

高温環境での機械強度に優れた 酸化物分散強化型（ODS）鋼

日本原子力研究開発機構
次世代高速炉サイクル研究開発センター
燃料サイクル技術開発部 燃料材料開発グループ

皆藤 威二

はじめに（鉄鋼材料の強化機構）

現実の鉄鋼材料は種々の欠陥を含み、その機械的性質は材料欠陥の1つである「転位」の動きやすさと関係あり。つまり、転位の動きを抑制することで強度の向上が可能

鉄鋼材料の4大強化機構（＝転位の動きを抑制する方法）＊

①**固溶強化**：固溶原子（合金元素や不純物元素）による強化

②**粒子強化**：第2相粒子による強化

└ 炭窒化物，金属間化合物等の析出物
 酸化物粒子 等

③**転位強化**：転位密度の増加による強化

④**結晶粒微細化強化**

＊）谷野 満，鈴木 茂、「鉄鋼材料の科学 鉄に凝縮されたテクノロジー」、内田老鶴圃（2001年）より

研究の背景（従来技術と問題点）

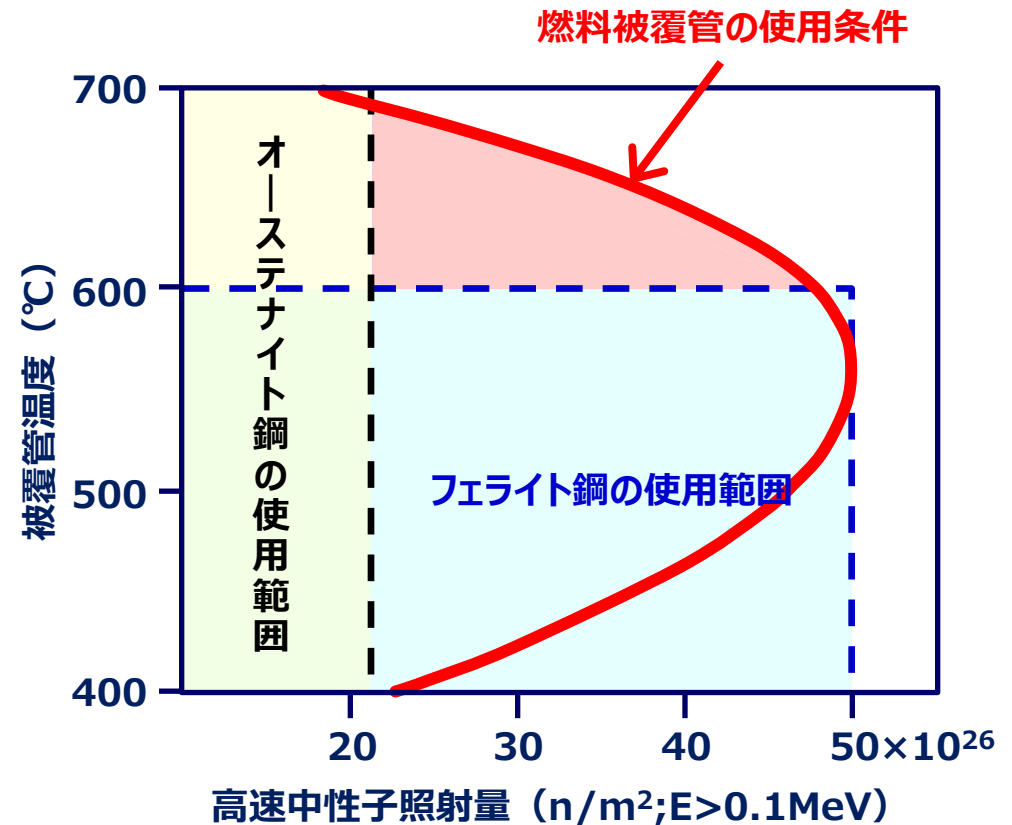
安全性・経済性に優れる高速炉の実現に向けて、

- 耐中性子照射特性
($\sim 50 \times 10^{26} \text{ n/m}^2; E > 0.1 \text{ MeV}$)
- 高温強度
($\sim 700^\circ\text{C}$)

に優れる燃料被覆管の開発が不可欠



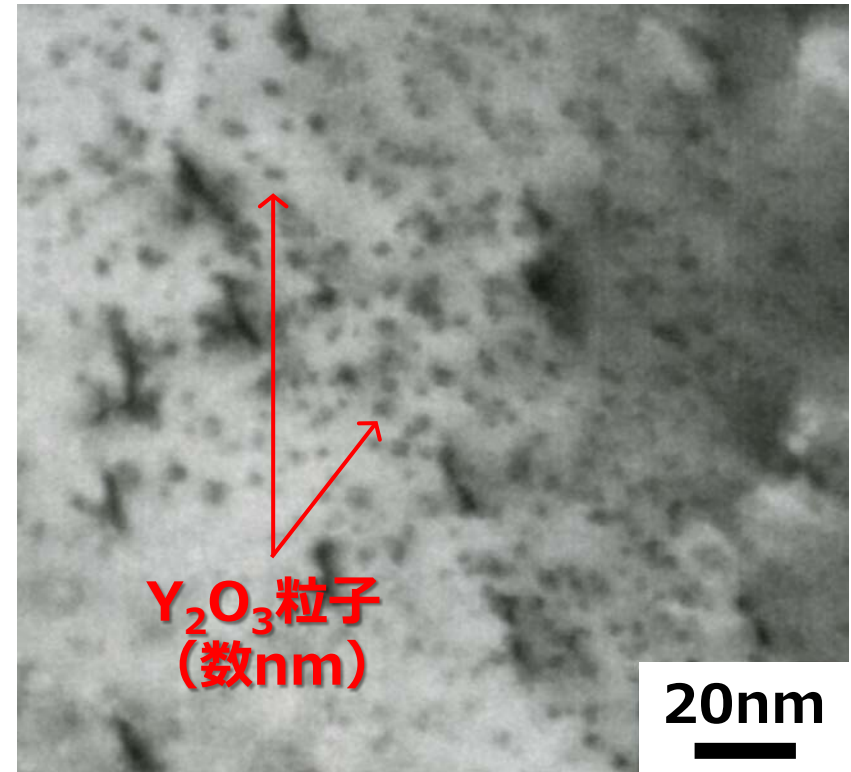
既存の材料では左記使用条件範囲をカバーしきれないため、
酸化物分散強化型（ODS）
フェライト鋼を開発



実用化段階の高速炉燃料被覆管の使用条件
(検討例)

ODSフェライト鋼の特徴

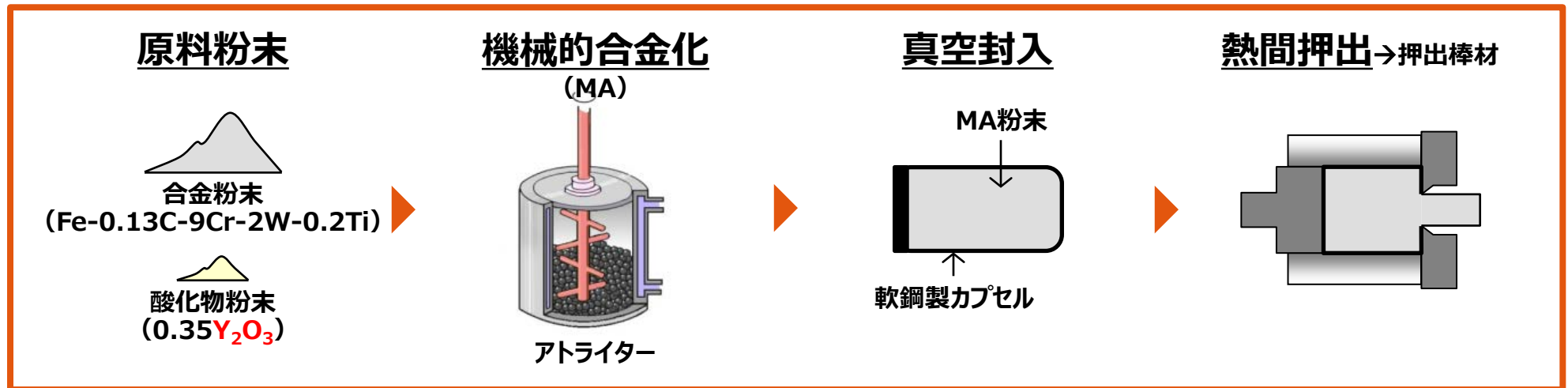
- 焼戻しマルテンサイトを主とする母相（基本組成：Fe-0.13C-9Cr-2W-0.2Ti）を選定
 - オーステナイト鋼に比べて、
 - ・ 優れた耐照射特性
 - ・ 低い熱膨張係数
 - ・ 高い熱伝導度
- 熱的に安定な酸化物（ Y_2O_3 ）粒子の微細分散により、基地組織を安定化
 - 高温・長時間環境下における強度特性の向上



ODSフェライト鋼の基本製造工程（1）

● 上工程（固化工程）

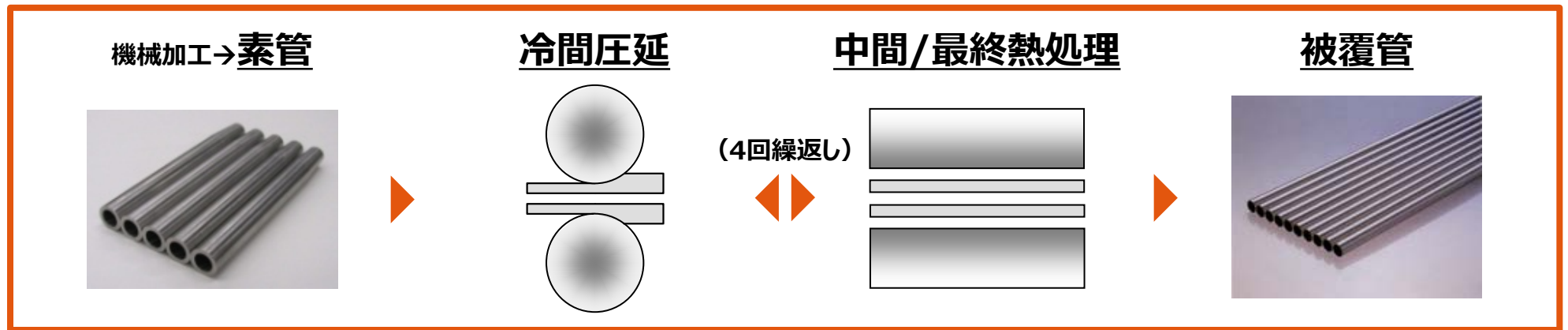
- Y_2O_3 粒子を微細かつ均一に分散させることがポイント
- 従来の溶解鑄造法では製造不可のため、機械的に合金化（メカニカルアロイング（Mechanical Alloying : MA））する粉末冶金法を採用
- 粉末を軟鋼性カプセルに充填・脱気した後、熱間押出により丸棒を製造



ODSフェライト鋼の基本製造工程（2）

● 下工程（製管工程）

- ・ 丸棒から機械加工により素管を製造
- ・ 冷間圧延により薄肉・細径管に加工

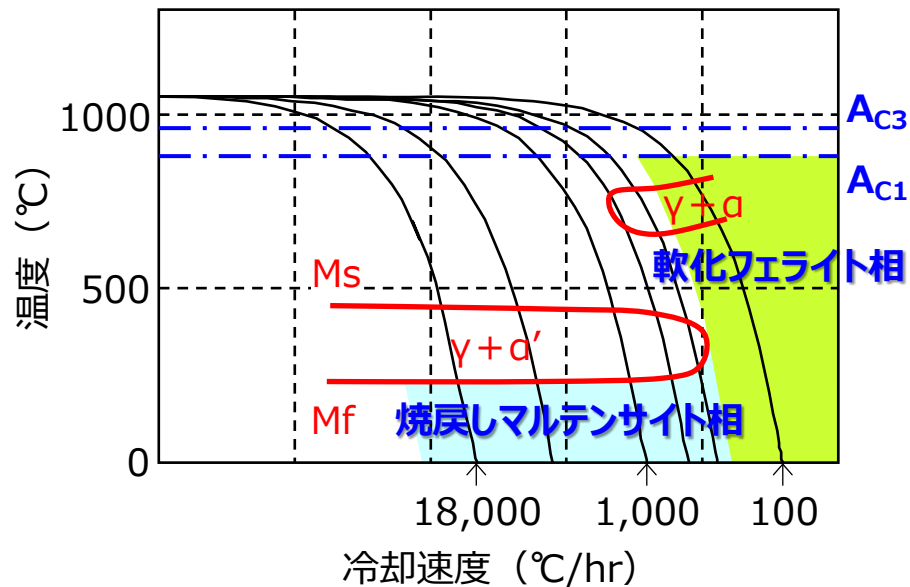


α/γ 相変態の利用により加工性を向上

A_{C3} 点を超える1050℃で熱処理を施した後、冷却速度150℃/hr程度で徐冷することで軟化フェライト相が得られる。

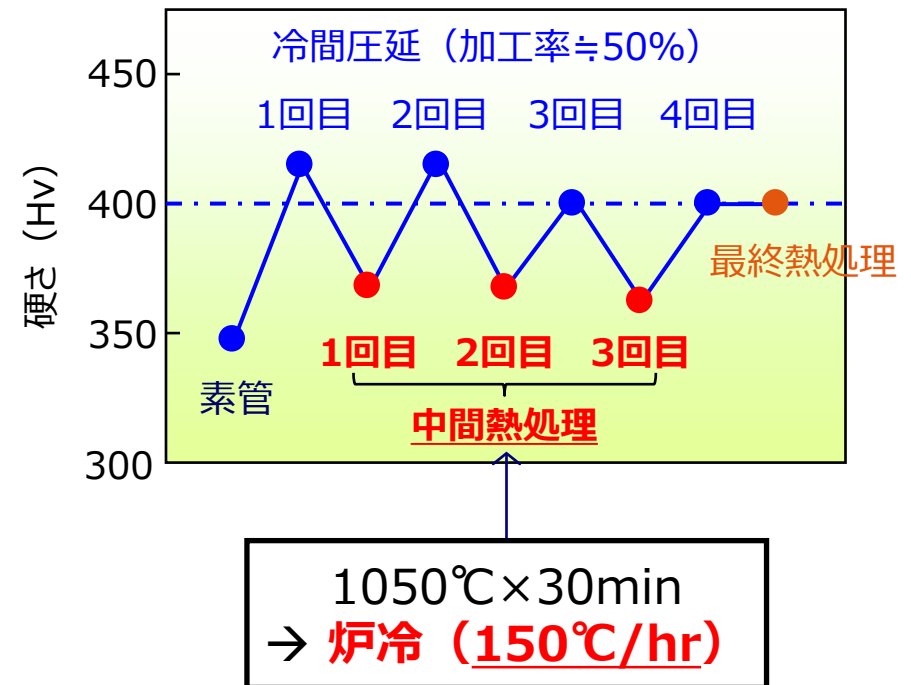
薄肉・細径管（肉厚0.4mm×外径6.9mm）の製造が可能

ODSフェライト鋼の基本製造工程 (3)

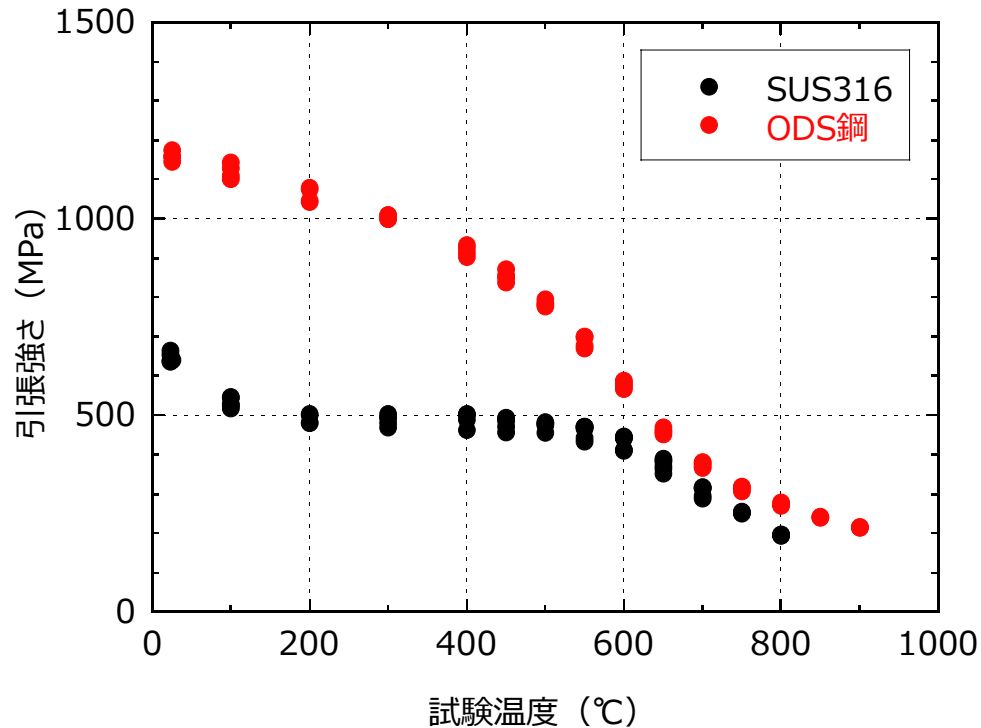


ODSフェライト鋼の 連続冷却変態 (CCT) 線図

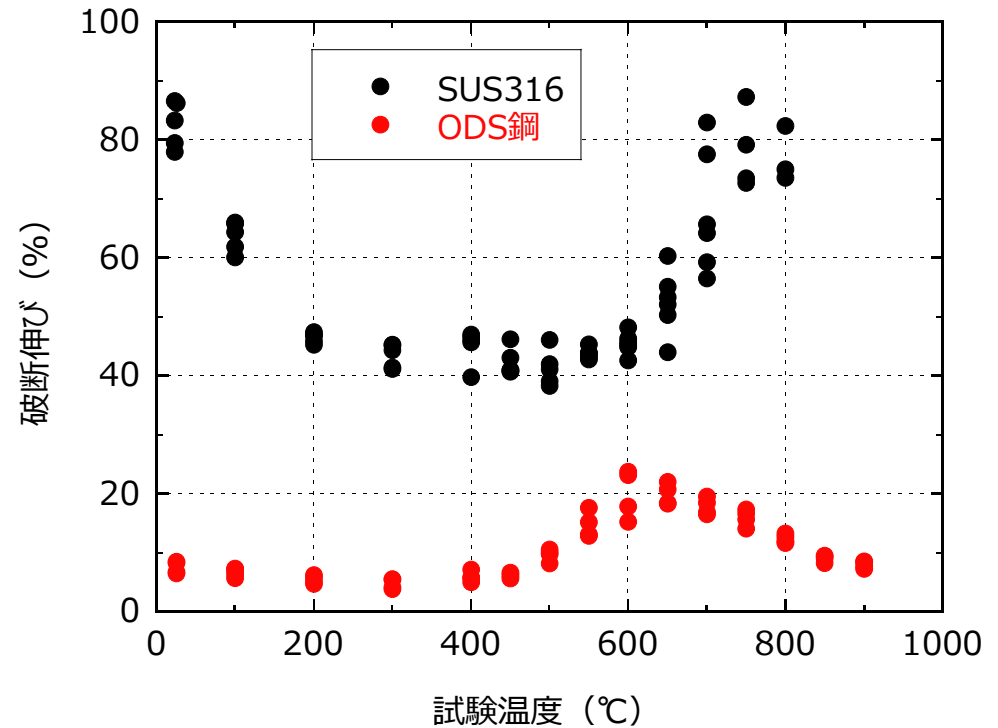
→ オーステナイト (γ) 領域からの冷却速度を遅くすることで
軟化したフェライト (α) 相が得られることに着目



ODSフェライト鋼の強度特性 (1)

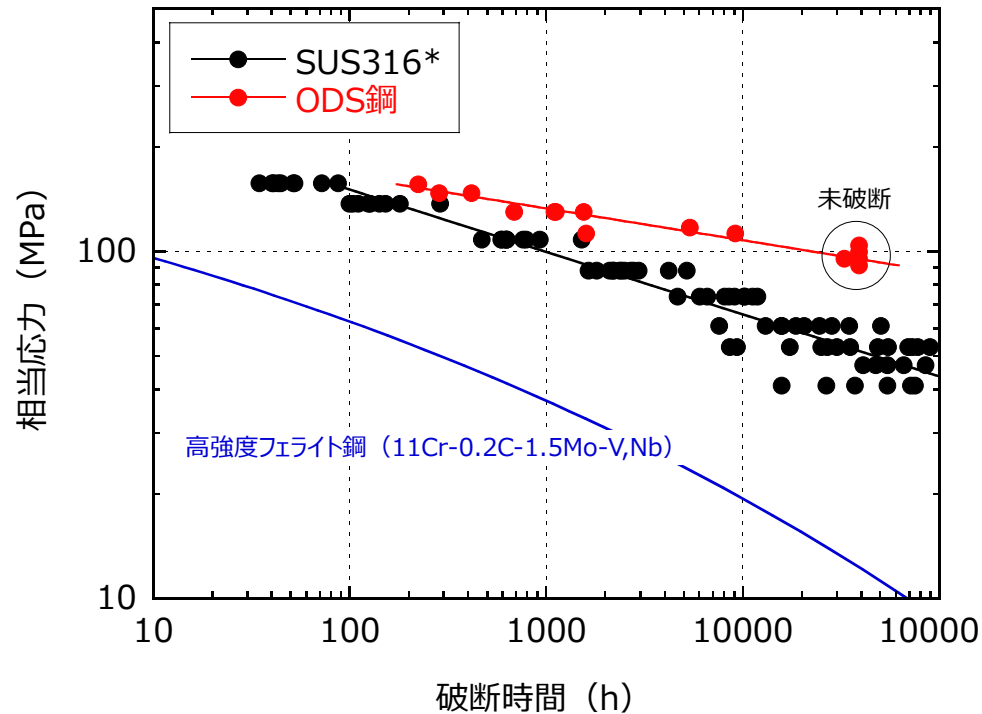


引張強さ



破断伸び

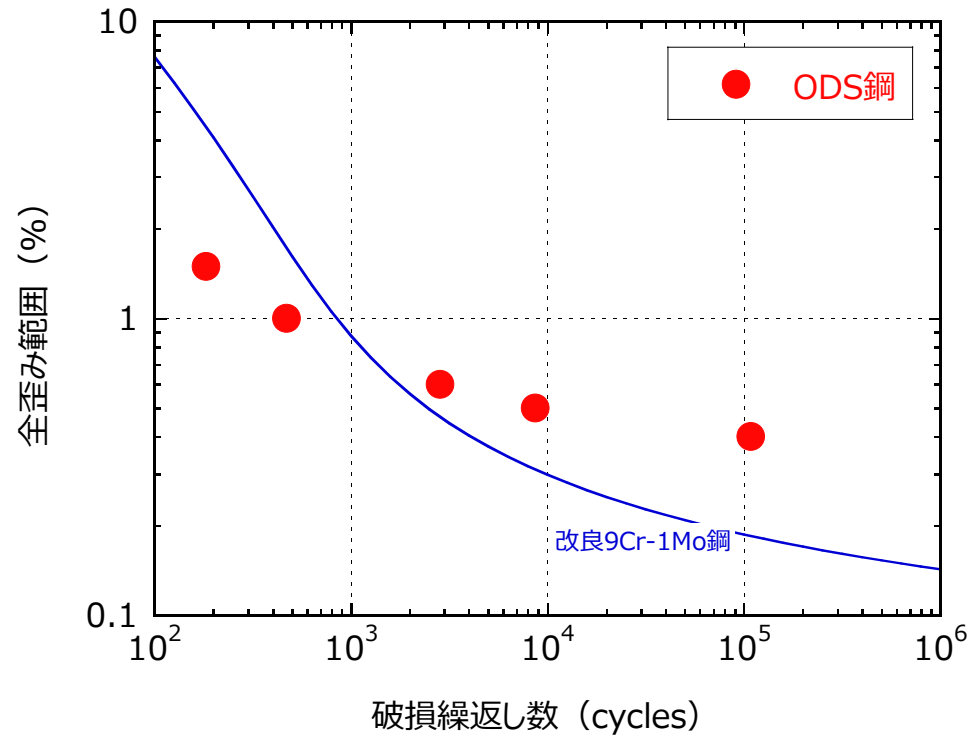
ODSフェライト鋼の強度特性 (2)



700°Cにおけるクリープ強度

*) SUS316のクリープ強度データは物質・材料研究機構の「クリープデータシートNo.6B」より引用

ODSフェライト鋼の強度特性 (3)



700°Cにおける疲労強度

ODSフェライト鋼の強度特性（まとめ）

- 原子力機構で開発したODSフェライト鋼（基本組成：Fe-0.13C-9Cr-2W-0.2Ti-0.35Y₂O₃）は、フェライト鋼で**世界最高レベルのクリープ強度，優れた疲労特性**を有する。
- 代表的なオーステナイト鋼であるSUS316と比べても**高温・長時間環境下において優れた強度特性**を有する。
- その他にも以下の特性を有する。
 - ・ 低い熱膨張係数
 - ・ 高い熱伝導度 等

実用化に向けた課題

- 量産技術開発

- ・ ODSフェライト鋼の基本的な製造技術はほぼ確立しているが、量産に向けた技術開発，装置整備が必要

- 想定される用途に適した加工技術開発

- ・ 冷間圧延による薄肉・細径管の製造は可能だが、冷間抽伸等による細径の線材への加工は未確認

- 接合技術開発

- ・ 強度加圧抵抗接合技術の開発を進めており、被覆管に端栓を接合する技術についてはほぼ確立しているが、接合の必要のない単体部品への適用を推奨