ISSN 0916-0604
https://www2.kek.jp/imss/pf/pfnews/

PF News

PHOTON FACTORY NEWS

NOV 2024
Vol.42 No.3

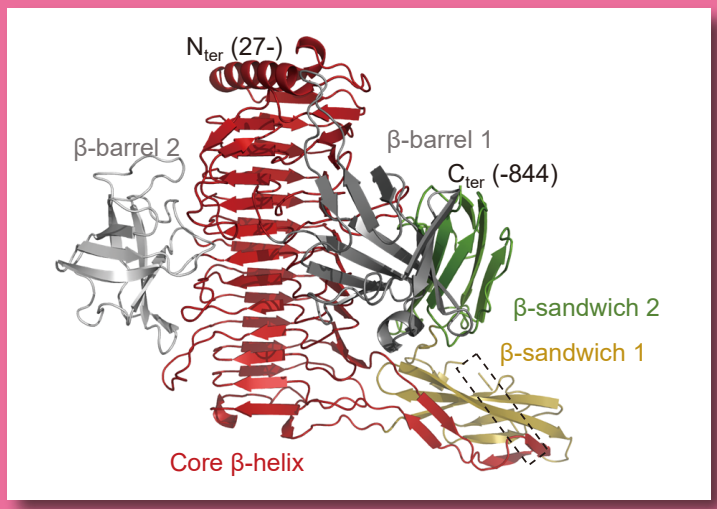
2021年度量子ビームサイエンスフェスタ　学生奨励賞受賞論文

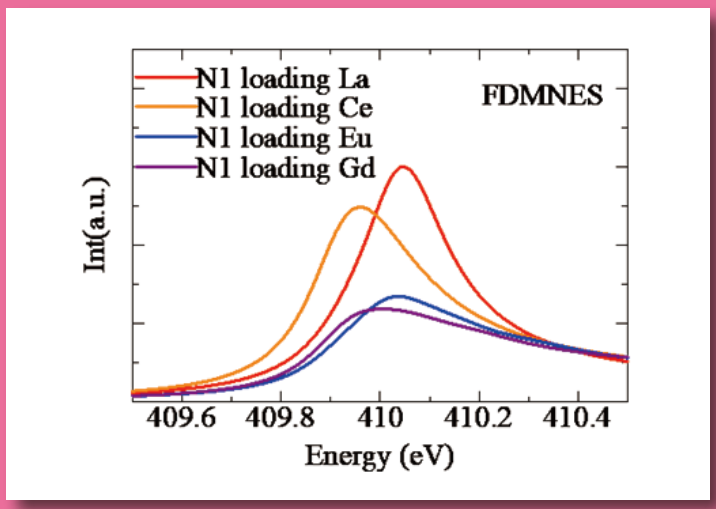
■ ビフィズス菌由来のB型血液型抗原に特異的なGH110 α1,3-galactosidase AgaBbの構造解析

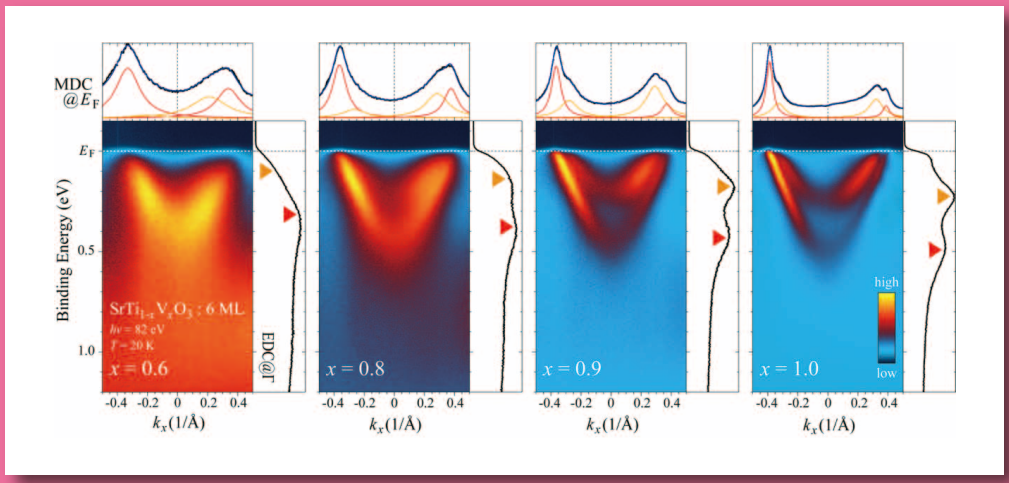
2023年度量子ビームサイエンスフェスタ　学生奨励賞受賞論文

■ X線吸収端近傍構造を用いた希土類と窒素の相互作用の違いによる吸着特性の評価

■ 放射光電子分光を用いた強相関透明素子の電子状態に関する研究







目　次

施設だより …… 五十嵐教之 …… 1
現　状
入射器の現状 …… 惠郷　博文 …… 2
光源の現状 …… 帯名　崇 …… 4
放射光実験施設の現状 …… 五十嵐教之 …… 7
放射光科学第一，第二研究系の現状 …… 雨宮　健太 …… 8
最近の研究から
ビフィズス菌由来のB型血液型抗原に特異的なGH110 α1,3-galactosidase AgaBbの構造解析
Structural insight into a bifidobacterial GH110 α1,3-galactosidase specific for type B blood group antigen
…… 鹿島　騰真，芦田　久，伏信　進矢 …… 10
X線吸収端近傍構造を用いた希土類と窒素の相互作用の違いによる吸着特性の評価
Using X-ray Absorption Near Edge Structure to Evaluate Adsorption Properties of Rare Earths and Nitrogen by Difference of Their Interactions
…… 箕輪　一希，渡部　創，中瀬　正彦，高畠　容子，伴　康俊，松浦　治明 …… 15
放射光電子分光を用いた強相関透明素子の電子状態に関する研究
Electronic structure of strongly correlated transparent electronic devices studied by in situ photoemission spectroscopy
…… 神田　龍彦，志賀　大亮，湯川　龍，北村　未歩，堀場　弘司，吉松　公平，組頭　広志 …… 21
プレスリリース
原子配列の乱れをもつフッ化物イオン導電性固体電解質のイオン伝導メカニズムの解明
－リチウムイオン電池を凌駕する次世代蓄電池の創成を目指して－ …… 25
最も単純な「原子」ポジトロニウムをレーザー光によって1000万分の1秒で極低温にすることに成功
－反粒子を含む原子の精密科学によって物理学の謎にせまる大きな第一歩－ …… 25
不整脈誘発薬剤との結合状態を解明 －副作用原因タンパク質hERGチャネルの構造が安全な薬設計を導く－ …… 26
超伝導の空間的な乱れを可視化する新たな顕微観察技術の開発
－超伝導材料の高性能化に役立つ新手法として期待－ …… 26
研究会等の開催・参加報告
AOFSRR School 2024 参加報告 …… 熊木　文俊 …… 27
XRM2024（16th International Conference on X-Ray Microscopy）参加報告 …… 丹羽　尉博 …… 28
XAFS 夏の学校 2024 に参加して …… 吉田　一貴 …… 30
SRI2024（15th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation）参加報告 …… 片岡　竜馬 …… 32
位相CTシンポジウム及びX線干渉計ユーザーの集い開催報告 …… 米山　明男，権田　幸祐 …… 33
第2回 PF-UA サマースクール「放射光の特長を活かした分析手法」開催報告 …… 長坂　将成 …… 35
第3回 フォトンファクトリー同窓会講演会開催報告 …… 太田　俊明 …… 36
PF 研究会「放射光顕微分光が切り拓く材料研究のフロンティア」開催報告 …… 小澤　健一，山下　翔平 …… 38
ユーザーとスタッフの広場
PF トピックス一覧（8月～10月） …… 40
PF-UA だより
2024 年度 PF-UA 学生論文賞募集のご案内 …… 41
令和6年度 第2回　PF-UA 幹事会・運営委員会　議事録 …… 41
人　事
人事異動 …… 43
新人紹介 …… 43
お知らせ
2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ（第16回 MLF シンポジウム / 第42回 PF シンポジウム）開催のお知らせ
木村　正雄，梅垣いづみ …… 44
PF 研究会「放射光科学での DX」開催のお知らせ …… 木村　正雄 …… 44
運転当番の体制変更について …… 44
2025 年4月入学 総合研究大学院大学先端学術院 先端学術専攻物質構造科学コース 博士課程（5年一貫）及び
3年次編入学の最終募集のお知らせ …… 瀬戸　秀紀 …… 45
2025 年度前期 フォトンファクトリー研究会の募集 …… 五十嵐教之 …… 45
予定一覧 …… 45
運転スケジュール（Sep. ～ Dec. 2024） …… 46
掲示板
放射光共同利用実験審査委員会速報 …… 君島　堅一，北島　義典 …… 47
第174回 物質構造科学研究所運営会議議事次第 …… 47
物構研コロキウム …… 48
編集委員会だより
「PF ニュース」からのお知らせ …… 49
投稿のお願い …… 49
編集後記 …… 49
巻末情報 …… 50

〈表紙説明〉最近の研究から

（左上）　B型血液型抗原をO型の抗原に変換する GH110 α1,3-galactosidase AgaBb の結晶構造（「ビフィズス菌由来のB型血液型抗原に特異的な GH110 α1,3-galactosidase AgaBb の構造解析」より）

（右上）　第一原理計算を用いて，配位する希土類元素がアミン中の窒素の電子状態に与える影響を XANES 領域で検討した。（「X線吸収端近傍構造を用いた希土類と窒素の相互作用の違いによる吸着特性の評価」より）

（下）　強相関酸化物を用いた次世代透明素子の可能性（「放射光電子分光を用いた強相関透明素子の電子状態に関する研究」より）

施設だより

放射光実験施設長　五十嵐教之

放射光実験施設（PF）の施設長に就任して半年が過ぎましたが，この半年は施設長だけでなく基盤技術部門長と測定装置部門長も兼任しており，現場の細かい所から施設運営まで担当していたため，十分に対応することができなかったと思っています。特に施設運営に関しては初めてのことばかりで手探りの状態でしたので，色々な方に相談させていただいたり助けていただいたりしながら，なんとかこなしていた状況でした。この状況も，10 月 1 日付で基盤技術部門長に小澤健一教授，測定装置部門長に中尾裕則教授，また PF-PAC 第 5 分科所内担当に松垣直宏教授が就任したことでほぼ解消されたと思います。今後は彼らと役割分担しながら，施設運営や次期計画に関する様々な課題に取り組んでいきたいと思います。引き続き皆様のご協力をどうぞよろしくお願い申し上げます。

大学共同利用機関にある PF の使命と役割は，広波長域光源を持つ学術大型施設として，大学の研究者とともに学術研究のフロンティアを開拓・推進することであり，ビームライン設備，ビームタイム運用，施設運営，人材育成，技術開発等，様々な面で多様性・自由度が重要であると考え，“Diversity Frontier” を掲げて既存施設の運営や次期計画の検討を進めています。PF は長年にわたり大学共同利用を推進してきており，開発研究や探索研究に有利な長期間の実験課題や，大学と協力してビームラインや装置の開発を進めてきた実績等，人材育成に適した環境を有しています。喫緊の社会課題として大学の研究力強化が謳われていますが，PF では学術研究基盤及び新たな知を創成する場を提供し，大学と共同で人材育成，技術開発，新領域開拓を進めることで役割を果たそうとしており，そのためにも早期に次期計画を実現したいと考えています。

PF の強みとしては，加速器の専門研究機関である KEK の施設であること，また物質構造科学研究所の量子ビーム施設の一つであることが挙げられます。次期計画でも，KEK で開発が進められている超伝導加速技術を活用し，PF Hibrid Light Source（PF-HLS）計画で検討してきたライナックに加え，蓄積リングへの導入の検討も始めました。また，放射光だけでなく低速陽電子や中性子など他の量子ビームを同時利用するなど，物構研ならではの提案として，異種マルチビーム研究を推進する施設として検討を進めています。

使命に基づく国内外の連携も極めて重要です。同じ学術施設である UVSOR と HiSOR とは，日本学術会議マスタープラン 2020 で採択された放射光学術基盤ネットワークの事業として，様々な取り組みを連携して行ってきましたが，今はさらに一歩踏み込んで，学術施設の役割や将来計画などの議論も顔を突き合わせて進めています。2024 年度からは，ISSP-SOR（東大物性研軌道放射物性研究施設）を加えた学術 4 施設でともに議論を行い，学術研究や大学共同利用の説明強化，学術施設間の役割分担の明確化などを進めています。もちろん，学術施設内だけでは不十分ですので，今後は放射光コミュニティ全体で議論して広く理解を求めていきたいと考えています。特に，現在日本放射光学会が主導し，施設関係者や専門家を集めて国内の放射光施設のポートフォリオを議論する場が設けられており，2025 年 1 月の放射光学会年会でも，これに関する特別企画講演も予定されています。これまでオープンな場ではなかなか議論されることが無かったので，貴重な機会だと思います。

放射光学術基盤ネットワークと PF-UA の共同提案で，PF-HLS のサイエンスケースを主題として，2024 年 11 月 17-18 日に PF 研究会「放射光 2 ビーム利用と広波長域実験が切り拓く学術フロンティア」が開催されました。これは，2022 年度に 2 回にわたって行われた PF 研究会「開発研究多機能ビームラインの建設と利用」を受けたもので，前回の研究会で検討された放射光 2 ビーム利用サイエンスのさらなる深掘りと，新たな広波長域利用サイエンス展開の提案, 及び 2 つの特徴的なビームライン BL-11A, -11B（2 ビーム利用），BL-12A（広波長域利用）で実施する開発研究や実証実験に関する議論を行いました。放射光以外の量子ビーム関係者も含め，多様な分野・手法を専門とする 200 名以上が参加して活発な議論が繰り広げられました。前回は開催できなかった懇親会も設定され，貴重な異分野融合の場として夜遅くまで盛り上がりました。2 日目最後のパネルディスカッションでは，複数のパネラーから，PF-HLS が目指す異種マルチビームによる新分野・新手法の創生のためには，このような研究者同士のコミュニケーションを繰り返し行うことが最も重要であると提言がありました。今回の PF 研究会での活発な議論を見ていてまさにその通りだと感じました。PF-UA からも今後の研究会の提案がありましたが，この盛り上がりを次に繋げることが大事だと思います。研究者同士のコミュニケーションが取れる場を継続的に設けて，異種マルチビームの先端利用から量子ビーム科学の新時代を切り拓きたいと思いますので，どうぞよろしくお願いいたします。

現　状

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹　惠郷博文
（2024 年 10 月 18 日付け）

運転状況

7 月 12 日から 9 月 13 日までの 2024 年夏期保守作業を行い，9 月 17 日より入射器の立ち上げ運転を開始した。10 月 2 日から 2 週間は，各機器の定格出力動作試験，加速管やクライストロン・高周波源の大電力 RF コンディショニング，電磁石の連続通電などの総合動作運転を行った。各蓄積リングに対して，10 月 7 日から PF リングへ，10 月 9 日より SuperKEKB，10 月 17 日から PF-AR へビーム入射運転を開始した。

夏期保守

入射部においては，PF リング，PF-AR，そして陽電子生成用電子ビームを発生する熱電子銃のビーム出力が低下していたため，カソードの交換を行い，8 月 28 日トンネルを閉鎖してビーム出力を確認した。

2 月に第 2 セクター第 2 ユニット第 3 加速管（AC22_3）の上流側カプラー接合部から水漏れを生じた。リキッドシールによる応急修理を数度試みたが回復せず，2024 年度第 1 期の運転に使用することができなかった。そのため，昨年実施した新型加速管設置の際に取り出して，保守用として保管していた旧型加速管と交換した。現在，新品の予備加速管は手持ちになく，逼迫した状況にある。そのため，2023 年度より 3 年計画にて新型加速管 12 本を製作中である。昨年度は材料手配を行い，現在 6 本を製作中で 12 月より納入される。残り 6 本の製作は来年度に行う。製作した加速管は順次，高周波テストスタンドで 80 MW 電力投入試験を行って，性能確認とコンディショニングを完了させた後にビームラインへ設置する。旧型加速管は，経年劣化によって年間 2~3 本の割合で水漏れが生じている。安定運転を行っていくためには，新型加速管の製作を今後も進めていく必要がある。

入射器内にはビーム運転モード毎に設定切り換えができるパルス電磁石の他に 630 台に及ぶ直流電磁石が使用されている。この直流電磁石用電源の 2 割近くが 1980 ～ 1990 年代に製作されたものである。耐用年数を超えて経年劣化しており，これらの電源に対しても 3 年計画で更新中である。今期のメンテナンスでは，50 台の電源交換作業を行なった。これらの新電源はネットワーク制御タイプに変更されているため，制御システムの更新も行なった。また，第 6 セクターに設置している陽電子 ECS（エネルギー圧縮システム）用電磁石の電源群は 40 kW から 100 kW 出力の大型電源で 1990 年代に製作されたものである。運転には支障はないものの，今年の定期点検ではメーター表示ドリフトなどが生じていた。加えて保守や故障対応部品の手配なども難しくなっているため，この大型電源の更新にも着手しており，本年度は新電源の設計を進めている。

パルス電磁石の制御系は当初，Windows ベースの制御システムで運用していたが，長期運転中に動作不安定になることが多く，データベースファイル破損などが生じて停止し，ビーム運転中断の主因の一つとなっていた。このパルス電磁石制御システムは入射器内に 18 ヶ所あり，昨年度，その一部を新開発の Linux ベース制御システムに置き換えた。半年以上の連続運転で新制御システムは安定に動作することが実証されたため，全てのパルス電磁石制御を新システムに入れ替えた。

SuperKEKB の各蓄積リングには 2 バンチモードでビーム入射を行なっているが，第 2 バンチの垂直軌道が不安定になることがある。入射効率の悪化を防ぐには，その軌道を安定させる必要がある。そのため，第 1 バンチには影響を与えず，第 2 バンチのみ軌道修正を行うことができる高速パルスキッカー電磁石を A セクターに 2 台増設した。この装置の高速キック性能は，J-ARC や入射器出口に設置された先行機で実証されており，増設機によって更なる軌道安定化ができるようになる。また，J-ARC 出口に水冷タイプに改良した大口径パルス四極電磁石を 1 台追加した。これで J-ARC の出入口に各 4 台のパルス四極電磁石セットが揃うことになり，設計どおりのビームオプティクスのマッチングが可能になる。水冷化パルス四極電磁石の運転性能，及び，安定性を確認し，今冬の長期保守期間には既設の空冷タイプ（ファンによる強制空冷）も水冷化して運転の安定性を向上させる。

SuperKEKB-HER ビームトランスポートラインに電子ビーム用 ECS 新設作業を開始した。今夏は，地下トンネル内の冷却水パイプや導波管の貫通孔作業や敷設工事，第 6 セクタークライストロンギャラリーへの大電力高周波源や励振系の整備，パルスコンプレッサー設置などを実施した。ビームラインの大気暴露が必要となる加速管設置と高周波源との接続工事は冬期保守期間に行って工事を完了させる予定である。2025 年度第 1 期より RF コンディショニングとビームコミッショニングを開始し，2025 年度第 2 期より ECS 運用を目論む。

RF 関連はクライストロン高圧電源筐体の確認と清掃，小型励振器や LLRF モジュール用恒温槽の保守作業を行なった。また，クライストロン出力を安定化させるため，励振系を高出力半導体アンプに置き換えている。

ビーム調整

上流より動作調整を終えた加速ユニットを順次使用してビーム加速を始め，電子銃のビーム出力最適化，RF 加速フェージング，ビーム軌道とエミッタンス調整を行う。PF リング，PF-AR への入射ビーム調整は，熱電子銃のビーム出力調整から取りかかり，ビームエネルギーの校正，必要電荷量，主要ポイントでのビームスポット形状と入射器全体に渡るビーム軌道の調整を終えて（図 1），10 月 7 日より PF リング用ビームトランスポートから PF リングへの入射調整を始めた。

今夏のアップグレードとして入射器出口の第 6 セクター第 3 スイッチヤード（SY3）に高精度ビーム診断ラインを設置した。このラインには，図 2 のようにパルスベンド電磁石，高精度ビーム位置モニタ（位置精度 7 ～ 30 μm，エネルギー解像度 0.01%），スクリーンモニタ（解像度 25 μm）が増設されている。蓄積リングへの入射に影響することなく，このラインにビームを定期的に振り分けることによって，ビーム性能を定期的に診断，管理できるようになる。実際に 7 GeV まで加速した電子ビームを診断ラインに導き，ベンド電磁石群の調整，プロファイルモニタによるビーム形状・位置の相関確認，ビーム位置モニタの動作試験などを行い，設計どおりにビーム性能診断できることを確認した。

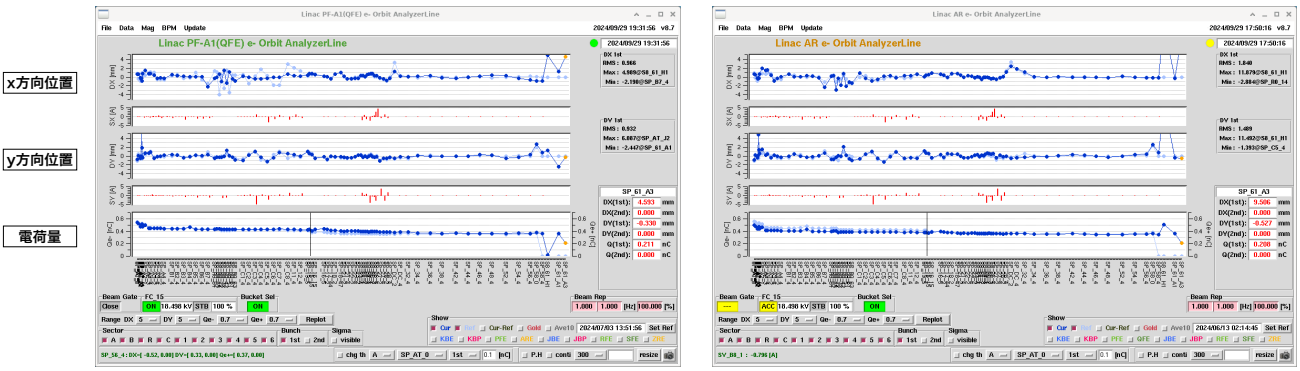


図 1　調整された（左）PF リング，（右）PF-AR 入射用電子ビーム軌道の状態。注）表示データ右端近くの変動はビームダンプ付近のため。

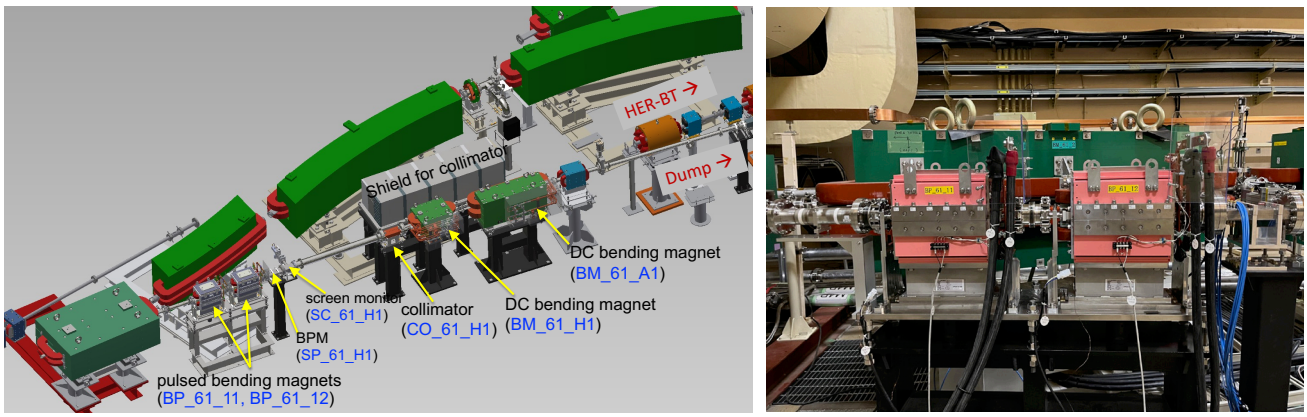


図 2　SY3 新設の高精度ビーム診断ライン（左）機器配置図，（右）パルスベンド電磁石。

光源の現状

加速器第六研究系研究主幹　帯名　崇
（2024 年 10 月 21 日付け）

PF リングおよび PF-AR の運転・夏期作業の概要

2024 年 7 月 8 日 9:00 に PF リング・PF-AR ともに第 1 期の運転を終了し，夏期の長期停止期間に入った。秋の運転は PF リングが 10 月 7 日，PF-AR は 10 月 17 日に開始する。真空作業を行うとリングの焼きだし時間を要するため今期は大規模な蓄積リング側真空作業は実施していない。夏の作業での重点項目は，PF リングでの中型電源更新および故障したクライストロンの交換が挙げられる。この 2 点については以下で詳細を記載し，その他の作業については概要のみ説明する。

PF リング 4 極・6 極磁石電源交換

PF リング加速器で運用する電磁石電源群は小型電源，中型電源，大型電源とその出力電力ワット数に応じて分類され，およそ 10 kW 以下を小型電源，50 kW ～ 200 kW 程度の中型電源，800 kW 以上で 1 MW に達する出力の電源を大型電源としている。これら分類は，リング周長規模に応じて多少の出力の区分に変動があるものの大方の施設の加速器電磁石電源に通ずる。小型電源は小型の補正電磁石群，中型電源は四極・六極電磁石等の主要電磁石群，大型電源は偏向電磁石に接続される。通常大型電源はいずれの施設でもリングあたり 1 台のみの運用で全偏向電磁石を励磁するが，中型電源の運用数は各施設によりリングオプティクスに応じて 15 台から 20 台と多少のばらつきがあるものの，PF リングでは 26 台と比較的運用数が多い。26 台の電源は，老朽化が著しく進んでおり，古い物から 1993 年，2003 年，2004 年製造のもので，1993 年製電源群は今夏更新工事でようやく入れ替えることが叶ったが，電源更新計画が立案された 2021 年度時点ですでに 28 年が経過しており，今夏入れ替え工事が実施されるまで製造から 31 年が経過する電源を運用していたことになる。

2021 年度に更新計画にもとづき電源を設計，製作するにあたり 3 つの性能要求を設定した。1. 現行リングにおけるローエミッタンスオプティクス導入のための定格出力増強とノブ（電源数）の確保，2. 次世代光源リングに適用可能な高性能出力と機能拡張性の確保，3. 時代に即した省エネ化と省スペースのための小型化の具備である。中型電源の更新には高額の費用がかかることから，更新が可能となるのは 20 ～ 25 年程度の周期と想定される。使用するデバイスが廃盤になった場合には、10 年で入手困難になることや、20 年以上前の電源技術が陳腐化することを考慮すると，更新の機会に最新の電子部品を導入し，次世代を見据えた開発課題設定をすることが重要である。この観点から，新電源は先の目標の 2，3 項の達成に主眼が置かれ，その結果 1 項が満たされるよう開発がされた。以下に新電源で達成された課題の概略を説明する。

次世代光源リングにおいて目指される極低エミッタンスでは点光源の全実効利用となるため，許容される軌道変動が究極的に狭められる。これに対応するため，軌道安定の要である電磁石の磁場性能を左右する既存電源の電流出力性能の安定度は，これまで 100 ppm 以下とされていたものを，10 ppm 以下を目指すものとし，3 ～ 4 ppm の出力安定度を達成した。外乱の少ないメーカ工場検査値は 1ppm を割り込んでおり極めて出力安定性能の高い電源の開発に成功した。また，次世代光源リングでのユーザー運転の連続性確保のためダウンタイムレスの電源運用は必須要件であることを考慮し，電源内部の機構を全てユニット化し，故障ユニットをメーカ保守員の到着をまつことなく現場で予備ユニットと交換することで復旧できる電源のユニット化を実現している（図 1 参照）。このユニット化の実現により，電源定格出力をユニット数の増減で拡張，縮小できるようになり電源の規格化の概念の取入れに成功している。電源が規格化されることで，他施設で同様の電源の導入が進めば，電源部品の予備品の確保や，施設間での融通することに役立つ。電源制御方式に，現行ではアナログ制御方式であるが，デジタル制御方式への拡張性を確保しており，継続した開発で将来的に超高性能出力，極省エネ出力の実現，定格出力の可変化，型駆動出力を可能とする機能が拡張される。

電源の定格出力は，電磁石で必要な磁場の強度に応じて決定されるのを基本とし，リングオプティクスの可変性の確保や，他電源との交換の汎用性の確保などの点を考慮し，ある程度全体を包含する形で高めに設定される。そのため，定格電流に対して 70% の運転電流で出力がなされる場合，これまでの技術では，定格出力で達成される電源効率が 40% 以上悪化していた。新電源では，電源回路方式をチョッパ型スイッチング電源とすることでベースの電源効率を 92% 以上，力率を 95% 確保し，定格電流に対して，60% 運転電流においても 85% 以上の電源効率を維持するダイナミックな省エネ運転領域を実現した。電源内部回路のユニット化は電源小型化との両立が難しい側面を有するが，PF リングで使用する電磁石電源群が空冷式であったものにユニットの水冷化を導入し，スイッチング回路のスイッチング周波数を高周波化することで，ユニットのパッキングファクターの改善により小型化を実現している。水冷化は，空調設備をもたない電源棟内への放熱を抑制することにもつながり，他空冷式電源群への熱負荷を軽減する効果も生み出している。新電源の小型化は，既設電源 8 台の設置面積に対して 70% の占有率で 10 台の設置を可能とした。

新電源の製作は 2021 年度より開始されたが，あいにくのコロナ禍の商流の停滞と重なり，製作に 3 年の月日を

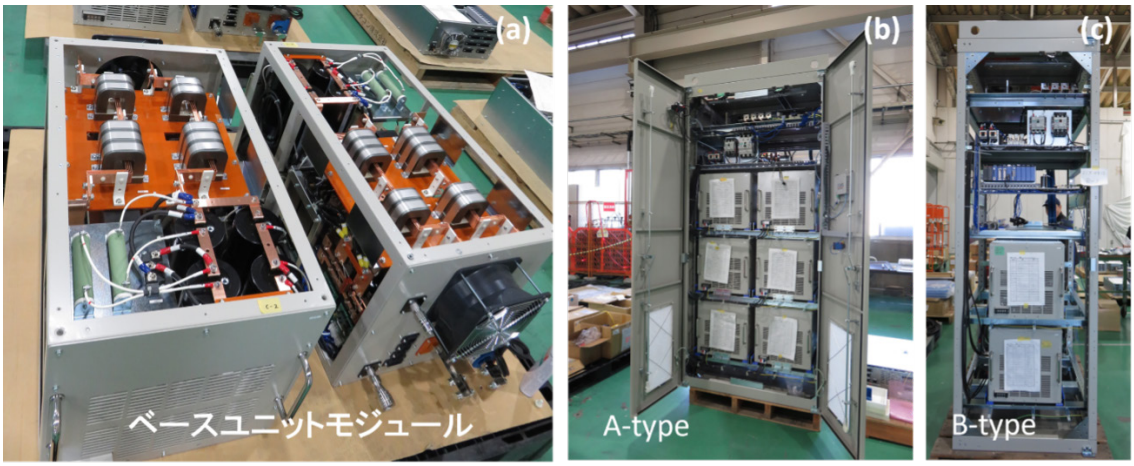


図 1　(a) 電源規格化のためのベースユニットモジュール（125 A/140-160 V, 500 A/45-50 V 定格）。これらのユニットが A-type 筐体，B-type 筐体に格納される。(b) 定格 650 A/140 V 電源，(c) 定格 750 A/45 V 電源

要した。2023 年度末に納品がされた電源は，今夏 7 月～9 月末日までの長丁場の電源入れ替え設置工事により無事に導入が済まされた（図 2 参照）。電源設置工事は下記の手順で進められた。順に，既設電源（旧電源）付帯設備である入出力ケーブルの離線保管やケーブルラダーの解体，旧電源の撤去及び新電源が動作しなかった場合に備えた移設保管，新電源エリアの防塵対策として防塵床塗装，新電源の設置アライメント，新電源用ケーブルラダーの新構築（新電源が大幅に小型化したため），入出力ケーブルの再敷設と接続，ケーブル健全性確認，冷却水配管設備の新設，フラッシング及び耐水圧試験，電磁石インターロックによる電源遮断機能確認である。電源を通電できる状態にする工事の完工は 8 月末となった。その後, 9 月の 1 か月をかけ，電源の出力性能を補償する電源メーカ実負荷調整が実施された。工場での出力性能試験では，数 100 m の周長の加速器を用意することはできないため模擬的な負荷量を用意し集中定数としての仮定で電源出力調整がなされる。しかしながら，実際の加速器リングに設置される電磁石複数台を円周上にならべた実負荷では分布定数に対する調整であるため，工場試験検査での調整結果が適用できない。実際に PF リングで通電調整を開始した時点では，出力電流が数 10 A の状態で出力のハンチングを引き起こし定格電流までの通電が不可能であった。その後，電源 10 台分の出力調整を順に進め，最終的にメーカ工場試験検査と同等の電流出力安定度を達成している（図 3 参照）。

3 カ年かけた電源開発，3 カ月の長丁場の電源設置工事を経て，10 月からの PF リングユーザー運転への運用を無事に開始した。10 月 16 日の時点で運用開始から 10 日が経つが順調な運転を継続している。12 月末までのユーザー運転を無事に終えることを期待している。今後，本電源

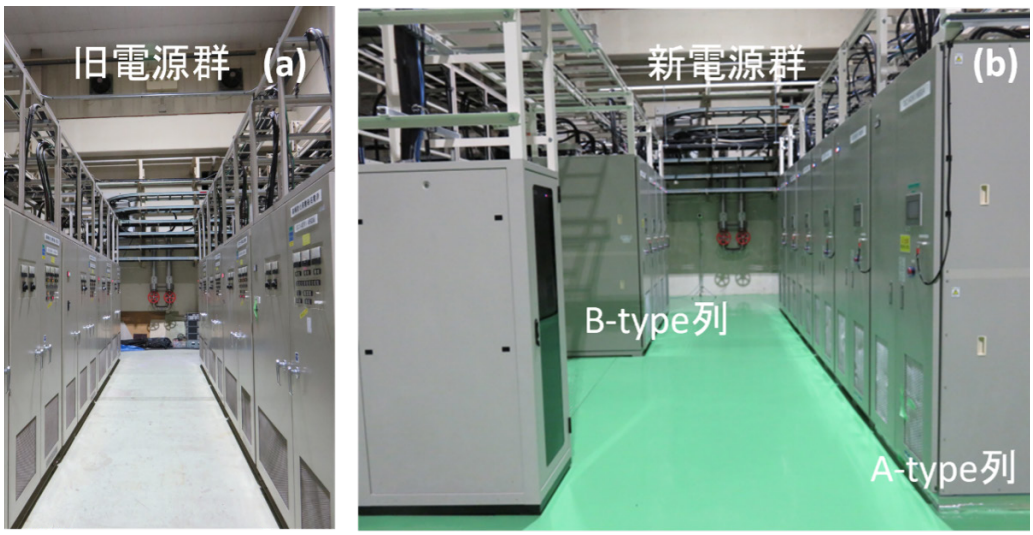


図 2　(a) 旧電磁石電源群 8 台，(b) 新電磁石電源群 10 台，右手に A-type 電源が 6 台，左手に B-type 電源 4 台が配置されている。

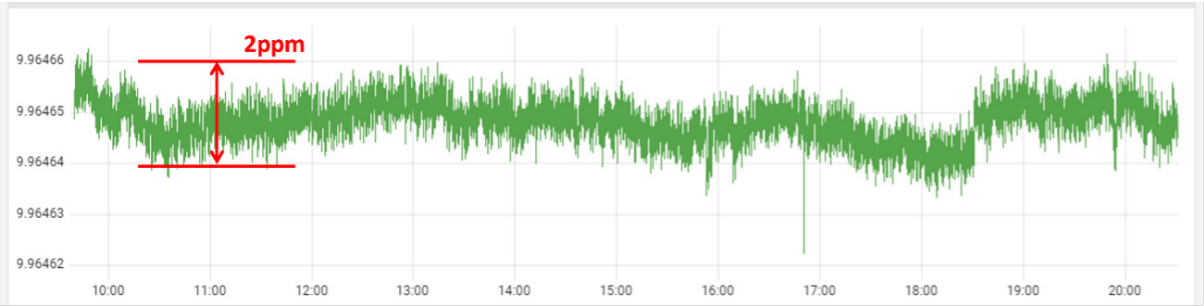


図 3　A-type 電源の実負荷接続のもと調整後の 10 時間出力安定度結果。8.5 桁高精度デジタルマルチメーターにより計測。横軸は時間，縦軸は定格電流値を 10 V 換算ととした出力電流値を表す。

は機能拡張性を利用した電源性能の高度化開発に移行する。目下，デジタル制御方式の導入を重要な次世代電源のキーテクノロジーとして位置付けており，その課題への取り組みが開始される予定である。

PF リングクライストロン交換

5 月 10 日 に発生したクライストロン故障のため，7 月までの運転は RF3 台での運転を余儀なくされ，蓄積ビーム電流を 450 mA から 420 mA に下げてユーザー運転を実施してきた。運転停止後に交換作業を実施し（図 4 参照），ハイパワー試験も問題なく終了した。10 月の運転からは空洞 4 台でのユーザーランが実現できている。今回故障したクライストロンは 1996 年から使用してきたものであり，次に古い製品は 2002 年から使用しているため，これも既に 20 年が経過している。今回の交換によりクライストロンの予備品が無い状態となったこと，ユーザー運転を着実に担保するためにも肝心の装置であること，長納期の製品であることから，新規クライストロン 1 台の調達手続きに入った。

図 4　クライストロン交換作業

PF リング，PF-AR での作業

PF リングでは夏期停止期間に安全・インターロックシステムの大幅な更新作業を実施した。ハードウェア類は既に導入していたが，春期は Linac が連続運転をしていたためこの機会の実施となったものである。総合動作試験を 10 月 2 日に実施した。秋の運転では新システムでの運転となり，立ち上げ時に多少手間取った部分はあるものの，システムとしては問題なく立ち上がり安全を担保出来ている。

その他の活動

9 月 2 日～ 6 日の間，高専インターンシップとして，豊田高専より学生 1 名を受け入れた。9 月 7 日の一般公開では PF リングの制御室およびトンネル内を公開した。加速器第六研究系としては 19 名が出勤し，うち 2 名は研究本館での次期光源説明，2 名は ERL 開発棟にて cERL 関連の説明にあたった。大きな混乱も無く，説明・案内できたと考えている。昨年度は職員による「ガイド」付きでリング一周を案内したが，今年度は人員不足ということもあって，リング内は自由見学として重要な場所に説明員を配置する方式とした。ガイドツアーは人気が高い一方で職員の負担も大きいため，来年度をどのように実施するかは今後の検討課題としたい。

9 月 9 日～ 13 日の間，加速器科学国際育成事業（IINAS-NX）研究支援人材育成活動の一環として，核融合研の技術職員 4 名を受け入れて実習を行った。今回は加速器の制御フレームワークである EPICS の実習を行ったほか，施設の見学を実施した。核融合研の制御システムに関する発表も実施して，お互いに情報交換を行うなどたいへん有意義な活動となった。

人事異動

最後に人事異動について報告する。10 月 1 日付で満田史織（みつだ　ちかおり）氏が教授に昇任した。引き続き光源第 6 グループ（直流電源 / パルス電源 / 入射システム等を担当）のグループリーダー業務の他，PF-AR の運転調整，テストビームライン開発等に尽力頂く。

放射光実験施設の現状

放射光実験施設長　五十嵐教之
（2024 年 11 月 8 日付け）

2024 年夏の停止期間中に，開発研究多機能ビームライン（BL-11）と広波長域軟Ｘ線ビームライン（BL-12A）の建設を進めました。BL-11 については，大型ミラーチャンバーや入射スリットなどの設置作業を行いました（図 1）。2024 年度第 2 期は，11 月 7 日まで白色 R&D を継続し，その後は建設作業を再開しました。2025 年冬の停止期間中には硬Ｘ線ブランチの光学系ハッチまで完成させ，2025 年早々には，光学系ハッチ内で硬Ｘ線領域非集光単色 / 白色ビームを , メインハッチ下流で軟Ｘ線領域集光白色ビームを利用できる R&D 実験スペースがそれぞれ完成する予定です。BL-12A については，高エネルギー用パス（T パス）の最上流ミラー（M0T）の表面再研磨及び再蒸着が完了し，ミラーチェンバーへの再インストール作業を実施しました。また，動作に問題のあった二結晶分光器の改修作業も完了し，S パス（低エネルギー用パス），T パスともに完成となりました。2024 年度第 2 期の運転で，S パス，T パスともに調整作業を進め，11 月より共同利用を再開します。2024 年 11 月 17 日（日）～ 18 日（月）には，PF 研究会「放射光２ビーム利用と広波長域実験が切り拓く学術フロンティア」を開催する予定であり，いよいよ BL-11，BL-12A の利用，そして次期放射光源に向けた R&D が本格的に開始されます。ユーザーの皆様にもぜひ積極的に利用提案や R&D 提案をお寄せいただけたらと思います。

運転・共同利用関係

2024 年度第 2 期の運転ですが，予定通り，PF は 10 月 7 日に，PF-AR は 10 月 17 日に開始しました。PF-AR は 12 月 16 日まで，PF は 12 月 27 日まで運転を継続します。PF のハイブリッドモードは 11 月 29 日から最後までの予定です。PF-AR は，5 GeV で運転を開始して，11 月 20 日以降を 6.5 GeV で運転します。PF のクライストロン交換，大型電磁石電源更新も第 2 期運転前までに予定通り作業が完了し，RF 4 台運転で通常通りの運転に戻っています。第 3 期の運転スケジュールについては，11 月中旬に決定します。

PF-PAC の全体会議が 9 月 30 日に Web 会議方式で開催され，開発研究多機能ビームラインの運用制度や課題申請書の改訂，旅費の公平な配分，S2 型課題の説明の見直しに関する協議等が行われました。詳細については，本誌記事をご参照ください。

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。10 月 1 日付で，小澤健一さんが測定装置部門の准教授から基盤技術部門の教授に，中尾裕則さんが放射光科学第二研究系の准教授から測定装置部門の教授に昇任され，それぞれ基盤技術部門長，測定装置部門長に就任されました。また，松垣直宏さんが准教授から教授に昇任され，生命科学関連のビームライン群を取りまとめ，PF-PAC 第 5 分科の所内委員を担当することになりました。その他，森丈晴さんが専門技師から先任技師（KEK 加速器科学国際育成事業 IINAS-NX の業務を兼任）に昇任されました。皆様のより一層の活躍を期待しています。

図 1　BL-11 大型ミラーチェンバー設置の様子

放射光科学第一，第二研究系の現状

放射光科学第一研究系研究主幹　雨宮健太
（2024 年 10 月 22 日付け）

はじめに

放射光科学第一，第二研究系は，放射光をはじめとする量子ビームを駆使して，先端的な物質・生命研究を行うことを主なミッションとしています。特に，確立された実験手法を利用するだけではなく，放射光施設に常駐するスタッフとしてのメリットを活かして，研究のために必要な新しい実験手法の開発も行うことで，PF ならではの研究を展開しています。今回は，放射光科学第一研究系の表面科学研究部門における最近の研究の進展を紹介します。

水分解電極触媒における電気化学反応中の表面の観察

環境負荷の低いエネルギー源として期待される水素を製造する方法の一つとして，電極触媒を用いた水の電気分解が盛んに研究されています。水の電気分解においては，酸素発生電極が性能のボトルネックになっており，その反応素過程には不明な点が多いため，電気化学反応中の酸素発生電極触媒の表面を直接観察することが求められています。我々が独自に開発した軟Ｘ線領域の波長分散型吸収分光（XAS）法は，波長分散した（位置によって波長＝エネルギーが連続的に変化する）軟Ｘ線を試料に照射し，吸収強度に比例して放出される蛍光Ｘ線を位置分解して検出することで，3 ～ 10 秒ごとに XAS データを取得できる手法です [K. Amemiya et al., Rev. Sci. Instrum. **91** (2020) 093104]。この手法を，溶液を用いた電気化学反応システムと組み合わせ，溶液と真空（軟Ｘ線の入射，検出側）を厚さ 200 nm の Si_3N_4 膜（溶液側に電極と触媒を成膜したもの）で仕切ることによって，電気化学反応中（電位の掃引中）のリアルタイム・オペランド XAS 観察を実現しました。この手法を用いて，薄膜電極上に担持した Co 酸化物に対して，電位掃引によって起こる酸素発生反応を酸素 K 吸収端 XAS を用いて観察しました（図 1）。その結果，529 eV 付近の吸収ピークが，酸素発生が始まる直前の電位において増加し，さらに電位を上げると減少することが観察されました。この挙動から，観察されたピークは反応中間体に由来するものと考えられます [K. Sakata and K. Amemiya, Electrochem. Commun. **157** (2023) 107627]。さらに最近，この手法を酸素発生用の光触媒の一つである TiO_2 に適用し，UV 光照射によって酸素発生が促進されること，および UV 光の有無によって酸素 K 吸収端 XAS に現れるピークとその電位依存性が大きく異なることを見出しました [K. Sakata and K. Amemiya, Electrochem. Commun. **165** (2024) 107771, プレスリリース：https://www.kek.jp/ja/press/202407251400]。今後，様々な電極触媒に適用するとともに，反応速度を含めた定量的な解析を行い，反応機構をより詳細に明らかにしていきたいと考えています。

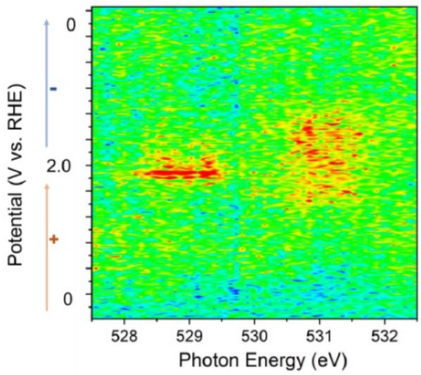


図 1　電位の掃引にともなう酸素 K 吸収端 XAS の変化（掃引開始前のスペクトルとの差分をカラーマップで示した）。

ステンレス鋼の化学状態の深さによる変化の分析

ステンレス鋼は，その名の通り錆びにくいことが特長で，その耐腐食性の起源について様々な研究がされてきました。我々は，約 20 年前から独自に開発を行ってきた，軟Ｘ線領域の深さ分解 XAS 法 [K. Amemiya et al., Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 936] を用いて，ステンレス鋼における主な構成元素（Fe, Cr, Mn, Ni, O）に対して，化学状態の深さ依存性を観察しました。深さ分解 XAS 法はもともと，軟Ｘ線の吸収量に比例して放出される Auger 電子を，様々な出射角で検出することで，様々な検出深度のスペクトル群を得る手法として開発されました。試料中で発生した Auger 電子は，表面に到達するまでに指数関数的に減衰しますが，斜出射条件になるほど長い距離を通る必要があるため，吸収が起こった深さによる減衰の違いが顕著になり，より表面付近の状態を反映した XAS データとなります。ただし，Auger 電子の減衰長（強度が 1/e になる距離）は 2-3 nm 程度なので，たとえ直出射で検出しても，せいぜい 10 nm 程度の深さまでしか観察することができません。ステンレス鋼の化学状態は，より深いところまで変化していることが予想されるので，本研究では Auger 電子の代わりに蛍光Ｘ線を検出しています。蛍光Ｘ線の減衰長は 100 nm 以上あるので，深さ nm から数 10 nm にわたる広い範囲を観察できます。解析の結果（図 2），表面付近で Cr が特に酸化されていることや，その中でも水酸化物成分がより表面側に多いことが明らかになりました。一方で，Fe も表面付近で酸化されているものの，酸化の度合いは Cr よりもかなり低いこと，Ni や Mn は観察した深さの範囲では化学状態に大きな変化が見られない（Ni はほとんど酸化されず，Mn は MnO_2 に近い）ことも観察されました [K. Amemiya and K. Sakata, ACS Omega **9** (2024) 18593]。現在，腐食過程（自然酸化，熱酸化，溶液中での電気化学的腐食など）に

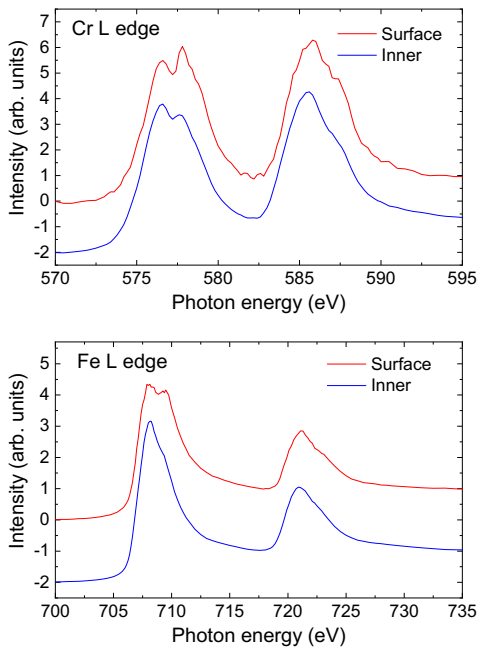


図 2　深さ分解 XAS の解析によって得られた，表面層（厚さ 3 nm 程度）および内部層に対する Cr および Fe L 吸収端 XAS。

よる化学状態の違いも含めて分析を行っています。これまで深さ分解 XAS 法は，主に磁性薄膜など比較的フラットな表面に対して，nm を切るような深さ分解能での分析に適用してきましたが，今後は実材料のステンレス鋼のように，比較的ラフネスの大きい試料に対して，より粗い深さ分解能での観察も行っていきたいと考えています。

人事異動

放射光科学第一，第二研究系に関連する人事異動を報告します。10/1 に，構造生物学研究部門の特任准教授の田辺幹雄さんが准教授として採用されました。また，固体物理学研究部門の准教授の中尾裕則さんが，放射光実験施設測定装置部門の部門長として教授に昇任しました。お二人とも，PF でますます活躍されることを期待しています。

ビフィズス菌由来の B 型血液型抗原に特異的な GH110 α1,3-galactosidase AgaBb の構造解析

鹿島騰真 [1,2]，芦田久 [3]，伏信進矢 [1,2]
[1] 東京大学大学院 農学生命科学研究科，[2] 東京大学 微生物学科イノベーション連携研究機構，
[3] 近畿大学 生物理工学部

Structural insight into a bifidobacterial GH110 α1,3-galactosidase specific for type B blood group antigen

Toma KASHIMA[1,2], Hisashi ASHIDA[3], Shinya FUSHINOBU[1,2]
[1] School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo,
[2] Collaborative Research Institute for Innovative Microbiology, The University of Tokyo
[3] Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University

Abstract

ビフィズス菌は大腸内に定着・増殖し，ヒトの健康増進に貢献するために様々な糖質加水分解酵素（Glycoside Hydrolase，GH）を保有している。中でも *Bifidobacterium bifidum* 由来の GH110 α1,3-galactosidase（AgaBb）は腸管粘膜のムチン糖タンパク質や赤血球細胞表面の B 型血液型抗原を特異的に分解し，O 型抗原（H 抗原）を生成するため，輸血や異種移植への応用が期待されている。我々は AgaBb の構造解析を行い，その分子機能の一端を解明した。本稿では 2021 年度量子ビームサイエンスフェスタ学生奨励賞の発表内容に沿って，研究成果の一部を紹介する。

1．はじめに – 乳児大腸内でのビフィズス菌の炭素源

乳児の腸内はビフィズス菌優勢である。これは主要な種である *Bifidobacterium bifidum*，*B. longum subsp. longum*，*B. breve*，*B. longum subsp. infantis* が母乳に含まれるヒトミルクオリゴ糖や腸管粘膜のムチン糖鎖を糖質源にして増殖，定着しているからである [1]。ヒトミルクオリゴ糖やムチン糖鎖は非常に多彩な糖構造を有しており，これを分解して取り込むためにビフィズス菌はいくつもの糖質加水分解酵素（Glycoside hydrolase，GH）を独自に進化させてきた [2, 3]。ヒトの主要な善玉菌であるビフィズス菌の増殖メカニズムを分子レベルで解明していくことは学術的にも応用研究においても興味深い。我々はビフィズス菌が独自に進化させた新規糖質関連酵素の研究を進めている。以降では代表的な分解経路の一例として，ムチン糖鎖，特に硫酸化 Core 2 *O*-glycan の分解経路に着目する [4]。

1-1. *B. bifidum* JCM 1254 株の硫酸化 Core 2 *O*-glycan の代謝経路

Fig. 1A に硫酸化 Core 2 *O*-glycan の糖構造を簡略的に示す。*B. bifidum* は 4 つの膜結合型 GH，すなわち GH110 α1,3-galactosidase（AgaBb），GH95 α1,2-fucosidase（AfcA），GH2 β-galactosidase（BbgIII），GH20 β-*N*-acetyl-6-sulfo-glucosaminidase（BbhII）を使って糖鎖から単糖を切り出していく。その後，GH101 endo-α-*N*-acetylgalactosaminidase（EngBF）が糖ペプチド結合を加水分解することで galacto-*N*-biose（Gal-β1,3-GalNAc，GNB）が遊離する。その後，GNB は菌体内に取り込まれ，GH112 lacto-*N*-biose/galacto-*N*-biose phosphorylase（GLNBP）によって単糖に分解される [4]。これらの酵素のほとんどは先行研究で構造解析がなされ，その独自性が示された。しかし唯一，この分解経路の最上流にある AgaBb について報告がなかった。そこで我々は AgaBb のＸ線結晶構造解析を行うことにした。

1-2. AgaBb は B 型抗原に特異的な血液型変換酵素である

AgaBb はムチン糖鎖のエピトープ部分にある Gal-α1,3-(Fuc-α1,2-)-Gal という分岐型の 3 糖構造に特異性を示す [5]。この糖構造は B 型血液型抗原として知られており，赤血球の表面にある血液型決定基と同じものである。AgaBb はこれに作用することで非還元末端の Gal を遊離するが，残るエピトープ構造は H 抗原，すなわち O 型の血液型抗原になる（Fig. 1B）。O 型の血液は理論上 Rh（+）のヒトになら誰にでも輸血できるため，AgaBb は血液型変換酵素として輸血や異種移植で応用できる可能性があり，バイオメディックスの分野で注目されている。AgaBb はその特異性から B 型血液型抗原のフコースを認識しないと活性を持たないと考えられるが，近縁ホモログで構造が解かれていなかったため，その認識様式は不明であった。AgaBb の構造を決定することで認識様式が明らかになり，タンパク質工学的に医療分野でのアプリケーションに適した酵素の設計などの可能性が見込まれる。

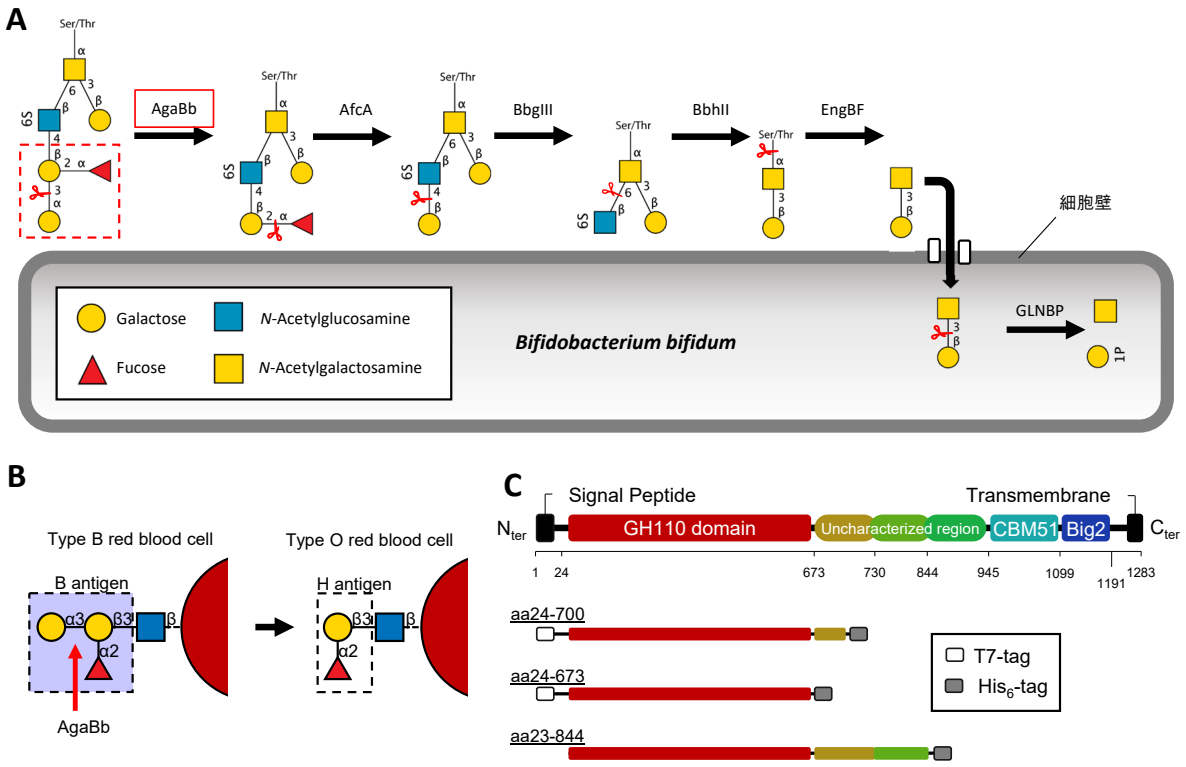


Figure 1 **A.** Degradation pathway of sulfated Core 2 *O*-glycan by *B. bifidum*. AgaBb and its substrate structure are shown with a solid and a dashed box, respectively. **B.** Overview of the blood group conversion by AgaBb. **C.** Domain organization of AgaBb and the construct described in this article. Figures are prepared based on reference [11, 12].

2. AgaBb の X 線結晶構造解析

2-1. コンストラクトデザイン

AgaBb は N 末端からシグナルペプチド（aa1-24），GH110 活性ドメイン（aa25-673），未解析領域（aa674-944），B 型血液型抗原を特異的に認識し活性ドメインの基質へのアクセスを助ける CBM51（aa945-1096），免疫グロブリン様ドメイン Big2（aa1097-1191），膜貫通領域（aa1192-1283）で構成されている（Fig. 1C）。全長配列は結晶化に適していないためシグナルペプチドと膜貫通領域を取り除き，活性ドメインを残した計 16 のコンストラクトを設計した。配列の切断部分は，研究初期では PSIPRED による 2 次構造予測で disorder している領域を domain boudary であると仮定し，選定していた [6]。AlphaFold2 リリース以降は予測構造から見出した domain boundary を基に選定した [7]。

設計したコンストラクトのうち，11 個が結晶化に十分な量調製できた。NeXtal Biotechnologies 社の JCSG Core I-IV Suite を用いてこれらのコンストラクトの結晶化スクリーニングを行った結果，5 つのコンストラクトの結晶化に成功した。どれも結晶質や再現性に難がある中，aa24-700，aa24-673，aa23-844 コンストラクトで解析実験に十分な質の結晶が得られた。

2-2. AgaBb aa24-700 コンストラクトの結晶構造

AgaBb aa24-700 コンストラクトの結晶はタンパク質濃度 16.1 mg/mL，1.6 M ammonium sulfate，0.1 M HEPES-NaOH pH 7.5，0.1 M NaCl の条件で，5 日間 20°C でインキュベートすることで得られた。抗凍結剤として 10% glycerol にソーキングした上で瞬間冷却し，AR-NW12A で X 線に照射し，分解能 1.96 Å のデータセットを取得した（Fig. 2A）。位相決定には 5 mM potassium tetrachloroplatinate (II) にソーキングした結晶を用いて波長 1.0715 Å の X 線で測定したデータセットにより，単波長異常分散法で決定した（Fig. 2B）。

AgaBb aa24-700 コンストラクトの結晶構造は AgaBb 特有の core β-helix と 2 つの β-barrel（β-barrel 1 および β-barrel 2）で構成されていた。一方 aa587-617 のアミノ酸は観察できず，更に下流の配列は非対称単位中で隣接するサブユニットと絡まっていた（Fig. 2C）。Protein Data Bank in Europe が提供している web サービスである Protein Interfaces, Surfaces and Assemblies（PISA）による解析ではこの C 末端が絡まった 2 量体構造が biological assembly と判定されたが，ゲルろ過クロマトグラフィーでの分子量測定では aa24-700 コンストラクトは単量体であった [8]。また，前述の回折実験以降，結晶化の再現が取れなくなった。これらのことから C 末端の絡まりは結晶化パッキングによるアーティファクトであり，絡まりが再現できないことが結晶化を妨げていると示唆された。リガンドフリーの構造では酵素メカニズムに関する考察が難しいため，再現

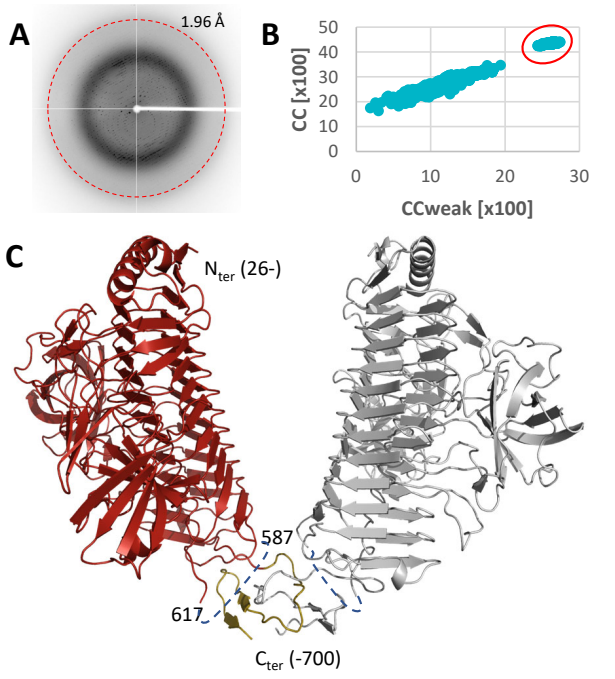


Figure 2 **A.** X-ray diffraction of AgaBb aa24-700 crystal. Outer shell limit is shown with a dashed line. **B.** CC vs weak CC plot showing the results of substructure search by shelxd. **C.** Dimeric structure of AgaBb aa24-700. Preprared based on reference [11].

性の高い結晶で複合体構造を取得する必要性があった。そこで問題部分の物理障壁を解消するべく，C 末端をさらに削った AgaBb aa24-673 コンストラクトも用いて再度結晶化を試みた。

2-3. AgaBb aa24-673 コンストラクトの結晶構造

AgaBb aa-24-673 コンストラクトの結晶はまずタンパク質濃度 5 mg/mL，10 % (w/v) PEG6000，0.1 M citric acid (pH 5.0) で種結晶を出し，これを microseed matrix screening（MMS, [9]）に供することで，15% (w/v) PEG20000，0.1 M MES-NaOH (pH6.5) の条件で得られた。MMS には NeXtal Biotechnologies 社の PEGs Suite を模した自作のキットを用いた。リガンドとして 20 mM Gal を添加して共結晶化を試み，また抗凍結剤には 20% ethylene glycol を使用した。BL-1A で X 線に照射した結果，分解能 3.50 Å の回折データが得られ，活性部位の中に Gal の電子密度マップが観察された。しかし，いくら回折実験にトライしてもこれ以上分解能が改善することはなく，また本コンストラクトで得られる結晶は blade cluster 状であり，結晶を単離するのが極めて困難であったため，実験は難航した。酵素学的な考察を行うには分解能 2.0 Å を切るのが望ましく，このコンストラクトではその目的を果たせないと考え，更なるコンストラクトの検討を行い，aa24-844 コンストラクトに行きついた。

2-4. AgaBb aa23-844 コンストラクトの結晶構造

AgaBb aa-23-844 コンストラクトの結晶はまずタンパク質濃度 37.5 mg/mL，10 % (w/v) PEG6000，0.1 M citric acid pH 5.0（タンパク質：リザーバー比は 1:2）で種結晶を出し，これを MMS に供することで，10% (w/v) PEG3350，0.1 M sodium iodide の条件で得られた。MMS には前述の自作のキットを 2 倍希釈したものを用いた。抗凍結剤として 20 % (v/v) PEG300 を用い, BL-1A で回折実験を行ったところ，分解能 2.02 Å の回折データが得られた。

決定した AgaBb aa24-844 コンストラクトの結晶構造は単量体であり，前述の活性ドメインの他に 2 つの β-sandwich（以降 β-sandwich 1 および β-sandwich 2）が視認できた（Fig. 3A）。β-Sandwich 1 は AgaBb aa24-700 コンストラクトで観察できなかった aa587-617 の部分が core β-helix から伸長し，活性ドメインの下流の配列と相互作用することで形作られていた。一方，β-sandwich 2 は core β-helix そして β-barrel 1 と密接に相互作用していた。このことから 2 つの β-sandwich がタンパク質の安定化に寄与している可能性が示唆された。実際，thermal shift assay での解析では β-sandwich 2 を含まないコンストラクトでは変性温度（*T*m 値）が 50°C 前半だったのに対し，β-sandwich 2 や更に下流のドメインを有するコンストラクトの熱安定

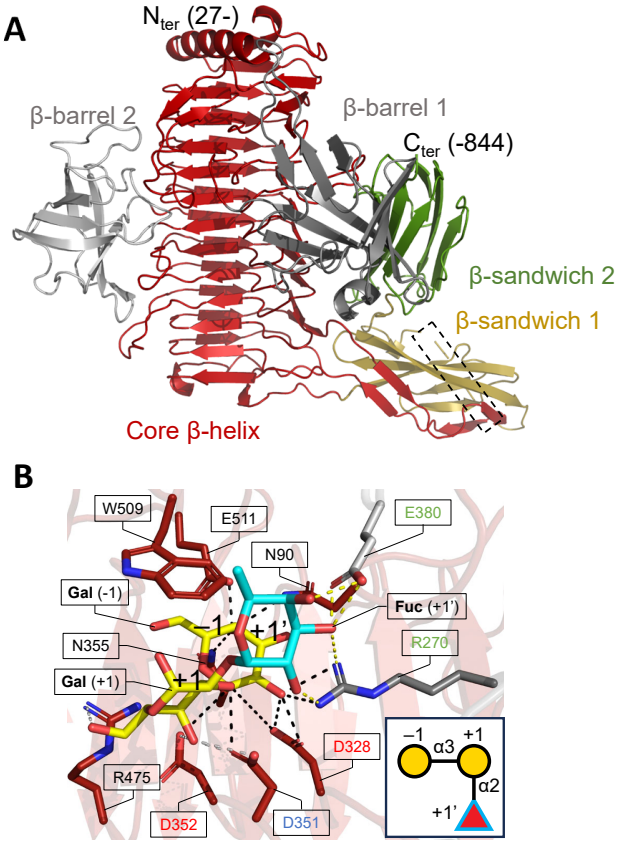


Figure 3 **A**. Overall structure of AgaBb aa23-844. **B.** Blood group B trisaccharide model placed in the active site of AgaBb aa23-844. Prepared based on reference [11].

性は顕著に上昇し，*T*m 値はいずれも 60°C 以上となった。

本コンストラクトの触媒残基に変異を加え，基質である B 型血液型抗原との共結晶化も試みたが，残念ながら現時点で複合体構造の取得には成功していない。そこで，モデルを作成して基質の結合様式の決定を試みた。AgaBb と配列相同性 27% の遠縁ホモログ PdGH110B では galactobiose（Gal-α1,3-Gal，B 型血液型抗原の部分構造で，Fuc を含まない）との複合体構造が報告されている [10]。AgaBb と PdGH110B を重ね合わせることで B 型血液型抗原のモデルを活性中心に置いた。すると活性に必須である Fuc の周囲に R270 および E380 が水素結合できる位置で視認できた（Fig. 3B）。これらの残基が抗原認識の重要残基であることが示唆された。

３．まとめ

本研究ではビフィズス菌由来の B 型血液型抗原を得意的に H 抗原に加水分解する GH110 α1,3-galactosidase（AgaBb）の構造決定に成功した。これを基に B 型血液型抗原特有のフコースを認識するサイトを推定した。また特定の β-sandwich が酵素の安定性に寄与していることが明らかになった。

本稿は 2021 年度量子ビームサイエンスフェスタの発表内容を基に書いたが，今年度，*Journal of Applied Glycoscience* にて原著論文として発表した [11]。この論文では本稿で示したデータの他にフコース認識サイトの変異体活性測定や β-sandwich 領域の系統解析なども行っている。また本論文は 10 年以上行ってきた研究の賜物である。まだまだ課題は残っており，道のりは長いが，それでもこの論文をきっかけに小さく，確実に一歩前進していると筆者は自負している。この十年間の苦悩についても論文中に述べているので，本稿を通して AgaBb の研究に興味を持った方には是非とも論文も参照してほしい。

４．補遺 – 本稿の執筆にあたって

PF ニュース編集委員会事務局より本稿の執筆依頼を頂いたのは 2022 年 5 月のことである。「量子ビームサイエンスフェスタでの発表内容を基に」という依頼内容であったものの，AgaBb の研究テーマはちょうど論文化を控えていたため，本稿執筆の先送りを決定した。しかし時が経つのは早く，やっと論文投稿にこぎつけたのは 2024 年 3 月であった。サイエンスフェスタ発表当時，まだ初々しい学生であった筆者（鹿島）は，気付けば 3 度の異動を経て三十路の大学教員になっていた。長い間，待たせてしまった関係者各位に対し，この場を借りてお詫び申し上げると共に，改めて執筆の機会を下さったことに感謝の意を唱えたい。

量子ビームサイエンスフェスタ発表時に取り上げたクライオ電子顕微鏡解析について，あまりに予備データとしての意味合いが強いため，本稿，そして本稿執筆の遅延のきっかけとなった論文には載せないことにした。しかし発表以降，新たなデータの獲得に成功しており，本稿に関心を持って頂いた読者の皆様には是非，今後の研究動向をフォローしてほしい。

謝辞

本研究で実施した放射光実験は PF および PF-AR の共同利用実験課題（課題番号：2015G020，2017G089，2019G018）で行われた。また 2021 年度量子ビームサイエンスフェスタの発表で取り上げたクライオ電子顕微鏡データは AMED-BINDS（課題番号：2114，3073，3181，4450）を介して池田聡人博士，稲葉理美博士，守屋俊夫特任准教授，安達成彦准教授，川崎政人准教授のご協力のもと Talos Arctica で測定したものである。各施設にてサポートして下さったスタッフの皆様には深く御礼申し上げる。

最後に本研究で AgaBb の結晶化やＸ線回折データの取得にご協力下さった赤間恵氏（東京大学・当時），荒川孝俊助教（現・東京理科大学），山田千早助教（現・明治大学専任講師）に感謝申し上げる。

引用文献

[1] A. Horigome and T. Odamaki, 化学と生物 **54**, 260 (2016).

[2] L. E. Tailford, E. H. Crost, D. Kavanaugh and N. Juge, Front. Genet. **6**, 81 (2015).

[3] V. Triantis, L. Bode and J. R. J. van Neerven, Front. Pediatr. **6**, 190 (2018).

[4] T. Katoh, M. N. Ojima, M. Sakanaka, H. Ashida, A. Gotoh and T. Katayama, Microorganisms **8**, 481 (2020).

[5] T. Wakinaka, M. Kiyohara, S. Kurihara, A. Hirata, T. Chaiwangsri, T. Ohnuma, T. Fukamizo, T. Katayama, H. Ashida and K. Yamamoto, Glycobiology **23**, 361 (2013).

[6] L. J. McGuffin, K. Bryson, D. T. Jones, Bioinformatics, **16**(4), 404 (2000).

[7] J. Jumper, R. Evans, A. Pritzel, *et al.*, Nature **596**, 583 (2021).

[8] E. Krissinel and K. Henrick. J. Mol. Biol. **372**, 774 (2007).

[9] A. D'Arcy, T. Bergfors, S. W. Cowan-Jacob and M. Marsh, Acta Crystallogr. F Struct. Biol. Cryst. Commun. **F70**, 1117 (2014).

[10] B. E. McGuire, A. G. Hettle, C. Vickers, D. T. King, D. J. Vocadlo and A. B. Boraston, J. Biol. Chem. **295**, 18426 (2020).

[11] T. Kashima, M. Akama, T. Wakinaka, T. Arakawa, H. Ashida and S. Fushinobu, J. Appl. Glycosci. **71**, 81 (2024).

[12] T. Kashima, T. Katoh, C. Yamada, T. Katayama, H. Ashida and S. Fushinobu, 応用糖質科学 **13**, 194 (2023).

（原稿受付日：2024 年 9 月 6 日）

著者紹介

鹿島騰真　Toma KASHIMA

東京大学大学院農学生命科学研究科
博士課程学生（現・助教）
〒 113-8657　東京都文京区弥生 1-1-1
e-mail: a-kashimatoma@g.ecc.u-tokyo.ac.jp
略歴：2022 年東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了，2023 年東京大学大学院農学生命科学研究科助教。農学博士。
最近の研究：新規糖質関連酵素の探索および機能構造解析。
趣味：実験，音楽（ロック）

芦田久　Hisashi ASHIDA

近畿大学生物理工学部食品安全工学科
教授
〒 649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930
e-mail: ashida@waka.kindai.ac.jp
略歴：1988 年京都大学農学部卒業，2000 年京都大学博士（農学），2012 年近畿大学生物理工学部教授。
最近の研究：糖質関連酵素と糖質の機能に関する研究。
趣味：地中性ゴミムシ類の分類，ジョギング

伏信進矢　Shinya FUSHINOBU

東京大学大学院農学生命科学研究科
教授
〒 113-8657　東京都文京区弥生 1-1-1
e-mail: asfushi@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp
略歴：2012 年東京大学大学院農学生命科学研究科教授。農学博士。
最近の研究：酵素の構造と機能の研究。

---

* 量子ビームサイエンスフェスタ　学生奨励賞とは？

毎年 3 月に，物質構造科学研究所 (IMSS)，大強度陽子加速器施設（J-PARC），総合科学研究機構（CROSS），PF ユーザーアソシエーション（PF-UA），J-PARC MLF 利用者懇談会が主催する量子ビームサイエンスフェスタ（Quantum Beam Science Festa, QBSF）が開催されます。PF-UA と MLF 利用者懇談会では，この QBSF で筆頭著者としてポスター発表をした学生を対象に，「学生奨励賞」を授与しています。

今年度の QBSF は，2025 年 3 月 12 日～ 14 日につくば国際会議場（エポカルつくば）で開催されます。我こそはという学生さんは奮って発表頂ければ幸いです。2024 年度 QBSF の詳細は以下の URL からご確認ください。
https://www2.kek.jp/imss/qbsf/2024/

X 線吸収端近傍構造を用いた希土類と窒素の相互作用の違いによる吸着特性の評価

箕輪一希 [1,2]，渡部創 [2]，中瀬正彦 [3]，高畠容子 [2]，伴康俊 [2]，松浦治明 [1]
[1] 東京都市大学 総合理工学研究科，[2] 日本原子力研究開発機構，[3] 東京工業大学 科学技術創成研究院

Using X-ray Absorption Near Edge Structure to Evaluate Adsorption Properties of Rare Earths and Nitrogen by Difference of Their Interactions

Kazuki MINOWA[1,2], Sou WATANABE[2], Masahiko NAKASE[3], Youko TAKAHATAKE[2]
Yasutoshi BAN[2], Haruaki MATSUURA[1]
[1]Tokyo City University Graduate School of Integrative Science and Engineering, [2]Japan Atomic Energy Agency
[3]Tokyo Institute of Technology Institute of Innovative Research

Abstract

本研究では，X 線吸収端近傍構造（XANES）スペクトル分析とカラム実験を用いて，アルキルジアミドアミン（ADAAM）吸着材による希土類（RE）イオンの選択性を検証した。さらに，ADAAM の N 原子と希土類イオンとの相互作用を評価し，高放射性廃液中のマイナーアクチニド（MA）の相互分離プロセスを開発するための有効な模擬物質となりえる希土類イオンが存在するか検討した。その結果，La 及び Ce は ADAAM のアミン N 原子と相互作用することが確認され，N-K 端 XANES スペクトルのピークシフトを示した。この結果は，窒素原子のソフトな相互作用がイオン選択性に影響を与える要因であることを示唆するものであり，本吸着材の性能評価の上では，希土類が MA の模擬として使用できる可能性を示せた [1]。

1．背景・目的

使用済核燃料の再処理により発生する高レベル放射性廃液（HLLW）中のマイナーアクチニド（MA：Am，Cm，Np）は，溶媒抽出や抽出クロマトグラフィーにより HLLW から分離した後，核変換の対象元素として注目されている [2,3]。Fig. 1 に示す構造のアルキルジアミドアミン（ADAAM）はハードドナーであるアミドとソフトドナーであるアミンから構成されている抽出剤であり，Am と Cm の相互分離のための有望な抽出剤である [4]。この ADAAM を分配係数の違いにより，より少量の抽出溶媒で元素分離が可能となる抽出クロマトグラフィーへの応用を検討している。抽出クロマトグラフィーでは，ADAAM をスチレン - ジビニルベンゼンポリマーコート多孔性シリカ粒子（SiO_2-P）に含浸させ，ADAAM/SiO_2-P 吸着材として使用する。しかし，ADAAM そのものを抽出クロマトグラフィーに用いた例はなく，Am や Cm は α 核種であるため，使用できる施設が限られている。これらのことから，ADAAM を用いた Am と Cm の相互分離プロセスの開発は困難である。そこで本研究では，RE を用いて Am と Cm を模擬し，ADAAM による Am と Cm の分離プロセスを検討した。計算科学的には ADAAM は MA に対し選択的であることが既報により示唆されている [5]。しかし，ADAAM による RE の選択性が，MA 選択性の模擬として妥当であるか否かについては実験的に検証されていない。これらの理由から，我々は RE の MA 模擬の妥当性を調べる必要があると考えた。既報 [6] では，密度汎関数理論（DFT）を用いた理論計算により，MA 選択性が示唆された。その結果，ADAAM は，MA の 5f 軌道と ADAAM 中のソフトドナーであるアミン -N との相互作用の違いにより，MA を選択的に抽出することが示唆された。この原理から，RE も MA と同様に f 軌道を持つため，RE と ADAAM 中のアミン -N との相互作用が RE の選択性に影響を与える可能性があると推測される。よって，FT-IR，X 線吸収微細構造（XAFS）測定，有限差分法近傍エッジ構造（FDMNES），カラム分離試験を用いて RE と ADAAM の相互作用と選択性を明らかにし，RE の MA 模擬の有効性を検討した [1]。

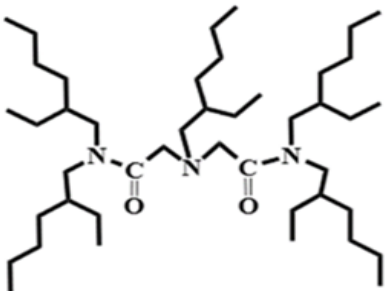


Figure 1　Molecular structure of ADAAM.

2．実験方法

2-1. 試料調製

XAFS 測定，FT-IR 測定用試料は 1.0 g の ADAAM/SiO_2-P 吸着材と 20 ml の実験溶液（硝酸濃度 1.0 mol/l, RE 濃度 15 mmol/l, RE：La，Nd，Ce，Eu，Gd）を遠沈管中で混合し，180 rpm で 3 時間振とうした。振とう後は固液分離し，飽和 ADAAM/SiO_2-P 吸着材の FT-IR 測定，XAFS 測定を行った。

2-2. FT-IR 測定

FT-IR 測定は東京都市大学ナノ科学技術学際研究センターのパーキンエルマー Spectrum One Auto IMAGE にて行った。測定試料は ADAAM/SiO_2-P 吸着材，2-1 章で調製した試料と参照試料として，担体である SiO_2-P と吸着材調製時に使用するドデカンを対象に行った。測定方法は全反射方式で，試料台はダイヤモンドとした。

2-3. XAFS 測定

RE-K, L_3（RE：La，Ce，Eu，Gd）吸収端の XAFS 測定は SPring-8 BL22XU および KEK PF BL-27B において、試料に単色硬X線を照射し、試料を透過した後のX線の振動を測定する透過法により行った。得られた EXAFS 振動は WinXAS[7] と FEFF8[8] を用いて EXAFS フィッティング解析を行った。N-K 吸収端の XAFS 測定はあいちシンクロトロン光センターの軟X線ビームライン BL1N2 にて行った [9]。測定は，ステンレス板に導電性カーボンテープを貼り付けたインジウム箔に試料を埋め込み，試料ホルダーに取り付けて行った。サンプルホルダーは BL1N2 セットアップの真空チャンバー内に設置した。試料から放出される蛍光X線の測定には，シリコンドリフト検出器による部分蛍光収率（PFY）法を用いた。測定時の吸収端は N-K 端とした。

2-4. XANES スペクトルシミュレーション

まず，構造最適化計算は Gaussian16[10] を用いて行った。初期構造は，先行研究 [9] から RE（ADAAM(CH_3)）(NO_3)$_3$（H_2O）とした（RE：La，Ce，Eu，Gd）。密度汎関数には PBE0 [11] を用いた。基底関数は def2-TZVP [12,13,14] を用いた。構造モデルの妥当性は EXAFS 解析で得られた原子間距離と構造モデルの原子間距離を用いて評価した。Fig. 2 に得られた構造モデルを示す。次に，この構造モデルを対象に有限差分法近傍エッジ構造（FDMNES）を用いて，XANES シミュレーションを行った。シミュレーション対象は，ADAAM のアミン -N（N1）とアミド -N（N2），および硝酸イオンの N（N3）である。吸収端は N-K 端とした。双極子条件は双極子遷移とした。シミュレーション範囲は 5 Å とし，エネルギー範囲はフェルミエネルギー範囲 -100 ～ 50 eV，使用した関数は Green とした。XANES シミュレーションでは SCF 計算を行った。

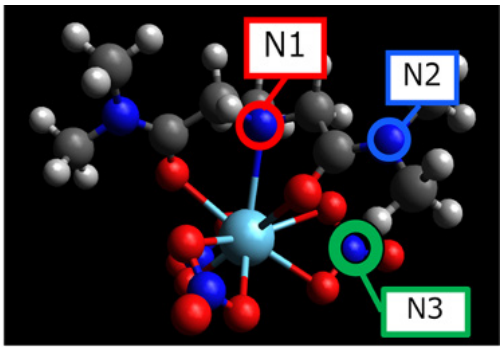


Figure 2 Structural model for simulation of extractant.

2-5. カラム分離試験

ADAAM/SiO_2-P 吸着材を内径 1.0cm，高さ 3.5 cm（1BV=2.75cm^3）のガラスカラム（ADAAM カラム）に充填し，1）フィード溶液（1.0 M 硝酸，La, Ce, Eu, Gd：1.0 mM）（0.16 BV），2) 洗浄溶液 1.0 M 硝酸 (9 BV)，3) 溶離液 0.1 M 硝酸（10 BV）の順で送液した。ADAAM カラムを通過した溶液はフラクションコレクターで回収した。回収条件は 1 サンプルあたり 1.78 分で，14 サンプルを回収した。採取した溶液とフィード溶液を ICP 測定し，各溶液中の各金属濃度を求めた。各 RE の選択性は，縦軸に式 1 から算出したサンプルあたりの回収率を，横軸に BV をとったグラフをプロットすることで評価した。

$$C \times W / C_F \times v \times t = X \qquad (1)$$

ここで，C は各サンプルの溶液濃度（mg/l），W は各サンプルの回収溶液量（l），C_F は供給溶液の溶液濃度（mg/l），v は供給流量（l/min），t は供給時間（min），X は回収率である。

3．実験結果

3-1. FT-IR 測定結果

Fig. 3 に ADAAM/SiO_2-P 吸着材の IR スペクトルを示す。1000 ～ 1500 cm^{-1} と 1500 ～ 3000 cm^{-1} 領域でそれぞれピークが確認された。ADAAM/SiO_2-P 吸着材の IR スペクトルに見られる 1000 cm^{-1} 付近のピークは担体の SiO_2-P のデータで見られていること，また研究事例 [15] から Si-O

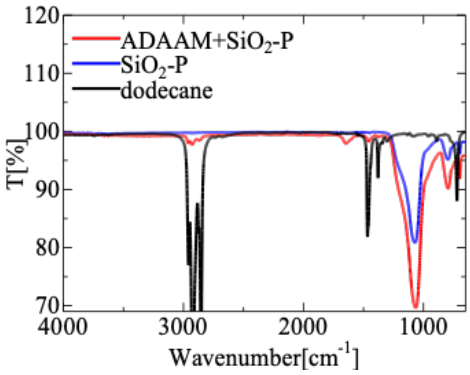


Figure 3 Measured IR spectrum of ADAAM + SiO_2-P.

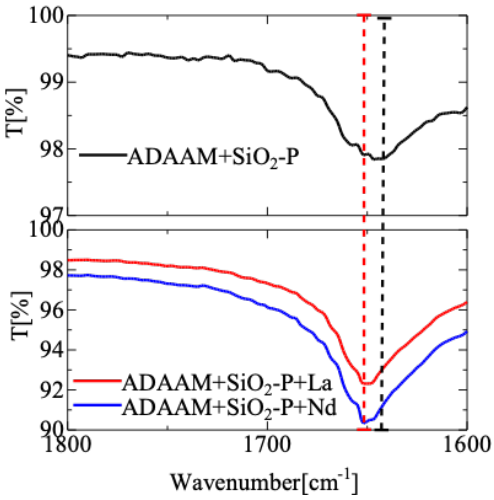


Figure 4 Measured IR spectrum of ADAAM + SiO_2-P + RE (1600 cm^{-1} ~ 1800 cm^{-1}).

結合の寄与であると確認された。また，ADAAM/SiO_2-P 吸着材の IR スペクトルに見られる 1400 ～ 1500 cm^{-1} と 2800 ～ 3000 cm^{-1} のピークは参考試料のドデカンで見られていることから，ドデカンと同様の C-C 結合，C-H 結合の寄与であると確認された。以上より，ADAAM/SiO_2-P 吸着材の IR スペクトルに見られる 1600 ～ 1700 cm^{-1} のピークは研究事例 [16] より，C=O 伸縮振動の寄与であるといえる。よって，RE 配位による ADAAM の C=O 伸縮振動を定性的に比較する際は 1600 ～ 1700 cm^{-1} のピークにて検討を行った。Fig. 4 に RE が配位した ADAAM/SiO_2-P 吸着材の IR スペクトルを示す。前述した C=O 伸縮振動の寄与以外のピークは RE が配位しても同様の結果となった。Fig.4 より，La と Nd が ADAAM に配位すると，C=O 伸縮振動の 1600 ～ 1700 cm^{-1} のピークが高波数側へピークシフトすることが確認された。これは ADAAM 中アミドの O と RE が配位結合したことでアミドの結合角が変化したことで見られたと推察できる。また，配位する RE によって上記のピークシフトの傾向は変わらないことが確認された。これは研究事例 [4] で示唆された ADAAM 中アミドの O がハードドナーとして RE と配位結合したためであると考えられる。以上より，ADAAM/SiO_2-P 吸着材を対象に IR スペクトルを取得すると，アミドの C=O 伸縮振動が 1600 ～ 1700 cm^{-1} の領域に観測された。また，配位する RE によってピークシフトに違いがないことが分かった。このことから配位する RE によって ADAAM の錯体構造に大きな違いは生じないことが分かった。

3-2. XANES 測定結果

測定した N-K 端 XANES スペクトルを Fig. 5 に示す。すべての ADAAM 試料に共通する特徴は，N-K 端 XANES スペクトルの約 400 eV にピークが存在することである。この結果は，ADAAM の寄与が主に約 400 eV に現れることを示している。さらに，RE を含む硝酸溶液に接触させた試料では，N-K 端 XANES スペクトルの約 404 eV にピークが観測された。したがって，試料中の錯体イオンと残留硝酸イオンからの寄与は，主に約 404 eV にあることが確認された。次に，RE の配位が XANES スペクトルに与える影響を調べた。Fig. 6 は，配位した RE が ADAAM に与える影響の評価を示している。La と Ce が ADAAM に配位している場合，約 400 eV のピークは類似している。しかし，Eu と Gd を ADAAM に配位させると，スペクトルのピークは 401 eV 付近と高エネルギー側にシフトする。まとめると，測定された N-K 端 XANES スペクトルは，ADAAM の N からの約 400 eV の寄与と，配位 RE の違いによるピークシフトを示している。次項では，この配位 RE によるピークシフトについて，FDMNES を用いて詳細に議論する。

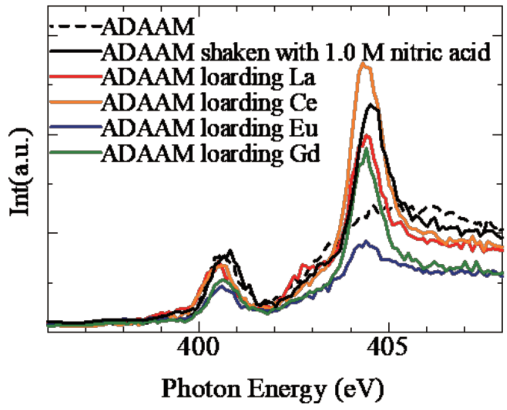


Figure 5 Measured XANES spectra.

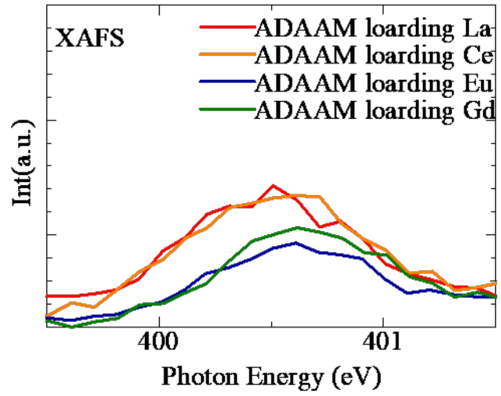


Figure 6 Evaluation of the influence of coordinated RE on ADAAM using measured XANES spectra.

3-3. 構造最適化モデルの妥当性評価結果

FDMNES を用いた XANES シミュレーションで用いた構造モデルの妥当性を EXAFS 解析で評価した。EXAFS 振動をフーリエ変換した動径構造関数とフィッティング解析の結果を Fig. 7 に示す。動径構造関数の R = 2 Å で観測される支配的なピークが最も多くの情報を提供すると考えられる。表 1 は Gaussian16[10] と EXAFS フィッティング解析から得られた原子間距離を比較したものである。これらの結果から，RE と配位原子との原子間距離は原子番号

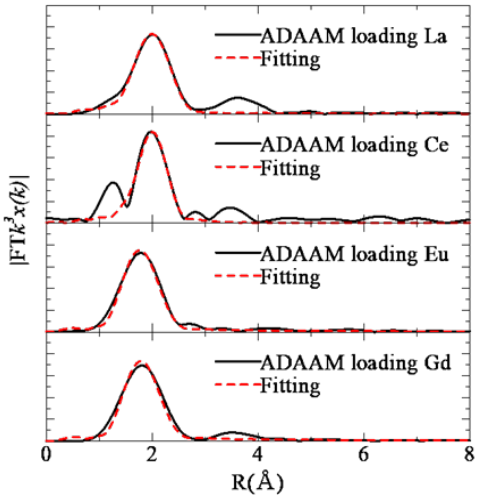


Figure 7 Radial distribution function around La, Ce, Eu, Gd.

Table 1 Comparison of interatomic distances between structure-optimized structural models and EXAFS fitting analysis results.

Metal	Coordinated atom	EXAFS (Å)	Gaussian (Å)
La	amide-O	2.629	2.600
	NO_3-O		2.604
	amine-N	2.979	2.952
Ce	amide-O	2.581	2.569
	NO_3-O		2.526
	amine-N	2.906	2.938
Eu	amide-O	2.371	2.462
	NO_3-O		2.467
	amine-N	2.802	2.809
Gd	amide-O	2.447	2.472
	NO_3-O		2.437
	amine-N	2.876	2.904

が大きくなるにつれて小さくなることが確認された。この傾向は，ランタノイド収縮によるものと考えられる。これらの結果は，最適化計算から得られた錯形成モデルが妥当であることを示唆している。

3-4. XANES スペクトルの測定値とシミュレーション値の比較

Fig. 8 は，La を ADAAM/SiO_2-P 吸着剤に吸着させた試料の XANES スペクトルとシミュレーション XANES スペクトルを比較したものである。シミュレーション結果から 2 つのピークが確認された。高エネルギー側のピークは N3 の寄与によるものである。低エネルギー側のピークは N1 と N2 によるものである。これらの結果は実験結果の特徴を再現している。測定された XANES スペクトルの 404.5 eV のピークは N3 に起因し，400.5 eV のピークは N1 と N2 に起因する。次に，RE の配位が N-K 端 XANES スペクトルに及ぼす影響を調べた。構造モデルでシミュレーションした N2 の XANES スペクトルの比較を Fig. 9 に示す。まず，N2 は配位 RE が異なっても XANES スペクトルに変化はない。次に，構造モデルにおける N1 のシミュレーション XANES スペクトルの比較を Fig. 10 に示す。N1 の N-K 端 XANES スペクトルは配位 RE によって違いが見られる。La と Ce を配位した N1 の XANES スペクトルは，Eu と Gd を配位した N1 の XANES スペクトルよりもピークの立ち上がりが早い。Fig. 4 に示す XANES スペクトルの測定結果でも同様の現象が確認された。これは ADAAM に配位する RE が N1 と相互作用していることを示しており，この相互作用の傾向は ADAAM に配位する RE によって異なると言える。ADAAM による選択性は，配位する金属原子の f 軌道電子と N1 との相互作用の違いによることが以前に示唆されている [6]。以上より，XANES ピークのシフトが，RE と N1 の 4f 軌道電子間の相互作用の違いに寄与していることを示唆している。これらの結果は，3-2 で観測された RE 配位による 400 eV 付近のピークシフ

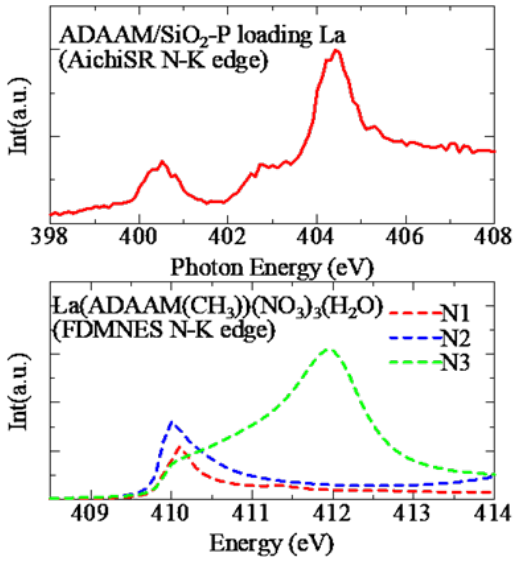


Figure 8 Comparison of experimental and simulated XANES spectra for La-ADAAM.

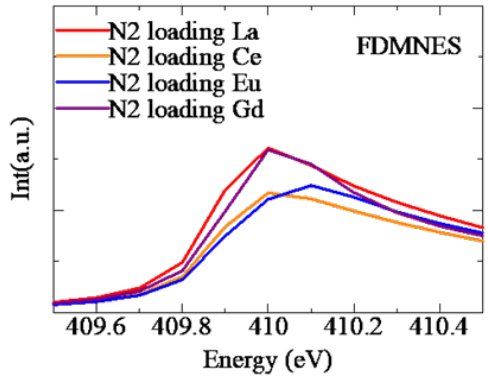


Figure 9 Evaluation of the influence of coordinated RE on ADAAM using simulated XANES spectra for N2.

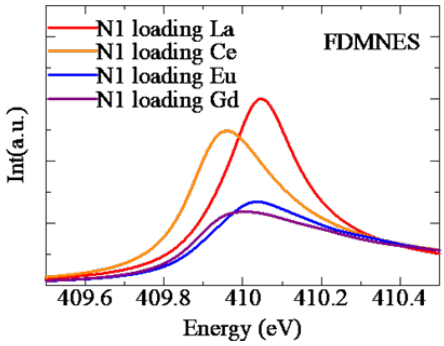


Figure 10 Evaluation of the influence of coordinated RE on ADAAM using simulated XANES spectra for N1.

トが N1 の化学状態の変化を反映していることを示している。次に，N1 ピークのシフトが ADAAM による選択性と相関するかどうかを調べた。

3-5. 構造最適化モデルの妥当性評価結果

Fig. 11,12 に，ADAAM/SiO_2-P 吸着材カラムを用いた RE 分離の結果を示す。まず，カラムに送液された La，Ce，Nd，Eu，Gd は洗浄工程で完全に回収されることが観察される。Fig.11,12 から，Nd，Eu，Gd は 2.8 BV，Ce は 4.2 BV，La は 5.6 BV にピークがあることがわかる。この結果は，ADAAM カラムによる RE の選択性が La > Ce > Nd，Eu，Gd であり，原子番号が小さいほど RE が選択的に回収されることを示している。Fig. 5 の測定 XANES スペクトルと Fig. 9 のシミュレーション XANES スペクトルから，N1 の N-K 端 XANES スペクトルのピークシフトと，選択的に分離される ADAAM に配位結合した RE との間には相関がある。したがって，N1 と ADAAM の配位原子の相互作用の違いに起因する文献 [6] で示唆されている ADAAM のアミンによる選択性は RE にも当てはまり，RE を用いて MA に対する ADAAM の選択性をシミュレーションすることは合理的であると結論づけた [1]。

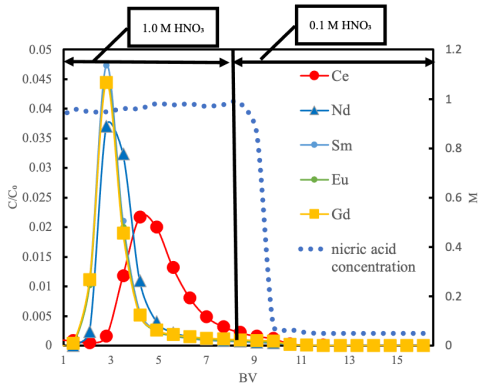


Figure 11 Ce recovery from RE mixtures by ADAAM column.

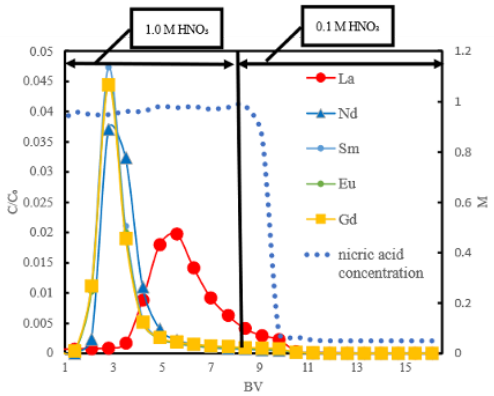


Figure 12 La recovery from RE mixtures by ADAAM column.

4. 結論

本研究は，ADAAM/SiO_2-P 吸着材の RE 選択性能と分離機構を評価し，RE を用いた MA シミュレーションの妥当性を評価することを目的として行った。ADAAM/SiO_2-P を用いたカラム実験では，ADAAM カラムによる RE 選択性は La > Ce >> Nd，Eu，Gd の順で低下することが確認された。XAFS と DFT 計算を組み合わせて RE 選択性を評価した結果，ADAAM のアミド -N からの寄与は，配位 RE の影響を受けずに N-K 端 XANES スペクトルに影響を与えることがわかった。さらに，アミン -N の XANES スペクトルは，選択的に分離された RE が ADAAM に配位した場合にピークシフトを示した。一方，FT-IR を用いてアミドの C=O 伸縮振動を評価したところ，ADAAM の C=O 伸縮振動に違いがないことが確認された。このことから，アミドは RE の分離に寄与していないといえる。以上より，ADAAM カラムによる RE の選択性と N-K 端 XANES のピークシフトの相関は，ソフトドナーであるアミン -N と RE の相互作用の違いによるものであることが示された [1]。先行研究の ADAAM による MA 選択性との類似性 [6] に基づき，RE を用いて MA を模擬することは妥当であるといえる。このことから，ADAAM による MA 相互分離プロセスにおける RE を用いた模擬試験の有用性を支持するものである。以上より，XAFS 測定と理論計算を用いてソフトドナーであるアミン -N と RE との相互作用を評価することにより，研究者が最適な分離条件を検討するための情報が得られた。

謝辞

本研究は令和 5 年度 JAEA，東京工大，都市大の共同研究による成果である。KEK PF BL-27B のデータは課題番号 2017G708，2018G568，2022G618，SPring-8 のデータは課題番号 2021A3713,2022B3716, 2023B3716 あいちシンクロトロン光センターでのデータは課題番号 201904066，202003081，202104092，202105062，202305067 で取得された。また，本研究の一部は東京都市大学ナノ科学技術学際研究センターの支援を受けたものである。

引用文献

[1] K. Minowa, S. Watanabe, M. Nakase, Y. Takahatake, Y. Ban, and H. Matsuura, Nucl. Instrum. Meth. B **556**, 165496 (2024).

[2] H. Oigawa, K. Minato, Y. Morita, T. Kimura, Y. Arai, K. Tsujimoto, and K. Nishihara, Proc. of 10th Information Exchange Meeting, Mito, Japan; OECD/NEA: Paris,123 (2010).

[3] K. Nagoshi, T. Arai, S. Watanabe and Y. Sano, J. Ion Exch. **28**, 11 (2017).

[4] H. Suzuki, Y. Tsubata, T. Kurosawa, H. Sagawa, and T. Matsumura, J. Nucl. Sci. Technol. **54**, 1163 (2017).

[5] K. Saga, H. Suzuki, T. Matsuura, and T. Tsukahara, Anal. Sci. **35**, 461 (2019).

[6] M. Kaneko, H. Suzuki, and T. Matsumura, Inorg. Chem. **57**,14513 (2018).

[7] T. Ressler, J. Synchrotron Rad. **5** 118 (1998).

[8] A.L. Ankudinov, B. Ravel, J.J. Rehr, and S.D. Conradson, Phys. Rev. B **58**, 7565 (1998).

[9] H. Sugiyama, H. Murase, T. Nomoto and Y. Takeda, J. Synchrotron Rad. **30**, 847 (2023).

[10] Gaussian 16, Revision B.01, Frisch, M.J. et al., Wallingford CT (2016) GaussView 5.0. Wallingford, E.U.A.

[11] J. Perdew, M. Ernzerhof, and K. Burke, J. Chem. Phys. **105,** 9982 (1996).

[12] B. P. Pritchard, D. Altarawy, B. Didier, T. D. Gibson, and T. L. Windus, J. Chem. Inf. Model. **59**, 4814 (2019).

[13] F. Weigend, and R. Ahlrichsb, Phys. Chem. Chem. Phys. **7**, 3297 (2005).

[14] R. Gulde, P. Pollak F. and Weigend, J. Chem. Theory Comput. **8**, 4062 (2012).

[15] H. TOYUKI, Yogyo-Kyokai-Shi **85,** 544 (1977).

[16] 広瀬一豊，井橋良江，田口祥子，吉沢正夫，工業化学雑誌 **69**, 240 (1966).

（原稿受付：2024 年 9 月 5 日）

著者紹介

箕輪一希　Kazuki MINOWA

東京都市大学　総合理工学研究科　共同原子力専攻（現：日本原子力研究開発機構　核燃料サイクル工学研究所）

〒 319-1194　茨城県那珂郡東海村村松 4-33

e-mail: minowa.kazuki@jaea.go.jp

最近の研究：普通ポルトランドセメント，ジオポリマー等を用いた廃棄体の技術開発

渡部創　Sou WATANABE

日本原子力研究開発機構　核燃料サイクル工学研究所

〒 319-1194　茨城県那珂郡東海村村松 4-33

e-mail: watanabe.sou@jaea.go.jp

最近の研究：水素及びアルゴンイオンビーム照射による有機溶媒中のランタニド錯体の荷電粒子誘起発光

中瀬正彦　Masahiko NAKASE

東京工業大学　科学技術創成研究院　ゼロカーボンエネルギー研究所　准教授

〒 152-8550　東京都目黒区大岡山 2-12-1 N1-1

e-mail: nakase.m.aa@m.titech.ac.jp

最近の研究：分散型台帳技術を活用した放射性物質データ管理システム NEUChain の構築

高畠容子　Youko TAKAHATAKE

日本原子力研究開発機構　核燃料サイクル工学研究所

〒 319-1194　茨城県那珂郡東海村村松 4-33

e-mail: takahatake.yoko@jaea.go.jp

最近の研究：多孔質チタン酸塩吸着材の開発，福島第一原子力発電所原子炉建屋等で発生している建屋スラッジへの核種移行評価，アパタイトへの Cl の閉じ込め手法の確立

伴康俊　Yasutoshi BAN

日本原子力研究開発機構　原子力科学研究所

〒 319-1106 茨城県那珂郡東海村大字白方 2-4

e-mail: ban.yasutoshi@jaea.go.jp

最近の研究：第 3 級アミン窒素を含む抽出剤による塩酸溶液から白金族元素等のイオン対抽出

松浦 治明　Haruaki MATSUURA

東京都市大学 理工学部原子力安全工学科 准教授

〒 158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

e-mail: hmatuura@tcu.ac.jp

最近の研究：溶融塩媒体を用いた有用元素の分離回収プロセスの開発，ガラス中白金族合金の化学状態解析

放射光電子分光を用いた強相関透明素子の電子状態に関する研究

神田龍彦 [1]，志賀大亮 [1]，湯川龍 [2]，北村未歩 [2]，堀場弘司 [2]，吉松公平 [1]，組頭広志 [1,2]
[1] 東北大学 多元物質科学研究所，[2] 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

Electronic structure of strongly correlated transparent electronic devices studied by in situ photoemission spectroscopy

Tatsuhiko KANDA[1], Daisuke SHIGA[1], Ryu YUKAWA[2], Miho KITAMURA[2], Koji HORIBA[2], Kohei YOSHIMATSU[1], Hiroshi KUMIGASHIRA[1,2]
[1]IMRAM, Tohoku University, [2]IMSS, High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

強相関伝導性酸化物は，酸化物半導体に代わる次世代の透明素子材料として期待されている。さらに，近年においては，その量子井戸構造において発現する特異な量子化状態を用いた新しい原理のデバイス応用も提案されている。そこで本研究では，強相関伝導性酸化物 $SrVO_3$ と透明な酸化物半導体 $SrTiO_3$ の混晶である $SrTi_{1-x}V_xO_3$ に注目し，透明強相関素子への応用を目的とした研究展開を行った。放射光解析を駆使して強相関量子化状態を明らかにすることで，透明モットトランジスタが実現する可能性を明らかにした。

1．はじめに

ディスプレイや太陽電池など幅広い分野で使用されている透明素子は，高度情報化社会を支えるために，さらなる高伝導度化および広い波長領域での透明化が望まれている。しかしながら，酸化インジウムスズ（ITO）に代表される従来の酸化物半導体では，その素子性能の向上は原理的な限界を迎えつつある。そのため近年，強相関伝導性酸化物が新たな透明素子材料として注目されている [1]。透明強相関酸化物は，透明で高いキャリア濃度を持つことから高性能の透明電極応用が期待されるだけでなく，その量子井戸（QW）構造において特異な量子化状態を形成することが明らかになっており，共鳴トンネル効果によるモットトランジスタなどの透明デバイス応用も期待されている [2]。

そこで本研究では，透明な強相関伝導性酸化物 $SrVO_3$ と酸化物半導体 $SrTiO_3$ の混晶である $SrTi_{1-x}V_xO_3$（STVO）[3] に注目し，強相関酸化物の透明素子への応用を目的とした研究展開を行った。具体的には，放射光電子分光を用いて電子状態を明らかにすることで，透明電極材料へのスクリーニングとモットトランジスタへの応用可能性の検討を行った。

2. 実験

実験は，放射光実験施設フォトンファクトリーのビームライン 2A MUSASHI に設置された「その場（*in situ*）光電子分光 + レーザー分子線エピタキシ複合装置」を用いて行った。Nb:$SrTiO_3$ (Nb = 0.05 wt.%) (001) 基板上に STVO 薄膜を作製し，超高真空下で接続されたチャンバー間で試料を搬送することで，試料表面を一度も大気に曝すことなく *in situ* での放射光電子分光測定を行った。

3．結果と考察

3-1. $SrTi_{1-x}V_xO_3$ 薄膜の透明電極材料スクリーニング [4]

透明電極材料としての性能を決定する重要なパラメータは，キャリア密度（n）と伝導電子の有効質量（m^*）の比 n/m^* である。強相関伝導性酸化物においては，10^{23} cm^{-3} もの n を持つにもかかわらず，m^* が大きいため，プラズマ振動数が可視光以下になる。このことを利用して，既存の酸化物半導体に代わる新たな透明電極材料になることが期待される。STVO では，組成 x を変えることで（Ti 置換により n を変化させることで），n/m^* を連続的に制御できると考えられる。この可能性を検討するために，角度分解光電子分光（ARPES）を用いて，透明電極材料へのスクリーニングを行った。

Fig. 1 に STVO 薄膜（x = 0.4–1.0）100 分子層（ML）における ARPES 測定結果を示す。x の減少に伴いフェルミ準位（E_F）上の強度が弱くなり，x = 0.4 ではエネルギーギャップが形成され絶縁体になっていることがわかる。このことから，透明電極の候補は $x > 0.4$ の金属領域であると考えられる。そこで，金属領域において性能指数 n/m^* の制御可能性を検討するために，フェルミ波数（Fig 1 の MDC 上の矢印）から n を，バンド分散の tight-binding フィッテイング結果から m^* に対応する質量増強因子 $1/Z$ をそれぞれ求め，組成 x に対しプロットしたものを Fig. 2 に

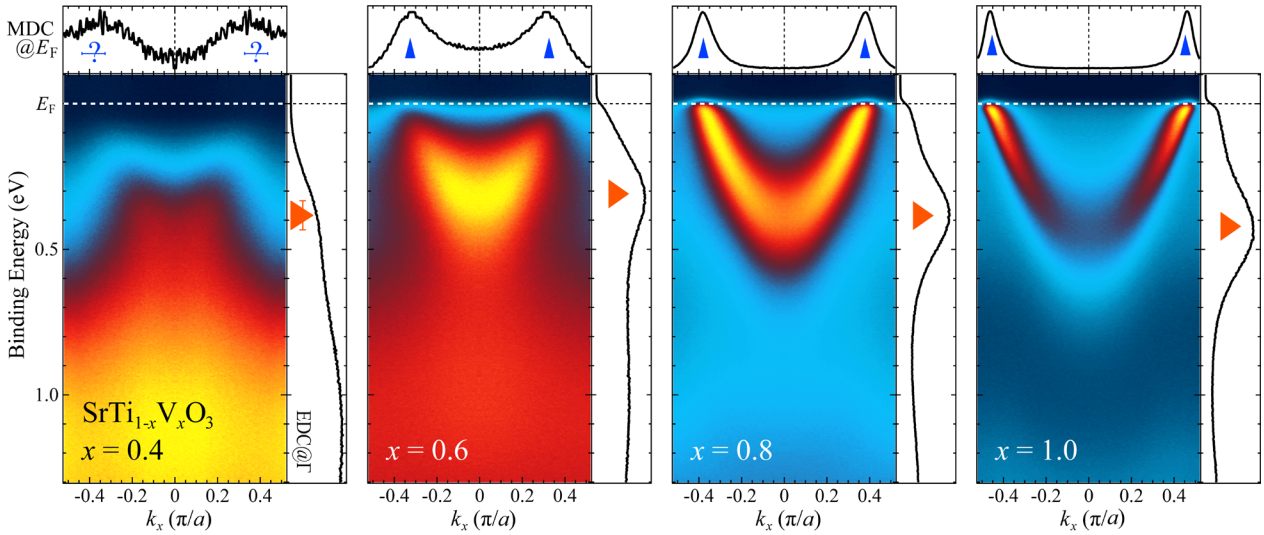


Figure 1 *In situ* ARPES intensity plot along the k_x (Γ-X) direction for STVO. The intensity plots are symmetrized with respect to the Γ point (k_x = 0). The MDCs at E_F are shown at the top of the respective ARPES images, while the EDCs at the Γ point are on the right-hand side of each image.

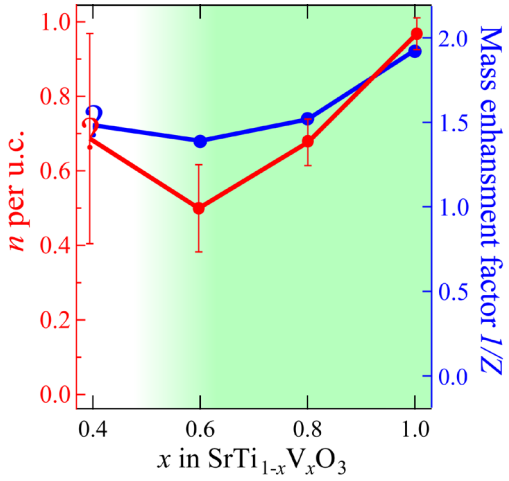


Figure 2 Plots of n and $1/Z$ as a function of x obtained from ARPES measurements.

示す。この結果より，STVO は金属領域において x の減少に伴い n と m^* がいずれも減少するが，性能指数 n/m^* の制御は n の変化が支配的であることが明らかになった。このことから，組成 x により性能指数 n/m^* の値を制御可能であると結論づけた。ここで，Fig. 1 の E_F 上の運動量分布曲線（MDC）に注目すると，x の減少に伴いピーク幅が大きくなっていることが見て取れる。MDC ピーク幅は電子の平均自由行程（λ）に反比例することから，この結果は x の減少に伴い λ が減少していることを示している。つまり，Ti の化学置換による λ の減少により電気伝導度が急激に低下すると考えられる。そのため，n/m^* と λ の値の最適化を図ることが重要である事を指摘した。

3-2. $SrTi_{1-x}V_xO_3$ 量子井戸の量子化状態 [5]

QW 構造を用いた強相関電子の量子閉じ込めは，次元性の低下に伴った相関電子のスピン・電荷・軌道間の複雑な相互作用を通して，特異な量子化現象をもたらす。そのため近年，QW 構造を用いて強相関電子の波動関数を制御することで On/Off 制御を行う，新たな原理のモットトランジスタが提案されている [2]。このモットトランジスタを透明な強相関伝導性酸化物で構築できれば，透明なモットトランジスタの実現が可能になると期待される。しかし，強相関酸化物においては，量子化状態が観測されない物質も多々報告されるなど，この量子化状態については明らかになっていないことが多い。例えば，$LaNiO_3$ や $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ の QW 構造では，バンド計算からは量子化準位が形成されると予想される構造でも QW 状態は観測されていない [5-7]。そのため，本研究では，デバイス構造設計の第一段階として，透明モットトランジスタ実現に向けた強相関酸化物における量子化条件の決定を行った。

ここで，QW 状態はポテンシャル井戸に閉じ込められた電子の定在波によって生じていることから，QW 状態の形成は電子の平均自由行程 λ とポテンシャル障壁（表面・界面）における電子の反射率に密接に関係していると考えられる。そこで，表面および界面での反射率が十分高く，λ を系統的に制御することのできる STVO[4] の QW 構造（6 ML）を用いて実験を行った。

Fig. 3 に STVO QW（6 ML）の ARPES 像を示す。Fig. 1 の 100 ML の結果と比較すると，明確な量子化状態が形成されていることが見て取れる。SVO（STVO x = 1.0）におけるこれまでの結果 [8] から，観測されたサブバンド構造は高結合エネルギー側から量子数 n = 1 と 2 の量子化準位に対応すると考えられる。E_F 上の MDC に注目すると，x の減少に伴ってピーク幅が増大している。MDC ピーク幅は λ に反比例するため，この結果は，厚膜の場合（Fig. 1）と同様，QW 構造においても x の減少に伴い λ が減少していることを示している。さらに，MDC ピーク幅の増大（λ の減少）に伴って，n = 2 の量子化準位の強度も減少して

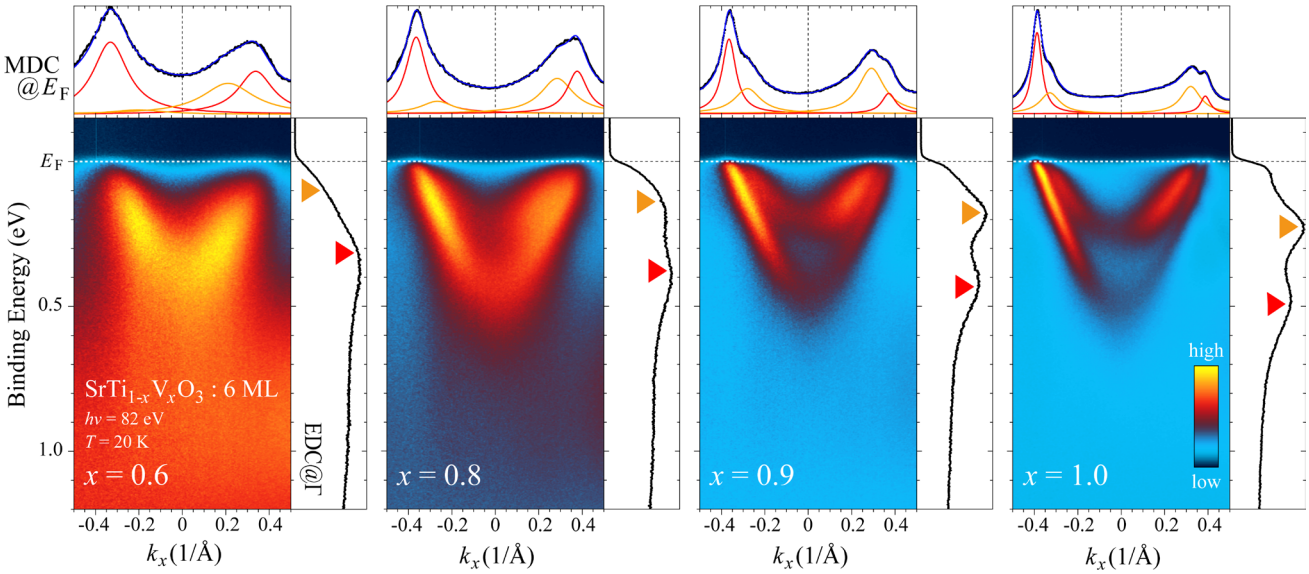


Figure 3 *In situ* ARPES intensity plot along the k_x direction for STVO QW structures. The MDCs at E_F are shown at the top of the respective ARPES images, while the EDCs at the Γ point are on the right-hand side of each image. In the MDCs, the fitting results for n = 1, n = 2, and total are overlaid by dark gray, light gray, and black curves, respectively.

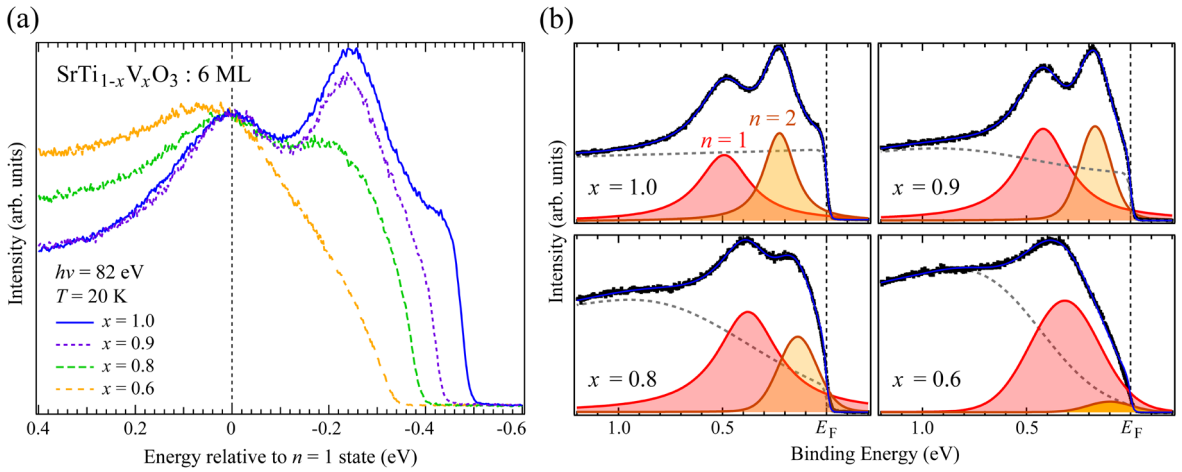


Figure 4 Quantitative analysis for QW states in λ-controlled STVO QWs. (a) ARPES spectra at the Γ point for STVO QWs. The data are the same as the EDCs shown in Fig. 3, but are plotted aligned at the peak position of n = 1. (b) Line-shape analysis of the EDCs for STVO QW states. The EDCs have been fitted to a combination of two Voigt functions corresponding to n = 1 (red hatched) and n = 2 (orange hatched).

いることが見て取れる。ここで，量子化準位の強度変化を評価するため，それぞれの量子化準位における Γ 点でのエネルギー分布曲線（EDC）をフィッティングした結果を Fig. 4 に示す。x の減少に伴って n = 2 の強度が n = 1 に対して相対的に減少し，x = 0.6 において消失していることがわかる。これらの結果は λ と量子化状態に明確な相関関係があることを示している。この関係を定量的に理解するため，MDC フィッティングから λ の値を決定し，量子化状態の強度比と λ の関係を求めた結果を Fig 5 に示す。この結果から，量子化状態と λ の間に線形の関係があること，特に λ が遷移金属のイオン間距離より小さい時（Ioffe–Regel criterion）に量子化状態が消失すること，が明らかになった。このことから，強相関酸化物 QW 構造における強相関電子の量子化には，λ が Ioffe–Regel criterion より大きいことが必要な条件であると結論づけた [5]。

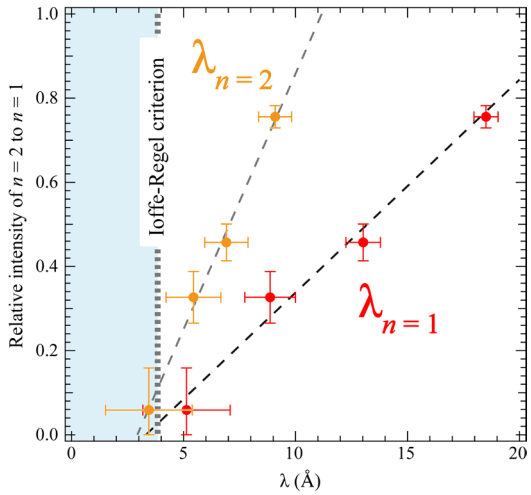


Figure 5 Relationship between QW formation and λ. The Ioffe–Regel criterion is indicated by a dotted line.

4．まとめ

本研究では，放射光 ARPES を用いて強相関伝導性酸化物の応用可能性を検討した。その結果，強相関酸化物 STVO では，組成 x の制御により最適な透明電極性能が得られること，また，その QW 状態は λ と相関があることを明らかにした。以上の結果から，STVO の組成 x を最適化することで，強相関透明電極と強相関量子化状態を用いた透明モットトランジスタが実現する可能性を示した。今後，本研究で得られた知見に基づき，最適な透明モットトランジスタ構造を設計することで，次世代の透明素子の実現が期待される。

謝辞

本研究は，物質構造科学研究所の放射光共同利用実験（課題番号 2022T001，及び 2021S2-002）のもとに実施されたものであり，長谷川直人，和田亜里斗，早坂亮太朗，増竹悠紀，徳永凌祐，Duy Khanh Nguyen，Xianglin Cheng（東北大学多元物質科学研究所）各氏との共同研究である。

引用文献

[1] L. Zhang *et al.,* Nat. Mater. **15**, 204 (2016).
[2] R. Yukawa *et al.*, Nat. Commun. **12**, 7070 (2021).
[3] M. Gu *et al.*, Appl. Phys. Lett. **103**, 223110 (2013).
[4] T. Kanda *et al.,* Phys. Rev. B **104**, 115121 (2021).
[5] T. Kanda *et al.,* Commun. Mater. **4**, 27 (2023).
[6] E. Cappelli *et al*., APL Mater. **8**, 051102 (2020).
[7] A. Tebano *et al*. Phys. Rev. B **82**, 214407 (2010).
[8] K. Yoshimatsu *et al*., Science **333**, 319 (2011).

（原稿受付日：2024 年 9 月 25 日）

著者紹介

神田龍彦　Tatsuhiko KANDA

東北大学多元物質科学研究所　助教
〒 980-8577　宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1
e-mail: tatsuhiko.kanda.e7@tohoku.ac.jp
略歴：2024 年東北大学大学院理学研究科博士課程（化学専攻）修了，同年 4 月から現職。博士（理学）。
最近の研究：強相関量子井戸構造の設計とその放射光分光

志賀大亮　Daisuke SHIGA
東北大学多元物質科学研究所　助教
〒 980-8577　宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1
e-mail: dshiga@tohoku.ac.jp

湯川龍　Ryu YUKAWA
東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター
准教授（現所属）
〒 980-8572 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1
e-mail: r.yukawa@tohoku.ac.jp

北村未歩　Miho KITAMURA
量子科学技術研究開発機構 NanoTerasu センター
主任研究員（現所属）
〒 980-8572　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1
e-mail: kitamura.miho@qst.go.jp

堀場弘司　Koji HORIBA
量子科学技術研究開発機構 NanoTerasu センター
ビームラインググループ　グループリーダー（現所属）
〒 980-8572　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1
e-mail: horiba.koji@qst.go.jp

吉松公平　Kohei YOSHIMATSU
東京工業大学物質理工学院応用化学系　准教授（現所属）
〒 152-8552　東京都目黒区大岡山 2-12-1
e-mail: yoshimatsu.k.aa@m.titech.ac.jp

組頭広志　Hiroshi KUMIGASHIRA
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: kumigashira@tohoku.ac.jp

原子配列の乱れをもつフッ化物イオン導電性固体電解質のイオン伝導メカニズムの解明－リチウムイオン電池を凌駕する次世代蓄電池の創成を目指して－

2024 年 9 月 6 日
高エネルギー加速器研究機構，J-PARC センター
京都大学，総合研究大学院大学，茨城大学
ファインセラミックスセンター

革新型蓄電池（ポスト・リチウムイオン電池）の開発競争をリードする上で，全固体フッ化物電池で使用するフッ化物イオン導電性固体電解質は，今後の蓄電池開発において重要なキーマテリアルとなります。高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所（総合研究大学院大学 先端学術院，茨城大学大学院 理工学研究科）森一広教授，同研究所 ソン スンヨプ 特任助教，齊藤高志 特別准教授，京都大学成長戦略本部 佐藤和之 特定研究員，福永俊晴 研究員，同工学研究科 安部武志 教授，ファインセラミックスセンター 小川貴史 主任研究員，桑原彰秀 主席研究員の共同研究グループは，フッ化物イオン導電性固体電解質 Ca0.48Ba0.52F2 のイオン伝導メカニズムを原子レベルで解明しました。

蛍石型構造をもつフッ化カルシウム（CaF2）やフッ化バリウム（BaF2）は，全固体フッ化物電池において重要な高電圧下での利用が期待されますが，その反面，イオン伝導率が低い物質です。CaF2 と BaF2 を原子レベルで混合することで，イオン伝導率が飛躍的に向上することが知られていましたが，CaF2–BaF2 系のフッ化物イオン（F–）の分布やその伝導メカニズムは不明のままでした。

本研究では，熱プラズマ法で作製した Ca0.48Ba0.52F2 固体電解質を用いて中性子回折実験を行い，本系の原子配列と核密度分布を精密に決定しました。その結果，異なるイオン半径をもつ Ca と Ba が混合したことで構造歪みを誘発し，それによって F の原子配列が局所的に乱れることがわかりました。さらにフッ化物イオン伝導経路の可視化に成功し，F の原子配列の乱れが伝導経路内のイオン流れ（イオン伝導率）の向上に大きく寄与していることを明らかにしました。

本研究成果は，2024 年 9 月 5 日（米国時間）に，米国化学会（ACS）発行のエネルギー材料科学の専門誌「ACS Applied Energy Materials」のオンライン版に掲載されました。（この記事の続きは https://www.kek.jp/ja/press/202409061400 をご覧下さい）。

最も単純な「原子」ポジトロニウムをレーザー光によって 1000 万分の 1 秒で極低温にすることに成功－反粒子を含む原子の精密科学によって物理学の謎にせまる大きな第一歩－

2024 年 9 月 12 日
東京大学
高エネルギー加速器研究機構
産業技術総合研究所

東京大学大学院工学系研究科の吉岡孝高准教授，周健治助教と，同大学大学院理学系研究科の石田明助教らによる研究グループは，高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所，産業技術総合研究所と共同で，レーザー光によるポジトロニウムの急速な冷却を世界で初めて実現しました。

独自に開発したレーザー光源を使用することで，理論提案から 30 年の間実現が待たれていたポジトロニウムのレーザー冷却に成功し，わずか 1000 万分の 1 秒の間に，従来よりも桁違いに低温の気体にできることを証明しました。物理学は，宇宙に反粒子がほとんど残っていないことや，暗黒物質の起源など，多くの謎を抱えています。これを解決するため，基礎理論の綻びがどこにあるのかを検証する研究が世界中で進められています。本研究成果は，電子とその反粒子だけでできた最も基本的な原子を使って，基礎理論が現実をどこまで正確に表現できているのか，さらには反粒子の質量や重力の影響を精密に調べる研究を可能とするもので，今後大きな学際的研究分野の形成が期待されます。

本研究成果は 2024 年 9 月 11 日，科学誌 Nature に掲載されました。（この記事の続きは https://www.kek.jp/ja/press/202409120930 をご覧下さい）。

不整脈誘発薬剤との結合状態を解明 －副作用原因タンパク質 hERG チャネルの構造が安全な薬設計を導く－

2024 年 9 月 30 日
千葉大学
高エネルギー加速器研究機構

千葉大学大学院理学研究院（膜タンパク質研究センター，分子キラリティー研究センター兼任）の村田武士教授，大学院医学研究院の斎藤哲一郎教授，大学院医学薬学府博士後期課程 2 年の宮下靖臣らは，オックスフォード大学，高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所との共同研究により，薬剤の副作用によって引き起こされる薬剤誘発性心突然死の原因タンパク質である hERG チャネルと副作用誘発薬剤の結合モデルを，クライオ電子顕微鏡（Cryo-EM）を用いて明らかにすることに成功しました。本研究成果は，hERG チャネルと薬剤の結合情報に基づいて薬剤の設計や改変を可能にし，より安全な新薬を迅速に市場に送り出すための重要な手がかりとなることが期待されます。

本論文は，2024 年 9 月 24 日に米国科学誌 Structure にオンラインで掲載されました。（この記事の続きは https://www.kek.jp/ja/press/202409301000herg をご覧下さい）。

超伝導の空間的な乱れを可視化する新たな顕微観察技術の開発 －超伝導材料の高性能化に役立つ新手法として期待－

2024 年 10 月 28 日
広島大学
量子科学技術研究開発機構
高エネルギー加速器研究機構

広島大学大学院先進理工系科学研究科博士課程後期 3 年の宮井雄大，広島大学放射光科学研究所の島田賢也教授，量子科学技術研究開発機構の岩澤英明プロジェクトリーダー（広島大学放射光科学研究所客員研究員），および高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の小澤健一教授らを中心とする研究チームは，放射光を用いた顕微実験技術とデータサイエンスの手法を組み合わせ，銅酸化物が示す高温超伝導の強さを表す「超伝導ギャップ」が，10 マイクロメートル（100 分の 1 ミリメートル）ほどの微小なスケールで，空間的に不均一であることを世界で初めて可視化することに成功しました。この発見は，超伝導の局所的な変化を引き起こす要因を解明するうえで重要な一歩であり，将来的には不均一性の制御を通じて，銅酸化物をはじめとする高温超伝導材料の高性能化や新たな超伝導現象の解明に貢献することが期待されます。高温超伝導体は，安価な冷却材である液体窒素で冷却できる温度で，電気抵抗がゼロになることから，省エネルギー技術の発展や脱炭素社会の実現に大きな期待が寄せられています。この高温超伝導体を用いたエネルギーデバイスの実現には，超伝導ギャップが大きく，かつ空間的に乱れのない材料を開発する必要があります。しかし，これまで超伝導ギャップの空間分布を正確に観察する手段がなく，その実現が望まれていました。そこで本研究では，これを可能にする顕微技術を開発しました。また，本開発技術により空間分解能が向上し，得られる実験データ量が数百倍以上増加するため，データサイエンスの手法で処理を行い，可視化する手法も開発しました。これらにより高温超伝導を特徴付ける超伝導ギャップが，10 マイクロメートルほどの微小領域で，空間的に不均一になっていることを世界で初めて可視化することに成功しました。さらに，高温超伝導の特性を最も強く示す電子の空間分布まで調べられるようになり，超伝導の不均一性の要因を探ることも可能となりました。

本技術は，高温超伝導デバイスの評価や動作原理の解明などにも広く適用できる実験手法であるため，物質・材料科学や応用科学分野での大きな貢献が期待されます。

本成果は英国 Taylor & Francis グループが発行する Science and Technology of Advanced Materials に 10 月 28 日付け（現地時間）で掲載されました。（この記事の続きは https://www.kek.jp/ja/press/202410281300arpes をご覧下さい）。

AOFSRR School 2024 参加報告

放射光実験施設　熊木文俊

The 5th Asia-Oceania Forum for Synchrotron Radiation Research (AOFSRR) School に参加した様子について報告いたします。AOFSRR School は，アジア・オセアニア地域の大学院生や若手研究者を対象とした放射光科学について幅広く学ぶことを目的としたスクールです。アジア・オセアニア地域の放射光施設の持ち回りで行われており，今年は 2024 年 8 月 12 日から 16 日まで，オーストラリアのメルボルンにあるオーストラリア原子力科学技術機構（ANSTO）運営の放射光実験施設 Australian Synchrotron で開催されました。

メルボルンはオーストラリア第 2 の都市であり，Australian Synchrotron はメルボルン国際空港から車で約 40 分，公共交通機関で 1 時間半の場所にあります。Australian Synchrotron は 2007 年から運転が始まった第 3 世代の放射光施設で，Photon Factory と比べて 20 年以上新しく，オセアニア地域における唯一の放射光実験施設です。周辺には世界大学ランキング上位のモナシュ大学やショッピングセンター，住宅地が広がり，Photon Factory と比較して，賑やかな場所に立地しています。一方で，周囲には様々な木々が多く植えられており，日本では見たことがないカラフルな野鳥が多く飛来していました。スクールが実施された 8 月は日本では記録的な猛暑が続いていましたが，南半球にあるオーストラリアは冬であり，日本の 3 月ごろのような肌寒さもありつつ，花々が咲き始め春を感じられる穏やかな気候でした。

今回のスクールの参加者数は約 45 名で，日本からは私以外に UVSOR，SPring-8，HiSOR から各 1 名が派遣されていました。日本以外では，オーストラリア，中国，インド，

図 1　メイン会場となった Australian Synchrotron の National Centre の様子。

図 2　Australian Synchrotron 施設見学の様子。（左上 : Australian Synchrotron 正面，左下 : 実験ホール全景，右上 : 軟 X 線ビームライン，右下 : 粉末 X 線回折ビームライン。）

韓国，シンガポール，台湾，タイ，インドネシア，マレーシア，フィリピン，ベトナム，パキスタンから，多様なバックグラウンドを持つ参加者が集まっていました。1 日目には，メイン会場となった National Centre（図 1）で所長挨拶とオーストラリア名物のミートパイなどを囲んで立食形式の歓談が行われました。今回のスクールでは，このような気軽に歓談できる機会が数多く設けられており，海外の放射光実験事情や研究内容について多様な国籍の参加者の方々と意見交換することができました。

2 日目からは本格的な講義や実習が始まりました。2 日目には，主に加速器や放射光の原理に関する講義が集中していました。Australian Synchrotron は 2037 年まで運転が継続される予定であり，第 4 世代の次期光源（Australian Synchrotron 2）建設に向けた取り組みが各講義に盛り込まれていました。3 日目からは，Australian Synchrotron に全部で 14 本（+ 4 本が建設中）ある各種ビームラインの紹介や生物，医学，農業，鉱業，文化財分析への応用など，かなりバラエティに富んだ講義が行われました。オーストラリアの政策や文化を反映した研究テーマや放射光によるガン治療，イメージング技術への力の入れ様など，施設の特色が色濃く反映されており非常に興味深いものでした。

2 日目の講義後には，Australian Synchrotron 実験ホールの施設見学があり，各種ビームラインを 10 人程度のグループに分かれてまわりました（図 2）。各ビームラインでは，試料位置の制御などに高度なロボット技術が導入されていたことが印象に残りました。

スクールの 4 日目の午前中には，ビームラインでの実習が行われました。参加者は「Soft X-ray Spectroscopy」，「Infrared Microscopy」，「Micro-Computed Tomography」，「X-ray Fluorescence Microscopy」，「Macromolecular Crystallography」，「Imaging and Medical Beamline」，「Medium

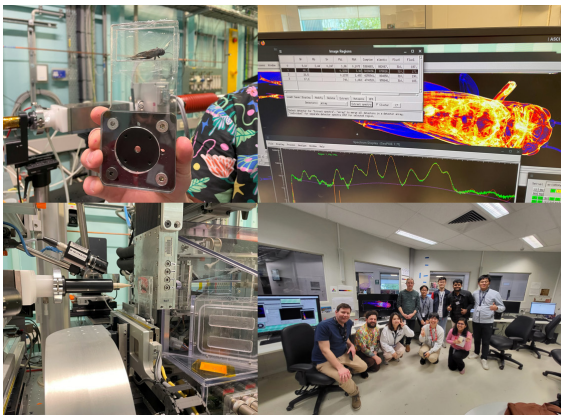


図 3　ビームライン実習の様子。(左上 : ホルダー内に封入されたサンプル（コオロギ), 左下 : X 線蛍光マッピング測定のためのセットアップ，右上 : 測定データの解析，右下 : 集合写真。)

図 4　エクスカーションでの集合写真。

Energy X-ray Absorption spectroscopy」,「Powder Diffraction」の 9 つから事前に希望したものに，4 ～ 5 人のグループに分かれて実習を行いました。私が選択した「X-ray Fluorescence Microscopy」では，コオロギの蛍光マッピングを測定し，そのカリウムや銅，鉄の分布を調べる実習を行いました（図 3)。残念ながら実際の測定では測定に数日間かかることもあり，実習はデモンストレーションのみでしたが，その高分解能な計測システムについてビームライン担当者の David Paterson 氏や Andrew Langendam 氏から詳細に解説を聞くことができました。実習の後にはエクスカーションがあり，オーストラリア固有の動物を見ることができました（図 4)。

最終日には，この実習の内容を含めて各グループが AOFSRR2024 で体験したことや自身の研究について，10 分間のグループ発表を行いました。優秀な発表には景品が授与され，私たちのグループは全グループ中 4 位で表彰を受けることができました。

本スクール全体を通じて，放射光科学について幅広く学べただけでなく，オーストラリアの文化や産業などとも強く結びついた Australian Synchrotron の特徴を理解することができました。普段は接点のないアジア・オセアニア地域の放射光研究者の方々との交流や議論を通して，日本の放射光施設や自分自身の研究の世界における立ち位置への理解が深まり，非常に有意義な時間を過ごすことができました。印象に残ったのは，参加者から「日本はたくさん放射光実験施設を持っていて非常に羨ましい。」という話を何度も聞いたことです。Photon Factory を始め SPring-8 や UVSOR など，多様な放射光実験施設がある日本に比べ，海外では放射光実験は身近ではなく，例えば Australian Synchrotron では課題の採択率が約 10 % と非常に低く，実験には高いハードルがあるようです。私は，Photon Factory で溶液の時間分解軟 X 線吸収分光法の開発を研究テーマとして，これまで長時間のビームタイムを使用してきた経緯もあり，その有難さを改めて認識することができました。

最後に，本スクールへの参加の貴重な機会をいただき，関係者の皆様には改めてお礼を申し上げます。また，スクール期間中，手厚いサポートをしてくださった現地スタッフの皆様，一緒に楽しい時間を過ごさせたいただいた参加者の皆様に改めて感謝を申し上げます。

XRM2024(16th International Conference on X-Ray Microscopy) 参加報告

放射光実験施設　丹羽尉博

2024 年 8 月 12 日～ 16 日の期間で X 線顕微鏡に関する国際会議 16th International Conference on X-Ray Microscopy（XRM2024）がスウェーデンのルンドで開催された。ルンドはスウェーデン国内で二番目に古い大学であり，ノーベル賞受賞者やスウェーデン首相を多く輩出する名門ルンド大学を要する人口約 9 万人の都市である。その人口の約 4 割をルンド大学の大学職員と大学生が占めることから大学の都市と呼ばれている。そして，ここルンドには世界で最初の第四世代放射光施設 MAX IV があることは我々放射光関係者の誰もが知るところだろう。そんな世界最先端の放射光施設を有するルンドの中心部には 12 世紀半ばに建てられたルンド大聖堂やルンド大学図書館など歴史的建造物が多く見られ，その周辺には石畳がつづく中世の趣を残す静かな町並みが広がっている。しかし，ダウンタウンから街の東北端にある MAX Lab. に向かう途中にはエリクソンなど多くのハイテク企業が社屋を構え，中世と現代が共存する都市であった。MAX Lab. までのエリアには，真新しい高層アパートが建ち並んでいたが，建設中のものも多く，まだまだ開発が進行中という様子だった。大学，放射光施設，ハイテク企業からなる都市の構造はどこか日本の某研究学園都市（中世の趣はないけれど）を思わせるが，物質，材料研究に不可欠な国内唯一，しかも世界最先端の放射光施設を有する都市としては自然な発展なのかも知れない。会議開催期間は日本ではちょうどお盆にあたる時期

ルンド大学図書館。日本の某有名アニメ映画に出てきそうな趣のある建物。

であったが，ルンドでは晴天下の日中でも外気温は 25℃程度で湿度も低く，朝夕に半袖で出歩くと肌寒いくらいの気候であり，最低気温がルンドの最高気温よりも高い日本から訪れた筆者はその過ごしやすさに大いに気分をよくしていた。ところが連日 40℃に届こうかという酷暑の日本から，一転して爽やかな気候のルンドにいきなり移動したことによる気温差のせいか，滞在中に体調を崩すという大失態を演じてしまった。日本から同じ会議に参加された一部の皆さん，その節は大変ご迷惑をおかけしました。この場を借りてお詫びいたします。

XRM は 2 年に一度開催されるのが通例であったが，2018 年にサスカトゥーン（カナダ）で開催された第 14 回の会議を最後に，2020 年はコロナ禍により中止，2022 年の前回会議は台湾主催のバーチャル開催だったため，第 16 回となる今回は実に 6 年ぶりの現地での対面開催であった。XRM2024 は参加登録者数 350 名以上，2 つのパラレルセッションとポスターセッションから構成されていた。会議のテーマは言うまでもなくＸ線を用いた顕微鏡技術およびそれを用いた研究に関するものである。放射光からラボのＸ線まで，様々なＸ線顕微鏡に関する研究例が報告されていた。放射光施設から得られる微小ビームやコヒーレントを活用したＸ線顕微鏡では，放射光施設の性能向上が顕微鏡性能の進化に直結する。近年では第 3，第 4 世代の放射光施設から得られる低エミッタンス，高コヒーレンスな光や，技術の発展が著しい超精密加工による高精度光学素子により，集光ビームは数十 nm にまで絞られ（例えば ESRF EBS のナノイメージングビームラインでは約 17 keV のＸ線を 20 nm に集光すると報告されていた），タイコグラフィーでは 10 nm に迫る空間分解能が達成されている（例えば SIRIUS の CARNAÚBA (**C**oherent X-r**A**y **NA**noprobe **B**e**A**mline) では 15 nm の空間分解能との報告）。このように第 3，第 4 世代光源の進化により著しい発展を遂げているＸ線顕微鏡だが，本稿では空間分解能など，Ｘ線顕微鏡の性能そのものではない別の観点から会議を語ってみたい。

既に述べたとおり，放射光源性能の進化によりＸ線顕微鏡の技術，性能も大きく進化し，それを用いた先端的な研究例も数多く報告されている。それらの蓄積により，近年，放射光を用いたＸ線顕微鏡に関する一定の問題点，トレンドが見えてきたように感じた。

ひとつは得られた画像データの取り扱いである。Ｘ線ビームの微小化，コヒーレントを用いる手法による空間分解能の向上や，データ取得の高速化により，二次元もしくは三次元画像データの容量は膨大なものになる。計測技術の進歩によりデータ容量が今後益々増加するのは自明であり，その取り扱いを人の手で行うのには限界がある。本会議では必ずしも発表数は多くなかったが，画像データ取得後のデータ処理を機械学習によって実行する発表がいくつかあった。例えばニューラルネットワーク（U-Net）を用いた深層学習を用いて三次元再構成像の断層画像をセグメンテーションするベルリン工科大の取り組みでは，従来は手動で行われていた生物細胞の断層像に U-Net アーキテクチャを利用したニューラルネットワークモデルを適用することで，細胞小器官の位置，距離，濃度を決定するなど，細胞レベルでの定量解析を実現している。また，やはり深層学習を用いた CT の三次元再構成ソフトウエアの開発に関する報告も目を引いた。高精度に計測された三次元再構成画像をトレーニングモデルとすることで，実試料の画像中のノイズとアーティファクトを低減する解析ソフトウエアが報告されていた。通常，視野と空間分解能は両立しないが，狭い視野を高分解能で計測した画像をトレーニングモデルとして，広視野で測定した画像をモデルと同等の空間分解能で再構成するソフトウエアの報告もあった。

もうひとつの問題点，トレンドはビームダメージである。Ｘ線自由電子レーザーを用いた研究ではよく言われていることであるが，本会議での講演の中で放射光Ｘ線を用いたダメージに言及している発表がとても多かったのが印象的だった。ナノ集光ビームを用いた有機物や生体試料の計測では，試料を冷やしていてもダメージはほぼ不可避であり，

MAX IV 蓄積リング周辺の独特な凹凸部分に登ってみるとこのような景色だった。

そのダメージそのものをどう評価するか，という論点の発表もあった。また，本会議前日に開催されたX線顕微鏡に関するワークショップでは，”How to tame a beast ?”というテーマで試料ダメージについて議論するセッションもあり，放射光技術の進歩によってXFELのみでなく蓄積リング光源の光でも今や”Beast”となっている現状を理解することができた。

会議最終日にはMAX IV Lab. Tourがあり，MAX IVを見学する機会を得た。MAX IVでは現在16のビームラインが稼働しており，年間の運転時間およびユーザー数はそれぞれ5000時間，約1700名とのことだった。全てのビームラインが挿入光源を有し，2つのBMビームラインはビーム診断用として活用されている。2016年から運用を開始したMAX IVだが，既に具体的なアップデート（MAX 4^{U}）の計画があり，それが紹介された。MAX 4^{U}ではエミッタンスがこれまでの328 pmradから50-100 pmradまで向上することを目指すらしい。そのためにほとんどのコンポーネントの置き換えが必要とのことだった。2026年までに予算取り，2027年にTDR（Technical Design Report），2029年7月からシャットダウンし，2030年に運用再開というマイルストーンが示された。海外他施設でもSLS 2.0（2024年11月，2025年12月に段階的にシャットダウンし2026年1月完成），PETRA IV, NSLS IIアップグレード（2030年頃の完成を目指す）などが第4世代光源へのアップグレード計画を持っており，どの施設もナノレベルのイメージング技術が目玉のひとつとして掲げられていた。

現在PFが建設を目指している将来光源PF-HLSが実現すれば，そこで行われる数々の手法のひとつとして同様にX線顕微鏡が必ず挙げられるであろう。その新光源で，STXM，走査型，投影型，結像型などの様々な顕微鏡の手法を，今回のXRM2024で数多く報告されていた世界最高性能のものに作り上げていくことは当然のことながら，計測そのもの以外の，ビッグデータの取り扱いや，AIを活用した 画像処理・解析，また試料のビームダメージへの対策などが基盤技術となるような準備が必要と感じた。特にビッグデータをAI，機械学習で取り扱うことは，第3，第4世代光源でなくてもすぐに取り組めることであり，サイエンス的な興味としてだけでなく，組織のミッションとして取り組むべき課題であろうと感じた。今回のXRM2024は筆者にとって，新光源実現に向けて今から取り組むべき課題をイメージングの観点から気付かせてくれる会議であり，参加したことはとても有意義であった。次回2026年のXRMはブラジルのSIRIUSにおいて7月14日から開催される予定である。また次々回の2028年は前回オンライン開催となった台湾がリベンジの形で主催することが決定している。

XAFS夏の学校2024に参加して

放射光科学第二研究系（KEK学振特別研究員）　吉田一貴

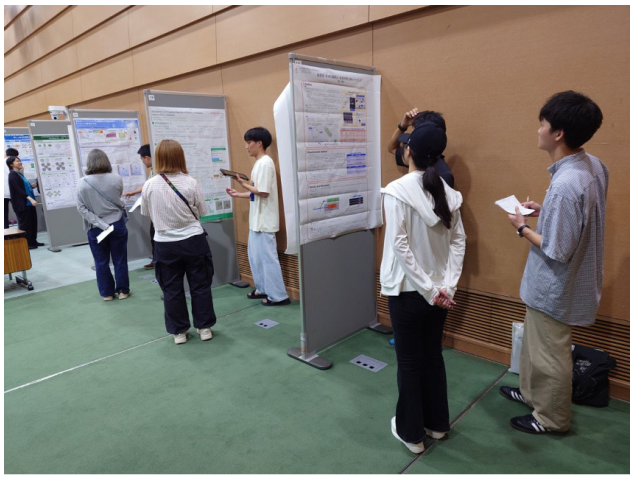
2024年8月24日から26日の3日間，立命館大学びわこ・くさつキャンパスエポック立命21（滋賀県草津市）にて開催された日本XAFS研究会主催XAFS夏の学校2024に参加した。2010年からほぼ毎年開催されており，今回は11回目の開催となる。XAFS夏の学校は，学生や若手研究者を対象とした，X線吸収微細構造（XAFS）法に関する合宿形式の勉強会であり，その内容はXAFS理論の基礎から解析実習，応用例に至るまで幅広い。初日と2日目の講義のあとには，ポスター発表と懇親会があり，参加者の間で活発な交流や議論が行われた。今回の夏の学校には，様々な大学・研究機関・企業などから約40名が参加していた。

会場となった立命館大学びわこ・くさつキャンパスは，琵琶湖の最南部に近い草津市にあり，京都駅から鉄道とバスを使用して40分ほどでアクセスできる。当日は幸運にも天気に恵まれ，軽やかな足取りで会場に向かった。初日は立命館大学の朝倉清高先生から，“光とは何か？”に始まり，EXAFS・XANESの基礎理論について講義していただいた。XAFSスペクトルから得られる情報と背景にある理論の関係について，質疑応答を交えながら詳細に説明していただき，理解を深めることができた。初日の講義の後半は，名古屋大学の唯 美津木先生から，触媒材料・高分子材料・燃料電池など幅広い機能性材料におけるXAFS法の適用例について紹介いただいた。機能性材料の解析の難しさである①複数の物質・材料・相の混在，②複数の反応，③それらの時空間的変化は，私の専門である岩石―水反応でも共通するものがあり，紹介いただいた研究例は非常に参考になった。特に，タイヤゴムの劣化メカニズムについて着目した研究例では，データ科学的手法を適用することで，劣化のトリガーとなる銅の酸化還元状態の変化とその空間分布の関係性を鮮やかに見出されていたことは印象的だった。

会場の様子

2 日目は，近畿大学の朝倉博行先生から，XAFS スペクトルの解析方法に関して講義していただいた。XAFS 解析ソフトウェアである Athena および EXAFS 解析ソフトウェアである Artemis の基本的な使い方について，デモデータを用いながら操作方法を説明していただいた。参加者は，持参した PC で実際にソフトウェアを操作しながら実習を行う形式だったため，ソフトの操作方法などについて理解を深めることができた。実習では，まず初めに Cu 箔の K 端の XAFS スペクトルの解析を行った。つづいて，Au 箔および Au ナノ粒子の XAFS スペクトルについて，Artemis を用いた EXAFS 解析実習を行った。EXAFS の解析のための手順は少々煩雑であり，参考書や WEB などの説明ではわかりにくいこともある一方で，この実習では，朝倉先生やスタッフの方からサポートを受けながら，一つ一つ丁寧に説明していただき，EXAFS の解析を実際に自分でできるようになったとともに，理解を深めることができた。実習の最後には，XANES 領域の理論計算コードである FDMNES を用いた数値シミュレーションの実習を行い，金属 Cu の XANES スペクトルを理論計算によって求め，実際のスペクトルとの比較を行った。2 日目の後半の講義では，高エネルギー加速器研究機構の山下翔平先生から，軟Ｘ線 XAS および走査型透過Ｘ線顕微鏡（STXM）に関する講義をしていただいた。軟Ｘ線と硬Ｘ線の違い，特徴，さらに具体例や応用例について説明していただいた。初日と 2 日目の午後には，ポスター発表があった。初日は 2 時間半，2 日目は 1 時間半と十分な発表時間が設けられており，参加者の間で活発な議論が行われた。ポスター発表では，燃料電池・磁性材料・蛍光材料など様々な物質を対象とした多くの研究が発表されていた。私も多様な分野・バックグラウンドの方々とコミュニケーションをとることができた。また，普段なかなか聞かれないような質問もあり良い刺激になった。

最終日は，XAFS の利用例について，立命館大学の折笠有基先生と三菱ケミカル株式会社の岡本薫先生から講義をしていただいた。折笠先生からは，電池や燃料電池などの電気化学エネルギー変換デバイスを対象とした XAFS の利用例について講義をしていただいた。電池材料の開発例では，予測した反応が実際に進行しているかの確認や，副反応を伴う難しい電磁材料の解析に XAFS が有効であることを説明していただいた。電池の充放電実験を例として，実際の XAFS スペクトルを示しながら説明していただき，解析方法の適用の仕方やどのような情報が XAFS や EXAFS から得られるかの実際を知るうえで参考になった。また，オリビン構造をもつ材料が電池材料として使われていることを紹介いただいた。オリビンは，私の専門分野である固体地球科学において，地球の上部マントルを構成する非常に一般的な鉱物として知られているため，親近感を覚えたとともに，私にとって身近な鉱物が電池材料としてのポテンシャルを持っていることに非常に興味をそそられた。つづいて，岡本先生からは化学会社での XAFS 活用例を紹介していただいた。材料開発から化学製品が世の中に出るまでの過程の説明や化学産業と分析技術のつながり，さらにはキャリアパスに関する話まで，XAFS に限らず，幅広い話題についてお話いただいた。また，化学会社での XAFS 利用例としては，触媒・傾向材料・抗菌材料などの機能性物質の作用・特性の調査や，不純物の調査に使われていることを紹介いただいた。特に，触媒・無機材料の反応機構と炭素材料の不純物・添加剤の解析例について詳細に説明いただいた。触媒・無機材料の解析例では，未知の XAFS スペクトルに対する，構造最適化と XAFS スペクトルの数値シミュレーションを組み合わせた詳細な解析例について紹介いただいた。炭素材料の例では，炭素材料に微量な不純物（金属元素）が混入すると，材料強度の低下や電気化学特性の悪化など物性に様々な悪影響を及ぼすこと，このような微量な金属元素の状態分析において XAFS が有効な手法であることを説明いただいた。また，微量な金属元素の測定時にはコンタミ対策が重要であり，光路からの金属部材の排除や，散乱Ｘ線の排除などの測定時の工夫により数 ppm レベルの金属不純物の XAFS スペクトルが得られることを紹介いただいた。私の専門分野である固体地球科学においても，微



ポスター発表の様子

集合写真

量元素は重要な情報を持っていることが多いので，紹介いただいた微量元素の測定事例は非常に参考になった。閉会式の後には，立命館大学にある放射光施設である SR センターの見学会があり，朝倉清高先生から SR センターの各ビームラインについて説明していただいた。直径 1 m というコンパクトな蓄積リングの周囲には，12 個のビームラインが設置されており，軟X線領域を対象とするビームラインが多かった。

今回，XAFS 夏の学校 2024 に参加し，XAFS の基礎理論・解析方法・応用例についての幅広い内容について講義を受けることで，XAFS に関する理解をより深めることができた。また，多様なバックグラウンドを持つ参加者とのコミュニケーションは，とてもいい刺激になった。最後に，XAFS 夏の学校を企画・運営してくださった実行委員長の山下翔平先生をはじめとする実行委員会の皆様・講師陣の皆様に感謝申し上げます。

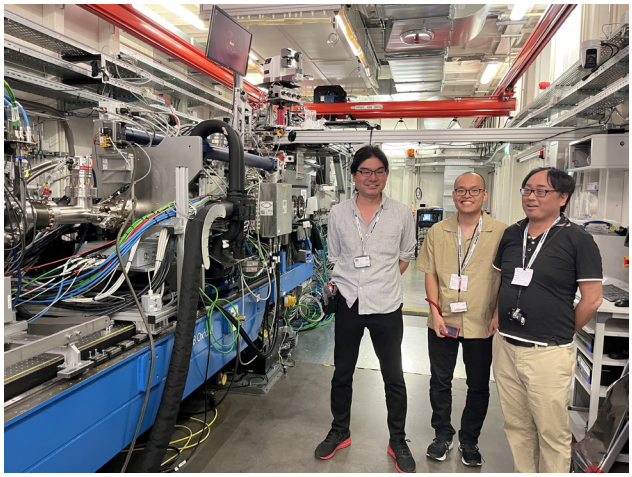


図 1　European XFEL の SPB/SFX 実験ステーションにて撮影した写真。左から佐藤篤志氏（European XFEL），著者，岩山洋士氏（UVSOR）。

SRI2024 (15th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation) 参加報告

放射光実験施設　片岡竜馬

2024 年 8 月 26 日から 30 日の 5 日間，「15th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation（SRI2024）」がドイツ・ハンブルクの Congress Center Hamburg にて開催されました。SRI は 3 年ごとに開催される，放射光とX線自由電子レーザー（XFEL）に関する大規模な国際会議です。1984 年から続く歴史のある本会議は，40 年の時を経て，第一回開催地であるハンブルクに戻ってきたことになります（オンライン開催を除く）。前回 2021 年は新型コロナウイルス感染症の世界的な流行に伴いオンライン開催となりましたので，完全対面での実施は 2018 年の台湾以来となります。久々のオンサイト開催ということもあってか，実に 34 か国・210 の研究施設から 1200 人を超える研究者・技術者が参加し，大いに賑わっていました。

Invited Talks では，各国の放射光施設のアップグレード計画や進捗状況について興味深い話を聞くことができました。特に，日本の施設と比較して，建設に係る予算の規模や近年世界的に課題になっている環境問題に関する認識が全く異なることに驚きました。これらの発表から，いかに日本と諸外国との間に国力の差があるかを思い知らされたような気分になり，われわれ一人ひとりが日本の科学技術の将来について考えていかなければならないのではないかと感じました。

Mikrosymposium では，エンジニアリングに関連する発表を中心に聴講しました。音響浮揚などの様々なテクニックを用いた試料搬送システムや，高真空中で使用可能な 3D プリンティング材質に関する研究発表など，技術職員である自分の業務に活かせそうな研究について情報収集することができました。また，セッション「Data Automation and the Use of AI」では，多くの方が聴講に訪れており，自然言語処理を用いたビームラインの制御に関する発表は立ち見の方が現れるほどでした。AI を用いた技術革新は多くの方の興味を惹いているようで，時代を感じさせる光景だと感じました。

Poster session では，ユニークなサンドイッチ（酢漬けのニシンが挟まったサンドイッチが意外と美味でした）やパンとコーヒーとともに，活気ある議論が行われていました。私はこのセッションで開発研究多機能ビームライン BL-11 および広波長域軟X線ビームライン BL-12A の現在の建設状況や今後の R&D 計画について発表を行いました。主にアジア圏の研究者の方に興味を持っていただくことができ，BL-11 で想定される R&D やサイエンスケースなどについて意見交換を行いました。私は恥ずかしながら英語が得意でなく，会話中言葉が詰まったり質問を何度も聞き返したりしてしまいました。何とか意思疎通ができたことは大きな自信になったものの，次の機会ではよりスムーズな英会話ができるように英語力を磨こうと決意を新たにしました。

Site Visits では，DESY 構内にある放射光リング PETRA III の Max von Laue 実験ホールと，DESY からバスで 15 分ほど移動した先の European XFEL のビームラインを見学しました。私は，技術職員として PF に就職する以前は放射光と全く縁がなく，これまで PF 以外の施設に行ったことがなかったので，PETRA III が人生で 2 番目の放射光施設になりました。

PETRA III はもともと素粒子実験に用いられていたものを放射光源として再利用した大型の加速器で，周長は 2.3 km にも上ります。そのため，ビームラインを建設するための空間に限りがあり，Max von Laue 実験ホールには所狭しとハッチが並んでいました。狭い空間に複数のビーム

ラインが上下に並んでいる構造は，上述した PF BL-12A を想起させました。BL-12A は，旧 BL-11A, -11B, -11D の 3 ブランチを 1 つに統合させたビームラインで，軟Ｘ線パスとテンダーＸ線パスが上下に分割された構造となっています。私は BL-12A でビームライン建設に初めて携わったのですが，BL-12A 一本の建設だけでも相当の苦労を要したので，Max von Laue ホールのビームライン設計・建設では並々ならぬ苦労があったのではないかと感じました。

European XFEL では，各ビームラインについて簡単な説明がありましたが，見学時間が限られていたため，十分施設内を見ることができませんでした。しかし，XFEL の Senior Scientist であり，かつて PF に在籍されていた佐藤篤志氏のご厚意で，改めて施設内の見学をさせていただき，ビームラインの光学系やレーザー設備について，詳細にお話を伺うことができました（図 1）。特に，Site Visits では回らなかったホール内も案内していただき，気になっていた基盤設備に関わる部分について知ることができたのはとても良い経験になりました。

4 日目の夜に行われた Conference Dinner は，港町ハンブルクらしくクルーズ船上で行われました。船は夕日に彩られたハンブルク港を出発し，エルベ川を下ってゆきました（図 2）。われわれはデッキの上を陣取り，おいしいお酒とともにハンブルクの街並みが夕景から夜景に美しく変わってゆく様を楽しみました。ハンブルクは欧州でも 5 本の指に入る巨大なコンテナターミナル群を有し，日夜来航する貨物船からコンテナの荷揚げが行われています。これらのコンテナターミナルで，荷揚げクレーンが美しい夜景の中動き続けているさまに大きく心を惹かれ，忘れられない思い出となりました。

今回，私は SRI2024 に参加したことで大きな経験が得られたと感じています。多くの研究者や技術者の発表を聞き，自分のいる日本という環境，そして一放射光施設の中という環境がどれだけ狭かったかを思い知らされました。特に，私はこれまでの人生で一度も海外に出たことがなかったので，放射光にまつわることだけでなく，気候・環境の違いや文化的差異について新たな発見をすることができ，様々な点で自分の見聞を広げることができたことは幸甚の極みです。次回の SRI は 3 年後の 2027 年にブラジルで開催されるとのことです。また学会に参加して情報収集や濃い議論を行えるように日ごろの業務に注力し，日々研鑽してゆきたいと考えております。

このような貴重な機会をいただきましたことについて，関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。また，貴重なお時間を頂戴し，施設内を案内していただきました佐藤篤志氏に厚く御礼申し上げます。

図 2　Conference Dinner の様子。
(a) 船内の様子。
(b) 船上から見えるコンテナターミナルの夜景。

位相 CT シンポジウム及びＸ線干渉計ユーザーの集い開催報告

位相計測 UG 代表　SAGA-LS　米山明男
東北大学大学院医学系研究科　権田幸祐

位相コントラストＸ線 CT の普及を目的として，東北大学大学院医学系研究科と PF-UA 位相計測 UG が主催となり，同 CT のうちで最も高感度な結晶Ｘ線干渉法を対象としたシンポジウムと集いを下記のように開催致しました。当日は東北大学医学系研究科の先生方をはじめ，オンラインの方も含めると 160 名以上の方にご参加頂き，大変に盛況なシンポジウムと集いになりました。

シンポジウムでは，はじめに主催者の権田から本シンポジウムの趣旨を説明した後，東北大学大学院医学系研究科の石井直人研究科長，PF-UA の近藤寛会長，PF の五十嵐教之放射光実験施設長からご挨拶頂きました。続いて，米山から位相 CT の原理と装置について概要を説明した後，京都大学医学研究科の山田重人教授から京都コレクションのご説明と位相 CT による胚子の非破壊 3 次元観察例，及び MRI との比較などを，北里大学医療衛生学部の Thet Thet Lwin 准教授から非常に鮮明且つ高精度な腎臓の観察例と加齢による変化などを，東北大学国際放射光イノベーションスマート研究センターの西堀麻衣子教授から放射光を病理組織評価に応用した Pt 製剤の蛍光マッピングの例に加えて，NanoTerasu をご紹介頂きました。

休憩後は東北大学国際放射光イノベーションスマート研究センターの亀沢知夏特任研究員から硬さを計測するエラストグラフィーの紹介と放射光等を用いたアガロース等を対象とした計測結果を，京都大学医学系研究科の高桑 徹也教授から肝臓の形成や肺の分岐など胚子期の器官形成を位相 CT で計測した結果をご紹介頂きました。続いて米山から上記以外のメディカル応用として，アルツハイマー病 β アミロイドや in vivo 表在がんの観察例をご紹介し，KEK 物質構造科学研究所の兵藤一行シニアフェローから PF の利用方法についてご説明頂きました。

再度休憩後は現地のみの開催として，権田から 2 nm という非常に小さい金ナノ粒子の説明と放射光による可視化そして将来展望をご紹介し，最後に東北大学医学系研究科医科学専攻博士課程の木村森音氏から静脈血栓症における血栓の位相 CT による観察例などをご紹介頂きました。

翌日の「X線干渉計の集い」では，東北大学医学系研究科保健学専攻博士前期課程の當山亮太氏から「腫瘍血管の正常化」の現象を活用した放射線治療効果について位相 CT を利用した計測結果を，同博士前期課程の熊谷圭悟氏から糖尿病を併発した時の腫瘍血管の構造や機能変化について放射光を用いた計測結果を，同博士前期課程の白石 有佳氏からは糖尿病による血管障害が筋萎縮・骨構造へ与える影響の位相 CT 観察について，ご紹介頂きました。以上の 3 演題はモデルマウスを用いた講演でしたが，最後に同医科学専攻博士課程の村上皓彦氏からはヒトの血管病変組織と位相 CT によるその観察例をご紹介頂きました。

休憩後は産総研エネルギープロセス研究部門の竹谷敏上級主任研究員からは現在開発中のクライオシステムに加えてメタンハイドレートの観察例などをご紹介頂き，KEK 物質構造科学研究所の杉山弘助教からは PF BL-14C の単色器安定化，及び 1 枚非対称結晶による強度増加計画などをご紹介頂きました。最後に米山から位相板のピエゾ駆動による計測時間の短縮，今後の高度化計画についてご紹介致しました。

午後からは量子科学技術研究開発機構 NanoTerasu センターの藤井健太郎グループリーダーのご案内で，4 月から運用を始めた NanoTerasu を実験ホールを含めて見学させて頂きました。1.5 日と短い開催期間でしたが，かつてないほどの多くの方々にご参加頂き，非常に活発な意見交換ができ，大変充実したシンポジウムと集いにすることができました。最後になりましたが，本シンポジウム及び集いの開催にあたり，東北大学医学系研究科の北村成史准教授，PF-UA 事務局の加世田薫様をはじめ，権田研究室の学生方には大変お世話になりました。この場をお借りして深くお礼申し上げます。

位相 CT シンポジウム

日時：2024 年 9 月 9 日（月） 13:00 - 18:10
会場：東北大学星陵キャンパス・星陵オーディトリアム講堂
主催：東北大学大学院医学系研究科，PF-UA 位相計測 UG
共催：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），PF-UA

13:00 シンポジウムの狙い：
権田 幸祐（東北大学医学系研究科・教授）
13:00-13:15 開会のご挨拶
石井 直人 東北大学医学系研究科長
近藤 寛 PF-UA 会長（慶応大学・理工学部）
五十嵐 教之 KEK PF 放射光実験施設長
13:15-13:30 放射光位相 CT の概要
米山 明男（九州シンクロトロン光研究センター・主任研究員，KEK・客員教授）
13:30-14:00 講演 1：ヒト形態発生における位相イメージング
山田 重人（京都大学・医学系研究科・教授）
14:00-14:30 講演 2：腎臓の位相コントラストX線CT観察
Thet Thet Lwin（北里大学・医療衛生学部医療工学科・講師）
14:30-14:55 講演 3：放射光を使ったがん病理組織解析～抗がん剤のヒト腫瘍内分布の可視化～
西堀 麻衣子（東北大学・国際放射光ｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝ・ｽﾏｰﾄ研究ｾﾝﾀｰ・教授）
14:55-15:05 休憩 & 交流
15:05-15:35 講演 4：X線干渉計によるX線エラストグラフィの検討
亀沢 知夏（東北大学・国際放射光ｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝ・ｽﾏｰﾄ研究ｾﾝﾀｰ・特任研究員）
15:35-16:05 講演 5：高解像度位相 CT 画像を用いて，ヒト胚子の形態形成をみる
高桑 徹也（京都大学・医学系研究科・教授）
16:05-16:25 講演 6：位相 CT の各種バイオメディカル応用
米山 明男（九州シンクロトロン光研究センター・主任研究員，KEK・客員教授）
16:25-16:45 KEK PF の利用について
兵藤 一行（KEK・物質構造科学研究所・シニアフェロー，東北大学・客員教授）
16:45-17:05 休憩 & 交流（以降の講演は現地のみ）
17:05-17:35 講演 7：金ナノ粒子尿路造影剤を用いた糖尿病性腎症の病態評価
権田 幸祐（東北大学医学系研究科・教授）
17:35-18:00 講演 8：蛍光・X線・電子線によるマルチスケール計測を用いた静脈血栓症発症の理解
木村 森音（東北大学医学系研究科・医科学専攻博士課程）
18:00-18:05 閉会
権田 幸祐（東北大学医学系研究科・教授）

X線干渉計ユーザーの集い

日時：2024 年 9 月 10 日（火）9:30 - 15:30
会場：東北大学星陵キャンパス・星陵会館・大会議室，NanoTerasu
主催：位相計測 UG
共催：高エネルギー加速器研究機構，PF-UA

9:30-9:35　開会挨拶
米山 明男（九州シンクロトロン光研究センター・主任研究員，KEK・客員教授）
9:35-10:05　X線イメージングを駆使した腫瘍血管正常化の解析
當山 亮太（東北大学医学系研究科・保健学専攻博士前期課程）
10:05-10:35　腫瘍血管の構造や薬剤送達能に糖尿病が与える影響の解析
熊谷 圭悟（東北大学医学系研究科・保健学専攻博士前期課程）
10:35-11:05　糖尿病と除神経により萎縮した骨格筋，栄養血管および骨のX線イメージングによる構造解析
白石 有佳（東北大学医学系研究科・保健学専攻博士前期課程）
11:05-11:35　X線位相コントラストイメージングを用いたヒト血管病変組織の可視化
村上 皓彦（東北大学医学系研究科・医科学専攻博士課程）
11:35-11:40　休憩
11:40-12:00　気軽な温度制御型X線位相イメージング計測に向けての取り組み
竹谷 敏（産業技術総合研究所エネルギープロセス研究部門・上級主任研究員）
12:00-12:20　KEK PF の干渉計の高度化に関して
杉山 弘（高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所・助教）
12:20-12:40　KEK PF の干渉計の高度化に関して～計測条件の最適化，ピエゾの導入～
米山 明男（九州シンクロトロン光研究センター・主任研究員，KEK・客員教授）
12:40　総評
矢代　航　（東北大学・国際放射光ｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝ・ｽﾏｰﾄ研究ｾﾝﾀｰ・教授）
12:45　閉会挨拶
権田 幸祐（東北大学医学系研究科・教授）
12:45-14:30　各自，東北大学星陵キャンパスから青葉山新キャンパスへ移動
14:30-15:30　NanoTerasu 見学
対応：藤井 健太郎（量子科学技術研究開発機構 NanoTerasu センター・グループリーダー）

第 2 回 PF-UA サマースクール「放射光の特長を活かした分析手法」開催報告

分子科学研究所　長坂将成

第 2 回 PF-UA サマースクール「放射光の特長を活かした分析手法」を，2024 年 10 月 4 日（金）にオンラインで開催しました。本サマースクールは，PF-UA 教育小委員会が企画しているもので，若手研究者，大学院生，大学生などの放射光初学者向けに，放射光を用いた分析技術の測定原理や測定方法などを学ぶ機会を提供することを開催趣旨としています。昨年度開催された第 1 回のサマースクールでは，「放射光分析手法の初学者向け勉強会」として放射光初学者向けに様々なX線分析技術を学ぶ機会を提供することを目的としました。第 2 回目となる本サマースクールでは，偏光スイッチングや放射光のバンチ構造を用いた時間分解計測などの，放射光の特長を活かしたX線分析手法を学ぶことを目的としました。

本サマースクールは初めに実行委員長である長坂から，開催趣旨と講演プログラムについて説明しました。続いて，近藤寛先生（PF-UA 会長，慶應義塾大）から，PF-UA の活動紹介とX線光電子分光の測定原理と応用について講演して頂きました。PF-UA には 23 のユーザーグループがあり，それぞれのグループが講習会やビームラインの運営など，活発に活動していることが紹介されました。PF-UA では様々な講習会を企画すると共に，学生論文賞を設けるなど，学生や若手研究者を奨励する様々な取り組みを行っています。X線光電子分光では，元素分析だけでなく，表面の顕微測定や時間分解測定が行えるというご説明を頂きました。波長可変な放射光の特長を活かして，異なる元素ごとに光電子の強度を調整する方法が印象に残りました。海野昌喜先生（茨城大）からは，タンパク質X線結晶構造解析について講演して頂きました。測定にはタンパク質を結晶化させることが最も難しい点と，異常分散法や分子置換法などの構造解析方法についての説明を頂きました。立体構造が良く似たタンパク質の構造を基にして構造解析する分子置換法において，AlphaFold2 により得られたタンパク質の構造を用いる方法が印象に残りました。雨宮健太先生（物構研）からは，2 台のアンジュレーターを用いた偏光スイッチングの原理と，偏光スイッチングを用いた分析手法の説明を頂きました。偏光スイッチングを用いると，左右異なる円偏光が連続して得られますので，微小な磁性変化の観測と共に，バックグラウンドが安定したスペクトル測定ができる点が良いと思いました。偏光依存性は磁性研究に一般的に用いられますが，キラル分子やタンパク質などの生体試料への展開も将来的に期待できます。

休憩後の後半の部では，野澤俊介先生（物構研）から，放射光のバンチ構造を用いた時間分解X線測定について紹介して頂きました。PF-AR は単バンチ当たりの光子量が世界最大のため，放射光とレーザーを同期した時間分解

Ｘ線測定に最適です。AR-NW14A のレーザーシステムや時間分解測定のための技術の紹介を頂くと共に，Ｘ線吸収分光法，Ｘ線溶液散乱などの様々な時間分解測定の応用例について講演して頂きました。清水伸隆先生（理研）からは，タンパク質の溶液Ｘ線小角散乱について講演して頂きました。溶液Ｘ線小角散乱の測定原理のご説明と共に，不安定なタンパク質複合体などの解析を行うために，クロマトグラフィーによるタンパク質のサイズ選別と，紫外可視分光とＸ線小角散乱の同時測定を行う複合的な測定システムのご紹介を頂きました。溶液中の分子の構造揺らぎを取り入れるために，様々なモデルの構造アンサンブルを用いた解析が興味深かったです。最後に，五十嵐教之先生（PF 施設長，物構研）から，PF 施設の現状と将来計画についてのご紹介を頂きました。放射光学術基盤ネットワークと学術施設間の連携など，多様性と自由度をもって学術研究のフロンティアを開拓することと，Diversity Frontier を推進するために，構造と電子状態解析を同時に可能にするマルチビーム実験施設を推進するという，次期放射光施設の計画についてご説明頂きました。

本サマースクールに参加登録された方は 70 名おられました。実際に参加された方はそれより少なかったようですが，参加者から多くの質問もあり，活発な議論ができたと思います。様々なＸ線分析手法を紹介するという取り組みは，初学者だけでなく，中堅の研究者が自身の研究を広げるうえでも役に立つというご指摘がありました。また，PF-UA には 23 のユーザーグループがあるので，そこから巡回して講演してもらうと，より様々な分析手法を学ぶことができるという意見もありました。PF-UA サマースクールは，テーマを変えて毎年開催する方針です。来年度のサマースクールで聞いてみたい内容などがありましたら，お気軽に教育小委員会にご連絡ください。本サマースクールでは，PF-UA 事務局の加世田薫さんに，ホームページの作成や参加登録のフォーム作成など，多くのご協力を頂きました。五十嵐先生には，オンライン会議のための ZOOM の設定を行って頂きました。また，教育小委員会の先生方には，プログラムの作成や座長など多くのご協力を頂きました。講演された先生方には，分野外の方にも分かりやすい内容で，様々なＸ線分析手法についてご説明を頂きました。厚く御礼を申し上げます。プログラムの詳細は，以下の Web サイトをご参照ください。講演された先生方のご厚意により発表資料の一部も公開する予定ですので，サマースクールに参加できなかった方も是非ご覧ください。

http://pfwww2.kek.jp/pfua/katsudo/20240705.htm

第 3 回フォトンファクトリー同窓会講演会開催報告

フォトンファクトリー同窓会会長　太田俊明

2024 年 9 月 28 日（土）にフォトンファクトリー同窓会主催「第 3 回フォトンファクトリー同窓会講演会」をフォトンファクトリーと共催で KEK 小林ホールにてオンライン会議併用で開催致しました。

今回も第 2 回フォトンファクトリー同窓会講演会に引き続き午前中にフォトンファクトリー見学会，午後に講演会と懇親会を行いました。

見学会は五十嵐教之放射光実験施設長の案内で，PF 実験ホールと PF-AR 実験ホールを見学させていただきました。参加者には久しぶりに PF に来所された方もいて，PF 新放射光源施設計画の一環として建設中の開発研究多機能ビームラインや高度化された多くのビームラインに感心されていました。

本同窓会は 2021 年 8 月 28 日に発足したもので，同窓会規約により幹事会は 3 年任期になっており，本年 8 月 28 日から幹事会の 2 期目が始まりました。6 月に開催された幹事会にて，幹事である加速器系の齊藤氏，設楽氏が辞退され，後任に花木氏，古川氏が幹事候補として推薦されました。その後，同窓会会員のメール審議により幹事が選出されました。花木氏，古川氏の他は全員留任され，同窓会規約により幹事会の互選によって，私も引き続き 2 期目の会長をお引受けすることになりました。そこで，講演会に先立ち，新しい任期の幹事を紹介させていただきました。今期も新たな気持ちで同窓会の設立目的である「フォトンファクトリーを支援していく環境を醸成する」，「日本ひいては世界における放射光科学の推進に役立つ」に沿った活動を続けていきたいと考えています。引き続き，どうぞよろしくお願いいたします。

参考情報（同窓会幹事会）

http://pfwww2.kek.jp/alumni_association_of_pf/kanjikai.html

講演会の様子 1
左から雨宮座長，中川先生，坂部先生

講演会の様子 2
左から齊藤先生，小野先生

講演会は，雨宮慶幸副会長司会のもと，KEK 名誉教授 坂部知平先生，KEK 名誉教授 齊藤芳男先生，大阪大学 小野寛太先生に講演をしていただきました。

坂部先生は，PF との出会いや放射光を用いたタンパク質のＸ線結晶構造解析に関する世界的な黎明期での研究開発，インシュリンの高分解能構造解析，検出器としてのイメージングプレート導入と研究の進展など，昨年亡くなられた奥様，貴和子先生と二人三脚で歩んできた長い道のりについて講演をされました。坂部先生の研究内容に関する資料はお弟子さんでもある大阪大学 中川敦史先生が代理での説明をされました。ご高齢にもかかわらず一語，一語，力強いお言葉の講演には，参加者一同感動しました。

齊藤先生は，これまで関わってこられた KEK- LINAC，J-PARC 大強度陽子シンクロトロン，重力波検出器（KAGRA）などの大型真空装置の開発に関して講演をされました。宇宙に関する研究を行う大型真空装置，核融合臨界試験装置，ニュートリノ質量測定用電子エネルギー分光器，重力波観測用レーザー干渉計などの大型超高真空装置に関する紹介から始まって，真空にもいろいろなタイプ（Clean Vacuum，Hot Vacuum，Quiet Vacuum）があるというお話は新鮮な驚きでした。「真空」という放射光科学推進に関する重要な基盤技術に関して思いを馳せることができました。

小野先生は，PF での研究推進で得られたことや感じたことの紹介と現在の研究テーマである「物性研究の自律化による複雑な材料特性メカニズムの解明」について講演をされました。自律的に研究するロボットに関して，メカノケミカル合成の最適化と解明のための自律型ロボット実験・解析システムを紹介されながら次世代材料の研究開発に関する新しい方法論（AI，ロボットの活用）について言及されました。今後の研究方向として「最適実験・大規模データ解析を用いた放射光科学の推進」などについてコメントされ，放射光科学の将来に向けた新しい息吹を感じることができました。

同窓会講演会ならではの研究分野の全く異なる 3 件の講演でしたが，参加者もそれぞれの先生方の研究推進に関する熱い強い思いを感じて視聴されたことと思います。講演会にはオンサイトおよびオンラインにて 70 名程度の参加がありました。

懇親会開始時には，2024 年 5 月 27 日（享年 84）に逝去された KEK 名誉教授 小早川久先生の PF や放射光科学への多大なご貢献について紹介をさせていただきました。懇親会は坂部先生の「乾杯」の発声で始まりました。懇親会会場周辺にポスター掲示した小早川先生の写真や PF 創世記の写真の前では昔を振り返りながらの参加者間での話が弾みました。また，懇親会参加者全員から近況について一言報告していただくことで参加者間での有意義な情報共有の時間にもなり，放射光科学の将来に向けた思いも新たにすることができました。

参考情報
第 3 回フォトンファクトリー同窓会講演会
http://pfwww2.kek.jp/alumni_association_of_pf/news/news20240928.html

---

講演会プログラム
座長：雨宮 慶幸 副会長

13:10-13:20 挨拶：太田 俊明 会長
講演 1
13:20-13:50 講演：坂部 知平 先生（KEK）
「私と放射光」
13:50-14:00 質疑応答

講演 2
14:00-14:30 講演：齊藤 芳男 先生（KEK）
「大型真空装置の開発」
14:30-14:40 質疑応答

14:40-15:10 休憩

講演 3
15:10-15:40 講演：小野 寛太 先生（大阪大学）
「科学研究の自律化：AI・ロボット時代のサイエンス」
15:40-15:50 質疑応答

15:50-16:00 まとめ：雨宮 慶幸 副会長

懇親会の様子

集合写真

フォトンファクトリー同窓会では今後も今回のような形式での講演会開催を検討したいと考えています。

フォトンファクトリー同窓会は，KEK に関わったすべての方だけでなく，現役のユーザーおよび KEK 職員の皆様にも入会していただけます。皆様の積極的な入会を期待いたします。

フォトンファクトリー同窓会
http://pfwww2.kek.jp/alumni_association_of_pf/

PF 研究会「放射光顕微分光が切り拓く材料研究のフロンティア」開催報告

放射光実験施設　小澤健一，山下翔平

2000 年代以降，材料研究はそれまでのモデル系を用いた物性評価から離れ，材料が利用されるのと同じ形態や状態で評価する方法に大きくシフトしてきた。*in situ* 測定や *operando* 測定はこの流れの中で誕生したものであるが，顕微測定もここで重要な役割を担ってきた。フォトンファクトリーでは，軟Ｘ線を利用した顕微分光測定が 3 本のビームラインで進められている。BL-13B の顕微Ｘ線光電子分光（μ-XPS）と顕微Ｘ線吸収分光（μ-XAS），BL-28A の顕微角度分解光電子分光（μ-ARPES），そして BL-19A の走査型透過Ｘ線顕微鏡（STXM）である。これら 3 つのビームラインで精力的に研究を進めているユーザーに，成果を発表していただくと同時に，顕微分光測定の現状や課題を多くのユーザーと共有する機会を設けるために，PF 研究会「放射光顕微分光が切り拓く材料科学のフロンティア」を，吉信淳教授（東京大学），佐藤宇史教授（東北大学），および小澤と山下で企画し，10 月 3 日（木），4 日（金）に KEK つくばキャンパス 4 号館セミナーホールと ZOOM によるハイブリッドで開催した。講演は，STXM を用いた研究が 5 件，BL-13B と 28A での光電子分光研究がそれぞれ 4 件ずつの計 13 件であり，天体物質，海洋物質からトポロジカル絶縁体，超伝導物質まで，多様な物質・材料を測定対象とした化学分野，物理分野の研究成果が紹介された。

初日は，吉信先生からの開会の挨拶に引き続き，小澤からの研究会の趣旨説明と BL-13B と 28A の顕微光電子分光測定システムの概要説明で幕を開けた。1 件目の講演では，BL-19A の STXM と BL-19B における XAS 測定システムの詳細な説明が山下から行われた。続いて，癸生川陽子先生（東京科学大学）による「走査型透過Ｘ線顕微鏡（STXM）を用いた地球外物質の有機物分析」と題する研究紹介があり（図 1 上），隕石に含まれる有機物の分布や官能基の違いから有機物の起源を推定する内容を紹介していただいた。3 件目は栗栖美菜子先生（東京大学）による「STXM を用いた海水中粒子の鉄・炭素化学種分析とその輸送過程の解明」と題する講演であった。海洋中を浮遊している微粒子に付着している Fe や C の化学状態が陸地からの距離に依存しているという情報から，Fe の長距離輸送のメカニズムを明らかにすることを目指した研究の紹介をしていただいた。

4 件目以降は顕微光電子分光測定の講演であった。4 件目の講演は中山耕輔先生（東北大学）による「放射光顕微 ARPES による Te の一次元エッジ状態観測」であった。BL-28A で実施した研究であり，一次元トポロジカル絶縁体に特徴的な電子状態が単結晶 Te(0001) 表面のエッジに形成されていることを見出している。5 件目は坂野昌人先生（東京大学）による「ファンデルワールス積層体における電子構造の直接観測」と題する講演で，人為的に作

図 1　癸生川先生（上）と尾崎さん（下）による講演。

図 2　平山先生によるオンラインでの講演。

製した 10 μm 程度のサイズのツイスト積層体のバンド構造を BL-28A の μ-ARPES により明らかにした研究の紹介であった。6 件目は，今回の研究会では唯一の学生による講演であった（図 1 下）。東大吉信研究室の尾崎文彦さんによる「レーザーカットによって表面調製された MoS_2 エッジ面の化学状態と反応」では，レーザーで切断加工した層状物質 MoS_2 を BL-13B の μ-XPS により検証し，断面にある化学活性点の特定とその性質を明らかにする研究が紹介された。初日最後の講演は，中山泰生先生（東京理科大学）による「有機分子結晶試料における光電子分光実験の実情」であった。絶縁性の高い有機分子結晶で価電子バンド分散をきれいに測定するには，バンドギャップを超えるエネルギーを持つレーザーを照射して光励起キャリアを生成させて試料帯電を防ぐことが重要であることが指摘された。

初日の講演後には，研究本館小林ホール前のホワイエで懇親会を開催した。25 名の参加者があり，お酒を酌み交わしながら情報交換をしていただけたと思う。

研究会二日目は，高橋嘉夫先生（東京大学）による「放射光Ｘ線を用いたリュウグウ母天体の水環境の復元」で始まった。小惑星リュウグウから持ち帰った岩石試料に含まれるアルカリ金属，アルカリ土類金属の濃度からリュウグウの水環境を推定する研究の一端が紹介された。二日目 2 件目の講演は，平山朋子先生（京都大学）による「トライボロジー現象の理解に向けた軟Ｘ線 XAFS 応用」であった（図 2）。摩擦現象を原子レベルで理解するために，摩擦摺動面に形成される炭素系トライボフィルムの構造解析を BL-19B での XAFS 測定から進めた研究を紹介していただいた。3 件目は，前島尚行先生（分子科学研究所）による「顕微光電子分光を用いた TiO_2(110) 表面に吸着したスターバースト型色素の吸着構造の解析」と題する講演であった。色素増感太陽電池の高効率化を目指して，分子内に π 共役を介して電子受容基と供与基が共存するスターバースト型分子の TiO_2 表面への吸着構造と電子構造の関係を BL-13B の μ-XPS で検証した研究の紹介であった。大野真也先生（横浜国立大学）からは「カーボンナノチューブ複合紙の二次元光電子分光マッピングと特性評価」と題し，カーボンナノチューブを含んだ和紙で，和紙の主成分であるセルロースの熱分解過程を μ-XPS で追跡した研究の紹介があった。大槻太毅先生（京都大学）には「顕微測定を活かした ARPES による籠状物質の電子状態観測」と題して，籠状物質や熱電半金属の μ-ARPES からフォノンの情報を得て物性理解につなげる研究を紹介していただいた。研究会最後の講演は，岩澤英明先生（量子科学技術研究開発機構）による「顕微 ARPES による銅酸化物の超伝導ギャップ不均一性の可視化」であった。BL-28A の高い空間分解能（10 μm）を利用した μ-ARPES 測定により，単結晶銅酸化物高温超伝導体の表面で超伝導ギャップの大きさが異なる領域が不均一に分布していることを見出した研究である。

講演された先生方には，顕微測定ならではの難しさや解析の困難さなども織り交ぜて研究紹介をしていただいたため，通常の学会発表等では聞けない情報もあり，顕微分光測定をこれから始めたいという人にとっては貴重な機会になったかと思う。講演を快く引き受けていただいた皆様に厚くお礼を申し上げます。

今回の PF 研究会では申込者数が 129 名に上り，現地参加していただいた方も 30 名であった。企業からの申込者は 31 名であり，この研究分野あるいは研究手法に対して学術だけでなく産業界からの関心も高いことが窺える申し込み状況であった。参加していただいた皆様にもお礼を申し上げます。

最後に，今回の PF 研究会では現地参加をしてくれた 4 名の学生（尾崎さん，澤田さん，磯部さん，鶴さん）に，会場設営と片付け，受付，タイムキーパーといった運営の手伝いを，放射光科学第二研究系の吉田一貴さんには懇親会の準備を，PF 事務室の高橋さん，加世田さんには研究会のホームページ作成，参加申込みや宿舎手配等の事務手続き等をしていただいた。開催にご協力いただいた皆様に，この場を借りてお礼を申し上げます。

ユーザーとスタッフの広場

PF トピックス一覧（8 月～ 10 月）

PF のホームページ（https://www2.kek.jp/imss/pf/）では，PF に関係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下さい。

8. 2　【物構研トピックス】
半世紀来の謎だったセファロスポリン系抗菌薬が薬によって多様な血漿タンパク結合率を示す理由を原子レベルで解明【藤田医科大学プレスリリース】

9. 4　【物構研トピックス】
補酵素 NAD と SAM を縮合して抗生物質の主骨格を構築 - NAD のアルキル化に関わる生合成酵素のクライオ電子顕微鏡構造【東大薬プレスリリース】

9. 6　【プレスリリース】
原子配列の乱れをもつフッ化物イオン導電性固体電解質のイオン伝導メカニズムの解明 - リチウムイオン電池を凌駕する次世代蓄電池の創成を目指して

9. 12　【プレスリリース】
最も単純な「原子」ポジトロニウムをレーザー光によって 1000 万分の 1 秒で極低温にすることに成功 - 反粒子を含む原子の精密科学によって物理学の謎にせまる大きな第一歩

9. 30　【プレスリリース】
不整脈誘発薬剤との結合状態を解明 - 副作用原因タンパク質 hERG チャネルの構造が安全な薬設計を導く

10. 28　【プレスリリース】
超伝導の空間的な乱れを可視化する新たな顕微観察技術の開発 - 超伝導材料の高性能化に役立つ新手法として期待

2024 年度 PF-UA 学生論文賞募集のご案内

PF ユーザーアソシエーション（以下：PF-UA）は，放射光科学の未来を担う優秀な若手研究者の輩出と，PF を活用している博士課程学生の研究の奨励を目的として，2022 年度より「PF-UA 学生論文賞」を創設しました。本賞は，PF を活用して得られた研究成果を含む論文を広く対象とします。PF における新規の測定法や解析法の開発に貢献した成果はもちろんのこと，既存の測定・解析法を用いて特定の分野で顕著な成果を挙げた研究も対象となります。

つきましては下記のとおり募集致しますので，ご応募下さいますようお願いします。

1. 人数

3 名以内とします。

2. 対象

PF を活用して当該期間（2023 年 12 月～ 2024 年 12 月）に発表した査読付英文誌（accept 含む）で，原則として応募者が first author であること。応募時点あるいは対象論文投稿時点で，博士課程学生（博士後期課程学生）。

3. 募集期間

2024 年 9 月 15 日（日）～ 2024 年 12 月 11 日（水）必着

4. 応募方法

別紙の応募用フォーマット（http://pfwww2.kek.jp/pfua/gaiyo/ronbunsyou.htm よりダウンロード可能）に必要事項を記入のうえ，対象となる論文の電子ファイルと合わせて，下記の応募先にメールにてご送付ください。なお，原則として候補者本人からの自薦のみを受け付けますが，研究指導教員の推薦文（応募論文における当該学生の寄与に関する所見を含む）の提出が必要となります。

5. 応募先

PF-UA 事務局（pfua-office-at-pfiqst.kek.jp）
（-at- を @ にしてお送りください）
※メールの件名を「2024 年度 PF-UA 学生論文賞応募」としてください。

6. 選考・通知方法

PF-UA 幹事会・運営委員会に選考委員会を設け，厳正な審査と選考により，2025 年 1 月中に受賞者を決定します。選考結果について，1 月末日までにご登録いただいたメールアドレス宛にご連絡させていただきます。

7. 賞与

賞状および副賞 10 万円を受賞者本人に贈呈いたします。

8. 発表等

2025 年 3 月開催予定の「2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ」内の「第 42 回 PF シンポジウム」にて，受賞者名および対象となった論文を発表いたします。同シンポジウムに受賞者本人が参加できる場合には，授賞式および受賞講演を行う予定です。また，「PF ニュース」に対象論文に関する紹介記事の執筆をお願いする場合がございます。

9. 担当

庶務幹事　吉田真明

令和 6 年度第 2 回 PF-UA 幹事会・運営委員会　議事録

日時：令和 6 年 10 月 2 日（水）
　　15:00 － 16:30（幹事会・運営委員会）

場所：Zoom 会議

出席者：
近藤寛，朝倉清高，阿部善也，雨宮健太，五十嵐教之，植草秀裕，帯名崇，鍵裕之，北島義典，栗栖美菜子，久保友明，小林寿夫，齋藤智彦，篠崎彩子，千田俊哉，高橋真，高橋嘉夫，武市泰男，玉田太郎，田中信忠，手塚泰久，谷田肇，長坂将成，八方直久，彦坂泰正，藤井健太郎，船守展正，森田剛，山本勝宏，吉田真明

委任者：
組頭広志，伏信進矢，山崎信哉，横山英志，横谷明徳，米山明男

【定足確認】（吉田 庶務幹事）
【会長挨拶】（近藤 会長）
【所長挨拶】（船守 所長）

【報告事項】

・施設報告（五十嵐 施設長）
　PF 施設報告，PF 将来計画について報告した。
・庶務報告（吉田 幹事）
　PF-UA 学生論文賞について報告した。
・行事報告（高草木・藤井 幹事）
　JSR2025~2027（日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム）および 2024 年度量子ビームサイエンスフェスタに関して報告した。

・広報報告（植草 幹事）
「PF-UA だより」での UG 紹介の状況および PF-UA ホームページの外部サーバー移転の検討について報告した。
・戦略・将来計画検討報告（横谷・高橋 幹事）
第 6 回フォトンファクトリー計画推進委員会および PF 研究会「放射光 2 ビーム利用と広波長域実験が切り拓く学術フロンティア」について報告した。また，PF-UA が主催する研究会「（仮）BL-12, BL-11 の利用テーマに関するブレインストーミング」の開催を提案した。
・共同利用報告（米山 幹事）
各 UG の活動報告書と継続申請書兼趣意書の提出状況および位相 CT シンポジウム及び集いの実施について報告した。
・教育報告（長坂 幹事）
「PF-UA サマースクール」の開催概要と現在の状況を報告した。

【協議事項】
・PF-UA 研究会の検討
新しく立ち上がった 2 波長の BL-12 の共同利用開始と 2 ビーム同時照射をする BL-11 の建設開始にあたり，マルチビーム利用のサイエンスと将来の発展の方向を検討する PF 研究会が開催される（11 月 17，18 日）ことを踏まえ，そのフォローアップ企画をもう一つの研究会として UA 主催で行う提案があり，開催時期や開催形態などを議論した。
・UG への支援内容
各 UG の活動を活性化するため，予算支援や事務支援の方法について議論し，これまでの PF-UA の UG 支援に関する内規を確認したうえでそれを更新することにした。

【次回日程について】
第 3 回幹事会・運営委員会は 2025 年 1 月を予定

人　事

人事異動

	発令年月日	氏　名	現　職	旧　職
（昇任）	2024. 10. 1	小澤健一	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
	2024. 10. 1	中尾裕則	物構研　放射光実験施設 教授	物構研　放射光科学第一研究系 准教授
	2024. 10. 1	松垣直宏	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
	2024. 10. 1	満田史織	加速器研究施設　加速器第六研究系 教授	加速器研究施設　加速器第六研究系 准教授
	2024. 10. 1	森　丈晴	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
（採用）	2024. 10. 1	田辺幹雄	物構研　放射光科学第二研究系 准教授	物構研　放射光科学第二研究系 特任准教授

新人紹介

（入学）

AHMAD, Aftab（出身：Pakistan）

1．October 01, 2024
2．Doctoral Student (The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI)
3．Master Student (COMSATS University Islamabad)
4．Beam Instabilities, RF harmonic cavities
5．To contribute to the field of Accelerator Science and the world's scientific community.
6．To make this world a better place to live.
7．Travel, Photography

1. 着任日　2. 現在の所属・職種　3. 前所属・職種
4. 専門分野　5. 着任に当っての抱負　6. モットー
7. 趣味　（写真，5 番～ 7 番の質問は任意）

お知らせ

2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ（第 16 回 MLF シンポジウム / 第 42 回 PF シンポジウム）開催のお知らせ

量子ビームサイエンスフェスタ実行委員会
委員長　木村正雄（KEK/ 物質構造科学研究所）
副委員長　梅垣いづみ（KEK/ 物質構造科学研究所）

2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ（第 16 回 MLF シンポジウム／第 42 回 PF シンポジウム）を 2025 年 3 月 12 日（水）～ 14 日（金）につくば国際会議場（エポカルつくば）にて現地開催の予定です（3 月 12 日 MLF シンポ，3 月 13 日 サイエンスフェスタ，3 月 14 日 PF シンポ）。

このシンポジウムは，施設側スタッフ，ユーザーの皆様が一堂に会することのできる機会ですので，是非ご参加下さいますようお願い申し上げます。

詳細が決まり次第ホームページや PF ニュース等で皆様にお知らせ致します。

＜開催概要＞

主催： KEK 物質構造科学研究所
J-PARC センター
総合科学研究機構（CROSS）
PF ユーザーアソシエーション（PF-UA）
J-PARC MLF 利用者懇談会

会期： 2025 年 3 月 12 日（水）～ 14 日（金）

会場： つくば国際会議場
（〒 305-0032 茨城県つくば市竹園 2-20-3）
（3/12）MLF シンポジウム
（3/13）量子ビームサイエンスフェスタ，懇親会
（3/14）PF シンポジウム

ホームページ： https://www2.kek.jp/imss/qbsf/2024/

問い合わせ先： 量子ビームサイエンスフェスタ事務局
Email: qbsf2024-office-at-ml.post.kek.jp
（-at- を＠にしてお送り下さい。）

2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ実行委員：
委員長：木村正雄（KEK）
副委員長：梅垣いづみ（KEK）
大東琢治（KEK），川崎政人（KEK），阪田薫穂（KEK），奥山大輔（KEK），野澤俊介（KEK），高木宏之（KEK），猿田晃一（JAEA），北原銀河（KEK），大下英敏（KEK），小田隆（JAEA），永谷幸則（KEK），宗像孝司（CROSS），河村幸彦（CROSS），藤井健太郎（PF-UA/QST），高草木達（PF-UA/ 北大），山田悟史（MLF 利用者懇談会 / KEK），北口雅暁（MLF 利用者懇談会 / 名大），飯沼裕美（MLF 利用者懇談会 / 茨大）

PF 研究会「放射光科学での DX」開催のお知らせ

放射光科学第二研究系　木村正雄

放射光を用いた計測法は，その計測法の高度化や測定のハイスループット化・自動化が進み，様々な情報を含む多次元データーが，空間分解（顕微法）や時間分解で計測可能になっている。そのため，計測プロトコルの最適化や，得られたビッグデータの解析には，従来の人間の経験だけでなく，情報科学や数理科学の視点を入れたアプローチが必要となる。またそのためには，関連分野のデータベースが整備されていることが必須となる。

そこで，本研究会では，そうした取り組みとして，ベイズ計測，インフォマティクス技術を活用した量子ビーム計測，XAFS データベース，パーシステントホモロジーによる位相データ解析，について取り上げる。

本研究会で，放射光計測や得られたデータの解析について，今後の展開の新たな視点について議論したい。

＜開催概要＞

会期： 2025 年 2 月 6 日（木）

会場： ハイブリッド開催（4 号館 1 階セミナーホール＆ Zoom）

提案者： 岡田真人（東京大学），水牧仁一朗（熊本大学），木村正雄（KEK）

所内世話人： 城戸大貴，丹羽尉博，木村正雄（KEK）

共催： 東京大学（手続中），熊本大学理学部理学科物理コース

ホームページ：
https://www2.kek.jp/imss/pf/workshop/kenkyukai/20250206/
(12 月初旬オープン予定)

問い合わせ先： pf-kenkyukai-at-pfiqst.kek.jp
(-at- を＠と置き換えてお送り下さい。)

運転当番の体制変更について

PF ユーザ向け情報
2024 年 10 月 8 日

フォトンファクトリーでは，加速器運転中に実験が安全にかつ効率よく行われるように，24 時間体制で運転当番が勤務しております。これまでは，職員 1 名と業務委託 1 名の 2 名体制でしたが，今期（2024 年 10 月）より，深夜時間帯（0:00 ～ 8:45）に限り職員は勤務せず，業務委託 2 名体制で運転当番業務を実施させていただきます。

そのため，加熱昇温装置のチェックなど，深夜時間帯には対応できない業務がありますことをご了解いただきますようお願いいたします。その他の時間帯はこれまでと同様，職員 1 名と業務委託 1 名の 2 名で勤務いたします。

実験の安全には引き続き万全の体制を取ってまいりますので，ユーザーの皆様のご理解とご協力をお願いいたします。

2025 年 4 月入学 総合研究大学院大学 先端学術院 先端学術専攻物質構造科学コース　博士課程（5 年一貫）及び 3 年次編入学の最終募集のお知らせ

物質構造科学コース長　瀬戸秀紀

物質構造科学コースでは 2025 年 4 月入学の博士課程（5 年一貫制）及び 3 年次編入学の最終募集を行ないます。いずれも願書は 12 月 5 日（木）から 12 月 11 日（水）必着で，書類選考と面接で選抜します（面接日は 2025 年 1 月 22 日（火）～ 22 日（水）です）。興味のある方は是非ご検討下さい。詳細は http://kek.soken.ac.jp/sokendai/admission/ をご覧下さい。

2025 年度前期 フォトンファクトリー研究会の募集

放射光実験施設長　五十嵐教之

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ご応募下さいますようお願いします。

記

1．開催期間　2025 年 4 月～ 9 月

2．応募締切日　2024 年 12 月 20 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 事務室
Email:pf-office@pfiqst.kek.jp

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。

予　定　一　覧

2024 年

12 月 16 日	PF-AR 2024 年度第二期ユーザー運転終了
12 月 16 ～ 18 日	2024 年度 XAFS 講習会（KEK つくばキャンパス 4 号館・放射光実験施設）
12 月 20 日	2025 年度前期フォトンファクトリー研究会応募締切
12 月 27 日	PF 2024 年度第二期ユーザー運転終了

2025 年

1 月 10 ～ 12 日	第 38 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム（つくば国際会議場）
1 月 20 日	第 7 回フォトンファクトリー計画推進委員会（オンライン）
2 月 6 日	PF 研究会「放射光科学での DX」（KEK つくばキャンパス 4 号館 1 階セミナーホール & Zoom）
3 月 12 ～ 14 日	2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ／第 16 回 MLF シンポジウム／第 42 回 PF シンポジウム（つくば国際会議場）

※最新情報は http://pfwww.kek.jp/spice/getschtxt をご覧下さい。

運転スケジュール（Sep. ～Dec. 2024）

E ：ユーザー実験　B ：ボーナスタイム
M ：マシンスタディ　T ：立ち上げ
MA ：メンテナンス　HB ：ハイブリッド運転
I ：産業利用促進日

9月	PF	PF-AR
1（日）	STOP	STOP
2（月）		
3（火）		
4（水）		
5（木）		
6（金）		
7（土）		
8（日）		
9（月）		
10（火）		
11（水）		
12（木）		
13（金）		
14（土）		
15（日）		
16（月）		
17（火）		
18（水）		
19（木）		
20（金）		
21（土）		
22（日）		
23（月）		
24（火）		
25（水）		
26（木）		
27（金）		
28（土）		
29（日）		
30（月）		

10月	PF	PF-AR
1（火）	STOP	STOP
2（水）		
3（木）		
4（金）		
5（土）		
6（日）		
7（月）	T/M	
8（火）		
9（水）		
10（木）	E	
11（金）		
12（土）		
13（日）		
14（月）		
15（火）		
16（水）	B	
17（木）	E	T/M
18（金）		
19（土）		
20（日）		
21（月）		
22（火）		E (5GeV)
23（水）	B	B (5GeV)
24（木）	M	E (5GeV)
25（金）	E	
26（土）		
27（日）		
28（月）		
29（火）		
30（水）	B	B (5GeV)
31（木）	E	M

11月	PF	PF-AR
1（金）	E	E (5GeV)
2（土）		
3（日）		
4（月）		
5（火）		
6（水）	B	B (5GeV)
7（木）	M	E (5GeV)
8（金）	E	
9（土）		
10（日）		
11（月）		
12（火）		
13（水）	B	B
14（木）	E	M
15（金）		E (5GeV)
16（土）		
17（日）		
18（月）		M
19（火）		
20（水）	B	B (6.5GeV)
21（木）	M	E (6.5GeV)
22（金）	E	
23（土）		
24（日）		
25（月）		
26（火）		
27（水）	B	B (6.5GeV)
28（木）	M	E (6.5GeV)
29（金）	HB	
30（土）		

12月	PF	PF-AR
1（日）	HB	E (6.5GeV)
2（月）		
3（火）		
4（水）	(B) HB	B (6.5GeV)
5（木）	HB	M
6（金）		E (6.5GeV)
7（土）		
8（日）		
9（月）		
10（火）		
11（水）	(B) HB	B (6.5GeV)
12（木）	HB	E (6.5GeV)
13（金）		
14（土）		
15（日）		
16（月）		STOP
17（火）		
18（水）	(B) HB	
19（木）	M	
20（金）	HB	
21（土）		
22（日）		
23（月）		
24（火）		
25（水）	(B) HB	
26（木）	HB	
27（金）	STOP	
28（土）		
29（日）		
30（月）		
31（火）		

スケジュールは変更されることがありますので、最新情報はPFホームページ（https://www2.kek.jp/imss/pf/）の「PFの運転状況／長期スケジュール」（https://www2.kek.jp/imss/pf/apparatus/schedule/）ご覧ください。

掲示版

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　君島堅一
北島義典

2024 年 9 月 30 日（月）に，第 64 回放射光共同利用実験審査委員会（PF-PAC）全体会議が，オンライン会議形式で開催されました。放射光実験施設報告や PF-PAC 制度の改正など実験施設運営に関する重要事項の報告と協議が行われました。今回は課題審査もなく，審議事項はありませんでした。

報告事項（抜粋）

・放射光実験施設報告（五十嵐実験施設長）

2024 年度の運転計画，PF 研究会，BL-12A 及び BL-11 の現状と予定などについて報告がありました。

・P 型課題審査結果

前回会議以降に申請された P 型課題の審査結果が報告されました。

協議事項（抜粋）

１．開発研究多機能ビームラインの運用制度について

開発研究多機能ビームライン（BL-11）の利用開始に向けて新しいカテゴリー RD 課題（仮称）を新設することに関して意見交換しました。2025 年度後期（2025 年春の申請）から始められるよう，年度内には結論を得るようにする予定としています。

２．課題申請書の改訂について

これまでの課題審査で提起された問題点を解消するため，課題申請書の記載事項の変更（申請システムの改修を伴う書式の変更）と記述内容に関するルールを定めて周知することについて意見交換しました。方向性については概ね了解されたので申請システムの改修の準備を始めることとしました。

３．旅費の公平な配分について

主に航空運賃について請求される旅費に大きな差異がある例があり，限られた予算からの旅費の支出について金額や回数の制限を設けるべきか，「公平な配分」のためにはどうすべきかについて，意見交換しました。

４．S2 型課題の説明の見直しについて

従来の説明では「長期のビームタイムを必要とする」「高度な研究・難易度の高い研究」を行うためのカテゴリーとされていますが，これを見直すべきかどうかについて意見交換しました。

第 174 回物質構造科学研究所運営会議議事次第

日時：2023 年 9 月 9 日（月）　15:15 ～
場所：高エネルギー加速器研究機構管理棟大会議室 ＋
　　ウェブ（Zoom）併用

【１】第 173 回議事要録の確認について

【２】審議
(1)　マルチプローブ共同利用実験課題に関する申合せの改正について
(2)　2024 年度後期ミュオン共同利用 S 型実験課題審査結果について
(3)　2024B 期 J-PARC/MLF における大学共同利用中性子実験課題（一般・産業利用）の審査結果について
(4)　2024B 期 J-PARC/MLF における大学共同利用ミュオン実験課題（一般）の審査結果について
(5)　次期研究主幹の選考について
(6)　次期技術副主幹の選考について
(7)　教員人事（物構研 24-1・准教授 1 名）
(8)　教員人事（物構研 24-2・教授 1 名）
(9)　教員人事（物構研 24-3・教授 1 名）
(10)　教員人事（物構研 24-4・教授 1 名）
(11)　教員人事（放射光施設・特定人事・特別教授 1 名）
(12)　教員人事（ミュオン・特定人事・特別教授 1 名）

【３】協議
(1)　中性子イメージングについて

【４】報告
(1)　人事異動
(2)　研究員の選考結果について
(3)　2024 年度後期マルチプローブ共同利用実験課題審査結果について
(4)　2024 年度後期放射光共同利用実験課題審査結果について（条件解除）
(5)　2024 年度通期放射光共同利用実験課題審査結果について

【５】研究活動報告（資料配布のみ）
(1)　物質構造科学研究所報告
(2)　素粒子原子核研究所報告
(3)　加速器研究施設報告
(4)　共通基盤研究施設報告

物構研コロキウム

日時：2024 年 10 月 7 日（月）15:30 ～ (4 号館セミナーホール & Zoom）
題名：#64 文化財科学からみた文理融合研究における量子ビーム利用への期待 — 非鉄金属生産技術を事例に —
講師：沓名貴彦氏（国立科学博物館）

日時：2024 年 11 月 14 日（木）15:30 ～（東海キャンパス（1 号館 3 階 324 室）& Zoom）
題名：#65 クライオ電子顕微鏡による生体分子イメージング— タンパク質粒子から細胞まで —
講師：前田晋太朗氏（サーモフィッシャーサイエンティフィック）

編集委員会だより

「PF ニュース」からのお知らせ

平成 24 年度の 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，引き続き冊子版も発行し，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，どうぞご登録下さい。PF ニュースウェブページにフォームを掲載しています。

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，どうぞご投稿下さい。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：029-879-6196　　FAX：029-864-2801
Email：pf-news@pfiqst.kek.jp
URL：https://www2.kek.jp/imss/pf/pfnews/

編集後記

この編集後記を書いている 10 月現在，漸く夏から続く暑さがおさまり，秋の涼しさを感じられるようになりました。私は某大学の化学系学科に所属しておりますので，夏季休業期間が終わって秋学期の講義が始まる 10 月はキャンパスに活気が戻るのを実感します。今年は 12 月初旬に PF のビームタイムをいただけたので，現在は測定に向け，学生たちと協力してサンプルの検討を行なっております。私は修士課程の 1 年目に初めて放射光施設での測定を体験して以来，毎年放射光実験を行なっていますが，やはり超大型実験施設で測定を行う非日常感溢れる楽しさは色褪せないものであると実感します。願わくは研究室の学生にも同様な感動を覚えてほしいと思っています。

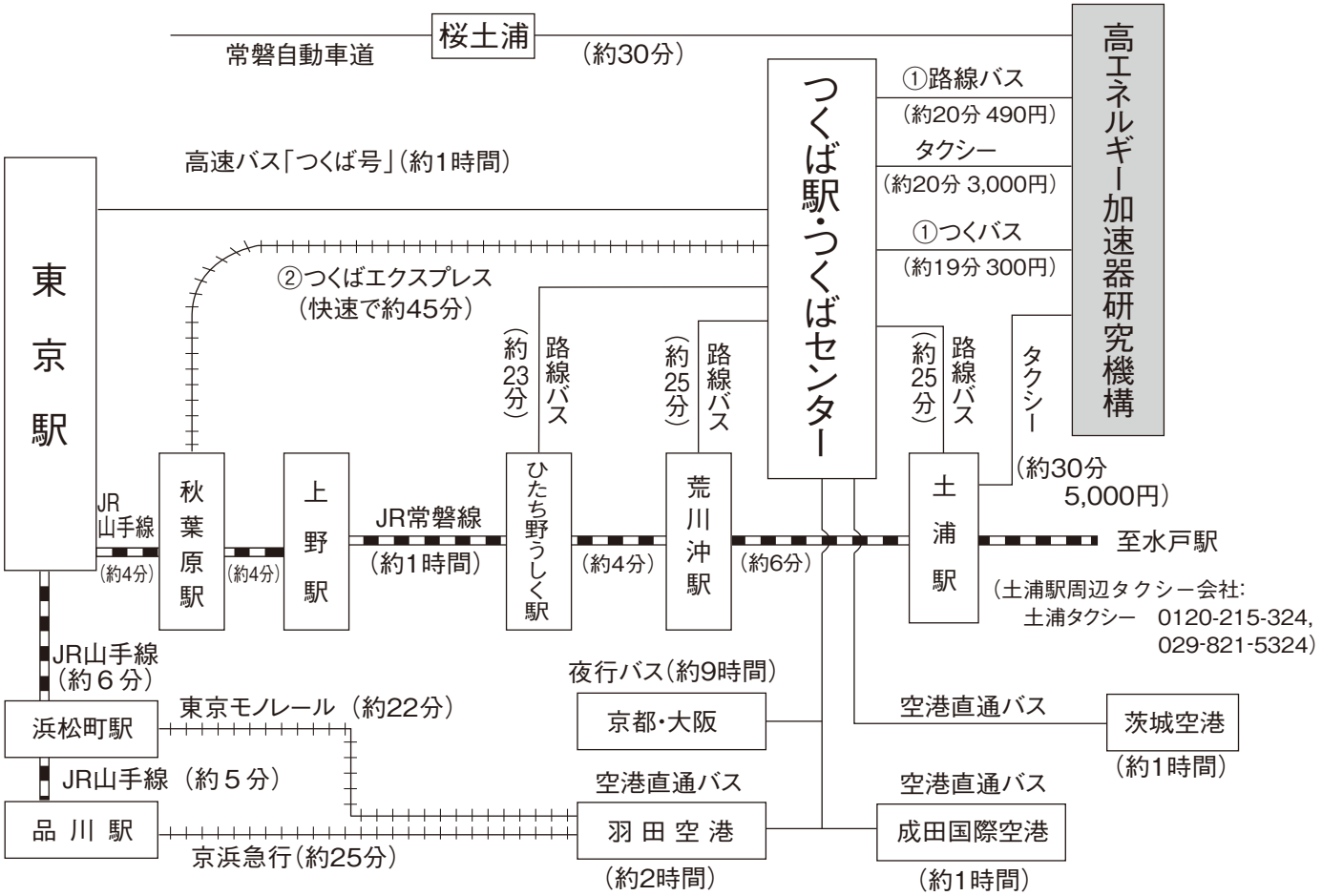
さて，PF ニュースの外部編集委員に加えていただいてから今年で 2 年目となりました。委員会の会議に参加しますと，放射光および粒子線を用いる測定技術の応用例が非常に多岐に渡っており，これら測定技術が最先端の科学を支えているということを再認識します。特に，自分の専門分野外の領域で放射光・粒子線を利用してどのように研究が展開されているかを知る良い機会となりました。私も他の PF ユーザーを触発するような研究を展開できるよう努力していきたい所存です。（S.H.）

＊ 2024 年度 PF ニュース編集委員＊

委員長	小澤　健一	物質構造科学研究所
副委員長	高橋　　真	JFE テクノリサーチ株式会社
委　員	宇佐美徳子	物質構造科学研究所
	熊井　玲児	物質構造科学研究所
	鈴木真粧子	群馬大学 大学院理工学府
	武田　崇仁	広島大学 先進理工系科学研究科
	長谷川慎吾	横浜国立大学 大学院工学研究院
	平川　　力	産業技術総合研究所
	山根　　崚	東北大学 金属材料研究所
事務局	高橋　良美	物質構造科学研究所
	加世田　薫	物質構造科学研究所
	川端　庸平	酪農学園大学 農食環境学群
	佐賀山　基	物質構造科学研究所
	高木　宏之	加速器研究施設
	永田　隆平	名古屋大学 大学院生命農学研究科
	引田　理英	物質構造科学研究所
	山下　翔平	物質構造科学研究所
	和田　　健	物質構造科学研究所

KEK アクセスマップ・バス時刻表

※ご利用の際には
事前にご確認下さい。



KEK周辺タクシー会社：大曽根タクシー　0120-000-302, 029-864-0301
（受付：5時～25時※配車は6:00～ 早朝の利用は事前予約推奨）
松見タクシー　029-851-1432（24時間）

つくば～空港直通バス:
https://www.bus-ibaraki.jp/hwbus/highway.html

①つくばセンター ⟷ KEK

（2024年10月1日改定）

関東鉄道バス　所要時間　約20分　　運賃　490円（KEK－土浦駅間の料金は830円）　つくばセンター乗り場５番

18 系統：土浦駅東口～つくばセンター～ KEK ～つくばテクノパーク大穂　　C8 系統：つくばセンター～ KEK ～つくばテクノパーク大穂

71 系統：つくばセンター～（西大通り）～ KEK ～下妻駅（筑波大学は経由しません）

つくバス　　所要時間　約20分　　運賃　300円　　つくばセンター乗り場３番

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

HAのつくばセンター行きは10分程度早着することもありますのでご留意下さい。

☆は大型バスのため大穂窓口センター通過

【平日】下り

系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK
HB	6:55	7:17	C8A	10:00	10:16	HB	14:00	14:22	HB	18:10	18:32
HB	7:20	7:42	71	10:05	10:26	HB	14:35	14:57	C8	18:30	18:45
C8	7:20	7:42	HB	10:10	10:32	HB	15:20	15:42	HB	18:50	19:12
HB	7:50	8:12	HB	10:45	11:07	HB	16:10	16:32	71	19:13	19:34
C8	7:50	8:12	71	11:00	11:21	C8	16:25	16:40	HB	19:30	19:52
C8	8:12	8:27	HB	11:25	11:47	71	16:43	17:04	HB	20:10	20:32
HB	8:25	8:47	HB	11:50	12:12	C8	17:00	17:15	HB	21:10	21:32
HB	9:15	9:37	HB	12:25	12:47	HB	17:10	17:32	HB	21:50	22:12
HB	9:40	10:02	HB	13:00	13:22	C8	17:55	18:10	HB	22:20	22:42

18系統の土浦駅東口→つくばセンターは20分間です。

【平日】上り

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

【土曜・休日】下り

※HB/HA ＜つくば北部シャトル＞は土日・祝日限定で1日乗車券500円が利用可能です。【交通系ICカード利用可】

系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK	系統	つくばセンター	KEK
HB	7:10	7:32	HB	10:55	11:17	HB	14:50	15:12	HB	18:20	18:42
HB	7:40	8:02	HB	11:40	12:02	HB	15:40	16:02	HB	19:15	19:37
HB	8:25	8:47	HB	12:30	12:52	HB	16:50	17:12	HB	19:55	20:17
HB	9:25	9:47	HB	13:10	13:32	HB	17:30	17:52	HB	20:55	21:17
HB	10:10	10:32	HB	14:05	14:27	71	17:50	18:11	HB	21:40	22:02
									HB	22:20	22:42

【土曜・休日】上り

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

それ以外の時刻等については、下記よりご確認下さい。

https://www.mir.co.jp/ https://www.mir.co.jp/ https://www.mir.co.jp/

つくばエクスプレス

https://www.kantetsu.co.jp/highwaybus/tsukuba-tokyo https://www.kantetsu.co.jp/highway/tsukuba-tokyo

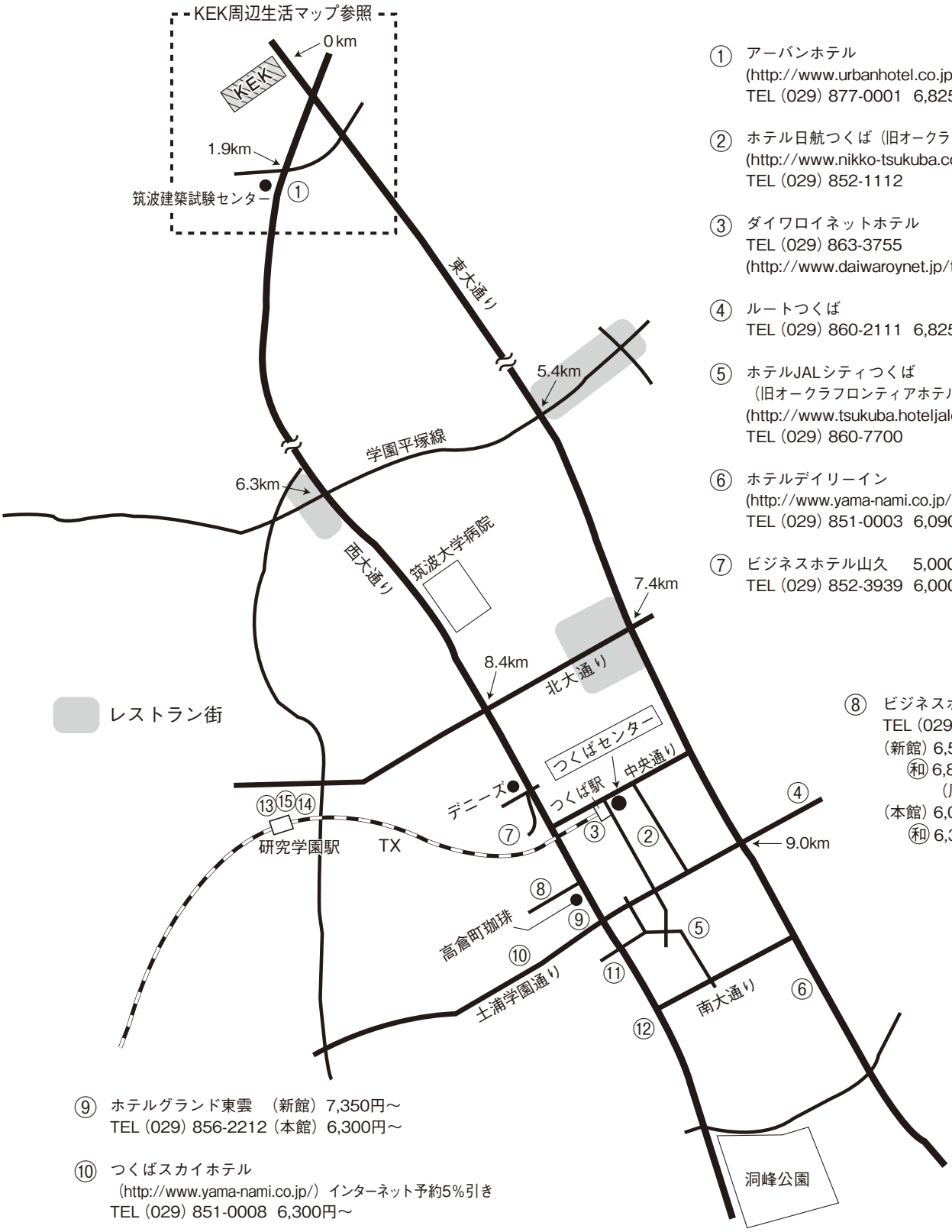
高速バス「つくば号」

https://www.kantetsu.co.jp/img/news/2022/220401_bus/info.pdf https://www.kantetsu.co.jp/img/news/2022/220401_bus/info.pdf

つくばセンター・羽田空港

つくば市内宿泊施設

※料金は参考値です。



① アーバンホテル
(http://www.urbanhotel.co.jp/uhotel.html)
TEL（029）877-0001　6,825円～

② 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

③ ダイワロイネットホテル
TEL（029）863-3755
(http://www.daiwaroynet.jp/tsukuba/)

④ ルートつくば
TEL（029）860-2111　6,825円～（朝食付）

⑤ 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

⑥ 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

⑦ 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）

⑧ 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）

⑨ ホテルグランド東雲　（新館）7,350円～
TEL（029）856-2212（本館）6,300円～

⑩ 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～

⑪ 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～

⑫ 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）

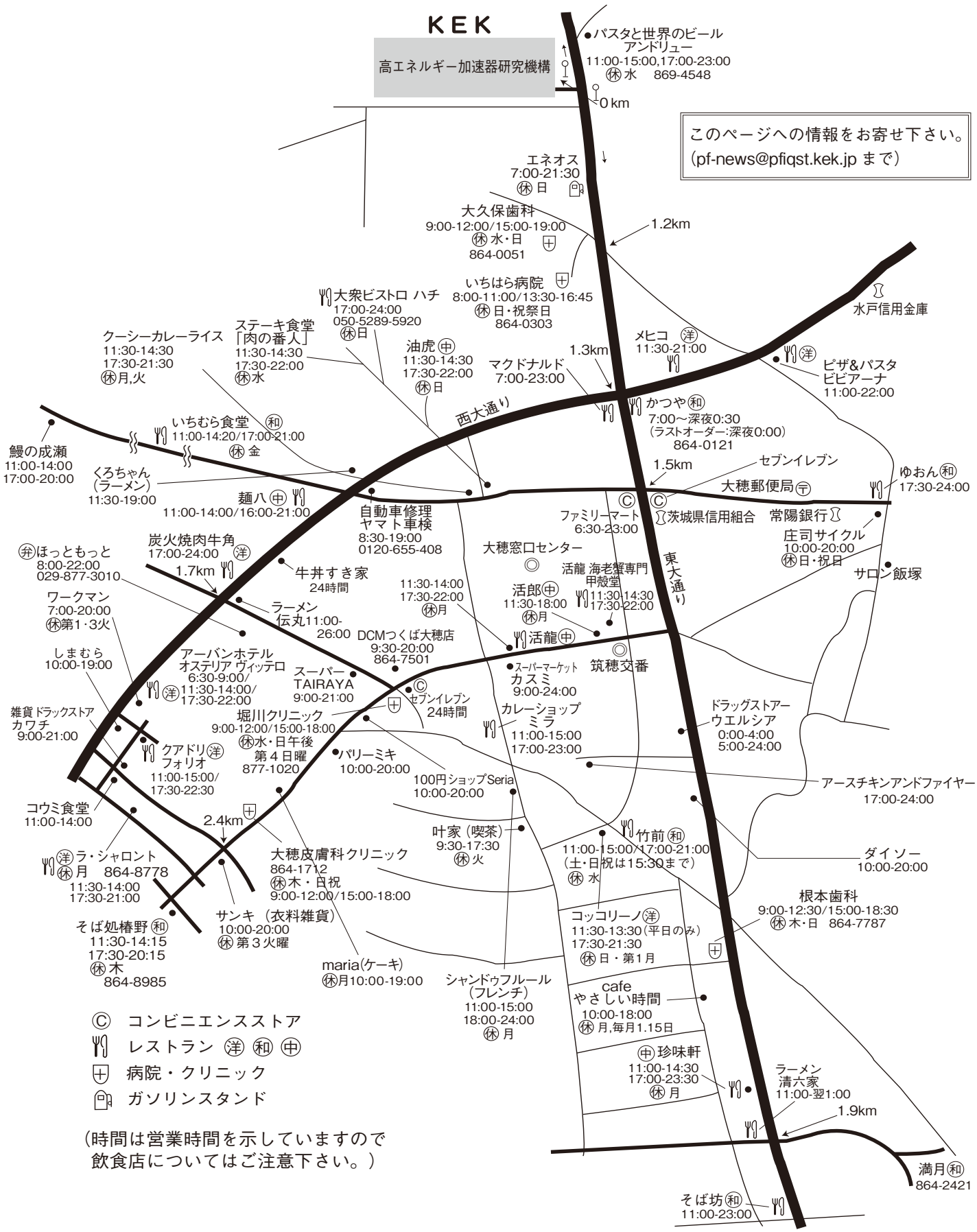
⑬ ホテルベストランド
（http://www.hotel-bestland.co.jp）
TEL（029）863-1515

⑭ 東横イン
（http://www.toyoko-inn.com/hotel/00228/）
TEL（029）863-1045

⑮ 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

放射光実験施設研究棟，実験準備棟より正面入口までは約 800 m



KEK周辺広域マップ
至東北道
矢板IC
筑波山
ふれあい公園
イオン
至東北道
（佐野藤岡IC
館林IC加須IC）
学園都市入口
高エネルギー加速器研究機構
KEK
正面入口
至常磐道千代田石岡IC
マクドナルド
進行方向
筑波山方面
土浦北IC
筑波大学
筑波大附属病院
至水戸
平塚通り
iias
つくばセンター
バスターミナル
土浦学園線
研究学園駅
学園東
つくば駅
土浦駅
ガスト
東大通り
大角豆
稲荷前
西大通り
つくばエクスプレス
万博記念公園駅
つくば中央IC
サイエンス大通り
桜土浦IC
JR常磐線
至岩井
谷田部IC
常磐高速自動車道
上横場
荒川沖駅
至秋葉原
つくば牛久IC
ひたち野うしく駅
牛久阿見IC
至東関東・成田
至東京
谷和原IC
至上野
0 1 2km
至取手

KEK内福利厚生施設

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

●共同利用研究者宿泊施設（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
・3号棟，4号棟　2,600円
・5号棟　3,100円
シングルバス・トイレなし　2,100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。

●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　8:30～12:00／13:00～17:00
（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　17:30～18:50（ラストオーダー 18:30）

●喫茶室 Suzu Cafe（スズカフェ）（内線 3910）
10 月 7 日（月）から 12 月 27 日（金）までの間は，下記の通りの営業となります。昼食のみ（11:30～15:00）。ただし，毎週木曜日は休業。

【平日】
昼食のみ　11:30～15:00まで
（ラストオーダー14:30）

【土・日・祝日】
昼食のみ　11:30～15:00まで
（ラストオーダー14:30）

●売　店（いいじま）（内線 2987）
弁当，パン，食料品，軽食，菓子類，日用品，雑誌，切手等，KEKオリジナルグッズの販売，宅配便（ヤマトのみ）等。
月～金　8:30～18:00（国民の祝日，年末年始，夏季一斉休業日は除く）
土（運転期間中のみ）　11:00～14:00

※PF研究棟1階ユーザー控室近くで，PayPay等のキャッシュレス決済で支払いができる無人販売があります。

●宅配便（宅配荷物室はPF研究棟１階）
★荷物は基本的に置配となります（冷蔵便・冷凍便含む）。
★荷物の発送はご自身でお願いいたします。
宅配荷物室に設置したファイルで，業者への発送依頼方法を必ずご確認ください。
★伝票の記載方法
〒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　放射光実験施設
【PFで荷物を受け取る場合】PF宅配荷物室
BL-○○（ステーション名）＋受取人名
【PF-ARで荷物を受け取る場合】PF-AR共同研究棟　N○○○（ステーション名）＋受取人名
※電話番号は，受取人の携帯電話番号等を記入してください。
PF事務室の電話番号は記入しないようにお願いします。

●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/をご覧下さい。
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（2024. 11. 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	担当者	担当者（所外）
	（●共同利用，○建設/立ち上げ中，◇所外，☆教育用BL，★UG運営ST）			
BL-1		**U**	**松垣**	
BL-1A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣	
BL-2		**U**	**大東**	
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	大東	
BL-3		**U（A）/ＢＭ（B, C）**	**中尾**	
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	●★	真空紫外光電子分光ステーション	小澤	櫻井（筑波大） 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	
BL-4		**ＢＭ**	**中尾**	
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	
BL-5		**ＭＰＷ**	**松垣**	
BL-5A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣	
BL-6		**ＢＭ**	**高木（秀）**	
BL-6A	●	X線小角散乱ステーション	高木（秀）	
BL-6C	●★	Ｘ線回折／散乱実験ステーション	中尾	八方（広島市大）
BL-7		**ＢＭ**	**雨宮（岡林：東大）**	
BL-7A（東大・スペクトル）	◇●	軟X線分光（XAFS, XPS）ステーション	雨宮	岡林（東大）
BL-7C	●	汎用X線ステーション	杉山	
BL-8		**ＢＭ**	**奥山**	
BL-8A	●	多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	奥山	
BL-8B	●	多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	奥山	
BL-9		**ＢＭ**	**阿部**	
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	
BL-10		**ＢＭ**	**高木（秀）**	
BL-10A	●★	垂直型四軸X線回折装置	熊井	栗林（東北大）
BL-10C	●	Ｘ線小角散乱ステーション	高木（秀）	
BL-11		**ＢＭ**	**若林**	
BL-11A	○	開発研究多機能ビームライン（建設中）		
BL-11B	○	開発研究多機能ビームライン（建設中）		
BL-12		**ＢＭ**	**大東**	
BL-12A	○	広波長域軟X線ビームライン	大東	
BL-12C	●	XAFS（ハイスループット）実験ステーション	城戸	
BL-13		**U**	**間瀬**	
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	
BL-14		**ＶＷ**	**平野**	
BL-14A	●	単結晶構造解析・検出器開発ステーション	佐賀山	
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	杉山	
BL-15		**U**	**丹羽**	
BL-15A1	●	XAFS（セミマイクロビーム）実験ステーション	丹羽	
BL-15A2	●	高輝度Ｘ線小角散乱実験ステーション	高木（秀）	
BL-16		**U**	**雨宮**	
BL-16A	●	可変偏光軟Ｘ線分光ステーション	雨宮	

BL-17		**U**	**引田**	
BL-17A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	引田	
BL-18		**ＢＭ**	**熊井**	
BL-18B(インド･DST)	◇●	Multipurpose Monochromatic Hard X-ray Station	熊井	Mrinmay Mukhopadhyay（SINP）
BL-18C	●★	超高圧粉末Ｘ線回折計	柴崎	鍵（東大）
BL-19		**U**	**山下**	
BL-19A/B	●	軟Ｘ線顕微／分光実験ステーション	山下	
BL-20		**ＢＭ**	**足立**	
BL-20A	●★	３ｍ直入射型分光器	足立	彦坂（富山大）
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	
BL-27		**ＢＭ**	**宇佐美**	
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）
BL-28		**ＨＵ**	**小澤**	
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	小澤	
PF-AR				
AR-NE1		**ＥＭＰＷ**	**柴崎**	
AR-NE1A	●	レーザー加熱超高圧実験ステーション	柴崎	
AR-NE3		**U**	**松垣**	
AR-NE3A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣	
AR-NE5		**ＢＭ**	**柴崎**	
AR-NE5C	●	高温高圧実験ステーション /MAX80	柴崎	
AR-NE7		**ＢＭ**	**平野**	
AR-NE7A	●	Ｘ線イメージングおよび高温高圧実験ステーション	平野	
AR-NW2		**U**	**丹羽**	
AR-NW2A	●	時間分解 DXAFS ／Ｘ線回折実験ステーション	丹羽	
AR-NW10		**ＢＭ**	**城戸**	
AR-NW10A	●	XAFS（高エネルギー）実験ステーション	城戸	
AR-NW12		**U**	**引田**	
AR-NW12A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	引田	
AR-NW14		**U**	**野澤**	
AR-NW14A	●	ピコ秒時間分解Ｘ線回折・散乱・分光	野澤	
AR-SE2A		**（電子ビーム）**	**素粒子原子核研究所・測定器開発センター**	
AR-SE2A	●	測定器開発テストビームライン	（五十嵐）	
低速陽電子			**和田**	
SPF-A3	●	全反射高速陽電子回折（TRHEPD）ステーション	和田	
SPF-A4	●	低速陽電子回折（LEPD）ステーション	和田	
SPF-B1	●	汎用低速陽電子実験ステーション	和田	
SPF-B2	●	ポジトロニウム飛行時間測定ステーション	和田	

【UG 運営装置】 AR-NE7A 高温高圧実験装置（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 DST	Mrinmay Mukhopadhyay	029-879-6237［2628］	mrinmay.mukhopadhyay@saha.ac.jp

【共同利用ユーザーに関するその他設備の担当者一覧】

〔共通設備〕

Ｘ線準備室		熊井	(4977)
生物試料準備室		宇佐美	(4581)
生理試料準備室		高木(秀)	(2688)
結晶準備室・低温室		引田	(4901)
蒸着室		菊地	(4420)
暗室		杉山	(4421)
化学試料準備室		丹羽	(4942)
工作室	PF	森	(4361)
	PF-AR	柴崎	(4359)

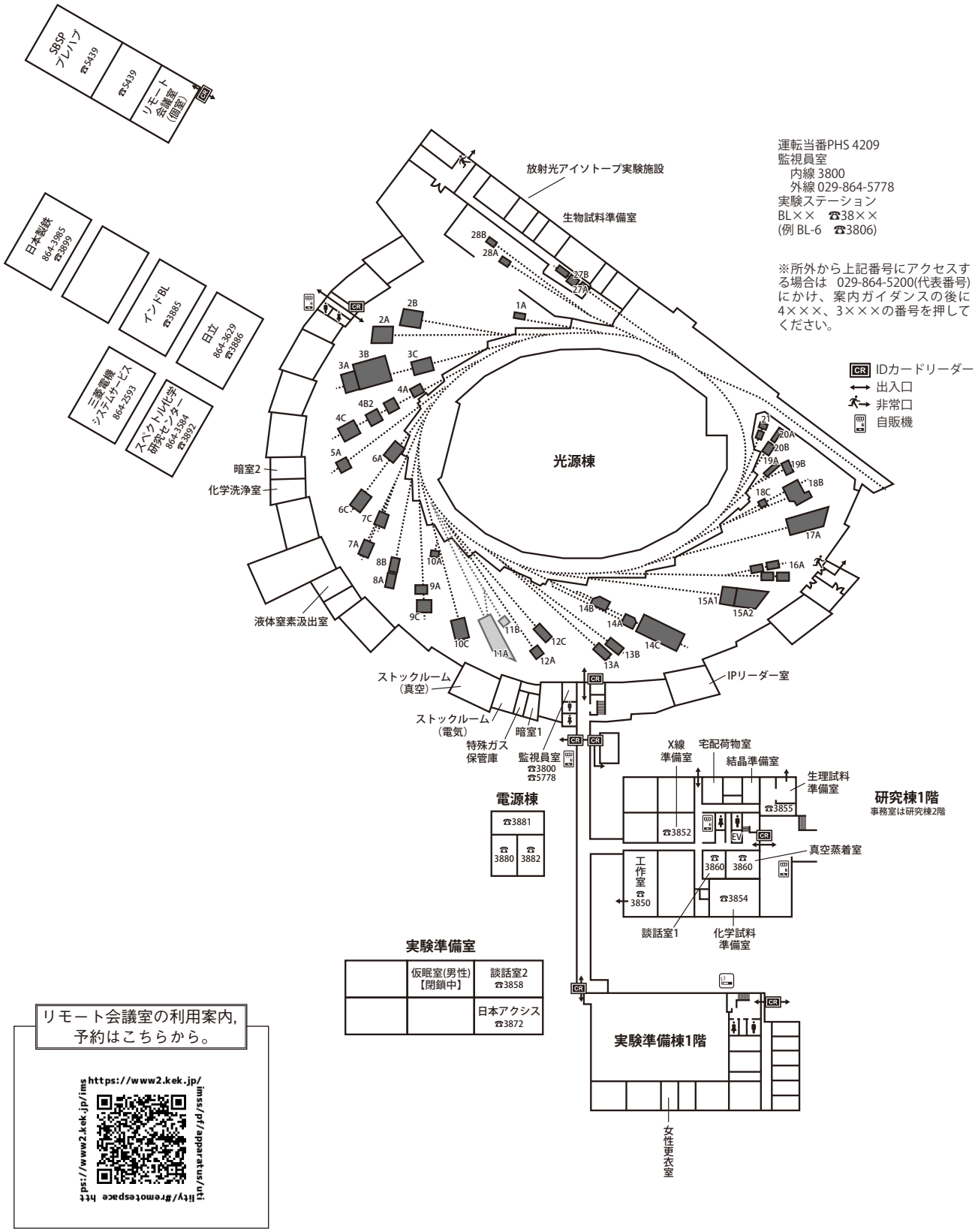
〔支援業務〕

ストックルーム	真空部品	菊地	(4420)
	電気部品	豊島	(4381)
ユーザー控え室		菊地	(4420)
リモート会議室		小山	(4362)
仮眠室		菊地	(4420)
女子更衣室		宇佐美	(4581)

〔安全管理〕

安全全般	北島	(4279)
化学薬品・特殊ガス	北島	(4279)
ボンベ	内田	(4599)
液体窒素・液体ヘリウム	森	(4361)
放射線安全	仁谷	(4900)
サーベイメータ	斉藤	(4462)
トラック	斉藤	(4462)
クレーン・フォークリフト	菊地	(4420)

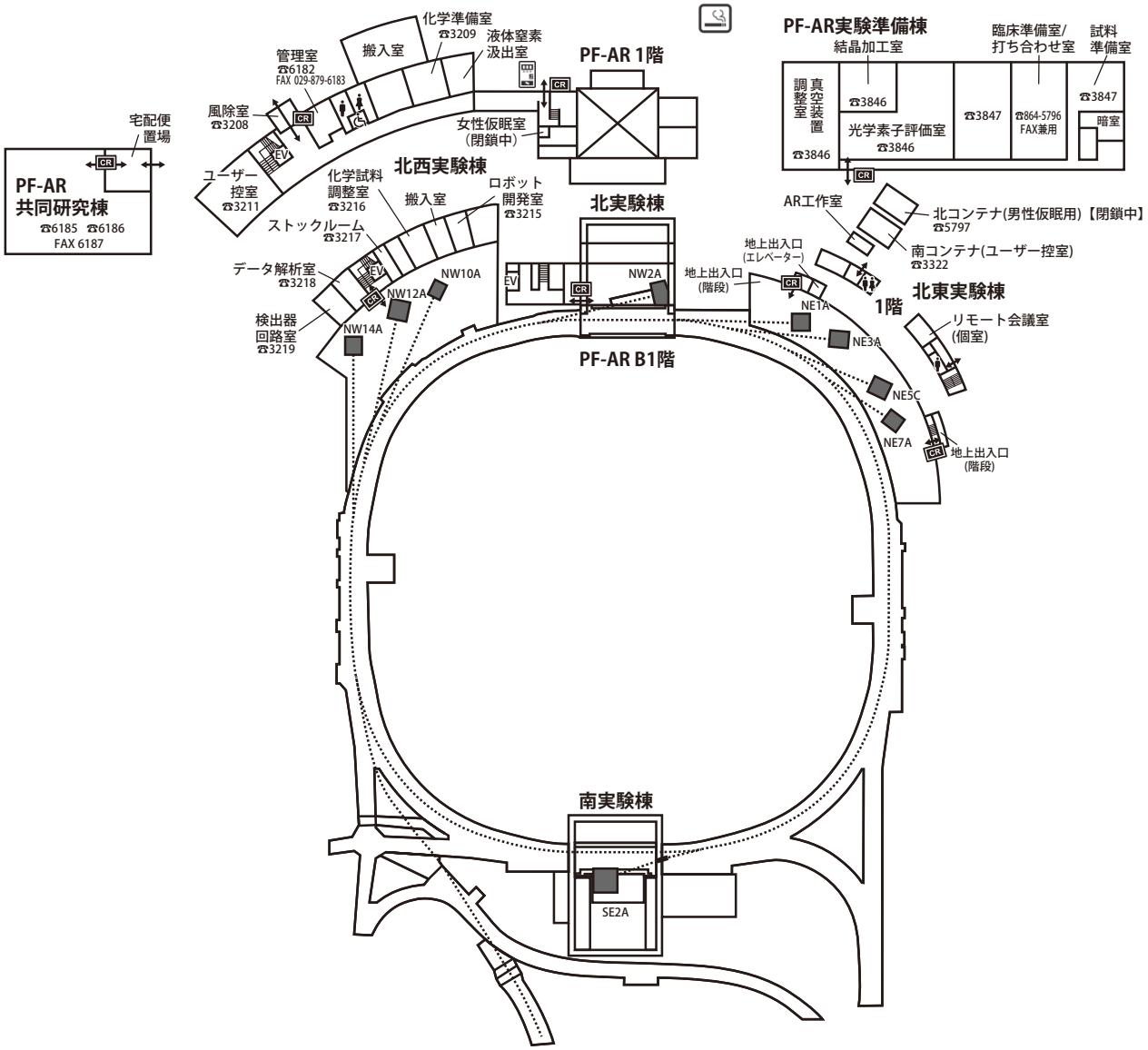
PF 平面図



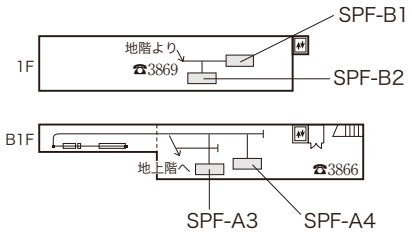
リモート会議室の利用案内,
予約はこちらから。

https://www2.kek.jp/ims/pf/apparatus/utility/#remotespace

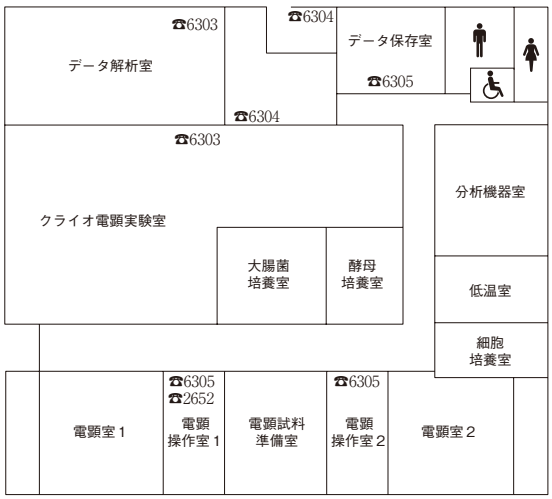
PF-AR 平面図



低速陽電子実験施設平面図



クライオ電顕実験棟平面図



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:029-879-6196）
〒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.42　No.3　2024　TEL:029-864-1171（機構代表）