

チタン鑄物製造用耐火成形体

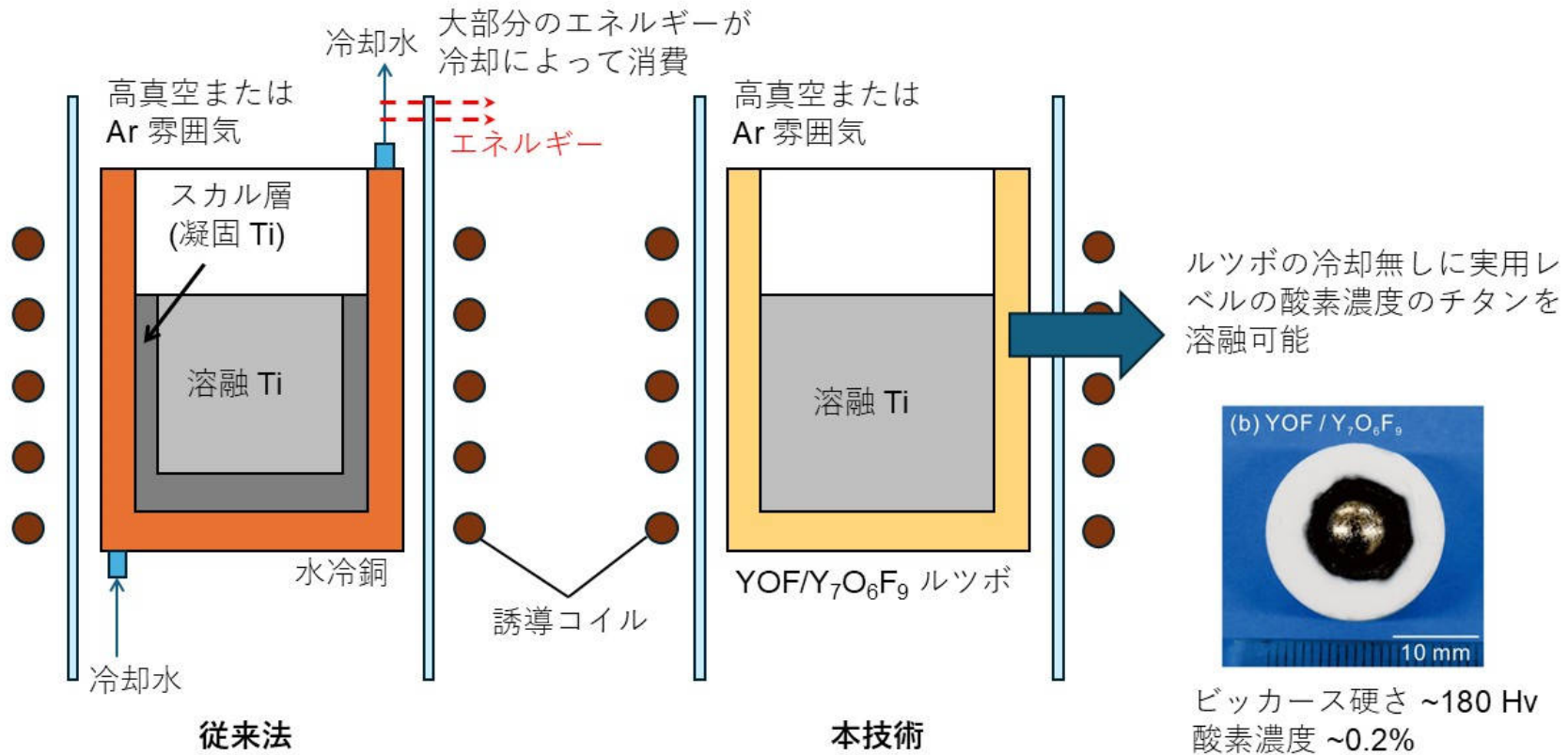
岩手大学 工学部 理工学科 材料科学コース
助教 関本 英弘

2026年3月3日

本技術の概要

- 純チタンの溶融に適したセラミック材料を開発
- そのルツボを使用してチタンを誘導溶融し、酸素汚染されないことを実証
- 歯科用、小型部材用等の製造装置への早期実装が期待できる

本技術の概要



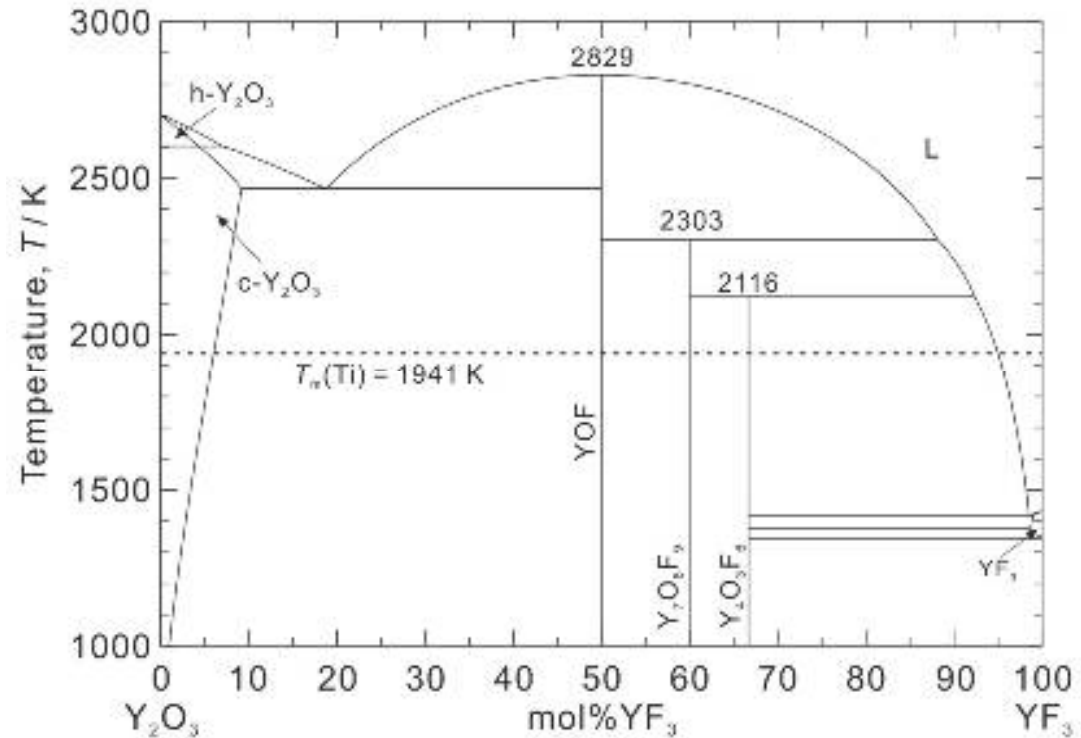
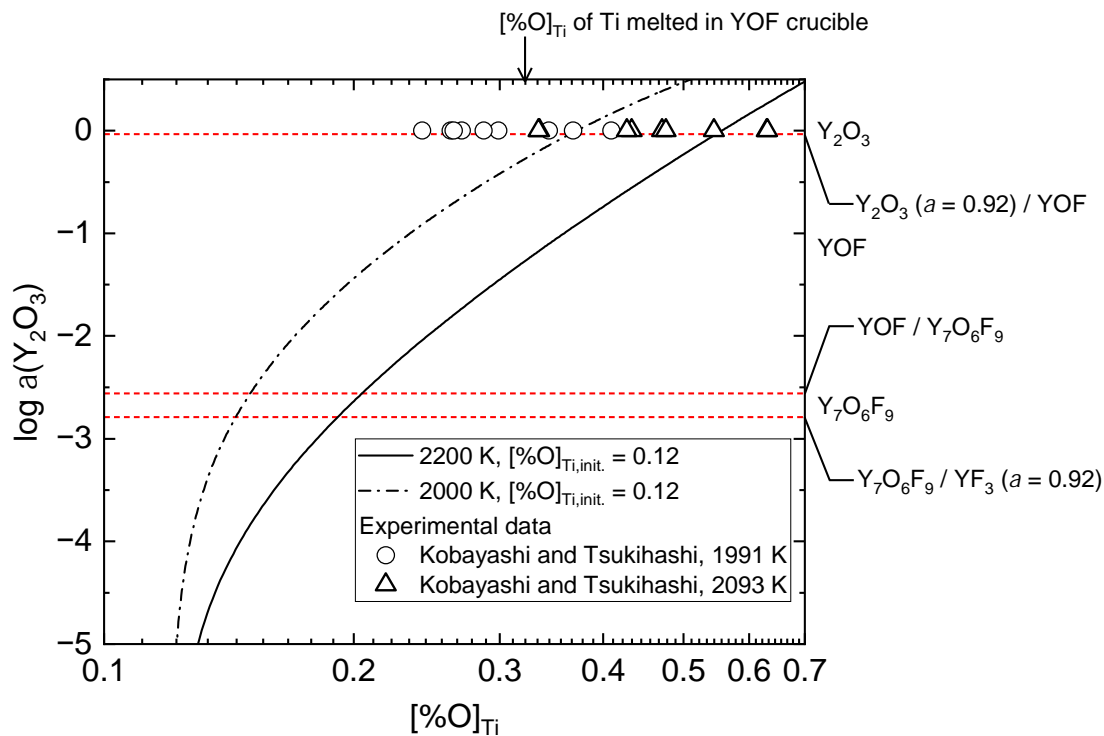
現行のチタンの溶融技術

方法	概要	推定消費エネルギー (kWh / kg-Ti)	備考
消耗性電極真空アーク溶融法	スポンジチタンを焼結して製造した電極をカソードとしてアーク溶解し、水冷銅ルツボでチタン溶湯を急冷する	0.85-1.1	大規模 リサイクル材に不向き
非消耗性電極真空アーク溶融法	タングステン等をカソードとして水冷銅ハース上のチタンをアーク溶解	1.8-2.0	消費エネルギー大
電子ビーム溶融法	電子ビームを利用して水冷銅ハース上でチタンのアーク溶解	1.1-3.0	消費エネルギー大
プラズマアーク溶解法	Ar雰囲気中で、水冷銅ハース上のチタンをアーク溶解	2.2-2.5	消費エネルギー大
コールドクルーシブル誘導溶融法 コールドクルーシブル浮遊溶融法	水冷銅ルツボを使ってチタンを誘導加熱 電磁力を利用してチタンを部分的に浮遊させて溶融	~1.4	消費エネルギー大 過熱が困難
誘導溶融法(ベンチマーク)	セラミックスルツボを利用した誘導加熱	~0.6	本技術の目標

現行のチタンの溶融技術

- 従来技術では、原則的に水冷銅ルツボの使用が必須であり、大半でルツボ壁面にチタン凝固層を形成させるスカル法
- これは、チタンとルツボとの反応を抑制するため
- 銅ルツボの水冷機構を組み込む必要があり、装置が複雑化しやすい
- ルツボの冷却に伴う消費エネルギーが大きい
- 過熱が難しく、鋳造する際に遠心法や加圧鋳造などの技術も必要になっていた
- そのため、チタンと接触しても反応しないセラミック耐火成形体の開発が望まれてきた

新技術の熱力学的原理



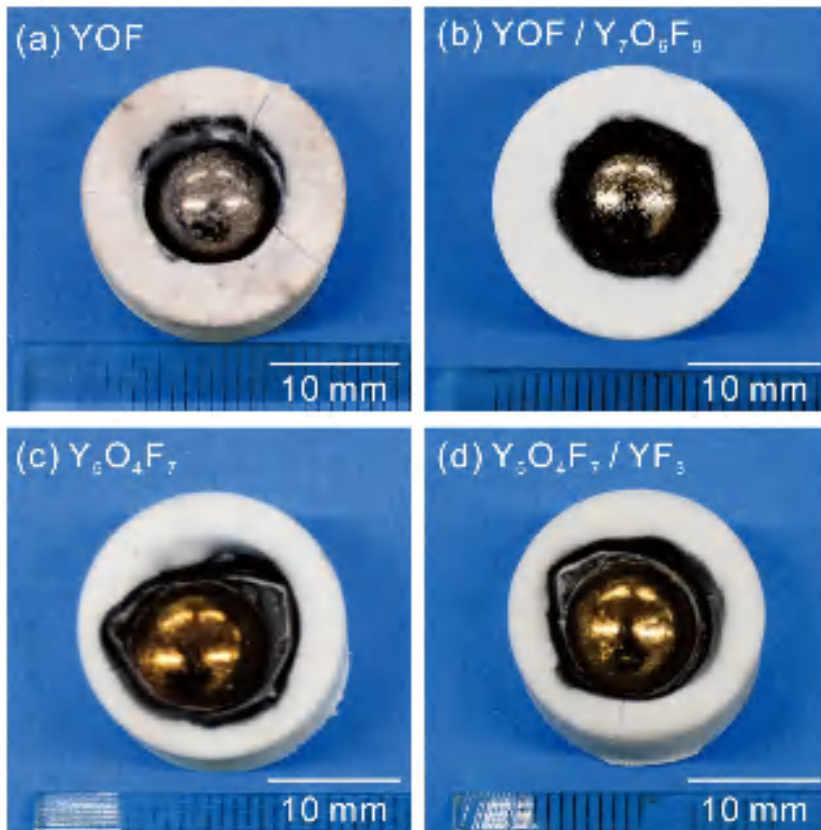
- Y_2O_3 の活量が低く、融点の高い酸フッ化物から成る新材料

酸フッ化物の作製

試料	混合比 $Y_2O_3 : YF_3$	熱処理条件	生成相
A	1 : 1	Ar気流中、温度1000 °C で24時間保持	YOF
B	1 : 1.5	Ar気流中で高周波誘導炉により黒鉛ルツボを加熱して合成	YOF / $Y_7O_6F_9$
C	1 : 2	Ar気流中、温度1250 °C で24時間保持	$Y_5O_4F_7$
D	1 : 2.15	Ar気流中、温度1250 °C で24時間保持	$Y_5O_4F_7$ / YF_3

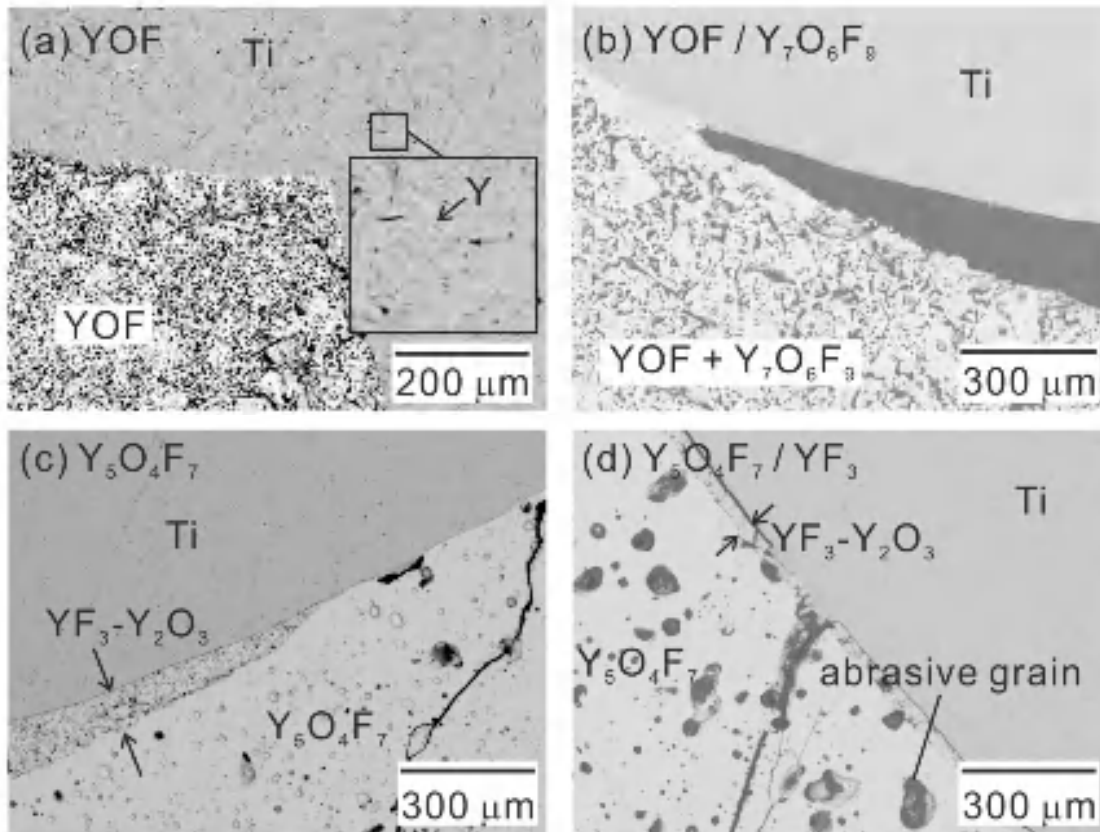
- 得られた各試料をルツボ型に成形して焼結し、純チタン(JIS 1 級相当)の溶融試験を実施

熔融試験結果



- 銀光沢のある外観のチタンボタンが得られた
- 試験によっては、青～金色の酸化被膜を表面に有するチタンボタンが得られた
- (a), (c), (d) ではクラックが認められたが、(b)ではクラックも生じていなかった

溶融試験結果



- (a)のルツボでは、 Y_2O_3 が熔融チタンに溶解した形跡があった
- ルツボと熔融チタンとの界面に酸化物相は認められない。
 - 界面反応が起こっていない
- (c), (d) ではルツボ表面に熔融塩相の形成が認められた
 - $Y_5O_4F_7$ の分解溶融

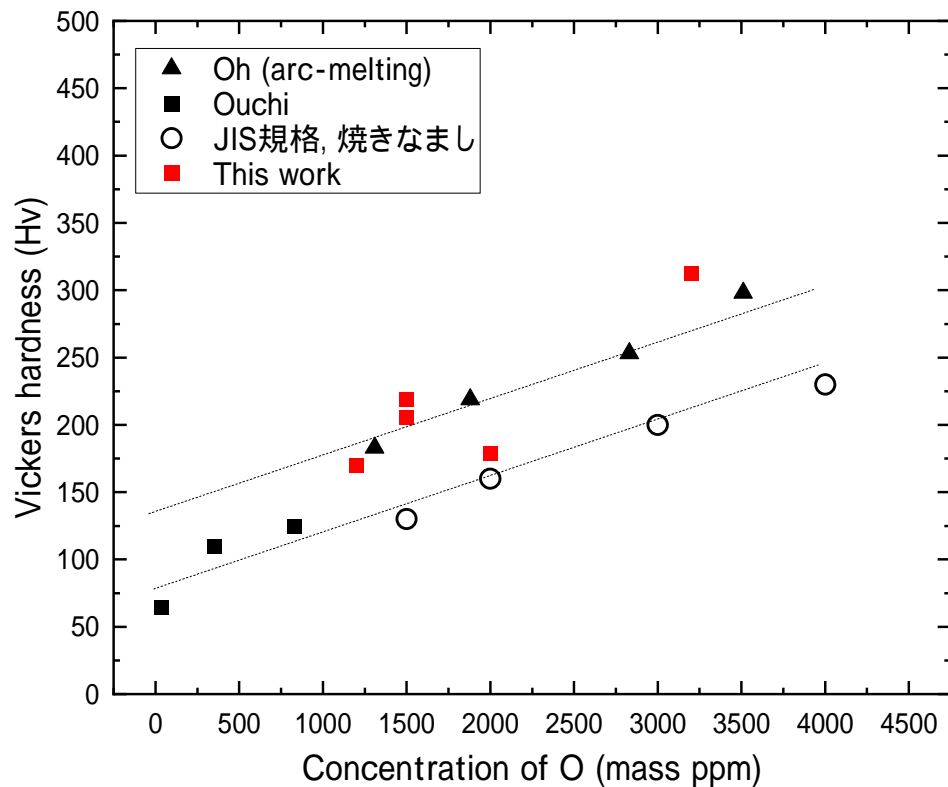
熔融試験結果

試料	ルツボの構成相	酸素濃度 (%)	ビッカース硬さ (Hv)	
			バルク	縁
Pure Ti	-	0.12	181.6	-
A	YOF	0.32	240.7	243.2
B	YOF / Y ₇ O ₆ F ₉	0.2	170.0	181.6
C	Y ₅ O ₄ F ₇	0.15	226.3	173.4
D	Y ₅ O ₄ F ₇ / YF ₃	0.15	205.3	210.5

熔融試験結果

- 試料B, C, D でJIS 規格を満たす酸素濃度を達成 (JIS 1級 ~0.15%, JIS 2級 ~0.2%)
- 試料 A は、Y, Oが溶解したとみられる
- 熱力学による検討から示唆される傾向のとおり、 Y_2O_3 の活量が低いほど低酸素濃度のチタンボタンが得られた

溶融試験結果



- ビッカース硬さと酸素濃度との関係は、アーク溶解法を用いたOhらの傾向に近い
- JIS品より硬い傾向にあるが、焼きなまし等によって低減できる可能性がある

新技術の特徴・従来技術との比較

- 希土類酸フッ化物を主成分とするセラミック材料である。
- チタン合金の溶融で使用されることがあるカルシアルツボと比較して、空気中での安定性が高い。
- 従来技術の問題点であった、ルツボの冷却を行うことなくチタンを溶融できて、酸素濃度も上昇しない。
- セラミックスルツボを使用するので、誘導溶解法では電力効率が高い。一方、ルツボ自体をアノードにするようなアーク溶解法、電子ビーム溶解法には不向き。
- 本技術を誘導溶解法に適用することで、消費電力を1/2～1/3程度に削減できると期待される。

想定される用途

- セラミックスルツボを使用するため、アーク溶解法・電子ビーム溶解法には不向き。誘導加熱や集光加熱によってチタンを溶融する装置への適用が適している。
- 本技術の材料は、鋳造用鋳型や歯科用埋没材等にも適用できる可能性がある。
- 将来的には、チタンの1次製錬への利用も期待できる。

実用化に向けた課題

- 現在、耐火成形体の最適組成、前駆体の作製方法、焼結方法については開発済み。
- チタンを誘導溶解するルツボとしての利用については良好なデータが取得できている。
- ビッカーズ硬さが上昇した原因を明らかにする必要があるが、熱処理によって解決できると考えている。
- しかし、チタン溶湯の濡れ性、長期安定性、繰り返し使用可能性について検討する必要がある。

企業への期待

- 実用的なサイズのセラミックスの焼結の技術を持つ企業や、誘導加熱装置を作製または利用する企業との共同研究を希望。
- チタン溶湯の濡れ性、長期安定性、繰り返し使用可能性について共同研究を実施し、実用化に向けた指針を得たい。
- 本格導入に向けた連携。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 耐火成形体およびその製造方法、チタン溶融用ルツボ、チタン溶湯の鑄造用鑄型、前駆体粉末およびその製造方法、チタンの溶融・鑄造方法
- 出願番号 : 特願2026-011496
- 出願人 : 岩手大学
- 発明者 : 関本英弘

お問い合わせ先

岩手大学

研究支援・産学連携センター

知的財産ユニット

TEL : 019-621-6494

e-mail : iptt@iwate-u.ac.jp