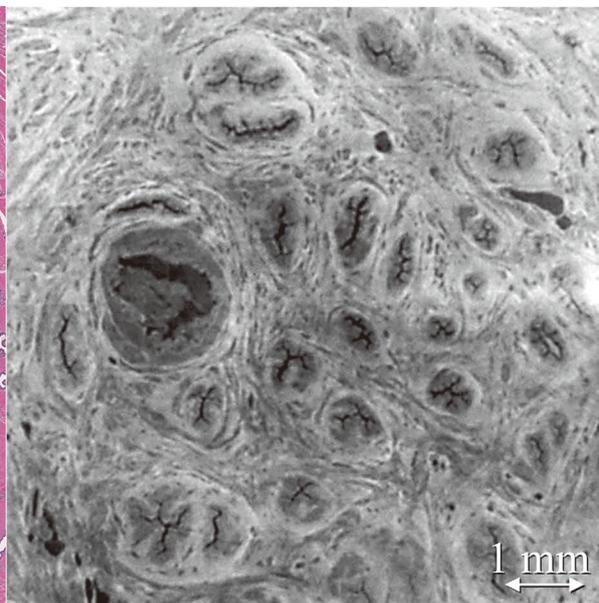
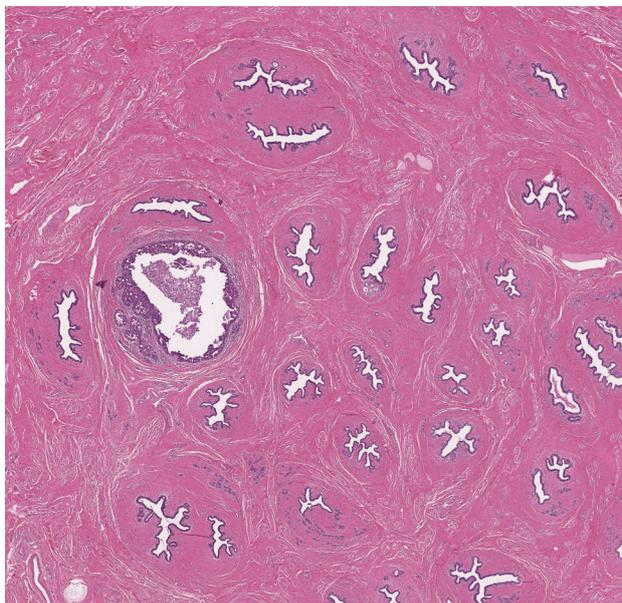
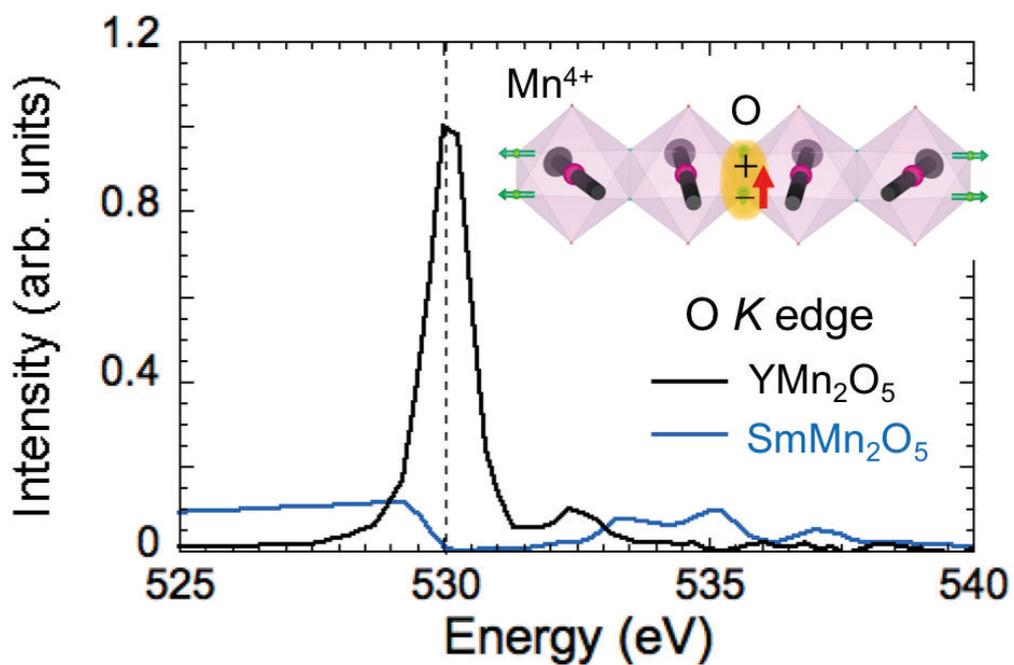


- 共鳴軟X線散乱を用いたマルチフェロイクスの配位子酸素サイトのスピンの偏極観測
- ヒト乳頭組織の3次元可視化のためのX線暗視野CTの開発: 単一乳腺葉内で進展する非浸潤性乳管癌の解析



# 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
低速陽電子実験施設の現状	永井 康介	12
物質構造科学研究所諮問委員会（構造生物学研究センター）報告	田辺 幹雄, 千田 俊哉	13
PF-AR 測定器開発用テストビームラインの建設	花垣 和則	14
最近の研究から		
共鳴軟 X 線散乱を用いたマルチフェロイクスの配位子酸素サイトのスピン偏極観測 Observation of Spin Polarization at Ligand Oxygen Site in Multiferroics by Resonant Soft x-ray Scattering	石井 祐太, 木村 宏之, 中尾 裕則	15
ヒト乳頭組織の 3 次元可視化のための X 線暗視野 CT の開発：単一乳腺葉内で進展する非浸潤性乳管癌の解析 Development of X-ray Dark-Field Computed Tomography for Three-Dimensional Visualization of Human Nipple	砂口 尚輝, 島雄 大介, 市原 周, 西村理恵子, 岩越 朱里, 湯浅 哲也, 安藤 正海	20
プレスリリース		
乳癌における乳頭温存乳腺全摘術のリスク低減へ！～ CT で乳頭内乳管の可視化に成功～		25
混ぜると自ら伸びる超分子ポリマーの開発に成功～新しい材料設計に期待～		25
低い温度で作動する固体酸化燃料電池のための極薄電解質膜の開発 ～ 100℃以下での物理吸着した水による表面プロトン伝導性～		25
ユーザーとスタッフの広場		
PF 滞在記		
BL-1A, BL-5A, BL-17A, AR-NE3A を利用した、昆虫特異的な蛋白質の X 線結晶構造解析	稲葉 和恵	27
PF とともに歩んだ 40 年	辻 信行	28
PF トピックス一覧（2 月～ 4 月）		30
PF-UA だより		
2019 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	中野 岳仁, 北島 昌史, 伏信 進矢	31
X 線トポグラフィ・ユーザーグループの紹介	小泉晴比古	31
固体分光ユーザーグループ活動紹介	相馬 清吾, 佐藤 宇史, 組頭 広志, 堀場 弘司, 齋藤 智彦	33
令和元年度 PF-UA 総会について	清水 敏之	34
ユーザーグループ一覧		35
PF-UA 運営委員名簿		35
人 事		
人事異動・新人紹介		36
お知らせ		
タンパク質結晶構造解析ビームライン一般ビームタイムでの全自動測定サービス開始について	山田 悠介	39
量子ビーム連携センター（CIQuS）新設について	雨宮 健太	39
Photon Factory Activity Report 2019 ユーザーレポート執筆のお願い	小野 寛太	40
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	熊井 玲児	40
2020 年度後期フォトンファクトリー研究会の募集	船守 展正	41
予定一覧		42
掲示板		
放射光共同利用実験審査委員会速報	兵藤 一行, 宇佐美徳子	43
第 117 回物質構造科学研究所運営会議議事次第		43
物構研談話会・コロキウム		43
2020 年度 客員研究員一覧		44
放射光共同利用実験審査委員会委員名簿		45
放射光共同利用実験審査委員会委員名簿（分科会別）		45
施設留保（R）ビームタイム採択課題一覧（2019 年度）		46
施設留保（RP）ビームタイム採択課題一覧（2019 年度）		47
内部スタッフ・大学院生優先ビームタイム採択課題一覧（2019 年度）		49
2019 年度第 3 期配分結果一覧		51
編集委員会だより		
「PF ニュース」からのお知らせ		54
投稿のお願い		54
巻末情報		55
表紙説明（上図） 共鳴 X 線散乱で得られた酸素吸収端近傍のスペクトル（「共鳴軟 X 線散乱を用いたマルチフェロイクスの配位子酸素サイトのスピン偏極観測」より）		
（下図） ヒト乳頭組織の染色組織切片（左）および非破壊的に可視化された X 線暗視野 CT 像（「ヒト乳頭組織の 3 次元可視化のための X 線暗視野 CT の開発：単一乳腺葉内で進展する非浸潤性乳管癌の解析」より）		

フォトンファクトリーの再誕生から2年目の春を迎えました。自然界は新緑の眩しい季節ですが、新型コロナウイルス感染症拡大への対応でご苦労をされていることと思います。1年前には想像できなかった事態ですが、PFとしては、この苦難を乗り越え、より機能を高めることで、放射光科学の発展に貢献していきたいと考えています。そのためにも、ユーザーの皆さんもスタッフも、くれぐれも健康を最優先でお願いいたします。

新型コロナウイルス感染症拡大への対応として、PF/PF-ARの2020年度第I期運転については中止とさせていただきます。学位研究等への影響の低減のため、運転再開までの間、リモート測定や自動測定を始めとして、各測定手法に適した準備を進めたいと考えています。また、運転再開後には、学位研究に支障が出ないように、可能な限り配慮したいと考えています。具体的なご提案やご助言がありましたらお知らせください。なお、タンパク質結晶構造解析ビームラインでは全自動測定の対象を共同利用実験に拡大することになりました。詳細については、本誌紹介記事をご参照ください。

PFの施設運営にあたって連携を重視したいと考えていることは、お伝えしている通りです。この春に始まった機構内の新しい連携を紹介したいと思います。1件目は、物構研に設置された量子ビーム連携研究センター(CIQUS)です。CIQUSは、発掘型共同利用やテーマ設定型共同研究、マルチプローブ若手人材育成の推進を掲げています。これまでも、PFは低速陽電子実験施設の運営に全面的に協力してきましたが、物構研内の連携を加速するCIQUSに協力するとともに、CIQUS利用促進運転(仮称)を設けることを検討しています。2018年度から開始した産業利用促進運転と同様に、CIQUSからの運転経費(設備費・光熱水費等)を共同利用に還元する仕組みとなります。2件目は、素核研の関係者が中心となってPF-ARに建設する測定器開発用テストビームラインです。PFの新ビームラインとしても位置付けられ、PF-ARの価値を高めることとなります。もちろん、新ビームラインの利用は、素核研の関係者に限定されません。詳細については、本誌紹介記事をご参照ください。その他、機構内予算配分の際には、PF予算の窮状に鑑み、予算が回復するまでの期間、入射器への負担を減額してもらうことになりました。

PFでは、放射光共同利用実験審査委員会(PF-PAC)等での議論を踏まえ、2020年度より共同利用の旅費支給基準を変更しました。学術施設として、開発研究と人材育成をより有効に推進するため、滞在期間の延長と学生への追加支給を可能とするものです。財源として、前述の機構内予算配分の増額分の一部と外部資金を有する課題の旅費辞退分を充当する予定です。少しでも多くの学生が放射光実験の機会を得られますようご協力をお願いします。また、

PF-PACおよび物構研運営会議の承認を得て、共同利用に関する幾つかの制度改正を実施しました。この件も、詳細は本誌報告記事に譲りますが、放射光共同利用実験課題審査手続き・評価基準の変更について、簡単に説明したいと思います。変更の目的は、課題審査をより公平で正確にすることです。学術施設としてのミッションに照らして、学問的・技術的な価値を重視して評価することとしています。これまでは、技術的な価値への評価に曖昧さがありました。今回の変更で、利用研究と開発研究の両方とも大切という考え方を明確にしました。

最後に、将来計画について報告したいと思います。放射光学会の大型研究計画「放射光学術基盤ネットワーク」が日本学術会議マスタープラン2020に採択され、この計画をもとに、文科省の学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップ2020への申請が行われています。申請書類には、学術研究に適した多様性と自由度を格段に向上させた「第五世代」光源への準備を含む10年間の計画が記載されています。短期の将来計画として、PFリングの高度化と開発研究専用ビームラインの整備を実施する方針に変更はありません。一方で、リモート測定や自動測定は緊急の課題ですので、まずはそこに注力する予定です。長期の将来計画としては、1月の第34回文科省量子ビーム利用推進小委員会や2月の第100回KEK研究推進会議において、「第五世代」光源として、Hybridリングの可能性を説明しました。Hybridリングは、汎用性と先端性を共存させた究極的可変光源で、常時、第三世代性能バンチ(SR:ストレージ)と超高性能バンチ(SP:シングルパス)をハイブリッド運転します。現在、Hybridリングのビーム性能やSR/SPの2ビーム同時利用サイエンスについて、スタッフが検討を進めています。今後の予定としては、7月にKEKロードマップ改訂のための公開シンポジウムが予定されています。

本稿の内容の多くは、3月に予定されていたPFシンポジウムで紹介して議論していただく予定でした。それは残念ながらありませんでしたが、ユーザーの皆さんとスタッフで、ポストコロナ時代に向けた議論をすることは大切だと思います。PF-UAとも連携して、Web会議方式等による「PFシンポジウム」を早期に開催することを検討したいと考えています。

## 入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗  
(2020年5月11日付け)

### 概要

2020年度夏前の入射器運転に関して、残念ながら放射光施設のビーム運用は行われなかったことになったが、SuperKEKB衝突実験の運用については、実験グループ Belle II が一つだけであるため、国際共同研究者による遠隔監視とつくばに滞在する研究者による運用によって実験の続行が可能となっており、ビーム入射を継続している。昨年中の SuperKEKB フェーズ3の初期運転において、Belle II 検出器へのビーム・バックグラウンドについての理解が進み、さらに秋の運用においては、衝突点の垂直方向のベータ関数が設計値の3倍まで近づく1mmにまで絞られてきたため、衝突効率、ルミノシティが向上している。今年に入ってから、陽電子と、引き続いて電子についてもクラブ・ウエスト衝突を試み、衝突の安定度を向上させることに成功している。なお、クラブ・ウエストは、より小さい衝突点ベータ関数に向けて、今後とも適用できるかどうかはまだわからない。

同時に入射器に対しては、精度の高い衝突の維持のために、エミッタンスやエネルギー幅など入射ビームについての品質の要求が厳しくなっている。さらに、蓄積ビームの寿命が電子で30分程度、陽電子で10分程度と短くなっているため、入射ビームの量についても徐々に要求が高まっている。これらの要求に対応するための入射器の性能向上も期待されており、新型コロナウイルスの感染対策も取りながらも、装置やビーム性能の日々の改善や、夏の停止期間における改造の準備作業も進めているところである。例

えば、一昨年から進めてきた加速管の更新計画についても、製造された加速管の大電力コンディショニングを始めており、夏の停止期間に一部の交換が可能になると思われる。

### 入射器 20 万時間運転

KEK 電子陽電子入射器は、1982年からフォトンファクトリー (PF) 放射光実験施設への電子入射運転を始めた。以来、TRISTAN, PF-AR, KEKB, SuperKEKB への入射を重ね、運転期間は39年目を迎えている。その総運転時間(加速管への高電界印加時間)について5月7日の午前8時50分03秒に20万時間が達成された。先輩方の積み上げて来られた運転成果を引き継いで、20万時間運転の節目を迎えられたことは、我々が大変誇りに思うところである(図1)。新型コロナウイルスなどのために特に行事は予定されなかったが、ビデオ会議を通してモーニング・コーヒーで乾杯し、祝うことができた。

電子陽電子入射器は1978年に建設を開始し、上にも書いたとおり、1982年からPFへの2.5 GeV 電子の入射を開始した。並行して1981年にTRISTAN電子陽電子コライダー計画が認められたため、陽電子生成用入射器を建設し、1986年からTRISTANへの2.5 GeV 電子・陽電子の入射を開始した。また、1992年から低速陽電子施設も運用を始めた。さらに、1998年からはKEKB電子陽電子非対称エネルギーコライダーへの8 GeV 電子と3.5 GeV 陽電子の入射を行い、2バンチ入射や連続入射などのさまざまな加速器技術の開発が行われた。東日本大震災による大きな

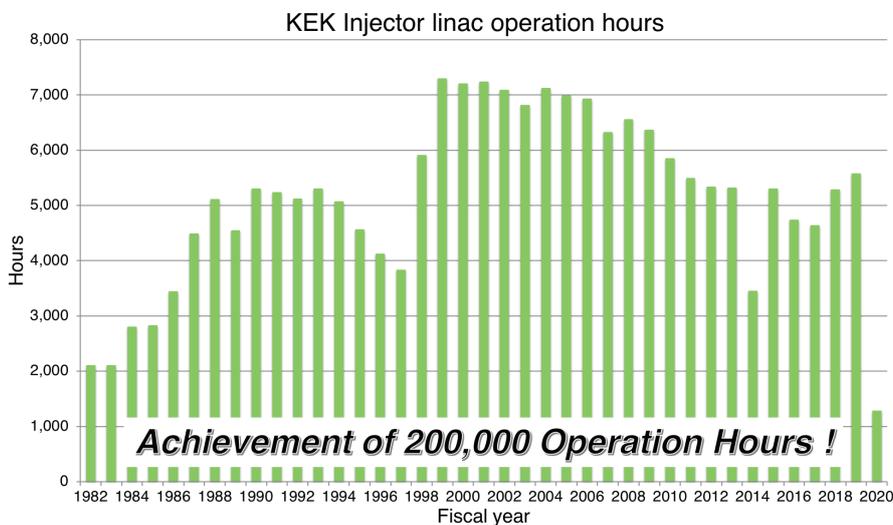


図1 1982年から積み上げた運転時間。足し合わせると20万時間になる。

被災があったが、その後大幅な改造を経て 2016 年からは SuperKEKB への 7 GeV 電子と 4 GeV 陽電子の入射を続けており、2019 年からは PF と PF-AR 両放射光施設を含めた 4 リング同時入射により、飛躍的な実験効率向上に貢献している。

### 入射器の体制

4 月から、岡安雄一氏が高輝度光科学研究センター (SPring-8) から 5 系のマグネット・真空グループへ異動・配属になり、岡安氏は電磁石・真空だけでなく、アライメントやビームモニターも含めた幅広い経験を積まれているので、今後入射器の性能向上や運転に活躍していただくと期待している。また、2006 年から 5 系制御グループに所属していた倉品美帆氏が、6 系に異動した。新しい職場でさらに活躍していただきたいと応援している。さらに、昨年度後半からは、中山久義氏と染谷宏彦氏に 5 系の研究開発に参加していただき、既に電子入射機構や磁場測定などの重要な分野で成果を挙げていただいている。

光源リングの運転状況

図1に、PFリングにおける立ち上げ日2月3日9:00から3月9日9:00まで約1ヶ月の蓄積電流値の推移を示す。リングの立ち上げ調整は順調に進み、2月5日15:00から予備光軸確認、2月6日9:00から光軸確認を実施した後、ユーザ運転開始となった。2月のユーザ運転はビームダンプを伴う大きなトラブルはなく概ね順調に実施されている。2月27日9:00までは、蓄積電流値450 mAでのマルチバンチモード(250バンチ)での運転を行い、2月27日にハイブリッドモードへの切り替えを行った。ハイブリッドモードにおける蓄積電流値は、シングルバンチ部分30 mAとマルチバンチ部分420 mA(131バンチ)の合計450 mAで行っている。この期間ビームダンプとはならなかったものの、チャンネルをクローズした事象が1件、ビームを削った事象が2件発生した。

チャンネルクローズケース1:2月17日軌道フィードバック用電磁石電源PV02の電流値の上昇が確認された。そのままにしておくと、最大電流値まで到達することが予想されたため、当日15:00にチャンネルをクローズして、フィードバック用電磁石電源の電流値をゼロにする作業を行った。30分程度の作業でユーザ運転を再開した。

ビームを削ったケース1:2月18日16:53に蓄積電流値が約10 mAほど削れる現象が発生した。地下機械室でセラミック一体型キッカーの作業を行っていたときに、入射キッカーの充電トリガーラインにノイズが入り、K4キッカーのみが誤動作したことにより、ビームを削ったことが調査の結果判明した。この誤動作は一度しか発生していな

いが、何らかの対策を施して再発防止に努めることとした。

ビームを削ったケース2:2月22日6:42 K4キッカー電磁石電源のインターロックが動作し、電源がOFFした。その結果、蓄積ビームが約80 mA削れるという事象が発生した。ビームが削れる現象に気がつき、手で連続入射を中断した。K4キッカーのインターロックの動作によるものと判明し、インターロックをリセットして、電源の再立ち上げを行なったのち、連続入射を再開した。ただし、動作したインターロックはOilflowによるもので、滅多に出ないインターロックであり、停止期間中に調査を行うこととした。このインターロックによる誤動作は今のところ再発していない。また、キッカー電磁石でインターロックが働いて電源がOFFした場合、手で連続入射を停止するのではなく、自動で直ちに停止するよう対策を施すこととした。

PFリングのユーザ運転は、3月9日9:00で予定通り運転を停止して、春の停止期間となった。

図2に、PF-ARにおける2月10日9:00から2月25日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。PF-ARは、2月6日9:00にリングを立ち入り制限にして、電磁石等の通電試験および高周波加速空洞のエージング作業を行ない、2月10日9:00からリングの立ち上げ調整作業を開始した。立ち上げ時はビームエネルギーを6.5 GeVに設定して、リングの機器が正常に動作していることを確認するとともに、機器の温度が安定するのを待ち、翌日ビームエネルギーの設定を5 GeVに切り替える作業を行った。5 GeV運転の場合、立ち上げから3日間かかるものの、より安定にユーザ運転

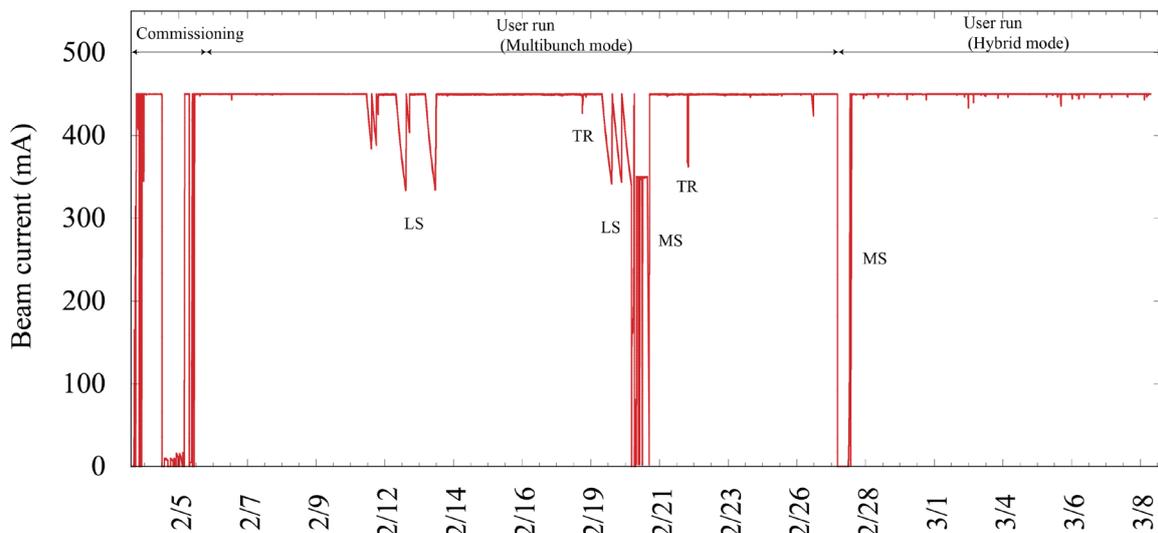


図1 PFリングにおける2月3日9:00から3月9日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器調整、TRは入射器トラブル、MSはリング調整を示す。

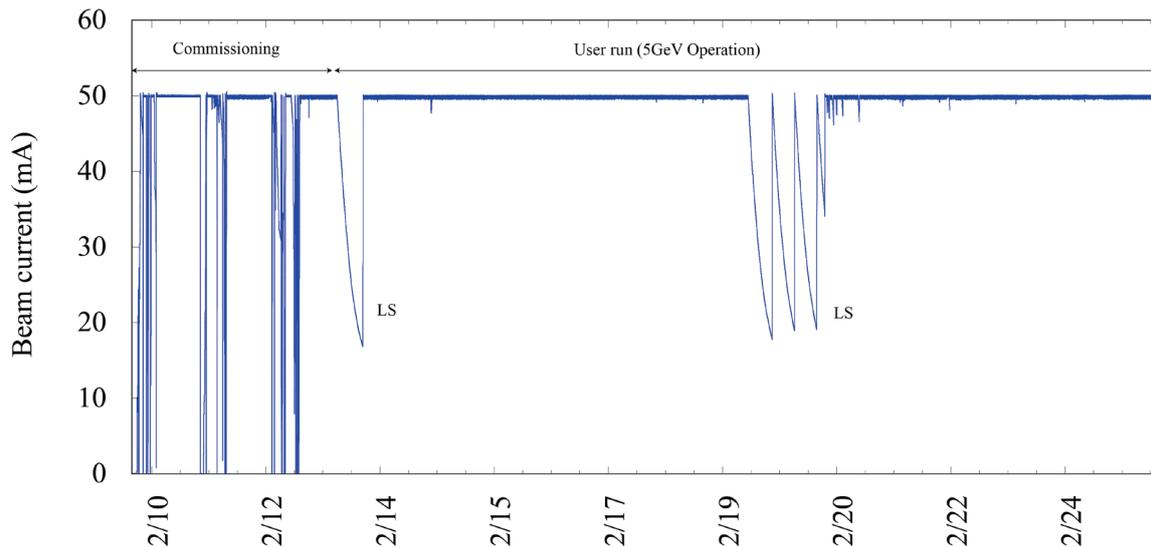


図2 PF-ARにおける2月10日9:00から2月25日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器調整を示す。

を開始する手法が確立したと考えている。2月12日に予備光軸確認、2月13日9:00から光軸確認を行った後、ユーザ運転を開始した。この期間、ビーム寿命急落が3回発生したが、自然に回復したため再入射は必要なかった。さらに、ビームダンプを伴う故障は発生せず概ね順調にユーザ運転が実施され、2月25日9:00に予定通り運転を停止し、春の停止期間となった。

### 春の停止期間中の作業

PFリングでは、放射光源加速器において放射光の安定供給のために必要不可欠となったトップアップ運転の新たな入射技術の開発を不断に進めてきている。世界に先駆けて開発を行った多極パルス電磁石入射による、蓄積ビームの無摂動入射技術は、極低エミッタンスを目指す次世代放射光源加速器においてもっとも有力な次世代トップアップ入射技術の候補の一つとなっている。2008年には世界で初めてパルス六極電磁石によるトップアップ入射の実証が行われ2010年から2014年まで本格的にユーザ運転へ適用された。

六極電磁石の磁場分布はパラボリックな2次曲線となる

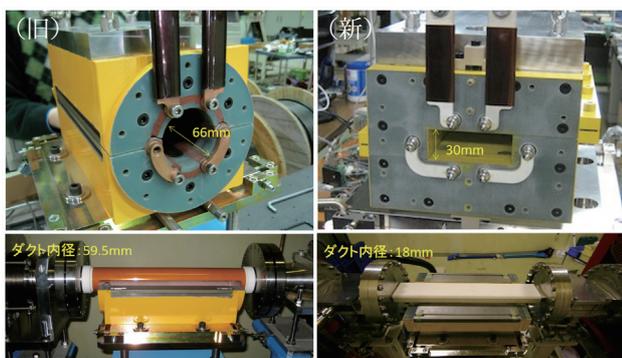


図3 新旧パルス六極電磁石及びそのダクト

ため、磁石中心の磁場中心では磁場がゼロとなる点とゼロ近似領域が存在する。この磁場中心点を蓄積ビーム軌道と合わせれば蓄積ビームには磁場の影響を与えずに、2次曲線磁場上の軌道にある入射ビームにのみ磁場を作用させ入射ビームを蓄積ビームに合流させることが可能である。しかしながら、この原理に反し磁場中心に置かれた蓄積ビーム軌道上のビームが振動を有していたことが、運用から見えて来た大きな課題の一つである。この振動は運用期間中に高度化更新を行った角ボア型のパルス六極電磁石(図3)により顕著となり、実証機として使用した真円ボア型の9倍の振動振幅を生成する結果となった。角型ボアは水平方向のアーチャーを確保しつつ、ギャップを狭小化し磁場強度を増強するために採用されており、ギャップ寸法は真円ボア型から1/3まで縮小している。振動振幅の増大の理由を単純に考えた場合、ギャップ寸法の縮小率が2乗が蓄積ビームの振動振幅の増大をもたらしていると説明でき、ギャップ寸法の縮小に伴い蓄積ビーム軌道に近づいた不整磁場の存在が予想できる。これまでの磁場計測のデータを改めて見直した結果、磁場中心に存在するはずのない主磁場とは逆向き、かつ主磁場に対して遅延のある主磁場強度の1/10程度のパルス磁場が存在することが判明した。この主磁場に対する不整磁場の遅延と磁場方向が逆向きの振る舞いは渦電流により生成された磁場の典型的な現象である。磁場の透過性を確保するために使用する真空ダクトのセラミックスダクトにはビーム壁電流の通過性を確保し、渦電流を極力抑制するために3 $\mu$ mの薄膜のTiコーティングを実装させるが、この薄膜が渦電流を引き起こし、蓄積ビームを振動させている原因である。コーティング面がギャップの狭小化でビームに近接し、渦電流による磁場の効果を強くしたと考えられる。セラミックスダクトを除いた磁場計測の結果と比較すると磁場中心での不整磁場の強度は1/9まで減衰することから、渦電流による不整磁場は、セラミックスダクト内面コーティングからの寄与

が90%を占め、残り10%程度は積層ケイ素鋼板の鉄心またはコイルからのものと推察できる。この角型ボア形状はKEK-PFの成功を受けてパルス六極電磁石入射技術を採用したUVSOR、あいちSRにおいてもほぼ同寸法で採用されており、いずれの施設でも本来、振動を有するはずのない蓄積ビームの振動を観測するに至っていて、渦電流効果の抑制が多極パルス電磁石入射技術の確立に重要な課題であるとの認識で一致している。

この課題の原因を明らかにするために、2019年度より角ボア型パルス六極電磁石のビームベースドによる渦電流効果の解明を開始し、並行して、不整磁場の主要因であるセラミックスダクトのコーティング起源による渦電流の生成を抑制するため、新たなコーティングの開発を進めている。内面コーティングの改善が図られれば90%以上の渦電流の抑制が可能であるため、全面コーティングに代わる渦電流の抑制とビーム壁電流の通過性を同時に満足する新たなコーティング形状とその実装技術が必要である。

PFリングでは、八極以上の高次な多極パルス入射技術の開発を目指し空芯型のセラミックスチェンバー型体パルスマグネット (CCiPM) の開発 [1] を並行して進めており、この開発では、磁極がセラミックスダクトに埋め込まれている構造的な制約といち早く渦電流効果の弊害を認識した内面コーティング形状の改善の必要性から新たなセラミックスダクト内面コーティング技術の開発が進められて来た。ここで開発された技術はFLiP (Fine Line coating Process) と名付けられ、CCiPM開発の基幹技術の一つとなっている。FLiPは $\phi 30$  mm内径の超小口径セラミックスダクト内面にも円筒長手方向に渦電流ループを阻害するスリット形状とビーム壁電流を通過させる容量性能の形状を同時に満たす櫛歯型の微細な形状のコーティングを実装可能とする。この技術の応用を18 mmギャップの角ボア型パルス六極電磁石のセラミックスダクトに展開させたことが本開発の重要な起点である。渦電流抑制の要請から櫛歯幅が最適化され、ビーム壁電流の通過性の確保からインピーダンスを低減するように櫛歯間隔が最適化された。その結果、櫛歯間隔は1 mmまで狭小化し、全面コーティングに対するコーティングの面覆率は83%を越えている(図4)。シミュレーションの結果を踏まえると渦電流による主磁場の損失は0.1%以下まで低減され、PFリングにおけるユーザ運転でビームダクトに最大負荷となる運転条件の

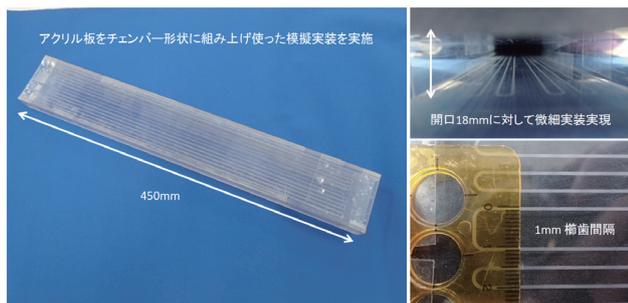


図4 櫛歯形状のパターンコーティング実装試験

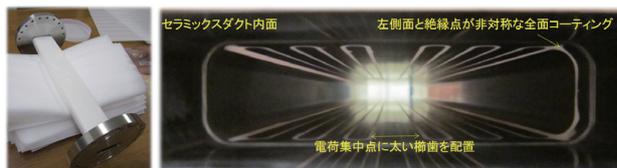


図5 完成したパルス六極電磁石用新セラミックスダクト

50 mAのシングルバンチと400 mAのマルチフィリングを共存させるハイブリッドモードを自然バンチ長で仮定すると、インピーダンスによる発熱損失は80~100 Wと見積もられている。この損失はセラミックスダクトを抱え込む電磁石への伝熱放熱により冷却できる条件値と同等となっており、実際のユーザ運転で採用されているシングルバンチ電流値が30 mAまで抑えられていることを考慮すると運転上の裕度が十分であると判断できる。

2019年度に製作を開始した新ダクトは今春に製作と5  $\mu$ m厚みのTiコーティングのFLiP実装が無事に完了し、櫛歯間の絶縁抵抗は300 M $\Omega$ 以上を達成している(図5)。微細形状の実装の難しさから一部コーティングに剥離などの損傷はあるが面覆率に対して0.3%以下であり問題がない。現在、順調にPFリング設置のベーキングを始めとする真空準備が進められており、2020年度4月中旬に設置を完了させ5月からのユーザ運転に適用されることになっていた。さらに、ビームベースドによる旧セラミックスダクトの調査の結果と本開発による改善結果が比較されFLiP技術による櫛歯コーティングの渦電流抑制の有効性について実証試験が進められる予定であった。しかしながら、5月からのユーザ運転が中止となり、本開発の実証は秋の運転に持ち越されることになった。

- [1] C. Mitsuda *et al.*, "Accelerator Implementing Development of Ceramics Chamber with Integrated Pulsed Magnet for Beam Test", Proc. IPAC2019, Melbourne, Australia, 4164 (2019).

### 令和元年度の運転のまとめ

表1に平成21年度から令和元年度までの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6に示す。令和元年度のユーザ運転時間は3004.1時間となり、かろうじて3000時間を確保できた。故障時間は昨年より増加して約60時間、故障率は2%程度、平均故障間隔時間(MTBF)も150時間程度と、例年と比べると比較的故障が多かった年度となった。故障の内訳を調べると、令和元年度も昨年度と同じく電磁石電源の故障によるトラブルが約70%であったが、RFに起因するトラブルの割合は半分となり15%程度であった。PFリングにおいては電磁石電源の老朽化がじわじわと進んでいると推察される。

なお、表1の2018年度(H30年度)分について、これまでに報告していたリング運転時間およびユーザ運転時間

表1 平成21年度～令和元年度までの11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)	3,408.0	576.0	2,803.6	28.4	166.6
2019 (R01)	3504.0	440.0	3004.1	59.9	153.2

表2 平成21年度～令和元年度までの11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
2019 (R01)	2568.0	456.0	2099.7	12.3	264.0

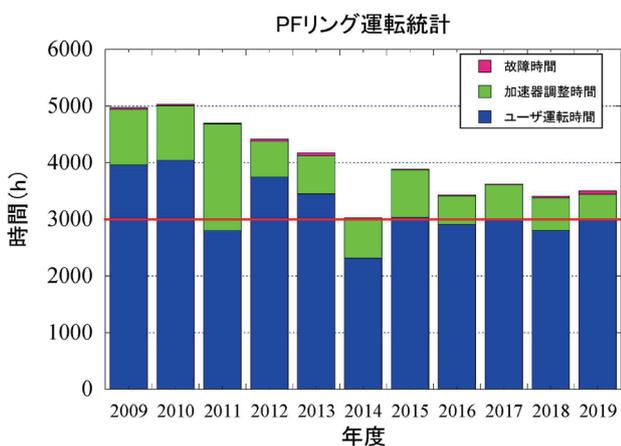


図6 平成21年度～令和元年度までの11年間のPFリングの運転統計の棒グラフを示す。なお、2018年度（H30年度）については、ユーザ運転時間で12日（288時間）分が下方修正されている。

は12日間（288時間）多くカウントされていることが判明した。原因は、産業利用に供給した運転時間を実際は6日間であったところを誤って18日間（432時間）とカウントしてしまったことであった。そのため、リング運転時間を3696.0時間から3408.0時間に、ユーザ運転時間を

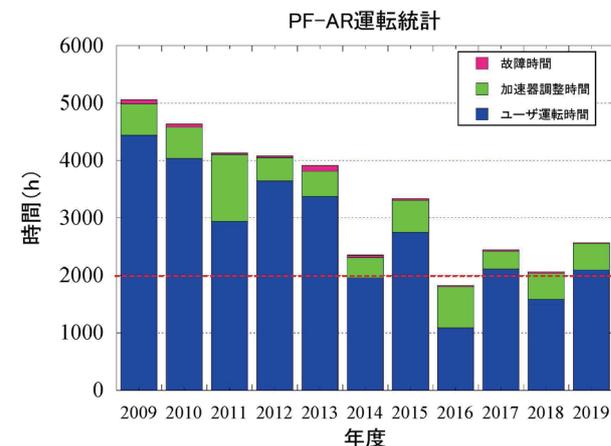


図7 平成21年度～令和元年度までの11年間のPF-ARの運転統計の棒グラフ

3091.6時間から2803.6時間に、この運転時間変更に伴い平均故障時間間隔も183.5時間から166.6時間に下方修正した（赤字箇所）。

表2と図7にPF-ARの運転統計を示す。令和元年度のユーザ運転時間は2099.7時間となり、昨年度に比べて約600時間増加した。これは、PF-ARにおいて運転時間

の50%に対して、省エネルギー5 GeV 運転を導入した結果である。しかしながら、PFリングと同様のユーザ運転3000時間の水準にはほど遠い状況にあることは変わらない。故障率は例年より少なく0.6%程度、平均故障間隔(MTBF)は264.0時間と過去最高の数値であった。故障の内訳は、RFに起因するトラブルが約70%、冷却水関連のトラブルが約14%であったが、ダストトラップによる再入射や入射機器によるトラブルが減少した。運転関係では、PFリングとPF-ARの入射が昨年度から始まった高速切り替えによってお互いの入射を妨げずに行えるようになり、同時トップアップ運転が確立した。

### 加速器第6研究系内の人の動きについて

光源第5グループの佐藤佳裕技師が3月31日付けで定年退職となりました。4月1日からシニアフェローとして、引き続き同グループにおいて安全関連の技術開発を中心に業務を担当していただくことになりました。

異動関連では、光源第6グループの加藤龍好教授と本田洋介助教が、4月1日付けで応用超伝導加速器センターに移られることになりました。コンパクトERLにおける自由電子レーザーやテラヘルツ光源などの新光源開発研究において、中心的な役割を担うことが期待されています。なお、光源第6グループに所属されていたお二人が異動となりましたので、このグループはしばらく空席といたします。

採用関連では、光源第1グループの田中オリガ特別助教が、4月1日付けで助教に採用されました。田中さんには引き続き同グループにおいて、軌道解析やビームダイナミクスを中心に業務を担当して頂きます。

昇任関係では、光源第5グループの田原俊央技師が、4月1日付けで専門技師に昇任されました。田原さんには、引き続き同グループにおいて、基幹チャンネル関連の技術開発を中心に業務を担当して頂きます。また、光源第7グループの江口柊技術員が、4月1日付けで准技師に昇任されました。江口さんにも、引き続き同グループにおいて、挿入光源関連の技術開発を中心に業務を担当して頂きます。

### 基盤技術部門の紹介（第3回）

<https://www2.kek.jp/imss/pf/section/beamline/>

昨年度の第2号（8月発行）から、放射光実験施設を構成する3部門（運営、基盤技術、測定装置）について紹介をしています。今回は、実験施設最大の部門である基盤技術部門の第3回として、検出系、時間分解、試料環境を主務とするメンバーを紹介させていただきます。

検出系チームを主務とするのは、岸本俊二教授（チームリーダー）と西村龍太郎博士研究員の2名です。検出系チームは、放射光計測に関する検出技術の開発研究と運用を担当します。岸本さんは、検出器の専門家です。APDによる超高速検出系を始めとして、各種検出系の実装を進めています。PF/PF-ARのビームラインでは、岸本さんの開発した検出器が何台も使われていますので、知らぬ間に恩恵にあずかっている利用者も少なくないと思います。西村さんは、元々の専門であるDAQシステムの実装に関して、KEK独自の大容量データの高速転送技術SiTCPの10G化に取り組んでいます。また、PFとして進めている「3次元X線ゾーミング顕微鏡の開発」（PF NEWS 2019年11月号『施設だより』参照）のプロジェクトの中で、コンピューター・ラミノグラフィの計算コード開発なども担当しています。

時間分解チームは、PF/PF-ARの孤立バンチ大電荷を活かした時間分解測定に必要な測定手法や実験装置の開発を担当します。このチームを主務とするのは、足立純一研究機関講師（チームリーダー）1名のみですが、測定装置部門などとも連携して、時間分解測定に関する各種開発と実装を進めています。足立さんは、PFとして進めている「多目的軟X線時間分解計測システムの実装」のプロジェクトリーダーでもあり、PFの運転調整も担当しています。

試料環境チームは、温度、圧力、電場、磁場、ガス雰囲気、レーザー照射など、試料環境に関する種々の知見と技術を収集して蓄積し、各ビームラインの高度化に活用することを目的としています。このチームを主務とするのも、丹羽尉博技師（チームリーダー）1名のみですが、測定装置部門などとも連携して活動しています。丹羽さんは、PF-ARの運転調整も担当しています。

### 運転・共同利用関係

PFおよびPF-ARの2019年度第3期の運転は、予定通りに行われました。PFは2月3日から3月9日まで、2月28日以降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2月10日から2月25日まで5 GeV運転を実施しました。

2020年度第1期の運転については、新型コロナウイルス感染症拡大への対応として、中止することとしました。

大変残念ですが、利用者とスタッフの安全が第一です。運転再開に向け、放射光実験におけるソーシャルディスタンスの確保について検討を進めます。運転を再開しても、直ぐに従来通りには戻せない可能性が高いと思いますが、ご理解をお願いします。

PF-PACは、新型コロナウイルス感染症拡大への対応として、書面審議で開催されました。詳細については、本誌速報をご参照ください。次回7月はWeb会議方式での開催を予定しています。なお、中止となったPFシンポジウムについても、早期にWeb会議方式等で開催することを検討したいと考えています。

### 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。全て4月1日付です。柴崎裕樹さんが測定装置部門の特別助教に着任しました。柴崎さんの専門は高圧科学です。高圧科学ビームライン群（BL-18C, AR-NE1A, AR-NE5C, AR-NE7A）の高度化と共同利用の推進を主務としますが、それだけでなく広く放射光科学の発展に貢献してもらうことを期待しています。また、金澤知器さんが新学術領域研究の研究者として着任し、光触媒の反応ダイナミクスの研究に従事しています。高木秀彰さんと山下翔平さんは測定装置部門の助教に、若林大佑さんは基盤技術部門の助教に、特別助教から異動になりました。益々の活躍を期待しています。また、兵藤一行さんが准教授から教授に昇任し、放射光実験施設・運営部門の部門長に着任しました。

### はじめに

2019年度の組織改編において、放射光科学第一，第二研究系が装い新たに再スタートしましたが、2020年度4月には物構研を横断する組織として、新たなマルチプローブ利用研究の推進を目指す量子ビーム連携研究センター(CIQUS)が設立されました。放射光科学第一，第二研究系はもともと、ある物質や現象に着目して、放射光をはじめとする様々なプローブを用いた先端的な研究を行うことをミッションとしていますので、このセンターとは密接な関係にあります。したがって、一部のメンバーが所属を新センターに移すとともに(後述)、多くのメンバーがセンターを併任することになります。今号では、放射光科学第一研究系の二つの研究部門のうち、固体物理学研究部門の活動内容について少し詳しく紹介しますが、この研究部門は特にマルチプローブを活用した様々な研究を行っています。

### 固体物理学部門の紹介

固体物理学研究部門は、熊井玲児教授、村上洋一教授、中尾裕則准教授、佐賀山基准教授、岩野薫研究機関講師の5名の承継職員が、それぞれPIとしてグループを作って活動しています。この研究部門では、放射光をはじめ、物構研のもつ4つの量子ビームを使って、物質の結晶構造・電子構造を調べることで、物質のもつ性質や材料の機能の起源を解明する実験的・理論的な研究を行っています。また、そこから得られた知見をもとに、新奇な物性の開拓や新たな材料の開発を推進しています。さらに放射光実験施設とも協力して、次期光源も視野にいれた新たな実験手法の開拓や、実験装置の高度化・最適化も行っています。以下、それぞれの研究グループの活動内容を紹介します。

熊井グループは、分子性結晶・薄膜や、強相関電子系材料を対象に、「物質のマクロな物性の起源をミクロな構造から理解する」ことを中心に研究を行っています。手法としては、X線回折、X線反射率をはじめ、中性子やミュオンなどのプローブも活用しています。また、温度や圧力、電場、光照射など、外場による構造変調の観測から、物性発現の起源を探る研究も精力的に行っています。最近では、有機エレクトロニクスデバイスへの応用が期待される高品質高性能な有機薄膜の構造の解明に加えて、計算科学やデータ科学を活用して材料の機能予測・構造予測を行い、材料開発の高度化を行うための研究もはじめています。メンバーとしては、内部スタッフは熊井さんと佐賀山遼子さん(研究支援員)ですが、材料開発や物性測定、計算科学、データ科学の活用など、外部の多くの研究者と連携して研究を推進しています。

村上グループは、元素戦略プロジェクト電子材料領域「東

工大元素戦略拠点」のKEK副拠点における研究に参画しています。東工大拠点やNIMS副拠点などで合成に成功した電子材料を対象に、放射光、中性子、ミュオンを用いて、その機能発現機構を明らかにする研究を行っています。これまで、鉄系超伝導体やエレクトライドなどの精密結晶構造や電子構造・磁気構造の詳細を明らかにしてきました。最近では、イオン伝導体・発光材料・太陽電池材料・有機強誘電体などの研究にも取り組んでいます。メンバーは村上さんの他に、東工大元素戦略センター所属の山浦淳一さんと河智史朗さんです。なお、昨年度末までメンバーだった玉造博夢さんは後述の通り転出されました。

中尾グループは、回折・散乱に分光を組み合わせた実験手法である共鳴X線散乱を主たる実験手法とし、特異な物性発現の背後にひそむ結晶構造・電子構造の変化を捉えることを目指しています。中でも、次期光源の光源特性と言われるコヒーレンスと共鳴X線散乱を組み合わせたマルチスケール軟X線顕微鏡の開発を進め、強相関電子系の巨大応答現象やメゾスコピックな磁気テクスチャであるスキルミオンの外場応答現象などに対して、マルチスケールでの観測を行い、これらの動的な物性の起源を探る研究を推進しています。また、PF内の他部門と連携して、共鳴X線散乱に時間分解を組み合わせたレーザーポンプ&放射光プローブの研究展開も進めています。メンバーは中尾さんと山崎裕一さん(物質材料研究機構主任研究員、物構研客員准教授)です。また、共鳴軟X線時間分解測定では、足立純一さん(基盤技術部門)、深谷亮さん(材料科学研究部門)と連携しています。なお、石井祐太さんもメンバーでしたが、後述の通り転出されました。

佐賀山グループは、対称性の観点から物質の性質や機能発現の機構を明らかにすることを目指して研究を行っています。硬X線領域の放射光を用いて温度や外場による格子対称性の変化を精密に調べることを主としていますが、多角的な視点を持って多自由度(スピン、軌道占有自由度、電気分極、格子、電荷、等)間の相関を調べるために、相補的な複数の量子ビーム(放射光、中性子、ミュオン)を積極的に活用しています。

岩野グループでは、第1のテーマとして固体の光励起後のダイナミクスを中心とした理論研究を行っています。これは最近ではJST CRESTのプロジェクト「強相関系における光・電場応答の時分割計測と非摂動型解析」の枠組みの中で行われており、光励起状態における新しい電子状態の検出のための「過渡吸収スペクトル」に対して、理論から新しい計算スキーム構築を提案しています。対象とするのはいわゆる強相関電子系で、低次元の分子性結晶や金属酸化物などを念頭に置いて研究しています。また、これ

とは別に第一原理計算を用いて光励起後の構造変化、特に強誘電性などの秩序変数の巨視的变化に関係した研究も行っています。第2のテーマとしては、強磁性体の非一様ドメイン構造に関係した理論研究を行っており、最近ではいわゆる迷路構造のフラクタル性やそれが磁化過程に与える影響などを調べています。メンバーは、岩野さんと研究員の山口辰威さんです。

## 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。2/20付で、構造生物学研究部門の研究員の小祝孝太郎さんが退職し、民間企業に就職されました。また、3/31付で、固体物理学研究部門の博士研究員の石井祐太さんが東北大に、研究員の玉造博夢さんがJAEAに、材料科学研究部門の研究員の渡邊稔樹さんが京都大に、それぞれ転出されるとともに、構造生物学研究部門の研究員のGIANNOPOULOU, Anastasiaさんが帰国されました。一方、表面科学研究部門の博士研究員として阪田薫穂さん(4/1付)、材料科学研究部門の研究員として高木壮大さん(4/1付)、構造生物学研究部門の研究員として阿久津誠人さん(3/1付)、大志田達也さん(4/1付)、露口正人さん(4/1付)が新たに着任され、表面科学研究部門の特別助教の北村未歩さんが、4/1付で助教に採用されました。転出・着任された方、昇任された方ともに、今後のますますのご活躍を期待しています。なお、固体物理学研究部門の村上洋一さんと材料科学研究部門の小野寛太さんは、4/1より所属を量子ビーム連携センターに移しましたが、それぞれの研究部門における活動は継続されます。

### はじめに

低速陽電子実験施設 (Slow Positron Facility, SPF) が物質構造科学研究所 (物構研) の正式な組織になって1年が経ちました。しかし本実験施設は、未だ極めて小さな所帯ですので、共同利用は放射光共同利用実験の一環として行っています。ビームタイム中の安全管理なども同様です。

これまでPFのサイト内にホームページがありましたが、昨秋よりリニューアルし、物構研のサイト内に移動しました。新しいURLは、

<https://www2.kek.jp/imss/spf/>  
です。

### ビームラインの状況

SPFでは、専用電子リニアックで約50 MeVまで加速した電子を、Taターゲットに当て、電子・陽電子対生成から陽電子を得ています。それを負の陽電子仕事関数をもつW薄膜モデレータを用いてエネルギー3 eVの低速陽電子として取り出します。低速陽電子生成部 (Taターゲット/Wモデレータ) は35 keVまで高電圧印加できるようになっており、ここで陽電子を任意のエネルギーに静電加速して、同じ実験室の測定スペースに磁場輸送して使います。現在使用中の低速陽電子生成部は、2010年に取り換えてから10年になります。ターゲットまわりは運転中に最も放射線量が高くなる箇所、配線の被覆がかなりダメージを受けており、2019年夏のメンテナンス期間に全てを交換しました。同箇所の高電圧フィードスルーもかなりダメージが見られることから、2020年夏のメンテナンス期間に生成部をチェンバごと取り替える予定です。

生成部について毎年行っているメンテナンスについて紹介します。ターゲット/モデレータは、電子線の照射によって発熱するので、銅製円柱型の熱アブソーバの内部に純水を送って冷却していますが、外部配管のシンプレックスチューブは、念のため毎年取り替えます。その際、ホルダ内の水路の奥が不純物イオンに浸食されていないことを、深さを測定して確認します。また、万一のために床に置いてある漏水検知器の動作テストをします。さらに、コンバータに接続されたコンデンサ (容量30 nF, 耐圧50 kV) を毎年取り替えます。このコンデンサは、加速された電子がコンバータに入射したときに起こる、瞬間的帯電による電圧変動を抑えるためのものです。

### 各ステーションの状況

現在、SPFには4つのステーションが稼働しています。地階テストホールのSPF-A3, SPF-A4と、地上階クライストロンギャラリー実験室のSPF-B1, SPF-B2です。

SPF-A3の全反射高速陽電子回折 (TRHEPD, トレプト)

ステーションでは、SiC表面上に形成した2層グラフェンにCaをインターカレートした2次元超伝導体の構造を解明しました (共同利用課題代表: 高山あかり氏)。その結果、Caがインターカレートされている位置およびグラフェンの積層状態が、それまで考えられていたものとは異なることが明らかになりました。

SPF-A4の低速陽電子回折 (LEPD, レプト) ステーションでは、その直前に設置された低速陽電子輝度増強部で消滅した陽電子からの $\gamma$ 線に由来するバックグラウンドノイズを低減するため、輝度増強部直後の輸送用静電レンズを太く長くしました。また、従来使用していたセンターホール付き2層遅延アノード検出器 (DLD) の十字型の不感領域が不便なので、3層遅延アノード検出器 (HEX-DLD) に置き換えました。まず電子銃を用いた動作試験を行い、鮮明な低速電子線回折 (LEED) パターンが得られました。さらに静電レンズと検出器を実装後、実験チェンバまで支障なくビームを導くことに成功しています。

SPF-B1の汎用ステーションでは、現在はポジトロニウム (Ps) のボース・アインシュタイン凝縮の実現に必要なレーザー冷却の実験が行われています (共同利用課題代表: 石田明氏)。2019年度には、今後の実験の進展に備えて、レーザー防護用の暗幕を整備しました。

SPF-B2のポジトロニウム飛行時間法 (Ps-TOF) ステーションでは、試料表面からのPs放出のエネルギー分布を通じての表面研究が行われています。

### その他

共同利用ビームタイムを有効に生かすための、実験ステーションから独立した試料作製チェンバの導入が進行しています。2019年度には所内公募研究費や外部資金により、試料マニピュレータ、電子衝撃加熱型3源エバポレータ、反射高速電子線回折 (RHEED) 装置、Ar<sup>+</sup>イオンスパッタ装置、真空維持型の試料搬送ベッセルなどを整備しました。

### 人事異動

2020年4月1日付で、和田健准教授が着任されました。和田さんは2010年4月～2016年3月の間物構研放射光第一研究系低速陽電子グループに所属しておられたので、ご存じの方も多いと思います。

## 物質構造科学研究所諮問委員会（構造生物学研究センター）報告

物質構造科学研究所 構造生物学研究センター  
田辺幹雄・千田俊哉

去る2020年2月14日、主に構造生物学研究センター（SBRC）を対象とした、物質構造科学研究所諮問委員会が開催されました。委員会では国際評価委員であるAlexander Wlodawer博士（NIH-NCI）に、SBRCの現状と将来的な展望について、SBRCのメンバーによるプレゼンテーションと、センターで事前に作成した過去5年間（2014-2019）の活動報告書に基づき評価して頂きました。またSBRCが今後も研究中核ハブとして継続的に発展していくために検討すべき事として忌憚のない御意見を頂き、議論を深めました。

委員会は、まず小杉物構研所長より、開催の挨拶と物構研の組織、研究所全体の理念、方針について概要を話して頂き、その後、千田がSBRCの目標、研究成果と開発状況、研究費獲得状況等のセンター全体の活動を総括しました。その後、午前中はSBRCが重点的に推し進める研究の一部（GTP biology, Glycobiology, Infectious diseases）について、それぞれセンターのメンバーが研究発表と質疑応答を行いました。昼食を挟み、午後は研究施設としての技術開発や将来計画に関して、結晶化施設、生体高分子結晶構造解析（MX）、生体高分子用のX線小角散乱（Bio-SAXS）のビームライン、クライオ電顕とバイオイメージングの順にメンバーが発表を行った後、各ビームラインや実験室を廻り、施設の現状について説明いたしました。最後に足立副所長が議長となり、所長、副所長を含む委員メンバーとSBRCのメンバーにより、現状への評価と将来への展望について議論し終了となりました。Wlodawer博士には後日以下の質問に回答していただくという形で報告書をまとめて頂きました。ここではその報告書のすべてをご報告することは出来ませんので、ポイントのみを紹介いたします。

### 構造生物学分野におけるSBRCの位置づけ、リーダーシップに関して

SBRCは、PDISやBINDSなどの多くの国家的なプロジェクトに参加すると同時に、それらを通して科学的に重要な貢献もしており、SBRCは構造生物学分野でリーダー的役割を果たしてきたと言える。非常にハイレベルの研究が行われており、最先端の共同研究を行うための研究組織である。MXとBioSAXSビームラインのユーザーも、質の高い研究を発表している。Toll様受容体、集光性タンパク質複合体、オートファジー関連タンパク質複合体、ヘリコバクター・ピロリ由来のガンタンパク質の研究は、その例である。MX、BioSAXS、分子動力学法などの手法を組み合わせ得られたビタミンD受容体の構造解析も注目に値する。

### 国際的な学術研究拠点として

細菌感染症、遺伝子転写過程の研究、GTP代謝などの分野で国際共同研究を成功させている。またPaul Scherrer Institut/Swiss Light Sourceとの協定に基づき、研究者の相互訪問が行われているだけでなく、硫黄原子の異常散乱を利用した構造解析手法であるNative-SAD法の推進や、結晶整形などに関しても国際交流が行われている。海外からの来訪者や国際会議での成果発表から判断しても国際的研究拠点としての役割を果たしていると言える。海外からの訪問者に対する英語サポートもセンターの事務部門により適切に行われている。

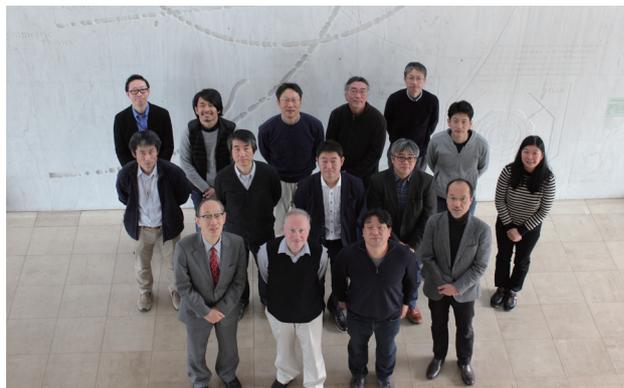
### SBRCの研究プロジェクト及び技術開発に関して

SBRCで実施されている研究プロジェクトは十分に選択されており、さらなる発展に向かって進められていると考えられる。ハイインパクトな学術誌に掲載された論文数からも、その研究の質の高さは伺える。研究スタッフの規模が比較的小さいことや、サポートと研究の間で人的資源を共有する必要があることを考慮すると、研究成果は十分である。また、タンパク質発現、結晶化、データ収集の自動化のレベルは非常に高い。クライオ電子顕微鏡装置の増設は、現代の構造生物学の最前線であり続けるために必要不可欠である。

### SBRCの方向性に関して

SBRCは成熟した組織であり、現在は非常に順調に推移しており今後も高い生産性を維持していく可能性が高いと考えている。長期的には、シンクロトロン機能アップグレードやクライオ電子顕微鏡装置の増設などの計画が鍵となる。

上記のポイント以外にも、多くの有益なアドバイスを頂きました。また報告書の全文はPFのWebに公開される予定です。Wlodawer博士にはSBRCの現状と将来像について真剣にご議論頂きましたことを心より感謝致します。頂きましたアドバイスを基に、さらなる研究の発展とユーザーへのサポートを推進していきたいと考えています。



PF-SAC 諮問委員会、中央がWlodawer博士。

## PF-AR 測定器開発用テストビームラインの建設

KEK 素粒子原子核研究所 花垣和則

素粒子原子核物理学実験では、研究活動の中で測定器開発の比重が大きく、その測定器開発段階においては、粒子線を使ったビームテストが、ほとんど全ての実験計画で必須である。一方で、日本国内にはビームテストを実施できる施設が少なく、欧州の CERN、米国の Fermilab と並び、素粒子原子核物理研究の世界三大拠点を自負する KEK にとって、GeV オーダーのテストビームラインの保有はかねてからの悲願であった。また、ユーザーコミュニティからもテストビームライン建設の要望は根強く、今回その要望がようやく届き、2020 年と 21 年の 2 カ年計画として、つくばキャンパス PF-AR 南棟 (図 1) に、電子ビームを取り出すテストビームラインを建設することとなった。

PF-AR の蓄積電子ビームのハローを削るように、ビーム中心から離れた位置にワイヤー標的を入れ、ガンマ線を生成させる。そのガンマ線を converter に入射させて電子・陽電子対を生成、その後、ビーム収束用の四重極電磁石と、特定の運動量を持った電子だけを取り出すための双極電磁石の組み合わせにより、ビームテストに使用する電子ビームを取り出す。数年前のレートの見積もりでは、蓄積電子ビームのエネルギーが 6.5 GeV、電流 65 mA を仮定すると、2 GeV の電子を 4 kHz 程度で取り出せると見込んでいた。

今後、上記のビームレートの再検証をまずは行い、その後、標的や converter の最適化、そして、必要ならばビームダクトの設計と建設を今年度内に行う。さらに、放射線遮蔽、ビームステージの建設、ビーム取り出し用電磁石の調達など、やらなければならないことが山積みされているが、ビームライン建設のための組織が構築されたわけではなく、素核研、加速器、物構研の有志によりこの計画を進めていかなければならない。そこで、建設後の運用を含めて、自主運営できるようなユーザー会を立ち上げる必要がある。

いずれにせよ、念願のテストビームラインが KEK に建設できることは非常に喜ばしいニュースである。PF-AR の新たなビームラインとして、物構研との連携を強化しつつ、多くのユーザーが使える施設を目指したい。

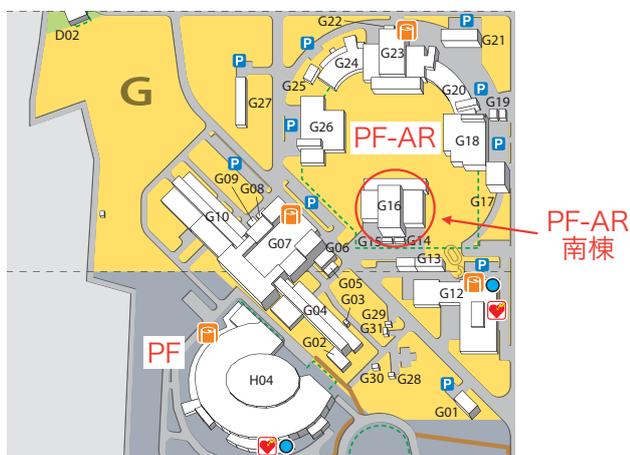


図 1 PF-AR 南棟の地図

共鳴軟 X 線散乱を用いたマルチフェロイックスの配位子酸素サイトのスピン偏極観測

石井祐太<sup>1\*</sup>, 木村宏之<sup>2</sup>, 中尾裕則<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 (\*: 現所属: 東北大理), <sup>2</sup> 東北大学 多元物質科学研究所

Observation of spin polarization at ligand oxygen site in multiferroics by resonant soft x-ray scattering

Y. Ishii<sup>1\*</sup>, H. Kimura<sup>2</sup>, H. Nakao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IMSS, KEK (\*: present address: Tohoku Univ.), <sup>2</sup>IMRAM, Tohoku Univ.

Abstract

共鳴 X 線散乱とは、特定の元素の吸収端を利用した散乱実験であり、元素選択的に電子の秩序状態を観測することが可能である。本研究では、強誘電性と反強磁性が共存・結合するマルチフェロイック酸化物に対して、酸素吸収端における共鳴軟 X 線散乱実験を行った。これにより、強誘電相転移に伴い配位子の酸素サイトに誘起されるスピン偏極を観測し、強誘電性の局所的な機構に迫った。

1. はじめに

放射光 X 線を用いれば、実験室 X 線では観測されなかったものが観えてくる。例えば、僅かな格子変位に由来する超格子反射や X 線磁気散乱といった非常に微弱な信号も、大強度である放射光 X 線を用いれば観測可能である。また、放射光 X 線はエネルギー可変である。これにより、X 線のエネルギーをある特定元素の X 線吸収端に合わせるような実験が可能になり、X 線吸収分光のような分光的な実験も盛んに行われている。

元素の X 線吸収端で散乱実験を行う手法を、共鳴 X 線散乱 (RXS) という。吸収端を利用することで、電子のもつ電荷・スピン・軌道等の秩序状態を、元素選択的に観測が可能であり、これらの自由度が物性に支配的に寄与するような強相関電子系の分野において広く使用されている。また、この手法では X 線の磁気散乱能が大きくなることが知られており、磁性体研究にも利用できる。磁気秩序を観測する手法としてよく用いられるのが、中性子散乱である。中性子は、自身がスピンを持っており、磁気散乱能が原子核からの散乱能と同程度である。従って、磁性体研究では非常に強力な手法であろう。一方で、RXS では元素選択的に磁気散乱を観測でき、例えば磁性イオンの磁気モーメントに誘起されたアニオンサイトのスピン偏極という、中性子散乱では観測が困難な情報に対してもアプローチできる。我々は、この RXS を用いて強誘電性と反強磁性が共存・結合するマルチフェロイック酸化物の微視的機構の解明を行ってきた。本解説記事では、我々が行った研究のうち、マルチフェロイック物質中に誘起される配位子酸素 (O) サイトのスピン偏極観測に焦点を絞って紹介したい [1,2,3]。

2. マルチフェロイック物質の強誘電性機構と酸素スピン偏極

複数の強秩序が結合・相関すると、これまでとは全く異なった物理現象が発現する。例えば、磁気秩序が強誘電性を誘起するマルチフェロイック物質では、磁場 (電場) により電気分極 (磁化) を制御する電気磁気効果や、光の吸収が方向により変化する方向二色性等、これまでに多彩な現象が発見されてきた。また、今日に至るまでの精力的な研究により、いくつかの特殊な磁気秩序配列により強誘電性が誘起される機構が知られている。例えば、磁気サイクロイド構造により電気分極が誘起される “Spin Current (SC) モデル” や、スピン間に働く交換相互作用により電気分極が発現する “Exchange Striction (ES) モデル” 等が一例である (Fig. 1(a)) [4]。

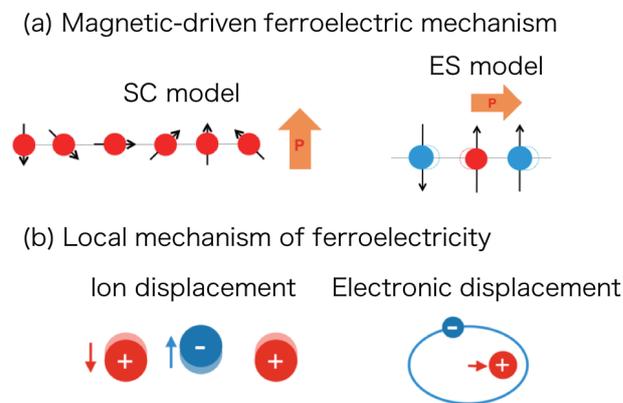


Figure 1 Schematic view of (a) SC and ES model, and (b) ion and electronic local displacements.

一方で、マクロな電気分極は、磁気秩序から直接的に出現するわけではない。局所的に誘起された電気分極が、長距離に渡り打ち消し合うこと無く存在するときに初めてマクロな電気分極が現れる。従って、マルチフェロイックの特性を理解する上で、磁気構造だけでなく、局所的な強誘電性機構を理解することが極めて重要になる。こうした局所的機構として、イオンがそのまま変位するイオン変位と、電子雲の重心位置が変化する電子変位が挙げられる (Fig. 1(b))。そこで、初期の頃からいくつかのマルチフェロイック物質に対しては第一原理計算によって、これらの変位量の見積もりが行われている [5]。しかしながら、どのような磁気秩序のときに、どのような局所変位が優勢になるのかについては、あまり解明されていないのが現状であろう。

このような局所変位を実験的に観測する手法としてまず思いつくのが、X線結晶構造解析であろう。実際に、強誘電体物質では、古くから強誘電性に関するイオン変位や電子変位が観測されている [6]。一方で、磁気秩序に強誘電性が誘起されるマルチフェロイック物質では、電気分極の大きさが非常に小さく ( $\sim \text{nC/cm}^2$ )、それを担う原子変位量も僅かであるため観測が著しく困難となる。それでも近年では、大強度である放射光X線の利点を生かし、マルチフェロイック物質中のイオン変位の観測がいくつか報告されている [7]。では、電子変位はどうであろうか。これは、イオン変位と比べて格段に難しいだろう。これは、通常の結晶構造解析では原子を球体であるイオンとして取り扱うのに対し、電子変位を観測するためには電子密度分布を求める必要があるためである (実際には、電子密度分布の相転移前後の変位量)。従って、筆者が知るところでは、マルチフェロイック中の電子変位を直接観測した事例は無い。更に、上記の結晶構造解析実験の例 [7] では、原子をイオンとして取り扱っており、電子変位の寄与も全てイオンの重心位置に押し込められてしまっている。

一方で、結晶構造解析とは異なった手法で電子変位観測にアプローチした例はある。それが酸素 (O) サイトのスピンの偏極の観測である。配位子である O サイトは、単純に考えれば  $\text{O}^{2-}$  イオンであり磁気モーメントは持たない。しかしながら、磁性イオンと O イオンとの混成の結果、両

者の間に電荷移動が生じ、酸素の  $2p$  軌道にスピンを持ったホールが誘起され、結果として O サイトにスピン偏極が現れる。従って、このスピン偏極を観測することで、磁性イオンと O イオン間の電子変位を、間接的に観測することができる。このような観点のもと、典型的なマルチフェロイック物質  $\text{RMn}_2\text{O}_5$  ( $R = \text{Y, Tb}$ ) に対して RXS が行われた [8]。その結果、O サイトのスピンの偏極が観測され、興味深いことに、スピン偏極の温度に対する振る舞いが電気分極のそれと良く対応することが指摘された。これらは、マクロな電気分極には、局所的な電子変位が優勢的に寄与していることを示唆するものである。しかしながら、上述した磁気誘起強誘電性機構と局所的機構との関係等、その詳細は明らかになっていない。そこで我々の研究グループでは、異なる磁気構造を有する  $\text{RMn}_2\text{O}_5$  ( $R = \text{Y, Sm}$ ) と顕著な電気磁気効果を示す  $\text{Tb}_{1-x}\text{Gd}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$  に着目し、O サイトのスピンの偏極を観測することで、マルチフェロイック物質中における強誘電性の局所機構について、その詳細を調べた。

### 3. O K 端における共鳴 X 線散乱の概要

本研究では、O サイトのスピンの偏極を観測するため、O の X 線吸収端 (K 端) において RXS 実験を行った。その概要を、記述する。O K 端 ( $E \sim 530 \text{ eV}$ ) に X 線のエネルギーを合わせると、X 線が入射した際に O の  $1s$  軌道から  $2p$  軌道のホールへ電子遷移が生じる (Fig. 2(a))。その後、 $2p$  軌道へ遷移した電子は  $1s$  軌道へ戻る際に X 線を放出するため、これを捉えることで中間状態である  $2p$  軌道の電子状態が観測可能になる。この時、 $2p$  軌道が磁性イオンとの混成の結果、スピン偏極したホール軌道が誘起され、X 線の散乱断面積はこのスピン偏極に強く依存する。更に、このスピン偏極に空間変調が生じた場合、通常の回折実験と同様に、ある散乱角度に磁気散乱ピークを観測することができる (Fig. 2(b))。また、磁性イオンにより O のスピン偏極が誘起されていることから、その周期は磁性イオンのそれと同じであることが期待される。

### 4. $\text{RMn}_2\text{O}_5$ ( $R = \text{Y, Sm}$ ) における O のスピン偏極と局所的な強誘電性機構

$\text{YMn}_2\text{O}_5$  や  $\text{SmMn}_2\text{O}_5$  では、中性子散乱や RXS により、Mn イオンや希土類イオンの磁気秩序が観測されている [9,10]。両者の磁気構造を Fig. 3(a)(b) に示す。 $\text{YMn}_2\text{O}_5$  はノンコリニアな磁気構造であり、 $c$  軸方向に  $\text{Mn}^{4+}$  の磁気サイクロイド構造が存在する。これにより、低温では SC モデルにより強誘電性が誘起されることが指摘されている。一方で、 $\text{SmMn}_2\text{O}_5$  では完全にコリニアな磁気構造が形成されている。これにより ES モデルが優勢的であることが示唆される (これらの物性の詳細は、文献 [9,10,11] を参照して頂きたい)。このようにこれらの物質では大きく異なった磁気構造が形成され、異なる強誘電性機構が存在する。従って、これらの物質中の O サイトのスピンの偏極を観測することで、局所変位と磁気誘起強誘電性機構との関係に迫れると期待した。

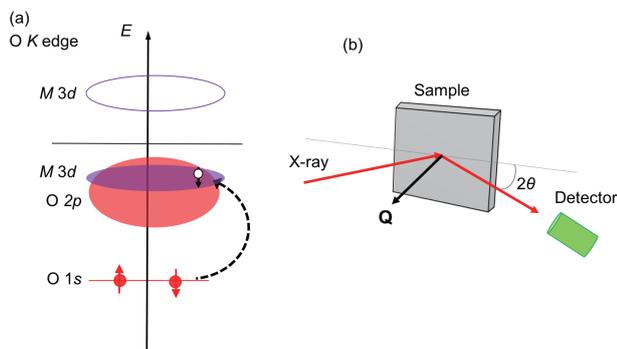


Figure 2 Schematic view of (a) RXS at O K edge and (b) geometry of diffraction experiment.

磁気秩序の周期は、磁気伝搬ベクトル  $\mathbf{q}_M$  により特徴づけられる。YMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の場合  $\mathbf{q}_M = (1/2, 0, 1/4)$ , SmMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の場合  $\mathbf{q}_M = (1/2, 0, 0)$  である。これは例えば YMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> では、結晶格子に対して  $a$  軸方向に 2 倍、 $c$  軸方向に 4 倍の周期で磁気モーメントが秩序化していることを意味している。これらの物質に対して、まず Mn  $L_{II,III}$  端で RXS を行なった。Fig. 3(c) には、磁気散乱の Mn  $L_{II,III}$  端周辺のエネルギースペクトルを示す。逆格子点は、上記の磁気伝搬ベクトルに対応して、YMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> では  $\mathbf{Q} = (0.5, 0, 0.25)$ , SmMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> では  $\mathbf{Q} = (0.5, 0, 0)$  である。両者とも、明瞭な磁気反射が観測されている。

では、Mn の配位子である O サイトのスピンの偏極はどうなっているのだろうか。Fig. 3 (d) に、O  $K$  端における RXS 強度のエネルギースペクトルを示す。YMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> では、点線で示された  $E = 530$  eV に明瞭な磁気反射が観測された。このエネルギー位置は Mn と O イオン間の電荷移動を反映していることが分かっており、O サイトにスピン偏極が生じていることを示している。一方で、SmMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> では  $E = 530$  eV の共鳴エネルギーにおいて磁気反射が観測されなかった。これは、Mn-O 混成による酸素のスピンの偏極が存在しないことを示している。このように、O サイトのスピンの偏極という、本来であれば非常に観測が困難な情報を、RXS を用いれば容易に知ることが可能である。

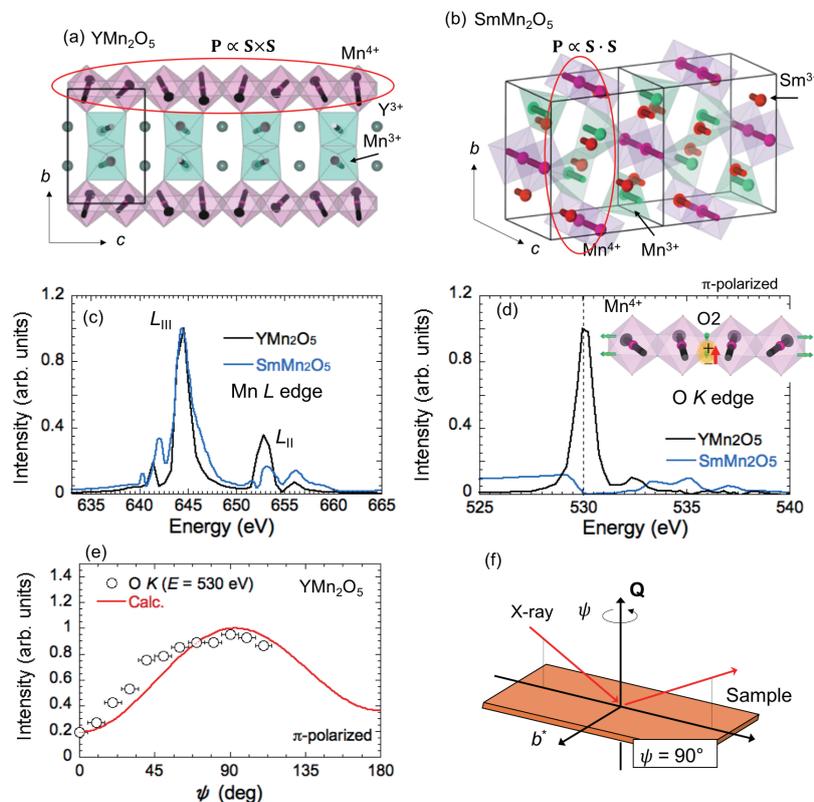
ではこれらの違いはどこから来るのだろうか。これらの物質で大きく異なるのは、Mn の磁気構造である。特に、

YMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> には Mn<sup>4+</sup> イオンの磁気サイクロイド構造が存在するが、SmMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> では存在しない (Fig. 3(a)(b))。従って、これらの結果は Mn<sup>4+</sup> イオンに挟まれた酸素イオン (O2 サイト) のスピン状態を主に反映している可能性が高い (Fig. 3 (d) の挿入図)。

これを確かめるため、YMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の  $E = 530$  eV の散乱強度のアジマス角依存性を測定した (Fig. 3 (e))。この測定では、散乱ベクトル周りに試料を回転させながら、散乱強度を観測する (Fig. 3 (f))。  $b^*$  軸方向が、散乱面に垂直になった時をアジマス角  $\psi = 90^\circ$  と定義して、散乱強度変化を測定した結果を Fig. 3 (e) に示す。YMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> では  $\psi = 90^\circ$  の時に、極大を持つようなアジマス角依存性が得られた。そこで、Fig. 3(d) の挿入図に示すように、O2 イオンに隣り合う Mn<sup>4+</sup> の磁気モーメントが作る局所磁場と平行になるようにスピンを仮定し、アジマス角依存性の計算を行った。ここで、RXS の磁気散乱振幅 ( $f$ ) は、以下の式で表される。

$$f \propto (\boldsymbol{\varepsilon}' \times \boldsymbol{\varepsilon}) \cdot \mathbf{F}_m.$$

$\boldsymbol{\varepsilon}(\boldsymbol{\varepsilon}')$  は入射 (散乱) X 線の偏光ベクトルであり、 $\mathbf{F}_m$  は磁気構造因子と呼ばれ、 $\mathbf{F}_m = \sum_j \mathbf{m}_j \exp[2\pi i(\mathbf{Q} \cdot \mathbf{r}_j)]$  と書ける。 $\mathbf{m}_j$  と  $\mathbf{r}_j$  は、 $j$  番目の原子の磁気モーメントと原子位置であり、 $\mathbf{Q}$  は散乱ベクトルを表す。計算結果を、Fig. 3(e) に曲線で示すが、実験結果を良く再現していることが分かる。また、ここでは詳細は記述しないが、我々は最近ミュオンを用い



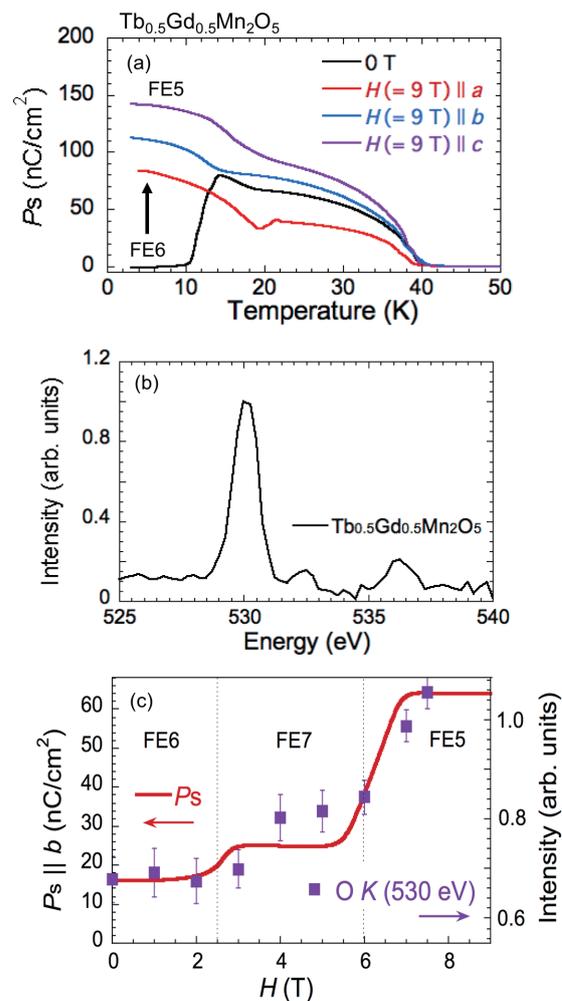
**Figure 3** (a)(b) Magnetic structure of RMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( $R = Y, Sm$ ). (c)(d) RXS energy spectra around Mn  $L_{II,III}$  and O  $K$  edges in RMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( $R = Y, Sm$ ). The inset represents magnetic structure and electronic displacements of O2 ions. (e) Azimuthal angle ( $\psi$ ) dependence of RXS intensity at  $E = 530$  eV for RMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Red line represents calculated results. (f) Geometry of RXS experiments at  $\psi = 90^\circ$  degree.

た  $\mu$ SR 測定によっても、 $\text{YMn}_2\text{O}_5$  における O のスピン偏極を観測した [3]。それによると、O2 サイトに  $0.1 \mu_B$  程度の磁気モーメントが観測された。更に興味深いことに、温度低下により  $\text{Mn}^{4+}$  の磁気サイクロイド構造が形成されるのに伴い、O2 サイトの磁気モーメントも増加することが明らかになった。以上の結果は、 $\text{YMn}_2\text{O}_5$  における強誘電性の局所機構について以下のこと示唆している。 $\text{YMn}_2\text{O}_5$  では  $\text{Mn}^{4+}$  の磁気サイクロイド構造の形成により SC モデルを介して  $\text{Mn}^{4+}$ -O2 間の電子変位が生じ、それによりマクロに強誘電性が発現する。これと同時に、O2 サイトにホールが誘起されることで酸素のスピン偏極が現れ、我々はこれを RXS や  $\mu$ SR で観測したと考えられる。一方で、 $\text{SmMn}_2\text{O}_5$  では  $\text{Mn}^{4+}$  イオンの磁気サイクロイド構造が存在せず、Mn-O 混成由来の酸素のスピン偏極も観測されていない。このことは、 $\text{SmMn}_2\text{O}_5$  では ES モデルによるイオン変位が強誘電性に大きく寄与していることを示しており、磁気構造によって局所的な強誘電性機構が変化し得ることを示唆する結果である。

#### 4. $\text{Tb}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Mn}_2\text{O}_5$ における酸素のスピン偏極と電気磁気効果

これまでの実験は、零磁場下での O のスピン偏極観測である。しかし、マルチフェロイックでは、電気磁気効果という磁場中で強誘電性が変化する特徴的な物性を発現する。そこで、顕著な電気磁気効果を示す  $\text{Tb}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Mn}_2\text{O}_5$  に対して、磁場下での O のスピン偏極観測を行った。この物質の、電気分極の温度依存性を Fig. 4(a) に示す。当該物質では、磁場印加により低温で消失していた電気分極が増加する顕著な電気磁気効果が現れる (Fig. 4(a) の FE6 相  $\rightarrow$  FE5 相)。希土類, Mn の磁気散乱観測や温度・磁場相図の詳細は論文 [3] を参照して頂くとして、この電気磁気効果の磁場過程において O のスピン偏極はどのように振る舞うのかを、簡単に記したい。実験は、超伝導マグネット搭載の軟 X 線回折装置を用いた [12]。

Fig. 4(b) に、零磁場下での O K 端の磁気散乱のエネルギースペクトルを示す。逆格子点は、 $Q = (0.5, 0, 0.25)$  である。 $\text{YMn}_2\text{O}_5$  と同様に、 $E = 530 \text{ eV}$  に明瞭な磁気散乱ピークが観測された。 $\text{YMn}_2\text{O}_5$  と同様に、これは希土類では無く、Mn と O の混成に由来した酸素のスピン偏極を表している。そこで、次にこの磁気散乱ピーク強度の磁場依存性を測定した。結果を、Fig. 4(c) に示す。磁場は、試料の  $b$  軸方向に印加している。図には、RXS 強度と一緒に  $b$  軸方向に磁場を印加した際の電気分極の変化も示してある。当該物質では、FE6 相から FE5 相に移る間に、FE7 相という別の強誘電相を経由する。そのため、電気分極は磁場に対して二段階の変化を示している。興味深いことに、O K 端の RXS 強度も、電気分極に対応するように、二段階に分けて増加している。これは、磁場印加によって Mn-O 間の電子変位が増加したことを示唆する結果である。 $\text{YMn}_2\text{O}_5$  では、 $E = 530 \text{ eV}$  のピークは  $\text{Mn}^{4+}$ -O2 間の電荷移動と対応していることが示唆されていることを述べた。従って、



**Figure 4** (a) Thermal evolution of the electric polarization under external magnetic field in  $\text{Tb}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Mn}_2\text{O}_5$ . (b) Energy spectrum of RXS around O K edge. (c) Magnetic field dependence of RXS intensity at  $E = 530 \text{ eV}$  and the electric polarization[2].

$\text{Tb}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Mn}_2\text{O}_5$  では、磁場印加により電気分極を生じる磁気サイクロイド構造が形成された結果、SC モデルを介した電子変位の増加によりマクロな電気磁気効果が発現したことが示唆される。ただし、今回観測された磁気ピークが、同じ O2 サイトからの散乱であるかどうかははっきりせず、今後の更なる研究も必要である。

#### 5. まとめ

本研究では、軟 X 線領域での RXS を利用することで、マルチフェロイック物質中に誘起される配位子 O サイトのスピン偏極の観測に成功した。これにより、 $\text{RMn}_2\text{O}_5$  系では磁気サイクロイド構造に誘起された O サイトの電子変位が強誘電性に優勢的に寄与している可能性が示唆された。一方で、このような局所的な強誘電性機構に着目した研究は僅かであり、マルチフェロイック特性の更なる理解のための研究が求められる。

また、元素の X 線吸収端を用いれば、配位子 O のスピン偏極といった通常的手法では観測が困難な物理量に対し

でも有効的にアプローチできることを述べた。本研究が、今後のアニオンサイト等に注目した研究の一助になれば幸いである。

## 6. 謝辞

本研究はPF-PAC承認(課題番号2016PF-BL-19B, 2017G018, 2017G549)のもと、PF BL-3A, 16A, 19Bにおいて行った。

## 引用文献

- [1] Y. Ishii, S. Horio, H. Yamamoto, Y. Noda, H. Nakao, Y. Murakami, and H. Kimura, *Phys. Rev. B* **98**, 174428 (2018).
- [2] Y. Ishii, Y. Murakoshi, N. Sato, Y. Noda, T. Honda, H. Nakao, Y. Murakami, and H. Kimura, *Phys. Rev. B* **100**, 104416 (2019).
- [3] Y. Ishii, S. Horio, Y. Noda, M. Hiraishi, H. Okabe, M. Miyazaki, S. Takeshita, A. Koda, K. M. Kojima, R. Kadono, H. Sagayama, H. Nakao, Y. Murakami, and H. Kimura, under submission.
- [4] Y. Tokura, S. Seki, and N. Nagaosa, *Rep. Prog. Phys.* **77**, 076501 (2014).
- [5] 例えば, G. Giovannetti and J. Van den Brink, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 227603 (2008).
- [6] 例えば, Y. Kuroiwa, S. Aoyagi, A. Sawada, J. Harada, E. Nishibori, M. Takata, and M. Sakata, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 217601 (2001).
- [7] 例 え ば, C. Vecchini, A. Bombardi, L. C. Chapon, G. Beutier, P. G. Radaelli, S. Park, and S.-W. Cheong, *Phys. Rev. B* **89**, 125114 (2014).
- [8] T. A. W. Beale, S. B. Wilkins, R. D. Johnson, S. R. Bland, Y. Joly, T. R. Forrest, D. F. McMorrow, F. Yakhov, D. Prabhakaran, A. T. Boothroyd, and P. D. Hatton, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 057201 (2010).; S. Partzsch, S. B. Wilkins, J. P. Hill, E. Schierle, E. Weschke, D. Souptel, B. Büchner, and J. Geck, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 057201 (2011).
- [9] H. Kimura, S. Kobayashi, Y. Fukuda, T. Osawa, Y. Kamada, Y. Noda, U. Kagomiya, and K. Kohn, *J. Phys. Soc. Jpn.* **76**, 074706 (2007).
- [10] Y. Ishii, S. Horio, M. Mitarashi, T. Sakakura, M. Fukunaga, Y. Noda, T. Honda, H. Nakao, Y. Murakami, and H. Kimura, *Phys. Rev. B* **93**, 064415 (2016).
- [11] S. Wakimoto, H. Kimura, Y. Sakamoto, M. Fukunaga, Y. Noda, M. Takeda, and K. Kakurai, *Phys. Rev. B* **88**, 140403(R) (2013).
- [12] J. Okamoto, H. Nakao, Y. Yamasaki, T. Sudayama, K. Kobayashi, Y. Takahashi, H. Yamada, A. Sawa, M. Kubota, R. Kumai, and Y. Murakami, *J. Phys.: Conf. Ser.* **502**, 012016 (2014).

(原稿受付日: 2020年3月20日)

## 著者紹介

石井 祐太 Yuta ISHII



東北大学理学研究科物理学専攻 助教  
〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻  
字青葉 6-3

e-mail: yishii@tohoku.ac.jp

略歴: 2019年 東北大学大学院理学研究科 博士後期課程修了 博士(理学),  
2019年-2020年 高エネルギー加速器研

究機構 物質構造科学研究所 博士研究員, 同年4月より現職

最近の研究: コヒーレントX線回折イメージング研究とX線・中性子回折,  $\mu$ SRを用いた構造物性研究

趣味: 野球, 散歩

木村 宏之 Hiroyuki KIMURA



東北大学多元物質科学研究所 教授

〒980-8577

宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

e-mail: hiroyuki.kimura.b5@tohoku.ac.jp

略歴: 1999年 東北大学大学院理学研究科 博士後期課程修了 博士(理学),  
1999年-2001年, 東北大学科学計測研究

所, 助手, 2001年-2007年, 東北大学多元物質科学研究所, 助教, 2007年-2012年, 同准教授, 2012年より現職。

所属: 東北大学多元物質科学研究所 教授

最近の研究: 構造物性, 中性子回折・散乱, X線回折・散乱

趣味: フリークライミング

中尾 裕則 Hironori NAKAO



高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 准教授

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

e-mail: hironori.nakao@kek.jp

略歴: 1999年 東京大学大学院理学系研究科 博士課程修了 博士(理学),  
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科

学研究所 助手, 東北大学 大学院理学研究科 助教を経て, 2009年より現職。

最近の研究: 共鳴X線散乱を利用した構造物性研究

趣味: 物を作り出すこと

## ヒト乳頭組織の3次元可視化のためのX線暗視野CTの開発： 単一乳腺葉内で進展する非浸潤性乳管癌の解析

砂口尚輝<sup>1</sup>，島雄大介<sup>2</sup>，市原周<sup>3</sup>，西村理恵子<sup>3</sup>，岩越朱里<sup>3</sup>，湯浅哲也<sup>4</sup>，安藤正海<sup>5</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院医学系研究科，<sup>2</sup>北海道科学大学保健医療学部診療放射線学科，<sup>3</sup>名古屋医療センター病理診断科，  
<sup>4</sup>山形大学大学院理工学研究科，<sup>5</sup>総合科学研究機構

### Development of X-ray dark-field computed tomography for three-dimensional visualization of human nipple

Naoki SUNAGUCHI<sup>1</sup>, Daisuke SHIMAO<sup>2</sup>, Shu ICHIHARA<sup>3</sup>, Rieko NISHIMURA<sup>3</sup>, Akari IWAKOSHI<sup>3</sup>,  
Tetsuya YUASA<sup>4</sup>, Masami ANDO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Hokkaido University of Science, <sup>3</sup>Nagoya Medical Center, <sup>4</sup>Yamagata University,  
<sup>5</sup>Comprehensive Research Organization for Science and Society

#### Abstract

2016年までの4年間にKEK-PFのBL-14BおよびBL-14Cで進めてきたX線暗視野光学系を用いる屈折コントラストCT(XDFI-CT)の開発により、ヒト乳頭内乳管の3次元構造の明瞭な可視化および撮影時間短縮が可能となった。改良されたXDFI-CTを用いて、乳頭組織を約60症例撮影し、乳頭内乳管数、乳頭先端における乳管の合流、乳頭内乳管の3次元空間配置などを調査してきた。本稿では、XDFI-CTの撮像原理およびXDFI-CTを用いたヒト乳頭組織を高画質撮影するための取り組みを紹介する。さらに最近の研究で乳頭組織から得た解剖学に関する新しい発見について紹介する。

#### 1. はじめに

近年、乳癌手術や予防の際に、術前の状態にできるだけ近い外観を維持するため、乳頭、乳輪、皮膚を残して、乳腺組織を切除する乳頭温存乳腺全摘術(NSM: nipple-sparing mastectomy)が多く行われるようになった[1, 2]。この方法は、乳房再建手術で自然な形の乳房を再建するためにも有利と考えられる。ただし乳頭部に癌が存在すると、NSM後に癌が再発するリスクとなる。それゆえ、乳頭に癌がないことを術前に調べる必要がある。しかし、癌の有無を調べる以前に、乳頭内乳管の3次元構造に関する研究例は少なくまだよく分かっていない。例えば、乳頭内の主乳管同士の吻合の有無や3次元空間内における乳管配置などは数例のみ報告されているが[3-5]、我々の研究では個人差が非常に大きいことが分かっている。また近年、スウェーデンの病理学者であるTibor Totによって非浸潤性乳管癌(DCIS)が基本的に1つの乳腺葉を侵す疾患であるという仮説(sick lobe理論)が発表され[6]、各乳腺葉の乳管が一斉に集まる乳頭内を可視化し解析することは医学的にも意義がある。ここで、各医学用語については参考文献7を参照してほしい。

我々の研究グループでは、この背景のもと、乳頭内乳管の3次元構造を明瞭に可視化すること、撮影時間を短縮することを目的に、2012年～2016年に高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリー(KEK-PF)BL-14BおよびBL-14Cで、X線暗視野光学系を用いる屈折コントラストCT(XDFI-CT: X-ray dark field computed tomography)[8, 9]の開発を進めてきた。また、2016年～2018年に乳頭組

織を約60症例撮影し、乳頭内乳管数、乳頭先端における乳管の合流、乳頭内乳管の3次元空間配置などを調査してきた。本稿では、XDFI-CTの撮像原理およびXDFI-CTを用いてヒト乳頭組織を高画質に撮影するための取り組みを紹介した後、最近の成果である51症例の乳頭組織から得た解剖学に関する新しい発見について紹介する。

#### 2. XDFI-CT 撮像システム

Fig. 1は試料撮影に利用されたXDFI-CT撮像システムの概要図である。入射X線には熱除去のための前置2結晶分光器で単色された放射光X線ビームが使用される。入射X線ビームはまず非対称Bragg-case Si単結晶モノクロリメータ(MC)で回折し、試料サイズよりも大きい視野を形成する。ビームは試料を伝搬する際、試料内の複素屈折率の実部 $1-\delta$ の値に従って屈折し、その後方に設置された薄いLaue-case Si単結晶アナライザー(LAA)に入射

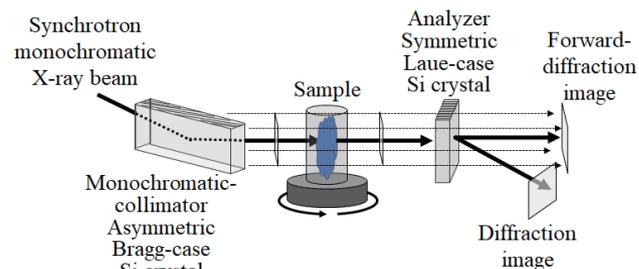
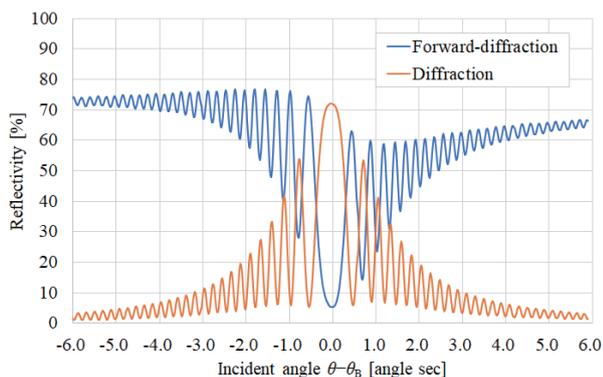
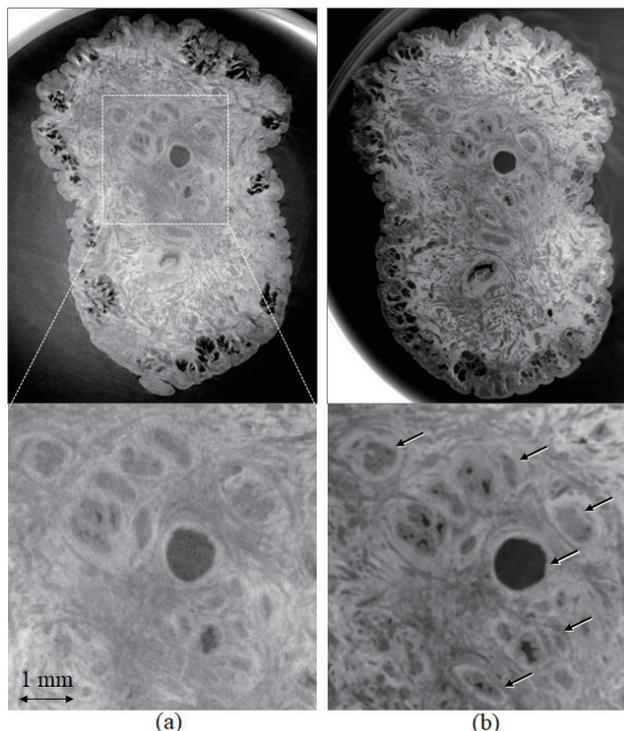


Figure 1 Schematic image of XDFI-CT measurement system.



**Figure 2** Rocking curves obtained in the forward-diffraction and diffraction directions behind Laue-case Si crystal.

する。ここで、ビーム方向とLAA表面のなす角がブラッグ角  $\theta_B$  近辺になるように設置すると、ビームはLAA後方で透過方向の前方回折ビームと、 $2\theta_B$  方向の回折ビームに分かれて伝搬する。それぞれのX線強度は、Fig. 2で示すLAA固有の回折強度曲線に従う。図中の曲線の振動成分はLAA特有のペンデル縞と呼ばれる振動であり、振動のようすはLAAの厚さに依存し、中心値も厚さによって極大、極小と大きく変化する。X線暗視野法は、ブラッグ角における前方回折X線強度が理論的に極小値になる条件、すなわち、暗視野条件を満たす厚さを持つLAAを利用する[7]。暗視野条件さえ満たされていれば、ペンデル振動は暗視野像に対して直接的な影響はない。X線の屈折角はLAAによりX線の回折強度に変換され、後方のX線カメラで測定される。サンプルによるX線の吸収が無視できない場合は、回折像も同時に撮影し数値計算により屈折角を推定するが[9]、本稿で紹介する乳頭試料は撮影時に水中で撮影されており、吸収コントラストはほぼ観測されないため前方回折像のみの投影セットからCTを再構成している。水中撮影では、水槽の中で試料だけが回転するような治具を用いている。



**Figure 3** Comparison of nipple CT images between 2012 and 2016.

### 3. ヒト乳頭組織のための撮像条件の検討

ヒト乳頭組織は2012年4月のKEK-PF BL-14Cのビームタイム内で初めて撮影された。その当時のX線暗視野光学系は安定性を欠き、適切な撮像条件が定まっていなかったことから撮影時間が長く、1症例を撮像するのも容易ではなかった。Fig. 3(a)はその当時撮影された乳頭のXDFI-CT像である。撮像条件はTable 1の左列に示す。厚さ170  $\mu\text{m}$ の薄いLAAを用いた効果で空間分解能は2012年以前よりも向上し、乳頭内の乳管をすべて描出することができた。一方で、CTを撮影するために要した時間は、画像転送やステージ移動の待機時間も含めておよそ9時間であり、多数の症例を用いた解析が困難であった。結果的に、この1

**Table 1** Differences of imaging conditions in nipple specimen before and after the improvement of the imaging system

Beam line	PF BL-14C	PF BL-14B
Imaging date	4/2012	11/2016
Double-crystal pre-monochromator	Si (220)	Si (111)
Pre-monochromator		
X-ray energy	35 keV	19.8 keV
Asymmetric Bragg-case	Si (440) $\alpha=10.2\text{deg}$	Si (111) $\alpha=5.4\text{deg}$
Monochromator-collimator	$\theta_B=10.6\text{deg}$	$\theta_B=5.73\text{deg}$
Symmetric Laue-case	Si (440) 170 $\mu\text{m}$ thickness	Si (111) 352 $\mu\text{m}$ thickness
Analyzer	$\theta_B=10.6\text{deg}$	$\theta_B=5.73\text{deg}$
X-ray camera	Photonics Science X-ray FDI VHR 16M Pixel size 7.4 $\mu\text{m}$	Same as left
Binning	1 $\times$ 1	2 $\times$ 2
Exposure time @ 1 projection	70 sec	4 sec
Projection number	360	600

症例から医学的に意義のある情報を得ることは難しかった。

ヒト乳頭組織に限らず生体組織のマイクロアナトミーを得るためには、少なくとも数10例～数100例のデータを解析する必要がある。限られたビームタイムの中で目標の症例数を達成するには、1症例1時間程度に短縮する必要があった。また、Fig. 3(a)の画質では乳管内の形状を得るには不十分であり縦横10 μm程度の空間分解能が必要になること、乳頭の直径および高さは平均で15 mmおよび20 mmであるため撮影視野は少なくとも縦横25 mm以上であることが撮像システムに要求される。2012年～2016年の4年間で、撮像システムの調整を繰り返し、Si(111)回折面を利用した新しい光学系の開発、X線エネルギーを下げることによるコントラスト改善、水槽内で試料を回転する撮影方式、試料からカメラまでの距離短縮による空間分解能向上、ビニングによる撮影時間短縮、投影数増加・再構成アルゴリズムの改良[10]による画質向上を行った(Table 1 右列)。2016年11月のKEK-PF BL-14Bで撮影された同試料のCTはFig. 3(b)のように画質が向上している。また、矢印で示した乳汁の通り道である乳頭内乳管も明瞭に描出できている。さらに、撮影時のPFの運転モードはTop-upではなく時間とともにビーム強度が減少したが、撮影時間を短縮したことにより、画質への影響は僅かなコントラストのムラ(左半分が暗い)だけである。

この時点で撮像システムの高スループット化を実現し、以降2年間をかけて、約60症例の乳頭組織を撮影した。

#### 4. 単一乳腺葉内で進展する非浸潤性乳管癌の解析

実際に解析に使用された乳頭は51症例であり、38歳～80歳の日本人女性で乳癌と診断され全摘出された乳房から得られている。各試料は10%の緩衝ホルマリン液で固定された後、エタノールに浸されて保存されており、撮像5～6時間前に、試料内部のエタノールを除去するために純水を入れた容器に移された。撮像時には試料は試料回転台に固定され、直方体の水槽容器内で投影撮影が行われた。本研究は、名古屋大学および名古屋医療センターの生命倫理審査で承認を受けている。

Fig. 4は、ヘマトキシリン・エオシン(HE)で染色された組織切片の顕微鏡像と対応するXDFI-CTのスライスを示す。組織切片で確認できる乳管(Lactiferous duct)はCT画像でも同様に明瞭に描出されている。また、組織切片とCT間の各乳管の空間配置はほぼ一致し、CTを用いて病理画像のような組織レベルの観察ができることを示す。CTからカウントされた乳管数は、51症例の合計で1428本、1症例あたりの平均で28本であった。標準偏差は9.14本であった[11]。本稿では詳細を省略するが、乳頭内乳管の3次元配置は大きく3つのタイプに分類できることが分かった[11]。

乳頭内乳管における3次元配置の観察を進めると、乳頭内で走行する複数の乳管が合流する様子が多数確認された。特に、乳頭の先端付近では頻りに乳管の合流が発生し

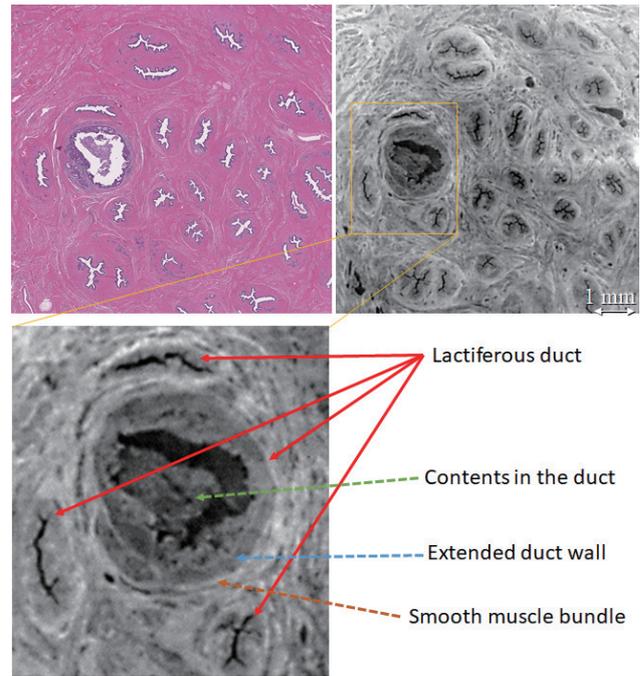


Figure 4 Histological section with HE staining and XDFI-CT image at the corresponding position of the section.

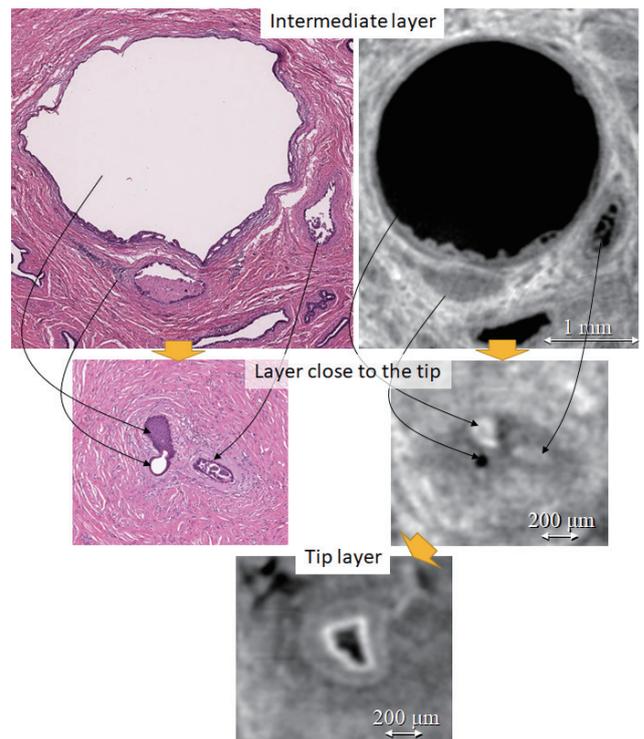


Figure 5 Three ducts with DCIS shown in arrows, merge at the tip of the nipple.

やすい。一般的に、乳腺の中には複数かつ大小の乳腺葉が存在し、1つの乳腺葉には、乳頭内の乳管から乳腺深部に向けて枝分かれした多数の乳管が存在する。そのため、今回確認された1か所に合流する乳管はすべて1つの乳腺葉に属すると考えられる。乳頭内のDCISが1つの乳腺葉にのみ存在するか否かを調査することは冒頭で述べた

sick lobe 理論を検証することに繋がり医学的に意義がある。今回の症例では、組織切片の観察により、51 症例のうち 9 症例 (18%) の乳頭内に癌が存在し、そのうち 6 症例は DCIS であった。乳頭基部における乳頭内の観察により、6 症例中 5 例は 1 本の乳頭内乳管のみに DCIS が存在し、sick lobe 理論と矛盾しない。残りの 1 例には 3 本の乳頭内乳管に DCIS が存在したが、それら 3 本の乳管は乳頭基部から乳頭先端部まで連続的な CT を観察してゆくと Fig. 5 のように先端で合流するため、1 つの乳腺葉に属すると考えられ、全ての症例において sick lobe 理論を支持する結果を得た [11]。

## 5. まとめ

本研究では、XDFI-CT を用いてヒト乳頭組織を高画質に撮影するための取り組みと近年の成果から抜粋した解析結果を紹介した。現在、システムのボトルネックは X 線カメラにあり、最新のシンチレータおよび高感度 CMOS カメラからなる新たな X 線カメラを導入し高解像度・短時間撮影を実現しようとしている。今後 DCIS の篩状構造やその他の生体組織などを XDFI-CT で撮影し多症例解析を行うことで新しい解剖学に関する情報が得られることが期待される。

## 謝辞

本研究の試料を準備していただいた名古屋医療センターの臨床検査科病理検査室に感謝を申し上げます。また、撮像システムで使用された LAA 結晶は KEK の PF 結晶加工室を利用して杉山弘助教および笹谷典太氏によって作製されました。ここで感謝を申し上げます。また、貴重な X 線 CCD カメラを貸していただいた KEK の平野馨一准教授および兵藤一行准教授に感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費 16K01369, 16K08654, 22591353, 15H01129, 26286079, 18K13765, 24601011, 平成 29 年度国立病院機構共同臨床研究 H29-NHO (癌般)-01, H29-NHO (多共)-02 および KEK 放射光実験課題 2008S2002, 2012G562, 2014G589, 2015G597, 2016G0625, 2017G697, 2018G669, 2019G598 の支援を受けています。

## 引用文献

- [1] W. A. Young, A. C. Degnim, T. L. Hoskin *et al.*, *Ann. Surg. Oncol.* **26**, 3115 (2019).
- [2] C. H. Lee, M. H. Cheng, C. W. Wu *et al.*, *Ann. Plast. Surg.* **82**, S95 (2019).
- [3] J. J. Going and D. F. Moffat, *J. Pathol.* **203**, 538 (2004).
- [4] J. E. Rusby, E. F. Brachtel, J. S. Michaelson *et al.*, *Breast Cancer Res. Treat.* **106**, 171 (2007).
- [5] F. Taneri, O. Kurukahvecioglu, N. Akyurek *et al.*, *Eur. Surg. Res.* **38**, 545 (2006).
- [6] M. P. Tan and T. Tot, *Gland Surg.* **7**, 611 (2018).
- [7] 市原周 新版乳腺病理学 細胞・組織・画像, 名古屋大学出版, ISBN:978-4-8158-0722-1, 2013 年

- [8] M. Ando, A. Maksimenko, H. Sugiyama *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **41**, L1016 (2002).
- [9] N. Sunaguchi, T. Yuasa, Q. Huo *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **97**, 153701 (2010).
- [10] N. Sunaguchi, T. Yuasa, R. Gupta *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **107**, 253701(2015).
- [11] N. Sunaguchi, D. Shima, T. Yuasa *et al.*, *Breast Cancer Res. Treat.* **180**, 397 (2020).

(原稿受付日: 2020 年 3 月 30 日)

## 著者紹介

砂口尚輝 Naoki SUNAGUCHI

名古屋大学大学院医学系研究科 准教授

〒461-8673 名古屋市東区大幸南一丁目1番20号

TEL: 052-719-1554

FAX: 052-719-1554

e-mail: sunaguchi@met.nagoya-u.ac.jp

略歴: 2006 年 山形大学大学院理工学研究科博士前期課程修了, 2006-2007 年 (株)日立メディコ, 2007-2010 年 山形大学大学院理工学研究科博士後期課程, 2010 年 同課程修了。博士 (工学), 2010-2012 年 高エネルギー加速器研究機構・学振特別研究員, 2012-2017 年 群馬大学大学院理工学府電子情報部門・助教, 2017 年 - 名古屋大学大学院医学系研究科医療技術学専攻・准教授 (現職)。X 線イメージングの研究に従事。

最近の研究: X 線暗視野 CT の高画質化のための研究および生体における微小解剖学的構造の解析。AichiSR BL8S2 ビームラインに X 線暗視野 CT の導入を進めている。

島雄大介 Daisuke SHIMAO

北海道科学大学保健医療学部診療放射線学科 教授

〒006-8585 北海道札幌市手稲区前田7条15丁目4-1

TEL: 011-688-7197

FAX: 011-688-2270

e-mail: shimao-d@hus.ac.jp

略歴: 1999 年 茨城県立医療大学保健医療学部放射線技術科学科卒業, 1999-2001 年 筑波メディカルセンター病院・診療放射線技師。2001-2003 年 茨城県立医療大学大学院保健医療科学研究科放射線技術学専攻修士課程, 2003 年 同修了, 修士 (放射線技術科学), 2003-2005 年 国立スポーツ科学センタースポーツ医学研究部・診療放射線技師, 2005-2007 年 茨城県立医療大学保健医療学部・助手, 2003-2006 年 総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科博士課程, 2006 年 同修了, 博士 (学術), 2007-2013 年 茨城県立医療大学保健医療学部・助教, 2013-2015 年 福島県立医科大学先端臨床研究センター・講師, 2015 年 - 北海道科学大学保健医療学部診療放射線学科・教授 (現職)。診療画像技術学に関する研究に従事。

最近の研究: X 線暗視野光学系を用いる屈折コントラスト CT; XDFI-CT の高解像度化による X 線病理解剖学の確立。

市原周 Shu ICHIHARA  
名古屋医療センター病理診断科 シニア医師  
〒460-0001 愛知県名古屋市中区三の丸4丁目1-1  
TEL: 052-951-1111  
FAX: 052-951-1323  
e-mail: shu-kkr@umin.ac.jp

略歴: 1982年名古屋大学医学部卒業, 博士(医学)。1986年名古屋大学大学院医学研究科満了。1986年国立名古屋病院臨床検査科医師。現在, 名古屋医療センター病理診断科シニア医師。日本病理学会, 欧州病理学会, アメリカ・カナダ病理学会の各会員, Virchows Archiv 編集委員。  
最近の研究: 乳房温存術における全側面 shave margin の評価を可能にする断端検索法の確立 (Cancer Med. 2019 Jul;8(7):3359-3369.)

西村理恵子 Rieko NISHIMURA  
名古屋医療センター病理診断科 医長  
〒460-0001 愛知県名古屋市中区三の丸4丁目1-1  
TEL: 052-951-1111  
FAX: 052-951-1323  
e-mail: rnishimura-path@umin.ac.jp

略歴: 1988年関西医科大学医学部医学科卒業。医師免許, 1994年関西医科大学大学院医学研究科博士課程単位習得(病理学専攻), 1995年医学博士号。日本病理学会認定病理専門医, 1995-1997年国立がんセンター東病院臨床検査科・がん専門修練医, 1997-1998年同・非常勤医師, 1998-2001年大阪警察病院臨床病理科・副医長, 2001-2002年四国がんセンター臨床検査科・医師, 2002-2018年同・臨床検査科長, 2018-2020年名古屋医療センター病理診断科・医長(現職)。病理診断と乳腺病理の研究に従事。  
最近の研究: セルブロックを用いた乳腺細胞診断。前任地では, 乳癌転移巣細胞診検体セルブロックを用いたコンパニオン診断の方法を確立し, 多施設共同研究を主催した。現在は, 乳癌原発巣に対するセルブロックの有用性について検討中である。

岩越朱里 Akari IWAKOSHI  
名古屋医療センター病理診断科 医師  
〒460-0001 愛知県名古屋市中区三の丸4丁目1-1  
TEL: 052-951-1111  
FAX: 052-951-1323  
e-mail: akari@med.nagoya-u.ac.jp

略歴: 2006年名古屋大学医学部医学科卒業, 2006-2008年名古屋第二赤十字病院臨床研修医, 2008-2012年名古屋大学大学院医学系研究科(腫瘍病理学専攻)博士課程, 2012年同課程修了。博士(医学), 2013-2017年名古屋医療センター病理診断科, 2017-2019年愛知医科大学病院病理診断科, 2019年-名古屋医療センター病理診断科(現職)。日本病理学会および日本専門医機構認定病理専門医, 日本臨床細胞学会細胞診専門医。

最近の研究: 肺・縦隔腫瘍, 乳腺腫瘍の臨床病理学的研究

湯浅哲也 Tetsuya YUASA  
山形大学大学院理工学研究科 教授  
〒992-8510 山形県米沢市城南4丁目3-16  
TEL: 0238-26-3324  
FAX: 0238-26-3323  
e-mail: yuasa@yz.yamagata-u.ac.jp

略歴: 1991年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了, 博士(工学)。同年山形大学工学部助手。2006年山形大学工学部応用生命システム工学科教授。現在, 同大学院理工学研究科教授。医用画像工学の研究に従事。計測自動制御学会, 応用物理学会, 電子情報通信学会, 日本医用画像工学会, IEEEの各会員。  
最近の研究: 医用画像工学

安藤正海 Masami ANDO  
一般財団法人 総合科学研究機構 特任研究員  
〒300-0811 茨城県土浦市上高津1601  
TEL: 090-4753-0124  
e-mail: ando@post.kek.jp

略歴: 1966年3月東京大学工学部物理工学科卒業, 同年4月同大学大学院工学系研究科物理工学修士課程入学, 1968年3月同修了, 同年4月東京大学物性研助手, 1979年4月-1985年3月高エネルギー物理学研究所助教授, 同年4月-2006年3月教授, 同年4月-2018年3月東京理科大学教授, 同年4月一般財団法人 総合科学研究機構 特任研究員, 応用物理学会, 日本物理学会, 日本放射光学会所属, X線光学系開発, 医用画像開発。  
最近の研究: 臨床応用装置開発

### 乳癌における乳頭温存乳腺全摘術のリスク低減へ！～CTで乳頭内乳管の可視化に成功～

2020年2月20日

名古屋大学  
高エネルギー加速器研究機構

#### ■概要

名古屋大学大学院医学系研究科の砂口尚輝准教授、北海道科学大学保健医療学部 島雄大介教授、名古屋医療センター臨床研究センター市原周元研究室長らのグループは、乳癌が基本的に1つの乳腺葉を侵す疾患であること(sick lobe 理論)を、乳癌により全摘された51症例の乳頭をX線暗視野CTにより可視化することで明らかにしました。

近年、乳癌の予防あるいは治療後の外観を維持するために、乳房の乳頭・乳輪・皮膚を残して、乳腺を切除する乳頭温存乳腺全摘術が行われるようになりましたが、乳頭内乳管の3次元配置や乳頭内乳管癌の発生メカニズムについては、まだ完全に分かっておらず、少なからずリスクが存在します。

本研究では、乳頭内の乳管を高感度かつ3次元的可視化できるX線暗視野法を用いて、乳癌のために全摘された51症例の乳頭を撮影し、乳頭内乳管数、乳頭先端における乳管の合流点(開口)数、乳頭内乳管の3次元配置における3つのタイプを明らかにしました。また、9症例(18%)で乳頭内に癌が発見されましたが、そのうち6症例で見つかった乳頭内の非浸潤性乳管癌についてスウェーデンの病理学者 Tibor Tot が提唱した sick lobe 理論どおり、乳癌が1つの乳腺葉で発生したことをCTの3次元観察により明らかにしました。

この研究成果は、令和2年2月15日付け、オランダ誌 Breast Cancer Research and Treatment に掲載されました(この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/3d3f5ca2b2711834b905148c56552707.pdf> をご覧ください。本号「最近の研究から」でも関連の解説記事を掲載しています。併せてご覧ください)。

### 混ぜると自ら伸びる超分子ポリマーの開発に成功～新しい材料設計に期待～

2020年3月31日

千葉大学  
高エネルギー加速器研究機構

#### ■概要

千葉大学グローバルプロミネント研究基幹の矢貝史樹

教授を中心とする国際共同研究チームは、酸素原子が1つ異なる2種類の分子を混ぜると、分子の認識で形成されたユニットが積層するという全く新しい超分子重合を実現しました。さらに、ある温度帯で一気に構造が崩壊するというこれまでになかった熱応答性を示すポリマー材料の創製に成功しました。この成果は、刺激に対して高速で応答して状態を変えるソフトマテリアルの設計指針となることが期待されます。本研究の成果は、「Nature Communications」にて2020年4月1日(水)に公開されます。

なお、この国際共同研究チームには、千葉大学の他、英キール大学、ドイツ連邦材料試験研究所、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所が参画しています(この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20200331.pdf> をご覧ください)。

### 低い温度で作動する固体酸化物燃料電池のための極薄電解質膜の開発～100℃以下での物理吸着した水による表面プロトン伝導性～

2020年4月3日

東京理科大学  
高エネルギー加速器研究機構  
東北大学多元物質科学研究所

#### ■概要

東京理科大学理学部応用物理学科の樋口透准教授、物質・材料研究機構の土屋敬志主幹研究員、高エネルギー加速器研究機構(KEK)物質構造科学研究所の堀場弘司准教授、東北大学多元物質科学研究所の組頭広志教授らの研究グループは、酸素欠陥と結晶格子を制御した Sm-doped CeO<sub>2-δ</sub> 薄膜(以下:SDC 薄膜)をスパッタ法により作製し、表面構造および特異なイオン伝導性を明らかにしました。

近年、クリーンで高効率な固体酸化物燃料電池(以下:SOFC)に使われる、電解質・電極材料の研究が注目されています。しかしながら、SOFCは動作温度が高く用途が限定されているため、低い温度でイオン伝導性を有する固体電解質膜の開発が待望されています。

樋口准教授の研究グループでは、希土類を置換することで高い酸素イオン伝導性を有し、かつ酸素欠損の生成により電子伝導性を示すことが知られている CeO<sub>2</sub>(酸化セリウム, セリア)の研究を行っています。CeO<sub>2</sub>においては、近年、表面吸着によるプロトンの伝導も示唆されています。つまり、「酸素イオン, 電子, プロトン」の3種類のキャリア制御および伝導性が期待され、SOFCの電解質として利用できる材料の1つです。そこで、当研究グループは、CeO<sub>2</sub>に対して同じ希土類金属である元素 Sm(サマリウム)

を化学ドーピングさせた  $\text{Ce}_{0.9}\text{Sm}_{0.1}\text{O}_{2.8}$  薄膜を作製し、プロトン伝導特性を実用水準まで引き上げることはできないかと考えました。その結果、この新規の SDC 薄膜において、物理吸着した水分子による高い表面プロトン伝導性が、 $100^\circ\text{C}$  以下の低温域で生じることが証明されました。この薄膜は、SOFC の動作温度を低下させることができるため、SOFC の用途の拡大やコストの削減に繋がる材料となり得ます。また、SOFC は将来、原子力・火力発電に替わる発電システムになることが期待されます。

なお、この研究成果は、令和 2 年 2 月 17 日付け、Nanoscale Research Letters に掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20200403.pdf> をご覧下さい）。

### PF 滞在記

#### BL-1A, BL-5A, BL-17A, AR-NE3A を利用した、昆虫特異的な蛋白質の X 線結晶構造解析

筑波大学 生命環境科学研究科  
博士後期課程 3 年 稲葉和恵

私は現在、筑波大学 生命環境科学研究科で丹羽隆介教授のご指導を受けながら、昆虫特異的な蛋白質の X 線結晶構造解析を行っております。昆虫は、脱皮や変態といった発生過程において、エクジステロイドという昆虫特異的なホルモンが必須になります。昆虫の生体内でエクジステロイドが正常に作られなければ、昆虫は成虫になることができません。私は、このエクジステロイド生合成を制御する酵素の 1 つである「Noppera-bo (ノッペラボー)」という蛋白質を標的として、殺虫剤開発を目指して研究に取り組んでいます。Noppera-bo という名前は、この蛋白質の機能欠損ショウジョウバエの表現系が由来です。正常個体の場合、胚期に幼虫の体節構造が見られますが、機能欠損個体では、体節構造が見られなくなり、「ツルツルの胚」になることから、顔がツルツルなことで知られている日本のお化けの「のっぺらぼう」から名付けられました。私たちは、この Noppera-bo を阻害する化合物を見出し、この阻害化合物が、どのように Noppera-bo に作用するのかを明らかにするために、X 線結晶構造解析を行っております。

私は KEK 特別共同利用研究員として、構造生物学研究センター（受入教官：千田俊哉教授）にて共同研究を行っております。筑波大学から KEK までは車で約 10 分と近い距離にあり、共同研究の先生方と対面で頻りに話し合いができることや、実験を行うことができることなど、恵まれた環境で研究を行うことができます。直接実験をご指導いただける機会や、直接気軽に議論できる機会は、非常に貴重だと感じます。例えば、ちょっとした立ち話での雑談から生まれたアイデアが、実験成功の手がかりになったり、実験の進捗状況をこまめに共有したことで、問題点や課題点を早期に見出し、解決へと導くことができた経験があります。KEK に通い始めてから気付けばもう 4 年が経過しておりますが、共同研究の方々に加えて、構造生物学研究センターの皆様には日々大変お世話になっております。

私は KEK にて、蛋白質の発現・精製から結晶化、ビームラインでの X 線回折実験、そして構造精密化の一連の流れを経験しました。蛋白質の構造解析において、特に苦勞すると言われている蛋白質の結晶化には、特に多くの時間を費やしました。蛋白質を精製し、精製した蛋白質を用いて多くの結晶化条件を試した末に、初めて自分で結晶化の作製に成功した時のことは、今でもとても印象に残っており、共同研究の先生に記念写真を撮ってもらいました（図

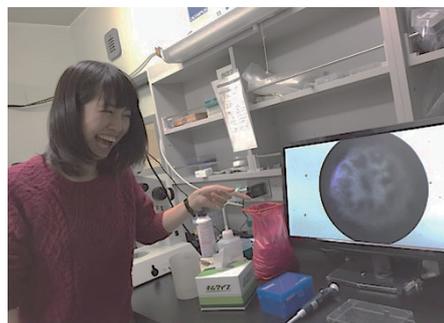


図 1 結晶作製成功の記念写真

1 参照)。

Noppera-bo とその阻害剤がどのように相互作用するのか明らかにするために、X 線回折実験を行い、Noppera-bo と阻害剤の複合体構造を明らかにしました。実験を始めたばかりの頃は、ビームラインにてデータセットを取得していました。ビームタイムはほとんどが夜から朝にかけてのシフトであり、長時間同じ場所に居続けて測定をすることはとても苦痛でした。そんな状況の中、全自動測定が取り入れられるようになりました。全自動測定は、測定をロボットが全自動で行うシステムです。これにより、自分自身が徹夜せずに、データの取得が可能となりました。全自動測定のおかげで、容易に大量のサンプルを測定することができるようになりました。また、測定時間が減った分、その後の解析の部分に注力でき、効率よく実験が進められるようになりました。最初の頃は測定に時間を要し、徹夜で疲労困憊していた分、現在の自動測定の有難さを強く感じました。

現在は、これまでの知見を元に、より阻害効果の大きい化合物を見出すことを目指しています。X 線結晶構造解析による立体構造の解明は、阻害剤と Noppera-bo との相互作用様式を明らかにすることはできますが、その相互作用が、どの程度阻害効果に寄与するのかについては分かりません。そこで、立体構造を足がかりとして、生化学的解析や計算科学的解析などを行っています。重要だと予想される相互作用部位に変異を入れて、阻害効果に影響があるのか調べることで、重要な相互作用部位を特定し、より阻害効果の高い化合物をデザインしたいと考えています。さらに、Noppera-bo を阻害する化合物が、殺虫効果を発揮するのかどうかを調べるために、蚊の幼虫を用いた殺虫試験も行なっています。このように、X 線結晶構造解析で得られた知見を出発点に、多面的な解析手法を用いてさらに次のステップへと研究を発展させることは、研究の中で特に面白さを感じる部分です。

新型コロナウイルスの影響で大変な状況ではありますが、現在の研究テーマの成果を今年度中には論文発表できるよう、日々研究に努めていきたいと思っております。

## PFとともに歩んだ40年

ツジ電子株式会社 辻 信行

放射光科学の分野に16チャンネルステップモーターコントローラPM16Cシリーズなどを供給させていただいているツジ電子がPFとお付き合いを始めたのはちょうどこの放射光施設が初めて光を出すことに成功した1982(S57)年3月の前年のことでした。当時、研究棟のエレベータには成功を喜ぶ先生方の新聞記事や、お祝いのメッセージなどが貼られていたことを思い出します。

### KEKとの出会い

ツジ電子は放射光施設が初めて光を出した時点から遡ること5年前の1977(S52)年に、辻(30/当時の年齢、以下同様)が特注電子装置の開発・設計・製造を目的とした個人企業として千代田町(現かすみがうら市)に創業しました。当初は近隣の工場設備のメンテナンス、自動機械の制御盤やコントローラの開発・設計・製造などを引き受けていました。次第に仕事量が増えていき、1979(S54)年には初めての社員を迎え、自宅敷地の一角に小さな社屋を作りました。高エネルギー物理学研究所(現高エネルギー加速器研究機構、以下KEK)からの最初の仕事は1980年のことで電気部品を扱う商社を通してでした。たまたまその商社の担当者の方が持ってきてくれたKEKからの電子装置設計・製造の物件がうまくツジ電子の技術に合致して、見積もりした結果受注に至ったのでした。

やがて資金繰りや企業としての信用度などに個人企業の限界を感じて1981(S56)年5月にツジ電子からツジ電子株式会社へと法人登記をしました。この登記も書類の体裁を整える上で役立ち、この年にKEKと晴れて直接取引ができるようになりました。前述のように翌年の1982年3月には放射光施設で初めて光が出たわけですから、実にタイミングの良いときに取引を開始できたことになります。まさにPFの歴史的な立ち上りの時期に遭遇していたのです。もとよりそのような大事な時期にあるという認識はありませんでした。ただひたすら先生方から次々にいただく要望に懸命にお応えすることで精一杯でした。特注品の開発・設計・製造を唯一の商品とする会社経営の最大の課題はいかにして特注品のご注文をいただくかということです。それが、あれはできないか?これはできないか?こんなものはどうか?等々、次々のご注文をいただけたのですから正に夢のような出来事でした。それらはPFがこれから放射光を発生させる直前の時期でしたからあとから考えると先生方も大変な忙しい時期を過ごされていた事が想像できます。

直接取引に先立って、試しの仕事を依頼されたのは法人登記直後の1981年の6月頃で、加速器の竹中たてる先生(35)の依頼による電源室現場での配線作業が最初でした。うまくご依頼通りの仕事を完成し、初めての難しい書類手続きに何とか合格点をいただき8月頃に直接取引ができる

ようになると、その後9月から12月にかけての4ヶ月間で次々と注文が舞い込みました。

当時の受注件名を時系列で並べますと、光源棟の梶浦信孝先生、五十嵐務先生からはインタロック発信器20台、インタロック受信器30台、インタロック表示器と現場工事、インタロック受信器20台、マトリックスピンボードモジュール10台、NIM BIN電源装置8台、入射器棟の大竹雄次先生(24)から高周波信号切換器20台などのご注文を立て続けにいただきました。正に嬉しい悲鳴でした。同じ時期に研究棟の松下正先生(36)からその後のツジ電子のモーターコントローラにつながるポジションカウンタPMC-01の開発・設計・製造の依頼をいただきました。

翌年の1982(S57)年3月に放射光施設が光を出すことに成功すると今度はその光を使っての研究が始まりました。引き続き松下正先生から2チャンネルポジションカウンタPMC-02を12台、太田俊明先生(39)から4チャンネルポジションカウンタPMC-04を10台のそれぞれ開発・設計・製造依頼をいただき更に現場配線工事のお手伝いもさせていただきました。柳下明先生(32)からは電圧走査型直流電源、伊藤健二先生(33)からは現在もその後継機が販売されているNIMタイプの2チャンネルVFコンバータの開発(N2VF-01)と14台のご注文をいただきました。このような経過で従来のお客様の分に加えて急に仕事が増えたことで、たった2人では休日をもとより夜中まで働いても追いつかなくなり、その年の末までには2人増員して4人体制になりました。会社としては社員倍増で売上も倍増の勢いでした。このときの勢いが初期のツジ電子を会社らしく引き上げてくれました。

1983(S58)年になると多用される3チャンネルモーターコントローラの標準化が図られ、松下正先生、産総研所属の大柳宏之先生(32)からPM3Cの開発と複数台のご注文をいただきました。DCサーボモーターも使われ、松下正先生、雨宮慶幸先生(32)から2チャンネルDCサーボコントローラ6セットのご注文をいただきました。また、この年にはPCとの通信を使ったインテリジェント型ステップモーターコントローラを開発を野村昌治先生(30)からご依頼いただきました。

このように、PFの立ち上り時期には若い先生方が次々と新しい装置の開発に力を注いでおられた様子が、特注電子装置のツジ電子から見てもよく分かります。ステップモーターコントローラは放射光科学にとって不可欠なものになっていきましたが、しばらくの間は用途に合わせていろいろなタイプのコントローラが設計・製造されました。そのような中で次第に、カタログ品としてのコントローラの要望が高まってきました。カタログ品にはユーザーにとって価格の安さ、入手するための仕様書を必要としない、短納期で入手できるなど多くのメリットがあります。一方、提供する側にとっては果たして買ってもらえるのかという不安がありますので、売れるはずだという思い込みや、希望のみで開発をスタートすることはできません。また、量産効果による価格をおさえた販売ができるように開発・設

計も時間をかけることとなりますので開発費負担のリスクがあります。加えて想定するユーザーの希望している仕様がうまく盛り込めるかなど不安があり、当時のツジ電子では自力で開発をスタートさせることはできませんでした。

### PM16C シリーズ開発経過

1987 (S62) 年初夏の6月20日に野村昌治先生 (34) から16チャンネルステッピングモータコントローラの概略仕様と1~2台の見積り依頼をFAXでいただいたことが当時の資料の中に保存されています。希望納期は8月末でした。その後の打ち合わせなどを通じてカタログ品化や完成したら3台の購入見込みなど嬉しい内示をいただきました。しかも仕様について細かくご相談に乗っていただけました。価格は1台50万円を切ることがご希望でした。そこで、販売価格は48万円を目標としました。3%の消費税が導入されるのは2年後の1989年4月ですからそのときにはまだ税を考慮することはありませんでした。社内で開発作番がスタートしたのは7月20日でしたが希望納期の8月末にはとても間に合いそうもありません。それでもできるだけ早くということで開発は進められました。当時のデバイスは集積度も上がっていないため、ICだけでも約80個が使われるなど、回路規模も小さくはありませんでした。図面はすべて手書きでしたし、使われた8ビットマイコンのソフトウェア開発は機械語に最も近いアセンブラだったり、デバッグ環境も手作りしたりでしたが全く苦勞をした記憶がありません。好きな仕事を堪能させていただいた上に、その後の展開が予想を遥かに上回るものだったので。初めての製品1号機をお届けできたのは、秋半ば、10月になっていて、構想開始から4ヶ月、開発がスタートしてから3ヶ月が経過していました。3台を無事にお届けしてまもなく松下正先生 (42) から1台ご注文をいただきました。そのときはすでに開発の済んでいるリピート品の製造がとても簡単にできることに驚きました。特注品の製造に慣れきっていた身にはとても新鮮だったのです。その年の年度末までに、河田洋先生 (33) や佐々木聡先生 (36)、PFで実験されていた計量研の中山貫先生などから次々とご注文をいただきました。開発コスト増を心配された野村昌治先生がPRをしてくださったのだと感謝しております。翌年度までに計11台のPM16C-01が出荷されました。

16台のモータを制御できるコントローラPM16C-01は、コストを抑えるため同時に動かせるモータは1台でした。2台同時に動かせないかというご要望がすぐに出てきました。そこで野村昌治先生とご相談しながら今度は2台同時駆動が可能なPM16C-02の開発を開始しました。1989年(H1)10月19日付の開発作番の記録が残っています。価格設定は68万円で、現在位置表示器は2つ、それぞれにはどのモータの表示であるかがわかるようにチャンネル表示もつけられました。コントローラから少し離れたメカ装置の近くでもモータが動かせるようにハンドボックスも盛り込まれました。野村昌治先生には1台目のご注文内示もいただき、さらに12月になってから張小威先

生 (30) から2台の予約も入って開発にはずみがつきました。PM16C-02開発の情報が広まったせいでPM16C-01の注文は11台で途絶え、以降は新しい機種に取って代わりました。新しい機種は多くの方に支持されて、1990年1月に1号機が野村昌治先生宛に出荷され、2,3号機が張小威先生に、4号機が野村昌治先生、5号機が中川敦史先生 (30)、6,7号機が河田洋先生 (36)、8号機が金属材料研究所の桜井健次先生 (30)、9号機が渡辺信久先生 (30)へ納入されるなどこの1年に9台出荷されました。桜井健次先生向けの8号機はGP-IB通信機能を備えた初めての機種で、GP-IB通信ポートの開発にあたって桜井先生にはたくさんのご助言とご協力をいただきました。やがて、RS232C通信ポートを持つ機種が追加され、PIO通信ポートのPM16C-02、GP-IB通信ポートを持つPM16C-02GP、RS232C通信ポートを持つPM16C-02RSの3機種のラインナップになりました。当時PM16Cのご注文を頂いた先生方には上記の他にも当時の若手研究者であった亀卦川卓美先生、小出常晴先生、岩住俊明先生、塩屋達郎先生、田中雅彦先生などがおられました。たくさんの方々を支えられ、たくさんのご意見をいただきながらPM16Cシリーズは発展していきました。

1993年には通信ポートPIO、RS232C、GP-IBを備えたPM16C-02N(後にPM16C-02Z)がリリースされました。この機種はPFでの実績が評価されて1996年にSPRING-8高輝度光科学研究センターに標準品として採用され、国内の放射光施設での地位を不動のものにしました。1999年に4チャンネル同時駆動が可能で通信ポートにLANを加えたPM16C-04がリリースされました。2006年には筐体のサイズをEIA3からEIA2に小さく軽量化しコストを抑えたPM16C-04XD、PM16C-04XDLがリリースされました。その後2013年には16チャンネル同時駆動可能なPM16C-16が、2017年に2つのネット接続コネクタを持ちそれぞれに独自のIPアドレスが設定できるPM16C-16HWとEtherCAT通信に特化したPM16C-16ECがリリースされています。



図1 初期型のPM16C-01(上)と2017年開発のPM16C-16HW型(下)。

## 終わりに

会社を立ち上げてまもなくの頃、KEK と出会い PF にご縁ができて来年の 2021 年で 40 年になります。そのはじめの頃の記憶を手元に残る資料で思い出しながら当時の年齢も添えて記させていただきました。PF とのお付き合いの中からカタログ品になった製品の一つである 16 チャンネルステッピングモータコントローラ PM16C シリーズが生まれた背景やその後の発展の過程も振り返ってみました。創業時からの特注品の図番はすでに 4000 番を超えています。その中で PM16C を冠する名称の図番は 37 件ありました。改良・改造・仕様変更などのたびに新しい図面を作ってきたことがわかります。これらもすべて研究者の方々のご要望に合わせて進化するために行われたコミュニケーションの歴史の記録です。それだけたくさん支持されてきたことを物語っています。

これからもツジ電子は PF の身近なサポーターとして研究者の皆様の成果に貢献できるよう精進してまいりますのでお気軽にお声がけください。そして是非新しい歴史を作っていく場にご一緒させてください。

## (編集後記)

「ユーザーとスタッフの広場」では、毎回、海外放射光施設での滞在記や国際会議への参加記、PF における実験成果の受賞記事など、様々な記事を取り上げさせていただいております。

辻信行様は、電子制御装置の開発者として PF の歴史に多大な貢献をされてこられ、平成 29 年度 KEK 技術セミナー（2017 年 7 月 21 日開催）でご講演頂きました。その内容は大変興味深く、PF のユーザーおよびスタッフにも機会があれば紹介したいものでした。今回、PF ニュースへの御寄稿をお願いしたところ、ご快諾頂きました（PF ニュース編集部）。



技術セミナーでの辻信行氏（左上）と会場の様子（右下）。

## 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。

### 2020 年 2 月～ 4 月に紹介された PF トピックス一覧

- 2. 4 【トピックス】「第 19 回 nano tech 大賞 2020」で TIA が産学連携賞を受賞しました
- 2. 12 【物構研トピックス】チョコレート・サイエンス @ つくばエキスポセンターを開催
- 2. 13 【ニュースルーム】駐日インド大使が KEK と J-PARC を訪問
- 2. 20 【プレスリリース】乳癌における乳頭温存乳腺全摘術のリスク低減へ！～ CT で乳頭内乳管の可視化に成功～
- 3. 2 【物構研トピックス】研究系技術職員インターンシップ 2020 初春を開催
- 3. 5 【物構研トピックス】高エネルギー加速器科学研究奨励会 西川賞を物構研関係者がダブル受賞
- 3. 30 【トピックス】北海道大学－ KEK 連携協力協定に基づく第 10 回連携協議会が開催されました
- 3. 31 【プレスリリース】混ぜると自ら伸びる超分子ポリマーの開発に成功 新しい材料設計に期待
- 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 【プレスリリース】低い温度で作動する固体酸化物燃料電池のための極薄電解質膜の開発～ 100°C 以下での物理吸着した水による表面プロトン伝導性～
- 4. 23 【物構研トピックス】物構研ユーザーが科学技術分野の文部科学大臣表彰受賞者に選ばれました

## 2019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

J-PARC MLF 利用者懇談会事務局担当幹事 中野岳仁  
PF-UA 行事幹事 北島昌史, 伏信進矢

2020年3月12日(木)～14日(土)にザ・ヒロサワ・シティ会館(茨城県立県民文化センター)において開催予定でした、2019年度量子ビームサイエンスフェスタは、新型コロナウイルスの感染拡大のため、中止となりました。発表については、講演要旨はサイエンスフェスタのホームページ上で公開され、公知となっていることから、サイエンスフェスタでの発表は成立するものとなりました。PF-UAとJ-PARC MLF利用者懇談会では、本年度も「学生が筆頭著者のポスター発表」で、PF, KENS, MSL, MLFおよび低速陽電子のいずれかを利用した研究成果を対象に「学生奨励賞」を準備して参りましたが、残念ながら、今回は見送りとなりました。本年度の学生奨励賞応募ポスター発表数は77件であり、非常に多くの応募を頂きました。お礼を申し上げます。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、中野岳仁(J-PARC MLF利用者懇談会/茨城大), 北島昌史(PF-UA/東工大), 伏信進矢(PF-UA/東大), 河村聖子(J-PARC MLF利用者懇談会/JAEA), 佐賀山基(KEK-PF)が担当致しました。

## X線トポグラフィー・ユーザーグループ の紹介

三重大学 小泉晴比古

### 1. はじめに

X線トポグラフィー・ユーザーグループ(UG)は2009年に設立され、昨年、設立から10年が経ちました。そして、本ユーザーグループの責任者は、山口博隆先生(産総研)から2019年に私に引き継がれました。また、2013年にはBL-15がミニポールアンジュレーター光源への変更に伴うビームラインの移設が行われ、現在の本UGの活動拠点は、BL-3C, BL-14B, 及び、BL-20Bとなっています。

X線トポグラフィーは、X線回折の基礎的な現象が深く関わっており歴史は古く、Si系半導体の開発にも活発に利用されてきた測定手法です。この測定手法を用いると、結晶内の結晶欠陥やその周りの歪んだ領域での局所的な回折X線の強度の変化を通して、欠陥を観察することができます。そして、比較的完全性の高い結晶において、個々の欠陥、例えば、転位、積層欠陥、不純物によるクラスター、成長境界といった結晶欠陥の空間分布や形状を調べることができます。さらに、その欠陥を特徴付けている物理量、

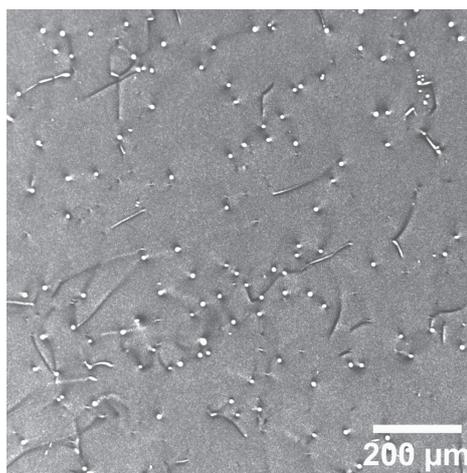


Fig. 1 4H-SiC 結晶における 1128 反射の X 線トポグラフィ像。

例えば、転位のずれの量であるバーガース・ベクトルを同定することも可能です。このため、X線トポグラフィーは、結晶欠陥、特に、主要な欠陥である転位を観察するための最も有効な手法の一つとして広く利用されています。

X線トポグラフィーでは、スリットにより成型されたミリメートルサイズのビームを直接、試料に照射し、回折してきたX線をフィルムや原子核乾板に焼き付けます。この回折スポットがX線トポグラフィ像となり、光学顕微鏡により像を拡大することで、結晶内の欠陥の空間分布や形状を観察することができます(Fig. 1)。このため、X線トポグラフィーにおける欠陥像の空間分解能は、光源の大きさ、光源から試料までの距離などの幾何学的実験配置、結晶欠陥の周りの歪場における回折効果による像の広がり、X線検出器として用いられるX線フィルムや原子核乾板の粒子のサイズなどに依存しますが、最高で1~2 μm程度となります。透過型電子顕微鏡と比較すると、空間分解能の点では劣りますが、試料をそのままに、加工が不要なことと視野が広いことが大きな利点となっています。また、近年では、6.5 μmの分解能を有する高分解能X線CCDカメラも導入されたため、X線トポグラフィ像の高分解能でのリアルタイム観察も行え、高温下・応力下などの結晶欠陥の動的な振る舞いの観察も行うことができます。

Photon FactoryにおけるBL-3C, BL-14B, 及び、BL-20Bでは、SiCやダイヤモンド、さらには、近年、次世代材料として注目されているGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の評価が行われています。そして、上記の無機結晶だけではなく、有機結晶であるタンパク質結晶の評価も行われており、多岐にわたる材料の評価が行われています。また、この他にも結晶だけではなく、漆器の漆層の観察といったユニークな研究も行われています。本UG紹介では、最近、タンパク質結晶を用いてBL-20Bで得られた研究成果について紹介いたします。

## 2. 最近の研究から

超高齢化社会を迎え、病気の原因解明や新薬開発のために、タンパク質分子の立体構造の解明に関する研究が盛んに行われています。タンパク質分子の立体構造の多くは、タンパク質結晶を用いたX線構造解析により明らかにされていますが、その解析精度は、タンパク質結晶の完全性に依存します。このため、構造が明らかにされていても、解析に用いたタンパク質結晶の完全性が低いと十分な解析精度を得ることができません。そして、現在明らかにされているタンパク質分子の構造の内、炭素-炭素間距離に相当する1.5 Å以下の分解能を有する構造は、未だ9%ほどしかないのが現状です。また近年では、放射光による高エネルギーX線を用いた高分解能で高精度な構造解析や電子密度の解析が行われるようになりました。特に、電子密度の解析は、タンパク質の重要な性質を決めている価電子状態とも深く関係しています。しかし、これらの解析では、依然として回折強度の測定値と理論値に大きな違いが見られ、より高精度の解析を行うためには、結晶の完全性の改善が必要となります。このため、より高品質なタンパク質結晶を作製するために、国際宇宙ステーションを利用した微小重力実験をはじめとした、タンパク質結晶の高品質化に向けた様々な研究が世界中で盛んに行われています。

結晶によるX線回折は、大きく分けると運動学的回折と動力学的回折の2種類に分類することができます。運動学的回折は、欠陥を含む一般の多くの結晶で観察されるのに対し、動力学的回折は、半導体結晶のSiのような高品質な完全結晶で起こります。従って、動力学的回折の観察は、結晶の完全性の指標にもなります。しかし、タンパク質結晶では、これまで動力学的回折の明瞭な証拠が得られず、その結晶品質が依然としてSiなどの高品質な結晶に比べて劣るのか、そもそも観察されないのか、タンパク質結晶で動力学的回折が観察できるかは長年の課題でした。

近年、横浜市立大学 橘勝教授のグループでは、タンパク質の一種であるグルコースイソメラーゼ結晶によるX線トポグラフィーを行ったところ、その結晶内には、転位などの欠陥が無く、等厚干渉縞が観察される極めて完全性の

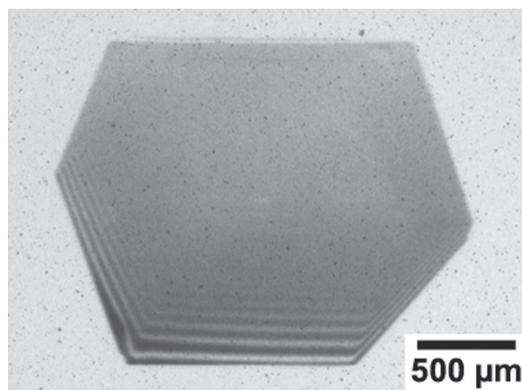


Fig. 2 タンパク質結晶の一種であるグルコースイソメラーゼ結晶における011反射のX線トポグラフィ像。

高い結晶であることが示されました (Fig. 2)。そして、このようなタンパク質結晶を用いて、ロッキングカーブ測定によるX線回折強度の振る舞いを観察すると、半導体結晶のSiのように完全結晶に近い結晶のみでしか観察されていない振動現象の観察に初めて成功しました。また、入射するX線の波長、及び、結晶の厚さにおける振動現象の依存性を調べ、その振動現象が動力学的回折理論から予測される振る舞いと非常に良い一致を示すことを観察し、グルコースイソメラーゼ結晶において観察された振動現象が、動力学的回折に起因することを示しました。高品質なタンパク質結晶を用いた構造解析において、従来は考慮されていなかった動力学的回折理論を取り入れることで、回折強度の解析精度の改善につながり、より高精度な電子密度の評価、さらには理論化学計算との比較によるタンパク質の性質の原理的な理解が期待されます。

## 3. PFへの要望

過日、BL-20Bでゾーンプレートを利用し、5~6 keVで実験を行ったところ、かなり強烈なスペックルが検出されました (Fig. 3)。しかし、下流Be窓をカプトン膜に交換したところ、スペックルが消えたので、原因は下流Be窓で間違いのないと思われます。このため、この下流Be窓を研磨Beに交換したいという要望があります。今回は通常よりも低いエネルギー(5~6 keV)を使用したもので、スペックルが顕著に現れたのかもしれませんが、研磨Beへの換装は、X線トポグラフィ像の分解能向上にも期待が持てます。

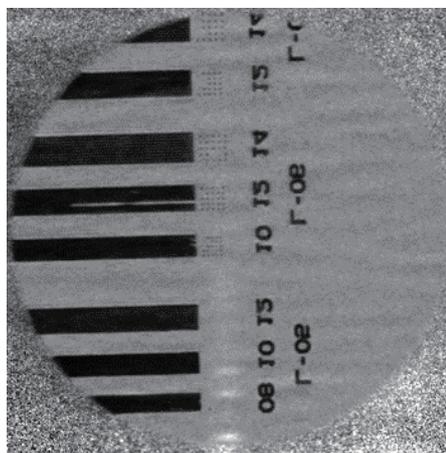


Fig. 3 BL-20Bにおいて観察されたスペックル。PFの若林・鈴木氏撮影。

## 固体分光ユーザーグループ活動紹介

東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター  
相馬清吾  
東北大学材料科学高等研究所 佐藤宇史  
東北大学多元物質科学研究所 / KEK-IMSS 組頭広志  
KEK-IMSS 堀場弘司  
東京理科大学理学部 齋藤智彦

### はじめに

固体分光ユーザーグループは、固体のバルク物性およびこれに関連する固体表面・界面の物性の理解のために、その電子構造を分光学的手法により研究する研究者の集まりです。利用する主要ビームラインは BL-28A (VUV 領域), BL-2A (VUV・SX 領域), BL-16A (SX 領域) であり、角度分解光電子分光 (ARPES), 軟 X 線吸収分光 (XAS), X 線吸収磁気円二色性 (XMCD) といった、電子分光を中心とした分光学的実験を展開しています。今回は上記のうち、改良が進行中の BL-28A とそれに先立って数年前にビームラインを更新した BL-2A の状況を報告致します。BL-28A の記事は主に相馬先生に、BL-2A の記事は主に組頭先生に元原稿を執筆頂き、代表を務める齋藤が全体を纏めました。

### BL-28A

BL-28A は、専用アンジュレーターによる高分解能 ARPES ステーションとしてユーザーの強い要望により建設され、高機能物質のフェルミ準位近傍における微細電子構造と物性機構解明の研究が盛んに行われてきました。しかし近年、トポロジカル絶縁体や原子層物質等の新たな研究テーマが生まれたことで、国際的研究競争がますます先鋭化してきており、更なる高分解能・高効率の ARPES 測定が強く望まれています。

このような背景のもと、2015 年より新たな ARPES エンドステーションの建設が、偏光可変アンジュレーターへの更新と合わせて始まりました。エンドステーションが発足した経緯を踏まえ、装置の設計・製作・調整はユーザーグループと施設が密接に協力して行われています。新装置は電子分析器を VG-Scienta 社の SES2002 型から DA30 型に変更し、これに合わせて試料測定槽、5 軸回転型試料マニピュレーター、クライオスタット、試料準備槽、試料搬入システムなど、ARPES 測定に係る装置一式を、ユーザーの競争的資金も積極的に活用しながら新たに設計し製作しました。装置の立ち上げは 2018 年にほぼ終了し、2019 年の第 1 期から BL-28A においてユーザーの共同利用を段階的に開始しました。

新装置の特徴は、(1) 光電子取り込み角度の 14 度から 34 度への拡大、(2) 電子ディフレクターによる角度スキャン機能、(3) 将来的なスピン検出器への拡張、などが挙げられます。とくに (1) と (2) により運動量空間の ARPES マッピングの効率が大幅に向上し、物質にもよりますが、旧

装置では数時間かかるような  $2 \text{ \AA}^{-1}$  四方のマッピングを 10-20 分ほどで終わることが出来ます。測定データの質と量が圧倒的に増大したことで、今後ユーザーは装置の操作よりもデータ解析に多くの時間を費やすことになるでしょう。このとき、ARPES 測定とビームライン制御の自動化が極めて重要になりますので、現在 LabVIEW やスクリプト言語による自動制御プログラムの作成を、ユーザーと施設が協力して進めています。

また、近年の ARPES の実空間情報の重要性の高まりから、2020 年度に KB ミラーを BL-28A に導入し、試料上における 10-20 ミクロンのビーム集光をユーザーの競争的資金により計画しています。マイクロスポットの実現により、微小試料や難劈開試料の測定や、電場・圧力印加した試料の測定、多様な面方位の測定など、ARPES 研究の適用範囲が大きく広がり、これまでになくユニークな研究の展開が期待されます。また、試料のより清浄な箇所を選択的に測定できるので、本装置の国際的競争力が大きく底上げできると考えられます。BL-28 では、以上のようなエンドステーションの更なる高度化をユーザーグループが牽引して推し進めて高いレベルの研究成果へとつなぎ、ARPES 分野の発展に貢献していきたいと考えております。

### BL-2A

BL-2 は BL-2A および BL-2B の 2 ブランチからなるビームラインです。BL-2B は日立製作所専用ステーション (BL-2BH) と共同利用フリーポート (BL-2BF) からなり、今回報告する本ユーザーグループの活動は、主に BL-2A になります。この BL-2A "MUSASHI" (Multiple Undulator beamline for Spectroscopic Analysis on Surface and HeteroInterface) は、PF の長直線部を有効活用して 2 台の異なるアンジュレーター挿入光源 [真空紫外光領域 (30 ~ 300 eV) と軟 X 線領域 (250 ~ 2000 eV)] をタンデムに配置することで、高分解能・高強度を保ちながら広いエネルギー領域の光を利用できる表面・界面物性研究用のビームラインとして整備されています。

BL-2A MUSASHI には、ユーザーの競争的資金により運営・整備しているエンドステーションとして、レーザー分子線エピタキシー (MBE) 法により作製した薄膜に対してその場 (in situ) で ARPES・内殻準位・共鳴光電子分光・XAS の多元的電子分光測定・解析を実施することができる「*in-situ* ARPES - レーザー MBE 複合装置」が設置されています。さらに本複合装置には、これらのレーザー MBE 槽・光電子測定槽に加えて、試料準備・評価槽および試料導入槽も超高真空下で連結されており、通常のバルク試料の測定や表面科学の研究も可能となっています。近年では、BL-2A の特長である広いエネルギー範囲を利用して、トポロジカル絶縁体の表面状態の研究や原子層物質の表面・界面研究などが精力的に展開されるようになってきています。特に、よく定義された表面を作製し、その清浄性・結晶性・化学状態を内殻準位測定で評価してから、フェルミ準位近傍の微細なバンド構造を ARPES で決定す

るといった独自性のある研究が盛んに行われています。

BL-2Aの研究活動の源流は、更新前のBL-2Cにおける「量子ナノ分光ユーザーグループ」でしたが、「量子ナノ」も含めた電子分光3ユーザーグループが集合し、固体分光ユーザーグループを結成して現在に至っています。その大きな理由として、近年の物質科学研究においては分野の垣根を超えた融合的な研究展開が不可欠であること、さらに本分野のように実験装置の開発・維持のための労力と資金が大きい分野においては、ユーザーグループのスケールを拡大し、施設と連携・協同して必要な実験装置を速やかに調達・整備することが必須であることが挙げられます。その意味で、今後、競争的資金、装置の開発・改良、次世代人材の育成、等あらゆる点において、お互いの長所を生かす密接な連携がますます不可欠となっていきますが、本ユーザーグループでは、そのような連携のもとに、関連研究者の知恵を募りつつ、一層の研究活性化を目指していきたいと考えております。

### おわりに

本ユーザーグループの活動を支えてくださっているユーザー各位に感謝いたします。また、この記事をきっかけとして、より多くの皆様に固体分光分野に興味を持っていただき、研究活動に参加頂ければ幸いです。

## 令和元年度 PF-UA 総会について

PF-UA 会長 清水敏之

PF-UA は、新型コロナウイルス感染拡大防止に対応するため、3月14日（土）に予定しておりました「令和元年度 PF-UA 総会」を4月以降に延期することを決定いたしました。

会員の皆様にはご迷惑をおかけいたしますが、何卒ご理解・ご協力くださいますようお願い申し上げます。

なお、予定が決まり次第あらためてご連絡させていただきます。

## ユーザーグループ一覧

2020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	宇尾 基弘	東京医科歯科大学
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	三重大学
20	動的構造	中村 一隆	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

## 人事異動・新人紹介

	発令年月日	氏 名	現 職	旧 職
(定年退職)	2020. 3. 31	佐藤佳裕	加速器科学支援センター シニアフェロー	加速器研究施設 加速器第六研究系 技師
(退職)	2020. 2. 20	小祝孝太郎		物構研 放射光科学第二研究系 研究員
	2020. 3. 31	石井祐太	東北大学理学研究科 助教	物構研 放射光科学第一研究系 博士研究員
	2020. 3. 31	玉造博夢	日本原子力研究開発機構	物構研 放射光科学第一研究系 研究員
	2020. 3. 31	渡邊稔樹	京都大学	物構研 放射光科学第二研究系 研究員
	2020. 3. 31	GIANNOPOULOU, Anastasia		物構研 放射光科学第二研究系 研究員
(配置換)	2020. 4. 1	村上洋一	物構研 量子ビーム連携研究センター 教授	物構研 放射光科学第一研究系 教授
	2020. 4. 1	小野寛太	物構研 量子ビーム連携研究センター 准教授	物構研 放射光科学第二研究系 准教授
	2020. 4. 1	加藤龍好	加速器研究施設 応用超伝導加速器センター 教授	加速器研究施設 加速器第六研究系 教授
	2020. 4. 1	本田洋介	加速器研究施設 応用超伝導加速器センター 助教	加速器研究施設 加速器第六研究系 助教
(昇任)	2020. 4. 1	兵藤一行	物構研 放射光実験施設 教授	物構研 放射光実験施設 准教授
	2020. 4. 1	豊島章雄	物構研 放射光実験施設 先任技師	物構研 放射光実験施設 専門技師
	2020. 4. 1	田原俊央	加速器研究施設 加速器第六研究系 専門技師	加速器研究施設 加速器第六研究系 技師
	2020. 4. 1	江口 柊	加速器研究施設 加速器第六研究系 準技師	加速器研究施設 加速器第六研究系 技術員
(採用)	2020. 4. 1	北村未歩	物構研 放射光科学第一研究系 助教	物構研 放射光科学第一研究系 特別助教
	2020. 4. 1	高木秀彰	物構研 放射光実験施設 助教	物構研 放射光実験施設 特別助教
	2020. 4. 1	山下翔平	物構研 放射光実験施設 助教	物構研 放射光実験施設 特別助教
	2020. 4. 1	若林大佑	物構研 放射光実験施設 助教	物構研 放射光実験施設 特別助教

(採用)

阿久津誠人(あくつ まさと)

1. 2020年3月1日
2. 物構研 放射光科学第二研究系 構造生物学研究センター 研究員
3. Saromics Biostructures AB Senior scientist
4. 構造生物学

柴崎 裕樹(しばざき ゆうき)



1. 2020年4月1日
2. 物構研 放射光実験施設 測定装置部門 特別助教
3. 物質・材料研究機構 若手国際研究センター ICYS 研究員
4. 高圧力科学
5. 専門分野の垣根を超えた、放射光科学の専門家になれるよう研鑽いたします。
6. 努力と根性
7. サッカー(をやる)、野球(を観る)、スノーボード

大志田達也(おおしだ たつや)



1. 2020年4月1日
2. 物構研 放射光科学第二研究系 構造生物学研究センター 研究員
3. 香川大学農学部 技術補佐員
4. 構造生物学, 応用酵素化学
5. 新しいものだらけなので、必死に食らいついて自分のものにしたい。
6. 1) 美味しいものを食べてこそその人生  
2) モラルは守る。常識は壊す。
7. 愛車(MT)でのドライブ, 海釣り

和田 健(わだ けん)



1. 2020年4月1日
2. 物構研 低速陽電子実験施設 准教授
3. 量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門 先端機能材料研究部 主幹研究員
4. 陽電子および陽電子を用いた物質研究
5. 物質構造科学研究所の発展に寄与できる低速陽電子実験施設のあり方を常に検討し、同研究所の存在意義をより一層高めるよう努めて参ります。
6. 脱力
7. 車の運転, 料理

阪田 薫穂(さかた かおるほ)



1. 2020年4月1日
2. 物構研 放射光科学第一研究系 表面科学研究部門, 博士研究員
3. チェコ科学アカデミー 物理化学研究所 博士研究員
4. 半導体材料/触媒材料等の物性解析
5. 放射光を用いた表面科学研究の推進に貢献できればと思っています。どうぞよろしく願いいたします。
6. 待て、而して希望せよ!
7. 茶道

金澤 知器(かなざわ ともき)

1. 2020年4月1日
2. 物構研 放射光実験施設 研究員
3. 東京工業大学 博士課程学生
4. 触媒プロセス, 資源化学プロセス
5. 触媒調製と測定のマルチプレイヤーを目指す。
6. 好奇心の赴くままに突き進みます。
7. 野球観戦

- |  |
|--|
| 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. 着任に当たっての抱負 6. モットー<br>7. 趣味 (写真, 5番~7番の質問は任意) |
|--|

**高木 壮大 (たかぎ そうた)**



1. 2020年4月1日
2. 物構研 放射光科学第二研究系  
研究員
3. 筑波大学大学院生命環境科学研究科  
学生
4. 鉱物学・時間分解実験・衝撃実験
5. 実験, 論文
6. 継続は力なり。
7. 万年筆

**露口 正人 (つゆぐち まさと)**

1. 2020年4月1日
2. 物構研 放射光科学第二研究系  
構造生物学研究センター研究員
3. 大阪府立大学大学院 理学系研究科 学生
4. 構造生物学
5. 一步一步確実に成長していきたいです。
6. 初志貫徹
7. ゲーム, 読書

**(入学)**

**LU, Yao (ロ ヨウ) (国籍: 中国)**



1. 2019年10月6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  
加速器科学専攻 D3
3. 華中科技大学 修士課程修了
4. 電磁石
5. 少し役に立つ人になりたい。
6. なし
7. 読書, 太極拳

**熊木 文俊 (くまき ふみとし)**

1. 2020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 D3
3. 総合研究大学院大学  
物理科学研究科 機能分子科学専攻 (修士課程)
4. 溶液系の時間分解軟X線分光, レーザー
5. 不慣れな点多いと思いますが、頑張ります。  
よろしく願いいたします。
6. 何事にも全力で取り組むこと。
7. 歴史散策, 自然観察

**菅原 隆広 (すがわら たかひろ)**



1. 2020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 D3
3. 東京電機大学大学院
4. 構造生物学
5. 一人前の研究者となれるようがんばります。
6. 常に笑顔で
7. 釣り, スポーツ観戦, ダーツ

## タンパク質結晶構造解析ビームライン 一般ビームタイムでの全自動測定サービス 開始について

放射光科学第二研究系 山田悠介

タンパク質結晶構造解析ビームラインでは、回折実験の全自動化に取り組んでおり、全自動回折データ収集・処理システムの開発を行っています。我々の開発してきた全自動回折データ収集・処理システムは結晶交換システム PAM/PAM-HC による試料交換、画像処理による試料認識とセンタリング、予め定義された条件での回折データ測定、測定後の PReMo による回折データ自動処理を組み合わせたもので、2006 年から大規模な創薬研究において使用されてきました。2017 年には新たに高速 X 線回折スキャンを用いたタンパク質結晶の認識・センタリング機能を追加することで、より汎用性の高いシステムへと変化し、2018 年度からは随時ビームタイム利用制度を開始しました。この制度では 1 週間あたり 1 日ないし 2 日の全自動測定ビームタイムが設定されます。有効課題を持つ利用者はそのビームタイムの 4 日前までに PReMo を通じて申請を行い、試料をビームラインに送れば、ビームラインスタッフが全自動回折データ収集・処理システムを用いてデータ収集を行います。得られた結晶を送るとすぐに結果が返ってくるという即時性と、測定に自身の時間を費やさなくて良いという省力性から、制度開始以降全自動測定ビームタイムの利用者の数は順調に増えてきています（図 1）。さらに 2019 年度からは全自動測定を測定ソフトウェア UGUI からユーザーが実行できるようになった結果、2019 年度だけで 10,000 を超えるサンプルが全自動測定されるようになりました。これらのことから、我々の開発してきた全自

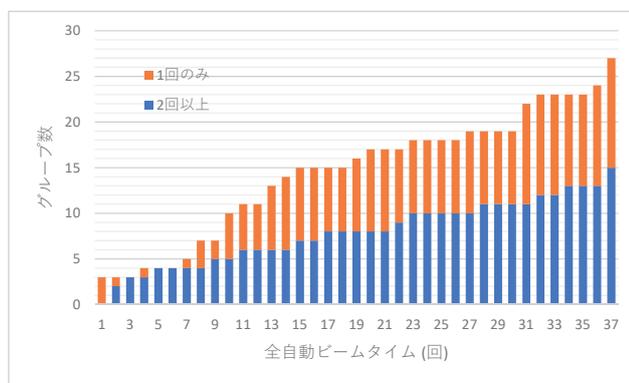


図 1 全自動ビームタイムの利用推移 (2018 ~ 2019 年度)  
2018 ~ 2019 年度の 2 年間で実施された合計 37 回の全自動測定ビームタイムで、利用実績のあるグループの数の推移を示しています。1 回のみ利用したグループと、複数回利用したグループとで、色分けしています。

動回折データ収集システムが日々の研究を行うためのツールとして受け入れられてきていることが分かります。

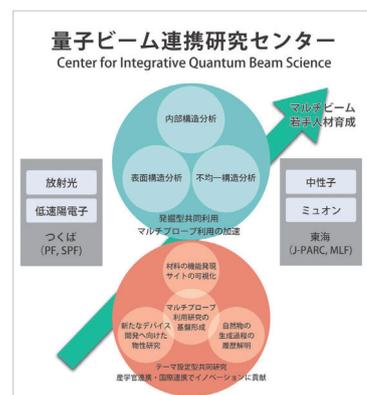
この回折実験の全自動化をさらに推し進めるべく、これまで全自動測定ビームタイムおよび BINDS のビームタイム支援でのみ提供してきた全自動測定のサービスを、2020 年度より一般の G 型課題のビームタイムでも提供します。利用者はそれぞれに配分されたビームタイムに対して、PReMo を通じて全自動測定サービスの申請を行うことが出来るようになります。その後、全自動測定ビームタイム同様に試料をビームラインに送るだけで、ビームラインスタッフが配分されたビームタイム中に試料をビームラインにセットし、全自動測定システムにより回折データの収集を行います。得られた回折データは試料に同封いただいた記憶媒体にコピーされ、返送されるとともに、実験データベース PReMo を通じて閲覧することも可能です。詳しい利用方法についてはタンパク質結晶構造解析ビームラインのホームページ (<https://www2.kek.jp/imss/sbr/beamline/px/beamtime-info/datacollection-service.html>) をご覧ください。全自動測定はビームラインへの移動や測定に費やしてきた時間的・金銭的なコストを削減しながらも、多くのケースでこれまでと同等かそれ以上の測定結果を得ることが出来ています。今回、全自動測定サービスの対象範囲が広がり、全自動測定の利用機会が増えることで、利用者の皆様のより良い成果創出に少しでも繋がることを期待しています。

## 量子ビーム連携センター (CIQuS) 新設 について

量子ビーム連携研究センター長 雨宮健太

物構研では、2020 年 4 月に従来の構造物性研究センターを発展的に改組し、「量子ビーム連携センター (CIQuS)」を新設しました。

本センターは、放射光・中性子・ミュオン・低速陽電子という 4 つの量子ビームを備えた世界的にもユニークな研究所である物構研のメリットを生かして、新たな「発掘型共同利用」と「テーマ設定型共同研究」を推進するとともに、若手人材を育成することで、これまでにない新しいマルチプロ



ープ連携分野を、物質の表面構造・内部構造・不均一構造の3つの観点で創成することを目指しています。

以下に、本センターで推進する3つの取り組みを示します。

#### ①発掘型共同利用

初心者を含む共同利用申請に対して指導・助言することでマルチプローブ研究を加速する。研究内容を検討し、マルチビームに適した試料作成など研究実施までの指導・助言・実験支援を一气通貫に行う。

#### ②テーマ設定型共同研究

イノベーションに貢献できる量子ビーム連携研究課題を設定し、産学官連携・国際連携によって課題を解決する。

#### ③マルチプローブ若手人材育成

マルチプローブ利用により不可欠となるAIを活用したデータ駆動型実験・解析手法を開拓するとともに、量子ビーム連携分野で国際的に活躍できる若手人材を育成する。

## Photon Factory Activity Report 2019 ユーザーレポート執筆のお願い

Photon Factory Highlights 2019  
Photon Factory Activity Report 2019  
編集委員長 小野寛太 (KEK 物構研)

Photon Factory では、施設スタッフやPFを利用されたユーザーの皆様のActivityをまとめ、サイエンスのハイライト記事を中心とする「Photon Factory Highlights (PF-Highlights)」および当該年度に実施された実験課題の結果報告集である「Photon Factory Activity Report (PF-ACR)」を毎年度発行しています。つきましては、2019年度にPF、PF-AR、低速陽電子実験施設にて実施した実験について、ユーザーレポートの寄稿をお願いいたします。

すでにPF Highlights 2019の編集作業を開始し、皆様から頂いた推薦に基づいてハイライト記事の選定作業を行っております。オンライン版での発刊は9月を予定しており、11月頃には冊子として国内外の主要機関へ配布する予定です。また、Activity Reportのためのユーザーレポートは随時投稿を受け付けています。基本的には2019年度にPFで実験を行なったユーザーにその報告を寄稿して頂きますが、データの解析に時間を要する等の事情により提出が遅れている場合は、2019年度以前の実験に関する報告でも結構です。使用言語は、英語もしくは日本語となります。このユーザーレポートは、2014年度より共同利用実験課題の終了届を兼ねるものとなりましたので、課題の有効期限に合わせて1報以上ご提出下さい。ユーザーレポートの原稿や電子ファイルの準備・投稿要領はPF-ACR 2019: User's Reports への投稿案内のホームページ [https://www2.kek.jp/imss/pf/science/publ/acr/2019/acr\\_submission\\_jp.html](https://www2.kek.jp/imss/pf/science/publ/acr/2019/acr_submission_jp.html) に掲載しておりますのでご覧下さい。

<ユーザーレポート提出締切：2020年6月30日(火)>

## 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

物質構造科学専攻長 熊井玲児

総合研究大学院大学(総研大)は、「大学共同利用機関」の高度な研究環境を活用した大学院大学です。学部を持たない大学院だけの大学で、独創的・国際的な学術研究の推進や先導的学問分野の開拓に対応する研究者の養成を目的としています。

物質構造科学専攻は高エネルギー加速器科学研究科に属し、基盤共同利用研究機関としては、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所が対応しています。5年一貫性博士課程(3年次編入も可能)があり、博士の学位を目指す学生を受け入れています。物質構造科学専攻では、物質構造科学研究所において、世界最先端のビームの発生と加工に関する技術開発研究や新しい利用研究手法の開発、先端的利用研究を行っている研究者の指導の下に、その将来を担い、かつその発展に貢献する有為の人材の養成を目的としています。新しいことにチャレンジし、世界に飛び出していく意欲のある方の参加を期待しています。

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(5年一貫制および3年次編入学博士課程)の学生募集(2020年10月入学および2021年4月入学)について下にまとめました。詳しくは高エネルギー加速器科学研究科のホームページをご参照下さい。皆様の周りに将来の放射光施設を担う人材として該当する学生の方々がおられましたら、ぜひ勧めてください。

#### 物質構造科学専攻のHP:

<https://www2.kek.jp/imss/education/sokendai/>

#### 高エネルギー加速器科学研究科のHP:

<http://kek.soken.ac.jp/sokendai/>

#### 大学院説明会開催のお知らせ

新型コロナウイルス感染防止のため、予定されておりました説明会は動画にて行う予定です。詳細は決まり次第 <http://kek.soken.ac.jp/sokendai/admission/> に掲載されます。

#### 2020年度第2回大学院説明会兼オープンキャンパス

日時:7月3日(金) 10:00~17:00(9:30受付開始)

場所:高エネルギー加速器研究機構(つくば市)

※つくばでの説明会の詳細については、研究科HPに掲載されます。事前審査による交通費支援制度を実施予定です。

※新型コロナウイルスの感染拡大の状況によっては今後変更となる場合もあります。その場合は、最新情報を <http://kek.soken.ac.jp/sokendai/admission/> にてご確認ください。

## 総研大物質構造科学専攻学生募集

2020年10月入学生及び2021年4月入学生募集概要

### 1. 募集人数

入学課程	募集人数	
	2020年度10月入学	2021年4月入学
5年一貫制博士課程	若干名	3名
博士後期課程	若干名	若干名

### 2. 願書受付期間・試験日程

#### <博士課程(5年一貫制)>

	願書受付期間	入試	合格発表
第1回 2020年10月入学 2021年4月入学	5月28日(木) ～6月3日(水)	6月30日(火)	7月中旬
第2回 2020年10月入学 2021年4月入学	7月14日(火) ～20日(月)	8月20日(木) 【予備日:8月21日(金)】	9月中旬
第3回 2021年4月入学	12月10日(木) ～16日(水)	2021年1月19日(木)	2021年2月中旬

#### <博士課程(3年次編入学)>

	願書受付期間	入試	合格発表
第1回 2020年10月入学 2021年4月入学	7月14日(火) ～20日(月)	8月20日(木) 【予備日:8月21日(金)】	9月中旬
第2回 2021年4月入学	12月10日(木) ～16日(水)	2021年1月21日(火)	2021年2月中旬

### 3. 選抜の方法

書類選考と面接試験

※入試の実施方法の変更や、やむを得ず中止等を決定した場合は、各研究科の出願期間の営業日で1週間前までに、下記のウェブサイトで公表します。このウェブサイトは5月中旬に開設します。

【総研大HP:入試における新型コロナウイルス感染症への対応について】

<https://www.soken.ac.jp/news/6618/index.html>

### 4. 募集要項請求先

以下のいずれかにご請求下さい。

(今年度要項については出来次第送付します。)

\* 〒240-0193 神奈川県三浦郡葉山町(湘南国際村)

総合研究大学院大学 学務課学生係

TEL 046-858-1525 又は 1526 [gakusei@ml.soken.ac.jp](mailto:gakusei@ml.soken.ac.jp)

\* 〒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 研究協力課大学院教育係

TEL 029-864-5128 [kyodo2@mail.kek.jp](mailto:kyodo2@mail.kek.jp)

## 2020年度後期 フォトンファクトリー研究会の募集

放射光実験施設長 船守展正

物質構造科学研究所放射光実験施設(フォトンファクトリー)では放射光科学の研究推進のため、研究会の提案を全国の研究者から公募しています。この研究会は放射光科学及びその関連分野の研究の中から、重要な特定のテーマについて1～2日間、高エネルギー加速器研究機構のキャンパスで集中的に討議するものです。年間6件程度の研究会の開催を予定しております。

つきましては研究会を下記のとおり募集致しますので応募下さいませようお願いします。

### 記

1. 開催期間 2020年10月～2021年3月

2. 応募締切日 2020年6月19日(金)

[年2回(前期と後期)募集しています]

3. 応募書類記載事項(A4判, 様式任意)

(1) 研究会題名(英訳を添える)

(2) 提案内容(400字程度の説明)

(3) 提案代表者氏名, 所属及び職名(所内, 所外を問わない)

(4) 世話人氏名(所内の者に限る)

(5) 開催を希望する時期

(6) 参加予定者数及び参加が予定されている主な研究者の氏名, 所属及び職名

4. 応募書類送付先(データをメールに添付して送付)

放射光実験施設 PF 秘書室

Email: [pf-sec@pfiqst.kek.jp](mailto:pf-sec@pfiqst.kek.jp) TEL: 029-864-5196

なお、旅費、宿泊費等については実施前に詳細な打ち合わせのうえ、支給が可能な範囲で準備します(1件当り上限30万円程度)。開催日程については、採択後、放射光実験施設長までご相談下さい。また、研究会の報告書をKEK Proceedingsとして出版していただきます。

※感染症対策として、開催時期の変更やビデオ会議での開催をお願いする場合も考えられます。予めご承知おき下さい。

## 予 定 一 覧

2020 年

6 月 19 日	2020 年度後期フォトン・ファクトリー研究会公募締切
7 月 3 日	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・オープンキャンパス (KEK つくばキャンパス)
8 月 1 ～ 2 日	つくばキャンパス全所停電
8 月 12 ～ 14 日	つくばキャンパス一斉休業
9 月 6 日	KEK 一般公開 (KEK)

※最新情報は <http://pfwww.kek.jp/spice/getschtxt> をご覧下さい。緊急事態宣言により予定が変更になる場合もあります。

## 放射光共同利用実験審査委員会速報

放射光実験施設運営部門 兵藤 一行  
宇佐美徳子

2020年3月30日(月)に開催予定だった2019年度第4回目の放射光共同利用実験審査委員会(PF-PAC)は、感染症対策のためメール審議を実施しました。以下の事項について審議され、その後、物質構造科学研究所運営会議のメール審議を経て最終決定となりました。2020年4月中旬以降から適用されます。

### 審議事項

#### 1. P型課題の見直しについて

<https://www2.kek.jp/imss/pf/use/proposal/categories.html#P>

新規放射光利用者を奨励するためにP型課題を初心者向け課題に特化すること。評点決定方法(評価基準)の変更は審議事項2のPFWEBページ参照。

#### 2. 評点決定方法(評価基準)の変更について

<https://www2.kek.jp/imss/notice/2020/04/151400.html>

課題審査をより公平で正確なものにすることを目的として審査手続きと評価基準を変更すること。

#### 3. イエローカード制度の変更について

[https://www2.kek.jp/uskek/apply/pfpac\\_process.html](https://www2.kek.jp/uskek/apply/pfpac_process.html)

イエローカード制度(論文の登録が少ない実験責任者に対する審査基準)を改定すること。

#### 4. T型課題の申請締切日変更について

事務的負担や審査スケジュールの観点からT型課題申請締切日をG型課題、S2型課題と統一すること。

## 第117回物質構造科学研究所運営会議議事次第

日時: 2020年2月13日(木) 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】第115回~第116回議事要録について

【2】所長報告

【3】審議

- (1) 次期研究主幹及びセンター長の選考について
- (2) 次期技術副主幹の選考について
- (3) 客員研究員の選考について

- (4) 名誉教授候補者について
- (5) 教員人事(物構研18-10 教授1名:中性子)
- (6) 教員人事(物構研19-3 教授1名:放射光実験施設運営部門)
- (7) 教員人事(物構研19-4 准教授1名:低速陽電子)
- (8) 教員人事(物構研19-5 助教1名:放射光一)
- (9) 教員人事(物構研19-6 特別助教1名:放射光実験施設)
- (10) 教員人事(物構研19-7 特任助教1名:放射光二)
- (11) 教員人事(助教1名・特定人事:測定装置部門1)
- (12) 教員人事(助教1名・特定人事:測定装置部門2)
- (13) 教員人事(助教1名・特定人事:基盤技術部門)
- (14) 教員の雇用計画について(教授1名・特定人事:低速陽電子)
- (15) 特定有期雇用職員の雇用計画について(特別教授1名・特定人事:中性子)
- (16) 学術研究フェローの雇用計画について(特任准教授1名・特定人事:中性子)
- (17) 特別教授の職位呼称について(ミュオン)
- (18) 2020年度中性子共同利用S1型実験課題審査結果について
- (19) 2020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

### 【4】報告事項

- (1) 人事異動
- (2) 研究員の選考結果について
- (3) 2020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
- (4) 2019年度放射光共同利用実験課題審査結果について(P型)
- (5) 協定等の締結について(国内機関関係)

### 【5】研究活動報告(資料配布のみ)

※第116回はメール審議。

## 物構研談話会・コロキウム

日時: 2020年4月22日(水) 10:00~  
(Webinarによる開催)

題名: 20-01 Probing Structure and Interaction in Multi-components Soft Matter Using Small-angle Scattering

講師: Prof. Vinod Aswal (Bhabha Atomic Research Centre)

## 2020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・特任准教授	客員准教授
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	広島大学 放射光科学研究センター・教授 自然科学研究機構 分子科学研究所・特任教授併任	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	高輝度光科学研究センター・研究顧問	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
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 生存ダイナミクス研究センター・教授	客員教授
濱 広幸	東北大学 電子光理学研究センター・センター長	客員教授
村田 武士	千葉大学大学院理学研究科・教授	客員教授
山崎 裕一	物資・材料研究機構 統合型材料開発・情報基盤部門・主任研究員	客員准教授

## 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
	* 伊藤 晋一	物質構造科学研究所 中性子科学研究系・研究主幹
	* 下村浩一郎	物質構造科学研究所 ミュオン科学研究系・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
	* 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
	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・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）

1. 電子物性	※奥田 太一	小田切 丈	坂本 一之	吉田 鉄平	吉信 淳	雨宮 健太
2. 構造物性	※池田 直	岩佐 和晃	鍵 裕之	河野 正規	中野 智志	熊井 玲児
3. 化学・材料	※田淵 雅夫	一國 伸之	穴戸 哲也	高橋 嘉夫	山添 誠司	木村 正雄
4. 生命科学Ⅰ	※清水 敏之	海野 昌喜	橋本 博	伏信 進矢	山口 宏	千田 俊哉
5. 生命科学Ⅱ	※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 (2019 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)
2019R-01	足立 純一	物構研 PF	b,g	難揮発液体分子の光励起フラグメントの飛行時間スペクトル測定	20A	72	72
2019R-02	清水 伸隆	物構研 PF	e	Nanotech CUPAL 放射光分析初級 / 中級コース (X線小角散乱講習会)	6A	24	24
2019R-03	佐賀山 基	物構研 PF	e	KEK-CUPAL 放射光分析初級 / 中級コース (第2回)	8B	24	24
2019R-04	清水 伸隆	物構研 PF	e	タンパク質 X線溶液散乱講習会でのトライアルコース	15A2	24	24
					10C	24	24
2019R-05	北島 昌史	東京工業大学	f	放射光科学実習 (2019 年度)	20A	48	48
						24	24
2019R-06	鈴木 勝彦	東北大学	e,g	レーザー照射により形成させた炭化ケイ素微粒子膜内の酸化物の形成状態	11B	8	8
2019R-07	阿部 仁	物構研 PF	f	茨城大学 実習	9C	12	12
2019R-08	宇佐美 徳子	物構研 PF	f	BL-27B ユーザー運営のための大学院生実習	27B	24	24
						24	24
						24	12
2019R-09	兵藤 一行	物構研 PF	e,f	KEK アテナプログラム実験実習 (放射光 X線イメージング)	NE7A	48	48
					14C	48	48

## 施設留保 (RP) ビームタイム採択課題一覧 (2019年度)

課題番号	申請者	所属	カテゴリー	課題名	希望スーション	希望ビームタイム (h)	実施ビームタイム (h)
2019RP-01	松垣 直宏	物構研 PF	b	BINDS 事業におけるビームライン技術開発	1A	490	490
					5A	7.5	7.5
2019RP-02	鎌田 祥太郎	昭和薬科大	g	PPAR 受容体結晶構造解析	17A	45.5	45.5
2019RP-03	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	17A	46.5	46.5
					5A	31	31
2019RP-04	小祝 孝太郎	物構研 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	1A	38.5	38.5
					5A	7.5	7.5
2019RP-05	角田 大	医療創生大	g	ApPCNA2 の溶液中における複合体形成の解析	10C	48	48
2019RP-06	西野 達哉	東京理科大	g	好熱性細菌由来デオキシシチジンデアミナーゼの構造解析	10C	24	24
					15A2	24	24
2019RP-07	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	48	48
2019RP-08	田辺 幹雄	物構研 PF	g	BINDS1392 / mRNA 代謝・翻訳調節メカニズムの構造生物学的解明	1A	30	30
2019RP-09	佐藤 啓子	長崎大学	g	歯周病細菌の病原因子分泌タンパク質の構造解析	1A	22	22
2019RP-10	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	23.5	23.5
2019RP-11	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	10C	24	24
2019RP-12	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
2019RP-13	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	24	24
2019RP-14	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	24
2019RP-15	鈴木 花野	千葉大学	g	PDIS1026/ 回転軸のない V1 モーターが非対称構造を形成する分子機構の解明	1A	15.5	15.5
2019RP-16	清水 伸隆	物構研 PF	g	ヘテロクロマチンタンパク質の SAXS による構造解析	15A2	72	72
2019RP-17	田辺 幹雄	物構研 PF	g	BINDS1654/ 新奇ロドプシンタンパク質 SyHR の結晶構造解析	1A	31	31
2019RP-18	小林 淳	物構研 PF	g	フラビウイルス抗ウイルス薬の創薬を目指した X線結晶解析法による中和モノクローナル抗体のエピトープの同定とその結合様式の解析	17A	23	23
2019RP-19	野田 展生	微生物化学研究会	g	オートファジー関連因子の構造解析	1A	7.5	7.5
2019RP-20	有田 恭平	横浜市立大	g	DNA 維持メチル化を制御するマルチドメインタンパク質 UHRF1 のリガンド結合による高次構造変化の解析	10C	48	48
2019RP-21	福田 庸太	大阪大学	g	Native SAD 法によるクマムシ固有タンパク質の構造決定	1A	22.5	22.5

2019RP-22	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	5A	7.5	7.5
					NE3A	7.5	7.5
2019RP-23	杉本 敬祐	旭川工業高等専門学校	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	23	23
2019RP-24	吉田 尚史	横浜市立大	g	スプライシングタンパク質 U2AF1 によるイントロン認識機構の解明	1A	15.5	15.5
					NE3A	15.5	15.5
2019RP-25	伊藤 俊将	昭和薬科大	g	リガンド結合が及ぼす VDR の構造変化に関する研究	10C	24	24
					15A2	48	48
2019RP-26	渡部 聡	東北大学	g	小胞体タンパク質品質管理に関わる膜タンパク質群の溶液構造解析	10C	48	48
2019RP-27	清水 伸隆	物構研 PF	g	タンパク質架橋酵素トランスグルタミナーゼ 2 の立体構造制御を介した肝癌細胞死経路の解明	10C	24	24
2019RP-28	飯島 洋	日本大学	g	化合物による酵素の生成物阻害の解除機構の解明	1A	15	15
2019RP-29	千田 美紀	物構研 PF	g	C- 配糖体糖脱離酵素の結晶構造解析	17A	15	15
2019RP-30	千田 美紀	物構研 PF	g	新規炭酸脱水酵素の結晶構造解析	1A	7.5	7.5
2019RP-31	藤橋 雅宏	京都大学	g	結晶構造中のリンの同定	17A	23	23
2019RP-32	千田 美紀	物構研 PF	g	全長 CbnR-DNA 複合体の構造学的研究	10C	24	24
2019RP-33	永田 隆平	東京大学	g	Native-SAD 法を用いたタンパク質構造決定	NE3A	7.5	7.5
					BL-1A	15.5	15.5
2019RP-34	小川 覚之	東京大学	g	BINDS 1133 / 微小管関連タンパク質の X 線結晶解析支援	10C	24	24
2019RP-35	湯澤 賢	東京大学	g	SEC-SAXS によるポリケチド合成酵素の構造解析	10C	24	24
2019RP-36	宮川 拓也	東京大学	g	薬剤誘導性 E3 ユビキチンリガーゼ - ネオ基質複合体の構造解析 "	NE3A	15.5	15.5
2019RP-37	阪本 泰光	岩手医科大	g	病原菌由来ジペプチジルアミノペプチダーゼの構造解析 "	1A	15.5	15.5
2019RP-38	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	1A	15.5	15.5

- 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。
- ビームライン・実験装置の性能向上をスピーディにする。
- 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。
- 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。
- 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。
- 教育用ビームタイムの時間確保。
- 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（2019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)
2019PF-01	丹羽尉博	物構研 PF	蛇紋岩化作用の反応メカニズムおよび Fe <sup>3+</sup> の存在形態とその分布の解明	15A1	24	24
2019PF-02	阿部 仁	物構研 PF	Cs <sub>3</sub> Cu <sub>2</sub> I <sub>5</sub> の発光メカニズム理解へ向けた XAFS 測定試験	9A	12	12
2019PF-03	村上洋一	物構研 PF	CoPt ナノロッドの強磁性発現機構解明のための XMCD 予備測定実験	9A	48	12
				16A		32
2019PF-04	高木秀彰	物構研 PF	小角 X 線散乱法を用いた牛乳の構造解析	15A2	24	12
2019PF-05	高木秀彰	物構研 PF	X 線・中性子小角散乱法による蕎麦の構造解析	6A	12	12
2019PF-06	三木宏美	総研大	放射光 X 線イメージング法による関節軟骨の評価に関する基礎的検討	14C	72	96
2019PF-07	清水伸隆	物構研 PF	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
2019PF-08	石井祐太	物構研 PF	時分解 XMCD によるスピン流伝搬の観測	13A	48	44
2019PF-09	米澤健人	物構研 PF	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	24
				15A2		24
2019PF-10	岡部博孝	物構研 PF	強磁性パイエルス絶縁体 KMg <sub>4</sub> Mn <sub>6</sub> O <sub>15</sub> の構造解析	8A/B	72	80
2019PF-11	亀卦川卓美	物構研 PF	高性能 6-6 アンビルシステムの開発	NE5C	144	72
2019PF-12	山下翔平	物構研 PF	触媒活性種粒子の STXM 分析方法論の確立及びモデルデータの取得	19A/B	48	48
2019PF-14	岸本俊二	物構研 PF	SOI ピクセル検出器開発のためのマイクロ X 線ビーム調整法	14A	24	48
2019PF-15	鈴木雄太	総研大	機械学習を用いた X 線回折パターンの自動データ解析技術の開発	15A1	24	12
2019PF-17	若林大佑	物構研 PF	Si 吸収端 STXM 測定に向けた装置試験	19A/B	48	48
2019PF-18	原野貴幸	総研大	炭素材料及び鉄鋼材料中 C の化学状態イメージング	19A/B	48	48
2019PF-19	山田悟史	物構研 中性子	斜入射小角散乱によるナノ構造化リチウムイオン電池材料の評価	6A, 10C, 15A2	24	24
2019PF-20	雨宮健太	物構研 PF	準大気圧波長分散軟 X 線 XAFS 法のための試料セルの開発	7A	96	60
2019PF-21	中尾裕則	物構研 PF	アジマス角回転機構付冷凍機の動作試験	16A	48	24
2019PF-22	石井祐太	物構研 PF	反射型コヒーレント X 線回折イメージングによるマルチフェロイックドメイン観測	16A	48	24
2019PF-23	山本涼輔	東大	位置分解オランダ観察法による NiCu 触媒機能と表面構造の関係性の観察	16A	120	96
2019PF-24	篠田晃	SBRC	バッファ組成が結晶に及ぼす影響の連続的オンライン測定	5A	24	0
2019PF-25	丹羽尉博	物構研 PF	Cs <sub>3</sub> Cu <sub>2</sub> I <sub>5</sub> の光励起状態での Jahn-Teller 効果と発光原理に関する研究	NW14A	24	24
2019PF-26	岸本俊二	物構研 PF	低エネルギー X 線ビーム調整法	14A	24	24
2019PF-27	本田孝志	物構研 中性子	層状鉄オキシカルコゲナイドの精密結晶構造解析	8A	48	48

2019PF-28	山下翔平	物構研 PF	大気非暴露環境下における STXM 測定試験	19A/B	48 ~ 72	56
2019PF-29	北村未歩	物構研 PF	垂直磁気異方性を有する逆スピネル酸化物の軌道磁気モーメントの決定	16A	36	24
2019PF-30	横谷明徳	量研機構	マイクロビーム照射した細胞集団の温度分布計測	27B	48	72
2019PF-31	若林大佑	物構研 PF	FZP を用いた X 線結像ズーム顕微鏡開発のための試験測定	3C, 20B	144	152
2019PF-32	杉山弘	物構研 PF	X 線光学結晶としての Ge 単結晶の X 線トポグラフィによる評価	20B	144	144
2019PF-33	中尾裕則	物構研 PF	CCD カメラの動作試験および、新たな利用法のテスト	11B	6 日間	71
2019PF-34	高木秀彰	物構研 PF	テンダー X 線を利用した極小角散乱法の開発	15A2	48	48
2019PF-35	雨宮健太	物構研 PF	準大気圧波長分散軟 X 線 XAFS 法のための蛍光軟 X 線結像システムの開発	7A	2 日間 ×2 回	48
2019PF-36	石井祐太	物構研 PF	ペロブスカイト型構造をもつ新規モリブデン酸化物の電子状態解析	11B	1,2 日程度	24
2019PF-37	山本涼輔	東京大学	位置分解オペランド観察法による NiCu 触媒機能と表面構造の関係性の観察	16A	2.5 日 ×2	96
2019PF-38	西村龍太郎	物構研 PF	10Gb SiTCP プロトタイプシステムによるイメージング試験	14A	1-2 日	24
2019PF-39	君島堅一	物構研 PF	In situ XAFS/XRD 同時測定による、半導体酸化物膜の構造測定方法の検討	NW10A	12	12
2019PF-40	若林大佑	物構研 PF	FZP を用いた X 線結像ズーム顕微鏡のマルチモード化に向けた試験測定	3C, 20B	6 日間	96

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。

# 2019年度第3期配分結果一覧

	Mon 2/3	Tue 2/4	Wed 2/5	Thu 2/6	Fri 2/7	Sat 2/8	2/9
1A	T/M	T/M	T/M	E	E	E	E
2A/2B				調整			19G 19G
3A				調整	19G645 19T004 志賀 大亮	18S2-09 19G544	19G632 小堀
3B				調整	18G039 松村 武		
3C				調整	18S2-005 小澤 健一		
4A				調整	18G501 姚 永昭		
4B2				調整	18G525 宇尾 基弘	18G644 松浦 晃洋	
4C				調整	19G552 植草 秀裕		
5A				調整	19G553 中尾 裕則	19G056 清水	
6A				調整	19Y009	19G 19G	
6C				調整	19G672 藤原 剛	19G010 船塚 秀樹	19G128 武野 崇之
7A				調整	19S2-003 兩宮 健一	19PF-35 兩宮 健一	19G028 岡林 潤
7C				調整	17S2-001 熊井 玲児		
8A				調整	19P002 眞山 弘之	18G102 志賀 拓也	17S2-001 熊
8B				調整	19G566 山本 孟	19G557 岩佐 和晃	
9A				調整	19G093 坂田 昂平	19G042 鈴木 進也	
9C				調整	19G070 阪東 恭子		
10A				調整	19G585 中塚 晃彦		
10C				調整	19RP-35 藤原 実	19G666 新井 崇仁	19G523 青尾 智英
11A				調整	19C204	19G641 奥平 幸司	
11B				調整	19PF-33 中尾 裕則	19PF-36 石井 裕之	19PF-33 中尾 裕則
11D				調整	18G072 江島 文雄		
12C				調整	19G543	19G503 志野 康明	18G575 高橋 嘉夫
13A/13B				調整	18G553 眞田 勇樹	18S2-005 小澤 健一	
14A				調整	19G606 西村 龍太郎	19G576 高田 英治	
14B				調整	19G103 橋 勝	19G606 西村	
14C				調整	18G580 松下 昌之助		
15A1				調整		調整	19G066 武市 康男
15A2							
16A				調整	18G017 永沼 博	18S2-006 山崎 裕一	
17A				調整	19Y009 18G 19G 18G 18G 19G 19RP-03 藤		
18B				調整	19-IB-22		
18C				調整	19G132 佐藤 友子	19G006 阿部 洋	19G580 中野
19A/19B				調整			
20A				調整	19G520 星野 正光		
20B				調整	19PF-40 若林 大佑		
27A				調整	19G032 馬場 祐治	19G641 奥平 幸司	
27B				調整	18G515 今岡 進彦	19R-08 中後 康彦	19G057 岡本 芳尚
28A/28B				調整	19G525 齋藤 智彦	18S2-001 佐藤 宇史	
NE1A	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF				調整	18G664 平川 力	19G123 高山	

	Mon 2/10	Tue 2/11	Wed 2/12	Thu 2/13	Fri 2/14	Sat 2/15	2/16
1A	E	E	B	E	E	E	E
2A/2B	調整	19C201 18G53 19G	調整	調整	調整	調整	調整
3A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
3B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
3C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
4A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
4B2	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
4C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
5A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
6A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
6C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
7A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
7C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
8A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
8B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
9A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
9C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
10A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
10C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
11A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
11B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
11D	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
12C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
13A/13B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
14A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
14B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
14C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
15A1	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
15A2	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
16A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
17A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
18B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
18C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
19A/19B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
20A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
20B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
27A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
27B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
28A/28B	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
NE1A	T/M	T/M	T/M	E	E	E	E
NE3A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
NE5C	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
NE7A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
NW2A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
NW10A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
NW12A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
NW14A	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整
SPF	調整	調整	調整	調整	調整	調整	調整

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23
	E	E	B	M	E	E	E
1A	19RP-01 松浦 晃洋	19Y005	19G150 堀	調整	19RP-33 奥	19G195	18G185
2A/2B	18G588	18G148	19Y002	18G148	19Y002	18G148	18S2-004 組頭 広志
3A	18G142 道村 真司				19G610 中村 智樹		
3B	18S2-005 小澤 健一				18S2-005 小澤 健一		
3C	18G641 渡辺 紀生				18G641 渡辺 紀生	19G092 早稲田 篤	
4A	18G644 松浦 晃洋				18G044 石橋 秀巳	18G575 高橋 嘉夫	
4B2	18G543 藤井 孝太郎	19G665 八島 正徳			19G665 八島 正徳	18G080 西村 真一	
4C	18G620 増田 卓也	18G571 中島 正道			18G571 中島 正道	18G081 山口 博隆	
5A	19G19	18G19	18G19	18G19	18G19	18G19	18G19
6A	18G099	18G087	19G579 藤野 裕也	19G599 上原 伸夫	19G594	19G162	18G092 上野 聡
6C	19G087 杉山 誠	18G103 有馬 寛			18G599 木村 耕次	18G055 林 研一	18G149 山本 寛史
7A	19G119 久保 久	19S2-003 雨宮 健太			19S2-003 雨宮 健太	18G004	19G028 岡林 潤
7C	18G145 川又 透	19G646 川又 透			18G582 岩住 俊明		
8A	19P002 奥山 直之	19G145 佐賀山 基			19G145 佐賀山 基	17S2-001 熊井 玲児	
8B	17S2-001 熊井 玲児	19G005 後藤 博正			19G534 真島 豊	17S2-001 熊井 玲児	
9A	19C204	調整	19C211	18L016	19G689 原田 誠	18G575 高橋 嘉夫	
9C	19G052 原田 誠	19G105 柳次 智			19G676 岡部 仁	18G601 橋 俊太郎	
10A	19G084 吉朝 朗				19G084 吉朝 朗	19G062 栗林 貴弘	
10C	19G553 藤井 孝太郎	19RP-32 平岡 典史	19G118 米持 健史		18G553 藤井 孝太郎	19G685 奥田 浩司	18G634 新井 亮一
11A	調整				18G129 伊藤 敬		
11B		19Y0	19Y0	18G631	18G531 加藤 有香子	19G111 沼子 千弥	18G090 高岡 隆
11D	18G072 江島 浩	18G552 伊藤 雅英			18G552 伊藤 雅英		
12C	19G668 増田 卓也	18G667 藤野 裕也	19Y030	19G193	18G548 藤井 孝太郎	19G660 花咲 徹亮	
13A/13B	18S2	18S2-00	18S2-00	18S2-00	18S2	18S2	18S2-00
14A	19G678 木村 宏之				19G678 木村 宏之	19G566 山本 孟	
14B	19G598 島崎 敏	18G669 砂口 尚輝			18G501 熊永 昭		
14C	19G597 安藤 正海				18G581 松下 昌之助		
15A1	19G569 岡本 勇彰	19G093 坂田 昂平			19G093 坂田 昂平		
15A2					調整		
16A	19S2-003 雨宮 健太	18S2-003 足立 純一			19G553 中尾 裕則	19G553 中尾 裕則	18S2-006 山崎 裕一
17A	19C201	19G19	調整	19G19	調整	19Y1	19G19
18B	19-IB-29				19-IB-30		
18C	18G682 LEE Yongjae				19G550 川村 幸裕	18G635 川村 幸裕	
19A/19B	調整				調整		
20A	19G603 宮崎 康典				19G603 宮崎 康典		
20B	18G081 山口 博隆	18G686 加藤 有香子			18G686 加藤 有香子	18G536 秋本 晃一	
27A	18G085 関口 隆	18G069 石山 新太郎			19G032 島崎 敏	19G519 永井 崇之	18G518 藤谷 孝徳
27B	19G519 永井 崇之	18G518 藤谷 孝徳			18G568 松浦 治明	18G567 松浦 治明	
28A/28B	18G624 坂野 昌人				18S2-001 佐藤 宇史		
	E	E	B	E	E	E	E
NE1A	19S2-001 小林 寿夫			18G140 池田 夢樹	18G665 福谷 克之		
NE3A	18G19Y001			全自動測定	19G683 周岡 智二	19G125 五木 洋	
NE5C	19G143 浦川 大	19G628 亀井川 卓美		18G646 柴崎 裕樹		19G047 大澤 洋	
NE7A	18G004 湯浅 哲也			19R-09 兵藤 一行	18G004 湯浅 哲也		
NW2A	19S2-002 木村 正雄			調整	19C205		
NW10A	19Y004	19PF-35	19C204	19Y012	18G628	19G070	18G548
NW12A		18G18	18G18	18G18	19G151 佐々木 裕次		
NW14A	19G140 IHEE Hyotcherl	調整			18S2-003 足立 純一		
SPF	19G124 高山 あかり			18G100 石田 明			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	2/24	2/25	2/26	2/27	2/28	2/29	3/1
	E	E	B	M	HB	HB	HB
1A		19Y009	18G19	19G19	18G19		19Y008
2A/2B	18S2-004 組頭 広志	19V003		18G609	19V004		18G062 豊田 智史
3A	18G533 若林 裕助				19V003		18G661 白鳥 大
3B	18S2-005 小澤 健一				19G593 中辻 寛		
3C	19G092 早稲田 篤				19G092 早稲田 篤		
4A	18G575 高橋 嘉夫				18G593 安光ラヴェル 香	19G602 西藤 隆	
4B2	18G080 西村 真一				18G094 籠宮 功		
4C	18G081 山口 博隆				18G555 佐久間 博	18G536 秋本 晃一	
5A	18G551 HED Neo	19C201	18G19	19Y011	19G19	19G19	19G19
6A	19G110 藤原 直	19G055 Li Xiang	19G112 丸林 弘典		19G611 佐村 康人	18G086 渡辺 賢	19G623 中原 直樹
6C	19G636 山本 寛史	18G592 江口 孝子	18G660 白井 祥		18G003 北浦 守	18G537 北浦 守	19G556 藤川 伸也
7A	18G124 朝倉 新	19PF-37 山本 涼輔			18C211	19PF-35 雨宮 健太	19G028 岡林 潤
7C	18G581	19G591 手塚 泰久			19G591 手塚 泰久	18G596 中島 伸夫	
8A	17S2-001 熊井 玲児	19P002 奥山 直之	19G145 佐賀山 基		17S2-001 熊井 玲児		
8B	17S2-001 熊井 玲児	19G005 後藤 博正			19G145 佐賀山 基	19T003 宮島 瑞樹	
9A	19G093 坂田 昂平				19G093 坂田 昂平		
9C	19Y031	19G655 今岡 享徳			19G676 岡部 仁	19G545	19G585 奥田 浩司
10A	19G062 栗林 貴弘				19G062 栗林 貴弘		
10C	19G073 池田 夢樹	18G546 新井 亮一	18G588 高木 勇彰		18G130 今村 比呂	19G113 米持 健史	18G541 平井 光輝
11A							
11B	18G090 高岡 隆	19G647 LEE Yongkul			19P003 野本 淳一	調整	
11D	18G552 伊藤 雅英				18G012 小池 雅人		
12C	18G667 藤野 裕也	19G041 角山 寛則	18G623 大田 光則		19G023 越 新為	19G093 坂田 昂平	
13A/13B	18S2-00	18S2-00	18P021 但馬 敬介	18G549	18S2-00	19G590	18S2-00
14A	19G566 山本 孟				18G053 岸本 俊二		
14B	18G126 岡田 裕之				18G008 高橋 由美子		
14C	18G581 松下 昌之助	19R-09 兵藤 一行			調整	19G541 山田 重人	
15A1							
15A2	19	調整	18G673 石橋 秀巳	19RP-25 伊藤 健樹	19G577 高木 勇彰	18G106 山本 勝史	19G012 森田 龍
16A	18S2-006 山崎 裕一				19PF-37 山本 涼輔	18S2-006 山崎 裕一	19PF-37 山本 涼輔
17A	19G19	18G19	19G19	19Y001	全自動測定	19G18	18G609 松
18B	19-IB-31				19-IB-33		
18C	18G566 籠宮 功				19G132 佐藤 友子		
19A/19B	調整				調整		
20A	18G128 小田 切丈				18G128 小田 切丈		
20B	18G536 秋本 晃一				19G571 水野 薫		
27A	18G073 池浦 広貴				19G032 島崎 敏	19G643 藤原 直	18G518 藤谷 孝徳
27B	18G097 沼田 直典	18G684 大澤 洋	19R-08 宇佐 健樹		19G058 岡本 勇彰	18G065 本間 光紀	18G637 岩田 隆
28A/28B	18S2-001 佐藤 宇史				18S2-001 佐藤 宇史		
	E	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE1A	18G665 福谷 克之						
NE3A	19G19G59						
NE5C	19G047 大澤 洋						
NE7A	18G004 湯浅 哲也						
NW2A							
NW10A	18G575 高橋 嘉夫						
NW12A							
NW14A	18S2-003 足立 純一						
SPF	19G599 和田 健			19G615 三木 一司			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8
	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB
1A	19C201	19G04	19R-19RP-01 藤 18G	19G04	19Y	19RP-37 藤 19Y	19G04
2A/2B	18S2-003 足立 純一						
3A	18G661 白澤 徹郎		19L014	19Y025	19G670 中村 将志		
3B	19G593 中辻 寛						
3C	19G092 早稻田 篤				19G522 平野 馨一		
4A	19G0	18G540 伊藤 敏	18G545 光延 聖		18G575 高橋 嘉夫		
4B2	18G094 籠宮 功						
4C	18G536 秋本			18G671 田端 千敏		19G558 岩佐 和晃	
5A	18G	19Y	19Y005	19G508 中	19R	19G	18G
6A	19G52	19G065	19G565 金子 文樹		19G67	18G077	19G091 藤原 智
6C	19G566 藤川 伸也		19G635 藤川 伸也	19G558 岩佐 和晃		19G091 八方 直久	19G616 手塚 泰久
7A	19G671 遠藤 理						
7C	18G596 中島 伸夫						
8A	17S2-001 熊		17S2-001 熊井 玲児		19G145 佐賀山 基		19G572 佐藤 豊人
8B	19T003 宮島 瑞樹				19G039 田尻 泰之	19G633 義藤 正樹	18G115 興野 健
9A	18G600 高草木 達						
9C	19C205	19C211	18G	18G042 本倉 健	19G125 轟山 義清		18G038 山口 健英
10A	19G083 門馬 綱一						
10C	19G537 平井 光裕	18P017 三宅 浩介	18G564 矢貝 史樹	19G532 夏 潤二郎			18G119 上久保 裕
11A	調整						
11B	19P01	18G540 伊藤 敏					
11D	18G012 小池						
12C	19G093 坂田		19C208		19P010	18G	19G504 橋本 隆平
13A/13B	18G596 中島 伸夫	18G597 藤川 伸也	18S2-00	19G607	18S2-00	18S2-00	18S2-00
14A	19G608 西村 龍太郎						
14B	18G081 山口 博隆						
14C	19G542 高島 徹也		調整	18T002 亀沢 知夏			
15A1							
15A2	19R-04 清水 伸隆	19G086 小川 義樹	19RP-16 清水 伸隆	18G562 真塚 純正	19G617 藤井 伸一		19PF-34 高木 秀彰
16A	19P	18S2-003 足立 純一		19S2-003 兩宮 健太		18S2-003 足立 純一	
17A	18G	19Y001	19G	18G	19G0	19Y01	19G0
18B	19-IB-32						
18C	19G132 佐藤		19G026 興野 健	19G085 武田 圭生		19G664 宮川 仁	
19A/19B	調整						
20A	18G128 小田		18G061 穂坂 綱一			19G581 板倉 隆二	
20B	19G571 水野						
27A	18G518 園谷		19G032 鳥嶋 裕樹	18G574 藤原 健	18G065 本田 光紀	19G091 大河原 正	18G097 富田 雅典
27B	18G637 岩田		19G133 増野 誠樹	18G518 園谷 志郎		19Y034	18G684
28A/28B	18S2-001 依 調整						
	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE1A							
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF	19G692 兵頭 俊夫			19G684 深谷 有喜			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15
	STOP						
1A							
2A/2B							
3A							
3B							
3C							
4A							
4B2							
4C							
5A							
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							
	STOP						
NE1A							
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF							

### 「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

新型コロナウイルス感染症対策で、現在物構研のほとんどの会議や打合わせは動画等によるリモート会議で行なわれています。今号の PF ニュースの編集委員会もリモート会議での開催となりました。その編集委員会から約 10 日経ちますが、実際にメンバーが部屋に集まって編集委員会を行なったような気になっているのが不思議です。編集委員長の会議進行が良かったせいかもしれません。今後このことについてまだはっきりしたことはわかりませんが、刻々と変化していく状況に対応しつつ、問題の収束までとその後の道筋を見通していかなければなりません。そのために、通常の会議に加え、リモート会議システムを利用した「駄弁り（たべり）」も必要だろうと思います。誰かと駄弁ることで刺激を受けて頭が働き、そのことがユーザーと施設にとってより意味のある努力の継続につながり得るからです。PF ニュースについては、こうした状況下の記録としての意味も持つことになるでしょう。再び皆様にビームラインや談話室などで直接 PF ニュースの冊子を手にとってページをめくっていただける日が来ることを待ち遠しく思います。(KW)

### \* 2020 年度 PF ニュース編集委員 \*

委員長	加藤 龍一	物質構造科学研究所			
副委員長	和田 敬広	東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科			
委員	荒川 孝俊	東京大学大学院農学生命科学研究科			
	宇佐美徳子	物質構造科学研究所	門林 宏和	物質・材料研究機構	
	北村 未歩	物質構造科学研究所	古賀 舞都	産業技術総合研究所	
	芝田 悟朗	東京理科大学理学部	清水 伸隆	物質構造科学研究所	
	杉山 弘	物質構造科学研究所	高木 宏之	加速器研究施設	
	武市 泰男	物質構造科学研究所	南部 英	(株) 日立製作所基礎研究センター	
	引田 理英	物質構造科学研究所	山崎 信哉	筑波大学数理物質系	
	和田 健	物質構造科学研究所			
事務局	高橋 良美	物質構造科学研究所			



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

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

(2020年3月14日改定)

所要時間 つくば駅-秋葉原駅(快速)約45分 [1,210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	9:13	10:06	19:19	20:14
* 5:30	6:28	○ 9:29	10:14	△ 19:30	20:21
○ 5:50	6:36	9:43	10:36	19:40	20:36
6:05	6:58	○ 10:00	10:45	19:49	20:44
6:16	7:09	10:13	11:06	△ 20:00	20:51
○ 6:27	7:12	○ 10:30	11:15	20:10	21:06
* 6:29	7:27	10:43	11:36	20:19	21:15
6:40	7:34	(10時~16時まで同じ)		△ 20:30	21:20
6:50	7:45	○ 17:00	17:45	20:40	21:35
7:00	7:54	17:10	18:04	20:49	21:45
7:06	8:02	17:19	18:13	○ 21:00	21:47
7:16	8:12	△ 17:30	18:21	21:16	22:11
7:24	8:22	17:40	18:36	21:29	22:24
7:36	8:31	17:49	18:45	21:41	22:36
7:43	8:40	△ 18:00	18:51	○ 22:00	22:46
7:56	8:51	18:10	19:06	22:16	23:11
8:01	8:58	18:19	19:14	22:30	23:25
8:13	9:09	△ 18:30	19:21	22:45	23:40
8:23	9:21	18:40	19:36	○ 23:00	23:46
8:36	9:31	18:49	19:44	23:16	0:10
○ 8:47	9:34	△ 19:00	19:51	23:30	0:23
9:01	9:56	19:10	20:06	* 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
5:06	5:59	8:46	9:39	18:10	19:04	22:29	23:22
○ 5:26	6:11	8:58	9:51	○ 18:28	19:13	* 22:42	23:40
5:32	6:25	○ 9:22	10:07	18:32	19:26	22:58	23:51
5:50	6:45	9:28	10:23	18:41	19:34	* 23:14	0:12
6:02	6:55	* 9:41	10:40	○ 19:00	19:45		
6:12	7:05	9:51	10:44	19:02	19:55		
6:23	7:20	○ 10:11	10:56	19:11	20:04		
6:33	7:32	10:20	11:13	○ 19:30	20:15		
6:40	7:41	○ 10:41	11:26	19:32	20:25		
6:52	7:51	10:50	11:43	19:41	20:35		
7:01	7:58	(10時~15時まで同じ)		○ 20:01	20:46		
7:09	8:08	○ 16:11	16:56	20:03	20:56		
7:18	8:15	16:20	17:13	○ 20:30	21:15		
7:27	8:25	16:31	17:26	20:38	21:31		
7:36	8:34	16:41	17:35	20:50	21:43		
7:45	8:44	16:50	17:43	○ 21:09	21:54		
7:52	8:49	17:02	17:55	21:12	22:06		
7:59	8:57	17:11	18:04	21:25	22:19		
* 8:07	9:09	17:20	18:13	21:40	22:33		
8:17	9:12	○ 17:42	18:27	21:52	22:45		
8:27	9:20	17:50	18:43	22:02	22:55		
8:36	9:31	18:02	18:56	22:17	23:10		

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	8:45	9:38	○ 23:00	23:45
* 5:30	6:28	○ 9:00	9:45	23:15	0:08
○ 5:50	6:35	9:13	10:06	23:30	0:23
6:04	6:57	○ 9:30	10:15	* 23:45	0:43
6:16	7:09	9:43	10:36		
○ 6:30	7:15	○ 10:00	10:45		
6:45	7:38	10:13	11:06		
○ 7:00	7:45	○ 10:30	11:15		
7:15	8:08	10:43	11:36		
○ 7:30	8:15	(10時~21時まで同じ)			
7:45	8:38	○ 22:00	22:45		
○ 8:00	8:45	22:15	23:08		
8:15	9:08	22:30	23:23		
○ 8:30	9:15	22:45	23:38		

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	7:28	8:21	○ 10:11	10:56	21:46	22:39
○ 5:26	6:11	○ 7:45	8:30	10:20	11:13	○ 22:10	22:55
5:32	6:25	7:50	8:43	○ 10:41	11:26	22:15	23:09
5:51	6:44	8:04	8:57	10:50	11:43	22:30	23:24
6:02	6:56	○ 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		

○: 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]

(2019年10月1日運賃改定)

運賃 東京駅←つくばセンター(←筑波大学) : 1,200円 (交通系電子マネー利用で下りは1,150円, 上りは970円※)  
 ※~2020年3月31日のキャンペーン期間は820円  
 @ミッドナイトつくば号 東京駅→筑波大学 : 2,200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で下車可也。

※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: 1,900円 (2019年10月1日運賃改定)

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: 2,300円

(2019年6月29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10月27日改定)

所要時間: 約1時間

運賃: 1,050円

問い合わせ 029-836-1145 (関東鉄道)

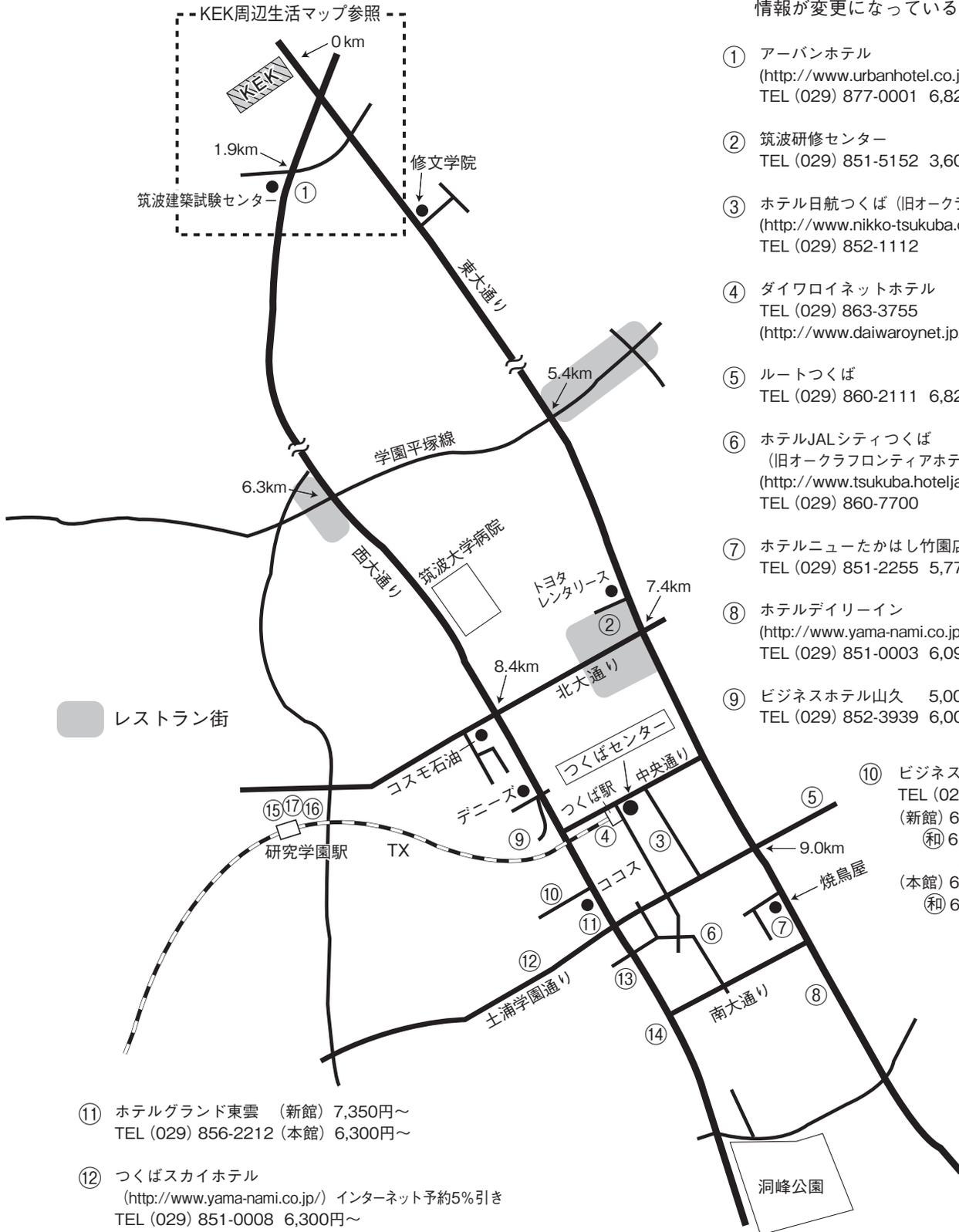
11:00	12:00
15:00(木・日のみ運行)	16:00
18:20	19:20

9:00	10:00
12:40(木・日のみ運行)	13:40
16:30	17:30

※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:2020.4.23) ※ 料金は参考値です。  
 ※新型コロナウイルス感染防止措置に伴い、  
 情報が変更になっている場合があります。



- ① アーバンホテル  
 (<http://www.urbanhotel.co.jp/uhotel.html>)  
 TEL (029) 877-0001 6,825円～
- ② 筑波研修センター  
 TEL (029) 851-5152 3,600円～
- ③ ホテル日航つくば (旧オークラフロンティアホテルつくば)  
 (<http://www.nikko-tsukuba.com>)  
 TEL (029) 852-1112
- ④ ダイワロイネットホテル  
 TEL (029) 863-3755  
 (<http://www.daiwaroynet.jp/tsukuba/>)
- ⑤ ルートつくば  
 TEL (029) 860-2111 6,825円～ (朝食付)
- ⑥ ホテルJALシティつくば  
 (旧オークラフロンティアホテルつくばエポカル)  
 (<http://www.tsukuba.hoteljalcity.com>)  
 TEL (029) 860-7700
- ⑦ ホテルニューたかはし竹園店  
 TEL (029) 851-2255 5,775円～
- ⑧ 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
- ⑨ 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)
- ⑩ 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)

- ⑪ ホテルグランド東雲 (新館) 7,350円～  
 TEL (029) 856-2212 (本館) 6,300円～
- ⑫ 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～
- ⑬ ホテルつくばヒルズ学園西大通り店 (旧学園桜井ホテル)  
 (<https://breezbay-group.com/tsukuba-hills/>)  
 TEL (029) 851-3011 6,878円～
- ⑭ 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)

- ⑮ ホテルベストランド  
 (<http://www.hotel-bestland.co.jp>)  
 TEL (029) 863-1515
- ⑯ 東横イン  
 (<http://www.toyoko-inn.com/hotel/00228/>)  
 TEL (029) 863-1045
- ⑰ ホテルマークワン  
 (<http://www.mark-1.jp/>)  
 TEL (029) 875-7272

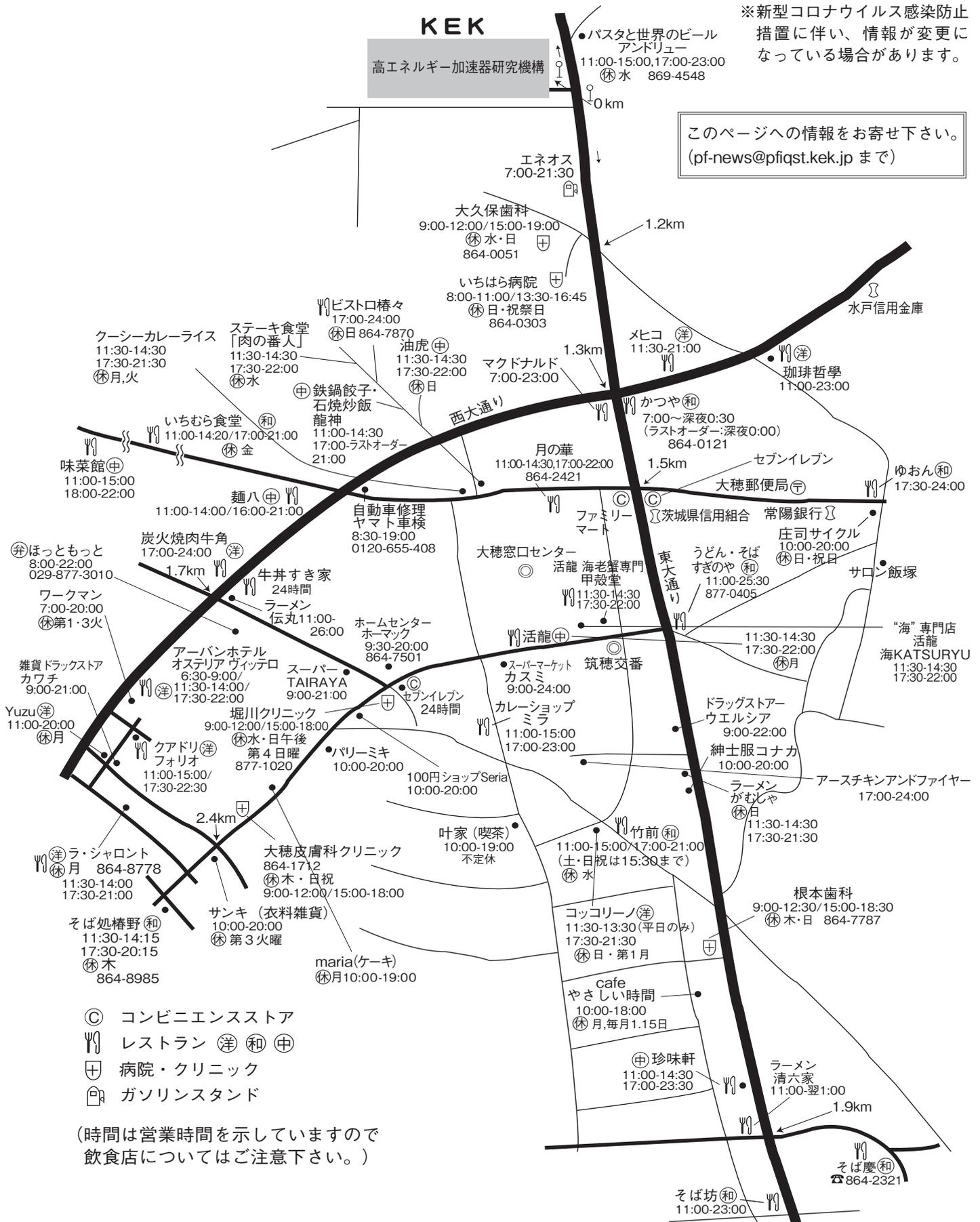
# KEK 周辺生活マップ

(確認日：2020. 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

※新型コロナウイルス感染防止措置に伴い、情報が変わっている場合があります。

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



# KEK周辺広域マップ



## 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。

＜ 緊急事態宣言により、営業時間等が変更になる場合がありますので、ご注意下さい。＞

### ●共同利用研究者宿泊施設（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 2,200円

シングルバス・トイレなし 1,700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

### ●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 8:00～19:00

土日祝 10:00～15:00（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。

- PF への荷物の宛先  
PF 事務室気付 BL-〇〇〇（ステーション名）＋受取者名
- PF-AR への荷物の宛先  
PF 事務室気付 PF-AR 共同研究棟 N 〇〇〇（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@pfqst.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）。

### ●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

## ビームライン担当一覧表 (2020. 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 宇尾 (東京医科歯科大)
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	平野
<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	高木 (秀)
<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 MANNA, Gouranga (SINP)
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>平野</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	平野
<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-A4	○	低速陽電子回折 (LEPD) ステーション	望月
SPF-B1	●	汎用低速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

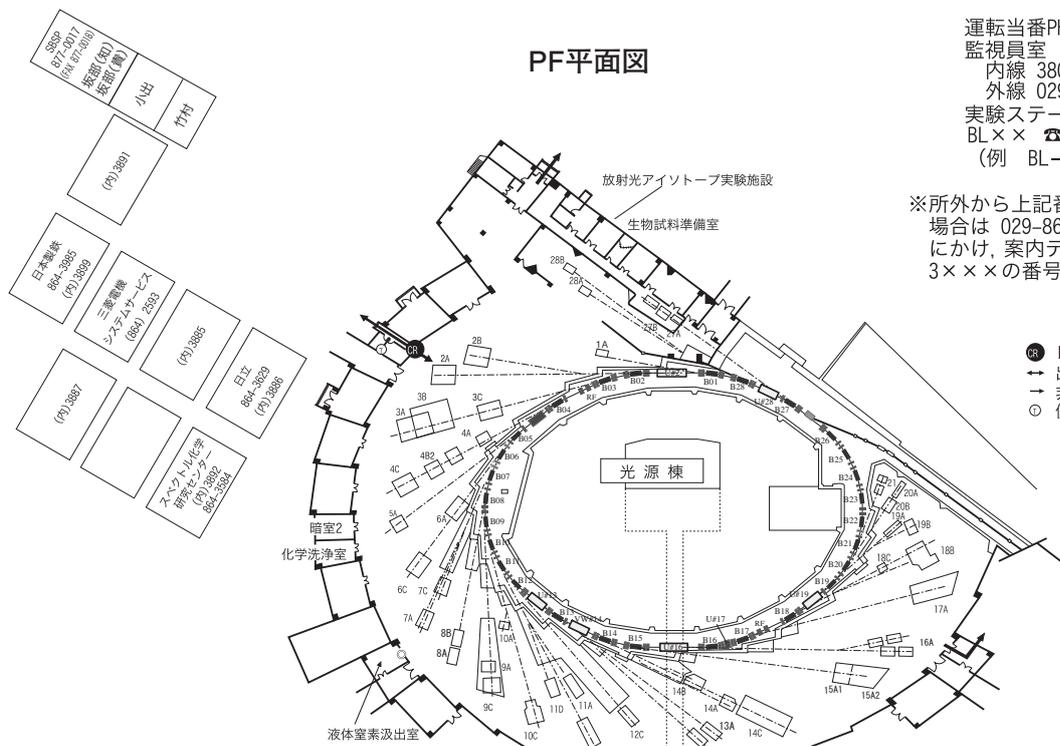
**【UG 運営装置】** AR-NE7A 高温高压実験装置 (MAX-III) 久保友明 (九州大)

**【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 SINP MANNA, Gouranga 029-879-6237 [2628] mannag1988@gmail.com

# PF平面図

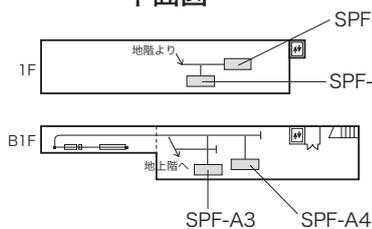
運転当番PHS 4209  
 監視員室  
 内線 3800  
 外線 029-864-5778  
 実験ステーション  
 BL×× ☎38××  
 (例 BL-6 ☎3806)

※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)  
 についで、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

## 低速陽電子実験施設 平面図



電源棟

☎3881	原田(健)	山口(孝)
☎3880	東(佐々木)	尾崎
☎5630		

### 実験準備室

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

0 25M

## PF-AR平面図

### PF-AR共同 研究棟

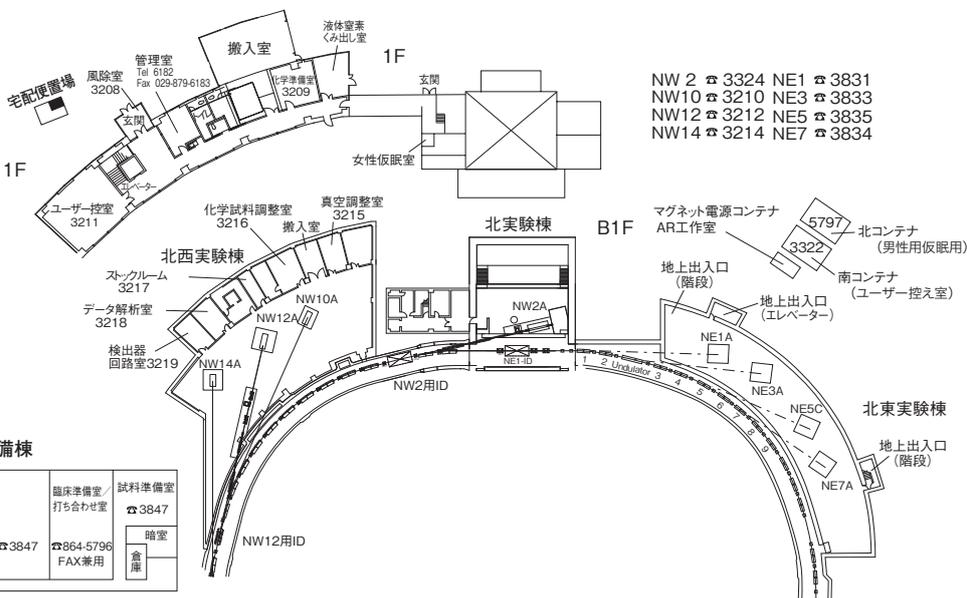
深谷、福本、  
 高木(社)、一柳、  
 阿部(裕)、金澤  
 6185, 6186  
 Fax 6187

### PF-ARコンテナ

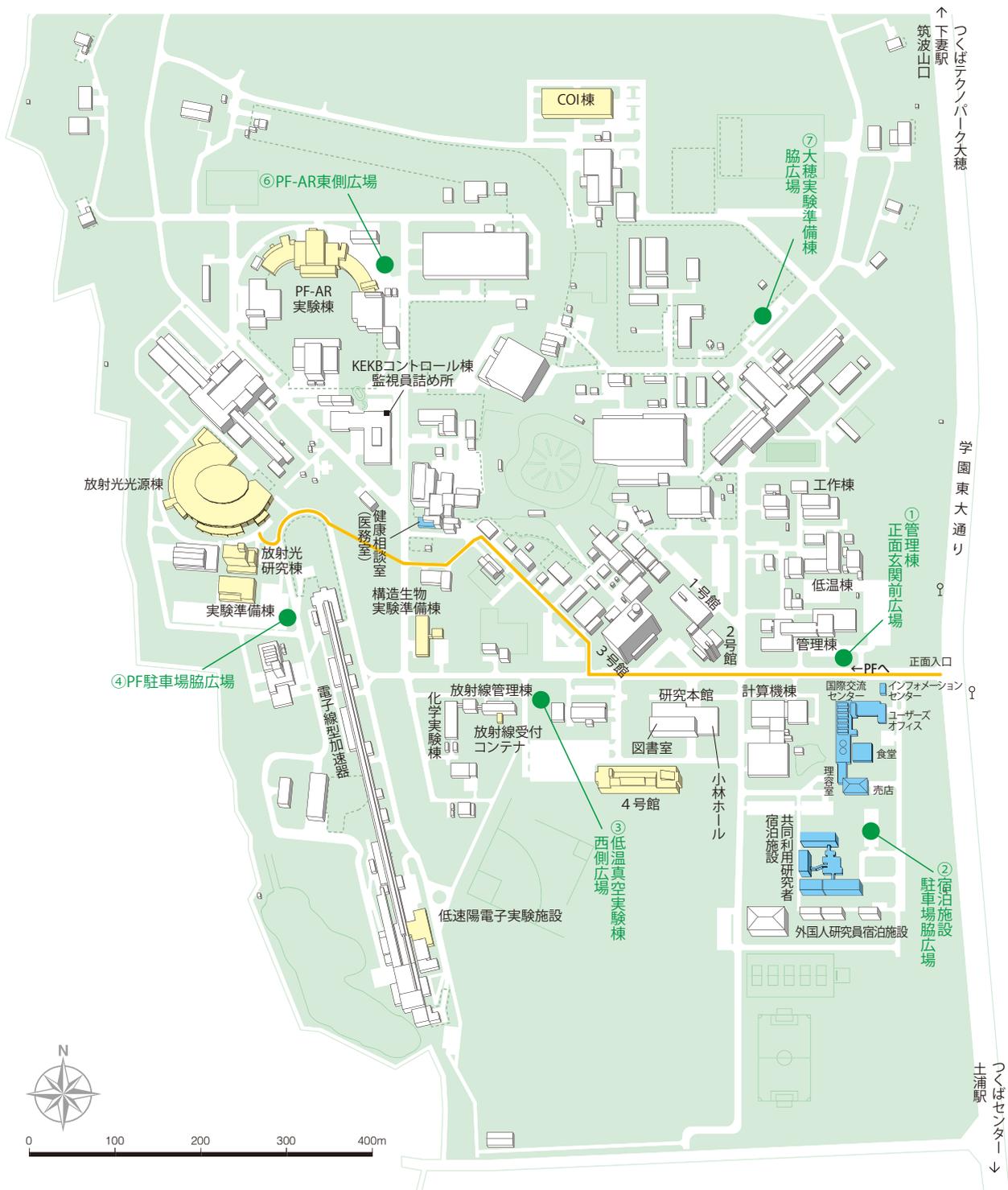
北コンテナ	南コンテナ
男子仮眠室/ 物品倉庫 ☎5797	ユーザー控室/ 打ち合わせ室 ☎3322

### PF-AR実験準備棟

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



# 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.38 No.1 2020 TEL:029-864-1171 (機構代表)

