

# 液体増殖ブランケット環境を実現する

## ～熱・物質流動ループOroshhi-2による循環状態での試験～

八木重郎

核融合炉を実現するためには、燃料となる三重水素（トリチウム）が必要です。しかし三重水素は地球上に資源としては存在しないものなので、核融合プラズマを包むように設置されるブランケットと呼ばれる設備において、プラズマから放出される中性子と、リチウムを反応させてその都度生産（増殖）し、取り出す必要があります。また、発電するためにはブランケットで発生した熱を核融合炉の外に運び出し、タービンに運ぶ必要があります。この時リチウムを含んだ高温で利用できる液体（液体増殖材）を使って、熱も三重水素もまとめて取り出してしまふことがより効率的ではないかと考えられており、これを液体増殖ブランケットと呼びます。液体増殖材としては、金属リチウム・鉛リチウム共晶合金<sup>\*1</sup>（以降 PbLi）・フッ化物溶融塩、の3種類が有力視されています。これらの液体増殖材を用いた実験は国内外でいろいろと行われてきたのですが、多くは実験室規模の小型で単純な装置を利用したものでした。しかし核融合炉のブランケットを含むループでは、場所によって配管の形や温度、磁場の強さなどの条件が大きく異なります。液体増殖材は配管などの材料を腐食する可能性があり、このメカニズムや条件をきちんと調べる必要がありますが、腐食は液体の流れの強弱だけでなく、ループ内の温度差でもその挙動が大きく変わってきます。また流れ方そのものも磁場のあるなしで大きく変わってきます。こういった背景から、大規模なループで複合的な環境を実現することが必要となってきました。そこで熱と水素の輸送を中心に据えた、液体増殖材研究のテストスタンドとして、熱・物質流動ループ Oroshhi-2<sup>\*2</sup> が核融合科学研究所・総合工学実験棟 1 階の大実験室に整備されました。

装置の概略を図1に示します。この装置内には、

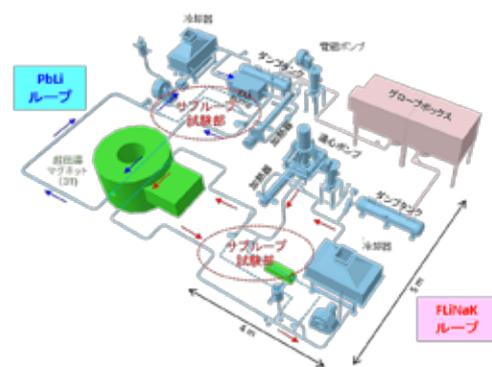


図1 Oroshhi-2の全景（上）と概略（下）。上の写真は下図の左上方向から撮影したものです。

先に挙げた液体増殖材のうちの PbLi とフッ化物溶融塩の FLiNaK<sup>\*3</sup> の2つのループが備えられ、これらの一部が超伝導磁石の中を通る構造になっています。

### 1. マグネットを使って実験できること

磁場を利用する核融合炉では、ブランケットの部分にも強い磁場がかかるのですが、強い磁場の中では液体の流れ方が大きく変わります。まず PbLi の場合は電磁誘導により発生する大電流と磁場の相互作用により非常に大きなブレーキ効果が発生してしまいます。Oroshhi-2 では PbLi を用いて流路に直交する方向に 3 テスラ（世界最強）という、核融合炉の想定に近い磁場の強さでの世界初の実

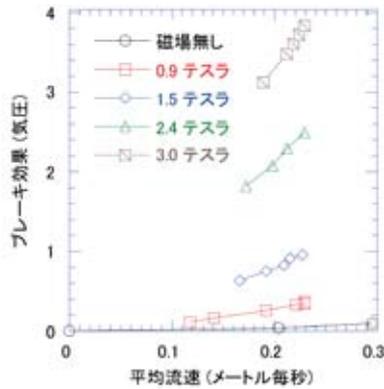


図2 強磁場中でのPbLiの流れに対するブレーキ効果。ブレーキ効果は流路の長さにも比例して大きくなります。

験に成功し (図 2)、ブレーキ効果は平均流速と磁場強度の二乗に比例するという理論的な予想にはほぼ一致する結果を得ました。さらに、複雑な形状(曲がり、分岐、径の変化など)でどうなるかについては未解明な点が多いのですが、Oroshhi-2 は電磁石の中心にドラム缶が入るほどの大きな空間があり、ここを利用して実際に測定ができます。すでに京都大学との共同研究によって、世界初となるクランク状の配管での圧力損失の測定が行われました。このブレーキ効果の軽減には、配管の内側での電気的な絶縁処理が必要であり、それらの試験についても実施の準備が進んでいます。

一方、熔融塩の場合は、ブレーキ効果は発生しないかわりに流れの乱れが抑えられ、熱が運ばれにくくなってしまいます。熔融塩はそもそも熱を伝えるにくい材料のため、これは大きな問題であり、配管内に突起などを入れて流れを積極的に乱れさせる、といった対応が必要になります。こちらも効果の実証を目指し、共同研究により試験部の製作が進んでいます。

## 2. サブルーブ試験部を使って実験できること

また、両ループともにサブルーブ試験部と呼ばれるエリアがあります。ここでは水素を用いた試験や、腐食に関連した試験などが実施できるようになっています。PbLi ループでは超音波を利用した流速計の実証研究が行われた (大阪大学との共同研究) ほか、熱交換器を備えた水素の取り出し・腐食試

験のための試験ラインが昨年度末に完成しました。FLiNaK ループでは、永久磁石による 1 テスラの磁場の中で、高温で材料腐食を実験するライン (図 3) が稼働中です。材料の腐食において重要なループ内部の温度差については、流量に制約はあるものの両ループともに 200℃ 程度までの温度差をつけながら流すことができます。

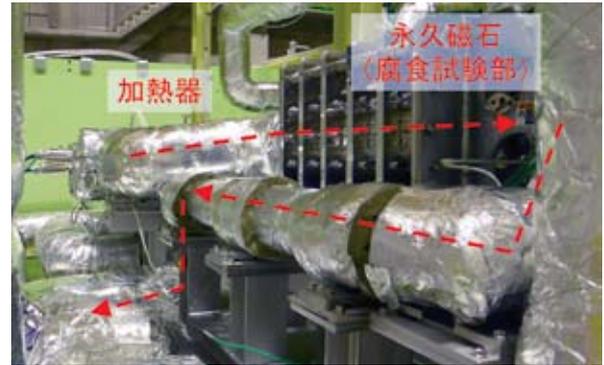


図3 高温磁場腐食試験部。1テスラの磁場中で、矢印のように高温の熔融塩が流れます。試験部は腐食試験用の金属片を出し入れできる構造となっています。

なお、腐食などの化学的な実験をする上では、流体中の不純物が大きな影響を持ちます。Oroshhi-2 はグローブボックスという空気や水蒸気を非常に低い濃度に維持できる装置も備え、これを用いて高純度の FLiNaK や PbLi を製造して利用しています。グローブボックスの内部スペースは現在も、小規模な実験や液体増殖材の製作に有効利用されています。

このように Oroshhi-2 は様々な新しい設備を増強しつつ、世界に類を見ない試験設備として新しい研究データをどんどん出し始めています。今後の発展にご期待ください!

(核融合システム研究系・助教)

- \*1 原子数でリチウムが約 16%、鉛が約 84%の割合で混ぜたもの
- \*2 Oroshhi とは Operational Recovery Of Separated Hydrogen and Heat Inquiry の略を研究所の住所にかけたもので「オロシ」と読みます。この装置では三重水素 (トリチウム) は使用しません。
- \*3 リチウム・ナトリウム・カリウムそれぞれのフッ素との化合物を混合したもの