PFの放射光ファーストビームの観測は1982年3月11 日と記録されており,遂に40周年を迎えたことになりま す。現在も第一線の放射光施設として稼働し続けることが できていることに感謝するとともに、今後も学術施設とし ての使命を遂行することで皆さまからの期待に応えられる よう全力を尽くして参ります。

さて、新年度に入ってすぐの4月5日に、KEK 国際諮 問委員会(KEK-SAC)から答申が届きました。KEK が新 しく予算要求するプロジェクトの優先順位を定める KEK 研究実施計画(KEK-PIP)2022の策定のため、Draft KEK-PIP 2022 で提案されている9件のプロジェクトに対して、 2月に提出された動画プレゼンテーションと3月7日と8 日に実施されたヒアリングに基づき評価が行われました。 以下に、KEK-SACの答申を紹介します。Category I には、 唯一、新放射光源施設のための R&D が選出されています。

The SAC divides the nine proposed programs into three categories:

- Category I: Recommended programs for MEXT's support without ranking
- Category II: Recommended programs for MEXT's support with ranking
- Category III: Others
- Category I

• R&D for New Synchrotron Light Source Facility

The proposed R&D, a hybrid ring with two photon beams, is a highly original and flexible design concept which leverages a unique combination of outstanding expertise from various accelerator branches of KEK: PF, ILC/STF, cERL, iCASA, SuperKEKB. The remarkable scientific potential of such a lightsource from both a national and international user community perspective will be enormous. Not just for existing user communities but for those yet to be established once the true scientific capabilities are realized. The application of simultaneous time-resolved and spatial-scale studies of materials would be a significant justification for many users alone. The PF is the oldest major lightsource still in operation and has been acknowledged as a world leader in synchrotron science. It has been the testing ground for a range of new technologies and has had a significant impact through the mentoring of international communities. Building on decades of KEK innovation this project presents a unique opportunity within the timeline of the present PF transition. Once the feasibility is established, the construction could even be staged, with energy recovery and FEL as possible future additions.

(Category II, III 省略)

4月27日に開催された第129回 KEK 研究推進会議では, 「(SAC の答申には記載されていないが)放射光は機構の 重要なインフラであり,他のプロジェクトとの優先順位を つけることなく,予算要求するべきであるとの意見をいた だいた。現時点の開発研究は実機建設とは予算規模が異な るのでフロンティア予算とは別の仕組みでの概算要求を文 科省と相談したい。また,機構の予算でも支援する。」と の機構長の方針説明がありました。今後,機構内の所定の 手続きを経て,KEK-PIP 2022 が策定されることになりま す。2月1日に開催された第1回フォトンファクトリー計 画推進委員会では,機構長から「放射光の将来に道筋をつ けたい」との表明がありましたが、7月1日に開催される 第2回の委員会では,機構長からKEK-PIP 2022 に関する 説明(予算要求に関する方針説明)が予定されています。 フォトンファクトリー計画推進委員会は、委員以外にも公 開で開催されますので、多くの皆さんの参加をお待ちして います。

新放射光源施設の候補である Hybrid リングについては, 概念設計を論文として公表していますので,そちらをご 参照ください [1]。R&D として,加速器は,① PF/PF-AR, cERL, STF などの既存施設を利用した2ビーム技術の原理 実証と②シングルパスビームの性能向上に向けた要素開 発,ビームラインは,③開発研究多機能ビームライン等を 利用した2ビーム技術の原理実証と④サイエンスとエン ドステーションの検討を進める計画です。④については, Hybrid リングを想定した机上の検討だけでなく,これか ら建設される開発研究多機能ビームラインを利用して実際 の成果を創出することも重要と考えています。

新放射光源施設の実現には時間が必要ですが,開発研究 多機能ビームラインについては,関係者のご理解とご協力 により BL-11 と BL-12 を再整備する方針が決定しており, 上述の機構長の方針もありますので,数年の内に BL-11 に実現することが確実です。したがって,このビームライ ンにおける 2 ビーム利用のサイエンスについては,広く意 見や提案を募集するタイミングになってきたと考えていま す。これまで,学術連携として UVSOR と HiSOR に協力 していただきながら,施設内部で 2 ビーム技術を始めとす る各種技術の検討を進めてきましたが,今年度の後半には, 開発研究多機能ビームラインをテーマに PF 研究会を開催 して,皆さんとともにサイエンスの検討も加速したいと考 えています。

前回の『施設だより』(2021年11月号)で,KEK-PIP 2022について,良い報告ができるよう全力を尽くすと説 明しました。今回,現時点で考えうる最良の結果を報告で きましたが,新放射光源施設の実現に向けた新しいフェー ズに入っていきますので,そのことを意識しながら,引き 続き全力を尽くして参ります。皆さん,実現に向けて一緒 に頑張りましょう!

 K. Harada *et al.*, Conceptual design of the Hybrid Ring with superconducting linac, J. Synchrotron Rad. **29**, 118–124, 2022. (https://doi.org/10.1107/S1600577521012753)

# 入射器の現状

# ご挨拶

古川和朗さんの後任として,4月1日付で加速器第五研 究系研究主幹を拝命しました惠郷博文(えごうひろやす) です。2017年4月に(財)高輝度光科学研究センターよ り高エネルギー加速器研究機構へ移籍し,第五研究系にて 高周波加速の研究開発に従事しています。微力ながら,今 後は SPring-8 や KEK 入射器での経験を活かして光源型蓄 積リングと衝突型蓄積リングへ柔軟に対応できる電子陽電 子入射器として更なる安定化や高度化を進めていく所存で す。宜しくお願い申し上げます。

# 運転状況

1月中旬までの冬期メンテナンス作業(前号参照)を 順調に完了し、2022年1月14日からRF電子銃や加速管 群のRFコンディショニングを開始、1月31日からのPF 運転に備えて1月17日より電子陽電子入射器の本格立ち 上げを行いました。調整は順調に進み、2月4日からPF, 低速陽電子ユーザーへの利用運転を開始しました。途中、 3月10日からハイブリッド運転への切り替えに対応しな がら、3月24日予定どおりに光源系加速器へのビーム入 射を終了しました。SuperKEKBに対しては、1月24日か ら DR 調整のためのRFコンディショニングを行い、2月 21日よりメインリングへの入射を開始しました。

その後,運転は順調に進んでいましたが,2月に入ると トリガー信号抜けによるクライストロン RF 出力停止やイ ンターロックで運転がダウンする現象が発症,2月17日 より頻発するようになりました。SuperKEKB ビームゲー トオープン直後に抜けることが多く,原因調査の結果,イ ベントシステム用光 FANOUT ボード (VME)の故障と判 明,予備品と交換して復旧することができました。下流側 光源加速器や測定器の運転,利用実験への影響が懸念され ましたが,大きなトラブルにならなかったのは幸いでした。 3月16日深夜23:34に発生した震度4の地震は,全クラ イストロン運転をダウンさせ,また,加速器収納トンネル の南端大型遮蔽扉のずれによるインターロックなどを誘発



図1 新開発した球形空 洞型パルス圧縮器 (試作機)

# 加速器第五研究系研究主幹 惠郷博文 (2022 年 4 月 8 日付け)

させたため、入射器運転が停止しました。多くの機器は安 全確認後に1時間程度で復旧できましたが、翌日、A3ユ ニットのクライストロンタンクに水漏れが発覚, RF 出力 が80%以上低下したため、交換作業が必要となりました。 しかしながら、PF停止予定の3月24日まで運転継続の要 望があり、B7ユニットによる代替加速などの調整を行う ことによってビーム品質を損なうことなく運転を継続する ことができました。A3 ユニットは PF 運転終了後にクラ イストロン交換を行い,現在は通常運転に復帰しています。 SuperKEKB に関しては、HER 入射における入射効率の改 善が急務の課題となっています。クライストロン出力位相 や入射部セプタムアングルの調整により、都度、ビーム品 質の改善対応を行ってはいますが,悪化の原因について物 理的な解釈を探究し、根治的対処を目指すべきと考えてい ます。また、SuperKEKB リングの蓄積電流増強に伴うビ ーム寿命の短時間化などに対応するため、2バンチ運転に おける安定入射の課題も取り組んで参ります。今後は T (6S)実験を目論むため、運転開始から40年を経て劣化が 進むビーム加速性能を回復することも大きな課題です。そ の解決法の一つとして、耐電力性能を向上させた新型Sバ ンド加速管に通常の2倍のマイクロ波を投入し、加速電圧 を上げる方法があります。その運転には1ユニットあたり 160 MW のパルスマイクロ波電力増強が必要ですが、クラ イストロン増設とともに、近年開発が進展した球形空洞型 パルス圧縮器を応用します。試作機での高電力試験により 良好な運転性能を持つことを確認した後、実機製作を進め てきました。今年の夏にインストールを行い、秋以降、エ ネルギー増強運転が期待されます。

# 人事異動

冒頭でお知らせしましたように加速器第五研究系主幹 の古川和朗さんが3月末日付でご定年退官となりました。 2012年から10年に渡って陣頭指揮を執り,五系スタッフ を取りまとめて,震災後の復興やSuperKEKBリングへの 低エミッタンス・高電荷ビーム入射の実現など数々の難局 を乗り越えて来られました。これまでの素晴らしいご功績 に感銘いたします。今後はシニアフェローとして入射器制 御とビーム品質改善にご指導,ご鞭撻いただくことになり ます。また,技師の三川勝彦さんも同日,ご定年退官され ました。制御グループに属して,スクリーンモニタやレー ザーアライメント機構,電荷計測装置において PLC 主体 の制御システム構築に数多くご貢献いただきました。4月 より KEK を離れることになりましたが,新しい門出にあ たり,ご多幸とご健勝をお祈り申し上げます。

# 光源の現状

# PF リングの運転状況

図1に, PF リングにおける1月31日9:00~3月24日 9:00 までの蓄積電流値の推移を示す。1月31日9:00 に第 3期の運転を開始した。立ち上げ調整は概ね順調に進み, 2月4日9:00 からの光軸確認後マルチバンチモードでのユ ーザ運転となった。3月8日~10日にハイブリッドモー ドへの切り替えを行い,3月10日9:00 からユーザ運転を 再開し,3月24日9:00 に停止した。 ユーザ運転を開始した翌日2月5日14:23 にデータチャ ンネルサーバー計算機の電源故障のため、各機器との送受 信が途絶えてビームダンプとなった。古いサーバ計算機に 交換し、各種設定・動作確認後21:35 にユーザ運転を再開 した。

2月24日 3:05 冷却水インターロックにより,リング4 極電磁石電源 QAA が停止して,ビームダンプとなった。 原因は QAA 電源で励磁されている 4 極電磁石 Q262 の冷



却水ストレーナの目詰まりにより,冷却水流量が低下した ためと判明した。ストレーナを新品のものと交換して復旧 した。

3月6日2:54 ビームダンプが発生した。RF 空洞の1台 に反射が起こったことが原因であった。すぐに RF 空洞を 立ち上げて復旧した。

3月8日~10日のマシン調整日に,懸案となっていた キッカー電磁石 K2のアブソーバ冷却水流量低下の件で, リングトンネルに入域して当該流量計を交換した。さらに, インターロックレベルを通常の70%から50%に再設定し た。施設側B系冷却水システムのバルブ調整およびポン プ吐出圧調整により流量低下の傾きは改善したが,アブソ ーバの構造上の問題もあると考えられるため,春の停止期 間中に以前問題なく使用していたアブソーバと交換した。 流量センサーにも付着物の堆積が見られており,化学分析 により汚染源の特定を行っている。また,夏期停止期間中 にB系冷却水の入れ替えも予定している。

冬の停止期間中に設置した機器の影響と推察されている が,以前と同様のハイブリッドモードのフィルパターン(シ ングルバンチ+131マルチバンチ)では進行方向のビーム 不安定性が抑えられなかった。試行錯誤の結果,シングル バンチ電流値30mA,シングルバンチとマルチバンチの間 隔の距離と電流値(420mA)は同様にして、マルチバン チ部分を2分割したようなフィルパターンにすると、進行 方向のビーム不安定性が抑制されたことから、今期はこの フィルパターンでユーザ運転を実施することとした。

3月13日4:26に、キッカー電磁石 K4で 外部(オイル フロー)インターロックで電源が停止して、ビームダンプ が発生した。インターロックリセットで復旧し、その後 すぐに再入射が可能となり、6:18ユーザ運転を再開した。 運転再開後も特に異状や再発がないことから、今回は誤動 作と考えられるが,春の停止期間中に調査を行うこととした。3月16日23:37 地震(つくば市:震度4)により,シ ールド扉のインターロックでビームダンプとなった。その 他のインターロックも動作したが,いずれも故障・異常は なかった。リングトンネル内,光源棟・電源棟の点検を行 い水漏れ等も問題ないことを確認して,ユーザ運転を再開 した。ところが,再開後に進行方向のビーム不安定性が発 生した。3月17日のマシン調整日にリングのゲッターポ ンプを作動させた結果,このビーム不安定性が抑制された ため,地震前と同じフィルパターンで運転継続することと した。3月20日頃からビーム入射不調となり,ビームが 削れ450 mAを維持できなくなることが時折生じたが,キ ッカー電磁石のパラメータ等を調整することで対処した。 PFリングは3月24日9:00に運転を停止して,春の停止 期間となった。

#### PF-AR の運転状況

図2に、PF-ARにおける2月7日9:00~3月7日9:00 までの蓄積電流値の推移を示す。2月7日9:00から運転を 開始し、PF-ARも立ち上げ調整は順調に進み、2月10日 9:00からの光軸確認後ビームエネルギー5 GeV でユーザ 運転を開始した。2月22日~24日に、ビームエネルギー を5 GeV から 6.5 GeV に切り替える作業を行い、2月24 日9:00から光軸確認を行ってユーザ運転を再開し、3月7 日9:00まで予定通り実施した。

2月27日8:30と3月3日0:14の2回RF空洞の反射インターロックが動作して、ビームダンプとなった。2回とも大きな問題はなくすぐに再立ち上げを行って、運転を再開した。これらのトラブル以外は比較的順調で、予定通り3月7日9:00で運転を停止した。

PF-ARは、3月7日9:00から停止期間となっているが、



この期間偏向電磁石電源の変圧器絶縁油交換を実施したの で,次節で報告する。

# PF-AR 偏向電磁石の電源変圧器絶縁油交換

春の停止期間となった3月17日より1週間をかけて、 機構からの追加予算による補填を受け、劣化して緊急に処 置が必要となった、PF-AR 偏向電磁石電源の変圧器絶縁 油の交換が製造メーカにより実施された。PF-AR 偏向電 磁石電源は、リング全周の偏向電磁石を直列に励磁して いる1MW級の直流電源である。PF-AR西電源棟に設置 されている。2006年の PF-AR 高度化改造計画において, TEMIC 社により更新のための製造がおこなわれた電源で ある。電力源の1次側は6.6 kV 降圧変圧器を屋外トラン スヤードに2器備え、特別高圧変電所より直接420Vに変 換し利用している(図3)。絶縁油の劣化がいつから始ま り進行していたのかは、通常5年ごとに行われるべき変 圧器の保守点検が新造してから 2011 年の間まで行われて おらず定かではないが、東北震災時に行われた変圧器点検 において、絶縁油の tangent  $\delta$  が 5 以下の規定値に対して、 数値6を示していることが2019年の履歴調査で判明して いる。2019年の履歴調査以前に、この前兆を注意深く受 け止めていればよかったのであるが、その時点では気づく ことなく放置されていた状況であった。2019年に保守点 検の実施が規程年数を大幅に超えて実施されていないこと を憂慮し、2020年に2011年から10年ぶりに保守点検を 実施したところ,絶縁油の劣化が更に進行し tangent δ 値 が40以上にまで上昇し、履歴調査により過去の経緯が判 明した次第である。通常であれば、屋外トランスヤードに 置かれる変圧器は環境要件を加味し製造されており、絶縁

が 0.0040 TΩm と 1/100 まで低下し,絶縁油交換の規定値 かけて, 0.005 TΩm を下回っていた。劣化の発見が遅きに失せず, 緊急に処 不純ガス量が規定値を超えるところまで到達していなか ったため,絶縁破壊とならずに済んだのは幸いであった。 そ偏向電 2020 年の劣化の判明後,夏前の加速器運転では,絶縁油 功磁して の温度が 90℃を超える状態で高止まりしており,不活性 東に設置 ガスによる密閉容器システムであるため劣化の進行は抑制 されているが,油の冷却能力の低下の結果,さらに熱劣化 た電源で が進むことで絶縁抵抗を劣化させ,悪循環の結果最終的に れトラン 絶縁破壊と容器の破裂へとつながる恐れがあった。 0 V に変 絶縁油の交換工事は変圧器 2 機分を順番に 1 機ずつ交換 作業を行うことで進められた。1 機あたりの絶縁油は鉱油

作業を行うことで進められた。1機あたりの絶縁油は鉱油 (第4類第3石油類非水溶性)を1470 L/機使用しており, 総油量は3000 L 弱に達するところであるが,1機ずつ行 うことで消防での立ち合いが必要となる本油種の2000 L を超過しないため,消防への通知のみの手続きで作業が行 われることとなった。また,油を抜く抜油,新油を投入す る注油をそれぞれタンクローリーより直接やり取りし(図 4),作業完了後 KEK 所内より所外へ搬出されることで, 可燃物保管の規定からも除外した作業となるように考慮さ れた作業となっている。工事が設定された日程期間中,あ いにくの雨,季節外れの雪の日が続いたため,抜油,注油 には,新油に水分が入らないように慎重な作業が行われた。 抜油では窒素置換法(通常なら大気開放であるが)を採用 し,窒素置換により水分の混入を防ぎ,注油では,真空脱

抵抗の劣化進行は20年経過後も良好であれば、体積低効

率の変化率が 0.5% 以下 /20yr の水準で推移するところで あるが、この電源は新油では 0.4 TΩm 程度あった抵抗値





図3 PF-AR 偏向電磁石電源及び屋外変圧器とその構成



図4 新油注入のためのタンクローリー(上),真空脱気装置, 発電機の配置(下左),真空脱気装置(下右)。



図5 絶縁耐圧試験機によるサンプリング検査

気装置を介しながら行った。せっかくの絶縁油の交換が無 駄とならないように処置された。また注入された新油は, 真空脱気循環を3循環,つまり1500Lを3循環の4500L 分行い,徹底して絶縁油の油質の劣化要因を除くよう処置 した。絶縁油の油質の管理は,現場に絶縁耐圧試験機を持 ち込み,(1)タンクローリーで搬入された直後の生油の状 態,(2)真空脱気装置を介して注油した新油の状態,(3) 注入及び脱気循環,不活性ガス充填封止が完了し,液面調 整後の1日寝かせた後の3種の状態で採油し耐圧試験を行 い,規定値である50kV絶縁耐圧を全ての状態でクリアし た(図5)。窒素充填は真空容器内の大気混入を97%以下 まで低減するように酸素モニターで監視しながら行った。

全ての交換作業を終え,1日後の油面が安定した時点で, 総合動作試験となる PF-AR 全周に渡る通電試験を行い問 題なく運転を完了することができた。本来ならば変圧器容 器の破損などを疑い容器の更新など劣化原因の排除を行う べきところであるが,今後の運転計画とコストバランスを 勘案し,この交換で10年以上かけて進行する劣化には対 応できると判断し,絶縁油交換の処置をとることとなった。 この絶縁油交換により,偏向電磁石電源変圧器故障で長期 運転停止に追い込まれる事態が回避され,PF-AR におい て安定した放射光実験が継続できる要因の一つになったと 考えている。

# セラミックスチェンバー一体型パルスマグネットの開発状況

放射光実験施設(PF)では、現行の放射光源加速器か ら次世代放射光源加速器、電子加速器全般の幅広い応用 用途を目指す、空芯型構造を採用した高速キッカー用セ ラミックスチェンバー一体型パルスマグネット(Ceramics Chamber with integrated Pulsed Magnet, CCiPM)を考案し、 製作技術開発と利用開発を同時に進めている。CCiPM は 高速キッカーとしての開発をベースに、SuperKEKB にお ける Linac での2バンチ個別軌道補正用超高速キッカーと しての応用が計画され、現在2022年度夏期停止期間中の 設置へ向けて順調に装置の製作を進めている。本報告では、 その応用として世界で初となる CCiPM を用いたパルス 8 極入射技術の開発状況について報告する。

PF では、パルス4 極電磁石(Pulsed Quadrupole Magnet: PQM)から、パルス6 極電磁石(Pulsed Sextupole Magnet:

PSM) に至るまで、パルス多極入射技術の先駆的な開発 を進めてきている。すでに蓄積されているビームを揺ら さずに入射させる手法は、放射光ユーザからは入射時に 光軸変動がないため、ビーム入射を意識しないことから 「Transparent Top-Up injection」と表現され,次世代放射光 源においてもその有用性が認識されている。この技術の精 度をさらに向上させるため、PF で培われた PSM 入射技術 の知見を活かし、鉄芯型パルス電磁石入射の課題を克服す る空芯型パルス電磁石の開発が開始されている。課題は, 次の3点に絞られる。第1点目は,鉄芯で生じる渦電流磁 場が蓄積ビームへ与える不整キックである。第2点目は, 入射時に蓄積ビームを静的に保持するより広い磁場ゼロ領 域の確保と入射ビームが通過する位置で強磁場を得るため の水平磁場分布の高次曲線化である。第3点目は、セラミ ックス内面コーティングの渦電流磁場が蓄積ビームへ与え る不整キックの低減である。これら3つの課題は、CCiPM において全てが克服されると期待される。

空芯型の場合、コイルの配置と本数、そしてコイルへ流 す電流の向きにより任意の磁場を形成できる。6極磁場よ り高次な8極磁場は、4本のコイルをビーム軌道平面から 45度の位置に対称に配置し、平行電流を流すことで生成 する。CCiPMは、この空芯型パルスマグネットを極めて 簡潔に実現したものである。マグネットは,400 mm の真 円筒セラミックスダクト壁面に設けた,長さ300 mm,幅 4 mm の銅コイルを貫通溝に埋め込むことで完全に一体成 型し、コイル間の絶縁構造と磁場応力、大気圧による真空 応力、ビームロードによる熱応力に対して高精度かつ強固 なコイル保持構造を有している (図6左写真)。コイルは 貫通溝に収められているが、円筒内表面より突出すること なく, 貫通溝に収められることで, 必要磁場からコイル位 置を決めた時にセラミックスダクトの物理口径を最大化で きる(図6右写真)。さらに、ボア径を小さくすることで、 磁場強度も増強させることができることから、セラミック スダクトの口径を φ60 mm, φ40 mm, 超小口径の φ30 mm と多様なバリエーションに対応する製作技術が確立してい る。空芯型であることで3つの課題のうち2つの課題が克 服されており、CCiPM は空芯型パルスマグネットをいか に高精度に組み上げるかという課題に対する磁石構造の提 案となっている。残されたビームインピーダンスを低減す るためのダクト内面メタルコーティングについては、渦電 流磁場の要素であり、透過磁場の減衰の原因となるため、



図6 実機 CCiPM-O (Octupole) 全体外観(左), 内面構造写真(右)

CCiPM では内面コーティングに様々な太さの櫛歯形状を導入するパターン形状コーティングの技術が適用されている。

これらの新構造パルスマグネット製作技術、コーティン グ技術の開発が進み、2019年度に PF では空芯型パルス8 極電磁石 (POM), CCiPM-O (Octupole type CCiPM) のプ ロトタイプの製作に成功し、2020年度に実機が完成した。 これに先立ち, 2018 年度からは 2021 年度の PF リングへ の設置準備計画の検討が開始された。検討された内容は設 置場所の検討、必要とされる蹴り角と許容される物理口 径,システムの構築方法である。検討の結果, 既設 PSM システムを入れ替える形で、パルス電源の再利用とともに システムを流用することで費用を抑え、さらに (p40 mm の 口径を採用することで PF リングの物理口径を制限するこ となく PSM と同程度の蹴り角によるビーム入射が可能で あると判断された。この検討結果を受けて、真空改造の設 計が2つの観点から進められた。設置場所が上流をアンジ ュレーター#02の扁平ダクト、下流側をリング8角形状ダ クトに挟まれる。片側水平アパーチャー 34 mm, 片側垂 直9mmのPSMから真円丸ダクトとなるCCiPM-Oをイン ピーダンスの観点から滑らかに変換接続する形状変換ダク トの検討, CCiPM-Oの上流偏向電磁石からの光アブゾー バーの新設置と挿入深度の検討である。PSM の磁極長は 300 mm でセラミックスダクト長がフランジ間 500 mm と なっており、CCiPM-Oのコイル長300mmでセラミック スダクト長 400 mm とほぼ同一で幸いなことにキック点と しては移動しない。2020年度には改造のための真空機器 の準備が整った。これら準備と並行して昨年度の夏に行 われた入射効率改善のための PF セプタム老朽化更新に伴 う入射点改造も重要な連携要素となっている。更新改造で は, 蓄積ビーム軌道と入射ビーム軌道を近づけることで, 超伝導垂直ウィグラーや各種アンジュレーターなどの狭小 物理口径を回避して、入射効率の改善へとつなげる計画が 含まれている。同様に、改造前の入射点セプタム壁位置が 21 mmの場合, CCiPM-Oが物理口径の制限となる可能性 があったが、更新改造は16 mm となっていることで回避 されている。また、PSM 扁平ダクトの垂直方向の狭小物 理口径も CCiPM-O で改善させることができ, Top-Up 入射 がバンプ入射から CCiPM-O に移行できれば、バンプ入射 における漏洩軌道問題,マルチターンキック問題などの解



図 7 北長直線部 (B01-B02 間) に設置された CCiPM-O (外層補助コイルつき)

決へと結びつけることも可能と考えられており, PF での 改造,高度化の流れに連続性と連動性を有している。

2022 年 1 月の停止期間中に, CCiPM-O が PF リングに 設置された(図7)。設置アライメント誤差は、セオドラ イト,ティルティングレベル N3 を使い,水平垂直方向の 設置誤差を±20 µm 以内,回転誤差を100 µrad 以内に納 めた。設置時に 10<sup>-10</sup> Pa · m<sup>3</sup>/s 台のスローリークのトラブ ルなどがあったが、リーク対処を実施して封止され、無事 に設置が完了した。現在, 立ち上げ調整期間を通じ, 基 礎データを取得するビームコミッショニングが進行中で ある。ビーム入射への運用には課題改善などを進めなが ら1年程度かかることを想定している。セラミックス内面 櫛歯コーティングからの脱ガスもなく、順調に焼き出しが 進みビーム寿命が延びている。450 mA の蓄積ビームのマ ルチフィルモードでもビームインピーダンスによる発熱 は 50°C 以下に抑えられており、不安定性は生じていない。 通常キッカーダクトと同程度の発熱である。形状変換ダク トの発熱もない。CCiPM が世界で初めて放射光源リング にて運用を開始されたが, 現時点では大きな問題がなく, 将来の幅広い応用に道が開けたと考えている。

#### 令和3年度の運転のまとめ

表1に平成21年度から令和3年度までのPFリングの 運転統計を示し、それらのデータを棒グラフにしたものを 図8に示す。令和3年度は、ユーザ運転時間をここ数年の 目標値であった3000時間の2割増となる3600時間に設定 した。この目標値を実現すべく、年度当初リング運転時間 4368時間(182日)ユーザ運転時間3744時間で計画した が、実際のユーザ運転時間は3720.8時間となった。故障 時間は昨年度から大幅に減少して約23時間、故障率は約 0.6%、平均故障間隔時間(MTBF)も約220時間となり、 例年と同程度の値に回復するとともに、ユーザ運転時間 3600時間の目標値を達成した。故障の内訳を調べてみる と、令和3年度は制御・モニター関連のトラブルが約34%、 電磁石関連が約22%であったが、RF 関連による故障率が 1.1%と非常に低く、RFシステムがほとんどトラブルなく 安定に稼働したことが分かった。

表2と図9に PF-AR の運転統計を示す。PF-AR も同様 に目標値を2000時間から2割増の2400時間を目標値に設 定し,年度当初のリング運転時間を2976時間(124日), ユーザ運転時間2416時間確保するよう計画したが,実際 のユーザ運転時間は2404.7時間となった。故障時間は昨 年度に比べ大幅に減少し約11時間,故障率は約0.5%,平 均故障間隔時間(MTBF)も約242時間となり,こちらも 例年と同程度の値に回復するとともに,ユーザ運転時間 2400時間の目標値を達成した。故障の内訳は,約60%が 電磁石関連,約20%が制御・モニター関連,約18%がRF 関連であった。電磁石関連の故障では,老朽化した電源の 故障のほかに,電磁石冷却水用ゴムホースからの水漏れが 多発するようになってきていることから,ゴムホース交換 を含めた対策を検討している。

表1 平成21年度~令和3年度までの13年間のPFリングの運 転統計

年度	リング 運転時間 (h)	リング 調整・ スタディ 時間 (h)	ユーザ 運転 時間 (h)	故障 時間 (h)	平均故障 間隔 (MTBF) (h)
2009 (H21)	4,976.0	979.5	3,961.9	34.5	167.0
2010 (H22)	5,032.0	958.7	4,050.8	22.5	226.7
2011 (H23)	4,696.0	1,875.1	2,809.2	11.7	157.3
2012 (H24)	4,416.0	624.0	3,752.9	39.1	164.9
2013 (H25)	4,176.0	672.0	3,451.4	52.6	159.3
2014 (H26)	3,024.0	696.0	2,316.6	11.4	155.2
2015 (H27)	3,888.0	839.6	3,034.0	14.4	132.5
2016 (H28)	3,432.0	504.0	2,910.7	17.3	162.7
2017 (H29)	3,624.0	624.0	2,983.4	16.6	214.3
2018 (H30)	3,408.0	576.0	2,803.6	28.4	166.6
2019 (R01)	3,504.0	440.0	3004.1	59.9	153.2
2020 (R02)	3,120.0	536.0	2425.6	158.4	172.3
2021 (R03)	4,368.0	624.0	3720.8	23.2	220.2



年度	リング 運転時間 (h)	リング 調整・ スタディ 時間 (h)	ユーザ 運転 時間 (h)	故障 時間 (h)	平均故障 間隔 (MTBF) (h)
2009 (H21)	5,063.0	542.5	4,445.7	74.8	107.1
2010 (H22)	4,638.5	542.5	4,037.5	58.5	54.5
2011 (H23)	4,131.5	1,162.0	2,941.5	28.0	59.3
2012 (H24)	4,080.0	408.0	3,643.2	28.8	111.3
2013 (H25)	3,912.0	434.0	3,378.4	99.6	74.0
2014 (H26)	2,352.0	360.0	1,955.0	37.0	90.5
2015 (H27)	3,336.0	552.0	2,753.0	31.0	154.7
2016 (H28)	1,821.0	717.0	1,085.7	18.3	84.9
2017 (H29)	2,448.0	312.0	2,111.3	24.7	38.8
2018 (H30)	2064.0	456.0	1581.6	26.4	64.3
2019 (R01)	2568.0	456.0	2099.7	12.3	264.0
2020 (R02)	2520.0	408.0	1943.9	168.1	150.9
2021 (R03)	2976.0	560.0	2404.7	11.3	241.6



図 8 平成 21 年度~令和 3 年度までの 13 年間の PF リングの運 転統計の棒グラフ





図9 平成21年度~令和3年度までの13年間のPF-ARの運転 統計の棒グラフ

### 加速器第6研究系内の人の動きについて

光源第3グループの谷本育律准教授が、2月1日付けで 教授に昇任されました。谷本さんには、引き続き真空シス テムの保守・維持・管理を担当して頂くとともに、新放射 光源計画における開発研究を中心的な立場で担って頂くこ とを期待しています。

東北大学大学院理学研究科において,挿入光源関連の研 究をされていました齊藤寛峻さんが,4月1日付けで特別 助教として光源第7グループに配属されました。齊藤さん には挿入光源の保守・維持・管理ならびに関連する開発研 究を行って頂きます。

光源第1グループの島田美帆研究機関講師と光源第3グ ループの山本将博准教授が、4月1日付けで応用超伝導加 速器イノベーションセンターに異動になりました。お二人 は、超伝導利用推進グループに所属し、コンパクト ERL を中心とした産業応用等の利用推進の中核的な役割を担い ますが、新放射光源計画における超伝導リニアックの開発 研究において協力して頂くことも期待しています。 2021 年 8 月号の放射光実験施設の現状の原稿で予告した通り,本号では「多目的時間分解軟X線計測法の開発」について紹介します。

## 「多目的時間分解軟 X 線計測法の開発」

## (プロジェクト責任者:足立純一)

放射光の特徴の1つは、時間幅100 ピコ秒弱のパルス性 を持つことです。PF リングでは、パルス性活用のため、孤 立大電荷バンチの利用が可能なハイブリッド(HB)モード 運転を各期に実施しています。本プロジェクトでは、パル ス性を活用した時間分解軟X線計測が活発に行われるよう になるよう、計測機器の整備と実証実験を進めています。

本プロジェクトは 2019 年 9 月頃から本格的に活動を開 始しました。本プロジェクトでは、軟X線のユーザーを増 やすこと、多様な試料や検出法を容易に試せるようにする ことを目的として、差動排気システムの開発と多目的実験 槽の準備を進めています。並行して、時間分解計測に必要 となる信号記録装置などの整備を進めています。そして、 本プロジェクトに対して認められた PF-S 型課題のビーム タイムを利用して、サブマイクロ秒からピコ秒領域での時 間分解軟X線吸収計測の実証実験に取り組んでいます。

### 1) 差動排気システム

真空紫外線(VUV)・軟X線(SX)は大気によって吸収 されるため、この領域の放射光を用いる実験では、ビーム ライン(BL)だけでなく、試料から検出器まで、大気を 除いた環境を作る必要があります。VUV・SX を利用した 多様な測定を展開するため、試料槽側の真空度が障害とな らないようにする差動排気システムの開発を行っていま す。大気圧 He 環境の試料槽と超高真空 BL の大きな圧力 差を克服することが必要です。そのような差動排気システ ムは、国内では、SPring-8 において実装されています。こ れを参考に、条件最適化のためにアパチャー部を取り替え やすい形状とした、可搬型の差動排気システムを製作しま した。

この可搬型差動排気システムについて,動作検証を行 いました。アンジュレータビームラインの BL-13A では, 90% 以上の光量を通過させていることを確認しました。 一方,現在のところ,偏向部ビームラインの BL-11A では, 十分な光量を通過させることができていません。大気圧 He 環境の利用の際に,多量の He が消費されることのな いよう,He を還流させることも試みています。消費量を 減らせることは確認できていますが,現在のところ,高純 度を保つことはできておらず,今後の課題となっています。 放射光実験施設長 船守展正 (2022年5月2日付け)

#### 2)多目的軟X線実験槽

フリーポートで利用する実験槽の準備を進めています (図 1)。差動排気システムと組み合わせて大気圧 He 環境 下での計測や,超高真空を必要としない試料の計測を目的 としています。標準構成として,試料位置合わせ用に自動 ステージを設置し,試料や検出器の交換を容易にするため, Oリング封止のアクセス扉を備えた仕様としています。検 出器として,後述の高速フォトダイオード以外にも,軟X 線用シリコンドリフト検出器やチャンネル電子増倍管を利 用できるように準備を進めています。

# 3) 信号処理・記録システム

HB モードの孤立大電荷バンチからのパルス光を利用す る方法は、大きく2つに分けられます。1つは、孤立バン チ部の放射光を切り出して、強いパルス放射光による信号 だけが検出器に入るようにする測定法です。もう1つは、 孤立バンチ部の放射光による信号を、バンチ列からの放射 光による信号から識別して記録する方法です。

記録すべき信号が電荷量であるときには、高速の検出器 だけでなく記録に適した機器が必要になります。孤立バン チ部の放射光による信号の記録のため、ボクスカー積分器 付きロックインアンプ(Boxcar)を準備しました。PFリ ングと同期した信号波形を平均化でき、微弱な信号であっ てもノイズに埋もれることなくデータが得られます。

400 eV の光が 3 × 10<sup>8</sup> photons/sec 程度(シリコンフォト ダイオードで 5 nA 程度)得られる条件なら,Boxcar を用 いれば孤立バンチ光による信号をノイズに埋もれることな く記録できています。高速フォトダイオード,バイアステ ィー,低リップル高圧電源の組み合わせにより計測できる ことが実証されました。



図1 多目的軟X線実験槽の外観。PF実験準備棟ホールで仮組 みをして到達真空度の確認をしている。



図2 鉄(II)フェナントロリン錯体水溶液の窒素 K 吸収端時 間分解軟 X線吸収スペクトル。515 nm のパルスレーザー 照射時(実線)と照射後約 0.13 msec(破線)で有意な変 化を確認できた。後者では、レーザー照射による励起状 態はほぼ緩和している。

# 4) レーザー pump - 放射光 probe による時間分解軟X 線吸収スペクトルの測定例

軟X線による溶液試料の吸収計測が可能になってきてい ます。時間分解軟X線計測により、液相で起きる光化学反 応の情報を得ることを目指しています。

上述の検出システムを活用して,溶液試料に対するレ ーザー pump - 放射光 probe による時間分解軟 X 線吸収ス ペクトル (SX-XAS)計測を透過法で実施しました。PF-AR において,時間分解硬 X 線吸収スペクトルの測定がす でに行われている鉄(II)フェナントロリン錯体水溶液を 試料としました。溶液セルを用いる光化学実験の問題点が 顕在化し,実験条件の設定にかなり時間を要しましたが, 515 nm パルスレーザーと同期した窒素 K 吸収端の時間分 解 SX-XAS の測定に成功しました(図 2)。現状では,信 号強度が弱いため,軟 X 線に十分な感度を持つと期待され るアバランシェフォトダイオードを導入して測定の効率化 を図る予定です。

軟X線吸収計測を試してみたい方,マイクロ秒以下の時 間分解能での軟X線計測に興味がある方は,プロジェクト 責任者までご連絡ください。3)で紹介した信号処理・記 録システムについても,利用相談に応じます。

### 運転・共同利用関係

2022 年 度 第 1 期 の 運 転 で す が, PF は 5 月 6 日 に, PF-AR は 5 月 12 日に運転を開始する予定になっています。 PF は 7 月 8 日まで, PF-AR は 7 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 6 月 14 日から最後まで の予定です。PF-AR は 5 GeV で運転を開始して, 6 月 10 日以降を 6.5 GeV で運転します。2022 年度第 2 期の運転は, 6 月上旬ごろに決定する予定です。 PF-PAC の全体会議が3月23日に Web 会議方式で開催され,開発研究多機能ビームラインの建設に関連した BL-11 と BL-12 の再整備計画などが審議されました。詳細 については,本誌記事をご参照ください。

## 人事異動

最後に,放射光実験施設に関する人事異動を報告します。 4月1日付で,奥山大輔さんが放射光実験施設・測定装置 部門の准教授に着任しました。回折・散乱の測定手法グル ープを担当します。また,同日付で,成田千春さんが技術 員に着任しました。3月に東北大学の修士課程を修了,基 盤技術部門に採用され,制御系チームのメンバーとして活 動を開始しました。光学系チームを兼任します。3年間博 士研究員を務めた西村龍太郎さんは,4月1日付で,特別 技術専門職に異動しました。3月31日付で,運営部門長 の兵藤一行教授が定年となりました。引き続き,放射光実 験施設の特別教授として勤務しています。定年の兵藤さん に代わり,4月1日付で,放射光実験施設・運営部門の部 門長・特別教授に北島義典さんが着任しました。

# はじめに

2019年4月にPF関係の組織改編を行い,放射光科学第 一研究系に表面科学研究部門と固体物理学研究部門,放射 光科学第二研究系に材料科学研究部門と構造生物学研究部 門が誕生して約3年が経ちました。私は3年前のPFニュ ースでも本欄を執筆しましたが,そこには、「研究系は、 ある物質群や現象(サイエンス)をターゲットとし、放射 光はもちろん,低速陽電子,中性子,ミュオンなどの様々 な手法を駆使して物質・生命科学を先導することをミッシ ョンとしています。もちろん,単にユーザーとして施設を 利用するのではなく,施設を有する研究所としての利点を 最大限に活用し、研究対象をより深く探究するために、実 験施設や光源系のメンバーと協力して、サイエンス・ドリ ブンで新たな手法開発を行うことも重要なミッションとな ります」と書かれています。今後も、物構研の研究系なら ではの活動を展開していきたいと考えています。

さて、「研究対象をより深く探究する」ためには、もち ろん既存の放射光施設において測定手法や解析方法を高度 化していくことも大切ですが、その延長線上には必然的に、 光源自体の高度化があります。実際、ここ数年国内外で次々 に建設が進んでいる高輝度光源によって、より微小な領域 を、より精密に観察することが可能になり、様々なサイエ ンスが大きく発展することが期待されます。一方で物質・ 生命科学においては、輝度の向上だけでは解決できない問 題もたくさんあり、既存の常識にとらわれない全く新しい コンセプトの光源や実験方法を創り出していくことが重要 です。以下、PFの将来計画において、どのような新しい サイエンスの展開が期待できるかを考えてみたいと思いま す。

#### PF の将来計画における新しい利用研究への期待

PF シンポジウムなどでも紹介があったように, PF では 将来計画として「ハイブリッドリング」を掲げています。 この新しい放射光源のコンセプトについては,1月のプレ スリリースをご覧ください(https://www.kek.jp/wp-content/ uploads/2022/01/pr20220105.pdf)。ハイブリッドリングは蓄 積リングと超伝導線形加速器からなり,蓄積ビームからの 高輝度放射光(SR ビーム;約10 ps 幅のパルス光が2 ns 程度の間隔で得られる,連続光に近いビーム)に加えて, 超伝導線形加速器からのビームを一度だけリングに通すこ とで得られる超短パルス光(SP ビーム;パルス幅は最短 で 50 fs 程度)を同時に使用できます(もちろん SR ビー ムと SP ビームを別々に利用することもできます)。この ような2種類のビームそれぞれは,現在でも別々の施設に 行けば使うことができますが,これらを同じ試料に対して 同時に使うことで,どのようなサイエンスが切り拓かれる

#### のか、PF内での議論をもとに、一例を紹介します。

これまで自由電子レーザーのような短パルス光源におい て、10 fs オーダーの時間分解能で、超高速現象の観察が 行われてきました(数10 ps 程度より遅い現象については PF-AR などの蓄積リング型光源も利用されています)。そ うした研究では主に、可視光レーザーとパルスX線の組み 合わせによるポンプ&プローブ法を用いて、光による励起 の過程や、それに引き続いて起こる化学結合の切断などが 観察されています。ご承知の通り,ポンプ&プローブ法で は同じ現象が何度も繰り返し起こることが必須であり、ポ ンプ光(主に可視光)とプローブ光(X線)の時間差を変 えながら光励起と測定を繰り返すことで時間分解測定を実 現しています。一方で、高精度で何度も繰り返すのが難し い現象、例えば化学反応に対しては、主に蓄積リング型の 放射光を用いたリアルタイムその場観察が行われていま す。観察の時間分解能は幅広く,数分の場合もあればミリ 秒、さらにはマイクロ秒といった例もあります。こういっ た時間スケールは、反応の素過程には遠く及びませんが、 比較的安定な反応中間体を同定したり、化学種の量が反応 の進行とともにどのように変化していくかを調べたりする ことによって、反応機構の解明に極めて重要な役割を果た してきました。さらに最近では,時間分解に加えて空間分 解も同時に実現することによって,不均一かつダイナミッ クに進行する反応を観察することが可能になってきてお り、より詳細な反応機構の解明が進んでいます。

このように、短い時間スケールでの繰り返し現象の観察 と,比較的長い時間スケールでの非繰り返し現象の観察は, それぞれに発展してきており、たくさんの知見が得られて います。さらに、PFの将来計画では、現在の PF をはるか に上回る性能の SR ビームによって、後者における時間・ 空間分解能の大幅な向上が見込まれます。ところが、この ように大きく異なる時間スケールで起こる現象を互いに結 び付ける研究は、思いのほか進んでいません。例えば光照 射によって化学反応を促進する光触媒において、ある実験 によって光照射に伴う励起状態が観察されたとしても、そ の励起状態が、別の実験で比較的長い時間スケールで観察 される化学反応に関与しているかどうかは、必ずしも自明 ではありません。ひょっとしたら、化学反応には全くつな がらない励起状態を観測しているだけかもしれないので す。したがって、一つの試料に対して、同じ時に起こる異 なる現象を,空間情報も含めて一度に観察することが極め て重要になります。ハイブリッドリングにおいて,SPビ ームと SR ビームを組み合わせることで、異なる時間スケ ールの現象を空間的な動きも含めた一連の過程として観察 することができれば,全体としての化学反応機構の解明が 飛躍的に進むと期待されます。この例のように、光触媒に

おいて,光照射によってどこにどのような励起種が生成し, それがどのように化学反応につながっていくのかを明らか にすることは,ハイブリッドリングならではのユニークな 研究の一つになるでしょう。その他にも,SPビームをポ ンプ光,SRビームをプローブ光とするポンプ&プローブ 測定など,様々な可能性が考えられますので,読者の皆さ んにも是非,ハイブリッドリングを用いてどのようなサイ エンスが展開できるか,夢を膨らませていただければ幸い です。

# 人事異動

放射光科学第一,第二研究系に関連する人事異動を報告 します。構造生物学研究部門の特任准教授の安達成彦さん と学振特別研究員の伊藤道俊さん,固体物理学研究部門の 研究員の山口辰威さん,そして量子ビーム連携研究センタ ーの特任助教の羽合孝文さん,研究員の斉藤耕太郎さんと 塚原宙さんが、3/31に転出されました。新しい職場での今 後のますますの活躍を期待しています。なお,材料科学研 究部門では,特別助教(テニュアトラック)もしくは助教 (定年制)1名の公募を実施しています(6/15 〆切)。興味 のある方は是非,応募をご検討ください。

# はじめに

低速陽電子実験施設(Slow Positron Facility, SPF)で は、専用リニアック(~50 MeV, < 600 W) で加速された 電子ビームで生成した世界最高クラスの高強度低速陽電子 ビームを共同利用に供しています。陽電子を用いた物質最 表面および表面直下の原子配列,陽電子やポジトロニウム (Ps), Ps 負イオンといったエキゾチック粒子の基礎物理実 験や、それらの粒子と物質との相互作用の解明を目的とし て、全反射高速陽電子回折(TRHEPD、トレプト)、低速 陽電子回折 (LEPD, レプト), 汎用ステーションにおける 実験(現在は Ps のレーザー冷却実験を実施中), Ps 飛行 時間(Ps-TOF)測定などの研究を進めています。専用リ ニアックの管理・運転は、加速器研究施設第5研究系によ ってなされ、低速陽電子生成部から下流側の管理・運転は 物構研 PF と SPF によってなされています。共同利用は放 射光共同利用実験の一環として行っており、2021年度の 共同利用実施課題数は18課題,共同利用実人数は37名, ユーザー実験の配分時間は 3992 時間でした。なお、ビー ムタイム毎に、1つのユーザーグループが使用するステー ションだけにビームを供給しています。

# ビームラインの状況

未整備だった SPF 二次ビームラインの真空インターロ ックの導入が,放射光実験施設基盤技術部門のインターロ ックチームにより 2020 年度より開始されています。初年 度に既存のリモートバルブのみを利用するインターロック システムを導入したのに続き,2021 年度は,B1F/1F 分岐 後に各1台,SPF-B1と SPF-B2 の実験ステーション直上 流に各1台の計4台のゲートバルブを手動式からリモート 制御式に交換し,冬の停止期間にインターロックシステム に組み込んで,第3期より運用を開始しました。

ビーム輸送コイル用の電源のうち,老朽化およびリモー ト制御に難のある電源26台を新しい電源に置き換えると 共に,放射光実験施設基盤技術部門の制御系チームによっ て新電源のリモート制御の整備が行なわれ,運用を開始し ました。ビームステアリング用の両極性電源30台も老朽 化により故障が頻発して交換が必要ですが,故障した場合 には加速器第五研究系から不要になった同じ仕様の両極性 電源をご支給いただくことで当面は対処することになりま した。

これまで整備を進めてきた TRHEPD 用試料準備チャン バーに、多くの研究室で試料調整に使われている LEED/ AES 装置を新たに導入し、共同利用ユーザーによる使用 が開始されました。

# 各ステーションの状況

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

SPF-A3の全反射高速陽電子回折(TRHEPD,トレプト) ステーションでは,表面構造解析に関する共同利用実験が 行なわれており,準結晶2層グラフェンの層間隔の決定な どの成果が出ています。

SPF-A4の低速陽電子回折(LEPD,レプト)ステーショ ンでは、LEPDパターンの取得に成功しておりましたが、 実際の構造解析に欠かせない迅速な試料冷却システムと試 料角度を再現性高く微調整できる機構を供えたマニピュレ ータや、標準的な表面試料作成環境の整備を進めています。 また、放射光実験施設(PF)の角度分解光電子分光(ARPES) 実験ステーション(BL-2A, BL-13B)との間での試料ホルダ の仕様の共通化にも対応した、冷却にも配慮した通電加熱 タイプの試料ホルダも新たに設計し、導入しました。

SPF-B1 の汎用ステーションでは、ポジトロニウムのレ ーザー冷却の共同利用実験が行われています。

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

#### その他

星建夫客員准教授(鳥取大)らによって TRHEPD を 対象に開発が開始された表面構造解析のフレームワーク が、東京大学物性研究所計算物質科学研究センターで 「2DMAT」として公開されています<sup>\*</sup>。現在は表面 X線回 折(SXRD)やLEED/LEPDにも対応しており、講習会な ども開催しています。2DMATでは、大域探索を行って最 適解候補を選び、各候補について局所探索を行うことがで き、現実的な計算時間で絶対的な最適解(R 因子最小)を 自動的に見つけます。さらに、ビームがプローブする深さ (解析すべき深さ)と、得られた原子座標の不確かさを定 量的に知ることができます。

\* https://www.pasums.issp.u-tokyo.ac.jp/2dmat/

#### 人事異動

2021年度から変化はありません。