

MHD 圧損低減用電気絶縁被覆へ入射する 反跳金属原子の輸送計算

Transport calculation of recoil metal atoms injected into MHD insulating coatings

田中照也¹⁾、近田拓未²⁾、佐藤文信³⁾、八木重郎⁴⁾、菱沼良光¹⁾、吉野正人⁵⁾
T. Tanaka¹⁾, T. Chikada²⁾, F. Sato³⁾, J. Yagi⁴⁾, Y. Hishinuma¹⁾, M. Yoshino⁵⁾

¹⁾核融合研、²⁾静大、³⁾阪大、⁴⁾京大、⁵⁾名大
NIFS¹⁾, Shizuoka Univ.²⁾, Osaka Univ.³⁾, Kyoto Univ.⁴⁾, Nagoya Univ.⁵⁾

緒言: 核融合炉内に設置された材料の表面には、中性子との弾性散乱や核反応によって運動エネルギーが付与された隣接する材料中の原子（反跳原子）が入射し続けることになる。この反跳原子の材料中での飛程は μm のオーダーであるが、現在の先進液体金属冷却ブランケットにおけるMHD圧力損失（電磁ブレーキ効果）低減を目的としたセラミック電気絶縁被覆の開発研究では概ね $1\sim 10\mu\text{m}$ の被覆厚みを想定しており、その影響を調べておく必要がある^[1]。セラミック被覆に隣接して存在することになる液体金属や金属構造材料から入射してくる反跳金属原子の量と被覆内における分布を放射線輸送計算コードPHITSにより評価した。

計算: 液体Liトリチウム増殖/冷却材に直接接しているセラミック被覆（図1(a)）、及び、Li増殖/冷却材との間に厚み $10\mu\text{m}$ 程度の純Fe表面層（被覆のクラックへの液体金属の侵入防止^[2]、耐腐食^[3]が目的）を設けたセラミック被覆（図1(b)）を模擬した平板計算体系に対して、ブランケット第一壁におけるエネルギースペクトルを模擬した中性子を入射させ、セラミック被覆層に入射してくる反跳金属原子の分布を調べた。濃度については、反跳金属原子が材料中で位置を変えずに蓄積すると仮定し、ブランケット構造材である低放射化フェライト鋼の照射損傷が 100dpa (displacement per atom) に達する7.5年運転後の値を計算した。

結果: 14MeV 中性子照射下において増殖/冷却材中から生じる反跳Liの最大エネルギーは 6.9MeV となり、セラミック被覆候補材料である Y_2O_3 、 ZrO_2 、 Al_2O_3 、 Er_2O_3 中における飛程は $9\sim 10\mu\text{m}$ となる。図2(a)に7.5年運転中に Y_2O_3 被覆にLi増殖/冷却材から入射する反跳Liの分布を示す。表面において原子数濃度は約14%となっている。一方、Li増殖/冷却材と Y_2O_3 被覆の間に厚み $10\mu\text{m}$ 程度の純Fe表面層を設けた際には、反跳LiのFe中における最大飛程が $6.9\mu\text{m}$ であるため、反跳Liのセラミック被覆への入射を防ぐことが出来る。その代わりに反跳されたFeが最大エネルギー約 1.0MeV で

入射し、 Y_2O_3 中における飛程は約 $0.6\mu\text{m}$ となる。図2(b)に示すようにセラミック被覆表面において、7.5年の運転中にその濃度は約12%となる。主要な反跳原子としては、濃度は低いもののFeの(n, α)反応で生じるCrも最大エネルギー 2.4MeV で反跳され、 Y_2O_3 中では最大 $1.3\mu\text{m}$ の飛程を持つ。

これら反跳金属原子のセラミック被覆中における挙動、及び、電気絶縁性能に対する影響について調べていく計画である。

(本研究は科研費基盤(B)22H01209により実施している)

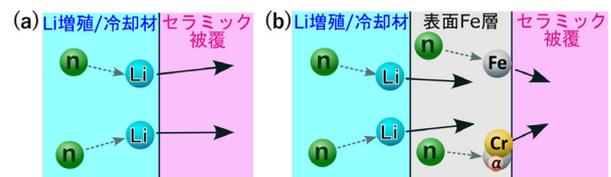


図1. (a) Li 増殖/冷却材からセラミック被覆、(b) Fe 表面層からセラミック被覆への反跳原子入射

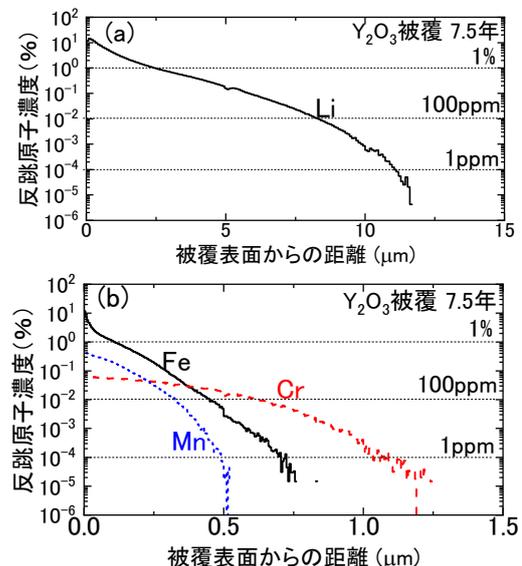


図2. (a) Li 増殖/冷却材から入射する反跳 Li 原子及び(b)純 Fe 表面層から入射する反跳 Fe、Cr、Mn (Fe の(n,p)反応で生成) 原子の分布

[1] T. Tanaka et al., submitted to Journal of Nuclear Materials.

[2] H. Hashizume, Fusion Engineering and Design 81 (2006) 1431–1438.

[3] R. Norizuki, et al., Fusion Engineering and Design 168 (2021) 112438.