

【公開版】

平成28年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「粘度が高い高熱伝導樹脂を用いた多機能一体化成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年5月

担当局 近畿経済産業局

補助事業者 公益財団法人奈良県地域産業振興センター

## [目 次]

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
(1) 研究開発の背景と動向	1
(2) 研究開発の目的	2
(3) 研究開発の目標	2
1-2 研究体制	4
1-3 成果概要	6
1-3-1 機械物性の向上と充填密度の均一化	6
1-3-2 高粘度・高ガス対応の金型加工技術開発	6
1-3-3 高粘度樹脂に適応した成形システムの構築	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論（成果報告）	9
2-1 機械物性の向上と充填密度の均一化	9
(1) 高熱伝導樹脂について	9
(2) フィラーの配向	9
2-2 高粘度・高ガス対応の金型加工技術開発	14
(1) 超高熱伝導素材	14
(2) 多孔性部材	16
(3) 金型表面改質	19
2-3 高粘度樹脂に適応した成形システムの構築	26
(1) 高圧射出圧力制御成形機	26
(2) ガス低減化スクリーン	26
(3) 試作金型	27
第3章 全体総括	33
3-1 研究開発成果と課題	33
3-2 事業化展開	34

第1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

(1) 研究開発の背景と動向

近年の製造業における高付加価値化・軽量化へのニーズは、製品設計において高機能素材を効果的に用いることを可能とする 新たな生産技術開発への期待 につながっている。これは、世界的な環境、資源エネルギーへの意識の高まりから、自動車、電子部品・デバイスの設計において、製品内外の放熱のための熱源対策が急務となっている。しかし、量産成形可能な素材の熱伝導率の低さから設計上の制約が多く、高付加価値化・軽量化を同時に追求することが極めて困難となっている。図1は、主な金属、樹脂の熱伝導率を表したものである。この中で、既存樹脂の熱伝導率は 0.1~0.3W/m・K と極めて小さく、放熱のために必要な製品部材は、金属材料が主流となっている。

特に自動車の燃焼周辺部材、各種モーター部品などにおいて、熱対策のための部材が多用されており、コスト面はもとより、軽量化の阻害要因にもなっている。このため、金属部品からの置換、ユニット構成部品の一体化は重要な開発課題となっている。一方、高熱伝導樹脂を用いることで、部品の多機能一体化による軽量化・低コスト化が飛躍的に図れることから、その実用化が渴望されている。また、導電性・絶縁性の使い分けができ、さらに200℃以上のPPS(ポリフェニレンサルファイド樹脂)など、耐熱性、耐溶剤性機能も持ち合わせた、より広範囲の製品化の実現にも大きな期待が寄せられている。図1には、「期待される熱伝導性樹脂」を示した。

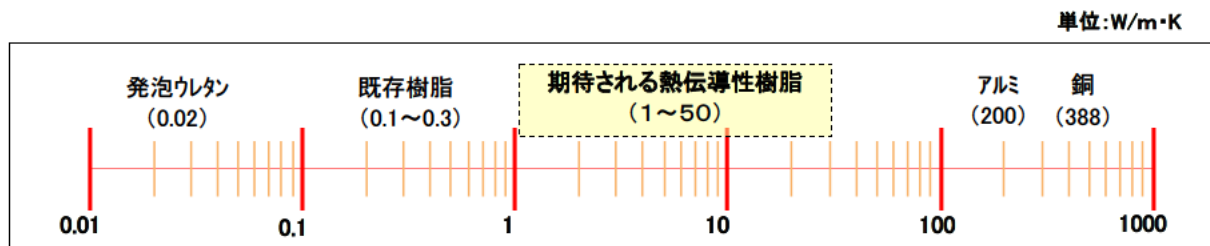


図1 各種素材の熱伝導率

図2は、各材料における、耐熱性と熱伝導率の関係を示したものである。

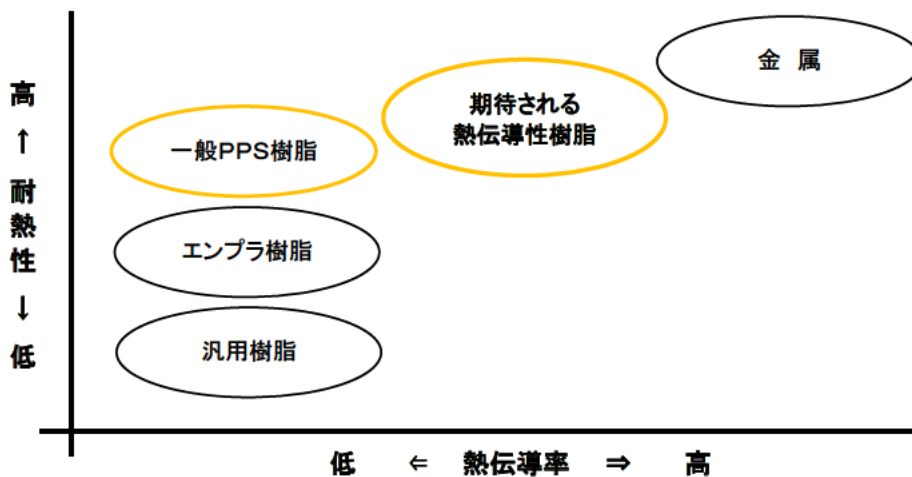


図2 各種材料の耐熱性と熱伝導率の関係

ちなみに、汎用・エンプラ樹脂分野での高熱伝導樹脂はすでに開発・販売されているが、耐熱性・耐溶剤性の制約から、極めて限定された製品のみとなっている。2001年前後には、高機能化に向けたスーパーエンプラ樹脂の開発及び実用化が試みられたが、「樹脂材料単価が数倍以上のため、材料置換ではメリットがない」「生産周辺機器の大掛かりな投資による採算

性の悪さ」「樹脂粘度が高く成形性の低さから品質含めた高精度・高機能化に不向き」などにより、幅広く実用化・製品化には達していない。理由として、樹脂メーカー、及び部材メーカーとの間に、生産性と製品機能に類する課題認識の差が大きかったことが原因であった。

## (2) 研究開発の目的

本研究開発は、自動車の高付加価値化、小型・軽量化に必要不可欠である「高熱伝導性を有する高機能樹脂製品」を、低コストで量産するための金型加工技術・成形加工技術を開発することにある。そのため、金型加工技術及び成形加工技術と共に、製品として必要な機能の有効性・信頼性等について研究開発を実施した。

高熱伝導樹脂を用いた多機能一体化成形のターゲットには、「モーターフランジ、インシュレータ部品の金属からの置換」などがある。図3は、自動車用モーター関係部品の「インサートタイプ制御機器部品の一体成形化」により、低コスト化・軽量化・高付加価値化が可能となるイメージ図である。本研究開発により、製品の薄肉化、商品の設計自由度アップにも繋がり、自動車産業含め幅広い産業分野での応用展開が可能となる。

従来品は、「樹脂構造部分」「放熱用金属」「電気接点」の3つの機能を持つ部品で構成されている。研究開発による部品は、「樹脂による一体化」をイメージしている。ただし、電気接点、放熱性に係る機能については、製品の開発時に、十分な事前検証が必要となる。

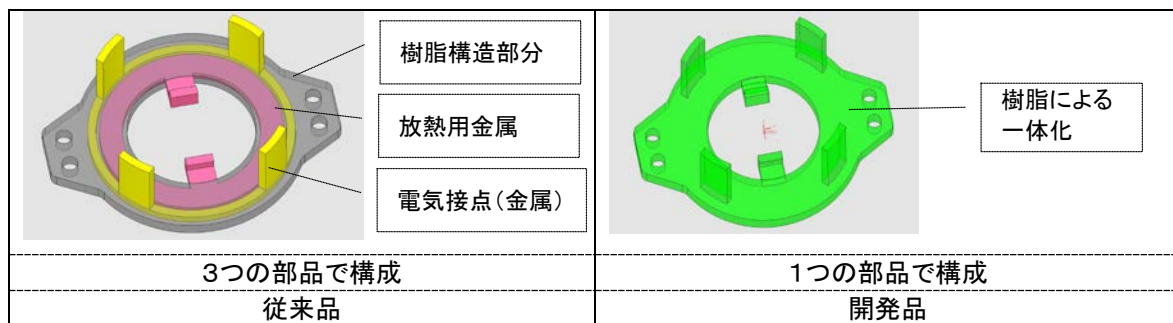


図3 モーターインシュレータイメージ図

様々なフィラーを多く含有させることで「高熱伝導化された樹脂」は、粘度が高くなることから、成形流動性の低さにより実用化に対して様々な課題がある。主な課題は、

- ・ 機械的強度の低下、成形品の熱伝導の非均一の克服
- ・ 微細形状への精密転写性の確保
- ・ ガス発生による金型腐食対応

があり、これらの課題解決により、高熱伝導樹脂の実用化に向けて本研究開発を行った。

## (3) 研究開発の目標

自動車分野では、ハイブリット車など省エネカーは、効率的な動力運用を図る意味で、軽量化が大きな課題である。しかし、既存プラスチックの熱伝導率(0.1～ 0.3W/m・K)は、金属の1/100 ～ 1/1,000 と小さく、製品設計時に様々な放熱構造のための部品などが必要となり、軽量化・低コスト化の障壁となっている。

これらを解決するため、耐溶剤性を有し、耐熱性250℃以上のPPSで、1W/m・K以上の熱伝導性と共に、絶縁と導電を任意選択できる高機能樹脂での量産化技術を確立し、現状比コスト25%減、重量35%減の達成を目指す。

しかし、樹脂に高い熱伝導性を付与するには、フィラーを多く含有させる必要があり、結果、高粘度化(通常樹脂の3倍以上)による転写性の悪化、よって高精度成形品を得ることができない。更に、フィラーによる摩耗やガス発生による腐食の進行が早くなり、金型寿命が短くなる(金型耐用ショット・通常樹脂比 1/3 以下)。

そこで、高熱伝導樹脂を用いた多機能一体化を実現するため、新たな金型加工技術、成形



加工技術が研究開発の高度化目標となる。これらを達成すべく、以下のサブテーマによる技術目標値を設定した。

【1】機械物性の向上と充填密度の均一化

- ・充填後フィラーの配列状態の分析と解析： フィラー形状(サイズ)と混練工程を最適化
- ・充填時フィラー密度： フィラー充填量比率 バラツキ30%以内
- ・Izod(アイゾット)衝撃強さ 50 J/m以上 (エラストマーの最適付加など)

【2】高粘度・高ガス対応の金型加工技術開発

成形品転写率 99%以上 (ウェルド部 97%以上)

【2-1】超高熱伝導素材の加工技術開発

- ・素材加工精度  $\pm 0.01\text{mm}$
- ・金型表面温度幅  $\pm 3^\circ\text{C}$ 以内 (現状  $\pm 10^\circ\text{C}$ 以上)

【2-2】多孔性部材(セラミック系)の加工技術開発

- ・部材材として応用できる多孔サイズ(直径 50nm~200nm)の最適化
- ・部材加工精度  $\pm 0.01\text{mm}$

【2-3】金型表面改質の技術開発

- ・金型表面硬度： HRC 60以上
- ・金型部材表面粗さ： 現状値50%以下、または Rz1  $\mu\text{m}$ 以下

【3】高粘度樹脂に適応した成形システムの構築

【3-1】高圧射出圧力制御システムの開発

340MPa でのピーク圧力安定制御

【3-2】ガス低減化スクリュウの開発

可塑化・射出時の発生ガスの低減 既存機 50%以下

これらの、サブテーマは概ね目標を達成し、高熱伝導樹脂(PPS)にて、図4に示す「板状タイプ」、2種類の「コネクタタイプ」の試作成形品を作成し、市場評価が可能なレベルに達した。

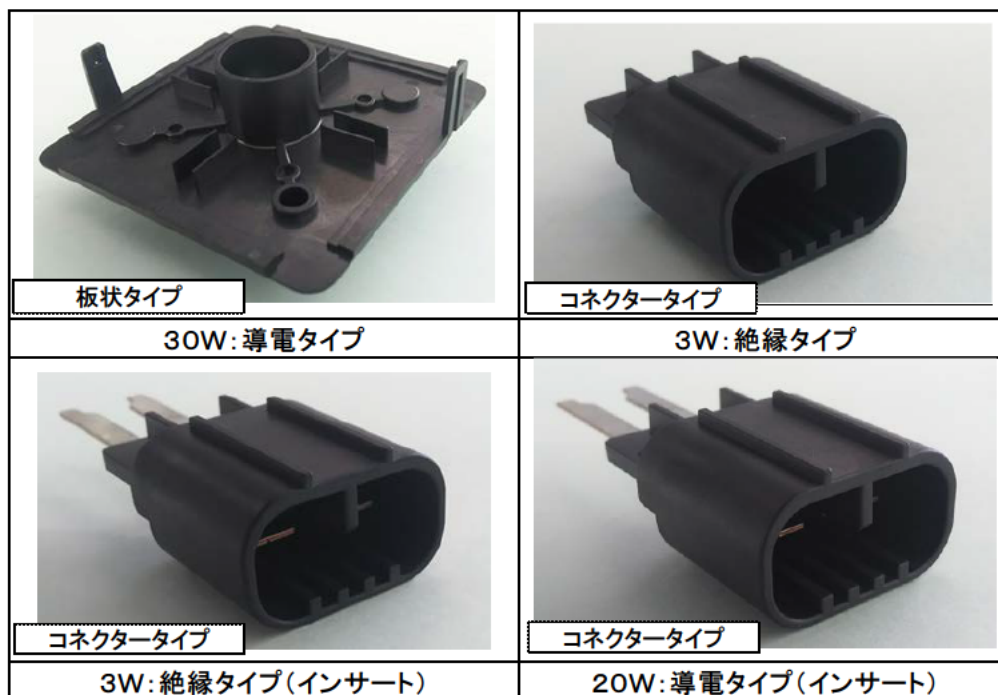


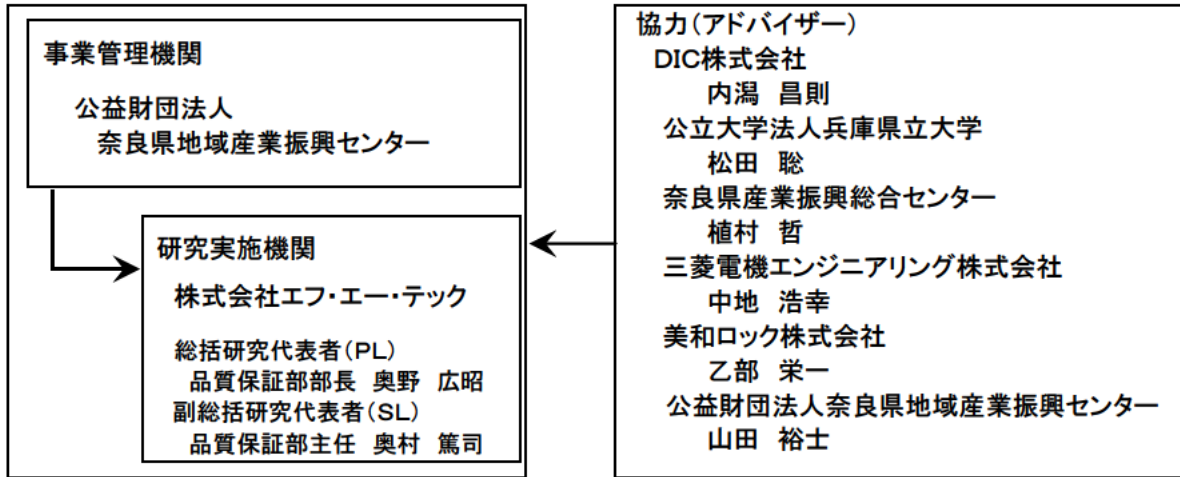
図4 試作成形品

1-2 研究体制

当該研究開発は以下の体制にて実施した。

(1) 研究組織及び管理体制

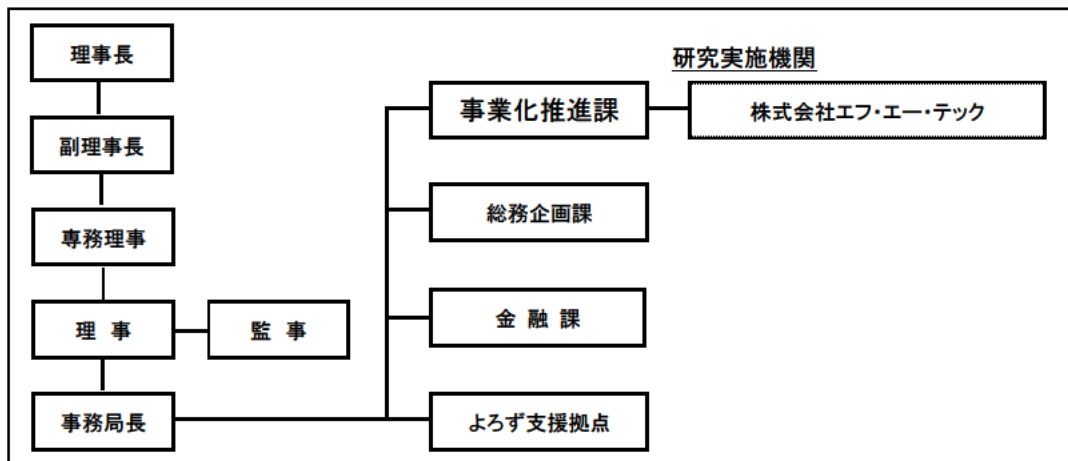
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

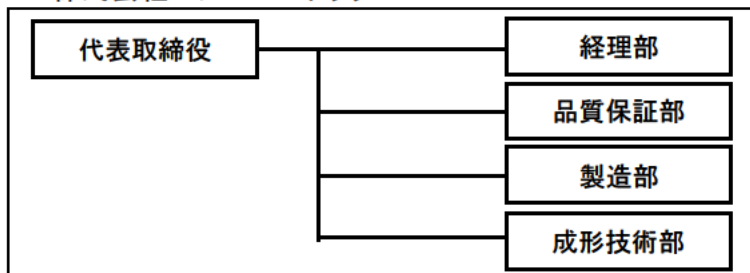
① 事業管理機関

公益財団法人 奈良県地域産業振興センター



② 研究実施機関

株式会社エフ・イー・テック



## (2) 管理員及び研究員

事業管理機関： 公益財団法人奈良県地域産業振興センター 管理員

氏名	所属・役職
村上 伸彦	専務理事（事務局長兼任）
杉山 淳一	事業化推進課課長
塚本 雅俊	事業化推進課係長
山田 裕士	事業化推進コーディネータ
木村 智子	事業化推進課嘱託

研究実施機関： 株式会社エフ・エー・テック 研究員

氏名	所属・役職
福井 一史	代表取締役
奥野 広昭	品質保証部部长
奥村 篤司	品質保証部主任
楠田 善朗	製造部副部长
藤岡 隆敏	営業技術部課長
井上 貴之	成形技術部係長
中西 雅也	製造部係長
山田 真介	製造部主任
中本 雅士	製造部部員

## (3) 協力者(外部アドバイザー)

氏名	所属
内潟 昌則	DIC株式会社
松田 聡	公立大学法人兵庫県立大学
植村 哲	奈良県産業振興総合センター
中地 浩幸	三菱電機エンジニアリング株式会社
乙部 栄一	美和ロック株式会社

## (4) 経理担当及び業務管理者の所属、氏名

事業管理機関： 公益財団法人奈良県地域産業振興センター

経理担当者	事業化推進課	木村 智子
業務管理者	事業化推進課	杉山 淳一

研究実施機関： 株式会社エフ・エー・テック

経理担当者	経理部	福井 美江
業務管理者	品質保証部	奥野 広昭

### 1-3 成果概要

(平成26年8月 ~ 平成29年3月)

本研究における目標を踏まえ、以下の研究成果が得られた。研究実施に向けては、市場ニーズを調査しながら、実践的な試作形状品を製作している。取組み概要についてテーマ毎に記す。

#### 1-3-1 機械物性の向上と充填密度の均一化

高熱伝導樹脂は、熱伝導機能を付与するため、様々なフィラーを含有させている。その結果、樹脂の熔融時粘度が上がり、成形性が悪化すると共に、機械強度も低下し、フィラーの充填密度が安定しないことによる、熱伝導性の機能低下が生じる。樹脂粘度特性の比較図を図5に示す。

一般PPSに対して、320℃での樹脂熔融温度では、熱伝導率が3W/m・K(以下文中単位はW)の場合に約3倍、10Wでは約4倍と粘度が高いことがわかる。

課題解決のため、適正フィラーの選定、またフィラーの混練方法などの見直しなどにより、市場の製品に用いることが可能な機械物性の確保が可能となった。また、新規金型加工技術などにより、試作型による試作成形品において、フィラーの配向観察から、一定の充填密度が確認できている。

試作型の製作、試作成形品の測定などにおいて、図6、図7、図8の設備を導入した。

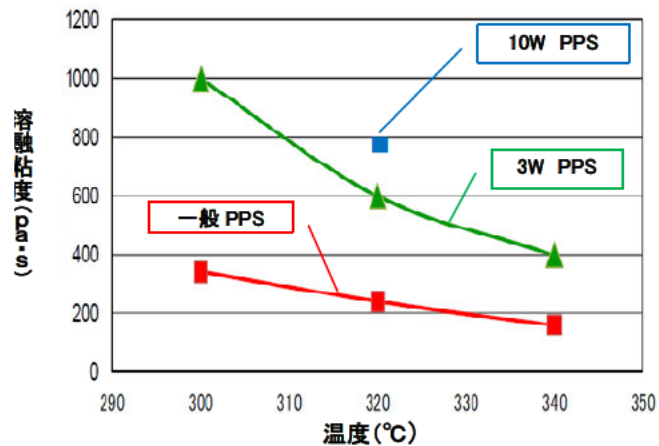


図5 粘度特性の比較



図6 多機能ロング穴加工機  
ミロク機械(株)ガンドリル  
MEG-1000S-NC



図7 非接触3次元測定機  
カールツァイス(株)  
O-INSPECT-442



図8 非接触2次元測定機  
(株)東京精密  
O-SELECT

#### 1-3-2 高粘度・高ガス対応の金型加工技術開発

高熱伝導樹脂の成形性に大きな影響を及ぼす、高粘度、多含有フィラーに対応する金型技術開発の取組みが必要となる。高粘度、多含有フィラー樹脂の場合、成形品の転写不良、発生するガスによる製品部のショートなど、高精度成形品の実現が困難となる。新たな金型部材などの実施検討を実施し、試作型へ組込み実証を行い、高精度成形品を実現した。

##### 1-3-2-1 超高熱伝導素材の加工技術開発

超高熱伝導素材は、主に炭素で構成されており、一定方向で共有結合しているが、層状で固体化されている。電気加工(ワイヤーカットなど)では、狙いとする寸法精度が達成できず、マシンングセンター加工などにて、金型部材として必要な加工精度±0.01mmを得ることができた。

また、超高熱伝導素材を試作型へ組込むことで、150℃以上の金型設定温度に対し、金型表



面温度幅は、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内が達成できた。

#### 1-3-2-2 多孔性部材(セラミック系)の加工技術開発

セラミック系の多孔性部材は、孔の大きさを、焼結温度を変えることにて、最適なガス逃がしを目的に金型部材として用いるための加工検討を行った。数種類の焼結温度の異なる部材に対し加工時に加工面の目詰まりを防ぐ加工方法にて、部材の加工精度 $\pm 0.01\text{mm}$ を得ることができた。

試作型へ組み込み後、ガス逃げ効果は確認できたが、量産成形時での耐久性などを継続検討している。

超熱伝導素材、多孔性部材の加工技術開発において、図9、図10、図11の設備を導入した。



図9 マルチ加工マシニング  
ファナック(株)  
 $\alpha$ -D21LiA5



図10 精密複合旋盤  
オークマ(株)  
LB3000EX II



図11 精密円筒研削機  
長島精工(株)  
NT-600L 特別仕様

#### 1-3-2-3 金型表面改質の技術開発

高熱伝導樹脂は多含有フィラーと発生ガスによる、金型表面の急速な劣化が予測される。この対策のため、金型表面粗さの制御と表面処理技術により、金型の耐久性を向上させる取組みを行った。

弊社が既に持つ電子ビームによる表面粗さの制御と、DLCなどの新たなコーティング技術の組合せにて、金型材のテストピースの薄膜表面硬度、コーティングの密着性などの検証を行い、試作金型にて実証試験を実施した。長期耐久性の効果については継続中である。

#### 1-3-3 高粘度樹脂に適応した成形システムの構築

高熱伝導樹脂が多含有フィラーによる、高粘度、またガス発生に対し、安定した成形プロセスが必要となる。そこで、ピーク圧力時のバラツキを抑え、樹脂充填量の一定化のための、高速射出と同時に高圧力制御が可能な成形機を導入設置した。また、樹脂溶融時のガス発生量を低減するスクリーを導入した。

これらの結果、市場が必要とする形状に類似した成形品を得ることができた。

##### 1-3-3-1 高圧射出圧力制御システムの開発

高粘度樹脂の樹脂充填時におけるピーク圧力を安定化させるため、成形機の油圧回路の一部を並列化し、圧力バラツキを小さくした。また、成形条件設定において、速度及び圧力の制御回路を改造することにより、安定成形を目指した。

##### 1-3-3-2 ガス低減化スクリーの開発

高粘度樹脂の可塑性において、樹脂の溶融温度・粘度の安定化と同時に発生ガスを低減させるため、スクリーの供給部の形状の特殊化を行い、また、射出速度の安定化のため、圧縮部の比率を小さくする形状にした。また、よりガスを低減化させるため、別途サブフライト形状も取り入れたスクリーを検討した。

これらを実施するため、図12、図13を導入した。



図12 高粘度用高压成形機  
(株)ソディック  
TR100VRE 特別仕様

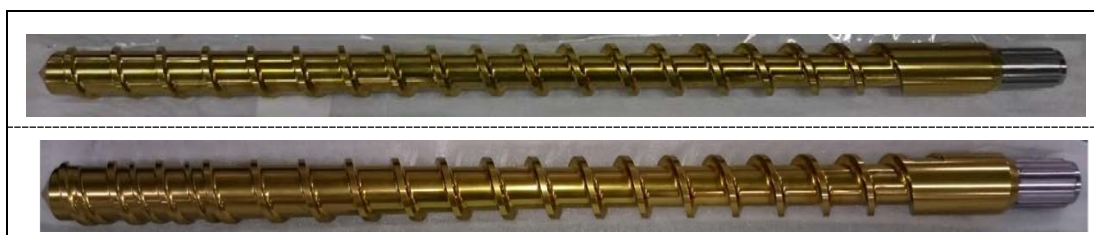


図13 検討用スクリュー

1-4 当該研究開発の連絡窓口

〔プロジェクト全体に関すること〕

所属 公益財団法人奈良県地域産業振興センター  
氏名 杉山 淳一  
E-mail [j.sugiyama@nara-sangyoshinko.or.jp](mailto:j.sugiyama@nara-sangyoshinko.or.jp)  
電話 0742-36-8312  
FAX 0742-36-4010

〔研究開発内容に関すること〕

所属 株式会社エフ・イー・テック  
氏名 奥野 広昭、 藤岡 隆敏  
E-mail [okuno@fatec.co.jp](mailto:okuno@fatec.co.jp)  
[fujioka@fatec.co.jp](mailto:fujioka@fatec.co.jp)  
電話 0747-25-1140  
FAX 0747-25-1141



## 第2章 本論(成果報告)

「粘度が高い高熱伝導樹脂を用いた多機能一体化成形技術の開発」において、平成26年8月より、平成29年3月に実施した内容と成果は以下の通りである。

### 2-1 機械物性の向上と充填密度の均一化

#### (1) 高熱伝導樹脂について

高熱伝導樹脂は、耐熱性・耐薬品性に優れ自動車関連に多く採用されているPPS材にて検討実施をおこなった。材料メーカーより試作材料の提供を受け、既存PPS用金型にて、事前成形テストをおこなったところ、図14に示す結果となった。反ゲート側の最終充填部となる“○印”の画像のように、3W材では、形状ができていない。成形条件は、一般PPS用の金型温度 145℃、樹脂温度320℃でおこなっている。

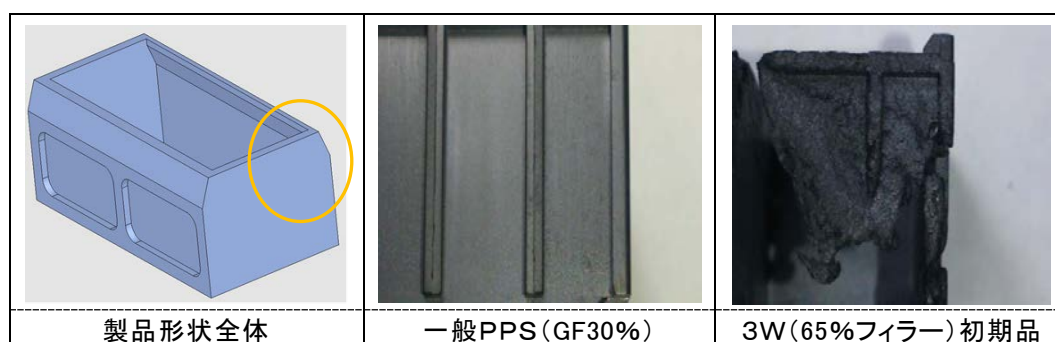


図14 事前成形テスト

これらの結果より、流動性の改善実施を樹脂メーカーと行い、また、製品として必要な機械物性を有する表1に示す高熱伝導樹脂(注1)を用いての成形テストを実施した。成形テストの詳細は、後述する。(注1)平成29年3月現在

表1 高熱伝導樹脂

ワット数 W/m・K	電気 特性	比重	スパイラルフロー (流動性) cm	曲強度 Mpa	曲弾性率 Gpa	フィラー含有量 W%
2	絶縁	2.42	27	140	16	75
3		1.99	25	105	18	65
5		1.89	18	120	28	70
10	導電	1.68	36	170	27	50
20		1.63	33	110	27	45
30		1.81	15	105	34	65
一般 PPS	絶縁	1.53	40	220	9	30

#### (2) フィラーの配向

充填密度の均一性は、成形品の寸法精度が安定すると同時に、熱伝導の機能を有するフィラーの配向が安定することにより、必要とする熱伝導が一定の役割を果たすことになる。試作成形品にて、フィラーの配向状況を調査した。フィラーは繊維状、粒状など様々が配合されており、成形品からその配向状態を確認することは困難であることから、次の2方法にて観察調査を行っている。

- 1) X線によるCT画像
- 2) 表面マイクロスコープによる画像

画像確認サンプルは、図4「板状タイプ」の、3W、5W、20W、30Wにて行った。

1) X線によるCT画像

図15に示す、4カ所の位置で 5mm×10mm×1.8mm(厚み)の切出しをおこない、切出し面はアルミナ砥粒にて研磨をおこなっている。図16に示すスキャン方向にて、1サンプルあたり約1250枚のCT画像を得た。

画像測定は、図17 (株)島津製作所製 inspeXio SMX-225CT を用いた。

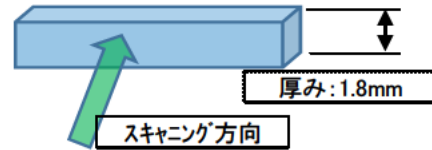


図16 サンプルのスキャン方向



図15 切出し位置



図17 CT画像測定機

画像測定の結果を表2に示す。

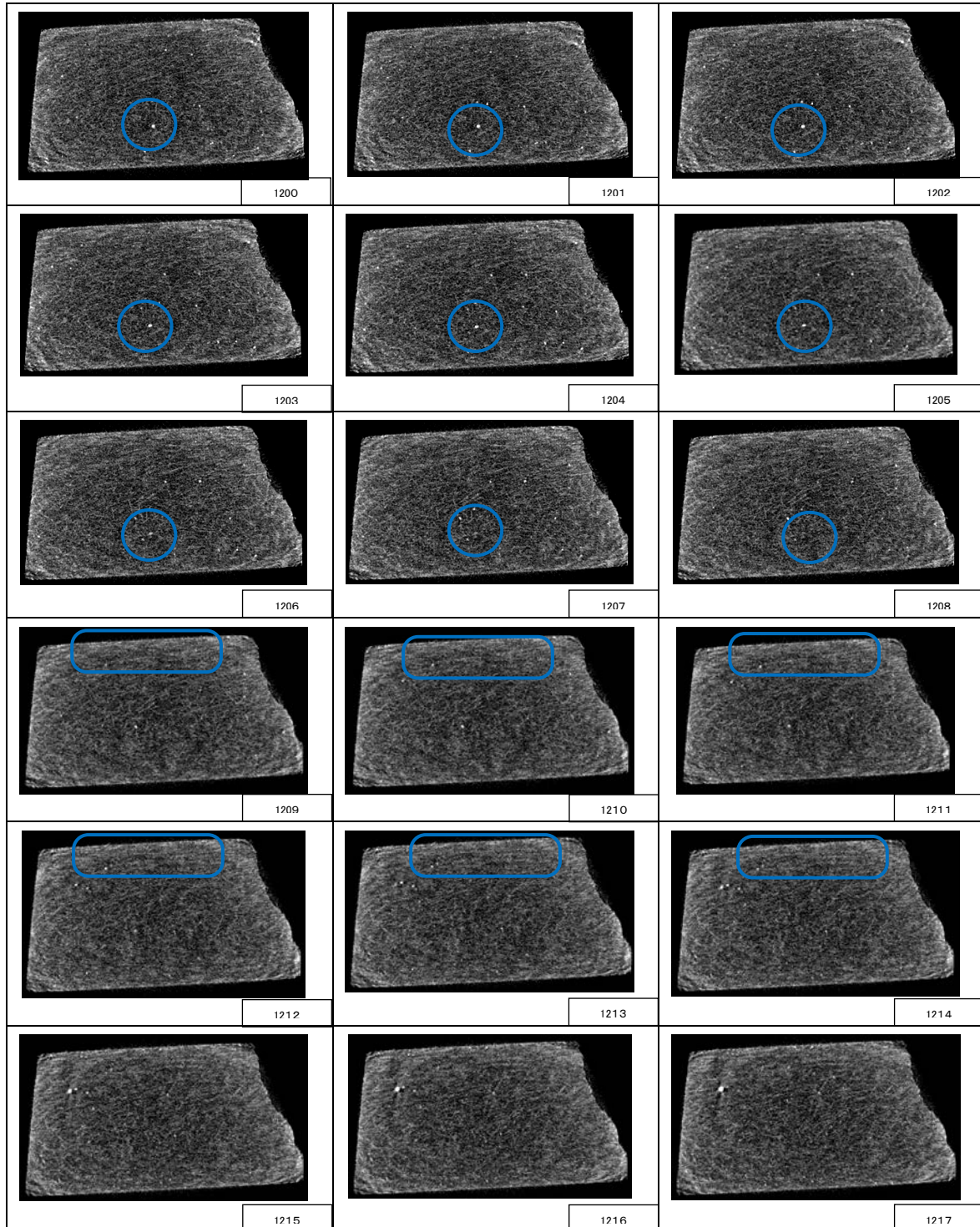
表2 CT画像

①	②	③	④
3W			
①	②	③	④
5W			
①	②	③	④
20W			
①	②	③	④
30W			

【公開版】

各熱伝導樹脂は、ほぼ均一な密度が保たれていることが観察でき充填が適正であることがわかる。画像ピッチは約 $20\mu\text{m}$ であることから、より詳しく断面の変化を表3に示す。画像は、ゲート位置から離れた④の箇所を、絶縁性5Wの連続する画像1200番から1217番の厚みとして約 $0.34\text{mm}$ を示す。

表3 5W連続画像



18枚の連続画像から樹脂が均一な密度になっていることがわかる。また、画像1200から画像1208○部には、非繊維状のフィラーの状況が存在していることがわかる。画像1209から



【公開版】

画像 1214 に示す□には、成形品表面に近い箇所に、繊維状のフィラーが一定方向に集中していることが観察でき、このことは、熱伝導させるフィラーの配向が、製品の表面に集中することから、製品の肉厚を薄くすることで、より熱伝導効果をより高く生み出すことにも繋がる。

2) 表面マイクロ스코ープによる画像

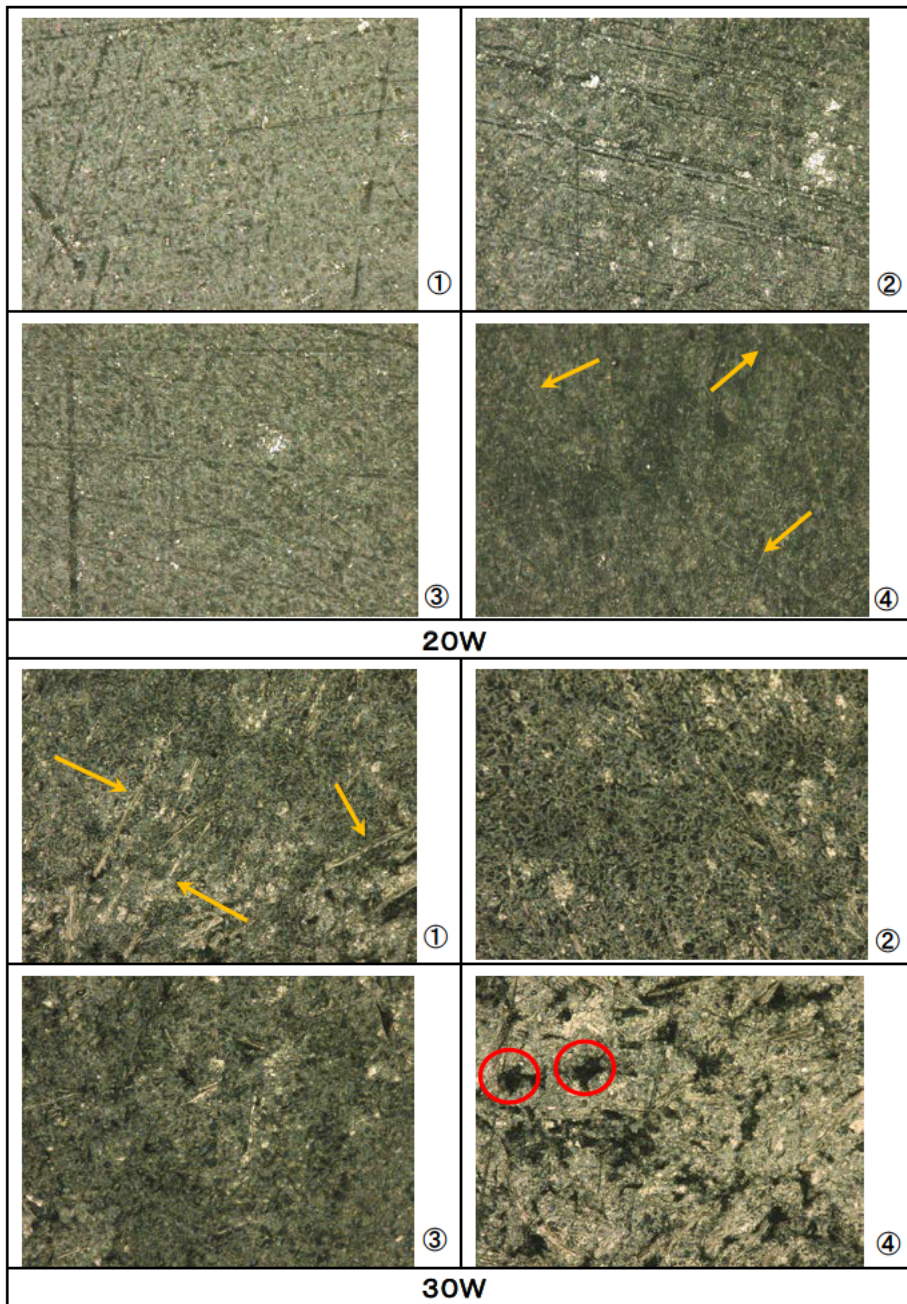
X線CT画像では、充填密度の有効性は確認できたが、フィラーの画像が不鮮明であることから、図18に示す、デジタルマイクロSCOPEにて、成形品の表面状態を観察した。3W、5W、20W、30W品において、図15の切出し位置にてサンプルの表面を約0.5mm削り落とし、アルミナ砥粒にて削り面を研磨後、500倍にて表面を観察した。各熱伝導樹脂の表面画像を表4に示す。



図18 マイクロSCOPE  
キーエンス VHX

表4 マイクロSCOPE画像

<b>3W</b>	
<b>5W</b>	



→で示す部分が繊維状フィラーで、一定方向に存在することが確認できた。30W品で○に示した箇所は、樹脂末充填による空洞箇所である。

次に、市場での製品には孔等様々な形状が存在し、特に成形品において、孔、ボスなどの周辺に存在するウェルド部分は、強度等の要注意箇所になる。

そこで、図19に示す、中央の孔近傍での4カ所(AからD)の切出しをおこない、前述したマクロスコープでの画像観察と同様の方法で5W品のフィラーの配向を調査した。

表5に、それらの画像を示す。

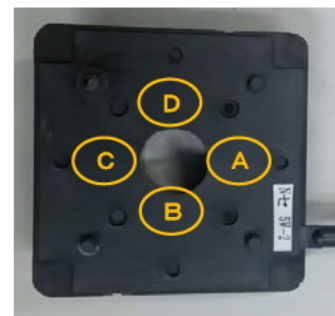
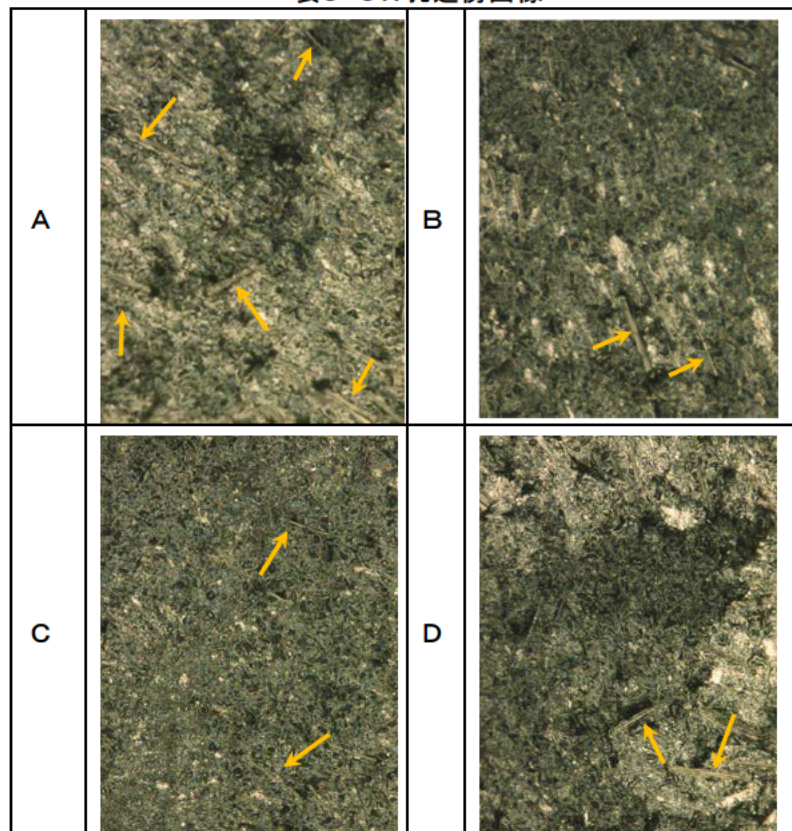


図19 切出し位置



表5 5W孔近傍画像



樹脂充填密度は、ウェルドの発生しやすいA箇所が不均一になっていることがわかる。表4で観察したフィラーより、樹脂が激しくぶつかり合う箇所であるため、比較的フィラーの破壊も進んでおり短くなっている。また、フィラーの分布は多く観察される。その他の箇所については、樹脂充填密度は確保されており、フィラーも同様多く観察される。

2種類の観察方法から、樹脂充填密度及びフィラーの配向は、熱伝導性の機能の効果を活かせる結果となっている。

## 2-2 高粘度・高ガス対応の金型加工技術開発

### (1) 超高熱伝導素材

超高熱伝導素材は、黒鉛からではない“異物のない結晶化された人造グラファイト”であり、最大銅の4倍以上の熱伝導  $1700\text{W/m}\cdot\text{K}$  を有する新素材である。しかし、素材が積層された構造体であることにより、脆さによる金型部品等、機械加工等の分野での実績はまったく無い。

そこで、驚異的な熱伝導率を利用し、成形性が困難な熱伝導樹脂の流動性を促進させるため、金型部材としての加工方法(加工技術)の構築をはかった。

#### 1) 加工機の選定及び加工方法

ワイヤー放電加工においては、放電加工時に発熱する熱量のため、ワーク自体が有する高い熱伝導率により、ワーク自体の積層力が保持できず、図20のように立体物の加工が不可であった。また、マシニング加工においては、積層方向と並行にて加工したところ、立体形状は確保できたが、図21のように、比較的長い立体物は、加工途上あるいは加工後に割れるという現象が発生した。



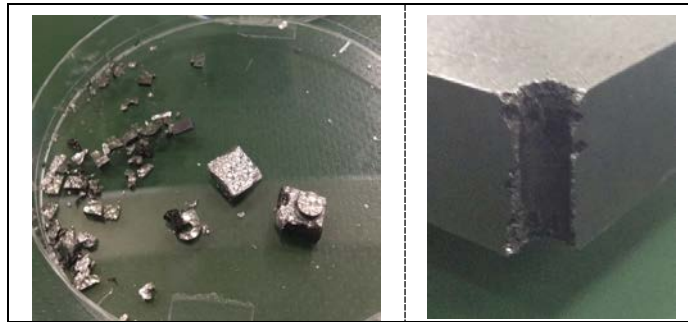
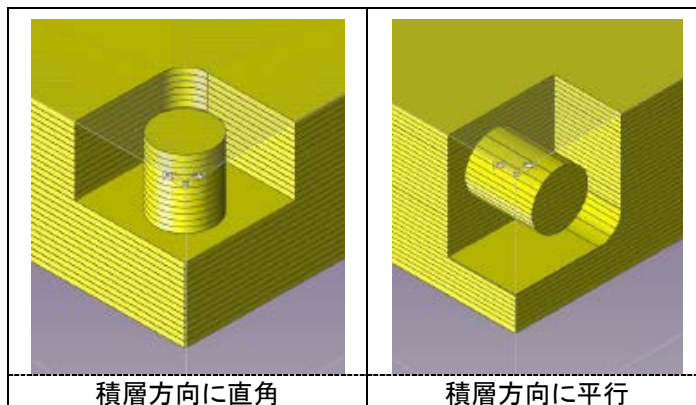


図20 ワイヤ放電加工での失敗例



図21 マシニング加工での失敗例

マシニング加工においては、立体形状化の加工に可能性があることから、図22に示す積層方向及び加工条件の絞込みにて、図23のような立体形状化加工(直径φ8mm)が可能となった。



積層方向に直角

積層方向に平行

図22 素材の積層方向と加工の切だし

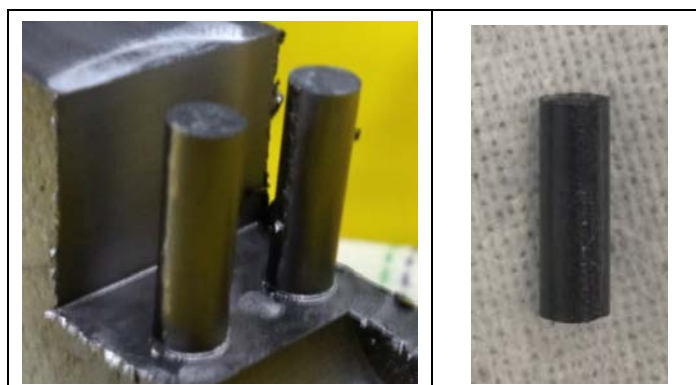

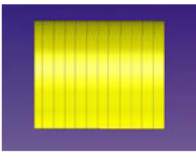





図23 マシニング加工での積層方向 平行加工品

積層方向に“直角”“平行”それぞれの結果を表6に示す。

表6 マシニング加工結果

	加工品状態	積層イメージ	真円度	特徴
積層 (直角)			0.001 (mm)	・加工精度は良い ・加工途中で、破損傾向が出る 
積層 (平行)			0.005 (mm)	・加工精度は悪くない ・積層端面にはがれが出る

“積層方向に直角加工”では、強度上の考慮は必要になるが、加工用治具などを考慮すれば、立体形状化は可能となっており、加工寸法精度は、目標値を十分クリアしている。

加工機は、ソディック TT1 400Aを用い、精度上余裕がある場合は、ファナック  $\alpha$ -D21LiA5を用いた。工具は フラットエンドミルを用い、荒加工、仕上げ加工の2工程にて、回転数(12,000rpm)、送り速度(1,200、1,000mm/min) 共比較的遅くしている。理由は、素材の硬さの特徴から、刃物の損傷が比較的早く、図24は仕上げ加工後の刃物を示す。倍率は120倍である。

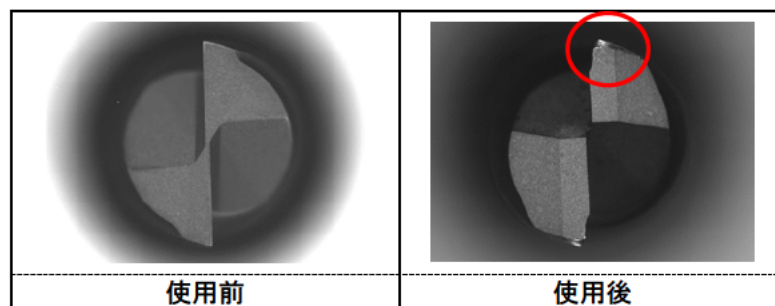


図24 エンドミル刃物の刃先変化

## 2) 金型部材としての用い方

素材の脆さに対し、直接金型部品として用いることは金型のメンテナンス等の取扱い上ロスが発生するため、加工後に表面処理を施し、試作型への組込みをおこなった。詳細は2-3「試作型」の内容で後述する。

## (2) 多孔性部材

多孔性部材は、高純度アルミナ材(CTO-SP)による難削性のセラミック系材料である。制御された製造工程により、微細孔を有し、その微細孔の特徴を金型部材として利用し、成形プロセスの中で発するガスを効率的に逃がすことを目的とした。

製造工程の中で、焼結温度の違いで、微細孔の大きさ、密度が変わる特徴を有する。

しかし、セラミック系材を金型部品、特に樹脂型の主要箇所を用いる発想は今までに無く、必要とする加工精度も確立していない。加工方法の構築と共に、金型部材として必要な $\pm 0.01$  mm 寸法精度を目指した。

## 1) 加工機の選定及び加工方法

セラミック系材には一般的に次のような特徴がある。

- ア) 硬脆性材料のため、エッジ部分の損傷(カケ)が発生
- イ) 工具選定と加工条件(回転数、送り、切込み量)の組合せ設定が重要
- ウ) 加工精度に対する工具交換時期 ⇒ 工具保持位置精度

これらの特徴に留意して、φ8mmの立体形状(円柱)の加工テストをおこなった。図25に加工品を示す。

加工機は、ファナックα-D21LiA5を用い、水溶性切削剤を使用した。フラットエンドミルにて、

回転数(7,500~10,000rpm)、送り速度(100~200 mm/min)  
切込み量(0.005~0.01 × 0.5  $A_p \times a_e$ [mm])

にて、円柱のエッジ部分のだれ、及びカケは発生していない。

円筒度は、0.005mm ではあるが、寸法精度は、目標 ±0.01mm に対し、±0.015 であった。図26に、刃物の刃先変化を示す。倍率は120倍である。

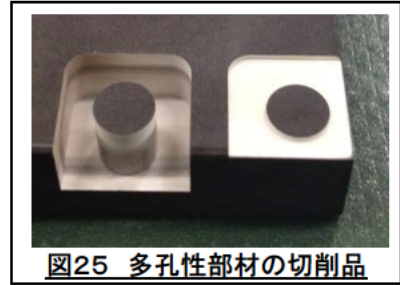


図25 多孔性部材の切削品

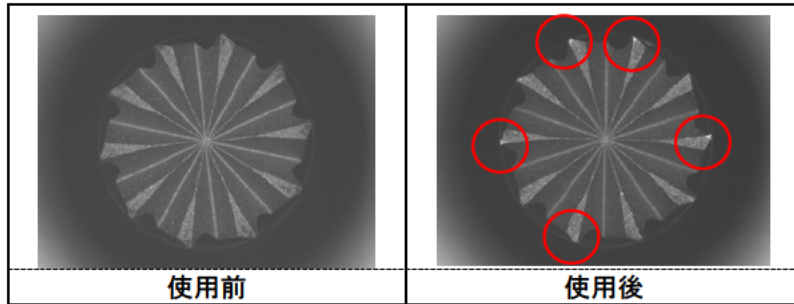


図26 エンドミル刃物の刃先変化

損傷度合は比較的軽微であり、加工面精度もRz: 2 μm 以下であった。次に、金型部材として寸法合わせ上、平面研削を用いるため、焼結温度の異なる多孔性部材の研磨後の変化を調べた。表7に検討品ワークを示す。表8に加工条件を示す。

表7 加工検討内容

ワークの焼結温度 (焼結炉内実測温度)	1 3 0 0 °C
	1 3 5 0 °C
	1 3 7 5 °C
ワークの大きさ ・口 50mm ・厚み: 20mm	
組織構成の観察方法	電子顕微鏡

表8 加工条件

砥石番定	#170	#1000
回転数 (rpm)	2, 000	1, 400
前後送り (mm/min)	300	140
切込み (μm)	2	1
砥石の種類	SDC 170 L68 BW4 3.0	
加工機: 長島精工 NAS-520CNC	・無断変則仕様 ・ロータリードレッサー搭載	

図27は、加工前の組織の状態である。倍率は200倍で、ワーク平面と側面を示す。

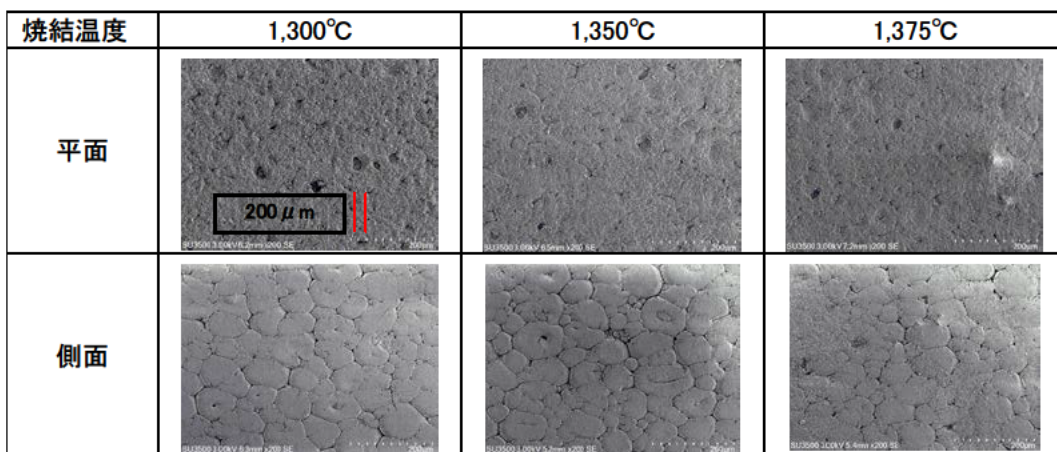


図27 加工前組織状態



図28は、#170砥石での焼結温度別加工後の状態である。

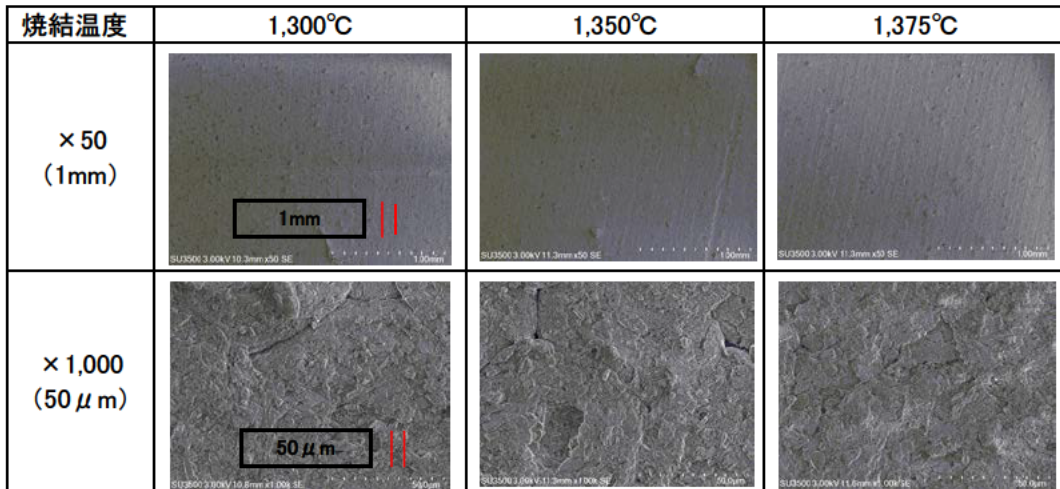


図28 #170砥石加工後

目詰まりを起こしにくい#170砥石を用いたが、面精度等が見劣りするため、#1000砥石にて、焼結温度 1,300°Cでの差を、図29に示す。倍率は1,000倍である。

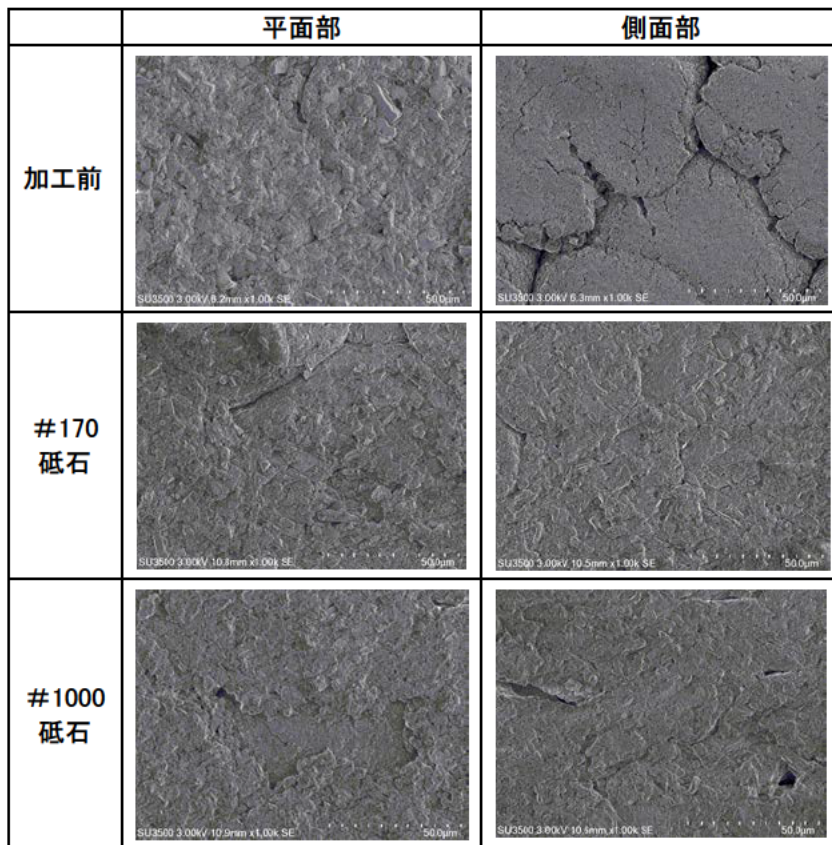


図29 1300°C焼結品 加工前後

## 2) 金型部材としての用い方

研磨加工において焼結材の平面部は、加工による目詰まりが若干観察され、側面部においては、完全な目詰まりには至っていないことから、金型部材として用い、後述する試作型に組込み実施を行った。

## (3) 金型表面改質

高熱伝導樹脂は、熱伝導率を確保するため、様々なフィラーを含有させていることから、成形時に金型表面の摩耗・損傷に直結し、微細な成形品寸法を維持していくことが困難となる。また、樹脂の粘度が高いことから、樹脂流動に対し、金型表面の粗さについても成形性に影響があるため、高熱伝導樹脂に対応した、金型の表面処理の検討を行った。

## 1) 加工方法とコーティングの関係

製品形状を構成する金型部品は、放電加工、マシニング加工にて製作される。これらの加工方法とコーティングによる相関性を調査した。

テストを実施するにあたって、図30に示す、テストピースを用いた。サイズは、40×50×13(mm)、素材はSTAVAX、焼入れ硬度は HRC50 である。

また、弊社が独自技術で保有する「電子ビーム」による、表面改質の途中工程の有無の差も調査した。

コーティング方法は、4種類にて実施した。表9は、加工方法と、電子ビーム有無、コーティングの種類のを示す。また、それぞれに、記号を付記し、テスト実施の中で管理した。

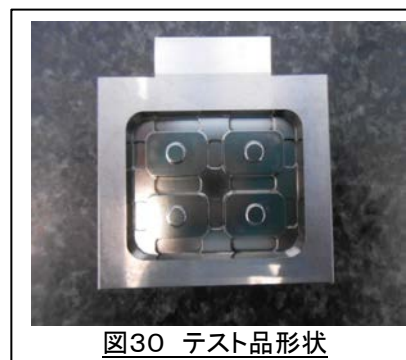


図30 テスト品形状

表9 加工方法とコーティング組合せ

加工方法	記号	電子ビーム	記号	コーティング	記号
放電加工	ED	有り	EB	CrxNy	A
				TiAlN	B
マシニング加工	MC	無	—	DLC(CVD)	C
				DLC(イオン化蒸着)	D

テストピース16種類のコーティング前後の面粗さを表10に示す。表面粗さ測定は、Zygo New View 100 を使用した。当機の垂直分解能は、0.1nm である。

表10 コーティング前後の表面粗さ

単位: nm

加工組合せ	コーティング前	コーティング後	加工組合せ	コーティング前	コーティング後
ED-A	155.681	143.793	MC-A	188.228	182.680
ED-B	162.581	129.654	MC-B	158.791	161.774
ED-C	160.208	158.360	MC-C	239.942	248.449
ED-D	143.614	130.207	MC-D	232.277	196.151
ED-EB-A	<b>96.835</b>	188.388	MC-EB-A	103.284	85.049
ED-EB-B	<b>127.920</b>	114.460	MC-EB-B	101.148	100.521
ED-EB-C	<b>104.492</b>	168.300	MC-EB-C	92.399	92.445
ED-EB-D	<b>177.320</b>	169.787	MC-EB-D	66.201	104.830

結果は、コーティング後の表面粗さは、概ねコーティング前に準拠している。また、電子ビーム(EB)は、マシニング加工(MC)より、放電加工(ED)がより効果があることがわかる。

表11は、マシニング加工、放電加工に対して、電子ビーム(EB)の違いを、Zigo 測定での立体図と、表面写真を示す。立体図では差は見えないが、加工面の表面写真では、放電加工(ED)面の微細なアーク模様が、電子ビーム後も若干残存している。マシニング加工ですべてを対応することは不可能であるが、マシニング加工と電子ビームの組合せはかなり有効であることが検証できた。

表11 電子ビームによる違い

	Zygo 立体図	拡大写真
マシニング加工 電子ビーム前		
マシニング加工 電子ビーム後		
放電加工 電子ビーム前		
放電加工 電子ビーム後		

《スクラッチテスト》

金型への損傷の影響を見るため、加工工程の違う16種類のコーティング後のテストピースに対して、スクラッチテストを行った。

測定機は、図31に示す

NANOVEA Micro Mechanical Testerを用いた。表32は、実際の画像である。

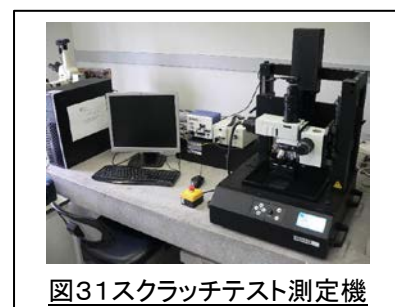


図31スクラッチテスト測定機

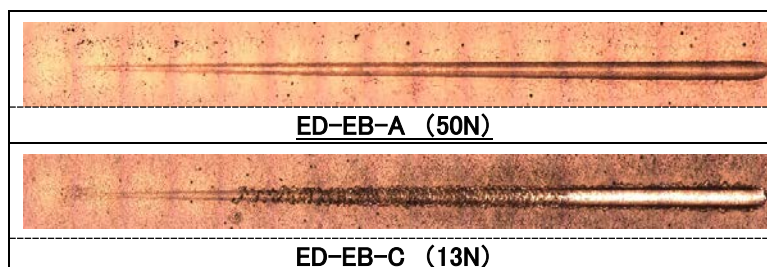


図32 実際の測定画像



16種類の加工組合せの結果を表12に示す。なお、臨界荷重の最大値は 50N である。

表12 スクラッチテスト結果

加工組合せ (管理記号)	臨界荷重 (N)	加工組合せ (管理記号)	臨界荷重 (N)
ED-A	19.390	MC-A	16.670
ED-B	19.677	<b>MC-A</b>	<b>50.000</b>
ED-C	13.811	MC-A	10.775
<i>ED-D</i>	<i>6.687</i>	MC-A	10.547
ED-EB-A	<b>50.000</b>	MC-EB-A	18.131
ED-EB-B	<b>50.000</b>	<b>MC-EB-B</b>	<b>50.000</b>
ED-EB-C	12.946	<i>MC-EB-C</i>	<i>9.789</i>
<i>ED-EB-D</i>	<i>8.251</i>	<i>MC-EB-D</i>	<i>5.630</i>

スクラッチテストにおいて、臨界荷重値に達した、つまりもっとも耐久のある加工組合せを表「太字」にて示した。また、10N 以下の組合せを、「斜体」にて示した。

以上のことから、コーティングにおいて

**[耐久性の高いコーティング]**

- ・ 管理記号A: CrxNy
- ・ 管理記号B: TiAlN

**[耐久性の低いコーティング]**

- ・ 管理記号C: DLC(CVD)
- ・ 管理記号D: DLC(イオン化蒸着)

となった。

《**硬度テスト**》

コーティング後の硬度測定を行った。

表13 装置概要

測定荷重	0.098~98mN
深さ範囲	±10 μm
分解能	0.3nm
圧子	バーコピッチ

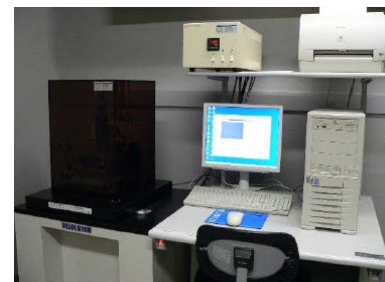


図33 薄膜硬度測定機

通常の硬度試験とは異なり、薄膜上でのコーティング後の試験のため、コーティング下地の粗さに測定が依存することが無いよう、もっとも表面粗さが小さい、

MC-EB(マシニング加工+電子ビーム)

サンプルにて実施した。

測定機は、図33に示す「エリオニクス ENT-1100a」を用いた。表13は、測定機の主な仕様概要である。

各コーティングサンプルに対し、6回の測定を行い、Max と Min を切り捨てた4回の平均値を採用した。硬度測定は、コーティング厚みの10分の1以下の押し込み量にて設定している。

結果を 表14に示す。

表14 薄膜硬度試験結果

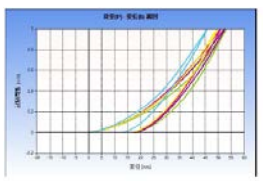
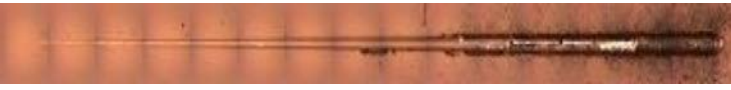
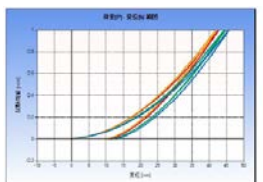

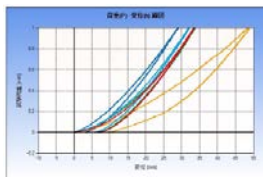
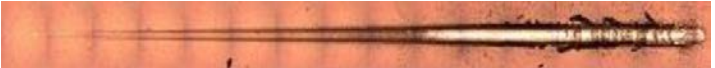
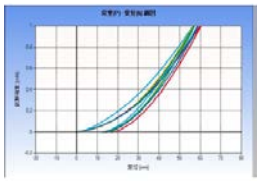
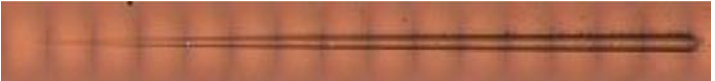
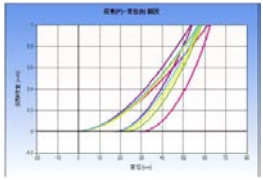
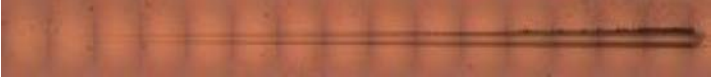
管理記号	コーティング種類	硬度(GPa)	ヤング率(GPa)
A	Cr <sub>x</sub> N <sub>y</sub>	18.198	311.8
B	TiAlN	19.220	411.9
C	DLC(CVD)	<b>29.450</b>	255.1
D	DLC(イオン化蒸着)	<b>25.200</b>	230.9

硬度に関しては、DLC系が優位であることが確認できた。スクラッチ試験では、DLC系が低い値であったことから、新たなDLC系コーティングの硬度、及びスクラッチ試験を実施した。表15にDLCコーティングの内容を示し、結果を表16に示す。各試験方法は同一。

表15 DLCコーティングの種類(硬度、スクラッチ試験)

	DLCコーティング処理方法	膜厚(μm)	備考
i	CVD法(化学蒸着法-単層)	1	前回実施と比較対照
ii	PVD法(イオン化蒸着法-単層)	1	
iii	フィルタードアーク法(アーク蒸着法)	0.4~0.5	新たな方式 (成膜方法)
iv	積層構造方式(低密度-高密度)	1.1	
v	傾斜構造方式(金属中間層-傾斜層-DLC)	1.2	

表16 DLC各種試験データ

	薄膜硬度試験	スクラッチ試験
i		
ii		
iii		
iv		
v		

結果の値を表17に示す。

表17 薄膜硬度及びスクラッチテスト値

	硬度(Gpa)	ヤング率(Gpa)	臨界荷重(N)
i	22.588	223.094	19.821
ii	32.546	273.057	9.811
iii	<b>55.456</b>	484.047	<b>35.957</b>
iv	20.240	153.514	<b>36.929</b>
v	17.146	193.081	<b>39.369</b>

以上の結果から、(iii)フィルタードアーク法によるDLCが、硬度、臨界荷重共優位であることがわかった。しかし、ランニングコストも考慮し、(i)CVD法も候補として捉まえていく。

### 《濡れ性テスト》

PPS系高熱伝導樹脂は粘度が高いため、金型内に樹脂が充填される際、滑らかな流動性が必要とされる。そこで、高熱伝導樹脂と金型表面との「濡れ性」を調査した。

コーティングの種類は、これまでのテスト結果から4種類を選定し、比較対象のため未処理品も加え、表18に示す。

また、試験方法が確立していないため、純水による接触角評価含め、表19に示す3種類の試験方法にて実施した。

表18 濡れ性比較に対する膜種

記号	コーティングの種類
A	未処理(各種比較基準)
B	DLC(プラズマCVDによる)
C	TiAlN系
D	CrN系
E	DLC(フィルタードアーク法による TaC)

表19 濡れ性テスト

記号	試験方法
I	純水接触角評価(参考)
II	簡易な付着試験
III	JISによる引っ張り試験

テストに用いる試験片は、各試験方法に適した表20に示す内容で実施した。

表20 試験片

種別	サイズ	試験方法
a	100×25×3 mm	III
b	25×25×3 mm	I, II
材料:STAVAX HRC50 ミガキ後: 表面粗さ 5~10nm		






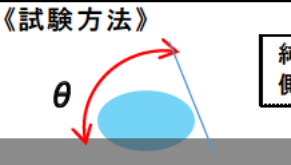
#### I. 純水接触角評価(参考)

PPS樹脂とSP値が近い、純水を用い、コーティング表面での接触角がどのようになっているかを観察評価した。この目的は、次に行う“付着試験”“引っ張り試験”の妥当性を先に確認するものである。

(注:SP値: 溶解パラメーター。溶液ごとにそれぞれの値がある。水が23.4、PPS樹脂は20前後であり、近似した領域にある)

結果を表21に示す。

表21 純水接触角評価

記号	観察結果	角度	記号	観察結果	角度
A		67.7°	D		78.8°
B		70.4°	E		67.3°
C		59.6°	《試験方法》  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-left: 20px;">純水を滴下し 側面撮影</div>		

結果から、発散・分散がなく、PPS樹脂でのテストは可能と判断できる。また、TiAlN を除けば、未処理品がもっとも角度が小さいことが観察できる。

II. 簡易な付着試験

次に、コーティング試験片に一定温度で過熱したPPS樹脂を付着させ、図34に示す簡易な密着性の確認を行った。高熱伝導樹脂:PPS 20W材を使用し、結果を表22に示す。

《試験方法》

- ・樹脂を 350°Cに加熱したプレート上で熔融させた後、110°Cの膜種別テスト片 (aタイプ)へ滴下し、室温に冷却後、はがれ方を比較。

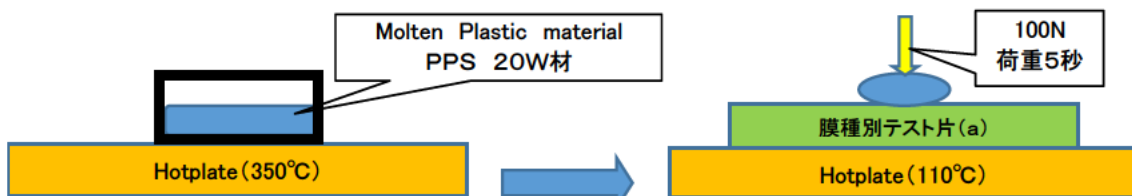


図34 付着試験方法

表22 付着試験はがれ方

膜種	結果	膜種	結果	膜種	結果
A	 剥離痕がはっきり	B	 痕跡ほとんどわからず	C	 うっすら痕跡
D	 痕跡なし	E	 うっすら痕跡	《離型性の優位性順》 D > B > C > E > A	

Ⅲ. JIS による引っ張り試験

JIS による引っ張り試験は、図35に示す試験片(a)を2枚用い、PPS樹脂を塗布後、冷却(硬化)後の引っ張りによる、コーティング毎の値を求めた。試験方法は、表23に示す。

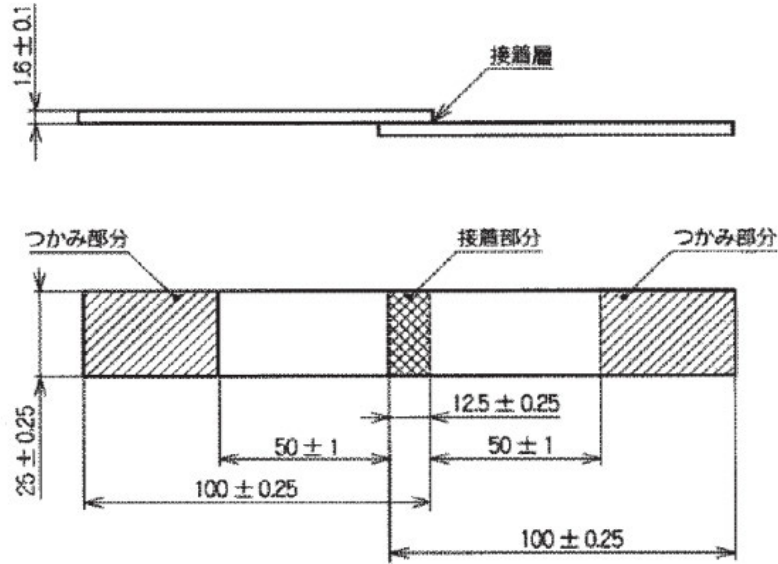


図35 試験片

表23 試験方法(JIS K6850 に準拠)

手順	試験機
① 膜種別テスト片(a) 2枚使用 ② II試験(簡易な付着試験)と同様処理・加熱 ③ 100N 5秒間圧着 ④ 室温まで冷却 ⑤ 試験機にて引っ張り	1)使用装置 INSTRON5582 2)ロードセル 引っ張り方 5KN 3)引っ張り速度 1mm/min



結果のグラフを図36に、各値を表24に示す。

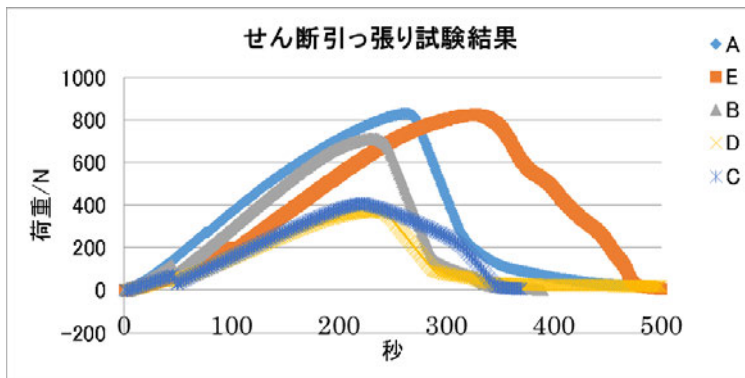


表24 各試験値

膜種	剥離時最大荷重(N)
A	828. 946
B	711. 616
C	<b>407. 287</b>
D	<b>372. 282</b>
E	823. 909

図36 引っ張り試験グラフ



濡れ性テスト I、II、III の結果のまとめを表25に示す。

表25 濡れ性テストのまとめ

膜種(コーティング)		I	II	III
		純水接触角評価 (°)	簡易な付着試験	JISによる 引っ張り試験(N)
A	未処理	67.7	痕跡あり	828.946
B	DLC(プラズマCVDによる)	70.4	わずかな痕跡	711.616
C	TiAlN系	59.6	わずかな痕跡	<b>407.287</b>
D	CrN系	78.8	痕跡なし	<b>372.282</b>
E	DLC(フィルタードアーク法による TaC)	67.3	わずかな痕跡	823.909

#### 《結果からの考察》

- 1) 「簡易な付着試験」と「JISによる引っ張り試験」の相関は見受けられるが、「純水接触角試験」のみでは、樹脂とのはがれやすさの目安にすることはできない。
- 2) E:フィルタードアーク法DLCは 未処理と差が無い。
- 3) B:プラズマCVD法(DLC)は、若干優位性がある。
- 4) C:TiAlN系 及び D:CrN系は 離型性が良いと推測できる。
- 5) DLC系は、離型性の効果は小さいと推測できる。

以上の結果から、“金型表面改質”の事前検討を実施した中で、DLCコーティングにおいては、成膜法による差があり、また、表面硬度がかなり高いことが確認できた。反面、DLCコーティングは、PPS樹脂との離型性については、効果がないと推察できる。今後の本研究開発テーマにおいては、生産コストを考慮し、実機テストを経て、応用箇所に適時対処するものとする。

### 2-3 高粘度樹脂に適応した成形システムの構築

高粘度樹脂による安定した成形を行うには、樹脂充填時における成形ピーク圧の制御、また、樹脂の熔融時に発生するガスを低減させる必要がある。これらの課題に対し、高圧射出圧力制御の成形機、ガス低減用のスクリーを導入し、「試作型」にて、高粘度である高熱伝導樹脂の成形性の安定化検証を実施した。

#### (1) 高圧射出圧力制御成形機

高熱伝導化に必要な多種フィラー充填に伴い、樹脂粘度が高くなるため、射出成形時の対応として、高粘度高圧射出成形機を導入した。板状タイプの試作型 I (前述の図4)では、1Wの高熱伝導樹脂は、金型温度を150°C以上で充填したが、2W、及び10Wの高熱伝導樹脂は充填できなかった。1Wにおいても、後述する最大ピーク圧のバラツキが大きく、成形の安定性は担保できないため成形機の油圧回路の一部を並列化と、射出速度及び圧力制御回路を改造し、3種類の試作型にて成形テストを実施した。成形テスト時での支障は出ていない。

#### (2) ガス低減化スクリー

熱可塑性樹脂は、成形機にて樹脂を熔融する際にガス発生する。PPS材の高熱伝導樹脂においては、多種のフィラーを含有させていることから、より多くのガス発生は避けられない。

ガス低減化スクリーの導入をおこない、ガスによる成形性の障害緩和を目的とした。スクリー形状は、一般形状に対し、圧縮比の変更、供給部のリード形状変更、サブフライト形状追加などを行っている。

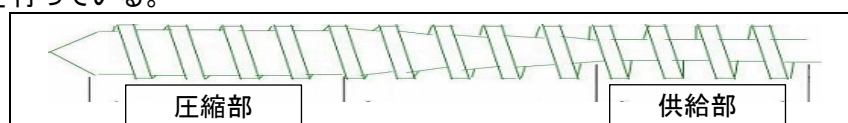


図37 スクリーデザイン



図37に示す、圧縮比については、通常2.0から2.1に対し、1.9のオリジナル形状を用いた。また、供給部のリード形状においては、樹脂の可塑化時に発生するガスをスクリュー後部へ逃がすことを目的としている。

図38に示す、サブフライト形状は、可塑化時の樹脂粘度の安定化を目的とした。

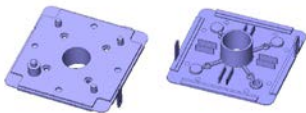




図38 サブフライト形状

(3) 試作金型

PPSの高熱伝導樹脂による成形テストを実施するため、3種類の“製品形状”の試作型を製作した。表26に、「試作型Ⅰ：板状形状」「試作型Ⅱ：コネクタ形状」「試作型Ⅲ：インサートコネクタ形状」の内容を示す。

表26 各試作型形状

試作型Ⅰ 板状形状	試作型Ⅱ コネクタ形状	試作型Ⅲ インサートコネクタ形状
		
1点サイドゲート	1点サイドゲート	1点サイドゲート
		

《試作金型の構成》

高熱伝導樹脂の成形テストを実施する上で、試作型の構成は、樹脂が金型に充填された後も樹脂流動性の低下を極力防ぐことを前提に、前項「2-2 高粘度・高ガス対応の金型加工技術開発」で検討した項目を用いた。図39に、試作型Ⅲの構成図を示す。

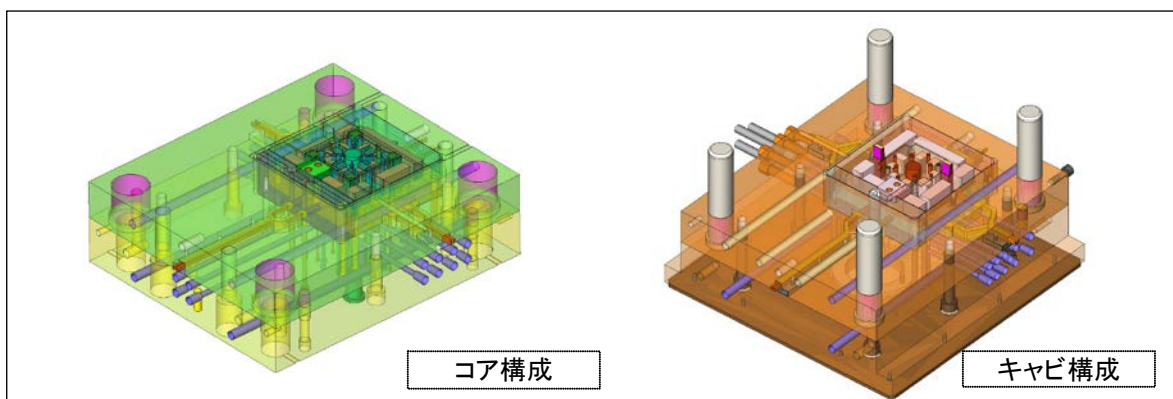


図39 試作型Ⅲ金型構成

I. 温調配管

温調配管は、水管とヒーターを併用している。水管は金型全体の温度管理を担い、ヒ-

ターは次項に記す、高熱伝導素材に近接させるためのものである。図40に概略図を示す。

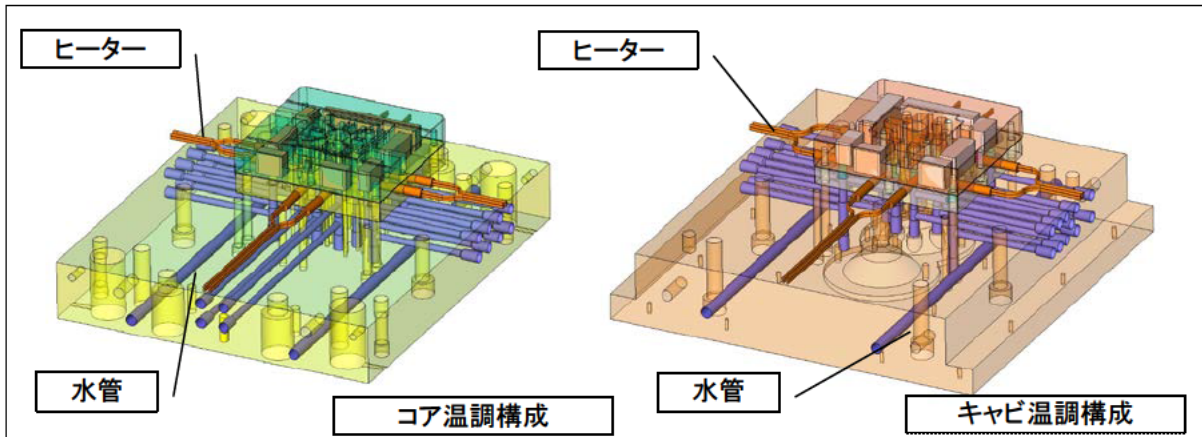


図40 温調配管図

水管は熱効率を維持するため、圧力損失を避けなければならない。各水管の穴径バラツキは、0.1mm以下、また穴径内部の面精度は、Rz:1 $\mu$ m以下で配置している。

## II. 高熱伝導素材の配置

高熱伝導素材は、試作型を通じた成形テストの中で、樹脂充填に大きな効果を得ることが確認できている。図41は、試作型 I における高熱伝導素材の投影上の配置図である。

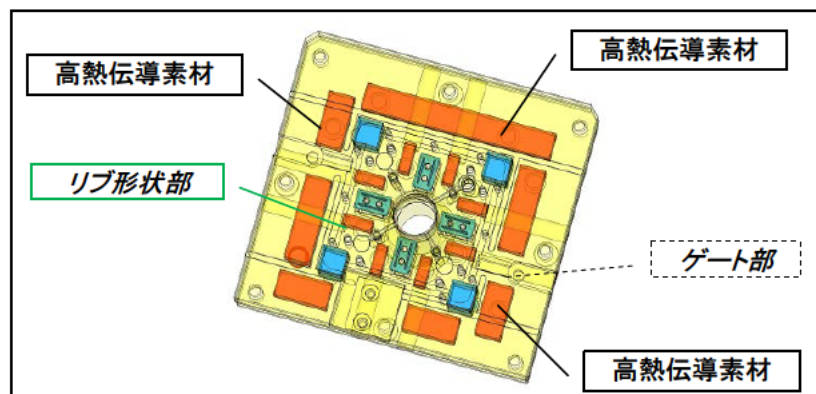


図41 高熱伝導素材(試作型 I)

試作 I での成形品形状(板状)全周を囲い、細肉リブ形状近傍に高熱伝導素材を配置した。金型への組込において、空気層が存在すると、断熱による熱伝導が遮断されるため、高熱伝導素材を金型構成部品と一体化する必要がある。図42にその構成図を示す。

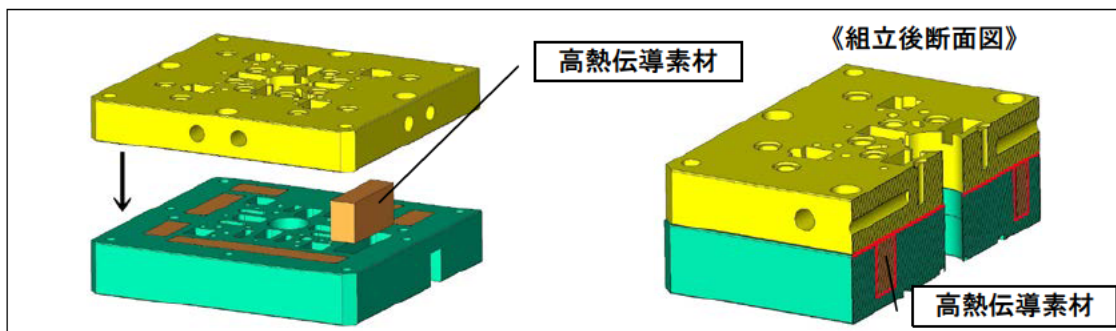
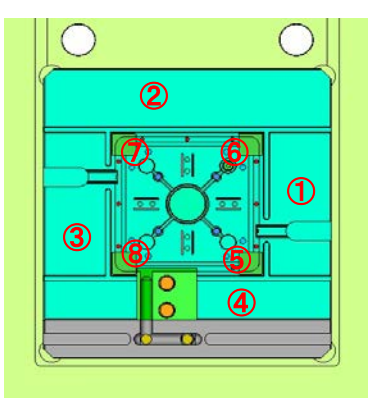


図42 高熱伝導素材組込図

試作型 I 形状において、高熱伝導素材の配置有無による金型表面温度の実測を表27に示す。

表27 熱伝導素材有無による金型表面温度

設定温度	高熱伝導材	①	②	③	④
140℃	無	136.5	134.2	135.9	136.7
	有	139.9	139.8	138.6	138.8
150℃	無	146.2	143.8	143.1	145.0
	有	149.3	149.5	149.3	149.7
設定温度	高熱伝導材	⑤	⑥	⑦	⑧
140℃	無	138.8	137.3	135.2	136.4
	有	141.2	140.3	140.7	140.2
150℃	無	147.8	146.1	145.2	144.1
	有	152.2	151.2	150.7	150.3



30W品での成形時の表面温度を①～⑧の箇所を実測した。金型設定温度は、140℃、と150℃でおこなった。高熱伝導素材の配置有無の差は、実測レベルで約4℃から5℃となり、測定箇所8カ所でのバラツキは、2℃前後となっている。これらは、高熱伝導樹脂の成形実績において、外観等の転写性、また微細形状部の充填性、などの結果に大きな効果としてあらわれている。

### Ⅲ. 多孔性部材の配置

試作型 I にて、多孔性部材を配置し、ガス逃げの効果確認を実施した。

図43に試作型 I での多孔性部材の配置位置を示す。配置箇所は、成形品形状部の樹脂充填がほぼ最終となる4隅に配置し、また、焼結温度の差によるガス逃げ効果を見た。

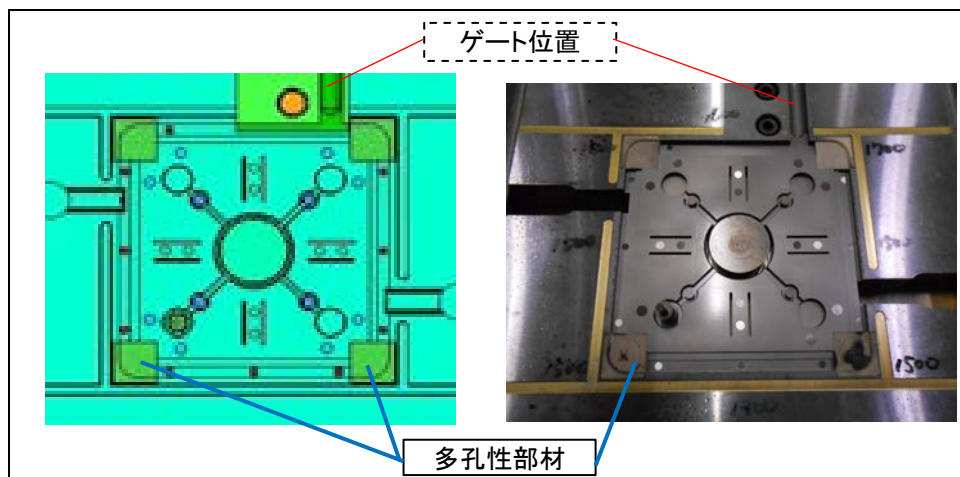


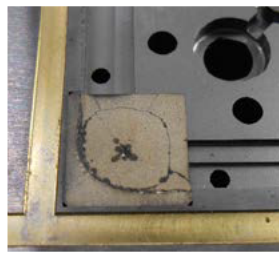
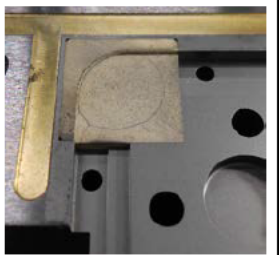
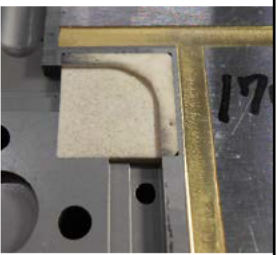

図43 多孔性部材配置(試作型 I)

成形テストの結果は、ガス逃げ効果による、成形品端部の充填性、転写性など、明確な効果は認められたものの、多孔性部材の焼結温度の差によって成形時の耐久性に大きな差が認められた。

その結果を表28に示す。



表28 多孔性部材のテスト結果

			
1500°C	1600°C	1700°C	1500°C背面

焼結温度が低い場合、部材にクラックが生じ、1700°Cにおいては、クラックは認められなかった。よって、一定の焼結温度が必要となる。部材の組込み背面にははっきりとしたガスによる“脂”が認められ、一定量のガスが排出されていることが確認できた。

#### IV. 成形システム

成形機、及びスクリューにおいて、ピーク圧力制御及び、樹脂の可塑化安定・低ガス化の取組みをおこなった。

高熱伝導樹脂は、粘度が高いため、成形時の射出時の圧力が高くなること、またそれに伴い、連続成形時の圧力バラツキによる、成形品の寸法安定性・位置精度安定性に大きな影響を及ぼす。

図44に30W材で成形した際の、成形機での圧力安定化の波形の違いを示す。

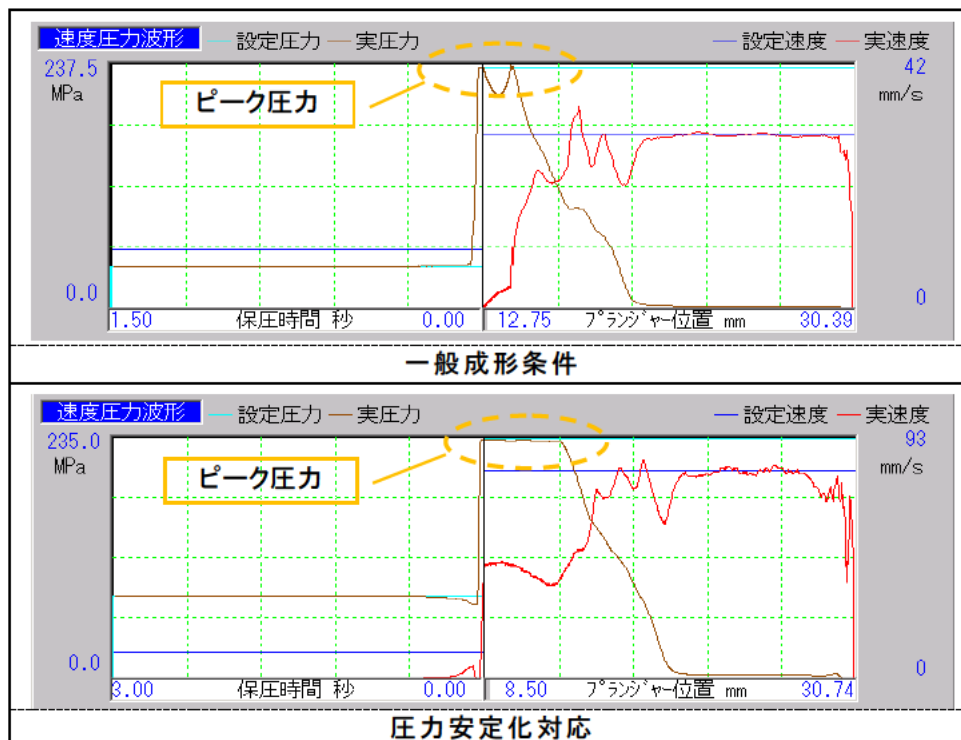


図44 圧力安定化による波形

圧力安定化対応では、一般成形条件と比較して、図中に示す「ピーク圧力」が一定範囲で安定している。

低ガス化スクリューにおいては、長期間での成形での効果確認となるため、定量的な効果は継続確認中である。




v. 成形テスト結果

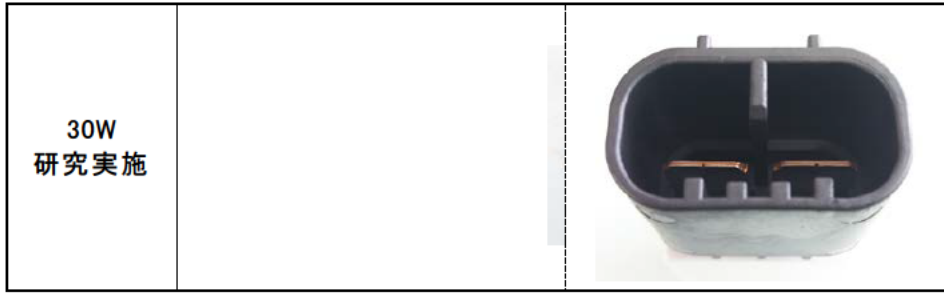
金型加工技術など総合的な対応による、試作型Ⅱを表29、試作型Ⅲを表30に示す。現在試作段階の高熱伝導樹脂の中で、もっとも粘度が高い、5W:絶縁性タイプと30W:導電性タイプを示す。

表29 試作型Ⅱ 成形結果

5W 通常		
5W 研究実施		
30W 通常		
30W 研究実施		

表30 試作型Ⅲ 成形結果

5W 研究実施		
------------	---	--



板状形状の試作型 I において、形状精度を、図45に示す箇所にて測定を行った。比較対象のため、一般PPS(ガラスフィラー30%入り)との比較している。  
 測定は、基準面をゼロ設定に置き、中央部の円筒形状の真円度(先端部、中間部、下部)、基準面に対する円筒部の直角度、平面度(8点測定)を行った。またその表31に示す。

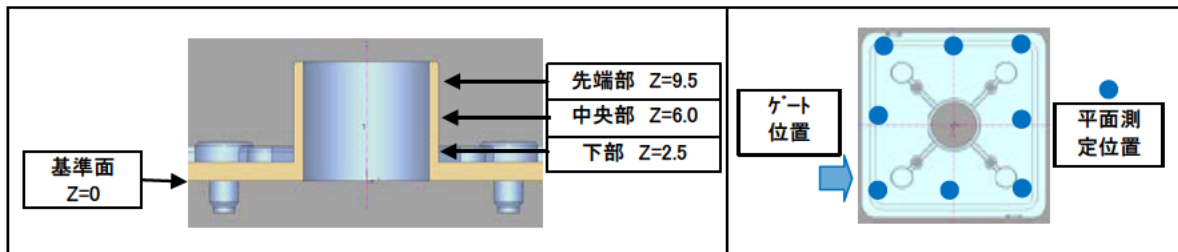


図45 試作型 I 測定箇所

表31各測定値 測定単位:mm

試作材		一般PPS	2W	3W	5W
真円度	先端部	0.034	0.009	0.016	0.019
	中間部	0.025	0.010	0.009	0.020
	下部	0.023	0.016	0.017	0.023
直角度		0.470	0.136	0.245	0.189
平面度		0.360	0.074	0.132	0.023
試作材		10W	20W	30W	30W(高速・高温)
真円度	先端部	0.042	0.028	0.019	0.026
	中間部	0.039	0.023	0.036	0.026
	下部	0.027	0.024	0.033	0.026
直角度		0.244	0.316	0.305	0.285
平面度		0.157	0.210	0.116	0.149

注) 30W(高速・高温)は、より外観レベルを高める成形条件品

一般PPSに比べ、直角度にみられる形状精度は、高熱伝導樹脂が勝っている。これは、高熱伝導樹脂は多くのフィラーが含有されているため、本研究実施の結果、十分な樹脂充填が成されると、フィラーの架橋効果により、形状精度が向上していることを現す。

図46に、試作型Ⅲでのソリの比較を示す。

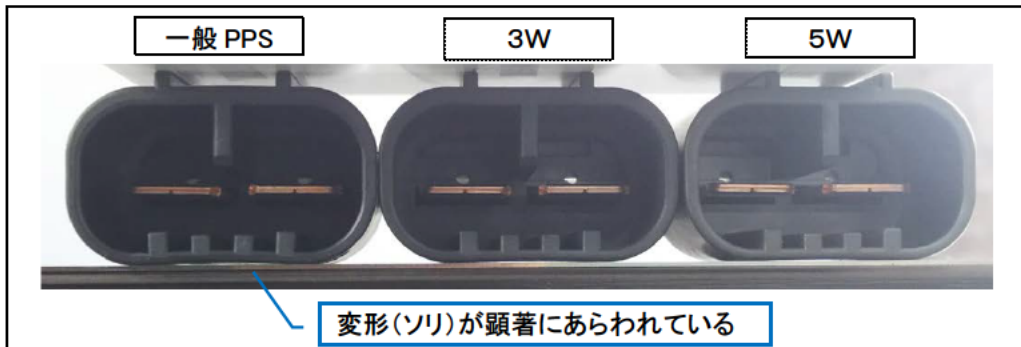


図46 試作型Ⅲ変形(ソリ)状態

一般PPS、3W、5Wを定盤上に並べ、一般PPSは、筒状のソリにより後端からの光が通っていることが確認できる。5Wでは、ほとんど光が見えないレベルになっており、筒状全体の形状精度が高いことがわかる。コネクタの場合、このような形状精度は品質上かなり優位となる。

### 第3章 全体総括

#### 3-1 研究開発成果と課題

高熱伝導樹脂は、各樹脂メーカーにて開発が進められているが、本研究開発は、PPS樹脂を母体を実施した。これは、日本の基幹産業である自動車分野において、エンジン周辺部品、モーターなどの駆動系部品に多用されていることなどによる。その中で、排熱のための様々な設計上の工夫がなされているが、軽量化・低コスト化への障壁となっている。

今回の研究開発は、市場において「実用化できる」ことを認知していただけることを目的に、市場が求める「想定した試作品形状」にて、課題解決を行った。

図47の「板状形状」「コネクタ形状」共、各アドバイザーのご意見と、弊社がこれまで製作した既存品を元に、様々な部品機能を付帯したオリジナルの形状としている。

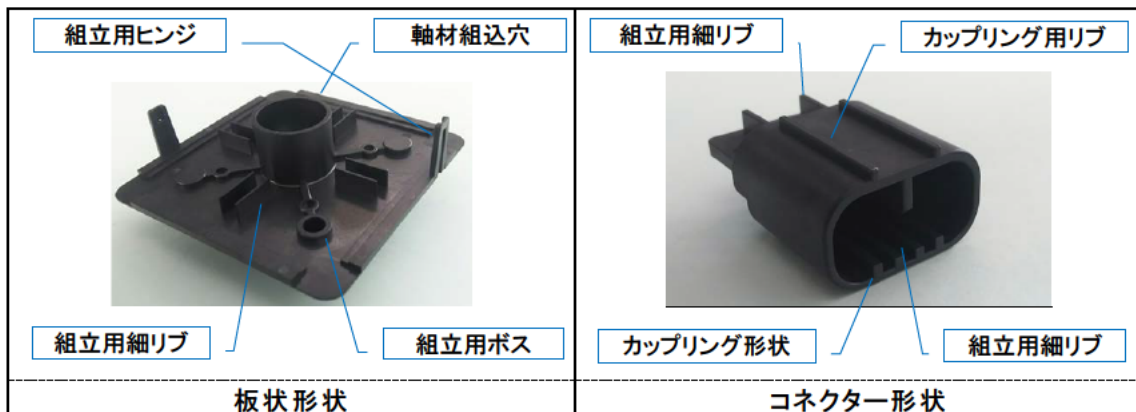


図47 試作品形状と想定機能

付帯した機能箇所は、すべて樹脂充填がなされ、目標とする「想定した試作品形状」は達成した。高熱伝導樹脂は、研究開発を開始した時点の平成25年に比べ、流動性、機械物性の改良もなされ、また、該当する試作ワットの種類も増え、当報告書の図表に示した高熱伝導樹脂は、平成28年11月段階のものである。

また、フィラーの配向を通じて明らかになった、フィラーの分布が、成形品の表面に近いところに多く分布している点である。熱伝導率は、樹脂メーカーにて、樹脂重量比に対し理論上の

## 【公開版】

フィラーを配合・混練させており、成形品表面部分の熱が、設計時のワット数以上の熱伝導効果が期待できる点にある。このことは、樹脂の材料単価が低い熱伝導(W)にて、より高い熱伝導(W)を導き出せる効果となる。各想定した試作品形状の「リブ」の肉厚はすべて、1mm未満にて構成しており、成形品の最大肉厚も1.8mm以下で構成されている。このことから、より薄肉の製品設計及び薄肉に対する成形安定性を継続検討する必要があると考えている。

その他の課題としては、長期間での成形性の確認が必要となる。本研究実施において、連続成形は数時間の評価であり、今後、発生する課題に対しては実用化の中で解決をはかる。

高熱伝導樹脂は、成形性改良は、継続して樹脂メーカーと行いながら、各試作型での評価実施を継続していく。

### 3-2 事業化展開

熱伝導率がより高い高熱伝導樹脂は、必要とするフィラーの物理的な配合技術より、フィラー自体の価格が高価となり、結果、樹脂単価が高くなる要因となる。市場の開拓がなされていない段階で、より高い高熱伝導樹脂の開発、事業化を進めることは得策ではなく、今回、試作成形が可能となった、絶縁性タイプ:5W、導電性タイプ:30Wを最大として、事業化の早期推進をおこなう。

各試作型での成形品サンプルを、各方面にサンプル提供すると共に、メディアを通じた情宣活動も実施し、高熱伝導樹脂の認知を進めていく。

最後に、当研究開発におきまして、様々なご支援・ご助言をいただきました、機関・団体様へ深く謝辞申し上げます。