

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	諸 煥日
論文題目	Stress Corrosion Cracking Behavior of Oxide Dispersion Strengthened Ferritic Steel in Supercritical Pressurized Water (超臨界圧水中における酸化物分散強化フェライト鋼の応力腐食割れ挙動)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、超臨界圧水中における酸化物分散強化フェライト (以下、ODS) 鋼の応力腐食割れ挙動を論じた結果をまとめたもので、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、まず、国際的なエネルギー資源の枯渇と二酸化炭素放出量の増大への対策として、原子力エネルギーの安全利用が効果的であり、高効率な核融合あるいは次世代原子力システムの実現には、高い性能を持つ革新的な構造材料の開発が不可欠であるとしている。次に、その候補材料として、京都大学にて開発された ODS 鋼の優れた材料性能に言及し、超臨界圧水を冷却材とする高効率原子力システムの実用化においては、ODS 鋼の応力腐食割れ (SCC) 挙動を明らかにしておく必要があると述べている。</p> <p>第2章では、これまでの研究を調査し、ODS 鋼を対象とした超臨界圧水中における SCC 挙動に関する研究が見当たらないこと、および水素が溶存する超臨界圧水中の SCC 挙動については、ODS 鋼はもちろん、他の候補材料に対しても研究されていないことから、本論文の目的を ODS 鋼の超臨界圧水中における各種水環境下における SCC 挙動を明らかにするとしている。</p> <p>第3章では、CrとAlをそれぞれ15%および4%含んだODS鋼の超臨界圧水中 (500°C、25MPa) におけるSCC挙動を明らかにすることを目的として、種々の環境 (窒素ガス脱気処理水、溶存水素水および溶存酸素水) 下において一定ひずみ速度試験 ($1 \times 10^{-3}/s \sim 5 \times 10^{-7}/s$) を実施した結果、ODS鋼は、いずれの環境下においてもSCC感受性を示さず、良好なSCC耐性を示すことを明らかにした。延性破断に伴う絞り部分においては、腐食によって表面に生じた酸化被膜にき裂が入るが、これらのき裂は変形・破壊挙動に影響を及ぼさないことを示した。一定ひずみ速度試験中にODS鋼の表面に形成された腐食生成物は、二層構造になっており、外層が hematite、内層がAlとCrを含む複合酸化物であることを明らかにした。</p> <p>第4章では、オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS316L) および低放射化フェライト鋼 (F82H) に対し ODS 鋼と同様の実験を行い、その SCC 感受性を評価した結果、SUS316L 鋼は、水環境によらず、いずれの環境下においても SCC 感受性を示し、核融合環境を想定した溶存水素 (0.4 ppm) 水環境下においては、粒界における SCC (IGSCC) 感受性を示すこと、および溶存酸素 (8 ppm) 水環境下においては、結晶粒内における SCC (TGSCC) 感受性を示すことを明らかにした。一方、F82H 鋼は、いずれの水環境下においても SCC 感受性を示さず、ODS 鋼に類似した試料表面酸化物のき裂に止まっていることを示した。</p> <p>また、超臨界圧水中 (500°C、25MPa) における表面酸化物の形成挙動を調べた結果、F82H</p>			

鋼はODSフェライト鋼やSUS316L鋼に比べ、腐食層の厚さが約1桁程度大きく、F82H鋼およびSUS316L鋼の腐食層は、いずれも Fe_2O_3 外層および $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{O}_4$ 内層の二層からなることを明らかにした。

第3章及び第4章の結果に基づき、鋼種や水環境によるSCC感受性の相違については、鋼表面に形成される腐食層の成分および鋼成分元素の表面偏析に依存することを明らかにし、Fe、Cr、AlやOの各種酸化物中の拡散速度およびMoやNiの積層欠陥エネルギーへの影響、ならびにBCC/FCC結晶構造の違いによる交差すべり頻度の相違に基づいて説明した。

第5章では、超臨界圧水中における変形・破壊挙動に及ぼす試験片形状および試料表面研磨状態の影響について調べた結果、SUS316L鋼およびF82H鋼においては、薄板状と丸棒状の試験片の間に顕著な相違は認められないが、ODS鋼においては、薄板状試験片では表面効果が顕著になり、酸化被膜の割れが変形・破壊挙動に影響を与えることを明らかにしている。また、切削加工面に対し、表面研磨の影響を調べた結果、表面研磨を施すことにより、ODS鋼の断面収縮率が低下することを明らかにした。前者は、形状変化に伴う試料断面周囲全長と試料断面積の比によって整理されることから、表面効果によるものであり、後者は、切削加工により発生した表面硬化層によるものと結論した。

第6章では、ODS鋼の真空中における変形・破壊挙動の試験温度およびひずみ速度依存性を調べ、超臨界圧水中における変形・破壊挙動と比較検討した。

第7章では、各章の結果をまとめ、ODS鋼は、超臨界圧水中におけるSCC感受性がSUS316L鋼に比べ顕著に低く、超臨界圧水を用いた発電プラントへの適用が期待できると結論している。

以上から、本論文は、核融合炉や次世代原子力システム用の構造材料として開発されているODS鋼の超臨界圧水中におけるSCC挙動を初めて明らかにするとともに、そのSCC耐性の機構を解明しており、これらの成果は、超臨界圧水プラント適用に向けたODS鋼の実用化に貢献するとしている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、核融合炉ブランケットおよび次世代原子力システムの構造材料としての応用が期待されている酸化物分散強化フェライト（以降、ODS）鋼の超臨界圧水中（500℃、25MPa）における応力腐食割れ（SCC）挙動を明らかにすることを目的としたものである。本論文では、種々の水環境（窒素ガス脱気処理水、溶存水素水および溶存酸素水）下において一定ひずみ速度試験を実施し、変形・破壊挙動をオーステナイト系ステンレス鋼（SUS316L）および低放射化フェライト鋼（F82H）と比較しながら、ODS 鋼の SCC 感受性評価について研究した結果をまとめている。得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) ODS 鋼および F82H 鋼は、いずれの水環境下においても SCC 感受性を示さず、良好な SCC 耐性を示すことが判明した。一方、SUS316L 鋼は、いずれの水環境下においても SCC 感受性を示し、超臨界圧水冷却方式を用いた核融合環境を想定した溶存水素水環境下において、より高い感受性を示すことが明らかとなった。
- 2) SUS316L 鋼における SCC の破壊様式は水環境に依存し、溶存水素水の環境下においては主に粒界型であり、溶存酸素水環境下では主に粒内型であることを明らかにした。
- 3) F82H 鋼は、ODS 鋼や SUS316L 鋼に比べ、超臨界圧水中における腐食層の厚さが約 1 桁程度大きいことを示した。F82H 鋼および SUS316L 鋼の腐食層は、いずれの鋼種においても hematite 外層および Cr-rich spinel 内層の二層からなること、一方、Al を含む ODS 鋼においては内層が Cr と Al を含んだ複合酸化物であることを明らかにした。さらに、腐食層の厚さは溶存水素・酸素量のみならず、腐食層の Al 成分に依存することを明らかにした。
- 4) SCC 感受性の鋼種あるいは水環境依存性の主要な支配因子は、鋼表面に形成される腐食層の成分および鋼成分元素の表面偏析であることを示した。成分元素の酸化物中の拡散速度および表面偏析した成分元素の積層欠陥エネルギーへの影響、ならびに結晶構造（BCC/FCC）の違いによる交差すべり頻度の相違に基づいて、SCC 感受性の鋼種あるいは水環境依存性を定量的・定性的に説明した。

以上、本論文は、核融合炉や次世代原子力システム用の構造材料として開発されている ODS 鋼の超臨界圧水中における SCC 挙動を初めて明らかにし、その SCC 耐性の機構を解明すると共に、超臨界圧水プラント適用に向けた ODS 鋼の実用化技術開発に寄与する重要な成果を与えている。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 8 月 28 日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第 1 4 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降