

幅広いアプローチ活動だより (81)

IFMIF/EVEDA 原型加速器 RFQ による世界最高強度の重陽子ビーム加速に成功

六ヶ所核融合研究所では、幅広いアプローチ活動に基づく日欧共同事業の一環として、IFMIF(国際核融合材料照射施設) 原型加速器の研究開発を進めています。この IFMIF 原型加速器は、IFMIF の原理実証を目的として、大電流の重陽子ビームの加速試験を行うための装置です(図 1 参照)。昨年 6 月に高周波四重極線形加速器(RFQ) による 2.5 MeV までの陽子ビーム加速に初めて成功し、QST と欧州の研究機関の合同チームにより、日本のリーダーシップの下、ビーム試験を進めてきました。今年 3 月から重陽子ビーム加速試験に移行し、以来、少しずつビーム電流を増加させながら試験を行っていましたが、7 月 24 日、プロジェクトの初期のマイルストーンであり、世界最大電流となる 125 mA の重陽子ビームの 5 MeV までの加速に初めて成功しました(図 2 参照)。これは、これまでの RFQ による重陽子加速の実績を電流値で約 3 倍、ビーム強度(エネルギーと電流の積)としては約 7 倍上回る、前人未到の記録です。図 3 に当該実験の成功を記念して撮った日欧合同チームメンバーの集合写真を示します。

この成果を得るためには、入射器、高周波源システム、RFQ の 3 つの機器がそれぞれ世界最高性能を発揮し、設計通り動作することが必要でした。入射器は、重水素をプラズマ化して引き出し、正イオンの形で RFQ に入射するための装置ですが、140 mA という大電流ビームを安定して生成し、かつ発散の少ない(=低エミッタンスの)品質の良いビームを供給するため、綿密な調整を行ってきました。高周波源システムは、1.3 MW 以上の高周波を RFQ に安定に供給しました。8 系統の独立した高周波源モジュールからの高周波を単一の RFQ 空洞に入射するため、フルデジタル制御の最先端の低電力高周波(LLRF) ユニットにより、細かい位相と振幅のフィードバック制御が行われました。また、大電力増幅モジュールや、LLRF のフィードバックパラメータの緻密な調整により、このような大電流ビームに追従して大電力の高周波を安定して供給することに成功しました。RFQ は、放電限界に近い設計上限の電界強度での運転においても安定して動作し、シミュレーション計算から予測される通り、90%以

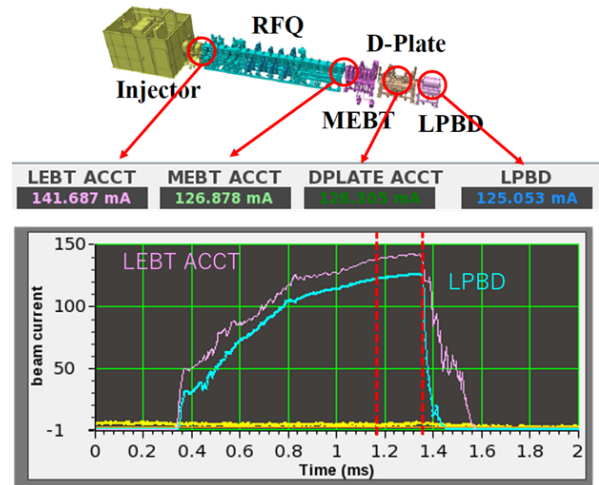


図 2 125 mA の重陽子ビーム加速時のビーム波形。



図 3 日欧合同チームによる集合写真。

上の良好なビーム通過率を示しました。ビームエネルギーは飛行時間法によって 5.0 MeV であることが確認されました。また、高エネルギー部分でのビームロスが極めて少なく、問題となるような重陽子の衝突に伴う放射化は全く見られませんでした。

この結果は、プロジェクトにとって重要なマイルストーンへの到達であると同時に、このような大電流加速器を用いた核融合中性子源の実用化にとって、大きな一歩となりました。現在日本が設計検討を進めている、核融合中性子源 A-FNS の今後の計画遂行に極めて大きな見通しを与える成果です。

(量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー部門)

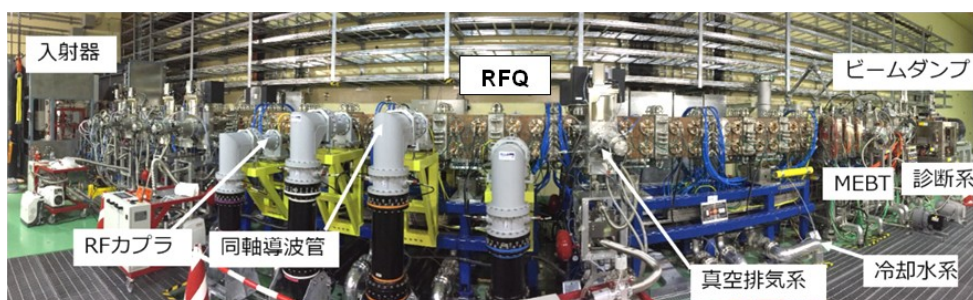


図 1 IFMIF/EVEDA 原型加速器の全体図。