

イオン加速器に関する先端技術の現状

徳島大学 伏見賢一

日本原子力研究開発機構 石井保行

日本アイソトープ協会 松本幹雄

イオン加速器は 1920 年代に原子核物理を研究するために開発され、その後原子核物理、素粒子物理と高エネルギーのイオンビームを必要とする研究の要請に応じて、大型化を繰り返してきた。一方、イオンビームの利用面では、主に 1980 年代後半から原子核・素粒子物理の研究以外への利用が行われるようになり、現在は材料開発から医学・生物学利用に至るまで、広範囲の利用が行われている。各種の加速器は最近、原子核・素粒子物理の研究以外への利用に適した技術を開発しており、利用者がこれらの新しい技術を知ることにより提供されたイオンビームの特性を理解することで、イオンビームの利用範囲が広がる。今回の放射線分科会企画シンポジウムでは、先端技術の研究・開発されてきた先生方に、これらの技術の紹介及び将来展望に関してご講演いただいた。

前半のセッションでは、はじめに、高エネルギー加速器研究機構の石橋先生より、複数のビームを 1 台で同時に加速する、マルチビーム型 RFQ 線形加速器の開発についてご講演があった。重イオンを加速する場合は空間電荷効果が大きく影響するため、一般的には大強度ビームを分割して複数の加速器で同時・並行に加速する方法が提案されているが、それでは加速器システムが大規模化してしまい、建設・運転コストも増加してしまう。今回の方法では、空洞内に 2 セット分の四重極電極を取り付けることで、炭素イオンビームを 108mA (1 ビームあたり 54mA) まで加速し、世界初の 2 ビーム型 IH-RFQ 線形加速器のビーム加速に成功したとのことであった。加速器の重要な研究テーマのひとつに重イオンビームの大強度化があり、これらが実用化されることにより、例えば重粒子線がん治療装置などの応用に期待される。次に、理化学研究所仁科加速器研究センターの上野先生より、RI ビームファクトリー施設と基幹実験設備の特徴についてご講演があった。RI ビームファクトリーでは、世界初の超伝導リングサイクロトロン (総重量 8,300 トン) を最終段とするサイクロトロン多段加速器を特徴とし、世界最多となる約 4,000 種の放射性同位核種を創出できる性能を持つように設計されているとのことであった。また、超伝導リングサイクロトロンと並んで重要となるのが、下流側に設置されている基幹実験施設であり、RI ビームを高効率で分離・収集することができる超伝導 RI ビーム生成分離装置が整備されているということであった。これらのシステムを利用し、精細な核構造研究が行われており、実験核物理学、基礎物理学、及び物質科学研究への展開だけでなく、新しい RI 技術による新産業の創出に取り組んでいるとのことであった。続いて、理化学研究所仁科加速器研究センターの森本先生より、RI ビームファクトリーの加速器を用いて核融合を利用した新しい元素の探索についてご講演があった。RI ビームファクトリーでは究極の原子核像の構築

や元素の起源解明の謎に迫る研究が行われており、特に 2012 年に発表された 113 番元素の生成・観測は大きな話題となった。113 番元素については 2004 年、2006 年にも生成を確認していたが、4 回の α 崩壊後、自発核分裂をおこしていた。2012 年の生成では、もう 1 つの経路である 6 回の α 崩壊が観測され、113 番元素の生成をより確証づける結果となった。現在この成果については国際純正応用化学連合および国際純粋応用物理連合により発見認定の審査が行われているとのことであった。発見の認定がなされた場合には命名権を得ることになり、日本発の元素命名権獲得へ期待される。

後半は、前半に引き続きサイクロトロン加速器に関する発表が 1 件、シンクロトロン加速器に関する発表が 2 件行われた。原子力機構の倉島先生によるサイクロトロン加速器によるパルスビーム形成技術に関する講演があった。これまでこの型の加速器では複数の塊のビームが一度に取り出されてしまい、単一のビームを取り出すことが加速で困難であった。これは時間間隔を取って照射を行う実験を困難にしていた。この解決策として、加速器内の磁場の時間安定性、ビームの時間間隔や加速位相の制御法の開発及びサイクロトロン加速器の入射と出射側にビーム間引き装置の設置を行った。これによりサイクロトロン加速器の加速周期 80ns からマイクロ秒オーダーの単一イオンビームの取り出しを実験で実証した。次に、シンクロトロン シンクロトロン加速器の最初の発表では、高エネルギー加速機構 (KEK) の高山先生による高速イオン用誘導加速シンクロトロン加速器 (KEK デジタル加速器) に関する講演があった。これまでシンクロトロン加速器での加速は高周波を用いて加速を行っていたため、バンチビームの大きさは高周波の加速位相で決まってしまう、細長いビームを加速することはできなかった。しかし、パルストランスを用いた方法ではトランスをオン・オフするタイミングを調節することによりこの長さを可変できることが理論的及び実験的に実証できたことが示された。今後は、今回の加速方式を用いてクラスターイオンを加速するマイクロトロンの開発を行こうことが紹介された。このシンポジウムの最後に、KEK の佐藤先生による原子力機構と KEK の共同運営の大強度陽子加速器施設 J-PARC 主リングのビーム診断機器とビームコントロールに関する講演があった。この加速器は高エネルギーのプロトンを高強度で加速するため、ビームの加速中に溢れていくイオンが多いとビームラインを含めて種々な機器が放射化してしまう。このため、ビームの状態を計測するビーム診断機器が重要であり、この診断機器として様々なものが開発され使用されているとの紹介があった。これから更にビーム電流を増やすため、加速器に投入する電力を上げる計画があり、ビーム診断機器が更に重要になるとの発表であった。

このシンポジウムを開いた放射線分科会は種々なビームの利用者が多いと思うが、今回の発表を通じて線形加速器、サイクロトロン加速器、及びシンクロトロン加速器の種々なビーム加速技術、ビーム診断技術及び実験例を紹介して頂き、今後イオンビームを用いた新しい実験の企画の一助になるとともに、発表者間でも、普段接していない加速器に関して情報の交換の場となった。