

平成 21 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「絶縁体の放電加工原理に基づいた、高精度・高機能モールド金型用
セラミックス素材とその加工技術の開発」

成果報告書

平成 22 年 3 月

委託者 東北経済産業局

委託先 株式会社インテリジェント・コスモス研究機構

目次

第1章 研究開発の概要.....	1
1-1 研究開発の背景・研究目的目標	1
1-2 研究体制.....	3
1-3 成果概要.....	7
(1) 事業計画履行状況.....	7
(2) 目標達成度	9
1-4 研究実施場所	10
1-5 知的財産権等の取組状況.....	10
1-6 投稿論文等.....	10
1-7 当該プロジェクトの連絡窓口.....	11
第2章 本論.....	12
2-1 放電加工可能なセラミックスの開発.....	12
2-1-1 物理的特性評価.....	12
2-1-2 セラミックス組成及び製造技術のリファイン・実用レベルでの金型評価	13
2-2 セラミックスの放電加工技術の開発.....	17
2-2-1 周辺技術からのアプローチ	17
2-2-2 放電加工の装置や各種設定などからのアプローチ	21
第3章 研究開発後の課題・事業化展開	29

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的目標

通常、半導体の封止はモールド金型を使った射出成形で行われているが、近年では高い機能を持つ多様な封止剤や半導体パッケージ部品が使われることから、

- ✓ 高温成形時の腐食ガスの発生により、従来のモールド金型素材である金属や超硬合金では、ガス焼けや表面腐食による離型不良や金型汚れを抑えることが困難になってきている。
- ✓ 近年多く使われ始めている BGA パッケージにおいて、ポリイミド基板からのアウトガスが金型表面に徐々に積層(数 μm ～30 μm 程度)して型締めが不均衡になり、基板のソリや樹脂漏れの原因となっている。
- ✓ 樹脂に混合しているフィラーの高充填化により金型の摩耗が早期化している。

等の問題が発生しており、川下企業では、あるタイプの金型にかかるコストが3年前の約 2.0 倍に増加している。

これらの対策として耐腐食性、耐摩耗性に優れたセラミックス製金型が検討されてきた。従来のセラミックスは絶縁体であり放電加工ができないため砥石による研削で加工されてきたが、半導体封止用モールド金型に必要な角穴のシャープエッジや細穴、細溝が加工できない問題があった。また、これまで様々な放電加工可能なセラミックスが開発されてきたが、通電性を持つ金属などとの複合材料のため、従来のセラミックスより耐腐食性、耐摩耗性が著しく劣る。

上記の課題に対し、本研究開発では長岡技術科学大学の技術シーズである「絶縁体セラミックスの放電加工法（補助電極法）」を活用し、従来のセラミックスと同等の耐腐食性・耐摩耗性を持ち高能率で高精度な放電加工が可能なセラミックス素材と、その加工技術を開発する。

本研究開発では、絶縁体でありながら高能率・高精度に放電加工可能なセラミックス素材の開発と、その放電加工技術の開発を行う。

セラミックス素材の開発では、酸化物系セラミックスと非酸化物系セラミックスで、従来のセラミックスの特性（硬度、強度、耐熱性）を維持しつつ、放電加工に適した素材を開発する。本テーマでは、平成 19 年度から 21 年度までレンタルされる SEM (EDX 付)、平成 20 年度に導入した電気炉を東北セラミックに設置し研究開発に活用する。

また放電加工技術の開発では、素材の放電加工特性の把握と最適加工条件の導出、さらには新しい放電加工用電源を開発する。平成 19 年度に導入した形彫放電加工機とワイヤ放電加工機は、新潟プレシジョンに設置されて開発に活用される。また、平成 20 年度には、形彫放電加工機に軸回転装置を付加し、

加工時間の短縮と、精度向上を図った。

本技術によりセラミックス製の半導体封止用モールド金型が実現できれば、金型寿命の向上による半導体パッケージの製造コストと、異物付着低減による金型のランニングコストの大幅な削減が期待できる。さらに金型のセラミックス化により高温での成形が可能となり、樹脂流動性が向上して成形の高速・高精度化も同時に可能となる。

開発した素材と加工技術は、川下企業である富士通インテグレートドマイクロテクノロジー株式会社が製造している、特定用途向け LSI のパッケージ用金型に適用する。

本研究では 3 年の開発期間を予定しており、最終目標値は以下のとおりである。

○セラミックスの特性値

硬度 酸化物系、非酸化物系のいずれも硬度 Hv1000 以上

強度 モールドの内圧に耐えるだけの強度 1000MPa 以上

耐熱性 400℃以上

金型寿命 従来の金属製金型の 3 倍

○放電加工特性

・加工速度:

超硬合金の加工速度と同等の、形彫りでは $10\text{mm}^3/\text{min}$ 、ワイヤ加工では $10\text{mm}^2/\text{min}$ (現状は 20%程度)。

・加工精度:

寸法精度: $1\mu\text{m}$ 以下 (研削、研磨、超音波等との複合加工システムを利用する)

表面粗さ: Ra: $0.1\mu\text{m}$ 以内

・その他 半導体封止用モールド金型として要求される加工特性

端部のダレがなく、段付き、鋭角を有する形状加工が可能なこと

形彫りでの工具電極の低消耗 (5%以下の消耗率)

径が 0.1mm以下の微細、深穴加工、アスペクト比 20 以上の加工

また平成 21 年度の目標値は以下のとおりである。

○セラミックスの特性値

硬度 酸化物系、非酸化物系のいずれも硬度 Hv1000 以上

強度 1000MPa 以上

耐熱性 400℃以上

○放電加工特性

・加工速度:

形彫りでは $10\text{mm}^3/\text{min}$ 、ワイヤ加工 $10\text{mm}^2/\text{min}$ 。

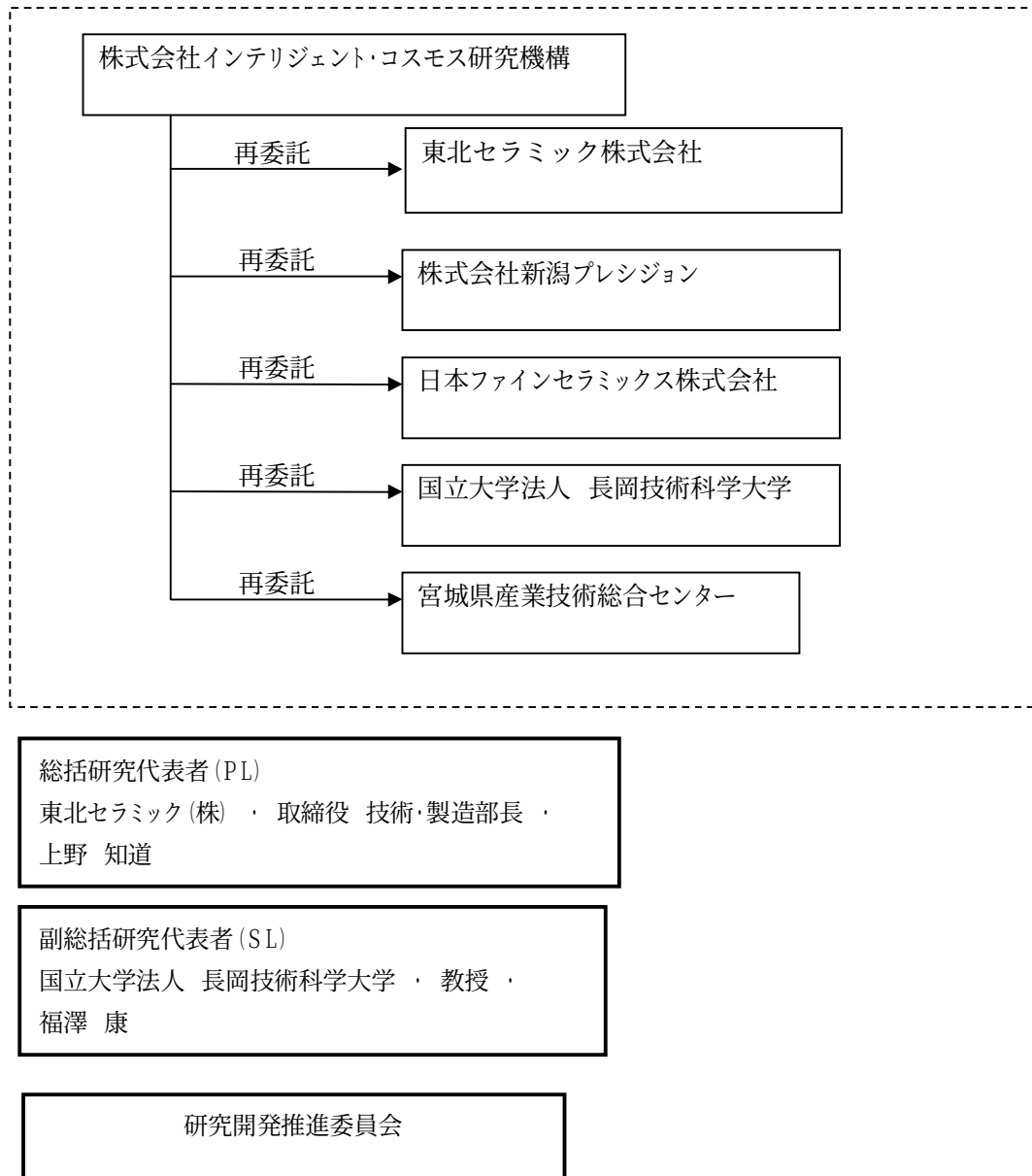
・加工精度:

寸法精度: $1\mu\text{m}$ 以下

表面粗さ: Ra: $0.1\mu\text{m}$ 以内

1-2 研究体制

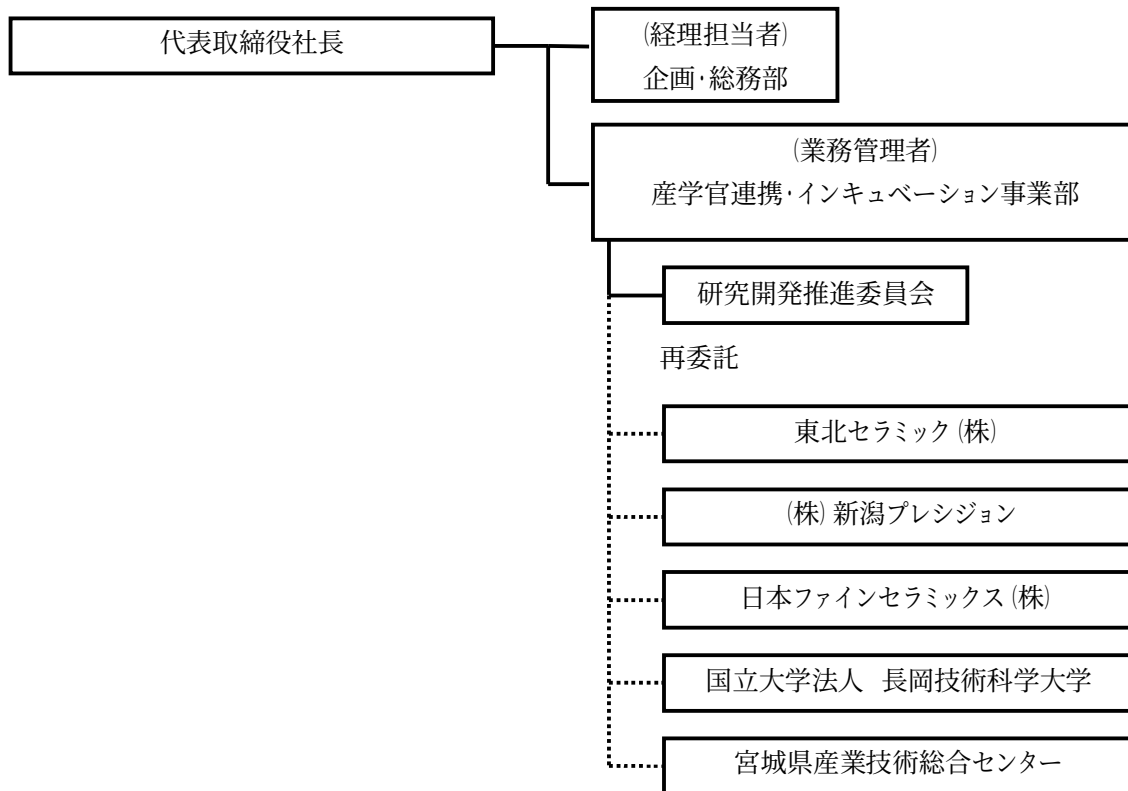
研究組織



管理体制

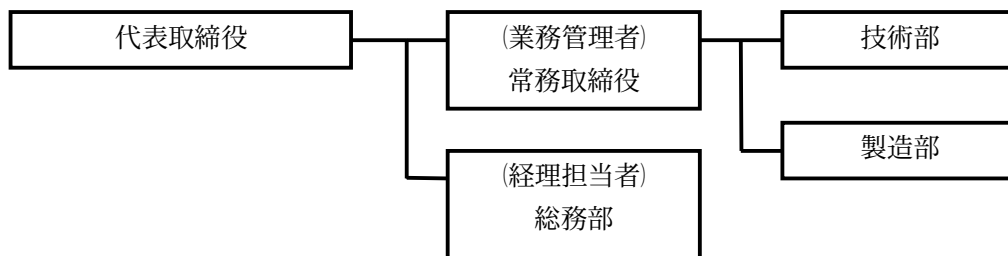
①事業管理者

[株式会社インテリジェント・コスモス研究機構]

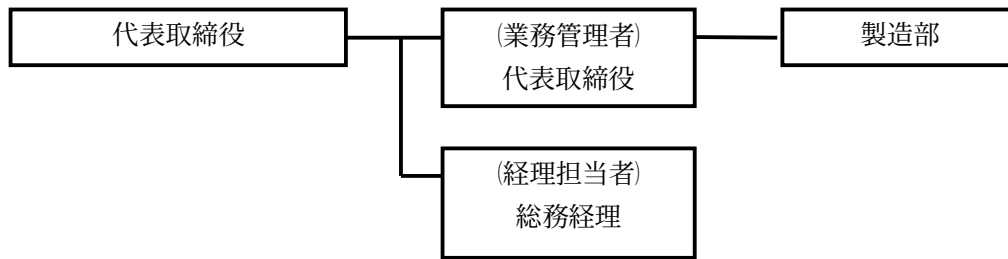


②再委託先

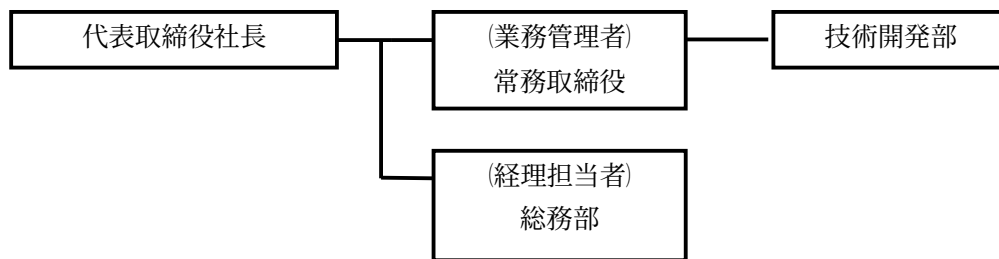
東北セラミック株式会社



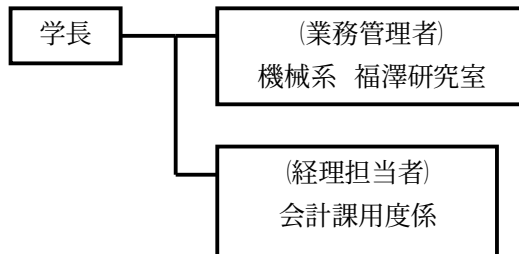
新潟プレシジョン株式会社



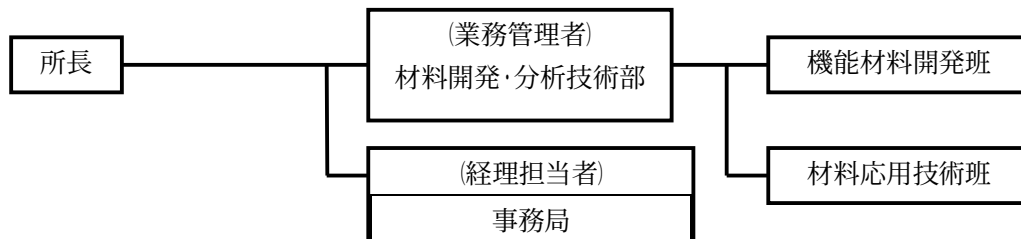
日本ファインセラミックス株式会社



国立大学法人 長岡技術科学大学



宮城県産業技術総合センター



研究者

東北セラミック株式会社

氏 名	所属・役職
上野 知道 山田 聖	取締役 技術・製造部長 技術部

新潟プレシジョン株式会社

氏 名	所属・役職
星 光男 関口 匡廣	代表取締役 取締役統括工場長

日本ファインセラミックス株式会社

氏 名	所属・役職
足立 茂 田辺 元 草野 大	常務取締役 技術開発部・次長 技術開発部

宮城県産業技術総合センター

氏 名	所属・役職
斎藤雅弘	材料開発・分析技術部 機能材料開発班・主任研究員
阿部一彦	材料開発・分析技術部 材料応用技術班・技師
大山 礼	材料開発・分析技術部 材料応用技術班・技師
久田哲弥	材料開発・分析技術部 材料応用技術班・研究員

国立大学法人 長岡技術科学大学

氏 名	所属・役職
福澤 康 植松 敬三	機械系 教授 物質・材料系 教授

協力者

氏名	役職	指導・協力事項
谷 貴幸	国立大学法人 筑波技術大学 准教授	放電加工技術の開発
後藤 啓光	国立大学法人 筑波技術大学 助教	放電加工技術の開発
鈴木 利秋	富士通インテグレートマイク ロテクノロジー株式会社 システム L S I 製造統括部（宮城工場） 製造技術部部長	半導体封止用金型のアドバイス
藤本 雅道	富士通インテグレートマイク ロテクノロジー株式会社 システム L S I 製造統括部（宮城工場） 製造技術部	半導体封止用金型のアドバイス

1-3 成果概要

(1) 事業計画履行状況

1 セラミックスの組成と放電加工特性の把握（東北セラミック・日本ファインセラミックス）

放電加工に適した酸化物系セラミックスの開発…ジルコニア系は TCZFY 及び TCZTA を主成分とした 4 種類を開発。

本研究年度はセラミック金型に使用する原料 TCZTA をメインとし、製造工程の改善を図ることで物理特性の向上に取り組んだ。第 4 成分を添加する量が増加するにつれ、硬度と曲げ強度の低下が懸念されていたが、どちらも問題はなく、セラミック型として十分な物理特性を有していることが明らかとなった。

放電加工に適した非酸化物系セラミックスの開発… 本研究は放電加工に適した非酸化物セラミックスの探索として窒化珪素セラミックスにおいては組成の影響および試作金型の作製、炭化ケイ素セラミックスにおいては主にその組成についての影響を観察することを目的とし、放電加工用セラミックスを作製した。

添加物およびカーボンの含有量による放電加工への影響を調査するため、窒化珪素セラミックスおよび炭化珪素セラミックスを所望の組成で調整したサンプルを作製した。いずれのサンプルも比較的緻密質のセラミックスが得られ、また焼結助剤の組成が放電加工性に対して影響を及ぼすことが確認できた。この中から強度・硬さなどの特性を考慮し標準組成(窒化珪素 SN-TP2、炭化珪素 SC-TP1)を選択した。

2 セラミックス素材の製造技術の開発（東北セラミック・日本ファインセラミックス・宮城県産業技術総合センター）

酸化物系セラミックス素材の製造技術の開発…TCZTA を主成分とした第 4 成分添加試料を製造・評価を行い、製造技術の改善を図った。第 4 成分添加による物理特性の低下を最小限にとどめる事を目標とした。今回行った製造工程の改善によって、密度を向上させ、成形時に発生していた内部のポアを減少させることに成功した。

また、ポアの減少により曲げ強度を大幅に向上させ、第 4 成分添加による物理特性の低下を最小限にとどめる、製造技術を確立することができた。

これにより、セラミック型としての使用に十分な物理特性を備えた素材開発することが可能となった。

非酸化物系セラミックス素材の製造技術の開発…2-1-2.1 項と同様の内容で、非酸化物系セラミックス（窒化珪素、炭化珪素）における製造技術を確立する。

本研究の主目的である窒化珪素セラミックス素材の機械的特性向上では(1)硬さ、(2)曲げ強度のいずれの目標も達成した。そして標準組成(SN-TP2)によって移送成形用金型素材の試作を行い、放電加工に供することができた。

物理特性評価…試作されたセラミックス素材について、機械的特性の目標値をクリアしているかを評価するため、曲げ強度、硬さ試験を実施した。また物性値として密度のほか、金型として使用する際に問題となる金属との熱膨張の違いを把握するため線膨張係数の測定を実施した。

セラミックス組成及び製造技術のリファイン

実際に半導体封止用モールド金型を試作し、F1（半導体封止成型機 試作用小型機）による試験・評価をおこなう。評価結果は素材開発、放電加工技術にフィードバックして改良を進めた。上型評価結果としては、セラミックスはアウトガスの汚れに強く、金型としての優位性があることが実証された。下型評価結果としては、ジルコニアは金属に比べ樹脂汚れが付着しにくく、除去しやすいという結果が得られた。セラミックスは一般に使用されている金属型よりも、アウトガスや樹脂汚れに対して優れていることが明らかになった。

3 セラミックス素材の放電特性評価試験を利用した、加工条件最適化の予備実験（新潟プレシジョン・長岡技術科学大学）

周辺技術からのアプローチ…長岡技術科学大学の加工データを基に、実機による加工を行い、データの取得を進めた。また、実機での問題点を抽出し、長岡技術科学大学にフィードバックし、よりの確な加工条件の創出を目指した。試作金型入れ子部品製作に主力を置き進めた。現時点での最適な加工条件での加工を目指した。

放電加工の装置や各種設定などからのアプローチ…以下の項目について

加工装置の開発、複合加工への展開を本事業では取り組んだ。

- (1) 被加工物毎の最適加工条件の調査 (ZrO₂、Si₃N₄ への Al₂O₃ 添加の効果)
SiC—Si +C 材料の加工
- (2) 電極材料の開発 (形彫加工における多孔質材料の開発、凹凸ワイヤ材の開発)
- (3) 微細加工法の確立 (Si₃N₄、コンデンサー加工、極性反転による低消耗加工)
- (4) 超音波加工機との併用 (Si₃N₄、ZrO₂)
- (5) 加工雰囲気 (加工油、噴射、温度)
- (6) 大面積加工 (走査電極法の開発)
- (7) 導電性被膜除去加工 (電子ビーム加工、ショットピーニング等の適用)

試作されたセラミックス素材の最適放電加工技術の開発と、半導体封止用モールド金型の試作…実際にジルコニア系、窒化珪素系素材を用い、モールド金型の上型と下型 (分割型、1 キャビ分) を作製した。

4 高能率加工および高精度加工に適した電源の開発 (長岡技術科学大学)

(1) 高能率加工および高精度加工に適した電源の開発…絶縁性セラミックス加工用
電源の開発を目的として、長岡技術科学大学の研究成果を基に開発した電源回路を搭載した放電加工機および長岡技術科学大学で設計・製作した、連続極性反転回路およびコンデンサー回路で制御する放電発生制御電源を搭載した、微細加工用試作小型放電加工システムにより機能確認実験を行った。また、工具電極に超音波振動を付加した装置の作製を行いその機能も明らかにした。

(2) 目標達成度

・ 素材の硬度・強度・耐熱性

硬度	目標値 Hv1000	ジルコニア系	Hv1540
		窒化珪素系	Hv1663
		炭化珪素系	Hv2893
強度	目標値 1000Mp	ジルコニア系	1621Mp
		窒化珪素系	1100Mp
		炭化珪素系	629Mp

耐熱性 (100% 400°C全種 OK)

・ 加工速度・加工精度

加工速度	目標値 10mm ² /min	ジルコニア系	2.8mm ² /min
		窒化珪素系	7.2mm ² /min
		炭化珪素系	10.5mm ² /min

寸法精度 目標値 1μm (100%)

全ての系において狙い寸法の 1%以内に収まっており、1μは達成している

表面粗さ 目標値 $0.1\mu\text{m}$ (100%)	ジルコニア系	$Ra0.07\mu\text{m}$
	窒化珪素系	$Ra0.75\mu\text{m}$
	炭化珪素系	$Ra0.22\mu\text{m}$

1-4 研究実施場所

東北セラミック株式会社 (最寄り駅: JR常磐線 亶理駅)
〒989-2351 宮城県亶理郡亶理町字江下111

株式会社新潟プレシジョン (最寄り駅: JR飯山線 十日町駅)
〒949-8617 新潟県十日町市中条己1684-1

日本ファインセラミックス株式会社 (最寄り駅: JR東北新幹線 仙台駅)
〒981-3206 宮城県仙台市泉区明通三丁目10番

国立大学法人 長岡技術科学大学 (最寄り駅: JR上越新幹線 長岡駅)
〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1

宮城県産業技術総合センター (最寄り駅: JR東北新幹線 仙台駅)
〒981-3206 宮城県仙台市泉区明通二丁目2番地

1-5 知的財産権等の取組状況

本プロジェクトにおける新事業への展開が見込まれる、「極性反転回路を用いた絶縁性材料の微細放電加工法」に関して、特許化する準備を進めている。

1-6 投稿論文等

- ・行広圭司, 福澤康, 毛利尚武, 斎藤長男, “銅多孔質電極を用いた超硬材料の放電加工特性(第2報)電極消耗プロセス”, 電気加工学会全国大会(2007)講演論文集, (2007), 269-270.
- ・金子健正, 福澤康, 山田隆一, 金子雄二, 原田武則, “高強度絶縁性炭化珪素セラミックスのワイヤ放電加工特性(第2報)放電加工による曲げ強度特性への影響”, 電気加工学会全国大会(2007)講演論文集, (2007), 325-328.
- ・久保田雄策, 福澤康, 原田武則, 金子雄二, “物性値の異なる絶縁性セラミックス材料の重ね合わせワイヤ放電加工”, 電気加工学会全国大会(2007)講演論文集, (2007), 329-330.
- ・行広圭司, 福澤康, 谷貴幸, 毛利尚武, 斎藤長男, “銅多孔質電極を用いた絶縁性セラミックスの放電加工特性”, 電気加工学会全国大会(2008)講演論文集, (2008), 23-24.

- ・金子健正，福澤康，山田隆一，金子雄二，原田武則，“絶縁性炭化珪素セラミックスのワイヤ放電加工特性-ワイヤ電極材料の影響-”，電気加工学会全国大会（2008）講演論文集，（2008），25-26.
- ・福岡順平，山下正英，山下健，福澤康，小方雅淑，“表面に凹凸を有するワイヤ工具電極による放電加工特性”，電気加工学会全国大会（2008）講演論文集，（2008），29-32.
- ・花岡大生，山下健，福澤康，“絶縁性Si₃N₄の形彫り放電加工特性に及ぼす被加工物への添加助剤の影響”，電気加工学会全国大会（2009）講演論文集，（2009），47-48.
- ・間室裕晶，山下正英，山下健，福澤康，小方雅淑，“緑性材料のワイヤ放電加工特性に及ぼす電極表面形状の影響”，電気加工学会全国大会（2009）講演論文集，（2009），51-54.
- ・伊藤龍司，caiya Praneetpongung，山下健，福澤康，“絶縁性 ZrO₂-Y₂O₃ 系セラミックスの放電加工表面性状に及ぼす工具電極の影響”，電気加工学会全国大会（2009）講演論文集，（2009），55-56.
- ・C.Praneetpongung，Y.Fukuzawa，S.Nagasawa，“Electrical Discharge of Cemented Carbide with Combined Ultrasonic Complex Vibration – Effects of gap distance – First report”，International Journal of Electrical Machining, No.15, (2010), 25-32.

1-7 当該プロジェクトの連絡窓口

宮城県仙台市青葉区南吉成六丁目6番地の3
株式会社インテリジェント・コスモス研究機構
電話 022-279-8811（代）

第2章 本論

2-1 放電加工可能なセラミックスの開発

2-1-1 物理的特性評価

試作されたセラミックス素材について、機械的特性の目標値をクリアしているかを評価するため、曲げ強度、硬さ試験を実施した。また物性値として密度のほか、金型として使用する際に問題となる金属との熱膨張の違いを把握するため線膨張係数の測定を実施した。

2-1-1-1 密度測定

第 2-1-1-1 表に密度測定の結果を示す。密度はアルキメデス法による密度測定器で行った。

表 2-1-1-1 密度測定の結果

試料名	素材	測定数	密度 (g/cm ³)		
			最大値	最小値	平均
A1	ジルコニア	10	5.48	5.46	5.47
A5	ジルコニア	10	5.42	5.41	5.41
SE	ジルコニア	10	6.09	6.07	6.08

2-1-1-2. 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、JIS R1601「ファインセラミックスの曲げ強さ試験方法」に準拠して行った。曲げ強度試験の詳細については平成 19 年度の報告書に記載しているので、そちらを参照されたい。

曲げ強度の測定結果を図 2-1-1-2-1 表に示す。

図 2-1-1-2-1 表 曲げ強度の試験結果

試料名	素材	測定数	曲げ強度 (MPa)		
			最大値	最小値	平均
A1	ジルコニア	10	1642	1298	1480
A5	ジルコニア	10	1402	1220	1307
SE	ジルコニア	10	974	566	869

2-1-1-3 硬さ試験

硬さ試験は曲げ強度試験で破壊した試験片を使って、全ての試料について5点の測定を行い、1つの材料で50点のデータを得た。

硬さ測定にはマイクロビッカース硬度計を用いた。装置の詳細については平成19年度の報告書に記載したのでここでは省略する。試験の荷重は500gである。硬さの結果を第2-1-1-3-1表に記載した。

第2-1-1-3-1表 硬さ試験結果

試料名	素材	測定点数	硬さ (HMV)		
			最大値	最小値	平均
A1	ジルコニア	50	1443	1538	1492
A5	ジルコニア	50	1414	1330	1378
SE	ジルコニア	50	1420	1310	1368

2-1-1-4 線膨張率測定

線膨張係数の測定には、セイコーインスツル社製 TMA/SS6300 を使用した。試験片は、曲げ試験で破壊した試料の破面を研削で平らにして作製した。

試験片は各試料からそれぞれ3本製作し試験を行った。

測定は室温から10°C/minの速度で昇温させ、300°C近辺に到達後その温度を20分間保持した。第2-1-1-4-1表に線膨張係数の測定結果を示す。

第2-1-1-4-1表 線膨張係数の測定結果

試料名	素材	測定点数	線膨張係数×10 ⁻⁶ (1/°C)		
A1	ジルコニア	3	8.7	8.9	8.9
A5	ジルコニア	3	8.9	8.7	8.8
SE	ジルコニア	3	9.9	10.0	10.0

2-1-2 セラミックス組成及び製造技術のリファイン・実用レベルでの金型評価

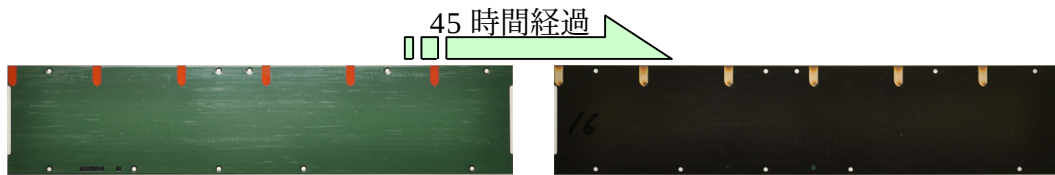
射出成形で良好な結果が得られた素材について、実際に半導体封止用モールド金型を試作し、F1(半導体封止成型機 試作用小型機)による試験・評価をおこなう。評価結果は素材開発、放電加工技術にフィードバックして改良を進める。

2-1-2-1 セラミック上型評価

基板から発生するアウトガスに対して、どれだけ汚れが付きにくい、また汚れの取れ具合を検証した。

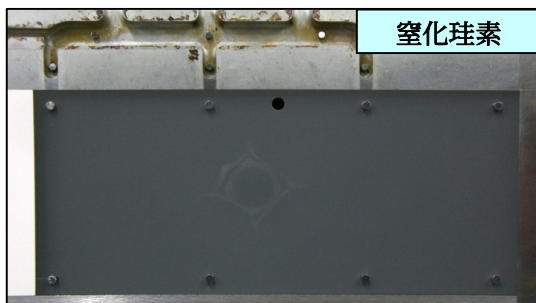
金型をヒートアップさせた状態で基板をソフトクランプさせ、基板 1 枚平均 22 時間程度その状態を保持する。これを計 370 時間おこない、強制的にセラミックをアウトガスにさらす。

第 2-1-3-1 図にソフトクランプ後の基板を示す。



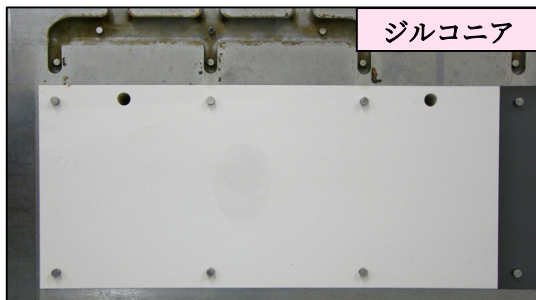
第 2-1-3-1 図 通常の基板(左) 45 時間クランプした基板(右)

ソフトクランプ 370 時間経過後のセラミックの状態を第 2-1-3-2 図に示す。



15 時間経過した時点で、ゲート周辺と、窒化珪素の外周部分に黄色い付着物(変色)が見られた。

時間が経過するにつれ外周部の黄ばみが強くなるが、全体として大きな変化は見られない。



15 時間程度で、窒化珪素と同様にゲート周辺に薄っすらとした付着物(変色)が見られたが、窒化珪素のような外周部分の変色はない。

370 時間経過後も全体的な黄ばみは見られず、大きな変化はみとめられない。

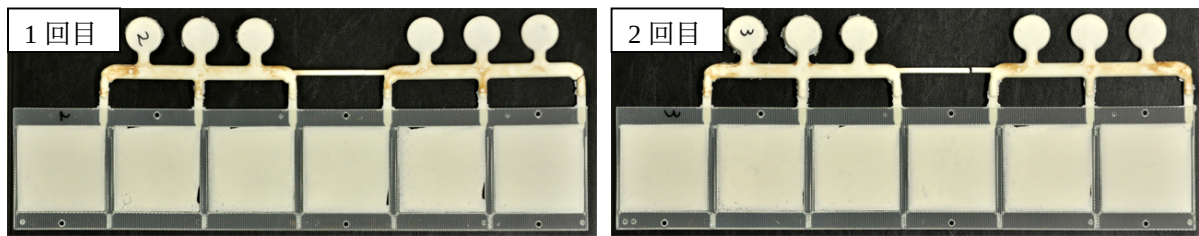
第 2-1-3-2 図 370 時間経過後の様子

この後、クリーニング用の樹脂を使い、上型の汚れ(アウトガス成分)の除去を行った。

このときのクリーニング樹脂に汚れがどの程度付いたかにより評価を行った。この結果を第 2-1-3-3 図に示す。

2 回のクリーニングを行ったが、セラミック型にアウトガスによる汚れが付着している様子はない。ジルコニア・窒化珪素ともにアウトガスによる汚れに強いこと

が明確になった。アドバイザーの富士通 I M T 殿から、金属に比べ汚れの付着が明らかに少ないという評価を得ている。

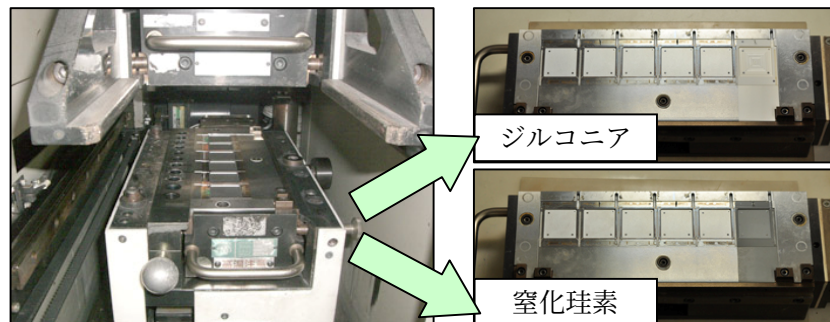


第 2-1-3-3 図 上型クリーニング結果

2-1-2-2 セラミック下型評価

F1 にて自動成形を行い、実際の使用を想定した評価試験を実施した。下型は型の一部を切り取り、そこにジルコニア、窒化珪素をそれぞれ取り付けた。

第 2-1-3-2-1 図に組み込んだ状態を示す。



第 2-1-3-2-1 図 セラミック型の組み込み状態

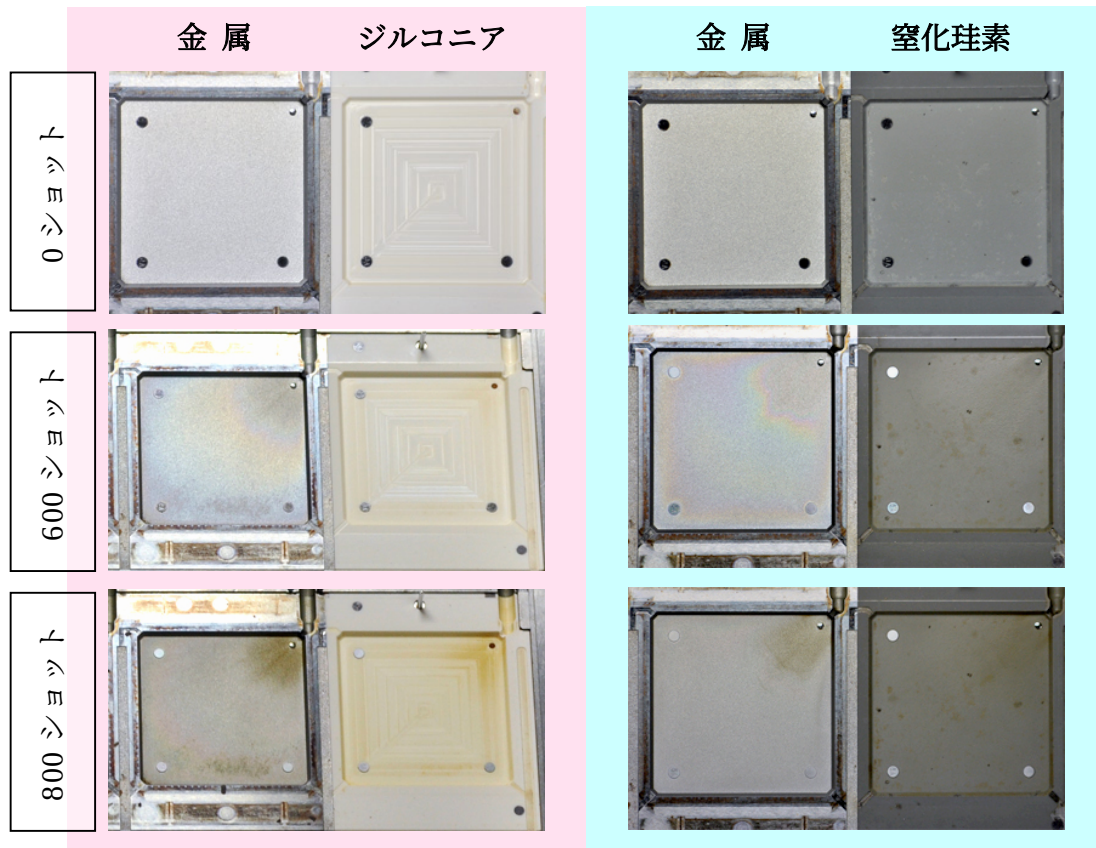
成形時における樹脂汚れの付き具合を検証する。

800 ショットの成形を行った後に、クリーニング用の樹脂を使い汚れの除去を行った。このときのクリーニング樹脂に汚れがどの程度付いたかにより評価を行った。

第 2-1-3-2-2 図に各ショット数ごとの状態を示す。

ジルコニアは研削面、窒化珪素は放電加工後にイエプロコ処理を行っている

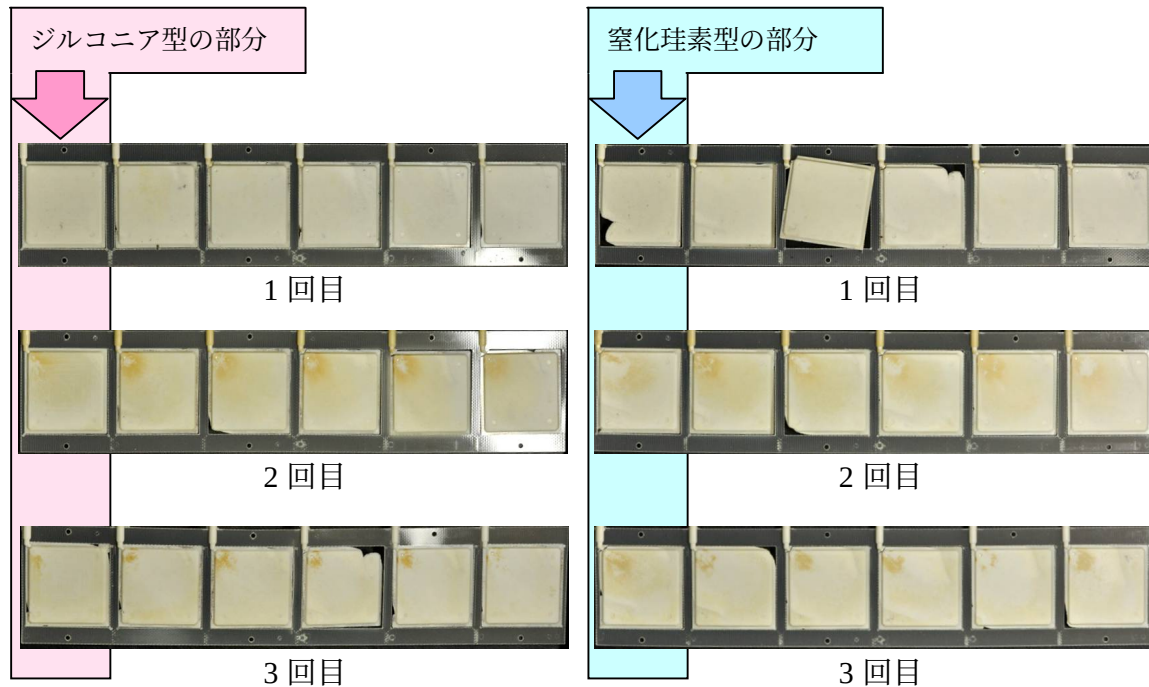
。



第 2-1-3-3-2 図 樹脂汚れの経過

ショット数を重ねるにつれてゲート部周辺から放射状に黄色い付着物がつき始めている。600 ショット到達時点には、金属及びセラミックとも全体的に汚れが付着し曇り始め、800 ショットでは完全にセラミック及び金属面の光沢がない状態となっている。

この後に、クリーニング用の樹脂で汚れを除去する作業を 12 回行っている。第 2-1-3-3-3 図に除去作業 1～3 回目まで結果を示す。



第 2-1-3-3-3 図 下型クリーニング結果

ジルコニア型と金属型の付着物の取れ具合を比較。

クリーニング結果の 2 回目、3 回目を見ると、セラミック型は汚れの付着が少ないことが分かる。また、4 回目以降クリーニング回数を重ねると、金属型より早く汚れが付かなくなる結果となった。

つまり、ジルコニア型は汚れの付着が少なく、汚れが取れやすい傾向にある。

窒化珪素型と金属型の付着物の取れ具合を比較。

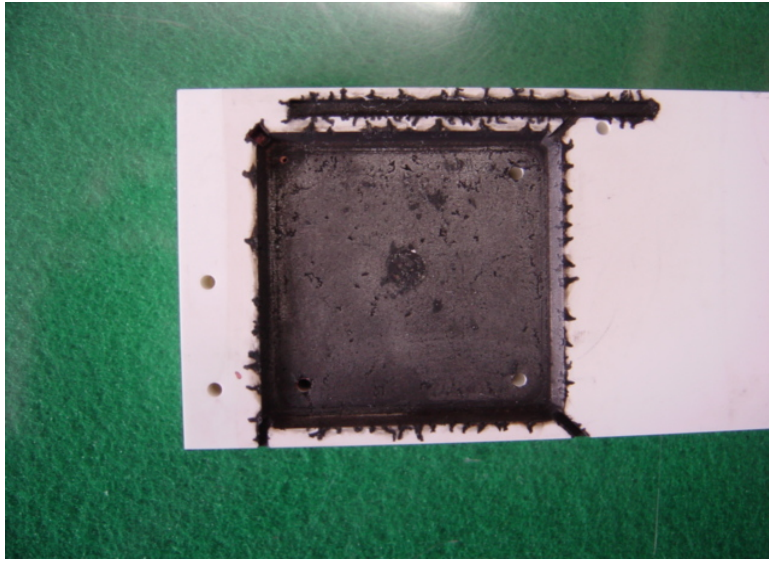
クリーニング結果の 2 回目を見ると、窒化珪素型は金属型と同様に汚れの付着があることが分かる。また、3 回目以降クリーニング回数を重ねると、汚れが付かなくなるまでに金属より回数を要する結果となった。

今回の窒化珪素型の面状態では、金属と同様に樹脂汚れが付着しやすく、汚れが取れにくいことが分かった。

2-2 セラミックスの放電加工技術の開発

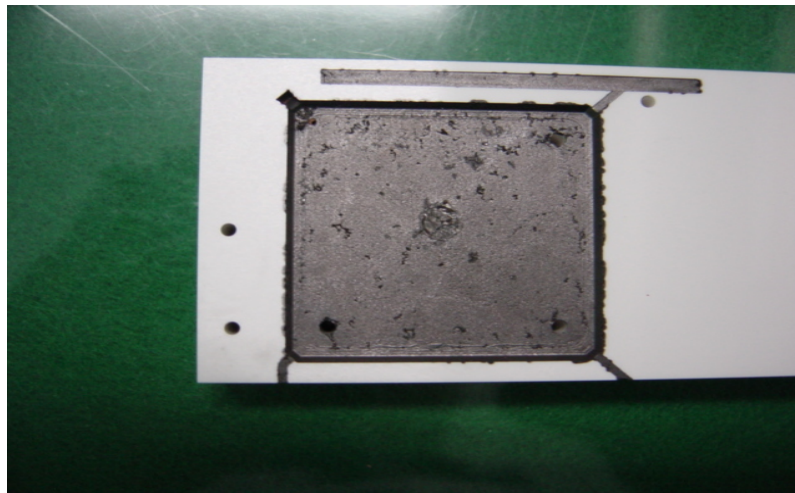
2-2-1 周辺技術からのアプローチ

試作金型の下型の入れ子を形彫り放電加工で加工を行なった。第 2-2-1.1-2-1 図はジルコニア素材を成形電極で放電加工をした製品。写真の濃い黒い部分が 2 次放電現象で発生した放電痕である。凹凸があり加工条件が良くない結果。また白い未加工部分と黒くギザギザの部分も 2 次放電現象の放電痕である。



第 2-2-1.1-2-1 図 2 次放電による放電痕（ジルコニア）

第 2-2-1.1-2-2 図は放電加工した製品（第 2-2-1.1-2-1 図）の白い未加工部分と黒いギザギザ部分の放電痕を取り去る為に、0.5mm 上面に研磨加工を行っている。

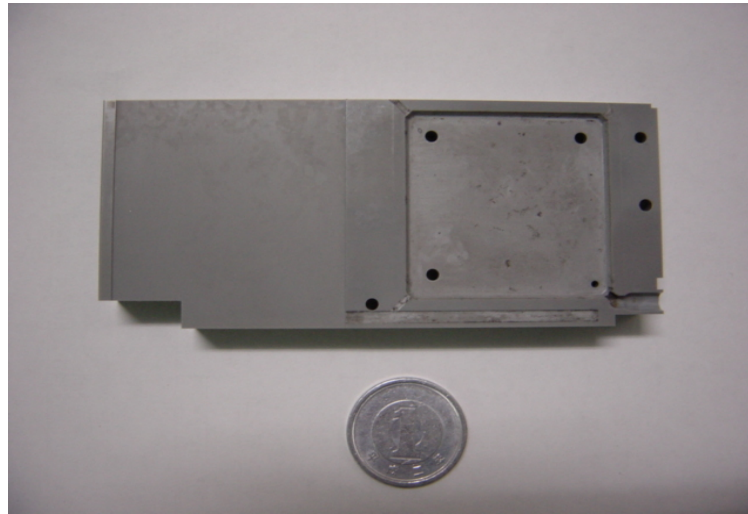


第 2-2-1.1-2-2 図 2 次放電痕除去（ジルコニア）

結果的に、黒いギザギザの部分の放電痕を完全に取り去ることが出来なかったが研磨代を放電痕より多く見込んで加工すれば良い。対策の 1 つである。放電痕の出来る原因は、補助電極の密着性、異常放電、噴射液量等々要因がある。放電加工のみで形状成形には課題が残る、今後の検討となる。

第 2-2-1.1-2-3 図は、窒化珪素材の放電加工を行なった製品。2 次放電現象は少なく放電痕も小さいが凹凸が今後の課題となる。また、放電加工のみで形状成形加工が出来ている。

結果としては良く出来ている。



第 2-2-1.1-2-3 図 窒化珪素の放電状態

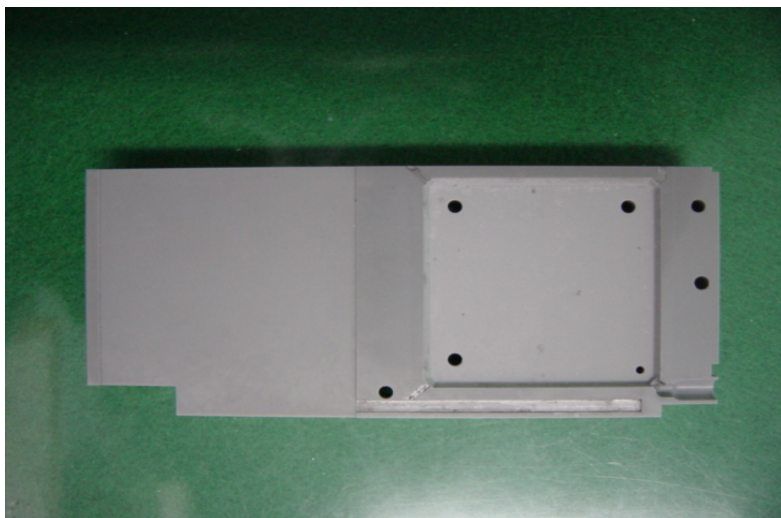
次に、放電加工後の放電皮膜を除去しなければならない。放電皮膜で放電加工は進むが加工後は放電皮膜を取りのぞき、面粗さ Rz10 を出す必要がある。加工方法、加工条件で放電皮膜の厚さは変わる。皮膜厚さは薄い方が除去し易い。

加工材料と加工機により放電皮膜厚さは異なる。第 2-2-1.1-2-1 表はその数値を示す。また、放電皮膜の硬さも異なる。ジルコニア材は硬く素材にしがみ付く感じで除去には困難である。窒化珪素材はもろく外部から圧力をかけると素材面から取れ易い。

第 2-2-1.1-2-1 表 放電膜の厚み [mm]

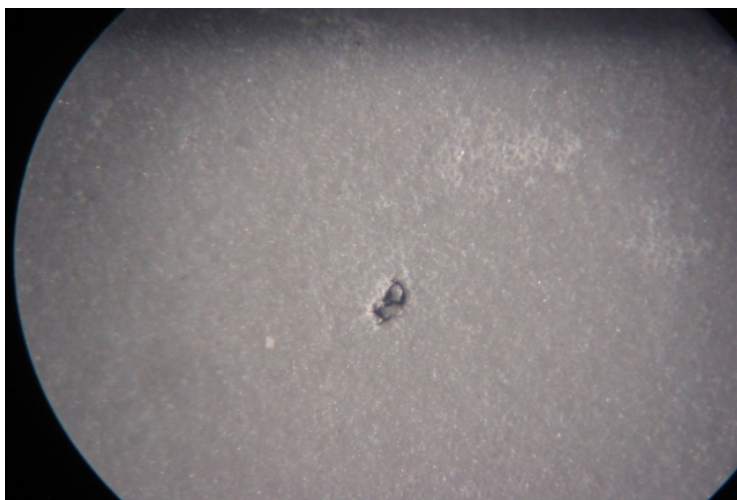
	放電加工	ワイヤー加工
ジルコニア	0.1 ~0.12	0.03~0.04
窒化珪素	0.03~0.05	0.03~0.05

次は、放電加工皮膜除去である。除去方法には色々な方法があるが、今回はブラスト加工の原理を利用した、イエプロ処理（会社名）を試みた。第 2-2-1.1-2-4 図は、メディア、圧力、時間等々加工条件を変えての加工で、今の時点では良好と思われる製品である。



第 2-2-1.1-2-4 図 放電膜除去後の状態

第 2-2-1.1-2-3 図と放電で形状成形の面を比較すると、明らかに 2 次放電の放電痕が少なくなっている。放電皮膜 0.05mm を除去した為、放電痕が減少しているが完全には除去できていない。第 2-2-1.1-2-5 図は第 2-2-1.1-2-4 図の 20 倍の拡大写真である。問題箇所の放電痕が見える。



第 2-2-1.1-2-5 図放電膜除去後の状態（20 倍）

2-2-2 放電加工の装置や各種設定などからのアプローチ

2-2-2-1 研究内容

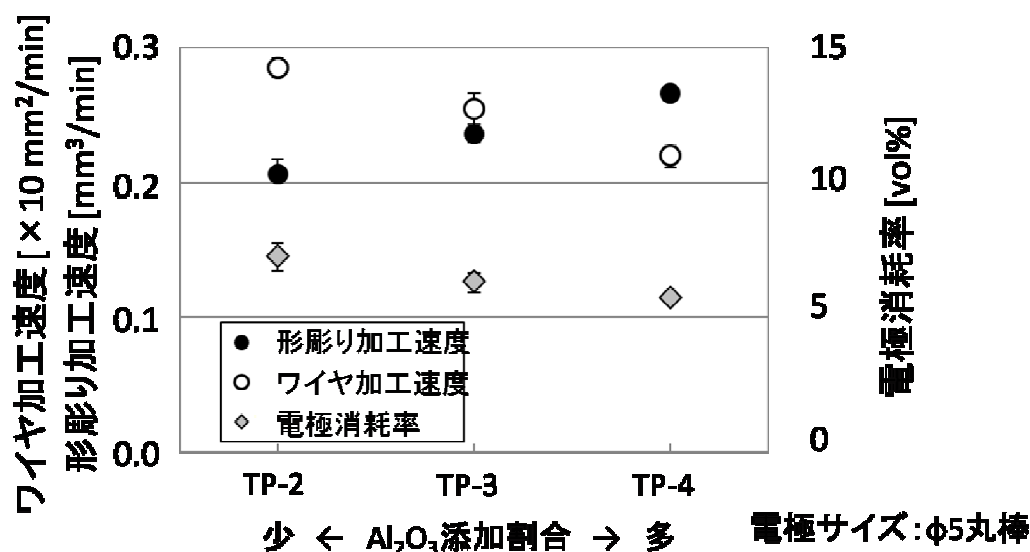
- (1) 被加工物毎の最適加工条件の調査 (ZrO_2 、 Si_3N_4 への Al_2O_3 添加の効果)
SiC—Si +C 材料の加工
- (2) 電極材料の開発 (形彫加工における多孔質材料の開発、凹凸ワイヤ材の開発)
- (3) 微細加工法の確立 (Si_3N_4 、コンデンサー加工、極性反転による低消耗加工)
- (4) 超音波加工機との併用 (Si_3N_4 、 ZrO_2)
- (5) 加工雰囲気 (加工油、噴射、温度)
- (6) 大面積加工 (走査電極法の開発)
- (7) 導電性被膜除去加工 (電子ビーム加工、ショットピーニング等の適用)

2-2-2-2 研究成果

2-2-2-2-1 Al_2O_3 の添加割合と加工速度及び表面粗さの関係 (Si_3N_4)

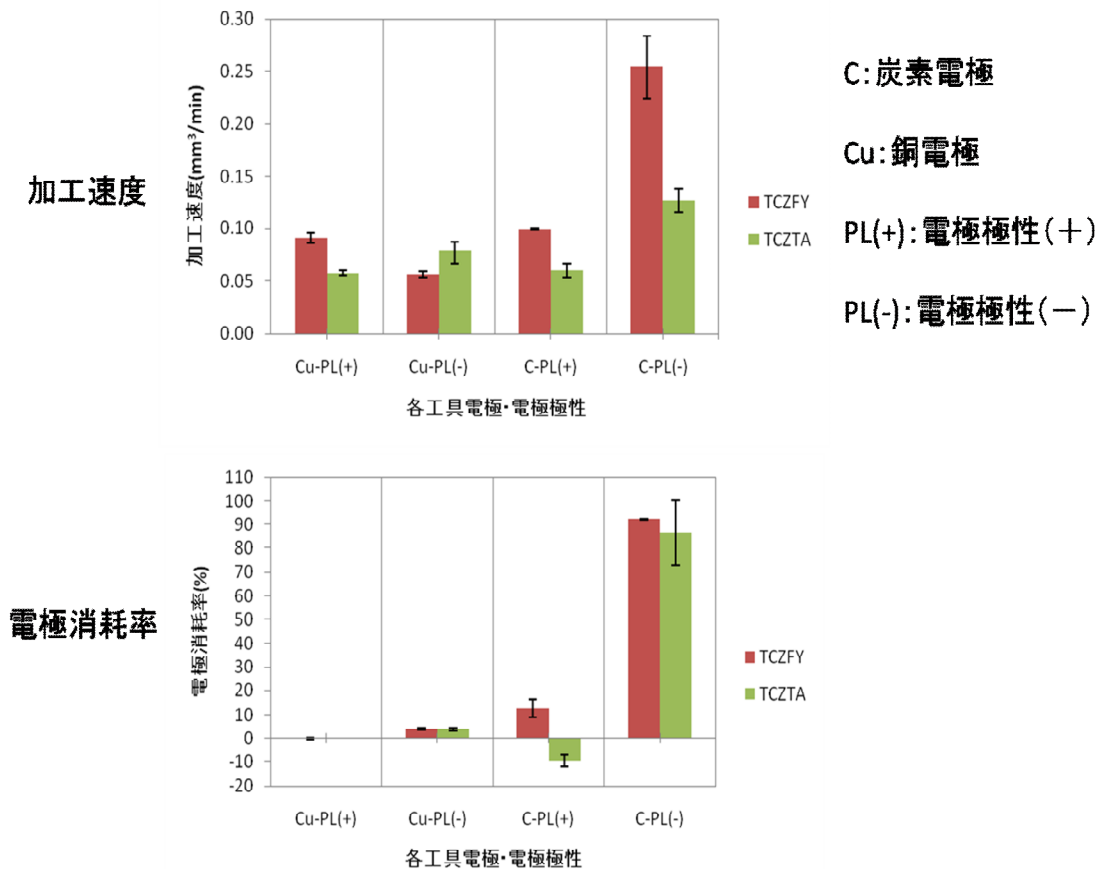
ワイヤ放電加工

第 2-2-1.2-3-1-1 図に Al_2O_3 添加量を変化させた Si_3N_4 に対する形彫りおよびワイヤ放電加工における加工速度と表面粗さの Al_2O_3 添加量との関係を示す。形彫り加工では Al_2O_3 添加量が増加するに従い、加工速度、表面粗さも向上するのに対して、ワイヤ加工では添加量が少ない方が加工速度良好であり、表面粗さも良好となった。 ZrO_2 に Y_2O_3 と少量の Al_2O_3 を添加した TCZFY とこれに 20wt% の Al_2O_3 を添加した高強度高靱性 ZrO_2 TCZTA で加工特性を比較した。電極極性および Cu と炭素電極材料で加工特性を比較した (第 2-2-1.2-3-1-2 図)。



第 2-2-1.2-3-1-1 図 Al_2O_3 の添加割合と加工速度・電極消耗率の関係 (Si_3N_4)

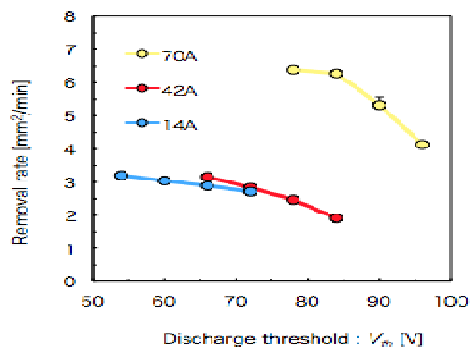
実験結果(TCZFY,TCZTA)



第 2-2-1.2-3-1-1 図 各加工条件での加工速度、電極消耗率の相違

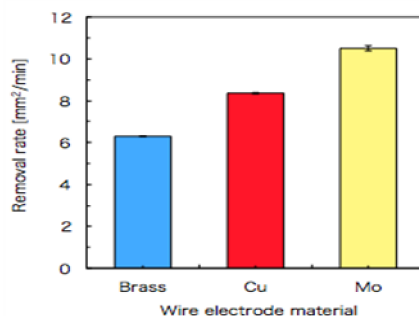
高強度反応焼結 SiC (RS-SiC : High-strength Reaction-sintered SiC) を供試材として、その加工特性の向上を目的として、①加工条件および②ワイヤ工具電極材料の観点から調査した。素材は、日本ファインセラミックスから提供を受けた。成果を第 2-2-1.2-3-1-3 図および第 2-2-1.2-3-1-4 図に示す。この結果、SiC は 70A と高い電流値でも検知電圧を 80V 程度にすることで超硬材料とほぼ同程度の加工速度が得られた。また、ワイヤ電極材料を Mo とすることで、10mm²/min と高い加工速度が得られた。

SiC 黄銅ワイヤ 加工速度



第 2-2-1.2-3-1-3 図 SiC 加工における加工速度
放電検知電圧の關係に及ぼす電流値の關係

SiC 工具材料による加工速度



第 2-2-1.2-3-1-4 図 SiC のワイヤ放電加工での
加工速度に及ぼす電極材料の影響

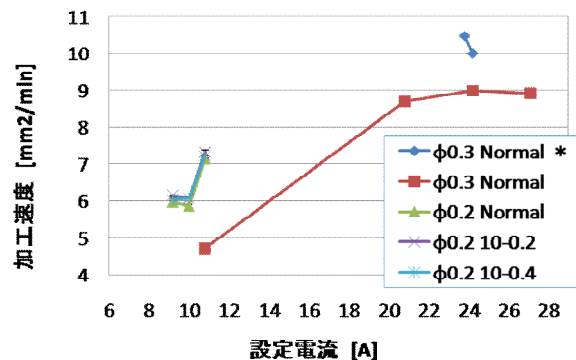
2-2-2-2-2 電極材料の開発 (形彫加工における多孔質材料の開発)

多孔質銅系の電極材料を作製して形彫り加工への有効性を確認した。第 2-2-1.2-3-2-1 図に ZrO_2 を被加工物として、Cu に炭素を添加した場合の、炭素添加量と加工速度の關係を示す。炭素量 20%以上で、これまでの実験結果では加工速度が最大であった炭素電極(一)以上の加工速度となった。ただし、電極消耗率は炭素よりも小さいが、50%以上と高い。

第 2-2-1.2-3-2-1 図 多孔質電極材 Cu-C での加工特性に
及ぼす C 添加量の影響

2-2-2-2-3 ウットブラスト加工したワイヤを用いたワイヤ放電加工

ワイヤ表面に凹凸を付加したワイヤを用いて、加工特性の向上を目指した。ウットブラスト加工機を作製して、ワイヤ表面の凹凸状態による、加工特性の変化を調べた。その結果、絶縁性セラミックスの粗加工条件でのワイヤ加工では、通常のワイヤと大きな相違は認められなかった。しかしながら、仕上げ加工条件では表面粗さが大きく向上した。第 2-2-1.2-3-3-1 図にせて電流値と加工速度の関係を示す。また、 $\phi 0.2$ から 0.3 と電極径を大きくすることで、加工速度は大きく向上した。

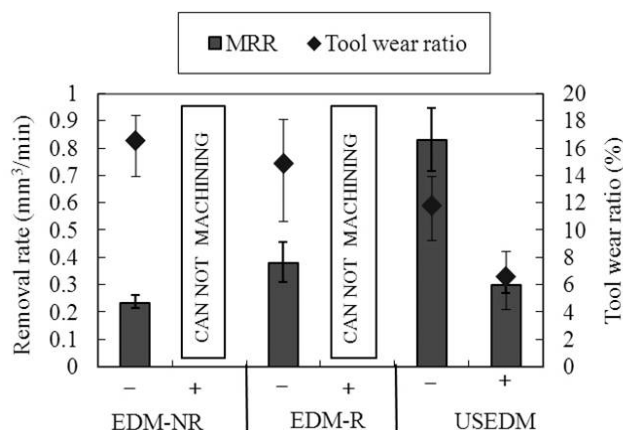


第 2-2-1.2-3-3-1 図 ウットブラスト加工したワイヤを用いた
ワイヤ放電加工特性

2-2-2-2-4 超音波加工機との併用 (Si_3N_4 、 ZrO_2)

縦振動を電極に付加できる、形彫り放電加工システムを作製してその効果を、 ZrO_2 および Si_3N_4 で調べた。第 2-2-1.2-3-4-1 図に Si_3N_4 の形彫り放電加工における電極極性、電極回転、超音波振動付加の効果を示す。この結果、通常の加工では不可能な電極極性プラスでの加工が超音波を付加することで加工となった。また、

加工速度、電極消耗も、振動振幅、電極回転数、サーボ電圧を適当に選択することにより大きくお向上することが分かった。



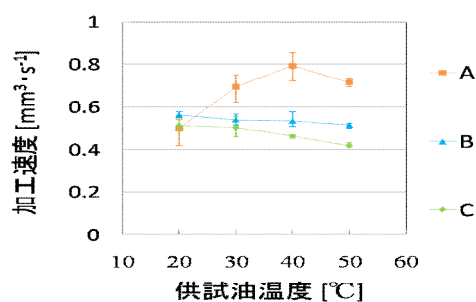
第 2-2-1.2-3-4-1 図 Si_3N_4 の形彫り放電加工における電極極性、電極の回転および超音波振動付加による加工特性の変化

2-2-2-2-5 加工雰囲気（加工油、噴射、温度）

加工雰囲気が加工特性に及ぼす影響を加工油の種類と温度との関係から調べた。また、加工液の噴出の効果も調べた。第 2-2-1.2-3-5-1 図に 3 種類の加工油を用いて、 Si_3N_4 を加工した場合の油の温度と加工速度の関係を示す。油の種類により温度依存性は異なることが分かった。この結果、加工油の選択により加工特性はさらに向上する可能性があることが明確となった。今後、被加工物による加工油の種類、加工液温度の選択指針を作成する必要がある。

供試油物性値

	A	B	C
動粘度 [mm²/s] (20 °C)	10.93	3.37	4.04
動粘度 [mm²/s] (30 °C)	7.93	2.76	3.20
動粘度 [mm²/s] (40 °C)	5.99	2.32	2.61
動粘度 [mm²/s] (50 °C)	4.68	1.98	2.18
引火点 [°C]	148	100	80
密度 [g/cm³] (15°C)	0.840	0.799	0.789
熱伝達率の積分値 [$\times 10^4 \text{ W/m}^2$]	206	215	79



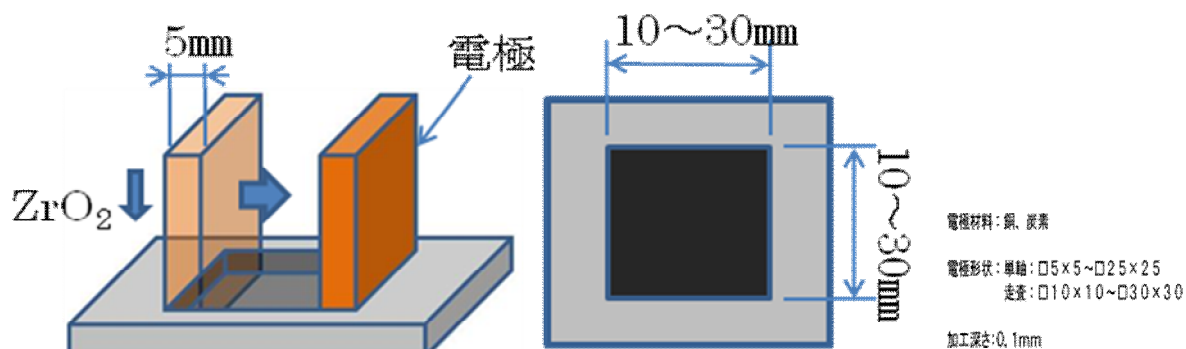
第 2-2-1.2-3-5-1 図 加工油の種類による加工液温度と加工速度の関係 (Si_3N_4)

2-2-2-2-6 大面積加工（走査電極法の開発）

半導体封止用モールド金型として要求される加工特性の1つとして、 $30 \times 30 \text{ mm}$ 以上の大面積で、表面粗さ $2 \mu\text{m}$ 以下の均一加工面の加工が必要とされている。この問題を解決するため、大面積加工を試みたが、要求の特性を満足する加工は不可能であった。

そこで、第 2-2-1.2-3-6-1 図に示す走査加工法により、表面粗さ $2 \mu\text{m}$ 以下の加工表面が得られた。特に、複数回の仕上げ加工を実施することにより表面粗さは目標値を上回った。

・ 走査加工



第 2-2-1.2-3-6-1 図 走査電極法による大面積加工

2-2-2-2-7 導電性被膜除去加工（電子ビーム加工、ショットピーニング等の適用）

加工精度向上のために、加工面上に付着している導電性被膜の除去を電子ビーム加工、ショットピーニング加工で行なった。この結果、電子ビーム加工では Si_3N_4 の梨地加工は加工であるが、 ZrO_2 では亀裂が発生して不適であることが分かった。

また、微細砥粒、弾性体球表面にダイヤモンドを塗布した砥粒でショットピーニング加工することで、梨地の形状を保持したまま導電性被膜は除去できることが判明した。

まとめ

以上の試行を行った結果、当初の目標値の多くはクリアすることが出来、本加工法を実際の加工法として用いることが可能となったと確信している。

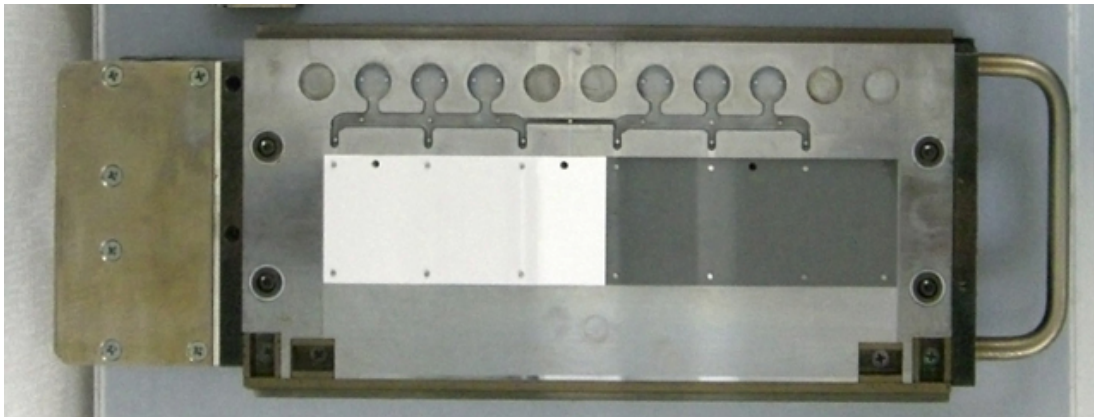
2-2-2-3 試作されたセラミックス素材の最適放電加工技術の開発と、半導体封止用モールド金型の試作

2-2-2-3-1 移送成形用型の試作

平成 20 年度は、射出成形用型の試作を行った。今年度は移送成形用型の試作を行い、試験機 F1 を用いて、耐汚れ性、耐付着性の評価を行なった。（前述 2-1-3 参照）

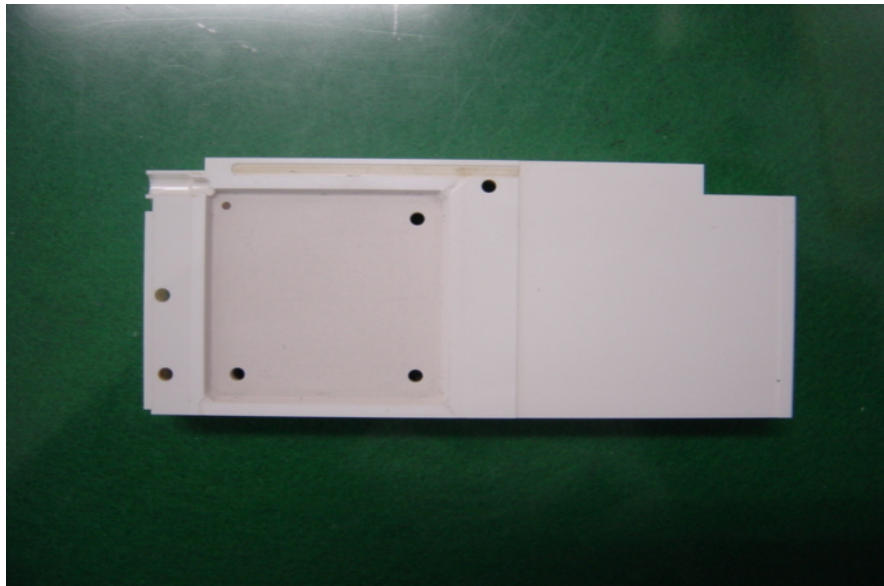
実際に作製した、半導体モールド用金型を示す。

第 2-2-1.3-1-1 図は、上型を金型に組み込んだ状態である。右側が窒化珪素系、左側がジルコニア系で、基板からのアウトガスの汚れを確認した。

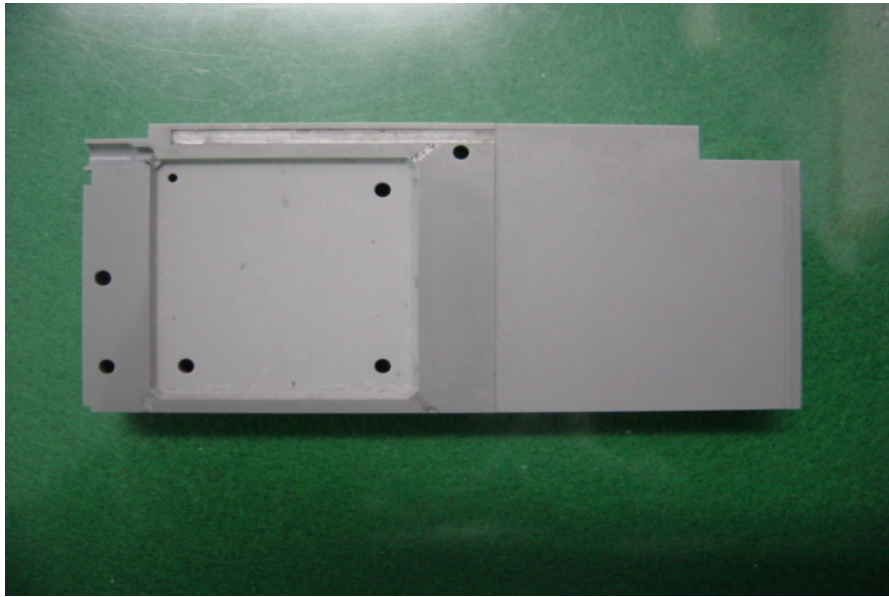


第 2-2-1.3-1-1 図 セラミック上型組み込み状態

第 2-2-1.3-1-2 図、第 2-2-1.3-1-3 図は、下型の入れ子部品である。この部品を金型に搭載して樹脂の剥がれ性、樹脂汚れを確認した。（前述 2-1-3 参照）



第 2-2-1.3-1-2 図 下型（ジルコニア系）



第 2-2-1.3-1-3 図 下型（窒化珪素系）

2-2-2-3-2 まとめ

戦略的基盤技術高度化支援事業の期間の中で、商品化出来なかった事は残念に思う。しかし、実用化の見通しが見えて来たことは大きな成果であると考えます。

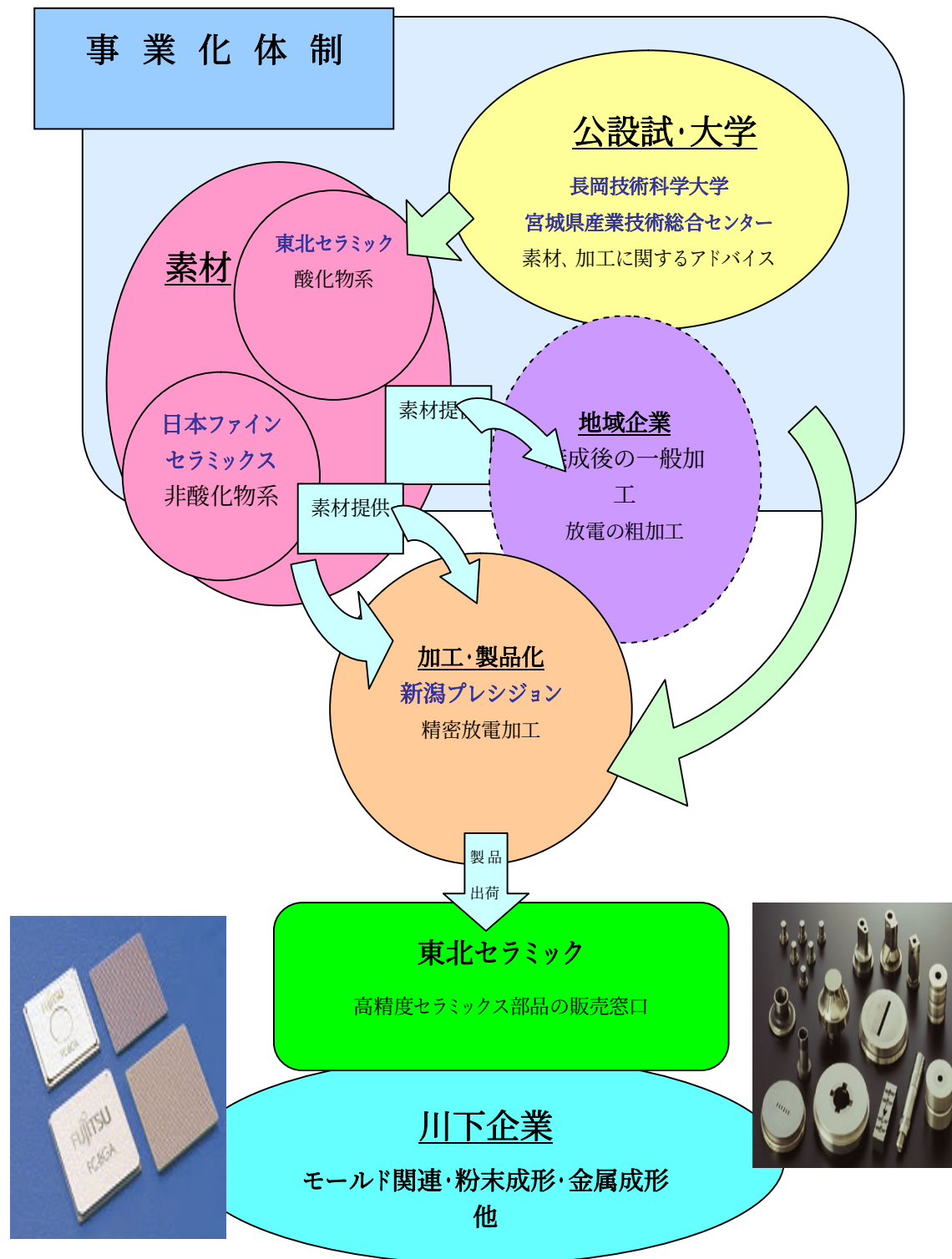
この加工技術は日本の将来必ず必要とされる加工技術と信じている。その為には、まだ課題の多い加工技術だが育てる責務がある様に思う。止めてはならない絶縁セラミックスの放電加工技術である。

第3章 研究開発後の課題・事業化展開

- 1) 半導体封止用金型の実機試作。
- 2) 半導体封止成形機（試作用小型機 F1）を実際に用い、川下企業の要求に合った特性の試験・評価。
- 3) それに伴い、川下企業である富士通IMT様との連携を強化し、事業化に向けた取り組みを本格化させる。
- 4) 他分野への展開 絞りダイへの応用

本研究開発で絶縁体の放電加工技術及び最適なセラミックス素材が開発されると

1. 川下企業の半導体封止金型に応用でき、ランニングコストの大幅削減に貢献できる。
2. セラミックス素材を各種金型分野に応用することにより従来の金型の問題点を解決する技術として大きく貢献できる。
3. 金型分野への進出により、エンジニアリングセラミックスの活性化に貢献できる。



半導体モールド型

1、上型の実機使用テスト

→上型をセラミックス仕様で、設計し現在作成中

2 月中に完成し、富士通インテグレートドマイクロテクノロジー株式会社にて、ラインテスト開始予定。

2、下型の試験型の作製

→今回のテストの問題点を抽出し、加工方法、特に表面状態の改善を図る。
実用化に向けた開発を継続する。

その他の分野への応用

1、金型（射出、圧粉、金属加工用など）分野への応用

2、微細加工分野への応用

	H21 (本開発終了年度)	H22	H23	H24	H25
半導体封止用金型	→	実用化			
射出成形用金型		→	実用化		
粉末プレス用金型		→	実用化		
金属加工用プレス金型		→	実用化		