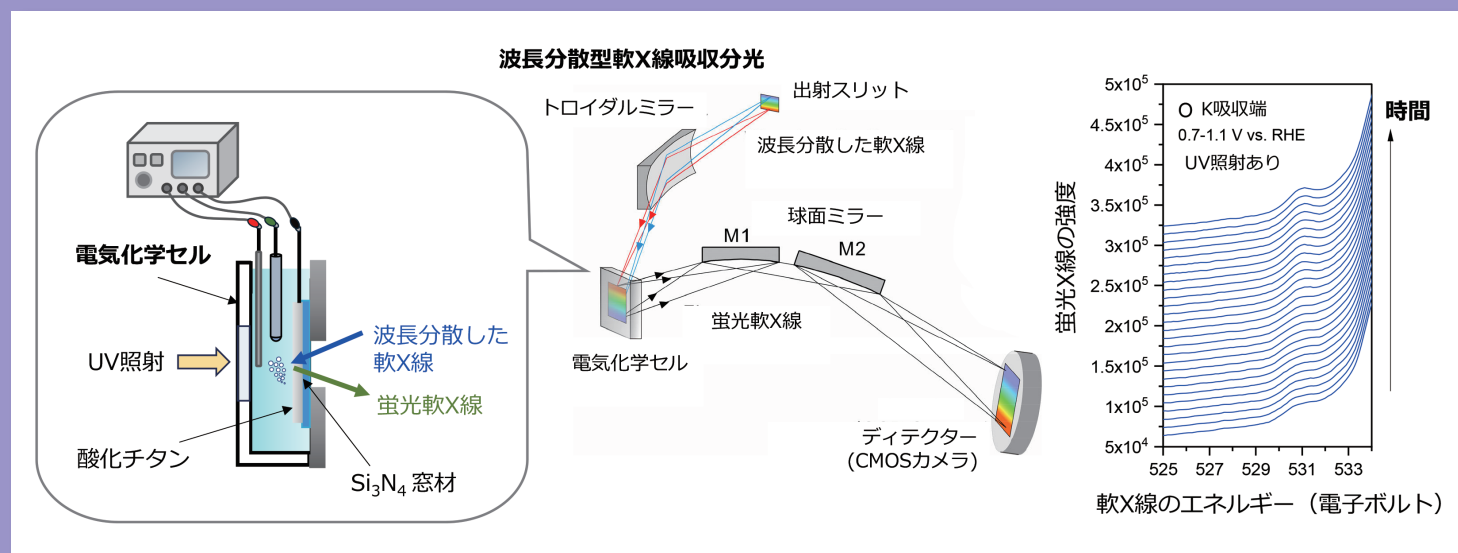
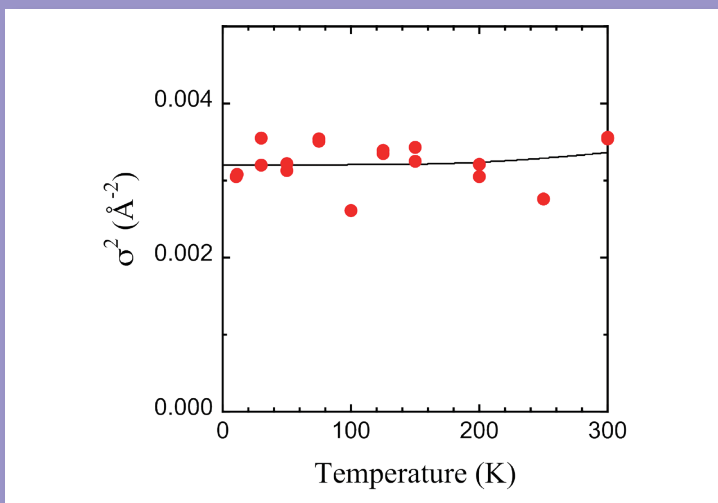
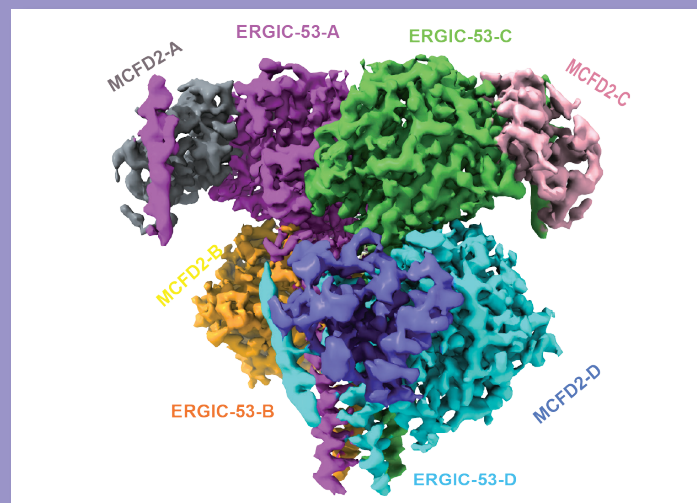


- 血液凝固因子の正常な分泌に必須なカーゴ受容体のクライオ電子顕微鏡構造解析
- 水分解用光触媒電極の固液界面反応の波長分散型軟X線吸収分光法によるリアルタイム・オペランド観察
- α -SのS-K端XAFSの温度依存測定からわかった異常に強いS-S結合



目次

施設だより	五十嵐教之	1
現 状		
入射器の現状	恵郷 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	9
放射光科学第一、第二研究系の現状	雨宮 健太	10
低速陽電子実験施設の現状	和田 健	13
最近の研究から		
血液凝固因子の正常な分泌に必須なカーゴ受容体のクライオ電子顕微鏡構造解析 Cryo-EM Structure of a Cargo Receptor for Normal Secretion of Blood Coagulation Factors	渡部 聡, 稲葉 謙次	16
水分解用光触媒電極の固液界面反応の 波長分散型軟 X 線吸収分光法によるリアルタイム・オペランド観察 Real-time and Operando Observation of Intermediates at the Solid-liquid Interface of Photocatalyst Electrode using Wavelength-dispersive Soft X-ray Absorption Spectroscopy	阪田 薫穂, 雨宮 健太	21
α -S の S-K 端 XAFS の温度依存測定からわかった異常に強い S-S 結合 Extraordinary Rigid S-S Bond of α -S through Investigation via Temperature-Dependent Measurements of S-K Edge XAFS	池本 弘之, 宮永 崇史	25
プレスリリース		
天然メタンハイドレートのマクロとミクロの構造可視化に成功 メタンハイドレートを高密度分解能・高空間分解能で三次元非破壊測定		32
木質由来の低分子性リグニンを分解できる細菌の炭素利用の一端を解明 バイオマスの利用に向けて		32
半導体デバイスの動作中に内部構造の可視化に成功 半導体を評価する新しい手法の提案		32
バルクでは磁石につかない物質を原子層厚の薄膜で磁石に変換 一次世代スピントロニクスへの応用に期待		33
研究会等の開催・参加報告		
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 シンポジウム開催報告	木村 正雄, 梅垣いづみ	34
2024 年度量子ビームサイエンスフェスタに参加して 1	村野 由羽	35
2024 年度量子ビームサイエンスフェスタに参加して 2	本間 飛鳥	35
PF 研究会「放射光科学での DX: Digital transformation in research using synchrotron radiation」開催報告	木村 正雄	36
ユーザーとスタッフの広場		
PF トピックス一覧 (2 月～4 月)		38
PF-UA だより		
2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ 学生奨励賞について	高草木 達, 北口 雅暁	39
令和 6 年度 第 3 回 PF-UA 幹事会・運営委員会 議事録		40
令和 6 年度 第 4 回 PF-UA 幹事会 議事録		40
令和 6 年度 PF-UA 総会 議事録		40
PF-UA 幹事名簿, PF-UA 運営委員名簿		42
ユーザーグループ一覧		43
人 事		
人事異動		44
新人紹介		45
お知らせ		
Photon Factory Activity Report 2024 ユーザーレポート執筆のお願い	松垣 直宏	46
「第 13 回対称性・群論トレーニングコース」基礎コース (英語講座・日本語講座) 開催のお知らせ	五十嵐教之	46
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 大学院説明会及び学生募集のお知らせ	熊井 玲児	47
2025 年度後期フォトンファクトリー研究会の募集	五十嵐教之	48
予定一覧		48
運転スケジュール (Apr. ~ Jul. 2025)		49
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	50
第 180 回 物質構造科学研究所運営会議議事次第		50
物構研コロキウム		51
放射光共同利用実験審査委員会委員名簿		52
放射光共同利用実験審査委員会委員名簿 (分科会別), 2025 年度 客員研究員一覧		53
2024 年度 PF 課題 (PF-S, PF-G, PF-T) 一覧		54
2024 年度 PF 課題 (PF-SBRC) 一覧, 2024 年度 PF 課題 (PF-CIQuS) 一覧		55
2024 年度第 3 期配分結果一覧		56
編集委員会だより		
「PF ニュース」からのお知らせ		58
投稿のお願い		58
編集後記		58
巻末情報		59

〈表紙説明〉最近の研究から

- (左上) 血液凝固因子の正常な分泌に必須なカーゴ受容体のクライオ電子顕微鏡構造解析 (「血液凝固因子の正常な分泌に必須なカーゴ受容体のクライオ電子顕微鏡構造解析」より)
- (右上) ほとんど温度依存性が見られない、 α -S の S-S 結合の平均 2 乗相対変位 (MSRD) の温度変化 (「 α -S の S-K 端 XAFS の温度依存測定からわかった異常に強い S-S 結合」より)
- (下) 波長分散型軟 X 線吸収分光と電気化学セルを組み合わせた光電極触媒 (酸化チタン) の観察 (「水分解用光触媒電極の固液界面反応の波長分散型軟 X 線吸収分光法によるリアルタイム・オペランド観察」より)

新放射光源施設計画については、これまで施設内外で慎重に議論を重ね、検討を進めてきましたが、現在その大枠を決める非常に重要なタイミングとなっています。実現に向けては大きな課題がいくつかありますが、その中でもサイエンスケースについては放射光利用の新機軸による新たな研究分野（Leading Field と呼ぶ）を創成することが非常に重要です。そこで、PF では新たな利用形態として2ビーム同時利用を提案し、ユーザーの皆さまや放射光科学の専門家とともに様々な検討を重ねてきました。研究会等を通じて寄せられた数多くの提案をもとに、PF 測定装置部門を中心に内容を煮詰め、我々の目指す Leading Field の叩き台をいくつか作成しましたので、この機会に紹介したいと思います。

2ビーム同時利用としては、2種類のプローブ光を利用する研究と、片方をポンプ光、もう片方をプローブ光として利用する研究（ポンプ・プローブ実験）が考えられます。2種類のプローブ光の同時利用については、一つの試料で複数ビームラインに持ち込んで複数回の実験で実現できることは同時利用の提案には含まれません。期待している研究対象としては、不均質系の観測、また不均質状態により発現する機能の研究が新たな2ビーム同時利用のターゲットとなると考えています。元素選択的に構造と電子状態を解明し、それらの空間相関、時間相関、その観測したパラメータ間の相関を見てやることで、物質・生命の機能発現、劣化、破壊の起源・機構の本質に迫れるものと考えています。ポンプ・プローブ実験では、放射光をポンプ光として用いることにより、特定の軌道の励起や、場所選択的な照射だけでなく、パルス特性、構造化された光等の様々な特徴を活かすことができます。ここではX線ならではの励起効果の発見、宇宙における物質・生命の化学進化の解明、医療標的分子のX線反応制御、光ドミノ効果の起源の微視的な解明等、様々な分野でこれまでできなかった多様な研究展開が可能になると考えています。

上述の2ビーム同時利用に加えて、低速陽電子と放射光を組み合わせた同時利用も放射光利用の新機軸として提案します。物性・機能の鍵を握る表面構造を低速陽電子で決定し、電子状態を放射光で観測することで、スピントロニクス材料等、様々な材料研究に貢献できると考えています。これは物構研でしかできない非常にユニークな研究展開であると言えます。

ここで紹介した Leading Field は暫定的な提案であり、今後ユーザーの皆さまも含めて関係者と意見交換をしながらブラッシュアップしていきたいと考えています。また、内容も大事ですが、これらの Leading Field を表現するキーワードも大事ですので、皆さんとイメージを共有しながら検討したいと思います。皆さま、ご協力のほどよろしくお願いいたします。

もう一つ大事なことは、2ビーム同時利用の実証実験で

す。開発研究多機能ビームライン（BL-11）がこの秋から稼働しますので、そこで実際に色々な実験を展開することができるようになります。実験を展開するためには、ビームラインだけでなく実験装置が必要になりますが、今年度から PF-S 課題「2025PF-S001：2ビーム利用多目的実験システムの構築」を走らせて、今秋からの実験開始に向けて並行して開発を進めています。ここで開発する装置は、試料周りを簡単に交換できるような構造となっており、上記の Leading Field に繋がるような様々な実験提案を実現できるようにしたいと考えています。また、BL-11 の運用については、今春から、共同利用実験課題の新たな審査区分として RD 課題の募集を開始しました。この課題では、BL-11 の利用を必須として、特に2ビーム利用実験や通常のビームラインでは実施困難な技術開発を行うことを想定しています。現在審査中ですが、複数の RD 課題が申請されており、この秋から着実に進められるように準備を進めています。2ビーム利用実験のアイデアや興味をお持ちの方は、ぜひビームライン担当者と連絡を取っていただき、RD 課題の申請をご検討ください。

さて、BL-11 の建設作業が最終段階に入って、これから様々なコンポーネントの設置作業が予定されています。BL-11 は要素技術や実験手法の開発だけでなく、人材育成も一つ大事なミッションとなっています（RD 課題でも若手の参加を必須としています）。そこで、今回初めての取り組みですが、他施設の若手スタッフや申請中の RD 課題の若手に声をかけて、ビームライン建設に参加してもらい、ビームライン技術を学んでもらうことを企画しています。今後も学術施設や大学等と協力して、次代の放射光科学を支える若手人材の育成に繋がる企画を展開したいと考えていますので、どうぞよろしくお願いいたします。

一方、KEK では予算削減の必要性から、2026 年度以降共同利用ユーザー向けの旅費支給を廃止する決定がなされました。ただし、大学院生等の若手支援と加速器運転協力への支援については別途検討することとなっており、現在どのような枠組みで支援するか検討を進めています。非常に厳しい状況ではありますが、リソースを戦略的に集中させるということです。この機会に若手人材育成の観点でより良い制度になるよう努力したいと考えています。ユーザーの皆さまにもご検討いただき、ぜひ具体的な提案を寄せていただければと思います。

以上のように、2ビーム同時利用に向けて準備や検討が進んでいます。次回の PF 計画推進委員会は、7/30 13:30 から Web 会議方式で開催予定です。まだ議題は決まっていますが、PF シンポジウムで紹介しました、蓄積リングを先行、あるいはライナックを先行して整備する段階的整備案も含めて非常に重要な議論が予定されています。どなたでも傍聴可能ですので、皆さんにもぜひ積極的に参加して下さるようお願い申し上げます。

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 恵郷博文
(2025 年 4 月 4 日付け)

運転状況

2024 年 12 月 27 日に 2024 年度第 2 期の運転を終了し、2025 年 2 月 10 日まで冬期メンテナンスを実施した。老朽化による故障リスクの高い直流電磁石電源の交換、発熱が多いパルス電磁石のコイル水冷化、PCB 対策としてのクライストロンタンク内コンデンサ交換、高精度ビーム診断ラインへのコリメータ設置などが主な作業である。2 月 10 日に全メンテナンス作業を終え、2 月 12 日から第 3 期運転の入射器立ち上げを行なった。PF リングには 2 月 25 日よりビーム入射を開始、3 月 18 日からハイブリッドモードに入射運転を切り替えた。PF-AR は 3 月 3 日より 6.5 GeV にてビーム入射を開始した。今期、入射器において大きなトラブルはなく、インターロックによる運転停止頻度はリングへの入射を始めた 2 月中旬には約 300 回/週あったが、その後、RF 調整やコンディショニング効果により大電力高周波系の反射異常が改善され、3 月後半には 60 回/週程度まで減少した。光源リングへのビーム入射と低速陽電子加速器の運転は 3 月 24 日に停止、これで 2024 年度の入射器運転は終了となった。

SuperKEKB は 2024 年第 2 期運転終了後から 2025 年秋までメンテナンス作業を実施しているため、2025 年度第 1 期も光源リングへの入射運転のみで再開となる。その立ち上げ日となる 4 月 21 日まで春期メンテナンス作業を実施中である。SuperKEKB 電子ビーム用に新たに構築しているエネルギー圧縮システムの導波管立体回路の組立、大電力高周波源の高圧電源整備を実施中である。これらの整備作業後、入射器を立ち上げ、PF リングは 5 月 7 日、PF-AR は 5 月 13 日にビーム入射を開始する予定である。

2024 年度の運転記録

月間機器保守に要した 30 時間を除くと 2024 年度入射器の総運転時間は 5,439 時間、ビーム加速に必要な大電力高周波出力時間は 5,429 時間であった。4 つの蓄積リングへの入射に要した時間は 4,160 時間で総運転時間の 76% である。PF リングへの入射時間は 691 時間、PF-AR へは 201 時間を要した。マシンダウンタイムは 227 時間で故障率は 4.2%、ビームロスタイムは 171 時間で停止率は 3.2% となった。図 1 にマシンダウンタイム（上）とビームロスタイム（下）の内訳を示す。電子ビームを生成する入射部が主要因となっているが、これは SuperKEKB 用のフォトカソード低エミッタンス RF 電子銃の放電などによるものである。

光源リングのみへ入射運転を行なった 2024 年度第 3 期に目を向けると運転時間は 954 時間、マシンダウンタイム

は 11 時間で故障率 1.2%、ビームロスタイムは 4 時間で停止率 0.4% であった。4 リング同時トップアップ運転時に比べてトラブル頻度は低くなっている。ただ、入射するリングに応じて我々の入射器は仮想マシンとして動作しているため、各リング入射の運転独立性は高く、SuperKEKB 入射運転の状態（RF 電子銃の不調など）が、極力、光源リングの入射へ影響しないようになっている。

1982 年から、これまでの入射器運転統計を図 2 に示す。故障率、停止率は正確な記録を取り始めた年度からの記載である。TRISTAN、KEKB など大型加速器の立ち上げ時には、入射器にも改造が加えられるため、初期不良などによって故障率が高くなるが、それらが改善されると故障率は下がり、ビーム停止率も 1% 未満となって安定運転状態となる。ところが、SuperKEKB への高電荷量・低エミッタンスビーム生成に対応する入射器改造後、故障率は 2～4% で高止まりしており、停止率も 1% を超えて時間とともに増加している。これは機器改造による影響のみならず、入射器コンポーネントの経年劣化や老朽化が積み重なってきているためである。加速管の経年劣化による水漏れ、電磁石電源故障、電子銃不具合などは故障と同時にビームロスを生じるため、影響が大きい。現在、新型高電界加速管の製作、新電源への交換など、劣化対策を進めている。

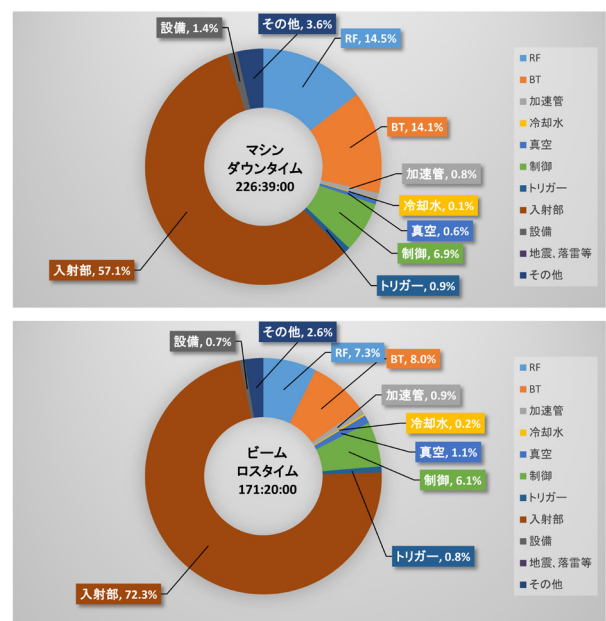


図 1 マシンダウンタイム（上）とビームロスタイム（下）の発生原因内訳

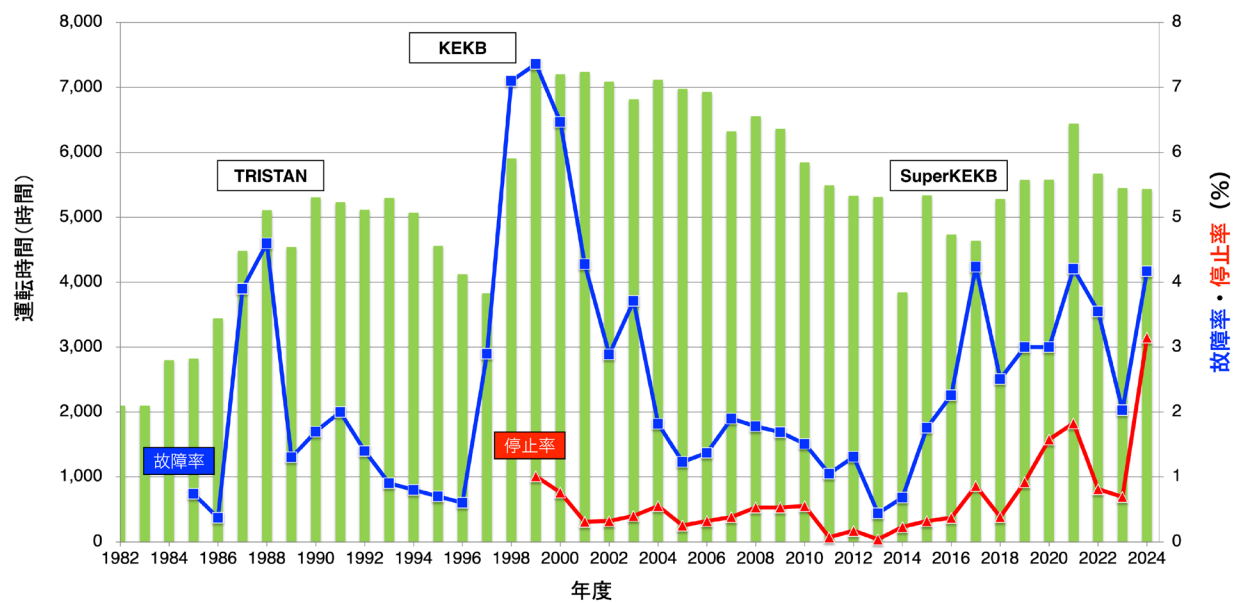


図2 年間運転時間と故障率, 停止率の推移

光源リングの運転状況

図 1 に 2024 年度第 3 期 (2 月 25 日 9:00 ~ 3 月 24 日 9:00 まで) の PF リングの蓄積電流値およびビーム寿命の推移を示す。2024 年 12 月 20 日 (金) に発生した RF 不調 (A1 ステーションのクライストロン不調) のため第 2 期運転終盤には RF4 台から 3 台に減らしてビーム電流を下げた運転を実施してきたが、冬期停止期間中に集束コイルのパラメータを変えることで 4 台運転に復帰することができた。

2 月 25 日 (火) 朝の立上げ時に、中型電源 (4 極電磁石 Q5B) が不調となったため、急遽、予備電源へ配線変更を実施して運転を実施する方針とした。この影響でビーム入射開始が遅れて準夜帯となったものの、無事に入射・蓄積が可能となった。その後の調査で、電源内部 PLC 制御系の不具合であることが判明したため、対処の上、3 期の運転終了後に戻す方針とした。当該電源は前週に実施した連続通電試験では問題は起きておらず、運転開始当日にトラブルが起きたことは典型的な老朽化現象の 1 つと考えている。

3 月 2 日 (日) 22:10、4 極電磁石電源 (Q3) のファン異常で停止。深夜帯に職員を呼び出して対応し、インターロック経路系含め現場での対処を実施した。当該空冷ファンは電源の内部深くにあるため簡単な対処は困難であるが、外部空冷の強化など必要な対処をすることで当面の運転継続は可能と判断した。その後、3 月の運転終了まで問題は再発していない。2025 年度 1 期の運転では気温上昇も見込まれるため、停止期間に必要な対処を実施する。こちらも老朽化の一例であり、深刻である。

このほか、3 期の PF リング立ち上げ当初より、Linac か

らのビーム入射タイミングが大きく変動する現象が発生した。従来の運転状態にくらべて凡そ 30 倍程度大きい変動であったがこの段階では原因不明であり、リング側での入射位相および入射バケットタイミング調整を急遽作成した自動調整プログラムを実行することで当面の対処とした。最終的に Linac で動かしている入射タイミング計算プログラムが正常に動作していなかったことが判明したため、3 月 3 日 (月) 10:00 にタイミング系のリセットおよび調整を実施した。その後、同様の減少は発生しておらず従来通りの変動幅となった。今後、立上げ時のチェックは行うことはもちろん、同様のトラブル時に迅速に気づくことが出来るよう、Linac でのアラームプログラムの整備などを実施した。その他の重要な項目についても、アラーム登録から漏れが無いかのチェックを行う。

入射に使用する複数台のキッカー磁場波形を完全に相似形にすることが困難であることに起因して、入射時に蓄積ビームに少し擾乱を与えてしまう。通常は各期の運転開始時やモード変更時に調整していたのに対して、今期より、キッカーの電圧モニター波形 (ピークタイミングと電圧) が一定になるような自動プログラムを運用開始した。図 2 に示すように、前期にくらべてユーザーからみた強度変動を抑制し、安定に運用できることが分かった。引き続き運転に活用していく。

また、3 月 14 日 (金) には Linac と PF での合同マシンスタディを実施した。最終的な目標は PF-BT での入射ビーム位置がパルス毎に変化しないようにすることであるが、今回はそのための環境整備と基礎データ取得が主目的

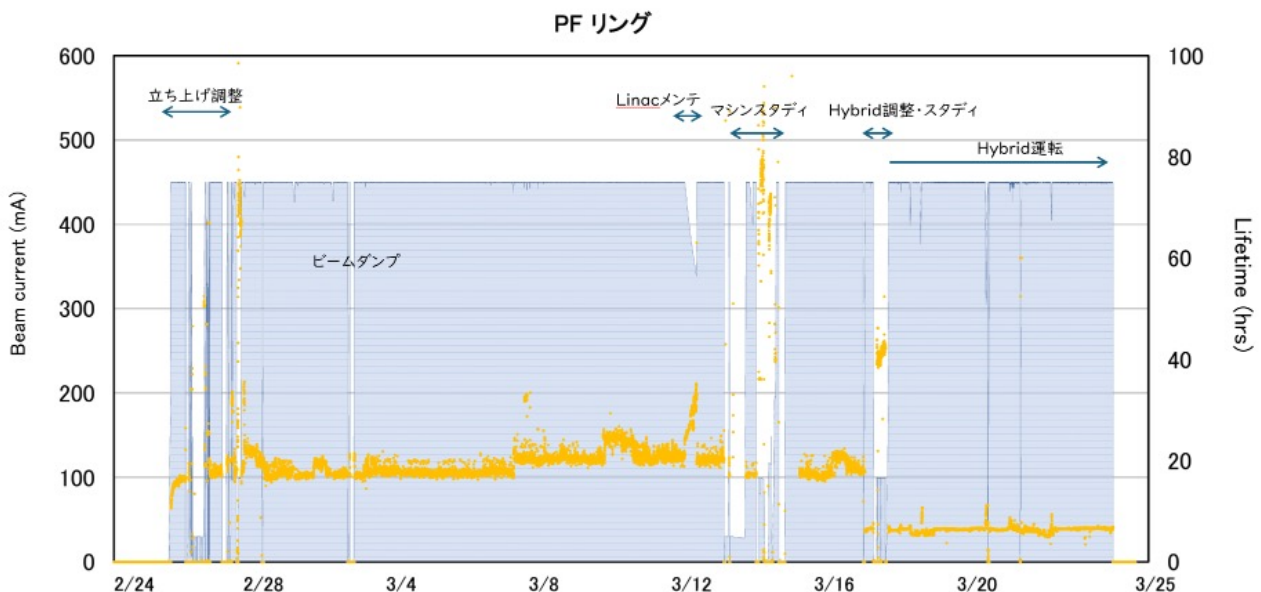


図 1 2024 年度第 3 期運転期間における PF リングビーム電流および寿命の履歴

である。これまでのスタディにより、第3スイッチヤードのアナライザーラインでのデータと PF-BT でビームの挙動が大きく変わっていることが判明しているため、キッカー波形への依存性測定や、コリメータの影響などを測定した。あわせて、上流の J-ARC 部でのエネルギーフィードバック試行などを実施した。

PF リングでは、第3期の立上げから新しい BPM 回路での位置測定および高速軌道フィードバックシステムの運用を開始した。新旧システムでの表示例を図3に示す。ユーザー運転への影響を最小にするため、基準軌道をうまく引き継げるように段階的に切り替えていった。あわせて真空封止アンジュレータのギャップを最小値(4 mm)まで閉じたときにビーム寿命への影響が無いことを検証した。また、新システムでのビームレスポンス測定と理論値(設計値)との比較も実施し、問題無いことが確認できた。その

後、新 BPM システムでのユーザー運転に入っている。

図3(右)の新システムで画面中央付近に見えている山は ID16 のバンプ軌道であり、これは従来のシステムでは除外されていて見えていなかった部分である。新システムでは BPM 数も増えており、よりビーム軌道の安定化に寄与すると考えている。

現時点でも、従来に比べて高速周期での軌道フィードバックが実現できているが、新システムではさらなるパラメータ最適化が可能であるため、今後のマシンスタディを通して最適化を実施する予定である。

図4に PF-AR のビーム電流および寿命の履歴を示す。今期は運転期間が短いこともあり、すべてビームエネルギー 6.5 GeV での運転としている。2025 年 3 月 3 日(月)に偏向電磁石電源絶縁油トランスの油面計から微量の油が漏出していることが判明した。ビーム調整を中断して容器

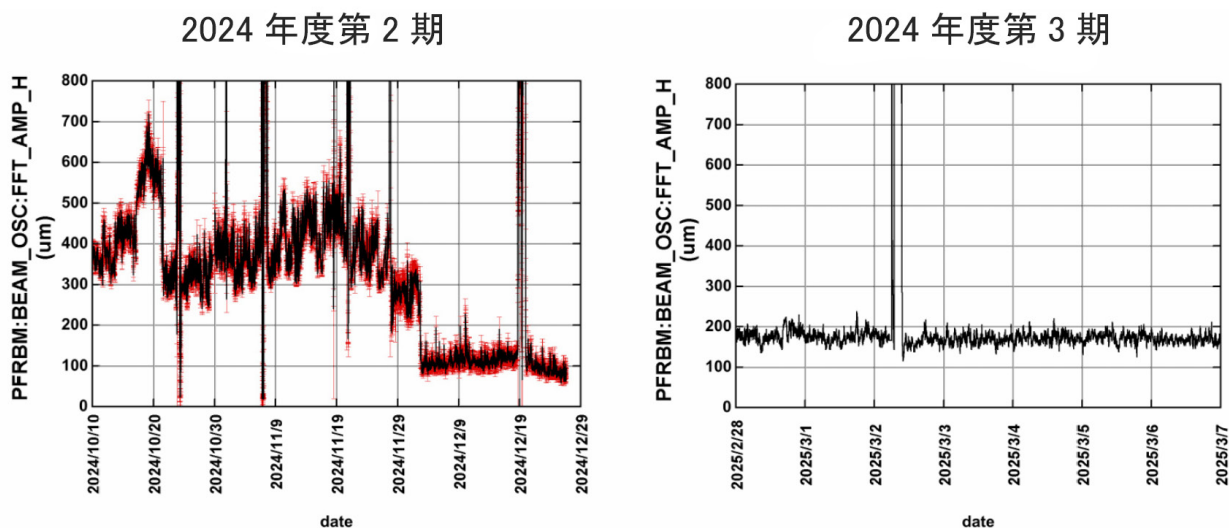


図2 入射時の蓄積ビーム振動(水平方向)の振幅履歴。自動調整の結果、右図のように一定の値を維持できていることがわかる。

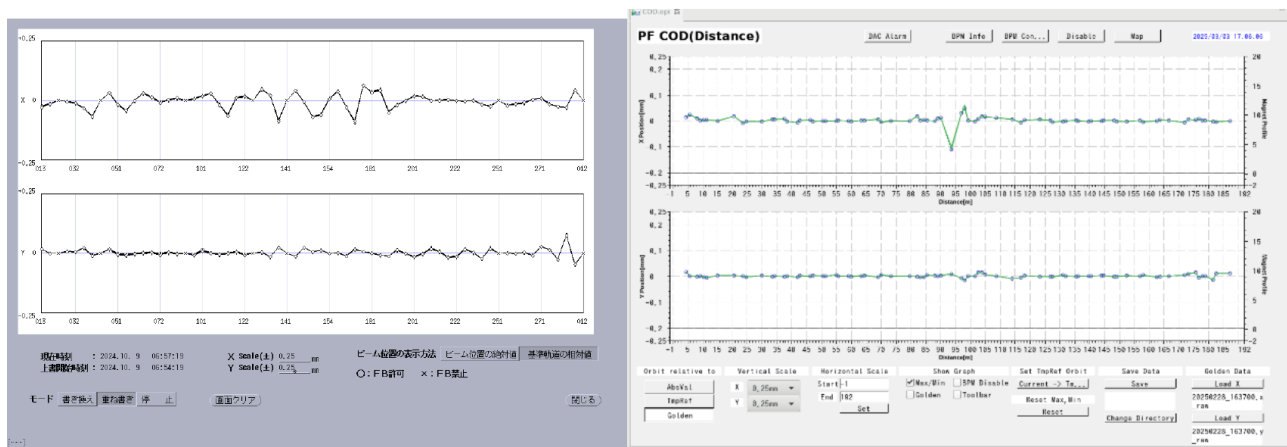


図3 旧 BPM システムでのビーム位置表示例(左)と、新システムでの表示例(右)。いずれも基準軌道からの差分を表示している。

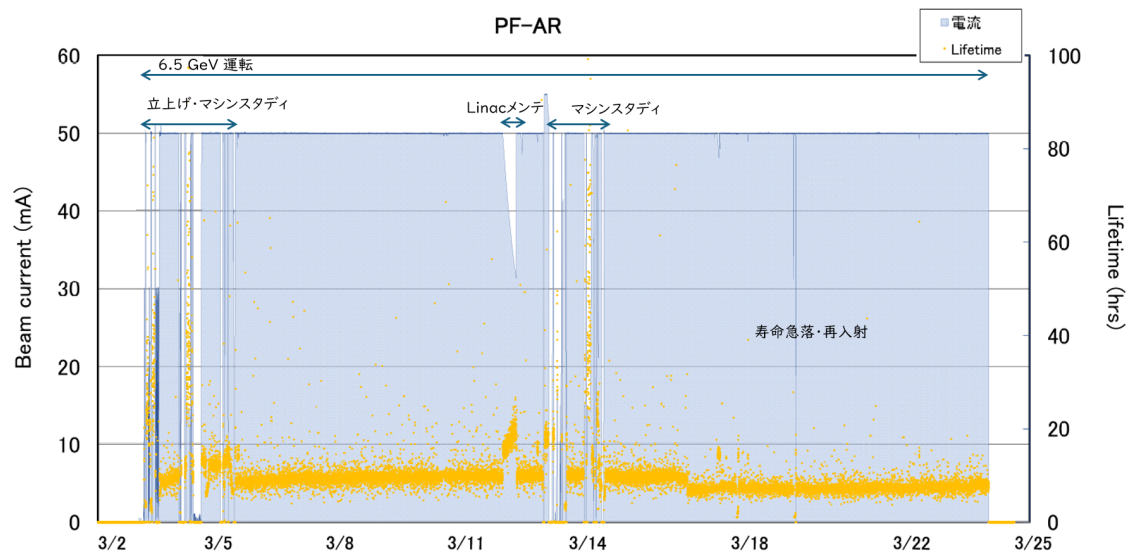


図4 2024年度第3期運転期間におけるPFリングビーム電流および寿命の履歴。

表1 2022~2024年度までの3年間のPFリングの運転統計

年度	リング運転時間(h)	リング調整・スタディ時間(h)	ユーザー運転時間(h)	故障時間(h)	平均故障間隔(MTBF)(h)
2022(R04)	4,128	512	3,590	25.8	144.6
2023(R05)	3,648	552	3,081	15.2	172.0
2024(R06)	4,440	592	3,820	27.5	192.4

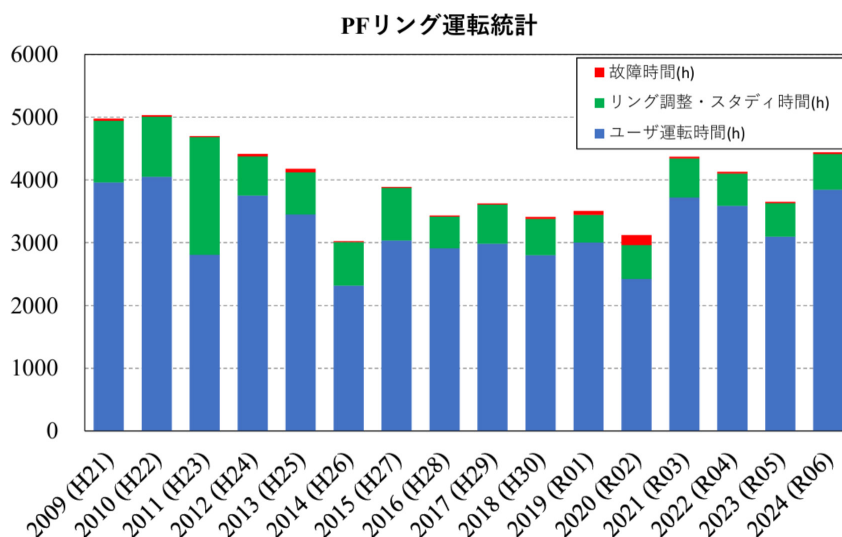


図5 PFリング過去16年間分の運転統計。縦軸は時間 [Hour] 単位である。

外装の拭き取り清掃し、周辺をカバーして漏出状態の監視を開始した。メーカー工場とも相談し、応急処置を4月に実施・夏に恒久的処置という方針としている。

2024年度の運転まとめ

表1に2022年度から2024年度まで3年間のPFリングの運転統計を示す。図5は過去16年間のグラフである(2009

表2 2022~2024年度までの3年間のPFリングの運転統計

年度	リング運転時間(h)	リング調整・スタディ時間(h)	ユーザー運転時間(h)	故障時間(h)	平均故障間隔(MTBF)(h)
2022(R04)	3,000	560	2,418	21.7	143.5
2023(R05)	2,760	576	2,154	30.3	136.5
2024(R06)	2,976	552	2,413	10.8	173.1

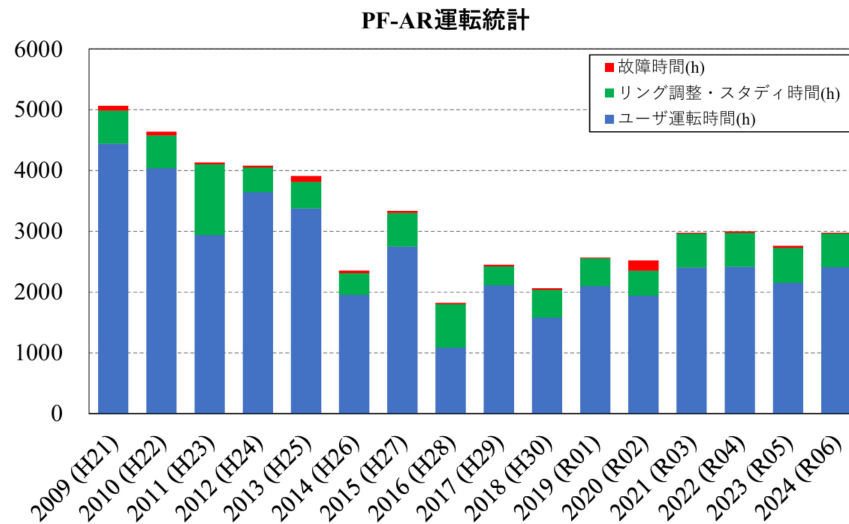


図6 PF-AR 過去 16 年間の運転統計。

年～2021年度の統計数値は過去のPF Newsに記載している)。2024年度は近年の目安であったPF 3,600時間、PF-AR 2,400時間のユーザー運転時間を達成することができている。

故障時間は昨年度27.5時間、故障率は約0.7%、平均故障間隔時間(MTBF)は約192.4時間で良好な値を維持できている。故障の内訳を調べてみると2024年度は電磁石システム関連が約34.3%、RF系が27.6%となりこの2つが大部分を占めている。これは電磁石電源の冷却インターロックによる停止が頻発したことが主要因であり、老朽化が進んでいることが要因と考えている。電源によってはメーカーによる定期的な保守点検作業が出来ていなかった部分があったため、優先順位をつけて段階的に見直している状況であり、今後も継続していく。RF関連による故障率については、クライストロンの不調による運転停止や、3台運転の実施などトラブルが続いたため、ここ数年の故障率4～7%台にくらべると増加している。今後も各グループとも老朽化対策を推進していく。このとき、単なる故障品の交換ではなく、性能・機能向上をともなった更新を心がけていく。

2025年2月～3月期のハイブリッド運転時に、進行方向のビーム不安定現象が断続的に発生することがあった。RFに位相変調をかけることで抑制可能ではあるものの、手動でおこなっていたため対応が遅れることもあった。そこで、不安定が発生したときに自動で位相変調を行う対処をおこない、運転を継続した。次の運転立ち上げ時には

フィルパターン変更など別の方法を検討している。今後もより安定なビームが供給できるよう改善を進めていく。

表2にPF-ARの過去3年間の運転統計数値を、図6に過去16年間の運転統計をグラフにしたものを示す。2024年度のユーザー運転時間は2,413時間となり、PFリングと同様に目安を達成できている。故障時間は約10.8時間、故障率も0.4%、平均故障間隔(MTBF)は約173.1時間でいずれも良好な状態を達成できている。故障の内訳は約62.5%がビーム入射関連BTの電磁石電源であった。また、第2期は蓄積電流55mAで運転を開始したが、HOMケーブルの発熱により途中で50mAに移行している。こちらについては原因調査を進めており、電流増加への挑戦は慎重に行う予定である。

加速器第6研究系内の人の動きについて

2025年3月31日をもって本田融さんが定年退職となりました。本田さんは真空グループのリーダーとして各種の研究開発から現場での作業に至るまで幅広く活躍されてこられました。PFの直線部改造、ARの高度化、テストビームライン建設などでは中心的な役割を果たされています。また、総研大でも長年にわたって後進の指導にもあたってこられました。これまでの貢献に深く感謝するとともに今後も特別教授として引き続き御指導・ご鞭撻いただきます。

新人採用については、2025年4月1日付で、齊藤寛峻さんが助教として採用されました。光源第7グループの一員として挿入光源に関する研究開発および運転保守まで幅

広く担っていただくほか、新光源に向けた超伝導ウィグラー関係でも活躍頂きます。また、おなじく4月1日付で團優菜さんが技術職員として新規採用となりました。光源第5グループ（基幹チャンネル・安全担当）の一員として、主に安全・制御系を中心とした業務を担当頂きます。

技術職員については、4月1日付で濁川和幸さんが主任技師、下ヶ橋秀典さんが先任技師、田中窓香さんが技師、本村新さんが准技師にそれぞれ昇任されました。これまで同様に関連する装置の保守・管理・維持、ならびに技術開発を担当していただきます。

最後に、本田融さんの退職にともなって今年度から真空グループリーダーを谷本育律さんに努めていただきます。運転に直結する維持管理はもちろん、次期光源に関連する研究開発にもこれまで同様に尽力いただく予定です。

放射光実験施設の現状

放射光実験施設長 五十嵐教之
(2025 年 5 月 28 日付け)

開発研究多機能 (R&D) ビームライン BL-11 については、学術放射光 4 施設の連携のもと、建設作業が進められてきました。2025 年冬の停止期間中に硬 X 線ブランチの光学系ハッチまで完成させ、2024 年度第 3 期には、軟 X 線領域集光白色ビームと光学ハッチ内で硬 X 線領域非集光単色 / 白色ビームを利用できる R&D 実験スペースが利用開始となりました。2025 年春のシャットダウン中には、いよいよ実験ハッチの建設作業が開始され、2025 年夏の完成に向けて急ピッチに作業を進めているところです。ちなみにこの大きな実験ハッチは、フォトンファクトリー先端化寄附金により建設されています。皆さまのご支援に心より感謝申し上げます。建設作業と並行して、R&D 利用に向けた測定システムの開発を、PF-S 課題を利用して進めています。また、BL-11 での R&D 用の実験利用制度も 2025 年 3 月の PF-PAC 全体会議で承認され、2025 年 5 月締め切りの実験課題公募から申請可能となりました。このように着々と準備が進んでおりますので、ユーザーの皆様にもぜひ積極的に参加していただくよう、よろしくお願いいたします。

運転・共同利用関係状況

2024 年度の運転は、機構の支援を受けて年間の運転時間 (PF3600 時間, PF-AR2400 時間) を確保することができ、施設工事や加速器改造等の影響も少なかったため、久しぶりに定常の運転スケジュールとなりました。2025 年度の運転に関しても同じように定常運転を目指したいと思いますが、現時点では第 2 期の運転分までしか予算は確保できておらず、今後定常運転に向けて機構側と相談を進めたいと考えています。2025 年度の第 1 期運転については、PF は 5 月 7 日に、PF-AR は 5 月 13 日から運転を開始しています。PF-AR は 6 月 30 日まで、PF は 7 月 7 日まで運転を継続します。PF のハイブリッドモードは 6 月 6 日から最後まで、PF-AR は 6.5 GeV で運転を開始していますが、6 月 12 日以降は 5 GeV で運転します。第 2 期の運転スケジュールは現在検討中ですが、PF に関しては 10 月初旬から、PF-AR の方は、アジア・オセアニア放射光科学フォーラムスクール (AOFSRR School 2025) を PF で開催する関係で、11 月初旬からの運転開始を目指す予定です。

PF-PAC の全体会議が、久しぶりに現地とオンラインのハイブリッド方式で開催されました。現地での参加はあまり多くなかったのですが、やはり対面での意見交換の重要性を再認識しました。PF-PAC 全体会議は、PF の運営や高度化、次期計画を議論する大切な場ですので、今後できるだけ対面での開催としたいと思います。委員の皆様大変お忙しいとは思いますが、何卒ご協力のほどお願い申し上げます。今回の全体会議では、課題の進捗状況評価や開発研

究多機能ビームラインの利用制度、課題申請書の改訂等について審議されました。また、S2 型課題の説明の見直しや液体ヘリウムの対応、新放射光源施設計画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。4 月 1 日付で、成田千春さんが技術員から准技師に昇任されました。今後より一層の活躍を期待しています。同日付で、運営部門長が北島義典さんから宇佐美徳子さんに、技術副主幹が内田佳伯さんから菊地貴司さんに交代となりました。北島さん、内田さんは継続して PF 所属となりますので、引き続きご協力をお願いしたいと思います。また、同日付で、小菅隆さんと金子直勝さんがシニアフェローとなりました。これからは特に後進の指導にご尽力いただくことを期待しています。最後に、PF の運営や共同利用関係の業務を支えて下さった、PF 事務室の外山久子さんが 3 月末で退職されました。長く業務にあたってください本当に感謝申し上げます。後任には、5 月 1 日付で、小谷野美紗さんが赴任されました。今後の活躍を期待しています。

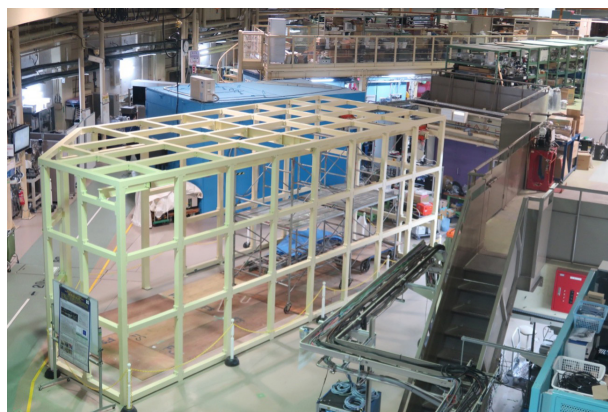


図 1 5/28 現在の BL-11 建設作業の様子 (実験ハッチの建設が進んでいる)。

昨年 11 月発行の PF ニュース (Vol. 42, No. 3) に引き続き、今回は放射光科学第一研究系の固体物理学研究部門における最近の研究の進展を紹介します。

走査型共鳴軟 X 線回折装置の開発

回折・散乱の空間相関の測定と、X 線吸収分光や X 線磁気円二色性といった電子・磁気状態の測定を組み合わせた共鳴 X 線散乱 (RXS) は、吸収端を利用することで元素・軌道選択的に電子・磁気状態の空間相関を決定できるユニークな実験手法です。特に軟 X 線領域には、多彩な物性を示すことで注目される 3d 遷移金属や 4f 希土類金属などの吸収端が存在することもあり、これまでに軟 X 線領域 (200-5000 eV) での RXS 実験のための真空中 X 線回折計群 [1] を開発し、RXS の利用研究を推進してきました。様々な利用展開の中で、最近注力しているのが走査型共鳴軟 X 線回折装置の開発です。研究ターゲットの 1 つである「アシンメトリ量子物質」[2] では、空間反転対称性の破れにより交差相関物性が発現します。しかしながら、対称性の破れに伴い結晶ドメインが必然的に形成されるため、発現した物性がドメインの影響で打ち消されて観測できなかったり、観測できたとしてもその定量評価が困難になったりします。このように交差相関物性の測定にはドメインの制御が必須であり、開発中の走査型共鳴軟 X 線回折装置を用いることで、ドメインの可視化や、物性測定へのフィードバック、さらにドメイン観測と物性測定の同時測定を目指し、S 型課題 (2024S2-002 松村武，広島大学 [3]) のもと研究を進めています。

開発中の回折計は単純な構成であり、入射 X 線をフレネルゾーンプレートで集光し、試料部を走査することで

RXS 信号の強度分布、つまりドメインを測定できます。図 1 に磁気ブラッグ信号強度の空間分布の測定結果を示します。 $z \sim 0.055$ などに存在する青色の帯の部分は、温度変化により消失し、単一のドメインになる様子が観測されています。このように、 $1 \mu\text{m}$ 程度の空間分解能での磁気ドメイン観測が実現できつつあります。一方、測定を通じて改善すべき点が多々あることも明らかになってきました。今後も、装置の改良を進めるとともに、電子・磁気秩序状態のドメイン観測の利用研究を推進していきます。

共鳴磁気 X 線回折を用いた非自明な磁気状態の観察

フラストレート磁性体における非自明な磁気秩序状態とその外場応答は現代の物性物理における中心的なテーマの一つであり、これまで放射光 X 線回折や中性子散乱を用いて研究を行ってきました。具体例として、幾何学的なフラストレーションに強いスピン軌道相互作用が導入された系に関する研究を紹介します [4]。希土類金属間化合物 DyAuGe の三角格子中の 4f 電子の準四重縮退状態 ($S_{\text{eff}} = 3/2$) から生じるキャント反強磁性基底状態を、Dy の L_3 端近傍の放射光共鳴磁気 X 線回折を用いて明らかにしました (図 2)。磁気モーメントと電気四重極モーメントは密接に連動しており、反強誘電性電気四重極 (AFQ) 秩序によって磁気 - 双極子の非平行配列が誘起されます。AFQ 秩序は面内磁場によって抑制され、コリニアなアップアップダウン磁気状態へのメタ磁性転移につながります。これらの発見は、 $S_{\text{eff}} > 1/2$ のフラストレート三角格子系における非自明な磁気状態の出現に関する洞察を与えてくれます。

マルチプローブ研究のための環境整備

放射光科学研究系では、放射光をはじめとする様々なプローブを用いて研究を推進しており、多くのスタッフが量子ビーム連携研究センター (CIQuS) を併任しています。

CIQuS では大型ピクセルアレイ型検出器 PILATUS3S 1M を導入し、マルチプローブ研究の環境整備を進めています。読み取り時間が短いためシャッターレス測定が可能になり、In situ 測定や連続三次元計測などに威力を発揮しています。これまでに BL-8B において検出器位置を広く電動制御できる回折計を開発し、低次元有機金属錯体の散漫散乱等について研究を行ってきました。さらに垂直偏光 X 線が利用可能な BL-14A においても同様に整備を進め、現在はモノクロメーター等の光学系の改修を行っています。成果の具定例として阿部グループ (防衛大) により実施された時間分解放射光実験の結果を図 3 に示します [5]。単成分の 1- デシル -3- メチルイミダゾリウムナイトレート ($[\text{C}_{10}\text{mim}][\text{NO}_3]$) イオン液体において、冷却 / 加熱

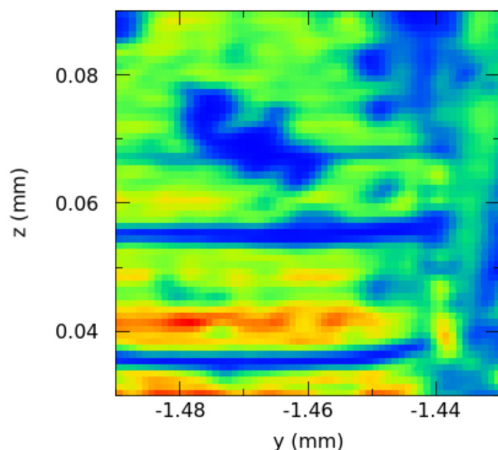


図 1 磁気ブラッグ信号強度の空間分布。

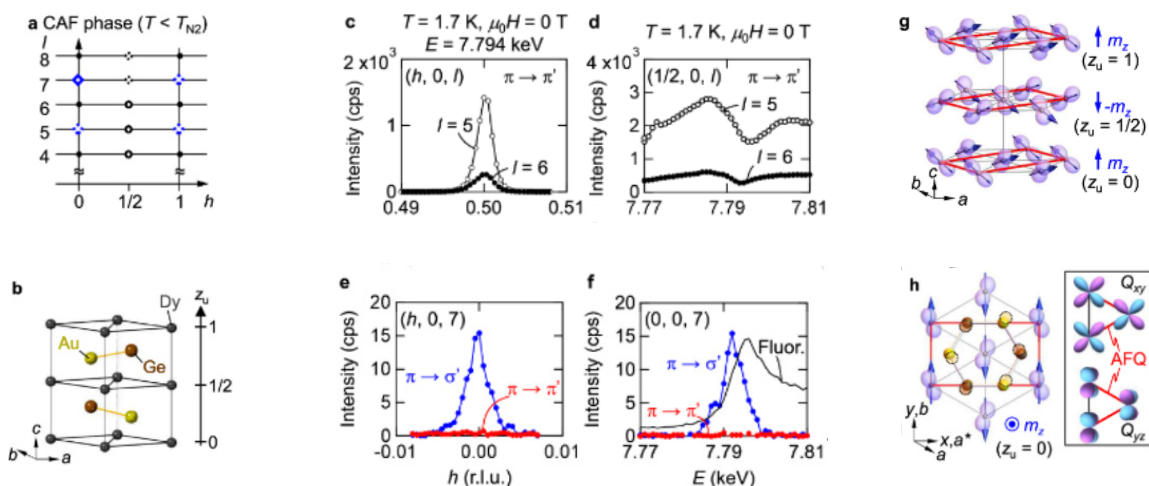


図2 a (h, 0, l) 面内のブラッグピークの位置。b DyAuGe の結晶構造。c, d (h, 0, 6) と (h, 0, 5) の h スキャンプロファイルと、h = 1/2 におけるブラッグ散乱のエネルギー依存性。e, f $\pi\pi'$ チャンネルと $\pi\sigma'$ チャンネルで測定された (h, 0, 7) の散乱強度の h スキャンプロファイルとエネルギー依存性。g, h DyAuGe の傾角反強磁性相の磁気構造と四極子秩序の模式図と $z_u=0$ の上面図。

速度に依存する複雑な構造変態をX線回折実験により観測しました。1 K/min の冷却過程では、トランス型と無秩序型のハイブリッド層状結晶が現れ、より早い冷却プロセス (8-9 K/min) では、イオン液体結晶 (ILC), 六方最密充填構造 (hcp) を含む多相共存が観測されました。早い冷却プ

ロセスは準平衡効果として新しい hcp 相を誘起し、さらに ILC 相へつながることが明らかになりました。

反芳香族における電子密度の観察

有機化学では、6 つの π 電子をもつベンゼンに代表される $(4n+2)\pi$ 電子系 (n : 自然数) が芳香族化合物として有名です。一方、環状不飽和有機物のなかでも、 $4n$ 個の π 電子をもつ $4n\pi$ 電子系は反芳香族とよばれ、非常に安定な芳香族とは異なり不安定で反応性が高いものが多く、ペンタレンやビフェニレンなどが知られています。なお、最もシ

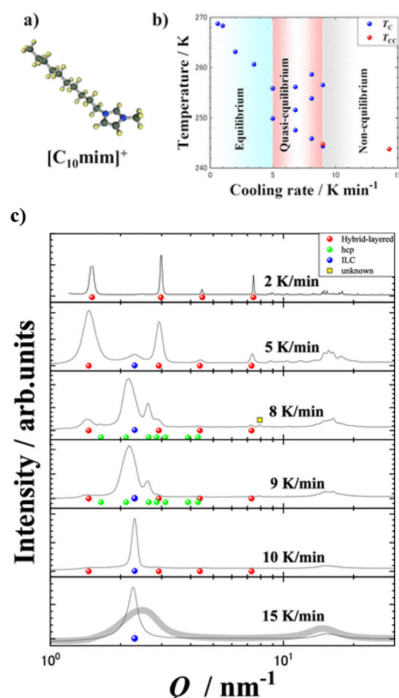


図3 a $[C_{10}mim]^+$ 陽イオンの分子構造。b $[C_{10}mim][NO_3]$ の相転移の冷却速度依存性。冷却時の転移温度 (T_c) と加熱時の転移温度 (T_{cc}) をそれぞれ青丸と赤丸で示す。c 150 K での一次元化されたX線回折プロファイル、冷却速度は上から 2 K/min, 5 K/min, 8 K/min, 9 K/min, 10 K/min, 15 K/min。赤、緑、青の円は、それぞれ層状結晶相、六方最密充填 (hcp) 構造、イオン液体結晶相に対応する。

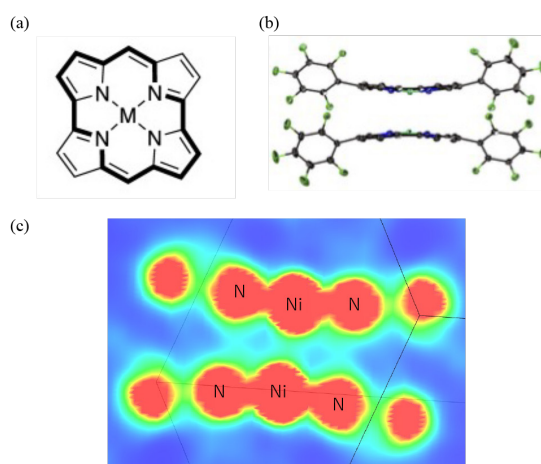


図4 (a) ノルコロール分子。太い線で示した部分の π 電子数が 16 となる。(b) Ni(II) ペンタフルオロフェニルノルコロール結晶におけるノルコロール分子 2 量体の積層。(c) 2 量体部分の電子密度分布。4 つの窒素原子がつくる平面での断面図。

ンブルな反芳香族と考えられていた4つの π 電子をもつシクロブタジエンは、 π 電子が非局在化しておらず、反芳香族性よりも構造の歪みによるものが分子の不安定性に大きく寄与していることが2010年代に入って示されています。このように、比較的安定だと思われてきた反芳香族ですが、近年になって、安定に単離できる物質が合成されてきました。そのさきがけとなったのが、ポルフィリン(18 π 電子系)のメソ位の炭素を2つ取り除いてピロール環を直結させたノルコロール[6]です。中心にNi(II)を配位したNi(II)ノルコロール(図4a)は、16個の π 電子からなる環状平面分子ですが、室温で安定に存在し、様々な測定から反芳香族特有の性質を示すことが知られています。ノルコロール骨格を有する分子では、分子どうしが近接して2量体あるいは3量体を形成する結晶構造をとることが比較的良好に見られ、なかでもペンタフルオロフェニル基をもつ分子では、分子が完全に対面し、分子間の距離が2.97 Åと通常の平面 π 分子の積層に比べて非常に接近した2量体を形成します(図4b)。このような反芳香族分子同士の近接は分子間で電子共役することにより安定化しているのではないかと予想されています。このことを確認するために、前述のペンタフルオロ置換基をもつNi(II)ノルコロール分子の単結晶を用いて、PFの放射光を利用した精密構造解析を実施しました[7]。よく知られているように、X線の散乱波は物質中の電子密度のフーリエ変換なので、観測されたX線の散乱波を位相を考慮して逆フーリエ変換することで空間全体の電子密度を導出することが可能です。もちろん様々な理由ですべての散乱波を観測することは難しいのですが、得られた回折強度を用いて最大エントロピー法(MEM)を用いることで、結晶における電子密度の空間分布を解析することができます。図4cに示すように、分子間積層において、電子雲の広がりが大きなNi原子間だけでなく、ピロールの窒素間にも電子密度が存在していることがわかります。分子軌道計算によると、2つの分子のHOMOとHOMO-1の両方に結合性の相互作用が働いていることが明らかになっています。これ以外にも、ピロールの炭素原子間にも小さいながらも電子密度が観測されており、明確な共有結合というわけではありませんが、多中心多電子結合のようなものが形成されているのではないかと考えられます。分子どうしを近接させることと、結合が生じたことは、卵と鶏のような関係かもしれませんが、近接した分子による新たな物性の開拓や、化学結合の本質とは何か、といった新たな研究のきっかけとなるのではないかと思います。

- [1] <https://research.kek.jp/people/hironori/beamlines/rsxs/>
- [2] <https://asymmetry.hiroshima-u.ac.jp/>
- [3] 「アシンメトリ量子物質における奇パリティ多極子の観測と非対角物性応答」<https://www2.kek.jp/imss/pf/approach/proj/stype/2024S2-002.html>
- [4] T. Kurumaji, M. Gen, S. Kitou, K. Ikeuchi, H. Sagayama, H. Nakao, T. R. Yokoo, T. Arima, *Nature Commun.* **16**,

2176 (2025).

- [5] H. Abe, S. Maruyama, H. Kishimura, M. Uruichi, D. Okuyama, H. Sagayama, *J. Phys. Chem. Lett.* **15**, 10668 (2025).
- [6] T. Ito, Y. Hayashi, S. Shimizu, J.-Y. Shin, N. Kobayashi, H. Shinokubo, *Angew. Chem. Int. Ed.* **51**, 8542 (2012).
- [7] S. Kino, S. Ukai, N. Fukui, R. Haruki, R. Kumai, Q. Wang, S. Horike, Q. M. Phung, D. Sundholm, H. Shinokubo, *J. Am. Chem. Soc.* **146**, 9311 (2024).

人事異動

新年度を迎えて多くの人事異動がありました。

4/1に、構造生物学研究部門の研究員のMILLER, Simonさんが特任准教授として、材料科学研究部門の特別助教(テニュアトラック相当)の城戸大貴さんが助教として、それぞれ採用され、5/1には固体物理学研究部門の助教として深谷亮さんが着任されました。

また、放射光科学第一、第二研究系に関連する人事異動として、4/1に、CIQuSの博士研究員として、三上力久さん、安部美季さん、SONG, Fangzhouさんが着任されました(SONGさんは東海勤務)。6/1には、新領域開拓室の准教授として武市泰男さん、特任専任URAとして藤井恵美さんが着任されます。

皆さんの今後の活躍を期待しています。

はじめに

低速陽電子実験施設 (Slow Positron Facility, SPF) では、専用リニアックで加速された電子ビーム (～ 50 MeV) によって高強度低速陽電子ビームを生成し、共同利用実験に供給している。本施設で実施されている主な研究は、物質最表面および表面直下の原子配列の解明、陽電子やポジトロニウム (Ps), Ps 負イオンといったエキゾチックな粒子や粒子系の基礎物理ならびにそれらと物質との相互作用の解明である。共同利用実験には、全反射高速陽電子回折 (TRHEPD, トレプト), 低速陽電子回折 (LEPD, レプト), 低速陽電子汎用実験 (現在は Ps のレーザー冷却実験を実施中), ポジトロニウム飛行時間 (Ps-TOF) 測定 of 4 つの実験ステーションが利用されている。TRHEPD は電子による反射高速電子回折 (RHEED) の陽電子版, LEPD は低速電子回折 (LEED) の陽電子版である。なお「低速陽電子」とは、負の陽電子仕事関数を使う特殊な方法でエネルギーを単色化した陽電子を指す呼称であり、その後に加速しても同じ呼称で扱われる。TRHEPD のビームも同様だが、この実験手法の呼称については、歴史が長い RHEPD と名称を揃えて「高速」陽電子回折と呼ばれる。さらに「全」反射が追加されているのは、電子にはない全反射が陽電子には起きるためである。

専用リニアックの管理・運転は、加速器研究施設第 5 研究系によってなされ、低速陽電子生成部から下流側の管理・運転は物構研 SPF と PF が行っている。共同利用は放射光共同利用実験の一環として実施されており、2024 年度の共同利用実施課題数は 15 課題、有効課題の実ユーザー数は 53 名、ユーザー実験の配分時間は 4,088 時間であった。なお、SPF では、ビームタイム毎のタイムシェア方式で共同利用実験に供している (ビームを同時に複数の実験ステーションに供給することはできない)。

ビームラインの状況

2024 年 2 月 11 日未明に、2 次ビームラインの最上流から 2 番目に位置するビーム輸送用ソレノイドコイルへの電流供給配線において、接地電位と短絡する事象が発生した。これを受けて、2024 年春の休止期間中に、放射線シールド内に設置されている当該コイルを含む 4 つのコイルへの配線を耐放射線性が比較的高いと思われるポリイミドテープ巻きガラス編組電線に交換した。運転中は現場近辺の線量が高くなることから、長期的な放射線照射によって配線被覆が劣化したことが原因と考えられるからである。春の休止期間中は、納期の都合により抵抗値が高めのワイヤを一時的に使用したが、2024 年夏の休止期間に、あらためてより低抵抗のワイヤに交換した。

2024 年度第 2 期より、SPF 専用リニアックの加速電子パワーを増強しての運転が開始された。それまでは、加速電

子パワーを 530 W 以下に制限した運転を行っていた。その理由となっていた加速器上階のクライストロンギャラリー実験室における線量率について再測定を実施したところ、値が十分に低いことが確認された。これにより、加速電子パワーを増強しても問題が無いと判断され、放射線管理室より上限 1.2 kW での運転が認められた。2024 年度第 1 期のユーザー運転終了後のスタディ期間中に、加速電子パワーを 950 W 程度まで引き上げての試運転が実施された。2024 年度第 2 期および第 3 期は、加速電子パワー 930 W 程度でのユーザー運転を実施した。

2024 年度第 2 期の運転において、低速陽電子ビームに変動が生じ、それと連動して陽電子生成ターゲット部の電位モニター出力にも大きな変動が観測された。この現象は、ロングパルスモード (パルス幅 1.2 μ s) において、陽電子生成ターゲット部に 5 kV を印加して運転する場合 (LEPD 実験用) にのみ確認され、同じロングパルスモードでも 15 kV 印加時 (TRHEPD 用) や、ショートパルスモード (パルス幅 14 ns) での運転時には変動は確認されなかった。変動が生じた際には、加速器のビーム軌道やカレントの調整によって一時的に安定する条件を見出すことができたものの、半日ほど経過すると再び変動が発生するという傾向が見られた。変動の原因は現時点でも特定されていないが、LEPD 以外の実験に対する影響は無いことから、状況を注視しつつ共同利用実験を継続した。なお、第 3 期の運転では同様の変動は確認されなかったが、安定化の要因については明らかになっていない。

2024 年度 11 月に、2 次ビームライン最上流部に設置されている真空インターロック用ゲージ GAB1 において真空ディスタートが発生し、それに連動して、2 次ビームラインのメインビームシャッター (MBS) として使用しているゲートバルブが閉じ、ビームが停止する事象が複数回発生した。調査の結果、原因は GAB1 のゲージコントローラの老劣化によるものであることが判明した。具体的には、真空値のログ取得コマンドを受信した際にエラーが発生し、その際、仕様上リレー接点が OFF 状態となることで、インターロック信号が変化しディスタートが引き起こされていた。応急処置として、当該ゲージに対する真空値ログ取得コマンドの送信を停止し、真空インターロック機能のみに専念させる設定とした。その後、当該ゲージコントローラを新品と交換し、真空値のログ取得を伴う運用を再開した。以降は同様の問題は発生していない。

低速陽電子実験施設 1F のクライストロンギャラリー実験室では、Ps のレーザー冷却および精密分光実験などの共同利用実験を効率的に進めるため、同室南側の実験スペース全体をレーザー用に間仕切りで囲い、レーザーブースとして運用する模様替えを実施した。この措置は、安全性と利

便性を両立する方法として、以前より安全衛生室およびレーザー安全担当者から推奨されていた方式である。2024年11月には、安衛室、施設部、放射線管理室、PF安全担当による現場確認および指導を経て、加速器およびPFの運転当番向け説明会を実施し、運用を開始した。

2024年度第2期の運転から専用リニアックのビームモニターシステムに不調が生じていた。ビームカレントの値は正常にモニターできていたものの、ビームポジションの確認に支障が生じた。この問題に対し、2024年度冬の停止期間中に加速器シールドをあけて、現場での確認作業が行われ、専用リニアックビームのスクリーンモニター用のカメラに不具合があることが判明し、当該カメラの交換が実施された。カメラの不具合の原因として、放射線損傷が疑われたため、カメラの周囲をシールドで覆い、今後は定期的に放射線損傷の影響を確認することとなった。また、2024年度夏の休止期間中に電流モニター（CoreMonitor2, CM2）本体とケーブルが交換されたことに伴いゲインが数倍変化した。これに対応し、上流側のCM1の電荷測定値に合わせるかたちで、較正が実施された。

実験ステーションの状況

2023年5月に実施された共同利用ユーザーによる実験において、電子と陽電子から成る水素原子様束縛状態であるポジトロニウム（Ps）のレーザー冷却に世界で初めて成功した。この成果は、2024年9月に論文として公表された。Psはレプトンのみで構成される特異な「原子」であり、束縛系量子電磁力学（QED）を高精度に検証するための理想的な系と考えられる。しかし、その寿命の短さ（スピントリプレットの基底状態で142 ns）と、質量の軽さ（水素原子の1/900程度）に起因する広いドップラー広がりのため、長年にわたり精密分光が困難とされてきた。この課題に対し、中心周波数が段階的に変化するパルス列を出力する革新的なレーザーシステムが、共同利用ユーザーによって開発された。このレーザーを、低速陽電子汎用実験ステーション（SPF-B1）におけるショートパルスモードの高強度低速陽電子ビームによるPs生成と組み合わせることで、Psの1次元冷却が実現した。これにより、分光できるPsのうちおよそ10%を600 Kから1 K程度にまで冷却することに成功した。

この成果は、Psを用いた高精度分光や反物質の基礎物理に新たな進展をもたらすものと期待されており、英国物理学会（Institute of Physics, IOP）が発行するPhysics World誌において、「Top 10 Breakthroughs of the Year in physics for 2024」の1つに選出された（<https://physicsworld.com/a/top-10-breakthroughs-of-the-year-in-physics-for-2024-revealed/>）。

次の段階として、Psの3次元冷却実験に向けた準備が進められている。SPF-B1のある低速陽電子実験施設1Fのクライストロンギャラリー実験室では、前述のレーザーブースの整備に加え、実験ステーションの全面刷新が進められた。新実験ステーションでは、ソレノイド磁場によって輸送された低速陽電子ビームを、Ps生成およびレーザー分光が行われる非磁場領域に取り出すための新しいレンズ系を

導入した。このレンズ系は、もともと陽電子回折実験用に開発を進めてきたものであり、Psレーザー冷却・精密分光実験にも適合している。実際にこの新レンズ系による試験を実施したところ、Psレーザー分光の信号の取得レートが、従来と比較して約1桁向上していることが確認された。

低速陽電子回折（low-energy positron diffraction, LEPD）は、低速電子回折（LEED）の陽電子版にあたる手法であり、数10～数100 eVの陽電子ビームを主に垂直に試料表面へ入射し、回折パターンを取得するものである。LEPDは、X線と同様に単純な散乱因子を持つとともに、電子に比べて多重散乱の影響が小さく、表面感度が高いという特徴を備えており、試料表面の原子配列を高精度に決定できると期待されている。過去には、アイソトープ由来の陽電子を用いたLEPDによる構造解析が試みられていたが、ビーム強度が不十分であり、実験の遂行は困難であった。低速陽電子実験施設では、加速器ベースの高強度低速陽電子ビームを用いたLEPD実験ステーション（SPF-A4）を独自に開発し、LEPDの観測に成功していた。

その後、LEPDステーションの改良を進め、2023年度から2024年度にかけて、構造解析に必要なI-V曲線（回折スポット強度の入射ビームエネルギー依存性）取得の桁違いの高速化を実現し、100枚の回折パターンを2時間程度で取得できるようになった。また、新たに設計された試料ホルダーは、SPF-A4のLEPDステーションとPF BL-13Bの角度分解光電子分光（ARPES）ステーションの双方で使用可能となっており、PFで開発された超高真空搬送ベッセルにより、同一試料・同一試料表面作成条件のもとでLEPDとARPES測定を連携して行う環境が整備された。現在、新LEPD実験ステーションによる構造解析の検証がCu（001）表面をベンチマークに用いて進行中であり、既にLEEDを越えた実験と計算の高度な一致が得られることが確認できている。

この解析には、全反射高速陽電子回折（TRHEPD）向け開発が開始され、その後さまざまな量子ビーム計測手法の汎用データ解析プラットフォームとして整備された「2DMAT」（ツーディーマット）を用いている。2DMATは、ポピュレーションアニーリングモンテカルロ（PAMC）法などを取り入れた大域探索型の逆問題解析プラットフォームであり、局所解に陥ることなく正しい大域解を見出すことが可能な画期的な解析フレームワークである。そのことが保証されているために、物理的に妥当でない解が得られたとき、それが局所解である可能性にあまりとらわれることなく、効率的に、実験データあるいは解析コードも含めた広い視点から原因の特定と改良ができる。これは大きな利点である。実際にLEPD解析においては、実験データにおける系統的なずれ（くり返し実験によって明らかにすることのできない不確かさ）を見出し、検出器と測定法の改良を行った。さらに、計算コードや計算条件の見直しや最適化を効率的に進めている。

陽電子回折実験（TRHEPDとLEPD）では、磁場によって輸送された低速陽電子ビームを、ビーム輸送用ソレノイド

磁場から開放したのち、透過型減速材（リモデレータ）に収束させて輝度を増強している。透過型リモデレータとして、TRHEPD 用に厚さ 100 nm の W 結晶、LEPD 用に厚さ 150 nm の Ni 結晶を用いており、輝度を増強したいビームをこれらへ高効率に収束入射することは、ビーム技術開発の核心をなす要素である。これまでの開発により、磁性体薄膜による遮蔽構造と磁場収束レンズの組合せによって、ビームの輸送効率と収束性能の向上を実現した。さらに、磁場遮蔽構造と磁場収束レンズの距離をつめた光学系の改造を行い、最終段の磁場収束レンズによって形成されるビーム径は、改造前の 1.7 mm から 1.0 mm へと大幅に縮小され、中心強度も桁違いに増大した。単位面積あたりの陽電子密度としては約 2 桁の向上が達成されており、これに対応する下流側の静電レンズシステムの開発によって、陽電子回折装置全体の革新的な性能向上が期待される。この新レンズ系は、すでに前述の 3 次元 Ps レーザー冷却実験ステーションにも導入し、使用が開始されている。さらに、磁場遮蔽グリッドと磁場収束レンズとの距離を可能な限り詰めた新たな光学系を開発中である。

人事異動

低速陽電子実験施設の博士研究員だった Rezwan Ahmed 氏が、2025 年 1 月 1 日付で放射光科学第 1 研究系・表面科学研究部門の特別助教に異動した。Ahmed 氏は、光電子分光や軟 X 線吸収分光といった放射光利用実験に加え、次期放射光源の活用も視野に入れつつ、低速陽電子をはじめとする他の量子ビームも組み合わせた多様な手法による表面科学研究の推進が期待されている。また、物構研量子ビーム連携研究センター(CIQUS)の博士研究員として、三上力久(りき)氏が 2025 年 4 月 1 日付で着任した。物構研 SPF の准教授だった本稿執筆者の和田健が、2025 年 4 月 1 日付で同施設の教授に昇任した。

血液凝固因子の正常な分泌に必須なカーゴ受容体のクライオ電子顕微鏡構造解析

渡部 聡, 稲葉謙次

九州大学 生体防御医学研究所

Cryo-EM Structure of a Cargo Receptor for Normal Secretion of Blood Coagulation Factors

Satoshi WATANABE, Kenji INABA

Medical Institute of Bioregulation, Kyushu University

Abstract

血液凝固因子などの分泌タンパク質の細胞内輸送を担うカーゴ受容体 ERGIC-53 について, サイズ排除クロマトグラフィー - 多角度光散乱法 (SEC-MALS), サイズ排除クロマトグラフィー - 小角 X 線散乱法 (SEC-SAXS), およびクライオ電子顕微鏡を用いた構造解析に取り組んだ。その結果, 全長 ERGIC-53 は四葉のクローバーに類似した四量体構造を取ることが明らかになり, ストック領域の動的な構造変化の可視化に成功した。また補助因子 MCFD2 の亜鉛結合部位が明らかになり, 亜鉛を利用したカーゴ輸送制御機構が示唆された。

1. はじめに

血液凝固因子などの分泌タンパク質は, 細胞内小器官である小胞体において合成後, 積荷 (カーゴ) として特異的なカーゴ受容体によって認識され, 効率よく細胞外へと分泌される。カーゴ受容体の一つである ERGIC-53 は, 補助因子 MCFD2 と協同して機能しており, 血液凝固第 V 因子, 第 VIII 因子や, アンチトリプシンなどの分泌糖タンパク質を小胞体で捕獲し下流のゴルジ体に輸送する役割を担っている。ERGIC-53 や MCFD2 の遺伝性変異は, 先天性血管疾患の原因であることが知られている。ERGIC-53 は, 細胞表層膜タンパク質やコロナウイルスなど RNA ウィル

スの表面糖タンパク質の細胞内輸送にも関与していることが報告されている (Fig. 1A) [1]。

ERGIC-53 は, 一回膜貫通タンパク質であり, 積荷の糖鎖を認識するドメイン (Carbohydrate recognition domain, CRD), ストックドメイン, 膜貫通ヘリックスで構成される (Fig. 1B)。C 末端の KKFF モチーフは, 小胞体とゴルジ体間のサイクルに必要と考えられている。これまでに ERGIC-53 の CRD については, 立体構造が結晶構造解析によって決定され, 糖鎖の認識機構の一端が明らかにされてきた。しかし, 全長 ERGIC-53 の立体構造は未解明であり, どのように様々な積荷タンパク質を ERGIC-53 が認識し輸送するかについては, ほとんど未解明であった。

2. 全長 ERGIC-53 の SEC-MALS/SAXS 解析

我々は, 全長 ERGIC-53 の分子機構を明らかにするため, その構造機能解析に取り組んだ。ヒト由来全長 ERGIC-53 について, HEK293T 培養細胞を用いた高発現系を構築し, 試行錯誤の上, 高純度試料の精製方法を確立した。これまで ERGIC-53 は六量体として機能していると長年考えられてきた [2]。しかし, 従来の六量体モデルは Native-PAGE での泳動度などに基づいた間接的な推定であり, 我々は ERGIC-53 の会合状態を再検証する必要があると考えた。そこで溶液中の絶対分子量を測定することができる SEC-MALS 法を用いて ERGIC-53 の絶対分子量を解析した [3]。

通常の SEC-MALS 解析では, 対象タンパク質分子について, ゲル濾過クロマトグラフィーで分離された画分の溶液中の分子量が決定される。そのため膜タンパク質の場合は, 膜タンパク質と付着している界面活性剤分子との総分子量が決定される。そこで本研究では, 膜タンパク質および界面活性剤それぞれの試料の濃度変化 (dc) に対する屈

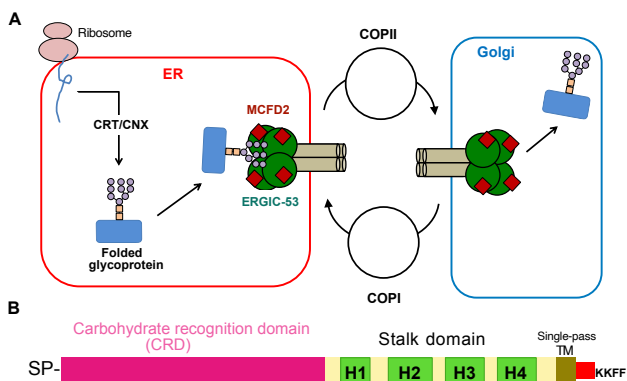


Figure 1 A. Cargo transport by ERGIC-53. In the early secretory pathway, newly synthesized secretory glycoproteins and membrane proteins are transported by ERGIC-53 complexed with MCFD2 from the endoplasmic reticulum to the Golgi apparatus. Target cargo proteins include blood coagulation factor V (FV) and factor VIII (FVIII), α 1-antitrypsin, IgM, ERp44, several membrane proteins such as GABA_ARs, and envelope glycoprotein from arenavirus coronavirus. B. Domain architecture of ERGIC-53.

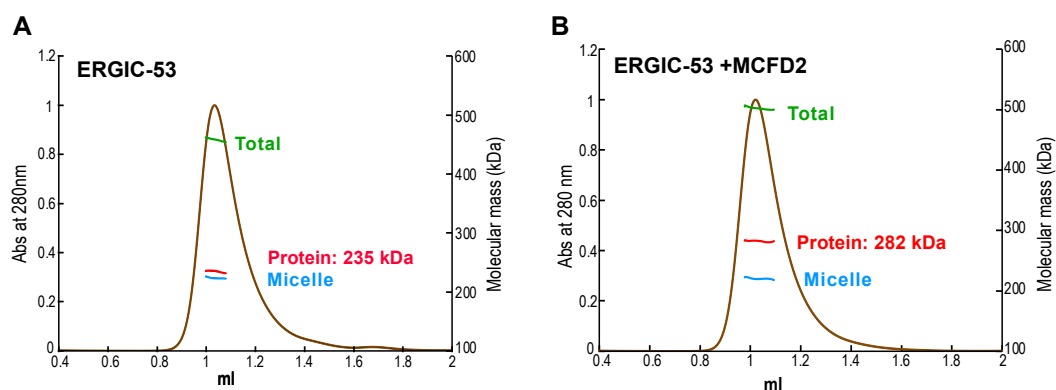


Figure 2 A,B. The SEC-MALS profiles of ERGIC-53 (A) and its complex with MCFD2 (B). Masses of the peak fractions determined by SEC-MALS analysis are indicated by the red lines for protein mass, cyan for micelle mass, and green for total mass.

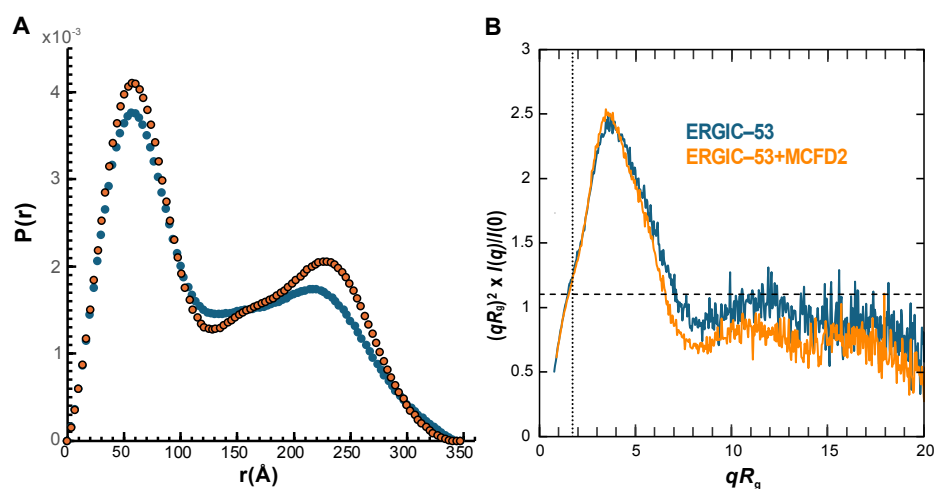


Figure 3 A. Pair distance distribution functions $P(r)$ of ERGIC-53 (blue) and its complex with MCFD2 (orange) determined from the SAXS profiles. B. The dimensionless Kratky plots of ERGIC-53 (blue) and the complex (orange) determined from the SAXS profiles. The dotted and dashed lines represent the positions of $\sqrt{3}$ and $3/e$, respectively, and the peak appears at this cross point for a typical globular protein

折率変化 (dn) の割合である dn/dc 値に基づき、吸光度変化と屈折率変化の両方を解析に用いた conjugate 解析によって、膜タンパク質と界面活性剤の分子量を個別に求めた。解析の結果、ERGIC-53 単独の分子量が 235 kDa と推定され、ERGIC-53 は六量体 (理論値: 331 kDa) ではなく四量体 (理論値 221 kDa) で存在していることが示された (Fig. 2A)。一方、ERGIC-53 と MCFD2 との複合体は 282 kDa と推定され、ERGIC-53 四量体に対して MCFD2 が 1 分子ずつ結合して複合体を形成している (理論値: 277 kDa) ことも分かった (Fig. 2B)。

さらに全長 ERGIC-53 の溶液構造情報を得るために、KEK-PF のビームライン BL-15A2 を利用して SEC-SAXS 解析に取り組んだ (Fig. 3) [3]。タンパク質分子内の二点間距離分布を表す $P(r)$ 関数では、二つの離れたピークが観察され、ERGIC-53 は分子長が 340 Å と非常に長く、ダンベル型の構造をとっていることが示唆された (Fig. 3A)。またタンパク質のフォールディング状態を評価する dKratky プロットにおいて、MCFD2 の存在下では高い qR_g 領域においてピーク値が低く、MCFD2 との複合体形成に

より ERGIC-53 の柔軟な動きが抑制されることが示唆された (Fig. 3B)。

2. ERGIC-53 のクライオ電子顕微鏡構造解析

2.1 ヘッド領域の高分解能構造

次に、全長 ERGIC-53 の立体構造をより詳細に明らかにするため、ERGIC-53 と MCFD2 との複合体のクライオ電子顕微鏡単粒子解析に取り組んだ [3]。グリッドのスクリーニングおよびデータ収集では、東京大学大学院医学系研究科に設置されている Titan Krios (Thermo Fisher 社製) と東北大学未来型医療創成センターに設置されている CRYO ARM 300 II (JEOL 社製) を利用した。SEC-SAXS の結果から予想されたように、撮影した電子顕微鏡画像では、全長 ERGIC-53 の長く伸びたダンベル状の粒子が観察された。このユニークな形ゆえに、汎用的な自動粒子拾い上げプログラムでは、全長 ERGIC-53 粒子を認識することはできなかった。代わりに、ダンベル両端の重りにあたる球状部分を独立な粒子として拾い上げることによって、各領域の構造解析に取り組む、最終的にヘッド領域構造を 2.53 Å

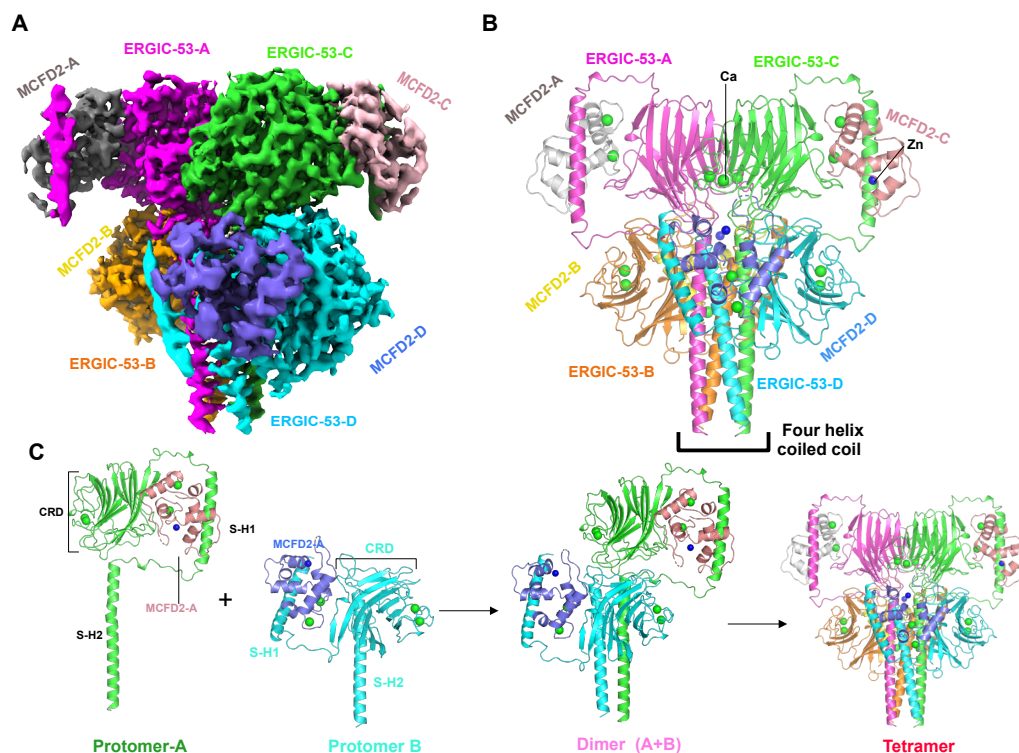


Figure 4 A, B Cryo-EM map (A) and structure (B) of the head region of the ERGIC-53-MCFD2 complex at 2.53Å resolution. Four ERGIC-53 protomers and four MCFD2 molecules are shown in different colors. Green and blue spheres represent calcium and zinc ions, respectively. C. Details of the tetrameric head assembly. Protomer-A with an upper-CRD configuration and protomer-B with a lower-CRD configuration form a dimer with vertically assembled CRDs, and then the two dimers are associated to form the tetramer with the four-helix coiled coil.

分解能で決定した (Fig. 4A)。ヘッド領域は、CRD、ストークヘリックス H1, H2 で構成されており、長いストークヘリックス H2 が、中央で 4 本集まって 4 ヘリックス・コイルドコイル構造を形成することで、ERGIC-53 が四量体を形成することが分かった (Fig. 4B)。補助因子 MCFD2 は、ERGIC-53 の各 CRD およびストークヘリックス間のループで形成された窪みに格納されており、ヘリックス H1 との相互作用が見られた (Fig. 4C)。興味深いことに、四量体中の 4 つの CRD は、並行に配置しているのではなく、2 つの CRD が上下に重なった二量体がさらに合わさって安定な 4 量体を形成することが分かった。

2.2 全長 ERGIC-53 の柔軟な構造変化の可視化

次に全長での構造解析に取り組んだ。まずヘッド領域の粒子座標を利用して、一部 (~100 枚) の電顕画像から全長 ERGIC-53 粒子を手動で拾い上げた。これらの粒子を、畳み込みニューラルネットワークを利用した自動粒子拾い上げプログラム (Topaz) [4] に学習させることで、全長粒子の自動粒子拾い上げに成功した。切り出した粒子群の二次元クラス平均像では、全体的に真っ直ぐなコンフォメーションをとったものや、大きく曲がった粒子が見られ、ストーク領域の柔軟性が示唆された (Fig. 5A)。さらに真っ直ぐなコンフォメーションの粒子を利用して、全長 ERGIC-53-MCFD2 複合体の 3 次元電顕マップを 6.8Å 分解能で決定した (Fig. 5B)。

全体構造は、四葉のクローバーに類似した構造を取っており、4 つの CRD を中心として構成されたヘッド領域、3 組の 4 ヘリックス・コイルドコイルで構成された細長いストーク領域、および膜貫通ヘリックス領域で構成されている (Fig. 5B)。SAXS の結果から予想されたように、全長の分子長は約 340Å であり、現在報告されている膜タンパク質の立体構造としては、もっとも“背が高い”構造であった。さらに三次元変動解析によって、決定した電顕マップの動的な動きを調べた結果、ストーク領域が、コイルドコイル間のループ領域を曲折点として柔軟に動いている様子を可視化することができた (Fig. 5C)。実際、測定した全長 ERGIC-53 粒子の二次元平均像では、ストーク領域がさらに 90 度近く曲がった像も観察されており (Fig. 5A)、ストーク領域が大きく動いていることが示された。以上の結果から、ストーク領域やヘッド領域の可動性を利用し、カーゴ結合部位であるヘッド領域の高さを調節することで、ターゲットの積荷分子を認識していることが示唆された。

2.3 亜鉛イオンによるカーゴ結合解離機構

過去に報告された MCFD2 の結晶構造では、N 末端領域の電子密度が確認されず、その領域の構造は未決定であった。一方、今回のクライオ電顕構造では、この領域の密度マップが観察され、αヘリックスのモデルを構築することができた (Fig. 6A)。興味深いことに、MCFD2 の N 末端

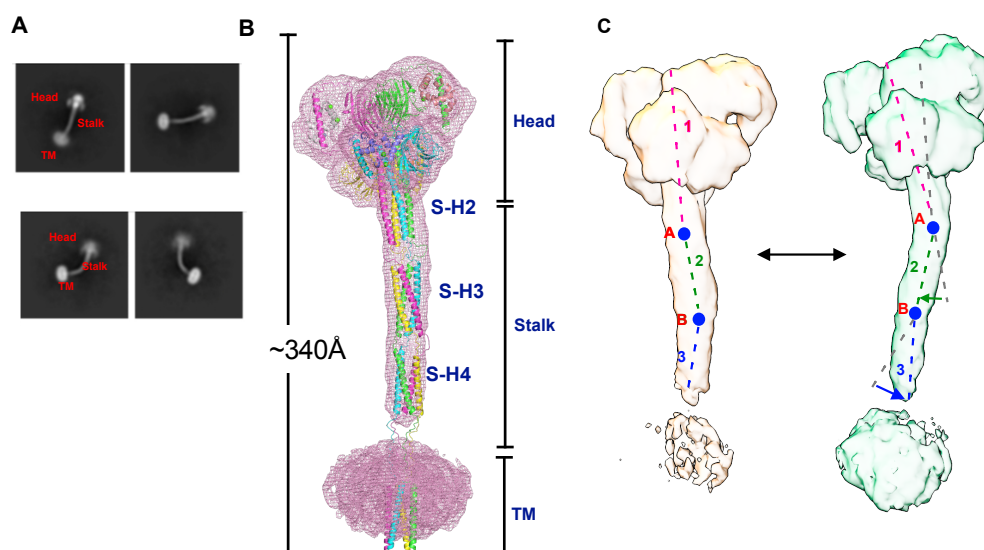


Figure 5 **A:** Representative 2D class-average images of the full-length ERGIC-53 particles. Some particles assume straight conformations (upper panels), while others show largely bent conformations (lower panels). **B:** Cryo-EM map and structure of the full-length ERGIC-53- MCFD2 complex with a straight conformation. **C:** 3D Variability Analysis (3DVA) of full-length ERGIC-53, revealing continuous conformational changes from the first (light orange) to the last frame (green). Blue circles represent hinges between the segments 1, 2, and 3 indicated by broken lines.

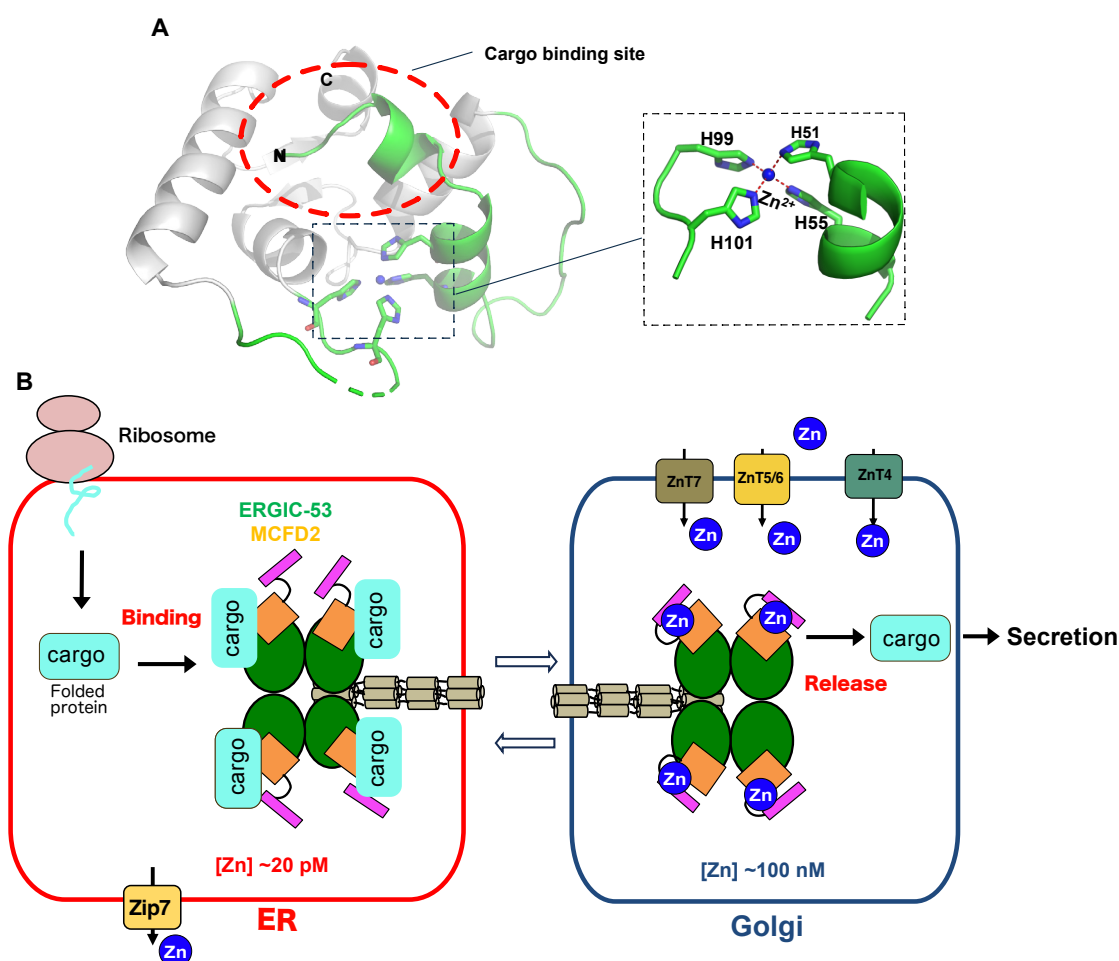


Figure 6 **A:** The updated structure of MCFD2 complexed with ERGIC-53 based on the present cryo-EM map. The newly built N-terminal segment and loops are colored in green. The proposed cargo binding site in MCFD2 is indicated by a red broken circle. The inset shows a close-up view of a zinc binding site formed by the four His residues of MCFD2. **B:** A working model of zinc-dependent cargo binding and release by ERGIC-53 and MCFD2 in the secretory pathway.

領域において、4つの保存されたヒスチジン残基が集まり、亜鉛結合部位を形成していることが明らかになった。興味深いことに、このN末端領域の α ヘリックスはMCDF2の積荷結合部位を覆っており、亜鉛結合型のMCDF2では積荷の結合が妨げられている、別の言い方をすれば亜鉛結合によって積荷の解離が促進されることが示唆された。

以上の結果から、亜鉛を利用したカーゴの結合・解離機構を提唱した (Fig. 6B)。小胞体では、遊離亜鉛濃度が数pMレベルに保たれており、ERGIC-53は、小胞体において積荷を捕獲する。一方、最近我々は、ゴルジ体では亜鉛トランスポーターによって亜鉛が取り込まれ、遊離亜鉛濃度が高く保たれていることを明らかにしている [5]。そのためゴルジ体において、亜鉛がMCDF2に結合することで、ERGIC-53から積荷の解離が促進されることが示唆され、分泌経路における亜鉛の新たな生理機能を提唱するに至った。

3. まとめ

本研究において、ヒト由来ERGIC-53の柔軟な全長構造を高分解能で初めて明らかにし、分泌タンパク質の輸送機構の一端が明らかになった。現在、血液凝固因子などの対象カーゴとERGIC-53との複合体のクライオ電顕構造解析に取り組んでおり、構造解析によってカーゴ認識の分子基盤を明らかにしたいと考えている。またカーゴ輸送過程のリアルタイム観察に取り組むことで、積荷認識から輸送までの詳細な分子機構の解明を目指したい。一方、本研究によって、亜鉛イオンの新たな生理機能が明らかになり、亜鉛の恒常性維持の破綻と分泌異常との関係性や、様々な疾病との因果関係の解明がさらに進むことが期待される。

謝辞

本研究は、筆者らが東北大学在籍時に実施した研究であり、SEC-MALSおよびSEC-SAXS実験 (BL-15A2, 課題番号2020RP-11)では、高エネルギー加速器研究機構の米澤健人博士 (現: 奈良先端科学技術大学院大学)、清水伸隆教授 (現: 理化学研究所)、クライオ電子顕微鏡実験では東京大学の木瀬孔明博士、濡木理教授にご協力いただき達成できた成果である。改めて深く感謝申し上げます。また本研究は、科研費 (JP18K06075, JP23K18193, JP21H0525), AMED-CREST (JP21gm1410006), AMED-BINDS (JP21am0101115, JP21am0101071, JP23ama121012, JP21am0101095, JP23ama121038), 持田記念医学薬学振興財団、内藤記念科学奨励金の支援のもと行われた。

引用文献

- [1] Y. Zhang, V. Srivastava and B. Zhang, *Biochem. Soc. Trans.* **51**, 971 (2023).
- [2] YC. Zhang, Y. Zhou, CZ. Yang and DS. Xiong, *Histol Histopathol.* **24**(9), 1193 (2009).
- [3] S. Watanabe, Y. Kise, K. Yonezawa, M. Inoue, N. Shimizu, O. Nureki and K. Inaba, *Nat Commun.* **15**(1), 2404 (2024).
- [4] Bepler, T. *et al.* *Nat. Methods* **16**, 1153 (2019).

- [5] Y. Amagai, M. Yamada, T. Kowada, T. Watanabe, Y. Du, R. Liu, S. Naramoto, S. Watanabe, J. Kyojuka, T. Anelli, T. Tempio, R. Sitia, S. Mizukami and K. Inaba, *Nat Commun.* **14**(1), 2683 (2023).

(原稿受付日: 2024年12月13日)

著者紹介

渡部 聡 Satoshi WATANABE



九州大学生体防御医学研究所 准教授

〒812-8582 福岡県福岡市馬出

e-mail: satoshi.watanabe.979@m.kyushu-u.ac.jp

略歴: 2006年京都大学大学院理学研究科博士課程研究指導認定退学。博士 (理学)。

2007年京都大学博士研究員, 2013年東北大学多元物質科学研究所助教を経て2024年より現職。

最近の研究: カーゴ輸送機構とタンパク質品質管理機構の構造生物学的研究。

稲葉謙次 Kenji INABA



九州大学生体防御医学研究所 教授

〒812-8582 福岡県福岡市馬出

e-mail: kenji.inaba@bioreg.kyushu-u.ac.jp

略歴: 1998年京都大学大学院工学研究科博士課程修了。博士 (工学)。1998年 Medical Research Council 博士研究員, 2000

年京都大学ウイルス研究所博士研究員, 2002年さきがけ21研究員, 2006年九州大学生体防御医学研究所 特任准教授, 2013年東北大学多元物質科学研究所教授を経て2024年より現職。

最近の研究: 細胞内の化学環境恒常性維持とタンパク質恒常性維持の分子構造基盤。

水分解用光触媒電極の固液界面反応の 波長分散型軟 X 線吸収分光法によるリアルタイム・オペランド観察

阪田薫穂, 雨宮健太

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

Real-time and *Operando* Observation of Intermediates at the Solid-liquid Interface of Photocatalyst Electrode using Wavelength-dispersive Soft X-ray Absorption Spectroscopy

Kaoruho SAKATA, Kenta AMEMIYA

IMSS, High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて様々な研究が行われているが、その中でも、水分解用触媒電極を用いた水素発生反応は、生成した水素を環境負荷の低い次世代エネルギーの一つとして使用できるため様々な研究が行われている。水分解用触媒電極は、酸素発生電極のアノード材料と組み合わせてデバイスとして用いられるが、酸素発生電極は性能のボトルネックになっており、また反応過程も不明点が多い。我々が独自に開発した波長分散型軟 X 線吸収分光法では、時間分解能 3 ~ 10 秒毎でのスペクトル取得が可能であり、固液界面における電気化学反応の解析が行えるシステムと組み合わせて、リアルタイム・オペランド観察を行うことができる。本研究では、この手法を用いて、薄膜電極上に担持した酸化チタンを用いて光触媒電極とし、その電位掃引中の酸素発生反応を UV 光照射しながらリアルタイムで測定を行い、酸素の K 吸収端に着目して、電極/溶液界面での酸素発生や反応中間体について観察を行った。

1. はじめに

1-1. 軟 X 線吸収分光を用いたリアルタイム測定と電気化学反応場の観察

軟 X 線領域の X 線吸収分光法 (XAS) は、化学組成の解析等非常に有用な手法であるが [1], 従来の手法では 1 つのスペクトルを取得するための測定時間が分単位で必要である。硬 X 線ではクイック XAFS (QXAFS) [2] や、波長分散吸収分光 (DXAFS) [3] の手法を用いて一度にスペクトル取得する方法が開発されているが、これらを軟 X 線領域に適用するには分光の方法や検出の方法が異なるため困難であり、そのため、これまでに軟 X 線吸収分光のリアルタイム測定は行われていなかった。近年、我々が独自に開発した波長分散型軟 X 線吸収分光では、波長分散した軟 X 線を試料に照射し二枚の球面ミラーを用いてサンプルからの蛍光 X 線を位置分解できるように集光し、軟 X 線用 CCD / CMOS カメラでそれらを一度に検出することで、吸収分光のスペクトルをワンショットで取得でき、時間分解能 3 ~ 10 秒毎でのリアルタイム測定が可能となった [4]。蛍光収量を用いているため、準大気圧下での測定なども行うことができる [5,6]。本手法を用いると、化学反応等の時間変化を解析することが可能である。

本研究は、この波長分散型軟 X 線吸収分光を電気化学系の解析に応用したものである。軟 X 線吸収分光を用いて

固液界面反応の解析を行うことで、これまで硬 X 線からのみでは明らかになっていなかった軽元素を有する固液界面 (水溶液から生じる化学種、電極表面に生じた酸化物、酸素の吸着種) についての知見を得ることが可能となる。

これまで、軟 X 線吸収分光をリアルタイムで測定し、3 電極式の電気化学系の解析 (電位の変化に対する電極界面の観察) を行った報告は殆ど見られなかった。固定の入射エネルギーでのオペランド測定 (Potentiodynamic XAS [7]) は、唯一リアルタイムで吸収分光を行う方法として報告されていたが、この手法からのみでは、電位の変化に伴い、吸収分光のピークシフトが起きる系は追従できない。それらの問題点を克服するために、我々のグループでは、世界に先駆けて、蛍光収量波長分散型軟 X 線吸収分光を用いて、固液界面での化学反応に対し、10 eV 程度の幅の吸収分光スペクトルを連続取得することによりリアルタイムで観察できる手法を開発した。幾つかの実験を行っているうち [8,9], 水分解用の光触媒電極の酸素発生反応に着目し、電位を掃引しながら (かつ、UV 光を照射しながら) リアルタイムで酸素を含む化学種の観察を行ったので [10], 本稿で紹介したい。

1-2. 水分解用の光触媒電極の研究背景

太陽光を用いて水を水素と酸素に分解できる半導体光触

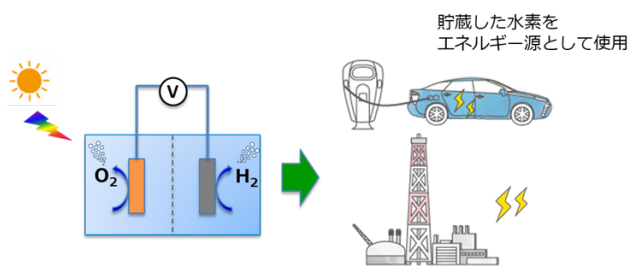


Figure 1 Hydrogen generation through water electrolysis and the use of renewable energy

媒は、生成した水素をエネルギーとして使用できるため、環境負荷の低い次世代エネルギー源の一つである (Fig. 1) [11,12]。この半導体光触媒は p 型半導体材料でできた水素発生電極と n 型半導体材料でできた酸素発生電極を組み合わせでデバイスとして用いられている。酸素発生電極は水素発生電極に比べ、性能のボトルネックになっているため、システム全体の性能向上のために、酸素発生電極の性能向上が必須である。電極上での酸素発生反応は 4 電子移動の水の酸化反応であることが知られているが、この反応過程には未だ不明点が多い。特に、光触媒による水分解反応は固液界面での反応を扱うため、固液界面で生成する化学種と、その反応がどのように触媒活性に影響を与えるかを明らかにすることは大切である。

本研究では、酸素発生電極のモデル触媒として、薄膜電極上に担持した半導体光触媒酸化チタン (TiO_2) [13] を用い、電位掃引中の酸素発生反応をリアルタイムで測定を行い、酸素の K 吸収端に着目して、電極/溶液界面での酸素発生や前駆体の吸着分子について観察を行った。また、UV 光を照射した場合と照射しない場合での違いの比較や、電極/溶液界面での反応中間体についての観察も行った。

2. 実験方法

電気化学測定は Pt を対極、Ag/AgCl を参照極とした 3 電極法で行い、対極や参照極をセルの上部から設置するセ

ル構成となっている (Fig. 2 左図)。電気化学測定はオートマチックポラリゼーションシステム (HSV-110 北斗電工) を用いて行った。電解液は 0.1 M NaOH (pH 13) を用いた。導通層の Au (10 nm) は、下地層として Cr (1 nm) を成膜した後に、 Si_3N_4 窓材に直接成膜されている。その上に、触媒層の TiO_2 (15 nm) をスパッタ法 (VQS-101, Veqtor Engineering) によって成膜した。窓材の裏面 (固液界面と逆側) から軟 X 線を照射し、固液界面近傍に X 線が届き、そこから放出される蛍光 X 線が Si_3N_4 窓材の裏面 (入射 X 線と同じ側) にまで十分透過されるようにサンプルを設計している。 Si_3N_4 窓材 (NTT-AT Japan) の薄膜は厚み 200 nm、窓部分が 1 mm × 3 mm のものを用いている。

実験は高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光施設 Photon Factory のビームライン BL-16A にて行った。波長分散型軟 X 線吸収分光の測定では、O K 端近傍 (530 eV) の軟 X 線を得るために、500-lines/mm の回折格子を用いている。また、サンプルからの蛍光 X 線は軟 X 線用 CMOS カメラ (Marana-X, Andor) を用いて検出した (Fig. 2 右図)。本システムを用いて、XAS スペクトルは 3 秒毎に取得している。

3. 結果・考察

電極の電位を 0.1 V vs. RHE から 1.6 V まで掃引している間に、同時に O K 端の XAS スペクトルをリアルタイムで (測定を止めたり、セッティングを変えたりせずに、連続で) 取得した。その時に得られた電流値を Fig. 3 に示す。0.1 V vs. RHE から 1.6 V まで、UV 照射ありの場合と UV 照射なしの両者とも、2 サイクル電位を掃引したが、UV 光照射ありの場合と UV 光照射なしの場合で電流値に差がみられた (Fig. 3)。UV 光照射ありの場合となしの場合の両方で、電極電位約 0.9 V vs. RHE のときに電流が増加しているが、酸素発生反応の開始電位は約 1.7 V であるため、導電層 (Au や Cr) の酸化に関連している可能性が考えられる。

電極の電位を 0.1 V vs. RHE から 1.6 V まで掃引 (Fig. 3)

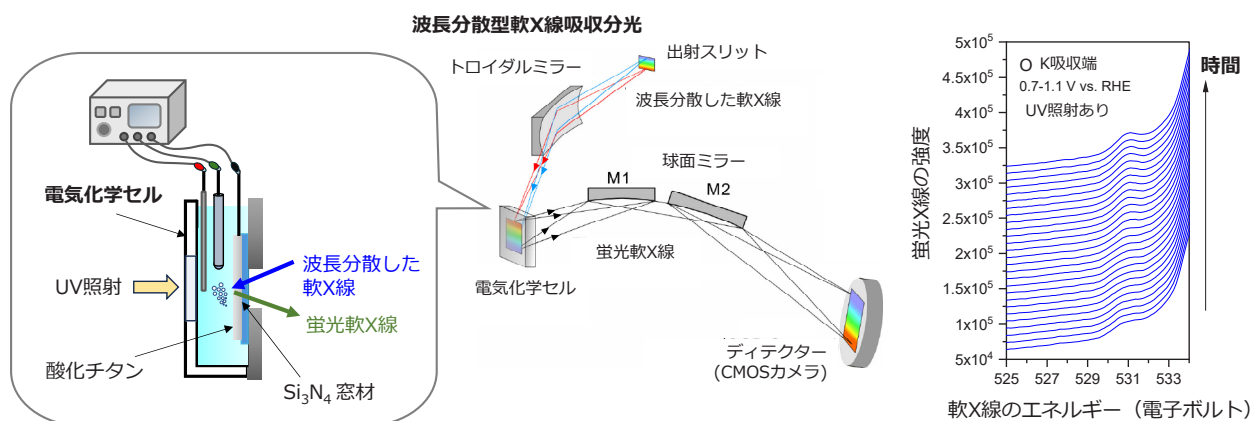


Figure 2 Schematic of wavelength-dispersive XAS apparatus (right side) and the dedicated electrochemical measurement cell (left side). XAS spectra are obtained in real-time, and spectrum changes correspond to applied potential.

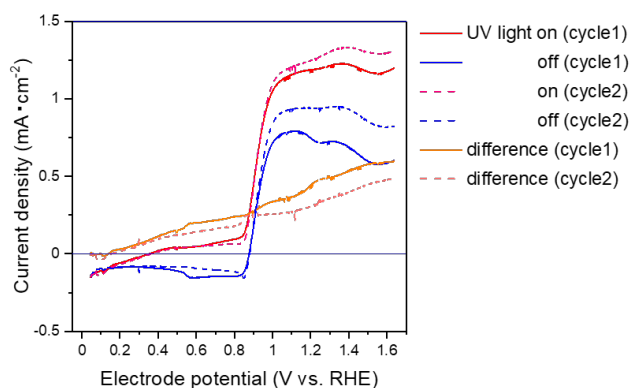


Figure 3 The linear sweep voltammogram (LSV) of the electrode obtained during the XAS measurement when the electrode potential was swept from 0.1 V vs. RHE to 1.6 V. The figure is for potential sweep cycle 1 and cycle 2, with and without UV light.

している間に、同時に O K 端の XAS スペクトルをリアルタイムで取得した経時変化を、スペクトルを下から上に並べて等値線マップで示した結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4(a) は UV 光照射ありの場合、Fig. 4(b) は UV 光照射なしの場合の結果となっている。また、両者の差を見やすくするために、差分を取ったものを Fig. 4(c) に示す。UV 光照射しているとき、533.8 eV 付近にピークがみられ、電位の掃引とともにその強度が変化した。このピークは、光照射し

ていないときにはみられなかったため、水分解により触媒表面近傍に現れる酸素種に起因することが考えられる。531.2 eV でも電位掃引に伴い、ピーク強度の変化がみられるが、これは UV 光照射ありの場合となしの場合の両方で観察され、0.9 V vs. RHE 以上の領域でピーク強度が増加したため (Fig. 5(a)), Au もしくは Cr の酸化による変化である可能性が考えられる。

一方で、Fig. 5(b) に示すように、533.8 eV のピーク強度は、比較的低い電位から徐々に増加し、0.7 ~ 0.8 V では減少する傾向が示された。一般に、ある素反応で生成した化学種が、それに続く素反応によって消費されると、XAS のピーク強度の変化は観測できない可能性があるが、反応速度が遅い律速段階の化学種が表面に蓄積すると、ピーク強度が増加すると考えられる。そのため、533.8 eV のピーク変化は次のように解釈できるだろう。低電位では、酸素発生反応の反応律速の中間体が電極表面に蓄積し、高電位では、律速段階の反応、ひいては酸素発生反応全体が促進され、533.8 eV で観察される中間体が減少することになる。これまでの先行研究による、 $\text{Co}(\text{OH})_2$ と $\text{Ni}(\text{OH})_2$ の O K 端 XAS スペクトルが 533.8 eV 近辺で観察されていることから、533.8 eV のピークは MOH 種 (M は金属) に帰属すると推測される [9,14,15]。

このように、本手法を用いて、電位や UV 光照射で固液界面にどのような酸素種があるかを解析することが可能となった。

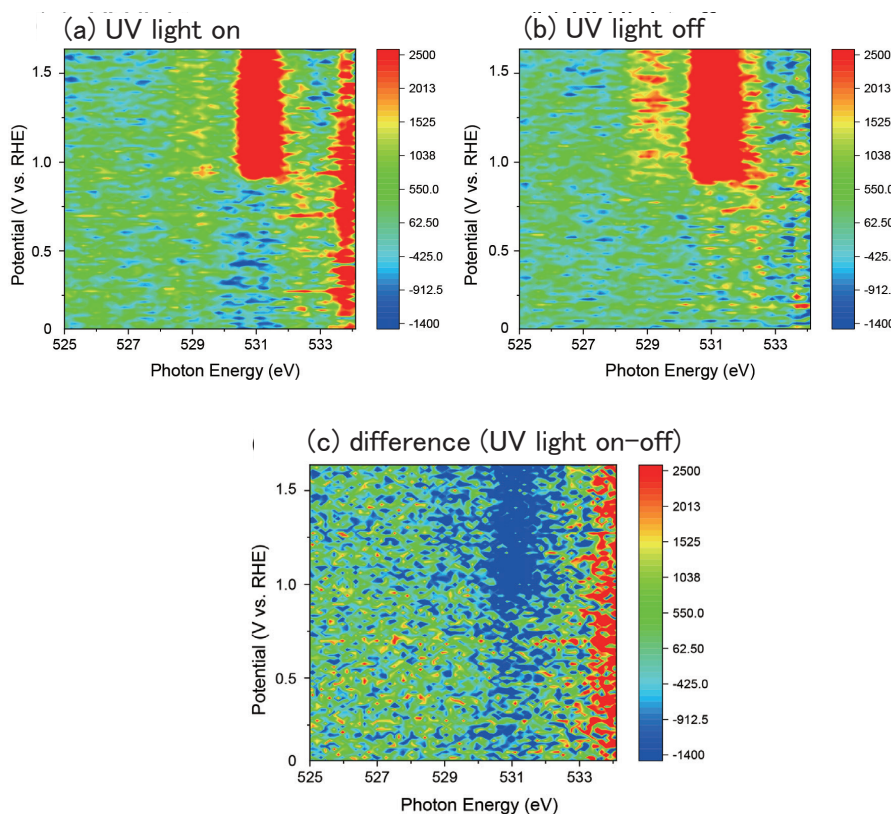


Figure 4 Contour map of differences in XAS spectra intensity from initial measurement stage without UV light (the electrode potential was from 0.0 V to 0.12 V vs. RHE) for visualization of change, for (a) UV light on, (b) UV light off, and (c) difference of the intensity between UV on and off for cycle 1, based on the case of UV off.

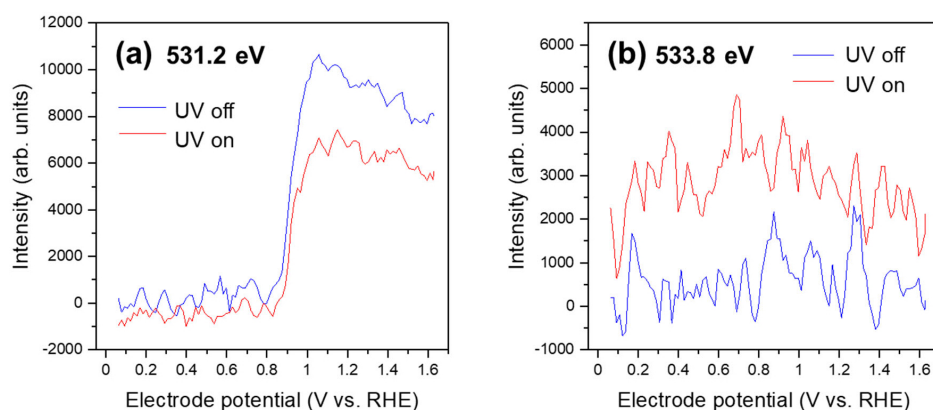


Figure 5 Intensity of XAS spectra at (a) 531.2 eV and (b) 533.8 eV corresponding to electrode potential.

4. まとめ

本稿では、当グループで開発したリアルタイムでXASスペクトルの取得が可能な波長分散型軟X線吸収分光の紹介と、本手法と電気化学測定を組み合わせることで固液界面に存在する軽元素の中間体を観察する手法について述べた。また、特に水分解用の光触媒である酸化チタン電極に対して電位掃引時の電極と電解液との界面の化学種の挙動について観察した結果について紹介した。

今後の展望として、本手法では現在、リアルタイム観察の時間分解能は0.1～10秒毎での取得であるが、今後、ミリ秒オーダーでのスペクトル取得を行うべく、光学系の改良を計画している。この改良により詳細な速度論的分析が可能になり、特に固液界面で起こる現象を明らかにするための貴重なツールとなることが期待される。

このような検討を通して、従来の測定では明らかにされていなかった、電極の固液界面における挙動をより詳細に解析が可能になるよう、より測定手法の改良を進めていきたいと考えている。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 19K22091, 21H04678, 20K22475, 23K04700の助成を受けたものである。また、PF 共同利用実験課題 No.2020G595, 2020G622, 2022G583にて行われた。

引用文献

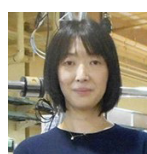
- [1] J. Stöhr, NEXAFS Spectroscopy, Springer: Berlin (1992).
- [2] R. Frahm, Rev. Sci. Instrum., **60**, 2515 (1989).
- [3] T. Matsushita, U. Kaminaga, J. Appl. Crystallogr., **13**, 465 (1980).
- [4] K. Amemiya, K. Sakata, M. Suzuki-Sakamaki, Rev. Sci. Instrum., **91**, 093104 (2020).
- [5] K. Sakata, M. Suzuki-Sakamaki, K. Amemiya, Nano Lett., **21**, 7152 (2021).
- [6] K. Sakata, K. Amemiya, J. Phys. Chem. Lett., **13**, 9573 (2022).
- [7] L. J. Frevel *et al.*, J. Phys. Chem C, **123**, 9146 (2019).
- [8] K. Sakata, K. Amemiya, Chem. Lett., **50**, 1710 (2021).

- [9] K. Sakata, K. Amemiya, Electrochem. Commun., **157**, 107627 (2023).
- [10] K. Sakata, K. Amemiya, Electrochem. Commun., **165**, 107771 (2024).
- [11] N. S. Lewis, D. G. Nocera, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., **103**, 15729 (2006).
- [12] Editorial, "Hydrogen on the rise", Nat. Energy **1**, 16127 (2016).
- [13] A. Fujishima, K. Honda, Nature, **238**, 37 (1972).
- [14] M. Yoshida, Y. Mitsutomi, T. Mineo, M. Nagasaka, H. Yuzawa, N. Kosugi, H. Kondoh, J. Phys. Chem. C, **119**, 19279 (2015).
- [15] D. Drevon, M. Görllin, P. Chernov, L. Xi, H. Dau, K. M. Lange, Sci. Rep., **9**, 1532 (2019).

(原稿受付日：2024年12月14日)

著者紹介

阪田薫穂 Kaoruko SAKATA



物質構造科学研究所 准教授

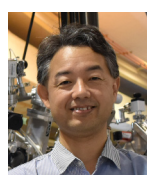
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

e-mail: kaoruko.sakata@kek.jp

略歴：2008年早稲田大学先進理工学研究科博士課程終了、2020年高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所博士研究員、2024年准教授。博士（工学）。

最近の研究：軟X線／硬X線XASを用いた電気化学反応中の固液界面のオペランド観察

雨宮健太 Kenta AMEMIYA



物質構造科学研究所 教授

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

e-mail: kenta.amemiya@kek.jp

略歴：2000年東京大学大学院理学系研究科博士（理学）取得。2012年より高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所・教授。

最近の研究：軟X線吸収分光を用いた表面・界面分析法の開発。

α -S の S-K 端 XAFS の温度依存測定からわかった異常に強い S-S 結合

池本弘之¹, 宮永崇史²

¹ 富山大学理学部物理学科, ² 弘前大学理工学部数物科学科

Extraordinary Rigid S-S Bond of α -S through Investigation via Temperature-Dependent Measurements of S-K Edge XAFS

Hiroyuki IKEMOTO¹, Takafumi MIYANAGA²

¹Department of Physics, University of Toyama, ²Department of Mathematics and Physics, Hirosaki University

Abstract

結晶安定相 α -S の基本構造である 8 員環の局所構造を調べるために, S-K 吸収端 (2.472 keV) の透過 XAFS 測定を 10 ~ 300 K で行った。軟 X 線の吸収を抑え, さらに低温での測定を可能にするために, サンプルを真空中に置いて, 透過 X 線強度をフォトダイオードで検出した。8 員環を構成する共有結合の平均二乗相対変位を含めた全ての構造パラメータは温度変化せず, 3 次のキュムラントは実質的にゼロであった。このことから, S-S 共有結合は非常に強く, かつそのポテンシャルの対称性が高いことが明らかになった。

1. はじめに

カルコゲン原子 (S, Se, Te) は 2 配位共有結合で 1 次構造を構成し, さらにそれらが集積した 2 次構造をとる。この階層構造がカルコゲン群に独自の特徴をもたらす。常温常圧では, S は 8 員環を基本構造とした斜方晶系 S(α -S), Se と Te は 3 回らせん鎖を基本構造とした三方晶系 Se, Te (t-Se, t-Te) が安定相である [1]。1 次構造のリング間あるいは鎖間の相互作用は, S, Se, Te と原子番号が大きくなるにつれて強くなる。したがって, カルコゲン元素を系統的に調べることは, 基本構造間の相互作用の役割が大きいカルコゲン群の物性に関する有益な情報を与える。t-Se と t-Te の構造の温度変化については, これまでに研究がなされている。X 線回折 (XRD) により, t-Se では温度上昇に従って a 軸方向 (らせん鎖間方向) には膨張する一方で c 軸方向 (らせん軸方向) には収縮するが, ナノ結晶 Se では粒径が小さくなると a, c 軸の両方とも膨張することが報告されている [2, 3]。t-Te の構造についても古くから研究されてきたが, そのナノ粒子は近年新しい機能を有する電子材料や光学材料として研究が進められており, さらに 1 次元や 2 次元状態での構造や物性が XRD や透過型電子顕微鏡などで研究されている [4]。これらに対し, α -S の構造の温度変化についての研究例はわずかである。最近, XRD と第一原理計算を用いて, α -S の格子熱膨張と異方性原子変位の温度依存性の研究が行われた。XRD の結果は, 格子定数および異方性原子変位が温度とともに大きくなるが, 8 員環内の S-S 結合距離は変化しないことを示している。これらは, 第一原理計算の結果と良い一致を示している [5]。

X 線吸収微細構造 (XAFS) 解析は, XRD などの回折手法と並ぶ重要な構造解析の手法である。XRD と比較すると, XAFS 法は局所構造探索に強く [6], 選択した元素周辺で個別の元素との原子相関を明らかにできるアドバンテージがある。さらに広域 XAFS (EXAFS) 解析から得られる, 原子間距離の平均二乗相対変位 (MSRD) の温度依存性を解析することにより, 選択した元素間の原子相関の強さを求めることができる [6]。これらのことは, 強い 1 次原子相関と弱い 2 次原子相関が共存するというユニークな階層性を持つカルコゲンの構造研究において, それぞれの原子相関, さらには 1 次構造と 2 次構造の関係を検討するのに有用である。これまでのカルコゲン元素に関する EXAFS 解析により, t-Se では温度の上昇に伴って共有結合長が短くなることや [7], 融解時に Se や Te の共有結合長が短くなることなど, 多くの物質とは異なる構造変化が明らかになっている [8]。また, モルデナイトやカーボンナノチューブに包摂された Se 孤立鎖や Te 孤立鎖では, 鎖間相互作用の消失により, 共有結合長が短くなり, その結合力が増加することがわかった [7, 9, 10]。さらに, MSRD の温度解析から Se の共有結合の強さが Te よりも強いことも確認された。

このように, カルコゲンの中でも Se や Te については理解が進んできているが, S についての温度変化に関する研究例は少ない。 α -S の XRD の温度変化に関しては報告されているが, XAFS 解析のアドバンテージを生かした温度変化に関する研究は, XRD とは異なる情報を与えることが期待される。例えば, EXAFS 解析により得られる MSRD の温度解析から, α -S の基本構造である 8 員環

の共有結合の強さを評価できる。しかしながら、これまでは低温領域を含む温度変化の測定が行われてこなかった。低温での S-K 端の XAFS 測定が難しいのは、S-K 端 (2.472 keV) のエネルギーが放射光においてもテンダー領域と呼ばれように X 線強度が弱く、さらに低エネルギーであるがゆえに空気をはじめとした物質による X 線の吸収を無視できないからである。したがって、低エネルギーの X 線の吸収を極力排除するために、He ガスや真空中などの特殊な環境下で S-K 端の XAFS 測定は行われる。これまでのところ、現実的な測定法として、He ガスを試料の周りに流す転換電子収量 (CEY) 法 [11, 12]、あるいは試料を真空中に設置する電子収量法や、蛍光収量法がよく用いられてきた。特に CEY 法は、S を含む材料に対して優れた結果をもたらし、S 混合化合物の重要性から材料科学と産業に貢献している [13]。しかし、試料の周りに He ガスを流す CEY 法では低温の XAFS 測定は無理である。通常よく用いられる電流検出による電子収量測定では低温測定が可能であるが、EXAFS 領域でシグナルのバックグラウンドが差し引きにくいなど、詳細な構造解析に必要な高波数領域にわたっての良質な X 線吸収スペクトルを得ることが難しい。これらの電子収量法ではなく蛍光法が用いられる場合もあるが、S 原子の自己吸収効果を防ぐためにサブミクロンオーダーの非常に薄い試料が必要であり、サンプル調製が困難である。

このような状況のもと、最近我々は透過法により低温から室温までの S-K 吸収端の XAFS 測定を行って、 α -S の共有結合の強さに関する興味深い結果を得た [14]。この際に、我々は良質な XAFS データを得るための原点に立ち帰って透過法による S-K 端の XAFS 測定の可能性を、さらに低温で測定するために真空中での測定を検討した。 α -S を真空中に置いた場合に想定される X 線光路上の、 α -S、基板のカーボン、窓材のカプトン膜などの X 線透過率を計算した結果、透過法測定が可能であると判断した。さらに X 線吸収を抑えるために窓材がないフォトダイオード (PD) を用いて、透過 X 線強度を検出した。これらの工夫により、低温から室温にわたる温度領域で XAFS 測定に成功し、 α -S の構造パラメータの温度依存性を初めて求めることができた [14]。本レポートでは、この研究について、特に測

定手法を詳細に紹介し、 α -S 中の S-S 共有結合の特徴を明らかにしたうえで、同族の t-Se 及び t-Te と比較して議論する。

2. 実験と解析方法

透過 XAFS 測定において S 試料の最適厚はエッジジャンプが 1 になる約 3 μm であるが、バルク S からこのように薄くて一様なサンプルを切り出すのは困難である。そこで、真空中 (3.0×10^{-6} Torr) で多層カーボンナノチューブシート (MWCNT, 厚さ 0.6 ~ 4 μm の範囲) 上に硫黄 (純度 99.999%, NewMet) を薄く堆積させた薄膜を試料とした。吸収端のエッジジャンプから得た測定に用いた S サンプル厚は 3.4 μm である。MWCNT を薄膜基板として選んだのは、測定エネルギー領域での X 線透過率が高く、また自立膜として容易に入手できるからである。蒸気圧の高い硫黄が真空中で蒸発するのを防ぐために、試料をカプトンフィルム (厚さ 7.5 μm) で覆った。しかしながら、この薄膜が α -S である保証はない。結晶系の同定は XRD で行うのが基本であるが、試料厚が薄いためにブラッグピークを観測できなかった。そこで、次善の策として Raman 測定 (日本分光 NRS7100, 励起光 532 nm) を行い、 α -、 β -、 γ -S の Raman スペクトルと比較した [15]。それぞれの結晶系の特徴的なピークと比較した結果、我々が作製した S 薄膜は α -S であると判断した。PD を用いた透過法で適切なデータが得られているかを検証するために、S-K 吸収端測定での標準的な手法である CEY 測定を室温で行った。CEY 法の試料は硫黄粉末 (純度 98%, 和光純薬工業株式会社) を用いた。

S-K 端の X 線吸収スペクトルの測定は、KEK-PF BL-9A ビームラインの軟 X 線測定モードで行った。軟 X 線測定モードの標準セットアップでは、 I_0 測定用イオンチャンバー、サンプルホルダー、CEY 検出器、Lytle 検出器が一体化されており、その中を He を流すことにより、X 線の吸収を極力抑えている。我々が使用した透過測定用のサンプルチャンバーの概略図 (a) およびそれらの写真 (b ~ d) を Fig. 1 に示す。He ガスフロー部と真空部は X 線入射窓で区切られ、上流側には I_0 検出用の PF のイオンチャンバー、下流側にはサンプルと PD 検出器を内包した真空チャ

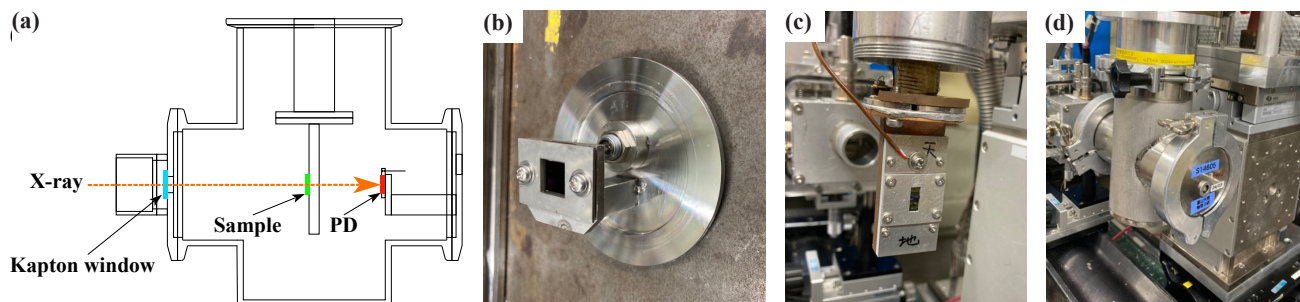


Figure 1 (a) Sample chamber designed for XAFS measurements with transmission mode. The green section indicates the sample containing the thin S-film, MWCNT, and Kapton film, which are attached to the sample holder connected to the cryocooler. Photo Diode (PD) is indicated with red, which directly detects the transmitted x-ray in a vacuum. The Kapton window is indicated in blue. (b) Photo of PD (c) Photo of sample holder attached on cold head. (d) Photo of sample chamber.

ンバーとなっている。カプトン窓の上流側ではHe ガス中を、下流側では真空中を、X線を透過させて空気による吸収をなくした。真空チャンバーのX線入射窓には入手可能な最薄の7.5 μm のカプトンフィルムを用いた。透過X線強度の検出には窓材がなく検出器が剥き出しになった Si p-intrinsic-n Photodiode(PD) (HAMAMATSU S14605)を用い、基本的な回路でX線強度を電流に変換してPF 備え付けのアンプでモニターした。Fig. 1(b) はサンプルチャンバーに取り付ける前のPD, (c) はクライオホルダーに取り付けられた試料, (d) はサンプルチャンバーの全貌の写真である。試料は10 ~ 300K の温度範囲で測定した。

Fig. 2 は、 I_0 測定用イオンチャンバーからPD 検出器までの光路上にある、S サンプル(膜厚3.4 μm)、X線窓と試料カバーの2枚のカプトン膜、および蒸着基板のMWCNT のそれぞれと全てのX線透過率の計算値を示す[16]。X線吸収をできるだけ抑制した工夫により、測定X線エネルギー範囲全体で総透過率が15%を超え、このセットアップで透過モードでのS-K エッジのXAFS 測定が可能であることが確認できる。

EXAFS 解析の全工程をmiXAFS プログラム[17]により解析した。 $\chi(k)$ 関数の導出には、AUTOBK 法[18]を用いて R_{bkg} を1 Åとした。共有結合に由来するEXAFS 信号を抽出するために、EXAFS 信号を4.0–13.5 Å⁻¹ の範囲でハミングウィンドウを使用してフーリエ変換し、さらに共有結合に対応する最初のピークを1.35 Å–2.70 Å の範囲で逆フーリエ変換した。このEXAFS 信号に k^2 の重みをつけた関数に対して、1サイトの非線形最小二乗法解析を行った。その際に、下記のEXAFS 基本公式を用いた。

$$\chi_{\text{cal}}(k) = \sum_j \left(\frac{PN_j}{k_0^2 r_j^2} \right) f_j(k_0) \exp(-2\sigma_j^2 k_0^2) \exp\left(-\frac{2r_j}{\lambda_j(k_0)}\right) \times \sin\left[2k_0 r_j + \phi_j(k_0) - \frac{4}{3}C_{3j}k_0^3\right],$$

$$k_0 = \sqrt{k^2 - \frac{2m}{\hbar^2} \Delta E_0},$$

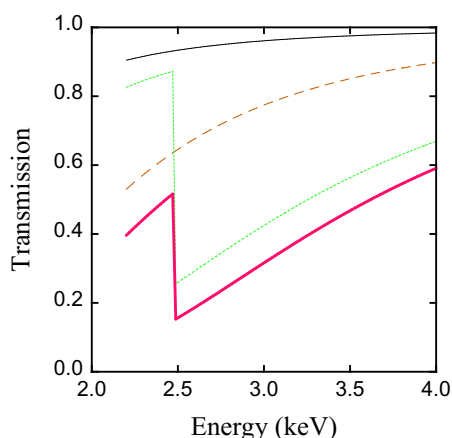


Figure 2 The theoretical transmittance for S of 3.4 μm thickness (green dotted line), Kapton of 15 μm thickness (brown broken line), carbon of 2 μm thickness (black thin solid line), and the total (red thick solid line).

ここで、 P は規格化係数、 r_j は j 番目の原子距離、 N_j は配位数、 C_{3j} は3次キュムラント、 σ_j^2 はMSRD、 ΔE_0 は吸収端からのエネルギーシフトである。 r_j 、 N_j 、 C_{3j} 、 σ_j を自由パラメータとし、位相シフト(ϕ_j)、平均自由行程(λ_j)、および後方散乱振幅(f_j)は、FEFF8.4プログラムの計算値を用いた[19]。

3. 実験結果

3-1. 硫黄の低温測定

我々は、S-K 吸収端のXAFS 測定として広く行われているCEY 法ではなく透過法を用い、さらに透過X線強度をPDによって検出した。そこで、我々が透過法で得たXAFS 信号が適切であることを示すために、透過法とCEY 法の室温におけるシグナルをFig. 3で比較した。XAFS スペクトル、特にXANES 領域を比較する際には、解析プログラムATHENAの規格化スペクトルがよく用いられている[20]。これは便利な機能ではあるが、ATHENAで得られるXAFS スペクトルは、バックグラウンドスペクトルの取り方に強く依存するので注意が必要である。特に第1ピーク付近のバックグラウンドを得るのが困難で、不自然なバックグラウンドによってスペクトルが大きく歪んでしまうことがある。そこで、我々はXAFS スペクトル導出の原点に立ち帰り、実験から得られた μt からS-K 吸収端前の吸収曲線を単純に引いて、さらにエッジジャンプで規格化して比較した。この際に吸収端前の吸収曲線を外挿するので、より自然な吸収曲線を得るためにX線吸収端前後のVictoreen係数を活用するXANADU手法を用いた[21]。Fig. 3に示すように、多少の違いはあるが両者のスペクトルはほぼ一致していることから、我々が用いた透過法で信頼できるデータが得られていることが確認できた。実行前には、PDを用いた透過法で十分なダイナミックレンジが確保できるかも危惧したが、エッジジャンプの3倍強もある第1ピークも再現しており、PDが十分なダイナミックレンジを有していることが確認できた。

このように、PDを用いた透過XAFS 測定は、空気によ

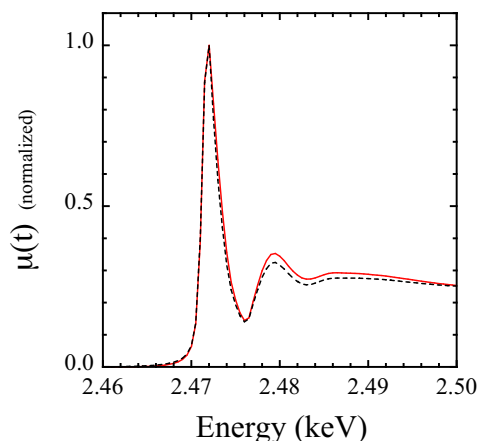


Figure 3 Comparison of the XANES spectra of α -S between CEY (black dashed line) and transmission mode (red solid line) measurements at 300 K.

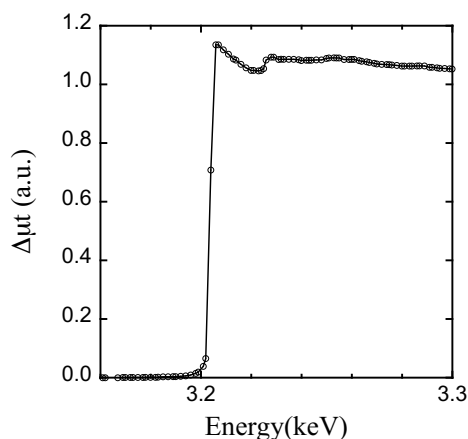


Figure 4 Ar-K edge XAFS appeared around 3.2 keV.

る吸収が大きく影響する軟X線領域でのXAFS測定で有効である。ただし、イオンチャンバーと比較するとPDのオフセットの値が大きいことは残された課題である。一方、本研究とは直接関係しないが、Sn-K吸収端(29.200 keV)のXAFS測定でもPDが有効であることを検証しており、高エネルギー領域での I_1 検出ガスのKrが入手困難な中、PDの活用が期待される。

波数 $20\text{\AA}^{-1}$ までのXAFSスペクトルを得るために、 $2.2 \sim 4.0$ keVのエネルギー範囲でXAFS測定を行った。しかしながら、わずかであるがAr-K吸収端のXAFSスペクトルが、透過法でもCEY法でも観測された。Fig. 4はAr-K吸収端近傍の測定を拡大したものであるが、そのエネルギーと形状が文献[22]と同一であった。当初は、S試料設置時に混入した大気中のArガスを検出していると推測したが、ビームタイムがマシンスタディをまたがった際にHeガスを24時間以上フローさせ続けて徹底して空気からHeへの置換を行ったが、Arガスのシグナルは消失しなかった。したがって、Heガス中に混入しているArの影響であると考えている。さらに、高純度のG1グレードのHeガスを試したがArの影響を排除することはできなかった。

Fig. 5に得られたEXAFS関数を示すが、最低温の10Kから室温付近の300 Kにわたる温度領域で、 $13.5\text{\AA}^{-1}$ までの波数域で十分な振動が観測された。興味深いことに、その振幅は温度によらずほぼ同じであり、特にMSRDの影響が出やすい高波数領域でも温度上昇による減衰が見られない。このことは、MSRDが測定温度領域では温度に依存しないこと、さらには強い共有結合を示唆する。

大まかな原子相関を見るために、 $k\chi(k)$ のフーリエ変換 $|\text{FT}(r)|$ をFig. 6に示す。フーリエ変換の際に位相因子の補正を行っているので、原子間距離は実際の値に近い。 α -Sでは、 $2\text{\AA}$ 付近の第1ピークの領域には共有結合による原子相関のみが存在する。一方、第2ピークの $2.7 \sim 4.0\text{\AA}$ の領域には、8員環内部の2種類の第2近接原子相関、さらに隣接する8員環間の第1近接などが混在している。 $\chi(k)$ の温度変化から推測できるように、第1ピークの高さは温度によらずほぼ一定である。これに対し、第2ピーク

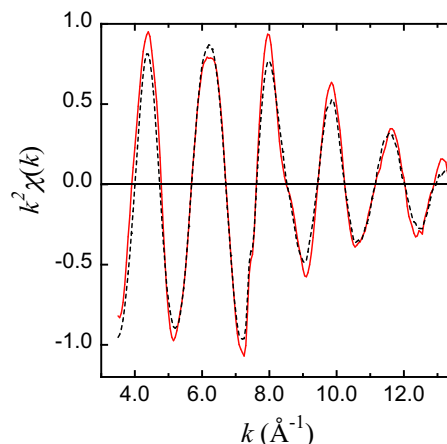


Figure 5 Variation of the $k^2\chi(k)$ of α -S at 10 K (red solid line) and 300 K (black dashed line).

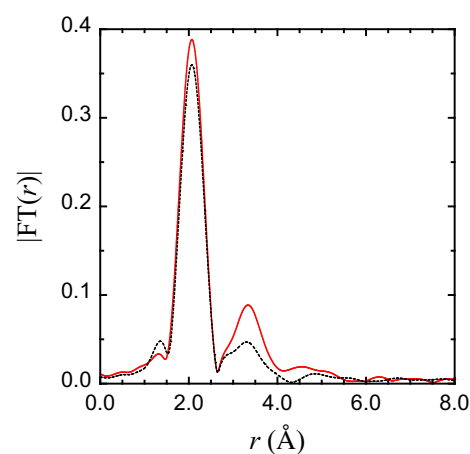


Figure 6 $|\text{FT}(r)|$ of α -S at 10 K (red solid line) and 300 K (black dashed line).

は温度上昇によりピークの高さは減少しているが半減程度である。さらに、8員環同士の相互作用が非常に弱いことを考えると、この第2ピークには8員環内部の第2近接の寄与が主要であると推測している。第1ピークと第2ピークの温度変化を明確に比較するために、Fig. 7に最低温の $|\text{FT}(r)|$ のピーク高さで規格化したピークの高さの温度変化をプロットしている。この図から、第1ピークの高さが温度によらず一定であり、第2ピークが温度上昇とともに線形に減少していることが分かる。第1、第2ピークの高さの温度変化から、共有結合は非常に強いが、Sの8員環の結合角はそれに比べると弱く(柔らかく)、温度の変化を受けやすいことが分かる。これ以降は、共有結合のみを含む第1ピークに焦点を絞り、8員環内の共有結合について議論する。

α -Sの共有結合の構造パラメーターを得るために、Fig. 6の第1ピークだけを逆フーリエ変換し、1サイトによる非線形最小二乗法フィッティングを行った。構造パラメーターのうち一般的には温度変化の大きいMSRDを除く、原子間距離 r 、配位数 N 、3次のキュムラント C_3 の全温度領域の平均値をTable 1に示す。EXAFS解析による原子間距離の精度が約 $0.02\text{\AA}$ であることを考えると、得られた共

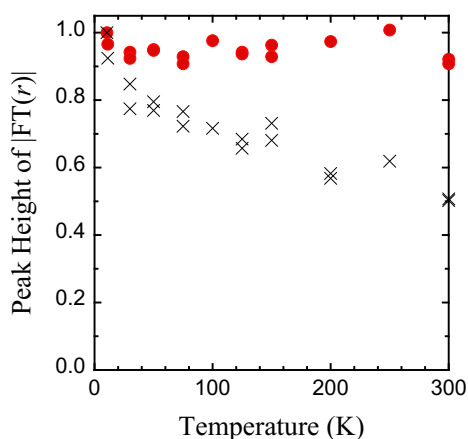


Figure 7 Temperature variation of the first peak height (red circles) and second one (black crosses) of $|FT(r)|$ of α -S.

Table 1 Structure parameters of r , N and C_3 obtained from the EXAFS analysis for S-S covalent bond in α -S.

r (Å)	N	C_3 (Å ⁻³)
2.054±0.007	2.03±0.05	4.5±18.4 × 10 ⁻⁵

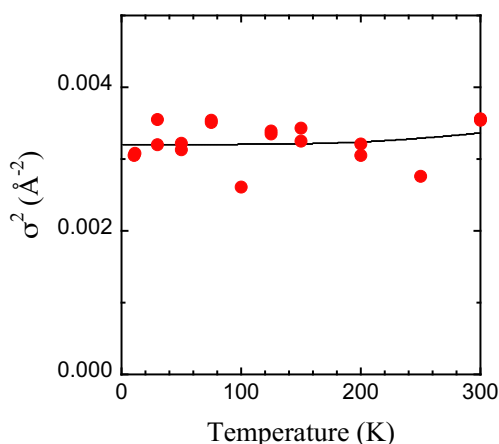


Figure 8 The temperature variation of the MSRD for the covalent bond of α -S, which was obtained from the S K-edge XAFS measurements. The solid lines show the Einstein model fitting.

有結合長は XRD 実験から得られている 2.055Å[23] と一致している。さらに、共有結合長の温度分散は、EXAFS から得られる原子間距離の精度以下であるので、300 K 以下では共有結合長が変化しないと言える。このことは、Fig. 6 の $|FT(r)|$ のピーク位置の違いが 0.002Å 以下であることから裏付けられる。このように共有結合長が温度変化しないことは、8 員環内の共有結合が熱擾乱を受けない非常に強い共有結合であることを示唆する。共有結合の強さを色濃く反映する MSRD を Fig. 8 に示す。 α -S の MSRD に温度変化はほとんど見られず、 $\chi(k)$ がほとんど温度変化しないことに対応している。MSRD が温度変化しないことは、高温側で MSRD が明らかに増加する同族の t-Se や t-Te、さらには多くの物質と比べると対照的である。このことは、共有結合長の温度変化と同様に共有結合が非常に強いこと

を示唆する。一方、非対称パラメーター C_3 の温度平均は、 $-1.4 \pm 2.5 \times 10^{-5} \text{Å}^{-3}$ であり、実質的に 0 と見なせる。このことは、共有結合のポテンシャルが対称的であることを示唆する。これらは XRD の結果と対照的である。XRD の解析結果およびその第一原理計算でも S-S 共有結合の距離は温度に対してほとんど変化していないが、それらの異方性原子変位を示す楕円体は温度が上昇するにつれて大きくなっているのに対して [5], EXAFS から求めた MSRD は温度に対して一定である。これは、EXAFS の情報が S-S 共有結合距離の相対的な変位を反映していることに起因している。

3-2. 他のカルコゲンと比較した議論

以上のように、 α -S の共有結合の全ての構造パラメーターは温度変化しない。このように温度に対して不変であることは、他の物質と比較すると異常である。特に、MSRD の異常に小さな温度変化は特筆すべきである。MSRD の起源は熱擾乱によってもたらされる原子間距離の相対変化であり、この温度変化を解析することにより原子間相互作用の強さについて具体的に考えることができる。MSRD の温度依存性の解析方法としては、アインシュタインモデルとデバイモデルが代表的である。アインシュタインモデルは孤立した分子の解析に適し、デバイモデルはフォノンの分散がある系に適している。 α -S では基本構造の 8 員環は半ば孤立していて分子的であるので、われわれはアインシュタインモデルで解析を行った。得られたアインシュタイン温度を Table 2 に示す。アインシュタインモデルでの解析では、アインシュタイン温度は MSRD の温度変化の傾斜に強く依存する。Fig. 8 にあるように、 α -S ではほとんど温度変化しておらず、室温付近でようやく微小な増加が見られるのみである。さらに分散が大きいこともあり、得られたアインシュタイン温度は非常に大きな誤差を含むものとなった。

アインシュタイン温度は物質固有の値であるが、他のカルコゲン元素と比較するためには力定数の方が適切である。同じ量で比較するために、t-Se と t-Te もアインシュタインモデルで解析した。 α -S, t-Se, t-Te のアインシュタイン温度、さらにアインシュタイン温度から求めた力定数を、Table 2 で比較している。 α -S の力定数は文献によると 237 Nm^{-1} [24] であり、得られた力定数とは異なっているが、誤差の範囲内には収まっている。 α -S の力定数はカルコゲン元素の安定相の中では最も大きく、t-Se の 3.4 倍、t-Te の 4.9 倍である。

α -S での共有結合の構造パラメーターが温度に依存しない

Table 2 Comparison of the 1NN distances (r_{XRD}) and (r_{CB}) in Å, θ_E (K), and K (N m⁻¹) for α -S, t-Se, and t-Te.

Element	r_{XRD} (Å)	r_{CB} (Å)	θ_E (K)	K (N m ⁻¹)
α -S	2.055 [23]	2.054	942±323	405±284
t-Se	2.375 [26]	2.37 [7]	325±6 [7]	119±4 [7]
t-Te	2.865 [27]	2.84 [28]	212±3 [7]	82±3 [7]

い異常さは、カルコゲン元素特有の階層性と、カルコゲン元素内でSが原子番号が最も小さいことが深く関係している。カルコゲン原子は、共有結合でできた8員環あるいは3回らせん鎖が基本構造であり、基本構造間の相互作用によって互いに結びつく階層性が特徴である。この基本構造間の相互作用は、鎖内共有結合と鎖間第1近接の距離の比などに見られるように、原子番号が大きくなるにつれて強くなる。基本構造間の相互作用が共有結合に与える影響が明確に現れるのは、基本構造間の相互作用が消失する融解時である。SeとTeでは、融解時に共有結合が短くなる異常が生じるが、これは共有結合を弱める鎖間相互作用が消失するためである。

残念ながら、Sの場合は、液体容器のX線吸収が非常に大きいので融解時の挙動についてXAFS実験することは、今回の手法でも難しい。液体Sの共有結合は中性子回折実験から $2.06 \pm 0.01 \text{ \AA}$ と報告されており[25]、 α -Sの $2.055 \text{ \AA}$ と比較すると共有結合が融解時に変化しないことが分かる。t-Seとt-Teでは孤立電子対と隣接鎖上の反結合軌道の重なりが共有結合に影響を及ぼすのに対し、半ば孤立した8員環がスタックした α -Sではこのような重なりがないことがS-Sの強い共有結合をもたらしっていると考えている。共有結合に対する環／鎖間相互作用の影響を調べる他のアプローチは、カーボンナノチューブなどの狭い空洞中にS分子を包摂して、相互作用のない状態での構造を調べることであり、我々は現在その研究を進めている。

4. まとめ

本研究では、透過X線強度の検出にフォトダイオードを用いた透過法により、10 Kから300 Kの温度範囲で α -Sに対してS-K端のXAFS測定を行った。これにより、 α -Sの構造パラメータ（原子間距離、MSRDおよび C_3 ）の温度変化を初めて得ることができた。EXAFS関数 $k\chi(k)$ のフーリエ変換 $|FT(r)|$ では、温度が10 Kから300 Kに上昇した際に、熱擾乱にもかかわらず、8員環の共有結合に対応する最初のピークの高さの減少はわずかであった。一方、リング内およびリング間の相関がいくつか含まれる2番目のピークは10 Kから300 Kに上昇するに従って、通常の物質と同様にピーク強度は減少した。EXAFS信号に対する非線形最小二乗フィッティングによって得られた α -SのS-S共有結合の構造パラメータは、温度変化に対してほぼ一定であった。温度に最も敏感なMSRDも温度に対して一定であることから、共有結合のポテンシャル障壁が極めて高いことがわかる。この結果は、異方性原子変位が温度上昇に対して増加しているXRDや第一原理計算の結果とは対照的である。また、 C_3 の値が実質的にゼロで温度に対して変化しないことから、共有結合の結合ポテンシャルの形状が対称的であることがわかる。MSRDの温度変化をアインシュタインモデルで解析して、アインシュタイン温度942 K、力定数(K) 405 N m^{-1} を得た。他のカルコゲン元素(t-Se, t-Te)と比べると、この α -SのKの値は非常に大きい値である。

謝辞

本研究はMd Saiful Islam氏および河口玲央氏との共同研究である。この場を借りてお礼申し上げる。本研究は、科研費（課題番号：JP17K04980 および23K04518）の補助を受けた。本研究で実施した放射光実験は、KEK放射光実験施設共同利用実験課題（2018G594, 2020G540, 2022G561）で行われた。

引用文献

- [1] R. W. G. Wyckoff, *Crystal Structures* (R.E. Krieger Publishing Company) (1982).
- [2] R. Große, H. Swoboda, and A. Tausend, *J. Phys. C: Solid State Phys.* **8**, L445 (1975).
- [3] Y. H. Zhao and K. Lu, *Phys. Rev. B* **56**, 14330 (1997).
- [4] A. L-Calderon *et al.*, *Small* **16**, 2005447 (2020).
- [5] L. George, V. L. Deringer, A. Wang, P. Müller, U. Englert, and R. Dronskowski, *J. Chem. Phys.* **145**, 234512 (2016).
- [6] D. Koningsberger and R. Prins, *X-ray Absorption: Principles, Applications, Techniques of EXAFS, SEXAFS, and XANES* (Wiley) (1988).
- [7] H. Ikemoto, T. Fujimori, T. Miyanaga, R. Kawaguchi, K. Urita, and M. Tabuchi, *J. Phys. Chem. Solids* **185**, 111737 (2024).
- [8] K. Tamura, *et al.*, *J. Phys.: Condens. Matter* **3**, 7495 (1991).
- [9] M. Inui, M. Yao, and H. Endo, *J. Phys. Soc. Jpn.* **57**, 553 (1988).
- [10] H. Ikemoto, T. Fujimori, T. Miyanaga, S. Kato, F. Iesari, and K. Urita, *J. Phys. Chem. C* **124**, 26043 (2020).
- [11] M. E. Kordes and R. W. Hoffman, *Phys. Rev. B* **29**, 491 (1984).
- [12] E. Yanase, I. Watanabe, M. Harada, M. Takahashi, Y. Dake, and Y. Hiroshima, *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, 198 (1999).
- [13] H. Ota, T. Akai, H. Namita, S. Yamaguchi, and M. Nomura, *J. Power Sources* **119–121**, 567 (2003).
- [14] H. Ikemoto, T. Miyanaga, M.S. Islam, R. Kawaguchi, *J. Phys.: Condensed Matter* **36**, 325704 (2024).
- [15] C. Nims, B. Cron, M. Wetherington, J. Macalady, and J. Cosmidis, *Sci. Rep.* **9**, 7971 (2019).
- [16] B. Henke, E. Gullikson, and J. Davis, *At. Data Nucl. Data Tables* **54**, 181 (1993).
- [17] H. Ikemoto, *J. Synchrotron Radiat.* **25**, 618 (2018).
- [18] M. Newville, P. Levis, Y. Yacoby, J.J. Rehr, and E.A. Stern, *Phys. Rev. B* **47**, 14126 (1993).
- [19] A. L. Ankudinov, B. Ravel, J. J. Rehr, and S. D. Conradson, *Phys. Rev. B* **58**, 7565 (1998).
- [20] B. Ravel and M. Newville, *J. Synchrotron Radiat.* **12**, 537 (2005).
- [21] H. Sakane, T. Miyanaga, I. Watanabe, N. Matsubayashi, S. Ikeda, and Y. Yokoyama, *Jpn. J. Appl. Phys.* **32**, 4641

- (1993).
- [22] M. Takemura, H. Satake, S. Yasuami, M. Yoshiki, Y. Kitajima, *Spectrochimica Acta B*, **54**, 159 (1999).
- [23] S. J. Rettig and J. Trotter, *Acta Crystallogr. C* **43**, 2260 (1987).
- [24] D. Scott, J. McCullough, and F. Kruse, *J. Mol. Spectrosc.* **13**, 313 (1964).
- [25] R. Winter, *et al*, *J. Phys.: Condensed Matter* **2**, 8427 (1990).
- [26] P. Cherin and P. Unger, *Inorg. Chem.* **6**, 1589 (1967).
- [27] C. Adenis, V. Langer, and O. Lindqvist, *Acta Crystallogr. C* **45**, 941 (1989).
- [28] H. Ikemoto and T. Miyanaaga, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 165503 (2007).

(原稿受付日：2025 年 3 月 6 日)

著者紹介

池本弘之 Hiroyuki IKEMOTO



富山大学学術研究部理学系 教授
〒 930-8555 富山県富山市五福 3190
e-mail: ikemoto@sci.u-toyama.ac.jp
略歴：2008 年富山大学理学部教授。
博士（理学）。

最近の研究：XAFS と光電子分光を用いた物性物理。

宮永崇史 Takafumi MIYANAGA



弘前大学理工学部数物科学科 教授
〒 036-8561 青森県弘前市文京町 3
e-mail: takaf@hirosaki-u.ac.jp
略歴：2003 年弘前大学理工学部教授。
理学博士。

最近の研究：XAFS による物性科学，構造のダイナミクス研究。

趣味：乗馬，水泳，シャンソン。

天然メタンハイドレートのマクロとミクロの構造可視化に成功 メタンハイドレートを高密度分解能・高空間分解能で三次元非破壊測定

2025 年 2 月 3 日
産業技術総合研究所，北見工業大学，
九州シンクロトロン光研究センター，
高エネルギー加速器研究機構

産業技術総合研究所（以下「産総研」という）エネルギープロセス研究部門 竹谷敏 上級主任研究員らは，北見工業大学 八久保晶弘 教授ら，高エネルギー加速器研究機構（以下「KEK」という）物質構造科学研究所 平野馨一 教授ら，九州シンクロトロン光研究センター（以下「SAGALS」という）米山明男 主任研究員らと共同で，十勝沖の海底から採取した天然のメタンハイドレートを非破壊構造観察し，海水と共存する様子をとらえ，また，メタンハイドレートの分解過程をその場観察することに成功しました。

メタンハイドレートは新たな国産エネルギー資源として期待されており，産総研は表層型メタンハイドレートのエネルギー資源化に向け，メタン回収・生産技術開発や海域調査，および環境影響評価を実施しています。この回収・生産技術開発のためには，天然のメタンハイドレートの物性の理解が必要です。しかし，既存の観察・分析手法では，メタンハイドレートと周囲の海水や氷との区別ができません。そこで，ミリメートルないしセンチメートルスケールの試料中の天然メタンハイドレートの分布（マクロスケール）を調べ，マイクロメートルスケールの内部構造（ミクロスケール）を可視化するため，位相コントラストX線CTとマイクロX線CTによる観察を行いました。その結果，天然のメタンハイドレートは，メタンガス気泡の周囲に膜状に分布し，その際に形成されたと思われる擬似球状構造が維持されていることが明らかになりました。また，メタンハイドレート分解時の経時変化を三次元観察することにも成功しました。

本研究で提案する観察手法を用いることにより，メタンハイドレートの生成・分解の挙動や堆積物の物性などの理解に寄与します。なお，この成果の詳細は，2025 年 1 月 20 日に「CrystEngComm」にオンライン掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/press/202502031400methane> をご覧ください）。

木質由来の低分子性リグニンを分解できる細菌の炭素利用の一端を解明 バイオマスの利用に向けて

2025 年 3 月 7 日
高エネルギー加速器研究機構，長岡技術科学大学

生物の細胞は DNA やアミノ酸の合成に関わる「1 炭素代謝」というよく知られた代謝経路があり，MTHFR という酵素が重要な役割を果たします。ヒト，マウス，酵母，大腸菌などの通常の生物では MTHFR はメチレンテトラヒドロ葉酸をメチルテトラヒドロ葉酸に変換（還元）しますが，リグニン分解菌 *Sphingobium lignivorans* SYK-6 株（SYK-6 株）の MTHFR は通常とは違い，メチルテトラヒドロ葉酸を酸化してメチレンテトラヒドロ葉酸を生成する反応を触媒することが分かりました。これは，SYK-6 株が通常のようにグルコースなどを取り込んで生育することができず，低分子性のリグニン（一種の芳香族化合物）を摂取して生育するために，独自の 1 炭素代謝を進化させてきたものと考えられます。本研究では SYK-6 株の MTHFR が持つ独特な酵素機能とその触媒反応メカニズムを結晶構造に基づき解明しました。さらに，SYK-6 株と同様に一風変わった 1 炭素代謝を持つ微生物が多数存在しそうなこともデータベース解析から発見しました。この成果は，微生物の代謝研究に新たな視点を提供するものです（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/press/202503071400lignin> をご覧ください）。

半導体デバイスの動作中に内部構造の可視化に成功 半導体を評価する新しい手法の提案

2025 年 4 月 9 日
高エネルギー加速器研究機構，科学技術振興機構（JST）

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所に設置されているフェムト秒パルスレーザーを光源とする光電子顕微鏡装置（フェムト秒光電子顕微鏡）を用いて，半導体デバイスの動作下において，pn 接合界面に形成され，電流の制御に重要な役割を担う空乏層の形状のイメージングに成功しました。この手法は，半導体デバイスの性能を評価しながら，その内部の様子が可視化できる新たな手法として，ダイオード，トランジスタ，太陽電池，LED など様々な半導体デバイスへの利用が期待されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/press/202504091400pn> をご覧ください）。

【論文情報】

「Imaging p-n Junctions Using Operando Photoemission Electron Microscopy（日本語名：オペランド光電子顕微鏡による pn 接合界面の可視化）」

雑誌名「Nano Letters」 volume 25（オンライン版 4 月 9 日）

DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5c00513>

バルクでは磁石につかない物質を原子層厚の薄膜で磁石に変換— 次世代スピントロニクスへの応用に期待 —

2025 年 4 月 21 日

東北大学，高エネルギー加速器研究機構，
量子科学技術研究開発機構，科学技術振興機構（JST）

電子がもつミクロな磁石の性質である「スピン」が物質中で揃うと強磁性が発現します。もし原子レベルの薄さをもつ二次元物質で強磁性が実現すれば，次世代スピントロニクスへの応用が期待できます。しかし，理論的には二次元物質では磁気秩序が消失すると予測されていました。

東北大学，高エネルギー加速器研究機構，量子科学技術研究開発機構からなる研究グループは，クロムを含む反強磁性体 Cr_2Se_3 に着目し，分子線エピタキシー法によってグラフェン上に Cr_2Se_3 の二次元薄膜を成長させることに成功しました。1 層から 3 層まで膜厚を系統的に変化させた試料を高輝度放射光 X 線で調べた結果，三次元の結晶では反強磁性を示す Cr_2Se_3 が，二次元になると強磁性へ転じ，さらに膜厚が薄いほど強磁性転移温度（ T_c ）が高まることを明らかにしました。加えて，マイクロ ARPES による電子状態解析から，グラフェン基板から界面を介して Cr_2Se_3 に注入される伝導電子が，この高温強磁性の決定的な要因であることを突き止めました。

本成果は二次元材料で高温強磁性を安定化させる新たな手法を提案するとともに，スピントロニクスデバイスや省エネルギー素子などへの応用に道を拓くものとして期待されます。

本研究成果は，2025 年 4 月 18 日（現地時間）に科学誌 Nature Communications のオンライン版にて公開されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/press/202504211000spintronics> をご覧ください）。

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 シンポジウム開催報告

量子ビームサイエンスフェスタ 実行委員長 木村正雄
実行副委員長 梅垣いづみ

2025年3月12, 13, 14日に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 利用者懇談会が主催する量子ビームサイエンスフェスタが開催されました。つくば開催の2年前の量子ビームサイエンスフェスタはハイブリッドでの開催でしたが, 今回はフル対面として開催し565名の方に参加頂きました。期間中にはPF-UA ユーザーグループミーティングが行われ, 会期終了後にもサテライト研究会が開催されました。

初日の3月12日にはMLF シンポジウムが行われ, 午前には, MLF 現状報告に引き続き, 中性子源, 水銀ターゲット, ミュオン, MLF 課題利用制度, それぞれについてより詳細な報告がありました。午後には, MLF ロードマップについて発表・意見交換がありました。MLF ロードマップ現状報告に続いて, 日本中性子科学会, 日本中間子科学会, 中性子産業利用推進協議会, のそれぞれの視点での発表や期待が述べられました。

2日目の3月13日の量子ビームサイエンスフェスタでは, 開会宣言・挨拶の後, 朝倉清高氏(立命館大学)から「量子ビームでみる酸化チタンの構造と触媒特性」, 出村雅彦氏(NIMS)から「マテリアル分野における研究DXの取り組み」と題した基調講演が行われ, 続いて, 来賓・主催者代表による挨拶が行われました。午後の前半はユーザー及び施設による271件のポスター発表が行われました。後半は3会場で平行での口頭発表が行われ, 今回新設された「マテリアルインフォマティクス」のセッションを含む, 「ソフトマター」「デバイス・手法開発」「磁性・強相関」「生命科学」「材料・触媒」の6つのセッションで18件の講演がありました。



図1 基調講演での朝倉清高氏(立命館大学)と出村雅彦氏(NIMS)(左より)

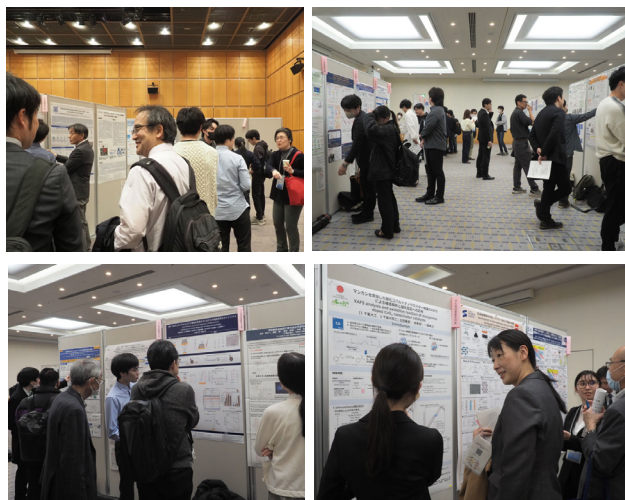


図2 ポスター会場の様子

3日目の3月14日にはPF シンポジウムが行われ, 午前中はPF 施設報告がありました。施設報告の概要の後, 光源, ビームラインの報告に続き, 広波長域軟X線ビームライン建設, 開発研究多機能ビームライン建設について発表がありました。続いてS2型, T型, PF-S型課題の課題責任者によるショートプレゼンの後, 総合討論が行われました。午後は, PF 次期光源計画について報告がありました。PF-HLS 計画の紹介の後, 加速器技術検討, サイエンス検討について発表があり, 総合討論を行いました。

2015年度から始まった量子ビームサイエンスフェスタは, 施設スタッフとユーザーの情報交換の場であるだけで



図3 PF シンポジウムの会場の様子



図4 集合写真(量子ビームサイエンスフェスタ会場にて)

はなく、異なるプローブを用いる、あるいは異なる分野の研究者間の交流を通じて新たな研究の発展に繋がる場もあります。対面主体の開催となり、口頭発表やポスター発表で活発な議論が行われ、さらに懇親会も含めて関係者の交流を深めることができました。今回の量子ビームサイエンスフェスタが新たな研究に繋がるきっかけとなれば幸いです。

なお、詳細な報告は物質構造科学研究所のホームページ(下記)をご覧ください。

<https://www2.kek.jp/imss/news/2025/topics/0312qbsf/>

2024 年度量子ビームサイエンスフェスタに参加して 1

東京大学 物性研究所 村野由羽

2025 年 3 月 13 日につくば国際会議場で開催された「2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ」に参加した。基調講演に始まり、ポスター発表、口頭発表がその日のうちに完結した。広い分野の研究者が集結し、内容も充実した学会であった。

量子ビームサイエンスフェスタは、私が学部 4 年時(2021 年度)に初めて外部発表を行った場として特別な思いがある。しかし、2021 年度開催は新型コロナウイルスの渦中だったためオンラインでの実施となり、聴衆の表情が分からないまま、覚えた原稿を一方向的に発表して終わってしまった記憶しかない。修士 1 年時の 2022 年度開催では対面での実施が再開され、本大会と同じつくば国際会議場にてフォトンファクトリー(PF)での研究成果のポスター発表を行った。しかし、そのときの私のポスターには何故か聴衆が少なく、ポスターの前にただ立っているだけの寂しい思いをした。

今回は博士 1 年となり、T 型(大学院生奨励)課題「マルチモード・オペランド実験システムの開発と Ru 表面上 CO₂ メタン化反応の微視的研究」も採択され、初めて研究課題の責任者として進捗状況の報告を行った。そして審査員の方々が進捗状況の評価のために集まって下さった。発表した各項目に対して建設的な質問とアドバイスを頂き、今後、研究を効果的に進めていくうえで重要なアイデアを得ることができた。また、この数年の間に知り合った表面科学者や研究内容に興味をもって下さった他分野の若手研究者らも聞きに来て下さった。そしてデータの定量的な解析方法に関する専門的な議論に加え、測定手法の根本的な問題点を踏まえ汎用性と応用性を見据えた将来展望について話し合うことができた。ポスター発表時間の最初から最後まで有意義な議論が行われ、研究の進展に重要な多くの本質的なアイデアを得ることができた。大変充実した時間だった。私にとっては、T 型課題の責任者としての立場とともに、コミュニティでの人脈と認知度がわずかでも拡大したことを実感した本大会だった。

量子ビームサイエンスフェスタでは、他の学会では語られない研究の細部が発表に組み込まれている魅力がある。そして参加者は PF か物質・生命科学実験施設(MLF)の関係者であるため、自身の発表として、よりターゲットを絞った構成にすることができる。軟 X 線と硬 X 線とのマルチビームによる同時測定の実現に向けた技術開発など興味深い発表が多数ある中で印象に残ったのは、雨宮健太グループの阪田薫穂博士のご発表であった。「波長分散型軟 X 線 XAS による固液界面のリアルタイム・オペランド測定法の開発および硬 X 線 XAS と組み合わせた触媒電極の観察」というタイトルで、波長分散型軟 X 線 XAS のリアルタイム・オペランド測定のための手法開発の詳細に加え、可変パラメータとスペクトルの変化が可逆的に同期する結果から反応に関わる化学種が明確に示されていた。本内容は日本放射光学会等でお聞きしたことはあったが、今回さらに詳細に踏み込んだ議論に参加することができ、量子ビームサイエンスフェスタならではの発表として貴重な機会となった。反応活性種のリアルタイム観測は、私が課題責任者として取り組んでいる軟 X 線による雰囲気 X 線光電子分光研究でも目指すところであり、聴講者として大変有意義なものとなった。

今回の量子ビームサイエンスフェスタでは、やはり「マルチビーム」というのが一つのキーワードになっていると感じた。PF の更なる発展の要として PF 全体で技術開発が進んでおり、複数のご発表における質疑応答の内容からも取組の重要さがうかがえた。なお、私自身も T 課題において、軟 X 線と赤外線とのマルチビームによる測定技術の開発を目指している。本大会における活発な議論を通じて測定技術の開発とそれによって得られる新たな化学的・物理的知見が我々の科学技術を発展させることを改めて確信した。そして今回、密な情報交換から得られた様々なアイデアを活かし、自身の研究をより良く展開したい。

2024 年度量子ビームサイエンスフェスタに参加して 2

東北大学 材料科学高等研究所 本間飛鳥

私は 2024 年度量子ビームサイエンスフェスタに参加し、Photon Factory の T 型(大学院生奨励)課題「角度分解光電子分光による希土類モノプニクタイトの電子構造の研究」で得られた角度分解光電子分光(ARPES)の成果をポスター発表しました。T 型課題の初年度にもかかわらず、ARPES の研究成果とビームラインの改良についてまとめて報告できたのは、小澤健一教授、佐藤宇史教授、相馬清吾准教授をはじめとする共同研究者の皆様のご協力のおかげです。この場を借りて、心より感謝申し上げます。

私は T 型課題において、放射光 ARPES を用いた反強磁性トポロジカル絶縁体の電子構造の研究を行っています。固体材料の特性はバンド分散を知ることで理解でき

ますが、本研究で用いた ARPES は、そのバンド分散を直接観測できる強力な手法です。ポスター発表では、Photon Factory BL-28A のマイクロ集光 ARPES 装置を使用し、反強磁性ドメインを分離してディラック電子状態を観測した結果を報告しました。その際、多くの質問をいただきましたが、特に印象的だったのは、ARPES とは異なる手法を用いる研究者からの質問や意見でした。私が当たり前だと思っていたことが、実は深い意味を持っていることに気づき、また気に留めていなかったことや、思いつきもしなかった点に新たに気付かされるなど、非常に実りある発表となりました。このような経験は、量子ビームを扱う研究者が一堂に会する量子ビームサイエンスフェスタだからこそ得られるものだと、感じました。

また、量子ビーム技術を活用した研究成果が数多く発表されており、研究会を通じて改めて実感したのは、量子ビームが物質研究、医療、生命科学など、多岐にわたる科学分野において非常に有用であるということです。量子ビームサイエンスフェスタには今回が初めての参加でしたが、ポスター発表の数の多さに驚きました。さらに、上記の分野に加え、加速器や検出器の開発、解析手法の開発に関する発表もあり、どれも非常に興味深く拝見しました。放射光の高輝度ビームが、私のような放射光 ARPES を用いる研究者の研究の発展の基礎となっていることを再確認しました。

量子ビームサイエンスフェスタへの参加は、私にとって非常に有意義な経験となりました。ポスター発表を通じて、異なる分野の研究者と直接交流することで、新たな視点や知見を得ることができました。放射光の可能性を改めて実感し、今後もこの技術を駆使して、さらなる成果を上げていきたいと強く感じています。

PF 研究会「放射光科学での DX : Digital transformation in research using synchrotron radiation」開催報告

放射光科学第二研究系 木村正雄

【開催概要】

日時：2025 年 2 月 6 日（木）

会場：オンサイト（KEK つくばキャンパス 4 号館セミナーホール）、オンライン（ZOOM）のハイブリッド開催

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）

世話人：城戸大貴、丹羽尉博、木村正雄（KEK）

参加費：無料

重要な締め切り：旅費（参加者については予算次第）2025 年 1 月 17 日（金）

事前参加申し込み：2025 年 1 月 31 日（金）（当日申し込みもあり）

共催：東京大学大学院新領域創成科学研究科、熊本大学理

学部理学科物理コース、学術変革領域研究「データ記述科学を用いた材料解析とそのイノベーション展開」

【プログラム】

10:00 ～ 10:10 主旨説明

10:10 ～ 11:00 「ベイズ計測と放射光科学」

岡田真人（東京大学 大学院新領域創成科学研究科、教授）

11:00 ～ 11:50 「ベイズ統合とベイズ階層モデリング」

水牧仁一朗（熊本大学 理学部、教授）

11:50 ～ 12:20 「ベイズ推定ソフトのライブラリー紹介」

片上舜（東京大学 大学院新領域創成科学研究科）

12:20 ～ 13:30 昼食

13:30 ～ 14:20 「放射光実験のデジタル化を目指した超大規模計測とデータ解析基盤の構築」

小野寛太（大阪大学 工学研究科、教授）

14:20 ～ 15:10 「材料データリポジトリの放射光科学への展開：MDR XAFS DB の取り組み」

石井真史（物質・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター、主席研究員）

15:10 ～ 15:30 休憩

15:30 ～ 16:20 「X線顕微分光イメージデータのパーシステントホモロジーによる TDA 解析」

木村正雄（高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所、教授）

16:20 ～ 17:00 総合討論・総括

【研究会概要】

放射光を用いた計測法は、その計測法の高度化や測定の高スループット化・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、それぞれの分野で活躍の先生方に講演をお願いした。そして、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。

木村からの趣旨説明に引き続き、岡田先生から「ベイズ計測と放射光科学」についての講演があった。‘データ駆動科学の三つのレベル’の観点からベイズ計測の概要紹介の後、施設での展開例として、SPring-8 全ビームラインベイズ化計画について紹介があった。またスペクトル分解を例としてベイズ計測の詳細説明があった。質疑では、非線

形におけるレプリカ交換法による解の探索、計測における検出器の最適化、分光スペクトル分解、等について議論が交わされた。

水牧先生から「ベイズ統合とベイズ階層モデリング」についての講演があった。ベイズ推定とベイズ統合の枠組み紹介の後、XPSとXASの計測データをベイズ統合した具体例の紹介があり、今後の展開として、種々の計測や科学計算の結果を複合的に用いたマルチモーダル測定の実現性を述べた。後半では、ベイズ階層モデリングの例として、時分割X線回折の結果から反応モデルを推定する例を紹介した。質疑では、データの統合が適・不適であるケースの判断、反応モデルの推定に必要な計算コスト、異種データ結合への展開、等について議論が交わされた。

片上先生からは、「ベイズ計測オープンソースソフトウェアの開発の取り組み」について講演があった。前半では、岡田研究室で進めている、線形回帰の可解ベイズ計測、スペクトル分解、能動学習、についての紹介があった。後半では、実際のデモ計算を含めて、開発を進めているオープンソースソフトウェアについて詳細な説明・紹介があった。質疑では、オープンソースソフトウェアの活用方法やその展開について議論があった。

小野先生からは、「放射光実験のデジタル化を目指した超大規模計測とデータ解析基盤の構築」についての講演があった。X線顕微鏡を用いた材料研究の重要性の紹介の後、それによって得られる‘大規模計測データの解析’について紹介があった。空間＋エネルギーの多次元空間のデータを解析するために、スペクトル空間でのボロノイ分割とクラスタリングによる情報抽出を紹介した。後半では、能動学習による計測の最適化、計測の終了判断、実験計画策定の高速化、について紹介した。質疑では、クラスタリングに用いるデータベースの種類・数の必要量、用いるカーネルの種類、ボロノイ分割の妥当性、等について議論が交わされた。

石井先生からは、「材料データリポジトリの放射光科学への展開：MDR XAFS DBの取り組み」についての講演があった。NIMSで進めているMDR（Material Data

Depository）の概要と、国内の放射光施設で連携して進めたXAFSデータベース（DB）を紹介した。そのXAFS DBの具体的な使い方、DBを活用した材料研究への展開、他のDBとの連携、について詳細に説明があった。質疑では、マルチスケールデータの取り扱い、データの信頼性、MDRの将来展望、等について議論があった。

木村からは「X線顕微分光イメージデータのパーシステントホモロジーによるTDA解析（位相的データ解析）」について講演した。X線顕微分光で得られる‘空間＋エネルギーの多次元データ’から情報を抽出することの重要性・困難さを紹介した後、それを実現する数理的方法としてパーシステントホモロジーによるTDA解析を具体的な研究例（複合鉄酸化物の還元、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の破壊、リチウムイオン電池の充放電）を通じて紹介した。質疑では、還元反応の反応起点の予測の方法、他の手法で予測できないこともわかるか？、パーシステンス図の解釈の仕方、等について議論があった。

最後に、全講演者を含めて、総合討論・総括を行った。その議論の中で、放射光科学のDXは、単に人の代わりとなるツールの開発だけでなく、従来知見に基づく人間の判断では得難い情報（新しい価値）の創出につながることを期待されるということを改めて認識した。それを実際の放射光施設で実現していくためには、多くのユーザーが使えるような環境を整備すること、そして、何より多くのユーザーが使ってみたいと思うような事例（成功例）を、パワーユーザーや施設サイドで示していくことが重要であり、今後も関係者が努力してこの分野の研究展開を進めて行くということである。

本研究会は1日の短期集中で実施したが、短期の告知にもかかわらず、多くの参加があった（参加者：107人（対面36名、オンライン71名）、そのうち、企業は26名）。この分野に対する注目・期待の現れと考える。これも、発表をご快諾頂き、本研究会の趣旨に沿って、重要な各分野での研究の現状・課題・今後の展開についての貴重な講演を頂いた先生方のおかげであり、関係者を代表して改めて感謝申し上げたい。また、参加頂いた皆様には活発な質疑をして頂き、議論を深めることができた。

最後になりますが、開催に協力頂いた関係者の皆様に改めて感謝します。



図1 研究会の様子

PF トピックス一覧（2月～4月）

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

2025 年

- 2.3 【プレスリリース】 天然メタンハイドレートのマクロとミクロの構造可視化に成功 メタンハイドレートを高密度分解能・高空間分解能で三次元非破壊測定
- 2.4 【物構研トピックス】 物構研前所長の小杉信博氏が日本放射光学会 放射光科学賞を受賞
- 2.20 【物構研トピックス】 チョコレイト・サイエンス @ 杉並イマジナスを開催しました
- 3.7 【プレスリリース】 木質由来の低分子性リグニンを分解できる細菌の炭素利用の一端を解明バイオマスの利用に向けて
- 3.3 【トピックス】 立方晶窒化ホウ素 c-BN に魅せられて
- 3.19 【トピックス】 太陽系「第三世界」の発見 小惑星リュウグウの試料分析で分かったこと
- 4.9 【プレスリリース】 半導体デバイスの動作中に内部構造の可視化に 成功半導体を評価する新しい手法の提案
- 4.14 【物構研トピックス】 2024 年度量子ビームサイエンスフェスタを開催しました
- 4.15 【物構研トピックス】 2024 年度 物構研 定年記念最終講義が行われました
- 4.21 【プレスリリース】 バルクでは磁石につかない物質を原子層厚の薄膜で磁石に変換一次世代スピントロニクスへの応用に期待—

2024 年度量子ビームサイエンスフェスタ 学生奨励賞について

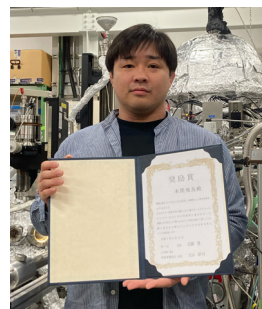
PF-UA 行事幹事 高草木達
J-PARC MLF 利用者懇談会行事担当幹事 北口雅暁

2025 年 3 月 12 日（水）～ 14 日（金）に、2024 年度量子ビームサイエンスフェスタが、第 16 回 MLF シンポジウムと第 42 回 PF シンポジウムと合わせて開催されました。PF-UA と J-PARC MLF 利用者懇談会では、本年度も「学生が筆頭著者のポスター発表」で、PF, KENS, MSL, MLF および低速陽電子のいずれかを利用した研究成果のうち優秀な研究発表に対して「学生奨励賞」を授与することと致しました。本年度は 74 件もの多数の学生奨励賞への応募がありました。お礼を申し上げます。審査は、3 月 13 日（木）のポスターセッションの時間内に 70 名の審査員にご協力いただき、発表を丁寧審査していただきました。いずれの発表も甲乙つけ難く、審査結果も僅差となりましたが、中でも特に優秀であると認められた 6 名に奨励賞が授与されました。受賞者は下記の方々です。懇親会にて授賞式が行われ、近藤寛 PF-UA 会長ならびに大山研司 MLF 利用者懇談会会長より受賞者に賞状とトロフィーが贈呈されました。審査員の先生方にはお忙しい中、広い分野にまたがっての審査をお引き受けいただくと共に各発表を非常に丁寧に審査いただき、大変感謝しております。

また、事務局の方々にも大変お世話になりました。なお、本学生奨励賞は PF-UA と J-PARC MLF 利用者懇談会の共催で、北口雅暁（J-PARC MLF 利用者懇談会／名古屋大学）、高草木達（PF-UA／北海道大学）が担当致しました。

<学生奨励賞受賞者>

- ◆橋本 淳（東京科学大学）
「水素分子のイオン化しきい値近傍における光電子分光」
- ◆本間 飛鳥（東北大学）
「角度分解光電子分光による希土類モノブニクタイトの電子構造の研究」
- ◆南部 太郎（名古屋大学）
「多層膜中性子干渉計によるガス試料の核散乱長測定」
- ◆川瀬 悠太（岩手大学）
「ミュオン g-2/EDM 測定に向けたビームキック装置用高電圧パルス電源の開発」
- ◆兼則 祐輔（東京科学大学）
「中性子回折実験により解明した高酸化物イオン伝導性新規オキシハライドの結晶構造とイオン伝導メカニズム」
- ◆上原 秀太（北里大）
「SOX3 の DNA 認識機構の解明」



奨励賞受賞者の皆さん【集合写真左から：近藤寛 PF-UA 会長（慶應義塾大学 教授）、南部太郎氏（名古屋大学）、川瀬悠太氏（岩手大学）、大山研司 J-PARC MLF 利用者懇談会長（茨城大学 教授）。橋本淳氏（東京科学大学、写真中上）、兼則祐輔氏（東京科学大学、写真中下）、本間飛鳥氏（東北大学、写真右上）、上原秀太氏（北里大、写真右下、隣は指導教員の松井崇先生）は都合により欠席。】

令和6年度第3回 PF-UA 幹事会・運営委員会 議事録

日時：令和7年1月11日（土）

12:30 - 13:30（幹事会・運営委員会）

場所：つくば国際会議場とZoomによるハイブリッド開催

出席者：

近藤寛、朝倉清高、雨宮健太、植草秀裕、帯名崇、鍵裕之、北島義典、組頭広志、栗栖美菜子、栗林貴弘、齋藤智彦、千田俊哉、高橋嘉夫、武市泰男、田中信忠、玉田太郎、手塚泰久、中尾裕則、長坂将成、伏信進矢、横谷明德、米山明男、吉田真明

委任者：阿部善也、小林寿夫、篠崎彩子、高橋真、彦坂泰正、森田剛、山崎信哉、横山英志

【定足確認】（吉田 庶務幹事）

【会長挨拶】（近藤 会長）

【報告事項】

- ・庶務報告（吉田 幹事）
PF-UA 学生論文賞について報告した。
- ・広報報告（植草 幹事）
PF-UA ホームページの英語版や外部サーバーへの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）
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」やPF-UA 会員同士での話題提供の場（第7回フォトンファクトリー計画推進委員会の後に開催予定）など、放射光2ビーム同時利用に関する議論を深める機会を持つことを話合った。また、PF 将来計画や学生・若手人材育成に関して議論を行った。
- ・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」の開催概要と開催結果について報告した。

【協議事項】

- ・活動内容
「UG 活動の促進」「サマースクール」「論文賞」「HPの高度化」「PF-UA 研究会（マルチビーム利用）」について話し合った。
- ・放射光2ビーム同時利用
PF-UA の集いで会場からいただいた意見を基に、幹事と運営委員で現状の課題や今後の方針について議論した。

【次回日程について】

第4回幹事会・運営委員会は2025年3月を予定

令和6年度第4回 PF-UA 幹事会 議事録

日時：令和7年3月14日（金） 12:10 - 13:03

2024年度量子ビームサイエンスフェスタ /

第42回 PF シンポジウム内で開催

場所：つくば国際会議場（小会議室401）とZoomによるハイブリッド開催

出席者：（下線はリモート参加）

近藤寛、吉田真明、武市泰男、田中信忠、藤井健太郎、高草木達、高橋真、高橋嘉夫、植草秀裕、山崎信哉、米山明男、伏信進矢

五十嵐教之（施設長）、船守展正（物構研所長）

【総会の次第について】

同日13:15より開催されるPF-UA 総会の次第について確認した。

令和6年度 PF-UA 総会 議事録

日時：令和7年3月14日（金） 12:00 - 13:00

2024年度量子ビームサイエンスフェスタ /

第42回 PF シンポジウム内で開催

場所：つくば国際会議場（中ホール300）とZoomによるハイブリッド開催

総会の定足・成立確認（吉田 庶務幹事）

本総会では会則による定足数を満たしており、総会が成立していることを確認した。事前に提出された委任状は208通であった。

- ・議長選任
会則に基づき、会員の互選により本会の議長を選出した。会場内からの推薦により、山崎裕一会員が総会議長に選任された。
- ・会長挨拶（近藤 会長）

【報告事項】

- ・庶務報告（吉田 幹事）
PF-UA 学生論文賞について報告した。
- ・UG名簿管理報告（武市 幹事）
PF-UA の名簿管理について報告した。
- ・会計報告（田中 幹事）
2023年度のPF-UA 会計決算について報告した。単年度収支は315,343円の黒字となった。
- ・広報報告（植草 幹事）
PF-UA ホームページの英語版や外部サーバーへの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）
PF 研究会のサポートやPF-UA 会員同士によるBL-12、

BL-11 の利用テーマについて議論を実施するなど、放射光 2 ビーム同時利用に関する議論を深める機会を作ったことを報告した。

- ・推薦・選挙管理小委員会報告（山崎・栗栖 幹事, 代読：吉田 庶務幹事）
2025 年度に実施予定の次期 PF-UA 会長選挙について報告した。
- ・共同利用報告（鍵・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について報告した。
- ・教育報告（長坂 幹事, 代読：吉田 庶務幹事）
「PF-UA サマースクール」の開催概要と開催結果について報告した。

【総合討論】（近藤 会長）

PF ユーザーグループ活動の活性化や、次期放射光計画への貢献・協力を呼びかけた。また、会場からは多くの質問やコメントが寄せられ、盛況のうちに閉会した。

閉会后、PF-UA 学生論文賞の授与式および講演を行った。

PF-UA 学生論文賞 受賞者

- ◆吉持 遥人（東京大学大学院）
「Multistep topological transitions among meron and skyrmion crystals in a centrosymmetric magnet」
- ◆元内 省（東京理科大学大学院）
「Discovery of Anomer-Inverting Transglycosylase: Cyclic Glucohexadecaose-Producing Enzyme from Xanthomonas, a Phytopathogen」
- ◆宮井 雄大（広島大学大学院）
「Visualization of spatial inhomogeneity in the superconducting gap using micro-ARPES」



吉持遥人氏（東京大学大学院）



元内省氏（東京理科大学大学院）



宮井雄大氏（広島大学大学院）



学生論文賞受賞者の皆さん【左から：近藤寛 PF-UA 会長（慶應義塾大学 教授）、吉持遥人氏（東京大学大学院）、元内省氏（東京理科大学大学院）、宮井雄大氏（広島大学大学院）】

PF-UA 幹事名簿

会長：近藤 寛（慶應義塾大学）
庶務幹事：吉田 真明（山口大学）
名簿管理担当庶務副幹事：武市 泰男（大阪大学）
書記担当庶務副幹事：阿部 善也（東京電機大学）
会計幹事：田中 信忠（北里大学）
行事幹事：藤井 健太郎（量子科学技術研究開発機構）
高草木 達（北海道大学）
編集・広報担当幹事
編集幹事：鈴木 真粧子（群馬大学）*
広報幹事：植草 秀裕（東京科学大学）
戦略・将来計画担当幹事：横谷 明德
（量子科学技術研究開発機構）
高橋 嘉夫（東京大学）
推薦・選挙管理担当幹事：山崎 信哉（筑波大学）
栗栖 美菜子（東京大学）
共同利用担当幹事：鍵 裕之（東京大学）
米山 明男
（九州シンクロトン光研究センター）
教育担当幹事：長坂 将成（分子科学研究所）

任期：2024 年 4 月 1 日～ 2027 年 3 月 31 日
（* 編集幹事の任期は 1 年）

PF-UA 運営委員名簿

任期：2024 年 4 月 1 日～ 2027 年 3 月 31 日

朝倉 清高	立命館大学 総合科学技術研究機構
阿部 善也	東京電機大学 工学研究科
植草 秀裕	東京科学大学 理学院
鍵 裕之	東京大学 大学院理学系研究科
久保 友明	九州大学 大学院理学院
組頭 広志	東北大学 多元物質科学研究所
栗栖 美菜子	東京大学 大気海洋研究所
栗林 貴弘	東北大学 大学院理学研究科
小林 寿夫	兵庫県立大学 大学院理学研究科
齋藤 智彦	東京理科大学 先進工学部
篠崎 彩子	北海道大学 大学院理学研究院
武市 泰男	大阪大学 大学院工学研究科
谷田 肇	日本原子力研究開発機構
玉田 太郎	量子科学技術研究開発機構
手塚 泰久	弘前大学 大学院理工学研究科
西脇 芳典	高知大学 教育研究部
八方 直久	広島市立大学 情報科学研究科
彦坂 泰正	富山大学 学術研究部教養教育学系
伏信 進矢	東京大学 大学院農学生命科学研究科
森田 剛	千葉大学 大学院理学研究院
山本 勝宏	名古屋工業大学 生命・応用化学教育類
横谷 明德	量子科学技術研究開発機構
横山 英志	東京理科大学 薬学部
吉田 真明	山口大学 大学院創成科学研究科
米山 明男	九州シンクロトン光研究センター
雨宮 健太	物構研 放射光科学第一研究系
千田 俊哉	物構研 放射光科学第二研究系
帯名 崇	加速器 加速器第六研究系
北島 義典	物構研 放射光実験施設
五十嵐 教之	物構研 放射光実験施設

ユーザーグループ一覧

2025 年 4 月 1 日現在

1	XAFS	武市 泰男	大阪大学
2	タンパク質結晶 構造解析	橋本 博	静岡県立大学
3	小角散乱	山本 勝宏	名古屋工業大学
4	放射線生物	横谷 明德	量子科学技術研究 開発機構
5	粉末回折	植草 秀裕	東京科学大学
6	高圧	大村 彩子	新潟大学
7	構造物性	岩佐 和晃	茨城大学
8	表面科学	吉信 淳	東京大学
9	固体分光	齋藤 智彦	東京理科大学
10	原子分子科学	彦坂 泰正	富山大学
11	核共鳴散乱	北尾 真司	京都大学
12	位相計測	米山 明男	九州シンクロトロ ン光研究センター
13	低速陽電子	長嶋 泰之	東京理科大学
14	医学利用	松下 昌之助	筑波技術大学
15	X線発光	手塚 泰久	弘前大学
16	表面界面構造	白澤 徹郎	産業技術総合研究 所
17	X線顕微分光分析	宇尾 基弘	東京科学大学
18	物質物理	八方 直久	広島市立大学
19	X線トポグラフィー	小泉 晴比古	広島大学
20	動的構造	沖本 洋一	東京科学大学
21	鉱物・合成複雑 単結晶	栗林 貴弘	東北大学
22	産業利用	村尾 玲子	日本製鉄株式会社
23	原子力基盤研究	岡本 芳浩	日本原子力研究開 発機構

人事異動

	発令年月日	氏 名	現 職	旧 職
(定年退職)	2025. 3. 31	本田 融	加速器研究施設 加速器第六研究系 特別教授	加速器研究施設 加速器第六研究系 教授
	2025. 3. 31	小菅 隆	物構研 放射光実験施設 シニアフェロー	物構研 放射光実験施設 主任技師
	2025. 3. 31	金子直勝	物構研 放射光実験施設 シニアフェロー	物構研 放射光実験施設 技師
(任期満了)	2025. 3. 31	露口正人		物構研 放射光科学第二研究系 研究員
	2025. 3. 31	池田聡人		物構研 放射光科学第二研究系 研究員
	2025. 3. 31	春木理恵	物構研 放射光実験施設 協力研究員	物構研 放射光科学第二研究系 研究員
(昇任)	2025. 4. 1	和田 健	物構研 低速陽電子実験施設 教授	物構研 低速陽電子実験施設 准教授
	2025. 4. 1	濁川和幸	加速器研究施設 加速器第六研究系 主任技師	加速器研究施設 加速器第六研究系 前任技師
	2025. 4. 1	下ヶ橋秀典	加速器研究施設 加速器第六研究系 前任技師	加速器研究施設 加速器第六研究系 専門技師
	2025. 4. 1	田中窓香	加速器研究施設 加速器第六研究系 技師	加速器研究施設 加速器第六研究系 准技師
	2025. 4. 1	成田千春	物構研 放射光実験施設 准技師	物構研 放射光実験施設 技術員
(採用)	2025. 4. 1	本村 新	加速器研究施設 加速器第六研究系 准技師	加速器研究施設 加速器第六研究系 技術員
	2025. 4. 1	城戸大貴	物構研 放射光科学第二研究系 助教	物構研 放射光科学第二研究系 特別助教
	2025. 4. 1	齊藤寛峻	加速器研究施設 加速器第六研究系 助教	加速器研究施設 加速器第六研究系 特別助教
	2025. 4. 1	MILLER, Simon Andrew	物構研 放射光科学第二研究系 特任准教授	物構研 放射光科学第二研究系 研究員

新人紹介

(着任)

PEREIRA, Jair (出身：Brazil)



1. March 1, 2025
2. Research Assistant at SBRC,
(PhD student at University of Tsukuba)
4. Metaheuristics Search Algorithms /
Optimization Algorithm
5. As a Research Assistant, my goal is to understand the technical foundations that power such a high-science instrument as the cryo-electron microscope.
I'm especially excited to understand both the code that drives it and the physics that makes it possible.
6. Do no harm, do what you will
7. Programming, games... game programming ^_^;

團優菜 (だんゆうな)



1. 2025 年 4 月 1 日
2. 加速器研究施設 加速器第六研究系・技術員
3. 自然科学書の出版社・物理学分野の書籍編集者
4. 素粒子物理学
5. まだまだわからないことだらけですが、未知の世界を前にしてワクワクしています。
これからよろしくお願いいたします。
6. 仕事は愉しく
7. 博物館めぐり、読書、散歩

三上力久 (みかみりき)



1. 2025 年 4 月 1 日
2. 物構研 低速陽電子実験施設,
量子ビーム連携研究センター
博士研究員
3. 東京理科大学 理学研究科物理学専攻
博士後期課程
4. 陽電子・ポジトロニウムビームを用いた実験
5. 粉骨碎身、人生を賭けて研究します。
6. 弱気は最大の敵
7. ランニング

安部美季 (あべみき)



1. 2025 年 4 月 1 日
2. 物構研 量子ビーム連携研究センター
博士研究員
3. 奈良女子大学大学院
人間文化総合科学研究科
自然科学専攻・大学院生 (博士課程)
4. コロイド・界面化学分野
5. 研究や勉強に邁進し、量子ビームを用いた測定をさらに活性化できるように尽力いたします。これからどうぞよろしくお願いいたします。

西将汰 (にししょうた)



1. 2025 年 4 月 1 日
2. 総合研究大学院大学
博士後期課程一年 加速器第六研究系
3. 神戸大学大学院理学研究科
物理学専攻粒子物理学研究室
4. 放射光源加速器
5. 博士課程を3年で駆け抜けた。
6. 研究忙しくても人に優しくする。
7. 将棋、ボルダリング、切手収集、旅行、風景印

深谷亮 (ふかやりょう)



1. 2025 年 5 月 1 日
2. 物構研 放射光科学第一研究系・助教
3. 東京大学物性研究所・特任助教
4. 超高速物性科学、時間分解X線計測
5. PF や PF-AR の特性を活かした時間分解X線計測を推進し、超高速物性科学の発展に貢献したいと思います。
6. 悩むより行動
7. サッカー、水泳、料理、園芸

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

Photon Factory Activity Report 2024 ユーザーレポート執筆のお願い

PFACR 2024 編集委員長 松垣直宏 (KEK 物構研)

PF では、施設の活動報告の一環として毎年 Photon Factory Activity Report (PFACR) を公開しております。これは当該年度に実施された実験課題の結果報告集 (ユーザーレポート) であり、広く国内外に PF の研究活動についてお伝えするものです。皆様のご協力をお待ちして 2023 年度 (PFACR2023) の編集作業は順調に進み、2024 年秋に公開されました。

2024 年度版である PFACR2024 を受付しております。つきましては、皆様が 2024 年度に PF で行われた研究の成果をユーザーレポートとしてお送り下さるようお願い申し上げます。2024 年 4 月から 2025 年 3 月までに実施された実験について寄稿して頂くのが基本ですが、データの解析に時間を要する等が考えられますので、期間前の実験結果についての報告も歓迎しています。このユーザーレポートは、2014 年度より共同利用実験課題の終了届を兼ねることになりましたので、課題責任者は一課題につき一報以上をご提出いただくことが求められています。

PFACR は PF が研究活動に関して評価を受ける際の重要な物差しの一つであり、皆様の寄稿は PF におけるユーザー支援、ひいては皆様の研究環境の改善に繋がります。積極的にご執筆頂ければ幸いです。

ユーザーレポートの原稿や電子ファイルの準備・投稿要領は PFACR2024 のホームページ (英語ページ: <https://www2.kek.jp/imss/pf/eng/science/publ/acr/2024/acr-submission-en.html>, 日本語ページ: https://www2.kek.jp/imss/pf/science/publ/acr/2024/acr_submission_jp.html) に掲載しておりますのでご覧下さい。執筆は英語もしくは日本語をお願いします。

<ユーザーレポート提出締切: 2025 年 6 月 30 日 (月) >

「第 13 回対称性・群論トレーニングコース」 基礎コース (英語講座・日本語講座) 開催のお知らせ

物質構造科学研究所 五十嵐教之

結晶学は物質科学研究の柱であるにもかかわらず、研究分野の細分化や解析ツールの進化に伴いブラックボックス化しているところがあります。本トレーニングコースでは、「空間群や対称性と結晶構造の関係がピンとこない」、「構造解析の後にもう一步議論を深めたい」と日頃感じの方々に、結晶学と直結する対称性や群論の知識を学んでいただくことを目的とし、結晶学で重要な根本原理と幾何学との関係を軸に、講義と演習を繰り返しながら進めます。

今回も日本語コースだけでなく英語講座も開催予定となっておりますので、お近くに興味をお持ちの方がおりましたらご周知をお願い致します。

なお、当コースは総合研究大学院大学の他大学開放科目 (科目名『結晶の対称性・群論-基礎コース』) でもあります。

<開催概要>

開催日: 基礎コース

(英語講座) 2025 年 7 月 14 日 (月) ~ 7 月 18 日 (金)

(日本語講座) 2025 年 7 月 28 日 (月) ~ 8 月 1 日 (金)

開催場所: 高エネルギー加速器研究機構つくばキャンパス
4 号館セミナーホール

参加申込: ホームページの参加申込フォームよりお申し込み下さい (参加申込開始: 5 月 13 日 (火) 10 時)。

参加費: 無料。但し交通費宿泊費は自己負担。

希望者は KEK ドミトリイを利用可。

定員: 各講座とも 35 名程度

講師: ネスポロ・マッシモ氏 (フランス・ロレーヌ大学
結晶学教室教授, 国際結晶学連合数理解結晶学委員会
前委員長, 総研大授業担当講師)

プログラム:

線形代数学, 抽象代数学, ステレオ投影,
点群, 部分群, 剰余類・共役部分群・正規部分群,
らせん軸と並進鏡面,
計量テンソル, 対称操作の行列表現,
軸変換による空間群記号の変更,
正規化群, 対称性と対掌性,
消滅則の幾何学的解釈, ワイコフ位置と結晶軌道,
群と部分群

ホームページ: <http://pfwww.kek.jp/trainingcourse/>

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 大学院説明会及び学生募集のお知らせ

物質構造科学コース長 熊井玲児

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

物質構造科学コースは先端学術院先端学術専攻に属し、基盤共同利用研究機関としては、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所が対応しています。5年一貫制博士課程および博士後期課程があり、博士の学位を目指す学生を受け入れています。物質構造科学コースでは、世界最先端のビームの発生と加工に関する技術開発研究や新しい利用研究手法の開発、先端的利用研究を行っている研究者の指導の下に、量子ビームの科学の将来を担い、物質科学研究の発展に貢献する有為の人材の養成を目的としています。新しいことにチャレンジし、世界に飛び出していく意欲のある方の参加を期待しています。

総合研究大学院大学・先端学術院先端学術専攻・物質構造科学コース（5年一貫制博士課程および博士後期課程）の学生募集（2025年10月入学および2026年4月入学）について下にまとめました。KEK受入れの総研大・3コースの中には粒子加速器とその関連装置の原理から設計・製作にかかわる様々な科学技術を学び研究を行う加速器科学コースもありますので、詳しくは総研大のホームページをご参照下さい。皆様の周りに将来の放射光科学を担う人材として該当する学生の方々がおられましたら、ぜひ勧めして下さい。

物質構造科学コースのHP：

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

総合研究大学院大学のHP：

<https://www.soken.ac.jp/>

大学院説明会開催のお知らせ

KEKではKEK受入れの総研大・3コースの大学院説明会を毎年3回開催しています。本説明会では、総研大およびKEK3コースの案内や各コースで取り組んでいる研究内容の紹介等を行います。

今年度の大学院説明会は終了しましたが、次回開催の日程や内容は詳細が決まり次第、ホームページ(<https://www.kek.jp/ja/education/graduate/sokendai>)に掲載します。

研究内容や教員の紹介、施設・研究室の訪問は個別に随時受け付けています。上記のホームページを参照ください。

総研大物質構造科学コース学生募集

2025年10月入学学生及び2026年4月入学学生募集概要

1. 募集人数

入学課程	募集人数	
	2025年10月入学	2026年4月入学
博士課程（5年一貫制）	若干名	2名程度
博士後期課程	若干名	1名程度

2. 願書受付期間・試験日程

<5年一貫制博士課程>

	願書受付期間	入試	合格発表
第1回 2025年10月入学 2026年4月入学	5月29日(木) ～6月4日(水)	7月8日(火) ～7月9日(水)	8月上旬
第2回 2025年10月入学 2026年4月入学	6月26日(木) ～7月2日(水)	8月20日(水) ～8月22日(金)	9月中旬
第3回 2026年4月入学	12月4日(木) ～12月10日(水)	1月20日(火) ～1月21日(水)	2026年 2月中旬

※願書の受付時間は、期間中の平日9:00～12:00、13:00～17:00とします。

<博士後期課程>

	願書受付期間	入試	合格発表
第1回 2025年10月入学 2026年4月入学	6月2日(月) ～6月5日(木)	8月20日(水) ～8月22日(金)	9月中旬
第2回 2026年4月入学	11月4日(火) ～11月6日(木)	1月20日(火) ～1月21日(水)	2026年 2月中旬

※願書の受付時間は、期間中の平日9:00～12:00、13:00～17:00とします。

※博士後期課程への出願は、出願資格を満たしている者に限られます。詳しくは募集要項をご確認ください。

3. 選抜の方法

書類選考と面接試験

4. 募集要項請求先

以下のいずれかにご請求下さい。

* 〒240-0193 神奈川県三浦郡葉山町（湘南国際村）

総合研究大学院大学 学務課学生係

TEL 046-858-1525 又は 1526 gakusei@ml.soken.ac.jp

* 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

高エネルギー加速器研究機構 研究協力課大学院教育係

TEL 029-864-5128 kyodo2@mail.kek.jp

2025 年度後期 フォトンファクトリー研究会の募集

放射光実験施設長 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いたします。

記

1. 開催期間 2025 年 10 月～2026 年 3 月
2. 応募締切日 2025 年 6 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@pfqst.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 件当たり上限 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

2025 年

6 月 7 日	KEK 公開講座 2025「科学技術で地球温暖化を食い止める～KEK でのカーボンニュートラルへの取り組み～」(KEK 小林ホール)
6 月 20 日	2025 年度後期フォトンファクトリー研究会公募締め切り
6 月 30 日	PF-AR 2025 年度第一期ユーザー運転終了
7 月 7 日	PF 2025 年度第一期ユーザー運転終了
7 月 14～18 日	第 13 回対称性・群論トレーニングコース（基礎コース・英語）(KEK4 号館セミナーホール)
7 月 28～8 月 1 日	第 13 回対称性・群論トレーニングコース（基礎コース・日本語）(KEK4 号館セミナーホール)
8 月 2～3 日	つくばキャンパス全所停電
9 月 23 日	KEK 一般公開 2025

※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(Apr. ~Jul. 2025)

E : ユーザー実験 B : ボーナスタイム
M : マシINSTディ T : 立ち上げ
MA : メンテナンス HB : ハイブリッド運転

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

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「運転スケジュール」(<https://www2.kek.jp/imss/pf/apparatus/schedule/>)をご覧ください。

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

2025年3月24日(月)に、第66回放射光共同利用実験審査委員会(PF-PAC)全体会議が、ハイブリッド会議形式で開催され、放射光実験施設報告やPF-PAC制度の改定など実験施設運営に関する重要事項の報告、協議および審議が行われました。

報告事項(抜粋)

・放射光実験施設報告(五十嵐実験施設長)

2025年度のPFの体制、運転計画、BL-12A及びBL-11の建設・立ち上げの現状、などについて報告がありました。

・前回委員会以降に審査されたP型課題

P型課題4件が採択されたこと、P型課題2件が申請資格を有しないことが理由で不採択とされたことが報告されました(P型課題は、博士課程学生も含めて学生は申請することができません)。

・PF課題実施状況(2024年度第3期)が報告されました。

・ユーザーグループ運営ステーション・装置評価委員会

2024年度末で期限となるユーザーグループ運営ビームライン(BL-27A, BL-27B)および装置(MAX-III)について、評価委員会の結果および計画書に基づき、継続されることが報告されました。

審議事項

1. 課題の進捗状況評価について

今年度中間評価/最終評価の対象であった、S2型課題(6件)、T型課題(4件)、マルチプローブ課題(3件)について、自己評価書・2024年度量子ビームサイエンスで行われた課題評価などをもとにまとめられた評価報告書が承認されました。

2. 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)の運用制度に関してこれまでPAC全体会議で検討されてきた運用制度案が承認されました。2025年度後期実験課題公募(2025年5月締切)から募集を開始します。

3. 課題申請書の改訂について

前回の議論を受けて、具体化した課題申請書の書式の改訂について意見交換しました。課題申請・審査システムの改修を伴う改定点の大枠について、今回承認されました。詳細については引き続き検討をすすめていきます。新しい申請書の書式は、2026年度前期課題公募(2025年11月締

切)から適用される予定です。

協議事項(抜粋)

1. S2型課題の説明の見直しについて

募集要項でのS2型課題の特徴の説明の改定について、意見交換しました。

2. 液体ヘリウムの対応について

前回のPAC全体会議での協議に引き続き、液体ヘリウムの使用量削減のための対応策について意見交換しました。

3. 新放射光源施設計画の検討について

五十嵐放射光実験施設長から、新放射光源施設計画について、現在の取り組み、あらたな研究分野の創成、マルチビーム利用研究の提案、計画実現に向けた課題と技術的・予算的検討、スケジュール等について説明があり、意見交換しました。

・次回PF-PAC全体会議は2025年7月頃の開催を予定しています。

第180回物質構造科学研究所運営会議議事次第

日時: 2025年3月17日(月) 15:15 ~

場所: 高エネルギー加速器研究機構3号館1階会議室+
ウェブ(Zoom)併用

【1】第177~179回議事要録の確認について

【2】審議

- (1) 2025年度前期ミュオン共同利用S型実験課題の審査結果について
- (2) ミュオン共同利用実験審査委員会委員の改選について
- (3) 中性子共同利用実験審査委員会委員の改選について
- (4) 放射光共同利用実験審査委員会委員の変更について
- (5) 2025A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
- (6) 2025A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
- (7) 教員人事(物構研24-9・教授1名)
- (8) 教員人事(物構研24-10・教授1名)
- (9) 教員人事(物構研24-11・准教授1名)
- (10) 教員人事(物構研24-12・講師1名)
- (11) 教員人事(物構研24-14・助教または特別助教1名)
- (12) 教員人事(物構研24-15・特別准教授1名)

- (13) 教員人事（物構研 24-16・教授または准教授 1 名）
- (14) 教員人事（特定人事・助教 1 名）
- (15) 教員人事（特定人事・特別教授 1 名・JAEA クロアポ）
- (16) 教員人事（特定人事・特任准教授 1 名）
- (17) 教員人事（特定人事・職位呼称・特別教授 1 名）
- (18) 客員研究員の選考について

【3】報告

- (1) 人事異動

【4】報告

- (1) 研究員の選考結果について
- (2) 2025 年度前期放射光共同利用実験課題審査結果について（条件解除）
- (3) 2024 年度通期放射光共同利用実験課題審査結果について
- (4) 協定等の締結について（国内機関）

【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：2025 年 4 月 4 日（金） 15:30 ～（東海キャンパス 1 号館 116 室 & Zoom）

題名：#67 X線誘発発生体分子変化の追跡とマルチビーム利用への期待—基礎生物学から医療用薬剤開発に向けて—

講師：横谷 明德氏（量子科学技術研究開発機構 / 茨城大）

日時：2025 年 5 月 7 日（水） 10:00 ～（つくばキャンパス 4 号館 1 階セミナーホール & Zoom）

題名：#68 量子マルチビーム施設計画への素核分野からの期待

講師：齊藤 直人氏（KEK 素粒子原子核研究所長）

放射光共同利用実験審査委員会委員名簿

	氏 名	所 属 ・ 職 名
機 構 外	朝倉 大輔	産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門・上級主任研究員
	石坂 香子	東京大学 大学院工学系研究科・教授
	一國 伸之	千葉大学 大学院工学研究院・教授
	一柳 光平	高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター・研究員
	井上 倫太郎	京都大学 複合原子力科学研究所・准教授
	植草 秀裕	東京科学大学 理学院・教授
	大村 彩子	新潟大学 理学部・准教授
	小川 紘樹	京都大学 化学研究所・准教授
	片山 真祥	高輝度光科学研究センター 分光推進室・主幹研究員
	北島 昌史	東京科学大学 理学院・准教授
	久保 友明	九州大学 理学研究院・教授
	近藤 次郎	上智大学 理工学部・教授
	近藤 寛	慶應義塾大学 理工学部・教授
	佐藤 文菜	自治医科大学 医学部・講師
	島雄 大介	国際医療福祉大学 保健医療学部・教授
	島田 賢也	広島大学 放射光科学研究所・所長
	白澤 徹郎	産業技術総合研究所 物質計測標準研究部門・主任研究員
	高山 あかり	早稲田大学 理工学術院先進理工学部・准教授
	武市 泰男	大阪大学 大学院工学研究科・助教
	藤間 祥子	奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科・准教授
	戸木田 雅利	東京科学大学 物質理工学院・教授
	橋本 博	静岡県立大学 薬学部・教授
	保倉 明子	東京電機大学 工学部・教授
	本田 充紀	日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター・マネージャー
	松村 武	広島大学 大学院先進理工系科学研究科・教授
	森田 剛	千葉大学 大学院理学研究院・准教授
	矢代 航	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・教授
	山崎 裕一	物質・材料研究機構 統合型材料開発・情報基盤部門・主任研究員
	若林 裕助	東北大学 大学院理学研究科・教授
機 構 内	* 雨宮 健太	物質構造科学研究所・副所長／放射光科学第一研究系・研究主幹
	* 千田 俊哉	物質構造科学研究所 放射光科学第二研究系・研究主幹
	* 伊藤 晋一	物質構造科学研究所 中性子科学研究系・研究主幹
	* 幸田 章宏	物質構造科学研究所 ミュオン科学研究系・研究主幹
	* 五十嵐 教之	物質構造科学研究所 放射光実験施設・実験施設長
	* 帯名 崇	加速器研究施設 加速器第六研究系・研究主幹
	恵郷 博文	加速器研究施設 加速器第五研究系・研究主幹
	木村 正雄	物質構造科学研究所 放射光科学第二研究系・教授
	熊井 玲児	物質構造科学研究所 放射光科学第一研究系・教授
	平野 馨一	物質構造科学研究所 放射光実験施設・教授
	松垣 直宏	物質構造科学研究所 放射光実験施設・教授
	宇佐美徳子	物質構造科学研究所 放射光実験施設・特別教授

任期：2024 年 4 月 1 日～2027 年 3 月 31 日 * 役職指定

放射光共同利用実験審査委員会委員名簿（分科会別）

第1分科会	第2分科会	第3分科会	第4分科会	第5分科会	第6分科会	分科会無所属	
※石坂 香子	※松村 武	※一國 伸之	※橋本 博	※森田 剛	※矢代 航	近藤 寛	五十嵐教之
北島 昌史	植草 秀裕	朝倉 大輔	近藤 次郎	井上倫太郎	一柳 光平	島田 賢也	伊藤 晋一
高山あかり	白澤 徹郎	片山 真祥	佐藤 文菜	小川 紘樹	大村 彩子		幸田 章宏
本田 充紀	若林 裕助	武市 泰男	藤間 祥子	戸木田雅利	久保 友明		帯名 崇
山崎 裕一		保倉 明子			島雄 大介		惠郷 博文
雨宮 健太	熊井 玲児	木村 正雄	千田 俊哉	松垣 直宏	平野 馨一		宇佐美德子

※分科会責任者

2025 年度 客員研究員一覧

氏 名	所 属 ・ 職 名	名 称
小笠原 諭	千葉大学 国際高等研究基幹／大学院理学研究院・准教授	客員准教授
加藤 政博	広島大学 放射光科学研究センター・特任教授 自然科学研究機構 分子科学研究所・特任教授併任	客員教授
木原 大亮	Purdue University・教授	客員教授
佐々木 茂美	広島大学 放射光科学研究センター・名誉教授	客員教授
杉山 正明	京都大学 原子炉実験所・教授	客員教授
高雄 勝	元（公財）高輝度光科学研究センター・特別嘱託研究職員	客員教授
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	客員教授
堀場 弘司	量子科学技術研究開発機構 NanoTerasu センター・ビームライングループ グループリーダー	客員教授
簗原 誠人	産産業技術総合研究所 量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル研究センター・量子ハードウェアシステム研究チーム チーム長	客員准教授
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	客員教授

2024 年度 PF 課題 (PF-S, PF-G, PF-T) 一覧

課題番号	申請者	所属	課題名	希望ステーション	希望ビームタイム	実施ビームタイム
2024PF-G001	山下 翔平	PF	特殊サンプルの軟X線顕微分光測定に向けた予備実験	19A/B	各期 48h	264h
2024PF-G002	中尾 裕則	PF	共鳴X線散乱実験用の偏光子の性能テスト	16A 19B	3日間	19A/B:72h
2024PF-G003	西村 龍太郎	PF	SOIPIX検出器のX線干渉計への応用試験 II	14C	2週間程度	48h
2024PF-G004	西村 龍太郎	PF	SOIPIX検出器および読出しシステムの性能評価試験 II	14A 14B	各2週間程度	14A:288h+ 14B:192h
2024PF-G005	五十嵐 教之	PF	ヘッド分離型SXエアリア検出器の評価実験	7A	2日間	328h
2024PF-G006	柴崎 裕樹	PF	ズームング顕微鏡を用いたラミノグラフィ測定装置系の開発	NE1A	2週間程度	272h
2024PF-G007	柴崎 裕樹	PF	ビームスプリッターによる2ビーム利用の検討	20B	2週間程度	無し
2024PF-G008	石井 祐太	東北大学大学院理学研究科	Van der Waals反強磁性体GdTe3のCDW観測	19B 16A 3A	2日間	19A/B:48h
2024PF-G009	足立 純一	PF	レーザーpump-放射光probeによるナノ粒子堆積膜の軟X線吸収スペクトル計測の試み	16A 13A	6日間	13A/B:36h
2024PF-G010	阿部 仁	PF	全反射X線分光法(TREXS)の固液界面in situ測定への展開	9C	各期 48h	144h
2024PF-G011	阿部 仁	PF	接合金属界面の微小領域の局所構造解析	9A 15A1	各期 72h	15A1:48h
2024PF-G012	小澤 健一	PF	BL-2BHでのオペランド測定用光電子分光装置の整備とテスト測定	2A/B	72h	168h
2024PF-G013	田中 宏和	PF	軟X線パルスセレクトの調整法の改善	2A/B	各期 1日	48h
2024PF-G014	足立 純一	PF	原子蛍光偏光計の開発 #2	20A	各期 3日	192h
2024PF-G015	権田 幸祐	東北大学大学院医学系研究科	ヒト血管病変組織の結晶干渉法によるX線位相コントラストイメージング	14C	1日	24h
2024PF-G016	君島 堅一	PF	XAFS 測定用冷却溶液セルの開発	NW10A 9C 9A/9C/12C/NW10A	NW10A:12h+ 9C:24h+48-96h	NW10A:36h+9A:12h +9C:48h+12C:24h
2024PF-G017	阿部 仁	PF	Naイオン伝導体非晶質の局所構造解析	9A, 9C, 12C	9A, 9C, 12C:24hx2 9A(SX):12h+24h	9A:12h+9C:24h
2024PF-G018	丹羽尉博	PF	新規二次元材料の層間カチオンに対する構造解析のためのXAFS法の検討	9A	24h	24h
2024PF-G019	柏木隆成	筑波大学	高温超伝導体テラヘルツ波デバイスの性能向上に向けた結晶材料評価手法の開発	14B/20B	2日	14B:64h
2024PF-G020	奥山大輔	PF	配位結合の協同効果で創出された cofacial に結合したポルフィリン二量体の結晶構造についての研究	17A	2日	23. 5h
2024PF-G021	若林大佑	PF	ナイフエッジ型波長分解白色ビームモニタ開発のための予備実験	19B	6h	6h
2024PF-G022	千田俊哉	SBRC	マウス頭部の硬組織解析	14B	数日	24h
2024PF-G023	足立純一	PF	中空光ファイバーによる軟X線伝送効率の測定	2B	3日	72h
2024PF-T001	Angelo Rillera	SOKENDAI	XANES mapping and EXAFS analysis of Fe and Ti containing celadon glazes	15A1	24h	24h
2024PF-T002	平野 馨一	PF	位相CT講習会	14C	1日	20B:48h+14C:24h
2024PF-T003	阿部仁	PF	茨城大学XAFS BL実習	9A, 9C	12h	9C:12h
2024PF-T004	丹羽尉博	PF	2024年度XAFS講習会	9A, 9C, 12C	24hx3	9A:24h+9C:24h+12C:24h
2024PF-T005	佐藤和樹	弘前大学大学院	蛍光X線CTシステムを用いた生体計測のための基礎実験	NE7A	3日+2-3日	72h
2024PF-T006	Nguyen Thi My Le	SOKENDAI	Structural and electronic changes at the phase transition in (5%W,V)O2 thin film	4C	4日	160h
2024PF-T007	松垣直宏	PF	大阪医科薬科大学・医学部生を対象としたタンパク質結晶構造解析データ収集の演習	5A	7. 5h	7. 5h
2024PF-T008	小澤健一	PF	2024年度加速器科学インターンシップ	3B	7hx2	無し

2024 年度 PF 課題（PF-SBRC）一覧

課題番号	申請者	所属	課題名	希望ステーション	希望ビームタイム	実施ビームタイム
2024PF-B001	松垣 直宏	PF	BINDS事業におけるビームライン技術開発	1A	62. 5h	62. 5h
2024PF-B002	鎌田 祥太郎	昭和薬科大学	PPAR受容体結晶構造解析	17A	7. 5h	7. 5h
2024PF-B003	石田 英子	慶應義塾大学 薬学部	Keap1-Nrf2のPPI阻害剤の合理的分子設計を目指した新規PPI阻害剤とKeap1の複合体のX線結晶構造解析	17A	46. 5h	46. 5h
2024PF-B004	松浦 友亮	東京工業大学 地球生命研究所	PPK2 classIII酵素の構造解析	17A	23h	23h
2024PF-B005	藤山 敬介	理化学研究所 環境資源科学研究センター	アブシジン酸生成・代謝に関わる酵素群の構造解析	1A	23h	23h
2024PF-B006	加藤 悦子	東洋大学 大学院 食環境科学研究科	歯周病細菌の増殖因子PgAckと活性阻害物質複合体のX線構造解析	1A/17A	38. 5h	38. 5h
2024PF-B007	佐々木 大輔	和歌山県立医科大学 薬学部	凝集性ペプチドの構造解析	1A	31h	31h
2024PF-B008	郷田 秀一郎	創価大学理工学部	溶血性レクチンの膜孔形成機構の解明	15A2	48h	48h
2024PF-B009	宮川 拓也	京都大学大学院 生命科学研究科	植物特異的DOF転写因子の転写制御機構の解明に向けた構造解析	1A	7. 5h	7. 5h
2024PF-B010	庄村 康人	茨城大学学術研究院 応用理工学野	カロテノイド結合タンパク質の構造解析	1A	15h	15h
2024PF-B011	庄村 康人	茨城大学学術研究院 応用理工学野	水素酸化細菌由来可溶性ヒドロゲナーゼの会合状態の決定	10C	24h	24h
2024PF-B012	勝山 陽平	東京大学 大学院 農学生命科学研究科	ATP依存型ジアゾ基合成酵素のクライオ電子顕微鏡を利用した構造解析	17A	22. 5h	22. 5h
2024PF-B013	野口 耕司	東京理科大学 薬学部	抗SARS-CoV-2二重特異性抗体とエピトープとの結合構造の解析	1A	7. 5h	7. 5h
2024PF-B014	橋口 隆生	京都大学 医生物学研究所	新型コロナウイルス変異株由来スパイクタンパク質と受容体複合体のX線結晶構造解析	1A	15. 5h	15. 5h
2024PF-B015	田辺 幹雄	SBRC	シャルコー・マリー・トゥース病の原因遺伝子産物PMP22およびMPZのX線結晶構造解析	1A	7. 5h	7. 5h
2024PF-B016	佐々木 大輔	和歌山県立医科大学 薬学部	神経変性疾患因子の構造解析	1A	15. 5h	15. 5h
2024PF-B017	藤間 祥子	奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科	蛋白質アルギニンメチル基転移酵素PRMT1dimer型変異体と基質複合体の結晶構造解析	5A	15. 5h	15. 5h
2024PF-B018	田辺 幹雄	SBRC	RRMによるRNA認識機構の解明	1A	7. 5h	7. 5h
2024PF-B019	長江 雅倫	大阪大学	自然免疫受容体のX線結晶構造解析	5A	15. 5h	15. 5h
2024PF-B020	尾瀬 農之	北海道大学	乳がん特異的キナーゼが、自己不活性化を防ぐために採用している機構の解析	15A2	24h	24h

2024 年度 PF 課題（PF-CIQuS）一覧

課題番号	申請者	所属	課題名	希望ステーション	希望ビームタイム	実施ビームタイム
2024PF-Q001	佐賀山 基	CIQuS	マテリアルDX連携課題 ー新規強誘電体の構造評価ー	8A	8A:48h+8B:24h	8A:280h+8B:216h
2024PF-Q002	宮坂 茂樹	兵庫県立大学 大学院理学研究科	鉄系超伝導体母物質における多彩な磁気秩序構造と電荷ネマティック相の関係	8B	48h	48h
2024PF-Q003	山田 悟史	CIQuS	小角散乱法を用いたリン脂質ベシクルへのPFAS吸着メカニズムの解明	6A	24h	24h
2024PF-Q004	佐賀山 基	CIQuS	マテリアルDX連携課題ー新規励起子絶縁体候補物質の構造評価ー	8A	48h	48h

2024 年度第 3 期配分結果一覧

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	2/24	2/25	2/26	2/27	2/28	3/1	3/2
	STOP	T/M	T/M	T/M	T/M	E	E
1A					調整	23G 24G	調整
2A/2B					24S2-003 組頭 広志		
3A					23G518		
3C					調整	23G138 早稲田 篤	
4A					調整	24G123 高橋	
4B2					23G526 植草 秀祐		
4C					23G670 柏木 隆成	24PF-T006	
5A					調整	23G 24PF-B019	24G528 駒田 進
6A					調整	23G657 中原 宣典	
6C					23G613 徳田 誠		
7A					24PF-G005 五十嵐 敏之		
7C					23G059 熊井 玲児		
8A					24PF-Q001 佐賀山 誠	24S2-002 松	
8B					24MP-S002 高木 壮太	24G512 岡野 健	
9A					調整	24G583 24G038	
9C					調整	24PF-G010 岡部 孝	
10A					調整	24G553 栗林 貴弘	
10C					調整	24G622 島村 遼	
12A					調整		
12C					調整	23G092 矢野 直	
13A/13B					23T001 ZH 24G588 23T001 24G588 23T001		
14A					調整		
14B					調整	24PF-G022 千原 博	23G535 YI E
14C					調整		
15A2							
16A					24G003 東3 24G099 24G616 24G099 24G616		
17A					調整	24Y004	
18B					調整	24-IB-015	
18C					23G010 阿部 洋	23G571 中野	
19A/19B					調整	24S2-04 23G614 23G119 高橋 基夫	
20A					23G553 星野 正光		
20B					23G139 谷口 弘三		
27A					調整	24G635 園谷 博	
27B					23G067 岡本 芳浩	24G530 中園 正樹	
28A/28B					24T001 木間 勇	24G136 相馬 清吾	
NE1A	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF					23G018 望月 出海	23G157	

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9
	E	E	B	E	E	E	E
1A	24G 24C201 23G 24G 23G 金倉 23G 24G 24Y 24Y	調整	24P 24PF-B007				
2A/2B	24S2 24T001 木間 勇 24G141 相馬 清吾	24G059 大槻 太鼓	23G587 朝倉 大輔	24			
3A	23G518	23G524 中村 智樹	調整	23G611 HIRSCHBERGER Maximilian			
3C	23G138 早稲田 篤						
4A	24G123 高橋	24G564 三河内 岳	24G637 佐竹 渉	24G023 石橋 秀巳			
4B2	24G543 三宅 亮	23G526 植草 秀祐		24G555 藤井 幸太			
4C	24PF-T006 NGUYEN Le T	23G510 寺田 典樹	23G644 白澤 敬郎				
5A	23G 24G 金倉 24Y 23G 23G 24G540 山 23G 24 金倉 24Y 金倉	23G 23G 調整	24	調整			
6A	23G002 金子 文典	23G019 中川 健太	調整	23G034 山口 博隆	24G125 上野 隆	23G079 上野 隆	23G121 星野 直
6C	23G569 杉山 和正	24G501 坂井 梓行		24G080 山本 篤史郎			
7A	23G147 遠藤 理	24G594 吉田 健文	24G576 遠藤 理				
7C	23G059 熊井 玲児	23G104 熊井 玲児					
8A	24S2-002 松村 武	23G059 熊井 玲児	24G048 二瓶 雅之				
8B	23G059 熊井 玲児		24PF-Q001 佐賀山 誠	24G532 寄野 遼			
9A	23P011 末雄 昌	23P008 橋上 慎二	23G536 飯塚 孝子	24G612 泉倉 明子	24G123 高橋 嘉夫	24Y031	
9C		24Y012	24Y035	23G561 棚田 直樹	24Y036	24G571 橋本 弘志	23G114 24G016
10A	24G 24G543 三宅 亮	24G505 吉野 朝	23G618 松石 清人				
10C	23P009 五井 博樹	24G108 三宅 亮介	23G166 小園 健	23G529 豊田 武史	23G059 島田 巧	24G567 高橋 浩	23G654 高橋 浩
12A	調整	23G579 志岐 成友					
12C	23G017 曾之田 直	23G539 北野 康典	23G673 星野 直樹	24G607 野原 俊介		23G005 原田 雅史	
13A/13B	24G588 近藤 寛	24G593 近藤 寛		23G522 豊島 遼	23G096 吉田		
14A	調整			調整			
14B	23G535 YI Eunjue	23G663 島越 大介	24G582 砂口 尚輝				
14C	24G585 米山 慎則	24G619 檀田 幸祐	23G833 檀田 幸祐	23G089 鈴木 大地	24C210		
15A2	調整		23G661 中曾根 祐	23G117 石毛 亮平	23G167 丸井 弘典	23G081 戸木 隆樹	
16A	23G 24G615 石井 祐太	23G555 渡	24G630 山崎 裕一	24S2-04 24G630 23G670 鈴木 隆樹			
17A	24Y015 金倉 24Y 24Y 23G 23G 23G0 24G001 飯島 健太	24G 24G 金倉	23G562 CHA Sur 24G				
18B	24-IB-015	調整	24-IB-016				
18C	23G571 中野 智志	24P017 鈴木 凌	24G513 山ノ井 航	23G532 川村 幸祐			
19A/19B	23S2-001 高橋 基	24G630 山崎 裕一	24Y026	23G119 高橋 基夫	23S2-001 高橋 基		
20A	23G553 星野 正光	23G165 宮崎 康典	23G552 北島 昌史				
20B	23G139 谷口 弘三	23G152 山口 博隆	23G030 橋 勝				
27A	24G057 本田 充紀	23G992 永井 隆志	24G580 中川 清子	23G045 重岡 通典	調整		
27B	24G057 本田 充紀	23G655 秋山 大輔	23G592 永井 隆志	24G608 松浦 治明			
28A/28B	24G 23G088 坂野 昌人	23MP-E003 松田 博	23G122 棚田 直樹	23T001 ZHANG Xi	24G556 小林 正樹		
	T/M	T/M	T/M	T/M	E	E	E
NE1A				24PF-G006 柴崎 裕樹			
NE3A				調整	24Y004		
NE5C				24G032 鈴木 昭夫			
NE7A				24G651 久保 友明	24G644		
NW2A				調整			
NW10A				調整	23G640 高草木 遼		
NW12A				調整	23G132 倉持 昌樹	23G 23G 調整	23G120 橋
NW14A				調整	24G101 野澤 俊介		
SPF	23G157 石田 明	24G100 高山 あかり	24G143 石田 明	23G656 和田 健			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16
	E	E	B	M	M	E	E
1A	23G 23G	24Y	金銀 24G 24G			24G	
2A/2B	24G544 木村 真一		23G631 中辻 寛			23G164 宮佐 勇佑	
3A	23G611 HIRS	24G615 石井 祐太				24G615 石井 祐太	
3C	23G138 早稲田 篤					24G520 姚 永昭	
4A	24G123 高橋 嘉夫					24G539 小澤 俊祐	
4B2	24Y037	24G555 藤井 幸太郎					
4C	24Y034	24G041 中尾 裕則				24G041 中尾 裕則 24G005 菅林 祐樹	
5A	24Y 24Y	24G119	24G528 駒田 豊寿			23G 23G 調整	調整
6A	24G078 小泉 博比	23G124 武井 雄子	24G587 渡辺 定晴			23G574 藤野 拓也 23G567 竹下 友樹	
6C	24G597 林野一	24G614 木村 耕治				24G062 八方 寛久 23G622 手塚 徹久	
7A	23P006 田中 健大	23G069 岡林 剛				23G087 奥平 幸司	
7C	23G104 熊井 玲児	調整 23G613 飯田 誠 23G627				23G627 川又 遼	
8A	23G104 熊井 玲児					23G639 神戸 高志	
8B	23G104 熊井 玲児					23G027 岡良 雄之 23G513 奥藤 正樹	
9A	24C203	23G077 24G123	調整			23G161 柳次 智 24G036	
9C	24Y008	23G131	24G147 野原 俊介			23G141 島山 健晴 24G058 本倉 雄	
10A	23G618 松石 清人					23G568 果林 貴弘	
10C	23P014 SZABO L	24G067 今村 比呂 24G542 矢良 友樹				23G078 中沢 寛治 23G053 上久保 佑	
12A	24G575 藤田 直樹	24G086 椎名 達雄				24G112 羽多野 忠	
12C	24PF-G016 重島 光	23G161 柳次 智				24G123 高橋 嘉夫	
13A/13B	23G096 吉備 信	24G588 23G003 24G588 24T001				24G588 23G087 24G588 24T004	
14A	調整					調整	
14B	24G582 砂口 尚輝	24G022 平野 啓一				24G022 平野 啓一	
14C	23G098 TheT TheT	23G544 山田 重人				24G037 松下 剛	
15A2	24G028 藤田 剛 24	24				24G013 山本 健晴 24PF-B020 尾関 昌	
16A	23G070 24G030 23G070 松本 健晴 24G630 山崎 裕一					24S2-002 松村 武 24G054 藤原 孝	
17A	調整 24G 24G 23G1 23G 24G583 井					調整 金銀調整	
18B	24-IB-017					24-IB-018	
18C	23G580 飯塚 理子 23G145 鹿 裕之					24G082 石井 晴祐	
19A/19B	24L010 22S2-00 24Y022 22S2-00 24Y022 23G119					23S2-001 高橋 嘉 23G678 23S2-00	
20A	23G552 北島 昌史					23G552 北島 昌史	
20B	23G030 橋 勝					23G642 水野 薫	
27A	調整					24G635 藤谷 直樹 24G530 中塚 正樹	
27B	24G608 松浦 孝 23G040 増野 敬典 23G066 岡本 芳浩					23G066 岡本 芳浩	
28A/28B	23G548 大坪 嘉之					24S2-001 佐藤 宇史	
	E	E	B	M	M	E	E
NE1A	調整 24G115 池田 修悟					24G115 池田 修悟	
NE3A	金銀調整					24G 金銀調整	
NE5C	24G032 鈴木 昭 24G096 清川 啓					24G096 清川 啓	
NE7A	24G644 後藤 佑太	調整				調整 24G032 鈴木 昭夫	
NW2A						調整 24G124 武市 崇男	
NW10A	24Y009 24Y012 24C203 24P012 SUN HON					24G638 野原 俊介 23G011 CH	
NW12A	23G	24G004 佐々木 裕次				24G039 陳 受克	
NW14A	23G135 塚谷 亮					調整 23G647 KIM You	
SPF	調整					23G626 花田 貴	

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23
	M	HB	B(HB)	HB	HB	HB	HB
1A		24G 24G 金銀 24Y	24Y	24Y	24Y015	調整 24G 24G 調整 24G	
2A/2B		23G683 藤川 直 24G507 清川 貴司			23G558 近松 彰 23G528 相馬 拓人		
3A		24G552 中村 剛太			23G093 草地 崇		
3C		23G159 渡辺 紀生					
4A		24G612 保倉 明子	24G539 小澤 俊祐	24G138 松浦 晃洋			
4B2		24G077 上原 政智					
4C		24G005 菅林 祐樹 24S2-002 松村 武			23G550 岩佐 和晃		
5A	23G 24	24Y 23 金銀 24Y 24 金銀 24Y	調整 24G 24G516 中 24G 調整				
6A	23G537 菅永 幹 23G105 大庭 智人 23G645 藤田 剛 24P004 矢野 智博 23G154 武野 聖之 24G110 長寺 隆一						
6C	23G074 藤川 伸也 24G091 STELLHORN Jett 24G525 金澤 寺 23G575 大山 研博 23G563 大山 研博						
7A	22MP001 山田 恒史 23G069 岡林 剛 22MP001 山田 恒史					24L009	
7C	24G577 岩佐 俊明						
8A	24G116 水津 理恵 23G550 岩佐 和晃 23G158 奥山 大輔						
8B	23G520 飯塚 博志 24G504 阿部 洋 23G527 若林 裕助						
9A	24G123 高橋 嘉夫 24G647 吉田 真明 24G647 吉田 真明				24G571 池本 弘之		
9C	24PF-G010 阿部 孝 24G578	23G023 藤田 雄大 24G592 KIDKHUNTHOD PINIT					
10A	23G568 果林 貴弘	調整					
10C	24G067 新井 秀 23G547 矢野 健二 24G574 安中 雄希 23G556 平井 光樹 23G596 東 二朗 23G057 竹下 盛樹						
12A	24G112 羽多野 忠 24G576 藤田 剛 24G652 沼子 千寿 24G575 藤田 直樹						
12C	24Y009 23G011 CHENG Weiren 24G566 SARMAGO Rolan						
13A/13B	24G558 24T004 24G558 24T004 23G633 23G623 23G531 藤川 伸也 23G566 石渡 昇一 24G129 国口 幸成						
14A	調整	24PF-G004 西村 龍太郎					
14B		24G520 姚 永昭					
14C	調整	23G110 間宮 幹人 23G648 竹本 敏 24G558 安田 みゆ					
15A2	23G573 中川 健太 24G602 真塚 誠志 23G091 Li Xiang 23G530 金子 文樹 24G026 新井 崇樹						
16A	24G 23G558 高 24G 24G126 高 24G004 24G129 24G618 24G618 24G 24G041 中尾 裕則						
17A	23G 23G 23G1 24Y 24G 24G 24C201	24G 24G 24C201			24G 23G 24P		
18B	24-IB-018 調整 24-IB-019				24-IB-020		
18C	23G065 関根 ちひろ 23G618 松石 清人 23G570 遊佐 秀						
19A/19B	調整 23G119 24C203 24PF-G 24C203 調整 24P008 山岸 昇 23S2-001 高橋 嘉夫 24G125						
20A	24G107 小田切 丈						
20B	23G642 水野 薫 24G114 加藤 有香子						
27A	23G674 関口 智弘						
27B	24G550 中川 清子 23G103 大庭 勝志 23G148 小嶋 光樹 23G523 鈴木 雄樹					23G045 飯田 雄典	
28A/28B	24S2-001 佐藤 宇史					24G002 菅原 克明	
	E	E	B	E	E	E	E
NE1A	調整 23G659 東崎 裕樹 24G084 松本 凌 23G571 中野 智志						
NE3A		23G 23G	調整 24G 24Y004				
NE5C	調整	23G519 坂巻 竜也					
NE7A	24G032 鈴木 昭 23G668 鹿 裕之				調整		
NW2A		調整 24G124 武市 崇男			22C206	24G124 武市 崇男	
NW10A	23G011 CH 24Y009 24Y032 23G077 24G038 24G123 高橋 嘉夫 24PF-G 24G633					24G563 奥村 聡	
NW12A	24G039 藤 勇 24	24G004 佐々木			23G132 倉持 直樹	23G675	
NW14A	24G590 KIM Jong Goo	24G641 KIM Kyung Hwan					
SPF	23G 24G132 兵頭 俊夫	23G660 岡 健治			23G594 塚谷 有喜		

「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 ニュースはウェブ版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。ウェブ版 PF ニュースには、冊子版では白黒となっている図等もオリジナルのカラーのものを掲載しています。ウェブ版もお楽しみ頂ければと思います。

ウェブ掲載時にはメールでお知らせするシステムも運用しています。希望される方は、どうぞ登録下さい。

(<https://www2.kek.jp/imss/pf/pfnews/oshirase.html>)

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 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@pfqst.kek.jp
URL : <https://www2.kek.jp/imss/pf/pfnews/>

編集後記

編集後記執筆時の 4 月現在、長かった寒さがようやく収まり、厚手の上着を押し入れにしまい込み、春の訪れを実感する。私はまだ寒さ厳しい今年初めに、地方大学から KEK 近くのとある研究機関に異動した。大学では放射光を積極的に使った仕事をしており、新しい異動先でも放射光を使った実験が何かできないかと模索している。私は大学職員時代、PF 創設時から存続すると噂の、とある老齢な BL のヘビーユーザーとなった。当時の研究室の教授から最初にその BL へ案内されたときはとても驚いた。なにしろ MS-DOS とかいう厳しい名前の OS を搭載したパソコンが BL に鎮座していたからだ。誰かにこのパソコンはシングルタスクだから不便かもと言われ、最初はその意味がよく分からなかった。実際にパソコンを触ってみると、二つのアプリケーションを同時に開くという現代人にとっては当たり前の作業ができないという意味だと分かった。この BL での実験では、ここでは書ききれないようなことが色々あったが、現在ではこのパソコンは Windows OS に置換されている。1.5 MB 以上あるデータはフロッピー 2 枚で分割して、なんていうめんどくさい作業も今となってはいい思い出で、この BL の改造を通して放射光のことをとても深く理解でき（もちろん放射光施設の職員の方々には遠く及ばない）、まさに祖父母に育てて貰った感覚である。今後も思い入れのある KEK をユーザーとして下支えしたい。(R.Y.)

* 2025 年度 PF ニュース編集委員 *

委員長	熊井 玲児	物質構造科学研究所		
副委員長	鈴木真粧子	群馬大学 大学院理工学府		
委員	朝倉 大輔	産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門		
	宇佐美徳子	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
	城戸 大貴	物質構造科学研究所	木村 耕治	名古屋工業大学 物理工学科
	佐々木大輔	和歌山県立医科大学 薬学部	高木 宏之	加速器研究施設
	武田 崇仁	東京大学 大学院工学系研究科	田辺 幹雄	物質構造科学研究所
	中尾 裕則	物質構造科学研究所	引田 理英	物質構造科学研究所
	松井 高史	富士フイルム (株) 解析技術センター		
	山根 峻	物質・材料研究機構 電子・光機能材料研究センター		
	和田 健	物質構造科学研究所		
事務局	加世田 薫／高橋 良美	物質構造科学研究所		

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

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、下記よりご確認ください。



つくばエクスプレス



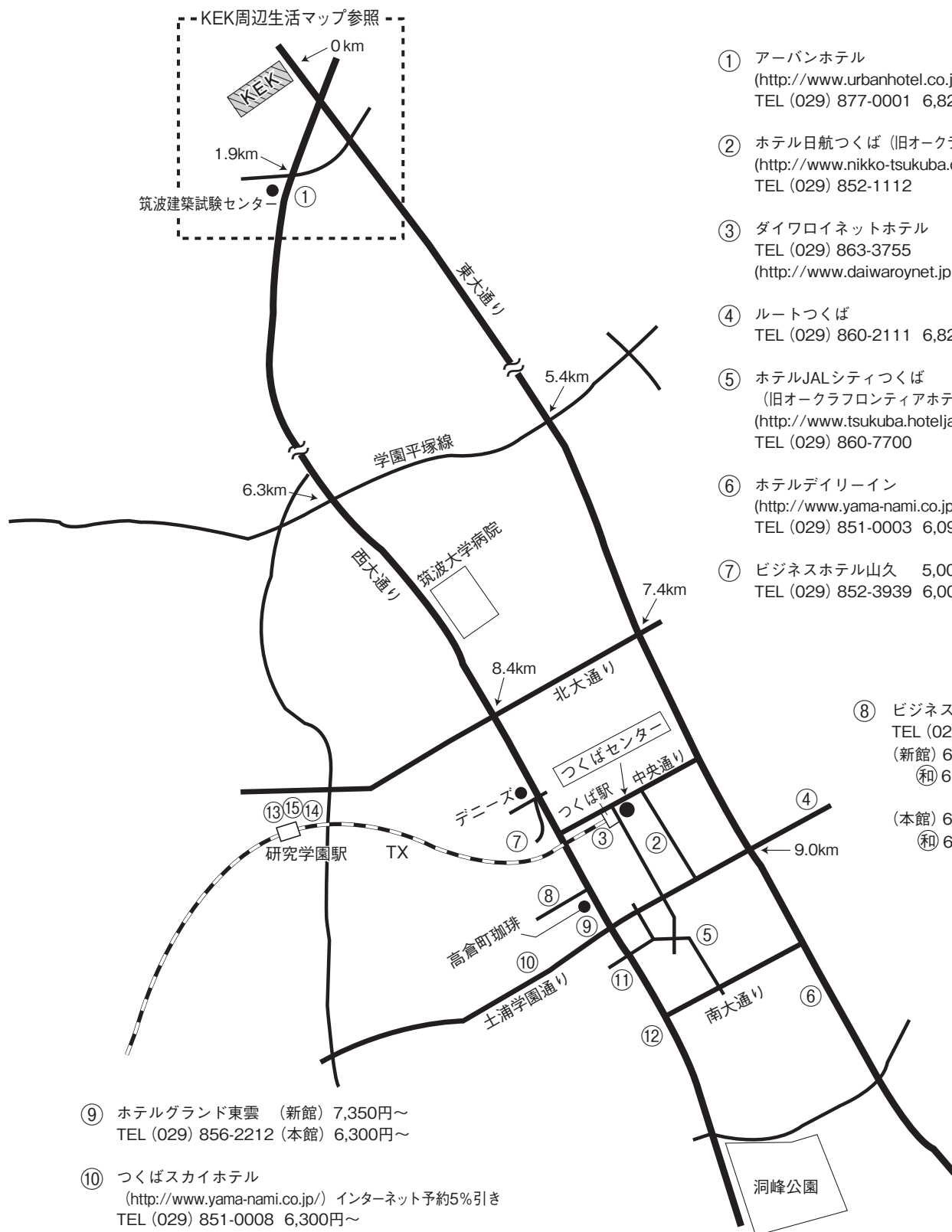
高速バス「つくば号」



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.daiwaroyonet.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)

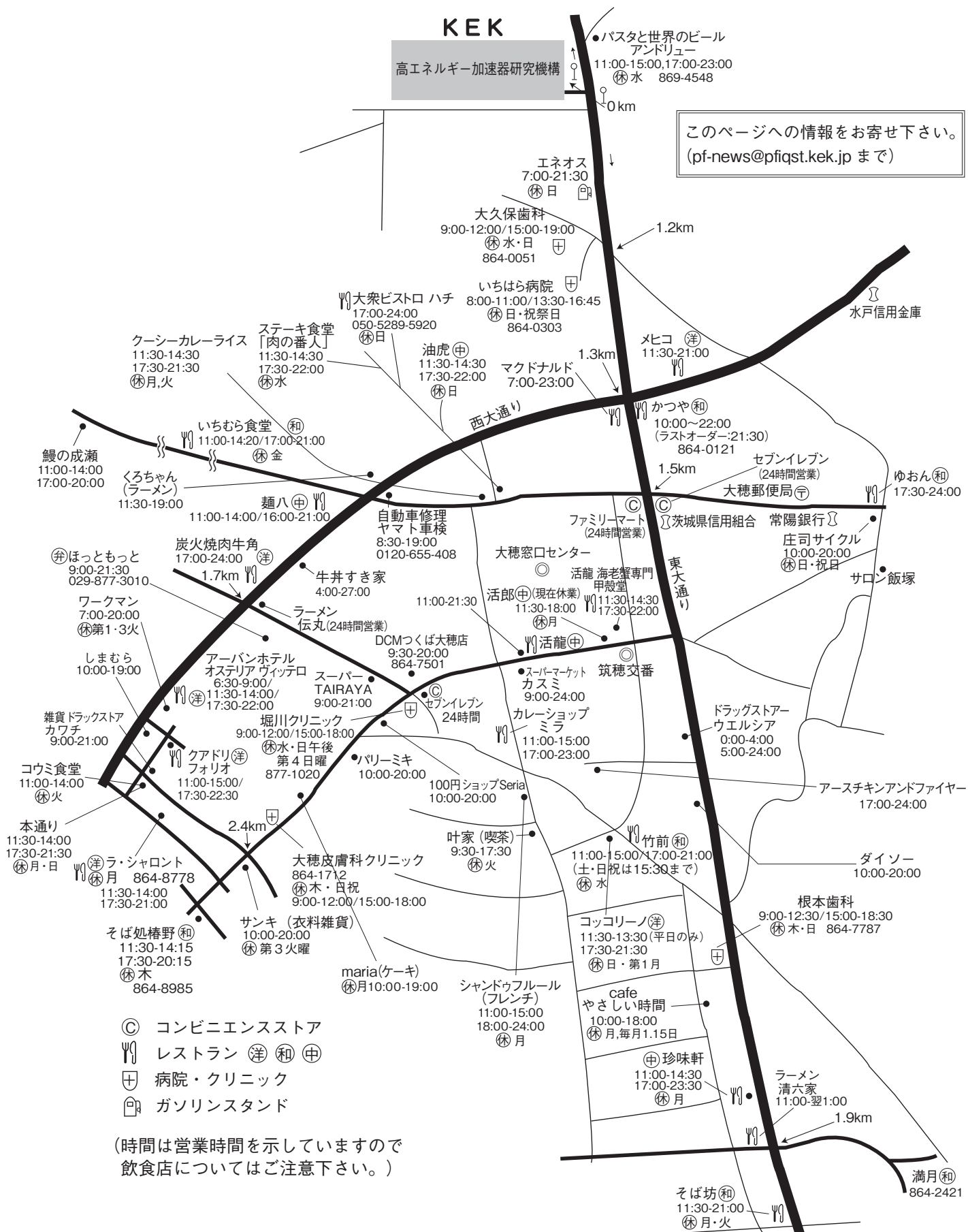
- ⑬ ホテルベストランド
(<http://www.hotel-bestland.co.jp>)
TEL (029) 863-1515

- 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 火・水・木 ただし祝日及び年末年始は休業

昼食 11:30～13:30

夕食 17:30～18:30

●喫茶室 Suzu Cafe（スズカフェ）（内線 3910）

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-〇〇（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〇〇〇（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/>をご覧ください。

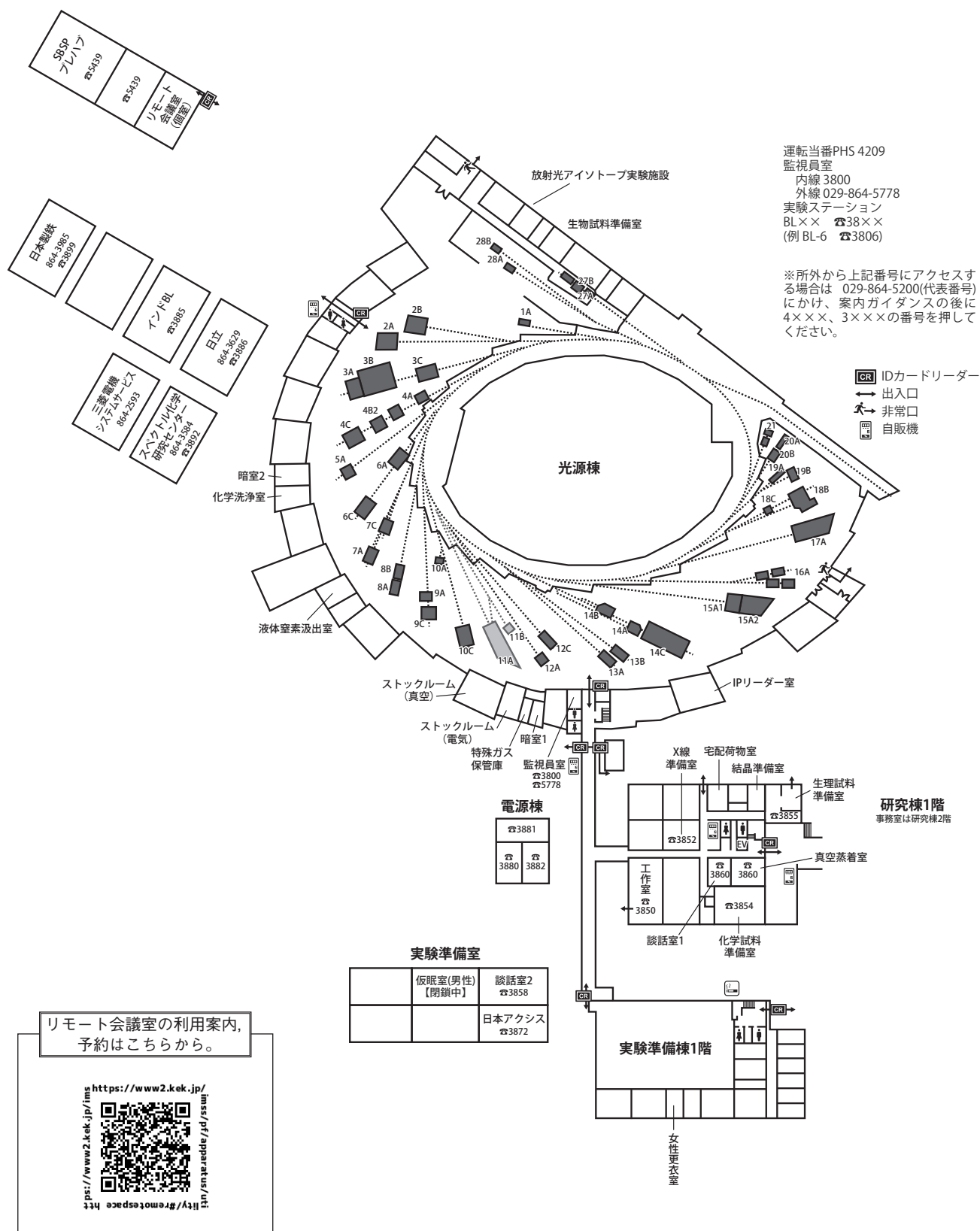
Tel : 029-879-6135, 6136 Fax : 029-879-6137

Email : usersoffice@mail.kek.jp

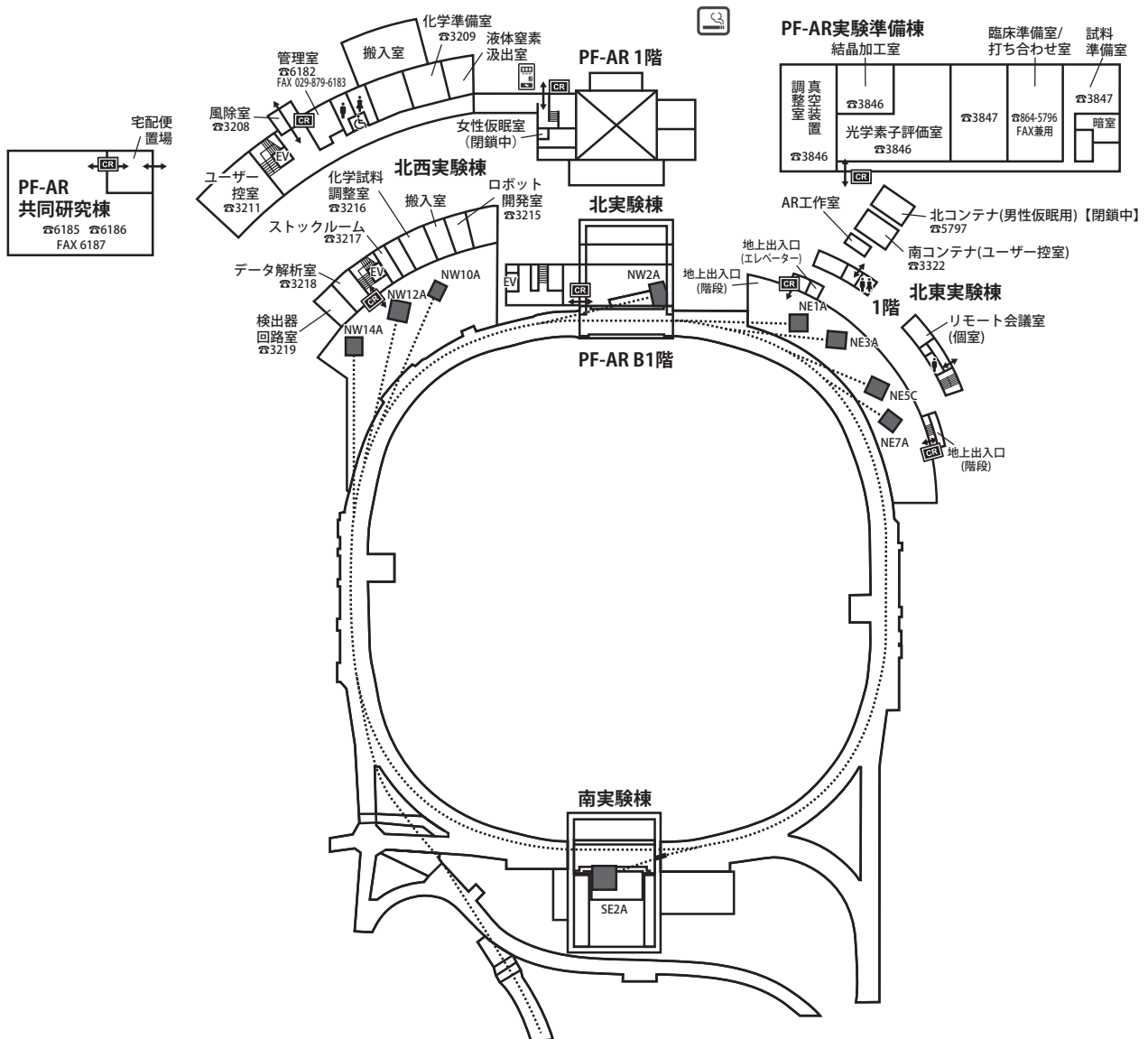
ビームライン担当一覧表 (2025. 5. 1)

ビームライン	光源	BL担当者
ステーション	形態 ステーション/実験装置名 (●共同利用, ○建設/立ち上げ中, ◇所外, ☆教育用BL, ★UG運営ST)	担当者 担当者 (所外)
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) / B M (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	B M	中尾
BL-4A	●★ 蛍光X線分析/マイクロビーム分析	丹羽 宇尾 (科学大)
BL-4B2	●★ 多連装粉末X線回折装置	奥山 植草 (科学大)
BL-4C	● 精密単結晶X線回折ステーション	中尾
BL-5	M P W	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	B M	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	奥山 八方 (広島市大)
BL-7	B M	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	B M	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	B M	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	B M	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	B M	若林
BL-11A	○ 開発研究多機能ビームライン (建設中)	若林
BL-11B	○ 開発研究多機能ビームライン (建設中)	若林
BL-12	B M	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	V W	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

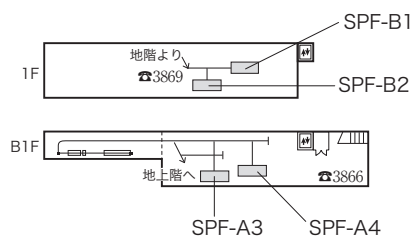
PF 平面図



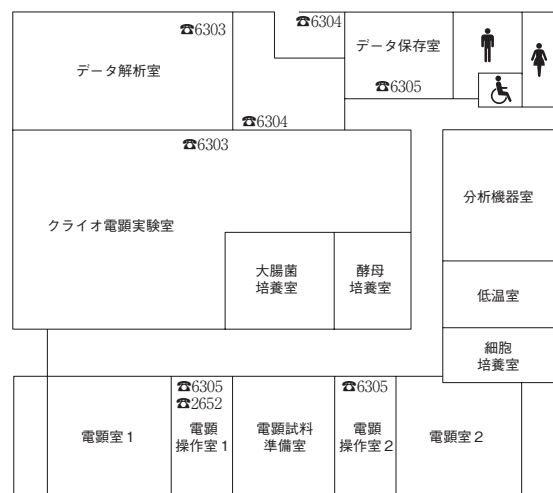
PF-AR 平面図



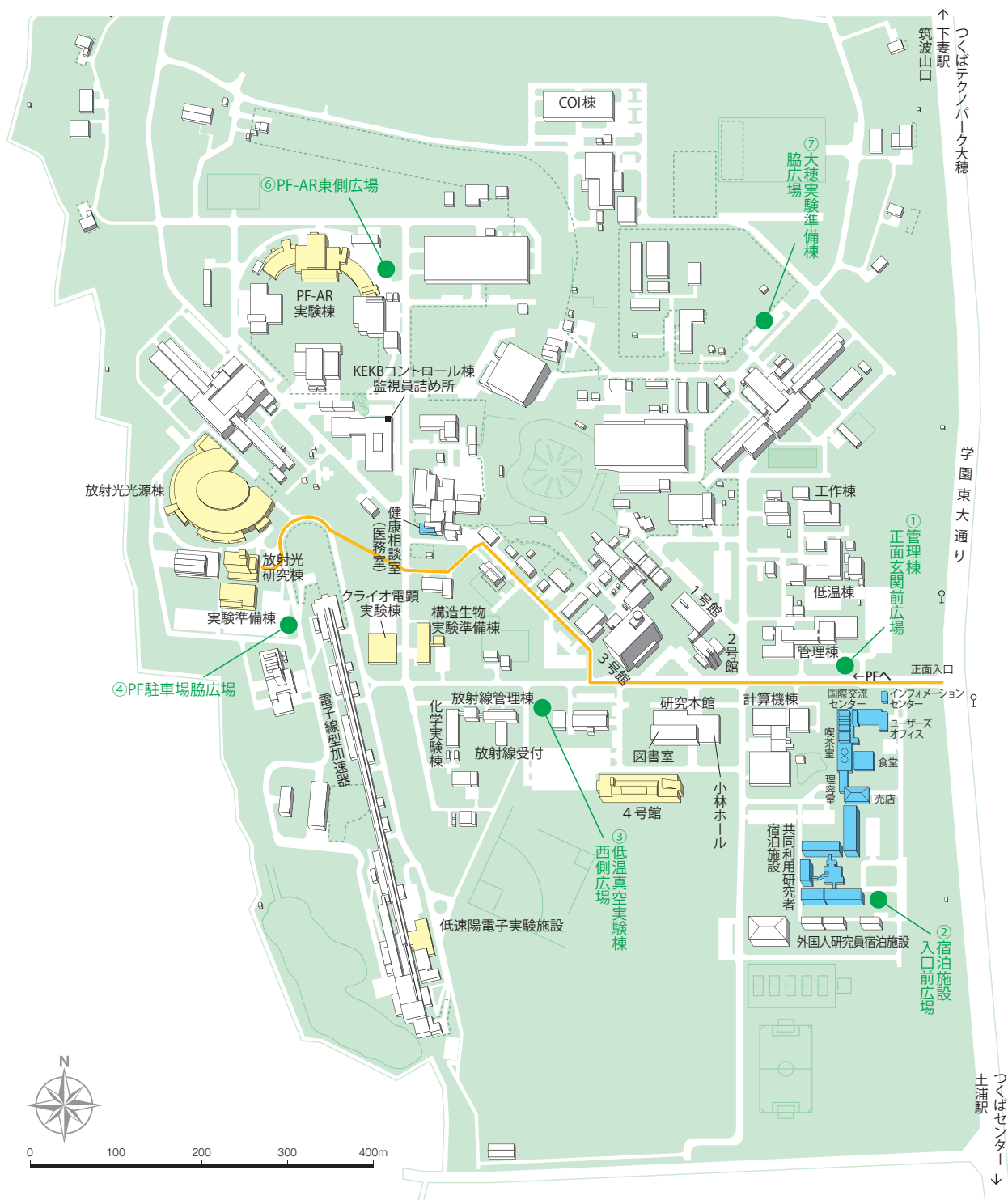
低速陽電子実験施設平面図



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.43 No.1 2025 TEL:029-864-1171 (機構代表)

