

会議報告

ICIS2019 会議報告

長友 傑*

Report on the 18th International Conference on Ion Sources (ICIS2019)

Takashi NAGATOMO*

1. はじめに

中華人民共和国甘肅省蘭州市において、中国科学院近代物理研究所 (Institute of Modern Physics, IMP) の主催により、イオン源の国際会議 “The 18th International Conference on Ion Sources (ICIS2019)” が2019年9月1日(日)から6日(金)にわたって開催されました。

2年に一度開催される本会議は、加速器等に使用される電子サイクロトロン共鳴型イオン源、レーザーイオン源や大強度の H^+ 等の軽イオン源の技術開発研究者のみならず、プラズマの物理現象の研究者や、プラズマを応用した表面加工物性研究者や応用研究としてのイオンスラスタの研究などが一堂に会します。そのため、本会議は、最新の研究結果をもとに活発な議論を通じて知識を深め、イオン源の開発や発展につなげていく重要な会議の一つとなっています。18回目となる今回の会議では、主催者からの公式な発表がありませんでしたので正確な人数は不明ですが、世界中から約200名程度の研究者がIMPの所在地である蘭州市にあるCrown plaza hotelに集まり、多くの興味深い報告がありました。

2. 会議報告

今回の会議では、講演および研究報告は9月2日(月)から本格的に始まりました。5日(木)の午前中まで、Crown plaza hotelの会議場において、8時30分から16時まで口頭発表の後、ポスターセッションを行うというスケジュールでした。最

終日の9月6日(金)には、会場をIMPの会議場へ移し、午前中に口頭発表、若手優秀賞受賞者の発表とクロージングセッションおよびセレモニーと続き、午後に加速器施設公開が行われました。

発表は、10項目でカテゴライズされていて、各講演の件数を次にまとめます。

- Fundamental process in ion sources and plasma (口頭発表 9件)
- Polarized ion sources (1件)
- Applications of ion sources (5件)
- Production of high intensity ion beams (5件)
- Production of highly charged ion beams (7件)
- Negative ion sources (8件)
- Radioactive ion beam source (3件)
- Ion sources for fusion (8件)
- Beam formation, extraction, transport and diagnostics (5件)
- Key technologies for ion sources (1件)

また、ポスター発表は147件の発表があり、合計で約200件近くの発表が行われました。講演は全てがプレナリーセッションで行われました。Crown plaza hotelの会議場(写真1)は、350人が入ることのできる大きな会場でしたが、写真1のように高解像度で高さ4m幅12mの巨大なスクリーンが設置されており、明るい会場の最後尾からでもスライドをはっきりと見ることができ、ストレスなく議論に集中できました。後述の講演報告は、電子サイクロトロン共鳴型重イオン源(ECR重イオン源)の開発に携わっている筆者が理解できた範囲でまとめたものであり、講演の全

* 理研仁科センター RIKEN Nishina Center

(Takashi Nagatomo E-mail: nagatomo@riken.jp)



写真1 セッション会場 (Crown Plaza Hotel).

てを網羅できず内容に偏りがあることをご容赦いただきたく思います。各発表の詳細に関しましては、ICIS2019のホームページ¹⁾上に講演スライド等が公開されていますので、是非ご覧いただきたく思います。

講演は、Chinese Academy of ScienceのW. Zhan氏によるレビュートークで幕を開けました。中国で現在推進されている2つの大規模プロジェクト、High-Intensity Heavy Ion Accelerator Facility (HIAF)とChina initiative Accelerator Driven System (CiADS)のレビューであり、計画の概要とそこで展開される研究が報告されました。イオン源に関しては、軽イオン源と重イオン源双方の開発を進めるようで、特に、多価重イオン源では、世界で初めて48 GHzのマイクロ波を用いた大強度イオン源を投入するようです。次に、Argonne National LaboratoryのR. Pardo氏によって、現在世界中で使用されている大強度イオン源のレビュートークがあり、本格的な研究報告へと続いています。

筆者が開発に携わっているECRイオン源に関しても興味深い講演がありましたので、特に興味を引いた講演を紹介したいと思います。多価の重イオンビームを供給するためには、イオン源内部のプラズマで起こっている物理現象を理解し制御することが重要です。特に、重イオンから多くの電子をはぎ取るには、高いエネルギーの電子を安定に閉じ込める必要があります。プラズマ中の電子のエネルギーを直接測定することは困難で工夫が必要です。IAPのI. Izotov氏からイオン源内部のプラズマから逃げる電子のエネルギー分布を測定したとの報告がありました。実験結果から、プラズマの閉じ込め磁場(ミラー磁場)のロスコー

ンに至る電子の運動モデルが提案され、電子のエネルギーがどのように決まるかという疑問に解答を与える可能性のある興味深い講演でした。また、プラズマ中でのエネルギー分布は、間接的ではありますが、プラズマからのX線の測定からも研究が進められています。IMPのJ. Li氏によって、プラズマから放射されるX線及びマイクロ波の相関に関する報告がありました。高エネルギーのX線量が飽和してくると特徴的なマイクロ波の放射が観測されます。そのマイクロ波は電子のサイクロトロン不安定性に起因するものだと考えられ、電子温度の限界とプラズマの安定性に関連があることを実験的に示した興味深い講演でした。イオン源内部では、プラズマの共鳴現象を通じ、マイクロ波のエネルギーは電子プラズマのエネルギーに変換されます。IMPのJ. Guo氏によって、Vlasov型のマイクロ波導入器を使用し、効果的なマッチングとマイクロ波のパワー分布を実現したと報告がありました。更には、阪大の加藤氏によって、ECRイオン源内では、ECRによる加熱だけではなく、Upper Hybrid共鳴による電子加熱が起こっていると報告がありました。これは、プラズマの安定性が電子エネルギーの加熱の方法によって変わる可能性を示唆した興味深い結果だと思えます。

その他に、多価イオンを発生する手法として、レーザーを用いるレーザーイオン源や、プラズマ内でイオンをトラップし多価イオン化するチャージブリーダー、電子ビーム衝突で多価イオン化を行うEBIS等の報告がありました。特に、EBISには高真空度が必須で、新規開発したZAO-NEGポンプによる新しいポンプ系の成果がLBLのS. Kondrashev氏より報告されました。また、J-PARC, SNSやIFMIFの大強度軽イオン源の報告があり、様々な改良により日々大強度化されていると報告がありました。特に、現在100ミリアンペアオーダーとなった大強度ビームならではの問題(ビーム診断や空間電荷効果等)に対してのアプローチは、大強度化の進む重イオン源でも今後参考にできる示唆に富んだ内容でした。ビーム診断では、ペッパーポット型やアリソン型のエミッタンス測定器の開発などの報告がありました。今回の講演では、人工衛星に搭載される小さなイオンスラスタから、JT60やITERなど核融

合研究のための大型イオン源など全くスケールの異なる装置が幅広く議論され、知見を広げることができました。

クロージングセッションでは、理研中川氏による Closing Remarks が行われ、今回の講演のまとめと、イオン源の将来の展望が示されました。これからの加速器科学を推進するにあたり「大強度化」に加えて「安定したビーム供給」等の要求がより一層厳しくなっていくことが予想されます。特に、イオン源の安定性を改善するにはプラズマ内部の現象に目を向ける必要があることが示されました。これまでにない診断手法・アイデアや装置など技術開発はこれからも必須事項です。やりがいを感じるとともに身が引き締まる思いがしました。

施設公開では、IMP の加速器施設のイオン源を中心に見学が行われ、超伝導リニアックの試験場の見学も行われました。次世代のイオン源の先駆けとなる Nb-Sn 超伝導材を使用した次世代のイオン源が2020年9月に納品される予定とのことです。

第19回 ICIS は、2年後の2022年の秋に、TRIUMF が主催によりカナダのバンクーバー島ビクトリアにて開催される予定です。ビクトリアは、自然と融合した街並みが魅力的な都市で、食事も美味しいとのことで、非常に楽しみです。

3. 雑 記

蘭州市は中国のほぼ中心にある盆地に位置し黄河の両岸に広がる都市です。蘭州市は中華風の建物と高層ビル群とが混在しています。高層ビルの建設工事が多くの場所で行われており、発展の目覚ましい都市だと印象を受けました。会期中、気温は日本に比べ少し涼しいくらいですが湿度が少なく、非常に快適に過ごすことができました。市内の移動は、徒歩、バス、タクシーに加え最近開



写真2 屋台(左)と羊肉の串焼き(右)。

通した地下鉄となります。バスは一回の乗車で1元、タクシーでは市内の移動では10元程度と安く非常に便利でした。さらに、最近日本でも見かけるようになった、Web決済機能を使う「レンタル自転車」も普及しているようです。

今回、筆者はオーガナイザの用意したホテルではなくダウントウンのホテルに宿泊したのですが、その周辺には、写真2のような串焼きを売っている店舗が多数ありました。スパイシーで美味しかったので何度か足を運び、言葉は通じなかったですが、店員さんと仲良くなれたのはいい思い出です。その他にも香辛料をふんだんに使用した料理が多く、立ち寄ったショッピングセンターのレストランも美味しかったです。特に、山椒を存分に効かせた真っ赤なスープの火鍋はとても刺激的でなかなか暴力的な美味しさでした。次の朝後悔することになるかもしれませんが、辛いもの好きの方でなくとも是非ご賞味いただければと思います。

参考文献

- 1) ICIS2019 のホームページ. <https://icis2019.impcas.ac.cn>