

高強度な難焼結性材料に複雑形状 の加工を施す技術

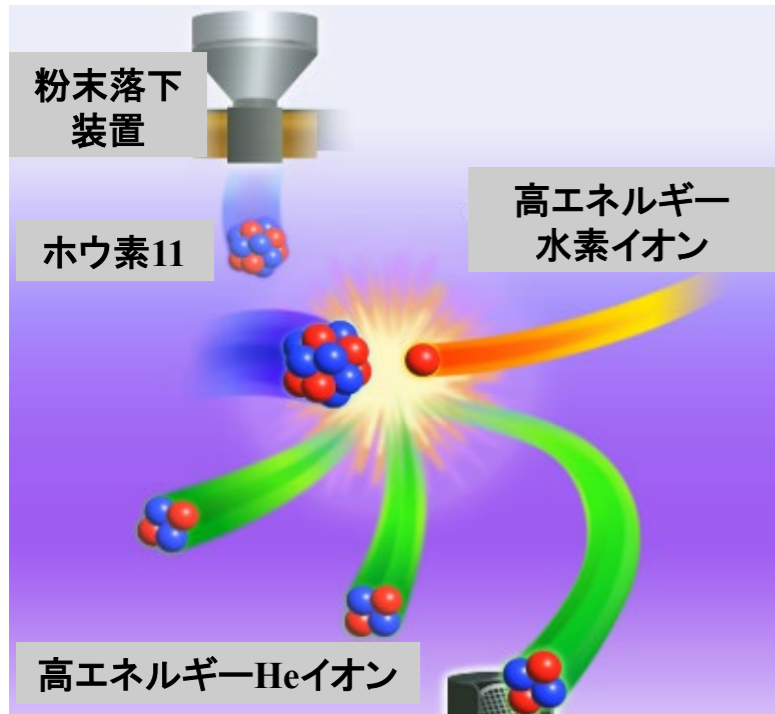
自然科学研究機構 核融合科学研究所
研究部 超高流束協奏材料ユニット
准教授 高山 定次

2026年3月5日

発明の背景

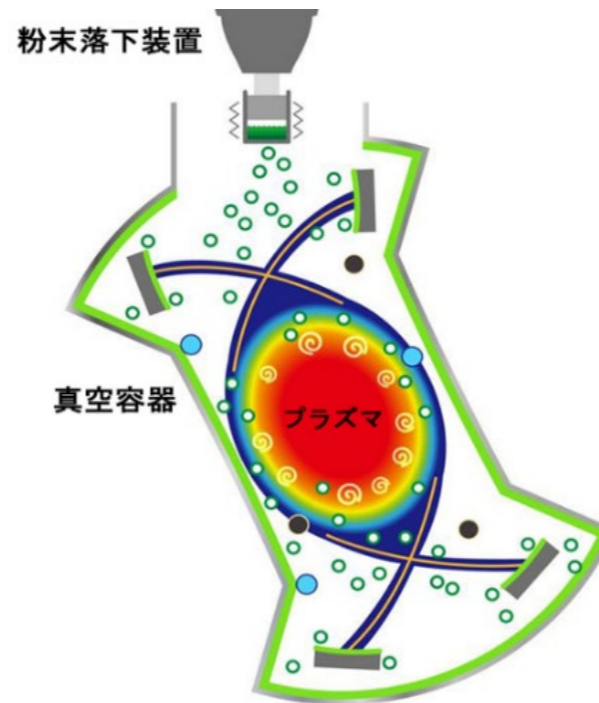
核融合研究におけるホウ素の利用

ホウ素-プロトン核融合反応の研究



従来の粉末落下装置ではプラズマの狙った部位へのホウ素添加が難しく、発明者らはペレット状に成型したホウ素を入射する装置を、炉に設置する計画である。しかし従来、ホウ素焼結体の成型は難しかった。

ホウ素添加による高温の保持



ホウ素をプラズマに添加すると、それがプラズマをブランケットのように包み込み、熱の放出を抑えて、高温状態の安定的な維持が可能となる。

実時間ボロニゼーション



真空容器の壁から発生する酸素などの不純物が水素のプラズマに入ると、プラズマの温度が低下してしまう。それを抑えるために、運転中にホウ素をリアルタイムで添加すると、壁の表面がホウ素でコーティングされ、酸素の混入が減少してプラズマが高温に保持されやすくなる。

焼結体に求められる特性

核融合炉での使用を想定したホウ素の場合；

- ・ 不純物を実質的に含まない純ホウ素であること（不純物によるプラズマへの悪影響）
- ・ 焼結後に切削加工のしやすい、適度な軟らかさ（ペレットの形状に加工）

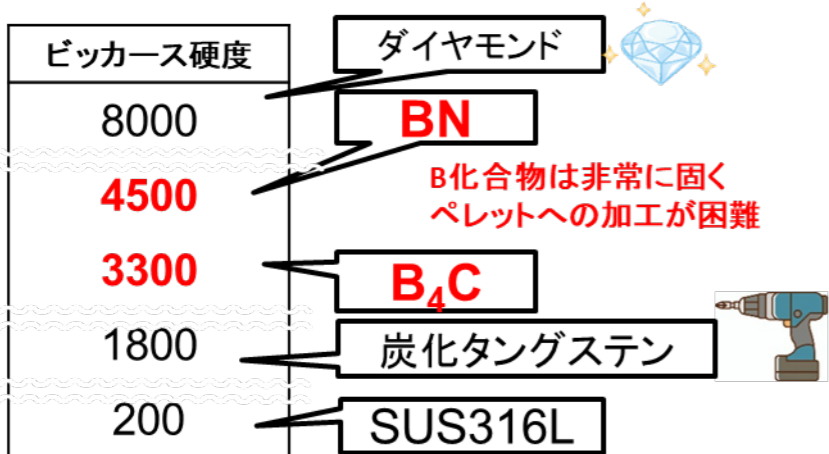
技術的課題

純ホウ素をペレット化する際の問題点

1. 焼結時に共存する物質と反応、**不純物を生成** (プラズマへの悪影響あり)

黒鉛真空炉を用いた場合の化合物
 $\rightarrow B(s) + C(s) \rightarrow B_4C(s) \quad \Delta G = -52 \text{ kJ} (2000^\circ\text{C})$
 大気中窒素による化合物
 $\rightarrow B(s) + N_2(g) \rightarrow BN(s) \quad \Delta G = -125 \text{ kJ} (2000^\circ\text{C})$

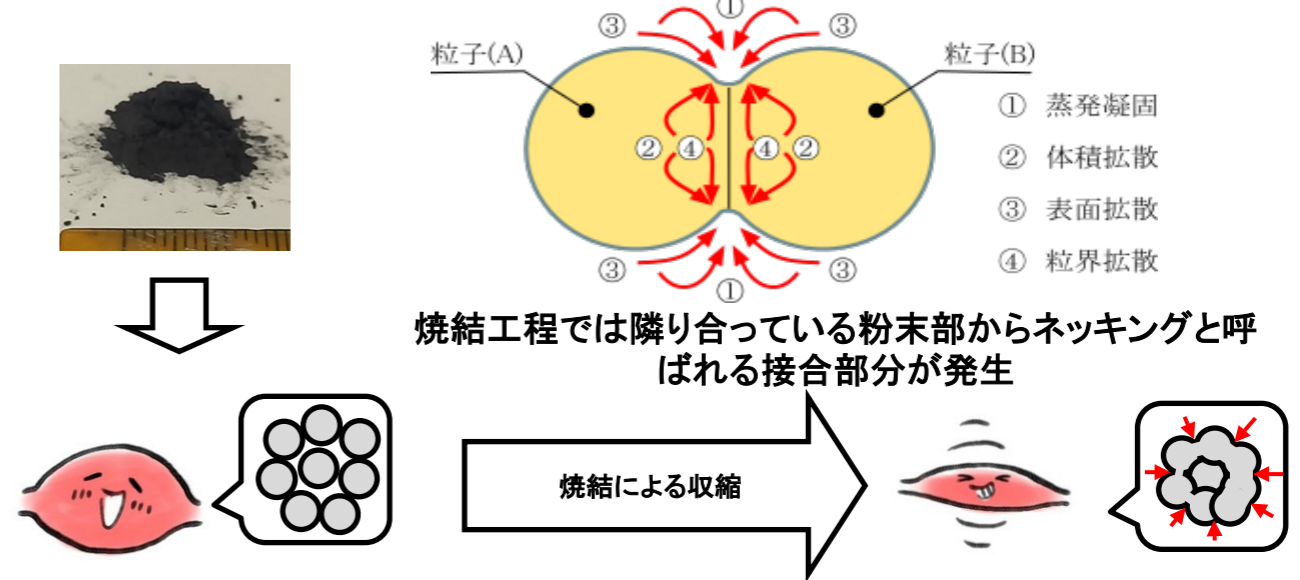
2. **硬くて加工が困難**



3. 焼結成型が難しい

2000°C以上の温度、スパークプラズマ焼結 (高電圧2000A、高圧力9MPa)が必要

一般的な粉末の焼結過程



焼結が効率的に進行すると、「焼結収縮」と呼ばれる大きな物質拡散を伴った結合反応になる

なぜ難焼結性か？

超高温炉は黒鉛炉であり、不純物(炭素)の影響を受けて焼結挙動が阻害されるのでは？

↓
 不純物炭素のゲッターリング材(捕捉・除去能)として使用される“**タンタル箔**”で炭素の影響を除去できるのでは？

従来の焼結方法

難焼結性物質の場合；

- ・ 難焼結性物質：ホウ素、炭化ケイ素、イットリア、窒化ホウ素、ジルコニア、炭化ホウ素、炭化タングステン、窒化チタン、炭化チタン、モリブデン、タングステン、アルミナなどを指す
- ・ 湿式法：原料粉末に有機バインダー、分散剤、焼結助剤、水を混合してスラリーを作って成型、常圧、真空下、または不活性ガス中にて高温加熱下で焼成
- ・ 乾式法：原料粉末に焼結助剤を混合した後、常圧または真空中で焼結する方法か、または原料粉末に高圧をかけながら焼結

従来の焼結方法の問題点

原料工程；

湿式法、乾式法に限らず、原料以外にバインダー、焼結助剤などの、
後で不純物として問題となり得る物質を使用している。

**粉末を粉砕し原料粉末、焼結助剤、有機バインダーを
混合して流動性の高い顆粒を作成する工程**



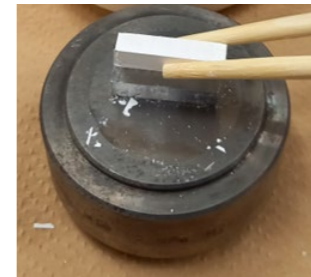
従来の焼結方法の問題点

成型工程；

成型型の形状に制限があり、複雑な形状は困難である。また、焼成工程で均一焼結体を得るためには、肉厚がそろっている必要がある。

原料粉末を固めて完成品に近い形状を作成する工程

鑄込み成形、プレス
成型、CIP成型など



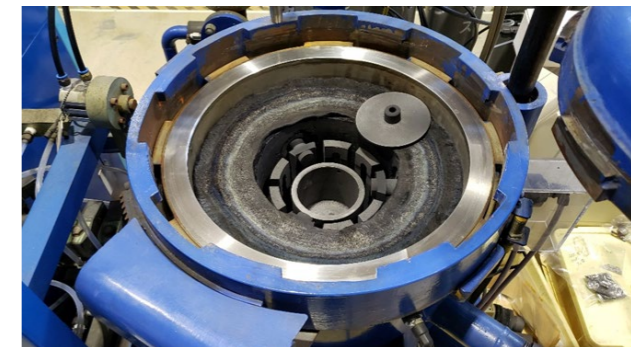
従来の焼結方法の問題点

焼成工程 ;

高圧を印加しながら焼成する方法では平板などの単純な形状の焼結体しか得られない。また、黒鉛炉の炭素や雰囲気中の窒素と反応して不純物を生じる。

**成型体を高温で加熱して粉末粒子同志が結合して
緻密で高強度にする工程**

**難焼結体の場合には、
圧力をかけながら焼成**



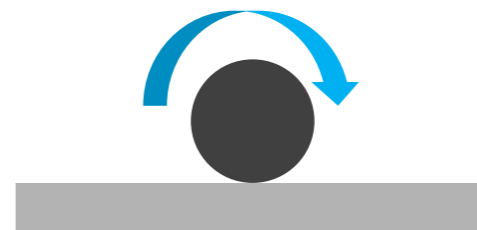
従来の焼結方法の問題点

加工工程 ;

ダイヤモンドなどの切削工具で研磨を行うが、難焼結体のように固い材料では、研磨時間が長くなりコストがかさむ。また、加工できる形状に制限がある。

表面を研磨して、最終仕様の商品にする工程

複雑な形状は研磨が
難しい



問題点の解決方法

本発明者らは、上記の課題を解決するために、原料となるホウ素粉末に対し、不純物となる焼結助剤を添加することなく、これを黒鉛との反応から守るタンタル箔で作った容器に流し込み、また加熱時に加圧することなく焼結すれば、切削加工性良好かつ不純物を含まないホウ素焼結体が見出されて本発明に至った。

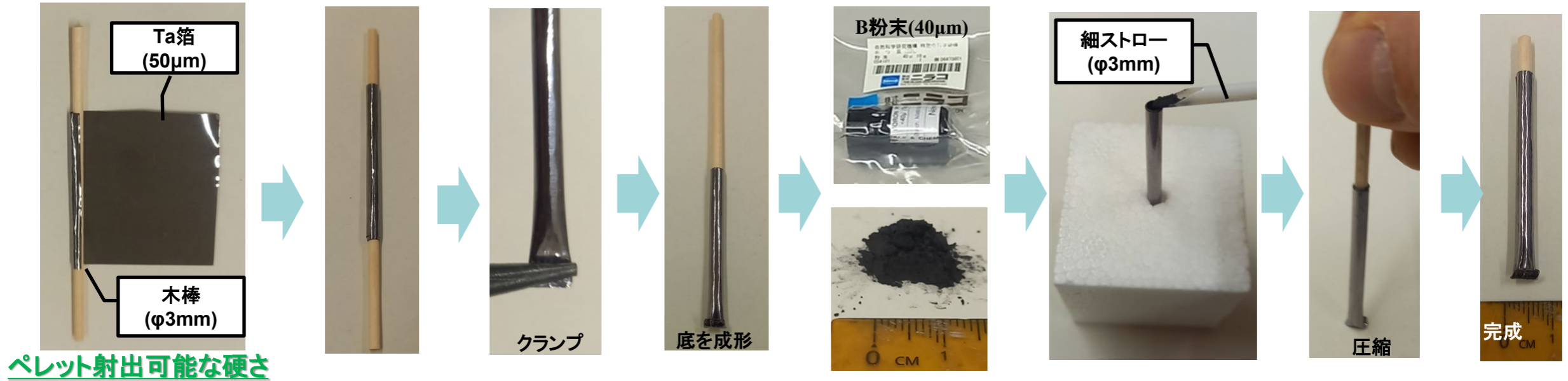
また、上記の焼結方法はホウ素以外の難焼結性物質に対しても適用可能であり、切削可能な軟らかさを有する難焼結物質の焼結体として新しい材料を提供できる可能性がある。

発明の概要

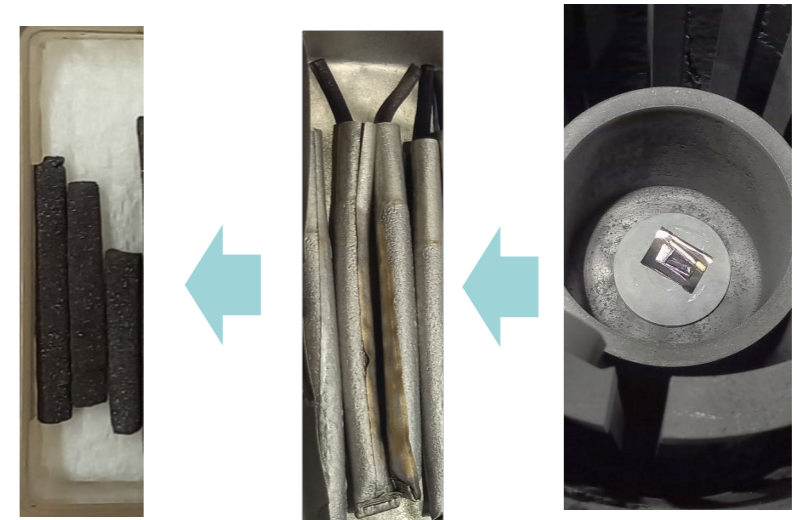
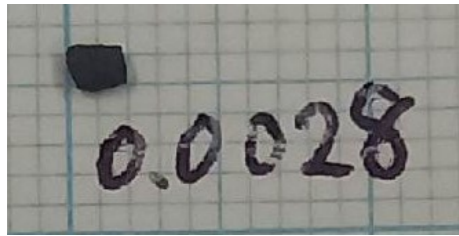
本発明は、難焼結性無機物質の焼結体を製造する方法に関するものである。

本発明によって得られるホウ素の焼結体は、核融合反応炉での使用が想定されており、そのための要求特性として、焼結後にペレット状に切削加工するための適度な軟らかさと、ホウ素以外の不純物となる元素を極力含まないことが挙げられる。

発明の技術内容



ペレット射出可能な硬さ



密度測定
1.162 g/cm³
*理論密度2.08 g/cm³
理論密度の56%

新技術の特徴・従来技術との比較

- 不純物となる焼結助剤を添加することなく、焼結に成功した。
- 黒鉛炉の炭素や雰囲気中の窒素と反応を防ぐ手法を開発した。
- 複雑な形状の成型体の製作に成功した。

発明の技術内容

本発明によるホウ素焼結体の切削加工性

本特許のホウ素焼結体:HV60~80

炭化ホウ素:HV3300程度(従来の焼結法)

一般的なステンレス(SUS316鋼)

:HV200程度

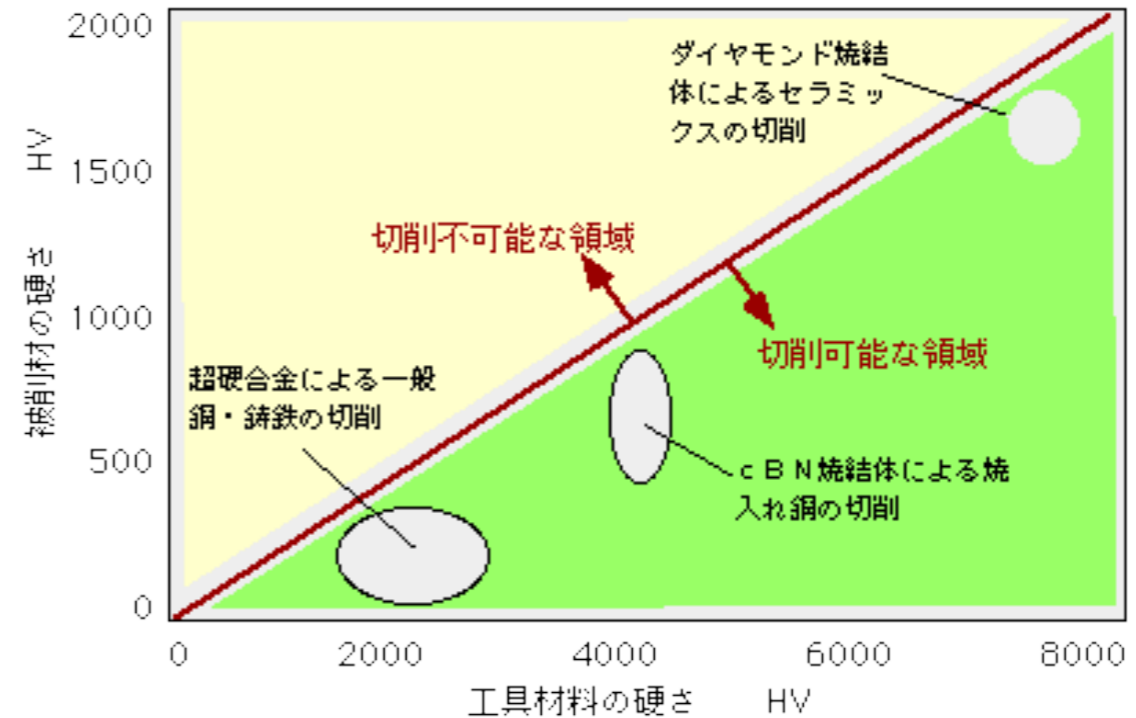
切削材料代表炭化タングステン

:HV1600-1800程度

(HV:ビッカース硬度)

○切削加工を行うには、切削工具が被削材に比べて十分に硬くなくてはならず、一般に被削材の4倍以下の硬さの工具では加工が困難となる。

○これより炭化タングステン製の切削工具で加工を行う場合、従来の焼結方法で作製した難焼結物質(炭化ホウ素)は著しく加工困難であるが、本発明のホウ素焼結体は良好な加工性を有していると言える。



http://www.monozukuri.org/mono/db-dmrc/cutting/basic/tool_material/basic_feature/hardness.htm

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、難焼結体の製造に適用することで製造できなかった部品が商品化可能になり大きなメリットがあると考えられる。
- 上記以外に、高強度・高温耐熱性の部品を使用できれば、装置自体の性能向上が期待される。
- また、達成された高強度・高温耐熱性に着目すると、自動車産業や航空宇宙産業といった分野や用途に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、加工が可能なところまで開発済み。しかし、実際の部品製造までは試みていない。
- 今後、CADデータによる部品加工について実験データを取得し、より複雑な加工が可能で製造条件の設定を行っていく。
- 実用化に向けて、加工精度を実際の部品に求められる精度まで向上できるように技術を確立する必要がある。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・タンタル箔による難焼結材の焼成条件の確立	
現在	・難焼結材の加工に適した焼成条件の確立	
2年後	・難焼結材の部品への進展	JSTのA-STEP事業へ応募し研究資金獲得
3年後	・難焼結材部品の主要特性の評価(耐久性試験など)	
5年後	・大量生産技術の確立	個別企業との共同研究の推進

企業への期待

- 未解決の加工精度については、データ蓄積により克服できると考えている。
- 高温耐熱部品の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、航空宇宙分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は技術移転が可能のため、共同研究することにより企業に貢献できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能である。
- 本格導入にあたっての技術指導等を行う。

本技術に関する知的財産権

特願2024-192128
(2024/10/31出願)

本発明では、難焼結性セラミックの共有結合性の強さを応用した焼結収縮を利用することに成功し、焼結後の円筒タンタルからの取り出しの非常に容易に行うことが可能となった。さらに円筒型タンタル箔の直径は容易に変化させることが可能であり、多種多様なペレット製造も可能である。

特願2024-192129
(2024/10/31出願)

本発明では、第一工程で微細加工に適した硬さまで適度な条件で焼成した後に微細加工を施し、第二工程でその微細加工を施した成型体を焼結することで、複雑な形状の部品が製造できかつ低コスト化が可能である。

特願2025-067192
(2025/4/16出願)

本発明は、タンタル箔を用いてSiCを焼結することにより、容易にp-n接合を製造する手法を開発した。また先行特許の結果より、SiCに留まらず、幅広い材料においてTa箔による焼結性向上および異相界面製造が可能である。

お問い合わせ先

大学共同利用機関法人
自然科学研究機構 事務局
研究協力課研究支援係

TEL 03-5425-1325

e-mail nins-sangaku@nins.jp