

京都大学	博士 (工 学)	氏名	堀 木 幹 夫
論文題目	オーステナイト系ステンレス鋼の照射損傷初期過程の研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>原子力材料の中でもオーステナイト系ステンレス鋼は重要な合金の1つである。本論文は、実用合金のオーステナイト系ステンレス鋼に含まれる添加元素の耐照射特性を調べるために、fcc 金属であるニッケルを基準として Fe-Cr-Ni 3 元系、種々の添加元素を加えた 5 元系、7 元系等ステンレス鋼のモデル合金及び実用合金を用いて、核分裂中性子、核融合中性子及び 30 MeV の電子線照射により導入された、ボイドスウェリング潜伏期間における欠陥構造を、透過型電子顕微鏡法と陽電子消滅分光法により詳細に調べたものである。</p> <p>第 1 章は序論であり、オーステナイト系ステンレス鋼の特性及び過去の研究についてまとめるとともに、本論文の目的を述べている。</p> <p>第 2 章では本論文で用いた実験手法、試料の作製、照射実験と照射後特性試験について説明している。</p> <p>第 3 章では中性子照射された微小点欠陥集合体の、超高圧電子顕微鏡を用いた電子線再照射による型判定法を提案した。また本判定法と従来の透過型電子顕微鏡像から得られる形状やコントラストを用いた判定法との比較により、従来の方法の有効性と限界を明確にした。提案した判定法を、本論文における Fe-Cr-Ni やその他の合金中の微小点欠陥集合体の型判定や種類の識別に応用した。</p> <p>第 4 章では中性子照射下の Fe-15Cr-16Ni の欠陥蓄積過程とその照射温度依存を調べた。そのために、透過型電子顕微鏡観察可能な試料を照射して観察した薄膜試料照射実験と、照射後に試料を研磨して透過型電子顕微鏡観察したバルク試料照射実験との比較を行い、衝突カスケードから直接形成される損傷構造についての情報を得た。即ち、薄膜試料の照射結果から、原子空孔型点欠陥集合体である積層欠陥四面体がカスケードの中心に生じ、格子間原子はカスケード領域から放出され自由移動点欠陥として振る舞うこと、バルク試料の照射結果から、原子空孔型点欠陥集合体は低い温度 (< 573 K) では SFT として存在し、高い温度 (> 573 K) ではボイドとして存在すること、格子間原子型点欠陥集合体は調べた全ての温度 (373—773 K) で転位ループとして存在することを明らかにした。473 K の照射により衝突カスケードから直接生成した点欠陥集合体は、薄膜試料とバルク試料で照射量の 0.7 及び 0.8 の累乗に比例してそれぞれ増加することを見出した。一方 573 K での照射では、低い照射量では点欠陥集合体は観察できなかったが、高い照射量では点欠陥集合体を観察した。これらの結果は、低温においては積層欠陥四面体が衝突カスケードから直接形成し、高温においては原子空孔がカスケード領域から放出されることを示していた。薄膜試料での積層欠陥四面体の数密度のデータから、衝突カスケードから直接形成された点欠陥集合体のサブカスケード・エネルギーを 135 keV と評価した。この高いサブカスケード・エネルギー値は透過型電子顕微鏡で観察出来ない原子空孔型の点欠陥集合体の存在を強く示唆した。</p> <p>第 5 章では Fe-15Cr-16Ni とニッケル及びチタン添加改良 316 鋼の中性子照射損傷構造を比較して、添加元素の影響を調べ、この 3 種類の金属では欠陥蓄積過程が非常に異なっていることを見出した。即ちニッケルでは比較的低温から格子間原子型転位ループが転位に発達し、積層欠陥四面体の消滅が 573 K 程度で起こった。Fe-15Cr-16Ni では</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	堀 木 幹 夫
<p>転位ループから転位への発達が比較的遅く、573 Kでは積層欠陥四面体とボイドの共存を観察した。チタン添加改良型 SUS316 鋼では点欠陥集合体の成長が極めて抑制されていた。ニッケル及び Fe-15C-16Ni における転位ループの発達は定性的には、フランク・ループ及び完全転位ループの形成エネルギーの差によって解釈できた。ニッケルにおいてはカスケード領域からクラウディオン型の転位ループが完全転位ループとして離脱した後、フランク・ループに変換することなく直接転位に発達する可能性を示唆する結果を得た。</p> <p>第 6 章ではオーステナイト系ステンレス鋼及びそのモデル合金の点欠陥蓄積過程と添加元素の影響を、陽電子消滅寿命測定法を有効に利用して、透過型電子顕微鏡の分解能以下の微小点欠陥集合体を検出することで解明した。オーステナイト系ステンレス鋼における合金元素の効果は、363 K で照射した試料よりも 573 K で照射した試料で顕著であった。ニッケルに対してマンガンとモリブデン、シリコン、チタン及び炭素のボイドスウェリング抑制効果を検出した。炭素を含む商業用オーステナイト系ステンレス鋼のボイドスウェリングの潜伏期間が、金属炭化物の形成と成長、マトリックス中の炭素の浄化に起因することを明白にした。</p> <p>第 7 章では結論として本論文の成果をまとめるとともに、他の合金系への適応について述べている。</p>			

氏名	堀木幹夫
----	------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、重要な原子力材料の1つである、オーステナイト系ステンレス鋼に含まれる添加元素の耐照射効果を調べるために、fcc 金属であるニッケルを基準として Fe-Cr-Ni 3 元系、添加元素を加えた 5 元系、7 元系等のステンレス鋼のモデル合金及び実用合金を用いて、核分裂中性子、核融合中性子及び 30 MeV の電子線照射により導入されたボイドスウェリングの潜伏期間における欠陥構造を、透過型電子顕微鏡法と陽電子消滅分光法により詳細に研究したものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. 中性子照射された微小点欠陥集合体の、超高压電子顕微鏡を用いた電子線再照射による型判定法を提案し、従来の透過型電子顕微鏡像から得られる形状やコントラストを用いて決定する方法の有効性と限界とを明確にした。この方法を本論文における Fe-Cr-Ni やその他の合金中の微小点欠陥集合体の同定に用いた。

2. 中性子照射下での Fe-Cr-Ni の欠陥蓄積過程の照射量依存及び照射温度依存を明らかにした。原子空孔型点欠陥集合体は低い温度 (<573 K) では積層欠陥四面体として存在し、高い温度 (>573 K) ではボイドとして存在した。格子間原子型点欠陥集合体は、調べた全ての温度領域(373—773 K)で転位ループとして存在した。この照射温度領域における点欠陥集合体の、核形成と成長の関連を明らかにした。次に Fe-Cr-Ni とニッケル及びチタン添加改良 316 鋼の中性子照射損傷構造を比較して、ニッケルを基準として添加元素の影響を解明した。

3. 各種のオーステナイト系ステンレス鋼における合金元素の効果は 363 K で照射した試料よりも、573 K で照射した試料で顕著であった。ニッケルに対してマンガンとモリブデン、シリコン、チタン及び炭素のボイドスウェリング抑制効果を検出した。炭素を含む商業用オーステナイト系ステンレス鋼のボイドスウェリングの潜伏期間が、金属炭化物の形成と成長、マトリックス中の炭素の浄化によることを明白にした。

以上のように本論文は、オーステナイト系ステンレス鋼の中性子照射損傷における基本的問題を解明するとともに、これまで知られていなかった新しい事実を明らかにしたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年2月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。