

## 審査の結果の要旨

氏名 吳宣伶

酸化物分散強化鋼（ODS 鋼）は、nm スケールの酸化物微粒子を鉄鋼母相中に分散させ高温強度と耐照射性を著しく向上させた新材料であり、核融合実証炉の第一壁ブランケット構造材料の候補とされている。現在、製造技術開発、材料開発だけでなく照射損傷をはじめとした材料の環境劣化に関する基礎研究が盛んにおこなわれている。本研究では、電子照射その場観察実験により ODS 鋼中の酸化物微粒子に対する照射影響に関する研究を行った。本論文は以下に示す 7 章から構成されている。

第 1 章では、研究背景として核融合炉の開発状況をまとめ、構造材料が暴露される環境因子について整理した。

第 2 章では、核融合炉の第一壁ブランケット構造材料としての ODS 鋼に関する既往の開発成果、研究成果と課題をまとめ、研究の目的を導出した。ODS 鋼中の酸化物微粒子の照射挙動については多くの研究がなされているものの、未だ統一された見解が無く課題が多いことを指摘し、系統的な実験による機構解明の必要性を導いた。そして、照射条件（放射線種、エネルギー、温度）を精密に制御したその場観察実験が求められると結論し、研究の目的を設定した。

第 3 章では、金属および合金の照射損傷に関する古典的知見から最新知見を調査した。近年の分析技術の進展に伴い照射損傷の新しい知見が得られており、機構も精緻化している。本章ではこれらを整理し、本研究目的に基づき新材料へ適用したときに考慮すべき素過程とその検証に必要な事項について明らかにした。

第 4 章では、本研究で用いた実験方法について記述した。まず本研究で対象とした 12Cr-ODS 鋼についてその製造法をまとめた。本研究目標の達成には超高压電子顕微鏡を用いた高温電子照射その場観察実験が必要であることから、試料作製法および超高压電子顕微鏡法についてまとめた。また最近、当研究グループで開発した収束電子ビーム照射法について概要をまとめた。

第 5 章では、高温電子照射その場観察実験結果を記述し、さらに実験結果に

対する考察を行った。収束電子ビーム照射法は試料中の点欠陥（特に空孔）分布を制御することによって、指向性を有する点欠陥拡散を励起する手法である。そして、照射により酸化物微粒子が不安定化し、特に拡散が強く励起された条件において酸化物微粒子の収縮と消滅が顕著に生じることを見出し、その温度依存性と拡散励起効果を詳細に実験、解析した。酸化物微粒子は短期的にはランダムに成長と収縮を繰り返し、長期的に収縮、消滅の途をたどる。そして、このランダムなサイズ変化の過程が照射の初期に典型的な事象であることを見出した。さらに、結晶成長の古典論であるオストワルド成長理論の適用性について詳細に検討し、nm程度のサイズや結晶性を考慮した修正が必要であることを指摘した。また指向性を有する点欠陥拡散の励起の有無に対してサイズ変化の様相が依存することを初めて見出した。

第6章では、高温電子照射その場観察実験結果のうち、個々の酸化物微粒子に着目し、その形状変化や粒子中の転位の安定性についてまとめた。高分解能電子顕微鏡法を適用し、電子照射下における格子像その場観察実験を行った。そして、1.25MeV電子照射条件下において酸化物中の転位に相当するコントラストが変化し、転位の運動に起因するものであることを確認した。さらにその結果として酸化物微粒子の形状が徐々に変化することを見出し、転位の運動の結果として微粒子/母相界面において原子ステップが形成され、ここが起点となって酸化物構成元素の母相への流出の可能性を指摘した。

第7章は結論であり、本論文の成果および今後の研究課題の方向性について述べた。放射線照射下においてODS鋼中の点欠陥分布に偏りが形成される粒界などの界面近傍において指向性を有する点欠陥拡散が励起され、酸化物微粒子の不安定化が生じるという機構を提唱した。

以上、本研究は核融合炉第一壁ブランケット構造材用ODS鋼の照射耐性について詳細なその場観察実験を行い、照射下における粒子の安定性をモデル化することに成功したものであり、原子力工学の発展に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。