

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	HUANG Yen-Jui
論文題目	Effect of Dissolved-Hydrogen on SCC Behavior of Solution-Annealed 316L and 310S SS in Hot Water (溶体化処理した 316L 鋼および 310S 鋼の高温水中における応力腐食割れ挙動に及ぼす溶存水素の影響)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、溶体化処理を施した 316L 鋼および 310S 鋼の高温水中における応力腐食割れ (SCC) 感受性に及ぼす溶存水素の影響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、天然資源の少ない国々においては、原子力は基盤エネルギーの一つであり、脱 CO₂ に向けた原子力の安全利用が不可欠であると述べている。次に、現行の軽水炉の炉内構造物や将来の先進原子力システムの構造材料の健全性に関連して、応力腐食割れ (SCC) による構造物の劣化を取り上げ、SCC 発現機構の解明と SCC への耐性に優れた構造材料の開発が必要であると述べている。</p> <p>第 2 章は、従来の SCC 研究のまとめであり、316L 鋼の SCC 挙動や高 Ni 型 310S 鋼の環境脆化に対する耐性に関する従来の研究成果を調査し、溶存水素を含む高温水中における非鋭敏化オーステナイト系ステンレス鋼の SCC 挙動の理解やその発生機構の解明に向けた研究が必要であると述べている。</p> <p>第 3 章は実験方法であり、まず、高温水や超臨界圧水の循環ループの構成と水質管理の重要性について述べている。次に、低歪速度引張試験 (SSRT) 法の有用性と留意点について議論し、実験室規模の SCC 感受性評価においては、歪速度や応力負荷モードの検討が重要であると述べている。</p> <p>第 4 章では、溶体化処理を施した 316L 鋼の高温水 (288℃、7.8 MPa) 中における SCC 感受性を SSRT 法により評価し、高温水中に溶存酸素 (10 ppm) を含む場合、SCC は全く発現しないが、高温水中に溶存水素を含む場合は、溶存水素量の増大とともに変形後期において SCC が発現し易くなることを見出し、これを水素促進 SCC としている。また、この SCC は、粒界 (IGSCC) において発生し、変形とともに粒内 (TGSCC) へと伝播することを明らかにしている。次に、SCC 感受性の試験温度および溶存水素量依存性を室温から 288℃ および 0.01 ppm から 1.4 ppm の範囲において調べ、高温ほど表面酸化被膜厚さが厚くなり、試験温度の上昇と溶存水素量の増大とともに SCC 感受性が高くなることを明らかにしている。これらの挙動は、腐食反応速度、水素拡散速度および水素捕獲量の温度依存性を考慮し、SSRT 法における試験条件と SCC 感受性との相関性にに基づき、半定量的に説明されている。</p> <p>第 5 章では、まず、溶体化処理を施した 310S 鋼の溶存水素を含む高温水中における SCC 感受性を調べ、316L 鋼と比較し、310S 鋼の SCC 感受性が顕著に低く、316L 鋼が顕著な SCC を示した条件においても 310S 鋼は全く SCC を示さないことを見出している。次に、試験後</p>			

の材料表面における変形帯の形状や分布状態を詳細に観察し、316L 鋼においては交差すべり変形の頻度が低い、310S 鋼ではその頻度が高いことを明らかにしている。これらの実験結果に基づき、310S 鋼の優れた耐 SCC 特性の発現機構として、Ni が積層欠陥エネルギーを低下させることに着目し、310S 鋼中では転位の交差すべりが水素原子の凝集を抑制するため、SCC 感受性が低下することを提案している。さらに、310S 鋼の耐 SCC 挙動と耐水素脆化挙動との類似性および水素促進 SCC の発生機構について検討し、水素による材料表面での緻密な安定被膜形成の抑制ならびにき裂先端における臨界量以上の水素の存在が SCC の発現において重要であると結論している。

第 6 章では、316L 鋼および 310S 鋼の PWR 模擬環境（340℃、15.5 MPa）および超臨界圧水中（500℃、25 MPa）における SCC 挙動を調べ、340℃ではいずれの鋼も SCC 感受性が増大するが、500℃では SCC 感受性が低下することを明らかにしている。また、340℃においては高温水中の溶存水素量の増大とともに、IGSCC の発生頻度が顕著になることから、IGSCC の発現のためには臨界量以上の水素が粒界に偏析する必要があると結論している。一方、超臨界圧水中（500℃）で SCC 感受性が低下する原因として、高温におけるき裂先端での水素捕獲量の減少および超臨界圧水の電離度の低下を上げていることを示唆している。

第 7 章は、まとめと結論である。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、溶体化処理を施した 316L 鋼および 310S 鋼の高温水中における応力腐食割れ (SCC) 感受性に及ぼす溶存水素の影響について研究した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) 溶体化 316L 鋼の高温水中における SCC 感受性を低歪速度試験法により評価した結果、溶存酸素を含む高温水 (288°C、7.8 MPa) 中では SCC は全く発現しないが、高温水中に溶存水素を含む場合は溶存水素量の増大とともに SCC 感受性が增大することを見出し、これを水素促進 SCC とした。
- 2) SCC 感受性の試験温度および溶存水素量依存性を調べ、高温ほど表面酸化被膜厚さが厚くなり、試験温度の上昇と溶存水素量の増大とともに SCC 感受性が高くなることを明らかにした。また、これらの挙動について、腐食反応速度、水素拡散速度および水素捕獲量の温度依存性に基づき、半定量的に説明した。
- 3) 溶体化 310S 鋼と 316L 鋼の溶存水素を含む高温水中における SCC 感受性を比較した結果、310S 鋼は 316L 鋼に比べ SCC 感受性は顕著に低いことが判明した。また、試験後の破面と微小き裂近傍を含む変形帯の性状を詳細に観察し、316L 鋼においては交差すべりの頻度が低いが、310S 鋼ではその頻度が高いことを示した。310S 鋼の優れた耐 SCC 特性の発現機構として、Ni が積層欠陥エネルギーを低下させることに着目し、310S 鋼中では転位の交差すべりが水素原子の凝集を抑制するため、SCC 感受性が低下することを提案した。
- 4) PWR 模擬環境 (340°C、15.5 MPa) および超臨界圧水中 (500°C、25 MPa) における SCC 挙動を調べ、288°C に比べ 340°C ではいずれの鋼も SCC 感受性が增大するが、500°C では SCC 感受性が低下することを明らかにした。また、316L 鋼では高温水中の溶存水素量の増大とともに、粒界型 SCC の発生頻度が顕著になることから、粒界型 SCC の発現のためには臨界量以上の水素が粒界に偏析する必要があると結論した。

以上、本論文は、溶体化処理を施した 316L 鋼および 310S 鋼の溶存水素を含んだ高温水中における SCC 挙動を明らかにしており、得られた成果は、原子炉の炉内構造物の健全性評価やさらに耐 SCC 特性に優れた材料の開発において寄与するところが少なくない。

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 30 年 2 月 20 日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。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を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：平成 31 年 3 月 1 日以降