

[研究の背景と目的]

核融合炉材料は、核融合反応で生成された高エネルギーの中性子に曝されることから、材料開発には生成される中性子を模擬した中性子源が必要です。そのため、国際核融合材料照射施設(IFMIF)の建設が検討されています。核融合エネルギーの早期実現を目指す日欧共同事業である幅広いアプローチ(BA)活動では、この建設に向けた工学実証・工学設計活動を 2007 年 6 月より実施しています。

IFMIF は、核融合原型炉における照射に伴い生じる材料特性変化の挙動を予測するのに必要なデータ取得を目的として、核融合炉に匹敵する高強度で、かつ炉環境を模擬する中性子照射場を提供する加速器駆動型の中性子照射施設です。40 MeV に加速した重水素ビームを、中性子発生効率が高いリチウムに入射させて、核融合反応と類似したエネルギー分布を持つ高エネルギー中性子を発生させます。

最大1万キロワットの重水素ビームをリチウムに連続的に入射させるため、入熱に対してリチウム形状を一定に維持することが、定常な中性子源を実現する上で重要となりますが、固体リチウムでは、除熱が難しいため入熱に対して形状を一定に維持することが不可能です。そのため、リチウムを 250°C から 300°C の高温とすることで液体状にし、図1に示すように湾曲した凹面形状の背面壁に沿って高速で安定に流すことにより、リチウム流内の圧力を遠心力で高めて入熱による沸騰を防ぎつつ、リチウム流の循環により除熱します。IFMIF では、重水素ビームの幅(200mm)で決まる幅 260mm、及び 40MeV の重水素ビームが十分に停止する厚さ 25mm の自由表面リチウム流を、15m/秒以上の高速で厚さの変動を±1mm 以下に抑えて安定に生成する必要があります。これまで、小流量(約 800ℓ/分)の試験装置において基礎的な実験を行ってきましたが、大流量でかつ高速になるほどリチウム流に乱流が生じやすくなり気泡の発生等により、リチウムの流れが不安定となり厚みの変動が大きくなるため、実規模での高速流の実証が課題となっていました。

BA活動では、世界最大流量を有する液体リチウム流動試験装置を建設し、大流量(3000ℓ/分)で安定にIFMIF実機の流速である15m/秒を超える20m/秒の実証を目標にしていました。

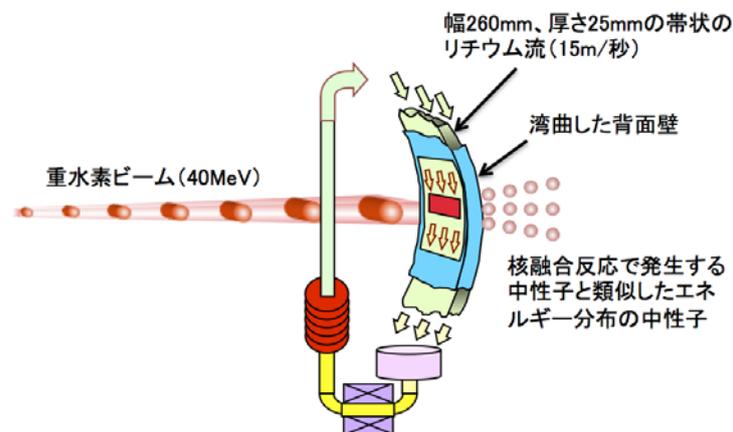


図1 IFMIFの液体リチウム流動部(重水素ビーム照射部)の模式図

[研究内容と成果]

大流量において湾曲した凹面形状の背面壁に沿ったリチウム流を安定化させるためには、流路形状の最適化が必要です。これまで、水を用いた模擬試験や小流量試験などの大学等との共同研究によって積み重ねられてきた基礎技術を発展させ、リチウム流を安定化させるための最適な噴出部分の流路形状を流体計算等の結果を基に明らかにしました。凹面壁に沿って高速で安定に流すためのノズルは2段階の絞り構造にし、それに直線部と緩やかな曲率変化を持つ凹面形状の背面壁を接続しました。その湾曲部やコーナーなどの複雑な形状を高精度で実現するため、決定された流路の座標を基に5軸加工技術⁴⁾を用いて図2に示すように製作を実施しました。

同流路は、重水素ビームを入射させるターゲット部において、IFMIF実機と同じく25mmのリチウム流の厚みを有するとともに、実機での挙動を十分見通せるよう100mmのリチウム流の幅を有するよう製作し、大流量かつ高速リチウム流の試験を可能としました。また、流路の高さは、リチウム流を不安定化する要因となるポンプ周りに発生する泡をリチウム流の重力で押しつぶすために必要な高さを考慮し、装置全高を20mとしました。この流路を組み込んだ世界最大流量を有する液体リチウム流動試験装置を、原子力機構大洗研究開発センターに建設し、同装置において、リチウム循環試験(最大約3000ℓ/分まで)を実施し、正圧の条件下において実証目標最大値であるリチウム流速20m/秒を安定に生成することに成功しました。これにより、流動特性を評価する上で最大の課題を解決して、安定した高速リチウムの流動に関する機能性確認試験に成功しました。

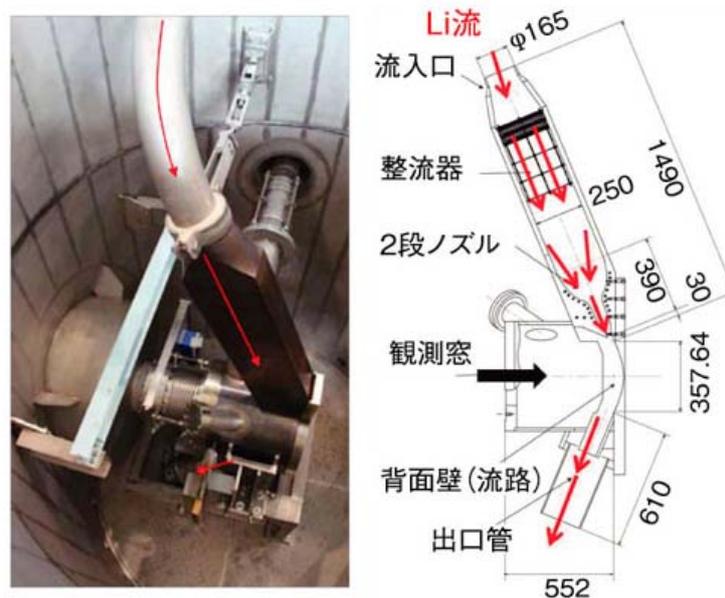


図2 液体リチウムの流動試験装置の構造(単位mm)

[研究成果の意義及び波及効果]

この成果は、核融合炉の材料開発に必要な IFMIF の建設に向けた基盤技術を実証するものであり、核融合エネルギーの早期実現を目指す BA 活動が着実に進展していることを示しています。今後も引き続き本装置を運転し、IFMIF と同じ真空条件下での高速自由表面流を実証するとともに、IFMIF 建設に必要な技術詳細を明らかにするためのデータ等を取得する予定です。

また、同成果は癌治療などを目的としたホウ素中性子捕捉療法(BNCT)用の照射施設の開発への波及効果も期待されます。