

## 4-4 過酷環境下での液体重金属流れのリアルタイム計測 ー鉛ビスマスターゲット用流量計測技術の開発ー

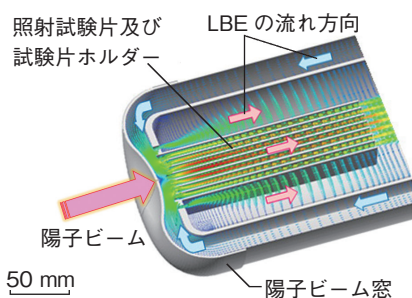


図4-8 溶融鉛ビスマス合金(LBE)ターゲット容器の概略図  
二重管構造となっており、内管の陽子ビーム入射側中央のホルダーに試験片を装荷して構造材料の照射試験を行います。

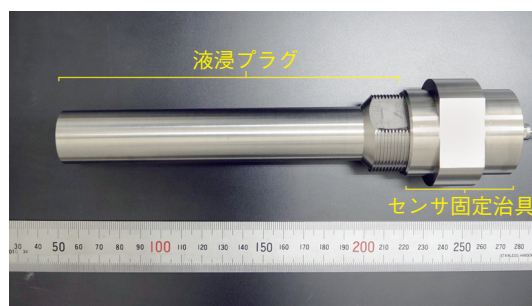


図4-9 LBE流量計測用超音波センサ外観  
LBE 標的運転時の過酷環境に適用可能な耐熱性 (～ 500 ℃) と耐放射線性 (γ 線: ～ 10 MGy) を実現することができました。

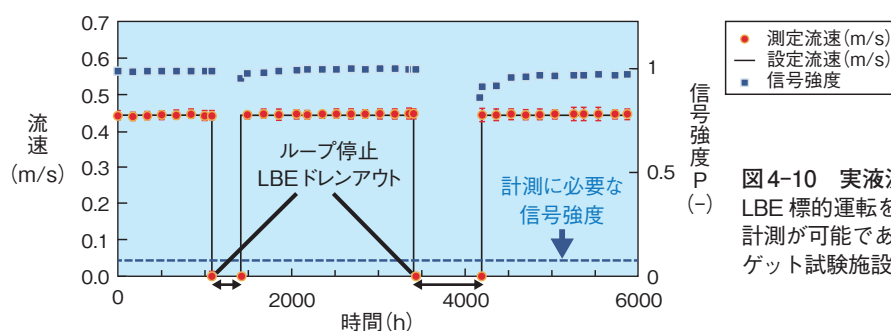


図4-10 実液流量計測試験結果  
LBE 標的運転を想定した試験の結果、安定的な流量計測が可能であることを実証するとともに、ADS ターゲット試験施設 (TEF-T) への導入を決定しました。

使用済核燃料に含まれ、人体に対する有害度や環境負荷が大きい長寿命の高レベル放射性物質を選択的に分離し、大強度の高エネルギー陽子ビームを核破砕標的に入射させて発生した中性子による原子核反応でこれを短寿命の物質に変換し、地層処分時の環境負荷低減を目指す加速器駆動核変換システム (ADS) の実現に向け、私たちは ADS ターゲット試験施設 (TEF-T) の設計検討を進めています。TEF-T は、試験片を封入したターゲット容器 (図 4-8) へ 400 MeV/250 kW のパルス陽子ビームを入射させ、核破砕標的及び冷却材として溶融鉛ビスマス合金 (LBE) を循環して ADS を構成する T91、SUS316 等の候補材料の照射試験を主目的とした実験施設です。LBE 流量は、系統内の安全性に影響を与えるため、誤差 10% 以下の精度で流量を常時管理する必要があります。高温、高線量環境下で鋼材に対する腐食性が高い LBE の流れを長期間安定的に計測することが難しく、国内外で実用化に向けた研究開発が行われています。この課題解決のため、私たちは不透明な金属材料に対して透過可能な超音波の性質に着目し、ナトリウム冷却高速炉での計測技術開発で培われた知見をもとに、LBE の流量を長期間安定的に計測できる流量計を開発しました。

超音波信号を発振する代表的な圧電素子として、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) がありますが、素子単体の耐熱温度が約 365 ℃であり LBE 標的で想定される温度域 (350 ～ 450 ℃) への適用性と照射による影響を受けやすいという問題がありました。この解決策として、開発したセンサ (図 4-9) では  $\text{LiNbO}_3$  を採用しました。 $\text{LiNbO}_3$  は誘電率が PZT に比べ 1 桁以上小さいですが、約 1000 ℃という極めて高い耐熱性と耐放射線性を持っています。小さい誘電率への対策として、センサ前面に LBE との濡れを確保する液浸プラグを設け、固液境界での信号伝播が阻害される液体重金属特有の問題を解決するとともに、信号伝播経路を直線状にすることで送信信号に対して約 50% の強度の受信信号を獲得する効率的な信号送受信を実現しました。

次に、開発した流量計を LBE ループに設置し、図 4-10 に示すように TEF-T 標的で想定する運転条件下 (管内流速 0.37 m/s、運転時間約 4500 h) で安定的 (誤差 3% 以下) に LBE 流れを監視可能な技術を世界に先駆けて実現し、TEF-T への導入を決定しました。

今後は、開発した流量計を用い、冷却材流量低下事象等の模擬試験データを蓄積し、LBE 系統のさらなる安全性向上を図る予定です。

### ●参考文献

Obayashi, H. et al., Development of Plug-in Type Ultrasonic Flowmeter for Lead-Bismuth Spallation Target System, Proceedings of 11th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-11), Gyeongju, Korea, 2016, paper N11P0107, 10p., in USB Flash Drive.