会議報告

ERL-2011 国際ワークショップ開催報告

羽島　良一*

Report of ERL-2011 Workshop

Ryoichi HAJIMA *

1. はじめに

エネルギー回収型リニアック（Energy-Recovery Linac）に関する国際ワークショップ ERL-2011 が 2011 年 10 月 16 日から 21 日の日程で，KEK つくばキャンパスにて開催された．このワークショップは，ICFA（International Committee for Future Accelerators）の Beam Dynamics Panel の後援を得ており，会議の正式名称は The 50th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs であるが，ここでは，ERL-2011 と略す．

ERL は高出力自由電子レーザーを目的として，ジェファーソン研究所（JLAB）や原子力機構（JAEA）で 1990 年代に開発が行われた．その後，X 線放射光源やイオン・電子コライダーへの応用が議論されるようになったのをきっかけに，ERL に話題を限定した国際会議を開催したいとの声が高まり，2005 年に最初のワークショップ（ERL-2005）が JLAB で開かれた．これに続いて，ERL-2007 が英国ダレスベリー研究所で，ERL-2009 が米国コーネル大学で開催された．今回の ERL-2011 は，初めてのアジアでの開催であり，高エネルギー加速器研究機構（KEK）と日本原子力研究開発機構（JAEA）が共催した．KEK の河田洋教授が国際組織委員会の議長，KEK の小林幸則教授が現地実行委員会の議長を務め，羽島が国際組織委員会の共同議長とプログラム委員会の議長の任を担った．

ERL ワークショップは，ERL のための加速器要素である電子銃，超伝導加速空洞，ビーム軌道解析，ビーム診断などの技術に関する議論の他，ERL を利用したサイエンスの話題まで網羅する国際会議である．本報告では，主催者の一人として，会議の準備から開催に至る過程を含めて記してみたいと思う．

2. ワーキンググループとコンビナーの決定

会議参加者が自由に研究発表を行う「コンファレンス」と異なり，「ワークショップ」では事前に設定された議題（agenda）に沿って発表と議論を積み重ね，その議論の記録としてプロシーディングスを刊行する．過去の ERL ワークショップでは，電子銃，超伝導空洞など分野ごとに 3 ～ 4 のワーキンググループ（WG）を作ってそれぞれの議論を行った．

ここで重要な役割を担うのが，WG のコンビナーである．コンビナーは，担当する WG の運営に全責任を負い，ワークショップの準備では WG の目的（charge），agenda の設定，参加者の招集，当日は議事進行と会議最終日のサマリー講演に向けた資料のまとめ作業，ワークショップ終了後はプロシーディングの執筆までを行う．ワークショップ成功の可否はコンビナーの人選次第と言っても過言ではない．

WG の設定とコンビナーの選任は，国際組織委員会メンバーの間で，電子メールによる下打ち合わせを行った後，電話会議で決めることとした．電話会議は 2 月 18 日，ワークショップ本番の 8 ヶ月前であった．日米欧三極の電話会議を設定する場合，必然的に日本時間の深夜になるため，これまでは国際電話代を気にしながら自宅の電話を使っていた．今回は，インターネット経由の電話会議システム（EVO）が使えたので，電話代の心配がなくなったと喜んだが，接続に不慣れなメンバーもおり，会議を始めるのに 1 時間ほどかかってしまうという誤算もあった．

電話会議による話し合いの結果，5 つの WG を設定することとし，それぞれの名称を，

WG-1 : Electron Sources

* 日本原子力研究開発機構 Japan Atomic Energy Agency
（E-mail: hajima.ryoichi@jaea.go.jp）

会議初日に撮影した参加者の集合写真

WG-2 : Beam Dynamics
WG-3 : Superconducting RF
WG-4 : Instrumentation and Controls
WG-5 : Unwanted Beam Loss

と決めた．前回の ERL-2009 では，WG-1 を Injector, guns and cathode としたが，“gun”の単語の連想から軍事関係の会合との誤解を受け，ロシアから米国への入国ビザ発給にトラブルがあった反省を踏まえて，今回の WG-1 は Electron Sources とした．この名称変更を除いて，WG-1 から WG-3 までは過去 3 回の ERL ワークショップと同じである．WG-4 の Instrumentation and Controls は, DIPAC や BIW といった，この分野の国際会議があるために，ERL ワークショップに専門家を集めるのに苦労する懸念があったが，ERL の重要な要素技術であるので個別の WG を設定した．Unwanted Beam Loss を特別に取り上げることは ERL 以外の加速器研究者にとっては奇異に感じるかも知れない．しかしながら，ERL にとっては本質的な問題であることから，あえて 5 番目の WG に取り上げた．

それぞれの WG を担当するコンビナーは，シニア，若手のバランスを考慮した上でコンビナーの仕事を果たせる有能な人材を電話会議で順序をつけてリストアップし，河田と羽島で最終決定した．

3. 震災の影響

WG，コンビナーを無事に決定し，ワークショップに向けた準備が本格化した矢先に，東日本大震災に見舞われた．震災直後は，KEK，JAEA それぞれが自らの施設の被災状況把握，復旧作業に追われたが，ERL-2011 ワークショップの開催をどうするかも早急に決定しなければならなかった．加速器関係の国際会合では，5 月 16 日～ 18 日につくばで予定されていた X-band 加速管に関する国際会議が震災のため中止のアナウンスがなされた．外国からの観光客が日本を忌避しているというニュースも伝わっていた．

このように，会議開催が困難かと思わせる情報は数多くあったが，われわれは，ERL-2011 を予定通り開催することを決断した．決断には次のような根拠があった．会議まで半年あり震災直後のパニックは終息しているだろうこと，参加者は科学者であり，正しい情報（余震の頻度，放射線の空間線量など）を開示すれば冷静な判断をしてもらえるだろうこと，ERL は大きなコミュニティではなく参加者は「お客さん」と言うよりは「当事者」としての意識が強いので少々の無理はあっても参加してくれると期待したことなどである．

われわれは，さっそく，ERL-2011 のホームページに，予定通りに開催する旨のメッセージを掲載するとともに，メーリングリストを通じて告知を行った．

会議の蓋を開けてみると，国内から 79 名，外国から 61 名の参加があり，結果として震災による影響はほとんどなかったようだ．

4. 開催に向けた実務作業

開催まで半年を切るころからは，開催に向けた実

務作業を加速するため，現地実行委員（Local Organization Committee）が月１回のペースで集合し，細かい打ち合わせを行った．現地実行委員には，KEK-JAEA-ERL チームから中村典雄，坂中章悟，道園真一郎，帯名崇，永井良治，西森信行の各氏などが実働部隊として加わり，事務局は KEK の山崎多鶴子さん，野地満恵さん，会議運営の専門業者のスタッフが切り盛りをした．プロシーディングの電子投稿と出版は白川明広さんに担当をお願いした．

会場を KEK つくばキャンパスとしたことで，会場の賃料を節約した．小林ホールで全体講演を行い，各 WG の部屋は WG 参加人数に合わせて適切な部屋をあてがった．ワークショップの議論を充実させるためには，会場の選択も大切である．発表者とその他出席者の距離が近く，また，出席者どうしが互いに顔を見て議論できるレイアウトが望ましい．舞台に上がって発表するような形式は避けるべきであり，この点も注意して WG の部屋を選んだ．

5.　反省と課題

ERL-2011 ワークショップは成功裏に終了したが，いくつかの反省と課題が残った．会議内容の報告の前に反省と課題について記したい．

Web を使った発表申込みは JACoW の SPMS（Scientific Program Management System）を使用した．IPAC などと同じ ID/ パスワードでログインすることができ，多くの参加者が使い慣れているシステムである．ERL-2011 では，これに加えて Indico によるプログラム時間割の管理と発表資料の掲載を行った．ワークショップでは，各自の発表資料にリアルタイムでアクセスし，議論の材料やサマリートークの参考にできるのが望ましい．また，WG セッションでは，プログラムが当日に変更されることもままあるため，時間割が随時修正可能なシステムが必要である．Indico はこの機能をもっている．ところが，SPMS と Indico が連携していないために，発表タイトルや共著者のデータを手作業で移し替えるのにかなりの時間を要した．また，SPMS のデータからアブストラクトブック用の原稿を作成するのも人力に頼らざるをえず，事務局スタッフには会議の直前に苦労をかけることとなった．これらの点については，今後のソフトウェアの改良に期待したい．

ERL-2011 のエクスカーションは，皇居，浅草バスツアーとした．これまで，つくば地区で開催の国際会議では，日光，筑波山，大洗などへのエクスカーションが企画された例を見聞きしていたので，今回は違った場所を選んだ．外国からの参加者には概ね好評であった．しかしながら，日本人の参加者は，エクスカーション担当の添乗スタッフを除いてほぼゼロであった．会議出席者どうしの交流の機会として日本人からも積極的な参加があればよかった．

ワークショップでは，WG コンビナーが agenda に沿った発表を選択するので，ここから外れる発表申し込みの受け皿としてポスターセッションを設けた．20 件を超えるポスター発表があり盛況であったが，会議終了後に予想しなかったトラブルが発覚した．正式に発表申し込みをしていないポスターを空きスペースに貼って発表しているものが数件あったのだ．この中には，会議の参加登録をせずにポスターを貼っているものもあった．研究発表と情報交換を活発に行うのはありがたいのだが，参加者間の不公平が生じるような事態は好ましくない．うまく目配りができなかった点は反省したい．

6.　会議のトピックから

世界の ERL プロジェクトとしては，これまで通り，JLAB-FEL，Daresbury ALICE，Budker Inst. FEL の 3 台の ERL が運転を続けている．これに加えて，建設中の ERL がいくつかある．Brookhaven 研究所（BNL）では，RHIC のアップグレードとして eRHIC を提案しており，これに用いるイオンビームの電子冷却，イオン／電子コライダーに必要な ERL 技術の実証のため，20 MeV，500 mA の ERL 試験機を建設している．ベルリン（HZB）の BERLinPro は 50 MeV，100 mA の ERL で，X 線光源をはじめとした次世代加速器の試験機である．国内では Compact ERL の建設が始まっている．KEK，JAEA 他の研究機関が協力して，KEK つくばキャンパスの ERL 開発棟（旧 12 GeV-PS 東カウンターホール）にて建設作業をスタートしている．コーネル大学では，ERL の入射部（電子銃と入射器超伝導空洞）が完成し，運転の経験を積み上げており，次世代 X 線光源に必要な電子ビームパラメータの達成を目指している．

これらに加えて，新規の計画として，中国では北京大学と IHEP がそれぞれ，ERL 放射光源のための小型のプロト機の建設を提案している．CERN では LHC のアップグレードとして，LHeC（Large Hadron Electron Collider）を提案しており，電子加速器として ERL が候補にあがっている．Mainz 大学では既存の 1.5 GeV マイクロトロン（MAMI）に隣接して 100 MeV ERL である MESA（Mainz Energy Recovering Superconducting Accelerator）の建設を提案している．

ダークマターの探索などに利用するとのことである．

ダークマターの探索は，JLAB-FEL でも 2 つの実験が計画されている．FEL 光が磁場中で生成するアクシオンを検出する実験（LIPSS）と水素ガスをターゲットとした電子－陽子散乱実験からダークマターの候補となるボソンを発見しようという実験（DarkLight）である．ERL の新しい利用として注目された．

以下，全体講演で行われた発表からトピックを報告する．

ERL 型 X 線放射光源に関しては，利用研究の視点から 2 件の発表があった．コーネル大学の G. Hoffstaetter 氏からは，コーネル大学で今年行われたワークショップ，Science at the Hard X-ray Diffraction Limit（XDL2011）の報告があった．ERL で得られるコヒーレント硬 X 線は，生命科学，物質科学の進展に大きく寄与すると期待されている．コヒーレント X 線による回折顕微鏡を使った単分子構造解析，ナノビームを利用した空間的に不均一な現象の観測などである．KEK の足立伸一氏からは，ERL で得られるフェムト秒 X 線を使った動的構造解析の展望が披露された．

硬 X 線領域で動作する共振器型の X 線自由電子レーザー（XFELO）を実現することで，時間，空間ともにコヒーレントな X 線レーザーを発生することができる．アルゴンヌ研究所（ANL）の K-J. Kim 氏から XFELO の実現に向けた課題と最新の技術開発の状況が報告された．硬 X 線で高い反射率をもつ直入射反射ミラーの開発では，ロシア製のダイアモンド結晶で 98%以上の反射率が得られている．共振器を構成する結晶の位置と角度の高精度制御を目指した実験では，15 nrad の精度でフィードバック制御に成功しており，XFELO の要求である 10 nrad に近づきつつある．KEK で計画されている ERL 型 X 線放射光源では，第 2 期計画として XFELO の設置が検討されており，究極の X 線レーザーへの期待が高まっている．

JAEA の早川岳人氏からは，ERL 型ガンマ線源について講演があった．これは，ERL の低エミッタンス大電流ビームによるレーザー・コンプトン散乱で高輝度高強度のガンマ線を発生するアイデアである．従来装置（蓄積リング型）を大きく上回る輝度強度を持ったガンマ線は，宇宙における元素の起源の研究といった基礎科学から，福島原子力発電所の溶融燃料の測定といった応用まで幅広い利用が可能との報告があった．

会議最終日の全体講演では，各 WG のサマリーがコンビナーから報告された．

WG-1 では，DC 電子銃，RF 電子銃，光陰極，ドライブレーザーなどの議論がなされた．DC 電子銃では JAEA 西森氏から分割型セラミック管を用いて 526 kV までの電圧印加に成功との報告があり，他の研究チームも同形式の設計を採用することになるだろうとのことであった．コーネル大学の DC 電子銃では，350 kV とやや低い電圧であるが 24 mA の大電流で運転を行っている．超伝導 RF 電子銃では，ドイツ ELBE において，電荷量 77 pC，規格化エミッタンス 3 mm-mrad のビームが得られている．

WG-2 の Beam Dynamics では，過去の ERL ワークショップで多くの時間が割かれたビームブレークアップ（BBU）は十分な知見が得られたためか目立った議論にはならなかった．多重周回の設計は，コンパクト ERL，Budker の MARS，CERN の LHeC など多くの ERL が採用している．多重周回 ERL におけるエミッタンス増大の抑止，合流部の設計，周長補正方法などは，まだまだ議論の余地があると感じた．

WG-3 の超伝導 RF の議論では，KEK の国際リニアコライダー（ILC）のチームからも多くの参加者があり，CW で動作する ERL 空洞，パルス運転の ILC 空洞の垣根を越えて，有用な議論が行われた．各研究グループによる報告からは，ERL 空洞の加速勾配が目標値をクリアしており，技術の着実な進展がうかがえた．ただし，電界放出による暗電流の抑制やマイクロフォニックスによる空洞の変形をいかに小さくするかなど，ERL のさらなる性能向上に向けて残された課題もある．

WG-4，WG-5 では，ビーム診断と制御およびビーム損失に関して，ERL 以外の加速器の情報も交えて様々な議論が行われた．SACLA（XFEL）の制御系，タイミング信号分配系の構築などは，大いに参考になったようだ．ERL におけるビーム損失のメカニズム，インターロックと遮蔽の設計指針は，今後，ERL を建設するにあたって必要な情報であるが，現時点で参考になるデータは JLAB の運転経験がほぼ全てであり，今後国内外で建設される試験機の運転を通じてビーム損失に関する知見をさらに蓄積することが望まれる．

二年後に予定されている次回の ERL ワークショップは，ロシアの Budker Institute of Nuclear Physics（BINP）で開催されることが決まった．BINP は，世界で唯一の常伝導リニアックを使った ERL-FEL の運転を行っており，また，四重周回への拡張も進めている．2 年後のワークショップで多くの研究進捗が報告できるように，国内外の ERL 研究チームの一層の奮闘を期待したい．