

1. 施設報告

放射光科学研究施設長 村上 洋一

1-1. 全体報告

2015年度のフォトンファクトリー（Photon Factory, PF）の現状、将来計画関連事項などについて報告する。2015年度はPFにとって重要な年となった。その理由は、PF将来計画が大きく見直されたからである。そのPF将来計画の進捗状況は、PFの運営体制・方針、役割に関する事項と共に、以下に報告する。また、今後重要となる産業利用についても述べる。

（以下の報告は、2015年度のPFニュースの施設だよりに執筆した文章を加筆・修正したものである。）

1. PFの運営体制・方針

PFの運営は、物質構造科学研究所放射光科学第一研究系・第二研究系と加速器研究施設加速器第七研究系が協力して行っている（図1-1）。放射光科学研究系では、機能別に3つのグループレイヤーに分けて運営を行っており、図2-1では色分けして示している。（Beamline Group Layer（黄色）、Engineering and Administration Group Layer（橙色）、Working Group Layer（紫色））。2015年度よりEngineering and Administration Group Layerの中に、産業利用促進グループを設置した。グループリーダーは、木村正雄教授である。これにより、先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業をはじめとするPFにおける産業利用が、さらに大きく拡がることを期待する。一方、加速器研究施設加速器第七研究系の中にも、新たに光源第七グループを設けた。本グループでは、グループリーダーの加藤龍好教授のもとで、挿入光源や自由電子レーザー（FEL）に関する研究開発を行った。

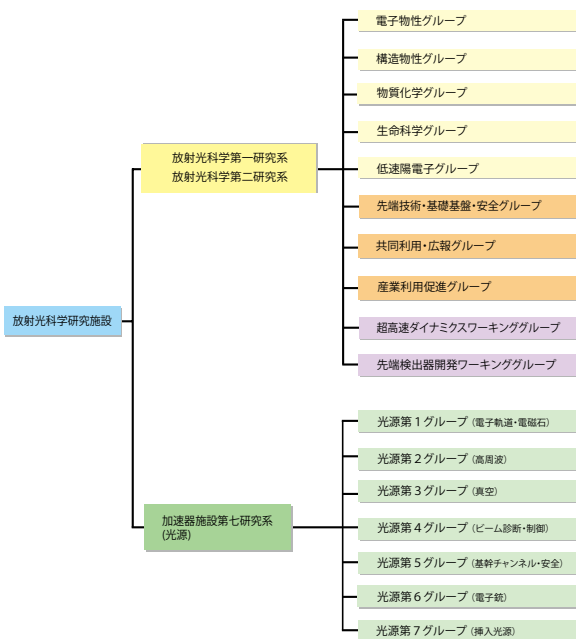


図1-1 放射光科学研究施設の組織図

2015年度の運営で特に力を入れる点は、「PFの新たな飛躍に向けての挑戦」と題して、下記の3点を掲げた。

(1) PF将来計画の確定と具体化

PF将来計画について様々な検討を十分に行い、PF将来計画を確定し、具体的なアクションを取る。

(2) 競争力のあるビームライン群の構築

PFおよびPF-アドバンスストリング（PF-AR）の各ビームラインの研究・教育の成果の評価を行い、PFの存在価値を高めるビームライン群を構築する。

(3) 大学・国研・企業との新しい連携の確立

物質構造科学研究所（物構研）で模索している新たな大学共同利用、特定の大学・国研・企業などとの連携を強めたサイエンスのコンソーシアムの構築の可能性を踏まえて、他機関との連携を通じ、研究のみならず、人事交流や人材育成を効果的に行う。

2. 運転と共同利用

2015年度のPFの運転と共同利用状況について報告する。4月には、PFリングのみ11日間の運転を行った（ユーザー運転はなかった）。これは、シャットダウン中にアンジュレータ2台を更新したことに伴って、リングの焼き出しと、アンジュレータの立ち上げのための運転が必要なためである。PFでは5月8日から、PF-ARでは5月15日からユーザー実験が開始された。約4ヶ月半ぶりのユーザー実験再開となったが、PF、PF-ARともに順調に立ち上がり、春期運転は6月30日をもって終了した。夏のシャットダウン中には、入射器・光源やビームライン・実験装置等の整備を進めた。10月より秋季運転が順調に開始され、12月21日まで運転が続けられた。年末年始の休みをはさみ、2月18日（PF）22日（PF-AR）から3月14日まで冬期ユーザー運転が行われた。厳しい予算状況を反映して、全体にユーザービームタイムが不足している。この期間内にユーザーの皆様から多くの配分希望をいただいたが、多くのステーションで配分希望には十分に答えることができず、一部の挿入光源ビームラインでは、極めて競争率の高い状況となった。個別ビームラインのビームタイム配分率の状況については、本年報の利用状況報告をご覧ください。なお、2月からSuperKEKBの運転開始に向けた加速器調整運転が開始され、そのために入射器を長時間占有する必要が生じた。PF、PF-ARとSuperKEKBは入射器を共有しているため、この間のPFのTop-Up連続入射は行わず、蓄積モードでの運転となった。

3. ビームライン（BL）建設と改造

これまでPFでは、重点的に支援すべき研究分野を定め、それに基づきビームラインの改編・統廃合を進めてきた。挿入光源ビームラインの最適化や競争力を持つ偏向電

磁石ビームラインの支援などに、限られたリソース（予算とマンパワー）を選択的に集中させてきた。PF リングは 2.5 GeV で運転しているので、SPRING-8 や PF-AR に比べ、比較的低エネルギーの放射光領域に十分な強度がある。この強みを活かすために、PF リングの長直線部にアンジュレータを挿入して、特徴ある VUV・ソフト X 線のビームラインを建設してきた：BL-2A（表面・界面物性 BL）、BL-13A/B（表面化学 BL）、BL-16A（偏光利用表面分光 BL）、BL-28A/B（強相関固体物性 BL）の各 BL。一方、X 線を利用する多くのユーザーにも対応するために、PF リングの短直線部には短周期アンジュレータを設置してきた：BL-1A（蛋白質結晶構造解析 BL）、BL-3A（構造物性 BL）、BL-15A（XAFS・小角 BL）、BL-17A（蛋白質結晶構造解析 BL）の各 BL。昨年度までにこれらの挿入光源ビームラインの整備をほぼ終えている。また、計画的なビームラインの統廃合によって、研究成果は減らすことなく、PF スタッフが担当する実験ステーション数を、この十年間で約半分強程度にまで減らすことができた。ここで、ユーザー運営ステーションや大学運営ステーションも大きな役割を果たしている。

2015 年度は、いくつかのビームラインで改造工事が行われた。BL-28 には 1 次光で 30-300 eV 程度の VUV・軟 X 線領域をカバーする可変偏光アンジュレータを設置した。これまで利用していた円偏光と水平直線偏光に加えて、垂直直線偏光の利用が可能になるとともに、輝度の向上が見込まれる。BL-13 には 1, 3, 5 次光を利用することで 50-2000 eV 程度の軟 X 線領域をカバーする可変偏光アンジュレータを設置した。水平・垂直直線偏光および円・楕円偏光の利用が可能になる。どちらのビームラインも、5 月の運転開始から 1, 2 週間程度の調整を行った後に共同利用を開始し、準備が整った偏光モードから順次利用が可能となっている。BL-17A では光学系の大幅な更新が行われた。試料位置の直上流に新たに集光ミラーを設置することによって、より小さな集光ビームが得られる。また、大面積のピクセルアレイ型検出器 PILATUS3 S6M が導入された。やはり 5 月から調整を行い、6 月にはユーザー利用を開始した。2015 年 10 月からは結晶化プレートに直接 X 線を照射してデータ収集する実験モードも一般に公開されている。NW10A では、21 素子のピクセルアレイ型 Ge 半導体検出器を導入した。従来使用していた 19 素子 Ge 半導体検出器は、2012 年に発生した Be 窓破損以降、分解能の低下等の問題があったが、新しい検出器の導入によって、以前を上回る性能が得られるようになった。BL-12C では、最大 100 個の試料を搭載可能な試料交換ロボットと電離箱ガスの自動混合・フロー制御システムを導入した。すでにほぼ建設を完了している BL-2, BL-15 でも、それぞれ低エネルギー用の回折格子の導入、高調波除去ミラーの再研磨を行うなど、様々な改良を進めた。BL-15 はすでに共同利用を開始しており、BL-2 についても、秋の運転以降、準備のできたモードから順次、共同利用を開始した。なお、BL-3B はこれまで弘前大学による大学等運営ステー

ションとして運用されてきたが、4 月からは表面 ARPES、表面化学の両ユーザーグループ（UG）による UG 運営ステーションとなった。引き続き、表面試料の角度分解光電子分光ステーションとして共同利用実験を行うことができる。PF-AR の直接入射路計画も順調に進んでいる。この計画では、放射光実験と Super KEKB 実験の両立を図るため、PF-AR への直接入射路トンネルを建設し、入射エネルギーを 6.5 GeV とし、将来のトップアップ運転を目指している。これまでに入射トンネル建設、加速器装置の製作、冷却水・空調・電気設備設置などの作業は終えている。2016 年度の秋期には PF-AR をシャットダウンして、加速器装置の設置を行ない、冬期からは立ち上げ運転を再開する予定である。PF および PF-AR の運転と並行して、エネルギー回収リニアック実証器（コンパクト ERL）の運転、維持、管理を実施し、ERL 動作の実証と性能向上に取り組んだ。

PF では陽電子を利用した共同利用実験も行っている。最近の大きな進展は、全反射高速陽電子回折手法開発の成功である。この手法を利用することにより、表面第 1 層の構造が精度よく決定することができる。昨年度の開発研究により、陽電子パルスの幅を引き延ばすことに成功し、低速陽電子回折への道を拓いた。

4. PF 将来計画の進捗状況

2015 年度の PF 運営で、特に注力した事項を 3 つ提示する。その第 1 番目は「PF 将来計画の確定と具体化」である。PF にとって、2015 年度がその将来計画の大きな節目にあたると思っている。PF 将来計画に関しては、現在、ゆっくりであるが確実に、大きな方針転換が行われようとしている。ここでは PF 将来計画と密接に関連する次の 2 つの委員会に関して、その進捗状況を述べる。

(1) PF 将来計画検討委員会

2014 年度に、物構研運営会議のもとに PF 将来計画検討委員会が設置された。同委員会のミッションは、PF が共同利用施設として今後果たすべき役割、PF の次期光源、施設の運営形態などについて検討を行い、物構研運営会議にその検討結果を報告することである。同委員会メンバーは、KEK 外部 10 名、内部 10 名の次世代放射光科学を担う先生方で構成された。2014 年 11 月からほぼ月 1 回のペースで、計 6 回の委員会が開催された。毎回、テーマを絞り 2 人から 3 人の委員によるプレゼンテーションの後、提示された資料について、全員で白熱した議論を行った。いつも会議予定時間を大幅に超過し、委員の皆様には大きなご負担をかけたが、率直な意見交換から始まり、十分に突っ込んだ議論が行われた。同委員会での主な議事は次のようなものであった。

- PF 将来計画の経緯と PF の現状
- PF- ユーザーアソシエーション（PF-UA）による「PF および日本の放射光科学の将来への提言」
- PF のミッション
- 将来展開するサイエンス

- 必要なビームライン・実験装置
- 施設の運営・利用システム
- PF の次期光源の具体的検討
- ERL 計画の現状と今後の進展
- その他の先端的放射光源計画

特に本委員会では、将来にわたって PF の果たすべき役割（ミッション）について、先端的研究、共同利用、人材育成、社会貢献という 4 つの観点から整理した。整理された PF のミッションは、今後の研究や共同利用等の活動方針を決定する上で基本となる考え方であり、大変良い議論をして頂いたと考えている。

このような同委員会での集中した議論の結果、PF 将来計画に対する明快な方向性が示された。同委員会では、議論の内容をまとめ、PF 将来計画検討委員会報告書「中間まとめ」が作成された。この「中間まとめ」は 5 月の物構研運営会議に提出された。同委員会では、運営会議からの意見を踏まえ、さらに議論を積み重ね、2016 年 3 月に「最終まとめ」を提出した。

(2) 高エネルギー加速器研究機構（KEK）研究推進会議

KEK 研究推進会議では、KEK ロードマップの策定を行うと共に、機構内で進行中の研究の進捗状況などについて継続的な議論を行っている。PF 将来計画についても、昨年度末に時間をかけて議論して頂いた。さて今年度より研究推進会議では、山内機構長の考え方の基に、新たな議論を開始している。

KEK では、2013 年 5 月に KEK ロードマップ 2013 を策定し、2013 年 10 月 附記 (<http://www.kek.jp/ja/About/OrganizationOverview/Assessment/Roadmap/roadmap2013-J.pdf>) とともに、今後 KEK で取り組んでいく研究の方針としている。このロードマップの挙げられているプロジェクトを実現していくためには、予算面も含めてどのプロジェクトをどのように実施していくかについての実施計画が必要となる。そのため KEK プロジェクト実施計画（KEK Project Implementation Plan, KEK-PIP）を策定することになった。KEK-PIP では、ロードマップに挙げられている研究計画を絞り込んだうえで、新たな概算要求をすべきもの、既存のプロジェクトとして実施するもの、一般経費で実施するものなど、その実施方法を分類し、実施順位をつける。策定にあたっては、研究推進会議での議論、機構執行部によるプロジェクト責任者のヒアリング、所長・施設長等と機構執行部との議論等が行われた。研究推進会議において、PF 将来計画に関連するものとして、8 月にコンパクト ERL、9 月に PF および PF-AR の高性能化・高効率化についての議論が行われた。10 月以降には、放射光将来計画についても、さらに密な議論が行われた。これらの議論を通じて、PF 将来計画は KEK-PIP の中に、しっかりと位置付けられることになった。

5. PF の役割

PF は X 線領域までカバーする日本初の放射光実験施設として 1982 年に運転を開始して以来、大学共同利用を中

心とする放射光利用研究において重要な役割を果たしてきた。PF 将来計画検討委員会では、このような歴史を踏まえながらも厳しく現状を分析して、PF の役割として下記のような 4 つの観点を挙げ議論している。

(1) 先端的研究：放射光科学を牽引する中核拠点として、国内外の優れた研究者を結集し、先端的放射光利用研究を推進する。

(2) 共同利用：大学および企業などの研究者（含、技術者、学生）を対象に、使い易く便利な放射光利用サービスを提供するとともに、基礎科学の展開に源を発する形での応用分野の画期的な変化の種を生み出すべく、イノベーションを育むことのできる場を提供する。

(3) 人材育成：放射光利用研究を通して、基礎研究から応用研究まで、高度な研究活動を行うことのできる人材を育成する。

(4) 社会貢献：放射光利用研究による成果を様々な形で社会に公開し還元する。それにより、持続可能な社会の構築のための役割を果たし、日本社会、更には広く世界からの信頼と負託に応える。

この 4 つの観点の中でも、日本の中で PF が今後果たすべき役割を考えると、大学等との連携により (1) の先端的研究を推進することと、(3) の科学技術を担う人材を育成することの 2 点が、特に重要であると考えている。先端的研究の創出、学术界・産業界で必要とされる人材育成のためには、何が必要で、どのような仕組みを導入すべきなのか。現在の PF にその芽があるものは大いに伸ばし、ないものは新しく創っていく必要がある。私見になるが、先端的研究を推進するためには、大学や研究所群と密接に連携して、ボトムアップ型研究を強くサポートすることが重要であると考えている。そこで生み出される成果は、広範な放射光科学分野における研究レベルを引き上げ、その結果、産業界にもインパクトを与える真の科学技術イノベーションを生み出すことになる。また、それは社会的要請に応えるトップダウン型研究のブレークスルーにも繋がっていく。このような連携を推進するための仕組みとして、幾つかのサイエンスコンソーシアムを創り、密接な共同研究や人材交流を行うことのできる場を提供することは、施設の重要な役割ではないか。一方、これまで PF では年間 1500 名程度の大学院生が実験課題に参加し、大学院教育に貢献してきた。この経験を活かし、最先端研究の場を学生教育の場として捉え、特色ある教育プログラムを大学と共同して策定・実行していくことも、PF の特徴を活かす方法である。

PF のテーマを一言で言うと、物質と生命の機能発現のしくみを、構造の観点から探求するということだが、「不均質系」が、これからの物質・生命科学に共通した、機能解明の鍵であると言っても良いかと思う。今後の最先端研究の多くが、「不均質系」における界面研究にある。このような最先端の学術研究を行うためには、現在の PF および PF-AR の光源性能では限界がある。ナノメートルの空間分解能で局所構造を、ミリ電子ボルトのエネルギー分解

能で電子状態を決定するためには、新たな先端放射光源が必須である。このために、PFは全日本の中で果たせる役割を早急に追求していきたいと考えている。

さて、PFの役割として先端的研究と人材育成を強調したが、一方でPFが多様な研究を支える国家として不可欠な先端基盤研究施設であることは疑いない。PFは、先端的な材料開発、再生医療、創薬等、幅広い分野の研究成果創出ため基礎基盤施設である。この施設機能を更に発展させるためには、これまでの大学共同利用のシステムに加え、材料開発や創薬に繋がる研究課題を迅速に実行できる新たなシステム作りも欠かせない。実際の測定現場では、試料の取り扱いや測定手法に精通した担当者を配置し、効率的な研究成果の創出をサポートすることも必要である。一方で、ルーチン的に多数の試料の計測が必要なケースでは、試料を郵送して貰い、ロボットにより自動化されたビームラインで計測を行い、測定結果を返送するようなオプションも考えていく。このような多角的な取り組みを進めることにより、PFは様々な研究分野に放射光利用を広げていき、産業利用等への貢献も果たしていきたい。

6. PFにおける産業利用 (<http://www2.kek.jp/imss/pf/approach/industry/>)

PFにおける産業利用研究は、設立当初より盛んに行われてきた。当時、半導体産業関連の企業4社がそれぞれ専用ビームラインを持ち、電子材料やデバイス製造の先端的な研究開発を行ってきた。その後、材料開発や医療・創薬関連の利用も増え、現在では年間60社程度の企業の研究者がPFを利用しており、PF全ユーザー数の約9%を占めている。特にPFでは、創薬等支援技術基盤プラットフォームや製薬会社との共同研究等により、蛋白質構造解析が活発に行われている。また、素材・エネルギー・材料評価を初めとした様々な業界の企業も、施設利用（成果非公開、有償）や共同研究（原則成果公開、有償）により利用研究を展開している。一方、文部科学省の先端研究基盤共用・プラットフォーム事業により、新規もしくは放射光技術適用の有効性を検証する課題がトライアルユースとして無償で実施され、有償利用への移行した課題も多くある。本事業では、放射光施設と大型レーザー施設の連携からなる光ビームプラットフォームを形成し、PFはその代表機関として産業利用を核とする共用を推進している (<http://photonbeam.jp>)。今後、ますます産業界からの放射光利用が進むと予想され、PFの施設利用をより充実させていく方針である。そのひとつとして、解析支援やメールインサービスを検討中である。ここでは、改めて大学共同利用機関の一施設であるPFが、産業利用を行う意義について考えてみる。

PFの主たるミッションは、高品質の放射光を安定に供給することにより、(1)最先端の学術研究、(2)高度な研究活動を行うことのできる人材を育成することであり、さらには(3)大学・企業等の研究者の多種多様な放射光利用研究の推進を行うことである。イノベーションに繋が

る産業利用研究を推進することは、この3番目のミッションに合致することは勿論ですが、それだけでなく我々としての最重要ミッションである、学術研究や人材育成とも非常に深く関連している。

東北大学金属材料研究所初代所長である本田光太郎博士の「学問のあるところに技術は育つ、技術のあるところに産業は発展する、産業は学問の道場である」という有名な言葉は、放射光科学における学術研究と産業利用の関係にも、ぴったりと当てはまる。企業は社会が抱える課題や社会からの要求に非常に敏感であり、企業で行われる研究開発は、その課題解決や要求を満たすことに直結している。しかし、この課題や要求が本質的であればあるほど、より基礎的で広範にわたる研究が必要となる。このような研究の中にこそ、学術研究としても重要な課題が含まれ、真のイノベーションに繋がるシーズが存在しているのではない。よく自由な発想に基づく好奇心駆動型研究(基礎研究)と課題解決型研究(応用研究)が対比されるが、これは研究の動機やアプローチにより区別されたもので、研究内容そのものには明確な区別があるわけではない。大学と企業が協力して、現代社会が抱える課題に取り組み、持続可能な社会の構築を目指すことが、今後益々重要になる。企業が取り組む研究の中で、大学の研究者による異なる視点からの研究アプローチが本質的な変革をもたらすことがあるかもしれない。科学・技術の発展の歴史をみると、創造性の飛躍の基にはその時代の必要性が存在していると思う。大学共同利用機関は、大学と企業の研究者を結びつけ緊密な共同研究を行うために、重要な役割を担うことができると考えている。

一方、持続可能な社会の構築において、長期的な観点から最も重要なことは人材育成であることに異論のある方はいないであろう。今後の大学共同利用機関が取り組む人材育成は、大学と協力して行うだけでなく、民間企業も積極的に参入できる形で行う必要がある。そこでは、企業や大学の枠を越えて活躍できる人材の育成、特に若手研究者が研究の幅を広げて新分野を切り拓く力量をつけさせるような環境の整備と実際の研修を行うことができることが望まれる。国家百年の計である人材育成は一夕一朝にできるものではない。PFではこれまでの経験を活かしながら、高度な科学・技術を担う人材をじっくりと育てていきたい。

1-2. 予算

大学共同利用機関法人・高エネルギー加速器研究機構(KEK)における放射光実験研究予算(放射光プロジェクト経費)は、運営費交付金(機能強化経費)および先端研究推進費補助金をその財源としている。2015年度の両

経費の合算額は1,845,000千円であり、2014年度の予算額(2,359,227千円)と比べて約22%の減額となった。過去のプロジェクト経費の配分額の推移を図1-2に示す。

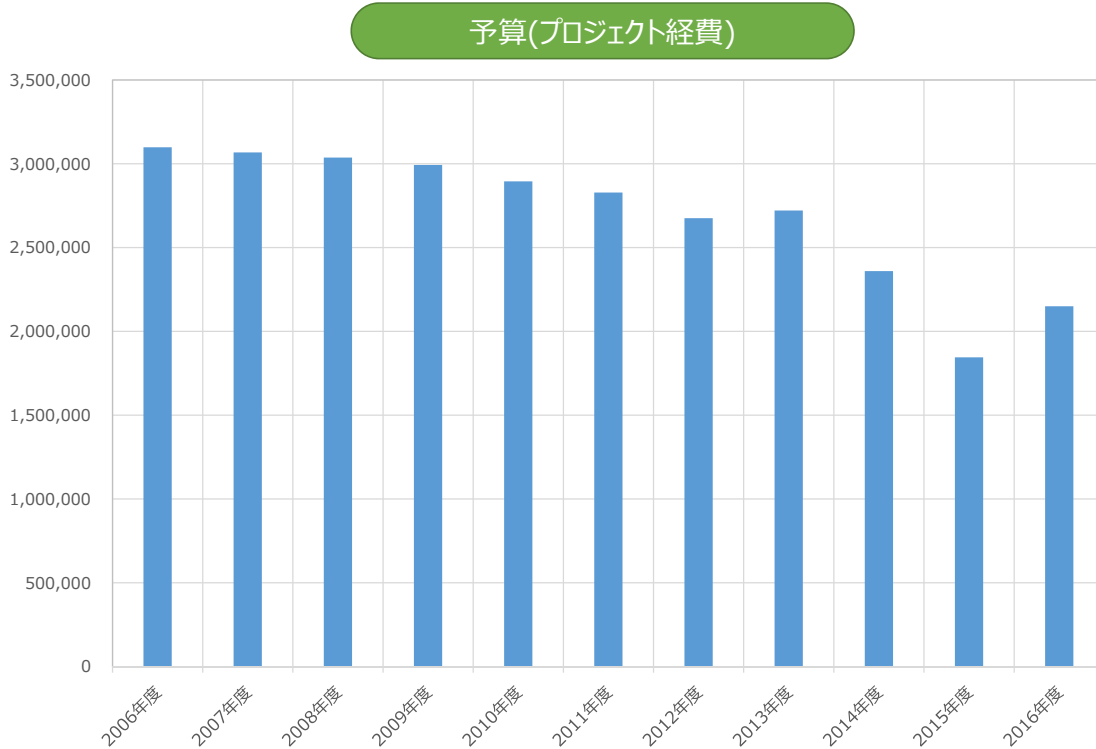


図 1-2 放射光プロジェクト経費の推移

1-3. 組織

フォトンファクトリー（Photon Factory, PF）は、大学共同利用機関法人・高エネルギー加速器研究機構（KEK）のつくばキャンパスに立地する放射光施設である。電子加速器から発生する放射光を利用して、物質・生命科学分野における構造・機能研究を推進している。PF リング（2.5 GeV）、アドバンスリング（PF-AR, 6.5 GeV）という2つの放射光専用の光源加速器とともに、低速陽電子実験施設を有し、KEK で培ってきた放射光技術・加速器技術により世界最先端の研究の場を提供している。

KEK における放射光実験研究は、KEK 内の複数の研究所・施設間の協力体制により実施・運営されている。KEK の組織図を図 1-3 に示す。PF および PF-AR の2つの光源加速器は、加速器研究施設の加速器第七研究系を中心として管理・運転を行っている。また光源加速器への入射器は、同施設加速器第五研究系が管理・運転を行っている。また、

光源加速器から供給される放射光の利用実験については、物質構造科学研究所の放射光科学第一および第二研究系が担当しており、ビームラインの整備・管理・運営を行っている。低速陽電子実験施設については、加速器第五研究系と放射光科学第一・第二研究系が連携して運転・管理・運営にあっている。

また、物質構造科学研究所の特徴である、放射光、陽電子、中性子、ミュオンを横断的に利用した先端研究を推進するための組織として、構造生物学研究センターおよび、構造物性研究センターが設置されており、他大学、研究機関等と連携しながら、PF、PF-AR、低速陽電子実験施設、大強度陽子加速器施設（J-PARC）の物質生命科学実験施設（MLF）を利用した生命科学・物質科学研究を推進している。

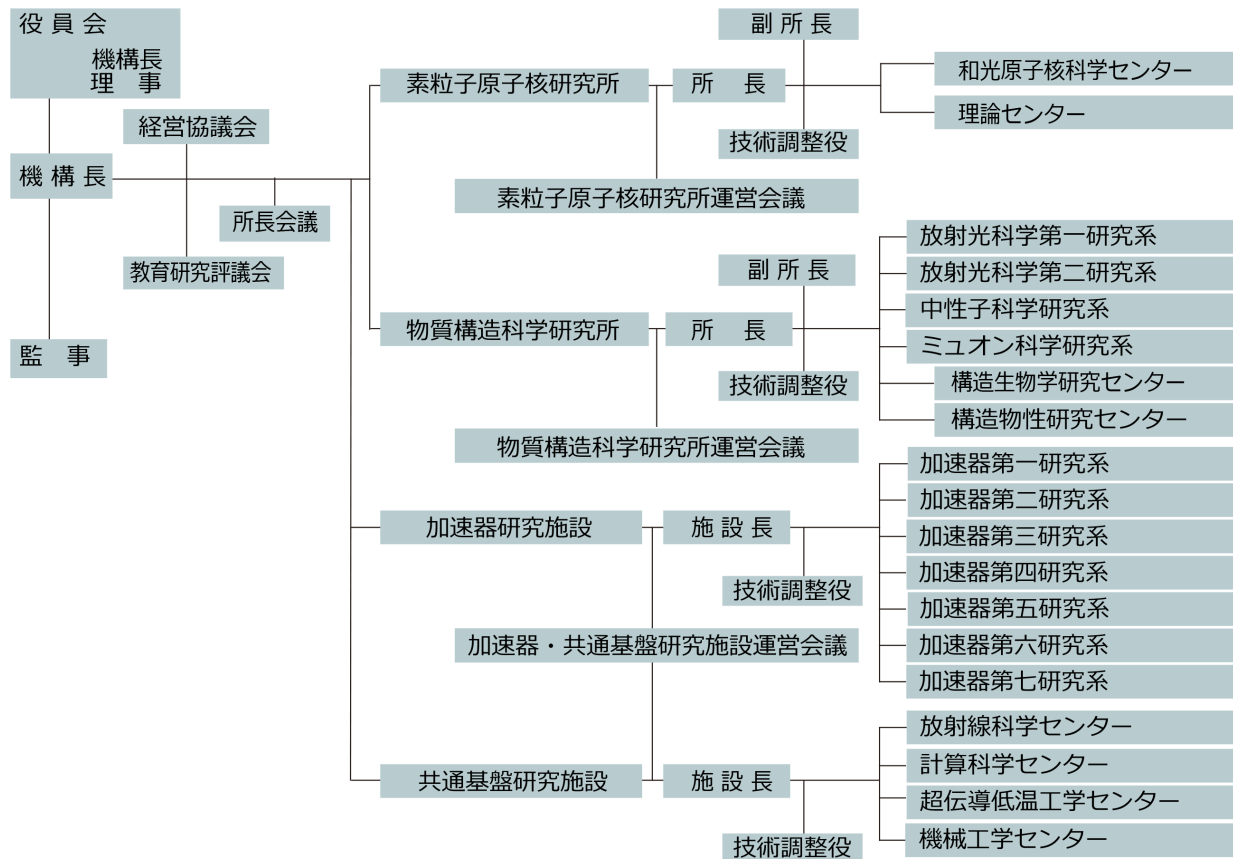
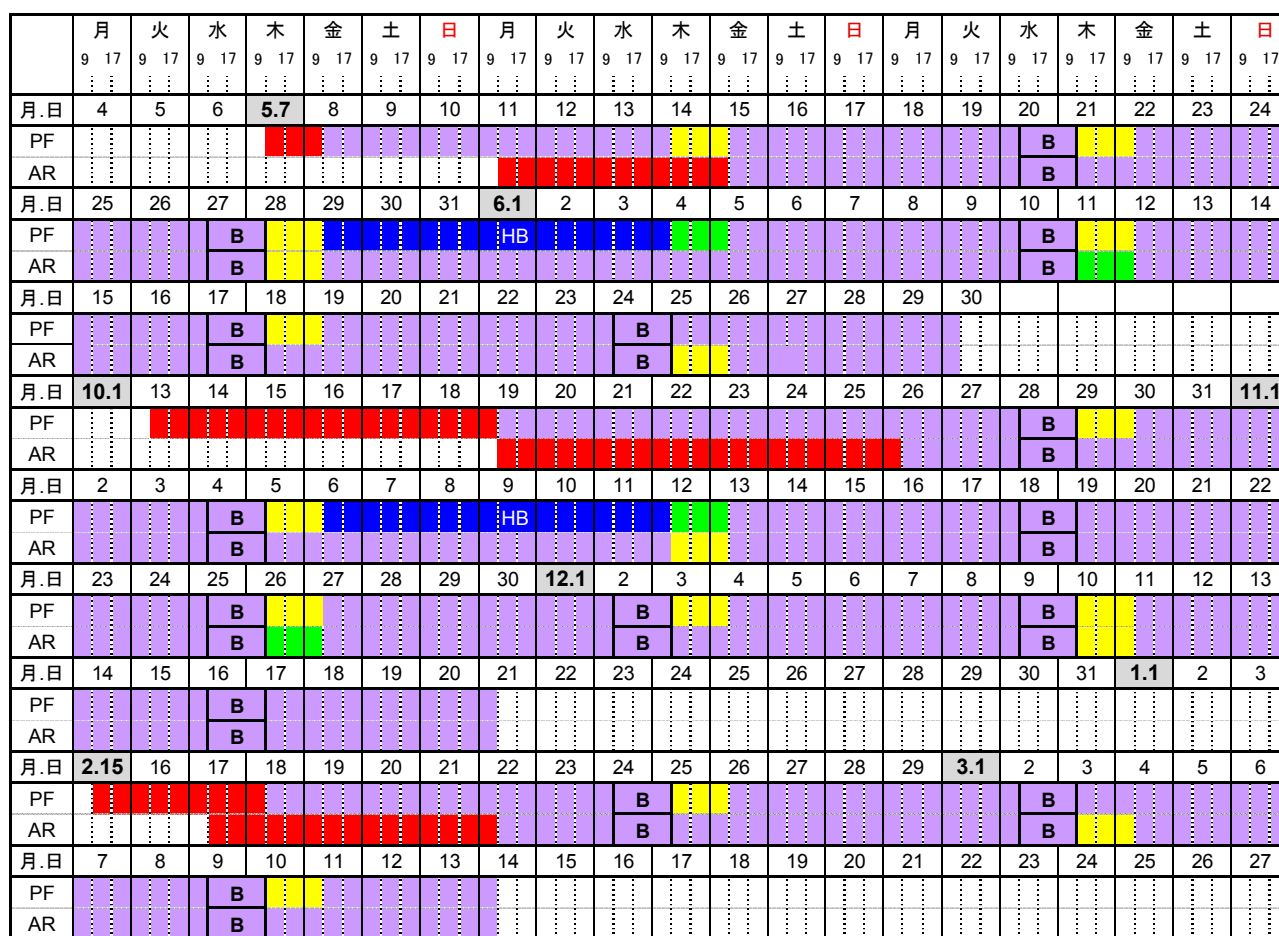


図 1-3 KEK の組織図

1-4. 運転状況

2015年度のPFおよびPF-ARの運転スケジュールを図2-4に示す。年間の全加速器運転時間は、PFが3888時間、PF-ARが3336時間であった。これに対して、全加速器運転時間のうちユーザー実験に供された運転時間はPFが3048時間、PF-ARが2784時間であった。表1-1、1-2にPFおよびPF-ARの過去の運転時間統計を示す。また図1-5に過去のユーザー運転時間の統計のグラフを示す。

2005年度のPFユーザー運転時間の減少は、PFリング高度化作業によるもの、2011年度のPF、PF-ARユーザー運転時間の減少は、東日本大震災による被災と復旧作業によるもの、2014年度のPF、PF-ARユーザー運転時間の減少は、プロジェクト予算の減額と電気料金単価の高騰に起因するものである。



PF: PF リング

AR: PF-AR

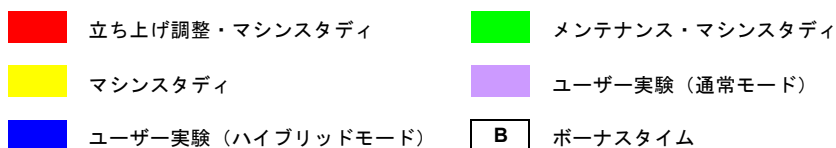


図1-4 2015年度のPFおよびPF-ARの運転スケジュール

表 1-1 PF の運転時間統計 (MTBF: mean time between failure, MDT: mean down time)

年度	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
総運転時間 (時間)	3720	5272	5104	5000	4976	5064	4728	4416	4176	3024	3888
計画ユーザー実験時間 (時間)	2640	4248	4296	4032	4008	4080	2832	3792	3504	2328	3048
故障回数	33	25	23	18	24	18	18	23	22	15	23
総故障時間 (時間)	27.5	44.6	91.1	23.8	42.7	29.2	14.9	37.6	52.1	11.4	14.4
MTBF (時間)	80.0	169.9	186.8	224.0	167.0	226.7	157.3	164.9	159.3	155.2	132.5
MDT (時間)	0.8	1.8	4.0	1.3	1.8	1.6	0.8	1.6	2.4	0.8	0.6

表 1-2 PF-AR の運転時間統計

年度	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
総運転時間 (時間)	5313	5016	4561	4969	5063	4608	4080	4080	3912	2352	3336
計画ユーザー実験時間 (時間)	4456	4032	3624	4344	4392	4032	2904	3672	3478	1992	2784
故障回数	79	51	60	40	41	74	49	33	47	22	18
総故障時間 (時間)	69.3	55.1	45.2	41.7	91.0	73.7	38.7	29.7	99.6	37.0	31.0
MTBF (時間)	56.4	79.1	60.4	108.6	107.1	54.5	59.3	111.3	74.0	90.5	154.7
MDT (時間)	0.9	1.1	0.8	1.0	2.2	1.0	0.8	0.9	2.1	1.7	1.7

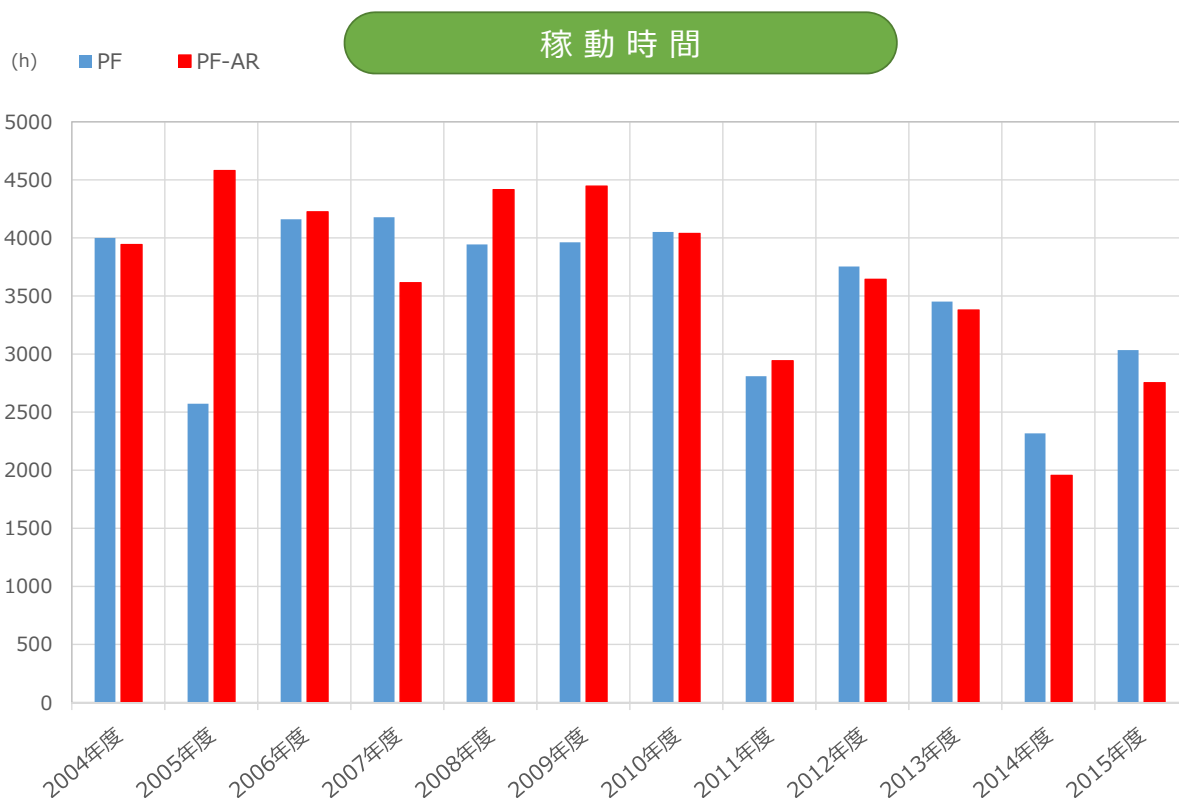


図 1-5 ユーザー実験に供された運転時間統計

1-5. 利用状況

(1) 利用実験課題の採択状況

2015年度は、前期および後期に各1回ずつ放射光共同利用実験課題の公募を行った。共同利用実験課題には、一般的な実験（G型）、初心者による実験や予備実験（P型）、緊急かつ重要な実験（U型）、特別型（S1、S2型）、大学院生奨励課題（T型）の категорияがあり、それぞれ特徴のある共同利用実験を対象としている。また2015年度から新たに募集を開始したマルチ・プローブ実験課題（MP型）は、放射光だけでなく、物質構造科学研究所が管轄す

る、低速陽電子、中性子、ミュオンといった複数の量子ビームを利用して先端的な研究成果を創出することを目的とした実験課題である。

一方、共同利用実験以外の有償利用課題として、民間等との共同研究課題（C型）、施設利用課題（Y型）、先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業によるトライアルユース課題（I型）、国家プロジェクト外部資金による優先利用課題（V型）がある。過去の利用課題数の統計を表1-3に示す。

表 1-3 過去 10 年間の利用課題数の統計

年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
S1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	3	6	1	4	6	3	2	4	5	4	7
U	4	0	1	7	3	2	2	0	4	1	0	0
G	382	310	386	403	402	397	407	415	454	447	407	361
P	13	10	22	14	14	14	16	11	18	18	5	16
T											6	4
MP												4
C	26	28	25	24	18	12	15	19	20	20	25	24
I						9	17	13	17	13	16	11
V									1	2	2	2
Y	2	2	23	23	22	29	31	30	30	41	22	33

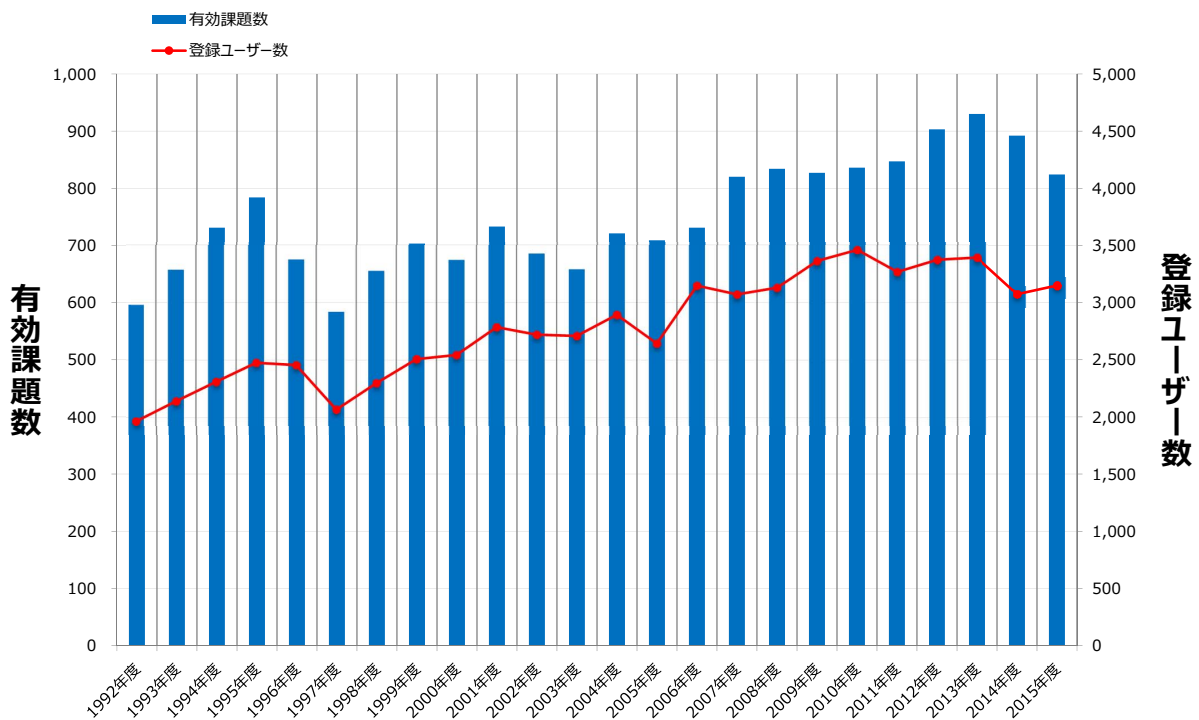


図 1-6 年間の有効実験課題数と登録ユーザー数の推移

(2) 登録ユーザー数と有効実験課題数

2015年度中に、利用実験課題でユーザー登録した全登録ユーザー数は約3100名であり、有効実験課題数は約800件であった。共同利用実験課題のうち最も課題数の多いG型課題（一般課題）は、有効期間が2年間であることから、G型課題については、2014年度と2015年度に採択された実験課題の総数を2015年度の有効実験課題数としてカウントしている。他の課題カテゴリについても同

様に有効期間を加味した課題数である。年間の登録ユーザー数と有効実験課題数の推移を図1-6に示す。

(3) 利用実験による研究成果（学術論文と学位論文登録状況）

PFを利用して学術誌等に発表された研究成果は、KEK研究成果管理システムに登録されている。2015年度の登録論文数は、平成28年8月31日現在、580件である。通常、論

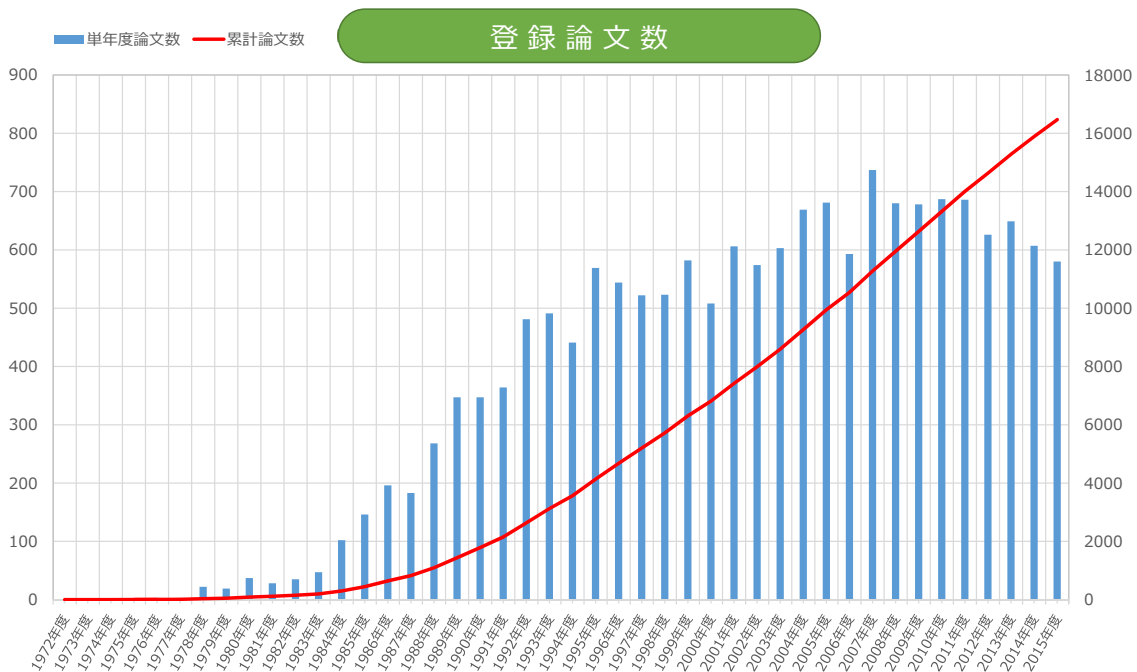


図1-7 研究成果として登録された論文数の推移（単年度と累計）

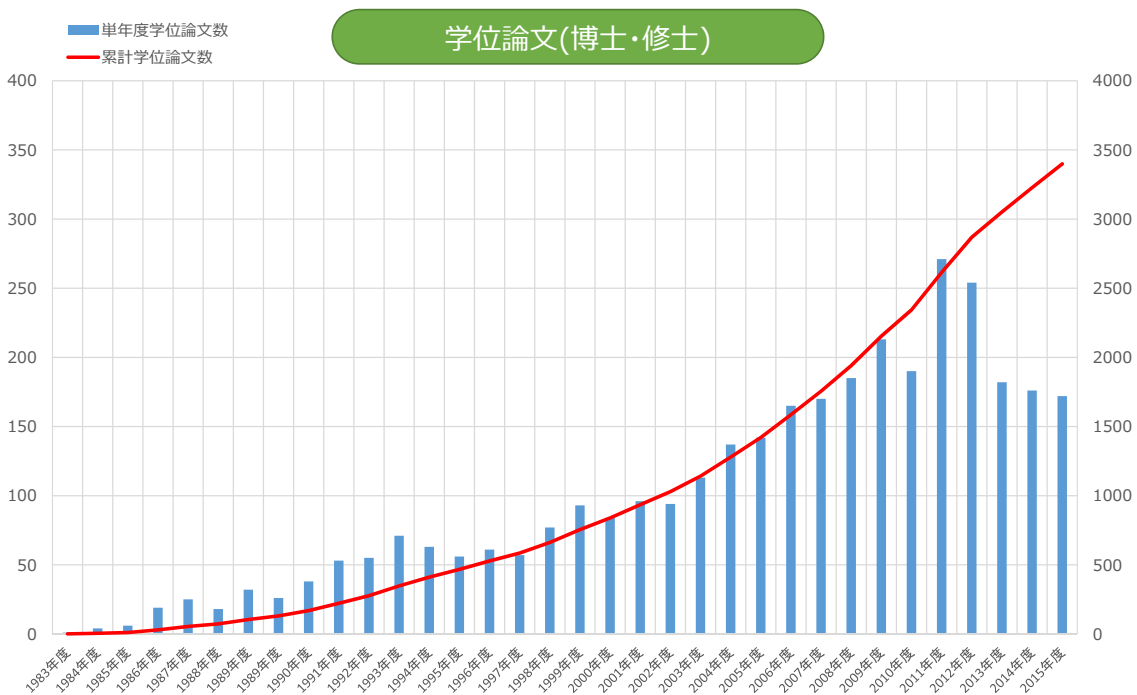


図1-8 登録された学位論文数（博士・修士）の推移（単年度と累計）

文掲載から成果登録までに時間差が生じることから、2015年度の論文登録数は今後600件強となると予想される。

PFの研究成果として登録された論文数の年度推移を図1-7に示す。2015年度までの累計では16000件を超えている。またPFを利用してまとめられた博士および修士の学位論文数の年度推移を図1-8に示す。年間の学位論文登録数は、平成23年度をピークとして、年間150～200件程度を推移

している。2015年度までの累計では3000件を超えている。

2015年度の登録論文580件のうち、ビームライン毎の登録論文数を図1-9に示す。

複数のビームラインを利用した成果については、それぞれのビームラインについて1件の登録論文があったとして統計処理している。

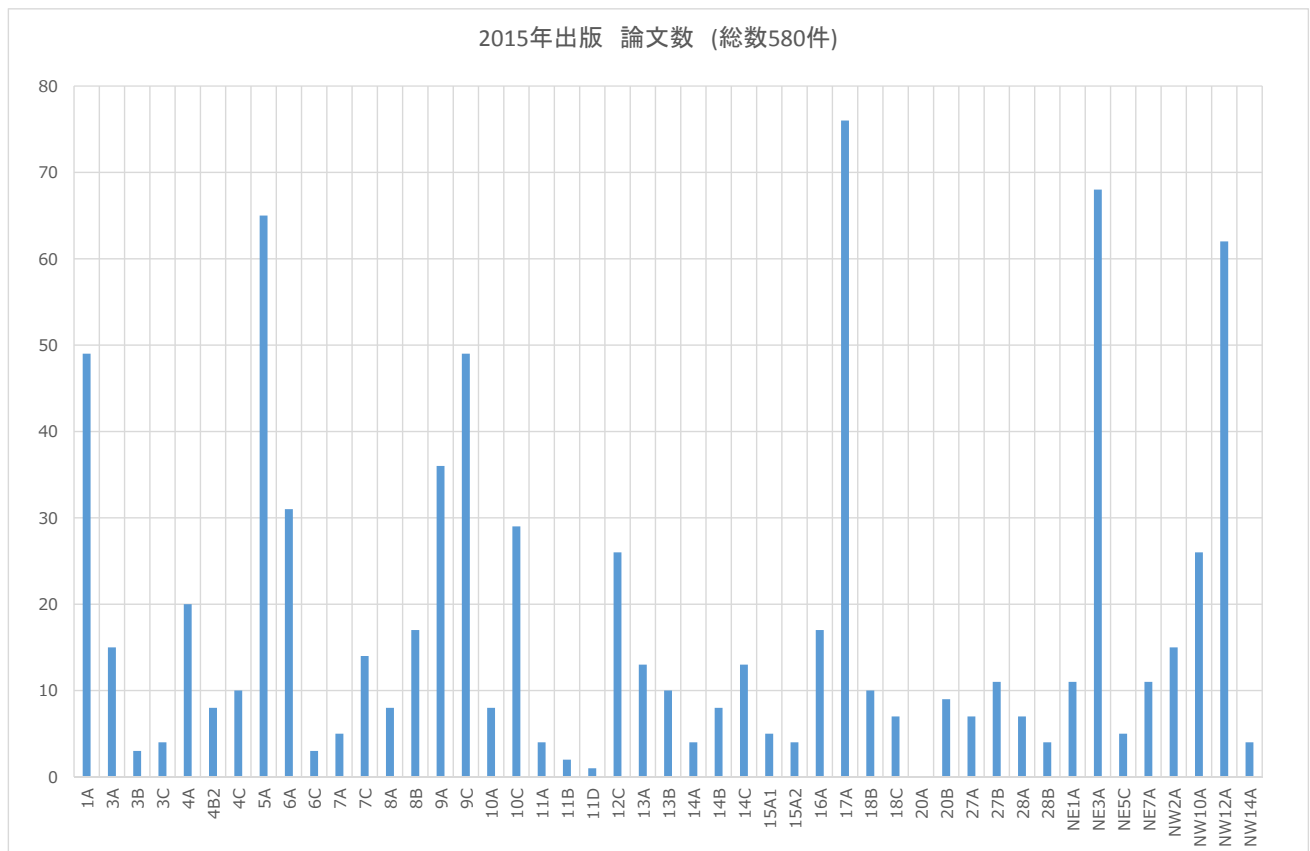


図1-9 ビームライン毎の論文登録数 (2015年度)

(4) ビームタイムの配分状況

2015年度に有効であった共同利用実験課題の評点分布(5点満点)と、ビームライン毎のビームタイムの配分状況を研究分野毎に示す。それぞれの研究分野において特徴的な利用ニーズがある。PFでは、これらの利用ニーズの状況を踏まえて、新旧ビームラインのスクラップ・アンド・ビルド計画の立案・検討を進めている。評点分布では実験課題カテゴリ(G, P, T, S2, MP, U)毎に色分けして示している。ビームタイムは、年度を3期(2015/5-6月, 2015/10-12月, 2016/2-3月)に分けて配分しており、期毎の配分状況を示す。

Allocated Beamtime(ビームタイム配分率) = (配分ビームタイムの総和) / (利用希望ビームタイムの総和)

Cutoff Score: ビームタイムの配分が可能であった最低の評点

1) 電子物性分野(真空紫外・軟X線ビームライン, 低速陽電子ビームライン)

電子物性分野は真空紫外・軟X線のエネルギー領域を対象としており、PFのリングエネルギーである2.5 GeVの特徴を活かした真空紫外・軟X線分光測定等を用いる研究領域をカバーしている。特にPFの直線部増強により整備された4つの挿入光源ビームライン(BL-2, BL-13, BL-16, BL-28)の利用ニーズは高く、ビームタイム配分率は軒並み50%を下回っており、極めて競争率が高い状況となっている。低速陽電子ビームラインでは、2015年度までにビームラインの整備が進み、利用ユーザーの増加と同期して、注目される利用研究成果が報告されつつある。

VUV-SX and Slow Positron Beamlines(2015)

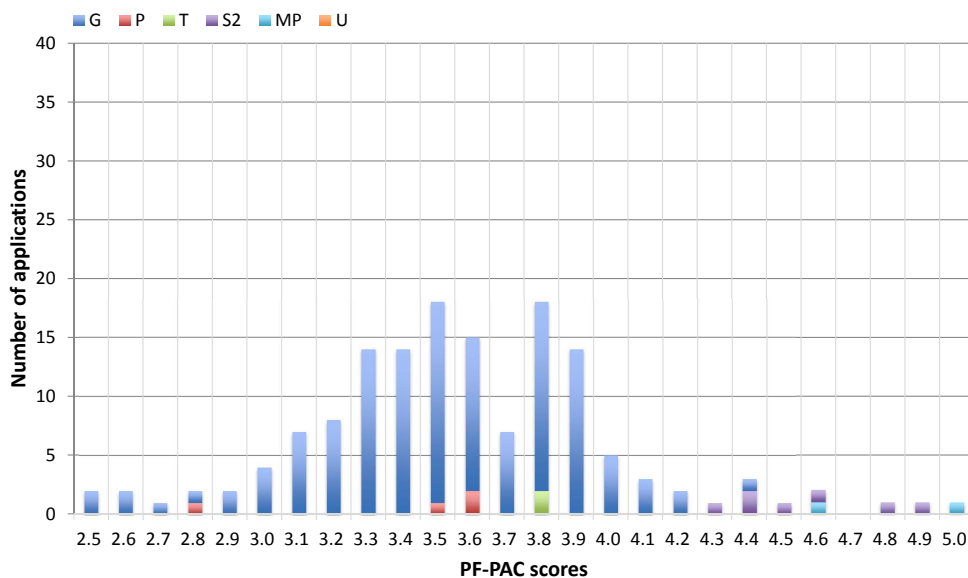


図 1-10 2015 年度の有効共同利用実験課題の評点分布
真空紫外・軟X線ビームラインおよび低速陽電子ビームライン

表 1-4 2015 年度 3 期分のビームタイム配分率
真空紫外・軟X線ビームラインおよび低速陽電子ビームライン

(配分率 0% は、この時期に立ち上げ中であったこと、100%を超える配分率は、利用希望時間が配分時間を下回っていたことを示す。)

VUV-SX and Slow Positron Beamlines										
Beamline	Light Source	2016/2-3			2015/10-12			2015/5-6		
		No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score	No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score	No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score
BL-2A,B (VUV and Soft X-ray spectroscopy)	U	28	30%	3.6	28	42%	3.6	0	0%	0.0
BL-13A,B (VUV and Soft X-ray spectroscopy)	U	37	27%	3.8	35	52%	3.6	38	42%	3.9
BL-16A (Soft X-ray spectroscopy)	U	44	31%	3.8	43	55%	3.2	40	43%	3.6
BL-28A,B (VUV and Soft X-ray spectroscopy)	U	15	35%	3.5	15	66%	3.3	20	36%	3.5
BL-3B (VUV and Soft X-ray spectroscopy)	BM	14	70%	3.1	14	86%	3.3	8	69%	3.0
BL-11A (Soft X-ray spectroscopy)	BM	24	80%	3.1	22	100%	3.1	25	70%	3.2
BL-11B (Soft X-ray spectroscopy)	BM	22	100%	3.1	22	102%	3.1	23	100%	3.1
BL-11D (VUV and SX optics)	BM	6	100%	3.3	6	96%	3.2	5	93%	3.3
BL-20A (VUV spectroscopy)	BM	6	26%	3.3	6	67%	3.3	8	88%	3.5
SPF (Slow positron facility)	SP	5	93%	3.8	5	75%	3.8	8	95%	3.6

2) 構造物性分野（硬X線回折・散乱および多目的ビームライン）

構造物性分野は硬X線エネルギー領域での回折・散乱実験を主な対象としており、硬X線を利用した単結晶構造解析、高圧力測定、イメージング測定、時間分解測定、検出器開発など多様な実験領域をカバーしている。特に単結晶

構造解析とX線回折測定用のビームライン（BL-3A, 4C, 8A, 8B）の利用ニーズが高く、それぞれ20～30件程度の実験課題を実施している。また時間分解X線測定用のビームライン（NW14A）は、特徴的な実験を可能とすることから競争率が高く、ビームタイム配分率は50%程度となっている。

X-ray Diffraction and Multipurpose Beamlines(2015)

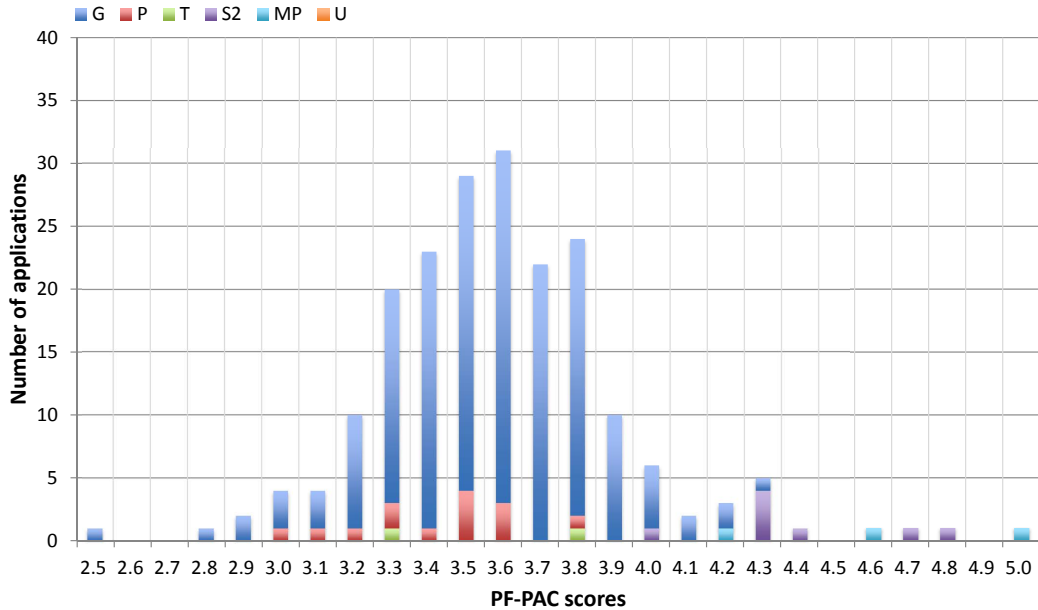


図 1-11 2015 年度の有効共同利用実験課題の評点分布
硬X線回折・散乱および多目的ビームライン

表 1-5 2015 年度 3 期分のビームタイム配分率
硬X線回折・散乱および多目的ビームライン

X-ray Diffraction and Multipurpose Beamlines										
Beamline	Light Source	2016/2-3			2015/10-12			2015/5-6		
		No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score	No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score	No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score
BL-3A (X-ray diffraction)	SGU	26	92%	3.6	25	76%	3.3	21	74%	3.3
AR-NW14A (Time resolved experiment)	U	18	23%	3.9	19	66%	3.4	21	41%	3.4
AR-NE1A (High pressure science)	MPW	20	53%	3.5	20	94%	2.9	24	76%	3.3
BL-14A (X-ray diffraction and detector studies)	VW	12	100%	3.6	12	100%	3.4	12	100%	3.2
BL-14B (X-ray optics)	VW	15	68%	3.1	17	89%	3.0	17	84%	3.0
BL-3C (Multipurpose)	BM	10	70%	3.2	10	100%	3.2	12	84%	3.2
BL-4B2 (X-ray powder diffraction)	BM	7	100%	3.4	7	100%	3.4	8	100%	3.3
BL-4C (X-ray diffraction)	BM	28	62%	3.4	26	81%	3.1	18	88%	3.1
BL-6C (X-ray diffraction)	BM	12	68%	3.0	12	70%	3.0	11	60%	3.0
BL-7C (Multipurpose)	BM	14	59%	3.3	14	94%	2.5	14	82%	2.5
BL-8A,B (X-ray diffraction)	BM	33	66%	3.8	34	84%	3.3	34	65%	3.5
BL-10A (X-ray diffraction)	BM	15	88%	3.2	15	86%	3.2	13	84%	3.2
BL-18C (High pressure science)	BM	20	79%	3.0	20	88%	3.0	23	78%	3.0
AR-NE5C (High pressure science)	BM	9	71%	3.4	9	100%	3.2	8	100%	3.4
AR-NE7A, high pressure experiment only	BM	9	68%	3.5	9	98%	3.3	11	84%	3.3

3) 化学・材料分野 (硬 X 線分光ビームライン)

化学・材料分野は、硬 X 線分光測定による物質・材料の化学状態、分子構造の研究等を対象としており、対象となるビームライン群は学術・産業界の広範囲ユーザーに利用されている。特に X 線吸収微細構造 (XAFS) ビームラ

イン (BL-9A, 9C, 12C, NW2A, NW10A) は約 150 件の実験課題を実施しており、高い利用ニーズを有している。2015 年度のビームタイム配分率は 50 ~ 70% であり、競争率が極めて高い状況となっている。

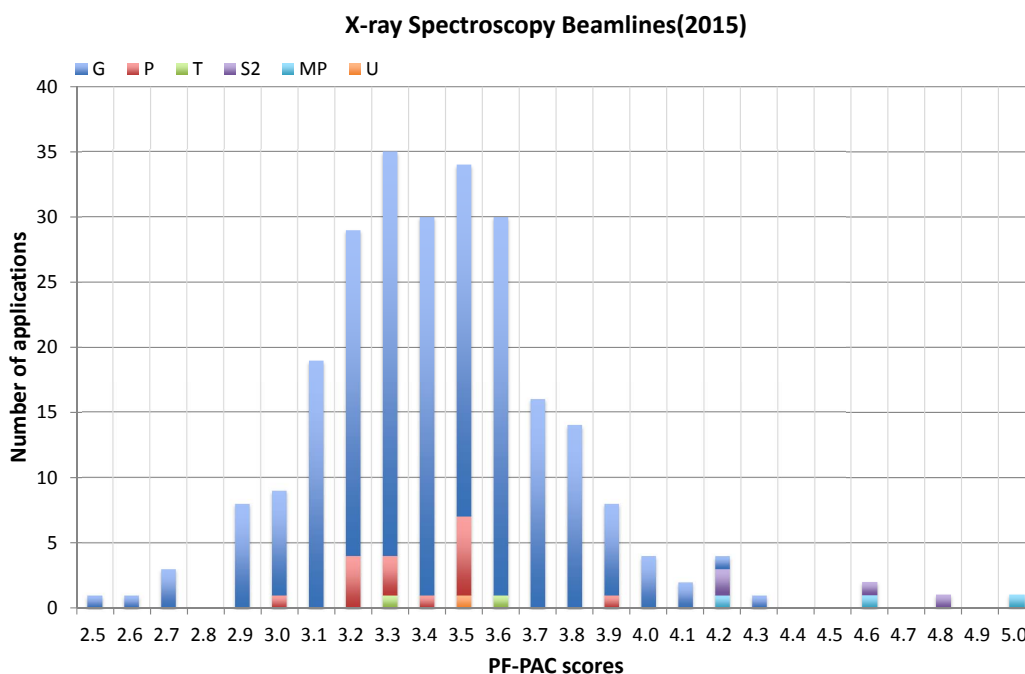


図 1-12 2015 年度の有効共同利用実験課題の評点分布
硬 X 線分光ビームライン

表 1-6 2015 年度 3 期分のビームタイム配分率
硬 X 線分光ビームライン

X-ray Spectroscopy Beamlines										
Beamline	Light Source	2016/2-3			2015/10-12			2015/5-6		
		No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score	No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score	No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score
BL-15A1 (Microbeam XAFS and XRD)	SGU	15	69%	3.3	14	100%	3.5	6	100%	3.5
AR-NW2A (Time resolved XAFS and XRD)	U	24	54%	3.9	24	86%	3.5	17	66%	3.7
Beamlines for XAFS (BL-9A, 9C, 12C)	BM	140	53%	3.4	140	73%	3.1	134	76%	3.1
AR-NW10A (High energy XAFS)	BM	67	62%	3.1	67	73%	2.9	60	71%	3.3
BL-4A (X-ray fluorescence and microbeam)	BM	17	88%	3.1	16	99%	3.2	20	97%	2.5

4) 生命科学分野（タンパク質結晶構造解析，小角散乱，医学イメージング，放射線生物ビームライン）

生命科学分野はタンパク質結晶構造解析，小角散乱，医学イメージング，放射線生物の研究分野を対象としている。タンパク質結晶構造解析ビームライン（BL-1A，5A，17A，NE3A，NW12A）は200件以上の実験課題を実施しており，PFで最もユーザーニーズの高いビームライン群である。タンパク質結晶構造解析の測定試料は規格標準化が進めや

すく，計測自動化により短時間で多くの実験課題を実施できる環境が整備されていることから，多くの実験課題を有しながら，80%程度のビームタイム配分率を保持している。一方，小角散乱ビームライン（BL-6A，10C，15A2）も100件以上の実験課題を実施しており，ユーザーニーズが高い。こちらはビームタイム配分率が40～70%となっており，XAFS分野と同様に競争率が高い状況となっている。

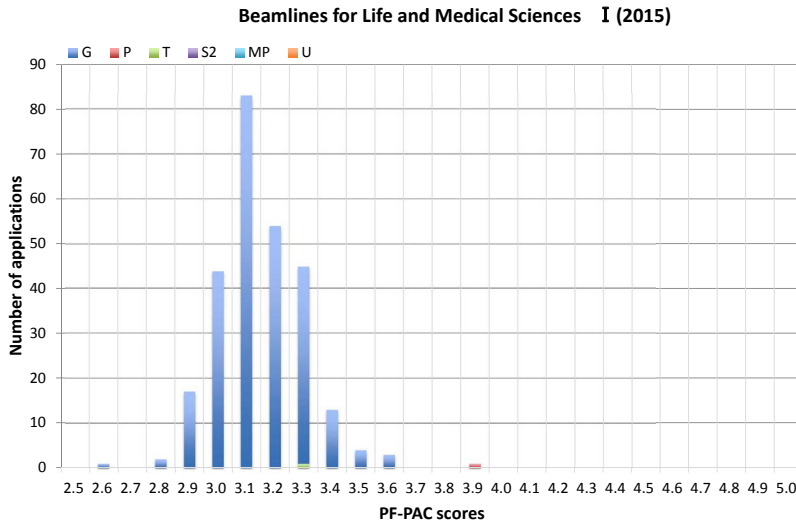


図 1-13 2015 年度の有効共同利用実験課題の評点分布（タンパク質結晶構造解析ビームライン）

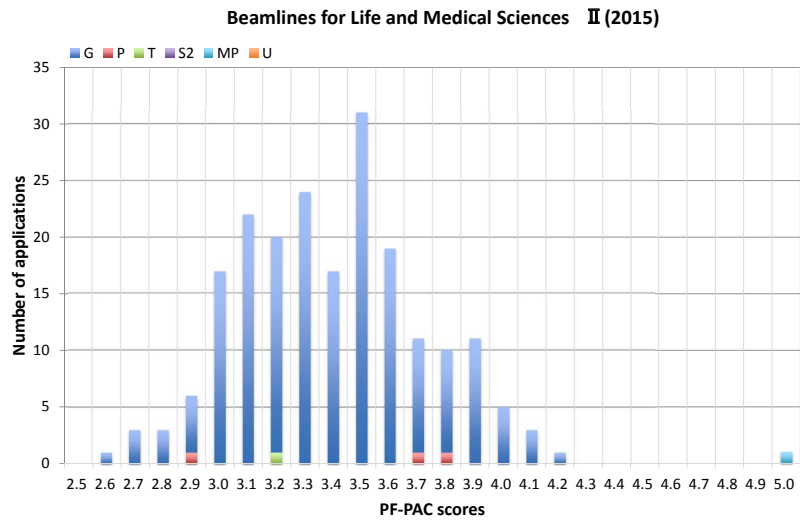


図 1-14 2015 年度の有効共同利用実験課題の評点分布（小角散乱，医学イメージング，放射線生物ビームライン）

表 1-7 2015 年度 3 期分のビームタイム配分率 タンパク質結晶構造解析，小角散乱，医学イメージング，放射線生物ビームライン（100%を超える配分率は，利用希望時間が配分時間を下回っていたことを示す。）

Beamline	Light Source	2016/2-3			2015/10-12			2015/5-6		
		No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score	No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score	No. of Proposals	Allocated Beamtime	Cutoff Score
Beamlines for protein crystallography (BL-1A, 5A, 17A, NE3A, NW12A)	SGU, MPW, U	224	65%	2.9	224	93%	2.9	236	83%	2.9
Beamlines for SAXS (BL-6A, 10C, 15A2)	BM, SGU	106	42%	3.5	108	74%	3.1	107	62%	3.2
BL-14C (X-ray imaging)	VW	24	35%	3.5	24	91%	2.6	26	70%	3.3
BL-20B (X-ray topography and diffraction)	BM	11	105%	3.0	11	113%	3.0	12	96%	3.2
AR-NE7A without high pressure experiment (X-ray imaging)	BM	10	35%	3.4	10	68%	3.2	9	55%	3.3
BL-27A (Radiation biology and XPS for radioactive samples)	BM	16	57%	2.7	16	92%	2.7	19	65%	2.7
BL-27B (Radiation biology and XAFS for radioactive samples)	BM	22	82%	2.9	22	92%	2.9	23	100%	2.9

(5) ユーザーグループ運営・大学等運営ステーション

PF では、施設により運営される通常のステーション群以外に、ユーザーグループ (UG) または大学の部局等によって運営されるステーションがあり、それぞれユーザーグループ (UG) 運営ステーション、大学等運営ステーションと呼んでいる。

1) ユーザーグループ (UG) 運営ステーション

UG 運営ステーションは、放射光利用実験における UG の活動を尊重し、PF 全体の研究活動の活性化に資するとともに、ユーザーグループの積極的な施設運営への参加協力により、PF スタッフのマンパワー不足を補うことを目的としており、特定のステーションを UG と PF との共同で運営している。手続きとしては、まず対象となる実験ステーションまたは装置の運用に関して UG から提出された計画書を基に、PF と UG との間で覚書を取り交わし、ステーション等の運営を PF から UG に委嘱する。当該 UG は、所内担当グループと協議の上、代表者および若干名からなる運営ワーキンググループ (以下運営 WG) メンバーを選任し、ステーションの運営の実務を行う。運営 WG メンバーに対しては KEK の共同研究研究員を委嘱し、一方、PF 側は当該ステーション等の担当職員を指名して運営 WG との連絡調整を行うとともに、ビームライン調整等のための旅費のサポートを行っている。UG 運営ステーションの有効期間は最長3年間とし、更新に際しては当該期間のユーザーグループの活動内容に関する協議を行うこととしている。

2015 年度は、以下の 6 つのステーションがユーザーグループにより運営された (表 1-8)。

表 1-8 ユーザーグループ (UG) 運営ステーション一覧

運営 WG 名	ステーション名	運営 WG 代表者名	有効期間
高圧物性	BL-18C	中野 智志 (NIMS)	2015/4 ~ 2018/3
粉末回折	BL-4B2	植草 秀裕 (東京工業大学)	2015/4 ~ 2018/3
物質物理	BL-6C	奥部 真樹 (東北大学)	2015/4 ~ 2018/3
鉱物・合成複雑 単結晶	BL-10A	吉朝 朗 (熊本大学)	2015/4 ~ 2018/3
表面 ARPES, 表面化学	BL-3B	枝元 一之 (立教大学)	2015/4 ~ 2018/3
マイクロビーム X線分析応用	BL-4A	高橋 嘉夫 (東京大学)	2014/4 ~ 2017/3

2) 大学等運営ステーション

大学等運営ステーションは、放射光科学の教育・研究推進に関する合意書を PF と大学の部局との間で締結し、ステーションの運営を PF から大学に委嘱する仕組みである。ステーションの運営形態は UG 運営ステーションにほぼ準ずるが、大学の教育・実習等にビームタイムが活用されている点が特徴的である。

BL-20A は、東京工業大学と PF の合意書に基づき、両者が共同で運営する大学等運営ステーションである (表 2-9)。このステーションでは、東京工業大学の教員が PF スタッフと協力して大学院教育および一般の共同利用に関わるステーション運営の実務を行っており、2015 年度は、東京工業大学大学院修士課程の放射光科学実習 (1 単位・選択科目) と計測機器演習第 1 (1 単位・選択必修科目) が実施された。

表 1-9 大学等運営ステーション一覧

運営 WG 名	ステーション名	運営 WG 代表者名	有効期間
東京工業大学 大学院理工学 研究科化学専攻	BL-20A	河内宣之 (東京工業大学)	2015/4 ~ 2018/3

1-6. 国際協力

フォトンファクトリーでは、海外9カ国、16研究機関との間で協定を結び、放射光科学・加速器科学分野における研究協力、研究者の交流、研究所間の相互訪問と情報交換等を実施している。協定の詳細について、表 1-10 にまとめた。2015 年度には、上記協定に関連する研究協力、行事等として、以下の通り実施した。

(1) タイ放射光施設との研究協力～タイ王女殿下ご一行の PF 視察

2015 年 4 月 23 日、タイ王国のマハ・チャクリ・シリントーン王女殿下、プアングゲオ駐日タイ王国特命全権大使他ご一行が KEK にご来訪された。PF では村上洋一施設長の案内で、2015 年春に改造を終えたばかりのタンパク

質結晶構造解析ビームライン BL-17A を中心にいくつかのビームラインをご覧になられた。殿下ご自身が研究者で、医学や生命科学に強いご関心をお持ちであり、BL-17A の試料交換ロボットなど最新のタンパク質結晶構造解析装置に興味深くご覧になられていた。

タイ王国には、日本から移設された光源加速器を改良して建設された放射光施設「タイ放射光研究所 (SLRI)」があり、KEK との間に学術研究協力に関する覚書を締結している。これまで光源加速器の移設やビームライン・実験設備の整備、また若手研究者や技術者の人材育成のために、フォトンファクトリーや KEK 加速器研究施設が協力している。

表 1-10 海外研究機関との協定一覧

	機関	協定名称	期間
中国	高能物理研究所 (IHEP)	KEK と IHEP との間における学術交流に関する協定	1994 ～ 2019 年
韓国	浦項工科大学 (POSTECH)	KEK と POSTECH との間における学術交流に関する協定	1995 ～ 2016 年
	韓国基礎科学研究院 (IBS)	KEK と IBS との間における研究協力に関する協定	2013 ～ 2018 年
インド	インド原子力庁 (DAE)	KEK と DAE との間における、素粒子物理実験、測定器開発、放射光科学、加速器科学等における共同研究開発に関する覚書	2012 ～ 2017 年
	インド政府科学技術局 (DST)	科学的・技術的協力に関する覚書の締結	2008 ～ 2016 年
タイ	タイ放射光施設 (SLRI)	KEK と SLRI との間における学術交流に関する協定	2000 ～ 2021 年
台湾	台湾放射光研究センター (NSRRC)	KEK と NSRRC との間における先端加速器技術の開発及び応用に関する覚書	2008 ～ 2019 年
		KEK と NSRRC との間における大電流ビーム加速用超伝導高周波空洞の研究開発に関する協定	2008 ～ 2020 年
米国	SLAC 国立加速器研究所 (SLAC)	外部ユーザーを受け入れる際の指針に関する協定	2011 ～ 2021 年
	ジェファーソン研究所 (Jlab)	KEK とジェファーソン研究所との共同研究に関する覚書	2000 ～ 期限の定めなし
	アルゴンヌ国立研究所 (ANL)	KEK/IMSS と ANL との間における放射光科学分野の国際広報グループに関する覚書	2005 ～ 期限の定めなし
	ブルックヘブン国立研究所 (BNL)	国立シンクロトロン光源プロジェクト II (NSLS- II) に関する覚書	2008 ～ 2017 年 (3 年ごとに自動更新)
	ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL)	外部ユーザーを受け入れる際の指針に関する協定	2011 ～ 2016 年
	コーネル大学加速器利用研究教育機関 (CLASSE)	KEK と SLASSE との間における先端加速器技術と ERL(Energy Recovery Linac) を利用した放射光科学における研究協力に関する覚書	2007 ～ 2017 年
スイス	ポール・シェラー研究所 (PSI)	KEK/IMSS と PSI との間のミュオン・中性子・放射光科学分野における共同研究に関する覚書	2012 ～ 2017 年
ドイツ	ドイツ電子シンクロトロン研究所 (DESY)	KEK と DESY との間における学術交流に関する協定	2005 ～ 2020 年
フランス	国立科学研究センター (CNRS)	KEK と CEA との間における高エネルギー、天体粒子、原子核物理並びに物質科学に関する分野の協力関係に関する協定	2004 ～ 2019 年

(2) インドビームライン (PF BL-18B) の運営～駐日インド大使が KEK を訪問, インドビームラインに関する覚書の延長に署名

6月9日, 駐日インド大使の Deepa Gopalan Wadhwa 氏および駐日インド大使館科学技術参事官の Chadaram Sivaji 氏が KEK に来訪され, 共同研究・研究協力について意見交換を行うとともに, 2008年より締結しているインドビームラインに関する協定の1年間の延長に関する覚書に調印した。PFでは上述の協定に基づき, インド科学技術庁 (DST, Department of Science and Technology) が設置したビームライン (BL-18B) が運用されており, インド研究者による基礎研究や, 若手研究者をはじめとする放射光を利用する人材の育成の場となっている。また, 同ビームラインは日本人をはじめとする研究者にも公開されている。Wadhwa 大使ご一行は, インドビームラインを見学され, Milan K. Sanyal 教授 (Saha Institute of Nuclear Physics) らによって整備された装置類を見学し, そことで行われている実験や今後の研究内容に関するインド人研究者の説明について熱心に耳を傾けられた。

PFのインドビームライン BL-18B については, 安倍総理大臣が2014年1月にインドで開催された日印科学技術セミナーの講演の中で言及され, 「日本の高エネルギー加速器研究機構 (KEK) にはインドビームラインが設置され, 両国の研究者によって多様な実験に活用されています。今後の協力の成果が楽しみです。」と述べている。

(3) アフリカに放射光を～第1回 African Light Source Conference and Workshop 参加～

11月16日から20日の5日間, フランス・グルノーブルの放射光施設 ESRF において, African Light Source Conference and Workshop (アフリカ光源加速器会議およびワークショップ) の初めての会合が開催された。フォトンファクトリーから阿部仁准教授が参加した。

(4) 台湾放射光研究センター (NSRRC) への技術支援～台湾放射光 TPS が 520 mA の電流蓄積に成功

台湾放射光センター (NSRRC) が建設を進めている3 GeV の第3世代放射光加速器 TPS (Taiwan Photon Source) が2015年12月12日に設計値を越える520 mA の電流蓄積に成功した。この高周波加速装置には KEKB が大電流加速のために開発した高調波減衰型超伝導空洞が採用され, その導入に技術支援を行ってきた。KEKB 型超伝導空洞の特徴として, 1 A を越える大電流ビームの安定な加速実績があること, 使用している高周波入力結合器の許容電力が要求される高周波電力に対して余裕があること並びに結合度が調整できることなどが評価された。2015年9月に稼働を開始し4ヶ月後には520 mA の蓄積を達成し, 放射光利用実験が開始している。

1-7. 大学連携

KEK では、国内の大学における加速器科学、物質科学、生命科学、量子ビーム科学などの研究領域の推進を図るとともに、人材の育成、人材交流を発展させ、世界第一線で先導的な役割を果たすべく、国内の大学との間で異分野融合型の研究開発の連携・協力を積極的に推進している。2015 年度に KEK との間で連携協力協定を締結している大学は、九州大学、北海道大学、筑波大学、名古屋大学、東京大学他である。

フォトンファクトリーでは、北海道大学との間で、定期的に連携協議会と連携シンポジウムを開催しており、2015 年度は、2016 年 2 月 4 日に、KEK つくばキャンパスにおいて開催した。連携シンポジウムでは、「材料創成と次世

代量子ビームのコラボレーション」をテーマとして、2015 年度に北海道大学に新しく設置された触媒科学研究所と KEK との連携研究の事例を紹介するとともに、材料創成と次世代量子ビームのコラボレーションについて議論を行った。

東京大学大学院新領域創成科学研究科との間では、2016 年 3 月 18 日に、人材育成をテーマとしたシンポジウムとして、「人工知能とバイオテクノロジーの融合」というタイトルの連携シンポジウムを東京大学フューチャーセンターで開催した。人工知能と生命科学研究に関わる第一線の研究者の講演とともに、大学院生・ポスドクなどの若手研究者がポスター発表を行い、研究交流を深めた。

1-8. 広報・アウトリーチ活動

フォトンファクトリーは、学術研究や産業振興、研究人材育成に幅広く貢献しており、その成果の広報・普及活動は施設としての重要な責務である。PFに関連する広報、アウトリーチは、物質構造科学研究所の広報室が中心となって活動を行っている。2015年度は、パンフレットの作成、見学者対応などの通常の広報業務に加えて、以下に示す活動を行った。

(1) 報道機関向け発表（プレス発表）

PFを利用した研究成果のプレス発表には、共同利用ユーザーによる研究成果とともにPF内部のスタッフによる研究成果も含まれる。2015年度は、PFの研究成果に関連して、以下の12件のプレス発表を行った。

- 4月27日 これまでになく強く明るいX線を発生する新たな技術誕生へ
- 9月24日 超高速光化学反応を可視化する「分子ムービー」の原理を実証
- 10月1日 低電圧でも動作する有機強誘電体メモリーの印刷製造技術を開発
- 12月8日 次世代デバイス開発の扉を開く電子構造を発見
- 12月10日 酸化タンゲステン光触媒の光キャリア超高速構造追跡に成功
- 1月8日 細胞の代謝とがん化を司る、細胞内エネルギーセンサーを発見
- 2月1日 質量ゼロのディラック電子の流れを制御できる新しい磁石を発見
- 2月5日 反強磁性の影響がない高温超伝導状態を観測
- 2月24日 30年来不明であった光触媒TiO₂表面の原子配置を決定
- 3月7日 全反射高速陽電子回折法によりグラフェンと金属との界面構造の解明に成功
- 3月18日 世界初、ポジトロニウム負イオンの共鳴状態の観測に成功
- 3月30日 一家に1枚「水素」ポスターの制作について

(2) 新しいPFWEBページの準備と公開、facebook等の情報発信ツールの活用

PFユーザーおよび一般向けの情報発信の充実に向けて、2014年から約1年間かけてPFの新しいホームページを準備し、2015年度に公開した。また、SNSによるタイムリーな情報発信を目的として、facebook等を活用した情報発信を開始した。

(3) サイエンスワークショップ「チョコレート・サイエンス」の企画・実施

PFの放射光を用いて、チョコレートの食感と油脂の結晶構造の関係を明らかにした広島大学の上野聡教授のグループの研究成果を元にして、チョコレートを固める際の温度条件と、結晶構造、食感の違いを実感することができる一般向けのワークショップとして、「チョコレート・サイエンス」を企画・実施した。このワークショップでは、一般参加者を対象として、チョコレートを構成する分子の並び方の違い（多形結晶）が、食感や美味しさにどのように関係しているのかを分かりやすく解説し、実際に参加者がチョコレートを作って、見て、触って、味わって、理解を深めることができる。楽しく学び、最先端の研究を身近に感じられるワークショップとして人気を集めており、これまでに12回のワークショップを開催した。

(4) 「一家に1枚」ポスター（文科省）の企画・制作

文部科学省は、国民が科学技術にふれる機会を増やし、科学技術に関する知識を適切に捉えて柔軟に活用してもらうことを目的に「一家に1枚」ポスターを製作している。2005年より始まったこのシリーズは、2016年で12回目になる。2016年度の企画にあたり、KEK物質構造科学研究所の大友季哉教授、宇佐美徳子講師および広報コーディネーター餅田円氏、大島寛子氏の4名から成るチームが提案する「水素」が採択され、2015年度に企画・制作を行った。2016年度の科学技術週間（4月18日～24日）にあわせて発行、全国に配布される。

1-9. 教育・人材育成

フォトンファクトリーでは、全国の大学院に所属する多くの大学院生を共同利用ユーザーとして受け入れている。2015年度の大学院生ユーザーの登録数は、約1200名であり、フォトンファクトリーを利用する年間の全登録ユーザー(3000～3500名)の約1/3を占める。また大学の学部学生および高等専門学校の本科学4年生以上に在籍する学生については、共同利用ユーザーとしてではなく、実習生として放射光実験参加への門戸を開いている。

また独自の大学院教育システムとして、大学共同利用機関4機関が運営する総合研究大学院大学(総研大)の高エネルギー加速器科学研究科・物質構造科学専攻の中で、放射光関連の研究教育講座を担当しており、他の大学院にはない、放射光施設のオンサイトでのユニークな大学院教育を推進している。

さらに国立、公立及び私立の大学の要請に応じ、全国の大学院生を特別共同利用研究員として受け入れ、研究指導を行っている。2014年度からは、大学院生が実験課題責任者となって共同利用実験を行う新しい課題カテゴリーとして、大学院生奨励課題(T型課題)をスタートさせた。

KEKのサマーチャレンジは、新しい知の枠組みの構築に挑戦する次世代の基礎科学を担う若者たちの育成を目指して、全国の大学3年生を主な対象としたスクールであり、2015年で第9回となる。フォトンファクトリーでは、物質・生命スクールを担当し、8月のサマースクールに加えて、12月には放射光を実際に用いた「秋の実習」を実施した。2015年度のそれぞれの活動の概要について以下に記載する。

(1) 大学共同利用における人材育成

フォトンファクトリーの共同利用において、大学院生ユーザーは放射光ユーザー全体の約3割を占める。多くの大学院生ユーザーの放射光の共同利用実験への参画は、国内外の大学における学術研究の推進に資するのはもちろんの事、企業、大学、研究機関において先端的な大型研究施設を活用する若手研究人材を育成するという観点からも、極めて重要である。図2-8に、フォトンファクトリーの研究論文成果として登録された学位論文数(修士論文と博士論文の合計)の年度推移を示す。2011年度は250件を超える学位論文登録があったが、その後の登録数は減少しており、2015年度は約170件の学位論文が登録された。これまでの累計では、フォトンファクトリーでの共同利用実験により、約3500件の学位論文が発表・登録されており、フォトンファクトリーの際立った特徴となっている。一方、学部学生の実習については、2015年度は369件の実習を受け入れた。

(2) 総合研究大学院大学

総合研究大学院大学(総研大)は、1988年に国立大学(現在は国立大学法人)として創立された大学院大学である。各専攻は、4つの大学共同利用機関に直結して設置されており、学術研究の新しい流れに先導的に対応できる視野の広い創造性豊かな研究者を養成することを目指している。物質構造科学専攻では、先端的加速器から得られる放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子などの量子ビームを利用した最先端の科学研究を行っている。その分野は物理学や、化学をはじめ、ナノテクノロジー、生命科学、医学応用、環境科学、地球物理学などの極めて広範囲かつ最先端の研究分野に亘る。また量子ビームの利用研究だけに留まらず、量子ビームの発生・利用技術の一層の高度化の研究を進めることにより、物質の新たなフロンティアの開拓に寄与することを目指している。2015年度にフォトンファクトリー内の講座に所属する総研大学院生は3名(生命科学2名、検出器開発1名)であった。また企業研究者1名が、論文博士として学位を取得した。

(3) T型課題と特別共同利用研究員

フォトンファクトリーで実施する放射光共同利用実験課題の新しいカテゴリーとして、2014年度から大学院生が実験課題責任者となって共同利用実験を行うことのできる、大学院生奨励課題(T型課題)がスタートした。T型課題に申請した大学院生は、書類及び面接審査を経て、課題が採択された場合には、課題責任者として主体的に放射光研究を展開することができる。T型課題責任者の大学院生は、特別共同利用研究員としてフォトンファクトリーに在籍することを義務付けており、出身大学の指導教員とフ

表1-11 総研大学院生および特別共同利用研究員の受け入れ状況の年度推移

FY	SOKENDAI	JPHD
2001	10	8
2002	13	13
2003	15	7
2004	14	5
2005	13	6
2006	9	10
2007	6	13
2008	6	10
2009	6	9
2010	5	10
2011	4	5
2012	3	6
2013	4	7
2014	3	7
2015	3	6

光子ファクトリー内の受入教員の両方から研究指導を受けながら、光子ファクトリーの実験現場で博士課程の研究を進めることができる。

T型課題の採択件数は、2014年度6件、2015年度4件であった。

前述の特別共同利用研究員の制度は、KEKで他大学の大学院生を受け入れるシステムである。総研大とは別に、国立、公立及び私立大学の要請に応じて、KEK内の教員が受入先となって全国の大学院学生を特別共同利用研究員として受け入れる制度を整備し、研究指導を行っている。2015年度に光子ファクトリー内で受け入れた特別共同利用研究員は6名であった。光子ファクトリーの総研大院生および特別共同利用研究員の受け入れ状況の年度推移を表1-11に示す。

(4) サマーチャレンジ2015

KEKでは、日本中間子科学会、高エネルギー物理学研究者会議、原子核談話会ならびにPF-ユーザーアソシエーション(PF-UA)の共催のもとに、新しい知の枠組みの構築に挑戦する次世代の基礎科学を担う若者たちの育成を目指して、全国の大学3年生を主な対象としたサマースクールを8月に開催している。第9回目となる今回は「この夏、研究者になろう！」をテーマに、最前線で活躍する研究者による講演や講義を行った。本サマースクール最大の特徴は、少人数のグループに分かれた実験演習にある。全国の大学スタッフにより練り上げられた全14テーマ(素粒子・原子核8テーマ、物質・生命6テーマ)に分かれ、研究者が実際に使用している装置や機材等を使用し実験に取り組んだ。そして最終日には成果を発表、議論を交わすという、研究の一連の流れを体験した。加速器施設等の見学、先輩研究者達との研究生活に関する談話会等を含め、参加学生が寝食を共にし、科学に目覚め"研究者になる"ユニークなサマースクールである。

光子ファクトリーでは、物質・生命コースを担当し、8月18日から26日の夏期スクールに加えて、12月12日、13日の2日間、秋の実習を実施した。8月のスクール中は、加速器運転が停止しているため、放射光を使用しない演習を行ったが、より実際の放射光の利用研究に近い体験をするために、加速器の運転している時期を選び実習を行った。12月12日(土)、13日(日)の2日間、6つの班が再び集まり、夏の実習で作成し保存しておいた試料を放射光で測定する、組み立てた装置を実験ホールに持ち込んで分析するなど、実際の研究現場で実験を行った。時にはうまく行かないこともあり、その原因も皆で考えながら解決して実験をすすめ、取得したデータを解析し議論することで、さらに理解を深めることができたようである。8月の実習からさらに成長し、少し研究者らしくなった実習生の姿を見ることができた。

1-10. 外部資金の獲得状況

フォトンファクトリーでは、文部科学省科学研究費補助金を積極的に獲得して放射光施設を活用した学術研究を推進している。また同時に、国家プロジェクトに基づく大型外部資金を獲得し、課題解決型の取り組みを推進しつつ、

実験ステーション等の整備・高度化を進めている。2015年度のフォトンファクトリー関連の外部資金獲得状況は、以下の通りである。

表 1-12 科学研究費補助金

研究種目	件数	備考
新学術領域研究	3	計画 2, 公募 1
基盤研究 (S)	2	
基盤研究 (A)	3	
基盤研究 (B)	5	
基盤研究 (C)	8	
挑戦的萌芽研究	6	
若手研究 (B)	8	
研究活動スタート支援	1	
計	36	

表 1-13 受託研究

事業名	研究題名	研究代表者
国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム)	イリジウムを代替するホイスラー合金	小野 寛太
X線自由電子レーザー重点戦略課題	凝縮系光反応フェムト秒X線分子動画観測技術の開発	足立 伸一
X線自由電子レーザー重点戦略課題	創薬ターゲット蛋白質の迅速構造解析法の開発 (細胞内でのタンパク質結晶の生産および構造解析技術開発)	湯本 史明
希少金属資源開発推進基盤整備事業	放射光を用いたイオン吸着鉱中のレアアース存在形態の解析	小野 寛太
戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「革新的構造材料」	放射光を中心とした先端計測技術開発	木村 正雄
重要知財集約活用制度 (スーパーハイウェイ)	スーパー抗体酵素の抗がん・抗ウイルス活性と分子構造 (結晶構造解析) との関連性の解明	加藤 龍一
革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)	マイクロアンジュレーターの開発	山本 樹
国家基幹研究開発推進事業 「元素戦略プロジェクト」	元素戦略磁性材料研究拠点 (中性子・X線 in-situ 解析)	小野 寛太
国家基幹研究開発推進事業 「元素戦略プロジェクト」	東工大元素戦略拠点 (TIES) (放射光・中性子・ミュオンを用いた材料評価・解析)	村上 洋一
国家課題対応型研究開発推進事業 「光・量子融合連携研究開発プログラム」	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	足立 伸一
国家課題対応型研究開発推進事業 「光・量子融合連携研究開発プログラム」	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 (電子伝達タンパク質の酸化還元状態依存的な親和性調節機構の解明)	千田 俊哉
戦略的創造研究推進事業 (さきがけ)	転写基本因子 TFIID の結晶構造解析を介したクロマチン転写制御機構の解明	安達 成彦
戦略的創造研究推進事業 (CREST)	シグナル攪乱複合体の結晶構造解析	千田 俊哉
戦略的創造研究推進事業 (CREST)	放射光X線を用いた有機強誘電体の結晶・電子・分極ドメイン構造の解明	熊井 玲児
戦略的創造研究推進事業 (ACCEL)	触媒反応のその場観察による構造解析	阿部 仁
次世代自動車向け高効率モーター用 磁性材料技術開発	高効率モーター用磁性材料開発のためのマテリアルズインフォマティクス手法の研究開発	小野 寛太
研究成果展開事業 「産学共創基礎基盤研究プログラム」	磁気構造可視化に基づく保磁力モデルの構築	小野 寛太

表 1-14 機関補助金

事業名	研究題名	研究代表者
研究開発施設共用等促進費補助金（先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業）	フォトンファクトリーの産業利用促進 取組1（トライアルユース）	野村 昌治
研究開発施設共用等促進費補助金（先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業）	フォトンファクトリーの産業利用促進 取組2（光ビームプラットフォーム形成）	野村 昌治
医療研究開発推進事業費補助金（創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業）	創薬等支援のためのタンパク質立体構造解析総合技術基盤プラットフォームによる支援と高度化	千田 俊哉
医療研究開発推進事業費補助金（創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業）	大規模自動結晶化システムによる解析パイプラインの支援と高度化	加藤 龍一
平成 27 年度科学技術人材育成費補助金	科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業「ナノテクキャリアアップアライアンス」	足立 伸一

1-11. 研究会・講習会

(1) PF 研究会

フォトンファクトリーでは、放射光科学における幅広い研究分野の推進を目的として、PF 研究会の提案を全国の研究者から年2回公募している。この研究会は、放射光科学及びその関連分野から、タイムリーで重要な特定のテーマを選定し、KEK つくばキャンパスで集中的に討議するものである。例年6回程度を採択し、開催している。開催にあたっては、一定の予算枠内で、参加者の旅費等のサポートを実施している。2015年度は、以下の5件のPF研究会の提案を採択・開催した。

2015年

7月27, 28日 「次世代放射光光源を用いた構造物性研究への期待」(参加者60名)

10月2日 「X線顕微分析の新展開: STXM から硬X線複合分析まで」(参加者87名)

2016年

1月12日 「先進的放射光利用による原子分子科学」(参加者44名)

1月19, 20日 「放射光のオンリーワン計測と産業利用展開」(参加者80名)

3月30, 31日 「徹底討論! 小角散乱の魅力～基礎・応用・産業利用」(参加者156名)

(2) PF シンポジウム

PF シンポジウムはPF を利用するユーザーが年に一度集い、フォトンファクトリーでの研究成果、施設運営、共同利用、将来計画等について議論する場であり、2016年3月開催のPF シンポジウムで34回目を数えた。2015年度のPF シンポジウムは、3月15, 16日に開催された量子ビ

ームサイエンスフェスタの中で、2日目に開催された。シンポジウムでは、施設および将来計画の現状について報告され、ユーザーを交えた総合討論が行われた。

(3) 講習会

フォトンファクトリーでは、比較的利用ユーザーの多い計測分野(タンパク質結晶構造解析, X線溶液散乱, XAFS)を中心として、定期的に講習会を開催している。2015年度に開催した講習会のリストを表1-15に示す。

ナノテクキャリアアップアライアンスは、文部科学省の科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業補助金によって支援されている取り組みである。2014年度下期から開始されたこの事業は、「TIA オープンイノベーション拠点(TIA)」の参画機関(KEK, 産業技術総合研究所, 物質・材料研究機構, 筑波大学)と京都大学ナノテクノロジーハブ拠点が中核機関となり、アライアンスを構成する10大学と連携して、我が国のナノテク研究人材のキャリアアップと流動性向上を目指す研究人材育成を進めている。フォトンファクトリーでは、放射光分析手法(XAFS, 小角散乱, 粉末X線回折, X線イメージング)の講義・実習による研修プログラムを組み、2015年度はXAFS, 小角散乱, 粉末X線回折の講義・実習を開催した。

また、タンパク質及び溶液散乱関連の都合3回の講習会は創薬等支援技術基盤プラットフォーム事業と物質構造科学研究所の連携による実施である。

そのほか、構造生物のビームラインでは講習会に準じた形で報告会及び施設見学会(11月27日)を行ったほか、大学等連携事業に基づいて茨城大学に対してタンパク結晶及び小角散乱に関する学生向けの講習を実施した(11月9-11日)。

表 1-15 講習会リスト

講習会	参加人数	企業参加	内容	実施日
ナノテクキャリアアップアライアンス 第1回 KEK 放射光利用技術入門コース(小角散乱)	4	可	実習	2015年6月1-2日
ナノテクキャリアアップアライアンス 第2回 KEK 放射光利用技術入門コース(粉末X線回折)	5	可	講義, 実習	2015年8月31日, 11月19-20日
第3回タンパク質X線溶液散乱講習会	52	可	講義, 実習	2015年11月19-20日
XAFS 講習会 2015	13	可	講義, 実習	2015年12月3-4日
X線溶液散乱企業向け講習会	6	可	講義, 実習	2015年12月14日
第6回タンパク質結晶構造解析合同講習会	17	可	講義, 実習	2016年2月26日
ナノテクキャリアアップアライアンス第3回 KEK 放射光 利用技術入門コース(XAFS)	17	可	講義	2016年3月1日

1-12. 産業利用

(1) 概況

PFの産業利用は施設利用、共同研究及びトライアルユース(TU)の3つの制度を中心にして取り組まれている。施設利用と共同研究はKEKの自主施策であり、TUは文部科学省先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業(先プラ事業)の補助に基づいて実施される無償利用制度である。この他に、応募者制限はあるものの共同研究と優先利用も利用可能である。企業の共同利用は2012年度頃から活用されはじめ、2015年度は5課題(4社)が実施された。一方、優先利用はこれまでどころ企業の利用実績は無い状況である。

産業利用の実施課題数と実験時間数の経年推移を図1-14、1-15に示す。4制度(施設利用、共同研究、TU、共同利用)全体で年間50社ほどの企業にご利用頂いており、2009年度からの中長期的な視点で見れば産業利用のニーズは増加の傾向にある。測定方法の改良やロボットの活用等による実験の効率化もあり、そのニーズをほぼ同じ実験時間数で実施している。チームタイムの利用率は産業利用全体で概ね6-8%程度である。

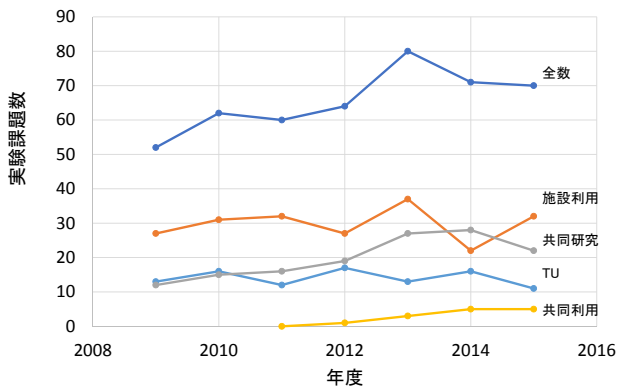


図1-14 産業利用の実験課題数

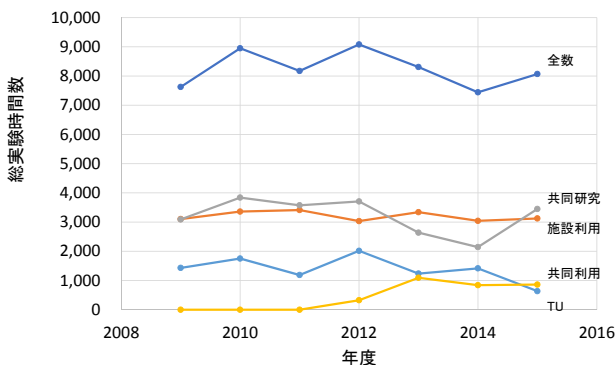


図1-15 産業利用の実験時間数

(2) 支援体制、普及活動

産業利用の支援体制として、TUの支援員(2015年度は4名)とリエゾン1名を中心にして2015年度に産業利用促進グループを組織化し、継続的な活動の礎を築いた。利用者の実験に対する技術的な支援はチームラインの担当が行うとともに、産業利用促進グループが協力できる領域では積極的に協力し、利用者に対するサービスの維持向上に努めた。

普及活動として、講習会や広報活動を挙げる。PFの講習会は自主的あるいは外部資金に基づいた形で技術手法別に行われる事が多いが、それらのほぼすべてにおいて企業の方も参加可能であり(講習会の章を参照)、2015年度は計16名の参加があった。

広報活動としては、TIAシンポジウム(9月17日)、第2回元素戦略プロジェクトシンポジウム(1月21-22日)、量子ビームサイエンスフェスタ(3月15-16日)などにおいて産業利用のポスター発表を行った。また、PF研究会では産業利用を切り口とする「放射光のオンリーワン計測と産業利用展開」(1月19-20日)、が開催された。

(3) 光ビームプラットフォームの活動

2013年度に先プラ事業の一部としてプラットフォーム事業が始まり、国内の6つの放射光施設と2つの大型レーザー施設が連携して、共用の高度利用支援を図る光ビームプラットフォームが形成された。KEKはその代表機関として事業全体の取り纏めと運営を担い、一元的な情報提供や成果の紹介を含む広報活動、相談受付や施設の斡旋を行う総合窓口、治具やデータフォーマットの互換性検討、施設連携サービスの検討などに取り組んできた。2015年度は3年間の事業の最終年度として収束を行うとともに、2016年度から新たに開始される共用促進事業の募集に対して、標準化と複数施設の活用による高度な解析手法の普及促進を切り口として応募し、事業活動の発展的展開を図った(2016年度に採択)。