

PFN News

PHOTON FACTORY NEWS

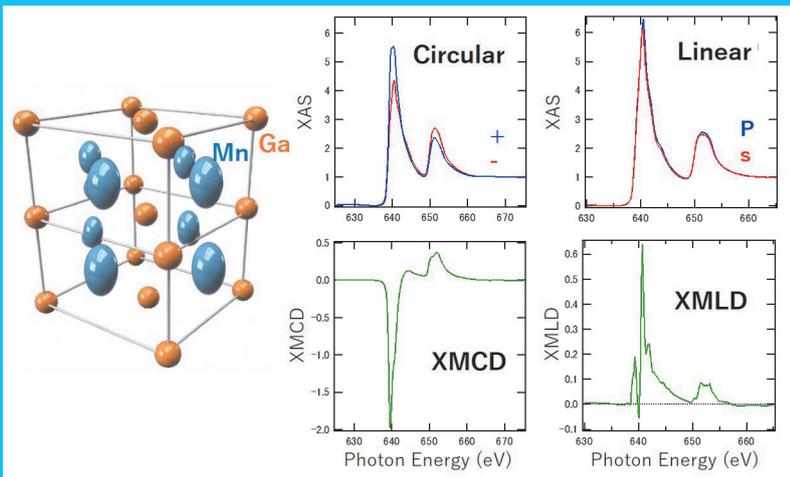
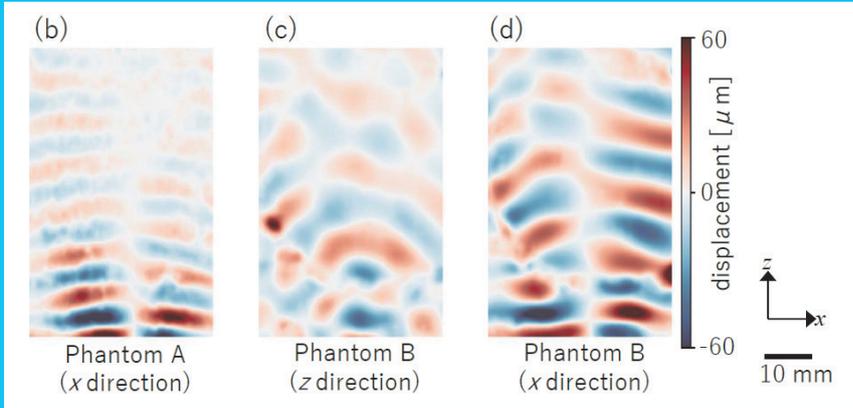
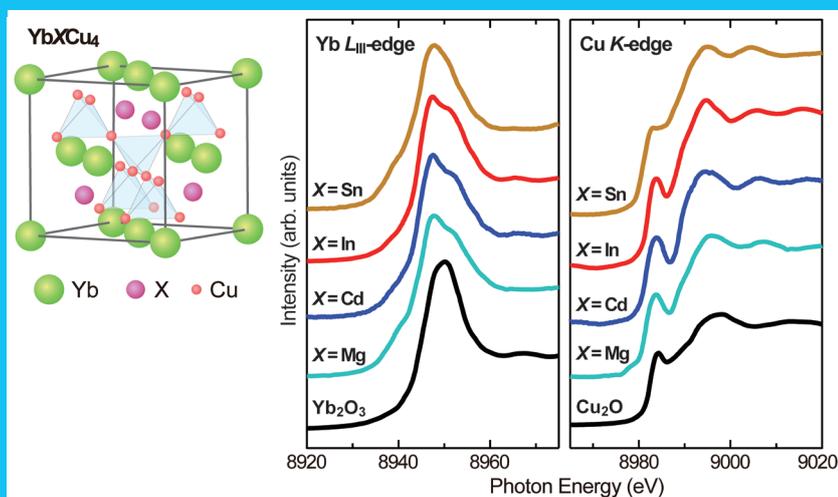
ISSN 0916-0604

<http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/>



FEB 2021
Vol.38 No.4

- 硬X線吸収分光法によるレアアース Yb 化合物の混合原子価状態の解明
- 動的X線エラストグラフィの現状と将来
- X線磁気円二色性、磁気線二色性を用いた垂直磁気異方性の研究



目次

物構研つくばキャンパスだより	足立 伸一	1
現 状		
入射器の現状	古川 和朗	3
光源の現状	小林 幸則	5
放射光実験施設の現状	船守 展正	8
放射光科学第一, 第二研究系の現状	千田 俊哉	9
最近の研究から		
硬 X 線吸収分光法によるレアアース Yb 化合物の混合原子価状態の解明 Mixed-Valence States of Rare Earth Yb-Compounds Revealed by Hard X-ray Absorption Spectroscopy 安齋 太陽, 岩住 俊明, 佐藤 仁, 松本 圭介, 平岡 耕一		10
動的 X 線エラストグラフィの現状と将来 Present Status and Future of Dynamic X-ray Elastography 亀沢 知夏, 矢代 航, 兵藤 一行		15
X 線磁気円二色性, 磁気線二色性を用いた垂直磁気異方性の研究 Perpendicular Magnetic Anisotropy Probed by X-ray Magnetic Circular and Linear Dichroisms 岡林 潤		20
プレスリリース		
微小な磁気渦の内部変形が引き起こす渦の配列変化		25
X 線回折パターンからの対称性予測における知識発見—熟練者の勘・コツの定式化に成功—		25
軟 X 線渦ビームのらせん波面の観測に成功—磁性体中のトポロジカル欠陥構造に対する新たな観測手法—		25
副作用原因タンパク質 hERG チャンネルと薬剤の複合体構造を明らかにすることに成功 —重篤な副作用の回避にもクライオ電子顕微鏡解析が役立つ—		26
量子液晶と関係した新しい超伝導状態を発見		26
研究会等の開催・参加報告		
PF 研究会「X 線干渉計と縦型ウィグラーを用いた超高感度画像計測の現状と将来展望」開催報告	米山 明男	27
ユーザーとスタッフの広場		
BL-3A での測定	道村 真司	29
BL-3A, 4C でのリモート測定	中尾 裕則	29
BL-5A での測定	片柳 克夫	29
タンパク質結晶構造解析ビームラインでの全自動測定, リモート測定	山田 悠介	29
BL-7A での測定	坂本 祥哉	30
BL-7A, 16A でのリモート測定の準備	雨宮 健太	30
硬 X 線 XAFS メールインサービスの利用	恒川 舜, 坂井ありす, 吉田 真明	31
硬 X 線 XAFS でのメールイン代行測定サービス	仁谷 浩明	31
東京大学の十倉 好紀 特別栄誉教授が文化功労者として表彰されました		32
物構研の協力研究員 野田幸男氏が日本中性子科学会の功績賞を受賞		32
放射光実験施設の間瀬一彦准教授が日本表面真空学会 功績賞および会誌賞を受賞		33
フォトンファクトリーユーザーの西川恵子氏が日本結晶学会西川賞を受賞		33
PF トピックス一覧 (11 月~1 月)		34
PF-UA だより		
医学利用ユーザーグループの紹介 1~ヒト胚子の発生・形態形成についての研究~	高桑 徹也, 山田 重人, 金橋 徹, 兵藤 一行, 米山 明男	35
医学利用ユーザーグループの紹介 2~放射光を用いた微小血管造影の開発と応用~	松下昌之助	37
人 事		
新人紹介		39
お知らせ		
2020 年度量子ビームサイエンスフェスタ (第 12 回 MLF シンポジウム / 第 38 回 PF シンポジウム) 開催のお知らせ 松垣 直宏, 川崎 卓郎		40
2021 年度後期共同利用実験課題公募について		42
2021 年度後期フォトンファクトリー研究会の募集	船守 展正	42
予定一覧		43
運転スケジュール (Apr. ~ Jul. 2021)		44
掲示板		
放射光共同利用実験審査委員会速報	君島 堅一, 兵藤 一行	45
第 128 回 物質構造科学研究所運営会議議事次第		46
2021 年度前期放射光共同利用実験採択課題一覧 (G 型)		47
2020 年度後期からこれまでに採択された P 型課題		50
2020 年度第 2 期配分結果一覧		51
編集委員会だより		
「PF ニュース」からのお知らせ		56
投稿のお願い		56
編集後記		56
巻末情報		57

<表紙説明> 最近の研究から

(上段) 硬 X 線を用いて測定した Yb₂XCu₃ の吸収分光スペクトルの物質依存性「硬 X 線吸収分光法によるレアアース Yb 化合物の混合原子価状態の解明」より
(中段) サンプル (ポリアクリルアミドゲル) 中を「ずり弾性波」が伝播しているときに、X 線イメージングにより求められたサンプル内部の変位画像「動的 X 線エラストグラフィの現状と将来」より
(下段) MnGa 合金の結晶構造と X 線磁気円二色性, 磁気線二色性を用いた垂直磁気異方性の研究」より

令和3年が始まりました。

本年が、皆様にとって実り多い一年になりますよう、心より祈念いたします。

1年前（Vol.37 No.4）と同じ書き出しにしてみたものの、昨年のちょうど今頃から世界中で始まった新型コロナウイルスの感染拡大は未だ収束の気配を見せておらず、昨年中は実り多かったとはとても言えないよなあ、と、ついつい考えてしまいます。この拙文をお読みの方の中にも、昨年中は日常の様々な場面で「あたり前のこと」が困難になり、研究や教育が思ったように進まない、イベントを中止や延期にせざるを得ないなど、実り多いという実感からは程遠い一年だったという方が数多くいらっしゃるでしょう。物構研つくばキャンパスの放射光実験施設（PF）、低速陽電子実験施設（SPF）においては、国内外のユーザーが施設に来所し、装置に触れながら実験することを制限せざるを得ないという、これまで想像もしていなかった事態となりました。スタッフ一同、常に悩みながら、この状況下でどうしたら研究を進めることができるのかを考える日々が今も続いています。

一方で、この未曾有の災禍は、「あたり前のこと」を否定なく考え直す機会でもありました。例えば、以前は会議といえば、参加者全員がいろんな場所から一つの会場に集まって、同じ机を囲んで顔を突き合わせて行うものでした。しかし現在では、会議とは、目の前の端末からリモート接続して参加するものであり、終了後はすぐに自分の仕事に戻れるというものに様変わりしました。これによって、会議のための移動時間はゼロになり、それに伴う出張旅費もなくなり、時間・予算の節約と仕事効率の向上は目覚ましいものがあります。会議と同様に、これまで人が集まることが当然の前提とされてきた職場や学校や公共サービスなどのあり方も大きく変わりつつあります。同様に、大学や研究機関における研究のあり方、大学共同利用機関での共同利用実験のあり方も、大きく変わることでしょう。国内外の研究者同士が距離に関係なく即座にリモートで繋がることができますので（時差と言葉の違いだけはまだ少し問題ですが）、一つの研究室がネットを通じて世界中に広がったと考えても良いかもしれません。同様に、PFやSPFのビームラインの実験ステーションは、ご自身の研究室とシームレスにつながった実験装置と捉え直していただくと良いかもしれません。そのような将来の姿もイメージしつつ、実験施設スタッフが、様々な試行錯誤を続けているところです。ユーザーの皆さんからもぜひ有益なアドバイスをいただければ幸いです。なお、研究のDX（デジタル・トランスフォーメーション）化が今後促進されたとしても、オリジナルの試料を作るところと、その試料を精密測定するところには、まだまだ人の手が必要とされています。今後も引き続き、現場スタッフの人員拡充を求めていきたいと思えます。

さて、このコロナ禍で出張や会議の負担が減った分、ユーザーの皆さんの中には、在宅勤務をしながら、これまで取り溜めたデータを解析して、論文を書く時間が確保できたという方もいらっしゃるのではないのでしょうか。大学共同利用機関は、利用研究成果の量と質が、その機関の重要度を測るバロメータです。是非この機会に、研究論文成果の発表を推進していただくようお願いいたします。ご存知の方もいらっしゃると思いますが、文部科学省の科学技術・学術政策研究所（NISTEP）が2年毎に報告している「サイエンスマップ」という分析資料があり、昨年末に「サイエンスマップ2018」が公開されました。サイエンスマップというのは、論文データベースの分析により国際的に注目を集めている研究領域を定量的に抽出し、それらが、互いにどのような位置関係にあるのかを俯瞰図として可視化したものになっています。サイエンスマップ2018では、2013年から2018年までの6年間に発行された論文の中で、各年、各分野（臨床医学、植物・動物学、化学、物理学など22分野）において被引用数が上位1%であるTop1%論文（約9.3万件）が分析の対象です。詳細は参考HPを見ていただくとして、ここでは2013年から2018年までの6年間に発行されたPFの登録論文のうちで、被引用数が上位1%で国際的に注目を集めていると評価されたTop1%論文（コアペーパー）7報をご紹介します（表1）。

今回のサイエンスマップ2018で選出されたコアペーパー7件は、生命科学（植物学関連）1件、超伝導関連3件、二次電池関連2件、二次元材料1件となっていました（表2）。

ちなみに、PF登録論文でコアペーパーに選出された論文数を年ごとに調べてみますと、コアペーパーの数には当たり年があることがわかりました。PF登録論文の中で、2011年掲載のコアペーパーが3件、2012年掲載のコアペーパーが5件となっており、この2年が有意にコアペーパー数が多い当たり年です。2011年といえば、未曾有の大災害により、東日本地区の多くの大学、研究機関で自宅待機となり、自宅等で論文をまとめる時間が生まれた時期にあたります。現在のコロナ禍においても、2011年当時と同様な状況で論文執筆が促進されていると仮定しますと、なんとかの皮算用ではありませんが、2020年から2021年に掲載されるPF登録論文には、大きな期待を寄せているところです。

そのような意味におきまして、改めて本年が皆様にとって実り多い一年になりますよう、心より祈念いたします。

（参考：NISTEPサイエンスマップ調査のホームページ：
<http://www.nistep.go.jp/research/science-and-technology-indicators-and-scientometrics/sciencemap>）

表1 2013年から2018年までの6年間に発行されたPFの登録論文の中で、被引用数が上位1%で国際的に注目を集めていると評価されたTop1%論文（コアペーパー）。

研究領域 ID	論文タイトル	著者名	雑誌名	発行年	被引用数 (調査時点)
213	Molecular mechanism of strigolactone perception by DWARF14	Nakamura, H.; Xue, Y.-L.; Miyakawa, T.; Hou, F.; Qin, H.-M.; Fukui, K.; Shi, X.; Ito, E.; Ito, S.; Park, S.-H.; Miyauchi, Y.; Asano, A.; Totsuka, N.; Ueda, T.; Tanokura, M.; Asami, T.	NATURE COMMUNICATIONS	2013	158
215	Lifting of xz/yz orbital degeneracy at the structural transition in detwinned FeSe	Shimajima, T.; Suzuki, Y.; Sonobe, T.; Nakamura, A.; Sakano, M.; Omachi, J.; Yoshioka, K.; Kuwata-Gonokami, M.; Ono, K.; Kumigashira, H.; Boehmer, A. E.; Hardy, F.; Wolf, T.; Meingast, C.; Loehneysen, H. V.; Ikeda, H.; Ishizaka, K.	PHYSICAL REVIEW B	2014	143
215	Reconstruction of Band Structure Induced by Electronic Nematicity in an FeSe Superconductor	Nakayama, K.; Miyata, Y.; Phan, G. N.; Sato, T.; Tanabe, Y.; Urata, T.; Tanigaki, K.; Takahashi, T.	PHYSICAL REVIEW LETTERS	2014	159
215	High-temperature superconductivity in potassium-coated multilayer FeSe thin films	Miyata, Y.; Nakayama, K.; Sugawara, K.; Sato, T.; Takahashi, T.	NATURE MATERIALS	2015	150
272	High-capacity electrode materials for rechargeable lithium batteries: Li ₃ NbO ₄ -based system with cation-disordered rocksalt structure	Yabuuchi, N.; Takeuchi, M.; Nakayama, M.; Shiiba, H.; Ogawa, M.; Nakayama, K.; Ohta, T.; Endo, D.; Ozaki, T.; Inamasu, T.; Sato, K.; Komaba, S.	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA	2015	170
892	Sodium-Ion Intercalation Mechanism in MXene Nanosheets	Kajiyama, S.; Szabova, L.; Sodeyama, K.; Iinuma, H.; Morita, R.; Gotoh, K.; Tateyama, Y.; Okubo, M.; Yamada, A.	ACS NANO	2016	142
897	Dirac Fermions in Borophene	Feng, B.; Sugino, O.; Liu, R.-Y.; Zhang, J.; Yukawa, R.; Kawamura, M.; Iimori, T.; Kim, H.; Hasegawa, Y.; Li, H.; Chen, L.; Wu, K.; Kumigashira, H.; Komori, F.; Chiang, T.-C.; Meng, S.; Matsuda, I.	PHYSICAL REVIEW LETTERS	2017	126

表2 PF 発のコアペーパーが分類されている研究領域 ID とその特徴語

研究領域 ID	研究領域の特徴語
213	植物ホルモン, アブシジン酸, シュートの分枝, 植物成長, 植物構造, イネ, シロイヌナズナ
215	鉄系超伝導体, フェルミ面, 高い転移温度, 電荷整列, 電荷密度波, 超伝導状態, 相図
272	リチウムイオン電池, カソード材料, 電気化学的性能, 容量維持, 電圧フェイディング
892	電極材料, リチウムイオン電池, アノード材料, N 次元材料, 電気化学的性能
897	黒リン, 電子状態, N 次元材料, 遷移金属ジカルコゲナイド, ワイル半金属, 2 次元材料

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗
(2021年1月26日付け)

概要

2020年秋期の運転においては、夏の停止期間における装置や運転機構の改善作業の効果により、ビームの品質と安定度の向上が見られた。放射光施設と SuperKEKB の4つの蓄積リングへの同時トップアップ入射についても、順調に継続されている。陽電子生成標的直後の陽電子収束用フラックスコンセントレータの交換やその後の陽電子捕獲部の改造は、陽電子ビームの大きな改善に繋がった。SuperKEKB へのビームパルス割り当てを減らすことも可能となり、結果として放射光施設入射への影響も抑えられている。SuperKEKB メインリングへの入射が最善ではない理由の追求の一環として、ビーム輸送路での OTR スクリーンモニターやワイヤスキャナによるビーム観測の改善にも協力しており、ビーム光学特性の理解が進化した。入射器内老朽化加速管の対策として、2022年度までに一部の劣化の激しい加速管の交換が予定されており、この冬の停止期間において最初の1ユニット4本を交換を実施し、大電力試験も成功した。また、今後パルス電磁石の増設を可能とするために、既存電磁石などの装置の移動を計画的に進めている。さらなる入射ビームの改善として、入射器内のビーム光学関数の補正とその安定化が必要と考えられ、新規の装置も組み合わせて検討を進めている。

陽電子ビームの改善

標的から大きなエミッタンスを持って生成される陽電子について、その収量の向上を狙い、標的直後において強力な磁場で収束させるために、フラックスコンセントレータ (FC) と呼ばれるパルスソレノイドを設置している。これまで加工硬化などの複数の対策を施し、試験スタンドにおいては FC の設計磁場を長時間維持することができても、ビームラインに投入すると放電してしまう状況が2回続いていた。設計磁場の約5テスラは12kAのソレノイド電流と0.2ミリメートルのコイル間間隙を必要とするが、放電のために約4分の1の電流に制限してきた。メインリングの蓄積電流が小さいため、大きな障害にはなっていないが、早い時期の解決が期待されていた。

そこで次の対策として、ソレノイド材質を無酸素銅から銅ニッケル合金に変更し、導電率を少し犠牲にしても硬度を確保することにした。これまで同様に試験スタンドでの長期試験を経て、秋からビーム運転への投入を行った。

また、ビームシミュレーションに比べて、陽電子収量が少ないことがわかっており、まだフラックスコンセントレータの直後の加速管の加速電圧が設計値まで上げられてい

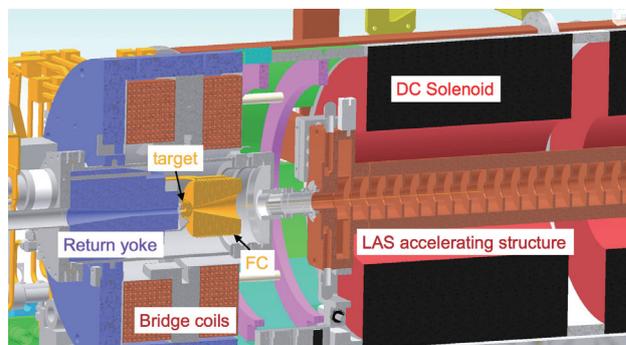


図1 標的、フラックスコンセントレータ (FC)、直流ソレノイド、等から構成される陽電子捕獲部

ないものの、他にもいくつかの原因が推測されていた。例えば、加速管の外側に設置されている直流ソレノイドのコイル端面を含めた磁場のアライメントも懸念されていた。さらに、これらの陽電子捕獲部の構造が複雑なため、干渉を恐れて、ビーム位置モニターや軌道補正電磁石が設置されていなかったことも影響していると推測された。

そこで夏の停止期間のフラックスコンセントレータの交換に併せて、陽電子捕獲部 (図1) を解体し、軌道補正電磁石を4台とビーム位置モニターも2種類4台を設置して、ビーム軌道を最適化することにした。ビーム位置モニターのうち1種類は対生成で生じる陽電子と電子を分離するためのシケイン電磁石の前に設置したために、今後の読み出し技術の開発が期待されている。

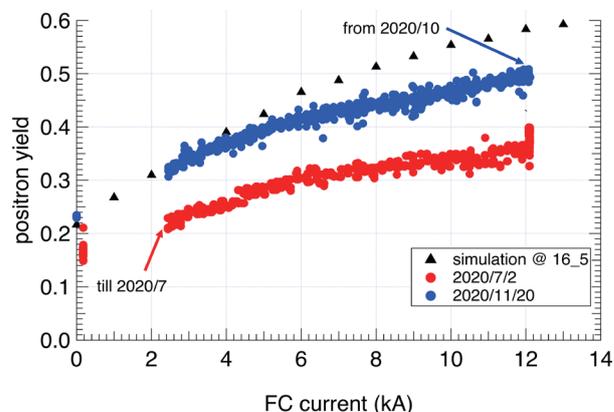


図2 陽電子捕獲部における陽電子の収量、つまり入射一次電子に対する捕獲陽電子の粒子数比。夏以前の運転 (赤)、秋の運転 (青)、及び加速勾配が少し高いシミュレーション結果 (黒)。

秋期の運転を開始してから、慎重に電流を増加させたところ、新しいフラックスコンセントレータには放電を発生させずに設計値の 12 kA を導入できることがわかり、陽電子の収量が増加した。さらにビーム調整を進め、ソレノイド内での生成陽電子の螺旋運動を考慮した軌道調整を行ったところ、大きく陽電子を増加させることができることがわかった。

ビーム開発の時間が十分には確保できていないので暫定の調整ではあるが、双方の改善により、陽電子の収量は約 2.4 倍になっている (図 2)。今後、シミュレーション条件を合致させ、精度を向上させるとともに、遠くないうちにソレノイド中の陽電子の挙動の改善をさらに進めて、陽電子収量の最適化を図る予定である。

新規加速管の設置

入射器に設置されている約 230 本の 2 m 加速管のうち、製造から約 40 年を経過した約 150 本について、KEKB 計画以降は、当初の設計値を大幅に上回る加速電界を発生する状態で運用されてきており、劣化が激しくなっている。SuperKEKB においては高い共鳴状態に到達できないだけでなく、放置すれば現在の衝突エネルギーも維持できなくなったり、PF-AR 6.5 GeV 入射が不可能になることも懸念される。

そこで新しい加速管を製造し、最初の 4 本の加速管を昨夏から試験ベンチにて試験してきたことを既に報告してきたが、予想を上回る成績が得られており、この冬の停止期間に #44 ユニットの老朽加速管を置き換えることになった。現在最初の真空作業を終え、冷却水配管などを進めているところである。取り外した古い加速管はより低い電界でも運用可能な場所に移動させる。

新しい加速管では、精度の高い電磁場設計により、放電などの困難を避けながら加速電界の向上が期待でき、製造方法としてはロウ付けを採用している。以前の加速管は電鍍方式で製造されたが、現在はこの技術は維持されておらず、カプラー周りなどの接合方法が複雑なこともあり、現

在では費用は下げられないことがわかっている。電鍍加速管は外からステンレスのジャケットを被せて冷却水を通していたが、ロウ付け加速管は内部に冷却水路を持っており、また個々の空洞に同調調整用のくぼみがあるので、見栄えが大きく異なっている。

1 月 25 日に現場で最初のマイクロ波の投入を行い、問題なく成功することができた。さらに、2 月 2 日からの立ち上げ運転でビーム性能を確認した上で、他の機器も含めて入射運転向けの動作点の最適化を進める。その後、2 月 15 日からの入射運転を迎える予定であり、7 月までの安定運転を目指すことになる。



図 3 #44 ユニットに設置された 4 本の新規の加速管

光源リングの運転状況

図1に、PFリングにおける11月2日9:00～12月22日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。11月25日9:00まで蓄積電流値450 mAのマルチバンチモード、その後ハイブリッドモードに切り替え、12月9日9:00までユーザー運転、メンテナンスとモード切り替え日を挟み、12月11日9:00～12月22日9:00までマルチバンチモードでのユーザー運転を実施した。

ハイブリッドモードでは、前回と同様シングルバンチの電流値を30 mA、マルチバンチの電流値を420 mA（バンチ数は131）として、マルチバンチモードと同じ蓄積電流値となるよう合計450 mAに設定した。今回はシングルバ

ンチの純度については悪化が見られず順調であった。

この期間に起きた故障等のトラブルについては以下の通りである。11月5日6:54にビームダンプが発生した。入射用キッカー電磁石K3のタイミングずれが原因であった。また、再入射の際に進行方向のビーム不安定性が発生したため、個別バンチフィードバックを調整することによって抑制した。11:22にユーザー運転を再開した。しかしながら、16:30頃高速軌道フィードバックがオフであったことが判明したため、18:00に一旦チャンネルをクローズし、フィードバックをオンする操作を実施した。今後同様のトラブルが起きないように、チャンネルパーミット前のチェックリストの作成や指差確認等の再発防止策を行うこと

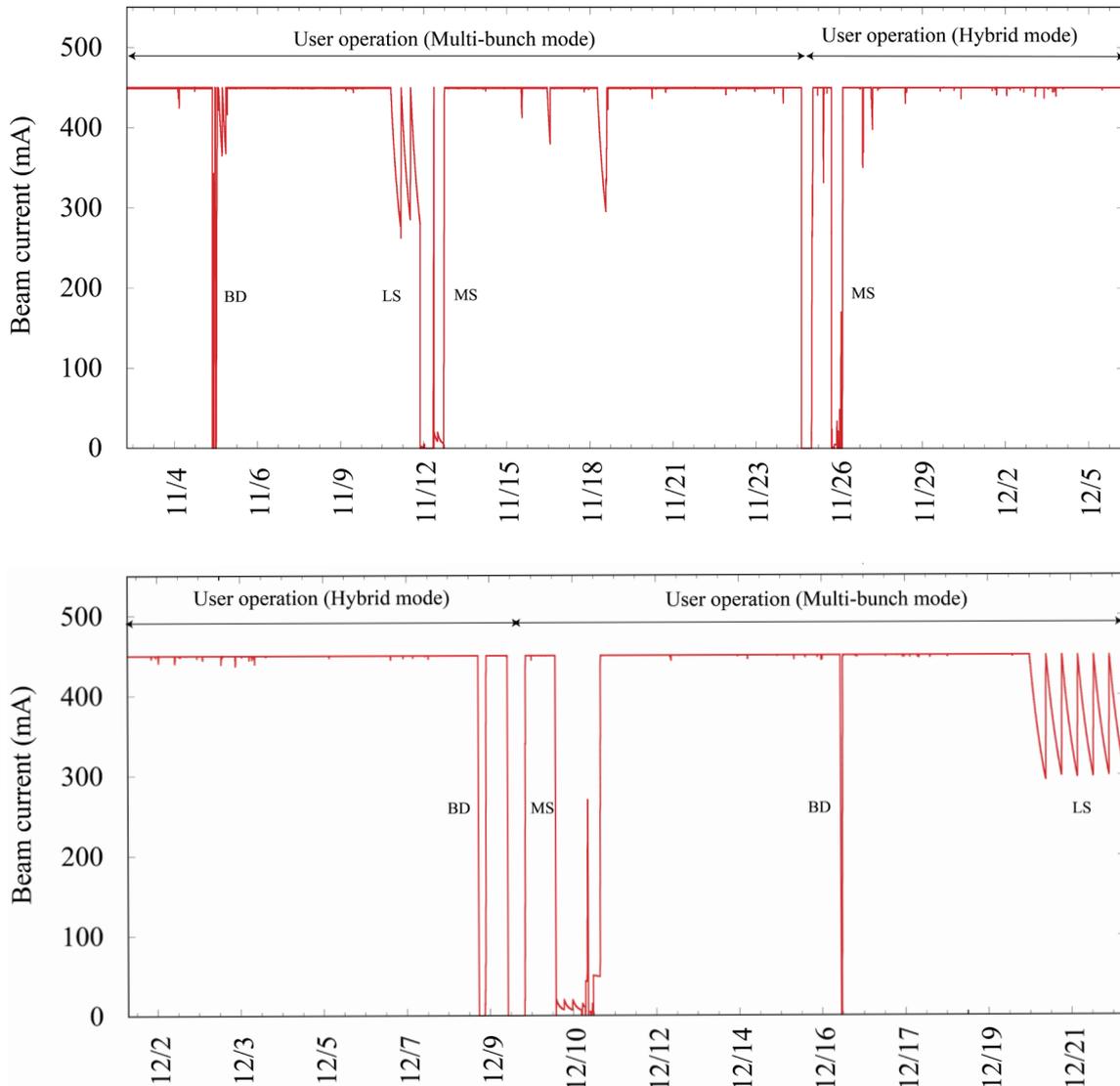


図1 PFリングにおける11月2日9:00～12月22日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器マシン調整日、MSはリングマシン調整日、BDはビームダンプを示す。

とした。なお、K3のタイミングのずれは老朽化によるサイラトロン劣化によって生じていると判断し、冬の停止期間中に新規のサイラトロンと交換した。12月8日18:13に発生したビームダンプは、BL-12基幹チャンネル部に設置している光モニターを冷却している冷却水漏れによるものであった。地下機械室で水漏れを発見し、直ちにビームを落として、冷却水を遮断、除水作業、周辺機器等の確認、故障したと思われる機器の交換を行い、22:33運転を再開した。冷却水漏れは、冷却水供給側のシンフレックスチューブ抜けにより発生したが、抜けの原因は締め付け不良が原因と思われる。今後同様な事象が起こらないよう、継ぎ手取り付け時のチェックの徹底などの再発防止対策を検討し、冬の停止期間に、冷却水配管の入口と出口側両方にインターロック付き流量計を追加し、冷却水量が低下するとインターロックが動作してチャンネルダンプとなるような対策を施した。12月16日9:22 RF A2空洞の反射によるインターロックが働 き、RFがダウンしてビームダンプに

至る事象があった。直ちに調査を行ったが、装置等には異常が確認されなかったため、RFの立ち上げを行い、10:38にユーザー運転を再開した。その後同様のトラブルは発生しなかった。12月20日9:00から12月22日9:00までの2日間は、入射器スタディのためボーナス運転として連続入射を中断、一日3回のビーム入射でユーザー運転を実施した。以上のトラブル以外は概ねユーザー運転は順調で、予定通り12月22日9:00にリングの機器を停止して、冬の停止期間に入った。

図2に、PF-ARにおける11月2日9:00～12月22日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。11月24日9:00までビームエネルギー5.0 GeV、その後24日、25日の2日間でビームエネルギーを6.5 GeVに切り替える調整を行い、12月22日9:00の運転停止まで6.5 GeVでのユーザー運転を実施した。

以下はPF-ARにおける故障等のトラブルについての報告である。11月20日17:25にビームダンプが発生した。

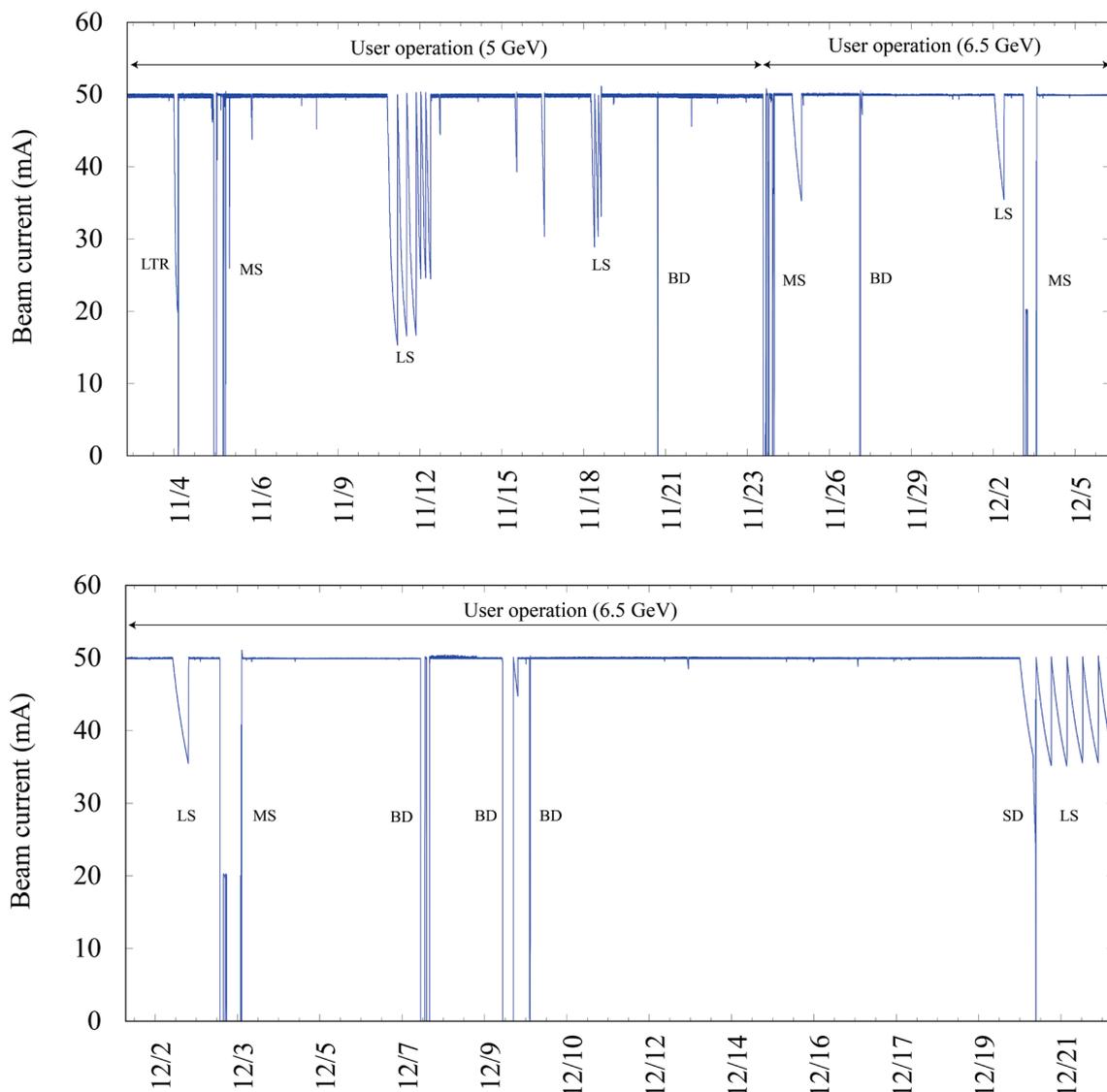


図2 PF-ARにおける11月2日9:00～12月22日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LTRは入射器故障による中断、LSは入射器マシン調整日、MSはリングマシン調整日、BDはビームダンプ、SDは寿命急落による再入射を示す。

しかし、ビームダンプを引き起こすような装置等の故障は確認されず、再入射も可能であったことからすぐに運転を再開した。その後、同様のビームダンプは発生しなかった。11月27日 アンジュレータ NE3 下流のゲートバルブの開閉コントロール用電磁弁から圧空漏れがあることが判明した。対策のため 17:00-18:00 に運転を中断して、入域して作業を実施した。電磁弁の予備がないので、電磁弁をバイパスするように圧空配管を変更し、このゲートバルブを強制的に開の状態とし、運転を再開した。電磁弁の交換作業は、冬の停止期間中に実施した。12月7日 15:23 RF の HOM 温度スイッチが作動してビームダンプとなった。調査を行い、動作の疑わしいスイッチを交換したものの、18:28 に再発した。そのため再調査を実施して、不具合のあるスイッチを見つけ出して、交換することにより復旧、再発は止まった。12月9日 9:12 偏向電磁石電源の不具合箇所調査点検中に、電源盤の扉を開けたところ、インターロックが作動して電源が停止、ビームダンプとなった。通常は、電源の確認がしやすいように扉の開閉にはインターロックを掛けず、鍵管理をしているのだが、今回の点検箇所である高電圧受電盤はインターロックに入れていたことを失念したことにより発生したものであった。点検はメーカーから調査依頼を受けて行ったものであり、緊急性が高いと判断して実施した。今後は同様なことが起こらないよう注意を喚起することとした。また、この日は入射器メンテナンス日であったため直ちに入射することはできなかったが、入射器スタッフの尽力により 14:51 に入射、ユーザー運転再開となった。同日 23:01 突然のビームダンプ発生事象があった。電磁石電源等の異常は確認されなかった。因果関係は不明であるが、電磁石冷却水の温度調整用ファンのスイッチを入れたタイミングで発生した。すぐに再入射を行い、23:28 に復旧した。PF リングと同様に、PF-AR も 12月20日 9:00 から 12月22日 9:00 までの2日間はボーナス運転を実施し、予定通り 12月22日 9:00 にリングの機器を停止して、冬期の停止期間に入った。

2019年4月の組織改編で、放射光実験施設が再誕生してから2年が経過しようとしています。これまで、『放射光実験施設の現状』では、放射光実験施設内に設置された運営部門、基盤技術部門、測定装置部門の概要と構成メンバーの紹介をしてきました。今回は、組織としての放射光実験施設の機能を維持・向上させるための課題と方策について、実験施設長として考えていることを説明させていただきます。皆さまからのご助言やご意見をお待ちしております。

第一の課題は、運営部門と測定装置部門の人員体制です。組織改編の際の人事異動により、基盤技術部門の人員体制については強化することができましたが、残りの2部門については不十分な状況になっています。運営部門については、もともとビームラインで活動していた研究者が担当しており、大型学術施設としての機能向上とその先にある将来計画の実現に向けて、専門的な知見に基づいて活動する研究者がいないという問題があります。測定装置部門については、10の測定手法グループの約半数に部門のメンバーが存在しないという問題があります。放射光実験施設の他部門や放射光科学第一・第二研究系に所属するビームライン担当者と連携して活動していますが、測定装置部門を十分に機能させるためには、全てのグループに部門のメンバーが必要です。

第二の課題は、定年退職への対応です。放射光実験施設を長期にわたって牽引してきた世代の教員・技術職員の定年退職が、この10年以内に、一気に進みます。この問題は、特に、運営部門と基盤技術部門で深刻です。運営部門では、一般的な意味での研究とは異なる仕事を中心ですので、誰でも担当できるというものではありません。基盤技術部門では、中堅といえる世代の技術職員が極めて少ない年齢構成になっており、経験に応じた役割の分担が難しい状況です。

これらの課題を解決するためには、当然ですが、人員を補強する以外にありません。定員削減の問題もあって厳しい状況ですが、放射光科学第一・第二研究系との役割分担に関する議論が進み、空きポストを放射光実験施設で有効に活用する方針になっています。また、PFプロジェクト経費などを財源として、特別教員や特別技術専門職を雇用することを検討しています。安定な財源でないため、長期的な雇用には不向きですが、定年で空くポストを想定しながら、若手の特別助教（テニュアトラック助教）や中堅の特別技術専門職などの人事を進めることを想定しています。

PFプロジェクト経費の減少が10年ほど続いてきましたが、2021年度に向けての明るいニュースとして、プロジェクト経費の約10%の回復と機構内予算配分における入射器や機構共通設備への負担の減額を報告したいと思いま

す。この数年は、最低限の運転時間に必要な光熱水費を確保することが最優先でしたので、プロジェクト経費を人員体制の強化にあてることは、検討さえもできない状況でした。このタイミングで定員内・外の積極的な人事を行うことにより、負のスパイラルを脱して、上昇流を確実にとらえることが重要と考えています。

運転・共同利用関係

2020年度第3期の運転ですが、PFは2月15日に、PF-ARは2月17日に、それぞれ運転を開始する予定になっています。新型コロナウイルス感染症拡大への対応として、第1期の運転が限定的であったことから、第3期は4月1日まで運転を継続します。PFのハイブリッドモードは3月15日から最後までのご予定です。PF-ARは5GeVで運転を開始して、3月10日以降を6.5GeVで運転します。新型コロナウイルス感染症拡大への対策の徹底にご協力をお願いします。なお、2021年度第1期の運転は、PFは5月6日から、PF-ARは5月13日から、ともに7月5日までの予定です。

1月19日には、PF-PACがWeb会議方式で開催され、課題の評点と採否が審議されました。また、委員の任期と定員について、PF-PACの規程の改正が承認され、2021年度からの次期委員会から適用されることになりました。詳細については、本誌記事をご参照ください。

第38回PFシンポジウムは、3月11日にWeb会議方式での開催を予定しています。積極的なご参加をお願いいたします。

はじめに

2021年最初の記事は、放射光科学第二研究系の担当です。今回は、生体高分子の結晶構造解析用ビームライン(BL)で進んでいる自動化に関する話です。生体高分子の結晶構造解析用のBLでは、リモート測定や全自動測定などが進んでいるため、施設を訪れなくてもサンプルさえ用意できれば通常と変わらないデータ収集が可能ですが、考えるべきことも多くあります。

生体高分子用結晶構造解析用ビームラインの自動化

生体高分子結晶構造解析用のBLは、他のBLとは随分と様子が違ってきます。例外を除けば、全てのユーザーの実験手法はほぼ同一で、異なるサンプルを持ったユーザーが次々とやってくるBLです。こういう状況ですと、実験操作はルーチンワークとなり自動化への要求は高まります。企業ユーザーが多いのも特徴の一つです。限られた人数で大量のデータを収集して自社の開発研究に活かす必要があり、なるべく時間を有効に使いたいという企業からの要求は強く、企業からの遠隔化や自動化を望む声は自動化を達成する重要なドライビングフォースであったと思います。この様な状況を反映して、PFの生体高分子結晶構造解析BLでは早くから自動化、リモート化が進んでいました。現在、測定条件の細かい最適化はできませんが、ルーチン測定的なものに関しては全自動測定が可能です。

さて、この様にして進歩してきた自動測定とリモート測定ですが、色々なメリット、デメリットがあります。まずメリットですが、なにより時間の節約になることです。リモート測定であれば移動時間も無くなりますし、全自動測定であれば実験に立ちあう時間はゼロですから測定の時間を気にする必要もありません。短時間ではヒトの作業の方が早いかもしれませんが、機械は休まず実験しますので長時間の作業であれば機械の方が効率は高くなります。特にタンパク質と結合する化合物のスクリーニングの場合には、全自動測定の威力は絶大です。また、測定に使っていた時間を有効に使って研究の幅を広げることができるのは素晴らしいことで、まさに進歩と言えると思います。一般の結晶であれば、得られる回折データの質も人が作業した場合となんら変わるところはありません。

一方、デメリットもあります。機械ですのでソフトウェアも含めエラーはつきものです。しかも、機械は人と違って自分でエラーを直すことができません。自動測定は本格化して間もないのでエラーが起きると「やっぱり全自動はだめだよ」となりがちです。このような気持ちはよく分かりますし、エラーが起きない様に我々も努力を続けますが、エラーの報告は開発に大きな貢献をするということをご理解頂き、広い心で積極的な利用をお願いしたいと思

ます(尚、エラーが起きて測定ができなかった場合は、補償のビームタイムが与えられます)。もう一点重要なことは、自動化が進むことで開発側とユーザー側との間に知識の溝ができることです。生体高分子結晶構造解析BLユーザーの皆さんは一般には構造生物学が専門ということになりますが、以前はそれが結晶学、NMR、電子顕微鏡などの確固たる知識があるということの意味していたと思います。しかし、現在それが揺らいでいます。もちろん、開発する我々はそのような知識がなくても利用できるようにと思って開発するので、まさに目的を達成しつつある状況とも言えますが、話はそう単純ではありません。まず、ビームラインやソフトウェアの開発は将来的にも続いていくので、そのような開発ができる人材を育てることが難しくなります。さらに、発表される構造データの質の向上を考えれば、最低限の知識は必要です。しかも測定が高度化することで最低限の知識が増える傾向にあります。このような事態は構造解析が一般化した以上ある程度はしかたがないのですが、それでもやはりという部分はあります。この問題は、今に始まったわけでもなく多くの人が懸念を抱いていますが、解決できていません。生体高分子の結晶構造解析分野において、自動化は世界的な流れであって止まることはありません。知識の話をするとは昔は良かった的な話が出がちですが、この状況はタンパク質の結晶構造解析が産業界も含め幅広く利用されるようになったことの帰結です。真に必要な知識は何かを考えてより良い教育を考えていく必要があります。

また、自動測定は途中で人の判断が入りませんので、これまでの実験のやり方に変更を迫ることもあります。例えば、新しく結晶化したサンプルの予備的データの測定や、抗凍結剤の検討方法など、これまでOn siteでやるのが普通だった実験はそのやり方や実験スケジュールを自動測定に合うように最適化していくことも必要です。今後さらに自動測定が広まることで、ユーザーの側だけでなくビームタイム配分の方法など利用制度も含め影響が出てくると思いますが、より良い測定を行うことで大きな成果が出るように、更なる開発をユーザーの皆様との対話を持ちつつ続けていきたいと思

人事異動

Paul Scherrer Instituteのビームラインサイエンティスト、OLIERIC Vincentさんが長期招聘研究員として構造生物学研究センターに加わりました。KEKに今年の11月まで滞在予定です。

硬X線吸収分光法によるレアアース Yb 化合物の混合原子価状態の解明

安齋太陽¹, 岩住俊明¹, 佐藤仁², 松本圭介³, 平岡耕一³

¹大阪府立大学 大学院工学研究科, ²広島大学放射光科学研究センター, ³愛媛大学 大学院理工学研究科

Mixed-valence states of rare earth Yb-compounds revealed by hard x-ray absorption spectroscopy

Hiroaki ANZAI¹, Toshiaki IWAZUMI¹, Hitoshi SATO², Keisuke T. MATSUMOTO³, Koichi HIRAOKA³

¹Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University, ²Hiroshima Synchrotron Radiation Center,

³Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

Abstract

レアアース Yb 化合物の価数転移現象において、伝導電子と 4f 電子の相互作用 (*c-f* 混成) がどのように寄与しているか議論されてきた。我々は常温常圧で同じ結晶構造をもち、近藤温度を大きく変えることができる YbXCu₄ (*X* = Mg, Cd, In, Sn) の混合原子価状態に着目し、硬 X 線を用いた吸収分光実験を行なった。Yb L_{III} 吸収端のエネルギー、Yb の価数、混成の強さを表す近藤温度の物質依存性から、フェルミ準位の状態密度の増大が価数転移現象を引き起こす要因の一つであることが判明した。

1. 背景

イオンの原子価 (価数) は物質の特性を表す指標の一つであり、その値は物質を構成する元素の電子状態により変化する。高校化学において価数は整数で扱う。例えば、水溶液や固体中の Ag は、電子を一つ放出して安定な 1 価 (Ag⁺) の陽イオンになる。一方、レアアースの Yb では、電子を二つ放出する 2 価 (Yb²⁺) と三つ放出する 3 価 (Yb³⁺) のイオンが固体中に存在し、価数を平均すると非整数になる。このように同一の元素が異なる価数になることを混合原子価状態という。Yb²⁺ と Yb³⁺ のエネルギー差は小さく、温度や圧力などの外的要因で平均価数を変える特徴がある。

Yb を含む化合物において、YbInCu₄ の物性が古くから注目されてきた。この物質の Yb イオンは、室温ではほぼ 3 価であるが、温度 42 K に冷やすと 3 価の一部が突然 2 価に置き換わり、価数を平均すると約 2.8 価になる。価数が急に变化する現象は価数転移と呼ばれており、YbInCu₄ では転移温度 $T_V = 42$ K を境に格子定数、電気抵抗、磁化率などの物性が不連続に変化する [1,2]。Yb の 4f¹⁴ 状態 (2 価) と 4f¹³ 状態 (3 価) の間で一次の相転移が起きている。その仕組みを解き明かそうと数多くの研究が行われてきた。

通常、レアアース化合物の電子状態は、あちこち動き回る遍歴的な伝導電子と、原子核の近くにくっついて動きにくい局在的な 4f 電子が、量子力学的に混ざり合った *c-f* 混成という状態にある。YbInCu₄ では、混成の強さを表す近藤温度 T_K が高温相で $T_K \sim 25$ K、低温相で $T_K \sim 400$ K と評価されている [3]。転移温度の前後で T_K の値が変わる

ことから、価数転移の発現に *c-f* 混成が関係すると考えられている [1,2,3]。これまでの研究から、YbInCu₄ のフェルミ準位の近傍に状態密度の低い領域 (擬ギャップ) があると判明した [4]。放射光を用いた光電子分光実験で内殻 Cu 2p_{3/2} 準位が調べられ、伝導電子バンドのエネルギー移動が確認された [5,6]。その他の実験でも、低温相で擬ギャップがフェルミ準位から遠ざかる描像が提案されている [7]。これらの結果について、*c-f* 混成と合わせて包括的に理解する必要がある。

2. 本研究の特色

研究目的を達成するために、我々は YbXCu₄ (*X* = Mg, Cd, In, Sn) の電子状態に着目した。この試料を用いる利点は二つある。一つ目は、近藤温度を大きく変えられる点である。YbXCu₄ は共通して Fig. 1(a) に示すような AuBe₃ 型の結晶構造をもつ。元素 *X* に応じて近藤温度を変える特徴があり、 $T_K = 1.29T_0$ という Wilson の式を用いて算出した近藤温度は、*X* = Mg では $T_K \sim 1109$ K、*X* = Cd では $T_K \sim 287$ K となる [8,9,10]。ここで T_0 は、温度 0 K の磁化率で算出される特性温度のことである [10]。近藤温度が大きく変わると、*c-f* 混成に起因する電子構造の変容を識別しやすくなる。二つ目は、これらの物質の中で *X* = In だけが価数転移現象を示す点である [8,9]。第 5 周期に位置する Cd, In, Sn の外殻の電子配置はそれぞれ 5s²5p⁰, 5s²5p¹, 5s²5p² となり、元素 *X* の 5p 電子数が価数転移の発現に関与している可能性がある。このことについて、電子状態の物質依存性を検証していく必要がある。

我々の研究グループでは、電子の状態を調べる実験手法の一つとして硬X線を用いたX線吸収分光実験（XAS: X-ray Absorption Spectroscopy）を行なっている。XASは内殻電子の非占有軌道への双極子遷移を原理にしている。吸収端のエネルギーは元素ごとに異なり、原子価の混合状態に応じて吸収強度が変化する。物質に特有のスペクトルが得られることから、XASは元素の化学結合や配位構造の分析に用いられている。これまでに、 $X = \text{In}$ に対するXAS実験が数多く行われ、 $\text{Yb } L_{\text{III}}$ 端の吸収スペクトルから Yb^{2+} と Yb^{3+} の混合状態が評価されてきた [2,8,11,12]。一方、 $X = \text{Mg}, \text{Cd}, \text{Sn}$ のXAS実験はほとんど行われていない。また $X = \text{Sn}$ では、格子定数や磁化率、近藤温度などの物性量が未報告のままであった。本稿では、我々が最近報告した YbXCu_4 に対するXAS実験の成果について解説する [13]。

YbXCu_4 ($X = \text{Mg}, \text{Cd}, \text{In}, \text{Sn}$) の単結晶試料は、フラックス法により作成した [14,15]。参照試料となる Yb_2O_3 と Cu_2O は市販のものを使用した。粉末X線回折実験は温度 300 K で行った。最小二乗法により回折ピークの位置を評価し、その結果をもとに格子定数を算出した。磁化率は超伝導量子干渉計を用いて測定した。硬X線を使用したXAS実験はPhoton FactoryのBL-7Cで行なった。XASスペクトルはイオンチャンバーを用いた透過法により取得し、測定温度は全て 300 K である。エネルギー分解能は $\text{Yb } L_{\text{III}}$ 端付近で約 1 eV と評価された。吸収スペクトルのエネルギーは、CuのK端で観測される pre-edge ピークのエネルギーを用いて校正した。

3. 基礎物性の評価

Fig. 1(b) に、温度 300 K で測定した YbSnCu_4 のX線回折パターンを示す。回折ピークの位置と強度から $X = \text{Sn}$ の結晶構造は立方晶 AuBe_3 型であると判明した。これにより、本研究で扱う4種類の試料は温度 300 K で同じ結晶構造を持つことが確かめられた。格子定数は、リートベルト解析により $a = 7.123 \text{ \AA}$ と評価された。Fig. 1(c) に $X = \text{Sn}$ の磁化率の温度依存性を示す。磁化率は温度の減少とともに上昇し、温度 40 K 付近で緩やかなピークを形成する。その後、磁化率は $T < 20 \text{ K}$ でわずかに上昇する。磁化率の温度依存性に現れるピークは、混合原子価状態の特徴とされている [8,9]。低温域で磁化率が再び上昇したのは、試料に混入した不純物の影響であると考えられる。その度合いは、1999年に Sarrao らが報告した試料不純物の影響に比べて十分に小さい [8]。

磁化率の温度依存性 $\chi(T)$ を $\chi(0)$ で割り算した $\chi(T)/\chi(0)$ は、 T/T_0 に対して普遍的な振る舞いを示す [10]。また、特性温度 T_0 は Wilson の式を通じて近藤温度 T_K に関連づけられている [8,10]。本研究では $\chi(0)$ を正しく評価できないため、低温域の磁化率の最小値 $\chi(25) \sim 8.45 \times 10^{-3} \text{ emu/mol}$ を $\chi(0)$ として採用し、 YbSnCu_4 の近藤温度を $T_K = 503 \text{ K}$ と評価した。

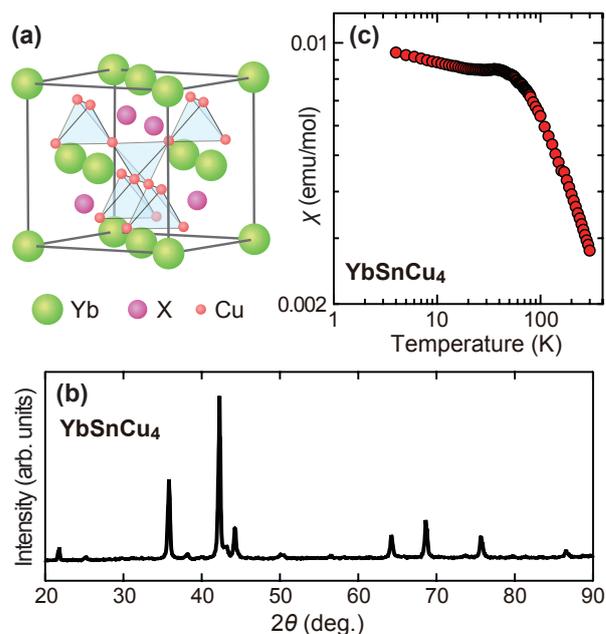


Figure 1 (a) Schematic crystal structure of YbXCu_4 with AuBe_3 -type cubic lattice. (b) The x-ray diffraction pattern of the single crystal YbSnCu_4 at $T = 300 \text{ K}$. The diffraction lines are indexed on the basis of the AuBe_3 -type cubic structure with a lattice constant $a = 7.123 \text{ \AA}$. (c) Magnetic susceptibility $\chi(T)$ of YbSnCu_4 in a magnetic field of 10 kOe. The data are plotted on logarithmic scales.

4. XAS スペクトルの物質依存性

Fig. 2(a) は、温度 300 K で測定した $\text{Yb } L_{\text{III}}$ 端の XAS スペクトルである。この吸収端は、Ybの内殻 $2p_{3/2}$ 軌道から非占有帯に位置する $\text{Yb } 5d$ 軌道への双極子遷移に由来す

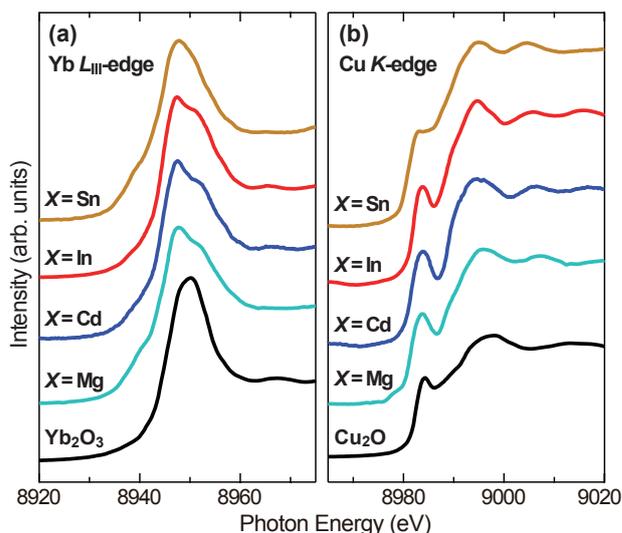


Figure 2 XAS spectra of YbXCu_4 ($X = \text{Mg}, \text{Cd}, \text{In}, \text{and Sn}$) measured at $T = 300 \text{ K}$. The original data for $X = \text{Cd}$ and In is reported in Ref. 16. (a) The XAS spectra at $\text{Yb } L_{\text{III}}$ edge. The spectra of Yb_2O_3 are also shown as a reference for the $4f^{13}$ electron configuration of Yb ions. (b) The spectra at the Cu K edge, together with the spectra of Cu_2O as a reference material for the $3d^{10}$ electron configurations.

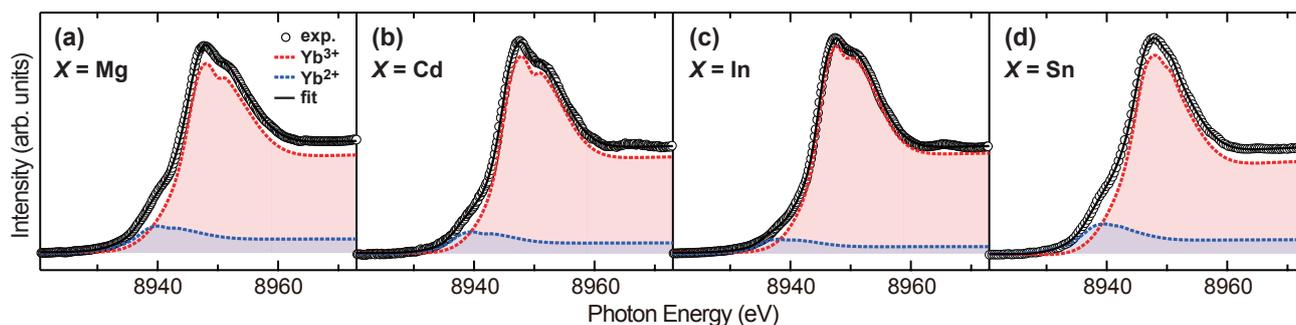


Figure 3 Fitting results for the Yb L_{III} XAS spectra of $YbXCu_4$. Figures are arranged from left to right in order of increasing electron number of X atoms: (a) $X = Mg$, (b) $X = Cd$, (c) $X = In$, and (d) $X = Sn$. Open circles are the Yb L_{III} XAS spectra from the same data set as in Fig. 2(a). The black curves represent the results of the fitting analysis. The contributions of the Yb^{2+} and Yb^{3+} components are shown by the dashed blue and red lines, respectively.

る。Fig. 2(a) では、 $X = Mg$ と Sn の結果をすでに得られていた $X = Cd$ と In の結果と並べて表示している [16]。鋭い吸収ピークが $h\nu \sim 8950$ eV に共通して観測された。 Yb^{3+} の参照物質となる Yb_2O_3 でも観測されているため、このピークは Yb^{3+} に帰属される。詳しく見ると、 $YbXCu_4$ の Yb^{3+} ピークは 8947 eV と 8952 eV に分裂している。理論計算から、この分裂は Yb 5d 軌道のエネルギー分裂に起因すると報告された [17]。 Yb^{3+} ピークの低エネルギー側に注目すると、肩構造が $h\nu \sim 8940$ eV に位置している。この構造は Yb^{2+} の L_{III} 吸収端に割り当てられる [2,8,11,12]。吸収スペクトルが Yb^{2+} と Yb^{3+} の二つで構成されることから、 $YbXCu_4$ は混合原子価状態にあると判断される。特筆すべき点は、肩構造の強度が元素 X に応じて変化することである。原子価の混合状態に物質依存性があることを示唆している。

Fig. 2(b) に、Cu K 端の XAS スペクトルを示す。電子配置 $3d^{10}$ の参照物質として Cu_2O のスペクトルも表示している。大きな吸収ピークが $h\nu \sim 8995$ eV に、小さな pre-edge ピークが $h\nu \sim 8984$ eV に観測された。ピークのエネルギーや形状が Cu_2O のものと一致することから、Cu サイトの電子は $3d^{10}$ の閉殻になっていると判断される。この結果は、内殻 Cu $2p$ 光電子スペクトルにサテライトピークが観測されない事実と整合する [5,6]。以上の結果から、Cu サイトの電子は Yb サイトの電子に比べて元素 X の変化に鈍感であるといえる。

吸収ピークのエネルギーと強度を定量的に評価するために、Yb L_{III} 端スペクトルのフィッティング解析を行った。 Yb^{3+} のピークが分裂していることから、 Yb^{2+} と Yb^{3+} のそれぞれに二つのローレンツ関数を当てはめて解析した。その際、ピークの分裂幅、ピークの強度比、ピーク幅の比率を Yb^{2+} と Yb^{3+} で同一にした。高エネルギー側に広がるインコヒーレントな吸収強度は逆正接関数を用いて再現した。このようなフィッティング関数は、多くの先行研究で採用されている [2,8,11]。得られた結果を Fig. 3(a)-3(d) に示す。黒色の太線で示したフィッティング結果が実験スペクトルを良く再現している。評価した Yb^{3+} ピークのエネルギーを Fig. 4(a) に、 Yb^{3+} ピークと Cu の pre-edge ピークのエネルギー差を Fig. 4(b) に示す。横軸は、左から順に

元素 X の電子数が増えるように並べた。 $X = In$ の Yb^{3+} ピークが最も低いエネルギーに位置している。それに比べて $X = Mg, Cd, Sn$ のピークは、それぞれ ~ 0.76 eV, ~ 0.31 eV, ~ 0.67 eV だけ高いエネルギーに位置していた。

Yb^{2+} と Yb^{3+} の吸収ピークの積分強度をそれぞれ I_2 と I_3 とすると、Yb の価数 z は数式 $z = 2 + [I_3 / (I_2 + I_3)]$ を用いて評価することができる [2,11]。この方法で得られた価数 z を Willson の式を用いて算出した近藤温度 T_K の値とともに Fig. 4(c) に示す [3,8]。価数は $X = Mg, Cd, In$ の順に増加し、 $X = Sn$ で減少する。それぞれ個別に検証すると、 $X = In$ と Sn おけるに価数は過去の XAS 実験や光電子分光実験で評

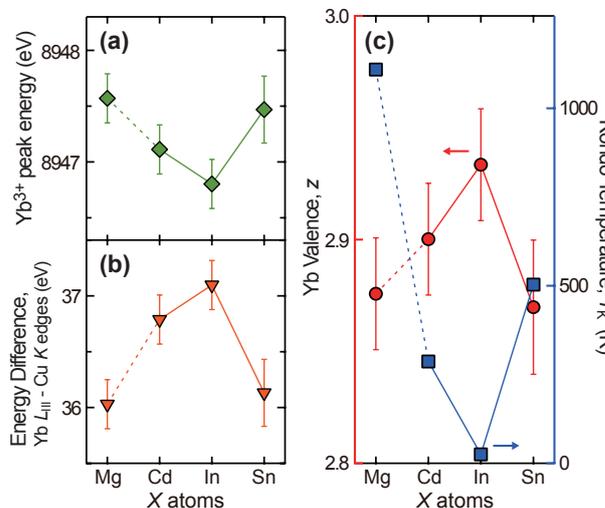


Figure 4 Parameters extracted from the fitting analysis. The horizontal axis is arranged from left to right in order of increasing electron number of X atoms. (a) The energy of the Yb^{3+} absorption peak. (b) The energy difference between the Yb^{3+} peak and the pre-edge Cu peak. (c) X dependence of the Yb valence z at $T = 300$ K shown by red circles on left axis. The Kondo temperature T_K is also plotted by blue squares on the right axis. For $X = Mg$ and Cd , T_K is calculated from the Wilson's formula, $T_K = 1.29T_0$, using the characteristic temperature T_0 reported in Ref. 8. For $X = In$, we adopted the Kondo temperature in the high-temperature phase [3]. The data for $X = Sn$ originates from the magnetic susceptibility in Fig. 1(c). The error bars in Figs. 4 stem from the broadness of the absorption peaks.

値に一致する [2,6,11,12]。一方, $X = \text{Mg}$ と Cd における価数は Sarrao らが報告した値に整合しない [8]。この先行研究で示された磁化率は低温域 $T < 20 \text{ K}$ で急上昇しており, 試料に混入した不純物の影響が強く現れている。ここで Fig. 4 に注目すると, 本研究でそれぞれ独立に評価した Yb^{3+} のエネルギー, Yb 価数, 近藤温度が連動した X 依存性を示している。そのため, 本研究で得られた結果が物性の本質を捉えている可能性は高いといえる。

5. フェルミ準位近傍の擬ギャップ

価数と近藤温度の X 依存性は, 擬ギャップとフェルミ準位の位置関係で理解することができる。Fig. 5 に, Figueroa らがホール係数の測定で見出した YbXCu_4 の状態密度を模式的に示している [4]。 $X = \text{In}$ の高温相のフェルミ準位は擬ギャップに位置することが知られている [4,7]。この半金属のような状態は, $4f$ 軌道間を媒介する伝導電子の少ない状態といえる。伝導電子は $4f$ 電子と相互作用することができず $T_k \sim 25 \text{ K}$ という混成の弱い状態となり, その結果として Yb 価数はほぼ 3 価に停滞することになる。一方, $X = \text{Mg}$ と Cd にはフェルミ準位に金属的な状態密度があり, 伝導電子は $4f$ 電子と十分に相互作用することができる [4]。そのため, 近藤温度が高く, 混成の強い状態が実現し, 混合原子価状態が促進することになる。

このような状態密度の X 依存性は, 固定バンド描像で説明できる。理論計算から, 元素 X を変えても $4f$ 電子以外のバンド構造や状態密度はほぼ変化せず, フェルミ準位の位置が移動すると予想された [17,18]。擬ギャップは $0.5 \sim 1 \text{ eV}$ と評価されており, その大きさは Fig. 4(a) に示した Yb^{3+} ピークの移動量に一致する [4,7]。つまり, 元素 X の $5p$ 電子数の増加は, フェルミ準位が金属的な状態密度か

ら離れて擬ギャップ領域へ移動する要因になっており, その様子が $\text{Yb } L_{III}$ 端の双極子遷移を介して観測されたと考えられる。 $\text{Yb } L_{III}$ 端の XAS スペクトルは主に $\text{Yb } 5d$ 軌道の電子状態を反映しているため, $\text{Yb } 5d$ 軌道が価数転移現象に重要な役割を果たしていると推察される。実際, 最近行われた $X = \text{In}$ に対する共鳴非弾性 X 線散乱実験から, $\text{Yb } 5d$ 軌道のバンドが T_V の前後で変調し, 低温相で金属的な状態密度を回復すると報告された [7]。この温度依存性は, 我々が Fig. 4 で X 依存性を解釈した内容に矛盾しない。 $\text{Yb } 5d$ 軌道の固定バンド的なエネルギー移動が c - f 混成の強さを変える引き金になっていると考えられる。

一方, 固定バンド描像だけでは Yb^{3+} ピークの非単調なエネルギー移動を説明できない。同様の指摘は, 光電子分光実験でもなされている [5,6]。一つの要因として, 重い電子として繰り込まれたバンドが $\text{Yb } 5d$ 軌道の状態密度を部分的にピン留めし, 伝導電子バンドのエネルギー移動を妨げている可能性がある。また, YbInCu_4 が示す構造相転移はバンドの再構成をもたらし, c - f 混成するバンドの波数とエネルギーを変える要因になる [19,20,21]。価数転移の発現機構には, これらの事象を矛盾なく取り入れていく必要がある。今後, 角度分解光電子分光実験などでフェルミ準位近傍のバンド分散を観測し, 温度依存性や物質依存性を明らかにすることが重要になるだろう。

6. 謝辞

本研究における実験は, 放射光施設 Photon Factory の共同利用実験課題 (課題番号: 2016G675, 2018G582) のもと BL-7C で行いました。本研究に協力してくれた大学院生の石原涼奈 (大阪府大), 塩野広人 (大阪府大), 森川浩平 (大阪府大), 莊涛 (愛媛大) にお礼を申し上げます。

引用文献

- [1] I. Felner and I. Nowik, Phys. Rev. B **33**, 617 (1986).
- [2] I. Felner, I. Nowik, D. Vaknin, U. Potzel, J. Moser, G. M. Kalvius, G. Wortmann, G. Schmiester, G. Hilscher, E. Gratz, C. Schmitzer, N. Pillmayr, K. G. Prasad, H. de Waard, and H. Pinto, Phys. Rev. B **35**, 6956 (1987).
- [3] J. M. Lawrence, S. M. Shapiro, J. L. Sarrao, and Z. Fisk, Phys. Rev. B **55**, 14467 (1997).
- [4] E. Figueroa, J. M. Lawrence, J. L. Sarrao, Z. Fisk, M. F. Hundley, and J. D. Thompson, Solid State Commun. **106**, 347 (1998).
- [5] Y. Utsumi, H. Sato, H. Kurihara, H. Maso, K. Hiraoka, K. Kojima, K. Tobimatsu, T. Ohkochi, S. Fujimori, Y. Takeda, Y. Saitoh, K. Mimura, S. Ueda, Y. Yamashita, H. Yoshikawa, K. Kobayashi, T. Oguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi, Phys. Rev. B **84**, 115143 (2011).
- [6] Y. Utsumi, H. Sato, K. Tobimatsu, H. Maso, K. Hiraoka, K. Kojima, K. Mimura, S. Ueda, Y. Yamashita, H. Yoshikawa, K. Kobayashi, K. Shimada, H. Namatame,

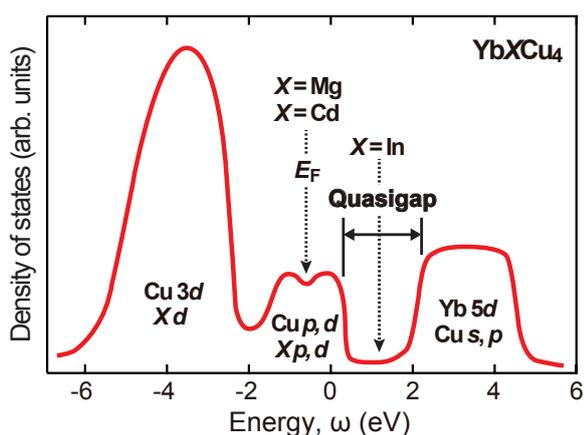


Figure 5 Schematic figure of the non- $4f$ density of states for YbXCu_4 . The figure is adapted from the data in Ref. 4. With increasing number of electrons in X atom, the Fermi level moves from the low energy side to the high energy side of the double peak around $\omega = -1 \text{ eV}$. For $X = \text{Mg}$ and Cd , the Fermi level lies in the metallic density of states. For $X = \text{In}$ in the high temperature state, the Fermi level lines in the low density of states (quasigap) region.

- and M. Taniguchi, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **184**, 203 (2011).
- [7] I. Jarrige, A. Kotani, H. Yamaoka, N. Tsujii, K. Ishii, M. Upton, D. Casa, J. Kim, T. Gog, and J. N. Hancock, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 126401 (2015).
- [8] J. L. Sarrao, C. D. Immer, Z. Fisk, C. H. Booth, E. Figueroa, J. M. Lawrence, R. Modler, A. L. Cornelius, M. F. Hundley, G. H. Kwei, J. D. Thompson, and F. Bridges, *Phys. Rev. B* **59**, 6855 (1999).
- [9] T. Koyama, M. Matsumoto, T. Tanaka, H. Ishida, T. Mito, and S. Wada, *Phys. Rev. B* **66**, 014420 (2002).
- [10] V. T. Rajan, *Phys. Rev. Lett.* **51**, 308 (1983).
- [11] Y. H. Matsuda, T. Inami, K. Ohwada, Y. Murata, H. Nojiri, Y. Murakami, H. Ohta, W. Zhang, and K. Yoshimura, *J. Phys. Soc. Jpn.* **76**, 034702 (2007).
- [12] L. Moreschini, C. Dallera, J. J. Joyce, J. L. Sarrao, E. D. Bauer, V. Fritsch, S. Bobev, E. Carpene, S. Huotari, G. Vankó, G. Monaco, P. Lacovig, G. Panaccione, A. Fondacaro, G. Paolicelli, P. Torelli, and M. Grioni, *Phys. Rev. B* **75**, 035113 (2007).
- [13] H. Anzai, S. Ishihara, H. Shiono, K. Morikawa, T. Iwazumi, H. Sato, T. Zhuang, K. T. Matsumoto, and K. Hiraoka, *Phys. Rev. B* **100**, 245124 (2019).
- [14] K. Hiraoka, K. Kojima, T. Hihara, and T. Shinohara, *J. Magn. Magn. Mater.* **140–144**, 1243 (1995).
- [15] K. Hiraoka, K. Murakami, S. Tomiyoshi, T. Hihara, T. Shinohara, and K. Kojima, *Physica B (Amsterdam)* **281–282**, 173 (2000).
- [16] H. Anzai, S. Ishihara, H. Shiono, K. Mimura, T. Iwazumi, H. Sato, T. Zhuang, K. T. Matsumoto, and K. Hiraoka, *AIP Conf. Proc. No. 2054 (AIP, New York, 2019)*, p.040006.
- [17] V. N. Antonov, M. Galli, F. Marabelli, A. N. Yaresko, A. Ya. Perlov, and E. Bauer, *Phys. Rev. B* **62**, 1742 (2000).
- [18] V. N. Antonov, L. V. Bekenov, and A. N. Yaresko, *Adv. Condens. Matter Phys.* **2011**, 1 (2011).
- [19] S. Tsutsui, K. Sugimoto, R. Tsunoda, Y. Hirose, T. Mito, R. Settai, and M. Mizumaki, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 063602 (2016).
- [20] S. Ishihara, K. Ichiki, K. Abe, T. Matsumoto, K. Mimura, H. Sato, M. Arita, Eike F. Schwier, H. Iwasawa, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, T. Zhuang, K. Hiraoka, and H. Anzai, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **220**, 66 (2017).
- [21] H. Anzai, S. Ishihara, K. Mimura, H. Sato, M. Arita, T. Zhuang, and K. Hiraoka, *Phys. Rev. Research* **2**, 033408 (2020).

(原稿受付日：2020年12月14日)

著者紹介

安齋太陽 Hiroaki ANZAI



大阪府立大学 大学院工学研究科 准教授
〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1
TEL: 072-254-9489
FAX: 072-254-9489
e-mail: anzai@pe.osakafu-u.ac.jp

略歴：2011年 広島大学 大学院理学研究科博士課程修了 博士（理学），2011年-2013年 広島大学放射光科学研究センター 博士研究員，2013年-2018年 大阪府立大学 大学院工学研究科 助教，2018年より現職。
最近の研究：放射光を用いた角度分解光電子分光実験による固体試料の電子状態の研究。

松本圭介 Keisuke T. MATSUMOTO

愛媛大学 大学院理工学研究科 講師

〒790-8577 愛媛県松山市道後樋又10-13

TEL: 089-927-9811

e-mail: matsumoto.keisuke.cv@echeme-u.ac.jp

略歴：2015年 広島大学 大学院先端物質科学研究科博士課程修了，2020年より現職
最近の研究：磁性蓄冷材や磁気冷凍材料，強相関系物質の開発。

動的 X 線エラストグラフィの現状と将来

亀沢知夏¹, 矢代航², 兵藤一行^{1,3}

¹ 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所, ² 東北大学多元物質科学研究所,

³ 総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究所

Present status and future of dynamic X-ray elastography

Chika KAMEZAWA¹, Wataru YASHIRO², Kazuyuki HYODO^{1,3}

¹ Photon Factory, Institute of Materials Structure Science/ KEK,

² Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials (IMRAM), Tohoku University,

³ Department of Materials Structure Science, SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies)

Abstract

病変と硬さには関係があり, 超音波 (US) や磁気共鳴 (MR) イメージングを用いて生体内部の硬さを画像化する手法はエラストグラフィと呼ばれ病院で用いられている。我々は 2017 年から, 病変の診断能向上のため高空間分解能な X 線イメージングに注目し, X 線イメージングを用いたエラストグラフィ (X 線エラストグラフィ) に関する基礎的研究を開始し, 現在病院で用いられている US や MR エラストグラフィよりも空間分解能が数倍程度向上できる可能性を示すことができた。本稿ではこれらの結果と, 将来医学の基礎研究や材料の評価に利用できることを期待し取り組んでいる高輝度放射光源を用いた X 線エラストグラフィについて紹介する。

1. はじめに

がんや肝硬変などの病変部位は正常部位に比べて硬くなるのが広く知られており, 古くから疾患の診断に触診が利用されてきた。Fig. 1 に示すのは, 乳房の弾性率を体内から摘出して測定した結果であり, 正常組織である脂肪や乳腺と比較して, 非浸潤性乳管がんや浸潤性乳管がんは弾性率が高いことがわかる [1]。しかし触診では診断ができる深さや病変部位の空間的広がり診断に限界がある。そこで 1990 年代から生体内部の硬さを画像化するエラストグラフィが超音波 (US) イメージングや核磁気共鳴イメージング (MR) を用いて提案され [2-7], ここ数年で臨床現場でも使用され始めた。これは病変部位が正常部

位と比較して硬くなるということを利用した診断手法であり, 従来は形態変化に注目していたことに対して, 硬さという物理特性に注目している。一方, 現在臨床現場で利用されている US や MR エラストグラフィ装置の空間分解能は数 mm ~ 数百 μm 程度であり, 深部にある小さな病変を診断することには限界がある。エラストグラフィの画像空間分解能が向上することで疾患部位周辺状況を詳細に評価でき, 病変部位の早期発見や疾患の機序解明, 治療に関する知見などを得ることができると期待される。そこで波長が短く透過力が高いため, 高空間分解能かつ深い部位まで画像化が可能な X 線イメージングに着目した。X 線を用いたエラストグラフィの先行研究は, サンプルへ静的な応力を与えてそのときの内部のひずみから硬さを評価した報告があるが, 弾性率マップの取得には至っていない [8-10]。

そこで, 我々は X 線イメージングを用いて弾性率画像を取得できることを実証することを目的として X 線エラストグラフィの研究を推進してきた。臨床に近い実験室 X 線源を用いたイメージングシステムでの X 線エラストグラフィの開発・評価を実施するとともに, 得られる X 線画像の空間分解能, 濃度分解能が高い大輝度放射光 X 線を用いたイメージングシステムにより材料の基礎的な物理特性評価や疾患の機序解明などの基礎医学的知見を獲得することを目的とした放射光 X 線エラストグラフィの開発研究を推進してきた。本稿ではエラストグラフィの原理と実験室 X 線源を用いたエラストグラフィの実験方法と結果 [11-12], 及び放射光 X 線を用いた X 線エラストグラフィの試みについて報告する。

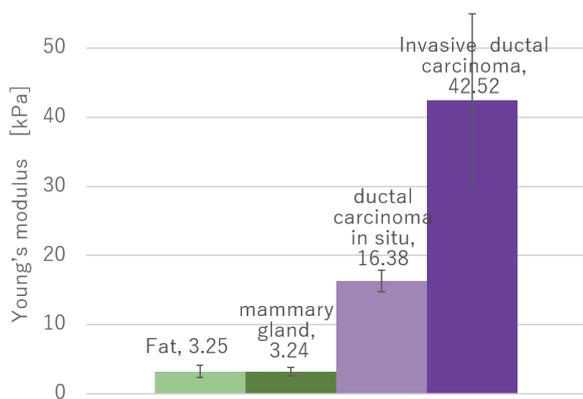


Figure 1 Comparison of Young's modulus between breast cancer and normal tissue.

2. エラストグラフィの原理

現在実現されている US や MR を用いたエラストグラフィはヤング率に関する情報を測定する手法と、ずり弾性率を測定する手法の大きく 2 つに分類することができる。

2-1. 静的エラストグラフィ

静的エラストグラフィとは外部から圧迫し、内部のひずみを観察することにより弾性率を測定する手法である。サンプルへ圧力を与え、内部のひずみを観察する。このときヤング率 (E) は応力 (P) とひずみ (ϵ) から $P=E\epsilon$ と与えられる。しかし、この手法で局所的な弾性率を求め画像化する場合、ひずみを画像から求めることはできるが、内部の応力 P を正確に測定することは困難であるため、ヤング率を求めることは難しい。そのため、定量的な値を求めることを目的とせず、ひずみの形から乳がんの進行状況を評価する方法が臨床の場で広く利用されるようになり、Tsukuba score という画像のひずみの状況から乳がんのステージを段階的に評価する指標が世界的に使用されている [13]。

2-2. 動的エラストグラフィ

動的エラストグラフィとは外部から連続的に振動を与え、サンプル内部にずり弾性波を発生させることにより、ずり (ずれ、剪断) 弾性率を測定する手法である。このときずり弾性率 (μ) は、サンプルの密度 (ρ) とずり弾性波の伝播速度 (v) から $\mu=\rho v^2$ と表すことができるため、ずり弾性波の伝播速度を求めることでずり弾性率を得ることができる。また、振動周波数を f 、ずり弾性波の波長を λ とすると $v=\lambda f$ の関係があるため、ずり弾性波の波長を求めることでずり弾性率を算出することが可能である。さらに生体は、力を加えて伸びが生じ、その後、その力を取り除くと弾性エネルギーにより元の状態に戻るような完全な弾性体ではなく、力を取り除いても元の状態に戻らない粘性の性質も併せ持つ粘弾性体であり、両方の性質を考慮して弾性率は複素弾性率として表される。複素弾性率を G とすると、弾性に関する貯蔵弾性率 G' と粘性に関する損失弾性率 G'' から、 $G=G'+iG''$ と表すことができる。

本研究では、弾性率画像を取得することを目的としているため、動的エラストグラフィを X 線イメージングにより行うことにより、弾性率画像を取得することにした。

3. 実験室 X 線エラストグラフィの実験方法と結果

実験室 X 線源を用いて、二次元面内で弾性率を画像化する動的 X 線エラストグラフィの実験を行った。実験室 X 線源を用いた動的 X 線エラストグラフィの実験配置図を Fig. 2 に示す。将来臨床現場で X 線エラストグラフィを実現するために病院等のレントゲン撮影などで既に普及している実験室 X 線源を利用した。本実験配置はストロボ X 線イメージングと似た配置となっており、タングステン円盤で作製されたチョッパーを用いて、サンプルへ与えた振動の位相と同期して撮影を行った。X 線源は回転陽極 X 線

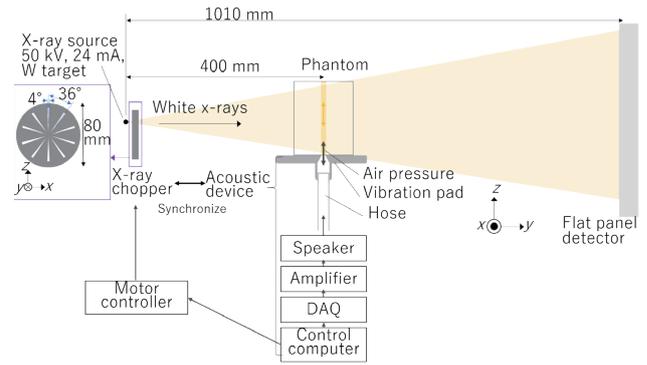


Figure 2 Schematic diagram of experimental setup for dynamical X-ray elastography.

(Rigaku, Ultra X18) をタングステンターゲットで使用し (50 kV, 24 mA), X 線検出器は CMOS フラットパネル検出器 (Dexela, 2923) を使用した。この検出器の画素サイズは $74.8 \mu\text{m} \times 74.8 \mu\text{m}$ であるが、X 線源とサンプル、検出器の位置を考慮して幾何学的に画像の大きさを拡大できる配置で撮影しているため撮影された画像のサンプル位置での画素サイズは $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ となった。また、一枚の弾性率画像を得るのに必要な照射時間は 2.2 秒であった。振動装置で発生させた空気圧を用いてサンプルを振動させた。本実験では 150 Hz の振動周波数を用いて、チョッパーのタイミングと同期させながら、サンプルへ連続的に Fig.2 の z 軸方向へ振動を与え、一枚の弾性率画像を得るためにずり弾性波の位相を 5 箇所 ($0, 2\pi/5, 4\pi/5, 6\pi/5, 8\pi/5$) の異なる X 線投影像を撮影した。

サンプルは、Fig. 3 のように弾性率が異なるように作製したポリアクリルアミドゲルを Phantom A と Phantom B の二種類用意した。Phantom A は一様な弾性率となるように作製し、Phantom B は中央部分の弾性率が高くなるように作製した。また、今回は原理検証のため 2 次元動的 X 線エラストグラフィを吸収コントラストイメージングで実施した。ずり弾性波がサンプル内部を伝播する様子进行评估するために、サンプルの中央の面に X 線吸収画像上で、コントラストを得やすいように ZrO_2 粉末を入れて作製した。こ

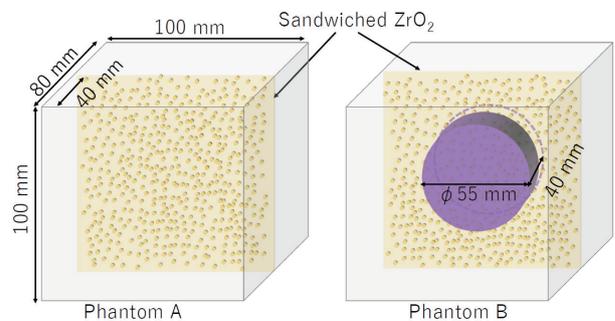


Figure 3 Polyacrylamide gel phantoms sandwiching ZrO_2 particles. Phantom A (Left): 5 w/v % polyacrylamide gel. Phantom B (Right): phantom with 55 mm diameter 6 w/v % polyacrylamide gel embedded in matrix of 5 w/v % polyacrylamide gel.

の粉末は、X線画像解析においてサンプル内のずり弾性波の伝播の様子を評価するときの指標として利用した。

弾性率画像を得るために、得られた5枚のX線投影像からサンプル内部の変位の大きさを計算し、水平方向(x方向)と鉛直方向(z方向)への変位の様子を画像化した。その結果をFig. 4に示す。得られた変位画像から微分方程式直接逆問題法(AIDE) [14]を用いて貯蔵弾性率画像と損失弾性率画像を得た(Fig. 5)。得られた結果から貯蔵弾性率は、(a)-1, (b)-1, 及び(b)-2の四角の領域内ではそれぞれ 0.55 ± 0.26 kPa, 3.1 ± 1.2 kPa, 0.86 ± 0.51 kPaであった。また損失弾性率は(c)-1, (d)-1, 及び(d)-2の四角の領域内ではそれぞれ、 0.24 ± 0.14 kPa, 0.63 ± 0.53 kPa, 0.27 ± 0.19 kPaであった。Phantom Bの貯蔵弾性率画像を見ると、弾性率が高くなるように作製した部分は明らかに高い貯蔵弾性率を示している。また、Phantom Bにおいて、貯蔵弾性率画像とX線投影像のコントラストノイズ比を求めるとそれぞれ2.5と0.35となった。コントラストノイズ比が高いほど、周囲の雑音よりも信号強度が高いことを意味しており、X線投影像では判断することのできない差を、貯蔵弾性率画像では識別することが可能となると考えられる。さらに、貯蔵弾性率画像の空間分解能は75 μ m程度であった。USエラストグラフィでは数百 μ m程度、MRエラストグラフィの空間分解能は数mm~数百 μ m程度であるため、本実験条件でのX線エラストグラフィにおいて、他手法のエラ

ストグラフィに比較して画像の空間分解能を大きく向上できたといえる。

この結果は2次元空間での弾性率画像にとどまっているが、現在は3次元空間で弾性率画像を算出可能な、実験室X線源を用いたX線エラストグラフィの手法の研究も開始している。3次元空間で弾性率の情報を得ることができるようになることで、病変の奥行方向の広がりを正確に診断できるようになると期待する。

4. 放射光X線を用いたエラストグラフィの試み

4-1. 結晶干渉計による位相コントラストイメージングと放射光X線を用いた、高感度動的X線エラストグラフィ

前章で述べた実験結果は吸収コントラストイメージングによりエラストグラフィを行っているため、サンプル内部のずり弾性波の伝播を評価するために、サンプル内部にFig. 3のようにZrO₂粉末を挟み込むことにより振動の指標とすることが必要であった。そこで、ZrO₂粉末のような振動の指標を挟み込むことなくX線エラストグラフィを実現するために、吸収コントラストイメージングではなく位相コントラストイメージングを用いたX線エラストグラフィの手法の検討を開始している。位相コントラストイメージングは吸収コントラストイメージングと比較して、特に軽元素をコントラスト良く撮影することができる手法である。位相コントラストイメージングを用いることで、ZrO₂

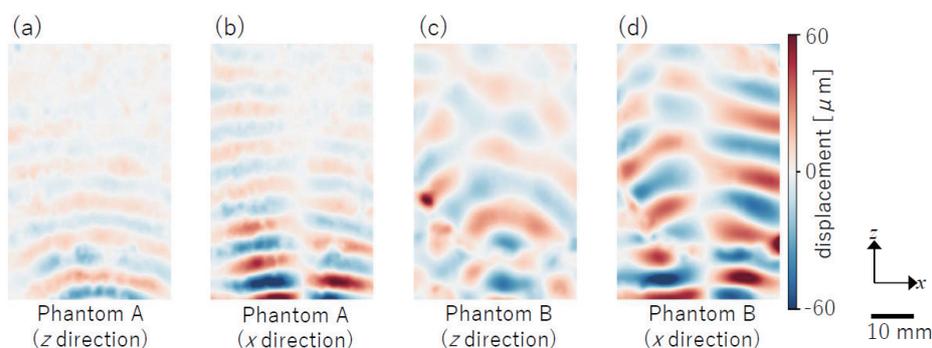


Figure 4 Displacement maps for phantoms A [(a), (b)] and B [(c), (d)] at phase 0 [(a), (c): displacements in vertical direction; (b), (d): displacement in horizontal direction].

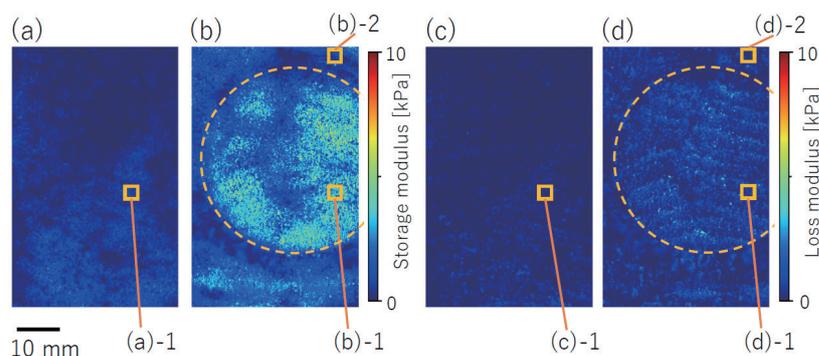


Figure 5 (a), (b) Maps of storage moduli in phantoms A and B, respectively. (c), (d) Maps of loss moduli in phantoms A and B, respectively.

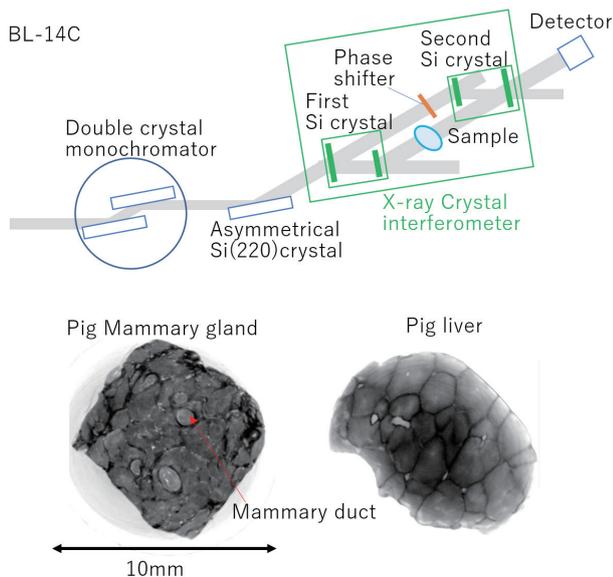


Figure 6 X-ray crystal interferometer and x-ray images of pig mammary gland and pig liver obtained by the crystal interferometer.

粉末を用いずに生体の内部構造を振動の指標としてX線エラストグラフィを実現することが可能となると期待する。

例えば位相コントラストイメージングの中でも、放射光単色X線を用いた結晶干渉計によるX線エラストグラフィの実現を検討している。結晶干渉計 [15] は各種位相コントラストイメージング法のなかでも最もコントラストよく生体の内部構造を画像化することができ、PF NEWSでも成果が報告されている [16-17]。また特に PF BL-14C は縦型ウイグラーを用いた特徴的なビームラインであり [18-19]、PF BL-14C に常設されている結晶干渉計は世界最大のものである。Fig. 6 に実験セットアップと結晶干渉計を用いて得られた画像を示す。サンプルは食肉の豚を用いて撮影を行った。内部構造を鮮明に可視化することができている。結晶干渉計を用いてエラストグラフィを行うことで、サンプル内部に ZrO_2 粉末等を挟み込むことなくサンプル内部をずり弾性波が伝播する様子を可視化することができると期待している。この方法は、特に疾患の機序解明などの基礎医学上の知見の獲得に貢献できると考えている。

4-2. 回折格子干渉計による位相コントラストイメージングと放射光白色X線を用いた、高速動的X線エラストグラフィ

放射光白色X線は実験室X線源と比較して大輝度という特徴があり、この特徴を用いることで高速でエラストグラフィを実現することが期待でき、リアルタイムでサンプル内部の弾性率の時間変化を捉えることが可能となると考え研究を開始している。さらに位相コントラストイメージングの中でも白色X線を利用することが可能な回折格子干渉計 [20-21] を用いることで、生体やサンプル内部の構造を利用したエラストグラフィが実現できると考えている。さらに、回折格子干渉計は一度に吸収像、微分位相

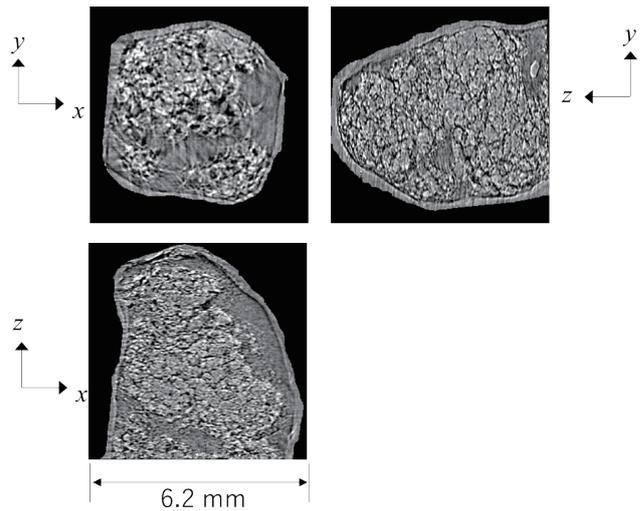


Figure 7 Three orthogonal plane x-ray images of the pig lung obtained by synchrotron radiation white x-rays.

像、Visibility コントラスト像という三種類の異なる内部構造の情報を持つ画像を同時に得ることができる。これらを相補的に用いることで内部の変位を効果的に捉えることができ、ずり弾性波の伝播の様子を可視化することができる。放射光白色X線を用いて、振動を与えながら豚の肺のCT撮影を行い、得られたCT断層像をFig. 7に示す。この実験条件では0.5秒間でずり弾性波がサンプル内部を伝播する様子を観察する事ができており、現在はサンプル内部の構造を利用した弾性率解析手法の検討を進めている。

5. 今後の展望とまとめ

これまでに実験室X線源を用いて、二次元でX線エラストグラフィを実現し、内部の弾性率を画像化できることを示した。今後は目的に合わせて、1. 臨床応用のための実験室X線エラストグラフィを用いた3次元X線エラストグラフィ、2. 基礎医学や材料評価のために高感度で弾性率を画像化するための、放射光単色X線と結晶干渉計による位相コントラストイメージングを用いた高感度X線エラストグラフィ、3. 弾性率の時間変化をリアルタイムで評価することが可能な、放射光白色X線と回折格子干渉計による高速X線エラストグラフィ3つの手法の研究を進めている。

さらにハーバード大学、MIT、マサチューセッツ総合病院グループにより7cm程度の大きさで7つの照射光をもつ小型X線源の開発が行われており [22]、これと組み合わせることで撮像時間全体の削減を期待できるX線エラストグラフィの開発も進めている。

X線エラストグラフィの研究が発展することで、高い空間分解能で生体内部の硬さを評価することができ、病変の早期診断や機序解明、治療効果の評価などに実用的に利用できるようになると考えている。将来は医学だけではなく材料科学や食品科学へも適用できると考えており、ゴム製品の劣化、樹脂の硬化、ゲル製品や食品の経時的変化などを評価できると期待する。

謝辞

本研究へご支援いただいた皆様へここに深く感謝いたします。本研究は放射光共同利用実験審査委員会の承認を得て実施致しました（実験課題番号：2018T002）。また本研究はAMED（課題番号：JP17hm0102054）の支援およびJSPS 科学研究費補助金19K08136の一部補助を受けました。

引用文献

- [1] A. Samani, J. Zubovits, and D. Plewes, *IEEE Trans Med Imaging.*, **52**, 6, 1565 (2007).
- [2] J. Ophir, I. Céspedes, H. Ponnekanti, Y. Yazdi, and X. Li, *Ultrasonic Imaging*, **13**, 2, 111 (1991).
- [3] R. M. Lerner, S. R. Huang, and K. J. Parker, *Ultrasound Med. Biol.*, **16**, 3, 231 (1990).
- [4] K. J. Parker, S. R. Huang, R. A. Musulin, and R. M. Lerner, *Ultrasound Med. Biol.*, **16**, 3, 241 (1990).
- [5] Y. Yamakoshi, J. Sato, and T. Sato, *IEEE Trans UFFC*, **37**, 2, 45 (1990).
- [6] R. Muthupillai, D. J. Lomas, P. J. Rossman, J. F. Greenleaf, A. Manduca, and R. L. Ehman, *Science*, **269**, 5232, 1854 (1995).
- [7] Muthupillai, R., Rossman, P. J., Lomas, D. J., Greenleaf, J. F., Riederer, S. J. & Ehman, R. L., *Magn Reson Med*. **36**, 266 (1996).
- [8] T. J. Hamilton, C. Bailat, S. Gehring, C. M. Laperle, J. Wands, C. Rose-Petruck, and G. J. Diebold, *Journal of Applied Physics*, **105**, 10, p. 102001 (2009).
- [9] J. G. Kim, A. B. M. Aowlad Hossain, J. H. Shin, and S. Y. Lee, *Medical Physics*, **39**, 9, 5469 (2012).
- [10] C. Sutphin, E. Olson, Y. Motai, S. J. Lee, J. G. Kim, and K. Tanabe, **7**, 1, 4300312 (2019).
- [11] 亀沢知夏, 博士論文, 総合研究大学院大学 (2020).
- [12] C. Kamezawa, T. Numano, Y. Kawabata, H. Kanetaka, M. Furuya, K. Yokota, H. Kato, A. Yoneyama, K. Hyodo, and W. Yashiro, *Applied Physics Express*, **13**, 4, p. 042004, (2020).
- [13] A. Itoh, E. Ueno, E. Tohno, H. Kamma, H. Takahashi, T. Shiina, M. Yamakawa, and T. Matsumura, **239**, 2, 341(2006).
- [14] A. Manduca, T. E. Oliphant, M. A. Dresner, J. L. Mahowald, S. A. Kruse, E. Amromin, J. P. Felmlee, J. F. Greenleaf, and R. L. Ehman, *Med. Image Anal.* **5**, 237 (2001).
- [15] A. Momose, T. Takeda, Y. Itai, and K. Hirano. *Nat. Med.*, Vol. 2, 473, 1996.
- [16] A. Yoneyama, N. Amino, M. Mori, M. Kudoh, K. Noda-saita, T. Shitaka, T. Tkaeda, J. Wu, Thet-Thet-Lwin, K. Hyodo, and Y. Hirai, *PF NEWS*, **24**, 2, (2006).
- [17] A. Yoneyama, S. Takeya, K. Hyodo, and T. Takeda, *PF NEWS*, **32**, 1, (2014).
- [18] 兵藤一行, 表面と真空, **62**, 2, 66 (2019).

- [19] C. Kamezawa, and K. Hyodo, *Medical Imaging technology*, **38**, 4, 185 (2020).
- [20] A. Momose, S. Kawamoto, I. Koyama, Y. Hamaishi, K. Takai, and Y. Suzuki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, L866 (2003).
- [21] T. Weitkamp, A. Diaz, C. David, F. Pfeiffer, M. Stampanoni, P. Cloetens, and E. Ziegler, *Opt. Express* **13**, 6296 (2005)
- [22] A. Cramer, J. Hecla, D. Wu, X. Lai, T. Boers, K. Yang, T. Moulton, S. Kenyon, Z. Arzumianian, W. Krull, K. Gendreau, and R. Gupta, *Sci. Rep.* **8**, 14195 (2018).

(原稿受付日：2020年12月25日)

著者紹介

亀沢知夏 Chika KAMEZAWA



物質構造科学研究所 博士研究員
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1
TEL: 0298-64-5200 ext. 2609
e-mail: kchika@post.kek.jp

略歴：2015年東京学芸大学大学院教育学
研究科理科教育専攻修士課程修了，2015-

2017年GEヘルスケア・ジャパン，2017-2020年総合研究
大学院大学高エネルギー加速器科学研究科博士課程，2020
年同修了，博士（学術）。2020年10月より現職。

最近の研究：X線イメージング。

趣味：文鳥，ハリネズミ

矢代航 Wataru YASHIRO

東北大学多元物質科学研究所 准教授

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

TEL: 022-217-5184 e-mail: wataru.yashiro.a2@tohoku.ac.jp

略歴：2000年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻
博士課程修了 博士（工学），2000-2001年日本学術振興会
特別研究員（PD），2000-2004年産業技術総合研究所ナノ
テクノロジー研究部門特別研究員（2004年4月から物質・
材料研究機構ナノマテリアル研究所特別研究員），2004-
2005年東京大学大学院新領域創成科学研究科産官学連携
研究員，2005-2007年同助手，2007-2012年同助教。2012
年7月より現職。2020年1月 東北大学国際放射光イノベ
ーションスマート研究センター准教授（兼任）。2020年4
月 京都大学客員准教授（兼任）。

趣味：楽器演奏

兵藤一行 Kazuyuki Hyodo

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 教授
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

TEL: 0298-64-5200 ext. 4374 e-mail: kazuyuki.hyodo@kek.jp

略歴：筑波大学大学院博士課程医学研究科修了 博士（医
学），高エネルギー物理学研究所 助手，組織変更を経て現
職。総合研究大学院大学教授（併任）。茨城県立医療大学
客員講師。群馬大学客員講師。

趣味：飛行機，船

X線磁気円二色性，磁気線二色性を用いた垂直磁気異方性の研究

岡林 潤

東京大学 大学院理学系研究科 スペクトル化学研究センター

Perpendicular magnetic anisotropy probed by x-ray magnetic circular and linear dichroisms

Jun OKABAYASHI

Research Center for Spectrochemistry, The University of Tokyo

Abstract

垂直磁気異方性 (PMA) を示す物質や異種元素からなる界面の軌道磁気モーメントと四極子の効果を調べるために、X線磁気円二色性 (XMCD) と磁気線二色性 (XMLD) を用いた研究を進めている。特に、垂直磁化薄膜の XMLD 測定は今までに報告がなく、実験配置を工夫することで可能となった。この解説では、まず、XMCD と XMLD の特徴と原理を簡単に述べ、次に、PMA を示す例として、 $Mn_{3-x}Ga$ では軌道異方性より四極子異方性が支配的であること、Fe/MgO 界面では軌道異方性により PMA を説明できることを述べる。

1. はじめに

低消費電力にて動作する磁気デバイスの創出を目指したスピントロニクス研究が進展している中、近年では、スピン軌道相互作用を用いた垂直磁気異方性 (PMA) やトポロジカル現象の探索やデバイス開発が進んでいる。特に、極薄膜の界面では空間反転対称性の破れによって軌道角運動量 (磁気モーメント) が増大し、これを用いることが注目されている。スピン軌道相互作用ハミルトニアンは $H = \xi LS$ にて記述され、定数 ξ は元素固有である。スピン角運動量 S は磁気伝導測定において外場による操作性が良いが、軌道角運動量 L の精密測定と外的な操作は未開拓である。一方、わずかな軌道磁気モーメントの変化が磁気異方性などを支配する。本研究では、 L が創る物性とその高次の効果に相当する四極子 $Q (= 3L_x^2 - L^2)$ がつくる物性に着目する。これは、電荷やスピン分布の異方性を表わす。

極薄膜を用いたスピントロニクス研究において、元素選択的な磁気状態、電子状態の理解は不可欠であり、放射光を用いた X 線磁気分光は重要な役割を果たす [1]。X 線磁気円二色性 (XMCD) による元素選択的な磁気状態の計測は普及しつつあり、今後は磁化測定のように簡便に測れる手法になっていくものと思われる。ここで、XMCD の特徴を列挙すると以下ようになる。

- (i) 磁気光学総和則により、元素別のスピン磁気モーメント、軌道磁気モーメントが判る
- (ii) 元素選択的な磁化曲線 (磁化の磁場依存性) を描ける
- (iii) 異種元素間の交換結合が判る
- (iv) 非磁性体に誘起される磁化が判る
- (v) オペランド測定と親和性がある

これらの特徴を活かした研究の例として、この解説では $Mn_{3-x}Ga$ の PMA、Fe/MgO 界面 PMA について紹介する。

さらに、垂直磁気異方性における軌道磁気モーメントと四極子の効果を議論する。

2. XMCD, XMLD の原理

放射光を用いた XMCD の原理について、優れた解説がいくつかある [2-4]。XMCD は、円偏光による吸収強度の差として定義され、スピンと軌道磁気モーメントが議論される。ここでは、あまり馴染みのない XMLD の原理について光学遷移過程を述べる。

軟 X 線領域での $3d$ 遷移金属の $2p$ から $3d$ 準位への遷移を考える。内殻 $2p$ 準位は遷移過程において大きなスピン軌道相互作用により、量子力学的にスピンと軌道の結合した全角運動量 $J = L + S$ で記述され、 $2p_{3/2}$, $2p_{1/2}$ に分裂する。遷移先の d 軌道も jj 表記である必要があり、ここでは $3d$ 軌道のスピンは $S = +1/2$ のみとして考える。これは、 $3d$ 軌道のダウンスピンが占有され、残りのアップスピンの非占有軌道への遷移に相当する。Fig.1(a) に円偏光、直線偏光による $2p$ - $3d$ 光学遷移確率を示す。左右円偏光は磁気量子数を変える遷移、直線偏光では変えない遷移として記され、遷移確率はクレプシュ・ゴールドン係数で表される [5-7]。XMCD は左右円偏光励起による吸収強度 $|C_i|^2$ ($i = \pm$) の差として定義され、XMLD は縦横の直線偏光励起の差として定義され、これは 2 階のテンソルの関数形となり、それぞれ次のように表される。

$$\Delta I_{XMCD} = AR^2 \sum_{\text{states}} \{|C_+|^2 - |C_-|^2\} \quad (1)$$

$$\Delta I_{XMLD} = \frac{1}{2} AR^2 \sum_{\text{states}} \{2|C_0|^2 - |C_+|^2 - |C_-|^2\} \quad (2)$$

ここで、 A は係数、 R^2 は動径方向の関数として分離される。

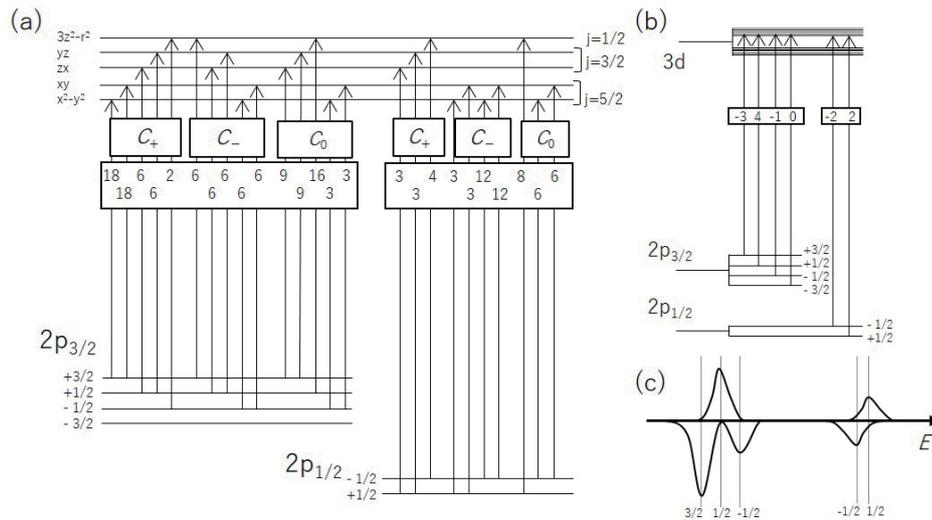


Figure 1 Transition intensities depending on polarizations. (a) Transition from $2p$ to $3d$ states in circular polarizations C_+ and C_- , and linear polarization C_0 . The numbers in boxes are Clebsch–Gordan coefficients. Here, only up-spin states in the $3d$ states are considered assuming the exchange splitting and down-spin states are occupied. (b) Illustration of L -edge XMLD processes. The numbers are linear dichroism intensities. (c) XMLD intensities from $L_{2,3}$ -edges considering the transition probabilities in (b). These are modified from ref. [5].

これらを用いて、 $2p_{3/2}$, $2p_{1/2}$ 準位からの XMLD は、Fig.1(b) のように計算される。正負の吸収強度が混在することになり、XMLD は本質的に微分型のスペクトル形状となることが判る。この様子を Fig.1(c) に示している。また、XMCD の総和則によってスピンと軌道磁気モーメントを定量評価できたのと同様に、XMLD にも総和則が存在し、 $L_{2,3}$ 吸収端の吸収強度 $I_{2,3}$ と二色性強度 $\Delta I_{2,3}$ の積分を用いて、四極子テンソル成分 Q_{zz} と磁気異方性エネルギー K を算出できる [8,9]。

$$\langle Q_{zz} \rangle = \frac{l(2l-1)n_h \Delta I_{L3} + \Delta I_{L2}}{2(I_{L3} + I_{L2})}, \quad (3)$$

$$K = \frac{\xi n_h \Delta I_{L3} - 2\Delta I_{L2}}{2A(I_{L3} + I_{L2})} \quad (4)$$

ここで、非占有空孔数 n_h 、 $3d$ スピン軌道結合定数 ξ 、方位量子数 l として表わされる。この表記では、 Q_{zz} が XMCD 総和則における軌道モーメントに対応し、 K が XMCD 総和則のスピンモーメントに対応している。

次に、測定配置について考える。XMLD 測定は、入射 X 線の電場ベクトルと試料の磁化の間の相互作用によって吸収が起こる。そのため、磁化方向もしくは光の電場の縦横方向のいずれかを変えて測定する必要がある。J. Stöhr によるこの分野の典型的な教科書では、試料の磁化配置を変えて XMLD 測定を行うものを type-I、偏光方向を変えるものを type-II としている [5]。面内容易磁化軸を持つ多くの薄膜試料では、試料表面に垂直方向から放射光を入射し、入射光と直交方向に磁場印加を行う transverse 配置が必要となる。一方、この解説では PMA を有する試料の XMLD について考える。上記の XMLD の原理を用いて、試料垂直方向に磁化した試料について、残留磁化状態にて斜入射配置にして、直線偏光方向を 2 通りに変えることで (Type-II)、垂直磁化膜の XMLD 測定が可能であることを実証し

た (Fig. 4 挿入図)。実際、 Q_{zz} や磁気異方性定数は、PMA において重要となるため、本手法が異方的な電子・磁気状態の理解に重要な役割を果たす。この手法を用いるには条件がある。残留磁化状態にて、飽和磁化とほぼ同様の磁化を保持していることが必要となる。つまり、角型ヒステリシス (M - H) 曲線が必須である。そのため、XMCD にて M - H 曲線を計測した後に XMLD を行い、両方のスペクトルの解析から物性の議論を行う必要がある。以下、 $Mn_{3-\delta}Ga$ と Fe/MgO 界面の 2 例において実証してきた。XMCD, XMLD の測定は、KEK-PF BL-7A (東大理スペクトル化学研究センター) および BL-16A にて行った。

3. XMCD, XMLD を用いた $MnGa$ の垂直磁気異方性

$MnGa$ 合金薄膜は、 Mn 層と Ga 層が 1 層ずつ堆積した規則合金である。この Ga 層を Mn ($MnII$ サイト) が置換する際、もとの Mn 層 (MnI サイト) のスピンと反対向きに Mn_3Ga まで置換し、 $Mn_{3-\delta}Ga$ の組成で表記されるフェリ磁性体となる。 Mn_3Ga は、ホイスラー合金 AB_2X となる。そして、室温にて大きな PMA を有することから、トンネル磁気抵抗素子において磁化を固定する層 (ピン層) の候補物質として注目されている [10-12]。 Mn 系ホイスラー合金は、ハーフメタル性や PMA などの物性を示すことから物質設計において重要な役割を果たすが、一方で、 Mn が加熱により拡散しやすいこともあり、試料作製を低温で行う必要があるなどの制約も受ける [13]。

$Mn_{3-\delta}Ga$ が PMA を示す起源については、今まで明確ではなかった。PMA の微視的理解には構成元素のスピン軌道相互作用に基づいた軌道磁気モーメントの異方性により説明される Bruno モデルがある [14]。しかし、 $3d$ 遷移金属元素 Mn のスピン軌道相互作用はそれほど大きくなく ($\xi=40$ meV 程度)、軌道磁気モーメントの異方性では PMA を説明できないことは、第一原理計算でも示唆されている

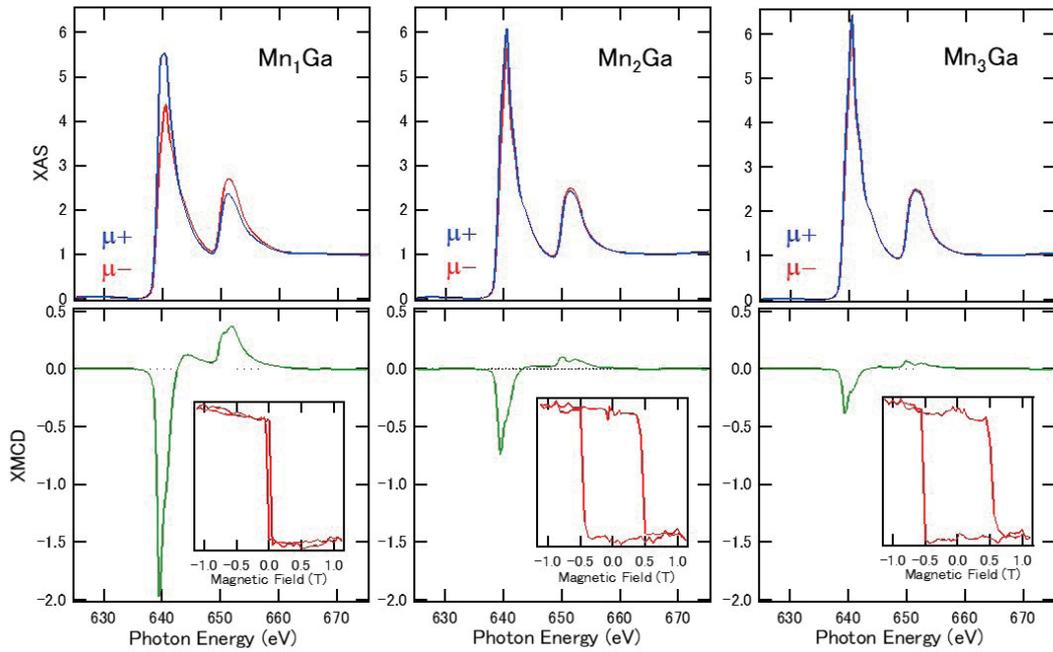


Figure 2 MnL-edge XAS and XMCD of $Mn_{3-\delta}Ga$ for $\delta = 0, 1,$ and 2 . Spectra were measured at the normal incident setup where the incident beam and magnetic field were parallel to the sample film normal. μ^+ and μ^- denote the absorption in different magnetic field direction. The insets show the M - H curves taken by fixed L_{3-} edge photon energy. All measurements were performed at room temperature [16].

[15]. XMCDが起源の解明に使えるはずであるが、そう簡単ではない。2種類のMnサイトがあるために、これらを分離して、サイトごとの議論が必要なためである。このような状況は、スピネル型フェライト Fe_3O_4 の Fe^{2+} と Fe^{3+} サイトでも見受けられるが、酸化物のような局在系の場合には、複数のサイトを配位子場理論計算などにより分離して議論する。一方、合金系である $Mn_{3-\delta}Ga$ は、XAS形状は金属特有のブロードな形状のために分離が難しい。そこで本研究では、Mn組成の異なる $Mn_{3-\delta}Ga$ に対してXMCD, XMLD測定を行い、2種類のMnサイトを分離することを試み、Mnサイトの軌道モーメントの異方性は小さいことを実証した。そして、PMAの起源にはMnサイトの格子ひずみがもたらす四極子（磁気双極子）の形成が本質的であることが判った。

Fig. 2には、 $Mn_{3-\delta}Ga$ のMnL吸収端のXAS, XMCDおよびMn L_3 端での磁場依存性を示す。Mn組成が増えるにつれ、吸収強度に対するXMCD強度が減少していくことが判る。これは、反平行のMn成分が増えたためである。MnGaは1サイトのMnから構成されるため、このスペクトルにXMCD総和則を適用して軌道磁気モーメントを算出できる。一方、 Mn_2Ga , Mn_3Ga での0.5 T程度の大きな保磁力は、反平行Mn間の交換相互作用の重要性を意味する。Mnの成分分離のために、これらのXMCDスペクトル間の差分をFig. 3に示す。これには、 $Mn_{3-\delta}Ga$ におけるGaサイトを反平行Mn原子(MnII)が置換することが仮定されるがこれは妥当である。 Mn_3Ga の場合に Mn_1Ga との差分から反平行Mnサイトのスペクトルを抽出できる。Mn L_3 端XMCDの形状解析からMnI, MnIIサイトの軌道磁気モーメントの垂直成分はそれぞれ、 $0.163 \mu_B$, $0.093 \mu_B$

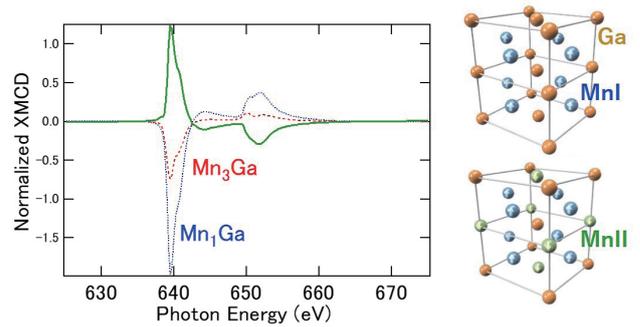


Figure 3 Deconvoluted XMCD spectra of $Mn_{3-\delta}Ga$ by subtraction from Mn_1Ga . The MnI and MnII components were separated in this procedure. Illustrations of the unit-cell structures of Mn_1Ga and Mn_3Ga are also displayed [16].

と算出でき、軌道異方性では大きな磁気異方性の起源を説明できない。そのため、up-down スピン間の四極子を考慮する必要がある。そこで、残留垂直磁化状態にて、斜入射配置にしてXMLDを行った。Fig. 4のように、Mn組成の増加とともに吸収強度に対するXMLD強度は増加し、XMCDとは逆の振る舞いである。これは、XMLDが磁化の2乗を検出するためである。また、微分形のスペクトル形状になることもXMLD形状の特徴を表わしている。これらのスペクトルについて、2サイトのMnについて分離し、XMLD総和則を適用して四極子成分を求めると、電荷分布配置が1%程度の変形を伴っていることが判り、これがPMAの起源となりうる [16]。

次に、磁気異方性と四極子の関係を検討する。軌道磁気モーメントの異方性 Δm_{orb} , 磁気双極子モーメント ($m_T = -Q_{zz}S$) を用いて、磁気異方性エネルギー K は以下の

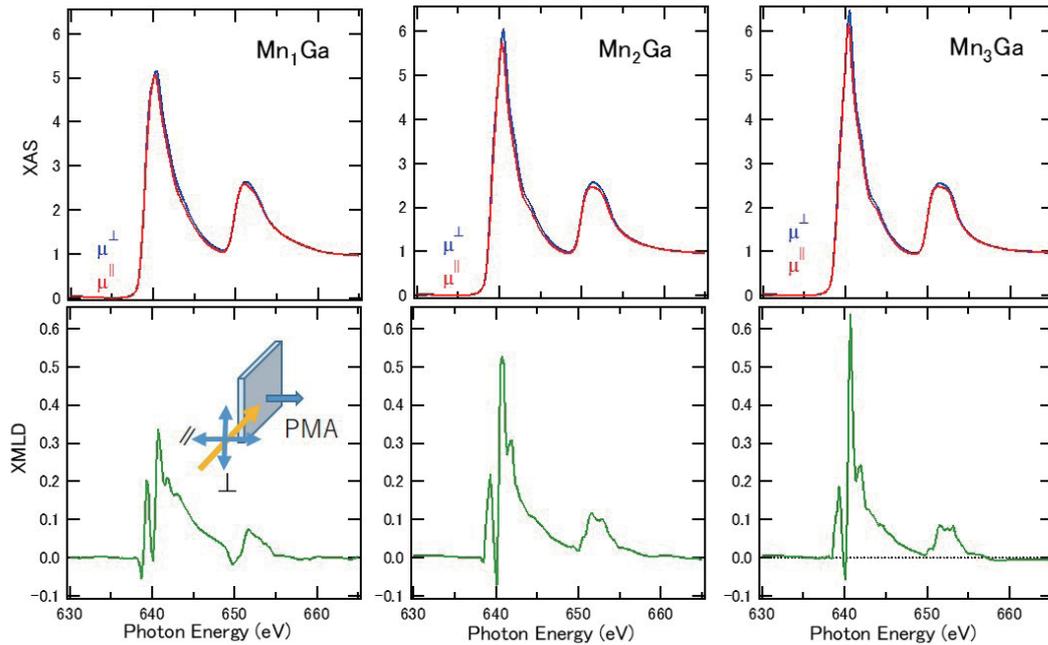


Figure 4 MnL-edge XAS and XMLD of $Mn_{3-\delta}Ga$ for $\delta = 0, 1$, and 2 . Spectra were taken at the grazing incident setup where electric field of the incident beam and direction of magnetization were parallel and perpendicular, respectively. μ^\perp and μ^\parallel denote the absorption in different electric-field directions. The inset shows an illustration of the XMLD measurement geometry. The angle between sample surface normal and incident beam is set to 60° . All measurements were performed at room temperature [16].

ように記述される [17].

$$K \sim \frac{1}{4\mu_B} \xi \Delta m_{orb} + \frac{21}{2\mu_B} \frac{\xi^2}{\Delta E_{ex}} m_T \quad (5)$$

ここで、 ΔE_{ex} は up, down スピンバンドの交換分裂 (およそ 2-3 eV) を表わす。異方性エネルギーは正の値で大きい程、PMA が安定化するように定義する。 m_T は、 $m_s^{eff} = m_s + 7m_T$ と定義され、XMCD 総和則から実効スピン磁気モーメント m_s^{eff} を定量評価できる。一方、XMLD 総和則から Q_{zz} を算出でき、四極子についての議論を可能にする。ここで、四極子の符号について検討する。四極子が z 方向に伸びた葉巻型になる場合、占有側の電子系に対して、 $Q_{zz} < 0$ ($m_T > 0$) となる。吸収分光は非占有状態の計測であるため、電子占有側とは符号が逆になる。そのため、格子ひずみにより電荷分布が z 方向に伸びた際に、第2項が正となり、PMA が生じる。実際、第一原理計算においても、第1項 (軌道異方性) より第2項 (四極子異方性) が1桁大きいことが示され [15], Mn 系の PMA に特有のバンド構造に起因していることが判った。このように、異方的な電子・磁気状態を元素選択的に議論するには、XMCD, XMLD を用いた軌道と四極子の計測が不可欠である。

4. XMCD, XMLD を用いた Fe/MgO 界面の垂直磁気異方性

スピントロニクス素子は高速・高記録密度デバイスの開発に向けて、MRAM 市場において急成長を遂げている。その中核をなすトンネル磁気抵抗素子の作製には、PMA 材料が必須であり、トンネル障壁となる高品質 MgO と Fe の組み合わせが最も一般的な系となる。2013 年に Fe/MgO 界面での PMA が見いだされて以降 [18], トンネル

磁気抵抗比の向上への研究開発が進んでいる。Fe/MgO の界面 PMA は、Fe $3d_z$ 軌道と O $2p_z$ 軌道の化学結合を通して [19], 界面 Fe 原子の電荷変調による軌道磁気モーメントの増大が起源とされる。これを調べるために、XMCD, XMLD を行ってきた [20,21]。

Fe 0.7 nm と MgO 2 nm を堆積した PMA 試料を用いた。Fe 膜厚が 1.2 nm 以下では界面効果により PMA が安定化

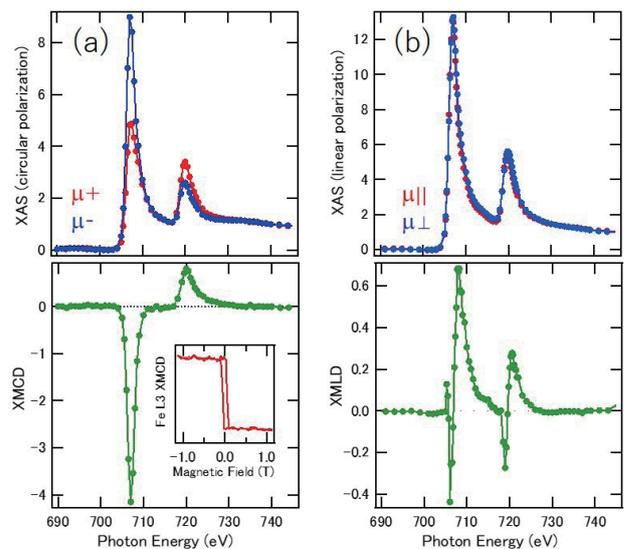


Figure 5 XAS, XMCD, and XMLD of the Fe (0.7 nm)/MgO interface. (a) XAS and XMCD by circularly polarized beams μ^+ and μ^- and (b) XAS and XMLD by linearly polarized beams μ^\perp and μ^\parallel for Fe L_3 -edges. The inset in (a) is the XMCD hysteresis curve at the Fe L_3 -edge [21].

される [18]。Fig. 5 に XAS, XMCD, XMLD を示す。明瞭な XMCD シグナルが観測され、Fe L_3 端での角形 $M-H$ 曲線を描けるため、残留磁化状態での XMLD 測定を可能にする。XMLD 強度は XMCD に比べて 1 桁小さい。XMCD 総和則を用いることで、軌道モーメントの異方性は $0.08 \mu_B$ となり [20]、原子あたりの磁気異方性エネルギーとして $500 \mu\text{eV}$ 程度となる。一方、XMLD 総和則 (式 (3), (4)) から $Q_{zz}=0.01$ 、磁気異方性エネルギー $500 \mu\text{eV}$ となる。 $m_T=0.02 \mu_B$ となり、交換分裂 3 eV 、Fe のスピン軌道結合定数 50 meV として、(5) 式の第二項の寄与は $17 \mu\text{eV}$ 程度となる。このため、Fe/MgO 界面の PMA では、四極子異方性を考慮することなく、軌道異方性の寄与によって説明できることが判った [21]。

5. まとめと今後の展望

XMCD, XMLD を用いて PMA を示す物質の軌道異方性、四極子異方性を議論してきた。Mn_{3- δ} Ga では、軌道異方性よりも四極子異方性が支配的 ((5) 式の第 2 項) であり、Fe/MgO 界面では軌道異方性 (第 1 項) で説明できることが判った。また、垂直磁化試料における XMLD の使い方を示し、今後は XMCD と XMLD の双方を用いた研究展開が物性理解に不可欠になると考える。これらは、物質内もしくは異種界面におけるひずみとも関連しており、今後は軌道磁気モーメントと四極子の形 (符号) の自在な操作も可能となるかもしれない [22]。

6. 謝辞

本研究は、三浦良雄博士 (NIMS)、三谷誠司博士 (NIMS)、水上成美教授 (東北大) との共同研究によるものであり、感謝申し上げます。また、科研費基盤研究 (S) 「界面スピン軌道結合の微視的解明と巨大垂直磁気異方性デバイスの創製」、豊田理化学研究所特定課題研究「先端磁気分光と理論計算の融合研究: 「界面多極子相互作用」が拓く新しい学理」等の支援のもと、日々の議論を通して進めてきたものであり、関係各位に感謝申し上げます。放射光測定は、課題番号 2019G028 において実施された。

引用文献

- [1] J. Okabayashi, Progress in Photon Science II, - Recent Advances, edited by K. Yamanouchi, S. Tunik, and V. Makarov (Springer Nature Switzerland AG, 2019), p. 471.
- [2] 小出常晴, 新しい放射光の科学, 菅野暁, 藤森淳, 吉田博編 第 4 章, 講談社 (2000)
- [3] 宮原恒昱, 放射光 X 線磁気分光と散乱, 橋爪弘雄, 岩住俊明編 第 1 章, アイピーシー (2007)
- [4] 木村昭夫, 放射光学会誌 **28**, 243 (2015).
- [5] J. Stöhr and H.C. Siegmann, Magnetism, From Fundamentals to Nanoscale Dynamics, Springer Series in Solid state sciences (2006).
- [6] H.A. Bethe and E.E Salpeter, Quantum Mechanics of One- and Two-Electron Atoms, Spriner-Verlag (1957).

- [7] M. Rose Elementary Theory of Angular Momentum, ローズ, 角運動量の基礎理論, みすず書房 (1971).
- [8] P. Carra, H. König, B. T. Thole, and M. Altarelli, Physica B **192**, 182 (1993).
- [9] S. S. Dhesi, G. van der Laan, and E. Dudzik, Appl. Phys. Lett. **80**, 1613 (2002).
- [10] S. Mizukami, A. Sakuma, A. Sugihara, K.Z. Suzuki, and R. Ranjbar, Scripta Materialia **118**, 70 (2016).
- [11] S. Mizukami *et al.*, Phys. Rev. B **85**, 014416 (2012).
- [12] K. Rode *et al.*, Phys. Rev. B **87**, 184429 (2013).
- [13] J. Okabayashi, K. Z. Suzuki, and S. Mizukami, J. Mag. Mag. Mater. **460**, 418 (2018).
- [14] P. Bruno, Phys. Rev. B **39**, 865 (1989).
- [15] D. Kim, J. Hong, and L. Vitos. Phys. Rev. B **90**, 144413 (2014).
- [16] J. Okabayashi, Y. Miura, Y. Kota, K. Z. Suzuki, A. Sakuma, and S. Mizukami, Scientific Reports **10**, 9744 (2020).
- [17] G. van der Laan, J. Phys. Cond. Mater. **10**, 3239 (1998).
- [18] J. W. Koo, S. Mitani, T. T. Sasaki, H. Sukegawa, Z. C. Wen, T. Ohkubo, T. Niizeki, K. Inomata, and K. Hono, Appl. Phys. Lett. **103**, 192401 (2013).
- [19] A. Hallal, H. X. Yang, B. Dieny, and M. Chshiev, Phys. Rev. B **88**, 184423 (2013).
- [20] J. Okabayashi, J. W. Koo, H. Sukegawa, S. Mitani, Y. Takagi, and T. Yokoyama, Appl. Phys. Lett. **105**, 122408 (2014).
- [21] J. Okabayashi, Y. Iida, Q. Xiang, H. Sukegawa, and S. Mitani Appl. Phys. Lett. **115**, 252402 (2019).
- [22] J. Okabayashi, Progress in Photon Science III - Future Directions, edited by K. Yamanouchi, A. Manshina, and V. Makarov (Springer Nature Switzerland AG, 2021). Chap. 10.

(原稿受付日: 2021 年 1 月 13 日)

著者紹介

岡林 潤 Jun OKABAYASHI



東京大学大学院理学系研究科 准教授

〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

TEL: 03-5841-4418

e-mail: jun@chem.s.u-tokyo.ac.jp

略歴: 2002 年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了, 博士 (理学) 取得, 2003 年東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻助手, 2006 年東京工業大学大学院理工学研究科物性物理学専攻助教, 2009 年東京大学准教授
最近の研究: X 線磁気分光, 光電子分光を用いた軌道物性, 多極子物性の研究
趣味: 物理の議論, ピアノ演奏 (ショパン, ベートーベン), トロンボーン演奏 (オーケストラ)

微小な磁気渦の内部変形が引き起こす渦の配列変化

2020年11月11日

東京大学
理化学研究所
高エネルギー加速器研究機構
高輝度光科学研究センター
科学技術振興機構

■概要

次世代メモリの情報担体の候補として注目されている磁気スキルミオンは、数十ナノメートル（nm、1 nmは10億分の1メートル）程度の渦状の磁気構造体です。磁気スキルミオンはトポロジカル欠陥の一種であり、一度生成されると安定に存在でき、孤立した粒子として扱えることが知られています。これまで磁気スキルミオンは主に三角格子を組んだ状態で観測されてきましたが、最近では試料を急速に冷却すると、準安定状態として磁気スキルミオンを安定化できる温度・磁場範囲が拡大し、スキルミオンの三角格子から正方格子へと配列パターンが変化するという報告がなされています。しかし、この配列変化の起源は明らかになっていません。

東京大学大学院工学系研究科の高木里奈助教、関真一郎准教授らを中心とする研究グループは、理化学研究所、物質・材料研究機構、高エネルギー加速器研究機構（KEK）、高輝度光科学研究センターとの共同研究のもと、磁気スキルミオンの三角格子が正方格子へ配列変化する様子を実験と理論の両面から詳細に調べることで、磁気スキルミオンのコア部分の直径の変化が配列変化の起源となっていることを見いだしました。

今回の発見は、磁気スキルミオンのように内部変形の自由度を持つトポロジカル欠陥の集合体がつくる秩序構造を外場制御できる可能性を示唆しており、トポロジカル欠陥が示す新しい物性・現象の開拓につながることを期待されます。

本研究成果は、2020年11月11日（英国時間）に英国科学誌「Nature Communications」にオンライン掲載されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2020/11/PR20201111.pdf> をご覧ください）。

X線回折パターンからの対称性予測における知識発見－熟練者の勘・コツの定式化に成功－

2020年12月11日

高エネルギー加速器研究機構
総合研究大学院大学
情報・システム研究機構 統計数理研究所
東京理科大学
科学技術振興機構

■概要

高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所 量子ビーム連携研究センターの小野 寛太 准教授、総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科鈴木雄太（博士後期課程2年）らの研究グループは、統計数理研究所、東京理科大学と共同で、物質・材料の構造評価に不可欠な計測データである粉末X線回折パターンから機械学習を用いて結晶の対称性を予測する手法を開発しました。

さらに機械学習モデルの解析を通じて、これまで明示されていなかった「粉末X線回折パターンを見ただけでおおよその対称性を推定できる熟練者の経験知」を定式化することに成功しました。この研究で用いた解釈可能な機械学習アプローチにより、熟練者の勘・コツのように研究者間で漠然と共有されていた経験的知識を、計測データの中から発見し定式化することが可能となります。それにより、定式化された知識を用いて誰でも熟練者なみの計測データ解析を効率的に行えるようになり、科学研究を加速することが期待されます。

この研究成果は、英国の学術誌「Scientific Reports」に12月11日オンライン掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2020/12/PR20201211.pdf> をご覧ください）。

軟X線渦ビームのらせん波面の観測に成功 - 磁性体中のトポロジカル欠陥構造に対する新たな観測手法 -

2020年12月25日

高エネルギー加速器研究機構
東北大学大学院理学研究科
高輝度光科学研究センター
理化学研究所

■概要

東北大学大学院理学研究科の石井祐太助教、分子科学研究所 山本航平研究員、高輝度光科学研究センター（JASRI）

放射光利用研究基盤センター 横山優一博士研究員、水牧仁一朗主幹研究員、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所の中尾裕則准教授、理化学研究所創発物性科学研究センター 有馬孝尚チームリーダー、物質・材料研究機構 山崎裕一主任研究員 (兼 KEK 客員准教授) らのグループは、インライン型ホログラフィーの手法を用いて、フォーク型回折格子から生成されたらせん状の軟X線渦ビームの位相分布を観測することに初めて成功しました。更に、ナノメートル (10 億分の 1 メートル) 領域の磁気渦構造であるスキルミオンの格子において、欠陥構造が存在する場合、本手法により欠陥のトポロジカルな構造の推定が可能であることを、シミュレーションにより明らかにしました。これらの結果は、磁性体中に存在するトポロジカルな欠陥構造に対して、本手法が新しい計測手段になり得ることを示しています。

本研究の成果は米国現地時間の 12 月 24 日、学術誌 *Physical Review Applied* に掲載されました (この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2020/12/PR20201225.pdf> をご覧ください)。

副作用原因タンパク質 hERG チャンネルと薬剤の複合体構造を明らかにすることに成功 - 重篤な副作用の回避にもクライオ電子顕微鏡解析が役立つ -

2021 年 1 月 15 日

千葉大学

高エネルギー加速器研究機構

日本医療研究開発機構

■概要

千葉大学、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所、企業 5 社 (Axcelead Drug Discovery Partners 株式会社、アステラス製薬株式会社、小野薬品工業株式会社、第一三共 RD ノバーレ株式会社、武田薬品工業株式会社) の共同研究グループは、薬剤の副作用の原因となる hERG チャンネルと、その機能を阻害する薬剤 (アステミゾール) との複合体構造を、クライオ電子顕微鏡単粒子解析により 3.5 オングストローム (Å, 1Å は 100 億分の 1 メートル) 分解能で明らかにしました。

hERG チャンネルを阻害する化合物は心毒性を引き起こすリスクが高いため、hERG チャンネルの働きを阻害しない化合物の創製が必要です。今回の結果は、重篤な副作用の原因となるタンパク質と薬剤の複合体構造をクライオ電子顕微鏡で明らかにできることを示したもので、医薬品開発においてクライオ電子顕微鏡解析を用いた単粒子解析が薬剤による副作用の予測と、それを回避するための基盤技術となることが期待されます。

本研究は、国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) 創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業

(BINDS) の一環として産官学連携のもとで遂行されたプロジェクトです。本研究成果は、2021 年 1 月 15 日 (金) 0 時 30 分 (日本時間) 付で米国科学誌『*Structure*』 (Cell Press) にオンラインで掲載されました (この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/01/PR20210115.pdf> をご覧ください)。

量子液晶と関係した新しい超伝導状態を発見

2021 年 1 月 15 日

東京大学

高エネルギー加速器研究機構

■概要

東京大学大学院新領域創成科学研究科の向笠清隆大学院生、松浦康平大学院生 (研究当時)、橋本顕一郎准教授、芝内孝禎教授、同物性研究所の上床美也教授らは、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所の熊井玲児教授と共同で、鉄系超伝導体において、量子液晶状態と密接に関係する新しい超伝導状態を発見しました。量子液晶とは、量子力学的な効果によって物質中に現れる、液晶に類似した電子状態を指します。この新しい超伝導状態は、これまで知られていた磁性と関係した超伝導状態とは異なるものであり、鉄系超伝導体のみならず銅酸化物超伝導体などの高温超伝導について、発現機構を理解する上で重要な手がかりとなります。

本研究成果は 2021 年 1 月 15 日付けで、英国科学誌 *Nature Communications* にオンライン掲載される予定です。

本研究は科学研究費新学術領域研究 (研究領域提案型) 「量子液晶の物性科学」 (領域代表: 芝内孝禎教授) [JP19H05824]、基盤研究 A (研究代表者: 上床美也教授) [JP19H00648] 等の助成を受けて行われました (この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/01/PR20210115imss.pdf> をご覧ください)。

PF 研究会「X線干渉計と縦型ウィグラーを用いた超高感度画像計測の現状と将来展望」開催報告

九州シンクロトロン光研究センター 米山明男

X線を用いた非破壊観察は、医療用のレントゲン撮像やX線CTから、空港におけるセキュリティーチェックや工場の異物検査に至る様々な分野で幅広く利用されています。一般にはX線の吸収率の違いを利用して被写体内部の密度分布を画像化していますが、1990年代以降はX線を「波」として捉え、被写体を透過した際に生じた位相の変化（位相シフト）を利用して高感度に密度分布を画像化する「位相コントラストX線イメージング法（位相イメージング法）」が活発に研究・開発されています。これまでに、様々な位相シフトの検出方法が開発されていますが、単結晶のX線回折を利用してX線の分波・反射・結合を行う「X線干渉計」を用いた位相イメージング法が現在のところ最も高感度と考えられています。

X線干渉計の安定な動作には干渉計を構成する単結晶X線光学素子をpradレベルで超精密に回転制御することが不可欠です。しかし、耐振動特性を優先して水平面内でX線光学系を展開した場合、通常の放射光（横発散）では観察視野が大きく制限されてしまいます。一方、PFのBL-14に設置されている縦型ウィグラーから放射される放射光は、世界で唯一の縦発散ですので、数cm角の広い視野で被写体の超高感度な三次元観察を行うことができます。この特徴を活用して、現在BL-14Cには2個の単結晶ブロックから構成されたX線干渉計（分離型干渉計）を採用した位相イメージングシステムが常設され、最大観察視野 5×3 cm、密度分解能 0.5 mg/cm^3 で非破壊の三次元観察を行うことが可能になっています。これまでに、小動物の各種臓器や腫瘍の無造影可視化、及びヒト胚子の高精細な解析等のバイオメディカルへの応用に加え、リチウムイオンバッテリー（LIB）の電解液イオン濃度のオペランド観察などの産業利用、南極古氷中に含まれるエアハイドレートの三次元可視化などの地球環境への応用など、様々なオンリーワン計測が行われてきました。

今後、BL-14の縦型ウィグラーが更新・改良された場合、オンリーワンの本計測法が更に発展・展開すると大いに期待されます。本研究会では、バイオメディカル、産業利用、地球環境、考古学、食品、画像解析、新規イメージング法と非常に幅広い分野の方々の本計測法を用いた観察例や関連する最新のご研究をご紹介頂き、縦型ウィグラーの更新によりどのような新しいサイエンスの展開が期待できるのかという点について、分野を超えた積極的な検討議論を行いました。

本研究会は、当初2020年3月に高エネルギー加速器研究機構（KEK）での開催を予定していましたが、新型コロナウイルス感染予防の観点から一時的に延期し、改めて2020年10月8日（木）から10月9日（金）午前の1.5日に渡って、PF研究会では初めてとなるKEKとオンライン会議を組み合わせ開催致しました。なお、オンライン発表者のPC切り替え時における混乱防止のため、初日はKEK（小林ホール）での発表を、2日目はオンラインでの発表をメインとして発表プログラムを組みました。

本研究会の参加者は延べ60名で、KEKで参加された方は20名、オンラインで参加された方は40名でした。研究会後のアンケートでは、本開催形式について「参加しやすい」「気軽に参加できる」など多くの方に評価して頂きました。その一方で、「質問のタイミングが難しい」「個別に質問できない」など質疑応答に関して支障があり、今後はチャットを併用するなど改善の必要があることが判りました。

研究会1日目は初めに物質構造科学研究所の小杉所長にご挨拶を頂いた後、放射光実験施設の船守施設長にPFの現状や将来の方向について、BL-14の縦型ウィグラーの更新に関する計画や状況などをご説明して頂きました。その後、PFの兵藤氏からBL-14Cのユーザー利用などに関してご報告頂きました。最初のご講演として、KEKの阿部氏からは超伝導ウィグラーの設計における磁場や熱対策などの具体的な手法について九州シンクロトロン光研究センターのウィグラー設計を例としてご紹介頂きました。PFの平野氏からはX線干渉計の基礎的な原理と、アボガドロ数の精密計測や動力学的な理論検証への応用などに関してご紹介頂きました。

続く午後セッションでは、京都大学の山田先生から京都コレクション（ヒト胚子）と位相イメージングへの応用のご紹介を、同大学の山口氏からは京都コレクションを対象として胚子の筋骨格形成過程の解明に関するご講演を頂きました。豊橋市自然史博物館の一田氏からは紡錘虫（フズリナ）の示準化石及び古地球環境解析における重要性と位相イメージング及び九州シンクロトロン光研究センターにおけるマイクロCT計測の結果について、日立の高松氏からは鉛蓄電池及び熱化学電池を対象としたオペランド計測により電池セル内の電解液濃度をリアルタイムで計測した結果についてご講演頂きました。休憩をはさみ、産総研の竹谷氏からはクライオ計測システムとその応用として南極古氷に含まれるエアハイドレートの観察結果についてご講演頂きました。その後、米山からX線サーモグラフィーについてご紹介した後、PF-UAが主催となって展示企業のショートプレゼンテーションとして、ご出展頂いた各社から製品や技術に関してご紹介頂きました。

2日目はオンラインの発表が中心で、初めに筑波大学の工藤先生から圧縮センシングやスパースモデルリングを活用した少数投影における再構成法や深層学習の試用に関するご講演を頂きました。その後、東北大学の橋本氏からは縞走査法におけるステップングエラーをトータルバリエーション (TV) を活用してソフトウェア的に低減する手法に関するご講演を、山形大学の湯浅先生からは位相イメージングにおける像再構成の概要のご講演を頂きました。休憩をはさみ、PFの西村氏から KEK で開発している 2次元検出器 SOIPIX の現状とイメージングへの試用結果に関するご講演を、北里大学の Lwin 先生からは生体試料をエタノール固定することでコントラストを増強する方法と脳の白質組織の可視化に適用した結果に関する紹介を、KEK の亀沢氏からは硬さの新しい評価方法として X線エラストグラフィのご講演を頂きました。最後に、日清製粉グループの篠崎氏からは冷凍パスタやニンジンの観察結果と官能評価と対応付けした結果に関するご講演を頂きました。

1.5日間にわたり多くの方々非常に興味深いご講演を頂き、X線干渉計とそのイメージング法の重要性、有用性、そして将来性を改めて認識致しました。今後はバイオメディカル、地球環境、産業応用 (デバイスや材料)、考古学、食品等への応用から、X線検出器等のハードウェア、そして画像処理に至る多種多様な分野の方と連携し、オンラインの本計測法を研究連携の苗床や拠点 (ハブ) として、より発展させることが非常に重要かつ必要であると強く感じました。新しい縦型ウィグラー光源を迎えて本法の再構築・再飛躍の折には、関係各位に是非ご協力頂ければ幸いです。

コロナウイルスの影響により一時は中止も危ぶまれた本研究会ですが、PF 世話人の本田氏、岸本氏、兵藤氏、平野氏、PF 秘書室の高橋氏、林氏の多大なるご協力の下に開催することができました。この場を借りて深くお礼申し上げます。

(研究会ホームページ)

<https://www2.kek.jp/imss/pf/workshop/kenkyukai/20201008/index.html>



図1 オンラインの集合写真 (カメラ ON の方のみ)

プログラム

10月8日 (木)

- 10:30-10:35 趣旨説明
- 10:35-13:40 挨拶 小杉信博 (KEK 物構研・所長)
- 10:45-10:55 「PF の運営方針」
船守展正 (KEK 物構研・放射光実験施設長)
- 10:55-11:10 「BL-14C の状況報告」 兵藤一行 (KEK 物構研)
- 11:10-11:40 「超伝導磁石の精密磁場設計手法と応用」
阿部充志 (KEK 超伝導低温工学センター)
- 11:40-12:00 「X線干渉計と X線光学」
平野馨一 (KEK 物構研)
- 13:00-13:30 「位相イメージングのヒト発生学への展開」
山田重人 (京都大学)
- 13:30-13:50 「位相差 X線 CT を用いたヒト胚子筋骨格系の三次元可視化」 山口 豊 (京都大学)
- 13:50-14:10 「X線位相イメージング法の微化石、特に紡錘虫類の古生態研究への応用の可能性」
一田昌宏 (豊橋市自然史博物館)
- 14:10-14:30 「位相コントラスト X線イメージングによる蓄電・発電デバイスのオペランド計測」
高松大郊 ((株) 日立製作所 研究開発グループ基礎研究センター)
- 15:00-15:30 「温度制御下での位相コントラスト X線 CT 測定: 低温条件下におけるガスハイドレートの三次元観察」 竹谷 敏 (産総研)
- 15:30-15:50 「X線サーモグラフィによる熱伝搬可視化の試み」 米山明男 (九州シンクロトロン)
- 15:50-16:50 企業展示各社のショートプレゼンテーション

10月9日 (金)

- 9:00-9:30 「CT 画像再構成法の技術革新と深層学習への期待」 工藤博幸 (筑波大学)
- 9:30-9:50 「縞走査法を用いた干渉縞 X線イメージングにおける高速・高精度なエラー補正手法の提案」
橋本 康 (東北大学多元物質科学研究所)
- 9:50-10:10 「BL-14C で世界に先駆けて実現された位相コントラスト CT と屈折コントラスト CT」
湯浅哲也 (山形大学)
- 10:30-10:50 「二次元半導体検出器 SOIPIX シリーズの PF における応用状況と今後の開発」
西村龍太郎 (KEK 物構研)
- 10:50-11:10 「位相コントラスト X線 CT によるエタノール固定ラット脳の白質イメージング」
Thet Thet Lwin (北里大学)
- 11:10-11:30 「位相イメージングを用いた X線エラストグラフィの基礎的検討」
亀沢知夏 (総合研究大学院大学)
- 11:30-11:50 「位相コントラスト X線イメージング法による食品の観察」
篠崎純子 (日清製粉グループ本社 R&D・品質保証本部基礎研究所)
- 11:50-12:00 まとめと将来展望

コロナ禍での測定感想文

新型コロナウイルス感染拡大に伴い、PF でもリモート測定が行われるようになりました。そこで、コロナ禍での測定について、ユーザーの皆さんやスタッフの感想文を集めてみました。今後の参考になれば幸いです。

BL-3A での測定

埼玉大学 研究機構 科学分析支援センター
理工学研究科 物理機能系専攻 物理コース 道村真司

我々は、水平2軸回折計に液体ヘリウム超伝導マグネットを搭載して実験している。この実験は、回折計が大きくモーター数が多い上に強度も然程弱くないため、常に軸が稼動している。そのため、普段ケーブルの巻込みや機器同士の衝突などの異常に常に注意を払う必要がある。今回、リモート測定を行う上で、まずは異常に対する違和感を捉えられないのではないかと不安であった。特に音は異常を察知する上で有用な感覚だが、リモートでは音情報を得ることができなかった。現在ハッチ内 Web カメラの音声入力に対応して頂いている。

また、教育面からお願いしたいのが、来訪人数の制限である。学生への説明などは Web ではなく対面で行うことが望ましく、BL で2名に制限されても宿舎で複数人で対面の説明や議論をする。そのため、BL での2名制限の効力は限定的である。制限を4名あるいは6名程度に緩和することにより、学生にとって貴重な実験経験の場を確保させて頂ければ助かります。

(編集部注釈) 2020年6月の実験時はBLごとに人数制限をかけておりましたが、2020年10月からは「必要最低限」に変更になりました。ただし、今後の流行状況により変更する可能性がありますので、最新情報にご留意ください。

BL-3A, 4C でのリモート測定

放射光科学第一研究系 中尾裕則

BL-3A, 4C では、多軸回折計上の試料の温度・磁場・電場等の外場条件を変えながら、逆格子空間の一部を高分解能・高精度で測定し、物性の発現機構を探る研究が行われている。このような実験の性質上、ユーザーが来所して試料を設置・調整後は、制御 PC を通じての実験が主であり、これまでも数日間のリモート測定は可能であった。しかしながら、今回ユーザーによるリモート測定を推進しようとしたところ、リモート測定に必要となる無線 LAN の tsubaki-III や VPN をユーザーが利用するための手続きが、

とても煩雑であった。また、リモート測定があちこちで行われる状況下では、制御にタイムラグを感じることも発生した(これまで、そんなことなかったのに..)。現在 PF では、これらの問題が解決される新しいネットワーク・リモート制御システムの構築が進められており、今後より快適で安全なリモート測定ができるものと期待している。また今回のことを通じて、「リモート」ユーザーサポートの重要性を感じた。今後、ネットワークカメラ、テレビ会議システム等によるユーザーサポートを試みていく予定である。

BL-5A での測定

広島大学大学院統合生命科学研究科 片柳克夫

昨年4月に新型コロナウイルスの非常事態宣言がされて県またぎの移動が禁止された時は、これから1年はデータ収集が無理かなと絶望しました。しかし、PF の方々のご尽力で何と早くも6月下旬にはリモート測定ができるようになりました。おまけに私のような広島からの訪問実験では、行きと帰りを合わせて2日間が移動日でしたが、これがリモート測定でゼロになり非常に効率的になりました。リモート測定には結晶交換ロボットが必須ですが、今回初めて使ってみてとても完成度が高く、まるで自分の研究室の一室に装置があるような身近な感覚を実感できました。自動測定はもちろん、マニュアル測定に関しても、設定条件の変更から結晶の操作までほとんど PF の実験ハッチの前で行うのと同じ感覚でできます。これには YouTube に公開されている過去数回分の PF-UA 主催「蛋白質構造解析ビームライン中級者講習会」も大変参考になりました。しかしこれらの便利さも結晶の送受からセットアップ、片付けまで BL スタッフの皆様の多大なサポートで成り立っていることも忘れてはなりません。私も Sakabe Camera の頃から、タンパクビームラインのユーザーとして代々の BL 担当者の方々にお世話になってきました。実験で訪問するたびに毎回何か新しくなっており、実験開始前のご説明時にはいつもワクワク感がありました。そういったスタッフの方々の長年の努力の積み重ねがあって初めて、今回のコロナ禍に対応したリモート測定がいち早く可能になったものと深く感謝している次第です。

タンパク質結晶構造解析ビームラインでの全自動測定、リモート測定

放射光科学第二研究系 山田悠介

タンパク質結晶構造解析 (MX) ビームラインにおける

リモート測定はコロナ禍以前から世界的にはごく一般的なものでしたが、現場スタッフ運用の問題から PF の MX ビームラインでは利用を企業や特定のプロジェクトに限定していました。ところがコロナ禍により多くのユーザーが来所実験が出来なくなったことをきっかけにリモート測定を一般ビームタイムでも利用可能とするよう舵を切りました。もともと 2020 年度より一般公開を予定していた全自動測定と合わせて、来所を必要としない測定（全自動測定＋リモート測定）が全体の 75 % を占めるようになりました。

全自動測定はユーザーから送られてくる試料をビームラインスタッフが測定装置にセットし測定開始をすると、結晶交換、センタリング、回折能評価、データ測定が全ての試料に対して無人で行われます。一方、リモート測定では、ビームラインスタッフが試料をセットしたあとに、ユーザーがインターネット越しに測定装置操作 PC にリモートデスクトップ接続して、測定を行います。

これらの測定では、試料のセットと片付けはビームラインスタッフがを行います。PF に 5 本ある MX ビームラインでは最短 4 時間単位でビームタイム配分を行っていることから、ユーザーからの試料やデータ保存用の HDD が毎日大量に届くこととなります（図 1）。実験データの取り違えは致命的ですから、この大量の荷物の取り扱いには細心の注意を払う必要があります。2020 年 6 月は PF のみの運転で 2 週間と期間も短かったことから現場スタッフが気合で乗り切りましたが、それ以降は AR も同時に 1～2 ヶ月運転が続くため、しっかりとした体制が必要です。そのため 2020 年夏の停止期間中に急遽試料流通管理のシステムを立ち上げ、ユーザーには送付する荷物にシステムが発行する QR コードを貼ってもらうよう協力をお願いしました。その結果、2020 年 10-12 月期には G 型課題だけで 148 回の試料輸送がありましたが、大きなトラブルなく受け取り、測定、返送を行う事が出来ました。システム作りからビームラインでの現場作業まで実作業を担当していただいた MX ビームライン運用スタッフの皆さんにこの場を借りて感謝申し上げます。

MX ビームラインではコロナ禍を機に運用方針の大きな転換を行い世界標準に近づく事が出来ました。また、全自動測定やリモート測定を経験し、その実用性からもう以前の来所実験に戻れなくなってしまったユーザーの方々も多いのではないかと想像します。今後もユーザーの皆様と対



図 1 PF に送られてくる測定試料（左）と HDD（右）

話を続けながら、MX ビームラインのあるべき姿を考えて行きたいと思います。

BL-7A での測定

東京大学物性研究所 坂本祥哉

6 月 28, 29 日に BL-7A にて雨宮健太教授のご助力のもと X 線磁気円二色性のリモート測定を行いました。コロナ禍で放射光実験などできないだろうと思っていたところに、リモート測定の話をいただいたので、たいへん嬉しく思いました。まず、実験に先立って、KEK のネットワークへの VPN 接続や測定用 PC へのリモートデスクトップ接続ができる環境を整えました。当初は測定がうまくいか不安でしたが、BL-7A ではほぼ全ての測定機器が PC から制御できるため、大学や自宅から円滑に測定を進めることができました。リモートでの対応が難しかったのは、ビームダンプ後の BBS の開閉と磁場の向きの手動反転です。深夜に発生したビームダンプの際には、他のビームラインで実験していた方に BBS を開けてもらいました。磁場の向きは雨宮教授に 12 時間おきに手動で反転してもらう必要がありました。このように、改善すべき困難はいくつかありましたが、今回の測定ではとても良いデータを取ることができ、リモート実験の将来性を感じる事ができました。今後ますます、現場の負担を増やさないような形で、リモート測定が発展していくと良いと思いました。

BL-7A, 16A でのリモート測定の準備

放射光科学第一研究系 雨宮健太

私のリモート測定への挑戦は緊急事態宣言真ただ中の 4 月 22 日に仁谷さんに送った一通のメール、「測定用の PC を機構外から操作するにはどうしたらいいですか？」から始まりました。PF の運転中止が決まっていたのになぜ、とも思いますが、虫が知らせたのでしょうか。それから 1 か月余り、ユーザーがリモートで操作しやすいようにソフトを改良する日々が続きました。のんびり朝ドラを見た後、寝室にこもってリラックした姿勢でノート PC をビームラインにつなぎ、大画面 TV に映し出してソフト開発にいそしみつつ、時おり妻と一緒に犬の散歩にでかけるという、絵にかいたような在宅勤務です。私の担当する BL-16A の XMCD 装置は、ほとんどの操作が PC からできるのでソフトの改良で済みましたが、BL-7A の XAFS 装置は完全手動でしたので、急遽モーターを買って板を工作して Z ステージに無理やり取り付け、即席の「試料交換機構（上下に移動するだけ）」にしました。仕上げに 3 千円の Web カメラを何台か買って準備完了です。さて実際にリモート測定をしてみると、これはもう快適の一言でした。ユーザーの実験でも自分の実験でも、どこにいても図 2 の

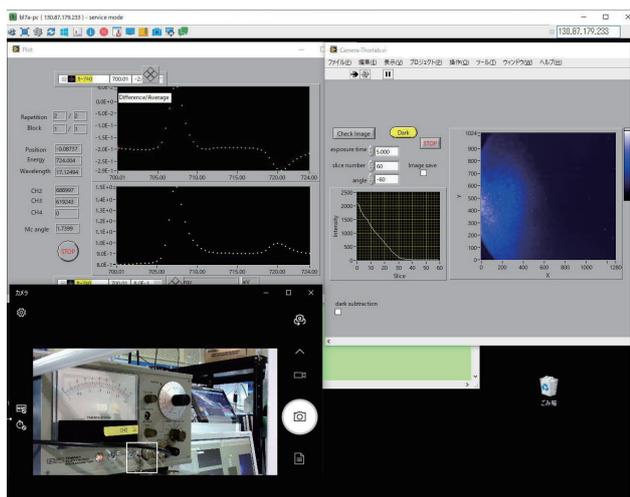


図2 BL-7Aでのリモート測定の様子(アナログとの華麗な融合)

ような画面が見られて、そのまま操作ができるなんて、まさに夢のようです(ピコアンで光強度が見られるのもポイントです)。家で「光を見失いました」と連絡を受けても、5分で復活です(以前なら何時間かかったことか…)。この快適さは一度体験したらやめられません。

硬X線 XAFS メールインサービスの利用

山口大学大学院創成科学研究科
恒川舜, 坂井ありす, 吉田真明

私たちの研究室は硬X線・軟X線による XAFS 測定に取り組んでおり、普段は PF の BL-7A, 9A, 16A を利用させていただいています。しかし、6月の実験では新型コロナウイルスの影響で大学から出張を控えるように指示され、配分されたビームタイムをキャンセルすることになりました。そんな中、硬X線 XAFS ビームラインにおいてメールインサービスでのリモート測定をご対応いただき、おかげさまでコロナ禍にも関わらず研究を継続することができました。この測定では、PF から送られてきたサンプルホルダー(図3)に試料を固定して返送すると、PF で自動測定を行い、測定データをオンラインで送付していただけるというものでした。そのため、長距離移動することなく



図3 PFから送付されたケースとサンプルホルダー

実験でき、新型コロナウイルスの感染を心配せずに済みました。今後は、また現地で測定を行えるようになることを期待するとともに、標準的な測定法の試料についてはメールインサービスでの測定も利用させていただければと思っています。最後に、ご支援くださいました XAFS ビームライン担当者の仁谷様に心より感謝申し上げます。

硬X線 XAFS でのメールイン代行測定サービス

放射光実験施設 仁谷浩明

硬X線 XAFS ビームラインでは以前よりメールイン代行測定サービス(ユーザーは来所せずに試料のみ PF に送付する代行測定方式)の準備を行ってきました。特に産業利用課題においては2018年から正式に利用制度がスタートしていましたが、これまでの利用はわずか数件で開店休業状態でした。緊急事態宣言を受けて2020年6月からは制度をG型課題にも広げたと出張困難等の理由で多くの利用希望をいただき、本格的な運用がようやく始まりました。実際に作業に取りかかると見落としていた点などが見付き、当初はバタバタしましたが、11月の運転ではそれらも改善されて比較的スムーズに実施できるようになったと思います。次の2月の運転では海外からの利用希望もあり(これも想定から漏れていましたが)、徐々にサービスとして認知され始めている状況です。今後は測定部分のリモート化を進めて、“代行測定”ではないメールインリモート測定サービスに発展させたいと考えています。

東京大学の十倉 好紀 特別荣誉教授が文化功労者として表彰されました

物構研トピックス
2020年11月12日

物構研の量子ビームを利用して長年にわたり物性物理学分野の多くの研究成果を出している東京大学工学部物理工学科の十倉 好紀（とくら よしのり）特別荣誉教授が、今年度の文化功労者として表彰されました。十倉教授は、理化学研究所 創発物性科学研究センター長であり、東京大学 国際高等研究所東京カレッジの卓越教授でもあります。今回の選考では物質中の電子集団の特殊な振る舞いを解明したことが高く評価されました。

物構研では十倉教授のグループと強誘電体や磁気スクリミオンに関する多くの共同研究を行っています。

このたび十倉教授から「KEK 物構研の先生方とは、永い間、多くの共同研究をさせていただき、いずれも研究成果を出す上で重要な協働でありました。これらは現在もまた進行中です。」とのメッセージをいただいております。



第3回物構研シンポジウムにて講演中の十倉教授（2010年12月）

物構研の協力研究員 野田幸男氏が日本中性子学会の功績賞を受賞

物構研トピックス
2020年11月19日

日本中性子学会が広く日本の中性子科学の発展に顕著な功績のあった者に対して授与する功績賞受賞者に、東北大学名誉教授の野田 幸男 氏を選ばれ、オンライン開催の中性子学会年会にて授与式が行われました。受賞テーマは「中性子構造解析装置の発展および日本の中性子科学コミュニティ発展に対する貢献」です。

野田幸男氏は、これまで一貫して中性子とX線を用いた構造物性研究を行い、合金の相転移・マルテンサイト変態・水素のダイナミクス・水素結合系強誘電体・マルチフェロイック物質・酸化物強誘電体など多くの物質において顕著



功績賞受賞講演をする野田幸男氏（ご提供：東北大学 山本孟氏）

な研究成果をあげてきました。受賞理由には「構造物性研究並びに国内外の数多くの中性子構造解析装置の開発・高度化という科学的功績のみならず、中性子科学の黎明期から日本の中性子科学分野の発展のために尽力し、今日の日本中性子学会および中性子科学分野の礎を築いた功績は極めて大きい」と評されています。

野田氏は、長年フォトンファクトリー（PF）とKEK中性子散乱実験施設（KENS）のユーザーであり、多くの実験装置の立ち上げに貢献されました。PFでは、1980年代、PF初期のBL-4Cの立ち上げに始まり、近年ではBL-14Aの4軸回折計を用いた精密結晶構造解析を手がけています。また、PFに関しては1996年よりPF懇談会の共同利用担当幹事や運営委員を8期、放射光共同利用実験審査委員会（PAC）委員を2007年度から3期6年、KENSでは1999年から2009年まで中性子実験審査委員会委員や日英中性子散乱研究協力事業研究計画委員会の委員を務められました。その後、KEKの客員教授、ダイヤモンドフェローを務められ、2008年からは現在に至るまでPFの協力研究員となっています。J-PARC物質・生命科学実験施設（MLF）稼働後も、物構研と多くの共同研究を行ったことはもちろん、MLF中性子課題審査の部会長を長く務められ、S型課題S05の初期の代表者でもありました。もっとも最近の共同研究は、マルチプローブ利用によるマルチフェロイック物質の強誘電性に関する研究で、その成果は2020年7月にKEKと東北大学多元物質科学研究所からプレスリリースされました。

さらに、野田氏はPFユーザーアソシエーションの構造物性ユーザーグループの世話人も任されていました。国内の量子ビーム施設の装置立ち上げに携わった野田氏は、ユーザーグループも「PFのユーザー」に限定せず、「本グループは、SPring-8を中心的に利用する研究グループや、原子炉JRR-3やJ-PARC MLFの中性子やミュオンを利用する研究グループとも協力することにより、幅広い観点から研究を推進し、構造物性研究の中核的存在となることを目指す」といった目標を掲げていたそうです。この理念は、後任の有馬 孝尚氏にも引き継がれました。当時のユーザーミーティングの記録がウェブ上に残されています。

放射光実験施設の間瀬一彦准教授が日本表面真空学会 功績賞および会誌賞を受賞

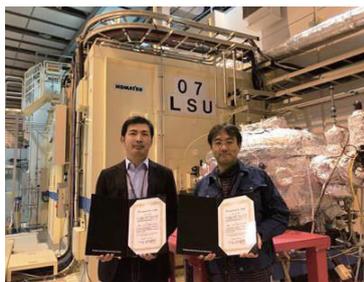
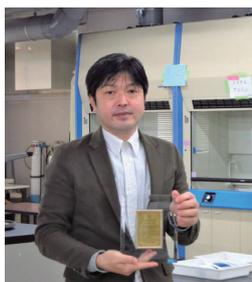
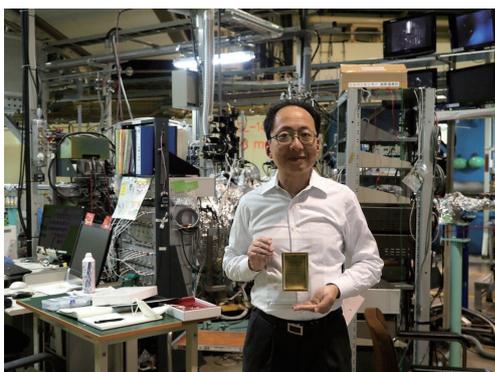
物構研トピックス
2020年11月20日

物構研 放射光実験施設 基盤技術部門の間瀬一彦（ませかずひこ）准教授が、今年度の日本表面真空学会の功績賞および会誌賞を受賞しました。

日本表面真空学会功績賞は、永年にわたり日本表面真空学会の発展に特に功績があったと認められる個人会員に与えられる賞です。間瀬准教授は、学会の教育事業などでの功績が認められ、受賞となりました。

また、日本表面真空学会会誌賞は、過去2年間に学会誌「表面と真空」または学会発行の e-Journal of Surface Science and Nanotechnology へ掲載された原著論文以外の記事が、日本表面真空学会会員の啓蒙に特に大きく貢献したと認められる個人会員に与えられる賞で、2020年度は東京工業大学 理学院の小澤 健一（おざわけんいち）助教、東京大学 物性研究所の山本 達（やまもとすすむ）助教（研究当時、現在は東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター（多元物質科学研究所 兼務）准教授）、東京大学 物性研究所の松田 巖（まつだいわお）准教授との共同受賞となりました。

受賞対象となった論文は、“A Surface Science Approach to Unveiling the TiO₂ Photocatalytic Mechanism: Correlation between Photo-catalytic Activity and Carrier Lifetime”, Kenichi Ozawa, Susumu Yamamoto, Kazuhiko Mase, Iwao Matsuda, e-J. Surf. Sci.



(上)間瀬一彦氏(BL-13Bにて)、(左下)小澤健一氏(東工大にて)
(右下)左から山本達氏、松田巖氏(SPring-8 BL07LSUにて)

Nanotechnol. 17, 130-147 (2019). です。

この共同研究では、SPring-8の東京大学放射光アウトステーション物質科学ビームラインBL07LSUと、フォトンファクトリーのBL-13Bにおいて実験が行われました。

フォトンファクトリーユーザーの西川恵子氏が日本結晶学会西川賞を受賞

物構研トピックス
2020年12月1日

フォトンファクトリー（PF）のユーザーである豊田理化学研究所フェロー・千葉大学名誉教授の西川恵子氏が、日本結晶学会の西川賞を受賞しました。西川賞とは、長年に亘って結晶学に対する貢献が特に優れた研究者に対して授与されるもので、11月27日にオンラインで開催された日本結晶学会年会にて授賞式及び受賞講演が行われました。受賞テーマは「複雑凝集系を対象としたゆらぎの構造科学」です。

西川氏は、長年PFにおいて小角X線散乱法を中心に種々の手法を相補的に使い、物質科学におけるメゾスケールの『ゆらぎ』現象を対象に、独創的な研究を進めてきました。ゆらぎは平均からのズレを表す概念であり、空間的な分子分布のズレ（静的ゆらぎ）や時間的変動（動的ゆらぎ）は、対象とする系の構造・物性を決め、その後の時間発展の駆動力となる物理量です。しかし、非常に微視的な現象のため、その観測は困難を極めました。西川氏は、小角X線散乱法を巧みに駆使して観測の困難さを打ち破り、物質科学でゆらぎが顕在化する種々の現象を調べ、静的ゆらぎを定量化する観測方法を確立することに成功しました。また、イオン液体と呼ばれる物質群が、相変化の動的ゆらぎを実験的に追跡できる系であることを見出し、その現象の観測に世界で初めて成功しました。これらの成果は学問的に高く評価されているのみならず、その後のゆらぎをプローブとした複雑凝集系の構造物性研究の広がりにおいても重要な役割を果たしています。



日本結晶学会年会における授賞式の様子（右上が西川氏、左上は山縣ゆり子学会長、下が賞状と記念品の楕）

さらに、西川氏は各学会誌に多くの解説記事を書かれており、また科研費特定領域研究の領域代表や研究会世話人なども務め、小角X線散乱法やイオン液体研究の存在感を大いに広め、新しい見地に立った構造科学を創成したことが高く評価されています。また、PFにおいても、研究成果を出すだけでなく、小角散乱ビームラインの運営や研究会などへの協力において多大な貢献をされています。

- 1.15 【プレスリリース】量子液晶と関係した新しい超伝導状態を発見
- 1.21 【物構研トピックス】CIQuS キックオフ研究会をオンライン開催しました
- 1.26 【トピックス】「茨城大学 -KEK Day ~ 最先端加速器による量子線科学のツアー」を開催しました
- 1.29 【物構研トピックス】研究系技術職員 1day 仕事体験を開催しました

PF トピックス一覧 (11月~1月)

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

2020年11月~2021年1月に紹介されたPFトピックス一覧

- 11.12 【プレスリリース】微小な磁気渦の内部変形が引き起こす渦の配列変化
- 11.12 【物構研トピックス】東京大学の十倉 好紀 特別栄誉教授が文化功労者として表彰されました
- 11.19 【物構研トピックス】物構研の協力研究員 野田 幸男 氏が日本中性子科学会の功績賞を受賞
- 11.20 【物構研トピックス】放射光実験施設の間瀬 一彦 准教授が日本表面真空学会 功績賞および会誌賞を受賞
- 12.1 【物構研トピックス】フォトンファクトリーユーザーの西川恵子氏が日本結晶学会西川賞を受賞
- 12.2 【トピックス】小柴昌俊先生ご逝去の報に寄せて
- 12.11 【プレスリリース】X線回折パターンからの対称性予測における知識発見 - 熟練者の勘・コツの定式化に成功 -
- 12.14 【物構研トピックス】最適化について - どこがもっとも類似度が高いのか -
- 12.14 【物構研トピックス】画像処理屋が KEK で単粒子解析をやるとのこと
- 12.14 【物構研ハイライト】タンパク質の単粒子解析ってどうやるの? ~ 二次元の画像データから 三次元の情報が見られるのはなぜ? ~
- 12.23 【物構研トピックス】物構研の量子ビームを利用した高インパクト論文の著者が、2020年の高被引用論文著者に選ばれました
- 12.25 【プレスリリース】軟X線渦ビームのらせん波面の観測に成功 - 磁性体中のトポロジカル欠陥構造に対する新たな観測手法 -
- 1.13 【KEK エッセイ #37】協奏的な量子ビーム利用で物性発現機構を探る
- 1.15 【プレスリリース】副作用原因タンパク質 hERG チャネルと薬剤の複合体構造を明らかにすることに成功 - 重篤な副作用の回避にもクライオ電子顕微鏡解析が役立つ -

医学利用ユーザーグループの紹介1 ～ヒト胚子の発生・形態形成についての研究～

京都大学大学院医学研究科
高桑徹也, 山田重人, 金橋徹
KEK 物質構造科学研究所 兵藤一行
九州シンクロトロン光研究センター 米山明男

1. グループの構成について

本グループは、ヒト胚子の発生、形態形成についての研究者（高桑、山田、金橋）と位相コントラストX線撮像法についての研究者（兵藤、米山）とで構成されています。本稿では、おもに医学利用の観点から紹介をいたします。

2. プロジェクトの概要と PF の利用目的

本グループでは、ヒトの発生のとくに器官形成期（胚子期）の形態形成について研究しています [1]。胚子期は、在胎 38 週間のヒトの発生のうち、受精後 3-9 週の器官を形成する重要な時期のことです。この時期はさまざまな異常発生をおこす危険性がある臨界期で、先天異常や胎児医学の分野では、とくに重要な時期といえます。ヒトのこの時期の研究は、実験的なアプローチが難しく、解剖学的、形態学的な観察研究が中心になります。また、倫理的な制約から標本をたくさん得ることは困難で、すでにある標本を壊さずにいかに有意義な解剖学的、形態学的情報を取り出すかは、重要課題と言えます。京都大学先天異常標本解析センターは、1961 年以来、貴重なヒト胚子、胎児標本を 4 万例数以上収集、保有しています [2]。本グループではこの貴重な標本を用いて、非破壊的に内部器官の高解像度かつ正確な情報を得るために PF を使用させていただいています。

3. 位相 CT の原理

三次元イメージング法のうち、マイクロX線 CT は、ヒト胚のような柔らかい標本では通常のX線 CT では透過してしまい撮像ができません。また MR 顕微鏡では詳細な解析に至る解像度が得られていません。そこでわたしたちは、位相X線顕微鏡（位相 CT）を用いることにいたしました。位相 CT は波としてのX線は物質を透過すると位相がシフトすることを利用し、この位相差を画像化することで、従来の吸収X線によるイメージングの 1000 倍の感度を実現したもので、解像度は MR 顕微鏡の 10 倍近くになる可能性があります (図 1)。日立・高エネ研・北里大の共同研究グループが開発した撮像システムは、BL-14C に常設されています [3-5]。

BL-14C に常設された位相 CT 装置は、非対称結晶を用いた拡大ミラー、分離型X線干渉計位置決め機構、画像検

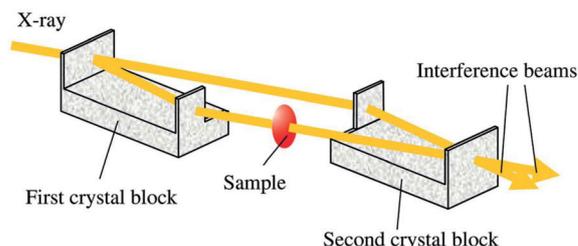


図 1 位相 CT の原理

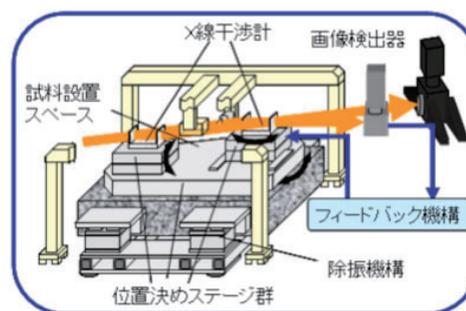


図 2 位相 CT 装置 (BL-14C に常設)

出器、試料位置決め機構、フィードバック機構から主に構成されています。BL-14 の垂直ウィグラーから放射されたX線は Si220 で単色化され、さらに非対称結晶により横方向に拡大されて、X線干渉計に入射します。干渉計で形成された干渉ビームのうち一方は画像検出器で検出し、他方はフィードバック用として利用します。試料は基礎から独立した位置決め機構により、干渉計の光路に設置します。

3 次元測定は、試料をX線に対して回転して行います。標本はアガロースゲルに包埋し、そのゲル塊を回転台に固定する方法をとります (図 3)。標本は BL-14C に常設された位相コントラスト型イメージングシステムの標準的な試料ステージを用いて設置します。標本の大きさは最大 3 cm 程度であり、上記ステージで十分な位置決めを行うことができます。標本は水で満たしたセル内に設置します。これは標本の蒸発を抑制すると同時に、空気と標本の大きな密度差を低減するためです。CT を実施するために、標本を固定した棒をセル外からモータにより回転させます。

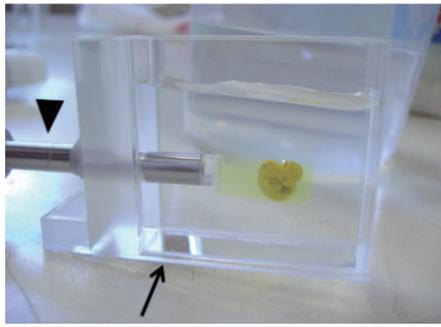


図3 サンプルセルにゲル包埋した標本を水没させたもの。矢印：サンプルセル，矢頭：回転軸。この軸の回転により，CT像を得る。

4. 位相 CT 撮像の実際

現在，割り当てられたビームタイムに合わせてヒト胚子標本を施設に持ち込んで撮像をしています。1体あたりの撮像に3-6時間かけ，1日4-6体，ほぼ24時間，装置を稼働しております。たまに訪れるビームダンプと地震は難敵で，再撮像を余儀なくされることがあります。あとは，過酷なつくばの気候（特定のメンバーが連れてくるという噂もあります）。

5. プロジェクトの現状と成果

ヒト胚子の位相 CT 撮像法としては一定の手法を確立した状態で，撮像標本数も200程度になりました。それらを用いて，全身様々な部位の器官，組織等の発生に伴う変化を解析しています [1] (図4)。位相 CT を用いることで，貴重な標本を破壊せずに解析できます。また，撮像された画像は立体構築が正確であることから，三次元的な形態観

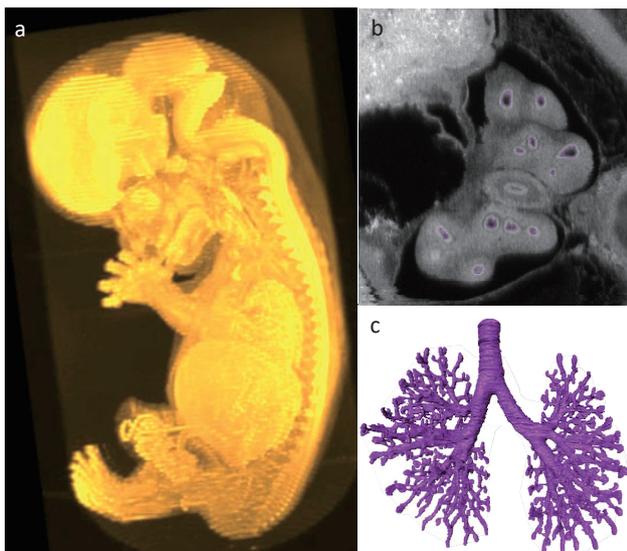


図4 位相 CT 画像を用いた解析例 [カーネギー発生段階 22 (受精後約 50 日) の標本]
 a) ヒト胚子の全身立体像。外観と同時に内部器官も観察できる条件の像を示している。
 b) 呼吸器の横断像
 c) 抽出した気管支の立体再構成像

察，計測に適しています。くわえて，二次元の断面像を任意に取れる，レンダリングにより臓器の位置の把握が容易である，多くの個体をコンピュータ上で比較検討しやすいなど，デジタルデータならではの多くの長所があります。これらの長所を生かしたヒト胚子研究はほとんどなく，得られる知見は大変有意義です。

6. 今後の課題

グループの米山らは，「X線干渉法を用いた Z_{eff} イメージング法」(標本内の実効原子番号の空間分布を画像化する手法)の開発を進めています [6]。新規の観察手法ですが，これまでと標本準備や機器のセッティングは同じで，位相イメージングに加えて吸収像の撮影を追加するだけで元素に関する情報を画像化可能であるという点が大きな利点です。この手法で生物標本を網羅的に観察した例は皆無です。 Z_{eff} 法を用いることで，器官発生に伴う質的な変化，代謝による物質の合成，貯留を定量，組織構造の形成に伴う物質分布の変化についての情報を付加することが可能です。発生に伴う代謝や機能的な変化，組織構造学的な変化について新たな知見を得，発展に貢献すると思われま。また，その異常についても捉えられる可能性があることから先天性代謝疾患，中毒性疾患についても新たな知見が得られる可能性があります。また，より安定した実験装置周辺環境で，より高い空間分解能，濃度分解能の画像を得るためのビームライン，X線干渉計の高度化に関する検討や加速器の先生方とともに挿入光源の高度化に関する検討も行なっています。

7. 参考文献

- [1] Takakuwa T. 3D analysis of human embryos and fetuses using digitized datasets from the Kyoto Collection. *Anat Rec* 2018 ; 301: 960-969 doi: 10.1002/ar.23784
- [2] Yamaguchi Y, Yamada S. The Kyoto Collection of Human Embryos and Fetuses: History and Recent Advancements in Modern Methods. *Cells Tissues Organs* 2018; 205: 314-319. doi: 10.1159/000490672.
- [3] Yoneyama A, Yamada S, Takeda T. Fine biomedical imaging using X-ray phase-sensitive technique. In: Gargiulo DG, Mcewan A, editors. *Advanced biomedical engineering*. Rijeka: InTech; 2011. pp. 107-128.
- [4] Yoneyama A, Takeda T, Tsuchiya Y, Wu J, Lwin TT, Koizumi A, Hyodo K, Itai Y, A phase-contrast X-ray imaging system-with a 60×330 mm field of view-based on a skew-symmetric two-crystal X-ray interferometer. *Nucl Instrum Methods Phys Res A*. 2004; 523: 217-222.
- [5] 兵藤一行. 放射光位相コントラストイメージングで展開されるサイエンスへの期待. *表面と真空* 2019; 62: 66-71.
- [6] Yoneyama A, Hyodo K, and Takeda T, Feasibility test of Z_{eff} imaging using x-ray interferometry. *Appl Phys Lett* 2013 ; 103 : 204108.

医学利用ユーザーグループの紹介 2 ～放射光を用いた微小血管造影の開発と 応用～

筑波技術大学名誉教授 松下昌之助

1. 血管造影について

血管の中の血液が微小循環を介して全身を循環することをはじめて提唱したのは17世紀のイギリスの内科医のWilliam Harveyであった。それまで、動脈と静脈がそれぞれ動脈血と静脈血を流しているのは分かっていたが、動脈の先と静脈の由来は不明であった。その後、顕微鏡を用いた結果、微小循環を介した全身循環の理解が深まった。しかし、顕微鏡法では外科的に摘出しないと循環は観察できず、深部の血管系は可視光の到達外であった。放射線の人体透過性とヨードのX線吸収率の差を利用した血管造影法の開発と選択的血管造影法を用いることによって人体のほとんどの部位の血管が可視化できるようになった。しかし、X線管球を用いた従来の造影法では、空間分解能の限界により末梢動脈では200 μm 、拍動する心臓の冠動脈造影では400 μm の血管が可視化の限界であった。高空間分解能を可能とする放射光を用いた血管造影では、50 μm の血管の可視化が可能となり、条件が許せば18 μm までの血管が分別可能となった。我々はこの血管造影法を空間分解能と濃度分解能の観点から、主要な循環系の微小循環を可視化し、病態の理解を深めることを目的に研究を進めてきた。

2. 放射光血管造影のシステム

PF-AR (NE7A) (6.5 GeV)、PF (BL-14C) (2.5 GeV)の放射光線源から得られるX線領域の電磁波をシリコン結晶を用いて単色X線にする。PF-ARでは垂直方向に13度、PFでは水平方向に反射後、被写体(ラット)を透過し、蛍光板で可視光に変換される。可視光はCCDや高感度受像体(HARP受像管: NHK放送技術研究所)で画像として取得される。CCDのピクセルサイズは $9 \times 9 \mu\text{m}/\text{pixel}$ であり、HARP受像管では20 Line pairs/mmである。また、HARP受像管ではアモルファスセレンを用いた増倍現象により、CCDカメラの約100倍の感度が得られる。

3. 放射光血管造影の成果

① 各臓器での血管造影法の確立 (CCD)

放射光の高空間分解能を利用して、ラットの冠動脈、腎動脈、肺動脈の血管造影を行った。冠動脈では、45 μm 冠動脈まで確認できた[1]。いままで臨床では400 μm の血管の視認にとどまっていたため、人間では45 μm の血管は冠微小循環の細動脈に相当する(図1)。腎動脈では、糸球体の撮像とともに最小18 μm の腎細動脈が撮像された[2](図2)。肺動脈では、肺高血流量モデルを用いて微小血管の血流量を計測した[3]。また、肺高血圧モデルを作成し、肺高血圧症における肺細動脈の狭小とその理由を検討した[4](図3)。

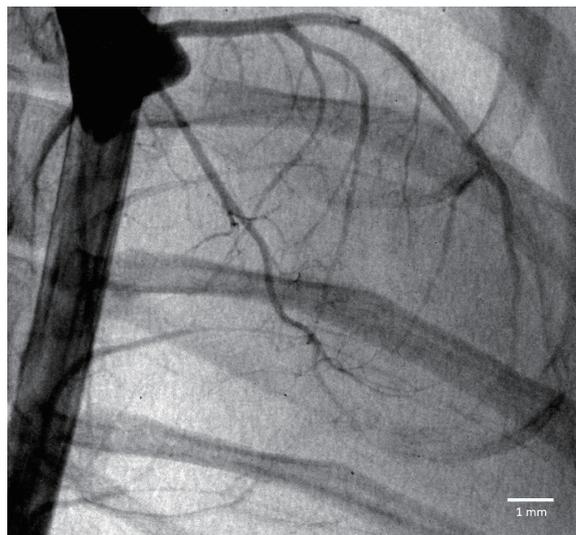


図1 冠動脈造影

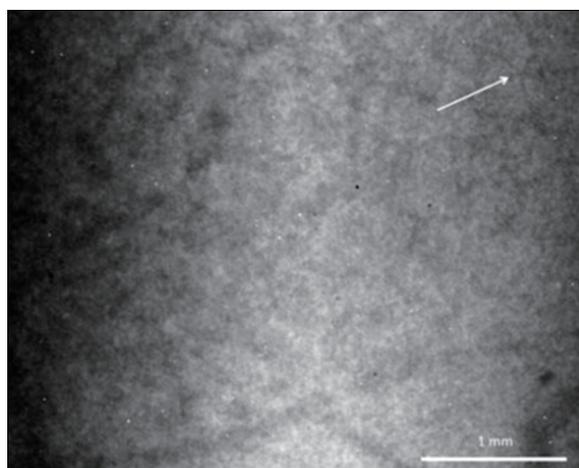


図2 腎動脈造影と腎細動脈(→)

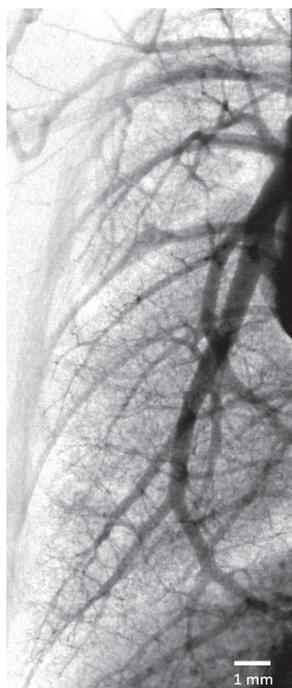


図3 肺動脈造影
(肺高血圧処置後)

造影剤希釈による放射光血管造影 (rat) +HARP

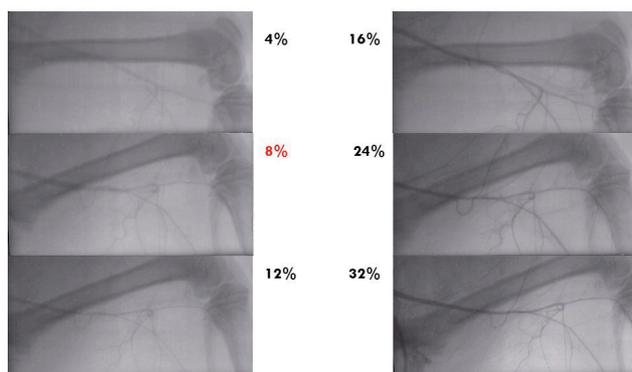


図4 放射光血管造影と高感受度受像体を用いた造影剤の希釈画像 (4%～32%)。通常は32%を用いる。ラット大腿動脈。

② 高濃度分解能の応用 (HARP)

高い濃度分解能を有する HARP 受像管を用いると、造影剤を4倍に希釈しても、通常の造影剤とほぼ同様の血管造影画像が得られることが示された。これは、造影剤腎症の予防に貢献できると考えられる [5] (図4)。

③ 放射光血管造影によるさまざまな病態の理解 (CCD, HARP)

血管新生を対象として、冠動脈虚血を行ったラット心臓に対しエリスロポエチンを投与して細動脈再生とその機序を調べた [6]。肺気腫で肺細動脈の微小循環機能の低下と肺気腫による病理学的な肺胞破壊には有意な相関がみられた [7]。微小肺がんの新生血管における造影剤透過性の亢進を利用して造影剤の漏出と回復の特徴からがんの早期発見を行った [8]。微小冠攣縮は通常の造影剤検査では検出出来ないが、放射光線源を用いると100 μmの血管の攣縮まで検出できることを示した [9]。女性ホルモンの有無による下肢骨格筋の細動脈の寒冷対応血管拡張性の性差を可視化し、女性に多い冷え性の一因を考察した。[10]。喫煙による末梢血管障害を細動脈の収縮性亢進として可視化した [11]。

4. 今後の研究の方向性

今後の研究は、下記に向かうことを考えている。

- ① 病態の理解を深めるために、微小血管の形態変化の背景にある遺伝子発現との関連をつけること。
- ② 優れた空間分解能に加え、濃度分解能、時間分解能を適切に組合せ、X線CT、MRIではまだ可視化が及んでいない微小血管で機能性の情報を得ること。
- ③ 3D画像の取得に努めること。

5. 参考文献

- [1] Sakamoto H, *et al.* A new technique of in vivo synchrotron radiation coronary microangiography in the rat. *Acta Radiol* 2015;56: 1105-1107.
- [2] Miya K, *et al.* Renal contrast microangiography with

synchrotron radiation: a novel method for visualizing structures within nephrons in vivo. *Acta Radiol* 2017;58: 505-510.

- [3] Tokunaga C, *et al.* A new method for visualizing pulmonary artery microvasculature using synchrotron radiation pulmonary microangiography: the measurement of pulmonary arterial blood flow velocity in the high pulmonary blood flow rat model. *Acta Radiol* 2018; 59:1482-1486.
- [4] Fuji S, *et al.* Association between endothelial function and micro-vascular remodeling measured by synchrotron radiation pulmonary micro-angiography in pulmonary arterial hypertension. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2016;64: 597-603.
- [5] Konishi T, *et al.* Reducing the dose of contrast medium in angiography by use of a highly sensitive receiver and synchrotron radiation system. *Am J Roentgenol* 2011;197: W1-W6.
- [6] Imazuru T, *et al.* Erythropoietin enhances arterioles more significantly than it does capillaries in an infarct rat heart model. *Int Heart J* 2009;50: 801-810.
- [7] Ito H, *et al.* Analysis of pulmonary peripheral perfusion by synchrotron radiation micro-angiography with high sensitive receiver in pulmonary emphysema rat model. *J Synchrotron Rad* 2013;20: 376-382.
- [8] Ito H, *et al.* Focusing on delayed clearance for identifying small-sized metastatic lung tumors using synchrotron radiation angiography with a highly sensitive receiver. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2014; 62: 553-559.
- [9] Matsushita S, *et al.* The minimum coronary artery diameter in which coronary spasm can be identified by synchrotron radiation coronary angiography. *Eur J Radiol* 2008;68S: S84-S88.
- [10] Sato F, *et al.* Sex difference in peripheral arterial response to cold exposure. *Circ J* 2008;72: 1367-1372.
- [11] Akishima S, *et al.* Cigarette-smoke-induced vasoconstriction of peripheral arteries —Evaluation by synchrotron radiation microangiography—. *Circ J* 2007;71: 418-422.

新人紹介

(入学)

UY, Mayrene Allam (出身：Republic of the Philippines)



1. October 1st 2020
2. Graduate student in a Ph.D. program, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)
3. Graduate student in a master's degree program, University of the Philippines
4. Material design and characterization of transition metal-doped functional materials and nanostructures for potential optoelectronic applications
5. To become proficient in using X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) for materials analysis.
6. You can learn anything.
7. Cooking, indoor plants, workout, free-diving, and travel

(着任)

OLIERIC, Vincent (出身：France)



1. February 1, 2021
2. Long-term invited fellow
3. Beamline Scientist at the Swiss Light Source, Switzerland
4. Macromolecular Crystallography (MX)
5. Deepen my knowledge in low-energy experimental in MX and learn cryo-electron microscopy.
6. Go abroad.
7. Swimming, biking, travel, wine

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)

2020年度量子ビームサイエンスフェスタ (第12回 MLF シンポジウム / 第38回 PF シンポジウム) 開催のお知らせ

PF シンポジウム実行委員会委員長 松垣直宏
MLF シンポジウム実行委員会委員長 川崎卓郎

2020年度量子ビームサイエンスフェスタ(第12回 MLF シンポジウム/第38回 PF シンポジウム)を2021年3月9日(火)~11日(木)の日程で開催を予定しておりますが、今年度は新型コロナウイルス感染拡大防止のため、オンラインで開催することとなりました。初めての試みですので、ご迷惑をお掛けすることもあるかもしれませんが、皆様のご協力をいただければと存じます。

<開催概要>

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

会期: 2021年3月9日(火)~11日(木)

会場: オンライン開催

ホームページ: <http://qbs-festa.kek.jp/2020/>

問い合わせ先: 量子ビームサイエンスフェスタ事務局

Email: qbsf2020-office@ml.post.kek.jp

2020年度量子ビームサイエンスフェスタ実行委員:

猪野隆 (KEK 物構研), 大井元貴 (JAEA), ○川崎卓郎 (JAEA), 神田聡太郎 (KEK 物構研), 北島昌史 (PF-UA, 東工大), 桐山幸治 (CROSS), 佐賀山基 (KEK 物構研), 高木宏之 (KEK 加速器), 巽一蔵 (JAEA), 中尾裕則 (KEK 物構研), 永谷幸則 (KEK 物構研), 中野岳仁 (J-PARC MLF 利用者懇談会, 茨城大), 仁谷浩明 (KEK 物構研), 伏信進矢 (PF-UA, 東大), 増井友美 (J-PARC MLF 利用者懇談会, 住友ゴム工業㈱), 町田真一 (CROSS), 松浦直人 (CROSS), ◎松垣直宏 (KEK 物構研), 山崎大 (JAEA), 山田武 (CROSS), 山田悠介 (KEK 物構研), 和田健 (KEK 物構研) (◎委員長, ○副委員長, 50音順, 敬称略)

プログラム:

[3月9日(火)]

第12回 MLF シンポジウム

10:00-10:05 開会挨拶
10:05-11:30 MLF 施設報告
11:30-12:00 コロナ禍での MLF の取り組み
12:00-13:00 昼休み
13:00-14:00 MLF 利用者懇談会総会

14:00-15:30 ユーザーからの要望, アンケート結果報告, セミナー
15:30-15:45 休憩 (15分)
15:45-17:05 MLF 中長期計画
17:05-17:10 閉会挨拶

[3月10日(水)]

量子ビームサイエンスフェスタ

9:00-0:10 開会挨拶
9:10-11:10 基調講演 (講演 45分+質疑応答 10分)
9:10-10:05 「量子ビームの協奏的利用による構造物性研究—軌道自由度を中心として—」
村上洋一 (KEK 物構研)
10:05-10:15 休憩 (10分)
10:15-11:10 「負ミューオンによる文化財の完全非破壊調査—内部分析と深さ方向分析—」
齋藤 努 (国立歴史民俗博物館)
11:10-11:50 来賓等挨拶
11:50-13:00 昼食, セミナー
13:00-15:00 ポスターセッション
15:00-16:15 パラレルセッション パート I
(A1) CIQuS-I
15:00-15:25 「CIQuS が拓くマルチプローブ連携研究」
雨宮健太 (KEK 物構研)
15:25-15:50 「スピン流の高効率制御を可能にする革新的グラフェン/ホイスラー合金ヘテロ構造の創製」
李 松田 (量子科学技術研究開発機構)
15:50-16:15 「機械学習を応用した量子ビームデータ解析」
鈴木雄太 (総合研究大学院大学)
(B1) 物性 -1
15:00-15:25 「放射光共鳴 X線磁気散乱と中性子回折を用いた空間反転対称性を持つスキルミオン物質の研究」
中島多朗 (東京大学物性研究所)
15:25-15:50 「放射光で見えた遷移金属元素の「隠れた秩序」—重い元素の示す奇妙な振る舞いの理解に向けて—」
平井大悟郎 (東京大学物性研究所)
15:50-16:15 「中性子回折を用いた灰重石型酸化物イオン伝導体の導電機構の解明」
高井茂臣 (京都大学)
(C1) バイオ
15:00-15:25 「量子ビームで迫る微小管関連タンパク質構造動態: 疾患から分子構造病態まで」
小川覚之 (東京大学)
15:25-15:50 「リン脂質二分子膜中の水のダイナミクスへ

- の塩添加効果」
山田 武 (総合科学研究機構),
瀬戸秀紀 (KEK 物構研)
- 15:50-16:15 「 μ SR が提供する生命現象にかかわる情報とは」
菅原洋子 (北里大学 / 豊田理化学研究所)

(D1) 材料科学

- 15:00-15:25 「X線顕微鏡を用いた航空機用構造材料のき裂・劣化の起点観察」
木村正雄 (KEK 物構研)
- 15:25-15:50 「中性子回折を用いた塑性加工製品の内部応力解析」
西野創一郎 (茨城大学)
- 15:50-16:15 「半導体メモリ SRAM における中性子・ミュオン起因ソフトエラー」
加藤貴志 (株式会社ソシオネクスト)

16:15-16:25 休憩 (10分)

16:25-17:40 パラレルセッション パート II

(A2) CIQuS-2

- 16:25-16:50 「量子ビームを用いた食品科学」
山田悟史 (KEK 物構研)
- 16:50-17:15 「酸素イオンの磁気偏極に着目したマルチフェロイック物質の磁気誘起強誘電性の研究」
石井祐太 (東北大学)
- 17:15-17:40 「マルチフェロイック物質における臨界挙動の観測」
岡部博孝 (KEK 物構研)

(B2) 物性 -2

- 16:25-16:50 「電子状態・輸送特性・構造の観点で明らかにするグラフェン層間化合物の超伝導」
高山あかり (早稲田大学)
- 16:50-17:15 「正方カゴメ格子反強磁性体 $KCu_6AlBiO_4(SO_4)_4Cl$ の磁気基底状態」
藤原理賀 (東京理科大学)
- 17:15-17:40 「スピン 1/2 籠目格子反強磁性体 $CaCu_2(OD)_6Cl_2 \cdot 0.6D_2O$ の磁気構造と磁気励起」
飯田一樹 (総合科学研究機構)

(C2) ソフトマター

- 16:25-16:50 「トポロジーのある超分子ポリマーの創製」
矢貝史樹 (千葉大学)
- 16:50-17:15 「メソポーラスシリカに閉じ込められたグリシン水溶液の熱挙動、構造およびダイナミクス」
吉田亨次 (福岡大学)
- 17:15-17:40 「ヒドロキシアパタイト棒状コロイド粒子のずり流動誘起秩序化挙動の観察」
梶山智司 (三菱ケミカル株式会社)

(D2) 技術開発

- 16:25-16:50 「PF におけるマイクロ ARPES 装置の開発と応用」
堀場弘司 (KEK 物構研)

- 16:50-17:15 「J-PARC における 3He スピンフィルターの開発と利用」
奥平琢也 (名古屋大学)
- 17:15-17:40 「超伝導 X線検出器が拓くミュオンビーム実験」
岡田信二 (中部大学)

【3月11日(木)】

第38回 PF シンポジウム

- 9:30-9:35 開会の挨拶
PF-UA 会長 清水敏之 (東京大学)
- 9:35-10:35 PF 施設報告 (I) 【座長：兵藤一行】
9:35-10:05 運営報告 船守展正 (KEK 物構研)
10:05-10:20 光源報告 小林幸則 (KEK 加速器)
10:20-10:35 ビームライン報告
清水伸隆 (KEK 物構研)
- 10:35-10:45 休憩 (10分)
- 10:45-11:45 PF-UA 総会
- 11:45-13:15 昼食・セミナー (90分)
- 13:15-14:15 PF 施設報告 (II) トピックス
【座長：五十嵐教之】
- 13:15-13:35 X線ズームング顕微鏡の開発
平野馨一 (KEK 物構研)
- 13:35-13:55 NEG 真空ポンプの開発
間瀬一彦 (KEK 物構研)
- 13:55-14:15 タンパク質結晶構造測定的全自動化
松垣直宏 (KEK 物構研)
- 14:15-14:25 休憩 (10分)
- 14:25-15:25 PF 将来計画 (I) 短期計画 【座長：船守展正】
14:25-14:45 光源ビーム診断系の高度化
高井良太 (KEK 加速器)
14:45-15:05 開発研究専用ビームラインの整備
若林大佑 (KEK 物構研)
- 15:05-15:15 PF におけるデジタルトランスフォーメーションの推進
仁谷浩明 (KEK 物構研)
- 15:15-15:25 横断型試料搬送システムの整備
雨宮健太 (KEK 物構研)

15:25-15:35 休憩 (10分)

15:35-16:35 PF 将来計画 (II) 長期計画 総合討論
【座長：船守展正】

15:35-16:05 Hybrid リングの概念設計
原田健太郎 (KEK 加速器)

16:05-16:35 総合討論 (30分)

16:35-16:40 閉会挨拶 小杉信博 (KEK 物構研)

SPF 施設報告

- 16:40-16:45 SPF 施設長挨拶
KEK 物構研 SPF 施設長 小杉信博
- 16:45-16:55 SPF 施設報告 和田 健 (KEK 物構研)

2021年度後期共同利用実験課題公募について

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の放射光実験施設（フォトンファクトリー）は、電子蓄積リングから放出される放射光を用いて研究を行うための全国共同利用研究施設です。

一般（G型）、特別2（S2型）、大学院生奨励（T型）の今回の公募は4月上旬から受付開始し、締切は5月中旬を予定しております（低速陽電子実験施設の共同利用実験課題を併せて公募します）。緊急かつ重要（U型）、初心者（P型）、特別1（S1型）については随時受付をしています。

申請は専用 Web ページ（<https://pmsweb.kek.jp/k-pas>）にアクセスして、必要事項を入力して下さい。これまで PF を利用されていない方は新規にユーザー登録が必要になりますので、余裕を持って申請ください。締切時間は Web システムで設定されており、少しでも締切時間をすぎますと受け付けられなくなりますので十分ご注意ください。2月に審査結果の速報が電子メールで送られる予定です。採択された課題は2021年10月に有効となり、実験が開始できます。

公募要項は「実験・研究公募要項（放射光共同利用実験）」（<https://www2.kek.jp/uskek/apply/pf.html>）をご覧ください。PFのホームページ「PFで放射光利用実験を行うには（利用プログラム）」（<https://www2.kek.jp/imss/pf/use/program/>）にも詳細を掲載しています。

不明な点は下記までお問い合わせ下さい。

研究協力課 共同利用支援室 共同利用係
Tel: 029-864-5126 Fax: 029-879-6137
Email: kyodo1@mail.kek.jp

2021年度後期 フォトンファクトリー研究会の募集

放射光実験施設長 船守展正

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

つきましては研究会を下記のとおり募集致しますのでご応募下さいますようお願いいたします。

記

1. 開催期間 2021年10月～2022年3月
2. 応募締切日 2021年6月18日（金）
〔年2回（前期と後期）募集しています〕
3. 応募書類記載事項（A4判、様式任意）

- (1) 研究会題名（英訳を添える）
- (2) 提案内容（400字程度の説明）
- (3) 提案代表者氏名、所属及び職名（所内、所外を問わない）
- (4) 世話人氏名（所内の者に限る）
- (5) 開催を希望する時期
- (6) 参加予定者数及び参加が予定されている主な研究者の氏名、所属及び職名

4. 応募書類送付先（データをメールに添付して送付）
放射光実験施設 PF 秘書室
Email: pf-sec@pfiqst.kek.jp TEL: 029-864-5196

なお、旅費、宿泊費等については実施前に詳細な打ち合わせのうえ、支給が可能な範囲で準備します（1件当たり上限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。

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

予 定 一 覧

2021 年

- 3月6日 総研大・大学院説明会（オンライン）
- 3月9～11日 2020年度量子ビームサイエンスフェスタ／第12回 MLF シンポジウム／第38回 PF シンポジウム（オンライン開催）
- 3月12日 光ビームプラットフォームシンポジウム（オンライン開催）
- 3月26日 2020年度物構研退職者記念最終講義
- 4月1日 PF, PF-AR 2020年度第三期ユーザー運転終了
- 4月16日 KEK 50周年記念の集い（キックオフイベント）
- 5月10日 PF 2021年度第一期ユーザー運転開始
- 5月17日 PF-AR 2021年度第一期ユーザー運転開始
- 6月18日 2021年度後期フォトンファクトリー研究会公募締め切り
- 7月5日 PF, PF-AR 2021年度第一期ユーザー運転終了
- 11月8日 KEK 50周年記念式典・祝賀会
- 11月9～10日 KEK 50周年記念シンポジウム

※最新情報は <http://pfwww.kek.jp/spice/getschtxt> をご覧下さい。
新型コロナウイルスの感染拡大状況により予定が変更になる場合もあります。

運転スケジュール(April ~ July 2021)

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

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

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，兵藤一行

2021年1月19日（火）に、放射光共同利用実験審査委員会（PF-PAC）全体会議が、オンライン会議形式で開催されました。全体会議に先立ち、分科会が、1月14日（構造物性）、1月15日（生命科学Ⅱ）、1月18日（電子物性、化学・材料、生命科学Ⅰ）にそれぞれ開催されました。全体会議では午前中に課題審査、午後に放射光実験施設報告やPF-PAC制度の改正など実験施設運営に関する重要事項の報告・議論・審議がなされました。今回は、2020年度第3回目の全体会議になります。

課題審査

2020年11月5日に締め切られた2021年度前期共同利用実験課題公募には、G型146件、S2型1件、T型1件の実験課題申請があり、委員会での審査の結果、課題の採択は以下のとおりとなりました。その後、物質構造科学研究所運営会議の審議を経て最終決定となり実験課題申請者に審査結果が連絡されました。

1. G型課題

審査の結果、採択課題136件、条件付き採択課題10件となり、不採択課題はありませんでした。実験課題の採択基準は全体会議での審議により、評点2.5以上と設定されました。

条件付き採択課題は、申請者からの補足説明に関してPF-PAC委員長の判断により条件が解除されて実施可能となります。条件付き採択課題となった課題の決定通知書には、条件に関する最初の返答（最終返答でなくても結構です）に関する期限を明記してあります。それまでに返答が

無い場合には不採択となりますのでご注意ください。

今回も、試料やその安全性に関する記述が十分でないために条件付き採択課題となった課題がありました。試料の安全性や安全確保方法がわかるように申請書Vの欄に詳細に記述してください。条件付き採択課題への条件の一例を下記に示します。今後の課題申請時の参考にしていただきますよう改めてお願いいたします。

条件付き採択課題の条件の例

- タンパク質結晶試料の由来生物種、試料の病原性や毒性の有無をPF-PAC委員長に報告して下さい。
- 課題名が包括的すぎるので具体的な課題名にしてPF-PAC委員長に報告してください。

また、条件付き採択課題とはならなくても、申請書V欄への記述が不十分な申請書が多く見られます。この欄には、上述のように実験に使用する試料名とその安全性について記入していただくことになっています。実験施設の安全担当者が判断しやすいように、この欄には必ず詳細を記述していただくように改めてお願いします。

PFを利用して出版された論文の登録を促進するために、これまでに採択・実施された実験課題からの報告論文数が少ない実験課題申請者に対しては、実験課題申請時に新たな論文登録をしていただくか、論文出版ができなかった理由書を提出していただくように実験課題申請システムにて設定されています（イエローカード方式）。以下に示すPF-PACで設定した評価基準に従い、提出された理由書の内容をPF-PACで検討して実験課題評点を減点する場合があります。評点が減点されている場合は実験課題申請者には審査結果とともに、その旨、通知されます。この評価基準は2020年度後期課題申請から変更されており、評点の減点に関してはPF-PACで総合的に判断することになっています。

参考：放射光共同利用実験課題審査手続き・評価基準

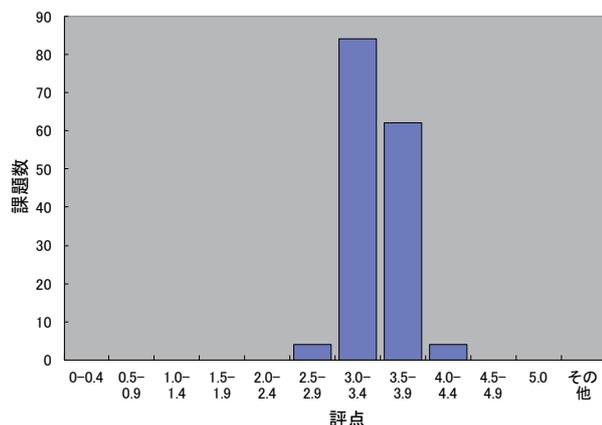
https://www2.kek.jp/uskek/apply/pfpac_process.html

現在の評価基準（2020年度から）

申請課題の採択時（採択された場合の有効期間の初日、4/1もしくは10/1）から遡り、有効期間が終了して1年から6年経過した課題（P型課題を除く）が3件以上ある場合について、

1. 採択課題数の1/2以上の課題について論文が登録されていない実験責任者には、申請時に事情を照会します。
2. 実験責任者からの回答に基づいて問題点の解析を行い、評点を決定する際に考慮します。
3. 回答がない実験責任者の申請課題は不受理とします。

令和3年度前期PAC 評点分布



論文出版時には KEK 研究成果管理システムからの論文登録を忘れずに、かつ速やかにしていただきますよう改めてお願いします。PF で得られた研究成果の社会への還元という意味からも積極的な論文登録をお願いします。

また、PF を利用して記述された大学院生の修士論文、博士論文の登録も大学共同利用機関としての重要な指標のひとつですので改めてお願いします。これらは上記評価基準対象外の論文ですが、PF-PAC での審査時の参考にされることもあります (<https://www2.kek.jp/imss/pf/use/result/>)。

2. S2 型課題

全体会議での審査の結果、1 件が条件付き採択となりました。

3. T 型課題

全体会議での審査の結果、1 件が採択となりました。

課題番号：2021T001

課題名：機械学習を用いた金属錯体の XANES スペクトルの予測と解析手法開発

責任者：東北大学大学院 理学研究科 福健太郎

4. PF 研究会

今期の申請はありませんでした。

5. 報告事項、審議事項

以下の項目が PF-PAC で報告、審議されました。

報告事項（抜粋）

・放射光実験施設報告（船守実験施設長）

今年度の運転日程および来年度運転の見込み、2021 年度のプロジェク経費の概算要求の結果、2021 年度の施設整備計画、旅費支給辞退の登録状況等について報告がありました。

審議事項

以下の事項について審議されました。

1. 放射光共同利用実験審査委員会委員の任期および委員数の改正について

2021 年度の任期から、(1) 機構・研究所・実験施設の執行部の任期に合わせて、委員の任期を3年とする、(2) 5分科会から6分科会になることへ対応し、さらに施設運営に係る重要事項の検討に重点を置いた分科会無所属の委員を加えるため、「研究所の職員及び研究所以外の学識経験者」の委員の定員を30名以内から36名以内に増やす、とする改正案が提案されました。審議の結果、2021 年度からの任期の委員会において、任期および定員の改正について了承されました。

2. S 型課題の運用について

S2 型課題の今後の運用について、意見交換がされました。本件については、継続して審議することになりました。

3. 課題審査システムにおいて、

・レフェリーコメントを、申請者向けと審査委員会向けの二つに分けて入力できるようにすることの提案がなされました。

・課題審査システムにおいて、申請者に係る課題の情報が審査委員会やレフェリー等に表示されるようにすることの提案がなされました。

審議の結果、提案された2件について、改修に向けて具体的な検討に入ることが承認されました。

・その他、従来から PF-PAC で議論されていたことも含めて、意見交換がなされました。

・次回 PF-PAC 全体会議は2021年3月の開催を予定しています。

第128回物質構造科学研究所運営会議議事次第

日時：2021年1月20日（水）13:30～

開催方法：Web 会議

議事

【1】第124～127回議事要録について

【2】審議

(1) 次期副所長等の選考方法について

(2) 次期技術調整役等の選考方法について

(3) 教員人事（特定人事・中性子・特別准教授1名）

(4) 教員人事（特定人事・中性子・特別助教1名）

(5) 教員人事（特定人事・ミュオン・助教1名）

(6) 教員人事（物構研20-1・中性子・教授1名）

(7) 教員人事（物構研20-4・量子ビーム・准教授1名）

(8) 学術研究フェローの雇用計画について（特定人事・放射光・特任教授1名）

(9) 特定有期雇用職員の雇用計画について（特定人事・中性子・特別教授1名・JAEA クロアポ）

(10) 名誉教授候補者について

(11) 2021年度前期放射光共同利用実験課題審査結果について

(12) 2021年度中性子共同利用S1型実験課題審査結果について

(13) 放射光共同利用実験審査委員会規程の改正について

(14) 次期運営会議委員の委員構成について

【3】報告事項

(1) 所長報告

(2) 量子ビーム連携研究センター報告

(3) 構造生物学研究センター報告

(4) 人事異動

(5) 博士研究員の選考結果について

(6) 研究員の選考結果について

【4】研究活動報告（資料配布のみ）

(1) 物質構造科学研究所報告

(2) 素粒子原子核研究所報告

(3) 加速器研究施設報告

(4) 共通基盤研究施設報告

2021 年度前期放射光共同利用実験採択課題一覧 (G 型)

受理番号	課 題 名	所属	実験責任者	ビームライン
1. 電子物性				
2021G009	NAP-XPSによる担持三元触媒の作用機構解明	北海道大学	鳥屋尾 隆	13A/B
2021G021	TRHEPD法による未解決金属酸化物触媒表面の構造解明	KEK物構研	望月 出海	低速陽電子
2021G023	内殻励起における多原子共鳴効果の構造解析への応用	原研機構	馬場 祐治	27A, 27B
2021G025	軟X線吸収微細構造(XAFS)分光法による非晶質炭酸マグネシウムの局所構造	筑波大学	興野 純	11A
2021G026	Hf/Si超薄膜表面界面で起こる酸化反応前後の仕事関数並びに化学状態変化	愛媛大学	垣内 拓大	11D, 13A/B, 3B
2021G033	Ni(111)上のリン化合物薄膜及びNiFeリン化合物合金薄膜の電子状態	立教大学	枝元 一之	13A/B, 3B
2021G042	光免疫療法のための新規薬剤に対する内殻励起効果	量研機構	横谷 明德	27A, 27B
2021G047	固液界面上の光化学反応の超高速軟X線吸収分光法の開発	分子科学研究所	長坂 将成	7A, 11A, 16A, 13A/B
2021G064	底質コア試料を用いた難水溶性画分塩素および臭素のスペシエーションおよび時系列マスマバランス	京都大学	藤森 崇	9A, 11B, 12C
2021G069	可逆なひずみ導入した際のXMCDによる軌道磁気モーメントの変調に関する研究	東京大学	岡林 潤	7A, 16A
2021G077	全反射高速陽電子回折によるVO/Ag(100)およびV ₂ O ₃ /Ag(100)の構造決定	立教大学	前島 尚行	低速陽電子
2021G079	水分解光アノード電極BiVO ₄ 及びBiV(O,S) ₄ 薄膜の電子物性評価	筑波大学	櫻井 岳暁	3B
2021G085	トポロジカル絶縁体表面における電子・ホールドープ制御と新奇表面状態の探索	大阪大学	湯川 龍	2A/B
2021G091	模擬ガラス固化体に含まれる微量成分の局所構造解析	弘前大学	増野 敦信	9A, 9C, 27A, 27B
2021G092	表面キャリアドープによる新奇モット転移の開拓	東京大学	堀尾 眞史	2A/B
2021G095	内殻励起ダイナミクス計測から探る有機単分子膜の導電性評価	広島大学	和田 真一	2A/B
2021G101	遷移金属カルコゲナイド化合物における励起子効果の電子状態解析	京都大学	吉田 鉄平	28A/B
2021G109	マグネトロンスパッタ成膜された透明導電膜中に残存する成膜希ガスの電子状態の同定	産総研	野本 淳一	28A/B
2021G126	多価分子イオン分光研究のための多電子-イオン同時計数法の開発	上智大学	小田切 丈	16A, 28A/B, 2A/B
2021G141	複合原子層における非自明なバンド構造の観測	東京大学	坂野 昌人	28A/B
2021G146	マンガン添加アパタイトの発色メカニズムのXAFSによる研究	千葉大学	沼子 千弥	9A, 11A, 11B, 12C
2. 構造物性				
2021G003	XRDおよびXAFS測定による高温高压下での金属ガラスの局所構造変化の解明	KEK物構研	柴崎 裕樹	NE5C
2021G004	高压下のイオン液体の結晶エネルギーランドスケープ	防衛大学校	阿部 洋	18C
2021G019	エンスタタイト相転移境界と地震波不連続面の関係の考察	海洋研究開発機構	小野 重明	NE1A
2021G029	ジャーマネート液体及びガラスの圧力誘起局所構造変化	大阪大学	大高 理	NE5C
2021G036	多極子転移を示す新充填スクッテルライト化合物の高温高压下合成過程その場観察	室蘭工業大学	関根 ちひろ	NE5C
2021G038	反強磁性ナノ粒子のスピン配列と結晶構造の磁場効果	福岡大学	田尻 恭之	8B
2021G043	ナノシートおよび有機分子膜界面の分子配列の界面層および加熱温度依存による構造解析	信州大学	伊東 栄次	6C
2021G045	ジルコン型化合物の衝撃圧縮下高速度構造相転移過程のその場観察	防衛大学校	岸村 浩明	NW14A
2021G046	巨大細孔ネットワーク錯体中に捕捉した中分子の精密構造解析	東京工業大学	大津 博義	5A
2021G050	高繰返しポンプ-プローブ法による光反応性ソフトクリスタルの構造ダイナミクス観測	自治医科大学	佐藤 文菜	NW12A
2021G053*	外場応答性ソフトクリスタルの構造転移過程の観測	自治医科大学	佐藤 文菜	5A, NW12A
2021G056	短繊維GFRPの疲労に伴う結晶化度変化に着目した疲労特性評価	名城大学	清水 憲一	4C
2021G057	ペロブスカイト型マンガン酸化物におけるリバーシブルな熱誘起磁化反転の微視的な原理の解明	東北大学	山本 孟	4C, 8A, 14A, 3A
2021G081	修飾されたS=1/2-次元交替バンド反強磁性体の隠された構造特性	福井大学	浅野 貴行	4C, 8A, 8B, 3A
2021G082	高压下のMg-Ca-Fe炭酸塩メルトの構造と粘性	岡山大学	浦川 啓	NE5C
2021G087*	Effect of co-doping on the orbital ordering and structural transitions in Ho _{0.5} A _{0.5} VO ₃ (A=Dy, V) using synchrotron X-ray powder diffraction	Graphic era university, INDIA	BALASUBRA MANIAN, Padmanabhan	8A
2021G093	スピン誘導型強誘電体CuFeO ₂ における一軸圧力誘起強誘電磁気相の探索	原研機構	玉造 博夢	3A
2021G122	時分割X線回折測定によるシリカガラスの構造緩和・圧力誘起相転移ダイナミクスの解明	広島大学	佐藤 友子	18C, NE1A
3. 化学・材料				
2021G008	in-situ XAFS法によるニッケルリン化合物触媒のメタン活性化メカニズム解明	北海道大学	朝倉 清高	9C

2021G017	マンガン複合酸化物電極触媒の活性点構造と電気化学特性	奈良女子大学	原田 雅史	9C
2021G023	内殻励起における多原子共鳴効果の構造解析への応用	原研機構	馬場 祐治	27A, 27B
2021G032	可変原子価遷移金属酸化物ナノ粒子の局所構造と物性の相関解析	北陸先端科学技術大学院大学	前之園 信也	9C
2021G035	合金クラスター触媒のガス反応条件下での構造と触媒活性に関する研究	奈良女子大学	原田 雅史	9C, NW10A
2021G039	特異的な相変化挙動を示すリチウム過剰バナジウム酸化物の電荷補償機構の解明	横浜国立大学	藪内 直明	9C
2021G042	光免疫療法のための新規薬剤に対する内殻励起効果	量研機構	横谷 明德	27A, 27B
2021G051*	外場応答性ソフトクリスタルの局所構造解析	自治医科大学	佐藤 文菜	9A
2021G061	XAFS解析を高濃度鉛汚染地域の多階層生物群に応用した新規金属耐性メカニズムの解明	北海道大学	中山 翔太	9A, 12C
2021G063	欠陥スピネル型金属酸化物の創成と酸化還元作用	京都大学	朝倉 博行	9C
2021G064	底質コア試料を用いた難水溶性画分塩素および臭素のスペシエーションおよび時系列マスマランス	京都大学	藤森 崇	9A, 11B, 12C
2021G065	水溶液中での炭酸カルシウムナノ粒子の化学形態分析	東京大学	鈴木 道生	9A
2021G067	低温全反射蛍光XAFS法による多孔性配位高分子薄膜におけるナノ粒子の構造決定	国際基督教大学	田 旺帝	12C
2021G073	ZnO系希薄磁性半導体へのGdドーピング効果と局所構造解析	横浜国立大学	一柳 優子	9C, 12C
2021G074	対イオンの水和構造から明らかにするアルキルリン酸カルシウム単分子膜のドメイン形成および相転移機構	九州大学	今井 洋輔	7C
2021G075	構造を安定化させたリチウム電池正極LiFeO ₂ の充放電機構	名古屋工業大学	園山 範之	9A, 12C
2021G076	バライト表面での二次的なイオン吸着を用いた固相からの陰イオン溶出の抑制法の開発	原研機構	徳永 紘平	9A, 12C
2021G078	改良ガラス固化試料中構成元素の局所構造及び化学状態解析	原研機構	岡本 芳浩	27B
2021G080	ガラス固化体製造時の模擬廃液加熱処理における成分元素の化学状態解析	原研機構	岡本 芳浩	27B
2021G083	非白金系電極触媒におけるヘテロ金属共存効果のin situ XAFS解明	北海道大学	加藤 優	12C
2021G084	科学捜査単繊維鑑別技術を活用した海洋マイクロプラスチックの起源解明	高知大学	西脇 芳典	15A1, 4A
2021G088	XAFSによる磁性錯体における分子内双極子の系統的理解	東京大学	岡林 潤	9A, 12C
2021G091	模擬ガラス固化体に含まれる微量成分の局所構造解析	弘前大学	増野 敦信	9A, 9C, 27A, 27B
2021G098	Mechanisms of Zn isotope fractionation during sorption and mineralogical transformation of Mn oxides revealed from X-ray absorption spectroscopy	Nanjing University, CHINA	LI, Wei	12C
2021G110	XAFSによる酸化物表面固定化キラル金属錯体の局所配位構造解明	名古屋大学	邨次 智	12C
2021G111	電気化学的なCO ₂ 還元触媒として働くヒドリド含有酸化物の反応機構追跡	KEK物構研	金澤 知器	9A
2021G113	XAFSによる有機配位子修飾複合酸化物の触媒活性構造解明	名古屋大学	邨次 智	9C, NW10A
2021G115	ヘテロ金属ドーピングマグネタイトの局所構造解析	東北大学	篠田 弘造	12C
2021G117	オペランドXAFSによるリチウム空気電池電解液中の添加物分析	群馬大学	畠山 義清	9C
2021G123	鉄化学種と安定同位体比分析に基づく海洋大気エアロゾル中の鉄溶解性の支配要因の解明	海洋研究開発機構	栗栖 美菜子	12C, 19A/B, 4A
2021G125	真核生物による六価ウラン還元反応の検討	筑波大学	山崎 信哉	27B
2021G129	伝導性フレームワーク錯体のXAFSによる局所構造と伝導性の相関解明	東京工業大学	大津 博義	9A, 9C, 12C, NW10A
2021G130	高分解能XAFSによるBaTiO ₃ のTi K-EXAFS構造解析	広島大学	中島 伸夫	7C
2021G132	エアロゾル中における微量金属元素とリガンド元素の混合状態解析	国立環境研究所	坂田 昂平	9A, 12C, 15A1, 19A/B, 4A
2021G133	酸化物全固体電池のためのLiCoO ₂ /Li _{3x} La _{2/3-x} TiO ₃ 界面形成過程のその場XAFS追跡	物材機構	市原 文彦	9A, 12C
2021G134	スピントロsovオーバー磁性金属錯体における励起波長依存光誘起相転移	神戸大学	高橋 一志	9A
2021G136	CO ₂ 還元活性なインジウム複合酸化物中にドーピングされたCo, Ni, およびRhのキャラクタリゼーション	北海道大学	SHROTRI, Abhijit	9A, NW10A
2021G137*	炎症性腸疾患に伴う低亜鉛症の発症における腸管病変の病理学的意義	藤田医科大学	松浦 晃洋	15A1, 4A
2021G142	放射光XAFSによる酸化物磁性半導体薄膜の電子構造と微細構造解析	東京理科大学	趙 新為	9A
2021G144	Elucidating the interplay of spin-state transition and intramolecular electron transfer in photoexcited metallogrid complexes	Deutsches Elektronen-Synchrotron, GERMANY	NAUMOVA, Maria	NW14A
2021G145	Elucidating the nature and properties of the photoactive states in novel prussian blue analogue nanocrystals	Extreme Light Infrastructure, HUNGARY	CANTON, Sophie Evelynne	NW14A
2021G146	マンガン添加アパタイトの発色メカニズムのXAFSによる研究	千葉大学	沼子 千弥	9A, 11A, 11B, 12C

4. 生命科学I

2021G001	糖質加水分解酵素ファミリー15に属する3酵素の結晶構造解析	北海道大学	田上 貴祥	1A, 5A
2021G002	哺乳類の概日時計機構の構造生物学的研究	名古屋大学	廣田 毅	17A
2021G010	抗寄生虫治療薬及び抗菌剤の開発のための創薬標的タンパク質のX線結晶構造解析	京都工芸繊維大学	志波 智生	1A, 5A, 17A

2021G011	医薬品再開発のためのアミロイド病因タンパク質のX線結晶構造解析	富山大学	横山 武司	5A
2021G012	新規ニトロ化反応触媒酵素の立体構造基盤の解明	東京大学	阿部 郁朗	1A
2021G013	希少な結合様式を有する α -グルカンに作用する新規加水分解酵素の構造解析	静岡大学	宮崎 剛重	5A, NW12A
2021G014	非天然型カンナビノイド前駆体骨格を形成する生合成変異酵素のX線結晶構造解析	富山大学	森田 洋行	1A
2021G015	染色体構築とゲノム維持の分子メカニズム解明に向けた構造研究	静岡県立大学	原 幸大	1A, 17A
2021G016	アミロイド β の毒性コンホマー固定化合物とその特異抗体複合体の結晶構造解析	京都大学	入江 一浩	1A, 17A
2021G018	S-グリコシル化ペプチド合成に関わる糖転移酵素の基質選択性の解明	学習院大学	中村 顕	1A, 17A, NE3A
2021G024	結核菌のヒストン様核様体タンパク質の構造生物学	新潟大学	伊東 孝祐	5A, NW12
2021G031	新規自然免疫シグナル伝達機構の構造生物学的研究	熊本大学	中村 照也	1A, 17A
2021G034*	細菌の病原性に関するタンパク質の構造解析	藤田医科大学	河合 聡人	1A, 17A
2021G037	水和構造制御による超高分解能X線構造解析に必須な高品質タンパク質結晶の育成技術の確立	三重大学	小泉 晴比古	17A, 20B
2021G041	RNAを標的としたバクテリア毒素の機能構造	東京大学	富田 耕造	17A
2021G044	SARS-CoV-2 3CLプロテアーゼの高活性阻害剤開発に向けたX線結晶構造解析	KEK物構研	千田 俊哉	17A
2021G048	回折X線明滅法による有機及びタンパク質結晶内部動態計測	東京大学	佐々木 裕次	NW12A
2021G052	細菌のレボグルコサン代謝酵素と輸送体の構造機構解明	東京大学	伏信 進矢	1A, 5A, 17A, NE3A, NW12A
2021G054	PI5P4K β のGTPセンサー機能の進化的獲得過程を解明する変異体-ヌクレオチド複合体の立体構造解析	産総研	竹内 恒	1A, 5A, 17A
2021G055	アミロイドモデル蛋白質を用いた特異的結合色素の認識機構	山形大学	真壁 幸樹	5A, NE3A, NW12A
2021G058	IDOと低分子阻害剤との構造解析	静岡県立大学	菱木 麻美	5A, 17A
2021G059	蛋白質ヒスチジンメチル基転移酵素の構造研究	奈良先端科学技術大学院大学	藤間 祥子	1A, 17A
2021G062	非天然糖を触媒する酵素の基質認識と反応機構の解明	東京農業大学	矢嶋 俊介	5A, 17A, NW12A
2021G068	X線と中性子を相補的に用いて決定した高精度構造に基づく蛋白質の分子認識・反応機構解明	量研機構	玉田 太郎	1A, 5A, 17A
2021G071	SARS-Cov-2感染症治療薬の開発に向けた標的タンパク質と阻害化合物の共結晶構造解析	千葉大学	星野 忠次	17A
2021G097	バクテリオファージ尾繊維蛋白質の構造解析	東京工業大学	金丸 周司	NE3A
2021G100	結晶構造に基づいたPI5P4K β のGTPセンシング機能獲得の分子進化解析	KEK物構研	千田 俊哉	1A, 17A
2021G104	PET分解活性を有するクチナーゼCut190の高機能化の構造基盤	東京医科歯科大学	沼本 修孝	1A, 17A, NE3A
2021G106	細菌由来ノイラミニダーゼのX線・中性子結晶構造解析	茨城大学	山田 太郎	17A
2021G107	糖質加水分解酵素ファミリー85に属する酵素の基質認識機構	大阪市立大学	宮原 郁子	5A, 17A, NW12A
2021G119	イネ由来抗菌ペプチドにおける細胞選択メカニズムの解析	新潟大学	落合 秋人	5A
2021G121	リボソーム生合成因子により制御するテロメアブーケ形成の開始についての構造生物学的研究	北海道大学	姚 関	1A, 10C, 17A
2021G124*	放線菌の二次代謝由来有用酵素群の構造解析	東京大学	大西 康夫	1A, 17A
2021G128	ブルー銅タンパク質における弱い相互作用の構造と機能に関する研究 III	茨城大学	山口 峻英	5A
2021G140	アトピー性皮膚炎より得られた新規エンテロトキシンの結晶構造	広島大学	片柳 克夫	1A, 5A, 17A, NE3A, NW12A
2021G143	4種サブユニット型L-プロリン脱水素酵素の構造解析	香川大学	櫻庭 春彦	5A
2021G147	Structural insights into Mn ²⁺ induces dsDNA-independent activation of cGAS	Peking University, CHINA	SU, Xiaodong	1A

5. 生命科学II

2021G005	タウルコール酸混合ミセルの構造と腸細胞表面上輸送体を介した脂溶性成分の吸収との関係	摂南大学	相澤 秀樹	6A, 10C
2021G006	未利用絹に含まれるシルクH鎖で作成した高強度な再生絹糸の構造解析	信州大学	矢澤 健二郎	10C
2021G007	ユビキチン化H3の結合によるDNAメチル化酵素DNMT1の高次構造変化の溶液散乱解析	横浜市立大学	有田 恭平	10C
2021G020	結合交換型架橋を導入したブロックコポリマー材料における自己組織化構造形成過程の追究	名古屋工業大学	林 幹大	6A, 10C, 15A2
2021G022	タンパク質結晶の高強度化に向けた放射光X線トポグラフィによる転位挙動の解明	横浜市立大学	橘 勝	14B, 20B
2021G027	細胞質への放射光軟X線によって惹起されるDNA損傷応答機構の解明	電力中央研究所	富田 雅典	27A, 27B
2021G028*	細胞間コミュニケーションからマイクロビーム放射線療法抗がん効果の仕組みを考える	大分県立看護科学大学	小嶋 光明	27B
2021G030*	哺乳類卵外被糖タンパク質のX線小角散乱による構造解析	千葉大学	米澤 直人	10C
2021G037	水和構造制御による超高分解能X線構造解析に必須な高品質タンパク質結晶の育成技術の確立	三重大学	小泉 晴比古	17A, 20B
2021G040	液晶ブロック共重合体ラメラ状マイクロ相分離構造のキック形成過程の小角X線散乱/応力-ひずみ同時測定	東京工業大学	戸木田 雅利	6A

2021G049	単一成分～多成分系油脂に対する新規結晶化促進剤の添加効果と促進機構に関する研究	大阪大学	金子 文俊	10C
2021G060*	核外照射による遅発性活性酸素の生成とその影響に関する研究	奈良県立医科大学	菓子野 元郎	27B
2021G066	位相コントラストイメージングを用いたX線エラストグラフィの撮像方法の検討	KEK物構研	亀沢 知夏	14C
2021G070	位相コントラストX線CTを用いたクラスレートハイドロートの3次元密度分布解析	産総研	竹谷 敏	14C
2021G072	スマネンを核とする超分子ポリマー形成のX線小角散乱法による観測	東京工業大学	福原 学	10C
2021G086	Evaluation of age-related brain structural changes by high sensitivity phase contrast X-ray CT	北里大学	LWIN, Thet Thet	14C
2021G089	異なる生物種に由来するフェリチンが形成する鉄コアの比較	創価大学	池口 雅道	10C
2021G090	高分解能カメラによるウィークビームX線トポグラフィ	産総研	山口 博隆	14B, 20B
2021G094	皮膚角層細胞間脂質の微細構造に及ぼすアルコール類及び界面活性剤の影響	星薬科大学	小幡 誉子	10C
2021G096	網目構造の均一化を志向したボルトブラシ高分子ゲルの構造解析	東京大学	中川 慎太郎	10C
2021G099	自己分解性脂質類似物質からなる核酸内封ナノ粒子の構造解析	星薬科大学	米持 悦生	10C, 15A2
2021G102	白金ナノ粒子の触媒作用に駆動された金ナノ粒子の自発成長における形状変化のその場観察	宇都宮大学	上原 伸夫	6A
2021G103	異常分散効果を用いたイオン液体による特異的な二酸化炭素と水の吸蔵機構の解明	千葉大学	森田 剛	15A2
2021G105*	アクチュエーターの高性能化を目指した高強度イオン液体ゲルの構造に関する研究	群馬大学	武野 宏之	10C
2021G108	自己参照型格子比較器による単結晶シリコンの格子定数均一性評価と二結晶間格子比較	産総研	早稲田 篤	3C
2021G114	キトサン-脂質複合微粒子の微細構造に基づく疎水性栄養機能成分の保持・放出特性の解明	東京都市大学	黒岩 崇	6A
2021G116	天然変性タンパク質の多角的構造解析	立教大学	小田 隆	10C
2021G118	バイオプラスチックの外部刺激下での階層構造ダイナミクス及び相転移その場観察	東北大学	丸林 弘典	6A
2021G120	チョコレート結晶化におよぼす種結晶添加効果の初期過程のその場観察	広島大学	上野 聡	6A
2021G121	リボソーム生合成因子により制御するテロメアブーク形成の開始についての構造生物学的研究	北海道大学	姚 閔	1A, 10C, 17A
2021G127	X線天文観測用超小型衛星 NinjaSat 搭載X線ガス検出器の性能評価実験	理化学研究所	沼澤 正樹	14A
2021G131	コラーゲンモデルペプチドの選択的溶媒和挙動	九州大学	榎 靖幸	10C
2021G135	超均一ゲルの破壊限界での構造評価	University of Tokyo	LI, Xiang	10C
2021G137*	炎症性腸疾患に伴う低亜鉛症の発症における腸管病変の病理学的意義	藤田医科大学	松浦 晃洋	15A1, 4A
2021G138	経皮吸収のメカニズム解析-角層水分量と電場による吸収促進作用の解析-	関西学院大学	中沢 寛光	6A
2021G139	超高压X線散乱法に基づく高分子の力学物性と階層構造界面の相関解明	東京工業大学	石毛 亮平	10C

課題名等は申請時のものです。*印は条件付き採択課題。

2020年度後期からこれまでに採択されたP型課題

受理番号	課題名	所属	実験責任者	チームライン
3. 化学・材料				
2020P004	精密に酸化数を制御した導電性バナジウム酸塩ガラスのNaイオン電池正極材としての応用	首都大学東京	久富木 志郎	12C
2020P005	微生物によるウラン還元反応経路の解明に向けた予備的検討	筑波大学	山崎 信哉	27B
4. 生命科学I				
2020P003	アゾ含有シッフ塩基銅錯体とリポチーム複合系の光スイッチングのX線結晶構造解析による直接観測	東京理科大学	秋津 貴城	15A2
5. 生命科学II				
2020P002	面不斉金属-有機巨大ナノチューブの微細構造解析	筑波大学	山岸 洋	15A2
2020P006	反芳香族ノルコロールを基本単位とするドーナツ型超分子集合体のX線散乱測定による同定	名古屋大学	福井 識人	10C

2020年度第2期配分結果一覽

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	10/19	10/20	10/21	10/22	10/23	10/24	10/25
	T/M	E	B	E	E	E	E
1A		調整		20RP-04 林 20Y912		20RP-04 林 19G 19S 1909	
2A/2B		調整	18S2-01 19T004	18S2-01 19T004	18S2-01 19T004	18S2-004 組頭 広志	
3A		20G665 有馬 孝尚				20G655 川	
3B		19G046 枝元 一之					
3C		調整		20G585 橋 永昭			
4A		調整	20G081 高橋 嘉夫			20G534 伊	
4B2		19G552 植草 秀裕					
4C		19G553 中尾 裕則				19G634 裕	
5A		調整	20Y011	19G 19G094 尾 19G 20Y	20Y	19G	
5A		調整	19G654 飯谷 明雄	20G520 橋本 伸一	19G623 中尾 重雄	20G102 藤田 寛	
6C		調整		19G087 杉山 和正			
7A		19S2-003 兩宮 健太				18S2-003 兩宮 健太	
7C		20G600 岩住 俊明					
8A		20S2-001 熊井 玲児	20S2-001 熊井 玲児			20G628 佐	
8B		調整		20G660 菅野 暹			
9A		調整		19G689 原田 誠		19G093 坂	
9C		調整	20C204	20G676 泉 康雄	20G633 本倉 健	20G673 橋 俊太郎	
10A		調整		20G546 興野 純			
10C		調整	20G071 山本 謙亮	20RP-01 有田 昌亨	19G002 矢野 健二	19G588 高木 勇樹	
11A		19G601 志岐 成友					
11B		20C202		20G523 大野 洋	20G051 高岡 昌輝		
11D		20G013 小池 雅人					
12C		調整		20G997 野澤 俊介 20P001		19G668 増田 卓也	20G085 半田
13A/13B		18S2 18S1 18S2 18S2 18S1 18S2 18S1 18S2 18S1 18S2 18S2-01 18S2-01 18S2-01 18S2					
14A		20G066 橋本 正典	19G566 山本 孟				
14B		19G598 島雄 大介				19G522 平野	
14C		調整	20G126 飯塚 勇男	19G541 山田 重人			
15A1		調整		調整	19G685 真田 浩司		
15A2							
16A		18S2-003 足立 純一	19S2-003 兩宮 健太	18S2-003 足立 純一	20PF-23 渡		
17A		調整	20G 20G9 20Y009 20C203	20Y001			
18B							
18C		19G580 中野 智志				19G605 熊 裕之	
19A/19B		調整		19C211 20Y004	18S1-001 高橋 嘉夫		
20A		調整		20G086 磯板 綱一			
20B		20PF-17 若林 大佑					
27A		19G032 尾崎 裕治	19G641 興平 幸司				
27B		調整	19G057 岡本 芳雄	19G032 尾崎 裕治	20G038 濱口 健史	20G100 岡中 万希	20G041 飯谷 明雄
28A/28B		18S2-003 足立 純一	調整	18S2-00 調整	18S2-00 調整	18S2-00 調整	18S2-00 調整
STOP	STOP	T/M	T/M	T/M	T/M	T/M	T/M
NE1A							
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW10A		調整		20Y017	20C204	20Y007	20G070 宮永 崇史
NW12A		調整			19G101 大		19G
NW14A		調整			19G637 佐々木 裕次		20G592 剛包 善夫
NW2A		調整		19C211		19S2-002 木村 正雄	
SPF		19G684 深谷 有喜				20G040 李 松田	

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	10/26	10/27	10/28	10/29	10/30	10/31	11/1
	E	E	B	M	E	E	E
1A	19G 19S 20G9	19G163 SU Xiaod			20Y 20RP-09 20G 19G 19G9		20RP-08 渡
2A/2B		18S2-004 組頭 広志	19T004 池賀 大英				19G632 小森 文夫
3A		20G655 川本 鉄平	20G554 DU Ch				20G554 DU Chao-Hung 19G056 清
3B		19G046 枝元 一之					19G129 櫻井 岳暁
3C		20G094 加藤 有香子					20G647 渡辺 紀生
4A		20G534 伊	20G126 松浦 晃洋				20G126 松浦 晃洋
4B2							
4C		19G634 柏木	19G558 岩佐 和晃				19G558 岩佐 和晃
5A		19G 20Y	20Y013		18S1 20Y		調整
6A		19G672 森田 剛	20G167 吉賀 尚徳				調整
6C		19G087 杉山 和正					20G638 徳田 誠
7A		19S2-003 兩宮 健太	20G682 飯井 隆寿				19G621 遠藤 理
7C		20G600 岩住 俊明					19G591 手塚 泰久
8A		20G628 佐賀山 基					20G628 佐賀山 基 20G666 神戸 高志
8B		調整	20R-04 矢島 徹	20G628 佐賀山 基			20G628 佐賀山 基
9A		19G093 坂田 20Y007		19G364 飯永 敬平			20G081 高橋 嘉夫
9C		19G133 藤野 敏徳	20G165 藤田 浩代 20R-08				19C211 20G039 19P016 SHROTR
10A		20G546 興野 純					20G546 興野 純 19G084 吉
10C		20G011 正巻 秀介	20G567 矢野 史樹	19G673 石橋 秀平			20R01 角田 大 20G674 新井 亮一
11A		19G601 志岐 成友	20PF-24 熊木 文俊				20PF-24 熊木 文俊
11B		20G0 20G540 池本 弘之					20G024 加藤 貴宏 19G111 沼子
11D		19G547 羽多野 忠					20L003 調整
12C		20G085 半田 友衣子	20G089 半田 友衣				19G689 原田 誠
13A/13B		18S2-01 18S1 18S1 20G 20G9	18S2-01 20G548				19G580 20G549 19G580 20G684 19G580 20G684
14A		19G678 木村 宏之					19G678 木村 宏之 20G052 岸本 俊二
14B		19G522 平野 馨一					20G060 岡本 博之
14C		19G541 山田 明男	20G556 米山 明男				20G032 高松 大郎 19G040 The The
15A1		19G662 原田 誠					19G569 岡本 敏
15A2							
16A		20PF-23 渡	18S2-003 足立 純一				18S2-003 足立 純一 20G689 19S2-00 20G689 19S2-00
17A		20Y003	金島 尚宏	19G051 橋 20G9			20G504 松野 太樹 20G 19G016 橋 19G 20G9
18B							
18C		19G563 渡佐 秀					19G550 川村 幸裕
19A/19B		20G470 高橋 嘉夫	20L004 18S1-00 20Y016 18S1-00				18S1-001 高橋 嘉夫 18MP001 小野 寛 18S1-001 高
20A		19G581 飯倉 隆二					20G086 磯板 綱一
20B		20PF-17 若林 大佑					19G571 水野 薫
27A		20G019 横谷 明徳	20G589 志野 忠				19G032 尾崎 裕治 20G050 堀 史郎
27B		19G030 小嶋 光男	20G536 今岡 達彦	19G651 熊木 康雄			19G057 岡本 芳雄 20G109 岩瀬 彰宏
28A/28B		調整	18S2-00 調整	18S2-00 調整	18S2-00 調整		調整
E	E	B	E	E	E	E	E
NE1A		19S2-001 小林 寿夫					
NE3A		調整	20G 20Y 19G9			金島 尚宏	20Y001
NE5C		19G628 龜谷 卓英	20G073 鈴木 昭夫				19G047 大
NE7A		調整					
NW10A		調整		20Y017	20C204	20Y007	20G070 宮永 崇史
NW12A		調整			19G101 大		19G
NW14A		調整			19G637 佐々木 裕次		20G592 剛包 善夫
NW2A		調整		19C211		19S2-002 木村 正雄	
SPF		20G040 李 松田				19G540 望月 出海	

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	11/2	11/3	11/4	11/5	11/6	11/7	11/8
	E	E	B	E	E	E	E
1A	19G 20G 19G9		20R 20RP-10小	20RP-04 飯塚直樹	19G 20G		
2A/2B	19G645	19G645	19T004 志賀 大亮	20V001		19G645	18S2-09
3A	19G056 清水 亮太			19G584 近藤 敏啓			19G670 中
3B	19G129 櫻井 岳暁						
3C	20G647 渡辺 紀生						
4A	20G081 高橋 嘉夫			20G513 光延 聖		19G602 西脇	
4B2			20G547 藤井 孝太郎				
4C	19G558 岩佐 和晃			20G517 田中 悟			
5A	19G	調整	調整	20G 19G	20Y013	19G	
6A	19G585 金子 文也	19G596 上原 伸光	調整	20R-01	19G521 飯塚 潔	20G585 豊田 真史	19G034 小園 隆
6C	20G638 徳田 誠			20G018 林 好一			
7A	19G621 遠藤 理	19C211	19G621 遠藤 理	19G671 遠藤 理			
7C	19G591 手塚 泰久						
8A	20G666 神戸 高志	19G640 石川 忠彦					
8B	19G533 奥田 正樹	19G039 田尻 泰之	19G679 花咲 徳亮	20R 調整	20S2-001 熊井 玲児		
9A	19C211	20G654 吉田 真明		調整	19G614 中島 伸夫		
9C	19G109 高山 龍之	19G052 原田 雅史	19G619 BAL Raj	19G033 藤内 直樹	20G339		
10A	19G084 吉新 朗						
10C	19G666 新井 宗仁	19G073 池口 雄志		20RP-05 藤田 昌也	19G659 櫻井 伸一	20G064 上久	
11A		20G049 椎名 達雄					
11B	19G	20G024 加藤 貴宏					
11D		調整	20L009 調整	20L009 調整			
12C	19G117 大塚 博樹	19G555 朝倉 清高		19G660 花咲 徳亮			
13A/13B	19G690 石井 裕太	19G590 石井 裕太	18S2-09	18S2-09	18S2-09	18S2-09	19G641 奥平 幸司
14A	20G052 岸本 俊二			20PF-21 西村 龍太郎	20C213		
14B	20G060 岡本 大	20G095 河野 智朗			20PF-15 三		
14C		調整		20G549 松下 昌之助			
15A1	19G093 坂田 昂平	20C202		19G107 西脇 芳典		20G081 高橋	
15A2							
16A	19S 18S2-006 山崎 裕一	20PF-22 雨宮 龍太	20R-06 雨宮 龍太	20PF-13 中尾 裕則	19G553	19G622 笠原 信朗	
17A	19G 19G	全自動調整	19G 20G	20V	20C203	20G	19G
18B							
18C	19G550 川村 大	20G635 饗 裕之		19G664 宮川 仁			
19A/19B	18S1-001 高橋 嘉夫			19C219	18S1-001 高橋 嘉夫		
20A	20G086 藤坂 綱一	19G603 宮崎 康典					
20B	19G571 水野 薫			20G094 加藤 有香子			
27A	20G050 堀 大	20G116 池浦 広典		20G039 坂口 雄史	20G062 中瀬 正彦		
27B	20G109 岩瀬 浩	20G558 渡部 創	20G606 飯塚 浩明	20G589 藤谷 志郎	19G519 永井 崇之		
28A/28B	調整			18S2-001 佐藤 宇史			
NE1A	E	E	B	M	E	E	E
NE1A	19S2-001 小林 寿夫						
NE3A		19G		全自動調整		20G	
NE5C	19G047 大高 理			20G640 若林 大佑			
NE7A	20G001 湯浅 智也						
NW10A	20G676 奥 龍雄	20G081 高橋 嘉夫	19G503 北野 政明	20G539	20G621		20Y022
NW12A	20Y009			調整	20G533 寛子		
NW14A	19G637 佐々木 裕次			調整	18S2-003 足立 純一		
NW2A	19S2-002 木村 正雄			19G569 岡本 敬			
SPF	19G540 望月 出海			調整	19G599 和田 健		

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	11/9	11/10	11/11	11/12	11/13	11/14	11/15
	E	E	B	M	E	E	E
1A	調整 20G	20Y	調整 19G		20RP-04 飯塚直樹 19G		
2A/2B	19G645	18S2-09	20G634 石坂 香子		20G669 相馬 清吾		
3A	19G670 中村 将志				20G526 若林 裕助		
3B	19G129 櫻井 岳暁				18S2-005 小澤 健一		
3C							
4A	19G602 西脇 芳典				19G602 西脇 芳典	20G611 三井	
4B2	20G547 藤井 孝太郎						
4C	20G517 田中 悟		20G614 飯久 潤		20G614 佐久間 博		
5A	調整		19G		20Y009		
6A	20G516 櫻井 伸一	19G687 中瀬 正彦	20G046 香木 久典		20G515 奥田 正樹	20G067 木下 祥尚	19G134 小園 隆
6C	20G581 木村 耕治				19G636 山本 篤史郎		
7A	19G 19G028 岡林 潤	19G671 遠藤 理			20G047 境 司朗		
7C	20G600 岩佐 俊明				20G646 川又 遼		
8A	19G640 石川 忠彦	20G628 佐賀山 基			20G628 佐賀山 基		
8B	20R-03 佐賀山 基				20S2-001 熊井 玲児		
9A	19G614 中島 伸夫				20G080 高草 木 達		
9C			19P011 奥島 遼		19G125 高山 龍清	19G141 奥 龍雄	
10A	19G585 中塚 晃彦				19G585 中塚 晃彦		
10C	20G064 上久 保裕生				20G014 奥田 正樹	19G538 本多 智	20G637 奥田 隆明
11A	18S2-003 足立 純一				19G644 関谷 隆夫		
11B			19P019		20G534 伊藤 敬		
11D		20L003			20G587 伊藤 雅英		
12C	20Y007	20G091	19G503 北野 政明		20G085 半田 友衣子		
13A/13B	19G155 山口 幸史	19G591 手塚 泰久			18S2-09	19G543	18S2-09
14A	20C213		調整		19G576 高田 英治	20G052 岸本 俊二	
14B	20PF-15 三木 宏美				20G565 安藤 正海		
14C		20G108 矢代 航			20G108 矢代 航		
15A1	20G081 高橋 嘉夫	19G662 藤田 誠			19G662 原田 誠	19G093 坂田 昂平	
15A2							
16A	19G028	19G553 中尾 裕則	20 19S2-003 雨宮 龍太		20G598	19S2-09	20G598
17A		全自動調整	調整		調整	20R	19G 19G 19G6
18B							
18C	19G664 宮川 仁	20G544 門林 寛助			20G544 門林 寛和		
19A/19B	20L005	18S1-001	19G093 坂田 昂平		20L007	18S1-001 高橋 嘉夫	
20A	19G603 宮崎 康典			20G074 小田切 丈			
20B	20G094 加藤 有香子			19G571 水野 薫			
27A	20G019 横谷 明徳			20G589 藤谷 志郎			
27B	19G519 永井 崇之			19G058 岡本 芳浩			
28A/28B	18S2-001 佐藤 宇史			18S2-001 佐藤 宇史			
NE1A	E	E	B	E	E	E	E
NE1A	19S2-001 小林 寿夫			20G543 福谷 克之			
NE3A	調整	19G		全自動調整	20Y001		
NE5C	20G640 若林 大佑			19G628 亀井川 卓貴			
NE7A	20G001 湯浅 智也						
NW10A	19G643 藤田 誠人	20G666	19G503	19G660	20C204		20Y022
NW12A					18S2-002 湯浅 智也		19G097 寛助
NW14A	18S2-003 足立 純一			20G022 野澤 俊介			
NW2A	調整	20G588 河野 正規			20G053 井口 弘章		
SPF	19G599 和田 健			19G123 高山 あかり			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
	11/16	11/17	11/18	11/19	11/20	11/21
	E	E	B	E	E	E
1A	20Y913 20C203		19G 19G180 鶴	20RP-14 鶴	20RP-04 後藤直孝	
2A/2B	20G669 相馬	18S2-004 組頭 広志		20G842 19G845	20G842 20G120 19G844 20G120	19G844 20G120
3A	20G526 若林	20S2-002 中村 智樹				
3B	18S2-005 小澤 健一			18S2-005 小澤 健一		
3C		20G575 鈴木 宏輔		20G094 加藤 有香子		
4A	20G611 三戸	20G650 佐竹 渉		20G662 原田 誠		20G611 三戸内 勇
4B2	20G663 福宮 功					
4C	20G614 佐久間 博		19G553 中尾 裕則		20G506 秋本 晃一	
5A	調整			20Y913	20G	
6A	19G654 橋本 雅也	19G579 細野 裕也	調整	20G044 日野 裕之	19G119 黒澤 真	19G594 上野 聡
6C	19G568 細川 伸也		19G635 細川 伸也		20G613 北浦	
7A	20G047 境 誠司			19G028 岡村 真	19G121 長浜 太郎	
7C	19G646 川又 透					
8A	20R-05 佐賀山 基				20S2-001 熊井 玲児	
8B	20S2-001 熊井 玲児	19G634 真島 達	20R-02 大山 研司			
9A	20G080 高草木 達		20G643 高草木 達			
9C		19G655 今岡 享穂		19G114 一柳 真子	20G600 岩佐 俊明	
10A	19G585 中塚	19G517 吉朝 朗				
10C	19G685 奥田 浩司	20RP-12 西野 道樹	20G579 尾本 賢一郎	20G111 長尾 隆一	20G119 鈴木 弘之	19G113 米澤 里人
11A	20G600 岩佐 俊明					
11B	20G534 伊藤 敬			19G648 幸村 孝由		
11D	20G587 伊藤 雅英					
12C	20G089 幸野 直史	20L001 19G668	19G503 北野 政明	19G093 坂田 昂平	19G054 田 健吾	
13A/13B	18S2-01 20G541	18S2-01 20G541	18S2-01 19G630 石渡 洋一	18S2-006 小澤 健一		19G8 18S2-006 小澤 健一
14A	20G052 岸本 俊二		20G045 岸本 俊二			
14B	20G565 安藤	20G585 橋 永昭				19G606 西村
14C	20G108 矢代	20R-09 亀沢 知夏		20G550 松下 暁之助		
15A1	19G093 坂田	19G554 朝倉 清高		調整		
15A2				調整	20RP-11 渡部 龍	
16A	20G537 東森 直	18S2-006 山崎 裕一	20G630 安井 伸太郎	18S2-006 山崎 裕一	20G577 永沼	
17A	20G09 全自動測定	19G651 鶴	20Y 20U	19G	20G5	
18B						
18C	19G132 佐藤 友子					
19A/19B	20V002	18S1-001 高橋 嘉夫		20V003	18S1-001 高橋 嘉夫	
20A	20G074 小田 切文					
20B	19G571 水野 薫		20PF-18 杉山 弘			
27A	19G032 長崎 祐治		20G116 池浦 広美	19G133 増野 敬信	20G062 中瀬	
27B	19G651 鈴木 雅雄	20G538 今岡 道樹	19G058 岡本 芳浩	19G032 長崎 祐治	20G043 本間 充紀	20G589 岡本 芳浩
28A/28B	18S2-001 佐藤 宇史					19G108 寺嶋 健成
NE1A	20G543 福谷 克之	20PF-20 若林 大佑				
NE3A	19G		19G 19G	全自動測定	20Y001	
NE5C	20G572 瀧崎 員弘	20G073 鈴木 昭夫				19G628 龜巻
NE7A	20G004 矢野 陽子					
NW10A	19G655 20G621	20G657 三浦 朱音		20G608 橋本 雅也	19G117 大塚 博樹	
NW12A	20G	20G1	20G	19G 18S2-002 佐藤 文菜		
NW14A	20G022 野澤 俊介			調整	20G656 丹羽	
NW2A	20G588 河野 正規	19G663 尾関 智二	調整			
SPF	19G121 19G124 高山 あかり				20G631 石田 明	

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
	11/23	11/24	11/25	11/26	11/27	11/28
	E	E	MA/M	M	HB	HB
1A		20C203			19G 20G 19G	
2A/2B		20G120	20G120		18S2-003 足立 純一	
3A					20G103 道村 真司	
3B				18S2-005 小澤 健一	18S2-005 小澤 健一	
3C						
4A	20G608 橋本 雅也	20G081 高橋 嘉夫				20G081 高橋 嘉夫
4B2						
4C	20G506 秋本	19G634 鈴木 雅雄			19G634 鈴木 雅雄	20G526 若林 裕助
5A		20Y009			20G570 鶴	20G5
6A	19G162 上野 聡	19G611 佐村 里人			19G160 中川 慎太	19G065 金子 文也
6C	20G613 北浦 守				20G627 白方 祥	
7A	19C202				19C202	19G674 吉田 真明
7C						20G117 鈴木 秀士
8A	20S2-001 熊井 玲児				20G628 佐賀山 基	20G666 神戸 高志
8B	19G633 橋本 雅也	19G039 田原 泰之				19G558 岩佐 和晃
9A	20G643 高草木 達				20Y020	20G667 山本 旭
9C					19P011 星島 達	19G133 増野 敬信
10A	19G517 吉朝 朗				19G668 増田 卓也	19G133 増野 敬信
10C	19G632 夏間 二郎	20G071 山本 勝典			19G588 高木 勇樹	20G015 橋本 雅也
11A	20G600 岩佐 俊明				20G603 幸村 孝由	
11B	19G648 幸村 孝由					
11D						
12C	20G081 高橋 嘉夫				20G608 橋本 雅也	19G020 19G648
13A/13B	18S2-003 19G8	18S2-003 18S2			18S2-01 20G548	18S2-01 18S2-01 18S2-01 18S2-01
14A	20G045 岸本 俊二				20G066 越水 正典	20G097 北原
14B	19G606 西村 龍太郎				20G094 加藤 有香子	
14C					19G597 安藤 正海	
15A1						
15A2	20G055 島山 健樹	調整			20RP-15 清水 伸也	19G012 島田 剛
16A	20G577 永沼	18S2-006 山崎 裕一			19G553 中尾 裕則	18S2-006 山崎 裕一
17A	19G	全自動測定			20Y013	20RP 20RP-08 夏
18B						
18C	20G059 石井 陽祐				20G562 橋崎 彰子	19G605 橋崎 之
19A/19B	18S1	20G639	20C212	20G639	20PF-16 藤野 貴典	18S1-001 高橋 嘉夫
20A					20G609 北島 昌史	
20B	20PF-18 杉山 弘				調整	
27A	20G062 中瀬	20G038 坂口 健史			20G019 橋本 雅也	20G043 本間 充紀
27B	19G133 増野 敬信				20G589 岡本 芳浩	20G038 坂口 健史
28A/28B	19G108 寺嶋 健成					18S2-003 足立 純一
NE1A	20PF-20 若林 大佑		M	E	E	E
NE3A					全自動測定	20G
NE5C	19G628 龜巻				19G567 飯巻 竜也	
NE7A	20G004 矢野 陽子				19G638 飯巻 理子	
NW10A					19G619 BAL Raja	20G039
NW12A					調整	19G141 奥原 謙
NW14A	20G656 丹羽				調整	19G140 IHEE Hyotcherl
NW2A					19S2-002 木村 正雄	
SPF	20G631 石田 明		19G684 栗谷 有喜			20G101

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
	11/30	12/1	12/2	12/3	12/4	12/5
	HB	HB	HB	HB	HB	HB
1A	20Y008	20C203	19G	20G	19G	20R
2A/2B	18S2-003 足立 純一	18S2-004 細瀬 広志	18S2-003 足立 純一			
3A	20G665 有馬 孝尚		20G034 松村 武	20G582 比		
3B	18S2-005 小澤 健一	18S2-005 小澤 健一				
3C		19G092 早稲田 篤				
4A	20G008 石橋 秀巳		20G126 松浦 晃洋			
4B2		19G665 八島 正知				
4C	20G526 若村	19G120 清水 憲一		20V001		
5A	20Y	調整	20Y013	19G	20G	
6A	20G037 高橋 幸光	20G645 大庭 明人	19G112 丸橋 弘典	19G082 戸木 田	調整	19G623 中塚 直也
6C	20G020 八方 直久		19G558 岩佐 和晃			19G616 手塚
7A	19S2-003 兩宮 健太		19G028 岡林 直	20PF-25 山本 涼輔	19S2	
7C	20G117 鈴木 秀士			20S2-001 熊井 玲児		
8A	20G666 神戸 高志	19G572 佐藤 豊人		20S2-001 熊井 玲児		
8B	19G558 岩佐 和晃	20G398 下野 聖夫	19G115 岡野 純	19G669 花坂 信男	20S2-001 熊井 玲児	
9A	19P019	19G650	20C202	18S2-01	20G659	19G668 増田 卓也
9C	19G676 阿部 仁	20G105 黒川 康代		19G669	19G139	20G673 曾根 太輔
10A	19G083 門馬 綱一			20G535 吉朝 朗		
10C	19G537 平井 光博	20G003 新井 崇男	19G002 矢野 健二	19G038 本多 智	20G077 今村 比呂	20G567 矢野 史朗
11A	20G603 幸村 孝由	19G641 奥平 幸司				20G068 宮永
11B						
11D			20G636 渡辺 紀生			
12C	20G	19G543	20G597 野澤 俊介	19G106 塚次 智	19G579 黒田 真司	20G042 一國 伸之
13A/13B	18S2-003	19G	18S2-003	19G	18S2-01	18S2-01
14A	20G097 北原 真司	20G045 岸本 俊二			20C213	
14B	20G094 加藤 有香子		20G566 平野 馨一			
14C	19G597 安部	20G678 森 浩一				
15A1						
15A2		調整	20RP-22 庄村 龍人	20P002 山岸 昇	20G610 三輪 洋平	
16A	19G599 石井 純太	19G553 中尾 裕則	18S2-004 細瀬 広志	19G599 菅	20G049 椎名 達	19G599 菅
17A	19G	19G	全自動測定	調整	20Y009	20G504 松野 太輔
18B						
18C	19G026 岡野 純	19G085 武田 圭生		20G632 久米 徹二		
19A/19B	18S1-001 高橋 嘉孝	20Y019	18S2-01	18S1-001 高橋 嘉孝	20C213	18S1-001 高橋 嘉孝
20A	20G609 北島 昌史					
20B	調整		19G642 羽多野 忠			
27A	19G091 大川 康正	19G032 島崎 祐典	20G038 坂口 健也	20G043 本村 充紀		
27B	20G043 本村	20G063 岩田 景子		20G041 飯谷 明樹		20R-12 宇佐 慎
28A/28B	18S2-003 足立 純一		19G122 吉田 鉄平	18S2-001 佐藤 幸	18S2-001 佐	
NE1A	E	E	B	M	E	E
NE1A	調整				調整	19G580 中野 智志
NE3A	調整				全自動測定	20Y001
NE5C	19G567 坂本	19G047 大高 理			20G048 淵崎 眞弘	
NE7A	19G	19G516 小野 直明			19G516 小野 直明	20G073 鈴木 昭夫
NW10A	20C202	19G105 塚次 智			20G597 野澤 俊介	
NW12A	19G					19G151 飯村 本
NW14A	19G140 IHEE Hyotcheri				調整	20G028 一柳 光平
NW2A	調整	20G505 白澤 徹郎			20G505 白澤 徹郎	
SPF	20G101 石田 明					

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
	12/7	12/8	12/9	12/10	12/11	12/12
	HB	HB	MA/M	M	E	E
1A	調整	20G		調整	調整	調整
2A/2B	18S2-003 足立 純一	20Y014			19G	20R
3A	20G582 比嘉 野乃花				19G553 中尾 裕則	
3B	19G641 奥平 幸司				19G641 奥平 幸司	
3C	19G092 早稲田 篤				19G092 早稲田 篤	
4A	20G126 松浦 晃洋				20G126 松浦 晃洋	
4B2		19G665 八島				
4C	20V001	20G628 佐賀山 基			20G628 佐賀山 基	20G628 佐賀山 基
5A	20Y005	20C203	19G		20G	20R
6A	19G116 齋水 祥一				20G107 吉賀 勇樹	19G565 金子 文哉
6C	19G616 手塚 泰久				20G503 岩井 伸行	
7A	19S2-003 兩宮 健太				20G054 朝倉 大輔	19G028 岡林 直
7C	20S2-001 熊井 玲児				20S2-001 熊井 玲児	
8A	19G558 岩佐 和晃				19G558 岩佐 和晃	
8B	20S2-001 熊井 玲児				20G660 菅野 暉	20V001
9A	20G683	19G650	18T002 鈴木 康		18T002 鈴木 康	20G596 丹羽 勇樹
9C	19G061 吉藤		20G673 曾根 太輔	19G087 杉山 和志	19G676 阿部 仁	19G629 井口 翔之
10A	20G535 吉朝 朗				19G062 栗林 貴弘	
10C	調整		20R-19 清水 伸樹		20R-11 清水 伸樹	19G673 石毛 高平
11A	20G068 宮永 崇史				19G650 沼子 千弥	
11B	20G072 田端 千紘				20G072 田端 千紘	
11D	20G636 渡辺 紀生				20G130 江島 丈雄	
12C	20G597 野澤 俊介	20G644 島根 剛			20G081 高橋 嘉孝	19G023 曾根 俊
13A/13B	18S2-01	20G623	18S2-01	20G623	19G618	18S2-01
14A	20C213				19G142 坂倉 輝俊	
14B	20G566 平野 馨一				20G583 砂口 尚輝	
14C	20G678 森 浩一				調整	20C211
15A1						
15A2	20G512 櫻井 伸一	19G617 櫻井 伸一			19G667 林 純大	20R-21 小田 龍
16A	18S2-006 山崎 裕一				20G	18S2-003
17A	19G	19G	全自動測定		20Y008	20R
18B						
18C	20G545 平井 寿子				19G605 島崎 祐	調整
19A/19B	19G609 岩村 大助	19G093 植田 昂平			18S1-001 高橋 嘉孝	18MP001 小野 寛太
20A	20G609 北島 昌史				20G086 種坂 綱一	
20B	19G642 羽多野 忠	20G094 加藤 有香			20G094 加藤 有香子	
27A	20G589 園谷 志郎				調整	
27B	19G651 鈴木 康	20G536 今岡 達彦			19G057 岡本 芳樹	20G035 渡部 剛
28A/28B	18S2-001 佐藤 幸史				18S2-001 佐藤 幸史	19G525 齋藤
NE1A	E	E	B	E	E	E
NE1A	19G580 中野 智志		19G563 渡佐 斉		19G664 宮川 仁	
NE3A				調整	全自動測定	20Y001
NE5C	20G048 淵崎 眞弘		19G090 園根 ちひろ			
NE7A	20G073 鈴木	19G131 益戸(白石) 令			20G511 西原 遊	
NW10A	19P012 板橋 英之	19G650	20G033 本倉 健	20G597 野澤 俊介	20G033	20Y021
NW12A	19G017 伊			調整	調整	調整
NW14A	20G028 一柳	20G617 星野 学	20G028 一柳 光平	19P014 岸村 浩明	20G584 高	
NW2A	調整	調整	20G069 宮永 崇史			
SPF	20G	20G625 高山 あかり				19G692 兵

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	12/14	12/15	12/16	12/17	12/18	12/19	12/20
	E	E	B	E	E	E	B
1A	20RP-04 輪堀 直樹	20Y009	20RP-0	19G	20G642 宇	20R	20RP-09 藤
2A/2B	19G514 木村 真一		19G514 木村 真一	20Y002	19G645	20G112 小林 正起	20PF-14 北村 英典
3A	19G553 中尾 裕則		18S2-006 山崎 裕一				
3B	19G641 奥平	19G129 櫻井 岳暁					
3C	19G092 早稲田 篤						
4A	20G126 松浦 晃洋	20G529 宇尾 基弘				20G126 松浦 晃洋	
4B2							
4C	20V001		20G671 増田 卓也				
5A	20Y013	20G 19	20G 19G101 大	20G	19G 19	19G 20G527 中	19G 20
6A	19G009 藤原 勇一	20G649 REE 北	19G524 竹下 宏樹		19G624 山口 真	19G128 武野 聖之	調整
6C	20G503 坂井 伸行		20G638 徳田 誠				
7A	20G054 朝倉	19C202		19G641 奥平 幸司			19G6
7C	20S2-001 熊井 玲児						
8A	18S2-006 山崎 裕一		20G628 佐賀山 基				
8B	19G005 藤原 雅史	20R-07 佐賀山 基		調整			
9A	19C202	18S2-0	20G596	19P019	20G081	19G117 大崎 博樹	20Y020
9C	19G067 原田 雅史			20P001		19G127 打越 謙仁	20
10A	19G062 栗林 貴弘			20G586 栗林 貴弘			
10C	19G515 藤原 真史	20G055 島山 龍男	19G663 尾関 智二	20G674 藤井 亮一	19G523 青尾 智実	20G011 三宅 亮介	19G020 有田 昌平
11A		20G523 大西 洋		19P017 藤原 誠			
11B	20G072 田端 千鶴		20PF-19 藤井 雄男	20PF-13 中尾 裕則			
11D	20G130 江島 文雄						
12C	19P010 藤原 真一	19G041 角山 寛規		19G029	18G543	19G504 徳永 義平	19G093 坂田 昂平
13A/13B	20G637	20G619	20G637	20G619	20G637	20Y023	20G637
14A	19G142 坂倉 舞後			19G606 西村 龍太郎			
14B	20G583 砂口 尚輝	調整					
14C	20G578 竹谷 敏		調整	20R-09 亀沢 知夏			
15A1							
15A2	19G524 竹下 宏樹	19G113 米澤 直人	調整		調整		20G065 山本
16A	19G013 SINGH Vijay Raj			20L009	18S2-00	20L009	18S2-00
17A	19G 20G	全自動調整	19G051 健	20Y012	20C203	20G5	20G 19G051 健
18B	運営	20-IB-01					20-IB-02
18C	調整	19G132 佐藤 友子				19G006 阿部 洋	
19A/19B	18MP001 小	20G091	18S1-00	19C219	18S1-00	19C202	調整
20A	20R-10 北島 昌史			20R-10 北島 昌史	20G086 藤板 綱一		
20B	19G103 橋 勝				20G506 秋本 晃一		
27A	20G043 本田 充紀	20G589 藤原 高郎			20R-13 宇佐美 健		
27B	20G606 松浦 浩明	20G589 藤原 高郎	20G043 本田 充紀	20G938 坂口 植史	20P005 山崎 信徳	20G558 藤原 誠	19G032 尾崎 裕治
28A/28B	19G525 齋藤 智彦		18S2-001 佐藤 宇史				
	E	E	B	E	E	E	B
NE1A	19G664 富川 仁		19G003 小野 重明			19G582 大村 影子	
NE3A	20G 19	20G	20G	19G663 藤原 智二	全自動調整	20Y001	
NE5C	19G143 浦川 啓					20G640 若林 大佑	
NE7A	20G075 山崎 大輔			20G672 久保 友明			
NW10A	19G543 藤原 誠人	20G006 松竹 裕太	20G653 藤原 誠	20Y017	20G081	19G067 原田 雅史	20G090 池田
NW12A			19G	18S2-002 佐藤 文葉			20R
NW14A	20G584 高木 壮太		20G087 HU Jianbo				
NW2A	20G039 阪東 恭子		20C211		20G106 山下 翔平		
SPF	19G692 兵頭 俊夫					調整	

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	
	12/21	12/22	12/23	12/24	12/25	12/26	12/27
	B	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
1A	20RP-04 輪堀 直樹						
2A/2B	20Y002	19G645					
3A	18S2-006 山						
3B	19G129 櫻井						
3C							
4A	20G126 松浦						
4B2							
4C	20G671 増田						
5A	20G 20	19G					
6A	19G654 藤原 明樹						
6C	20G638 徳田						
7A	19G641 奥平						
7C	20S2-001 熊						
8A	20G628 佐賀						
8B	調整						
9A	19G093 坂田 昂平						
9C	19G668 増田 卓也						
10A	20G586 栗林						
10C	19G002 矢野 健二						
11A							
11B	20PF-13 中尾						
11D	20G130 江島						
12C	20L010						
13A/13B	18S2	18S2-00					
14A	19G606 西村						
14B							
14C	20R-09 亀沢						
15A1							
15A2	20G065 山本						
16A	19S2-003 兩						
17A	調整						
18B	20-IB-02						
18C	19G006 阿部						
19A/19B	20L004	20G675					
20A	20G086 藤板						
20B	20G506 秋本						
27A							
27B	19G133 増原 康徳						
28A/28B	18S2-001 佐						
	B	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
NE1A	19G582 大村						
NE3A	20G 20						
NE5C	20G640 若林						
NE7A	20G672 久保						
NW10A	20G090 池田						
NW12A	19G151 佐々木 健						
NW14A	20G087 HU						
NW2A	20G106 山下						
SPF							

「PF ニュース」からのお知らせ

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

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

PF ニュース編集委員一同

投稿のお願い

【最近の研究から】

PF で行われた実験、研究の成果をお寄せ下さい。

【建設・改造ビームラインを使って】

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

【ユーザーとスタッフの広場】

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

詳細は事務局または PF ニュース HP をご覧下さい。

宛 先

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

編集後記

様々なことが変化した怒涛の 2020 年度が終わりに近づいている。無事に年 4 回の PF News が発行されることになりホッとして、この後記を書いている。ネガティブな事が多かった 1 年だが、あえて、ポジティブな面に目を向けたい。

大学では講義・実習のオンライン化が一気に進んだ。今後は対面とオンライン、リアルタイムとオンデマンド、それぞれの特性を活かした使い分けや方法探索をすることになるだろう。他にも個人的には新型コロナウイルス対策の手伝いであまり接点のなかった方と一緒に仕事をするなど新しい出会いもあった。

PF についてはどうだろうか？ PF News 編集委員会はオンライン化され、往復の移動時間 4 時間はなくなり、一瞬で委員会に参加することができるようになった。今までだったら自然と移動時間が少なくすむ人で構成されてしまうことがあったがこれからは日本全国、海外も含めて可能である（海外は時差の問題があるが・・・）。また、今号ではリモート測定の特集を組んだ。リモート・自動測定自体はコロナ禍以前から注目が集まっていたものだがコロナ禍によって一気に需要が増した。現状、導入には色々なレベルがあるが、今後より洗練され、2020 年にあったポジティブな変化として将来に記憶されることを願いたい (W.T.)。

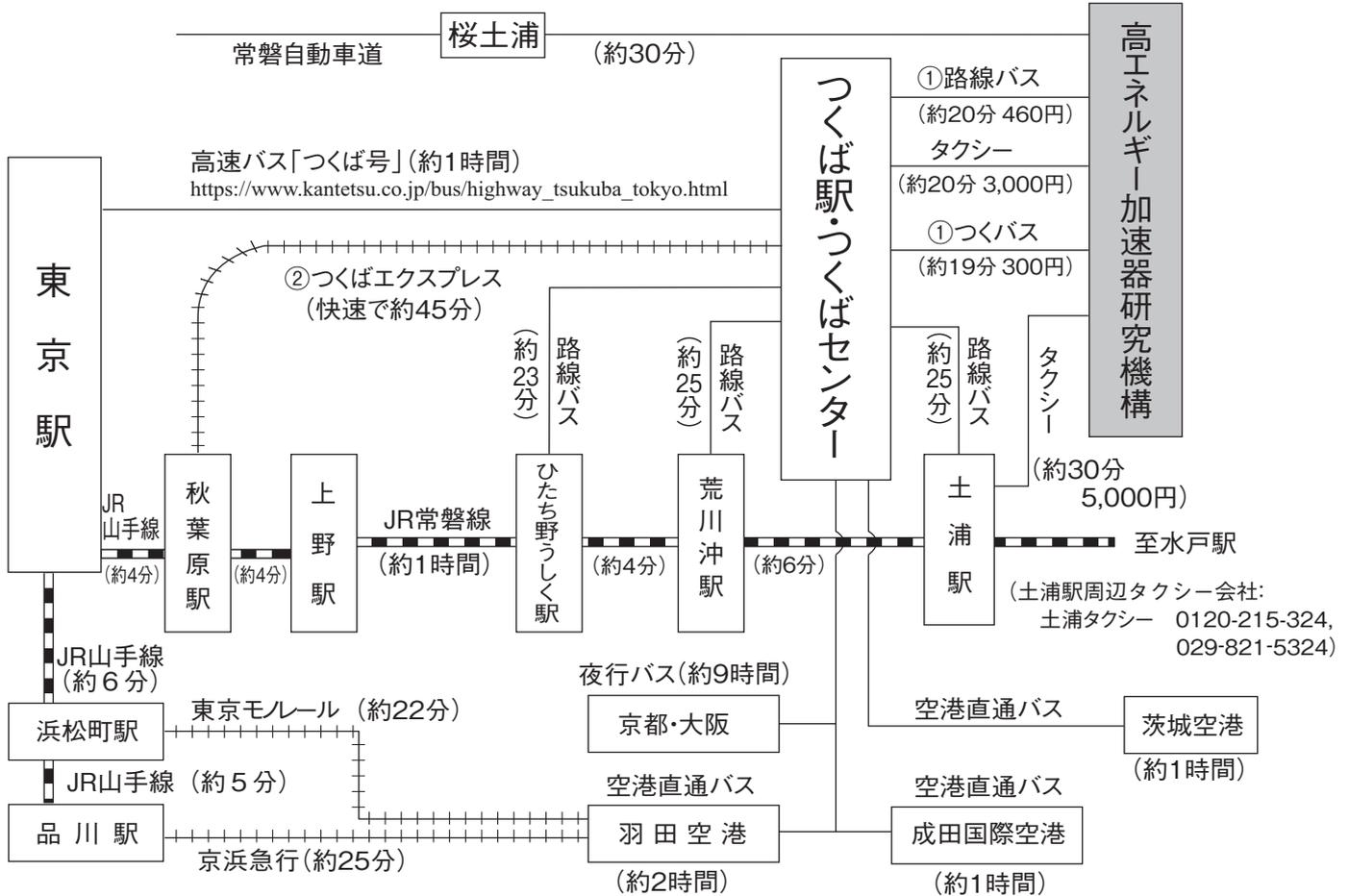
* 2020 年度 PF ニュース編集委員 *

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

新型コロナウイルスの影響により、運休、運転時刻や営業時間の変更があるので、必ず直前に確認して下さい。

巻末情報

KEK アクセスマップ・バス時刻表



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

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

①つくばセンター ↔ KEK (2020年12月19日改定)

関東鉄道バス 所要時間 約20分 運賃 460円 (KEK～土浦駅間の料金は800円) つくばセンター乗り場5番

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

つくバス 所要時間 約20分 運賃 300円 つくばセンター乗り場3番
HB/HA (北部シャトル)：つくばセンター～KEK～筑波山口 (筑波大学には停まりません)

下り (×は土曜・休日運休、○は土曜・休日運転)

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

18系統の土浦駅東口→つくばセンターは20分間です。

上り (×は土曜・休日運休、○は土曜・休日運転)

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

18系統のつくばセンター→土浦駅東口は22分間です。

②つくばエクスプレス

(2020年3月14日改定)

所要時間 つくば駅-秋葉原駅(快速)約45分 [1,210円]

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

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

秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着
* 5:08	6:06	9:13	10:06	19:19	20:14
* 5:30	6:28	○ 9:29	10:14	△ 19:30	20:21
○ 5:50	6:36	9:43	10:36	19:40	20:36
6:05	6:58	○ 10:00	10:45	19:49	20:44
6:16	7:09	10:13	11:06	△ 20:00	20:51
○ 6:27	7:12	○ 10:30	11:15	20:10	21:06
* 6:29	7:27	10:43	11:36	20:19	21:15
6:40	7:34	(10時~16時まで同じ)		△ 20:30	21:20
6:50	7:45	○ 17:00	17:45	20:40	21:35
7:00	7:54	17:10	18:04	20:49	21:45
7:06	8:02	17:19	18:13	○ 21:00	21:47
7:16	8:12	△ 17:30	18:21	21:16	22:11
7:24	8:22	17:40	18:36	21:29	22:24
7:36	8:31	17:49	18:45	21:41	22:36
7:43	8:40	△ 18:00	18:51	○ 22:00	22:46
7:56	8:51	18:10	19:06	22:16	23:11
8:01	8:58	18:19	19:14	22:30	23:25
8:13	9:09	△ 18:30	19:21	22:45	23:40
8:23	9:21	18:40	19:36	○ 23:00	23:46
8:36	9:31	18:49	19:44	23:16	0:10
○ 8:47	9:34	△ 19:00	19:51	23:30	0:23
9:01	9:56	19:10	20:06	* 23:45	0:43

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

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

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

○: 快速

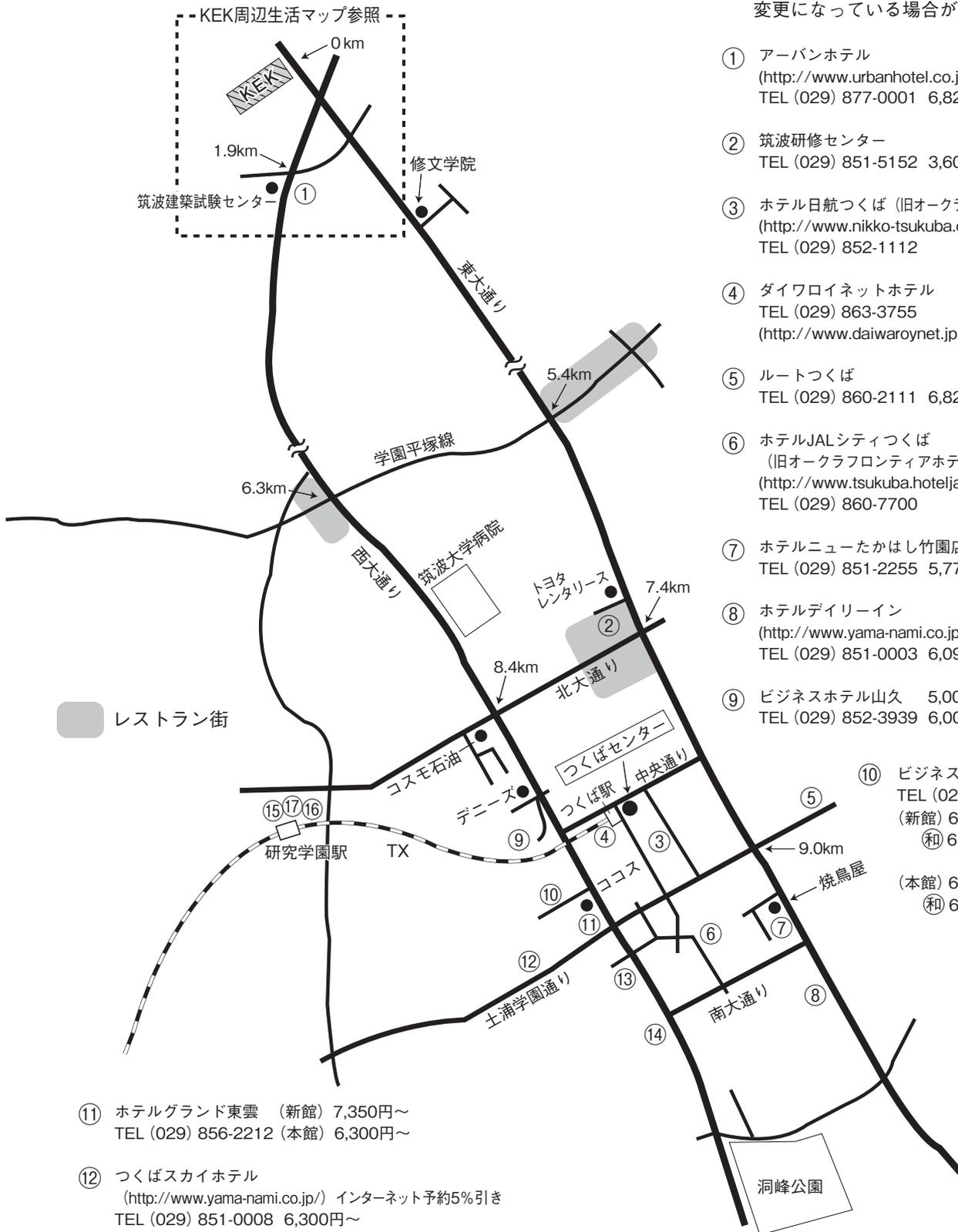
△: 通勤快速(研究学園駅にも停まります。)

無印: 区間快速 * : 普通

つくば市内宿泊施設

※料金は参考値です。

※新型コロナウイルスの影響により、情報が変更になっている場合があります。



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

- ⑪ ホテルグランド東雲 (新館) 7,350円～
TEL (029) 856-2212 (本館) 6,300円～
- ⑫ つくばスカイホテル
(<http://www.yama-nami.co.jp/>) インターネット予約5%引き
TEL (029) 851-0008 6,300円～
- ⑬ ホテルつくばヒルズ学園西大通り店 (旧学園桜井ホテル)
(<https://breezabay-group.com/tsukuba-hills/>)
TEL (029) 851-3011 6,878円～
- ⑭ ビジネス旅館二の宮
TEL (029) 852-5811 5,000円～
(二人部屋のみ 2食付)

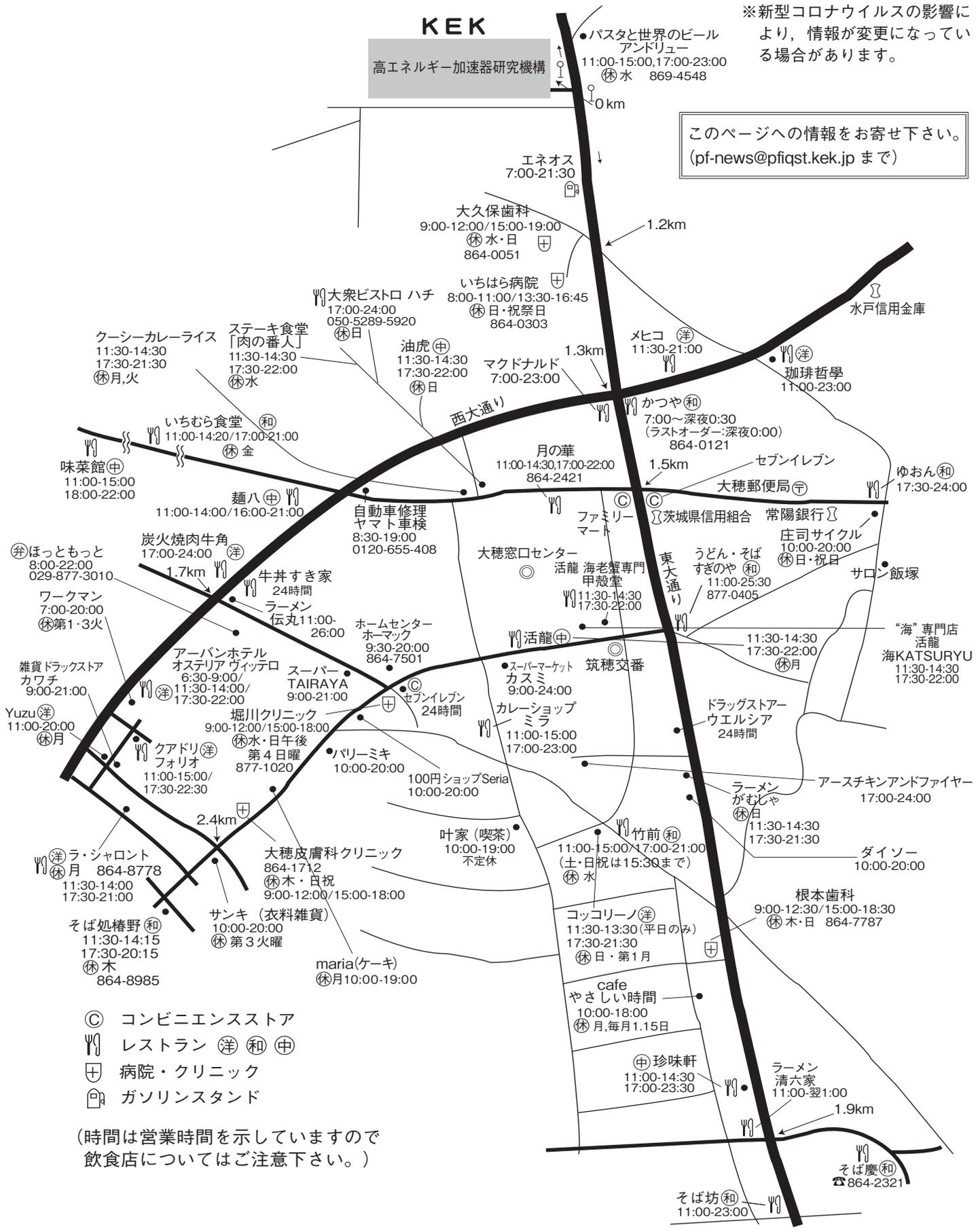
- ⑮ ホテルベストランド
(<http://www.hotel-bestland.co.jp>)
TEL (029) 863-1515
- ⑯ 東横イン
(<http://www.toyoko-inn.com/hotel/00228/>)
TEL (029) 863-1045
- ⑰ ホテルマークワン
(<http://www.mark-1.jp/>)
TEL (029) 875-7272

KEK 周辺生活マップ

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

※新型コロナウイルスの影響により，情報が変更になっている場合があります。

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



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

(時間は営業時間を示していますので
飲食店についてはご注意ください。)

KEK内福利厚生施設

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

＜新型コロナウイルスの影響により、営業時間等が変更になる場合がありますので、ご注意下さい。＞

●共同利用研究者宿泊施設（ドミトリー）

（管理人室 TEL/FAX:029-864-5574 PHS:2920）

シングルバス・トイレ付き 2,200円

シングルバス・トイレなし 1,700円

- ドミトリーは夜の22時から朝の8時までは施錠されます。また、この時間帯は管理人が不在ですので、22時以降にドミトリーに到着される方はインフォメーションセンター（029-864-5572, PHS:3398）でドミトリーの部屋の鍵を受け取って下さい。
- 支払いはユーザーズオフィスにて、現金の他、クレジットカード、デビットカードが利用可能です。また宿泊が週末等になり、ユーザーズオフィスで支払えない場合は銀行振込または管理人による現金での領収（土、日、祝のみ）も可能です。

●図書室（研究本館1階 内線3029）

開室時間：月～金 9:00～17:00

閉室日：土、日、祝、年末年始、夏季一斉休業日
機構発行のIDカードがあれば開室時間以外でも入館可能。詳しくは下記URLをご覧ください。

<https://www2.kek.jp/library/riyou/>

●健康相談室（医務室）（内線 5600）

勤務時間中に発生した傷病に対して、応急処置を行うことができます。健康相談も行っていますので、希望者は事前に申し込んでください。

場 所 先端計測実験棟

開室時間 8:30～17:00（月曜日～金曜日）

●食 堂（内線 2986）

営 業 月～金 ただし祝日及び年末年始は休業

昼食 11:30～13:30 夕食 17:30～19:00

●喫茶室 Suzu Cafe（スズカフェ）（内線 3910）

2月19日（金）の夕食から3月31日（水）までの間、下記のと通りの営業時間となります。

【平日】

朝食 8:00～9:30まで（完全予約制）

昼食 11:30～15:00まで

夕食 18:00～21:00まで（ラストオーダー20:30）

【土・日・祝日】

朝食 8:00～9:30まで（完全予約制）

昼食 11:30～15:00まで

夕食 17:00～20:00まで（ラストオーダー19:30）

営業時間等に変更となる場合もあります。

●売 店（ニューヤマザキデイリーストア）（内線 2989）

弁当、パン、食料品、軽食、菓子類、日用品、タバコ、お酒、雑誌、切手等、KEKオリジナルグッズの販売等。

2月19日（金）から3月31日（水）までの間、下記のと通りの営業時間となります。

月～金 8:00～19:00

土 10:00～15:00

日・祝 休業日

●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）。

★shipping@pfqst.kek.jp宛のご連絡は不要となりました。

★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 (2021. 2. 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	堀場
BL-2A/B	● MUSASHI: 表面・界面光電子分光, 広エネルギー帯域軟X線分光	堀場
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	●★ VUV 24m球面回折格子分光器 (SGM)	間瀬 枝元 (立教大) 吉信 (東大)
BL-3C	● X線光学素子評価/白色磁気回折ステーション	平野
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 (東京医科歯科大)
BL-4B2	●★ 多連装粉末X線回折装置	中尾 植草 (東工大)
BL-4C	● 精密単結晶X線回折ステーション	中尾
BL-5	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	五十嵐
BL-6A	● X線小角散乱ステーション	五十嵐
BL-6C	●★ X線回折/散乱実験ステーション	中尾 八方 (広島市大)
BL-7	B M	雨宮 (岡林: 東大)
BL-7A	◇● 軟X線分光 (XAFS, XPS) ステーション (東大・スペクトル)	雨宮 岡林 (東大)
BL-7C	● 汎用X線ステーション	杉山
BL-8	B M	佐賀山
BL-8A	● 多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	佐賀山
BL-8B	● 多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	佐賀山
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	清水
BL-10A	●★ 垂直型四軸X線回折装置	熊井 吉朝 (熊本大)
BL-10C	● X線小角散乱ステーション	清水
BL-11	B M	北島
BL-11A	● 軟X線斜入射回折格子分光ステーション	北島
BL-11B	● 軟X線2結晶分光ステーション	北島
BL-11D	● 軟X線光学素子評価装置用ステーション	間瀬
BL-12	B M	仁谷
BL-12C	● XAFS (ハイスループット) 実験ステーション	仁谷
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	岸本
BL-14A	● 単結晶構造解析・検出器開発ステーション	岸本
BL-14B	● 精密X線光学実験ステーション	平野
BL-14C	● X線イメージングおよび汎用X線実験ステーション	平野
BL-15	U	五十嵐
BL-15A1	● XAFS (セミマイクロビーム) 実験ステーション	武市
BL-15A2	● 高輝度X線小角散乱実験ステーション	高木 (秀)
BL-16	U	雨宮
BL-16A	● 可変偏光軟X線分光ステーション	雨宮

BL-17		U	山田
BL-17A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
BL-18		B M	熊井
BL-18B(インド・DST)	◇●	Multipurpose Monochromatic Hard X-ray Station	熊井 SAHA, Pinku (JNCASR)
BL-18C	●★	超高压下粉末X線回折計	船守 鍵 (東大)
BL-19		U	小野
BL-19A/B	●	軟X線顕微鏡/分光実験ステーション	武市
BL-20		B M	足立 (純)
BL-20A	☆●	3 m直入射型分光器	足立 (純) 北島 (東工大)
BL-20B	●	白色・単色 X線トポグラフィ/X線回折実験ステーション	杉山
BL-27		B M	宇佐美
BL-27A	●★	放射性試料用軟X線実験ステーション	宇佐美 横谷 (量研機構)
BL-27B	●★	放射性試料用X線実験ステーション	宇佐美 岡本 (原研機構)
BL-28		H U	堀場
BL-28A/B	●	可変偏光 VUV・SX 不等間隔平面回折格子分光器 高分解能角度分解光電子分光実験ステーション	堀場
PF-AR			
AR-NE1		E M P W	船守
AR-NE1A	●	レーザー加熱超高压実験ステーション	船守
AR-NE3		U	山田
AR-NE3A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
AR-NE5		B M	船守
AR-NE5C	●	高温高压実験ステーション /MAX80	船守
AR-NE7		B M	平野
AR-NE7A	●	X線イメージングおよび高温高压実験ステーション	平野
AR-NW2		U	丹羽
AR-NW2A	●	時間分解 DXAFS / X線回折実験ステーション	丹羽
AR-NW10		B M	仁谷
AR-NW10A	●	XAFS (高エネルギー) 実験ステーション	仁谷
AR-NW12		U	引田
AR-NW12A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	引田
AR-NW14		U	野澤
AR-NW14A	●	ピコ秒時間分解 X線回折・散乱・分光	野澤
低速陽電子			和田
SPF-A3	●	全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) ステーション	和田
SPF-A4	○	低速陽電子回折 (LEPD) ステーション	和田
SPF-B1	●	汎用低速陽電子実験ステーション	和田
SPF-B2	●	ポジトロニウム飛行時間測定ステーション	和田

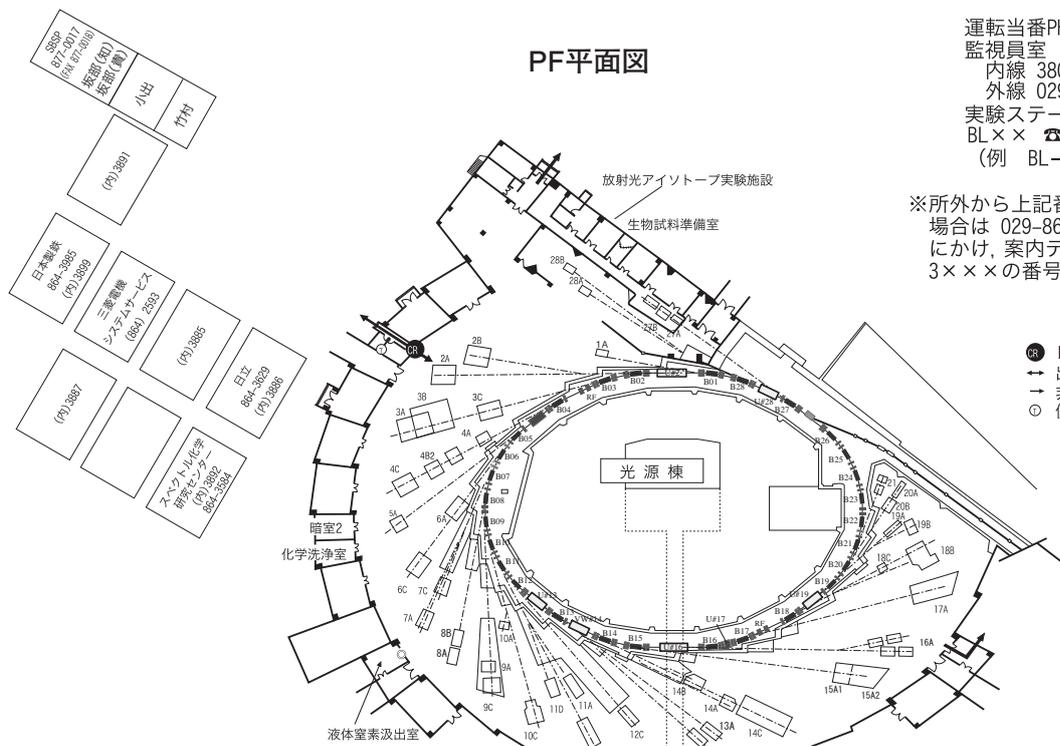
【UG 運営装置】 AR-NE7A 高温高压実験装置 (MAX-III) 久保友明 (九州大)

【所外ビームライン】 BL-7A 東大 RCS 岡林 潤 (東大) jun@chem.s.u-tokyo.ac.jp
 BL-18B インド JNCASR SAHA, Pinku 029-879-6237 [2628] pinkusaha1990@gmail.com

PF平面図

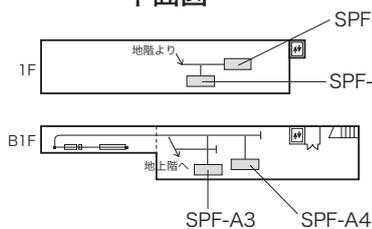
運転当番PHS 4209
 監視員室
 内線 3800
 外線 029-864-5778
 実験ステーション
 BL×× ☎38××
 (例 BL-6 ☎3806)

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



- IDカードリーダー
- 出入口
- ⇄ 非常口
- 便所

低速陽電子実験施設 平面図



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

0 25M

PF-AR平面図

PF-AR共同 研究棟

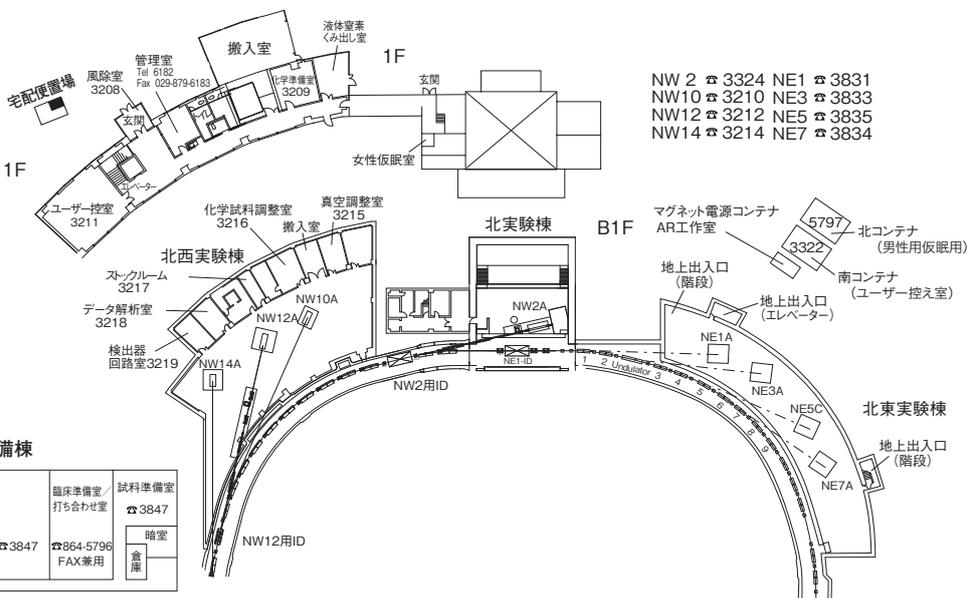
深谷、福本、
 高木(社)、一柳、
 阿部(裕)、金澤
 6185, 6186
 Fax 6187

PF-ARコンテナ

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

PF-AR実験準備棟

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



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

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

