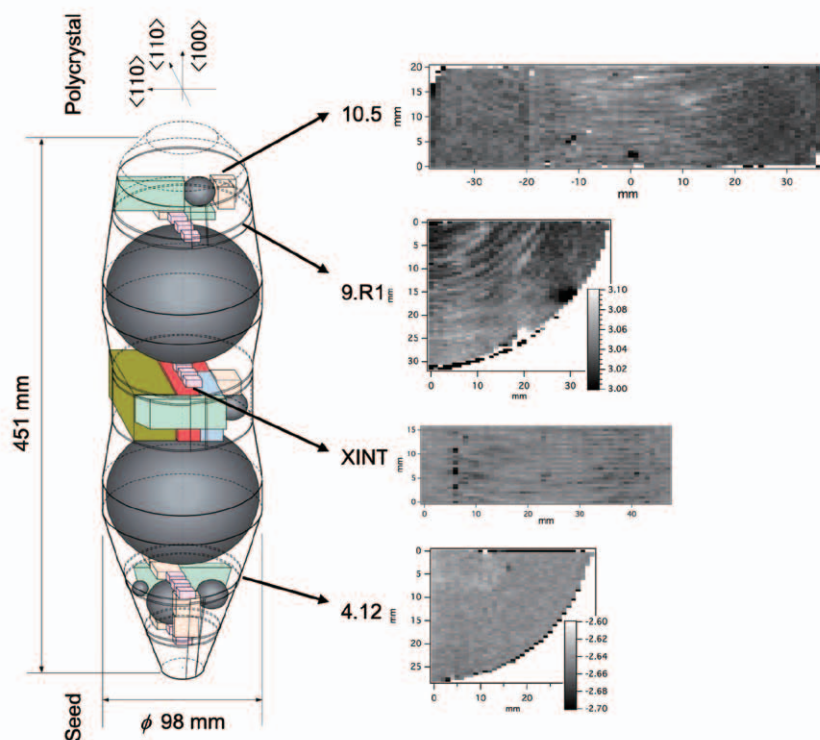
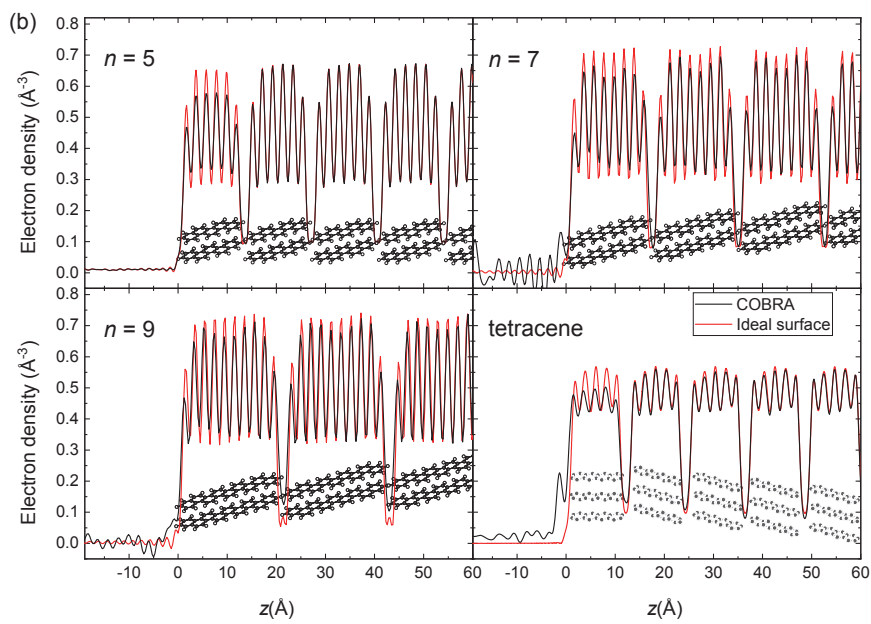


- 高い時間・空間分解能を持つ表面X線回折を活用した構造物性研究
- 自己参照型格子比較器を用いた同位体濃縮  $^{28}\text{Si}$  単結晶の結晶評価



# 目次

施設だより	船守 展正	1
現 状		
入射器の現状	古川 和朗	2
光源の現状	小林 幸則	4
放射光実験施設の現状	船守 展正	9
放射光科学第一、第二研究系の現状	雨宮 健太	10
最近の研究から		
高い時間・空間分解能を持つ表面X線回折を活用した構造物性研究 Structural Materials Science Study Based on Surface X-ray Scattering Having High Temporal- and Spatial-Resolution	若林 裕助, 白澤 徹郎	11
自己参照型格子比較器を用いた同位体濃縮 <sup>28</sup> Si 単結晶の結晶評価 Crystal Characterization of <sup>28</sup> Si Single Crystals by the Self-Referenced Lattice Comparator	早稲田 篤, 藤本 弘之, 張 小威	15
プレスリリース		
海底堆積物に膨大な "微小マンガング" を発見〜陸上マンガング鉱床に匹敵する量のマンガングが海底下に存在〜		19
新材料の研究開発に有用な量子ビーム実験の計測効率を向上する手法を開発 量子ビーム実験の計測時間を従来の 10 分の 1 に短縮し, 新材料の研究開発の加速を支援		19
トポロジカル物質中の新型粒子を発見 - ディラック・ワイル粒子に次ぐスピン 1 および 2 重ワイル粒子 -		20
機械学習により X 線吸収スペクトル解析の自動化が可能に〜データの類似度に着目し定量的なスペクトルの解析を実現〜		20
研究会等の開催・参加報告		
「2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ第 10 回 MLF シンポジウム 第 36 回 PF シンポジウム」開催報告	小野 寛太	21
「2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ」に参加して	上出 晴輝	23
「第 1 回クライオ電顕解析初心者講習会〜データ処理〜」開催報告	湯本 史明	24
「タンパク質結晶構造解析初心者向け講習会」開催報告	松垣 直宏	25
「XAFS 講習会」(2018 年度)開催報告	木村 正雄, 阿部 仁, 武市 泰男, 渡邊 稔樹, 仁谷 浩明, 丹羽 尉博, 山下 翔平, 若林 大佑, 君島 堅一, 伴 弘司, 宇津野恵美	26
ユーザーとスタッフの広場		
高良和武先生を偲んで	雨宮 慶幸	28
高良和武先生追悼記事 (PFNews Vol. 30 No. 1 MAY 2012 より転載) 第 29 回 PF シンポジウム PF30 周年記念講演① 放射光実験施設誕生の頃の裏話	高良 和武	30
共鳴 X 線散乱の軟 X 線領域への研究展開における四方山話	中尾 裕則, 山崎 裕一	34
PF 滞在記		
BL-9C を利用した担持ニッケル酸化物ナノクラスター触媒に関する研究	佐々木拓朗	38
ある企業研究者が PF で高温ガス反応中の触媒構造を見た!〜ビームタイムと会社タイムの共通点〜	村田 尚義	39
PF トピックス一覧 (2 月〜4 月)		40
PF-UA だより		
2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ学生奨励賞について	伏信 進矢, 大原 高志	41
ユーザーグループ発足のお知らせ		41
新ユーザーグループ原子力基盤研究ユーザーグループの紹介	岡本 芳浩, 本田 充紀, 谷田 肇, 宇佐美徳子	41
位相計測ユーザーグループ紹介	高野 秀和	42
表面科学ユーザーグループの紹介	吉信 淳, 枝元 一之, 近藤 寛, 小澤 健一, 間瀬 一彦	44
平成 30 年度第 4 回 PF-UA 幹事会・運営委員会議事録		46
平成 30 年度 PF-UA 総会議事録		46
人 事		
人事異動・新人紹介		48
お知らせ		
「フotonファクトリー新体制発足記念講演会〜PF REBORN 2019〜」開催のお知らせ	船守 展正	50
KEK 公開講座「生物学におけるクライオ電子顕微鏡」開催のお知らせ		50
「第 8 回対称性・群論トレーニングコース」開催のお知らせ (日本語・英語講義)	神山 崇, 五十嵐教之, 奥部 真樹	50
「高エネルギー加速器セミナー OHO'19」開催のお知らせ	小林 幸則	51
PF 研究会「BioSAS が拓く生体高分子の分子間相互作用解析の最前線」開催のお知らせ	清水 伸隆	51
PF 研究会「X 線分光理論の新展開: 構造・電子状態解析から磁性研究まで」開催案内	畑田 圭介	52
Photon Factory Activity Report 2018 ユーザーレポート執筆のお願い	岩野 薫	52
総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科大学院説明会及び学生募集のお知らせ	岸本 俊二	52
高エネルギー加速器研究機構 研究系・技術職員インターンシップについて		53
2019 年度後期 フotonファクトリー研究会の募集	船守 展正	54
売店移転のお知らせ		54
PF 研究棟にコンビニ自販機が設置されました		55
予定一覧		55
運転スケジュール (May ~ Aug 2019)		56
掲示板		
第 109 回物質構造科学研究所運営会議議事次第		57
2019 年度 客員研究員一覧		58
放射光共同利用実験審査委員会委員名簿		59
放射光共同利用実験審査委員会委員名簿 (分科別)		59
施設留保 (R) ビームタイム採択課題一覧 (2018 年度)		60
施設留保 (RP) ビームタイム採択課題一覧 (2018 年度)		61
内部スタッフ・大学院生優先ビームタイム採択課題一覧 (2018 年度)		63
平成 30 年度第 3 期配分結果一覧		65
編集委員会だより		
「PF ニュース」からのお知らせ		69
投稿のお願い		69
巻末情報		70

表紙説明 (上図) 表面 X 線回折で求めた有機半導体表面近傍の電子密度分布 (「高い時間・空間分解能を持つ表面 X 線回折を活用した構造物性研究」より)  
(下図) 同位体濃縮 <sup>28</sup>Si 単結晶 (AVO28) の格子定数のマッピング結果 (「自己参照型格子比較器を用いた同位体濃縮 <sup>28</sup>Si 単結晶の結晶評価」より)

放射光実験施設フォトンファクトリーが2019年4月1日付で正式な組織として発足し、実験施設長に就任いたしました。「放射光科学の発展とPFの将来計画の実現」に向けて全力で取り組んで参りますので、どうぞよろしくお願いたします。

PFの施設運営にあたっては、「連携」を重視したいと考えています。前回の『施設だより』(PF News 2018年11月号, Vol. 36, No. 3)において、「放射光科学の発展とPFの将来計画の実現に向けて、組織基盤を強固にする」ことが組織改編の目的と述べましたが、これを達成するためには連携が必要です。

放射光実験施設、放射光科学第一・第二研究系、加速器第六研究系の4組織がコヒーレントに活動することはもちろん、加速器研究施設、共通基盤研究施設、管理局(機構事務本部)との機構内連携が大切です。昨年度は、日常的な支援に加え、物構研の組織改編やPF先端化寄附金(<https://www2.kek.jp/imss/pf/donation/>)の設置、PF-UAの会員情報管理などの特別な支援を管理局から受けました。今年度は、機構理事を座長とする利用手続きの一元化のためのワーキンググループが設置され、ユーザーの皆さんの利便性向上のための検討が始まっています。さらに、施設運営において避けて通れない予算面では、管理局や機構執行部の理解もあり、PFプロジェクト経費の赤字を機構の予算から補填してもらうことで最低限の運転時間を確保しています。

放射光コミュニティとの連携も大切です。放射光学会では、2019年3月に第1回拡大放射光施設代表者会議が開催され、日本学術会議のマスタープラン2020に大型研究計画「放射光学術基盤ネットワーク」を提出することになりました。PF、UVSOR、HiSORの学術3施設の連携と高度化を中心とした計画です。文科省の量子ビーム利用推進小委員会も第10期となり、日本全体の量子ビーム施設の役割分担が議論されると聞いています。PFには、大学共同利用機関である物構研の中核施設として科学研究と人材育成の拠点となること、また、世界有数の加速器の専門家組織を有するKEKに所属する強みを活かした開発研究の拠点になることが期待されているものと考えています。

直近の将来計画として、PFリング高度化計画(PF Upgrade 2020: Renovated Multipurpose SR-Ring with Only One and Number One Beamlines)の具体的な検討をPFの4組織の緊密な連携により進めています。量子科学技術研究開発機構と光科学イノベーションセンターによる次世代3 GeV光源計画が進められている現状を踏まえ、新施設の計画は10年先を見据えて準備を行うこととし、KEK放射光計画で検討した技術要素をPFリングとビームラインの高度化のために活用するものです。PFリング高度化計画では、第三世代の低エミッタンスを実現しながら、高強度パルス

X線や垂直偏光X線などの特長を合わせもつ独自の第三世代リングに進化させることを目指しています。また、安定性を飛躍的に向上させることで、高度な測定を容易に実施できるようにすることを目指します。本計画の実現は、物構研が準備を進めている新センター(量子ビーム連携研究センター)構想の成功の鍵となるとともに、前述の「放射光学術基盤ネットワーク」においても、初年度からの3年間で実施するものとされており、2020年度概算要求に盛り込む方向で考えています。

予算状況を好転させるためには、研究教育上の優れた成果を創出してPFの存在意義を高めることが必須です。鶏と卵の関係ではありますが、限られた予算であっても優れた成果をより多く創出するための仕掛けを工夫したいと考えています。スタッフ数の不足が深刻な現状をみれば、ユーザー(およびポテンシャルユーザー)の皆さんとの連携を強化することが極めて重要なことは明白です。これまでも実験ステーションのユーザーグループ運営などを通して多大なるご協力を頂いているところですが、異なる方向の連携として、ユーザーとスタッフの高度な共同研究を促進するための新制度の導入とそれを機能させるためのビームラインの再編が必要と考えています。(共同研究に加えて人材育成の観点からも検討します。なお、多様性は重要ですので、それを損なうような再編は避けるべきと考えています。)

以上、少し大きな連携を中心に述べさせて頂きました。一方で、実験施設長の裁量だけで進められるような案件もあります。まずは、共同研究を促進するための共用スペースの整備を行いました。また、PF研究棟の環境整備を進め、実験施設長室をPF研究棟2階に復活させました。実験施設長室の扉が開いている時には、是非、遠慮なくお声掛けください。不在の場合は、ご自由にお使いください。連携のためのコミュニケーションの場となることを願っています。

最後に、ここまでこの原稿を読んでもくださった皆さんにお願いです。是非とも、この愛すべきPFの将来のために「連携」して行きましょう！

## 入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗  
(2019年5月7日付け)

### 概要

2019年の入射器の立ち上げは2月4日から始まり、幸いすぐにマイクロ波・加速管のコンディショニングを終えることができた。大震災以降、電力量節約のために、入射器の大電力パルス電源は25 Hzで運転されてきたが、今期からは4リング入射に備えて50 Hzを基本とする運転が行われている。約1週間でSuperKEKBと放射光施設入射の基本パラメータを確立し、2月12日からはPFリングへの入射、18日からはダンピングリング(DR)のコミッションを開始し、さらに3月4日からPF-ARに5 GeVの入射を行った。並行して、SuperKEKBに向けた電子及び陽電子ビームの準備を進め、11日からSuperKEKBフェーズ3コミッションを開始した。順調に衝突調整を進めていたが、4月3日に入射器棟に隣接する加速管組立室において火災が発生し、入射器に侵入した煤による機器の被害の回復に3週間を要した。一部の機器を除いて正常動作を確認しており、5月7日からのPFリングの運転に備えている。

### 4 + 1 リング同時入射

KEKB計画の後期に、入射器のパルス毎に異なるビームを加速することによって、KEKBとPFの3リング同時入射が行われた。2011年以降2018年までは入射器の建設作業とビーム開発が続いていたために、SuperKEKBのコミッションと放射光施設PFとPF-ARへの運転について、本格的な同時入射は行わず、放射光施設について1日数回の定時入射によって実験が行われてきた。2018年秋の期間に放射光施設にトップアップ入射を行って準備を整えることができ、2019年からは放射光とSuperKEKBの4

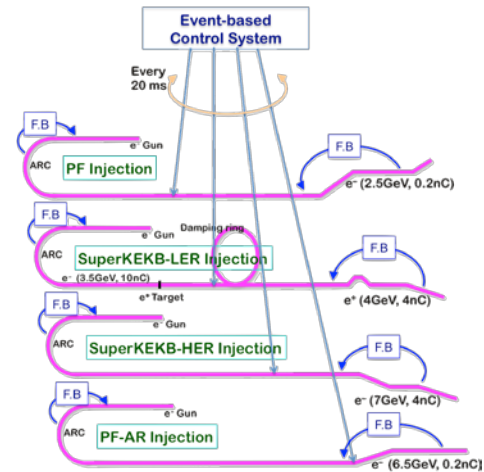


図2 一つの入射器を4つの仮想入射器として振る舞わせるイベント制御機構

蓄積リングとDRを合わせて、4 + 1 リングへ向けた同時トップアップ入射を行う予定である(図1)。

既に放射光施設向けの入射ビームとSuperKEKB向けの試験開発用ビームを50 Hzのパルス毎に打ち分けて並行した運用が行われ、それぞれのビームをお互いに強くは意識せず、独立に同時加速することに成功している。

同時加速のためには、場所によって数十倍電荷が異なるなど、パルス毎に大きく性質の異なる条件においてビームを加速しさらに観測するために、30台ほどの高速制御可能な半導体マイクロ波装置、70台ほど新設されたパルス電磁石装置、ビームモニタやマイクロ波モニタなどと、それらを協調動作させるイベント制御機構などが確実に機能する必要がある。ビームの種類ごとに設けられている装置のパラメータは300以上に上り、それらの再現性と監視も重要となる(図2)。

歴史的な事情から、入射器のRF周波数とSuperKEKBリングのRF周波数は575対49という比較的遠い整数関係にあることや、ダンピングリングが存在することもあり、入射器からリングへ入射できる機会については適切な調整を行ったとしても、大きな制約が課されている。フェーズ2コミッションでの経験を元にさらに改良を加えて、同時トップアップ入射に備えているところである。

### 放射光リング入射

この同時入射機構を計画した際には、放射光入射について、PFリングが2.5 GeV、PF-ARが6.5 GeVと想定され、その条件の下で共有するビーム輸送路が設計されていた。ビームの振り分けを行うパルス偏向電磁石からは、

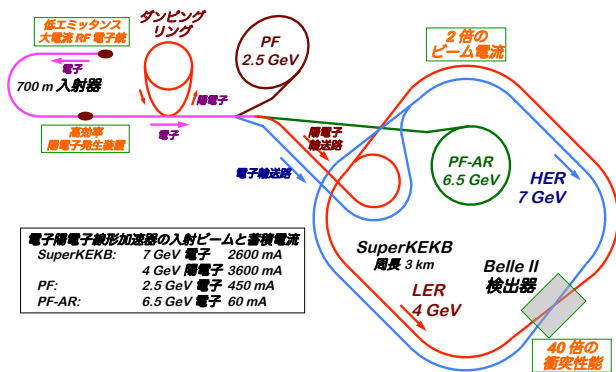


図1 4つの蓄積リングとダンピングリングを含む電子陽電子加速器群の構成

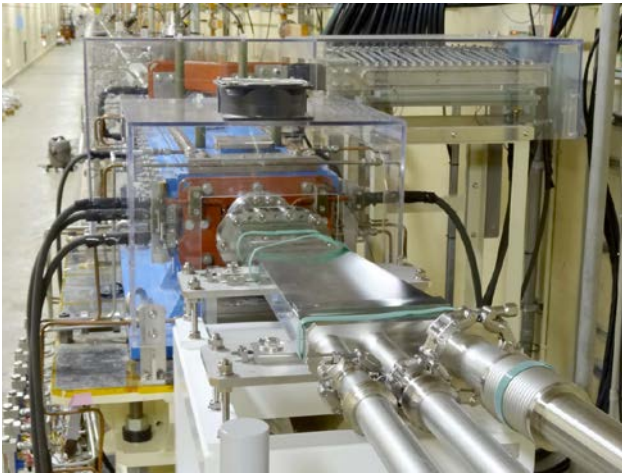


図3 入射器から PF リング向け(右)及び PF-AR 向け(中)にビームを振り分けるパルス偏向電磁石

SuperKEKB などに向かう直進のビームダクトと、PF の 2.5 GeV 及び PF-AR の 6.5 GeV のエネルギーに合わせた角度のビームダクトの 3 本が繋がれている (図 3)。

その後、PF-AR について 5 GeV でも成果が十分得られる実験が多く、電力量が大幅に節約できることがわかってきた。そのため、今期も 5 GeV の運用が予定されている。PF-AR が 6.5 GeV の運用を行う場合には、直接入射路の建設により、一部のビーム輸送路を共有する PF と PF-AR が同時にトップアップ運転を行うことができ、さらに SuperKEKB 入射とも干渉せずに同時入射が可能となった。しかし、PF-AR が 5 GeV の運用を行う場合には、SuperKEKB 入射とは干渉しないものの、PF と PF-AR のトップアップ入射は共存できず、DC 電磁石を含む複数の装置の切り替えが必要となる。

将来的には、それぞれの入射エネルギーの変化に対応するための輸送路の設計変更も考えられるが、当面は実験に影響がほとんど無いと考えられる少し遅い切り替えを行うことを考えている。

誤ったエネルギーのビームが誤ったビーム輸送路に運ばれないように注意しながら、運用ソフトウェアの自動化によってビームを切り替え、PF と PF-AR への入射を試み

ている。PF-AR が 6.5 GeV の運用を行っている場合には、PF リングの蓄積電流の変動は 0.15 mA (0.03%) であるが、PF-AR の 5 GeV 入射が約 4 分毎に行われる場合には、PF リング電流の変動は 0.4 mA (0.09%) に拡大する。このような小さな変動であれば、放射光実験への影響も小さいと思われる (図 4)。切り替え状況の監視や切り替え条件の変更も容易に行うことが可能な運転員向けのソフトウェアも用意しており、順調に運用されている。これらの機構により、PF-AR のビームエネルギーを下げたことによる不都合は生じさせずに、電力量が大幅に節約できると期待している。

### 加速管組立室火災

4 月 3 日準夜、SuperKEKB への入射運転中に電子陽電子入射器棟に隣接する加速管組立室において火災報知器の発報があり、職員 2 人が大量の煙を確認したため消防等に連絡した。消防士と放射線取扱主任者が酸素マスク等の対策を行った上で現場に入ったところ、危険が無いことが確認された。また、幸い人的被害は無かった。

この火災が発生した加速管組立室には、電子加速器用加速管試験装置が置かれており、これまでさまざまな種類の加速管の開発試験・保守に使用されてきた。電子陽電子入射器の主加速器とは独立の運用ではあるが、ともに 24 時間連続の運用となっている。当時この装置では KEK と CERN の共同研究として X-band 加速管の開発研究が行われており、3 ヶ月程度を予定する連続運転の初期段階にあった。この装置の主要部分は、今年度内に入射器の S-band 加速管の性能向上対策の補強に移行させる予定であった。

加速管組立室へは入射器本体側から一部の冷却水やマイクロ波等が供給されており、今回、マイクロ波及び冷却水の導入孔やシャッターの隙間から大量の煤が本体側に侵入してしまった。このために、入射器本体運転に使用する高電圧機器や電子機器の健全性が損なわれた。懸命の復旧作業の結果、25 日から SuperKEKB 向けの入射を再開し、放射光向けの入射ビームの調整も進んでいる。

この火災についての機構内外のみなさまのご支援ご協力に感謝したい。

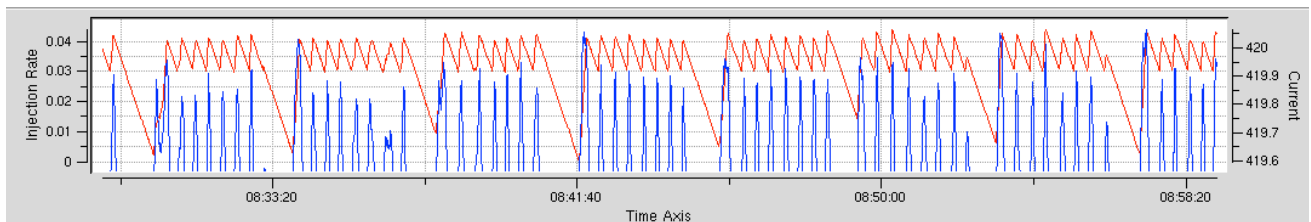


図4 PF リングの蓄積電流値(右軸・赤)及びトップアップ入射率(左軸・青), 変動は通常 0.15 mA (0.03%) に収まっており、約 4 分に一回の PF-AR トップアップ入射時には 0.4 mA (0.09%) になるが、実験への影響はほとんど無いと思われる。

光源リングの運転状況

PF リングにおける、立ち上げ日2月12日(火) 9:00 から3月29日(金) 9:00 までの蓄積電流値の推移を図1に示す。立ち上げは比較的順調であったが、その日深夜 Top-up モードでの真空焼き出し運転時に、ビームが削れるという現象が頻発した。調査したところ、リング4極電磁石電源 QDA の出力電流が、約±30A 程度で変動しており、ビームロスと同期していた事が判明した。しばらく様子を見ていたが、翌日2月13日(水) 午前3時ごろビームダンプが発生し、やはり QDA 電源の変動が原因である可能性が高く、QDA を OFF にして朝になったところでメーカーに連絡し調査することとした。しかしながら、メーカーがすぐに対応できないとの返答であったため、急遽予備電源(旧 QFD 電源)に配線を繋ぎ変えて、通電することとした。配線換えは18時過ぎに完了し、緊急で駆けつけていただいたメーカーの立ち会いのもと電源を立ち上げたところ、無事通電が可能となり復旧した。QDA, QFD 電

源は1990年代半ば PF リング高輝度化改造時に製造された電源である。すでに約25年経過していて、最近老朽化による原因不明のトラブルが頻発するようになっていたので、対応策として、更新用新電源2台に交換した。電源トラブルで多少調整の遅れはあったものの、2月15日(金) 9:00 予定通り光軸確認後ユーザ運転を開始した。その後はしばらく順調に推移していたが、2月22日(金) 13:42 に RF # 3 (4系統のうち3番目のRF系) がダウンして、ビームダンプが発生した。原因を調査したところ、B1 ステーションにあるクライストロン用高圧電源の「変圧整流器二次過電流」インターロックが動作したことによるトラブルである事が判明した。高電圧ケーブルおよび高圧電源本体に異常が見られないため、再立ち上げを行ってユーザ運転を再開した。しかし、20:10 同様の現象が再発した。該当するインターロックの誤動作が疑われるがすぐに修理することが難しいため、インターロックの働いたRF系(高圧電源, クライストロン, 空洞の組)を運転から切り離し、

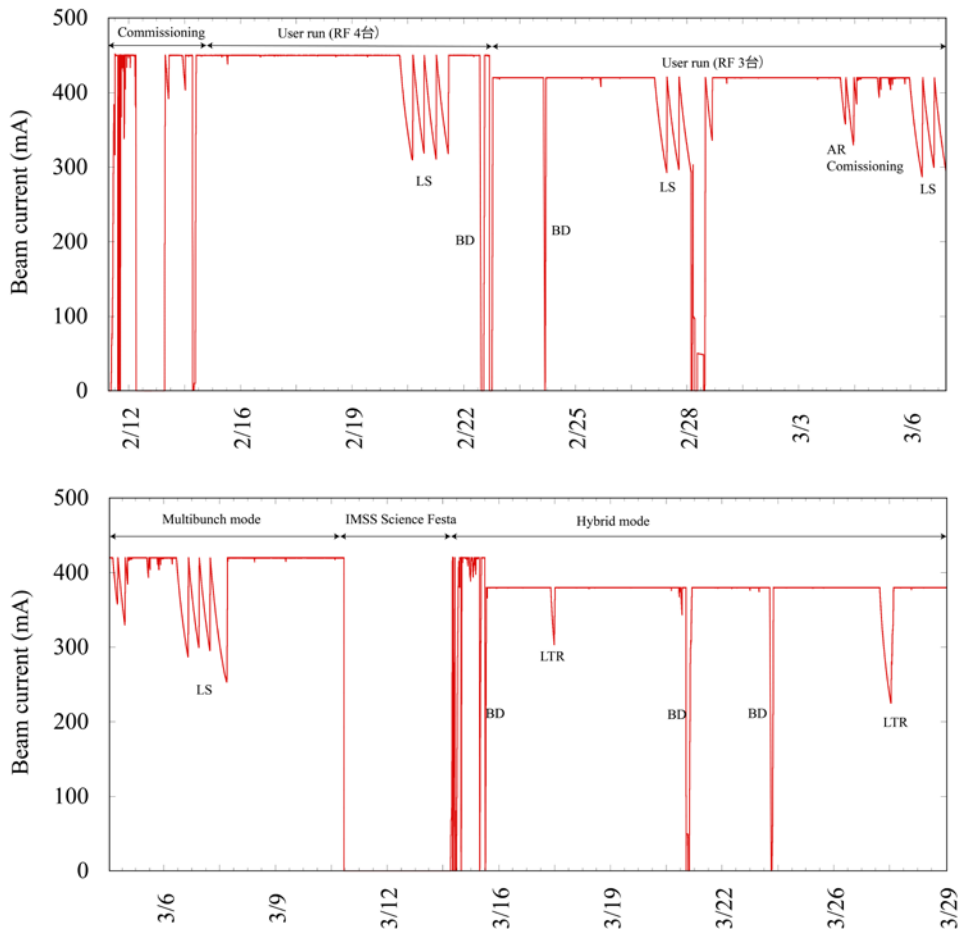


図1 PF リングにおける2月12日9:00～3月29日9:00 運転停止までの蓄積電流値の推移を示す。LS は入射器マシン調整日, LTR は入射器トラブル, BD はビームダンプを示す。

残る3系統のRF系を用いて運転を継続することとした。蓄積電流値は過去に行われた実績から、ビームの安定性を優先させて450 mAから420 mAに下げた。RF3台運転では、トラブル以後反射によるビームダンプが一度だけ発生したものの、すぐに運転は再開され、その後は概ね順調に推移した。電源メーカーによる調査は、PFリング運転中断予定の3月11日から14日の期間に行ったが、このときは原因の特定には至らなかった。

3月4日～11日まではPF-AR 5 GeV 試験運転のため、ビームトランスポートのパラメータを変更して、PFリングとPF-ARへの交互入射を行った。途中から自動切り替えシーケンスを使用し、PFリングは3分間入射、PF-ARは30秒間入射と取り決めて交互入射を行なった。その結果、擬似的なトップアップ運転を行うことができ、PF-ARへ回る30秒間の入射時におけるPFリングの蓄積電流値の減少は0.5mA以下にとどまった。

3月11日9:00～14日9:00の期間はサイエンスフェスタのため運転を中断し、14日9:00からハイブリッドモードでの運転へ向けたマシン調整を開始した。当初はマルチバンチ370 mAとシングルバンチ50 mAの合計420 mAを目標値として調整を行なったものの、410 mAを越えたあたりから南側RF空洞付近の真空度が悪化するとともに、進行方向のビーム不安定性が発生し、フィードバックでは抑制できないため、マルチバンチ390 mAとシングルバンチ30 mAと配分を変更してユーザ運転を行うこととした。しかしながら、3月15日10:12にRF#4で反射によりビームダンプが発生、さらに14:02にも再発したため、マルチバンチの電流値を350 mAまで下げ、合計380 mAに下げたこととした。その後は、RF#4での反射によるビームダンプはおさまり、2回ほど他の原因によるビームダンプや入射器トラブルはあったものの、比較的安定なハイブリッドモードでの運転が実施された。

シングルバンチの純度に関しては、前期の運転からメインバンチの10バケット前後に渡り、メインバンチ比較で $10^{-5}$ 程度のビームが観測されている。入射タイミングのジ

ッターではこのような広範囲に入らないと考えられるので、暗電流のようなものがバケット内に入っている可能性がある。後日調査したところ、熱電子銃由来の暗電流の可能性が高いが、SKEKBの陽電子生成のための大電流運転と共存しているため、電子銃で除去することはすぐには困難であることが判明した。現時点では、リング側の純化作業でメインバンチ前後のバンチを落とすしか方法はない。

PFリングの真空度の改善状況については、秋の運転以降蓄積電流値とビーム寿命の積( $I \cdot \tau$ )は順調に伸びてきた。ハイブリッドモードで運転時にビーム寿命が短くなるという現象は前期の運転でも同様であるが、ハイブリッド全体でビーム寿命約8時間、マルチバンチモードでの運転時ではビーム寿命が約18時間あるので、真空は順調に涵れてきた。

図2に、PF-ARにおける3月4日9:00～3月11日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。この期間PF-ARは、エネルギーを通常の6.5 GeVから5.0 GeVに下げた試験運転を実施した。立ち上げ日午後から入射が可能になり、入射路およびリングの調整をしながら、徐々に電流値を積み上げていき、最大電流値を55 mAに設定して、予定通り深夜はTop-upモードでの真空焼き出し運転とした。ところが、翌日の1:12に、2系統(東、西)のうちの片方(東)のRF系がダウンした。原因は、空洞から高次モード(HOM)を引き出すためのケーブルの温度インターロック(空洞E-2, No. 10ケーブル)が動作したためである事が判明した。未明2:00頃に担当者に連絡し、3月5日朝からケーブルの交換作業を行い、昼頃に運転を再開した。ところが、運転再開して約2時間後、14:02に再び同じインターロックが動作した。調査したところ、ケーブルを終端する3 kW ダミーロードの絶縁体が損傷していることが判明したため、ダミーロードとHOMケーブルを交換した。その後19:10頃から5 GeV試験運転を再開した。3月6日に光軸確認を行い、放射光をビームライン側に供給した。PF-ARへの入射頻度は前述したとおりであるが、マシン調整不足のためかビーム寿命がかなり短く、入射時間30秒では目標電

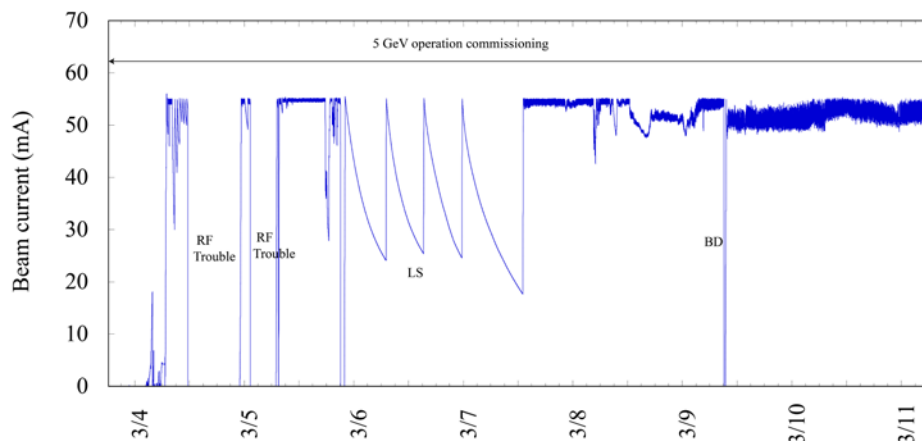


図2 PF-ARにおける3月4日9:00～3月11日9:00まで、ビームエネルギー5 GeVで試験運転を実施した時の蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器マシン調整日、BDはビームダンプを示す。

流値 55 mA に到達しないこともあった。この短いビーム寿命に関しては今後の課題である。なお、5 GeV 運転では、6.5 GeV 運転時の約 6 割の電力で運転できることがわかった。

### PF リングのセプタム電磁石 (S2) の更新作業

2015 年 4 月、PF リングにおいて、製造から約 30 年を経た入射点のセプタム電磁石 (S2) のビームダクト内部の冷却水配管にリークが発生し、運転が中断した。そのリーク箇所はピンホールからの微少なリークであったため、液体リーク封止剤による応急措置で対処し、直ちに運転を再開した。その後、微小リークの断続的な再発があり、その都度封止剤を注入していたが、冷却水路の破断により冷却水がリング内に混入するという大事故を防ぐため、2017 年夏に水路を閉鎖して、配管内を真空に保持する対策をとることとした。これに伴い、上流に放射光照射を遮るアプソバを設置した。その結果、ビームダクトには放射光照射により数十度程度の温度上昇はあるものの、許容範囲となり運転を継続してきている。

上記の対処はあくまでも応急的な処置である。そこで、根本的な解決のため、セプタム電磁石 (S2) とビームダクトの更新を計画し、2018 年度の予算で S2 電磁石の製作を行った。同時に入射スキームを新設計、低エミッタンスラティスへの最適化も行っている。新しい入射スキームにすると、入射効率の改善と入射時ビーム振動の抑制が実現され、放射光強度の安定化、実験フロア放射線レベルの低減に寄与すると期待されている。

図 3 に新規に製作した S2 電磁石の全体と磁極の断面を示す。磁石長は、従来の長さと同じ約 1.0 m であるが、磁



図 3 新規に製作されたセプタム電磁石 (S2) の全体 (上図) および断面の写真

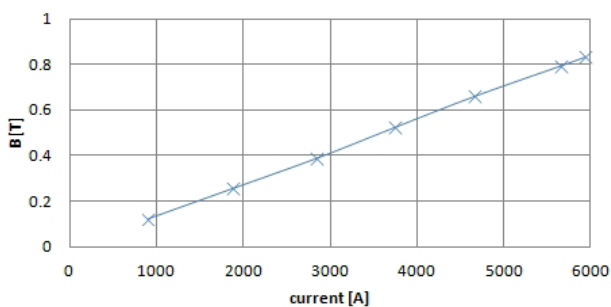


図 4 セプタム電磁石 (S2) の励磁曲線。×が測定点で、実線は測定点を繋いだ線

極のギャップを 9.5 mm から 8.6 mm に狭め、10%程度の磁場強度向上を目指した。現在、リング入射点に設置してある電源に接続して、磁場測定を行っているところである。磁場測定の結果を図 4 に示す。ほぼ設計通りの性能が得られていることが、確認された。今後、真空チャンバーを準備して、2020 年度にリングに設置する予定である。

### 平成 30 年度の運転のまとめ

表 1 に平成 21 年度から 30 年度までの PF リングの運転統計を示し、それらのデータを棒グラフにしたものを図 5 に示す。平成 30 年度のユーザ運転時間は 3091.6 時間と 3000 時間をわずかに上回った。故障時間は昨年より 12 時間弱増加したが、故障率は 1% 以下、平均故障間隔時間 (MTBF) は 180 時間程度を維持でき、比較的安定な運転が行われたといえる。故障の内訳を調べると、30 年度は電磁石電源の故障によるトラブルが約 70%、RF に起因するトラブル 30% 弱であった。

表 2 と図 6 に PF-AR の運転統計を示す。平成 30 年度のユーザ運転時間は、2000 時間を大きく下回る 1582 時間だった。やはり、PF-AR についてはユーザ運転 3000 時間の水準にはほど遠い状況にある。故障率は例年並みの 1.6% 程度を維持でき、平均故障間隔 (MTBF) は 64.3 時間と例年並みの数値であった。故障の内訳は、RF に起因するトラブルが約 75%、入射関連が約 14%、ダストトラップ

表 1 平成 21 年度～ 30 年度までの 10 年間の PF リングの運転統計

年度	リング 運転時間 (h)	リング 調整・ スタディ 時間 (h)	ユーザ 運転 時間 (h)	故障 時間 (h)	平均故障 間隔 (MTBF) (h)
2009 (H21)	4,976.0	979.5	3,961.9	34.5	167.0
2010 (H22)	5,037.0	958.7	4,050.8	22.5	226.7
2011 (H23)	4,696.0	1,875.1	2,809.2	11.7	157.3
2012 (H24)	4,416.0	624.0	3,752.9	39.1	164.9
2013 (H25)	4,176.0	672.0	3,451.4	52.6	159.3
2014 (H26)	3,024.0	696.0	2,316.6	11.4	155.2
2015 (H27)	3,888.0	839.6	3,034.0	14.4	132.5
2016 (H28)	3,432.0	504.0	2,910.7	17.3	162.7
2017 (H29)	3,624.0	624.4	2,983.0	16.6	214.3
2018 (H30)	3,696.0	576.0	3,091.6	28.4	183.5



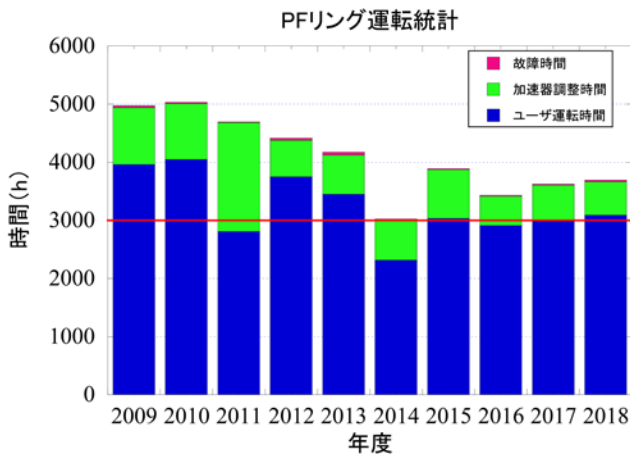


図5 平成21年度～30年度までの10年間のPFリングの運転統計の棒グラフ

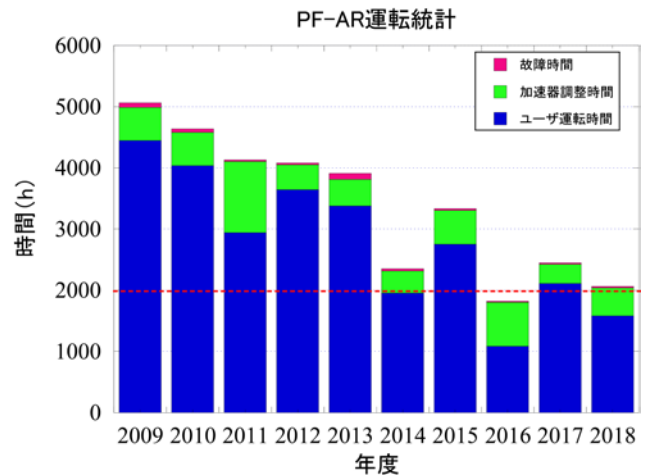


図6 平成21年度～30年度までの10年間のPF-ARの運転統計の棒グラフ

表2 平成21年度～30年度までの10年間のPF-ARの運転統計

年度	リング運転時間 (h)	リング調整・スタディ時間 (h)	ユーザ運転時間 (h)	故障時間 (h)	平均故障間隔 (MTBF) (h)
2009 (H21)	5,063.0	542.5	4,445.7	74.8	107.1
2010 (H22)	4,638.5	542.5	4,037.5	58.5	54.5
2011 (H23)	4,131.5	1,162.0	2,941.5	28.0	59.3
2012 (H24)	4,080.0	408.0	3,643.2	28.8	111.3
2013 (H25)	3,912.0	434.0	3,378.4	99.6	74.0
2014 (H26)	2,352.0	360.0	1,955.0	37.0	90.5
2015 (H27)	3,336.0	552.0	2,753.0	31.0	154.7
2016 (H28)	1,821.0	717.0	1,085.7	18.3	84.9
2017 (H29)	2,448.0	312.3	2,111.0	24.7	38.8
2018 (H30)	2,064.0	456.0	1,581.6	26.4	64.3

による再入射が8%であった。運転関係では、PF-ARでは6.5 GeV 直接入射路が完成、フルエネルギー入射によるユーザ運転および連続入射によるトップアップ運転が実現した。しかも、40ミリ秒でPFリングとPF-ARの入射の切り替えも実現したことから、お互いの入射を妨げずに同時にトップアップ運転を行うことができるようになった。

### 加速器研究施設組織改組について

加速器研究施設は、加速器の産業・医療応用を推進するため、応用超伝導加速器センターを新設するとともに七研究系を六研究系へ改組しました。改組図を図7に示します。この改組に伴って、加速器第七研究系は、加速器第六研究系に名称変更されました。ただし、所掌業務はそのまま引き継がれます。改組は平成31年4月1日より施行されました。

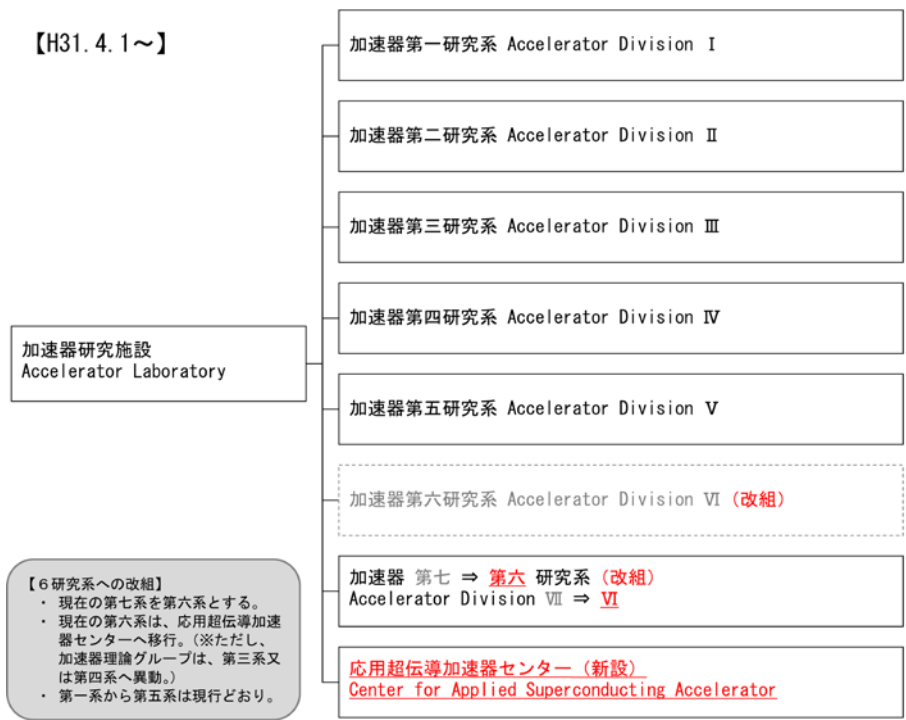
### 研究系内の人の動きについて

光源第5グループの芳賀開一准教授が3月31日付けで退職となりましたが、4月1日付けで特別准教授として、引き続き同グループにおいて安全および施設関連およびビームモニター関連の開発研究を中心に業務を担当していただくことになりました。

光源第1グループの尾崎俊幸特別准教授が3月31日付けで任期満了となりましたが、4月1日付けで非常勤研究員として週2日間電磁石電源関連の業務を担当していただくことになりました。また、光源第3グループの浅岡聖二シニアフェローが同じく3月31日付けで任期満了となりました。浅岡さんはこの日をもって、高エネルギー加速器研究機構を退職することになりました。長い間お疲れ様でした。

新規採用関連では、加速器第一研究系の内藤大地特別助教が、4月1日付けで加速器第六研究系の助教として着任されました。内藤さんには、光源第2グループに所属していただき、高周波加速システムの開発研究を中心に業務を担当して頂きます。

昇任関係では、光源第3グループの山本将博助教が、4月1日付けで准教授に昇任されました。山本さんには、引き続き光源第3グループに所属していただき、真空システム関連の開発研究を中心に業務を担当して頂きます。また、光源第2グループの高橋毅専門技師が、4月1日付けで先任技師に昇任されました。高橋さんには、引き続き光源第2グループに所属していただき、高周波加速システム関連の技術開発を中心に業務を担当して頂きます。



**各系の主な担当：**

- 1, 2 系は、主に大強度陽子加速器 (J-PARC)
- 3, 4 系は、主に電子・陽電子衝突型加速器 (SuperKEKB)
- 5 系は、主に電子・陽電子入射器
- 6 系は、主に放射光源加速器 (PF リング, PF-AR)
- センターは、主に加速器の産業・医療等への応用とリニアコライダー計画の加速器

図 7 加速器研究施設の改組図。应用超伝導加速器センターが新設され、七研究系が六研究系体制となる。

### はじめに

『施設だより』では、PF全体に関わることを隔号で書かせて頂く予定ですが、『現状』では、組織としての放射光実験施設について、また、運転や共同利用について、毎号、現状を報告させて頂くことを考えています。

### 放射光実験施設の紹介

今回は、第1回ですので、組織改編により新しく発足した放射光実験施設のミッションと内部組織の紹介から始めさせて頂きたいと思っております。放射光実験施設は、利用制度の整備と運用、安全管理、施設間連携を主導するとともに、加速器第六研究系とともに放射光ビームの安定供給と高性能化を、放射光科学第一・第二研究系とともにビーム利用の高度化を推進することをミッションとしています。これを遂行するため、運営、基盤技術、測定装置の3部門を設置しています。

運営部門は、放射光の利用制度（学術利用、産業利用、産学連携など）の整備と運用、放射光実験に係る安全管理、国内外の放射光・量子ビーム施設との連携を主導することを目的として設置されています。現在、実験施設長が暫定的に運営部門長を兼務しています。

基盤技術部門は、放射光を実験装置に導くビームライン共通部の整備と高度化を目的として設置されています。この部門は、加速器第六研究系や放射光科学第一・第二研究系とともに、最先端の放射光技術の開発研究プロジェクトの中核を担います。五十嵐教授が基盤技術部門長を務めます。

測定装置部門は、放射光の特徴を最大限に利用する実験装置を含むビームラインエンドステーション部の整備と高度化を目的として設置されています。この部門は、各ステーション担当者間の連携の中核を担い、エンドステーションの標準化と自動化、将来の標準化を見据えた先端化を推進します。清水教授が測定装置部門長を務めます。

次号以降、各部門のより詳細な紹介や放射光実験施設として推進するプロジェクトの紹介を行っていきたいと考えています。

### 運転・共同利用関係

PFおよびPF-ARの2018年度第3期の運転は、予定通りに行われました。PFリングは量子ビームサイエンスフェスタのための3日間の休止を挟んで2月12日から3月29日まで、その内の最後の2週間はハイブリッドモードでの運転を実施しました。また、PF-ARは3月4日から3月11日まで、5 GeVでの運転を実施し、試験利用を行いました。PFの2.5 GeVとの同時トップアップ運転にはハードウェアの更新が必要との懸念もありましたが、3.5min

毎の入射切替での疑似的な同時トップアップ運転に成功しています。

2019年度の運転は、4月3日の入射器棟火災の影響が懸念されましたが、5月7日に予定通りに開始しました。昨年度よりも更に厳しい予算状況になってはいますが、年間、PF3000時間およびPF-AR2000時間の利用運転を確保できるよう努力して参ります。PF-ARについては、試験利用の結果を受けて、6.5 GeVと5 GeVの運転を半々程度にすることを考えています。6.5 GeV運転に比べて消費電力が60-70%まで低減される5 GeV運転は、有償利用の利用料収入を原資とする産業利用促進運転とともに、運転時間の確保のための有効な方策です。6.5 GeV運転に比べて、高エネルギー側の利用実験には不利ですが、ご理解をお願いいたします。

2017年度第3期の運転終了後から旧ビームラインの解体と新ビームラインの建設が始まったBL-19についても予定通りに供用を開始しました。優れた研究成果が創出されることを期待しています。

### 人事異動

最後に、放射光実験施設に関する人事異動を報告します。4月1日付けで、西村龍太郎さんが博士研究員に着任しました。西村さんの専門は検出器のDAQシステムの開発で、総研大の素粒子原子核専攻で学位を取得した後、金沢大学を経て、放射光実験施設・基盤技術部門に採用されました。また、同じく4月1日付けで、五十嵐教之さんと清水伸隆さんが准教授から教授に昇任し、それぞれ、放射光実験施設・基盤技術部門と放射光実験施設・測定装置部門の部門長に着任しました。

### はじめに

これまでも何度かお知らせしてきましたが、2019年度より物構研のつくばキャンパスに関わる組織を改編し、放射光科学第一、第二研究系と、新設された放射光実験施設がPFを担当することになりました。二つの研究系は、名称こそ以前と変わりませんが、より明示的に研究機能を担う組織として再スタートします。放射光科学第一研究系は私が、第二研究系は千田主幹が、引き続き統括しますが、組織再編にあたって二つの研究系のメンバー構成を見直し、より研究内容を反映した分け方にしました。研究系は、ある物質群や現象(サイエンス)をターゲットとし、放射光はもちろん、低速陽電子、中性子、ミュオンなどの様々な手法を駆使して物質・生命科学を先導することをミッションとしています。もちろん、単にユーザーとして施設を利用するのではなく、施設を有する研究所としての利点を最大限に活用し、研究対象をより深く探究するために、実験施設や光源系のメンバーと協力して、サイエンス・ドリブンで新たな手法開発を行うことも重要なミッションとなります。また、KEK内に限らず、大学、研究機関、企業等のユーザーの皆さんとの連携も欠かせません。このような研究活動を推進するために、PFの中のいくつかのチームラインでは、引き続き研究系のスタッフが担当者として運営を行っていきます。

### 放射光科学第一研究系の紹介

今後、PFニュースでは、放射光科学第一研究系と第二研究系の現状報告を交互に行います。その第一回として、今号では第一研究系の紹介をしたいと思います。第一研究系は、主に物理、あるいは物理化学といった分野を対象としています。比較的、基礎科学的な色の濃い研究系ではありますが、デバイス等への応用も視野に入れ、様々な機能を示す物質をターゲットとして、その機能発現の起源を構造や電子・スピン状態の観点から明らかにすることを目指しています。研究手法としては、X線および軟X線の回折・散乱、吸収分光、光電子分光といった実験手法や、スペクトル計算などの理論的手法を軸としていますが、上述の通り、放射光以外のプローブも積極的に活用して研究を展開しています。また、既存の手法では観測できないような事象に対して、新たなアイデアに基づく測定手法等の開発も行っています。対象とする物質は多岐にわたりますが、現在のところ、金属、酸化物等の薄膜・多層膜や触媒の表面、および、いわゆる強相関電子系物質と呼ばれる機能性物質群などを主な研究ターゲットにしています。

第一研究系の中には表面科学と固体物理学の二つの研究部門を設置し、それぞれ私と熊井教授が部門長を務めます。以下、これらの研究部門のメンバー構成を少し詳しく紹介

します。表面科学研究部門では私と堀場准教授、固体物理学研究部門では熊井教授、村上教授、中尾准教授、佐賀山准教授、岩野研究機関講師が、それぞれPIとして研究を行っていきます。物理系の特色として、一つ一つの研究グループが比較的少人数ではありますが、それぞれのPIが、特任・特別教員や博士研究員はもちろん、学生やKEK以外の研究機関に所属する客員教員・協力研究員等と一緒にグループを形成します。なお、最近の人事異動等の関係で、第一研究系には現在、承継職員の助教はいませんが、今後、PIのもとで一緒に研究を行う助教等の採用を、戦略的に進めていきたいと考えています。これらの研究グループの具体的な研究内容やメンバーについては、随時ホームページ等で紹介していきます。また、研究グループはそれぞれ単独に研究を進めるだけではなく、研究テーマに応じて、部門内はもちろん複数の部門や研究系・実験施設にまたがって連携研究を行っていきます。それらの中でも、特に大きなテーマについては、プロジェクトチームを立ち上げ、研究所としてアピールしていく予定です。

### 人事異動

最後に、放射光科学第一、第二研究系に関する人事異動を報告します。特任助教の島田紘行さんと研究員の益田伸一さんが3月末で転出され、4月から放射光科学第一研究系・固体物理学研究部門の博士研究員として石井祐太さん、構造生物学研究センターの特別技術専門職として渡部正景さんが着任されました。また、博士研究員の北村未歩さんが、4月からは放射光科学第一研究系・表面科学研究部門の特別助教として採用されました。

### 高い時間・空間分解能を持つ表面X線回折を活用した構造物性研究

若林裕助<sup>1</sup>, 白澤徹郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大阪大学基礎工学研究科(現所属:東北大理), <sup>2</sup>産業技術総合研究所

#### Structural materials science study based on surface X-ray scattering having high temporal- and spatial-resolution

Yusuke WAKABAYASHI<sup>1</sup>, Tetsuroh SHIRASAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Division of Materials Physics, Graduate School of Engineering Science, Osaka University (present address: Tohoku University),

<sup>2</sup> National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

#### Abstract

放射光共同利用実験課題 2015S2-009 で我々は多様な機能材料の表面・界面に注目し, その静的構造, あるいは動的構造を観測することで表面・界面の物性を微視的に理解する事を目的として研究を行った。その過程で表面構造に対する空間分解測定, 時間分解測定の技術向上を達成しつつ, 静的な遷移金属酸化物界面構造や有機半導体の表面構造, 秒の時間分解能での燃料電池の電極反応, ミリ秒分解能での電気化学的な金属の析出過程の測定など, 広い時空間範囲の現象を構造の視点で見通す事に成功した。本稿ではこの S2 課題で得られた代表的な成果を紹介する。

#### 1. はじめに

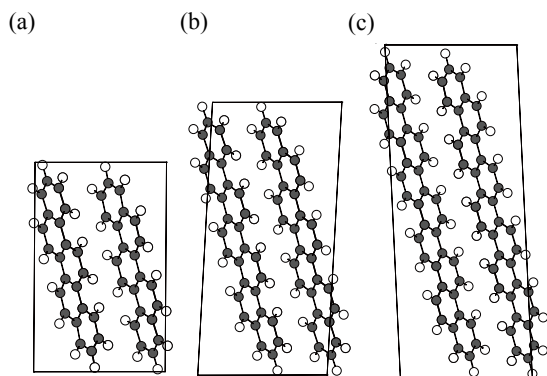
物質の構造を見る事で, その物質の性質・機能の起源を理解しよう, という研究のアプローチを構造物性研究と呼ぶ。PF のユーザーにはなじみのある研究の方向性であろう。古くは単結晶の構造解析や粉末回折による結晶の平均構造に基づく議論がなされてきたし, 平均構造からの小さなズレに着目した超格子反射, あるいは散漫散乱を通じた研究も行われてきた。特に微弱な超格子反射を見る研究は実験室線源ではしばしば困難であり, 放射光の威力が十分に発揮された例でもある。2015S2-009 では, この考え方を様々な性質を示す表面や界面に適用する事で, 表面の構造物性研究を推進する事を目指した。

試料表面が原子レベルで平滑な面で断ち切られている場合, 逆空間では表面に垂直な方向にロッド状に延びた散乱が観測される。このような表面起因の散乱を Crystal Truncation Rod (CTR) 散乱と呼び, 表面構造の研究に利用されてきた [1]。表面からの散乱強度はブラッグ反射近傍で強く, 単位胞に一つしか原子が無い場合にはブラッグ反射からの距離の 2 乗に反比例して弱くなる [2,3]。これは CTR 散乱の散乱振幅が階段関数のフーリエ変換で与えられることを考えれば理解できる。単位胞に複数の原子を持つ複雑な構造の物質では, ここに構造因子が乗ぜられ, さらに表面近傍で特殊な構造が実現する場合には, その分の散乱振幅が別に加えられる事となり, 表面から内部までの構造情報がロッド状の強度分布として記録される。得られる構造情報の精度は, 重元素であれば 0.1 Å を容易に上回る。原理的にはいわゆる構造解析と同様に, 高い Q まで測定すればその分だけ高い空間分解能が得られる。

このような表面構造測定に時間分解能を持たせるのはなかなか困難である。単色 X 線による回折実験で逆空間のあるロッドに沿った測定をしようとした場合, どうしても回折計を機械的に動かす事が要求される。表面では様々な質量移動を伴う現象が生じており, そこで期待される現象のタイムスケールは, フォノンの時間スケールであるピコ秒から, 液体中での物質拡散の時間スケールである 1 秒程度と大きな幅を持つ。物性研究に役立つ時分割測定を目指した場合, 1 秒を割る時間分解能は一つのマイルストーンと言えよう。これは元施設長の故松下正先生が 2012S2-001 で開発した波長角度同時分散型回折計で実現された [4]。高い時間・空間分解能を用いた表面構造物性研究が可能になったので, ここに新しい研究分野があると見込んで研究を開始した。

#### 2. 高い空間分解能を活用した研究

時間分解測定の前に静的な測定がきちんとできる必要がある。解析技術の開発も進んでおり, 一般的な最適化問題に適用できる手法は一通り試されている。表面に特徴的な手法として, 既知の基板構造を用いた表面ホログラフィ [5,6] が挙げられる。表面の研究をする際, 結晶構造は既にわかっているのが普通である。そこで, 既知の結晶構造のある面で断ち切った構造からの散乱振幅を参照波として, そこに表面近傍の未知構造からの散乱振幅 (これを物体波と扱う) が干渉した結果が観測されていると考えれば, CTR 散乱とはホログラフィが撮影されたのと同様の物であると見ることができる。これを用いて表面近傍の電子密度解析を行う研究が多く行われている。この手法の利点は,

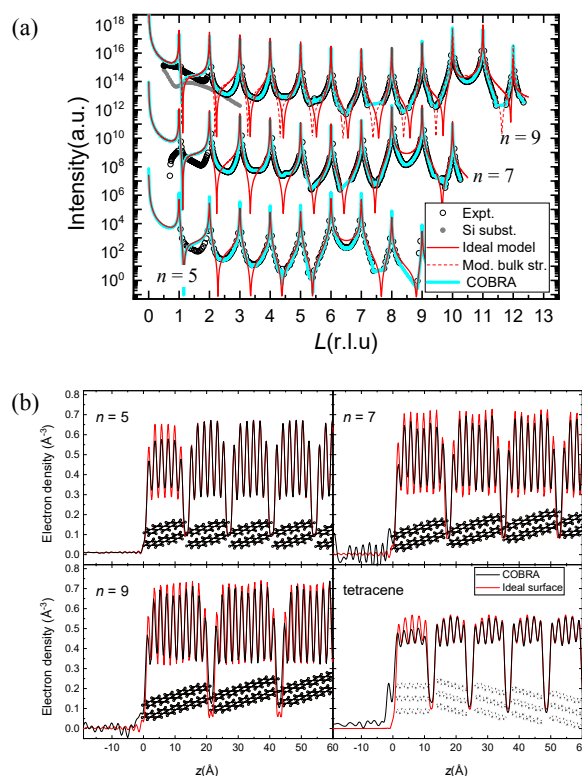


**Figure 1** Crystal structures of (a) [5]phenacene, (b) [7]phenacene, and (c) [9]phenacene. Figure is reproduced from ref.[8]. (c)[2018] ACS publications.

かなり複雑な構造の物質に対する解析でも手間が変わらない点にある。一方、表面近傍の構造がバルクの構造（あるいは想定した表面構造）から大きく異なってくると、うまく位相回復ができなくなる点が欠点である。我々はこの手法を有機半導体に適用し、非常に複雑な構造を持つ分子性固体でも表面構造の情報が得られることを2010年に確認した[7]。2015SS2-009ではこの手法を利用して、分子サイズを系統的に変えた際に表面構造緩和がどうなるかを実験的に知るため、[n]フェナセン(n=5, 7, 9)に対するCTR散乱測定を行い、電子密度解析を行った[8]。[n]フェナセンはFig. 1に示したような構造を持つ分子で、六員環の数nが増えるに連れて移動度が高く、半導体としての性能が高くなると報告されている[9]。n=5ではしっかりした単結晶が得られ、通常の単結晶構造解析の結果が報告されている。一方、nが6以上では単結晶構造解析ができるような厚みを持った結晶が得られていない。そこで今回、第一原理計算によって決めたバルクの結晶構造を用いた解析を試みた。

有機半導体は無機半導体と異なる特性を持つ。軽量・柔軟であり、また作製に高温のプロセスが必要なく、印刷法でデバイスを作る事も可能である[10]。このような有用な特性を持つ有機半導体であるが、当然ながらシリコンほどきちんと理解されているわけではない。電気伝導の機構についても研究が進められている段階である。有機半導体で電界効果トランジスタなどのデバイスを作製した際に電流が通る領域は、結晶表面の数分子層の領域であり、ここで我々が調べた表面構造は、まさに機能が出ている場所を見ていることに対応する。

実験結果と解析結果をFig. 2(a), (b)に示す。z=0が表面で、zが正の側が結晶内部、負の側が結晶外部である。第一原理計算で得た構造から少し分子を傾けるような補正を加えたバルクの結晶構造を用いることで、表面付近から結晶内部までの電子密度解析ができた。n=7についてはz<0の領域でやや大きめの電子密度が残っており、もしかしたら計算で得た結晶構造が現実とやや異なるのかもしれない。n=9はうまく解析ができているように見える。テトラセンでは表面一層目のみ大きな構造緩和が見られた。やや古い



**Figure 2** (a) CTR scattering intensity profiles of [n]phenacenes (n=5, 7 and 9). Open symbols show the measured profiles, and gray closed symbols show the scattering intensity from the substrate. Red curves show the calculated profiles from the ideal surfaces, the red dashed curve shows that from a modified bulk structure, and skyblue curves show the intensity profiles calculated from our COBRA analysis. (b) Electron density profiles of [n]phenacenes and tetracene as a function of depth. Figure reproduced from ref.[8]. (c)[2018] ACS publications.

ルブレン試料では表面1層目のみ大きめの原子変位パラメタが見られ[7,11]、[5]フェナセンでも同様な傾向が見られた。n=7, 9ではそのような傾向が見られなかった。全体として、何か構造に変化があるとしたら第一分子層のみであり、フェナセンに関しては分子サイズが大きくなるに連れて表面の構造安定性が増しているような結果が得られた。

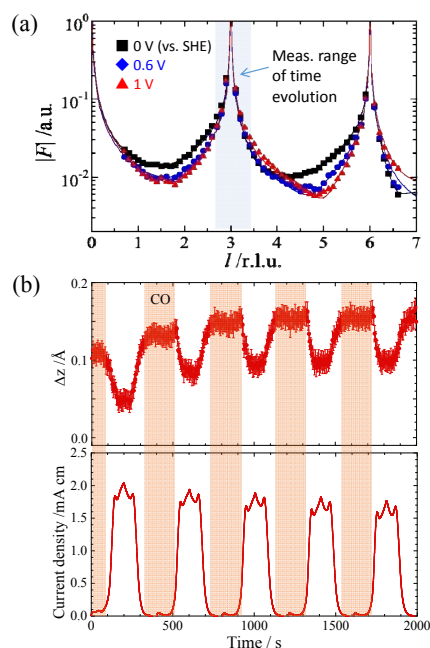
有機半導体に対してはCTR散乱によるホログラフィが極めて有効であった。一方で、酸化物に対して同様の解析を行った場合、極めて強い拘束条件をかけない限り物理的に妥当な解が得られないという事を我々は経験してきた。例えば酸素の位置に電子が15個いる、というような解がしばしば得られてしまう。そこで、自然に拘束条件をつけるために、具体的な構造モデルを作り、原子座標・原子変位パラメタ・占有率をベイズ推定によって最適化するソフトウェアの開発を行った[12]。2 nm厚程度のペロブスカイト酸化物のエピタキシャル膜に関する構造解析を行う場合、通常最小二乗法では無数にある局所解に落ちてしまい、正解が発見できない。我々が[12]で報告した手法では、モンテカルロ法によって局所解を回避している。計算時間は数時間から一晩程度かかるものの、かなり大雑把に決め

た初期構造からでも正解の構造を見出すことができる。このように本 S2 課題の中で、静的な表面 / 界面構造解析についてかなり有用な道具立てを用意でき、実際に多数の膜の構造を比較する研究 [13] に用いている。

### 3. 高い時間分解能を活用した研究

メタノールと水を  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$  と二酸化炭素に分解しつつ発電を行う直接メタノール燃料電池は、可搬型電源として既に商品化されている。その燃料極では多くの場合、白金電極表面でメタノールが酸化分解される。実際の反応では、 $\text{Pt} + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow (\text{CO})_{\text{ad}} + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$  と、CO が Pt 表面に強く吸着した状態が中間状態 (CO 被毒) になり、表面吸着した OH などの酸素種と反応して  $\text{CO}_2$  となって脱離する ( $(\text{CO})_{\text{ad}} + (\text{OH})_{\text{ad}} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}^+ + \text{e}^-$ ) まで、反応が進行しない。白金表面に CO が吸着した状態と脱離した状態とは、白金からどれだけ電子を吸い出すかが異なるため、白金表面の原子間距離は前者の方が  $0.05 \text{ \AA}$  だけ後者より長くなる。この面間隔の変化を利用して白金の表面状態を測定した。

Fig. 3(a) に、白金の電位を  $0.0 \text{ V}$ 、 $0.6 \text{ V}$ 、 $1.0 \text{ V}$  にした際の CTR 散乱プロファイルを示した。003 ブラッグ反射周辺の CTR 散乱を見ることで、白金表面の面間隔の変化  $\Delta z$  を見ることができる。この部分に着目した時分割測定を行い、電位を  $0.0 \text{ V}$  と  $1.0 \text{ V}$  の間で三角波の形に掃引した際の  $\Delta z$  と電流の時間発展を同図 (b) に示した。ある電位で  $\Delta z$  が CO 吸着状態から CO 脱離状態 (あるいはその逆) にスイッチし、CO 脱離状態のときにのみ電流が流れている、すなわち電池の出力が得られていることが解る。この電位

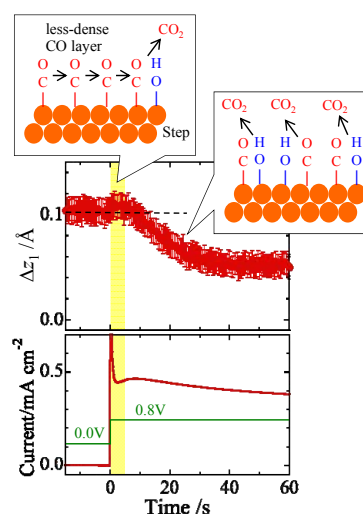


**Figure 3** (a) Measured (symbols) and calculated (lines) 00l profiles of the Pt(111) electrode at 0.0, 0.6, and 1.0 V in a 0.5 M  $\text{CH}_3\text{OH}/0.1 \text{ M HClO}_4$  solution. (b) Vertical displacement of the surface atomic layer of the Pt(111) electrode during a repeated cyclic potential sweep (0.0-1.0 V).

掃引速度を速くすると  $\Delta z$  のヒステリシスが大きくなる様子を観測した。すなわち、CO 吸着状態へ移行する電位は掃引速度にあまり依存せず、脱離状態へ移行する電位が高い掃引速度に追従できない様子が見られた。これは後者の移行にのみ kinematic な律速段階がある事を意味している。

CO 被毒が問題なのは専門家の合意がある事項であったが、定常状態の測定しか無く、「CO が取れて行く過程」を見た人がいなかった。本測定で出力電流と構造変化を同時測定し、CO 解離過程について調べた。Fig. 4 は、 $0.0 \text{ V}$  から  $0.8 \text{ V}$  に電位ステップした後の  $\Delta z$  および酸化電流の変化であり、電位ステップ後に数 10 秒かけて CO 吸着層が脱離することを示している。他方、逆方向の電位ステップ ( $0.9 \text{ V} \rightarrow 0.0 \text{ V}$ ) では CO 被毒層が数秒内に形成する [14]。電位ステップ直後の変化を詳しく見ると、興味深いことに、最初の約 5 秒間では  $\Delta z$  は減少せず、むしろわずかに増大している。この変化は、CO 脱離とともに CO 被毒面積が単調に減少するという単純なモデルでは説明がつかない。なぜなら、 $\Delta z$  は表面の平均情報であるため、CO 被毒層の面積とともに減少するはずだからである。第一原理計算によると、CO-CO 分子間には斥力相互作用が働き、CO 密度が小さくなると CO-Pt 相互作用は大きくなる [15]。すなわち、 $\Delta z$  の増加は CO 密度の小さな被毒層の形成を示唆している。表面のステップ端など OH が吸着しやすいサイトにおいて、CO との反応が優先的に起きること [16] を勘案すると、Fig. 4 の挿入図に示すモデルが考えられる。すなわち、CO 酸化脱離が表面ステップ端などの反応活性サイトで始まり、これにより生じた CO 被毒層の密度勾配を無くすようにテラス上の CO 分子が拡散することで、CO 密度が小さくかつ Pt 表面に強く吸着した被毒層が平均場的に形成する、というモデルである。

さらに速い反応過程を知るには、統計精度の問題もあり、シングルイベントでの測定は不可能になり、繰り返し



**Figure 4** Vertical displacement of the surface atomic layer of the Pt(111) electrode in a methanol solution after the potential scan from 0.0 to 0.8 V. Figure reproduced from ref. [14]. (c) [2017] ACS publications.

蓄積型の実験を行う事になる。金 (111) 表面上に金属単原子層を電気化学的に成長させることができる事が知られているが、本課題の中では、その単原子膜の成長過程を 0.5 ms 時間分解能の繰り返し蓄積型測定によって調べた。Cu, Ag, Bi 等様々な金属の成長過程を調べた結果、多くの金属は水和物が金表面に一度吸着してから脱水和する、という中間体を経る事がわかった。こちらの詳細は紙面の都合上、文献 [17] を参照頂きたい。

#### 4. まとめと将来展望

本 S2 課題を通して、静的・動的な表面構造観測を通じた物性研究の道具立てを揃え、また物質の研究への適用例を示す事ができた。表面や界面は、触媒、電池、鉄骨などの構造材料の腐食など、物質移動を伴う様々な機能を担う場である。これらの現象について、多くの教科書は各状態（始状態、終状態、中間状態）の自由エネルギーを軸に説明を行っているが、なぜそのような自由エネルギーになるのかを知るためにはきちんとした構造の情報が必要である。コヒーレント光による表面回折が十分に実施できるようになれば、より詳細な界面の動きが見えてくるはずである。今後の光源の発達を期待しつつ、それに対応できる解析法の開発、並びにその機能性界面への適用研究はユーザー側の責任として進めていきたい。

#### 謝辞

この研究は科研費 26105008 の補助を受けて行われました。2015S2-009 の実験は PF BL-3A, 4C, AR-NE7A, NW2A で行いました。ビームライン担当の先生方をはじめ、PF 関係の皆様の支援に感謝します。

#### 引用文献

- [1] Y. Wakabayashi, T. Shirasawa, W. Voegeli, and T. Takahashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **87**, 061010 (2018).
- [2] S. Andrews and R. Cowley, *J. Phys. C: Solid State Physics* **18**, 6427 (1985).
- [3] I. Robinson: *Phys. Rev. B* **33**, 3830 (1986).
- [4] T. Matsushita, T. Takahashi, T. Shirasawa, E. Arakawa, H. Toyokawa, and H. Tajiri, *J. Appl. Phys.* **110**, 102209 (2011).
- [5] T. Takahashi, K. Sumitani, and S. Kusano, *Surface Science* **493**, 36 (2001).
- [6] Y. Yacoby, M. Sowwan, E. Stern, J. Cross, D. Brewes, R. Pindak, J. Pitney, E. Dufresne, and R. Clarke, *Nature Materials* **1**, 99 (2002).
- [7] Y. Wakabayashi, J. Takeya, and T. Kimura, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 066103 (2010).
- [8] Y. Wakabayashi, M. Nakamura, K. Sasaki, T. Maeda, Y. Kishi, H. Ishii, N. Kobayashi, S. Yanagisawa, Y. Shimo, and Y. Kubozono, *J. Am. Chem. Soc.* **140**, 14046 (2018).
- [9] Y. Shimo, T. Mikami, S. Hamao, H. Goto, H. Okamoto, R. Eguchi, S. Gohda, Y. Hayashi, and Y. Kubozono, *Sci. Rep.*

**6**, 21008 (2016).

- [10] H. Minemawari, T. Yamada, H. Matsui, J. Tsutsumi, S. Haas, R. Chiba, R. Kumai and T. Hasegawa, *Nature* **475**, 364 (2011).
- [11] H. Morisaki, T. Koretsune, C. Hotta, J. Takeya, T. Kimura, and Y. Wakabayashi, *Nature Commun.* **5**, 5400 (2014).
- [12] M. Anada, Y. Nakanishi-Ohno, M. Okada, T. Kimura and Y. Wakabayashi, *J. Appl. Cryst.* **50**, 1611 (2017).
- [13] M. Anada, K. Kowa, H. Maeda, E. Sakai, M. Kitamura, H. Kumigashira, O. Sakata, Y. Nakanishi-Ohno, M. Okada, T. Kimura and Y. Wakabayashi, *Phys. Rev. B* **98**, 014105-1-8 (2018).
- [14] T. Shirasawa, T. Masuda, W. Voegeli, E. Arakawa, C. Kamezawa, T. Takahashi, K. Uosaki, and T. Matsushita, *J. Phys. Chem. C* **121**, 24726 (2017).
- [15] J. A. Steckel, A. Eichler, and J. Hafner, *Phys. Rev. B* **68**, 085416 (2003).
- [16] J. Inukai, D. A. Tryk, T. Abe, M. Wakisaka, H. Uchida, and M. Watanabe, *J. Am. Chem. Soc.* **135**, 1476 (2013).
- [17] M. Nakamura, T. Banzai, Y. Maehata, O. Endo, H. Tajiri, O. Sakata and N. Hoshi, *Sci. Rep.* **7**, 914 (2017).

(原稿受付日：2019年3月22日)

#### 著者紹介

若林裕助 Yusuke WAKABAYASHI



東北大学大学院理学研究科 教授  
〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字  
青葉6-3

TEL: 022-795-7750

e-mail: wakabayashi@tohoku.ac.jp

略歴：2001年慶應義塾大学理工学研究科博士課程修了，2001年千葉大助手，2002年物質構造科学研究所助手/助教，2008年大阪大学基礎工学研究科准教授，2019年4月より東北大理学研究科教授。博士(理学)。最近の研究：情報科学による界面構造の新解析法の開発、及びその応用による界面物性研究が近頃は多い。  
趣味：剣道

白澤徹郎 Tetsuro SHIRASAWA



産業技術総合研究所 主任研究員  
〒305-8565 茨城県つくば市東

TEL: 029-861-5371 FAX: 029-861-4622

e-mail: t.shirasawa@aist.go.jp

略歴：2006年九州大学大学院物質理工学研究科博士後期課程修了，2007年東京大学物性研究所助教，2016年産業技術総合研究所主任研究員。博士(理学)。最近の研究：表面X線回折法の高速度化とエネルギー界面への応用。  
趣味：音楽鑑賞，野球。



## 自己参照型格子比較器を用いた同位体濃縮 $^{28}\text{Si}$ 単結晶の結晶評価

早稲田篤<sup>1</sup>, 藤本弘之<sup>1</sup>, 張小威<sup>2</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所計量標準総合センター, <sup>2</sup>中国科学院高能物理研究所

### Crystal Characterization of $^{28}\text{Si}$ Single Crystals by the Self-Referenced Lattice Comparator

Atsushi WASEDA<sup>1</sup>, Hiroyuki FUJIMOTO<sup>1</sup>, Xiaowei ZHANG<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Advanced Science and Technology, National Metrology Institute of Japan

<sup>2</sup>Chinese Academy of Science, Institute of High Energy Physics

#### Abstract

X線結晶密度法を用いたアボガドロ定数の決定では、使用される単結晶シリコンの結晶評価が必須となる。質量単位キログラムの定義改定を目指し行われた、同位体濃縮  $^{28}\text{Si}$  単結晶を用いたアボガドロ定数の決定において、自己参照型格子比較器を用いて行った単結晶シリコンの格子定数の一様性評価と結晶間格子定数比較の結果について報告する。

#### 1. はじめに

2018年11月にパリ郊外で開かれた度量衡総会で、国際単位系(SI)の7つの基本単位の中の4つの基本単位、質量と温度、電流、物質量の定義の改定が承認された。SI基本単位の中でこれまで唯一人工物である国際キログラム原器で定義されていた質量単位のキログラムは、基礎物理定数の一つであるプランク定数によって再定義されることとなった。この質量の単位キログラムの定義改定に向けては、これまで電磁気量子技術を利用したキップルバランス(ワットバランス)法によるプランク定数  $h$  の測定と、単結晶シリコンを用いたX線結晶密度(X-ray crystal density, XRCD)法によるアボガドロ定数  $N_A$  の測定[1-2]の二つのアプローチが進められてきた。一方、アボガドロ定数とプランク定数の間には厳密な以下の物理的関係式(1)が成立する。

$$N_A = \frac{M_e}{m_e} = \frac{cM_e\alpha^2}{2R_\infty} \cdot \frac{1}{h} \quad (1)$$

ここで、 $M_e$ ,  $m_e$ ,  $c$ ,  $\alpha$ ,  $R_\infty$  はそれぞれ電子のモル質量、電子の質量、光の速さ、微細構造定数、リュードベリ定数である。ここで  $N_A$  と  $h$  の変換にかかる係数は相対標準不確かさ  $4.5 \times 10^{-10}$  と非常に精度よく分かっていることから、キップルバランス法とXRCD法はそれぞれ独立なプランク定数及びアボガドロ定数の測定法である。科学技術データ委員会(Committee on Data for Science and Technology, CODATA)の基礎定数作業部会は2017年7月1日までに受理された論文のデータを評価し、SI基本単位の新しい定義に用いられるプランク定数、電気素量、ボルツマン定数、アボガドロ定数の特別調整を行った[3]。この調整値を元に、SIではプランク定数を定義値( $h = 6.626\ 070$

$15 \times 10^{-34}$  J s)とし、質量単位キログラムが再定義されることとなった。新しい定義は2019年5月20日の世界計量記念日から施行され、キログラムの定義が130年ぶりに改定されることとなった。

産総研はこれまで単結晶シリコンを用いたアボガドロ定数の決定に関する研究を続けており、2004年から2010年と、続く2011年から2017年にかけては、7つの研究機関が研究覚書(MoU)を結び、同位体濃縮  $^{28}\text{Si}$  単結晶(AVO28)の密度、格子定数、モル質量からXRCD法によりアボガドロ定数を決定するアボガドロ国際プロジェクト(International Avogadro Coordination Project, IAC Project)に参加し研究を推進してきた[4-5]。また、ドイツ物理工学研究所(PTB)が新たに作製した同位体濃縮  $^{28}\text{Si}$  単結晶(Si28-23Pr11)についても、IACは協力して研究を行い、アボガドロ定数を決定した[6]。これらのデータはSI基本単位の新しい定義に用いられるCODATAの2017年の特別調整に用いられている。

単結晶シリコンを用いたXRCD法によるアボガドロ定数の決定では以下の関係式(2)によりアボガドロ定数を決定する。

$$N_A = \frac{8M_{\text{Si}}}{\rho a^3} \quad (2)$$

ここで、 $M_{\text{Si}}$ ,  $\rho$ ,  $a$  はそれぞれ単結晶シリコンのモル質量、密度、格子定数である。XRCD法では単結晶シリコンのモル質量、密度、格子定数の絶対測定を行うとともに、用いる単結晶シリコンの結晶一様性や完全性、欠陥評価を行うことが必須である。格子定数に関しては、X線干渉計と光波干渉計を組み合わせた絶対測定[7-8]が行われると共に、自己参照型格子比較器(Self-Referenced Lattice Comparator,

SRLC) [9-10] を用いた格子定数の一様性評価 [11-12] が行われた。また, SRLC を用いて格子定数の絶対測定が行われた AVO28 結晶と, 新しい Si28-23Pr11 結晶の格子定数の結晶間比較測定を行うことにより, 新しい結晶の格子定数を決定した。本稿では, 高エネルギー加速器研究機構の放射光施設 (KEK-PF) の SRLC を用いて行われた, アボガドロ定数決定に関する研究について紹介する。

## 2. 自己参照型格子比較器

自己参照型格子比較器 (SRLC) の装置の概略図を Fig. 1 に示す。本装置は高エネルギー加速器研究機構放射光施設内のビームライン BL-3C に設置されている。放射光光源から入射された X 線は, 先ず Si(111) モノクロメーターで単色化され, 次に一体型ダブルチャンネルカットモノクロメーター (Monolithic Double Channel-cut Monochromator, MDCM) により精密に単色化され試料に照射される。SRLC では, この入射 X 線に対してほぼ同時に回折する, 結晶学的に対称性が等価な二つの回折ピークを用いるため, 僅かな回転角の範囲で二つの回折ピークを観測することが可能である (Fig. 2)。二つの回折ピークの回転角の差が  $\gamma$  であるとき, MDCM 結晶と試料の格子定数の相対差は以下の関係式 (3) により求めることができる。

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{d_{\text{sample}} - d_{\text{MDCM}}}{d_{\text{MDCM}}} = \cot \theta_B \cdot \frac{\gamma}{2} \quad (3)$$

ここで,  $\theta_B$  は回折のブラッグ角である。本実験では, (100) 方位と (110) 方位の単結晶シリコンを用いて測定を行った。高分解能を得るために, 回折角がなるべく大きく, 回折ピーク幅がなるべく狭く, 色分散のない光学系配置が選ばれている。(100) 結晶については, 結晶指数 (10 0 2) と (10 2 0) を用いており, このとき X 線波長とブラッグ角はそれぞれ, 0.1055 nm と 82.03° である。(110) 結晶については指数 (771) と (77 $\bar{1}$ ) を用いており, この時の X 線波長とブラッグ角はそれぞれ, 0.1086 nm と 84.23° である。

格子定数の精密比較測定では, 温度の時間揺らぎや空間不均一性がそのまま結晶の格子間隔測定値の揺らぎや不均一に直結するため, 装置は精密に温度制御されている。恒

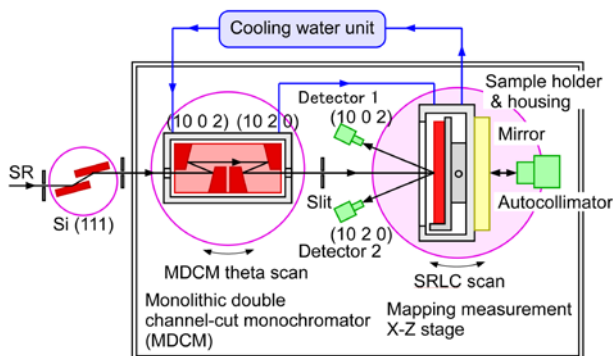


Figure 1 Schematic side view of the SRLC.

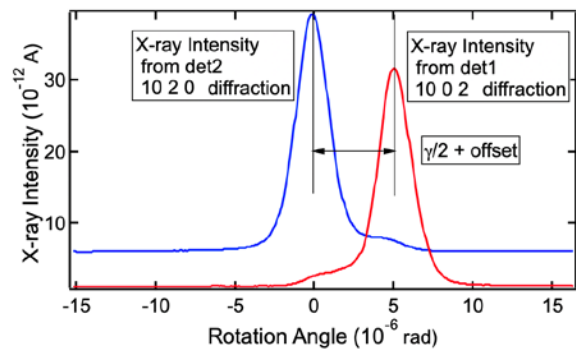


Figure 2 X-ray diffraction peaks of 10 2 0 and 10 0 2 from a silicon crystal.  $\gamma$  is an interval angle of two diffractions.

温槽により水温を制御された水を MDCM ホルダーと試料ホルダーに直列に流し, 温度を均一に保っており, ITS-90 で校正された白金抵抗測温体を試料及び MDCM ホルダーに設置し測温ブリッジで測定し, 温度補正を行っている。試料と MDCM の温度差は 10 mK 以下となっており, 試料の左右の温度差は 1 mK 以下となっている。また, 試料と MDCM の数時間での温度安定度は 1 mK 以下であり, 長時間の温度安定度は 5 mK 程度となっている。

SRLC ではブラッグ配置を用いており, X 線消費長は約 20  $\mu\text{m}$  であるので, 試料表面数十  $\mu\text{m}$  深さまでの平均化した格子定数変化を測定することができる。一方, ラウエ配置を用いた二結晶格子比較器や X 線干渉計では, X 線は試料内部を透過するので, 試料内部の平均化された格子定数の変化を測定することになる。さらに, SRLC ではブラッグ配置による表面反射 X 線を用いることから, 厚さのある結晶でも結晶による減衰の影響を考慮する必要はなく測定可能であり, 測定形状は比較的自由である。また, SRLC では試料表面と平行に近い結晶面間隔を測定するが, 二結晶格子比較器や X 線干渉計では, 試料面内方向の格子定数を測定する。

## 3. 同位体濃縮 $^{28}\text{Si}$ 単結晶の結晶評価

IAC Project では, 遠心分離法による同位体濃縮を行い, 同位体濃縮度 99.99 %, 質量 5 kg の同位体濃縮  $^{28}\text{Si}$  単結晶 (AVO28) を浮遊帯法により作製した。インゴットからは質量 1 kg, 直径約 94 mm の球体 2 個を始め, X 線干渉計用の結晶, 格子定数の一様性評価などのための結晶評価用試料が切り出され測定が行われアボガドロ定数を決定した。また, これとは別に PTB が作製した同位体濃縮  $^{28}\text{Si}$  単結晶 (Si28-23Pr11) についても, IAC 参加各国も協力して同様の測定が行われアボガドロ定数を決定した。これら単結晶シリコンの格子定数一様性について, 産総研では KEK-PF の協力を得て SRLC を用いて結晶評価を行なった。また, Si28-23Pr11 結晶については, 格子定数一様性評価に加え, 格子定数の絶対測定が行われた AVO28 と SRLC による結晶間格子比較を行うことにより, 格子定数の決定も行なった。

### 3-1. AVO28 結晶

IAC Project で作製した AVO28 結晶については、種結晶側 4.12, 格子定数の絶対測定が行われた XINT 結晶, 多結晶側 9.R1, 10.5 について, SRLC を用いて格子定数の一様性評価を行なった。Fig. 3 に格子定数の分布測定結果を示す。また, Table. 1 に各結晶の格子定数分布と欠陥評価の結果を示す。種結晶側から切り出された (100) 結晶 4.12 は, インゴット成長方向に垂直な断面であり, 格子定数分布に不均一は見られず一様であった。不純物原子である炭素や酸素が非常に少ない試料であり, 試料の格子定数分布の相対標準偏差は  $4.8 \times 10^{-9}$  となっていた。また, 格子定数の絶対測定が行われた XINT 結晶についても格子定数の分布評価を行なった。XINT は (110) 結晶でインゴット成長方向に垂直な縦断面である。若干下に凸に湾曲した層状パターンが見られるが, 格子定数の分布は  $5.5 \times 10^{-9}$  となっており, 一様性も良く格子定数の絶対測定を行うのに適した試料であった。

一方, AVO28 インゴットの多結晶側は不純物原子で

ある炭素と酸素濃度も比較的多い結晶である。9.R1 は (100) 結晶で, 横断面は渦状パターンが見えている。また, (110) 結晶である 10.5 は縦断面試料であり, 下に凸に湾曲した層状のパターンが観測できる。9.R1 で格子定数の分布は  $1.7 \times 10^{-8}$ , 10.5 では  $1.2 \times 10^{-8}$  となっており, 4.12 や XINT と比べ一桁格子定数分布が大きくなっている。結晶化時に不純物の偏析が起きている可能性もある。現在この点についてはさらに確認の実験を進めている。

### 3-2. Si28-23Pr11 結晶

PTB により新たに作製されたインゴット Si28-23Pr11 の種結晶側から切り出された (100) 結晶 M.2 について, SRLC による格子定数の一様性評価を行った。この時の定点での繰り返し測定時の標準偏差は  $3.8 \times 10^{-9}$  であった。新結晶試料 M.2 と格子定数の絶対測定が行われた AVO28 結晶で格子定数の一様性が良い 4.12 について交互に 2 回ずつマッピング測定を行った。格子定数の一様性 (分布の標準偏差) は, 4.12 が  $9.6 \times 10^{-9}$  と  $7.3 \times 10^{-9}$  で, M.2

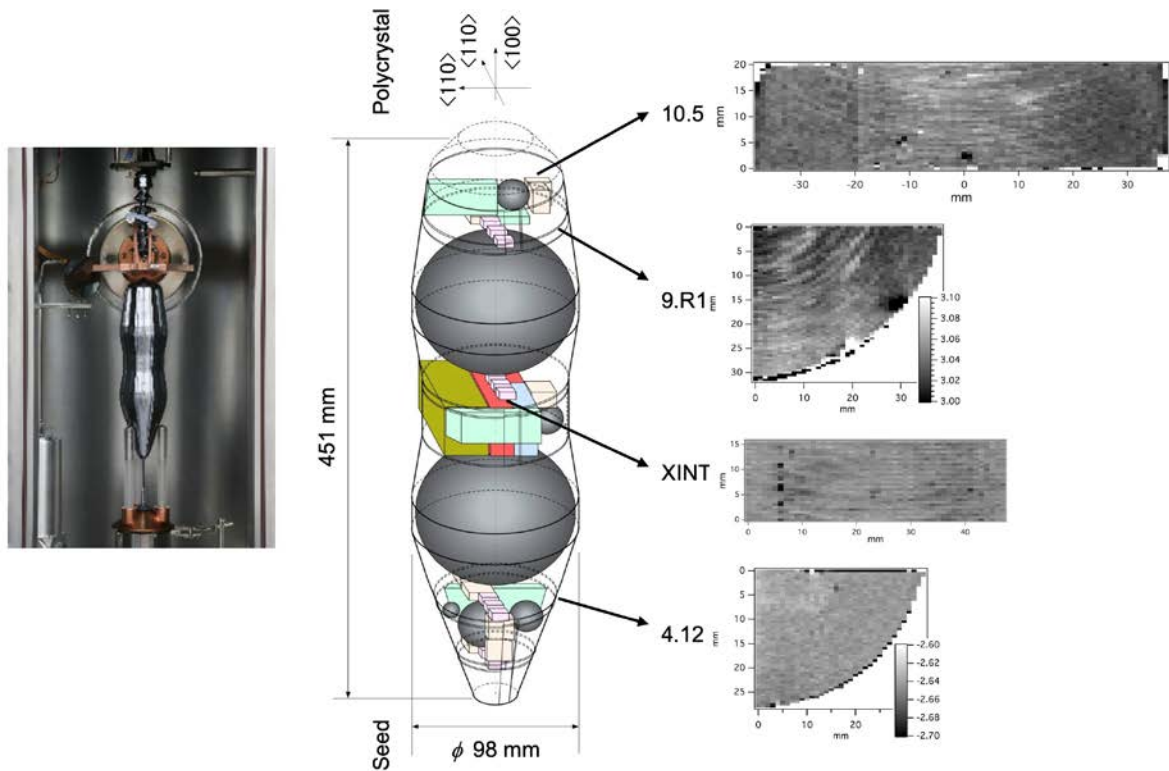


Figure 3 Avogadro crystal Avo28 and  $\Delta d/d$  mapping for 4.12, XINT, 9.R1 and 10.5.

Table 1. Characterization of Avogadro silicon crystals AVO28

	4.12	XINT	9.R1	10.5
Axial distance from seed (mm)	175.4	306	419.8	> 419.8
$\Delta d/d$ distribution (standard deviation)	$4.8 \times 10^{-9}$	$5.5 \times 10^{-9}$	$1.7 \times 10^{-8}$	$1.2 \times 10^{-8}$
Carbon ( $\times 10^{15} / \text{cm}^3$ )	0.182(83)	1.07(10)	2.990(196)	$\geq 2.990$
Oxygen ( $\times 10^{15} / \text{cm}^3$ )	0.196(23)	0.369(33)	0.440(38)	$\geq 0.440$
Boron ( $\times 10^{15} / \text{cm}^3$ )	0.0196(17)	0.004(1)	0.344(28)	$\geq 0.344$

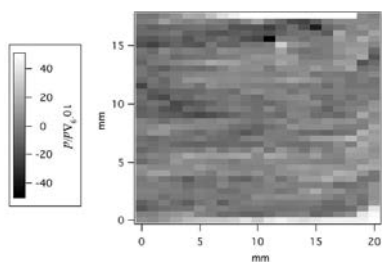


Figure 4  $\Delta d/d$  mapping for Si28-23Pr11 M.2.

が  $8.3 \times 10^{-9}$  と  $9.6 \times 10^{-9}$  であった。この時は PF が蓄積モードでの運転であったため分解能が若干悪くなっている。Fig. 4 に M.2 の格子定数分布を示す。結晶 M.2 の一様性は 4.12 と同程度であり、この新しい結晶も格子定数を決定するのに適していることが確認できた。

二結晶間の格子定数の相対差は、それぞれのマッピングデータの平均の差を比較することによって評価できる。それぞれ異なる結晶のマッピングデータの平均を比較するために、測定では注意深く結晶の姿勢を調整して行った。絶対測定により格子定数が決められている AVO28 と結晶間で格子定数を比較することにより、Si28-23Pr11 結晶の格子定数を決定した。この結果は、新結晶を用いたアボガドロ定数決定に用いられた。

#### 4. まとめ

SI 基本単位の一つである質量単位キログラムは歴史上初めて人工物から切り離され、普遍的な基礎定数であるプランク定数によって再定義された。このキログラムの再定義を実現するべく行われたアボガドロ国際プロジェクトの中で、KEK-PF の SRLC を用いて行われた格子定数の超精密比較測定について概観した。キログラムが新しい定義となった現在、XRCD 法とキップルバランス法がキログラムの定義を現示する方法となる。同位体濃縮  $^{28}\text{Si}$  単結晶を用いる XRCD 法によってキログラムの新しい定義を現示する新たな単結晶シリコンも作製されており、SRLC を用いた結晶評価も不可欠となる。また、SRLC では超精密な格子定数分布を計測することが可能であり、SRLC による不純物などの欠陥評価を目指している。

#### 謝辞

本研究の KEK での放射光実験は、PF-PAC の承認（課題番号 2008G682, 2010U001, 2012S2-004, 2016S2-003）のもとで実施された。

#### 引用文献

- [1] P. Becker, Rep. Prog. Phys. **64**, 1945 (2001).
- [2] K. Fujii *et al.*, Metrologia **53**, A19 (2016).
- [3] D. B. Newell *et al.*, Metrologia **55**, L13 (2018).
- [4] B. Andreas *et al.*, Metrologia. **48**, S1 (2011).
- [5] Y. Azuma *et al.*, Metrologia **52**, 360 (2015).
- [6] G. Bartl *et al.*, Metrologia **54**, 693 (2017).

- [7] E. Massa, G. Mana, L. Ferroglio, E. G. Kessler, D. Schiel and S. Zakel, Metrologia **48**, S44 (2011).
  - [8] E. Massa, C P Sasso, G Mana and C Palmisano, J Phys. Chem. Ref. Data **44**, 031208 (2015).
  - [9] X. W. Zhang, H. Sugiyama, M. Ando, Y. Imai and Y. Yoda, J. Appl. Crystallogr. **36**, 188 (2003).
  - [10] H. Fujimoto, A. Waseda and X. W. Zhang, Metrologia **48**, S55 (2011).
  - [11] A. Waseda, H. Fujimoto, X. W. Zhang, N. Kuramoto and K. Fujii, IEEE Trans. Instrum. Meas. **64**, 1692 (2015).
  - [12] A. Waseda, H. Fujimoto, X. W. Zhang, N. Kuramoto and K. Fujii, IEEE Trans. Instrum. Meas. **66**, 1304 (2017).
- (原稿受付日：2019年3月25日)

#### 著者紹介

早稲田篤 Atsushi WASEDA



産業技術総合研究所  
計量標準総合センター 主任研究員  
〒305-8563  
茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第3  
TEL: 029-861-4327 FAX: 029-861-4280  
e-mail: waseda.atsushi@aist.go.jp

略歴：1994年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、1994年筑波大学物質工学系助手、1996年工業技術院計量研究所。博士（工学）。

最近の研究：固体密度比較、密度標準、自己参照型格子比較器。

藤本弘之 Hiroyuki FUJIMOTO



産業技術総合研究所  
計量標準総合センター  
(現 株式会社島津製作所)  
e-mail: fujimoto.hiroyuki.fb9@shimadzu.co.jp

略歴：1990年東北大学大学院理学研究科博士課程修了、1990年工業技術院計量研究所、2019年株式会社島津製作所。博士（理学）。

最近の研究：X線干渉計、自己参照型格子比較器、X線光学、X線を用いた精密形状計測、角度標準。

張小威 Xiaowei ZHANG



中国科学院高能研究所 教授  
中華人民共和国北京市玉泉路19号  
TEL: +86-10-8823-5988  
e-mail: zhangxw@ihep.ac.cn

略歴：1989年東京大学工学系研究科博士課程修了、1989年高エネルギー物理学研究所。2015年現職。博士（工学）。

最近の研究：6 GeV 放射光光源の建設、X線干渉計、自己参照型格子比較器。

### 海底堆積物に膨大な " 微小マンガン粒 " を発見～陸上マンガン鉱床に匹敵する量のマンガンが海底下に存在～

2019年2月6日

海洋研究開発機構

高知大学

農業・食品産業技術総合研究機構

高輝度光科学研究センター

愛媛大学

広島大学

高エネルギー加速器研究機構

東京大学

#### ■概要

国立研究開発法人海洋研究開発機構（理事長 平 朝彦、以下「JAMSTEC」という。）の諸野祐樹主任研究員、稲垣史生上席研究員、国立大学法人高知大学（学長 櫻井 克年）の浦本豪一郎特任助教／卓越研究員（JAMSTEC 客員研究員）らは、南太平洋環流域等の外洋の海底堆積物の中に、直径数ミクロンの鉄マンガン酸化物微粒子が、堆積物 1cc あたり 1 億～10 億個存在することを世界で初めて発見しました。

微小マンガン粒は、外洋域の酸素に富む堆積物環境のみ見つかりました。外洋地層全体での存在量を計算した結果、 $10^{28}$ ～ $10^{29}$  個もの微小マンガン粒が海底下に存在することが分かりました。また、この微小マンガン粒は鉄やマンガン等の主要金属元素だけでなく、レアアースのような有用希少金属を多く含むことも分かり、特にマンガンについては、地層中に含まれるマンガンの 30～60%、重さにして 1.28～7.62 兆トンのマンガンに相当することが明らかとなりました。これは、海底表層に広く存在することが知られる球状や板状の鉄マンガン酸化物（マンガン団塊やコバルトリッチクラスト）に含まれるマンガン総量の 100～1000 倍に相当します。さらに、レアアースについては最大 33～194 億トン程度が微小マンガン粒に含まれており、マンガン、レアアース等の膨大な金属元素が微粒子状の形で海底下に埋もれていることを示しています。

また本研究では、精密元素分析等を実施することにより、この微小マンガン粒が海水中で形成したことが示唆されました。これにより、これまで存在すら知られていなかった金属酸化物の微粒子が、海洋での金属元素循環や物質保持メカニズムを理解する上で重要な役割を果たすことが明らかとなりました。本研究成果は、環境試料から特定の微細粒子を精密かつ高速に分離・回収する基盤技術の確立に立脚しており、今後、様々な応用展開が期待されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190204.pdf> をご覧下さい）。

### 新材料の研究開発に有用な量子ビーム実験の計測効率を向上する手法を開発 量子ビーム実験の計測時間を従来の 10 分の 1 に短縮し、新材料の研究開発の加速を支援

2019年2月7日

高エネルギー加速器研究機構

株式会社日立製作所

#### ■概要

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構（機構長：山内 正則／以下、KEK）物質構造科学研究所の小野 寛太准教授および株式会社日立製作所（執行役社長兼 CEO：東原敏昭／以下、日立）は、このたび、人工知能 (AI)・機械学習にも用いられる統計手法を用いて、新材料の研究開発に有用な量子ビームを用いた材料評価の計測実験（以下、量子ビーム実験）を効率化する手法を開発しました。

高機能材料の性能にはさまざまなスケールの微細な構造が大きく影響するため、その計測実験に多くの時間を要しています。特に、加速器などの大型設備を必要とする量子ビーム実験では、実験が可能な施設や機器の稼働時間が限られることから、実験の高効率化が求められていました。今回開発した手法を適用することにより、従来の 10 分の 1 の計測時間で取得したデータでも、従来と同等の精度を得ることが可能となり、大型実験施設での実験時間を有効利用でき、より多くの試料を計測することが可能となります。また、本手法は大学や企業の実験室にある一般的な実験装置へも広く適用できるため、材料評価に必要なさまざまな計測の効率化につながり、各種材料の研究開発が加速されることが期待されます。

なお、本実験は、トヨタ自動車株式会社（以下、トヨタ）と共同で推進し、今後、トヨタは、本研究成果を電気自動車 (EV) など電動車のモーター向け新材料研究へ応用していく予定です（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190207.pdf> をご覧下さい）。

## トポロジカル物質中の新型粒子を発見 - ディラック・ワイル粒子に次ぐスピン1 および2重ワイル粒子 -

2019年2月21日  
東北大学大学院理学研究科  
東北大学材料科学高等研究所  
東北大学多元物質科学研究所  
高エネルギー加速器研究機構  
ドイツ ケルン大学 物理学科

### ■概要

東北大学大学院理学研究科の佐藤宇史教授、博士課程後期1年 高根大地、同材料科学高等研究所の相馬清吾准教授、高橋隆教授、同多元物質科学研究所の組頭広志教授、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の堀場弘司准教授、およびケルン大学（ドイツ）の安藤陽一教授らの研究グループは、高輝度放射光を用いた光電子分光実験により、コバルトシリサイド（CoSi）の内部に、これまで他のトポロジカル物質で観測されていたディラック粒子やワイル粒子とは異なる新型の粒子「スピン1粒子」および「二重ワイル粒子」が存在していることを発見しました。これらの新型粒子は結晶がもつカイラルな特徴により形成されたもので、不純物や欠陥からの散乱に対して強いトポロジカルな性質を持っています。今後、これらの新型粒子が示す物質機能の開拓が進むとともに、放射光を駆使することでさらに新しい粒子の発見が期待されます。

本成果は、米国物理学会誌フィジカル・レビュー・レターズの注目論文（Editors' suggestion）に選ばれ、2019年2月20日（米国東部時間）に、オンライン公開されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190221.pdf> をご覧下さい）。

## 機械学習により X線吸収スペクトル解析の 自動化が可能に～データの類似度に着目し 定量的なスペクトルの解析を実現～

2019年4月19日  
高エネルギー加速器研究機構  
東京理科大学  
情報・システム研究機構 統計数理研究所

### ■本研究成果のポイント

- ・ 機械学習によってX線吸収スペクトルから物理量を自動で抽出することを実現
- ・ データ解析における解析者の主観を除き、客観的かつ高精度な定量分析に成功
- ・ ノイズの多いデータの解析も可能に。測定効率化や微弱信号解析への応用に期待

### 【概要】

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所の小野 寛太 准教授と東京理科大学 鈴木 雄太 大学院生（研究当時：修士2年、現所属：総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究所）は、統計数理研究所の日野 英逸 准教授らと共同で、機械学習を用いて物質・材料研究に必要な不可欠なX線吸収スペクトルの解析を自動化・高効率化する手法を開発しました。

X線吸収分光法（XAS）は、物質・材料の機能と性質を支配する電子状態や化学状態の情報を得ることができる手法で、物質・材料研究において広く利用されています。XAS 実験データを解釈し、必要な物理量を取得するためには専門家が目で見て判断する必要がありました。

本研究では機械学習の一種である多様体学習および、データの類似度の概念をX線吸収スペクトル解析に応用することで、XAS に内包された物理量を自動的かつ高精度で予測すると共に、大量のXAS データを効率的に解析する手法を開発しました。さらに、スペクトルを比較するための適した尺度を検討することで、ノイズの極めて多いスペクトルからでも物理量を予測できることを示しました。本手法はX線吸収スペクトルのみならず様々な計測に応用することが可能であり、計測データの解析の効率化につながります。さらに、超高速現象や不安定物質の計測など、これまでは解析が困難であった極めて微弱な信号の解析にも適用できると見込まれ、今後の物質・材料研究の加速と新奇な物理現象の理解に貢献します。

この研究成果は、英国の学術誌「npj Computational Materials」に3月29日オンライン掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190419%20.pdf> をご覧下さい）。

### 「2018年度量子ビームサイエンスフェスタ 第10回 MLF シンポジウム 第36回 PF シンポジウム」開催報告

量子ビームサイエンスフェスタ実行委員長 小野寛太

2018年度量子ビームサイエンスフェスタ、第10回 MLF シンポジウム、第36回 PF シンポジウムは、KEK 物質構造科学研究所、J-PARC センター、総合科学研究機構 (CROSS)、PF- ユーザアソシエーション (PF-UA)、J-PARC MLF 利用者懇談会の共同主催で、茨城県、つくば市、東海村の後援と21の学術団体の協賛のもと、2019年3月12日(火)、13日(水)の2日間につくば市のつくば国際会議場(エポカルつくば)にて開催されました。2015年からは名称を「量子ビームサイエンスフェスタ」として開催しておりますが、この名称もすでにユーザーの皆様にも定着したものだと思えます。量子ビームサイエンスフェスタでは、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子などの多彩なプローブを用いた量子ビーム利用研究の推進とサイエンスの発展を目的として、量子ビーム利用ユーザーと量子ビーム施設のスタッフが一堂に会し、プローブの垣根を超えて交流し議論できる場を目指して開催しております。今回も約580名にご参加いただき、複数の量子ビームを利用したマルチプローブ研究や、量子ビーム科学と情報科学との融合により展開される新しいサイエンスなど、量子ビームサイエンスフェスタならではのテーマで盛んな議論が行われました。

3月12日(火)の量子ビームサイエンスフェスタは開会宣言ののち、小杉信博構研所長の開会挨拶から始まりました。基調講演では、近年進展の著しい物質・生命科学と情報科学との協奏についてお二人の先生にご講演いた



図1 大ホールでの基調講演の様子



図2 基調講演を行う豊田中央研究所・武市憲典博士(上)と東京大学・吉川雅英教授(下)

きました。豊田中央研究所の武市憲典博士には、「マテリアルズ・インフォマティクスの現状と展望」と題し、新たな機械学習を用いたデータ駆動型の材料開発手法、マテリアルズ・インフォマティクス(MI)について、MIは真に役立つ技術なのかという疑問に始まり、単なる工期短縮やコストダウンに留まらず、循環型社会の実現に向けて産業界が果たすべき役割と、そのために必要なMIの位置づけについての期待と責務について、最新の研究成果を交えて非常に明解なご講演をしていただきました。東京大学の吉川雅英教授には、「クライオ電子顕微鏡は2Åに達するのになぜ30年もかかったか?」という興味深い内容についてご講演いただきました。電子顕微鏡を用いた生体分子の構造解析の高分解能化に至る道筋について、「水」の問題にフォーカスし、これらを解決してきた凍結技術、クライオステージ、電子線直接検知型カメラ、高度な画像解析などについて分かりやすくご説明いただいたのち、今後のクライオ電子顕微鏡法の発展の可能性と、解決すべき問題についてご講演いただきました。マテリアルズ・インフォマティクスとクライオ電子顕微鏡は量子ビーム利用ユーザーの誰もが興味を持っている話題であり、研究の第一線で活躍されている武市先生、吉川先生の分かりやすい基調講演により参加者の皆様の理解が深まったことと確信しています。続く来賓挨拶では、文部科学省・量子研究推進室の奥室長(大榎室長補佐代読)および山内正則 KEK 機構長からご挨拶がありました。その後、参加者全員でステージ上に上がり恒例の記念撮影が行われました。

午後にはポスターセッションとパラレルセッションが行われました。ポスターセッションでは量子ビーム科学の多岐にわたる分野から300件を超える発表があり、二つの会場のあちこちで熱い議論が交わされました。学生によるポスター発表についてPF-UA、J-PARC MLF 利用者懇談会に



図3 PFシンポジウムでの様子

よる審査が行われ、奨励賞として優秀な発表が6件選出されました。パラレルセッションでは以下の6つのセッションが開催されました。(A1) 量子ビーム × 情報科学 (生命科学), (A2) 量子ビーム × 情報科学 (物質科学), (B1・B2) 産業利用, (C1) 強相関物質科学, (C2) ソフトマター研究。サイエンスフェスタは、従来のプローブやサイエンス分野の垣根を超えて新しい分野を切り開くことを目的としており、今回のサイエンスフェスタでは「情報科学と量子ビームとの共奏」をテーマに、基調講演と合わせて新しいサイエンスの方向性を参加者全員で議論できるようにセッションを構成しました。

セッション終了後には、つくば国際会議場のアトリウムで懇親会が開かれました。物構研の小杉信博所長の開会挨拶により始まり、文部科学省・素核室の轟室長よりご挨拶を、また山田修東海村村長より乾杯のご挨拶を頂きました。懇親会中には学生奨励賞の授賞式が行われ、その中で受賞者が一言ずつ喜びを語ったのちに、清水敏之 PF-UA 会長と久保謙哉 MLF 利用者懇談会会長からお言葉を頂きました。審査委員の方々のご尽力により、迅速に受賞者を決定

し、受賞者全員に授賞式に参加して頂くことが出来ました。審査委員をお引き受け頂いた方々に感謝いたします。参加者で量子ビーム科学について大いに懇談したのち、日本原子力開発機構の三浦理事に続き、CROSS 中性子科学センターの横溝センター長よりご挨拶をいただきました。最後に MLF 金谷ディビジョン長より閉会の挨拶とともに、来年度は水戸で開催することと来年度の実行委員長の紹介があり、懇親会は終了いたしました。

3月13日(水)には第10回 MLF シンポジウムと第36回 PF シンポジウムと MLF シンポジウムが平行で開催されました。MLF シンポジウムでは、金谷 MLF ディビジョン長の挨拶に続き、山梨大学の犬飼潤治教授による「量子ビームを用いた固体高分子燃料電池の解析」と題した基調講演が行われました。その後、施設報告と2つのサイエンスセッションののち三宅康博 MLF 副ディビジョン長から閉会の挨拶がありました。PF シンポジウムでは清水敏之 PF-UA 会長の挨拶に続き、PF の施設報告、将来計画、施設・センター報告が行われ、最後に小杉物構研所長から挨拶がありました。

来年度のサイエンスフェスタは2020年3月12日(木)～14日(土)に水戸の茨城県立県民文化センターで開催予定です。今後の量子ビーム科学研究の益々の発展のために本サイエンスフェスタが貢献できるよう、PF スタッフ、MLF スタッフ一同で頑張る所存でございますので、今後ともよろしく願いいたします。最後になりましたが、サイエンスフェスタ開催にあたっては、事前準備から当日まで、献身的に活動していただいた実行委員の方々、当日一生懸命手伝って下さったアルバイトの学生の皆様、そして、サイエンスフェスタ運営に関し、事務手続きから運営まで全てを円滑に進めて頂き、本サイエンスフェスタを献身的に支えて下さいました事務局の皆様に深く御礼申しあげます。



図4 集合写真



## 「2018年度量子ビームサイエンスフェスタ」に参加して

弘前大学大学院理工学研究科  
博士前期課程二年 上出晴輝

つくば市のつくば国際会議場で3月12日(火)13日(水)に2018年度量子ビームサイエンスフェスタ第10回MLFシンポジウム/第36回PFシンポジウムが開催されました。

12日は合同セッション、13日はパラレルセッションが行われ、筆者は12日の合同セッションのみ参加しました。12日は晴れ。寒さを感じながらも春の陽気に包まれるサイエンスフェスタ当日でした。今回はつくば国際会議場が会場となり、つくばセンターからバスや徒歩で来られた方も多いようでした。筆者はKEKに宿泊中であつたので、会場直送の送迎バスを利用しました。

会場は吹き抜けで、一般展示室、小ホール、大ホール等があり、1000人規模の収容が可能だそうです。初参加ということもあり、慣れない空気感の中、新鮮な気分がいっぱいでした。ここまで多くの研究者が一堂に会する場に触れることがなかったため、放射光に関わるイベントの規模に驚き、感動しました。

筆者はポスターセッションで発表も行いました。ポスターセッションでは学生対象のポスター賞の審査があり、筆者も参加しました。1時間程度の短い時間に分野の異なる方々と意見を交わす貴重な機会となりました。

筆者の研究するペロブスカイトに関する発表を聞くことも出来ました。ペロブスカイト  $\text{CaMn}_{1-x}\text{Sb}_x\text{O}_3$  の結晶構造と磁気構造とプロトン導電性層状ペロブスカイト  $\text{Sr}_2\text{Ti}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{4.6}$  ( $\text{M}=\text{Fe}, \text{Al}$ ) の結晶構造は特に勉強になりました。

ポスター賞はその後のパラレルセッションに発表があり、受賞者は多くの関係者を前に表彰されました。評価の機会は貴重であり、筆者を含む学生にとってモチベーションや成長のきっかけになると感じました。

午前に行われた基調講演では、マテリアルズ・インフォマティクスの現状と展望、クライオ電子顕微鏡は2 Åに達

するのになぜ30年もかかったのか、という題の講演が行われました。前者は近年注目されている機械学習による材料開発であり、未だ発展途中でポテンシャルを秘めているが、その位置づけを議論するものでした。MI研究では不要と思われる領域のデータにも積極的に研究を行うことができるという話を聞き、興味深いと感じました。後者はクライオ電子顕微鏡について測定精度、測定時間の技術的改善があったことが分かりました。このような高度な技術をひとつの施設のように利用できることに驚きました。

PFリングは利用開始から30年以上が経過しPF-ARなどを含めると約50本のビームラインで3,000名を超えるユーザーが利用していますが、引き続き厳しい予算と電気料金の値上がりで加速器運転時間が減少しており、ビームライン運営費の節約に加え、産業利用促進運転やPF-ARの消費電力を抑制する5 GeV運転が試行されるそうです。筆者に関わる研究でも昨年に続き、自動測定による実験の効率化が行われ、ビームタイムの効率的利用、産業利用促進などを取り入れることでユーザー実験時間の確保が進んでいます。

2018年度運営報告の特記事項としてPFとPF-ARの同時トップアップ運転の開始、BL-19の建設、PF-AR 5 GeV運転スタディの実施、産業利用促進運転制度の試行があげられました。

これらの報告より、PFとPF-ARについて予算の制約はあるが、計画が縮小するものではなく、むしろ規模の拡大や技術開発、技術導入など前進する姿勢を感じ取りました。

サイエンスフェスタを通して、様々な性質の光源を学問に利用できる環境、放射光に関わる意見を交わす環境の重要性を実感しました。各分野の研究はそれぞれ一見異なるようで、物質のミクロな構造や振る舞いを評価する点で共通するもので、その中でこんなにも多分野で様々な内容が発表されていることに驚きました。

また、私は懇親会に参加しませんでした。特に懇親会は分野、年齢の垣根を越えて交流できる貴重な機会だと思います。分野が違っても、知識だけでなく見えている世界の違いにも気付かされます。満足していること、不足していることを共有することで置かれている環境を評価することができます。学術的なことを超えた情報を得ることもできます。年齢が違うことが特段交流しにくいということはないですが、年齢が近いと交流しやすいと感じることが度々あります。学生という枠組みで交流する場のようなものがあれば、積極的に参加したいと思いました。

最後に、執筆の機会を頂いた編集委員の方々に感謝申し上げます。

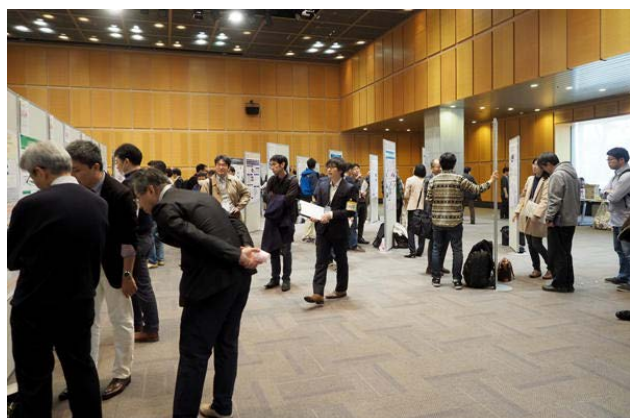


図1 ポスターセッションの様子

## 「第1回クライオ電顕解析初心者講習会 ～データ処理～」開催報告

放射光科学第二研究系 湯本史明

タンパク質の構造生物学分野は、近年のクライオ電子顕微鏡（クライオ電顕）技術の発展により、大きく様変わりしている最中にある。それは、クライオ電顕の装置や技術である電子直接検出器、位相板、解析ソフトウェアにおいて革新が相次ぎ、結晶化が困難であったようなタンパク質や超分子複合体であっても近原子分解能での立体構造解析が行われるようになってきたためである。この分解能革命と呼ばれる時代に突入したのは6年ほど前、2013年初頭に、Chang グループ（カリフォルニア大学サンフランシスコ校）が電子直接検出器 K2 Summit（Gatan 社）を使って、膜タンパク質 TRPV1 チャンネルの構造を分解能 3.4 Å で決定し、報告したことが大きな転機の一つとなっていた。その後、世界各地で最新鋭の電子顕微鏡の導入が相次ぎ、最近では、著名誌にて毎週のようにクライオ電顕による構造決定が報告される状況となっている。

このような状況のもと、高エネルギー加速器研究機構（KEK）・物質構造科学研究所（物構研）・構造生物学研究センターにおいても、2018年3月に200 kVの電子顕微鏡 Talos Arctica（Thermo Fisher Scientific 社）や電子直接検出器 Falcon 3 が導入され、同年10月から共同利用が開始された。このクライオ電顕施設では、物構研の安達成彦氏、川崎政人氏が中心となって測定支援が行われ、日々、アカデミアや産業界のユーザーによる構造解析用サンプルのスクリーニングやデータ測定が進められている。このようにデータ測定の環境は整ってきた背景のもとで、ユーザーコミュニティの中で、クライオ電顕の単粒子解析のデータ処理について学ぶ機会の必要性が顕になってきた。

そこで、2018年12月13日（木）～14日（金）、KEK つくばキャンパスにおいて、クライオ電顕解析の初心者講習会を開催した。参加対象者を、クライオ電顕によるタンパク質の単粒子解析に興味はあるものの、自身では解析されたことがない方（定員25名）とさせていただいたとこ



図2 会場の様子

ろ2倍近くの応募があり、データ解析に対する関心の高さが伺えた。なお、今回はアカデミアから20名（博士課程学生1名）、企業から5名参加されており、X線結晶構造解析をツールとして研究室を主宰されている先生方も多くが参加されていた。残念ながら、解析環境の数に限りがあったために参加できなかった方々には、次回の講習会において優先的にご参加いただく予定である。

今回の講習会の講師は、九州工業大学の安永卓生氏に務めていただいた。安永研究室は、クライオ電顕の解析ソフトウェアとして世界のスタンダードとなっている Relion（Sjors Scheres 博士, MRC-LMB）について、開発者本人の承諾を得た上で日本語解説ウェブサイトを開発されており、Relion を使ったデータ処理を行われてきた方の多くも参考にされている。また、安永研究室は顕微鏡学会・生体解析分科会においても Relion 講習会を複数回開催した実績をもたれている。今回の KEK での講習会では開催時の最新バージョンである Relion 3.0beta を題材として、単粒子解析法における理論的な背景から実習までをご指導いただいた。また実習においては、理化学研究所/放射光科学研究センター・重松秀樹氏、物構研・守屋俊夫氏、Tietz Video & Image Processing Systems GmbH・荒牧慎二氏にインストラクターを務めていただいた。

講習会のはじめには、物構研・千田俊哉氏が KEK クライオ電顕施設の現状や本講習会の意義について説明され、次に物構研・山田悠介氏がクラウド上での解析環境のセットアップ方法を紹介された。物構研・構造生物学研究センターでは山田氏が中心となって構造解析環境のクラウド化が進められている。今回の講習会はその一環として、クラウド環境でクライオ電顕解析環境を人数分整え、提供する形として開催された。クライオ電顕の解析環境設定は、Linux OS、ドライバー、CUDA、GPU といった様々な要素に対応してセットアップする必要があり、実際に Relion を動かすためには相応の経験と知識を要するものとなっている。これはノートパソコンに CCP4 や Phenix といったパッケージをダウンロードし、インストールするだけで解析環境が整う X線結晶構造解析とは大いに異なっており、各大学や企業グループで単粒子解析解析環境構築を困難に



図1 安永氏による解説の様子

している要因の一つであろう。本講習会では、守屋氏の尽力で参加人数分の Relion 解析環境が構築され、提供された。実際の講習会では、クラウド上の GPU を搭載した解析環境に各自がログインすることによって、全ての参加者が同時に Relion を使って、チュートリアルで使われている  $\beta$  ガラクトシダーゼの単粒子解析を行うことができた。

実際の講習では、安永氏が講義と解析実演を交互に行い、それらを参考に参加者が 1 ステップずつ解析を進めていく形を取った。講義では、安永氏が懇切丁寧に準備された資料に基づいて、3次元電子顕微鏡法について解説をしていただいた。具体的には、クライオ電顕を使った画像解析の流れとして、画像補正(ドリフト補正, CTF 変調等の決定(補正), 粒子像の改善), 前処理(粒子の抽出, 構造の分類), 3次元再構成(投影向きの決定, 構造の分類, 3次元再構成), 画像の解釈といった全てのプロセスについて、また、中央断面定理の説明など理論的背景についても解説していただいた。

解析実習の合間には、重松氏からは実例として世界におけるクライオ電顕の単粒子解析分野の状況や解析例、さらにはご自身の解析例についてご紹介いただいた。また、守屋氏からは同氏がドイツ・マックスプランク研究所において開発に携われたクライオ電顕単粒子解析パッケージ SPHIRE について紹介いただくと共に、本パッケージと Relion との違いなどについてお話いただいた。

1日目の最後に行われた懇親会では講師、インストラクター、参加者の皆さんにご歓談いただいたが、やはり各自の研究グループで解析環境をどのように構築するかという課題についての話題が多かったように思う。

これら2日間の講習会は参加者がそれぞれの分解能で最終的な3次元再構成マップを得る構成となっており、電顕画像から分子のマップを得るまでに至る一連の操作を自ら行った参加者の表情は、充実感に満ちているように見られた。また、最終的に、全く同じデータセットからスタートしたにもかかわらず、参加者それぞれに最高到達分解能にはかなりの開きが見られたこともあり、それぞれのステップごとに“取りこぼしなく”進めていくことの大切さを再認識させられた講習会でもあった。

以上のように、本講習会は、PFでX線結晶構造解析に取り組まれてこられた方々のご尽力によって、クライオ電顕における近年の発展を実践的に学びたいという、新たに単粒子解析を始めようとしている方々のニーズに答えることができた。これも2日間にわたり講師をお務めいただいた安永氏、そして解析指導をいただいた重松氏、守屋氏、荒牧氏、クラウド環境構築で尽力いただいた山田氏、さらには会の開催にあたっての事務手続きで支援いただいた物構研の増田千穂氏、鮎川理恵子氏、高橋良美氏の尽力のお陰であり、この場を借りて感謝の意を表したい。

## 「タンパク質結晶構造解析初心者向け講習会」開催報告

放射光実験施設 松垣直宏

2019年1月31日、2月1日の二日にかけて、タンパク質結晶構造解析初心者向け講習会が開催されました。本講習会はタンパク質結晶構造解析の未経験者を対象として、タンパク質の結晶化から回折実験・構造解析までの一連の流れを理解してもらうことを目的としており、過去数年来毎年開かれています。今回は本研究所の構造生物学研究センター、および国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)の創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム(BINDS)の共催により行われました。

講義・実習は、構造生物学研究センターのスタッフが担当しました。参加者は大学および公的研究機関から11名、茨城大学の学生8名(同大学では、本講習会参加で大学院での単位が取得できます)の計19名でした。講習会初日は講義と結晶化スクリーニング装置のデモが行われました。BINDSの概要と利用方法などを筆者(松垣)が説明した後、タンパク質X線結晶構造解析概論、結晶化スクリーニングについての講義が山田悠介氏、加藤龍一氏からそれぞれ行われました。その後、構造生物実験準備棟に設置された全自動結晶化ロボットのデモ(希望者に対しては持ちこみ試料の結晶化)と、事前に用意されたタンパク質結晶を使っての凍結保存実習が4班にわかれて行われました。

講習会二日目は、放射光ビームラインにおける回折データ測定に対する解説が引田理英氏より行われた後、ビームライン(BL-5A, 17A)に移動して、初日に凍結保存された結晶を用いた回折データ測定のデモを実施しました。運転停止期間であるためX線ビームを用いた実験は出来ませんでしたが、試料結晶の装着から位置合わせ(アライメント)などを実際のビームライン制御ソフトウェアを操作して行いました。また、タンパク質結晶の様子をカメラ画像で確認し、試料凍結状態の良し悪しを議論しました。昼食



図1 構造解析実習(二日目)の様子

後はデモ用回折データを使った構造解析実習で、データセットの処理から構造決定までの流れを標準ソフトウェアの操作を通して体験してもらいました。

二日間を通して、タンパク質結晶構造解析の現場でどのようなことが行われているかということ、そして測定や解析の自動化によってかなりの部分が省力化されているということを感じていただけたのではないかと思います。本講習会をひとつの契機として構造生物学分野に踏み込む研究者が増えていくことを期待します。

## 「XAFS 講習会」(2018 年度) 開催報告

放射光科学第二研究系 木村正雄, 阿部仁,  
武市泰男, 渡邊稔樹  
放射光実験施設 仁谷浩明, 丹羽尉博, 山下翔平,  
若林大佑, 君島堅一  
Nanotech CUPAL KEK 事務局 伴 弘司, 宇津野恵美

2019年3月7-8日の2日間にわたり、PFでXAFS講習会を開催しました。本講習会は、「Nanotech CUPAL 第8回 KEK 放射光利用技術入門コース」および「物質化学グループ XAFS 講習会」との共同開催として実施致しました。新規ユーザーの開拓、既存ユーザーのXAFSの理解、および測定技術の向上を目的とし、受講者の所属を限定せず大学・国研・民間企業等と広く募集致しました。

放射光実験の普及にとともに、様々な分野でXAFS実験は強力な分析ツールの一つとして認識され、一般化しつつあります。一方で、XAFS実験は放射光の利用が実質的に必須であり、初めて実験を行うまでにどのようにすればよいか分からない等、放射光実験になじみのない研究者にとっては敷居が高いのも事実です。今回の講習会では、XAFSの基礎的な理論から、実験および解析に亘る講義と、実際のビームラインでの実習を通じて、「XAFSがどのような原理に基づいて、どのような測定を実際に行い、デー



図1 講義の様子



図2 ビームライン実習の様子

タを解釈することによって、何がわかるか」ということを理解できるようなプログラム構成としました。また、講義後に講習参加者、講師の先生、ビームライン担当者の交流会を実施しました。講義には19名、ビームライン実習は17名の方にご参加頂きました。

1日目は、KEKつくばキャンパス4号館において、XAFSに関する講義を行いました。講師として、分子科学研究所の横山利彦教授、名古屋大学の田淵雅夫教授、京都大学の朝倉博行特定講師をお招きしました。

横山先生には「XAFS基礎」と題してXAFSの基礎的な原理から講義して頂きました。物質と光の相互作用の説明から、ご自身の研究であるInvar合金の系を実例として実際の材料における測定まで、幅広い内容を分かりやすくご講義頂きました。田淵先生には「XAFS実験」と題して、ビームラインの光学系・検出器の説明から、実際に実験を行うにあたって注意しなければいけないこと、陥りやすい失敗についてご講義頂きました。朝倉先生には「XAFS解析」として、XAFSの解析ソフトであるAthenaとArtemisを使って、XAFSの生データの解析の流れを演習形式でご講義頂きました。この演習では、参加者に持ち込んで頂いたPCで、標準試料のデータ解析、さらにナノ粒子のデータ解析を行いました。また、KEK物構研も実施機関の一員となっている光ビームプラットフォームおよびCUPALの制度の説明を行いました。

2日目は、主に物質化学グループのメンバーが講師となり、PF BL-9A, 9C, 12Cの3つのビームラインを使って実習を行いました。午前は、透過法XAFS実験の基礎として、参加者が実際に操作しながら、X線ビーム位置と試料位置などの光学系の調整、モノクロメーターのエネルギー較正、試料の測定を行いました。高調波の影響など、誤った測定条件で得られるスペクトルの特徴などについても説明しました。午後は、ビームライン毎に特徴的な測定手法の実習を行いました。BL-9Aと12Cでは、多素子半導体検出器を用いた蛍光収量XAFS法による測定実習を、BL-9Cでは高温 *in situ* セルを用いた酸化還元反応の時分割

測定を行いました。

事後アンケートからは、講習内容について概ね満足頂けたようですが、実習の時間が足りないなどのご意見を頂きました。今後の講習会へ反映させたいと考えています。

硬X線 XAFS の講習会は今後も定期的に開催したいと考えていますので、興味をお持ちの方はぜひご参加下さい。詳細は、硬X線 XAFS ビームラインのホームページ (<https://pfxafs.kek.jp/>) やメーリングリスト (xsj, <https://pfxafs.kek.jp/others/xsj-ml>) など案内する予定です。最後になりますが、大変お忙しい中、ご講義頂きました先生方、サポート下さいました秘書、事務の方々、放射線管理室の方々に、この場を借りてお礼申し上げます。ありがとうございました。

## 【プログラム】

### 2019年3月7日(木) 1日目

- 09:00 - 09:25 受付  
09:25 - 09:30 事務連絡  
(KEK 物構研 伴弘司 学術フェロー)  
09:30 - 10:40 講義「XAFS の基礎」  
(分子科学研究所 横山利彦 教授)  
10:40 - 10:45 (休憩)  
10:45 - 11:55 講義「XAFS 実験」  
(名古屋大学 田淵雅夫 教授)  
11:55 - 13:30 (お昼休憩)  
13:30 - 16:45 解析実習  
「Athena, Artemis を用いた XAFS 解析」  
(京都大学 朝倉博行 特定講師)  
16:45 - 17:00 事務連絡  
17:00 - 17:30 交流会

### 2019年3月8日(金) 2日目

#### 午前の実習 09:00 - 11:45

安全関係説明、光学系の調整、基本的な透過測定方法の実習

#### 午後の実習 13:15 - 15:00

ビームライン毎 (9A, 9C, 12C) に異なる内容を実習

- ・9A, 12C: 多素子半導体検出器を用いた測定
- ・9C: 高温 *in situ* 測定 (銅の酸化還元反応の時分割測定)

### 高良和武先生を偲んで

雨宮慶幸（東京大学 名誉教授）

フォトンファクトリーの初代施設長、日本放射光学会の初代会長を務められた高良和武先生（写真1）が、本年1月31日に97歳でご逝去されました。2月9日に告別式が行われましたが、その日は高良先生の満98歳の誕生日でした。4月上旬には、数えて99歳をお祝いする白寿祝賀会を予定していて、新元号に関する話題も含めて、高良先生と色々とお話しができることを楽しみにしていただけに、残念でなりません。

一年前の同日（1/31）のほぼ同時刻に奥様の芳枝様のご逝去された、ということをご子息の和晶（かずあき）さんからお聞きし、高良先生ご夫妻の深い絆が感慨深く思い起こされました。

昨年11月4日には毎年恒例の「高良先生を囲む会」を学士会館で行い、高良先生はとてもお元気な様子で3時間余りの会に最後までご参加され、楽しい一時を過ごしました。その後の11月末に体調を急に崩され入院されたとお聞きしました。丁度二ヶ月間のご入院でした。診断は老衰とのことでしたので、高良先生は天寿を全うされたのだと確信しました。

この記事の後に、高良先生が2012年に書かれた「放射光実験施設誕生の頃の裏話」が掲載されています。是非、ご一読下さい。PF建設の頃の3年間（1979.4～1982.3）、私はポストドク（日本学術振興会奨励研究員）として、PF入射器棟の上流付近にあった旧クラブハウスの宿舎に住んで、PF建設作業に携わっていました。高良先生は、PFスタッフが昼夜兼行で頑張っている建設現場に足繁く通われました。PFスタッフに寿司や菓子等を差し入れするため



写真1 在りし日の高良和武先生（2016年、「高良先生を囲む新年会」にて）

で、それが高良先生の日課のような感じでした。その折には、何故か私が誘われ、高良先生と一緒に買い出しに行くのが常でした。私は「食べることに関心が強い」と高良先生から認識されていたようで、食料の差し入れの量や種類に関してのアドバイスが期待されたのだと思います。高良先生はPF建設に取り組んでいるスタッフを励ましたいと心の底から思っておられると、肌身で感じました。皆さんに頑張ってもらうために、僕にできることは『差し入れ』ぐらい。と、笑顔で語られながら、スタッフを励ます高良先生の姿が今でも脳裏に蘇ります。告別式の時に和晶さんが次のように語られていました。「私は父と仕事分野が全く違うので、父の仕事のことは何も分かりません。ただ、父は、『多くの研究者が喜んで使える、世界一立派な実験装置を実現したい。』といつも話していました。」

高良先生のご専門は、「動力学X線回折理論とその応用研究」で、シリコン等の完全結晶を用いた精密X線光学系の開発とその応用（X線トポグラフィ法を用いた半導体中の格子欠陥を可視化する研究）です。私が卒論で高良研究室に配属された時（1973年5月）は、高良先生はPFの建設に向けた活動で忙しく、高良先生にお会いできるのは週に一度の高良研コロキウムの時のみでした。私の卒論は、「小角X線散乱を用いた筋収縮機構の解明」に関するテーマで、医学部に出入りしていたので、動力学X線回折理論は不勉強で、コロキウムの内容は分からないことだらけでした。そんな訳で、高良研コロキウムで研究室のメンバーが紹介した研究内容は、今では殆ど覚えていません。しかし、今でもはっきりと覚えていることは、高良先生が2年間（1955.9～1957.12）、ドイツのフリッツ・ハーバー研究所に客員教授として滞在された時の数々のエピソードです。ちなみに、フリッツ・ハーバーは空気中の窒素からアンモニアを合成するハーバー・ボッシュ法を発明したことで知られるノーベル化学賞受賞者です。

高良先生から、ドイツ滞在中に深い交流のあったラウエ先生（当時、フリッツ・ハーバー研究所長）とのエピソードをよくお聞きしました。ラウエ先生は皆さんご存じのマックス・フォン・ラウエ（1879-1960）で、1914年にノーベル物理学賞を受賞した方です。

高良先生は、「ラウエ先生は知的好奇心が大変に旺盛で、コロキウムの時はいつも一番前の席に座り、発表者に色々な質問をして熱心に議論を交わっていて、その姿が大変に印象的でした。」と言われていました。そう言われる高良先生の高良研コロキウムでの姿勢と熱心さは、高良先生の語られるラウエ先生の姿勢と熱心さそのものなのは、といつも思っていました。また、「ラウエ先生は、『愛することを学びなさい』、『勇気を持ちなさい』といつも語っていた。」と高良先生からよくお聞きしました。ナチ支配のドイツの政治状況を経験したラウエ先生の心から出る言



写真2 後列左から、高良先生、ラウエ先生、ゲハルド・ボルマン先生（フリッツ・ハーバー研究所）、前列左から、ラウエ夫人、高良夫人（1957年、ベルリンにて）

葉であった、とのこと。写真2は、ドイツ滞在中の高良先生ご夫妻とラウエご夫妻の写真です。

高良先生を通して聞いたラウエ先生の「愛することを学びなさい」、「勇気を持ちなさい」という二つの言葉が、高良研コロキウムで私の記憶に最も残っている言葉です。高良先生の生き方は自然体なので、その言葉を特にご自分の座右の銘にしていた訳ではないと思います。しかし、高良先生の生き方や私達に接する先生の姿そのものが、その言葉に通じていたので、私の心に深く残ったのだと思います。研究や人生に関する言葉のインパクトは、その言葉を語る人の生き方や人柄に大きく依存する、とつくづく実感させられます。

高良先生に出会えたこと、多くのことを教えて頂き大切なことを学ぶことができたことを、心から感謝しています。在学中はもとより就職後も、研究に行き詰まったり元気が出なくなった時に、高良先生から頂いた励ましの言葉と笑顔が、私にとって大きな心の支えでした。

高良先生、本当にありがとうございました。天寿を全うされた高良先生のご冥福を心からお祈り致します。

第 29 回 PF シンポジウム PF30 周年記念講演①

放射光実験施設誕生の頃の裏話

KEK 名誉教授 高良和武

放射光実験施設のストーレージ・リングから最初に放射光が取り出されてから、30 年になります。施設は常に、第一線の研究施設として活動して居り、またこの度は、新しい計画の話の聞き、嬉しい限りでした。

ビームが取り出される前に、10 年ばかりの準備期間といえますか、胎動の期間がありました。その頃の裏話を、お話ししたいと思います。

1960 年代の半ばごろ、ドイツとフランスの連合で、研究用の原子炉を作り、そこで発生する中性子を使い、回折を中心とした研究を行おうという計画の話しが、聞えて来ました。あの頃、金をかければ、大出力の X 線発生装置が出来るだろうと語り合あったことを思い出します。

その頃、X 線回折の研究者は、X 線トポグラフィや、構造解析のために必要な回像を撮るために、X 線強度の不足に悩まされていました。一応、満足できるトポグラフの写真を撮るのに、10 時間ぐらいかかり、また簡単な蛋白の構造を解析するために、必要な回折写真を撮るのに、一年位かかるという時代でした。

“大出力 X 発生装置の研究”というテーマで、1971 年度(昭和 46 年度)の科学研究費を受けました。その可能性として、“回転対陰極型 X 線管、レーザー、電子軌道放射”の三つが上げられました。比較検討の結果、電子軌道放射が断然、強いことが分かり、之を使って、大出力の X 線発生装置を造り、いろいろな分野で使おうということになり、その計画はフォトン・ファクトリー計画と呼ばれました。

1973 年 4 月、九州大学で開かれた物理学会で、そのシンポジウムが開かれましたが、会場は一杯になりました。そのシンポジウムの後で、X 線、電子線の研究者の間では、名大の加藤範夫さんが、「騙された積りでやりましようよ。」と言われたと聞きました。先輩の先生からは、「皆、信じ始めたよ。責任があるぞ。」と言われました。

世話会が造られ、さらに懇談会となりました。伏見康治先生から、「日本学術会議からの勧告を受けるのがよい。」と教えていただきました。当時、先生は学術会議の副会長、間もなく会長になられました。先生は計画の意義を理解して下さり、文部省\*の関係筋に、話して下さっているということを知りました。(\* 当時は、文科省はなく、文部省と科学技術庁に分かれていました。)

学術会議で、審査を受けるためには、SOR とか、電子軌道放射、電子シンクロトロン放射に代わる、短い、適当な言葉を考えようということになり、懇談会の集まりの時の投票で、放射光という名前が決まりました、放射と光

と、同じような二つの言葉が、重なるという批判もありましたが、語呂がよいので、定着しました。その頃、台湾に行きましたが、台湾では同歩光と呼んでいました。巧い言葉だ、さすが漢字民族と感心したことを覚えて居ます。姫路の SPring-8 では、研究所の正式の名前を“高輝度光科学研究センター”というように、放射光が、高輝度光となっています。

その頃、日本では、研究所が沢山できました。設立に当たっては、計画は先ず日本学術会議の部会(法学、経済、医学、工学、理学など)の下部組織である物理、化学、生物などの個々の研究連絡委員会の一つから提案された後、総会で審議され、最終的に学術会議が設立を政府に勧告するという事になっていました。我々の場合、先ず、学術会議の下部組織である、物理学研究連絡委員会、さらにその下部組織である物性小委員会で審議されました。

そこでは、巨大科学に対する反感、反対や共同利用に対する不信がありました。巨大科学では、個人は大きな歯車の一つの歯になり、個性が失われる。共同利用と称して、高価な設備を購入するが、一部の人が独占する。というような理由でした。我々は、これらの反対理由に対して、そ



PF 光源棟建設前の様子



ライナック建設現場の視察風景 (1978 年)



うならないように注意すればよいと考えました。

この案は、物理のみならず、化学、生物などの研究連絡委員会では審議の後、賛成され、最後の4部（理学関係）からの提案となり、1974年10月、放射光総合研究所として学術会議から政府へ勧告されました。

次の課題は、どこに造るかということでした。原子核研究所のあった田無、物性研究所のある六本木、さらに、分子研生物、基礎生理研究所のある岡崎などが候補地となりましたが、結局、筑波の高エネルギー物理学研究所の敷地内に造ることになりました。高工研では、その頃、陽子加速器の建設が終わり、いよいよ実験を始めようという時で、難色を示す人たちも居たようですが、当時の所長の諏訪繁樹さん、主幹の西川哲治さんたちの理解により、受け入れが得られました。そこには、加速器の専門家が大量に居て、助けて貰いました。始めは、加速器のグループと共用ということを考えていましたが、最終的には、放射光専用ということになりました。

世話人会から懇談会に名前を変えた時、会則を作ろうという意見がありました。僕は、荘子の混沌\*の話しを持ち出して、細かい会則作りは時期尚早として止め、大きな方針だけを定めることにしました。その方針は、次のようなものでした。(1)測定装置の製作に当たっては、物理、化学、生物というような学科による分類はやめる。(2)スタッフの役割は、装置の設計、開発である。(3)個人の研究者でも使えるようにする。

-----  
\* 混沌の話しとは、中国古代の思想家、荘子の教えで、次のような話しです。「昔、肅と忽という二つの国の王が、混沌という国を訪ねたが、混沌の王の手厚い持て成しを受けた。肅と忽の王は、混沌の王に何かお礼をしようかと相談したが、混沌の王には、目、鼻、耳と口の七つの穴が無いので、それを付けてあげようということになり、先ず目と鼻を付けたら、混沌の王は死んでしまった。」という話しです。  
-----

混沌の話しは、我々の間で有名になり、佐々木さんから、クワンタム・メカニクス（力学）をもじって、コントン（混沌）力学と言われました。

学術会議で放射光総合研究所として勧告された研究所は1978年4月、文部省により、高エネルギー物理学研究所の放射光実験施設として認可されました。建設当時、研究者に必要な道具は、棍棒と懐中電灯と長靴で、我々は、三種の神器と呼んで居ました。棍棒は野犬を追い払うため、懐中電灯は、高工研のキャンパスも外の東大通りも暗かったので、必要でした。長靴は、雨が降ると、当時、道路は舗装されて居らず、すぐ、ぬかるみになるので、必要でした。

「判子と辞表を持っています。皆さんは、自由にやって下さい。責任は僕が取ります。」と言ったら、後で、「あんな物理学者が居るとは...」と話題になったそうです。

実験施設は、線形加速器、貯蔵リング、光源棟の三つの系に分かれ、それぞれの主幹として田中治郎さん、富家雄雄さん、佐々木泰三さんが居ました。それぞれ、個性的な侍で、すぐれたリーダーシップで複雑で困難な仕事を遂行

されました。それぞれの系には、木原元央さん、山川達也さん、佐藤勇さん、佐藤繁さん、神谷幸秀さんたち優秀で元気な若い人たちが居ました。

放射光実験施設では、世界に誇る、ユニークな装置が、多数、造られました。例えば、超高圧、高温の装置は、当時、無機材研に居られた下村理さんたちにより開発・製作されましたが、後に同種のものでスタンフォードやハンブルグの施設にも輸出され、その据え付けや使い方の指導に、下村さんが行かれました。また、垂直ウイグラーについては、このシンポジウムで佐々木さんの講演がありますが、山川さんたちにより造られ、世界に誇る独創的なものでした。

神谷さんは、スタンフォードに一年、留学しましたが、その頃、私は何回か、スタンフォードを訪ねましたが、ドクター・カミヤは理論も実験も良く出来ると絶賛して居り、それを聞いて私も誇らしく、嬉しかったことを覚えています。

貯蔵リングが完成して、電子を回すと、周回軌道が、理論より僅かにずれる時がある。詳しく調べると、晴れた天気の良い日に起ることが分かりました。天井の屋根の上に、熱の不導体を置いたら、この問題は解決しました。このことについての一部始終は、富家さんたちの作ったアニュアル・レポート（差し替え、補充自由のファイリング形式）に書いてあり、海外でもよく読まれて居たようです。天井



PF 光源棟建設の様子（1980年）



現在のPF 光源棟

は、リングの部分と構造的に分離すべきだと言う結論でしたが、後日、ベルリンで製作中のリングを訪ねましたが、そこでは、分離されており、PFのレポートを読んだからと、いって居ました。

線形加速器の導波管のユニットになる銅のチューブの接続部は、精密仕上げされ、隣同士の銅チューブは、熔接されず、直接、接着された後、外回りをメッキするというものでした。スタンフォードでも、その後、韓国で作られた線形加速器の導波管でも、要素になる銅のチューブは一つ一つ熔接していました。

実験棟については、先ず温度を一定になるようにしました。広い空間を、恒温にするということは、当時、文部省の施設では珍しいことでした。富家さんから、「物性の研究者たちは、ワイシャツにネクタイで、背広を着て実験をやる気か？夏は禪1枚でやれ。」と、悪口を言われましたが、僕は「恒温は人間の為ではなく、精密機械の為に必要だ。」と反論し、実験棟の恒温を実現しました。その頃、しばしば、仲良く口論をしました。実験棟を静かにすることにも、気を配りました。ドイツのハンブルグの研究所を訪ねたとき、煩いのに驚きましたが、研究者が、「長時間、仕事をすると頭痛がするので、耳に栓をしている。」と言ったことを思い出しました。壁や床が、音を吸収するように、また送風ダクトの騒音を抑えるように、いろいろ対策をたてました。

光源棟の拡張、満月計画（理由：建前と本音、将来は産業界利用のため、当時はタブー、大蔵省の主計局長の見識）ビームライン12→20個（光源棟の幅をひろげる、予算は総面積幾らで来ているので、長さが短くなった。）

1960年代の終り頃、猖獗を極めた大学紛争の名残で、産学協同は当時タブーでしたが、それを破りました。私は、その頃、完全結晶におけるX線・電子線の回折現象を研究していましたが、それは半導体結晶の評価に有効なので、日立、三菱、富士通、電々社の研究者たちと学術振興会の産学協同研究会の一つ、“半導体結晶の評価”という委員会で共同研究を進めていましたが、それぞれの会社に自前のビームラインを造ることを提案し、それを実現しました。

省庁の壁も破りました。その頃、霞が関では、相手の省に文書を届けに行くのは、頭を下げることになるので、省庁間の文書は、道路で交換していたそうです。無機材研の高圧装置が搬入されたときは、新聞種になりました。電総研は、車で20分の距離にありますが、始めは、一々、出張届が必要だったそうですが、それを止めてもらいました。ずっと後になって、文部省のお役人から、“高良先生は無茶を言うので、困りましたよ。”と言われましたが、その頃は若氣？の至りで、夢の実現には、少々の規則破りは止むを得ないと思っていました。

陽子加速器の建設時には、建設予算と人員の比率は、一般の国立研究所の平均に比べ、ほぼ3分の1といわれました。放射光施設の場合、陽子加速器の場合の更にほぼ3分の1でした。全国の国立研究所の平均に比べて、ほぼ10

分の1に相当しました。

建設時のスタッフの頑張りは、壮絶でした。「頭より体力だ。」といった人もいました。スタッフで胃潰瘍になった人が、何人か居ました。疲れを取るのに、夜、酒を飲むようになった為ということでした。田中治郎さん、「最近の若者は、働き方を知らない。」と慨嘆しましたが、後に、ご自身も胃潰瘍になり、入院されました。富家雄さん、歯を痛め、病院に通い、白髪も増えました。

貯蔵リングが完成して、いよいよ線形加速器からの電子をリングに打ち込んでも、電子が回らない。ライナックとリングを繋ぐチューブが細すぎたからだ、リングの形が楕円形で対称性が低いからだ....など、いろいろな原因を言う人が居ましたが、解決策は立てられませんでした。真夜中でしたが、ライナックの副主幹の佐藤勇さんが、にぎり寿司を持って陣中見舞いにやって来て、「リングの電子軌道に沿って置かれた偏向磁石の電極の符号、プラス、マイナスが逆になって居ないか一度、調べて見たら。」と提案しました。リングのスタッフ達は、そんなことは絶対に無いと憤慨しましたが、最後に佐藤さんも付き添って、実際に調べて見たら、全周の4分の1の磁石の電極の符号が逆になってた居たことが分かり、それを直したら、首尾よく電子は廻りました。符号の間違い？と考えたのは、佐藤さん自身の線形加速器での経験からでした。主幹の田中さんは、ライナックでも符号の間違いが2回あったと言いましたが、佐藤さんは「実際には、もっと、あったが、田中さんに言わなかっただけですよ。」と笑って居ました。

筑波の公害研究所所長の近藤治郎先生とは、常磐線で東京に帰る時、屢々ご一緒になりました。（先生とは、筑波に来る前、共に東京大学の工学部に勤めて居ました。）あるとき、電子の回らなかった件の一部始終をお話ししたら、先生から初期不良ということを知りました。新しい航空機が出来上がると、不具合を調べるために、空に飛び上がる前に、陸上を長い間、時には1年以上も走らせる。飛び上がってから不具合が見つかったら、遅いですからねということでした。

立派な施設が、短期間に出来たというので、海外でも、評判になりました。フランスの大統領のミッテランも視察



ミッテラン仏大統領視察の時に行われた対面式。手前側に座っているのが著者（1982年4月17日）。

にやって来ました。「大統領は、筑波にある研究所を見たいと言っている。」と外務省の役人が言うので、通産省の電総研かと思って、連絡しようとしたら、そうではなく、文部省の研究所だということが分かり、高エネ研に連絡がありました。陽子加速器のグループは自分の所だと初め喜びましたが、放射光施設だと聞いてガッカリしたと聞きました。続いて、首相の鈴木善幸氏もやって来ました。間もなくパリで開かれる予定のサミット会議で、フォトン・ファクトリーが話題になるだろうから、我々も見て置かねばということのようでした。

イギリスの科学行政に携わる教授もやって来ました。「イギリスでは、金曜日の夜に装置が故障したら、修理はテクニシャンの仕事なので、サイエンティストは彼等が月曜に出てくるまで待たねばならない。労働組合が煩いので、技術的なことは彼等にまかせねばならない。然し、日本の研究者は、何時、サイエンスをやるのだろうか？」と言いました。

綺麗な仕上げに（壁や床などの）、ロシアの学者が感心しました。後日、私はロシアに行き、ノボシビルスクとモスクワの放射光の施設を見ましたが、仕上げが粗末なのに驚くとともに、彼等のPFでの感想を納得しました。

光源棟に、約20個の測定装置が据え付けられ、いよいよ実験を始めようという頃、多くのVIPが視察に来られました。物理学界の大先輩である茅誠司先生、伏見康二先生、小谷正雄先生も来て下さいましたが、茅先生から「これまで多くの研究所を見て来たが、こんなに感激したことはなかったよ。多くの研究者が力を合わせて、よく造ったものだ。」と褒めて頂きました。伏見先生は「作った仏に魂を居れるように。」と言われました。

山下勇さん（元三井造船の社長で、当時、造船学会の会長、後にJR東日本の社長）も来られました。線形加速器の展望台の上で、「こんな巨大で精密な装置を、物理学者の皆さんが作られたのには、感動しました。」と言って、深々と頭を下げられました。行政改革委員会の参謀役の瀬島龍三氏も来られました。「こういう装置を造る為に、行政改革委員会はあるのですよ。必要な金と人は、遠慮なく要求下さいよ。委員長の土光さんにも言うておきますよ。」



Photon Factory 完成時（1983年）の1コマ。左より伏見康二先生、小谷正雄先生、茅誠司先生、西川哲治主幹、著者。

と励まして貰いました。会計検査院の局長も来られました。私が、予算の関係で、光源棟も未完成で、ビームラインも一部しか造れないで居ると話したら、「施設の予算をもっと、増やすべきだ。と報告しておきますよ。こういうのを、我々は協力闘争と言います。」と予想外の言葉を聞きました。会計検査院の主な仕事は、予算の無駄使いを指摘することだと思って居ましたから。某研究所の事務局長も視察に来ましたが、「我々の所では組合が煩く、深夜遅くまで自発的に働くなんて、考えられませんよ。」と零していました。

皆が力を合わせて奮闘した結果が、多くの人に認められ、研究者として冥利に尽きると思いました。



高良和武先生著作の「未知への旅」



PF シンポジウム「30周年記念講演」の中で、「放射光実験施設誕生の頃の裏話」を講演中の著者。

## 共鳴 X 線散乱の軟 X 線領域への研究展開における四方山話

放射光科学第一研究系 中尾裕則  
物質・材料研究機構 山崎裕一

### 1. はじめに

強相関電子系の多彩な物性の背後には、電子の持つ自由度である電荷・スピン・軌道・多極子などの多様な秩序状態が存在している。したがって、これらの物性の発現機構を理解する上で、電子の秩序状態の解明が重要となっている。ここで「共鳴 X 線散乱 (RXS)」は、原子の吸収端を利用した X 線散乱実験であり、吸収端を選択することで、元素・軌道選択的に物性を支配する電子の秩序状態が解明でき、強相関電子系の研究において広く利用されている。しかしながら、実験に利用する X 線エネルギー (吸収端) は、観測したい元素・電子軌道で決まってしまうため、これまでの硬 X 線領域に加えて、軟 X 線領域での研究展開が必要となった。例えば、超伝導・巨大磁気抵抗効果・巨大電気磁気効果などの多彩な物性を発現する  $3d$  遷移金属酸化物において、機能を担っている  $3d$  電子状態を直接的に捉えるためには、軟 X 線領域にある  $L_{2,3}$  吸収端 ( $2p \rightarrow 3d$  遷移) を利用する必要がある。また実際に軟 X 線領域での実験を行うと、単に直接  $3d$  電子状態が観測できるだけでなく、その共鳴信号は桁違いに強く、磁気信号までもが観測されている。さらに世界的には、その強い強度を生かした高エネルギー分解能の共鳴軟 X 線非弾性散乱装置が次々と建設され、中性子散乱でないと観測が難しいとされてきたスピン波の観測まで達成されている。

このような背景のもとで、我々は軟 X 線領域での RXS 実験用の真空中 X 線回折計群 [1] を立ち上げてきた。しかしながら、それまで利用してきた硬 X 線領域での実験から、軟 X 線領域に切り替わることで生じた幾つもの問題に直面した。後になって、原因が分かっただけならば当然の事となるが、当時は色々悩まされた。今回、原著論文には記載しないような実験上のノウハウ的な内容を執筆する機会を頂いたので、ここに紹介する。

### 2. 真空

軟 X 線を利用した実験では、X 線の侵入長が短くなり、実験装置も、試料回りも、検討が必要となった。特に、低温での電子の秩序状態の解明を目指しており、冷却に伴う試料表面への水や気体分子の吸着という意味で、真空は重要である。もちろん、真空度は高ければ高いほど良いが、真空対応でなかったり、ベーキングできない機器も搭載する必要があった 2 軸回折計では、到達真空度が制限された。新たな装置を建設する前に、我々は共鳴信号が観測されている良く知られた系での予備実験を行った。その結果、装置の真空度が  $10^{-4}$  Pa 台での低温実験に成功した (ちなみに冷凍機で試料を冷却すると、装置の真空度は当然良くなり、 $10^{-5}$  Pa 台であった)。一般的な軟 X 線領域の実験

である電子収量法による吸収測定で低温実験を行うには  $10^{-6}$  Pa 台での実験が要求されるが、今回は電子でなく X 線を検出する実験なので、この程度の真空度でも大丈夫なのだ判断した。また真空排気として、ターボ分子ポンプ (TMP) とロータリーポンプ (RP) の組み合わせを、予算の都合もあり選択した。この組み合わせは、PF の軟 X 線ビームラインでも良く使われており、大丈夫だと判断したのである。これら 2 つの判断が、後の実験に大きく影響した。

### 2-1. オイルの吸着

放射光実験では、X 線照射に伴う試料ダメージの問題があり、実験後、X 線照射領域の試料の色が変わることは良くある。しかしながら、我々の低温実験後の試料表面を調べると、試料自身が変質しているというよりは、何かが焦げ付いているように見えることがあった。最も問題となった実験が、磁気スキルミオンの観測 [2, 3] であった。この実験では、X 線が試料を透過する配置で実験を行うために、収束イオンビーム加工装置により約 200 nm の厚さの薄片試料を作製し、ピンホールの上に設置する (図 1(a) 左側)。また、試料の隣にはホログラフィ実験用のピンホールも設置された (図 1(a) 右側)。まず室温で、X 線が試料を透過するように試料と X 線ビーム位置を調整した。次に、低温かつ磁場印加により磁気スキルミオン格子が出現する系の測定なので、試料を透過する X 線強度をモニターしながら冷却したところ、この X 線強度が数時間程度でどんどん弱くなっていくことが判明した。実験終了後、試料の状況を走査型電子顕微鏡 (SEM) 像で確認したが、図 1(b) である。ちょうど X 線が試料を透過していると期待される場所に丸い痕ができていた。右側のピンホール部も、異物が詰まっており、これが X 線照射によるオイルの焦げ付きと考えられ、冷却に伴う X 線強度の減衰の原因である。

結局、ビームラインでは  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  Pa 台で TMP+RP が利用されているが、今回のように  $10^{-4}$  Pa 台となると、RP のオイルがチャンバー側に相当入り込んでいると考えられる。実際、磁石部を液体ヘリウムで常に冷却して実験を行う超伝導磁石搭載回折計では、オイルが磁石に付着していることが、改修時に判明した。その後我々は、RP の利用は止め、ドライポンプを利用している。

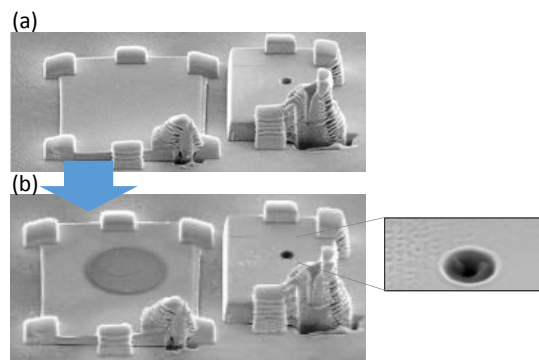


図 1 (a) 実験前。左側の四角が試料。右側はホログラフィ実験用のピンホール。(b) 実験後。ピンホール部の拡大図。

## 2-2. 水の吸着

上述したように、装置の真空度が  $10^{-4}$  Pa 台で、試料を冷却し、共鳴信号を観測することは可能だった。しかしながら、信号強度の温度依存性を測定したとき、再現性のない実験結果が報告された。当時、真空度などのモニターシステム (STARS [4]) を導入していたので、実験中の状況を確認してみた。一例として、ある共鳴信号強度の温度依存性の結果を、図 2(a) に示す。温度上昇させると 160 K に向けて、信号強度が急激に弱くなり、180 K で強度が復活する特異な振る舞いである。図 2(b), (c) に、試料温度と真空度の時間変化を示す。すると、120 K 辺りから真空度が悪くなり始め、180 K 辺りで真空度がかなり悪くなっていることが判明した。この結果から、試料の温度を上昇させると、冷凍機のクールドヘッド部の温度が熱勾配を持ちつつ上昇し、冷却時に吸着したガスが徐々に気化し、このガスが試料表面に再吸着することで散乱強度がある温度領域で弱くなること、さらに試料温度が上昇すると、ガスが試料表面から再度気化し散乱強度が復活することが考えられた。一方、試料の冷却時は、必ず試料温度より冷凍機のクールドヘッドが先に冷えるので、ガスはクールドヘッド

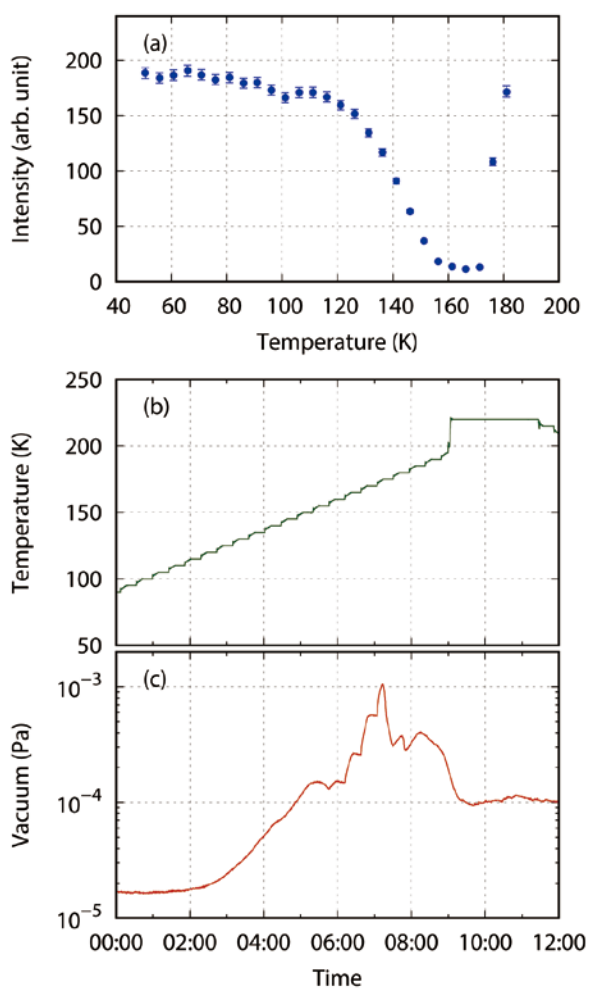


図 2 (a) 散乱強度の温度依存性。実験時にモニターした試料温度 (b) と真空度 (c) の時間変化。

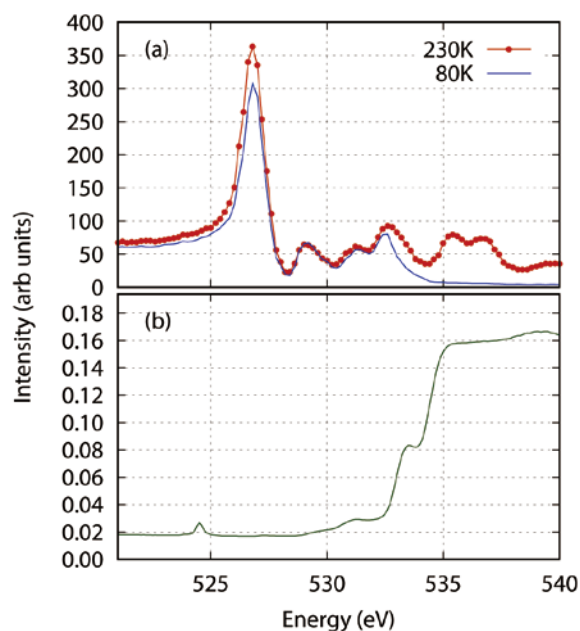


図 3 (a) BL-16A で測定したある散乱強度の温度依存性。(b) 水の蛍光スペクトル。

側に主に吸着され、試料表面には実験の問題になるほどのガス吸着はなかったというわけである。

次に、試料表面へのガス吸着により信号が消えることはないものの、エネルギースペクトルが影響を受けた例を紹介する (論文では、なかなか出せない結果である)。酸素  $K$  吸収端近傍でのある共鳴信号のエネルギー依存性を図 3(a) に示すが、230 K と 80 K のスペクトルの違いに注目して欲しい。534 eV より高エネルギー側の信号が、80 K のデータで非常に弱くなっている。図 3(b) には、実験上のトラブルで明らかに水が吸着してしまったときに測定された水の酸素  $K$  吸収端での蛍光スペクトルを示す。図 (a), (b) を見比べるとわかるように、試料表面に吸着した水の吸収が大きくなるエネルギーから、図 3(a) の 80 K の信号強度が弱くなっている。このように、装置の真空度が  $10^{-4}$  Pa 台での低温実験は、問題であった。ちなみに現在は、装置の真空度が  $10^{-5}$  Pa 台で低温実験を行っている。この条件で、試料温度を上げ下げすると真空度の変化は観測されるものの、図 2(a) のスケールでの強度の温度依存性には実験精度の範囲で異常は観測されない。たった一桁の真空度の違いではあったのだが、最初の判断ミスは大きかった。

## 3. 冷凍機

多様な電子秩序状態を観測する上で、冷凍機の到達温度は実験の可否を決める重要なパラメータである。しかしながら、放射光 X 線は非常に強く、X 線ビームを照射することで試料温度が上昇してしまい、極低温領域 (4 K 以下) の実験は硬 X 線領域でも簡単ではない。さらに軟 X 線を利用した実験では X 線の侵入長が短くなることから、ここでも問題となる。一般に、冷凍機で低温にするためには、外部

からの熱放射を放射シールドを用いて抑えることが重要となる。ところが軟X線は、この放射シールドを透過させるのが難しく、放射シールドにX線の出入口となる窓を開ける必要がある。一方、単結晶を用いた回折・散乱実験では、試料に対するX線の入射方向と散乱X線の出射方向は状況により変化するため、なるべくX線窓は広く開けておきたい。また、装置の真空度を低温実験のための  $10^{-5}$  Pa 台にするには、それなりに時間がかかるため、複数の試料を冷凍機に搭載できるようにしたいという要望もある。そこで、必要とされる到達温度に合わせて、冷凍機に搭載できる試料の数、つまり放射シールドの窓の大きさを決めることとした。作製した冷凍機が安定して冷えるようになるまでは、時間を要したが、軟X線の利用により生じる問題ではないのでここでは最終的な結果のみ紹介する。

真空中の2軸回折計ということで真空チャンバーが大きいことや、試料の回転、位置調整のためのXYZステージが搭載されているので、首の長さが1m以上あるヘリウムフロー型冷凍機を製作した(図4(a))。図4(b)が試料・コールドヘッド部の拡大図である。コールドヘッド部は、液体ヘリウムで直接冷やされ、液体ヘリウム温度4.2Kとなる。放射シールドの窓の大きさの調整には、アルミ製の放射シールドのX線窓に、アルミテープを張り付けることで調整することとした(図4(c)(d))。まず、放射シールドの窓をすべて閉じて冷却し、試料位置の温度が4.2Kになることを確認した。続いて窓を、1か所、2か所と1つつ開けると、試料温度が2Kずつ上昇していくことがわかり、X線窓の大きさと到達温度がほぼ比例関係となっていることを実験的に示すことができた。期待された結果ではあるが、熱放射の影響の具体的な到達温度の違いとしての評価は、冷凍機開発の上で貴重な結果となった。ただし、ここで評価できたのは試料ホルダー部の温度であり放射光照射時の信号に寄与している試料部分の温度は、試料自身の熱伝導にも依存するので注意が必要である。これらの結果をもとに、必要な到達温度に応じた冷凍機の利用ができるようになってきた。また最近、より低温での測定を目指し、窓サイズをさらに制限した実験を実施した。その結果、



図4 (a) He フロー型冷凍機の全体像。(b) 試料・コールドヘッド部の拡大図。放射シールドを取り付けた状態で、開いているX線窓の数が(c)5か所。(d)3か所。

転移温度6Kの系の秩序変数の温度依存性の測定に成功した。このように放射シールドのX線窓サイズを制御することで、必要な温度での実験ができることが分かった。

続いて、首の長い冷凍機の上部からの振動が直接試料に伝わらないタイプの冷凍機を作製した。この場合、コールドヘッドの熱をワイヤー伝えることで試料部を冷やす必要があるが、X線の窓が1か所の場合に8K以下まで冷やせるものが出来上がっている。

#### 4. X線検出器

軟X線領域での実験を始めるにあたり、X線検出器として何を採用するか悩んだ。当時、同種の実験には、フォトダイオード(PD, 図5(a))、マルチチャンネルプレート(MCP, 図5(b))、CCDカメラが利用されていた。しかしながら、微弱な共鳴信号を捉えるためには、1光子検出が可能であることが期待される。まずPDは、硬X線領域での実験でも  $10^5$  cps より強い時に使われ、軟X線領域でX線エネルギーが低くなることも考えると、RXS実験の主検出器とは考えられない。MCPは、軟X線領域で良く使われているが、1光子検出できるのか分らなかった(その後の実験で、100光子当たり1カウント程度となることがわかった)。また、その利用にあたり高真空であることが望まれ、上述の真空問題のこともあり、1光子検出できる他検出器の利用を検討した。さらにRXSは、原理的に吸収端近傍での実験であり、いかにバックグラウンドである蛍光X線を除去して、観測したい共鳴信号を捉えるのが重要となる。実際、硬X線領域でのRXS実験では、エネルギー分解して測定が可能なシリコンドリフト型X線検出器(SDD)が利用されている。少し脱線するが、バックグラウンドである蛍光X線を落とし、観測したい共鳴信号を観測する上で、試料とX線検出器との間に4象限スリットを入れることも、硬X線領域での実験における常套手段である。しかしながら、真空中の回折計上に4象限スリットを設置することは大変であり、世界的にも4象限スリットを設置した同種の回折計はなかった。我々は、軟X線での実験であることを考えていないと言われるような大きな真空チャンバーで2軸回折計を建造し、回折計の上に4象限スリットを搭載させ、現在はバックグラウンドの軽減に重

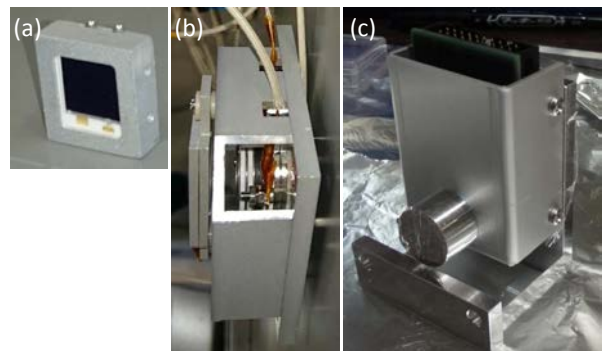


図5 (a) フォトダイオード、(b) マルチチャンネルプレート、(c) シリコンドリフト型X線検出器。

宝している。話を検出器に戻すと、軟X線領域でもSDDは利用されているので、何としてもSDDを使いたいと考えた。ただし、軟X線領域で利用されていたSDDは、真空フランジに差し込んで利用するタイプのみで、散乱角が変化していく信号を追いかけて実験する必要のあるRXS実験では、SDDの受光部だけでなく、プリアンプ部まで、真空中に入れる必要があった。さらに硬X線領域でのSDDでは、S/N良く信号を捉えるために素子が冷却されている。ところが、検出器を真空中で利用するためには、ファンによる空冷は使えない。このような背景のもと、軟X線領域のRXS実験用のSDDの開発をすることとなった。

まず、プリアンプ部を真空中に入れる必要があったが、上述の真空問題と関連して、超高真空に対応していない部品でも利用することとなった（そうでないと、メーカーに製作してもらえなかった）。SDD素子の冷却については、信号検出可能な範囲でなるべく冷却せず、排熱は回折計上で熱伝導で逃がす方針で、装置を設計することとなった。もし、排熱が逃がしきれない場合には、検出器の水冷が可能となるように回折計は設計した。ちなみに1号機のSDD素子は、排熱し切れず素子の温度が上昇し、さらに冷却しようとペルチェ素子が頑張ったために、数年で故障した（原因は特定できていないので、違うかもしれないが）。現在は、ペルチェ素子の出力を抑える回路を付加し、安定して動くようになってきた。完成したSDDを、図5(c)に示す。硬X線領域のSDDは検出器窓としてBeが利用されているが、可視光が真空チャンバー内に入り込んでくる

ことも考え、写真は遮光用の窓がついているものである。ただし、回折計側で通常の遮光をして、SDDで波高解析して測定していれば可視光の影響はほとんどないことが判明し、現在遮光窓は利用していない（ちなみに、CCDカメラの場合には、真空チャンバーを十二分に遮光し直し、真空ゲージの電源を切って、ようやく可視光の影響が無視できるようになった）。次に、SDDで測定したX線のエネルギースペクトルを図6(a)に示す。 $\lambda$ と示しているのが入射X線のエネルギーであり、それ以下のエネルギーに色々な元素の蛍光X線が入っていることがわかる。（ $\lambda/4$ の影響で、Cu K吸収端の蛍光が観測されていることもわかる）PDを使った実験では、すべてのエネルギーのX線を検出することとなり、図6(b)に示すように、バックグラウンドが高く、原因はわからないが、特定のエネルギーでピークになるようなノイズも存在する。一方、 $\lambda$ のエネルギーところにROIを設定して測定した部分収量蛍光スペクトル（図6(b)）は、PDと比較して、S/N良く蛍光スペクトルが測定できていることが一目瞭然である。こうして、現在の我々の回折計の主力のX線検出器が完成した。

## 5. おわりに

RXSの研究としては、観測に利用するX線エネルギーを硬X線領域から軟X線領域へと広げようとしただけであった。また、効率良く、優れた装置を製作しようと、軟X線領域の実験の専門家と相談しながら、著者らが硬X線領域でやって来た回折実験の良いところを取り入れた装置開発を進めてきたつもりではある。しかしながら、上述のように色々な事を経験することとなり、現在の回折計群として立ち上がるまでに時間がかかってしまった。これらの装置開発・研究に携わってもらった研究者や業者などの多くの方々に、この場を借りて、感謝申し上げたい。一方で、色々悩みながら進んだ研究の中から、軟X線領域でコヒーレントX線の利用が出来る事がわかってきた。次期光源でのコヒーレンス利用に直結する研究[3]が、PFでまさに出来始めており、今後の進展にも期待頂きたい。

## 参考文献

- [1] <http://research.kek.jp/people/hironori/beamlines/rsxs/>
- [2] 山崎裕一, 中尾裕則, 放射光 **30** (2017) 3.
- [3] 山崎裕一, 中尾裕則, PF News **36** (2018) 12.
- [4] <http://pfwww.kek.jp/stars/>

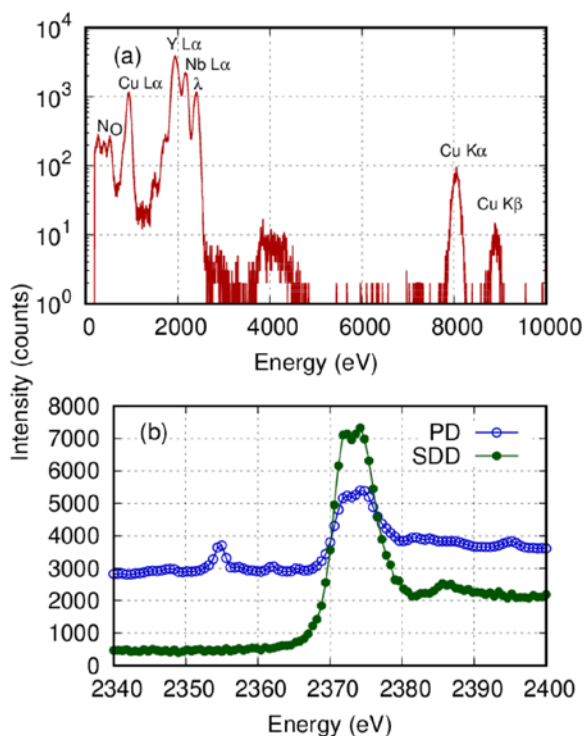


図6 (a) Nb  $L_3$  吸収端での蛍光測定時の、SDDによる入射X線のエネルギースペクトル (BL-11B)。 (b) PDとSDDで測定した蛍光スペクトル。

## BL-9C を利用した担持ニッケル酸化物 ナノクラスター触媒に関する研究

千葉大学大学院工学研究科 共生応用化学専攻  
博士後期課程 佐々木拓朗

私はこれまで、一國伸之教授のご指導のもと、担持ニッケル酸化物ナノクラスター触媒に関する研究を行ってきました。

ニッケルは卑金属の一つであり、貴金属代替材料として期待されています。本研究ではサステイナブル社会の実現を目指した触媒設計として、ニッケル酸化物を活性種とした触媒開発に取り組みました。このとき、ターゲットの触媒反応としてアルコール類の液相酸化的脱水素反応に着目し、酸素を酸化剤とし塩基の添加を必要としないクリーンな反応プロセスの設計を目指しました。しかしながら従来のニッケル酸化物の同反応への活性は低く、より高活性な触媒の開発が必要でした。そこで本研究では、より高活性なニッケル酸化物触媒の開発手段として、ナノクラスターの活用および担体の活用に着目しました。

ナノクラスターとは数個～数百個の原子から構成される数ナノメートルサイズの集合体であり、比表面積の増加による反応効率向上だけでなく、ナノクラスター特有の触媒機能発現が期待されています。特に、春田正毅先生によって開発された担持 Au ナノクラスター触媒が示す CO 酸化反応への活性は、ナノクラスターの特異的触媒機能の代表例として広く知られています。またこのとき、担体上に Au ナノクラスターを構築することもキーファクターであり、Au と担体の界面構造が活性発現に寄与することも見出されました。この様に、担体を活用することで新たな活性サイトや反応促進サイトが発現するという、活性種と担体とのシナジー効果も期待できます。

さて、このように高活性な触媒を得るためには様々な手段がありますが、触媒を作製するだけでなく触媒のキャラクターゼーションも同様に重要であります。作製した触媒における活性種の化学状態や構造を分析することで、なぜ活性が発現するのか、あるいはなぜ高い活性を示すのか等について有益な知見が得られます。これにより触媒の活性構造や反応メカニズムを解明することができれば、ニッケルのみならず他の元素を活用した触媒についても、新たな触媒設計指針を得ることにつながります。

ここで問題となるのは分析対象がナノクラスターという非常に微細な構造を有している点です。固体試料を分析して化学種や構造を決定する際、例えば粉末 X 線回折 (XRD) が一般的に用いられます。しかしながらこの方法の場合、回折を検出するためには測定対象の長距離秩序構造を必要とし、ナノクラスターに対し XRD によって構造解析を行うことは困難です。そこで強力な分析ツールとなるのが X 線吸収分光法 (XAFS) です。XAFS は XRD とは対照的に長距離秩序構造を必要としないため、ナノクラスターの分

析が可能です。また、各種解析ソフトを用いてデータ解析を行えば分析対象の価数や化学種だけでなく、配位数や結合距離といった局所構造に関する情報も得られます。このように XAFS を活用することで一試料に対して多くの、かつ詳細な知見を得ることができます。以上の特徴から、私は XAFS をキャラクターゼーションの柱として積極的に活用し研究を進めてきました。また、この XAFS 測定を行うために、高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設の BL-9C を利用させていただきました。

修士課程一年次に初めてマシンタイムを経験しましたが、まず KEK 施設全体はもちろんのこと、実験ホールの大さに驚いたことを今でも覚えています。放射光施設という巨大なスケールの測定施設を利用したことが無かったため、圧倒されつつも新鮮な気持ちでした。初めのうちは、終夜連続的に分析装置を操作し測定を行うということに慣れず、戸惑うことも多くありました。特に深夜から早朝の時間帯は疲れと眠気が押し寄せ、サンプルセットと測定の作業を辛く感じていましたが、必ず良いデータを持ち帰るという気持ちを持ちながら、一國教授や他の学生たちと協力し合い乗り越えていました。また、実際に測定装置に手を触れ、自分の手でサンプルをセットし測定を行うことで、より明確に XAFS の測定原理やデータ解釈について理解することができたと共に、マシンタイムの貴重さや測定の難しさを実感しました。マシンタイムでは一國教授と数名の学生でメンバーを構成し、測定を行っていました。現地へ向かう道中またはつくば市内で食事を済ませ、その後ドミトリリーにて前泊し翌朝から始まるマシンタイムに備える、というのがルーティンでした。移動中や測定中では普段よりも長い時間を教授と過ごすことになりましたが、研究だけでなく様々な内容の会話をするのができたという意味でも貴重な経験となりました。

博士後期課程一年次では初めて一人で測定する時間を体験しました。失敗できないという責任を感じつつも、一人で大きな分析装置を操っているという満足感も覚えしました。しかしながら、ビームダンプというトラブルに一人で遭遇した時は非常に焦りました。ビームが復旧するまでこちらとしては手の施しようのないことですから、今思い返せば焦る必要もないのですが、まだまだ未熟だった当時は焦りを抑えられませんでした。

時には辛いことや大変なこと経験もしましたが、XAFS を通して多くの貴重なデータを得ることができ、研究を大きく進展させることができました。例えば、シリカ担持ニッケル酸化物ナノクラスターにおいて、界面に存在する Ni-O-Si 構造がアルコール類の酸化的脱水素反応に対する促進効果を有することを見出しましたが、XAFS なしでは得られない成果であったと感じています。

KEK の放射光施設を利用した実験という、誰もが獲得できるわけではない環境下での研究活動は私を大きく成長させてくれたと感じています。恵まれた環境で研究を行えたことに深く感謝すると共に、今後のキャリアにこの経験を活かしていきたいと思っています。



## ある企業研究者が PF で高温ガス反応中の触媒構造を見た！～ビームタイムと会社タイムの共通点～

富士電機株式会社 村田尚義

2015 年度北海道大学大学院博士後期課程修了

2010 年の秋、社会人 3 年目だった私は、共同研究先である北海道大学 朝倉清高教授のご指導の下、蛍光 XAFS (X-ray Absorption Fine Structure) を用いた触媒の高温ガス反応中における構造分析に着手しました。

当時は、メタンガスを検知するセンシング技術の研究に従事しており、ガスを検知する上で触媒は欠かせない材料でした。我々はメタンガスを長期安定に検知し続けることができる触媒として、白金をドーブした酸化スズ触媒（以下、白金ドーブ酸化スズ触媒）の開発に成功しておりました。これは、それまでに一般的だとされていた「酸化スズの格子中には白金は取り込まれず、酸化スズ粒子の表面に白金は析出するものだ」という考えを覆す発見でした。しかし、果たしてガス反応中も安定に構造は維持されているのか？という疑問は残されており、長期安定性を確立する上で大きな課題となっていました。そこで、大気中のガス反応中でも構造分析を可能とする XAFS 分析に着目し、PF での実験生活が始まりました。

ビームラインでの実験は、24 時間または 48 時間の限られた時間の中で、いかに効率よく実験データを取得できるかが求められます。従ってタイムマネジメントはもちろんのこと、高温セルを持ち込んだ実験では、セルを作製する時点で、セルを設置するレール上でサンプルと X 線照射位置との関係を考慮して設計しなければいけません。サンプルの設置高さ等は、あらかじめ採寸することで解決したのですが、大きな問題点として、X 線とサンプルの間の設置角度がありました。研究の目的上、白金ドーブ酸化スズ触媒は、白金ドーブ量が希薄である上に Si 基板上に数  $\mu\text{m}$  以下で成膜していたため、蛍光 XAFS での測定は必須でした。ところが、X 線が基板に照射される角度によっては、Pt 吸収端の EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) 領域である 11600 eV ~ 12200 eV の間に、Si 基板からと考えられる回折光が強く乗ってきてしまい、解析に支障をきたしておりました。そこで、セルを用いない事前の実験の中で、サンプル角度を細かく振ってスペクトルを測定することで、回折が入らない角度が 25°であることを確認し、セルの設計寸法に反映しました。

高温セルを持ち込んだ実験では、使用する X 線エネルギーのセッティング、19 素子 SSD のセッティングから高温セルのセッティング (図 1) と慣れない作業を、朝倉教授にご指導頂きながら、四苦八苦して進めていたのがよい思い出となっています。実験は、4 人で交代して進めることになりました。セッティングが終わり、いざガスを入れた

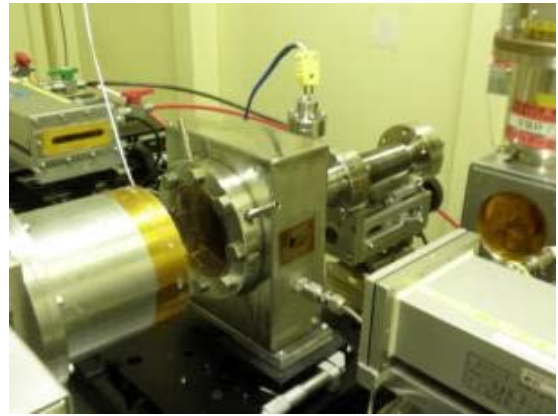


図 1 高温セル (中央) と 19 素子 SSD (手前)

昇温実験が始まると、最初の時点では順調に温度が上がり実験が滞りなく進んでいたのが交代。安心してドミトリーで寝ようとしたところ、「温度が上がらなくなりました・・・」と電話があった時は、冷や汗をかいてビームラインに走って行ったのを覚えています。結局、グラファイトヒーターと電極の接触が悪くなっていたことが原因で、念入りな事前確認の大切さを学びました。

実験は、BL-12C で Pt 吸収端の EXAFS 測定を、AR-NW10A で Sn 吸収端の EXAFS 測定を行うことで、PF 施設と PF-AR 施設の両方の光源を使った実験を経験することができました。結果、白金ドーブ酸化スズ触媒は、400°C の高温中で 1% のメタンガスおよび水素ガス中でも構造を維持しており、ガス反応中の構造安定性を確認できました。また反応メカニズムとして、格子中の酸素が反応に寄与していることを明確にし、研究開発にフィードバックすることができました。

辛い徹夜作業の癒しは、冬の冷たい夜空の中で深夜 0 時頃に決まったように飲む、自動販売機の本一のコーヒーでした。夜空を見上げ、暖かいコーヒーを飲みながらまた頑張るか！と気合を入れ直していました。実験の合間に車による移動で、KEK の外で食べる食事もいい気分転換になり、また楽しみの 1 つでもありました。おそばやラーメンなど美味しいところが多かったのですが、特に「泉食堂」の餃子カツは好きな食べ物になりました。最初は得体が知れず恐れながら食べたのを覚えています。これが美味しく、おすすめの 1 品になりました。

2013 年に社会人として北海道大学の博士後期課程に進学し、PF と PF-AR で実施した白金ドーブ酸化スズ触媒関連の研究成果が認められ、2016 年 3 月に無事修了することができました。現在も富士電機で様々な物理量・化学量のセンシング技術の研究に携わっています。会社での仕事の重要な点は、決まった時間の中でいかに効率よく最大限の結果を出すかにあると考えています。そういう意味では、PF で培った、事前準備の大切さ、タイムマネジメントの意識を常に持ちながら実験を進めることを心がけています。

最後に、本研究でお世話になった、北海道大学 朝倉教授、PF 仁谷浩明様、丹羽尉博様を始め、実験に関わって頂いた方々に感謝致します。

## PF トピックス一覧 (2月～4月)

PF のホームページ (<https://www2.kek.jp/imss/pf/>) では、PF に関する研究成果やイベント、トピックスなどを順次掲載しています。各トピックスの詳細は PF ホームページをご覧ください。

### 2019年2月～4月に紹介されたPF トピックス一覧

- 2.1 【物構研トピックス】つくば SKIP アカデミーおよび筑波大学 GFEST の生徒が SBRC の実習に訪れました
- 2.4 【プレスリリース】海底堆積物に膨大な“微小マンガング粒”を発見～陸上マンガング鉱床に匹敵する量のマンガングが海底下に存在～
- 2.7 【プレスリリース】新材料の研究開発に有用な量子ビーム実験の計測効率を向上する手法を開発
- 2.12 【物構研トピックス】チョコレート・サイエンス @ 多摩六都科学館を開催
- 2.18 【物構研トピックス】PF ユーザーの東北大学 稲葉教授ら、細胞内の亜鉛の新しい生理的役割を明らかに
- 2.19 【物構研トピックス】蒲都市生命の海科学館でチョコレート・サイエンスを開催
- 2.21 【プレスリリース】トポロジカル物質中の新型粒子を発見 - ディラック・ワイル粒子に次ぐスピン1および2重ワイル粒子 -
- 2.27 【物構研トピックス】研究系技術職員インターンシップ 2019 を開催
- 3.20 【物構研トピックス】2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ開催
- 3.29 【物構研トピックス】北大 -KEK 連携協力協定 第9回連携シンポジウムが開催されました
- 4.1 【物構研トピックス】物質構造科学研究所新体制について
- 4.3 【物構研トピックス】共鳴 X線散乱による軌道混成状態の観測
- 4.9 【物構研トピックス】私にスピンをわからせて！～ 第3回転「銀原子はなぜ曲がる？」～原子構造解明の歴史の巻
- 4.11 【物構研トピックス】ガーナより、第2回アフリカ光源加速器会議の報告
- 4.12 【KEK エッセイ #6】チョコちゃんは知ってる！？ガラスが透明な理由
- 4.15 【KEK のひと #47】自身の「なんで？」に正直に北村未歩さん
- 4.19 【プレスリリース】機械学習により X線吸収スペクトル解析の自動化が可能に～データの類似度に着目し定量的なスペクトルの解析を実現～

### PF の看板ねこ、「ねこ先生」に寄せて

PF の看板にゃんこ、ねこ先生こと“しろ”をご存知でしょうか。いつも PF 光源棟玄関や PF 駐車場で悠々と過ごしていた、とても賢く人懐っこいにゃんこです。PF の職員やユーザーの皆さんの中にも“しろ”ファンが多くいらっしゃり、撫でたり餌をやったりとても可愛がられていました。KEK の一般公開では、ねこ先生として T シャツやホームページに出演し、さらには来訪されたお客様のおもてなしをするなど大活躍でした。そんな PF の人気者のしろですが、5月のある日、ふと姿を見せなくなり待てども待てども戻って来ることはありませんでした。私も、主不在のお家や餌場を見るたびにしろのことを想い、悲しい気持ちになっていました。

ねこ先生不在で寂しかった PF にも、去年の秋ごろから、しろの後輩にゃんこ“ちゃしろ”が遊びに来てくれるようになりました。ちゃしろは短いしっぽがチャームポイントの若干2歳のわんぱく子にゃんこ。どうか皆様これからも PF の(未来の)ねこ先生をどうぞよろしくお願いいたします。(北村未歩)



ある秋のあたたかい日のしろ (田中宏和さん撮影)



はじめまして、ちゃしろです

## 2018年度量子ビームサイエンスフェスタ 学生奨励賞について

PF-UA 行事幹事 伏信進矢  
J-PARC MLF 利用者懇談会 行事幹事 大原高志

2019年3月12日～13日の日程で開催された量子ビームサイエンスフェスタでは6件の学生奨励賞が授与されました。この奨励賞は2011年の第28回PFシンポジウムから始まったもので、今回も若手研究者の優秀な研究発表に対して「学生奨励賞」を授与することとし、対象を「学生が筆頭著者のポスター発表」で、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子などを利用して得られた研究成果としました。奨励賞応募ポスター数は70件でした。多くの応募をいただきまして、関係者一同感謝いたします。

審査項目は多岐にわたっており、研究内容の将来性、本人の貢献度、成果の達成度、研究方法の新規性や独創性、内容を明確に伝える分かりやすい発表か、質疑応答の内容、などを重点的に審査しました。審査には最終的に97名の審査員が参加しました。いずれの発表も力作ぞろいであり、僅差で複数の発表が並びましたが、審査項目の合計点から上位6名を受賞者として発表タイトルと受賞者名を下記に掲載しました。

授賞式は懇親会中に行われ、それぞれに賞状と記念のトロフィーが清水PF-UA会長、久保J-PARC MLF利用者懇談会会長から授与されました。審査員の先生方には限られた時間の中、多くの審査をお願いしたにもかかわらず、非常に熱心に審査をいただき、大変感謝しております。また、ポスター発表全般、並びに奨励賞に関して事務局の方々にも大変お世話になりました。なお、本学生奨励賞はPF-UAとJ-PARC MLF利用者懇談会の共催で、大原高志(MLF利用者懇談会/JAEA)、伏信進矢(PF-UA/東大)、



奨励賞受賞者の皆さん【左から：清水敏之 PF-UA 会長（東京大学教授）、周健治氏（東大）、石原正輝氏（東大）、石坂優人氏（北大）、降旗大岳氏（総研大）、山田寛太氏（山口大）、久保謙哉 MLF 利用者懇談会会長（ICU 教授）、小野寛太 実行委員長（KEK）。江尻智一氏（東工大）は都合により欠席。】

船守展正(KEK 物構研)、松浦直人(CROSS)、引田理英(KEK 物構研)、大井元貴(JAEA)が担当いたしました。

### <学生奨励賞受賞者>

- ◆江尻智一（東京工業大学理学院）  
『しきい光電子源を用いた超低エネルギー電子-CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> 衝突全断面積の測定』
- ◆山田寛太（山口大学工学部応用化学科）  
『オペランド観測によるコバルト触媒上の吸着アニオン挙動と触媒活性との相関』
- ◆降旗大岳（総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科）  
『細胞内 GTP センサーの進化的解析に向けたナメクジウオ P15P4K の X 線結晶構造解析』
- ◆石坂優人（北海道大学大学院生命科学院）  
『鉄硫黄クラスターが関与する tRNA チオ化修飾酵素の詳細な反応機構解明を目指した研究』
- ◆石原正輝（東京大学新領域創成科学研究科）  
『生きた細胞上の GPCR1 分子動態計測』
- ◆周健治（東京大学大学院理学系研究科）  
『ポジトロニウムレーザー冷却のための新しいシリカキャビティとガンマ線検出手法の試験』

## ユーザーグループ発足のお知らせ

平成30年11月12日に23番目のPF-UAユーザーグループ「原子力基盤研究」（代表・岡本芳浩/日本原子力研究開発機構）が発足しました。

このユーザーグループは、原子力分野および福島第一原発（1F）事故対応の研究に関わるユーザーが集まり、関係分野における放射光利用、1F事故対応の情報共有、また若い世代の研究参加を目指しています。

以下にユーザーグループ紹介をいただきましたので、ぜひ御覧ください。

### 新ユーザーグループ 原子力基盤研究ユーザーグループの紹介

日本原子力研究開発機構  
岡本芳浩（代表）、本田充紀、谷田肇  
KEK 物構研 宇佐美徳子

#### 1. ユーザーグループ設立の経緯

ひょっとしたらご存じない方もおられるかもしれませんが、PFには、一般の実験ホールから隔離され、入域が制限されているBL-27ステーションがあります。なぜ隔

離されているのか？ですが、ビームを使用して実験するエリアが、核燃料物質及び非密封 RI の使用区域になっているからです。BL-27 ステーションは、放射性物質取扱い専用の放射光ビームラインとして、日本原子力研究開発機構 JAEA（当時の日本原子力研究所）と、高エネルギー加速器研究機構 KEK（当時は高エネルギー物理学研究所）の共同で建設されました。ビームラインには、速断バルブや RI 検査ポートなど、万が一の際に放射性試料による汚染を最小限に食い止めるための仕組みが組み込まれ、動作試験などで安全に運用できることが確認された上で、1992 年から利用を開始しました [1]。それ以来、日本における核燃料や RI を利用した放射光実験を、今日まで支えています。BL-27 ステーションは、軟 X 線を扱う BL-27A と硬 X 線を扱う BL-27B の 2 つのブランチビームラインから構成されており、使用するエネルギー帯で使い分けています。

この度、BL-27 ステーションが JAEA から KEK へ譲渡されることになり、それに伴いユーザーグループの運営により再スタートすることになりました。原子力基盤研究ユーザーグループは、同じく BL-27 ステーションを使用している放射線生物ユーザーグループと協力し、同ステーションを運営し、今後も活用していく方針です。

## 2. BL-27 ステーションの歴史

BL-27 ステーションでは、これまでに多くの核燃料物質及び RI を使用した放射光実験が行われてきました。合金、酸化物、塩化物、フッ化物などのウラン化合物をはじめ、ウラン溶液など多種にわたっています。その中で、ウランやトリウムを含む高温溶融塩の XAFS 測定 [2,3] やウラン溶液系の電解その場 XAFS 観察 [4] といった、世界的にも珍しい特殊な実験も行われてきました。RI では、テクネチウム、アメリカシウムやネプツニウムの化合物の XAFS 測定実績があります [5]。このような実験が実現した背景には、PF スタッフ及び放射線科学センターの皆さんによる惜しみない協力がありました。実験にあたっては、関係者と事前に相談するのですが、頭ごなしに否定するのではなく、「どうにか実現できないか」「実験させてあげよう」という常に前向きなスタンスで対応していただきました。以上、過去の記録のように書きましたが、もちろん、これらの実験は、その気になれば今でも実施可能です。

BL-27 ステーションのユーザーは JAEA 関係者（旧・原研から）が中心ですが、他研究機関や大学による使用実績も豊富にあります。特に、KEK の大学共同利用機関法人という性格もあり、原子力分野の多くの学生さんが使用して成果をあげています。BL-27 での成果を中心に学位を取得し、今でも BL-27 を使い続けているという人もいます。最近では、フランスやイギリスから核燃試料を運んできて（この場合は輸入に相当）、BL-27 ステーションで XAFS 測定を実施しています。わざわざ海外から核燃試料を日本にまで持ち込み、来日して実験していくことから、BL-27 ステーションが世界的にも数少ない、放射性物質取扱い専

用放射光ビームラインの 1 つであることがご理解いただけたと思います。

## 3. 今後の活動方針について

原子力基盤研究ユーザーグループは、原子力分野の放射光利用ユーザーの交流の場として活動しようとしています。その中でも、福島第一原発事故への対応は重要なテーマであり、現在の BL-27 ステーションの実験課題にもいくつか該当するものがあります。最近では、粘土鉱物中のセシウムの化学状態分析 [6] やウランを含む模擬デブリの XAFS 分析 [7] を実施しました。廃炉作業は長期化する見込みであり、放射光分析技術を利用してどのように貢献できるかを考えること、それを担う次世代の放射光ユーザーを育てることは、ユーザーグループの重要な責務だと考えています。

ところで、ユーザーグループの設立が BL-27 ステーションの運営とリンクしている関係で、発足にあたってのメンバーは、BL-27 ユーザーのみから構成されています。しかしながら、原子力基盤研究は BL-27 ステーションのみで行われるわけではありません。したがって、他のビームラインユーザーでも、原子力基盤研究に関わってるぞ、あるいは興味があるぞという方の参加も大歓迎です。前述のように、BL-27 ステーションは実験ホールから隔離されている関係で、残念ながら他のビームラインと交流が乏しい傾向があります。このユーザーグループも、閉じた集まりになってしまうのではないかと心配しています。管理区域の扉を開くことはさすがに出来ませんが、研究者どうしの交流の扉はどんどん開き、先輩ユーザーグループの皆さんにご指導いただきたいと考えています。発足したばかりの原子力基盤研究ユーザーグループを、どうぞよろしく願います。

- [1] H.Konishi *et al.*, Nucl. Instr. Phys. Res., **A372**, 322 (1996).
- [2] Y.Okamoto *et al.*, J. Nucl. Sci. Tech., **39**(3), 638 (2002).
- [3] M.Numakura *et al.*, Prog. Nucl. Ener., **53**, 994 (2011).
- [4] A.Uehara *et al.*, Radiochim. Acta, **104**, 1 (2016).
- [5] T.Nishi *et al.*, J. Nucl. Mater., **374**, 339 (2008).
- [6] M.Honda *et al.*, J. Phys. Chem. C, **120**, 5534 (2016).
- [7] Y.Okamoto *et al.*, Prog. Nucl. Sci. Tech., **5**, 200 (2018).

## 位相計測ユーザーグループ紹介

東北大学多元物質科学研究所 高野秀和

### 1. 概要

X線の位相変化をイメージングに利用すると、吸収差を可視化する従来のイメージング法に比べ、特に軽元素試料に対して高いコントラストが得られます。このような「位相コントラスト」は、高輝度光である放射光で比較的容易に生成できるため、生体組織やソフトマテリアル材料等の

観察において広く応用されています。画像検出器から出力される位相コントラスト像は吸収情報等、様々なコントラストが混ざっていますが、測定や計算により位相変化の定量値を引き出す「位相計測」を行うことで、定量性の高いトモグラフィへ適用ができ、物体の密度分布を高感度で三次元計測（位相トモグラフィ）することができます。本ユーザーグループは、百生敦先生（東北大学・教授）を中心として2002年に設立され、「位相計測」をキーワードとしたX線イメージング研究者のグループとして活動を行い、2017年より高野が代表を引き継いでいます。

位相計測を行うには様々な手法があります。結晶によって参照光と物体光を分離し、二光束干渉計を形成するBonse-Hart干渉計の他、試料による微小屈折（位相の微分情報）を、アナライザ結晶のロッキングカーブ特性を利用して抽出するdiffraction enhanced imaging (DEI) 法、X線格子から生じるタルボ効果を利用して抽出するタルボ干渉計、が主に用いられます。現在PFで位相計測を行っているビームラインは（BL-3C, BL-14B, BL-14C）です。特にBL-14Cには分離型X線結晶干渉計が常設されており、生体組織を中心に様々な応用観察が行われています。以下では近年の代表的な成果について紹介します。

## 2. 高分解能位相計測 (BL-3C) [1,2]

BL-3Cでは、結像型X線顕微鏡をベースとした高分解能位相計測が筑波大のグループにより行われています。フーコーナイフエッジをX線結像素子（フレネルゾーンプレート）の後焦点面で走査するという、オリジナリティの高い方法により位相計測を行います。5~8 keVのX線領域において、サブミクロン分解能での位相トモグラフィが可能です。

## 3. 常設型 Bonse-Hart 干渉計 (BL-14C)

BL-14Cには分離型 Bonse-Hart 干渉計が常設されています。BL-14は光源に縦型ウィグラーを採用しており、数cmの視野を有する大視野位相計測が可能です。干渉計はフィードバック制御により高い安定性を実現しており、密度分解能  $0.3 \text{ mg/cm}^3$  (17.8 keV) での高感度位相計測が可能です [3]。応用は生体組織を中心に行われており、ラットの脳組織 [4, 5]、腎臓 [6]、肝臓 [7]、精巣 [8] 等、無染色での三次元計測が行われています。また、動作中のリチウムイオン電池塩濃度変化観察 [9] や、高い密度分解能を活かしたサーモグラフィイメージング [10]、屈折率実部と虚部の同時計測による実効原子番号イメージング [11] 等、ユニークな視点での応用も進められています。

## 4. アナライザ結晶による位相計測 (BL-14B)

BL-14Bでは結晶を用いた DEI 法及び dark field imaging (DFI) 法が行われています。Bonse-Hart 型干渉計に比べると感度は劣りますが、ダイナミックレンジの広い計測が可能です [12]。輪島塗漆層の経年劣化観察への応用が行われており [13]、平面状試料の三次元計測が可能なラミノグラフィ法の導入も行われています [14]。

## 5. DEI 法及びX線格子干渉計 (BL-14C)

BL-14Cでは前述の常設型干渉計の他、多目的定盤を用いた位相計測のアクティビティも行われています。DEI法による位相計測では、ガスハイドレート試料の観察 [15, 16] への応用展開がされており、トモグラフィ再構成法の研究 [17] や、多重反射を利用した高感度計測法の研究 [18] も行われています。

BL-14Cの大きな特徴は、硬X線領域白色放射光が利用できることです。縦型ウィグラーで白色光を利用できるビームラインは世界的にも類を見ません。タルボ干渉計は白色でも動作する干渉計であり、大強度ビームを利用した時間分解計測に利用されています。ポリマーブレンドの加熱による相分離過程観察 [19] の他、試料動作と同期をとるストロボスコピック撮影により、 $3 \mu\text{s}$  の高速イメージングにも応用されています [20]。

## 6. おわりに

PFにおけるX線位相計測のアクティビティについて紹介させていただきました。位相計測はそのバラエティも広がっており、コヒーレント回折法やタイコグラフィ法等、高分解能手法の普及も進んでいます。また、格子干渉計を用いた計測法は、放射光光源のみならず実験室光源を用いた位相計測法としてその利用が広がっています。様々な応用が進められており、位相計測によりどのようなサイエンスが解明できるかという、アプリケーションの視点がより一層重要になってきています。潜在的アプリケーションはまだまだの開拓の余地があると感じていますので、ユーザーグループとしても取り組んでいければと考えております。

- [1] N. Watanabe and S. Aoki, *Microsc. Microanal.* **24** (Suppl 2), 166 (2018).
- [2] N. Watanabe *et al.*, *AIP Conf. Proc.* **1696**, 020044-1 (2014).
- [3] A. Yoneyama *et al.*, *J. Phys., Conf. Ser.* **425**, 192007 (2013).
- [4] T-T. Lwin *et al.*, *Acta Radiologica Open*, **5**, 1 (2016).
- [5] S. Kokubo *et al.*, *Med. Imag. Tech.* **32**, 116 (2014).
- [6] R. Shirai *et al.*, *J. Synchrotron Rad.* **21**, 795 (2014).
- [7] T. Kanahashi *et al.*, *Anat. Rec.* **299**, 8 (2016).
- [8] K. Terazaki *et al.*, *Med. Imag. Tech.* **33**, 203 (2015).
- [9] D. Takanomutsu *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **140**, 1608 (2018).
- [10] A. Yoneyama *et al.*, *Sci. Rep.* **8**, 12674 (2018).
- [11] A. Yoneyama *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 204108 (2013).
- [12] H. Okamoto *et al.*, *J. Wellness & Health Care* **42**, 51 (2018).
- [13] 岡本博之, 水野薫, 金沢大学つるま保健学会誌 **37**, 51(2013).
- [14] K. Hirano *et al.*, *J. Synchrotron Radiat.* **23**, 1484 (2016).
- [15] S. Takeya *et al.*, *Can. J. Chem.* **93**, 983 (2015).
- [16] H. Sharifi *et al.*, *J. Phys. Chem. C* **122**, 17019 (2018).

- [17] N. Sunaguchi *et al.*, PLOS ONE **10**, e0135654 (2013).  
 [18] Y. Wu *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 096701 (2015).  
 [19] Y. Wu *et al.*, Proc. SPIE **10391**, 103910E (2017).  
 [20] M. Orbinado *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 096601 (2013).

## 表面科学ユーザーグループの紹介

東京大学物性研究所 吉信 淳  
 立教大学理学部 枝元一之  
 慶應義塾大学理工学部 近藤 寛  
 東京工業大学理学院 小澤健一  
 KEK 物構研 間瀬一彦

表面科学ユーザーグループ (UG) は、平成 27 年 7 月の UG 継続申請に際して、表面化学と表面 ARPES が合併して発足した。表面化学 UG および表面 ARPES UG は、真空紫外および軟 X 線の放射光を用いて固体表面の電子状態、化学状態、ダイナミクスなどに関する研究を長い間独立して行ってきた。近年それぞれの研究分野が広がり境界領域が共通化し、表面 ARPES と表面化学のメンバーの重複も大きくなった。そこで、平成 27 年春に表面化学 UG 代表の吉信 (東大物性研) と表面 ARPES UG 代表の枝元 (立教大学) が UG の合併を合同の UG ミーティングで提案し、了承された。

現在の表面科学 UG の活動をまとめると次のようになる。

- BL-3B に常設された ARPES- II およびオフラインの ARUPS10 の管理・運営。
- BL-13B に常設された高分解能光電子分光装置 (SES200) の保守、高度化とユーザーの支援。
- BL-13B に準常設された高分解能光電子分光装置 (Phoibos および AP-XPS) の管理とユーザー支援。
- それぞれの装置群を利用する新規ユーザーの開拓と、研究会やセミナーを通じての教育。
- PF シンポジウムや放射光学会などの機会を利用したユーザーグループミーティングの開催と情報交換。

以下では、表面科学 UG が利用している PF のエンドステーションとその成果について簡単に紹介したい。

BL-3B に設置された角度分解光電子分光装置 (ARPES-II) を用いて固体表面・界面の電子物性を解明することを目的として、弘前大学理工学研究科の加藤博雄教授 (当時) を中心として旧表面 ARPES UG は設立された。BL-3B は PF と弘前大学理工学研究科との協定に基づき、平成 21 年 12 月より大学運営ステーションとして運営された。その間、表面 ARPES UG が中心となり ARPES-II を運用してきた。大学運営ステーションとしての運用は平成 26 年度をもって終了し、平成 27 年度より PF と表面科学 UG との協定に基づき、UG 運営ステーションとして運営されている。BL-3B は現在の PF では貴重な 100 eV 以下の光を利用できるビームラインであり、価電子帯および浅い内殻準

位に対して表面敏感な光電子分光 (PES) 測定を行うことができる。常設の測定システムは電子分光器を回転させる旧タイプであるが、試料準備チェンバーが設置されており、試料作製等に試行錯誤を要する研究をビームタイム以外の時間で行うことができる。これらの特性を活かし、現在有機薄膜-基板界面における電荷機構の解明 [1]、有機太陽電池における界面準位アラインメントの解明 [2]、新規材料物質としての酸化物超薄膜の開発と電子状態の解明 [3] 等の研究が行われてきた。

APPLE-II アンジュレーターによる輝度の高い可変偏光 VUV/SX 光を利用できる BL-13B に常設された SES200 システムでは、位置敏感型検出器を備えた高分解能電子分光器、イオンガンと LEED を含む超高真空試料調製チェンバー、ロードロックチェンバーを兼ねた有機分子蒸着真空チェンバーを有している。この特徴を活かして、活発な最先端研究が行われている。表面科学 UG のメンバーは、「有機分子-電極系の構造・電子状態と電荷移動ダイナミクス」(2009S2-007)、「エネルギー変換材料の表面界面物性：VUV/SX 放射光分光による研究」(2012S2-006)、「先端軟 X 線分光の融合による活性触媒の電子状態と反応活性に関する研究」(2015S2-008)、「BL-13B 光電子分光システムのマイクロ測定を目指した高度化と機能性材料の精密物性評価研究」(2018S2-005) という S2 課題を通じて、PF からのサポートだけでなく各メンバーの競争的研究資金や運営費交付金などを投入して SES200 システムの保守管理、高度化、利用、そしてポスドクや大学院生の教育を行ってきた。

表面科学 UG メンバーが参画したこれらの S2 課題では、時代のさきがけとなる研究課題を掲げ、放射光表面科学の発展を目指してきた。ここでは、いくつかの研究成果を紹介したい。BL-13B では、3 台のエンドステーションが串刺しで設置されている ([http://pfwww.kek.jp/users\\_info/station\\_spec/bl13/bl13a.html](http://pfwww.kek.jp/users_info/station_spec/bl13/bl13a.html))。一番先頭に位置する SES200 では試料基板を有機蒸着チェンバー (ロードロック) から導入でき、事前に試料調製が可能なので、機動的に高分解能内殻光電子分光や角度分解光電子分光の測定を行うことができる。単層グラフェンの原子状酸素によるエポキシ化過程と加熱によるグラフェンの再生を高分解能内殻光電子分光で観測した研究 [4]、可視光応答半導体光触媒である Nb ドープ SrTiO<sub>3</sub> の電子状態の研究 [5]、ZrB<sub>2</sub> 表面に作製されたシリセン単層構造の第一原理計算と高分解能内殻光電子分光による確定 [6] などは、試料作製グループや理論グループと吉信グループとのコラボレーションによる成果である。さらに、他の放射光施設で得られた結果と組み合わせられた研究も増えてきている。例えば、東工大の小澤らは、ルチル型、アナターゼ型二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) の良く規定された単結晶表面での光励起キャリアの挙動と光触媒活性を系統的に調べ、光励起キャリアのどのような性質が光触媒活性と密に関連するかを検証する研究を進めている。光触媒活性は、SES200 を用いた光電子分光測定から、吸着種の光分解脱離速度を決定することで評価している。一方、

光励起キャリア挙動は、SPring-8のBL07LSUにて実施した時間分解軟X線光電子分光により評価した。両者の結果を比較すると、酢酸の光触媒分解反応では、キャリア寿命と反応次数の間に直線関係があることが明らかにされた(図1) [7]。これは、キャリア寿命が光触媒活性を決める因子であることを実験的に明示した重要な結果であり、光触媒発現機構の理解に大きく寄与するものと期待できる。

また、KEK物構研で開発された新しい非蒸発型ゲッター(Non-evaporable getter, NEG)である無酸素パラジウム/チタン(Pd/Ti)の最初の表面分析もBL-13Bで行われた[8]。無酸素Pd/Tiは150°Cで12時間ベーキングして室温に戻すと水素(H<sub>2</sub>)と一酸化炭素(CO)を排気する、活性化と大気導入とを繰り返しても排気速度が低下しない、Pdの触媒作用で脱ガスを抑制する、といった特長を持つ。BL-13BでのXPS測定で、Pd表面の炭素汚染が排気性能の劣化の原因となること、酸素雰囲気下でベーキングすることで炭素汚染を除去できること、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、CO、CH<sub>4</sub>のガス放出も抑制されることがわかり、H<sub>2</sub>に対する排気速度が2倍程度に改善された[9]。また、BL-3BでのXPS測定により無酸素Pd/Tiを280°C以上に加熱するとTiが表面に拡散して酸化するため、排気性能が低下することが確認された[10]。こうした成果を無酸素Pd/Tiを利用した製品開発にフィードバックすることにより、2019年3月末には無酸素Pd/Tiを利用したICFゼロレングスNEGポンプが市販されるに至った。本研究は放射光表面科学が機

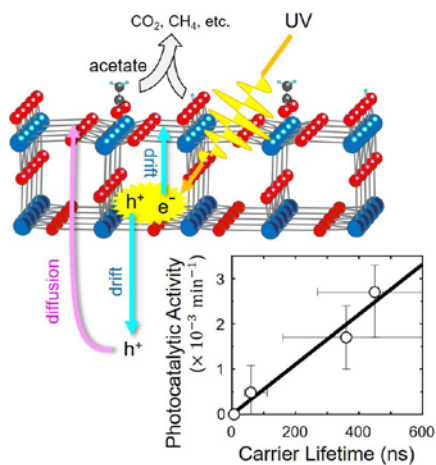


図1 TiO<sub>2</sub>表面上での吸着酢酸分子の光触媒活性と光励起キャリアの相関関係と光触媒分解の模式図

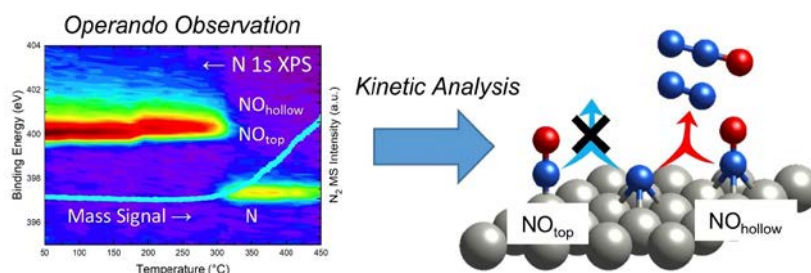


図2 Rh触媒におけるNO還元反応のNAP-XPSと質量分析によるオペランド観測と速度論的解析に基づく反応モデル

能性材料の性能向上と製品化にも大きく貢献することを示す好例である。

BL-13Bの2番目に位置する準常設のPhoibos光電子分光システムは、東大物性研の吉信グループが設置・運用している。このシステムでは、液体ヘリウムで冷却できるサンプルホルダーに試料を直接取り付けて、任意の温度に試料を冷却・加熱することができる(20~1200 K)。5連のチャンネルトロン検出器をもつ電子分光装置が設置された超高真空チェンバーには、質量分析計と低速電子回折装置が装備されている。さらに、低熔点金属や有機分子を蒸着するための移動型クヌーセンセルを装着できる小型チェンバーがゲートバルブを介して連結されている。このPhoibos光電子分光システムでは、主に金属単結晶表面における吸着分子の状態や反応についての研究が行われてきた。代表的な研究としては、遷移金属ステップ表面における表面内殻準位シフトを利用したCO吸着サイトの研究[11]、Rh(111)表面におけるシクロヘキサン分子の表面反応や脱離における同位体効果[12]、水素の吸着・吸蔵におけるPd系合金の電子状態の観測[13]などが挙げられる。

BL-13Bの3番目の準常設エンドステーションとして、慶應大学近藤グループにより準大気圧X線光電子分光(NAP-XPS)システムが設置され、運用されている。このシステムは国内の放射光施設に初めて設置された雰囲気光電子分光装置であり、数々の先駆的な研究がなされてきた[14-16]。最近の例の一つとして、Rh触媒によるNO還元反応に対してNAP-XPSおよび質量分析によるオペランド観測を行なって研究を紹介する[17]。得られた結果(図2左)について速度論的解析を行うことによって、2種類の表面NO種のうちどちらが反応に活性であるかを解明した(図2右:ホローサイトのNOが活性)。このような反応進行中の触媒近傍の気相種と触媒表面種の同時観測に基づく速度論的解析(Operando-Kinetics解析)は世界のトレンドとなっており、今後、触媒反応の理解に大いに寄与すると考えられる。

以上のように、表面科学UGは、現在BL-3BやBL-13Bのエンドステーションを中心に活動を行なっているが、BL-7やBL-16などにおいても放射光を活用した表面科学研究を行なっている。表面科学UGは常にオープンであり、放射光表面科学に興味のある研究者の加入を歓迎します。特にBL-13Bにおけるエンドステーションの高度化と測定に興味のある研究者や大学院生の積極的な参加を希望いた

しますので、興味のある方は本記事の著者に連絡をして下さい。

## 参考文献

- [1] K. Ozawa *et al.*, J. Phys. Chem. C **120**, 8653 (2016).
- [2] X. Hao *et al.*, Organic Electronics **15**, 1773 (2014).
- [3] T. Hasegawa *et al.*, Surf. Sci. **606**, 414 (2012).
- [4] Md. Zakir Hossain *et al.*, Nature Chem. **4**, 305 (2012)
- [5] S. Kawasaki *et al.*, J. Phys. Chem. C **116**, 24445 (2012).
- [6] C.-C. Lee *et al.*, Phys. Rev. B **95**, 115437 (2017).
- [7] K. Ozawa *et al.*, Phys. Chem. C **122**, 9562 (2018).
- [8] T. Miyazawa *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. A **36**, 051601 (2018).
- [9] T. Miyazawa *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. A **37**, 02160 (2019).
- [10] T. Miyazawa *et al.*, AIP Conf. Proc. **2054**, 060045 (2019).
- [11] S. Shimizu *et al.*, Surf. Sci. **608**, 220 (2013).
- [12] T. Koitaya *et al.*, J. Chem. Phys. **136**, 214705 (2012)
- [13] J. Tang *et al.*, Appl. Surf. Sci. **463**, 1161 (2019).
- [14] R. Toyoshima *et al.*, J. Phys. Chem. C **116**, 18691 (2012).
- [15] H. Kondoh *et al.*, Catal. Today **260**, 14 (2016).
- [16] R. Toyoshima *et al.* Chem. Commun. **53**, 12657 (2017).
- [17] K. Ueda *et al.* ACS Catal. **8**, 11663 (2018).

## 平成 30 年度第 4 回 PF-UA 幹事会・運営委員会議事録

日時：平成 31 年 3 月 12 日 (火) 12:20-13:20

場所：つくば国際会議場 303 会議室

出席者：[幹事会] 清水敏之 (会長), 植草秀裕 (庶務), 田中信忠 (会計), 伏信進矢 (行事), 平井光博 (戦略・将来計画), 阿部善也 (推薦・選挙管理), 米山明男 (共同利用) [運営委員会] 小林寿夫, 近藤寛, 佐藤友子, 佐藤衛, 手塚泰久, 宮脇律郎, 山口博隆, 足立伸一, 雨宮健太, 木村正雄, 船守展正

・会長挨拶 (清水 会長)・議事次第紹介 (植草 庶務幹事)

### 【報告事項】

- ・行事報告 (伏信 行事幹事)
- ・量子ビームサイエンスフェスタ (QBSF), 組織委員会, 企業展示について
- ・会計報告 (田中 会計幹事)
- ・平成 30 年度会計途中報告, 剰余金を次年度に繰り越す予定
- ・総会議事次第 (植草 庶務幹事)

### 【審議事項】 (植草 庶務幹事)

- ・PF-UA 会則・細則改定
- ・PF-UA 会員からの意見について, 必要に応じ 2019 年度中に対応することとした。

- ・審議の結果, 総会に提案する改定案を決めた。
- ・IMSS と PF-UA の相互協力に関する覚書
- ・会則・細則改定後に覚書を締結することとした。

### 【その他議論】 (清水 会長)

- ・英語を主として使う会員に向けて, ホームページや会則・細則の英語化を推進する。
- ・会員から意見のあった, 運営委員会の定足数等について 2019 年度中に議論して結論を出す。
- ・PF-UA の会員になっているかどうかを本人が確認する方法について議論した。
- ・PF-UA が, UG の関係する行事の予算をサポートする際の手続きについて議論した。

## 平成 30 年度 PF-UA 総会 議事録

日時：平成 31 年 3 月 13 日 (水) 13:15-14:15

場所：つくば国際会議場 300 中ホール

- ・総会の定足・成立確認 (植草 庶務幹事)  
定足数を満たしており, 総会が成立していることを確認した。互選により, 平井光博会員を総会議長に指名した。
- ・会長挨拶 (清水会長)

### 【報告事項】

- ・会計報告 (田中 会計幹事)
- ・平成 29 年度会計報告, 30 年度会計途中報告を行った。
- ・行事報告 (伏信 行事幹事)
- ・量子ビームサイエンスフェスタ (QBSF), 組織委員会, 企業展示について報告を行った。
- ・PF-UA 活動報告 (植草 庶務幹事)
- ・平成 30 年度の委員会, 委員紹介, PF-UA の活動報告を行った。

### 【審議事項】 (植草 庶務幹事)

- ・PF-UA 会則・細則の改定案について
- ・運営委員会の審議による改定の経緯を説明した。改定の内容について, 会員資の整理, 個人情報取り扱い規定, 用語, 項目, 文言を実態に合わせることを説明した。会員からのご意見について 2019 年度中に検討し, 必要があれば対応することを説明した。
- ・改定案を議決した。

### 【その他】 (清水 会長)

- ・IMSS と PF-UA の相互協力に関する覚書を締結することを紹介した。
- ・PF-UA 会則・細則を英語化対応する予定を紹介した。
- ・PF-UA が, UG の関係する行事の予算をサポートする方法について議論した。



## ユーザーグループ一覧

2019年4月1日現在

1	XAFS	田渕 雅夫	名古屋大学
2	タンパク質結晶構造解析	海野 昌喜	茨城大学
3	小角散乱	櫻井 伸一	京都工芸繊維大学
4	放射線生物	横谷 明德	量子科学技術研究開発機構
5	粉末回折	植草 秀裕	東京工業大学
6	高圧	高橋 博樹	日本大学
7	構造物性	有馬 孝尚	東京大学
8	表面科学	吉信 淳	東京大学
9	固体分光	齋藤 智彦	東京理科大学
10	原子分子科学	小田切 丈	上智大学
11	核共鳴散乱	小林 寿夫	兵庫県立大学
12	位相計測	高野 秀和	東北大学
13	低速陽電子	長嶋 泰之	東京理科大学
14	医学利用	松下昌之助	筑波技術大学
15	X線発光	手塚 泰久	弘前大学
16	表面界面構造	近藤 敏啓	お茶の水女子大学
17	マイクロビームX線分析応用	高橋 嘉夫	東京大学
18	物質物理	八方 直久	広島市立大学
19	X線トポグラフィー	小泉晴比古	名古屋大学
20	動的構造	腰原 伸也	東京工業大学
21	鉱物・合成複雑単結晶	吉朝 朗	熊本大学
22	産業利用	米山 明男	(株)日立製作所中央研究所
23	原子力基盤研究	岡本 芳浩	日本原子力研究開発機構

## PF-UA 運営委員名簿

任期：2018年4月1日～2021年3月31日

朝倉 清高	北海道大学触媒科学研究所
東 善郎	上智大学理工学部
一國 伸之	千葉大学大学院工学研究院
植草 秀裕	東京工業大学理学院
奥田 浩司	京都大学大学院工学研究科
奥部 真樹	東京工業大学フロンティア材料研究所
鍵 裕之	東京大学大学院理学系研究科
小林 寿夫	兵庫県立大学大学院物質理学研究科
腰原 伸也	東京工業大学理学院
近藤 寛	慶應義塾大学理工学部
齋藤 智彦	東京理科大学理学部
佐々木 聡	東京工業大学フロンティア材料研究所
佐藤 宇史	東北大学大学院理学研究科
佐藤 友子	広島大学大学院理学研究科
佐藤 衛	横浜市立大学大学院生命医科学研究科
志村 考功	大阪大学大学院工学研究科
鈴木 昭夫	東北大学 大学院理学研究科
田渕 雅夫	名古屋大学シンクロトロン光研究センター
手塚 泰久	弘前大学大学院理工学研究科
沼子 千弥	千葉大学大学院理学研究科
増田 卓也	物質・材料研究機構
松村 浩由	立命館大学生命科学部
宮脇 律郎	国立科学博物館地学研究部
山口 博隆	産業技術総合研究所
横谷 明德	量子科学技術研究開発機構
足立 伸一	物構研・放射光科学第二研究系
雨宮 健太	物構研・放射光科学第一研究系
木村 正雄	物構研・放射光科学第二研究系
千田 俊哉	物構研・放射光科学第二研究系
船守 展正	物構研・放射光実験施設

## 人事異動・新人紹介

	発令年月日	氏名	現職	旧職
(定年退職)	H31. 3. 31	芳賀開一	加速器科学支援センター 特別准教授	加速器研究施設 加速器第七研究系 准教授
(辞職)	H30. 3. 31	橋本 亮		物構研 放射光科学第一研究系 特任助教
	H31. 3. 31	島田紘行		物構研 放射光科学第二研究系 特任助教
	H31. 3. 31	益田伸一		物構研 放射光科学第一研究系 研究員
(昇任)	H31. 4. 1	五十嵐教之	物構研 放射光実験施設 教授	物構研 放射光科学第一研究系 准教授
	H31. 4. 1	清水伸隆	物構研 放射光実験施設 教授	物構研 放射光科学第二研究系 准教授
	H31. 4. 1	山本将博	加速器研究施設 加速器第六研究系 准教授	加速器研究施設 加速器第七研究系 助教
	H31. 4. 1	高橋 毅	加速器研究施設 加速器第六研究系 前任技師	加速器研究施設 加速器第七研究系 専門技師

### (採用)

#### 内藤 大地 (ないとう だいち)

1. 平成 31 年 4 月 1 日
2. 加速器研究施設 加速器第六研究系 助教
3. 加速器研究施設 加速器第一研究系 特別助教
4. 素粒子物理 / 電磁石 / 電源 / 電子回路 / ビーム光学
5. 新しい職務内容 (放射光施設、RF) については無知無学なので早くモノにしたいです。
6. 肉しか信じない。
7. カラオケ, 模型

#### 北村 未歩 (きたむら みほ)



1. 平成 31 年 4 月 1 日
2. 物構研 放射光科学第一研究系 特別助教
3. 物構研 放射光科学第一研究系 博士研究員
4. 酸化物薄膜の電子・スピン状態解析
5. よろしくお願い致します。
6. おもしろいとわくわくを大切にします。
7. かわいいものに囲まれてのほほんとする。

#### 西村 龍太郎 (にしむら りゅうたろう)



1. 平成 31 年 4 月 1 日
2. 物構研 放射光実験施設 博士研究員
3. 金沢大学人間社会研究域人間科学系 博士研究員
4. 検出器開発・データ取得 (DAQ) システム開発
5. 総研大博士課程の学生として研究していた時以来、1 年振りに KEK に帰って参りました。以前からユーザーとしては馴染み深い PF ですが、新たな立ち位置で気持ちも新たに研究に取り組みたいと考えています。どうぞよろしくお願いいたします。
7. 読書, カラオケ

#### 石井 祐太 (いしい ゆうた)



1. 平成 31 年 4 月 1 日
2. 物構研 放射光科学第一研究系 博士研究員
3. 東北大多元研 物理学専攻 博士課程 学生
4. 構造物性, X線・ミュオン・中性子
5. 面白い事に, チャレンジしていく。
6. 嘘をつかない
7. 野球観戦, 散歩

### 松本 宗久 (まつもと むねひさ)

1. 平成 31 年 4 月 1 日
2. 物構研 放射光科学第二研究系 研究員
3. 東大物性研 特任研究員
4. 磁性理論・統計力学
5. 実験測定データと理論計算データを組み合わせてミクロとマクロをつなぎます。
6. 現場と現物を大事にします。
7. 読書

### 渡部 正景 (わたなべ しょうけい)



1. 平成 31 年 4 月 1 日
2. 物構研 構造生物学研究センター 特別技術専門職
3. 物構研 構造生物学研究センター 研究補助員
4. 自動制御
5. 「無ければ作る」をモットーにロボット制御を楽しみます。
6. 楽しいことを拾って生きる。
7. 家ネコたちと遊ぶこと。

### (入学)

### 鈴木 雄太 (すずき ゆうた)



1. 平成 31 年 4 月 1 日
2. 総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科 物質構造科学専攻 (博士後期課程 1 年)
3. 東京理科大学 基礎工学研究科 材料工学専攻 (小飼研究室)
4. 機械学習, X線回折, X線吸収分光
5. 素晴らしい環境で研究に取り組めることにワクワクしています。
6. 素人発想, 玄人実行
7. 楽器演奏, 写真

- |   |
|---|
| 1. 着任日 2. 現在の所属・職種 3. 前所属・職種<br>4. 専門分野 5. 着任に当たりの抱負 6. モットー<br>7. 趣味 (写真, 5 番～7 番の質問は任意) |
|---|

## 第109回物質構造科学研究所運営会議議事次第

日時：2019年2月22日（金） 13:30～

場所：高エネルギー加速器研究機構 管理棟大会議室

### 【1】議事

106回～第108回議事要録について

### 【2】審議

- (1) 実験施設長の選考について
  - (2) 技術副主幹の選考について
  - (3) 候補者サーチ制度の見直しについて
  - (4) 客員研究員の選考について
  - (5) 特定有期職員の雇用計画について（特別准教授1名・特定人事：ミュオン）
  - (6) クロスアポイントメントによる学術研究フェローの雇用計画について
  - (7) 教員人事（教授1名・特定人事：放射光第一）
  - (8) 教員人事（特別教授1名・特定人事：中性子）
  - (9) 教員人事（特別准教授1名・特定人事：中性子）
  - (10) 教員人事（特別准教授1名・特定人事：中性子）
  - (11) 教員人事（特任准教授1名・特定人事：放射光第二）
  - (12) 教員人事（物構研18-1教授1名：放射光第一）
  - (13) 教員人事（物構研18-2教授1名：放射光第二）
  - (14) 教員人事（物構研18-3特任助教1名：中性子）
  - (15) 教員人事（物構研18-4准教授1名：ミュオン）
  - (16) 教員人事（物構研18-9特別助教又は特別准教授1名：ミュオン）
  - (17) 教員公募（教授1名：中性子）
  - (18) 平成30年度マルチプローブ共同利用実験課題審査結果について
  - (19) マルチプローブ共同利用実験に関する申合せ等の改正について
  - (20) 平成31年度前期放射光共同利用実験課題（S1型）審査結果について
  - (21) 2019年度中性子共同利用S1型実験課題審査結果について
  - (22) 2019年度前期ミュオン共同利用S1型実験課題審査結果について
  - (23) 2019A期J-PARC/MLFにおける大学共同利用中性子実験課題（一般利用・産業利用）の審査結果について
  - (24) 2019A期J-PARC/MLFにおける大学共同利用ミュオン実験課題（一般利用・産業利用）の審査結果について
- ### 【3】報告事項
- (1) 所長報告
  - (2) 人事異動
  - (3) 研究員の選考結果について
  - (4) 放射光の産業利用促進運転について
  - (5) 平成31年度前期フォトンファクトリー研究会採択状

況について

(6) 協定等の締結について（国内機関関係）（資料配付のみ）

### 【4】研究活動報告（資料配布のみ）

- ① 物質構造科学研究所報告
- ② 素粒子原子核研究所報告
- ③ 加速器研究施設報告
- ④ 共通基盤研究施設報告

※第107, 108回はメール審議。

## 2019年度 客員研究員一覧

氏 名	所 属 ・ 職 名	名 称
朝倉 清高	北海道大学 触媒科学研究所・教授	客員教授
池田 修悟	兵庫県立大学理学部・助教	客員助教
岩崎 憲治	筑波大学 生存ダイナミクス研究センター・教授	客員教授
大熊 春夫	大阪大学 核物理研究センター・特任教授	客員教授
小澤 健一	東京工業大学理学院・助教	客員助教
加藤 政博	自然科学研究機構分子科学研究所 極端紫外光研究施設・教授	客員教授
上久保裕生	奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科・教授	客員教授
熊谷 教孝	科学技術振興機構 未来社会創造事業・プログラムマネージャー	客員教授
栗木 雅夫	広島大学 大学院 先端物質科学研究科・教授	客員教授
近藤 寛	慶応義塾大学 理工学部化学科・教授	客員教授
佐々木茂美	広島大学 放射光科学研究センター・名誉教授	客員教授
佐藤 友子	広島大学・准教授	客員准教授
鈴木真粧子	群馬大学大学院理工学府・准教授	客員准教授
相馬 清吾	東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター・准教授	客員准教授
高橋 嘉夫	東京大学 大学院理学系研究科・教授	客員教授
長嶋 泰之	東京理科大学 理学部第二部物理学科・教授	客員教授
羽島 良一	量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学研究部門・上席研究員	客員教授
丹羽 隆介	筑波大学 生命環境系・准教授	客員准教授
濱 広幸	東北大学 電子光理学研究センター長	客員教授
姚 閔	北海道大学 大学院先端生命科学研究院・教授	客員教授

## 放射光共同利用実験審査委員会委員名簿

	氏 名	所 属 ・ 職 名
機 構 外 委 員	安藤 慎治	東京工業大学物質理工学院・教授
	池田 直	岡山大学大学院自然科学研究科・教授
	一國 伸之	千葉大学大学院工学研究院・教授
	岩佐 和晃	茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター・教授
	海野 昌喜	茨城大学大学院理工学研究科・教授
	奥田 太一	広島大学放射光科学研究センター・教授
	小田切 丈	上智大学理工学部物質生命理工学科・准教授
	鍵 裕之	東京大学大学院理学系研究科・教授
	上久保裕生	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科・教授
	河野 正規	東京工業大学理学院化学系・教授
	坂本 一之	大阪大学大学院工学研究科・教授
	穴戸 哲也	首都大学東京大学院都市環境科学研究科・教授
	清水 敏之	東京大学大学院薬学系研究科・教授
	高橋 嘉夫	東京大学大学院理学系研究科・教授
	田淵 雅夫	名古屋大学シンクロトロン光研究センター・教授
	中野 智志	物質・材料研究機構 機能性材料研究基盤超高压グループ・主幹研究員
	橋本 博	静岡県立大学薬学部大学院薬学研究院・教授
	伏信 進矢	東京大学大学院農学生命科学研究科・教授
	八木 直人	公益財団法人 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門・コーディネーター
	矢代 航	東北大学多元物質科学研究所・准教授
	山口 宏	関西学院大学理工学部化学科・教授
	山添 誠司	首都大学東京大学院理学研究科・教授
	山本 勝宏	名古屋工業大学大学院工学研究科・准教授
吉田 鉄平	京都大学大学院人間・環境学研究科・教授	
吉信 淳	東京大学物性研究所・教授	
機 構 内 委 員	* 足立 伸一	物質構造科学研究所・副所長
	* 雨宮 健太	物質構造科学研究所 放射光科学第一研究系・研究主幹
	* 千田 俊哉	物質構造科学研究所 放射光科学第二研究系・研究主幹
	* 大友 季哉	物質構造科学研究所 中性子科学研究系・研究主幹
	* 三宅 康博	物質構造科学研究所 ミュオン科学研究系・研究主幹
	* 小林 幸則	加速器研究施設 加速器第六研究系・研究主幹
	古川 和朗	加速器研究施設 加速器第五研究系・研究主幹
	船守 展正	物質構造科学研究所 放射光実験施設・施設長
	清水 伸隆	物質構造科学研究所 放射光実験施設・教授
	熊井 玲児	物質構造科学研究所 放射光科学第一研究系・教授
	木村 正雄	物質構造科学研究所 放射光科学第二研究系・教授
	兵藤 一行	物質構造科学研究所 放射光実験施設・准教授

任期：2019年4月1日～2021年3月31日 \* 役職指定

## 放射光共同利用実験審査委員会委員名簿（分科会別）

<b>1. 電子物性</b>	※奥田 太一	小田切 丈	坂本 一之	吉田 鉄平	吉信 淳	雨宮 健太
<b>2. 構造物性</b>	※池田 直	岩佐 和晃	鍵 裕之	河野 正規	中野 智志	熊井 玲児
<b>3. 化学・材料</b>	※田淵 雅夫	一國 伸之	穴戸 哲也	高橋 嘉夫	山添 誠司	木村 正雄
<b>4. 生命科学Ⅰ</b>	※清水 敏之	海野 昌喜	橋本 博	伏信 進矢	山口 宏	千田 俊哉
<b>5. 生命科学Ⅱ</b>	※八木 直人	安藤 慎治	上久保裕生	矢代 航	山本 勝宏	清水 伸隆

※分科会責任者

## 施設留保 (R) ビームタイム採択課題一覧 (2018 年度)

課題番号	申請者	所属	カテゴリー	課題名	希望ステーション	希望ビームタイム (h)	実施ビームタイム (h)
2018R-01	兵藤一行	KEK-PF	e	CUPAL 講習会 (X線イメージング) 14C	14C	72	96
2018R-02	杉山 弘	KEK-PF	e	CUPAL 講習会 (X線イメージング) 20B	20B	168	168
2018R-03	許斐太郎	KEK 加速器	e,g	高性能超伝導空洞製作を目指した Nb の表面状態の観測	8B	24	24
2018R-04	兵藤一行	KEK-PF	b,e	大型 X 線干渉計イメージングに関する試料調整・固定方法に関する検討	14C	72	72
2018R-05	足立純一	KEK-PF	b	難揮発液体分子に対するリフレクトロン型 TOF 分析装置の適用試験	20A	134	134
2018R-06	宇佐美徳子	KEK-PF	b	エネルギー可変マイクロビーム装置の立ち上げおよびテスト実験	27B	96	96
2018R-07	岸本俊二	KEK-PF	e	サブミリ SiPM アレイを用いたフォトンカウンティング X 線イメージング	14A	24	24
2018R-08	清水伸隆	KEK-PF	e	タンパク質 X 線溶液散乱講習会でのトライアルユース	6A	24	24
2018R-09	足立純一	KEK-PF	b,e	難揮発液体分子に対する光電子スペクトルの試験測定	20A	48	48
2018R-10	北島昌史	東京工業大学	f	放射光科学実習 (2018 年度)	20A	144	144
2018R-11	尾関雅弘	東京大学 (特別共同利用研究員)	e,f	Nanotech CUPAL 上級コース 膜タンパク質のデータ測定に関する実習	17A	8	8
2018R-12	野澤俊介	KEK-PF	e,f	Nanotech CUPAL 上級コース 動的構造解析に関する実習	NW14A	24	24
2018R-13	佐賀山基	KEK-PF	e,f,g	強磁性パイエルス絶縁体 $\text{KMg}_4\text{Mn}_6\text{O}_{15}$ における格子歪みの観測	8A	48	48
2018R-14	阿部 仁	KEK-PF	f	茨城大学 XAFS ビームライン実習	9C	12	12
2018R-15	兵藤一行	KEK-PF	b,g	大型 X 線干渉計を用いた位相イメージングにおける試料固定方法に関する検討	14C	24	24
2018R-16	柏木隆成	筑波大学	e	高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の結晶評価	4C	48	48
2018R-17	君島堅一	KEK-PF	e	ナノテック CUPAL 第 8 回入門コース (XAFS) / XAFS 講習会	9A	12	12
					9C	12	12
2018R-18	君島堅一	KEK-PF	e	XAFS 講習会	12C	12	12
2018R-19	足立純一	KEK-PF	b,g	難揮発液体分子に対する光電子スペクトルの試験測定 2	20A	48	48
2018R-20	兵藤一行	KEK-PF	b,g	位相コントラストイメージング (DEI) での試料環境に関する基礎的検討	14C	24	24

## 施設留保 (RP) ビームタイム採択課題一覧 (2018年度)

課題番号	申請者	所属	カテゴリー	課題名	希望 ステーション	希望 ビームタイム (h)	実施 ビームタイム (h)
2018RP-01	松垣直宏	KEK-PF	b	BINDS 事業におけるビームライン技術開発	1A	250.5	250.5
					5A	39.0	39.0
					NW12A	7.5	7.5
2018RP-04	玉田太郎	量研機構	g	BINDS0459/ ミトコンドリアの形態調節をつかさどるプロヒビチンの構造解析	NE3A	15.5	15.5
2018RP-06	小林 淳	KEK-PF	g	ヒト型抗体酵素のX線結晶構造解析	17A	7.5	7.5
2018RP-07	清水伸隆	KEK-PF	g	テロクロマチンタンパク質の SAXS による構造解析	10C	24.0	24.0
2018RP-08	藤本 瑞	農研機構	g	イネ PDI の多量化機構の解明	10C	12.0	12.0
2018RP-09	千田美紀	KEK-PF	g	ピロリ菌発がん因子 CagA とヒトタンパク質との複合体の構造解析と創薬への展開	1A	15.5	15.5
2018RP-11	杉島正一	久留米大学	g	シトクロム P450BM-3 のX線溶液散乱測定	10C	24.0	24.0
2018RP-17	原田彩佳	KEK-PF	g	Pin1 阻害剤の探索	NW12A	23.0	23.0
2018RP-20	近藤次郎	上智大学	g	新しいタイプの核酸医薬品の開発を目的としたX線結晶解析	5A	15.5	15.5
2018RP-21	鎌田祥太郎	昭和薬科大	g	PPAR 受容体結晶構造解析	17A	30.5	30.5
2018RP-22	徐 玉群	東京大院農学生命科学	g	ニトロフェノール分解酵素の構造解析	5A	7.5	7.5
					17A	7.5	7.5
					NE3A	7.5	7.5
2018RP-23	小祝孝太郎	KEK-PF	g	昆虫ステロイドホルモン生合成調節因子 Noppera-bo のX線結晶構造解析	17A	15.5	15.5
					NW12A	15.5	15.5
					5A	7.5	7.5
2018RP-24	海野昌喜	茨城大学	g	シトルリン化 S100A3 タンパク質四量体構造変換機構の解明	10C	24.0	24.0
2018RP-25	矢嶋俊介	東京農業大	g	beta-glucosidase を用いた融合蛋白質の構造解析	5A	7.5	7.5
2018RP-26	長門石 曉	東京大学	g	細胞接着タンパク質 LI-cadherin のホモ二量体形成に関する SEC-SAXS 解析	10C	24.0	24.0
2018RP-27	藤橋雅宏	京都大学	g	テルペン合成酵素におけるリン酸基結合位置の解析	1A	7.5	7.5
2018RP-28	藤城貴史	埼玉大学	g	鉄硫黄クラスター生合成系 PLP 酵素選択的阻害剤の探索と構造に基づくドラッグデザイン	NW12A	23.5	23.5
2018RP-29	矢嶋俊介	東京農業大学	g	アミノグリコシド抗生物質リン酸化酵素の構造解析	NW12A	7.5	7.5
2018RP-30	志波智生	京都工芸繊維大学	g	放線菌のメチオニン脱炭酸酵素の構造解析	1A	14.5	14.5
2018RP-31	安武義晃	産総研	g	改変 HIV 逆転写酵素薬剤複合体の単結晶 X線回折データ収集	1A	15.5	15.5
2018RP-32	千田美紀	KEK-PF	g	リグニン生合成経路の改変を狙ったコニフェリルアルデヒド二重結合還元酵素の蛋白質工学的改変	5A	7.5	7.5
2018RP-33	宮原郁子	大阪市立大	g	特異的糖鎖遊離酵素の構造解析	10C	12.0	12.0



2018RP-34	大戸梅治	東京大学	g	免疫受容体の結晶および溶液構造解析	5A	15.5	15.5
2018RP-35	田辺幹雄	KEK-PF	g	mRNA 代謝・翻訳調節メカニズムの構造生物学的解明	1A	7.5	7.5
2018RP-36	喜多俊介	北海道大学	g	ケミカルライブラリー北大拠点の創薬ターゲット蛋白質群の構造解析	1A	7.5	7.5
2018RP-37	藤城貴史	埼玉大学	g	X線小角散乱による鉄硫黄クラスター生合成酵素複合体の構造解析	10C	24.0	24.0
2018RP-38	水口千穂	東京大学	g	細菌の核様体形成に重要な H-NS ファミリータンパク質の X 線溶液散乱解析 (BINDS1561)	10C	24.0	24.0
2018RP-39	田中秀明	大阪大学	g	緑藻由来の FEA1 の S-SAD による構造解析	1A	7.5	7.5
2018RP-40	加藤悦子	農研機構	g	ウイルス複製タンパク質の動的構造解明	10C	24.0	24.0
2018RP-41	藤間祥子	奈良先端科学技術大学院大学	g	BINDS1587/ 核内受容体と核内輸送受容体複合体の高分解能結晶構造解析	5A	23.5	23.5
					17A	23.0	23.0
					1A	7.5	7.5
2018RP-42	柴田直樹	兵庫県立大	g	新規抗癌剤の開発を指向した癌細胞増殖を亢進する DKK1 受容体に関する構造生物学	1A	15.5	15.5
2018RP-43	染谷友美	理研	g	ウイルス粒子構成タンパク質と抗体との複合体結晶構造解析	1A	7.5	7.5
2018RP-44	永田宏次	東京大学	g	病原菌の増殖抑制を目的とした鉄結合タンパク質の結晶構造解析	5A	15.5	15.5

- a) マシン, ビームラインの故障等に対するビームタイムの補填。
- b) ビームライン・実験装置の性能向上をスピーディにする。
- c) 早期に成果を創出するために, やり残した実験を実施する。
- d) U 型課題の受付をし, 重要な研究の計画から成果公表までの時間を短縮する。「既配分課題を排除する程の重要性」ではなくても緊急かつ重要な U 型研究課題を実施する U 型申請, 審査は従来通り行うが, 留保枠, 未配分 BT 内で実施すべきものはレフェリーの意見を参考に PF-PAC 委員長が判断する。
- e) 講習会, 実習等や有望な新規ユーザーを開拓する。  
※利用経験者による新しい研究提案は U 型課題として処理する。
- f) 教育用ビームタイムの時間確保。
- g) 施設, ビームラインの運営に対する柔軟性を増し, 一層の成果拡大に対して工夫する自由度を作る。外国の放射光施設職員等の来所時にテスト実験を行う等運用上の柔軟性を確保する。

## 内部スタッフ・大学院生優先ビームタイム採択課題一覧（2018年度）

課題番号	申請者	所属	課題名	希望 ステーション	希望 ビームタイム (h)	配分 ビームタイム (h)
2018PF-01	亀沢知夏	総研大	位相コントラストイメージングを用いたエラストグラフィに関する基礎的検討その1	14C	120	120
2018PF-02	岸本俊二	KEK	リーチスルー型 Si-APD ピクセルの低エネルギー X 線特性評価	14A	72	72
2018PF-03	望月出海	KEK	全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) による光照射 Anatase 型 TiO <sub>2</sub> (101) 表面の構造解析	SPF-A3	96	96
2018PF-04	中尾裕則	KEK	銅酸化物超伝導体における共鳴軟 X 線散乱による CDW 相の観測の試み	16A	72	30
2018PF-05	君島堅一	KEK	高温 in situ XAFS 測定による溶融塩中における金属の局所構造測定	12C	36	36
2018PF-06	船守展正	KEK	小角専用ビームラインと高圧ビームラインにおける小角 X 線散乱測定と比較	10C	24	24
2018PF-07	清水伸隆	KEK	SAXS-CT 計測とデータ同化の融合による測定解析法開発	15A2	48	24
2018PF-08	原野貴幸	総研大	炭素材料及び鉄鋼材料中の C の化学状態イメージング	13A/B	24	24
2018PF-09	熊井玲児	KEK	蛍光 X 線をもちいた絵画の元素分析	BL-8A	24	48
2018PF-11	中野智志	KEK	タンゲステン複酸化物のポストペロブスカイト相の探索	18C	48	48
2018PF-12	亀卦川卓美	KEK	超硬材料開発に向けた遷移金属窒化物の高温高圧相境界の決定	NE5C	288	192
2018PF-13	富田翔伍	KEK	テンダー X 線を用いた時分割 GISAXS 法によるポリブチレンテレフタレート膜の溶融結晶化キネティクスの深さ分解解析	15A2	24	48
2018PF-14	中尾裕則	KEK	トポロジカル反強磁性体における強磁気八極子の検出の試み	16A	96	48
2018PF-15	高木秀彰	KEK	小角 X 線散乱法を用いた乳製品の構造解析	10C	24	12
2018PF-16	三木宏美	総研大	放射光 X 線イメージング法を用いたラットの顎骨下顎頭の評価に関する予備実験	14C	72	24
2018PF-17	荒木啓史	特別共同 利用研究 員	マルチピンホール蛍光 X 線 CT の ex vivo 撮像実現可能性の検討	NE7A	144	96
2018PF-18	米澤健人	KEK	滴定 X 線溶液散乱測定装置を用いた多分散系試料の測定・解析法の開発	10C	48	12
2018PF-19	熊井玲児	KEK	高性能超伝導空洞製作のための窒素インフュージョンニオブの構造評価	7C	24	24
				8A/B	24	24
2018PF-20	宮澤徹也	総研大	非蒸発ゲッター薄膜の排気、活性化メカニズムの解明	13B	64	32
2018PF-22	岸本俊二	KEK	リーチスルー型 Si-APD 出力応答の TCAD シミュレーション比較用データの取得	14A	24	24
2018PF-23	高木秀彰	KEK	小角 X 線散乱法を用いたヨーグルト及びチーズの構造解析	10C	24	24
2018PF-24	清水伸隆	KEK	SAXS-CT 計測とデータ同化の融合による測定解析法開発	15A2	24	24

2018PF-25	君島堅一	KEK	In situ XAFS-XRD 測定による不純物添加ガラス中の微量金属の局所構造測定	12C	24	24
2018PF-26	米澤健人	KEK	滴定 X 線溶液散乱測定装置を用いた多分散系試料の測定・解析法の開発	10C	48	48
2018PF-27	中野智志	NIMS	立方晶ジルコニアの圧力誘起構造変化	18C	48	48
2018PF-28	岡部博孝	KEK	強磁性パイエルス絶縁体 $\text{KMg}_4\text{Mn}_6\text{O}_{15}$ における格子歪みの観測	4C, 8A/ B	96	24
2018PF-29	三木宏美	総研大	放射光 X 線イメージング法による生体試料を用いた関節軟骨の評価に関する予備実験	14C	72	72
2018PF-30	雨宮健太	KEK	蛍光選別深さ分解 XAFS 法を用いたプラズマプロセス中の表面の観察	16A	96	48
2018PF-31	中尾裕則	KEK	トポロジカル反強磁性体における強磁気八極子秩序の普遍性検証	16A	48	24
2018PF-33	本田孝志	KEK	水素化ホウ素リチウム / ナトリウムにおけるイオン伝導過程の観測	8B/8A	24	24

物構研職員および物構研に籍を置く大学院生及びユーザーグループ（または大学等）運営ステーションのワーキンググループメンバーは、次に掲げる項目の実験を行うために、下記手続きを経て優先的にビームタイムを使用できる。

- (1) 新しい実験手法のテスト（装置開発など）
- (2) 試料のテスト（興味深い試料の予備実験など）
- (3) 大学院生の研究指導
- (4) 新しい研究の予備実験

<補足>

- 予備的段階が終了して、本格的に研究を行う場合は物構研職員等も PAC に課題申請する。  
ポスドク、総研大生についても可能な限り速やかに、受入教員またはポスドク本人が共同利用課題申請を行うこと。
- 1 ステーションあたり、優先ビームタイムの配分は年間運転の 20% 程度までとする。

# 平成 30 年度第 3 期配分結果一覽

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		2/12	2/13	2/14	2/15	2/16	2/17
1A		TM	TM	TM	E	E	E
2A/2B					調整	18S2-004 組頭 広志	
3A					17G703 犬飼 潤治		
3B					17G017 枝元 一之		
3C					18G008 高橋 由美子		
4A					調整	17G692 松浦 晃洋	
4B2					17G608 植草 秀裕		
4C					17G101 清水 重一		
5A					調整	18S 17G097 大 18RP-41 藤岡 祥	
6A					調整	18G819 17G683 18G086 渡辺 賢	
6C					18G683 坂井 伸行	18G598 福田	
7A					16S2-005 藤森 淳		
7C					18G066 鈴木 勇士		
8A					17S2-001 熊井 玲児		
8B					18V008	17G528 小林 厚志	
9A					調整	18G548 櫻井 英博	
9C					調整	18G010 Li Yingjie	
10A					18G028 吉朝 朗		
10C					調整	18PF-26 藤原 健 17G653 藤井 崇仁	
11A					17G173 奥平 幸司		
11B					18G671 田端 千哉		
11D							
12C					調整	18V003 18G673 駒場 慎一	
13A/13B					17G575 小森 文夫	18V007	
14A					18G053 岸本 俊二		
14B					17G087 橋 勝		
14C					調整	17G688 高桑 徹也	
15A1					調整	調整	17G1
15A2							
16A					18PF-31 中尾 裕則	16S2-005 藤森 淳	
17A					調整		
18B					調整	立上実験	
18C					18G088 石井 陽祐	17G077 岡田	
19A/19B					立上調整		
20A					18P013 植野 竜一	18G061 種坂 綱一	
20B							
27A					調整	18G097 富田 雅典	
27B					17G066 藤本 勇磨	17G049 永井 崇之	
28A/28B					17G586 齋藤 智彦	18G115 横谷	
NE1A		STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF					18G513 枝元 一之		

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23	2/24
1A	E	E	B	E	E	E	E
2A/2B	調整	17G 17G5 18RP-16 鈴木 花子 18Y004 18Y009 18RP-01 松尾 直美 18C202 18G9 17G 17G 調整					18RP-12 号
3A							
3B							
3C							
4A							
4B2							
4C							
5A	調整	18C202 17G 18Y09 17G 18L 18 18G 17G 17G 全自動測定				18G 17G 調整	18G551 HEON Na
6A							
6C							
7A							
7C							
8A							
8B							
9A							
9C							
10A							
10C							
11A							
11B							
11D							
12C							
13A/13B							
14A							
14B							
14C							
15A1							
15A2							
16A							
17A							
18B							
18C							
19A/19B							
20A							
20B							
27A							
27B							
28A/28B							
NE1A		STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF							

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	2/25	2/26	2/27	2/28	3/1	3/2	3/3
	E	E	B	M	E	E	E
1A	18G 18G 18G1 18Y0 17	18G 18RP-35			18Y004 17G5		18G 17G647
2A/2B	18G114 小林 正樹	18C210 18V002	18C210 18V002		18G093 石坂 善子	18G653 相馬 清吾	
3A	17G632 中村 智樹				18G039 松村 武		
3B	17G017 枝元 一之						
3C	17G098 平野 馨一				18G641 渡辺 紀生		
4A	17G692 松原 剛	18G575 高橋 嘉夫			18G575 高橋 嘉夫		
4B2	18G080 西村 龍宮功	18G094 龍宮 功			18G094 龍宮 功		
4C	18PF-28 藤原 雅也	18G571 中島 正道			18G571 中島 正道	17G643 中島 正道	18G533 若林
5A	18Y 17 17G	18Y001			18C202 18G 17 17 調整	18G 18RP-17	
6A	17G555 藤原 大樹	18R-09 17G094	18G092 上野 聡		18G626 上野 聡	17G182 上野 聡	17G546 高木 勇樹
6C	18G058 林 好一	18G592 山口 博子			17G705 手塚 泰久	17G657 藤原 大樹	
7A	17G558 宮永 隆	18G604 坂井 延寿	17G060		17G069	17G125 久保田 正人	17G069
7C	17S2-001 熊井 玲児				17S2-001 熊井 玲児		
8A	18G561 成澤 雅英	17G630 橋本 亮			17G175 佐賀山 基		
8B	17S2-001 熊井 玲児				17G003 佐藤 博正	18V008	
9A	調整	18L009 18G089	18C204 17G046		18G089	18G594 池本 弘之	
9C	18G667 藤原 俊介	17G534 柳次 智			18Y012	17G093 17G685	
10A	17G504 吉朝 朝				17G504 吉朝 朝		
10C	18G564 奥見 史郎	18G147 JUNG Y	18RP-40 加藤 健		調整	18RP-37 藤原 貴史	17G146 有田 幸司
11A	18G3				18P013	18G540 伊藤 敏	
11B	17G553 中尾 裕則				17G041 堀内 拓大		
11D	18G552 伊藤 雅英				18Y003	16S2-005 藤森 瑛	
12C	17G06 18G510	18S2-002 佐藤 文葉			18S2-005 小澤 健一	17G569 石渡	
13A/13B	18S2-005 小	17G558 藤原 雅也	17G700 中山 直生		17G019 木村 宏之		
14A	17G170 坂倉 輝俊				18G081 山口 博隆		
14B	18G501 橋 永昭	18G081 山口 博隆			18G581 松下 昌之助		
14C	調整	18G504 KIM Jong	17G697 安藤 正典		18G575 高橋 嘉夫	17G587 中島 伸夫	
15A1	18G089 高橋	18C204	17G603 岡部 仁				
15A2							
16A	17G645 兩宮	18P011 東倉 雅	17G529 吉田 真明		18G561 成澤 雅英	18S2-004 組頭 広志	
17A	17G 17G 調整	17G 18G	17G082 藤原 大樹		全自動測定	17G655 CHA Su	18G 18RP-28
18B	18-IB-26				運営		
18C	18G569 門林 俊介	18G682 LEE Yongjae			18G635 川村 幸裕	17G532 川村	
19A/19B	立上調整				立上調整		
20A	18G061 種坂 綱一				18G061 種坂 綱一		
20B	18G547 小泉 調整				18G536 秋本 晃一		
27A	18G518 園名	18G065 本田 充記			17G507 高橋 裕史	17G545 坂 史郎	
27B	調整	18G684 大原 麻希			17G520 岩瀬 彰宏		
28A/28B	18S2-001 佐藤 宇史				18S2-001 佐藤 宇史		
NE1A	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF	17G519 高山 あかり	調整					17G639

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10
	E	E	B	E	E	E	E
1A	17G 18G120 村 18G		18Y0 17	18RP-01 松尾 直	18Y005 17G0		18G 17G141 小
2A/2B	18S2-004 組頭 広志	18G009 18G149	18C210 18G149	18C210 18G149	18G149 18C209	18G149 18C209	18G149
3A	18G671 田端 千藍				18G142 道村 真司		
3B	17G585 中辻 寛						
3C	18G641 渡辺 紀生			16S2-003 早稲田 篤			
4A	18G558 三河内 岳	18G540 伊藤 敏	18G545 光延 聖		18G044 石橋 秀巳		
4B2	18G094 龍宮 功	17G168 八島 正知			18G543 藤井 孝太郎		
4C	18G533 若林 裕助	17G576 岩佐 和晃	17G553 中尾 裕則				
5A	18Y 17 17G	17G 17 17G	18S2-002 藤原 大樹	18G051 17G	18G010 18G	17G 18G014 林	18G 18G046 藤
6A	18G019 18G139	17G556 岩佐 和晃	17G100 寺島 健	17G582 佐藤 直史	17G588 調整	17G129 小嶋 智博	18G099 18G057
6C	18G556 細川 伸也	17G669 細川 伸也	18G660 白方 祥		18G091 八方 直久		
7A	17G069	18G124 朝倉 大輔	18C204	18G124 朝倉 大輔	17G529 吉田 真明	17G030 境 誠司	
7C	17G579 藤原 俊介	17G037 稲田 康宏	17G191 杉山 和正		18G145 川又 遼		
8A	17S2-001 熊井 玲児	18G622 奥山 大輔	18PF-33 本田 幸司	17G576 岩佐 和晃			
8B	17S2-001 熊井 玲児	17G635 花咲 徳亮	17G175 佐賀山 基	18G680 西村 真一			
9A	18G589 吉田 真明	調整	17G050 18R-17	17G603	17G153 富安 啓輔		
9C	18C204	17G029 原田 雅史	17G190 BAL-Rain	18R-17		18G076 大久保 貴広	
10A	17G504 吉朝	18G045 宮脇 律郎					
10C	17G652 奥見 史郎	18RP-24 海野 昌史	18G130 今村 比呂	18G680 井上 倫太	18G106 山本 勝康	18G099 山本 勝康	17G526 藤原 貴史
11A							
11B	18G540 伊藤 敏				18G631 加藤 貴宏		
11D	17G041 堀内 拓大						
12C	16S2-004 山崎 博	17G517 稲田 康宏		18R-18 18G623	18G630 17G533	18G042 本倉 博	
13A/13B	17G569 石渡	18G104 藤井 一也	17G569 石渡 洋一		18G597 細川 伸也		
14A	17G019 木村 宏之		18G054 岸本 俊二				
14B	18G669 砂口 尚輝		17G697 安藤 正海				
14C	17G073 百生 敬		調整		18G560 山本 明男	18C210	
15A1	17G587 中島 伸夫						
15A2		調整	18Y016 18P010	18RP-07 清水 伸樹	18G562 真塚 浩		
16A	17G553 中尾 裕則	17G060 調整	18S2-003 足立 統一	18PF-30 兩宮 健太			
17A	17G 17G	18Y001	18Y 17	18C202 17G 17G	18G040 林	18RP-41 藤原 大樹	
18B	運営	運営	18-IB-16				
18C	17G532 川村	17G133 武田 圭生	18PF-27 中野 智志	17G644 藤 裕之			
19A/19B	立上調整						
20A	18G128 小田切 文	18G128 小田切 文					
20B	18G536 秋本	17G626 水野 薫					
27A	17G545 藤	18G073 池浦 広美	17G681 藤井 健太	17G507 高橋 裕史	18G085 関口 智弘		
27B	17G187 SUN ShiKuan	18G518 園名 智樹	18G684 大原 麻希	18G515 今岡 直樹	17G585 藤原 俊介	18G684 大原 麻希	
28A/28B	18G624 坂野 昌人	18S2-001 佐藤 宇史			18G624 坂野 昌人		
NE1A	TM	M	M	M	M	M	M
NE3A	調整						
NE5C	調整						
NE7A	調整						
NW2A	調整						
NW10A	調整						
NW12A	調整						
NW14A	調整						
SPF	17G639 深谷 有喜			17G577 前川 雅樹			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	3/17
1A	STOP	STOP	STOP	TM	HB	HB	HB
2A/2B					18Y004 18G179 17G178 SU 18R 18RP-31		
3A					18S2-003 足立 純一		
3B					18G688 SOKOLOV Nikolai		
3C					17G173 奥平 幸司		
4A					16S2-003 早稲田 篤		
4B2					18G575 高橋 嘉夫		
4C					17G509 三宅 亮		
5A					17G521 星 永宏		
6A					18C202 17G179 17G178 17G685 大 18G 18R 調整		
6C					17G084 丸林 弘典 17G823 SENGUP 17G097 柴田 直人		
7A					18G091 八方 直久 17G568 岩佐 和郎 18C207		
7C					17G030 境 誠司 17G571 遠藤 理		
8A					18G582 岩住 俊明		
8B					17S2-001 熊井 玲児		
9A					17S2-001 熊井 玲児 17G679 巖野 純		
9C					18Y029 18L006 17G688 17G603 岡藤 仁		
10A					18G633 18G567 17G083 17G688 17G005 藤内 直明		
10C					17G137 長瀬 敏郎		
11A					18RP-11 藤島 正一 17G698 平井 光博 18G541 17G698		
11B					18G129 伊藤 敏		
11D					18G012 小池 雅人		
12C					17G660 18G663 角山 寛規 17G123 18G089		
13A/13B					18S2-00 17G173 18S2-00 17G173 18S2-00 17G173		
14A					18G052 岸本 俊二		
14B					18G126 岡田 裕之		
14C					18G041 関根 紀夫		
15A1							
15A2					18PF-23 高木 勇樹 17G038 森田 剛		
16A					18S2-003 足立 純一		
17A					17G179 18R 18RP-35 18G 17G570 豊		
18B					18-IB-30		
18C					17G135 佐藤 友子		
19A/19B					立上調整		
20A					17G511 星野 正光		
20B					17G673 原田 俊太		
27A					18G085 関口 寛弘 18G073 池浦 成典 18G518 藤谷 志郎		
27B					18G065 本田 元紀 18G573 渡部 創		
28A/28B	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE1A							
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF					16S2-006 兵頭 俊夫		

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24
1A	HB	HB	HB	M	HB	HB	HB
2A/2B	18G 17G 17G 17G 17G 18RP-91 調整				17G 17G071 豊 17G 18G 調整 18R 18RP-42		
3A	18S2-003 足立 純一				18G653 相馬 清典 18G089 17G557 18G008 17G557		
3B	18G688 SOKOLOV Nikolai 調整				調整	18G533 若林	
3C	17G173 奥平 幸司				18S2-005 小澤 健一		
4A	16S2-003 早稲田 篤				16S2-003 早稲田 篤		
4B2	18G644 松浦 晃洋				18G644 松浦 晃洋		
4C	17G509 三宅 亮				18G101 上原 敬智		
5A	18G555 佐久間 博				18G555 佐久間 博 17G597 和達 大樹		
6A	18Y 17G 18G 18Y001				金鳥調整	18RP-44 17G 17G053 大	
6C	18G007 17G132 17G589 中野 寛典 17G693 石毛 晃希				18G551 安藤 慎典 17G069 池口 龍雄 17G102 橋本 文也		
7A	18C207				18G103 有馬 寛		
7C	17G571 遠藤 理				17G571 17G560 遠藤 理		
8A	18G582 岩住 俊明 17G706 手塚 泰久				17G706 手塚 泰久		
8B	18S2-002 佐藤 文菜				17S2-001 熊井 玲児		
9A	17S2-001 熊井 玲児 16S2-004 山崎 勇				17G636 神戸 高志 18G572 客野		
9C	18C207				18Y002 18G082 18G600 高草 木達		
10A	18G082 大久保 勇 18G510 林 久史 17G686 岡藤 仁				18G649 泉 雄雄 17G593 奥田 浩司		
10C	17G653 新井 宗仁 17G140 小田 隆 18G588 高木 勇彰				18G118 栗林 貴弘		
11A	18C207				18RP-33 宮原 敏一 18G119 上久保 裕生		
11B					18G553 奥田 浩司		
11D					18G663 角山 寛規		
12C	17G638 羽多野 忠				18G640 渡辺 紀生		
13A/13B	18Y012 18G038 山口 博隆 17G190 BAL Raju				16S2-001 木村 正雄		
14A	18S2-00 17G525 18S2-00 17G525 18S2-00 17G525				18S2-00 18S2-00 18S2-00 18S2-00 18S2-00 18S2-00		
14B	18G054 岸本 俊二				18G053 岸本 俊二 17G542 高田		
14C	18G055 岡本 博之 18G607 平野 隆一				18G607 平野 隆一		
15A1	18T002 亀沢 知夏 18PF-29 三木 貴典				18G666 竹谷 敏		
15A2	18PF-24 清水 伸也 調整 18Y016				調整	18G579 小川 敬輔	
16A	18S2-003 足立 純一				16S2-005 藤崎 淳		
17A	18C202 17G 調整 17G 17G 17G 17G 17G181 L				18Y 17G 17G 17G 18G609 豊 18G527 SONG H		
18B	18-IB-32				18-IB-23	18-IB-3	
18C	17G135 佐藤 友子 17G021 岡藤 洋				17G021 17G096 葛谷 俊博 18G656 藤		
19A/19B	立上調整				立上調整		
20A	17G511 星野 正光				18R-19 足立 純一		
20B	18G081 山口 博隆				18G081 山口 博隆		
27A	18G069 石山 新太郎				17G173 奥平 幸司		
27B	17G081 小藤 博典 18G574 渡部 創 18G518 藤谷 志郎				調整	17G026 鳥田 重佐子	
28A/28B	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE1A							
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF	18G100 石田 明						

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31
	HB	HB	HB	HB	STOP	STOP	STOP
1A	18RP-01 松尾 重子	18L0 17	18RP-34 大戸 俊夫	18C202 18G			
2A/2B	18Y002						
3A	18G533 若林 裕助						
3B	18S2-005 小澤 健一						
3C	16S2-003 早 18G117 山口 博隆						
4A	18G644 松浦 18G593 安光ラヴェル 香保子						
4B2	17G608 植草 秀裕						
4C	17S2-001 熊井 玲児		17G160 町屋 修太郎				
5A	18C202 17G	18S2-002 佐藤 孝	18Y 18Y004	18Y 17 18G			
6A	17G035 調整	18G027 櫻井 伸一	18G136 栗田 真史	18R-08 清水 伸隆			
6C	18G103 有馬 寛						
7A	17G560 遠藤 理		18C207				
7C	18G596 中島 伸夫						
8A	17G150 西川 浩之		17S2-001 熊井 玲児				
8B	18G572 喜野	17G044 宮坂 茂樹	17G671 奥野 正徳	17G027 田尻 泰之			
9A	18G600 高草木 達						
9C	17G119 田山 龍之	18G063 一岡 伸之	17G685 榎垣 龍三	17G686 阿部 仁			
10A	18G118 栗林 貴弘						
10C	調整	18PF-26 奥野 健人	17G124 本多 智				
11A	18G553 奥田 浩司						
11B	17G645 雨宮 健太						
11D	18G640 渡辺 紀生						
12C	18PF-25 奥島 里子	18L007	18G575	18C205			
13A/13B	18S2-0 18G549	18S2-0 18S2-00	17G559 18G549	17G559 18S2-00			
14A	17G542 高田		18C214				
14B	18G607 平野 馨一		18Y030				
14C	18R-20 兵藤 一行	18T002 亀沢 知夏		18PF-29 三木 玄樹			
15A1							
15A2	調整	18C106 山本 勝典	調整	18G553 奥田 浩司	17G709 CORDOV		
16A	18S2-006 山崎 裕一						
17A	18Y 18Y005	調整 18	17G	18Y001			
18B	18-IB-31		18-IB-29				
18C	18G656 渡 裕之						
19A/19B	立上調整						
20A	18G516 北島 昌史						
20B	17G626 水野 薫						
27A							
27B	17G066 清水 芳雄	18G684 大原 康典	17G072 伊藤 敏	17G565 橋本 明雄			
28A/28B	18S2-001 佐藤 宇史						
	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE1A							
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF	17G639 渡谷 有喜						

### 「PF ニュース」からのお知らせ

平成 24 年度からの PF-UA の発足に伴い、PF ニュースはウェブが主体となりましたが、引き続きご愛読を賜り感謝致します。今後も新しい企画記事の連載など誌面の充実につとめ、PF ニュースをより魅力あるものにしていきます。PF ニュースウェブページには、冊子版では白黒となっている図等もオリジナルのカラーのものを掲載しています。ウェブ版もお楽しみ頂ければと思います。

ウェブ掲載時にはメールでお知らせするシステムも運用しています。希望される方は、どうぞ登録下さい。PF ニュースウェブページにフォームを掲載しています（※ KEK の共同利用者支援システムでユーザー登録をされた皆様には、PF メルマガが配信され、そちらにも PF News 発行のお知らせが載りますので、その方はお知らせメールの登録は必要ありません）。

PF ニュース編集委員一同

### 投稿のお願い

#### 【最近の研究から】

PF で行われた実験、研究の成果をお寄せ下さい。

#### 【建設・改造ビームラインを使って】

特にビームラインの改良点、他のビームラインとの比較、要望等を是非お聞かせ下さい。

#### 【ユーザーとスタッフの広場】

PF での実験の成果等が認められ受賞された方、海外放射光施設に滞在、訪問された方、国際会議等に参加された方、修士論文等、どうぞ投稿下さい。また PF に対するご意見等がありましたら是非ご投書下さい。

詳細は事務局または PF ニュース HP をご覧下さい。

### 宛 先

〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
高エネルギー加速器研究機構  
物質構造科学研究所 放射光実験施設内  
PF ニュース編集委員会事務局  
TEL : 029-864-5196 FAX : 029-864-3202  
E-mail : pf-news@pfqst.kek.jp  
URL : <http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/>

### 編集後記

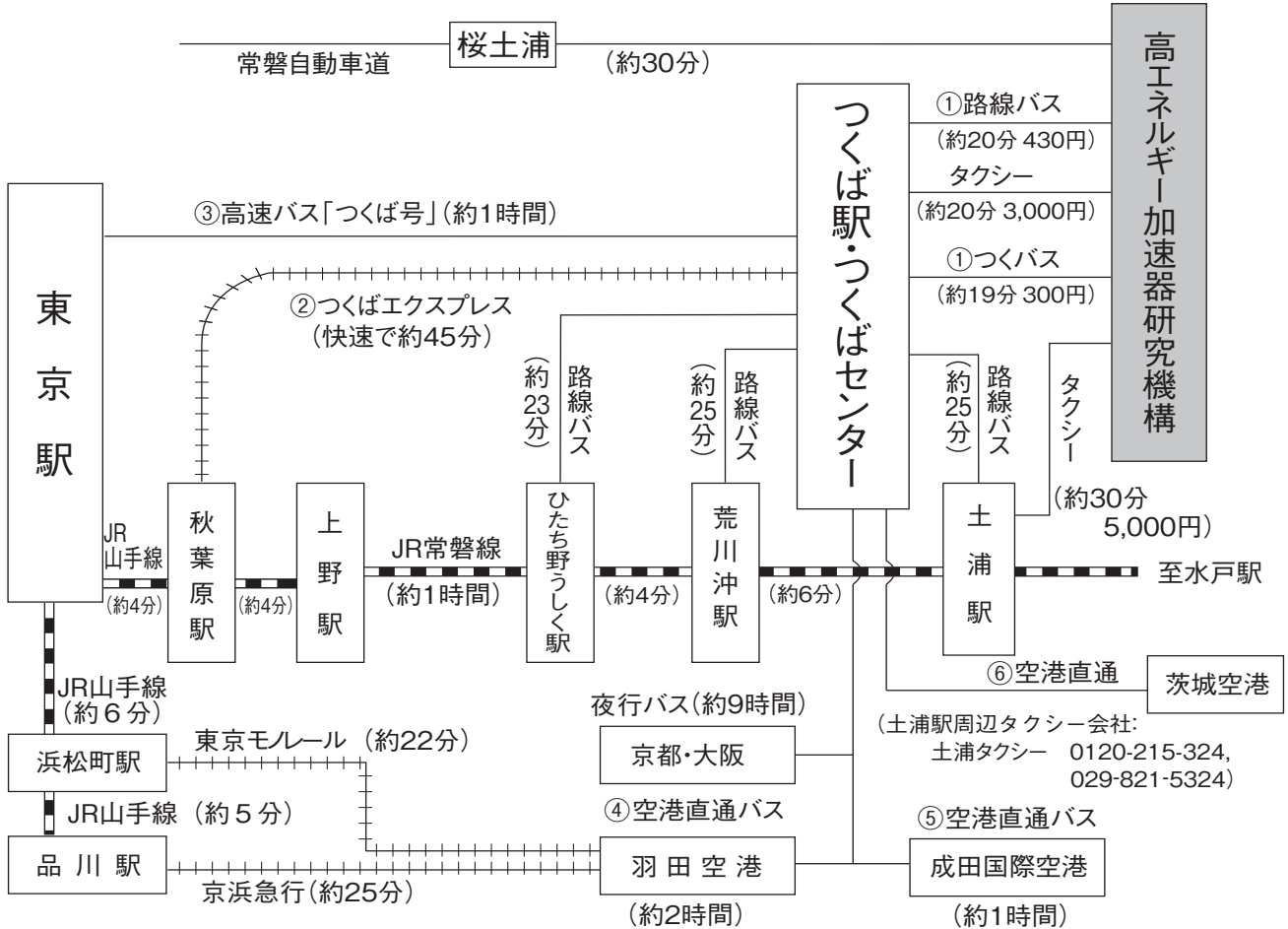
本誌編集委員を拝命し一年が経ちました。毎号、専門性の高い論文から、学生の皆さんのユーモラスな体験記に至るまで多種多様な記事をご紹介できるのも、良質な記事をご寄稿いただいている各位、そして本誌を支えて下さっている読者の皆様のお蔭と存じます。あらためて感謝申し上げます。本号でも昨年大きな話題となった「キログラム」の新しい定義に関連する記事（と個人的には「ねこ先生」の記事）を取り入れ、とても魅力的な内容になっています。ところで皆様は、本誌をどのような形で本誌をご覧になっているでしょうか？ Web 掲載の PDF ファイルでしょうか？ 恥ずかしながら私自身、委員を務めるまで web ページの存在すら気が付かず、PF の休憩室の隅に置かれた冊子を測定の待機時間にパラパラとめくって眺める程度でした。ボスに本誌編集委員会に出席する旨を伝えると、「PF ニュース？ どこで読めるの？」と言われてしまいました。実は、皆さまに配信されている PF メルマガに本誌へのリンクが貼られているのですが、課題申請等に関わる重要な情報に埋もれてしまい、気付きにくかったものと思われま。本誌をより多くのユーザー各位にご覧いただくため、及ばずながら尽力して参ります（まずは発刊情報単独でのメール配信等を次期委員会にて具申いたします）。（RI）

### \* 2019 年度 PF ニュース編集委員 \*

委員長	中尾 裕則	物質構造科学研究所			
副委員長	小松 一生	東京大学理学系研究科			
委員	荒川 孝俊	東京大学大学院農学生命科学研究科			
	石毛 亮平	東京工業大学物質理工学院	宇佐美徳子	物質構造科学研究所	
	加藤 龍一	物質構造科学研究所	坂野 昌人	東京大学大学院工学系研究科	
	島田 美帆	加速器研究施設	杉山 弘	物質構造科学研究所	
	高木 秀彰	物質構造科学研究所	武市 泰男	物質構造科学研究所	
	田中 雅人	東京大学大学院理学研究科	南部 英	(株) 日立製作所基礎研究センタ	
	若林 大佑	物質構造科学研究所	和田 健	量子科学技術研究開発機構	
	和田 敬広	東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科			
事務局	高橋 良美	物質構造科学研究所			



## KEK アクセスマップ・バス時刻表



高エネルギー加速器研究機構

(KEK周辺タクシー会社：大曾根タクシー 0120-000-302, 029-864-0301)

(確認日：2019. 4. 23)

### ① つくばセンター ↔ KEK (2019年4月1日改定)

関東鉄道バス 所要時間 約20分 運賃 440円 (KEK-土浦駅間の料金は780円) つくばセンター乗り場5番

18系統：土浦駅東口→つくばセンター→KEK→つくばテクノパーク大穂 C8系統：つくばセンター→KEK→つくばテクノパーク大穂  
71系統：つくばセンター→(西大通り)→KEK→下妻駅 (筑波大学は経由しません)

つくバス 所要時間 約20分 運賃 300円 つくばセンター乗り場3番

HB/HA (北部シャトル)：つくばセンター→KEK→筑波山口 (筑波大学には停まりません)

下り (×は土曜・休日運休、○は土曜・休日運転)

系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK
HB	7:05	7:25	C8A	× 10:00	× 10:15	71	15:15	15:36	71	19:10	19:31
C8	× 7:20	× 7:35	HB	10:20	10:40	HB	15:20	15:40	HB	19:30	19:50
HB	7:25	7:45	HB	10:50	11:10	HB	15:50	16:10	C8	× 20:05	× 20:20
C8	× 7:50	× 8:05	C8	10:55	11:10	C8	× 16:25	× 16:40	HB	20:10	20:30
HB	7:50	8:10	71	11:00	11:21	HB	16:30	16:50	HB	20:30	20:50
18	○ 8:10	○ 8:32	HB	11:50	12:10	71	16:35	16:56	HB	21:20	21:40
18	× 8:12	× 8:34	HB	12:20	12:40	C8	17:00	17:15	HB	21:50	22:10
HB	8:20	8:40	HB	12:50	13:10	HB	17:10	17:30	HB	22:30	22:50
71	8:50	9:11	C8	○ 13:20	○ 13:35	HB	17:50	18:10			
71	× 9:07	× 9:28	HB	13:20	13:40	71	17:50	18:11			
HB	9:25	9:45	C8	× 14:00	× 14:15	C8	× 17:55	× 18:10			
C8	○ 9:35	○ 9:50	71	14:00	14:21	HB	18:10	18:30			
HB	9:45	10:05	HB	14:10	14:30	C8	× 18:30	× 18:45			
71	× 9:55	× 10:16	HB	14:50	15:10	HB	18:55	19:15			

18系統の土浦駅東口→つくばセンターは20分間です。

上り (×は土曜・休日運休、○は土曜・休日運転)

系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター
HA	6:19	6:55	71	10:18	10:45	HA	14:54	15:30	C8	× 18:45	× 19:15
71	× 6:28	× 6:55	C8	○ 10:25	○ 10:45	71	× 15:28	× 15:55	HA	19:24	20:00
HA	6:39	7:15	C8	× 10:55	× 11:19	HA	15:44	16:20	C8	× 19:30	× 19:50
HA	7:04	7:35	HA	10:59	11:35	71	○ 15:58	○ 16:25	HA	19:44	20:20
HA	7:04	7:40	HA	11:29	12:05	HA	16:24	17:00	HA	20:34	21:10
71	○ 7:28	○ 7:55	C8	11:50	12:10	HA	16:54	17:30	18	× 20:50	× 21:10
71	× 7:28	× 8:00	HA	11:59	12:35	71	16:58	17:25	HA	21:04	21:40
HA	7:34	8:10	HA	12:24	13:00	C8	× 17:20	× 17:45	HA	21:44	22:20
HA	8:39	9:15	71	13:23	13:50	HA	17:24	18:00			
C8	× 8:50	× 9:14	HA	13:24	14:00	C8	× 17:50	× 18:15			
HA	8:59	9:35	HA	13:54	14:30	18	○ 17:55	○ 18:15			
C8	○ 9:05	○ 9:25	C8	○ 14:20	○ 14:40	71	× 17:58	× 18:30			
C8	× 9:25	× 9:49	HA	14:24	15:00	HA	18:09	18:45			
HA	9:24	10:10	71	14:28	14:55	71	○ 18:28	○ 18:55			
HA	10:04	10:40	C8	× 14:50	× 15:10	HA	18:44	19:20			

18系統のつくばセンター→土浦駅東口は22分間です。

## ②つくばエクスプレス

(2018年3月17日改定)

所要時間 つくば駅-秋葉原駅(快速)約45分 [1,190円]

普通回数券(11枚綴り), 昼間時回数券(12枚綴り), 土・休日回数券(14枚綴り)あり

詳細はホームページ <http://www.mir.co.jp/> をご参照下さい。

平日・下り					
秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着
* 5:08	6:06	10:13	11:06	19:20	20:13
* 5:30	6:28	○ 10:30	11:15	△ 19:30	20:20
○ 5:50	6:35	10:43	11:36	19:40	20:35
6:06	6:59	(10時~15時まで同じ)		19:50	20:43
6:17	7:12	○ 16:00	16:45	○ 20:00	20:46
○ 6:28	7:15	16:13	17:06	20:10	21:04
* 6:31	7:30	○ 16:30	17:15	20:20	21:14
6:43	7:38	16:42	17:35	○ 20:30	21:17
○ 6:57	7:42	○ 17:00	17:45	20:40	21:34
7:11	8:04	17:10	18:04	20:50	21:44
○ 7:25	8:12	17:20	18:13	○ 21:00	21:46
7:39	8:34	△ 17:30	18:20	21:15	22:09
7:52	8:48	17:40	18:35	21:29	22:22
8:03	9:01	17:50	18:44	21:41	22:36
○ 8:19	9:05	△ 18:00	18:50	○ 22:00	22:45
8:33	9:29	18:10	19:05	22:16	23:09
○ 8:48	9:35	18:20	19:14	22:30	23:23
9:00	9:54	△ 18:30	19:20	22:45	23:38
9:13	10:07	18:40	19:35	○ 23:00	23:46
○ 9:30	10:15	18:50	19:44	23:15	0:09
9:43	10:36	△ 19:00	19:51	23:30	0:23
○ 10:00	10:45	19:10	20:05	* 23:45	0:43

平日・上り							
つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着
5:08	5:59	○ 9:23	10:08	18:41	19:34	* 23:14	0:12
○ 5:26	6:11	9:28	10:23	○ 19:00	19:45		
5:32	6:25	9:51	10:44	19:02	19:55		
5:52	6:45	○ 10:11	10:56	19:11	20:04		
6:12	7:06	10:20	11:13	○ 19:30	20:16		
6:23	7:18	○ 10:41	11:26	19:32	20:25		
△ 6:38	7:28	10:50	11:43	19:41	20:35		
6:42	7:37	(10時~15時まで同じ)		○ 20:01	20:46		
6:53	7:48	○ 16:11	16:56	20:04	20:57		
7:04	8:00	16:20	17:13	○ 20:30	21:15		
7:12	8:08	16:31	17:26	20:38	21:31		
△ 7:24	8:16	16:41	17:35	20:50	21:43		
7:27	8:24	16:50	17:43	○ 21:09	21:54		
7:36	8:32	17:02	17:55	21:12	22:06		
7:43	8:38	17:11	18:04	21:26	22:19		
△ 7:53	8:44	17:22	18:15	21:40	22:33		
7:57	8:52	○ 17:42	18:27	21:52	22:45		
8:09	9:02	17:50	18:43	22:02	22:55		
△ 8:19	9:09	18:02	18:56	22:17	23:10		
8:27	9:23	18:10	19:04	22:29	23:22		
8:42	9:37	○ 18:29	19:15	* 22:42	23:40		
8:57	9:51	18:31	19:26	22:58	23:51		

土曜/休日・下り					
秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着
* 5:08	6:06	9:43	10:36	○ 22:00	22:45
* 5:30	6:28	○ 10:00	10:45	22:15	23:08
○ 5:50	6:35	10:13	11:06	22:30	23:23
6:04	6:57	○ 10:30	11:15	22:45	23:38
6:16	7:09	10:43	11:36	○ 23:00	23:46
○ 6:30	7:15	○ 11:00	11:45	23:15	0:08
6:45	7:38	11:13	12:06	23:30	0:24
○ 7:00	7:45	○ 11:30	12:15	* 23:45	0:43
7:15	8:08	11:43	12:36		
○ 7:30	8:15	(11時~19時まで同じ)			
7:45	8:38	○ 20:00	20:45		
○ 8:00	8:45	20:13	21:06		
8:15	9:08	○ 20:30	21:15		
○ 8:30	9:15	20:43	21:37		
8:45	9:38	○ 21:00	21:45		
○ 9:00	9:45	21:13	22:06		
9:13	10:06	○ 21:30	22:15		
○ 9:30	10:15	21:43	22:36		

土曜/休日・上り							
つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着
5:06	5:59	○ 7:45	8:30	10:20	11:13	○ 22:10	22:55
○ 5:26	6:11	7:50	8:43	○ 10:41	11:26	22:15	23:09
5:32	6:25	8:04	8:57	10:50	11:43	22:30	23:24
5:51	6:44	○ 8:25	9:10	○ 11:11	11:56	* 22:41	23:39
6:13	7:07	8:32	9:25	11:20	12:13	22:58	23:52
6:25	7:18	8:47	9:40	○ 11:41	12:26	* 23:14	0:12
6:38	7:32	○ 9:11	9:56	11:50	12:43		
○ 6:57	7:42	9:18	10:11	(11時~20時まで同じ)			
7:02	7:56	○ 9:41	10:26	○ 21:11	21:56		
○ 7:24	8:09	9:50	10:43	21:20	22:13		
7:28	8:21	○ 10:11	10:56	21:46	22:39		

○: 快速

△: 通勤快速(研究学園駅にも停まります。)

無印: 区間快速 \* : 普通

### ③ 高速バス

#### 高速バス発車時刻表 [つくば号]

(2018年12月1日現在)

運賃 東京駅←つくばセンター (←筑波大学) : 1180円 (交通系電子マネー利用で下りは1130円, 上りは950円※)  
 ※~2020年3月31日のキャンペーン期間は800円  
 @ミッドナイトつくば号 東京駅→筑波大学 : 2200円  
 所要時間 東京→つくば65分~70分  
 つくば→上野90分 (平日) つくば→東京110分 (平日)  
 つくば→東京80分 (日祝日)

○ 6:50U	○ × 9:30U	○ × 14:30U	○ × 18:40U	× 21:30U
× 7:00U	○ × 10:00U	○ × 15:00U	○ × 19:00U	○ 21:40U
○ 7:20	○ × 10:30U	○ × 15:30U	○ 19:20U	○ × 22:00U
× 7:30U	○ × 11:00U	○ × 16:00U	× 19:30U	○ 22:20U
○ 7:40	○ × 11:30U	○ × 16:30U	○ 19:40	× 22:30U
○ × 8:00U	○ × 12:00U	○ × 17:00U	○ × 20:00U	○ 22:40U
○ 8:20U	○ × 12:30U	○ × 17:20U	○ × 20:20U	○ × 23:00U
× 8:30U	○ × 13:00U	○ × 17:40U	○ × 20:40U	○ 23:50U@
○ 8:40U	○ × 13:30U	○ × 18:00U	○ × 21:00U	× 24:00U@
○ × 9:00U	○ × 14:00U	○ × 18:20U	○ 21:20U	○ 24:10U@
			○ × 24:30U@	

○ 5:00U	× 8:40U	○ × 11:30U	○ 16:20U	○ 19:20U
○ × 5:30U	○ × 9:00U	○ × 12:00U	× 16:30U	× 19:30U
○ × 6:00U	○ 9:20	○ × 12:30U	○ 16:40	○ 19:40U
○ × 6:30U	× 9:20U	○ × 13:00U	○ × 17:00U	○ × 20:00U
○ × 7:00U	○ 9:40	○ × 13:30U	○ 17:20U	○ 20:20U
× 7:20U	× 9:40U	○ × 14:00U	× 17:30U	× 20:30U
○ 7:30U	○ × 10:00U	○ × 14:30U	○ 17:40U	○ 20:40U
× 7:40U	○ × 10:20U	○ × 15:00U	○ × 18:00U	○ × 21:00U
○ × 8:00U	○ 10:40	○ 15:20U	○ 18:20U	○ 21:20
× 8:20U	× 10:40U	× 15:30U	× 18:30U	× 21:30U
○ 8:30U	○ × 11:00U	○ 15:40U	○ 18:40U	○ 21:40U
		○ × 16:00U	○ × 19:00U	○ × 22:00U

※○: 平日 ×: 土日休日 @ミッドナイトつくば号。

上りは, 平日のみ都営浅草駅, 上野駅経由。八潮PAで下車も可。

※つくば市内のバス停 (上下便とも) 筑波大学, 学生会館, 筑波大学病院, つくばセンター, 竹園二丁目, 千現一丁目, 並木一丁目, 並木二丁目, 並木大橋, 下広岡

※ミッドナイトつくば号の乗車券は乗車日の1カ月前から発売。

●発売窓口: 学園サービスセンター (8:30~19:00) 東京営業センター (東京駅乗車場側/6:00~発車まで)

新宿営業センター (新宿駅新南口JRバス新宿営業センター内/6:00~23:00)

●電話予約: JRバス関東03-3844-0489 (10:00~18:00) ●ネット予約: 決済 <http://www.kousokubus.net/> (高速バスネット)

### ④⑤⑥ 空港直通バス

(つくばセンターバス乗り場: 8番)

#### 羽田空港←→つくばセンター

所要時間: 約2時間 (但し, 渋滞すると3時間以上かかることもあります。) 運賃: 1,850円 (2018年10月1日改定)

国際線ターミナル	第2ターミナル	第1ターミナル	つくばセンター
9:20	9:30	9:35	11:20
11:10	11:20	11:25	13:10
14:45	14:55	15:00	16:45
15:55	16:05	16:10	17:55
17:45	17:55	18:00	19:45
19:05	19:15	19:20	20:45
20:45	20:55	21:00	22:15
21:55	22:05	22:10	23:25

つくばセンター	第2ターミナル	第1ターミナル	国際線ターミナル
4:40	6:17	6:22	6:29
6:00	7:47	7:52	7:59
8:00	9:57	10:02	10:09
9:30	11:27	11:32	11:39
12:30	14:07	14:12	14:19
14:30	16:07	16:12	16:19
17:30	19:07	19:12	19:19
18:35	20:02	20:07	20:14

※ 平日日祝日とも上記時刻表

※ 羽田空港乗り場: 1階到着ロビーバス乗り場13番、国際線ターミナル6番

※ 上下便, つくば市内でのバス停: 竹園二丁目, 千現一丁目, 並木一丁目, 並木大橋

※ 問い合わせ: 029-836-1145 (関東鉄道) / 03-3765-0301 (京浜急行)

#### 成田空港←→つくばセンター (土浦駅東口行) (AIRPORT LINER NATT'S)

運賃: 2,200円

(2015年11月16日改定)

乗車券購入方法 (成田空港行): 予約制。1カ月前から予約受付。乗車券は3日前までに購入。

予約センター電話: 029-822-5345 (月~土: 9:00~19:00)

つくばセンター方面土浦駅東口行: 成田空港1F京成カウンターにて当日販売

第3ターミナル	第2ターミナル	第1ターミナル	つくばセンター
7:30	7:35	7:40	8:40
8:30	8:35	8:40	9:35
9:30	9:35	9:40	10:50
10:30	10:35	10:40	11:50
11:30	11:35	11:40	12:35
13:00	13:05	13:10	14:20
14:40	14:45	14:50	15:45
16:00	16:05	16:10	17:20
16:50	16:55	17:00	18:00
17:50	17:55	18:00	19:10
18:50	18:55	19:00	19:55
20:30	20:35	20:40	21:50

つくばセンター	第2ターミナル	第1ターミナル	第3ターミナル
5:20	6:15	6:20	6:25
6:20	7:30	7:35	7:40
7:20	8:15	8:20	8:25
8:50	10:00	10:05	10:10
10:20	11:30	11:35	11:40
11:50	13:00	13:05	13:10
12:50	14:00	14:05	14:10
13:40	14:50	14:55	15:00
14:50	15:45	15:50	15:55
16:10	17:05	17:10	17:15
17:20	18:20	18:25	18:30
18:50	19:50	19:55	20:00

※ 平日日祝日とも上記時刻表

#### 茨城空港←→つくばセンター

(2019年3月31日改定)

所要時間: 約1時間

運賃: 1,030円

問い合わせ 029-836-1145 (関東鉄道)

10:50	11:50
17:20	18:20

9:00	10:00
14:40	15:40

※航空便の運行状況によって, 運休/時刻変更の場合があります。

# つくば市内宿泊施設

(確認日:2019. 4. 23) ※ 料金は参考値です。



- ① アーバンホテル  
(<http://www.urbanhotel.co.jp/uhotel.html>)  
TEL (029) 877-0001 6,825円～
- ② にいはり旅館  
TEL (029) 864-2225 3,885円～
- ③ 筑波研修センター  
TEL (029) 851-5152 3,600円～
- ④ オークラフロンティアホテルつくば  
(<http://www.okura-tsukuba.co.jp/>)  
TEL (029) 852-1112 11,088円～
- ⑤ ダイワロイネットホテル  
TEL (029) 863-3755  
(<http://www.daiwaroynet.jp/tsukuba/>)
- ⑥ ルートつくば  
TEL (029) 860-2111 6,825円～ (朝食付)
- ⑦ オークラフロンティアホテルつくばエポカル  
(<http://www.okura-tsukuba.co.jp/>)  
TEL (029) 860-7700 11,088円～
- ⑧ ホテルニューたかはし竹園店  
TEL (029) 851-2255 5,775円～
- ⑨ ホテルデイリーイン  
(<http://www.yama-nami.co.jp/>)インターネット予約5%引き  
TEL (029) 851-0003 6,090円
- ⑩ ビジネスホテル山久 5,000円～(2食付・1室2人)  
TEL (029) 852-3939 6,000円～(2食付・1室1人)
- ⑪ ビジネスホテル松島  
TEL (029) 856-1191  
(新館) 6,500円～  
(和) 6,800円 (3人～)  
(風呂・2食付)  
(本館) 6,000円～  
(和) 6,300円(3人～)(2食付)

⑫ ホテルグランド東雲 (新館) 7,350円～  
TEL (029) 856-2212 (本館) 6,300円～

⑬ つくばスカイホテル  
(<http://www.yama-nami.co.jp/>) インターネット予約5%引き  
TEL (029) 851-0008 6,300円～

⑭ 学園桜井ホテル  
(<http://www.gakuen-hotel.co.jp/>)  
TEL (029) 851-3011 6,878円～

⑮ ビジネス旅館二の宮  
TEL (029) 852-5811 5,000円～  
(二人部屋のみ 2食付)

⑯ ホテルベストランド  
(<http://www.hotel-bestland.co.jp/>)  
TEL (029) 863-1515

⑰ 東横イン  
(<http://www.toyoko-inn.com/hotel/00228/>)  
TEL (029) 863-1045

⑱ ホテルマークワン  
(<http://www.mark-1.jp/>)  
TEL (029) 875-7272

# KEK 周辺生活マップ

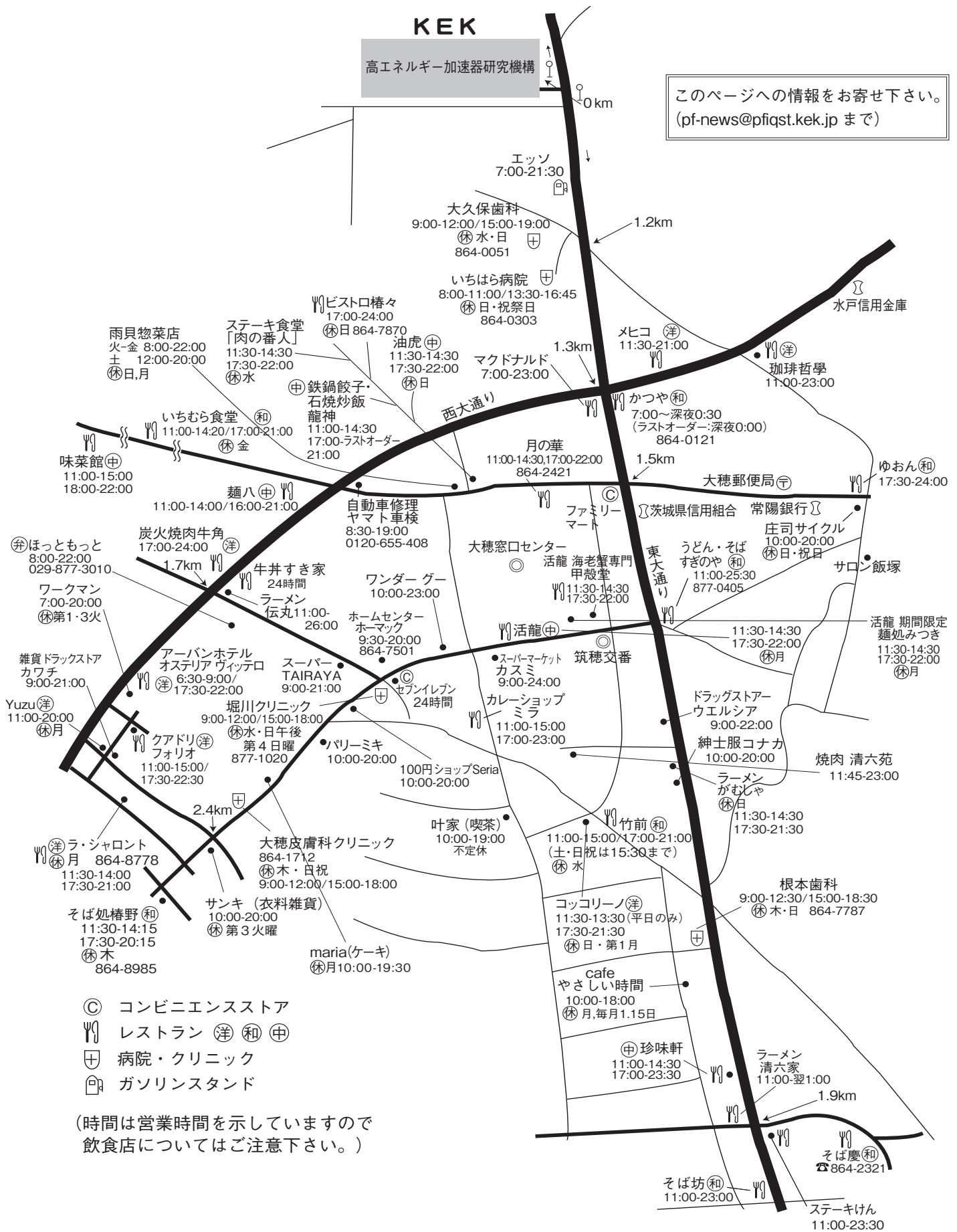
(確認日：2019. 4. 23)

放射光科学研究施設研究棟，実験準備棟より正面入口までは約 800 m

## KEK

高エネルギー加速器研究機構

このページへの情報をお寄せ下さい。  
(pf-news@pfqst.kek.jp まで)



- ◎ コンビニエンスストア
- ㊦ レストラン (洋) (和) (中)
- ⊕ 病院・クリニック
- 🛢️ ガソリンスタンド

(時間は営業時間を示していますので  
飲食店についてはご注意ください。)

## KEK内福利厚生施設

ユーザーの方は、これらの施設を原則として、機構の職員と同様に利用することができます。各施設の場所は裏表紙の「高エネルギー加速器研究機構平面図」をご参照下さい。

- 共同利用宿泊者施設（ドミトリー）  
（管理人室 TEL/FAX:029-864-5574 PHS:2920）  
シングルバス・トイレ付き 2,000円  
シングルバス・トイレなし 1,500円
  - ・ドミトリーは夜の22時から朝の8時までは施錠されます。また、この時間帯は管理人が不在ですので、22時以降にドミトリーに到着される方はインフォメーションセンター（029-864-5572, PHS:3398）でドミトリーの部屋の鍵を受け取って下さい。
  - ・支払いはユーザーズオフィスにて、現金の他、クレジットカード、デビットカードが利用可能です。また宿泊が週末等になり、ユーザーズオフィスで支払えない場合は銀行振込または管理人による現金での領収（土、日、祝のみ）も可能です。
- 図書室（研究本館1階 内線3029）  
開室時間：月～金 9:00～17:00  
閉室日：土、日、祝、年末年始、夏季一斉休業日  
機構発行のIDカードがあれば開室時間以外でも入館可能。詳しくは下記URLをご覧ください。  
(<https://www2.kek.jp/library/riyou/>)
- 健康相談室（医務室）（内線 5600）  
勤務時間中に発生した傷病に対して、応急処置を行うことができます。健康相談も行っていますので、希望者は事前に申し込んでください。  
場 所 先端計測実験棟  
開室時間 8:30～17:00（月曜日～金曜日）
- 食 堂（内線 2986）  
営 業 月～金 ただし祝日及び年末年始は休業  
昼食 11:30～13:30 夕食 17:30～19:00
- 喫茶店「風来夢（プライム）」（内線 3910）  
営 業 日：毎日（年末年始、夏季休業日を除く）  
営業時間：8時00分～21時00分  
（朝食）8時00分～9時30分  
（昼食）11時30分～15時00分  
（夕食）17時30分～21時00分  
上記以外は喫茶のみで営業（ただし、10時～11時30分は休憩）。  
※営業時間は変更になる場合がありますので、  
HP(<https://www.kek.jp/ja/ForResearcher/KEKMap/Cafe/>)にてご確認ください。
- 売 店（ニューヤマザキデイリーストア）（内線 2989）  
弁当、パン、食料品、軽食、菓子類、日用品、タバコ、お酒、雑誌、切手等、KEKオリジナルグッズの販売等。  
営 業 月～金 8:00～21:00  
土日祝 10:00～17:00（運転期間中のみ営業）

- 宅配便（宅配荷物室は PF 研究棟 1 階）  
PF または PF-AR 宛に宅配便で荷物を送る場合には、宅配便伝票の宛先に以下の項目を必ず記載してください。

1. PF への荷物の宛先  
PF 事務室気付 BL-○○○（ステーション名）+ 受取者名
2. PF-AR への荷物の宛先  
PF 事務室気付 PF-AR 共同研究棟 N○○○（ステーション名）+ 受取者名

荷物を発送した時に、以下の情報を [shipping@pfiqst.kek.jp](mailto:shipping@pfiqst.kek.jp) 宛てにメールでお送り下さい。

宅配便発送情報

1. 発送者氏名
2. 所属
3. KEK 内での連絡先（携帯電話等）
4. 発送日
5. 運送業者
6. PF への到着予定日時（土日祝日、夜間等の受け取りは事務室では対応できません。確実に受け取れるよう、発送伝票に配達希望日時と携帯電話番号を明記して下さい）
7. 荷物の個数
8. ステーション名およびビームタイム

注意

- ・荷物の紛失や破損等が生じた場合の責任は負えませんので予めご了承ください。また、大切な物品等は受取人本人が直接宅配便業者から受け取るようにしてください。
- ・土日祝日・夜間等の受け取りは、事務室では対応できません。

- 自転車貸出方法（受付 [監視員室] 内線3800）

- ・貸出は実験ホール入口の監視員室で行う。
- ・貸出は一往復とし、最長でも半日とする。
- ・使用後は所定の自転車スタンドへ戻し、鍵は監視員室へ速やかに戻す。

（PF-ARでも自転車を10台用意していますので利用したい方はビームライン担当者または運転当番 [PHS 4209] に連絡して下さい。）

ユーザーズオフィスでも自転車の貸出を行っています（約50台）。

- 常陽銀行ATM

取扱時間：9:00～18:00（平日） 9:00～17:00（土）  
日・祝日の取扱いはありません。常陽銀行以外の金融機関もカードのみの残高照会、引出しが可能です。

- 郵便ポスト（計算機棟正面玄関前）

収集時間：10:30（平日・土曜）、10:00（休日）

- ユーザーズオフィスについては、<https://www2.kek.jp/usersoffice/> をご覧ください。

Tel : 029-879-6135, 6136 Fax : 029-879-6137

Email : [usersoffice@mail.kek.jp](mailto:usersoffice@mail.kek.jp)

## ビームライン担当一覧表 (2019. 5. 1)

ビームライン	光源	BL担当者
ステーション	形態 ステーション/実験装置名 (●共同利用, ○建設/立ち上げ中, ◇所外, ☆教育用BL, ★UG運営ST)	担当者 担当者 (所外)
<b>BL-1</b>	<b>U</b>	<b>松垣</b>
BL-1A	● タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣
<b>BL-2</b>	<b>U</b>	<b>堀場</b>
BL-2A/B	● MUSASHI: 表面・界面光電子分光, 広エネルギー帯域軟X線分光	堀場
<b>BL-3</b>	<b>U (A) / B M (B, C)</b>	<b>中尾</b>
BL-3A	● 極限条件下精密単結晶X線回折ステーション	中尾
BL-3B	●★ VUV 24m球面回折格子分光器 (SGM)	間瀬 枝元 (立教大) 吉信 (東大)
BL-3C	● X線光学素子評価/白色磁気回折ステーション	平野
<b>BL-4</b>	<b>B M</b>	<b>中尾</b>
BL-4A	●★ 蛍光X線分析/マイクロビーム分析	丹羽 高橋 (東大)
BL-4B2	●★ 多連装粉末X線回折装置	中尾 植草 (東工大)
BL-4C	● 精密単結晶X線回折ステーション	中尾
<b>BL-5</b>	<b>M P W</b>	<b>松垣</b>
BL-5A	● タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣
<b>BL-6</b>	<b>B M</b>	<b>五十嵐</b>
BL-6A	● X線小角散乱ステーション	五十嵐
BL-6C	●★ X線回折/散乱実験ステーション	中尾 八方 (広島市大)
<b>BL-7</b>	<b>B M</b>	<b>雨宮 (岡林: 東大)</b>
BL-7A	◇● 軟X線分光 (XAFS, XPS) ステーション (東大・スペクトル)	雨宮 岡林 (東大)
BL-7C	● 汎用X線ステーション	杉山
<b>BL-8</b>	<b>B M</b>	<b>佐賀山</b>
BL-8A	● 多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	佐賀山
BL-8B	● 多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	佐賀山
<b>BL-9</b>	<b>B M</b>	<b>阿部</b>
BL-9A	● XAFS (高強度) 実験ステーション	阿部
BL-9C	● XAFS (その場) 実験ステーション	阿部
<b>BL-10</b>	<b>B M</b>	<b>清水</b>
BL-10A	●★ 垂直型四軸X線回折装置	熊井 吉朝 (熊本大)
BL-10C	● X線小角散乱ステーション	清水
<b>BL-11</b>	<b>B M</b>	<b>北島</b>
BL-11A	● 軟X線斜入射回折格子分光ステーション	北島
BL-11B	● 軟X線2結晶分光ステーション	北島
BL-11D	● 軟X線光学素子評価装置用ステーション	間瀬
<b>BL-12</b>	<b>B M</b>	<b>仁谷</b>
BL-12C	● XAFS (ハイスループット) 実験ステーション	仁谷
<b>BL-13</b>	<b>U</b>	<b>間瀬</b>
BL-13A/B	● 表面化学研究用真空紫外軟X線分光ステーション	間瀬
<b>BL-14</b>	<b>V W</b>	<b>岸本</b>
BL-14A	● 単結晶構造解析・検出器開発ステーション	岸本
BL-14B	● 精密X線光学実験ステーション	平野
BL-14C	● X線イメージングおよび汎用X線実験ステーション	兵藤
<b>BL-15</b>	<b>U</b>	<b>五十嵐</b>
BL-15A1	● XAFS (セミマイクロビーム) 実験ステーション	武市
BL-15A2	● 高輝度X線小角散乱実験ステーション	清水
<b>BL-16</b>	<b>U</b>	<b>雨宮</b>
BL-16A	● 可変偏光軟X線分光ステーション	雨宮

<b>BL-17</b>		<b>U</b>	<b>山田</b>
BL-17A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
<b>BL-18</b>		<b>B M</b>	<b>熊井</b>
BL-18B(インド・DST)	◇●	Multipurpose Monochromatic Hard X-ray Station	熊井 DAS, Gangadhar (JNCASR)
BL-18C	●★	超高压下粉末X線回折計	船守 鍵 (東大)
<b>BL-19</b>		<b>U</b>	<b>小野</b>
BL-19A/B	●	軟X線顕微鏡/分光実験ステーション	武市
<b>BL-20</b>		<b>B M</b>	<b>足立 (純)</b>
BL-20A	☆●	3 m直入射型分光器	足立 (純) 北島 (東工大)
BL-20B	●	白色・単色 X線トポグラフィ/X線回折実験ステーション	杉山
<b>BL-27</b>		<b>B M</b>	<b>宇佐美</b>
BL-27A	●★	放射性試料用軟X線実験ステーション	宇佐美 横谷 (量研機構)
BL-27B	●★	放射性試料用X線実験ステーション	宇佐美 岡本 (原研機構)
<b>BL-28</b>		<b>H U</b>	<b>堀場</b>
BL-28A/B	●	可変偏光 VUV・SX 不等間隔平面回折格子分光器 高分解能角度分解光電子分光実験ステーション	堀場
<b>PF-AR</b>			
<b>AR-NE1</b>		<b>E M P W</b>	<b>船守</b>
AR-NE1A	●	レーザー加熱超高压実験ステーション	船守
<b>AR-NE3</b>		<b>U</b>	<b>山田</b>
AR-NE3A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
<b>AR-NE5</b>		<b>B M</b>	<b>船守</b>
AR-NE5C	●	高温高压実験ステーション /MAX80	船守
<b>AR-NE7</b>		<b>B M</b>	<b>兵藤</b>
AR-NE7A	●	X線イメージングおよび高温高压実験ステーション	兵藤
<b>AR-NW2</b>		<b>U</b>	<b>丹羽</b>
AR-NW2A	●	時間分解 DXAFS / X線回折実験ステーション	丹羽
<b>AR-NW10</b>		<b>B M</b>	<b>仁谷</b>
AR-NW10A	●	XAFS (高エネルギー) 実験ステーション	仁谷
<b>AR-NW12</b>		<b>U</b>	<b>引田</b>
AR-NW12A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	引田
<b>AR-NW14</b>		<b>U</b>	<b>野澤</b>
AR-NW14A	●	ピコ秒時間分解 X線回折・散乱・分光	野澤
<b>低速陽電子</b>			<b>望月</b>
SPF-A3	●	全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) ステーション	望月
SPF-B1	●	汎用陽電子実験ステーション	望月
SPF-B2	●	ポジトロニウム飛行時間測定ステーション	望月

**【UG 運営装置】** AR-NE7A 高温高压実験装置 (MAX-III) 久保友明 (九州大)

**【所外ビームライン】** BL-7A 東大 RCS 岡林 潤 (東大) jun@chem.s.u-tokyo.ac.jp  
 BL-18B インド JNCASR DAS, Gangadhar 029-879-6237 [2628] rnrsgangadhar@gmail.com

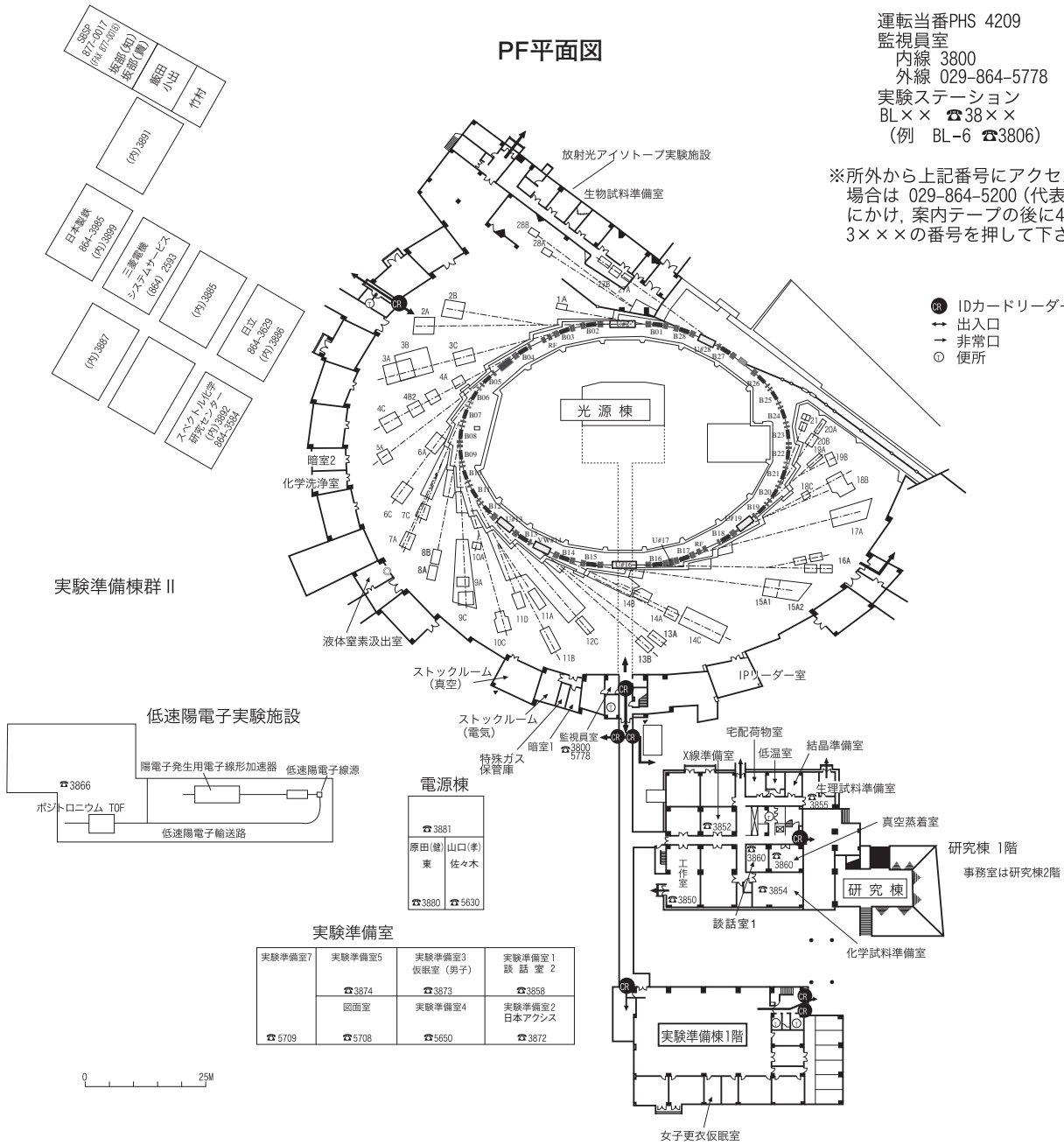


# PF平面図

運転当番PHS 4209  
 監視員室  
 内線 3800  
 外線 029-864-5778  
 実験ステーション  
 BL×× ☎38××  
 (例 BL-6 ☎3806)

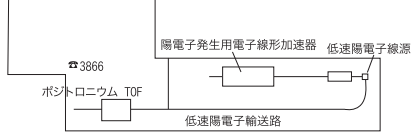
※所外から上記番号にアクセスする  
 場合は 029-864-5200 (代表番号)  
 にかき、案内テーブルの後に4×××、  
 3×××の番号を押して下さい。

- IDカードリーダー
- 出入口
- 非常口
- 便所



実験準備棟群 II

低速陽電子実験施設



電源棟

☎3881	原田(健) 山口(孝)
	東 佐々木
☎3880	☎5630

実験準備室

実験準備室7 ☎5709	実験準備室5 ☎3874	実験準備室3 仮眠室 (男子) ☎3873	実験準備室1 談話室 2 ☎3858
	図面室 ☎5708	実験準備室4 ☎5650	実験準備室2 日本アクセス ☎3872

## PF-AR平面図

PF-AR共同  
研究棟

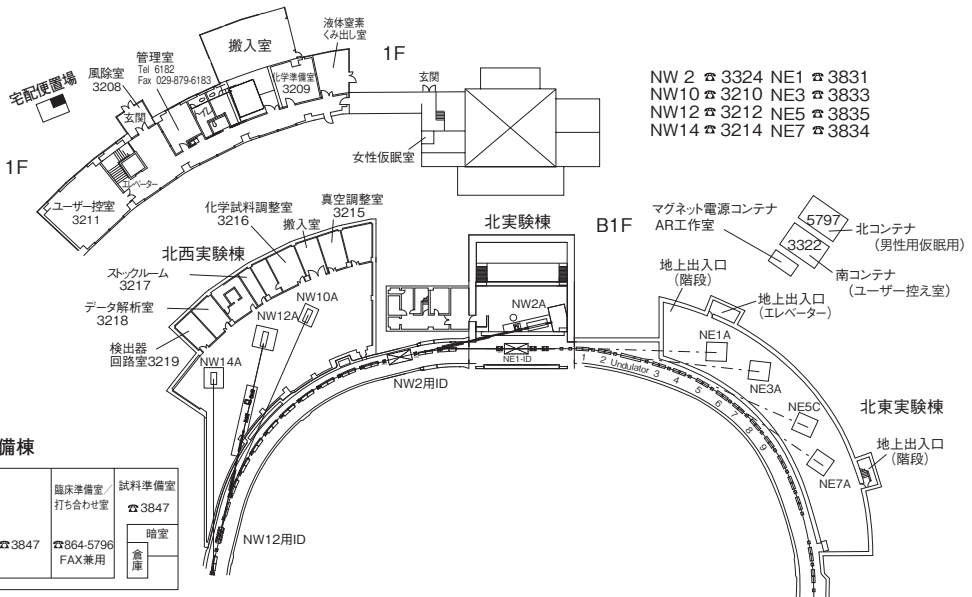
深谷、福本、  
 高木(社)、一柳  
 6185, 6186  
 Fax 6187

PF-ARコンテナ

北コンテナ 男子仮眠室/ 物品倉庫 ☎5797	南コンテナ ユーザー控室/ 打ち合わせ室 ☎3322
----------------------------------	-------------------------------------

PF-AR実験準備棟

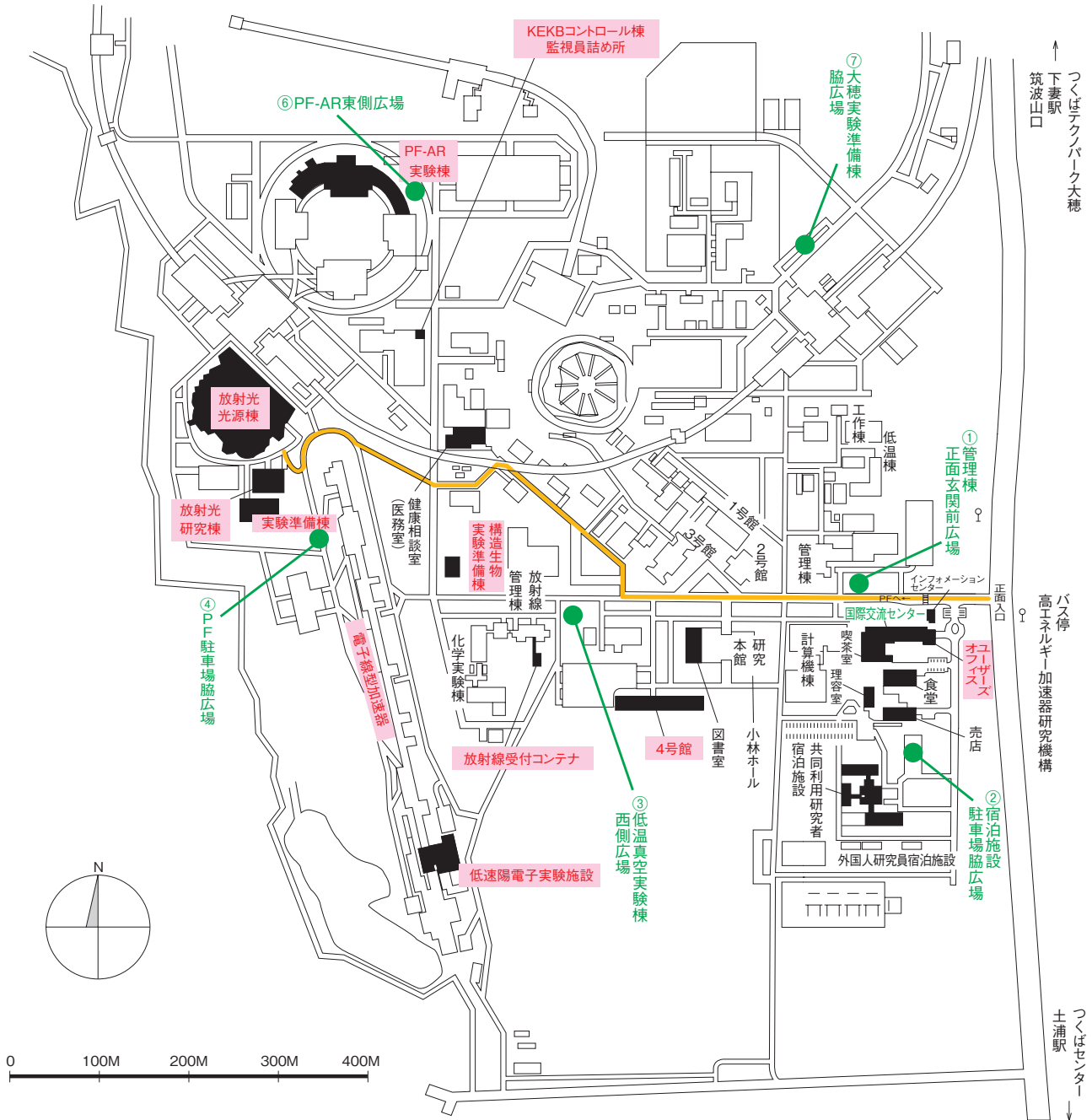
真空装置 調整室 ☎3846	結晶加工室 ☎3846	臨床準備室 打ち合わせ室 ☎3847	試料準備室 ☎3847
	光学素子評価室 ☎3846	☎864-5796 FAX兼用	暗室 倉庫



NW 2 ☎ 3324 NE1 ☎ 3831  
 NW10 ☎ 3210 NE3 ☎ 3833  
 NW12 ☎ 3212 NE5 ☎ 3835  
 NW14 ☎ 3214 NE7 ☎ 3834

マグネット電源コンテナ  
 AR工作室  
 5797  
 北コンテナ  
 3322 (男性用仮眠用)  
 南コンテナ  
 (ユーザー控入室)

# 高エネルギー加速器研究機構平面図



— 歩行者・自転車用ルート

● 緊急時避難場所 Emergency Assembly Area

非常の際は、運転当番 4209 インフォメーションセンター 3399

発行 PHOTON FACTORY NEWS 編集委員会 (TEL:029-864-5196)

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光実験施設 (<https://www2.kek.jp/imss/pf/>)

Vol.37 No.1 2019 TEL:029-864-1171(機構代表)

