

光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発

「最先端の光の創成を目指した  
ネットワーク研究拠点プログラム」  
の中間評価結果

最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム  
プログラムオフィサー

平成 28 年 3 月

# 目次

「最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム」概要	1
事業実施体制	2
中間評価プロセス	2
中間評価-観点別評価	2
各課題の概要および中間評価票	
1. 「先端光量子科学アライアンス」	3
2. 「融合光新創生ネットワーク」	12

国家課題対応型研究開発推進事業  
光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発

# 「最先端の光の創成を目指した ネットワーク研究拠点プログラム」 概要

## H20－H29

### 「最先端の光の創成を目指したネットワーク研究拠点プログラム」

H20－H24

「量子ビーム基盤技術開発プログラム」

H25－H29

「光・量子融合連携研究開発プログラム」

## 【事業の目的】

光科学技術は、物質・材料、バイオテクノロジー、情報通信、ものづくり等の基盤となるものであり、今後のイノベーション創出や産業競争力向上に不可欠なキーテクノロジーであるといえる。

本事業では、光科学技術の中で、特に、今後求められる新たな発想による最先端の光源や計測手法の研究開発を進めると同時に、このような先端的な研究開発の実施やその利用を行い得る光科学技術に関わる若手人材等の育成を図る。当該分野の研究開発能力を有する複数の研究機関がネットワーク研究拠点を構築し、産業界や他分野の研究機関等と密接に連携・協力することにより、光科学技術のシーズと各分野のニーズのマッチングを図る。

## 【課題の目標】

本ネットワーク研究拠点において策定される拠点構想は、以下の3点の内容を同時に具備するものとする。

1. 欧米の機器・手法に追従するのではない**革新的手法による、新しい光源・計測法等の研究開発を目指すこと**
2. 拠点を形成する大学等が協力して光科学技術に関する大学院教育カリキュラムをもつなど、**次世代の光科学技術を担う若手人材を育成するための具体的なプログラムを実施すること**
3. 最先端の光を十分に活用している**研究者や研究機関等のユーザーと構想段階から連携すること**により、開発する光源等の具体的な利用を明確化すること

採択課題 – 2課題

- ①. 先端光量子科学アライアンス (APSA)
- ②. 融合光新創成ネットワーク (C-PhoST)

## 事業実施体制

総括プログラムオフィサー（総括PO）： 加藤 義章 光産業創成大学院大学・学長  
プログラムオフィサー（PO）： 藪崎 努 京都大学・名誉教授  
八木 重典 科学技術振興機構・プログラスマネージャー

## 中間評価プロセス（平成23年度実施の中間評価に続く、2回目の中間評価）

参加評価委員：伊澤 達夫 千歳科学技術大学・理事長  
荒川 泰彦 東京大学・教授（「先端光量子科学アライアンス」のみ）  
伊藤 弘昌 東北大学・名誉教授（「先端光量子科学アライアンス」のみ）  
岡田 龍雄 九州大学・教授（「融合光新創生ネットワーク」のみ）  
善甫 康成 法政大学・教授（「融合光新創生ネットワーク」のみ）

平成27年12月末日 課題代表者から「課題中間評価 報告票」提出  
「課題中間評価 報告票」を基に書類審査を実施  
平成28年1月～2月 課題中間評価ヒアリング審査及びサイトビジットを実施  
平成28年3月 中間評価結果案とりまとめ  
平成28年3月 科学技術・学術審議会 先端研究基盤部会  
量子科学技術委員会にて報告・議論

## 中間評価-観点別評価

①研究開発、②人材育成、③連携体制、④今後の展望、の4つの観点について、以下の4段階にランク付け

s：非常に優れている

（所期の目標・計画を達成するとともに、想定以上の成果が得られている、今後の展望が優れている）

a：優れている

（所期の目標・計画を概ね達成するなど、想定通りの成果が得られている、今後の展望が妥当である）

b：劣っているが改善の見込みがある

（所期の目標・計画の達成状況が十分でないなど、想定を下回る成果であるが、改善の見込みがある）

c：劣っている

（所期の目標・計画の達成状況が十分でなく、改善の見込みが薄い）

# 「先端光量子科学アライアンス」 の概要

## 1. 課題実施機関・体制

研究代表者 東京大学 五神 真（平成 26 年度まで）  
三尾 典克（平成 27 年度から）

代表機関 東京大学

参画機関 理化学研究所、電気通信大学、慶應義塾大学、東京工業大学

## 2. 課題の概要・目的

○東京大学を幹事とする 5 機関による拠点である先端光量子科学アライアンス（APSA: Advanced Photon Science Alliance）では、究極的に制御された光源や小型汎用高出力レーザーといった次世代光源開拓とその高度利用による新しい光量子科学の発展を目指し、東京大学を中心とした 5 つの研究教育機関の研究グループが密接に連携し、相補的な協力により、研究と人材育成・教育を行う世界をリードする拠点を形成している。光格子時計を用いた超高周波数安定光源の配信実験、アト秒科学などを推進するとともに、光源技術を支える物質科学を開拓する。現代光科学の学理の体系整理を進めつつ、知と技と発想力を有する博士人材を育成し、産学に送り出す仕組みを確立する。これにより、光科学を軸としてイノベーションの創出と人材強化を加速する。

○このため、東京大学は、理化学研究所、電気通信大学、慶應義塾大学、東京工業大学と共同で業務を行う。各機関は、

- ・ 東京大学（幹事機関）：先端光科学の基盤技術開拓
- ・ 理化学研究所：先端光源技術開拓
- ・ 電気通信大学：先端光科学システムの構築
- ・ 慶應義塾大学：先端光波制御活用技術
- ・ 東京工業大学：先端光科学における材料開拓

の課題に関して、重点的に取り組む。また、ネットワーク拠点の運営に関しては、下記の 3 機関が

- ・ 東京大学：教育、人材育成、広報（国際連携を含む）
- ・ 理化学研究所：研究開発（光源と利用研究）
- ・ 電気通信大学：産業技術移転対応

に示す分担で実施する。

○東京大学は幹事機関として、参画機関との連携を推進し、本事業を統括する。さらに国内外の光科学関連研究教育機関に向け本事業の活動を発信し本事業の波及を図る。

○これまでの実績を生かし、光波の究極的な制御により、極限的性能を有する「新しい光」を開発し、利用に供することを目指す。また、光科学研究教育の連携体制の強化に資する活動を行い、本事業の効果的促進を図るとともに、人材育成事業・拠点運営事業を進める。

### 3. 実施期間

平成 20 年度～平成 29 年度（予定）

### 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26※1	H27※2
執行額(千円)	382,000	387,400	371,292	326,382	315,986	335,986	335,681	368,045

※1 平成 25 年度補正予算を含む

※2 平成 26 年度補正予算を含む

**目的:** 究極的に制御された光源や小型汎用高出力レーザーといった次世代光源開拓とその高度利用による新しい光量子科学の発展をめざし、研究と人材育成・教育を行う世界をリードする拠点を形成する。

**目標:** 光格子時計開発と配信実験、アト秒科学などを推進、光源技術を支える物質科学を開拓。現代光科学の学理の体系整理を進め、高度博士人材育成を実施、産学に送り出す仕組みを確立し、光科学を軸としてイノベーションの創出と人材強化を加速する。

**研究主体:** 東京大学 (五神真 教授 (～H26) →三尾典克 特任教授 (H27～))

**連携機関:** 理化学研究所 (緑川克美 光量子工学研究領域長)、電気通信大学 (植田憲一 教授 (～H23) →米田仁紀 教授 (H24～))、慶応義塾大学 (神成文彦 教授)、東京工業大学 (宗片比呂夫 教授)

## 実施体制

**東京大学**

光格子時計  
強光子場中の物質科学  
・光劣化防止の物性物理  
量子制御

**東京大学 光量子科学研究センター** (UT-PSC)

平成22年4月より工学系研究科附属センターに改組  
学内外の光量子科学関連の  
ハブ拠点  
ASPAsの運営母体  
新しい教育プログラムの推進

先端光量子科学  
国際教育研究  
プログラム

政策ビジョン研究センター

- ・世界のトップサイエンスにより、光科学の革新を先導
- ・次世代高度人材育成: 質と量の充実 **博士人材を産業界へ**
- ・イノベーションモデルの提示 **グローバル&オープン**

**理化学研究所**

アト秒パルス発生計測  
X・EUV技術への導入

**東京工業大学**

高光耐性新物質開発  
新光機能材料

**電気通信大学**

新固体レーザー開発  
高強度コヒーレント光波制御技術

**慶応義塾大学**

パルス光波制御技術



## 目標及び計画

### 先端光科学研究

- ・**先端光開拓**  
光格子時計を中心とする超高周波数純度スーパーコヒーレント光源、極超短パルス光源、汎用小安定新型高出力レーザー開拓開発
- ・**光技術の為の物質材料科学**  
新しい光を生み出すための物質材料科学、光子場中の物質の変化(劣化を含む)の物質・材料科学
- ・**先端光の利用開拓研究**  
先端光源の計測制御技術開拓、ナノ技術との融合

### 高度人材育成

- ・機関連携による高度博士人材育成し、産学へ
- ・若手研究者の活躍の場を醸成
- ・先端光科学研究の成果を利用した学理の体系整理(知の構造化)

**ALPS**

フォトンサイエンス・リーディング大学院(文科省 H23～29)

### 産業振興

- ・光科学を軸としたオープン&グローバルイノベーションの創出

**COI STREAM**

コヒーレントフォトン技術によるイノベーション拠点(文科省 H25～33)

**ICPT**



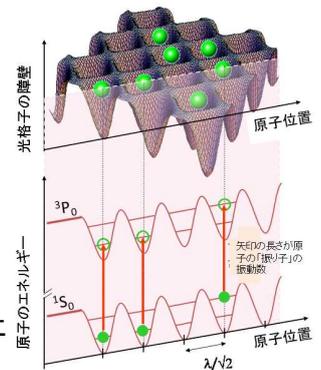
## 先端光量子科学アライアンス(APSA) における代表的な研究成果①



### 光格子時計開発とネットワーク配信

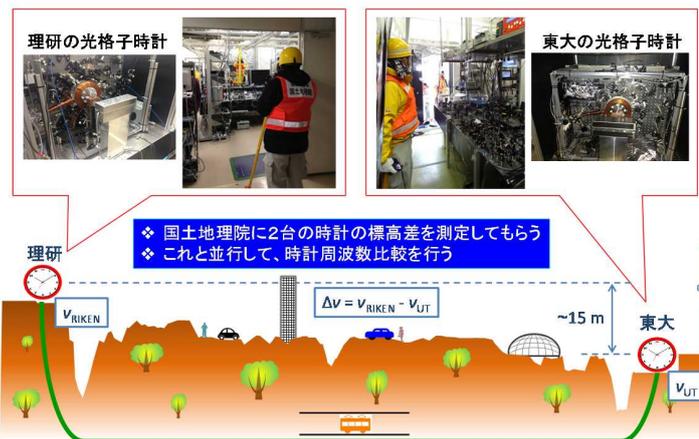
**成果の概要:** 光格子時計は、新しい「秒」の定義の候補の一つ。格子状の光トラップに原子を捕捉し、高い精度で光の周波数を決定できる(香取秀俊東大教授・理研主任研究員が2001年に提案)。東大と理研の間で光ファイバリンクを設置し、遠距離での時計比較・ネットワーク配信が可能に。キャンパス内の時計の比較では、ほぼ理論限界の精度を達成、また、東大・理研間では、高度差に相当する相対論的な時計のずれの影響が観測できた。

**今後の展望:** 新しい秒の標準の実現に向けての大きな前進であるだけでなく、光格子時計を汎用化して、ネットワーク化することで、地球内部の変動の観測、測地学に新しい展開が期待できる。



### 理研-東大で時計の進み方の違いを調べる

### 光ファイバで時計をつないで比較する



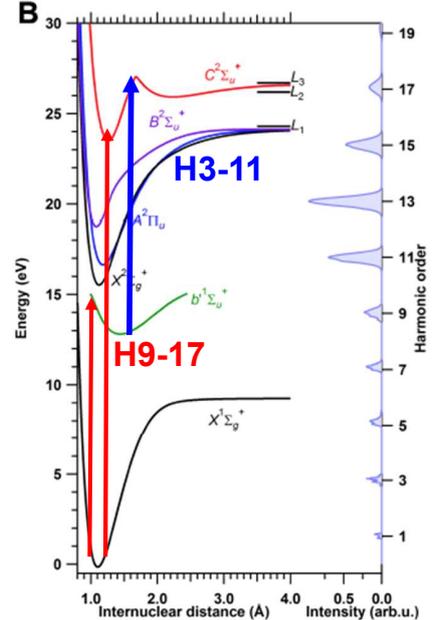
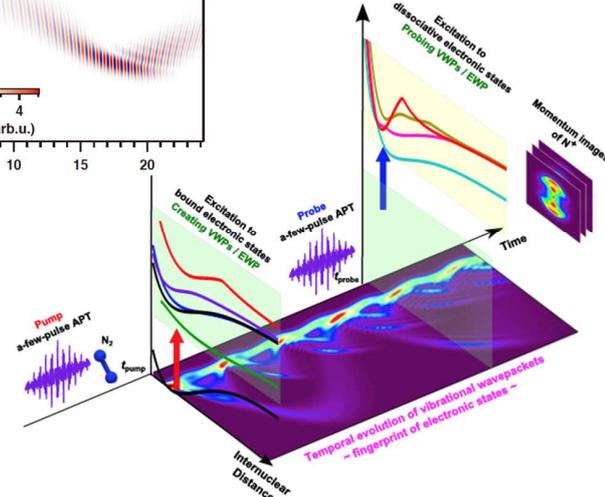
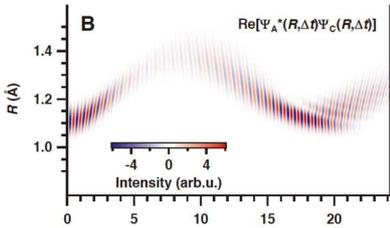
**18桁の精度で2台の時計の比較が可能に**



## アト秒電子波束の発生と直接観測

**成果の概要:** アト秒のレベルになると、分子の電子状態を直接観測できるようになる。この例では、窒素分子をアト秒パルスで励起し、内部状態を別のアト秒パルスで検出するポンプ・プローブ検出により、窒素分子内の電子の状態の変化を検出できた。そして、実際の電子の状態には、5つの振動モードが関与していることが判明し、その時間発展の様子も観察できた。

**今後の展望:** アト秒パルスを発生する波長を変化させることや、高強度化・高繰り返し化により、アト秒電子波束の生成と観測を行うことが可能になり、化学反応を制御する「アト秒化学」の実現を目指す。



Okino et al., Science. Adv. 1 (2015).

500アト秒の周期での電子状態の変化を観測

## 先端光量子科学アライアンス(APSA) における人材育成

- ・ 光科学技術を開拓する基礎力と発想力を鍛えた博士人材の育成
- ・ 先端光産業との協働によるキャリアパスの拡大
- ・ 高度博士人材の活躍による光産業におけるイノベーション力の強化
- ・ 現代光科学の体系化—先端光量子科学教程の構築
- ・ スター若手研究者の養成



### 先端レーザー科学教育研究コンソーシアム

- ・ 先端光産業技術者(23社)による出張実習 & 講義
- ・ 電通大、慶應大との単位互換(H20~)

平成26年度: 前期136名、後期106名受講  
 APSAとの連携により、TAの採用、設備の充実が実現  
 →平成23年度より恒久事業化

- 大学に装置を持ち込んで実習
  - 民生品や産業技術の先端に触れる
  - 産業界でのキャリアモデル紹介
  - 先端産業技術と現代学理の融合



### 光科学若手研究者育成プログラム

若手の准教授の独立研究室を設置

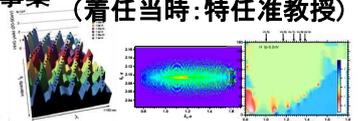
- ・ 世界市場から公募
- ・ スタートアップ資金
- ・ 分野横断大学院教育のモデル事業



石川 顕一 教授  
 (着任当時: 特任准教授)

連携

G-COE  
 「未来を拓く物理学結集教育研究拠点」  
 (代表: 榎茶清悟)  
 理学系+工学系+新領域  
 融合物理 - 先端光子



- ・ アト秒科学の理論研究で世界をリードする研究室に
- ・ 国内外のグループと共同研究を展開

## プロジェクト連携

**人材育成**

リーディング大学院  
ALPS  
博士リーダー育成

産学連携による  
大学院修士教育

科学人材育成  
コンソーシアム  
CIAIS  
最先端融合科学イノベーション  
教育研究コンソーシアム

若手研究者・イノベー  
ション人材育成

**産学連携**

イノベーション拠点  
ICCP  
コヒーレントフォトン技術による  
イノベーションの創出

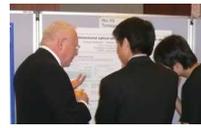
社会実装  
コヒーレントフォトン技術が拓  
く、個を生かす快適な暮らし

**先端研究施設**

共有プラットフォーム  
フォトンリング

## シンポジウム等

- ・東西拠点合同シンポジウムを隔年で開催
- ・各機関持ち回りでAPSAセミナーを年4回開催
- ・John L Hall先生 若手研究者との集い  
(若手研究者、大学院学生が研究発表しポスターセッションでHall先生と議論を行う)



## 中間評価票

### 1. 課題名 「先端光量子科学アライアンス」

### 2. 総合評価

先端光量子科学アライアンスは、「光波の完全制御技術による光科学」を掲げ、東京大学（東大）・理化学研究所（理研）・電気通信大学（電通大）・慶應義塾大学（慶大）・東京工業大学（東工大）が連携し、先端光科学に関する研究開発と次の世代を支える若手研究者の育成を一体化し、多面的に活動を推進している。各参画機関の自律的活動と機関間連携を効果的に融合し、研究開発および人材育成の両面で、全体として当初の想定を超える多くの優れた成果を得ており、拠点長の優れた構想力と各機関代表者の実行力が高く評価される。

研究開発に関しては、17 桁を超える周波数精度を持つ光波の生成と配信（光格子時計）、高出力超短パルス軟 X 線の連続生成（フォトンリング）などにおいて、世界を先導する成果が得られている。特に光格子時計は、国際時間標準採用の可能性を有するとともに、重力検出など物理量測定手段としての重要性も大きくなってきた。

人材育成に関しては、企業研究者を講師とする出張実習・講義、大学院生が他者に教えることを通じて自らも学ぶ実験プログラムなどの教育プログラムは、学生と産業界をつなぐ独自の新たな試みとして評価され、若手研究者間の協働による新技術開発などの成果が生まれている。10 年事業の特徴を活かして優秀な若手人材が研究に専念できる環境を構築し、これにより昇任、連携機関への異動、民間企業への就職などに至る研究者が増えており、新たな試みとして注目される。シンポジウム・研究会等が拠点内で活発に実施されているが、これらの活動を多くの学生・研究者・産業界にも開くことが望ましい。

連携体制に関しては、東大－理研連携による光格子時計の配信およびフォトンリング開発は出色である。一方、この連携以外は、研究面での機関間連携、産業界との連携はまだ十分に進められていない。各機関における研究加速に加え、拠点内連携による成果創出と、実用化に近い技術の産業界連携推進に、本事業期間内に集中して取り組んで欲しい。

今後の展望に関しては、既に多くの成果が生まれているが、事業終了までにさらに優れた成果の創出を期待する。特に光格子時計は、波及効果による発展の芽を多く含んでいるので、装置の小型化など実用化に向けた技術を開発し、この分野での世界におけるリーダーシップを期待したい。

光格子時計に関しては比較的分かりやすい説明がされているが、他の研究においても、研究成果の内容および今後の展開について、研究者自身が身近な例を挙げて説明するなど、「見える化」に注力して欲しい。

### 3. 観点別評価

#### （1）研究開発について：s

・目標とする「光波の完全制御」に向けた研究開発が推進され、当初の想定を超える優れた成果が創出されている。

・我が国で初めて開発された光格子時計により 17 桁を超える周波数精度をもつ光波の生成に成功し、この光波を光ファイバーを通じて遠隔地に配信する技術が、東大－理研連携により本プロジェクトで確立された。遠隔 2 地点におかれた光格子時計の周波数差が 2 地点間の高度差から予測される値に一致することが証明され、光による重力測定の可能性が実証された。光格子時計の小型化に関する研究開発が並行して進められており、学術としての成果に加え、実用化を目指す研究としても特筆される。

・東大－理研連携で開発された「フォトンリング」は、コヒーレント軟 X 線の高出力化を実現する世界で初めての試みとして高く評価される。テラヘルツから軟 X 線に及ぶ広い波長域をカバーする新型コヒーレント光源として、材料・物性・生

物・医学等への利用が予定されており、その早期実現を期待する。

・理研における高強度超短パルス高次高調波の生成と応用に関する研究で、振動波束の生成に 1 フェムト秒の時間遅延が生じることが発見され、アト秒域では Born-Oppenheimer 近似が破たんすることが明らかにされた。

・レーザー技術開発に関しては、電通大で新型セラミックレーザーによる世界最高出力・最短パルス発生、セラミック薄ディスクレーザー発振器開発（特に薄ディスク接着新技術開発）、フォトニックファイバーによるファイバーレーザー高出力化とビーム結合など、実用化に近い研究開発が進められている。また慶大では青色レーザーダイオード（LD）励起多波長発振固体レーザー、緑色 LD 励起フェムト秒チタンサファイアレーザー、東工大では円偏光を高速度切替え可能な電流注入型発光ダイオードの開発、東大では電場の向き・大きさを任意に制御したテラヘルツ波の発生など、ユニークで実用化の可能性を有する研究が進められている。これらの技術が実用化されるよう、産業界との連携に積極的に取り組んで欲しい。

・高強度レーザーに向けた光材料科学の研究にも力が入られており、東工大における新奇透明光材料開発、電通大におけるレーザー結晶など光科学データベース整備が進められている。データベースは極めて有用であるので、外部利用が可能となる方策を実現して欲しい。

・光利用技術に関しても、高分解能分光に適した広帯域周波数コム光発生（電通大－慶大）、世界最速連写カメラ（慶大－東大）、フェムト秒分解近接場顕微鏡（慶大）などの研究が行われている。

・平成 27 年 9 月末までに、「Nature」31 件、「Science」6 件、「Physical Review Letters」44 件、「Optics Letters」27 件をはじめ、849 件の査読付き論文が論文誌に掲載されている。

・多くの優れた成果が得られているが、特に光格子時計、フォトンリング、高強度超短パルス高次高調波の生成と応用は、世界を先導する高度な研究成果である。

・研究としては優れた成果が生まれているが、これらの光波制御技術により社会においてどのような新しい展開が開かれるかを、研究者自身が発信することが重要である。

## （２）人材育成について：a

・「現代光科学の学理の体系整理を進めつつ、知と技と発想力を有する博士人材を育成し、産学に送り出す仕組みを確立する」という目標に向け、機関間の連携のもとで多様な取組を実施している。

・東大において「先端レーザー科学教育研究コンソーシアム（CORAL）」と連携して実施されている、先端光産業技術者による修士課程向け出張実習・講義や、電通大での「光科学実践教育プログラム」（大学院生が他者に教えることを通じて自らも学ぶ実験プログラム）は、産業界との直接交流など、学生の視野を広げる重要な場として機能している。CORAL での交流から世界最速連写カメラが東大－慶大連携で発明されるなど、研究創出にも繋がっている。

・産業界に積極的に就職する博士課程修了者、若手研究者が、少数ではあるが生まれている。人事交流を含め、大学における研究を企業において継承・発展させる流れを作ることを一歩一歩進めて欲しい。

・日本全体としてアントレプレナーシップ育成、ベンチャー設立が欧米と比べて低調であるので、本人材育成プログラムを起業マインド醸成の強化へつなげることが期待される。

・10 年事業の特徴を生かし、優秀な若手研究者が独立研究室を設置し研究に専念できる環境を構築した。この環境下で優れた研究成果を挙げ、昇任、連携機関への異動、企業への就職などに至る研究者が増えており、新たな試みとして注目される。

・本プログラムにおける異分野との交流は、若手研究者が新たな分野に研究を発展させる良い機会となっている。

・大学院生及び研究者を対象とし、各参画機関で交互に毎年 4 回継続して実施している「先端光量子アライアンスセミナー」は、広い視野をもつ若手研究者の育成に資する活動として評価される。セミナーやシンポジウム等の活動を産業界等に広く開放し、講義内容はインターネット、出版等で広く活用できることが望ましい。

- ・「規模感のある博士人材を社会に送り出す」との当初構想の実現は本事業だけでは困難であったが、拠点長主導による「フロンティア・リーディング大学院」（平成 23 年度発足）で継承されているので、実現を期待する。
- ・人材育成プログラムで育成した学生は何名でその後のような分野で活動しているか、本当に教育効果があったのかなど、人材育成の効果を明確に示す必要がある。
- ・学生は年々入れ替わるので、本人材育成事業が今後継続的に繰り返し実施されることを求めたい。
- ・国際人材の参画は、日本人学生にも良い効果をもたらすので、積極的に取り組むべきである。

### （３）連携体制について：a

- ・東大ー理研連携による光格子時計配信の実現およびフロンティア開発は出色である。
- ・各機関が個性を出して研究を行い夫々優れた成果を挙げているが、上記以外は研究面での機関間連携はまだ十分に進められていない。本事業で開発される多様な光源の利用を拠点内で進め新たな成果を生み出すなど、拠点内連携の強化を期待する。
- ・フロンティアは材料、物性、生物、医学等各種分野での活用を目指しているため、フロンティアを核とする拠点内外連携の構築、発展を期待する。
- ・現在は大学間の連携にとどまっているが、今後産業界、国際社会との連携を進めることが重要である。方向を明確にし、内部意識の変革をもたらすため、オープンイノベーションの絵を描くことを求めたい。
- ・大学の根幹は学術であるが、光科学は社会との関係が深く、応用分野も広い。本プログラムでイノベーションの種が色々生まれているので、その展開を積極的に図って欲しい。
- ・文部科学省の革新的イノベーション創出プログラム「コヒーレントフロンティア技術によるイノベーション拠点」が、本プログラムがシーズとなり発足したことは大変意義深く、産業界との実質的な連携が深まることを期待したい。

### （４）今後の展望について：s

- ・既に多くの研究成果が得られているが、事業終了までに更に多くの優れた成果の創出が見込まれる。各機関における研究加速に加え、拠点内連携による成果創出と、実用化に近い技術の産業界連携推進に、本事業期間内に集中して取り組んで欲しい。
- ・特に光格子時計は、光周波数を用いた国際時間標準の実現が期待され、さらに資源探査や測地学への新しい手法提供など波及効果による発展の芽を多く含んでおり、今後大きな飛躍が期待できる。基礎研究に加え、装置の小型化など実用化に必要な技術開発を進めることを期待する。
- ・フロンティアが早期に供用され、広範囲の新たな成果が生まれることを期待する。
- ・人材育成に関しては、博士学位取得者が大学・研究機関だけでなく、産業界等にも積極的に進出する環境の構築に取り組むことを期待する。
- ・イノベーション創出・産業界への波及などへの努力が重要であり、事業終了後の成果を企業が継承する好例を生み出すことを期待したい。
- ・革新的光源によりどのように社会を変えられるかなど、将来を含めて具体的な提言をまとめて欲しい。

### （５）その他

- ・産業展開には研究内容を最もよく知る研究者自身が新たな展開を示唆することが重要である。革新的光源により何を変えられるかを、将来を含めて提言としてまとめて欲しい。
- ・光格子時計による地殻変動・重力変動検出・資源探索などは一例であるが、アト秒科学等においても身近な応用を例としてその重要性を示し研究者から提言すれば産業界も関心を深めるであろう。
- ・本拠点で実証された実力ある研究機関間の協力は、大型装置研究で世界を牽引する場合などにも有効であり、今後とも推進すべきである。

# 「融合光新創生ネットワーク」 の概要

## 1. 課題実施機関・体制

研究代表者 大阪大学 兒玉 了祐

代表機関 大阪大学

参画機関 日本原子力研究開発機構、京都大学、自然科学研究機構

## 2. 課題の概要・目的

○大阪大学を幹事とする4機関による拠点である融合光新創生ネットワーク（C-PhoST: Consortium for Photon Science and Technology）では、世界トップレベルのフォトニック結晶などに代表される質の高い光技術と、超高強度レーザー及び高輝度光・量子ビーム制御用プラズマデバイスで代表される強い光技術との融合により、テラヘルツ～X線、量子ビームに至る超広帯域の高品位高輝度光源システム QUADRA（Quality Ultra ADvanced RAdiation Sources）実現を目指した研究・開発を行う。これにより、幅広い分野において、学術創成から新産業基盤創出にまたがる光新創生を目指した世界拠点を形成する。また、有機的な連携により、ネットワーク内の機関が有する世界最高レベルのレーザーや、多くの最新供用装置を効果的・効率的に運用する。さらに、学術から産業界を含めた我が国の光社会の将来を担う国際的な視点に立った若手リーダーの育成を目指す。

○融合光新創生ネットワーク拠点では、各機関が有する研究・教育ポテンシャルを結集できる体制をとる。先進光源開発に関しては、光源システムとデバイスの開発を目標として設定する。特に光源システム開発は、大阪大学が中心にパワーレーザーである QUADRA-P（Power）の開発や、日本原子力研究開発機構が中心に量子制御のための高強度レーザーである QUADRA-T（THz）の開発を行う。さらに、デバイス開発は京都大学が中心となって連携研究を進めると同時に、光源システム開発とデバイス開発が融合した研究展開を図る。また、施設供用・光源利用、更には将来の新たな応用展開の可能性を探求するために、大学共同利用機関として施設供用ノウハウを持つ自然科学研究機構が中心となり機関連携を推進する。人材育成・社会連携については大阪大学と京都大学が中心となり、各機関との連携を図りながら学際性豊かな研究教育及び産学連携を推進する。

○さらに、レーザー及び関連技術によるレーザー量子ビームの可能性や量子ビーム技術によるX線自由電子レーザー（XFEL）の実現に伴い、光科学技術における新たな展開が期待されている。このような新しい局面に対して、昨今特に注目されているパワーレーザーとXFELのコラボレーションにより極限状態（真空から固体、プラズマなど様々な状態）を探索できる先進的な実験環境の構築のため、これを実現する基幹技術であるレーザーシステムやデバイス、コヒーレント制御技術などのレーザー応用技術等において、本ネットワークがもつコアコンピタンスを

強化し、XFEL とのコラボレーションに発展させることを重点課題として位置付け、新たな展開と連携を進める。これにより、我が国の光科学技術の発展と新分野開拓に貢献する。

○幹事機関である大阪大学と日本原子力研究開発機構、京都大学及び自然科学研究機構の4機関は、光科学技術における新たな展開と連携を進めつつ光源開発、人材育成、施設供用に関する業務を遂行し、融合光新創生ネットワーク拠点の研究開発・推進業務を共同で行う。

### 3. 実施期間

平成 20 年度～平成 29 年度（予定）

### 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26※1	H27※2
執行額(千円)	382,000	387,250	370,500	325,590	384,986	364,986	352,000	372,045

※1 平成 25 年度補正予算を含む

※2 平成 26 年度補正予算を含む

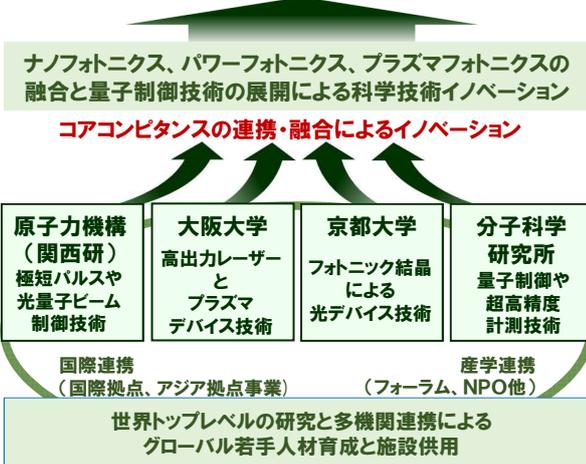
# 融合光新創成ネットワーク(C-PhoST) 概要



**目的:** 本拠点が有するナノフォトニクス、パワーフォトニクス、プラズマフォトニクスおよび量子制御技術の連携・融合により、学術創成から新産業創出にまたがる光新創成を目指した世界的な拠点を形成する。  
**目標:** 4機関による新光源開発と新たな応用を展開する。あわせて世界トップレベルの研究環境を生かした世界に通じる人材育成、施設供用を遂行することで、学術創成から産業イノベーションにつながる成果を出す。  
**研究主体:** 大阪大学 (兒玉了祐 教授)  
**連携機関:** 日本原子力研究開発機構 (近藤公伯 デビジョン長)、京都大学 (野田進 教授)、自然科学研究機構 (分子科学研究研) (大森賢治 教授)

## 実施体制

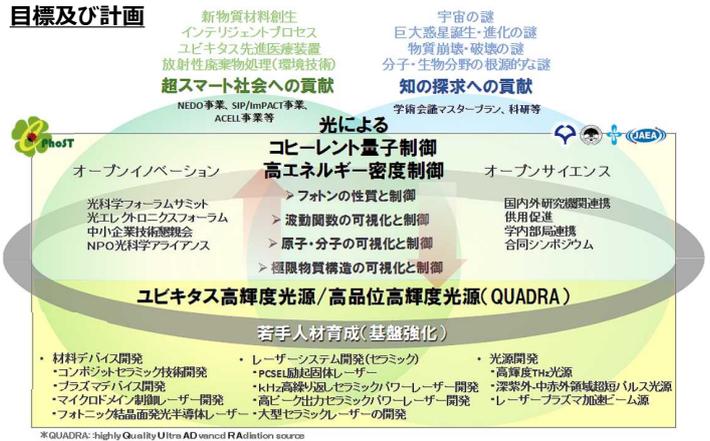
- 医療分野、環境エネルギー分野、材料分野、基礎科学分野にイノベーションを起こす技術開発
- 科学技術イノベーションの基盤的な力の強化となる若手人材育成



## プロジェクト総合推進

- 関東関西拠点合同会議、パワーレーザーコミュニティ会議や3機関 (大阪大学、原子力機構、理研播磨) 連携会議の定期的な開催。
- 各機関の事業タイムを作成し、各機関の方向性の明確化を行い機関連携や供用につながる技術開発を戦略的に推進。

## 目標及び計画



## ●出口から見た光源システム開発

- QUADRA-P: 高エネルギー密度科学開拓を目的とした高出力開発
- QUADRA-T: 量子制御同位体分離を目指したkHz高繰り返しパワーレーザーおよびそれによる高輝度テラヘルツ光源の開発
- QUADRA-IR: コヒーレント量子制御を目的とした高精度超広帯域極短パルス光源開発

## ●拡がりある出口を見据えた光源と応用技術開発

- 拠点の強みを生かしたユビキタスなパワーレーザー/高輝度光源開発:
  - フォトニック結晶面発光半導体レーザー、プラズマフォトニクス開発
  - セラミックレーザーの体系的な開発
- 拠点の強みを生かした応用技術開発
  - コヒーレントと量子制御、高エネルギー密度制御



## 融合光新創成ネットワーク(C-PhoST) における代表的な研究成果① ナノフォトニクスとパワーフォトニクスの融合—PCSEL励起固体レーザー



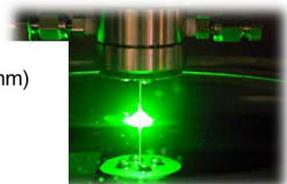
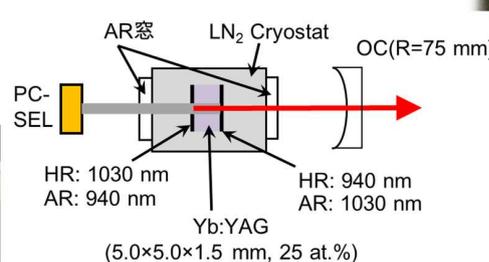
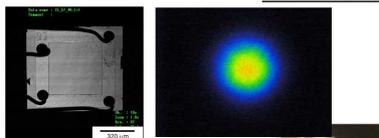
**成果の概要:** 従来の端面発光半導体レーザーをフォトニック結晶面発光半導体レーザー(PCSEL)に置き換え、PCSEL励起固体レーザーを世界で初めて実証。  
 PCSELは優れた時空間コヒーレンスを有し、集光レンズなしでスローブ効率(光-光変換効率)65%以上という高い値を得た。  
 レーザー媒質と励起用PCSELの最適化を図ることでさらなる高出力化・高効率化を予定。  
 大阪大学のパワーフォトニクスと京都大学のナノフォトニクスの技術の連携によりシステム化。

**今後の展望:** コンパクトで高効率なパワーレーザーシステムが可能となり、レーザー加工機用光源、医療メスなど様々な分野への応用が期待される。実現した場合の経済波及効果は数千億円と推定。

### PCSEL励起固体レーザー

狭いビーム拡がり角(<math><1^\circ</math>)のPCSELを活用した励起用レンズフリーYb:YAGレーザー

PCSELの構造      •OC95%⇒  $M^2:2.6$



コンパクトなPCSEL励起固体レーザー

●最大出力: 229 mW  
(光-光変換効率: 65%)



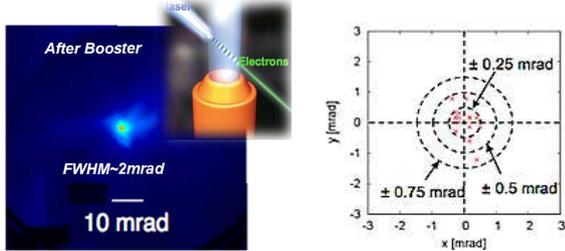


## 融合光新創成ネットワーク(C-PhoST)における代表的な研究成果② プラズマフォトニックデバイス技術によるレーザー加速電子ビーム源

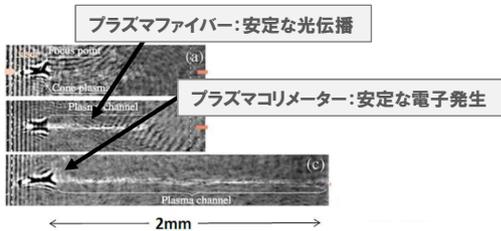


**成果の概要:** 従来の加速管をレーザープラズマ航跡場に代えることで効率的な加速ができる。これを実用化するため、独自のプラズマフォトニックデバイス技術を用いて、世界で最も安定なレーザー電子加速を実現した。また、この安定なレーザー加速電子ビームを利用して、従来加速器にくべはるかに小さな加速装置によりシングルショットの超高速電子線回折イメージを取得することに初めて成功した。さらに、2つのプラズマ加速管を制御することで、プラズマフォトニックデバイス技術による高エネルギー電子の加減速制御を実証した。

**今後の展望:** 従来の方式では困難なGeVクラスの超小型加速器とそれを利用した放射線源の産業応用が期待できる。GeVクラスの加速器はこれまで市場として検討されなかった領域であり、数100億円から数1000億円の新たな市場の可能性はある。

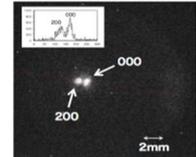
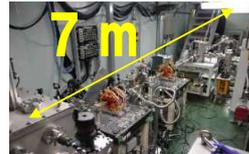


レーザー伝搬を安定にするプラズマフォトニックデバイス



レーザー加速

2015.4



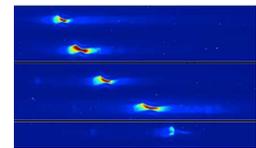
レーザー加速電子線回折

2015.12

Size down: 1m



Energy Spread:  $\Delta E/E < 1\%$



## 融合光新創成ネットワーク(C-PhoST)における代表的な研究成果③ 超高精度量子制御技術



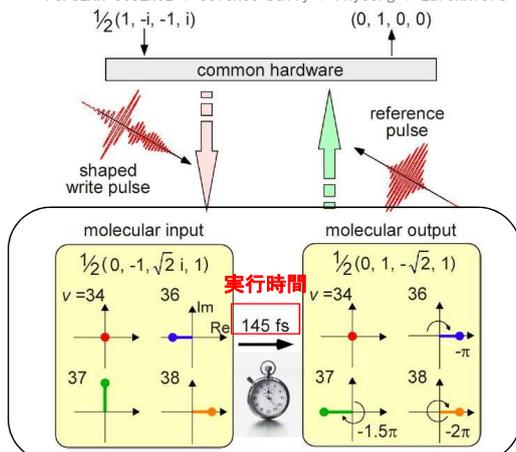
**成果の概要:** 分子内に発生した電子振動波束をアト秒精度で制御して、波動関数の時空間模様をフェムト秒ピコメートルの分解能で可視化する技術を確立した。

その応用として分子の振動波動関数の時間発展を利用、世界最速レベルのスーパーコンピューターの1000倍以上の速さで分子内の量子情報をレーザー光で書き換える技術を開発した。

**今後の展望:** これまでのシリコンエレクトロニクスの限界を超える超高密度、超高速の分子を用いた量子コンピューターの可能性につながる成果である。

ヨウ素分子1個でフーリエ変換を実行;  
実行時間145フェムト秒

Nature リサーチハイライト; Nature Physicsハイライト;  
Nature Photonicsハイライト; Physical Review Lettersハイライト;  
アメリカ物理学会ハイライト; ドイツ物理学会週間トップニュース;  
POPULAR SCIENCE; Science Daily; PhysOrg; EurekAlert; etc.



1フェムト秒 = 1千兆分の1秒

### 分子コンピューター

電荷を波動関数で置き換える

- (1) 超高密度メモリー; 最高性能のDRAMよりも100倍以上高密度
- (2) 超高速演算; IBM POWER 8の1クロック(241ピコ秒)の1000倍以上速い

シリコンエレクトロニクスの限界を超える新しい方法論

自然科学研究機構 大森教授

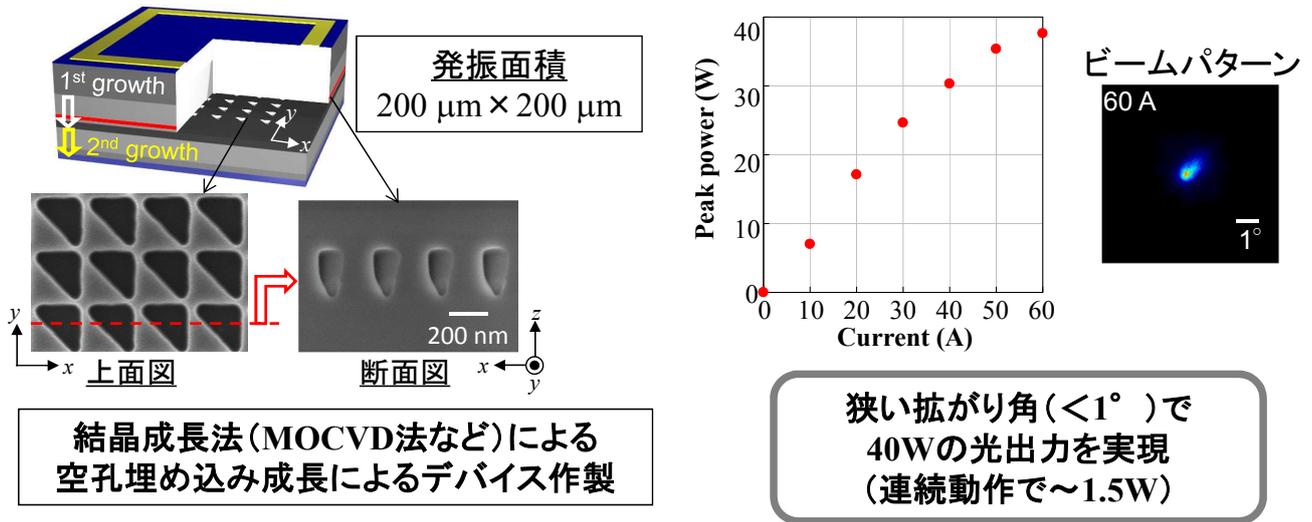


分子コンピューター  
独フンポルト賞に

(Nature Physics 2011; Phys. Rev. Lett. 2010)

**成果の概要:** 単体素子として世界最高光出力(パルス出力~40W, 連続動作~1.5W)を実現した。  
また結合波理論によるPCSEL解析とシミュレーション技術の開発により、応用目的に迅速なフィードバックが可能となった。  
さらにビーム伝搬率・集光特性が理想の光に近い状態であり、非常に優れたビーム品質であることを確認し、レンズなしでの光集光を実現した。

**今後の展望:** 波長変換、励起、分析、ディスプレイ、照明、光加工、レーダーなど様々な分野への波及効果と市場が期待できる。従来の半導体レーザーの応用の視野を広げ新たな半導体レーザーの市場が期待できる。



## 融合光新創成ネットワーク(C-PhoST)における人材育成



### 光科学トリニティ教育プログラム(啓発、基礎、実践)

各機関の特徴を生かした多様な取り組み

- 阪大により**高校生を対象としたインターネット遠隔講義**(eラーニング)を8高等学校、延べ150-200人/年に配信(京大、分子研参加)
- 原子力機構関西研(JST 支援)によるサマーサイエンスキャンプ(高校生、一般)開催
- 阪大部局横断教育プログラム「学際光科学」の実施と教科書「**光科学の世界**」(朝倉書店)出版
- 大学院生が企画する「**レーザー夏の学校**」: 阪大から始まり**全国展開と企業協賛(8社)による自主体制構築**
- 学生が主体となった「**セミナー道場**」: 京大、阪大、東大をはじめとし、延べ300名の大学院生
- 原子力機構関西研による夏季実習生(専門学校、大学)の受け入れ(54名)
- 研究会活動による競争的資金獲得と融合研究を目的に若手研究者が企画する「**光科学異分野横断萌芽研究会**」を支援。**全国の光科学の若手研究者が参加**。関東・関西を中心に特定の学会に属さない光科学の研究会(光科学若手の会 登録数 約170名) 毎回35-40名参加 **7つの融合研究と競争的資金獲得につながる**。
- **国内20機関、英米仏独24機関の国際連携**による若手人材育成(実践教育) JSPS先端拠点事業(阪大)。国際的な連携研究を通じた実践教育、国際サマー/ウィンタースクール開催による院生、若手研究者の国際的な意識強化 2009年-2015年において毎年開催
- 原子力機構関西研による若手研究者を対象とした**国際スクールの開催(8か国)**
- 開催する国際ワークショップ(阪大)、シンポジウム(京大)等への若手研究者、学生の参加と発表を促進



### 社会連携を通じた人材育成

- **光エレクトロニクスフォーラム(80社)**と連携した人材育成
- 大学だけでなく**企業の人材育成** (NPO光科学アライアンスへ移行)

## 拠点における連携研究(機関連携の進展)

- ・大阪大学－京都大学: 世界初の面発光レーザー励起固体レーザーシステムの実証
- ・大阪大学－原子力研究開発機構: 独自のレーザー用セラミックコンポジット技術開発
- ・大阪大学－原子力研究開発機構: 世界で最も安定レーザー加速電子ビーム開発\*
- ・原子力研究開発機構－自然科学研究機構: テラヘルツ光および分光システムによる物性研究
- ・自然科学研究機構－京都大学: 量子制御シミュレーターの開発へのフォトニック結晶レーザー導入検討
- ・大阪大学－原子力研究開発機構－自然科学研究機構: 総合的なセラミックレーザー開発\*



\* 機関連携の成果の一部が、内閣府ImpACT「ユビキタスパワーレーザー開発」に結びついている。

## 機関連携研究会

- ・合同シンポジウム、機関連携研究会、勉強会の開催(関西拠点、東西拠点)
- ・大型施設連携(阪大－原研関西研－理研播磨)

## 若手研究者連携

- ・光物理、光化学、光生命科学、極限物性などの分野にまたがる若手研究者が異分野連携を議論したり、異分野融合型共同研究を推進するとともに競争的資金を連携し獲得



## 国際連携

- ・JSPS先端拠点形成事業によるパワーレーザー応用国際アライアンス(国内20機関、海外24機関の拠点)(阪大)
- ・欧州との量子光学に関する連携(分子研)

## 光科学フォーラムサミット(産業フォーラム全体会議)(H21～)

- ・要素技術の産業応用を目的とし、光科学関連の産業界による組織・フォーラムを集結。産学連携ネットワーク構築を図る。



## 光エレクトロニクスフォーラム

- ・産業界と学界との議論の場(参加企業は80社まで増加)  
戦略ワーキング活動によりプロジェクト化(①NEDO、②経産省)  
①可視光レーザー応用基盤整備②レーザーディスプレイ国際標準化



## NPO光科学アライアンス

- ・光科学技術の研究開発における大学等研究機関と産業界との連携を支援し、当分野における専門人材の交流及び技術の移転を推進することにより、我が国の先進レーザー技術による産業・企業・教育の普及・発展に寄与することを目的とする。

## 中間評価票

### 1. 課題名 「融合光新創生ネットワーク」

### 2. 総合評価

融合光新創生ネットワークは、「質の高い光技術と強い光技術の融合による超広帯域の高品位高輝度光源の開発」を掲げ、大阪大学（阪大）、日本原子力研究開発機構（原子力機構）、京都大学（京大）、自然科学研究機構（分子研：分子科学研究所）が連携し、先端光科学に関する研究開発と次の時代を担う人材育成を一体的に進めている。

本拠点では、研究分野が異なる機関間連携を積極的に進め、各機関の個性を生かした先端研究を伸ばしつつ、連携により多くの相乗的な成果を生み出しており、拠点長および各機関代表者のリーダーシップと実行力が高く評価される。これらは長期にわたる交流で築かれた信頼関係から生まれており、「10年プログラム」の成果と考えられる。

研究開発に関しては、フォトニック結晶面発光半導体レーザー（PCSEL）の高出力化、大口径セラミック高出力レーザー、高出力テラヘルツ光源、アト秒精度超広帯域極短パルス光源などの高度な光源を開発し、これらを基盤として、レーザー生成超高压圧縮によるスーパーダイヤモンド生成とXFELによる構造解析、分子を用いた超高速量子コンピュータの技術開発など、当初の想定を超えた世界最先端の研究成果を挙げており、技術革新への寄与も期待できる。

人材育成に関しては、東西の大学院生が主体となって企画し開催する「レーザー夏の学校」、全国の若手研究者が交流を深める「光科学異分野横断萌芽研究会」、大学院生と教員が泊り込みで議論する「セミナー道場」など自主性を尊重した活動を実施しており、学生や若手研究者の自立化を促進するとともに、機関・分野を超えた広範囲の情報交換と人脈形成に貢献する活動として、高く評価される。

機関間連携により、多くの研究成果を挙げるとともに、産業界との連携も積極的に図っており、多数の企業が参加する会議やフォーラムの開催、さらに産学間人材交流や技術移転を推進するNPOの設立など多くの新しい試みを推進している。また京大で開発したPCSELの事業化も実現され、今後の展開が期待できる状況が生まれている。

今後の展望に関しては、開発した各種光源の本事業期間内での共用開始が予定されており、さらに事業終了後における人材育成や研究開発に関し多くの意欲的な提案が行われている。これらを個々に評価し、有望な課題の実現方策を明確にする必要がある。

個々の研究成果は国内外で高く評価されているが、これらが本事業の成果であることは十分に認識されていない。本拠点の主たる成果をより明確に出し、一般の方に夢を与えることのできる成果のデモンストレーションや広報活動の充実を行うなど、成果や活動の「見える化」に注力して欲しい。

### 3. 観点別評価

#### （1）研究開発について：s

・目標とする「高品位高輝度光源の開発」に向けて機関間連携が多面的に実施され、当初の想定を超える優れた成果が創出されている。

・PCSELの高出力化基盤技術開発が京大で進められ、 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ の発光面から、高出力（連続発振1.5W、繰返しパルス発振40W）・高品位（ $M^2 \sim 1.0$ ）のコヒーレント光が波長958nmで得られた。さらに、狭ビーム拡がり角（ $< 1$ 度）・サブkW～kW超級発振を目指し、発振面積増大に関する研究開発が進められている。また、青緑～緑域への波長領域拡大を目指しGaN系PCSELの研究も進められている。PCSELにより産業用大型レーザーの超小型化を実現できれば、我が国産業の国際競争力を格段に強化できる可能性がある。

・京大－阪大連携によりPCSEL 励起固体レーザーが開発され、集光レンズを使わない高効率コンパクト固体レーザーシステムが世界で初めて実現された。また、産業界との連携により、PCSEL の一般社会への供与が開始された。一方分子研で超小型セラミックレーザーおよびマイクロドメイン制御による大口径波長変換素子が開発され、モノサイクル中赤外光源開発や、テーブルトップ加速器（革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）に採択）などに活用されつつある。

・本プロジェクトで阪大により開発された世界最高出力の波形制御大口径セラミックレーザーが理化学研究所播磨事業所に設置され、レーザー生成超高压圧縮によるスーパーダイヤモンド生成と SACLA による構造解析が可能になってきている。また、阪大と国内外の研究機関との連携による実験で、レーザー圧縮により鉄の結晶構造が相転移する詳細な様子とレーザー圧縮特有の変化が測定された。

・分子研は、分子（さらには凝縮系）を用いた量子コンピュータの技術開発に取り組み、アト秒精度で制御したフェムト秒レーザー光で生成した振動波動関数の時間発展を利用し、離散フーリエ変換を超高速（145 フェムト秒）で実行する分子コンピュータの開発に成功し、さらに分子コンピュータ内の量子情報をレーザー光で書き換える技術も開発した。

・一方原子力機構では、量子制御によるセシウム同位体分離を目指した高出力テラヘルツ光源の開発が進められ、新方式の高効率テラヘルツ光発生デバイスが実現された。この光源開発において、分子研の Yb:YAG マイクロチップレーザー技術が活用された。また、原子力機構－分子研の共同実験により、分子回転周期差の利用による窒素同位体分離が実証された。

・平成 27 年 9 月末までに、「Nature」14 件、「Physical Review Letters」24 件、「Optics Letters」22 件をはじめ、625 件の査読付き論文が論文誌に掲載されている。

・多くの優れた成果が得られているが、特に PCSEL とその応用、レーザー生成超高压圧縮による高密度物質生成、超高速量子コンピュータ技術開発は、世界を先導する高度な研究成果である。

## （２）人材育成について：a

・「学術から産業界を含めた我が国の光社会の将来を担う国際的な視点に立った若手リーダーの育成を目指す」という目標に向け、各機関の個性を活かして多様な取組を実施している。

・阪大では、高校生のための出張講義とeラーニング、学部生に対する部局横断「学際光科学」講義、東西の大学院生が主体となって企画し開催する「レーザー夏の学校」、全国の若手研究者が交流を深める「光科学異分野横断萌芽研究会」など、人材育成活動を多面的に推進あるいは支援し、さらに世界で活躍できる若手研究者の育成を、国際連携を利用した実践教育により図っている。

・京大では、大学院生と教員が泊り込みで議論する「セミナー道場」を毎年開催（一部は阪大、東京大学と共同開催）し、これと連動した国際シンポジウムも実施している。分子研では開発業務への参画を通じての若手研究者や大学院生の実践教育を推進し、原子力機構では全国の大学や高等専門学校を夏季実習生として受け入れ、光科学の普及を図っている。

・自主性を尊重したこれらの活動は、学生や若手研究者の自立化を促進するとともに、機関・分野を超えた広範囲の情報交換と人脈形成に貢献する活動として、高く評価される。

・本プログラムでは学生に対する資金的サポートができないなどの制約がある中で、上記の諸活動を本プログラムとして可能な範囲で実施し、今後の人材育成にも資する多くの成果を得たことは、高く評価される。

・本プログラムに参画した若手研究者が、安定した環境と研究者との広い交流を長所として挙げており、本プログラムの人材育成事業は効果的であったと判断される。

・人材育成プログラムで育成した学生は何名でその後どのような分野で活躍しているか、どのような教育効果があったの

かなど、人材育成の効果を分かりやすく示すことが望ましい。

### (3) 連携体制について : s

- ・拠点長がリーダーシップを発揮して研究分野が異なる機関間連携を積極的に進め、各機関の個性を生かした先端研究を伸ばしつつ、機関間連携による相乗的な効果を生み出している。具体的な成果として、高出力 PCSEL 励起固体レーザーの実現（京大-阪大）、量子制御による同位体分離（原子力機構-分子研）、テーブルトップ加速器プロジェクト立ち上げ（阪大-分子研）など、当初の想定を超えた成果が挙げられる。
- ・また阪大-理研連携により、レーザー圧縮新物質創生と SACLA による構造解析が実現され、レーザー科学と最先端技術の融合による新分野が生まれつつあることは高く評価される。
- ・人材育成に関し、全国の大学院生や若手研究者が交流する活動を積極的に支援し、若手研究者の広い視野の形成と人的つながり構築に貴重な貢献をしている。
- ・産業界との連携も積極的に図っており、光科学技術産学連携ネットワーク構築を目的とする全体会議を毎年開催しているほか、議論の場としてのフォーラム（80 社が参加）などを実施し、さらに産学間人材交流や技術移転を推進する NPO「光科学アライアンス」を設立するなど、多くの新しい試みを推進している。また京大で開発した PCSEL の事業化も実現され、今後の展開を期待できる状況が生まれている。
- ・本プログラムの活動から、阪大、原子力機構、理研などが連携する「関西 100km 圏ラボ」構想が生まれつつあり、わが国が有する研究資源を有効活用する場の可能性として注目される。

### (4) 今後の展望について : a

- ・本拠点では、本事業で開発した高出力レーザー（阪大）、高輝度テラヘルツ光（原子力機構）、高精度広帯域光源（分子研）、レーザー加速電子ビームシステム（阪大）の共用化を平成 29 年度には開始する予定（一部は既に供用開始している）であり、多くの機関・研究者との共同研究による成果が期待される。
- ・本事業の成果の社会への還元として、開発された光源技術の新事業における展開、光科学異分野横断萌芽研究会で形成された若手異分野連携の発展、NPO 光科学アライアンスによる産学連携の促進などが、事業終了後に向けて構想されており、本事業継承の方策として興味深い。
- ・本事業から生まれた新たな研究の可能性として、高密度極低温原子集団を用いた超高速量子シミュレータの研究（分子研-京大）、コヒーレント X 線による原子核の量子コヒーレント制御（阪大-理研-分子研）、超高压力波時間・空間制御による革新プロセスなど、非常に意欲的で多様な展開が提案されている。
- ・これらの産業、学術に関する提案を評価し、有望な課題の実現方策を明確にする必要がある。

### (5) その他

- ・レーザー同位体分離に関し、目標とするセシウム同位体分離の実用化には極めて長い期間がかかると思われるので、誤解を招かないよう、研究趣旨の表現に注意が必要である。
- ・分子を用いた量子コンピュータ技術開発に関し、その特徴と限界をわかりやすく説明することが必要である。
- ・残りの期間において、表現やまとめ方などに関し、拠点内で十分意見交換をすることが望ましい。
- ・個々の研究成果は国内外で十分に認識されているが、これらが本事業の成果であることは十分に認識されていない。一般の方に夢を与えることのできる成果のデモンストレーションや広報活動の充実など、成果や活動の「見える化」に注力して欲しい。