

今後、ときどきですが、「物構研だより」という所長報告をさせていただくことにしました。よろしくお祈いします。今回は2件、ご報告します。

最初の報告は、つくばキャンパスにおける組織の見直しの件です。機構化の際に KEK の組織としての定義が消えてしまった放射光の実験施設（及び実験施設長）の定義の検討を進めています。併せて、所内措置で定員（現在は助教1名のみ）を配置できるようになった低速陽電子実験施設の定義も進めています。これまでは放射光科学の二つの研究系（第一研究系、第二研究系）が放射光と低速陽電子の実験施設の運営に関わる形をとってきましたが、検討を進めた結果、最終案として、物構研の下に研究系と実験施設を並列に置く形にしようとしています。中性子、ミュオンの研究系では定員上、教授5名、2名だけで組織されていますが、放射光には教授15名の枠があり、定員内で研究系から実験施設に人を動かして組織化することは可能です。組織の定義については機構レベルでの承認が必要ですので、少し時間がかかっていますが、年度内には確定する見込みです。なお、すでに船守教授を実験施設長にすることで所内合意を得ており（運営会議で正式決定される）、現在、船守教授を含む執行部で各種規則の整備や所員の配置についていろいろ準備をしているところです。

なお、物構研には加速器の部門はありませんので、物構研単独で PF を運営できないのは、皆さん、ご承知の通りです。また、東海キャンパスの J-PARC に置かれた物構研の中性子とミュオンの施設も MLF（物質・生命科学実験施設）そのものではありません。PF は KEK の加速器研究施設と一体的な連携を取りながら、MLF は日本原子力研究開発機構と一体的な連携を取りながら、共同利用・共用を進めていくことになっています。後者は KEK 内の話ではないので、一体的な連携及び役割分担については未だに模索中ですが、物構研としては、世界が羨む、複数の量子ビームそれぞれの特徴を引き出して行うマルチプローブ研究を推進すべく、PF、MLF、SPF（低速陽電子実験施設）の一体的な研究環境構築を目指しています。

つくばキャンパスでの改組計画は形だけの問題ではありません。もっと重要なことを含んでいます。中性子、ミュオンでは教授に欠員がなくサイズのにも全く余裕がないのに対し、放射光では現在、半数近くが空いている状態になっています。研究系と実験施設の目指す方向を定め、その上で空き定員に対して適確な人事を進め、それぞれの機能を最大化していくことが、この組織の見直しで最も重要なことです。改組の方向性が固まり次第、順次、教授人事等を進めていく予定です。教授には各研究分野（実験施設の場合は基盤技術や測定手法の開発・応用を含む）を先導していく顔になっていただくことを期待しております。

つぎの報告は、量子科学技術研究開発機構（以下、QST）が国の主体として全責任を持って進めることになっ

た次世代放射光施設（軟X線向け高輝度3 GeV 級放射光源）の件です。QST（官）に対する民地域パートナーが、一般財団法人光科学イノベーションセンターを代表機関とする、同財団、宮城県、仙台市、国立大学法人東北大学、及び一般社団法人東北経済連合会、に正式決定しました。建設地も決まりましたので、今後は、東北放射光施設（SLiT-J）と広く呼ばれるようになるでしょう。官と民地域パートナーのそれぞれの役割分担は決まっておりますので、急ピッチでそれぞれの予算と人材の確保が行われるものと期待しています。

なお、東北放射光施設計画におけるビームラインの役割分担の詳細はまだ、固まっていません。パートナー側においては、産業界への貢献の緊急度が高いため、学術的な面で世界最高性能を目指すような最先端ビームラインについては優先順位が下がるものと考えられます。パートナー側で足りない部分については全体責任のある QST が補う必要がありますが、すべてを担当するだけの陣容が短期的には揃っていません。文部科学省側の担当部署である量子研究推進室からは、物構研が学界をまとめながら協力するようにとの期待があります。そのため、現在、計画全体に責任を持つ QST と物構研の協力内容と体制を検討しはじめているところです。

東北放射光施設が稼働を始める予定の5年後には、日本は9放射光施設10リング型光源（PFとPF-ARを1施設として）の体制になります。これまで日本では学術向き、産業向き、教育向きというような分類で放射光施設を考えてきた結果、各施設では性能的に多少無理をしたビームラインも建設してきました。ただし、現在では、教育向きとか産業向きとか言っても、先端的なビームラインの利用が必須です。10リング体制がいつまで続くのかわかりませんが、光源性能（輝度、ビームサイズなど）やカバーするエネルギー領域はそれぞれの施設で得意とするところがありますので、今後は各施設の特性を最大限活かした特徴ある（他にないような）ビームラインを利用者が使い分けていく時代になると考えられます。東北放射光施設の光源性能はある意味では非常に優れていますが、却って使いにくくなる手法や分野もあります。万能ではありません。そのことも頭に入れながら、人事を進め、PFやPF-ARのビームラインの重点化や光源加速器の高度化を進めていく必要があります。

以上、物構研を巡る内外の動きについてのご理解、ご支援をよろしくお祈いします。

## 入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗  
(2018年8月16日付け)

## 概要

SuperKEKB のコミッションング運転においては、ルミノシティ向上と Belle II バックグラウンドの理解への道筋を探すという、フェーズ2・コミッションングの所期の目標が、7月17日までの運転期間中に達成され、フェーズ2は今期で終えることとなった。SuperKEKB の次期の運転は、フェーズ3・コミッションングとして、Belle II 検出器に崩壊点位置検出器 (VXD) のピクセル検出器 (PXD) とストリップ型シリコン検出器 (SVD) を追加設置するなど、改造を行った後の年明けの2月末頃となる。フェーズ2について、入射器からもほぼ予定されたビーム品質の入射を達成することができ、ダンピング・リングとのビームの受け渡しや、各種新規増設機器の性能確認も進めることができた。今後は、最終仕様の入射電子陽電子ビームの実現を目指し、徐々にビーム品質を向上させることになる。

放射光施設への電子入射についても、PF-AR は6月29日、PF は7月6日まで順調に入射運転が行われた。今期は、PF-AR 向けの5 GeV の電子入射の試験が初めて行われ、来年には5 GeV のユーザー実験向け運転を行うことにより、電力消費量の削減が可能になると期待されている。

秋の運転期間にはフェーズ3向けの改造工事のために SuperKEKB 向けの入射は行われず、放射光施設向けの入射が予定されている。PF-AR 向け5 GeV 電子ビームの開発とともに、入射器においては、同時入射機構を利用した入射器のビーム開発が行われる。フェーズ3・コミッションング以前に解決すべき課題も多いため、特にビームの低エミッタンス化と安定化を図るために、さまざまな試験・検討が進められる予定である。

## パルス電磁石の運用

放射光科学実験とBファクトリ電子陽電子衝突実験とを同時に行うために、入射器は、PF と PF-AR の2つの放射光蓄積リングと HER (電子リング) と LER (陽電子リング) の2つの SuperKEKB 蓄積衝突リングとの4蓄積リングへ同時入射を求められている。SuperKEKB 計画における衝突性能を向上させるために、入射する電子陽電子ビームについて大きな電流が求められるとともに、横方向のビーム拡がりや進行方向のエネルギー分散が厳しく制限される。そのために、それぞれの蓄積リングの入射ビーム軌道についても、600 m にわたって約 100  $\mu\text{m}$  という高い精度の制御が必要となる。つまり、入射器にさまざまなパルス毎の動作が可能な装置を導入し、1秒間に50回動作を切り換えることによって、品質の高い大電流の電子陽電子ビームを4蓄積リングに同時入射することが重要となる。

特に、入射器の後半部においては入射先によって2.5 GeV から7 GeV とエネルギーの差が大きくなるために、パルス電磁石を増設して、ビーム光学条件とビーム軌道を入射対象リング毎に正確に制御管理する必要がある。そこで、2017年の夏に50 Hz (20 ミリ秒) で動作を切り換えることが可能なパルス収束電磁石電源を30台、パルス軌道補正電磁石を34台増設した。

パルス電源自体は高強度レーザー向けに内製開発していたものの実績があるが、電磁石コイルのインダクタンス負荷に対応し、さらに入射器の商用電源の大幅な増強を避けるために、負荷からの電力回収を行う必要があり、挑戦的な計画となった。また、装置の詳細設計や図面作成をできるだけ部内で行った。電源回路の設計においては、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子2個によりエネルギー回収用コンデンサと負荷電磁石との間の電流制御を行っている。

また、高い精度のパルス動作のために、正確にビームの3ミリ秒前にタイミング信号が必要となり、パルス毎に異なる電磁石励磁の情報も必要なために、全ての筐体に広域同期イベント制御・タイミング信号発生機構が組み込まれている。それぞれの蓄積リングは地下深度が異なるために、気圧・潮汐・温度による周長の変化を独立のクロック周波数の連続補正によって吸収している。入射器と SuperKEKB リングとは元々30ピコ秒の高い同期精度を実現するため、設計上入射器と完全同期したクロックで動作しており、高精度の3ミリ秒遅延信号の生成は容易である。ところが、同期しないクロックで動作する PF・PF-AR の周長補正の年較差・日較差の大きさは SuperKEKB の数十倍にもなり、3ミリ秒前にパルス電磁石向けの信号を発生した上で、約300ピコ秒精度で同期したビーム入射信号を発生するためには、予測制御の慎重な調整管理が重要になる。このような同期制御系は期待した通りに動作し、図1のように1ヶ月間では0.05%、1日では0.01%の安定度が得られており、仕様を充分満足している。

運用が始まったパルス電磁石機構について、電力回収の実測が行われた。1台の収束電磁石 (1 mH) に50 Hz 300 A の通電を行うとすると、収束電磁石のコイルに供給される電力が2250 W、コイルでのジュール発熱が76 W、配電ケーブルでのジュール発熱が303 W、となり、合計2629 W が供給されることになる。ところで、このような運用を行っている時に、この電源機構に供給された商用電力を電力計で測定すると827 W しか供給されていない。つまり、電磁石コイルに一度供給された電力が電源装置のコンデンサに回収され、次のパルスに再利用されている。

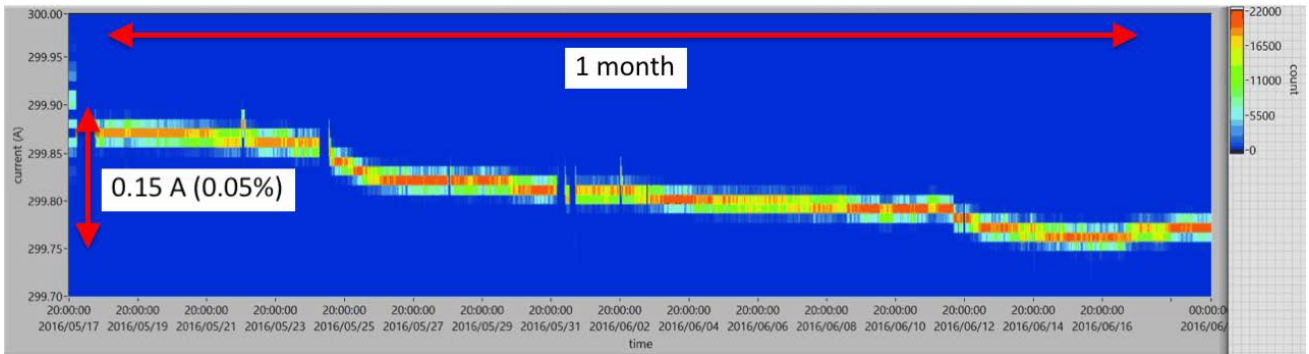


図1 パルス収束電磁石電源の1ヶ月間 50 Hz 連続試験結果の例。24時間の安定度は0.01%以下。

結果として、電力供給効率は317%、逆に電力回収効率は68.5%となる。IGBTのアナログ・フィードバック制御により、高安定（24時間安定性0.01%）で高電力回収効率（68.5%）の機構が構築できたことになる。なお、この効率の数値は、電源のうち、交流電力から直流電力に変換する直流電源の損失も含めた数値で、電力回収機構だけの効率では80%を超えと考えられる。

このようなパルス電磁石システムの開発によって、電力を回収しながら、放射光実験とSuperKEKB素粒子実験との間の干渉を最小限とする目処が付いたと考えており、この秋までに、上流部におけるパルス電磁石の増設を予定している。

ほとんどの新規のパルス電磁石については、新しく設計した架台に図2のように2台ずつのパルス収束電磁石とパルス軌道補正電磁石を乗せて設置された。この新しい架台は、SuperKEKBの本格稼働となるフェーズ3コミッションing運転に向けた、精度の高いアライメントに対応できるように工夫されており、ビームによるアライメント測定と架台の遠隔調整の組み合わせにより性能を発揮すると期待されている。

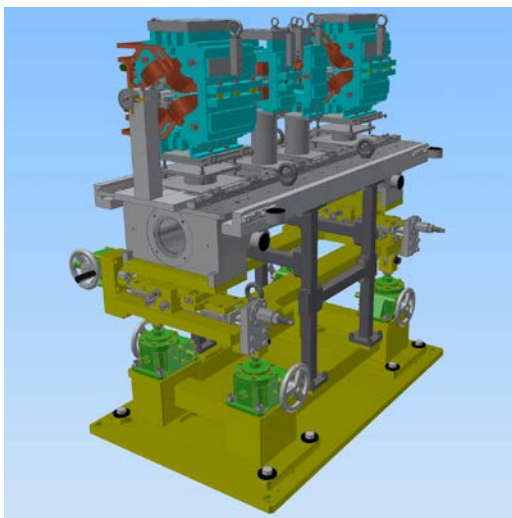


図2 パルス電磁石とその架台。高精度のアライメントを実現するための工夫が施されている。

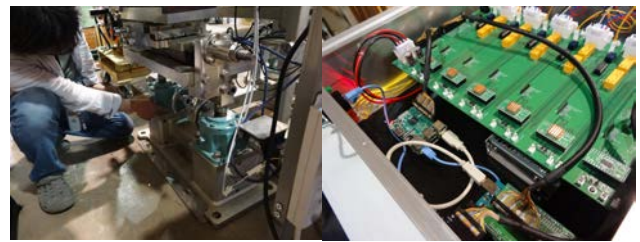


図3 収束電磁石の架台の駆動機構の開発。昨年設置した架台にモータを追加し、制御機構を接続する。

例えばこの図3の写真は、昨年度設置した電磁石の架台の駆動機構を遠隔制御にするための開発で、ステッピング・モータと制御機構を追加して、500 kg程度の重量について、1  $\mu\text{m}$ 程度の位置調整を可能とする。低エミッタンスのビームを完成するためには、600 mにわたる、収束電磁石と加速管のアライメントは大変重要となるため、さまざまな検討、測定、開発を進めてきた。この追加遠隔駆動機構は、秋までに運用機器に組み込み、ビームを用いた試験を開始したいと考えている。

### 昨年度の入射器運転統計

入射器の2017年度の運転統計によると、総運転時間は4636時間であった（表1）。このうち、故障時間は173時間と大きな時間になっているが、実際に入射を要求されていたにも関わらず入射ができなかった故障時間（ビームロス）は29時間である。割合にすると、故障率は3.73%、ビームロス率は0.62%となる。この上昇は、SuperKEKB向けの試験運転が本格化してきた際の新しい機器やソフトウェアの調整不足、特に2月に初めて運転を開始したダンピング・リングとのタイミング同期機構関連の障害が多い。ビームロスが故障に比べて6分の1程度であるので、入射が要求されていない時間帯に、適切に故障修理が行われたと考えることもできる。しかし、今年度は同時入射を基本とする入射運転に移行するため、運転時間内の障害対応は困難になる。また、引き続き多数の新規装置が稼働を始めるため、KEKBの運転開始時の故障率上昇と比較しながら注視しているところである。

表1 近年の入射器の運転統計

	運転時間	運転達成 時間	延故障時間		延故障回数		平均故障間隔 時間 (MTBF)		平均故障時間 (MTL)		故障率	ビーム ロス	ビーム ロス率
			故障	Trip	故障	Trip	故障	Trip	故障	Trip			
	x (時間)	y (時間)	x-y (時間)	z		x/z (分)		(x-y)/z (分)		故障/x (%)	(時間)	(%)	
1999年度	7,297	6,499	537	261	1,888	69,994	232	6	17	0.22	7.36	74	1.01
2000年度	7,203	6,577	466	160	2,401	39,380	180	11	12	0.24	6.47	54	0.76
2001年度	7,239	6,839	310	90	1,304	21,420	333	20	14	0.25	4.28	22	0.31
2002年度	7,086	6,813	205	68	1,424	17,372	299	24	9	0.23	2.89	23	0.32
2003年度	6,815	6,500	253	62	2,259	17,462	181	23	7	0.21	3.71	27	0.40
2004年度	7,117	6,936	129	52	2,323	12,956	184	33	3	0.24	1.81	39	0.55
2005年度	6,988	6,846	86	56	1,752	12,467	239	34	3	0.27	1.23	17	0.25
2006年度	6,927	6,777	95	55	1,665	13,064	250	32	3	0.25	1.37	22	0.32
2007年度	6,322	6,148	120	54	1,914	12,684	198	30	4	0.26	1.90	24	0.38
2008年度	6,556	6,390	117	49	1,536	11,228	256	35	5	0.26	1.78	35	0.53
2009年度	6,362	6,193	108	61	1,316	13,443	290	28	5	0.27	1.70	34	0.53
2010年度	5,847	5,721	89	37	1,027	8,079	342	43	5	0.27	1.52	15	0.26
2011年度	5,492	5,301	58	133	766	38,258	430	9	5	0.21	1.06	4	0.07
2012年度	5,331	5,191	69	71	859	14,893	372	21	5	0.29	1.29	8	0.15
2013年度	5,315	5,172	23	120	1,127	22,135	283	14	1	0.33	0.43	2	0.04
2014年度	3,448	3,235	31	182	1,243	30,583	166	7	1	0.36	0.90	7	0.20
2015年度	5,296	5,087	93	116	1,437	21,042	221	15	4	0.33	1.76	17	0.32
2016年度	4,733	4,562	101	70	1,986	12,481	143	23	3	0.34	2.13	15	0.32
2017年度	4,636	4,387	173	76	1,606	15,954	173	17	6	0.29	3.74	29	0.62

光源リングの運転状況

図1に、5月7日9:00～7月6日9:00までの約2ヶ月間の蓄積電流値の推移を示す。PFリングは、連休明け5月7日9:00に立ち上げを開始した。5月7日9:50頃リング電磁石の初期化を行っている最中に、6極電磁石電源(SFD)に不具合が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、午後から調査を行うこととした。午前中は入射路調整を行い、SFD電源無しでのビーム入射を試みたが、蓄積することはできなかった。メーカーの調査の結果、DAC/ADCモジュールの恒温槽の故障と判明した。図2に示すように、モジュールの内部基板は焦げ、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、メーカー側の見解ではすぐに修理することは困難ということであった。幸いなことに、J-PARCハドロングループ(素核研)で同様の電源が使用されているということで問い合わせたところ、故障したモジュールの予備品があるとのことで、借用させ

ていただけることになった。その予備品のおかげで、電源は無事に動作することができ、その後のビーム調整は順調に行われた。PFリングは、5月11日9:00から光軸確認が行われた後、ユーザ運転を再開した。6月1日9:00から6日間はハイブリッドモードでのトップアップ運転が行われた。ハイブリッド運転の蓄積電流値については、昨年11月の運転と同じ蓄積電流値(マルチバンチ400mAとシングルバンチ50mA)ではVW#14付近の真空が悪化したため、シングルバンチの電流値を30mAに下げて運転した。

今期は、上述した電磁石電源のトラブル以外にも、老朽化に起因すると思われる電磁石電源のトラブルが5件発生した。まず1件目は、ビームダンプにはならなかったものの、5月15日7:59に入射路の偏向電磁石電源BTBMがダウンし、チャンネルクローズになったトラブルであった。制御系の異常であったが、ブレーカーON/OFFを行ったところ復旧し、10:03にチャンネルをオープンした。同様の現象が5月27日3:34に発生した。4:12にリングのモードを入射モードから蓄積モードに変更してチャンネルパー

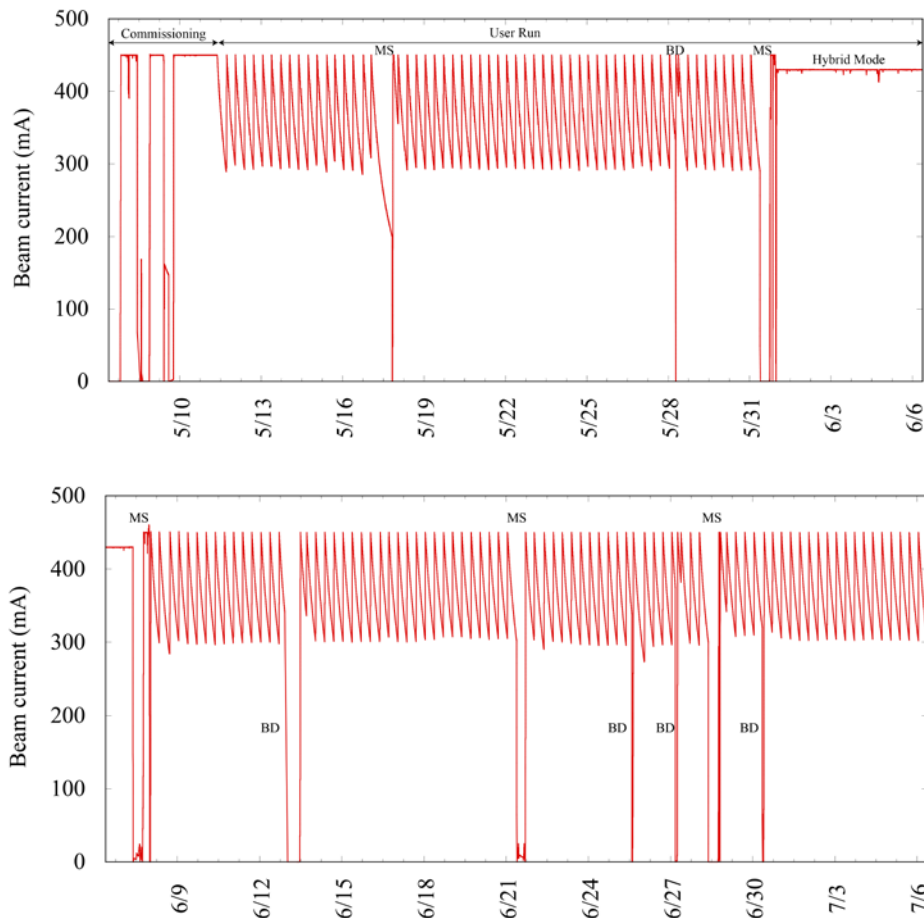


図1 PFリングにおける5月7日9:00～7月6日9:00までの蓄積電流値の推移。MSはマシン調整、BDはビームダンプを示す。



図2 PFリング立ち上げの5月7日に故障したSFD(6極電磁石: 1994年製造)電源。上右図の黒いダイヤルが3つについているモジュールが故障したモジュールで、下図がモジュール内部の基板。内部基板は焦げ、抵抗2個破裂、配線も焦げているのが分かった。

ミットを行い、ユーザ運転はすぐに再開した。制御系異常を起こしたPLCが特定されたため、予備PLCと交換し、9:00にモード切り替えのためにチャンネルをクローズした時に、BTBMの初期化を実施した。その後9:07にチャンネルパーミットを行い、通常の手順通り積み上げ入射を行って、ユーザ運転となった。2件目のトラブルによるビームダンプは、6月12日22:04に4極電磁石電源(Q9B)がIGBT故障のアラームでダウンしたことによる。電磁石電源盤内のコンデンサが破損して、基板上に液が漏れていた。夜間の交換作業は困難と判断し、翌朝メーカーを呼んで、予備のコンデンサとの交換作業を行った。約2時間程度の作業で交換は完了し、電源の再立ち上げ後11:49にユーザ運転を再開した。3件目は6月25日14:05、同じく4極電磁石電源(Q5A)がIGBT故障のアラームでダウンしたことによるものであった。電源盤内を調査したが、内部に異常は見られなかった。この電源は3月11日にも同様な現象が起って、メーカーで調査をおこなったものの、特に異常は確認されなかった。今回が2度目のトラブルであった。故障リセットで特に問題なく復旧し、15:29にユーザ運転再開となった。4件目も3件目と同じようなトラブルであるが、6月27日4:16今度は4極電磁石電源(Q6A)がIGBT故障でダウンしたことによるビームダンプであった。この故障時も特段の異常は見られず、Q5Aの対応と同様に故障リセットで復旧し、6:16にユーザ運転を再開した。これら、Q5A、Q6A、Q9BはPFリング直線部改造時に製作された電源で、製造から約14年が経過している。5件目の故障は、6月30日8:10に発生した。やはり4極電磁石電源であるが、QDと呼んでいる電源で、出力電流値480Aに対して±10A程度で電流が変動し、ビームダンプとなった。この電源はPFリング高輝度化時に製作されたもので、上記3つの電源よりもさらに古く製造から24年以上経過している。調査の結果、電源内部に異常は見ら

れなかったもので、再立ち上げを行ったが、その立ち上げ完了直後のビーム入射中に変動が再発してビームが削れたため、応急処置として電源扉を開けて内部をファンで空冷することにした。その結果、変動はなくなり電流値が安定したことから、10:00にユーザーランを再開した。応急処置後からは電流変動の再発はなかった。PFリングは、7月6日9:00で運転を停止し、夏の停止期間となった。老朽化に起因した電磁石電源のトラブルに関しては、コンデンサ全数交換および新規電源製作等も視野に入れて対策を進めている。

図3に、PF-ARにおける5月14日9:00～6月29日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。PF-ARは、5月14日9:00から立ち上げおよびリングの調整を行って、予定通り5月17日9:00から光軸確認を行い、ユーザ運転を再開した。PF-ARでは、RF関連の老朽化に起因するトラブルおよび寿命急落による再入射が頻発した。RFに関わるトラブルの1件目は、5月19日の1:49に発生した。PF-AR東電源棟にあるクライストロン用高圧電源がインターロック動作で停止し、ビームダンプした。担当者が来所して調査を行い、故障個所の基板を交換して復旧した。深夜における、過去に経験のない箇所での故障であったため、復旧までやや時間を要した。2件目は、5月28日の1:39にRF空洞の高次モード引き出し用ケーブル(HOMケーブル)の温度インターロックでRFがダウンし、ビームダンプとなったトラブルであった。温度スイッチをリセットし、さらに蓄積ビームの電流値を50mAに下げて運転を開始したが、4:20に再発した。そのため、HOMケーブルの交換が必要と判断し、9:00からケーブルの交換作業を行った。このトラブルについては、詳細を後述する。6月6日～12日の期間、ビーム寿命急落による再入射が4回発生した。6月12日以降に起こったビーム寿命急落は、アンジュレータNW14-2のギャップを最小の8mmにしたことによる。6月14日のマシン調整日にこの現象を調査したところ、垂直方向のビーム軌道がNW14-2の場所で下側に寄っていることが分かり、蓄積電流値や他のビームラインのギャップの変更等のビームの条件が変わることによってビームが削れてしまうことによるものと判断した。6月18日未明にNW14-2のギャップが40mmまで開いたことでビーム寿命が長くなり安定した。後日6月21日にも調査を行ったところ、垂直方向のベータトロンチューンを変えると寿命が変わることが判明した。NW14-2のギャップを8mmまで閉めてもビーム寿命が減少しないチューンを見つけたが、ビーム寿命の変化の様子が変わった(図4)。ベータトロンチューンとビーム寿命の依存性を理解するため今後も調査を続ける予定である。6月11日10:06にRF HOMケーブルの温度上昇の報告があり、安全をみて17:00の入射から蓄積電流値を50mAまで下げて運転することとした。6月14日のマシン調整日にそのHOMケーブルを予備のケーブルと交換し、6月15日0:30から蓄積電流値を60mAに戻して運転した。今回は温度が上昇し始めたところで交換したため、若干黒く変色していた程度

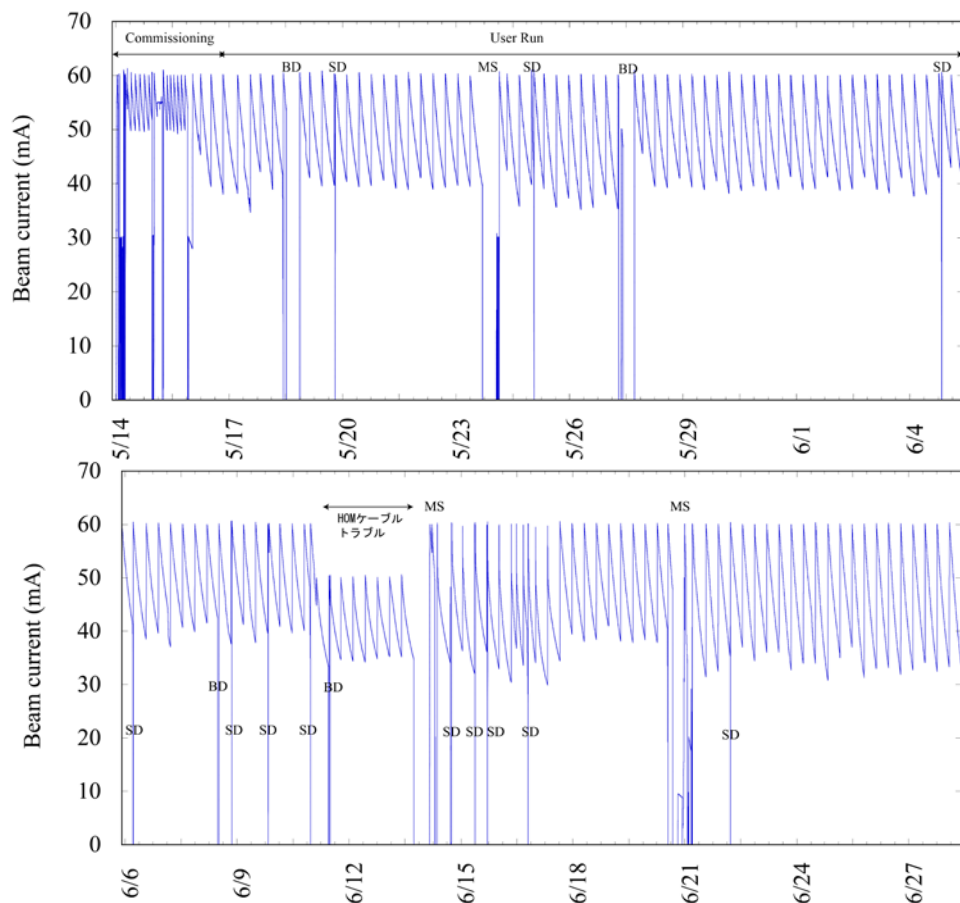


図3 PF-ARにおける5月14日9:00～6月29日9:00までの蓄積電流値の推移。MSはマシン調整、BDはビームダンプ、SDは寿命急落による再入射を示す。

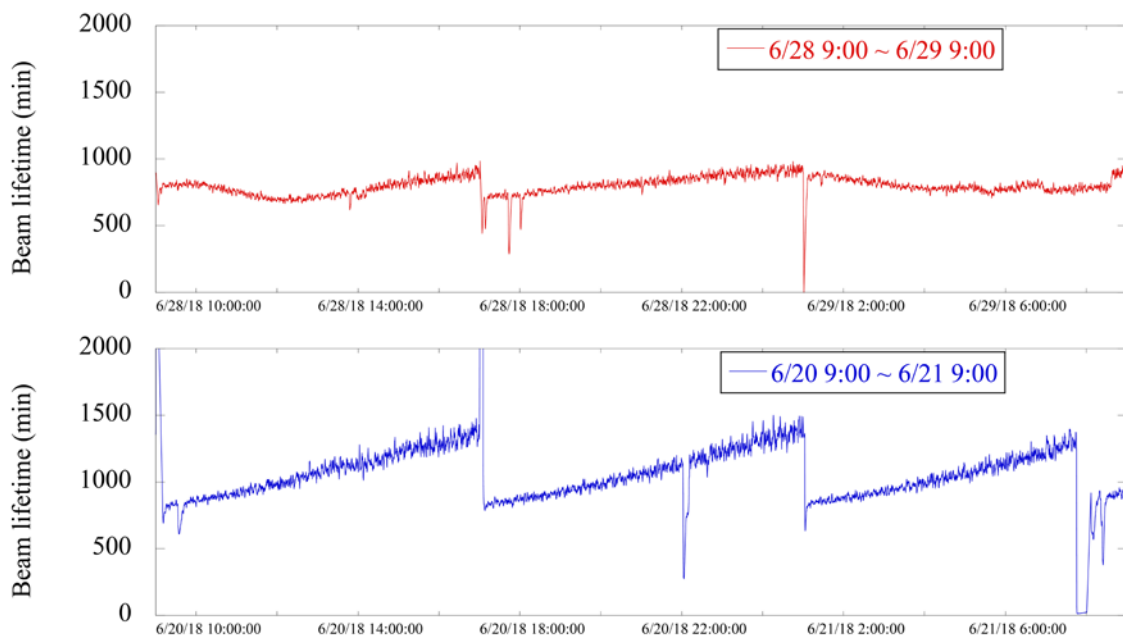


図4 PF-ARにおける1日のビーム寿命の推移：垂直方向のベータトロンチューンを変えた後のビーム寿命（上図），変える前のビーム寿命（下図）を示す。

で損傷はなかった。今後も温度が上がり始めたら交換することとした。キッカー電磁石 (K1) が勝手に励磁してビームダンプするという現象が3件発生した。その原因調査は続けているが決め手がなく、調査結果を整理し夏の停止期間中にこの現象が起こらない対策を施す予定である。6月21日に5 GeV 運転のマシスタディを行った。入射・蓄積は順調にすすみ60 mA まで蓄積することに成功した。次回は秋の立ち上げ時にビームライン側で調査する予定である。PF-AR は、6月29日9:00に予定通り運転が終了し、夏の停止期間に入った。

### PF-AR における HOM ケーブルに関するトラブル

上述したように PF-AR 東電源棟 (AR 東棟) の RF が停止しビームダンプした。空洞 E-4 (東直線部, 最下流の空洞) の高次モード (higher order mode, HOM) ケーブルの温度異常を示すインターロックが動作していた。PF-AR では11セル APS 型加速空洞を6台使用しており、それらの空洞の加速セルから有害な高次モードの電磁場を引き出すために、空洞1台あたり12本 (1台の空洞だけ10本) の HOM ケーブルが使われている。それぞれの HOM ケーブルには2個の温度スイッチが取り付けられており、温度60°C以上になるとスイッチが動作し、ローレベル系で RF を停止する。空洞と HOM ケーブルの写真を図5に示す。最初のインターロック動作 (1:39) の後、温度スイッチをリセットし、最大ビーム電流を50 mA に下げて運転再開を試みたが、約1時間後に同じインターロックが動作した。シフトリーダーが当該ケーブルの交換が必要と判断して早朝に担当者に連絡し、朝9:00頃から交換作業を開始した。新品の予備ケーブルと交換後、AR 東棟のクライストロンを立ち上げ、11:53にユーザ運転を再開した。不具合のあったケーブル (NH-HF-20D ケーブル, 両端コネクタ付き) を調査したところ、内導体と外導体の間に螺旋状に入っ



図5 PF-AR 東直線部の APS 空洞 (E-4) の写真 (5/28 撮影)。空洞当たり12個の HOM カップラーが取り付けられ、取り出した HOM 電力は HOM ケーブルを通して3 kW 水冷ダミーロードに導かれる。今回交換した後の HOM ケーブルを赤色矢印で示す。



図6 故障した HOM ケーブルに付属する L 型アダプタ (ダミーロード側)。絶縁体のポリエチレンが黒色に変色していた。



図7 故障した HOM ケーブルの端のコネクタ (ダミーロード側) を外したところ。絶縁体のポリエチレンはよりひどく変色し溶けていた。

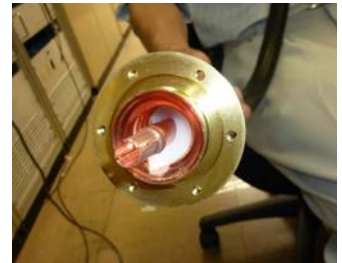


図8 故障した HOM ケーブルの端のコネクタ (HOM カップラー側) を外したところ。絶縁体のポリエチレンは健全であった。

ているポリエチレン製の絶縁体のうち、ダミーロード側の絶縁体が黒色に変色して一部溶けていた (図6, 図7)。反対の HOM カップラー側の絶縁体は健全であった (図8)。ちなみに、ケーブルに貼り付けたサーモラベルは、中央部とダミーロード側ともに60°C以上の温度上昇があったことを示していた (図9)。

前回ケーブルを交換してから約10年が経過しており、今回のケーブル発熱の原因は、AR トンネル内の強い X 線環境下での経年劣化が原因と考えられる。他の HOM ケーブルも同程度の年月使用しており、交換が必要な時期に来ていると考えられるため、対策を検討中である。



図9 故障した HOM ケーブルのサーモラベル表示。(左) 中央部、(右) ダミーロード側。いずれも50°C以上を示す赤色と60°C以上を示す緑色のサインが表示されていた。



### 運転，共同利用関係

PF および PF-AR の 2018 年度第 1 期（5～7 月）の運転は，それぞれ，7 月 6 日，6 月 29 日の朝に終了し，現在約 4 ヶ月間のシャットダウンに入っています。なお，6 月 30 日から 7 月 6 日の朝までの PF の運転は，初めての試みとして行った「産業利用促進運転」です。これは，通常の運営費交付金による運転ではなく，主に企業による施設利用などの有償運転の利用収入を用いて行ったものです。昨年度に計画を立て，今回さまざまな企業の協力をいただいて 6 日間の運転を無事に行えたことは大変よかったですし，1 つの達成であると考えています。これから，収支の検討や利用企業からのご意見なども伺い，来年度も「産業利用促進運転」を行うか検討をしていくことになるかと思えます。2018 年度第 2 期のユーザー運転ですが，PF については 11 月 16 日，PF-AR については 11 月 20 日に再開し，どちらも 12 月 19 日の朝まで運転する予定です。PF と PF-AR は共に 2018 年度 10-12 月期より連続入射によるトップアップ運転が基本となります。12 月 7 日から 12 月 19 日 9:00 までの 11 日間は時分割実験への利用が期待されるハイブリッドモードによるユーザー運転を行う予定です。

PF シンポジウム等でもお知らせしていますが，引き続き 2018 年度も厳しい予算状況となっています。PF については年間 3,000 時間程度のユーザー実験時間を確保する予定ですが，PF-AR については，今のところ第 3 期の運転予算が確保できていません。今後，第 3 期にも運転を行うことを目指して，予算獲得の努力を行っていくとともに，電気代の節約が可能な 5 GeV 運転モードのテストなどを行い，可能な限り運転時間を増やす工夫を行う予定です。

### ビームライン改造

これまでに繰り返し報告してきた BL-19 の全面更新ですが，旧 BL-19 の解体も終了し，新しいビームラインを建設する段階に入っています。このシャットダウン中には，ビームラインの建設を行い，かねてからお知らせしているように，第 2 期から立ち上げと調整を開始する予定です。本ビームラインの建設には，新学術領域「水惑星学の創成」に多大なサポートを頂きました。本研究領域に関しては，物構研ハイライト (<https://www2.kek.jp/imss/news/2018/highlight/0627AquaPlanet/>) でも紹介されていますので，是非ご覧ください。

### クライオ電子顕微鏡の導入に関して

放射光は，生体高分子の立体構造を結晶構造解析の手法を用いて決定するためのツールとして，約 30 年にわたり広く活用されてきました。世界のどの放射光施設でも高度に自動化された生体高分子の結晶構造解析用のビームライ

ンが稼働しており多くのユーザーが利用しています。生体高分子の立体構造決定には，NMR を利用した解析法もありますが，長い間，生体高分子の構造解析の分野は放射光を用いた結晶構造解析の独壇場であったと言っても過言ではありません。しかし，昨年度のノーベル化学賞を受賞したことからわかるように，クライオ電子顕微鏡の急速な発展で分野の景色が少し変わってきました。結晶化が難しい超分子複合体や膜タンパク質の構造解析の分野において，クライオ電子顕微鏡を用いた近原子分解能の解析が次々に行われるようになり，Nature, Science, Cell といった一流誌の誌面を毎週のように賑わせているのは，構造生物学を専門にしている方にはご存知の通りです。これらの構造解析は近原子分解能とはいっても，実際には生体高分子を構成している各々の原子の座標が得られる手法です。このような，クライオ電子顕微鏡法の急速な発展に伴い，世界の放射光施設では放射光だけでなく，クライオ電子顕微鏡を導入する例が増えてきました。最も有名なものは，イギリスの Diamond Light Source に併設されている eBIC と言われている施設です。このような世界的な流れに遅れを取らないよう，物質構造科学研究所の構造生物学研究センターでは，昨年度，日本医療研究開発機構（AMED）の支援を得て，創薬等先端技術基盤プラットフォーム事業（BINDS）の一環として 200 kV のクライオ電子顕微鏡を導入しました（図 1）。本クライオ電子顕微鏡は，現在のハイエンド機種である 300 kV の電子顕微鏡ではありませんが，十分に近原子分解構造の決定に利用できる機器です。構造生物学研究センターでは，クライオ電子顕微鏡を用いた構造解析に関する体制を整えているところです。2018



図 1 構造生物学研究センターに導入された 200 kV のクライオ電子顕微鏡。Thermo Fisher 社の Talos Arctica という機種で，測定試料を自動的に交換するオートローダーという機構が付いている。

年中には、本クライオ電子顕微鏡を一般ユーザーに公開できる予定です。利用は、BINDS プロジェクトを通じて行うことになります。興味のある方は、是非ご一報下さい。

### **人事異動**

新規採用は、これまで特別助教であった望月出海さんが、7月1日付で助教に採用されました。一方、小角散乱のグループで活動されていた富田翔伍さん、そして構造生物学研究センターで活動されていた桑原直之さんがともに6月末日で退職され、新しい職場で働くことになりました。これまでの物質構造科学研究所での活動に感謝するとともに、今後の益々のご活躍をお祈りいたします。