研究課題事後評価調書　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　（様式11）

記入日　令和　2年　6月　26日

機　関　名	産業技術センター	課題コード	H290901	計画事業年度	H29　年　度～　R1　年　度
				実績事業年度	H29　年　度～　R1　年　度

課　題　名	熱伝導性・耐摩耗性に優れた高機能焼結材料の開発

機関長名	佐藤　明	担当(班)名	機能性材料・デバイスグループ
連　絡　先	018-862-3414	担当者名	関根崇、菅原靖、杉山重彰

政策コード	2	政　策　名	社会の変革へ果敢に挑む産業振興戦略
施策コード	1	施　策　名	成長分野の競争力強化と中核企業の創出・育成
指標コード	1	施策の方向性	競争力強化による航空機産業と自動車産業の成長促進

種　　別	重点（事項名）	地域の独創性を高め世界に通用する企業を育成する研究開発							基盤	
	研究	○	開発		試験		調査		その他	
	県単	○	国補		共同		受託		その他	

評　価　対　象　課　題　の　内　容

1　研究の目的・概要

近年の環境対応型輸送機やエネルギー関連機器、産業機械部品には、優れた熱伝導性や耐摩耗性等を持つ新たな機能性材料が希求されている。本研究は、成形自由度の高い粉末冶金技術を導入することにより、熱特性や耐摩耗性に優れた高機能材料の開発を目的とする。①難焼結性原料粉末の微粒化・混合技術とその制御および焼結技術、②難焼結材料の緻密化と熱特性、摩擦摩耗特性の解析技術を確立し、秋田発の新たな材料開発を図る。

2　課題設定時の背景（問題の所在、市場・ニーズの状況等）及び研究期間中の状況変化

従来、機能性部材は主に硬度や強度等について追求されてきた。近年、HV・EVの普及によって輸送機器や産業機械が進展し、優れた熱特性や耐摩耗性を有する高機能材料のニーズが高まってきている。 このような材料は、放熱部材や摺動部材等への活用が想定され、機能の向上により市場の拡大が期待される。適用例としては、繰り返し高温下にさらされ熱応力による破壊が課題となっているパワーデバイス向け放熱板や、熱の影響を強く受ける摺動部品の耐摩耗性と熱伝導性の向上が併せて要求されている車軸等である。従来の摺動部品には、低摺動抵抗値を得るためにコーティング技術が用いられていたが、材料のみで実現可能となれば、コストダウンにも貢献できる。これらの材料開発は、組成や組織の制御技術の構築と高い成形自由度を有する粉末冶金技術との融合化技術を確立することで得られる。

特に、これまで焼結による緻密化が困難という課題を有するSiCやAlN、Si3N4材を有効活用し、最大限に特性を引き出していく。そのため、当センター固有の通電加圧焼結技術や機械特性解析技術を導入して、焼結性向上のための粉末微粒化・混合技術、熱特性・摩擦摩耗特性の解析技術を確立し、秋田発の高機能焼結材料を開発し、新たな市場を創出していく。

3　課題設定時の最終到達目標

①研究の最終到達目標

粉末の微粒化・混合技術と熱特性・摩擦摩耗特性の解析技術を確立し、機械特性、熱特性および摩擦摩耗特性に優れた高機能材料を開発し実用化を目指す。

②研究成果の受益対象（対象者数を含む）及び受益者への貢献度

輸送機関連、エネルギー機器関連、電気・電子部品関連、機械構造部材関連、プラント・鋳造設備部材関連等の県内企業の新製品開発及び新たな事業の創出が期待でき、市場の拡大に貢献する。

4 全体計画及び財源 （全体計画において ═══ 計画─── 実績）

実施内容	到達目標	H29年度	H30年度	R1年度	年度	年度	達成状況
難焼結粉末の微粒化・混合技術の検討	微粒化・混合技術の確立						AlN系、Si_3N_4系、SiC系の焼結材料について、複合組成と混合比率を検討し、相対密度100%の緻密な焼結体を作製。
熱特性・摩擦摩耗特性の解析と制御技術の検討	解析・制御技術の確立と最適化						作製した焼結体は、熱伝導率を評価し、複合組成や密度、焼結体の結晶粒径等に対する、熱伝導率及び機械的性質の関係を確認した。
県内企業への展開	企業への展開と実用化						合成した焼結材料について、県内外の企業に特性等を紹介し技術の売込みを進めた。研究に関わる技術を活用し、開発支援・技術支援を実施した。

		H29	H30	R1			合計
計画予算額(千円)		2,600	2,600	2,600			7,800
当初予算額(千円)		3,866	3,668	2,937			10,471
財源内訳	一般財源	3,866	3,668	2,937			10,471
	国 費						
	そ の 他						

5 研究成果の概要

・成果の分類
- □ 解析データ、指針、マニュアル等
- ■ 新技術
- □ 新品種
- □ ステップアップ研究における中間成果
- □ 新製品
- □ その他

・最終到達目標の達成度・成果の具体的な内容

Si_3N_4系の焼結材料では、Y_2O_3添加により相対密度100%の緻密な焼結体を作製することに成功し、熱伝導率は46 $W\ m^{-1}\ K^{-1}$となった。少量のAlN、Y_2O_3を含むSi3N4系粉末とWCを複合化したWC-Si_3N_4系複合セラミックスを作製した。WCとの複合化により、機械的性質が大幅に向上し、WC無添加に比べて破壊靭性値が2倍増加した。また、ヤング率（部材の硬さ）も300 GPaから450 GPaに大きく向上した。WC-Si_3N_4系複合セラミックスに関して、秋田大学の泰松斉名誉教授、仁野章弘准教授と共同で特許を出願した。

SiC系では、TiCと複合化したTiC-SiC、および各種金属炭化物（TaC、ZrC、WC等）を添加した複合セラミックスを作製した。純TiCに比べSiC添加で熱伝導率が増加し、TiC-SiC-TaCでは機械的性質が向上した。この内容は、学会発表や、研究論文として投稿した。

AlN系では、Y_2O_3、WC添加量を変えたAlN-Y_2O_3およびAlN-WCの緻密な焼結体を作製した。少量のY_2O_3添加により、緻密に焼結し、124 $W\ m^{-1}\ K^{-1}$の高い熱伝導率を示した。一般的にAlNの焼結には酸化物を添加して緻密化されるが、また、本研究では従来の酸化物添加ではなく炭化物WC添加のみで相対密度100%の緻密な焼結に成功した。WCとの複合化により、従来の酸化物による焼結体よりも硬さが44%、破壊靭性値が60%増加し、優れた機械的性質となった。研究成果は学会にて発表した。

・口頭発表：粉体粉末冶金協会　6件、粉体粉末冶金協会硬質材料分科会 1件、日本金属学会 1件
・ポスター発表：国際会議 1件
・投稿論文：粉体および粉末冶金 1件
・特許出願：1件

・成果の波及効果

秋田県の向かうべき産業である5つの成長分野の航空機・自動車の分野においては、機械的特性や熱特性に優れた材料のニーズが高まっている。本研究では、複数種類の粉末の複合化により、単一粉末では出来なかった緻密な焼結を可能にし、機械的性質の高い焼結材料を開発した。この優れた特性を持つ新たな焼結材料は、成長分野である航空機・自動車の分野における構造部材へ展開することができ、県内企業の新たな市場への参入が期待できる。また、本研究に関連した材料評価技術（機械的性質評価、熱伝導率評価、微細組織観察、成分分析等）は、県内企業の新製品開発や品質改善、試作における評価・分析等に活用するこができ、研究を通して企業の技術支援にも応用した。今後もこれらの技術を活用することで、企業の開発スピードの向上が期待できる。

6 評価

<table>
<tr><td>観点</td><td></td></tr>
<tr><td>1
最終到達目標の達成度</td><td>○ A　● B　○ C
・AINの焼結には酸化物を添加して緻密化されるが、酸化物を添加せず、炭化物WC添加のみで相対密度100%の緻密な焼結ができ、硬さ、破壊靭性値を向上できたことは、大きな成果である。またSiC系では、TiCと複合化したTiC-SiC、および各種金属炭化物（TaC、ZrC、WC等）を添加した複合セラミックスを各種作製することによって、既存のTiC系工具について、熱伝導率向上や機械的的性質向上を図る指針ができたといえる。
以上のことを考慮すると、目標は概ね達成できたと思われる。
・単一粉末では実現が困難であった緻密な焼結について、粉末の複合化によりこれを解決（一部材料系では100%を達成）し、熱伝導性と機械的特性を両立する焼結材料の開発に成功しており、実用化に向けた展開ができる状況となった。
A. 十分達成できた　C. 達成できなかった
B. ほぼ達成できた
※研究課題の難易度（事前評価の技術的達成可能性得点率）を加味した達成度
事前評価の技術的達成可能性得点率　53 %
□ S　■ A　□ B　□ C　□ D</td></tr>
<tr><td>2
研究成果の効果</td><td>○ A　● B　○ C　○ D
・AINの焼結に、酸化物を添加せず、炭化物WC添加のみで相対密度100%の緻密な焼結ができたことにより、強度だけでなく、熱伝導率も従来よりもやや向上しているため、今まで対応できなかった切削工具や耐摩耗材料としての用途展開の可能性が非常に高くなったといえる。県内の切削工具製造に関わる企業とも、連携をとっていることから、今後、この分野での県内企業への展開が期待できる。
・成長分野である航空機や自動車産業への展開が期待できる材料であり、関連製品の開発を含めて県内企業の参入の機会を広げていって欲しい。
・成果の一つである材料評価技術を活用して、継続課題では新たな高機能材料開発による差別化を図り、秋田オリジナルの製品の開発が進展することに期待する。
A. 効果大　B. 効果中　C. 効果小　D. 効果測定困難</td></tr>
<tr><td>総合評価</td><td>○ S 当初見込みを上回る成果
○ A 当初見込みをやや上回る成果
● B 当初見込みどおりの成果
○ C 当初見込みをやや下回る成果
○ D 当初見込みを下回る成果</td></tr>
</table>

判定基準	
S	2つの評価項目がともにAの課題のうち特に優れる課題
A	2つの評価項目がともにAの課題（S評価を除く）
B	2つの評価項目がともにB以上の課題（S評価、A評価を除く）、もしくは2つの評価項目がAとCの課題
C	2つの評価項目がともに、もしくは、いずれかがC以下の課題（B評価、D評価を除く）
D	2つの評価項目がCとDの課題

（参考）	事前	中間（30年度）	中間（年度）	中間（年度）	中間（年度）	中間（年度）	
過去の評価結果	B	B					

熱伝導性・耐摩耗性に優れた高機能焼結材料の開発（産業技術センター、H29～R1）

自動車や航空宇宙、産業機械などの成長産業において県内企業の新たな市場を創出するために、付加価値の高い優れた熱特性、機械特性を持つ高機能焼結材料を開発する。

【高機能焼結材料について】
- 熱伝導率に優れる
- 耐摩耗性に優れる
- 機械的性質が優れる

【応用例】
- 自動車や産業機械における放熱部材
- ノズル、メカニカルシール、スリーブ等の耐摩耗機械部品
- 難削材料の切削工具材料

【材料】
- 窒化ケイ素（Si3N4）
- 窒化アルミニウム（AlN）
- 炭化ケイ素（SiC）　等

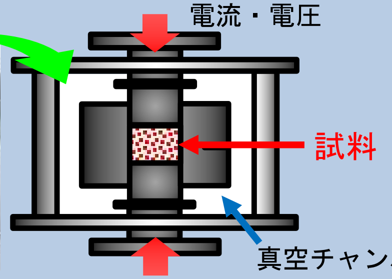
【問題点】
- 熱伝導率に優れるが機械的性質が劣る
- 機械的性質に優れるが熱伝導率が低い
- 難焼結材料である
- 製造工程が複雑
- 優れた熱特性を最大限発揮できていない

【研究内容】

●難焼結材料を緻密に焼結するための組成検討、原料粉末の混合技術とその制御
- 粉末の添加剤や複合化条件、混合条件最適化

●難焼結材料の緻密化と熱特性，摩擦摩耗特性の解析技術
- 通電加圧焼結法による緻密化
- 熱伝導性等の各種特性の評価技術を確立し、製造条件に反映し、特性を制御する

＜通電加圧焼結＞



＜熱特性評価＞

熱特性，耐摩耗性，機械特性に優れた秋田発の高機能材料を開発

【研究成果の受益対象及び受益者への貢献度】
- 成長分野である自動車や航空宇宙、産業機械などの分野において県内企業の新たな市場の拡大が期待できる