

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 沖田 泰良

放射線環境に置かれる構造用材料の特性変化を示す指標として、放射線から移行したエネルギー量あるいは積算線量が用いられている。固体物質のはじき出し損傷が形成される場合には、格子欠陥はマトリックス中において拡散し相互作用するため、積算線量のみではなく、照射時間あるいは線量率（損傷速度）を含めて材料特性変化を評価する必要がある。また、構造用金属材料における損傷速度の影響を解明することは、長期間の中性子照射を受ける原子力プラント構造材料の健全性評価を行う上でも極めて重要な事象である。実証的データのない材料挙動予測には、材料試験炉など高損傷速度の照射場を用いた加速試験によりデータが獲得され、主として積算線量によるスケーリングが行われてきたが、マイクロ組織発達過程では損傷速度の影響が大きいため、損傷速度の影響をマイクロ組織ベースで明らかにし、加速試験結果から低損傷速度での材料挙動を予測するモデル開発が求められている。本論文は、このような背景のもとに、1) 同一の高フラックスの試験炉で二桁以上損傷速度を変えた照射試験に基づいて、損傷速度の相違がマイクロ組織発達過程に及ぼす影響の評価を行い、2) 損傷速度の影響を取り入れたモデル化のためのマイクロ因子を抽出して、3) 損傷速度の影響を取り入れたマイクロ組織発達モデルの構築を行っている。

本論文の第1章では、以上のような研究の背景と目的を述べている。

第2章では、本研究における実験方法についてまとめている。特にオーステナイト鋼モデル合金を用意し、米国の高速実験炉 FFTF の炉心中心とその上部および下部の7つのキャニスターにおいて、1及び2サイクルの中性子照射を行うことによって、損傷速度が  $8.9 \times 10^{-9}$  から  $1.7 \times 10^{-6}$  dpa/sec の間での試験をデザインしている。

第3章では、基本的なモデル合金のマイクロ組織発達過程に及ぼす損傷速度の影響について、膨大な実験成果をまとめている。低損傷速度では格子原子型積層欠陥ループの成長が促進され、比較的 low 損傷量からアンフォールトが起こり、ネットワーク転位を形成することを明らかにした。さらに格子間原子をより多く吸収するシンクとしての転位密度が、低損傷速度で促進されることを定量的に示している。また低損傷速度では、キャビティ形成及び成長が促進され、低損傷量からスエリングが促進されることを明らかにした。以上から、定常スエリングに至るまでの潜伏線量は損傷速度の影響が非常に強く、ほぼ1乗に比例して低損傷速度で短くなることを見出している。

第4章では、Ti を添加したオーステナイト鋼モデル合金における損傷速度の影響をまとめている。低損傷速度ではキャビティ成長が促進され、スエリングが低損傷量から増加するが、定常スエリング率 1%/dpa は、損傷速度によらず一定であることを示している。また、同一損傷速度で比較すると、Ti を添加することでキャビティ数密度は大きく減少しキャビティ径は増加するなど、マイクロ組織発達過程では大きな相違が観察されるが、Ti を添加してもスエリング潜伏線量は損傷速度のほぼ 1 乗に比例し、低損傷速度で短くなることを示している。

第5章では、損傷速度の影響を考慮したモデル構築に重要なメカニズムを取り上げて検討している。キャビティ成長率の損傷速度依存性を実験的に評価することによって、モデル合金におけるキャビティに流入する点欠陥流束は、損傷速度の  $1/2$  乗に比例することを明らかにした。これから、点欠陥消滅の主な機構が再結合であることを解明し、点欠陥のランダムな 3 次元拡散による再結合ではなく、高速中性子によるカスケード損傷から直接形成された格子間原子集合体の非常に速い 1 次元拡散に起因すると結論づけている。またキャビティへの点欠陥流束を評価し、キャビティにもサイズに依存するバイアス因子が存在することを明らかにした。さらに、単位損傷量あたりの点欠陥流束が損傷速度の  $-1/2$  乗に比例することを見出し、損傷速度を取り入れた指標として、点欠陥流束が優れたものであることを示している。

第6章では、損傷速度の影響をとり入れた転位組織発達モデルを構築している。特に、低損傷速度において転位ループのアンフォールトが促進されることでネットワーク転位組織発達が促進され、他の転位上昇運動の障害物となる現象を取り入れたモデル構築に成功し、転位ループのアンフォールトが最も起こりやすい損傷量は損傷速度の  $1/2$  乗に比例して低損傷速度で低く、また、アンフォールトによって生成するネットワーク転位密度は損傷速度の  $-1/2$  乗に比例して低損傷速度で高いことを示した。さらに、極低損傷速度でのモデル計算と実験値の比較により、転位ループが他の転位に接触せずにアンフォールする自己アンフォールト機構の重要性を指摘している。

第7章では、本論文の主要な結論をまとめている。

以上を要するに、長期間の材料特性変化評価モデル構築のためのマイクロメカニズムを、線量率効果の観点から実験的に明らかにして定量モデルを構築することに成功しており、システム量子工学研究並びに高経年化システム保全工学研究に寄与するところが多大である。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。