

入射器の現状

加速器第五研究系主幹 古川 和朗

運転概要

電子陽電子入射器においては、震災後 2011 年 6 月から、第 3 セクタに置かれた仮電子銃 GU_3T と下流の 3 セクタ (240 m) を用いて、PF や PF-AR 向けの入射を継続してきた。2012 年度の後期の運転においては、入射器全体にビームを通して放射線の検査を行う予定となっていたため、どのようにそれを実現するかが一つの課題となっていた。PF と PF-AR の入射を継続し、さらに図 1 のような SuperKEKB 向け増強の建設の合間を縫ってのビーム試験であり、期間が 1 ヶ月ほどしか許されていなかったため、慎重な準備が必要とされた。準備は関係者の努力によって比較的順調に進み、予定通りのビーム試験に成功し、さらにビーム開発研究も行うことができた。SuperKEKB に向けたマイルストーンのひとつを越えることができたことになる。

ビーム試験

このビーム試験は SuperKEKB 陽電子用のダンピング・リング (DR) 入射路および出射路の新設に伴う遮蔽と性

能変更の申請のためのもので、震災以前から予定されていた。以前の運転形態から、SuperKEKB に向けて DR も含める運転形態へ移行するために必要な一段階であった。つまり、放射線シールドとして働いていた土壌を一時撤去した上で、DR の工事を行う必要が有るため、制限したビーム出力での放射線のシミュレーションと測定が一致して十分に低いことを確認する必要があった。もしも、このビーム試験が遅れると工事と運転に制限が加わるだけでなく、次の大電流ビーム加速に徐々に移行するための申請を行うことができないといった事態も予想された。

準備は夏季停止期間に進められたが、DR 新規建設や入射器上流部の改造建設を PF や PF-AR の入射運転を継続しながら行うために、上下流分離部のシールドや仮電子銃 GU_3T、試験用 RF 電子銃 GR_32 などの再移動もこの期間に行われたため、入射器全体にビームを通すための熱陰極電子銃 GU_A1 の回復には難しい作業管理が必要であった。震災で崩れてしまった加速管や電磁石のアライメントの回復、マイクロ波源の回復、電磁石やその電源の回復などが次々と行なわれ、どうにか試験に漕ぎ着けることがで

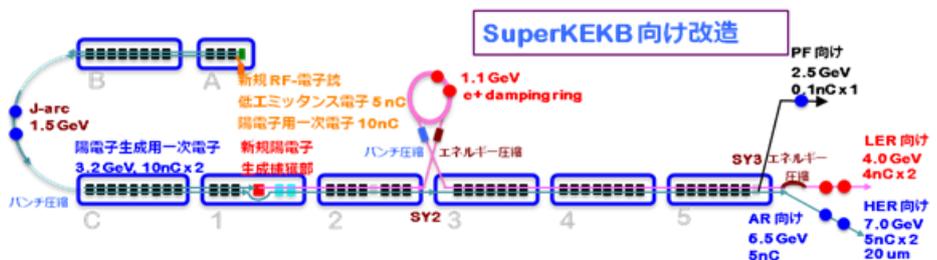


図 1 A セクタから 5 セクタまで 600 m にわたる電子陽電子入射器とその主な改造点。

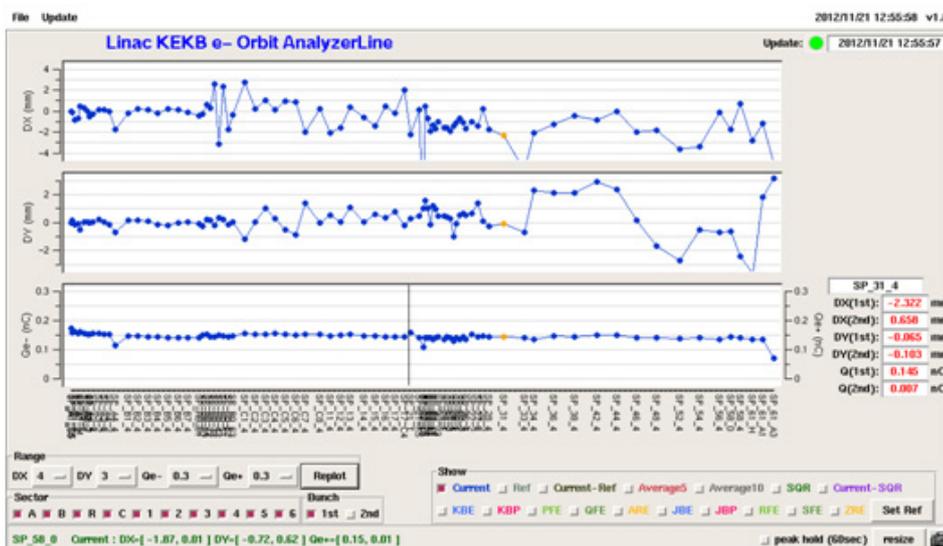


図 2 入射器を A セクタから 5 セクタまで通る試験ビームの水平・垂直位置と電荷。

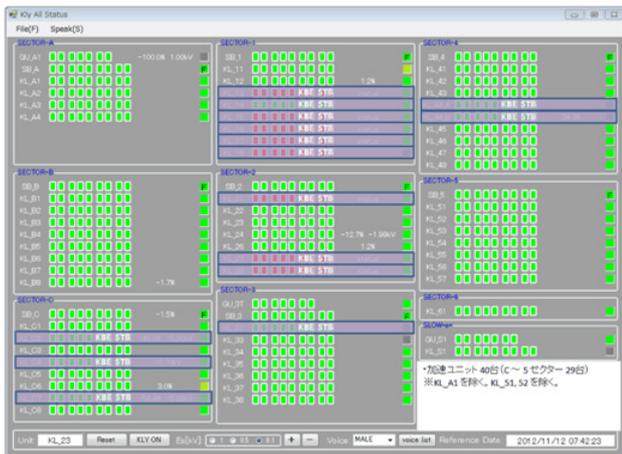


図3 今回の試験に使用された40台の加速ユニット。改造中のユニットは使用されていない。

きた。特にアライメントについては、SuperKEKBの低エミッタンス・ビーム運転に向けて、KEKBの運転時に比べると格段に厳しい要求が課せられており、今回のビーム試験の結果を受けて繰り返し精度を上げていく必要があると思われる。今回、熱陰極電子銃 GU_A1 を回復させるのか、SuperKEKBに向けて開発を急ぐ必要のある光陰極 RF 電子銃 GR_A1 の開発試験を優先するのか意見が別れるところであったが、準備状況を考慮して安全策として熱電子銃で試験を行うことになった。

入射器上流部の安全システムの自主検査のあと、11月14日より GU_A1 を使った上流部のビーム調整運転を開始し、図2、3に示すように正常なビームを確認したのち、11月23日13時から放射線施設検査の予備検査が行われた。DR接続部(第2スイッチヤード, SY2)で工事中の最大定格0.3 nA, 5.8 GeVに対して0.15 nA, 3.5 GeVの試験運転を行い、DR入射路及び出射路の境界領域付近で中性子及び光子の測定が行われた。ビーム運転時と停止時の測定値に差が見られなかったことで、運転時の放射線量はバックグラウンドと判定され、さらにKEKBの一般区域の制限値0.2 $\mu\text{Sv/h}$ を十分下回っていることが確認され、放射線取扱主任者から検査結果は良であるとの判定をいただくことができた。

このビーム試験のあと、すぐにDR接続部の測量作業が始まり、3月末まで建設作業が続くため、4月までは入射器を通したビームは試験することができない。それまでに光陰極 RF 電子銃の設置・試験を終了させて、本審査を受ける予定である。

ビーム開発

ビーム試験は上のように順調に進んだため、この約1週間にさまざまな装置やビームの開発研究が行われた。加速器装置自体や運転制御プログラムの調整の他、ビームモニタを用いたアライメントの確認試験、ビームジッターの測定、ビームオプティクスのパラメータ測定、180度アーク(J-ARC)を使用した縦方向ビーム圧縮試験等々、短い時

間に関わらず貴重な情報が取得された。そのうちのひとつを紹介する。

SuperKEKBを実現するためには、入射器においては、KEKBの際に比べて大幅にビームを低エミッタンス化し、さらにパルスあたりの電荷量も約5倍にする必要がある。図1は入射器の改造の概略を示したものである。陽電子については、陽電子生成捕獲部の更新とDRの新設で、電子については新規開発の光陰極 RF 電子銃で、それぞれ解決しようとしている。基本的な方向性は確認されているが、達成までにはいくつもの課題の克服が必須である。

例えば、低エミッタンス大電流電子を得るためには、空間電荷効果を考慮したビームバンチの電荷量や広がり最適化を行う。また、600 mにわたって低エミッタンスを維持するためには、加速器のアライメントとビームの軌道の精密な制御を行う。さらに、入射可能な小さなエネルギー分散を得るためには、時間方向バンチ形状の正確な制御を行う。

電子についての課題の内、最後のエネルギー分散の規格については、KEKBの際と数値的には変わっていないが、電流とエミッタンスの規格が大きく変わっているために、その達成が自明ではない。達成のための時間方向のバンチ形状を制御できる場所は、電子銃のレーザとJ-ARC(そしてSY2)である。

今回、まずはJ-ARCにおいて、バンチ形状を制御するために有限のエネルギー分散パラメータR56を作る試験

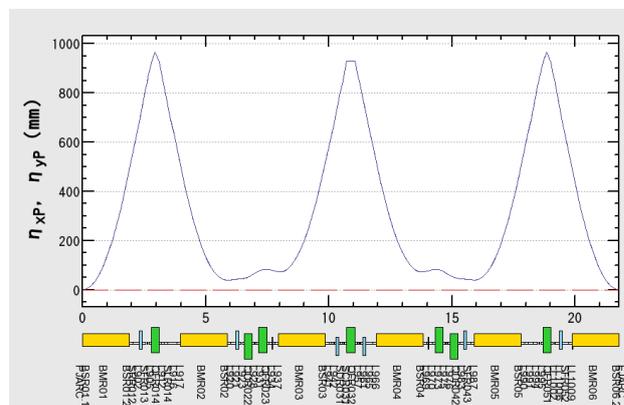
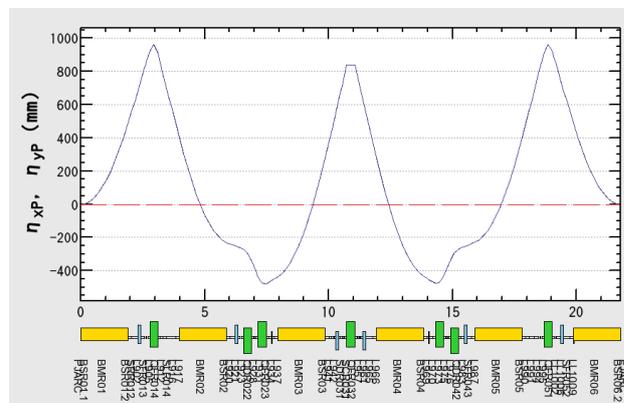


図4 J-ARCにおいてR56をゼロとする場合(上)と-0.6とする場合のビーム光学設計。

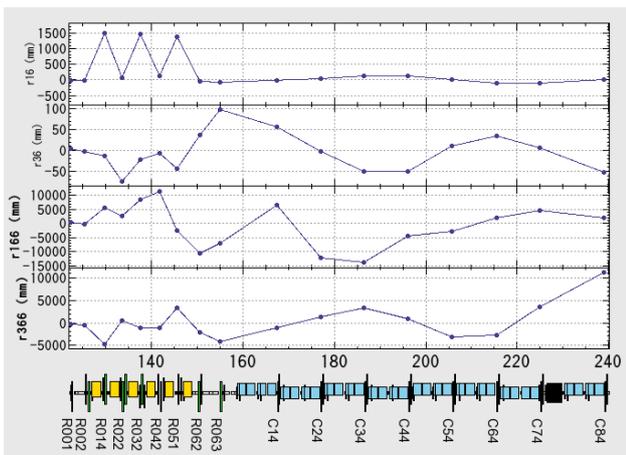
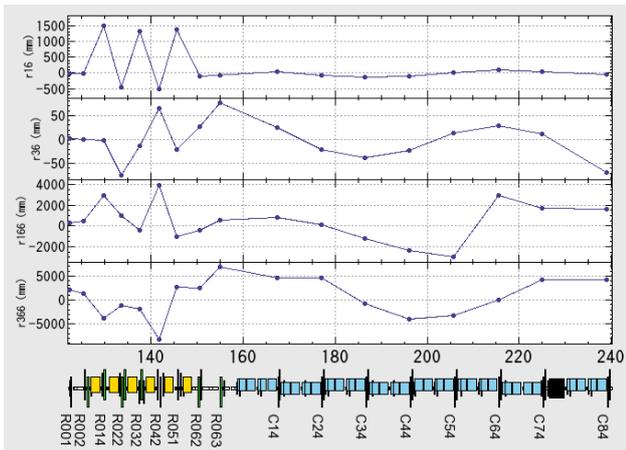


図5 R56を変更した場合のJ-ARCからCセクタ部のディスパージョン関数の測定値。

を行った。KEKBの際はBセクタとCセクタの間でバンチ形状を維持するために、R56をゼロとしていた(図4の上)。現在、空間電荷効果によってエミッタンスが発散してしまわないように、RF電子銃から生成するビームは約30 psの長さをもたせることを想定しているが、そのままではエネルギー分散が大きくなりすぎるので、まずはJ-ARCでバンチ圧縮するため、有限のR56を必要とする(図4の下)。

現在はまだビームの時間構造を測定する仕組みが整っていないので、これらのビーム光学設計の値を設定して、まずはディスパージョン関数を測定して評価してみた。

図5の測定値のそれぞれの一番上のプロット(の左側3分の1)が図4の設計値に対応するもので、詳しい解析はこれからではあるが、それぞれ設計値が概略再現できている。ディスパージョン関数がゼロであるべきCセクタ(プロットの右側3分の2)で有限の値が測定されていることの影響などは、今後別に検討を加え解決する必要がある。

このビーム開発試験によって、J-ARCのバンチ圧縮の可能性と設計や測定のためのソフトウェアが確認され、今後の改造の進展によって、さらなる開発へ繋がることがわかった。さらに、DR接続部、SY2部を含めた入射器全体でのバンチ構造制御のために詳細設計を進め、エネルギー分散の最適化の設計と試験を進める予定である。

2012年秋の運転と2013年正月の立ち上げ

2012年の秋には、障害が複数記録されており、震災の後遺症が疑われるものが多いが、一応ここに列挙する。

9月には、C-バンドのクライストロンKL_44_Bが故障し、急遽交換を行った。内部真空の悪化がわかっており、大震災時に高電圧トランスが転倒して壊れたため、絶縁碍子に傷を付けたのであろうと考えられている。

10月に入って、加速器制御用ネットワークの不調が起り、調査したところ低速陽電子施設に引き込んでいた機構内ネットワークが誤って制御ネットワークに接続されていたことがわかった。また一週間後、ハードディスク・バックアップ装置のソフトウェア異常により、ブロードキャスト・パケットが大量発生し、運転に影響を与えた。このようなネットワーク障害を検知できる監視プログラムを作ることとなった。また、Linac, KEKB, PFの間で制御情報を交換するためのEPICSのゲートウェイの設定に誤りがあり、一部機器の制御が平均2回に1回しか行われなという障害が見つかった。現在ネットワーク構成が過渡期にあるが、SuperKEKBの運転が始まるまでには安定させる必要がある。

11月にはまず、光陰極RF電子銃向けのレーザとPFの旋回周波数の間に遠い整数関係が成立する、という問題が生じ、ビーム入射同期が取れなくなってしまった。当面、同期精度を緩くして対処した。その後、ビーム位置モニターSP_22_15の真空封止コネクタからの真空漏れが見つかり、真空封止剤で対策した。また、マイクロ波源KL_3Tのパルス電源の出力が低下し、一応調整により運転は継続できたが、木曜保守で交換を行った。クライストロンKL_54からは水漏れが見つかり、交換を行った。さらに、加速管AC_35_4の冷却水路から真空漏れがあり、マイクロ波を投入できなくなったため、そのユニットを休止状態とした。この漏れは発見が難しく、運転に影響を与えてしまった。

これらの障害は、震災の影響がわかっているもの、SuperKEKBへの過渡期の事情により発生したもの、老朽化により起こったものなどがある。予備装置の整備などを含めて、なんらかの障害解析と対策の検討を考えているところである。

年末年始の短期の停止期間には、上の障害対策を含めた保守作業やSuperKEKBに向けた建設作業として、特に、水漏れを起こした加速管AC_35_4の交換、管内放電を起こしたと思われるクライストロンKL_33の交換、研究開発用RF電子銃GR_32用の第2レーザハット構築、SuperKEKB用のRF電子銃GR_A1の構築、上部加速管架台復元やアライメントの継続作業、などが行われた。その後、1月8日に入射器立ち上げ、15日PF入射、17日PF-AR入射が順調に行われた。現在、RF電子銃のファイバ・レーザ、レーザ増幅、光学系、マイクロ波源の調整や、アライメント作業の継続や測定データ解析、DR接続部のビームライン構築作業などが行われている。

光源リングの運転状況

PF リング, PF-AR 両リングともに数回のビームダンプはあったものの, 秋のユーザ運転は概ね順調であった。図 1 に, 11 月 11 日～12 月 11 日の約 1 ヶ月にわたる蓄積電流値の推移を示す。この期間に発生したビームダンプの内, 12 月 7 日(金) 夕方のは, 震度 4 の地震である。PF リングでは, シールドドアのインターロックが動作し, ビームダンプするとともに, 超伝導ウイグラー下流部で真空度が悪化した。真空悪化の原因を調査したところ, 真空ダクト溶接部からスローリークが見つかった。幸い真空シールを塗布することでリークは止まったので, リングトンネル内, 地下機械室, 電源棟内の安全確認を行った後, 運転を再開した。PF-AR は, 地震による真空悪化は見られなかった。こちら, トンネル内等の安全確認を行った後, 運転を再開している。この地震によるユーザ運転停止はおよそ 3 時間程度であった。

PF リングでは, 毎週水曜日の入射器調整運転日以外のユーザ運転中は, トップアップ運転を行っている。ビームの積み上げは, DCCT (電流モニター) で, 450.0 mA から約 0.1mA 減少した 449.9 mA を検知した時に開始される。マルチバンチ運転時の入射の繰り返し周波数は 1~2Hz すなわち 0.5~1.0 秒おきに 0.02~0.03 mA/s 程度の入射スピードで行われる。そして, 450.0 mA を検知したと同時に入射を止める。入射の時間はビーム寿命にもよるが, およそ 5 秒間, 入射の間隔は 30 秒程度である。この入射タイミ

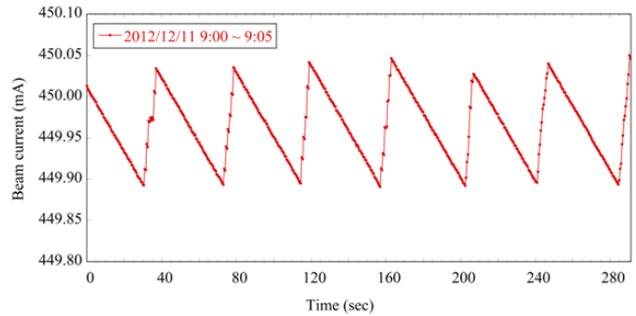


図 2 PF リングにおける 12 月 11 日 9:00~9:05 までの 5 分間の蓄積電流値の変化。このときの入射の繰り返し周波数は 1 Hz, 積み上げスピードは約 0.025 mA/s, ビーム寿命によるロススピードは約 0.003 mA/s である。

ング制御によって, 蓄積電流値は 449.95 ± 0.05 mA と高精度で保持されている。図 2 に, 12 月 11 日 9:00~9:05 の 5 分間の蓄積電流値の変化を示す。

高速スイッチング可変偏光アンジュレータの進捗状況

PF リングでは, 200 eV から 1 keV 領域での高速偏光スイッチング光源の開発が行われてきた。これは B15-16 直線部に 2 台の可変偏光アンジュレータをタンデムに配置し, 高速キッカーシステムでバンチ軌道を切り替えることで 10 Hz 以上の高速偏光スイッチングの実現を目指したものである。このために PF では, 2008 年春に 5 台の高速キッカーシステムと共に, 1 台目の可変偏光アンジュレータ: U#16-1 が設置され, 2010 年夏には 2 台目の可変偏光アンジュレータとなる U#16-2 がインストールされた。その後, 多くのマシンスタディを経て 2012 年の春期運転からは, 様々な偏光状態の下で 10 Hz での高速偏光スイッチング運転に成功し, ユーザー運転を開始している。

高速スイッチング可変偏光アンジュレータ U#16-1 と U#16-2 は, APPLE-II 型の磁石配列を持ち, 上下 2 列ずつの計 4 列の磁石列で構成されている。4 つの磁石列の位相を変えることで, 左右円偏光や水平・垂直線偏光を代表とする多くの偏光状態を切り替えることが可能である。一般に APPLE-II 型アンジュレータでは, 上下磁石列間の Gap 値を調整することで光子のエネルギーを変えている。そのため, 光子エネルギーと偏光状態の制御には, 磁石列の位相と Gap 値の 2 つのパラメータを制御する必要があるが, 各パラメータ値に応じて軌道補正を行うことになるので, 制御システムが複雑になる。この複雑な制御を回避する方法として, PF リングでは Gap 値を最小 Gap (21 mm) に固定し, 上下磁石列ペア間の位相を調整することで, 光子エネルギーを変える上下スライド方式 (ρ モード) を採用した (図 3-1)。すなわち, 偏光状態と光子エネルギーの両

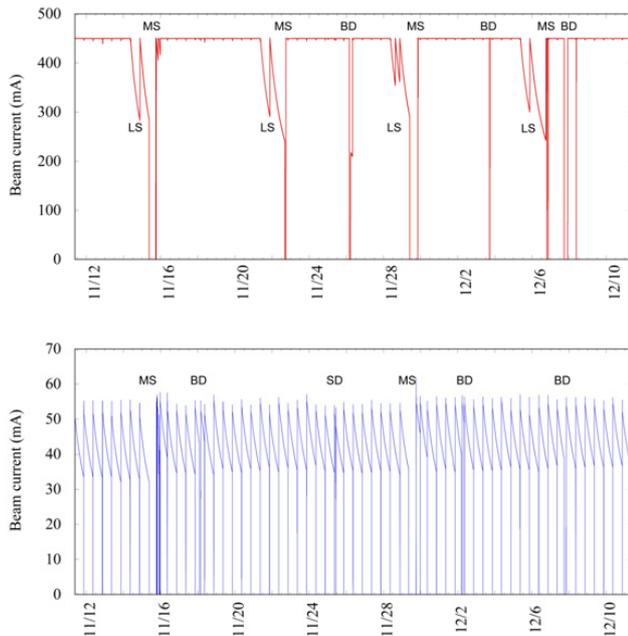


図 1 PF リングと PF-AR の蓄積電流値の推移。MS はリングマシン調整, LS は入射器調整, SD は寿命急落を示す。

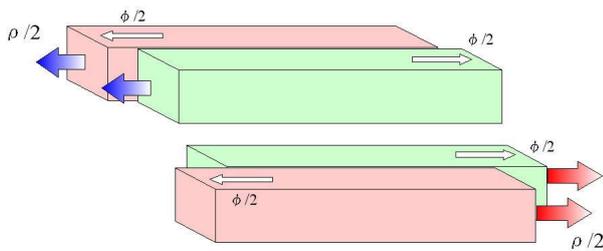


図 3-1 上下スライド方式 (ρモード)。

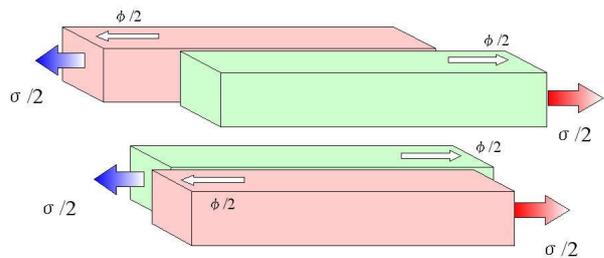


図 3-2 左右スライド方式 (σモード)。

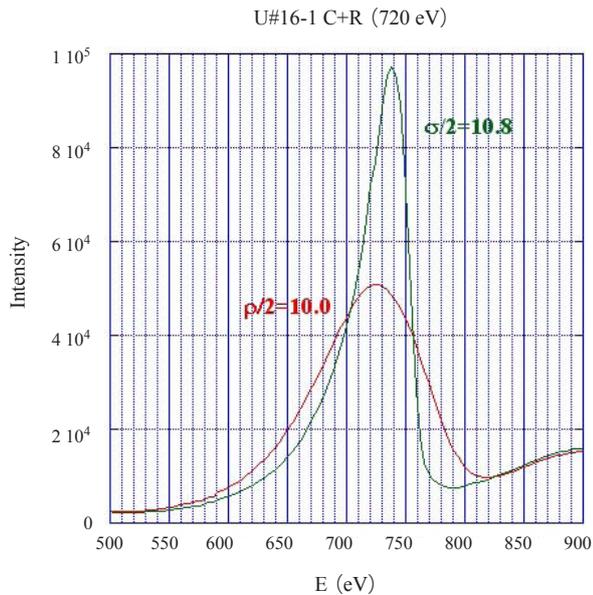


図 4-1 U#16-1 スペクトル比較。

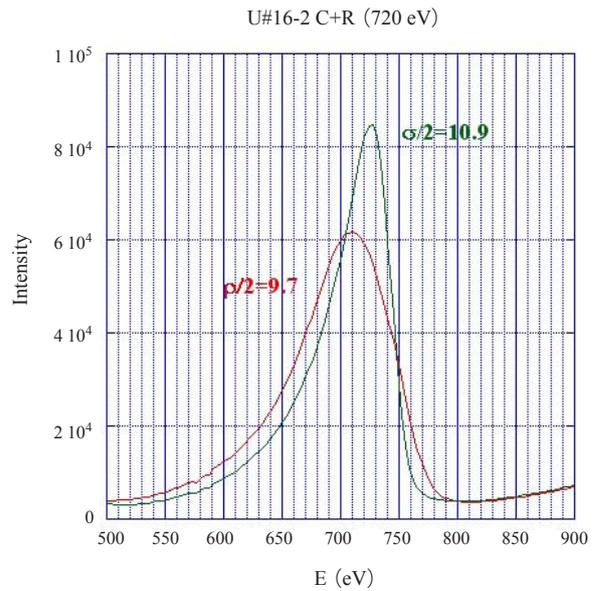


図 4-2 U#16-2 スペクトル比較。

方を磁石列間の位相のみで制御している。この上下スライド方式では Gap 値が固定であるために、磁石列間の位相量変化に伴う軌道への影響が少なく、様々な偏光状態の制御や軌道スイッチング運転に有利である。実際に 10 Hz 軌道スイッチングに起因した軌道振動を抑制するためには、1つのフィードフォワードテーブルに基づく軌道補正のみで十分であり、偏光状態や光子エネルギーに依らないで制御できている。しかしながら、上下スライド方式では円偏光の放射光スペクトル強度が、Gap 制御による光子エネルギー制御に比べて低下する現象がスペクトル測定によって判明した。これは上下スライド方式では、円偏光配置でのアンジュレータ磁場の水平方向の均一度が悪く、水平方向のビームサイズが 600 μm と大きな PF リングでは、強く影響を受けたものと考えられている。

このスペクトル強度低下を改善するために、PF リングに先行して上下スライド方式を採用している SLS (Swiss Light Source) において、左右の磁石列をペアにしてスライドすることで光子エネルギーを制御する方式が提案された。この左右スライド方式 (σモード) (図 3-2) では、軌道中心での磁場分布は上下スライド方式と変わらないが、アンジュレータ磁場の均一度が垂直方向に悪くなり、水平方向には変化が少ないということが分かっている。従って、

一般に蓄積リングでは垂直方向のビームサイズは水平方向に比べて約 1/10 と小さいため、スペクトルに対するビームサイズの影響が大きく改善されるというものである。

PF リングの U#16-1 と U#16-2 は、4つの磁石列を独立に制御できるので、同じ方式を試すことが可能である。そこで今期のマシンスタディ時間を利用して、この左右スライド方式 (σモード) と従来の上下スライド方式 (ρモード) でスペクトル測定を行い、それぞれを比較した。その測定結果を図 4 に示す。測定結果は、明らかに SLS の提案を実証しており、左右スライド方式の方が、上下スライド方式よりもスペクトル強度が上がり、バンド幅が狭くなるという結果となった。今後、更にマシンスタディを重ね、ユーザ運転で左右スライド方式を導入する方向で検討している。

PF および PF-AR の運転状況とスケジュール

PF リングおよび PF-AR の 2012 年度の秋期運転は、予定通り 12 月 21 日（金）午前 9 時に終了しました。また、冬期運転は、PF リングについては 1 月 15 日に加速器を立ち上げし、16 日に予備光軸確認、17 日午前 9 時に光軸確認後ユーザー運転に入りました。PF-AR については、17 日加速器立ち上げ、18 日光軸確認を行い、すでにユーザー運転になっています。PF リングおよび PF-AR とともに、当初の予定を数日延長し、2 月 25 日（月）午前 9 時まで運転することになっています。

2013 年度の運転スケジュールについては、ユーザー運転 4000 時間確保を最低の目標として機構内の調整を行っています。現在想定されている年間の加速器運転時間は、PF リングおよび PF-AR でそれぞれ 4684 時間および 4320 時間で、上記目標は達成できる見込みです。年間スケジュールについては、superKEKB および入射器の工事による不確定要素がありますが、2013 年 4 月から 6 月については本号 64 ページに示すように確定しました。なお、2013 年度秋期のスケジュールは関連工事日程を踏まえて 5 月中旬に決定する予定です。

今後、上記の KEK 内の他施設工事のほかに、PF 関連予算減額、電気料金高騰、さらに PF-AR 直接入射路工事などによりユーザー運転時間を確保することが困難になる要素はあります。しかしながら、これまでの BL 改編・統廃合により PF らしさを出す BL を整備してきているところで、これらの BL を有効に使っていただくためにも、ぜひユーザーの皆さんからもユーザー運転時間の確保について大きなサポートをお願いしたいと思います。

BL 改編・統廃合

折に触れてお知らせして来ましたが、PF の BL 改編・統廃合計画は、「挿入光源 BL および競争力のある偏向電磁石 BL にリソースを投入する」という原則に基づいて進められてきました。

PF リングの 4 か所の短直線部の最後の BL-15 には、2013 年夏のシャットダウン中に、小角散乱と XAFS を用いた複合解析ビームラインが建設されます。PF リングの 7 か所のうち 4 か所の中長直線部には VSX 領域をカバーするアンジュレータベースの BL が設置されています。そのうち BL-2 は日立製作所と共同で広エネルギー範囲をカバーするビームライン建設が進められています。周期長 6 cm 周期数 60 の高エネルギー領域をカバーする現存の水平偏光アンジュレータに加えて、低エネルギー用の周期長 16 cm 周期数 17 の可変偏光アンジュレータが 2014 年 3 月に設置されることにより、30-4000 eV の広いエネルギー範囲がカバーされます。すなわち、戦略的な元素群の研究には最適の BL が完成することになります。なお、回折格

子分光器のほかに二結晶分光器が組み入れられる新 BL 建設の立ち上げ作業は 2013 年秋を予定しています。また、BL-13 については、2013 年 3 月に 2 ブランチ化され、現在の挿入光源は 2014 年度夏に、周期長 7.6 cm 周期数 47 の APPLE-II 型アンジュレータに置き換えられる予定です。BL-28 においても、周期長 16 cm 周期数 22 のアンジュレータで置き換え作業が 2014 年夏に行われます。BL-16 については、2 台のアンジュレータとキッカー電磁石を組み合わせた高速可変偏光スイッチング軟 X 線分光ビームラインがすでに完成しています。したがって、PF リングの 4 本の VSX-BL は、2014 年度には、それぞれ目指すサイエンスに特化した性能を有する BL に生まれ変わります。

今後の整備計画について

BL-19 は、建設以来東京大学物性研究所軌道放射光施設が主体となって共同利用が進められていますが、2014 年 3 月で同施設による運営が終了されると連絡をいただいています。BL-19 はいわゆる中長直線部で VSX 領域をカバーする重要なビームラインですが、その用途について検討が始まったところです。軟 X 線領域のイメージングを中心とした BL が提案されていますが、今後他の ID ベースの VSX-BL の研究分野を見ながらユーザーのみなさんと一緒になって詳細な検討を進めていきたいと思えます。

PF リングには X 線回折に特化した数本の BL が整備されていますが、元素戦略プログラムも絡んで高エネルギー X 線回折の要望も出てきていますので、PF-AR に BL を建設することも検討されています。

PF リングおよび PF-AR とともに建設から 30 年経過しており、これまで挿入光源、BL、実験装置について更新作業が進められてきています。しかしながら、PF-AR の NE1 のマルチポールウィグラー、NE3 の真空封止型アンジュレータについては更新作業が行われていません。これらの挿入光源は、加速器 7 系のみ皆さんの努力でなんとか利用実験に供されていますが、なんとか予算を獲得して更新を進めたいと考えています。

そのほか、良質の単色光を提供するための BL 分光器および集光システム、あるいは実験装置でも検出器および回折計などで問題が出ているものもありますので、漸次更新作業を進めて行く必要があると考えています。

ここでお示した建設および更新作業は、ただ単に現在の研究の継続を目的とするものではなく、将来の高性能の光源を用いる研究につなげて行くことが重要であると考えています。

人の動き

昨年 12 月 1 日付けで堀場弘司さんが特任准教授として着任されました。現在進められているビームライン BL-2

および実験ステーションの整備において中核となって推進していただくことになっています。

これまで PF を牽引されてこられた若槻壮市物質構造科学研究所副所長・構造生物学センター長が昨年 12 月 31 日にスタンフォード大学へ転出されました。今後も放射光科学に携われるとのことで、海外から PF ヘールを送り続けていただければと思います。この転出に伴い、構造生物学センターおよび生命科学グループ関係の人の動きが多くなっています。まず、構造生物学センター長および生命科学グループリーダーとして、千田俊哉さんが 2013 年 1 月

1 日付けで着任されました。千田教授の着任に伴い、鈴木喜大さん、赤井裕介さん、千田美紀さん、羅羽華さんが研究員として 1 月 1 日から構造生物学センターで研究を開始されました。また、元素戦略プロジェクトで特任助教として、小林正起さんが 1 月 1 日付けで着任され、組頭教授と同プロジェクト電子材料関連の研究を進められます。さらに、1 月 17 日付けで、François-Xavier Gallant さんがポスドク研究員として構造生物学センターで研究を開始されました。

ERL 計画推進室報告

ERL 計画推進室長 河田 洋

はじめに

少し時期はずれのご挨拶となりますが、明けましておめでとございます。今年は ERL プロジェクトに取って最も重要な年となる予感があります。一つは、この 6 年間の推進室の節目となるコンパクト ERL の運転を開始する年です。また一方で、KEK の 2014 年からの 5 年間のロードマップを示すと同時に、放射光のコミュニティーとして学術会議の大型研究計画の見直しの年でもあります。どれ一つ欠けても、数百億円クラスの 3 GeV-ERL 計画の実現は成り立ちません。力強いユーザーの皆様からの声援が何にもまして力となる年と考えています。

3 GeV-ERL 計画はただ単なる回折限界放射光源計画だけではなく、その超伝導加速器をベースにした、1 MHz の繰り返しである (PF-AR とほぼ同じ繰り返し周波数) 回折・フーリエ限界光である共振器型 XFEL (XFEL-O) や、1 MHz 程度の繰り返しによるサブフェムト秒軟 X 線光源 (EEHG) も射程に入れている計画です。つまり、ERL 自身が回折限界とフェムト秒パルスによる、不均一系の物質科学とそのダイナミクス研究を展開する次世代光源ですが、その延長線上には、正に前人未到の光源のベースを作るものであることを最近強く認識して来ています。勿論、一足飛びに、そのような前人未到の光源を手に入れることはできませんが、3 GeV-ERL は間違いなくそれらの扉を開くこととなるでしょう。

年頭に当たって、少し思い出話を書かせて頂きます。私は数多くの皆様の協力を頂いて、PF-AR に世界に先駆けて円偏光の硬 X 線ビームラインであるコンプトン散乱ビームラインを作った事があります。丁度 ESRF, APS, SPring-8 が建設中もしくは建設前の時でした。当時の PF-AR はトリスタンの主リング (今の KEKB トンネル内にあった 30 GeV リング) の前段加速リングの役割が主なタスクでした。そのために、放射光利用は主リングで衝突実験が行われる 1 時間から 2 時間程度の間だけ PF-AR 用のビームがセットされ、衝突実験が終わると放射光用のビームはダンプされて、また延々と 1 時間強の間、主リングへの入射

となり、その間は放射光実験は中断されます。正に放射光施設としては劣悪な環境でした。しかし、当時、このビームラインが世界でただ一つのコンプトン散乱・XMCD ビームラインであったことから、英国、フランス、ドイツ、イタリア、スペイン、アメリカ、ポーランドといった世界中の研究者が実験に来たのです。この時の経験から、私は「世界に先駆けた実験装置を持つことの重要性」を学びました。

ERL 放射光源は、まだ世界にひとつも無い光源です。それが故に、いくつかの解決すべき技術的課題を抱えていることは事実です。その確立のために現在コンパクト ERL という実証機を建設し、加速器グループの若手研究者はその実現に向けて努力をしています。一方で前述しました様に ERL は更なる発展の素地がある光源で、まさに前人未到の光を実現できる可能性を秘めています。どうか放射光ユーザーの皆様はそのような ERL 計画の実現にエールを送って頂きたいと切望する次第です。

cERL の建設状況

この 3 ヶ月間で、著しく進展したところは、主加速部超伝導空洞の大電力試験を行なったことです。前号で 10 月 15 日に現場に設置したことを報告しましたが、その後、2 K のコールドボックスとの接続そして、高圧ガスの完成検査を無事に終了しました。その後、11 月下旬から冷却を開始し、12 月 12 日から 22 日迄、主加速部超伝導空洞の大電力試験を行ないました。まず、クライオモジュールが問題なく 2 K まで冷却できることを確認した上で、2 K で、チューナー、カプラー、HOM ダンパーなど周辺機器の動作確認をしました (図 1)。その後、RF パワーを導入し、2 空洞とも 16 MV/m 以上の CW 加速勾配印加を確認しています。設計値は 12-13 MV/m です。その値はクリアしています。但し、フィールドエミッションの発生が高く、13.5-14 MV/m の加速勾配で、両空洞ともに 1 時間以上の keep 試験を確認できていますが、それ以上の加速電圧ではフィールドエミッションによるパワーロスが問

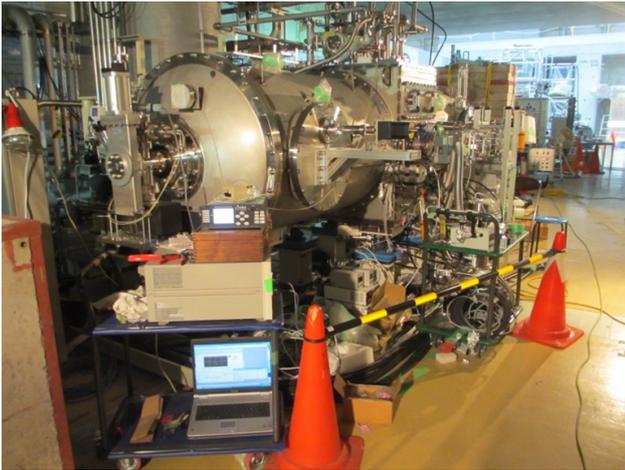


図1 主加速部超伝導空洞の大電力試験の様子



図3 4月の電子ビーム試験に向けて整備が進められている高輝度電子銃。



図2 完全に閉じ込め状態となった放射線シールド（天井蓋を含めて）



図4 着々と設置が進められている電子銃と入射部超伝導空洞の電子ビーム評価ライン（ビームダンプを含む）のビームライン。

題となる事も明らかとなりました。運転時における余裕を考えると、今後、フィールドエミッションの抑制が重要な開発課題であることを確認したところです。今後、フィールドエミッションの発生場所を含めて、測定結果を解析し、開発にフィードバックしますが、今年後半のコンパクト ERL の周回運転はこの超伝導空洞を再冷却し、本加速空洞を用いてビーム運転を行い、ERL の加速器としての試験を行う予定です。

一方、上記の大電力試験を行うためには、天井蓋を含めた放射線シールドにより、加速器を完全に閉じ込め状態にするとともに（図2）、加速器運転時に相当する放射線安全のインターロックシステムの立ち上げが必須です。また将来に向けて現在使用していないケーブルダクト等の開口部も完全に遮蔽する必要があります。それらの現場作業は安全関係メンバーにより、戦場のごとくに行われ、無事に12月10日に放射線主任者検査が終了した次第です。

高輝度電子銃は原子力機構との共同開発で進めてきていますが、10月19日に東海の原子力機構の研究室から KEK の ERL 開発棟への移設が開始され、ERL 開発棟で一つ一つ動作確認を行いながら4月の電子ビーム試験に向けて整

備を進めている状況です（図3）。また、高輝度電子銃と前段加速超伝導空洞の間に設置するバンチャー空洞をはじめとする入射部の組立が、11月末に現場に簡易のクリーンハットを導入し、極高真空の環境を考慮して慎重に組立作業が進められ、無事に完了しています。これにより高輝度電子銃と入射部の超伝導空洞の間が真真空的にも接続されています。また、3月下旬からレディー状態に突入する、電子銃と入射部超伝導空洞の電子ビーム評価ライン（ビームダンプを含む）のビームラインも、超伝導空洞の大電力試験等の作業中断を挟みながらも図4の様に着々と設置が進められています。

今後、2月上旬に前段加速超伝導空洞、及びバンチャー空洞の大電力試験を行なった後、3月にはビーム運転開始に向けてインターロックシステムの最終点検を行い、3月末から前段加速空洞の冷却を開始し、4月早々に電子ビーム運転を開始するスケジュールで関係者一同一丸となって作業を進めています。