
- ✓ H. Kiriyama et. al., Opt. Lett., 32 (2007) 2315
- ✓ H. Kiriyama et. al., Opt. Commun. 282 (2009) 625 ほか

◎H20年度(社)レーザー学会進歩賞受賞

◎H19年 8月10日付プレス発表、「 高強度レーザー出力装置10分の1に小型化 原子力機構・阪大が開発」(中日新聞、東京新聞、日経産業新聞、日刊工業新聞)

◎小型がん治療器用レーザー光源の実現に大きく貢献

今後の計画・展望

◎ 次期中期計画における、より広範なレーザー利用研究の推進に向けて、既設の超短パルス高強度レーザーについて、最終増幅器を含めたレーザービームの制御技術、高コントラスト化等の改善を行い、レーザー光の安定供給を目指す。

◎ 上記と併せて、ガンマ線核分析やレーザー量子制御等の新たな利用研究に必要となる高効率かつ高繰り返し動作が可能な超短パルスレーザーの要素技術を開発する。

◎ その実現に向けて、関西光拠点の次世代光源開発課(仮称)にて研究開発を行う計画である。

13

研究課題 2．27	レーザー物質制御の研究

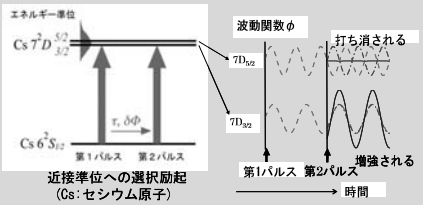
研究のねらい

先端レーザー等を利用した同位体分離、材料創製・改質の研究を進めレーザーの新たな利用を拓く

成果

○極短パルス高強度レーザーを用いた量子制御によるCs同位体分離の基礎研究

- Cs原子の近接準位間の超高速選択励起に成功

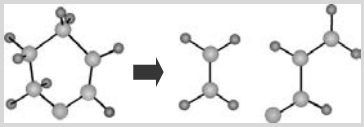


近接準位への選択励起
(Cs:セシウム原子)

- CsIのポテンシャル曲線の構築により高振動励起状態に大きな(30cm^{-1})同位体シフトの出現を予想
- ^{133}CsI/^{135}CsI混合系で^{135}CsIを選択的に振動励起させるレーザーパルス波形の予測に成功
- 高温でも高選択的かつ高効率と予想されるレーザー同位体選択スキームとして回転状態の同位体選択的多段階励起を利用する方法を考案

○ 酸素同位体分離技術の開発

- 2,3-ジヒドロピランの赤外多光子解離による酸素同位体分離を行い、^{18}O(天然存在割合0.204%)を60%まで濃縮することに成功



^{18}O(0.204%)　　^{18}O(60%)

- 2波長光照射により高濃縮酸素同位体生産速度を5倍向上

大量濃縮の可能性を実証

○ 同位体材料創製の研究

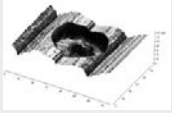
- ^{30}Si濃縮SiF_4ガスを用いたプラズマCVDによる同位体濃縮シリコン薄膜創製
- 天然Si単結晶上への^{30}Si濃縮薄膜堆積試料の中性子照射によるPN接合形成

14

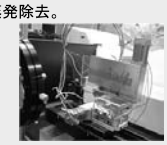
成果(つづき)

○ 超短パルスレーザーによる大面積非熱蒸発技術の開発

- 加工硬化層の引張残留応力による沸騰水型原子炉シュラウドの応力腐食割れ対策技術を提案
- 原子力用ステンレス鋼へ機械加工により導入した加工硬化層をフェムト秒超短パルスレーザーにより蒸発除去。



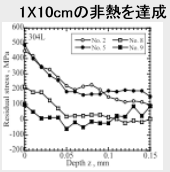
加工硬化層の除去



1X10cmの非熱を達成

- レーザー非熱蒸発技術による大面積蒸発技術と他の先端技術との連携融合を実施

- 第1段階として、Spring-8ビームラインでの残留応力の緩和を確認。伝熱管溶接部の保守保全技術に適用(特別会計事業に発展)



残留応力緩和の確認

○ 非熱レーザー蒸発をナノ領域分析機器に適用(レーザー補助アトムプローブ開発)

- 超短パルスレーザーと電界蒸発技術の組み合わせを編み出し、3次元アトムプローブの試料分析率の向上に成功。
- 難分析材料である次世代FBR燃料被覆管および核融合ブランケット用耐熱板の候補であるODS鋼の分析に成功。

中期目標達成

達成のポイント

中期計画以前の研究で培った技術および研究基盤を最大限活用して、その利用技術を開発するとともに、シーズとなる基礎研究を展開できたこと。

成果発信・波及効果

査読付論文数：42件（Phys. Rev. A 72 (2005), J. Chem. Phys. 128 (2008), J. Phys. Chem. A 112 (2008), Ultramicroscopy 109 (2009)等への掲載）
プレス発表：2件（量子制御および）
波及効果：PET用検査試薬等医療分野への酸素同位体の利用
FBR保守保全技術への展開
Cs同位体分離技術への展開

今後の計画・展望　以下の3つに分割・改廃予定

○ レーザー量子制御の研究

- 放射性廃棄物分離プロセスへのレーザー利用に必要な原子・分子制御技術を開発する。

○ 高強度場における物質科学の研究

- 超短パルスレーザーの高強度コヒーレント場を用いて、分子や固体の新たな物質制御法を開発する。

○ 光量子融合研究

- 敦賀本部のレーザー共同研究所に協力して、レーザー技術の原子力・医療分野等への応用を進める。

15

研究課題 2．28	研究テーマ名 先進光源の開発研究

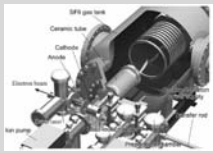
研究のねらい

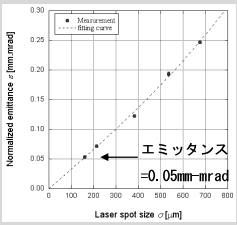
コヒーレントX線、大強度γ線の発生を可能とするエネルギー回収型次世代放射光源を実現するための、低エミッタンス大電流電子銃の開発を行う

成果

○ 250kV-50mA電子銃の開発

- 低エミッタンス大電流電子銃の先行試験機として、250kV-50mA電子銃を開発。
- 低リップル高圧電源、ロードロック装置、カソード活性装置など、必要な基盤技術を確立した。
- 次世代放射光源の要求仕様、規格化エミッタンス0.1mm-mrad以下を満たす電子ビームの生成に成功した。
- 従来型(GaAs)を超える量子効率と寿命特性を有する新型半導体陰極(AlGaAs)を開発した





○ 次世代放射光源プロジェクトの立ち上げ

- 外部機関と共同してプ複数のロジェクトを立ち上げた。
- 文科省j受託「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源」(5年間、総額22億円)。
- 次世代光源の実証機となるコンパクトERLの設計をとりまとめ、建設の着手にいたった(KEKつくばキャンパス)。

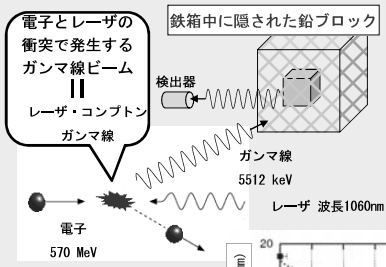
KEK、東大と共同で建設に着手した
コヒーレントX線源、大強度γ線の実証機
2012年に運転開始予定
(羽島他、JAEA-Research 2008-032)

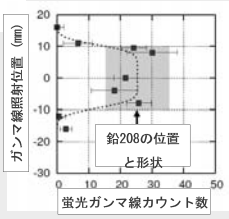
16

成果(つづき)

○ レーザーコンプトンγ線による同位体の非破壊分析手法の提案と実証

- 放射性廃棄物の処理処分、次世代核燃料サイクルの計量管理など、原子力分野で広く利用可能な、非破壊分析手法を提案。すべての同位体を高いS／Nで検出できる。
- j実証実験として、厚い鉄箱中に隠ぺいされた鉛同位体の形状と位置をγ線により測定。





以上により、中期目標を
達成の見込み

達成のポイント

- 20年近くにわたる超伝導FEL, エネルギー回収型リニアックの開発研究でグループが獲得した多くの技術と経験(高輝度電子ビームの発生と計測、レーザー、高周波、コンピュータ制御、数値シミュレーションなど)に基づいて、グループメンバーが力を発揮した。予算の不足を既存装置の活用と工夫により克服した。

成果発信・波及効果

- γ線による同位体の非破壊分析の実証。プレス発表21年3月2日。N. Kikuzawa et al., Appl. Phys. Express, 2, 036502 (2009).
- 次世代放射光源実証機の建設に着手。羽島他、加速器学会誌(掲載予定)

今後の計画・展望

○ 原子力分野への利用を目指した次世代放射光源の要素技術

- エネルギー回収型次世代放射光源の基盤技術の研究開発をさらに展開する。原子力廃棄物中に含まれる核種の非破壊分析や次世代核燃料サイクルの計量管理などに利用可能な大強度γ線源、量子制御による同位体分離に利用可能な広帯域テラヘルツFELなど、次世代放射光源の原子力分野への利用を目指して、これらに必要な要素技術の開発を行う。

17

研究課題 2．29	応力測定・評価技術の開発

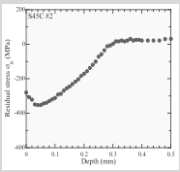
研究のねらい

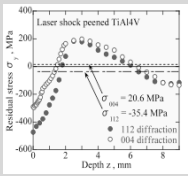
放射光を利用して材料内部の3次元応力分布をin-situで高速かつ高精度に測定する技術を開発し、原子炉用構造材や鉄鋼材料などの応力とき裂、腐食の進展との関係解明に応用する。このためにスパイラルスリットなどの新しい応力測定技術用の装置開発を行う。

成果

○ アナライザを用いたひずみスキャニング法の開発

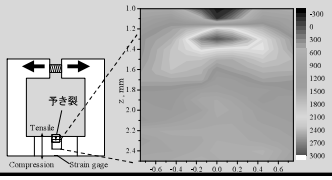
結晶アナライザを利用した高精度のひずみ・応力分布測定法を開発。ショットピーニング材を用いて実証試験を行い、日破壊で材料の表面から内部のひずみ／応力分布を反射法では0.02mm、透過法では0.2mm以下の空間分解能で測定可能。





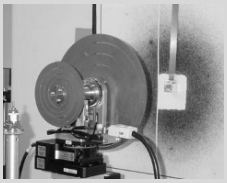
○ エネルギー分散型回折法による高速応力測定技術の開発

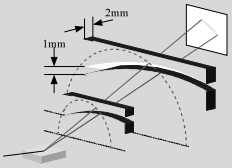
白色X線を利用した高速応力分布測定技術を開発。鉄鋼材料のき裂先端部近傍の3次元応力分布測定に応用。

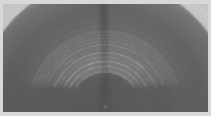


○ スパイラルスリットの設計・製作、実証評価

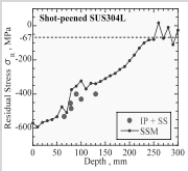
二次元検出器と組み合わせて三次元応力分布の迅速な測定を可能にする円盤状回転スリットを考案、設計・製作し、SUS304Lショットピーニング材の応力分布を測定。従来法に比べ測定時間が最大1/100以下に短縮できることを実証。







スパイラルスリットを用いたときのIP上の回折パターン

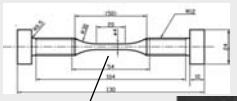


18

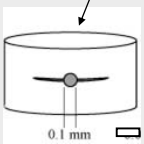
成果（つづき）

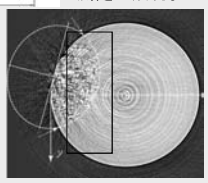
○ CTと組み合わせた応力測定手法の開発

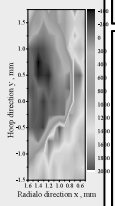
材料内部の形状をComputed Tomography (CT)で非破壊で観察および、ひずみスキャンニング法でひずみ分布を測定。



鉄鋼材丸棒試験片側面に導入した疲労き裂の形状、およびその先端部のひずみ分布測定に成功。

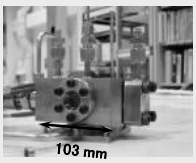


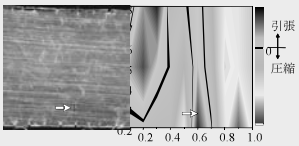




○高温高圧水環境での応力測定

沸騰水型軽水炉と同じ環境（288℃，8MPa）でステンレス鋼の応力分布をその場観察。原子炉材料の寿命予測、SCC研究などの応用に期待。





○中期計画に対して．．．

今後、中性子応力測定を実施し、達成となる

達成のポイント

○達成の要因は、大学の諸先生方および所内中性子残留応チームとの連携によるものである

○達成見込みの要因は、グループリーダーが中期計画中に入れ替わったこと、およびグループメンバーが不足していたために手が回らなかったことによる

成果発信・波及効果

○菖蒲敬久等、“アナライザを用いたひずみスキャニング法の表面効果の補正”、材料，Vol.55，No.1，pp.101-108（2006）．：本論文をベースとして放射光非破壊内部応力分布測定が可能となり、さまざまな材料に適用されるようになった

○鈴木賢治，菖蒲敬久等、“基盤回転EB-PVD遮熱コーティングの微構造と残留応力”、材料，Vol.57，No.7，pp.674-680（2008）．：前述の技術を用いてコーティング蒸着条件と応力の関係を明らかとし、2008年度論文賞を受賞した

今後の計画・展望

○ 放射光と中性子を用いて、材料の表面から内部に至る残留応力の3次元分布測定法を開発し、エンジン等の機器の評価に応用する。

使用前後のピストンシリンダーの部位におけるひずみ分布測定を放射光および中性子を用いて測定する。現在、放射光を用いた測定はひとまず終了し、あとはデータ整理と中性子で実施

○ 次期中期計画では、中性子応力測定グループと一緒に活動する可能性が高い

19

研究課題　２．３０　放射光利用による強相関電子系物質の研究

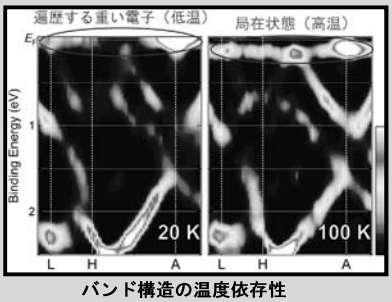
研究のねらい

Ｘ線共鳴非弾性散乱法、パルス強磁場下Ｘ線回折、スペックル、角度分解光電子分光(ARPES)、磁気円二色性(XMCD)などといった放射光を利用した最先端分光法の開発とその高度化、およびそれらを利用して、高温超伝導発現機構の解明、リラクサーなどの本質的に不均一な系の理解など、現代物質科学における重要問題である強相関電子系物質が示す異常量子現象の解明に挑む。これらの研究によって得られた定量的な知見を基に、新しい量子物質創製への指針を得る。

成果

○軟X線ARPESの開発とその応用

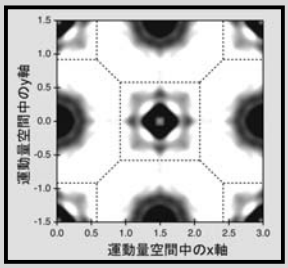
UPd_2Al_3



バンド構造の温度依存性

超伝導と磁性の共存を示すUPd_2Al_3において、高温(100K)で局在していたU 5f電子が、低温(20K)で遍歴的性質に変化する過程の観測に成功。

$CeRu_2Si_2$



Ce 4f電子のフェルミ面

Ce 3d内殻吸収端における共鳴光電子放出効果を利用し、Ce 4f電子が電気伝導を担うために形成するフェルミ面形状の直接観測に成功。

20

成果（つづき）

○X線共鳴非弾性散乱法の開発とその応用

- 共鳴非弾性X線散乱法により、銅酸化物及びニッケル酸化物において、ストライプ状に整列した電子が集団で周期的にその位置を変えること（電子の集団励起）を直接観測することに成功。
- 電子の集団励起という物質科学における新たな研究ジャンルを開拓した。また、高温超伝導の機構の解明につながることも大いに期待できる。

○極限環境下での放射光X線実験技術開発

- パルス強磁場下でのX線吸収実験技術の開発を行い、従来の発生磁場を3倍以上越える51テスラでの測定を達成した。高磁場下での電子状態の観測に応用。
- パルス強磁場下回折実験を発展させ、30テスラでの共鳴磁気回折実験と、その偏光解析を達成した。この成果を応用し、TbB4の特異な高磁場磁気構造を解明。

達成のポイント

- （軟X線ARPES、MCD）
  BL23SUに新型挿入光源の導入と分光系の高度化による高強度化とそれに伴う測定の高速化。純良単結晶の提供、バンド計算等の理論計算の解析。
- （非弾性散乱）たゆまざる装置開発と原研内外、国内外の理論・実験研究者との協力。（極限環境）適切な専門家との密な研究体制の構築と目的を絞った研究開発。

成果発信・波及効果

プレス発表

- ウラン化合物の電子状態の直接観測に成功
- 超伝導を引き起こす「重い電子」の不思議な振る舞いを捉えた
  ー「遍歴・局在転移」の過程が明らかにー
- 半導体スピントロニクス材料実用化へのブレークスルー
  ー 動作温度上昇への鍵を放射光が解明 ー
- 強く相互作用した電子の集団励起を世界で初めて観測
  ー高温超伝導機構解明への応用にも期待ー
- 「重い電子」が作るフェルミ面の直接観測に世界で初めて成功
  ー磁性と共存する不思議な超伝導の機構解明への糸口ー

今後の計画・展望

○放射光利用による強相関電子系物質の研究

- 軟X線角度分解光電子分光及び磁気円二色性分光の測定技術の高度化を行うと共に、アクチナイド化合物等の重いf電子系物質の超伝導と磁性が複雑に絡み合った特異な電子状態の研究に資する。
- X線非弾性散乱の高効率化を行い、強相関遷移金属化合物のsub eVの電子励起の測定を通し、その電子相関を明らかにする。共鳴X線回折における入射X線偏光制御技術を開発し、多重極限環境下での多極子秩序検出を目指す。大出力超単色化X線を生成し、多重極限環境下メスバウアー分光や準弾性散乱の測定に資する。

21

研究課題　２．３１　金属水素化物の合成と構造・物性研究

研究のねらい

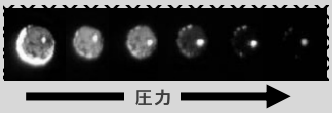
高圧下で実現される高密度水素を利用して、新しい金属水素化物を合成する。合成された金属水素化物の構造・電子状態を明らかにするとともに水素が主役を担う特異な現象・機能を探索する。革新的な水素貯蔵材料、光・電子デバイス材料開発のブレークスルーを目指す。

成果

○ 金属水素化物の電子転移の発見

YH_3が～23万気圧の高圧下において金属格子構造を保ったまま光学ギャップが閉じる（光を透過しなくなる）ことを観測。金属格子内での水素原子の変位が引き金になって電子転移が起こると推定。Phys.Rev.B（2006）に掲載。

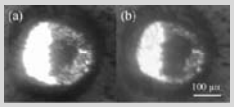
可視光・赤外光の透過の様子。圧力の増加とともに光が透過しなくなる。



○ 金属水素化物のフォトクロミズムの発見

YH_3とYH_2の混合物が、数万気圧の圧力下で、フォトクロミズム（光照射による黒色への変化）を起こすことを発見。光によって金属格子内での水素原子の変位が引き起こされると推定。Appl.Phys.Lett（2007）に掲載。

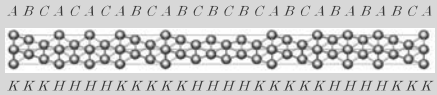
光照射によって中心部分が黒くなった試料。



○ 金属水素化物の長周期構造の発見

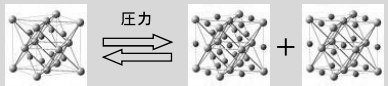
YH_3の精密X線回折実験によって、Y原子が形成する金属平面の積層シークエンスが加圧によって連続的に変化する、長周期構造を持つ中間相を経由して金属化することを発見。Phys. Rev.B（2007）に掲載

長周期構造の1例



○ 金属水素化物の分解反応の発見

LaH_2が10万気圧下で、絶縁体の3水素化物LaH_3と固溶体LaHに分離することを観測。この相分離は面心立方金属格子内の水素原子の可逆的な移動を伴う、特異な現象であり、絶縁体中に金属粒子が分散されたナノ材料開発に繋がる成果である。



LaH_2(金属)　LaH_3(絶縁体)　LaH(金属)

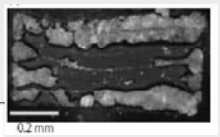
22

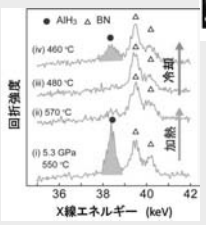
成果（つづき）

○ アルミニウムと水素の直接反応によるアルミニウム水素化物の合成

- 金属アルミニウムを9万気圧、600℃の高温高圧下の水素流体中に浸すことで、不可能と考えられてきた直接反応によるアルミニウム水素化物AlH_3の単結晶合成と生成過程の観察とに成功。Appl. Phys. Lett. に掲載。
- 得られた単結晶による構造や物性の精密測定が可能に
- アルミニウムへ異種金属を添加した軽金属合金など新しい水素吸蔵材料の開発への道筋を拓く成果である

高温高圧合成で得られたAlH_3結晶（白い部分）





高温高圧その場X線回折実験による水素吸放出サイクルの観察

・希土類水素化物を対象とした高圧実験により、金属格子内の水素原子の変位や移動を伴う構造相転移が発見され、かつ、金属化などの電子転移を見出したことで、当初の目標は十分に達成された。また、アルミニウム水素化物の直接合成は当初目標を上回る成果である。

達成のポイント

中期目標である多重極限環境下でのX線回折技術開発を着実に行った結果、超高圧、高温高圧、低温高圧など複数の分野で世界最高水準の実験が可能な環境が整備され、それらを活用することで、金属水素化物における特異な現象の発見と解明、軽元素金属水素化物の高圧合成が達成できた。

成果発信・波及効果

- 査読付論文数 35件
- プレス発表「クリーンな水素エネルギー社会実現へ向けた材料開発へ指針―水素とアルミニウムの直接反応によるアルミニウム水素化物の合成に成功―」（平成20年10月20日, H. Saitoh, et al., Appl. Phys. Lett. 102,115901 (2008)）
- 希土類金属水素化物の特異な現象を解明するとともに、水素貯蔵材料の開発に関する具体的な指針も提供した。

今後の計画・展望

○ 金属と水素の相互作用と反応ダイナミクスの解明

- 放射光だけでなく、J-PARCの中性子を使って、水素化物中の水素位置の決定を行い、水素と材料原子の相互作用の解明研究を推進する。
- 金属水素化物の静的な構造だけでなく、高速時分割測定による吸放出過程や拡散などダイナミクスの研究を行う。
- 軽金属水素化物など新しい水素吸蔵材料の開発に関する指針を提供する。

23

研究課題 2．32	放射光によるナノ粒子自己形成材料の研究

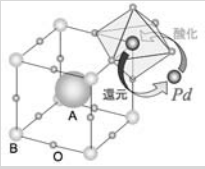
研究のねらい

周囲の環境変動に対する材料自身の構造応答を利用し、ナノ粒子の生成消滅を制御するメカニズムを明らかにする。インテリジェント触媒（貴金属複合ペロブスカイト酸化物）の自己再生現象や半導体量子ドットの生成メカニズムを明らかにする。

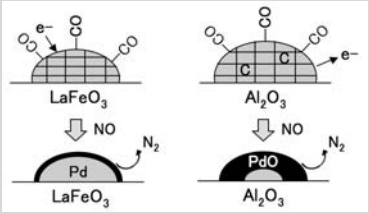
成果

○ 放射光によるインテリジェント触媒の自己再生現象の研究

- 自動車排出ガス浄化触媒に使われる3種類の貴金属全て（Pd, Pt, Rh）について、自己再生機能を実現した。共同研究者であるダイハツ工業㈱により実用化され、貴金属元素の省資源に貢献した。
- インテリジェント触媒（貴金属複合ペロブスカイト酸化物触媒）のNO、CO雰囲気下での貴金属ナノ粒子の固溶・析出（自己再生）現象を放射光（時分割XAFS法）を用いて1ミリ秒の時間分解能で「その場観察」した。
- 触媒反応も同時に観測し、ガス分子の吸着、解離、脱離過程にともなう、貴金属ナノ粒子の格子の膨張・歪み、凝集・分散、電子供与性の変化など、触媒機能の理解と新規デザインに必要な情報の直接観察に成功した。
- 貴金属複合ペロブスカイト酸化物は有機合成反応触媒としても高い反応変換率（TON～200万）で使われる。蛍光XAFS法により、貴金属Pdが反応系に徐々に効率的に供給されるメカニズムをほぼ明らかにした。



ペロブスカイト酸化物における貴金属Pdの固溶・析出



Pdナノ粒子の分子吸着反応の比較

24

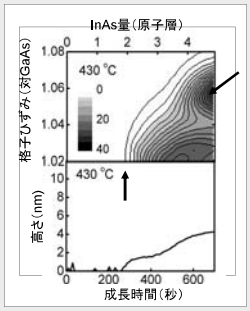
成果（つづき）

○ 半導体量子ドットの形状・ひずみ分布の成長中その場測定

- 放射光ビームラインと一体化した分子線エピタキシー装置を用いて、InAs/GaAs(001)自己形成量子ドット成長中に時間分解能8秒でX線回折測定する手法を開発。
- 多層化量子ドット構造の成長の測定に応用。
- その場X線回折法による構造測定と発光蛍光分光法による光学測定とが非常によく対応することを確認。

↓

- 半導体量子ドット成長モニターとしての有用性を示す。



格子不整転位の発生を検出（→）

二次元成長から三次元成長の成長様式の変化を検出（→）

達成のポイント

- 自動車排出ガス浄化触媒の自己再生現象の研究が元素戦略プロジェクトとして開始され、産学官の体制で研究を推進し、理論と実験が緊密に連携できていること。
- 高輝度放射光ビームラインとIII−V族半導体分子線エピタキシー装置とを一体化した設備が世界的にみても数少なく、ユニークな存在であること。

成果発信・波及効果

- 受賞「インテリジェント触媒の開発」第4回産学官連携功労者表彰（日本学術会議会長賞）（2006年6月）
- 受賞「The self-regenerative intelligent catalyst for Super-Ultra-Low-Emission Vehicles（SULEV）」Best Paper EcoDesign 2006（2006年12月）
- プレス発表「放射光を用いたガリウムヒ素半導体成長モニターの開発」日刊工業新聞、他（2006年2月）
- プレス発表「X線照射下における酸化チタンの光触媒作用の発現を確認」日経産業新聞、他（2007年6月）

今後の計画・展望

○ 放射光による物質の機能発現メカニズムの解明

- 引続き自動車触媒の脱貴金属化を目指した研究開発を行う
- 磁性と誘電性が共存するマルチフェロイック系の新しいカテゴリーの確立
- アニオン交換膜形燃料電池の電極触媒反応メカニズムの解明

○ 単一量子ドットのその場X線回折測定

- コヒーレントX線ビームの集光により、サブミクロンサイズのビームを作製し、単一の量子ドットによるその場X線コヒーレント回折測定をめざす。なお、次期にコヒーレントX線物質科学研究グループとして分割予定である。

25

研究課題 2．33 | アクチノイドイオン認識化合物設計・創製研究

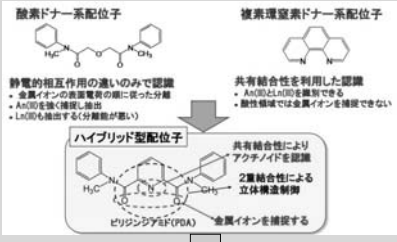
研究のねらい

構造、電子状態解明に基づく錯体化学研究から有機配位子による高度なアクチノイドイオン認識機構を解明し、新規イオン認識化合物の設計・創製・高度化研究を行う。

成果

○ 新規ハイブリッド型アクチノイドイオン認識化合物の創製

•これまで、単独で用いられてきた抽出剤の性能を一つの分子に集約。ピリジンアミド（PDA）の創製に成功。



•再処理・高レベル廃棄処理におけるステップ数の簡素化可能な概念を提供。硝酸濃度３～５mol/L程度でのMA分離を初めて実現。基礎工学部門で、抽出クロマトグラフィー法適用へと波及。

○ 分子設計手法によるアクチノイドイオン認識化合物の創製

•Cm-窒素ドナー配位子との錯体による電子状態（左成果）、構造特性（右図）を参考に、MA認識に有用なパラメーターを創出。

•要求される条件を基に、基本骨格の選定を実施。引き続き最適な置換基の導入を検討。

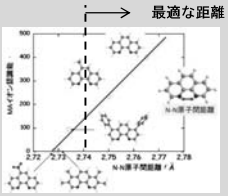


図　イオン認識化合物の結合窒素間原子間距離と分離能との関係

新しいイオン認識化合物フェナントロリンアミド(PTA)を創製。実用化が期待される抽出剤として世界トップレベルであり、実機応用可能であることを確認。

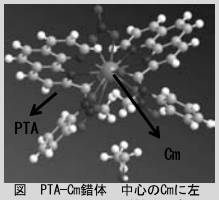


図　PTA-Cm錯体　中心のCmに左右から2分子のPTAが結合し安定な化合物を形成

次世代高レベル放射性廃棄物処理法の開発へ貢献。

26

成果（つづき）

○ 溶融塩中におけるイオン挙動シミュレーション技術の高度化

•QXAFSシステムによるアルカリ共晶塩中に存在するランタノイドイオンの特異な配位構造を解明。

•走査型透過X線顕微鏡(STXM)システムによるアルカリ共晶塩中のランタノイドイオンの分布を解明。重力の影響による重元素の不均一性を実験的に実証（右図）。

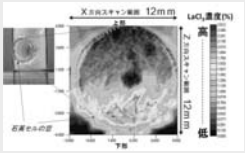


図　アルカリ共晶塩中に存在するランタノイドイオンの分布

次世代溶融塩電解型再処理のためのシミュレーション技術確立へ大きく貢献。

○ イオン吸着の動的構造解析のためのQXAFSシステムの開発

•微量アクチノイドの化学反応追跡のためのその場観察XAFS測定システム（QXAFS、右図）システムのBL11XUおよびBL22XUへの導入・最適化。

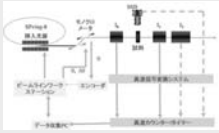


図　QXAFSシステム概念図

アクチノイド分離のための抽出クロマトグラフィーにおける吸着挙動解明（次世代、基礎工部門との連携研究）

機構が推進するFaCTプロジェクトへの貢献。

達成のポイント

•原子力応用に関する十分な理解を持つスタッフによるアクチノイドなど重元素基礎化学研究の的確な推進。

•放射光技術の原子力システムへの応用。

•マイナーアクチノイド実験における他部門との連携および効果的な国際協力の推進。

•アクチノイドなど重元素の特異な化学反応特性の解明。

成果発信・波及効果

•実施期間中における査読付き論文４０、特許出願１，雑誌報道１、学会賞等２

•当グループにより開発された抽出剤を用いる新しい高レベル廃液処理法に関する国際特許出願（PTC/JP2007/074950）、関連する論文発表Sep.Sci.&Tech in press(2009)

•開発された抽出剤（PDA)の実用化研究が基礎工学部門により採用、FaCTプロジェクトへの応用検討。

今後の計画・展望

○重元素錯体化学研究に基づく新しい化学反応制御法の基礎概念構築

•アクチノイドなど重元素の特異な化学反応特性の解明。

•環境調和型化学反応制御法(ソルトフリー、高効率、低廃棄物など)の確立による次世代高レベル廃液処理法開発への貢献。

•新しい放射光技術開発(位置分解XAFSイメージング法など)の開発による化学反応のその場観察システムのさらなる構築。

27

トピックス 2. 29 | 応力測定・評価技術の開発

研究のねらい

次世代原子力システム研究開発部門と連携して、FaCTプロジェクトに係る2つの課題：①炉心構造材料開発、②蒸気発生器伝熱管保守・補修技術の高度化・標準化、の解決に着手する

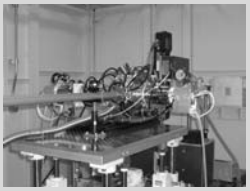
成果

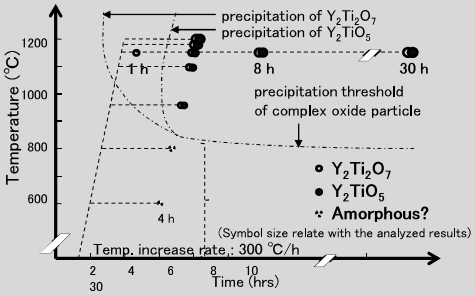
○ 酸化物分散強化型（ODS）フェライト鋼高温加熱製造過程における酸化物粒子分布の放射光その場観察に基づく析出機構の解明

・次世代研究部門および中性子、光量子とともに炉心構造材料として研究が進められているODS鋼に関する材料評価を実施

・放射光X線回折法、放射光小角散乱法、X線吸収微細構造法を用いて製造条件により発生する酸化物の種類、粒サイズ等を明らかにした

・さらに製造最適化条件を得るために高温炉を用いたその場観察測定を実施中である。





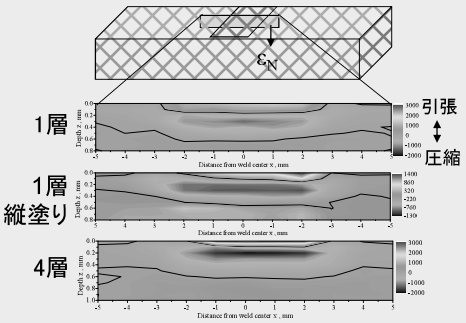
28

成果（つづき）

○ ファイバーレーザー照射微細貴金属粉溶接による蒸気発生器伝熱管の補修技術の高度化

・次世代研究部門、原子力基礎工部門、敦賀本部および光量子とともにNa冷却型高速増殖実証炉に対する保守・補修技術の高度化・標準化のための技術評価を実施。

・放射光応力測定法により、レーザー照射条件で発生する残留ひずみ／応力の特徴を以下のように明らかにした。
・積層数の増加により引張ひずみ値は増加し、かつ内部まで広がる
・レーザー操作方向により引張ひずみ値は一緒だが、内部分布に偏り



新たな成果創出のポイント

○これら2つの研究は、連携融合ファンドにより実施したものであるが、部門内連携を積極的に実施した結果として所内連携に参加できたものと思われる。

成果発信・波及効果

○ Kim S., Shobu T. et, al.,, "Kinetic approach for growth and coalescence of nano-size oxide particles in 9Cr-ODS steel using high-energy synchrotron radiation X-rays in SPring-8", Materials Transactions, Vol.50, No.4, pp.917-921 (2009).

○トピックスの2つの成果は、FaCTプロジェクトに大きく貢献する。特にODS鋼で使用した技術は今後産業利用における材料評価に大いに期待される手法である。

今後の計画・展望

・ ODS鋼に関しては、公募：H21年度原子力基盤基礎戦略研究イニシアティブ（若手）に採択されるとともに、連携融合ファンドとして製造最適条件の導出を行う。

・ ファイバーレーザー補修技術に関しては、連携融合ファンドとして継続するとともに、福井大学、大阪大学などと共同研究により基礎データの構築を実施する。

29

トピックス 2. 30	放射光利用による強相関電子系物質の研究

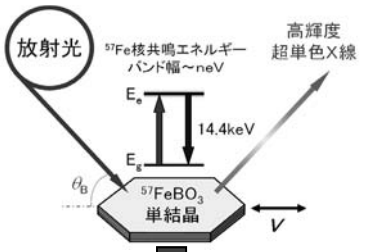
研究のねらい

放射光を線源とする先進的メスバウアー分光法を開発し、従来法では不可能な極限下測定や超高分解能X線非弾性散乱を実現する。このため、結晶・核モノクロメーターや核共鳴吸収体を光ドップラー効果により精密エネルギー変調させて利用できる放射光neV分光装置を開発した。

研究成果

○ 核分光器による放射光neV分光装置の開発

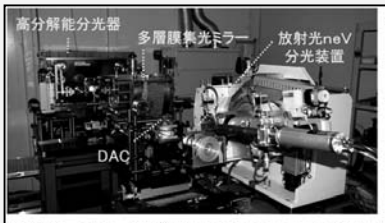
- Si並みの結晶完全性を有する反強磁性体単結晶からの核ブラッグ反射と光ドップラー効果による精密エネルギー変調装置を備えた放射光neV分光装置の開発に成功し、放射光から^{57}Fe共鳴エネルギーを有するneVバンド幅の超単色X線を高出力で取り出せるようになった。

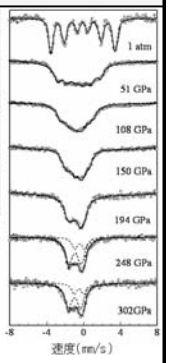


超単色X線による顕微メスバウアー分光やｎｅＶ領域の超高分解能X線非弾性散乱測定が可能になった。

○ マルチメガバール領域の超高圧下測定への応用例

- 放射光neV分光装置と集光機器からなる顕微メスバウアー分光装置を実現し。DACを用いた測定では、従来不可能であった300万気圧以上の超高圧下メスバウアー分光が実現された。





顕微メスバウアー分光装置、及び302GPaまでの超高圧下において観測されたGdFe$_2$合金の透過スペクトル

波及効果

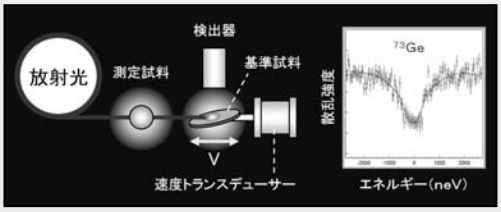
- 超高水素圧力下の金属水素化物の研究が可能になった。
- 地球の下部マントルから内核に存在する鉄や鉄合金の電子物性研究を可能にする。

30

成果

○ シングルライン核共鳴吸収体を用いた核共鳴アナライザーの開発

- 精密ドップラー振動機構に取り付けた核共鳴吸収体を利用して、neVレベルのエネルギー分析装置の開発に成功。
- 従来の放射性同位元素によるメスバウアー分光では測定が困難であった^{73}Ge核（共鳴エネルギー68.752 keV）の吸収スペクトル測定に成功。



- 吸収体を適用に選ぶと、鉄以外の多彩な核種を利用したメスバウアー吸収測定が1つの放射光源で実現される。
- 物質中の構成元素別のIn-Situ測定が容易に可能。

⇒ 超伝導体、金属水素化物等の物性研究を展開する。

新たな成果創出のポイント

優れたビーム特性を利用できる放射光メスバウアー分光の実現は、従来法で不可能な先端計測を可能にするため、この分野の研究者の長年の夢であった。本開発は、平成17年採択のCREST支援の下に開発を行った高性能核分光器、核アナライザーを第三世代放射光(SP-8)に適用し、世界に先駆けて放射光メスバウアー分光を実用化したものである。

成果発信・波及効果

○ 本成果に関連する査読付論文数：7本

○ 代表論文: Synchrotron-Radiation-Based Mössbauer Spectroscopy
Phys. Rev. Lett. 102, 217602-1-217602-4 (2009).

○ 受賞
平成20年度JAEA理事長表彰：研究開発功績賞
「放射光neV分光装置の開発と放射光メスバウアー分光への応用」

○ 新聞報道:「高エネ領域元素測定ーSPring－8を活用ー」
日刊工業新聞(21/5/26)、日経産業新聞(21/5/26)

○ 波及効果
本開発装置は最近発見された鉄系超伝導体の基礎物性や水素貯蔵材料先端基盤研究事業(NEDO)で実施されている超高水素圧力下における金属水素化物合成過程の研究等に応用されている。

今後の計画・展望

「核共鳴分光による先端的放射光利用技術の開発、および機能物質の量子構造研究への応用」

- 放射光neV分光装置の開発・高度化を進め、高温超伝導体や金属水素化物の基礎物性研究への応用を展開する。
- neV-X線非弾性散乱、全反射メスバウアー分光等の先進的な放射光メスバウアー分析技術を開拓し、誘電体、高分子、金属磁性薄膜等の先端機能物質の量子構造の解明を目指す。

31

トピックス 2. 32	放射光による鉄系新超伝導物質の研究

研究のねらい

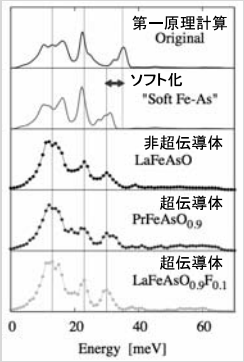
物質の構造及び電子系の動的性質を原子レベルで明らかにする。特に、物質の結晶構造と電子状態を「その場観察」することにより、機能発現のメカニズムを探り、更に高機能な材料開発に資する。

成果

○ X線非弾性散乱法による鉄系新超伝導物質の格子振動の測定・解析

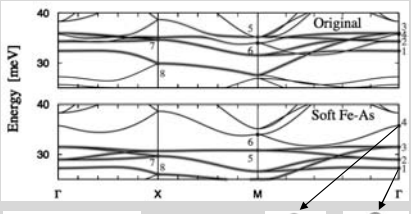
- 粉末試料を用い、格子振動密度の測定に成功
- この系では超伝導体も非超伝導体も、似た構造を持つ事を観測
- 主要三ピークのうち、最高エネルギーに位置するもの（主に鉄原子と砒素原子の振動モードに対応）が、第一原理計算の結果と比較して低エネルギー側に位置する(ソフト化)ことを発見

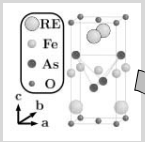
格子振動密度

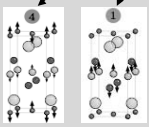


ソフト化に対応するあたりの分散関係

（赤は主に鉄原子と砒素原子の振動モード、青は酸素原子の振動モード）







振動モードの例

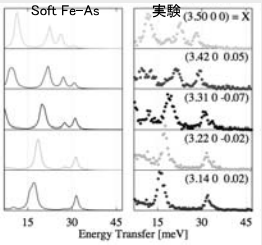
- 隣接する鉄と砒素との間の相互作用の大きさを30%程度小さくしたモデル（Soft Fe-As）を使う事で、説明できる事を指摘

32

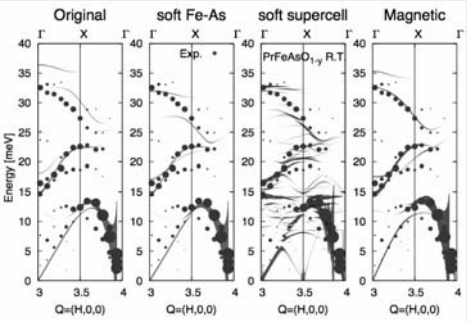
成果（つづき）

- 引続き、単結晶試料を用い、格子振動の分散関係の測定に成功
- 詳細な分散関係を理論計算と比較する事ができるようになり、様々な効果を取り入れた第一原理計算やそれを補正したモデルを考察
- 粉末結晶の結果と合わせ、この物質における格子振動が、単純なものではない可能性を指摘

エネルギースペクトルの比較



実験結果と、様々な計算との比較



新たな成果創出のポイント

- 新たな鉄系超伝導物質が2008年に発見されてすぐ、良質な試料（粉末・単結晶）を手に入れられた事、X線非弾性散乱は少量の試料でも測定できる手段である事、理論家との共同研究による第一原理計算の実行等により、成果を出せた事になった。

成果発信・波及効果

- T.Fukuda et al.: J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) 103715.
- 格子振動の計算には初期の第一原理計算では不十分である事を示し、その後、磁気モーメントを取り入れた計算の重要性の認識へと繋がっていった。

今後の計画・展望

- 超伝導体における超伝導転移、母物質（非超伝導体）の構造及び磁気相転移付近での詳細な温度変化、キャリア濃度依存性、他の類似物質での格子振動の測定等を計画。
- これらの測定を進める事により、鉄系新超伝導物質はもちろん、銅酸化物を含めた高温超伝導体の超伝導機構解明に繋がる事を期待。

33

トピックス 2．33 | アクチノイドイオン認識化合物設計・創製研究

研究のねらい

構造、電子状態解明に基づく錯体化学研究から有機配位子による高度なアクチノイドイオン認識機構を解明し、新規イオン認識化合物の設計・創製・高度化研究を行う。

成果

○アクチノイドイオンの新しい化学結合特性の解明

•Cm-窒素ドナー配位子とのX線発光・吸収分光分析を用いる部分状態密度関数解析を初めて実施。

•これまで未解明だったマイナーアクチノイドと分子性物質に存在する共有結合的相互作用の存在を初めて証明。

•イオン認識化合物の2つのレベル（図中青、赤矢印）がアクチノイドのイオン認識に深く関与することを明らかにした（左分子設計の条件として活用）。

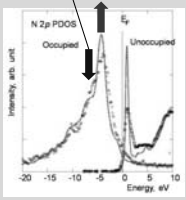


図　Cm-芳香族系窒素化合物による窒素２ｐの部分状態密度関数

新規アクチノイドイオン認識化合物の分子設計手法確立へ大きく前進。

次世代高レベル放射性廃棄物処理のためのMA抽出剤開発へ応用可能な基礎概念確立。

○ 位置分解XAFSイメージングの開発と原子力システム開発への応用

•QXAFS測定システムに高感度CCDカメラを導入することで、位置分解XAFSイメージング測定に成功（右図上）。

図　CCDカメラによる位置分解イメージングシステム

•多成分を含む材料、分離場などにおける各元素分布（右図中）、ピンポイント部分の電子状態、構造（右図下）を具体的に明らかにすることに成功。

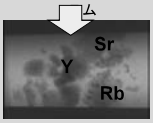


図　イメージング画像

原子力材料、廃棄物処分など、様々な問題点を分子レベル解明。

図　ピンポイント構造解析

原子力システム開発へ貢献。

34

成果（つづき）

○ 超分子構造形成による配位子のイオン選択制に関する研究

• 中性子小角散乱法によって液-液抽出系における、第2の溶液内錯体構造の観測に成功。

• 超分子構造形成に伴う、新しいイオン選択メカニズムの発見および第3相生成メカニズムの解明に成功。

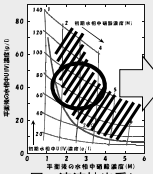


図　液液抽出系における硝酸濃度と有機相ウラン濃度

図　液液抽出系における第3相

再処理工程において核分裂性４価アクチノイド（プルトニウム、ウラン）が濃縮されることで臨界安全上問題となる第3相生成抑制法についての重要な知見を提供。

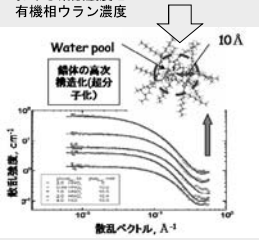


図　中性子小角散乱スペクトルと第3相の核となる超分子構造

再処理工程の安全な溶液組成の決定に貢献。

新たな成果創出のポイント

•原子力応用に関する十分な理解を持つスタッフによるアクチノイドなど重元素基礎化学研究の的確な推進。

•放射光技術の原子力システムへの応用。

•マイナーアクチノイド実験における他部門との連携および効果的な国際協力の推進。

•アクチノイドなど重元素の特異な化学反応特性の解明。

成果発信・波及効果

•実施期間中における査読付き論文４

•Langmuir, 23(9),4765-4771(2007)他

•位置分解XAFSシステムに関して、FaCTプロジェクトでMA分離法の一つとして採用されているクロマトグラフィー法の状態分析を次世代、核サイ部門と連携で推進。基礎工との連携でガラス固化体模擬物質の状態分析を開始。

今後の計画・展望

○重元素錯体化学研究に基づく新しい化学反応制御法の基礎概念構築

•アクチノイドなど重元素の特異な化学反応特性の解明。

•環境調和型化学反応制御法（ソルトフリー、高効率、低廃棄物など）の確立による次世代高レベル廃液処理法開発への貢献。

•新しい放射光技術開発（位置分解XAFSイメージング法など）の開発による化学反応のその場観察システムのさらなる構築。

35

量子生命フロンティア研究

平成21年7月29日
日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究部門
量子生命フロンティア研究特定ユニット

ユニット長　斎藤公明

量子生命フロンティア研究（その１）　放射線生物作用解明研究

研究のねらい

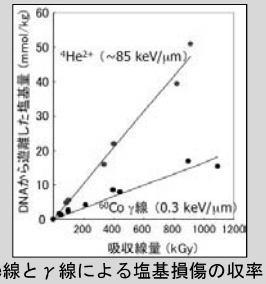
重イオン照射に特異的な生物作用と線質効果のメカニズムを、物理的過程から化学的過程を経て生物的過程に至る一貫したストーリーとして解明する。

成果

生化学的アプローチによるDNA損傷スペクトルの解析

○HeイオンビームとCo-60γ線によるDNA損傷形態と生成量を比較：塩基脱離、3'鎖切断末端、塩基損傷ともに、HeイオンのG値はγ線の約３倍と分かった。（H20年）

○高LET重イオン照射で生成するクラスターDNA損傷を解析するため、DNA損傷の一つであるチミングリコールを高感度に定量する新たな手法を考案した。（H19年7月：ICRR2007で発表）



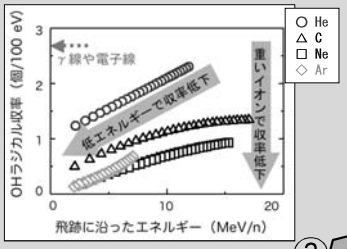
He線とγ線による塩基損傷の収率

放射線化学的アプローチによるトラック内化学反応の解析

活性種の初期分布を決める要素
密度：イオン種（実効電荷）
広がり：核子当りエネルギー

○トラック構造が異なる種々の重イオンによる水中活性種収率を飛程深さに沿って測定する反応収量差分法を確立した。

○重いイオンで初期活性種がトラック内に高密度に生成するほど、また核子当りエネルギーすなわち粒子速度が小さくトラック径が小さいほど、OHラジカル収率が低下することを明らかにした。
（H19年2月：Nuclear Science and Techniques誌に掲載）



活性種の初期分布とOHラジカル収率

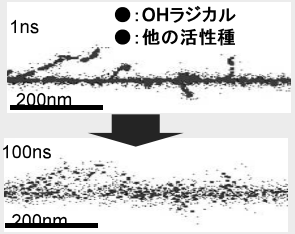
②

成果（つづき）

○イオン種、核子当りエネルギー、経過時間に依存した水中活性種収率の特性を定量的に明らかにするとともに、その実験データを再現する数理モデルを構築した。（H21年2月：Radiat.Res.誌に掲載）

活性種の空間分布（計算結果）

2 MeV/n Heイオン



○重イオンのトラック内に生成する水中高密度活性種の挙動を直接観察するための時間分解分光測定システムを構築した。（H21年5月：Radiat.Phys.Chem.誌電子版に先行掲載）

活性種時間分解分光システム

達成のポイント

・TIARAのイオンビームなど多彩な放射線源
・放射線生物学、生化学、放射線化学、生物物理、計算科学など多彩な専門家の連携

成果発信・波及効果

・査読つき論文数：18件（従来組織から登録のため重複）
Taguchi et al., *Radiat. Res.* 171, 254 (2009) 等

・受賞：研究開発功績賞（H20）等

今後の計画・展望

・重イオンのトラック構造と生体分子損傷および細胞照射効果の関係を、生化学的・放射線化学的アプローチと物理学的シミュレーションを併用して解明していく

③

研究課題　量子生命フロンティア研究（その2）

DNA修復タンパク質の機構解明の研究

研究のねらい

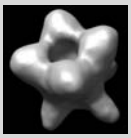
分子生物学、構造生物学、計算生物学、シミュレーションの専門家集団の部門を超えた連携を組織し、量子ビームテクノロジーを最大限に活用して、従来組織では実現不可能であったＤＮＡ修復タンパク質の機能解明に関する総合的な分子科学研究を行う。

成果

○ 放射線抵抗性細菌由来DNA修復促進タンパク質PprAのホモ4量体からなる基本立体構造を解明

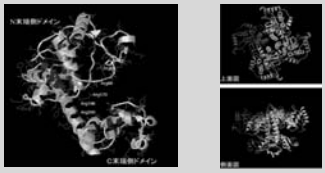
電子顕微鏡イメージング法を適用

大阪大学との共同研究

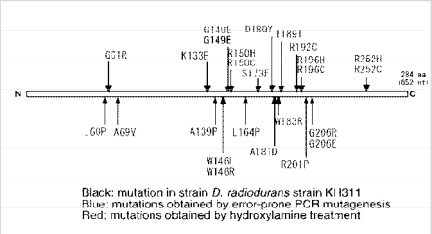


○ バイオインフォマティクスでPprAタンパク質の立体構造を推定

- コンピュータを用いた立体構造予測3D-1D法を適用
- PprAタンパク質単量体はダンベル型構造を持つ
- 大腸菌RecJの立体構造に適合



○ PprAタンパク質のDNA結合機能発現に必要な19個のアミノ酸残基を同定



タンパク質立体構造とアミノ酸変異部位の関係づけでPprAタンパク質の機能解明を推進

○ 還元的ジメチル化化学修飾によって、PprAタンパク質の機能改良に成功

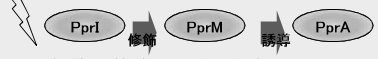
- DNA結合能の特異性が向上
- 広範な濃度でDNA修復促進活性を示す
- タンパク質結晶化条件を最適化

④

成果（つづき）

○放射線抵抗性細菌の放射線応答ネットワーク機構を解明

- 放射線応答タンパク質PprIがDNA損傷を感知
- 放射線シグナル伝達タンパク質PprMが翻訳後修飾
- PprAタンパク質の細胞内発現が誘導



○新規DNA組換え修復タンパク質を発見

- RecFタンパク質の下流に存在するDR1088タンパク質
- RecRタンパク質の下流に存在するDR0197タンパク質
- 遺伝子破壊によりDNA修復能が低下することを確認

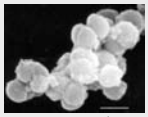
○放射線抵抗性細菌の新規遺伝子操作系を開発

- 潜在性小型プラスミドpUE30を利用
- DNA修復機構解明研究に有用

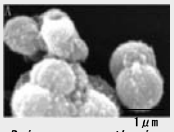
○放射線抵抗性細菌の新種を分離

- 対流圏分離株を*Deinococcus aerius*と命名
- 成層圏分離株を*Deinococcus aetherius*と命名

東京薬科大学との共同研究



Deinococcus aerius



Deinococcus aetherius

中期計画に記載はないが設定目標を達成

達成のポイント

- 遺伝子・タンパク質研究のエキスパートが集結
- 複数の量子ビーム施設を有効に利用
- 外部試験研究機関との連携、量子生命フロンティア研究特定ユニットの設置により研究が加速

成果発信・波及効果

- 査読つき論文数：8件（従来組織との重複を含む）
  Ohba et al., Extremophiles, 13, 471 (2009) 等
- 受賞：放射線影響研究奨励賞（H19）等
- 効率的DNA修復ネットワーク機構の全容解明と実用化への展開によって、創薬・医療の高度化に波及

今後の計画・展望

○放射線抵抗性細菌の放射線耐性の共通原理を解明

- 分子生物学、構造生物学、生物情報学を駆使した放射線抵抗性細菌のDNA修復機構解明研究を継続
- 生物の放射線耐性を増強する技術を開発
- DNA修復タンパク質の機能を改良
- ライフサイエンス分野での実用化を目指す

⑤

量子生命フロンティア研究（その3）　　がん診断・治療用RI-DDS開発研究

研究のねらい

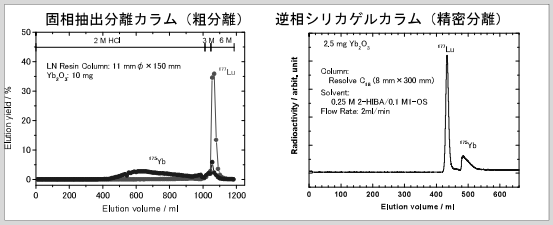
RIを用いたがん治療と診断を可能にする放射性薬剤の開発を目指し、高純度RIの製造技術開発、がん細胞に特異的に集積させるためのドラッグデリバリーシステム(DDS)の研究開発及びその特性評価研究を行い、放射性薬剤の臨床応用に向けた技術の確立を図る。

成果

○ がん治療用Lu-177の新規製造法を開発

・Yb-177由来Lu-177の大量製造に向けた分離・精製法の基本技術を確立

二段階分離により大容量YbからのLu分離に成功



・標識競合物質の徹底的な排除により、Lu-177の高純度化に成功

Lu-177標識抗体の合成を高収率で達成

H21年3月特許出願

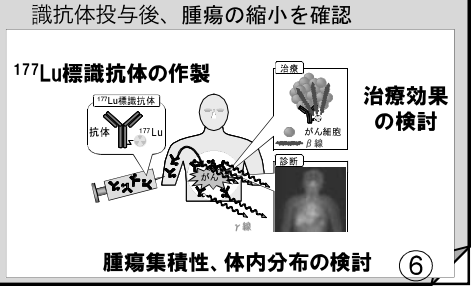
○ Lu-177標識抗体のマウス体内での腫瘍集積性の評価に成功

・Lu-177標識抗体に適したキレート剤の検討

高収率でDTPAキレートがLu-177を結合し、腫瘍へ高い集積性を有することを確認

・予備治療実験における腫瘍縮小効果を取得

RAMOS細胞移植マウスにおいて、Lu-177標識抗体投与後、腫瘍の縮小を確認



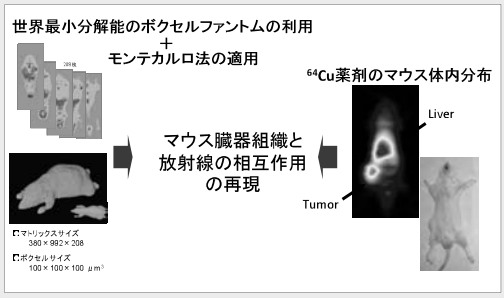
⑥

成果（つづき）

○ 核医学治療に関する線量評価手法の開発

・マウス－ヒト間での外挿法の開発に向けた動物用臓器吸収線量評価法を開発

薬剤排泄器官での吸収線量の算出に成功



○「先進的ながん診断・治療を実現するRI-DDS開発研究」を開始

・研究炉を利用したRI薬剤研究を加速

RI治療研究を先導する4大学及び民間企業とオールジャパン体制での共同研究ネットワークを整備

原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブを獲得

達成のポイント

・組織横断的な連携により、RI医療応用技術の研究基盤を構築

・原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブの獲得により、外部機関との有機的連携を実現

成果発信・波及効果

・論文発表：８件(従来組織との重複を含む)

KINASE, S. et al., Nucl Tech., (in press) 等

・特許：１件（国内出願）

「抗体標識が可能な無担体Lu-177の分離精製法」

・国内における新規治療核種の研究利用を促進

今後の計画・展望

・Lu-177, Ho-166等の新規がん治療用RIの高純度大量製造法の技術的基盤の確立

・腫瘍への効率的なRI送達を目指した生理活性物質等へのRI導入の技術的基盤の構築

⑦

量子生命フロンティア研究（その4）　外部放射線治療高度化研究

研究のねらい

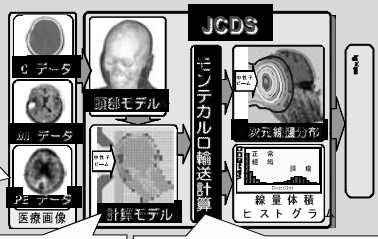
患者のＱＯＬ（生活の質）が高い治療法であるX線、中性子線及び陽子線を用いた外部照射放射線治療の高度化に資するために、高精度線量評価技術の開発ならびに関連した放射線治療技術の研究を実施

成果

○ ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）用線量評価システムの高度化研究

原子炉線源用に開発した線量評価システム（JCDS）を基盤に加速器線源にも対応する汎用粒子線治療計画システムを開発

- 加速器中性子源に対応できる治療計画システムの開発。
- 従来のCTとMRIデータによるモデリングに加え、PET画像データ（事前のホウ素濃度情報）を利用した線量評価システムの開発。
- 体幹部への照射に対する評価を可能にするため、全身モデルに対する被ばく評価も含めた線量評価を可能にする技術の開発



大きな計算体系に対する計算モデルの対応

中性子、光子だけでなく陽子、重粒子の輸送計算も可能な“PHITS”にコンバート

○ BNCT用中性子ビーム逐次計測装置の開発

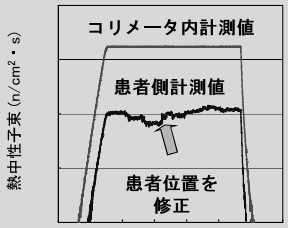
患者への付与線量の制御に重要な中性子ビームの変動を秒単位で逐次計測できる小型中性子モニター(SOF)を開発し、BNCT臨床場での検証を実施

- 中性子源からの中性子ビームの強度変化、並びに患者に付与される各部位の中性子の強度変化を毎秒ごとに計測できることを確認
- 位置変動もモニターでき、位置精度の向上に利用できることを確認

患者側モニター

コリメータ内モニター

BNCT時の２つのSOFの計測結果

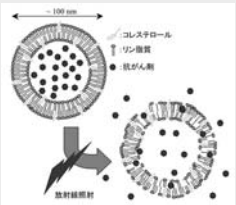


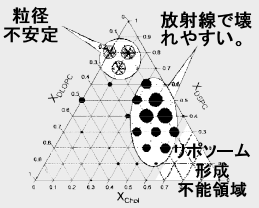
⑧

成果（つづき）

○ 放射線感受性リポソームの開発

- 抗がん剤の放出制御を目的とした電離放射線によって分解するリポソームを開発に成功。→ 特願2007-271109
- リポソームを構成する3成分の組成比、リポソーム懸濁液濃度、あるいは線量率を変えることによって、放射線感受性を制御できることを明らかにした。





○ 高精度線量計算システムIMAGINEの開発

- 詳細人体モデルと高速モンテカルロ手法を利用して高精度線量計算をセンターで集中して行い、高速ネットワークを介して現場とデータの授受を行うことで効率的な線量評価を行えるシステムを開発

達成のポイント

- 研究課題達成に必要な研究者が組織横断的に必要に応じて協力して研究を進めることができたことに加え、外部研究機関（首都大学東京、慶應義塾大学、京都大学、茨城県立医療大学、筑波大学等）との有機的連携を図ることができたため、課題の達成ができた。

成果発信・波及効果

- 査読つき論文数:19件（従来組織との重複を含む）
- 国内出願特許：１件（放射線感受性リポソーム）
- 受賞：FUJITSUファミリ会2008年度奨励論文（IMAGINEのグリッド化）
- 開発した粒子線治療用の治療計画システムは、国内外のBNCT研究施設から導入依頼があり、BNCT分野のスタンダードとして確立することが期待できる。

今後の計画・展望

○小型加速器中性子源を使ったBNCTを実現するための高度化研究
- 中性子輸送系の最適設計を実施
- 患者に付与される線量をオンラインで逐次計測できる線量評価技術を開発

○放射線感受性リポソームの高度化研究
- 粒子線（中性子、重粒子線等）に感受性を持つリポソームの開発

⑨

This is a blank page.

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 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，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	キログラム毎立法メートル	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	1
比透磁率[b]	（数字の） 1	1

(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[c]	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	ジーメンス	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]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	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	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、使用する時には記号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
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（Ｘ線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	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

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
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=1l=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ 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	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

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	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=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
バーン	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単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	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	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	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[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」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	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています