

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗
(2021年3月26日付け)

概要

2021年1月の複数の作業の一部として、劣化した加速管4本の交換が実施され、25日には設置場所における初めての大電力投入試験が無事終了した。今後数年で交換される合計16本(総数のうちの7%)の加速管の先駆けとなり、ビームによる性能確認も進んでいる。2月2日から入射器全体の立ち上げ・調整作業を進め、15日からPFリング、16日からSuperKEKB、17日からPF-ARにそれぞれ入射を開始した。放射光施設向けには3月末まで、SuperKEKB向けには7月5日まで連続で入射運転を行う予定である。SuperKEKBの昨年秋の運転において、リングの黒鉛コリメータによるインピーダンスの課題が判明したが、その交換により今期は蓄積電流と衝突性能の向上が期待されており、入射ビームの改善も予定されている。これまでのところ大きな障害は無いが、長期安定運転のためには、RF電子銃空洞の放電対策、さらにはさまざまな装置やビームの安定化機構とその自動監視の充実も進めているところである。

低速陽電子実験施設

低速陽電子実験施設は2019年にあらためて体制が整備され、物質構造科学研究所の下で共同利用実験を推進しており、放射光、中性子、ミュオンを含むマルチプローブ共同利用実験の一つのプローブとしても取り入れられている。1992年から入射器関係者が中心となって低速陽電子実験の活動を開始してから、現在もその加速器部分は一貫して入射器が担当しているので、これまでの活動を概観してみたい。

電子陽電子入射器施設においては、電子線形加速器を用いて1982年からPFリング入射、1986年からTRISTAN入射を行っていたが、さらに電子線形加速器が基礎科学に貢献できる領域を拡大する試みを探していた。実際、入射器では原子核研究などの可能性を考慮し、その終端部の第3ビームスイッチヤードは余裕を持って建設されていた。そして、このスイッチヤードを利用して、これまでに、ビームダンプにおけるアクション粒子探索実験、陽電子ビームによるチャネリング効果の研究、マイクロ波アンジュレータの開発、SSC加速器向けカロリメータ検出器の開発、結晶標的内チャネリング効果による陽電子生成機構の開発研究、などの様々な実験研究が行われてきた。さらには、第1スイッチヤードや第2スイッチヤードから電子ビームを引き出し、真空紫外領域の放射光施設を建設する計画もあったようだが、これについては残念ながら陽の目を見ず、第2スイッチヤードはSuperKEKB向けダンピングリング

のビーム接続点として利用された。

電子は物質構造研究の典型的なプローブであるが、原子核が正電荷を持つことから、負の電荷を持つ電子ではなく、正の電荷を持つ陽電子をプローブとして用いることで、研究領域を大きく拡大できる可能性がある。また、素粒子物理学に対しても電子と陽電子の対称性の研究機会を提供できる可能性がある。TRISTAN実験が行われていた頃、PF入射は1日2回程度、TRISTAN入射は2時間に1回程度行われていたが、入射が行われない時間も、いつでもビームが加速できるように入射器は待機していた。その時間を利用した貢献として低速陽電子源の開発の概算要求が行われ、1992年から第3スイッチヤードにおいて低速陽電子実験施設の建設が行われた。

最近関係者の努力で、この施設での低速陽電子の初ビーム観測の日が調査され、1992年12月18日であったことが公式に確認された。その後も整備が続けられ、図1のような構成を持つ第一世代の施設を用いた共同利用実験が

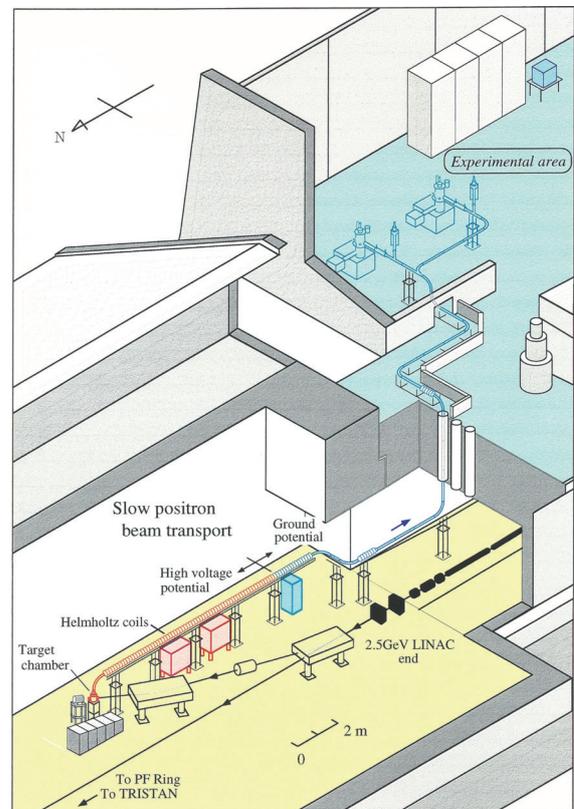


図1 地下トンネル第3スイッチヤード内の低速陽電子発生装置とクライストロン・ギャラリ北端の測定設備、そしてそれらを結ぶソレノイド陽電子輸送路の鳥瞰図(白川明広氏提供)。

1994年から1996年まで行われた。特にポジトロニウムの飛行時間測定実験や、稀崩壊観測実験などに成果を上げた。

しかし、TRISTAN 実験の後、素粒子物理実験分野において B ファクトリ KEKB 実験計画が認められ、KEKB 実験が頻繁なビーム入射を必要とすることが予想されたため、第3スイッチヤードにおける第一世代の低速陽電子実験は、残念ながら1996年に終了することになった。そこで、既に確立しつつあった低速陽電子実験の可能性を失わないために、KEKB 建設時期には、主線形加速器の上流 B セクタ部の脇に短い線形加速器を併設し、トンネルの南端に低速陽電子生成標的を設置し、実験が計画された。ここでさらに残念なことには、この第二世代の低速陽電子施設の加速管内で漏水が起り、KEKB の入射ビーム開発のために数週間トンネルへの入域ができない事情により、加速管を劣化させてしまった。この事情から、本格的な低速陽電子実験を行うためには、低速陽電子用加速器を KEKB 入射も行う主線形加速器トンネル内に併設して共存させることは現実的ではないことがわかった。

KEKB 計画向けに拡張された主線形加速器の B セクタと C セクタに囲まれた部分に屋根を掛けることによって、低速陽電子専用の加速器と測定設備を整備できることがわかり、KEKB 向けの入射器建設が終わった後、2001年に第3世代の低速陽電子実験施設の移設・建設が行われ、現在までに図2のように発展してきた。このころまでは、低速陽電子研究は入射器研究系が推進してきたが、さらなる発展を期待して、一次電子用加速器部分を入射器が担当し、低速陽電子発生標的部から実験測定装置は物構研にお願いすることになった。

2003年からは本格的な共同利用実験を開始し、リニアック加速器部分は加速器研究施設の第五研究系に、ビームライン・測定器は物質構造科学研究所に分担され、実験課題審査は放射光実験課題審査の一部として運用されている。測定装置も、地下部・地上部の双方に複数整備され、最近は特に全反射高速陽電子回折法による多数の成果が得られている。

既に世界的にも強度の高い低速陽電子施設として成果を挙げているが、さらに利用者の期待に答えるために、増強も計画されている。現在も専用加速器は、主線形加速器で60ユニット用いられているものとはほぼ同じ加速ユニットを使用しているが、この加速ユニットを増設することにより、低速陽電子の収量を数倍から数十倍に増強することが可能となる。北側には拡張可能な空間があるので、予算を獲得して加速器を拡張する計画を立案しているところである。得られる研究成果を考えると、対費用効果は非常に高いとも考えられ、支援を期待したいと考える。

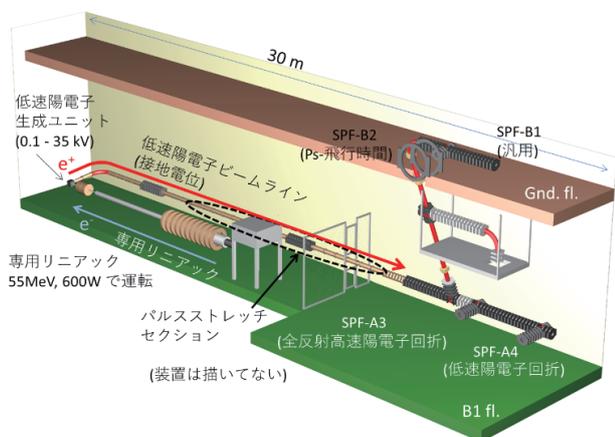


図2 低速陽電子専用の地上・地下の空間に建設された実験設備の鳥瞰図 (和田健氏提供)。

光源リングの運転状況

図1に、PFリングにおける2月15日9:00～4月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。2月15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19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。2月22日17:13 水平方向の軌道変動が発生した。瞬間的に最大200 μm程度の変動が起き、この変動は10～15分かけて元の位置に戻るといった現象であった。原因がすぐに特定できなかったためしばらく様子を見ていたが、起き始めた当初は1日3-4回の頻度が、徐々に頻度が増加し、3月3日13時過ぎには数分おきに発生したため、最も変動の大きいビーム位置モニター (BPM#123) を、Slow Orbit FB から外した。3月4日のマシンスタディ時には念のためFast Orbit FB (垂直方向のみのFBであるが) からも除外した。この操作を実施してからは、1日1回以下の頻度に減ったものの、完全には変動がなくなっていないことから、他の要因を特定するため引き続き様子を観察していた。なお、リング電磁石電源等には異常は見つかっていなかった。3月1日17:00にFast Orbit FBの補正電磁石電流値が最大電流値に近づいてきたため、チャンネルをクローズして、電流値をリセットする操作を行った。15分後にチャンネルをオープンして再開した。3月2日13:43に、突発的に進行方向のビーム不安定性が発生し、ビームが50 mAほど削れた。個別バンチフィードバックの調整やRF位相変調による対処を行ったが、不安定性は抑制されないため、一旦ビームを落として再入射を実施することとした。ところが再入射時にセプタ

ム電磁石2のタイミングモジュールの使用チャンネルの故障が判明したため、別の空チャンネルに変更・調整作業を行った。タイミングが復旧して450 mAまで蓄積した時点で、ビーム不安定性が抑制されていることから、17:48にユーザ運転を再開した。なお、3月4日のマシンスタディ時に、セプタム電磁石の該当タイミングモジュールは予備品と交換した。また、運転停止まで、このビーム不安定性は再発しなかった。

PFリングは、3月15日9:00までマルチバンチモードによる運転を行い、3月15日のマシン調整日にハイブリッドモードに切り替えて、翌日3月16日9:00からユーザ運転となった。2月に発生していた水平方向の軌道変動は、最も変動の大きいビーム位置モニター (BPM#123) を、Slow Orbit FB から外した後は頻度が減り、3月9日と10日一回ずつ発生して以降は全く発生しなくなった。結局、軌道変動の原因は特定できなかった。3月12日5:42パルス偏向電磁石 (通称パルスバンド) 電源がファン異常でダウンし、入射が停止した。電源を確認したが、このときは特に異常は確認されなかったため、すぐに運転を再開した。3月20日18:10つくば市震度4の地震が発生した。ビームを落として、地下機械室、電源棟、リングトンネル内を点検し、異常がないことを確認して、20:27にユーザ運転を再開した。3月21日1:50頃シングル後方の純化がアンプ切り替え器の不具合により停止した。3:00の時点でシングルバンチの純度が 10^{-4} のレベルにまで悪化した (通常は 10^{-6} レベル)。9:09にアンプ切り替え器の電源リセットにより純化が可能となり復旧した。オペレータから担当職員

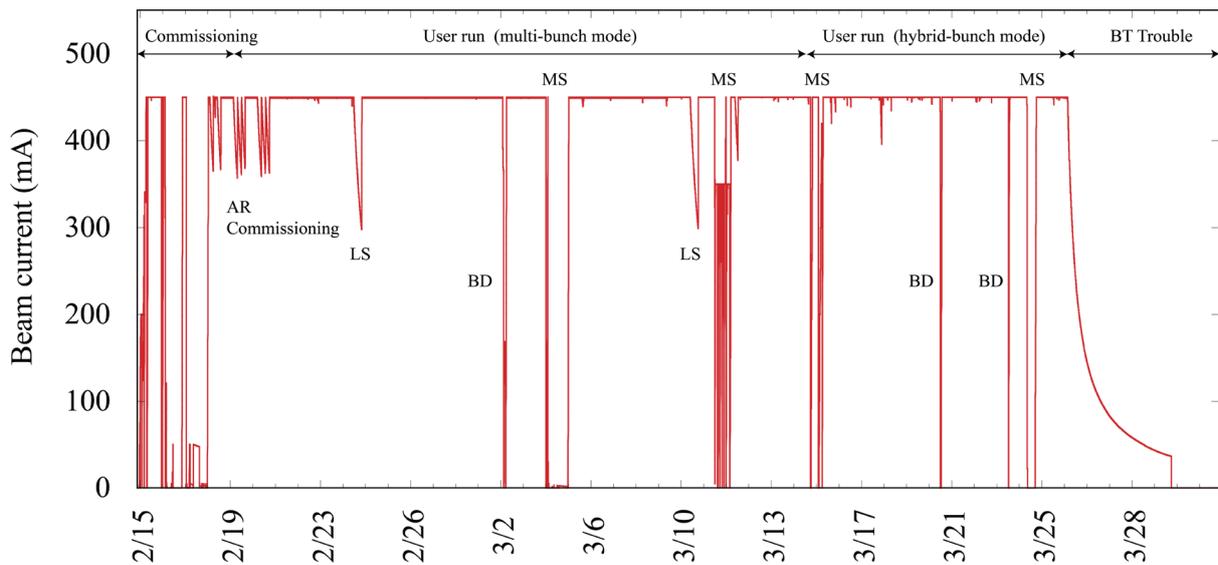


図1 PFリングにおける2月15日9:00から4月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器調整、MSはリング調整、BDはビームダンプを示す。

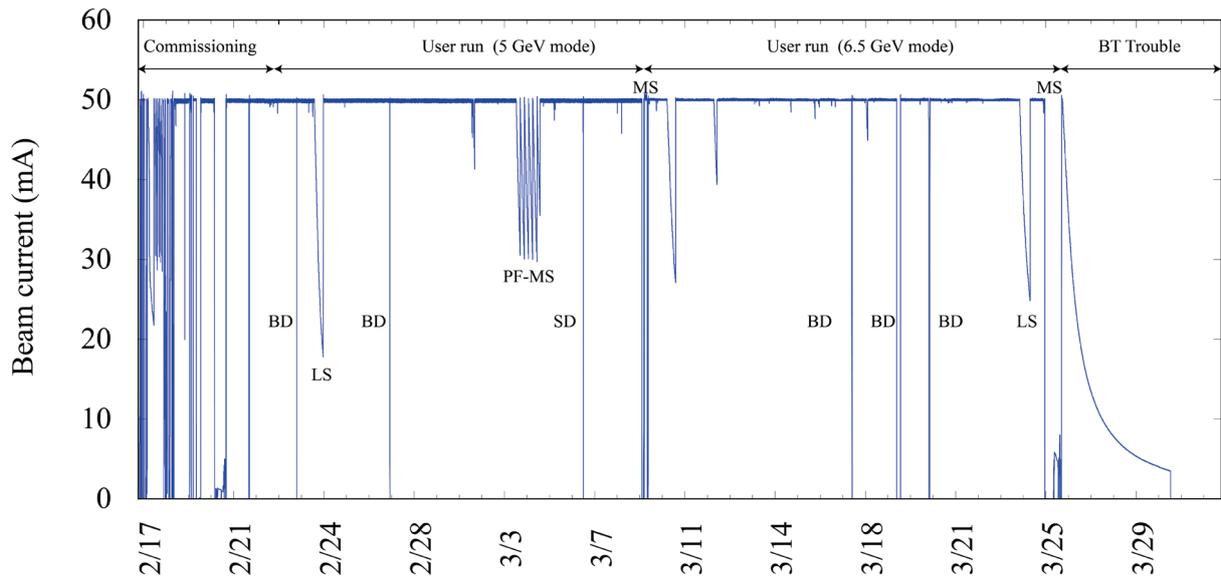


図2 PF-ARにおける2月17日9:00から4月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器調整、MSはリング調整、BDはビームダンプ、SDはビーム寿命急落による再入射を示す。

への連絡が遅れ、原因特定までに時間がかかってしまった。今後は迅速な連絡ができるよう対応の改善を行うこととした。3月23日14:29にビームダンプが発生した。原因はノイズによる入射用キッカー電磁石によるミスファイヤーと判明した。リセットにより入射が可能となり、16:14にユーザ運転を再開した。3月26日1:44パルスベンド電源が、インターロックが動作してダウンし、入射が停止した。電源を確認したところ若干異臭がするが場所が特定できないという状況であった。担当者が調査したところ重故障と判断、メーカーを呼んで故障の原因を調査することとした。この故障については別途記述するが、ユーザ運転が予定されていた4月1日9:00までに電源の復旧は見込めないと判断、3月30日9:00で運転を停止することとなった。

図2に、PF-ARにおける2月17日9:00～4月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。2月17日の立ち上げは6.5 GeVで行ったが、その日のうちに5 GeVに切り替え作業を実施した。その後各種調整を行って、2月22日9:00光軸確認後ユーザ運転となった。2月21日18:28偏向電磁石の冷却水流量インターロックが動作して電源がOFF、ビームダンプとなった。インターロック状況を確認したところ、B_SW09とB_SE02 Water赤表示が出ていたが、B_SW09は自然に消えた。AR西電源棟のインターロック中継盤で確認したところ、B_SE2が赤表示であったが、リセットで赤表示が消えた。電源の立ち上げが可能となったので、19:14にユーザ運転を再開した。今回はインターロックリセットで復旧したため、突発的流量低下と想定されたが、再発したらリング内調査を実施する予定であったが、再発はしなかった。2月23日15:53ビーム寿命が急落してビームロスが発生した。寿命急落の原因は不明だが、再入射して復旧した。ただし、同時刻ビーム位置モニターBPM (SW10)で値の飛びを確認したため、念のためそのBPMをCOD補正から除外した。3月7日0:55にもビーム

寿命急落が発生した。回復しないため、再入射することとした。1:27寿命が回復したことを確認し、ユーザ運転を再開した。

PF-ARは、3月9日にビームエネルギーを5 GeVから6.5 GeVに切り替え、3月11日9:00から光軸確認を行ってユーザ運転を再開した。3月17日17:00に入射調整を実施したが、調整中にメインバンチの隣接バケットにビームが入ってしまったため、一旦ビームを落として再入射を行った。3月20日18:00つくば市震度4の地震が発生した。PFリングと同様に点検を行って異常のないことを確認して、19:48ユーザ運転を再開した。3月26日1:44に発生したパルスベンド電源の故障は、この電磁石がPFリングとPF-ARの入射に共通する電磁石であるため、PF-ARにもビームを入射することができなくなった。結果的にPFリングと同様、3月30日9:00でPF-ARも運転を停止した。

PFリングのID13トラブルに関する経過報告

2020年11月14日から始まったPFリングのユーザ運転は同年12月22日に停止した。PFリングの運転停止日の翌日12月23日に、PF-ID13(図3)の底部リング外側磁石列(A3列)がビーム軌道方向(位相方向)に動かないことを発見した。その後ID13の動作ログを精査し、A3列の位相動作異常が12月19日に始まっていることを突き止めた。なお、12月9日にはBL12(図3)側の冷却水配管からの漏水トラブルが発生し、当該駆動系にも冷却水が降りかかっていたことは認識していた。ただし、漏水トラブル直後の動作確認では異常は確認されず、翌日より運転を再開している。2021年1月13日、ID架台組み立てメーカーから作業員が来所し、最初の復旧作業を行い、故障部品の特定を行った(復旧作業1)。さらに1月27日～28日に行った2回目の復旧作業(復旧作業2)で故障部品を取り外し、故障部品の調査・修理のため1月29日に部品製



図3 アンジュレータ ID13 および放射光利用ビームライン BL12 周辺



図4 設置前のアンジュレータ ID13。黄色線で囲んだ部分が故障した位相駆動系。

作メーカー工場へ送付した。部品故障の修理作業日程に関する部品製作メーカーとの事前協議において、次の PF リングの運転開始日である 2 月 15 日までの復旧が困難であることが判明した。このことを踏まえて、2 月 3 日に BL 担当者と打ち合わせを行い、復旧までの当面の PF-ID13 の運転は水平偏光、最小ギャップ（最小基本光子エネルギー）に固定することを決定した。

PF-ID13 は、2015 年 2 月に PF リングに設置したアンジュレータで、総重量 10 トンを超える架台に長さ 3 m の磁石列を 4 列とビームダクトを備えた（図 4）、大型のシンクロトロン光発生装置である。磁石列を垂直方向（ビーム軌道から離れる方向）と各磁石列の位相方向（ビーム進行方向）の計 5 軸方向に動かすことができ、磁石列の配置を変えることでシンクロトロン光の偏光とエネルギーを制御し、ユーザ実験に必要な光を作り出す。動作異常は A3 列位相方向の 1 箇所（図 4）のみで発生していたため、故障箇所を A3 列位相駆動系に絞り込んで 1 月 13 日の復旧作業 1 を開始した。

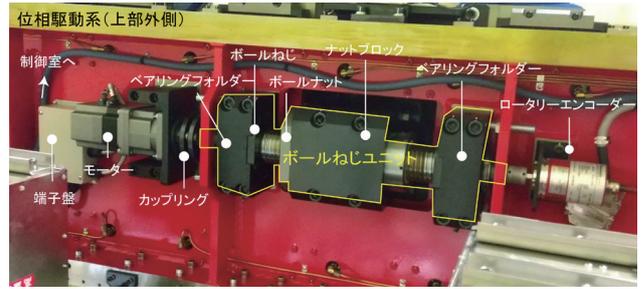


図5 位相駆動系の構成（写真は上部外側のもの）。底部外側と同様の構成。

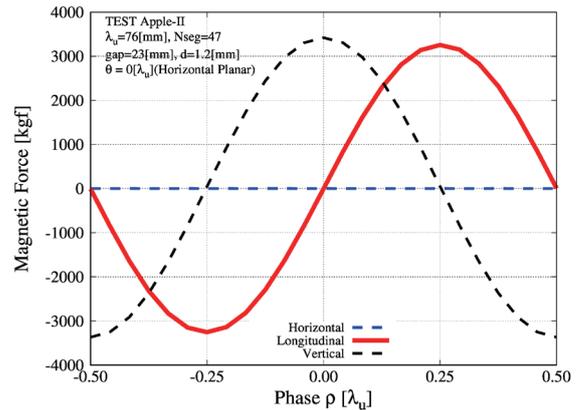


図6 上部磁石列から底部磁石列に働く磁気力（実線が位相方向）

位相駆動系（図 5）は制御器からの信号でモーターを動かす、カップリングを介して接続したボールねじユニットに力を伝える。ボールねじユニットは磁石列と架台ピラー部とを接続し、モーターの回転力はボールねじユニットを介して位相方向の駆動力に変換される。位相動作では、3 トンを超える力で磁石列同士が吸引反発するため（図 6）、大型のボールねじユニットを使用している。

部品を個別に捜索し、ボールねじユニットに故障箇所を絞り込み、さらにボールねじユニットを分解して捜索を続け、ボールねじとボールナットの固着が異常動作の原因として絞り込んで作業を終えた。

なお、放射光利用ビームラインとアンジュレータ架台の間の、限られたスペースでの作業だったため、アクセスできる人員や工具が限られ、多大な労力を要した。しかしながら、現場での作業を断念した場合には装置の移設にともなう長期の運転停止が必須となるため、可能な限り現場での作業を実施した。

1 月 27 日～28 日の復旧作業 2 は、安全を確保するため磁石列を垂直方向の間隔を空けるとともに、底部磁石列は互いに治具で締結したうえで開始した。固着の原因調査のため、ボールねじユニットを架台から取り外すことにしたが、1 日では取り外せず 2 日を要した。取り外したボールねじユニットを PF リング加速器室通路に搬出し、固着を再度確認した後、ボールナット内のグリースを入れ換えた（図 7）。再度固着の確認を行うとボールねじの固着は解消したが、固着の原因となるような膨潤したグリースや他の



図7 グリースガンによるボールナット内グリースの入れ換え作業

異物などは確認されなかったため、ボールねじ製作メーカーへ輸送し、修理及び原因の調査を依頼することとした。調査の結果、動作不具合の原因は錆によるものであることが判明した。錆はやはり漏水トラブルで、冷却水がボールねじに降りかかってしまったことによると推測される。修理として錆の除去は行うものの、メーカーとしては長期的な安定動作は保証できないとのことから、新規のボールねじを平行して調達することとした。納期的には厳しい状況であったが、4月26日に納品、4月29日まで4日間で新規ボールねじの設置作業および動作確認を行う予定である。うまく動作すれば、5月6日のPFリングの運転から、従来通りの5軸駆動が可能になる。

パルスバンド電源故障の経過報告

3月26日（金）深夜2時頃、入射器リニアックの終端部にあるPFリングおよびPF-ARのための電子ビーム振り分けパルス偏向電磁石[1]（図8）の励磁電源[2]（図9）で、「充電器異常」-「オーバークレント」インターロックが発報し停止した。インターロックは現場で解除できたが、わずかに異臭がするなどの現場の状況から、トップアップ連続入射でのユーザ運転中であったが、電源は重故障と判断し、ビーム入射を停止、翌朝メーカーによる調査を依頼した。PFリングおよびPF-ARのユーザ運転は、これ以降トップアップ連続入射無しでの利用となり、4月1日9:00の

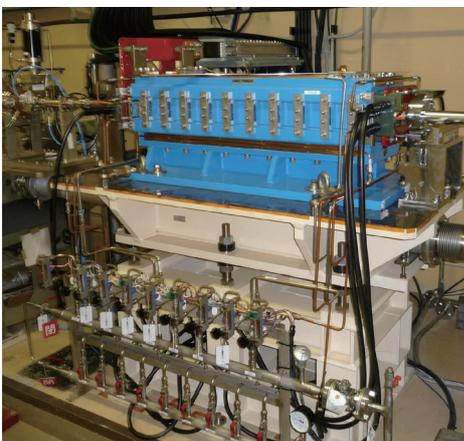


図8 入射器リニアックの終端部第3スイッチヤードに設置されているPFリングおよびPF-ARのための電子ビーム振り分けパルス偏向電磁石の写真



図9 入射器リニアックの終端部第3スイッチヤードに設置されているPFリングおよびPF-ARのための電子ビーム振り分けパルス偏向電磁石の写真



図10 故障した高電圧ユニット。背面にある高周波整流部が焼損。



図11 焼損部（高圧ユニット背面）。奥側のコンデンサーが焼損している。コンデンサー下部はダイオードとヒートシンク。

運転停止を待たずに3月30日（火）9:00で終了した。

3月29日（月）からメーカーによる調査を行った結果、高電圧ユニット背面にある高周波整流コンデンサーが破裂し焼損していることが分かった。図10に故障した高電圧ユニット、図11にその背面の焼損部を示す。コンデンサー、および、ダイオードの損傷は、IGBT素子の故障に起因すると思われることから、IGBTも全数交換することになった。

幸い焼損した整流部の複合ユニット（ダイオード、コ

ンデンサー、ヒートシンクなど) や IGBT など長納期部品の予備品があること、他の部品も早期に調達できたことから、4月12日に焼損部の修理作業を開始し、4月15日には通電試験を実施した。今回の復旧作業では仕様安定度 (1×10^{-3}) までには調整できず、安定度が 2×10^{-3} 程度にとどまったものの、それ以外は正常に動作することを確認した。5月6日からの PF リングの運転は可能となった。なお、仕様安定度 (1×10^{-3}) までの調整は、夏期の停止期間に実施する予定である。

- [1] M. Tawada, M. Kikuchi, T. Mimashi, S. Nagahashi, and A. Ueda, “Development of pulsed bending magnet for simultaneous top-up injection to KEKB and PF ring”, Proceedings of PAC09, Vancouver, BC, Canada, (2009)175.
- [2] T. Mimashi, K. Furukawa, N. Iida, K. Kakihara, M. Kikuchi, T. Miyajima, S. Nagahashi, M. Sato, M. Tawada, A. Ueda, T. Kubo, K. Iwamoto, S. Kodama, A. Sasagawa, N. Ishii, H. Mori, “The pulsed magnet system for the simultaneous injection of KEK-PF and KEKB ring”, Proceedings of PAC09, Vancouver, BC, Canada, (2009)172.

令和2年度の運転のまとめ

表1に平成21年度から令和2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12に示す。令和2年度のユーザ運転時間は2426.0時間となり、大幅に3000時間を下回った。これは第1期の運転において、新型コロナウイルス感染防止対策により約1ヶ月間運転を停止したためである。また、故障時間も昨年度より大幅に増加して約160時間、故障率も6.1%に上昇した。これらの増加は、第3期運転の後半に発生したパルスベンド電源の重故障により、ユーザ運転ができなくなったことによる。ただし、平均故障間隔時間 (MTBF) は約172時間となり、故障回数としては例年通りであった。故障の内訳を調べると、令和2年度はビーム入射によるトラブルが約96%を占めている。つまり、パルスベンド電源の重故障以外の電磁石電源や RF による故障時間はそれほど多くなかったということである。

表2と図13に PF-AR の運転統計を示す。令和2年度のユーザ運転時間は1944.0時間となり、昨年度に比べて約160時間の減少にとどまった。PF-AR は新型コロナウイルス感染防止対策により、第1期の運転は実施しなかったが、当初予定されていなかった第3期の運転を行うことで、運転時間を取り戻したためである。しかし、PF リングと同様のユーザ運転3000時間の水準にはほど遠い状況にあることは変わらない。昨年度に比べ故障時間は、約170時間、故障率は約8.0%と大幅に上昇した。この理由は、PF リングと同様にパルスベンド電源の重故障によるものである。ただし、平均故障間隔 (MTBF) は約151時間で故障回数は例年度同じ程度であった。故障の内訳は、約90%がビーム入射関連 (パルスベンド電源故障)、4.8%が RF 関連、3.6%が電磁石関連によるものであった。

表1 平成21年度～令和2年度までの12年間の PF リングの運転統計

年度	リング 運転時間 (h)	リング 調整・ スタディ 時間 (h)	ユーザ 運転 時間 (h)	故障 時間 (h)	平均故障 間隔 (MTBF) (h)
2009 (H21)	4,976.0	979.5	3,961.9	34.5	167.0
2010 (H22)	5,037.0	958.7	4,050.8	22.5	226.7
2011 (H23)	4,696.0	1,875.1	2,809.2	11.7	157.3
2012 (H24)	4,416.0	624.0	3,752.9	39.1	164.9
2013 (H25)	4,176.0	672.0	3,451.4	52.6	159.3
2014 (H26)	3,024.0	696.0	2,316.6	11.4	155.2
2015 (H27)	3,888.0	839.6	3,034.0	14.4	132.5
2016 (H28)	3,432.0	504.0	2,910.7	17.3	162.7
2017 (H29)	3,624.0	624.4	2,983.0	16.6	214.3
2018 (H30)	3,408.0	576.0	2,803.6	28.4	166.6
2019 (R01)	3,504.0	440.0	3004.1	59.9	153.2
2020 (R02)	3,120.0	535.6	2426.0	158.4	172.3

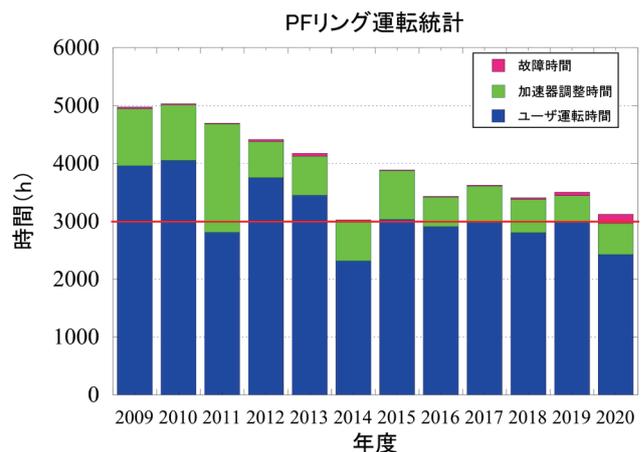


図12 平成21年度～令和2年度までの12年間の PF リングの運転統計の棒グラフ

表2 平成21年度～令和2年度までの12年間のPF-ARの運転統計

年度	リング 運転時間 (h)	リング 調整・ スタディ 時間 (h)	ユーザ 運転 時間 (h)	故障 時間 (h)	平均故障 間隔 (MTBF) (h)
2009 (H21)	5,063.0	542.5	4,445.7	74.8	107.1
2010 (H22)	4,638.5	542.5	4,037.5	58.5	54.5
2011 (H23)	4,131.5	1,162.0	2,941.5	28.0	59.3
2012 (H24)	4,080.0	408.0	3,643.2	28.8	111.3
2013 (H25)	3,912.0	434.0	3,378.4	99.6	74.0
2014 (H26)	2,352.0	360.0	1,955.0	37.0	90.5
2015 (H27)	3,336.0	552.0	2,753.0	31.0	154.7
2016 (H28)	1,821.0	717.0	1,085.7	18.3	84.9
2017 (H28)	2,448.0	312.3	2,111.0	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	407.9	1944.0	168.1	150.9

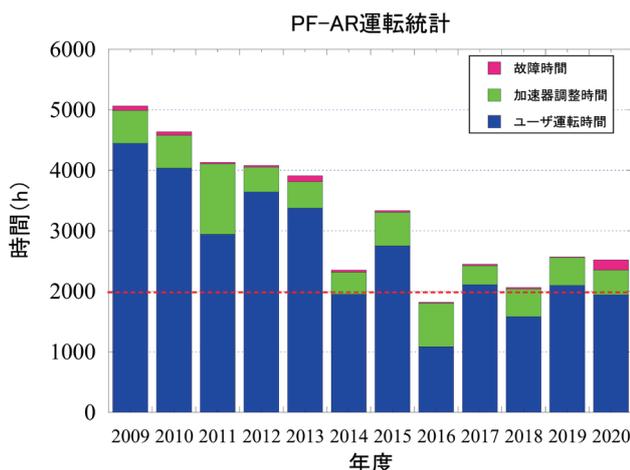


図13 平成21年度～令和2年度までの12年間のPF-ARの運転統計の棒グラフ

加速器第6研究系内の人の動きについて

まず退職者ですが、1名の教員、1名の特別教員、2名の技術職員、1名シニアフェローの計5名が3月31日付けで退職となりました。教員の退職者は、光源第1グループの中村典雄教授です。中村さんには長年にわたり、光源第1グループリーダーとしてグループを牽引して頂きましたが、4月1日からは特別教授として引き続き同グループにおいて軌道解析やビームダイナミックスの開発研究および電磁石・電磁石電源の保守・維持・管理を中心に業務を担当して頂くとともに、さらにあと2年間グループリーダーも担って頂くことになりました。特別教員の退職者は、芳賀開一特別准教授です。芳賀さんには研究員として引き続き光源第5グループにおいて、安全システムの保守・維持・管理の業務を担当して頂きます。

技術職員の1人目の退職者は、光源第2グループの高橋毅先任技師です。高橋さんにはシニアフェローとして引き続き高周波加速空洞システムの保守・維持・管理ならびに技術開発を中心に業務を担当して頂きます。2人目の退職者は、光源第4グループの多田野幹人技術副主幹・先任技師です。多田野さんには、長年にわたり技術副主幹として技術職員のまとめ役および研究主幹の業務を支えて頂きました。今後はシニアフェローとして、所属グループの所掌業務であるビーム診断システムの保守・維持・管理ならびに技術開発に専念して頂きます。シニアフェローの退職者は、塩屋達郎シニアフェローです。塩屋さんには、研究支援員として引き続き光源第7グループに所属して頂き、挿入光源の保守・維持・管理の業務を担当して頂きます。

採用関連ですが、3名の新人職員が採用されました。1人目は、大阪大学大学院理学研究科で素粒子実験の研究をされていた篠原智史さんです。4月16日付けで研究員として光源第1グループに配属されました。篠原さんには主にパルス電磁石電源の開発研究を行って頂く予定です。2人目は、茨城大学大学院理工学研究科で物性研究をされていた塩澤真未さんです。4月1日付けで技術員として光源第4グループに配属になりました。塩澤さんには、ビーム診断システムの保守・維持・管理ならびに技術開発を中心に業務を担当して頂く予定です。3人目は、4月1日付けで契約課総括契約係から異動されました北野有希子さんです。北野さんには、加速器第6研究系主幹秘書業務を担当して頂きます。

昇任関係ですが、2名の教員が昇任となりました。1人目は光源第7グループの土屋公央准教授です。4月1日付けで教授に昇任されました。土屋さんには、引き続き挿入光源の保守・維持・管理ならびに開発研究を中心に業務を担当して頂くとともに、グループリーダーとしてグループのまとめ役を担って頂きます。2人目は、光源第1グループの東直特別助教です。4月1日付けで助教に昇任されました。東さんには、引き続き軌道解析やビームダイナミックスの開発研究および電磁石・電磁石電源の保守・維持・管理を中心に業務を担当して頂きます。

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、毎号、放射光実験施設の『現状』の原稿を担当してきました。これまで、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、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、などを紹介してきました。今年度は、少し趣向を変えて、実験施設として推進しているプロジェクトについて、次号以降、プロジェクト責任者に協力してもらい原稿を準備しようと考えています。本号は、実験施設の運営に関する現状を報告したいと思います。

利用者の皆さんには、引き続き、COVID-19への対策を取りながらの実験にご協力をお願いすることになります。PF利用者安全ガイドラインの順守をお願いします。ガイドラインは、随時、実験施設の安全担当が見直しを行っています。最新版をご確認ください。関連して、放射線業務従事前教育訓練を含む全ての安全教育がe-learning化されました。放射線科学センター長による本誌紹介記事をご参照ください。受講には、押印のされた「放射線作業従事承諾書(様式10)」が放射線管理室に受理されていることが必要です。休日対応はできませんので、ご注意をお願いします。

昨年度の後半には、幾つかの大きな装置トラブルがあり、ご不便とご迷惑をお掛けしました。主なものは、入射用パルス偏向電磁石電源の故障、ID13(BL-13)のギャップ変更機構の故障、MAX80(AR-NE5)の大型プレスの故障、です。現在までに復旧しており、2021年度第1期の運転には支障のない見通しです。なお、『施設だより』でも説明していますが、老朽化対策を実施することで長期停止の可能性を低減させながら、性能向上を図っていくことにしています。

今年度、プロジェクト経費の約10%の回復があったことはすでにご報告している通りです。運転時間の確保と老朽化対策・機能強化のための整備の両方とも重要と考えていますが、当然、優れた成果を創出することが、将来の予算の増額のために重要です。近年は、予算不足のため、PF 3000時間、PF-AR 2000時間の利用運転としてきましたが、あまりにも少なく、学術施設として推進すべき自由な発想に基づく研究が、大きく制限(自主規制)されてきた印象をもっています。今年度については、予算の10%増に対して、運転は20%増となるPF 3600時間、PF-AR 2400時間を計画しています。運転時間の増加分の有効活用をお願いします。

運転・共同利用関係

2021年度第1期の運転ですが、PFは連休明けの5月6

日に運転を開始しました。PF-ARは5月13日に運転を開始する予定になっています。ともに7月5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15日から最後まででの予定です。PF-ARは5 GeVで運転を開始して、6月11日以降を6.5 GeVで運転します。COVID-19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2期の運転は、6月上旬ごろに決定する予定です。

新委員会となって初めてのPF-PACは、7月26日にWeb会議方式による開催が予定されています。2021年度後期放射光共同利用実験課題の評点と採否の審議に加え、放射光実験施設の運営に関する検討事項(次回以降の審議事項)の確認と意見交換などが行われます。

人事異動

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、片岡竜馬さんが技術員に着任しました。今年3月に電気通信大学の修士課程を修了、放射光実験施設・基盤技術部門に採用され、光学系チームのメンバーとして活動を開始しました。真空系チームを兼務します。また、同日付で、小山恵史さんが清水伸隆教授のグループに研究員として加わりました。九州大学大学院工学府の研究室の前職では、SAGA-LSを利用してパイオ製錬の研究を展開していたとのこと。お二人の活躍を期待しています。一方、3月31日付で、宇佐美徳子講師のグループで研究員をされていた大原麻希さんが量子科学技術研究開発機構(QST)に異動されました。BL-27の所外担当でもある横谷明徳さんのグループの研究員として、引き続き、放射光利用研究に従事されます。また、同日付で岸本俊二教授と小山篤先任技師・技術調整役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シニアフェローとして勤務しています。なお、2020年度の1年間、放射光実験施設・運営部門にご協力を頂いた事務系シニアフェローの中山光昭さん、長年、PF秘書室・事務室に勤務された山崎多鶴子さんが退職されました。ご健康とご多幸をお祈り申し上げます。

最後に、3月31日付で物質構造科学研究所量子ビーム連携研究センターを定年退職された村上洋一教授(2012~2017年度のPF施設長)から「今後は、自由な立場で、ゆっくりと物理学に向き合いたい」との趣旨のお話を伺ったことを報告させていただきます。第二の学者人生におけるご活躍をお祈り申し上げます。

はじめに

2021年度より物構研の体制が新しくなりましたが、放射光科学第一，第二研究系については引き続き、私と千田俊哉教授がそれぞれの主幹を務めます（私は物構研副所長を兼任）。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。このミッションと深く関連する組織として、構造生物学研究センターと量子ビーム連携研究センターがあり、それぞれ千田教授と私が引き続きセンター長を務めます。

放射光科学第一研究系・表面科学研究部門の近況

放射光科学第一研究系には二つの研究部門（表面科学研究部門，固体物理学研究部門）がありますが、今回はそれらのうち表面科学研究部門の近況を報告します。表面科学研究部門は、表面および界面に特有の機能に着目し、それらの機能の発現機構を解明するとともに、新たな機能性物質を創成することを目指しています。この目的を達成するためには、放射光をはじめとする様々なプローブを用いた実験手法を駆使する必要がありますが、その際、単に既存の手法を利用するだけでなく、新たな表面観察手法の開発が必須になります。そこで表面科学研究部門では最近、主に軟X線吸収分光法を用いて、デバイス等が動作している状態で表面付近の化学状態や電子状態を（できれば時間軸も含めて）観察するための手法開発を進めています。具体的には、蛍光収量法による波長分散型軟X線吸収分光法とその深さ分解法への展開，X線励起可視発光を利用した薄膜の軟X線吸収分光法とその波長分散型への拡張などです。また、放射光を含めた様々なプローブの様々な測定手法を複合的に利用した表面科学研究を行うために、真空を保ったままで試料を搬送できる横断型試料搬送システムの開発も進めており、現在までに光電子分光，軟X線吸収分光（磁気円二色性を含む），および偏極中性子反射率に対応しています。

今年度は表面科学研究部門における研究体制にも大きな変化がありました。従来、私と堀場准教授がそれぞれ研究グループを形成して研究・開発を行ってきましたが、後述のように堀場さんが転出し、組頭さんのクロスアポイントメントも終了するのに伴い、私と助教の北村さん、博士研究員の阪田さんの3名で研究グループを形成し、客員教員、協力研究員、連携大学院生、特別共同利用研究員などと連携して研究・開発を進める体制になります。これまで、二つのグループがそれぞれに得意な研究対象や研究手法を持っていましたが、これらを合わせることで、より多面的な表面科学研究を進めることができると期待しています。

人事異動

最後に、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。2021年3月末に、量子ビーム連携研究センターの村上洋一教授が定年を迎えられました。村上教授は、主に構造物性分野において、放射光をはじめとする量子ビームを駆使した研究を先導されてきました。また、2009年に構造物性研究センターを立ち上げ、初代センター長としてマルチビーム利用研究を強力に推進されました。この実績が現在の量子ビーム連携研究センターの礎となっていることは言うまでもありません。さらに、2012年から6年間、放射光科学研究施設（当時）の施設長としてPFを率いるとともに、PFのみならず日本の放射光科学の将来のために尽力されました。村上教授の長年にわたる研究および運営における多大な貢献に、改めて感謝いたします。

新年度に際して多くの人事異動がありました。放射光科学第二研究系・材料科学研究部門に所属し、物構研副所長を務められていた足立伸一さんが、物構研を離れてKEKの理事に就任されました。放射光科学第一研究系・表面科学研究部門では、堀場弘司准教授が量子科学技術研究開発機構に異動され、組頭広志特別教授（東北大学教授）のクロスアポイントメントが終了しました。放射光科学第二研究系・構造生物学研究部門の研究員の米澤健人さんと阿久津誠人さんが、それぞれ奈良先端大学院大学、慶應義塾大学に異動され、量子ビーム連携研究センターの研究員の松本宗久さんが信越化学工業に転出されました。中性子科学研究系の助教の山田悟史さんが量子ビーム連携研究センターの准教授として着任されました。放射光科学第二研究系・材料科学研究部門の研究員の高木壮大さんと構造生物学研究部門の研究員の伊藤道俊さんが、日本学術振興会の特別研究員として採用され、引き続き物構研で研究を行います。また、構造生物学研究部門では、研究員として于宏洋さんと池田聡人さんが着任されるとともに、特別研究員として藤田雅也さんを受け入れました。量子ビーム連携研究センターの博士研究員として大下宏美さんとFAN, Dongxiaoさんが、それぞれ着任されました。また、野澤俊介准教授が放射光実験施設・測定装置部門から放射光科学第二研究系・材料科学研究部門に異動となりました。皆さんの今後の一層の活躍を期待しています。

はじめに

低速陽電子実験施設 (Slow Positron Facility, SPF) では、専用電子リニアックで約 50 MeV に加速した電子を Ta ターゲット (コンバータ) に当てて電子・陽電子対生成によって得られる陽電子を、W 薄膜 (モデレータ) を用いて単色化し、最大 35 keV で磁場輸送して共同利用実験に供しています。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います。

ビームラインの状況

2020 年度夏の停止期間中に、低速陽電子生成部を 10 年ぶりに交換しました。真空チェンバー内のコンバータとモデレータへの電圧導入端子からの真空漏れの危険性があったのですが、構造上導入端子だけを交換することができなかったため、コンバータとモデレータを含む低速陽電子ビーム生成ユニット全体を交換しました。交換にあたり、低速陽電子への変換効率を上げるべく、モデレータの構造を変更しました。交換後、50 MeV、550 W、長パルスモード (パルス幅 1 μ s) のリニアックの運転で、以前は 10^7 e⁺/s の半ば以下だったビーム強度が 10^8 e⁺/s の大台にのりました。

2020 年度冬の停止期間中に、低速陽電子ビーム生成ユニットに電圧を供給している 4 出力の高電圧 (35 kV) フローティング電源を交換しました。以前使用していたものは、1 つの出力が失われており、本来のビーム強度が出ていない状況が続いていたためです。また、コンバータに接続されたコンデンサ (容量 30 nF、耐圧 50 kV) は放射線による劣化のため毎年度交換が必要ですが、その交換頻度を下げることが目的に、放射線耐性の高いセラミックコンデンサを複数並列に接続したユニットの導入を検討中です。これは SuperKEKB 用フラックスコンセントレータで使用中的のものと同様のコンデンサです。リニアック運転中の放射線の影響を評価するために、候補となる小型のセラミックコンデンサ 3 つを専用リニアックのシールド内の運転中の線量が異なる場所に設置しました。2021 年度夏の停止期間中にシールドを開けた際に放射線の影響を評価する予定です。

2019 年度第 2 期の運転中に SPF 専用リニアックが真空悪化によりビームダウンし、その後の同期の共同利用実験が中止になりました。状況証拠から、原因はビームライン末端の実験ステーションからの真空リークと、ビームライン真空悪化時に動作すべき即断バルブのセンサ不良の 2 つが重なったためと考えられます。そこで、再発防止のために、PF 基盤技術部門のインターロックチームにより、大幅に強化した真空インターロックの導入が 2 ヶ年計画で開

始されました。SPF にはリモート制御が可能なゲートバルブが 2 つあるので、2020 年度はその 2 つを活かして、その上流と下流の両側の真空度と連動したインターロックを導入しました。2021 年度夏には、地下と地上の 2 つのフロアの分岐直後と、4 つのエンドステーションの直前の手動バルブをリモート制御が可能なゲートバルブに交換し、より強化した真空インターロックの運用を開始する予定です。

各ステーションの状況

現在、SPF では 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、回折図形観測用の大口径 ($\phi 77$ mm) のマイクロチャンネルプレート (MCP) の一部分のゲイン低下によって均質なデータが得られなくなりましたので、春の停止期間に新しいものに交換しました。

SPF-A4 の低速陽電子回折 (LEPD, レプト) ステーションでは、新しく導入した検出器 (HEX-LEED/LEPD) の改良とそれを用いた LEPD パターンの取得試験を行なっています。

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が行われています。

その他

鳥取大学星健夫准教授らの協力を得て、陽電子回折データ解析システムの整備が進んでいます。2019 年度に TRHEPD に特化したソフトが完成し、ユーザーによって使用されていますが、2020 年度には、他の回折実験の解析も視野に入れたシステムが東京大学物性研究所計算物質科学研究センターに 2DMAT という名称で登録されました。2021 年度には講習会などが開催されます。

人事異動

永井康介 SPF 教授 (東北大とのクロスアポイントメント)、長嶋泰之客員教授 (東京理科大学)、兵頭俊夫ダイヤモンドフェローは 2020 年度にて終了致しました。星健夫客員准教授 (鳥取大学)、および協力研究員として、兵頭俊夫東大名誉教授 (新規)、一宮彪彦名古屋大名誉教授 (継続)、水野清義元九大教授 (新規) の受入を開始しました。また、量子ビーム連携研究センターの Rezwan Ahmed 博士研究員が 2020 年 11 月から SPF で活動を開始しました。

PF ユーザー向け e-learning 開始について

KEK 共通基盤研究施設
放射線科学センター長 佐波俊哉

2021 年度 4 月より PF ユーザー向けの e-learning が開始されました。これにより、これまで、年度初めの来所後に受講をお願いしていた放射線業務従事前教育訓練が、来所前に受講をお願いしていた一般安全教育と同時に受講することが可能になりました。本稿では、この e-learning の実施検討から運用開始までの経緯について説明します。

KEK では、ユーザーの登録・管理を、異なる部署で異なるシステムを用いて行っています。ユーザーの登録はシステム管理係が構築しユーザーズオフィスが運用する「共同利用者支援システム (KRS)」において行い、放射線業務従事者の登録は、放射線管理室が構築・運用する「放射線業務従事者登録システム (従事者システム)」で行っています。一般安全は pfwww サーバーで実施しています。これはそれぞれのシステムが対象とするデータや管理の担当、設置の目的が異なるためです。

KRS ではユーザーの個人情報を登録することから、システムベンダーによるセキュリティを厳重に固めながら、ユーザーが機構外部から登録アクセスすることを実現するシステムになっています。登録対象はユーザーであり、放射線業務の手続きのみならず、宿泊予約などのユーザーに供する各種手続きが可能になっています。

これに対して従事者システムはユーザーが外部からアクセスすることを想定していません。このシステムにはユーザーの他に外来業者も加えた、機構外部からの放射線業務従事者が登録されており、放射線管理室の職員・委託業者が、放射線管理業務のために用いています。

そして、一般安全教育を行う pfwww はこれらとは独立に動作していました。pfwww はユーザーへの情報提供を目的としており、KRS や従事者システムとは全く異なるものです。今回の e-learning はこれらのシステムを連携させ、動作させることにより実現されました。

連携にはあたっては、この 3 つのシステムを運用する、情報基盤管理課 (仲島課長)、放射線科学センター (波戸センター長 [当時])、放射光実験施設 (船守施設長) の 3 つの部署が協力する必要がありました。それぞれのシステムの目的も対象範囲も異なることから、これらを統合した複雑で管理の難しいシステムを新たに構築することは選ばず、それぞれのシステムでやりとりするデータとその手順を十分に検討し、システムの独立性を生かしながら、e-learning を実現する方向を選択しました。これにより、システムの責任範囲を明確化し、一部の機能が損なわれても他に影響を及ぼさない、という独立性を維持しつつ、安価な費用で e-learning を実現することができました。

連携の手順の検討には、教育訓練の本人確認と、教育の不徹底によるハッチ閉じ込めなどの重大事故をいかに防ぐか、について議論を行い、PF 小菅氏による KRS の本人確

認情報に基づく暗号化個別 URL での教育訓練受講に加え、現場受付時にハッチ閉じ込めの重大性を再度確認してサインする、という手法が導入されました。教育内容は PF 北島氏により全面的に見直され、KEK の申し合わせに定める教育訓練時間に合うように PF 仁谷氏によって再編集されました。受講後に出力される教育訓練受講票は 2 次元コードを含んでおり、従事者システムに接続されている PF 監視員の受付端末でこれを読み込むことにより、データの確認、カードと線量計の貸し出しがスムーズに行えるように、放射線管理室 豊田氏がシステムの改修を行いました。この受付のスピードアップは COVID-19 対策も兼ねています。PF 管理区域責任者の岸本氏が導入した Airwait による受付システムを併用し、密を避けて受付を行うことができるようになりました。

以上の変更を、3 月末に終え、システム管理課小林氏によりダミーアカウントが用意され、2 回のシステム通し試験をおこない、4 月 8 日より運用を開始しました。同日 11 時には第 1 号の e-learning を済ませたユーザーが手続きを行うことができました (写真下)。写真上は、この変更を行うことを合意し、実現した 3 つの部署の長、波戸センター長 [当時]、船守施設長、仲島課長と佐波が PF 実験ホールの前で撮影を行ったものです。

これまでも、KEK のそれぞれの部署が、それぞれの役割を果たすことにより、共同利用が実施されてきたのですが、今回の e-learning はこれを一歩進め、部署間の連携を行い実現したものです。今後もそれぞれが役割を果たすとともに、連携と相互理解を深めることにより、さらなるユーザーの利便性の向上と、円滑な共同利用の実現ができるものと思います。よろしくお祈りします。



図 (上) 右から波戸前放射線科学センター長 (現共通基盤研究施設長)、船守放射光実験施設長、仲島情報基盤管理課長、佐波放射線科学センター長
(下) 第 1 号の e-learning を済ませたユーザー (QST 研究員大原麻希さん)