

Title	Studies on Evaluation of Strength and Fracture of Structural Materials in Nuclear Power Systems
Author(s)	黒田, 雅利
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42338">https://hdl.handle.net/11094/42338</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	黒田雅利
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第16248号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科原子力工学専攻
学位論文名	Studies on Evaluation of Strength and Fracture of Structural Materials in Nuclear Power Systems (原子力発電システムで使用される構造材料の強度・破壊評価に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 山中 伸介  (副査) 教授 桂 正弘 助教授 宇埜 正美

### 論文内容の要旨

本論文は、原子力発電プラントの構造健全性を評価する目的で、原子力発電システムで使用されるジルカロイ、圧力容器鋼、ステンレス鋼、炭素鋼などの構造材料の強度・破壊評価に関する研究成果をまとめたもので、以下の五章から構成されている。

第一章では、序論として原子力発電プラントでの重大事故を防止する観点から、構造健全性評価の必要性を記述し、軽水炉型原子力発電で現在問題となっている疲労や腐食、水素脆化等の事象について概観している。

第二章では、阪神・淡路大震災のような大地震発生時における原子力発電システムの構造健全性を保証するために、極低サイクル疲労特性を支配する力学因子を、実験ならびに有限要素法解析結果から明らかにしている。また、極低サイクル疲労寿命を予測するために、新たに累積損傷モデルを提案し、そのモデルから予測される疲労寿命は実験結果と良く一致することを示している。さらに、表面改質を模擬した有限要素法解析を行い、極低サイクル疲労域を含む低サイクル疲労寿命は、表面改質により向上する可能性を示している。

第三章では、反応度事故を想定した際のジルカロイ燃料被覆管の健全性を評価する目的で、水素吸収ジルカロイ被覆管に対して有限要素法解析および破壊力学解析を行い、解析結果から予測される被覆管の破壊挙動およびバースト圧力は、日本原子力研究所で行われた実験結果と良く一致することを示している。

第四章では、軽水炉型原子力発電プラントの余寿命評価のために、漏洩磁束センサーにより圧力容器鋼、ステンレス鋼、低炭素鋼の残留応力・塑性変形・疲労損傷を非破壊で評価し、その結果漏洩磁束の変化と残留応力の変化との間には、理論・実験両面において相関関係が認められること、また漏洩磁束変化の分布状態に着目することにより、塑性変形と疲労損傷が評価可能であることを明らかにしている。これらの結果より、漏洩磁束測定は、原子力発電システムで使用される材料中の劣化を検出できる見込みのある非破壊評価法であるとの結論を得ている。

第五章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

### 論文審査の結果の要旨

重大事故を防止する観点から、原子力発電システムの構造健全性評価は必要不可欠である。原子炉材料は、炉内で

高温水環境下にさらされていることから、腐食・水素脆化が特に問題である。また、日本は大地震発生国であるため、原子力発電プラントにおける地震災害を防止するために、極低サイクル疲労特性を明らかにすることが重要である。さらに、通常30～40年とされている現在稼働中の軽水炉型原子力発電プラントの寿命を延長するために、経年劣化の程度を非破壊で精度良く検出する技術が求められている。以上の背景から近年、原子力発電システムで用いられる構造材料の強度・破壊特性を評価する必要性が増してきている。

本研究は、原子力発電プラントで使用されるジルカロイ、圧力容器鋼、ステンレス鋼、炭素鋼等の構造材料の強度・破壊評価に関する研究成果をまとめたものであり、主な成果は以下のように要約できる。

- (1)極低サイクル疲労特性を支配する力学因子は、有限要素法解析により推定した破壊起点部に負荷される相当塑性ひずみ幅であることが明らかにしている。また、本研究で新たに提案した累積損傷モデルから予測される極低サイクル疲労寿命は、実験結果と良く一致することを示している。さらに、表面改質を模擬した有限要素法解析の結果から、表面き裂型破壊を呈する領域で、極低サイクル疲労寿命が表面改質により向上する可能性を示唆している。
- (2)水素吸収ジルカロイ被覆管のバースト試験は、試験片断面が平面ひずみ状態となるような十分厚い板厚を有する平板試験片の静的引張試験として模擬可能であることを明らかにしている。また、有限要素法解析および破壊力学解析の結果から予測される水素吸収被覆管の破壊挙動およびバースト圧力は、日本原子力研究所で行われた実験結果と良く一致することを示している。
- (3)磁気センサーを用いて、圧力容器鋼、ステンレス鋼、炭素鋼の漏洩磁束を測定することにより、残留応力分布、塑性変形量、疲労損傷量が評価可能であることを明らかにしている。

以上のように、本論文は原子力発電プラントで使用される構造材料の強度・破壊評価に関して、非常に有益な知見を提供している。本研究で得られた知見は、原子力工学、機械工学、材料科学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。