

# 量子科学技術に関する研究開発課題の 事後評価結果

平成31年4月

科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会

## 量子科学技術委員会委員

	氏名	所属・職名
主査	雨宮 慶幸	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻 特任教授
主査代理	大森 賢治	自然科学研究機構 分子科学研究所 教授
	飯田 琢也	大阪府立大学大学院 理学系研究科 准教授
	岩井 伸一郎	東北大学大学院 理学研究科 教授
	岩本 敏	東京大学 生産技術研究所 准教授
	上田 正仁	東京大学大学院 理学系研究科 教授
	城石 芳博	株式会社日立製作所 研究開発グループ 技術顧問
	根本 香絵	国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 教授
	早瀬 潤子	慶應義塾大学 理工学部 准教授
	平野 俊夫	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 理事長
	美濃島 薫	電気通信大学 情報理工学研究科 教授
	湯本 潤司	東京大学大学院 理学系研究科 教授

〔 ※ 本プログラムの参画研究者である委員は評価に加わっていない。 〕

## 量子ビーム利用推進小委員会

- ◎ 雨宮 慶幸 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻 特任教授
- 尾嶋 正治 東京大学名誉教授、東京大学大学院 工学系研究科 特任研究員
- 石坂 香子 東京大学大学院 工学系研究科 教授
- 石山 達也 東京大学地震研究所 地震予知研究センター 助教
- 伊地知 寛博 成城大学 社会イノベーション学部 学部長・教授
- 内海 渉 量子科学技術研究開発機構 高輝度放射光源推進準備室 室長
- 金子 美智代 トヨタ自動車株式会社 未来創生センター  
T-フロンティア部 グローバル企画室 戦略企画グループ 主査
- 岸本 浩通 住友ゴム工業株式会社 研究開発本部 分析センター 課長
- 北見 俊幸 日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 福島研究開発拠点 施設部長
- 小杉 信博 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 所長
- 近藤 寛 慶應義塾大学 理工学部 教授
- 高橋 瑞稀 第一三共 RD ノバーレ株式会社 主任研究員
- 高原 淳 九州大学 先導物質化学研究所 主幹教授
- 田中 均 理化学研究所 放射光科学研究センター 副センター長
- 宮内 忍 宮内公認会計士事務所 所長
- 山田 和芳 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授

(◎：主査、○：主査代理、敬称略、五十音順)

※ 本プログラムの代表研究者等である委員は評価に加わっていない。また、事後評価結果は主査代理において取りまとめられた。

# 光・量子融合連携研究開発プログラムの概要

## 1. 課題実施期間及び評価実施時期

平成 25 年度～平成 29 年度

中間評価 平成 28 年度、事後評価 平成 30 年度

## 2. 研究開発概要・目的

我が国の科学技術全体を支える基盤技術である「光・量子ビーム技術」においては、先導的な技術開発や利用研究を推進するとともに、分野融合を含めた様々な可能性へのチャレンジにより、境界領域を開拓していくことが期待されている。

そのため本事業では、

(1) 光・量子ビーム技術の連携を促進し、我が国の有する施設・設備を横断的に活用する先導的利用研究を推進することと、

(2) 将来を俯瞰した基盤技術開発を推進することで、

課題解決に向けた研究開発を強化し、開発の成果を社会に還元するとともに、将来の利用研究の礎とすることを目指す。

## 3. 研究開発の必要性等

### 【必要性】

第 4 期科学技術基本計画においては、これまでの分野別の重点化科学技術から問題解決型あるいは課題対応型で科学技術を進め、更にイノベーションを推進することが示され、また分野融合やイノベーションの促進に向け、飛躍的な技術革新をもたらし、幅広い研究開発課題に共通して用いられる基盤技術の高度化や施設及び設備のネットワーク化、研究開発の促進、相互補完性の向上等が指摘されている。

特に、光・量子科学技術については、「領域横断的な科学技術の強化」として、「複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する」ことが明記されている。

光・量子ビーム科学技術は、基礎科学から産業応用に至るまで共通基盤としてのキーテクノロジーであり、イノベーションを支える基盤技術としてその果たす役割と重要性は益々高まっており、先導的な技術開発や利用研究を推進するとともに、分野融合や境界領域の開拓及び高度な研究人材の育成を促進し、我が国の優位性を更に確固としていくことが必要である。

本事業は、先導性や発展性等の観点から科学的・技術的意義が高いことに加え、産業応用や国際競争力の向上等の観点から社会的・経済的意義、また国や社会の課題解決への貢献等の観点から国費を用いた研究開発の意義、についても高いものである。

#### 【有効性】

本事業は、平成20年度より実施している「光・量子科学技術研究開発拠点形成に向けた基盤技術開発」で得られた課題や状況の変化を踏まえ、光・量子ビーム科学技術の更なる発展を目指すための重点的課題として検討されてきたものである。

具体的には、光・量子ビーム科学技術について、基礎科学から産業応用まで広範な分野を支えるキーテクノロジーとして、「融合・連携」と「イノベーションの創出」をキーワードに、様々な分野の課題解決への貢献が強く求められている中、ものづくり力の革新により、他国が追従できない新しい領域の開拓を目指すものである。

光・量子ビーム科学技術による分野融合や境界領域の開拓とともに、我が国の強みを活かした先端基盤施設・装置等による「課題解決」や、研究開発と一体となった当該分野を支える若手人材の育成が図られることが期待され、研究開発の質の向上への貢献や実用化への貢献、人材の養成等に対し非常に貢献するものであり、有効性は極めて高い。

#### 【効率性】

本事業では、平成20年度から実施している「光・量子科学技術研究開発拠点形成に向けた基盤技術開発」のうち主に「量子ビーム基盤技術開発プログラム」の成果や課題等を踏まえ更なる発展を目指すものであり、当該基盤技術開発で平行して実施している10年事業「最先端の光の創製を目指したネットワーク研究拠点プログラム」との連携を更に強化し、光科学技術と量子ビーム技術の一体的な研究開発・利用研究や施設間の垣根を越えた先導的な取組を推進するものである。

そのため、学会や産業界等の有識者からなる会議等が事業全体の運営を管理するとともに、PD・POによるプロジェクトマネジメント、情報共有や研究人材の交流等による連携・協力を強化することとしており、効率的な成果の確実な創出に向け、強力な推進体制を構築する。

また、事業の推進に際しては、毎年度進捗を確認、中間評価を実施して、内外の研究動向や諸状況も踏まえつつ、計画の見直しや必要に応じた改廃を行うこととしており、成果の着実な創出が図られることが期待され、効率的に実施される。

## 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H25	H26	H27	H28	H29	総額
予算額	927 百万	852 百万	924 百万	760 百万	641 百万	4,104 百万
執行額	927 百万	852 百万	924 百万	760 百万	641 百万	4,104 百万

## 5. 課題実施機関・体制

○総括プログラムオフィサー、プログラムオフィサー

総括PO	独立行政法人 日本学術振興会	家 泰弘
PO	国立大学法人 京都大学	井上 信
	一般財団法人 放射線利用振興協会	森井 幸生

○プロジェクト名・代表研究者等（全9プロジェクト）

	プロジェクト名	代表研究者の機関名	代表研究者
横断的利用研究	量子ビーム連携によるソフトマテリアルのグリーンイノベーション	国立大学法人 九州大学	高原 淳
	実用製品中の熱、構造、磁気、元素の直接観察による革新エネルギー機器の実現	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	篠原 武尚
	中性子と放射光の連携利用によるタンパク質反応プロセスの解明	国立大学法人 京都大学	三木 邦夫
	レーザー・放射光融合による光エネルギー変換機構の解明	大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構	足立 伸一
	中性子とミュオンの連携による「摩擦」と「潤滑」の本質的理解	大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構	瀬戸 秀紀
	エネルギー貯蔵システム実用化に向けた水素貯蔵材料の量子ビーム融合研究	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構	町田 晃彦
基盤技術開発	光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発	国立大学法人 東京大学	辛 埴
	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	大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構	照沼 信浩
	ものづくり現場で先端利用可能な小型高輝度中性子源システムの整備・高度化	国立研究開発法人 理化学研究所	大竹 淑恵

# 事後評価票

(2019年2月現在)

1. 課題名 光・量子融合連携研究開発プログラム

2. 研究開発計画との関係

施策目標：未来社会を見据えた先端基盤技術の強化

大目標（概要）：

人々に豊かさをもたらす「超スマート社会」の実現に向けた取組を強力に推進し、世界に先駆けて実現するため、新たな価値創出のコアとなる基盤技術について強化を図る。

中目標（概要）：

内外の動向や我が国の強みを踏まえつつ、中長期的視野から、21世紀のあらゆる分野の科学技術の進展と我が国の競争力強化の根源となり得る量子科学技術の研究開発及び成果創出を推進する。

重点的に推進すべき研究開発の取組（概要）：

Society 5.0 関連技術を横断的に強化していくために、量子科学技術を支える共通的な基盤技術の研究開発を長期的視点に立ち推進する。

本課題が関係するアウトプット指標：

論文数、若手の関連事業参画数

- ・事業実施期間中の成果・論文発表実績：1,400件以上
- ・事業実施期間中の特許出願実績：5件以上

本課題が関係するアウトカム指標：

優れた研究成果の創出状況

- ・施設・設備を横断的に活用した新たな測定手法等の確立
- ・施設の高度化等に寄与する基盤技術の開発・展開

### 3. 評価結果

#### (1) 課題の達成状況

##### <必要性>

##### 評価項目

科学的・技術的意義（独創性、革新性、先導性、発展性等）、国費を用いた研究開発としての意義（国の関与の必要性、妥当性等）

##### 評価基準

- ・光・量子ビーム技術の連携による先導的な技術開発や利用研究が行われたか
- ・将来を俯瞰した基盤技術の開発・発展による波及効果があったか

本プログラムにより、放射光と中性子線、レーザーなどの利用技術を融合させた新たな利用技術や先端的な光源の開発・利用が進み、構造生物学や高分子化学など、多岐にわたる分野において、学術・産業双方の課題解決に大きな貢献を果たした。また、軟X線領域のレーザー光源開発の成功による超高分解能分光やフェムト秒分光の新展開や、小型中性子源の利用研究の進展による中性子利用の需要拡大など、学術・産業ともに高い波及効果が見込まれる。

また本プログラムの実施を通じた多様な研究開発分野の研究者との連携協力により、今後、光・量子ビームの利用経験の少ない研究者が、複数の光・量子ビームを横断的に活用した高度な研究開発に参入しやすくなると期待される。

上記を踏まえ、本プログラムは、科学的・技術的意義が大きく、我が国の研究力向上とイノベーション創出への高い貢献が期待されるなど、国費投入の意義のあるものと評価できる。

#### (参考) 研究開発プロジェクト別の研究成果及び波及効果等

##### 1. 量子ビーム連携によるソフトマテリアルのグリーンイノベーション

研究成果：共役系高分子の重合反応機構解明、分子鎖凝集構造と機能との相関関係の解明  
波及効果等：TenderX線を利用したS-K吸収端XAFS測定やコントラスト中性子散乱法、準弾性中性子散乱とミュオンの連携利用等の開発により、SPring-8等において最先端の設備が導入された。これにより、基礎研究を実用化につなげる精密な構造解析が進み、表面化学や高分子化学等の研究開発分野での産学連携が進展した。

##### 2. 実用製品中の熱・構造・磁気・元素の直接観察による革新エネルギー機器の実現

研究成果：Liイオン電池の充放電過程の非破壊観察、稼働状態モーター・トランスの磁場観察に成功

波及効果等：中性子イメージングと負ミュオン元素分析によるリチウムイオン電池の性能評価法は、産業界からの注目が高く、複数の企業により成果が活用され、研究開発が進められている。開発された測定技術は、幅広い産業機器の評価等にも展開が可能である。



### 3. 中性子と放射光の連携利用によるタンパク質反応プロセスの解明

研究成果：世界最高精度でのタンパク質結晶構造解析

波及効果等：中性子と放射光（X線）の連携により、結晶の大型化等による中性子結晶構造解析の汎用化や、放射光による構造解析の最高分解能の達成など、タンパク質の高精度構造解析の技術基盤の確立に貢献した。これにより、創薬分野などの産業利用の展開も期待される。

### 4. レーザー・放射光融合による光エネルギー変換機構の解明

研究成果：人工光合成光触媒が実動作している瞬間の精密測定に成功

波及効果等：レーザーにより活性化した光触媒の計測技術が確立したことで、触媒、半導体分野等への展開が進められている。測定効率が良くなったことで、光触媒活性の研究開発の進展が期待される。

### 5. 中性子とミュオンの連携による「摩擦」と「潤滑」の本質的理解

研究成果：「摩擦」と「潤滑」の理解のための、その場観察装置・手法を開発

波及効果等：中性子とミュオンの相互利用により、トライボロジー（摩擦学）の学理解明が進展した。開発された複数の手法は、高分子材料をはじめとする産業利用への適応が期待される。

### 6. エネルギー貯蔵システム実用化に向けた水素貯蔵材料の量子ビーム融合

研究成果：V-Ti-Cr系水素貯蔵合金のサイクル劣化にかかわる構造的因子の抽出に成功

波及効果等：平均構造位置からの局所的な原子位置変化を捉える手法の開発により、合金系の水素貯蔵材料や他の材料研究への展開が期待される。また、開発された観察手法は、水素貯蔵材料以外の材料にも活用されている。

### 7. 光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発

研究成果：極限レーザーと先端放射光技術の融合による軟X線物性科学の創成

波及効果等：極短パルス高調波レーザーや新たな光電子分光手法の開発は、アト秒レーザーや次世代の軟X線放射光源の開発に貢献し、共用施設の装置等に採用されるなど、多様な分野の研究開発に展開されている。

### 8. 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

研究成果：高繰返し逆コンプトン散乱X線生成に成功

※幹事機関における小型加速器 cERL の運転計画が明確でなく、研究開発期間内での達成目標としていたX線ビーム強度を実現する展望が当面開けていない等の理由により、平成28年度でプロジェクトを終了した。

### 9. ものづくり現場で先端利用可能な小型高輝度中性子源システムの整備・高度化

研究成果：塗膜下鋼材内部腐食と水の動きの可視化及び複相の相分率・薄板鋼板の変形前後集合組織分析に成功

波及効果等：小型中性子源による中性子回折技術の開発やイメージング技術の高度化は、小型中性子源の利用可能性を示すことにつながり、鉄鋼やインフラ等の分野における小型中性子源の利用拡大に貢献した。

#### <有効性>

##### 評価項目

研究開発の質の向上への貢献、実用化・事業化や社会実装に至る全段階を通じた取組

##### 評価基準

- ・光・量子ビーム科学技術による分野融合や境界領域を開拓し、施設・装置等の基盤施設の高度化による研究開発の質向上に貢献したか
- ・学術、産業の多分野の研究交流が図られ、実用化に向けた課題解決に貢献したか

本プログラムにより開発された先進的な装置・手法や、光・量子ビームの相補利用のノウハウ、小型のビーム源等の成果は、最先端の共用施設等の高度化や光・量子ビームの利用拡大に貢献している。また、プログラムの実施を通じて、産学における多様な研究開発に携わる研究者が連携協力し、共に課題解決に向けた高度な計測技術や基盤技術の開発が進められた。これらの取組により、これまで光・量子ビームの利用経験の少ない研究者が当該分野に参画し、研究者等の裾野の拡大に貢献するとともに、若手人材養成にも寄与するなど、当該分野の研究開発の活性化が促進された。また、産業界が学術と積極的に研究連携を図ることで、産学連携研究が進展し、その成果を活用した光・量子ビームの産業利用による実用化に向けた研究へ展開された。

上記を踏まえ、本プログラムは、光・量子ビームの融合領域の開拓や基盤技術の高度化による研究開発の質向上に貢献し、研究機関間や学術と産業界との連携が一層深化することで、実用化等に向けた産業界の課題解決に寄与したと評価できる。

#### <効率性>

##### 評価項目

計画・実施体制の妥当性、施策見直し方法等の妥当性

##### 評価基準

- ・総括PO・POによるプロジェクトマネジメントは妥当であったか
- ・効率的な成果創出に向けた評価及び評価結果の施策への反映を行ったか

本プログラムの開始時点では目標設定及び進捗状況に差があったため、総括PO及びPOは、プログラム運営に留意し、各プロジェクトについて現地訪問や進捗評価等のコミュニケーションを密に行うとともに、プロジェクトの適切な評価及び評価結果を資金配分に反映すること等により、効率的な成果創出に貢献した。

また、プログラム実施期間中に大型施設のトラブル等により施設が利用できず、プロジェクトの一部に進捗への影響が生じたが、海外施設の利用などの適切な代替措置を講じさせるなどのマネジメントを行い、最大限の成果創出に努めた。

一方、「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」については、幹事機関である高エネルギー加速器研究機構における今後の小型加速器 cERL の運転計画が明確でなく、研究開発期間内での達成目標としていた X 線ビーム強度を実現する展望が当面開けていないこと、基盤装置の開発プロジェクトとして幹事機関の十分な理解と支援が得られていなかった等の理由から、3年目にプロジェクトを終了した。

上記を踏まえ、プロジェクトマネジメントなどの実施体制は妥当であり、中間評価の結果を踏まえたマネジメントを進め、効率的な成果創出に向けて評価結果を施策に反映する等、効率的な運営が行われたと評価できる。

## (2) 総合評価

### ①総合評価

本プログラムの全体目標である「光・量子ビームの新たな技術の開発」及び「光・量子ビームの広い分野への応用の開拓」については、国費投入に見合う成果が創出されたと評価する。

基盤技術開発については、物性測定への適応が期待される極短パルスレーザーの開発が進展したことや、小型中性子源の利用可能性を高め中性子利用の需要拡大に貢献したこと等が代表的な成果としてあげられる。また、光・量子ビームの横断的利用研究については、構造生物学に貢献するタンパク質の解析成果や、光・量子ビームを活用した高分子分野の研究への貢献、近く整備が見込まれる次世代の軟 X 線向け高輝度放射光源をはじめ、我が国の共用施設・設備に活用できる成果が創出されたこと、等が挙げられる。

これらの研究成果は、産業界にもインパクトを与えるものとして注目され、本プログラムによる産学の研究者の交流は、高度な研究人材の育成に加えて、研究者等の裾野の拡大や若手人材養成に貢献するとともに、産学連携研究の進展や、その成果を活用した光・量子ビームの産業利用による実用化に向けた研究へ展開された。さらに、このプログラムの実施により、基礎と応用を結びつけるオープンイノベーションが推進され、学術と産業が密接に結びついた研究基盤の確立に寄与した。今後の多分野融合を支える、若手研究者を含む人材の交流の場としても機能したことは評価に値する。

これらは文部科学省「今後の光・量子ビーム研究開発の推進方策について」（平成 25 年 1 月 31 日 科学技術・学術審議会先端研究基盤部会）における各提言にも応えるものであり、事前評価における所期目標に鑑みても、本プログラムの目標は十分に達成されたと考えられる。

### ②評価概要

本プログラムにより創出された成果は、我が国の共用施設・設備をはじめ、光・量子ビームの利用環境の高度化に貢献することが期待される。また、本プログラムの実施を通じて、研究機関間や学術と産業界との連携が一層深化し、各分野において、光・量子ビームを横断的に利用する研究者等の裾野の拡大に貢献するとともに、それらの人材養成にも寄与した。

### (3) 今後の展望

放射光や中性子、レーザーといった光・量子ビームの利用環境は、今や無くてはならない研究開発基盤として、産学の幅広い研究分野に活用されている。本プログラムを通じて、これらの研究開発基盤の高度化や、光・量子ビームの利用者の裾野拡大、産学連携研究が進むことで、我が国の研究力、産業競争力強化への貢献が見込まれる。

本プログラムを通じた研究交流により、各分野において、光・量子ビームを利用する若手研究者をはじめとした研究者・技術者の養成に貢献し、新たな発想による光・量子ビームの利用研究の進展も期待されるなど、人材育成の観点でも貢献を果たした。また、本プログラムの特徴である光と量子ビームの複合利用については、プログラム終了により幅広い分野に拡大していくような継続的な仕組みを作るところまでは至らなかったが、今後、本プログラムにより得られた研究者間の連携等を最大限活用していくことで、大型施設等を横断的に利用した更なる展開が期待される。なお、今後、こうした産学連携を念頭においたプログラムの実施に当たっては、年度ごとの評価等の段階において、産業界の参画を得ること等により、時流に沿った適切なニーズの把握及びプロジェクトへの反映に努めることが肝要である。

我が国においては、新たな軟X線向け高輝度放射光源など、光・量子ビームの利用環境の整備が引き続き進められている。本プログラムの成果をこうした施設・設備の高度化に適切に反映し、施設・設備を利用する幅広い分野の研究者の研究開発に貢献していくことが求められる。現に、創出された研究成果をもとに、他の研究開発に係る取組等において、新たな光・量子ビーム技術の実用化研究が進められるなど、科学的・社会的インパクトの創出に一定の役割を果たしてきている。

本プログラムにより得られた研究者間の連携や交流を通じて、複数の光・量子ビームの相互的・相補的な利用をさらに進め、革新的な研究成果の創出を果たしていくことが期待される。