

平成23年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「難加工性機能性合金の形状制御結晶育成技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成26年3月

委託者 東北経済産業局

委託先 国立大学法人東北大学（未来科学技術共同研究センター）

目 次

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	6
1-2-1 研究組織・管理体制	6
1-2-2 研究者氏名	8
1-2-3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	9
1-2-4 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項	9
1-3 成果概要	11
1-4 当該研究開発の連絡窓口	12
第2章 本論	13
2-1 機能性合金材料の形状制御結晶育成用坩堝材の開発	13
2-2 機能性合金材料の形状制御結晶育成用坩堝材の加工技術開発	15
2-3 機能性合金材料の形状制御結晶育成技術開発	16
2-4 形状制御した機能性合金結晶の特性評価	18
最終章 全体総括	19

第一章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

国家的なグリーンイノベーション戦略に従って、自動車業界ではハイブリッド車や電気自動車の開発を中心とした更なる燃費の向上が試みられている。燃焼車における燃費向上の取り組みの 1 つとして、エンジン部における燃焼効率を上げるために、エンジンの着火に用いられるスパークプラグの開発が試みられてきた。効果的にエンジン性能を引き出すためには、スパークプラグの「熱特性（熱価）」、「飛火性能」、「着火性能」、「耐汚損性」、「寿命（信頼性）」の 5 項目が重要視されており、特に近年の燃費・排出ガス規制強化に対応するエンジン点火系システム開発に重要な特性は「飛火性能」と「着火性能」であるとされている。スパークプラグの着火性能には消炎作用が大きく影響することが知られており、消炎作用を可能な限り小さくすることで、火炎核の消滅（着火の失敗）を防ぎ、火炎核を速く大きく成長させることが可能となる。着火性の向上にはプラグ電極を細径化することが最も効果的であり、細径電極は火炎核成長を抑制する消炎作用が少なく、燃焼が悪化する条件下でも確実な着火を可能とする。しかし、従来のプラグ材料であるニッケル合金では融点が比較的低温であるため電極消耗抑制に限界があり、細径化と長寿命化の両立は困難であった。このような中、新たなスパークプラグ用イリジウム合金が開発され、その高い耐熱性から細線化と長寿命の両立を達成した。しかし、このイリジウム合金は加工性が悪く、冷間加工が困難であるため、製造コストが従来品に比べて増大することが問題となっている。

一方、金属材料は高強度・高剛性・高延性で耐久性があることから医療機器用材料としての応用も数多く行われており、ステントやガイドワイヤー等の材料としてステンレス鋼、コバルト-クロム合金、ニチノール等が使用もしくは検討されている。特に、形状記憶合金であるニチノールは、その形状記憶効果や超弾性の性質により、バルーンを使わない自己拡張ステントの材料として有用であるが、その難加工性のため線材での応用に留まっている。このような中、国立大学法人東北大学（以下「東北大学」）吉川研究室ではマイクロ引き下げ(μ -PD)装置を用いた機能性単結晶材料の形状制御技術の開発を行ってきた。この μ -PD 法は、独自で設計・開発した特殊な形状の坩堝を用いて熔融原料を下方へ引き下げることにより、ダイの形や坩堝下部の穴形状に応じて様々な形状の単結晶が作製可能となることが特徴である。特に近年では、東北大学吉川研究室と株式会社スター精機でフッ化物単結晶の形状制御結晶育成技術開発に取り組んできた結果、様々な形状の CaF_2 結晶の作製に成功している。このチューブ状 CaF_2 結晶は、シンチレータ結晶として現在複数の研究機関において実用化を検討されている状況である。

このマイクロ引き下げ法の形状制御技術を、機能性合金の細線化試料作製に応用するべく、東北大学と田中貴金属工業株式会社の共同で形状制御した機能性合金結晶の作製技術の開発に取り組んできた。その結果、機能性合金結晶と適した濡れ性

を示し、合金の溶融原料との反応性もほとんどないティーイーピー株式会社製セラミックス材料を発見した。そこで、その既存坩堝を用いて機能性合金の形状制御結晶の作製を試みたところ、形状制御結晶の育成の可能性が見出されたものの、その合金材料の融点である 2000℃近傍では坩堝に割れが生じてしまうことや、揮発物が坩堝下部に堆積してしまうなどの育成を阻害する要因により長時間の安定した形状制御育成が確立できなかった。

そこで、本事業では 2000℃近傍もの高温において高強度で不揮発性のセラミックス材料を開発するとともに、形状制御用にその新規開発セラミックス材料を坩堝形状に加工する技術を開発することを目的とする。

東北大学によって開発された μ -PD 法を用いた形状制御結晶育成技術を基に、本事業ではスパークプラグ用イリジウム合金および形状記憶合金の形状制御結晶を作製可能とする μ -PD 装置用高強度不揮発性セラミックス坩堝材を開発するとともに、その開発した坩堝材を形状制御用セラミックス坩堝の形状に加工する技術を開発する。さらに、その開発した形状制御用セラミックス坩堝を用いて μ -PD 装置によるイリジウム合金及び形状記憶合金の形状制御結晶の製造技術を開発する。本事業は、①機能性合金材料の形状制御結晶育成が可能な坩堝材の開発、②機能性合金材料の形状制御結晶育成が可能な坩堝材の加工技術開発、③機能性合金材料の形状制御結晶育成技術の開発、④形状制御した機能性合金結晶の特性評価の 4 段階を行う。以下に各項目の高度化目標値および技術的目標値を記載する。

①機能性合金材料の形状制御結晶育成が可能な坩堝材の開発

本事業の目標として、機能性合金の形状制御結晶の育成時に、坩堝が割れず、揮発物が発生しない新規セラミックス材料の開発を行う。新規セラミックス材料の販売価格は、坩堝 1 個分 5, 000 円以下を目標とする。

②機能性合金材料の形状制御結晶育成用坩堝材の加工技術開発

①で得られた新規開発セラミックス材料の濡れ性を基に、その濡れ性に合った形状制御用坩堝の形状を設計する。

イリジウム合金および形状記憶合金の細線化合物試料の作製を可能とする形状制御用セラミックス坩堝を作製することを目標とする。形状制御用セラミックス坩堝の販売価格は、坩堝 1 個 10, 000 円以下を目標とする。

③機能性合金材料の形状制御結晶育成技術開発

結晶育成時における温度分布を断熱材の形状や配置、高周波発振機の周波数等で制御し、結晶成長速度やアフターヒーターの形状等で結晶成長方向の温度勾配を変化させる。機能性合金の形状制御結晶が最も安定して作製可能な μ -PD 装置の環境を達成する。

さらに、その μ -PD 装置および②で開発した形状制御用坩堝を用いて、形状

制御したイリジウム合金および形状記憶合金結晶の育成技術を開発する。本項目では、イリジウム合金および形状記憶合金の細線化合物 100 mm の作製を目標とする。

④形状制御した機能性合金結晶の特性評価

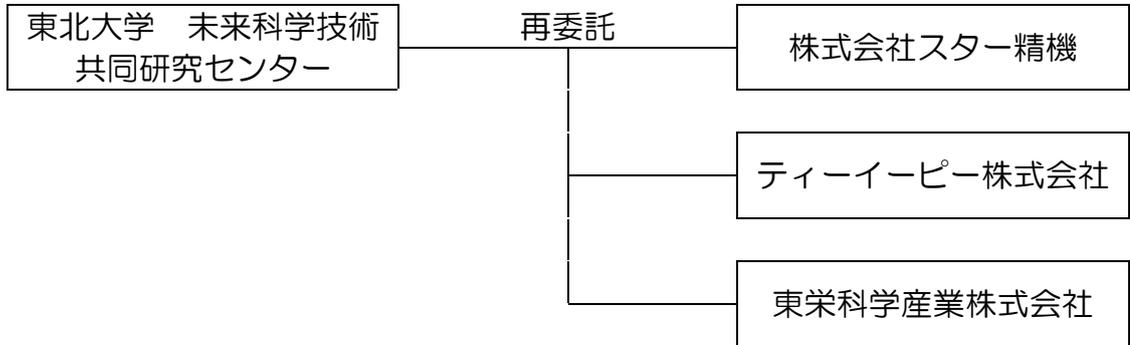
育成した形状制御イリジウム合金および形状記憶合金結晶に関しては、まず研究室所有の結晶性評価機器においてその結晶としての試料状態を評価する。また、東北大学もしくは田中貴金属工業社においてイリジウム合金結晶のスパークプラグ応用として重要となる物理特性および形状記憶合金として重要となる物理特性を評価し、従来品と遜色がない、もしくはそれを勝る物性を示すことを確認する。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-2-1 研究組織・管理体制

1) 研究組織 (全体)

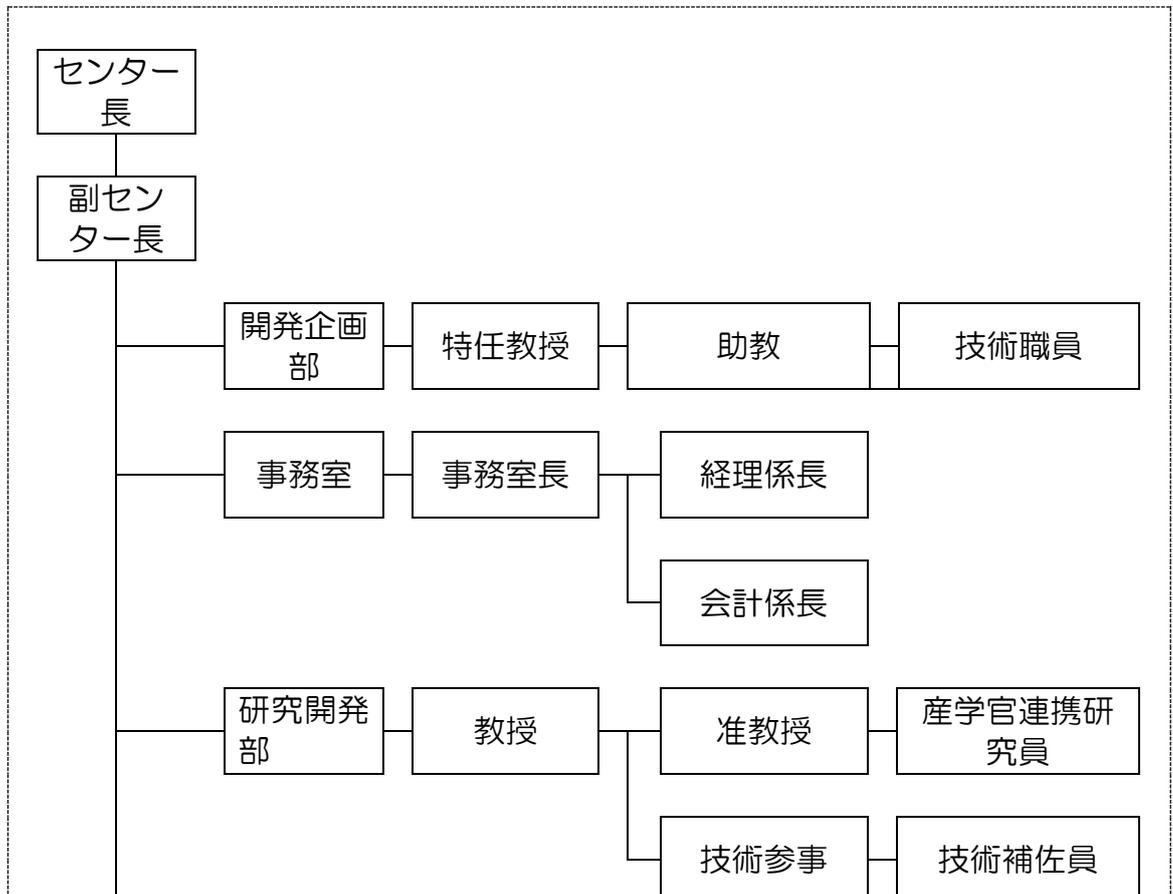


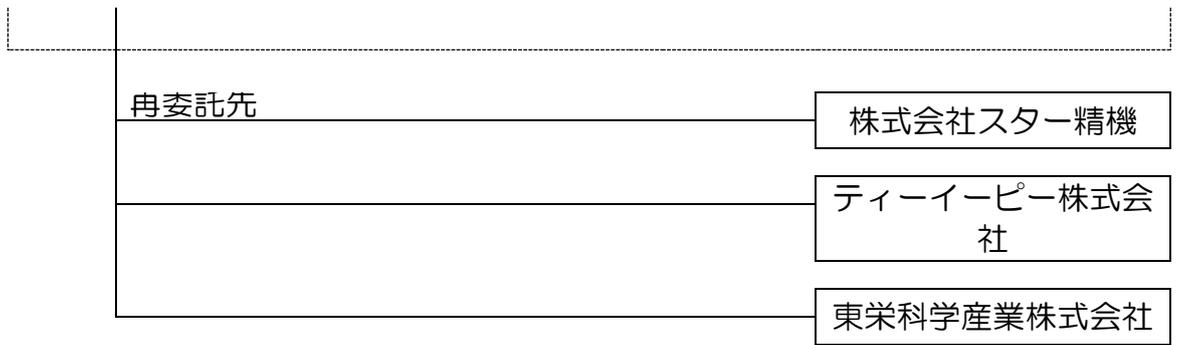
総括研究代表者 (PL)
株式会社 スター精機
代表取締役 星 正憲

副総括研究代表者 (SL)
東北大学未来科学技術共同研究センター
教授 吉川彰

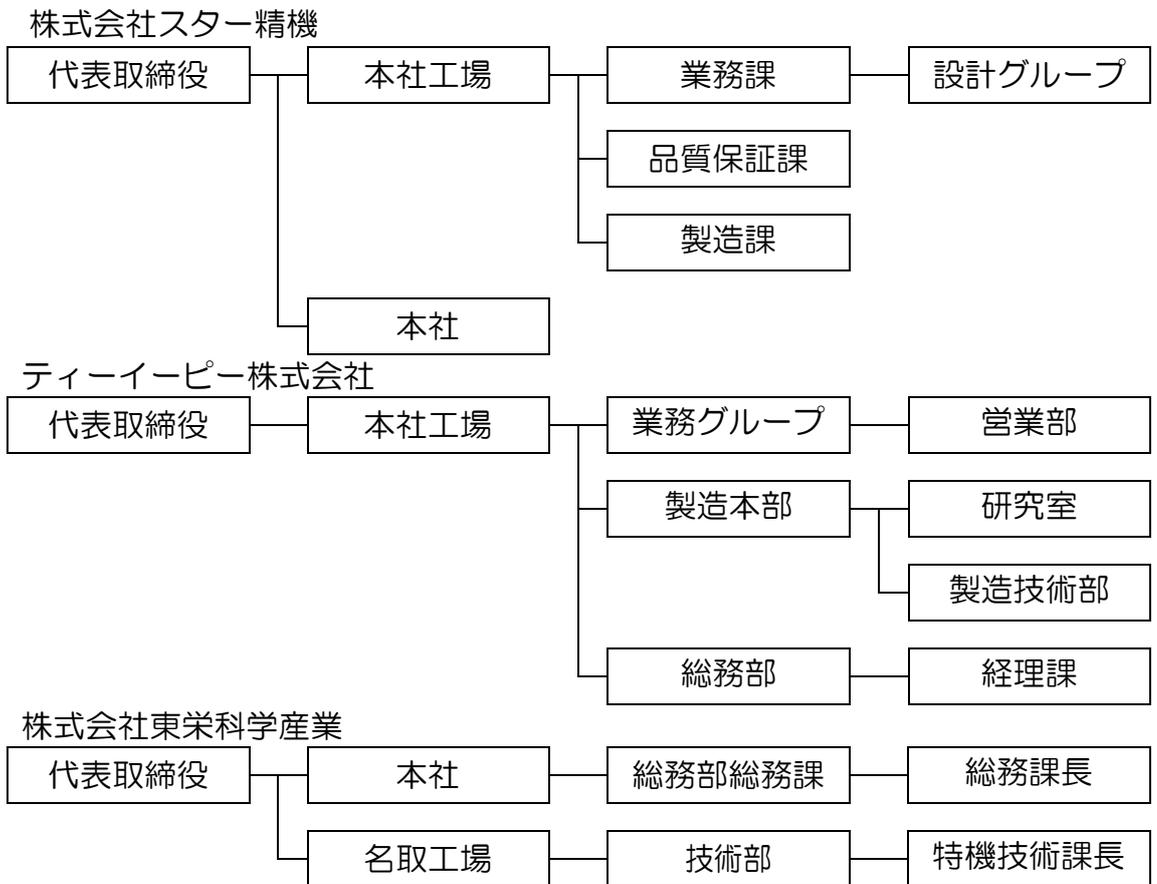
2) 管理体制

① 事業管理者 [東北大学未来科学技術共同研究センター]





②（再委託先）



1-2-2 研究者氏名

【事業管理者】東北大学未来科学技術共同研究センター

①研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
吉川 彰	未来科学技術共同研究センター 教授	① (SL)
横田 有為	未来科学技術共同研究センター 准教授	②、③、④
上村 博	未来科学技術共同研究センター 産学官連携研究員	④
穴戸 統悦	未来科学技術共同研究センター 産学官連携研究員	④

②管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
長谷川 史彦	未来科学技術共同研究センター 副センター長	⑤
平塚 洋一	未来科学技術共同研究センター 助教	⑤
吉田 幹雄	未来科学技術共同研究センター 事務室長	⑤
熊谷 文浩	未来科学技術共同研究センター 総務係長	⑤
杉山 力	未来科学技術共同研究センター 会計係長	⑤

【再委託先(研究員)】

株式会社スター精機

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
星 正憲	代表取締役	② (PL)
大槻 善幸	営業課	②
西澤 滋信	製造課	②
佐藤 真	業務課 設計グループ	②
川勝 諭	製造課	②
米澤 光俊	製造課	②

ティーイーピー株式会社

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
稲森 聡	技術開発支援センター センター長	①
古田 高寛	製造技術部 主任	①
浅野 久志	研究室 室長	①

株式会社東栄科学産業

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
板垣 喜一	技術部 特機技術課 課長	③
峯岸 修	技術部 特機技術課 係長	③
柿沼 順	技術部 特機技術課 主任	③
高橋 謙	技術部 特機技術課 主任	③

1-2-3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

東北大学 未来科学技術共同研究センター

(経理担当者) 未来科学技術共同研究センター 事務室長 吉田 幹雄

(業務管理者) 未来科学技術共同研究センター副センター長 長谷川 史彦

【再委託先】

株式会社スター精機

(経理担当者) 本社工場 経理課 菊池 圭子

(業務管理者) 代表取締役 星 正憲

ティーイーピー株式会社

(経理担当者) 総務部 石田 美音

(業務管理者) 営業部 稲森 聡

株式会社東栄科学産業

(経理担当者) 本社 総務部総務課 課長 清水 慎一

(業務管理者) 名取工場 技術部 部長 山城 智万

1-2-4 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
星 正憲	株式会社スター精機 代表取締役	PL
大槻 善幸	株式会社スター精機 営業課	委
西澤 滋信	株式会社スター精機 製造課	委
目黒 和正	株式会社スター精機 製造課 係長	委
佐藤 真	株式会社スター精機 業務課 設計グループ	委
吉川 彰	東北大学未来科学技術共同研究センター/金属材料研究所 教授	SL
横田 有為	東北大学金属材料研究所 助教	
上村 博	東北大学未来科学技術共同研究センター 産学官連携研究員	委
長谷川史彦	未来科学技術共同研究センター 副センター長	
平塚 洋一	東北大学未来科学技術共同研究センター 助教	
内藤 恭吾	ティーイーピー株式会社 代表取締役	
稲森 聡	ティーイーピー株式会社 営業部	
古田 高寛	ティーイーピー株式会社 製造技術部 主任	委
浅野 久志	ティーイーピー株式会社 研究室 室長	委
板垣 喜一	東栄科学産業株式会社 特機技術課 課長	委
峯岸 修	東栄科学産業株式会社 特機技術課 係長	委
高橋 謙	東栄科学産業株式会社 特機技術課 主任	委
柿沼 順	東栄科学産業株式会社 特機技術課 主任	委
寺岡 清人	東栄科学産業株式会社 特機技術課	委
坂入 弘一	田中貴金属工業株式会社 技術開発センター 車載開発グループ 副部長	アドバイザー
田中 邦弘	田中貴金属工業株式会社 技術開発センター車載開発グループ	アドバイザー

中村 宗樹	プ 田中貴金属工業株式会社 技術開発センター車載開発グルー プ	イザー アドバ イザー
-------	---------------------------------------	-------------------

アドバイザー 氏 名	主な指導・協力事項
坂入 弘一	市場動向指導・要求性能指導
田中 邦弘	市場動向指導・要求性能指導
中村 宗樹	要求性能指導

1-3 成果概要

① 機能性合金材料の形状制御結晶育成用坩堝材の開発 (ティーイーピー株式会社、東北大学)

- 坩堝の材質に着目して、2000℃以上で機械的強度と熱衝撃強度を有する材料を検討した結果、イリジウム合金を安定して熔融することが可能な新規セラミックス材料の開発に成功した。
- 一方、「新規セラミックス材料の販売価格は、坩堝¥5,000-／個以下を目標」とする条件の中で、より安価な製法を検討した。この結果、中間配合のみから構成されたジルコニア坩堝では、100個口と数量がまとまった場合、¥5,000-／個の販売価格が可能であることが分かった。

② 機能性合金材料の形状制御結晶育成用坩堝材の加工技術開発 (株式会社スター精機、東北大学)

- 新規セラミックス材料の加工技術開発に関しては、数多くの切削加工条件を検討した結果、良好な切削加工条件を確立することに成功した。
- その確立した最適な切削加工条件を用いて、十分な精度での坩堝の加工を可能とし、イリジウム合金の形状制御結晶が作製可能な坩堝を開発した。
- 販売価格も、今後数量がまとまった量あれば十分に¥5,000／個を達成できる見込みであり、材料から加工までを含めて坩堝1個¥10,000は問題なく到達できると思われる。

③ 機能性合金材料の形状制御結晶育成技術開発 (株式会社東栄科学産業、東北大学)

- 有限ストロークの高真空マイクロPD結晶育成装置を試作し、本事業の目標であったイリジウム合金φ1×100Lのファイバー育成に成功した。
- さらに、ピンチローラー方式の無限引下げ機構を持つ自動巻き取り装置を試作し、イリジウム合金φ1×約700Lのファイバー育成に成功した。
- 有限ストロークの高真空マイクロPD結晶育成装置では形状記憶合金相当の合金でφ1×100Lのファイバー育成に成功した。

④ 形状制御した機能性合金結晶の特性評価 (東北大学)

- 育成した形状制御合金結晶に関して、大学および企業の評価機器にお

いて試料状態を評価した。

- その結果、本技術で作製した形状制御試料は従来品を凌駕する非常に優れた特性を示すことが明らかとなった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

- ティーイーピー株式会社

〒124-0001 東京都葛飾区小菅 2-20-4

営業部 稲森 聡

電話：03-3690-2992

FAX：03-3601-5120

E-mail：s.inamori@tepceram.co.jp

- 株式会社スター精機

〒976-0006 福島県相馬市石上字南姥沢 390

業務課営業 大槻 善幸

電話：0244-36-2411

FAX：0244-36-2412

E-mail: y-otuki@starseiki.jp

- 株式会社東栄科学産業

〒981-1251 宮城県名取市愛島台一丁目 101 番 60 号

技術部 板垣 喜一

電話：022-382-6681

FAX：022-382-6682

E-mail：itagaki@toei-tc.co.jp

- 国立大学法人東北大学

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

金属材料研究所 横田 有為

電話：022-215-2214

FAX：022-215-2215

E-mail：yokota@imr.tohoku.ac.jp

第2章 本論

2-1 機能性合金材料の形状制御結晶育成用坩堝材の開発

2-1-1 緒言

材料の機能は個々の物質特性によって左右されることが多いが、セラミックスは微構造により特性が大きく変化して様々な機能を発現させることが可能な素材である。このため同じ物質でも使用する目的・仕様に依りて異なった機能・特性を持たせる微構造制御が求められている。すなわち材料が持つ性質をどのようなところに使用するか、どんな特性が求められるかによって、原料・組成の選定から製造方法まで最も適する製造条件を設定することが重要である。これらを考慮し製品化を行うが、主な製造方法は以下の各工程を踏まえて進められる。

「原料粉の選定」 → 「原料粉調合」 → 「成形」 → 「焼成」 → 「加工」 → 「製品」

「原料粉の選定」は、仕様条件（使用温度や対象物との反応性、そのものの材質特性など）を元に設定され、「原料粉調合」や「成形」は粉体プロセスを駆使し原料粉を調合し、目的とする形状に充填、成形する。「焼成」では乾燥、脱脂、焼結とそれぞれ工程があり、材質特性（拡散挙動や分解温度など）、原料粉調合における各種添加物（溶剤・バインダー・分散剤などの熱的挙動や分解温度）、形状（焼結による収縮）などを考慮した上で、最適な温度条件を設定し、これら条件を制御可能な装置を使って行う。「加工」では仕様に適した形状に様々な加工用治具（砥粒材や超硬材など）を使って、最終的に形状を整え製品化する。

したがって個々の工程は、セラミックスを作る上で基本的な流れであるものの、それぞれの工程ごとに様々な分野の技術を集約し、さらに「原料粉の選定」から「製品」まで一貫した工程を取ることににより、仕様に適した製品を開発することが可能である。

① 機能性合金材料の形状制御結晶育成が可能な坩堝材の開発

本事業の目標として、機能性合金の形状制御結晶の育成時に、坩堝が割れず、揮発物が発生しない新規セラミックス材料の開発を行う。新規セラミックス材料の販売価格は、坩堝1個分5,000円以下を目標とする。

まず、坩堝様な形状を成形する方法として様々な手法がある。代表的な方法として加圧成形法、鑄込み成形法、射出成形等があり、それぞれ特徴をもった成形法である。これらは製品の形状、構造、寸法、生産量、必要な精度や性能、価格等の条件に見合うようにそれぞれ開発されてきた技術である。従来、形状の制御が最重要

視されてきたが、近年、製品の性能、信頼性や経済性への要求が高まるにつれて、成形方法がセラミックス材質の性能をも支配する非常に重要な因子の一つとなっている。この成形を行うに当たり、原料粉の調合も重要な因子である。従来、均質に所定の配合を混合するには時間や熟練度が必要とされ、各社メーカーより混同装置や混合機器も市販されている。

また坩堝様な成形体を、加熱により焼結させる技術も重要な因子の一つとなっている。これは成形体中の原料粒子が接合しあい、原料粒子間の隙間が小さくなると同時に全体が収縮する現象（焼結）を示し、一般的には焼成温度が高いほど、また成形体を作る原料の粒が小さく、丸く、大きさが揃っているほど製品は硬くなる。この焼結工程では、製品の硬さ以外にも気孔率や導電性、熱やほかの物質に対する耐性や、透光性など様々な製品の特性を決定づける重要な工程である。

特に材質の特性について、セラミックスの高強度化とは機械的強度と熱的強度（耐熱衝撃性）が特に重要であり、機械的強度は高密度化（緻密化）にすることにより得られやすいが、熱的強度は熱膨張による割れが生じやすい。一方、熱的強度は低密度化（多孔質化）にする事により、材質中の気孔が緩衝材として作用し、熱膨張の影響を緩和することができるものの、気孔を多く含有することにより機械的強度が低下する。すなわち機械的強度と熱的強度は相反する関係にある。また多孔質化の材質では表面が平滑化していないため、熔解した金属の濡れ性により含浸する等の問題もある。

これら様々な条件を勘案して新規セラミックス坩堝材料を作製した。

【コストについて】

販売価格については、製造個数や電気炉設備の規模により価格設定されるバッチ式生産方式より算出され、また原料はセラミックス材料の中で比較的高価な素材であることより、製造原価を大きく左右する要因がある。これらを元に新規セラミックス坩堝では数量が 100 個口とまとまった場合、販売価格が¥5,000—／個で対応可能であった。一方で製造工程の中の混合（造粒）では、従来、時間や熟練度を要し、工数を引き上げる要因であったが、アイリッヒ社製インテンシブミキサーを使用することにより、より安定な製品ができ、更に製造時間の大幅な短縮化を図ることができた。すなわち時間短縮による製造コスト削減に繋げることができた

2-2 機能性合金材料の形状制御結晶育成用坩堝材の加工技術開発

まずは、半 NC 旋盤加工機により既存の加工用チップ及びバイトによって加工を試みた。坩堝となる素材は新たなセラミックス材料である為に、まずはより近いか高性能を示すと思われる市販素材を入手し、チップ等の耐久性を確認しながら、さらに超硬合金を用いた超硬バイトやコーティングを施したチップ・バイトの使用を検討した。特に、コーティングには耐摩耗性に優れた CVD コーティング (TiN, α -Al₂O₃ 等) 及び PVD コーティング (TiCN, TiAlN 等) があり、高強度セラミックス材料においても実績があることからその加工性に大きく期待できる。他にも超硬合金基台に多結晶ダイヤモンド層を焼結したチップも高強度セラミック系素材の切削加工に優れた性能をもつとのことで期待は出来る。切削加工における条件も加工具の耐久性を確認しながら、切削送り速度や切り込み量、回転数等を制御することでそれらの最適値を探索した。

・ 切削加工条件 A



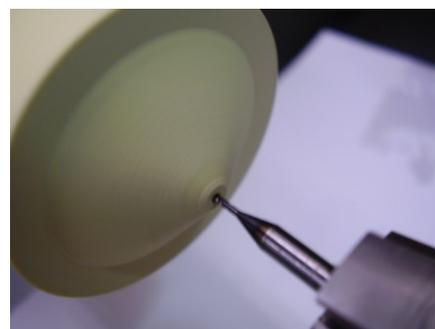
外形加工切削条件Aによる切削の様子。

様々な加工切削条件を検討した結果、非常に良好な切削加工性能を有し、さらに工具の消耗が少ない条件を確立することに成功した。本技術を用いることで、ある程度のまとまった数量の坩堝の販売が見込めれば加工におけるコストは¥5000 円/個まで下げることが可能であると考えている。

使用工具 (チップ) 写真



TNGA160404-DIA
DX160
メーカー標準切削条件
送り 0.05mm
切込 0.5mm



2-3 機能性合金材料の形状制御結晶育成技術開発

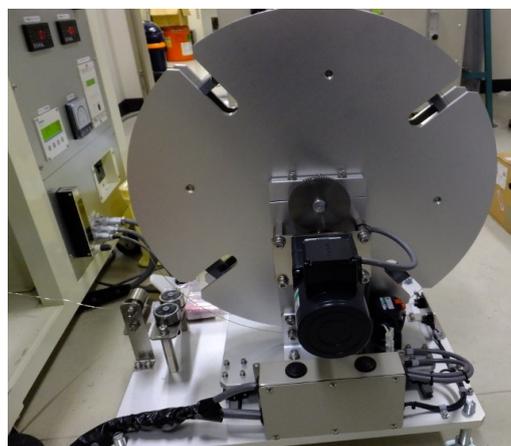
2-3-1 高真空マイクロPD 結晶育成装置の開発

高周波誘導加熱コイルの磁束密度のシミュレーションを行い、実際の高周波誘導加熱ユニットで検証した結果、傾向がほぼ一致することが確認できた。その結果に従って、下記に示すような高真空マイクロPD 結晶育成装置を設計・試作し、当初の目的であった性能を達成することができた。

また、当該高真空マイクロPD 結晶育成装置を用いることでNi ワイヤの溶融・引き下げに成功した。さらには、量産設備としての応用を考慮し、長尺な形状制御合金ファイバーが作製可能な巻き取り機構の開発を行った。



開発した高真空マイクロPD 結晶育成装置

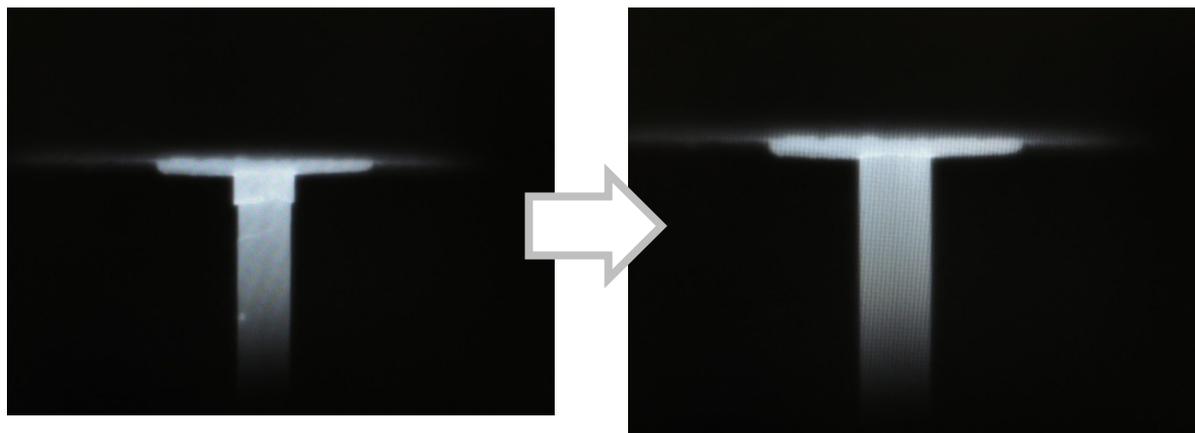


巻き取り機構

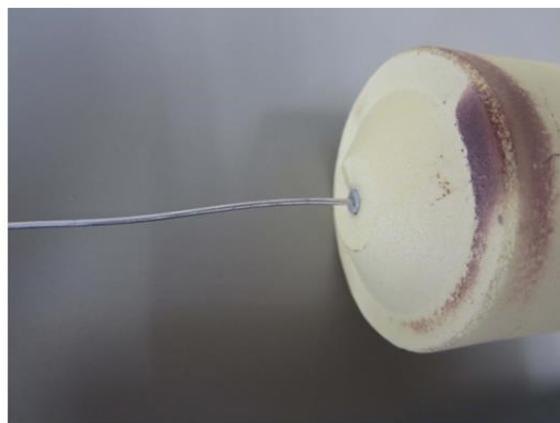
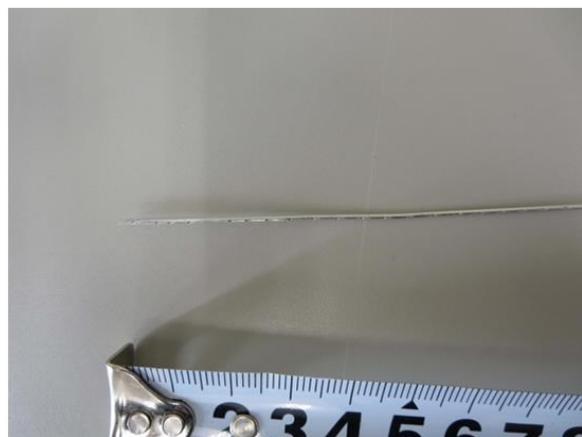
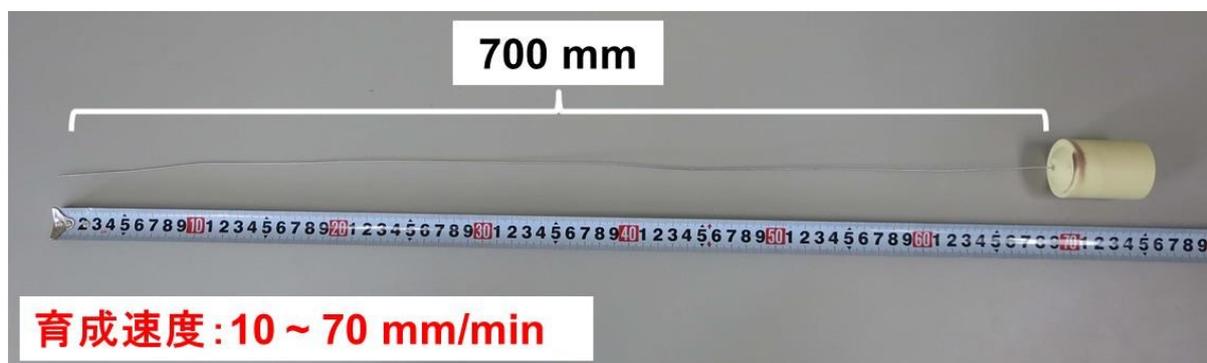
2-3-2 難加工性合金のファイバー試料の作製技術開発

上記の新規セラミックス坩堝および高真空マイクロ PD 装置を用いることで、平成24年度には、本事業の最終目標であった Ir 合金ファイバー試料の100mm長の作製に成功した。さらに、坩堝構造の改善を行った結果、当初は低い歩留まりであった当該工法において、その歩留まりの大幅な改善を達成した。

また、新たに開発した巻き取り機構を使用することで700mmもの長尺な Ir 合金ファイバー試料の作製にも成功した。



Ir 合金ファイバー育成中の固液界面

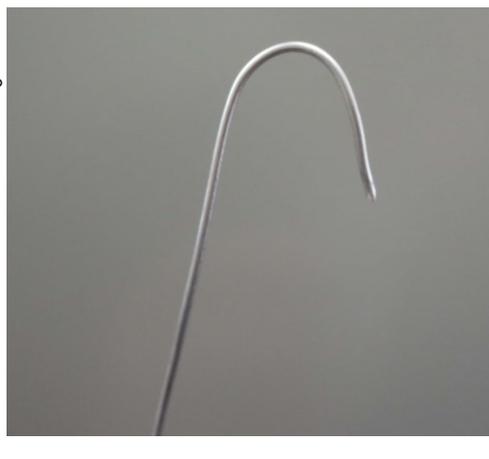


巻き取り装置を用いて作製した Ir 合金ファイバー試料。

2-4 形状制御した機能性合金結晶の特性評価

2-3で作製した Ir 合金ファイバー試料および様々な合金ファイバー試料の特性を評価した。

当該育成ファイバー試料の結晶特性および応用の際に重要となる加工性能、耐久性能を調べた結果、従来の Ir 合金線と比べて非常に良好な性能を示した。これはマイクロ引き下げ法による温度勾配中の一方向凝固を行ったことに起因すること考えている。これは、スパークプラグや形状制御合金として用いる際には非常に有用な高価であり、スパークプラグの材料の際にはその耐燃焼性、形状制御合金の材料の際には耐久性等を向上させる効果がある。



最終章 全体総括

坩堝の開発では材質およびその形状に重点を置き、試験を行ってきた。その結果、新規セラミックス坩堝を開発することに成功し、本目標である「2000℃近傍もの高温において高強度で不揮発性のセラミックス材料を開発するとともに、形状制御用にその新規開発セラミックス材料を坩堝形状並びに安定した形状制御結晶育成が可能な坩堝」を達成することができた。

一方、「新規セラミックス材料の販売価格は、坩堝¥5,000—/個以下を目標」とする条件の中で、より安価な製法を検討してきた。この結果、100 個口と数量がまとまった場合、¥5,000—/個の販売価格が可能であった。

坩堝材の加工技術開発に関しては、開発した数多くの良好な切削加工条件を用いて様々な形状の中間配合坩堝の作製を行った。さらに、製造工程を工夫することで通常の加工技術では成型が不可能であった材質においても十分な精度での加工を可能とした。販売価格も、今後数量がまとまった量あれば十分に¥5,000/個を達成できる見込みであり、材料から加工までを含めて坩堝1個¥10,000 は問題なく到達できると考えている。

有限ストロークの高真空マイクロ PD 結晶育成装置を試作し、本事業の目標であったイリジウム合金φ1×100L のファイバー育成に成功した。ピンチローラー方式の無限引下げ機構を持つ自動巻き取り装置を試作し、イリジウム合金φ1×約700L のファイバー育成に成功した。有限ストロークの高真空マイクロ PD 結晶育成装置では形状記憶合金相当の合金でφ1×100L のファイバー育成に成功した。今回の試作装置にはまだまだ改善点は多々あるため、今後もアドバイザー等の要求値をクリアするための検討を継続していきたいと考えている。

さらに、巻き取り機構を用いることで当初100mm長の育成が限界であったものが、700mm長までの育成に成功し、まだ改良の余地はあるものの確実に長尺ファイバー試料の作製が達成可能であることを示した。

育成した形状制御合金結晶に関して、所有の評価機器およびにおいて試料状態を評価した。その結果、従来品と比べて性能が劇的に改善していることが明らかとなった。