

課題名	原子炉圧力容器オーバーレイクラッドの劣化機構に関する研究			
参画機関	東北大学、(独) 日本原子力研究開発機構、JFE テクノリサーチ (株)			
事業規模	期間	平成 22 ~ 24 年度	総額	115 百万円
<p>【研究代表者】 永井 康介 東北大学 教授 (金属材料研究所)</p>				
<p>【研究概要】</p> <p>原子炉圧力容器は、内部に核燃料を格納する「お釜」であり、非常に高い健全性が要求される軽水炉の最重要コンポーネントの一つです。放射線環境下で高温高压水に曝されるという厳しい腐食環境から圧力容器を守るために、その内壁には厚さ 5mm 程度のステンレスが肉盛り溶接という方法によって内張りされています。これをオーバーレイクラッドと呼びます。オーバーレイクラッドが長期間高温に保たれ、放射線に曝された場合、内部ではナノメートルスケールの組織変化が生じ、耐食性などに影響を与える可能性が考えられますが、これまでは詳細を調べるのが難しく、十分に理解されていませんでした。</p> <p>本研究では、実物の圧力容器と同等の方法でオーバーレイクラッドを製作することから始め、3次元アトムプローブ法と呼ばれる最新の分析手法を用いて、様々な合金元素の分布の変化を詳細に調べました。その結果、δフェライト相と呼ばれる微細な網目状の領域で、クロムが 10 ナノメートル以下のスケールで大きな濃度揺らぎを示し、オーバーレイクラッドの機械的特性に影響を与えることなどを定量的に示しました。さらに、有限要素法による残留応力シミュレーション等を通じて、少なくとも 60 年の運転では耐食性に問題が生じないことを示しました。</p>				
<p>【その後の取り組み】</p> <p>本研究を進める上での大きな技術的な課題として、3次元アトムプローブ法で観察したい特定の微小領域を含む試料作製方法の確立がありました。本研究では、集束イオンビームというナノ微細加工が可能な装置にマニピュレータを導入し、自在に微細な試料作製が可能になりました。</p> <p>この方法は、上記のオーバーレイクラッドだけではなく、原子炉圧力容器本体（低合金鋼）の脆化機構、燃料被覆管（ジルカロイ等）や燃料支持板（オーステナイトステンレス鋼）などの照射劣化機構の研究にも適用され、すでに多くの成果を挙げています。さらに最近では、半導体デバイスの製造プロセスの改善など、原子力以外の分野にもこの方法が波及しつつあり、今後のさらなる展開が期待されています。</p>				



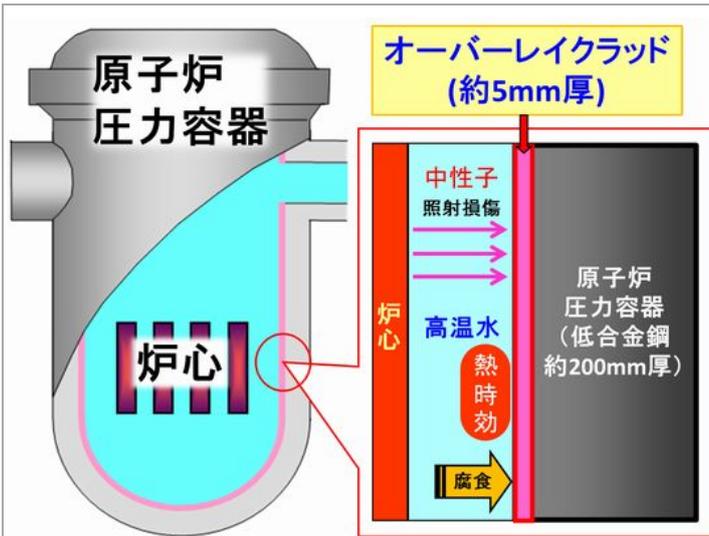


図1 原子炉とオーバーレイクラッド

オーバーレイクラッドは压力容器を腐食から守る重要な役割を担っています。

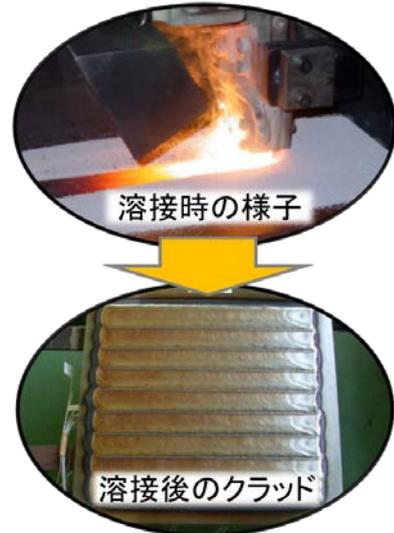


図2 オーバーレイクラッドの製作

実物の压力容器と同じ鋼板の上にオーバーレイクラッドを肉盛溶接しました。

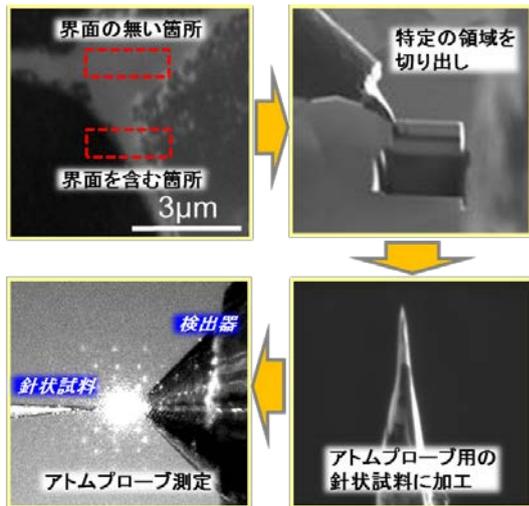


図3 アトムプローブ試料の作成

特定の狙った領域から試料を作成することで詳細な分析を可能としました。

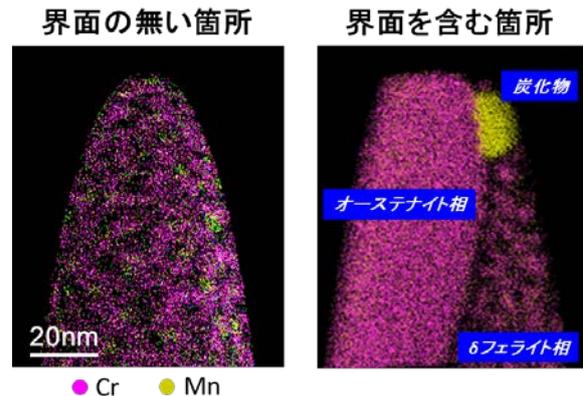


図4 アトムプローブで得られた元素マップ

クラッドの微細な組織がそれぞれ熱時効によってどのような変化をたどるのか明らかにしました。(左図： δ フェライト相、右図：オーステナイト相/ δ フェライト相/炭化物の界面)

代表的な 特許、論文 受賞など	<p>【発表論文等】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. T. Takeuchi, J. Kameda, Y. Nagai, T. Toyama, Y. Nishiyama, K. Onizawa, "Study on microstructural changes in thermally-aged stainless steel weld-overlay cladding of nuclear reactor pressure vessels by atom probe tomography", Journal of Nuclear Materials, 415 (2011) 198. 2. T. Takeuchi, Y. Kakubo, Y. Matsukawa, Y. Nozawa, Y. Nagai, Y. Nishiyama, J. Katsuyama, K. Onizawa and M. Suzuki, "Effect of neutron irradiation on the microstructure of the stainless steel weld-overlay cladding of nuclear reactor pressure vessels", Journal of Nuclear Materials, 443 (2013) 266. 3. T. Takeuchi, Y. Kakubo, Y. Matsukawa, Y. Nozawa, T. Toyama, Y. Nagai, Y. Nishiyama, J. Katsuyama, Y. Yamaguchi and K. Onizawa, "Effects of neutron irradiation on microstructures and hardness of stainless steel weld-overlay cladding of nuclear reactor pressure vessels", Journal of Nuclear Materials, in press.
	<p>【受賞】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 東北大学工学研究科量子エネルギー専攻 専攻長賞、2012年、鹿窪勇太、修士論文「3次元アトムプローブを用いた原子炉压力容器オーバーレイクラッドの熱時効および中性子照射によるナノ組織変化の解析」 2. 原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ 若手表彰、2013年、武内伴照