

現 状

入射器の現状

電子・陽電子入射器
加速器第三研究系主幹 榎本收志

概況

4-6月の運転日程は以下の通りであった。

- 4月 2日 PF 運転開始
- 4月 17日 PF-AR 運転開始
- 4月 27日 KEKB, PF, PF-AR 運転停止
- 5月 7日 PF 運転再開
- 5月 14日 KEKB 運転再開
- 5月 16日 PF-AR 運転再開
- 6月 30日 KEKB 運転停止
- 7月 2日 PF, PF-AR 運転停止

KEKB は、クラブ空洞を昇温してガスを出し、エージングをするため、4月27日から5月14日まで保守を行った。このため、入射器も4月27日から5月7日まで運転を停止し、8年ぶりにゴールデンウィークの運転シフトが解除された。入射器とPFは予定通り、連休明けの5月7日に運転を再開したが、PF-ARは偏向電磁石電源故障のため、5月9日に運転を再開できず、5月16日まで運転再開が延期された。KEKBは6月30日、PF、PF-ARは7月2日運転を停止し、夏期保守に入った。

主なトラブル

4-6月、PF、PF-AR入射に影響を与えた故障はほとんどなかった。4月12日、入射器マスタートリガステーションからPF入射路セプトマグネットに送信するトリガ信号に不具合があり、入射が46分遅延したことが主なトラブルであった。

連続入射をしているKEKBに対しては、上記のトラブル以外にもいくつかの不具合があった。4月3日、真空リークのため、スクリーンモニタービューポートの交換を実施した（修理時間590分）、4月16日、陽電子収束系ソレノイド電源が故障（同188分）。5月2日、5月8日、5月11日、3回落雷による瞬時停電があった。KEKB建設後、落雷対策として制御システムをはじめ小型機器には無停電電源（UPS）を入れているため、加速器の停止はあったものの、大きな混乱はなかった。5月8日の落雷ではKEKB入射に用いているECS（エネルギー圧縮システム）電磁石電源が故障したが、幸いKEKBの運転が休止中であった。5月8日、5月11日の停電時、PFに対しては、PFリング復旧後遅滞なく入射を行った。5月18日、サブブースターCタイミングモジュール用CAMACクレート電源が故障（115分）し、入射が停止した。6月2日、震度4の地震があったが、点検の結果、入射器に異常はなく、運転

にも支障が出なかった。6月26日、サブブースターBタイミングモジュール用CAMACクレート電源が故障（148分）。以上のほか、今期、サブブースタークライストロンSB4、SB5の放電による大電力高周波の出力停止が何回かあった。すぐに復旧できる一時的な放電であるが、頻度が増加したので、夏期保守期間中に点検し、必要ならば予備品と交換する予定である。

夏期保守および入射改善工事

通常の夏期保守については、運転・管理グループが、RF、加速管、制御など、各グループの保守項目について、必要な作業が全て計画的かつ円滑に実行されるよう調整している。RFグループは、前段および大電力高周波電源全数の清掃・点検、大電力クライストロンの交換（4本、マグネットおよび冷却配管の不具合のための修理）等多数の作業を行う。加速管グループは電子・陽電子源の保守・交換、電磁石電源の点検・交換、真空系の保守など広範囲の作業を行う。制御グループは、通常の制御システムの保守・点検に加えて、入射改善関連のタイミング、モニター系の整備と関連ソフトウェアの準備等を行う。

今後予定されている入射器改善工事は、パルス電磁石を入射器の終端に設置して、PFとKEKBへの入射をパルス毎に切り替えられるように改造することである。パルス電磁石と電源は前年度製造し、磁場の強度、空間的な精度では所期の性能を得ているが、さらに調整を行って、繰り返しを変えたときの磁場の安定性を改善しているところである。今後、これらの装置を現場に据付けて試験を行い、結果が良ければ、年明けの運転からこの電磁石を使い、タイミング系、モニター等個々の試験を行いつつ、パルス運転のための総合試験を進める予定である。

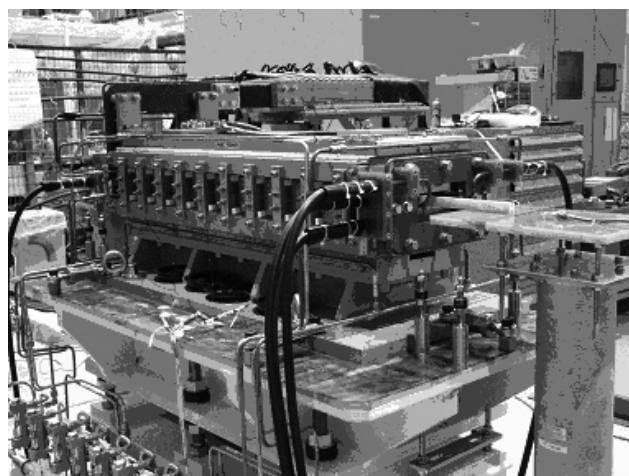


図 入射器終端に設置予定のパルス電磁石。磁極長は0.99 m、PF用電子ビームを6.55度偏向してPF輸送路に送る。最大磁場強度は約1.2テスラ、2.5 GeV ビーム入射時の磁場は0.96テスラ。

PF 光源研究系の現状

放射光源研究系主幹 春日俊夫

PF

PF は予定どおり 4 月 2 日に 2007 年度の運転を開始し、4 月 6 日にユーザーランを開始した。例年どおりゴールデンウィークは運転を休止している。すなわち、4 月 27 日に運転を休止し、5 月 7 日に運転の再開を、また 5 月 10 日にユーザーランを再開している。今年度前期のユーザーランは 6 月 30 日の朝に終了し、その後 7 月 2 日の朝まで連続マシンスタディを行った。

5 月 26 日の未明に真空度悪化のためビームダンプが起こった。通称オクタ管と称する真空ダクトと同じ構造のビームモニター用チェンバーについているアブソーバーの水路側から真空側への水漏れが起こったためである。これは昨年同時期に起こった事故と同一原因によるものである。問題を起こしたチェンバーには多数のビームモニター用電極が取り付けられてあるうえ、昨年事故を起こしたオクタ管より製造年が数年新しいため交換が先送りになっていた物である。同日中にオクタ管（フランジ間の寸法等は事故を起こしたチェンバーと同一だがモニター電極は取り付けられていない）と交換し 27 日と 28 日にビームによる焼きだしを行った後 5 月 29 日にユーザーランを再開した。ビームモニター機能は、近隣の余っているモニターを流用することで対処した。本年度は 1 日 1 回の入射で運転を行っているが、真空事故以後も 1 日 1 回入射で運転を行っている。

6 月 4 日から 11 日までシングルバンチ運転を行っている。シングルバンチ運転時に Top-up 運転の練習を念頭に置いた MBS(Main Beam Shutter) 開の状態での入射を行った。前回 2 月の Top-up 運転の練習のときは入射器を専有して随時入射可能であったので 50 mA のビーム電流をキープすることが可能であったが、今回は入射器を専有することが出来なかったため 3 時間おきの入射となった。今までの課題であった、PF-AR 入射時のインターロックの問題も解決の糸口が見えてきた。なお、Top-up 運転に関しては別項の詳細を参照のこと。

6 月 18 日に #16 の挿入光源にテーパーを付与する作業を行った。これは前号でも報告した、首都大学東京の宮原教授提案の平成 18 年度後期放射光共同利用実験採択課題 (G 型) の「軟 X 線放射光のパルス長短縮化の基礎研究」に対応するものである。

6 月 30 日からのマシンスタディにおいては、フィードバック法による縦方向の不安定現象の抑制、ビーム輸送系での電荷制限器の試験、数バンチのビームを蓄積した状態での真空度、発熱およびビーム寿命の様子を観測などを行った。これらのスタディの結果は、より信頼性の高いリングの運転や、ビーム・クオリティや安定性の向上に資するものと期待される。

PF-AR

PF-AR の 2007 年度の運転を予定どおり 4 月 17 日に開始した。3 月 5 日の前年度運転停止から比較的長い休止期間をとったのは、偏向電磁石電源の更新を行うためであった (図 1)。ところが新偏向電磁石電源のトラブルのため、当初の予定では連休明けの 5 月 9 日に運転を再開し、焼きだし運転後 14 日にユーザーランに入る予定であったものが、1 週間遅れて 5 月 16 日に運転を再開し、21 日にユーザーランを開始することとなってしまった。新偏向電磁石電源のトラブルの詳細は別項のとおりである。春期の停止期間中に幾つかの真空系に絡む作業を行ったにもかかわらず、電源トラブルのため十分な焼きだし期間をとれないまま、ユーザーランを開始した。このため、開始直後はビーム寿命急落現象に悩まされた。

既報の東直線部 2 番空洞下流側のリークの問題に対処するため、繋ぎ管を現在のものより柔軟なベローズを持つものに交換した。新偏向電磁石電源のトラブルの項で述べたが、現時点では減速運転が出来ていない。減速運転は既報のようにビーム電流値の急激な変化を避け、当該部の急激な熱負荷の変動を避け、真空リークの原因を作らないようにするためである。減速運転が不可能なため減速前にビームを落とさざるを得なかったにもかかわらず、柔軟な繋ぎ管のおかげでリークが発生することがなかったことは不幸中の幸いであった。

ユーザーラン終了直前の 6 月 29 日早朝に四極電磁石電源のうちの 1 台が故障した。サイリスタ保護用の速断ヒューズが切れていた。この電源はかなり怪しい動作をしている模様であるが (この電源は位相の違う二組のサイリスタ変換器を相間リアクトルを介して並列接続したタイプのものである) ユーザーランの終了が迫っていたので、対策はヒューズ交換に留めた。幸いなことに運転停止時までは動作が続けたが、本格的調査を夏期休止期間中に行わなけ



図 1 新しい PF-AR 偏向電磁石電源。

ればならない。偏向電磁石電源の更新は曲がりなりにも済みつつあるが、今後は四極電磁石電源の老朽化対策を考える必要がある。

PF-AR も、6月30日のユーザーラン終了後7月2日まで連続マシンスタディを行った。その内容は、PF-AR の懸案事項であるビーム寿命急落現象解明のためのスタディとパルス4極電磁石を用いての新入射法の研究であった。この入射法は、これまでも何度かスタディを行ってきたが、ビーム電流30 mA程度以上の蓄積が出来なかった。今回のスタディでは、最大68 mAまで蓄積できた。ただし、PF-AR では入射に関してまだ良くわかっていない部分も多く、今後もスタディを継続していく予定である。

今号は、電磁石電源のトラブルの話が主体となってしまった。ユーザーの方々に多大な御迷惑をおかけしましたことをお詫び申し上げます。

PF-AR の新偏向電磁石電源のトラブルについて

放射光源研究系 春日俊夫
加速器研究施設 尾崎俊幸

PF-AR の新偏向電磁石電源の立ち上げ時に発生したトラブルを少し詳しく報告致します。

PF-AR の偏向電磁石電源（以後 B 電源と呼ぶ。更新前のものを旧 B 電源、更新後のものを新 B 電源と呼ぶ。）の老朽化対策として更新が計画された。2005 年度に電源の主要部を製造し、2006 年度に変圧器を含む受電部が製造された。各年度の製造物の個々の動作試験、性能試験はその年度内に行っている。2007 年度4月から、両者を組み合わせての動作試験・調整が行われた。4月1日より16日までに新 B 電源自体の調整を終了し、17日より電子ビームを用いての入射・加速・減速試験が行われた。ここまでは順調に推移したかに見えた。すなわち、新 B 電源を用いてのビームの入射、加速、減速には問題が無いことが分かったが、電流安定度が仕様を満たしていないことも判明した。ビームを用いての試験は27日に終了し、ゴールデンウィーク中の28日および29日に電源本体の電流安定度向上のための調整を行った。電流安定度は向上したが（結果的には減速運転が出来なくなった。後述。）、作業終了時に受電部の真空遮断器直後のサージアブソーバー（以後 SA）が破損していることが発見された。電源メーカー側の判断は以下のとおりである。①破損の原因は電源自体が発生する高調波により SA を構成する抵抗器が定格オーバーとなり焼損したが、②この受電部には SA は不要であるので、取り外して運転をしても問題ないし、③同一系統に接続される他電源を破損することはないであろう。この判断をもとに当該 SA を取り外して5月8日に電源の運転を再開し、翌9日にビーム試験を開始した。ビーム試験中に

ビーム輸送路の四極電磁石電源が“AC異常”なるインターロックで停止することが頻発した。この現象は新 B 電源を停止すると起こらなかった。また、発生時は不明であるが、同じくビーム輸送路の偏向電磁石電源のための分電盤の漏電遮断器内の電子回路が破損した。

これらの2件は新 B 電源の稼働に関係していると判断し、9日午後より原因究明のための調査を開始した。なお、破損した SA は高調波の低減に一役かっているものと判断し（この判断の当否には今となっては疑義があるが）、許容消費電力の大きな抵抗器を用いて仮設 SA を組み立てた。この状況で新 B 電源が発生する高調波電圧・電流がどの程度の大きさであるかを電源本体及びビーム輸送路電源用分電盤で測定した。その結果を要約すると以下の通りである。①新 B 電源が発生する高調波（主に6 kHz 近辺）電流は、取り付けてあった SA を破損するには十分であり、②仮設 SA を接続した状態でも、使用している漏電遮断器の電子回路を破損する可能性があり、③ビーム輸送路電源用分電盤での電圧波形は乱れており、ビーム輸送路の四極電磁石電源に“AC異常”のインターロックを作動させることはあり得る。

調査中に、本研究機構の受電設備の力率改善用のコンデンサが投入されれば新 B 電源からの高調波は低減され上記現象は軽減されることが分かった。ところが新 B 電源は力率が1に近くなるよう設計されているため、力率改善用コンデンサは自動的に投入されない。また強制的に手動で力率改善用のコンデンサを投入すると逆に力率が悪化してしまう。他電源（古い電源は力率が悪い）が新 B 電源と同時に動作していれば、力率改善用のコンデンサや高調波フィルタが投入され事態は改善される。4月27日までの新 B 電源の運転時に問題が顕在化しなかったのは、同時に PF-AR の四極電磁石電源や KEKB が稼働中であつたためと思われる。4月28、29日に新 B 電源の単独調整運転を行ったことにより問題が噴出したものと思われる。

このような状況を理解した上で以下の決断をした。

- ①他電源（後の調査で分かったことは、PF-AR の四極電磁石電源のみを作動させておくだけでよい）を作動させ、力率改善用のコンデンサが投入された状況で新 B 電源を稼働させる。ユーザー運転時にはこの条件は当然満足される。夏期等の休止期間中の調整運転時には四極電磁石電源も作動させる。
- ②新 B 電源自体での本格的な高調波低減対策を今年度中に行う。
- ③電流安定度向上のための電源の調整の結果、減速に移るときや、減速から入射電流値に戻るときのオーバーシュート、アンダーシュートが大きくなった。これらのトランジェント時にビームを落とす。オーバーシュート、アンダーシュート軽減のための調整を行う。

PF-AR のユーザーラン再開が1週間遅れてしまったことと再度お詫び申し上げます。

放射光科学第一・第二研究系の現状

放射光科学第一研究系主幹 野村 昌治

運転・共同利用実験

春の停止期間後、PFは4月2日に運転を再開し、4日の予備光軸確認、6日の光軸確認を経て、4月27日まで共同利用を行ないました。黄金週間の停止後、5月7日より運転を再開しましたが、5月26日の1:30ごろ、B07-B08間の放射光アプゾーバから真空へ冷却水が微量漏れ、インターロックが作動してビームダンプとなりました。当該真空部品の交換、真空立ち上げ、光焼き出しを行い、寿命を回復するため、5月29日朝までの利用実験をキャンセルすることになり、ご迷惑をお掛けしました。その後は6月5日から11日のシングルバンチ運転を挟み、6月30日朝まで共同利用実験を、その後マシスタディを行い7月2日朝に運転を停止しました。

夏期の電力需要のピーク時期を避け、加速器・ビームライン等の保守を行うために7～8月は停止し、9月25日より運転を再開、10月2日より12月17日まで共同利用実験を行う予定です。運転の再開に先立ち、放射線安全の鍵となるシャッター類の安全点検、インターロックの総合動作試験を行います。

PF-ARでは春の停止期間中に偏向電磁石電源の更新作業を行ない、4月17日からビームを用いた調整作業を行いました。この間に光源系報告にあるように、電源の障害が見つかり、黄金週間後の運転再開を当初予定の5月9日より16日に延期しました。この間の実験者の方にはご迷惑をお掛けしました。この停止期間中は加速器運転に大きな電力を使用していないため、浮いた電気代を活用して、年末に運転時間の回復を図ります。その後はほぼ順調に運転を行い、PF同様に7月2日に運転を停止しました。夏期停止後は、PF同様に9月27日より運転を再開、10月3日より12月17日まで共同利用実験を行う予定です。

平成19年度後期の課題募集は5月7日に応募を締め切り、G型3名、P型2名のレフェリーによる審査の後、PF-PACの各分科会での審査を経て、7月5日のPF-PACで審査を行いました。この結果、別項にあるようにG型191件の課題、P型5件の課題の採択が決定されました。G型課題の有効期間が2年間であることに示されるように、課題審査に当たっては学問的な価値や技術的な可能性が重視され、採択した課題に十分なビームタイムを配分できるか否かはそれ程考慮されていません。このため、評点の高い課題にはほぼ十分なビームタイムが配分される一方、そうでない課題では最悪の場合、殆どビームタイムが配分されないことも起こりえます。このような場合、課題〇〇の再申請であることを明記の上、再申請頂くことも可能です。

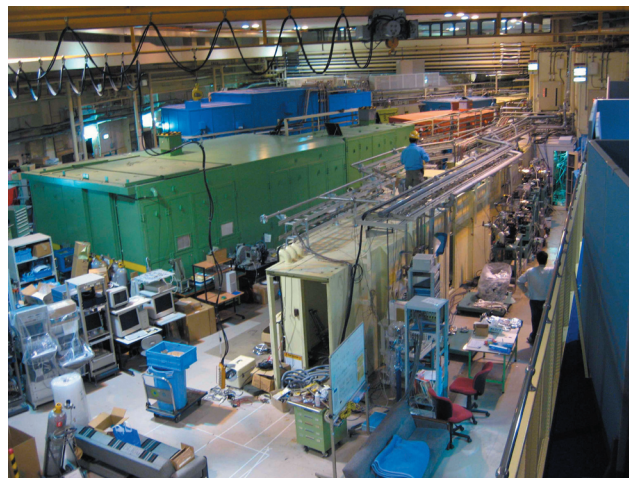
以前はPF-PACの下に研究計画検討部会と実験課題審査部会が設けられ、課題審査は実験課題審査部会を中心に行ってきました。昨年度、所長の諮問機関として放射光戦略ワーキンググループを設けたことに伴い、研究計画検討部

会は廃止されましたが、実験課題審査部会は残っており、PF-PACと実験課題審査部会という二重構造になっていましたが、このたびPF-PACの委員数を増大し、PF-PACに一本化致しました。

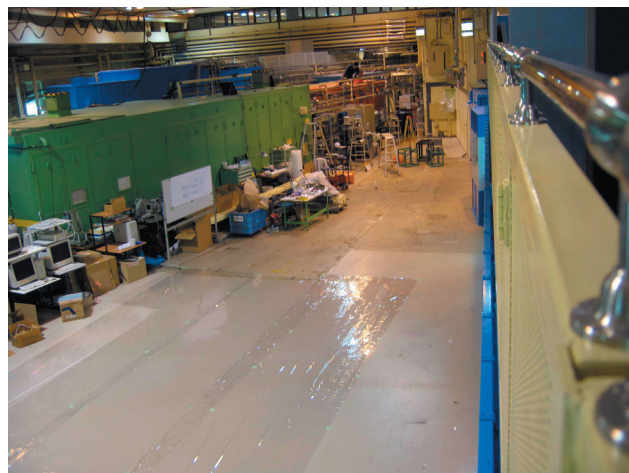
ビームラインの建設等

運転の停止とともにBL-16の解体作業が開始され、写真に示すようにほぼ1週間で、ビームラインを撤去し、ビームラインハッチを解体し、更地になりました。夏の停止期間中に新しいBL-16のビームラインを設置し、来年2月の停止後にアンジュレーターの更新を行う予定です。BL-16ではAPPLE-II型のアンジュレーターを二台設置して、キッカー電磁石を用いて電子ビームの軌道を10 Hz程度で切り替えて偏光変化に由来する微弱信号をロックイン増幅することを目的としていますが、各種の制約下当面は1台のアンジュレーターを設置して、偏光可変を生かした実験を展開する計画です。

御存知の様に、PFには多くのビームラインがあり、一つのビームラインの建設に当たっては多体問題を解くことが必要となります。以下に記すNE3、NE1、BL-1に関してもこの例に漏れず、多段階でのビームラインの移設作業等が必要となっています。



解体作業開始前の BL-16



解体・撤去後の BL-16

製薬会社から提案のあった構造生物研究用のビームラインを PF-AR の NE3 に建設することは既に報告されていますが、この建設に向けて、PF-AR 北東棟の整理、ビームライン建設の準備作業が進められています。この新しいビームラインは 2008 年夏の停止期間中に設置予定ですが、2.5 ヶ月の内に既存設備の撤去、新ビームラインの建設を行うことは不可能であり、これに先立ち 2008 年 3 月の運転終了を以て、NE3A, NE1 を閉鎖し、撤去、建設作業に取り掛かります。NE1B で行われていた磁気円二色性実験は上記の BL-16 で性能を向上して更なる展開がなされることを期待しています。一方、NE3A の一般的な核共鳴散乱や NE1A1 のコンプトン散乱は、新しい学問分野の開拓に重要な役割を果たしてきましたが、既に PF-AR 以上の性能を有しアクティブに研究が成されている施設へ移行して更なる発展が成されることを期待しています。ただし、高圧下での核共鳴散乱に関しては今後 NE1 で高温高圧下の実験と組み合わせ、PF-AR のシングルバンチ運転の特長を生かした新たな発展を図ることを計画しています。NE1A2 で行われていた臨床応用は将来的に診療室を地上に設けられる可能性を残したデザインになる予定です。PF-AR 北東棟の工事では、中二階デッキやビームラインハッチの撤去等の重作業が予定されており、工程次第では 2008 年 4～6 月期に NE5 で実験を行うことが難しくなる可能性があります。今後更に詳細な工程を詰めますが、このような可能性があることをご承知おき下さい。

ターゲットタンパクプロジェクトで BL-1 に短周期アンジュレーターを光源とする構造生物学研究用のビームラインを建設することとなり、これと干渉する現在の BL-1A, 1B, 1C の撤去が必要となっています。PF 全体を見渡し、BL-8 を閉鎖し、その後に BL-1A, 1B を移設することとしました。このため、BL-8A, 8B, 8C, 1B を 2008 年 2 月中旬で閉鎖して、BL-1B, 1A の順で移設作業を進め、2009 年夏に新しい BL-1 を建設する予定です。

PF シンポジウム等でも説明しているように、その後も BL-13, 15 等の挿入光源ビームラインの整備を進めていく予定です。ビームラインを新設するためには既設のビームラインのいずれかを統廃合することが必要となります。また昨年の外部評価でも、職員数と比較して多すぎるビームラインの縮減も示されています。このような中、妥当な労力、コストで最大限の成果を上げるためにビームラインの再編成を検討しています。PF の様な施設では常に健全な競争の下で良い研究がなされていることが求められており、「使いたい時にいつでも使える」ビームラインは黄信号と認識して下さい。論文数も一つの指標であり、登録忘れのためにアクティビティを低く評価されることはユーザーの方にとって得策ではないはずで、論文・学位論文が出版された時は忘れずに「PF 出版物データベース」(http://pfwww.kek.jp/users_info/users_guide/pubdb.html) から登録して下さい。

人の動き

物構研 07-1 で BL-16 の建設・立ち上げ・利用研究に携わる博士研究員（任期付き、常勤職）を募集していましたが、隅井良平氏(名古屋大学)を採用することとなりました。

ERL 計画推進室報告

ERL 計画推進室長 河田 洋

4 月 3, 4 日に PF-ISAC が開かれ、ERL 計画に関して具体的に「実証機を用いたサイエンスを明確に打ち出して進めるべき」とのコメントを受けました（次項参照）。これを受けて、従来 ERL 実証機と呼んでいた 60～200 MeV クラスのテストマシンを「コンパクト ERL」と名づけて、利用研究の構想として「テラヘルツ領域の CSR（コヒーレント放射光）の発生とそれを利用したサイエンス」と「レーザー逆コンプトン散乱 X 線によるサブピコ秒短パルス X 線光源、微小光源 X 線イメージング装置」という可能性について精力的な検討を始めました。まず、4 月 25 日に放射光セミナーを企画し、テラヘルツ光源に関して、マシン・利用の側面から原田健太郎助教（KEK）、木村真一准教授（分子研）に講演を願いました。ERL のプロトタイプと言えども、従来の光源と比較して 6～7 桁ほど強い大強度のテラヘルツ光源への期待（図 1 参照）およびそれを利用した物質科学への提案が議論されました。5 月 29 日には、小早川久 KEK 名誉教授、足立伸一准教授（KEK）、兵藤一行研究機関講師（KEK）によるレーザー逆コンプトン散乱による X 線源のマシン・利用の側面からの放射光セミナーを行いました。そのセミナーでは、コンパクト ERL によるレーザー逆コンプトン散乱の X 線源から 100 フェムト秒の X 線パルスが 10^6 光子/パルス得られるので、実験は限られるが十分にフェムト秒サイエンスを切り開くことが出来る、ということが議論されました。同様に、微小光源の X 線源として、そのコンパクト性を考えると十分に医学応用の装置として意味があることが報告されました。それらの結果、コンパクト ERL は ERL 加速器技術開発とい

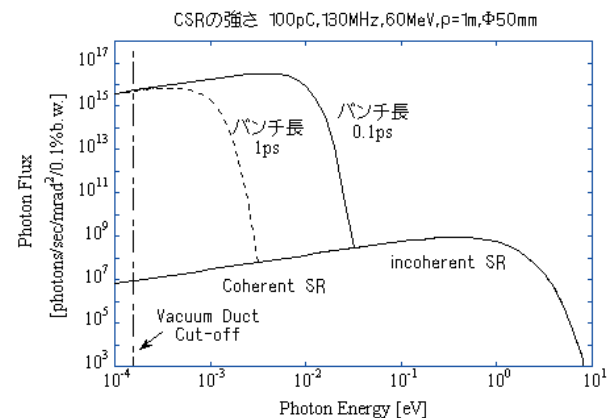


図 1 原田氏によって見積もられた ERL プロトタイプから期待されるテラヘルツ領域の CSR の強度。

う立場だけではなく、新しいサイエンスを切り開く十分な可能性を有していると判断し、7月9日、10日に「コンパクト ERL が拓く世界」と題する研究会を行い、70名の内外の研究者による活発な議論、提案が行われました（詳細は p40 を参照）。

また、ERL の実機はその高い空間コヒーレント性から放射光におけるナノビームを生成することが可能です。そしてその様なナノビームを利用した局所電子状態・構造解析がひとつの重要なサイエンスの切り口です。そのためには X線集光光学系の現状での最前線および ERL への期待を明確にする必要があり、それらにフォーカスしたセミナーを5月21日に X線ミラーの加工および評価の最前線という立場で山内和人教授（大阪大学）および東保男准教授（KEK）、および集光光学系の最前線という立場で、5月25日に鈴木芳生主任研究員（JASRI）と竹中久貴博士（NTT-AT）に現状および将来の ERL へ向けての開発要素に関して御講演頂きました。

一方、4月12日の ERL 検討会で ERL の重要な開発要素である高輝度電子銃のフォトカソード・ドライブレザーに関して、ファイバーレーザーをベースにしたアクションプランを KEK の栗木雅夫講師に、また産総研の小林洋平博士に「ファイバーレーザーや固体レーザー発振器のフェムト秒タイミング同期とその応用」というタイトルで講演を頂き、さらに、7月25日の放射光セミナーで板谷治郎研究員（JST、腰原 ERATO プロジェクト）に「ERL における超高速レーザー技術の果たす役割について」の講演頂き、その処方箋がほぼ固まりつつある状況です。レーザー開発のマンパワー不足という問題は依然続いていますが、7月18日に産総研の「超短パルスレーザー開発部門」との共同研究を発足することが出来たことはひとつの朗報です。

それぞれのセミナーおよび研究会での発表スライドは以下のサイトにアップロードされていますので興味のある方は参照ください（<http://pfwww.kek.jp/pf-seminar/past.html>）。

一方、5月21日～25日まで Daresbury Laboratory で ICFA Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linac, "ERL07" が開催されました。このワークショップに KEK

から坂中、古屋、飛山、JAEA から羽島、飯島、ISSP から中村、阪井の各氏が参加し、各分野のワーキンググループで KEK の検討状況を報告すると同時に、世界の ERL に関する検討状況、試作状況を確認しました。特に KEK から古屋氏が発信した主加速部の新型超電導空洞（KEK-ERL model-2 cavity）（PF ニュース Vol. 24 No. 4, p4 図 1 参照）に関しては、高次モード不安定性の閾値が 600 mA と TESLA 型空洞と比較して 10 倍大きな数値シミュレーションを得ている等のことから、高い注目を集めました。今年度シングルセルおよび 9 セルのプロトタイプの高超電導空洞を製作しテストする予定であり、世界的な期待が寄せられることとなるでしょう（p46 参照）。尚、次回のワークショップは 2009 年にコーネルで開催されることが決まりました。さらに、6月25日～29日の PAC（Albuquerque, USA）では ERL の開発状況を昨年度関与したメンバー全員の共著論文として発表し（図 2 は発表内容）、坂中氏が代表して報告いたしました。

今後の予定として、9月26日～29日に行われる「4th International Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy with Accelerator Based Source」、およびその国際会議のサテライトワークショップとして9月23日～25日に計画されている「UVSOR Workshop on Terahertz Coherent Synchrotron Radiation」にコンパクト ERL から期待されるテラヘルツ光源の性能を報告する予定です。また、7月にコンパクト ERL に関する研究会を行いました。5 GeV クラスの ERL で拓くサイエンスに関する研究会を秋を目標に開催する予定ですので、ユーザーの皆さんの御参加を御願ひする次第です。

ERL 検討会

- 第 15 回 2007 年 5 月 16 日（木） 14：00～
PF 研究棟 2F 会議室 →キャンセル
- 第 15 回 2007 年 6 月 15 日（金） 14：00～
PF 研究棟 2F 会議室
- 第 16 回 2007 年 7 月 20 日（金） 14：00～
PF 研究棟 2F 会議室
- 第 17 回 2007 年 8 月 30 日（木） 14：00～（予定）
PF 研究棟 2F 会議室

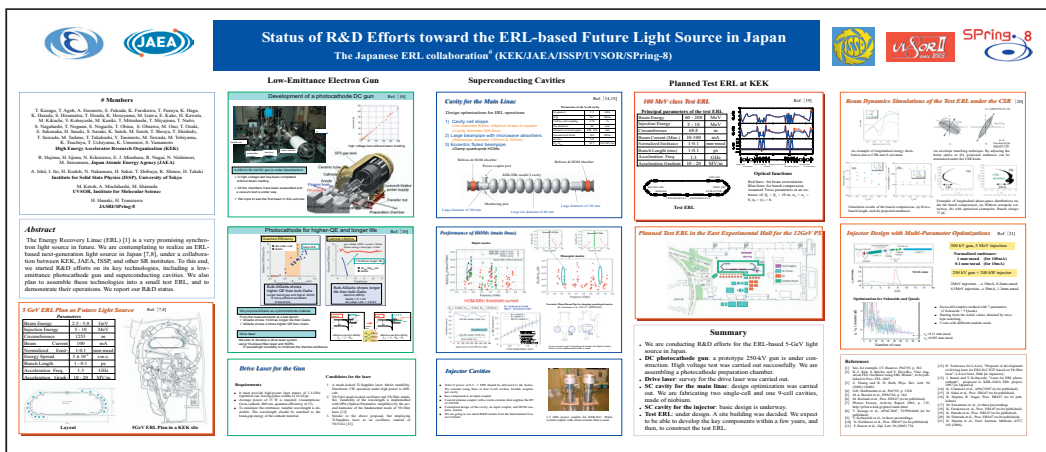


図 2 PAC で報告した ERL プロジェクトのポスター

第1回放射光科学研究施設国際諮問委員会 (PF-ISAC) の最終レポート

前号で4月3日, 4日にわたって開催されました第1回放射光科学研究施設国際諮問委員会について報告致しましたが, 最終レポートが委員長の K. Hodgson 氏より届きましたので, ここに掲載致します。

また, 第1回国際諮問委員会については, <http://pfwww.kek.jp/ISAC07/> でも下記のレポートをはじめ, プログラムやPF側からのプレゼン資料, 諮問委員会のサマリーをご覧ください。

Introduction, ISAC Process and Report Organization

The Photon Factory International Science Advisory Committee (ISAC) was chartered by the Institute of Materials Structure Science (IMSS) of the High Energy Accelerator Research Organization with providing ongoing advice on the operations and strategic planning for the Photon Factory (PF). The ISAC follows upon the external independent review of the PF carried out in March, 2006 by a Committee of 10 members. The ISAC meeting on April 3-4, 2007 was the first meeting of the ISAC whose membership of 10 includes a number of scientists who participated in the earlier review.

ISAC was provided written information, including copies of many of the presentations, in advance of ISAC meeting that was held in Tsukuba, Japan at the Photon Factory on April 3-4, 2007. ISAC heard a series of technical and scientific presentations. Opportunities were provided to hear comments from staff scientists. Following questions and discussion, ISAC met in closed session and formulated its observations, conclusions and recommendations. ISAC reached unanimous agreement on the material presented in the closeout to the management of the IMSS and PF held on Wednesday morning, April 4.

This written report briefly summarizes ISAC's findings and recommendations. Following are more details and elaboration of the topics in the same order that they were presented in the verbal closeout with IMSS and PF management. The Appendix contains i) a list of the ISAC members of the Review Committee and ii) the Agenda of the ISAC meeting.

1. Perspective of ISAC Since the March, 2006 Meeting

ISAC now acknowledges and strongly supports the management's strategy of developing hard x-ray beam lines on the AR and expanding the undulator-based SX beam lines on PF. This strategy takes advantage of the unique short-bunch capabilities of the AR for innovative x-ray science in the short time domain and the expansion capacity for undulators on PF and AR.

ISAC recognizes that the prioritization of SX at PF is addressing the concerns that it raised earlier about the SX community and its access to cutting edge resources. PF is

encouraged to continue to make this role a more visible part of its overall mission and identity. At minimum, this global strategy of continuing to push the forefront with hard x-ray science (especially in support of the University community) and in parallel developing further the SX capabilities to fill a real need in Japan should be considered and discussed by the Japanese synchrotron science user community.

ISAC supports the efforts that have begun since the March, 2006 meeting towards prioritization, consolidation and reduction in the number of operational stations on PF and AR. More effort in this direction is strongly needed and encouraged by ISAC. This should be done with the involvement of the planned ISAC subcommittees and this effort should be kicked off soon in order to provide effective advice in decision making.

2. Photon Science at KEK, Budget, and PF Reorganization

ISAC recognizes the strategic importance of photon science playing a larger role in the future of KEK. ISAC strongly encourages that KEK management recognize the opportunities for synergy in key areas like accelerator science and its important role in fostering next generation storage ring light source development in Japan (and indeed worldwide). We would like to compare the situation at KEK with that at Cornell, DESY and SLAC, recognizing that KEK also has J-PARC as a major long term investment.

ISAC sees the declining budget situation as very threatening to the long-term healthy development of the Laboratory and one that will have to be managed. Utilizing committees like ISAC and input from the user community and other advisory bodies is a key to sound strategic planning and future success. Industrial involvement is a promising area where technology transfer is an important factor and this could offer additional sources of complementary funding. ISAC also strongly encourages continuing to develop other competitively awarded sources of funding.

ISAC welcomes the initiative to coordinate photon science activities in Japan through bodies like the "roundtable" and JSSRR and strongly encourages it to continue and indeed become even more active. ISAC would like to see PF and KEK plan to host, over the course of the next year or two, a national conference dedicated to planning future x-ray user facilities in Japan.

ISAC welcomes the new group structure at PF and in particular congratulates the management on achieving such a complex task in only one year. Going further, we suggest augmenting the senior management in ways that help the PF director deal with a large and diverse portfolio and range of issues. Comparable light source facilities elsewhere have associate and/or assistant directors to help lead administrative, technical and scientific efforts.

3. Strategic (Action) Plan for Beam Lines

ISAC strongly supports the engagement of external investment in the form of new beam lines and instrumentation. In particular, ISAC supports the Pharma beam line development and recognizes that this will bring additional excellent science and provide resources for developing new instruments at PF.

Management is strongly encouraged to continue to actively develop additional investment through the competitively awarded grants process, including expanding the center concept beyond structural biology and structural materials science.

ISAC recognizes the significant effort in prioritization and reorganization of the beam line program. A good start has been made in this regard within a relatively short time and ISAC strongly supports continued evaluation of the existing stations on the basis of the criteria presented to ISAC. However, the chosen metrics need to be adjusted by area of science and in comparison with international standards. SAC applauds the steps the PF management has taken in coordinating beam line developments/upgrades at PF with other SR facilities in Japan.

In the process of reorganizing beam lines, it is important to find means to minimize the disruption that will be caused to the users.

4. ERL Project

ISAC continues to strongly support the ERL development in that it offers a route to next generation performance that compliments SPring-8, XFELs and other Japanese light sources. Further, it can strongly engage the KEK accelerator competence and position KEK to be at the forefront of future light sources. Given the importance of the ERL development to the future of PF and indeed more broadly KEK, ISAC spent considerable time on this topic and hence this section of the report is somewhat more detailed.

ISAC heard presentations on the ERL project and felt that these showed considerable progress made during the past year in identifying issues involved in designing an ERL light source and in establishing salient features of an ERL that will enable new types of scientific investigations. This progress is seen as considerable in light of the fact that relatively little direct funding has been targeted for these efforts. ISAC summarizes some notable successes and challenges to the project and make recommendations for the coming year.

Over the course of this year ERL project teams have been formed and upwards of 20 KEK staff and 30 more from other labs meet on a monthly basis to discuss design, performance and testing. Efforts to build collaborations have succeeded, with MOUs established with JAEA, ISSP (Tokyo) and CLASSE (Cornell). A short list of accelerator developments needed to prove ERL technology, and used that to justify the plan to build an "ERL Test Facility" was presented to ISAC. A timeline was shown for realizing both the test facility and a "5 GeV" machine,

but both seemed quite aggressive.

ISAC heard of the plans regarding the ERL Test Facility and efforts to develop key components: the electron gun, injector linac, and main linac (including results on developments on DC photocathode gun (JAEA) and SC cavities (KEK)). ISAC took positive note of the synergies with other ongoing projects and this pointed to local technologies that could be incorporated. The ERL Test Facility was discussed and the beam dynamics issues to be tested identified. A new site has been found for the Test Facility, in the Proton Synchrotron East Experimental Hall, which affords much more space than the cold neutron building shown last year and this was viewed very positively by ISAC. Little was said about converting or upgrading the Test Facility into a useable VUV/SX light source although the 2006 Review found this aspect of the project compelling. ISAC supports the new site since the larger building allows such a vision to develop.

ISAC recommendations for action regarding the ERL project:

Develop a compelling science case for ERL facilities.

ISAC recommends using the new group structure introduced at PF to organize an effort, based on various scientific fields and disciplines, to identify forefront scientific applications that will need the fully coherent, high repetition rate, ultrafast pulses of light from ERL light sources. One should not underestimate how difficult it can be to get scientists to think many years into the future to identify measurements they cannot achieve with existing 3rd generation or upcoming linac-based FEL sources. ISAC suggests that one strategy would be to couple one scientist at PF with one scientist outside PF to co-organize each a series of topical workshops. The scientific staff at PF should be fully engaged in formulating this future vision so they are positively motivated by the prospects. This effort should proactively engage the user community and relevant organizations and scientific societies.

Identify and fund a "core accelerator technologies" program at KEK to accelerate ERL development

PF should identify "core accelerator technologies" that will be needed for the ERL and work closely with KEK to build a cohesive, central R&D effort in these areas. PF should offer to KEK to partner in these efforts. This R&D effort should coordinate with accelerator efforts at other laboratories throughout Japan where appropriate. Adequate levels of support will be needed. PF should play a central role in pursuing external funding options and use its compelling science case to propel the cause.

Planning and Strategy

PF should develop a realistic, multi-phase project time line based on milestones and incremental successes for the ERL

project. This should undergo rigorous technical, scientific and schedule review. ISAC believes that ERL project must build on such a strategy in order to convince the Japanese scientific and larger community that: 1) the facility goals will be achievable and based on accelerator technologies that will be proven by PF/KEK scientists, 2) the science will be compelling and advance Japanese society as a whole, 3) that KEK is one of only a few laboratories that can combine accelerator and x-ray skills and experience to succeed in this project, and 4) that PF will continue, in the interim years, to be a vital and growing piece of the SR community in concert with SPring-8 and other synchrotron radiation sources in Japan.

ISAC believes that PF should rename the "test facility" as a light source, calling the R&D project "phase I" and pursue a plan "phase II" project that will see it to evolve beyond R&D into a cutting edge facility for scientific applications in the VUV/SX region. The original vision of PF - to provide two ERL machines spanning the VUV/SX and hard x-ray energy spectrum - should be discussed with KEK and the broader user community. ISAC suggests that it should become the "official" KEK vision for the future of photon sciences on the Tsukuba campus and could be viewed as one of the strategies for keeping KEK a competitive equal to other renowned accelerator laboratories in the world who have embraced photon sciences as both a key customer of accelerator technology and a driver for advances in the field.

It is very important to identify and name a "champion" for the ERL project. This should be a lead scientist who shares project management status with other KEK project managers. ISAC also encourages PF to seek international partners within the Asia-Pacific region for participating in R&D, developing and financing and utilizing the large ERL project. ISAC views this strategy as a very important opportunity to provide leadership in next generation source development in a region with growing strength in photon science applications.

5. PF ISAC – Processes and Recommendations

It is the experience of ISAC members with a number of other advisory bodies that a 2-year term appointment for advisors is too short for continuity and providing effective advice. Three or 2x2 terms are more effective and PF management is encouraged to take this into consideration. Membership should rotate on a staggered basis and in the first cycle this can be phased in.

ISAC strongly supports the formation of the proposed review subcommittees and expresses its willingness to fully engage in this process. Scheduling should be such that the reviews are completed in a timely manner prior to the following ISAC meeting but need not be immediately preceding it. However, timely action is needed if at least some of these committees are to be formed to provide input before the next ISAC meeting.

ISAC feels that a meeting only once per year is very inadequate given the range of issues, decisions and opportunities

facing PF and KEK. ISAC should meet at minimum as a full body twice per year. To help with practical considerations, we request that PF consider picking two months per year as targets for ISAC meetings, say April and October. Subcommittee meetings would interleave.

ISAC membership – ISAC recommends the addition of a strong accelerator scientist with an international perspective and reputation. Another area of future need is the area of time domain science and an additional member might be considered in this area. ISAC would be pleased to put forward names that might be considered by PF management.

6. Other Conclusions and Comments

ISAC observes that there are several areas where science leadership at PF needs further development (e.g. the PF Director also acting as head of the "Electronic Properties" Group). It is important in future strategic planning to pay close attention to these issues, appoint excellent people and delegate responsibilities to them.

While ISAC did not have time to fully consider the "XYZ" projects strategy, we find it very innovative and look forward to hearing more at a future meeting.

ISAC encourages PF to proceed with the development of the top-up mode of operation of the PF storage ring and implement it as expediently as possible.

ISAC appreciates the first look at the mission statement for the facility and the groups and looks forward to discussing it in more detail at the next meeting.

ISAC would like to applaud the PF senior management for its strong leadership and vision during this past year and looks forward to hearing additional progress at its upcoming Fall meeting.

ISAC thanks the PF staff for their excellent science and technical presentations and openness in discussion. Also we thank the administrative staff for their outstanding organizational and logistical support.

PF Top-up 運転の進捗状況

加速器研究施設 佐藤政則
放射光源研究系 三橋利行

1. 入射器の進捗状況

1-1. はじめに

KEKの電子・陽電子入射器は、4つの異なるリングへビームを供給している (PF 2.5 GeV e-, PF-AR 3 GeV e-, KEKB 8 GeV e-/ 3.5 GeV e+)。現在、PF及びPF-ARリングへは定時入射を行い、残りの時間はすべてKEKBリングへの連続入射運転に充てられている。PF Top-up 運転を実現するためには、KEKB連続入射と両立させることが不可

欠であり、これに必要な入射器の段階的アップグレードを進めている。

要求される入射ビームのエネルギー・電荷量などはリング毎に異なるため、入射器のビーム運転パラメータを切り替えることが必要である。主な運転パラメータは、電磁石磁場・タイミング・RF位相などの設定値であり、パラメータの切り替えには30秒（KEKB e-/e+間）から2分程度（KEKB/PF-AR間）を要する。入射器アップグレードでは、これらの切り替え時間を大幅に短縮化し、究極的には50 Hz 毎（入射器の最大ビーム繰り返し）に運転パラメータを切り替え、任意のリングへ入射可能とすることを目標としている。

入射器アップグレードでは、既存のDC電磁石システムを最大限活用するために、異なるエネルギーのビームに対して、同一の電磁石磁場を用いたビーム輸送を行う。ビームエネルギーの高速切り替えは、低電力RF位相の高速制御により実現する。KEKB (8 GeV e-) 及び PF (2.5 GeV e-) 入射用ビームを同一電磁石設定値にて輸送・入射するマシンスタディについてはPF入射について2006年3月から4月にかけて、Bファクトリー入射については2006年12月12日にそれぞれ行った。入射率は通常運転時とほぼ同一レベルを達成し、ビームサイズなどの基本パラメータの測定結果も満足な結果を得た。これにより、本ビーム運転方式が実用可能であることを確認した。

1-2. パルスベンドシステム

入射器アップグレード Phase-I では、KEKB/PF間の運転パラメータ切り替え時間の短縮化を行った。従来のビームラインでは、PF-BTへの振り分けDCベンドがECS (Energy Compression System) 電磁石下流に設置されていた。このため、PFから他のリングへ入射器運転パラメータを切り替える場合には、ECSの初期化が必要とされていた。これを避けるため、2005年夏期メンテナンス中に、ECS上流へ振り分けDCベンドを設置し、約60mの新規PF-BTラインを建設した(図1)。この結果、PF/KEKB間のビームモード切り替え時間を5分30秒から2分30秒へほぼ半

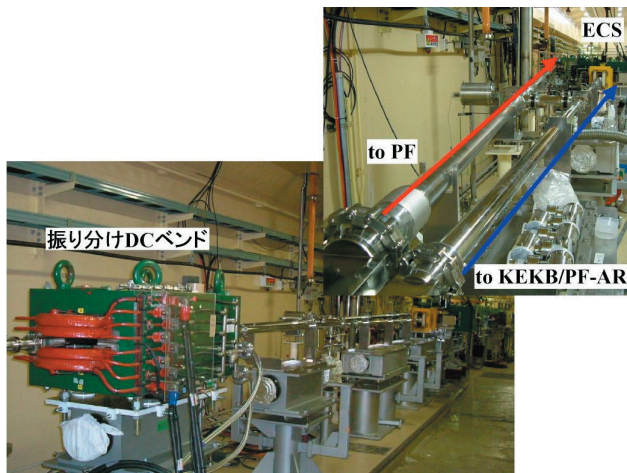


図1 新PF-BT用振り分けDCベンド (Phase-I)

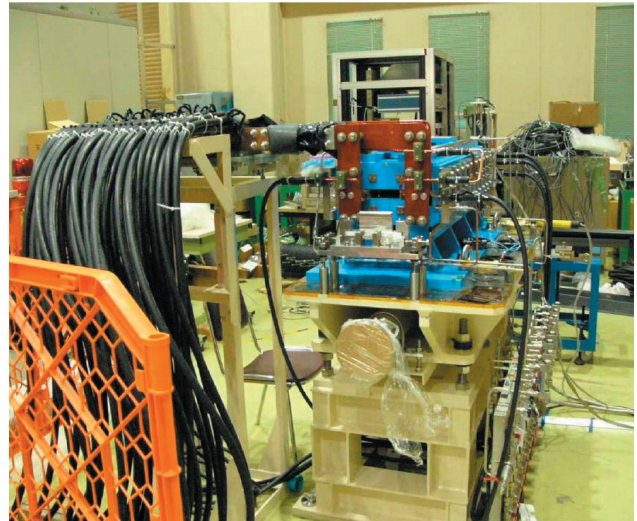


図2 パルスベンド



図3 パルスベンド電源

減することに成功した。

Phase-IIでは、PF及びKEKB e-ビームを同一電磁石磁場で輸送し (Multi-Energy Linac)、運転パラメータ切り替え時間の高速化を図る。このため、2007年夏期メンテナンス中に、Phase-Iにて設置した振り分けDCベンドをパルスベンドへ置き換える予定である。Phase-II以降は、KEKB e-ビーム入射中においてもPF入射が可能となる。

パルスベンドシステム (磁石・電源・セラミックチェンバー) は、KEKB-BTグループを中心に開発が進められてきた (図2, 3)。表1に、パルスベンド・電源の主要パラメータを示した。

振り分けパルスベンドに要求されるビーム曲げ角度は約7度であり、最大繰り返しは25 Hzである。本パルスベンドシステムは将来性を考慮し、ビームエネルギー3 GeVまで対応可能な仕様を基に製作した (現PF入射ビームは2.5 GeV)。電流パルスは、ピーク値32 kA・パルス長200 μsの正弦半波を用いる。電流値安定度の仕様は0.1%以下であり、試験運転では満足な結果を得ている。

セラミックチェンバーは、発熱抑制のためのTiコーティングを施す予定である。既にテストチェンバーを製作し、

表1 パルスベンドシステムの主要パラメータ

| | | |
|-------------|----------|----------------------|
| 電源： | ピーク電流値： | 32 [kA] |
| | パルス幅： | 200 [μ s] |
| | 安定度： | < 0.1% |
| | 最大繰り返し： | 25 [Hz] |
| ベンド： | 巻き数： | 1 [turn] |
| | コア長： | 0.99 [m] |
| | ギャップ高さ： | 30 [mm] |
| | 最大磁場： | 1.22 [T] |
| | 磁場一様性： | < 5×10^{-3} |
| | 曲げ角： | 7 [deg.] |
| セラミックチェンバー： | 全長： | 1200 [mm] |
| | コーティング： | Ti |
| | コーティング厚： | < 50 [nm] |

表面のコーティングを SEM により観測した。その結果、コーティングの一様性は十分均一であることを確認した。

1-3. 電子 / 陽電子モードの高速切り替え

入射器アップグレード Phase-III では、e-/e+ 運転パラメータの高速切り替えを行う。現在の運転では、陽電子生成標的部位を機械的に挿入或いは取り出しすることにより e-/e+ の切り替えを行っている。しかしながら、機械駆動機構の高速制御は極めて困難であり、長期運転での耐久性確保も難しい。当初、パルス電磁石を使用し、標的部をバイパスするためのビームライン建設を検討した。しかし、コストの問題もさることながら、現状ビームライン近傍のスペースを考えると、バイパスラインの建設は困難であると判断した。

そこで我々は、陽電子生成標的横に孔を空け、一次電子ビームの軌道を高速制御することにより、e-/e+ の高速切り替えを行う。本方式の実証実験のため、昨年の夏期メンテナンス中に、孔空き陽電子生成標的を設置した (図4)。陽電子標的は、直径約 5 mm のタングステン結晶であり、電子ビーム通過用の孔は直径約 3 mm のものである。このため、標的中心から孔の中心までの距離は、約 4.5 mm となる。本標的を用いた場合、陽電子ビーム運転では、上流からの一次電子ビームを標的部分に衝突させ、電子ビーム運転では標的横の孔部分を透過させることになる。

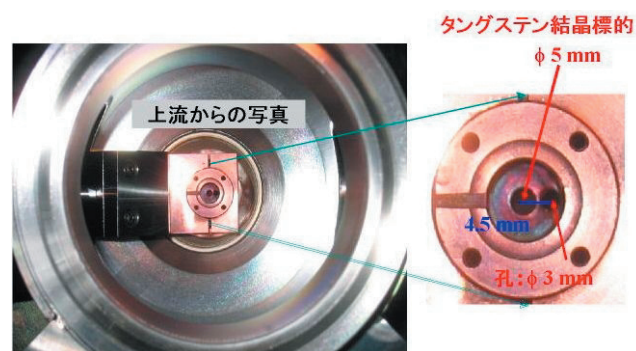


図4 孔空き陽電子生成標的

本標的を用いたマシンスタディーでは、KEKB 用 8 GeV 電子ビームを利用し、通常運転の方法 (標的をビームラインに挿入しない) 及び標的横の孔を通過させる場合を試験し、通過する電子ビームの電荷量を比較した。この結果、孔を通過させた電子ビームの電荷量は、通常運転の方法と比較して、約 95% であった。この結果は、本方式による e-/e+ の高速切り替え運転は、十分に実用可能であることを示している。実運転で高速モード切り替えを行うためには、標的部の上流及び下流へ、パルス電磁石を設置する必要がある。これらの具体的な検討作業については、今後進めていく予定である。

その他サブシステムのアップグレードとしては、ビーム位置情報を 50 Hz で検出するための高速 BPM-DAQ システムを開発し、既存システムの約半数と置き換え、安定に運用されている。また、今後の複雑なタイミング信号処理に対処するため、VME64x-Bus を用いた新タイミングシステム (イベント発信 / 受信モジュール) の試験が進行中である。本年夏メンテナンス中には、いくつかのモジュールを設置し、秋以降の実運転において試験運用を開始する予定である。

2. 光源系の進捗状況

2-1. Top-up 運転のための放射線変更申請

光源系では Top-up 入射のためのマシンスタディーを精力的に行うとともに、Top-up 運転に対する放射線安全をどのように確保するか、また PF 入射路 (BT) に通せるビームについて議論され、以下のようにまとめられた。

- BT ラインを通せる最大パワーが変更申請に書かれる。PFBT の最大出力を 65 W とする。
実際は第 3 スイッチヤードにて 60 W の電荷制限器を取り付けて PFBT へ来る最大出力を制限する。
- BT ライン・エンドにビームを捨てるためのダンプを新設する。
PFBT 最大出力に合わせて 65 W ダンプを設置する。
- PF リングに入射できる最大パワーを 6.5 W に制限する。
BH31 下流に電荷制限器を設置して PF 入射パワーの最大出力を制限する。
- Top-up 入射におけるビーム出力を 0.65 W に制限する。
BH32 下流 6.5 W 電荷制限器下流にスリットを設置して 0.65 W に制限する。

また Top-up 運転時の安全確保について以下の様にまとめられた。

ユーザー運転に使用するビーム：6.5 W のみ。

- 通常入射用 6.5 W (実際は 0.1 nC, 25 Hz) Beam。
従来通り Injection mode で用いる。
0 mA から 450 mA までの通常入射。
MBS close が必要。
BT end 電荷制限器にて 6.5 W を越えないことを担保する。
6.5 W を超えた場合 BH32 を off する。同時に beam

gate を close してビームを停止する。
連続入射可能。

ここで、通常入射を 0 mA からの入射と定義しているのは、入射は出来るが、ビームがリングに蓄積できるかどうかは通常の入射では担保されていないからである。したがって、MBS を開けたままで通常入射はしない。

以下の Top-up mode ではビームがリングに蓄積されることが担保されていなければならない。

2. Top-up 入射用 0.65 W (実際は 0.01 nC, 1 Hz) Beam.

Top-up mode で用いる。

リングにビームが蓄積されていることが条件。

上の通常入射との違いは、リングに電流があることを担保する点である。これはリングに電流が既に蓄積されていることで、リングの電磁石系、RF 系などビーム蓄積に必要な条件が担保されているためである。

リングに beam がなければ beam gate は close する。

Top-up mode に切り替えたときには BT end slit は閉状態にする。

スリット下流に壁電流モニターを設けて Top-up 時のビームパワーを 0.65 W に制限する。

3. Top-up mode 時の Dump ラインの使用

ビーム不調時にリングにビームが蓄積されている状態かつ MBS open の状態で 6.5 W beam を Dump ラインに通して beam 調整をする。

この際、BT end slit がしまっていればリングには 0.65 W 以上は行かないので安全は確保される。BT end slit がアクシデンタルに開いたら beam gate close にてビームを停止する。

このような議論を経て、放射線変更申請がなされ、2006 年 12 月 27 日に承認された。

2-2. Top-up 入射のためのマシンスタディーについて

光源サイドでは 2006 年度 Top-up 入射に向けたマシンスタディーについて、

- 1) 入射用キッカーマグネットによる軌道振動の更なる最適化。
- 2) A1 電子銃からの B ファクトリーとの共通オプティクスによる入射テスト。
- 3) マルチバンチ、シングルバンチでの Top-up study。
- 4) 挿入光源のためのリング垂直方向の入射ビームアパーチャー測定。
- 5) 進行方向不安定フィードバックシステムなどを行った。以下に結果について簡単に報告する。

1) 入射用キッカーマグネットによる軌道振動の更なる最適化

2006 年度にも引き続きキッカーマグネットによる入射

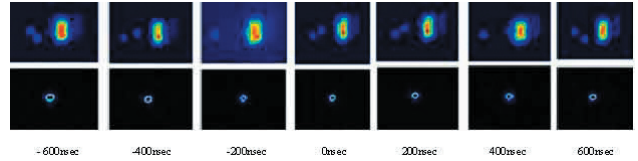


図 5 入射タイミングの前後 600 nsec の範囲における蓄積ビームのキッカーマグネットによる振動の様子。上の段は 2005 年の結果。下の段は 2006 年の結果。

パルスバンプの最適化をさらに進めた。2005 年に報告した結果と比較した図を図 5 に示す。

この図には入射タイミングの前後 600 nsec の範囲について 200 nsec おきに蓄積ビームのプロファイルを 16 ターン分重ね書きしたものである。上の行に示したのは 2005 年の結果で、これらの図の中で、左側にある 2 つのスポットは蓄積ビームがパルスバンプのタイミングに乗っているときのプロファイルである。また、下の行に 2006 年に行った最適化の結果を示す。2006 年の最適化では前回の最適化ではキャンセルできなかった垂直方向の振動がほぼなくなっており、また水平の振動もビームサイズの 1/3 以下に抑えることに成功した。

2) A1 電子銃からの B ファクトリーとの共通オプティクスによる入射テスト

通常 PF 入射にはポジトロントーゲットの downstream にある CT 電子銃より PF 用のオプティクス設定により 2.5 GeV の電子ビームが入射されている。入射器のマルチエネルギー高速ビームスイッチングにより B ファクトリーと同時に入射するためには、両者で共通のオプティクスによって PF 用の電子ビームと B ファクトリー用の電子ビームを加速しなければならない。上述の入射器の現状にあるように、B ファクトリー入射用の A1 電子銃からの電子ビームを B ファクトリー用に途中まで加速し、その後減速することによって、PF に入射できる 2.5 GeV の電子ビームを得ることが出来る。この方式によって得られた 2.5 GeV の電子ビームにより PF リングへの入射テストが行われた。PF 入射路のオプティクスを入射器の共通オプティクスにマッチングを取ることにより、1.3 mA/sec ないし 1.5 mA/sec の入射率を得ることが出来た。これは通常の CT 電子銃からの入射と比較しても遜色のない入射スピードである。

3) マルチバンチ、シングルバンチでの Top-up 入射テスト

2007 年 1 月 16 日のマシンスタディーにてマルチバンチ、およびシングルバンチモードにおいて Top-up 入射を行い、リング電流を一定に保つテストが行われた。図 6(a) にマルチバンチ、(b) にシングルバンチのときの結果をそれぞれ示す。マルチバンチによるテストで、最初に入射時の放射線サーベイを行い、その後で 450 mA で Top-up 入射によりリング電流を一定に保つテストが行われた。入射の繰り返しを 1 Hz に設定して第 3 スイッチヤードに設置したスリットにて入射率を 0.1 mA/sec になるように電子ビームのチャージ量を調整し、450 mA を保つように入射ビーム

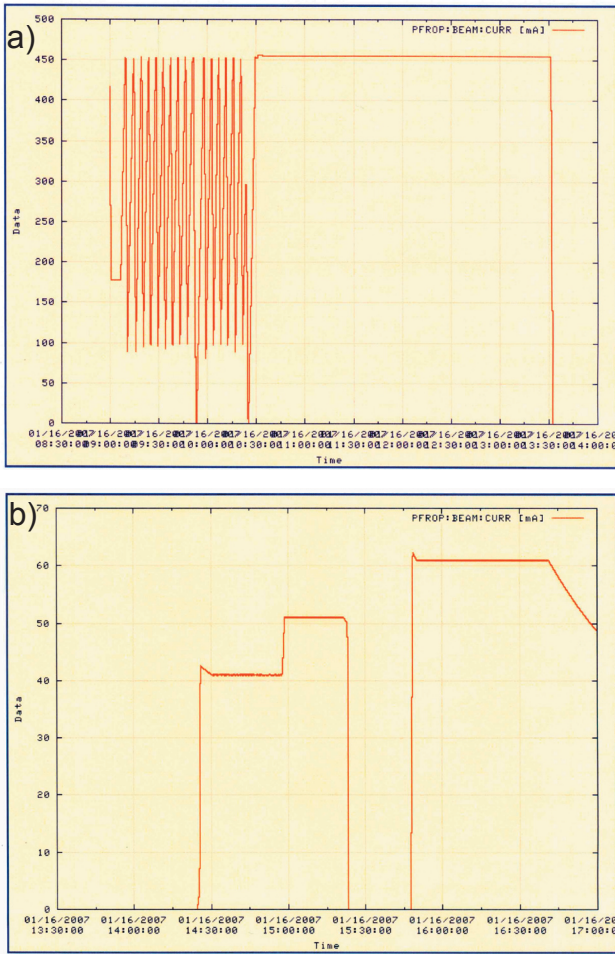


図6 マルチバンチ、シングルバンチでの Top-up テストの結果。
(a) マルチバンチにおけるテストの結果。(b) シングルバンチにおけるテストの結果。

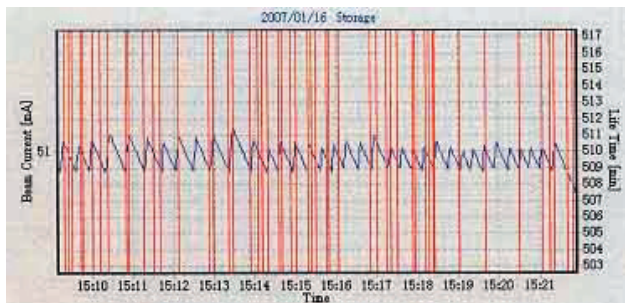


図7 シングルバンチ Top-up テスト中のリング電流の変動を拡大したもの（図中の縦線は入射時にライフタイムの表示が正常の表示をしなくなったものである）。

ムをビームゲートにより ON/OFF 制御した。

シングルバンチでは同様のテストを 41 mA, 51 mA, 60 mA の場合について行った（図 6(b)）。マルチバンチ、シングルバンチの両方のテストにおいてリング電流をほぼ ± 0.1 mA の範囲に保つことが出来た。

シングルバンチ Top-up テスト中のリング電流の変動を拡大したものを図 7 に示す。リング電流は ± 0.1 mA 程度に安定化されている。

4) 挿入光源のためのリング垂直方向の入射ビームアパーチャー測定

Top-up 入射を実用化の際に重要なことのひとつとして挿入光源の狭い真空ダクト、in-vacuum タイプの挿入光源の狭い磁石ギャップを入射されたビームがクリアするという課題がある。このためにビーム輸送路の終端部に入射ビームを整形するためのスリットを設置する作業が進んでおり、2007 年秋から運用が始まる予定である。このスリット設置に先んじて、リング内 B4-5 間の直線部に設置されているスクレーパーを用いて入射ビームに必要なアパーチャーの測定を行った。その結果、スクレーパーの位置で 10 mm あれば十分入射ができることが判明した。このアパーチャーをベーター関数でスケールすると BL-3, BL-17 に設置されたショートギャップアンジュレーターのところでは入射に必要なアパーチャーは 3.3 mm でアンジュレーターの最小ギャップの 4 mm をクリアしていることが判明した。しかしながら、入射ビームにはハローが周りに付随しているため、実際の挿入光源有りでの Top-up 入射テストは入射路終端のスリットの運用が開始された後、ビームを整形して確実に挿入光源のマグネットにあたらないことが保証されてから行われることになる。

5) 進行方向不安定フィードバックシステム

現在、ユーザーラン中は加速 RF 信号に位相変調をかけることで不安定抑制とビーム寿命の増加を実現している。しかし、この位相変調法ではビームのエネルギー広がりが大きくなることや、エネルギー振動が安定しないなどの問題がある。Top-up 入射が実現すればビーム寿命が短いことを心配する必要がなくなるため、RF 位相変調ではなく、進行方向フィードバックによってエネルギー振動を抑制する方法を使うことが出来る。進行方向フィードバックシステムは「位相検出部→信号処理部→変調部→電力増幅器→サーキュレータ→進行方向キッカー→ダミーロード」からなっており、位相検出部、サーキュレータ、キッカーは既に製作が済んでいる。この内、キッカーは 2006 年夏にリングにインストールされ動作試験が行われている。このキッカーを用いて、先ず単一モードフィードバックシステムを構成して進行方向の不安定モードを抑制するテストを行い、成功した。現在、フィードバックを行うための高速デジタル信号処理回路の開発を KEKB および SLAC と共同で行っている。2007 年 6 月にプロトタイプが完成し、これを用いてフィードバック試験を行った。その結果ビーム電流 270 mA までは全ての進行方向不安定モードを抑制することに成功した。今後は検出回路と信号処理系の高 S/N 化を図り、電力増幅器の出力を増強することで 450 mA に対応する予定である。

2-3. Top-up 入射のためのテスト運転

Top-up 入射のためのマシンスタディの結果を受けて、2006 年 11 月 26 日の週にシングルバンチ・ユーザー運転において入射中に MBS 開の状態では、テスト運転が行われ

た。さらに 12 月 27 日に Top-up 運転のための放射線変更申請が承認されたのを受けて、B ファクトリーの運転が停止していた 2007 年 2 月 5 日の週のシングルバンチ・ユーザー運転にて Top-up 入射によってリング電流を一定に保つテスト運転が行われた。

2-3-1. シングルバンチ運転における MBS 開入射

2006 年 11 月 26 日の週に行われたシングルバンチ・ユーザー運転において、MBS をあけた状態で Top-up 入射モードを用いてテスト運転が行われた。1 日 2 回の PF-AR をはさむ入射は Top-up 入射モードを解除して通常の入射モードで入射する必要があるため、結果として MBS 開の Top-up 入射モードでの入射は 3 回に 1 回の割合で行われた。1 週間の運転中、全入射回数が 37 回で、この内 13 回を Top-up 入射モードで MBS 開の状態で行った。このテスト運転では Top-up 入射を行ってもよい下限の入射効率として、4 mA/sec/nC を設定したが、13 回の Top-up 入射において平均的な入射効率は 20 mA/sec/nC を維持でき、最低でも 1 回だけ 15 mA/sec/nC のときがあっただけであった。

このテスト運転を行って PF-AR の入射時に Top-up 入射モードを解除しなければならないという問題点があることが判明した。2005 年から始まった 4 リング (B ファクトリー LER, HER, PF リング, PF-AR) 同時入射プロジェクトにおいて、入射路のオプティックスが簡単には共通化できない PF-AR を除く形で同時入射プロジェクトが進められ、この中で PF リングの Top-up 運転のプロジェクトが発足したので、安全系のインターロックについて B ファクトリーと PF リングの間では同時入射が出来るように改修されたが、PF-AR については取り残されて、TRISTAN 時代の排他制御が残る形となったために、PF リング、B ファクトリーともに PF-AR 入射のたびに Top-up 入射モード、連続入射モードを解除して入射する必要が生じたわけである。これと同様の運転が 2007 年 6 月 4 日の週にも行われた。

2-3-2. シングルバンチ運転における Top-up テスト運転

2006 年 12 月 27 日に Top-up 運転のための放射線変更申請が承認されたのを受けて、MBS を開けたままでリング電流を一定に保つテストが出来ようになったので、B ファクトリーの運転が停止していた 2007 年 2 月 5 日の週のシングルバンチ・ユーザー運転にて Top-up 入射によってリング電流を一定に保つテスト運転が行われた。この運転ではマシンスタディーで行われた方式に従い、入射の繰り返しを 1 Hz に設定して第 3 スイッチヤードに設置したスリットにて入射率を 0.01 mA/sec になるように電子ビームのチャージ量を調整し、50 mA を保つように入射ビームをビームゲートにより ON/OFF 制御した。維持するリング電流を 50 mA に制限したのはリングの真空ダクトの温度上昇をおさえるためである。図 8 に典型的な入射のパターンを示す。入射率と減衰率がほぼバランスした状況に調整

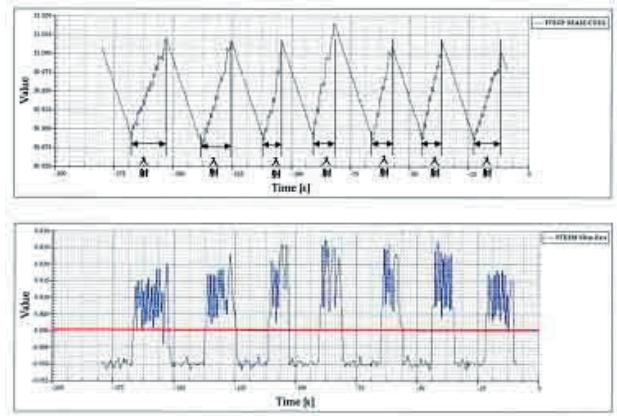


図 8 シングルバンチ Top-up テスト運転での入射パターン。



図 9 リング電流の 24 時間の記録。2 回の減衰は PF-AR 入射により Top-up 入射を止めたため。

し、10 秒間入射して 10 秒間蓄積するというパターンの繰り返して運転を行った。1 日のリング電流の記録を図 9 に示す。この図で 2 回リング電流の減衰が見られるが、これは PF-AR 入射のために Top-up 入射を止めたことによるものである。この図ではほとんど判らないが、2 回ほど入射器のクライストロンがダウンしたので非常に小さなディップが見られる。これらを除くとリング電流の安定度は 3×10^{-3} 以下に安定化されている。1 週間の運転で以下に示すようなディスタープが発生した。

1. スケジュールされた Top-up 入射の中断

| | |
|-------------|--------------|
| PF-AR 入射 | 2 回 /day |
| ライナックメンテナンス | 1 回 /2 weeks |

2. アクシデンタルな Top-up 入射の中断

| | |
|---------------|------|
| PF-AR 寿命急落 | 2 回 |
| 入射器クライストロンダウン | 12 回 |
| 入射器インターロックドア | 1 回 |

アクシデンタルな Top-up 入射の中断のうち入射器クライストロンダウンと入射器インターロックドアの誤操作 (安全系のインターロックに含まれないドアであった) に

についてはビームのみ数秒間ダウンしただけで、Top-up 入射のモードの解除を伴うものではない。スケジュールされた Top-up 入射の中断の中で、ライナックメンテナンスについては 2 週に 1 回木曜日に行われるメンテナンスで、通常 9 時から 17 時までビームがとまるので、この間は PF リングは通常の蓄積モードにて運転されることになる。

今回のシングルバンチにおける Top-up テスト運転により、以下に示すような、いくつかの問題点が見つかった。

- 1) PF-AR との関係で、安全系のインターロックの排他制御がもうひとつ見つかった。
- 2) 現在リングの真空度を維持するために週に 1 回ゲッターポンプをフラッシュしているが、このフラッシュの際には真空度が一時的に悪くなるので、MBS を閉める必要がある。
- 3) 10 秒間入射したあと 10 秒間蓄積した際に続く入射で入射用のセプタム電磁石を OFF すると、つぎに ON したときに 5 秒間正常値が出ない。

1) の PF-AR との安全系のインターロックの問題は TRISTAN 時代の古い排他制御のシステムを依然として引きずっており、Top-up 実用運転の前に根本的な対処が必要であり、この方向での見直しが始まっている。2) に関してはリングの真空度を維持するために必要な手順であるので、週に 1 回はこのために MBS を閉じる必要がある。3) に関してはセプタム電磁石電源の問題点であるので原因を調べるとともに対処をする予定である。

このほかに、入射器が Top-up 運転中に不調になったときに MBS を閉めずに調整をするために PF 入射路の終端近くにダンプリンを新たに建設した。MBS を開けたままで、入射器からのビームをこのダンプリンに通して調整できるので、この調整の間、入射は滞るが MBS を閉めて実験を中断する必要はなくなる。入射器の調整後にリング電流をリカバーするには通常の Top-up の入射率でゆっくりと戻すのと、入射路のスリットを開けてすばやくリカバーするのと二通りが可能であるが、どちらにするかは利用系との相談で決める必要があるであろう。

3. 今後の予定について

入射器の進捗状況にあるように、2007 年夏のシャットダウン中に、第 3 スイッチヤードに設置されている PF 入射路への振り分けバンドがパルスバンドに置き換えられる。これにより、2007 年秋の運転からライナックの A1 電子銃によるマルチエネルギー高速スイッチングの試験が始まる予定である。このマルチエネルギー高速スイッチングが確立すれば、PF への入射はこのモードで運転されることになる。PF リング側でも Top-up 運転のための放射線変更申請が承認されたので、2007 年秋の運転時にも Top-up 試験運転を行い、実用上の問題点を詳細に洗い出していきたいと考えている。特に、入射器が進めているマルチエネルギー高速スイッチングの運転モードが確立すれば、B ファクトリーの電子入射中 PF にも入射が可能となるので、マシンスタディー、テスト運転が従来よりもやり

やすくなる。Top-up モードでの実用運転は十分に安定性を試験した上で、2008 年秋のユーザー運転から開始することを予定している。

2008 年からの運転では入射器の電子モード (B ファクトリー HER 入射時) のときに Top-up 入射をすることを考えているが、入射器の進捗状況にあるように、入射器アップグレード Phase-III では、e-/e+ 運転パラメータの高速切り替えを行うことが計画されており、活発に作業も進められつつある。

この入射器アップグレード Phase-III が完成すれば、KEKB の陽電子入射モードのときにも PF に電子ビームを同時に入射できるので、PF リングの蓄積電流の更なる安定化が期待できる。特に寿命が短いシングルバンチモードの運転では陽電子モードの時のリング電流の減衰が大きいので、陽電子モードの時も PF に入射できるようになる意味は大きい。

NE1A1 コンプトン散乱ビームラインの閉鎖に当たって

放射光科学第二研究系 河田 洋
塩谷巨弘

施設長からの戦略 WG の報告にありますように (p2 参照) NE1A1 コンプトン散乱ビームラインは 2007 年度末に閉鎖されることになりました。ビームライン担当者の河田と当初からのユーザーを代表して塩谷が共同で、PF BL-14C での準備期間を含めると約 20 年間にわたる活動を簡潔に総括しましたので報告させていただきます。

1. はじめに

コンプトン散乱を用いた物性研究を PF で開始する契機となった二つの先駆的研究があります。第一は 1980 年に Loupias 等が発表した 10 keV の放射光を用いた Be の高分解能コンプトンプロファイルの測定です。この研究が契機となり、日本でも高分解能コンプトン散乱実験が PF BL-14C の縦型ウィグラー光源を用いた 30 keV の放射光をベースに始まりました。第二は 1986 年に Cooper 等が発表した電子軌道面から僅かに傾いた面で楕円偏光した放射光を取り出し磁気コンプトン散乱へ応用した研究です。これらは高強度・高エネルギー放射光を利用したコンプトン散乱実験法が電子の振る舞いを運動量空間で観測するユニークな手段であって、近い将来に物性の基礎研究の有力な手段の一つになることを予感させる研究報告でした。世界的潮流として 1980 年代中ごろにはいわゆる第 3 世代大型放射光施設の建設が現実味を帯びてきていました。一方、PF は発足当初から AR の放射光利用の可能性を予見して AR の建屋に実験フロアを確保して、高強度・高エネルギー放射光の有用性をいち早く世界に示すことが出来る非常に有利な立場にありました。1987 年には概算要求「入

射蓄積リングを用いた大強度放射光実験設備」が予算化され NE1, NE3, NE5, NE9 の整備が本格化しました。コンプトン散乱は NE1 での開発テーマのひとつとしてスタートしました。

2. 成果

PF の出版論文データベースでキーワードを NE1A1 として検索しますと約 60 編の論文が登録されています。PF-AR が 1996 年まではトリスタンへの入射の合間を縫って放射光に利用されていたこと、さらに NE1 は医学応用および軟 X 線分光との共存であったことを考慮して配分ビームタイム当たりの論文数に換算しますと、この論文数は決して少ない論文数ではありません。詳しい研究内容は個々の論文をご覧頂くとして、ここでは成果の要点だけを箇条書きします。

- 1) 入射エネルギーを Louprias 等の 15 keV から直線および円偏光の～ 60 keV に引き上げて、高分解能コンプトン散乱では 4d 遷移金属・合金まで、磁気コンプトン散乱では 3d, 4f, 5f 元素を含む磁性体にまで対象を広げ、コンプトン散乱を物性研究の手段として確立しました。
- 2) 放射光利用技術：楕円偏光ウィグラー (EMPW) の設計・建設、モノクロメーターの高熱負荷対策、ビームラインとハッチの設計・建設、13 素子 SSD の開発等の高エネルギー・高強度 X 線の利用に関わる技術開発は世界に先駆けて NE1A1 で行なわれ、後に続いた ESRF, APS と SPring-8 に多大な寄与をしました。
- 3) 高分解能コンプトン散乱のサイエンス：軽金属から 3d 遷移金属までのいろいろな金属・合金の伝導電子の運動量密度分布を測定し、その結果とバンド理論に基づく計算結果との詳細な比較を行いました。これらの成果はバンド理論に基づく電子運動量密度分布の計算の精密化を促し、通常バンド理論の評価にはもとより variational quantum Monte Carlo 法, GW 近似, self-interaction correction の評価にも寄与しました。さらに、電子運動量密度分布の 3 次元再構成法として直接フーリエ変換法を確立して、純粋な金属ばかりでなく不規則合金や stoichiometry からずれた金属間化合物の Fermi 面を描画することが出来るようになりました。これによってそれまで不可能であった不規則合金の Fermi 面の nesting 形状と相変態との関連を追及することが出来るようになりました。
- 4) 磁気コンプトン散乱のサイエンス：これまで未解決だった問題、高エネルギー X 線のコンプトン散乱断面積はスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントの両方に依存するのがあるいはスピン磁気モーメントのみに依存するののかに関して、スピン磁気モーメントのみに依存することが極めてよい近似で成立することを実験的に検証しました。これによって、強磁性体のスピン磁気モーメントの大きさと試料全体の磁化に対する向きを決定することが出来るようになりました。
- 5) さらに、測定された磁気コンプトンプロファイルを原子波動関数を使って 3d, 4f, 5f および s 的成分に分解する手法を確立して、3d 強磁性金属・合金、3d-4f 元素の化合物あるいはアモルファスのスピン磁気モーメントを担う電子の性質を特定し、スピン磁気モーメントの向きと大きさを決定し、それらの温度依存性を測定することによって、磁気構造に関する新たな知見を得ました。1990 年代前半では、この手法を用いた 3d-4f 磁性合金の系統的な測定がおこなわれ、さらにこの方法論は、現在 SPring-8 の BL08W で精力的に進められています巨大磁気抵抗効果を示す Mn 酸化物物質群の軌道秩序の研究に応用されているように、磁気コンプトン散乱分野の標準的解析手法になっています。
- 6) また、パルスマグネットの導入、挿入光源による円偏光ヘリシティの反転による磁気コンプトン散乱測定を実験技術として確立することにより、Sm 化合物等の硬磁性体のスピン磁気秩序の測定、補償温度領域におけるマクロな磁化を持たず、磁場反転では測定不可能な磁性体中のスピン磁気秩序の観測という、未だ世界の追従を許さない特徴のある研究が行われました。
- 7) 新しい手法として、斜入射配置での磁気コンプトンプロファイルの測定法を確立して、これまではコンプトン散乱では不可能とされていた磁性多層膜の磁気構造の研究を可能にしました。より高輝度・高エネルギー X 線を用いれば一層有効な手法になることを実証しました。
- 8) 3 次元電子運動量密度分布を、再構成法に頼らずに、直接観測する新しい手法を開発しました。通常コンプトン散乱実験では散乱された X 線のみエネルギー分光を行うのに対して、新しい方法は、コンプトン散乱 X 線と反跳電子の同時計測を行いながら特定運動量方向の反跳電子のエネルギー分光を time of flight (TOF) 法で行い且つ X 線については 2 次元 X 線検出器で運動量の方向を決定するという複雑な計測を行うものです。この新しい実験手法の有効性を実証し、より高輝度・高エネルギー X 線を用いれば自己保持可能な薄膜の電子構造の研究に有効であることを示しました。
- 9) 高分解および磁気コンプトン散乱のこれらの成果は国際会議 Inelastic X-ray Scattering (IXS) シリーズの発足の契機を作り (第 1 回 1993 年 (Krakow)), 第 2 回 (1995, Tokyo) は塩谷がコンファレンス・チェアを務め、第 6 回 (2007, Awaji) は河田が務めました。国際的にコンプトン散乱の実験手法の普遍化に本ビームラインが貢献したのは紛れもない事実です。また、Oxford series on synchrotron radiation No 5 として X-ray Compton scattering を出版 (2004 年) する契機ともなりました。この本に引用されている研究成果の多くは NE1A1 ビームラインから出た成果です。

3. 検証すべき点

1) PF-AR でのコンプトン散乱は 1980 年代後半に計画され、入射 X 線のエネルギーを 60 keV として準備を始めました。60 keV の選択は正しかったかということを検証しなければならないでしょう。当時発見されたばかりの High Tc 超伝導体とその関連物質（重元素を含む酸化物質群）をコンプトン散乱の研究対象にすることの重要性の認識とそれを実現する可能性が当時どれくらいあったかということの検証と言い換えることも出来ます。

60 keV を選択した理由は、

- (1) 高分解能に関しては、Loupas 等の入射 X 線エネルギー 15 keV での軽金属を対象とする研究を越えて、3d 遷移金属までを研究対象とすることが目標でした。この目標は世界的にも当時の一致した認識であり、1987 年に ESRF で開催された「高エネルギー X 線利用に関する研究会」でも次期コンプトン散乱実験の入射 X 線のエネルギーは 60 keV 程度が適当であろうという見解が示されていました。
- (2) 磁気コンプトン散乱に関しては、Cooper 等の inclined method よりも効率よく希土類元素を含む磁性材料の磁気コンプトンプロファイルの測定することが目標でした。
- (3) 当時の PF-AR は 6 GeV 運転で、EMPW の予測スペクトラムからフォトン数と円偏光度を最適化すると 60 keV が適当でした。
- (4) 当時の磁性研究は 3d 遷移金属合金や希土類金属合金が主流であって、磁気コンプトンプロファイルの測定では入射 X 線のエネルギーを希土類元素の K-edge 以下にすることで希土類元素を含む物質まで測定可能だと考えました。
- (5) 高分解能コンプトン散乱スペクトロメーターに分光のための稼動部分がない透過 Cauchois 型アナライザーを採用したため 2 次元位置敏感検出器を必要としました。当時はイメージプレート (IP) 以外には実用となる適当な検出器がありませんでした。IP も 60 keV を超えると検出効率が落ち実用になるかどうか分からない状況でした。

以上が入射 X 線のエネルギーを 60 keV に選択した理由です。

高温超伝導体からみの物質の重要性の認識はありましたが、現在のように重元素を含む物質が物性研究の主流になるだろうからコンプトン散乱もそれに対応して計画の変更をすべきであるという認識はなかったように思えます。実際にこの分野へのコンプトン散乱の寄与の可能性を示唆されたのは 1991 年の Konstanz で開催された Sagamore 会議での塩谷と坂井の AR の成果をいち早く高く評価した Bansil から塩谷へあったのが最初でした。

当時は放射光専用ではなかった 6 GeV リングを使って 90-100 keV にフォトン数と円偏光度を最適化する EMPW の開発・試作は不可能ではなかったかもしれませんが非常に難しかったと思います。実際に PF BL-14C の 30 keV の実験から NE1A1 の 60 keV の実験に移行するにあたり、分

光器、検出器、バックグラウンドの低減などの多くの新たな困難に直面したことを勘案しますと、60 keV の選択は最も現実的で正しい選択であったと思います。このことは SPring-8 の BL08W が 115 keV の高分解能コンプトン散乱と 260 keV の磁気コンプトン散乱を完全に利用実験フェーズまで導くにあたり、NE1A1 での経験を生かしてさえ、なお多くの時間を要したことからも視えます。さらに、高分解能コンプトン散乱について言えば、Cauchois 型アナライザーを採用したスペクトロメーターではこのエネルギー領域で実用になる 2 次元位置敏感検出器がなかったことから考えますと、反射型の scanning type のスペクトロメーターを採用し入射エネルギーを高くすることに対応できるようにしておけばよかったかもしれないという批判があると思います。しかし、反射型 scanning type のスペクトロメーターにも欠点があって、もし我々がこのタイプを採用していたとしてその欠点を克服することが出来たかどうかは疑問です。PF-AR のコンプトン散乱の発表論文数は反射型 scanning type を採用した他の施設のそれより格段に多いという事実が我々のスペクトロメーターの選択の正しさを語っています。

2) ハードウェアの up grade

第二の検証すべきことはハードウェアの up grade をしてきたかと言う点です。

- (1) 6 GeV 運転から 6.5 GeV 運転に移行し、さらに高エネルギー物理との共用から放射光専用リングにしました。
- (2) モノクロメータの改良を弛まず行い、モノリシックなシリコン結晶による 2 次元湾曲結晶の導入により集光を良くし、またシリコン結晶を熱処理して酸素欠陥の析出による積分反射強度を増大させることによって光子数を増加させました。
- (3) IP を X 線 CCD カメラで置き換えるテストを行いました。人手不足のために実用化するにはいたりませんでした。
- (4) パルスマグネットを導入し、硬強磁性体の磁気コンプトンプロファイルの測定を可能にしました。
- (5) 2.5 T の超伝導電磁石を導入し試料冷却装置と組み合わせ磁気コンプトンプロファイルの温度依存性の測定を容易にしました。
- (6) Cd-Te 2 次元検出器の開発を試みたが成功しませんでした。
- (7) IP 読取装置を AR に設置して高分解能コンプトン散乱のデータ読み出しを容易にしました。

3) ソフトウェアの up grade

第三の検証すべき点はソフトウェアの up grade です。

- (1) ビーム制御プログラムを Iwazumi version (MS-DOS バージョン) から Matsumoto version (Windows バージョン) に up grade し、ユーザーが使いやすい環境を整えて来

ました。

- (2) 高分解能のデータ処理プログラム (Matsumoto program) を整備しました。

4. 人材の育成

第四の検証すべき点は人材の育成をしたかという点です。

NE1A1 でコンプトン散乱の実験に参加したユーザーの中で、現在 SPring-8 及びその関連施設で活躍している人の数は 8 名 (兵庫県立大を含む) いますが、そのうちの 2 名は BL08W のコンプトン散乱関係のスタッフですので、コンプトン散乱分野に対してのみならず他の放射光科学の分野に対しても多大な貢献をしたといえるでしょう。また、総研大の 3 人の学生がコンプトン散乱をテーマとして学位を取得して卒業しました。

5. NE1A1 のユーザーと課題数の減少

第五の検証すべき点は PF-AR のユーザー数と課題数が何故減少したかという点です。

高温超伝導体の発見以降、日本における物性研究の主流が重元素を含む物質の諸物性の解明に向かい、また、ここ数年はナノスケールの構造や各種の励起状態に関連する現象に関心が集中しています。このような状況下では、バルクの基底電子状態を観測するコンプトン散乱の寄与は限られます。入射 X 線のエネルギーが ~ 60 keV の高分解能コンプトン散乱は 4d 遷移金属元素どまりの物質しか研究対象になりません。また磁気コンプトン散乱では散乱断面積の磁気効果項が $(h\nu/mc^2)$ に比例しますので、SPring-8 の BL08W の約 260 keV の入射 X 線での実験と比較しますと、NE1A1 では磁気効果項が 4 分の 1 になるために観測できるスピン磁気モーメントの大きさが限られてきます。従って、SPring-8 の BL08W のビームラインおよび実験ステーションの整備が完了し、順調に稼動している現在、NE1A1 のユーザーの自然増を期待することは非常に難しいことは衆目の一致するところでしょう。この点では、既に NE1A1 のコンプトン散乱は当初の目的を達成し、SPring-8、BL08W という後継の上位ビームラインへのアクティビティの移転の可能性が明らかになった今、この分野の世界のセンターとしての役を終えているといえるでしょう。ほぼ 15 年間も地味ではありますが基礎的な物性研究の領域で成果を挙げ世界にコンプトン散乱関係の情報、および先駆的な挿入光源の技術開発をはじめ、高エネルギー X 線のビームライン技術に関する情報を発信し続けられたことは大いに誇れることと思います。

6. PF コンプトン散乱グループの今後の取り組み

以上に検証してきましたように、NE1A1 の閉鎖はコンプトン散乱そのものが現在の物性研究に不必要になったのではなく、NE1A1 のコンプトン散乱関係のハードウェアが現在の物性研究にはふさわしいものではなくなってきたからです。常に最先端を開拓していかなければならない責務を負っている PF としては、NE1A1 を現在でも十分に

競争力のある分野に活用し、またその様にするこによって PF および PF-AR 全体として最適化する努力が必要と考えます。一方、ユーザーとしての PF コンプトン散乱グループは、別項にありますように、将来光源 (ERL) のビームを念頭に、コンプトン散乱 (より広く非弾性散乱) を微小試料、極端条件下、あるいは励起状態などの物性研究に貢献できる手法とするために、新しい視点からグループを再構築し、ERL の利用に関して斬新な提案ができるように活動することが決まっています。新しいグループが、新しいサイエンスを切り開く原動力として活動して下さることを強く期待します。

謝辞：高強度・高エネルギー X 線の利用を世界に先駆けて実現することができたのは、初代施設長の高良先生が当時の西川所長、堀越主幹、木村主幹に将来 PF-AR で放射光利用が出来るように措置をして欲しい旨申し入れられたことに遡れます。その後、佐々木先生、千川先生、岩崎先生、さらには「入射蓄積リングを用いた大強度放射光実験設備」の全体総責任者であった安藤先生、その他大勢の先輩方のご尽力によって PF-AR の放射光利用は実現したものです。PF 建設の初期から放射光利用の長期的戦略のもとに PF-AR の放射光利用を確保されておられた諸先輩方に深い敬意を表します。また、EMPW を開発された山本先生と北村先生、放射光利用のために多大なご協力を頂いた加速器の方々、光源系の方々、技術職員の方々に深甚の謝意を表します。