

液体金属環境下における 構造・機能材料の化学的共存性に関する研究

Chemical compatibility of structural and functional materials in liquid metals

Keywords

核融合炉/Fusion reactors

トリチウム増殖材/Tritium breeders

保護性酸化被膜/Protective oxide layers

液体金属腐食/Liquid metal corrosion

ユーザー氏名 / User's Name

近藤 正聡, 武藤 龍平, 萩原 想大, 北村 嘉規 / Masatoshi Kondo, Ryuhei Muto, Sota Hagiwara, Yoshiki Kitamura
(東京科学大学 / Institute of Science Tokyo)

実施機関担当者 / Person in Charge of ARIM

松尾 保孝, 遠堂 敬史, 鈴木 啓太, 吉田 すずか, 平井 直美, 森 有子, 大多 亮 / Yasutaka Matsuo, Takashi Endo, Keita Suzuki, Suzuka Yoshida, Naomi Hirai, Yuko Mori, Ryo Ota
(北海道大学 / Hokkaido University)

概要 / Overview

2050年頃のカーボンニュートラル社会の実現に向け、ゼロカーボン電源となる核融合炉（フュージョンエネルギー）や革新的原子炉の研究開発が国内外で加速している。こうした次世代エネルギーシステムの性能を最大限に引き出すためには、優れた伝熱特性を有する液体重金属を冷却材として活用した高効率なエネルギー変換システムの実装が重要となる。東京科学大学では、この液体金属冷却型エネルギー変換システムの信頼性向上を目指し、先進構造材料である氧化物分散強化型（ODS）FeCrAl合金を対象にして、液体重金属環境下における化学的共存性の解明に取り組んだ。北海道大学は、STEM/EDX等による先進構造材料の腐食組織ナノスケール評価や、材料が自己形成する表面保護膜の形態学的特性評価に関わる分析支援を行った。これらの連携研究により、高温液体重金属流動下で構造材料の腐食進行を抑制しうる保護性酸化被膜の構造的健全性とその特性を、世界に先駆けて明らかにした。

To achieve a carbon-neutral society around 2050, the research and development of fusion energy and innovative nuclear reactors as zero-carbon power sources are accelerating worldwide. To fully exploit the performance of these next-generation systems, highly efficient energy conversion technologies using liquid heavy metals with excellent heat transfer properties are essential. At Science Tokyo, we investigated the chemical compatibility of oxide dispersion strengthened (ODS) FeCrAl alloys under extreme liquid-metal environments to improve the reliability of liquid-metal-cooled systems. Hokkaido University supported nanoscale characterization and morphological analysis of self-formed protective oxide layers via STEM/EDX. Through this collaborative research, we successfully identified for the first time the structural integrity and protective characteristics of Al-rich oxide films capable of suppressing corrosion progression under flowing high-temperature liquid metal conditions.

ゼロカーボン電源としてのフュージョンエネルギー

Fusion energy as zero-carbon power

高効率なエネルギー変換システムの信頼性向上を目指す

核融合炉や革新型原子炉においては、優れた伝熱特性を有する液体重金属流体(PbやBiを主成分とする低融点合金)を冷却材として利用することが検討されている。構造材料との化学的共存性を高めることにより、システムの信頼性を大幅に向上させることが可能である。本研究では、ODS-FeCrAl合金が自己形成する厚さ約1 μmのアルミリッチ (Al-rich) な保護性酸化被膜が、液体重金属環境下における化学的共存性の向上に大きく寄与することを、STEM/EDXなどによるナノスケール分析によって明らかにした。

苛酷環境に耐える保護性酸化被膜の構造特性とは

Realizing the structural properties required for protective oxide films

成長しながら構造的に安定化し密着性を向上させる被膜

液体重金属を冷却材とするエネルギー変換システムには、およそ30年のサービスマンが要求される。熱力学的に安定な保護性酸化被膜により腐食反応を平衡条件で抑制するためには、破壊や剥離に対する耐性とといった被膜の構造的安定性が重要な要因となる。Al-richな保護性酸化被膜は、微細なアンカー・ベグ状構造を発達させることで、極めて優れた密着性を示すことを、マイクロスクラッチ試験とナノスケール分析を組み合わせることで明らかにした。

