



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 志志

概況

1～3月の運転日程は以下の通りであった。

- 1月 8日 入射器立上げ
- 1月 12日 KEKB 入射開始
- 1月 13日 PF 入射開始
- 1月 15日 PF-AR 入射開始
- 3月 19日 PF-AR 運転停止
- 3月 23日 PF 運転停止

今期から入射器の運転モードに大きな変化があった。KEKB への「連続入射モード」が通常の入射モードになった。PF/AR への入射は、マシンスタディ日を除けば、PF は一日一回、AR は一日二回の定時入射を行った。入射器のデューティは増えたが、全体として順調に入射をつづけている。ただし、2月20日に入射器のスタートリガモジュールの故障により、PF 入射が約8時間遅延するトラブルが発生した。

2003年度入射器運転統計

KEKB が実験を開始した1999年度から2003年度までの入射器の運転・故障統計を表1に示す。表で故障時間は各種装置ののべ故障時間を示す。この表から、当初7%以上あった装置の故障率が、2003年度まで年々減少してきたことがわかる。2003年度は、前年よりやや増加しているが、

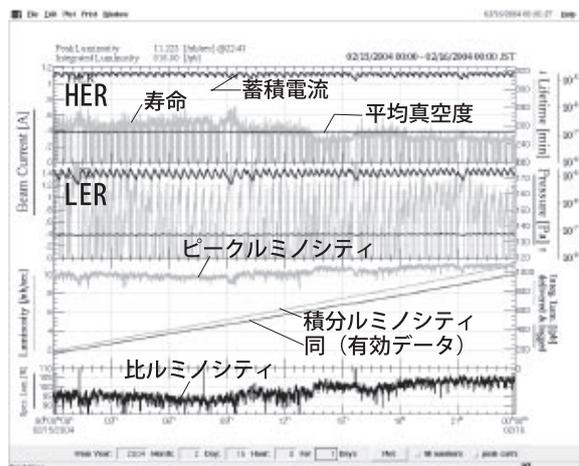


図) 連続入射モード時のKEKB 加速器運転表示グラフ。上段より、HER, LER, ルミノシティの状態を示す。横軸は時刻で、この例は2月15日午前0時から2月16日午前0時までの24時間を示す。上段及び中段のグラフは、各々、上から各リングの蓄積電流、ビーム寿命、リング全周の平均真空度を示す。下段及び最下段の4つのグラフは上からピークルミノシティ、積分ルミノシティ、実験に使われた積分ルミノシティ、比ピークルミノシティを示す。

これは最近(3月22日)久しぶりに陽電子生成部の加速管が放電を起こし復帰に約60時間余り要したためである。しかし、おおまかには、故障はほぼ横ばい状態と判断する。連続入射が始まったため、入射器の故障は即入射遅延につながる。2003年度の入射遅延も増加したが、年間合わせても20時間余りの入射遅延にたいして、先に述べたスタートリガートラブルが影響した。

2004年から連続入射が始まったが、ビーム運転時間は3,000時間前後(40-45%)で例年並である。ただし、2002年度と比べ、2000時間近くあったビーム調整時間が1300

表1 運転時間と故障統計

	運転予定時間	実運転時間	のべ故障時間		のべ故障回数		平均故障間隔時間 (MTBF)		平均故障時間 (MTL)	
	x (時間)	y (時間)	x-y (時間)		z		x/z (分)		(x-y)/z (分)	
			故障	Trip	故障	Trip	故障	Trip	故障	Trip
1999年度	7,297	6,529	537	231	1,888	70,011	232	6	17	0.2
2000年度	7,203	6,602	466	135	2,401	39,380	180	11	12	0.2
2001年度	7,239	6,843	310	86	1,304	22,724	333	19	14	0.2
2002年度	7,086	6,813	205	68	1,424	17,372	299	24	7	0.2
2003年度	6,815	6,562	253	62	2,259	17,462	181	23	7	0.2

表2 ビーム運転時間

	PF		PF-AR		KEKB-HER		KEKB-LER		Linac 調整 (時間)	合計 (時間)
	入射 (時間)	故障 (分)	入射 (時間)	故障 (分)	入射 (時間)	故障 (分)	入射 (時間)	故障 (分)		
	1999年度	161	609	271	859	550	1247	906		
2000年度	100	109	193	380	563	1335	941	1445	1078	2876
2001年度	95	169	146	205	522	559	731	393	1707	3201
2002年度	70	96	164	211	370	739	602	306	1958	3165
2003年度	100	678	150	74	391	371	1015	515	1270	2926

時間まで減り、入射時間の割合が増えた。

新年度

PF, PF-AR, KEKB への入射は全体として順調である。KEKB への「連続入射モード」も軌道に乗った。入射器のデューティはきつくなり、より安定した運転が必要になっている。PF 関係では今年度から正式な共同利用が始まった低速陽電子実験施設の運転も新たな課題である。

このような時に、2年ぶりに新職員を迎えることができたことは朗報である。一人は、吉田光宏さんで、RF グループ、もう一人は横山和枝さんで加速管グループに属する。吉田さんは加速器施設でCバンドのリニアコライダの開発をこれまで行ってきた。また、横山さんは日本大学の佐藤勇先生のところで自由電子レーザーの開発に取り組んできた方である。このような若いエネルギーを加えて入射器の新しい課題に取り組んで行きたいと思っている。

PF 光源研究系の現状

放射光源研究系主幹 春日俊夫

小林正典先生の御退職

放射光源研究系前主幹の小林正典先生が3月31日付けで停年退職されました。

先生は、昭和54年4月より高エネルギー物理学研究所において、高エネルギー加速器の真空システム、特に電子ストレージリングの真空システムの研究を開始されました。放射光専用電子ストレージリングの性能を決める大きな要素にリング真空系の性能があります。放射光に曝される電子ストレージリングにおいては、放射光照射による非熱的な光脱離が主要なガス放出となります。先生は、このような条件下で高度な真空環境を実現するために、非熱的脱離の抑制も含め、気体分子と固体表面との相互作用を系統的に理解し解明する研究を続けてこられました。ビーム電流 I とビーム寿命 τ とは相反する関係にある量です。先生が提案された $I\tau$ 積は放射光リングの性能指標の一つとして広く使われています。また、高度な真空環境が実現しているだけでは、電子ストレージリングの真空路としては不十分です。先生のグループは電子ビームが通過したときに真空槽内に残してゆく電磁場の悪影響を軽減すべく真空路の断面形状をスムーズに変化させる手法の開発を行ってきました。真空系設計にあたってのこれらの考え方は、その後建設された世界の電子ストレージリングの真空系設計に大きな影響を与えています。

先生は平成9年4月からは放射光源研究系の主幹として、同研究系のスタッフとともにPFリングを強力に安定な光源に育て上げることに献身的な努力を続けてこられました。この間PFリング高輝度化工事を完成させ、エミッタンスをそれまでの130nm-radからおよそ30nm-radに改善することに成功しました。また、PF-AR 高度化計画を

強力に推進し、トリスタンの蓄積リングとして建設されたため放射光源としては必ずしも満足でなかったPF-ARを、放射光専用蓄積リングとして蘇らせることに成功しました。放射光科学研究施設、特に放射光源研究系としましては、先生のご退職の後にも先生が培ってこられました研究体制をさらに発展させていかなければならないと思っています。

なお、先生は4月より本機構および総合研究大学院大学の名誉教授とされました。

また、桂共太郎放射光源系助教授が3月31日付けで退職されました。

PF

前号 (Vol.21 No.4) で報告されているように、1月13日にPFの運転を再開した。1月16日に光軸確認を行いユーザー運転を開始し、3月23日の朝に2003年度の運転を終了した。おおむね、電子エネルギー2.5 GeV、初期電流値450 mAで運転を行ったが、2月10日朝から2月16日朝までは単バンチモードでの運転を、3月16日朝から3月23日朝までは電子エネルギー3 GeVでの運転を行った。単バンチモード時には、初期電流値約70 mAで運転を行っているが、主にTouschek効果によりビーム寿命が通常時の値より短いため1日3回の入射を行っている。3 GeV時には、高周波加速系の電力の制約から、初期電流値約200 mA (途中より150 mA:後述)で運転を行っている。

1月17日未明入射器-PFリング間のビーム輸送(BT)系のVacuum Failが発生し、PF Ring Ready信号(インターロック信号の一つ、この信号が出ていないと入射器はビームを出せない)が落ちた。BT系のゲートバルブのインターロックコントローラーのコネクタの接触不良が疑われている。なお、計4台のコントローラーは今年の夏に予定している真空制御システムの更新時に全て撤去する予定である。アンデュレータ(U)#2とマルチポールウィグラー(MPW)#13のギャップがビームライン側から変更できないということが頻発した。また、MPW#5のギャップを動かすとBL-14の光が動くという現象が起こった。これらは全て対策をとる予定である。3月中旬の3GeV運転時に続けて何回かビームが落ちた。加速高周波系の高圧電源A2ステーションが疑われ、同ステーションを停止し計4台の空洞のうち3台を使用して運転を継続した。これに伴い初期ビーム電流値を200 mAから150 mAとした。運転終了後、高圧電源のメーカーに調査を依頼したが異常は発見出来なかった。現象の再発に備え、原因追及のための監視系をセットし4月の運転再開を迎える予定である。

PFおよびPF-ARの運転停止期間中にKEKBと入射器が運転しているとき、PF Ring Ready(上記)が落ちて入射器からビームを出せなくなるということが起こった。PF運転中は同信号の再立ち上げの手順が確立しているが、運転停止期間の夜間や週末の立ち上げ手順は確立していなかった。早急に確立する予定である。

PF-AR

1月19日朝に光軸確認後ユーザー運転を再開し、3月19日に2003年度の運転を終了した。この間4回の医学利用が予定されていたが、そのうち2月12日分がキャンセルとなった。KEKBとビーム輸送系の間の境界扉のインターロックが不調となり、入射器よりビームを出すことが出来なくなったためである。また、3月11日に、医学利用開始直前にビーム輸送系の電磁石電源が故障した。かろうじて60数mAのビーム電流を蓄積することができ、事なきを得た。なお前号でも述べた様に、医学利用時は非対称2バンチに計約70mAの初期電流を蓄積して運転している。

四極電磁石電源のインターロック不調で電源が停止しビームを落としてしまう事象が頻発した。電源主要部に不具合が発生していないにもかかわらず、電源を守るためのインターロック回路が誤作動してしまうようである。老朽化によるものと思われる。

運転休止期間中に、前号で述べたビーム電流測定用の直流電流トランスフォーマー(DCCT)チェンバー、NW2のアブゾーバー、北直線部のイオンポンプ、CCGの交換を行った。

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

平成15年度第三期(1~3月)の運転は放射光科学合同シンポジウム直後に開始された。2.5GeV PFリングは1月13日から運転を再開し、16日に光軸確認後共同利用を再開した。またPF-ARリングは1月15日から運転を再開し、同様に19日から実験を再開した。2月12日にはビームトランスポート部の障害でPF-ARにおける臨床応用中止を余儀なくされ、またRF障害のためPFの3GeV運転中の蓄積電流を150mAとしたが、それ以外は概ね順調に運転を続け、PFリングは3月23日朝、PF-ARリングは3月19日朝に運転を停止した。

3月24~25日には第21回PFシンポジウムが開催され、法人化を前にし、各学会直前の時期にも係わらず例年並みのご出席を頂いた。この中で以下の様な報告を行った。その他の詳細については別項及び報告を参照して頂きたい。

放射光科学第一、二系関係の2004年度予算については直線部増強へ向けた最終準備、建設中のBL-28で使う高分解能光電子分光装置の整備、BL-1B回折計の更新および臨床応用用フラットパネル検出器の整備への着手に大きな予算を投入することとした。いずれも十分な予算がある訳ではなくコミュニティの御協力を御願います。

施設関係ではERATO腰原プロジェクトによるPF-AR NW14ビームライン建設のための冷却水設備改造と多発する地絡の原因を明らかにするための実験ホール漏電検知シ

ステムに対して機構の予算が認められる見込みである。

2003年度は事故や危険性を含むインシデントが多発しており、これについては次ページに記す。

人の動き

3月16日付で鈴木守助手が大阪大学蛋白質研究所附属プロテオミクス総合研究センター助教授として転出された。鈴木さんは1995年4月よりBL-6A, 18B等の構造生物学関係ビームライン、結晶準備室や低温室等の関連する実験準備室等を担当され、最近ではマルチポールウィグラーを光源とするBL-5の建設・立ち上げの中心となって来られた。BL-5もいよいよ一般公開という時期でPFとして鈴木さんを手離すのは痛いですが、大局的な視点から判断をした。

三国晃技術部長が今春をもって退官された。三国さんは1983年に東京大学物性研究所の軌道放射光施設からPFへ異動され、以来放射光測定器の技官のヘッドとしてビームラインや実験装置の建設、実験ホールや各種準備室の管理、そして若手技官・教官や業務委託職員の教育に当たってこられ、1992年からは機構の技術部長として機構全体の技術職員の育成に当たって来られた。4月からは管理業務からは離れて再雇用職員として現場へ戻り、装置開発や若手技術者への技術継承に当たって頂く。

物構研03-10として公募していた研究機関研究員(ポストドク)については青戸智浩、南部英の両氏を採用することとした。青戸さんは筑波大学大学院在学中からPFで振動・回転状態を含む分子の外殻電離・励起に関する研究をしてこられ、着任後は伊藤健二助教授と共に原子・分子の多重光電離過程に関する研究に当たって頂く。南部さんは東京大学大学院在学中からエネルギー分散型NEXAFSや光電子分光実験用の高速一次元電子検出器の開発を進められてきたが、着任後は間瀬一彦助教授と共に表面反応ダイナミックスの研究に当たって頂く。

一方で、2003年1月に研究機関研究員として着任後、岩住俊明助教授とともにX線分光学的手法を用いて物質の光応答に関する研究を行ってきた野澤俊介さんは2月1日より科学技術振興機構ERATO腰原プロジェクトに異動し、動的構造解析の研究に取り組んでいる。また2002年4月より大隅教授と研究を行ってきた中川武志さんは金沢大学に戻り研究を継続されることとなった。隕石として得られる地球圏外物質の薄片試料中に含まれる鉄硫化物の同定及び構造精密化に従事して来られ、従来六方晶系であるとされていたtroilite(FeS)に三方晶系のものが存在し、微量に含まれるNiがFeの一方の席のみに存在することを見出されたことが特筆される。那須奎一郎教授とともに理論的研究を行ってきた山崎才弘氏は任期を満了され、次の職場を探されている。これまでモット転移では金属状態が1段階で絶縁体に転移すると思われて来たが、山崎氏は経路積分理論に基づく強相関係の角度分解光電子スペクトル形状の精密な計算を行い、この転移が幾つかの中間的段階を経て、多段階で起きる事を立証された。

また学術振興会の PD として鈴木あかねさんが着任された。鈴木さんは東京大学大学院でエネルギー分散型 XAFS を用いた触媒反応の研究をされていたが、着任後は野村と共に時分割 XAFS 実験法の開発、触媒等への応用研究に当たって頂く。

研究機関研究員の募集期間は比較的短く、本誌の記事にならないこともあるので web に注意して頂きたい。また、学振 PD 等として PF で研究をしたい方はご連絡をお願いしたい。

再び安全に関する注意喚起のお願い

先号でも安全に関する注意喚起をお願いしたが、その後もいくつかの極めて危険性の高い事象が発生している。一つは電気炉内に不用意に置かれた銅板が熔融して扉の隙間から流れ出し、下にあった段ボールが焦げたこと、二番目はロータリーポンプへの電源接続を誤って 10A 近い地絡を起こしたこと、同様に実験装置の電源部での短絡事故、NO ガスボンベの主バルブの状態を誤認して排気ダクトへ大量のガスを流した事等である。いずれも大事に至ることはなかったが、電気炉の場合、不用意に扉を開けていれば熔融した銅を被り重火傷を負った危険性があり、最後の件ではもしも減圧弁を外していれば NO ガスが漏れて人身事故になった危険性がある。

また、シャッターを閉めずに手動バルブを開閉したり、手動バルブを閉めずに真空槽をリークしたりという初歩的なミスも多発している。安全は個々の実験者が注意を払って守るもので、インターロックは万が一のためのバックアップでしかない。鉄道では自動列車停止装置 (ATS) が設置されているが、この場合でも運転士は信号に気を付けて運転すると同様に、個々の実験者に万全の注意を払って頂きたい。某鉄道会社では ATS を「あんまりたよりにするな」と教えているそうである。

本稿を執筆中に六本木ヒルズでの事故が起こった。32 件の事故の中に 1 件の大事故というハインリッヒの法則にみごとに従ったデータになっている。2003 年度の安全上気になる事象の件数も 30 件を超えており、要注意である。各大学等でも法人化を期に安全意識の改革を行われたことと思うが、火災や労働災害は全て労働基準監督署へ届け出る事となるので、今まで以上に気を付けて頂きたい。法人化後、万が一 PF が全焼した場合、火元の実験責任者、所属機関へ損害賠償請求が起こることも考えられるので、一人一人の実験者が事故を未然に防ぐよう十分に注意を払って頂きたい。このためには「これまで無事故だから大丈夫」という発想から脱却し、予め考え得る危険性をリスト化する KYT (危険予知トレーニング) が有効であろう。

また非常に残念なことだが、運転の最後の 3 月 22 日から月末に掛けてパソコン、液晶ディスプレイ等の盗難があった。警察による現場確認作業も行い、再発防止を検討中である。ユーザー各位も整理・整頓とともに持ち込み物品の管理に注意頂きたい。

●●●●● プレスリリース ●●●●●

世界最高レベルのタンパク質結晶 X 線構造解析ビームライン (BL-5) の完成について

2004 年 2 月 18 日
高エネルギー加速器研究機構

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光研究施設では、構造生物学の研究および開発の国際的な競争に対応するために研究基盤の整備と高度化を推進しており、この一環として新たに建設を進めてきたタンパク質結晶 X 線構造解析ビームライン (BL-5) を完成させた。このビームラインにより、従来は解析することが困難だった小さなサイズの結晶の構造を短時間で解析する世界最高レベルの実験環境が実現する (続きは下記「KEK プレスリリース」を参照)。

この記事は常陽新聞 (2 月 20 日)、毎日新聞 (2 月 21 日)、日刊工業新聞 (3 月 26 日) に掲載された。

(参照 URL)

KEK プレスリリース

<http://www.kek.jp/press/2004/bl5press.html>

News@KEK 記事

<http://www.kek.jp/newskek/2004/janfeb/bl5.html>

構造生物学研究センター

http://pfweis.kek.jp/index_ja.html

(問い合わせ先)

物質構造科学研究所 教授 / 構造生物学研究センター長

若槻壮市 (soichi.wakatsuki@kek.jp)

TEL : 029-879-6178

FAX : 029-879-6179



2 月 18 日 BL-5 報道公開にて

●●●●● プレスリリース ●●●●●
**世界初の放射光X線マイクロビーム
 細胞照射装置の完成について**

2004年3月9日
 高エネルギー加速器研究機構

高エネルギー加速器研究機構(KEK)の放射光研究施設では、低線量放射線の生物影響を研究することを目的として、放射光単色X線マイクロビーム細胞照射装置を世界に先駆けて完成させた。低線量放射線の生物影響の理解は社会的要請となっているが、この装置により低線量放射線の生物影響発現のメカニズムを科学的に解明する研究が飛躍的に進むことが期待される(続きは下記「KEK プレスリリース」を参照)。

この記事は Yahoo! ニュース(3月11日)、日刊工業新聞(3月12日)、茨城新聞(3月12日)、日経産業新聞(3月17日)に掲載された。

(参照 URL)

KEK プレスリリース

http://www.kek.jp/press/2004/microbeam_press.html

News@KEK 記事

<http://www.kek.jp/newskek/2004/marapr/microbeam.html>

(問い合わせ先)

放射光科学研究施設 小林克己(katsumi.kobayashi@kek.jp)

TEL : 029-864-5655

FAX : 029-864-2801



放射光X線マイクロビーム細胞照射装置

直線部増強とビームライン整備

放射光科学第一研究系 野村 昌治

直線部増強のための運転停止

既に本誌各号の現状欄や毎年のPFシンポジウムで報告してきたようにPFとしては2.5 GeVリングの直線部増強作業を進めてきている。また文献[1]に全容、進捗状況の紹介がある。この間、関連する基幹チャンネルの改造、電磁石の製造、真空ダクトの製作、基幹チャンネル改造へのビームライン側の対応作業等を進めてきている。当初は2004年度に運転を停止してリングの改造を行う計画であったが、残念ながら予算の制約から行うことが出来なかった。幸い2004年度にはPFの内部努力と機構からの支援を受けたことで、改造に必要な真空ダクト等の製造を行う予算を確保する見通しが付いた。このため、**2005年3月から9月の間にリングの改造作業を行う**。このため、2005年度は今年と比較して4月から6月の**実質約2ヶ月のビームタイム(実質約2.5ヶ月の運転)が例年より少なくなる見込みである**。改造作業完了後は1ヶ月程度の立ち上げ、焼き出し作業の後、利用実験を再開する計画である。

2004年度についてはPF、PF-ARともほぼ例年並みの運転を予定している。また、PF-ARについては2005年度前半も運転することを計画している。より詳細な日程が決まり次第、webや本誌で案内する。

増強した直線部のビームライン整備

上記の様に2005年度にリングの改造は完了し、予算とマンパワーさえ確保出来れば挿入光源ビームラインを整備することが可能になる。また光源系スタッフは改造を終えて、将来の光源についてアイデアを練り、開発研究を進める時間的、予算的余裕が多少なりとも出てくる。

中長直線部にどのようなビームラインを整備するかについては2003年8月のユーザーミーティングで報告した案[2]を基に検討を進めてきた。要約すると、BL-2, 13, 16, 19, 28の5本の直線部の挿入光源を更新して真空紫外から軟X線領域の研究に専用化したビームラインを整備する。また、BL-1, 3, 15, 17の4本の短直線部にはミニポールアンジュレーターを光源とする軟X線からX線領域の研究用のビームラインを整備する。

中長直線部の整備案(真空紫外から軟X線領域の研究に専用化したビームライン)を表1に示すが、これは各種の制約条件がある中、2001年5月に開催された研究会「アンジュレータ放射光による先端研究の展開」[3]をはじめとするPF研究会等でのユーザーの意見を反映したものである。エネルギー域としては10 eVから1500 eVに対応する。BL-19を除き原則として各挿入光源当たり2ブランチラインを設置し、少なくとも一方のブランチには常設の実験装置を置く。これにより実験装置入れ替えに伴うロスタイムを減らすことが可能となり、利用実験者層を拡大出来るものと期待している。BL-19が一ブランチであるの

表1 中長直線部に建設するビームライン案

BL	用途	エネルギー域 (eV)
U02	表面化学反応、プロセスの光電子分光	100 ~ 1200
	SX 原子分子、発光分光、SX イメージング	
U16	ナノ磁性 PEEM、スピン分解光電子	200 ~ 1500
	表面磁性ダイナミクス、MCD・NCD	
U13	機能性物質の超高分解能光電子分光	10 ~ 600
	原子分子	
U19	表面界面二次元光電子、レーザー励起時間分解	30 ~ 1000
U28	有機薄膜・複雑系の ARPES	30 ~ 1000
	量子ナノ構造の光電子、バルク敏感光電子	

は空間的制約のためである。BL-28 のビームライン光学系については先行して既に改造に着手している [4]。この光学系は更新後のアンジュレーターに対応出来るものとなっている。これらのビームライン整備に伴い既設の BL-2A, 13A, 13B, 16A は移設等が必要になる。

短直線部については X 線回折実験関係のビームラインと構造生物関係のビームラインを予定している。X 線回折用ビームラインは既設 BL-16A の発展系と位置づけている。また構造生物関係については既設 BL-18B の発展系と位置づけ、BL-17 とのビームライン交換を予定している。BL-13 関係については NE1B のアクティビティを BL-16 へ移した後の NE1 や既設 NW2 等で BL-13A, B のアクティビティを継続、発展させることを予定している。それ以外のミニポールアンジュレーター利用としては、分析/分光実験、位相利用実験、小角散乱実験、反射率測定等が候補に上がっている。他によりミニポールアンジュレーターの特徴を生かした優れた研究提案があれば早急にご提案頂きたい。

読者の中には既に気付かれた方もおられると思うが、BL-1, 3, 15, 17 には既設のビームラインがあり、これらの中にはミニポールアンジュレーターを光源とするビームラインと空間的に干渉するものが生じる。これらのビームラインについてはアクティビティと今後の展開を見ながら偏向電磁石ビームライン等へ移設/統廃合を検討している。これまでビームラインのカテゴリー分け作業を進めてきたが、今後も各ビームラインのアクティビティを見ながら、限られた資源から最大限の研究成果が得られるように最適化を図ることが求められている。

ビームライン整備の実現に向けて

上記のビームライン整備を PF の経常経費で進めることは非現実的である。従来も極紫外・軟 X 線高輝度光源計画との干渉を避けるため「構造生物学研究設備増強」としてリングの改造とミニポールアンジュレーター利用に重点を置いた概算要求を続けていたが、実現しなかった。現時点では 3 年程度の計画として挿入光源、ビームライン、実験装置整備に重点を置いた概算要求を進める予定である。

金額的にも大きくなり、概算要求書の作成と平行して、デザインレポートの充実および事前評価作業を進める必要がある。ユーザーの皆様の御協力を御願うする。

また、リングの改造が完了することによって、各種外部資金を導入してビームラインの整備をすることが可能になる。構造生物の振興調整費によって BL-5 を建設でき、腰原先生の ERATO プロジェクトによって NW14 の建設が進むように、外部資金の導入は直線部増強を生かしたビームライン整備、研究の強力な推進力となる。競争的資金を「共同利用のため」で獲得することは不可能であり、獲得のためには最終的な研究目標が重要であることは自明である。また外部資金獲得の際には計画の間に整合性を保つことが緊要である。共同利用研究所の基盤であるユーザーコミュニティと施設が協力して申請に当たることが求められる。是非「我こそは」と思う方々からのご提案をお願いしたい。

参考文献

- [1] 前澤秀樹, Photon Factory News, 21 (1) 7 (2003), 野村昌治, ibid 19 (3) 8 (2001), 小林幸則, ibid 18 (2) 17 (2000).
- [2] 松下正, Photon Factory News, 21 (3) 5 (2003).
- [3] 柳下明, 柿崎明人, KEK Proceedings 2001-21 (2001).
- [4] 小野寛太, Photon Factory News, 21 (2) 8 (2003).

BL-5: マルチポールウィグラーを光源とした構造生物学ビームライン

鈴木守^{1,2}, 内田佳伯¹, 大田浩正³, 渡邊一樹³,
松垣直宏^{1,2}, 五十嵐教之^{1,2}, 若槻壮市^{1,2}

¹放射光科学研究施設, ²構造生物学研究センター,
³三菱電機システムサービス

2002 年度より多波長異常分散法 (MAD) による蛋白質結晶のルーチン構造解析、微結晶および超分子複合体の結晶からのデータ収集を可能にするために、マルチポールウィグラーを光源とした構造生物学ビームライン (BL-5) の建設を行ってきた。主なコンポーネントを表 1 にまとめた。PF ニュース Vol.21, No.2 に光導入試験の直前までの様子を報告しているので今回は以降の報告をする。

2003 年 9 月 25 日に光導入試験を行い、その日の内に単色化された X 線を実験ハッチで確認することができた (図 1)。当初、2 次放射線レベルが光学ハッチの周辺で高い箇所があり立入制限をした。この原因は挿入光源のインストールに伴う、リング真空度の悪化によるガンマ線由来と思われる、PF リングの真空度が上がっていくに従って改善され、現在は規定値以下になっている。

現在までの光学系の調整状況を表 2 に示した。ビームサイズ、ロッキングカーブおよびビーム強度は設計値まで

表1 BL-5の光学素子

コンポーネント	光源からの距離	仕様
マルチポールウィグラー	0.0 m	周期長: 120 mm, 周期数: 21, 最大磁場 1.4T
平行化ミラー	14.5 m	材質: シリコン単結晶 コート材: ロジウム サイズ: 1000 mm(L) 80 mm(W) 70 mm(T) 曲率半径: 8286 m 傾斜角: 3.5 mrad
二結晶分光器	16.5 m	分光結晶: Si(111) エネルギー範囲: 6.5 - 17keV 第一結晶の冷却方式: マイクロチャンネル加工による直接水冷
集光ミラー	18.7 m	材質: シリコン単結晶 コート材: ロジウム サイズ: 1000 mm(L) 100 mm(W) 60 mm(T) 曲率半径: 43.55 mm, 5333 m 傾斜角: 3.5 mrad 集光点: 28.0m サンプルの後方 250 mm



図1 実験ハッチ内に設置した蛍光板により単色X線導入を確認

表2 現状のBL-5の性能

アクセプタンス	0.5 mrad (最大で 2 mrad) (H)×0.24 mrad(V)
ビームサイズ	1.5 mm(H)×0.3 mm(V) @ 1 Å
ビーム強度 (0.2×0.2 mm スリット + 0.2 mmφ ピンホール)	PF-AR NW12 (アンジュレータ) の約 1/3 BL-18B (ベンディング) の約 30 倍
波長変更 (0.8-1.7Å) に 伴うビーム位置の変動	45μm 以下 (H), 70μm 以下 (V)

達していないがこれは熱負荷による光学素子の变形が原因と思われる。今後、詳細な熱解析等により原因の特定と改善を行う予定である。

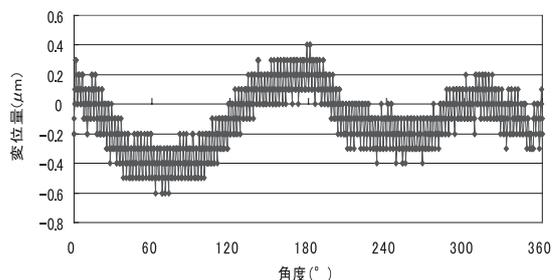
回折計と大型CCD検出器のインストール

12月初旬までに回折計とCCDカメラの設置が完了した。CCDカメラは超分子複合体や高分解能回折データを迅速に測定できるように大面積および高速読み出しが可能なものを選択した。CCDの読み出し時間(full-resolutionで1秒、

表3 構造生物学ビームラインで使用しているCCD検出器のスペック

	ADSC Quantum4	ADSC Quantum210	ADSC Quantum315
Beamline	BL-6A, BL-18B	AR NW12	BL-5
No. of pixels	2304 × 2304	4096 × 4096	6144 × 6144
Active area (mm ²)	188 × 188	210 × 210	315 × 315
Pixel size (μm)	81	51	51
Read out time (s)	4	1	1
Dynamic Range	16 bit	16 bit	16 bit
Image Size	11 MB	33 MB	73 MB

BL-5のサンプル回転軸の性能



実験方法 接触型ダイヤルゲージにより、0~360°までの一方向回転時の変位量を測定
サンプル軸はマグネットタイプ
結果 最大変位量=1μm, 標準偏差=0.21μm

図2 サンプル軸の回転性能試験

表4 低分子を使ったテストデータ収集実験

Crystallographic data of Compound A

Space group:	<i>P</i> 3
Cell dimensions (Å):	a,b=31.050 c=33.720
No. of molecules:	1/3 monomer in an asymmetric unit
MW:	9k Da
Crystal size(mm):	0.5 × 0.5 × 0.5

Condition of data collection

Temperature:	r.t.
Exposure time for 1 image:	2 sec
Camera distance:	80 mm
Rotation range for 1 image:	1°
Total number of images:	180
Total data collection time:	about 17 min
Wavelength (Å):	0.981

Statistics of the data from Compound A

Dmin(Å)	R _{fac}	R _{full}	R _{cum}	I/σ _{max}	N _{meas}	N _{ref}
3.16	0.018	0.017	0.018	35.6	2550	599
2.24	0.019	0.019	0.018	27.0	5431	1211
1.83	0.021	0.021	0.019	26.2	6569	1559
1.58	0.029	0.031	0.021	18.1	7289	1790
1.41	0.043	0.039	0.022	14.0	8126	2025
1.29	0.056	0.049	0.024	10.8	9385	2229
1.20	0.060	0.054	0.026	9.9	10134	2374
1.12	0.061	0.052	0.027	9.8	10633	2497
1.05	0.075	0.065	0.028	9.2	10300	2478
1.00	0.088	0.077	0.029	8.3	8513	2136
Overall	0.029	0.027	0.029	15.3	78930	18898

表 5

Crystallographic data of ProteinX

Space group :	$P2_12_1$
Cell dimensions (Å) :	44.2450 89.2950 119.0730
No. of molecules	1 monomer in an asymmetric unit
No. of residues:	277
V_{sol} (%) :	66

Statistics of the data from SeMet-ProteinX

X-ray source :	BL-5
Crystal size:	$0.5 \times 0.5 \times 0.5$ mm
Wavelength :	0.9789 Å 0.9797 Å 0.9600 Å 0.9810 Å
Temperature :	100 K
Exposure time:	5 sec
Resolution (Å) :	40 – 2.0 (2.11 – 2.00)
R_{merge} (%)* :	5.2 (23.0)
$I/\sigma I^*$:	10.4(3.1)
Total time:	about 90 min

Analysis with Resolve (phasing modeling)

Total residues:	215
Number of fragments:	3

* R_{merge} 、 $I/\sigma I$ は 0.981Å での値

bin モードで 0.3 秒) の他のデッドタイムは 1.5 秒以下と非常に高速であり、ファインスライスによるデータ収集時に効果を発揮する。PF の構造生物学ビームラインで使用している CCD 検出器のスペックをまとめた (表 3)。

回折計の基本設計は NW12 で開発されたものを採用し、更なる高精度化を実現した。特にサンプル回転軸の芯ぶれ量は AR-NW12 の 2.3 μm から、1 μm 以下にすることができた (図 2)。これは微結晶からのデータ収集を行うときに効果を発揮すると考えられる。

12 月 10 日に回折計および CCD 検出器の性能を調べるために高分解能データの収集を行った。データ収集の統計等を表 4 に載せた。低分解能の R_{merge} はシャッターとサンプル回転軸のタイミングなどの影響を示し、0.018 という値は十分に小さく、良好なセッティングになっていると言える。

また、最初の MAD 実験のテストは 12 月 11 日に行われた。サンプル情報および統計データを表 5 に示した。位相決定及び自動構造構築により、大部分の構造の構築が可能であり、データの質は十分に高いと考えられる。

計算機環境

BL-5 には回折データ処理および位相計算のために、dual-Xeon(3.06GHz) の計算機が 4 台と dual-Operon の計算機が 2 台ある。データバックアップのためには IEEE1994, USB2.0 および DVD-R ドライブが装備された Athlon64 の計算機 2 台が用意されている。回折データの保存用に 2TB の記録容量の RAID サーバーが 3 台ある。これらすべての計算機はギガビットネットワークに接続されている。回折

データの処理には HKL2000, DPS/mosflm が使用できる。また、位相計算、電子密度表示等に各種ソフトウェアが利用可能である。

ユーザーによるテスト結果と共同利用開始

通常のデータ収集条件 (1 度振動, 5 秒露光, 180 枚) におけるデータ収集に要する時間は約 23 分である。露光時間に関して熱変形が改善されビーム強度のアップが実現されれば、さらなる短時間化が可能である。回折データ収集ソフトは NW12 および BL-6A で開発された共通ユーザーインターフェースが採用されている。3 月中は外部ユーザーによる、テストデータ収集実験を行い、既に新規構造が BL-5 を使った回折実験により明らかになっている。CCD の検出面積が大きいので、いままで困難であった長波長での高分解能 MAD 実験や、500 Å を超えるような格子定数をもつサンプルからのデータ収集も既に行われ、インパクトのある構造解析結果がこのビームラインから生まれる日も近い。BL-5 は 2004 年 4 月から一般共同利用に公開される。

謝辞

BL-5 の建設費の大部分は科学技術振興調整費の「蛋白質 X 線結晶構造解析の高度化に資する基盤整備 (研究代表 松下正教授, 平成 13-15 年度)」および平成 14 年度から始まっているタンパク 3000 プロジェクトの「タンパク質の個別的解析プログラム, 翻訳後修飾と輸送 (研究代表若槻 壮市教授)」による。

建設作業では、挿入光源グループ、基幹部グループ、インターロックグループ、三菱電機システムサービスおよび構造生物学研究センターの方々の協力なくしては完了しなかったであろう。ここに感謝の意を表すとともに、これらの方々と一緒にプロジェクトを完成することができたことを幸運に思います。

ERATO 便り : その (1)

腰原非平衡ダイナミクスプロジェクト ERATO
科学技術振興機構技術参事 大門 正博

2003 年 11 月 17 日に着任して一人ぼっちでスタートした腰原プロジェクト (正式名称は腰原非平衡ダイナミクスプロジェクト) はこの 3 ヶ月で成長し、今では KEK 駐在の専任が 4 名、兼任が 2 名 (腰原研究総括と足立グループリーダー) の所帯となりました。しかもあと半年ほどで要員をほぼ満たして充実した体制となる予定です。前号の PF ニュースで河田先生からプロジェクト内容の概要を紹介していただいているので、今回は科学技術振興機構 (JST) の事業の一つである ERATO の仕組みと我々の体制についても述べたいと思います。今後、我々の活動を

ERATO 便りとして PF ニュースを通じてお知らせしようと思います。

着任して一番初めに困った事は、JST をどなたもご存じなかった事です。産総研や原研の様に研究部隊がある組織のように思われて、話が通じなかった経験もあります。今まで外部研究資金をそれほど必要としなかったからでしょうか KEK では JST はなじみがあまり無いようですが、国の予算から研究費を研究者や研究組織体に出すという機能に注目すると日本学術振興会 (JSPS) や新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) と同じです。即ち JST は他と同様に文部科学省の政策に基づいて予算を配分しております。しかし JST は ERATO 事業等、自前の研究プロジェクトを運営している点が独自です。ERATO は、JST として研究者を集めて研究部隊を編成し、5 年間のプロジェクト研究が終われば解散してしまうプロジェクトです。重点的な研究のスクラップ・アンド・ビルドがフットワークよく行なえる遊撃手のような存在と思っております。この様にして集めた研究者集団を、それぞれ必要な場所に駐在させて研究を行なう仕組みは ERATO 独自のものです、海外でも高く評価されているようです。また研究予算はプロジェクト事務所で会計責任ができる処理が可能なサポート体制となっていますので、その用途を柔軟に決める事ができ、研究員は本当に研究に専念できるようになっております。また予算規模は 10 数名の研究員で 5 年間の研究が可能な額となっております。ERATO プロジェクトでは研究総括が全ての責任を負い Big Boss として思う存分その力量を発揮できるように、予算上かなりの自由度があります。

さて、本プロジェクトでは 3 つの研究グループが活動する予定です。そのうち放射光を利用する分子動画観測グループと高速分子動画技術開発グループが KEK に駐在します。物質開発を行なう強相関非平衡物質開発グループは東京工業大学と京都大学に研究員が駐在し実際に試料作りを行ないます。非平衡ダイナミクスの為の試料を強相関非平衡物質開発グループが研究・開発・試作し、分子動画観測グループが測定・解析するという図式となります。ただし色々な研究機関で作られた試料も無機・有機・生体を問わず測定しようとしております。

プロジェクト事務所は以前の 4 号館足立助教教授室の居候状態から、1 月からは仮事務所として放射光光源棟の 2 階の打ち合わせ室を確保してもらい、12 月に着任された事務参事の植田さんと 1 月に着任された事務員の坂本さん (写真 1) と、技術参事の大門が執務しております。植田さんと坂本さんはどうやら花粉症で、苦しみながら仕事をしています。また先日には計 5 件の国際入札もやっと無事終了し、来年度の予算と計画書を練っているところです。また、4 月 12 日には PF-AR 北実験棟の近くに新築された共同研究棟 (写真 2) に入居いたしました。ここには事務スタッフと研究員を収容する予定で、腰原プロジェクトの本拠地となります。5 月 1 日には分子動画観測グループに光科学の専門家が、さらに 7 月 1 日には高速分子動画技術開発グループにグループリーダーが着任されます。この他



写真 1 事務参事の植田さん (右) と事務員の坂本さん



写真 2 PF-AR 北西実験棟の近くに新築された PF-AR 共同研究棟

東工大学生さんの協力がいただけます。この様に腰原プロジェクトは場所と人員という両面で着々と体制を整えつつあります。

研究の進捗では NW2 において、パルスセレクターでほぼ 1 KHz の繰り返しに間引いた放射光パルスとレーザーパルス光 (ナノ秒) を電気的に同期させて、試料に照射光とレーザー光とを時間差をつけて照射する技術が確立できましたが、詳細については次の報告のお楽しみにしておきます。また超短パルス光源である外部同期型フェムト秒レーザーの立ち上げ作業も始まりつつあり、実験設備も着々とそろいつつあります。これについても近々にご紹介できるものと思います。

ところで 3 月 5 日 (金) に PF 研究会「非平衡状態の物質構造と電子状態研究の展開」が KEK と JST の共催という形で企画し実施されました。この研究会は講演者への依頼が 2 週間前という常識はずれのスケジュールでしたが、暖かいご理解を頂き進める事が出来ました。この紙面をお借りしましてご協力いただいた方々に改めて御礼申し上げます。内容は X 線領域の短パルス放射光で何をどう測定するか、どうやって短パルス化するかを主題としましたが、後日プロシーディングスという形で印刷物になりますので、ご興味あればご確認願います。

最後になりましたが強相関非平衡物質開発グループの符徳勝研究員が無機材料系開発のために 4 月 1 日に着任 (東工大研究実施場所) されましたが、この様に物質開発の方も力を入れております。今後ともプロジェクトの研究推進に努めますので、皆様の暖かいご理解をお願いいたします。