

# トロイダル方向流路を採用した自己冷却液体金属 ブランケット構造の基礎検討

## Fundamental study of self-cooling liquid metal blanket structure employing toroidal directional flow paths

落合信吉<sup>1</sup>, 伊藤悟<sup>1</sup>, 田中照也<sup>2</sup>, 橋爪秀利<sup>1</sup>

Shinkichi OCHIAI<sup>1</sup>, Satoshi ITO<sup>1</sup>, Teruya TANAKA<sup>2</sup>, and Hidetoshi HASHIZUME<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東北大, <sup>2</sup>核融合研

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>NIFS

### 1. 緒言

液体金属自己冷却ブランケットでは、流路内で核融合炉内に存在する強磁場との相互作用により発生するMHD (MagnetoHydroDynamics) 圧力損失が課題となっており、その解決策として、先行研究<sup>[1]</sup>では三面複層コーティング流路が考案された。従来のトロイダル方向流路において当該流路を用いてMHD 圧力損失を許容内に抑えるためには、内張金属層を0.02 mmまで薄くする必要があり<sup>[1]</sup>、腐食や減肉により耐用年数が大幅に短くなることが危惧される。したがって、本研究ではトロイダル方向流路を採用し、腐食や減肉の課題にも対応できる新たな流路構造を提案した。また、構造の一部を模擬した体系においてMHD 圧力損失を評価するための数値解析を行った。

### 2. 新構造の提案

MHD 圧力損失の低減のために有効なトロイダル方向の流路を持つ新たなブランケットモジュール構造を検討した。第一壁を複数のトロイダル方向流路の並列構造にする案と Fig. 1 に示すような曲がり部を組み合わせた直列構造にする案を考えた。直列構造では、ブランケット全体に流入させる液体金属の流量を、並列構造に比べて大幅に抑えることができる利点があるが、これを実現させるためには MHD 圧力損失を劇的に低減できるかが論点になる。したがって、磁場と直交する下部流入口および第一壁領域の曲がり部には三面複層コーティング流路などの MHD 圧損低減構造を導入する必要がある。第一壁は高流速、増殖領域は低流速とするために、流路サイズを調整する予定となっている。

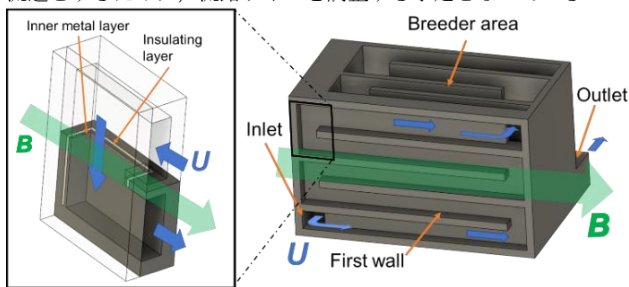


Fig. 1 Proposed channel structure of self-cooled liquid metal blanket and example of application of Three-surface-multi-layered (TSML) channel to a bend.

### 3. 数値解析

提案した第一壁流路構造を模擬した体系での数値解析を実施した。今回はFig. 2に示すような、V-4Cr-4Tiを構造材とした第一壁において、磁場強度10 T印加下で平均流速1.5 m/sの液体Liが流動することを想定した<sup>[2]</sup>。モデル式<sup>[3]</sup>によって本体系における10 T、1.5 m/sのときのMHD圧力損失は3.36 MPaと計算された。液体金属自己冷却ブランケットにおける許容圧力損失は1 MPaとされており<sup>[4]</sup>、この流路サイズにおいては大幅に超過する。したがって、三面複層コーティング流路の適用によるMHD圧力損失の低減有効性を評価するため、曲がり部に三面複層コーティング流路を適用し、三面複層コーティング流路の内張金属厚さとMHD圧

力損失の関係を評価した(内張金属層厚さ=3 mmのとき、導電流路に相当)。10 T超での解析は計算リソースが過大となる点において困難であるため、本解析では0.01 T、0.1 T、1 Tの磁場強度でそれぞれ行い、レイノルズ(Re)数とハルトマン(Ha)数を用いて外挿する方法にて10 T印加下のMHD圧力損失の算出を行うこととした。このとき、次式で表されるインタラクションパラメータがそれぞれの値において等価となる。

$$N = Ha^2 / Re \quad (1)$$

Fig. 3に0.1 T、0.015 m/sとしたときの結果を示す。計算結果から、MHD圧力損失が局所的に増大する曲がり部に三面複層コーティング流路を施すことにより、効果的に低減できる可能性があることがわかった。当日は外挿した結果とともに、許容される圧力損失から適用可能な内張金属層厚さについて報告する。

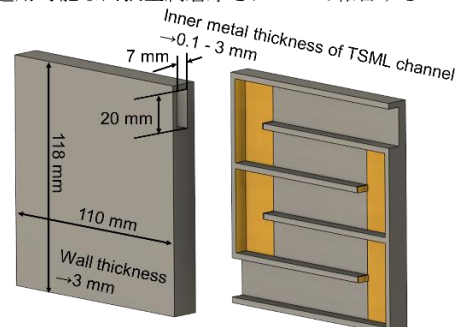


Fig. 2 Model of numerical calculation. Yellow part is inner metal layer of TSML channel. A thickness of 3 mm corresponds to general conductive channel.

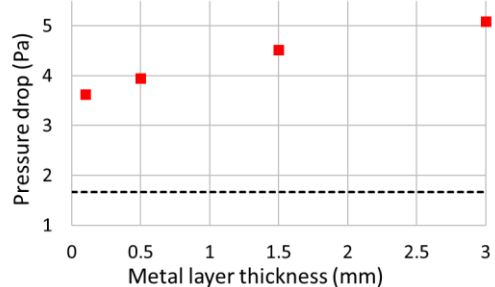


Fig. 3 Result of numerical calculation. Black dotted line is pressure drop without magnetic field.

### 4. 参考文献

- [1] H. Hashizume, Fusion Eng. Des., 81(2006), 1431-1438
- [2] M. Aoyagi, Tohoku Univ., Ph. D. thesis (2012)
- [3] K. Miyazaki et al., Fusion Technology, 10:3P2A (1986), 830-836
- [4] I.R Kirillov et al., Fusion Eng. Des., 39-40 (1998), 669-674

### 5. 謝辞

本研究は核融合科学研究所一般共同研究 (NIFS22KIEF023) として実施されたものです。