

平成22年度（経済危機対応・地域活性化予備費事業）

戦略的基盤技術高度化支援事業

「スーパーエンブラにおける

超ハイサイクル・高品質な射出成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成23年12月

委託者 中国経済産業局

委託先 財団法人くれ産業振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要

1. 1	研究開発の背景・研究目的及び成果概要	1
(1)	研究開発の背景	1
(2)	研究開発の目的	2
(3)	最終的研究開発目標と成果概要	3
1. 2	事業化に向けた調査研究の概要	3
(1)	市場動向	3
(2)	従来技術の概要	4
(3)	従来技術の課題及び問題点	5
(4)	現在までの保有技術	5
1. 3	研究開発体制	6
1. 4	研究開発担当者一覧表	6
1. 5	当該プロジェクト連絡窓口	7

第2章 研究成果

2. 1	流動解析シミュレーション	7
2. 2	スーパーエンブラにおける超ハイサイクル・高品質な射出成形技術の開発	8
2. 2. 1	超ハイサイクル・高品質成形技術の確立	8
(1)	目的・目標	8
(2)	専用金型設計・製作	8
(3)	考察	10
2. 2. 2	ハイサイクル射出成形機構の開発	10
(1)	目的・目標	10
(2)	射出成形機的设计・製作	10
(3)	考察	11
2. 2. 3	開発設備のシステム検証	11
(1)	ハイサイクル射出成形の最適化(1st. トライ)	11
(2)	ハイサイクル射出成形の最適化(2nd. トライ)	12
(3)	ハイサイクル射出成形の最適化(3rd. トライ)	14

第3章	全体総括	
3. 1	本研究開発の総合評価	16
3. 1. 1	開発の要約と成果	16
(1)	超ハイサイクル・高品質成形技術の確立	16
(2)	ハイサイクル射出成形機構の開発	17
(3)	開発設備のシステム検証	17
3. 1. 2	総合評価	18
3. 1. 3	研究開発後の課題	18
第4章	今後の事業化展開	
4. 1	品質保証体制の確立	18
4. 2	生産ラインの充実	18
4. 3	販売体制の確立と販売促進	18
4. 4	射出成形設備の改良	19
(1)	システムのコストダウン	19
(2)	多色成形等への応用用途開発	19

第1章 研究開発の概要

1. 1 研究開発の背景・研究目的及び成果概要

(1) 研究開発の背景

自動車部品の軽量化のために、鉄鋼材料から耐熱性・高機能化・高強度特性に優れるプラスチック、即ちスーパーエンブラへの代替が積極的に行われている。例えば、現状、様々な箇所に使われている下図に示すウォーターポンプのインペラ（インサート成型品）では、高品質なものを低価格で供給することを求められており、本研究開発の当面の具体的ターゲットは、このウォーターポンプ用インペラである。

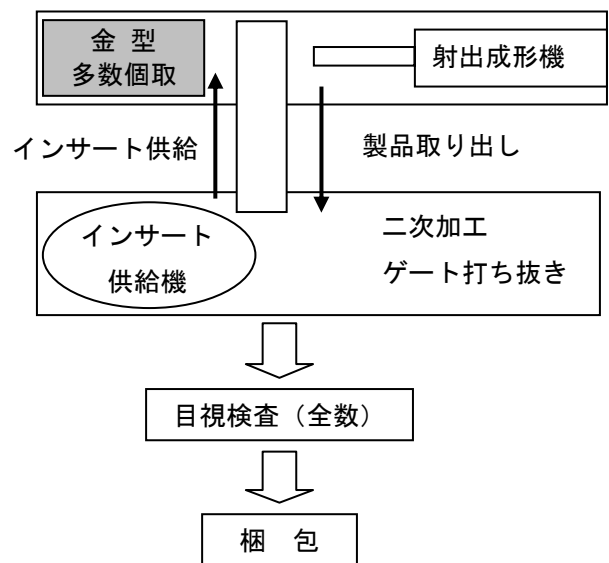
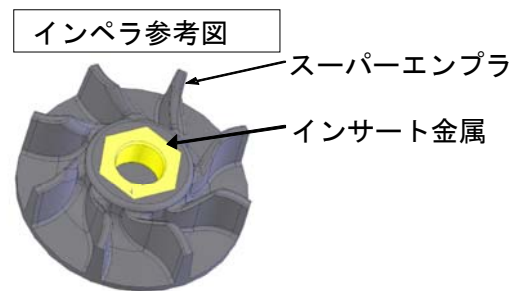
このウォーターポンプのインペラに使用されているスーパーエンブラは、耐熱性・高機能化・強度が優れる反面、その成形難易度が高い欠点がある。

スーパーエンブラは、将来的には、軽量化に向けて、インペラ関係では前記したウォーターポンプ用の他に、エンジン、IC基盤、モーター等の発熱部分の冷却用機器として、また、その他、ポンプハウジング、バッテリーケース、モーターカバー等高強度・軽量化が要求される部位に適用可能で、ハイブリッド車、電気自動車に対してはこのニーズは大きくなる。

現在の射出成型技術では、下図に示すように、サイクル時間を短縮するために、1ショットで4個以上の部品を成形する金型を使用し生産性の向上に努めているが、重量が約500kgからなる金型の温度調節管理には時間もコストもかかり、また、多数個取りする成形品には、熔融した樹脂の複数個の金型への充填バランスや焼き付きのバラつきが生じるなど、その生産性の向上及びその結果から得られるコストの削減には限界があった。

樹脂と金属の複合材料から構成されるインサート成型品の低価格化を実現するべく、多数個取りを1個取りとすることで成形品のバラつきをなくし、なお且つ、サイクル時間を多数個取りの成形時間以下に短縮する射出成型機構を開発し、30%以上の低価格化を実現する。

また、スーパーエンブラという成形難易度の高い材料では、従来の多数個取りでは成形品のバラつきが大きいた



現状の射出成形、検査工程

め、必ず人手による検査などの後工程を必要としていた。

1個取りとすることで、成形品の品質が向上するため、カメラによる検査及びサーボロボットによる仕分けが可能となることから、前述の射出成型機構と合わせた完全自動化を行うことで、加工時間を50%以上短縮できる。

これらのことから、生産性の向上によるコスト低減と品質の安定化を実現することを目的とした加工時間の大幅短縮と、加工精度が向上できる、革新的超ハイサイクル・高品質の加工技術を開発する。

量産型製品製造業界では、生産拠点を海外へと移す事例も増えているが、日本の国際競争力を強化する上においては、高品質な製品をいかに低価格で供給するかが喫緊の課題である。

本研究開発では、世界で展開されている厳しいコスト・品質競争に勝ち抜く超ハイサイクル・高品質の成形技術を開発し、ウォーターポンプのインペラという成形難易度が高いインサート成型品の低価格化を実現することで、国際競争力の強化を図りたい。

これらを実現するためには、現状の4個取り射出成型機構を改め、成形品を製作する工程すべてにおいてハイサイクル化、省力化が必要であると考え、射出成型機構を高度化した1個取りの新たなロータリー式射出成型機構を開発し、実用に供したいと考えている。

(2) 研究開発の目的

プラスチックが、鉄鋼材料の代替として製品化が進む中、特に今後積極的に採用されるスーパーエンプラは、耐熱性・高機能化・強度が優れる反面、その成形難易度が高い欠点がある。本開発は、成形難易度の高い材料における、生産性の向上によるコスト低減と品質の安定化を実現することを目的とし、加工時間の大幅短縮と、加工精度が向上できる超ハイサイクル・高品質の加工技術を開発する。これにより、軽量化、低価格化が達成できる。

また、高度化目標を達成するためには、サイクル時間の大幅な短縮が必要である。しかし、既存の多数個取りの射出成型機構では、成形品の品質を確保するために、金型に一定の圧力（保圧）及び温度調節（冷却）時間が必要であった。本研究開発では、サイクル時間を50%以上短縮するために、今までにないロータリー式射出成型機構の開発を図り、低価格化を実現する。

このためには成形品取り出しまでに負荷する金型の圧力（保圧）条件および温度調節条件の検証並びに、その成形条件における製品強度、表面粗さを調査・検討し、現状の製品性能と同等以上の性能を得る。

また、スーパーエンプラ材という成形難易度の高い材料では、従来の多数個取りでは成形品のバラつきが大きいため、必ず人手による検査などの後工程を必要としていた。

1個取りとすることで、成形品の品質が向上するため、カメラによる検査及びサ

一ボロボットによる仕分けが可能となることから、前述の射出成型機構と合わせ目視検査を必要としない完全自動化を行うことで、加工時間を50%以上短縮することを実現する。

これらのことから生産性の向上によるコスト低減と品質の安定化を実現することを目的とした、加工時間の大幅短縮と、加工精度が向上できる、超ハイサイクル・高品質の加工技術を開発する。

(3) 最終的研究開発目標と成果概要

表 1.1.1 研究開発目標と成果概要

研究項目	研究開発目標	成果概要
① 超ハイサイクル・高品質成形技術の確立	横型射出成型機を用い1個取りでの成形サイクル8秒以下、安定した製品品質が可能な成形技術を確立する。	横型射出成型機をベースとした成形サイクル7.7秒の設備を開発。サイクル12.5秒にて製品品質が安定する結果を得た。また、サイクルは少なくとも更に2秒短縮可能な知見を得た。
② ハイサイクル射出成型機構の開発	従来の成形サイクル43秒を8秒以下で実現可能な小型インデックス機構の開発。	φ360mmの小型インデックスに金型4基を搭載し、割り出し時間0.67秒を達成。設備動作時間は3.7秒(保圧・冷却除く)
③ 開発設備のシステム検証	全体システムとしての課題・問題点を摘出・解決し、全体目標を達成する。また、事業性の評価により、事業化計画の達成を図る。	開発法は樹脂の結晶化も十分であり、寸法も実用上十分な精度が見込めるが、安定性に関しては、さらに検証が必要である。開発設備についても目標は達成したが、耐久性、安定性、コストダウンの検証が必要である。

1.2 事業化に向けた調査研究の概要

(1) 市場動向

① 自動車分野におけるポリフェニレンサルファイド（PPS）樹脂の市場概要

スーパーエンブラの中でPPS樹脂は、諸特性が良好で比較的低価格であることから、需要量はコンスタントに増加傾向にある。

自動車分野における国内PPS市場は、2005年8,500t、2010年11,000tと増加傾向にある。国内総需要量に対しては、約35%を占めており、電気・電子用途の50%に次ぐ用途となっている。

当初自動車のエンジン周辺部品に採用されていたが、その後、自動車エレクトロニクス化の進展に伴い、特に、電装品用途の拡大が顕著である。

自動車では電装化が進み、耐熱性などの要求も高度化している。また、近年は

燃費の向上が求められていることから軽量化ニーズが高まっており、金属からエンジニアリングプラスチックなどへの材料置換がみられる。これは高耐熱性や機械的強度等の特性に加え、生産性の向上やデザイン設計の自由度なども採用理由のひとつとなっている。

② 用途動向

近年、高耐熱性が要求されるエンジンルーム内の自動車部品・ランプリフレクター・ECUケーブル向けの需要が拡大している。

現在PPSでの電装部品（オルタネーター部品、ヒューズケース、コネクタ等）、エンジン周辺部品（ウォーター・ポンプ、排ガスバルブ等）用途で市場開拓が進んでいる。今後は、アンチロックブレーキシステム関連部品、エアバッグ部品等への採用が進み、ハイブリットカーや電気自動車の分野にも市場が広がっていくと予測される。

③ 今後の動向

次世代自動車では従来のガソリン車とは構成部品や求められる特性が変化している。高耐熱性・軽量性以外にも、ガソリン車にはなかった新規部品や、新規燃料に対応した部材が求められており、ケミカル・高分子材料のニーズが高まっている。自動車分野のPPS樹脂市場は、その耐熱性・耐薬品性・機械特性及び金属と比較し低コストであることが評価されており、当該市場は今後、電装品需要を中心として需要の大幅な拡大が予測されている。

(2) 従来技術の概要

① 射出成形

熱可塑性樹脂では樹脂を高温状態で溶融させ、射出圧（10～250MPa）を加えて50～150℃の金型に充填し、冷却・固化させるプラスチックの加工法。

② スーパーエンブラ

スーパーエンジニアプラスチックの略語。特徴は、合成樹脂（プラスチック素材・熱可塑性樹脂）の中で、所定の目的に添った機能（主に耐熱性）を強化してあるものである。主に耐熱温度が『150℃以上で長時間耐えるもの』をスーパーエンブラと呼ぶ。

③ 金型

従来からの成形金型には、成形品を所定の形状に形作る形状付与機能と、成形品を成形温度から取出し可能温度まで冷却する熱交換機能の2つの基本的な機能がある。その他に、射出成形金型では成形機ノズルからキャビティまで溶

融樹脂を導く流路形成機能，キャビティ内の空気を逃がす排気機能，成形品をコアから抜き出す離型機能などの付帯的な機能がある。

(3) 従来技術の課題及び問題点

従来の射出成形技術は，成形機・金型・材料の3因子によるバランス感覚にて成り立っているため，常に問題を抱えている。

射出成形の技術は，各社得意・不得意があり，上記3因子を選定するにあたり，その技術レベルを見極める能力・技術的な裏付けが必要である。

また，スーパーエンブラの成形に関する課題として，成形の難易度が高く，1サイクルの長時間化・材料コスト・製品歩留まりなどが挙げられる。

(4) 現在までの保有技術

量産成形の場合，多数個取りの金型がその取り数の多さから量産には有利とされているのが一般的である。しかし，多数個取りの金型は成形条件の設定に経験が必要とされ，金型各キャビティのばらつき・金型サイズの大型化なども懸念されるため，月間生産数・材料の種類・製品形状によりその製品取数を決定している。成形機については，金型（製品形状）から型締力・射出容量を計算し成形機の選定を行う。材料については，製品強度・流動特性・コスト・顧客指定等から最適な材料・グレードを選択する。現在PPSにおける成形は，4個取り金型にて成形し，直行型取り出しロボットを経由し2次加工機にてゲート部の処理（打抜き）を行い，製品ストッカーにストックしている。

1ショットの成形サイクルは当社従来法の場合，約43秒を要し，製品の寸法精度向上・樹脂の結晶化促進を目的とし，冷却時間は約20秒と長めの設定となっている。以下にその現状設備を示す。



図 1.1.1 現在の量産金型

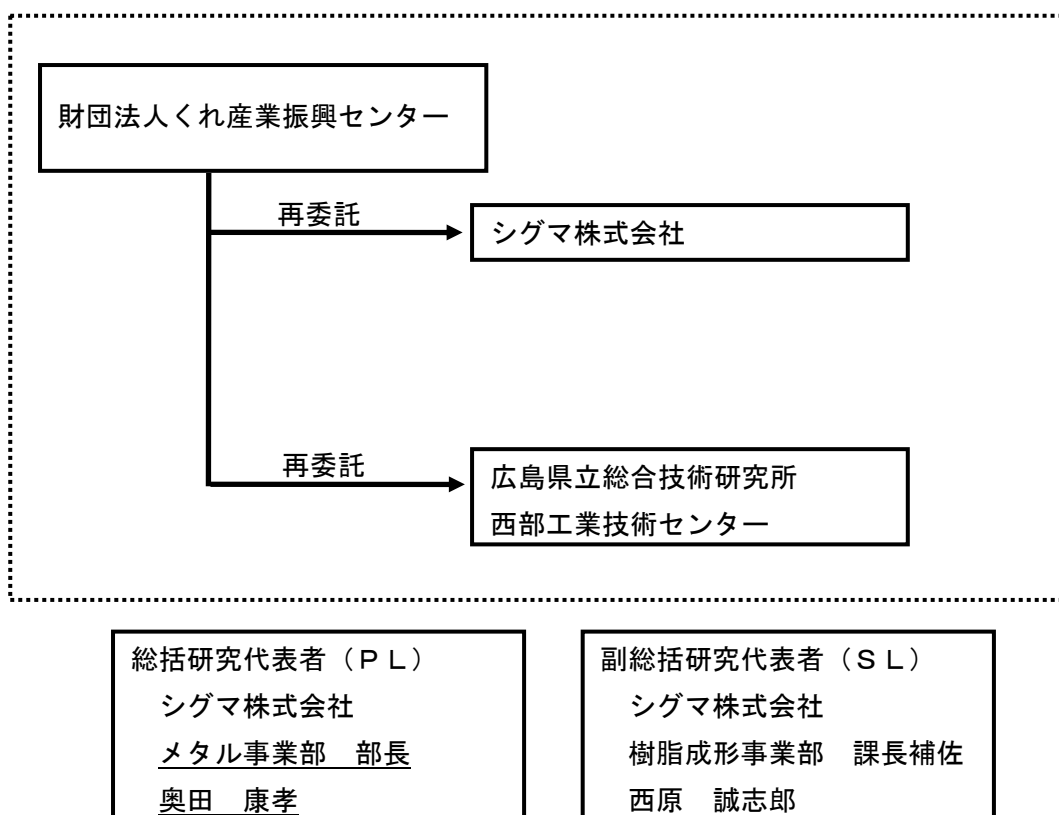


図 1.1.2 2次加工機



図 1.1.3 製品ストッカー

1. 3 研究開発体制
研究組織（全体）



1. 4 研究開発担当者一覧表
共同研究推進委員会

所 属	氏 名	役 職
シグマ株式会社	(委員長) 奥田 康孝	メタル事業部 部長
シグマ株式会社	(副委員長) 西原 誠志郎	樹脂成形事業部 課長補佐
広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター	(委員) 下原 伊智朗	材料技術研究部 部長
広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター	(委員) 田平 公孝	材料技術研究部 副主任研究員
国立大学法人 広島大学 産学・地域連携センター	(アドバイザー) 松井 亨景	特命教授
マツダ株式会社 技術研究所	(アドバイザー) 藤 和久	主幹研究員

1. 5 当該プロジェクト連絡窓口

住 所 〒737-0004
広島県呉市阿賀南2丁目10番1号
(広島県立総合技術研究所西部工業技術センター内)

機 関 財団法人くれ産業振興センター

代表者役職・氏名 理事長 廣津 忠雄

連絡担当者役職・氏名 事務局員 平賀 英司

Tel : 0823-76-3766

Fax : 0823-72-0333

E-mail : hiraga-kssc@kure-city.jp

第2章 研究成果

2. 1 流動解析シミュレーション

従来法と開発法で作製する場合のインペラについて流動解析シミュレーションを行った。射出圧力の分析結果を図 2.1.1 に示す。

射出圧力分布の解析結果から、従来法は個々の製品にばらつきが生じてしまうが、開発法では、1個の製品の中での若干の圧力のばらつきはあるものの、製品間のばらつきは、ほとんど発生しないと推測され、品質の向上に繋がると予想される。

また、冷却解析結果を図 2.1.2 に示す。冷却解析結果からは、従来法のほうが冷却時間のばらつきを無くすために、冷却時間を長くする必要はあるが、開発法では、従来法に比べ短時間での冷却が可能となることが推測され、生産効率が向上すると予想される。

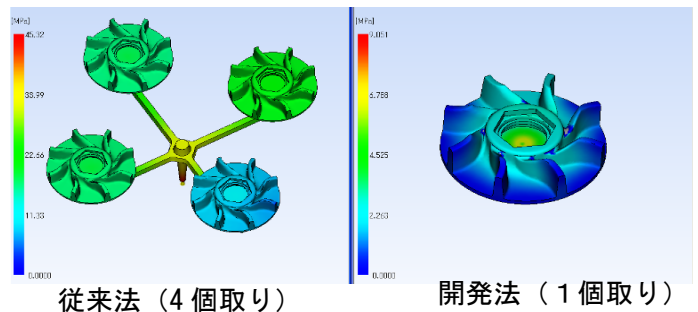


図 2.1.1 射出圧力分布解析結果

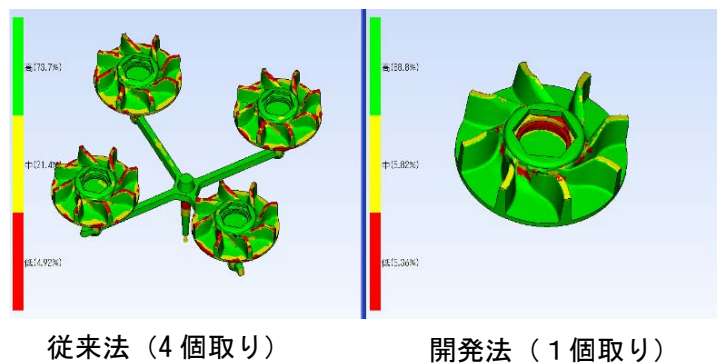


図 2.1.2 冷却解析結果

2. 2 スーパーエンブラにおける超ハイサイクル・高品質な射出成形技術の開発

2. 2. 1 超ハイサイクル・高品質成形技術の確立

(1) 目的・目標

1個取りでの成形サイクル8秒以下で、安定した製品品質が可能な成形技術を確立し、ハイサイクル射出成形機の目的達成のため、小型インデックスに取り付け可能な、軽量で温度調節性能に優れた専用金型を設計・製作する。

(2) 専用金型設計・製作

① 金型サイズ・形状

インデックスに組み付けるために最適化した円筒形状の金型を設計製作した。

図 2. 2. 1 に設計した金型の3D図、図 2. 2. 2 に製作した金型写真を示す。

※参考：図 2. 2. 3 に従来法の金型を示す

(重量500kg：4個取り)

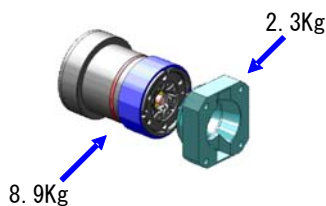


図 2. 2. 1 開発金型3D図



図 2. 2. 2 開発金型写真

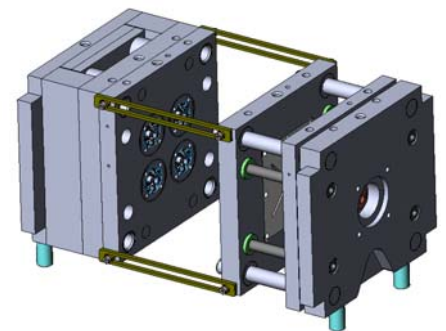


図 2. 2. 3 従来金型3D図

② 固定側金型温調構造

ハイサイクル連続成形中でも温度の維持・管理が出来る放熱構造を採用した金型を製作した。

図 2. 2. 4 は金型現物写真、図 2. 2. 5 は水管の3D透視モデルである。



図 2. 2. 4 固定側金型写真

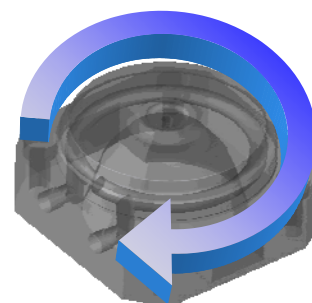


図 2. 2. 5 水の流れイメージ

温調構造の効果を確認する為、図 2.2.6 に示すように連続成形直後に固定側金型の温度を測定した。(金型設定温度 120℃)

その結果、連続成形による温度管理に対する有効性が確認された。

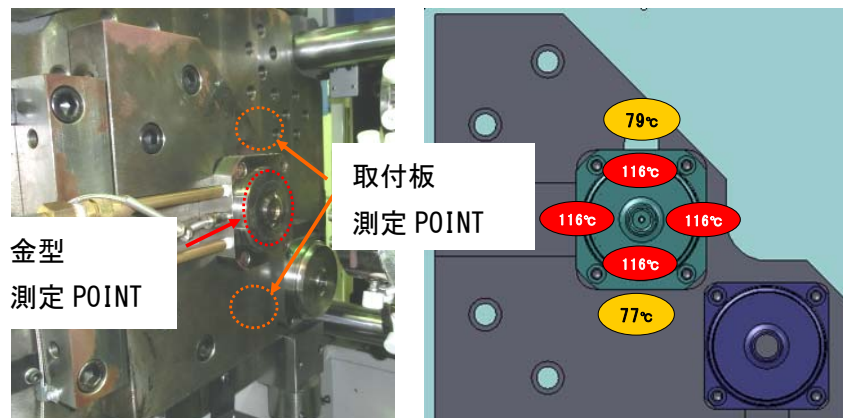


図 2.2.6 固定側金型温度検証

③ 可動側金型の断熱

周辺機構への熱影響を極力抑えるため、金型とインデックス間の断熱構造を組み入れた金型を設計した。

断熱効果を確認する為、連続成形直後に周辺機構の温度を測定した。(金型設定温度 140℃) 結果を図 2.2.7 に示す。

その結果、周辺機構の耐熱温度を下回り、熱による周辺機構への悪影響が無いことを確認した。

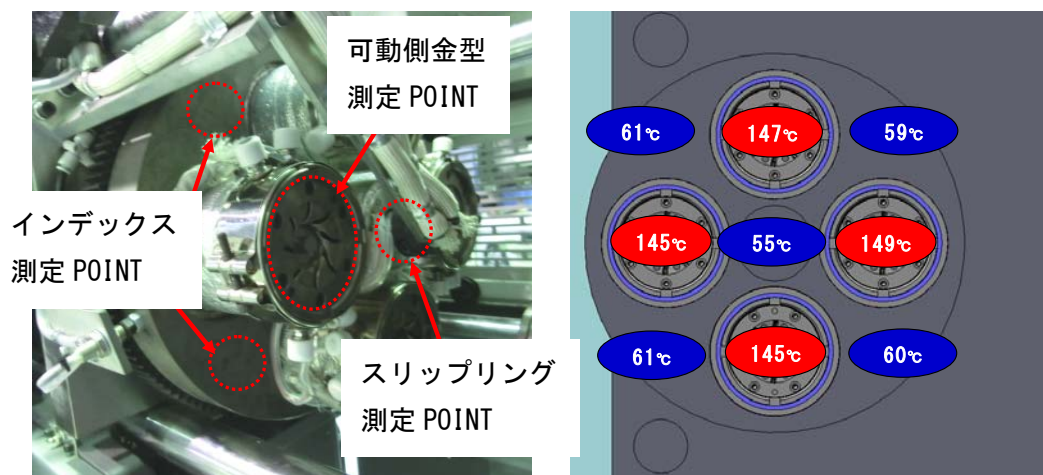


図 2.2.7 可動側金型温度検証

④ 材料歩留まりの改善

図 2.2.8 に示すように、開発法では 1 個取り及びスプルーを短くすることにより廃棄する樹脂を大幅に削減し、材料歩留まりの改善を行った。

ランナーが不要となった結果、材料歩留まりは 69.6% から 93.4% に改善した。

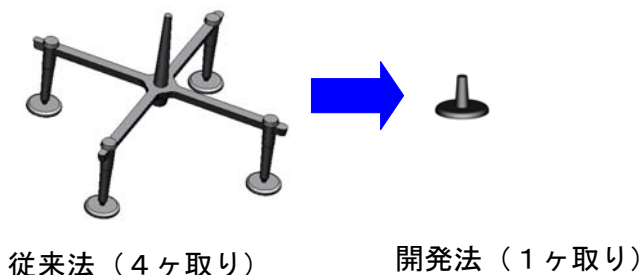


図 2.2.8 スプルーランナー比較

(3) 考察

金型を円筒形化した事により金型温度管理の精度向上に繋がった。また、小型化・断熱構造の追加により温度制御に要するエネルギーの削減となり、金型交換作業の省力化も実現した。

2.2.2 ハイサイクル射出成形機構の開発

(1) 目的・目標

成形サイクル 8 秒以下を実現するため、マシンサイクル 4.0 秒以下で動作するロータリー式射出成形機を製作する。

(2) 射出成形機的设计・製作

① フロアレイアウト

ハイサイクル射出成形機の背面に金属製のインサートを供給するユニットをエアシュートで連結し、ストッカーユニットを前面側にメンテナンス領域を確保して配置した。

図 2.2.9 及び図 2.2.10 にフロアレイアウトを示す。

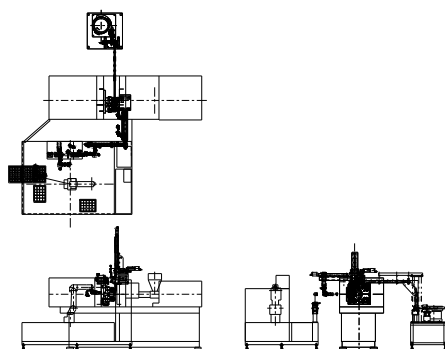


図 2.2.9 フロアレイアウト図



図 2.2.10 開発設備写真

② インデックス・金型温度調節回路

一方向に連続回転するインデックスに装着する可動側金型の電熱ヒーターに電力を途切れなく供給する給電回路と、金型に装着された熱電対信号をコントローラーに連続してフィードバックする電気回路を組み込んだインデックスを製作した。必要な部分だけを効率よく加熱できるリング型電熱ヒーターにより金型を150℃に連続制御できることを確認した。(図2.2.11)



図 2.2.11 スリッピング
(写真中央)

(3) 考察

インデックス、金型、温調システムなどの全てを最適化したことにより目標マシントイム4.0秒を下回る3.7秒を達成した。

従来、インサート成形においては金型へインサート部品を装填する工程に人間の手は欠かせなかった。近年では横型射出成形機専用で作られた直行型ロボットが普及し、これを利用したインサート成形を行うケースも増加しており、我々の従来法もその一つである。本研究において開発した横型ロータリー射出成形機は、日本の射出成形業界が世界に誇れる最新のマシンをベースに、その特徴を阻害することなく、インサート成形の高速化に更なる高度化の一つの方向性を見出せた。

2. 2. 3 開発設備のシステム検証

(1) ハイサイクル射出成形の最適化(1st. トライ)

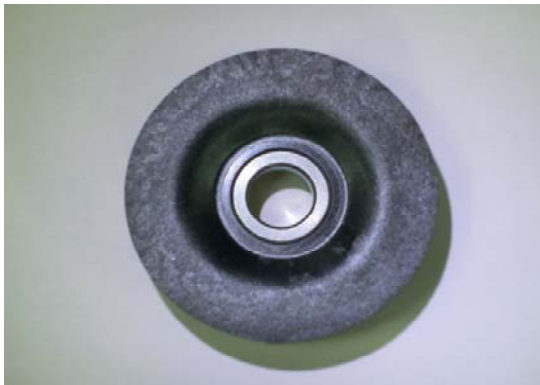
① 目的・目標

不具合なく連続運転が出来るよう設備の安全を考慮した上で、成形サイクル8.0秒以下を目標に各成形条件の最適化を図る。

② トライ結果

1st. トライの表面状態を図2.2.12に示す。

目視による表面状態の観察では、従来法に比べつやが悪く良品レベルではないと判断できる。



No. 1成形品



No. 6成形品

図 2.2.12 1st. トライ品の表面状態

③ 考察

1st. トライでは当初の目標である1サイクル8秒以下の7.8秒での成形が可能であることが確認できた。しかしながら、表面状態を従来法と比較すると良品レベルには達していない。従って、次のステップとなる反り・ヒケの評価は、未実施である。

表面状態が悪かった要因は、金型・設備の安全を考慮し射出速度等の射出条件を抑えたことと、金型温度を低めに設定したためにスキン層が形成されなかったためと推測される。

(2) ハイサイクル射出成形の最適化 (2nd. トライ)

① 目的・目標

1st. トライの結果を基に各成形条件の最適化を図り、サイクル8秒以下で、従来法と同等レベルの外観・物性を有する成形品を作製する。

② トライ結果

a) 表面状態／表面写真

表面写真及び評価結果を図 2. 2. 13 に示す。固定側温度が低くなるにつれて、表面が白くなる傾向にある。

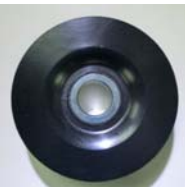

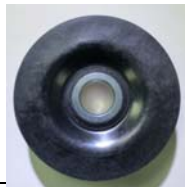





				
				
	従来法 (金型温度 140°C)	開発法① (金型温度 100°C)	開発法② (金型温度 120°C)	開発法③ (金型温度 140°C)
つや	○	×	△	○
ヒケ	○	○	△	×
総合評価	○	×	○	×

図 2. 2. 13 表面状態比較

b) 表面状態／電子顕微鏡写真

表面の顕微鏡写真を図 2. 2. 14 に示す。固定側金型温度が 100°C の比較的低温での試作では、スキン層が形成される前に樹脂の流動が停止し表面状態は良くない。

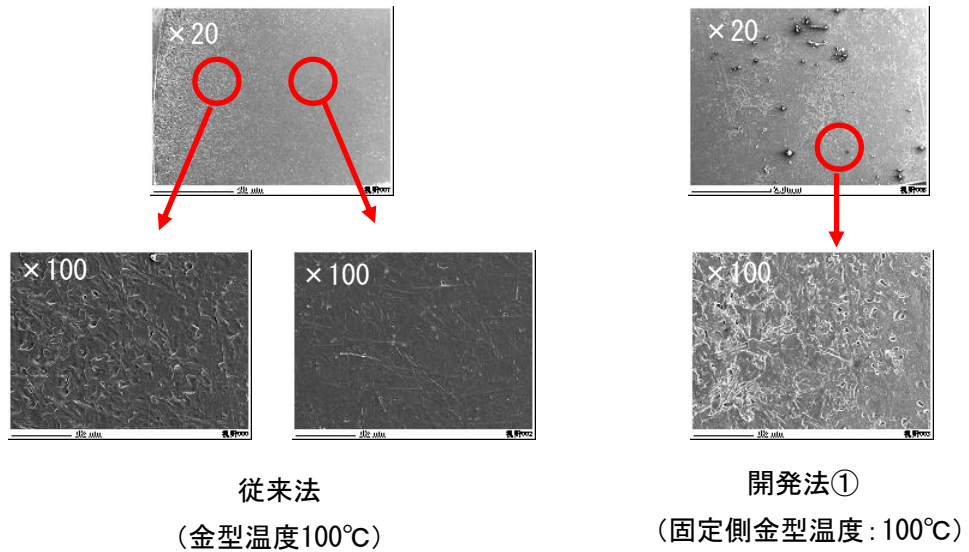


図 2.2.14 金型温度 100°C の比較

従来法 (140°C) 及び開発法② (120°C) 及び開発法③ (140°C) の顕微鏡写真を図 2.2.15 に示す。固定側金型温度が、140°C であれば従来法と開発法は、ほぼ同じ表面状態である。

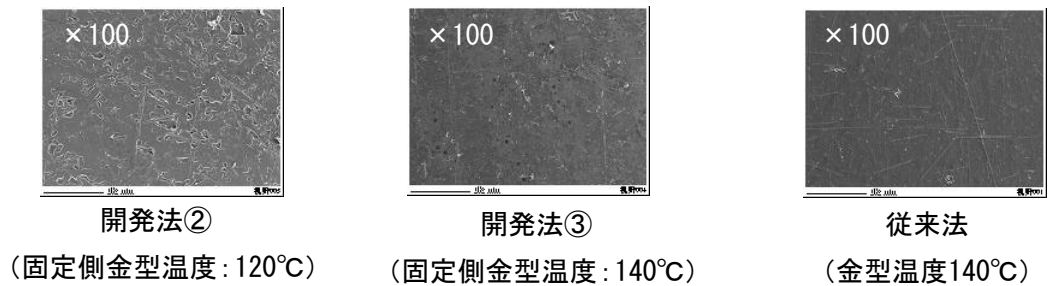


図 2.2.15 開発法と従来法の比較

c) 内部状態 / X線写真

i) 内部欠陥 (ポイド) の観察

開発法の X線写真を図 2.2.16 に示す。

ポイドが発生した場合、白っぽく写るが観測されないので、ポイドは発生していないと判断できる。

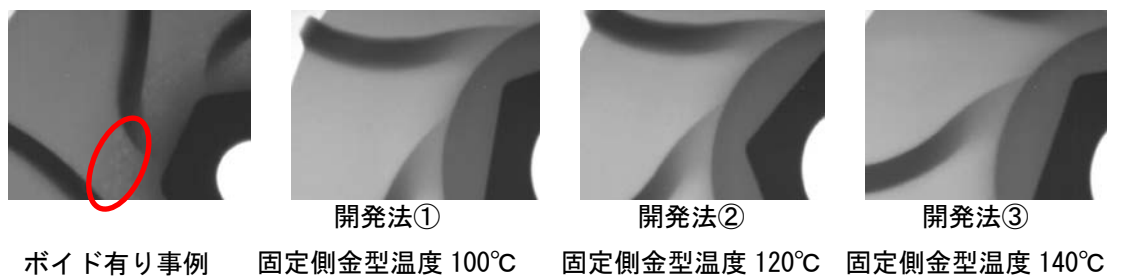


図 2.2.16 X線によるポイドの観察

d) サイクルタイム

サイクルタイムは、1 s t. トライと同様に目標である8秒以下である7.8秒で成形できることを確認した。

③ 考察

数値として評価できる項目である振れ・反り・表面粗さ・ねじり破壊強度においては、全ての項目で従来法を下回る結果となった。サイクルタイムについては、目標の8秒以下を達成できた。

(3) ハイサイクル射出成形の最適化 (3 r d. トライ)

① 目的・目標

サイクルタイムを目標値である8秒以内に拘らないで、従来法と同等の寸法精度・機械的特性・耐熱性・表面状態を有する成形条件出しと成形品を作製する。

② トライ結果

金型温度が諸物性に与える影響を西部工業技術センターの協力にて実施した。試料の成形条件を表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 試料の成形条件

No.	試料	金型温度 (°C)		保圧時間 (秒)	冷却時間 (秒)
		固定側	可動側		
1	従来法 (140°C)	140	140	7.5	20
2	従来法 (100°C)	100	100	7.5	20
3	開発法 (120°C)	120	140	3	5
4	開発法 (140°C)	140	140	3	5

a) 機械的特性及び耐熱性

成形品から JIS に規定される寸法の小型引張試験片を切り出すほどの平面が取れないため、各種試験において成形品から切り出せる微小試験片で試験を行った。

i 曲げ試験

開発法は、従来法に比べ曲げ強さ・曲げ弾性率共に、著しい差は見られなかった。

ii アイゾット衝撃試験

多少の誤差はあるものの開発法は従来法に比べ、アイゾット衝撃値に著しい差は見られなかった。

iii せん断試験

開発法は、従来法に比べせん断強さに著しい差は見られなかった。

iv 耐熱性試験 (HDT)

耐熱性は荷重たわみ温度(HDT)で評価した結果、開発法は従来法に比べ耐熱性に著しい差は見られなかった。

v 考察

曲げ強さ、曲げ弾性率、アイゾット衝撃値、せん断強さ、いずれも従来法と開発法で多少の差はあるものの誤差範囲内と考えられ、サイクルタイムを短縮した成形法であっても強度は従来法に比べ遜色ないものと思われる。後述する結晶性において問題がないと思われる事を考慮し、今回の機械的特性に差がないと言う結果から、今回新たに開発した開発法による成形品は強度が従来法とほぼ同等であると推察される。

b) 寸法精度／振れ試験

従来法に対しては著しい差は見られず、同レベルの振れ量であると判断できる。

c) 結晶化の検討

i 目的

PPS樹脂は結晶性の樹脂であり、金型温度が120℃以下になると結晶化が不十分となり、耐熱性が低い、表面状態が悪いなどの不具合が生じる可能性がある。そこで開発法で成形した場合の結晶化の程度について検討した。

ii 実験方法

熱分析法(DSC)により、融解、再結晶化の発熱・吸熱特性を測定することにより、PPS樹脂の成形後の結晶化の程度を測定した。

iii 試験結果

従来法140℃の成形品では、再結晶化のピークは認められず、成形時の結晶化が十分進んでいることが確認できたが、従来法100℃の成形品では、再結晶化の発熱ピークが検出された。100℃のDSC曲線を図2.2.17に示す。再結晶化の発熱ピークが検出されたことから、未結晶部分が残っていると判断できる。

次に、開発法140℃及び120℃の成形品では、再結晶化のピークが認められなかった。120℃のDSC曲線を図2.2.18に示す。再結晶化のピークが認められなかったことから、今回試験した開発法の成形条件では、結晶化が進んでいると判断できる。

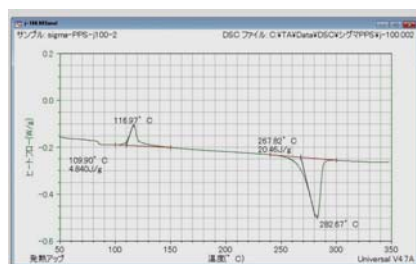


図 2.2.17 従来法 (100℃) の DSC 曲線

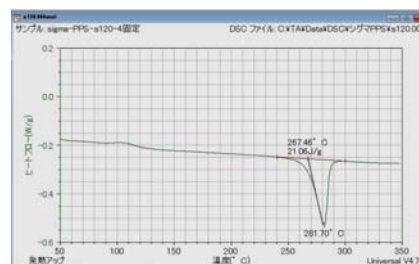


図 2.2.18 開発法 (120℃) の DSC 曲線

追加の試験として、従来法 100℃と比較のために開発法の固定側を 100℃にて成形した。固定側温度以外のその他の条件は、3nd. トライの開発法どおりで成形した。試験結果を図 2.2.19 に示す。再結晶化のピークは認められず、このことから開発法では、固定側を 100℃にしても結晶化が進んでいると判断できる。

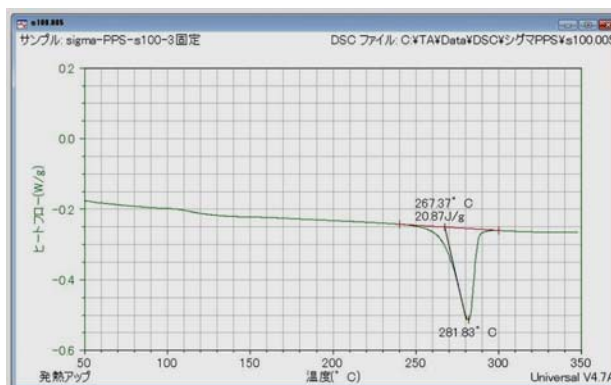


図 2.2.19 開発法（100℃）の DSC 曲線

③ 考察

開発法の金型温度が、諸物性に与える影響について従来法と比較したが、機械的特性や耐熱性に差は無く、また結晶化は充分に進んでおり、性能的には問題がないと考えられる。

第 3 章 全体総括

3. 1 本研究開発の総合評価

3. 1. 1 開発の要約と成果

(1) 超ハイサイクル・高品質成形技術の確立

① 小型インデックス組み込み横型射出成形機の開発

割り出し時間（90° 旋回する時間）0.67秒で駆動するφ360mmの小型インデックス、及び制御システムを設計製作し、横型射出成形機との協調制御により射出成形プロセスに対する有効性を確認した。

開発したハイサイクル横型射出成形機は、金型締状態で、射出成形・インサート装填・ゲート処理・製品取り出しを同時に行う事が出来る。

② 金型温調技術の開発

上記小型インデックスに組み付ける可動金型を、最高温度150℃に制御するヒーターシステムを設計製作し、連続稼働検証により射出成形プロセスに対する有効性を確認した。インデックスの回転に影響されることなく4系統の電熱ヒーターを独立して安定制御する事が可能であり、使用電力は4系統合計で1kWであり従来の約1/8のヒーター容量と省電力化を達成することができた。

(2) ハイサイクル射出成形機構の開発

① 小型円筒形状金型の開発

通常の射出成形金型は直方体であるが、本開発においては極限まで金型を軽量化し、インデックスを小型化するため円筒形状の専用金型を設計製作した。また、リング状電熱ヒーターによる加熱を行うことにより、金型表面温度の均一性が向上した。さらに、金型の取り付けは金型1個あたり1本のボルトで行っており、ハンドキャリアー可能レベルの軽量化と相まって、金型交換の作業性が飛躍的に向上している。

② 無人一貫ラインの開発

インサート供給・樹脂材料供給から製品の成形・検査・トレイ整列までの無人一環生産ラインを構築した。このラインはインペラと同等寸法までの丸物を対象とする様に志向しており、将来は例えばPEEK樹脂（ポリエーテルエーテルケトン）の加工も可能となる。

(3) 開発設備のシステム検証

① 成形品の寸法検証

まず、成形品の反りは従来法がほぼゼロであるため、開発法の反りが0.05mmであっても極端に悪化したように錯覚してしまうが、製品に求められている機能上、図面上ともに十分実用に供する事が可能である。

次に、回転軸に対する羽根の振れは従来法・開発法ともに有意な差は認められず、同じく実用に供する事が可能である。

② 成形品の樹脂結晶化検証

PPS樹脂は結晶性の樹脂であり、結晶化が不十分であると、耐熱性が低い・表面状態不良・寸法安定性の低下・機械的特性が悪いなどの不具合が生じる可能性がある。

そこで、熱分析法(DSC)により再結晶化が発生するか否か実験によって確認した。その結果、従来法では金型温度100℃では結晶化が不十分であるのに対し、開発法では固定側金型温度100℃においても十分に結晶化が進んでいる事が確認された。

③ ハイサイクル射出成形機のサイクルタイム検証

2nd. トライで開発設備の動作分析を行った結果、トータル成形サイクル7.8秒で連続成形を行った実績が確認された。設備の動作要素毎に時間を計測すると、目標作成時点の動作要素には含まれていなかったノズルタッチ・バック動作時間が1.5秒含まれている。この動作はスプルーの切れが悪いために余分な動作を強いているのであり、シャットオフノズルの直径を小さく、逆

テーパーにすることで切れを良くし、前記動作は不要と出来る事が予測される。また、型締め動作に1.52秒かかっているが、これは後のチューニングによって1.00秒に短縮されている。

よって、マシンサイクルタイムは実績を約2秒改善できるため、5.8秒の実現が期待できる。改良後は、目標との差分2.2秒は品質安定性の向上に振り分ける事が可能である。

3. 1. 2 総合評価

「超ハイサイクル・高品質な射出成形技術の開発」には2つのキーワードが含まれている。1つはハイサイクル、2つ目は高品質である。

まず、ハイサイクルの目標はトータル成形サイクル8秒以下に対し、実績7.8秒を達成した。これは、世界でもTOPレベルである日本の既存の成形機をベースに改良を加えたことと、ベース機の改造に協力してくれた、日本人らしい組織を超えた技術者の協力関係によるところが大きかった。そして、更なるハイサイクルの実現につながる技術的ポイントも明らかになっていることを付け加えたい。

次に高品質に対する最大の壁と考えられていた「樹脂の結晶化」について、開発設備の成形品は結晶化が十分に進んでいることが実験結果により確認された。これは結晶性樹脂の成形においては非常識とも思える実験であり、現時点では何故結晶化が十分に進んだかの説明は実験結果に基づく推論の域を出ないが、データは成形後の樹脂の品質が正常であることを示していることは間違いない。ただし、寸法安定性検証の継続が必要であるという課題も明確になった。

よって、ハイサイクル・高品質ともに目標を達成できると結論する。

3. 1. 3 研究開発後の課題

- ・ 開発設備の耐久性検証
- ・ 開発設備による成形品の寸法安定性検証

第4章 今後の事業化展開

4. 1 品質保証体制の確立

本システムにより、射出成形におけるショートショット等100%保証が困難とされてきた外観特性の検査自動化に対し一定の目処が立った。今後は補完研究により、システムの安定性を評価・改良し、顧客のニーズを満たす品質保証体制を確立する。

4. 2 生産ラインの充実

将来的にはインペラとその類似部品の専用工場設立を目指す。

4. 3 販売体制の確立と販売促進

本開発成果の量産性確立後は、国内全自動車メーカー、さらには海外自動車メーカーへの供給を視野に入れた販売体制を整えるとともに販売促進を実施する。

4. 4 射出成形設備の改良

(1) システムのコストダウン

今回の開発において、小型インデックスを搭載する横型射出成形機の構造に関しては確立できたが、システムの更なるコストダウンのために以下の検討を行う。

- ① インデックスのモジュール化。
- ② インデックス制御のモジュール化、または射出成形制御への組み込み。
- ③ 横型成形機用の汎用直行ロボットのカスタマイズによるインサート供給。

(2) 多色成形等への応用用途開発

開発システムを応用すると、例えば射出シリンダーを2機備えた2色成形（P S + エラストマー）等への適用は比較的容易に行えると思われ、市場ニーズを探りながらシステムのラインナップ拡大を検討する。