

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗
(2019年7月27日付け)

概要

5月7日のPF入射開始、13日のPF-AR入射開始に関して、4月の加速管組立室の火災の影響が心配されたが、ビーム入射運転は比較的順調に行われ、7月1日に今期の運転を無事終えることができた。SuperKEKBを含めた4+1蓄積リングへの同時トップアップ入射は、5月15日から運転終了時まで大きな問題なく行われた。この今期の入射器運転においては、J-ARC部でのエネルギーを下げるなど、火災からの復旧を急ぐために一部のビーム性能を抑えてきた。このため、夏の保守期間中に、加速管組立室から侵入した煤を天井付近のケーブルラックも含めてできるだけ排除した上で、停止している一部のマイクロ波発生装置や電磁石電源を復旧させ、秋の運転においてはSuperKEKBを含めたビーム入射性能を回復する予定である。また、7月8日から10日にかけては、Frank Zimmermann氏を委員長とするSuperKEKB加速器諮問委員会が開催され、入射器に関連しても、8つの報告が行われた。入射器のビーム品質に関して、数年後に期待される最終仕様に到達するにはまだ経験が足りないが、現在の入射要求には答えられている。まずはビーム安定化を含めたビーム操作の自動化や、ビーム解析を進め、現在は見えていないであろう問題点を解決していきたいと考える。

KEKB 加速器諮問委員会

第23回の(Super)KEKB加速器諮問委員会がFrank Zimmermann委員長を始めとした16名の委員全員の出席を得て、7月8日から3日間開催された。24の報告のうち、入射器からも、火災の回復、加速機器の性能向上、ビーム運転とエミッタンス管理など8つの報告があり、他にも入射に関係が大きい報告も行われた。次は入射器と入射に関連する報告項目である。

- Fire at Nextef
- Recovery of injector linac
- Injector beam operation
- Injector RF and LLRF
- Injector beam monitors
- RF gun, laser and electron beam commissioning
- Positron source
- Emittance preservation
- Beam background (Inj. tuning)
- Status of beam transport lines
- Control system (timing system)

前回はフェーズ2運転の途中であり、今回はフェーズ3に入った運転の最初の区切りであったことで、委員の注目の



図1 諮問委員会での議論の様子、多数の見地からの議論が行われた。

対象も変化した。時間制限を厳しく設けずに質疑や議論が行われ、Belle II検出器やQCS電磁石をバックグラウンドから守りながら、ルミノシティ向上を今後如何に図るかについても白熱した議論が行われた(図1)。

4+1蓄積リングへの同時トップアップ入射

5月15日から4+1リングへの同時トップアップ入射を開始し、さらに運転終了まで継続することができた(図2)。

SuperKEKB向けの建設期間中は、放射光施設に対してもトップアップ入射を回避させていただき、建設や加速器の調整、ビーム性能の向上に割り当ててきた。今回の同

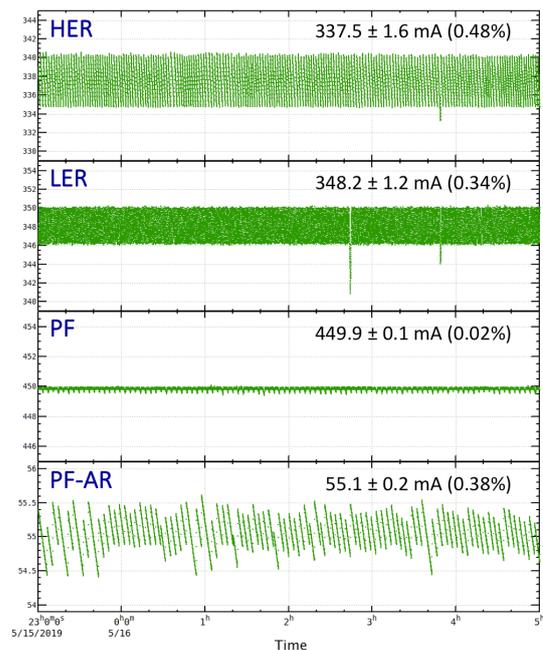


図2 順調な場合の4蓄積リングの蓄積電流とその電流値の標準偏差

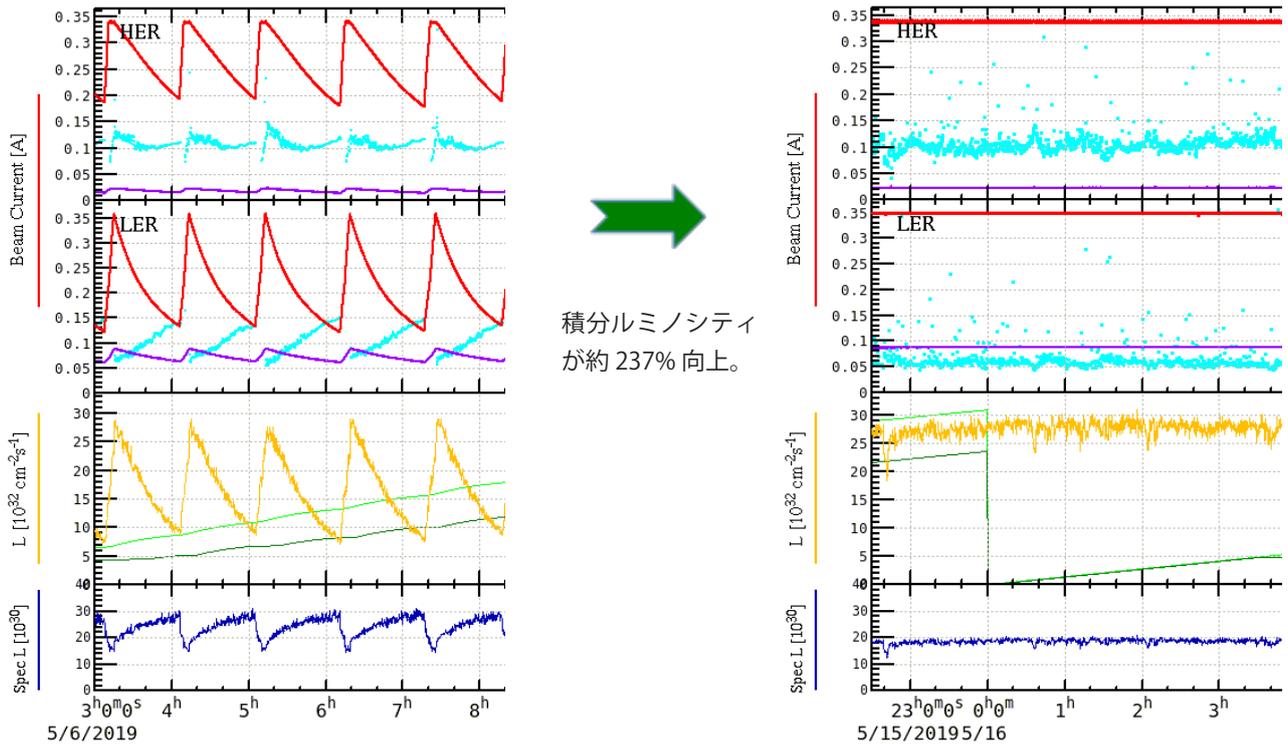


図3 同時入射開始直前・直後の SuperKEKB の衝突性能の比較例、直前の 5 回の入射の様子と、同じ時間内の同時トップアップ入射の様子、赤が HER, LER の蓄積電流、黄がルミノシティ。

時トップアップ入射開始によって、これらの調整・向上の機会が減少したことになり、代わりに毎週水曜日の入射器ビーム開発の時間の重要性が高まっている。水曜日に入射器専用の時間を確保したとしても、他の日に同時トップアップ入射を継続する意味があるように意識する必要があると考えている。

図3は同時トップアップの開始直前と直後の SuperKEKB 衝突実験の様子である。開始前には 5.15 時間で 5 回の入射が行われ、17.54 /pb の衝突事象（積分ルミノシティ）を観測した。同時トップアップ運転においては、Belle II 検出器が停止しないことと特に陽電子 LER の寿命が 30 分程度と短いため、順調な場合には、同じ 5.15 時間、同じ蓄積電流に対して 41.64 /pb の衝突事象を観測することができた。単純に比較すると、2.4 倍の実験効率の向上となる。

2004 年に KEKB の連続入射を開始した際には、同時トップアップでは無かったが、1.3 倍程度の効率向上であったので、SuperKEKB ではその効果が大きいことがわかる。さらに並行して 2 つの放射光施設 PF と PF-AR にも同時トップアップ入射が行われており、電子加速器実験に対する実効性は小さくないと考えられる。

1 ヶ月半の同時トップアップ運転において改善点は多数見つかっており、運転中には変更を行うことは難しかったが、上にも記載した水曜日の入射器ビーム開発の時間と、2 週間に一度の木曜加速器保守日を利用して改善が続いているところである。また、熱電子銃と RF 電子銃を合わせたビーム頻度は 50 Hz を実現しているが、異なる理由に

より熱電子銃と RF 電子銃のビーム頻度はそれぞれ独立に 25 Hz に制限されている。現在のところ、このことが実験の大きな障害にはなっていないが、早期の頻度制限解除の検討を進めている。

エミッタンス管理

入射器内でのビームエミッタンス管理に関しては、複数の試みが行われてきた。その中でも、加速管の航跡電場によるビームバンチの変形や、残留ビーム分散関数に注目し、電流を増大させる前のエミッタンス管理調整を進めているところである。しかし、これとは別に昨年から SuperKEKB メインリングへのビーム輸送路におけるビームエミッタンス増大の存在が認識されるようになり、一部は残留分散関数が原因と考えられたものの、主要な原因は不明であった。最近になって、入射器の終端部におけるエ

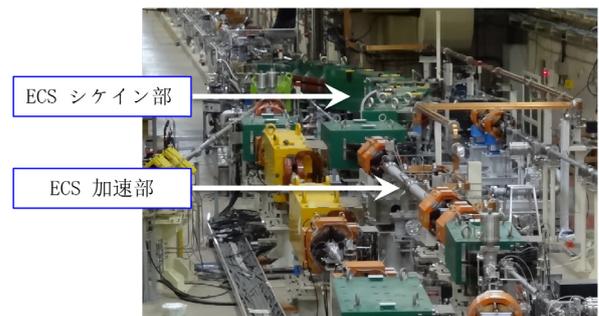


図4 入射器終端部における陽電子向けエネルギー圧縮機構

エネルギー圧縮機構（ECS）（図4）のシケイン部で発生した残留分散関数が、その加速部でエミッタンス増大に寄与してしまうことが、菊池光男氏によって示された。

測定によれば、ECS 加速部において確かにシケイン部からの分散関数の漏れがあり、シケインを構成する偏向電磁石の磁場形状の歪みが影響していることがわかってきた。また加速部の加速を停止させた場合には、エミッタンス増大が緩和され、問題が確認された。磁場の歪みを補正するためには、四重極電磁石の追加や偏向電磁石の移動などが考えられるが、真空系やビームモニタ系への影響が大きく、慎重な検討が進められている。

運転統計情報

2018 年度までの入射器の運転統計情報が集計された。

図5の運転統計情報のうち、“Failure”は入射可能な場合も含む装置の故障を意味し、“Beam loss”は入射が不可能となる故障を意味する。KEKB 向け入射器改造建設時期（1994 – 1998 年）にも入射器の故障率が上昇し、運転開始後（1999 年以降）に運転の経験を積むと共に故障率が低下した。SuperKEKB 向け入射器改造建設時期（2010 – 2017 年）の後半には新規設置装置の調整不足により、故障率が上昇していた。建設と機器調整が調整し、2018 年度からは故障が減少し始めたのではないかと考えている。今後さらに機器や運転形態の最適化を進め故障率を下げていきたいと考える。

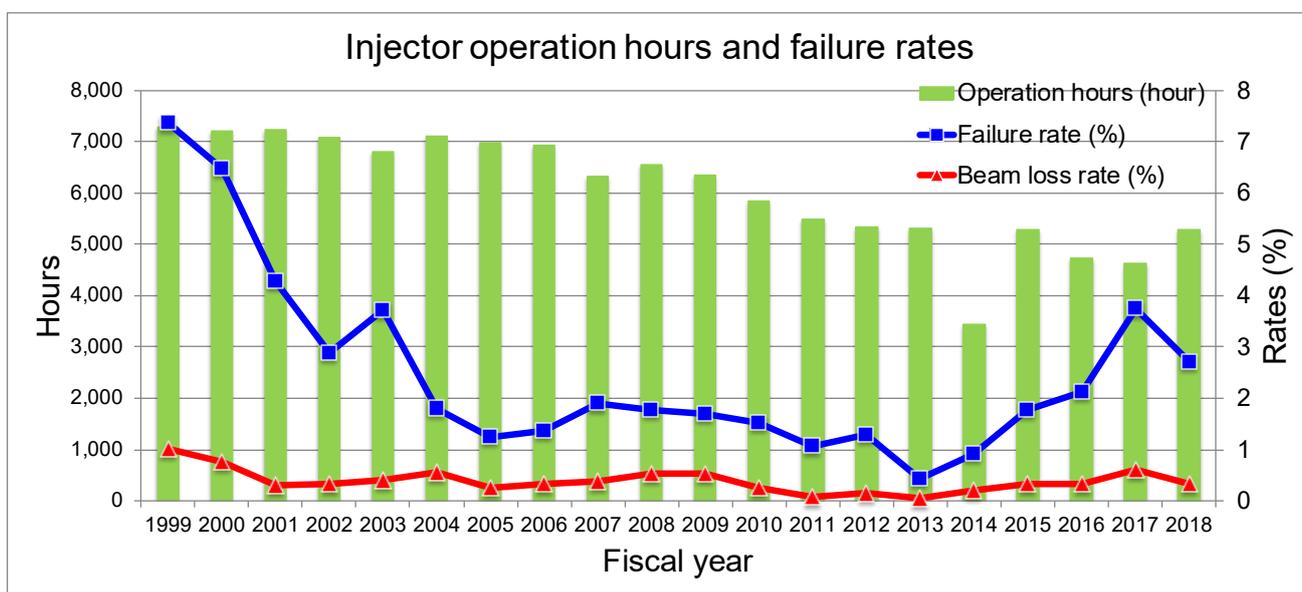


図5 入射器の運転統計情報，Failure は入射可能な場合も含む装置の故障で，Beam loss は入射が不可能となる故障を意味する。

光源リング運転状況

図1に、PFリングの立ち上げ日5月7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。リングの立ち上げおよび各種調整は概ね順調に進み、5月10日9:00からの光軸確認後ユーザ運転を開始した。開始当日の23:42入射器からの入射不調の連絡があり、入射器側で調整して復旧した。翌日5月11日3:17入射器のクライストロンが不調となりダンプラインにてビーム調整を行ったが、通常の入射ラインに切り替える時、入射バンプキッカーK4をオフのまま入射を再開してしまう操作ミスがあり、ビームダンプが発生した。ダンプラインからの切り替え操作時には、キッカー3台の状態をきちんと確認してから、入射を再開することとした。さらに、11日5:31と13日11:07にもビームダンプが発生したが、この原因は入射トリガータイミングのずれによるキッカー誤励磁によるものであった。5月17日12:22, 21日21:05, 24日7:04にもビームダンプ

が発生した。そのうち2回はビームダンプとともに超伝導ウィグラーがクエンチした。原因はやはり入射用キッカー電磁石の誤動作であるが、充電トリガーと放電トリガー間の時間間隔が3ミリ秒(通常19ミリ秒)と十分にとられていないため、3台のキッカー電磁石が設定電圧に到達する前に励磁され、入射バンプが閉じずにビームを蹴り落としていたと判明した。そのうち2回はアパーチャの狭い超伝導ウィグラー部でビームダンプしたことにより、クエンチが発生してしまったと想定される。トリガー間隔を監視し、さらに正常な範囲内に制限する保護回路を追加して誤動作が起きないように対策を施し、ビームダンプは再発しなくなった。立ち上げ以降入射効率が悪い状態が続いていたが、5月23日のマシン調整日に6極電磁石の強度を弱くすることで、7~8倍入射効率が改善することが判明した。入射効率が~0.08 mA/s@5 Hzから~0.24 mA/s@2Hzとなったことで、トップアップ運転時は2 Hzで、ゼロ電流か

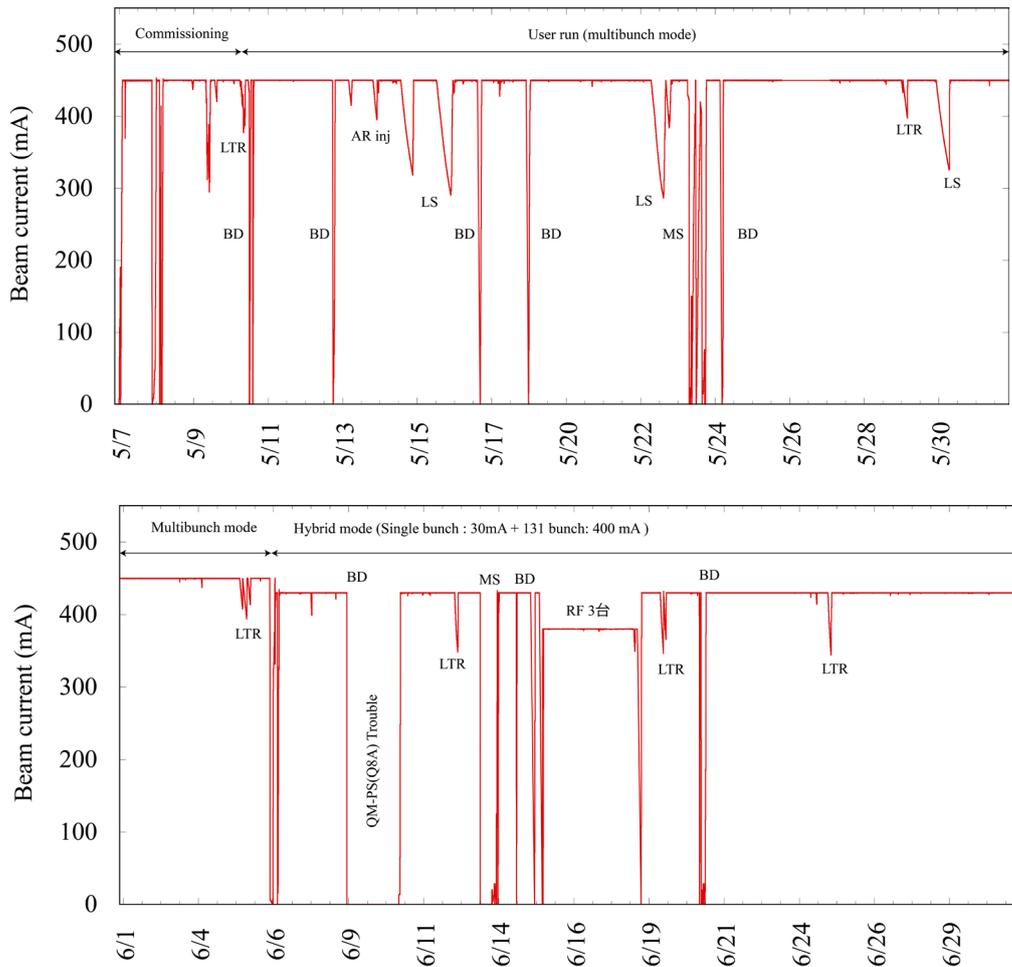


図1 PFリングにおける5月7日9:00から7月1日9:00運転停止までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器マシン調整日、LTRは入射器トラブル、AR InjはPF-AR入射時の入射中断、BDはビームダンプを示す。

ら積み上げるときは5 Hzで運用することとした。ただし、ハイブリッドモードでの運転ではこの6極電磁石のパラメータは使用できない可能性があるため、切り替え時に再度調査を行った。6月5日にハイブリッドモードに切り替える作業を行い、6月6日9:00からユーザ運転を再開した。ただし、ビーム不安定性が厳しくシングルバンチを50 mAにすることはできず30 mAに下げ、全体で430 mA（シングルバンチ：30 mA + 131バンチ：400 mA）の蓄積電流値で運転することとした。6月24日9:00から7月1日9:00までは産業利用のための運転を行った。6月の運転は、電磁石電源およびRF関連のトラブルによる運転停止やビームダンプが頻発した。6月8日22:35に4極電磁石電源（Q8A）がIGBT異常のインターロックが動作して停止し、ビームダンプが発生した。現場で電源内を確認したところ、電解コンデンサの一部が破損していたため、コンデンサの交換が必要と判断し、メーカーに来所を依頼した。翌日6月9日午前中に電解コンデンサの交換作業を行った後、通電試験を開始したが、電源内より破裂音がし、ヒューズ断及びIGBT異常で再度電源が停止した。交換した電解コンデンサの破損はみられなかったが、故障の原因はすぐには判明せず、Q8A電源の使用はできないと判断した。そこで、当日午後から、予備電源QFDに切り替え、でき

るだけ早いユーザ運転の再開を目指すこととした。電力ケーブルおよびインターロックケーブルの配線作業は、6月9日中に行い、翌6月10日9:00からAC復電、低電流での通電試験、定格電流での調整運転等を行い、予備電源で問題なく運転可能であることを確認して、復旧となった。その後、電磁石初期化、ビームの再入射を行い、18:20にユーザ運転を再開した。ちなみに、今回故障したQ8A電源は2005年製で、製造からおよそ14年経過している。これまで他の電源でもIGBT異常の故障が1年半の間に計5回発生している。今後も限定的に起きる可能性が高いため、すべての電源の電解コンデンサの交換を進めていく計画である。6月15日1:22に、今度はRF#3の高圧電源がダウンして、ビームダンプが発生した。変圧整流器2次過電流のエラーが表示されていた。同時刻にSKEKBダンピングリング（DR）のRFおよび電磁石電源もダウンしたが、RFのクローバー回路（クライストロンを放電から保護する回路）が動作したとの連絡があった。PFリングの故障とDRの故障との相関がこの段階では判明していなかったため、RFの周辺状況に異常がないことを確認し、5:02にユーザ運転を再開した。同日8:17再度RF#3がダウンした。2度目であるので安全をみてRF#3を運転から切り離し、3台で運転することとした。これに伴い、蓄積電流値

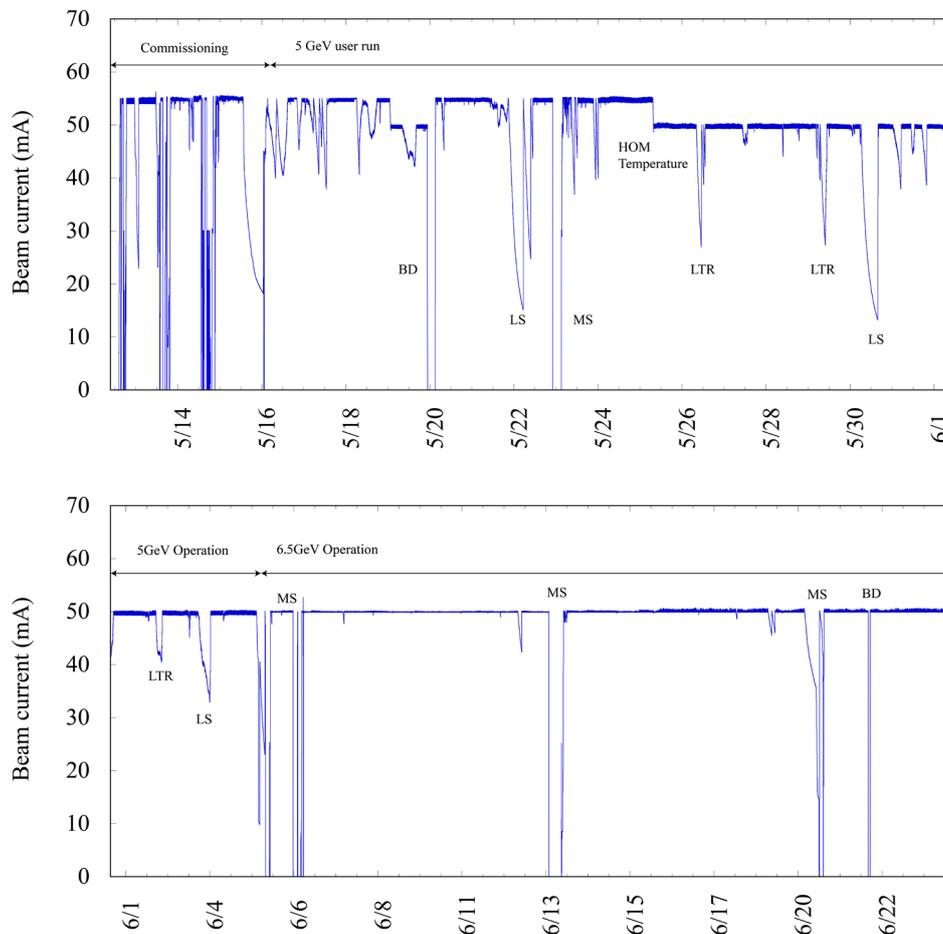


図2 PF-ARにおける5月13日9:00から6月24日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器マシン調整日、LTRは入射器トラブル、MSはリングマシン調整日、BDはビームダンプを示す。

の 380 mA に下げて運転することとした。ところが、6月18日 14:47 今度は RF#2 と #4 の高圧電源がダウンした。やはり同時刻に DR の RF クライストロンもクローバー回路が動作してダウンしていた。この時点になって、ようやく DR のこの動作により、何らかのノイズが入り込み、PF リングの RF 高圧電源に影響をおよぼしているということがわかってきた。おおよその原因が特定できたので、RF を 4 台に戻し、ユーザ運転を再開した。その後は、DR 側で対策を施したことにより、クローバー回路の動作および PF リングの RF 高圧電源のダウンは再発しなかった。PF リングにおけるユーザ運転は 7 月 1 日 9:00 に予定通り停止して、夏期の停止期間となった。

図 2 に、PF-AR の立ち上げ日 5 月 13 日 9:00 ~ 6 月 24 日 9:00 までの蓄積電流値の推移を示す。立ち上げはビームエネルギー 6.5 GeV で行った。リング電流モニター DCCT の故障があったが、LAN/GPIB 故障と判明し予備品と交換して復旧した。入射は概ね順調に進み、定格蓄積電流値 55 mA に達したものの、ビーム寿命が短いことが判明した。原因は入射キッカーが入射時以外にも励磁されていることに加えて、ビームと非同期で励磁されているためであった。対策として入射時以外には励磁しないようにすること、入射ビームと同期して励磁するようにしたことで、ビーム寿命は以前の状態に改善した。6.5 GeV でのリングの状況が安定したところで、ビームエネルギー 5 GeV での運転モードに切り替えた。5 GeV での調整も概ね順調に進んで、5 月 17 日 9:00 からの光軸確認後ユーザ運転となった。なお、PF リングと PF-AR のビーム入射間隔は、PF リングが 170 秒、PF-AR が 30 秒実施するという取り決めで、同時にトップアップ運転を行うこととした。故障関係では、以前から懸念されていた 4 極電磁石電源 QC1S の出力の変動であるが、出力電流をモニターしているデジボルで、故障しているチャンネルのノイズが電源側に戻り、電源制御回路を揺らして変動を引き起こしていることが判明した。電源からのモニター端子が絶縁されていないため、ノイズがそのまま電源に入ってしまった。別の正常な空きチャンネルを利用し出力電流をモニターするようにしたところ、変動はなくなった。夏の停止期間中に故障したデジボルの交換を行う。5 月 20 日高周波加速空洞 E-4 の HOM カプラーケーブルにおいて温度上昇がみられたため、ユーザ運転を中断してもらいケーブル交換作業を行った。なお、温度上昇に気がついてから交換作業を行う前までは、ケーブル温度の上昇を抑えるため、蓄積電流値を 55 mA から 50 mA に抑えた運転を行った。ケーブル交換後は 55 mA 運転に戻した。さらに、W-2 空洞でもやや温度上昇のある HOM ケーブルが見つかったため、5 月 23 日のマシン調整日に交換作業を行った。しばらく 55 mA でトップアップ運転を行っていたが、5 月 25 日から安全をみて蓄積電流値を 50 mA に制限した運転を行っている。今年の夏期停止期間に HOM カプラーケーブルおよそ 70 本の交換作業を実施する予定で、すでに作業を行っている。6 月 5 日から 6 日にかけて 5 GeV から 6.5 GeV へ切り替える作業を行

い、6 月 7 日 9:00 から 6.5 GeV でのユーザ運転を開始した。ただし、RF 空洞の HOM ケーブルの温度上昇に対する対応として、蓄積電流値は 50 mA に抑えての運転は継続することとした。PF-AR は 6 月 24 日 9:00 に予定通りユーザ運転を停止し、夏期の停止期間となった。

PF リング 4 極電磁石電源 2 台の更新

昨年 5 月 PF リングの立ち上げ時、電磁石の初期化を行っている最中に、リング高輝度化改造時 (1994 年 ~ 1996 年) に製造された電源に不具合あることが判明した。制御系の不具合と予想され、すぐにメーカーに連絡し調査を行ったところ、DAC/ADC モジュールの恒温槽の故障で、モジュールの内部基板が焦げ、抵抗 2 個破裂、配線も焦げているのが分かった。残念ながらこのモジュールの予備品はなく、また約 24 年前に製造された基板であるため、メーカーからは修理および代替品の製造も困難であると回答された。同時期に製造された電源が 10 台稼働中であり、同様の故障が頻発すると長期運転停止になることが想定されたため、機構長裁量経費から予算を手当てしていただいで、新規に電源 2 台を製造することとした。図 3 に新規に製造された PF 電源棟に設置された新電源と交換・保管されている旧電源の写真を示す。新電源は 3 月末に納品されたのち、設置、配線および調整作業を 4 月中に終え、無事に 5 月の運転に使用することができた。立ち上げ時から新電源は特に問題なく運転されている。しかしながら、まだ旧電源は 8 台残っており、リングの安定な運転を維持するためには、できるだけ早いうちに更新すべきである。



図 3 PF リングの新規に製造された 4 極電磁石電源 2 台 (左上) と交換され保管されている旧 4 極電磁石電源 (右下)

運営部門の紹介

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

今回は、放射光実験施設のミッションと内部組織の紹介をさせて頂きました。今回は、内部組織の1つである運営部門をご紹介します。運営部門は、放射光の利用制度（学術利用、産業利用、産学連携など）の整備と運用、放射光実験に係る安全管理、国内外の放射光・量子ビーム施設との連携を主導することを目的として設置されています。

構成メンバーは5人、船守展正実験施設長（運営部門長を暫定兼務）、兵藤一行准教授、君島堅一特別准教授、北島義典講師、宇佐美徳子講師です。放射光利用制度の整備と運用については、メンバー全員で取り組んでいます。兵藤さんがまとめ役であり、放射光共同利用実験審査委員会（PF-PAC）の委員も務めています。君島さんは産業利用などの有償利用を主務としています。北島さんは実験施設の安全関係を総括しており、利用者の皆さんの中には、「試料・化学薬品等持ち込み・使用届」への迅速な対応に助けられた方もおられるのではないかと思います。宇佐美さんは広報を担当しています。船守は他施設との連携を担当しています。

月1回の定例の部門会議には、基盤技術部門長と測定装置部門長に出席してもらい、また事務スタッフにも代表出席をお願いして、活動の方向性の確認と意見交換を行っています。運営部門は、なかなか個性の強い、けれどもそれぞれの方向に才能のあるメンバー揃いですので、今後2年程度の期間で、後述のPF-PACでの重要事項の審議を経て、幾つもの改革を断行できるのではないかと期待しています。今年度から新組織になり、研究上の直接的な業績ではない、運営部門が担当するような職務上の活躍も正当に評価されるようになったことは、とても良かったと思っています。

今回は、放射光実験施設で最大の人数が所属する基盤技術部門を紹介させて頂こうと考えています。

運転・共同利用関係

PFおよびPF-ARの2019年度第1期の運転は、ほぼ予定通りに行われました。「ほぼ予定通り」としたのは、6月8日夜から6月10日夕方まで、電磁石電源の故障により、PFの運転が停止したためです。また、ビームダンプがやや多く起った期間もありました。そうした期間にビームタイムが配分されていた方々にはご迷惑をお掛けしました。PFは5月7日から7月1日まで、その内、6月7日以降の4週間はハイブリッドモードで運転を実施しました。PF-ARは5月13日から6月24日までの運転でした。PFが通常モードで運転した期間は5 GeVで、ハイブリッドモードで運転した期間は6.5 GeVで、それぞれ運転しま

した。これは、PF-ARの5 GeV運転の際には、現状のハードウェアではPFとの数分毎の入射切替が必要となり、PFのハイブリッドモード（寿命の短い孤立バンチの電荷量）への影響が大きいからです。なお、PFの最後の1週間は、昨年度と同様に産業利用促進運転期間としました。

2019年度第2期の運転は、PFは10月17日から、PF-ARは10月23日から、ともに12月12日までの予定です。第2期もPFの通常モードとPF-ARの5 GeVの組み合わせで開始して、PFは11月22日にハイブリッドモードに、PF-ARは11月13日に6.5 GeVに切り替えます。PF-ARの第3期の運転は、実施できるとしても短期間になることが想定されるため、5 GeVでの運転のみとする予定です。そのことを考慮して、年間の6.5 GeVと5 GeVの運転が半々程度となるような第2期のスケジュールとしました。

7月25日にはPF-PACが開催され、課題の評点と採否が審議されました。また、PACの開催は、慣例として、7月と翌1月の年2回となっていました。利用プログラムとその運用方法の見直しなど、課題審査以外の重要事項の審議のため、2019～2020年度については、年4回の開催とすることに決まりました。詳細については、本誌PAC速報をご参照ください。

フォトンファクトリー新体制発足記念講演会 ～ PF REBORN 2019 ～

7月20日に開催された記念講演会には111名の参加がありました。来賓挨拶や機構長挨拶にも、REBORNや第二黎明期という文言が登場するなど、今後のPFへの期待と激励に、実験施設長としての責任の重大さを改めて感じています。

はじめに

先号でもお知らせしましたが、今後、放射光科学第一，第二研究系の現状は、第一系の主幹の雨宮健太主幹と、第二系の主幹の私で交互に執筆することになりました。今回は、私の番ということで、放射光科学第二系の概要を紹介させていただきます。今年度の改組により第二研究系は、材料科学研究部門と構造生物学研究部門の2つの部門から構成されることになりました。材料科学研究部門は、木村正雄教授が、そして構造生物学研究部門は、私、千田俊哉が部門長を務めています。いずれの分野も基礎と応用が近い分野ですが、基礎的なことを大切に研究を進めていきたいと考えています。

放射光科学第二研究系の紹介

材料科学研究部門においては、人々の生活を豊かにする材料創製やプロセス開発に資するサイエンスを目指し、物構研のメンバーはもちろん、国内外の産官学のユーザーと連携して研究を進めていきます。現在は特に、材料機能の発現/劣化の“trigger sites”を特定する先端計測の研究と整備を戦略的イノベーション創造プログラム（革新的構造材料）や新学術領域（水惑星学の創成）等のサポートを受け推進しています。具体的なテーマは、(a) multi-scale & multi-modal のX線顕微鏡（STXM, XAFS-CT, XAS/XRD/XF-mapping, X-CT等）を活用した材料機能可視化、(b) multi-range の時分割計測（Dynamic XRD, D-XAFS等）を活用した化学反応/プロセスのメカニズム解明、(c) 触媒、エネルギー材料、地球惑星環境物質、有機材料、磁性材料、構造材料の“trigger sites”を特定する研究開発です。現在、外部資金を得て整備されてきた計測機器もほとんど完成し、今後はこれらの機器を産官学に広く公開して、様々な共同研究を推進していくフェーズに入っています。これまでも多くの大学や企業との共同研究を進めてきており、是非とも材料科学における面白い現象を皆様と共に掘り下げていきたいと考えています。

構造生物学研究部門においては、構造生物学的手法を主として用いた生物学研究を行っています。X線結晶構造解析やX線小角散乱、約一年前に導入されたクライオ電子顕微鏡による生体高分子の高次構造解析に、生化学や分子生物学を組み合わせて生命現象の基礎である生体高分子がどのように機能しているのかを解析していくことが中心になりますが、そこにとどまることなく、分子レベルのツールや阻害剤などの開発を基盤に、他の生物学分野（例えば、OMICS解析分野、バイオインフォマティクス分野）との幅広い共同研究を積極的に推進していきます。そして、生命とは何か（What is life?）を意識しながら新しいコンセプトを生み出す研究をしていきたいと考えています。現在、

部門内で行われている主たる研究テーマとしては、(a)GTP代謝と疾病、(b)転写とエピジェネティクス、(c)感染症、(d)糖代謝と疾病、(e)酸化還元関連酵素、などがあります。これらの生物学研究に加え、全自動X線結晶構造解析に向けた解析用装置やソフトウェア開発も行なっています。これらの研究は創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業（創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム、BINDS）や科研費など外部の資金によってサポートされています。また、企業との共同研究や企業研究者に対する技術指導も活発に行われています。なお、今回の改組により、構造生物学研究センターは、構造生物学研究部門と放射光実験施設に属している構造生物分野の研究者によって組織されることになりました。

このように、2つの部門からなる第二研究系ですが、部門間の連携も意識していきたいと考えています。例えば、データ解析手法や自動化、生物無機化学分野における基本的な実験手法であるXAFSなどに関しては、部門間の連携が有効だと考えています。第二研究系においては、基礎から応用に至るまで幅広い研究を推進しています。一緒に研究を行いたいという研究者の方がいれば、気軽に声をかけていただければと思います。

人事異動

最後に、放射光科学第一，第二研究系に関する人事異動を報告します。構造生物学研究センターにおいて、クライオ電子顕微鏡などの導入に尽力された特任准教授の湯本史明さんが6月末で転出されました。新しい職場での活躍を期待します。

はじめに

低速陽電子実験施設 (Slow Positron Facility, SPF) は、これまで、電子陽電子入射器棟にある実験スペースの名称でしたが、2019年4月1日より、放射光実験施設、放射光科学第一研究系、放射光科学第二研究系、中性子科学研究系、ミュオン科学研究系と並ぶ物質構造科学研究所 (物構研) の正式な組織になりました。実験施設長は小杉信博物構研所長 (兼任) です。

本実験施設は、物構研の量子ビーム4本柱 (放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子) の一翼を担って独自の研究やマルチビーム研究を推進します。とはいえ、未だ極めて小さな所帯ですので、他の3ビームのような独自の共同利用システムは持っていません。これまで通り、物構研つくばキャンパスの共同利用のシステムである、放射光共同利用実験審査委員会の下で、放射光共同利用の一環として課題の募集や審査が行われます。

従って、現状報告も、Photon Factory News (本誌) をお借りして、毎年1回 (来年度からは原則 No. 1号に) 掲載することになりました。今回は第1回なので、基盤的情報をお伝えします。

低速陽電子実験施設の紹介

メンバーは、小杉実験施設長 (兼任)、永井がクロスアポイントメント教授 (東北大80%, KEK20%), 望月出海助教の3人です。長嶋泰之東京理科大学に客員教授、兵頭俊夫東京大学名誉教授にダイヤモンドフェロー、一宮彪彦名古屋大学名誉教授に協力研究員としてご協力いただいています。

SPFのステーションは、電子陽電子入射器棟の地階のテストホールと1階のクライストロンギャラリー実験室にあります。p.79の「低速陽電子実験施設平面図」をご覧ください。テストホールは幅約10m (部分的には5m)、長さ約60mの細長い部屋で、現在はその北側30mの領域を加速器・ビームラインと測定スペースとして使っています。加速器は他の加速器とは完全に独立の、テストリニアックと呼ばれる専用リニアックです。電子は北に向かって50 MeVまで加速され、壁際にある低速陽電子生成部のTaのターゲットに当てられます。そのとき起きる電子・陽電子対生成から陽電子を得ます。それを直ちに負の陽電子仕事関数をもつWの薄膜を用いて3 eVのエネルギーのそろった低速陽電子として取り出し、さらにその場で実験のニーズに応じて35 keVまでの任意のエネルギーに静電加速します。そのようにして得られたエネルギー可変低速陽電子ビームを、同じ実験室の測定スペースに磁場輸送しています。さらに、天井を貫いて地上階のクライストロンギャラリー実験室にも輸送しています。

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

SPF-A3は全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) ステーションです。ここでは、触媒表面の原子配列の決定や、グラフェン、シリセン、ゲルマネンなどの単原子層物質の基板との距離やバックリングの詳細を解明してきました。陽電子を初めて利用するグループによる表面の構造解析の共同利用が複数、2016年に開始されましたが、それらのグループの成果が出始めています。また、最適原子配列の大域探索をまず行い、候補領域について局所探索を行うという、モデルフリー解析の標準化を進めています。さらに、視射角を変えてプローブ深さを調節しつつ回折スポットの強度を方位角の関数として測定するTRHEPD方位角プロット法も開発中です。

SPF-A4は低速陽電子回折 (LEPD) ステーションです。ここでは加速器ベースLEPD装置が完成し、初めての回折パターンを得ました。その後間もなく2018年にLEPD関連のユーザーの科研費が採択されて次のステップに進めるようになり、静電レンズの改良とDLD検出器のHEX-DLDへのグレードアップを開始しました。

SPF-B1はユーザーがチェンバーを持ち込む汎用ステーションです。最近まで、東理大長嶋泰之研究室のポジトロニウム負イオン (Ps^-) の実験に用いられていましたが、現在は東大浅井祥二研究室のポジトロニウム (Ps) のボース・アインシュタイン凝縮の実現に必要なレーザー冷却の実験が行われています。

SPF-B2はポジトロニウム飛行時間法 (Ps -TOF) ステーションです。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。

運転・共同利用関係

低速陽電子生成部に入射する電子を加速するテストリニアックの運転は加速器研究施設の第5研究系に担当していただいています。陽電子生成ターゲットにおける電子・陽電子対生成以降の、低速陽電子生成、ビーム輸送、4つのステーションの管理はすべて我々低速陽電子実験施設で維持・管理しています。毎年夏期停止期間には生成ターゲット部のシールドを開け、冷却水システム、ターゲット電位安定化のためのコンデンサー、配線などのチェックや交換を加速器第5研究系と協力して行っています。

最初に述べたように、共同利用の課題募集、審査、ビームタイム設定などはPFの共同利用システムの中で行っています。ユーザーの方々は、SPFの4ステーションを形式的にPFのステーションと区別せずに認識していただければ手続きなどがわかりやすいと思います。異なるのは実験

ホールの所在だけです。

その他

各ビームライン分岐ステーションでは、様々な研究者が in situ で試料を作製して実験を行います。本施設の測定チェンバーの試料作製／評価環境は各研究室のものと異なるため、様々な困難があります。これを少しでも緩和するために、物構研所内公募研究費に採択された資金と他の外部資金を用いて、汎用の試料チェンバーの製作を開始しています。

日本陽電子科学会は、日本学術会議の学術大型研究計画2020に低速陽電子研究施設計画を提出しました。計画実現に本施設が中核的な役割を果たすことが期待されています。