

SRI - 91 第4回放射光装置技術国際会議 (1991. 7. 15~19. チェスター)

佐々木泰三

SRI-91, The 4th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation は今年7月15日-19日にイングランド北西部の美しい中世都市チェスターで開かれた。主催者は I.H. Munro と D.J. Thompson を代表とするダレスベリー研究所で、スポンサーとしては EC や英国の公的機関・民間企業の他に最近結成されたヨーロッパの放射光学会 ESRS の名前も見える。前回の SRI が3年前に筑波で開催され、大盛況であったのは記憶に新しい。この会議の沿革は1982年に C. Kunz と B. Buras が中心となってハンブルクで開いた第1回、A. Bienenstock と H. Winick が中心となって1985年にスタンフォードで開いた第2回、千川さんが代表となった第3回の筑波と3年毎に開かれているもので、その前身は1973年1月(何と1日!)にダレスベリー研究所(DL)が召集した“International Symposium for Synchrotron Radiation Users”である、と開会のあいさつで DL 所長の A.J. Leadbetter が強調した。18年前のその会議に日本から参加したのは私のほか、波岡武、長沢信方の計3名のみであった。当時はフォトン・ファクトリーはもちろん、スタンフォードもブルクヘブンもなかったもので、この間の発展がいかに劇的であったかが改めて思い知らされる。そのダレスベリーも NINA という 5Gev のシンクロトロンで放射光実験が進められていたが、今日の SRS (2GeV 光源リング) は未だ影も形も

なかった。その他にはフランス(オルセイ)で VUV の国際会議(モンペリエ)のサテライトとして1977年にパリで同じような趣旨の会議があり、これもこの会議の源流であるとフランス人が指摘していた。

会場となった Chester College は市の郊外の小ぢんまりした大学で環境もよく、宿舎として提供された学生寮も評判がよかったようだ。ダレスベリーが主催する会議をなぜチェスターで、という疑問は街に入ってみて忽ち氷解した。紀元1世紀のローマの砦にはじまるというこの小さな都市はまことに美しく、魅力にあふれ、バカンスシーズン最盛期のせいか、観光客であふれていた。天候もイングランドとしてはまずまずの出来で、涼しすぎるくらいはあったが会期中を通して昼間は雨もふらず、会場間の移動に不便はなかった。

参加者数は442名と発表されたが、おどろいたことに日本は82名で、地元英国の107名に次ぐ、ビジターとしては最大のグループであった。ちなみにその次は米国の67名、つづいてドイツ、フランスであったが数は覚えていない。口頭発表は招待講演・一般講演の総計で81件あったが、国別で最も多かったのは米国の23件、次いで日本の18件、次はドイツの12件となっている。これらの数字はいずれもこの分野の現在の活動状況、とくに日本の貢献が従来に増して大きくなっていることの現われであろう。最後に招待講演をした G.

Kulipanovは平方キロ当りの放射光光源の密度がダントツで大きいのは筑波である、といて皆を笑わしていた。しかし一方、15%の参加者を送ってきた米国が30%の口頭発表をしているというのもやはり現在の状況であろうか。とはいっても国別の数こそ小さいが、日米を除く残りの半分はほとんどヨーロッパ勢で、そこはやはりヨーロッパの水準が全体として高いことを物語っている。会期中ロビーでよく話題になったのは建設中の次世代大型施設ESRFの最近の動向であった。ESRFの建設は予定を上回るハイペースで進行しており、来年2月には光源の運転がはじまり、いくつかのビームラインが来年末までに完成するもようである。

さて会議の中味であるが、概要を見るために5日間にわたるセッションの名前を別表に揚げておく。個々の主題については別にそれぞれの報告者が書くことになっているので、一々中味には立ち入らず、ここでは全体を通して特に印象に残ったトピックスに限ることとする。この表にふくまれていないポスター・セッションの時間割当は15日(月)午後、16日(火)午後と夜、18日(木)夕方と夜にあり、寮の宿泊者以外には夜のポスター・セッションは出にくかった。その他16日(火)夜には企業展示とそれにつづくレセプション、17日(水)午後はダレスベリー研究所の見学会があり、これには約100名が参加した。

表の中で*印の付いているのはパラレル・セッ

表1 第4回SRIプログラム概要(口頭発表)

第1日	(7月15日(月))
午前	Session 1: High Brilliance Sources - Insertion Devices
午後	Session 2: High Brilliance Beam Lines and Cool Optics
夕	SRI Lecture - M. Hart, The pursuit of brilliance. How and for what?
第2日	(7月16日(火))
午前	Session 3: Imaging
午後	* Session 4: X-ray Area Detectors * Session 5: Compact Sources and Applications
第3日	(7月17日(水))
午前	Session 6: Detectors and Beam Position Studies
第4日	(7月18日(木))
午前	* Session 7: X-ray Instrumentation (>2keV) * Session 8: VUV/Soft X-ray Instrumentation (<2keV)
午後	* Session 9: X-ray Instrumentation (>2keV) * Session 10: VUV/Soft X-ray Instrumentation (<2keV)
第5日	(7月19日(金))
午前	* Session 11: X-ray Instrumentation (>2keV) * Session 12: VUV/Soft X-ray Instrumentation (<2keV)
午後	Concluding Session (招待講演) M.W. Poole, D. Mills, G. Williams and G. Kulipanov

註 *のついているのはパラレル・セッション

ションで、第2日はともかく、第4日、第5日の三つのセッションは2KeVで領域を区切って題目を分ける方式をとったため、かなり離れた両会場を行ったり来たりする人が多く、不評だったようだ。私自身もおかげで聞きたい話をいくつも聞きこなってしまったし、ポスターもごく一部しか見ていないので、印象といっても見落とした部分もあることをお断りした上で以下、感想を記しておく。

全体を通じて感ずることは、前回のつくばSRI以後も放射光研究のフロンティアは相変わらず激しい勢いで前へ進んでおり、今回のSRI-91も新しい展望をたくさん生み出したことである。88年に新機軸として、あるいは予感として述べられたものが、今度は確立した技術として実を結び、新たな研究の局面の出現に目を奪われる、あるいはより高度な技術への挑戦が始まっている、といった風景がたくさんあった。こういう状況は勿論80年代に世界各地で稼動しはじめた第2世代型の大型施設がすべて成熟してその成果が次々と出てくることも大きい。しかしそれにも増して90年代に世界中で動きはじめた第3世代型の放射光で求められる、あるいははじめて実現できる光源技術・光学技術・測定技術の課題が多くより高度な技術革新の原動力であることは否めない。現存する課題への解答、今の施設での成果とならんで未来形のテーマが数多く報告された。

そもそもこの会議の性格は特異なもので一般の国際会議とはかなりちがっている。これは放射光研究の成果の国際会議、つまりある分野で「得られた知見を公表する場」ではなく、実験技術、“Instrumentation”が主題なのである。それにも拘らず第1回を主催したKunzやBurasの意図には世界中の同業者がつよく賛同して今日に及んでいる。それは放射光科学そのものがその成立以来30年を経た現在もなお、目覚ましい技術革新の真っ最中で、成果を語る場所はそれぞれの既存の分野に存在するが、方法や技術を公表する場はこしこないこと、またその情報交換こそがこういう進

歩の速い分野ではつよく要望されているということである。放射光の発生、伝達、利用という三つの技術はそれぞれ独立の基礎をもつ、元来は異質の分野であるのに、放射光科学の中では不可分に結びついており、つよく相互に依存している。従って今回の会議もその構成を踏襲して「加速器系」、「光学系」、「測定系」のそれぞれに多くの報告があつまった。

全体を通じて先ず目をひいたのは光源関係では圧倒的に多くの論文が挿入光源、とくにアンジュレーター関係だということである。招待講演では11篇中10篇、一般講演とポスターでは38篇中30篇、従って合計では49篇中40篇(つまり8割強)がアンジュレーターの理論・設計・評価等の論文である。これはスタンフォードのH.WinickとK.Halbachが永久磁石でアンジュレーターを組み立てるアイデアを公表して10年余りたった現在、その真価があまねく認識され、次世代の光源ではこれが主力装置になるという状況を反映している。9年前の第1回の会議(ハンブルク)では未だその有効性は疑問だという声があったことを思えば隔世の感がある。ハンブルクの会議にアンジュレーター光の実験的評価の結果を示したのは日本のグループだけで、スタンフォードでも同様であった。今度の会議でも光を測って評価しているのは相変わらず主に日本勢であるが、よそでもボツボツこういうことをやりはじめているのが目をひいた。

もう一つ今度の会議の著しい特徴は円偏光発生用のアンジュレーターの提案が多かったことである。円偏光X線の発生と利用については北村・山本のEMPW型アンジュレーターをトリスタンARに挿入してやった坂井・河田らの磁気コンプトン散乱実験の成功が全世界に大きな衝撃を与え、そのショックウェーブはこの1~2年世界中を駆けめぐった。今回の会議が円偏光アンジュレーターのオンパレードになったのは明らかにその余波である。今建設中の大・中次世代型光源にこの種の装置がとり入れられることは必至である。

円偏光アンジュレーターのタイプとしてはPFで性能が実証済みのEMPW以外にも色々な提案があり、利用目的毎にその長短が検討されることになろう。左まわりと右まわりの円偏光をかなりの短い周期(たとえば10Hz~100Hz)で切りかえる電磁石タイプの提案がいくつかあり、これは化学や生物学のユーザーの要求に応えるものとして注目される。

光源加速器のビームの低エミッタンス化や安定性に関して関心が強かったのも次世代光源を見越しての傾向である。PFの多年の不安定性克服の過程をつぶさに報告した小早川の報告が光っていたのは当然として、欧米の光源施設もみな同様の苦勞をしているので、今後PFのモニタリングや制御技術には各施設が関心をもつであろう。フランスからはLUREのDr. Marinがオルセイでの多年の陽電子運転の経験を報告した。この点ではオルセイが10数年の歴史をもつ先駆者で、PFも数年前から陽電子運転に切りかえて大きな性能向上を実証したが、加速器屋というのは意外に保守的傾向がつよく、世界中でもこれほど明瞭に実証された技術も、導入しているのはごく限られた施設にすぎない。Marinはまた軌道に対するゴミの影響についてもくわしく報告した。それほど系統的に調べはしなかったものの、PFでもこの認識はかなり早い時期からあった。Marinの見解ではゴミのトラブルを免れる方法は陽電子運転しかない、ということだ。

円偏光X線の実用化に伴い、偏光度(直線・楕円・円)の測定や制御、あるいは偏光各成分の位相の測定等が必要になる。軟X線・X線領域での偏光の生成、測定、制御を可能にする光学素子や手法の研究はこの2~3年わが国で急速に進み、SRI-91ではその成果が一斉に登場した。これは円偏光アンジュレーターの出現によって偏光を扱う機会が急激に増えたことにもよる。結晶光学を用いるX線偏光測定技術(石川)、多層膜を用いる軟X線領域の偏光子(山本・木村)、従来型の金の

反射を用いる極紫外偏光子(小出)の仕事はいずれもこれらの未踏の領域で偏光測定法の基礎を確立したものとして評価してよい。

一方、日本勢の立ちおくれを強く印象づけられた分野も少なくない。特に参ったと思ったのは2日目のImagingのSessionでのJ. Kirz (New York)とB. Tonner (Wisconsin)の2つの招待講演である。どちらも生物試料のX線コントラスト影像からはるかに踏み出して、2次電子、 μ XANESや光電子回折を用いて半導体と金属の界面構造や高温超伝導体結晶のステップ構造など、先端材料やデバイスへの応用にも成果をあげており、ミクロな物性(化学状態)の空間分布のモデル映像を2次元ホログラムとしてビデオで映してみせた。X線顕微鏡のもつポテンシャルの大きさを実感させるつよい説得力をもつ講演であった。

検出器の開発もCCDなど半導体素子を用いる検出系ハード、ソフトいずれもかなりの進展があり、標準検出器として従来より広範囲の軟X線領域で使えるダイオードやカロリメータの開発が報告された。特に前者はベルリンのPTBがやっているので、今後ユーザー向けに市販や校正のサービスもするらしい。

分光器に関しては、筑波でドラゴン・モノクロを発表して従来の常識を破る高分解軟X線分光のフロンティアを開拓したBell研のC.T. Chenが、こんどは軌道面の上下にスイッチできる軸外しの円偏光測定系を組み込んで磁気円偏光2色性の実験結果を示し、アンジュレーターなしでも結構いい線いくものだと腕の良いところを見せた。筑波では大ショックだったChenの高分解分光はコロンブスの卵で、今ではベルリンでもKaindlがZeissのSX-700を使ってチョボチョボのスペクトルをとっているし、日本でも柳下らが10mのボダール・前沢モノクロで近いところまで攻め込んでいるので珍しくはなくなった。

会議は初日の夜に主催者側を代表してM. Hartが高輝度放射光を展望する特別講演を行い、最終

日にはゲストの代表で G. Kulipanov が例によって勇ましい放射光の夢物語をやった。TRISTAN も LEP もいずれ要らなくなるので使えるものはみんな放射光にいただきましょとクリパノフ節をぶち上げてしめくくった。

会議の中でひとつ従来の形式を破る新しい試みがあった。それは現存・建設中・計画中の放射光施設の詳細をポスターとして全会期中、特別に展示をおこない、この種のを口頭発表から外したことである。これは今後習慣として定着してもよさそうだ。

日本からの講演者は概してよく準備されたよい

話をした。内容もすぐれたものが多く、日本の高い研究水準を反映していたと思う。しかし討論となると相変わらず苦手の人が多く、質問と全くかみあわない場面もしばしばあった。

次回 (第5回) の SRI 会議は 1994 年に Brookhaven National Laboratory の主催で開催されることになった。会議の間隔についても従来通り 3 年ということに決まったようだ。そうするとその次は 1997 年にアジア地域でということになる。その時までには日本とアジアの放射光研究の環境は大きく様変わりしているであろう。

SRI - 91 報告

光源関係

高エネルギー物理学研究所

山川達也

SRI - 91 の光源関係の報告を書くようにと編集委員の村田先生に頼まれてうっかり引き受けてしまいました。全く独断と偏見の見聞記であることを始めにおことわりしておきます。

SRI - 91 は7月14日から約一週間、英国チェスター大学で開催された450名を越える出席者で日本からは約82名、英国の107名に次ぐ人数であった。議長の一人であるI.H. Munro氏によると開催地のチェスター市は観光地で旅行者が多いので宿泊、食事施設の容量からこの会議では500人が限度で同伴者を加えると限度一杯と云うことで、それ以上の申込者は断らざるを得なかったそうである。

米国、ソ連からの出席者が少なかったのが少し気になった。各国の施設紹介のポスターが会期中講演会場に展示されていた。

現施設、現在走っている計画、まったくの計画のものまで含め、約40のポスターがあり、この中には現施設の増強計画、進行中の計画、次期計画など手堅く進められているものがあつた。

主会議は7月15日(月曜)から18日(金曜)まで開かれ、途中ダレスベリーSRSの見学ツアーが組み込まれていた。

光源関係の講演は15日のSession 1のHigh Brilliance Sources - Insertion Devicesと、16日のSession 5のCompact Sources and Applicationsがあり、ポスターセッションは初日15日の14時15分から15時までのなんと45分間だけ、翌日からの装置関係のポスターでは夕食後

また10時までというのがあり、スケジュールを組む方では苦勞したようである。

ノボシビルスクINP(ソ連)ではソ連のリソグラフィ用のコンパクトストレージリングの開発が行われている。N.A. Mezentsevの報告ではノボシビルスクINP、真空技術研(モスクワ)とエレクトロニクス省の他の研究所との共同で行われているもので、科学技術の目的のための放射光専用波長4~20Å小型電子ストレージリングのデザインと建設が行われており、2つのタイプの検討がこの数年続いている。一つは、SIBERIA - AS計画でx-rayリソグラフィ用のSR光源、600MeV電子ストレージリング軌道周長3m、リングの主なコンポーネントは3.8Tの超伝導磁石である軸対称な環状の超伝導コイルで磁性材を使っていない。このデザインの特徴は磁場分布に鉄ヨークの飽和の影響をなくすることと全体の重量(約8トン)とサイズ(高さ2m直径2m)を小さくすることである。

他の一つは、SIBERIA - SM計画である。軌道周長10mで600MeVのエネルギーに設計されている。

主コンポーネントは平面平行な磁石端部を持つ6Tの超伝導磁石である。この磁石の特徴は省エネルギー型、モレ磁場がない、そして入射時の磁場強度0.6Teslaで良い磁場分布特性を持っていることがあげられている。

磁石システムは8台の超伝導偏向磁石と12台の常伝導4極磁石で構成している。このリソグラフィ専用ストレージリング用に作られた平行な磁石端部

を持った超伝導磁石は汎用型で、マイクロメカニクス、アンジオグラフィーやその他の目的を持った種々のエネルギーのストレージングの建設に使用できるものであることを強調している。

ダレスベリー放射光施設 SRS はチェスターから車で約30分の距離にある。会議で準備された見学ツアーの1日だけでは充分見ることが出来ない。幸いもう1日運転責任者の P.D. Quinn 氏の案内でマシンを詳しく見ることが出来た。入射器、ブースターシンクロトロン、2GeVの電子ストレージングの構成である。以前フォトンファクトリーでも経験したようにイオン捕獲やマイクロダスト捕獲があるため入射毎に一度ビームを全部落してゼロから入射している。又600MeVでストレージングに入射して2GeVまで上げるので超伝導ウイグラーも入射毎に励磁の上げ下げをする必要がある。今年超伝導ウイグラーを増設するため6ヶ月のシャットダウンでリング回りの改造とビームラインの建設が行われている。1号機の超伝導ウイグラーは磁場の強さ5テスラで7つのビームラインが設置されている。新しく設置される2号機は6テスラで5つのビームラインが付設されることになっている。冷却用液化ヘリウム装置は建設当初から2台の超伝導ウイグラーを想定していたそう。1基のヘリウム液化機で2つのウイグラーに必要な液化ヘリウムを供給することが出来る。

ダレスベリーではシンクロトロン放射施設 DAPS が計画されている。これは短波長 FEL (光子エネルギー 5~25eV 以上) の発生も含んだ計画になっている。ダレスベリー研究所には原子核研究用の

5GeV 電子シンクロトロン NINA があったが SRS はその内側に建設されており実験室等建物はそっくり使われている。新しい計画も旧 NINA の 5GeV リングのトンネルを使ったデザインになっている。周長を長く取った電子エネルギー 0.5~1.2GeV で水平エミッタンス $5\sim 15 \times 10^{-9} \text{m} \cdot \text{rads}$ の低エミッタンスリングを考えているようである。研究所の中に空港のコントロールタワーを思わせる塔がある。原子核実験用のヴァンデグラフの建物であるが、ご用済みになったので建物ごと取りこわされるようである。

DESY (ドイツ・ハンブルグ) の HASYLAB では、DORIS II にバイパスをつける DORIS III 計画が完了した。この計画は DORIS II の大きな改造であり、主たる目的は挿入光源のため7つの新しい直線部を造り出すことであった。x-ray ウィグラー4台、非対称ウィグラー1台、x-ray アンジュレーター1台、そして XUV triple undulator 1台がデザインされており、既に完成して設置されたものもあり建設はかなり進んだ状態である。これらのデバイスの概要と磁場測定の結果について J. Pflüger により講演が行われた。

BESSY II, も建設場所はベルリンに決まったそうである。VUV と硬 X 線の計画をバランス良く進めているように思われる。

ヨーロッパでは、フランス グルノーブルに大型放射光施設 ESRF (6GeV) が共同計画で建設されているがそれと平行して各国内でも現施設の増強改造が行われ、現在の要求に答えて研究活動を高める努力が払われている。

SRI - 91 報告

医学診断関係

—放射光の臨床応用について—

高エネルギー物理学研究所

兵藤一行

1. はじめに

第4回SRIは、U.K., ChesterのChester Collegeにて、1991年7月15日から19日まで開催された。Chesterへは、Londonから電車で約3時間ほどであり、城壁に囲まれた美しい町であった。そこから、放射光施設であるDaresbury研究所までは、車で30分ほどである。

今回の会議の参加者は、約450名であり、放射光を用いた実験に関連して、リング、デバイス、ビームライン、測定装置、実験結果など幅広い研究成果の発表がなされた。

医学生物応用関係のなかで画像診断の分野では、血管造影検査、単色X線、CT、X線顕微鏡、単色X線撮影などに関する発表がなされた。血管造影検査では、狭心症や心筋梗塞などの虚血性心疾患に対する早期発見を目的とした独自の撮影システムの開発が、日本、アメリカ、ドイツ、ソビエトで行なわれており、それぞれの施設から現状の報告があった。このなかで、アメリカとドイツではすでに臨床応用が行なわれており、以下それらの成果と現状をまとめる。

2. K-吸収端差分法を用いた冠状動脈撮影—撮影システム

国名	米国	独 国
リング名	NSLS	DORIS II
加速エネルギー	2.5GeV	3.7/5.3GeV
蓄積電流	230mA (Life time 35h)	100/35mA (Life time 5h - 2h)
デバイス	7 superconducting poles wiggler (4.4T - 5.2T) Critical energy 18.3keV	20 poles wiggler (HARWI)
ビームライン	BL - W2	BL - X17
分光光学系	Si (111) 非対称反射 33.17keV \pm 75keV	Ge (111) 33.17keV \pm 75keV程度
撮 像 系	1次元半導体検出器 Double Si (Li) detector 300 elements 0.5mm \times 5mm (vertical) center to center 0.1mm efficiency 33keV 70%	蛍光体+フォトダイオードによる1次元検出器 Phosphor Gd ₂ O ₂ S : Tb Photodiode array 1024ch. 0.025mm \times 2.5mm (Reticon RL1024SF) Image Intensifier (Proxitronic Proxifer)

3. K-吸収端差分法を用いた冠状動脈撮影-臨床応用

国名	米 国	独 国
概 要	SSRLにて、1986年に初めて患者を撮影 その後、1989年まで7人の患者を撮影 SSRLが長期シャットダウンに入ったこと もあって撮像装置をNSLSに移設 NSLSでは、1990年10月から現在までに 5人の患者を撮影	1990年5月に初めて患者を撮影 その後はリング改造のための長期シャット ダウンに入ったため、撮影は行なってい ない 今年秋から再開の予定
撮影時の各種条件等 について	1991年2月44才女性に対する検査結果を 報告 wiggler : 4.4T, 180mA で分光結晶の非対 称度を上げたもので従来より40% fluxが 向上	初めての臨床例について
	造影剤 Angiorist370 注入速度 15ml/s 注入量 36ml 注入部位 Brachial vein tip : R atrium (静注法)	15ml/s 30ml Vena cava superior (静注法)
	スキャン撮影 速度 120mm/s 撮影時間 4msec/line 画像サイズ 256lines 撮影時間 1s/image 撮影枚数 4-6 images	90mm/s 4msec/line 123mm (V) × 100mm (H) 1.3s/image 1 image
	被爆量 安全基準を1回の一連の検査で、35rad 今回: totalで16rad 0.7rad/image	2.5rem/image
評価・コメント	0.7mmの血管まで識別ができた。特に右冠 状動脈では従来の検査方法と同程度に狭窄 部位が識別できた。 Fluxは、あと4-5倍欲しい	RCA : LAO30° , LAD : RAO30° が最も適すと考えられる Fluxは、あと4-5倍欲しい

4. まとめ、感想など

① NSLS

NSLSでの撮影画像は、SSRLでの撮影画像に比較して空間分解能、S/Nとも大きく向上していた。特に、右冠状動脈の狭窄部位は、はっきりと識別できており、K吸収端差分法の有用性が示されていた。これは、入射フォトン数が約3から7倍ほど向上したことがひとつの大きな理由であると考えられる。

ただ、十分に満足するS/Nの画像を得るには、あと4-5倍のフォトン数が必要であろう、実際の患者を撮影し始めてみると、計算よりも、より多くのフォトン数が必要であるという結果になった(Thomlinson)とのことであった。これは、恐

らく冠状動脈を最も良く描出させるために斜めに撮影するために(LAO, RAO), X線が透過すべき体厚が大きくなったことによるのではないかと考えられる。左心室と冠状動脈が重なってしまうと、お互いの識別が困難なので、現在のところ、左心室となるべく重ならないような撮影方向を検討しているようであった。今後、少しでもフォトン数を上げるため、Ge結晶を利用することを検討しているとのことであった。

② DESY

DESYの医学用ビームラインは1本であり、物理実験用ステーションと医学用ステーションが、タンデムに配置されており、マシンタイムは、交

互に利用している。また、分光結晶が設置されているステーションと患者用ステーションは別個になっている。

現在までに一例の患者を撮影しており、患者は、ハンブルク大学から自動車で移送され度診察用の部屋を経由して、ステーションまで運ばれた。この診察用の部屋は新しく増設したもので医師の控え室も含み2部屋ある。ステーション周りは特に通常の実験用のものと変わらなかった。しかし、患者の被爆に関する安全には十分に配慮がなされているという印象を持った。線量を常に測定していて、積算が特定の線量以上になったり、スキャン用椅子の動きが止まってしまった場合には（同じ部位に多量の照射をすることを防ぐため）自動的にビームシャッターが閉じる機構などが用意されていた。患者への照射は医師が行なったとのことであった。

DESYでもやはり、十分なS/Nの画像を得るために、あと4-5倍のフォトン数が必要であるということであった。また、1回の造影剤注入で1枚の画像しか得られないので、撮影開始のタイミングが非常に難しかったとのことであった。病院で通常のカテーテル検査が行なわれており、その結果からSRでの撮影タイミングを推定していたが、患者がDESYに来たときは、臨床的状态が全

く異なり（緊張によると考えられる）1回目の注入では、冠状動脈の造影タイミングと完全にずれてしまったとのことであった。

現在、DESYもリング改造のための長期シャットダウン中であるが、まもなく運転を再開し、患者の撮影も再開したいとのことであった。また、医学用の新しいMPWも用意されつつあった。

③ 臨床応用に関する全体の印象

諸外国では、シート状の細長い放射光ビームと一次元撮像系を組み合わせ、患者を鉛直方向にスキャンさせることで、一枚の心画像を得るシステムを開発してきた。

スキャン法により実際の臨床画像を得る段階になって、1回の造影剤注入で、1~数枚の画像しか得られないので、撮影開始のタイミングの設定が難しいという問題点が改めて認識されてきた感じである。PF方式の場合は、2次元動画画像が得られるので、この問題はなく、心臓診断にとって有用な動画画像情報が得られるという利点もある。ただスキャン法では、より高S/Nの画像が得られるという特徴があり、それぞれの方式の特徴を活かして、臨床応用に対して十分な情報を含んだ画像を得ることが急務であることをお互いに確認した。

光源分野—主として挿入光源

高エネルギー物理学研究所

北村 英 男

光源分野の話題の中心は挿入光源とくに円偏光光源であったように見受けられる。その理由のひとつは、前回の筑波国際会議 (SRI88) 直後、TRISTAN - ARで楕円ウイグラー (EMPW) によって世界最初の高輝度円偏光X線の発生に成功したばかりでなく、89年にはDORISでも非対称ウイグラー (Asymmetric wiggler) によって同様の放射光を発生したという実績によるものであろう。もうひとつの理由は、ESRF, APS, SPring8, LBL等の第3世代リングが目下建設中であり、そのため光源本体 (蓄積リング) に関する発表にめぼしいものがなかったためである。ただし、小早川によるPF光源リングの現状報告において挿入光源の独立チューニングの基本となる抜群のビーム安定性が披露され、各方面に大きなインパクトを与えたようである。以下に印象に残った各報告について私個人の感想を述べるものである。

Marin (Orsay) はイオントラッピング、ダストトラッピングに関わる各種ビーム不安定性に関して陽電子ビームの優位性について報告した。特にダストトラッピングではPFリングやTRISTAN - ARのデータを引用していたのが印象的であった。この現象の詳しい報告を世に出したのはOrsayのグループが最初であるが、蓄積リングでの電子蓄積時のビームの異常な振る舞い (蓄積ビームの異常損失) がダスト (ゴミ) によるという仮説を最初に唱えたのはPF光源グループである。このことはWinick氏がCERN Courierで紹介したので

かろうじてオリジナリティを確保することができたが、願わくばPFグループの手でオリジナルペーパーを出すべきであったと悔やまれる。

Pflüger (HASYLAB) は挿入光源対応に改造されたDORIS IIIに設置する各種挿入光源を紹介した。独自性はあまり感じられなかったが精力的にあたらしい挿入光源のアイデアを導入しようという姿勢は好感がもたれた。たとえば、多連型アンジュレータとしてリボルバー型 (日本, KEK - ISSP 共同開発がオリジナル), 短波長アンジュレータとして可変開口型 (米国, LBLオリジナル), 円偏光ウイグラーとしては非対称ウイグラー (仏, Orsayオリジナル) を採用している。Pflügerは最初の非対称ウイグラーを成功させた人物であるがこの挿入光源の持つ重大な欠点には気がついていないようであった。この種の挿入光源の特徴は軸外で観測してはじめて円偏光が得られることである。軸方向に長さをもつ挿入光源の高輝度特性は軸上で受光した場合のみ意味をもつものである。もし、軸外で観測すれば挿入光源長の投影分だけ光源サイズが増大することになり輝度特性が損なわれることになる。この点でKEK - PFの開発したEMPWとはおおいに異なる。EMPWは軸上で円偏光が得られ、したがって輝度は損なわれない。非対称ウイグラーの提案者のひとりであるElleau (ESRFの挿入光源グループのヘッド) に「あなたは分かっているはずである。」と水をむけると次のような答が返ってきた。「ESRFの公式文書では非対称ウイグラーを導入すること

になっている。しかし、設置すべき直線部はEMPW対応である」。

円偏光2色性の研究には左右の円偏光を高速でスイッチングする必要がある。これを目的とする挿入光源の開発についてWalker (ELETTRA) とGreen (Wisconsin) の発表があった。Walkerの提案はKEK - PFの開発したEMPWを基本としたものである。EMPWは垂直磁場を発生する磁石列と水平磁場を発生する磁石列によって構成されるが後者を電磁石に置き換えて交流磁場を与えれば原理的には左右の円偏光のスイッチングが可能である。ただし、提案者自身が気がついていない問題点がある。それは電磁石のギャップの中に位置することになる垂直磁場用の永久磁石そのものが金属であるため渦電流効果が問題となることである。Walkerは100Hzのスイッチングが可能と主張しているが、10Hzが達成できるかどうか疑問である。一方、Greenの提案はオーソドックスなcrossed undulatorの採用である。この挿入光源は磁場が互いに直交する2つのアンジュレータの真ん中に3極磁石を配したもので両アンジュレータが発生する2ケの波束同士の干渉効果を利用して特定の光波長に於いて円偏光状態が得られるようにしたものである。左右の円偏光のスイッチングは3極部の磁場強度を変調することにより波束間距離を若干変化させれば可能である。この方法で100Hz以上の高速スイッチングが期待できるが問題は円偏光度である。この挿入光源の原理は微妙な干渉効果を利用したものであるからその円偏光度はビームエミッタンスの影響を受けやすい。たとえば、10 Åにて意味のある円偏光度を得るためのエミッタンスは目安として1nm・rad以下でなければならない。Greenは蓄積リングとしてAladdinを想定しているから円偏光が得られるのは500 Å以上の長波長側に限られるであろう。会議直後に伝わったニュースによれば以前からこの種の挿入光源を試験していたBESSYにおいて初めて円偏光が得られたそうである。ただし、波長領

域、円偏光度、スイッチング速度等の詳しい数値結果はまだ伝わっていない。

アンジュレータで短波長領域の準単色光を得るためには磁場周期長を短くしなければならない。しかし意味のある磁場を発生するためには周期長に比例して狭い磁石ギャップに設定する必要がある。しかし通常型のアンジュレータデザインではギャップ内部に真空槽を置くことになる。ところで蓄積リングを安定に運転するにはビーム軸まわりに十分な空間が必要である。したがって、アンジュレータ用真空槽の内部開口の大きさはリング運転時に遭遇するあらゆる可能性を考慮して十分な大きさを持つ必要がある。この結果達成できるアンジュレータ磁石の最小ギャップはずいぶん大きなものとなってしまう。周期長を長くしないと磁場が得られない。これを解決するために2つの方法が考えられる。ひとつは最大なベローズを使用することによってギャップ内の真空槽壁をリング運転の状況に対応させて可動にする方法(可変真空槽)、もうひとつは永久磁石を真空内に設置することにより磁石ギャップそのものが蓄積ビームに対する開口となるような方法である(真空封止型アンジュレータ)。前者の可変真空槽型はLBLのHoyer達が初めて成功させたものである。かれらは真空封止型も試みたが、超高真空達成に必要な加熱ベーキングで永久磁石が極端な非可逆減磁を示したため、以後この種のアンジュレータの開発は中断したそうである。真空封止型が実際に設置された例としてNSLS - VUVとBESSYが挙げられる。前者はSmCo₅製永久磁石を表面処理せずそのまま真空内に設置したものである。伝わっている情報によればアンジュレータ部の真空度があまりにも悪すぎてリング運転に支障があるという理由で撤去したそうである。一方後者はSmCo₅製の永久磁石列全体を薄いステンレス板で真空封止したものである。詳しい数値情報(到達真空度、ベーキング処理前後の磁場精度)は公開されていないが、非公式情報では失敗作であったようであ

る。その間接的証拠として以下の事実が挙げられる。このアンジュレータの建設に参加したPflüger (現在H ASYLAB) がDORIS III用として建設しているのは可変真空槽型である！ 今回の会議では以上の短波長アンジュレータに関して3つの報告があった。このうち2つは可変真空槽型 (Pflüger: DORIS III, Ahola: MAX - Lund) で、残るひとつは真空封止型 (Yamamoto: KEK - AR) である。Yamamotoの真空封止型は耐高温型のNdFeB系永久磁石にニッケル鍍金を施して超高真空に対応させたものである。注意深く熱処理を施すことによって実用ベーキング温度 (115°C) での非可逆減磁をなくすことに成功し、4 m長の真空封止型アンジュレータで 7×10^{-11} torrの超高真空を達

成することができたのである。両者の最小ギャップ性能を比較すると、真空槽厚み (1~2mm) を考慮しなくてもよい真空封止型が可変真空槽型に比べて2~4mm狭くできる長所がある。さらに可変真空槽の長尺化は大気圧による真空槽の破壊が深刻な問題となる。ちなみに今まで成功した可変真空槽型のうち最長はLBLの1.9mである。したがって、装置原理に限った性能としては真空封止型が優れているといえる。問題は必要な技術の難易度である。両者とも一般型挿入光源と比較して数段上の技術力を必要とする。どちらが優れているかそれはこれらを利用するユーザー実験の成果が答を出すであろう。

SRI - 91 報告

X線光学素子と検出器の現状

東京大学工学部
石川 哲也

表記国際会議は、7月15日から7月19日の5日間、英国チェスター大学に於て開催された。会場に着いてしばらくすると、京都教育大学の村田先生が、いつも以上にこやかな表情でやってこられた。考えてみれば、村田先生が学会誌の編集委員であることを失念していたのは放射光学会幹事としての大いなる怠慢であり、気がついていれば逃げ出すべきであった。高輝度光科学研究センターからも会議報告を依頼されているという言い

訳も通らず、放射光学会誌に会議報告を書くことになった。したがって、「SR科学技術情報」の会議報告と重複する部分があるがお許しいただきたい。

X線光学素子に関しては、ESRFが建設中であること、ヨーロッパで行われた会議であることの重畳作用により、ESRFのデザインレポートがやたらと目についた。しかしながら、内容は玉石混交であり、驚くほど斬新なアイデアは残念ながら見

受けられなかった。ESRFで進めているからといって十分な吟味なしに飛びつくことは（今までになかった訳ではないが）厳に謹むべきであろう。高輝度ビームハンドリングの大問題である結晶冷却も、筑波での88年の会議とそれに続くワークショップ、またアルゴンヌでのワークショップを踏まえて非常に実地的な局面に移行しつつある印象をうけた。その一方で、既に光学系としては前回、前々回に発表されたものをういたサイエンスの進展には注目すべきものがいくつかあった。1つは背面反射を用いた高エネルギー分解能非弾性散乱測定であり、ドイツのグループがフォノンの分散曲線の美しいデータを大量に出し、またアメリカNSLSのグループは、L殻に開けたホールにM殻から遷移する発光を測定することによって、ライフタイムブロードニングを消したL吸収端の微細構造のデータを出していた。

X線光学素子に限らずに今回のSRIを振り返ってみると、大きなトピックスは偏光のハンドリングであったような気がする。インサージョンデバイスのセッションでは、多数の偏光制御デバイスの講演があり、またVUV、軟X線、硬X線領域での円二色性をもちいた研究が、磁性研究を中心として急速に進展している。このような研究では、波長領域によらず入射光の偏光特性を押えておくことが重要であり、これはストークスパラメータによって完全に記述される。今回の会議では、VUV、軟X線、硬X線それぞれの波長領域で

のストークスパラメータの決定方法が提案され、既に実測が行われていることが発表された。これらは全てPFの成果であり、円偏光インサージョンデバイスの稼働とあわせて、この分野でのPFの寄与はおおきい。一方N SLSの施設長であるMcWhan博士の磁気散乱に関するレビューでは、Hart教授の考案による、高性能直線偏光子をもちいて、直線偏光で磁気散乱にどこまで迫れるかが追及されており、円偏光は不要といたげな迫力があつた。いずれにせよ今後放射光による磁性研究は大いに発展しそうである。

X線検出器に関しては、私よりも例えばPFの雨宮さんをお願いしたほうが情報量が多いとおもわれるが、印象だけをかいておく。2日目の午後のパラレルセッションの片方がX線2次元検出器のセッションであった。日本ではイメージングプレートの出現によって2次元のパルスディテクタの開発が停滞してしまった感があるが、ヨーロッパ諸国でしつこく追及しているのが印象的であった。

最後に、本稿の表題からは若干ずれるが、今回の会議でかなり印象的だったことは、中規模の第三世代放射光リングとして、アメリカのALS、ヨーロッパのトリエステ等が着々と実現に向けての具体的作業を行っているのに対して、日本が出遅れ気味だということである。放射光科学のバランスのとれた発展のためには第三世代中規模リングは不可欠であり、この推進が強く望まれる。

SRI - 91 報告

“tender x-ray region” に関して

高エネルギー物理学研究所
北島 義典

“tender x-ray region” というのは SRI 会議でアメリカグループが提唱している言葉で、「いわゆる X 線領域 (hard x-ray) と回折格子分光 (soft x-ray) の狭間にあたる 1keV 前後の光」を指して言う。ただし厳密に定義されているわけではなくまだ広く使われてもいない。ここでは斜入射回折格子分光器では苦しく、通常の Be 窓で仕切られた X 線ビームラインでは得難い 1.0 - 3.0 keV の範囲とする。この領域には第 3 周期の元素 (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl) の K 吸収端が含まれるなど利用研究の幅は広く、特に光源としての放射光への期待は高いが、いくつかの問題があり装置的にもまだ発展途上にあると言える。分光器の特徴としては通常の X 線に用いられる Si (111) や Ge (111) よりも d 値の大きい結晶を使って分光すること、また比較的大きな Bragg 角まで利用しなければならないこと、分光器を高真空にしなければならないことがあり、困難の素になっている。また放射光は連続したエネルギー分布を持つのに、よく X-ray と VUV/soft x-ray という分け方が行われてこの領域がどっちつかずになってしまうことがさらに発展の障害になっているように思われる。今回の SRI - 91 でもそのような分類がなされており、同じ様な分光器が別々のセッションで発表されていた。

通常の分光器としては地元 Daresbury (イギリス) の Roper 氏が 2 結晶分光器の現状と大気圧下での XAFS 測定について、Robinson 氏が表面研究用ビームラインのブランチとしての 2 結晶分光

器について、村田氏 (京都教育大) と平谷氏 (分子研) が UVSOR の 2 つの 2 結晶分光器の現状について、Yang 氏 (アメリカ) が Wisconsin の 2 結晶分光器の製作について、また LNLS (ブラジル) からは Corrêa 氏が 2 結晶分光器のデザインについて報告したが、斬新なものは見られなかった。

そのほか分光器関係では、Tolentino 氏 (LNLS : ブラジル) がチャンネルカット 2 結晶分光器を 2 台つなげたような高分解能 4 結晶分光器のデザインを報告した。なるほどと思わせるデザインではあるが、Si 以外の結晶で低エネルギーまで実際に使えるかどうかは疑問である。Steil 氏 (ELSA : ドイツ) は 2.4keV 以上で使えるエネルギー分散型結晶分光器のデザインを報告したが、かなり配置が窮屈であり、こちらも実用化されるかどうかはこれからの課題のようであった。筆者は PF のアンジュレータを光源とする 2 結晶分光器の第 1 結晶の冷却について報告したが、現在のところでは PF 以外にはアンジュレータでこの領域を使っているところはなく、高真空中での結晶の有効な冷却は今後の課題になっている。

ところで tender x-ray region の最大の問題は d 値の大きなよい結晶がなかなかないということである。この点で Cowan 氏 (NIST : アメリカ) の「使えそうな結晶の探索」は期待されたが、結局ポスターは貼り出されなかった。まだよい結晶は見つからないということかと思われる。一方、Rek 氏 (SSRL : アメリカ) からは昨年のアメリ

カでの国内学会で発表され注目されている結晶 YB₆₆ のその後について報告されたが、実用化にはもう少し時間がかかりそうであった。

今回の会議では ESRF や APS などのグループから R & D に関する数多くの報告がなされたが、Susini 氏の adaptive mirror, Ziegler 氏の多層

膜など optics について、また Marot 氏の結晶の冷却法についてなどはヨーロッパ連合の力を見せるものであり、次世代の光源に向けての R & D を着実にやっていかなければならないことを痛感した。

SRI - 91 報告

VUV 分野の研究の現状

東北大学理学部
佐藤 繁

第4回シンクロトン放射利用装置国際会議 (SRI - 91) が7月15日から19日まで英国チェスター市のチェスターカレッジで開催された。参加者は総勢442名、内訳はイギリス107名、日本82名、アメリカ65名、フランス48名、ドイツ33名、ソ連25名等である。会議は80件の招待講演と252件のポスター発表からなっている。招待講演は15日、17日はシリアル、16日、18日、19日はパラレルで行われた。それぞれのセッション名と講演件数をまとめる。但し、(VII)と(VIII)は2日分を1つにまとめた件数である。

- (I) 高輝度光源 - 挿入型光源 (7件)
- (II) 高輝度光源用ビームラインと冷却光学系 (5件)
- (III) イメージング (6件)
- (IV) X線エリア検出器 (パラレル, 6件)
- (V) コンパクト光源と応用 (パラレル, 5件)

- (VI) 検出器とビーム位置研究 (7件)
- (VII) X線利用装置 (> 2keV) (パラレル, 20件)
- (VIII) 真空紫外 (VUV) / 軟X線 (SX) 利用装置 (< 2keV) (パラレル, 20件)
- (IX) 最終セッション (4件)

招待講演の各分野に対する件数を見ると、前回とは異なり今回は光源、ビームラインよりも、放射光利用実験に関わる研究に大きなウェイトがおかれていたことがわかる。このような事情の背景としては、

- (1) 世界各地で建設中の第3世代の光源がまだ稼動していない。
- (2) ダレスベリー 2GeV リングを10年以上利用して成熟の域に達したイギリスの放射光科学の事情。
- (3) 光源、ビームラインの建設が世界的に一段落し、放射光利用という本来の目的に装置研究

のフェーズが移ったため、等が考えられる。

VUVセッションの講演内容の分布は、VUV装置研究の動向を概略反映していると考えられる。大まかに分類すると円偏光の解析と利用に関する研究が4件、高分解能分光を含んだ光学系関連が4件で最も多く、次いで冷却系と耐熱光学素子3件、多層膜光学素子3件、その他、時間分解分光、クリーニング、ミラー計測等である。これらをまとめると、光学系を技術的により高度なものにレベルアップして、供給された放射光をより有効に利用しようとするのがVUV分野における装置研究の傾向であるということが出来る。

講演のなかで印象に残ったものをいくつかあげる。高分解能分光と円偏光利用を組合せた“双頭の龍”(Double-Headed Dragon)分光器がC. T. Chen (ATT) によって報告された。もともとのDragon分光器はCylindrical Element Monochromator (CEM) 設計で2枚の水平、垂直集光用ミラー(実際は円筒鏡ではなく球面鏡を使用)と半径57.3mの球面回折格子を用い、すでに400eVで約10,000の $E/\Delta E$ を得ている。このDragonの前置鏡を2枚にし、それぞれ電子の軌道面に対して上下0.5mradずつ軸を外してセットし、チョッパを併用して左右回り円偏光を交互に得たのが今回の報告である。すでに強磁性状態試料中の3d $L_{2,3}$, 4f $M_{4,5}$ 吸収端で円偏光2色性が観測されている。一方、小出等(KEK, PF)は円偏光度を3回反射偏光子で求め、酸化鉄中の鉄 $M_{2,3}$ 吸収端近傍の円二色性を反射法で測定した。円二色性の実測の報告は上記2件で小出等の実験はより定量的である。他の2件は偏光解析の報告である。木村(総研大, PF)等は多層膜ミラーによる偏光解析装置を製作し、ガラスホッパー分光器の出射光の楕円偏光度パラメーターを完全測定した。

一方、高分解能の分野では、前出のDragonとSX-700(BESSY)及び10m斜入射分光器(PF)が先頭集団を形成している。G. Kaindl(ベルリン

自由大)等はSX-700-II(平面回折格子と楕円鏡を組合せた分光器)を用いて120eVで $E = 17\text{meV}$ を得た。これと半径127.5mmの静電半球型電子エネルギー分析器を組合せ合計分解幅40meVで光電子スペクトルを得ている。この結果は従来得られてきた、Y. Bearによる励起光21.2 eV, 40.8eVでの分解幅20meV, C.G. Olsonによる22eVでの分解幅32meVに匹敵する高分解能である。実験例として、 γ -Ceの価電子帯スペクトルを励起光122eVで測定し、4f¹状態のスピナー軌道分裂(約200meV)を明瞭に観測した。これに対して柳下(PF)等は10m斜入射分光器をアンジュレータービームラインに設置し、気体の高分解能吸収実験を行なった。酸素のK吸収端領域で2400本/mm回折格子を用い $E/\Delta E \approx 8000$ を得ている。信号強度とのかね合いもあって、高分解能だけがすべてではないが、当分の間各国が種々の分野で高分解能測定をめぐって、しのぎをけずることは間違いない。

今後、高輝度、高分解能、大強度を目指す新しいタイプの分光系が続々と提案され、実用化されるだろうが、光学設計とともに重要なことは、光学素子そのものの性能向上を図ることである。特に多層膜を回折格子や大面積ミラーに適用し、高効率光学素子として実用化することと、ミラーの表面粗さ、形状評価を定量的に行うことが重要になってくる。P.Z. Takacs(BNL)は大型のSR用円筒鏡の曲率測定を行うためのLong Trace Profiler(LTP)について報告した。LTPは共通光路型干渉計を小型の測定ヘッドとして、1m長のスライドラールに搭載し、1mmステップでスキャンして表面形状の傾斜を測定するものである。曲率の絶対値を高精度で直接測定できるSR用ミラーの表面形状測定装置としては世界唯一の実用機である。蛇足であるが、我国でも、トワイマン-グリーン干渉計をベースにした形状計測機を筆者等のグループが開発中であり、ポスターで発表した。

今回のVUVセッションでは、さらに喜多(日立)が耐熱性回折格子、北島(PF)が2結晶分光器の冷却、山田(住友重機)がコンパクト光源“AURORA”について講演した。招待講演20件中6件を我国が占め、善戦していると言える。この中で若手研究者の活躍が目立ったのはうれしいことである。しかしながら欧米では2.5世代、3世代の中規模光源がいくつか建設中であるのに較べて、

我国では中型計画は沢山あるもののどれも走ってはいない。建設の過程でより多くの若手が育つものである。今のところ世界のVUV分野は一服している状態だが、建設中の新光源が完成すれば我国のVUV分野は若手研究者の数も含めて質、量ともに欧米にさらに大きく水をあけられることになるだろう。我国における中規模光源計画の一刻も早いスタートを期待したい。

