

熱・物質流動ループOroshhi-2を用いた液体増殖材研究の最前線

The frontier investigations of the liquid breeders using Oroshhi-2 heat and mass transfer loop

八木重郎¹⁻²⁾、田中照也¹⁾、相良明男¹⁾、中村晶樹²⁾、楠見紘司²⁾、呉与宸²⁾、功刀資彰²⁾、横峯健彦²⁾、河原全作²⁾、野口雄矢³⁾、植木祥高³⁾、興野文人²⁾、向井啓祐²⁾、小西哲之²⁾、高橋光俊⁴⁾、三浦邦明⁴⁾、室賀健夫¹⁾

J. Yagi¹⁻²⁾、T. Tanaka¹⁾、A. Sagara¹⁾、S. Nakamura²⁾、K. Kusumi²⁾、Y. Wu²⁾、T. Kunugi²⁾、T. Yokomine²⁾、Z. Kawara²⁾、Y. Noguchi³⁾、Y. Ueki³⁾、F. Okino²⁾、K. Mukai²⁾、S. Konishi²⁾、M. Takahashi⁴⁾、K. Miura⁴⁾、T. Muroga¹⁾

1)NIFS、2)京大、3)阪大、4)助川電気

1)NIFS、2) Kyoto Univ.、3)Osaka Univ.、4)Sukegawa Electric

1. 緒言

液体トリチウム増殖材を用いた磁場閉じ込め核融合炉の実現のために、長らく国内外で各種要素技術研究が進められてきているが、さらなる研究の進展のためには実環境を模擬した循環系における材料、及び、システムの統合試験が必要である。すなわち、数テスラ級の強磁場下循環環境における伝熱流動性の評価・制御、水素同位体の移行評価・制御、及び、回収、温度差のある流路内における腐食挙動評価・制御をはじめとする様々なブラケット技術研究を実施できる統合的な試験環境である。核融合研ではこれらの戦略的観点から、実環境を模擬する大型の共同研究プラットフォームとして熱・物質流動ループ Oroshhi-2 (Operational Recovery Of Separated Hydrogen and Heat Inquiry -2) を構築した[1]。

2. 装置概要

Oroshhi-2の概略を図1に示す。約10m四方の

装置内には、フッ化物溶融塩FLiNaKのループと鉛リチウム共晶合金PbLiの2ループがあり、これらが超伝導マグネットを共有する形となっている。超伝導マグネットは大型の中心空洞と貫通孔を有し、磁場核融合炉を想定した強磁場下（水平流路、垂直磁場最大3T）での流動試験を行うことが出来る。無磁場での最大流速はともに1.5 m/sとなっている。

また両ループともにマグネット試験部に並列となる形で多目的試験部を有しており、ここで水素同位体の移行・回収試験、材料腐食試験（永久磁石による垂直1Tの磁場流路も有する）といった、各種コンポーネントの試験が実施できる環境となっている。これらの化学的実験を進める観点から、両ループの流体（ともに100L強）は附属の大型グローブボックスを用いて高純度原料から調整されており、このグローブボックスは単体としても関連研究において活用されている。

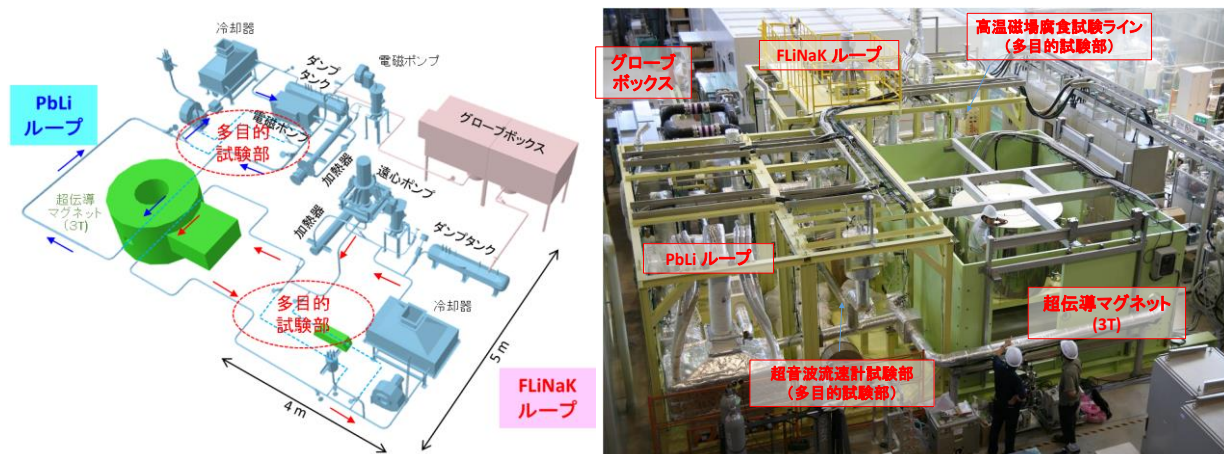


図1：Oroshhi-2の概略（左）と全景（右）

3. 進行している共同研究など

本装置を活用した共同研究は複数進行しており、その一部を紹介する。

3.1 二重屈曲管を用いたPbLiループにおける磁場下圧力損失測定

磁場下での液体金属の流動には電磁誘導に起因する圧力損失（MHD圧損）が生じることが知られているが、直管以外の複雑形状流路、またPbLiでの高磁場での試験については非常に研究例が限られていた。功刀を代表とする共同研究により、二重屈曲管を用いたMHD圧損試験（均一磁場部および磁場傾斜部に屈曲部を設置）に成功した[2]（図2）。

3.2 PbLiループにおける超音波ドップラー流速計の試験

磁場下での液体金属流れは上述のMHD圧損と同時に、壁近傍が高流速領域となる速度分布を生じる。しかし液体金属は不透明であり、この測定には光学的手法は用いることができず、音響的手法の適用が適当と考えられている。そこでナトリウムなどで開発の進められてきた超音波によるドップラー効果を利用した流速計の実証試験（図3）を、植木を代表とする共同研究によりPbLiループを用いて進めている[3]。

3.3 FLiNaKループにおける磁場下伝熱流動試験

磁場下での熔融塩流れにおいては低電気伝導性によりMHD圧損は問題とならない一方で、流れが層流化され、伝熱測定が劣化することが予想されている。この効果のFLiNaKを用いた3Tの強磁場下で実測、さらに流路への挿入物による乱流促進の実験が東北大・江原らとの共同研究により進められている。

3.4 PbLiループにおける水素回収試験

液体増殖材からの水素回収法としては、PbLi・熔融塩ともに複数の手法が提案されている。特にPbLiについては管壁透過・気液接触・ホットトラップといった複数手法を試験可能な水素回収テストスタンドを多目的試験部内に設置し、日本独自の手法でもある真空下液滴回収法のループ内実証試験に向け、興野・小西らによる共同研究が進められている。

3.5 FLiNaKループ・高温磁場腐食試験

磁場下での熔融塩の流動に伴って流路内に電位分布が生成し、それにより腐食が発生・促進される可能性があり、FLiNaKループの多目的試験部において実証のための高温磁場腐食試験部が設置された。1Tの垂直磁場で最高750℃

での流動試験が可能な体系となっており、運転を開始している。

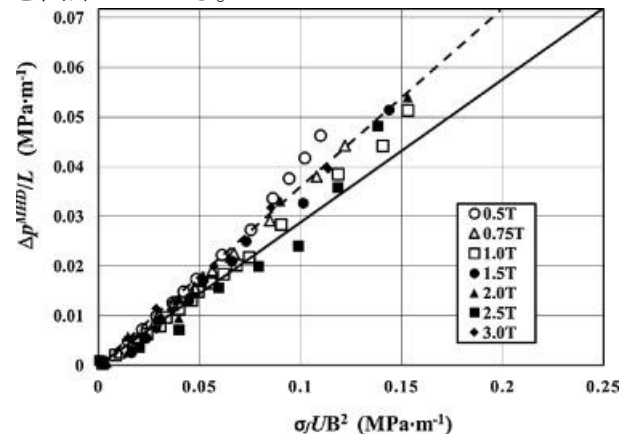


図2：二重屈曲管 PbLi 流路の MHD 圧力損失[2]



図3：PbLi用の超音波流速計流路試験部

4. 結言

熱・物質流動ループOroshhi-2は主ループ完成以来、多目的試験部の追設・強化を進めつつ多くの共同研究のプラットフォームとして活用されている。前述の研究のほかにも熔融塩への金属微粒子混合、磁場下での液体金属自由表面流、超臨界CO₂を用いた熱交換および2次冷却系試験、といった計画・検討も進められている。ユーザー間の情報交換のための研究会も年2回開催しており、海外機関との共同研究も含めてさらなる研究の展開を進めている。

参考文献

- [1] A. Sagara et al., Fusion Sci. Tech. **68** (2015) 303.
- [2] S. Nakamura et al., Fusion Eng. Des., **136** (2018) 17.
- [3] Y. Ueki et al., Fusion Sci. Tech., **72** (2017) 530.