

光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発  
「量子ビーム基盤技術開発プログラム」

事後評価結果

光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発

## 「量子ビーム基盤技術開発プログラム」

### 事後評価委員

- ◎ 吉澤英樹 東京大学物性研究所附属中性子科学研究施設教授
- 川上善之 エーザイ株式会社プロダクトクリエーション・システムズ  
サイトサービス部 業務推進部課長
- 熊谷教孝 (公財)高輝度光科学研究センター専務理事
- 福島喜章 (財)総合科学技術研究機構東海事業センターサイエ  
ンス・コーディネーター
- 福山秀敏 東京理科大学副学長

◎:主査

光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発

## 「量子ビーム基盤技術開発プログラム」

### 評価課題一覧

- 超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発
  - 幹事機関 高エネルギー加速器研究機構
  - 参画機関 広島大学、早稲田大学、東京大学、日本原子力研究開発機構、  
(株)日立ハイテクノロジーズ
  
- リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用
  - 幹事機関 自然科学研究機構分子科学研究所
  - 参画機関 名古屋大学、京都大学
  
- 中性子ビーム利用高度化技術の開発
  - 幹事機関 日本原子力研究開発機構
  - 参画機関 京都大学、高エネルギー加速器研究機構、東京大学、東北大学、  
北海道大学
  
- 軟X線の高速偏光制御による機能性材料の探求と創製
  - 幹事機関 高エネルギー加速器研究機構
  - 参画機関 東京大学、慶應義塾大学
  
- 多様なイオンによる高精度自在な照射技術の開発
  - 幹事機関 日本原子力研究開発機構
  - 参画機関 大阪大学、放射線医学総合研究所、宇宙航空研究開発機構

# 「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」

## の概要

### 1. 課題実施期間及び評価時期

平成 20 年度～平成 24 年度

中間評価 平成 22 年度、事後評価 平成 25 年度

### 2. 研究開発概要・目的

○超伝導加速器技術と大強度レーザーシステム技術を確立・実用化することで、5nm～0.025nm 波長領域の小型高輝度 X 線発生装置（10m×6m 程度）を実現し、物質・生命科学研究、医療診断、マイクロリソグラフィ等の利用研究を飛躍的に進展させる。

○本装置実現のため、高品質大強度電子ビーム生成装置、大強度・高電界超伝導高周波加速装置、高品質短パルス大強度レーザー蓄積装置、ミクロン精度での電子ビーム軌道制御技術及びレーザー光路精密調整といった技術の実用化を図る。

### 3. 研究開発の必要性等

#### 【必要性】

物質・生命科学分野では、材料物質・生体物質の原子レベルでの構造解析等が重要性を増している。しかし現在の技術では、実験室サイズの X 線発生装置では  $10^{10}$  光子/秒程度の X 線強度が限界であり、上記解析に必要である  $10^{11}$  光子/秒の強度の X 線は SPring-8 やフォトンファクトリーでなければ実現出来ないのが現状。物質・生命科学のさらなる進展には、 $10^{11}$  光子/秒の強度の X 線発生装置を実験室サイズで実現することが待たれており、本課題の必要性は高い。

#### 【有効性】

中規模放射光施設での原子レベルの物質構造解析を小規模実験室レベルで可能とする小型の高輝度 X 線発生装置によって、各研究機関での物質・生命科学研究、医療診断、マイクロリソグラフィ等の利用研究において飛躍的な進展が期待される。

#### 【効率性】

本課題は、我が国の量子ビーム科学に携わる研究者と、利用する研究者を一つのネットワーク型のプログラムとして研究開発を行うことで、シーズとニーズを効率よく結びつけている。また、プログラム全体として効率よく研究開発を行うために、専門的知見を有するプログラムディレクター（PD）、プログラムオフィサー（PO）を配置している。

### 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額	4.5 億円	6.5 億円	5.0 億円	4.1 億円	3.7 億円	24.0 億円

## 5. 課題実施機関・体制

プログラムディレクター（PD） 井上 信 京都大学 名誉教授

プログラムオフィサー（PO）

坂田 誠 名古屋大学 名誉教授

平井 康晴 佐賀県立九州シンクロトン光研究センター副所長

研究代表者 高エネルギー加速器研究機構 浦川 順治 教授

幹事機関 高エネルギー加速器研究機構

参画機関 広島大学、早稲田大学、東京大学、日本原子力研究開発機構、(株)日立ハイ  
テクノロジーズ

# 事後評価票

(平成25年3月現在)

1. 課題名 「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」
2. 評価結果
(1) 課題の達成状況 本装置が茨城県つくば市に設置してあるため2011年3月の震災の影響を受けたとはいえ、重要な要素の一つである光共振器内の平均パワーが目標値まで達せず計画どおり進展しなかった。また、「軟X線領域における円二色性光源」としての実用化についての達成状況がやや不明確となった。しかし、小型高輝度X線発生装置の実用化に必要な基盤技術の確立と言う難易度の高い課題設定に対して、多くの要素技術の開発チームがそれぞれ明確な目標を掲げて推進し、中間評価や状況を反映して柔軟に変更して、高品質電子源、超伝導加速空洞等の要素技術の開発はほぼ計画通り実施された。
(2) 研究成果について 既存の開発の延長線上にあり特段新奇性のある成果は見当たらない。しかしその分野での技術開発等では一定の成果が認められる。 成果発表は精力的になされており、インパクトの高い学術誌への投稿も各グループでなされている。発表先がまだ関連業界に限定されているが、プレス発表や公開講座等を通じた情報発信も行われている。多くの優れた要素技術が成果として得られており、技術開発に伴う特許の取得状況は高く評価される。
(3) 今後の展望 いろいろな分野で小型高輝度X線源のニーズは高いので、信頼性の高いかつコンパクトで扱い易い装置の開発に専念し作り上げることができれば波及効果は高い。 設計シミュレーションで終わらず、実機製作の経験を提供できたことは有意義であった。目標達成に必要な要素技術はある程度完成したので、今後の活用が期待される。
(4) その他 各機関のネットワークについては、多くの要素技術を分担した拠点が各々の役割分担と目標を共有した運営がなされた。ただし、多岐にわたる要素技術が必要なためやや分散化してしまった状況もうかがえ、本課題が目指している小型高輝度光子源に関して利用側との連携がとれていない。その意味で目標を達成する上で適切なネットワークの再構築が必要である。 産業界との連携等については、装置製造メーカーとの連携は十分取られていた。しかし、利用応用企業への働きかけが不足していた。 人材育成については、優れた研究テーマによる研究者・技術者の育成の観点から人材育成が十分になされたと判断できる。

このような開発研究は、その性質上、長期にわたるものであり、実用化へは道半ばであるが、平成 25 年度から開始した文部科学省委託事業の光・量子融合連携研究開発プログラムにおいて、「小型加速器による小型高輝度 X 線源とイメージング基盤技術開発」が採択されており、今後も小型高輝度 X 線源の開発が継続されることから、次の 5 年程度のタイムスパンでの実用機の開発に進展することを期待する。

#### (5) 総合評価

小型高輝度 X 線源の開発は、必要な性能と利用分野を明確にした上で、開発システムと性能に関する実現の可能性を科学的に検討することが必要であるため、小型高輝度 X 線源の開発には、開発体制を再構築することが必須である。

各要素技術の開発としては独創的成果による目標達成が明確に確認できたので、次の 5 年程度のタイムスパンでの実用機の開発に進展することを期待する。

# 「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」 の概要

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成 20 年度～平成 24 年度

中間評価 平成 22 年度、事後評価 平成 25 年度

## 2. 研究開発概要・目的

○レーザーとリング型電子加速器を組み合わせた新しい光発生技術とその利用法の確立を目指す。

○分子科学研究所のシンクロトロン光源 UVSOR-II の直線部を利用し、レーザーを用いて電子パルス上に微細な密度構造を作り出すシステムを構築し、真空紫外・軟 X 線領域の極短パルス光、真空紫外領域及びテラヘルツ領域での大強度コヒーレント光を生成する技術を確認する。専用ビームラインを整備し、従来のシンクロトロン光にない特質をもった光の利用技術を開拓する。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

加速器を用いたコヒーレント光・超短パルス光の発生法としては自由電子レーザーがよく知られているが、究極的ともいえる高出力が得られる一方、専用の直線加速器を必要とする等、非常にコストがかかる。コヒーレント光・超短パルス光は非常に優れた特性を持つ光であり、その利用研究は大きな意義があり、コンパクトな装置で真空紫外・軟 X 線領域の極短パルス光、真空紫外領域及びテラヘルツ領域での大強度コヒーレント光を生成する技術を確認する本課題の必要性は高い。

### 【有効性】

真空紫外・軟 X 線領域のパルス・コヒーレント光により、物質の発現機構の解明や触媒材料などの機能性材料の評価、有機物材料や表面・薄膜の研究開発の発展が期待できる。大強度準単色テラヘルツ光により物質中の電子を選択的に励起し超電導や磁性などの機能性の起源を探る研究が可能となる。また、X 線と比べると人体の影響が少ないテラヘルツ光により、X 線に代わる安全検査技術・イメージング技術等の開発が期待される。

また、本課題により SPring-8 等ではカバーしきれない真空紫外・軟 X 線～テラヘルツ光といった低エネルギー領域に係る研究が期待され、大学共同利用機関法人の施設である UVSOR が高度化されることで、幅広い大学の研究者に利用されることが期待される。

### 【効率性】

本課題は、日本の量子ビーム科学に携わる研究者と、利用する研究者を一つのネットワーク型のプログラムとして研究開発を行うことで、シーズとニーズを効率よく結びつけている。また、プログラム全体として効率よく研究開発を行うために、専門的知見を有するプログラムディレクター (PD)、プログラムオフィサー (PO) を配置している。



#### 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額	0.9億円	0.9億円	0.8億円	0.7億円	0.6億円	3.9億円

#### 5. 課題実施機関・体制

プログラムディレクター（PD）井上 信 京都大学 名誉教授

プログラムオフィサー（PO）

坂田 誠 名古屋大学 名誉教授

平井 康晴 佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター副所長

研究代表者 自然科学研究機構 加藤 政博 教授

幹事機関 自然科学研究機構

参画機関 名古屋大学、京都大学

# 事後評価票

(平成25年3月現在)

1. 課題名 「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」
2. 評価結果
(1) 課題の達成状況 この技術の利用者との共同研究等が始められているが、施設である UVSOR の高度化の改造の影響により、利用実験の応用研究についてはやや遅れており、また利用側へのニーズの発掘が不足している。しかしながら、概ね光源および光発生のための要素技術が当初の目標を達成する水準になっていると判断される。
(2) 研究成果について 精力的な成果発表がなされており、学術誌への投稿もなされている。ただし、発表先がまだ関連業界に限定されており、利用事例として生体試料への適用は評価されるものの、広く利用分野にアピールする状況になっていない。また、多くの優れた要素技術が成果として得られているが、関連特許出願が少ない。 整備されたビームラインを活用する応用研究に着手されており、今後、一層の利活用が進み、応用研究の研究成果が創出されることに期待する。
(3) 今後の展望 施設設備の研究開発段階でプロジェクトに携わる経験を持つことの出来た若手に利することはもちろんであるが、共同利用研であるので、今後広く利用されることによる教育効果に期待するとともに、小型施設の特徴を活かして応用・活用される事が期待される。 低エネルギー放射光施設でレーザーを用いたコヒーレント放射光発生技術の確立と、コヒーレント放射光の利用実験を可能としたことは新しい研究分野の創出に大きく貢献するものと高く評価する。
(4) その他 各機関のネットワークについては、全体での意見交換などの活動が行われてきた成果が出ていると推測される。 産業界との連携等については、産業界との連携・働きかけが不足しており、利用に関する情報発信を進めるべきである。 人材育成については、優れた研究テーマによる研究者・技術者の育成の観点から人材育成が十分になされたと判断できる。 大型施設の大規模線源とは一線を画し、基礎学術研究において、設備の有効性が発揮されるものと期待する。

(5) 総合評価

中間評価で指摘のあった「利用側のニーズ発掘」についてもテラヘルツ利用実験でテラヘルツ近接場イメージング分光によるがん細胞の分析・診断への試みなど顕著な例が見られており、今後は共同研究等による優れた利用事例成果が期待され、利用分野の開拓をメインに進めるべきである。

# 「中性子ビーム利用高度化技術の開発」 の概要

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成 20 年度～平成 24 年度

中間評価 平成 22 年度、事後評価 平成 25 年度

## 2. 研究開発概要・目的

○中性子集光・整形・偏極デバイスの高度化及び中性子検出器の高性能化を通して、我が国の主要な中性子実験施設である J-PARC 及び JRR-3 の研究能力を桁違いに向上させ、今まで為し得なかったナノからミクロの広い領域における階層的な磁性、軽元素、構造歪みを高精度に可視化することを実現する。

○これらに資する要素技術として、偏極デバイス、集光デバイス、イメージングシステムの研究開発を中心に行う。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

世界最高性能の中性子線施設（J-PARC、JRR-3）の性能を最大限発揮するためには、中性子の磁気としての特性を活かすための偏極デバイス開発及び集光デバイス、またミクロな動的挙動観測を可能とするためのイメージング技術開発が不可欠である。本課題では、これらの技術を従来よりも桁違いに向上させることを目的としており、その意義は大きく、必要性も高い。

### 【有効性】

パルス中性子源である J-PARC と定常中性子源である JRR-3 を有効的に相補利用してナノスケールからミクロンスケールまでの広い領域における階層的な磁性、軽元素、構造ゆがみの高精度な可視化を実現することで、新規機能性材料の開発等、材料科学分野における研究開発に著しい貢献が期待される。

また、特定先端大型研究施設である J-PARC の中性子線施設が高度化されることで、産学官の幅広い研究者に利用されることが期待される。

### 【効率性】

本課題は、日本の量子ビーム科学に携わる研究者と、利用する研究者を一つのネットワーク型のプログラムとして研究開発を行うことで、シーズとニーズを効率よく結びつけている。また、プログラム全体として効率よく研究開発を行うために、専門的知見を有するプログラムディレクター（PD）、プログラムオフィサー（PO）を配置している。

## 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額	0.9 億円	0.9 億円	0.8 億円	0.7 億円	0.7 億円	4.1 億円

## 5. 課題実施機関・体制

プログラムディレクター（PD） 井上 信 京都大学 名誉教授

プログラムオフィサー（PO）

坂田 誠 名古屋大学 名誉教授

平井 康晴 佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター副所長

研究代表者 日本原子力研究開発機構 加倉井 和久 量子ビーム応用研究部門副部門長

幹事機関 日本原子力研究開発機構

参画機関 京都大学、高エネルギー加速器研究機構、東京大学、東北大学、北海道大学

# 事後評価票

(平成25年3月現在)

1. 課題名 「中性子ビーム利用高度化技術の開発」
2. 評価結果
(1) 課題の達成状況
<p>目的である高強度中性子源の活用のために必要な要素技術の開発が達成できる水準にまで進捗したと判断される。しかし、後期の計画の中心であった開発技術の実証と成果のアピールが若干遅れた印象を受ける。震災の影響により、研究期間中の中性子源の利用に制限があった点を考慮しても、運営体制の反省点とすべきである。</p> <p>多角的に多様な中性子ビーム制御・検出技術の開発は、各分担グループの努力により成功裏に実施された。</p>
(2) 研究成果について
<p>精力的な成果発表がなされており、インパクトの大きい学術誌への投稿もなされている。得られた成果と内容を考慮すると、相対的に特許出願が少ない印象を持つ。このような要素技術開発においては特許戦略も重要であり、学術利用限定の成果に対する扱いも、その制度の見直しと同時に、産業界で活用されやすくするための実施者側の戦略も必要である。</p> <p>パルス中性子利用に向けて独自の、あるいは、高い競争力を持つ技術要素が多数開発された。世界最高性能の集光デバイスと偏極デバイス及びイメージングシステムの開発は特筆される成果である。この二つは、世界の中性子施設と比べて、現在大きな優位性を持っているので、利用の展開に今後傾注することが求められる。</p>
(3) 今後の展望
<p>高強度中性子源の活用のための重要な要素技術が実用レベルにまで開発・試作されている。今後、特にJ-PARC及びJRR-3の中性子実験装置に応用され、学術や産業利用など様々な成果が創出されるものと期待される。特に、集光デバイス及びイメージングシステムの開発・実機投入は中性子利用分野の拡大に大きく貢献する。また、偏極デバイスの一般ユーザーへの提供は、磁性等新規材料開発など産業利用の面でも大きく貢献するものと思われる。</p>
(4) その他
<p>各機関のネットワークについては、全体での意見交換の場を積極的に持つなどの活動が行われてきた。しかし、各チーム間の成果技術の融合や、意見交換の研究方針への反映等が不足している。震災により茨城県東海村地区の主力中性子源が利用できなかった事態への対応などでネットワークを有効に活用して欲しかった。また、成果を産業利用につなげるネットワークの構築も今以上に必要である。</p> <p>産業界との連携等については、各チームの状況・開発技術の違いにより連携状況が異な</p>

っている。具体的には、ミラーや検出器などの研究・開発チームは、産業への活用の方向性がわかりにくいため、今後は、産学双方でより連携について工夫する努力が必要である。一方、イメージングの開発チームでは、活用の方向性が分かりやすいことから、産業界との意見交換が密接に行われ、その結果が研究に反映されている。

人材育成については、オールジャパンの連携の元、優れた研究テーマによる研究者・技術者の育成の観点から、ハード開発を通して若手育成に大きく貢献した。参画する機会を得たポスドクは少人数であるが、各要素技術が搭載されたビームラインの共用により全国の大学の学生・研究者が研究に使用する機会を与えられることになり、その波及効果は大きい。

#### (5) 総合評価

本研究課題の成果は、J-PARC 等での中性子利用において利用分野の拡大と成果の輩出に大きく貢献するものと高く評価する。

高強度中性子源の活用のために必要な要素技術の開発がオールジャパンの連携で達成され、J-PARC 等で活用できる水準になっている。これらの技術の活用と同時に、テーマの発掘、有機的な連携研究の課題抽出、産業界との連携のありかたの議論、人材育成につながる成果が得られた。

中間評価での指摘事項「各要素技術を反映したビームラインを J-PARC に建設するなど、研究開発成果をみえる形に」にも応え十分な成果を挙げており、成功したプロジェクトであると言える。

# 「軟 X 線の高速偏光制御による機能性材料の探求と創製」 の概要

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成 20 年度～平成 24 年度

中間評価 平成 22 年度、事後評価 平成 25 年度

## 2. 研究開発概要・目的

○タンデム配置の可変偏光アンジュレータとキッカー電磁石を組み合わせることで、10Hz 程度の軟 X 線の高速偏光スイッチング技術を開発し、ロックイン法による円二色性・線二色性シグナル検出精度の飛躍的な向上、及び波長分散型の偏光依存軟 X 線吸収分光法と光電子顕微鏡を組み合わせたりリアルタイム位置分解分光を実現する。

○スピントロニクス基礎研究から実用までをカバーする強相関電子系や希薄磁性半導体、磁性薄膜・多層膜の磁性を解明すると同時に、リアルタイム分光で表面動的過程における化学種の量と構造を実時間追跡することにより、新規機能性材料の探求・創製を目指す。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

スピントロニクスを始めとした、配向の解析に基づく研究においては、X 線の直線偏光のスイッチングが必要であるが、SPring-8 等でも実現されておらず、その開発が待たれている。またリアルタイム分光法と直線偏光の組み合わせは世界初であり、新しい研究手法の提供により独創的なブレイクスルーを創出することが期待されることから、本課題の意義は大きく、必要性も高い。

### 【有効性】

本研究によって、反応中の物質の配向と分子種・量を同時にリアルタイムで解析することが可能となり、新規機能性材料の探求・創製に多大な貢献が期待される。

また、本課題により大学共同利用機関法人の施設でフォトンファクトリーが高度化されることで、幅広い大学の研究者に利用されることが期待される。

### 【効率性】

本課題は、日本の量子ビーム科学に携わる研究者と、利用する研究者を一つのネットワーク型のプログラムとして研究開発を行うことで、シーズとニーズを効率よく結びつけている。また、プログラム全体として効率よく研究開発を行うために、専門的知見を有するプログラムディレクター (PD)、プログラムオフィサー (PO) を配置している。

## 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額	0.6 億円	0.6 億円	0.5 億円	0.5 億円	0.5 億円	2.8 億円



## 5. 課題実施機関・体制

プログラムディレクター（PD） 井上 信 京都大学 名誉教授

プログラムオフィサー（PO）

坂田 誠 名古屋大学 名誉教授

平井 康晴 佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター副所長

研究代表者 高エネルギー加速器研究機構 雨宮 健太 准教授

幹事機関 高エネルギー加速器研究機構

参画機関 東京大学、慶應義塾大学

# 事後評価票

(平成25年3月現在)

1. 課題名 「軟X線の高速偏光制御による機能性材料の探求と創製」
2. 評価結果
(1) 課題の達成状況
測定装置の開発と利用応用研究のバランスが良く取れている。高度化目標も狙いが良く絞られており、速やかに実現の運びとなり、適切に利用応用研究へと展開された。
(2) 研究成果について
スピエレトロニクスと表面科学の2研究分野で見事な研究展開が行われている。2台のアンジュレータと波長分散型XAFS、光電子顕微鏡を組み合わせたリアルタイム位置分解分光システムを開発し、実機投入したことは高く評価する。特に実時間で磁性のダイナミクスを測定することを可能としたことは、新しい研究の開拓と産業界における新規材料の開発に大きく寄与するものと思われる。 精力的な成果発表がなされており、インパクトの高い学術誌への投稿も各グループでなされている。発表先がまだ関連業界に限定されているが、表面科学や化学会など利用分野への情報発信も行われている。
(3) 今後の展望
SPring-8の同種のビームラインと連携することでこの分野のさらなる発展が期待される。エレクトロニクス、磁性、触媒材料など特に元素戦略に関連した材料開発に展開が期待される。 参画した大学の学生は、多くの貴重な経験を積む機会となった。共同利用機関の装置であるため、大学共同利用を通じ、今後の人材育成への高い波及効果も期待される。
(4) その他
各機関のネットワークについては、要素技術を中心とした拠点と、分析システム研究と利用研究を主体とする参画機関との明確な役割分担の下で、情報・目標の共有と連携により優れた成果が得られた。 産業界との連携等については、触媒研究での成果アピールなど努力はなされているが、産業界との連携・働きかけが不足している。各機関のネットワークを活用し、利用分野の開拓、企業との連携による新奇材料の開発等、今後利用の進展に傾注し、今後実りある成果の創出を期待する。 人材育成については、優れた研究テーマによる研究者・技術者の育成の観点から、十分になされたと判断できる。 今後も着実に共同研究を行うとともに、効果を見定めた適切な高度化を進め、独創的な

研究が行われていくことを期待する。

#### (5) 総合評価

要素技術での独創的成果と同時に、利用応用研究への展開が明確に期待できる成果が得られた。中間評価以後も装置開発は順調に進展し、磁性多層膜における構造と磁気異方性の相関を明らかにする等、興味ある適用例が生まれている。高度化と研究のバランスが取れ、非常に成功した課題である。

# 「多様なイオンによる高精度自在な照射技術の開発」 の概要

## 1. 課題実施期間及び評価時期

平成 20 年度～平成 24 年度

中間評価 平成 22 年度、事後評価 平成 25 年度

## 2. 研究開発概要・目的

- 独立行政法人日本原子力研究開発機構が保有するイオン照射研究施設（TIARA）について、AVF サイクロトロン的高度化により、ビーム条件の切り換え時間の大幅短縮を実現する。
- さらに、これらのビームを用いるシングルイオンヒット等の先進的イオンビーム技術について、更なる高度化を行い、数百 MeV 以上の高エネルギーイオンの照射タイミング、水平方向照射位置及び深さを自在に変更することができる高精度イオンビーム制御技術を開発する。
- これにより、イオンビームマイクロ・ナノ加工、半導体の耐放射線性評価、イオン照射生物効果解析の利用研究をこれまでより一段と加速し、技術革新に繋げる。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

多彩なイオンビームをマイクロレベルで高精度に制御し、シングルイオンヒット位置検出をリアルタイム化する技術は、ナノテクノロジーを初めとする先端分野で整備が望まれる技術であり、本課題の意義は大きく、必要性は高い。

### 【有効性】

本課題により、高精度かつ効率的なイオンビーム照射を自在に 3 次元化でき、自由度の高い 3 次元ナノ構造創製や、細胞の放射線応答ダイナミクス解析、そして高機能材料開発の飛躍的な進展が期待される。

### 【効率性】

本課題は、日本の量子ビーム科学に携わる研究者と、利用する研究者を一つのネットワーク型のプログラムとして研究開発を行うことで、シーズとニーズを効率よく結びつけている。また、プログラム全体として効率よく研究開発を行うために、専門的知見を有するプログラムディレクター（PD）、プログラムオフィサー（PO）を配置している。

## 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H20	H21	H22	H23	H24	総額
執行額	0.2 億円	0.2 億円	0.2 億円	0.2 億円	0.2 億円	1.0 億円

## 5. 課題実施機関・体制

プログラムディレクター（PD） 井上 信 京都大学 名誉教授

プログラムオフィサー（PO）

坂田 誠 名古屋大学 名誉教授

平井 康晴 佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター副所長

研究代表者 日本原子力研究開発機構 神谷 富裕 課長

幹事機関 日本原子力研究開発機構

参画機関 大阪大学、放射線医学総合研究所、宇宙航空研究開発機構

# 事後評価票

(平成25年3月現在)

1. 課題名 「多様なイオンによる高精度自在な照射技術の開発」
2. 評価結果
(1) 課題の達成状況
従来の技術開発の蓄積を踏まえてサイクロトロン的高度化による著しい制御性能の向上を達成した。利用研究についても、その性能を活かして、中間評価で指摘された計画を見直し、ナノ加工、耐放射線評価技術、マイクロビーム生物効果等で利用実験を実施した。
(2) 研究成果について
技術開発が計画通りに進展しビーム性能の高度化と利便性の向上を実現したことについて評価できる。また、計画後半で実施された応用研究は、改めてイオンビームの有効性を目に見える形で示すことが出来た。今後の利活用への積極的な取り組みを期待する。 精力的な成果発表がなされており、インパクトの高い学術誌への投稿もなされている。
(3) 今後の展望について
ナノ加工・放射線損傷試験・生体物質への照射等への適用進展が期待される。高度化したサイクロトロンを、今後産業および新奇分野で、どのように利用していくかの利用ネットワークの構築が重要であろう。 一般利用も行われる加速器施設であり、全国から利用に訪れる研究者・大学院生に対しても、サイクロトロン性能向上は、著しく研究効率の向上として利するものになったと推測される。
(4) その他
各機関のネットワークについては、装置の高度化については目標を達成するのに十分な連携が取られていた。しかし、新規利用分野を想定したネットワークの構築および連携は今後の課題として残っている。 産業界との連携等については、産業界への働きかけが不足している。 人材育成については、ポスドクなど、直接このプロジェクトに関わった人材ばかりではなく、優れた研究テーマによる研究者・技術者の育成の観点での運営が望まれる。 また、サイクロトロン製造メーカーへの技術移転の方策を精力的に検討することが望まれる。
(5) 総合評価
「イオンビームナノ加工」「半導体耐放射線性評価技術」「マイクロナノビーム生物効果解析」などの要素技術での優れた成果が得られ、施設のイオンビーム性能の高度化には一

定の効果が認められ、課題に対する達成度はそれなりに評価することができる。しかし、その高度化により利用応用研究への展開が明確に期待できるが、成果の社会的広がりについては不明確である。

全体としてはサイクロトロンのすばらしい性能向上を達成し、応用研究への展開の努力の跡もうかがえる。