

施設だより

物質構造科学研究所副所長 松下 正

7月9日に国立大学法人法が成立し、高エネルギー加速器研究機構も国立大学と同様に2004年4月から法人化される予定です。これまで機構内において法人化準備委員会およびその下に設置された複数のタスクフォースにおいて法人化後の機構の運営体制などについて議論が行われており、今後も制度設計の詳細についての検討が継続されます。一方、文科省のもとにも法人化後に4機構となる文科省傘下の全国共同利用研究所について「法人化準備委員会」が設置されました。その下に、予定されている4機構ごとに運営体制の大枠を検討する検討委員会が設けられました。高エネルギー加速器研究機構については東大原子核研究所元所長の山崎敏光先生が委員長を務められこれまで2回の会合が開かれ、3回目の会合が9月に予定されています。当然のことですが高エネ機構が全国大学共同利用機関であるという基本的姿勢は堅持されるという前提での議論が行われています。機構長の他に理事4名が機構長により指名され役員会を形成することが規定されており、これが機構運営の舵取りをしてゆくこととなります。このほか外部委員が半数を超える構成の経営協議会（現在の機構評議員会の果たしている役割に近い役割を持つと思われる）と教育研究評議会（機構長、機構長指名の理事に加えて機構内外の委員から構成され、現在の機構運営協議会に近い性格を持つ）が、法律により設置が規定されています。機構内部ではこれまでのように物質構造科学研究所、素粒子原子核研究所、加速器研究施設、共通研究施設の4組織が研究を担う形となります。これまでであった技術部は各研究所・施設に分散してかつその形が見えるような配慮をして（技術担当調整官（仮称）、技術担当副主幹（仮称）ポジションの新設）配置することが検討されています。法による規定はありませんが、各々の研究所および加速器・共通施設共通に運営会議が設置されこれまで運営協議委員会が果たしてきた役割に相当するものを果たすことが考えられています。

物質構造科学研究所の内部の構造については機構内での検討を経て決められることとなりますが、昨年度までの機構研内の検討ではこれまでと同様に共同利用施設の運営、共同利用の支援、関連する研究を行う放射光、中性子、中間子（ミュオン）の各研究施設とともに、研究所としてプロジェクト的研究を推進するために研究センターを設置することが提案されています。

放射光研究施設内の組織はこれまでも議論は行われていましたが、まだ決定したわけではなく放射光源研究系の他に現在の物質科学第1、第2研究系の活動を引き継ぐ組織のあり方をこれから議論していく段階です。放射光源研究系は放射光を発生させる加速器に関する専門家集団として放射光コミュニティにとって欠くべからざる存在であり法

人化後もこれまでと同様に活躍してもらえることを期待しています。放射光源用ストレージリングに関する技術は成熟してきているといわれていますが、そのなかでも将来世界が目にするような新しい考え方や技術がこの集団から生み出されることを期待しています。物質科学第1・第2研究系は、1997年以前の高エ研放射光実験施設の時には放射光測定器研究系と呼ばれていた研究者集団です。このような組織名の変遷は、この研究集団の果たすべき役割の2面性を表しているといつてよいと思います。放射光分野での研究対象はほとんどがsmall scienceといえるものですが、一方では研究を行うためには加速器、ビームラインといった大きな施設、装置を利用するので、それらに固有の技術的問題の解決、新しい手法の開発といったいわゆるinstrumentationという側面が多くあります。測定器研究系というのはまさにこのinstrumentationという側面を意識した組織名です。一方、放射光利用研究でも突き詰めるとそれを用いてsmall scienceの分野でどれだけ成果が得られたかが問われます。物質科学研究系という組織名はそのような側面を意識したものといえます。どちらの側面も必要であり、旧測定器研究系あるいは物質科学第1・第2研究系のスタッフは、サイエンスに対し優れたアンテナをもつ装置技術研究者という役割か装置技術に高いレベルの理解と能力をもつ物質科学研究者という役割を果たすことが求められます。さらに施設としては共同利用研究者への支援を行うマンパワーを確保することが必要です。また所内スタッフが研究成果をあげるためには個々人が独立に研究を進めることに加えてクリティカルマスを越えた大きさのグループによる協力をもっと必要です。これまでもこのようなことは繰り返し語られてきている一方、限られた人数で広い分野に対応することによる限界があったことは事実です。法人化の機会にこれまでの考え方や慣習を見直し組織としても個々のスタッフにとっても、そしてユーザーコミュニティにとってもよりよい運営形態を模索したいと考えています。

放射光研究施設では昨年2.5GeVリングが稼動してから20周年を祝いましたが、設備や装置が古くなったり人間が歳をとるということは誰でも理解することですが、気をつけないと組織あるいは構成員の意識も歳をとるということを知ったことがあります。法人化の機会をこのような点についての見直しの機会ともとらえたいと思います。NHKのテレビ番組「プロジェクトX」は中年サラリーマン、技術者に人気のある番組ですが、十分に中年の領域を過ぎている私も時々見ることがあります。最近、ソニーの犬型ロボットAIBOの開発に関するものを見ましたが、そのなかで関心をもったことがあります。それは、開発の途中でいろいろ行き詰まる状況があったときに積極的に外部の人間を新たに採用して、それまでとは異なる視点でプロジェクトを見るということ意識して行ったということでした。定員や人件費の枠がある中で私たちの組織で同様のことを行うにはひと工夫もふた工夫も必要と思いますが、忘れてはならないことと思いました。

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 1日 PF-AR 入射開始
- 4月 25日 PF-AR 運転停止
- 5月 6日 PF 入射開始
- 5月 8日 PF-AR 入射開始
- 6月 30日 PF、PF-AR 運転停止
- 7月 1日 入射器、KEKB 運転停止

PF-AR への入射は4月から、1時、10時、17時の1日3回入射となった。4月1日～6月30日まで、両リングともに故障による入射遅延はなく極めて順調であった。

2002年度入射器運転統計

KEKB が実験を開始した1999年度から2002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延べ故障時間を示す。又、トリップ (trip) とは、保護回路により装置が短時間の停止後復帰することをいう。トリップの約4分の3を占めるのは加速管など負荷側の放電、残りの4分の1は真空悪化や電源側の放電などによる。KEKB 実験開始で年間の運転時間が増加し、また、

装置にかかる負担が大幅に増加した1999年は、装置の故障率が7%以上に悪化した。しかし、保守・維持に努めた結果、故障時間、トリップ時間は年々減少してきた。減少の度合いは小さくなってきたが、2002年度も引き続き改善がみられた。故障への対応が迅速になり、平均故障時間は9分にまで短縮された。

入射器は2週間毎の保守と夏冬のシャットダウン以外は、常時、加速空洞に高周波を投入している。しかし、ビームを加速するのは、入射とビーム調整のときだけである。入射器の運転時間(高周波投入)は7,000時間余りであるが、表2に示すように、ビームを加速するのは3,000時間前後(40-45%)である。KEKB 以前の統計はないが、ビームを出している時間をもっと少なかったものと思われる。会計検査の際、検査官から電力を節約できないか質問を受けたこともあるが、加速器を安定させるには、いちいち高周波や電磁石などを on/off することはできない。表2で、入射に要した時間の他に、入射中に装置が故障して入射が遅れた時間も示した。PF、PF-AR への入射時間、トラブルの時間も、年々改善されている。

低速陽電子実験施設

入射器のテストホールに設置されている低速陽電子実験用のリニアックに対する、文部科学省の施設検査が4月10日行われ、合格証が発行された。リニアックの平均ビーム出力は最大1kWで、これをタングステン標的に当てることによって発生し利用できる低速陽電子は毎秒1千万～1億個である。すでに準備的な実験が行われているが、本格的なユーザ利用開始は来年度からの予定である。

表1 運転時間と故障統計

| | 運転時間 | | 延故障時間 | | 延故障回数 | | 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 | 9 | 0.2 |

表2 入射時間

| | 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 |

KEKB ルミノシティ世界初の 10 の 34 乗を達成

KEKB 加速器は既にピークルミノシティ、積分ルミノシティの両方で PEP-II を上回っているが、5 月 9 日早朝には、世界で初めて $10^{34} / \text{cm}^2/\text{s}$ のピークルミノシティを突破した。このルミノシティの達成においては、PF での、放射光による電子雲が原因となる陽電子ビーム不安定性の研究の経験が、KEKB におけるその後のシミュレーションや対策の上で大きな貢献をした。現在の蓄積電流は、LER が 1.5 A、HER が 1.1 A である。蓄積電流の設計値は、LER が 2.6 A、HER が 1.1 A であり、LER は更に蓄積電流を増やす準備を行っている。スタディでは LER の最大蓄積電流は 1.86 A に達している。

2003 年夏期保守予定

夏期保守は、7 月 1 日から始まった。入射器は 9 月 1 日、PF は 9 月 22 日、PF-AR は 10 月 1 日に立上げる。KEKB は、検出器の交換工事があり、立上がるのは 10 月 15 日で例年より 1 か月半遅くなる。保守内容は、高周波電源の清掃・点検、クライストロン及び高周波窓の交換、電子銃保守、陽電子集束用パルスコイルの交換、電磁石電源及び真空機器の保守、計算機の保守などである。又、C バンド加速管の 4-4 ユニットへの組込みを行う予定である。

PF 光源研究系の現状

放射光源研究系主幹 小林正典

PF リング

5 月 6 日 (火) 9:00 からの PF リング立ち上げ運転に先立って、超伝導ウィグラーの冷却を 4 月 28 日から始め、順調に超伝導状態に持ち込んだ。直線部増強計画に従って改造作業を進めてきた基幹チャンネルも問題なく立ち上がり、総合動作試験においても問題がないことが明らかとなり、連休明けの立ち上げに進むことができた。

このような立ち上げ作業の中で、5 月 2 日昼前にリングゲート弁を開ける作業を順次進めていたが、リング北側直線部で真空リークが起り、リング北側約 1/3 周の真空が悪化した。幸いにも原因がフランジボルトのゆるみであることを突き止めることができ、夕方には 10^{-8} Pa 台まで真空を戻すことができた。

連休明けの 5 月 6 日 (火) 9:00 からリングの立ち上げ運転を開始した。先の真空リークもあったことなので 8 日 (木) 朝まで 450 ~ 500 mA でリング焼き出し運転を行い、光モニター調節を行った。9 日 (金) 朝からはビームラインの光焼き出しを、15 時からは予備光軸確認作業を行い、さらにリングの光焼き出しを行った。10 日 (土) からは挿入光源の調整・確認作業を行い、11 日 (日) に低エミッタンスに関するマシンスタディを行った。12 日 (月) 9:00 から恒例の光軸確認を行い、特に大きな問題もなくユーザー運転を開始することが出来た。6 月 9 日 ~ 16 日の間、

単バンチ運転を 2.5 GeV で行った。その後通常のマルチバンチ運転に戻し、6 月 30 日 (月) 朝に春のユーザー運転を終了した。

ユーザー運転開始直後の不調としては、挿入光源 #2、#19 でギャップ変更ができない、BL-2 で MBS が開かない、冷却水タンクの圧力が高まるなどが起こったが、それぞれ原因を突き止め対処できた。6 月 12 日には原因不明であるがビームダンプを経験した。5 月 29 日早朝にビームライン BL-13 壁外からのインターロック信号に不調が起こりビームダンプが起こり、このラインを一時閉鎖して運転を続けた。その後インターロック回路部品の交換でこのビームラインは運転を再開している。6 月 5 日 23 時半頃にリング北側 RF セクションの前後の真空が突然悪化し、ビームダンプが発生した。ビームライン BL-3B で実験を行っていたユーザーのミスで 1 気圧 200cc 程度の気体がリング側に突入したことが原因であって、リング加速器の故障ではないことが確認できたので、真空の回復作業を進め約 3 時間のロス後にユーザー運転を再開することができた。

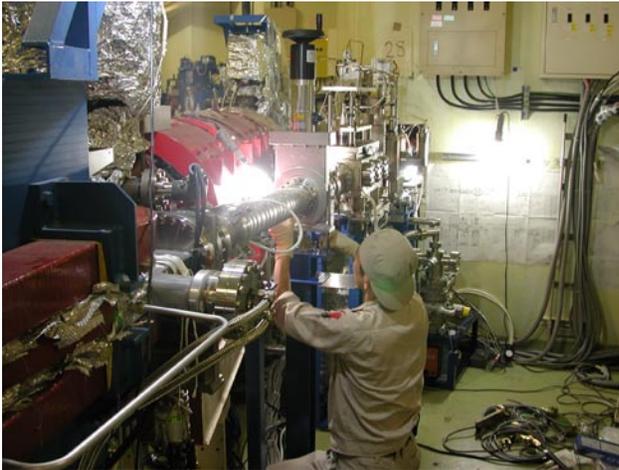
故障ではないが、5 月 26 日 18 時半頃に発生した宮城県沖を震源とする震度 4 の地震でインターロックが働き運転停止となった。リングトンネル内に立ち入って機器の確認を行ったが、幸いにも運転に支障のある故障や不具合は無く、19 時にビームを入射してユーザー運転を再開することができた。

このように今期の運転では地震の影響も含め 4 回のビームダンプという珍しい経験をすることになった。原因は光源ハードウェアにあるのではないが、ユーザーには迷惑をかけることとなった。

立ち上げ直後のマシンスタディではエミッタンス 27 nmrad に関するものを取り上げた。ビーム電流値、ビーム寿命共に満足のいく条件パラメータをつかむことができた。今後は全ての挿入光源との条件などをつめ、利用系とも相談しながらユーザー運転での実用化を進めていきたい。

夏の作業

先の号において「直線部増強計画の進捗状況と今後の予定」として報告がなされているが、PF 内部努力による資金を基に直線部増強計画に従って昨年来作業を進めてきている。先行して改造を進めている基幹チャンネル (BL-1, 2, 3, 4, 5, 13, 15) については 4 月末までの時点で作業を完了し、春の運転では実験に供している。この夏の作業として BL-18, 28 について改造作業を行う。また、4-5 および 18-19 直線部の 4 極電磁石とそこに挿入される真空ダクトの交換・改造作業を進めている。これまで使用してきた電磁石の搬出、ベースプレートの新設、新 4 極電磁石の設置作業が行われている。この区間の真空ダクトは使用中のダクトを現場で切断し、新たな Q 用ダクトを現場溶接する作業となっている。4-5 直線部には新たに挿入光源が設置される。この新挿入光源を搬入・設置するためには、#28 の円偏光アンジュレーターを一時撤去し、リング外側から



BL-28 チャンネルの改造作業

リング内通路を通して現地へ搬入・設置する作業となる。その後円偏光アンジュレーターを元の場所に戻す。BL-5下流では構造生物用実験装置が整備され、秋の運転において放射光を導入して立ち上げ、2004年4月からはユーザー利用実験に供することになる。

内部努力によって新4極電磁石を先行して数台製造してきているが、残りの4極電磁石については今年度当初に機構から得ることができた特別経費によって製造が可能となった。また、電磁石改造に伴い必要となる偏向電磁石～4極電磁石用真空ダクトのうち一本を内部努力により先行して製造する作業を進めている。今後も予算獲得に努め、直線部増強計画の現場作業(およそ6ヶ月の運転停止が必要)をいつから始められるかを含めた実行計画を、可能な限り速やかにユーザーに示すようにしたい。

PF-AR リング

PF-AR リングは4月25日まで運転を行い、連休中は運転停止とした。5月8日に運転を再開して調整およびマシンスタディを行い、ユーザー運転を13日(火)から6月30日朝まで行った。臨床応用が6月12日および26日に行われた。臨床応用時の運転条件はこれまでと同様5.0GeV、50mAである。NW12では蛋白関係のユーザー実験がいろいろスタートした。国内トップレベルの高性能をもつビームラインであることが確認されている。

マシンスタディがいろいろと行われたが、PF-ARでの臨床応用に備えて5.0GeV、50mAを想定したマシンスタディを5月26日に行った。PFで成功しているRF位相変調法によるビーム寿命の改善についてテストを行った。ビーム寿命を5%程度延ばすことができた。また、バンチ当たりの電流を30mAとする代わりに2バンチをストレージし、ビーム電流を60mAに高めるスタディも行い成功した。2バンチ運転におけるRFや入射の条件との関連についてもマシンスタディをさらに続けていきたい。COD補正の方法についてもスタディが行われている。

4月の運転で不調となった西側APS型RF空洞#3は現在デチューンしてパワーを投入しないで運転しているが、

この夏のシャットダウンの期間に内部を内視鏡で調査し対応策をとり、秋の運転には復帰させたいと考えている。RF空洞もそうであるが、補正予算による更新の対象と出来なかった加速器要素には不調が起きている。5月14日にリング西側のクライストロン冷却水の漏れ、6月19日には東側RF部での放電アークセンサーの作動でビームダンプが起こった。その他の機器の不調もあり、必要最低限の予算を確保して安定な運転を心がけたい。入射するほどではないが一時的なビーム寿命急落によるビーム電流減が前期に引き続き起きている。ビーム寿命が回復せず定時入射(1日3回)以外の入射を必要とすることも起こった。リング加速器そのものではないがビームラインNE-5でのBBSペローズからのリークが起こった。応急措置を施し、夏のシャットダウン期間中に交換することになっている。

将来計画

KEKつくばキャンパスの将来像については前号にも紹介したが、機構のつくばキャンパス将来構想検討ワーキンググループの報告書にERLをベースにした放射光の将来像について記されている。一方放射光コミュニティでは、極紫外・軟X線高輝度光源計画に関する三者検討会議のまとめと検討ワーキンググループの活動が行われてきてはいるが、実現について見通しが立ったと言える状態には至っていない。時に利あらずして不幸にも大学で計画が実現できない時に、放射光コミュニティはどうしようとするのか。これまでの経過は経過として何らかの形で新光源実現を強く主張するのか。この議論は放射光学会の特別委員会等で行われるであろうが、PFもコミュニティの一員として、大学以外の地という場合の受け皿として、つくばキャンパスを視野に入れた場合についての議論を小間所長の要請に基づいて行い始めた。そのような場合には、大学での計画とは異なり、物質構造科学研究所の三研究施設の一つであるPFを取り巻く条件も考慮に入れなければならない。すなわち研究所として大型ハドロン計画(J-PARC計画)による中性子、中間子科学の推進を進めてきていることは、PF Newsの読者の皆様はご存知であろう。

仮にPFで受け皿となる何らかの計画を検討するとしたら、これまで大学を中心として検討を深めてきた計画を包含し、且つPFとPFユーザーが合意できる計画を作り上げることになる。放射光コミュニティが一丸となって進めることの出来る計画となるような努力を行うべきであろう。

一方、法人化後の研究所を考えれば、PFを用いた放射光科学の成果を質と量の両面から高めることが今まで以上に求められるのは明らかである。上に述べたようなJ-PARC計画の進捗状況等から、研究所が新光源(VSXの受け皿である光源、あるいはERL)の予算を速やかに獲得するのは容易ではない。放射光コミュニティの意向を背に受けて予算獲得の努力を続けたとしても、予算獲得が思うにまかせなければPFおよびPF-ARは現状のまま何年も運転を続けることになる。ユーザーから見ても質の高い成果

を生み出せる魅力的研究施設とは言い難い状況に陥る危険性がある。より性能の高い新光源実現へ向けての努力こそが研究所の死活を制する鍵となる。

しかしながら、新光源の予算獲得が見えてこない場合にどのように対応していくのか、検討しないというわけにはいかない。現在進めている直線部増強計画を実現させていけば、世界的レベルでの放射光科学の競争に加わっていくことができ、その間に新光源計画（受け皿計画、ERL計画）の見直しや練り上げを行い予算獲得のためのさらなる努力を続ける時間的余裕を持つことができる。その意味からも、直線部増強計画を速やかに完了させたい。

物質科学第一・第二研究系の現状

物質科学第二研究系主任 飯田厚夫

運転・共同利用実験

5月の連休明けから開始されたPF2.5GeVリングの平成15年度第一期の運転は6月30日無事終了しました。この間、実験ホール側に起因するビームダンプが2回発生しました。5月29日にはBL-13インターロック信号の不調により、6月5日にはBL-3Bでのユーザーミスによる真空トラブルによりダンプが生じました（PF光源研究系の現状記事(p3)もご参照下さい）。トラブルを事前に防止するための今後の対応策を検討しています。

一方4月に運転を開始したPF-ARは開始時に加速空洞のトラブルに見舞われましたがその後は順調に運転され、こちらも無事6月30日に運転を終了しています。本年度第一期の運転はいつもの年に比べると短く物足りないものでしたが、年間の運転時間は例年並を予定しています。PF2.5GeVの秋期運転は9月22日より、利用実験は9月29日より開始となります。またPF-ARは10月1日より運転を開始、10月6日から利用開始となります。

この間PF 2.5GeVリングでは、SSRL(Stanford Synchrotron Radiation Laboratory)との研究協力に関する覚書に基づき、SSRLのユーザーを5月13日からの1週間、BL-15Aにおいて受け入れました。この覚書では施設の長期シャットダウン時にユーザーが相互の施設を利用できることになっており、今回のユーザー実験はSSRL改造に伴って生じたシャットダウンによるものです。

PF-ARはリング改造の効果が着実に現れ、1日3回入射が定着してきました。昨年来、PF-AR北西棟に建設立ち上げの行われてきたタンパク質結晶構造解析用X線アンジュレータビームライン(NW12)は5月から共同利用実験に供せられ、6月26日には企業からのユーザーも交えた講習会が開催されました。

また6月12日、26日にはPF-ARで医学利用が順調に行われ、これまでの臨床応用例は延べ43件となり着実な進歩をみせています。これまでの経緯と成果について医学応用グループからの報告(p13)がありますのでご覧下さい。

また、高エネルギー加速器研究機構・総合研究大学院大学の共同主催による夏期実習が例年通り6月18日から6月20日の3日間開催されました。高エネルギー加速器が拓く新しい分野の一端を体験していただく特別な機会を楽しんでいただきましたでしょうか。

PF内のタンパク質X線構造解析を核として発足した構造生物学グループは、共同利用支援と構造生物学研究の両面にわたり精力的な活動を展開してきましたが、物質構造科学研究所の研究体制再編の一環としてこの5月より構造生物学研究センターとして活動を行うことになりました。背景と現状については「施設だより」(p1)、「構造生物学研究センターの発足について」(p6)をご覧ください。

さて夏期シャットダウン時にはBL-5へのマルチポールウィグラー光源の導入が行われ構造生物学実験用ビームラインの最終立ち上げが行われ、今秋からいよいよ放射光を使った実験が開始されます。また、この夏にはPF光源棟、研究棟での水配管の工事およびトイレの改修工事が行われています。この間来所された方にはご不便をおかけしたことと思います。

平成15年度後期放射光共同利用実験課題申請が5月2日に締め切られ、G型(一般)186件、P型(初心者・テスト実験)5件の合計191件の申請がありました。PF-PACおよび物構研運営協議会会の審議を経て、合計184件の課題が採択されました。審査経過および結果については別報(p55)を参照してください。なお、PF研究会も5件採択されています。

人の動き

5月16日付けで久保田正人氏が物質科学第一研究系助手に着任しました。久保田氏はこれまでX線回折・散乱や中性子散乱実験などにより物性研究を進めるとともに、実験手法の開発にも独創性を発揮してきました。着任後は、小野寛太助教授と協力して光電子分光法による物質の電子状態の研究に新機軸を出していただくよう期待しています。また非常勤研究員(研究機関研究員)として佐賀山基氏が7月1日付けで着任しました。佐賀山氏は主に中性子散乱による物性研究をしてきましたが、今後は澤助教授のグループと協力して構造物性の研究をすすめてもらうこととなります。

その他

高分解能光電子分光実験の新しい展開については、施設内およびPAC研究計画検討部会で審議を行いBL-28の再整備の方向で検討を行っています。担当者の報告をご覧ください(p8)。またこれまでもPF将来計画に関しては議論を重ねてきましたが、本年度になって流動的な要素が大きくクローズアップされ、新蓄積リング建設や既存リングの大幅改造などの可能性を含めて多方面から再検討を行っています。ユーザーの皆様のご意見を反映させ、より良い将来計画が実現されることを期待します。

構造生物学研究センターの発足について

構造生物学研究センター長 若槻壮市

高エネルギー加速器研究機構 (KEK)・物質構造科学研究所・フォトンファクトリー (PF) の構造生物学グループは平成 12 年 5 月に発足し、放射光 X 線構造生物学分野における全国共同利用支援、高度化技術開発、インハウス構造生物学研究をメインタスクとして活動して参りました。現在、教授 1、助教授 1、助手 5 を核として 27 名のメンバーが在籍し、その約半数はビームライン関係、残りの半数は構造生物学研究に従事しております。平成 16 年 4 月の KEK の法人化を控え、物質構造科学研究所としても研究体制再編の一環として研究センター設立の検討をしておりましたが、その第一段階として私ども構造生物学グループは平成 15 年 5 月 19 日をもちまして構造生物学研究センターになりました。この場を借りて、現状を報告させていただきます。

<翻訳後修飾と輸送をターゲットとした構造ゲノム科学>

構造生物学研究においてはタンパク 3000 プロジェクトの個別的解析プロジェクト「翻訳後修飾と輸送」のテーマで糖鎖修飾と細胞内タンパク質輸送に関する構造プロテオミクスを始めています。平成 13 年 4 月に新築いたしました構造生物学実験準備棟は今年 3 月に 215m² 拡張し 645m² となりました。大腸菌、酵母、バキュロウィルス系を用いたタンパク質の発現、精製、結晶化、及び表面プラズモン共鳴等の生化学的解析等が行える体制が整っております。特に、中山和久教授 (筑波大学、現京都大学) との共同研究で行ってきている、ヒトの遺伝子解読から新たに同定された輸送タンパク質 GGA の構造機能解析では、3 つのドメインのどれについても米国、イギリスのグループと競争になり、ほぼ同時期に Nature 誌や、Nature Structural Biology 誌に発表してまいりました。その後、GGA 複合体の研究をさらに進め、総研大大学院生の最初の仕事として論文を 2 報投稿中、また大阪大学医学部内山安男教授との共同研究でアルツハイマー病の原因物質である β アミロイドを形成するタンパク質のシグナルペプチドと GGA-VHS ドメインの複合体の結晶構造と細胞内の輸送に関しても一報投稿中、イタリアの E. Monti 教授との共同研究として進めてきたヒトのシアリダーゼの構造解析についてもフランスから留学中の総研大大学院生 (D1) の初めての論文として投稿を準備しております。その他にも輸送と糖鎖修飾で重要な役割を担っている数多くのタンパク質について発現、精製、結晶化、構造・機能解析を進めています。

<PF-AR の新 MAD ビームライン NW12 >

PF の現行ビームライン (BL-6A と BL-18B) の整備と並行して、昨年来より建設を進めておりました PF-AR6.5GeV リングの高輝度 MAD ビームライン NW12 が今春完成いたしました。PF-AR はエミッタンスが 290nmrad とかなり

高いもののエネルギーが高く、高性能のアンジュレーター挿入光源と安定した光学系により PF2.5GeV リングの BL-6A、BL-18B 等と比べると格段に高輝度・高フラックスのビームラインです。実際回転角一度あたりの露光時間が 1 ないし数秒ですむことが多く、210mm 角の大画面、1 秒読み出しの二次元 X 線検出器 ADSC-Q210 によりデータセットあたり 10 分から 30 分程度で高分解能データの収集が可能となりました。回転軸の精度も 2.2 ミクロンと高精度で微小結晶のデータ収集が可能です。2 月末の 12 時間あまりのテストビームタイムでは、10 データセット以上収集し 3 つの高分解結晶構造を解くことができました。その後、5 月以降一般ユーザーの方々にもお使いいただいておりますが、どのグループも一日のビームタイムで 100 ギガバイト以上のデータを取られています。また、既に新規構造が複数決定されたと聞いています。今後も、学会報告、講習会等を通じて NW12 の性能を全国のユーザーに知っていただくと共に、自動化ロボット等の導入などによりさらに「使い勝手」の良いビームラインとして整備して参ります。NW12 の性能について広くご理解をいただくために 6 月 26 日午後 1 時より第一回 NW12 講習会を開催いたしました (詳細は本号 p41 をご覧下さい)。

<PF 挿入光源 MAD ビームライン BL-5 >

さらに PF2.5GeV ではマルチポールウィグラーを挿入光源とした高フラックスビームライン BL-5 を建設中ですが、こちらは平成 15 年 12 月からテスト実験、平成 16 年 4 月からのユーザービームタイムの開始を予定しております。このビームラインも NW12 と同程度のフラックスが得られ、大画面 (300mm 角以上)、読み出し 1 秒の CCD 検出器、回転精度 1.0 ミクロンの回折計との組み合わせにより国内で最大、最速、しかも微小結晶の MAD 実験ができるビームラインとすることを目指しています。

<構造解析高度化のための新規技術開発>

ハイスループット関連技術開発のひとつとして現在大規模超高速結晶化ロボットの開発を急ピッチで進めており、8 月末に完成したあかつきには、一日あたり 20 万種類の結晶化を行えるシステムとなります。さらに、結晶ドロップの超高速検査システム、結晶の自動ハーヴェスティングおよび液体窒素で結晶を凍結させるロボット等も鋭意開発中です。これら大規模結晶化ロボット、高フラックスビームラインでのデータ収集と解析をスムーズに行うための統一データベースとソフトウェアの開発も行っておりまして、ハイスループット技術と生化学的な機能解析を組み合わせる総合的なタンパク質構造・機能解析システムの構築を目指しております。

<産学連携>

来年 4 月の法人化後の法人としての産学連携活動を見据えて、今回のセンター設立を機会に、これまでのハイスループットビームラインのための技術開発、ビームライン建

設と運営、独自の構造生物学研究に加えて、新たに産学連携をもう一つの機軸として加えることも検討しています。上で述べました、大規模結晶化ロボットや、結晶のハンドリングロボット等のハイスループット技術については、小型普及版の開発も含めて個々の新規技術のテクノロジートランスファーを積極的にはかります。また、高フラックスビームラインについても産業利用を図るだけでなく、タンパク質発現、精製、結晶化、構造解析についての共同研究、委託研究のシステムの構築を目指しています。上記 NW12 講習会と同じ日の午前に製薬、化学関連の産業界の方々を対象に共同研究・委託研究についての説明会を開催いたしました。12 社、報道関係 3 社を含めて 23 名のご出席をいただき、活発な質疑応答がありました。そこで出された要望、意見を参考にして、共同研究、委託研究、ビームライン利用方法等についてフレキシブルな制度の準備を鋭意進めています。

<将来展望>

タンパク 3000 プロジェクトの「翻訳後修飾と輸送」チームの中核機関としての構造生物学研究の推進、構造生物学放射光実験の全国共同利用施設としての整備拡充を二本の柱とし、競争的研究費による研究員、外国からの研究者も含めて将来的には 50 人から 60 人で競争力のある構造生物学センターに成長させたいと考えております。

具体的には、(1) 近未来の放射光計画として 2.5GeV リングを改造し、短直線部を新たに 4 箇所作る直線部増強計画が進められていますが、その一部として 2 本のミニポールアンジュレータービームライン建設、(2) 物質構造科学研究所が法人化後の新しい組織として検討を進めている 2 研究センター構想の一環として新研究棟の申請をし、そこに構造生物学実験準備棟の研究施設を移転、(3) タンパク質輸送と糖鎖修飾に加えて、医学に直結した構造生物学研究の展開、(4) ハイスループット技術の産業利用、産学連携研究の促進、(5) ERL などの次世代放射光を用いた先端的構造生物学研究としてナノスケールタンパク質結晶や超複合体単分子の高分解能構造解析のための方法論の確立などを目指します。

低速陽電子実験施設の共同利用 開始に向けて

物質科学第一研究系 栗原俊一

低速陽電子実験施設では以下のように陽電子の利用実験を公開する予定です。

公開するビームライン：ポジトロニウム TOF ライン
ビームライン担当者：栗原 俊一

施設の概要

低速陽電子実験施設は電子陽電子入射器棟に位置し、階の実験ホール北端に置かれた低速陽電子発生用専用電子線加速器、低速陽電子線源部、磁場輸送路、ポジトロニウム TOF 実験装置から構成されます。ポジトロニウム TOF 実験装置を含む二次ビームラインを平成 16 年度からの共同利用に公開します。

ビームラインの用途、性能

ポジトロニウム TOF ラインでは加速器により生成されるパルス低速陽電子を固体試料に照射します。試料内部および表面で生成されるポジトロニウムは試料表面から放出された後に三光子消滅をおこします。この時に放出される光子を光電子増倍管により検出し、陽電子照射から光子放出までの時間を計測することによりポジトロニウムのエネルギー測定を行ない、ポジトロニウム、ならびに試料表面の情報を得ることを目的としています。

強度：陽電子 10^7 個 /s
ビームエネルギーの可変範囲：0.1 ~ 30keV
エネルギー分解能：NA
パルス幅：22ns@4.9keV
パルス繰り返し：最大 50Hz
ビーム径：10mmφ
試料温度：室温
試料電位：0 ~ 9.5kV
真空度： 10^{-7} Pa

課題申請の方法

放射光共同利用実験の一環として共同利用を受け付けますので、p15 の記事にあるように 11 月 7 日締切で申請書を提出して下さい。

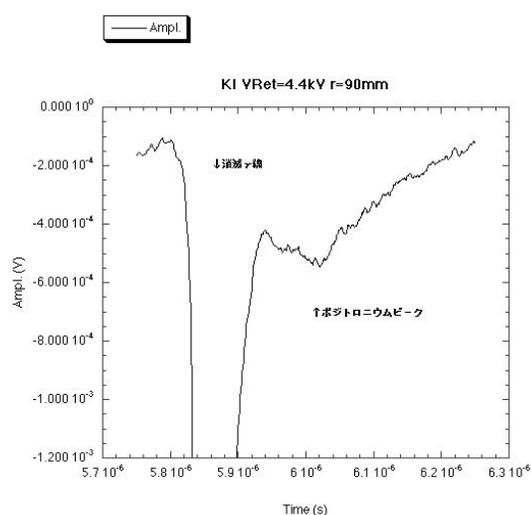


図 1. 典型的なデータとして、KI 試料に陽電子の引き出し電圧 4.9kV、試料部減速電圧 4.4kV、試料への入射エネルギー 0.5keV とした時の測定結果を示す。試料への陽電子の入射を示す消滅 γ 線のプロンプトの後、KI 表面から放出されたポジトロニウムによるピークが飛行時間により遅れて観測される。

詳細は高エネルギー加速器研究機構のページ、あるいはPFの共同利用のページから低速陽電子実験施設を参照されるか、あるいはWebページ <http://www-linac.kek.jp/slowpos/> をご参照ください。

BL-28のアンジュレータ専用化について

物質科学第一研究系 小野寛太

BL-28は可変偏光アンジュレータで、使用できるエネルギー範囲は真空紫外領域の30～300 eVと、固体・表面・ナノ材料の電子状態の研究にとって最適なエネルギー領域をカバーしています。現在BL-28はアンジュレータモードを用いる真空紫外領域のBL-28Aと、マルチポールウィグラーモードを用いる硬X線領域のBL-28Bの2ブランチからなっているが、建設後時間が経過し現在は十分な競争力を保持出来なくなってきました。

そこで、高スループット・高分解能バンドマッピングを用いてナノ材料の電子状態の高速評価を行い、ナノ材料のサイエンスを展開することをめざし、BL-28のアンジュレータ専用化、高分解能・高フラックス分光器の新設、高分解能角度分解光電子分光実験ステーションの建設を来年度に行うことを予定しています。上記の実験を行うにあたっては、分光器は高分解能であるばかりでなく高フラックスであることが重要です。そこで、可変偏角不等間隔平面回折格子分光器を採用することを検討し、設計を進めております。この分光器では、入射スリットレスであるため高い光子フラックスが得られます。また、広いエネルギー範囲にわたって高分解能を実現できるため、将来の直線部増強とアンジュレータ更新後にもそのまま使うことが出来る仕様になっています。

またエンドステーションに関しては、高スループット測定やバンドマッピングの自動測定には自動走査できかつ低温測定可能なマニピュレータが必須であり、これらの要求を満たすためのマニピュレータ（平成15年度共同開発研究：産総研相浦義弘氏）を現在BL-1CのARUPS-10を用いて調整中です。このマニピュレータは6軸回転機構、温度可変（10K～400K）機構を備え、かつ試料の角度走査をパルスモータにより自動で行うことが出来るという特徴を持っています。そのため本装置により、高エネルギー・角度分解能・高スループットで光電子分光、フェルミ面マッピング、光電子回折を簡単に測定することが出来るようになります。また、試料に対し6軸の回転機構が付いているため、可変偏光アンジュレータと組み合わせることにより、偏光依存性を利用した実験が可能となります。

新分光器建設後のBL-28の仕様は以下の通りです。

可変偏角不等間隔平面回折格子分光器

エネルギー：30～300 eV（直線部増強前）

30～1,000 eV（直線部増強後）

エネルギー分解能 (E/ΔE)：

すべてのエネルギーで 5,000～10,000

フォトンフラックス：

上記の分解能の時 > 10¹² photons/sec

試料位置でのスポットサイズ：350 μm (H) × 50 μm (V)

高分解能角度分解光電子分光装置

全エネルギー分解能：< 5 meV (40 eV), < 10 meV (100 eV)

角度分解能：0.1 度

空間分解能：10 μm

試料温度：10～400 K

試料の3軸回転およびXYZ並進可能

マニピュレータ、分光器との連動により、バンドマッピングおよびフェルミ面マッピングを自動で測定可能

ユーザの皆様からのご意見・ご要望をお待ちしております。PF 小野 (kanta.ono@kek.jp) か各ユーザグループの代表者へご意見をお寄せいただければ幸いです。

構造生物学ビームライン (BL-5) の建設の進捗状況

物質科学第二研究系 鈴木 守

PFリングにおいて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の建設が進められている (PFニュース No.21, Vol.4) (図1)。すでにBBSハッチ、光学ハッチ、実験ハッチ、コントロールキャビンおよびデッキ部が完成している (図2-4)。

BBSハッチには、第一ミラーおよび第一結晶への熱負荷を低減する目的で使用されるグラファイトフィルター、水冷4象限スリット、蛍光板モニター、BBSが設置される。

光学ハッチには、すでに2台のミラー調整装置と二結晶分光器が設置されている (図5)。分光器第一結晶はマルチポールウィグラーからの熱負荷による性能低下を低減する目的でBL-16Aにおいて実績のあるマイクロチャンネル

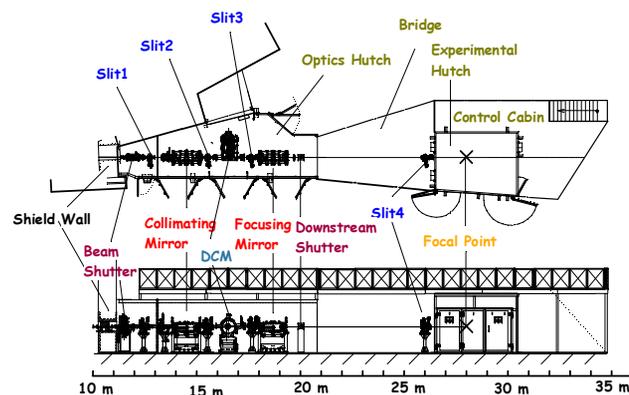


図1. BL-5のコンポーネント配置図

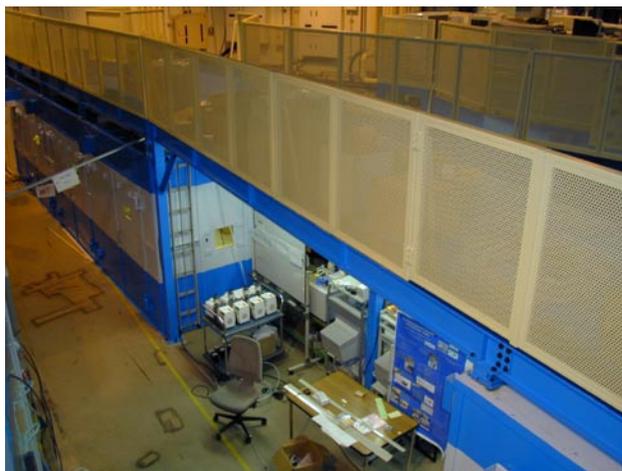


図2. 光学ハッチ、実験ハッチとデッキ部



図3. コントロールキャビンの外観とデッキ部への階段



図4. デッキ部

による直接水冷を採用する。今後ワイヤースキャンタイプのビームモニター、4象限スリット、蛍光板モニター、DSS 等が設置される。

実験ハッチにはNW12 にインストールされた高精度サンプル回転軸、高速シャッターを備えた検出器架台が設置される。またX線検出器としては315mm 角以上の大面積かつ1秒読み出し可能な CCD 型検出器が設置される。



図5. 光学ハッチ内に設置されたミラー調整装置と二結晶分光器

8月上旬にビームラインのコンポーネントの接続作業、8月下旬からインターロックグループによる結線・プログラミング作業、9月中旬にビームライン検査、9月下旬には光導入が予定されている。

PF-AR NW2 進捗状況

物質科学第二研究系 河田 洋

NW2 ビームラインは時分割 XAFS 実験を念頭において設計し、建設・調整を進めて参りましたが、ほぼその立ち上げが終了しつつあります。具体的に、この4月から6月末までのマシンタイムで、大強度 XAFS を念頭に置いた通常のステップスキャン方式の XAFS 測定を確立し、特に高調波除去ミラーの有用性の確認とその適正値のスタディーを行いました。続いて、デスパーシブ・XAFS 実験装置(図1 参照)を導入し、時分割実験のテスト実験が KEK・PF の野村教授と名古屋大学の稲田博士のご尽力のもと行われました。

図2は、有害窒素酸化物の還元触媒として有用なゼオ

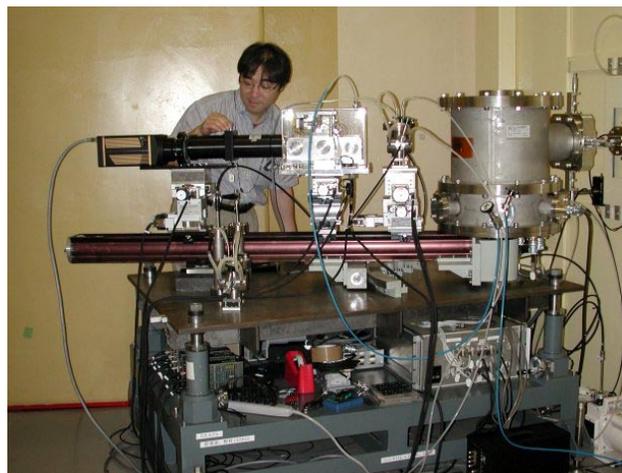


図1. DXAFS 実験装置を調整する稲田博士(名古屋大学)

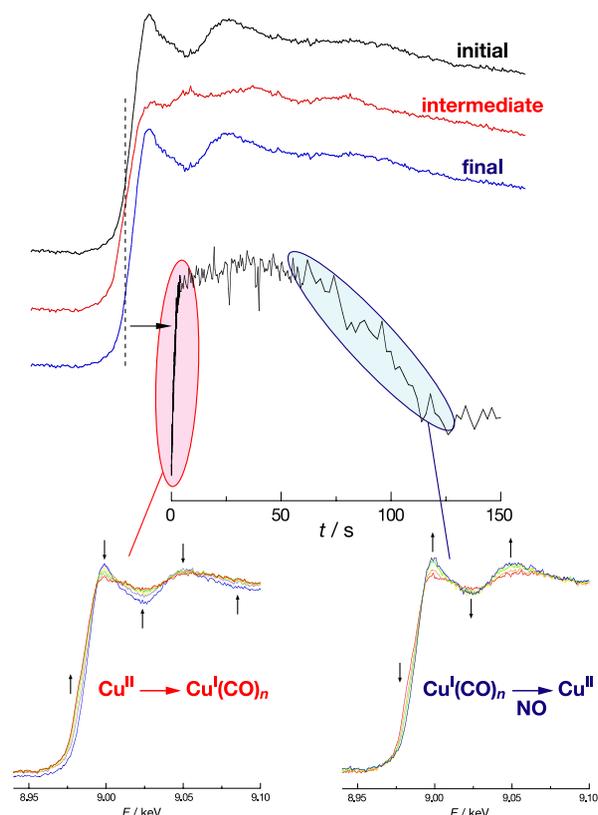


図2. 上図が反応の開始時点、中間状態、終了時点でのCu-K吸収端のXAFSスペクトル。中図は8983eVにおけるX線吸光度の時間変化。露光時間(1スペクトル当たりの測定時間)=6ms。左下図は開始時点から中間状態へ至るXANES付近のスペクトル変化をしめし、右下図が中間状態から終了時点へ至るXANES付近のスペクトル変化を示す。

ライトに担持されたCu触媒の反応プロセスを示す時分割XAFS測定例です。500℃で真空状態(0.1kPa)にあるところに、6.9kPa(=51Torr)のCOと26.6kPa(=200Torr)のNOの混合ガスを瞬間導入し、その後のCu-K吸収端におけるXAFSスペクトル変化を測定する事により、このCu触媒(Cu/ZSM-5)について、一酸化炭素(CO)が共存する条件下での一酸化窒素(NO)との反応におけるCu中心の原子価や構造の変化を知ることが目的としています。反応は二段階で進行し、数秒以内に完了する速い反応過程でCu中心が一価に還元された後、100~200秒でCu中心が初期状態に完全に復帰することが分かります。さらに、遅い過程のX線吸光度変化はCOが配位したCu(I)中心が触媒となってNOを接触還元する過程である事が明らかになりました。実験の詳細は別の形で報告されると理解しておりますが、図中の各XAFSスペクトルは6ミリ秒の露出で測定されており、10ミリ秒程度の非可逆過程の時分割測定は十分に射程の中に入ってきている事を示しております。

一方、本ビームラインでは、時分割XAFS実験だけに留まらず、光誘起相転移現象をターゲットとした時分割X線回折実験の展開をもその射程に入れて、夏以降に具体的な整備を進める予定です。今年度の整備方針として、レーザー励起源と放射光X線パルスを用いたポンプ・プローブ実験を可能とするためのX線パルスセレクターの手当てが

行われ、今年度末にはポンプ・プローブ実験を行う予定です。また、そのような状況を踏まえて、実験装置の整備は今尚立ち上げ調整中ですが、ビームラインといたしましてはほぼ仕様の確認を終了いたしました。したがって、秋からのマシンタイムでは、単色集光のX線ビームラインとして共同利用実験を開始する予定です。詳細は担当者(河田)までお問い合わせください。

PF-AR NW12 ビームラインの現状

物質科学第二研究系 松垣直宏

構造生物学ビームラインNW12が完成し、2003年5月から共同利用を開始しました。NW12は、構造生物学のハイスループット化の要求に応えるため、多波長異常分散法(MAD法)を用いた効率的な回折実験を主眼にデザインされています。図1にビームライン全体の平面図を示します。主な光学素子の仕様は表1のとおりです。以下、ビームラインの立ち上げ状況及び、5~6月の共同利用状況を報告致します。

ビームラインの立ち上げ状況

a) 平行化ミラー調整

X線平行化ミラーと液体窒素冷却型の分光器により、ビームのエネルギー分解能を高める設計です。平行化ミラーは平板湾曲型で、ビームの鉛直方向の平行化に用いられます。分光器および分光結晶の液体窒素冷却システムはPF-AR NW2のそれと同タイプで、特徴はPFニュースVOL.20 No.2号に河田博士による詳しい解説があります。

表1. 光学素子の仕様

| | |
|---|---|
| Insertion device | Type: tapered undulator Length of period: 40 mm Number of periods: 95 Magnetic field: max 0.6Tesla Energy range: 7-17 keV with the 3 rd harmonics |
| Collimating mirror (23.5 m from the source) | Type: flat-bent Material: Rh-coated Si single crystal Size (mm): 1000(L) x 100(W) x 70(T) Glancing angle: 3.5 mrad Radius of curvature: 13428.6 m Slope error (μrad): max. 1.56 (L), 5.71(W) Roughness: max. 1.34Å |
| Double crystal monochromator (25.4 m) | Material: Si(111) Fixed exit: numerical link Cooling system: liquid nitrogen circulation Energy range: 7 - 17 keV |
| Focusing mirror (27.0 m) | Type: bent-cylindrical Material: Rh-coated Si single crystal Size(mm): 1000(L) x 100(W) x 70(T) Radius of curvature: 54.76 mm, 6285.7 m Glancing angle: 3.5 mrad Slope error(μrad): max. 3.37(L), 5.93(W) Roughness: max. 1.61Å |

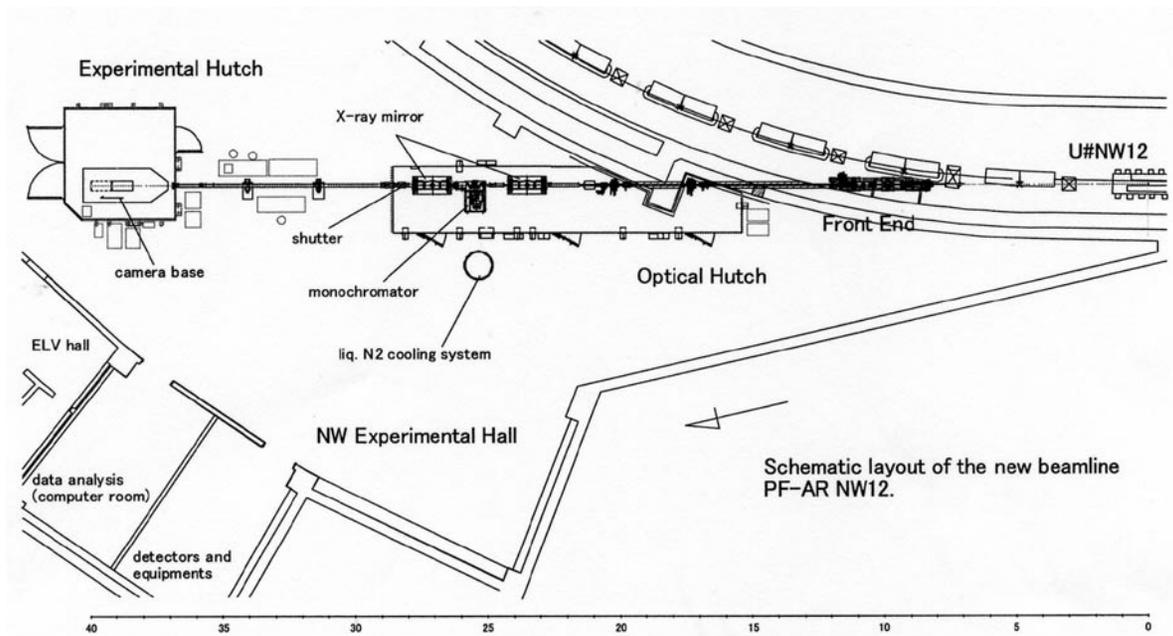


図 1. NW12 ビームライン平面図

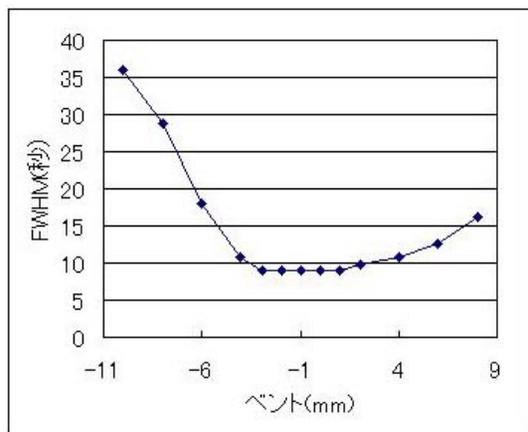


図 2. 平行化ミラーのベントを変えた時のロッキングカーブの FWHM

表 2. 単色 X 線ビームの特性

| | 実測値 | 予想値 (シミュレーション) |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------|
| 12.7keV での $\Delta E/E$ | 2.5×10^{-4} | 1.48×10^{-4} |
| 集光点でのビームサイズ (mm) | 1.400(H) 0.180(V) | 1.469(H) 0.226(V) |
| 0.2mm スリット通過後の集光点での光子数 (/s) | 2.0×10^{11} | 5.5×10^{11} |

平行化ミラーの調整は、ミラーのベントを変えながら +- 配置で実験ハッチ内に設置した Si(111) のロッキングカーブの半値全幅を測定することによって行いました。結果は図 2 のとおりで、最適ベントでのエネルギー分解能は約 2.5×10^{-4} と見積もられます (表 2)。

b) 定位置出射調整

縦横集光用の擬似トロイダルミラーの傾きとベント量を調整することで、単色 X 線ビームをサンプル位置 (光

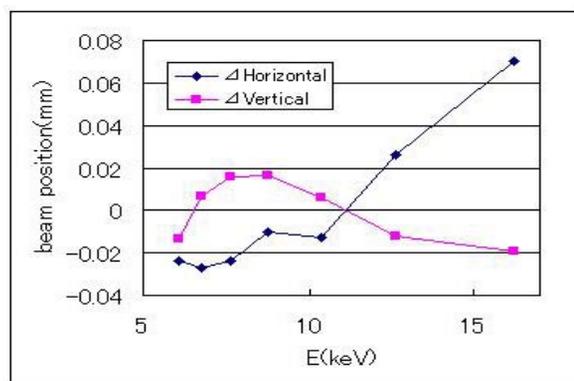


図 3. ビーム位置のエネルギー依存性

源から約 38 m 地点) に集光比約 2 : 1 で集光します。集光点でのビームサイズは半値全幅で水平方向 1.4mm、鉛直方向 0.18mm という結果で、レイトレースの結果とほぼ一致しています (表 2)。ビームの定位置出射は分光器の 4 軸を連動させることで実現されます。調整結果は図 3 のとおりで、よく実験で用いられる X 線のエネルギー範囲 (9 – 13keV) では、ビームの中心位置の変動が水平垂直方向とも 0.04mm 以下です。このため、結晶のサイズにも依りますが、波長変更の際実用上再アライメントの必要がないことが多く、簡便で迅速な MAD 実験が可能となっています。

c) サンプル位置での光子数

PF の岸本博士の協力で、PIN フォトダイオードを用いてのビームの絶対強度測定を行いました。サンプル位置 (集光点) 上流約 1m にある 4 象限スリットで 0.2mm 角に絞ったビームの強度を測定した結果、リングの電流値が 50mA のとき 2×10^{11} photons/s でした (表 2)。PF 既存の偏向電磁石を光源とするタンパク質結晶解析ビームライン (BL-6A、BL-18B) と比較して、二桁以上強い光が得られています。

d) 検出器架台調整

検出器面でのダイレクトビームのポジションは、検出器の稼動範囲（サンプル位置からの距離で 50mm ~ 960mm）で $51\mu\text{m}$ （検出器の位置分解能）以下に抑えられています。全てのデータ処理に固定のダイレクトビームポジションが使えます。

e) サンプル軸およびシャッターの調整

検出器架台上には、微小結晶、微小振動角や短時間露光での回折実験が可能のように、高精度のゴニオメーターおよび高速シャッターが設置されています。納入メーカーの神津精機に協力していただき、ビームラインでサンプル軸の回転精度および送り精度の測定を行いました。回転精度の測定にはタッチセンサープローブを用い、10 度送りで一回転させたときの偏移は $2.3\mu\text{m}$ でした。回転送りの精度はサンプル軸に取り付けたロータリーエンコーダーを用いて測定し、10 度送りでの累積誤差は 0.005 度という結果でした。高速 X 線シャッターはダブルフラップの構造をとり、10 ミリ秒での開閉をコントロールできる仕様です。サンプル回転軸とシャッターの開閉のタイミングは粗調整のレベルですが、シャッターの開閉と振動の開始終了の誤差は 1 ミリ秒以内であることをオシロスコープで確認してあります（極端な短時間露光は上記のシャッターと回転軸のタイミング問題の他に、ダークイメージによる補正の問題もあるため、現在のところ推奨できません）。

f) 検出器と回折データ収集のスピード

高分解能の回折データを迅速に測定するため、210mm 平方の検出面積を持ち、回折イメージ (4096×4096 pixel) の読み出しを約一秒で実行可能な CCD 型 X 線検出器 (ADSC 社製 Quantum 210) が導入されています。イメージの補正や統合などのプロセスの分散化およびギガビットイーサネットによるネットワークにより、読み出し時間を含めた測定のデッドタイムが約 2.5 秒の高速データ収集が可能です。アンジュレタ光での露光はイメージ一枚あたり 5 秒程度済むことが多く、この場合、1 データセットの測定（1 度振動で 180 枚のイメージの収集）に要する時間は 20 分程度です。MAD 実験において蛍光測定と 4 波長分のデータ収集を行っても全所要時間 1-2 時間と、BL-6A や BL-18B と比較して 10 倍前後の高速測定が実現されています。

g) ビームラインコントロールシステムとユーザーインターフェース

ビームラインを構成する機器は、TCP/IP によるネットワーク通信によりコントロールされています。これは、大量の測定を迅速に自動で進めていくシステムの実装のため、従来の PF のビームライン制御形式（一つ一つの機器をそれに直結したコンピュータによって個別に制御する形）を全面的に更新したものです。PF の小菅氏らによって開発されたメッセージ配信サーバ STARS (Simple

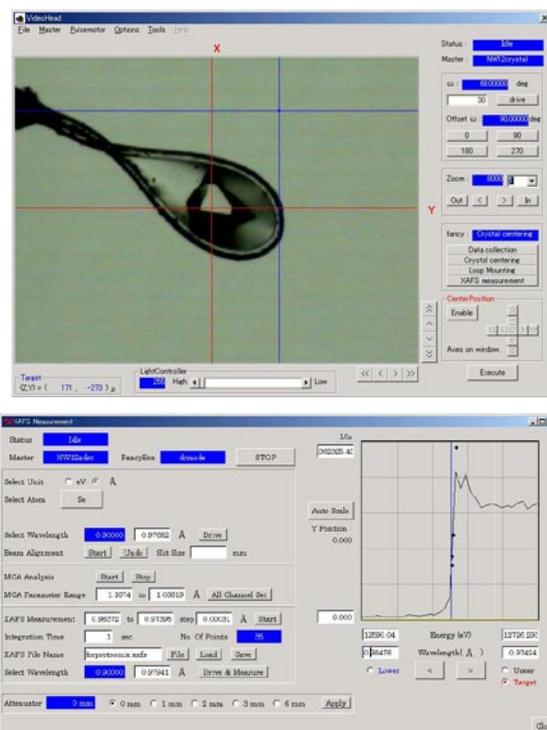


図 4. 結晶センタリング及び XAFS 測定用 GUI

Transmission And Retrieval System) の構成するネットワークに、個々の機器を制御するコンピュータがクライアントとして加わる構造をとります。各クライアントは STARS プロトコルという共通言語により通信を行うため、クライアントの詳細を問わずにシステムを柔軟に拡張していくことができます。例えば、MAD 実験のように「X 線の波長を変えて複数のデータセットを連続で自動測定する」といったことが容易に実装できます。また、結晶のマウント、センタリングや XAFS 測定などの「実験モード」に応じて、ビームストッパー、照明等機器や蛍光検出器の位置が自動変更されます。これはユーザーが機器をわざわざセットしなくてもよいという利便性に加え、今後、結晶マウントロボット等を導入した全自動データ収集に対応していくために必要な仕組みです。センタリングに関しては暫定版として「半自動」（結晶の認識は人間が行う）形式でのユーザーインターフェースが実装されており、マウスのクリック操作のみでセンタリングが可能となっています。XAFS 測定も GUI から簡単に行えるようになっていきます（図 4）。

共同利用状況

5 ~ 6 月のビームタイムの利用状況を図 5 に示します。5 月 16 日から共同利用を開始し、6 月 30 日までユーザー実験に 33 日開放しました。途中ビームラインの真空トラブルなどで 2 日間を失いましたが、予備日を代替ビームタイムに割り当てさせて頂く事で補填できました。33 日のうち 7 日は、S2 課題（タンパク 3000 関係）のビームタイムに配分されました。

公開当初は、不安定なワークステーションやコントローラの不具合、ソフトウェアのバグ等で、ユーザーの皆様は

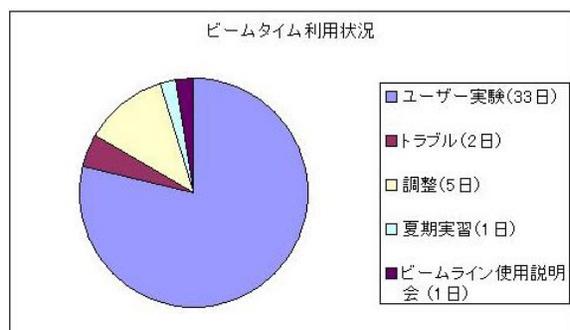


図 5. ビームタイム利用状況

表 3. Data Collection Statistics of 'Protein X' from human brain at PF-AR NW12

| Data set | Native | PCMBSS* derivative |
|--------------------------------|---|---------------------|
| Crystal size (mm) | 0.02 x 0.02 x 0.1 | |
| Space group | P2 ₁ 2 ₁ 2 ₁ | |
| Cell a, b, c (Å) | 44.39, 55.35, 78.76 | 44.46, 55.55, 79.07 |
| No. of residues / ASU | 236 | |
| Temperature (K) | 100 | |
| Rotation angle per image (deg) | 0.5 | |
| Number of images | 360 | |
| Exposure time per image (sec) | 20 | |
| Processing software | DPS / Mosflm | |
| Resolution (Å) | 1.8 (1.9 - 1.8) | |
| Wavelength (Å) | 1.0000 | |
| Unique reflections | 18,263 | 18,478 |
| Multiplicity | 6.5 (4.9) | 5.1 (5.2) |
| Completeness (%) | 98.2 (92.0) | 98.6 (98.5) |
| I / σ(I) | 9.4 (3.8) | 9.4 (2.1) |
| R _{sym} (%) | 5.7 (19.1) | 5.7 (34.2) |

*p-chloromercuri benzene sulphonate

はご迷惑をおかけしましたが、6月の後半にはそれらの不具合はほとんど解決され、安定に稼動できるようになりました。イメージ一枚あたり約33MBの大きさのため、一日のデータの総量が100GBを超えることも珍しくありません。まだ共同利用開始して間もないので構造解析の結果の情報が不足しています。ビームラインに対する要望も含め、フィードバックしていただけると大変助かります。解析例として、昭和大学の田中信忠博士による0.02x0.02x0.1 mm程度の微小結晶のデータ収集を紹介します(表3)。SIRASにより解が得られ、自動モデリングを経て1.8Å分解能での精密化を終えたそうです。

おわりに

夏のシャットダウン中に、アンジュレータの一次光利用の検討を進める予定です。実現すれば7keVより低エネルギーのX線の強度が上がり、Fe等の異常分散を利用した実験等に威力を発揮すると考えています。また、波長変更の際アンジュレータのギャップを連動させる等、ソフトウェアを改善してビームラインの使い勝手を向上させていく

予定です。

ARリングの高度化プロジェクトチームの方々の努力の成果が、NW12の性能に大きな影響を与えています。また、ビームラインの建設にはスタッフや三菱電機サービス等多くの方々に協力していただきました。この場をお借りして、皆様に感謝いたします。

最近の臨床応用の状況について

筑波大学臨床医学系 大塚定徳

筑波大学と物質構造科学研究所の間の共同プロジェクトである「冠状動脈診断を目的とする放射光単色X線を用いた臨床応用」が6月から再開されました。

心臓に血液を灌流させる冠状動脈は動脈硬化が起こりやすく、冠状動脈疾患は欧米では死因の第1位であり、日本でも悪性腫瘍に次ぐ疾患です。動脈硬化は加齢とともに進行するため、人口の高齢化とともに冠状動脈疾患は増加しています。冠状動脈疾患の診断・治療には冠状動脈の形態評価が必要であり、X線透視下にカテーテルという細い管を大腿部や腕の動脈から冠状動脈に挿入し、造影剤を直接注入して造影する検査(選択的冠状動脈造影)が行われています。しかし、この検査には患者の苦痛、医療従事者の多大な労力、高額の医療費を伴うため、もっと安全で簡便な冠状動脈の形態評価法が望まれます。放射光を用いた造影剤の静脈注入による冠状動脈造影は安全で簡便であり、選択的冠状動脈造影に代わる検査法として期待されます。

造影剤(ヨード)のK吸収端の上側のエネルギーの単色X線を放射光から得て撮影を行うと、従来のX線装置に比べ高感度で造影剤を検出できます。そのため、静脈注入し冠状動脈に至るまでにその濃度が希釈された造影剤でも、冠状動脈に流入したところで撮像できるわけです。我々は1996年に臨床応用を開始して以来[1,2]、今年6月まで、延べ43例の患者で実施しました。動物実験やファントム実験などにより、撮影方法の安全性や有効性は充分確認されていたものの、やはり臨床という一歩を踏み出すことは、当初は相当な緊張感の中での検査となりました。現在は、通常のカテーテル検査に比べ格段に安全であること、苦痛の少ない検査と患者から評判であること、また臨床に有用な画像が実際に得られることを確認しています。図1には、最近の臨床応用の結果の一例を示します。右冠状動脈が明瞭に識別できています。臨床応用を続けてくるなかで、いろいろな新しい知見が得られ、撮影方法や撮影システムの改良がなされ、より良い画質の画像を得ることができるようになりました。そのなかで、2001年度の改造による加速器性能向上の貢献は大きく、電子ビームのライフタイムの延長により臨床応用時の入射は基本的に1回となるとともに、臨床応用時には蓄積電流値が40mA程度以上を保持できるため、検査時間の短縮と画像のS/Nの向上がもたらされています。放射光を用いた冠状動脈造影の臨床応用の

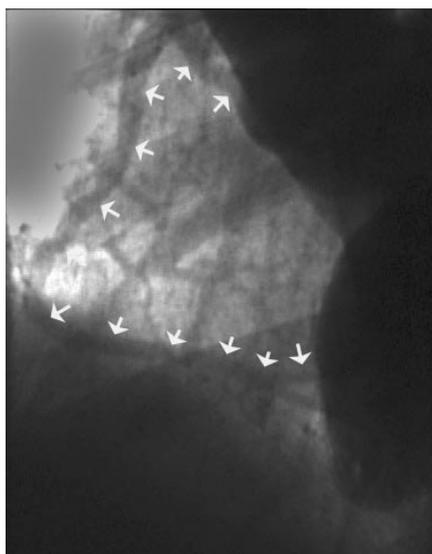


図1.
代表例における右冠状動脈（左前斜位）の経静脈放射光造影像。
右冠状動脈は、起始部からセグメント3の部分まで明瞭に造影されている。

進歩は、PF-AR 放射光ビームラインスタッフ、放射光加速器スタッフのご尽力の賜であり、さらに、KEKB スタッフ、放射光ユーザーの皆様などのご協力に依るものです。

現在、患者からインフォームドコンセントを得て運動負荷や薬物負荷を行い、これによる冠状動脈の変化について検討を進めています。カテーテル検査では危険であるため運動時の冠状動脈造影は困難ですが、我々の撮影システムは造影剤の静脈注入であることから安全であり、二次元動画システムであることから運動時の冠状動脈の変化の診断が可能です。この検査方法により、単に形態学的情報だけでなく、より実用的で臨床的に有用な情報を得ることができると期待されます。また、撮像には Image intensifier とテレビカメラを用いていますが、今後はフラットパネルなどのデジタル撮像系を導入し、さらに画質を向上させたいと考えています。将来的には放射光を用いた冠状動脈造影が日常的に使える検査法となるよう更なる撮影方法の開発を行なっていきたいと考えています。さらには、放射光を用いた微小血管造影やその他の臨床応用に発展することを期待しています。

参考文献

- [1] K. Hyodo, M. Ando, Y. Oku, S. Yamamoto, T. Takeda, Y. Itai, S. Ohtsuka, Y. Sugishita, and J. Tada, *Journal of Synchrotron Radiation*, S5, 1123 (1998).
- [2] S. Ohtsuka, Y. Sugishita, T. Takeda, Y. Itai, K. Hyodo, M. Ando, *British Journal of Radiology*, 72, 24 (1999).