

新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から、研究活動が元の状態に戻っていない大学が多いと思います。大学における講義や国際会議等の研究集會もネット化が基本になるなど、大きく教育・研究活動が変化しています。そういう中で各大学共同利用機関においても共同利用・共同研究の在り方について見直しが進んでいます。今回は、このような問題が起きる前から進んでいる大学共同利用機関の見直しについて報告しておきたいと思います。

国立大学と大学共同利用機関は2004年度から法人化されました。その当初から、第1期中期目標期間（2004-2009年度）は立ち上げ期間とし、第2期（2010-2015年度）を経て、第3期（2016-2021年度）は第4期（2022-2027年度）に向けて大きく見直して改革を考える期間にすることが決まっています。そのため、第3期に入ってから、大学共同利用機関を担当している文部科学省研究振興局学術機関課が所掌している科学技術・学術審議会（学術分科会）研究環境基盤部会で大学共同利用機関全体の見直しが始まりました。見直しの議論は予定より時間も掛かり紆余曲折もありましたが、最終的に、現在の4つの大学共同利用機関法人と総合研究大学院大学はそれぞれの組織は維持したまま、連合体（正式名称ではない）を形成する方向になり、今、その実現に向けて具体的検討が進んでいます。

結局、連合体は作るものの、現状の大学共同利用機関法人の単位は全く変わらない形で第4期に入ることになってしまいました。そのため、各法人の中身も問われることになりました。研究環境基盤部会の下に置かれた大学共同利用機関改革に関する作業部会での議論の結果、各大学共同利用機関が中長期的に大学共同利用機関として求められる役割を担うことが可能か、大学における学術研究の発展や我が国の研究力向上に貢献していけるか、などについて、6年ごとに検証することが決まりました。その前提として、大学共同利用機関の再定義が行われました（右上枠）。現在、今年の8月末までに各定義項目に対応して規定されたいくつかの指標について、独自の外部評価も含めて自己検証結果を報告書の形にまとめて提出する必要があります。その後、大学共同利用機関改革に関する作業部会を中心に、専門性や分野融合等に配慮した有識者を加えて委員会が設置され、提出した自己検証結果報告書をもとに各機関の検証が行われます。委員会は、過去及び将来の観点や取組の結果のみならずプロセスの観点からも分析した上で、今後期待する事項、解決すべき課題等を各機関に提示することになっています。検証は評価より楽なように見えますが、達成度評価が基本の年度及び6年ごとの法人評価とは違って、必要があれば大学共同利用機関の再編・統合等を含む今後の体制強化の在り方等（大学附置の研究所との入れ替えなども含む）について総括をする、ということになっていますので、法人評価より厳しいものになる可能性もあります。

<運営面>開かれた運営体制の下、各研究分野における国内外の研究者コミュニティの意見を踏まえて運営されていること

<中核拠点性>各研究分野に関わる大学や研究者コミュニティを先導し、長期的かつ多様な視点から、基盤となる学術研究や最先端の学術研究等を行う中核的な学術研究拠点であること

<国際性>国際共同研究を先導するなど、各研究分野における国際的な学術研究拠点としての機能を果たしていること

<研究資源>最先端の大型装置や貴重な学術資料・データ等、個々の大学では整備・運用が困難な卓越した学術研究基盤を保有・拡充し、これらを国内外の研究者コミュニティの視点から、持続的かつ発展的に共同利用・共同研究に供していること

<新分野の創出>社会の変化や学術研究の動向に対応して、新たな学問分野の創出や展開に戦略的に取り組んでいること

<人材育成>優れた研究環境を活かした若手研究者などの育成やその活躍機会の創出に貢献していること

<社会との関わり>広く成果等を発信して、社会と協働し、社会の多様な課題解決に向けて取り組んでいること

日本独自の学術研究システムとして大学共同利用機関という組織を創設するようになって50年前後になりますが、各大学共同利用機関創設後の変化が見えない、各研究者コミュニティに変化が見えないという指摘があります。今回、新たな定義として加わった<国際性>、<新分野の創出>、<社会との関わり>は、変化を見せるための項目と言えるでしょう。それぞれ、国際的な共同利用・共同研究の推進、新たに生み出した分野拡大のための共同利用・共同研究の推進、産学連携などによる社会貢献のための共同利用・共同研究の推進と言い換えることができますし、国際化、新分野、産学連携などによる研究者コミュニティの拡大ということもできます。

従来のミッションも含めて、これらの大学共同利用機関の再定義に従った活動を続けていくには、国からの財政的裏付けが不可欠です。しかし、財源が足りず、各大学共同利用機関はいろいろと苦労しているのが実態ですので、財源等の問題で計画通りに進められなかったような課題も自己検証結果報告書では書くように指示されているところです。研究環境基盤部会では、4つの大学共同利用機関法人と総合研究大学院大学が連合体を構成することによって、連合体全体で研究予算・教育予算のやりくり（効率化や優先順位付けなど）をすることも提案されていますが、「言うは易く行うは難し」だと思います。このような中、物構研では、皆様のご理解とご支援を受けながら財源の多様化を進めているところですので、今後ともよろしくお願ひします。

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗
(2020年7月31日付け)

概要

2020年度夏前の入射器の運転に関して、5月8日及び14日にそれぞれ開始が予定されていたPFとPF-AR運転は、新型コロナウイルス感染拡大対策のため中止された。しかし、秋の本格運転の正常化を見据えて、6月後半の2週間について、PFの入射運転が実施された。一方、SuperKEKB向けの入射運転については、実験グループBelle IIが一つだけであることから、2月末からの運転を予定通り継続していた。従って、PF入射運転の立ち上げはSuperKEKB運転中ではあったが、同時トップアップ機構により、お互いの影響は最小限となり、独立な入射運転調整を行うことができた。いずれも7月1日まで入射を継続した後、7月3日までは入射器・ダンピングリング・ビーム輸送路向けの試験運転を行った。

SuperKEKBの運転は比較的順調で、今期から始めたクラブ・ウエスト衝突を、3月にLERリング、そして4月にHERリングに適用することができた。Belle II検出器でのバックグラウンド信号には苦しんだが、安定化したクラブ・ウエスト衝突の下で、コリメータの慎重な調整や色収差を含む光学補正により適切な衝突条件を探し、6月下旬には世界最高ルミノシティである $2.4 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に到達することができた。来期の衝突条件向上に向けて、既に世界最小であった1mmの衝突点ベータ関数のさらなる収束も試み、0.8mmでの安定な衝突が可能なが確認された。

入射器のビームの安定化、低エミッタンス化については、さまざまな努力を試み、以前は短時間しか維持できなかったビーム品質が、比較的長く維持できるようになり、それによって浮き彫りになってきたより繊細な課題に取り組むことが可能になってきた。以前から行われていたが、RF電子銃のレーザ光位置、ビーム電荷、マイクロ波強度・位相、ビーム軌道、ビームエネルギーなどの安定化機構の整備が進み、同時トップアップ入射での技術的課題も解消されてきた。

夏の停止期間には、陽電子生成用フラックスコンセントレータの更新に伴い、これまでの知見に基づいたビームモニタや補正電磁石の追加も予定されており、より安定性・柔軟性の高いビーム加速が期待される。メインリングへのビーム輸送路の後半でのエミッタンス悪化について、いくつかの仮定に基づく調査も進んでおり、解消すれば入射の安定性の理解も進むと思われる。

入射器の運転形態

昨年5月から4+1蓄積リング同時トップアップ運転が

行われているが、この形態の運転が始まってからは、入射器の加速装置が常時連続して運用されている。そのため、ビームを加速しない時間が無くなり、装置の健全性の確認操作を行う時間の確保が困難になった。故障率の増加も懸念されるが、装置の特性確認を適切に行うことができないと、夏の長期停止期間での保守作業が適切に行えない可能性も心配される。

特に影響が大きいのは大電力クライストロンの寿命の見極めである。入射器に60台設置されている50MWパルス・クライストロンは、年に5台ほどが寿命を迎える消耗品であるが、適切に寿命が予測できない場合には、運転時間中に交換を行うことになる。その場合、全体で3台ほど存在する冗長性のためのクライストロンを割り当てるが、設置場所や真空維持などのさまざまな条件により数日間運転を停止せざるを得なくなる場合もある。消耗品である大電力クライストロンの寿命を決める要素の一つが熱電子陰極の活性度であり、その健全性の判断の前段階として、デバッグ試験と呼ばれる数分間の測定を、以前はビーム運転の隙間を見つけて行っていた。この時間が確保できなくなったために、入射運転終了後に専用の時間を確保する必要が生じた。

クライストロンの寿命見極めの他にも、さまざまな機器の保守の最適化や、次の運転期間に向けた改造作業のためのビーム測定を含めて、入射器・ダンピングリング・ビーム輸送路向けの2日間の試験運転を行うことにした。今期は初めて入射運転後、停止期間前に明確な試験運転時間の割り当てを行ったが、思った以上に有効に時間を使うことができた。今後も長期停止期間前にこのような試験運転時間の割り当てを行う必要があると考えている。

また、運転形態に関しては、2週間毎の加速器定期保守と入射器ビーム開発運転（ビームスタディ）の割り当ての変更も行うことになった。5月初旬までは加速器定期保守は2週間毎の木曜日に行われ、それとは独立に毎週水曜日に入射器ビーム開発を行っていた。しかし、定期保守後のSuperKEKBリングの運転調整について、衝突点のベータ関数が小さくなるに従って、ビーム光学補正に必要な時間も長くなり、10時間程度を必要とするようになってきた。深夜から早朝にわたる調整運転は担当者に過大な負担を強いることになる。さらに加速器の障害が重なってしまうと、調整運転が土曜日にずれ込むことになってしまう。

このため、運転形態の見直しが行われ、その結果、加速器定期保守日を2週間毎の水曜日に移動させ、その後の夜間の運転は入射器ビーム開発運転に割り当てることとした。その後、木曜日の朝からSuperKEKBリングの運転調

整を行い、順調であれば準夜の途中には実験データ蓄積が可能となる（定期保守の無い週の水曜日は以前と同様に入射器ビーム開発運転に割り当たるが、実際には実験データ蓄積のために入射運転を継続することが多い）。

5月の中旬からこのような加速器定期保守と入射器ビーム開発運転の割り当ての試験を行い、順調に経過したので、秋の運転からは本格的に採用することになる。

加速管マイクロ波の安定化

入射器のビーム加速に使われるマイクロ波の測定について、SuperKEKBの建設時に、同時トップアップ入射に対応した機能向上が図られ、主要な接続点について安定化フィードバック機構が整備されてきた。実際、気温や様々な装置の状態によりマイクロ波が影響を受けるので、低エミッタンスビームの安定化にはマイクロ波の安定化が欠かせない。

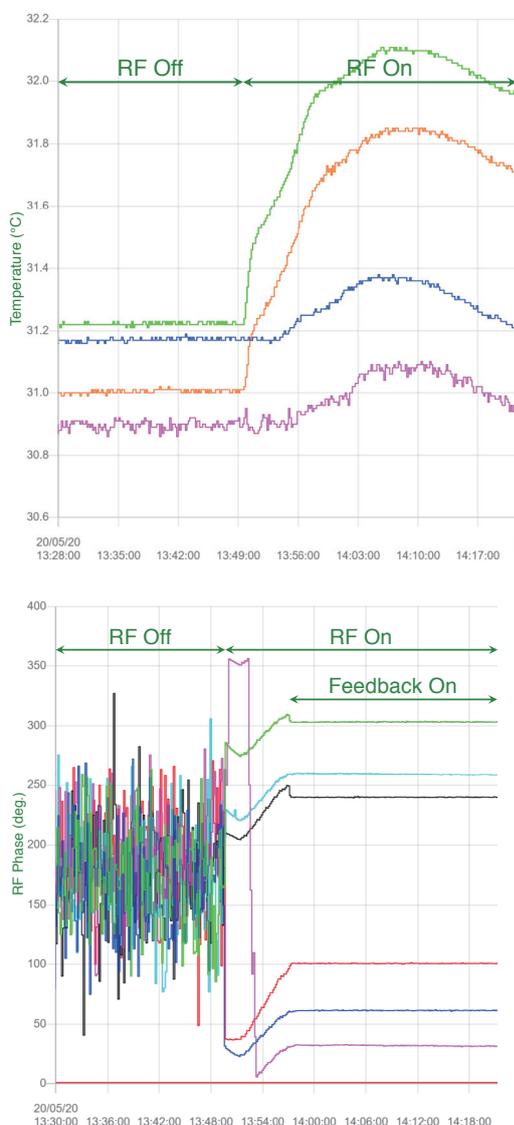


図1 マイクロ波を投入した際の加速管の温度の変動（上）、及び同時刻のマイクロ波の変動とその後の安定化の効果の様子（下）。ビームが感じるマイクロ波が安定化されている。

通常、加速管の冷却水温の変動量は0.1度以内に維持されているが、もしも冷却水温が範囲を超えて変化した際にはビームが感じるマイクロ波が大きく変化し、ビーム特性が維持できなくなってしまう。特に、なんらかの障害により人員が加速器トンネルに入域する場合は、放射線を避けるためにマイクロ波の発生を一度停止させ、人員が退域してから再度マイクロ波を投入するので、加速管の温度が変動し、1時間から2時間ビーム運転ができなかった。

そこで、このような場合に、加速管を通るマイクロ波を測定し、積極的な安定化フィードバックにより温度による変動を補償することにした。図1では、マイクロ波を投入した際に、加速管の温度が大きく変動し、ビームの感じるマイクロ波も影響を受けている。その後、安定化フィードバックを起動することにより、温度の変動を補償できていることがわかる。この機構により、入射器の障害からの回復が迅速化されると期待される。

入射器の運転統計情報

入射器の昨年度までの運転統計が図2のように集計された。このうち、故障率は入射可能な場合も含む装置の故障を意味し、ビーム停止率は入射が不可能となる故障を意味する。2017年度までの建設期間が終了し故障率の上昇が2018年度に止まったが、2019年度には同時トップアップ入射を開始したことにより、少し故障率が上昇してしまった。運転の状況を監視しながら、新しい装置や新しい運転方法を適切に調整すれば故障率を下げられるものと期待される。

故障時間の内訳については、マイクロ波、制御、電子銃、タイミング、電磁石などが多く、一部は老朽化も心配されている。運転の状況を監視しながら、新しい装置や新しい運転方法に適合して、適切に調整すれば故障率を下げられる部分も多いものと期待される。

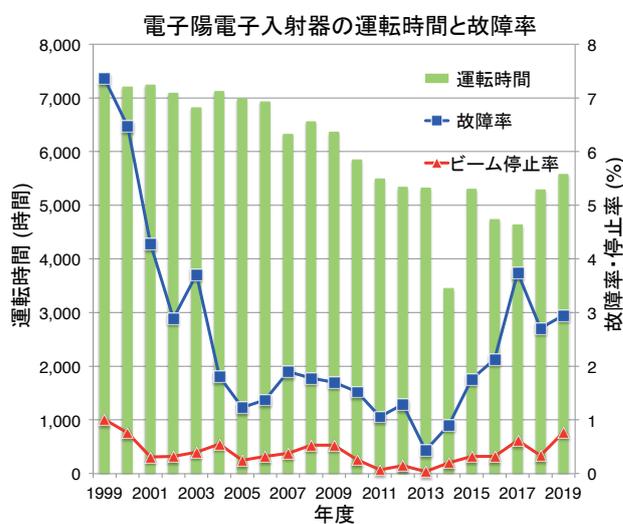


図2 2019年度までの入射器の運転統計

光源リングの運転状況

新型コロナウイルス感染症拡大防止への対応として、2020年度第I期のPFリングおよびPF-ARの運転を中止していたが、状況が好転してきたことや各種試行を進めることが、2020年度第II期の本格的な運転に向けて研究成果の創出と感染症拡大の防止の両面で有効と考えられることなどを考慮して、PFリングだけ（PF-ARは停止のまま）ではあるが6月後半の約2週間運転を実施することとなった。

図1に、PFリングの運転再開日6月15日9:00から停止日7月1日9:00まで約2週間の蓄積電流値の推移を示す。リングの立ち上げ調整は概ね順調に進み、6月17日9:00から光軸確認を行った後、ユーザ運転を開始した。運転モードはマルチバンチのみで、さらに超伝導ウィグラーについては冷却が困難であったため励磁せず（BL14は閉鎖）の運転となった。停止期間中真空を大気暴露して作業する箇所があったため、ユーザ運転開始時は蓄積電流値450mAで約10時間程度と短かったが、真空度の回復とともに徐々に寿命が延びて停止前は16時間程度まで回復した。図2に、PFリングにおける光焼きだし状況として、積分電流値に対する電流値とビーム寿命の積（ $I \cdot \tau$ ）と電流値当たりのリング平均真空度（ P_{avg}/I ）を示す。

今期の運転では、進行方向4極振動が周期的（約40秒）に出現するビーム不安定性に悩まされた。バンチフィルパターンを連続250バンチから、4極振動に効果的である188バンチ4分割パターンに変更したものの、それでも抑制することができず、最終的にはRF位相変調を弱くかけ

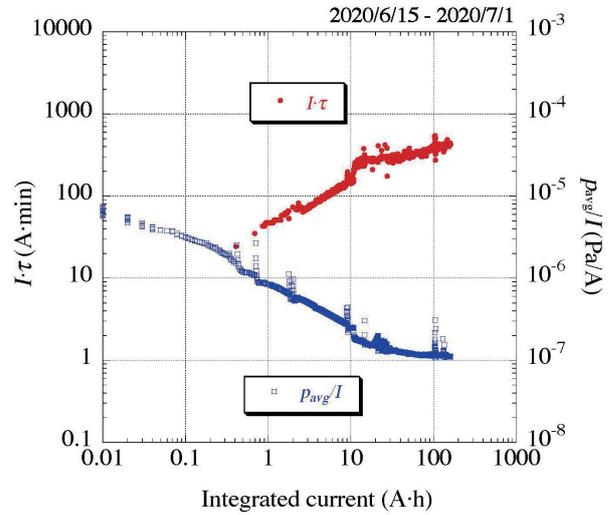


図2 PFリングにおける光焼きだし状況として、積分電流値に対する電流値とビーム寿命の積（ $I \cdot \tau$ ）と電流値当たりのリング平均真空度（ P_{avg}/I ）を示す。

て周期的な変動を抑制することで対処した。約2週間の運転期間中に3度ほどビームライン側でこのビーム不安定性に起因するビーム強度変動が観測されたため、RF位相変調のパラメータを調整することで抑制した。なお、位相変調のパラメータ調整はビームライン側と協議し、時刻を決めて運転を中断せずに実施した。

ユーザ運転を中断する故障は3件あった。1件目は、6月17日21:00ごろから挿入光源ID28下流～ID02上流に

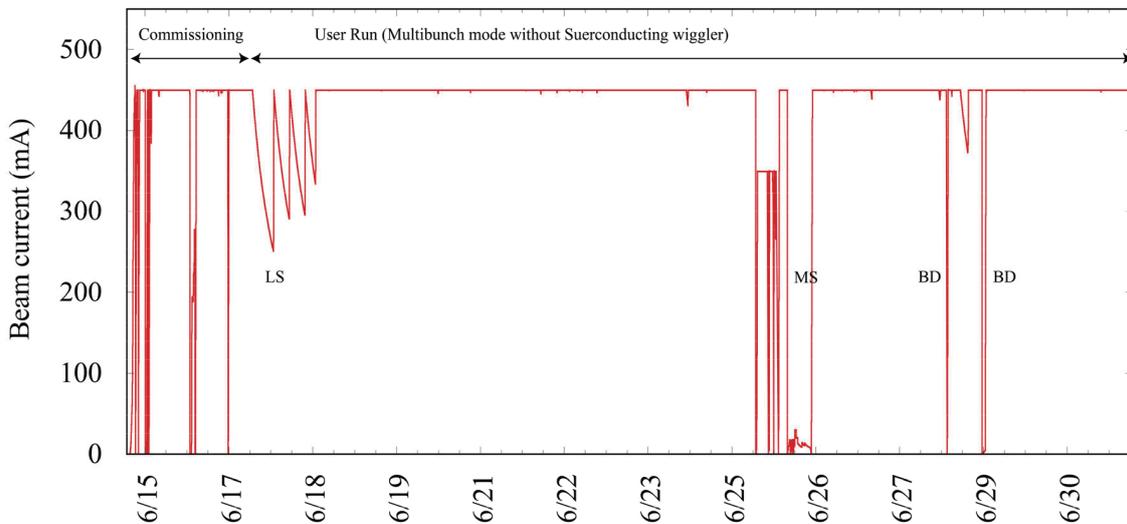


図1 PFリングにおける6月15日9:00から7月1日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器調整、MSはリング調整、BDはビームダンプを示す。

かけて突発的な軌道変動が観測されるという現象であった。しばらく様子を見ていたが、徐々に頻度が増加してきたため調査したところ、当該区間のBPM検波回路に使用しているNIMモジュールの故障が判明した。6月22日10:00にチャンネルをクローズし、予備と交換して復旧となった。その後軌道変動は収まった。2件目は6月28日9:47に発生した。真空の冷却水インターロックが動作してビームダンプとなった。偏向電磁石B06クロッチアップソーバーの冷却水流量が一瞬低下したことが原因であったが、流量が落ち着いたためリセットして復旧した。ところが、同日23:25に同じ現象によるビームダンプが発生した。冷却水流量センサーの不具合を疑い、リング内入域して流量センサーのクリーニングを実施した。その後インターロックをリセットして復旧となった。クリーニング後ビームダンプは再現しなかったが、流量低下の兆候がなかったことや、流量センサーにも汚染や腐食がなかったことから、流量検出器の誤作動であった可能性が高い。本流量検出器はPF運転初期に導入されたものであり、リング全周分の更新を検討している。

PFリングは7月1日9:00に予定通りユーザ運転を終了し、夏期の停止期間となった。第II期の運転再開は、PFリングは10月14日、PF-ARは10月21日を予定している。

PFリングにおける入射パルスセプタム2の更新について

PFリングでは、今夏の加速器停止期間を利用して、入射部パルスセプタム2の更新に伴う入射部改造を予定している。リング入射部には2台の真空封止パルスセプタムが運用されており、パルスセプタム2 (Sep2) はそのうちの入射点にある下流側の1台を指す。これらはPFリング直線部増強改造(2005年)と連動し前年の2004年より磁場強度を増強したものとして更新され運用されているが、真空容器と水冷配管は1988年からのもので、2015年4月に長年の運用による経年劣化によりSep2真空容器内の水冷配管から漏水がありユーザ運転の中断を余儀なくされた。その後、液体リーク補修材の応急処置によりユーザ運転を継続していたが断続的にリークが発生し2017年には水冷配管の閉止措置を取り、蓄積リングからの放射光の入熱による温度上昇を防ぐために放射光を遮るアップソーバーを入射点上流の蓄積リング側に蓄積ビームの軌道中心から15mmのところまで挿入する対応を行った(図3)。この結果、ユーザ運転の継続性は確保されたが、アップソーバーで入射ビームの一部が欠損する結果となり、リング内の2番目の最小水平物理口径(16mm)となっている垂直超伝導ウィグラーの存在と合わせて現在入射効率は30%以下にまで悪化した。これは安定した放射光供給の弊害となっており早急な改善が急務である。

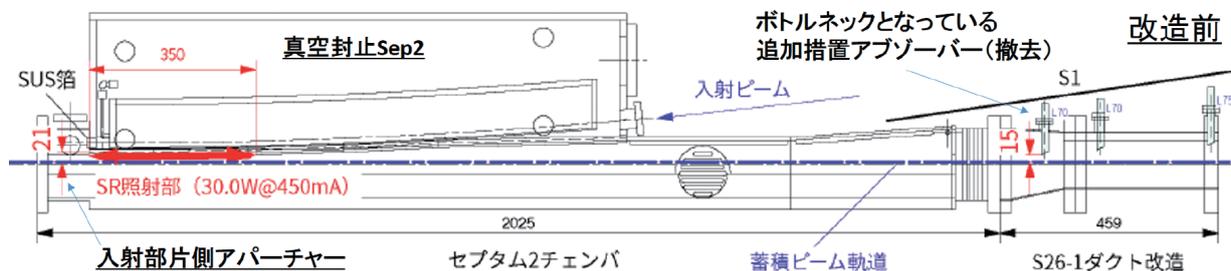


図3 改造前全体俯瞰図

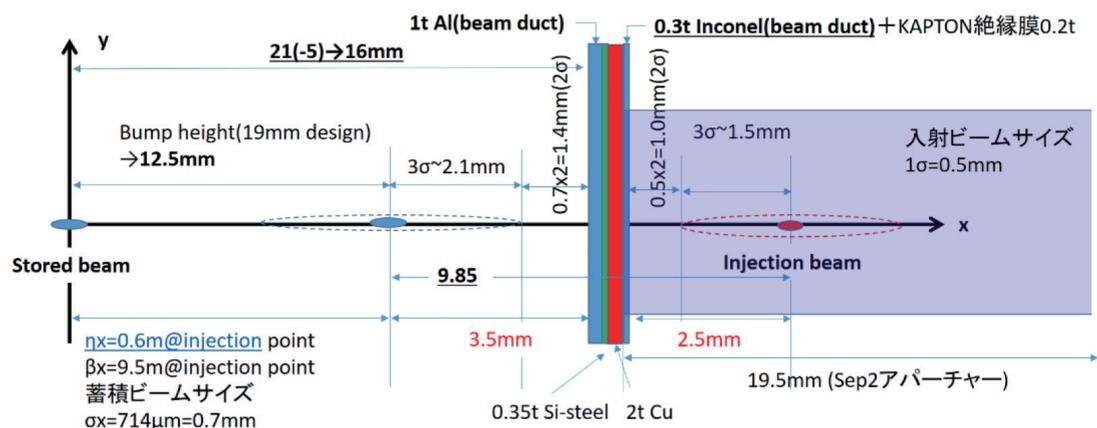


図4 新入射点パラメータ

この改善策として、2つの方法をとることにした。1つ目は Sep2 を真空外セプタムとし、放熱性能も含む冷却性能を改善し今後の保守性、運用性の向上を図ることである。これにより追加的措置であったアブゾーバーを廃止することが出来る。2つ目は、入射点パラメータの見直しを図り入射点をリング内最小物理口径とする原則設計とすることである（図4）。このことで東日本大震災以降不透明であった蓄積ビームと入射ビームとの 13~15 mm の相対距離を 9.85 mm まで近づけ、入射ビームの損失確率を低減することが出来る。入射点蓄積ビームダクトの口径は 21 mm から 16 mm まで縮小し、下流側の既存の片側 45 mm 口径の蓄積リングダクトは入射ビームダクトと蓄積ビームダクトを完全に包含する設計となる。2つの改善策により、現状の入射効率は第3世代光源の通常の入射効率である 80% 程度（目標 90%）まで増加することが見込まれ、また副次的に入射ビームの蓄積ビームへの近接化に伴いソンプハイトを 6 mm 程度下げるため Top-Up 入射時の蓄積ビームの水平振動の緩和にもつながることを期待している。これら改善策は、今後の PF リング高度化をも睨んだ「放射光安定供給のための入射部改造」がテーマとなっている。

入射部改造に伴い、いくつかの新たな試みが採用されている。1) セプタム磁石ギャップを縮小し磁場強度の増強を行い、0.3 t のインコネル 718 の薄肉ダクトの採用で渦電流による磁場遮蔽を低減しながら同時に構造強度も確保し既存電源の再利用を図る。2) 薄肉ダクトで生じる渦電流ループの広範囲に広がる弊害をなくすため磁石下流側蓄積ビームダクトとの合流点にてエアギャップを設け、上流側にはセラミックの絶縁管を設置する。エアギャップの上下流はギャップを挟んで 0.2 t SUS 箔で対面させ、真空系を輸送路と蓄積リングで隔離し真空作業の保守性が向上することも狙っている。3) エアギャップ手前の入射ビームダクトには入射ビームの精密な監視手段として、入射ビームダクト内壁 0.85 mm まで近接させる駆動挿入の YAG スクリーンモニター設置し、相補的なシステムとしてエアギャップに対面する SUS 箔を 45 度に傾け利用するリアルタイム OTR モニターの導入を図る。窓材の OTR 利用は世界

でも類を見ない斬新な試みとなっており、入射ビームの常時監視機能は、より安定した放射光供給に大きく貢献することが期待されている。4) セプタム壁への放射光入熱を緩和するため、蓄積ビームダクトのセプタム壁側の壁面は入射点で薄肉化されているものの上流に向かうに従い構造強度を増すように厚肉化し、かつ Sep1 との空いたスペースにテーパ状にアパーチャーを広げることで放射光をダクト壁面全体で受け止める工夫がなされている。その放熱のために蓄積ビームダクトはアルミダクトで製作され、徐熱のため水冷配管が設置される。この構造的工夫は上流側アブゾーバーの挿入度を蓄積ビーム軌道から 37 mm まで後退させることにつながり入射効率改善に貢献する。

入射部改造に伴うこれらの新たな試みに対する懸念事項として、2点が挙げられるがいずれも問題がないと判断されている。1点目は、SUS 箔の OTR 利用による 48 mm となるエアギャップを設置することによるビーム損失の放射線管理上の問題である。放射線科学センターによるビーム損失の計算結果を受けると許容生成核種の気中濃度の限度に対する生成比は 10^{-6} のレベルであり非常に小さく現状からは 4% 程度の増加にしかならないため変更申請不要との結論がなされている。2点目は、入射ビームを蓄積ビームへ近接化させるため Sep2 の電磁石を蓄積リングへ近づける際のビーム輸送路におけるビーム軌道の整合性である。入射ビーム軌道は、PF ダンプ点へのビームラインとの分岐点から下流の電磁石のわずかな再アライメントでセプタム壁に最近接する入射ビーム点へと結ぶことが出来ている。

現在、2019 年度 10 月に立ち上げられた更新改造のためのタスクフォースでの検討は、グランドフレームとなるダクト設計、モニター部の設計まで完了し（図5）、付帯設備の構築設計へと進められている。夏の工期までに残された期間は限られ、長納期製作部材の調達がコロナ禍の影響で懸念事項ではあるが、オンスケジュールで順調に進行している。今後止むを得ない事情による工事の延期も可能性として残されているが、秋からのユーザ運転への適用を目指し一丸となり強力に推進している。

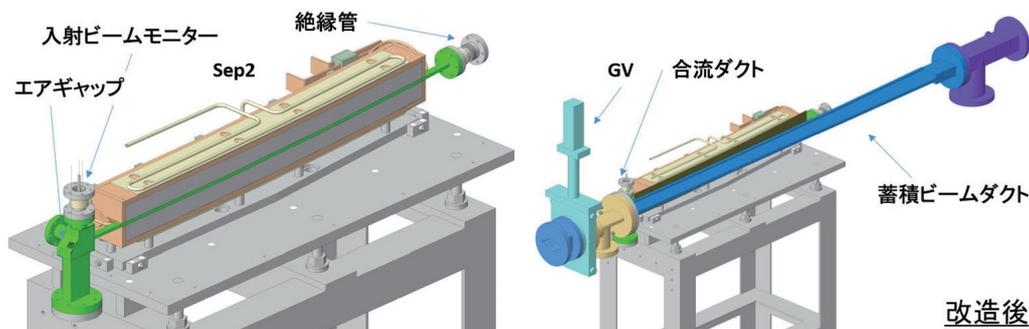


図5 改造後の想定図：（左図）Sep2 電磁石のギャップに薄肉の真空ダクトが挟み込まれている。（右図）Sep2 電磁石は蓄積リングビームダクトに寄り添うように設置される。

測定装置部門の紹介

<https://www2.kek.jp/imss/pf/section/endstation/>

昨年の8月号から、放射光実験施設の内部組織を紹介してきました。これまでに、3つの内部組織の中の2つ、運営部門と基盤技術部門の紹介まで終わりました。今回は最後の1つ、測定装置部門についてご紹介します。

測定装置部門は、放射光の特徴を最大限に利用する実験装置を含むビームラインエンドステーション部の整備と高度化を目的として設置されています。この部門は、放射光科学第一・第二研究系所属を含む各ステーション担当者間の連携の中核を担い、エンドステーションの標準化と自動化、将来の標準化を見据えた先端化を推進します。測定装置部門は、「ビームライン研究者」の育成にも注力します。「ビームライン研究者」とは、ビームラインで展開されるサイエンスを手法ベースで推進するとともに、個別の手法に特化した技術だけでなく、世界の放射光施設に共通のビームライン担当者としての技術を習得し、将来の放射光科学を担う人材を指します。構成メンバーは、測定装置部門長の清水伸隆教授を含めて、現在9名、放射光実験施設に所属する教員とともに研究を行うポスドクは、この部門に所属することになっています。測定装置部門のメンバーについては、次回、紹介させていただきます。

昨年4月の放射光実験施設の組織化の後、測定装置部門長を中心に、測定装置部門の構成の検討を行い、10の測定手法グループを設けることになりました。光電子分光、軟X線吸収分光、軟X線顕微鏡、X線吸収分光、回折・散乱、タンパク質結晶解析、小角散乱、高圧、超高速時間分解、X線光学・イメージングの10グループです。PFとPF-ARの47本のビームラインは、何れかの測定手法グループに所属します。なお、測定手法グループは、研究の動向や技術の進展による必要性に応じて、再構成されるべきものと考えています。

測定装置部門としての活動を進める上で問題となるのが、測定手法グループの約半数に測定装置部門メンバーが存在しないことです。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、全てのグループに構成メンバーが必要です。放射光科学の持続的な発展には、前述の「ビームライン研究者」の育成が不可欠ですので、放射光科学第一・第二研究系に所属する教員とともに研究を行う若手教員を測定装置部門の所属とすることが有効な解決策となるかも知れません。

運転・共同利用関係

2020年度第1期の運転は、当初、PFは5月8日から、

PF-ARは5月14日から、ともに7月1日までを予定していましたが、新型コロナウイルス感染症拡大への対応として、4月9日の時点で、一旦、全てキャンセルとしました。その後、状況の好転を受けて、5月29日に、PFのみの限定的な運転を実施する判断をしました。6月15日から7月1日まで、第2期の本格的な運転再開に向けて各種試行を進めること、および、直近の学位取得に必要な実験を実施することを目的に、通常のマルチバンチモードで運転を実施しました。現在、第2期の運転再開に向け、遠隔測定や自動測定を始めとして、各測定手法に適した準備を進めています。

第2期の運転は、PFは10月14日から、PF-ARは10月21日から、ともに12月22日までの予定です。PFのハイブリッドモードは11月27日から12月9日を予定しています。PF-ARは5 GeVで運転を開始して、PFがハイブリッドモードになるタイミングに合わせて、11月26日以降を6.5 GeVでの運転とします。第2期では、産業利用促進運転を5日間設定します。詳細については、本誌紹介記事をご参照ください。

7月10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、2021年度からの制度改正を検討している事項について協議しました。次回以降に、順次、審議を進める予定です。詳細については、本誌速報をご参照ください。

新型コロナウイルス感染症の再拡大が心配ですが、「新しい実験様式」の取り組みを進めることで、2020年度第2期と第3期で第1期分の不足を補い、年間の運転時間を確保する方向で検討しています。

はじめに

今回は、放射光科学第二研究系の担当ですが、現在構造生物学分野で重要性を増している小角散乱を簡単に紹介したいと思います。PFにおいては結晶構造解析、クライオ電子顕微鏡（クライオ電顕）と原子分解能での構造解析が盛んに行われてきましたが、これに加えタンパク質を始めとする生体高分子を対象とした小角散乱法の実験が非常に盛り上がってきました。小角散乱法を使うと溶液中の構造情報を得ることができ、計算科学との連携も盛んな分野です。

BioSAXS

タンパク質は、溶液中に存在し溶液中で機能をします。結晶構造解析や最近存在感を急速に増しているクライオ電顕は、原子分解能での立体構造を決定するには不可欠の方法で、多くのタンパク質の立体構造がこれらの方法によって決定されてきました。しかし、結晶構造解析は結晶中の、クライオ電顕は凍結された水中の構造ですから、それなりの制約があることは否めません。タンパク質の（生化学的な）機能と構造との関係を深く調べれば調べるほど上記の制約が問題になってくることも事実です。また、今日の生物学は細胞を分子にまで分割し、ある意味行くところまで行ったのですが（もちろん、解決すべき個別の課題は山ほどあります）、そうなってくると今度はバラバラにしたものを元に戻す方向で研究をしていきたいと思うのは当然のことです。現代の生物学もそのような傾向が色濃く出ており、単一の分子を扱うのではなく複数の分子を扱う、安定なタンパク質複合体を扱うのではなく不安定な複合体を扱う、というような方向に研究は進んでいます。このような状況を反映して、結晶内ではなく溶液中での構造情報が欲しい、単一分子ではなく複数の分子の振る舞いが知りたいというような要望が少なからず出てきており、そのときに大きな威力を発揮するのがX線小角散乱（Small-Angle X-ray Scattering）です。最近では、タンパク質等の生体高分子溶液試料を対象としたX線小角散乱を特にBioSAXS（Biological Small-Angle X-ray Scattering）と呼ぶようになってきました。

BioSAXSはタンパク質やタンパク質複合体の溶液中における概形構造状態（大きさ、形状）、物性（熱安定性やpH・塩濃度依存性など）、運動性（折畳み状態、構造アンサンブル）などを解析できる手法で、構造生物学から生物物理学に至る分野、特に最近では統合構造生物学（Integrative Structural Biology）と言われる分野において溶液中の構造状態把握に積極的に活用されています。得られる分解能は結晶構造解析と比較すると低いですが、溶液中の構造情報を反映しているという点が強みで、計算科学と

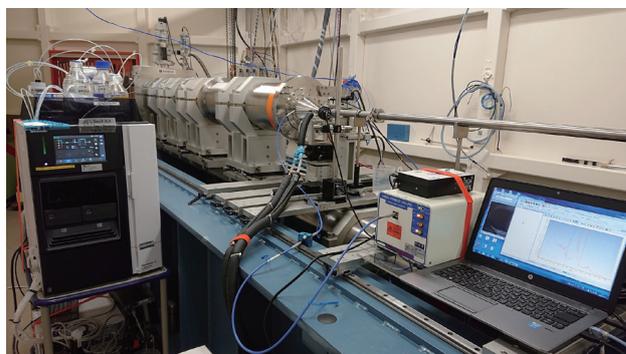


図1 BL-15A2で利用可能なSEC-SAXSシステム

融合することで強力な手法として用いられるようになってきました。今日では、結晶構造解析もしくはクライオ電顕とBioSAXSという2手法、さらには結晶・クライオ電顕・BioSAXSの3手法、さらにそこへ分子動力学計算などの計算科学まで活用した相関構造解析といわれる成果が増えてきています。

放射光実験施設の小角散乱グループと、放射光科学第二研究系・構造生物学研究部門の米澤健人研究員により、小角散乱のビームラインが高度に整備されてきただけでなく、SAnGLerとSerial AnalyzerというBioSAXS初心者ユーザーにも使いやすい解析ソフトウェアも開発されています（マニュアルも公開されています。<http://pfwww.kek.jp/saxs/beamline.html>）。小角散乱実験に対する補助的な装置として、PFの生理試料準備室には、SEC-MALS（ゲル濾過＋多角度静的光散乱装置）とCD（円偏光二色性）が設置されています。SEC-MALSは複合体のストイキオメトリーの理解のために相補的に利用されており、CDは天然変性タンパク質等における2次構造～3次構造の理解に活用可能です。いずれもSAXS課題（G/P型、BINDS）があれば、利用可能です。

このような環境の整備も行われた結果、結晶構造解析とBioSAXSを併用する利用者は年々増えています（J. Med. Chem. 59, 7888-900. (2016), Cell Rep. 20, 2626-38. (2017), Nat Commun. 9, 4330. (2018)などを参照）。今後は、クライオ電顕との併用も増えてくると思われます。高分解能の構造情報を得たものの、溶液中での構造情報を得たいという方は是非ともBioSAXSの利用を検討してみたいでしょうか？利用相談などあれば、AMEDのプロジェクトのBINDSのHP（<https://www.binds.jp/>）からお願いします。