

国立大学と大学共同利用機関（以下、国立大学等）は2004年度の法人化以降、6年ごとの中期計画に従って運営されるようになりました。来年度から第4期に突入します。法人化第1期は始動期、第2期は本格化期、第3期は見直し期、第4期は見直し後の新たな体制の定着期というようなサイクルがスタート時から想定されていました。今は最終段階ですが、第3期では組織体制、ガバナンス機能、法人評価、業績評価、年俸制、運営費交付金などについて精力的に見直しが行われてきました。1年前の「物構研だより」でご報告した大学共同利用機関の自己検証・外部検証もその一環でした。

大学共同利用機関はそもそも単科大学相当の学術研究機関であり、機関長による**トップダウン**的運営を基本とし、外部への**透明性確保**のために法律により機関長の諮問機関である**運営協議委員会**（機関内外約半数ずつ）と機関長の選考・監察会議的要素を持った**評議員会**（全員機関外）が常設されていました。**ボトムアップ**運営の象徴となっている**教授会**は、大学共同利用機関の制度には合わないので認められませんでした。

国立大学の法人化は**1大学1法人**から始まりましたが、大学共同利用機関は先行して**複数機関1法人**の4つの大学共同利用機関法人（以下、機構法人）にまとめられました。国立大学等の法人化では、類似の**評議会**、**協議会**（正式名称は教育研究評議会、経営協議会）に加え、常設の**学長選考会議**が法律により法人に置かれることになりましたが、法人化前の大学共同利用機関の制度設計から見ると、内部委員の関与が増えた運営体制は透明性において後退していると言えなくはありません。

法人化によって、大学共同利用機関の適切な運営に不可欠だった運営協議委員会、評議員会が消滅しました。困った各機関は、内規として運営協議委員会相当の**運営会議**を置くことにしました。現在、国立大学では東海国立大学機構のように**複数大学1法人**の動きが加速していますが、**評議会**だけは各大学に残すことにしたようです。大学共同利用機関もそうあるべきだったと思います。法人化によって、機構法人に置かれる大学共同利用機関は根拠省令があるものの、国立大学法人に置かれる学部や共同利用・共同研究拠点と同格になってしまいました。

大学共同利用機関と研究者コミュニティの関係は機関によって大きく違います。コミュニティと1:1の関係である機関では、コミュニティがその機関を作った歴史を持っていますが、物構研の場合、研究分野別、チーム施設別に多くのコミュニティが関わっています。そのため、各コミュニティの意見を吸い上げる会議体として施設別に置かれた**共同利用実験審査委員会**が非常に重要です。ただし、機構法人では、大学に分散している各分野の研究者ではなく、大学法人単位で連携を考えることが強まっています。各大学に横串を刺すことをミッションとしている大学共同利用

機関からすると違和感を感じるころですが、ある意味、ますます大学共同利用機関の重要性が高まっているとも言えます。

国立大学より先行していた大学共同利用機関の数々の制度設計は法人化によって大きく崩れてしまいました。また、直轄研でなくなったことによって、文科省から見えにくくなった影響でしょうか、国立大学の学部や附置研の変化（良い方向での変化かどうかはさておき）に比べて、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、機関名も創設当時のまま、大学の附置研と大学共同利用機関の入れ替えなども起きていない、という指摘によって検証が行われるところとなりました。しかし、当初の目論見とは違って、本年1月に公表された外部検証結果の総評では「学術的・社会的動向に対応した組織の改編等について多くの機関で行われている。」「他の機関・大学等との連携強化等については、なお一層の取組が必要である。」ということが確認されています。

一方、機構法人について、18年前には大学共同利用機関の**全機関1法人**という考え方もあり、4機構体制は仮の姿であり適当な時期に見直す必要があるという宿題が残されていました。宿題を再度検討した結果、4機構と総合研究大学院大学の5法人は今の形を変えることなく、**一般社団法人大学共同利用研究教育アライアンス（仮称）**という連合体を形成する案にまとまりつつあります。東海国立大学機構のような組織化は18年前の大学共同利用機関の法人化のときに済んでいるので、さらに上位組織を作る方向は柔軟性を欠くことになります。強い連合体になるのか、弱い連合体になるのか、まだ、わかりませんが、大学共同利用機関の本来のミッションが全体として強化できるようになるのか、より強固な横串を各大学に刺すことができるようになるのか、今後、問われることになります。

現在、物構研として第4期中期計画期間中に運営費交付金の概算要求が必要な研究計画・施設計画や自助努力で外部資金獲得を目指す計画を整理しているところです。しかし、国立大学等の法人化の際の国会の附帯決議に反して、最近では評価結果を運営費交付金の配分に反映させる考えが表に出てくるようになってきました。また、**絶対評価が基本の法人評価**とは独立に、**相対評価のための客観的な共通評価指標**を設定して、毎年その数値を算出し、偏差値に基づいて運営費交付金の一部を傾斜配分する相対評価がすでに始まっています。しかも傾斜率は毎年上昇しています。弱みに対して適切に予算措置してこそ健全な成長を促します。偏差値が低く予算が削られてしまうと、再浮上は難しくなります。選択と集中に頼るだけでは将来は狭まります。大学共同利用機関は、日本の国力の維持向上のために大学を区別せず基盤的科学や技術を長期にしっかり支え、人材を含めて育てていく学術機関です。今後も学術の多様性に配慮した柔軟な組織でありたいものです。

入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川和朗
(2021年7月9日付け)

概要

夏の停止期間までの今年の加速器運転(2021ab)においては、放射光実験施設と SuperKEKB の4つの蓄積リング加速器へ向けての同時入射が順調に継続し、典型的には、2つの放射光施設に最大1 Hz ずつ、SuperKEKB HER にバンチあたり1.3 nC 最大25 Hz、LER にバンチあたり2.6 nC パルスあたり2バンチ最大25 Hz の入射を行った(図1)。SuperKEKB の衝突性能については、ピークルミノシティと1日あたりの積分ルミノシティの世界記録を更新した。運転期間の最後に2日間の入射器専用運転を行い、大電力を伴う検査保守作業、ビーム改善開発などを行い、その後9月17日までの予定で、夏の停止期間中の作業に取り掛かっている。今期の運転においては、電子ビームの特性の悪化、ビーム輸送路におけるエミッタンスの増大、ビーム輸送路から蓄積リングへの光学的整合性など、HER への電子入射の安定化が課題であった。ビーム輸送路内での期待しないビームバンチ圧縮が発生し、コヒーレント・シンクロトロン放射(CSR)によりビームエミッタンスが増大

する可能性の指摘もある。秋には後に述べる改善作業により解決を目指しているが、その確認のためにも、秋の加速器本体立ち上げ直前には RF 電子銃専用の立ち上げ調整時間を確保し、その後の入射器全体の立ち上げ調整に必要な時間を割り当てられるよう計画している。

電子系加速器入射タイミング生成と商用周波数

電子陽電子入射器と PF リング、PF-AR、SuperKEKB の入射タイミングは商用周波数50 Hz に約1ミリ秒程度に緩く同期して動作している。これは、古い設計の装置は商用周波数に依存して設計されていたものが多かったためであるが、実際 KEKB 計画開始前に、商用周波数に同期しない正確な50 Hz を基本とするビーム生成を行うと、ビームエネルギーの変動が大きくて使えないことが確認されていた。

今期、商用周波数の変動が大きくなり、イベントタイミング制御機構(図2)のバケット選択ソフトウェアが対応できなくなり、入射運転に影響する頻度が一桁以上高くな



図1 入射運転の典型例として、運転停止直前7月4日24時間について、上段から SuperKEKB HER、LER、PF リング、PF-AR の4蓄積リングへの入射の様子を蓄積電流(赤 mA)、入射電荷(青 nC)、入射率(緑 mA/s)で示す。

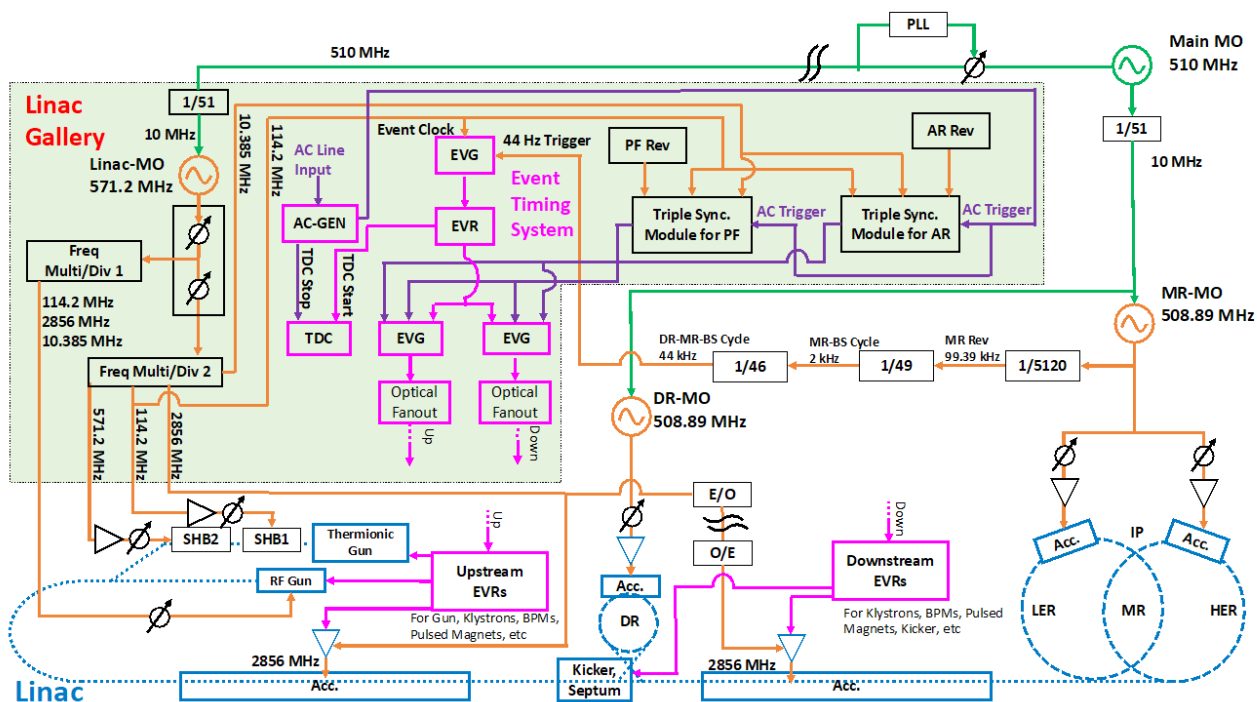


図2 パケット選択を含む入射器のタイミング同期機構の概略図。中央左にある時間測定器（TDC）で商用周波数の位相を監視し，信号発生に反映させている。

った。タイミング信号が生成できなくなることで，例えば大電力パルス変調器を含めたパルス電源が動作できなくなるとともに，装置を保護するために突然電源を停止することになり，入射運転は停止してしまう。突然の停止により，連続運転する加速装置に様々な問題が引き起こされ，特に加速管内の放電の発生による真空の悪化からの回復に長時間を要する場面が，1日に一回ほど起こるようになった。なお，このような問題は以前から知られていたが，3月までは10日に1度以下の頻度であったため，他のソフトウェアの改修が優先され心配されていた。優先順位の捉え方についても，関係者で調整を進めているところである。

以上のことから，20年前のKEKB開始時に比べ性能が

改善している電源やクライストロンの特性を慎重に検討した上で，暫定対策措置として4月14日に正確な50 Hzを基本とするビーム生成を始めざるを得なくなった。問題がなければ，電力会社の周波数制御に依存せずに加速器の運用が可能となる可能性もあったが，ビーム軌道やエネルギーの安定度が5割ほど悪化し（図3），現在のSuperKEKB入射には耐えるものの，将来の性能向上との整合は難しいと思われた。さらに，現在はPFリングの入射キッカーが商用周波数に同期しないと安定度が悪く，短期間での改善は困難であることがわかった。

そこで，連休後のPFリングの入射開始に合わせて，5月6日に更なる暫定対策措置として，商用周波数の信号を

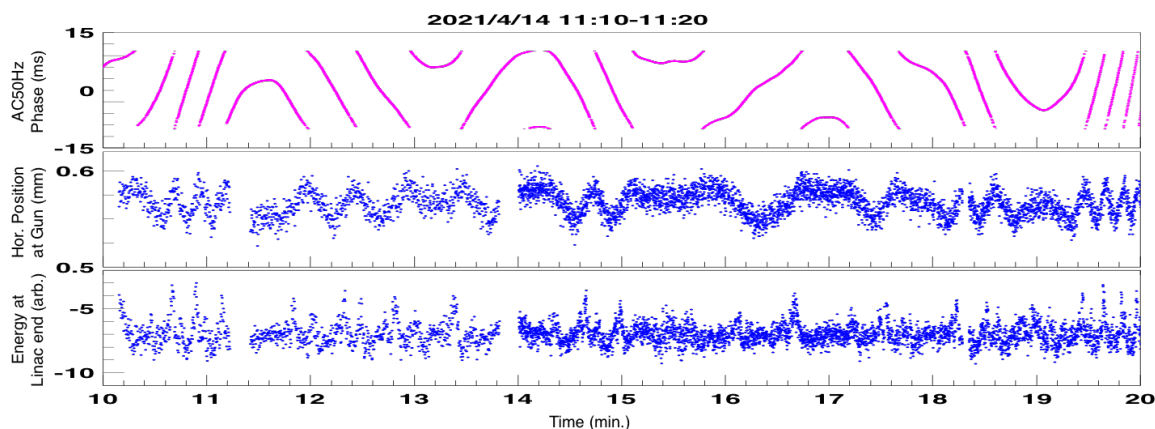


図3 商用周波数非同期運転時のビームの挙動。上から，商用周波數位相（20ミリ秒で360度），入射器最上流部でのビーム位置変動（ミリメートル），入射器終端部でのビームエネルギー（任意の単位）。

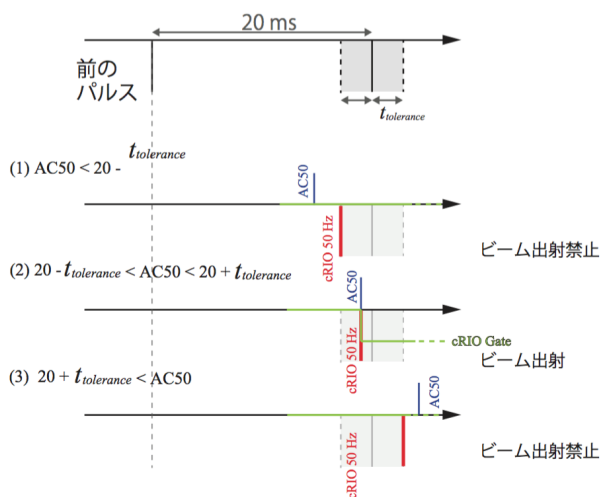


図4 第2の暫定対策措置として用意したタイミング調整機構。ACS0 から生成された cRIO 50 Hz 信号がイベントタイミング制御機構に接続され、cRIO Gate が PF リングへの入射許可信号として送られる。

イベントタイミング制御機構に伝える前に、タイミングを調整することを始めた。つまり図4のように、

- ・ 商用周波数が正常な場合は、商用周波数に緩く同期して SuperKEKB, PF, PF-AR に入射
- ・ 商用周波数が大きく外れたら、PF 入射を止め、SuperKEKB, PF-AR には商用周波数非同期入射を継続というような動作をする回路を cRIO FPGA 上に組み、設置した。

今回の複数の暫定対策措置については、準備期間の短い対応であったが、多数の関係者がそれぞれ発想を持ち寄り、それらを組み合わせて設置することになり、良い結果を得ることができた。長期的にはイベントタイミング機構で複数の解決策が検討されており、早ければ秋には暫定措置が不要になると期待される。

本年度夏の改善計画

この夏の停止期間には、通常の保守作業と並行して、RF 電子銃、パルス電磁石、マイクロ波中電力分配系、電子陽電子分離位置モニタ、劣化導波管、劣化スクリーンモニタ、などに複数の改善作業が予定されている。

RF 電子銃に関しては、第2レーザーに第1レーザーと同様の回折光学素子 (DOE) と増幅器を整備導入し、2つのレーザーを対称にして同時照射することにより、出力が2倍以上となり、十分な余裕を持てると考えられる。第1レーザーは DOE の利用により図5のようにビーム形状が安定しており、第2レーザーにも DOE を導入することにより、今期のように思わぬ小さなサイズのビームを作り出すことが避けられて、放電を引き起こす要因が無くなると期待される。この放電事象によりマイクロ波の時間幅を広げることが難しくなったため、96 ns 離れた2バンチ目の特性が改善しなかったが、秋にはこれらの当面の課題は解決すると期待している。また、放電によって汚れたと考えられる蛍石窓や光陰極の交換を行う。さらに、真空度の改善を狙った空洞の開発試験を予定している。

パルス電磁石について、これまでに入射対象リング (ビームモード) によってエネルギーが大きく異なる入射器下流部の整備を終えているので、上流部の軌道補正とビーム光学整合を狙って、10台のパルス電磁石の投入を予定している。上流部においてもビームモード毎に軌道が大きく異なってしまう、SuperKEKB 向けに徐々に大きくなってきたバンチ電荷のために航跡場によるビーム品質劣化があらわになってきたが、今回の上流部へのパルス補正電磁石の投入により、ビームモード毎の補正を行い、ビーム品質劣化を抑えられると期待している。装置の増設により、クライストロンギャラリー内の電源装置の配置が今後は困難になると考えられ、旧型の大電力マイクロ波パルス電源のインバータ電源利用による小型化の検討も必要となるかもしれない (図6)。

電子陽電子分離位置モニタは、陽電子生成標的直後において電子陽電子を分離して測定しようとするもので、基本的な実証試験を終え、運転に貢献させるよう準備を進めている。標的において電子陽電子対生成し 10 MeV 近傍の広いエネルギー範囲を持った正負両電荷の粒子は、直後の S バンド加速管によってバンチングされる。その際に電荷の違いにより 180 度異なるマイクロ波位相に乗ることになるが、その間隔が 175 ピコ秒と小さいため、簡単な測定を行おうとすると正負電荷が打ち消しあって何も見えない。しかし、ビームモニタから結合器やケーブルを通した信号の伝送特性パラメータを測定した上で、広帯域の測定器で測

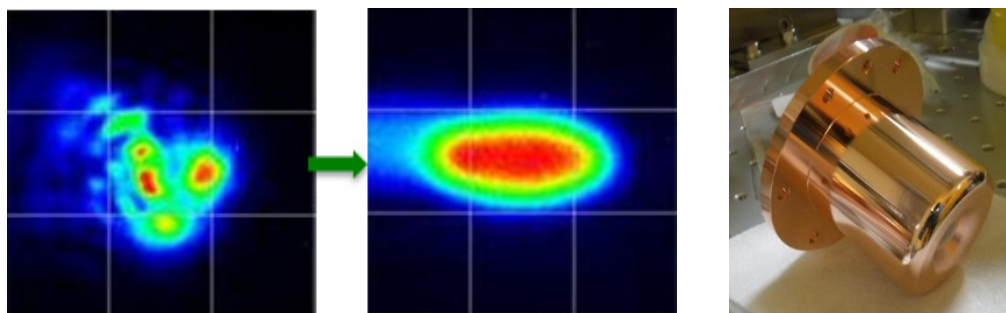


図5 回折光学素子によるレーザービーム形状整合と安定化 (左)、イリジウム・セリウム光陰極 (右)。



図6 パルス収束電磁石、パルス補正電磁石（左）、電源とコントローラを収めた筐体（右）。

った信号波形を逆変換すれば、粒子の信号を図7のように再現できる可能性がある。そのような機能をFPGA上に構築し、高速に波形を再現できるデジタルオシロスコープが入手できる。昨年、信号を効果的に検出できるモニタを開発して、狭隘な陽電子捕獲収束部にどうにか割り込ませて設置し、これまでに2回ビーム試験を行った。期待した測定結果が得られており、近いうちに運用が可能になると思われる。陽電子の捕獲効率を向上させるためと、隣のバンチに漏らさないために、最初の加速管では陽電子を減速し、バンチング効率を上げる方が好ましいことがシミュレーションにより分かっており、そのことを直接測定して最適化が可能となることの効果が大きいと期待される。ちなみに

隣のバンチに陽電子が漏れると、その全てが加速周波数が異なるダンピングリングでは失われることになり、ダンピングリングでは放射線遮蔽が薄いためにビーム運転が継続出来なくなる可能性があるため、できるだけ漏らさないことが重要である。

運転体制

今年度、ミシガン大学 FRIB のコミッショニングを経験した由元崇氏が、特別助教として加速管陽電子グループに着任し、現在更新を進めている加速管の性能測定や設置準備などと共に、運転の検討にも参加している。また、総研大においてミュオン g-2 実験のミュオン蓄積検証実験を電子ビームで行ったムハマド・アブドウル・レーマン氏が、制御ビームモニタグループに所属し、上に述べた陽電子標的直後の陽電子電子分離型のビーム位置モニタの開発を開始している。いずれも SuperKEKB の運転にも参加し、装置の開発が直結するビーム特性や実験効率を肌で感じてもらっている。

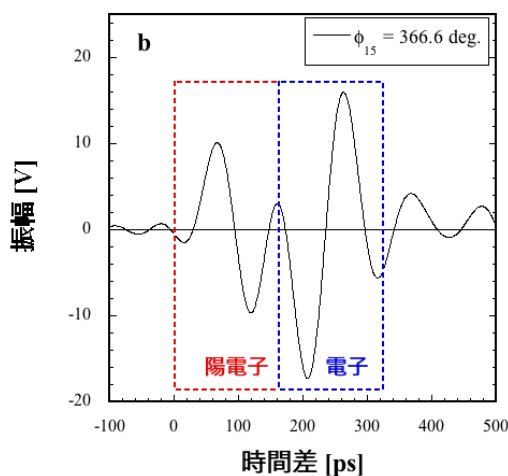
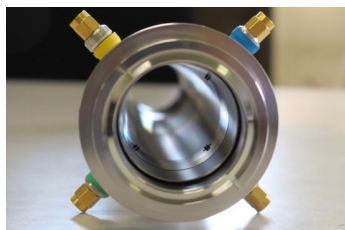


図7 粒子信号アンテナを持ったビーム位置モニタ（上）、モニタ位置で再現された電子陽電子の測定波形（下）。

光源リングの運転状況

図1に、PFリングにおける5月6日9:00～7月5日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。5月6日9:00からリングの立ち上げを開始した。入射路偏向電磁石電源(BTBM)制御系の小型電源で故障が見つかったが、予備電源と交換して短時間で復旧した。その後は概ね順調に立ち上がった。しかし、修理したパルスベンドは電流の安定度が以前より3倍程度悪い状態のため、入射効率が低調であったことから、入射ビームの電荷を0.15 nCから0.3 nCに変更した。変更後も放射線レベル等に問題はなく順調に入射できている。立ち上げ調整は順調に進み、5月10日9:00から光軸確認を行い、11:37 ユーザーランが開始され

た。ボールねじユニットに不具合のあったID#13については、停止期間中に修理が完了し、通常通りの使用が可能となった。リングのフィルパターンは、昨年度進行方向のビーム不安定対策として188バンチを4分割したものにしていたが、250バンチ(分割なし)でも問題がないことが判明し、今期からこのフィルパターンで運転することとした。前期の運転から課題となっていた、キッカー電磁石2の光アブソーバおよびセプタム電磁石2の蓄積ダクトの冷却水流量が徐々に低下していた件について調査したところ、キッカー電磁石2の下流側アブソーバが流量低下の原因(詰まりが生じている可能性がある)であることが判明した。5月27日のマシン調整日にセンサー交換等の作業

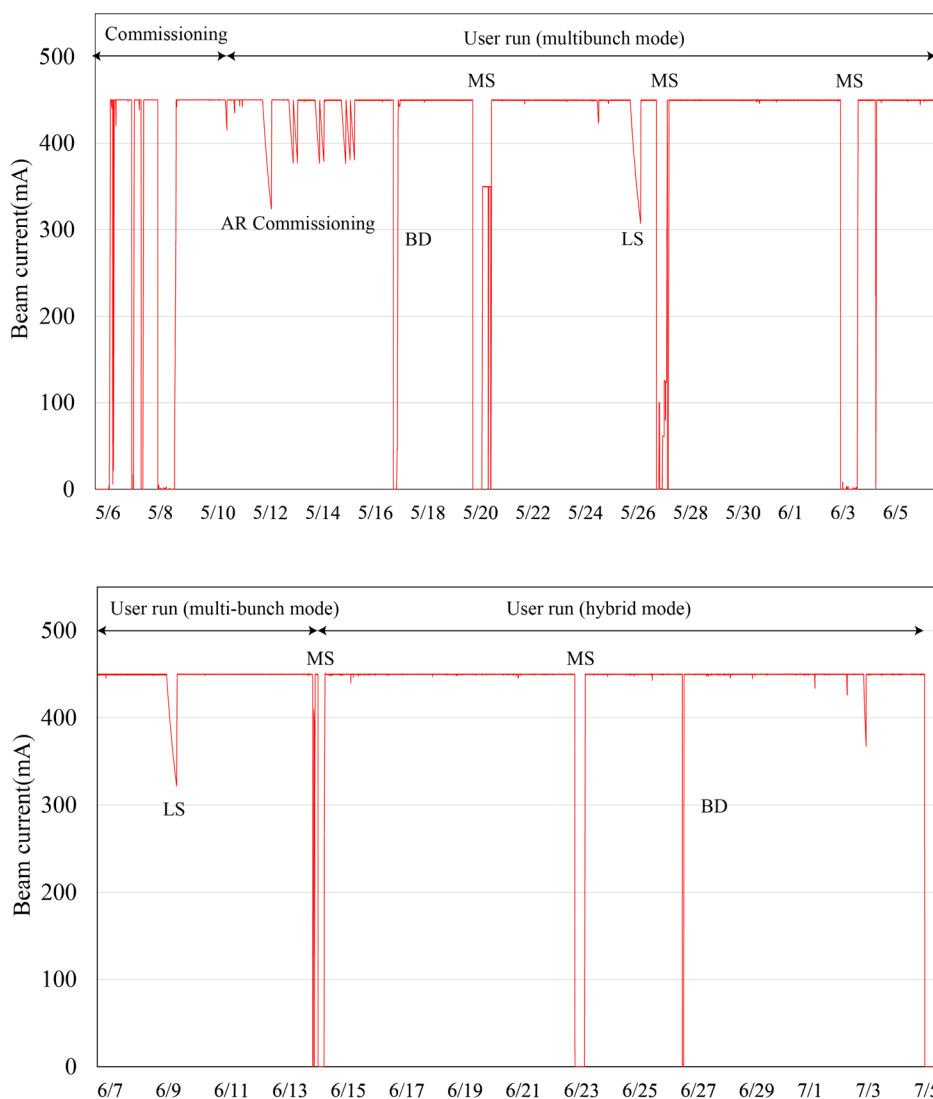


図1 PFリングにおける5月6日9:00から7月5日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器調整日、MSはPFリングのマシン調整日、BDはビームダンプを示す。

を行った。その後は流量低下が収まり、6月29日から再度低下する傾向はみられたものの、運転停止まで問題は起きなかった。同様な直径10 mmの細い光アブソーバはPFリング内に他に10本あり、2006～2008年の設置以降すべて順調であった。夏期の停止期間中に、流量低下が発生しているK2下流アブソーバを交換し、問題対処と原因調査を行う予定である。5月17日8:34 ビームダンプが発生した。原因はPFエネルギーセンターのサブ変電所で停電が起きた際に、冷却水関連のポンプが停止し、一次冷却水が供給されないため、水温上昇によりビームが不安定になったためと推察される。この件は、次節で詳述する。6月14日9:00までマルチバンチモードで運転を行い、6月14日のマシン調整日にハイブリッドモードに切り替える作業を行った。翌日6月15日9:00から蓄積電流値450 mA（シングルバンチ電流値30 mA＋マルチバンチ電流値420 mA）ハイブリッドモードでの運転を再開した。ビーム不安定性による変動は抑制され、またバンチ純度も問題なく概ね順

調にユーザー運転が実施された。6月27日1:33にBL-14チャンネルダンプによるビームダンプが発生した。インターロックに使用しているPLCが故障して光源側に送っている信号が途絶えたためと判明した。復旧に時間がかかることから一旦BL-14を閉鎖して、リングの再立ち上げを優先することとした。リングは3:09に運転を再開、4:06にはPLC故障の問題が解決してBL-14の閉鎖が解除された。このトラブル以後はビームライン側にも大きなトラブルはなく、予定通り7月5日9:00で第一期の運転は終了して夏期の停止期間となった。

図2に、PF-ARにおける5月13日9:00～7月5日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。5月13日9:00から5 GeVで立ち上げを開始した。立ち上げおよびリングの調整は概ね順調に進み、5月14日に予備光軸確認、5月17日9:00から光軸確認を実施して、ユーザー運転を開始した。開始当日に発生したPFエネルギーセンターの停電に関しては、PF-ARでは大きな影響は受けなかった。6月9

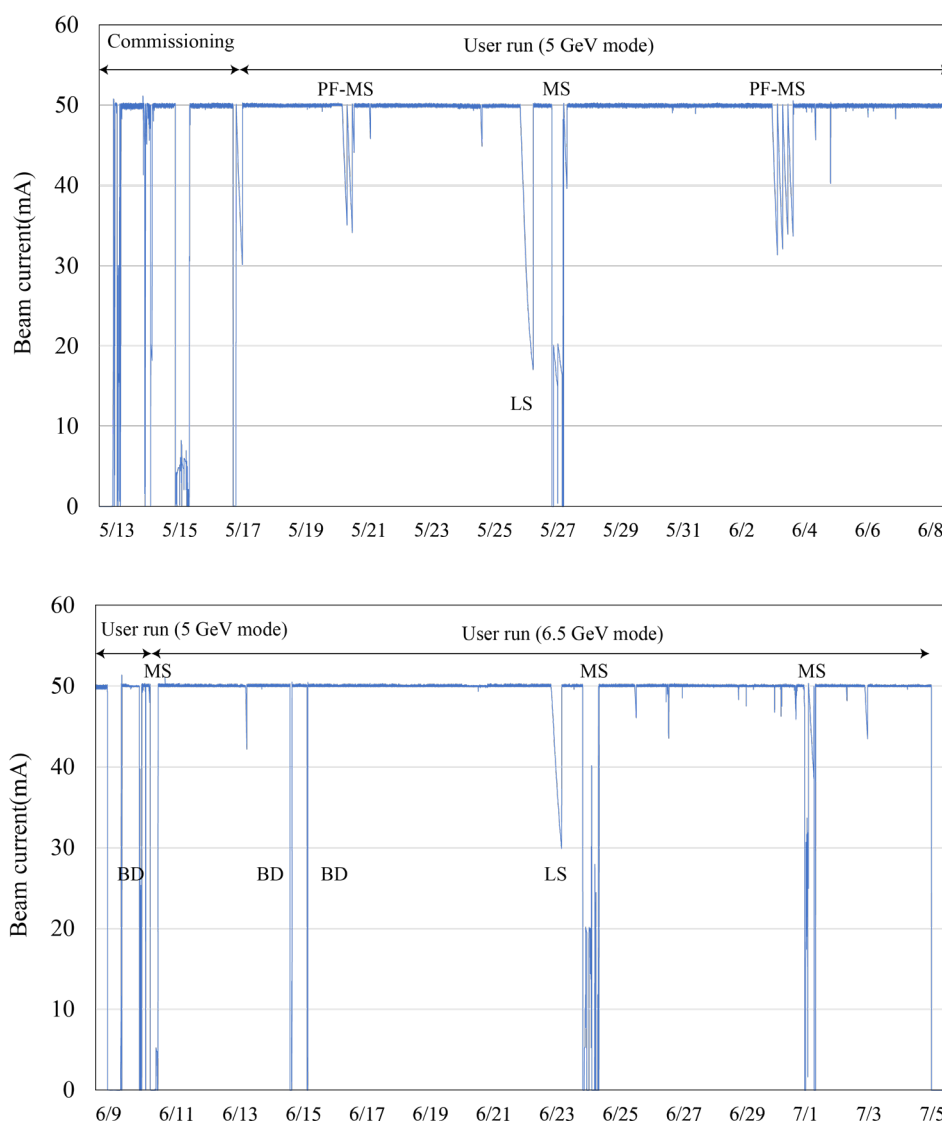


図2 PF-ARにおける5月13日9:00～7月5日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。LSは入射器マシン調整日、MSはPF-ARのマシン調整日、PF-MSはPFリングのマシン調整日を示す。

日 9:00 までビームエネルギー 5 GeV でユーザー運転を行い、6 月 9 日と 10 日の 2 日間でビームエネルギーの切り替え作業を行った。翌日 6 月 11 日 9:00 からビームエネルギー 6.5 GeV での運転を再開した。この期間 3 件のビームダンプが発生した。1 件目は、6 月 8 日 20:42 西 RF 空洞 #1, 2 のチューナードライバーモジュールが故障してビームダンプとなった事象であった。予備のモジュールと交換してすぐに復旧し、21:51 運転が再開された。2 件目と 3 件目はそれぞれ 6 月 15 日 3:20 と 16:13 に発生した。2 件ともリング偏向電磁石の冷却水インターロックが動作して電源がダウンしたことによる。いずれも現場でリセットすることで復旧したためすぐに運転が再開された。同様のトラブルが生じたときには、原因調査を行う予定であったが、幸いトラブルは再発しなかった。夏期の停止期間中に原因調査を行うこととした。これらのトラブルの他はリングおよびビームラインに大きな異常はなく、PF リングと同様に予定通り 7 月 5 日 9:00 で運転を停止して、夏期の停止期間となった。

PF エネルギーセンターの停電について

5 月 17 日 8:34 PF リングにおいて、軌道変動が発生し蓄積電流値が徐々に減少を始めた。さらに、真空ゲージ BAG#162 (ID#17 上流部) が、 2.8×10^{-8} Pa 台から 6.8×10^{-4} Pa 台へと急激に悪化した。一方 8:30 頃から圧力空気が低下し、8:44 には閾値を下回り入射路のビームストッパーが動作して、PF Ready が落ちた。これにより、入射器

の全クライストロンがダウンした。一連の現象は、8:30 頃に PF エネルギーセンターサブ変電所 (S506) で発生した停電によるものである。図 3 に停電時における蓄積電流値、冷却水温、圧力空気、BAG の推移のグラフを示す。この停電により、センター全域の機器が停止したため、冷却水や圧力空気が供給されなくなった。リング側では、8:30 頃から M7-B 系、C 系 (A 系はビームライン側) で水温上昇が始まると同時に圧力空気が低下し始めている。電磁石や高周波加速空洞等の水温上昇に伴い、ビーム軌道が変動してビームが徐々に削れ、特に真空ゲージ BAG#162 の圧力変化から、垂直方向のアパーチャが狭い真空封止型アンジュレータ ID#17 でビームが削れたのではないかと推察された。8:59 にエネルギーセンターの復電が完了して、リング側の復旧作業を開始し、11:25 に作業完了してビーム入射となった。ビーム入射・蓄積は、低電流から ID #17 のギャップ閉閉試験を行い、動作に異常がないことを確認しながら慎重に実施した。リング機器にすべて問題ないことを確認して、13:06 にユーザー運転再開となった。

今回のエネルギーセンターの停電による影響で、PF リングおよび入射器の冷却水と圧力空気の供給が停止した。それにもかかわらず、リングにビームが蓄積できている状態は、挿入光源や各種真空機器の破損につながる可能性がある。今回は運良く ID#17 は破損にはならなかったが、同様のトラブルが起きた際は直ちにビームをダンプするような対策を検討する。

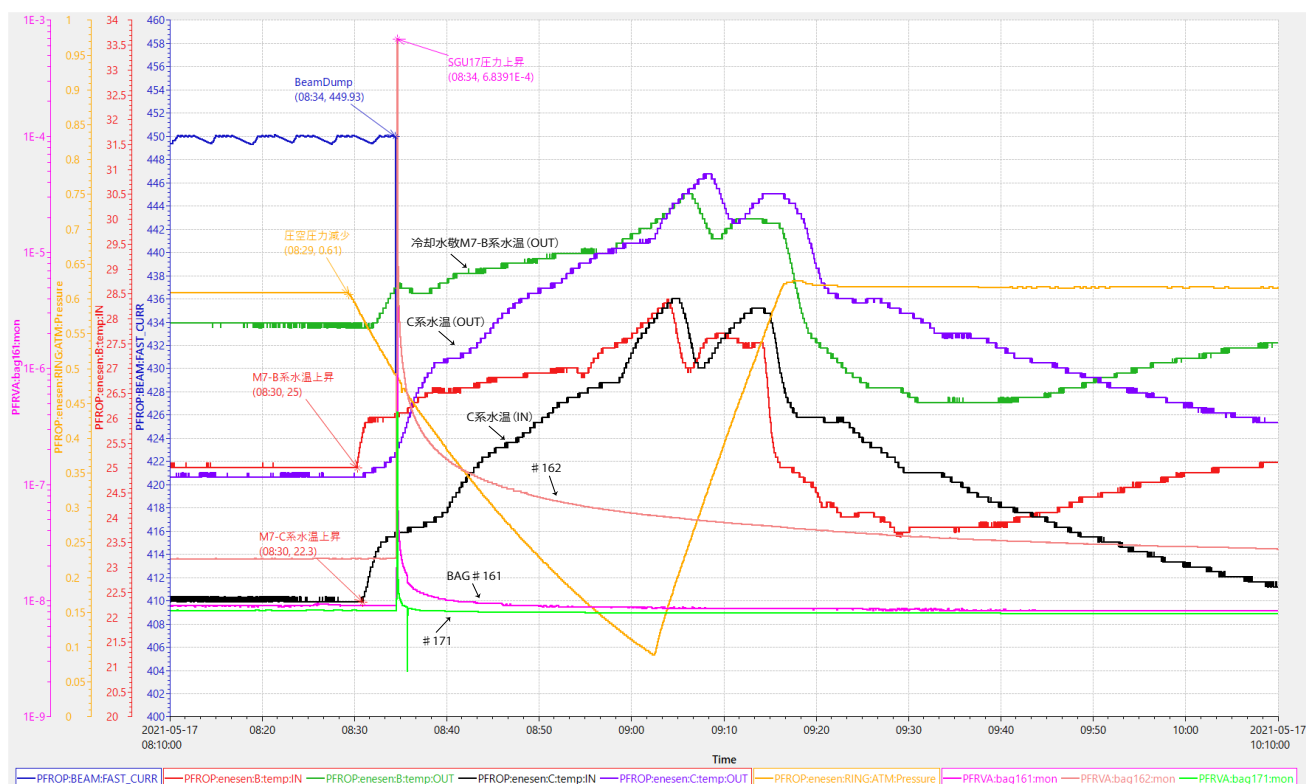


図 3 PF エネルギーセンター停電時のビーム蓄積電流値 (青)、冷却水系 M7-B 系水温 (IN 赤、OUT 緑)、C 系水温 (IN 黒、OUT 紫)、圧力空気 (黄)、BAG#161 (ピンク)、#162 (橙)、#171 (黄緑) の推移を示す。

前号の放射光実験施設の現状の原稿の中で、実験施設として推進しているプロジェクトについて、プロジェクト責任者に協力してもらって紹介すると説明しましたが、まずは私のほうから、全体の概略を紹介することにさせていただきます。

2019年4月に放射光実験施設が正式な組織として再誕生したのを機に、実験施設として推進すべきプロジェクトの検討を行いました。広い分野での利用が期待される開発研究を推進するという観点で選定されたのが、「3次元X線ズーム顕微鏡の開発」(責任者:平野馨一)と「多目的軟X線時間分解計測システムの開発」(責任者:足立純一)の2つのプロジェクトで、2~3年程度の期間での実用化(公開)を目指すことにしました。今年度が3年目にあたることから、2つのプロジェクトについて、この現状の原稿の中で、それぞれの責任者に報告してもらおうつもりです(平野プロジェクト:2021年11月号,足立プロジェクト:2022年5月号を予定)。

開発研究の推進には、ビームタイムが必要になります。放射光共同利用実験審査委員会(PF-PAC)等の議論により、従来の「スタッフ優先課題」「施設留保課題」を整理し、「PF課題」として、2021年度より運用を開始しました(<https://www2.kek.jp/imss/pf/use/program/pfproposal.html>)。PF課題は、PFのミッション遂行の円滑化と創出成果の最大化を目的としており、5つのカテゴリーに分類されています。その中の1つ、PF-S型はPFとして推進すべき課題(技術開発や分野開拓など)とされており、前述の2つのプロジェクトもPF-S型課題として採択され、2021年度第1期のビームタイム配分が行われました。また、7月に新規のPF-S型課題として、「軟X線領域のコヒーレンスを利用したイメージング手法の技術開発」(責任者:中尾裕則)が採択されました。放射光科学第一研究系所属の責任者の課題を実験施設として支援することになります。こちらも2~3年程度の期間を想定していますので、来年度の後半か再来年度に報告してもらおうつもりです。

運転・共同利用関係

2021年度第1期の運転は、無事、7月5日に終了しました。第2期ですが、PFは10月14日に、PF-ARは10月25日に運転を開始する予定です。PFのハイブリッドモードは11月26日から12月23日を予定しています。PF-ARは5 GeVで運転を開始して、11月18日から12月7日まで6.5 GeVで運転を行います。2021年度第3期の運転は、11月中旬ごろに決定する見通しです。

新委員会になって初めてのPF-PACが7月26日に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、これまで「国外からの申請の場合には、日本に在住し日本語を理解する研究者 Contact Person in Japan が必要」とされてきましたが、実状に合わせて「日本語を理解しない課題責任者が申請する場合には」に修正することになりました。その他、昨年度までの前委員会で制度改正等が検討されてきた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。7月1日付けで、間瀬一彦さんが准教授から教授に昇任しました。基盤技術部門・真空系チームのチームリーダーとして、施設全体のビームライン群の真空系の維持管理と無電力・無振動のNEG(Non Evaporable Getter)ポンプの開発普及を担当します。

はじめに

今回は二系の千田が担当です。以前 (Vol 36 (2018 年) No. 2) に、クライオ電子顕微鏡 (クライオ電顕) の導入に関してお知らせしましたが、我々のクライオ電顕の運用も軌道にのり、KEK の構造生物学研究センター (SBRC) のクライオ電顕で測定したデータを利用した論文も出始めました。そこで、最近のクライオ電顕の運用状況や利用案内、そして今後の計画などについてこの場を借りてお知らせしたいと思います。

クライオ電子顕微鏡の運用状況

AMED の支援により導入された加速電圧 200 kV のクライオ電顕 (Talos Arctica) は、2018 年 10 月より以下 3 点をミッションとして運用してきました。

- ① アカデミア / 企業ユーザーにマシンタイムを提供
(年間 200 日以上を目指す)
- ② グリッド凍結 / データ測定を支援
(必要に応じて単粒子解析も支援)
- ③ クライオ電顕実験に関する技術導入を支援

①については、透明性と公平性の確保のため、全てのマシンタイムの利用と予定を web 上で公開し (<https://www2.kek.jp/imss/sbrc/beamline/cryoem.html>), 各グループに平均して月 1 枠のマシンタイムを配分しています。2020 年度以降はコロナ禍の厳しい状況ですが、リモート実験の体制を立ち上げて 2018, 2019 年度と変わらぬ頻度で利用されています。②については、ほぼ全てのマシンタイムでグリッド凍結 / データ測定の支援を行い、データの質を判定するための Class2D までの解析や、必要に応じて論文掲載

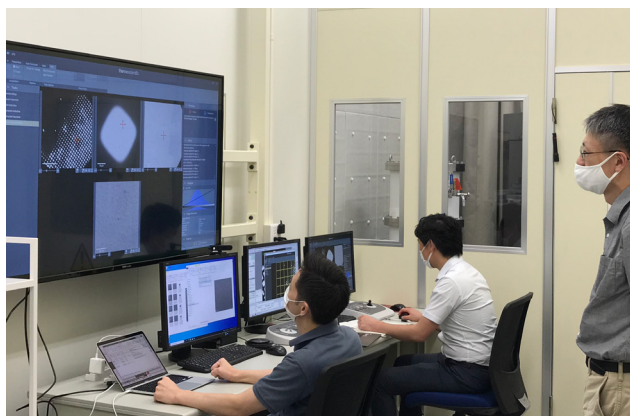


図 1 クライオ電顕の測定風景。ユーザーに説明をしながら測定を行います。

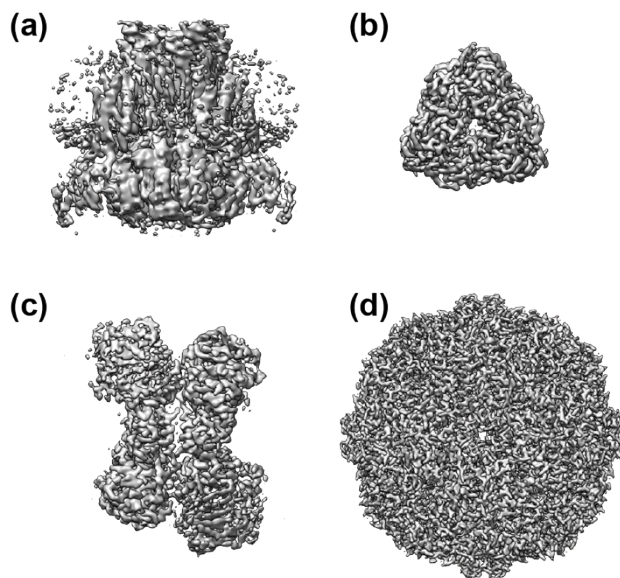


図 2 SBRC のクライオ電顕で解析されたタンパク質の例。(a) hERG (Asai *et al. Structure*, 2021), (b) 亜硝酸還元酵素 (Adachi *et al. J. Struct. Biol.*, 2021), (c) FmoA3 (Katsuyama *et al. Angewandte Chemie Int*, 2021), (d) Sulfur oxygenase reductase (Sato *et al. J. Struct. Biol. X*, 2020)。これらのうち、いくつかは X 線結晶構造解析とクライオ電顕の単粒子解析の両方で解析されています。

レベルの単粒子解析を行っています。③については、多くの専門家からのアドバイスを心得 KEK が作成した操作マニュアルを web 上で公開するとともに、通算 14 回の初期トレーニングを実施して各グループへの技術導入を支援してきました (図 1)。単粒子解析についても解析環境の導入に関する相談や、解析講習会 (4 回) を開催してきました。これらの支援を通して、導入から 39 ヶ月で 5 Å 分解能以上のマップを 50 件得ており、7 報の論文が出版されています [JSB-X (2020); Nature Commun (2020); Structure (2021); Angew. Chem (2021); NAR (2021); JSB (2021); NAR (2021)] (図 2)。さらに、必要に応じてクライオ電顕ネットワークの枠組みを利用して他施設の 300 kV クライオ電顕へのサンプルの受け渡しも行っており、東大・阪大などのスムーズな連携を実現しています。また、多くのユーザーは PF の結晶構造解析用ビームライン・小角散乱用ビームラインとクライオ電顕を併用し、相関構造解析を実施しています。加えて、海外のクライオ電顕の専門家による International Seminar (9 回) やエキスパート育成のための研究会 (5 回) も主催しています。以上のように、既存のクライオ電顕コミュニティから多大なサポートを受けつつ、安定した支援と高度化を遂行してきました。

クライオ電子顕微鏡の利用案内

KEK クライオ電顕の利用は、アカデミアユーザーは創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム事業（BINDS）の枠組みを通して、企業ユーザーは施設利用等の枠組みで利用可能です。担当スタッフとの打ち合わせ等を経て利用方法が確定し、メールでの調整によりマシンタイムが配分されます。オンサイト実験の場合は、午前中にグリッドを準備し午後は1枚1時間程度かけてスクリーニング測定を行います。18:00 ころからデータ測定（1日枠であれば終夜測定、週末の3日枠であれば週末測定）を開始して解散とします。測定したデータは翌日以降、KEK スタッフがユーザーのHDDにコピーし返送いたします。リモート実験の場合は、マシンタイム前日までにサンプルを郵送していただき、当日はzoomに接続してオンサイト実験と同様のスケジュールで実験を進行します。現地での実験はzoomなどでディスカッションしつつKEK スタッフが行い、午後はクライオ電顕の操作画面を共有してディスカッションしつつ良好なグリッドをスクリーニングしていきます。

今後の計画

ユーザーからの主な要望としては、①マシンタイムの増加、②共用の解析環境の構築、③高分解能データの収集、が挙げられます。①については、今年度に行われる検出器のアップグレードで撮影速度が約6倍となり、1日で高分解能の単粒子解析を目的とした測定が可能となるので、実質的なマシンタイムは増加する予定です。②については、パブリッククラウドでのクライオ電顕データの解析に特化した仮想計算機の立ち上げと、自動化による解析計算の簡便化などを進めています。これは、検出器アップグレードに伴う測定データの増加に対応した計算資源の確保にも活用されます。③について、現状では300 kV クライオ電顕を共同利用型の方法で運用している他施設への受け渡しで解決していますが、将来的にはKEKに300 kV クライオ電顕を導入し、高分解能データの収集をKEK内で迅速に実施することを目指しています。その他、小型グリッド凍結装置の開発や、microED（電子線単結晶構造解析）実験の共同利用体制の確立を行い、ユーザーのニーズに応えていく計画です。

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ですが、量子ビーム連携研究センター（CIQuS）の小野寛太さんが大阪大学大学院工学研究科物理学専攻に教授として転出されました。ただし、引き続きクロスアポイントメントでCIQuSに20%のエフォートは残ります。