

審査の結果の要旨

氏名 陳 東鉞

原子炉内構造物の健全性を担保するための材料特性評価には、実機使用経験の蓄積と古典的な計算物理学が活用されてきた。近年、新たな実験手段の出現と第一原理計算により、そのメカニズム解明と原子炉システムの高経年化対策に資する評価モデル構築は新たな発展の段階を迎えている。本論文はこれらを踏まえて、オーステナイト系ステンレス鋼を対象とした実験及び計算機シミュレーションを行い、微視的欠陥生成と添加元素効果を解明した一連の研究成果を取りまとめたものであり、全7章で構成されている。

第1章は序論であり、原子炉を構成する機器及び材料の経年劣化管理に関する考え方や劣化予測手法開発の現状と課題を取りまとめ、高経年化対策のための知識ベースに寄与するために、照射誘起整合析出物を形成しうる添加元素の役割を解明する意義と研究の目的を提示している。

第2章では、モデル合金の組成とイオン照射条件の選定について述べ、適用した実験手法の特徴をとりまとめている。

第3章ではイオン照射された試料での微小ドット状欠陥の形成と積層欠陥ループ形成へのシリコン添加効果実験の成果を詳細に議論している。特に透過電子顕微鏡でのRELROD法を適用して、イオン入射面からの深さの関数として微小欠陥データを把握することによって、シリコン添加が積層欠陥ループの形成と成長の双方を抑制することを見出すなど、シリコン添加量、照射量及び温度の影響を明らかにしている。

第4章はシリコンを含む析出物形成過程とループ形成の関係について論じている。レーザー誘起3次元アトムプローブ法をイオン照射試料に適用して、ニッケルとシリコンの原子比が3を保つ微小な γ' 型整合析出物が形成されることを見出し、その形成条件を温度と照射量のマップとして整理している。またその形状は球状であることを明らかにし、モリブデンやマンガン等の不純物が析出物中に含まれないことを確認している。さらに高温や高い照射量では、整合析出物が成長しかつシリコン含有量のみが増加することを見出すなど、多くのオリジナルな研究成果を得ている。

第5章では第一原理計算手法を用いて、 γ' 型整合析出物においてはニッケル原子がシリコン原子に置換するプロセスがエネルギー的に生じうることを示し、実験的に見出した析出物形成メカニズムを検証している。

第6章は、以上に基づいた微視的な欠陥種個々の貢献度を定量的にマクロな材料強度変化を説明するモデル化について検討しており、イオン照射試験の制約を適切に取り扱うことによって定量的なモデル構築に成功している。

第7章は本論文の結論であり、今後の研究課題についても提案を行っている。

以上を要するに、本論文はオーステナイト鋼内で照射誘起整合析出物を形成しうるシリコン添加のメカニズムを最新の実験手法を適用して解明するとともに、これを計算科学的手法によって検証することに成功するなど、原子力用材料学並びに原子炉システム長期運転に係る総合工学に寄与するところが大きい。

以上から、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。