

高損傷率領域における材料研究 Material Research of High Damage Region

長谷川晃

Akira Hasegawa

東北大・金研

IMR, Tohoku University

原型炉以降の核融合炉においては、他のエネルギー源との競合に打ち勝つために、低コスト化や高効率性が求められる。実用炉では用いる核融合反応によって炉の基本構成や設計も大きく異なり、核融合プラズマに面する機器を構成する材料の選択も大きく変わってくる。議論が発散することを避けるため本発表では現在のD-T反応を使った炉における低コスト・高効率・放射性廃棄物の低減という条件に絞って、原型炉以降における材料の選択と材料研究の課題を検討する。

D-T反応を用いた核融合炉の特徴は、核融合反応で発生したエネルギーの約80%が中性子によって運ばれることである。発生した14MeVの中性子は閉じこめの磁場に影響されることなくプラズマを取り囲む容器全体に入射し、そのエネルギーをトリチウム(T)増殖と熱エネルギーの発生に使って、最終的には炉のどこかの材料の原子に吸収され、消滅する。大雑把に言えば、核融合反応で発生した中性子の数だけ放射性核種が発生し、また中性子が材料中の原子との弾性衝突などでエネルギーを失う過程では、中性子1個あたり約10万個のはじき出し原子を発生させる。これらは発生後の時間の経過によってもなって消滅したり再構成されるなどして徐々に蓄積していく。この時発生したエネルギーはブランケットを構成する機器の材料を発熱させ、その熱は冷却材に吸収され、炉外に取り出され発電に供される。これらは主には炉を構成する中性子の遮蔽体より内側の機器全体で起こる過程と考えてよい。いわゆる中性子の壁負荷は、影響を受ける機器全体のことを表した数値ではなく、機器に入射する中性子のプラズマ対向面の面積あたり入射する14MeVの中性子の数に相当する数値である。

一方、核融合プラズマからの輻射熱や低エネルギーのDやTそしてHeなどのイオンはプラズマに面する機器（プラズマ対向壁）材料の極表

面近傍にその運動エネルギーを熱として与えることになる。これが表面熱流束であり、対向壁の機器中を流れる冷却材がそれを炉外に取り出しにその熱を利用することになる。熱流束はまさにその機器表面の単位面積あたりの入射エネルギーである。核融合炉のコンパクト化と高効率化における材料の課題については、この中性子の壁負荷と表面熱流束の壁負荷の数値の意味とそれが影響する部位と機器、それが材料に与える影響が異なることを認識しておく必要がある。

使われる機器の材料選択には、その機器が使われる環境が重要な要素である。求められる強度や健全性は構造材としての重要な因子であり、使用される温度や使用期間、その供用期間中の温度履歴、使用雰囲気（真空中か、ガス中か、液体に接しているか）も考慮しなければ材料を選択することはできない。経済性を考えると、その材料生産のための工業的背景や製造のコストも重要な因子となる。現在の原子力エネルギーの主体となっている核分裂炉の場合、全く経験のないエネルギー取り出し装置として既存の材料を使って実験炉や原型炉を作る一方で、その炉を運転しながら各材料の健全性を確認し、改良を加えつつ原子炉のシステムを作り上げてきた。現在は原子炉の老朽化や事故を考えてさまざまな対策がとられて来ている。この背景の下で核融合炉は放射性物質であるトリチウムを大量に使用し、発生する中性子により全体が放射化することから、放射性物質の閉じこめについては原子炉と同等以上の安全性が求められる。原子炉をめぐるさまざまな事故を経験した現代においては、事故時の対応によっては核融合炉そのものが否定される事態にもなりかねない。本講演においては、高効率化・低コスト化を目指しつつ、原型炉以降において着実に安全性を担保していくための材料開発の現状と諸課題について紹介する。