

## 事故時高温条件での燃料健全性確保のための ODS フェライト鋼燃料被覆管の研究開発(2) (3) 熱時効による $\alpha/\alpha'$ 相分離挙動

R&D of Fuel Cladding of ODS Ferritic Steel for Maintaining Fuel Integrity  
at Accidental High Temperature Condition (2)

### (3) $\alpha/\alpha'$ Phase Decomposition under Thermal Aging

\*木村 晃彦<sup>1</sup>、藪内 聖皓<sup>1</sup>、韓 文妥<sup>1</sup>、鶴飼 重治<sup>2</sup>、皆藤 威二<sup>3</sup>、鳥丸 忠彦<sup>4</sup>、林 重成<sup>5</sup>

<sup>1</sup>京都大学、<sup>2</sup>北海道大学、<sup>3</sup>原子力機構、<sup>4</sup>NFD、<sup>5</sup>東京工業大学

(12,15,18 wt%)Cr-(0,5,7,9 wt%)Al-ODS 鋼の 475°C熱時効に伴う強度特性（引張、硬さ）変化を調べた。12Cr-ODS 鋼においては、Al 添加量の増大に伴い 5000 時間までの熱時効硬化率（ $\Delta HV/HV_0$ ）が増大した。一方、18Cr-ODS 鋼においては Al 添加量の増大により熱時効硬化率が減少した。15Cr-ODS 鋼では複雑な Al 添加量依存性を示した。同程度の Cr 量でも、ODS 鋼は SUS430 鋼に比べ、熱時効脆化感受性が低い。

**キーワード**：燃料被覆管、酸化物分散強化鋼、相分離

#### 1. 緒言

燃料被覆管の高温水や高温水蒸気中における耐食性および耐酸化性の向上は、事故時の冷却水との反応速度を低下させ、水素発生を抑制するため、耐食性に優れた鉄基の燃料被覆管材料として、高 Cr-高 Al の ODS 鋼が提案されている。一方、一般に高 Cr 化は熱時効脆化が従来からの課題であり、高 Al 化の影響が懸念されている。本研究では、(12,15,18 wt%)Cr-(0,5,7,9 wt%)Al-ODS 鋼の熱時効に伴う強度特性（引張、硬さ）変化を調べ、Fe ( $\alpha$ )/Cr ( $\alpha'$ )相分離挙動に及ぼす Al 添加の影響を明らかにすることを目的とする。

#### 2. 実験方法

Cr および Al の濃度を変化させた 20 種類の ODS 鋼の受け入れ材から硬さ試験片（ $5 \times 7 \times 2 \text{ mm}^3$ ）、引張試験片（JSS3 型：平行部  $1.2 \times 5 \times 0.5 \text{ mm}^3$ ）を作製し、試料表面に機械研磨（エメリー紙、#500~2000 番）を施した。熱時効は、温度を 300°C、475°C および 700°C とし、試験片を真空（ $1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ）封入し、最長 1 万時間まで実施した。ビッカース硬さ試験を室温、負荷荷重 200g で実施した。引張試験は室温で行い、ひずみ速度を  $6.7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  とした。

#### 3. 結果

図 1 に各種 ODS 鋼、SUS430 (16Cr-5Al) 鋼および 15Cr-4Al-二元系合金を 475°C にて 5000 時間まで熱時効したときの降伏応力の変化（ $\Delta YS = YS_a - YS_0$ ）と伸びの変化（ $\Delta \epsilon = \epsilon_a - \epsilon_0$ ）の関係を示す。SUS430 鋼および 2 元系合金に比べ、ODS 鋼においては同じ硬化量でも伸びの減少が極めて小さく、時効脆化（引張伸びの減少）感受性の小さいことが判明した。TEM 観察の結果、酸化物粒子の表面に Cr が濃化していることが確認された。酸化物粒子による相分離の抑制機構および熱時効に及ぼす Cr 量および Al 量の影響について報告する。

本研究の一部は、文部科学省の原子力システム研究開発事業による委託業務として、国立大学法人北海道大学が実施した平成 25~26 年度「事故時高温条件での燃料健全性確保のための ODS フェライト鋼燃料被覆管の研究開発」の成果である。

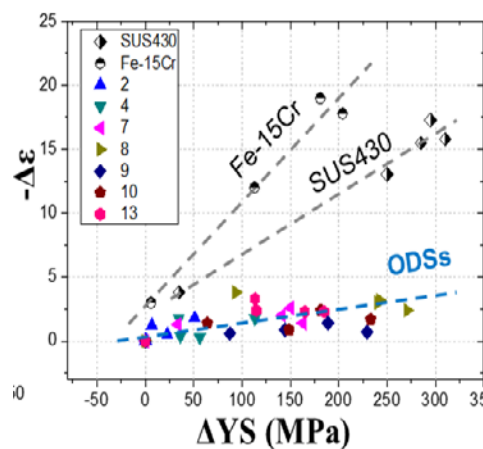


図 1: 時効硬化と伸びの変化の関係

\*Akihiko Kimura<sup>1</sup>, Kiyohiro Yabuuchi<sup>1</sup>, Wentuo Han<sup>1</sup>, Shigeharu Ukai<sup>2</sup>, Takeji Kaito<sup>3</sup>, Tadahiko Torimaru<sup>4</sup> and Shigenari Hayashi<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>Kyoto Univ., <sup>2</sup>Hokkaido Univ., <sup>3</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>4</sup>Nuclear Fuel Development, <sup>5</sup>Tokyo Institute Technology