HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	高速増殖炉用オーステナイト系ステンレス鋼におけるボイド欠乏帯観察を用いた照射点欠陥移動エネルギーの定量的評価に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	関尾, 佳弘
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13638号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74082
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yoshihiro_Sekio_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　関尾 佳弘

審査担当者　主　査　准教授　坂口 紀史
副　査　特任教授　鵜飼 重治
副　査　教　授　橋本 直幸

学位論文題名

高速増殖炉用オーステナイト系ステンレス鋼におけるボイド欠乏帯観察を用いた照射点欠陥移動エネルギーの定量的評価に関する研究
(Study on Quantitative Evaluation of Vacancy Migration Energy by Observation of Void Denuded Zone in Austenitic Stainless Steels for Fast Breeder Reactor)

本研究は、耐スエリング特性を有する高速増殖炉用オーステナイト系ステンレス鋼被覆管の開発を有効に進めていくうえで、スエリング抑制に有効な添加元素の効果及び高 Ni 化の効果を、照射点欠陥挙動の定量評価を通して明らかにすることを目的として実施されたものである。この照射点欠陥挙動の定量化の手法として、オーステナイト系ステンレス鋼において照射により粒界近傍に誘起されるボイド欠乏帯に注目し、照射点欠陥の拡散係数及び濃度の関数として表されるボイド欠乏帯の解析式を通して、これらの照射点欠陥挙動パラメータ (特に空格子の移動エネルギー、拡散係数、濃度、移動度) を数値化する手法を採用した。この定量化手法を用いてスエリングに及ぼす添加元素の効果や高 Ni 化の効果を照射点欠陥挙動の観点から明らかにした。さらに、高速実験炉「常陽」で燃料集合体照射された PNC316 鋼に対しても中性子照射下での照射点欠陥挙動の定量化を行い、PNC316 鋼についても、中性子照射下における照射点欠陥挙動パラメータの数値化により、中性子照射下での PNC316 鋼の耐スエリング性能を示す重要な知見が得られた。

第 1 章では、これまでの高速炉開発の経緯や燃料被覆管開発の状況、開発方針及び課題を概説し、本研究の目的について述べた。特に、被覆管開発において、中性子照射中の材料挙動を把握することが困難であるため、これまでは照射後試験から照射中の点欠陥の挙動を定性的に予測する手段が用いられてきた。この点を課題と認識し、照射後試験からでも照射中の照射点欠陥挙動を定量的に捉えることが可能な手法を構築し、その定量評価を行うことを目的に掲げた。

第 2 章では、本研究に係る理論的な基礎情報として、諸々の照射誘起現象のメカニズムについて述べた。特に、照射により生成される過剰点欠陥の拡散や再結合消滅、内部シンクへの消滅等を通して誘起される諸現象について、その機構論を理論式を用いて概説した。

第 3 章では、照射点欠陥挙動パラメータを導出するための方法として、粒界近傍に形成されるボ

イド欠乏帯幅の解析式を導出し、ボイド欠乏帯の形成メカニズムやこれを用いた定量評価のための手法、さらにその検証を Fe-15Cr-15Ni モデル合金の照射試験により実施し、照射点欠陥パラメータを高い精度で数値化できることを確認した。本研究においてはボイド欠乏帯幅が最も重要な測定対象となることから、より正確なボイド欠乏帯幅測定のために考慮すべき事項についても検討した。

第 4 章では、SUS316L に微量添加元素を加えた鋼について、ボイド欠乏帯幅の解析に基づき照射点欠陥挙動パラメータを数値化した。本解析により、オーバーサイズ原子の導入により空格子濃度が増加する一方で、空格子の拡散係数及び移動度が低下することが数値的に示され、この移動度の低下がスエリング抑制の主因であることを定量的に示した。

第 5 章では、高 Ni 化した Fe-15Cr-xNi(x=15〜45 mass%) モデル合金について、ボイド欠乏帯幅の解析に基づき照射点欠陥挙動パラメータを数値化した。電子線照射及び中性子照射の双方の条件下において、いずれも高 Ni 化に伴い空格子濃度が低下する一方で、空格子拡散係数及び空格子移動度が増加することを定量的に示した。本研究において、空格子拡散係数の増加が空格子の移動エネルギー低下によるものであることを実験的及び理論的に示すことに成功した。

第 6 章では、高速炉燃料被覆管として使用されている PNC316 鋼について、ボイド欠乏帯幅の解析に基づき中性子照射下での照射点欠陥挙動パラメータを数値化した。中性子照射された PNC316 鋼におけるボイド核形成は点欠陥の再結合消滅が支配的な状況において生じることが示され、定常スエリングの抑制には、特に微量添加元素の効果が機能していることが確認された。これまで、中性子照射下における PNC316 鋼の照射点欠陥パラメータ (特に空格子移動エネルギーなど) を評価した例はほとんどなく、PNC316 鋼の良好な耐スエリング特性を説明する上で重要なデータをはじめて取得することができた。

第 7 章では、各章で得られた結論を総括するとともに、照射後微細組織観察を利用した照射欠陥挙動の定量化手法に関する今後の展望と課題を述べた。

これを要するに、照射点欠陥挙動パラメータを算出するための方法として、粒界近傍に形成されるボイド欠乏帯幅の解析式を導出し、ボイド欠乏帯の形成メカニズムやこれを用いた定量評価のための手法を用いて、各種ステンレス鋼や高 Ni 合金の照射点欠陥挙動パラメータを数値化に評価可能であることを実証し、照射後微細組織観察を利用した照射欠陥挙動定量化手法の確立に向けた学問の進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。