

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どう行動すべきか?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、参加してくだ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。引き続いて、[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持ち、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に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ッ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。