

JAERI-Review

JP0350234

2003-017



# 光科学研究専門部会評価結果報告書

(平成 14 年度事後評価)

2003年6月

研究評価委員会

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県  
那珂郡東海村）あて、お申し越し下さい。なお、このほかに財團法人原子力弘済会資料  
センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費  
頒布を行っております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research  
Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy  
Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

光科学研究専門部会評価結果報告書  
(平成 14 年度事後評価)

日本原子力研究所  
研究評価委員会

(2003 年 4 月 1 日受理)

研究評価委員会は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、光科学研究専門部会を設置し、関西研究所の光量子科学研究センター及び放射光科学研究センターが実施した平成 13 年度までの 5 年間の研究開発の実績について事後評価を実施した。同専門部会は、10 名の外部専門家で構成された。

光科学研究専門部会は、平成 14 年 11 月から平成 15 年 1 月にかけて、当該部門の研究評価活動を実施した。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会会合（平成 14 年 12 月 26 日開催）における被評価者の説明に基づき、研究評価委員会によって定められた評価項目、評価の視点、評価の基準に従って行われた。

同専門部会が取りまとめた評価結果報告書は、平成 15 年 3 月 7 日に行われた研究評価委員会会合に提出され、審議された。審議の結果、研究評価委員会は、この評価結果を妥当と判断した。本報告書は、その評価結果である。

Report of the Evaluation by the Ad Hoc Review Committee  
on Advanced Photon and Synchrotron Radiation Research  
(Ex Post Evaluation in Fiscal Year 2002)

Research Evaluation Committee

Japan Atomic Energy Research Institute  
Suehiro-cho, Kashiwa-shi, Chiba-ken

(Received April 1, 2003)

The Research Evaluation Committee, which consisted of 13 members from outside of the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), set up an Ad Hoc Review Committee on Advanced Photon and Synchrotron Radiation Research in accordance with the "Fundamental Guideline for the Evaluation of Research and Development (R&D) at JAERI" and its subsidiary regulations in order to evaluate the adequacy of the R&D results achieved for five years until Fiscal Year 2001 at Advanced Photon Research Center and at Synchrotron Radiation Research Center in Kansai Research Establishment of JAERI. The Ad Hoc Review Committee consisted of ten specialists from outside of JAERI.

The Ad Hoc Review Committee conducted its activities from November 2002 to January 2003. The evaluation was performed on the basis of the materials submitted in advance and of the oral presentations made at the Ad Hoc Review Committee meeting which was held on December 26, 2002, in line with the items, viewpoints, and criteria for the evaluation specified by the Research Evaluation Committee.

The result of the evaluation by the Ad Hoc Review Committee was submitted to the Research Evaluation Committee, and was judged to be appropriate at its meeting held on March 7, 2003.

This report describes the result of the evaluation by the Ad Hoc Review Committee on Advanced Photon and Synchrotron Radiation Research.

Keywords: Evaluation of Research and Development, Ex Post Evaluation,  
Advanced Photon and Synchrotron Radiation Research, Kansai Research  
Establishment, Advanced Photon Research Center, Synchrotron Radiation Research  
Center

## 評価の経緯について

研究評価委員会事務局  
(企画室 研究評価推進室)

研究評価委員会（委員長：西澤潤一 岩手県立大学長）は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」（平成10年4月策定）及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」（平成10年4月策定、平成11年4月改正）に基づき、関西研究所の光量子科学研究センター及び放射光科学研究センターの平成13年度までの5年間の研究開発の実績について事後評価を実施するために、「光科学研究専門部会」を平成14年11月1日に設置した。

光科学研究専門部会（部会長：菊田惺志（財）高輝度光科学研究センター理事）は、10名の外部専門家で構成され、平成14年12月26日に開催された。同専門部会による評価は、研究評価委員会によって定められた評価の方法に従って行われた。同専門部会は評価結果を取りまとめ、平成15年3月7日に「光科学研究専門部会評価結果報告書」を研究評価委員会委員長に提出した。

研究評価委員会は、平成15年3月7日に第10回研究評価委員会を開催し、同専門部会部会長から「光科学研究専門部会評価結果報告書」の説明を受け、審議を行った。その結果、研究評価委員会は、同専門部会の評価結果が妥当なものと判断し、研究評価委員会委員長は、同報告書を平成15年3月12日付けにて日本原子力研究所理事長に答申した。

平成 14 年度研究評価委員会委員(13 名)

委 員 長 西澤 潤一 岩手県立大学長  
委員長代理 秋山 守 (財)エネルギー総合工学研究所理事長  
委 員 青木 輝行 電気事業連合会 原子力開発対策委員会委員長  
秋元 勇巳 三菱マテリアル(株) 取締役会長  
石榑 顯吉 埼玉工業大学先端科学研究所教授  
井上 信 京都大学原子炉実験所長・教授  
菊田 惺志 (財)高輝度光科学研究センター理事  
草間 朋子 大分県立看護科学大学長  
小林 敏雄 東京大学生産技術研究所教授  
齋藤 鐵哉 物質・材料研究機構理事  
田中 知 東京大学大学院工学系研究科教授  
藤原 正巳 核融合科学研究所長  
山崎 敏光 東京大学名誉教授

(委員については五十音順、敬称略)

(平成 15 年 3 月 3 日現在)

**光科学研究専門部会評価結果報告書  
(平成 14 年度事後評価)**

平成 15 年 2 月

日本原子力研究所  
研究評価委員会  
光科学研究専門部会

This is a blank page.

## 目 次

はじめに

総合所見

1. 専門部会の目的	1
2. 評価の方法	1
2.1 専門部会の構成	1
2.2 事後評価対象研究開発課題	1
2.3 評価のプロセス	2
2.4 評価項目及び評価基準	3
3. 光科学研究開発の実績の概要	5
3.1 関西研究所における研究開発実績の全体概要	5
3.1.1 原研における光量子・放射光科学研究開発	5
3.1.2 主要な研究開発の主な成果と成果の活用	6
3.2 光量子科学研究センターの研究開発実績	9
3.2.1 主要課題領域の構成、研究開発目標及び得られた成果	9
3.2.2 所内外との研究協力	12
3.2.3 人材育成	13
3.2.4 研究資源の実績	13
3.2.5 国の研究開発計画／科学技術分野の学術的な進展への寄与	13
3.3 放射光科学研究センターの研究開発実績	15
3.3.1 主要課題領域の構成、研究開発目標及び得られた成果	15
3.3.2 所内外との研究協力	17
3.3.3 人材育成	17
3.3.4 研究資源の実績	18
3.3.5 国の研究開発計画／科学技術分野の学術的な進展への寄与	18
4. 評価結果	21
4.1 関西研究所の全体概要に対する所見	21

4.2 光量子科学研究センターの研究開発 .....	22
4.2.1 光量子源の開発（主要課題領域1） .....	22
4.2.2 光量子利用研究（主要課題領域2） .....	23
4.2.3 光量子基盤研究及び支援業務（主要課題領域3） .....	25
4.2.4 人材育成 .....	26
4.2.5 その他の所見 .....	26
4.3 放射光科学研究センターの研究開発 .....	27
4.3.1 放射光物質評価（主要課題領域1） .....	27
4.3.2 放射光物質創製（主要課題領域2） .....	28
4.3.3 放射光技術開発及び支援業務（主要課題領域3） .....	29
4.3.4 人材育成 .....	30
4.3.5 その他の所見 .....	31
5. おわりに .....	33

## Contents

### Introduction

### Executive Summary

1.	Purpose of Ad Hoc Review Committee .....	1
2.	Evaluation Method .....	1
2.1	Organization of the Ad Hoc Review Committee.....	1
2.2	R&D Subjects for Ex Post Evaluation .....	1
2.3	Evaluation Process.....	2
2.4	Items and Criteria for Evaluation .....	3
3.	Outline of the R&D Results on Advanced Photon and Synchrotron Radiation Research .....	5
3.1	Summary of R&D Results at Kansai Research Establishment .....	5
3.1.1	Advanced Photon and Synchrotron Radiation Research at JAERI.....	5
3.1.2	R&D Results and Applications.....	6
3.2	R&D Results at Advanced Photon Research Center .....	9
3.2.1	Programs, Objectives and Results.....	9
3.2.2	Research Cooperation .....	12
3.2.3	Human Resources Development .....	13
3.2.4	Resources.....	13
3.2.5	Contributions to National Projects .....	13
3.3	R&D Results at Synchrotron Radiation Research Center .....	15
3.3.1	Programs, Objectives and Results.....	15
3.3.2	Research Cooperation .....	17
3.3.3	Human Resources Development .....	17
3.3.4	Resources.....	18
3.3.5	Contributions to National Projects .....	18
4.	Results of the Evaluation .....	21
4.1	General Comments on R&D Results at Kansai Research Establishment.....	21
4.2	Comments on R&D Results at Advanced Photon Research Center .....	22
4.2.1	Laser System Development (Program 1).....	22
4.2.2	Applied Photon Research (Program 2) .....	23
4.2.3	Basic R&D and Promotion for Advanced Photon Research (Program 3).....	25
4.2.4	Human Resources Development .....	26
4.2.5	Other Comments .....	26
4.3	Comments on R&D Results at Synchrotron Radiation Research Center .....	27
4.3.1	Material Characterization (Program 1) .....	27
4.3.2	Material Synthesis (Program 2) .....	28

4.3.3	Technical Development and Administration (Program 3).....	29
4.3.4	Human Resources Development .....	30
4.3.5	Other Comments .....	31
5.	Concluding Remarks .....	33

## はじめに

研究評価委員会光科学研究専門部会は、日本原子力研究所（原研）の関西研究所における平成13年度までの5年間の研究開発実績に対する事後評価を研究評価委員会の定めた基本的要領に則って、平成14年11月から平成15年1月にかけて実施した。これは、当部会としては、昨年度行った当該部署の研究開発計画（平成14年度から5年間の計画）に対する事前評価に続く評価活動である。

関西研究所は、先進的レーザー及び第3世代放射光の光源開発とその利用研究を推進することにより原子力科学研究開発の新たな展開を図ることを目的に、平成7年度に設立されて以来、施設の整備を進めつつ世界的にも先導的な研究を展開し、平成12年度からは光量子科学研究センター及び放射光科学研究センターを擁する研究所として活動している。

関西研究所の研究開発課題は、光量子科学研究センターについては①光量子源の開発、②光量子利用研究、③光量子基盤研究及び支援業務の3主要課題領域、放射光科学研究センターについては①放射光物質評価、②放射光物質創製、③放射光技術開発及び支援業務の3主要課題領域に関する研究開発及び研究支援業務である。

事後評価に当たっては、これら研究開発課題の目的達成度、実施経過、成果の普及・波及効果、並びに、将来への研究開発の展開を検討するとともに、両センターにおける人材育成についても検討した。

評価の具体的な進め方としては、第1次評価及び第2次評価の2段階を取った。第1次評価では、両センターから提出された評価用資料に基づき、暫定的評価を行い、また指摘事項、質問等を示した。第2次評価では、専門部会会合において両センターから詳細な説明を聴取した。その後に、各委員からの最終評価結果を集約、整理し、これに基づく総合所見を付して報告書案を取りまとめた。その後、報告書案に対する委員全員のレビューを行い、これを踏まえて、本報告書を完成させた。

本専門部会の委員各位には、限られた研究評価期間の中で熱意溢れる御協力を賜ったことに対し、ここに深甚なる謝意を表する。

平成15年2月17日  
光科学研究専門部会  
部会長 菊田 惺志

## 総合所見

### 1. 関西研究所における研究開発の実績の全体概要について

光の高度利用は21世紀の科学技術発展を支える主要な柱のひとつである。関西研究所は光量子科学研究センターと放射光科学研究センターの両センターにおいて、わが国が重点をおくべき光科学技術の研究開発を推進している。

本評価期間において、光量子科学研究センターは光源開発に重点をおいて研究展開を図ってきた。利用研究および光源の利用技術開発は光源開発に歩調を合わせて順次開始されてきた。放射光科学研究センターでは、SPring-8の放射光光源の建設が先行し、この期間中に原研ビームライン4本が順次建設され、実験ステーションも併行して建設、整備された。立ち上げ作業が完了したものから利用研究が開始されている。

両センターで得られた研究開発の実績を精査したところ、世界最高性能の先進的レーザーと第3世代放射光光源の研究開発が概ねスケジュール通りに実施され、所期の目標が十分に達成されたと評価できる。極短パルス超高ピーク出力レーザー、高出力エネルギー回収型自由電子レーザー、フルコヒーレントX線レーザー、および高輝度放射光ビームラインと、高い独自性をもつ実験ステーションの実現は特筆に値する。これらの光源の世界的優位性を生かして利用研究を本格化させ始めており、順調に研究展開を図っていると判断される。今後の本格的な利用研究にあたっては関西研究所ならではの研究を遂行し、社会にその存在意義を鮮明にアピールしていくように期待する。

関西研究所の役割についてみれば、原子力科学技術を革新的に発展させるために最先端の光科学技術を駆使して原子力に特化した研究（新たな放射線利用、核物理、光核変換、原子力材料物性研究、放射線生体影響など）に最重点で取り組むことであり、着実に実績をあげ始めている。今後、原子力科学と物質科学・生命科学の学際分野において関西研究所独自の研究成果が一層あがることを期待したい。一方で関西研究所の最高性能の光源は他では利用し難く、産官学の研究者に利用したいという強い要望があるので、原子力に関連する周辺分野の研究にも効果的に活用するのが望ましい。長期的視野に立てばそれらの研究成果も原子力研究に貢献することが期待される。どの範囲の研究課題まで含めるかは学術的価値、社会的要請、波及効果などの観点から判断されるであろうが、あまり限定的に考えて将来技術の芽を摘んでしまわないようにする必要がある。

産業界などへの貢献も期待されており、それに対応した活動が実施されているのは評価される。企業との共同研究で自動車排ガスの浄化触媒の研究がなされ、触媒の自己再生機能を解明した成果はその好例である。また研究開発の成果がベースとなって、原研ベンチャー支援制度に基づいてベンチャー企業が設立されたことは意義深い。

研究協力・連携について言及すれば、まず両センター間の協力関係を強化することが必要である。X線レーザーの短波長化が図られてきて、放射光との相補的な技術開発・利用研究ができるようになった。放射光とX線レーザーは時間構造やコヒーレンスなどの線質に大きなちがいがあるので、両者を利用できる利点を生かして独自の研究展開が期待でき

る。一方、原子力エネルギー開発に関わる基盤的研究は主として原研内の研究所との連携を強めて実施する必要がある。物質・材料科学には放射光とともに中性子線による解析が相補的に役立つので原研内での一層の連携が望ましい。さらに幅広い分野の利用研究については大学などとの協力研究、企業などとの共同研究を通じて実施されているが、それに加えてこのたび“開かれた研究所”としての体制を整備するオープンラボの構想が提示された。その積極的な取り組みを歓迎したい。

人材育成については、連携大学院制度により大学院生の教育にも貢献しているのは効果的である。また博士研究員を採用して人材育成を図っているが、数が不足しているのは否めない。その充足を図るとともに、特別研究生など大学との共同研究を通じたプレドクの受け入れも考えられる。

世界最高性能の光量子光源と放射光光源をもち、その利用研究を推進している研究所は世界に類がなく、関西研究所が光科学の中核的拠点として果す役割は大きい。すでに海外研究機関との協力、連携など国際交流を積極的に進めているところであり、今後名実ともに世界における光科学の牽引車となることを期待する。

## 2. 光量子科学研究センターの研究開発課題について

光量子科学研究については、極短パルス、超高輝度、極短波長、コヒーレンス性において従来にない特徴を有するレーザー光源を先進的光源と位置付け、これまでTキューブレーザー、X線レーザー、超伝導リニアック自由電子レーザーを中心とする光源開発を進めてきた。

### (1) 光源開発

3つの型の先進的なレーザーの光源開発を進め、高ピーク出力レーザーでは高ピーク出力 100 TW、さらに最近 550 TW を達成した。X線レーザーの短波長化では波長 13.9 nm、12.0 nm さらに 8.8 nm の発振を達成した。超伝導高出力自由電子レーザーでは、2.3 kW の高出力を達成した。これらの結果、開発目標に概ね到達した。これらの基幹的設備をもつ光量子科学研究センターは光量子科学の分野で世界的にフロントランナーとしての位置を確保するに至ったといえる。

成果の発表状況については、多くの論文が発表されているのに比べて、出願を含めて特許の数が若干少ない。新規光源の開発が主要課題であるから、要素技術などは積極的に特許化すべきである。今後の展開では、先進的レーザーの高度化というハード面での研究開発計画に重心を置いているが、光源をどのように利用するかの具体的な詰めも必要であろう。

### (2) 利用研究

光量子利用研究における航跡場電子加速ではガスジェットを用いたレーザー航跡場の励起実験で 20 GeV/m の加速勾配を直接観測し、超高強度場科学では  $10^{19} \text{ W/cm}^2$  以上の高強

度場の生成を実証した。このような成果を積んで本格的利用研究の準備を進めており、概ね順調に進捗しているといえる。

この領域の研究開発は基礎物理との関連が強いので外部の研究グループとの連携を一層強くするのが望ましい。さらに、今後の進め方として、超高強度場科学に関する研究における2次ビーム発生研究では、その先の2次ビーム利用の展望を明確にすることが必要であろう。

### (3) 基盤研究及び支援業務

光量子基盤技術研究では高性能の光学素子が開発され、またレーザー結晶の育成・接合技術が確立され、実験システムの高度化に大きく貢献した。光量子シミュレーション研究ではレーザー加速、X線レーザー発振シミュレーションなどの基本コードや超高強度場科学のための2次元ギガ粒子シミュレーションコードが開発され、実験の解析・予測に役立った。これらは当初の計画の目標を十分に達成しているといえる。

光量子シミュレーション研究には大学や企業などと共通的なテーマも含まれており、大学や企業との交流を積極的に進め、効率的な研究の推進を図ることが必要である。また、光量子シミュレーション研究用に導入されている非常に高性能の計算機は、当面の課題以外にもその性能を使って各種の研究に広く利用できるような体制が望まれる。

光量子科学研究の計画・立案及び推進の業務については、センターの要としての役割を十分に果している。なお外部研究者の施設利用の便宜のために必要な情報の広報にも努めてほしい。

## 3. 放射光科学研究センターの研究開発課題について

放射光科学研究については、SPring-8の運営を(財)高輝度光科学研究センターに委託し、原研ビームライン及び共用ビームラインの建設を進めながら、原研に実績のある物質・材料科学研究に重点をおいてSPring-8利用研究を進めてきた。

### (1) 物質評価研究

放射光を用いた物質評価では、立ち上げの期間にもかかわらず、他の方法では困難な極限環境下における物質状態の解明に顕著な成果が見られる。高圧下における物質構造研究では、液体リンの高圧下での液体-液体の一次相転移の発見、界面構造と機能との相関に関する研究では、自動車排ガス用のペロブスカイト酸化物触媒の構造と触媒機能の関係の解明、重元素物質の電子状態と磁性に関する研究では、核共鳴散乱により従来放射性同位元素でしか研究できなかった核種についての研究が可能になったことなど高く評価できる。これらの成果は世界的に高いレベルのものであって、その達成度は高い。

ウラン化合物などアクチノイドの研究ができる環境が整備されたので、今後、東海研究所など関連の研究を実施している原研内の他部門との連携を積極的に推進することが重要である。

## (2) 物質創製研究

物質創製研究の一環としての表面に関する物理化学的研究では、酸素の高速分子線によってシリコン表面から1原子層ずつ酸化ができるなどを見出している。一方、DNAの軟X線照射効果の研究では、短寿命DNAラジカルが生ずるのを観測している。このように新しい知見が得られており、全体として優れた成果があがっている。

“創る”という目標に対して、分子はさみやDNA操作など放射光の特徴を生かした方法論を実現していることは評価されるが、放射光を物質創製プロセスの道具とするのであれば、得られている成果はその目標に対してまだ隔たりがある。物質創製は今後の重要な分野と目されているので、大学や産業界などの外部機関との連携を一層深め、研究の方向や理念、目標などについて広い視野に立って議論されることを期待する。

## (3) 技術開発及び支援業務

技術開発では、共用ビームラインの建設整備を行うとともに原研の4本のビームラインを高性能の仕様で着実に建設し立ち上げた実績は高く評価される。また、ビームラインの遮蔽設計手法を確立し、SPring-8全体のビームラインに適用して、その建設に重要な役割を果した。

今後は、整備したビームラインなどの研究資源を十分に活用するための運用システムの確立が課題であり、従来のハード開発とは異なる柔軟な研究運営・管理システムが要求される。特に、内外との協力・連携をどのように維持していくか、ハードとしては、装置改良に欠かせない基盤技術の継続的発展、ソフト面では長期的かつ全体的視野に立った人材養成と人材配置が重要である。さらに研究及び業務の両面において(財)高輝度光科学研究中心との密接な連携が必要であろう。

This is a blank page.

## 1. 専門部会の目的

「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、研究評価委員会の光科学研究専門部会において、関西研究所の光量子科学研究センター及び放射光科学研究センターの研究開発課題について、平成13年度までの5年間の研究開発実績の事後評価を行う。

## 2. 評価の方法

### 2.1 専門部会の構成

部会長：	菊田 惇志	(財)高輝度光科学研究センター理事
専門委員：	石川 順三 宇理須 恒雄 片岡 幹雄 加藤 隆子 辛 埼 辻 和彦 土屋 裕 三間 圭興 山田 和芳	京都大学大学院工学研究科教授 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所教授 奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究所教授 核融合科学研究所教授 東京大学物性研究所教授 慶應義塾大学理工学部教授 浜松ホトニクス(株)中央研究所所長代理 大阪大学レーザー核融合研究センター教授 京都大学化学研究所教授

### 2.2 事後評価対象研究開発課題

事後評価の対象となる課題は、関西研究所の光量子科学研究センター及び放射光科学研究センターにおける平成13年度までの研究開発課題（研究支援業務課題を含む）であり、それらは下記のとおりである。（\*：研究支援業務課題）

#### (1) 光量子科学研究センター

##### 主要課題領域1：光量子源の開発

- 1) 高ピーク出力レーザーに関する研究（光量子源システム研究グループ）
- 2) X線レーザーに関する研究（X線レーザー研究グループ）
- 3) 超伝導高出力自由電子レーザーの研究（自由電子レーザー研究グループ）

##### 主要課題領域2：光量子利用研究

- 4) レーザー加速に関する研究（レーザー加速研究グループ）
- 5) 超高強度場科学に関する研究（光量子利用研究グループ）[平成12年度開始]

##### 主要課題領域3：光量子基盤研究及び支援業務

- 6) 光量子基盤技術に関する研究（光量子基盤技術研究グループ）

- 7) 光量子シミュレーション研究（光量子シミュレーション研究グループ）
- 8) 光量子科学的研究の計画立案・推進\*（研究計画課／光量子科学的研究推進室）

## (2) 放射光科学研究センター

### 主要課題領域 1：放射光物質評価

- 1) 高圧下における物質構造に関する研究（極限環境物性研究グループ）
- 2) 界面構造と機能との相関に関する研究（構造物性研究グループ）
- 3) 重元素物質の電子状態及び磁性に関する研究（重元素科学的研究グループ）
- 4) 強相関系の電子・フォノン物性に関する研究（電子物性研究グループ）

[平成 10 年度開始]

### 主要課題領域 2：放射光物質創製

- 5) 表面に関する物理化学的研究（表面化学研究グループ）

### 主要課題領域 3：放射光技術開発及び支援業務

- 6) 放射光利用研究に係る技術開発（利用系開発グループ） [平成 10 年度開始]
- 7) 放射光利用計画の管理\*（放射光業務課） [平成 10 年度開始]

## 2.3 評価のプロセス

当専門部会は、平成 14 年 11 月から平成 15 年 1 月にかけて、事後評価を実施した。今回の評価のプロセスは、第 1 次評価（平成 14 年 11 月中旬～12 月上旬）及び第 2 次評価（平成 14 年 12 月下旬～平成 15 年 1 月中旬）の 2 段階とした。

第 1 次評価においては、被評価部門から提出された評価用資料に基づき、暫定的評価を行い、また被評価部門に対する質問事項等を示した。被評価部門は、示された質問や指摘事項に対して、回答を補足説明資料として取りまとめた。

第 2 次評価においては、専門部会会合を開催し、被評価部門からの上記の評価用資料及び補足説明資料に関する説明並びに質疑に対する応答を聴取し、これに基づいて最終的な評価を行った。

第 2 次評価における専門部会会合開催の概況は、次のとおりである。

- (1) 日時 平成 14 年 12 月 26 日（木）10：30～16：30
- (2) 場所 日本原子力研究所 関西研究所 大会議室
- (3) 議事次第
  - 1) 専門部会の審議について
    - ・部会長挨拶
    - ・委員、事務局自己紹介
    - ・事後評価の進め方について

- 2) 関西研究所における研究開発の実績の全体概要
  - ・説明：田島関西研究所長
  - ・質疑応答
- 3) 光量子科学研究センターの研究開発
  - ・説明：木村光量子科学研究センター長
  - ・質疑応答
- 4) 放射光科学研究センターの研究開発
  - ・説明：下村放射光科学研究センター長
  - ・質疑応答
- 5) 総括討議
  - ・部会内討論
  - ・今後の取りまとめについて

## 2.4 評価項目及び評価基準

事後評価においては、被評価部門から提出された評価用資料及び補足説明資料に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に沿った項目別評価を行い、また、必要に応じて、その他の所見を示し、これらを踏まえて総合所見を取りまとめた。

### (1) 項目別評価

- 1) 評価項目及び評価の視点（「」は評価の視点）
  - (a) 研究開発課題の目的達成度  
（「当初の達成目標に対する充足度」）
  - (b) 研究開発実施経過の妥当性  
（「研究開発の展開、研究資源の活用、原研内外との協力・連携の実施等」、あるいは、必要に応じて「研究開発の成功・不成功の要因の分析・把握」）
  - (c) 研究開発の成果の普及・波及効果  
（「成果の公開・発表状況、プロジェクト等への直接的な貢献、他の科学技術分野への貢献・波及効果の有無」）
  - (d) 将来への研究開発の展開  
（「次期5ヶ年研究開発計画の立案への効果、一般科学技術的な意義・効果等」）
  - (e) 人材育成  
（「人材育成に関する施策の実績の妥当性」）

なお、研究支援業務課題については、上記の研究開発課題に関する評価項目及び評価の視点に準ずる。

### 2) 評価の基準

上記の項目別評価に対して、5段階評価（5：優れている、4：やや優れている、3：普通、2：やや劣っている、1：劣っている）を行う。

(2) その他の所見

上記の視点以外の特記すべき所感、問題点、提言等を示す。

### 3. 光科学研究開発の実績の概要

関西研究所が示した平成 13 年度までの 5 カ年間の研究開発実績の概要を以下に示す。

#### 3.1 関西研究所における研究開発実績の全体概要

##### 3.1.1 原研における光量子・放射光科学研究開発

###### (1) 光量子・放射光科学研究開発の意義と目標

原研は、わが国における原子力研究開発の中核的研究機関として、国の施策に沿った研究開発を進め、国民の負託に応えることを使命としている。関西研究所は、先進的レーザー及び第 3 世代放射光の光源開発とその利用研究を推進することにより原子力研究の新たな展開を図ることを目的に、平成 7 年 10 月に設立され、光科学の中核的拠点となることを目指して研究開発を進めてきた。

「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」(原子力委員会、平成 12 年 11 月 24 日)において光量子・放射光科学研究は、「加速器や高出力レーザーは、これらを観測手段として活用することにより物質の究極の構成要素や自然の法則を探ったり、ライフサイエンスや物質・材料系科学技術等の様々な科学技術分野の発展を支えるものである。」と、その意義が記されている。

原研は、世界最高性能の極短パルス超高強度レーザー及び世界最高性能の放射光施設 SPring-8 を開発し、世界的な研究競争に対応しうる研究設備を有するようになった。21 世紀は「光」技術の時代であり、関西研究所は、この先進的レーザー及び放射光を世界に誇るコア-コンペテンス(競争力の源泉)として、先進的な原子力科学研究を実施し、人類共通の知的財産としての科学技術の発展を促すとともに、エネルギー環境問題をはじめ人類社会が直面する様々な問題解決に積極的に貢献することを目標として研究開発を実施する。

###### (2) 国内及び国際的研究開発の中での位置付け

極短パルス超高強度レーザー(T キューブレーザー)を用いた研究は、超高強度場における新しい物理現象の発現、その過程で生成する新放射線源(極短パルス高エネルギーの電子、イオン、X 線等)の科学、産業、医療分野への利用などを中心として、世界的に急速な進歩を遂げつつある。その中で、光量子科学研究センターでは、先進的レーザー開発において、世界最高性能のレーザー開発に成功するなど最先端の成果をあげてきた。それらの成果により、国内外の研究機関から光量子科学研究の中核的な研究機関としての光量子科学研究センターの活動に高い期待が寄せられている。

放射光科学研究センターは、SPring-8 を利用した強相関電子系物質を中心とした材料科学の分野で、国内外の研究機関及び産業界と共同研究を実施して顕著な成果をあげている。また、原研専用ビームライン 4 本(1 本は平成 13 年度末完成)と共用ビームラインを用いて、アクチノイド化合物を含む多様な物質を対象とする物質・材料科学研究を開拓している。また、理化学研究所及び財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)との協力を一層強め、放射光利用研究の進展に寄与するとともに、原研独自の成果を出すことに重点をお

いた積極的な研究展開を図る。

### 3.1.2 主要な研究開発の主な成果と成果の活用

#### (1) 光量子科学研究

光量子科学研究については、極短パルス、超高輝度、極短波長、コヒーレンス性において従来にない特徴を有するレーザー光源を先進的光源と位置付け、これまでTキューブレーザー、X線レーザー、超伝導リニアック自由電子レーザーを中心とする光源開発を進めてきた。これまでの研究により、上記レーザーのいずれにおいても世界最先端の性能を有する光源の開発に成功した。これらの光源を用いて、高強度、高コヒーレント、短パルスなどの性質をもつ放射線を発生させ、原子力科学分野を初めとする新しい科学・技術への利用を開始する段階に達している。

##### ①関西文化学術研究都市における研究活動

平成11年5月に関西文化学術研究都市（木津地区）に光量子科学研究施設が完成し、光量子科学研究センターは東海地区及び寝屋川地区から移転し、同年9月から本格的に研究活動を開始した。寝屋川地区で活動を行ってきた光量子シミュレーション研究グループも計算機更新に合わせて平成12年度末に木津地区に移転した。さらに、科学館の建設後は、より一層、原子力科学や「光」科学の一般普及啓蒙活動に拍車が掛かり、佐藤文隆名誉館長を先頭に全国でもユニークな「光」科学館となろうとしている。

木津移転に伴い、特に関西地区を中心とした研究ネットワークの整備など中核的研究機関としての研究活動を開始した。また、外部の研究機関との共同・協力研究については、平成13年度に原研施設利用協議会に光量子専門部会を設置し、公募形式による開かれた形で実施している。

##### ②光量子源開発の進展

Tキューブレーザーの開発では、100テラワットからサブペタワットの小型レーザーとしては世界最高の性能を有するレーザーを開発した。X線レーザー開発では、短波長化として8.8nmでの発振の成功、13.9nmにおける世界で初めての空間フルコヒーレントビームの実現など大きな成果をあげた。また、超伝導リニアック自由電子レーザー(FEL)の開発では、2kWの世界最高発振出力を達成するとともに、電子ビームエネルギーの完全回収に成功し、高効率のFELを実現した。この成果により、平成14年度文部科学大臣賞を受けた。これにより、従来の技術では大きな壁となっていたレーザーのエネルギーコストを大きく低減し、多くの利用への道をつけた。環境有害物質（ダイオキシン）の光分解を始め、高出力FEL利用分野を拓きつつある。

##### ③光量子利用研究の展開

レーザー加速研究では、航跡波電子加速による高勾配加速の研究や低エミッタンスの電子ビーム源の開発、実験を行ってきた。X線レーザーの利用では、強誘電体の相転移のピコ秒オーダーの動的挙動を世界で初めて観測した。Tキューブレーザーの利用研究では、高強度場における原子のイオン化過程の研究を行い、世界初の多価イオン生成に成功した。こうした光量子科学研究センターの成果は、さらに他の研究分野にも高い関心を呼び、ス

タンフォード線型加速器センター（SLAC）や高エネルギー加速器研究機構（KEK）などの高エネルギー物理研究所における入射器への応用が検討されている。さらに、レーザー加速によるコンパクトイオン源やイオン加速の実験も始まっており、放射線利用技術の確立を目指すとともに、この技術のがん治療へ応用が医学界から関心が寄せられている。このため平成12年度から光量子利用研究グループを発足させ、Tキューブレーザー生成超短パルス高輝度X線回折による時間分解構造解析、レーザーイオン源開発の研究を開始している。

#### ④光量子基盤研究

平成8年度に大型並列計算機を導入した。それを用いて多様なコード群を開発し、単色イオン加速のためのダブルターゲットデザイン、ペタワット級X線生成やX線レーザー解析など光量子科学研究と高度計算科学を先導する多くの成果を挙げてきた。平成12年度末にテラフロップスの超並列計算機を設置するとともに、高速ネットワークを整備し外部との接続により大学等との共同・協力研究を実施しつつ、SSCP(Super Simulation Center for Photon)拠点として光量子シミュレーションの世界的指導性を発揮した。こうした活動を通じITBL(Information Technology Based Laboratory)の関西誘導への貢献を含め、先進的計算科学研究を推進する体制を確立した。また、高耐熱性軟X線反射鏡や回折格子などX線レーザー開発や利用研究に不可欠の光学素子の開発に成功し、産業応用にも結びついている。

### (2) 放射光科学研究

放射光科学研究については、SPring-8の運営を(財)高輝度科学研究中心に委託し、原研ビームライン及び共用ビームラインの建設を進めながら、原研に実績のある物質・材料科学研究に重点をおいてSPring-8利用研究を進めてきた。利用研究の成果はNature、Science等の学術雑誌に掲載され、物質科学進展に貢献した。

#### ①放射光科学研究施設の整備

原研ビームラインについては、重元素科学用BL23SU、材料科学用BL14B1、BL11XUの3本に続き、量子構造物性用ビームラインを平成13年度末に完成させた。また、9本の共用ビームラインを原研担当分として整備した。RI棟(平成10年度)及び放射光物性研究棟(平成11年度)を建設し、物質・材料科学研究に必要な諸測定機器を整備した。これにより、播磨地区の管理・研究業務の拠点が完成した。

#### ②研究組織の展開

放射光科学研究センターでは、平成13年度から実験結果を予測、解明し、理論づけるための物質構造シミュレーショングループを発足させた。これにより、構造物性、表面化学、極限環境物性、重元素科学、電子物性、物質構造シミュレーションと、「強相関電子系」等に突出した物質科学の研究体制が構築された。

#### ③開かれた研究の推進

原研は理研と協力してSPring-8の建設、運営に責任をもって実施してきたが、今後、材料科学のCOEとして指導性を発揮するとともに、積極的に技術開発、運営に貢献していく。国際的には、欧州ESRF、米国APSとの国際研究協力協定を締結し、協調的競争関係を保ち

つつ共同研究や人員交流を積極的に進めており、今後は米国 ALS、BNL との協定締結を予定している。

#### ④主要研究成果

ビームライン及び実験装置がほぼ整備され、グラファイトからダイヤモンドへの相転移の直接観察、界面における単原子膜形成など、高輝度放射光の特徴を生かした利用研究成果が着実に得られつつある。特に、Nature に発表された「高圧下の液体リンで観測した1次相転移の成果」、ならびにこれも Nature 掲載の「貴金属複合ペロブスカイト型酸化物触媒の自己再生機能の解明」は世界的に高い評価を得ている。後者においては、応用へのインパクトも大きく次世代自動車排ガス浄化触媒装置へ既に取り入れられており、環境科学やエネルギー科学へのより広い応用も考えられている。短期間で3件の Nature 掲載は、当センターの優れた世界的実力と研究先導の指導性の雄弁な表現である。重元素は一般に強相関の電子を持つが、当センターではこうした物質やペロブスカイトといった重要物質における電子の情報を放射光で系統的に測定するなど、原研ならではの戦略的領域に卓越した研究を展開し、指導性を確立して来ている。東海研の中性子による測定と連携することにより、こうした研究における放射光と中性子の相補的研究手段の駆使といった原研の総合的力量がさらに高まった。

### (3) 研究開発の今後の展開

平成10年度に実施された研究開発課題評価に基づき、国内外の他の研究機関でも活発に進められている分野である光量子科学研究、放射光科学研究において、高性能レーザー及び高輝度放射光を用い、原研としての特徴を生かして、重点的に研究開発を進めてきた。

光量子科学研究センターで開発中の光量子源は、既に世界最高性能のレベルに達している。今後この先進的レーザー及びそこから生成する多くの特徴をもつ放射線を利用し、原子力科学、生命科学、物質科学などにおいて先進的な研究を展開する。

一方、放射光科学研究センターでは、原研ビームラインの整備が一段落したので、利用研究に集中して成果を出す段階に至っている。平成14年度からはウラン化合物等アクチノイドの研究を開始できる状況になり、JRR-3M や TIARA などの研究施設を相補的に活用しながら、原研の特徴を發揮できるアクチノイド等の重元素を含む化合物の研究を中心にして、物質・材料研究を展開する。

以上を基本として、以下を重点事項として、研究を実施する。

#### ①原研独自の成果の創出

原研関西研では、世界最先端の高出力超短パルスレーザー及び高輝度放射光利用装置を有している。これを生かしたガンマ線源の開発、強相関電子系物質研究などの原研独自の成果の創出の他、レーザーと放射光を組み合わせた量子ビーム科学、高フルエンスガンマ線生成、レーザーポンプによる動的放射光科学研究等を展開する。

#### ②開かれた研究所：協力・共同研究、「オープンラボ」の推進

「光」の研究所として21世紀の人類に課せられた諸問題を解決するため原子力研究の新たな展開とともに、物質科学、生命科学、環境科学、ナノテクノロジー、計算科学などに

積極的に貢献する。そのため、原研内で実施されている共通な基盤を有する研究チームとの共同研究を実施し、両センター間の有機的研究相乗化や原研所内連携を強化する。

関西研の施設の特徴を生かし、本来の原子力研究に特化した研究を推進するとともに、より広い科学研究において、協力・共同研究、「オープンラボ」を通して大学、産業界との連携を積極的に推進し、世界に先駆けた研究を展開する。これらの協力・共同研究を実施するために必要とされる「オープンラボ」を整備、実現する。

また、今後とも国際共同研究を積極的に実施する。このため、国際的な広い観点からの提言を受けて研究の位置付けを明確にしながら、光量子・放射光科学の進展に寄与する中核的機関としての活動を強化する。

### 3.2 光量子科学研究中心の研究開発実績

#### 3.2.1 主要課題領域の構成、研究開発目標及び得られた成果

研究課題、 (研究グループ)	研究目標	研究成果の内容 [業績、技術開発等]
<b>(1) 光量子源の開発 (主要課題領域 1)</b>		
a) 高ピーク出力レーザーに関する研究 (H9 年度～：光量子源システム研究グループ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ペタワット級極短パルスチタンサファイアレーザーを開発する。 当面 0.5PW 出力をを目指し、要素技術を開発する。</li> <li>・小型・高繰り返しチタンサファイアレーザーを開発する。 TW 級出力、kHz 級の繰り返しを目指す。</li> <li>・次世代光源用半導体レーザー直接励起イッテルビウムレーザーの要素技術開発を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パルス幅 19fs、ピーク出力 100 TW のレーザー光を 10Hz という高繰り返しで発生させるチタンサファイアレーザーの開発に成功した[H9 電気学会論文発表賞、H9 レーザー学会研究奨励賞、H9 有功賞]。この成果は、H14 年度において世界最高ピーク出力 0.55PW、パルス幅 33fs のレーザー光を発生につながった。</li> <li>・繰り返し数 100Hz、ピーク出力 0.5TW のチタンサファイアレーザーの開発に成功し、定常運転を行うことにより利用研究に供することができた[H10 有功賞]。</li> <li>・ピーク出力 15GW、パルス幅 660fs のレーザー光を発生させる半導体レーザー直接励起イッテルビウムレーザーの開発に成功した。</li> </ul>
b) X線レーザーに関する研究 (H9 年度～：光量子源システム研究グループ、H10 年度～：X線レーザー研究グループ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・極短パルスレーザー技術を用いて、実験室規模の小型X線レーザーを実現するための励起方式の研究や装置開発を行う。</li> <li>・繰返し動作が可能な小型装置を用いて、生体物質の観察に適した水の窓領域 (2.3nm～4.3nm) を目標に、当面は 10nm 以下までX線レーザーの短波長化を進める。</li> <li>・シード光増幅やX線レーザーの伝搬制御により、フルコヒーレントX線レ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型の極短パルスレーザー (最大出力エネルギー 18J) を用いたX線レーザー実験装置を開発し、過渡的衝突励起方式による短パルスX線レーザー発振を実現した[H12 有功賞]。</li> <li>・波長 13.9nm 及び 12.0nm で飽和強度に達するX線レーザー発振に成功し、さらに、波長 8.8nm においてレーザー発振に成功した。</li> <li>・X線レーザー媒質であるプラズマ特性の評価を行い、シード光増幅時のX線レーザー光の伝搬及び増幅を最適に制御するための知見を得た。この成果は、平成 14 年度の短波長域でフルコヒーレントなX線レーザーの実現につながった。</li> </ul>

研究課題、 (研究グル ープ)	研究目標	研究成果の内容 [業績、技術開発等]
	レーザーを実現する。	
<b>c) 超伝導高出力自由電子レーザーに関する研究</b> (H9 年度～：自由電子レーザー研究グループ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原研独自の液体ヘリウムの再充填が不要、半永久低温保持可能、かつ極めて運転保守が容易な、自立式無蒸発型ヘリウム冷凍機を備えたエネルギー回収型超伝導リニアック技術を開発し、FEL の電子源として実用化する。</li> <li>・原研が新たに発見した高縮重度超放射 FEL 発振の特性と可能性を明らかにし、出力 1kW の FEL を実現する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・専用の自立式無蒸発型ヘリウム冷却機を有する超伝導リニアックを開発し、高出力、高効率 FEL の発振に成功した。</li> <li>・高縮重度超放射 FEL 発振を発見するとともに、目標値 (1kW) を大きく上回る世界最高平均出力 2.3kW を達成した[H12 国際 FEL 賞、H13 高エネルギー加速器科学研究所例会西川賞、H13 原子力学賞、H14 文部科学大臣賞、H10、H12 有功賞]。</li> <li>・ほぼ 100% に近い世界最高の効率を有する独自設計のエネルギー回収超伝導リニアック (ERL) の開発に成功し、高効率で高出力の ERL-FEL の開発に目途をつけた。</li> </ul>
<b>(2) 光量子利用研究 (主要課題領域 2)</b>		
<b>a) レーザー加速に関する研究</b> (H9 年度～：レーザー加速研究グループ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高強度レーザーによる粒子加速機構を解明する。</li> <li>・レーザー航跡場加速原理に基づく GeV 級の電子加速を実現するための要素技術の開発を行う。</li> <li>・100TW レーザーを用いた GeV 級電子加速を実証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2TW、90fs レーザーを用いた予備実験でレーザー航跡場による 300MeV までの世界最高エネルギーインを得、その粒子加速機構を実験的に解明した。</li> <li>・マイクロトロン用の電子銃としてフォトカソード高周波電子銃を実用化した。照射用レーザーとして高安定 LD 励起 Nd:YLF レーザーを用いることにより、1% 以下の出力安定度をもつ高品質電子ビームの生成に成功した。</li> <li>・ガスジェットを用いたレーザー航跡場の励起実験で周波数干渉計により 20GeV/m の加速勾配の直接観測に成功した。</li> <li>・100TW レーザーを用いる 1GeV 以上の電子加速実証実験を行う準備が完了した。</li> </ul>
<b>b) 超高強度場科学に関する研究</b> (H9 年度～H11 年度：光量子基盤グループ) (H12 年度～：光量子利用研究グループ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・相対論的プラズマ発生のため <math>10^{19} \text{W/cm}^2</math> 以上の高強度場の実現を目指す。</li> <li>・レーザー誘起高輝度高エネルギー粒子発生の研究を行う。</li> <li>・指向性メガ電子ボルト級硬 X 線発生の研究を行う。</li> <li>・レーザープラズマからの高輝度放射線の利用研究を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2TW レーザーによる予備研究で、相対論的プラズマ発生のため <math>10^{19} \text{W/cm}^2</math> 以上の高強度場の実現を実証した。また、指向性のある 0.1MeV 級陽子の発生に成功した。</li> <li>・指向性のあるメガ電子ボルト級のエネルギーを持つ硬 X 線測定装置の開発を行った。</li> <li>・レーザープラズマからの高輝度放射線の利用研究で、接触型 X 線顕微鏡を開発し、それを用いてヒト染色体の観測に成功した。</li> </ul>
<b>(3) 光量子基盤研究及び支援業務 (主要課題領域 3)</b>		
<b>a) 光量子基盤技術に関する研究</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軟 X 線レーザー及び光学システムの構築に必要な光学素子として軟 X 線鏡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・X 線レーザーの開発に必要な多層膜反射鏡として従来のものよりも耐熱性を 200°C 以上向上させ、なおかつ高い軟 X 線反射率を有する Mo/Si 多層膜</li> </ul>

研究課題、 (研究グル ープ)	研究目標	研究成果の内容 [業績、技術開発等]
(H9 年度 ～：光量子 基盤技術研 究 グル ープ)	<p>域で高い反射率を有する多層膜光学素子を開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・軟X線領域(1keV～数 keV)で使用できる回折格子分光器を開発し、それを軟X線光学素子評価に応用する。</li> <li>・チタンサファイア結晶の拡散接合による直接接合技術やYb:YLF結晶などのフッ化物結晶の開発を行う。</li> <li>・励起状態の緩和過程の計測、プラズマX線源を用いたX線イメージングの基礎研究を行う。(注：平成12年度から光量子利用研究グループで実施)</li> </ul>	<p>反射鏡を開発した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・従来品より5倍以上低高次光低迷光の軟X線平面結像型ホログラフィック回折格子の生成技術を確立した。</li> <li>・軟X線域での光学材料・光学特性の評価を行うための国内では最も波長範囲の広い(0.7-25nm)軟X線光学素子評価装置を開発した。</li> <li>・新型軟X線円錐回折斜入射分光器を発明(3件)した[H13 有功賞]。</li> <li>・大型で高品質のレーザー媒質結晶を得るために、二重るつぼ法による高品質 Nd:ヤグ結晶の新育成手法を確立した。</li> <li>・大強度レーザー用レーザー媒質として必要な大型の結晶作製の技術として、チタンサファイアレーザー結晶の接合法を開発した。</li> </ul>
b) 光量子 シミュレー ション研究 (H9 年度 ～：光量子 シミュレー ション研究 グループ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高強度レーザーと物質との相互作用についての研究を、超並列大型計算機による大規模シミュレーションにより行い、レーザー加速、X線レーザー発振の実験支援を行う。</li> <li>・極短パルス・超高ピーク出力レーザーが作る超強電磁場中の物理現象について、新しい理論の構築、シミュレーション手法の開発、及び定量的評価を行い、実験研究を先導する。</li> <li>・光量子科学研究の基礎となる原子データベース・コードの開発、整備を進める。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高強度レーザー照射により、Larmor 放射や制動放射の物理過程において発生するX線が、中空原子等を用いるX線レーザーの励起起源として有望であることを明らかにした。</li> <li>・2次元ギガ粒子シミュレーションにより、レーザー光子の10倍以上のエネルギーの遠紫外線から軟X線が放出されることを見いだした[H11 有功賞]。</li> <li>・レーザーと薄膜との相互作用による高速電子生成ならびに荷電分離による高速イオン発生を明らかにし、サブペタワットレーザー照射により、イオンエネルギーは MeV からサブ GeV に達することを見いだした。</li> <li>・レーザーパルスの自己集束、自己変調や急峻なプラズマ密度分布がレーザーに変調を与え、航跡場を励起することを定量的に示し、レーザー加速実験解析に貢献した。</li> <li>・電子衝突及び光電界電離再結合励起方式によるX線レーザー発振について詳細シミュレーションに成功し、薄膜ターゲットの有効性を明らかにするとともに、実験指針を示した。</li> <li>・相対論的多電子配位計算コード grasp92 の計算手順を確立し、Pd(Z=46) から U(Z=92) までの Ni 様イオンの X 線レーザー遷移波長を計算し、X 線レーザー開発実験での計測結果とよく一致していることを示した。これにより、今後の短波長化におけるターゲットへの指針を示した。</li> </ul>

研究課題、 (研究グル ープ)	研究目標	研究成果の内容 [業績、技術開発等]
c) 光量子 科学研究の 計画立案・ 推進 *  (H9～H12 年度：研究 計画課、H13 年度～光量 子科学研究 推進室)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光量子科学研究の計画立案として、研究計画の取りまとめ、研究グループ及び関連部署間の調整、研究委員会の開催などを行う。</li> <li>・外部研究機関との連携・協力に関する業務として、シンポジウム及び研究会の開催、共同研究・協力研究の取りまとめ等を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・関西研究所（木津地区）の整備に関し、研究者の要望、研究施設の仕様、研究上の必要性などを取りまとめ、建家の建設など研究環境の整備に反映させた。</li> <li>・平成13年度からの共同研究、協力研究の研究課題募集を開始し、研究協力推進室と連携してその取りまとめを行った。</li> <li>・光量子・放射光研究委員会及びその専門部会の開催及び事務局として取りまとめを行うとともに、10年度から12年度にかけて（財）大阪科学技術センターに委託して光科学研究に関する利用ニーズ調査を行い、光量子科学研究推進に貢献した。</li> <li>・センターの情報発信のため、平成9年度にホームページを開設、光科学研究者データベースを整備し、光量子科学研究ネットワークを構築した。</li> <li>・光量子科学研究シンポジウムを3回開催した。国際会議は9年度にJoint ICFA/JAERI-Kansai International Workshop (ICFAと共に)、10年度に第6回X線レーザー国際会議(大阪大学と共に)を開催した。また、13年度に小型高強度極短パルスレーザー研究の現状と将来展望に関するOECD GSF開催に関し、我が国からの提案とその実施について協力した。</li> <li>・平成11年から3年間、ミシガン大学超高速光科学センターとの間で締結された情報交換協定の取りまとめを行った。</li> </ul>

### 3.2.2 所内外との研究協力

光量子科学研究推進室を設置し、外部研究機関との研究協力についての推進を図った。特に、光量子科学研究シンポジウムの毎年の開催、研究者ネットワークの整備による情報発信などの活動を通じて、光量子科学研究の中核機関としての役割を果すことができたものと考える。

利用研究については、外部との研究協力に重点をおいて実施した。外部との研究課題採択に当たっては、公募方式を採用し、幅広い分野からの研究を実施することができたまた、今後開かれた研究施設として、外部利用を進める上で、研究者とのネットワーク構築や利用ニーズの把握に役立った。

原研におけるTキュー・レーザー開発で得られた成果を活かして、小型の短パルス・高強度レーザーを開発し、それを半導体加工など産業利用に供する目的で、平成13年度に原研ベンチャー支援制度に基づいたベンチャー企業である(株)アライドレーザーが設立された。このことは、光量子科学研究で得られた成果の産業界への利用技術移転の魁として意

義深い。

### 3.2.3 人材育成

特別研究生制度を活用して大学院生を受け入れ、当センターにおいて若手の研究者を育成したことは、国内外のレーザー研究の活性化に寄与するとともに、研究のネットワークを広げることができた意義は大きい。また、そのうちから職員として採用し、研究活動の主力としたことは、博士研究員の採用と合わせて光量子科学研究を推進する上で、大きな役割を果したものである。

若手研究者の育成については大学からの協力要請も強く、連携大学院制度に基づき、平成13年度から岡山大学、京都産業大学と大学院生の教育に協力している。

### 3.2.4 研究資源の実績（平成9年度～13年度）

予算						人員	
認可予算（百万円）				外部資金（百万円）		職員 +その他* (人・年)	
研究費	運転費	研究設備費	合計	特別会計	その他 (受託・ 共研等)		
(1) 光量子源の開発（主要課題領域1）							
3,126	433	350	3,909	-	0	122	+ 45
(2) 光量子利用研究（主要課題領域2）							
423	0	292	715	-	9	28	+ 17
(3) 光量子基盤研究及び支援業務（主要課題領域3）							
716	45	2,862	3,623	-	0	64	+ 46

\*業務協力員、外来研究員、博士研究員、リサーチフェロー

### 3.2.5 国の研究開発計画／科学技術分野の学術的な進展への寄与

#### (1) 国の科学技術事業に大きな影響を及ぼした成果

高強度レーザーと薄膜との相互作用による高品質イオンビーム発生の可能性をシミュレーションにより明らかにした。この成果は、旧科学技術庁政策研究所の「小型陽子・重イオンシンクロトロン及び小型硬X線放射光源開発計画案」として取り上げられ、平成13年度より電源開発利用特別会計によるイオン源開発研究が、独立法人放射線医学総合研究所が取りまとめとなり、原研を含む8機関の共同研究として開始された。

#### (2) 科学技術分野の学術的な進展への寄与

ピーク出力100TWの極短パルス超高強度レーザー開発の成功は、これにより生成する超高温、超高強度電磁場によって新しい物理現象を解明する高強度場科学の新たな展開をもたらし、放射線生成のみならず、超高温プラズマの生成など基礎科学としての実現の期待

が高い。波長 8.8nm における発振や空間的にフルコヒーレントの X 線レーザー開発の成功は、これにより実現される高コヒーレント軟X線をして、高精度の X 線顕微鏡や干渉計測など新たな計測手法が提供できる。これを用いて生体物質を含む微細構造などの動的挙動観察など、材料科学、生命科学などに果す効果は大きい。完全エネルギー回収型超伝導リニアック自由電子レーザーの成功は、高出力、低光コストのレーザー光の入手を現実のものとし、單一同位体物質の創生や微細加工など材料科学や医療応用などの分野からの期待が大きい。

また、光量子源から発生する従来の放射線源にはない優れた特徴を有する高強度 X 線や  $\gamma$  線を用いることにより、原子力科学分野において核構造や核反応過程の基礎データ蓄積への適用が期待される。また、量子制御による化学反応制御など基礎科学への貢献も大きい。

さらに、レーザー駆動粒子加速研究によって実現される小型高エネルギー加速技術や高品质粒子ビームの提供により、科学研究や医療用の小型加速器の実現などに大きく貢献するものと期待される。

### (3) 他分野への波及効果とその事例

先進的レーザー及びそこから発生する放射線は、上記のように従来の放射線源にはない優れた特徴を持っていることから、原子力科学分野のみならず、ナノテクノロジー、物性研究、バイオテクノロジー、医療研究など多くの分野に先端的な計測手段や解析手法、加工手段を提供することができる。

光量子科学研究の成果を利用した事例としては、以下のとおりである。

- ・ X 線レーザー研究のために開発した平面結像型ホログラフィック球面回折格子を用いた軟X線分光器は東北大学多元物質科学研究所において高分解能電子エネルギー損失分光法を組み合わせることで、新機能が期待されている金属人工格子、クラスター複合膜、ナノ結晶、炭素フラーレン材料など総合的な電子状態解析に利用されている。今後、この分野での標準的な素子として利用されることを期待している。
- ・ 高強度場によるイオン発生は、ガン治療用加速器の小型化のための陽子、炭素イオン発生源として放射線医学研究所などとの共同研究を開始した。
- ・ 光源開発から得た成果として、高強度レーザーについて、原研ベンチャー支援制度に基づくベンチャーとして(株)アライドレーザーが発足し、電子材料の加工用レーザーの開発と利用について活動を開始した。センターとしては、その開発に協力しながら、活動を支援している。

今後、産業界や外部研究機関と協力して利用分野の拡大を図るとともに、積極的に技術移転を行い、次のような分野での利用に貢献する。

- ① 極微小領域の原子構造及び電子構造に関する計測
- ② 超短時間で起きる物理現象及び化学反応などの動的過程の解明

- ③ 生体物質の構造及び生体機能の解明
- ④ 単一同位体による熱除去に優れた電子素子材料や耐熱性光学素子の開発
- ⑤ 非熱過程による電子素子などの微細加工
- ⑥ 原子力分野では、高フルエンスレーザー光を用いた選択的かつ高効率化学反応を利用した放射線廃棄物の同位体分離処理
- ⑦ 原子炉解体における二次汚染のないデコミッショニング

### 3.3 放射光科学研究センターの研究開発実績

#### 3.3.1 主要課題領域の構成、研究開発目標及び得られた成果

研究課題、 (研究グループ)	研究開発の目標 [業務の目標]	研究成果の内容 [業績、技術開発等]
<b>(1) 放射光物質評価 (主要課題領域1)</b>		
a) 高圧下における物質構造に関する研究 (H9年度～H13年度) (極限環境物性研究グループ)	高圧極限環境下における物質の構造やふるまいと物性との相関を解明。液体、ガラス、アモルファス物質など複雑構造系物質の高圧下での構造解析並びにダイナミックスをその場観察。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・六方アンビル型高温高圧発生装置(BL11XU, BL14B1)、1500トン加圧プレス及びガス圧高圧装置(BL04B1)、ダイヤモンドアンビル装置(BL10XU, BL04B2)、可動型パリ・エジンバラ高圧装置を設置。</li> <li>・液体リンの高圧下での液体-液体の一次相転移を発見。</li> <li>・液体セレン・イオウ、GeO<sub>2</sub>ガラス、SiO<sub>2</sub>ガラスの高圧下の構造変化の研究が進行中。</li> <li>・ダイヤモンド生成過程のリアルタイム観測に成功。</li> <li>・ダイヤモンドと立方晶窒化硼素のハイブリッド化合物の合成に成功。</li> <li>・ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧下精密構造解析を実施</li> </ul>
b) 界面構造と機能との相関に関する研究 (H9年度～H13年度) (構造物性研究グループ)	固体／固体、固体／液体界面の構造解析し、機能・物性の制御、新物質創製へ。 MBEやMOCVD法での結晶成長中のその場観察し、結晶の成長機構を原子レベルで解明。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・X線非弾性散乱装置(エネルギー分解能130meV)、その場観察X線回折用MBE装置、多軸回折計を設置(BL11XU, BL14B1)。</li> <li>・Mn酸化物の電子励起の観測に成功。</li> <li>・GaAs(001)表面再配列構造の観測に成功。</li> <li>・PdのAu(100), (111)上成長過程を観察。</li> <li>・ガラスの中距離構造の解析に成功。</li> <li>・II-VI半導体混晶の乱れの存在を発見。</li> <li>・自動車触媒における触媒金属の局所構造解析を実施。</li> </ul>
c) 重元素物質の電子状態及び磁性に関する研究 (H9年度～H13年度) (重元素科学研究グループ)	強相関電子系ウラン化合物のヘビーフェルミオン超伝導、磁性超薄膜の巨大磁気抵抗特性等の物性の理解。 放射光光電子分光法により電子状態、磁気状態、最表面原子配置等に関するデータの体系化。(平成9年度～12年度) 遷移金属元素、希土類金属元素を含	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MCD装置(可変円偏光アンジュレータ光を使用)を設置(BL23SU)。</li> <li>・放射光X線回折を利用して“軌道”と“電荷”的秩序状態を観測する手法(共鳴散乱法)を開発し、その観測を行った。</li> <li>・遷移金属酸化物、希土類化合物、ウラン化合物に適用し、軌道と電荷の秩序状態の研究に対し関連学会から2つの受賞があった。</li> </ul>

研究課題、 〔研究グループ〕	研究開発の目標 〔業務の目標〕	研究成果の内容 〔業績、技術開発等〕
	む強相関電子系の電子自由度の秩序状態の観測。 核共鳴非弾性散乱により元素又は電子状態を特定したフォノン状態密度の測定手法の確立とその応用を目指す。(平成13年度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核共鳴散乱を利用した高分解能分光器を開発し、Cu、Al中の希薄なFe原子の局所振動状態密度の測定や陽イオン交換膜ナフィオン中のFeイオンの拡散状態の測定に成功。</li> <li>・反強磁性体<math>\text{FeBO}_3</math>の相転移に伴う超微細相互作用大きさを測定。</li> <li>・<math>^{121}\text{Sb}</math>、<math>^{149}\text{Sm}</math>、<math>^{40}\text{K}</math>の核共鳴励起に成功。</li> </ul>
<b>d) 強相関電子系の電子物性とフォノン物性に関する研究</b> (H10年度～H13年度) (電子物性研究グループ)	ペロブスカイト型遷移金属(d電子系)及び希土類化合物(f電子系)の強相関電子系について、光電子分光によって電子状態を調べ、強磁性体及び反強磁性体のスピノ・軌道モーメントの精密測定により磁気状態及び関連する物性を解明。 低温高分解能での光電子スペクトル測定により、フェルミ面上の電子状態密度とその組成・温度依存性、フェルミ面の形状、超伝導とその揺らぎを解明。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光電子分光装置を設置(BL23SU)。</li> <li>・Co磁性薄膜ミクロ構造の磁区観測に成功。</li> <li>・Yb化合物、層状Ce化合物、層状V化合物、1次元Niハロゲン化合物のフェルミ面、フェルミ準位近傍のスペクトル構造解明。</li> <li>・カーボン／シリコン系材料、重元素／軽元素複合材料のスペクトル構造を観測。</li> <li>・軟X線定在波スペクトル測定法による多層膜X線ミラーの実用的な層構造評価法を開発。</li> </ul>
<b>(2) 放射光物質創製(主要課題領域2)</b>		
<b>a) 表面に関する物理化学的研究</b> (H10年度～) (表面化学研究グループ)	光照射により表面で誘起される表面光化学反応の機構を解明。 新奇な表面光化学反応を探索。 DNAなどの生体分子の軟X線照射効果を明らかにすることにより、放射線誘起による突然変異やガン発生のメカニズムを分子レベルで解明。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面反応分析装置、生物分光装置の設置(BL23SU)</li> <li>・表面吸着系、凝縮分子の内殻電子励起による特定化学結合、分子軸の選択的切断に成功(分子ハサミ)。</li> <li>・酸素分子線によるシリコン単結晶表面の酸化過程で酸素分子の運動エネルギーに表面酸素量が増大する閾値があることを明らかにした。</li> <li>・放射光の直線偏光特性を利用し、窒化炭素薄膜中の窒素置換型グラファイト構造の存在を実証。</li> <li>・DNA、アミノ酸の生命関連分子の放射光軟X線照射で生成するラジカル種のその場観察に成功。</li> <li>・デオキシリボース分子の酸素原子の結合状態が、軟X線照射で<math>\sigma</math>結合型から<math>\pi</math>結合型に変化することを観測。</li> </ul>
<b>(3) 放射光技術開発及び支援業務(主要課題領域3)</b>		
<b>a) 放射光利用研究に係る技術開発</b> (H10年度～) (利用系開発グループ)	原研ビームラインの計画検討・設計、製作・調整、運転・維持管理及び性能向上。共用ビームラインの建設。ビームライン要素技術開発。 SPring-8で発生する制動放射線拳動の研究を行い、遮蔽設計技術の基礎整備に役立てる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原研ビームライン BL23SU、BL14B1、BL11XU、BL22XUを完成。</li> <li>・共用ビームラインは、平成9年度までに理研との共同チームで10本完成。その後、平成12年度までに4本完成。</li> <li>・遮蔽解析コードSTAC8を開発。すべてのビームラインの使用許可申請に必要な遮蔽</li> </ul>

研究課題、 〔研究グループ〕	研究開発の目標 〔業務の目標〕	研究成果の内容 〔業績、技術開発等〕
	整備に役立てる。	<p>評価資料を作成。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力基盤クロスオーバ研究において、核共鳴散乱用モノクロメータを開発。</li> <li>・高エネルギー制動放射線の計測器の開発と放射線発生率をシミュレートする解析法を開発。</li> </ul>
<b>b) 放射光利用 計画の管理</b> <small>* (H10年度～) (放射光業務 課)</small>	<p>SPring-8 の共用の促進。利用者本位の運営を目指す。</p> <p>SPring-8 を最大限に活用した科学技術の振興に寄与するため、研究協力を充実させる。</p> <p>科学技術分野における国際的貢献を図るため、国際交流を推進する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SPring-8 の運営業務の JASRI への委託手続き。</li> <li>・SPring-8 共用施設の建設整備の支援。</li> <li>・国際ワークショップの開催支援。</li> </ul>

### 3.3.2 所内外との研究協力

国内協力については、民間会社等とは共同研究を、大学の研究者とは協力研究を進めた。13年度からは協力研究・共同研究の一部は公募して原研の施設利用協議会を通して決定するようにしている。自動車排ガスの触媒の開発は、自動車会社との共同研究の成果である。

国際協力については国際協力では、先端放射光源施設 APS との研究協力のため、「シンクロトロン放射光研究協力に関する原研と米国エネルギー省 DOE との間における特定覚書取り決め」を平成13年5月に締結した。また、原研と欧州放射光施設 (ESRF) とのシンクロトロン放射光研究協力取り決めに基づき、共同計画の個別詳細について「付属書」を平成13年8月2日に締結した。これらの協定によって APS、ESRF の研究者と共同研究ができる環境が整った。

軟X線発光分光研究では、米国バークリー国立研究所 ALS の共同利用研究に参加するとともに、原研-米国 LBNL の国際研究協力締結に向け準備を進めた。

共用ビームラインについては、JASRI に利用研究課題を外部研究者と共同で申し込むことで SPring-8 の成果創出に貢献している。

原研所内では、物質科学研究部、先端基礎研究センター、光量子科学研究センター、材料開発部等と物質・材料研究について研究情報交換会を開催して研究協力を進めるとともに、物質科学研究部と使用済み核燃料の再処理過程における溶媒抽出分離法の開発を進めた。当センターは KEK PF の BL27 ビームラインの整備・運用を行い、このビームラインでは非密封 RI を使用できることから、物質科学研究部、先端基礎研究センター、環境科学研究部等の所内連携に貢献した。現在、物質科学研究部を中心に利用されていることから、今後の運用主体を移管することを検討する時期に来ている。

### 3.3.3 人材育成

平成9年の供用開始までは、原研ビームラインのみならず、共用ビームライン建設が原研スタッフの主たる任務であったが、ビームライン及び関連装置の整備が進み、供用後

の任務は利用研究にシフトしてきた。実績としては、平成13年度までに7研究・開発グループを組織編成した。この間、大学、民間等から研究グループリーダーを採用、また客員研究员をグループリーダーや研究者として迎え入れた。若手研究者においては、博士研究员制度や東北大大学院（平成9年）並びに姫路工大大学院（平成11年）との連携大学院制度によって学生を受け入れ、人材養成を進めてきた。また原研ビームラインを4本完成させたことから、今後研究者が研究開発に専従できる環境づくりを進めるため、ビームラインの保守・維持管理に対応する人員として技術系スタッフを充実させる必要がある。

### 3.3.4 研究資源の実績（平成9年度～13年度）

予算						人員	
認可予算（千円）				外部資金（百万円）		職員 +その他* (人・年)	
研究費	運転費	研究設備費	合計	特別会計	その他（受託・共研等）		
(1) 放射光物性評価（主要課題領域1）							
842	0	0	842	—	0	96	+ 42
(2) 放射光物質創製（主要課題領域2）							
168	0	0	168	—	0	22	+ 7
(3) 放射光技術開発及び支援業務（主要課題領域3）							
0	25,690	13,640	39,333	—	0	108	+ 11

\*業務協力員、外来研究員、博士研究員、リサーチフェロー

### 3.3.5 国の研究開発計画／科学技術分野の学術的な進展への寄与

#### (1) 国の研究開発計画に大きな影響を及ぼした成果

内閣府に設置されている「総合科学技術会議」が発表した「科学技術基本計画」（平成13年3月）は、今後、我が国が重点的に推進すべき研究開発分野として、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料の四分野を挙げている。放射光科学研究中心は、この世界最高性能の大型放射光施設 SPring-8 の果す役割は大きいという考えに基づき、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンスに関する研究をセンター発足当初から積極的に推進してきた。国が行う「ナノテクノロジー支援プロジェクト」を推進し、原研では、「原子層制御結晶成長過程のその場観察」、「電気化学における固／液界面構造解析」、「ナノファブリケーションシステムのリアルタイム制御・評価」の独自研究のほか、大学、国立研究所などのナノテクノロジー研究推進に貢献している。

#### (2) 科学技術分野の学術的な進展への寄与

① 液体リンの高圧下における液体一液体の一次相転移の発見は、液体には周期的構造がないので、その局所構造すなわち原子配置の変化は圧力や温度によって連続的に起こる、

という従来の常識的な考え方を覆すものであった。液体—液体1次相転移の実験的証拠を世界で初めて実験的に捉えることに成功した本研究は、Natureに発表され、構造不規則な相の間の1次相転移として気体—液体以外のものがあることなどを世界に先駆けて決定づけた点で極めて大きな業績である。

- ②窒素置換型グラファイト構造の存在の実証した研究結果は、Phys. Rev.誌の速報として発表された。このグラファイト構造の窒化炭素は理論的に半導体的な電子特性を持つことが予測されており、新しい半導体材料として注目を集めている。
- ③磁性と超伝導の相関は物性研究において近年注目を集め、磁気的な相互作用が超伝導の重要な役目を果していると言われている。常圧で超伝導を示すCeIrIn<sub>5</sub>と反強磁性体であるCeRhIn<sub>5</sub>に対して、両化合物のCe4f電子はほとんど局在しており、電子状態は似通っていることがわかった。強相関希土類化合物において、超伝導体にもかかわらずf電子が局在に近いことを示しているという新しい知見を得た。
- ④RIを線源とするメスバウア実験で29keVに原子核の励起準位があるにもかかわらず線源となる親核が存在しないK-40原子核を放射光によって励起すること成功したことによって、核共鳴散乱（非弾性散乱や前方散乱）実験によるK含有物質の物性研究が大いに進展することが期待される。

### (3) 他分野への波及効果とその事例

- ①自動車排ガスのためのペロブスカイト酸化物触媒の構造と触媒機能との関係を見出した研究は、排ガスの酸化還元雰囲気の変動に応じて結晶構造を変え、貴金属微粒子の粒成長が抑制される自己再生機能という新しい設計概念を触媒開発に対して与えたものであり、次世代の自動車排ガス浄化触媒として実用化されている。
- ②電気化学的手法によるLayer-by-Layer結晶成長のその場観察を可能にしたことによって、超高真空と異なる環境、つまり液体と固体が接する固液界面において真空中では見られない新しい物質構造が実現する可能性がある。これらの結果は、触媒、電池等エネルギー問題に関わる反応に重要な知見を与える。
- ③超音速酸素分子線によるシリコン半導体表面の酸化反応は、酸化反応を原子層のレベルで制御するために極めて有効で、シリコンに限らず、金属の表面酸化の制御にも応用できる。シリコン表面の酸化の制御は表面科学における興味にとどまらず、高集積LSIの開発に置いても重要なテーマである。
- ④DNA、アミノ酸などの生物関連分子の軟X線照射効果の研究では、生物に対する放射線効果を分子レベルで明らかにしており放射線により誘起される突然変異やガン化などの機構に関する分子レベルの重要な基礎データを得ている。今後、ゲノム分子生物学などの技術と連結することにより、放射線による損傷過程の理解が一層深まることが期待され、放射線の遺伝子への影響や低線量放射線の影響の実証的研究への波及が期待される。
- ⑤制動放射線挙動の研究において、ガス制動放射線検出器を用いて逆コンプトン散乱のGeV領域の高エネルギーフォトンを確認したその評価手法は、世界18機関の放射光施設

放射線物理研究者からなるワークショップ(米国アルゴンヌ研究所)で高い評価を受け、開発した制動放射線、光中性子を含めた遮蔽設計コードは、CLS(カナダ)やSLAC(米国)で使用されている。遮蔽設計評価手法の確立によって、SPring-8の円滑な運転、ビームライン建設及びビームラインの高度化に多くの貢献をしている。

#### 4. 評価結果

##### 4.1 関西研究所の全体概要に対する所見

光量子の高度利用は 21 世紀の科学技術発展を主導する主要な方向のひとつである。極短パルス超高強度レーザーと第3世代放射光のいずれも世界最高性能の光源を実現し、その利用研究を推進している研究所は世界に類がなく、関西研究所が光科学技術の中核的研究開発拠点として果す役割は大きい。

関西研究所では両センターとも最高性能の主要な基盤施設・設備の建設をスケジュールに従い完成させ、利用研究を本格化させ始めている。当初の研究開発の目標は達成されているものが多く、すでにそれらを利用した注目すべき研究成果が得られており、極めて順調に研究展開を図っていると言える。

今後の展開として、これらの光源や基盤技術を活用した利用分野の一層の研究の展開を期待する。特に、大型研究施設・組織の特徴を生かした先端的研究の推進を望む。両センターで利用できる光源の特質が異なり、利用研究・利用技術は相補的なものであるので、両センター間のより密接な交流が望まれる。光量子科学研究センターと放射光科学研究センターの掛け合わせにより関西研究所でしか実現できないような光源開発や利用も視野に入れ、真の意味での世界における「光」科学の牽引車となることを希望する。

光量子科学研究センターと放射光科学研究センターが密接に協力すれば、資金面や人的資源に関しても有効利用が行えるはずである。最近の放射光は、コヒーレンスの利用が可能になり出し、レーザー光は波長が短くなり、X線にまで及びつつある。両者を備えた関西研究所の利点を生かした研究の推進を期待する。

今後この最高性能の基盤施設・設備の有効活用によって、高度な研究成果が数多く得られると期待されるが、そのためには、体制面でのさらなる整備が必要である。外部との協力・連携については、原研の施設利用協議会の制度による協力・共同研究、さらに放射光科学研究センターが高輝度光科学研究センターに委託している共同利用制度や光量子科学研究センターのオープンラボを通じて、原研以外の研究者の英知をも吸収して広い科学研究への利用を展開するとしているが、その計画に大いに期待したい。関西研究所の世界最高性能の施設と設備を最大限に活用するには、内部スタッフによる研究を推進するとともに、オープンラボ化を積極的に進めて、外部研究者の参画を促すことが重要である。オープンラボでは、研究課題を必ずしも原子力研究に限定せず、波及効果の大きいものは取り上げていくべきであろう。そして、それらの成果による新規産業の展開を図る、世界に例のないすばらしい研究所になってほしい。

その際、光量子科学研究センターについてはレーザー技術総合研究所、大阪大学のレーザー核融合研究センターとの、放射光科学研究センターについては理化学研究所や高エネルギー加速器研究機構物質構造研究所などの役割の違いを明確にした上で、これらの機関とできるだけ幅広く連携していくことが効率的な研究の推進にとって重要である。

原子力科学技術を革新的に発展させるには、原子力に直結する分野の研究への取り組みが最重点であることは勿論であるが、長期的視野に立てば、原子力に関連する分野とその

周辺分野における研究も大きな貢献をすることが期待される。研究所としてどの範囲の研究までを実施するべきかについては議論のあるところであろうが、あまり限定的に考えると将来技術の芽を摘んでしまう懸念が生ずる。原子力二法人統合を控え、原子力研究への直接的な寄与が一層求められることになると思われるが、長期的展望に立って原子力研究に寄与する視点が肝要である。

## 4.2 光量子科学研究センターの研究開発

### 4.2.1 光量子源の開発（主要課題領域1）

#### (a) 研究開発課題の目的達成度（4.6\*）

(\* : 5点満点に対する各委員の評価点の平均。以下同じ。)

3つの型の先進的なレーザー（ペタワット級高ピーク出力レーザー、高輝度・高コヒーレンスX線レーザー及び高出力自由電子レーザー）の開発目標は概ね達成され、これらの基幹的設備をもつ光量子科学研究センターは光量子科学の分野で世界的にフロントランナーとしての位置を確保するに至ったといえる。

このように、光量子源開発のハード的側面に関しては充分目標を達成している。しかしながら利用するかという観点に立っての光源開発あるいは開発計画が行われたかという点では、若干不透明な部分もある。

#### (b) 研究開発実施経過の妥当性（4.2）

レーザーの開発にあたっては技術開発を図りつつ、レーザーの出力の増加、短波長化などを段階的に進め、着実に目標を実現させた。高ピーク出力レーザーでは平成9年度に発振させ、平成10年度にピーク出力100 TW、平成14年度には550 TWを達成した。X線レーザーの短波長化では、波長13.9 nm、12.0 nm さらに8.8 nm の発振を達成した。超伝導高出力自由電子レーザーでは当初の0.1 kWでの発振成功から、2.3 kWの高出力化を達成した。

挑戦的な目標を設定して研究が実施され、比較的臨機応変に戦略的に研究開発の展開が図られている。経費のかかる光量子源の開発が最重点課題であったので、研究資金が集中的に投入されたのは妥当である。外国人研究者の受け入れや博士研究員の採用、大学との連携など外部との交流も適切に行われている。ただ、研究員の数は、大学等と比べると多いので、有効に活用すれば、より成果があがると思われる。

なお、完成したペタワットレーザーの利用が遅れているのは残念である。利用グループとの有機的な連携を望む。また、自由電子レーザーの利用研究への対応を進めることが必要である。

#### (c) 研究開発の成果の普及・波及効果（4.4）

高ピーク出力レーザーは平成12年度から利用運転が開始され、レーザー加速などの実

験が進んでいる。他のレーザーも光源開発とともに利用研究が始まっており、X線利用では極短時間分解構造解析、コヒーレントX線イメージングなどが行われている。これらは従来の光源では観測が不可能であった領域の研究であって、基礎科学から産業応用まで広く役立つ。

特に、超伝導高出力自由電子レーザーにおける高縮重度超放射発振やエネルギー回収型超伝導リニアックはインパクトの大きい成果であり、その波及効果も大きい。

成果の発表状況については、多くの論文が発表されているのに比べて、出願を含めて特許の数が若干少ない。新規光源の開発が主要課題であるから、要素技術などは積極的に特許化すべきである。

#### (d) 将来への研究開発の展開 (4.2)

これまでの実績から判断すれば、1 PWの高ピーク出力レーザーの実現、X線レーザーの水の窓領域への短波長化、自由電子レーザーの 10 kW以上への高出力化など、レーザーの高度化・高性能化は解決すべき課題はあるものの、着実な進展を期待する。X線レーザーの短波長化は利用面で特にインパクトが大きい。

今後の展開では、ハード面での研究開発計画に重心を置いているが、光源をどのように利用するかをあらかじめ考慮した計画性が必要であろう。計画の策定にあたっては、①これらを利用した応用研究、②産業応用に際して必須となる高繰り返し化、長期安定化、小型化のための技術開発、及び③新しい材料や原理に基づく新しいレーザー発振・增幅・制御の研究開発が重要になる。

また、光量子源の高品質化だけでなく、光源の高効率化も積極的に進めるべきである。これらの光源は高性能化を目指すため電力効率をあまり考えずに開発されてきているが、環境問題を考えるとあまり好ましくない。その中で自由電子レーザーの高効率化は快挙である。他の光源においても、この観点からの開発も望まれる。

#### 4.2.2 光量子利用研究（主要課題領域 2）

##### (a) 研究開発課題の目的達成度 (3.7)

レーザー加速に関する研究では、ガスジェットを用いたレーザー航跡場の励起実験で 20 GeV/m の加速勾配を直接観測し、超高強度場科学に関する研究では、 $10^{19} \text{ W/cm}^2$ 以上の高強度場の生成を実証するなどの成果を得た。

GeV級電子加速の実証については、移転やその他の事情により目標達成が遅れているが、研究の進め方を再検討する必要があると考えられる。超高強度場科学に関する研究については、研究目標が超高強度場の物理学の研究の推進であるのか、超高強度場を用いた新たな光源開発にあるのか、重点をはっきりした方がよい。また、X線の発生に関しては、成果は出ているが、それにふさわしい利用研究を考える必要がある。顕微鏡に関しては、放射光での実験と対比してレーザーを使用した特徴を出せるとよい。

### (b) 研究開発実施経過の妥当性 (3.6)

レーザー加速に関する研究では、実証実験ができなかつたが、整備がすでに完了しているので今後に期待したい。また、活用が遅れているペタワットレーザーについても、早急に利用研究を開始するべきである。

超高強度場科学に関する研究における2次ビーム発生研究では、その先の2次ビーム利用の展望があまり明確でない。さらに、レーザープラズマからの高輝度放射線の利用研究は、単発的でなく、今後の系統的発展のベースを築くいくつかの基幹的研究を指向すべきであろう。

この領域の研究開発は基礎物理との関連が強いので大学等の外部の研究グループとの連携・協力体制を一層強くするのが望ましい。利用研究は、もっと所外との共同研究が増えてもよい。

### (c) 研究開発の成果の普及・波及効果 (4.0)

成果の公開・発表は、十分に行われている。外部との共同研究が質的にも量的にも増えれば、成果の普及及び波及への効果も大きく、そのための準備は整いつつある。

レーザー加速の技術は将来的に加速器の質的な変革をもたらす可能性がある。小型加速器のレーザー駆動イオン源開発が進展すれば、ガン治療に役立つ。ガン治療用小型加速器については、放射線医学総合研究所と共同研究を開始しており、医療分野への貢献として評価できる。ただ、現在の成果では高強度レーザーによって発生するイオンは非常に幅広いエネルギー分布をしているので、実用化のためにはエネルギーのモノクロ化など多くの技術課題が残されている。

### (d) 将来への研究開発の展開 (4.0)

非常にユニークな光源開発に成功していることから、今後応用の創出が極めて重要である。産業界に広く成果を公表し、共同研究を積極的に推進することが望まれる。その際、①大学や産業界と連携して原研独自の新しい技術や知識の産業応用への展開と、②科学技術に貢献するための特長ある光量子源の利用技術の開発、発展、および蓄積が重要である。

一言で光量子利用研究と言っても、電子ビーム加速や2次ビーム生成などはある種の光源開発なので、物質へのレーザービーム照射などの利用研究とは異なる側面を持っている。前者の利用研究に関しての計画は、その先のビーム利用の展望が不透明な部分があるが、単にフィジビリティ研究で終わらないような取り組みが必要である。後者の利用研究も、単発的でなく、今後の系統的発展のベースを築くいくつかの基幹的研究を指向すべきであろう。

自由電子レーザーの利用では、ダイオキシンの分解や原子炉の切断等の実用化はかなり先であろう。もっと、現実的な利用を考えるべきである。エネルギー回収型自由電子レーザーの加速器技術は放射光用加速器にも生かせるであろう。

プラズマX線光源の高エネルギー化に向けて、なお一層の努力を期待したい。高強度場

科学は未踏の領域の科学であり、基礎物理としてまた応用の観点からも将来的に極めて魅力的研究分野である。また、研究資源の整備を図り、共同研究の実を挙げるよう要望する。

#### 4.2.3 光量子基盤研究及び支援業務（主要課題領域3）

##### (a) 研究開発課題の目的達成度（4.2）

光量子基盤技術研究では高性能の光学素子が開発され、またレーザー結晶の育成・接合技術が確立され、実験システムの高度化に大きく貢献した。光量子シミュレーション研究ではレーザー加速、X線レーザー発振シミュレーションなどの基本コードや高強度場科学のための2次元ギガ粒子シミュレーションコードが開発され、実験の解析・予測に役立った。これらは当初の計画の目標を十分に達成しているといえる。

光量子科学研究の計画・立案及び推進では、センターの要としての役割を十分に果している。なお外部研究者の施設利用の便宜のために必要な情報の広報にも努めてほしい。

##### (b) 研究開発実施経過の妥当性（3.9）

光量子シミュレーション研究が超高速、あるいは超高密度の複雑な現象の実験を先導し、実験の指針を与えており、実験とシミュレーションがうまくかみ合って成果をあげている。大学や企業でもできるテーマも含まれており、大学や企業との交流を積極的に進め、効率的研究の推進を図ることが望まれる研究領域である。その際、本グループの強みは、結果をすぐ反映できる高強度レーザー開発グループがすぐ近くにある点であり、そのことを十分に活用することが重要である。光量子シミュレーション研究は同様な研究が国内外にあり、共同研究などを通してコードの比較などによる信頼性の評価を進めるとよい。

光量子シミュレーション研究では、非常に高性能の計算機を導入しているので、当面の課題以外にもその性能を使って各種の研究に広く利用できるような体制が望まれる。放射光グループとの連携も効果的である。

光量子科学研究シンポジウムなどの開催、研究者ネットワークの整備などは情報の発信・交換に寄与している。このように研究支援業務としては順調に推移しており、問題はない。

##### (c) 研究開発の成果の普及・波及効果（4.3）

光量子基盤技術研究によって開発された高性能の光学素子などは、広くX線光学・X線分光学の分野で役に立つ。また、光量子シミュレーション研究における大規模シミュレーションの手法も広く役立つ。医療用加速器のイオン源開発の共同研究が立上ったことは、大変意義深い。これが実れば、今後のセンターと外部の共同研究の典型例のひとつになる。

##### (d) 将来への研究開発の展開（4.0）

産学との連携研究・共同研究を推進するために、オープンラボを整備することが重要で

ある。光量子シミュレーション研究の拠点としての一層の発展が期待できる。

ただ、将来に向けて従来の目標とほぼ同じ目標を掲げているが、もう少し新しい展開もあった方がよい。

#### 4.2.4 人材育成（4.0）

比較的新しい分野であるが、有能な人材が多数育っている。博士研究員を採用して人材育成を図っており、実績をあげている。特別研究生など大学との共同研究を通じたプレドクの受け入れも考えられる。連携大学院制度により、大学院生の教育にも貢献しているが、光量子科学研究センターの資源の大きさから判断すると、まだ不足している。

常に意欲的な目標を掲げて研究開発に邁進できる環境を維持することが重要であり、そのためには、研究者が状況に応じて臨機応変に軌道修正できるような柔軟なシステムが必要である。

#### 4.2.5 その他の所見

- 上記以外の所感、指摘、提言等、各委員のコメントを以下に列記する。
- 光量子科学研究センターでは、光量子源として世界最高性能をもつ装置の開発が行われ、そのこと自体は高く評価されることであるが、さらに一歩進んでこのセンターオリジナルの原理による光量子源の開発にも関心を向けてほしい。
- 近年とくに博士研究員の数が増え、これらの若手研究者の就職先は大きな社会問題となる可能性が高い。本センターは産官学が密接に交流する場としてユニークな組織であることから、これら若手研究者の流動性を高めることに積極的に配慮するなら、人材育成とわが国の科学技術の発展に寄与すること大であると考える。
- 光の利用よりも光源の開発に、研究成果は著しいように見受けられた。利用に関しては、加速器としての利用に集中して、他の分野に関しては、大学や放射光利用者等の利用者との連携のみにとどめた方が効率的ではないか。
- 放射光グループとの連携はぜひ実現してほしい。レーザー総研、阪大のレーザー核融合研究センターなどで行われている要素技術開発、利用研究と光量子科学研究センターで行われる要素技術開発、利用研究の独自性、相補性、協力関係などをもっと一般に理解できるような形で公表してほしい。
- 光量子科学研究センターと放射光科学研究センターの共通の技術開発があると考えられる（例えばX線光学系）ので、それらについては共同で推進することが効率的である。
- これまで装置開発に重点があり、その利用が遅れているように思われる。研究・開発の進展状況からやむを得ない点もあるが、利用の結果を装置開発にフィードバックすることにより、より優れた研究・開発が進展すると思われる所以、今後もセンター内全体での連携を望みたい。また、利用に関しては、外部の研究者の協力によって、内容も充

実すると思われる所以、今後の発展を期待したい。

- 優れた性能をもつ極短パルス高ピーク出力レーザー、X線レーザー、および超伝導高出力自由電子レーザーが研究開発・整備されたのであるから、今後は、広く大学や産業界と連携して、世界の冠たる光量子源に関する研究所として、①新しい光量子源を目指した研究開発、および、②開発した技術や得られた知識の産業応用への展開を、今後持続的に研究開発し、日本発の先端科学技術や新規産業開発を牽引することを期待する
- 研究分野にもよるが、外国人受け入れに関する規制を緩和することを望む。ITBL(IT-Based Laboratory)との連携強化を期待する。X線利用に関して、X線レーザーと放射光(SPring-8)との分担・協力関係を明確にする必要があるだろう。
- 人材育成はセンターから外にどれだけの研究者が育ったかが、一つの指標となる。今後5-10年の人的構成を考えて人材育成を行うべきである。そのためには、センター全体の人的構成を展望し、長期計画を立てる専門的組織が必要である。
- 原研内外との協力・連携を推進することは、このような大型研究施設にとって必須であるが、根幹となる技術（例えば高強度レーザー用単結晶育成など）は、外部のみに依存せず、所内でそのような技術の開発部門を育てることも重要である。

#### 4.3 放射光科学研究センターの研究開発

##### 4.3.1 放射光物質評価（主要課題領域1）

###### (a) 研究開発課題の目的達成度（4.7）

立ち上げの期間にもかかわらず、放射光を用いた物質評価の研究で顕著な成果が見られる。

高圧下における物質構造研究では、液体リンについて高圧下で液体—液体の一次相転移を発見している。界面構造と機能との相関に関する研究では、自動車排ガスのためのペロブスカイト酸化物触媒の構造と触媒機能の関係の解明をしている。重元素物質の電子状態と磁性に関する研究では、共鳴非弾性散乱により遷移金属酸化物、希土類化合物、ウラン化合物などで軌道と電荷の秩序状態の観測を行っている。また核共鳴散乱法により従来放射性同位元素でしか研究できなかった核種についての研究が可能になった。強相関系の電子・フォノン物性に関する研究では、Niハロゲン錯体の金属—絶縁体転移、スピナー電荷分離についての知見を得ている。これらの成果は世界的に高いレベルのものであって、その達成度は高い。

###### (b) 研究開発実施経過の妥当性（4.3）

当初、研究開発目標の達成に最適化した高圧発生装置、X線非弾性散乱装置、in situ MBE装置、多軸回折計、MCD装置、光電子分光装置などを設計、製作した。これらの装置は高レベルの性能をもっており、目立った成果を生むもとになっている。

専任スタッフは少ないが、共同研究者や客員スタッフを含めて、研究を戦略的、集中的に進めている。センター内の4つのグループは円滑に協力しており、研究効率は高い。産学協同の研究を積極的に実施しており、自動車排ガス処理用触媒の研究はその成果である。

ウラン化合物などアクチノイドの研究ができる環境が整備されたので、今後、東海研究所など関連する研究を実施している原研内の他部門との連携を積極的に推進することが重要である。

なお、重元素科学用ビームライン BL23SU からの放射光の強度がかなり弱いと聞いているが、もしそうであれば早急に改善を図る必要がある。

#### (c) 研究開発の成果の普及・波及効果 (4.5)

論文数は実験装置の立ち上げに従い、年次的に増加している。成果は多数の国際的学術誌に発表されており、成果の普及・波及効果も十分である。

利用研究では物質の物性発現機構が各種条件下で解明され、基礎科学に貢献している。一方、超伝導材料、磁性材料、超硬質材料などの機能性材料、新規の触媒、環境汚染物質などの研究はエネルギー、環境やナノテクノロジーの分野に役立っている。

また、SPring-8 全体の円滑な運営に対しても、貢献は大きい。

#### (d) 将来への研究開発の展開 (3.9)

今後の研究を展開するための研究基盤は整備されている。原研ビームラインの4本目の量子構造物性用ビームラインが平成14年3月に完成し、非密封RIを使用できるRI棟も利用可能になったので、今後アクチノイド元素を含む物質の研究が進展することが期待できる。

将来的な研究目標の設定にあたっては、従来の研究の一層の展開を図るとともに新たな発想に基づく原研ビームラインならではの研究をめざしてほしい。

なお、BL23に関しては、アンジュレータが特殊であるためにその調整にかなりの時間を費やしたが、今後は業績を効率よく出すためにビームタイムを重点的に配分するのがよい。

### 4.3.2 放射光物質創製（主要課題領域2）

#### (a) 研究開発課題の目的達成度 (3.9)

本領域では、放射光を利用しての物質創製という方向付けとともに、反応現象、新奇状態などの観測も重要な仕事である。表面に関する物理化学的研究では、酸素分子線によるシリコン単結晶表面の酸化過程で酸素分子の運動エネルギーには吸着酸素量が増大する閾値があることを見出している。一方、DNAの軟X線照射効果の研究では、短寿命DNAラジカルが生ずるのを観測している。このように新しい知見を得ており、全体として優れた成果があがっている。人員、経費に比して多くの成果をあげているといえる。

ESRと放射光を組み合わせたその場観察の装置が駆動したのは画期的である。原研内外

の研究者全体の財産として、有効利用してほしい。

ただし、物質創製という課題から考えると目標が漠然としているので、分かりやすいように整理する必要がある。その中で、分子ハサミは放射光の特長を生かした成果と評価できる。

#### (b) 研究開発実施経過の妥当性 (3.7)

固体表面での化学反応をその場観察できるユニークな実験装置を完成させて、独自の研究展開を図っている。また、軟X線照射して生成したラジカルをその場観測するため、ビームラインに電子スピン共鳴分光装置を組み込み、DNA ラジカルの観測に成功した。

“創る”という目標に対して、分子はさみや DNA 操作など放射光の特徴を生かした方法論を実現していることは評価されるが、放射光を物質創製プロセスの道具とするのであれば、得られている成果はその目標に対してまだ隔たりがある。研究の展開方法を再度検討すべきではないだろうか。

さらに、共同研究、博士研究員の受け入れなどをもっと積極的に推進する必要がある。特に、放射光を利用しての物質創製を推進するには、関連化学反応の専門家との緊密な連携が必要である。

#### (c) 研究開発の成果の普及・波及効果 (4.0)

成果は多数の国際的学術誌に発表されており、成果の普及・波及効果も十分である。

シリコン表面における酸化反応は、高集積 LSI の開発の重要なテーマである。DNA の損傷・修復機構の研究は放射線の生体影響の解明に寄与する。分子ハサミの成果は、他の分野にも波及効果がある。

#### (d) 将来への研究開発の展開 (3.6)

軟X線による内殻励起反応を利用する物質創製・改質の研究は、産業応用の観点から重要であるので、積極的に推進すべきである。DNA の損傷とその修復の研究は原研にとって重要なテーマであるが、解明すべきことが多いので、外部の研究グループとの緊密な協力が必要であろう。

物質創製は今後の重要な分野と目されているので、大学や産業界などの外部機関との連携を一層深め、研究の方向や理念、目標などについて広い視野に立って議論されることを期待する。また、原子力との関連を検討する必要があろう。

### 4.3.3 放射光技術開発及び支援業務（主要課題領域 3）

#### (a) 研究開発課題の目的達成度 (4.3)

共用ビームラインの建設整備を行うとともに、原研の 4 本のビームラインを高性能の仕様で着実に建設し立ち上げた実績は、高く評価される。

ビームラインの遮蔽設計手法を確立し、SPring-8 全体のビームラインに適用して、その建設に重要な役割を果した。なお、BL23 の軟X線強度が弱いと聞いているので、そうであれば早急に対策を講ずるべきである。

#### (b) 研究開発実施経過の妥当性 (4.1)

放射光科学研究センターは SPring-8 の供用開始までは SPring-8 施設の建設に携わり、その後はビームラインの立ち上げに尽力しており、SPring-8 の基盤整備への貢献度は極めて高い。

計画的なビームライン建設、支援業務の中での独創的な研究の展開、国際交流ワークシヨップの開催など、適切に進められたと判断される。

今後は、研究資源を十分に活用するための運用システムの確立が課題であり、従来のハード開発とは異なる柔軟な研究運営・管理システムが期待される。また、(財)高輝度光科学研究センターとの連携を研究及び業務の両面において密接にしてほしい。

#### (c) 研究開発の成果の普及・波及効果 (4.1)

成果は多数の国際的学術誌に発表されており、また、支援業務の内容については、SPring-8 の広報誌に報告されており、成果の普及・波及効果は十分である。

また、放射光技術開発では、開発研究の進展に伴い、特許出願の件数が増えているのは望ましいことである。

なお、利用環境としては整ってきてはいるが、今後はこれをできるだけ十分に活用するために外部の利用者にも容易に利用できるようなシステム作りが必要である。

#### (d) 将来への研究開発の展開 (3.7)

原研ビームラインと共用ビームラインを稼動させ、次期 5 カ年計画に大きく貢献した。今後は、放射光の応用という視点から、新材料の創製や新機能構造の開発などの研究に対する支援を期待する。将来的に原研の 4 本のビームラインの高度化を強力に推進し、より効果的な利用研究の展開に貢献してほしい。人員などの制限はあるが、新しい専用ビームラインの建設も視野に入れてほしい。特に、“創る”という目標のための専用ビームラインがあつてもよいと思う。

また、研究用光源の開発と利用において、光量子科学研究センターと協力する学際研究を今後発展させることも重要である。

今後 10 年間のスケールで、装置開発、維持および装置利用を考えた場合、研究支援業務の重要性は非常に高い。特に、内外との協力・連携をどのように維持していくか、ハードとしては、装置改良に欠かせない基盤技術の継続的発展、ソフト面では長期的かつ全体的視野に立った人材養成と人材配置が重要である。

#### 4.3.4 人材育成 (3.8)

全体的に原研専従の研究者の数がやや少ないようだが、物質創製（主要課題領域 2）な

どで、原研専従の研究者の早期育成を期待する。

博士研究員を採用して人材育成を図っており、実績をあげているが、数が不足しているのは否めない。その充足を図るとともに、特別研究生など大学との共同研究を通じたプレドクの受け入れも考えられる。

#### 4.3.5 その他の所見

上記以外の所感、指摘、提言等、各委員のコメントを以下に列記する。

- これだけ大規模な費用が費やされた装置なので、公表される成果がもっとあってもおかしくはない。外部の研究者に利用しやすい装置として、さらに利用の普及を図る必要がある。
- マシンタイムの制約が非常に厳しいという印象をもっている。これは研究の質の観点から問題である。単発的テーマを受け入れるより、年度の当初に、外部からのテーマのうち良いと思われるテーマを選択し、原研のビームライン担当者を中心として一つの研究グループとして研究を進めるような体制は取れないだろうか？ そのような外部の研究者を客員研究員のような位置付けにするのもよいのではないだろうか。 原研のパートナーマネントの研究員だけではマンパワー不足と高齢化に伴うマンネリ化というような問題も発生する可能性がある。その意味でも絶えず1テーマ当たり1-2名のポスドクや客員研究員が加わり、そしてそのような研究者が入れ替わることにより研究グループのテーマも変わり、絶えず活気に満ちた研究推進ができる。現時点では、光源の新規性と高性能性で研究の質を保てるが、光源が、“それほど真新しいもの”ではなくなる時期は、それほど遠い将来ではない。ぜひ、絶えず前進する姿勢を忘れないでほしい。
- SPring-8 の中で物質科学を原研が十分担っている。しかし、研究すべき分野は非常に幅広いので、原研のみではすべてをカバーするのは不可能である。原研がやるべきことをしぼった方がよい。そのために、外部との連携は重要であるので、さらに進めるべきである。理論部門は原研にしかないので、SPring-8 全体をカバーするように共同研究を進めてほしい。
- (財)高輝度光科学研究センターなどの外部との連携によって、原研の研究及び業務を重点化した方がよい。
- 物質科学の COE として、一層の発展を期待したい。そのためにも、原研内での連携（中性子、光量子）を進め、他機関との連携もこだわりなく行ってほしい。一方で、理化学研究所や物性研究所など他の物質科学 COE との間の役割の明確化が必要である。
- SPring-8 などの大型施設では、装置の建設開発と利用研究は不可分であり、利用研究の結果から装置の開発へのフィードバックが重要である。放射光科学研究センターの研究開発は、この観点からは十分な成果をあげており、今後も装置の向上につながる研究開発も重視してほしい。
- 原子力研究と関係分野の研究を今後ともバランス良く進められることを期待する。また、

大学や光量子科学研究センターとの協力研究ではコンプトン $\gamma$ 線による核物理研究の展開に今後寄与することを期待する。その上で、より広い枠組みの中で光核物理が発展するものと期待している。

- 1) 原研の研究として、原子力とのつながりや大学などとの違いを強調するあまり、放射光の特徴を生かした、効果的利用をゆがめることがないよう留意すべきである。2) 放射光科学研究センターの研究開発が、法人化後の大学などでの基礎研究を圧迫するものであってはならない。むしろ原研と大学などがともに活性化する方策があるはずで、両者が研究を通してその方策を模索する場としてのセンターの位置付けが重要となる。
- ”原子力”的イメージは国民に対して、発電所の事故や、汚染事故などの記憶も伴い、また、学問的にもすでに古い研究の感があり、最先端の研究を行う研究所のイメージと合致しない。”原子力に特化した研究を最重点に”という表現が感覚的に本当に研究所の使命と一致するのであろうかと疑問に思う。

## 5. おわりに

日本原子力研究所における研究開発部門のひとつである関西研究所の光量子科学研究中心及び放射光科学研究中心について、研究開発実績の事後評価として、過去5年間の研究開発実績の評価を実施した。

両センターの研究開発の実績については、評価期間において、世界最高性能の先進的レーザーと第3世代放射光光源の研究開発が概ねスケジュール通りに実施され、所期の目標が十分に達成されたことを確認した。また、今後の課題として、特に開発された光源の利用研究の展開における研究協力・連携の重要性について、委員から種々の貴重な助言とコメントが寄せられた。まず、両センター間の協力関係を強化することが必要である。これはX線レーザーの短波長化が図られてきて、放射光との相補的な技術開発・利用研究ができるようになったためである。今後、原子力科学研究を重点的に推進するには、原研内での一層の連携が望ましい。原研内で行われている中性子線利用研究と相補的関係にあるのは言うまでもない。さらに、幅広い分野の利用研究への対応策として提示された“開かれた研究所”としての体制を整備するオープンラボの構想に対し、その積極的な取り組みを歓迎する意見が多数あった。

本専門部会による事後評価の結果が、今後の関西研究所の研究開発の展開に役立てられることを、委員一同心から期待する。

## 別表 光科学研究専門部会評価結果（評価点）一覧

## 光量子科学研究所センター

主要課題領域	評価項目	評価点*
<b>光量子源の開発</b> (主要課題領域 1)	(a) 研究開発課題の目的達成度	4.6
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	4.2
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.4
	(d) 将来への研究開発の展開	4.2
<b>光量子利用研究</b> (主要課題領域 2)	(a) 研究開発課題の目的達成度	3.7
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	3.6
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.0
	(d) 将来への研究開発の展開	4.0
<b>光量子基盤研究及び支援業務</b> (主要課題領域 3)	(a) 研究開発課題の目的達成度	4.2
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	3.9
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.3
	(d) 将来への研究開発の展開	4.0
	人材育成	4.0

## 放射光科学研究所センター

主要課題領域	評価項目	評価点*
<b>放射光物質評価</b> (主要課題領域 1)	(a) 研究開発課題の目的達成度	4.7
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	4.3
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.5
	(d) 将来への研究開発の展開	3.9
<b>放射光物質創製</b> (主要課題領域 2)	(a) 研究開発課題の目的達成度	3.9
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	3.7
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.0
	(d) 将来への研究開発の展開	3.6
<b>放射光技術開発及び支援業務</b> (主要課題領域 3)	(a) 研究開発課題の目的達成度	4.3
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	4.1
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.1
	(d) 将来への研究開発の展開	3.7
	人材育成	3.8

(\* 5点満点に対する各委員の評価点の平均値)

# 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	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
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	$s^{-1}$
力	ニュートン	N	$m \cdot kg/s^2$
圧力、応力	パスカル	Pa	$N/m^2$
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
工率、放射束	ワット	W	$J/s$
電気量、電荷	クーロン	C	$A \cdot s$
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	$\Omega$	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	$V \cdot s$
磁束密度	テスラ	T	$Wb/m^2$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr$
照度	ルクス	lx	$lm/m^2$
放射能	ベクレル	Bq	$s^{-1}$
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
$10^{18}$	エクサ	E
$10^{15}$	ペタ	P
$10^{12}$	テラ	T
$10^9$	ギガ	G
$10^6$	メガ	M
$10^3$	キロ	k
$10^2$	ヘクト	h
$10^1$	デカ	da
$10^{-1}$	デシ	d
$10^{-2}$	センチ	c
$10^{-3}$	ミリ	m
$10^{-6}$	マイクロ	μ
$10^{-9}$	ナノ	n
$10^{-12}$	ピコ	p
$10^{-15}$	フェムト	f
$10^{-18}$	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
1	10.1972	0.224809			
9.80665	1	2.20462			
4.44822	0.453592	1			
1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1	

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV
1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>	1 cal = 4.18605 J(計量法)
9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>	= 4.184 J(熱化学)
3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>	= 4.1855 J(15 °C)
4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>	= 4.1868 J(国際蒸気表)
1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>	仕事率 1 PS(仏馬力)
1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>	= 75 kgf·m/s
1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1	= 735.499 W

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>	1	1	100	
3.7 × 10 <sup>10</sup>	1		0.01	1	

照射線量	C/kg	R
1	3876	
2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1	

線量当量	Sv	rem
1	100	
0.01	1	

(86年12月26日現在)

光科学研究専門部会評価結果報告書（平成14年度事後評価）

R100  
古紙配合率100%  
白色度70%再生紙を使用しています