

PHOTON FACTORY NEWS

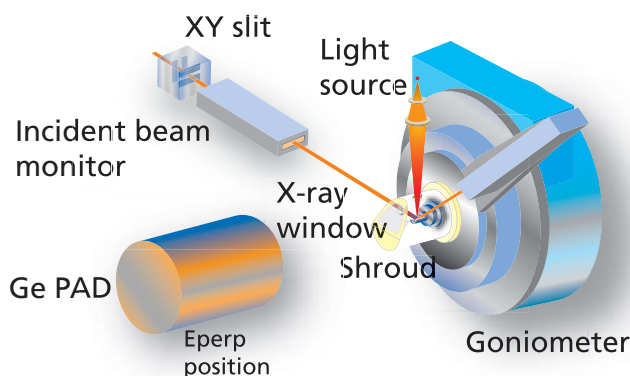
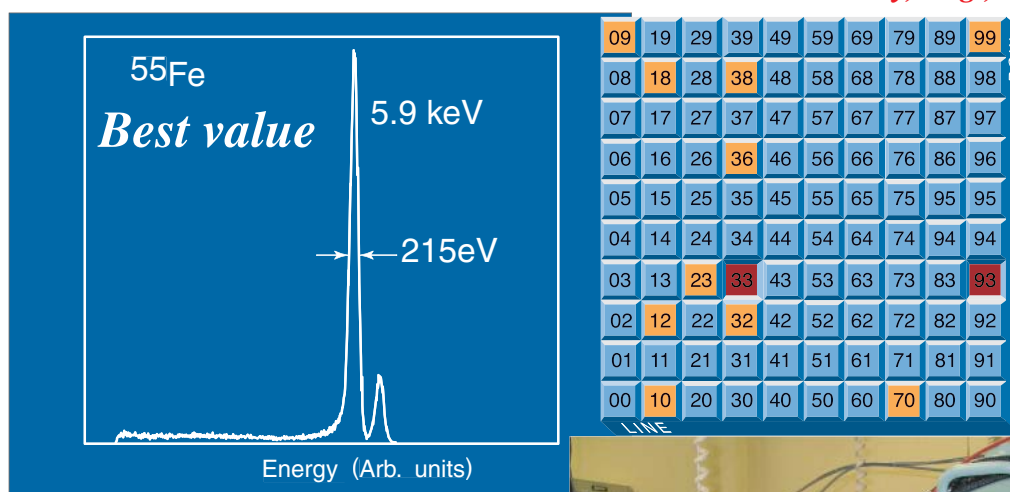
<http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/>

Vol.20 No.3
NOV 2002

- 放射光将来計画の検討状況について
- 下部マントル深部条件下における高温高压X線回折実験
- Ge ピクセルアレイ検出器の開発と XAS への応用
- ヒト由来自己分泌型がん細胞運動刺激因子の活性阻害機構



*Ge pixel array detector #2
Photon Factory, Aug., 2001*



目 次

施設だより	松下 正	1
現 状		
入射器の現状	榎本 收志	2
PF光源研究系の状況	小林 正典	3
物質科学第一・第二研究系の現状	大隅 一政	4
放射光将来計画の検討状況について	飯田 厚夫	6
コラボラトリー～IT時代の研究システム～	澤 博	7
お知らせ		
平成15年度前期フォトン・ファクトリー研究会の募集	松下 正	9
総合研究大学院大学数物科学研究科物質構造科学専攻博士後期課程大学院生募集		9
報文・学位論文登録のお願い		10
ユーザーズ・オフィスからのお願い		10
国際交流施設の建設及び守衛所周りの交通方法についてのお知らせ		10
物質構造科学研究所・構造生物学グループ 博士研究員および技術員募集		11
人事公募		12
予定一覧		12
人事異動・新人紹介		13
運転スケジュール		14
最近の研究から		
下部マントル深部条件下における高温高压X線回折実験 八木 健彦、近藤 忠、宮島 延吉、亀卦川卓美		15
High Pressure and High Temperature in situ X-ray Diffraction Studies Under the Conditions of the Earth's Deep Lower Mantle		
Geピクセルアレイ検出器の開発とXASへの応用.....大柳 宏之		21
Development of Ge Pixel Array Detector and its application to XAS		
ヒト由来自己分泌型がん細胞運動刺激因子の活性阻害機構 田中信忠、羽賀新世、上村洋史、秋山浩子、船坂龍善、永瀬久光、Avraham Raz、中村和郎		26
Inhibition Mechanism of Human Autocrine Motility Factor		
前号「最近の研究から」訂正とお詫び		33
研究会の報告／予定		
第20回PFシンポジウムのお知らせ	小林 克己	34
PF研究会「内殻励起分光学の発展と展望」のお知らせ	小出 常晴、岩住 俊明	34
PF将来計画に関する研究会1 「フェムト秒パルス放射光源の開発と新しいサイエンスの展開」の報告	間瀬 一彦、岩住 俊明	35
「フェムト秒パルス放射光源の開発と新しいサイエンスの展開」に参加して	佐々木 聡、高橋 敏男	36
ユーザーとスタッフの広場		
ELETTRA実験記	渡辺 義夫	38
防災訓練：「ユーザー参加型」で実施	小林 正典	39
防災訓練の報告	小山 篤	39
PF懇談会だより		
X線反射率グループ会合報告	桜井 健次、平野 馨一	41
秋の応用物理学会シンポジウム 「X線中性子線反射率/散乱法による薄膜・多層膜の構造研究の新展開」に参加して	松野 信也	42
構造物性ミーティング報告	澤 博	43
PF懇談会拡大運営委員会のお知らせ	宇佐美徳子	45
PF懇談会アンケートに対するPFからの返答掲載のお知らせ	齋藤 智彦	45
掲示板		
放射光セミナー		45
編集委員会から		46
巻末情報		47

(表紙説明) 「2001年8月よりPFで稼働中のGe100ピクセルアレイ (PAD) 検出器の2号機。エネルギー分解能を示す⁵⁵Fe(5.9 keV)の波高分布スペクトル (左上) とピクセルマップ、5mm角の素子が10x10のアレイ状に配列している (右上)、赤色のピクセルを除くすべてのピクセルが稼働、ピクセルアレイ検出器を装備した蛍光検出X線吸収分光装置 (左下)、ピクセルアレイ検出器の写真 (右下)。」 (最近の研究から「Geピクセルアレイ検出器の開発とXASへの応用」より)

施設だより

物質構造科学研究所副所長 松下 正

前号の施設だよりにおいても触れましたが、文科省傘下の国立大学共同利用研究所も大学と歩調を合わせて、2004年4月から法人化される予定です。高エネルギー加速器研究機構では、機構の基本的枠組み及び大きさは現在のものほとんど変わりませんが、制度の変更に対応するための準備が行われています。物質構造科学研究所およびPFでも、そのための準備作業が進められていますが、組織のありかたなどの議論には必然的に共同利用研究所としての性格および運営の基本方針の問題が付随してきます。

物構研あるいは放射光研究施設は共同利用研究の場と機会を提供するということが大きな任務となっていますが、それと同時に当然ながら研究所内部スタッフの研究成果（放射光、中性子、ミュオンビームの利用研究のみならず、方法論や装置技術の開発も含めて）が求められます。大学院教育への関与ということは少し次元が異なる面もあるので別に考えると、このように共同利用研究所が二つの大きなミッションを持つことについては理解が得られていることと思われませんが、共同利用研究所あるいはそこに働くスタッフの評価の議論の際には、時と場合によってウェイトの置き方が異なる議論が展開されることもあり、共通の基準をもつこと（あるいはそれを広く理解してもらうこと）の難しさを感じることもあります。また、他の大学共同利用機関との比較の議論では、共同利用の規模の違いについて定量的認識が不足していたり、共同研究と共同利用研究

の違いが意識されることなく議論されることもあるように思えます。物構研内部では、法人化後には共同利用支援をきちんと行うべきであるが、現在よりもインハウススタッフの研究成果が問われると思われるのでインハウススタッフの研究活性化も積極的に推進すべき（もちろん、競争的資金などの獲得も前提としたうえで）の議論が行われています。ここで、PFの共同利用の規模等に関して前号のPFニュースの野村主幹の報告にある部分と重複しますが野村主幹が調べたデータをもとに具体的数字を少しあげておきます（Table）。Tableには示してありませんが、PFの共同利用研究者の数は、放射線作業従事者登録をした方々の人数を調べるとこの数年間は2500人前後で推移しており、共同利用研究者の人数と滞在日数をかけた累積数は、年間で33,000～34,000人・日となっています。東大物性研全体の共同利用に関するこの数字がおおよそ10,000人・日／年ということを知ることがあります。Tableの数値から見ると、PFは施設での実験に基づいた発表論文数では、海外の放射光施設と比べても多いほうといえます。実験ステーション数は1.5～3倍、光源およびビームライン・実験ステーションに関与するスタッフ数は極端に少ないということになります（海外の施設のスタッフ数は、事務職員の数を含めたものもあるので、厳密な比較になっていない点がありますが、おおよその目安としてあげてあります）。PFでは70のうち56のステーションを内部スタッフが直接的に維持・管理・共同利用推進業務を担当するもので、1ステーションあたりのビームライン及び放射光利用研究関連のスタッフ数（研究者および技官）は0.85という状況です。理論及び構造生物学研究グループでビームライン業務を担当していないスタッフを除くと、直接ビームライン関連業務に従事しているスタッフは30となり、1ステ

Table 世界の主な放射光施設のステーション数、職員数、報文数等の比較

施設名	職員数 (人)	全ステーション数 (施設が管理する ステーション数)	1999年			2000年		
			報文数	報文数／ス テーション	報文数 ／職員	報文数	報文数／ス テーション	報文数 ／職員
PF/PF-AR	75 (48*)	70 (56)	536	7.7	7.1	431	6.2	5.7
SPring-8(JASRI)	160**	47 (25)	213	4.5	1.3	323	6.8	2.0
UVSOR	14	21 (12)	65	3.1	4.6	73	3.5	5.2
SRS	260	49 (49)	382	7.8	1.5	264	5.4	1.0
ESRF	約 600	43 (31)	487	11.3	0.8	490	11.4	0.8
SSRL	約 260	28	345	12.3	1.3	362	12.9	1.4
APS	405	42 (0) ***	321	7.6	0.8	463	11.0	1.1
ALS	185	38 (16)	342	9.0	1.8	338	8.9	1.8
MAX	47	18				244	13.6	5.2

* 技官を含む物質科学第一、二研究系スタッフ数 **JASRI 全体では 338 人 *** 全て CAT 方式

ステーション数と報文数は主に web 情報であり、web に情報の無いものについては年報等を用いた。年報を用いた場合は報文の出版年ではなく、年報の出版前年の報文として数えてある。

ーションあたり 30/56=0.53 となります。これは海外の施設に比べて数分の1という値です。1ステーションあたりの平均報告論文数をだしてみると海外の施設に比べてやや低い数字になり、1スタッフあたりの（共同利用を含めた）報告論文数は俄然多くなります。私は昨年秋から今年の夏ごろまでに行われた SPring-8 の評価委員会に参加する機会がありましたが、その委員会の報告書では SPring-8 では1ビームラインあたりのスタッフ数が1.5程度で海外の施設に比べて少ないのでビームライン・利用実験支援のための人員強化が重要というコメントがなされています。PFではさらに不足している状況といえます。スタッフ数の問題を制度・文化の異なる海外の組織と比較しても仕方がないという意見もありますが、個々のスタッフの働きによりカバーできる限度を越えた差が存在することは事実と思われる。パーマネントポジションの数を増やすことは容易でないという日本の現状のなかで、マンパワー不足の解決策としては、(1) 技術的あるいは事務的支援業務要員を人材派遣のような形態を利用して増やす、(2) 外部資金の獲得により限られた期限内での研究者の雇用の促進、(3) ユーザーグループによるビームライン運営の参加の促進とその見返りとしての優遇策の実施、などが考えられます。PFでは、これらについてすでに実施しているものもありますが、規模の点では十分といえる状況とは言えません。

現在、PFではビームラインの現状を分析し4つのクラスに分類し、マンパワーと予算をある程度集中して投下する可能性の検討を始めています。SPring-8が稼働し始め、PFのみがX線領域の放射光を供給できる国内唯一の施設であるという状況ではなく、SPring-8を含めれば国内ユーザーにとっての実験機会が増加している現状では、PFのビームライン・実験ステーションの数を現在のようが多い状態を保つ必然性が薄れてきているとも考えられます。もちろん、このような検討はユーザーコミュニティとも十分意見交換しながら慎重に行う必要性はありますが、八方美人でいるわけにもゆかないと考えています。幸い昨年から今年前半にかけて放射光研究施設の外部評価が行われ、評価報告書をいただくことになりましたので、その結果も十分参考にして議論を進めていこうと考えています。

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 榎本収志

概 況

7～9月の入射器運転日程は以下の通りであった。

7月	1日	夏期保守開始
8月	16日	運転再開
8月	21日	ビーム調整開始
9月	2日	KEKB への入射開始
9月	24日	PF への入射開始
9月	26日	AR への入射開始

夏期保守及びその後の入射器立上げ、KEKB、PF、PF-AR 入射運転再開は順調に行われた。この間、KEKB 再開後もない9月10日に陽電子パルスコイルが破損し修復に丸2日を要した。幸いPF、PF-AR 運転開始前であったので、放射光ユーザーにご迷惑をおかけすることは免れた。尚、今期からPF-ARは3GeV入射を実施している。

夏期保守

暑い7、8月の2か月、KEKBが運転を休むことにしたため、今年度の入射器の夏期保守は7月1日～8月15日の1か月半となった。お盆くらいは休みにしたかったが、返上して8月16日運転を開始した。9月2日からのKEKB運転再開に間に合わせるため、ぎりぎりのスケジュールであった。主な保守作業は、クライストロン交換、導波管窓交換、モジュレータ保守、低電力高周波系保守・改善、真空系保守、陽電子集束用パルスコイル交換、電磁石電源点検、電子銃陰極交換・高圧タンク保守、制御計算機システムソフト更新、一部の旧タイミング系更新、モニター点検、安全系の自主点検、運転記録ソフトの整備等であった。

大電力クライストロン

大電力クライストロンの性能は加速管の性能とともに入射器の安定した運転に最も重要なものの一つである。この夏7本のクライストロンを交換したが、その内5本はクライストロン管そのものの故障ではなく、絶縁油漬けにされたパルストランス等が入った、いわゆる「ソケット」と呼ばれる部分の不具合を修理するためであった。管自体が故障した2本のクライストロンの寿命はそれぞれ32,300時間と30,400時間であった。

入射器のクライストロンは、パルス幅4マイクロ秒、最大ピーク電力50MWを出力し、パルス繰返し50Hzで運転される。クライストロンの運転を始めたのは1979年度からであるが、現用のものは第3世代のクライストロンに当たる。第1世代は1979年度から1987年度、又、第2世代は1987年度から1992年度に製造されたクライストロン

である。第1世代と第2世代は2.5 GeV リニアック時代に使用されたもので、2つの世代の主な違いは陰極にあり、第2世代のクライストロンは陰極を酸化陰極からバリウム含浸型陰極に変えることによって信頼性を改善した。第3世代は、KEKB 計画で2.5 GeV リニアックを8 GeV に増強するために開発されたもので1993年度以降製造された。その特徴は、従来のクライストロンとの寸法的な互換性を維持しつつ、ピーク出力を倍化し、さらにパルス繰返しを25 pps から50 pps にして、平均出力を4倍化したことである。陰極にかかる電圧が高くなるため、絶縁耐圧を高め、陰極周りの表面電界が部分的に高くないように形状を改善した。又、大電力に耐えられるように高周波出力窓の材質の改善も行った。

その結果、第1世代では113本のクライストロンを消耗し平均寿命が10,783時間、第2世代では61本のクライストロンを消耗し平均寿命が22,265時間であったのに対して、第3世代では、93-96年度に製造した65本の全クライストロンの平均運転時間が、この10月で既に23,500時間を超えており、目標の30,000時間に近づいている。故障の代表的な原因としては、陰極付近の放電、高周波窓の破損、陰極の寿命等があげられる。第1世代では放電が圧倒的に多数(72/113)であったが、第2世代では飛躍的に減少(4/61)し、第3世代ではまだ1件も発生していない。第2世代と第3世代の故障原因は、今のところ高周波窓の破損が1/3、残りが陰極電流の減少など他の原因で、その傾向は共通しているが、平均寿命は第2世代より第3世代の方が延びているようである。第3世代では、窓の破損対策として、窓の材料の改善の他に真空強化や定在波モニタによって放電による反射波を高速に停止するインターロックの導入を行った。

立ち上げと陽電子パルスコイル水漏れ事故

8月21日からのビーム調整は、入射器とKEKBに今年度新規に採用された3人の新人助手が中心となり大きな力を発揮した。ビーム調整が順調に進み、KEKB 運転開始前の最後のウィークエンドは、KEK (入射器、素核研)、広島大、都立大、フランス・オルセー線形加速器研究所、ロシア・トムスク工科大が共同研究を続けているチャネリング放射光(及びコヒーレント放射)による陽電子生成実験を行った。

KEKB 入射は順調に再開されたが、直後の9月10日17時44分、KEKB 用陽電子発生装置のパルスコイルが破損して冷却水が漏れ出した。このような事故の可能性を考慮して、KEK のパルスコイルはセラミック管を介して大気側に設置してあるため加速管が浸水する最悪の事態には至らなかった。原因は外形6ミリ、厚さ1ミリの銅管に振動による疲労で亀裂が入ったことによるものであった。故障箇所がコイルのちょうど巻き始め部で応急修理が不可能であり、ビームラインを大気曝露してコイルを交換せざるを得なかったため、約2日間陽電子ビームが停止した。パルスコイル関係の故障は、2000年3月(水漏れ)、7月(水

漏れ、放電)、10月(水漏れ)、2001年9-10月(放電)、2002年6月(水漏れ)、9月(水漏れ)と2000年以降6件続いている。このうち、9-10月に3年連続して起こっている故障は、新品のコイルが立ち上げ後2-3週間前後で故障したもので、新しく行ったパルスコイルや配線部分の設計、製造方法の問題と思われる。水漏れはいずれも振動による疲労が原因で、振動の減衰のさせ方に問題があると考えているが、現在調査検討中である。

KEKB

10月2日午前、実験開始以来の積分ルミノシティが94/fb を突破し、PEP-II を初めて追い抜いた。これで、ピークルミノシティと積分ルミノシティの両方でPEP-II を上回るようになった。現在PEP-II は性能改善のため運転を停止しており、数100/fb の次の目標にどちらが早く到達するか、再び熾烈な競争に突入しそうな状況である。

おわりに

昨年の秋から今年の夏にかけて、40代後半から50代半ばにかけて、いわゆる団塊の世代と呼ばれる年齢の、KEK 職員や派遣研究員の方々6名が次々と亡くなられ、大きなショックと深い悲しみを与えた。6月2日には、PF 建設以来20年以上にわたって一緒に仕事をしてきた入射器の阿部勇さん(前技術部次長)が、くも膜下出血で突然亡くなられた。ここで、阿部さんのこれまでの入射器におけるご功績に感謝すると同時に、心からご冥福をお祈りさせていただきます。

PF 光源研究系の状況

放射光源研究系主幹 小林正典

PF リング：夏の保守、直線部増強作業

PF リングは7月1日(月)9時まで運転を行い、夏のシャットダウンに入った。シャットダウン中のリングでは各種の保守作業を行った。直線部改造計画を先行して進めているチャネルグループは、基幹チャネルBL-1、BL-5、BL-15を新型ビームチャネルに更新する設置作業、ベーキング作業を行った。また、チャネルの新型マイクロコントローラーの開発を進めその性能確認を進めてきたが、目処がついたのでBL-5、-9、-10、-11、-12に設置した。真空グループは、BL-15用クロッチアブソーバーの交換、チタンサブリメーションポンプの交換、電離真空計フィラメント交換などの作業をリング各所で行った。高周波グループは、長らく使ってきたクライストロン2本を新しいものに交換しエイジングを行った。また制御用低電圧系のチェック、更新予定の高圧電源納入設置に備えての配線チェック作業も行った。入射グループはキッカーマグネット4台を交換する作業とそれらの調整作業を行った。電磁石・軌道グループは4極電磁石電源の保守作業を行った。制御グル

ープは、ネットワークコンピューターの保守・更新作業、CAMAC～VMEの移行作業を行った。また実験ホールから挿入光源ギャップ変更を行う際の信号ルートの切り替え(所内ネットから制御ネットへ)を行った。これによってギャップ操作が出来ないトラブルが減ると期待される。挿入光源グループは、#28のコントローラー故障修理、ギャップ変更用コンピューターソフトのバグとりとメンテナンス、ソフトの乗せ換えなどを行った。超伝導ウィグラーでは、再液化機の保守交換作業を行った。

挿入光源#19は面とギャップを制御しているコントローラーが故障し、動かなくなっていることが見つかった。東京大学物性研とメーカー双方の担当者によって修復作業が行われ、一部機器の入れ替えを行って立ち上げ直前に修理が完了した。これまでと同様の動作が行えることとなった。

直線部増強計画の中で4-5直線部にテスト用挿入光源の設置を考えていた。またその上下流前後にはマシンスタディ用セラミックダクトの新設が進められてきたが、この夏これらの作業は順調には進まず、暮れから正月にかけての休止期間中に行うことにした。

PF リング：秋の立ち上げ準備と運転状況

立ち上げ準備では、光源リングと入射器との信号のやりとりにおいていくつか問題点があることが今夏初めて顕わになった。PF創立当時に勤務していた(当時の)PFリニアック制御担当者と光源系の制御・電磁石の担当者はこの20年間に転出したりすでに退職したりしている。PFリングへの入射システムとしてはfail-safeとなっているので、安全上の問題はないが、当時双方で検討され設定されていた基本的な事項について確認して運転に入った。思想を引き継いでいくことの難しさを感じている。いずれ信号系を最新の方式に入れ替える方向で検討を進めたい。

数々の保守点検・更新を行ったPFリングでは9月24日(火)朝から立ち上げを開始した。入射タイミングが入射器から送られてこないということもあったが、入射用パルス信号の確認作業を行った。キッカー電磁石4台のタイミング調整を行い、最適値を探るマシンスタディを続けた。入射時の放射線サーベイもいつものように行い、スクレーパーなどリング各機器の条件も確認できた。真空を破ったリングと新しい基幹チャンネルの真空改善のために光焼き出しを続けた。更新した基幹チャンネル3本は順調に立ち上がった。また9月27日には実験フロアでビームラインの光焼き出しが行われた。9月28日には予備光軸確認と光モニターの調整続いて挿入光源の調整を済ませた。

交換したクライストロンも順調に立ち上がったかには見えたが、9月29日未明に真空リークが起こり交換を余儀なくされるという予期せぬことが起こった。交換作業を9月30日朝から約1シフトかけて行った。この時間内にはクライストロンのエイジングを済ませることは出来ないで、高周波空洞3台でリングを立ち上げて運転を行い、ウィグラーなどの調整に時間を当てた。10月1日朝から運転を一時的に止めて交換したクライストロンのエイジング

を行い、17時にはクライストロン4台による運転という正常状態に戻すことが出来た。翌10月2日8時まではボータス運転とした。10月2日9時から恒例の光軸確認を行い、秋のユーザー運転に入った。現在の運転状態は、夏前と同様である。入射は1日1回、毎朝9時に450mA入射し、ビーム電流×寿命の値は約1200Aminとなり、夏の作業で真空を破った後遺症もなく順調な運転となっている。

PF-AR リング：運転開始状況

9月26日PF-ARリング東側トンネル内にある高周波加速空洞にパワーを送っているクライストロン(東電源棟内)のアーケセンサーが働く不調が起こったため、9時からの立ち上げを延期した。このクライストロンは9月中旬に交換した物である。導波管を分解して原因調査を進め、原因と思われる物を取り除き電極の一部を磨くなりして復旧させた。16時から入射開始となった。28日には3.0GeV入射をテストした。2.5GeV入射では加速中にビーム不安定が起こり6.5GeVへの加速中にビームを失うことが前期にあり、この不安定を乗り越えるための新しい試みであった。3.0GeV入射は上手くいき夜間は50mAで真空焼き出しを行うことが出来た。9月30日にはNE-3の設置位置確認のために光導入が、また全く新しいNW-12では建設後初めての光導入が進められた。NW-12では順調にことが進み、10月7日(月)にはビームライン光焼き出しを行った。一方、NE-3については再度リング内で設置位置を調査し対策をとることにした。NW-2では少し光軸がずれていることがわかり軌道を少しだけ変更した。

秋の運転ではビーム急落の回数も少なくなり、入射が一日三回程度というようにビーム寿命が長くなった。補正予算によるPF-AR高度化改造計画でのビーム寿命改善は当初目標を達成したと云える。削減された補正予算では手を入れることができなかった高周波加速系の強化・更新が次の目標である。

この秋の臨床応用を10月24日、11月7日、11月26日、12月5日、12月19日に行うことにした。医学利用の5.0GeV運転の調整を10月14日に行った。

物質科学第一・第二研究系の現状

物質科学第二研究系主幹 大隅一政

運転・共同利用実験

平成14年度第2期(平成14年9～12月)の運転は2.5GeVリングについては9月19日にインターロック総合試験を行った後、24日からリングを立ち上げて10月2日の光軸確認を経てユーザーランに入りました。PF-ARにおいては9月26日にリングを立ち上げて10月1日のボータスタイムから利用実験に入っています。2.5GeVリングは概ね順調に運転を再開しておりますが、PF-ARのNE-3

では放射光の取り出しに問題が生じたための対応が必要でユーザーの開始が約1ヶ月程度遅れる状況です。

夏期のシャットダウン中にリング内では光源研究系のスタッフによって各種装置の交換・立ち上げ等が行なわれました。物質科学第一、第二研究系では2.5 GeV リングにおいてBL-5の測定が行われました。ここには構造生物学グループが振興調整費を獲得して来年秋の光導入を目指してタンパク質結晶の構造解析を行うための挿入光源を備えたビームラインが建設されます。また、BL-1Aには科研費の学術創成研究「新しい研究ネットワークによる電子相関係の研究」(東北大金研、物構研、東大物性研、分子研、京大化研)、及び物構研と産総研強相関電子技術研究センターとの共同研究により開始された構造物性研究のためのビームラインと測定機器がほぼ整備されました。このビームラインではコラボトリーと呼ばれる実験装置の遠隔操作を可能にして放射光研究施設に行かずとも遠隔地から測定装置等を制御することができるようになっています。10月23日には報道機関にもこのシステムがお披露目されました(p8の後出記事参照)。

PF-ARにおいては新設の北西実験棟のNW-12にはタンパク質結晶構造解析用のビームラインの設置工事が終了し、現在は低電流値モードによる運転から徐々に電流値を上げて光導入試験を行っていますが概ね順調に推移しています。

将来計画

2.5GeVのPFリングは今年3月で20周年を迎え、この春のPFシンポジウムにおいても将来計画が採り上げられてユーザーと内部スタッフが種々の議論を交わしました。放射光の将来計画の策定に向けての現在の活動は物構研の運営協議員会の下に設けられたWG(谷口雅樹(広大)、村上洋一(東北大)、太田俊明(東大)、雨宮慶幸(東大)、下村(原研)、小杉(分子研)、松下正(責任者)、神谷幸秀(加速器)、野村昌治、大隅一政、小林正典、河田洋、若槻壮市)が定期的な会合を持ちながら進めています。このWGのサブグループとして加速器関係は放射光源系に加えて機構の加速器研究施設の協力を得ながら、ERLを基本とした光源計画(責任者:神谷加速器施設長)が検討されています。また利用研究については同様にサブグループとして物質科学第一、第二研究系が主体(責任者:飯田教授)となってERLから得られる光の特徴を最大限活かす研究課題を中心として検討されています。光の特徴は(1)短パルス(2)高輝度(0.01nmrad)及び(3)コヒーレント放射光であり、研究テーマとしては(1)ホログラフィ等の位相、コヒーレンスを利用する研究(2)マイクロビームからナノビームへ(10nmφの集光ビームを利用する研究)(3)構造生物では単分子高分解能構造解析、及び(4)短パルス特性を生かした時分割測定(光誘起相転移、磁性)等が挙げられています。加速器・利用研究ともに当面の目標はデザインレポートをまとめあげることにあります。この将来計画の推進と関連してこの秋から既に

3件のPF研究会が開催されております。

建屋を含めてリング及びビームライン等の建設費用の概算も見積もられ、今後はこの数字を横目で見ながらの検討が継続されます。

人の動き

研究機関研究員として小出常晴助教授の下でフッ化物磁性体等の研究を行ってきた真中浩貴氏が平成14年11月1日より鹿児島大学工学研究科ナノ構造先端材料工学専攻の助手として転出することになりました。昨年4月1日にCOE研究員(当時)として着任以来、BL-28Aの測定システムをLabViewから制御するようにアップグレードし、それに伴ってヘリカルアンジュレタのギャップ値と分光器を同時に駆動しながらの測定が可能となりました。このようなシステム改良の結果、変更以前よりもS/N比が一桁以上も向上したばかりでなく、円偏光度のエネルギー依存性の問題も同時に解決することになりました。また研究の面では、BL-11Aにおいてフッ化物磁性体の内殻吸収磁気円二色性や線二色性の測定を行い、軌道秩序の存在を示唆する結果を得ております。

赴任先の専攻は今年度4月に設置されたばかりであり研究室の立ち上げから始めることとなりますが“ナノストラクチャー”をキーワードとして新しい研究の展開が期待されております。将来的には放射光を用いた研究も継続して放射光科学に貢献して頂きたいと思っております。

次に7月31日に締め切られた放射光関係の人事公募2件の結果について報告します。

公募番号01-10は真空紫外・軟X線の放射光による固体或いは固体表面の研究において中心的役割を担える教授或いは助教授を求めるものでしたが、委員推薦を含めて8名の方から応募がありました。人事委員会と運営協議員会の結論として東大院工助手の小野寛太氏が助教授として採用されることが決定しました。氏は尾嶋教授とともにS1課題として採択された「量子ナノ構造形成過程・新物性解析の研究」の下にBL-1Cに偏向電磁石光源としては世界最高レベルのエネルギー分解能・光子フラックスを有するビームラインを建設し、ナノ構造の高分解能角度分解光電子分光を可能とする実験装置2台を開発してきました。これらを用いて磁性体ナノ構造の電子状態等の研究を行ってきました。

公募番号01-11はX線を用いる物質科学研究を行い、且つ装置技術・方法論の開発で中心的な役割を担える助教授を求めたもので、現在進捗中の直線部増強等のリング改造に対応したビームラインの更新、更には将来計画の推進を担える方を公募したものです。7名の方々からの応募がありましたが、物構研助手の岩住俊明氏の助教授昇任が決まりました。氏は放射光実験施設(当時)に着任以来、PF-ARでのビームライン建設に協力した後、BL-28Bの設計・建設を行ない、ここ数年はX線の発光分光法による実験研究を活発に進めており、物性理論の専門家とも協力して強相関系物質の電子状態の研究に取り組んでいます。何

れの方も、これまでとは職場或いは立場が変わることになります。夫々の職務に励むと共に御自身の研究も大いに発展させることと期待しています。

その他

初代の放射光実験施設長を勤められた高良和武先生が今年5月に「未知への旅」(㈱ステップ)と題する書物を出版されました。この本は先生の自伝といったものですが、この中に放射光実験施設建設計画が含まれています。主に我々の1~2代前の先生方の思いが結実した計画でしたが、我々世代はその下でお手伝いさせて頂きましたので思い出深いものがありました。将来計画の策定が重要な課題である現在に、その当時の熱い思いに触れることも必要ではないかと興味深く読ませて頂きました。

放射光将来計画の検討状況について

物質科学第二研究系 飯田厚夫

放射光将来計画については運協将来計画検討委員会およびその下に加速器作業グループおよび利用研究作業グループが作られ、継続的に検討を行っています(Photon Factory News, Vol.20, No.2, p.1「施設便り」松下正、*ibid* p.7「PFの将来計画について」野村昌治)。検討状況の一端を紹介するために、運協将来計画検討委員会の議事抄録を以下に掲載いたします。同委員会議事録などを基にしておりますが、スペースの関係で大幅に短縮しておりますので正式な議事録とは異なるものであることにご留意ください。

第1回運協将来計画検討WG議事抄録

日時：平成14年7月11日(木) 13:30~16:00

議事：

- 1) 所長より本委員会の開催目的について以下の説明が行われた。2004年の機構法人化に向け、施設等の中期計画案を今年中に策定する必要がある。この時期に放射光次期計画が含まれることが予想されることから、第一期ハドロン計画の終了時(2007年3月)からの建設開始を念頭においた第三世代を凌駕する計画を準備して欲しい。また、つくばキャンパス将来構想検討会(機構運協の下のWG)での議論と同期した作業が必要である。
- 2) 本委員会の委員長に松下副所長を選出した。
- 3) 委員長から、これまでの将来計画検討の経緯が紹介された。
- 4) 野村委員から放射光計画の概要が紹介された。第一期計画はERL+蓄積リングとし、第二期計画として蓄積リングのERL化を計画している。
- 5) 加速器研究施設と放射光研究施設は、2003年度概算要求にERL(100~300 MeV)を盛り込んだことが神谷及び小林両委員より報告された。

- 6) 将来計画策定のための以下の実施体制が委員長から提案された。

本委員会(責任者:松下)の下に加速器作業G(神谷)及び利用研究G(飯田)を設ける。前者の下に榎本、横谷、諏訪田、齋藤、古谷、大沢、栗木、平松、研究機関研究員1名、(以上加速器)、山本、坂中、小林(幸)、原田、梅森、大見、(以上光源)が参加する。また後者の下には、装置技術(野村)及び利用研究(X:河田、VUV-SX:柳下)のサブグループを設け、装置技術SGには平野、岸本、利用SGには岩住、鈴木、間瀬が参加するよう提案があった。また、利用研究WGは他の所内スタッフ、外部ユーザー、及びレーザー等新分野からの参加も今後期待することとした。

- 7) 神谷委員から、将来的にはリニアコライダーからの放射光利用も視野に入れるべきとの意見があった。
- 8) 所長より2007年建設開始(予定)までに必要な技術開発課題をスケジュール化する必要性が述べられた。
- 9) 本計画を全日本の計画として遂行するプロセスについて議論があった。また計画の規模について議論があった。
- 10) ERLの実現化には利用研究の開拓が不可欠であり、今後の重要課題とされた。
- 11) 本委員会の役割について議論があり、実働は各WGが担当することとし、本委員会はそれらの評価を行ない、また助言を行うこととした。本委員会を概ね1カ月毎に開催することとし、次回までに建屋を含めた予算の見積、ERL開発の現状、利用研究のテーマなどについての宿題が出された。
- 12) VUV-SX計画との整合性についても種々議論があった。
- 13) 本委員会の広報に関しては今後も引き続き検討することとした。

第2回運協将来計画検討WG議事抄録

日時：平成14年9月3日(火) 15:00~17:30

議事

- 1) オブザーバーとして、横谷、春日、飯田、柳下各氏の出席が了承された。
- 2) 放射光学会将来計画検討委員会についての報告が太田委員より行われた。
日本学術会議第4部会における放射光関連特別委員会発足の動きについて松下委員長より報告があった。
- 3) 神谷委員より、前回委員会で指摘された検討事項に対する報告が行われた。
 - a) 加速器施設主催のERL検討会が行われている
 - b) ERLに関する各国のプロジェクトが紹介された。
 - c) 放射光施設提案のERL計画案(リング+4 pass ERL)の問題点が指摘された。また必要とされる予

算を見積もった。

d) 平成 15 年度概算要求では、ERL 原理実証器を作製し、300MeV、100mA で実用に供する計画になっている。

e) 加速器作業グループに対する質疑応答が行われた。GeV 級の ERL 実現の可能性については、まだどこも実現していないので、技術的な見通しが見つからない点もある。

開発における KEK の優位な点は、超伝導と周辺技術である。

- 4) 利用研究グループの検討課題に関して松下委員長より報告があった。

ERL の特徴 (①短パルス、②高輝度 (0.01nmrad)、③コヒーレント放射光) を活かす研究を中心とする。対応する Scientific Case として、

① ホログラフィ等の位相、コヒーレンスを利用する研究

② ナノビーム解析。(材料、光電子顕微鏡)

③ 構造生物応用 (単分子高分解能構造解析)

④ 短パルス特性を生かした、時分割測定 (光誘起相転移、磁性)

計画を実施するために開発・検討すべき技術的課題として、

① ERL 用 X 線光学素子の検討

② X 線検出器の検討

③ 研究環境 (建屋、実験準備など)

- 5) 次回委員会までの検討課題として以下の点が指摘された。

Single pass 型の ERL 光源を検討する。また利用研究の立場からは、必要とされるビームの性質に関して検討を行う。

第 3 回運協将来計画検討 WG 議事抄録

日時：平成 14 年 10 月 17 日 (木) 13:00 ~ 15:00

議事

- 1) オブザーバーとして、PF 懇談会将来計画利用専門委員会委員長高橋氏 (物性研) の出席が了承された。

- 2) 神谷委員より、Single pass 型の ERL 光源の検討結果について報告が行われた。予算の見積りも行われた。主要パラメータは以下の通り

エネルギー：2.5 ~ 5 GeV、周長：1253 m、
ビーム電流：100mA、エミッタンス：0.01nmrad、
バンチ長：1ps ~ 100fs、RF freq.：1.3GHz

ID ビームライン：Long (200 m) 1 本、
middle(30m) 4 本、short(5m) 12 本

- 3) 松下委員長より、利用研究において必要とされるビームの性質に関する検討結果について報告が行われた。

単分子構造解析においては、必要とされるデータの 1 日で収集するために必要とされる光源の輝度は、 3×10^{22} ph/s/mm²/mrad²/0.1% 程度である。

光誘起相転移の素過程、前駆現象を観察するためには sub ps の短パルスが必要となる。

fs レーザーとの Pump-probe 実験では、sub ps の短パルスとともに、10kHz、1 nC/pulse 程度の運転モードが必要となることが示された。

- 4) 今後のデザインレポートの取りまとめ方についての議論が行われた。

次回の委員会までに、それぞれのグループでレポートの概要および執筆者についてまとめることとした。

コラボラトリー ～ IT 時代の研究システム～

物質科学第二研究系 澤 博

構造物性グループは、物理と化学の二つの分野の研究をこれまで以上に有機的に進める新しい試みとして、5つの研究機関と KEK を結ぶコラボラトリーというシステムを PF BL-1A を中心に据えて立ち上げた。

このシステムは、物質科学の研究開発を進める日本全国に散らばる 5つの国立の共同利用機関をネットワークで結び、互いに遠隔地から研究実験や研究開発をできるような関係を作り上げることを目的としている。10月23日に岡崎にある岡崎国立共同研究機構の分子科学研究所と、PFの実験現場とを結んで、岡崎の研究者が遠隔操作でつくばの実験装置を動かす試みを行って、関係者への紹介を行なった。

このシステムの特徴は、遠隔地のパソコン操作で PF の回折装置を動かし、PF の実験そのものの制御や画像処理まで行えることである。こうした作業は TV 会議システムを用いた対話と、実験ハッチ内の WEB カメラの映像などを参照しながら行なうことが出来る。

今回の二つの研究所を結んだ実験は、画像データなどの大量の情報量を迅速に交換しそれを処理するネットワークと、殆ど自動化出来るように設計された回折計システムが使えるようになったことで可能になった。この回折計は二次元のイメージングプレートをディテクターとした、汎用型の X 線回折実験を行なうことができ、冷凍機、電気炉、高圧発生のためのダイヤモンドアンビルセルなどを組み合わせた多重極限条件下での回折実験を行なうことができる。

IT 時代の研究システムとして、今後参加している 5つの研究機関で緊密な共同研究体制が生まれる最初の一步となったこのコラボラトリーは、共同研究をより緊密に進める 21 世紀の新しい研究体制と位置付けられる。これによって、KEK の放射光施設のような特徴ある大型の研究施設を、遠隔にある研究所の研究者がそこから参加し、リアルタイムで意見を交換しながら実験研究を行うことが可能となった。21 世紀の新しい科学技術創生に不可欠な学際

的共同研究や大型施設を持つ研究所を核にした、多くの研究所からの科学者が参加する大型プロジェクトを効率よく進める研究体制として、大きな期待が集まっている。

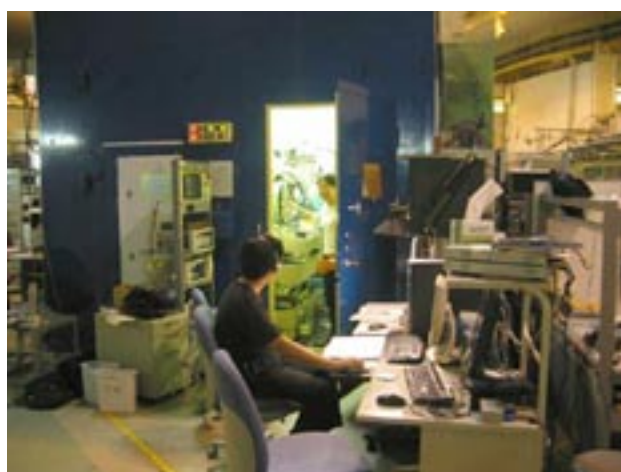
コラボラトリー計画に参加しているのは、東北大学金属材料研究所、東京大学物性研究所、岡崎国立共同研究機構・分子科学研究所、京都大学化学研究所、それに高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所の5つの機関。この研究開発は科学研究費補助金（学術創成研究費）で平成13年から5年間行われる。



岡崎の分子科学研究所での操作風景



KEK の放射光実験施設



回折計を使った KEK の実験現場



例えば、左上の枠は機構外からのTV会議による接続で、右下の画面はこの機構外からの制御を行なう画面。このようにTV会議とリモート制御で遠隔地からの研究が可能となった。

お知らせ

総合研究大学院大学数物科学研究科
物質構造科学専攻博士後期課程
大学院生募集

平成 15 年度前期
フォトン・ファクトリー研究会の募集

物質構造科学研究所副所長 松下 正

物質構造科学研究所放射光研究施設（フォトン・ファクトリー）では放射光科学の研究推進のため、研究会の提案を全国の研究者から公募しています。この研究会は放射光科学及びその関連分野の研究の中から、重要な特定のテーマについて1～2日間、高エネルギー加速器研究機構のキャンパスで集中的に討議するものであります。年間6件程度の研究会の開催を予定しております。

つきましては研究会を下記のとおり募集致しますのでご応募下さいませようお願いします。

記

1. 開催期間 平成 15 年 4 月～平成 15 年 9 月
2. 応募締切日 平成 14 年 12 月 20 日（金）
〔年 2 回（前期と後期）募集しています〕
3. 応募書類記載事項（A 4 判、様式任意）
 - (1) 研究会題名（英文訳を添える）
 - (2) 提案内容（400 字程度の説明）
 - (3) 提案代表者氏名、所属及び職名（所内、所外を問わない）
 - (4) 世話人氏名（所内の者に限る）
 - (5) 開催を希望する時期
 - (6) 参加予定者数及び参加が予定されている主な研究者の氏名、所属及び職名
4. 応募書類送付先
〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所事務室
TEL (0298) 64-5635

* 封筒の表に「フォトン・ファクトリー研究会応募」と朱書のこと。

なお、旅費、宿泊費等については実施前に詳細な打ち合わせのうえ、支給が可能な範囲で準備します（1 件当り上限 50 万円程度）。

また、研究会の報告書を KEK Proceedings として出版していただきます。

総合研究大学院大学(総研大)は、「大学共同利用機関」(文部科学省所管)の高度な研究環境を活用した、わが国初の大学院大学です。また学部を持たない大学院だけの大学で、独創的・国際的な学術研究の推進や先導的学問分野の開拓に対応する研究者の養成を目的としています。

物質構造科学専攻は数物研究科に属し、基盤共同利用研究機関としては、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所が対応しています。

物質構造科学専攻では、大型加速器を利用して発生することのできる放射光・中性子・中間子の3つのユニークなビームプローブを用いた先端的物質構造科学研究において、その将来を担い、その発展に貢献する有為の人材の養成を目的としています。物質構造科学研究所は、物質の構造および構造と機能の関係について研究し、独創的・学際的な新たな研究分野を開拓してきています。物質構造科学の研究領域は、物理・化学・生物・医学・材料工学など、極めて広範囲にわたり、先端的学際領域研究の中心となっています。その研究対象は巨大生体高分子の構造決定による生体機能の解明、各種プローブを用いた新規物質の物性の解明、化学反応過程の研究、原子分子の励起過程の解明、更には、放射線生物効果や化学分析、医学診断への応用も行われています。

入学を検討されている方、あるいは関心のある方は是非下記募集概要をご参照下さい。

なお、教官の研究内容、教育研究指導内容(授業科目)等詳細につきましては「学生募集要項」、またはPFホームページ(<http://pfwww.kek.jp/indexj.html>)の「総合研究大学院大学・物質構造科学専攻のご案内」に掲載しています。

募集概要

平成 15 年 4 月入学関係(第 2 回試験)

募集人員(第 1 回試験と第 2 回試験の合計募集人員)

加速器科学専攻: 6 名

物質構造科学専攻: 3 名

素粒子原子核専攻: 6 名

願書受付

期間:平成 14 年 12 月 9 日(月)～12 月 13 日(金)

(郵送による場合は 12 月 12 日(木)必着)

時間:午前 9 時～午後 5 時

場所:総合研究大学院大学 事務局学務課

〒 240-0193 神奈川県三浦郡葉山町

(湘南国際村)

試験日 平成 15 年 1 月 27 日(月)～1 月 31 日(金)

までの指定された 1 日

合格発表 平成 15 年 2 月下旬

学生募集要項請求先

〒 240-0193 神奈川県三浦郡葉山町（湘南国際村）
総合研究大学院大学 学務課学生厚生係
TEL: 0468-58-1525 又は 1526

〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
高エネルギー加速器研究機構
研究協力課共同利用第三係
TEL: 0298-64-5128
Email: kyodo3@mail.kek.jp

報文・学位論文登録のお願い

PF を利用した研究の成果として報文が出版された場合はご報告を頂き、別刷りをお送り頂くことをお願いしておりますが、前号にも記しました様にここ 2 年ほどの登録報文数が少なくなっています。また、報文数が極端に少ないビームラインも散見されます。これが実情であるならば、今後の PF、ビームライン運営等についても見直しが必要となります。

最近数年の課題の成果として出版された報文がデータベースに登録されているか確認頂き、登録漏れがある場合は下記 web site の指示に従い、データを入力し、別刷りをお送り下さい。検索の際は "SELECT DB" で "DB & PRE DB" を選択してください。(http://pfwww.kek.jp/users_info/users_guide/pubdb.html)

また、学位論文（修士論文、博士論文）につきましても、学位論文出版票を提出頂くようお願いいたします。

共同利用研究所を利用した成果として報文が出版された時に届けることは実験者の責務とお考え下さい。

ユーザーズ・オフィスからのお願い

ユーザーズ・オフィスでは共同利用実験などで来所する皆さまからの宿舎の予約作業を行なっています。本機構には定員 243 人という共同利用宿舎がありますが、ユーザー数が多い放射光研究施設が運転している時には宿舎が満室になり、少なからぬユーザーに「満室のため部屋を確保できませんでした」という連絡を差し上げております。

そこでユーザーの方にはお願いですが、実験の都合などで宿舎を使わなくなった場合には、当日でも結構ですので、ユーザーズ・オフィスにキャンセルの連絡を下さるようお願いいたします。

また、出張予定を変更、中止する時には必ずユーザーズ・オフィス (users.office2@mail.kek.jp) へ E メールにてご連絡下さい。

なお、宿舎利用料金を支払ってしまった場合にはキャンセル及び宿泊費の払い戻しは出来ません。

宿舎の有効利用にご協力をお願いします。

国際交流施設の建設及び守衛所周りの交通方法についてのお知らせ

国際交流施設の建設にあたり、食堂及び職員会館の入口が一部使用できなくなりました。歩行者通路は仮設歩道を整備することによって確保しますが、平成 14 年 9 月 9 日より平成 15 年 2 月 28 日までは下記施設へのアクセス経路が変更になります。

● 食堂の入口変更

西玄関（現在券売機がある入口）は利用不可。東側入口のみ利用可。

● ATM への通路変更

食堂東側入口横の通路より利用可。

● 交通規制

◇守衛所側から宿泊施設方面への車両通行止め（歩行者通行可）

食堂等の利用の際は、極力自動車の利用を控えて下さるようお願い致します。

工事進行に伴い、皆様には何かとご不便をおかけしますが、ご理解、ご協力の程よろしくお願い致します。

詳細は順次 PF ホームページ (http://pfwww.kek.jp/indexj.html) に掲載されますのでご確認ください。

問い合わせ先：施設部建築課工営第一係

TEL: 0298-64-5176

詳細図



詳細図は PF ホームページ (http://pfwww.kek.jp/whats_new/map020829.gif) にも掲載されています。

物質構造科学研究所・構造生物学グループ 博士研究員および技術員募集

【研究室紹介】当グループは若槻教授をヘッドとして2000年春に発足した研究室で、助教授1名、助手5名の研究スタッフの他、ポスドク4名、研究支援者9名、博士課程大学院生3名が現在のメンバーで、ほとんどが30才代以下である。本グループは放射光X線結晶構造解析ビームラインの建設、運営、共同利用ユーザーのサポート、ロボティクスを用いた構造解析高度化のための新規技術開発を鋭意進めると共に、細胞内輸送と糖鎖修飾の分子機構を明らかにするため、それらに関わる蛋白質の構造プロテオミクス研究に取り組んでいる。その成果の一部、糖タンパク質輸送に関わるタンパク質の解析結果は既に有力誌に発表されている (Nature 415, 937-941, 2002, Nature Structural Biology, 9, 527-531, 2002)。

【業務内容】

① 博士研究員、上級テクニシャン

当グループの研究テーマに沿って、自立的に研究を行うことを期待する。具体的には(1)組換えDNA技術による蛋白質の大量発現系の構築、(2)その蛋白質精製法の確立と精製蛋白質の生化学的性質の研究、(3)結晶化と放射光ビームラインを用いたX線結晶構造解析、(4)構造情報に基づいた生化学的・細胞生物学的解析、などを行い、最終的には生命の分子機構の解明や、構造に基づいた創薬や新しい医療法の開発を目指す。

② 研究補助員

上記①の研究について主に蛋白質の発現系の構築・精製・結晶化の業務を行う。

③ 上級テクニシャン、研究補助員

蛋白質構造解析の補助(回折実験、構造解析等)として、(1)放射光実験施設での回折データ収集、(2)回折データの処理及び評価、(3)構造解析を行い、業務の補助を行う。

④ 博士研究員、上級テクニシャン

結晶構造解析(位相決定法)に関するアルゴリズム・方法論の開発を行う。

⑤ メカニカルエンジニア (ME)

- ・構造生物学グループの中のロボティクスチームに加わり、蛋白質結晶構造解析システムの開発を行う。
- ・主にロボットの制御、画像処理等

システムエンジニア (SE)

- ・実験装置・ロボットの制御ソフトウェア、GUIの開発
- ・ネットワークを利用した実験システムの開発
- ・用いるプログラミング言語はC, C++, Perl等

【応募資格】 ①③④⑤に共通。大卒以上。蛋白質構造解析の知識があることが望ましいが、経験がなくても蛋白質の構造解析に情熱を注げる方であれば可。物理の素養はある方が良い。博士研究員については、学位を取得しているか、取得見込みのこと。

②蛋白質精製の経験者を強く求めています。熱意と経験のある方は、高卒、専門卒でも可。

⑤ME。上記共通事項のほか、ロボットコンテスト等に出場したり、研究で実際にロボットを製作したことのある方を希望。工作機械運転、電子回路製作の経験があればなお良い。

⑤SE。上記共通事項のほか、Windows, Linux(UNIX)の両方もしくは一方のプログラミングに精通している方を希望。TCP/IPを用いたプログラミングの経験があればなお良い。

【募集人員】 それぞれ若干名

【提出書類】 履歴書、業務経歴書。博士研究員の場合は主要論文の別刷りと今までの研究概要。可能であれば指導教官の推薦書。

【着任時期】 決定次第

【書類提出・送付先】

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・構造生物学グループ・若槻壮市

Tel:0298-79-6178, Fax:0298-79-6179, http://pfweis.kek.jp/index_ja.html

【連絡先】 若槻教授室、秘書、永田直美 TEL：0298-79-6178 Email：naomi@post.kek.jp

業務に関する問い合わせ先：

①②加藤龍一 TEL：0298-79-6177 Email：ryuichi.kato@kek.jp

③鈴木守 TEL：0298-64-5649 Email：suzuki@pfweis.kek.jp

④松垣直宏 TEL：0298-64-5647 Email：mtgk@pfweis.kek.jp

⑤平木雅彦 TEL：0298-64-5642 Email：masahiko.hiraki@kek.jp

【付記】 本応募による博士研究員は、放射光ビームラインの維持等に関わる業務にはタッチしません。詳しくは直接お問い合わせ下さい。

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 非常勤研究員公募

公募人数	非常勤研究員（研究機関研究員） 2名（任期2年）【下記の「研究分野」（1）、（2）各1名】
研究分野・研究内容	（1）VUV・SX放射光による軽原子の多電子光過程の研究及び関連する装置開発とビームラインの整備。 （2）放射光から得られるX線領域の光を用いて分光学的手法による物性研究を行うと共に、関連する装置開発とビームラインの整備。
応募資格	35歳未満の若手研究者で博士の学位を有する者。
公募締切	平成14年11月29日（金）
着任時期	平成15年1月1日
選考方法	原則として面接選考とする。
問い合わせ先	【提出書類に関して】 総務部庶務課人事第二係 TEL:0298-64-5118（ダイヤルイン）、0298-64-1171（代表） 内線3004 【研究内容に関して】 物質構造科学研究所 物質科学第二研究系研究主幹 大隅一政 TEL:0298-64-5634 FAX:0298-64-2801

詳しくは高エネルギー加速器研究機構ホームページ「人事公募」（<http://info-pub.kek.jp/jinji/>）をご参照下さい。

予 定 一 覧

2002年

12月20日 平成15年度前期フォトン・ファクトリー研究会応募締め切り
PF平成14年度第二期ユーザー運転終了
PF-AR平成14年度第二期ユーザー運転終了
12月20日～21日 PF研究会「内殻励起分光学の発展と展望」

2003年

1月9日～11日 第16回放射光学会年会・合同シンポジウム（イーグレひめじ）
1月16日 PF平成14年度第三期ユーザー運転開始
1月21日 PF-AR平成14年度第三期ユーザー運転開始
2月28日 PF平成14年度第三期ユーザー運転終了
2月28日 PF-AR平成14年度第三期ユーザー運転終了
3月17日～19日 第20回PFシンポジウム
（うち2日間）

最新情報は <http://pfwww.kek.jp/spice/getschtxt> でご覧下さい。

運転スケジュール('02 Dec.~ '03 Mar.)

E : ユーザー実験 **B** : ボーナスタイム
M : マシンスタディ **T** : 立ち上げ
MA : メンテナンス **SB** : シングルバンチ
M/E : マシンスタディ後ユーザー実験(12:00-)

12月	PF	PF-AR	1月	PF	PF-AR	2月	PF	PF-AR	3月	PF	PF-AR
1(日)	E	E	1(水)			1(土)	E	E	1(土)		
2(月)	M/E	M	2(木)			2(日)			2(日)		
3(火)	B	B	3(金)			3(月)	M	M	3(月)		
4(水)			4(土)			4(火)	B(SB)	B	4(火)		
5(木)			5(日)			5(水)			5(水)		
6(金)	E	E	6(月)			6(木)			6(木)		
7(土)			7(火)	STOP	STOP	7(金)	SB	E	7(金)		
8(日)			8(水)			8(土)			8(土)		
9(月)	M	M	9(木)			9(日)			9(日)		
10(火)	B (3GeV)	B	10(金)			10(月)	M	M	10(月)		
11(水)			11(土)			11(火)	B	B	11(火)		
12(木)			12(日)			12(水)			12(水)		
13(金)			13(月)			13(木)			13(木)		
14(土)	E (3GeV)	E	14(火)			14(金)	E	E	14(金)	STOP	STOP
15(日)			15(水)	T/M		15(土)			15(土)		
16(月)			16(木)			16(日)			16(日)		
17(火)	B (3GeV)	B	17(金)		T/M	17(月)	M/E	M	17(月)		
18(水)	E (3GeV)	E	18(土)	E		18(火)	B	B	18(火)		
19(木)			19(日)			19(水)			19(水)		
20(金)			20(月)	M/E		20(木)			20(木)		
21(土)			21(火)	B	B	21(金)			21(金)		
22(日)			22(水)			22(土)	E	E	22(土)		
23(月)			23(木)			23(日)			23(日)		
24(火)			24(金)			24(月)			24(月)		
25(水)			25(土)	E	E	25(火)	B	B	25(火)		
26(木)	STOP	STOP	26(日)			26(水)			26(水)		
27(金)			27(月)	M	M	27(木)	E	E	27(木)		
28(土)			28(火)	B	B	28(金)			28(金)		
29(日)			29(水)						29(土)		
30(月)			30(木)	E	E				30(日)		
31(火)			31(金)						31(月)		

スケジュールは変更されることがあります。最新情報はPFホームページの「PFの運転状況／長期スケジュール」 <http://pfwww.kek.jp/unten/titlej.html> をご覧ください。

最近の研究から

下部マントル深部条件下における高温高压X線回折実験

八木健彦¹、近藤忠²、宮島延吉¹、亀卦川卓美³

¹ 東大物性研究所、² 東北大学大学院理学研究科、³ 物質構造科学研究所

High Pressure and High Temperature in situ X-ray Diffraction Studies Under the Conditions of the Earth's Deep Lower Mantle

Takehiko YAGI¹, Tadashi KONDO², Nobuyoshi MIYAJIMA¹, Takumi KIKEGAWA³

¹Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, ²Institute for Mineralogy, Petrology and Economic Geology,

Tohoku University, ³Photon Factory, Institute of Materials Structure Science

1. はじめに

超高压実験技術の進歩は近年めざましく、100GPa (ほぼ100万気圧) 領域の超高压を物質に加え、その電子構造まで変化させることが可能になってきた。それをを用いて、物質が超高压下で持つ実に多様な物性が次第に明らかにされつつある。また地球の下部マントルからコアに迫る超高压条件下での物質のふるまいを直接調べることも可能になってきた [1]。これらの研究で必要とされる最も基本的な情報は、各物質が超高压高温条件下でもつ結晶構造と、その安定な P-T 領域を明らかにすることである。そのためには、X線実験としては最も単純な粉末 X線回折実験を行えば良いわけであるが、超高压実験では試料が機械的強度の高い超硬合金などで囲まれており、压力容器や圧力媒体による X線の吸収等さまざまな問題のため、種々の技術的困難がある。

PF では、その建設当初に MAX-80 と名付けられた、6 個の超硬合金を用いて立方体の圧力媒体を加圧し試料を高温高压状態に保ったまま X線回折実験を行う、諸外国では例を見ないユニークな装置が建設され、その特徴を生かしたさまざまな高温高压実験が行われてきた [2,3]。その技術はさらに発展して、PF 内では MAX-90、MAX-III という新しい装置が建設されると共に、類似の装置が Brookhaven の NSLS やシカゴの APS、ドイツの DESY、そして西播磨の SPring-8 にも建設された。これらのマルチアンビル装置と呼ばれる高压装置は、比較的大容積の試料室を持つことから、試料室内に抵抗加熱のヒーターを埋め込んで均一で安定した高温高压実験ができる特色を持っている。しかし加圧に用いられる超硬合金の強度から、26GPa 程度が発生圧力の限界で、アンビル材として超硬合金の代わりに焼結ダイヤモンドを用いて圧力領域を拡大する試みが精力的に行われているものの、今のところ 40GPa 程度が定常的な実験の限界となっている。

一方、宝石用の単結晶ダイヤモンドを高压発生に用いるダイヤモンドアンビル装置では、ここ 10 年ほどの間に飛躍的な技術開発が進み、今や 100GPa の圧力発生が定常的に可能になった。さらに、高压下の試料にダイヤモンドを

通して赤外レーザー光を照射することにより、数千℃を越す高温の同時発生も可能になった。PF ではやはりその初期から、ダイヤモンドアンビルを用いた高压 X線実験が行われてきたが、それらはすべて室温から低温の実験であった。筆者等は 1996 年から S 型課題を申請し、科研費の特別推進研究で製作した装置を BL-13B2 のハッチに持ち込んで、レーザー加熱と組み合わせた超高压高温実験技術の開発を進めてきた。当初は比較的広い領域を一度に加熱できる炭酸ガスレーザーを用いて実験を試み、一定の成果を得ることができたものの、エネルギー密度が低いことから 50GPa 以上の超高压では十分な高温発生が困難であった。そこでより加熱効率の高い YAG レーザーを用いたシステムを新たに建設し、さらなる高压での高温実験を試みた。それにより、100GPa 領域で 1000℃を越す加熱も可能にはなったが、今度は加熱領域が小さいために、精度の高い実験にはより細い X線ビームを照射することが必要になった。それまで使っていた BL-13B2 では、ハッチ内まで白色光を導き、それを 1 枚のモノクロメータで単色化と集光を同時に行う光学系になっていたため、X線の発散が比較的大きく、微小ビームを作ることは困難であった。そこで 2000 年秋からは新たに X線光学系を整備した BL-13A に装置を移し、そこで実験を開始した。2002 年の春には継続した S 型課題も終了したので、再度の更新は行わず、われわれも G 型課題に切り替え、建設した装置をできるだけ多くのユーザーに使ってもらうことにした。また PF の経験に基づいて、SPring-8 の BL10XU にもほぼ同様の設計に基づくシステムを建設し [4,5]、それもルーチンに活用され始めている。

本稿では、現在 PF の BL-13A ハッチに設置されているレーザー加熱高温高压実験装置の概要と、それでどのような実験が行われてきたのかを簡単に紹介し、さらに今後の問題点等をまとめてみたい。

2. 実験装置

現在 BL-13A に設置されている高温高压装置のブロックダイヤグラムと全景を Fig.1 と Fig.2 に示す。マルチポー

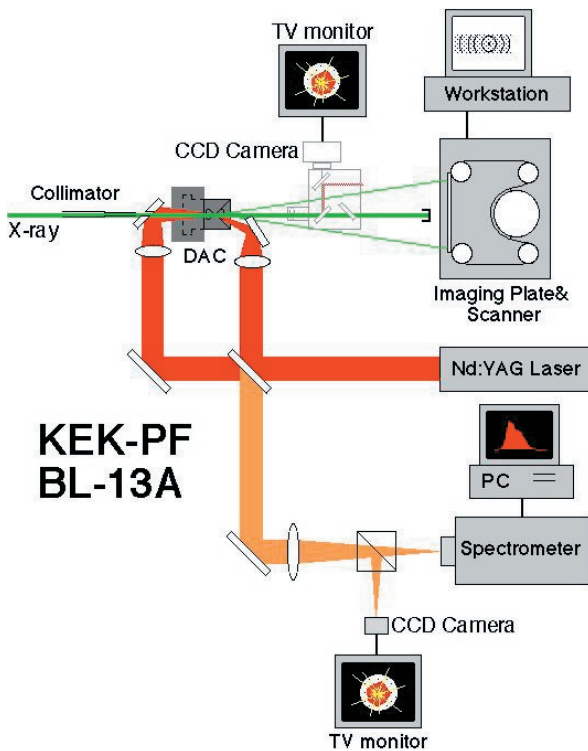


Figure 1 Block diagram of the laser-heated diamond anvil system in BL-13A.

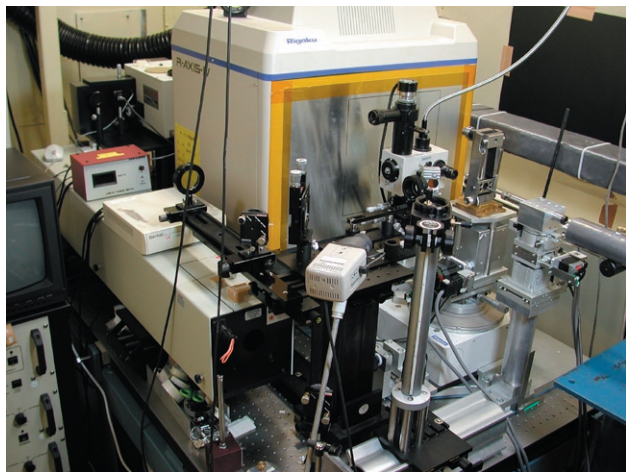


Figure 2 Whole view of the laser-heated diamond anvil system.

ルウィグラーからの白色光はまず、Si(111)と非対称カット Ge(111)の2枚のモノクロメータで単色化されたあと、縦横両方向にK-Bミラーで集光されピンホールコリメータを通して細く絞られて、試料に照射される。通常使われるX線のエネルギーは約30 keVで、BL-13B2では50ミクロンのピンホールコリメータの使用が一般的であったが、BL-13Aに移ってからは輝度が大幅に向上したため、30ミクロンから場合によっては15ミクロンのコリメータでも十分な強度が得られるようになった。回折X線は読みとり装置を内蔵したIP(Rigaku R-AXIS-IV)により測定する。ダイヤモンドアンビル装置はミクロン精度で3軸の微動と回転ができるステージに載せられており、CCDカメラと

組み合わせた顕微鏡により、試料の位置とその様子を観察することができる。加熱用光学系は、150 WのCW出力のYAGレーザーからの光をハーフミラーで分割し、レンズを通して試料の両面に集光し加熱する。試料の温度は、加熱された試料からの光を分光器に導き、そのスペクトルから測定できるように設計されているが、現在のところその部分はまだ完全には出来上がっていない。

X線光学系としてはこのように、ピンホールで絞った細いX線を試料に照射し、回折線をIPで記録するという単純なものであるが、レーザーで加熱される試料部の大きさが直径50ミクロン程度で、しかもその中心から外側に向けて大きな温度勾配が存在するため、目的とする場所に正確にX線を照射することが必須となる。顕微鏡による位置あわせは、高い屈折率を持つダイヤモンドを通して試料を観察するため、ダイヤモンド面がわずかでも光軸に対して垂直から傾いていると、10ミクロン程度のズレが簡単に生じてしまう。そのため最終的な位置あわせは、透過X線の強度変化から試料室の影を見つけだす方法で行う。一旦位置を正確に合わせても、加熱により装置全体が温められると、熱膨張により10ミクロン程度のズレは簡単に生じてしまうので、実験中も細心の注意が必要となる。

実験の標準的な手順としてはまず、ダイヤモンドアンビルで予め所定の圧力まで加圧した試料をステージに載せ、位置あわせを行ってから、レーザーを照射して所定の温度まで加熱し、X線の露光を開始する。露出時間は試料や研究目的により大幅に異なるが、数分からせいぜい30分程度である。加熱中は試料温度を可能な限り一定に保つ必要があるが、レーザー加熱の場合、試料の温度は照射するレーザー光のエネルギーそのものではなく、試料によって吸収されるエネルギーと、加熱された試料から散逸するエネルギーのバランスによって決められる。そのために、たとえ照射エネルギーを正確に一定に保ったとしても、試料の状態が変化して吸収量が変化すると温度も大きく変わり、長時間一定に保つことは極めて難しい。そのため今まで、レーザー加熱の実験ではあまり定量的な問題を議論することはできず、定性的な議論だけ行うことが多かった。しかし最近では温度の変動を細かくモニターしたり、フィードバックシステムを作ってより温度の安定性を高めることにより、半定量的な議論も行われるようになってきた。

安定した加熱のためには、加熱システムそのものよりもむしろ、試料構成の方が問題になることが多い。遷移金属元素を含まない酸化物やケイ酸塩は一般にそのままではYAGレーザー光を吸収しないため、白金の微粉末など試料とは反応を起こさず光エネルギーだけ吸収する物質を試料に混合する必要がある。しかしそれらの吸収材が加熱中の温度勾配により拡散、移動して吸収量が大きく変化してしまうことも多い。また吸収材を混ぜないで加熱できる試料の場合も、相転移や温度変化に伴って一般にその吸収率は大きく変化するため、そのまま安定した加熱をすることは難しい。これらの問題を克服するために最近では、さまざまな試料構成の工夫が試みられている。次にいくつかの

代表的な実験の例を紹介しよう。

3. 実験例

3-1. FeO の超高压相転移

地球化学的な考察から推定される化学組成と高温高压実験の結果、地球の下部マントルは主としてペロフスカイト構造の (Mg,Fe)SiO₃ と岩塩構造の (Mg,Fe)O から構成されると考えられており、これらの超高压下のふるまいについてさまざまな研究がなされてきた。その中で、FeO は最も未解明の問題が残されている物質である。常温常圧下では cubic の岩塩構造 (B1) をとるが、室温で加圧していくと約 15GPa で rhombohedral に歪む。これは Neel 点が圧力と共に上昇するためと考えられている。さらに高压では、衝撃波実験により約 70GPa 付近に大きな密度増を伴う一次相転移があることが見いだされたが [6,7]、室温で 120GPa 領域まで加圧しても、それに対応する相転移は検出されず [8]、その実態は長い間不明であった。1994 年に全体をヒーターで加熱する「外熱型ダイヤモンドアンビル」と呼ばれる装置で高温高压下のその場 X 線観察が行われ、70GPa 付近で温度を上げていくと 1000 K 付近で NiAs 型構造 (B8) に転移することが明らかにされた [9]。その後、レーザー加熱によるその場観察が行われるようになり、より広い温度圧力範囲で詳しい研究が始められたが、まだ互いに矛盾する結果も多く、その全容は明らかになっていない。

Fig.3 に示したものは BL-13A で観測した FeO の超高压高温下の回折パターンである。FeO 試料をアンビルとの断熱のため Al₂O₃ で挟み、室温で 80GPa まで加圧したあと温度を上げながら回折線を観測していくとまず rhombohedral 相が弱まり NiAs 型の B8 構造が強くなるのが見られる。さらに 1500 K 以上に加熱すると今度は明らかに B1 相が強くなり、その後室温に戻すと圧力が 75GPa まで下がり、B8 構造と Rhombohedral 相の混合相になる様子が見て取れる。Fig.4 に示したように、Fei & Mao [9] は B1-B8 の相境界は 70GPa 付近にあって、温度にほとんど依存しないと考えて、衝撃波実験の結果とも整合的になると報告している。しかしもし高温側で B1 の安定領域がこのように広がっているとすると、衝撃波実験で見いだされている相転移の実体が分からなくなってしまう。詳細の議論は別の機会に譲るが、これ以外にも Dvrovinsky、Sata、Murakami 等が最近 ESRF、APS、SPring-8 などのシンクロトロン放射光施設で相次いで新しい実験結果を出しており、その結果は相互に必ずしも一致しない。

このような不一致の原因としてさまざまな可能性が考えられるが、ひとつは各実験に使われた FeO 試料の微細構造が異なっている可能性が考えられる。通常 FeO と単純に表記されるが、実際は 2 価の鉄と酸素の 1:1 の単純な化合物ではなく、Fe の一部が 3 価になっており、それに伴い電気的なバランスをとるために正確には (Fe²⁺, Fe³⁺, □) O (ここで □ は欠陥を表す) のような構造をしていることが知られている。試料の作製条件等によって、さまざまな微細構造をもった "FeO" が存在することが、実験結果の解

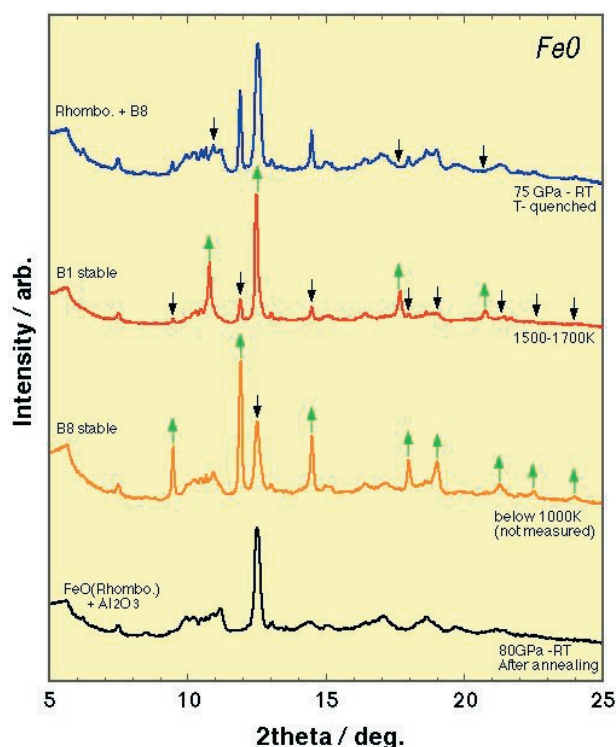


Figure 3 X-ray diffraction patterns of FeO. With increasing temperature at 80 GPa, transitions from rhombohedral to B8, and then to B1 phase were observed. B1 phase observed at high temperature was unquenchable with decreasing temperature.

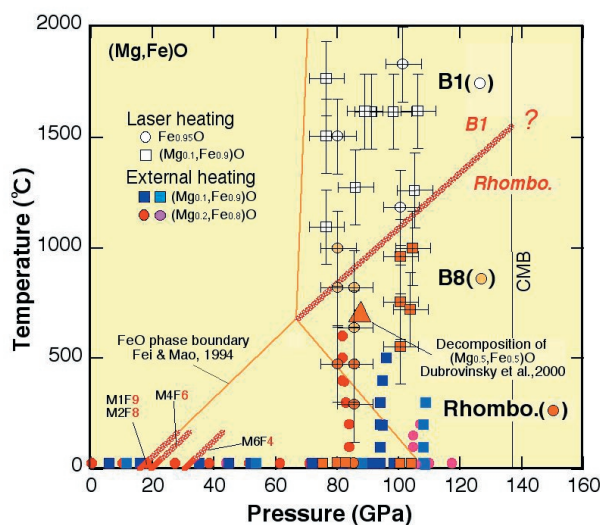


Figure 4 Phase diagram of (Mg,Fe)O.

釈を複雑にしているのであろう。さらに、後述するように、大きな温度勾配などこのような極端条件下の測定におけるさまざまな問題も、結果を複雑にしている可能性が考えられる。

FeO は単に下部マントルの (Mg,Fe)O の端成分という意味だけでなく、溶融した鉄からなる外核と固体ケイ酸塩の下部マントル物質が接して反応を起こした場合に重要な役割を演ずる可能性を持つ物質である。従って 100GPa 領域での物性の解明は地球科学的に重要な意味を持つが、現在のところ上記のように、さまざまな矛盾した結果が提出さ

れており、その解明にはまださらなる実験が必要とされる。

3-2. SiO₂ の高温高压相転移

SiO₂ は石英としてなじみの深い鉱物である。高压下ではより密度の高い構造に変化し、約 10GPa 以上では Si が 6 配位のルチル構造をとることが Stishov 等により高压実験で明らかにされ、その後アリゾナの隕石孔で衝撃超高压で生成された同様の物質が見つかり、スティショフ石と名付けられた。地球深部でも場所によっては重要な役割を演ずる鉱物と考えられており、その超高压下の安定性に関して興味を持たれた。この物質の相転移は理論計算でさまざまな可能性が予言されていたが、実験では 1989 年に初めてルチル構造からそれが歪んだ CaCl₂ 構造に転移することが明らかにされた [10]。その後さまざまな詳しい研究がなされ、静水压下では室温でも約 50GPa 付近で可逆的にルチル-CaCl₂ 型の転移を起こすことが明らかにされたが

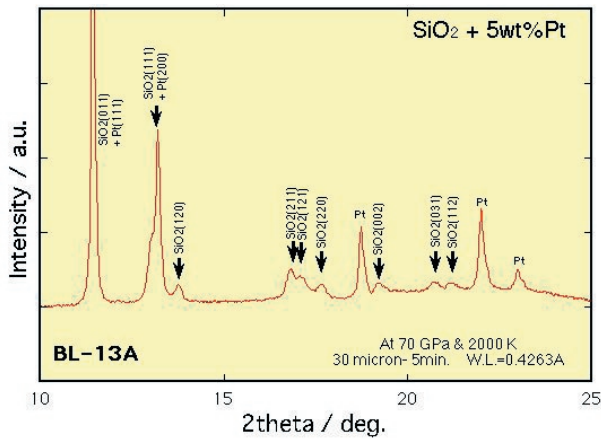


Figure 5 Characteristic X-ray pattern of CaCl₂-type SiO₂ observed at 70 GPa and 2000K. Platinum is mixed as a heat absorber.

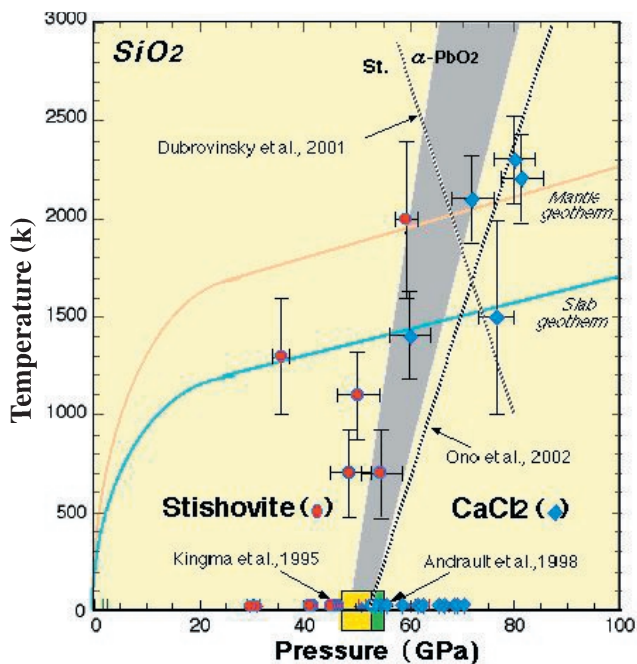


Figure 6 Phase diagram of SiO₂

[11,12]、出発物質に石英ではなく高温型のクリストバライトを用いると α -PbO₂ 型の相が生成すると報告されたりして [13]、まだ真の相平衡関係は明らかにされていない。

Fig.5 は SiO₂ にレーザー光の吸収材として Pt を混ぜて加熱しながら 70GPa、2000K の条件下で観察した回折パターンであり、SiO₂ がこの条件下では CaCl₂ 構造を持つことが明瞭に示されている。Fig.6 はこのような観察結果を P-T 面にプロットしたものであり、室温での 50GPa 付近での転移圧から、転移境界は正の勾配を持つとして解釈できる結果を示している。この結果は、今まで報告された室温での相転移圧や、相境界の傾きとはおおむね調和的であるが、Dubrovinsky 等により最近報告されている α -PbO₂ 型相の生成 [13] は観測されず、今後さらに、何がそのような違いをもたらすのか明らかにしていく必要がある。

3-3. MgSiO₃ ペロフスカイトの熱膨張と試料内の温度分布

ペロフスカイト構造を持つ MgSiO₃ の超高压下における熱膨張を測定するために、Fig.7 に示すような実験を行っ

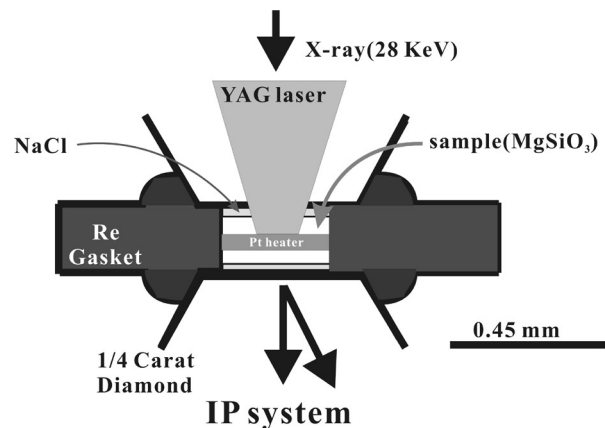


Figure 7a Sample assembly used for the measurement of thermal expansion of silicate perovskite.

Figure 7b X-ray diffraction patterns of MgSiO₃ perovskite, platinum, and sodium chloride observed at about 25 GPa, before and during laser heating. Diffraction of platinum shifts considerably while sodium chloride remains almost unchanged.

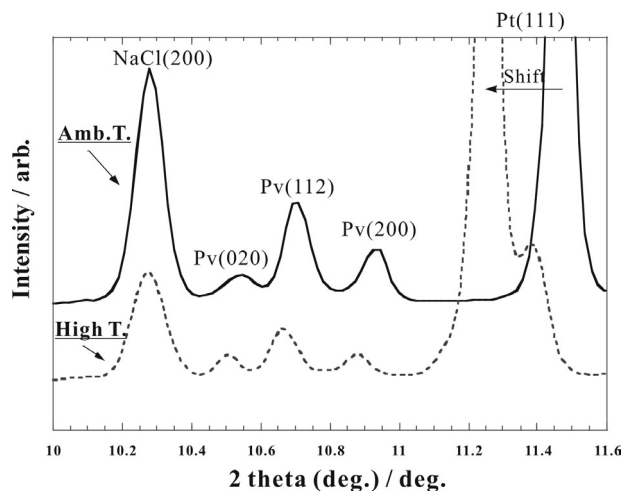


Figure 7b X-ray diffraction patterns of MgSiO₃ perovskite, platinum, and sodium chloride observed at about 25 GPa, before and during laser heating. Diffraction of platinum shifts considerably while sodium chloride remains almost unchanged.

た。この実験では Fig.7a に示したように、試料中に白金箔を吸熱材として埋め込み、さらに試料を両側から NaCl で挟んで、ダイヤモンドへの熱の逃げを少なくするための断熱層兼圧力媒体としてある。Fig.7b は 25GPa における室温と加熱中に撮った回折パターンで、白金のピークは熱膨張により大きく低角にずれているものの、NaCl のそれはほとんど変化せず、MgSiO₃ のそれはその中間の変化を示している。同様の測定が 80GPa でも行われたが、ほぼ同様の結果が得られている。

これらの結果は、このような試料構成を用いた場合、ダイヤモンドアンビル中の試料が高圧下でわずか 10 ミクロンにもならない薄さになるにも関わらず、その中に大きな温度勾配がついていることを明瞭に示している。観測された各試料の格子常数変化は、次のように考えると調和的に理解することができる。つまり、加熱によっても試料室内の圧力はほとんど変化せず、NaCl はダイヤモンドにより冷やされていてほとんど室温のまま、白金は 1000℃ 以上に加熱されているという温度分布である。しかしこれ以上の定量的な議論はなかなか難しい。ペロフスカイト試料はその中に大きな温度勾配が存在するため、斜方晶系を持つ結晶格子の熱膨張の異方性が圧力と共にどのように変化したか、といった定性的議論は可能なものの、それ以上の議論はまだ無理である。

このような試料構成は、比較的容易にできることと、長時間の加熱でも極めて安定性が高いという特徴を持っているが、定量的な議論には向かないことが明らかになった。そこで次節に述べるように、さまざまな技術開発が行われている。

4. 問題点と今後の展望

今まで述べてきたように、ダイヤモンドアンビル装置とレーザー加熱装置を組み合わせ、それにシンクロトロン放射光を照射することにより、一昔前は考えられもしなかった 100GPa 領域での高温 X 線回折その場観察が可能になった。この実験技術を使って、さまざまな新しい研究が推進されつつある。しかしその一方で、まだ多くの問題点が残されていることも確かである。

本稿で紹介したレーザー加熱ダイヤモンドアンビルと X 線回折実験の組み合わせは、高輝度で発散が小さく数十ミクロンに絞れる X 線ビームが必要なため、シンクロトロン放射光の利用が不可欠で、ESRF、APS、SPring-8、および PF の限られたグループでしか実験は行われていない。しかしそれにも関わらず、現在のところ多くの物質に関して、各グループ間でしばしば結果に大きな食い違いが見られる。それはおそらく、主として温度の安定性や試料中の大きな温度勾配により、各物質が必ずしも測定された P-T 条件下で平衡状態になっていないことによると考えられる。

レーザー加熱による実験では、加熱と共にすぐ相転移が観察されることが多く、短時間で測定を終える場合も少なくない。しかしそれが平衡状態に達しているという保証はなく、実際は出発物質の状態に依存した準安定状態になっ

ただけの可能性も少なくない。出発物質により生成相が異なってくるのは、この可能性が高く、実体の解明にはさまざまな出発物質を用いた逆反応などの詳しい研究が必要となろう。一方、長時間加熱を続けると、今度は急な温度勾配の場合における元素の選択的な拡散が問題となる。レーザー加熱の場合、試料構成によっては 1000℃ / ミクロンといった極端に急な温度勾配がつくことも希ではなく、このような急な温度勾配の中に試料が長時間保持されると、普通の熱平衡では起き得ない分解反応等が起きる可能性が指摘されている。

このような状況から、今後重要になる問題点は、温度安定性の向上と試料内の温度分布の改善であろう。最初の FeO の例のように YAG レーザー光を直接試料に吸収させる場合は、試料の相転移や温度変化により吸収率が大きく変動し、フィードバックをかけても温度を一定に保つことは容易ではない。また 2 番目の SiO₂ の例のように白金粉末を試料に混ぜた場合はかなり温度は一様になるものの、長時間加熱を続ける間に白金が拡散し、これまた温度を一定に保つことが困難になる。3 番目の MgSiO₃ の試料構成では、加熱温度の安定性は高いものの試料内部に大きな温度勾配が生じてしまう。

これらの例からも、このようなレーザー加熱実験では結局のところ試料構成が鍵となることが理解できよう。現段階で考えられる最良の方法は、試料の両面に白金等の吸収層を作り、それを熱伝導率の低い圧力媒体で加圧して、両側から同時にレーザーで加熱することである。この方法により試料内部の温度の均一性と、加熱の安定性が共に確保できると考えられるが、問題は試料室全体の厚さが 100GPa 領域では 10 ミクロン程度と極めて薄くなってしまふことである。従って今まで試みられてきたように、手作業で試料を白金箔で挟み、それをさらに断熱性の高い NaCl 等で挟んで試料室に入れるといった方法は限界に来ており、高い再現性は望めない。そこでわれわれのグループでは、スパッタ技術を用いて試料表面に 1 ミクロン程度の白金層を作成し、試料室に入れたあと、ガス封入装置を用いて試料室を高圧アルゴンガスで満たし、それを圧力媒体兼断熱材として加圧する、といった手法の確立を試みている。まだいろいろ問題点は残されているものの、比較的簡単な装置でかなり安定した加熱ができそうな予備的結果を得ている。最近ではエレクトロニクス分野やナノテクノロジーの分野で微細加工技術が長足の進歩を遂げており、それらをうまく応用することにより、まださまざまな可能性が考えられよう。

このようにまだ解決すべき問題は多々あるものの、基本的な高温高圧実験技術と X 線回折技術の組み合わせは確立されたわけで、今後は上記のような問題を念頭に入れ、それぞれの研究の目的に適した試料構成を工夫して実験を進めていくことが必要とされよう。多くの研究者が、このレーザー加熱 X 線回折装置を有効に使いこなして、まだ未知の世界が大きく広がっている超高圧高温領域の研究に役立てて頂くことを希望する。

ここで紹介した装置を立ち上げ、さまざまな実験結果を生み出すまでには、物性研に在籍した多くの学生諸君のひとかたならぬ努力が注ぎ込まれている。改めて彼らの協力に感謝したい。

引用文献

- [1] 八木健彦、「超高压の世界」、岩波書店 (2002)
- [2] O. Shimomura et al., Mat. Res. Soc. Symp. Rroc., **22**, 17(1984)
- [3] T. Yagi, EOS, **69**, 18(1988)
- [4] T.Yagi, T. Kondo, T. Watanuki, O. Shimomura, and T. Kikegawa, Rev. Sci. Instrum., **72**, 1293 (2001)
- [5] T. Watanuki, O.Shimomura, T.Yagi, T.Kondo, M. Isshiki, Rev. Sci. Instrum., **72**, 1289 (2001)
- [6] R. Jeanloz and T. Ahrens, J.R.Astr.Soc.**62**, 505(1980)
- [7] T. Yagi, K. Fukuoka, H. Takei, and Y. Syono, Geophys. Res. Lett., **15**, 816 (1988)
- [8] T.Yagi, T.Suzuki, and S.Akimoto, J. Gophys.Res, **90**, 8784(1985)
- [9] Y. Fei and H. K. Mao, Science, **266**, 1678 (1994)
- [10] Y. Tsuchida and T. Yagi, Nature, **340**, 217 (1989)
- [11] K.J.Kingma, R. E. Cohen, R. J. Hemley, H.K. Mao, Nature, **374**, 243 (1995)
- [12] D. Andraut, G. Fiquet, F. Guyot, M. Hanfland, Science, **282**, 720 (1998)
- [13] R.Dubrovinsky et al., Chem. Phys. Lett. **333**, 264 (2001)

著者紹介

八木健彦 Takehiko YAGI



東京大学物性研究所 教授
〒 277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5
TEL/FAX: 04-7136-3230
e-mail: yagi@issp.u-tokyo.ac.jp
略歴：1976年東京大学大学院理学系研究科卒、カーネギー研究所博士研究員、東大物性研助手、東北大金研助教授、東大物性研助教授を経て1997年より現職。理学博士。
最近の研究：超高压高温下の地球深部物質の物性研究、高压下の新物質探索。

近藤 忠 Tadashi KONDO



東北大・理学研究科 助教授
〒 980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉
TEL : 022-217-6666
FAX : 022-217-6675
e-mail: tdkondo@mail.cc.tohoku.ac.jp
略歴：1993年名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程地球科学専攻中退、名古屋大学理学部助手、東京大学物性研助手を経て、1998年より現職。理学博士。

専門分野：地球惑星物理学、高压物性。
現在の研究テーマ：下部マントル最下部とマントル-核境界の構造と物性。
趣味：高速移動、老人・子供・学生との会話。

宮島延吉 Nobuyoshi MIYAJIMA



東京大学物性研究所 助手
〒 277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5
TEL: 04-7136-3231
FAX: 04-7136-3230
e-mail: enkich@issp.u-tokyo.ac.jp
略歴：1997年北海道大学大学院理学研究科卒、北海道大学大学院理学研究科博士研究員、東京大学物性研究所博士研究員、ドイツ・バイロイト大学地球科学研究所博士研究員を経て2002年より現職。理学博士。
最近の研究：分析電子顕微鏡を用いた地球深部物質の物質科学的研究。

亀卦川卓美 Takumi KIKEGAWA

高エネルギー加速器研究機構・物構研・助手・理学博士。

Ge ピクセルアレイ検出器の開発と XAS への応用

大柳 宏之

産業技術総合研究所 光技術部門

Development of Ge Pixel Array Detector and its application to XAS

Hiroyuki Oyanagi

Photonics Research Institute, AIST

Abstract

For high throughput/energy-resolution X-ray detection, a novel detector, i.e., a segmented Ge 100-pixel array detector (PAD), has been developed. Using a monolithic approach, a high packing ratio (88%) with a nearly perfect commission rate (99%) were achieved, resulting in a dramatic improvement over a previous value (57%) of a Ge multi-element detector. In the present PAD design, each segment is 5 (10) mm thick and has an active area of 22 mm². The average energy resolution is better than 220 eV at 5.9 keV for 6 microsec shaping time. Optimization of FET to match the capacitance of Ge pixel achieved better energy resolution at higher count rate, i.e., 240 eV using a 0.5 microsec shaping time. Present data acquisition system, CAMAC-based hybrid electronics, are capable of independently energy-analyze and record all channels with a maximum 30 kcps or the total count rate of 3 MHz. Details of PAD design and performance will be described.

Key words: ピクセルアレイ検出器、放射光、X線吸収分光、EXAFS、XANES
(Pixel array detector, Synchrotron radiation, XAS, EXAFS, XANES)

1. はじめに

1970年代初期に米国スタンフォード大の第1世代蓄積リングSPEARにおいて放射光の優れた特性が示されて[1]以来、X線吸収分光(XAS)は各国の蓄積リングで活発な研究が行われた。安定かつ低エミッタンスの放射光専用光源として登場した第2世代蓄積リングでは高エネルギー分解能のX線吸収スペクトルが得られるようになり、EXAFSの他、吸収端付近の微細構造(XANES)による研究も急速に普及した[2]。EXAFS、XANESの起源は光電子の散乱・干渉効果である。

これらは通常は透過法でバルク試料の吸収スペクトルから得られるが、希薄な試料や薄膜の吸収測定では、注目する原子の吸収が他成分原子や基板の吸収に埋もれてしまうため透過法は使えない。これに対して内殻励起後に正孔が基底状態に戻る際、そのエネルギー差として放出される蛍光X線の収量が吸収係数に比例することを利用すれば、より高感度な測定が行える[3]。蛍光検出法は金属蛋白[4]や金属酵素等[5]の生体物質や触媒、不純物等の微量成分および薄膜の局所構造研究に広く応用されている。硬X線領域では蛍光検出法の表面感度は低いが、入射X線を微小角で試料に入射させて蛍光X線収量を測定すれば、表面付近を選択的に励起する表面敏感な測定法となる[6]。実際、初期の蛍光法の応用はほとんどが、バルクおよび薄膜・表面を対象として高感度化を狙ったものであるが、最近では重元素を含む酸化物単結晶の偏光依存性を非破壊で任意の方位に対して測定したり、4でふれる光照射時の局所構造研究など新しい応用研究の可能性が示され、あらためてそのポテンシャルが見直されている。

ところで検出器には蛍光X線をS/B比よく分離して計測

するために高いエネルギー分解能が要求される。しかし散乱ピークの強度は入射エネルギーを広い範囲で変化させると、大きく変化し(単結晶試料では)検出器を飽和させることもあるため、目的とする蛍光X線よりも低エネルギー領域にある散乱ピークや他の蛍光X線から信号を区別するためには高計数効率も同時に満足しなければならない。しかし両者は相反する性能なので、負荷を下げて全体の効率をあげるには多数の独立した素子を並べる方式が一般的である。これまで7~30個までの独立型多素子検出器が開発されてきた。しかし充填密度は57%が限界で大幅にあげるには露光技術で1個の結晶にピクセルを集積したピクセルアレイ検出器(Fig.1)が有望である。ところでなぜそんなに密度や個数に意味があるのか、少々疑問を持つ方々も多いのではないだろうか?我々はまた別の理由でピクセルアレイ検出器を開発をめざした。X線吸収分光の最大の誤差の起原である系統誤差が蛍光法の場合は、散乱・回折にあるため、独立に計測された膨大な蛍光収量データの中から良質なデータのみを編集して、得ることによって系統誤差のかなりの部分を改善できるからなのである。蛍

Ge pixel array detector (PAD)

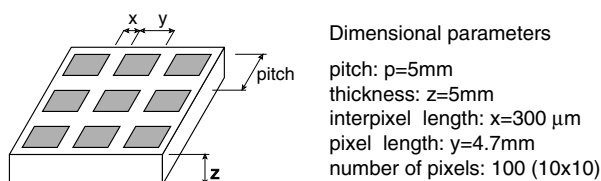


Figure 1 Schematic of Ge pixel array detector and dimensional parameters used for high efficiency fluorescence x-ray detection.

光X線は入射ビームに直交する方向で円錐上の限られた立体角で取り出すのがもっとも散乱の影響を減らすことができる。このためこの立体角をできるだけ多くの素子で受け、個々の計数率負荷を軽減すると同時に全体で計数率をかせぐというのが目標である。このためには素子密度をあげるのが重要である。これが世界各国の放射光施設で競って高密度化が行われてきた理由である。

2. ピクセルアレイ検出器の開発方針

放射光の輝度は光源のエミッタンスや挿入光源の利用により飛躍的な発展を遂げた。Fig. 2に我が国の代表的な放射光であるフォトンファクトリー（偏向電磁石とウイグラー）とSPring-8（アンジュレータ）の輝度を比較した。高輝度X線ビームの利用は表面、薄膜や生体物質などの希薄な系の研究に必要不可欠であるばかりでなく、時間分解測定による動的構造研究などの新しい展開を可能とする。放

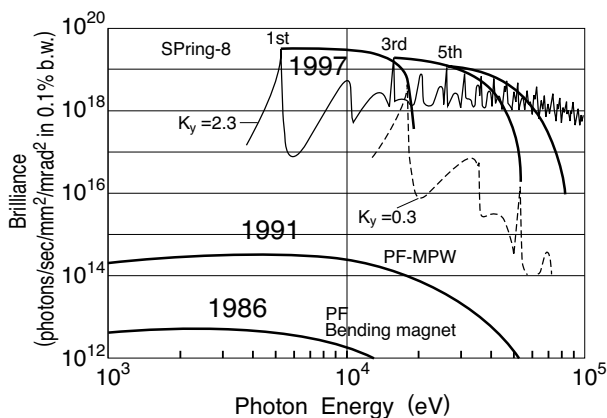


Figure 2 Brilliance (photons/sec/mm²/mrad² in 0.1% bandwith) as a function of photon energy for various synchrotron radiation sources (bending magnet, multipole wiggler (Photon Factory) and undulator (SPring-8)) are compared.

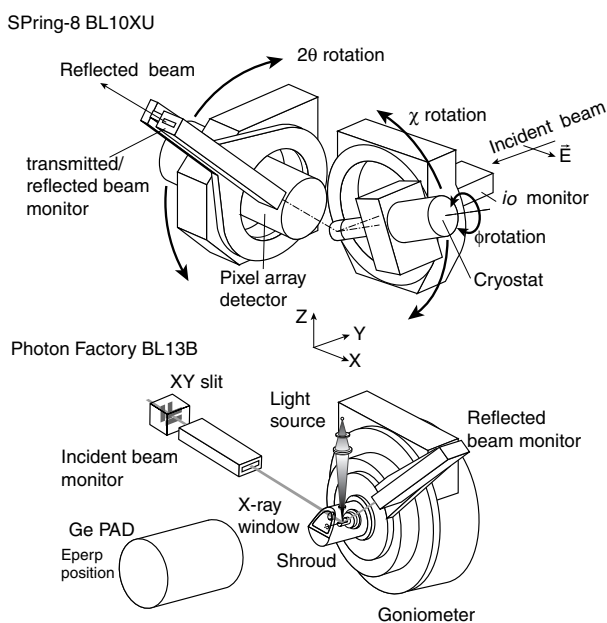


Figure 3 XAS measurement systems at SPring-8 (BL10XU) and at Photon Factory (BL-13B).

射光パルスの幅は短パルスレーザーには及ばないが、ピコ秒オーダーの実時間測定は蛍光X線検出により偏光依存性を用いることによって実用的レベルに達している [7,8]。その他、結晶の特定方向の原子配列を調べることができる [9]。そのためには試料の配向を回折ゴニオ並の精度で制御する必要があり、そのため最近の装置は Fig. 3 に示すように 2 軸 [10] あるいは 3 軸 [11] 精密ゴニオメーターに近い構造をもつことが多い。単結晶試料が斜方晶の場合、対称性が低い場合には a,b,c 軸の情報を電場ベクトルと結晶方位のなす角度を選ぶことによって、独立に調べることができる。

特定の内殻に着目して特性X線強度を調べるため、蛍光検出に用いるX線検出器に要求される条件は、励起X線ビームの弾性・非弾性散乱や他の特性X線から分離できるエネルギー分解能を持つことである。この目的には半導体検出器を用いるのが現実的であるが、アナログ増幅器の不感時間のためにエネルギー分解能と計数率は相反する特性で両立できない。そこで半導体素子を複数個組み合わせて充填配置する多素子検出器 [12,13] が用いられるが、さらに効率を上げるにはモノリシック方式による検出素子の高集積化が有効である。

3. ピクセルアレイ検出器の性能

Fig. 4にこの目的で開発したGe100ピクセルアレイ検出器 [14] の計測システムを示す。今回開発された検出器では、ピクセルが縦横10列ずつ基盤の目のように配列されている。ピクセルの設計では（ピクセル間の距離を増やすことによって減少する）ピクセル間の静電容量と（逆に低下する）充填率のバランスをとる必要がある。

主な仕様

- ピクセルの集積方式： モノリシック方式
- ピクセル寸法： 4.7 mm x 4.7 mm
- ピクセルの種類： 純 Ge
- ピクセルの厚み： 10 mm
- 前置増幅器 (FET): PSC941 (Eurif FET)
- ピクセル間隔： 300 ミクロン
- エネルギー分解能： 240 eV (5.9 keV, 0.5µsec)

Hybrid X-ray Data Acquisition System

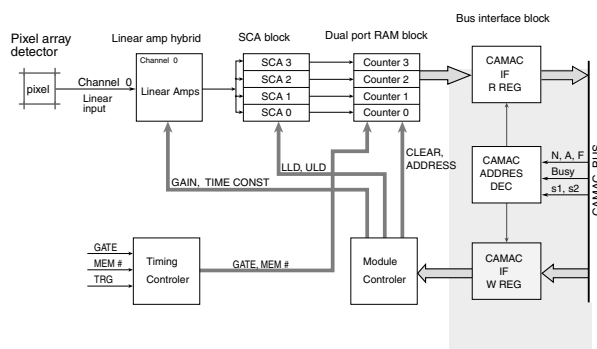


Figure 4 CAMAC-based "hybrid" electronics for the Ge pixel array detector.

半導体 (Ge) 検出器の特徴は硬 X 線領域 (>4keV) での量子効率とエネルギー分解能にあるが、計数率との両立は困難であるため、X 線吸収分光など蛍光 X 線の高効率計測を目的として素子の小型化と高密度化が進められ、各国の放射光施設では 13 ~ 19Ge 素子検出器 [15,16] が標準的に用いられている。これまでに開発され実用レベルに達した素子の高密度配置方式では 30 個配置した例が最高である [17]。一方、充填率 (密度) と個数を大幅に向上するためには露光技術を用いて素子を一体として集積化するモノリシック方式が有望であると考えられている。このため次世代検出器として Ge ピクセルアレイ検出器 (PAD) が提案されたがいずれも成功していない。Si ドリフトダイオードは軟 X 線領域の優れた検出器であるが現状の厚みは最大 300 ミクロンで硬 X 線領域では効率が低く適当でない。

Ge-PAD の開発には、① Ge の表面パッシベーションが安定な酸化膜をつくる Si [18] に比べて圧倒的に困難であること、② ピクセル間クロスオーバー、③ 液体窒素温度から外部への熱輸送を最小限にした高密度配線技術など多くの技術的な壁がある。これらの技術要素をひとつずつ解決し世界で初めて稼働率 91 ~ 99% の Ge-PAD の開発に成功したのは、開発を開始してから実に 7 年後の 2000 年の夏であった。Ge-PAD は 4.7mm×4.7mm の純 Ge を 10×10 に配列したもので、厚みは 10mm の 1 号機 (SPring-8 共同ビームライン BL10XU に設置) と 5mm の 2 号機 (PF, MPW ビームライン BL-13B に設置) の 2 システムを製作した。前者は共同ビームラインとして開放されている。両者では基本的な仕様と計測システムが異なる。蓄積リングのエネルギーについては SPring-8 のアンジュレータのギャップチューニングによるカバーできるエネルギー範囲が 5 ~ 60 keV であるが、PF の MPW では主に 4 ~ 25keV を対象とすることを考慮して、1、2 号機の厚みをそれぞれ 10mm および 5mm とした。2 号機ではピクセル間に入射するフォトン の電荷収集が不完全になるときに生じる低エネルギー領域のバックグラウンド増加をおさえるために、薄い厚みを採用した。このことは 2 号機では、バックグラウンドを減少させたが、逆にピクセルとグラウンドの間のキャパシタンスを増加させ、エネルギー分解能を悪化させることになった。検出器のエネルギー分解能は電子的ノイズに左右されるが、FET でみたときの検出器と FET 自身のキャパシタンスの総和を最少にしなければならない。検出器のキャパシタンスはピクセル間とグラウンドとの値で決まるが、これらはピクセル寸法 (Fig.1) の関数となり、ピクセル密度と相容れないためどこかで妥協しなければならない。シミュレーションで得られたキャパシタンスをにらんででは考え込むことになった。ピクセル間隔はまさに妥協の産物である。

ピクセル間隔は 300 ミクロンで充填率は 88% である。Fig.5 に Shaping time(τ)=6 μ sec の条件で得られたエネルギースペクトルを示す。エネルギー分解能は最高で 215eV(5.9keV) である。高計数率仕様の τ =0.5 μ sec のときには平均で 240eV(5.9keV) である。Fig.6 に比較したように

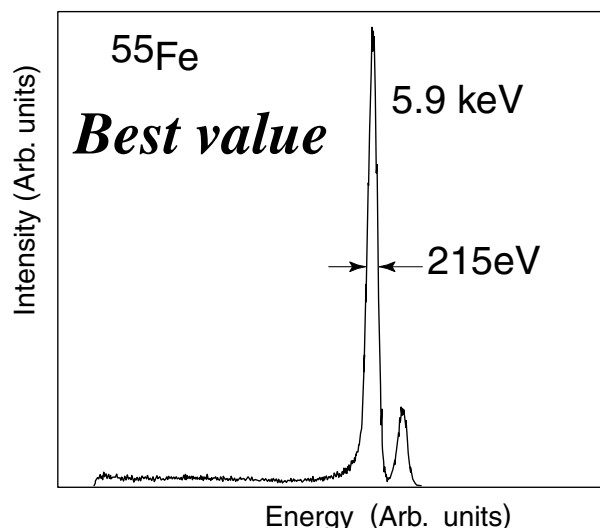


Figure 5 MCA output (phase height distribution) for the Ge pixel array detector for ⁵⁵Fe (5.9 keV) using a 6 μ sec shaping time.

Energy resolution for Ge PAD #1 and #2

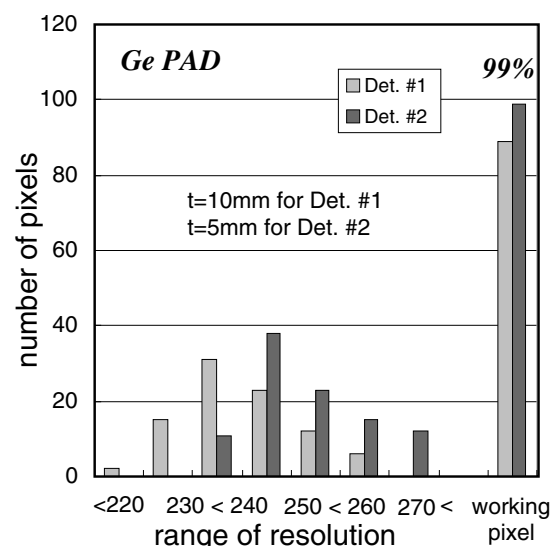


Figure 6 Energy resolution (FWHM at 5.9 keV) of the two Ge pixel array detectors.

厚み 10mm の方がエネルギー分解能の平均値は優れているが、稼働率とバックグラウンド特性は逆に 5mm の方が優れている。計測システムとしては SPring-8 ではデジタル信号プロセッサ (DXP4C, XIA) を用い、PF ではアナログ・デジタルハイブリッド CAMAC 計測システム (HXDS) を開発した (Fig. 4)。両者とも密度は 4 チャンネル/CAMAC1 幅で、従来のアナログ回路に比べて大幅なサイズダウンが可能となった。計数率は 0.5 μ sec の時定数で最大 30kcps/チャンネルであり全計数率は数え落としのない領域で 3MHz である [19]。Fig. 7 にハイブリッド CAMAC 計測システムを用いた場合の計数特性を対数表示で示した。数え落とし補正により 80kcps までは使用可能であるが、高計数率特性はデジタル信号プロセッサの方が優れている。DXP4C では最大 200 ~ 300kcps まで使用できるので、全計数率は 20 ~ 30MHz となる。

Throughput of Ge PAD#2

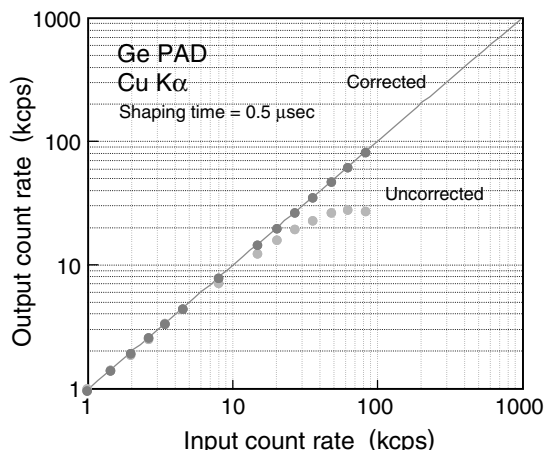


Figure 7 Throughput curve for the Ge pixel array detector using a 0.5 μsec shaping time.

高輝度 X 線ビームと高効率 X 線検出器を組み合わせることにより、 $10^{14}/\text{cm}^2$ 程度の表面原子の局所構造が容易に得られるようになった。硬 X 線領域 (4 ~ 25keV) の X 線の侵入距離は表面の原子層に比べてはるかに大きく、実質的な表面に関する信号は全体の $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度にすぎないが、X 線に対する屈折率は 1 よりもわずかに小さいので、試料に X 線ビームを微小角度で入射させれば臨界角以下で全反射が起こり表面の情報を選択することができる。Fig.3 の装置を用いて X 線ビームを試料すれすれに入射させ試料をビーム方向を軸に回転させると、放射光の直線偏光依存性により表面に垂直あるいは水平な動径分布が得られる [20]。表面の結合長や原子配列を超高真空中で観察することにより、異種原子間の結合により生じる歪みや電荷移動が表面の原子配列に与える影響が次第に明らかになってきた。表面構造の研究用の測定装置は超高真空中で動作する精密ゴニオメーターを備え表面敏感な X 線吸収分光による半導体表面・界面から量子ドットやワイヤーなどナノ構造の研究に利用されている [20]。

4. 応用例 (光構造相転移)

Fig. 1 の装置を使えば光励起状態の局所構造を調べることがわずか 100mg 以下の粉末結晶で可能である。 $[\text{Fe}(2\text{-pic})_3]\text{Cl}_2\text{EtOH}$ などのスピנקロスオーバー錯体は熱励起による振動モードと格子歪みにより媒介されるスピン結合が誘起する磁気転移物質で異なるスピン状態 (高スピン状態 (S=2) と低スピン状態 (S=0)) が結晶場によって安定化される [21]。この物質に光で照射してスピンを励起すると熱励起なしに構造相転移を起こす [22]。鉄のスピנקロスオーバー錯体では光照射により、局所構造が低結晶場を与える配置に変化し、熱励起なしに高スピン状態に相転移することが最近、光照射下の X 線吸収分光により明らかにされた [23]。Fig. 8 ~ 9 に光照射下の $[\text{Fe}(2\text{-pic})_3]\text{Cl}_2\text{EtOH}$ (2-pic=2-aminomethyl pyridine) の Fe K-XANES スペクトル

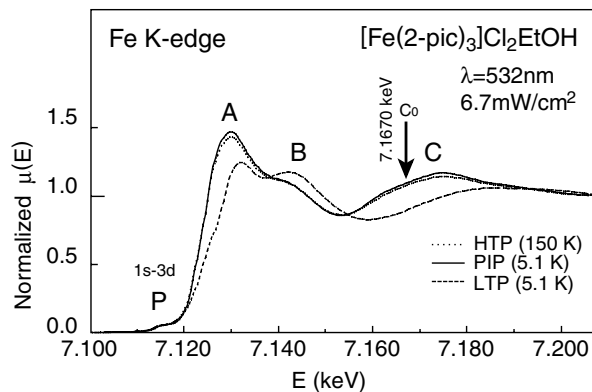


Figure 8 Fe K-XANES spectra for $[\text{Fe}(2\text{-pic})_3]\text{Cl}_2\text{EtOH}$ (2-pic=2-aminomethyl pyridine) at high temperature, low temperature and under photoexcitation at low temperature.

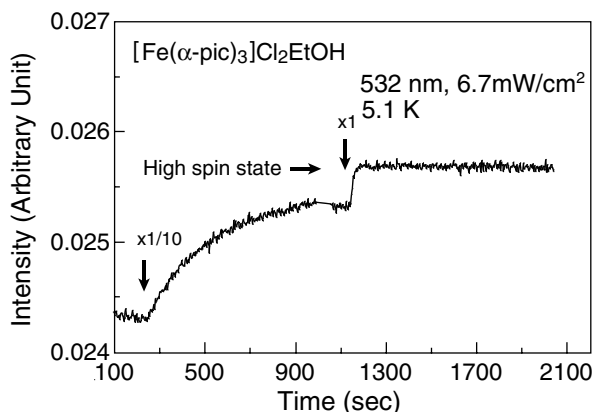


Figure 9 Variation of XANES feature C as a function of time (sec) measured for $[\text{Fe}(2\text{-pic})_3]\text{Cl}_2\text{EtOH}$ shown in Fig. 8.

を示す。Fig. 8 は光励起により形成される光誘起相の局所構造 (FeN_6 クラスタ) の対称性は高スピンをもつ高温相 (S=2) と同じであることを示している。このように電子励起により生じる新たな秩序化 (あるいは無秩序化) は、熱励起では得られない新たな物質秩序をつくりだせる可能性を示しており、ナノ構造の新しい方向性として期待が高まっている。この実験から微量の粉末結晶でも光照射下の局所構造解析が可能であることが示された。このような測定には効率のよい検出器であると同時に、多数のデータを選別して良質のデータを得るためにピクセルアレイ検出器は絶大な威力を発揮する。

5. おわりに

筆者は最近、Leicester 大学で行われた Position Sensitive Detector に関する国際会議 [24] に出席したが、そこでもシリコン検出器の最大計数率は 1GHz に近づいている印象をもった。半導体検出器の世界にもピクセルアレイ検出器の登場により、1GHz の時代がもうすぐ訪れようとしている。検出器と計測回路のバランスのとれた発展は、高輝度ビームが容易に使えるようになったいま、必要性が急速に高まっている。

ピクセルアレイ検出器の開発は C. Fonne, D. Gutknecht, P. Dressler, R. Henck, M-O. Lampert, 小川誠二, 葛西和夫の方々

との共同研究によるものである。長年に渡り検出器の設計、製作に携わってこられたこれらの方の協力にあらためて感謝の意を表したい。スピנקロスオーバー錯体の研究は、課題番号 02G110「X線吸収分光による光構造変化に関する研究」、特定領域(B)「光誘起相転移とその動力学」代表：那須奎一郎(平成11-13年度)に基づいて行われたもので、京都大学理学部、太野垣健、田中耕一郎の諸氏との共同研究である。

引用文献

- [1] B.M. Kincaid, A.E. Meixner and P.M. Platzman, *Phys. Rev. Lett.* **40** (1978) 1296.
- [2] A. Bianconi, M. Campagna and S. Stizza, *Phys. Rev.* **B25** (1982) 2479.
- [3] J. Jaklevic, J.A. Kirby, M.P. Klein, A.S. Robertson, G.S. Brown and P. Eisenberger, *Solid State Commun.* **23** (1977) 679.
- [4] B. Chance, R. Fischetti, and L. Powers, *Biochemistry* **22** (1983) 3820.
- [5] K. Sauer, V.K. Yachandra, R.D. Britt and M.P. Klein, *Manganese Redox Enzymes* ed by V.L. Pecoraro VCH, New York (1992) 141.
- [6] R.S. Becker, J.A. Golvchenko, and J.R. Patel, *Phys. Rev. Lett.* **50** (1983) 153; S. Heald, E. Keller. and E.A. Stern, *Phys. Lett.* **A103** (1984) 155.
- [7] S. Techert, F. Schote and M. Wulff, *Phys. Rev. Lett.* **86** (2001) 2030.
- [8] C. Rose-Petruck et al., *Nature* **310** (1999) 988.
- [9] H. Oyanagi et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **58** (1989) 2896.
- [10] H. Oyanagi, *J. Synchrotron Radiation* **5** (1998) 48.
- [11] H. Oyanagi, M. Ishii, C.H. Lee, N. Saini, Y. Kuwahara, A. Saito, Y. Izumi and H. Hashimoto, *J. Synchrotron Radiation* **7** (2000) 89.
- [12] S. Cramer et al., *Nucl. Instr. and Meth.* **A266** (1988) 586.
- [13] H. Oyanagi, M. Martini, M. Saito, *Nucl. Instrum. and Meth.* **A403** (1998) 58.
- [14] H. Oyanagi et al., *Proc. of Int. Workshop on High Flux X-ray Detector, SPring-8* (1998).
- [15] S. Cramer et al., *Nucl. Instr. And Meth.* **A266** (1988) 586.
- [16] H. Oyanagi et al., *ibid.* **A403** (1998) 58.
- [17] R. Farrow et al., *Physica* **B208&209** (1995) 256.
- [18] Lechner et al., *Nucl. Instr. And Meth.* **A377** (1996) 346.
- [19] H. Oyanagi et al., in preparation.
- [20] H. Oyanagi, R. Shioda, Y. Kuwahara and K. Haga, *J. Synchrotron Radiation* **2** (1995) 99.
- [21] P. Gutlich; *J. Phys. (Paris) Colloq.* **C2** (1979) 378.
- [22] S.A. Keneman, *Appl. Phys. Lett.* **19** (1971) 205.
- [23] 大柳宏之、太野垣健、田中耕一郎、日本物理学会、第57回年次大会、8aSG-1; H. Oyanagi, 19th International Conference on X-ray and Inner-Shell Processes, Rome, Jun. 24-28, 2002.
- [24] 6th International Conference on Position Sensitive Detector, Leicester, Sep. 9-14, 2002.

著者紹介

大柳 宏之 Hiroyuki OYANAGI

産業技術総合研究所光技術部門総括研究員

〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1

略歴：昭和50年東京大学理学部卒、昭和55年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、同年電子技術総合研究所入所。平成4年同所電子基礎部基礎物質研究室長、平成12年京都大学理学部教授(併任)、平成13年から現職。理学博士。

ヒト由来自己分泌型がん細胞運動刺激因子の活性阻害機構

田中信忠¹、羽賀新世²、上村洋史¹、秋山浩子¹、船坂龍善²、永瀬久光²、Avraham Raz³、中村和郎¹¹昭和大学薬学部、²岐阜薬科大学、³Wayne State University School of Medicine

Inhibition Mechanism of Human Autocrine Motility Factor

Nobutada TANAKA¹, Arayo HAGA², Hiroshi UEMURA¹, Hiroko AKIYAMA¹, Tatsuyoshi FUNASAKA²,
Hisamitsu NAGASE², Avraham RAZ³, Kazuo T. NAKAMURA¹¹School of Pharmaceutical Sciences, Showa University, ²Gifu Pharmaceutical University,³Wayne State University School of Medicine, Detroit, USA

1. はじめに

日本人の主要な死因が感染症から成人病、いわゆる生活習慣関連病へと移行する中で、がんは、1981年以来日本人の死亡原因第一位の座を守り続け、疾病対策上の最重要課題として対策が進められてきた。平成12年の統計では、日本人の死因の30%もが、がんによるものであり、死因の第二位、三位（各々15%程度）を占める心疾患や脳血管疾患の二倍もの割合に相当している。科学技術の進歩による、がんの診断・治療法のめざましい発展にも関わらず、依然としてがんが致死性の疾病として恐れられている原因の一つは、がんが「転移」・「再発」することである。がん転移に注目する研究者達は、「転移を制するものは、がんを制する。」即ち、「転移を制圧できなければ、がんを制圧できない！」をスローガンに、日夜研究に励んでいる。がん転移成立の過程（血行性転移の場合）は、おおまかに、次のようなステップに分けて考えられている。原発巣からの腫瘍細胞の遊離、血管内への侵入、血管内を血流に乗って移動、標的臓器の血管内皮に接着、血管外に脱出、そして標的臓器内での増殖というステップである。腫瘍細胞の転移の達成には、原発巣より転移巣への移動が不可欠であるため、細胞レベルでの移動には細胞自体の固有運動能が関与すると考えられている。

近年、自己分泌 (autocrine) または傍分泌 (paracrine)、ないしはその両方によって、腫瘍細胞の運動を刺激するサイトカイン類が報告されている。これらの中で、腫瘍細胞の chemotaxis (走化性) 及び chemokinetics (方向性を無視した運動能) を刺激する能力を持っているものが、自己分泌型がん細胞運動刺激因子 (autocrine motility factor, 以下 AMF) である。1986年に NIH の Liotta らが、ヒト黒色腫細胞より、細胞運動刺激活性を有する 55kDa の蛋白質の分離・精製に成功し、これをヒト AMF (human AMF, 以下 hAMF) として報告した [1]。1996年には、共同研究者である Wayne State 大の Raz らによって hAMF の 1 次構造が決定され [2]、1998年に cDNA クローニングがなされた [3]。興味深いことに、AMF は細胞内糖代謝酵素である phosphoglucose isomerase (以下 PGI) と同一のアミノ酸配

列を示し、実際に PGI 活性を有している。逆にウサギ PGI (rabbit PGI, 以下 rPGI) は、マウス線維芽細胞の運動を刺激する AMF 活性を持つ。また、AMF は、細胞外サイトカインである neuroleukin (以下、NLK) や成熟因子 (maturation factor, 以下 MF) とも同一蛋白質である。

一方、ヒト AMF 受容体 (human autocrine motility factor receptor, 以下 hAMFR) は、1990年に Raz らによって単離され [4]、1999年にヒト及びマウス AMFR の全長 cDNA クローニングがなされ [5]、hAMFR が、RING-H2 motif や leucine zipper を用いて 2 量体を形成すると推定される、新規の 7 回膜貫通型 G 蛋白質共役受容体であることが明らかにされた。

2001年には、hAMF と遺伝子配列上同一であるヒト PGI (以下 hPGI) の結晶構造が報告された [6]。細胞内酵素である PGI の 3 次構造や 4 次構造に基づき、異性化酵素としての触媒メカニズムや溶血性貧血に関連する hPGI の変異は詳細に記述されるようになったが、細胞外サイトカインとしての AMF / NLK / MF の構造活性相関、4 次構造情報は殆ど報告されていなかった。従って、AMF の立体構造に関する研究および細胞外サイトカインとしての AMF の立体構造に基づいた生化学的研究は、その知見を腫瘍細胞の運動能の制御等に役だてる上で重要である。

我々は、阻害剤非結合型のオープン型 hAMF の結晶構造と AMF に対する強力な阻害剤の一種である erythrose 4-phosphate (以下、E4P) 結合型のクローズド型 hAMF の結晶構造を、それぞれ分解能 1.9 Å と 2.4 Å にて決定した [7,8]。両者の結晶構造の比較から、阻害剤結合部位周辺にコンフォメーション変化が起こることが明らかとなった。E4P は AMF 活性阻害能を持つ最小の化合物の一つであるが、高濃度においては細胞毒性を示し、薬物とは成り得ない。結晶構造の解明は、より効果的かつ細胞毒性の少ない AMF 阻害剤のリード化合物のデザインに繋がると期待できる。本稿では、PF のタンパクビームライン (BL-6A, BL-18B) を用いることにより成し遂げられた実験結果及び得られた知見について簡単に紹介する。なお、この研究成果は、幸運にも *J. Mol. Biol.* 誌の表紙に採用された [8]。

2. 実験

2.1 蛋白質の発現・精製と結晶化

hAMF (558 アミノ酸残基) とグルタチオン-S-トランスフェラーゼ (GST) との融合蛋白質 (GST-hAMF) を、大腸菌内で発現させ、精製した。発現ベクターとしては、pGEX-6P (アマシャムバイオサイエンス社) を用いた。このベクターを用いて発現させた融合蛋白質には、GST 融合プロテアーゼである PreScission Protease (アマシャムバイオサイエンス社) による切断配列が含まれている。従って、(1) グルタチオンセファロースカラムに GST-hAMF を結合させ、(2) カラム内で上記プロテアーゼによる切断を行い (プロテアーゼは、カラムに結合する)、(3) 切断された hAMF のみを溶出して回収するという手順により、一段階のカラム操作だけで、純度 90% 以上の hAMF 標品を得ることができた。

結晶化条件のスクリーニングの結果、バッファー: 0.1M カコジル酸ナトリウム、塩: 0.2M 酢酸ナトリウム、沈殿剤: 28(w/v)% ポリエチレングリコール 8000 (PEG8000)、添加剤 (抗凍結剤): 20(v/v)% グリセロール、pH6.5、温度 20 °C、hAMF 濃度: 8.0mg/mL という条件において、空間群 $P2_12_12_1$ 、格子定数 $a = 80.77 \text{ \AA}$, $b = 107.4 \text{ \AA}$, $c = 270.8 \text{ \AA}$ 、結晶のサイズが最大で $0.05 \times 0.05 \times 0.8 \text{ mm}^3$ 程度の細い柱状結晶を得ることができた (Fig. 1)。

また、共結晶化法により、種々の阻害剤 (リン酸化 4~6 炭糖) との複合体結晶の調製を試みた。いずれも阻害剤を含まない場合と同様の条件で、同様の外見の細い柱状結晶は得られたものの、X 線回折実験に使用できる大きさに成長しなかった。そこで、AMF 活性阻害能を持つ最小の化合物の一つである E4P を 5 mM の濃度となるように阻害剤を含まない結晶が析出しているドロップレットに添加するという手法により、複合体結晶を調製した。得られた hAMF / E4P 複合体結晶の結晶学的パラメータは、空間群



Figure 1
Crystal of human AMF.

$P2_12_12_1$ 、格子定数 $a = 80.65 \text{ \AA}$, $b = 107.8 \text{ \AA}$, $c = 270.3 \text{ \AA}$ であった。

2.2 結晶構造解析

阻害剤非結合型 hAMF に関しては、PF の BL-18B において、低温 (100K) 下で、1.9 Å 分解能までの回折強度データを収集した。低温回折実験に都合が良いように、沈殿剤および蛋白質溶液共に 20% グリセロール存在下で結晶化を行っていたため、低温実験時の抗凍結剤の添加は不要であった。rPGI (PDB code: 1DQR) をモデルとした分子置換法により位相を決定した。位相決定の後、XtalView を用いた分子モデルの構築及び REFMAC による構造精密化を行った結果、結晶学的信頼度因子は、 $R = 0.167$, $R_{\text{free}} = 0.198$ (1.9 Å 分解能) となった。hAMF / E4P 複合体結晶に関しては、PF の BL6A において、低温 (100K) 下で、2.4 Å 分解能までの回折強度データ収集を行った。阻害剤非結合型 hAMF の精密化後のモデルを用いた差フーリエ法により位相を決定し、構造精密化を行った結果、結晶学的信頼度因子は、 $R = 0.193$, $R_{\text{free}} = 0.241$ (2.4 Å 分解能) となった (Table 1 - Appendix)。

Fig. 2 からも明らかのように、阻害剤非結合型 hAMF 結晶の回折能は、非対称単位中に 2200 アミノ酸残基以上 (約 250 kDa) を含むにも関わらず、1.7 Å 分解能以上であると見積られる。しかし、hAMF の結晶は c 軸が長く (約 270 Å)、回折斑点を分離するためには、結晶と検出器との間をある程度以上離さなければならなかった。機会があれば、より面積の大きい検出器を用いて、hAMF の高分解能の回折強度データを収集したいと考えている。

2.3 変異蛋白質の調製とその機能解析

既報の種々の知見や今回の立体構造解析の結果から導かれた、E4P による AMF のサイトカイン活性阻害機構の仮説 (後述) を検証するため、hAMF の阻害剤結合部位に位置するアミノ酸残基の置換体を 2 種類調製した。野生型 hAMF およびそれら置換体 hAMF の細胞運動刺激活性を、金コロイド法により評価した。金コロイド法とは、コロイド状の金を付着させたカバーガラス上に細胞を蒔き、その運動軌跡上に形成された金の欠損部の面積を計算することにより、細胞の運動能を測定する方法である。

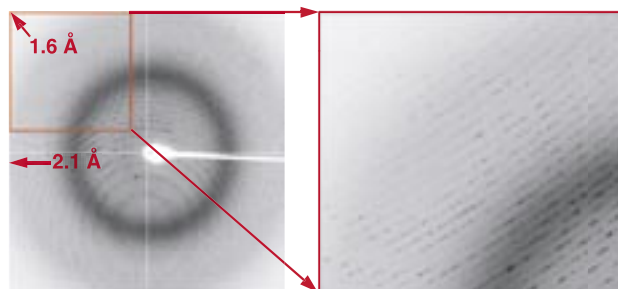


Figure 2
Diffraction pattern of human AMF crystal. Crystal-to-detector distance was 200 mm ($\lambda = 1.00 \text{ \AA}$).

3. 結果と考察

3.1 hAMF の立体構造

結晶構造解析の結果、AMF は単量体蛋白質であるとの既報 [1] とは異なり、hAMF は 2 量体として存在することが明らかとなった (Fig. 3)。各々のサブユニットは、3 つのドメイン (large, small, C-terminal) から構成されていた。サブユニット間の接触は、主として各々のサブユニットの large ドメインと C-terminal ドメインとの間に見られ、hook 領域が右手 (Fig. 3a)、C-terminal ドメインが左手 (Fig. 3b) とみなすと、2 つのサブユニットが抱き合うような形で会合していると表現できる。この入り組んだ会合様式から、hAMF の 2 量体は、生理的条件下でも存在することが強く示唆された。

我々は、AMF の 2 量体が結晶格子中だけでなく、生理的条件下でも存在することを証明するため、腫瘍細胞の培養上清に分泌される hAMF の架橋実験を行った。この場合、培養上清を濃縮してから架橋すると、高濃度になったため会合しやすくなったのではないかという疑念が生じるという点に注意せねばならなかった。そこで、第一に腫瘍細胞の培養上清に架橋剤 (dithiobis succinimidyl propionate, 以下 DSP) を加え架橋反応を行い、次いで濃縮を行った後に SDS-PAGE を行い、抗 hAMF 抗体を用いたウエスタンブ

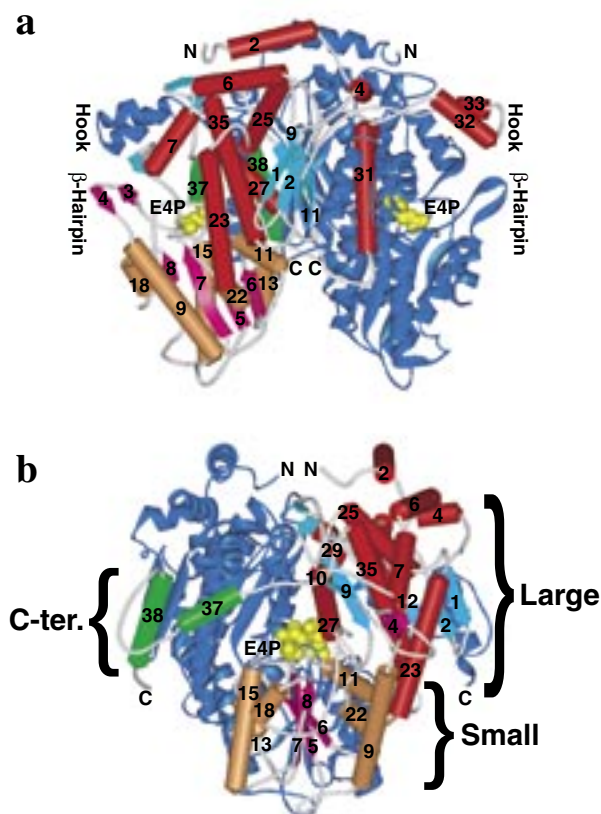


Figure 3
Dimeric structure of human AMF / E4P complex. One subunit is colored blue; the other is colored red and cyan for the large domain, orange and magenta for the small domain, and green for the C-terminal domain. The molecules of bound E4P (yellow) are shown as space-filling models for each of the two subunits. (a) Front view of the molecule. (b) Side view of the molecule. The view in (b) was obtained by rotating the view in (a) by 90°.

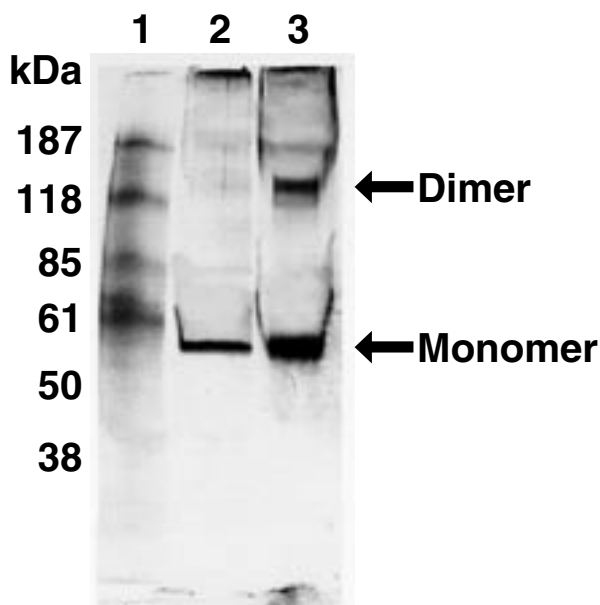


Figure 4
Western blot analysis of tumor-secreted human AMF. A cross-linked sample was subjected to SDS-PAGE and Western blot analysis. Lane 1, molecular weight marker; lane 2, control (without cross-linker); and lane 3, DSP-treated sample.

ロットィング法により、hAMF を検出した (Fig. 4)。Fig. 4 から明らかなように、DSP 非存在下では単量体のバンドしか検出されない (Fig. 4, lane 2) が、DSP を用いて架橋したサンプルでは、2 量体に相当するバンドがクリアに検出されている (Fig. 4, lane 3)。この結果から、AMF は、生理的条件下においても 2 量体として存在することは明らかであり、我々が決定した結晶構造 (Fig. 3) と一致している。従って、我々は、結晶構造に基づいて、hAMF の機能に関して考察することができる。なお、AMF の 2 量体形成は、AMFR との相互作用に重要であると我々は考えている (後述)。

3.2 阻害剤結合部位および結合による構造変化

AMF と阻害剤との複合体の結晶構造解析の結果、阻害剤である E4P は、2 量体の各サブユニットのドメイン間クレフトに結合していた (Fig. 3)。Fig. 5a に示すように、阻害剤である E4P の電子密度は非常にクリアであった。E4P 分子の配向は、差フーリエマップの等高線のレベルを調整することにより、容易に判別可能であった。等高線のレベルを 10 σ まで上げると、E4P のリン酸基のリン原子の部分のみがピークとして現れた (Fig. 5a, red)。等高線のレベルを 4 σ 程度とすると、E4P 分子の全ての酸素原子の位置が明確になった (Fig. 5a, violet)。非対称単位中の 4 つのサブユニットの全てのドメイン間クレフトに、同様のクリアな電子密度が見られた。E4P と hAMF との間の相互作用は、主として水素結合によるものであった (Fig. 5b)。負電荷を持ったリン酸基と正電荷を持った蛋白質表面の Arg, Lys 等の側鎖との間の静電的相互作用は、今回の hAMF / E4P 複合体中では見られなかった。E4P のリン酸基は、Ser160, Ser210, Thr212, Thr215 の側鎖の水酸基なら

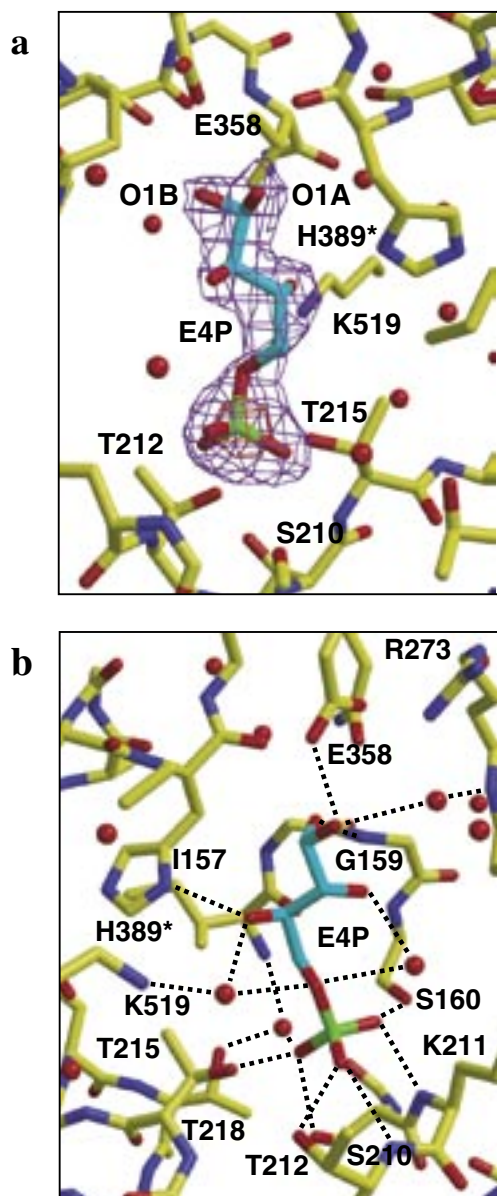


Figure 5
Inhibitor (E4P)-binding site of human AMF / E4P complex. The carbon and phosphorus atoms of the bound E4P molecule are shown in cyan and green, respectively. The bound water molecules are shown as ball models. (a) The Fo-Fc omit electron density map (calculated at 2.4 Å resolution and contoured at 10.0 σ (red) and 4.0 σ (violet)) showing the E4P molecule. (b) The model of E4P binding to the inhibitor-binding site of human AMF. Possible hydrogen bonds are indicated by broken lines.

びに Lys211, Thr212 の主鎖の窒素原子と強固に相互作用していた。2 量体を形成するもう一方のサブユニットに属する His389 (His389*) と E4P の 3 位の水酸基との間に水素結合が見られた。E4P 分子のリン酸基と蛋白質表面との間の相互作用および糖部分と蛋白質表面との間の相互作用を比較すると、明らかに前者の方がより強固である。

阻害剤非結合型 hAMF と阻害剤結合型 hAMF の立体構造を比較してみると、E4P 結合部位周辺において、阻害剤の結合によるローカルな構造変化（オープン型からクローズド型）が見られた (Fig. 6)。両者の構造は同型の結晶を用いて決定されたものなので、Fig. 6 に見られる構造の

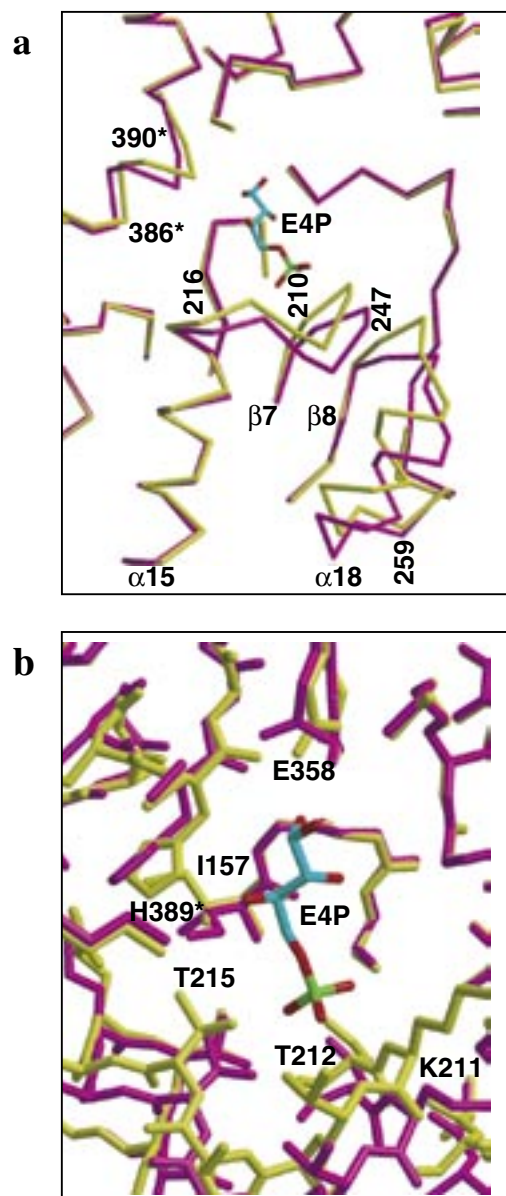


Figure 6
Comparison of the crystal structure of inhibitor-free human AMF (magenta) and that of inhibitor (E4P)-bound human AMF (yellow) showing the conformation changes upon inhibitor binding. The bound E4P molecule is colored as in Fig. 5. (a) A wide view of the inhibitor-binding site. (b) Close view of the inhibitor-binding site.

違いは、結晶格子内の分子のパッキングの違いによって生じたものではない。また、阻害剤非結合型 hAMF の結晶の結晶学的に独立な非対称単位中の 4 サブユニット全てがオープン型構造であり、hAMF / E4P 複合体結晶中の結晶学的に独立な非対称単位中の 4 サブユニット全てがクローズド構造をとっていることから、Fig. 6a に示した構造変化が、E4P の結合によって生じたものであると考えられる。最も顕著な構造変化は、E4P のリン酸基と相互作用するアミノ酸残基が密集している残基番号 210-216 のループ部分に見られた。E4P 結合部位を拡大表示してみると、Ser160, Ser210, Thr212, Thr215 の側鎖が E4P のリン酸基と相互作用できるように、これらの側鎖を含むループ自体に構造変化が生じていることが分かる。また、His389* の

側鎖に、E4Pの3位の水酸基との水素結合を可能とするような構造変化（主として側鎖の2面角 χ_2 の変化）が生じている。

3.3 リン酸化糖による活性阻害機構の作業仮説と機能解析による仮説の検証

既報の種々のデータ及び今回の立体構造解析の結果から、E4P等のリン酸化単糖によるAMFのサイトカイン活性阻害機構として、2つの仮説を立てることができる。一つの仮説は、「AMFによる糖蛋白質AMFRの糖鎖の認識を、E4Pが競合阻害する。」というものであり、もう一つの仮説は、「E4Pの結合によって生じた構造変化（Fig. 6）が、AMFとAMFRとの間の蛋白間相互作用に影響を与える（AMFの構造変化により、相互作用が弱くなる）」というものである。

前者の仮説を検証するため、hAMFの阻害剤結合部位に位置するアミノ酸残基の置換体を2種類調製し、それらの細胞運動刺激活性を評価した。置換体の一つは、E4Pの水酸基と水素結合するHis389をPheに置換（H389F置換体）することにより、水素結合能を失わせ、hAMFによる糖の水酸基認識の重要性を評価するというものであった。もう一つは、E4Pのリン酸基と水素結合するThr215をAspに置換（T215D置換体）することにより、互いの負電荷による静電的反発を生じさせ、hAMFとリン酸基との結合の重要性を評価するというものであった。その結果をTable 2に示す。いずれの置換体（T215D, H389F）においても、AMF刺激を与えない場合（Control）と同等の細胞運動能しか観察されないことから、これらの置換体においては、サイトカイン活性が劇的に低下していることは明らかである。この実験結果は、AMFがサイトカインとしての機能を果たすために、これらの残基が重要であることを示している。そして、これらの残基がE4Pの認識に直接関与しているという結晶構造解析の結果と合わせて考えると、これらの残基が、AMFRの糖鎖の認識に関与しているのではないかと推測され、E4PによるAMFのサイトカイン活性の阻害機構として、AMFによるAMFRの糖鎖認識を競合するのではないかとこの仮説の妥当性が示唆される。

後者の仮説を検証することは難しいが、後者の仮説を否定するような、2つのデータが他のグループから報告されている。やや難解な話になるので、ここでは触れない。今

Table 2 Cell motility-stimulating activities of wild-type and mutant human AMFs

	Cell motility [$\mu\text{m}^2/\text{h}$]	Relative motility
Control*	10.98 \pm 3.340 (n = 28)	1.00
Wild type	19.00 \pm 3.399 [§] (n = 27)	1.73
T215D	10.86 \pm 2.539 (n = 28)	0.99
H389F	12.36 \pm 2.243 (n = 24)	1.13

*Without AMF. [§]Mean \pm standard deviation.

[§]P < 0.001 by Student's *t* test.

後、後者の仮説を検証するための実験手段をなんとか考えたいと思っている。

3.4 AMF / AMFR 複合体の結合様式

現状では、「AMFによる糖蛋白質AMFRの糖鎖の認識を、E4P等のリン酸化単糖が競合阻害する。」という説を支持する実験データが得られていることから、AMFとAMFRとの結合様式として、我々は、Fig. 7に示すようなモデルを「推定」している。つまり、AMF / AMFR複合体において、蛋白間相互作用だけではなく、図中の星印で示したAMFRの糖鎖部分とAMFとの相互作用も重要だろうというモデルである。我々は、今回解明したhAMF / E4P複合体の結晶構造は、AMFによるAMFRの糖鎖認識を模倣している（Fig. 7中、星印で示したAMFRの糖鎖先端の大きな星印がE4Pに相当する）のではないかと考えている。また、AMFが結晶中のみならず生理的条件下でも2量体として存在すること（Fig. 4）ならびにAMFRが、RING-H2 motifやleucine zipperを用いて2量体を形成すると推定されていることから、AMFとAMFRの結合比は、2:2であると考えられる。しかし、AMFRおよびAMF / AMFR複合体の立体構造情報が無い以上、AMFとAMFRの結合様式に関する議論は、仮説の域を脱することはできない。

4. まとめ

以上のように、hAMFの阻害剤非結合型およびE4Pとの複合体の結晶構造解析、結晶構造解析によって得られた立体構造情報に基づく置換体の調製およびその機能解析の結果から、E4P等のリン酸化単糖によるAMFのサイトカイン活性阻害機構として、「AMFによる糖蛋白質であるAMFRの糖鎖の認識を、E4Pが競合阻害する。」という仮説が有力となった。今回の結晶構造解析により、hAMFの立体構造および糖鎖認識部位は明らかになったが、7回膜貫通型G蛋白質共役受容体であるAMFRに関しては、未

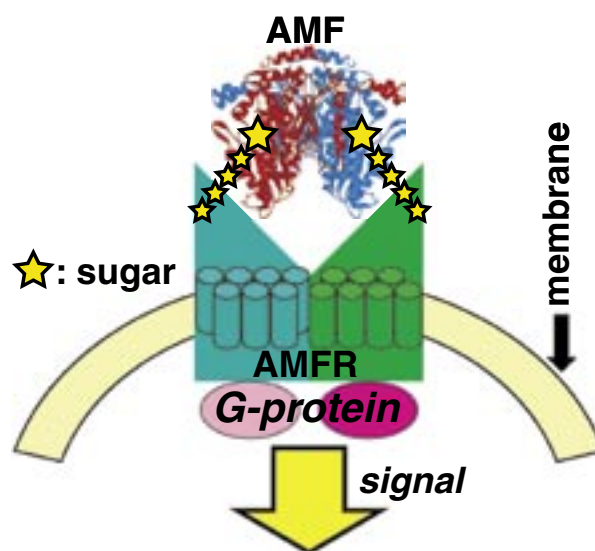


Figure 7
A hypothetical model of AMF / AMFR complex (2:2 complex).

知の点があまりにも多い。AMF-AMFRの相互作用を分子レベルで解明し、その知見をがん転移抑制剤の開発へ役立てるためには、AMFRに関する種々の生化学的解析や立体構造解析が必要である。膜蛋白質であるAMFRの結晶化には多大なる困難が予想されるが、一歩ずつ研究を進めて行きたい。

引用文献

- [1] Liotta, L.A., Mandler, R., Murano, G., Katz, D.A., Gordon, R.K., Chiang, P.K., and Schiffmann, E., *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **83**, 3302-3306 (1986).
- [2] Watanabe, H., Takehana, K., Date, M., Shinozaki, T., and Raz, A., *Cancer Res.* **56**, 2960-2963 (1986).
- [3] Niinaka, Y., Paku, S., Haga, A., Watanabe, H., and Raz, A., *Cancer Res.* **58**, 2667-2674 (1998).
- [4] Nabi, I.R., Watanabe, H., and Raz, A., *Cancer Res.* **50**, 409-414 (1990).
- [5] Shimizu, K., Tani, M., Watanabe, H., Nagamachi, Y., Niinaka, Y., Shiroishi, T., Ohwada, S., Raz, A., and Yokota, J., *FEBS Lett.* **456**, 295-300 (1999).
- [6] Read, J., Pearce, J., Li, X., Muirhead, H., Chirgwin, J., and Davies, C., *J. Mol. Biol.* **309**, 447-463 (2001).
- [7] Uemura, H., Tanaka, N., Funasaka, T., Haga, A., Nagase, H., Raz, A., and Nakamura, K.T., *Protein Peptide Lett.* **8**, 317-322 (2001).
- [8] Tanaka, N., Haga, A., Uemura, H., Akiyama, H., Funasaka, T., Nagase, H., Raz, A., and Nakamura, K.T., *J. Mol. Biol.* **318**, 985-997 (2002). [*cover illustration of the issue*]

著者紹介

田中信忠 Nobutada TANAKA



昭和大学・薬学部・講師

〒142-8555

東京都品川区旗の台1-5-8

TEL: 03-3784-8200

FAX: 03-3782-5635

e-mail: ntanaka@pharm.showa-u.ac.jp

略歴：1996年3月長岡技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程中退（1994年4月から1996年3月まで（財）日本学術振興会特別研究員）、1996年4月昭和大学薬学部助手、2000年11月昭和大学薬学部講師、現在に至る。博士（工学）。

最近の研究：薬物の標的と成り得る蛋白質のX線結晶構造解析。

趣味：スキー（関越道や中央道の渋滞が嫌いなので、空路で北海道へ行きます）。飲酒（日本酒なら厚焼き卵、ワインならチーズ、ビールならソーセージ、洋酒ならレーズンバター等、一応、酒と肴の組み合わせにはこだわります）。

羽賀新世 Arayo HAGA

岐阜薬科大学・助手、博士（薬学）。

上村洋史 Hiroshi UEMURA

昭和大学・薬学部・大学院生（現・CTCラボラトリーシステムズ勤務）、修士（薬学）。

秋山浩子 Hiroko AKIYAMA

昭和大学・薬学部・大学院生（現・CTCラボラトリーシステムズ勤務）、修士（薬学）。

船坂龍善 Tatsuyoshi FUNASAKA

岐阜薬科大学・研究生、博士（薬学）。

永瀬久光 Hisamitsu NAGASE

岐阜薬科大学・教授、博士（薬学）。

Avraham RAZ

Professor of Wayne State University School of Medicine, Ph.D.

中村和郎 Kazuo T. NAKAMURA

昭和大学・薬学部・教授、博士（薬学）。

(Appendix)**Table 1.** Data collection and refinement statistics for human AMF

Data set (PDB code)	Free (1JIQ)	E4P complex (1IRI)
Crystallographic parameters		
Space group	$P2_12_12_1$	$P2_12_12_1$
Cell dimensions (Å)	$a = 80.77, b = 107.4, c = 270.8$	$a = 80.65, b = 107.8, c = 270.3$
Data collection statistics		
Resolution (outer shell) (Å)	1.9 (2.0 - 1.9)	2.4 (2.53 - 2.40)
No. of observed reflections	1,350,454	550,782
No. of unique reflections	183,392	92,870
Multiplicity	7.4 (4.4)	5.9 (6.0)
Mean $\langle I/\sigma(I) \rangle$	4.6 (2.4)	7.3 (2.1)
R_{sym} (%)	10.8 (30.5)	9.0 (35.7)
Completeness (%)	98.7 (92.1)	100 (99.9)
Refinement statistics		
Resolution range (outer shell) (Å)	36 - 1.9 (1.95 - 1.90)	25 - 2.4 (2.46 - 2.40)
No. of reflections		
Working set	174,100	88,274
Test set	9,195	4,595
R -factor	0.167 (0.206)	0.193 (0.214)
Free R -factor	0.198 (0.244)	0.241 (0.306)
No. of protein atoms*	17,784 (4,446 x 4) [#]	17,784 (4,446 x 4)
No. of water molecules	1,475	432
RMSD		
Bond distances (Å)	0.010	0.013
Bond angles (°)	1.321	1.528

*C-terminal residue (Gln558) is not included in each of the four subunits in an asymmetric unit (ASU).

[#]There are four crystallographically independent subunits (two homo dimers) per ASU ($2 \times 2 \times 558$ a.a.).

訂正とお詫び

前号 Vol.20 No.2 August 2002, p27

「最近の研究から γ アダプチン ear ドメインの立体構造に基づいた小胞輸送制御機構の解析」の Fig.8 の a の図にギリシヤ文字の欠落 (6 箇所) がありました。ここに訂正し、著者並びに関係者の方々にお詫び申し上げます。

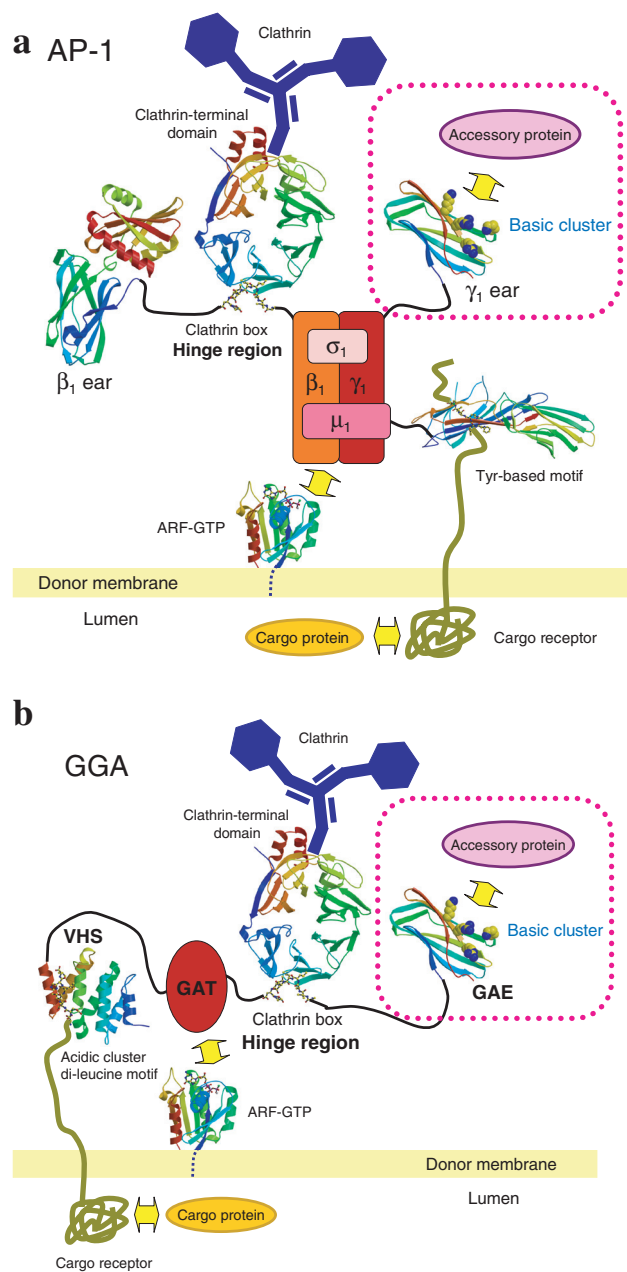


Figure 8

Current models of the AP-1 complex and GGA. **a**, In AP-1 complex, two ear domains (β_1 - and γ_1 -adaptns) may interact with accessory proteins. The β_1 -adaptn hinge region binds the clathrin N-terminal domain whereas the Tyr-based motif of μ_1 -adaptn recognizes cargo receptors. **b**, The GAE ear domain of GGA uses its basic cluster to interact with accessory proteins. The VHS domain of GGA recognizes cargo receptors and the hinge region binds the N-terminal region of clathrin, which may act as a trigger of the formation of a clathrin cage.

研究会の報告／予定

第 20 回 PF シンポジウムのお知らせ

PF シンポジウム実行委員長 小林克己

9月13日に第20回PFシンポジウムの第1回実行委員会が開かれ、今年度のPFシンポジウムは2003年3月17日(月)、18日(火)、19日(水)の期間の2日間に行われることが決まりました。開催期間に幅があるのは現在進行中の将来計画に関する研究会などが相前後して開かれることを想定したためです。かなり先ですが、皆さまの予定表に加えておいて下さい。具体的な内容は次回の委員会(11月15日開催予定)から議論が始まりますので、企画や招待講演に関してご意見・ご希望の有る方は下記の実行委員までご連絡下さい。

第20回PFシンポジウム実行委員(敬称略)

猪子洋二(阪大)、加藤龍一(PF)、北島義典(PF)、
木下豊彦(東大)、◎小林克己(PF)、○高橋敏男(東大)、
高桑雄二(東北大)、原田健太郎(PF)、平木雅彦(PF)
(◎委員長、○副委員長)

PF 研究会

「内殻励起分光学の発展と展望」のお知らせ

物質科学第一研究系 小出常晴、岩住俊明

下記内容のPF研究会を開催いたします。興味のある方はぜひ御参加下さい。

開催日時：12月20日(金)13:00～21日(土)15:55

開催場所：高エネルギー加速器研究機構

3号館セミナーホール

主旨：

この20～30年間に、内殻励起分光学は飛躍的に発展した。放射光専用光源と実験手法の発展が原動力のひとつであることは明白である。もうひとつの原動力は、新しい実験結果に刺激された、又は新しい実験を予言した理論の発展である。後者に関して、70年代初頭に発表されたKotani-Toyozawa理論が、内殻励起分光の本質を捉えた新しい概念を提出したばかりでなく、当時は実験が不可能に近かった発光スペクトルまでも計算していたことは特筆すべきである。内殻励起の発光分光は後年のKotani理論の中心テーマとなった。80年代以降の第2、3世代放射光源の登場により、内殻励起分光学は初期の内殻吸収に加えて、共鳴光電子分光、スピン角度分解光電子分光、硬／軟X線

共鳴(磁気)散乱、硬／軟X線発光分光などの新手法が開拓された。さらに、この10年余には放射光の偏光特性(円／直線偏光)も組み合わせた内殻吸収、内殻光電子放出、硬／軟X線共鳴磁気散乱、硬／軟X線発光における磁気円／線二色性の実験・理論も発展した。内殻励起分光は、元素・軌道選択性、共鳴増大効果、多体効果の露な出現等の特色を共有する。Kotani理論はこれらの新分野でも常に世界をリードした。他方この～15年に物性科学において、高温超伝導、超巨大磁気抵抗、カーボンフラーレン／ナノチューブなどの大発見が相次いだことは、内殻励起分光に強い刺激を与えた。内殻励起分光は現在も日進月歩である。さらに世界では、第3.5世代の新放射光源リングも稼働し始め(SLS)、もしくは計画が走り始めている(DIAMOND等)。国内の新光源計画も検討されている。内殻励起分光学は今後どう発展するのか、我々は今何を準備しよう行動すべきか?期待と不安が交錯する。

本年はPFの放射光発生20周年にあたる。また、内殻励起分光学の理論的研究において長年世界をリードしてこられた小谷章雄教授が、来年3月に東大物性研を御退官の予定と伺っている。本PF研究会は、これを機会に、内殻励起分光学の分野で日頃仕事をしている理論・実験研究者が一同に会し、内殻励起分光学の発展と展望を議論する場を提供するものである。(文責：提案代表者)

プログラム案

12月20日(金)13:00～

13:00～13:05 「趣旨説明」

13:05～14:35 「内殻励起分光学の理論の進展」

小谷章雄 (東大物性研)

14:35～14:50 休憩

14:50～15:15 「軟X線発光分光による固体の実験的研究」

辛 埴 (東大物性研)

15:15～15:40 「低次元銅酸化物の酸素内殻の共鳴 XES の理論」

岡田耕三 (岡山大)

15:40～16:05 「硬X線発光の偏光依存性」

岩住俊明 (物構研PF)

16:05～16:30 「ヘリウムイオン-表面衝突と内殻励起」

馬越健次 (姫工大)

16:30～16:45 休憩

16:45～17:10 「遷移金属化合物および希土類化合物における共鳴 X 線散乱」

五十嵐潤一 (SPring-8)

17:10～17:35 「共鳴 X 線散乱法による軌道秩序の研究

— K 端共鳴散乱のメカニズム—

村上洋一 (東北大)

17:35～18:00 「バンド計算と X 線散乱分光」

浜田典昭 (東京理科大)

18:00～18:25 「PLD 法作製 LaSrMnO₃ 薄膜の in-situ 光電子分光」

尾嶋正治、組頭広志 (東大)

18:30～ 懇親会

12月21日(土) 9:00～

9:00～9:25 「軟X線光電子分光によるバルクバンドマッピングと Fermiology」
菅 滋正 (阪大)9:25～9:50 「モット転移の多段階性と光電子スペクトルの経路積分理論」
那須奎一郎 (物構研 PF)

9:50～10:15 「内殻分光による化学ポテンシャル・シフトの研究」 藤森 淳 (東大)

10:15～10:40 「内殻電子励起と電子スピン遍極」
柿崎明人 (東大物性研)

10:40～10:55 休憩

10:55～11:20 「光電子顕微鏡による微小領域磁性の研究」
木下豊彦 (東大物性研)11:20～11:45 「希土類L吸収端における磁気円二色性
— CeFe₂ を中心に —」
原田 勲 (岡山大)11:45～12:10 「XMCDによる磁性研究」
圓山 裕 (岡山大)

12:10～13:00 昼食

13:00～13:25 「ペロブスカイト酸化物の電子状態と内殻吸収線二色性」 城 健男 (広島大)

13:25～13:50 「MCD でみた局所帯磁率の温度依存性とバルク帯磁率との比較」
宮原恒昱 (都立大)

13:50～14:15 「角度分解 XMCD による異方的磁気モーメントの研究」 小出常晴 (物構研 PF)

14:15～14:30 休憩

14:30～14:55 「相対論的 XAFS, XMCD, XPD 理論」
藤川高志 (千葉大)14:55～15:20 「内殻分光と表面化学」
太田俊明 (東大)15:20～15:45 「X線偏光顕微鏡の開発と応用」
雨宮慶幸 (東大)

15:45～15:55 「まとめ」

提案代表者： 那須奎一郎 (物構研 PF)
宮原恒昱 (都立大学)
藤森 淳 (東京大学)
小出常晴 (物構研 PF)
岩住俊明 (物構研 PF)

世話人及び問合せ先：

小出常晴 (物質構造科学研究所・放射光研究施設)
E-mail : tsuneharu.koide@kek.jp
岩住俊明 (物質構造科学研究所・放射光研究施設)
E-mail : toshiaki.iwazumi@kek.jp
FAX : 0298-64-2801 (二人に共通)

参加申し込み方法：

当研究会のホームページ (<http://pfwww.kek.jp/pf-seminar/reiki.html>) の参加申し込みフォームよりお申し込み下さい。旅費のサポートは出来る限り行います。**PF 将来計画に関する研究会 1****「フェムト秒パルス放射光源の開発と新しいサイエンスの展開」の報告**

物質科学第一研究系 間瀬一彦、岩住俊明

平成 14 年 10 月 3 日 (木)、4 日 (金) に KEK 4 号館セミナーホールにて上記の研究会が開催されましたので報告いたします。

PF では現在、将来計画としてエネルギー回収型ライナック (Energy Recovery Linac, ERL) を主体とした新しい光源を検討しております。ERL では、100fs オーダーのパルス幅を持つ放射光が得られることが期待されるため、光励起後の化学反応や構造変化などの超高速現象を内殻励起分光や X 線回折などの手法を用いて実時間測定する研究など、新しい放射光利用研究分野が拓けると予想されます。そのためには、新光源開発や測定技術面における課題と解決の見通しを整理するとともに、さまざまな新しいサイエンスの可能性を検討し、より豊かな分野に育ててゆくための具体案を探究することが重要です。そこで本研究会では、X 線・軟 X 線・真空紫外領域での超短パルス光源の開発 (ERL、第 3 世代放射光、レーザープラズマ X 線、逆コンプトン散乱 X 線、レーザー高調波など) とその利用研究 (光誘起構造相転移、生命科学、圧力場での構造緩和、表面物性、分子科学など) に携わる研究者の皆様にお集まりいただき、最先端の研究を報告していただきました。PF ユーザー、加速器関係者、PF スタッフばかりでなく、短パルス X 線・真空紫外光利用に関心を寄せる多くの研究者が加わって参加者が 120 名を超え、活気のある研究会となりました。

第 1 日目の「PF の将来計画」に関するセッションでは野村昌治氏 (KEK・PF) が PF 将来計画の背景と検討の経緯、概要を紹介し、諏訪田剛氏 (KEK・加速器施設) が ERL の原理と特長、課題、世界の ERL 開発の現状、KEK 加速器施設が進めている ERL 原理実証計画を解説されました。次いで、小林幸則氏 (KEK・PF) が PF で現在検討している ERL のラティス設計と短パルス特性について、山本樹氏 (KEK・PF) が ERL の挿入光源から得られる光の特性について講演されました。次の「短パルス X 線利用研究」に関するセッションでは、田中義人氏 (SPring-8) が放射光と短パルスレーザー光の同期方法とその特性、X 線シャッターの開発状況、超高時間分解測定法の将来展望について、岸本俊二氏 (KEK、PF) が超高速検出器であるアバランシェ・フォトダイオードとそれを用いた原子核励起現象研究、上坂充氏 (東大原子力施設) がレーザープラズマ・逆コンプトン散乱 X 線の生命科学などへの応用、腰原伸也氏 (東工大理工) と那須奎一郎氏 (KEK・PF) が時間分解構造解析による光誘起構造相転移の研究の現状と将来展望、弘中陽一郎氏 (東工大応用セラ研) が短パルス圧力場下における構造緩和過程のピコ秒時間分解 X 線構造解析についてそれぞれ講演されました。最後の「短パルス軟 X 線・

真空紫外利用研究」に関するセッションでは、渡部俊太郎氏（東大物性研）と緑川克美氏（理研）が超短パルスレーザーの高輝度高調波発生の原理とその特性、利用研究、将来展望について、鎌田雅夫氏（佐賀大）が放射光とレーザーを組み合わせた時間分解光電子分光による励起キャリアーのダイナミクス研究、見附孝一郎氏（分子研）が超短真空紫外光パルスを利用した励起分子ダイナミクスの現状と将来展望についてそれぞれ講演されました。講演時間は30分、質疑10分とゆったり時間を配分していたのですが、ディスカッションが活発で時間を超えることもしばしばでした。また、1日目の晩の懇親会には28名の方が参加し、交流を深めました。

研究会を通して強く印象に残ったことはX線・軟X線・真空紫外領域での超短パルス光源によってブレークスルーが期待される分野はきわめて広く多彩であること、現時点での超短パルス光源には一長一短があり超短パルス放射光源への期待が非常に大きいことでした。この研究会を受けて、PF将来計画利用研究作業グループでは短パルス利用研究向けの運転として、

- ・ 光半値幅：100fs（目標値、最低でも1ps）。
- ・ 繰り返し：10kHz～1MHz（平均ビーム電流は10 μ A～1mA）。（機械的に間引いてレーザーの周波数と合わせる。あるいはレーザーと同期したシグナルのみにゲートをかける。）
- ・ 光強度：10⁷photons/pulse/0.1%bw（10¹¹～10¹³photons/s/0.1%bw）
- ・ 光のエネルギー：200eV以上、波長可変。（200eV未満はレーザー高調波の方が有利。）
- ・ ポンプ用fsレーザーと100fs（目標値、最低でも1ps）以内のジッターで同期。
- ・ 短パルス利用研究専用ステーションを複数用意。

という仕様を加速器作業グループに提案しました。超短パルス放射光源を実現までには長い道のりが残されているのですが、この研究会は利用研究者と加速器・光源研究者が集まって情報交換をした点で非常に意義深いものであったと思います。

本研究会の講演内容はホームページ（http://pfwww.kek.jp/pf-seminar/pf_future1/index.html）に掲載するとともに、近くKEKプロシーディングスとして発行する予定です。最後になりましたが、本PF研究会に講演していただいた方々、参加して下さった方々に深く感謝いたします。

「フェムト秒パルス放射光源の開発と新しいサイエンスの展開」に参加して

佐々木聡（東京工業大学、応セラ研）
高橋敏男（東京大学、物性研）

PFニュースやホームページで案内されたように、さる10月3日、4日、PF将来計画に関する研究会1が開催さ

れたので、それに参加した。「エネルギー回収型ライナック（Energy Recovery Linac, ERL）と蓄積リングを組合せた新光源」を中心にPF将来計画を考えるのが共通テーマであった。光源の設計や性質について詳しい紹介があった後、ERLが持つ3大特徴、[A]100fsオーダーのパルス幅、[B]第3世代より2桁小さいエミッタンス、[C]同程度の水平・垂直エミッタンスをもつ50nm???の丸い放射光ビーム、のうち主として、[A]の短パルスを利用した早い時間変化を追う放射光実験について活発な討議が行われた。引き続き、[B]、[C]に関連した研究会2、3も、10月31日～11月1日、および11月14日～15日に開催される予定である。

PFニュースの本号で、研究会の詳しい報告が別途なされるということなので、ここでは簡単に感想を述べさせていただきます。

最初のセッションでは、「PFの将来計画」に関して、まず、野村昌治氏から概要説明があった。2、3年前までは蓄積リングであるPF-II計画、あるいはX-FEL計画を検討してきたが、独立法人化の流れの中で、今年の春頃からERLと蓄積リングを組み合わせる案がでて来たようである。ERLは、新第3世代といわれるSLSで代表されるような蓄積リングと第4世代であるX-FELとの中間の第3.5世代に位置づけられる。利用形態も両者の中間的で、周回リングからの放射光はこれまでの多くのユーザーの要求を満たすものであり、長直線部のアンジュレータからの放射光は特定の一部のユーザーの要求に応えるものである。共同利用施設としての計画という観点からも、納得できる一つの案になっていると思われる。

つづいて、諏訪田剛氏、小林幸則氏からはそれぞれ、ERLの現状、およびPFにおけるERLの検討結果について詳しい報告があった。ERLでX線領域の放射光源にするためにはGeVクラスのものが必要であり、Cornellなど外国の5、6ヶ所の計画が紹介された。ブリアンスはピーク値で第3世代光源より3桁程度高い10²⁵-10²⁶程度が期待できることが分かった。

ERLでは、LINAC部はリングへの入射器としての機能と周回してきた電子ビームを回収するという機能があり、加速と減速を同時に繰り返すという高度な動作を要求されている。アイデアは以前からあったようだが、まだ検討の進んでいない点が多いことを知った。現時点で実現しているのは数十MeVクラスのものまでのようだ。ERLでは、従来の蓄積リングとは異なり、電子銃の特性が放射光特性に直接的に反映されるので、その開発の重要性が理解できた。GeVクラスのERLを実現するには電子銃以外にもいくつかの開発や検討すべき事項があり、加速器施設とPFでもまず300MeV程度のもので検証実験をおこなう必要があるとのことであった。

PFにおけるERL計画の最初の案では、MARS（Multi-turn Accelerator Recuperator Source）があり1GeVのLINACで4回繰り返し加速して4GeVにする案が出されていたが、小林氏の検討結果も、現時点では、1回加速するだけのもの

のとなっていた。もう少し時間をかけて検討する必要があるようだ。

休憩を挟んで山本樹氏から ERL と組み合わせる蓄積リング型光源からの放射光特性についての説明があった。おなじ放射光リングでも、電子ビームは一回しか周回しないので従来の蓄積リングとは全く異なる放射光特性が得られる。エネルギー、周期長、全長をパラメータにしてアンジュレータで得られる放射光についていくつかの計算例が示された。回折限界と比較しながらの説明であったが、特に数 100eV 領域では条件にもよるが比較的容易に回折限界に達したビームが得られることを知った。

ERL は、究極の光源といわれている自由電子レーザーに比べて同程度の平均輝度をもち、第 3 世代の実験手法をある程度受け継ぐことができることから、10 年ぐらい先の PF 将来計画として適切なものと感じた。しかし、今後解決しなければいけない多くの技術的問題をかかえており、まだ未踏の加速器であることもよくわかった。現在、光の回折限界を狙うなどの種々の境界条件の下で、加速器性能を最大限にする設計努力が進行中であり、今後もデザインの大幅な変更が行われていくであろうことに、利用実験を考える際には注意すべきであろう。

光源の話に引き続いて、放射光源のパルス性を用いた時間分解実験が X 線、軟 X 線・真空紫外に分けて紹介された。最初に、第 3 世代光源である SPring-8 で現在行われている数十ピコ秒の時間分解測定や検出器の時間性能について、現状報告がなされた。ピコ秒レーザー光と硬 X 線アンジュレータ光とを RF 基準信号で同期する現在の方法では、同期の精度がピコ秒オーダーであること、RF 加速電圧と電子バンチ間の位相がピコ秒オーダーあるいはそれ以上の大きさで影響を受けることなどが報告された。100 fs オーダーの短パルスでは、ポンプ光も放射光にするなどの新しい同期方法が必要になるかもしれない。発表者の田中義人氏からは、100 fs オーダーのパルス幅を活かした時間分解測定として、結晶の非対称反射を利用したパルスの到着時間を試料位置で変化させる単ショット実験が提案され、興味深く拝聴した。

また続いての、時間検出器として使われているアバランシェ・フォトダイオード (APD) 検出器の発表では、空乏層の厚みに対し限界があり、新検出器の開発が重要な問題であるとの認識が示された。空乏層の厚みは、電荷キャリア数、電気容量や抵抗値と関係しており、薄くするにも限界があるとのことである。発表者の岸本俊二氏からは、小さな CR 時定数で出力パルス幅の小さい検出器開発やそれを処理できる回路系の開発が提案された。それでも 100 fs オーダーのパルスに対応するにはほど遠いものであり、光源の電子ビームの測定と合せて、検出器には何か大きなブレイクスルーが必要である。後半の軟 X 線・真空紫外でのセッションでもそうであったが、フェムト秒計測には、直接計測ではない、何らかの非線形過程を利用したスイッチング観測が有効になるとの認識が幾度も議論された。

以後、最新の研究成果について、(1) ピコ秒時間分解レ

ーザープラズマ X 線を用いた X 線イメージングやタンパク質の X 線ブラッグ回折像を観測したこと、(2) 電荷移動錯体の光誘起による中性—イオン性相転移の構造変化を ESRF でのピコ秒時間分解装置で観察したこと、(3) ピコ秒時間分解 X 線回折でレーザー誘起圧力波による歪が Si 結晶内部を進行する様子を直接観測したこと、などのトピックスが報告された。いずれも現状では、数ピコ秒から数百ピコ秒の時間分解が達成されている。もっと早い現象を捉えるためには、例えば、(1) タンパク質の局所的な構造変化がフェムト秒からピコ秒の時間領域で起ること、(2) Ge や VO₂ の光誘起相転移では、レーザー照射後 0.1 ピコ秒オーダーでブラッグピークが消失・発生していること、あるいは、(3) 数ピコ秒以下で完了してしまう電荷移動ダイナミクスも種々存在することから、X 線強度不足を解消して更にもっと早い時間変化を追いたいという PF 将来計画への期待が伝わってきた。

軟 X 線・真空紫外のセッションでは、最初に、VUV・SX 光源としてレーザーの高調波を用いる手法の紹介と固体分光やイオン化プロセスへの応用の話があった。フェムト秒のコヒーレント光を得るには興味深い方法であり、高い高調波になっても我々が想像していたような強度の大きな減衰がなく強い光が得られるようで、今後のフェムト秒時間分解測定が充分可能であるとの印象を得た。アト秒の短パルスも生成可能であるようだが、パルス当りのフォトン数、平均強度やビームの安定性など今後の大幅な改善が必要とされている。また、高調波レーザーを利用できる光のエネルギーが 0.5 keV 以下に限られるので、軟 X 線や硬 X 線の波長領域での実験では放射光に期待せざるを得ない。

固体表面の時間分解光電子分光の研究では、放射光で作用させてレーザーでプローブする実験、レーザーで作用させて放射光でプローブする実験、放射光とレーザーで同時励起する実験が、それぞれ特徴を持って発展を遂げていることが報告された。Super-ACO では自由電子レーザーと放射光をポンププローブとして SPV (surface photo-voltage) 効果の時間変化がすでに測定されているが、第 4 世代光源では、放射光で作用させた状態を放射光で早く測定できるのではないかとの興味深い提案もあった。ERL 光源は原子分子物理の分野でも将来展望があり、時間分解ポンププローブ実験による極紫外電子励起分子のダイナミクスに適用することが考えられている。長寿命の電子遷移となる 2 光子励起が研究対象となれば、100 fs オーダーのパルス幅が有効に利用できるようである。問題は、コヒーレンシーであり、低エミッタンスでコヒーレンスを上げられるといっても、レーザーと違って波としての位相情報が保存されるわけではないので、電子遷移間の干渉を狙うような厳密な位相制御を必要とする実験には、何らかのブレイクスルーが不可欠と思われる。

全体で 1 日半の研究会であったが、加速器関係の方々の意気込みを初め、熱気がむんむんと伝わってきた。将来計画のような前向きな事柄を考えると、組織が活発化し

ていくのであろうと妙に納得した。PF、SPring-8での現在の活発な放射光利用研究は、本研究会のテーマである時間分解実験1つをとってみても、20年前のPF創設のときの想像をはるかに超えていると思う。このことは、どんな分野のいかなる研究テーマでブレイクスルーが起るかを、現段階で予測することが不可能であることを如実に物語っている。したがって、秘められた無限の可能性を引き出すためにも、1~2本のERLビームラインに特化するよりは、「特化したビームラインと多くのユーザによる種々の分野での挑戦的な利用研究とが共存できる施設」が、将来のPFには望まれていると感じた。

ユーザーとスタッフの広場

ELETTRA 実験記

NTT 物性科学基礎研 渡辺義夫

1998年3月のELETTRAビームタイム実験を手始めに、かれこれ5年もの間、毎年1回のペースで課題申請(課題申請自体は年2回ある)を行い、多いときで7日間(21シフト)のビームタイムをもらって実験している。98年、99年の実験は、当時BL6.2(Gas Phase)の分岐ラインBL6.2LLに設置されていた光電子顕微鏡SPELEEM(Spectroscopic PhotoEmission and Low-Energy Electron Microscope)を使って、化合物半導体基板上に成長したナノ結晶の結合状態と電子状態を調べた。この光電子顕微鏡装置はドイツのClausthal工科大学から3年間の期限付でELETTRAに移設して使用していたもので、当時、その装置の面倒を任されていたHeun博士からの打診もあり、課題申請を行って採択され、実験が実現した次第である。ビームタイム実験に先だって、イタリアまでの搬送に耐え得る、即ち、大気暴露によるサンプル表面の酸化防止のため、キャップ層を事前に検討して、実験的に検証しておく必要があった。そこで、当時PF BL-1Aに設置したNTTの光電子分光で急いで試料作製と検証を行い、何とかビームタイム実験までに間に合わせた。しかし、ELETTRAに行き分かったことだが、満足できるパイロメーターがなく超高真空中の加熱でキャップ層を取るという最初の段階からつまづいてしまった。仕方なく加熱中の真空度の変化とLEEDパターンの観察とで何とか条件を見出し、本実験に入ることができた。この98年と99年の計2回の実験では、Schmidt博士(現在、Bessy IIのSMART計画に従事)がポスドクとして本ビームラインに携わっていたことも幸いして、SPELEEM装置性能として詠っている空間分解能約20nmで内殻準位光電子分光と価電子帯スペクトルの観測に成功した。今振り返ってみると、出会いの大切さを痛感した次第である。と言うのも、Heun博士も元を質せば、当時、尾嶋グループリーダー(現東京大学大学院教授)の下、NTTのポスドクとして私共と一緒にPFで放射光実験に従事していた人物である。

以後、毎年の8月末締切の課題申請に応募して、ナノ構造半導体結晶、カーボンナノチューブ、ナノ粒子を試料にして、走査型光電子顕微鏡(ESCA Microscopy)や新ビームラインBL1.2に設置した新型SPELEEM(Nanospectroscopy)を用いてビームタイム実験を行っている。また、これ以降の実験では私を含めた2名がNTTから出張して実験に従事し、24時間体制の2交代制で測定データを取得しており、この5年間でNTTから延べ8名がビームタイム実験に従事したことになる。

他のビームラインに関してはコメントできないが、ELETTRAの光電子顕微鏡に携わる研究スタッフは優秀で、しかもしっかりしたサポート体制ができています。この

体制は、3本の各種光電子顕微鏡を有する複数のビームラインを統括する Kiskinova 博士によって作り上げたものと推察される。我々ユーザーがサンプルを持ち込んで渡せば、光電子顕微鏡のアライメントまでを任せられることができる。また、事前に打ち合わせて材料を郵送しておけば、真空装置内での蒸着も可能である。これらのサポート体制は限られた時間でのビームタイム実験に於いて、非常に有効であり、かつ合理的である。

一方、ELETTRA で実験するようになって日本サイドで問題となる点を1つだけ取り上げたいと思う。現在、ELETTRA のビームタイム実験の出張費用は、外部研究費（NTT 以外）を利用してもらっている。ELETTRA への課題申請は8月末締切以外に2月末締切があるが、4月からの会計年度という日本の常識に縛られて2月末では次年度予算執行のゴーサインが出ていないために、どうしても8月末締切の課題申請に成らざるを得ない。しかも、ご存じの通り単年度決算という制約から翌年の3月末日までに執行すること、8月末締切の課題は翌年の1月から開始ということで、必然的に1月～3月という冬期にビームタイム実験を行わざるを得ない。昨年などは2月にビームタイム実験が割り当てられ、ある日、吹雪の中を ELETTRA に一番近い小さなホテルから真っ白になって歩いたところを気の毒に思ったのか見知らぬ人の車に拾われて ELETTRA まで連れて行ってもらった。ELETTRA の所在地は、港をもつトリエステ市内から約10キロ離れた高台で、2キロ先はスロベニア国境という所に位置しており、冬はかなり寒く、トリエステ市内に向かう道路が凍結すると聞いている。ELETTRA にゲストハウスがないのも問題だが、単年度決算というのは国際化が進む現在、これからいろいろな面で問題になると思われる。

ELETTRA に関しての一般的な知識はホームページを読めば、一目瞭然なので敢えて言う必要はないと思う。これまで何回か実験をさせてもらって振り返ってみると、ヨーロッパの通貨 euro が物語る通り、「ヨーロッパは一体」という印象を強くもったことである。ELETTRA はイタリアにありながら、イタリア人の常勤研究者がさほど多くないのに驚いたということで、主に欧州だが、いろいろな国籍の研究者が常勤として働いていたことである。日本からは藤井さんが元気に働いていた。今年は、はじめて10月にビームタイム実験が行えることで楽しみにしており、イタリア人の大声での議論（彼らは決して大声だとは思っていない）を目の当たりにするのも、また楽しみの一つである。今年3月にビームタイム実験で行った際には、同じ敷地内への国立研究所 TASC (Advanced Technologies, Surfaces and Catalysis) の移転も既に終了していて、そのクリーンルームも使わせてもらった。建設中の研究棟もまだあり、今後益々 ELETTRA の研究が基礎科学分野・産業分野の進展に貢献していくものと思われる。

翻って日本の状況を見ると、ELETTRA や ALS に匹敵する第三世代 VUV-SX 高輝度放射光施設の建設は未だゴーサインが出されていない状況である。やはり、ここはユ

ーザーも声を大にして早期実現に向けてバックアップしていくことが必要であると痛感している。

防災訓練：「ユーザー参加型」で実施

安全担当主幹 小林正典 (KEK・PF)

当研究機構では、全国共同利用施設としての安全には常々注意を払い安全確保に努力してきています。機構の安全委員会では安全確保についての検討を深め、機構の安全規則などの見直しを行ってきました。ユーザー各人に安全に対する意識をより一層高く持ってもらうことが重要と考え、ユーザー参加の形で今年度も避難訓練を行うことにしました。

新しい避難訓練は、(1) 大規模災害発生時に、放射光実験中のユーザーが非常口を利用して安全に退避することができるか、(2) 避難の確認を如何にしてスムーズに行うか、(3) 行方不明者の捜索をどのようにするか、に重点をおきました。

10月10日(木)13時30分からの避難訓練では、大規模地震発生でビームダンプが起こったと想定し、電子加速器の運転は止めずにチャンネルクローズとしました。また、実験ホール天井の照明も落として薄暗くなった中で非常灯を頼りに非常口から避難する訓練としました。避難場所ではユーザー一人一人の安全確認を行いました。訓練は約20分で終了となり、チャンネルパーミットが行われた実験ホールでユーザー利用実験が再開されました。

実験責任者に求められることは、(1) 自分の実験班員全員の安全を確認し、(2) そのことを施設側の安全担当者に報告することです。実験者に求められることは、(1) お互いに安全確保しながら実験ホールから所定の避難場所に避難し、(2) 実験責任者に安全を報告することです。ユーザー各位、特に実験責任者の方々のご理解とご協力により無事避難訓練を行うことが出来ました。ご協力に感謝いたします。

より一層の訓練効果を上げるため今年のアンケートを参考にしながら、毎年ほぼ同じ形式で大規模災害に対する安全避難訓練を実行する事を考えています。今後ともよろしく願いいたします。

防災訓練の報告

防火・防災担当 小山 篤 (KEK・PF)

上記の小林主幹からの報告にもありますように、高エネ研では大規模地震により建物が崩壊するおそれが生じたことを想定した避難訓練が10月10日に行われました。放射光研究施設でも実験中のユーザーの方を非常口などから避難場所 (PF は PF 駐車場脇広場、PF-AR は AR 東側広場) に避難誘導し、安否の確認をする訓練を行いました。実験中のユーザーの方に避難をお願いしての訓練はこれで3回

目となります。また、今回の訓練では職員により組織されている自衛消防隊も機能しやすい形に再編し、消火班は地震による出火を想定し屋外消火栓から放水を行う、安全防護班は高圧ガス施設、非密封 RI 施設などに異常がないことを確認するなどの訓練も同時に行いました。今回の訓練では 58 名のユーザーの方に避難場所に避難していただくことが出来ました。訓練後、ユーザーの方からアンケートを提出していただきました。1 回目の訓練（2000 年 2 月）でも同様のアンケートを行いました。比較すると、

近くの避難場所を知っていましたか？

知っていた 52% → 81%

職員の避難誘導は適切に行われていたと思いますか？

適切 59% → 83%

避難場所での安否の確認は適切に行われていましたか？

適切 78% → 100%

という数字にも見られるように毎年訓練を行っていることにより職員・ユーザーとも災害時の避難に慣れてきたことが伺えます。反面、放送が余りよく聞こえなかったなど更に改善していかなければならないことも明らかになりました。また、アンケートには実際の大地震時にはラックが倒れたり中 2 階から物が落ちてくるのではないかの御指摘もありました。今後はこれらのことにも対処していかなければならないと考えています。今回は貴重な実験時間を割いて訓練に参加していただきありがとうございました。



PF 懇談会だより

X線反射率グループ会合報告

物質・材料研究機構 桜井健次
物質科学第一研究系 平野馨一

X線反射率ユーザーグループは、2002年3月に結成されたばかりですが、メンバー数も順調に増加し、8月末現在39名を数え、日常的にメーリングリストやホームページ等の電子的な手段を用いて連絡をとりあっています。9月26日(木)、2002年秋の応用物理学会(新潟大学)において「X線中性子線反射率/散乱法による薄膜・多層膜の構造研究の新展開」と題するシンポジウム(平均参加者数、約50名)を開催し、あわせて本年度第1回のグループ会合を行いました。

日時： 2002年9月26日(木)

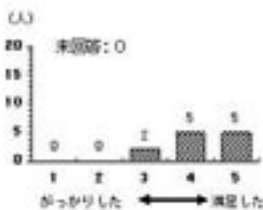
場所： 新潟大学 教養校舎 2F 252 室

出席者：

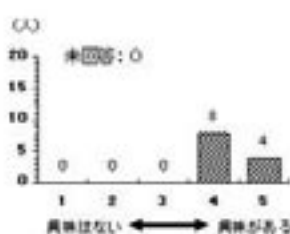
木村(新日鐵)、平野(PF)、高橋(東大物性研)、秋本(名大)、松岡(京大)、高橋(群馬大)、吉田(産総研)、奥田(京大)、武田(東北大)、川村(NTT)、竹田(名大)、松野(旭化成)、桜井(物質・材料研究機構)、庄司(物質・材料研究機構)、藤岡(東大)、香野(福岡大)、高橋(原研/SPRING-8)、佐藤(日産アーク)、雨宮(東大)(計19名)

アンケート結果 (回答：12)

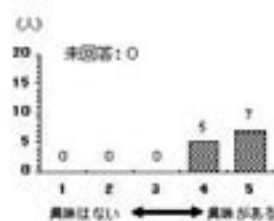
Q1. 研究会の内容について



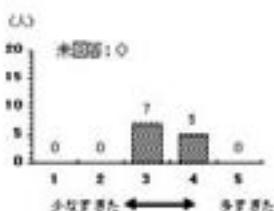
Q4. フォトンファクトリーの将来計画(MARS/ERL)について



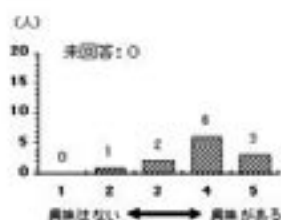
Q6. 今後の同種のファームに関する研究安全企画について



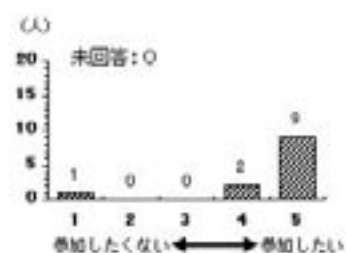
Q2. 講演数(内容は、サマリーを含め11講演)について



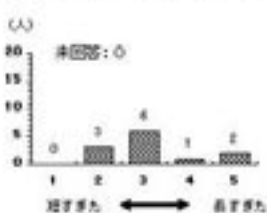
Q5. 次世代大強中性子源について



Q7. 2003年7月に計画中の「薄膜ナノ構造、埋めれた界面」をターゲットにしたワークショップについて



Q3. 講演時間(1講演あたり質疑応答を含め40分)について



議 事：

- (1) 平野(PF)より、PFの現状・近未来の計画進捗等について説明を行った。将来計画についての参考資料をCD-ROMに収録したものを出席者全員に配布した。デザインレポートの検討等の作業にも活用する。
- (2) 高橋(原研/SPRING-8)、吉田(産総研)、藤岡(東大)、木村(新日鐵)の4氏から、今秋以後に向けて準備を進めている実験研究のプランについての紹介があった。時間の都合上、シンポジウムで講演するメンバーからの報告は割愛された。
- (3) PF将来計画(ERL/MARS)に関連して、X線反射率法による薄膜ナノ構造解析の分野では高輝度性、コヒーレンス、極短パルス性等を利用した魅力的な研究テーマが多数あり、積極的な課題提案を行うことになった。9月末をめどにグループとしてのとりまとめを行う。
- (4) 他方、将来計画も重要であるが、X線反射率法による薄膜ナノ構造解析関連の専用実験ステーション・機器が整備されていない状況で、さまざまなビームラインを渡り歩いて苦勞をして実験を続けているユーザーの現状を改善するための取り組みが必要であるという意見が出され、直ちに準備の行動を起こすことになった。
- (5) 桜井(物質・材料研究機構)より、2003年7月に薄膜ナノ構造と埋めれた界面を主な焦点にするワークショップを開催する計画の準備状況について紹介を行った。

シンポジウムのプログラム：

- 9:00 ~ 9:10 平野馨一 (KEK・PF)
「フォトンファクトリーにおける薄膜・多層膜の構造研究」
- 9:10 ~ 9:50 高橋敏男、田尻寛男 (東大物性研)
「低温 Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag 表面構造と相転移の研究」
- 9:50 ~ 10:30 秋本晃一、榎本貴志 (名大工、豊田高専)
「極端に非対称な X 線回折法による半導体表面界面の格子緩和の研究」
- 10:50 ~ 11:30 松岡秀樹 (京大院工)
「X 線・中性子反射率法による気液界面高分子ブラシのナノ構造解析」
- 11:30 ~ 12:10 高橋浩 (群馬大工)
「水面上脂質単分子膜の表面 X 線回折・反射率測定—生物学的問題にどうアプローチすればよいか?—」
- 12:10 ~ 13:30 昼休み
(PF 懇談会 X 線反射率ユーザーグループ会合)
- 13:30 ~ 14:10 奥田浩司、落合庄治郎 (京大国際融合創造センター)
「反射小角散乱法の金属・半導体薄膜への応用」
- 14:10 ~ 14:50 武田全康 (東北大院理)
「偏極中性子反射率計を用いた磁性薄膜・人工格子の研究」
- 15:10 ~ 15:50 川村朋晃、渡辺義夫、藤川誠司、Satyaban Bhunia (NTT 物性基礎研、姫工大、電通大)
「斜入射 X 線散乱 / 回折による気相中半導体結晶成長表面の解析」
- 15:50 ~ 16:30 竹田美和、田淵雅夫 (名大工)
「半導体ナノ薄膜ヘテロ構造と成長過程」
- 16:30 ~ 17:10 松野信也、鄭芬、森安嘉貴 (旭化成中央技研)
「斜入射 X 線回折によるサファイヤ基板上シリコン薄膜のミクロ構造」
- 17:10 ~ 17:40 桜井健次 (物質・材料研究機構)
「X 線・中性子反射率法による薄膜研究の課題」

秋の応用物理学会シンポジウム

「X 線中性子線反射率 / 散乱法による薄膜・多層膜の構造研究の新展開」に参加して

旭化成 (株) 中央技術研究所 松野信也

私は、企業における分析部門に所属しています。日々、いろいろな材料が持ち込まれ、その分析評価に携わっております。そういう中で、薄膜材料の評価に微小角入射 X 線を使っています。主に X 線反射率による膜厚・密度・界面の評価、また面内 X 線回折測定などを行っています。

企業におりますと、時間とコストを強く意識させられ、結果をスピーディーに依頼者にフィードバックすることが重要になってきます。そのために、どうしても放射光は遠い存在になりがちです。しかしながら、日常接している材料にも非常に面白いサイエンスが潜在しており、新しい目



会場からも熱心な議論が活発に飛び交い有意義でした

をもって説明すべきことが多々あることに気づき始め、何とか放射光をもう少し利用しやすいようにできないかと思っております。その意味で、PF の X 線反射率ユーザーグループに所属し、いろいろな立場の方々と議論していくことが、これからますます重要になると感じております。

さて、今回のシンポジウムにおける講演のほとんどが放射光を利用した研究であることは、私にとって、放射光を更に強く意識させることになりました。また、X 線と中性子を使って、解釈をより明確にしていこうとする発表もあり、それらの相互利用という点で今後の一つの方向を議論する上で良かったと思われまます。

各講演におきましては、東大物性研の高橋先生のお話は Si 表面上の Ag 原子の構造を表面 X 線回折により明らかにしていくお話でしたが、世の中で STM による表面構造の研究が盛んな中で、X 線による測定を行うことにより、より明確な議論ができることがわかり、この分野での X 線の重要性が認識出来たと思います。また、名大の秋本先生と竹田先生は、それぞれ全反射を伴う非対称回折と CTR 散乱により、半導体薄膜界面の様子を原子レベルで議論できることをお話されました。このような埋もれた界面の評価は、物質中に入ることのできる X 線ならではのものと思われ、X 線の優位性が出せるところではないかと思われまます。一方、NTT の川村さんは、放射光施設に MOCVD 装置を設置され、in-situ で製膜過程を観測することにより、新しい結果を得ておられ、in-situ 評価の重要性を認識させられました。

さて、京都大学高分子の松岡先生と東北大学物理の武田先生は、X 線と中性子を利用することにより、それぞれ高分子界面と磁性体界面の様子を解き明かしていくお話をされ、本シンポジウムのもう一つの方向を示しているものと思われまます。

また、今回、群馬大の高橋先生は、松岡先生と共に水面上の高分子膜を今後どのように評価していくかについてお話され、水面上の膜の評価専用の GID ビームラインの必要性を熱く話されました。京大国際融合センターの奥田先生は、最近注目されている GISAXS による金属薄膜の評価についてお話され、DWBA とは逆の方向 (ボルン近似) からのアプローチが今後必要ではないかとのお話をさ



PF 将来計画もシンポジウムの重要な話題でした

れ、大変興味を引きました。ヨーロッパを中心に発展してきた DWBA 理論による解析が幅を利かせる中で、新しい直感的な考え方の出現を待っているのは私だけではないと思われます。X線反射率測定による膜厚・密度評価は、企業にも広く受け入れられ、重要な部分で活用されておりますが、DWBA による散漫散乱理論は未だ現場でほとんど利用されていないのではないのでしょうか。

最後になりましたが、KEK の平野さんは今後の放射光施設がどのようにあるべきかについてお話され、またお昼のユーザーズミーティングでも数名の方から、薄膜・界面の評価にこのように放射光を使っていきたい旨話題提供がありました。

以上、私の私見と致しましては、今後以下のような点で本グループの活動を継続していければと思っております。

1. X線と中性子の相互利用（運営方法、相互利用による解析の利点、新しい視点の提供）
2. 埋もれた界面をどのように理解していくか（装置、理論の両面から）
3. in-situ 解析技術、水面上の膜をどのように解析していくか
4. 装置技術および解析技術（ソフトウェア）の相互利用や共有化

できれば、このような話題を WEB 上で議論、共有化していくことが出来ないのでしょうか。

これらの課題を広い視点で議論していくために、グループメンバーがそれぞれの立場で発表していけるようにしていけたらと思っております。来年7月には、3日間にわたる本グループ主催のワークショップが企画されていることが桜井さんより報告されました。そこでは、また新しい視点で、いろいろな立場からの提案が出てくること、そして近い将来、日本から新しい装置技術や理論が出てくることを期待して終わりとさせていただきます。いろいろ準備をしていただいた皆様に感謝いたします。

構造物性ミーティング報告

物質科学第二研究系 澤 博

中部大学での物理学会にあわせて PF 構造物性グループミーティングが開催され、以下のような報告・議論が行われましたので、報告いたします。

日時：2002年9月7日 19:30～22:00

場所：名古屋市栄、鳥勢

1. KEK - PF の現状報告 (KEK-PF・澤、若林)

1B の現状：マックスサイエンス社が日本 Bruker に吸収された。サービス体制は存続されるが、回折器部門がなくなり、機器の設計などは不可能になった。したがって、大トラブルが起きれば、BL-1B の IP 回折計が再起不能になる可能性もある。利用には十分気を使ってほしい。DAC による加圧を He gas 圧で自動調整するシステムを導入した (14GPa まで動作確認)。常圧用の BG 低減型の新しい冷凍機 (設計 若林) を導入した (10K の低温まで使用可能)。

1A の現状：理学社製の IP 回折計 (SPD) が新しく納入され、立ち上げている。冷凍機など周辺装置は多少遅れそうである。

4C の現状：回折計まわりでは、特に問題なし。ハードディスクがいっぱいになりかけているので、整理をお願いしたい。冷凍機の温度計まわりが弱く、修理が必要なことが多かったので、取り扱いに注意してほしい。

9C の現状：特に問題なし。GPIB エラーが 1 日 1 回程度出ることがある。

16A2 の現状：TEMCOM のフロッピーがだめになったので、この温調システムに換えて、CRYO-CON の温調を標準で使用することにした。

グローブボックスの立ち上げ：壽栄松先生より譲り受けたグローブボックスを立ち上げようとしたところ、修理が必要であることがわかった (費用約 130 万円)。予算がついたので、10 月頃に修理の予定。

KEK の宿泊施設に泊まっていないユーザーがいて、キャンセルを忘れていた点が問題になっている。ただし、我々の分野ではユーザーが実験から開放されず利用できないという実態が背景としてあることを、会議の席上で発言した旨報告した。

2. 原研 T2-2 FONDER の現状について (東北大多元研・野田)

FONDER は完全に動いている。巨大分子 DNA (ヌクレオチド) の解析 (測定点 2000～3000)、スピン密度の観測、 YMn_2O_5 における反強磁性と強誘電性の共存の研究などが現在行われている。温度領域は、8～600 K まで可能。

3. SPring-8の近況 (JASRI・壽崇松)

JASRI についての評価があり、今後は重点領域の研究、あるいは、パワーユーザーに予算が重点配分されていく予定。その結果、非常に研究が活発なところ以外は、旅費も出ないという状況に変わっていきそうである。今後の評価はビームライン毎(5本程度ずつ)に行われていく予定である。

BL22XUの現状：冷却水に漏れがあって、冷却配管を取換えた。このため利用開始は冬まで延期。

BL46XUの現状：稼動中(R&D方式)。磁気散乱はまだみつかっていない。

BL02B1の報告 (JASRI・池田、東北大多元研・野田)：4K冷凍機を立ち上げた。冷凍機は重さ11kgなので、 χ 軸の自由度は、60度～110度まで。電気炉を立ち上げた。温度1500℃まで。真空雰囲気での実験も可能。WindowsでTEMCOM使用可能。

4. パルス中性子源における単結晶中性子回折装置の立ち上げ (防衛大・阿部)

次世代の研究者に、パルス中性子源を用いた単結晶中性子回折装置は、ぜひとも必要である。ビームラインの建設に携わり、放射光&中性子を研究手法の主体とするような大学の研究室が必要で、そのためのグループの長として、筑波大学の嶋先生を説得した。回折装置などはまだなく、そのための予算集め(必要経費数億)もまだ出来ていない現状。

-- コメント (東北大理・村上)：サイエンスとしての重要性を訴えることが必要。ユーザーは数多くいるので売込みを強化すべき。

5. BL-1Aにおける最近の成果報告 (筑波大・有馬)

分子性物質の低温構造解析により、かねてよりこの分野でメカニズムが論争になっていた中性-イオン性転移の直接観測に成功した。この結果は上海でのICSMで発表された。

6. 次期新光源について (KEK-PF・澤)

次期新光源として、ERLの検討が進んでいる。構造生物グループに続く規模をもつ、構造物性グループの関与が大きく期待されている。グループとして、ERLに期待するサイエンスの議論が必要である。現在挙がっているキーワードは、ナノビーム、コヒーレント光、フェムト秒パルスなどである。例えば構造生物グループのキーワードとしては単分子構造解析が上げられている。グループとして、アイデアをまとめ、10月半ばまでにはレポート提出を行う必要がある(将来計画に関する詳細は東北大理・村上により説明があった)。

-- 質問 (東北大理・中尾)：フラックスが高すぎても、試料が蒸発するなどの問題点があるようだ。なにが期待でき

るのか。

-- コメント：試料が吹き飛ばすほどのフラックスはFELで実現され、ERLの場合にはSP8並みであって大きな問題にはならないと考えられている。

(**東北大・村上**)：ERLは、SP8の次世代の光源として期待されている。エミッタンスが26 pmradと第3世代に比べ2桁小さくなることのほか、水平・垂直エミッタンスがほぼ同程度で、50nmφのビームも期待できる。また、100 fsオーダーのバンチ長のパルス光が期待できる。

-- 質問 (JASRI・池田)：すべてがうまくいったら、いつ、概算要求する予定か。

→ 返答 (KEK-PF・澤)：5年後程度だろう。ただし、時間的なスケールは不明であるというのが本当のところ。PFの将来計画は現在議論が始まったところと考えてもらえばよい。ユーザーとしては、逆に、このような実験がしたいので、どれくらいの光が欲しいという要求をしてほしい。新しい提案はグループ代表の村上かPF澤まで連絡して欲しい。

-- コメント (名大工・守友)：フェムト秒時間分解実験により、X線が物質に当たった直後の電子状態が分かれば、大変興味深い。

-- 後日追加のコメント—総合計画について— (東北大理／東大物性研：廣田和馬)：統合計画によるパルス中性子散乱研究施設で最初のビームが出るのは2007年初めの予定である。その前年には高工研中性子散乱施設KENSは停止され、先進的な研究が可能な装置数台が移設される。原研と高工研からなる統合計画チームで当初10台の装置を作ることを計画しているが、その審査は今年末からはじまり、またそれらの装置に対する予算措置もこれからであるため、実際に何台の装置が2007年の時点で用意されているかは分からない。装置の提案は今後も毎年受け付けられる予定である。2008年には一部の共同利用が開始されるはずだが、安定した十分な出力のビームが供給され実質的な共同利用が行えるようになるのは2010年から2012年となるだろう。施設の目標である1MWの出力が達成されるのは2015年以降になると考えられている。

したがって、統合計画によるパルス中性子散乱研究施設で通常の共同利用が開始されるまでには10年から15年かかることになる。その間、研究炉JRR-3Mが国内の中性子散乱共同利用の中心であることは今までとかわりない。また、パルス中性子散乱研究施設が完全に稼働しても、研究炉が廃止されるわけではなく、同一の研究サイトでパルス中性子と原子炉中性子の相補的な運用をすることが、研究体制をつくるうえでの目標となっている。KENSが予定通り2006年に停止することを考えると、新しいパルス中性子用の単結晶散乱装置を建造する必要があることは確実に

あるが、研究コミュニティーを作るためにも原子炉の装置を活用して研究実績を積み上げていくことと、統合計画の加速器出力の進展状況を見極めながらどの時点で装置を建造することが最も適切かを判断すること、の2点についてまず考える必要がある。

PF 懇談会拡大運営委員会のお知らせ

PF 懇談会庶務幹事 宇佐美徳子 (KEK・PF)

すでに本誌等でお知らせしておりますとおり、第16回日本放射光学会・放射光科学合同シンポジウムが、2003年1月9～11日に、姫路市の「イーグレひめじ」で開催されます。この中で、初日の1月9日(木)午後3時より1時間にわたって、PF 懇談会拡大運営委員会を開催することになりました。「拡大」運営委員会とすることで、運営委員だけでなくPF スタッフやPF ユーザーが自由に参加できる形とし、スタッフとユーザーの意見交換の機会としたいと考えています。

現在、PF は将来計画において重要な時期を迎えており、今回の拡大運営委員会でも将来計画を中心とした議題を予定しています。実りある議論の場とするためには、できるだけ多くの方々に出席していただくことが重要と考えていますので、運営委員以外の皆様もぜひご参加くださいますようお願いいたします。

日時：2003年1月9日(木) 15:00～16:00

場所：イーグレひめじ(兵庫県姫路市)

議題(予定)：

- ・PF 施設からの報告(将来計画、独法化など)
- ・ユーザーグループとしての将来計画への取り組み
- ・将来計画についての意見交換
- ・その他

第16回日本放射光学会・放射光科学合同シンポジウムについては、日本放射光学会ホームページを参照ください。
(<http://www.ijnet.or.jp/JSSRR/>)

PF 懇談会アンケートに対するPF からの返答掲載のお知らせ

PF 懇談会利用幹事 齋藤智彦(東京理科大)

本年3月に行ったPF 懇談会アンケート中の「各ビームラインへの自由意見」について、PF 側から返答を頂き、利用幹事がまとめました。これを広報幹事が10月10日にPF 懇談会ホームページに掲載しましたので、どうぞ御一読ください。

掲載場所は、PF 懇談会ホームページ <http://www.nims.go.jp/xray/pf/index.html> にある「アンケート集計結果についての見解」<http://www.nims.go.jp/xray/pf/question.htm> です。なお、オリジナルのアンケートの質問とそれに対する自由意見が、同ページ「アンケート集計結果」の「個人回答(1)(2)」および「ユーザーグループ回答」に掲載されておりますので併せて是非御一読ください。PF 懇談会ホームページはPF ホームページにリンクされております。

掲 示 板

放射光セミナー

(02-10)

題目：微小管のモーター・タンパク質ダイニンの運動機構

講師：豊島陽子氏(東京大学大学院総合文化研究科)

日時：2002年8月29日(木) 14:30～15:30

(02-11)

題目：世界の放射光将来計画－PFII 検討世話人会での話題より

講師：岩住俊明氏(物構研)

日時：2002年8月28日(水) 13:30～14:30

(02-12)

題目：放射光粉末法による精密構造物性の研究

講師：高田昌樹氏(名古屋大学大学院工学研究科)

日時：2002年9月24日(火) 15:00～16:00

(02-13)

題目：次世代光源とX線光学素子

講師：平野馨一氏(物構研)

日時：2002年9月13日(金) 13:30～14:30

(02-14)

題目：低次元電子格子系の光誘起構造相転移における非線形性と巨視的振動現象

講師：岩野 薫氏(物構研)

日時：2002年9月18日(水) 13:30～14:30

(02-15)

題目：Production and application of hard x-ray nanometer beams

講師：Dr. Stefano Lagomarsino

(Istituto di Fotonica e Nanotecnologie - CNR, Roma, Italy)

日時：2002年10月21日(月) 14:00～15:00

(02-16)

題目：Some Aspects of the SR Investigations for Industry, Biology and Medicine in the Kurchatov Synchrotron

講師：Prof. Vladimir G. Stankevich

(ロシア国クリャトフ研究所放射光施設)

日時：2002年12月3日(火) 13:30～14:30

最新の情報はホームページ(<http://pfwww.kek.jp/pf-seminar/index.html>)をご覧ください。

編集委員会から

PF ニュース送付希望の方へ

PF ニュースでは送付申し込み登録制度を導入致しました。送付をご希望の方はお手数ですが、PF ニュースホームページ (<http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/>) の登録フォームよりお申し込み下さい。登録の有効期限は毎年年度末(3月末)までとさせていただきますので、次年度も送付を希望される方は改めて登録が必要です。ホームページ上の更新フォームにてお申し込み下さい(更新登録受付はH15年2月1日より開始)。

今まで送付自動的に送付されていた、過去の課題責任者並びに課題参加者、現在有効課題に参加している方(課題責任者のみ自動的に送付)は登録が必要です。

なお、下記の方々をご登録いただかなくても自動的にPFニュースが送付されます。

1) PF 懇談会会員

会員期間中はPFニュースを送付します。年度末の更新手続きは必要ありません。

2) 共同利用実験課題責任者

課題の有効期間中はPFニュースを送付します。複数の課題をお持ちの場合、送付期間は自動的に最新課題の有効期間まで更新されます(送付は1冊です)。有効課題の期間が切れますとPFニュース送付登録は消去されます。購読の継続を希望される方はフォームにてご登録下さい。

3) 図書館や図書室等

これまで通り寄贈いたします。

4) 物構研評議委員、物構研運営協議員、放射光共同利用実験審査委員

委員任期中はPFニュースを送付致します。

5) 加速器奨励会役員・評議委員・賛助会員

これまで通り加速器奨励会事務局より送付致します。

6) PF にメールボックスをお持ちの方

これまで通りメールボックスに配布致します。

また、PF ニュースでは下記のカテゴリーで皆様からの投稿をお待ちしております。詳細は事務局またはPFニュースホームページをご覧ください。

【最近の研究から】

PF で行われた実験、研究の成果をお寄せ下さい。

【建設・改造ビームラインを使って】

特にビームラインの改良点、他のビームラインとの比較、要望等を是非お聞かせ下さい。

【ユーザーとスタッフの広場】

海外放射光施設に滞在、訪問された方、また国際会議等に参加された方、どうぞご投稿下さい。

【PF 懇談会だより】

ユーザーグループのミーティング、活動・運営報告等がありましたらお寄せ下さい。

宛 先

〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
 高エネルギー加速器研究機構
 物質構造科学研究所 放射光研究施設内
 PF ニュース編集委員会事務局
 TEL : 0298-64-5196 FAX : 0298-64-2801
 E-mail : pf-news@pfqst.kek.jp
 URL : <http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/>

編集後記

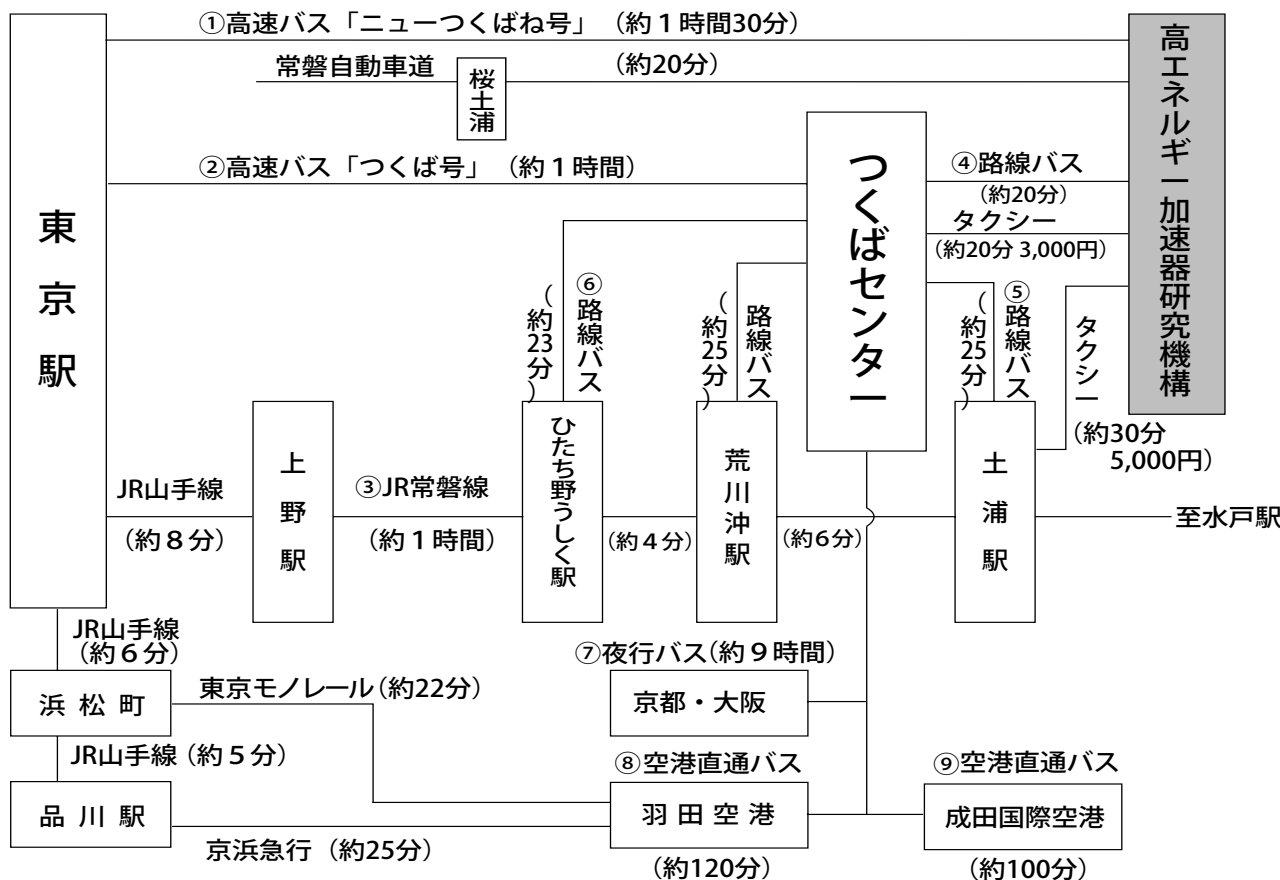
編集委員会でPFに来るときは、測定の時と違って気持ちに余裕がある。だから普段は寄らない場所をのぞきこんだりする。この前もバスの時間待ちで喫茶室横のソファでくつろいでみた。ふと横を見るとたくさんの本がある。どうやら職員の人たちが読み終わった本を寄贈しているようだ。はて高エネ研の人々はどんな本を読んでいるのだろうか、などと興味深々に題名を眺めてみると、思いのほかいろいろな分野の本が並んでいた。私の好きなSF小説も結構あり、ここでもかつての理科少年たちが夢を忘れず生きているのだな、と感慨にふけりつつ席を後にした。(まぼ)

編集委員

委員長	櫻井 浩	群馬大学工学部	羽多野忠	東北大学多元物質科学研究所
副委員長	間瀬一彦	物質構造科学研究所	兵藤一行	物質構造科学研究所
委員	足立純一	物質構造科学研究所	堀内正隆	北海道大学大学院薬学研究科
	雨宮健太	東京大学大学院理学研究科	松垣直宏	物質構造科学研究所
	川北至信	九州大学大学院理学研究院	宮内洋司	物質構造科学研究所
	神保雄次	山形大学大学院理工学研究科	吉田寿雄	名古屋大学大学院工学研究科
	杉山 弘	物質構造科学研究所	米山明男	日立・基礎研究所
	高橋良美	物質構造科学研究所 (事務局)		

巻末情報

KEKアクセスマップ・バス時刻表



(KEK周辺タクシー会社：大曾根タクシー0298-64-0301)

2002年11月1日現在

①②高速バス (問い合わせ先：関鉄学園サービスセンター 0298-52-5666 JRバス東京営業センター 03-3215-1468)

高速バス時刻表 [ニューつくばね号]

所要時間 約1時間30分

2002年10月15日改正

運賃 東京駅⇔高エネルギー加速研究機構(KEK)：1,470円(5枚綴り回数券6,100円)

東京駅八重洲南口→KEK(筑波山行き)	
東京駅	KEK
07:20	08:45
09:10	10:35
11:10	12:35
12:50	14:15
14:50	16:15
16:40	18:05
18:40	20:05
20:20	21:45

KEK→東京駅日本橋口行き			
KEK	上野駅	東京駅日本橋口	
		平日	休日
	平日のみ		
06:02	08:00	08:20	07:50
08:00	09:55	10:15	09:45
10:15	12:10	12:30	12:00
12:15	14:10	14:30	14:00
14:20	16:05	16:25	16:05
16:05	17:50	18:10	17:50
17:40	19:25	19:45	19:25
19:30	21:15	21:35	21:15

※上下便、高速道路後のバス停：谷田部、谷田部営業所、農林団地中央、果樹試験場入口、松代四丁目、自動車研究所、東光台研究団地、東光台一丁目、国土地理院、土木研究所、大穂支所、高エネルギー加速研究機構、北部工業団地入口、筑波支所前、常陸北条、筑波山

高速バス発車時刻表 [つくば号]

1999年10月1日改正

運賃 東京駅←つくばセンター：1250円（5枚綴り回数券5200円）

所要時間 東京→つくば65分

つくば→上野90分（平日）

つくば→東京110分（平日）

つくば→東京80分（日祝日）

東京駅八重洲南口→つくばセンター行		
時	平日	日祝日
5		
6	00 30	00 30
7	00 20 40 50	00 20 40 50
8	00 10 30 40 50	00 10 30 40
9	00 10 30 40 50	00 10 30 40
10	00 10 30 40 50	00 10 30 40
11	00 10 30 40 50	00 10 30 40
12	00 10 30 40 50	00 10 30 40
13	00 10 30 40	00 10 30 40
14	00 10 30 40	00 10 30 40
15	00 10 30 40 50	00 10 30 40 50
16	00 10 20 30 40 50	00 10 20 30 40 50
17	00 10 20 30 40 50	00 00 10 20 30 40 50
18	00 00 10 20 30 40 50	00 00 10 20 30 40 50
19	00 10 20 30 40 50	00 00 10 20 30 40 50
20	00 00 10 20 30 40 50	00 00 10 20 30 40 50
21	00 10 20 30 40 50	00 00 10 20 30 40 50
22	00 10 20 30 40 50	00 10 20 30 40 50
23	00 00	00 00

つくばセンター→東京駅日本橋口行		
時	平日	日祝日
5	15 30 45	15 30 45
6	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48
7	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48
8	00 12 24 36 48	00 10 20 30 40 50
9	00 10 20 30 40 50	00 10 20 30 40 50
10	00 10 20 30 40 50	00 10 20 30 40 50
11	00 12 24 36 48	00 10 20 30 40 50
12	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48
13	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48
14	00 10 20 30 40 50	00 12 24 36 48
15	00 10 20 30 40 50	00 12 24 36 48
16	00 10 20 30 40 50	00 12 24 36 48
17	00 10 20 30 40 50	00 12 24 36 48
18	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48
19	00 12 24 36 48	00 12 24 36 48
20	00 15 30 45	00 15 30 45
21	00 15 30	00 15 30
22		
23		

※ 上りは、平日のみ上野駅経由

※ 上下便、つくば市内でのバス停：竹園二丁目、千現一丁目、並木一丁目、並木大橋

③ JR 常磐線

（土浦駅発着）（問い合わせ先：土浦駅 0298-22-9822）（2001年12月1日改定）

所要時間 土浦駅－上野駅（普）約70～80分〔1,100円〕（快）約60分（特）約50分〔1,100円+950円（特急料金）〕

〔運賃〕 土浦駅－荒川沖駅 約6分〔190円〕

土浦駅－ひたち野うしく駅 約10分〔190円〕

JR常磐線上り								
土浦発	上野着	種別	土浦発	上野着	種別	土浦発	上野着	種別
5:20	6:28		9:44	10:28	特	16:15	17:24	
5:45	6:54		9:58	11:08		16:21	17:04	
6:06	7:06	特	10:10	11:24		16:37	17:50	特
6:10	7:20		10:21	11:04	特	16:47	18:01	
6:24	7:41		10:28	11:41		17:03	18:19	
6:31	7:28	特	10:36	11:50		17:16	18:28	
6:41	7:58	◇	10:47	12:08		17:21	18:04	特
6:46	7:57	◆	11:07	12:22		17:31	18:41	
6:50	7:52	◇快	11:21	12:04	特	17:47	19:07	
6:58	8:11	◇	11:27	12:40		18:07	19:18	
7:01	8:07	◆	11:37	12:53		18:16	19:28	
7:03	8:04	◇快	11:48	13:09		18:21	19:04	特
7:08	8:17	◇	12:07	13:25		18:31	19:48	
7:11	8:18	◆	12:16	13:31		18:48	20:02	
7:12	8:23	◇	12:21	13:04	特	19:09	20:21	
7:20	8:33	◇	12:33	13:49		19:21	20:04	特
7:21	8:33	◆	12:48	14:09		19:24	20:31	
7:29	8:39	◇	13:07	14:22		19:33	20:45	
7:31	8:40	◆	13:21	14:04	特	19:47	21:01	
7:35	8:52	◇	13:27	14:42		20:08	21:23	
7:44	8:52	◆	13:35	14:50		20:21	21:05	特
7:45	8:45	◇快	13:49	15:01		20:24	21:31	
7:59	8:55	特	14:07	15:21		20:37	21:47	
8:04	9:16		14:21	15:04	特	20:56	22:08	
8:21	9:10	特	14:27	15:40		21:13	22:25	
8:25	9:40		14:48	16:01		21:21	22:04	特
8:34	9:25	特	15:07	16:20		21:40	22:49	
8:52	10:07		15:21	16:05	特	21:54	22:34	特
9:10	9:59	特	15:25	16:33		21:56	23:02	
9:12	10:20		15:35	16:53		22:11	23:23	
9:29	10:40		15:49	17:02		22:21	23:05	特
9:38	10:50		15:53	16:35	特	22:36	23:40	

JR常磐線下り								
上野発	土浦着	種別	上野発	土浦着	種別	上野発	土浦着	種別
5:10	6:13		11:03	12:19		17:50	19:02	
6:03	7:13		11:16	12:28		18:10	19:24	
6:30	7:34		11:30	12:12	特	18:21	19:33	
6:46	7:57		11:34	12:51		18:30	19:14	特
7:00	7:39	特	11:50	13:01		18:37	19:48	
7:02	8:07		12:03	13:20		18:50	20:07	
7:30	8:15	特	12:16	13:28		19:03	19:59	快
7:35	8:42		12:30	13:13	特	19:12	20:23	
7:48	8:59	◇	12:34	13:48		19:20	20:32	
7:49	9:00	◆	12:50	14:01		19:30	20:13	特
8:00	8:50	特	13:03	14:19		19:38	20:52	
8:07	9:13	◇	13:16	14:29		19:50	21:01	
8:12	9:25	◆	13:30	14:13	特	20:03	21:09	
8:13	9:25	◇	13:34	14:48		20:13	21:28	
8:19	9:33	◇	13:50	15:01		20:30	21:15	特
8:27	9:37	◆	14:03	15:09		20:40	21:51	
8:30	9:19	特	14:16	15:30		20:51	22:02	
8:36	9:41	◇	14:30	15:15	特	21:03	22:10	
8:42	9:56	◇	14:34	15:47		21:17	22:27	
8:48	9:58	◆	14:50	16:01		21:30	22:16	特
8:48	10:04	◇	15:03	16:19		21:39	22:41	
9:02	10:10	◇	15:16	16:29		21:55	23:05	
9:10	10:23	◆	15:30	16:13	特	22:00	22:50	特
9:13	10:25	◇	15:34	16:48		22:17	23:32	
9:25	10:44		15:50	17:02		22:30	23:16	特
9:30	10:18	特	16:16	17:28		22:47	23:59	
9:49	11:01		16:30	17:12	特	23:00	23:51	特
10:03	11:19		16:38	17:47		23:12	0:18	
10:16	11:28		16:50	18:01		23:41	0:47	
10:30	11:13	特	17:11	18:23				
10:34	11:48		17:30	18:13	特			
10:50	12:01		17:33	18:45				

◇ 土・休日運休 ◆ 土・休日運転

特 特急 快 通勤快速（荒川沖駅、ひたち野うしく駅には止まりません。）

④つくばセンター←→KEK間

2002年9月1日改正

所要時間 約20分 運賃 430円 (KEK-土浦駅間の料金は760円) つくばセンター乗り場1番
 18系統：土浦駅東口→つくばセンター→筑波テクノパーク大穂 C8A系統：つくばセンター→KEK→筑波テクノパーク大穂
 61系統：つくばセンター→KEK→筑波駅 71系統：つくばセンター→KEK→下妻駅 (9/1開業)

系統	土浦駅東口	つくばセンター	KEK	系統	土浦駅東口	つくばセンター	KEK	系統	KEK	つくばセンター	土浦駅東口	系統	KEK	つくばセンター	土浦駅東口
18	06:57	07:19	07:38	71		14:00	14:13	61	07:39	08:00		71	13:34	13:50	
18	07:50	08:12	08:32	18	13:50	14:12	14:30	71	07:49	08:05		61	13:49	14:10	
61		08:30	08:46	61		14:20	14:36	18	08:09	08:26	08:54	71	14:54	15:10	
71		08:40	08:53	71		15:30	15:43	71	08:44	09:00		C8	15:11	15:29	
18	08:25	08:47	09:07	C8A		15:45	16:02	18	09:07	09:25	09:52	61	15:34	15:55	
71		09:20	09:33	61		16:05	16:21	18	09:42	10:00	10:27	71	15:49	16:05	
61		10:15	10:31	71		16:40	16:53	61	09:49	10:10		18	16:36	16:54	17:24
18	10:10	10:32	10:51	18	16:25	16:47	17:04	71	10:24	10:40		61	16:44	17:05	
71		10:50	11:03	61		17:20	17:36	18	11:31	11:49	12:16	71	17:11	17:27	
71		12:00	12:13	71		17:45	17:58	61	11:34	11:55		61	17:29	17:50	
61		12:00	12:16	61		18:10	18:26	71	11:37	11:53		18	17:41	17:59	18:29
18	12:10	12:32	12:51	C8A		18:40	18:57	61	12:39	13:00		71	19:14	19:30	
61		13:20	13:36	71		19:40	19:53	18	13:24	13:42	14:09	18	19:27	19:45	20:13
												18	20:17	20:35	21:02

⑤土浦駅←→つくばセンター

(H14.4.1改正)

所要時間 約25分 運賃 510円 つくばセンター乗り場3番

④の時刻表にも土浦駅→つくばセンター間の(18系統)が掲載されていますので、ご参照下さい。

土浦駅発			
○06:05東	◎08:50	13:15	16:30
06:10東	◎09:00	13:30	16:45
06:10	◎09:10	13:45	17:00
06:30	◎09:15	13:45二	17:15
○06:35東	09:30	14:00	○17:20石
○06:45石	09:45	14:00石	17:30
○06:45	10:00	14:15	17:45
06:50	10:15	14:30	18:00
×07:05	10:30	○14:45東	18:15
07:18	10:45	15:00	18:30
07:30二	11:00	15:15	18:50
×07:38	11:15	◎15:15二	19:10
○07:55	11:30	15:30	19:38
⊗08:00	11:45	×15:40二	20:00
08:10	12:00	15:45	20:30
×08:13	12:15	16:00	21:05
08:30	12:35	○16:10石	21:39
○08:45	12:55	16:15	22:12

つくばセンター発			
○06:03二	10:54	14:54	19:13
06:27	11:09	15:09	19:32
06:57	11:24	○15:21二	19:52
○07:06二	11:37	15:22	◎20:07
07:17	11:54	15:37	20:25
07:31二	12:09	15:54	20:52
○07:33	12:22	16:07	21:22
×07:35	12:39	16:22	21:52
08:11	12:54	○16:31二	22:24
08:33	13:07	16:39	22:37
08:46二	◎13:10二	16:54	
09:06	13:22	17:09	
09:22	13:37	17:26	
09:37	○13:45二	17:41	
09:52	13:52	17:59	
10:09	14:09	18:19	
10:24	14:24	18:41	
10:39	14:37	18:56	

- (凡例)
- 土・日祝日運休
 - ◎ 土・日祝日運行
 - × 休校日運休
 - ⊗ 休校日運行
 - 二 土浦二高經由
 - 東 土浦駅東口発
 - 石 石下駅行

⑥ひたち野うしく駅←→つくばセンター

(H14.4.1改正)

所要時間 約23分 運賃 500円 (発時刻のみ)

平日					
ひたち野うしく駅発			つくばセンター発		
06:55	12:00	●17:15	06:20	11:25	●16:45
●07:10	●12:15	17:30	●06:40	●11:47	16:55
07:35	12:45	17:50	07:00	12:15	17:13
07:52	13:05	18:00	07:15	12:35	17:20
●08:15	●13:22	●18:20	●07:40	●12:45	●17:43
08:40	13:45	18:35	08:00	13:05	18:00
08:55	14:00	18:50	08:20	13:25	18:20
09:10	●14:25	19:05	08:30	●13:47	18:30
●09:15	14:45	●19:20	●08:45	14:10	●18:47
09:37	15:05	19:35	09:00	14:25	19:05
10:00	●15:25	19:50	09:23	●14:50	19:17
●10:20	15:45	20:10	●09:45	15:10	19:40
10:30	16:00	●20:27	10:00	15:30	●20:00
10:55	●16:25	20:50	10:25	●15:50	20:15
●11:20	16:45	21:05	●10:50	16:10	20:30
11:35	17:00		11:05	16:25	

土曜・日祝日					
ひたち野うしく駅発			つくばセンター発		
07:35	13:00	18:40	07:00	12:30	18:10
07:55	13:30	●19:00	07:20	13:00	●18:30
●08:05	●14:05	19:30	●07:35	●13:50	18:55
08:40	14:25	19:45	08:05	14:05	19:10
●09:05	●15:10	20:05	●08:35	●14:30	19:30
09:30	15:25	●20:20	08:50	14:55	●19:45
09:55	16:00		09:20	15:25	
●10:15	●16:25		●09:40	●15:50	
10:35	16:45		10:05	16:15	
11:00	17:00		10:30	16:30	
●11:25	17:25		●10:50	16:50	
11:45	●17:45		11:10	●17:15	
12:10	18:05		11:35	17:30	
●12:30	18:20		●12:00	17:45	

ひたち野うしく駅←→つくばセンター (直行バス)

ひたち野うしく駅発	つくばセンター着	つくばセンター発	ひたち野うしく駅着
○07:40	08:00	○17:28	17:48
○07:55	08:15	○17:58	18:18

- (凡例)
- 印…JRバス関東
 - 印…土曜・日祝日および8/14・15・12/30・31運休 建築研究所行

⑦ 夜行バス

よかつぺ関西号 [水戸・つくば↔京都・大阪]

運行時刻表 2001年12月19日改定

水戸・つくば→京都・大阪		大阪・京都→つくば・水戸	
土浦駅東口	22:24	あべの橋駅 (JR天王寺駅)	21:30
つくばセンター	22:48	上本町駅バスセンター	21:47
並木大橋	22:55	近鉄なんば駅西口(OCATビル)	22:02
京都駅八条口 (近鉄改札前)	6:05	京都駅八条口 (近鉄改札前)	23:04
近鉄なんば駅西口(OCATビル)	7:04	並木大橋	6:14
あべの橋駅 (JR天王寺駅)	7:25	つくばセンター	6:21
ユニバーサルスタジオジャパン	7:55	土浦駅東口	6:43

料金表 (大人)

区	間	片道運賃	往復運賃
土浦駅東口・つくばセンター・並木大橋	↔京都駅八条口	8,900円	16,020円
土浦駅東口・つくばセンター・並木大橋	↔近鉄なんば駅西口以降	9,700円	17,460円

乗車券

- ・予約制。1ヶ月前より予約受付。乗車券は3日前までに購入。
- ・予約・問い合わせ先：関鉄学園サービスセンター 0298-52-5666 予約受付時間 (毎日9:00~17:00)
- 近鉄バス 06-6772-1631 予約受付時間 (毎日9:00~19:00)
- インターネット予約 <http://www.kintetsu-bus.co.jp/>
- <http://www.j-bus.co.jp/>
- ・水戸・土浦間の時刻、小人料金、詳しい搭乗場所については上記問い合わせ先へ。

⑧⑨ 空港直通バス

羽田空港↔つくばセンター

所要時間：約120分 (但し、渋滞すると3時間以上かかることもあります。) 1999年6月1日開業
運賃：1,800円

つくばセンター発		羽田空港着		羽田空港発		つくばセンター着	
5:30	13:00	7:10	14:40	8:40	15:20	10:30	17:10
6:20	14:00	8:20	15:40	9:30	16:30	11:20	18:20
7:00	15:00	9:00	16:40	10:35	17:55	12:25	19:45
8:00	16:00	10:00	17:40	11:35	19:20	13:25	20:50
9:30	16:40	11:30	18:20	13:00	20:20	14:50	21:40
11:40	17:40	13:40	19:10	14:20	21:20	16:10	22:40

※ 平日日祝日とも上記時刻表
 ※ 羽田空港乗り場：1階到着ロビーバス乗り場12番
 ※ 上下便、つくば市内でのバス停：竹園二丁目、千現一丁目、並木一丁目、並木大橋
 ※ 問い合わせ：0298-36-1145 (関東鉄道) / 03-3790-2631 (京浜急行)

成田空港↔つくばセンター (土浦駅東口行)
(AIRPORT LINER NATT' S)

所要時間：約100分 運賃：2,540円 1999年12月16日改定
乗車券購入方法：

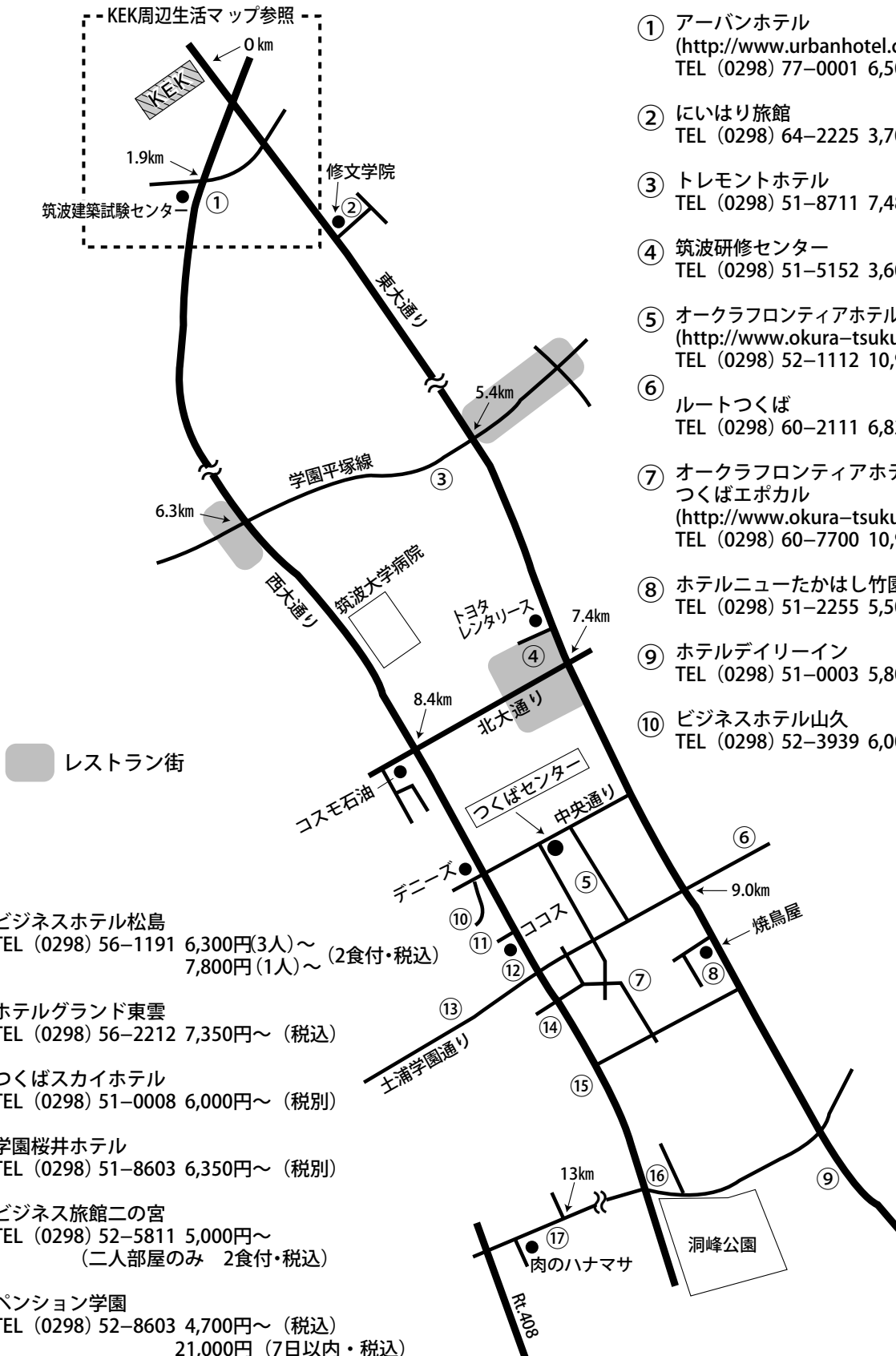
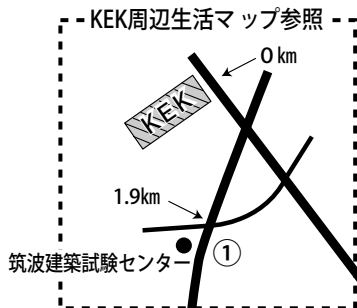
成田空港行：予約制。1カ月前から予約受付。乗車券は3日前までに購入。
 予約センター電話：0298-52-5666 (月~土：8:30~19:00 日祝日9:00~19:00)
 つくばセンター方面土浦駅東口行：成田空港1F京成カウンターにて当日販売

つくばセンター発		成田空港着		成田空港発		つくばセンター着	
6:20	13:25	8:00	15:05	7:20	16:15	9:00	17:55
7:20	14:35	9:00	16:15	9:05	17:20	10:45	19:00
8:50	15:50	10:30	17:30	10:35	18:40	12:15	20:20
10:20	17:35	12:00	19:15	12:50	20:00	14:30	21:40
11:55		13:35		14:35		16:15	

※ 平日日祝日とも上記時刻表
 ※ 上下便の全バス停：土浦駅東口、つくばセンター、ひたち野うしく駅、新利根町、成田空港

つくば市内宿泊施設

(確認日：2002. 10. 30)



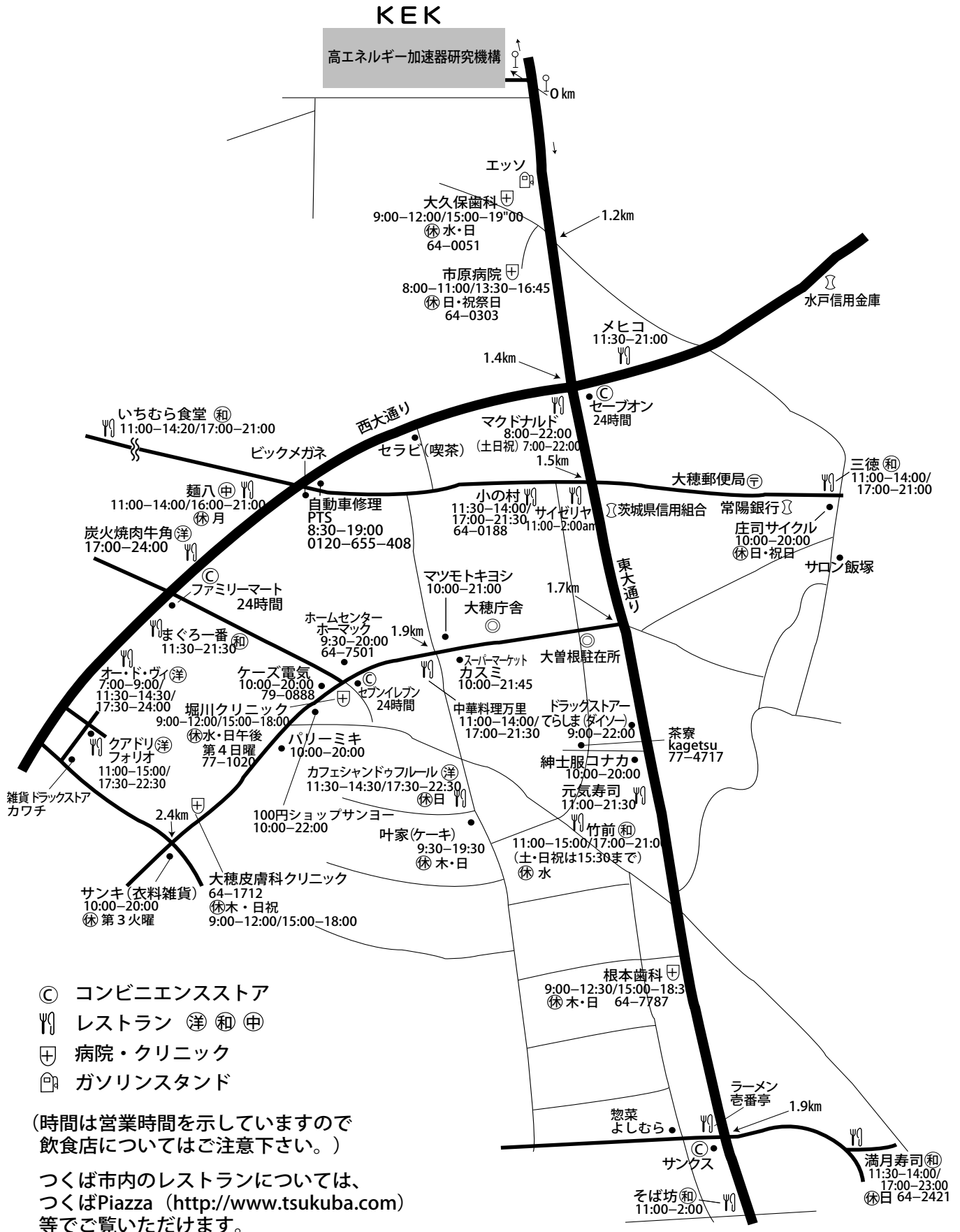
- ① アーバンホテル
(<http://www.urbanhotel.co.jp/uhotel.html>)
TEL (0298) 77-0001 6,500円～ (税別)
- ② にいはり旅館
TEL (0298) 64-2225 3,700円～ (税別)
- ③ トレモントホテル
TEL (0298) 51-8711 7,480円～ (税別)
- ④ 筑波研修センター
TEL (0298) 51-5152 3,600円～ (税込)
- ⑤ オークラフロンティアホテルつくば
(<http://www.okura-tsukuba.co.jp/index2.html>)
TEL (0298) 52-1112 10,972円～ (税込)
- ⑥ ルートつくば
TEL (0298) 60-2111 6,825円～ (朝食付・税込)
- ⑦ オークラフロンティアホテルつくばエポカル
(<http://www.okura-tsukuba.co.jp/index2.html>)
TEL (0298) 60-7700 10,972円～ (税込)
- ⑧ ホテルニューたかはし竹園店
TEL (0298) 51-2255 5,500円～ (税別)
- ⑨ ホテルデイリーイン
TEL (0298) 51-0003 5,800円 (税別)
- ⑩ ビジネスホテル山久
TEL (0298) 52-3939 6,000円～ (2食付税込)

- ⑪ ビジネスホテル松島
TEL (0298) 56-1191 6,300円(3人)～
7,800円(1人)～ (2食付・税込)
- ⑫ ホテルグランド東雲
TEL (0298) 56-2212 7,350円～ (税込)
- ⑬ つくばスカイホテル
TEL (0298) 51-0008 6,000円～ (税別)
- ⑭ 学園桜井ホテル
TEL (0298) 51-8603 6,350円～ (税別)
- ⑮ ビジネス旅館二の宮
TEL (0298) 52-5811 5,000円～
(二人部屋のみ 2食付・税込)
- ⑯ ペンション学園
TEL (0298) 52-8603 4,700円～ (税込)
21,000円 (7日以内・税込)
- ⑰ ホテルスワ
TEL (0298) 36-4011 6,825円～ (税込)
6,090円 (会員・税込)

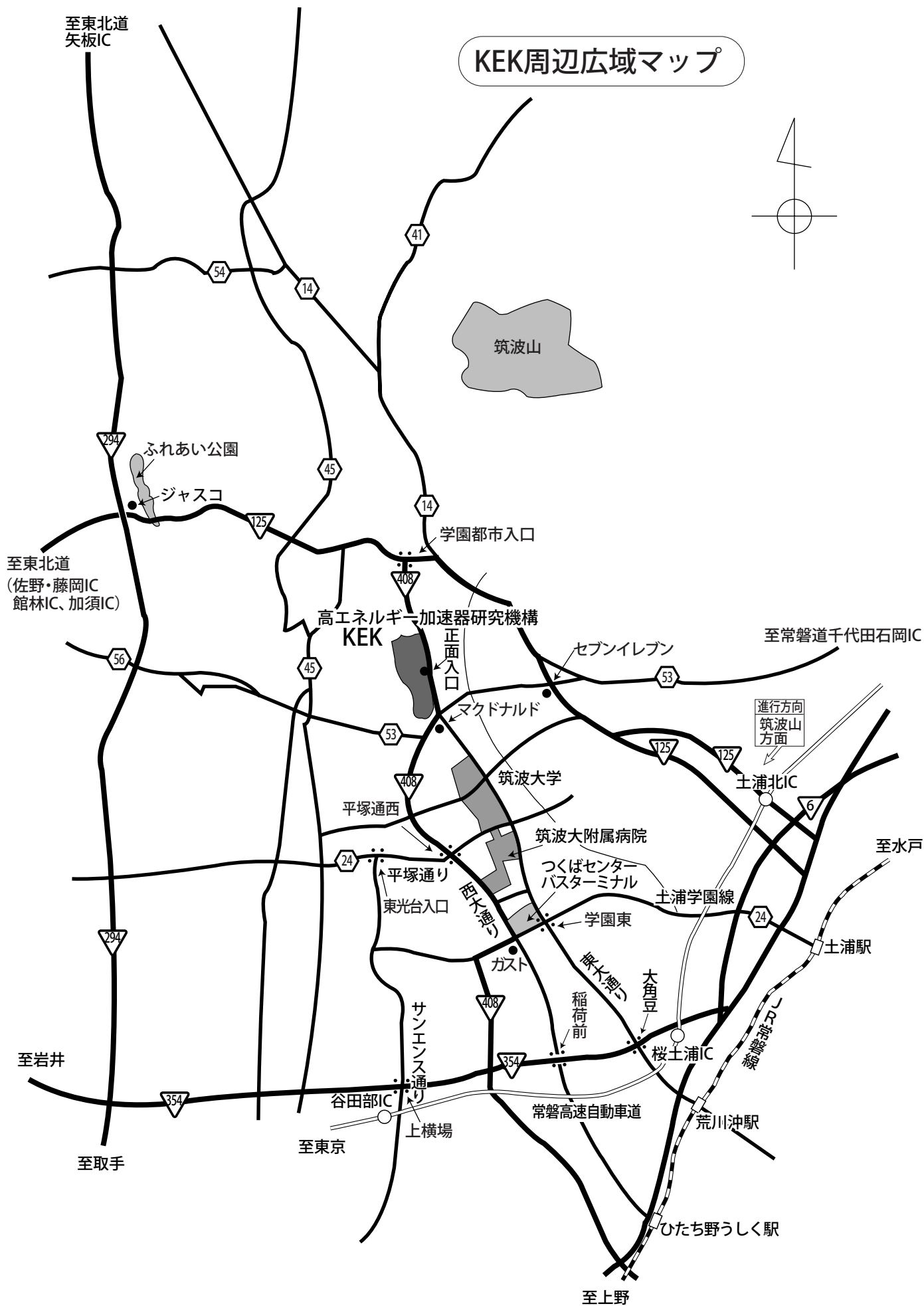
KEK周辺生活マップ

(確認日：2002. 10. 30)

放射光研究施設研究棟、準備棟より守衛所までは約800m



KEK周辺広域マップ



0 1 2 km

KEK内福利厚生施設

ユーザーの方は、これらの施設を原則として、機構の職員と同様に利用することができます。各施設の場所は後出の「高エネルギー加速器研究機構平面図」をご参照下さい。

●図書室（研究本館1階 内線3029）

開室時間：月～金 9:00～17:00

閉室日：土、日、祝、12/28～1/4、蔵書点検日
機構発行のIDカードがあれば開室時間以外でも入館可能。詳しくは下記URLをご覧ください。

(<http://www-lib.kek.jp/riyou/index.html>)

●保健室（医務室）（内線 5600）

勤務時間中に発生した傷病に対して、応急処置を行うことができます。健康相談(第二・第四月曜日午後)も行っており、希望者は、事前に保健室へ申し込んでください。

場 所 管理棟 1階

開室時間 8:30～17:00（月曜日～金曜日）

●食 堂「カフェテリア」（内線 2986）

営 業 月曜日～金曜日

ただし祝日及び年末年始は休業

朝食 8:10～9:30

昼食 11:30～13:30

夕食 17:00～19:00

●レストラン「くらんべりい」（内線 2987）

ウェイトレスがサービスする方式で、各種メニューを用意しています。

場 所 職員会館 1階

営 業 月曜日～金曜日

ただし祝日及び年末年始は休業

朝食 8:00～9:30（オーダーストップ 9:15）

昼食 11:30～13:30（オーダーストップ 13:15）

夕食 17:00～20:30（オーダーストップ 20:00）

昼の弁当配達サービス 月曜日～金曜日及び営業している土曜日

（注文は当日午前9時30分まで。メニューは日替わり。）

土曜日の食事

上記の食堂とレストランが隔週交替で営業しています。朝食 8:00～9:30（オーダーストップ 9:15）

昼食11:30～13:30（オーダーストップ 13:15）

●理容室（内線 3638）

理容室の利用は、予約制になっています。理容室に予約簿が置いてありますので、利用する時間、氏名、所属及び内線電話番号を記入して申し込んでください。なお、電話による予約も可能です。

場 所 職員会館 1階

営 業 月～金 9:00～17:00

第二、第四土曜日 9:00～17:00

ただし祝日及び年末年始は休業

予約受付 9:00～16:30

料 金 カット 2,200円

●売 店（内線 3907）

売店は日用品、雑貨、弁当、牛乳、パン、菓子類、タバコ、切手等を販売しています。また、DPEや宅配便の取次ぎも行っています。

場 所 職員会館 1階

営 業 月～金 10:00～18:30

ただし祝日及び年末年始は休業

●書 店（内線 2988）

書店は書籍、雑誌、文房具等を扱っています。

場 所 職員会館 1階

営 業 月～金 11:00～13:30 14:15～15:00

ただし祝日及び年末年始は休業

●自転車貸出方法（受付 [監視員室] 内線3800）

自転車の貸出方法が下記の通り変更になっていますので、ご注意下さい。

- ・貸出は実験ホール入口の監視員室で行う。
- ・貸出は一往復を単位とし、最長半日とする。
- ・使用後は所定の自転車スタンドへ戻し、鍵は監視員室へ速やかに戻す。

●常陽銀行ATM（食堂入口脇）

取扱時間：9:00～18:00（平日）

9:00～17:00（土）

日・祝日の取扱いはありません。常陽銀行以外の金融機関もカードのみの残高照会、引出しが可能です。

●郵便ポスト（計算機棟正面玄関前）

収集時間：17:00（平日のみ）

●ドミトリ、ユーザーズオフィスについては、ホームページ(<http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/dorm.pdf>)をご覧ください。

ビームライン担当一覧表 (2002.11.1)

ビームライン ステーション	光源		BL担当者	
	形態	ステーション／実験装置名	担当者	担当者 (所外)
(●共同利用、○建設／立ち上げ中、☆所外、★協力BL)				
BL-1		B M	小野／仲武	
BL-1A	○	結晶分光型六軸回折・極限条件下ワイセンベルグカメラ	澤	
BL-1B	●	極限条件下粉末X線回折装置	澤	
BL-1C	●	XUV不等間隔平面回折格子分光器	小野／仲武	
BL-2		U	北島	
BL-2A	●	軟X線2結晶分光ステーション	北島	
BL-2C	●	軟X線不等間隔平面回折格子分光器	柳下	
BL-3		B M	東	
BL-3A	●	収束単色・白色X線ステーション	田中	
BL-3B	●	XUV 24m球面回折格子分光器 (SGM)	東	
BL-3C1	●	白色X線ステーション	安達・河田	
BL-3C2	●	X線光学素子評価ステーション	安藤	
BL-3C3	●	X線磁気回折装置	安達・河田	
BL-4		B M	澤	
BL-4A	●	収束単色・白色X線ステーション	飯田	
BL-4B1	●	極微小結晶・微小領域回折装置	大隅	
BL-4B2	●★	多連装粉末X線回折装置	田中	虎谷 (名工大)
BL-4C	●	結晶分光型六軸回折計	若林	
BL-5		I D 《計画中》		
BL-6		B M	鈴木 (守)	
BL-6A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	五十嵐	
BL-6B	●	巨大分子用実験ステーション	鈴木 (守)	坂部 (SBSP)
BL-6C	○	巨大分子用実験ステーション	鈴木 (守)	坂部 (SBSP)
BL-7		B M	伊藤 (雨宮：東大 0298-64-3584)	
BL-7A	☆●	軟X線不等間隔平面回折格子分光器	伊藤	雨宮 (東大)
(東大・スペクトル)				
BL-7B	☆●	瀬谷波岡分光器	伊藤	雨宮 (東大)
(東大・スペクトル)				
BL-7C	●	収束単色X線ステーション	岩住	
BL-8 (日立)		B M	間瀬 (尾形：日立 0298-64-3629)	
BL-8A	☆●	軟X線平面回折格子分光器 (SX700)	間瀬	尾形 (日立)
BL-8B	☆●	広帯域XAFSステーション	間瀬	尾形 (日立)
BL-8C2	☆●	白色X線ステーション	間瀬	尾形 (日立)
BL-9		B M	野村	
BL-9A	●	XAFSステーション	野村	
BL-9C	●	収束単色・白色X線ステーション	野村	
BL-10		B M	小林 (克)	
BL-10A	●	垂直型四軸X線回折装置	田中	
BL-10B	●	XAFSステーション	宇佐美	
BL-10C	●★	溶液用小角散乱ステーション	小林 (克)	野島 (東工大)
BL-11		B M	北島	
BL-11A	●	軟X線不等間隔回折格子分光器	北島	
BL-11B	●	軟X線2結晶分光ステーション	北島	
BL-11C	●	固体用瀬谷波岡分光器 (SSN)	仲武／小野	
BL-11D	●	軟X線可変偏角分光器	仲武／小野	
BL-12		B M	伊藤	
BL-12A	●	軟X線2m斜入分光器 (GIM)	柳下	
BL-12B	●	高分解能極紫外垂直分散分光器 (6VOPE)	伊藤	
BL-12C	●	収束単色X線実験ステーション	野村	

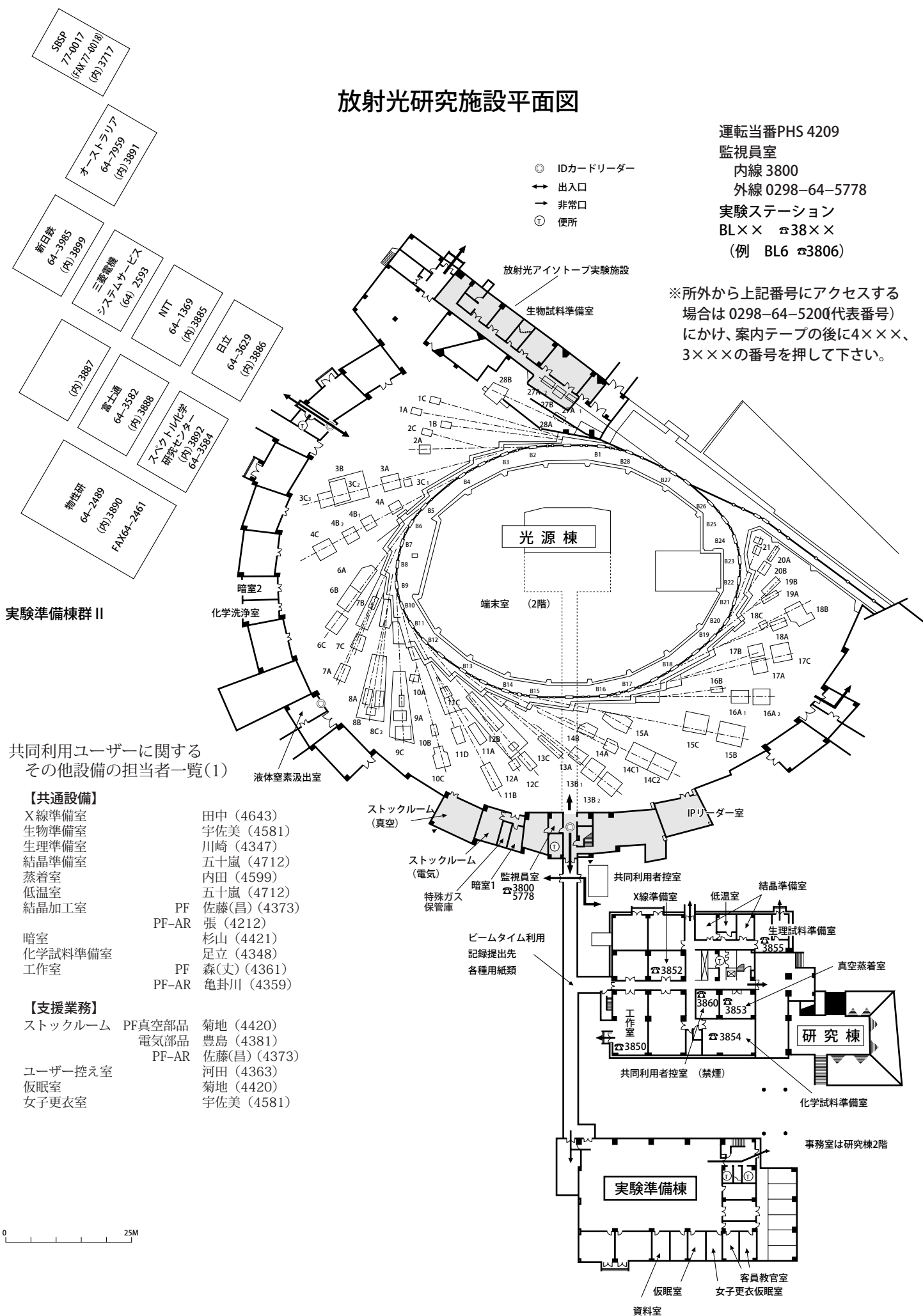
BL-13		MPW/U	間瀬
BL-13A	●	レーザー加熱超高压実験ステーション	亀卦川
BL-13B1	●	XAFS測定装置	亀卦川
BL-13B2	●	高温高压X線実験装置	亀卦川
BL-13C	●★	軟X線50m-CGM分光器	間瀬 島田 (産総研)
BL-14		VW	岸本
BL-14A	●	二結晶収束単色X線ステーション	岸本
BL-14B	●	精密X線回折実験ステーション	平野
BL-14C1	●	白色・単色X線ステーション	兵藤
BL-14C2	●	高温・高压実験ステーション	亀卦川
BL-15		BM	河田
BL-15A	●★	X線小角散乱ステーション	鈴木 (守) 若林 (阪大)
BL-15B1	●	高速X線トポグラフィ・X線磁気散乱	杉山
BL-15B2	●	表面X線回折実験ステーション	杉山・河田
BL-15C	●	精密X線回折ステーション	平野
BL-16		MPW/U	澤
BL-16A1	●	白色・単色多目的強力X線実験ステーション	若林
BL-16A2	●	結晶分光型六軸回折計	若林
BL-16B	●	XUV高分解能球面回折格子分光器(H-SGM)	足立
BL-17 (富士通)		BM	飯田 (淡路:富士通 0298-64-3582)
BL-17A	☆●	2結晶単色X線ステーション	飯田 淡路 (富士通)
BL-17B	☆●	白色VUVステーション	飯田 淡路 (富士通)
BL-17C	☆●	白色・単色X線ステーション	飯田 淡路 (富士通)
BL-18		BM	柳下 (木下:東大物性研 0298-64-2489)
BL-18A	☆●	表面・界面光電子分光実験ステーション	柳下 木下 (東大物性研)
(東大・物性研)			
BL-18B	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	鈴木 (守)
BL-18C	●	超高压下粉末X線回折計	亀卦川
BL-19 (東大・物性研)		U	柳下 (木下:東大物性研 0298-64-2489)
BL-19A	☆●	スピン偏極光電子分光実験ステーション	柳下 木下 (東大物性研)
BL-19B	☆●	分光実験ステーション	柳下 辛 (東大物性研)
BL-20		BM	伊藤
BL-20A	●	3m直入射型分光器	伊藤
BL-20B(ANBF)	☆●	多目的単色・白色X線回折散乱実験ステーション	大隅 G. Foran(Australia) 0298-64-7959
BL-27		BM	小林 (克)
BL-27A	○	放射性試料用軟X線実験ステーション	小林 (克)
BL-27B	○	放射性試料用X線実験ステーション	宇佐美
BL-28		EMPW/HU	小出
BL-28A	●	円偏光XUV定偏角分光器	小出
BL-28B	●	円偏光X線実験ステーション	岩住
PF-AR			
AR-NE1		EMPW/HU	河田
AR-NE1A1	●	磁気コンプトン散乱・高分解能コンプトン散乱ステーション	河田
AR-NE1A2	●	臨床応用	兵藤
AR-NE1B	●	軟X線10m縦分散斜入射分光器	小出
AR-NE3		U	張
AR-NE3A	●	高分解能X線分光装置、高速X線検出装置	張
AR-NE5		BM	兵藤
AR-NE5A	●	医学診断用2次元撮像装置	兵藤
AR-NE5C	●★	高温高压実験ステーション	亀卦川 加藤 (筑波大)
AR-NW2		U	河田
AR-NW2A	○	時分割XAFS及び大強度XAFSステーション	河田
AR-NW12		U	松垣
AR-NW12A	○	微小結晶MADステーション	松垣

放射光研究施設平面図

運転当番 PHS 4209
 監視員室
 内線 3800
 外線 0298-64-5778
 実験ステーション
 BL×× ☎38××
 (例 BL6 ☎3806)

- ◎ IDカードリーダー
- ← 出入口
- 非常口
- ① 便所

※所外から上記番号にアクセスする場合は 0298-64-5200(代表番号) についで、案内テープの後に4×××、3×××の番号を押して下さい。



実験準備棟群II

共同利用ユーザーに関する
 その他設備の担当者一覧(1)

【共通設備】

- | | |
|---------|------------------|
| X線準備室 | 田中 (4643) |
| 生物準備室 | 宇佐美 (4581) |
| 生理準備室 | 川崎 (4347) |
| 結晶準備室 | 五十嵐 (4712) |
| 蒸着室 | 内田 (4599) |
| 低温室 | 五十嵐 (4712) |
| 結晶加工室 | PF 佐藤(昌) (4373) |
| | PF-AR 張 (4212) |
| 暗室 | 杉山 (4421) |
| 化学試料準備室 | 足立 (4348) |
| 工作室 | PF 森(丈) (4361) |
| | PF-AR 亀卦川 (4359) |

【支援業務】

- | | | |
|---------|--------|--------------|
| ストックルーム | PF真空部品 | 菊地 (4420) |
| | 電気部品 | 豊島 (4381) |
| | PF-AR | 佐藤(昌) (4373) |
| ユーザー控え室 | | 河田 (4363) |
| 仮眠室 | | 菊地 (4420) |
| 女子更衣室 | | 宇佐美 (4581) |

0 25M