

## 審査の結果の要旨

氏名 村上 健太

本論文は、軽水炉の長期使用に伴う安全性の評価において、最も重要な圧力容器胴部の照射脆化を取り上げている。特に照射脆化に影響を与える多くの因子のうち、わが国の照射脆化予測において、今後詳細なマイクロメカニズムを扱う必要が生じる可能性のある物理過程を抽出し、その因子による影響を、他の因子と切り分けて精緻に実験的に測定することによって知見を拡充し、もって照射脆化法の持続的な発展に寄与することを、目的としている。論文は全5章から構成されており、第1章は原子力安全における材料研究の役割を整理するとともに、原子炉圧力容器の経年劣化事象としての照射脆化について、システム安全の観点の重要性をとりまとめ、研究の目的を提示している。

第2章では、照射脆化に関する課題を基礎的な観点から抽出することにも、3次元アトムプローブ法やメカニズムに基づいた照射脆化予測手法の高度化の進展を概観するとともに、実験研究によって明らかにすべき課題を整理している。

第3章では、原子炉圧力容器鋼中の照射欠陥移動に伴う溶質原子の影響を取り上げ、極低温のイオン照射試験によって格子欠陥の濃度を評価するための電気抵抗測定法を手法として確立している。その上で、同実験手法を純鉄に適用して、その照射欠陥の挙動を電気抵抗の回復曲線から同定できるように、先行研究との比較検討をしている。さらにこの上で、鉄にニッケルとマンガンを加えたモデル合金に対して、同様の実験手法を適用している。この結果、ニッケルとマンガンの添加効果は、格子間原子の長距離の拡散を促進することと、空孔の実質的な移動活性化エネルギーを増加させることを見出している。さらに鉄-ニッケル-マンガンの3元合金に関する実験から、ニッケルとマンガンの重畳効果によって溶質原子クラスタが形成され、マトリクスから溶質原子が失われたことを見出している。このクラスタは、格子間原子の移動によって核形成し、さらに空孔型の溶質原子拡散がその成長に寄与していることを明らかにしている。さらにシリコンの添加効果についても検討を行い、シリコンはニッケルとマンガンの双方に入れ替わって溶質原子クラスタ形成を促進する効果があることを解明した。また、鉄-ニッケル-シリコンの3元合金では、空孔が移動を開始する290K以上での急激な電気抵抗率の低下が生じ、析出物が形成されうることを見出した。

第4章は、イオン照射材料に対する多数微小押し込み試験を実用合金系に対して適用し、マイクロ組織発達に対する材料の $\mu\text{m}$ オーダーの不均一性が照射による硬化減少に及ぼす影響を明らかに

している。この結果、銅含有量の高い鋼板では、照射硬化が試料の位置によって不均質に生じることが明らかになった。さらに、照射量依存性に二段階で照射硬化があることを硬さ分布曲線の詳細な解析から明らかにしている。一方、銅含有量を 0.01wt.%程度まで低減させた鋼材では、このような二段階効果は観測されないことから、銅を多く部組む溶質原子クラスタの形成、成長過程がと関連していることを明確に提示することに成功している。

第5章は結言であり、本研究の成果を3つに分けてとりまとめている。

以上のように、本研究では、銅を含まずニッケルとマンガンを含む溶質原子クラスタ形成に係る溶質原子の移動形態、溶質原子クラスタ発達に対するシリコンの効果をマイクロメカニズムの観点から明らかにするのみならず、メゾスケールの材料不均質さが、異なる照射量依存性を示すことを定量的に示すことに成功しているおり、マイクロ組織の形成に基づいた照射脆化の予測手法高度化に大いに寄与する成果を得ている。

この成果は、原子力工学、特に原子力プラントの構造材料経年劣化に関する学術に寄与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。