

委託研究「高温強度特性と耐照射特性を両立する先進構造材料の開発」 (研究開発テーマ：Ⅳ 放射線・放射線場を用いた材料科学技術の開発) 研究成果報告概要

研究開発の概要 (研究実施期間)

平成29年度～令和3年度

(目的)

核融合炉ブランケット構造材料として開発された低放射化ODS(Oxide Dispersion Strengthened)-F82H鋼の高温強度特性の再現性向上、つまり、大量製造時の特性安定化につながる組織因子を明らかにする。また、研究成果に基づいた青森県内産業への貢献を目指すために、ODS鋼の製造に重要な粉末冶金技術の中でも県内企業が得意とする材料製造技術を調査して、その適用性や将来性の見通しを得る。

(必要性)

ODS鋼は核融合炉のみでなく高速炉の燃料被覆管や軽水炉の事故時耐性燃料被覆管としての利用も考えられており、世界各国で研究が進められている。しかし、大量製造時の特性安定化のための要素技術開発の研究例は限られている。このため、ラボスケールでは優れた高温強度特性を発現できているものの、スケールアップを試みた際の特性再現性については満足できる現状ではない。このため、大量製造時の特性安定性の向上に注目した研究が必要である。

(新規性)

本研究は粉末冶金法を利用してODS鋼が製造されることに注目する、とりわけ、原料粉末の形状や大きさがODS鋼の材料特性に及ぼす影響に注目する。ODS鋼の製造技術に関するこれまでの研究は、化学組成、機械的合金化の条件、そして、熱処理条件に注目してきたものがほとんどである、原料粉末に注目するという本研究は新規のものである。

(独創性)

ODS鋼は酸化物粒子により分散強化されている、このため、その高温強度特性に大きく影響を及ぼす組織因子として酸化物粒子が注目されてきた。これに対して本研究は他にも影響を及ぼしている潜在的な組織因子があるものと考え、その一つとして原料粉末の形状や大きさに注目する。これは前例が限られる独創的なものである。

(有用性)

本研究により大量製造時の特性安定化につながる組織因子として原料粉末の形状や大きさの影響が確かめられれば、この成果に基いた製造技術の向上・発展が可能となる。これはODS鋼の実用化につながるものであり、有用なものである。

研究成果

原料粉末の形が材料組織と強度特性に影響を及ぼすことを解明

ODS鋼は優れた高温強度特性を持つが、その特性の再現性はまだ満足できる状況ではなく、特性に大きなばらつきがある。これは実用化に際して、大量製造時の特性安定性を損なう問題である。そこで本研究はこれまでの報告例が限られている原料粉末の形や大きさが高温強度特性に及ぼす影響に注目し、スモールパンチクリープ試験による高温特性の評価を行った。

試験の結果、原料粉末の形（扁平形）が焼結体の組織に異方性を生じ（図1）、この異方性を反映して、高温強度特性（クリープ特性）にも異方性が生じることが明らかとなった（図2）。これまでに原料粉末の形が材料組織と強度特性に影響するという知見はなかった。つまり、特性のばらつきの原因として原料粉末の形は考えられたことはなかった。本結果より、今後のODS鋼製作では、原料粉末の形や大きさ等を制御して組織制御することで、特性再現性の向上、つまり、実用化に向けた大量製造時の特性安定性の向上が大きく期待できる見通しを得た。

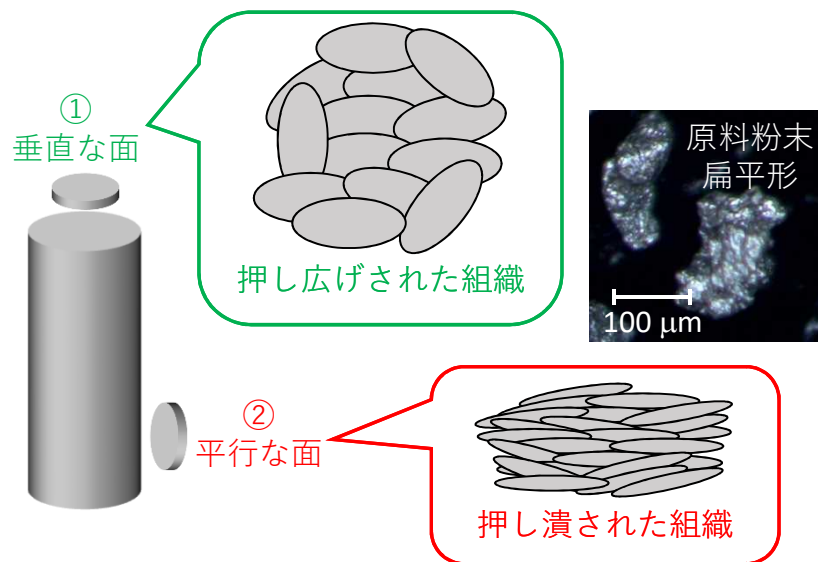


図1 原料粉末の扁平形を反映した異方性のある組織

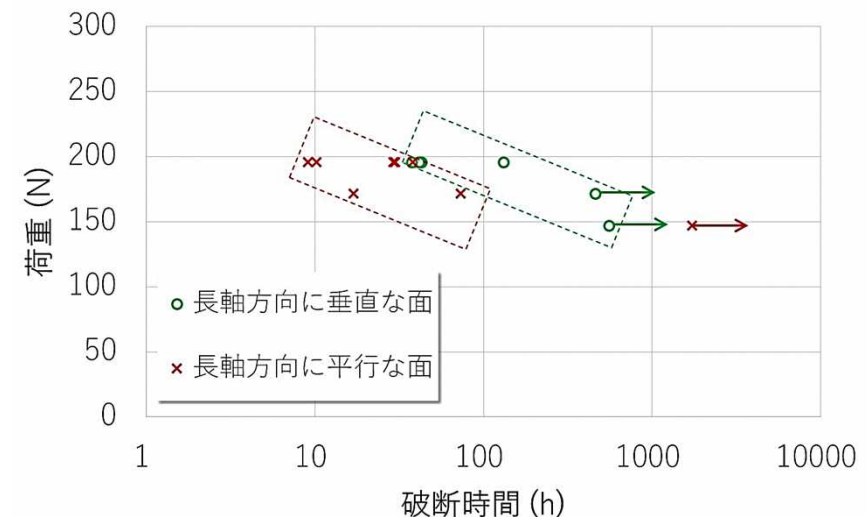


図2 スモールパンチクリープ特性の異方性

研究成果

旧粉末境界（原料粉末の表面）の影響を取り込んだクリープ破壊メカニズムの解明

原料粉末の形が高温強度特性（クリープ特性）にどのように影響を及ぼすのか、そのメカニズムに注目し破断前後の微細組織の特徴を整理した。

クリープ試験後の破断面観察の結果、焼結前に原料粉末の表面であった結合力の弱い旧粉末境界にクラックが発生して伝搬する様子を確認した（図3）。原料粉末の形状の異方性を反映して、焼結体中の旧粉末境界も異方性をもつ。この境界の数は焼結体の長手方向に平行な面の方が垂直な面よりも多い（図4）。このため、平行な面の方がクリープ破壊に至りやすいという異方性を招くことが考えられる。境界の結合力が弱い原因は、原料粉末表面に生成した酸化層や酸化物が焼結を妨げていることが考えられる。酸化物を生成しやすいアルミニウムやチタンが境界を覆っていること（図5）はこの考えを支持するものである。以上より、ODS鋼の原料粉末の形に起因するクリープ破壊メカニズムを明らかにした。

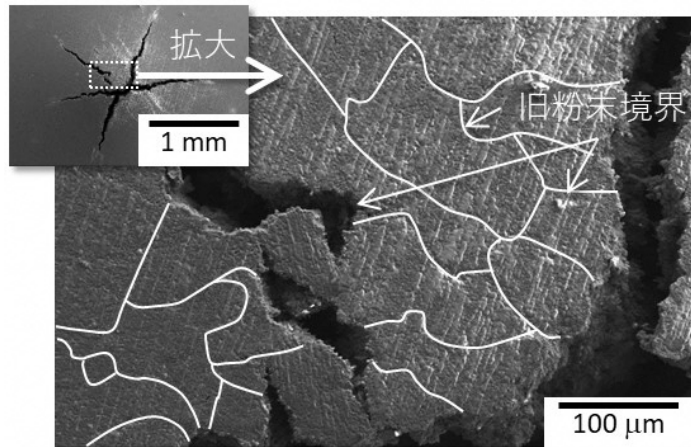


図3 クリープ破面での旧粉末境界上にクラックが発生して伝搬する様子

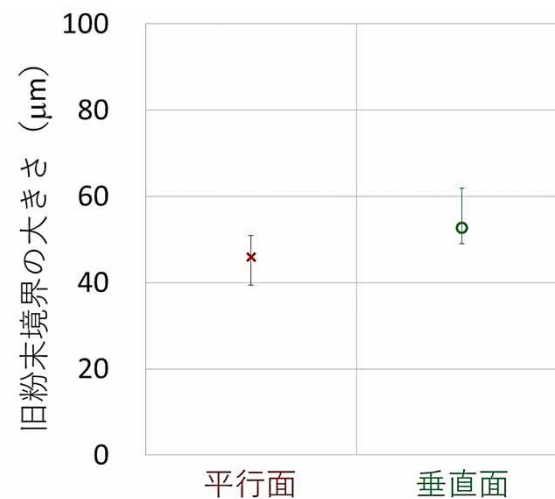


図4 旧粉末境界の異方性：平行面の方が垂直面より小さく細かい（結合力の弱い面が多い）

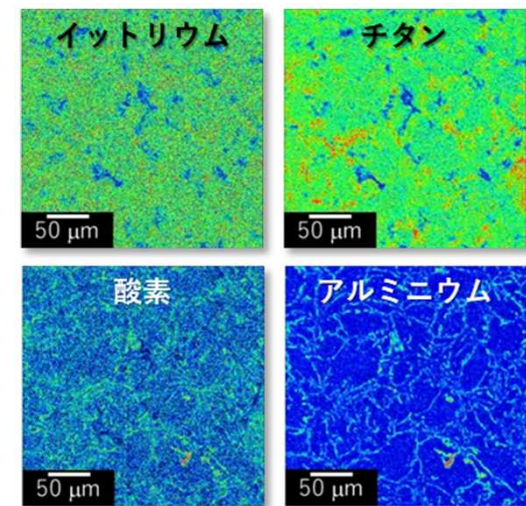


図5 原料粉末の形や大きさを反映した元素分布の様子

研究成果

将来の複雑形状部品の大量製造に向けた青森県内企業の高い技術ポテンシャルと今後の課題を確認

本成果に基づいた青森県産業への貢献を目指して、県内企業が得意とする技術の適用性や将来性を検討した（図6）。具体的には、ODS鋼の製作に重要となる粉末冶金技術として、ハード工業社（八戸市）のカウンタースプレームジェットアトマイズ法を利用した母合金のアトマイジング（粉末化）とエクトム社（五所川原市）の金属粉末射出成形法を利用した固化に注目した。

安全性や経済性を長所とするカウンタースプレームジェットアトマイズ法により、ほぼ狙い通りの大きさの粉末の試作に成功した（図7）。今後の課題は酸化抑制を目指した設備改造や最適化である。

複雑形状部品の大量製造できる長所のある金属射出成形法により、小型立方体の試作に成功した（図8）。今後の課題は完全焼結を目指した焼結条件の最適化である。ODS鋼は強度の高い難加工性の材料であるため、寸法精度高く複雑形状を成形できるこの方法は、今後の展開に大きく期待できる。とりわけ、ODS鋼の非原子力分野での利用可能性も期待できる技術である。

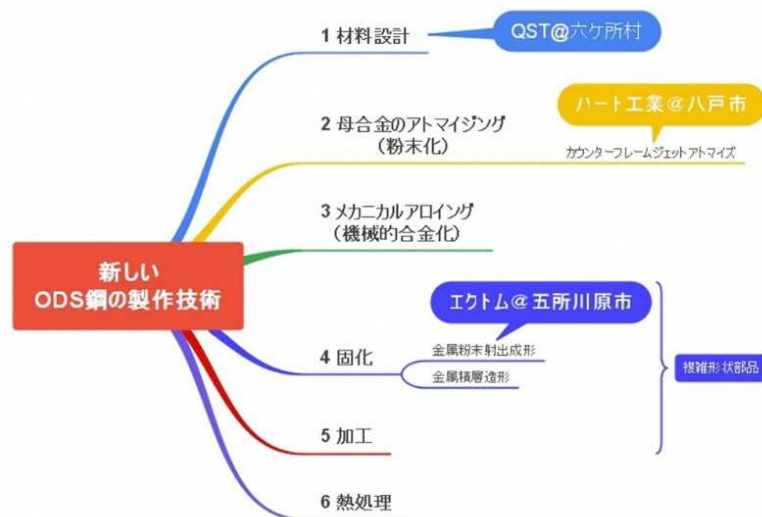


図6 複雑形状部品の大量製造に高いポテンシャルを秘める新しいODS鋼の製作技術

試料名	量 (kg)	化学組成 (wt%)	
		酸素	窒素
母合金	-	0.0012	0.0098
粉末 (小) 6.66 μm	11.64	6.33	0.031
粉末 (大) 20.2 μm	10.33	3.70	0.023

図7 カウンタースプレームジェットアトマイズ法を利用した母合金のアトマイジング（粉末化）の適用例

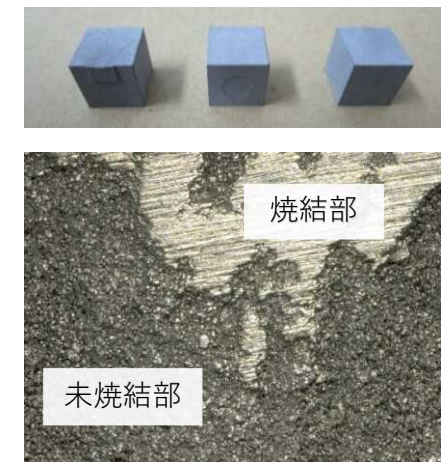


図8 金属粉末射出成形法を利用したODS鋼小型立方体の試作例

研究発表

1. 2019/3/27、青森市、第3回量子科学関連産業振興セミナー、「高温強度特性と耐照射特性を両立する先進構造材料の開発」
2. 2019/12/4、六ヶ所村、青森県量子科学センター成果報告会2019、「高温強度特性と耐照射特性を両立する先進構造材料の開発」
3. 2020/1/20、八戸市、2019年度産総研東北センターTAIプロジェクトEBISワークショップ、「高温強度特性と耐照射特性を両立する先進構造材料について」

研究会等の開催

特になし。

発表論文

1. (投稿予定) Particle shape effect of mechanically alloyed powder on anisotropic small punch creep property of ODS-F82H、Journal of Nuclear Science and Technology、2022予定、酒瀬川英雄、中島基樹、野澤貴史、加藤太一朗、安堂正己

青森県内への波及効果

ODS鋼は耐熱材料としても魅力がある。例えば、原子力のみならず火力発電分野での利用も期待できる。ODS鋼の利用により発電プラントのさらなる高温運転が達成できれば高エネルギー変換効率につながる。つまり、低炭素社会の実現につながる。県内にはODS鋼の製造に不可欠な粉末冶金を得意とする企業がある。本研究で確かめられたポテンシャルを活かして今後の課題に対応することで、低炭素社会に貢献できる県内産業の発展が期待できる。