

■ 会議報告

第2回世界加速器会議 (IPAC2011) 報告

山本将博 (高エネルギー加速器研究機構 加速器第7研究系)

第2回目となる International Particle Accelerator Conference (IPAC2011) は、2011年9月4日～9日にスペインのサン・セバスティアンで行われた。サン・セバスティアンはスペインの北東部のフランス国境まで約15 km に位置するビーチが特に美しい保養地で、会議の会場である Kursaal Congress Center も海岸に面しており、期間中の晴れた日中は多くの海水浴客でにぎわっていた。サン・セバスティアンへは、ビルバオ空港から高速バスを使うと約1時間程度で到着する。私は9/4の成田を出発し、その日の夕方に現地に着くことができたが、ちょうどIPAC2011開催直前の9/3に日本では台風12号が高知県に上陸し、関西・中部方面から向かう方々は、飛行機が欠航するトラブルに見舞われ大変であったことを会場で知った。

会議初日のオープニングにはスペインの改革・科学大臣である Cristina Garmendia 氏の挨拶があった。市内のバスは、IPAC の名札を見せるだけで無料で乗車できるなど、IPAC 組織・実行委員、スペイン政府の意気込みが伺われる。(ビルバオが、ヨーロッパ諸国が共同で設計を進めている大型中性子源加速器 ESS (European Spallation Source) の建設候補地になっている事も影響しているのだろう。) 会議の総参加者は1200名を超え、口頭発表は95件(受賞講演含む)、うち日本から18件、登録されたポスター発表総数は1400件以上ではほぼ第1回目に匹敵する規模で行われた。

第1回同様高エネルギー物理から医療・産業応用の電子・陽子・重イオンの加速器と多岐にわたる発表があったが、ここでの報告では、原稿依頼を受けたのが帰国後であったこともあり、個人的な興味(主に海外の電子源関係)に偏った報告となることをご容赦願いたい。プロシーディングスならびに発表スライドは国内のミラーサイトである <http://www-linac.kek.jp/mirror/IPAC2011/index.htm> からの閲覧が便利である。詳しい内容はこちらをご参照頂きたい。

口頭発表

ヨーロッパ、CERN にある周長約27 km の全周超伝導の大型ハドロン衝突型加速器 LHC (Large Hadron Collider) については、CERN の M. Lamont 氏より2009年末より再開されたコミッションングについて報告があった。2010年春には3.5 TeV衝突に成功、2010年終わりには鉛同士の衝突に成功、2011年より再び陽子-陽子衝突の実験が

始まり1380バンチ入射が行われ8月時点で peak luminosity $2.37 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、積分で 2.6 fb^{-1} まで到達している。SPS を介して450 GeV まで加速された陽子を LHC へ入射し、450 GeV から3.5 TeV まで加速してビーム調整に至るまで1時間程度で、その後30時間程度安定に蓄積して実験が行われていることが述べられた。2008年9月に超伝導磁石の接続部の発熱、発生したアークでヘリウム容器に穴があき大量のヘリウムが漏れ大修理を必要とした事故を乗り越えていよいよ本格的に動き出し、今後入射バンチ数を当初の設計値である現在の倍まで引き上げられれば、 $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ まで手の届くところまで近づいてきていることが感じられた。

ERL に関する報告は、Cornell 大の M. Liepe 氏より Cornell ERL 入射器運転に関する報告があった。バンチ電荷77 pC、10 MeV まで加速した状態での規格化エミッタンスが1.6 mm mrad、また、平均電流25 mA で5 MeV までの加速に成功した報告があった。電子銃での加速電圧が300 kV と、まだ十分高くないため、目標とするエミッタンスまでにはまだ届いていないものの、今後の改善でより低いエミッタンスおよび高い繰返しの運転が可能になっていくものと思われる。

Jefferson Lab. からは A. Burrill 氏より CEBAF (Continuous Electron Beam Accelerator Facility) 12 GeV アップグレードの状況についての報告があった。これまで CEBAF は、超伝導線形加速器に5つの異なる周回部を接続し、これまでは2つの直線部に各20台のクライオモジュールが設置され、1周あたり1.2 GeV 加速し、5周して6 GeV まで加速した電子を実験ホールへ供給していた。本アップグレードでは、各直線部に5台のクライオモジュールを追加し、1周あたり2.2 GeV まで加速性能を上げ、さらに周回部を半周分足して、5周半で12 GeV まで加速されたビームを供給する実験ホールを新たに新設する。わずかな余剰スペースを活用し、現在の超伝導加速器の技術を結集して加速エネルギーを倍増させる計画である。1台のクライオモジュールには7 cell cavity が8台組込まれている。今回増設する超伝導空洞での RF パワー損失を300 W 以下に抑える必要があることから、運転時の加速勾配約20 MV/m で Q 値 7×10^9 以上が要求される。一方でコスト・マンパワーを抑えるために cavity 製作時に当初44あった工程を25まで減らしているが、出来上がってきたモジュールでは全ての cavity で要求値を満たしているようである。2012年の2月までに10台全てのクライオ

モジュールが完成する予定であることが述べられた。

ポスター発表

近年の電子源開発の主目的の一つとして、高エネルギー分野では luminosity 向上のため、放射光分野では発生する X 線の輝度を上げるために電子源で生成する電子ビームのエミッタンスを小さくする試みが盛んに行われており、IPAC2011でも多くのポスターが見られた。

DESY の FLASH 入射器開発を行っているベルリン郊外にある Zeuthen のグループ (PITZ) から常伝導 RF 電子銃に関する報告のポスターがあり、RF 電子銃のカップラーおよび RF のフィードバック系の改良により横方向の規格化エミッタンスがバンチ電荷 0.1 nC で 0.2 mm mrad 、 1.0 nC で 0.7 mm mrad を下回る低エミッタンス電子ビームの生成に成功している報告があった。私が2004年に PITZ を訪ねた際には電子銃を立上げ始めた状態で、RF 源もビーム診断部もこれから準備を始めるような状態であったと記憶していたが、今や最前線を走っている印象を受けた。

超伝導 RF 電子銃 (SRF-gun) については、最初に開発・ビーム生成に成功している HZDR (Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf) に次いで、HZB (Helmholtz-Zentrum Berlin) でも SRF-gun からのビーム生成試験が開始された報告があった。HZB の SRF-gun は、Jefferson Lab. にて製作された 1.6 cell の TESLA-like cavity に、カソード面となる部分に Pb を蒸着した空洞を HoBiCaT のクライオスタットに組込まれた構成となっている。最初の試験では、field emission の影響で加速勾配 15 MV/m 程度での試験に留まっているようだが、Pb 成膜、cavity 輸送時の状態が良くなかったことから、すでに 2 台目の製作が進行中であることを聞いた。

電子銃のカソード開発に関する報告も多く、高輝度のビームを高い繰返して供給するため、比較的長波長にて高い量子効率を実現できるマルチアルカリカソードの開発・評価が精力的に進められている印象を受けた。カソードより大電流を引出す上で必須となる量子効率の高さの上では半導体カソードが有利とされているが、カソード寿命が短い問題がある。そのため近年は、励起レーザーとしても高い平均パワーが得られる 500 nm 帯で実用的な量子効率を得られる CsK_2Sb カソードの開発や評価が進められている。BNL では、様々な基板、条件で成膜したカソードを XRD や XPS の手法で物性的な評価を行っている報告があった。また、BNL で作製した CsK_2Sb カソードを Jefferson Lab. まで真空状態で移送し、Jefferson Lab. にて 20 mA のビーム生成を行っている報告もあった。Jefferson Lab. での実験の結果では CsK_2Sb カソードは 10^{-8} Pa 台の環境でも量子効率は高い状態を維持できる事が報告されていたが、取出しビームによって生じるカソードへ逆流するイオ

ンがカソードの中央部を衝撃し、中央部数 mm の範囲では QE は大きく低下する問題も示していた。

その他

ポスター発表会場や講演の合間のコーヒーブレイクの際に出されるバスク地方料理の一つである一口サイズのピンチョス、企業展示ブースの一角でふるまわれたイベリコ豚の生ハムは美味であった。バンケットは、参加者全員を収容できる適当な場所が無かったためか、会場を 3 つに分けて行われた。スペインでは、昼寝の習慣 (シエスタ) があるためか、町のレストランや飲み屋では夜は遅くまで営業しており、バンケットも終了は夜の 11 時過ぎであった。それでも翌日は午前 9 時から講演があるところもスペインならではのだろう。

今回の会議で印象に残った講演の一つに木曜日午後に行われた ESS の C. J. Carlile 氏による特別講演ある。講演は風力発電による加速器施設稼働の可能性についての内容



ポスター会場の風景。



サンセバステリアンの日没後の海辺の風景。

であり、私を含めおそらく多くの方々が数十 MW に及ぶ巨大な電力を風力発電で安定的に得るには、コストを含め実現には多くの難題があるように感じられたが、CO₂削減の問題、震災後の原子力発電に対する逆風の状況の中で、現在、莫大な電力を使用する大型加速器の将来を考えた時、風力発電などの再生可能エネルギーを主体として利用することはおそらく避けては通れない問題のように思

う。今回の会議が特に環境問題に熱心なヨーロッパで開催されたからこそこのような講演も聞けたのだろうと感じた。

最後に、今回の会議では僭越ながら口頭発表の機会を頂き、大変貴重な経験をさせて頂いた。共同研究者の方々、ならびにサポート頂いた皆様に感謝申し上げたい。次回 IPAC2012は5月に New Orleans で、2013年はアジアに戻り、上海での開催が決まっている。