

FeCrAlZr-ODS 鋼を応用した先進核融合機器の開発に関する研究

(1) 先進液体ブランケット設計とアルミ含有鋼がもたらす可能性

Application of FeCrAlZr-ODS alloy for advanced liquid blanket and divertor concepts

(1) Study on application of Al-contained steels in advanced liquid blanket systems

*田中 照也¹, 近藤 正聡², 大野 直子³, 笠田 竜太⁴, 横峯 健彦⁵

浜地 志憲¹, 秋吉 優史⁶

¹核融合研, ²東工大, ³北大, ⁴東北大, ⁵京大, ⁶阪府大

核融合原型炉及び発電炉内に設置するブランケットとして、LiPb をトリチウム増殖/冷却材とするシステムの研究を進めている。LiPb に対する耐腐食性に加えて、電気絶縁及びトリチウム透過抑制機能の発現も期待できる FeCrAlZr-ODS 合金をブランケット流路に適用することを提案し、適用部位の検討を行った。

キーワード：液体ブランケット, LiPb 増殖/冷却材, 耐腐食性, 電気絶縁, トリチウム透過抑制

1. 緒言 液体金属 LiPb (融点 235°C) を増殖/冷却材とする先進液体ブランケットシステムの研究において、材料共存性 (腐食) はシステム寿命に直結する重要課題である。また、強磁場下を流動する液体金属冷却材に生ずる MHD 圧力損失 (電磁ブレーキ効果) 低減やトリチウム燃料の透過抑制についても対策が要求される。予備酸化処理により表面に Al_2O_3 層が自己形成される FeCrAlZr-ODS 合金の適用はこれら設計課題の解決に寄与することが期待される。

2. LiPb ブランケット LiPb 先進液体ブランケットシステムの検討は、ヘリカル型発電炉 FFHR-d1 設計^[1,2] (図 1 (a)) 及びトカマク型原型炉^[3]への設置が提案されている原型炉テストブランケットモジュール (原型炉 TBM) 設計 (図 1 (b)) 研究において進められている。ヘリカル型発電炉では大型カートリッジ形状を、トカマク型原型炉では小型の箱型形状を想定しているが、いずれも中性子壁負荷 (約 1.5MW/m²) や磁場強度 (各々最大 7.6T, 9.5T) は同程度であり、構造材料には低放射化フェライト鋼を使用する。LiPb の入口温度は約 300°C、出口温度は約 500°C とする設計の成立を目指している。

3. FeCrAlZr-ODS 合金の適用部位 FeCrAlZr-ODS 合金に形成される Al_2O_3 表面層の耐腐食特性を利用する観点からは、低放射化フェライト鋼の腐食速度が大きくなると見込まれる部位への適用を提案している。除熱のために LiPb の流速が大きくなる第一壁 (炉心プラズマに面する壁面) 流路及び最も LiPb 温度が高くなる出口付近から真空容器外の熱交換器までの配管部分が該当する。 Al_2O_3 表面層の電気絶縁性の利用の観点からは、MHD 圧力損失が問題となる磁場と直交した流路へ適用することで、圧力損失低減が期待できる。また、 Al_2O_3 表面層のトリチウム透過抑制機能については、真空容器外のトリチウム回収装置に至るまでの配管部分への適用が考えられる。使用方法としては、高速中性子束が大きいブランケットモジュール内への適用については低放射化フェライト鋼で製作された流路内面へ FeCrAlZr-ODS 合金の薄板を面接合することが、また、真空容器外の配管部については配管内部への面接合もしくは配管そのものを FeCrAlZr-ODS 合金で製作することが望ましいと考えられる。また、 Al_2O_3 層は使用期間中に喪失した際の自己修復が期待できる。各部位での使用環境の詳細等についても報告する。

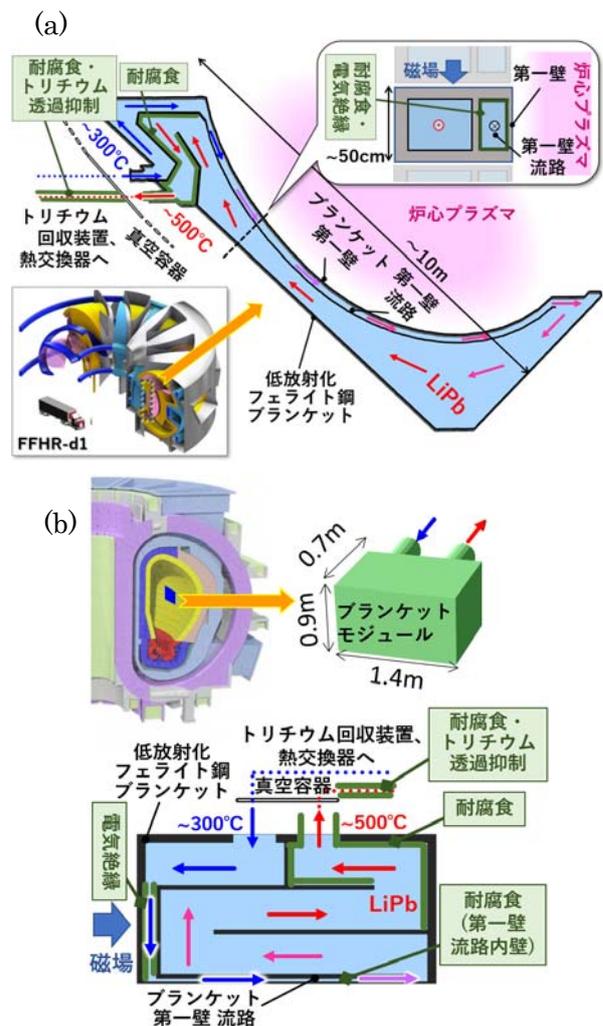


図 1. LiPb ブランケットシステムの適用を検討している (a) ヘリカル型発電炉 FFHR-d1^[1,2] 及び (b) トカマク型原型炉^[3]用テストブランケットモジュールと FeCrAlZr-ODS 合金の使用提案部位

[1] J. Miyazawa et al., Plasma and Fusion Research, 12 (2017) 1405017. [2] T. Murase et al., Fusion Engineering and Design 136 (2018) 106–110.

[3] Y. Someya et al., Fusion Engineering and Design, 136 (2018) 1306–1312.

*Teruya Tanaka¹, Masatoshi Kondo², Naoko Oono³, Ryuta Kasada⁴, Takehiko Yokomine⁵, Yukinori Hamaji¹ and Masafumi Akiyoshi⁶

¹NIFS, ²Tokyo Tech., ³Hokkaido Univ., ⁴Tohoku Univ., ⁵Kyoto Univ., ⁶OPU