

PAC'97 報告

放射光利用研究促進機構
 (財)高輝度光科学研究センター
 加速器部門 蓄積リンググループ
 原 雅弘

第17回粒子加速器会議 (Particle Accelerator Conference, PAC'97) がカナダのバンクーバーで5月12日から16日まで開かれた。主催はカナダのTRIUMF (TRI Universities Meson Facilityの頭文字からつけられた加速器施設、Tri Universities はUniversity of British Columbia, University of Victoria, University of Alberta) でメリーランド大学との共催であった。この会議は 1988 年から始まったEPACと交互に開かれ (偶数年次にEPAC, 奇数年次にPAC) 加速器の科学、技術及び利用の分野に関する科学者、技術者、及び加速器の利用者間の情報の交換を目的としている。SPring-8からは上坪、宮原、安積、原の4名が参加した。PAC'97の報告は安積氏と私とで担当することになり、安積氏にはPACの公式な報告を書いていただき、私は会議の印象や追加的な話を書くことになった。

今回のPACの第一の印象は、参加者が非常に多くなり、開会セッションと閉会セッションを除いて全てパラレルセッションのため、会期を5日間と長く



会議の初日TRIUMFでバーベキューパーティーが開かれ、その後施設の見学を行った。バーベキューパーティー会場にて。写真左がAPSのY. Cho氏、右が筆者

とっているにもかかわらず、聞きたいものが聞けないという状況にあったことである。第二に、例年PACでは高エネルギー加速器の話が中心であったが、今回は高エネルギー加速器にSSCのような目立った話題がなく、代わりに放射光関係の加速器の話が増えたように感じた。第三に原稿の提出にあたってのFORMATに多少混乱をきたしたことである。要求されたとおり編集していても会場でUS Letter版に編集し直され、それができない場合は出し直しを要求され当惑した。

次に会議の話題について印象深かったものについて述べる。開会の招待講演4つのうち3番目がSPring-8の話で、「First Commissioning of SPring-8」の題で上坪氏が講演した。PAC'89 ChicagoでSPring-8の話がOral発表になったことはあるが、SPring-8が招待講演になるのは今回が初めてである。会期中顔見知りの研究者から話しかけられたが、SPring-8の評判はよかったようだ。

高エネルギー加速器ではNext Linear Collider、LEP-II、HERA、B-Factory、RHIC、LHC、NSNS (National Spallation Neutron Source)、CEBAF、Muon Colliderなどが話題になったが、B-Factoryは設計段階が終了して建設が始まったからか、発表は少なかったようだ。全体として景気の良い話はあまりなく、米国のNSNSの話も、SSCプロジェクトの挫折から学んだのか1研究所で建設するのではなく、LBL、LANL、BNL、ORNL、ANLの5つの研究所が協力・分担して建設する方向で検討されていたのが印象的であった。

また前回に比べ、レーザーの話が増えたように思えた。レーザーを用いた粒子の加速がC. Joshi (UCLA) によって報告されたのをはじめ、RF電子銃、自由電子レーザー、レーザーと電子ビームとの逆コンプトン散乱、レーザーを用いた電子ビームの

診断への利用の話等が報告されていた。特に電子ビームの診断への応用については「Picosecond-Resolution 'Slice' Emittance Measurement of Electron Bunches」(I. Ben-Zvi, BNL)、「Laser Based Sub-Picosecond Electron Bunch Characterization Using 90° Thomson Scattering」(W. Leemans, LBNL)、「Laser Manipulation of Beams」(S. Chattopadhyay)等が報告され、かなり進んでいるように思えた。

ビーム診断では、APSのグループがストリークカメラで時間(縦方向)と空間(横方向)の分解能を持つ測定を行い、ブースターシンクロトロン内の電子ビームの挙動について報告していたのが印象に残った「Characterization of Beam Dynamics in the APS Injector Rings Using Time-resolved Imaging Techniques」(B. Yang et al. APS)。

放射光蓄積リングに関しては、既に述べたように報告が非常に増えたように思えた。上坪氏の「First Commissioning of SPring-8」をはじめ、「Fractional Filling Induced Landau Damping of Longitudinal Instabilities at the ESRF」(J. Jacob, ESRF)、「Performances of the Advanced Photon Source」(G. Decker, ANL)、「Improving and Extending Performance at Synchrotron Radiation Facilities」(A. Jackson, LBNL)、「Beam-Based Modeling and Control of Storage Ring」(J. Safranel, BNL)、「Status of the High Brilliance Synchrotron Light Source BESSY-II」(E. Jaesche, BESSY)、「Canadian Light Source Proposal」(D. Skopik)、「Overview of Hot Topics in Insertion Devices Design」(K. Robinson, STI Optics)、「Fourth Generation Light Sources」(H. Winick, SLAC)が招待講演であった。SPring-8, ESRF, APS, BESSY-IIの現状報告や放射光施設と挿入光源のレビュー報告がなされた。ESRFとAPSでは電子ビームのフィリングパターンによって不安定性を制御している報告があった。特にAPSではバンチ結合不安定性による不安定性の証拠となるビームスペクトルと冷却水温度依存性を観測していた。

このほか、「Overview of Advances in the Basic Understanding of Dark Current and Breakdown in RF Cavities」(H. Padamsee, Cornell U.)では高周波加速空洞内での放電についての詳細な検討、「Progress in High Power Microwave Ferrite Circulators for Particle Accelerator Applications」(E. Pivitt, ATF Inc.)ではマイクロ波のサーキュレータの設計と進歩についての講演があった。

PACの間にサテライトミーティングがいくつか開かれ、私はその中の1つPhotoelectron and Fast Ion Instabilities Meetingに出席した。今回のPACの中でも発表されていたが、Photoelectron Instabilityとは、陽電子蓄積リングにおいて発生した放射光が真空壁をたたいて光電効果で電子を発生するが、この電子が蓄積中の陽電子と相互作用をして2ビーム不安定性を起こす現象をいう。Fast Ion Instabilityとは、電子ビームがガスと衝突してイオンができ、そのイオンが電子ビームの負のポテンシャルにビームが通過する間だけ捕獲され、電子ビームと相互作用して電子ビームが不安定になるのをいう。これらの不安定性は陽電子蓄積リングやB-Factoryでは大きな問題となるので、ミニ研究会を開いて検討をしようというものであった。これはKEKでこの7月15~18日に開かれるInternational Workshop on Multibunch Beam Instabilities in Future Electron and Positron Acceleratorsの前座のワークショップであり、夕方6時から夜の9時過ぎまで熱心な討論が続いた。

今回のPACの開かれたVancouverは、私にとっては非常に思い出深い地である。というのは、1985年にVancouverで開かれた第11回のPACに初めて参加したからだ。しかもこれに参加したことが大型放射光施設SPring-8の発端となり、さらに今回のPAC'97 VancouverでSPring-8のビーム蓄積成功の発表がなされたわけだから因縁めいたものを感じるのである。そこで、この機会にPAC'85 Vancouverの開かれた頃の放射光施設をとりまく状況を振り返ってみたいと思う。

PAC'85の放射光に係るものを当時のProceedingsからひろってみると、Brookhaven National LaboratoryのMark Bartonが「既存の放射光施設の運転経験」の題で講演をし、世界の23の放射光施設の運転状況から放射光施設が急速に開発されていることを強調した。23の施設のうち専用施設は11で、さらに7つは高エネルギー用マシンからの転用で、残りの5つは高エネルギー実験用との共用で、ビームラインの本数については、もっと驚くべき速さで増えている、将来計画も目白押しであることが報告された。技術的には、真空がマシンの最も困難な問題で、真空が悪いと電流が少ししか蓄積できず、その結果焼き出しが進まないというディレンマやイオン捕獲の問題等が報告されていた。そしてバンチ結合不安定とその除去、光軸の安定性の確保について述べ、さらに多くの放射光施設でウィグラーやアンジ

ュレータを利用し始めたことを報告していた。

新しい放射光施設の提案については、L. C. Teng氏が招待講演をしていた。0.45GeVから6GeVまでの20の新しい放射光施設が世界で建設中か計画中であり、すべてが専用マシンで、多くがウィグラーやアンジュレータを念頭に置いた設計をしていると述べた。つまりこの中でTeng氏は第3世代放射光の定義をしていたのである。1) 挿入装置を多数設置できること、2) 大電流、低エミッタンス、3) 挿入装置運転のための柔軟性、4) 光軸の安定性、5) 簡易で信頼性のある運転、である。このほかマシンの設計における特長や挿入光源の問題点を概説していた。

この当時 ESRFはまだ計画中であり、S. Tazzari氏が計画について報告をしていた。電子エネルギーが5GeVで電流値100 - 200mA、エミッタンス7.2nm・radの計画で6GeVにエネルギーをあげる可能性を示唆していた。

一方米国の計画もこの時点ではまだアルゴンヌに決まっていたわけではなく、PAC'85にはY. Cho氏による「Conceptual Design of the Argonne 6 GeV Storage Ring」とG. Vignola氏による「A Study for a 6 GeV Undulator-Based Synchrotron Radiation Source」が発表されていた。このほかにSSRLから「The SSRL Design for a 6 GeV National Synchrotron Light Facility」が発表されることになっていたが、直前に取りやめになったようで、丁度このころ米国の大型放射光計画はアルゴンヌに決まったようである。この時はまだエネルギーが現在の7GeVではなく6GeVであった。このほかに気がついたのは、BESSYがコミッションング（試験調整運転）に成功しており、ALSが概念設計の報告をしていた。

私は当時まだ放射光施設については殆ど知識がなかったので状況があまりつかめてなかったが、とに

かく会場で米国の既存の放射光施設の人と接触して知り合いになり、これから訪問する施設の相手を捜した。このときどなたかにH. Winick氏を紹介されて知り合いになった。

この会議中に放射光に関するサテライトミーティングが開かれることを知り、私も参加した。丁度米国の大型National Synchrotron Light Sourceのことを議論していた。技術的な問題点についてFree Discussionをしており、蓄積リングのラティスとダイナミックアパーチャーや真空の問題点について夜遅くまで議論が続いた。日本からは原子核研究所から辻川氏が参加され、真空チャンバーの構造についてWinick氏と議論していたことが記憶にある。

会議のあとLBLのCAM (Center for Advanced Materials)、スタンフォードSSRLのSPEARリング、ウィスコンシン大学のタンタルスとアラジン、さらにブルックヘブンの放射光施設 (NSLS)、最後にワシントンの連邦基準局 (NBS、現在はNIST) を訪問し放射光施設を見せてもらった。この訪問はその後のSPRING-8プロジェクトの立ち上げ、加速器の設計に非常に役立ったのである。

こうしてPAC'85 Vancouverから12年をへて再びPAC'97 Vancouverに参加して、私には感慨深いものがあった。この間、科学公園都市は1986年の起工式から姫路工業大学理学部、科学技術支援センターが完成し、その後住宅や生活基盤部分も次第に整備され、地元との協力関係もすすみ、まさに科学公園都市としての全容をあらわし始めた。そして我々のSPRING-8は試験調整運転も順調に進み、今年10月には完成祝賀式が予定されているのである。1つの区切りを迎え、私は次なる目標への気持ちを新たに帰国したのである。

(財) 高輝度光科学研究センター
加速器部門 入射系グループ
安積 隆夫

17th 1997 Particle Accelerator Conferenceは5月12日から16日までの5日間にわたりカナダ・バンクーバーの中心部にあるホテルバンクーバーにて開催された。バンクーバーはカナダ西海岸の北緯49度付近に

位置しており、連日晴天に恵まれた会議であった。この国際会議は加速器開発及び加速器利用に関わるあらゆる問題について議論されることを主な目的としている。論文登録者数は1,500名を越えるものと

なり会議への参加者も800名に及んだ。5日間とも2会場で午前中は30分程度の招待講演があり午後は15分程度の口頭発表で占められていた。さらに他の3会場に分かれて1日2回のポスター発表が行われ参加者数からして当然のことであるが発表は、非常に盛り沢山であった。本報告書においては、最初に会議初日に行われた招待講演の概要について述べ、次に私のカバーできる範囲である電子生成部、線型加速器などの印象深かった発表について述べたいと思う。

会議開催初日の午前中にはホストである TRIUMF の M. K. Craddock の歓迎の挨拶及び以下に示した4つの招待講演が出席者全員参加で行われた。

LEP2: Present and Future Performance and Limitations, S. Myers - CERN

Linear Collider Research and Development: World Status, B. Richter - SLAC

First Commissioning of SPring-8, H. Kamitsubo - JAERI-RIKEN

Laser Accelerators: Experiments, Computations and Prospects, C. Joshi - UCLA

基本粒子探索を目的としたLEP2の建設状況に関するCERNのS. Myersの講演では86GeVのビームエネルギーを達成するための176台の超伝導空洞と120台の常伝導空洞の設置が完了し、規定のエネルギーの達成が報告された。ここでは放射光によるビームエネルギー損失の問題に関して多くの討論がなされた。今後93GeVまでのビームエネルギー増強のために64台の超伝導空洞を導入する予定である。

数TeV領域のエネルギーを目指すリニアコライダー計画に関してSLACのB. Richterの講演では加速器全体の基本デザインから低エミッタンスの実現のためのRF電子銃やS-band、C-band、X-bandそれぞれの周波数帯域におよぶ各種コンポーネントの開発状況が紹介された。この次世代リニアコライダーの技術開発は現段階にある技術レベルの1桁から2桁上回るものでありSLACをはじめ、DESY、CERN、KEKなどの共同研究により行われている。

SPring-8の建設及びビームコミッショニングについて上坪宏道共同チームリーダーより講演が行われた。線型加速器、シンクロトロン、蓄積リングのそれぞれの建設状況と短期間で所期のビーム性能を達成できたことについて報告された。特に蓄積リング

への入射効率が90%程度を示したことや軌道補正後のCODが水平方向、垂直方向共に $\pm 0.3\text{mm}$ と非常に小さいこと、さらに 10^{-4} のmomentum compuction factorを達成するところの基本周波数508.58MHzに対して中心周波数が508.57943MHzであったことが注目され、後に行われたポスター発表においても電磁石の据え付け、アライメント方法に関して議論がなされた。

レーザーを用いた電子加速に関する計算結果及び実験についてUCLAのC. Joshiよりその目的と有効性について講演された。レーザー加速においてはinverse-Cherenkov accelerator、inverse free-electron laser、laser plasma beat wave accelerator、self-modulated wakefield acceleratorの4つの方法が紹介され、特に最初の2つについてBNLの試験加速器施設で実際に行われている試験結果についても報告された。ここではinteraction pointで580MW、1GWにまで達するCO₂レーザーを用いており、それぞれの効果による電子ビーム加速に成功している。

さて、ポスター発表であるが線型加速器関連ではおよそ150件の発表があった。アブストラクトから判断すると半分が線型加速器の運転状況及び加速器増強計画に関するもので、3分の1程度がRF電子銃の開発試験を含めた電子生成部に関係するもの、残りがビーム性能測定、ビームモニターの開発、S-band、C-band、X-bandそれぞれの周波数帯域におよぶ各種コンポーネントの開発などであった。

特にHaimson Research CorporationからM.I.T.プラズマ核融合センターの17GHz線型加速器へ納められている550kV電子源の概念設計、アセンブリ、電子生成試験に至るまでの報告が興味深いものであった。設計に関しては電界強度のシミュレーションコード“POISSON”による徹底的な構造評価により構造体内の最大電界強度が11kV/cm以下に抑制されている。このため従来行われていたセラミック部分へのTiNコーティングやベーキングを行わなくても安定した高圧印加が可能となった。実際の電子ビーム生成試験では440kVの高圧運転時に600mAの電流が観測され、電子ビーム生成過程のシミュレーションコードによる評価と良い一致を示していることが強調された。

RF電子銃に限っては10件程度の発表が行われたが自由電子レーザーの開発のための単バンチ生成用電子銃としてBNL / SLAC / UCLAの共同研究により開発された1.6cellフォトカソードRF電子銃が注目

されていた。これはブルックヘブンの試験加速器施設で組立て、運転されており、特にビームエミッタンス補償するためのソレノイド電磁石が設置されている。フォトカソードにはCu、Mgが採用されており、加速勾配は通常運転時で130MV/mに達している。量子効率に関してはCu、Mgのそれぞれに対して 4.5×10^{-5} 、 10^{-4} に達し、300pCの電子生成時の規格化エミッタンスは0.7mm.mradに抑えられている。ここでは以上の実験結果に加えて、1.6cellの空洞内を通過するバンチビームの加速電界との相互作用について詳細な報告がなされた。

ところで私がKEK ATFで行ったリニアコライダのための入射器の研究に際して、当時、共同研究のためDESY ATFから来日されたM. Schmitz氏から“S-band Linear Collider (SBLC) Test Facility at DESY”という題目で電子入射部を含む加速器全体の構成と建設状況について発表された。SBLC実現においてもマルチバンチビーム加速運転、高電界発生のためのRF源やRF窓などの開発、エミッタンス増大に関わる高調波成分の抑制、あるいはアライメントや地盤振動からの影響などの多くの問題が挙げられ、これらに関する実験計画及び測定原理について詳細な説明を受けることができた。

全体的な印象としてはとにかく大盛況であったと思う。口頭発表、ポスター発表共に興味深いものは前日にアブストラクトから選び出しておくわけだが、当日、発表者との議論の際には私自身の英語力の不足を痛感せざるを得なかった。しかしながら各専門分野の研究者とのコミュニケーションができたことは自分自身にとって有用な情報を得るものであり今後の研究活動に対して参考となるものであった。



原 雅弘 HARA Masahiro

昭和21年11月26日生

(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門
〒678-12

兵庫県赤穂郡上郡町金出地

SPring-8リング棟

TEL : 07915-8-0851

FAX : 07915-8-0850

略歴：昭和50年東京大学大学院工学系研究科博士課程（原子力工学専攻）修了、同年理化学研究所入所、マイクロ波などを用いた電子ビームプラズマの計測、リングサイクロの建設、60年から大型放射光施設の設計に従事、現在副主任研究員、加速器系研究開発室長、工学博士。日本物理学会、電気学会、日本放射光学会会員。最近の研究：SPring-8の設計、加速器の設計と製作。今後の抱負：SPring-8を加速器や光源などハードの性能だけでなく、利用し易さなどソフトの面でも世界一の施設とすること。



安積 隆夫 ASAKA Takao

昭和45年1月18日生

(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門
〒678-12

兵庫県赤穂郡上郡町 SPring-8 加速器部門

TEL : 07915-8-0841

FAX : 07915-8-0840

E-mail : asaka@haru01.spring8.or.jp

略歴：平成7年東北学院大学工学部応用物理学科博士課程前期課程修了、平成8年(財)高輝度光科学研究センター。趣味：加速器、スキー、ゴルフ