

原型炉テスト・ブランケット・モジュールの設計検討の現状 Present Status of Design Investigation on DEMO Test Blanket Module

*田中 照也¹、江原 真司²、染谷 洋二³、近藤 正聡⁴、横峯 健彦⁵
片山 一成⁶、笠田 竜太²、日渡 良爾³、坂本 宜照³、野澤 貴史³
T. Tanaka¹, S. Ebara², Y. Someya³, M. Kondo⁴, T. Yokomine⁵,
K. Katayama⁶, R. Kasada², R. Hiwatari³, Y. Sakamoto³, T. Nozawa³

¹核融合研、²東北大、³量研、⁴東工大、⁵京大、⁶九大

¹NIFS, ²Tohoku Univ., ³QST, ⁴Tokyo Tech, ⁵Kyoto Univ., ⁶Kyushu Univ.

1. 原型炉テスト・ブランケット・モジュール(原型炉 TBM)

現在、全日本体制で概念設計及び研究開発が進められているトカマク型原型炉では、固体トリチウム増殖材と水冷却材を用いる“固体増殖・水冷却ブランケット”による発電実証が行われる。一方、発電実証後の運転後期には、より高効率での発電の見通しを検証するための“テスト・ブランケット・モジュール”(原型炉 TBM)を炉内の一部に設置することが提案されている(図1) [1-3]。

大学を中心とした研究グループでは、液体金属や熔融塩をトリチウム増殖材/冷却材(増殖材、兼、冷却材)として循環させることで 500°C以上での高効率発電が目指せる液体ブランケットシステムの要素技術研究を長年にわたり進めてきている。本設計検討では、液体ブランケットシステムの技術検証を可能とする原型炉 TBM 案の提示を目指している。

2. 液体ブランケット概念の適用検討

原型炉 TBM の設置は原型炉内のごく一部になると考えられるが(詳細は未定)、将来、原

型炉と同程度の条件を持つ核融合炉内に設置した際に、十分なトリチウム増殖や発電性能が見込める概念を選択する必要がある。これまでに大学、核融合研で研究が進められてきた液体金属ブランケット概念(Li/V、LiPb/FS)、及び、熔融塩ブランケット概念(FLiBe+B/FS、FLiNaBe+Be/FS)について、固体・水冷却ブランケットに対する評価に使用されたものと同じ中性子輸送計算体系データを用い、材料データのみを液体ブランケットの材料組み合わせに変更して、トリチウム燃料の増殖比(TBR)を評価した(VはV合金構造材、FSは低放射化フェライト鋼構造材との組み合わせ)。いずれのブランケット概念においても1.11以上のTBRが確保できる見通しであり、この観点から検討において除外すべき概念はない。

これらの中で、LiPb/FS 自己冷却ブランケット概念から検討を開始することとした。トリチウム増殖材である液体金属 LiPb を冷却材としても循環させることで、より簡単なモジュール構造と低圧力の循環システムの成立を目指すことが出来る。

3. 原型炉 TBM の検討条件

固体増殖・水冷却ブランケットモジュールと同じ寸法のモジュールを想定して、LiPb 自己冷却概念の適用検討を進めている[3]。図2に検討に使用するモジュール形状を示す。原型炉における最大中性子壁負荷は 1.5MW/m²、第一壁への表面熱負荷は 0.5MW/m²となる。

液体金属を強磁場下で循環させる際には、特に MHD 圧力損失(電磁ブレーキ効果)の大きさの評価とセラミック電気絶縁壁による十分な低減効果の見通しを得ることが、低圧力で効率的な循環システムとするために重要な課題となる。本設計検討のために、定常運転時の炉内における三次元磁場強度分布解析が実施された。原型炉のブランケットモジュール位置、

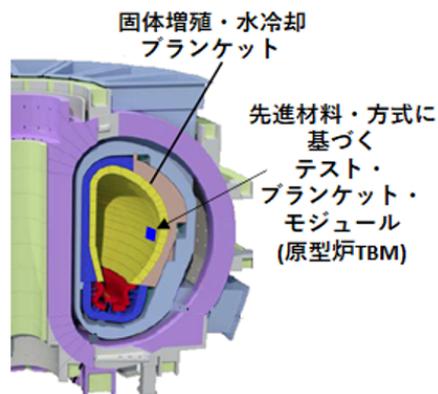


図1. 原型炉 TBM の想定イメージ*

(位置・寸法は未定、第7回原型炉設計合同特別チーム全体合資資料、“ブランケット概念設計の状況”(2017年12月 QST 染谷洋二)の原型炉図に追記)

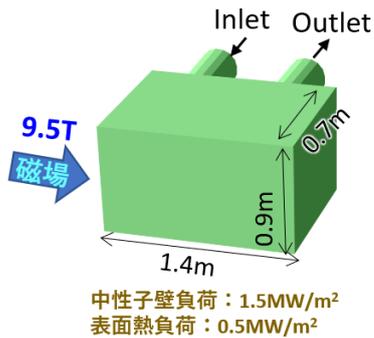


図2. 原型炉TBM検討に使用するモジュール形状

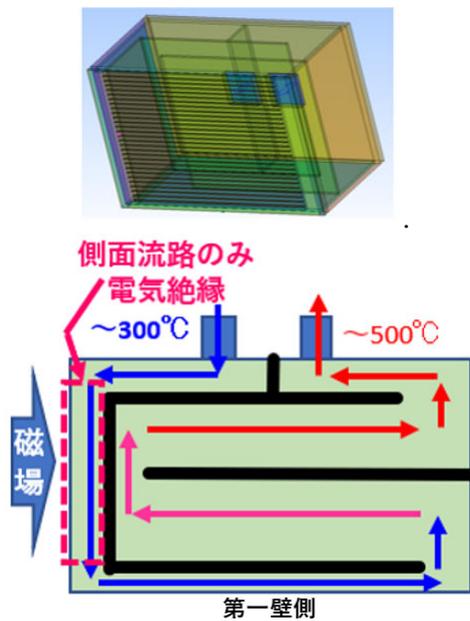


図3. 自己冷却 LiPb 原型炉 TBM 検討のための素案

及び、冷却材配管経路における最大磁場強度は各々9.5T、10Tとなる。

4. LiPb 自己冷却原型炉 TBM の素案

検討のたたき台として、図3に示すテスト・ブランケット・モジュール構造を提案している。LiPb の入り口温度は 300°C とし、最初にモジュール前面へ導かれて第一壁冷却流路を通過する。その後、低速でモジュール内を流動し、出口温度は 500°C とする。構造材は低放射化フェライト鋼 F82H とする。

0.5MW/m² の表面熱負荷及び核発熱分布を考慮した熱流動計算を、強磁場下を流れる液体金属流へのMHD効果の模擬が可能なSTREAMコードを用いて実施し、MHD 圧力損失の大きさや第一壁冷却の見通しについて検討を進めて

いる。

これまでの検討結果から、第一壁の厚みは 6mm とし、その背面の第一壁流路の奥行方向の厚みは 12.5mm としている。LiPb の平均流速は 1.5m/s とし、磁場とほぼ平行に流動させることで、この流路には MHD 圧力損失 (MHD 圧損) 低減用の電気絶縁被覆は不要とする。一方、モジュールの冷却材入り口から第一壁に至る側面の直線流路は磁場を垂直に横切るため、金属配管内に LiPb を流動させると MHD 圧損が約 50 気圧となることから電気絶縁壁とする必要がある。

引き続き、より効率的な熱流動設計検討を進めるとともに、応力評価やトリチウム挙動評価に発展させる計画である。

5. 実験研究との連携

液体ブランケットシステムの実現に必要なとされる様々な要素技術研究は大学研究グループを中心に精力的に推進されている。本設計検討活動の結果が実験研究において考慮すべき条件や新規研究課題提案の根拠の一つとなるとともに、実験研究の結果を設計検討にフィードバックすることが期待できる。これまでに主に実施されてきた、比較的シンプルな形状・体系における各種物性・係数の取得や物理・化学現象のモデル化の妥当性評価、材料開発研究に加えて、原型炉内における磁場、核発熱、トリチウム生成率等の三次元分布や配管経路・構造物形状を模擬したエネルギー・物質の循環輸送制御、構造物製作技術についての研究を展開していく必要がある。

・本設計研究は QST 原型炉研究開発共同研究の課題として実施されている。

- [1] K. Okano et al., Fusion Engineering and Design 136 (2018) 183–189.
- [2] K. Tobita et al., Fusion Science and Technology 75 (2019) 372-383.
- [3] Y. Someya et al., Fusion Engineering and Design 146 (2019) 894–897.