

■会議報告

エネルギー回収型リニアックの国際ワークショップ (ERL09) 報告

中村典雄 (東京大学物性研究所)
西森信行 (日本原子力研究開発機構)
宮島 司 (高エネルギー加速器研究機構)
阪井寛志 (高エネルギー加速器研究機構)

ERL09は2009年6月8日-12日に米国のコーネル大学(ニューヨーク州イサカ市)で約170名の参加者の下に行われた。日本からは総勢14名が参加した。第1回は2005年に米国のJefferson Laboratory (JLab)で、第2回は2007年に英国のDaresbury Laboratoryで開催され、今回で3回目のワークショップになる。自然豊かなキャンパスに重厚な建物が立ち並び、放射光施設と加速器施設を有する。日本の大学関係者にとっては非常に羨ましい環境であった。

ワークショップは、Plenary session と3つのワーキンググループ(WG1: Injectors, Guns, & Cathodes, WG2: Optics & Beam Dynamics, WG3: RF & Cryomodules)で構成された。Plenary sessionでは、初日のM. Tigner氏(コーネル大学)の開会の挨拶から始まり、各施設での現状報告や開発要素ごとのレビューなどが行われた。日本からは、河田洋氏(KEK)が日本のERL計画の現状とERL利用実験について発表し、羽島良一氏(JAEA)がビームダイナミクス関係のレビューを行った。ワーキンググループを含めて、日本からは12件もの口頭発表があった。また、世話人(各WGで2名)を、WG1で西森信行氏(JAEA)、WG2で坂中章悟氏(KEK)が務めるなど、ERLにおける日本の存在感が大きくなっていることを実感した。

WG1では100 mA級の高輝度電子源開発を念頭に、DC電子銃、RF電子銃についての発表・議論が主に行われた。DC電子銃で特に関心を集めたのは、セラミック管に500 kV以上の電圧を安定に印加するための技術である。過去2年以上に渡って、JLab-FELなど3カ所で500 kV以上の高電圧印加試験が試みられたが、セラミック管に穴が空くなど失敗に終わっている。これは、カソード電極を支えるロッドからの電界放出電子が、セラミック管の特定の場所に集中する結果と考えられている。これを解決するために提案されているのが、多段分割型(JAEA/KEK)とinverted型(JLab)セラミック管である。多段分割型はセグメント化したセラミックでコバール電極をサンドイッチし、高抵抗により電圧分割する。各電極に取り付けたガードリングが、セラミック管を電界放出電子から護る役割を果たす。Inverted型は医療用X線管で実績のある方式

で、セラミック管の高電圧端子が真空容器中に押し込まれる構造でサポートロッドが不要である。代わりに高耐電圧ケーブルを大気中で使用する。両方式とも製作段階にあり、2年後のERL11でその結果が報告されることになる。その他のDC電子銃の話題は、電子銃の高電圧プロセッシングに 10^{-3} Pa程度のクリプトンガスが有効であること、極高真空でのイオンポンプの排気量はポンプの大きさに比例せずに40 l/s程度で最大になること、Nb電極からの暗電流がステンレスに比べて低いこと等である。

RF電子銃のハイライトは、Cs₂Teカソードを用いたRossendorf超伝導電子銃から3 MeV、平均電流100 μ A(400 pC@250 kHz)の電子ビームが生成されたことである。BNLのイオン冷却用703 MHz電子銃も開発が進むほか、新たに3つの超伝導電子銃(112 MHz@BNL, 200 MHz@ウィスコンシン大, 500 MHz@Naval Postgraduate School)が製作段階にあるのは驚きであった。ドイツのHelmholtz-Zentrum Berlin(旧BESSY)の計画でも超伝導電子銃が用いられる。

WG2では、X-Ray Sources, Multi-Turn ERLs, Beam Loss and Halo, Test Facilities, Tolerances, Optics Design and Optimizationと多岐に渡るテーマについて発表と議論が行われた。また、WG1とInjectors and Other Topicsについて、WG3とHOM Damping and Wakefieldsについて合同セッションも開催された。今回は、ERLテスト施設のデザインだけでなく、最終目標であるX-ray sourcesとしてのERLの設計やそこで問題となるビームロスやwakefieldなどの諸現象の影響が主要なテーマとなった。

X-Ray Sourcesについては、GeVクラスのERL光源についてコーネル大学とAPSから報告がなされた。どちらも既存リングを一部として利用する計画で、X線光源に向けた概念設計と数値計算結果が報告された。また、APSのM. Boraldから、X線光源として最適なビームエネルギーを見積もった結果が報告された。APSでは放射光輝度と挿入光源ギャップの観点から7.7 GeVまでビームエネルギーを上げることを検討している。

Multi-Turn ERLについては、日本のコンパクトERL(cERL)計画とコーネル大学のERL計画の検討結果が報

告された。Multi-Turn ERL では超伝導空洞の台数を減らしてコストを抑えられるという長所がある反面、Beam-Breakup (BBU) などの面では不利になることが示された。これに対する議論の中で、ビームの繰り返しを下げることで回避できるという提案があった。

ERL ではビームロスが重大な問題の1つとなるが、今回のワークショップでは Intra-beam scattering の計算手法とその結果について報告があった。合流方法では、偏向電磁石を使わずに超伝導空洞の横方向の収束作用を利用した“Direct injection”が紹介された。これを用いると合流部のためのスペースを省略できるが、一方で運転の複雑さや超伝導空洞のオフセンターにビームを通す影響が指摘された。ERL テスト施設の報告として、Daresbury の ALICE の報告があった。順調に運転・試験が継続されているが、電子銃直後のビーム診断用のスペースを拡張するアップグレード案も報告され、入射器ビームラインを設計する上で非常に示唆に富んでいた。

WG3 では、ERL 空洞開発の現状とその問題点が主なテーマとなった。最も印象に残ったのは、コーネル大学の入射器用超伝導空洞の報告であった。これは、1.3 GHz の2セル空洞5台で100 mA、5.5 MeV の加速を実現するもので、最大4 mA までの運転が行われている。現状の問題は、縦測定では加速勾配15 MV/m で 10^{10} 以上あったQ値が、クライオモジュールに取付け後に半減し、特にクライオモジュール両端の空洞で劣化が激しいことである。BNL や Daresbury でも同様のQ値の劣化が見られたとの報告があった。これらの原因として、HOM ダンパーのフェライトの混入、フランジ部の温度上昇、空洞外部からのガス混入などが考えられていて、非常に有益な知見を得ることができた。日本のグループ (KEK/JAEA/ISSP) では cERL の入射器用2セル空洞と主加速器用の9セル空洞の試作機の試験結果が報告された。入射器用空洞では ILC の HOM カプラーを改良して HOM 対策を行い、縦測定で最大電界30 MV/m の達成と15 MV/m での8時間連続運転について報告があった。主加速器空洞は9セル

で HOM BBU の閾値が600 mA の設計で、その縦測定の結果が示された。電界放出の問題が残されているが、現状で最大17 MV/m の加速勾配が得られていることが報告された。

ERL09でもう一つ大きなテーマとなったのは HOM ダンパーである。コーネル大学では HOM ダンパーのロウ付け部分の剥離によるフェライトの脱落があって、ダンパーの製作方法や HOM 吸収体の性能評価などが報告された。日本のグループからは8種類のフェライトの HOM 吸収特性の測定結果と現在製作中のロウ付けを使用しない HIP 処理と櫛歯構造による HOM ダンパーの報告があった。JLab からは1Aでの運転を想定した導波管タイプの HOM ダンパーの設計について発表があった。HOM ダンパーを室温であるクライオモジュールの外に持つことで kW 級の HOM 減衰が可能とのことである。その他の話題として、RF 振幅位相の制御について日本のグループを含めて報告があった。ただ、チューナーや入力カプラーに関してはレビュー程度に留まり、新たな議論が十分にできなかったのは残念であった。

ERL09では、議長がワークショップであることを強調し、研究所間の共同作業を強く求めた。その一つとして joint paper writing があり、WG1 では DC 及び RF 電子銃で、WG2 では電子銃からビームダンプまでを一括して扱う Start-to-End (S2E) シミュレーションで論文を執筆することになった。また、Plenary session で ERL の利用に関する発表にも少なからぬ時間が充てられたことも特徴的であった。さらに、2回に分けて ERL 入射器プロトタイプと空洞開発の見学があり、発表以外にも学ぶべきところは大きかった。

ワークショップの最終日には、次回のワークショップ ERL11が2011年に日本 (KEK/JAEA 共催) で開催されることが決まった。2年後には、日本でもコンパクト ERL に向けた準備と要素開発が大きく進んでいることであろう。さらに充実したワークショップになることを期待したい。



左：コーネル大学のシンボル McGraw Tower、右：ERL09会場 (Schwartz Center) での集合写真