

国際協力

JAAWS/AFAD 7年の歩み, そして新しい局面へ

栗木 雅夫^{*1}・成田 晋也^{*2}・高山 健^{*3}・神門 正城^{*4}・小山 和義^{*3}
栗原 俊一^{*3}・中村 智昭^{*3}・細山 謙二^{*3}

7 Years History of JAAWS/AFAD, and Towards the New Phase

Masao KURIKI^{*1}, Shinya NARITA^{*2}, Ken TAKAYAMA^{*3}, Masaki KANDO^{*4}, Kazuyoshi KOYAMA^{*3}
Toshikazu KURIHARA^{*3}, Tomoaki NAKAMURA^{*3} and Kenji HOSOYAMA^{*3}

2月1日(月), 2日(火)の二日間, 京都大学・宇治キャンパスの宇治おうばくプラザにおいて, アジア加速器・測定器フォーラム (AFAD 2016) が開催されました。今年のフォーラムには, 日本や中国をはじめとする8つの国と地域から, 研究者や企業関係者192名(企業展示など関連イベントの参加者を含む)が参加しました。AFAD (Asian Forum for Accelerators and Detectors) は, アジア地域の加速器および測定器とその関連技術についての研究開発, およびその応用について, 連携と協力により, そのさらなる発展を目指したフォーラムです。2009年に発足したJAAWS (Joint Asian Accelerator Workshop) の枠組みをさらに発展させ, 2011年に発足し2012年より開催されてきました。今回の会合は, JAAWSを含めると第7回目に相当し, 次回の第8回目は中国の蘭州で開催されることが決まっています。参加国の持ち回りで開催してきたこのシリーズも, 第二巡目に入ることとなります。これを機会に, これまでのJAAWS/AFADの歩みを振り返り, アジア地域の加速器・測定器開発の国際協力のあり方を展望してみたいと思います。

これまでの開催地および参加人数を表1に示します。開催地による多少の変動はあるものの, 最初はこじんまりとした集まりでしたが, 近年は150人規模のまさにフォーラムとなっていること

がわかります。

国ごとの参加人数の推移を図1に示します。開催国で参加人数が大幅に増えるという傾向があり, 年次ごとの変動が大きいものの, 全参加者数でみると順調にその数を増やしていることが見て取れます。印象的なのは, 中国と日本からの参加者が安定して増加していることで, ここからもアジアにおける加速器, 測定器研究開発で両国が主導的な役割を演じていることがうかがえます。それに続く存在としては, 韓国が挙げられるでしょう。韓国は参加人数の規模では日本, 中国には及ばないものの, 常に一定数の参加があり, 加速器および測定器研究で存在感を示しています。それ以外のオーストラリア, ロシア, 台湾からの参加者は, 地元開催時に大幅に参加者が増大していることが共通していますが, 少数ながら継続的な参

表1 これまで開催されたJAAWS/AFADの開催年, 開催地, 人数。

開催年	開催地	総参加人数
2009	北京, 中国	56
2010	浦項, 韓国	91
2012	コルカタ, インド	125
2013	ノボシビルスク, ロシア	105
2014	メルボルン, オーストラリア	105
2015	新竹, 台湾	158
2016	京都, 日本	147

*1 広島大学大学院先端物質科学研究科 Graduate School for Advanced Sciences of Matter, Hiroshima University (E-mail: mkuriki@hiroshima-u.ac.jp)

*2 岩手大学 Iwate University

*3 高エネルギー加速器研究機構 KEK, High Energy Accelerator Research Organization

*4 量子科学技術研究開発機構 National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

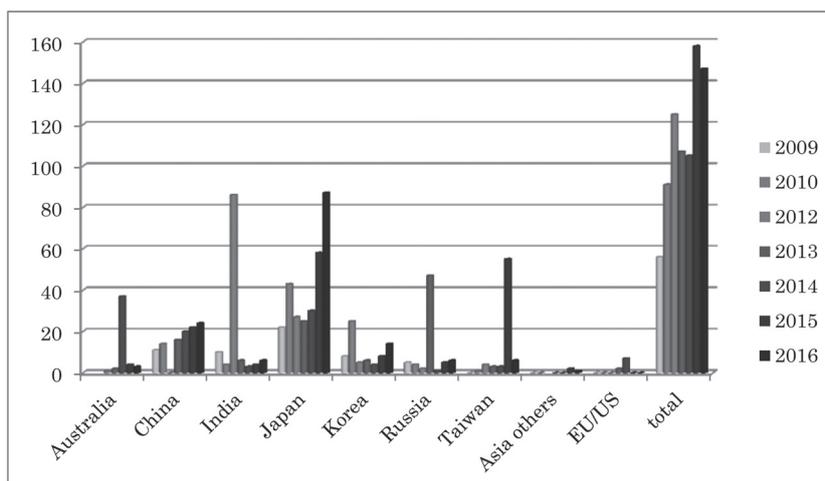


図1 各地域からの年ごとの参加者数をグラフで表したもの。

加があります。アジア・オセアニア地域のこれらの国が、まさにフォーラムを形成していることを示しています。

AFAD は次に挙げるように、現在7つのワーキンググループ (WG) および合同部会により構成されています。

- WG1 : 光科学の為の加速器関連技術
- WG2 : 検出器技術開発
- WG3 : 産業・医療応用の為の加速器技術
- WG4 : 革新的加速器技術
- WG5 : ハドロン・中性子科学の為の加速器関連技術
- WG6 : ネットワーク・計算機
- WG7 : 低温技術

また、これらに加えて、今回は合同セッションとして、下記のセッションが組まれました。

- WG2+WG3+WG5 : 加速器ベース BNCT の研究開発および普及検討のための合同部会

以下、各WGの状況を概観した後に、国際協力の枠組みとしてのAFADについて考えていきたいと思ひます。

WG1 : 光科学の為の加速器関連技術

(栗木 雅夫)

WG1 は光科学の為の加速器関連技術についての作業部会であり、普及が進む第三世代放射光源、また多くの国で次期放射光源基幹計画として進められている FEL 自由電子レーザー、および ERL エネルギー回収型ライナック等の線形加速器による将来型放射光源、より幅広い光科学の展開を見

据えたレーザーコンプトン/トムソン散乱 (Laser Compton/Thomson Scattering, LCTS) による X 線 / γ 線源, THz 光源, そして関連する要素技術, ダイナミクスなど, その話題は多岐にわたります. このように非常に広い話題を網羅する光源開発ですが, 今回の AFAD の部会にも見られたように, 二つの特徴的な趨勢を挙げる事ができるでしょう. そのひとつはコヒーレンスです. 説明するまでもなく, FEL は高いコヒーレンスをその特徴とする光源ですが, それだけではなく, THz 光源や, LCTS においても, コヒーレント輻射 / 超放射による高輝度化を意図した展開が目立ちます. 位相コントラストイメージングなども, コヒーレンス利用の一形態といってもいいでしょう. もうひとつの趨勢は, 小型化です. 小型 X 線源による非破壊検査は, 保安検査や大型構造物の安全検査など, 大きな社会的なインパクトを持つ分野です. また, 光科学的にも LCTS による X 線源などは特徴的な取り組みです. 優秀な X 線源としてはすでに第三世代光源があり, 一見 LCTS の意義は大きくないように思えますが, 科学技術の供給可能性 (Availability) という面からはその意義は明確です. 第三世代光源の数は限られており, そこには科学技術的な機会損失 (本来可能であった研究ができなかったことによる損失) があります. 利用機会を広げることは, 利用研究の活性化にとって, 常に大きな課題であり, 大型光源と小型光源の役割分担による利用機会の増大は, そのひとつの解です. さらに, コヒーレンスと小型化の組み合わせは, 大型放射光源の補完という意義に

留まらず、いままでに無い加速器光源の展開という可能性を秘めています。ロシアの BINP では ERL をベースとした THz-FEL を建設中ですが、マイクロバンチングなどの手法を組み合わせることで THz 領域のコヒーレント放射を狙ういくつかの提案が活発に議論されています。THz は中間的な未開拓領域として、その利用研究の大発展の可能性は小さくありません。また、現在はまだアイデア段階ですが、小型加速器によるコヒーレント LCTS が実現すれば、現在では XFEL でしか生成できないコヒーレントな X 線の利用機会が大幅に増えるかもしれません。このように、光源加速器は第三世代光源というひとつの成熟段階にありながら、XFEL、小型（コヒーレント）光源など、新たな展開のシーズに満ち溢れており、健全な科学技術発展の姿を示しています。このような発展期において、特定のプロジェクトや国策などに制限されない比較的少人数による自由な議論の場である AFAD は、貴重なアイデアの泉とも言えるものです。AFAD 発のプロジェクトが具体化し、そこにアジア地域の研究者が協力するというのもあながち非現実的ではありません。現に、インドの IUAC では、小型線形加速器をベースとし、X 線から THz までをカバーする複合的な光源プロジェクトが走り始めており、部会でも活発に議論されました。このように WG1 には大きな展開があり、そこには AFAD が新たなステージへと進みつつあることが典型的に示されています。

WG2: 検出器技術開発 (成田 晋也)

WG2 では、主に、高エネルギー物理学や天文学分野の実験プロジェクトにおける各種測定技術について全 14 件（中国 8 件、日本 4 件、韓国 2 件）の報告があった。主なトピックスを以下に紹介する。

高エネルギー物理学での位置測定器や X 線イメージングデバイスとして様々な分野での応用が期待される検出器である SOI 検出器およびマイクロピクセルチェンバー (μ -PIC) といったピクセル型検出器に関する研究開発報告があった。これら検出器の開発は日本が先駆的に進めている。

半導体微細プロセス技術を基にセンサとエレクトロニクスを一体化した SOI 検出器は、位置分解能や安定動作に優れた検出器であるが、本会議

では、SOI 検出器の概要からこれまで開発経緯が紹介され、さらに、従来問題となっているバックゲート効果の抑制や放射線耐性の向上のための構造の改良 (Double SOI)、プロセス条件の最適化などについて最近の開発試験結果が報告された。一方で、 μ -PIC については、その実用例として、電子飛跡検出型コンプトンカメラによる MeV ガンマ線天体観測に関する研究報告があった。他にも、中性子イメージングデバイスや MEMS 技術を使った高ゲインで安定動作に優れた検出器として μ -PIC の可能性が示された。

アジア地域では、いくつかのニュートリノ実験が進められており、そのための測定器開発や実験精度向上のための改良、新たな技術の導入が積極的に行われている。T2K 実験に関する報告では、前置検出器と後置検出器との標的の違い（プラスチックシンチレータと水）から来る系統誤差を低減するための新たな前置検出器について紹介された。また、中国では、20 kt 液体シンチレータ測定器による JUNO 実験が進められており、そのプロトタイプ測定器の試作・試験について報告がなされた。他に、将来の超長基線ニュートリノ実験で用いられる 10 kt 超の巨大液体アルゴン TPC 開発が世界協力で進められており、現在 kt 級プロトタイプ測定器の建設が CERN で進められている (WA105/Dual-Phase ProtoDUNE)。そこに参加している岩手大学・KEK のグループから、実験概要や信号読み出しシステム開発などについて報告があった。

中国の研究グループから、将来の円形電子陽電子衝突型加速器 (CEPC) 実験用測定器開発に関する報告があった。このうち、IHEP グループは、GEM/Micromegas ハイブリッド型検出器による飛跡測定器、SOI 検出器などの最新技術を取り入れた崩壊点検出器の開発を進めており、基礎特性評価試験からその実用可能性を探っている。また、UCAS グループはデジタルハドロンカロリメータ用 GEM モジュールの開発を行っている。

上記以外に、大面積 GEM、マイクロチャンネルプレート型 PMT、韓国での KIMS 実験用高純度 NaI (Tl) 結晶の開発などといった興味深い報告もなされた。このように、WG2 では、様々な実験プロジェクトや測定器要素技術開発に携わる研究者が集まったの研究報告・議論がなされ、アジ

ア地域の測定器関連技術開発の多様なアクティビティを知る非常に良い機会であった。また、そこでの、普段とは違うバラエティに富んだ意見交換から、今後の研究開発のための多くの有用な指針が得られたように感じる。

WG3：産業・医療応用の為の加速器技術 (高山 健)

加速器利用, 量子ビーム利用に関して世界的にも最も進んだ国である日本で開催すると云う特別の状況と, 京都大学開催の2点を鑑み, 以下のテーマを今回のWGの主題として選んだ。

- 次世代ハドロンガン治療の研究最前線
- サイラトロンという加速器社会が手放せなかった100年前の発明品を卒業するパワー半導体代替品の開発の現状サーベイ
- クラスタイオン, マクロ粒子等4, 5世代量子ビームの利用, その加速器の現状把握
- 普及を開始しようとしている加速器ベースのBNCT研究・事業の現状把握 (このテーマは関係するWG2, WG5とのJoint Sessionの形で議論がされた)

表2に各国・地域からの参加動向を示す。

ガン治療の次世代ハドロンドライバーについて, 企業の研究活動が薬事法の制約で消極的になっている中, 国研で駆動ビームとしての¹¹Cの導入に向けた準備研究が確実に進んでいる事の報告と, アジア各地の国立研究所とKEKの共同研究で進む速い繰り返しシンクロトロンからのエネルギースイープ取り出しと云う次世代技術の報告があった。

表2 各国・地域からの参加動向。

国名	参加動向
日本	講演者 11 (大学・研究機関 6, 民間企業 5), 参加者 20 (概数)
中国	講演者 1, 参加者 5
韓国	講演者 1, 参加者 3
ロシア	講演者 1, 参加者 5
インド	講演者 0, 参加者 0 (IUACでの電子ビームプロジェクト開始に伴い参加者無し)
オーストラリア	講演者 0, 参加者 0
台湾	講演者 0, 参加者 0
マレーシア	講演者 1, 参加者 1

サイラトロンに代替するパワー半導体の開発については, 国内民間ベンチャー, 大手企業によるSI-thyristor, IGBT, SiC-MOSFETを搭載した独自のMatrix Arrayを用いたサイラトロンの代替実証と実用化の実績が示された。確実に置き換えが進むと予想される。さらなる普及には高繰り返しに耐え得るデバイスの開発が待たれる。

クラスター等の次世代量子ビーム開発については, 四半世紀に渡るクラスターのイオン源の開発と低エネルギーの応用の現状, 産業界への普及見通しについてレビューがなされた。高エネルギークラスターイオンへの期待等が議論され, 課題の共有がなされた。マクロ粒子 (Cosmic Dust) の検出器と静電加速器を用いたキャリブレーションなど, これまで一度も議論されて来なかった話題の提供があり, レールガンなどによる微粒子加速器と荷電粒子加速器を繋ぐ境界を鮮明にした。

BNCT駆動ビームとして陽子の静電加速器, 高周波線形加速器, サイクロトロン, 従来の標的と駆動ビームを逆転させたLi³⁺線形加速器が同一のセッションで議論され, 利害・得失を比較するのに最適な議論環境が構築された。薬事審査申請中の企業モデルの提示と, 実用BNCT用の高フラックス対応中性子標的, 医療プロトコルに関する講演により, BNCTトータルシステムとしての現実性・コスト等への目配りが真剣なものになった。SECTを利用したボロンデリバリーの高精度化について宇宙線検出器のスピンオフ技術の適用など, 更なる研究テーマが存在する事が明らかになった。より詳しくは合同部会報告を参照されたい。

WG4：革新的加速器技術

(神門 正城, 小山 和義)

今回は, 共同研究の可能性を意識的に追究するため, より多くの機関に参加を呼びかけた。その結果, 日本5名 (5機関), 台湾1名 (1機関), ロシア1名 (1機関), インド1名 (1機関), 韓国3名 (3機関), 中国1名 (1機関) の計12件の発表があり, 発表者以外の聴衆は常時3名程度であった。

地元の京都大学からレーザープラズマを使った超短パルス電子源とそれをプローブにした, 従来に無い電子バンチガイド現象の精密な測定に関する

る発表がなされた。「ひょうたんから駒」の典型的な例であり、新たな可能性が開きつつあると言える。

大阪大学, JAEA, IHEP-IOP, RRCAT, KAERI, そして GIST の各研究グループからレーザー航跡場加速による電子加速実験の報告がなされ、いずれの機関でも単色電子バンチを安定して出せるようになってきている。特に大阪大学では方向とエネルギー、電荷量の制御技術が確立できたとの発表があり、理研播磨での展開に弾みがつきそうである。KEK からは KEK の入射器下流にレーザーガイドを設置し、レーザー航跡場加速による追加速実験の検討が示され、今後の進展が注目される。

レーザーによるイオン実験加速は、TNSA 機構（プラズマの荷電分離による静電加速）により、40 MeV の陽子、完全電離した 15 MeV/n の鉄が得られたとの報告があった。また、原子力機構からは、この手法を発展させ、短寿命 RI ビームの生成検討について報告があり、実際の利用研究が視野に入ってきたとの印象を強くした。

プラズマを使わない加速方式として、台湾精華大学から THz 波による加速、東京大学から誘電体加速の発表があった。プラズマ加速と高周波加速の中間的な位置づけであるが、励起源も含めての実証実験はこれからである。

理論的アプローチとして、UNIST からイオン加速に無衝突衝撃波を使う提案、BINP から電子加速に陽子バンチによるプラズマ航跡場加速を使う提案があった。後者は、PIC と MHD コードを組み合わせて計算量を節約しており、WEB 上で誰でも利用可能であるなど特徴的な取り組みである。

その他の提案として、強力な THz パルス光の発生、KAERI から真空紫外から赤外までの蓄積リング、等が示された。

発表をうけて、新奇加速機構の応用研究の進め方について意見交換を行った。そこでは、高速電子顕微鏡と THz から X 線領域までのパルス光源が中心的な話題となった。新奇加速技術を加速器のコミュニティーに普及させる方策についても様々な意見が出たが、新奇加速技術の特色を生かした応用を早く世に送り出すことが課題という点で一致した。共同研究に関しては、相互に研究内容を把握するために、まず相互訪問や学生交換な

どの人的交流から始めることとなった。共同研究を活発に進めるためには、ドライバーとしてのアジア発の新しいアイデアが必要であり、この創出も課題の一つである。

WG2, WG3 および WG5 合同セッション: BNCT (from driver to medical protocol)

(栗原 俊一)

原理実証から現在は普及段階へと移行しつつある加速器ベースの BNCT 研究・事業化の現状把握のため、関係する WG2, WG3, WG5 との Joint Session の形で議論がなされた。

原子炉による従来型 BNCT にとって、東日本大震災以降の原発再稼働への敷居の高さを負の要素と捉えるならば、原子炉を用いない加速器利用中性子源による BNCT 普及を、社会からの要請という正の要素として捉え、その展開を見据えた研究開発の現状を概観し、関係する研究者を巻き込み相互作用を巻き起こそうという、真の狙いがうまく噛み合った Joint Session となった。

産学のコラボレーションの成果として、京都大学と住友重機による 30 MeV サイクロトロンベース Be 標的の BNCT が 2012 年 10 月に加速器ベースの BNCT として治験第一相を開始し、この分野の幕開けとなったことは記憶に新しい。着実に臨床実績を積み、2016 年からは治験第二相の開始が予定されているとのことである。彼らの成果はこの分野のひとつの雛形として、後に続く方法論の先駆けとして大きなマイルストーンとなった。30 MeV 陽子ビームに対してはその放射線遮蔽の様相から色々な批判があることは確かである。しかしながら加速器ベースの BNCT を実証し、臨床に用いている事実は揺らぎないものがある。より広い普及を目指し、新たな提案を行うことは、彼らの開けた扉を通して続く者たちの責務である。

ロシア・ブドカ研究所から示された標的に Li を用いた 2 MeV の静電加速器による BNCT はひとつの究極形である。Li の融点の低さと化学的な活性から、それなりの覚悟が必要であるが、小型の静電加速器を用いるということは病院への普及を考えた場合、大きな利点を持っている。真空絶縁による新方式のタンデム加速器が実証されている。標的の熱問題に関しては潜熱を用いた冷却

(いわゆる核沸騰冷却)により十分に実用的なレベルまで到達していることが動物実験により示された。

韓国からは 28 GHz 超伝導 ECR イオン源, RFQ, DTL の構成による, イオン注入, 表面改質から中性子源まで各種応用に利用され, 様々なビーム診断装置, 分析装置を内蔵する多用途イオン加速器が紹介された。小型中性子源での ^7Be の生成は常に問題となるところであるが, これをキーワードとしてしまう斬新さがあった。中性子源, ラジオグラフィ等, 今後の展開が期待される。

産業利用のための加速器ベース中性子源への要望が近年高まっており, 実際に利用に供されている。一方 BNCT に対しては IAEA の TecDoc の規定があり, その要求強度はさらに約 2 桁高い。この高強度実現のために解決すべき二つの課題, 標的の熱除去と耐ブリスタリング性がその対処法とともに示された。ブリスタリング現象のその場観察法と, 標的が実用レベルであることが, 8 MeV 陽子ビームの iBNCT (茨城 BNCT) モデルから示された。

茨城 BNCT の装置とともに, 医療プロトコルに関しても Tsukuba Plan が示され, BNCT に限らず広く放射線療法全体にわたる応用が検討されるとともに, さらに各施設を超えて共通に扱える方法が提案された。

前述の iBNCT で触れられた即発ガンマ線計測にエレクトロン・トラッキング・コンプトンカメラ (ETCC) の使用の提案がなされた。宇宙線グループからの医療分野への提案である。まさに異分野の研究者との相互作用の表れであろう。液体や気体より固体を良しとしていた先入観を打ち砕く, ガスは安定であるという一言が印象に残った。

今回のセッションの総括として, 異分野との交流により, いままでになかった新しい提案や, 利用面からの視点など, 予想を超える成果があった。Li 標的の代替として Be 標的を用いる可能性, すでに述べた ETCC の利用, そして医療という利用面からの捉える視点などは, このような場であったから可能となったものである。この成果を引き継ぎ, 技術的側面に加えて, 広い視点から普及のための課題をひとつひとつクリアしていくことが重要である。

WG6: ネットワーク・計算機 (中村 智昭)

LHC 実験のために世界規模でソフトウェア開発と環境配備が進んだグリッドコンピューティングにより, 現代の大型加速器実験のデータ処理とシミュレーションデータの生成は, 世界各国の研究所や大学等に設置される計算機設備を協調して運用することにより行われることが一般的となった。さらなる計算機の有効利用のために, 計算機設備の仮想化を行うことによって, プロジェクトをまたいだ計算機の利用を可能にする Cloud Computing 技術や, 需要に応じたフレキシブルなネットワーク経路の制御を可能にする Software Defined Network の開発と導入がさかんに行われている。今回の WG6 の狙いは, 従来の各研究施設における計算機資源の配備状況の報告とともに, これら新規技術の導入状況と経験の共有を行い, アジアの研究施設間の協調と共同研究を促進することである。

今回の各国, 地域からの登壇者 (参加者) は以下の通りであった。日本 5 名 (2), 中国 2 名 (1), オーストラリア 1 名 (1), 台湾 1 名, 韓国 1 名。以下, 各項目について議論とその成果を紹介する。

Cloud Computing: オーストラリアにおける NECTAR research cloud の構築と運用状況の報告があった。計算機設備下部構造の仮想化により, 生物分野などを含む広い分野の研究者が大規模に計算機を利用できる環境が実現されている。同様の報告は台湾からもあり, 地球惑星科学分野での積極的な利用が行われている。中国 (IHEP) と日本 (KEK) からは, OpenStack をベースとした計算機設備の仮想化と, バーチャルマシンに代わるコンテナ型の仮想化技術に関する R&D の報告があった。

Software Defined Network (SDN): 韓国 (KISTI) では, SDN によるネットワーク帯域幅の調整だけでなく, 拡大するサイバー攻撃に対抗するための新たなネットワーク層の構築に関する報告があった。中国国内においては, すでに四拠点間を結んだ SDN 網の配備と運用が行われている。台湾では, 台北・シカゴ・アムステルダムに配備した SDN ルーターによる, 国際的な SDN 網の構築の取り組みについての報告があった。

計算機設備の増強: 東京大学 ICEPP からは,

ATLAS 実験用に配備するグリッドサイトの計算機設備に関して、2016年1月に行われた全体規模でのアップグレードに関する報告があった。KEK 計算科学センターからは、2017年にデータ取得開始を控えた Belle II 実験の計算機需要を満たすために、2016年9月から運用を開始する新システムについての報告があった。筑波大学からは、広島大学に続く ALICE 実験用の日本国内第二のグリッドサイトの構築に関する報告があった。

WG7: 低温技術 (細山 謙二)

WG7 では、中国 (4)、台湾 (2)、韓国 (2)、インド (2)、日本 (4) と合計 14 の発表がありました。このように多くの発表があった背景には、加速器分野での超伝導・低温機器の実用化が進み、アジアの国 (日本、中国、台湾、韓国、インド、……) の多くの研究所で加速器用の超伝導機器が建設・運転されていること、及び、超伝導加速器の建設が計画されていることが考えられます。各発表の概要について簡単に報告します。

ヘリウム冷凍設備関連として、計 6 件の発表がありました。理研の奥野氏は、超伝導リングサイクロトロン及び RIBF 超伝導電磁石用の低温設備の長期間にわたる運転実績、及び、重イオン線型超伝導加速器の建設計画について、原研の春日井氏は、核融合炉用材料の中性子照射試験を行う IFIMIF/EVEDA 計画の概要とそこで必要な大強度の中性子を発生するための大電流超伝導重陽子線型加速器とその冷却用のヘリウム冷却装置について、KEK の岡村氏は、日本での建設を目指して計画中的 ILC 超伝導加速空洞用の大型の 2 K 冷凍設備の概要と衝突点に設置されるビーム収束用 4 重極超伝導電磁石と測定器用の超伝導大型ソレノイド電磁石を冷却するヘリウム冷凍設備について、台湾の放射光施設 NSRRC の M. Chang 女史は、昨年、運転を開始して無事に定格ビーム電流 520 mA の運転に成功した、3 GeV の放射光リング TPS に設置された 3 台の KEKB タイプの超伝導加速空洞用のヘリウム冷凍設備について、インドの原子核物理研究所 IUAC の T. S. Datta 氏は、原子核物理研究用の超伝導重イオン加速器用のヘリウム冷凍設備とその運転実績について、韓国の IBS の Y. Sungwoon 氏は、建設が計画さ

れている超伝導重イオン線型加速器 RISP 用の大型のヘリウム冷凍設備の概要と超伝導空洞の開発用の低温試験のために建設中の冷凍設備の進捗状況について、発表されました。

超伝導空洞の性能を最大限に引き出すため空洞は 2 K で冷却されることが多く、それを実現するために高性能で信頼性の高い 2 K 冷凍装置が必要になります。この 2 K ヘリウム冷凍装置は、これまで、CERN の LHC や米国の CEBAF 電子リニアックの超伝導マグネットや超伝導加速空洞の冷却用に開発され、運転されています。これらの冷凍装置では大型のヘリウム冷凍機で 2 K ヘリウムを生成し、それを各超伝導機器に分配・輸送する、いわゆる「集中型」の冷却方式が採用されています。これに対して、2 K での冷凍負荷をできるだけ軽減することを目的に大型のヘリウム冷凍機からの 4 K の液体ヘリウムの供給を受けて、各超伝導機器に設置した小型の 2 K 冷凍機で 2 K の液体ヘリウムを生成・冷却する「分散型」冷却方式が注目されております。そこで、この「分散型」の「2 K 冷凍機」を特別テーマとして取り上げました。その結果、それに関連する多くの発表がありました。中国の IHEP の S. Li 氏は、既に、建設されてビーム運転が行われている ADS 計画の超伝導陽子線型加速器用の 2 K ヘリウム冷凍装置の概要と運転実績、及び、今後の増強計画について、KEK の中西氏は、ILC 用空洞試験装置 STF 及びエネルギー回収型線型加速器 cERL の超伝導空洞冷却用に稼働中の二つの 2 K 冷凍装置の紹介と運転実績について、台湾放射光施設 NSRRC の M. Chang 女史は、汎用の流体熱計算機コードを使って 2 K 冷凍装置の要素機器である 2 K 熱交換器の性能評価を行い、この手法の可能性を示しました。大陽日酸(株)の信時氏は、高性能な 2 K 冷凍機的设计に必要な熱交換器の性能を実験的に正しく評価するために試験装置を設計・製作し、その実験結果についての報告、と計 4 件の発表がありました。今後、益々その必要性が増すと考えられる高性能な 2 K 冷凍装置の設計を行うためには、2 K 熱交換器の特性についての正確な評価が必須で、これを実現するためには研究所間での情報の活発な交換は勿論のこと、積極的に協力関係を構築して、これらの開発を進めることが重要であると痛感しました。

WG7ではこれまで、発表テーマとして加速器関連の低温技術 Cryogenics & Cryomodule に限定してきましたが、今回から対象の枠を超伝導機器にまで広げ、Cryogenics, Cryomodule & Superconductivity に変更することで、より多くの研究者や技術者がWG7に参加できるようにしました。中国の上海放射光 SSRF の Y. Ding 氏は、超伝導アンジュレーターとそのクライオスタットについて、北京大学の K. Liu 氏は北京大学で精力的に進められている超伝導空洞を応用した FEL 装置の開発の進捗状況と将来計画について、インドの VECC の A. Bandyopadhyay 氏は、重イオンの超伝導線型加速器及び電子の超伝導加速器の将来計画、及び、その開発に必要なヘリウム冷凍装置の建設計画について、韓国の IBS の H. Kim 氏は、重イオン超伝導線型加速器 RISP 計画の現状と超伝導空洞の開発の進捗状況について、計4件の発表がなされました。

以上のように、超伝導機器がアジアの主要な研究機関のすべてで用いられるようになり、冷凍技術についての情報共有と研究開発における協力の必要性が増していることをあらためて再確認しました。

将来への見通し

(栗木 雅夫)

以上のように、AFADの各WGの状況からは、単なる情報交換の場に留まらず、現状を把握し、課題を整理し、これからの研究の方向性を、かなり戦略的に模索していこうとする姿がうかがえます。WG2, WG3, そしてWG5によるBNCTの合同セッションは、それが典型的に表れた例であり、ダイナミックに発展を続けるアジア・オセアニア地域の加速器・検出器開発において、AFADというフォーラムが有効に機能していることを示しています。また、WG1の報告にあるように、インドのIUACにおいては、広い波長領域をカバーするユニークな小型線形加速器ベースの光源がプロジェクトとして走り始めており、これも

AFADでの議論のひとつの結実といえるでしょう。

おりしも、KEKでは、研究大学強化促進事業の一環として、多国籍参画ラボの将来像を検討しており、KEK国際連携推進室はその将来像をイメージする重要な機会としてAFADを捉えて、開催支援など積極的に取り組まれています。各国で加速器、検出器技術の活用を進める機運が高まり、産業利用を含めて検討や利用が進められている姿は、アジア・オセアニア地域の活発な研究開発と、情報提供に留まらない国際協力のあり方を示す好例となったのではないのでしょうか。現在は、ボランティア的に運営されている各WGの常任委員会ですが、より取組みを強めることで、現在のAFADに見られる研究プロジェクトの萌芽を結実させ、双務的かつダイナミックな国際協力のあり方と、それを支えるフォーラム（あるいはさらに発展的な枠組み）を展望することが今後の課題ではないのでしょうか。AFADの展開に典型的にみられるように、研究開発の広がり、それが最先端であればあるほど、ネットワーク的、さらに動向によって常に形を変える不定形なものとならざるを得ません。そのような活動を支える組織というものは、中央集権的なピラミッド構造ではなく、20世紀的な成功例であるCERNとは異なる、マルチドメイン、マルチラテラルな、今までにない形となるでしょう。二巡目を迎えたJAAWS/AFADは、各WGの活動の盛り上がりをもとに、このような不定形の活動を支える組織的な枠組みを模索しつつ、より発展していくことが、その使命といえるのではないのでしょうか。次回の開催は中国の蘭州(Lanzhou)です。蘭州は甘粛省の主要都市で、石油化学工業都市として知られています。古くは西涼とよばれ屈強な兵馬で知られる秦国発祥の地であり、シルクロード西域への入り口でもありました。新しい未知の領域へと歩を進めようとしているJAAWS/AFAD二巡目開催の地として、相応しい場所と言えましょう。