

平成 26 年 2 月 12 日

独立行政法人日本原子力研究開発機構
理事長 松浦 祥次郎 殿

量子ビーム応用研究・評価委員会
委員長 田川 精一

研究開発課題の中間評価について（答申）

当委員会に諮問（24原機（量）107）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」に関する中間評価

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中間評価」
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
ビーム応用フロンティア研究分野長(特任教授)

委員長代理

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

委員

雨宮 慶幸 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授

有馬 孝尚 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授

池田 泰久 東京工業大学 原子炉研究所 教授

金子美智代 トヨタ自動車株式会社 材料技術統括部
材料解析室 室長

佐治 英郎 京都大学 大学院 薬学研究科 教授

島田 義也 放射線医学総合研究所放射線防護研究センター
発達期被ばく影響研究プログラム
プログラムリーダー

多田 啓司 旭化成株式会社 新事業本部 担当部長
公益社団法人日本科学会 理事

西澤 直子 石川県立大学 教授
石川県立大学 生物資源工学研究所 所長
東京大学大学院農学生命科学研究科 特任教授

福山 秀敏 東京理科大学 副学長
総合研究機構 機構長

三木 邦夫 京都大学大学院 理学研究科 教授

宮永 憲明 大阪大学 レーザーエネルギー学研究
センター 教授

山田 和芳 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究
機構 物質構造科学研究所 所長

平成 24 年度 研究開発・評価報告書
評価課題「量子ビーム応用研究」（中間評価）

平成 26 年 2 月 12 日

量子ビーム応用研究・評価委員会

平成 24 年度 研究開発・評価報告書
評価課題「量子ビーム応用研究」（中間評価）

目 次

概要	.....	2
I. 量子ビーム応用研究概況	.....	3
1. 組織のあり方	.....	3
2. 部門の運営	.....	4
3. 部門の研究のあり方	.....	6
4. 福島復興対応への取り組み	.....	8
II. 福島復興対応に関する研究開発	.....	10
III. 各地区における研究開発	.....	12
1. 東海地区	.....	12
2. 高崎地区	.....	13
3. 木津地区	.....	15
4. 播磨地区	.....	17
IV. まとめ	.....	19

概 要

量子ビーム応用研究・評価委員会は、原子力機構からの諮問に基づき、提出された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（平成 22 年 4 月～平成 24 年 9 月）及び量子ビーム応用研究部門長ならび副部門長の口頭発表と、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、概ね順調に進んでおり、さらに発展させるべきものと評価した。中間評価結果については本文に示す通りであるが、特記すべき事項として以下の点が挙げられる。

- 全体として研究は活発に行われるとともに、優れた成果が数多く発表されており、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は適切であると判断される。

- 福島復興対応への貢献を目指した研究開発は、原子力機構がなすべき仕事として非常に重要であり、部門の果たした役割は大きい。提示された研究課題に対する成果もそれぞれ大きな意義があり、全体として高く評価できる。今後さらに、部門ならびに関連研究拠点の有するポテンシャルを活かし、国民の期待に応えることが望まれる。

- 部門のもう一つの大きな位置付けは、日本の科学技術・産業全般を支える基盤としての存在である。部門本来のミッションと福島復興対応のバランスが重要であり、環境・エネルギー、物質・材料、医療・バイオ応用、先進ビーム技術など幅広い分野の出口を意識した量子ビーム応用研究を今後も継続・推進していくべきである。

- 今後、我が国の原子力政策や原子力機構の業務内容が変化していくことも予想される。しかしながら、どのような状況下にあっても、科学技術・学術の発展、イノベーション創出、産業の振興等に資する量子ビームの重要性が揺らぐことはない。部門及び関連研究拠点は、この分野の中核組織として、我が国の量子ビーム応用研究を今後も牽引していくことを切望する。

中間評価

量子ビーム応用研究・評価委員会（以下、「本委員会」という）は、本委員会によって定めた評価方法に基づき、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）における「量子ビーム応用研究」に関する中間評価を行った。その結果を以下の通り取りまとめた。

I. 量子ビーム応用研究概況

1. 組織のあり方

第2期中期目標に書かれた「環境・エネルギー、物質・材料科学、生命科学等の様々な分野における量子ビームの有効な利用を促進するため、先進的量子ビームの利用技術の高度化を行うとともに、量子ビームテクノロジーの普及と応用領域の拡大を目指した研究開発を進める」を的確に実現するため、量子ビーム応用研究部門（以下、「部門」という）においては4地区（東海、高崎、木津、播磨）のタテ組織と、4領域（環境・エネルギー、物質・材料、医療・バイオ応用、先進ビーム技術）のヨコ組織からなるマトリクスとして運営する体制が第2期より構築されている。サイト横断型のマトリクス方式により、同一テーマにおいて複数の先端研究施設の相補的・補完的利用が進められるなど、お互いの関係とつながりが明確となることにより、効率よい組織運営が行われている。また、組織全体が有機的なネットワークで構築されたことにより、各地区の強みがさらに生かされてきている。このような運営が意識的に行われ、成果の向上に結びつけたことは、高く評価される。

この体制の中で、量子ビームを使った基礎研究から量子ビームプラットフォームの整備、さらには施設供用のサポートと、非常に幅の広い活動がバランスよく実施されている。特に、部門が目指すサイト横断的な連携が進み、現場の若い研究者の間に「量子ビーム研究者」としての一体感が醸成され、様々な量子ビームの複合的・相補的利用の研究がボトムアップ的にスタートし、いくつかの特筆すべき成果が出始めている。

部門の特長であるこのサイト横断的活動を、今後より発展させシナジー効果を上げるためには、情報交換や議論を定常的に行う場を設けるとともに、研究者（特に若い世代）の人事異動を含めたサイト間の交流をサポートしていくことが重要である。さらに将来的には、原子力機構の枠組みを超え、他の研究機関との交流が進展することも望まれるが、その際には転出だけでなく、補充も十分にされるような運営が可能になることを原子力機構に望みたい。

このような状況の中、部門が原子力機構の一部にあって、研究項目／人事／予算配分等の運営全般について、原子力政策に左右されるのは我が国の研究基盤の強化にとって必ずしも幸福なことではない。原子力機構が運営する研究用原子炉やレーザー、イオン、電子線／ガンマ線の各照射施設は、我が国全体の環境、資源、エネルギー（原子力以外を含む）、生物、医薬等に関する幅広い研究にかかわるため、それらの施設の運営のあり方は我が国の研究基盤に直接的な影響を及ぼすこととなる。よって量子ビーム利用研究のあり方については、研究系の独立行政法人再編の

機会等に改めて検討されることが望まれる。原子力機構のミッションの変化によって、広義の量子ビーム利用研究が機構内で難しくなるのであれば、原子力機構は責任をもってこれが可能な外部組織への移管も含めて具体的に検討するべきである。

過去の本委員会の提言を受け、これまで部門は運営における大きな改善と努力を行っている。このような重要なミッションを担う、部門の今後の取り組みに注目すると共に、今後の発展を大いに期待する。

2. 部門の運営

運営方針として示されている、1. 強い組織の構築、2. トップダウンとボトムアップの融合、3. 応用研究と学術研究の両面の推進、4. コミュニティを強化する活動の推進、5. 組織の強みの確認、は全体的を射たものであり適切である。特に、トップダウンとボトムアップの融合に関しては、部門長や副部門長、領域長がリーダーシップを発揮してトップダウンによる研究の方向性を示し、現場の研究者にこれを理解・納得させるとともに、現場からのボトムアップ提案・意見をトップが常に把握し、それらに大きなギャップが生じないようにする必要がある。部門運営会議、研究交流会、研究成果報告会、部門長によるリーダーヒアリング等の取り組みが定期的に行われているが、トップダウンとボトムアップの双方向の情報交流については常に留意することが望まれる。現在ボトムアップで進行している複数のテーマの中から、対外的にインパクトのある成果につながるテーマをエンカレッジするトップダウン的な仕組みを設けることも一案である。

部門の運営方針としてのトップダウンとボトムアップの融合については、既にいくつかの効果が現れている。全体としてより大きな効果が現れてくるまでにはさらに時間を要すると考えられるが、その実現に期待したい。特にトップダウン的な運営方針は福島対応だけでなく、今後とも必要であり、そのために人員の補充を含め、部門長、副部門長を中心とした体制のより一層の充実、強化が望まれる。

トップダウンとボトムアップの融合をスムーズに推し進めていくうえでも、現在、不在になっている東海地区の副部門長など、適材適所の人材配置を早急に手当てする必要がある。このままの状態が続くと東海地区のみならず部門内の各地区間や階層間の意思疎通に障害が出る可能性がある。人選は早急に行うべきだが、現在どの組織でも常識となっているように、経験年数に依存するのではなく、それまでの実績に立った能力主義での人選が必要である。

第1期中期計画において意図された3研究所（東海、高崎、関西）の部門による連携・融合が、第2期中期目標期間において一層強化されている。サイトを横断的に組織した「領域」の設定により出口を明確化し、異なる量子ビームの有機的な利用促進を目指した運営を行っていることも高く評価できる。対象とする研究分野が広範囲に渡っているため、領域間の交流が疎になることが懸念されるが、それぞれの領域の間で業績（サイエンスと社会的貢献）をお互いに評価する仕組みがあれば、相互理解がより深まるであろう。また、同じ目的を複数のアプローチで行っているテーマについてはチェック&レビューを適切に行い、タイムリーに人的資源を集中することが

必要である。

地区間横断の領域担当制については定着してきた感があり、その効果も出てきていると思われる。今後、例えばさらに研究交流会の頻度を上げるなど、部門全体の風通しを良くして成果の加速を図ってほしい。また、マトリックス組織におけるテーマ設定については、原子力機構のミッションや部門の方針に基づくトップダウンだけでなく、研究者の共同発案を促すような仕組みも重要と考える。そのために、研究プロモーターのような役割の方を各地区に配置することや、研究者にインセンティブを与えることも考えてはどうか。

基礎研究から実用化に向けた開発応用研究まで、極めて広範囲な研究が行われていることが本部門の特徴であり強みでもある。基礎研究の基盤をしっかりと維持・強化するとともに、研究成果を実用化に結びつけていくため、産業界や臨床領域などからのニーズを幅広く吸い上げるなど、外部との連携・交流をより強化するための体制整備も重要である。

運営費交付金は8億円から4億圓に半減しているが、この目減りを外部資金獲得で補う努力を行っており、この取り組みは高く評価できる。外部研究資金の獲得額は年々増加しており、平成23年度では運営費交付金の3倍を越える外部資金を得ている。この状況は特筆すべきことであり、研究のアクティビティが高く時流に乗った研究を行っている証でもある。これはリーダークラスの研究者による大型予算獲得以外に、ボトムアップの提案による科研費の獲得率の向上の結果であると考えられる。若い研究者が、上から配分される研究費だけでなく、自分自身の提案で研究資金を自ら獲得することは、研究の動機付けに大変大きな意味を持っている。今後、この種の研究をさらに奨励しつつ、若手の発想や研究意欲がより一層発揮できる部門運営がなされることを望む。外部資金獲得は、研究を行う上で予算が必要という点に留まらず、研究立案における重要な思考プロセスでもある。人材育成の観点からも、外部資金を獲得できる研究者の育成は、組織として取り組むべき重要事項である。一方、研究者が資金の獲得だけに目を向け、心眼に曇りが出るような事態にならないような注意も必要である。

予算に関し、今回措置された補正予算の有効な執行とともに、今後も運営費交付金が減少する恐れが高いことへの対応を含めて、長期運営のための定常的な財源確保のためにも、大型予算の獲得、産業界との連携などを含めて、組織的な取り組み方針を考えていくことが必要と思われる。大学、民間企業との共同研究は今後さらに資金的な意味でも、また出口を見据えた研究という意味でもその重要性を増すと考える。外部に対する部門のアクティビティの発信、社会に対する成果の広報活動は今まで以上に積極的に実施してほしい。

中期目標および年度計画、部門としての目標やミッションは示されているが、対象分野が広いこともあってその目指す到達点は少し曖昧である。数値目標や計画達成にむけての詳細な年次計画を掲げることは、量子ビームを利用した基礎基盤研究においては、必ずしも馴染むものではなく、長期的展望に基づいた研究の推進が重要であるが、産業応用とりわけ実用化を目指す課題については、いつまでに何を何処まで達成すべきかを定量的に示し、適切なチェック&レビューを行うことも必要であろう。

成果の発信に関しては、英文年報の発行、各種シンポジウムの開催、特筆すべき成果のプレス発表などを通じて、適切になされているものと評価されるが、原子力機構の量子ビーム関連部署がどのような技術や成果を有し、またその活動が第4期科学技術基本計画でうたっている「震災復興」、「ライフイノベーション」、「グリーンイノベーション」といった課題にどう寄与しているか、貢献できるかを、より積極的に情報発信して欲しい。部門で得られている高い成果が数多くありながら、それらの成果が必ずしも外部から見えてこない面もある。外部への情報発信のあり方についての工夫も必要であろう。

3. 部門の研究のあり方

第2期中期目標期間の開始から一年を経ずに東日本大震災に遭遇し、多くの施設や装置が被災した。非常に困難な状況であったにもかかわらず、組織一丸となって迅速かつ着実な施設の復旧が行われたことにまず敬意を表したい。

部門の研究のあり方については、各領域や、基礎研究、産業利用を目指した研究のそれぞれにおいて、部門の看板となる代表的な研究テーマを掲げ、各副部門長の積極的関与のもとリソースを集中してこれらを育てていくという取り組みがもう少しあってよいと思われる。一方、研究テーマの選定において、部門の持つ強みを活かすことにこだわりすぎて、世の中のニーズとの整合や他の研究機関との比較などがまだ不十分なものも見受けられる。

研究分野の地区横断的な研究として、研究者からの自由な発想に基づいたテーマが尊重されていることは、基礎研究の進め方として大いに評価できる。一方、部門として、このような横断的な研究にどのような方向性を求めるのか、経営的な視点からの（トップダウンの）施策をより明確に示すことが好ましいと思われる。部門としてのロードマップも、より明確に示すことが望まれる。この点に関連して、部門内の研究内容が広範なものになっているため、散漫な感じがすることも否めない。これは、組織としての方向性が見えにくいことに影響しているように思われる。従来の研究テーマについては、ボトムアップでテーマが決まっているようにも見受けられる。個々の研究者の考えだけでなく、原子力機構外の者にも理解されるよう、客観的なテーマ決定のしくみがあるとよい。

「第2期中期計画の考え方」に記載されている「出口を意識した成果創出」という目標に関して、水中の放射性セシウム捕集に有効な家庭用浄水器のカートリッジを開発・製品化するなど、まさに出口としての具体的な成果が得られており、研究員の努力に敬意を表するとともに、十分に評価される成果である。一方、部門全体としてのこの「出口意識」に関するコンセンサスは取れているか、単なるうたい文句になっていないかを今一度見直し、徹底を図って欲しい。出口が充分意識されていない研究もいくつか散見される。特に実用化を目指す研究においては計画達成に向けた目標において、時期と具体的な目標について定量的に示していくのも一つの方法ではないかと思われる。また、基礎研究についてもその重要性は高いものであると判断され、これをどう位置付けるかも一考の要がある。

量子ビーム応用研究が原子力機構において優先度の高い事業として取り組まれていることは理解できるが、原子力機構としてのロードマップがどのようなものであり、部門に具体的にどのような取り組みが求められているのか、他部門との連携がどのようなものであるか等、必ずしも明確でない。基礎科学に立脚する部門としても独自の長期計画を立てる必要があるのではないかと考える。ただし、福島対応の取り組みが、特に若手研究者の研究意欲を考慮したものとなることにも留意が必要と思われる。

これまで国内外の外部機関との共同研究や研究協力は着実に行われており、評価できるが、これだけポテンシャルの高い研究基盤をもつ研究機関であることから、これまで以上に積極的に他の研究機関、大学等との共同研究を推進し、さらに大きな成果に結びつけていくことも期待される（例えば元素の動態イメージング技術は、世界の植物研究者の垂涎の的である）。また、直近の産業利用に資するテーマに関しては、なお一層の産業界とのコラボレーションが必要である。質の高い基礎研究を維持しつつ、外部ユーザーのサポートなどを通して国民目線を意識し、研究開発に反映していくことが重要である。

また、領域として行う、地区横断的な研究体系は、質の高い基盤研究力を有する本部門においては、その力が発揮され、新しいものを開拓していく可能性が高いと思われる。各地区のより一層の交流、連携の推進が、それぞれの研究領域のさらなる発展とともに、一つの方向として望まれる。

機構と大学等との間の人事交流のさらなる活性化も重要である。部門の研究職の年代別構成をみると、現在は30代後半から40代にかけてピークを示しており理想的であるが、今後もこの年代に人員構成のピークを保つためには、40代以上の研究者が積極的に次のポジションを原子力機構外に求めていくこととともに、新たな人材確保が必要となる。そのためには、若手研究者の行った研究を、確実に論文や特許などの成果につなげ、業績を上げるよう、本人の努力とともに、経験豊かな研究者によるフォローアップが必要である。

部門においてはこのような考えのもと、外部機関への転出、外部機関からの採用が行われているが、原子力機構のテニユア制度を含め、あらゆる制度を駆使してもなお確保できる人員数は僅かであり、職員及び研究員の減少に歯止めをかけることは難しい状況にある。

組織にとって優秀な人材確保は決定的に重要であるが、このように原子力機構の中で新たな人材補給が困難な現状は、育った人材を外の組織や社会に還元し送り出すことが、部門の活性化につながらないという困難な状況を生み出す。新たな人材補給ができない組織は、いかに優秀な集団であっても高齢化し、活性が失われる。原子力機構は部門における人材補給の努力を、今後とも最大限継続させていく必要がある。

部門はこれまで優秀な人材を数多く育ててきた。優秀な人材は本来、社会に広く還元すべきである。特に原子力機構など、幅広い科学技術分野に関係する機関では、組織内で育てた人材を他の組織や社会に送り出し、さらなる活躍の場を与えることは、その機関そのものの発展につながるとともに、納税者国民に対する責務の一つとも考えられる。これと併せ、大型施設の整備や技

術を担う職員が少なくなっていることを鑑み、技術者の育成に力を注ぐことも望まれる。

研究者の人事評価にあたっては、論文や学会発表の数のみではなく、「真に科学技術の競争力に寄与したか」や「産業利用に寄与したか」を十分考慮するべきである。量子ビーム基盤施設・装置の維持管理や供用支援などの業務に対して適正な評価を行うことも重要である。

部門の抱える最大の懸案事項の一つとして、東日本大震災以降、東海地区の主たる施設である研究用原子炉(JRR-3)の再稼働が未だ実現していないことが挙げられる。JRR-3の重要性は、これまで発信された成果からも明らかである。さらには数年前に利用研究がスタートした J-PARC のパルス中性子の有効利用に、JRR-3 との相補利用が非常に重要であることは、日本中性子科学会特別委員会の答申や、アメリカのオークリッジ研究所やヨーロッパにおける、定常炉とパルス中性子施設との密接な関係からも明らかである。中性子コミュニティや、JRR-3 における大学共同利用を総括している東大物性研、さらには中性子を利用する広い学術コミュニティや産業界からも、JRR-3 の早期再稼働に向けての声が高まりつつある現状に鑑み、最大限の努力を継続してほしい。

4. 福島復興対応への取り組み

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故を受けて、原子力機構の中期計画に新たに「福島第一原子力発電所事故への対処に係る研究開発」が加わった。これに対して、部門及び関係拠点が、その能力や機動力を生かし、迅速かつ積極的に対応を行ったことを高く評価する。放射線グラフト重合技術を用いたセシウム捕集材の開発において、その製品が販売できるところまで実用化したことなど、福島復興に関連する研究活動は何件か特筆すべきものがある。また、通常の研究活動と並行して、環境モニタリング、コミュニケーション活動、除染活動など、各種福島復興対応に部門から 2,000 人日に上る協力を行ったことも機構職員として当然とは言え、評価されるべきものである。今後も、福島のニーズの状況変化に応じた研究開発方針の見直しを随時行いつつ、部門の有するポテンシャルを活かせる課題に関して福島復興に積極的にコミットしていくことが期待される。また、環境放射能計測や廃棄物処理処分、廃炉技術等に関しても、機構内の他部署と連携しつつ今後の更なる積極的寄与を期待するとともに、社会への放射線に対する正しい知識・情報の広報にも尽力して欲しい。

福島復興対応を最優先課題として、部門全体がその高い科学力を活かして積極的に取り組んでいることは高く評価できる。これを部門のもつ高い能力を示すことのできる、具体的なモデルとして捉え、基盤研究のより一層の充実と、その社会還元を強く推進してゆくことは部門の一つの方向性として検討されることが望まれる。

除染や廃炉に向けた技術開発については、2、3年で解決する問題ではなく、長期にわたる課題である。さらに福島の事故の処理だけでなく、各地の原子炉の廃炉に向け、さまざまな挑戦が続くと思われる。基礎から検討が必要な課題も多々あり、それらを抽出し、部門として取り組めるテーマを従来の延長ではなく、新しい視点から設定し、取り組んでほしい。それにより、若い研

研究者の意欲や将来展望をもたらすことができる。これまでの福島復興関連の成果をみると、部門としては、可能な範囲で着実な成果が出されている。大学の原子力関連の研究部門が縮小傾向にある中、放射性物質回収や廃炉に関する技術開発について原子力機構への期待は大きい。

なお、福島復興対応の研究内容について、多くは個々の研究者の発想に委ねられているように思われる。組織としては基礎研究を土台にした高いレベルの支援ができることを示す機会であり、このような研究でこそ、これまで培ってきた基礎研究が生かされることをより明確に示すことができる。基礎研究の重要性に対するメッセージをしっかりと発信すべきである。

一方、部門の福島対応における積極的貢献は高く評価できるものの、その研究テーマの設定、取り組みの将来ビジョンや継続性について、現場の研究者達に戸惑いがないのか留意すべきである。将来部門外へのキャリアパスを求める研究者にとっては、原子力機構が独自に取り組んでいる福島復興対応関連研究に対し自らのエフォートをどの程度割くべきかについて戸惑いがあると予想される。このような状況のもと、部門幹部が福島復興対応の意義付け、特にこれまで部門が取り組んできた基礎科学研究との関連性を明確にし、それを現場の若い研究者に理解、納得させる必要がある。

福島復興対応は、原子力機構だからこそできる対応であり、ミッションの異なる他の独立行政法人や大学では真似できないものであることのポジティブな側面をいかに全ての職員が理解するか、部門全体が問われている。福島復興は、基礎科学に立脚してどのような課題があり、それを量子ビームの横断的利用でいかに解決できるか、部門のスタッフ全員が、これに対して高い意識を持つことで、縦糸・横糸の研究組織改革はさらに進展すると期待される。

しかしながら同時に、これらが部門のミッションを全て福島復興対応に変えるべきであるという事は意味しない。部門のもう一つの大きな位置付けは、日本の科学技術・学術全般を支える基盤部門としての存在であり、量子ビームを利用して物質の多様性の起源を探るという基礎科学推進としての重要なミッションがある。そのミッションを果たすためには、部門が保有する装置の高度化や、利用する施設の安定的な運転とともに、先端的利用研究、施設供用、将来計画などについて、原子力機構が責任を持って、必要な人材と経費のリソースの確保を今後も継続すべきである。部門の本来のミッションと福島復興対応の両者のバランスをいかにとるか、このことが最も重要な点であり、原子力機構と部門双方の首脳部に問われている。これに対するビジョンが明確でない限り、現場研究者の戸惑いはぬぐい去れない。量子ビーム利用による基礎科学推進が、日本全体の復興にとって欠かすことの出来ないミッションであることを忘れてはいけない。

II. 福島復興対応に関する研究開発

福島復興対応への貢献を目指した研究開発は、原子力機構がなすべき仕事として非常に重要であり、各種セシウム捕集材の開発など、部門の果たした役割は大変大きい。部門の各地区に於いて課題に積極的に取り組むとともに、得られた成果もそれぞれ大きな意義があり、全体として高く評価できる。今後、事故対応に実際に使える技術とそうでない技術を峻別するとともに量子ビーム関連部門・拠点の有するポテンシャルを活かし、迅速な実用化を目指して、国民の期待に答えて欲しい。

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

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

高崎地区の持つ高い科学力を活かした高分子捕集材の高度化・量産技術により、水中の放射性セシウム捕集に有効な家庭用浄水器のカートリッジを開発し、市販にまで結びつけたことは特筆すべき成果である。普及に向け、広く宣伝することが望まれる。今後はセシウム用だけでなく、ストロンチウムなど他核種の捕集材開発も期待される。また、セシウム 137 のリアルタイムイメージング技術開発も、優れた成果である。イオンビーム育種によって開発された植物におけるセシウム移行、集積をリアルタイムで解析することにより、土壌浄化用植物の開発、移行・集積の少ない農作物の開発が加速されると思われる。イオンビーム育種によるセシウム高吸収、低吸収ヒエの開発にも期待が持てる。低吸収、高吸収に関わる遺伝子が同定されれば、同じイネ科植物であるイネへの応用が可能である。なお、これらの開発を進める際、イネとヒエの混植を農家は望まないことや、ファイトレメディエーション後の残渣処理が難しいことなども考慮し、福島のニーズに即することが重要である。セシウム 134 とセシウム 137 を分別して定量できる簡便な手法の開発も現場のニーズに合致したものであり、復興への貢献度が高い。今後とも、より一層の福島復興への対応を期待する。

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

放射光を利用してセシウム高選択性有機配位子を開発し、吸着剤として利用することによる農業用水の除染や、粘土鉱物などセシウム難剥離性物質の吸着メカニズムを解明し、それを廃棄物

減容のために利用するシステムの開発など、復興に実質的に役立つ成果を得るために積極的に取り組んでいることは高く評価できる。今後さらに、これまでの知見を活かし、セシウム以外の核種用吸着剤の開発も望まれる。なお、セシウム高選択的クラウンエーテル型吸着剤の開発は、学術的にも興味深く重要な成果と考えられるが、コスト面、大量合成面から考えて、実用性があるかについての留意も必要である。また、粘土鉱物への吸着機構の解明については、福島復興課題としてだけの対応ではなく、より普遍性のある研究を進めることにより、粘土という天然ナノ物質の層間の特性を明らかにすることも望まれる。放射光は、他の量子ビーム源を用いて行われている復興課題への取り組みにとって強力な解析ツールとなり得るものであり、幅広い地区間協力が望まれる。

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

Ⅲ. 各地区における研究開発

1. 東海地区

基礎的研究から産業応用まで幅広い分野で着実に研究が進められ、優れた成果が数多く出ているものと高く評価できる。いずれも中性子を利用し、また放射光と中性子を複合的、相補的に利用することにより、原子力機構としての特徴が発揮できる研究内容である。必要に応じて、地区間、グループ間で協調することのできる体制も有効である。

【物質・材料領域】

東日本大震災以降、J-PARC や JRR-3 の復旧対応に労力を割かれるとともに JRR-3 が停止していることによる研究への影響が少なからずあったものと思われるが、関係者の努力により、高い研究水準を保っていることは賞賛に値する。一方、中性子に関して、今後、JRR-3 と J-PARC をどのように使い分けて成果を出すかについて、大方針を示すべき時期が来ている。次期研究炉に向けてのグランドデザインについても真剣な検討が必要となる。

また、東日本大震災による JRR-3 運転停止のため、平成 22 年度まで順調に増加してきた利用実績がなかったこと、同時に、増え続けていた産業利用についても震災以降利用が不可能となり、中性子利用の有効性を広めるチャンスを失ったことは非常に残念である。今後の JRR-3 運転再開に関しては、部門を超えたレベルでの判断になるかと思われるが、部門としても JRR-3 運転再開の必要性を最大限アピールすることが必要であろう。

そのような中、J-PARC や国外の研究炉を用い、マルチフェロイックに関する研究など、いずれも中性子の有する特性を巧みに活用した物性研究が進められており高く評価される。とりわけ、播磨地区と協調した水素化物の高圧下での研究においては、放射光において金属原子の構造を決定した後、J-PARC の NOVA を用いて国内としては最高の 17GPa 下での中性子による水素位置を決定するという優れた成果が発表された。今後、非弾性散乱測定モードでの水素サイトのポテンシャル決定など、この分野を世界的に牽引していく可能性がある。

^3He 偏極スピフィルターの開発（72%の偏極度）を行い、その応用として、垂直型円錐スピン構造と自発電気分極の関係性の解明に資したこと、動的核スピン偏極コントラスト変調法をタイヤ材料に応用し、含有するシリカの部分散乱関数の測定に成功したことなども高く評価できる。

産業利用の観点から、燃料電池内の水等の分布を超高分解能で可視化する手法を確立することは、社会的なインパクトも大きく非常に重要であり、研究成果の出口を意識して、目指すべき空間分解能を明確にした手法開発の取り組みが必要である。また、実用化を目指して研究を進めている材料に関しては、企業や他機関との連携が必須であり、研究内容の外部へのアピールを含めて、さらなる活動を期待する一方、成果の実用化の観点からの客観的評価も必要であろう。

これらの研究を進めるにあたり、海外の研究機関と比較した場合の部門における研究の優位性がよりわかるように示すことが望まれる。また、それらの研究の先にどのような最終ゴールがあるのかを明らかにして研究の意義を示すことも必要である。

【医療・バイオ応用領域】

中性子を利用した実験ができない状況が長く続く中、着実に研究開発が続けられ、全体的に高い成果を発信できていることに敬意を表したい。中性子源確保のための部門全体としての努力が望まれる。地区間の連携や他機関との共同研究も良好に推進され、その結果、質の高い成果が得られている。

β ラクタマーゼの世界最高分解能中性子構造解析、放射線抵抗性の鍵となるタンパク質(PprA)の立体構造解明、DNAと水和分子ダイナミクスの解析などの研究は原子力機構の特長を活かした研究であり、インパクトが高い。今後、J-PARCにおける生体分子研究の展開が期待される。PprAについては、その構造解明だけに終わらず、いかに応用展開を図るかを考えた次のステップへの進展を期待する。

また、中性子非弾性散乱により、アクチンの単量体(G-actin)と繊維状重合体(F-actin)におけるダイナミクスの違いを検出した研究成果、および、アクチンのダイナミクスと水の水のダイナミクスの相関を実証した研究成果は、高く評価できる。また、理化学研究所、SACLAと連携した、単粒子の弱い回折像から実像イメージを構築するシミュレーション法の開発研究も優れた成果である。いずれも部門の特長が生かされており、今後さらに研究が進展することを期待する。

原子力機構は中性子を提供する組織として、特に原子力機構でしかできない生命科学分野の量子ビーム利用研究を推進することは重要である。東海地区のJRR-3やJ-PARCを利用したバイオ応用領域の研究は、いずれも原子力機構に於いてのみ実施が可能であり、周辺のコミュニティからの期待も大きい。このような研究には、より重点が置かれるべきであり、この分野の重点的な推進は今後の課題である。そのため、部門の東海地区でしかできない研究と、他の研究機関でも実施が可能で、それらとの共同研究で達成できる研究とを明確に区分し、それを意識した人材等の投資も検討されるべきである。これと併せ、国の研究開発の施策であるグリーンイノベーションやライフイノベーションに貢献できることを示すため、企業や他機関とのさらなる連携を進めるとともに、社会へ向けた強力な情報発信を期待する。

2. 高崎地区

多くの興味ある研究テーマが展開され、全体として高く評価できる。産業応用を目指した課題については最終目標の具体像を明らかにし、実用化のどのステップまで進んでいるかを示す必要がある。

【環境・エネルギー領域】

種々の量子ビームの特性を活かした質の高い研究・開発が行われている。原子力機構ならではの解析技術を駆使したアプローチも評価できる。

他地区と比較して、モノづくりにつながる具体的なテーマが多く、目標もわかりやすい。企業との連携も活発で、実用化に近い研究も多いため、広報的な観点からもアピールしやすい。燃料電池膜については、研究を重ね、ここまで導電性を向上させてきたことはすばらしい成果である。

さらなる性能向上を果たし、実用化されることを期待する。また、優れた性能だけに注目するのではなく、実用性能すべてにわたる慎重な評価も望まれる。これらとともに普遍性を追求した研究も行ってほしい。

代表的な成果として、1) 複合した量子ビームを用いた高性能燃料電池膜の創成に向けた研究において、グラフト型燃料電池電解質膜のイオンチャンネルの階層構造と燃料電池特性の関連性の解明を行い、その知見に基づき、産業界と連携して燃料電池膜の導電性向上を達成したこと、2) エマルショングラフト重合技術を開発するとともに、照射線量の低減化とグラフト重合反応の効率化を達成し、その成果に基づき民間企業との共同研究により、微量金属除去用イオン交換繊維を商品化したこと、3) 窒素イオン照射により、量子コンピュータに有利な長いスピン位相緩和時間を有する NV-欠陥の形成技術を開発したこと、4) 三次元の線量評価を可能にする高分子ゲル線量計を開発したこと、などが挙げられる。

これらの研究を進める上で、特に燃料電池膜、バイオ燃料など多くの企業が手掛けている課題については、原子力機構で研究を行うことの特徴が出るような研究のアプローチを常に心がける必要がある。

なお、高崎地区における施設について、その稼働率が、「計画外停止時間」を使用して定義されており、見かけ上 99%を超えている。「計画停止時間」を減らすなどの目標のためには、絶対時間の定義に変える方が好ましいのではないかと。

【医療・バイオ応用領域】

量子ビーム技術の医療・バイオ領域への応用は原子力機構に特徴的な研究であり、非常に有意義である。新しいイメージング技術開発による生細胞の微細構造や生体機能、植物でのイオン移行挙動の解析などの研究により量子ビームの利用範囲を広げ、高いアクティビティで研究を遂行している。積極的にプレス発表を行っていることも高く評価できる。

これらの中で、イオンビーム育種技術開発に於いて、群馬県との連携により吟醸酒製造に適した清酒酵母を作出し、県内の酒造蔵への頒布まで結びつけた成果は高く評価される。イオンビーム育種技術は非常に有用なツールであるとともに原子力機構ならではの技術であり、今後の発展を期待する。成果を広く発信し、多くの育種研究者に普及することが望まれる。この技術は清酒などの嗜好品だけでなく、害虫に食われにくい植物、糖分が画期的に多い食物など幅広い応用範囲があると考えられ、未来の高付加価値農業を見据えた革新的な技術開発に展開することも望まれる。

また、レーザープラズマ軟 X 線顕微鏡の開発とそれによる生細胞の微細構造のイメージングは、高強度レーザーによって作られたレーザープラズマから発生する軟 X 線を用い、密着型顕微技術により、培養中の生きた細胞のその場観察に成功した成果である。空間分解能は 90nm 以上を達成しており、生体機能の解明に有効と考えられる。今後のさらなる空間分解能の向上に期待したい。

さらに腫瘍の PET 分子イメージングプローブ開発においては、TIARA で製造した臭素 76 を用いたメタブロモベンジルグアニジン(MBBG)の標識合成を行い新たな RI 薬剤を開発し、これを用いてわずか 2mm という粟粒ほどの微小な褐色細胞腫を鮮明に PET 画像化することに初めて成功した。開発した薬剤の効果を実証するとともに、臨床診断技術の向上に大きく道を拓いた。

この他、植物でのカドミウムイオン移行挙動の直接イメージング解析、重イオン照射による細胞のバイスタンダー効果の発見などは、植物による土壌浄化、放射線治療などへの応用に極めて有効な知見であり、優れた成果である。

これらの研究はいずれも本部門の特徴を生かした、実用性のある、レベルの高いものであり、高く評価できる。多くの場合で部門内の他地区との連携や他機関との共同研究が優れた研究成果につながっており、今後もさらに研究が進展することを期待する。また、医療応用については、原子力機構単独ではその実践が難しいと考えられる。従来より行われている関連機関、企業などとの共同研究をさらに推進し、部門に於いて開発された技術を実用性に即して評価していくことも重要である。

3. 木津地区

産業応用や医療を推進するための光量子・放射光の利用技術として、レーザー技術及びその応用法の開発は重要であり、木津地区に於いて推進する高強度レーザーの開発およびその応用について着実な成果が得られている。

【先進ビーム技術領域】

J-KAREN レーザーのパルスコントラストの向上や高次高調波、イオン加速において成果が出てきていることは高く評価できる。本領域は木津地区に局在しており、ビーム技術の R&D を行う上で、適した組織形態になっている。R&D の成果を新たな量子ビーム技術として実用化につなげるために、既存の技術との対比を常に念頭に置きながら、他の領域あるいは原子力機構外との共同研究を進め、ビーム開発にフィードバックさせていくことが重要である。

全体の研究目標設定が定量性も含めてやや不明瞭なきらいがあり、進捗状況や世界的な研究動向・レベルとの比較などに関する評価が難しい部分がある。国際競争が激化し、近くは東アジアでも中国、韓国、台湾でのこの分野での研究が進展している中、量子ビーム利用としてのミッションとの整合性をとりつつ、本領域が何を指すのかを明確にすべきであろう。

相対論的プラズマからの高次高調波発生新しいメカニズムの発見は、コヒーレント超短パルス光源開発における高エネルギーフォトン発生の将来展望にとって大変魅力的であり高く評価できる。この方法が、10keV 程度の X 線領域まで実用化されるレベルに達すれば、量子ビームに関する科学技術で極めて大きなインパクトを持ち、生体やソフトマテリアルの観察をはじめとして、その波及効果は大変広い。今後、この研究が発展することを強く期待する。

イオン加速に関して、新しい手法及びそれを可能とするレーザー開発とレーザープラズマ相互作用物理のさらなる進展（プラズマ物理とレーザー技術の積極的融合）が期待される。SPring-8

の光源グループなどと意見交換をすることにより、先端的なレーザー技術と、放射光やエックス線レーザーの組み合わせから、新たな研究の展開が図れるものと期待される。高出力レーザーによる二次量子ビームは、イオンビーム以外にもテラヘルツ～XUV、X線、ガンマ線のみならず電子、さらに中性子といった極めてスペクトルの広い高輝度・短パルスの複合量子ビーム源であり、部門として積極的に研究開発に取り組むべき領域である。

他方、J-KAREN レーザー及び軟 X 線レーザー共に利用件数に減少傾向が見られることに留意すべきである。先進ビーム技術の開発は、長期的に見て意義のある分野であり、いずれも基礎研究としての意義は高いと思われるが、研究の出口である具体的な目標との距離感が感じられる。また、技術的なテーマについて研究開発は順調と判断するが、その応用について他地区との連携成果が見えにくい。これらの指摘への対応も望まれる。

このような状況にあって、主力装置である J-KAREN レーザー高度化のため補正予算が措置されたことは、大変喜ばしい。ピークパワーの増強とともに、ビーム品質やパルスコントラストを含む装置完成度の向上にも努め、着実な実験結果が得られるようなシステムに仕上がることを期待する。

ペタワット級の先の超高強度レーザーの開発は、もはや一研究所が担える段階を超えつつあり、今後、機関連携が極めて重要となる。これらの研究は、従来までの原子力機構のミッションからはやや異色の分野ではあるが、国内最大のフェムト秒レーザーを有する施設としてこれらの研究を位置づけ、国内（あるいは海外）連携について、部門木津地区が積極的に中心的役割を担うことが期待される。

【環境・エネルギー領域】

テラヘルツレーザーを利用した同位体分離の研究では、原理実証とともに核種分離・核変換への展開とその実用化に至る道筋を示していくことも、原子力機構としての責任ではないか。また、これらの研究を推進して世界トップの成果を上げるには、その基盤となる高出力レーザー技術の進展と確立が不可欠であるが、現状では開発に携わる研究者が不足しているのではないかと危惧される。より戦略的な取り組みが望まれる。

光陰極直流電子銃の開発においては、500kV、10mA での電子ビーム発生に成功している。この成果が、KEK・PFの将来計画として位置づけられている3GeV、ERL(100mA)の実現につながることに注目したい。

各研究の最終ゴールがわかりにくいため、現時点での成果の価値も評価しづらい。また、事例となっている3テーマがなぜ環境・エネルギー領域の研究であるのかが明瞭でなく、先進ビーム技術領域との区別もつきにくい。基礎研究としての重要性は十分に理解するが、出口の意識も必要である。そのような観点からテーマの選択を行う必要がある。

4. 播磨地区

数多くの査読付き論文として成果を上げるとともにアクティビティも高い。特に水素化物における構造や水素ボンディングに関する研究は、世界的にも高いレベルにある。

【物質・材料領域】

放射光と中性子の複合的・相補的利用や計算機シミュレーションを活用して、将来の応用が期待される材料（強磁性・強誘電体、超伝導体、機能性高分子等）の構造と物性機能発現機構の相関を明らかにし、新機能物質・材料の創成を目指す研究方針は、大いに評価できる。また、SPring-8の専用ビームラインにおける運転・利用状況も順調であり、外部利用者の実施課題数も妥当である。全体として高い成果が創出されており、マネジメントが有効に機能していることを示している。

放射光利用研究において原子力機構の独自色を出すことは、これまで難しい課題と考えられてきたが、中性子と放射光の相補利用は一つのアイデアである。金属の水素吸蔵や、燃料電池など、水素関係のエネルギー関連研究は独自色の創出に極めて有効であるとともに、レベルの高い研究成果が上がっている。また水素化物の研究は、被覆管の脆化等、原子力エネルギー関連研究にも生かされることが期待され、今後、環境・エネルギー領域とも一体となって研究すべきと思われる。

水素-金属相互作用に関する研究、放射光メスバウアー分光法による薄膜の局所磁性の研究など、放射光の特性を巧みに活用しており、高く評価される。また、鉄系超伝導体の格子振動についての研究も特筆されるものである。非共鳴 X 線非弾性散乱法を用いた微単結晶によるフォノンモードの研究は放射光 X 線ならではの研究である。今後、大きな単結晶による中性子散乱での相補的研究や、理論グループとの連携により、超伝導引力とフォノンの関連性についての考察が深まっていくことが期待される。

一方、共鳴非弾性 X 線散乱 (RIXS) は、鉄系超伝導体の電子状態の解析などで優れた成果を上げているが、エネルギー分解能等でアメリカに大きく後れを取っており、もっと人数を割くための体制作りが望まれる。原子力機構の中での解決が難しい場合は、他機関と積極的に連携するなど、至急手立てが必要と考えられる。

希土類水素化物の構造解明や鉄系超伝導体の電子状態の解析などは、部門の特長を發揮して優れた研究成果を上げたものであり、将来のレアメタル代替技術や超伝導材料につながると期待される。しかしながら、構造解析の対象としている物質が妥当であるかについては学問的興味の範疇を含め充分検討する必要がある。基礎研究の重要性については十分認識するが、その研究の先にどのような学術的に重要な原理原則の解明があるのかを示すことが望まれる。

【環境・エネルギー領域】

アクチノイド錯体化学研究については、各種量子ビームを用い、溶液化学の分野に新しい概念を提供するとともに溶液化学の分野で世界をリードするレベルの高い、先進的な研究が行われて

いる。アクチノイド化学だけでなく、他の金属錯体の研究に発展できるテーマであり、核種分離法や福島原発の汚染水の処理法の開発にもつながる重要な成果である。

錯体の溶液化学は、1970～80年代になされた研究から内容そのものは進展せず、最近では研究者や研究発表数も非常に少なくなっている。このような中で、放射光を利用した錯体化学の研究は、溶液化学（構造、反応）に新風を吹き込む非常に有意義な研究と言える。水溶液系だけでなく、非水溶媒、新規媒体であるイオン液体のマイクロ構造、これら媒体中の金属錯体の構造や挙動等の研究に発展することが望まれる。

また、貴金属の代替材料につながる研究開発は将来必ず必要となる技術を育てるものである。元素戦略プロジェクト「脱貴金属を目指すナノ粒子自己形成触媒の新規発掘」により得られた成果は意義が高く、今後も地道に継続することが望まれる。

テーマによっては量子ビーム利用の手法自体が必ずしも目新しくないと思われることもあり、研究対象を何にするかの選定が重要と思われる。放射光は、産業利用にも幅広く普及しており、産業応用のテーマは産業界の連携先との協力を密にして進展を図ることが有効と考えられる。

IV. まとめ

我が国の原子力政策が原子力機構における量子ビーム応用研究の活動に影響することは否めないが、今後、原子力政策や原子力機構の業務内容がどのように変化しても、科学技術・学術の発展、イノベーション創出、産業の振興等に資する量子ビームの重要性が揺らぐことはない。持続可能な社会をどのように構築するかという課題を考えた場合、基礎科学、エネルギー、環境、材料、情報技術、その他さまざまな観点からの研究が必要であり、どの分野においても量子ビームという研究資源は、他では得られない貴重な情報をもたらす。量子ビーム応用研究部門及び関連研究拠点は、この分野の中核組織として、我が国の量子ビーム応用研究を今後も牽引していくことを切望する。

部門が、本質的に変わろうとしていることはここ数年の評価を通してよく理解された。この姿勢を原子力機構がどのようにとらえ、支援するかが課題と考える。将来に向けた組織のあり方も見据えつつ、日本全体の量子ビーム応用研究にかかわる問題だという認識で、今後とも期待とともに注視したい。

以 上