

# 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

2007年9-12月の運転日程は、

9月 6日	入射器立上げ
9月 25日	PF へ入射開始
9月 27日	PF-AR へ入射開始
10月 2日	KEKB へ入射開始
12月 17日	全電子加速器運転停止

であった。PF、PF-AR への入射は大きなトラブルなく順調に続けられた。また、年始は、

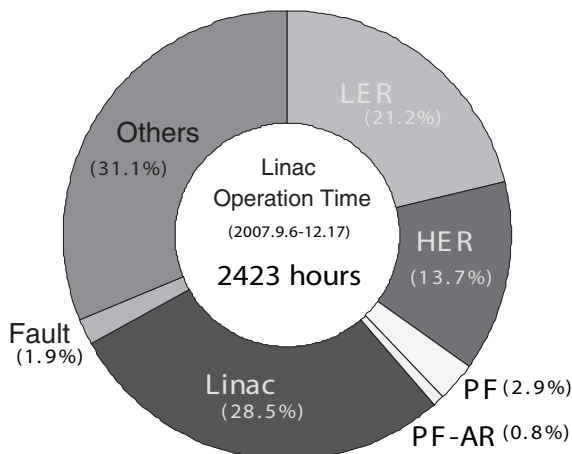
1月 10日	入射器運転開始
1月 18日	PF へ入射開始
1月 25日	PF-AR へ入射開始
2月 8日	KEKB へ入射開始

の日程で運転を開始した。

### 運転統計

秋期の入射器総運転時間は 2,423 時間であった。このうち、PF への入射時間は 69 時間 12 分 (2.9%)、PF-AR への入射時間は 19 時間 32 分 (0.81%)、KEKB への入射時間は 846 時間 11 分 (34.9%) であった。また、入射器機器の延べ故障時間は約 45 時間 34 分 (1.9%)、入射遅延は PF 29 分、PF-AR 7 分、KEKB 4 時間 55 分、合計 5 時間 31 分 (0.23%) であった。

秋期運転における入射器機器の延べ故障時間は、2004-2007 年で 54 → 40 → 35 → 45 時間と推移した。また、PF への入射遅延時間は 1 時間 22 分 → 4 時間 37 分 → 34 分 → 29 分、PF-AR への入射遅延時間は 1 時間 9 分 → 34 分 → 4 分 → 7 分と推移している。低速陽電子実験用テストリニアックの運転も順調に行なわれた。



### 入射改善

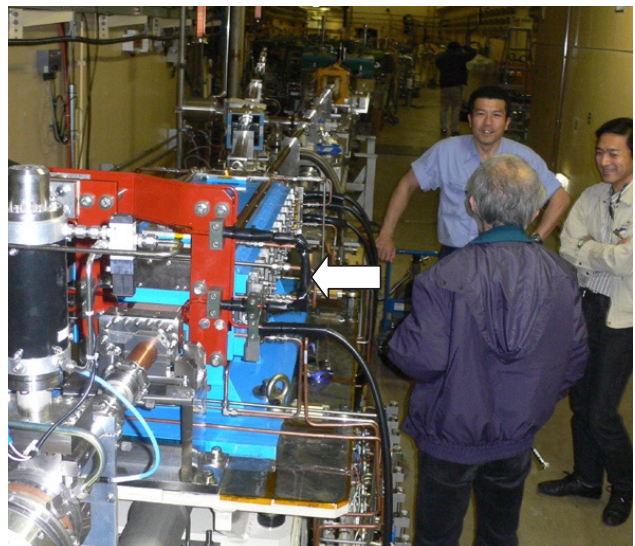
2005 年度から実施されている入射改善工事は、ビーム輸送路改造 (Phase-I, H17 年度実施)、KEKB 8GeV 電子ビームと PF 2.5GeV 電子ビームのパルス毎の切り替えのための改造 (Phase-II)、また、これらのビームと KECB 3.5GeV 陽電子ビーム切り替えのための改造 (Phase-III) に分けている。これら 3 種類のビームモードをパルス毎に切り替えるには、リニアックの中では同じビーム輸送系パラメータでビームを加速できること、マイクロ波の位相をパルス毎に高速に切り替えられること、モードに応じてリングと同期したビームトリガーやモニターを切り替えられることなどが必要である。また、ビーム輸送のため補助的にパルス・ステアリング電磁石も用いる。

この冬の工事で、PF と KECB のビーム輸送路にビームを振り分けるパルス偏向電磁石システムが入射器終端に設置された (写真)。今期からの PF 入射はこのパルス電磁石を用いて行われる。試験運転では十分安定に運転できることがわかったが、長期的な稼働率に注意しながら、保守維持を行っていく予定である。

また、電子と陽電子を高速に切り替えるためには、電子ビームを加速する際に陽電子標的を迂回する必要がある。このため、パルス・ステアリング電磁石を用いて標的中心から 4.5 mm 離れた直径 3 mm の孔に電子ビーム通す。パルス電磁石を用いた試験を現在進めているところである。

### 新年の抱負

2009 年度から 2013 年度までの 5 年の研究計画を検討した KEK ロードマップが機構長の任を受けたタスクフォースから提案された。これは KEK の将来計画そのものではなく、例えば、素粒子物理学関係では LHC や ILC 計画の結果や進展、放射光科学ではコンパクト ERL の開



入射器終端に設置されたパルス偏向電磁石 (矢印)。毎秒 50 パルスのビームを PF と KECB のビームラインに振り分ける。ビームラインへの設置と通電試験を終えてほっとした関係者 (1/9)。

発動向などをここ数年見極めつつ、将来計画を策定していこうとするものであると受け止めている。この過渡的な時期を電子陽電子入射器としてどのように対応していくか、入射器の内部でも議論を始めている。

2008年度の明確な目標としてまず第1に上げられるのは、PF トップアップ運転に向けた入射器の改善である。2007年末までに基本的なハードウェアの改造を完了したが、2008年は制御系のソフトウェア整備と改良を行い、安定した定常運転の確立に進まなければならない。また、ロードマップでは KEKB のルミノシティの飛躍的改善を一つの柱として提案しているが、その具体的な計画立案の議論を加速器施設内で進めている。その中で入射器の課題も明らかにし実行していきたいと考えている。

## PF 光源研究系の現状

放射光源研究系主幹 春日俊夫

11月16日付けで帯名崇氏が、放射光源系の准教授に昇任されました。帯名さんには光源制御を含むビームインストゥルメンテーショングループで活躍して頂きます。

### PF

昨年の運転は12月17日に終了した。1月18日に再開し3月10日に今年度の運転を終了する予定である。なお、当初は今年度の運転は2月29日に終了する予定であったが、後記の事情により、運転を10日間延長した。次年度の運転開始は5月7日を予定している。

BL-16の高速偏光切り替え光源設置の準備が進行している。これは2台のAPPLE II型可変偏光アンジュレータを直列に並べて設置し、電子軌道に時間的に変化するバンプをつくり、光軸を変化させることで偏光スイッチングを実現しようとするものである。1台目のアンジュレータは既に完成し磁場測定が行われており、現地設置の準備中である。バンプ軌道を作るための5台の電磁石と電源も既に完成しており、磁場測定も行われている。2台のアンジュレータが設置される場所の床強度に若干の懸念があったが、昨年末に補強作業が終了している。アンジュレータは今年度中に現地に設置する。それに伴う諸作業を4月に行う予定である。このため、PFの運転開始は連休明けの5月7日を予定している。4月に運転が行えないので、ユーザーのための運転時間をできるだけ確保できるよう、3月10日まで運転の延長を行う。年度が異なる期間での運転時間のやり繰りとなり、ユーザーの方々にはご迷惑をかけますが、よろしく願いいたします。

トップアップ運転のための準備も着々と進んでいる。難関であった線形加速器直後のパルス偏向電磁石のテスト及び設置も終了しビームテストも行われた。トップアップ運転のための試験を継続し、早い実用化を目指す。

現在まで、縦方向の不安定現象を緩和するために加速高周波系にシンクロトロン振動の2倍の周波数で位相変調をかけていた。この方法はバンチ長やエネルギー広がりを大きくする難点があった。この方法に代わるものとして縦方向バンチ毎フィードバック法の開発が進められてきた。ビーム電流約430 mAまで、不安定現象を抑えることが出来るようになった。実用化一步手前の段階までできている。なお、この方法ではエネルギー広がりを大きくすることがないので、分散がある場所からの光を使うビームラインでは輝度が改善される。放射光源研究系と放射光科学研究系との合同スタディを行い、この方法のユーザーランでの有効性を確かめた。出来る限り早いユーザーランでの運用を目指す。

残念ながら既報の加速高周波系のクローバーのトラブルは解決していない。2.5 GeV時には4系統の高周波系のうちの3系のみでの運転で対処した。12月10日から1週間行われた3 GeV運転時には、(トラブル発生の頻度からみて1週間は問題ないとの判断により)4系全部の運転で対処した。幸い、この間のトラブルはなかった。

### PF-AR

昨年の運転は12月17日に終了した。1月25日に再開し3月10日に今年度の運転を終了する予定である。次年度の運転開始は4月14日を予定している。

パルス四極電磁石による新入射法の研究を継続している。多くのデータが取得され、従来のパルスバンプ軌道による入射法と遜色がない性能を達成しているが、未だよく分からない現象(新入射法の問題ではなくPF-AR固有の問題と思われる)も起こっている。また、PF-ARでずっと悩まされ続けている寿命急落現象の解明のための本格的なスタディが開始された。

既報の新偏向電磁石電源が発生する高調波の対策として、電源の上流側に高調波フィルターを新設することとした。完成予定は今年3月末であるがそれまでは対症療法的な運転(既報)で凌ぐ。

## 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

前号の報告以降順調に共同利用実験を行い、PF、PF-ARとも12月17日朝に運転を停止しました。この間PFリングでは12月3日に縦方向(ビーム進行方向)bunch-by-bunch feedbackの効果に関してスタディを行い、放射光ビームへの効果を観測しました。寿命を延ばすためにこれまで行われていたRFの位相変調を止め、縦方向bunch-by-bunch feedbackを働かせた時に最もビームが安定で、また試料位置での強度も大きくなるのが観測されました。更にスタディを積み重ねた上で、2月中旬

に1週間程度の長期的なテスト運転をすることが検討されています。

新年の運転をPFは1月16日から再開し、22日に光軸確認をして、共同利用実験を再開しました。KEKBの運転再開が2月8日となるため、1月29日から2月4日の間のシングルバンチ運転はtop-up modeで行う予定です。PF-ARは1月25日に運転を再開し、28日の予備光軸確認、29日の光軸確認を経て共同利用実験を行います。

当初PFは2月29日朝で停止の予定でしたが、後述する作業との関係を鑑み、3月10日朝まで運転を延長します。この運転経費は先端研究施設共用イノベーション創出事業から手当てします。

光源系報告にあるように、PFでは春の停止期間中にBL-16用の可変偏光アンジュレーターの設置作業を行います。この調整作業等のために、4月の運転は行わず5月7日に運転再開の予定です。一方、PF-ARでは例年並みに4月14日～28日の運転後、短期停止を経て、5月9日運転再開予定です。両リングとも7月1日朝まで運転の予定です。

11月2日に応募を締め切った平成20年度前期の課題審査は1月30、31日のPF-PACで審議する予定です。

### ビームラインの建設等

12月の運転停止とともにBL-8の解体作業が進められました。この他にもPF、PF-ARで多数のビームライン関係の作業が進められています。詳細については次ページ「ビームライン整備の状況」をご参照下さい。

ビームライン整備に大きな予算、労力が必要となるため、既存のビームライン、実験ステーション周りへの投資が十分にできていないことは危惧されることです。PFの予算増大の努力はもとよりですが、ユーザーコミュニティと協力した外部資金の獲得や産業利用収入で不足分を補ないましょう。大きな資金を獲得することは難しくても、各研究グループから持ち寄って実験装置の整備を進める方策が無いのか検討をしています。PF懇談会を初めとするユーザーの皆様の御協力を御願ひします。

### 論文・学位論文登録のおねがい

前号でも論文の登録をお願いし、お陰様で以下の様に登録論文数が増大しています。

論文出版年	2005年	2006年	2007年
2007/10/17 調査時	575 報	452 報	274 報
2008/1/17 調査時	623 報	505 報	421 報

論文数はアクティビティの一つの指標ですし、成果が出ているにも係わらずデータを示せないために不当な評価を受けることはコミュニティにとって得策ではありませんので、論文出版時には速やかに登録して下さい。

PFのユーザーの半数強の約1500名が大学院生です。仮に全員が5年一貫制の博士課程を終えるとすると、 $1500 \div 5 = 300$  報の学位論文が毎年出版されることになり

ます。実際には修士課程で修了する大学院生も多いでしょうから学位論文の数はもう少し多くなりそうです。一方、PFの学位論文データベース [http://pfwww.kek.jp/users\\_info/users\\_guide/thesispubl.html](http://pfwww.kek.jp/users_info/users_guide/thesispubl.html) に登録されている学位論文数は毎年100件強にとどまっています。大学共同利用機関としては、研究成果と同時に大学の教育への貢献も社会に示す必要があります。未登録の学位論文についても、速やかな登録をお願い致します。

### 人の動き

物構研07-2の人事選考の結果、11月16日付で伊藤健二氏が教授に昇格しました。氏には公募要領にありましたように、先端技術・基盤整備・安全グループのリーダーとして技術開発、ビームライン整備、安全管理、業務委託者の管理等について指導的な役割を果たしていただきます。物構研07-4(所内公募)の人事選考の結果、同日付で兵藤一行氏が講師に昇格しました。氏はBL-14C1, NE5A, NE1A2のビームラインを担当し、主に医学的な応用面からイメージング技術・画像処理技術の開発や共同利用推進に当たっていただいています。

12月21日締切で公募を行っていた博士研究員(物構研07-5)ではERLのビーム力学に関する研究を行う島田美帆さん(分子研)を採用することとなりました。

PFでは学振のPDも受け入れています。KEKでは職員だけでなく学振特別研究員に対しても職員宿舍の貸与を行っています。関心のある方は学振の指示に従って応募して下さい。

## ERL 計画推進室報告

ERL 計画推進室長 河田 洋

ERL 計画推進室は発足してからの1年半の間、ERLの技術開発、検討をERL検討会の場で進めてきました。その結果、図1に示しますように、いくつかの重要な開発要素に関して試作機レベルでのR&Dが進み、また、試作機までは到達していない項目に関しても、その開発の処方箋となる検討が進んでいます。このような状況の下、各要素技術のコンセプトをまとめる段階に到達したことを受けて、全体設計グループの坂中章悟准教授(KEK)、小林幸則准教授(KEK)、羽島良一グループリーダー(JAEA)、中村典雄准教授(ISSP)の方々を中心に、Conceptual Design Report (CDR)をまとめていることを前のPFニュースで報告しました。若干の遅れはあるものの、3月中には出版の予定であり、後述の3月16、17日のERLサイエンス研究会、および18、19日のPFシンポジウムには皆様に手に取ってご覧いただけることを目指しています。またそのCDRをまとめる作業により、ほぼ全ての要素開発に関する整合性が確認され、図2で示すように各要素技術ごとにスケジュール表がまとまりつつあります。このスケジ

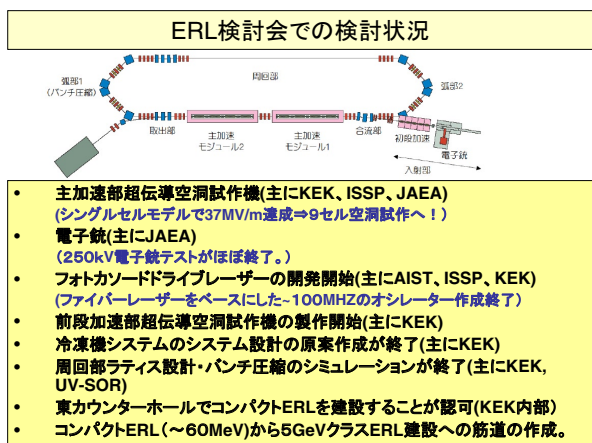


図1 ERL 検討会での検討状況

コンパクトERLスケジュール案(1)

項目	2007年度		2008年度		2009年度		2010年度		2011年度		2012年度	
	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期
超伝導真空管	空管製作、試験	空管製作、試験	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発	クライオモジュールの設計、開発
入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞	入射部空洞
高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流	高出電流
前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系	前ローレル系
冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機	冷凍機
電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃	電子銃
電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー	電子銃レーザー

コンパクトERLスケジュール案(2)

項目	2007年度		2008年度		2009年度		2010年度		2011年度		2012年度	
	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期	前期	後期
ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線	ビーム線
管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源	管柱・電源
真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム	真空システム
モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ	モニタ
制御	制御	制御	制御	制御	制御	制御	制御	制御	制御	制御	制御	制御
放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備	放射線安全設備
建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ	建物・ユーティリティ

図2 コンパクトERLスケジュール

スケジュールはもちろん予算にも依存いたしますので、その点をご理解いただきたいと思います。今後の目安となるものです。

1月に立命館大学で行われました放射光学会では、コンパクトERLをベースにした企画講演「コンパクトERLが拓くサイエンス」を行い、河田洋(KEK)、原田健太郎・助教(KEK)、木村真一・准教授(UVSOR)、百生敦・准教授(東大)の4名の講演者により、全体計画、マシンの概要、大強度THz光源利用研究、レーザー逆コンプトン散乱微小X線光源によるX線イメージング研究、の講演が行なわれました。またそれ以外にも、口頭発表で春日俊夫・教授(KEK)から「ERLプロジェクトの進捗状況」、およ

び関連ポスター(著者は紙面の関係上省略いたしますが)「ERL主加速器のための1.3GHz超伝導加速空洞の開発」、「抵抗壁ウェーク場のERLビームへの影響」、「ERL放射光源のための高輝度大電流電子銃の開発」、「ERL主加速器用入力カプラーの基礎開発」、「ERL加速器のR&Dの現状」の発表を行っています。ERL実現に向けた開発研究が順調に進行しているとご理解ください。また、放射光学会の折に開かれたPF懇談会の拡大運営委員会で下村所長からKEKロードマップの説明があり、コンパクトERLがERL実機に向けてのR&Dという立場で、KEKのロードマップの中に明確に盛り込まれているとの説明がありました。学会中に何人かの方々から「ERLの実現性が現実味を帯びてきた」とのコメントを受け、今後更なるR&Dを進めることの力を得た次第です。

前述しましたように5GeVクラスのERLで拓かれるサイエンスを議論する「ERLサイエンス研究会1」を3月16, 17日に開催します。研究会1と銘打ったのは、このような研究会を重ねていくことを考えており、先ず第1回目と言う事です。詳細は「研究会等の報告/予定」に掲載されている開催案内をご覧ください。

**ERL 検討会**

- 第19回 2007年11月8日(木) 14:00 ~ PF 研究棟 2階会議室
- 第20回 2007年12月6日(木) 14:00 ~ PF 研究棟 2階会議室
- 第21回 2008年1月16日(木) 14:00 ~ PF 研究棟 2階会議室

議事メモ、資料等は <http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/index.html> をご覧ください。

## ビームライン整備の状況

放射光科学第一研究系 野村 昌治

PFでは2005年に実施した直線部増強改造を生かすために、挿入光源を用いるビームラインの整備を進めています。この中では新たに生み出された短直線部(BL-1, 3, 15, 17)については真空封止型短周期アンジュレーターを利用したX線域での実験に、延伸された中長直線部の内5本(BL-2, 13, 16, 19, 28)については軟X線域で活用していく方針です。

ご承知の様にPF-ARの一部を除き、ビームポートは全て利用されており、新しいビームラインを建設するためには既存のビームラインの移設や閉鎖が余儀なくされます。このため、1本のビームラインを建設するためには、関係する多数のビームラインの移転や統廃合が必要となります。現在進行中のビームライン整備の概要について紹介いたします。

## 1. BL-1, BL-8

ターゲットタンパク研究プロジェクトの一環として真空封止型短周期アンジュレーターを光源とした「軽原子の異常分散を利用する構造決定に最適化した低エネルギー高輝度マイクロビームライン」を2009年に建設する準備が進められています。新BL-1の建設に先立ち、BL-8を閉鎖し、BL-8へ現BL-1A, 1Bのアクティビティを移す作業が進められています。昨年末の運転停止後に、BL-8の解体作業が急ピッチで進められ、実験ハッチ、中二階デッキの撤去、床の貼り直し、ビームライン中心線の測量を行い、新ビームライン設置の準備が進められています。SX領域では偏向電磁石ビームラインの移設よりも挿入光源ビームラインの整備を優先して進めるために、当面BL-1Cの行き先は保留となっています。

## 2. BL-16

BL-16では現行のアンジュレーターを用いたビームライン調整が進められており、1～3月期にはブランチビームラインの調整も進められる予定です。また、Apple-II型の変偏光光源、キッカーマグネット等の設置作業が春の停止期間中に行われます。

BL-16では2006年夏までは多重極ウィグラーを光源とするX線用のBL-16Aとアンジュレーターを光源とするBL-16Bの二つのビームラインをタイムシェアして利用していましたが、真空封止型短周期アンジュレーターを光源とするBL-3Aを建設することでBL-16をアンジュレーター利用に専用化してきました。BL-3Aのその後の整備状況については別稿を参照して下さい。また、新BL-3の建設に先立ち、旧BL-6B, 6Cを閉鎖して、旧BL-3AをBL-6Cへ移転しました。

## 3. PF-AR NE 棟関係

PF-ARのNE棟では3月の運転停止後、秋までの間にエレベータの設置(NE1側)やビームラインの更新作業が行われます。このため、この間はNE棟での実験を停止させていただきます。

まず、NE3にアステラス製薬の出資による構造生物学研究用ビームラインを建設するための準備作業が進められています。冬の停止期間中に、この建設と干渉するビームラインNE5用中二階デッキの解体作業や機器の整理・移動等が進められました。これまでNE3を利用していた核共鳴のアクティビティについては、後述するNE1やPF内外の他のビームラインで展開していくこととなります。

NE1では現在BL-13Aで行われている高温高压下でのX線回折実験に核共鳴実験を組み合わせることで、構造だけでなく電子状態に関する状態も測定するためのビームラインを建設する準備が進められています。現在のNE1A1(コンプトン散乱)についてはパイオニアとしての使命を終え、今後は他施設を活用して研究を展開して頂きます。NE1A2で行われていた臨床応用に関しても初期の目的を果たし、今後の展開を検討する段階となっています。臨床

応用は地上で行えることが望ましいため、必要な時にビームを地上へ導くことが可能なように新しいNE1はデザインされています。NE1Bで行われていた軟X線MCD研究については建設中のBL-16で新たな展開を図ります。

BL-13AのNE1への移転は、今後のBL-13をアンジュレーター利用専用化することの準備作業の一つと位置付けられます。

このようにNE棟では多数の作業が平行して進められるため、NE1, NE3を3月の停止後に閉鎖するだけでなく、NE5の利用も秋まで停止します。また、この後もいくつかの挿入光源ビームラインの建設と関係する作業が継続します。関係する研究者の皆様にはご不便をお掛けしますが、ご理解と御協力を御願います。

## レーザー加熱超高压実験ステーション BL-13A から新 AR-NE1 へ

放射光科学第二研究系 亀卦川卓美

### 研究計画の概要

PF 2.5GeV リングにおける挿入光源ビームラインの再整備が進められている中で、BL-13AのAR-NE1への移行計画について紹介する。超高压下のX線構造研究はダイヤモンドアンビルセル(以下DAC)をツールとして始められ、放射光と組み合わせることで特殊性を脱して一般的な研究手法として認知された。現在は低圧側で多様な物質の物性を圧力を通して解明する研究と高压科学伝統の超高压フロンティアの分野、それに加えて地球・惑星といったその場観察不可能な実体を考察するためのプローブとしての研究が三本の柱といえる。BL-13Aは主にこの最後の分野、超高压とレーザー加熱を組み合わせることで地球内部環境を再現する高压地球科学を重点的に進めるために世界初の専用ステーションとして、2000年(注)に整備され多くの成果を上げて来た。しかし第3世代放射光施設で同様の実験が行われている現状で、建設後10年を越えて更に最先端の成果を期待することは、極めて高いハードルであることは明らかである。このような状況をふまえ、PF全体の活動方針と協調する形で、現在以上のパフォーマンスと新しいサイエンスの展開が期待できるAR-NE1に移行することになった。

表1にトイトレースの計算結果を示す。集光点での強度を単純に比較すると、現在BL-13Aで使用している30keVではNE1は集光が理想的に行われても、約4倍とそれほど大きなメリットは無い。しかし、BL-13Aがビームラインの配置上、エネルギー30keV固定で光軸の端を0.5mradだけを集光せざるを得ない状況を考えると、NE1への展開は大きなメリットをもたらすことになる。例えばエネルギー可変のメリットは、光源のBrilliance比に端的に現れ、BL-13AとNE1の比は50keVでは20倍以上にも増加する。

表 1 BL-3 と新 NE1 の比較

	挿入光源 スペック		Total Flux (計算値)		集光点でのビームの特性					集光点において 50 μm □を 通過する X線強度		
	Flux (30 keV)	b.w.	Total throughput (raytrace 計 算)	推定される フォトン数	beam	size	beam	diver- gence	エネルギ ー分解能	Total rays (raytrace 計算)	50 μm □ を 通 過 す る rays (raytrace)	50 μm □ を 通 過 す る フォ ト ン 数 (計算値)
	[photons/ s/0.1%b.w.]	[%]		[photons/s]	σx [mm]	σy [mm]	σdx [mrad]	σdy [mrad]	σPe [eV]	(t)	(s)	[photons/s]
BL-13	1.26E+14	0.65	3.18682E-05	3.92E+10	0.034	0.020	0.31	0.180	16.9	6372	2779	1.71E+10
NE1_new (14.4 keV)	5.94E+14	0.5	0.000158191	4.70E+11	0.069	0.027	0.28	0.126	1.97	31659	5472	8.12E+10
NE1_30 keV _071026	4.27E+14	0.5	0.000189135	4.04E+11	0.069	0.028	0.28	0.160	0.95	38037	6615	7.02E+10

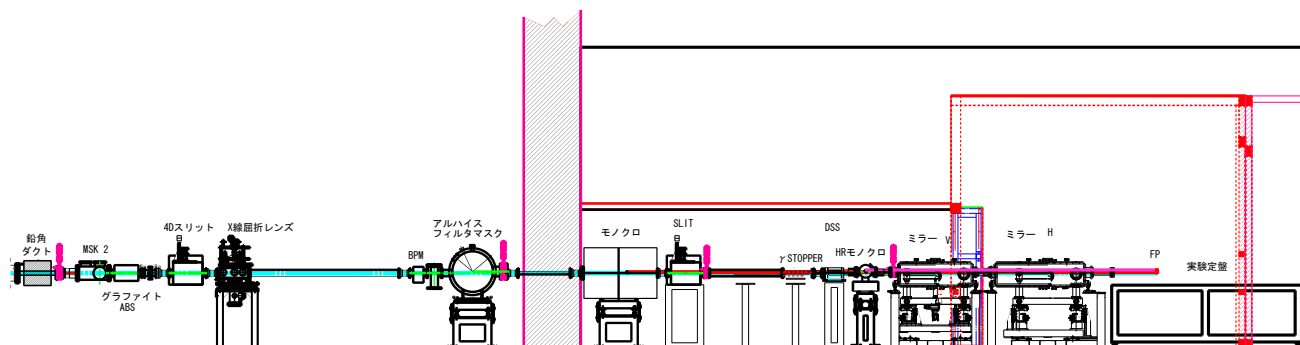


図 1 新 AR-NE1 の構成図

このような高輝度・高エネルギー放射光の特徴を生かすために、従来のマントル領域での主成分である Mg-Si-O 系の研究から、コア領域での主成分である Fe へ、研究ターゲットを変えることが計画されている。これは今年度で NE3 での実験を終了するメスバウアー・非弾性散乱実験も取り込んで、地球内部のダイナミクスに決定的な影響を与えていると考えられ始めてきた Fe の状態変化を、X線回折と非弾性散乱実験を組み合わせた新しい複合測定によって解明しようとする狙いがある。以下に主要な地球科学の研究テーマを挙げてみる。

1. Fe 化合物の高温高压下でのスピン転移, Fe の価数変化や主要相間での分配は化合物の原子配列だけでなく電子状態の同時測定が不可欠である。
2. 超高压, 超高温環境下の地球科学研究, 特に液体金属といわれる上部コア (140 GPa・3000 K ~ 260 GPa・3600 K) 領域の探査。
3. X線イメージングによる上部マントルでのマグマ形成のメカニズムの解明。

高压地球科学以外の分野でも、次のような新しいテーマが考えられる。

4. DAC を超高压容器として見直すことで, 超高压超高温複合環境下での新遷移金属窒素化合物などの新物質合成のその場観察。
5. X線散乱能が極めて低い軽元素, 特に水素化合物や有機分子固体の高压物性研究。

### ビームラインの概要

<ビームライン関係>

ビームラインの構成を図 1 に示した。フロントエンド部は、既存の設備を利用することでコスト削減と建設スケジュールの短縮を実現する。ビームラインの主要なコンポーネントは以下に示す X線集光光学系である。

#### 1. 分光器

7 keV から 50 keV までのエネルギーに対応するために、現在保管してある旧 NE1A2 用分光器を改造する。高出力 MPW の熱負荷に対処するために、マイクロチャンネル分光結晶を使用する。

#### 2. 高分解能分光器及びグラファイト屈折レンズ

メスバウアー実験用にチャンネルカット結晶を 2 個組み合わせ、高分解能分光器を新たに整備する。またこの分光結晶でのスルーポットを向上させるために、今後 Be 窓下流に 14.4 keV 平行化用の 1 次元グラファイト屈折レンズを導入する予定である。

#### 3. ミラー集光光学系

BL-13A と同じような K-B ミラー配置を取るが、全反射ミラーでは 50 keV という高エネルギー放射光を集光するため長大なミラーが必要になり、コスト的にもスペース的にも適切ではない。その代わりに高エネルギー対応の W-C 多層膜ミラーを新たに開発して整備する。ミラーの駆動装置は、旧

BL-6B と旧 BL-16A で使われていたものを改造して使用する。

#### <実験装置関係>

ほとんどの実験装置、特に X 線回折装置や YAG レーザー加熱装置は、現在の BL-13A のものを移行して使用するが、BL-18C と併用して使われている X 線 CCD やルビー測圧システムについては新規に整備することになる。これら実験システムに関しては、現在と同様に物性研と阪大、東北大の協力により進める。またメスバウアー測定のためのマグネット、クライオスタットは NE3 のものを移動して使用する。

#### ビームライン建設スケジュール

現行の NE1 のアクティビティは 08 年 3 月度で終了する予定である。その後ビームラインの撤去作業が始めるが、NE1 側に新たに建設されるエレベータの工事の影響で 4 月から一旦休止し、5 月中旬に再開する。6 月にビームラインハッチの改造を行い、8 月上旬にビームラインコンポーネントを設置、その後インターロックの作業を行い、10 月上旬の総合動作試験を受けることになる。作業が順調に進めば、10 月予定の PF-AR 運転開始に合わせて、ビームラインに最初の光を導入することが可能になる。ただ光学系の調整や各種デバッグ作業のために、共同利用実験が開始される時期は 09 年度からを予定している。

#### 建設担当スタッフ

NE1 の建設は分光器を杉山弘、高分解能分光器・屈折レンズを張小威、レイトレースと BL コンポーネントを森丈晴、フロントエンド部を菊地貴司が担当している。多層膜ミラーとビームライン建設全般を亀卦川、そのサポートに大田浩正（三菱電機サービス）が配置されている。また、岸本俊二が NE 地区の整備計画の調整役を務めている。

(注) MPW を光源にもつ BL-13A・B・C は、1986 年に 5 つの旧国立研究所によって建設され、それぞれの放射光研究の拠点として運営されてきた。PF に移管された後、1998 年には全面的な改修を施して共同利用に供された。2000 年には物性研・八木研究室の特別推進予算によって整備された実験システムを導入するために、BL-13A のビームラインを新たに作り直して、当初の精密格子定数測定からレーザー加熱超高压実験が開始された。

## 構造物性研究用ビームライン BL-3A への X 線偏光制御装置の導入について

放射光科学第二研究系 平野馨一  
若林裕助  
澤 博

構造物性研究用に 2006 年 10 月に建設されたショートギャップアンジュレーター (SGU) ビームライン BL-3A では、トロイダルミラーや二結晶モノクロメーター等の調整が順調に終え、すでに共同利用実験が開始されています [1, 2]。残る課題はビームラインに導入された X 線偏光制御装置の調整でしたが、2007 年 2 月以降こちらも順調に作業が進み、すでに X 線磁気円二色性 (XMCD) や X 線磁気回折などの予備実験が行われつつあります。

今回 BL-3A に導入された X 線偏光制御装置は、PF で開発された透過型 X 線移相子を利用するものであり [3]、移相子としてダイヤモンド結晶を用いることにより水平偏光の放射光を数十 % の効率で円偏光や垂直偏光などに容易に変換することができます。BL-3A で利用する X 線のエネルギーは大体 4 keV から 14 keV ですが、厚さ 0.2 mm, 0.5 mm, 0.7 mm, 1.0 mm, 2.0 mm の人工ダイヤモンド (001) 単結晶 (住友電工製) を切り換えて利用することにより、このエネルギー領域全体をほぼカバーすることができます。X 線偏光制御装置の設計にあたっては、SPring-8 の BL-39XU などに導入された装置を参照しつつ改良を加えることにしました (図 1)。一つ目の改良点は、真空チャンパー内に定盤を設置して、その上に移相子回折計などを置いた点です。これにより装置全体の安定性を向上させることができました。もう一つの改良点は三連装の移相子

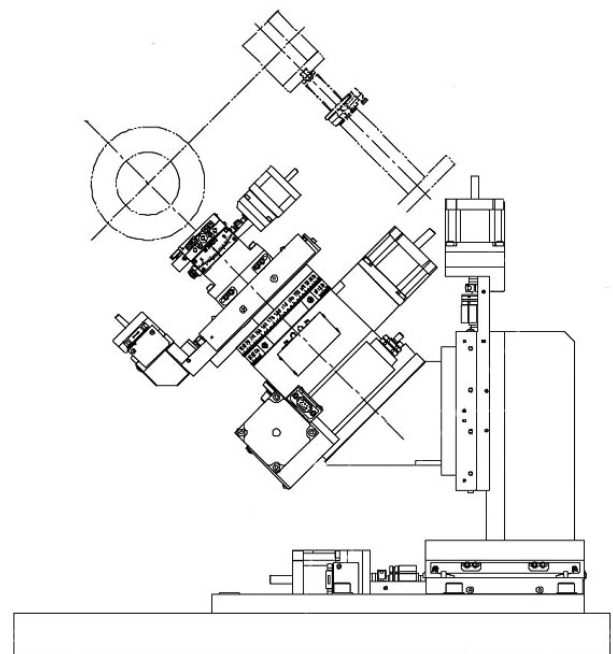


図 1 真空チャンパー内に設置された移相子回折計。

## 進行方向個別バンチフィードバックシステムの開発

放射光源研究系 帯名 崇

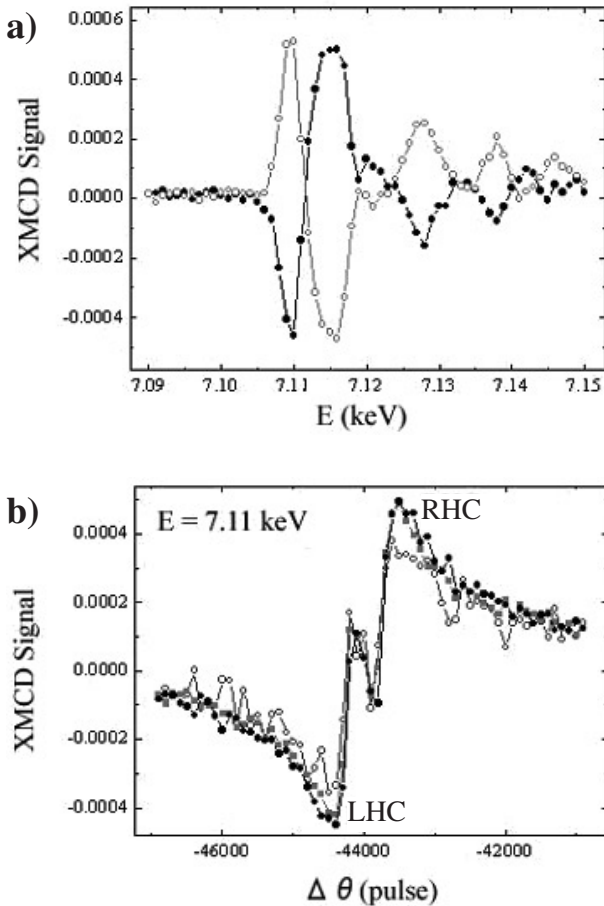


図2 厚さ 5  $\mu\text{m}$  の鉄の薄片による XMCD スペクトル。  
 (a) 右回り円偏光入射の場合 (白丸) と左回り円偏光入射の場合 (黒丸)。(b)  $E = 7.11 \text{ keV}$  で移相子のオフセット角  $\Delta\theta$  を変えて行った時の XMCD 信号の変化の様子。三通りのスリットサイズで測定を行っており、スリットを開くほどビーム強度は増加するが生成される円偏光の円偏光度は低下する。

ホルダーを導入したことであり、これにより移相子切り換えの手間を大いに省くことが可能となりました。これらの改良により、現在のところ世界で最も完成度の高い X 線偏光制御装置を作製することができました。

X 線偏光制御装置のコミッションングは、東北大学・多元物質科学研究所の有馬孝尚教授、佐賀山基助教、齋藤充氏を初めとする多くの方々との協力のもと行われています。図 2(a) は得られた結果の一例であり、厚さ 5  $\mu\text{m}$  の鉄の薄片による XMCD スペクトルを示しています。入射円偏光のヘリシティを反転させることにより、スペクトルもきれいに反転しています。また図 2(b) は  $E = 7.11 \text{ keV}$  で移相子のオフセット角  $\Delta\theta$  を変えて行ったときの XMCD 信号の変化の様子を示しており、 $\Delta\theta$  を変えることにより水平偏光の放射光が右回り円偏光 (RHC) や左回り円偏光 (LHC) 等に変化していくことがわかります。

- [1] 若林裕助 : PF News Vol.24 No.3 (2006) 8-9.
- [2] 若林裕助 : PF News Vol.24 No.4 (2006) 5-6.
- [3] 平野馨一 : 放射光 11 (1998) 238-245.

PF リングではマルチバンチモードでリングを運転した場合、比較的低電流である 50 mA 程度から進行方向カップルドバンチ不安定現象が発生している。通常のユーザーランでは加速 RF にシンクロトロン振動数の 2 倍の周波数で位相変調をかけることで進行方向不安定性を安定化する手法をとってきたが、この方法ではビーム輝度が犠牲となるので今後予定される Top-Up 運転との整合性が悪い。このためビーム輝度を犠牲にしない進行方向の個別バンチフィードバックシステムを開発してきた。

図 1 にシステムのブロック図を示す。ボタン型電極の 1.5GHz 成分を位相検波し、iGp と呼ばれる高速デジタル信号処理回路によってシンクロトロン振動成分のフィルタと適切な位相シフト、タイミング調整等を行う。iGp は KEK, SLAC, LNF-INFN(Frascati) 等の共同研究によって開発されたプログラム可能な個別バンチ信号処理システムであり、570 MHz 程度までのサンプリング周波数で動作可能である。内部のデジタル信号処理部は高速 8 bit ADC, Vertex-II Pro FPGA, 12 bit DAC から構成され、振動解析用の外部記憶として 8 Mbyte の SRAM, プログラム用にカスタマイズされた Linux 等が 2U 高さのラック筐体に収められた all-in-one システムとなっている。PF での制御フレームワークである EPICS にも対応していて、遠隔制御も容易である。フィードバックキッカーは DAFNE- $\Phi$  Factory 用に開発された空洞型キッカーをベースにし、PF に合わせて入出力ポート数 4 個、中心周波数 1.125 GHz, 帯域幅 250 MHz に変更した空洞を設計・製作した。

フィードバックシステム構築後、2007 年 6 月 30 日からビームスタディを開始し、現在ではビーム電流約 430 mA 程度まで進行方向不安定を抑制することに成功している。通常のユーザーランとの差をみるため、位相変調 (PM) とバンチフィードバック (FB) それぞれ ON・OFF の場合の組み合わせとして以下のケースで運転し、

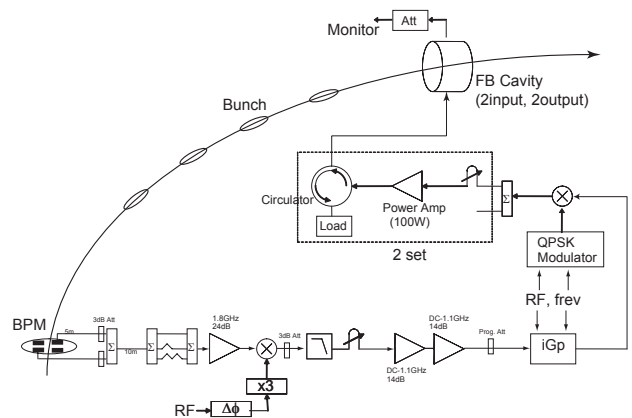


図1 フィードバックシステムのブロック図



- (A) FB OFF, PM ON: 通常のユーザーランと同じ
- (B) FB ON, PM ON: 両方 ON
- (C) FB ON, PM OFF: FB のみ
- (D) FB OFF, PM OFF: ビーム安定化無し

それぞれの状態でビーム信号の測定を行った。

周波数 0~3 GHz 幅でのビームスペクトルをボタン電極で測定した結果を (A) ~ (D) の 4 つの条件について図 2 に示す。図 2(A) をみると、RF の整数倍に相当する 500 MHz, 1 GHz, 1.5 GHz, … のピーク（これはビームの繰り返しのスペクトルであり、常に観測される）があり、それらのピークの間に行進方向不安定に起因する弱いピークが存在している。これらの不安定性によるピークは時間の経過とともにピークの周波数が変化して、1 つのモードの振幅が小さくなるのに従って別モードの振幅が大きくなるといった現象が起きている。RF 位相変調をオフにした場合は図 2(D) に示すように RF ハーモニックスの間に多くのピークが観測されており、様々なモードの不安定が発生している。フィードバックを ON にした図 2(c) では 0~1 GHz 帯域では目立ったピークは存在せず、ビームの安定化に成功していることが分かる。高い周波数領域では不安定振動のピークが出ているが、詳細に調べた結果、これらのピークはシンクロトロン振動の 2 倍の周波数に相当しており、フィードバックシステムによってバンチの重心振動（2 極振動）は抑制したが、これとは他にバンチが伸縮する 4 極振動モードが起きているということを示している。図 2(B) は位相変調とフィードバックを同時に使用している。スペクトルを見ると不安定モードは完全に抑制されており、安定化に成功している。ただし、この場合では位相変調によるエネルギー広がりが生じるため、このモー

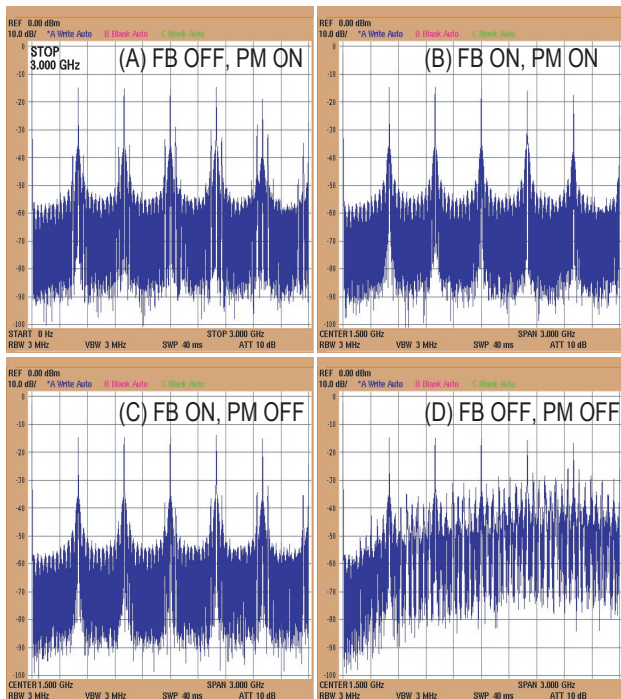


図 2 ボタン電極で測定したビームスペクトル。周波数スパン 0~3 GHz。

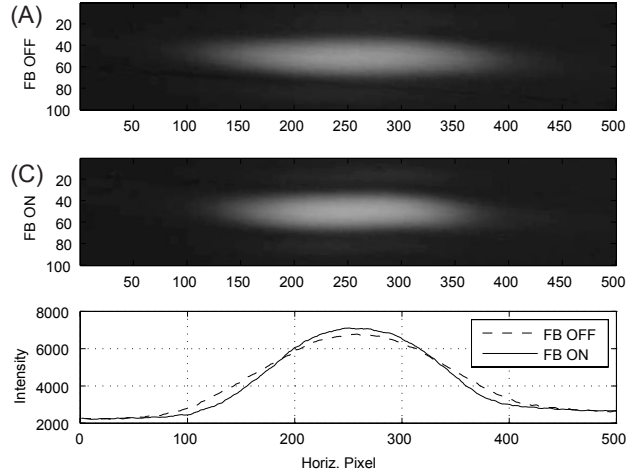


図 3 ケース (A) と (C) での可視光ビームプロファイル。

ドで運転するメリットはあまり無いと考えている。

ケース (A) と (C) での SR モニターによって観測したビームプロファイルを図 3 に示す。フィードバック ON 状態にすると、位相変調のみの状態に比べて水平方向のビームサイズが小さくなり、ピーク強度も相対的に 8~9% 程度強くなることが分かった。光モニターが設置してある場所はディスパージョンが 0.2 m あるので、進行方向不安定によるエネルギー振動がビーム水平方向の広がりとして観測される。従ってこのプロファイル変化はバンチフィードバックによって進行方向の振動が抑制できたことが放射光の輝度上昇につながったものと説明できる。

2007 年 12 月 2 日には測定器光源合同マシンスタディを実施し、ケース (A) ~ (D) の状態で各ビームラインにおいて放射光の強度測定を行った。多くのビームライン担当者の協力を得て、たいへん有意義なスタディとなった。多数のビームラインではフィードバック状態によらず、常に強度は安定していた。その一方で、BL-17 や BL-5 等のディスパージョンのある場所に挿入光源があるビームラインでは、フィードバックを ON にすると通常の運転状態に比べて約 30% 近く強度が上昇すると同時に強度変動の幅も小さくなっていることが観測された。このように進行方向フィードバックは非常に有効であり、出来る限り早期にユーザー運転に供することが望まれる。フィードバックを ON にすることでビーム特性の劣化が観測されたビームラインは無く、ビーム寿命が短くなることのみが問題であった。寿命については今後の Top-Up 入射で解決する方針である。

今後は通常のユーザーラン 450 mA での安定運用を目指すことが第一の目標である。そのために最終段のアンブ出力電力の増強を行い、フィードバックのキャプチャーレンジを広げる予定である。並行して検出部のさらなる高 S/N 化やデジタルフィルターの最適化を進める。次に重要な課題としてバンチが伸縮する 4 極振動の抑制が挙げられる。4 極振動を抑える最も単純な（しかし安直な）方法はもう 1 組進行方向フィードバック系を構築することであるが、今後も様々な対策を検討してゆくことを考えている。