

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「環境調和加速・植物由来生分解性プラスチック
射出成形金型－射出成形システム応用技術の確立」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人中部科学技術センター

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）	8
1-3	成果概要	10
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	11

第 2 章 研究成果

2-1	試作金型の開発	12
2-1-1	試作金型 1 の開発	12
2-1-2	試作金型 2 の開発	13
2-1-3	試作金型 3 の開発	15
2-1-4	超臨界試作金型 1 の開発	16
2-1-5	試作金型 4 の開発	17
2-1-6	試作金型 5 の開発	18
2-1-7	超臨界試作金型 2 の開発	19
2-2	最適金型設計条件の把握	21
2-3	植物由来生分解性プラスチック専用 バルブゲートシステムの開発	21
2-4	最適生産条件の把握	21
2-5	植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化された	

	CO ₂ 超臨界微細発泡射出成形機の開発	23
2-6	最適成形加工条件の把握	23
2-7	専用金型設計基盤技術の確立	23
2-8	高性能赤外線温度センシングシステムの開発	23
2-9	植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO ₂ 超臨界 微細発泡射出成形機の開発	28
2-10	開発成形品の物性評価	31
2-11	事業化の検討	34
第3章 全体総括		
3-1	成果の総括	35
3-2	工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況	37
3-3	今後の事業化に向けた取組み	38

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) 計画名 (認定番号)

環境調和加速・植物由来生分解性プラスチック射出成形金型一射出成形システム 応用技術の確立 (認定番号 中部 0703008)

(2) 特定ものづくり基盤技術の種類

主たる技術：(四) プラスチック成形加工に係る技術

従たる技術：(二) 金型に係る技術

研究開発は2段階の研究内容から構成され、①植物由来・高耐熱性ポリ乳酸製工業用射出成形品の高品質・低コスト量産技術の確立、②廃棄後の生分解速度を加速化可能なプラスチック射出成形品の生産技術の確立を図るため、具体的には以下の4つのサブテーマを掲げ、研究開発を進めた。

1-1：耐熱温度120℃以上の植物由来生分解性プラスチック射出成形金型設計技術の確立

2-1：改良型スクラップレス・バルブゲートシステムの開発

2-2：植物由来・耐熱ポリ乳酸射出成形システムの開発

3-1：植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機の開発と成形加工方法の確立、専用金型設計基盤技術の確立

本研究の計画として、1年目においては、高性能赤外線温度センサーの開発、試作金型の開発（試作金型1）、最適金型設計条件の把握（噴出流体条件把握）、最適生産条件の把握（インターフェイス接続最適化）、植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機の開発（基本開発）、開発成形品の物性評価（ソリッド成形品の物性評価）を実施した。

2年目においては、試作金型の開発（試作金型2、試作金型3、超臨界試作金型1）、最適金型設計条件の把握（金型鋼材、機械加工条件把握）、植物由来生分解性プラスチック専用バルブゲートシステムの開発（基礎技術開発、相対性能評価）、最適生産条件の把握（プロセスタイムラグ適正化）、植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機の開発（ランニング上の課題解決）、最適成形加工条件の把握（基本成形加工条件の把握）、専用金型設計基盤技術の確立（専用金型基本設計技術の開発）、開発成形品の物性評価（超臨界微細発泡成形品の評価）を実施した。

3年目においては、試作金型の開発（試作金型4、試作金型5、超臨界試作金型2）、最適金型設計条件の把握（金型設計最適化条件の把握）、植物由来生分解性プラスチック専用バルブゲートシステムの開発（機能改良試作、改良性評価、超臨界微細発泡専用仕様開発）、最適生産条件の把握（品質安定化条件の把握、生産サイクル極小化条件把握）、植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機の開発（システム最適化）、最適成形加工条件の把握（最適成形加工条件の把握）、専用金型設計基盤技術の確立（専用金型設計技術の標準化）、開発成形品の物性評価（生分解性の分析・評価）を完成させた。

さらに、最終年度であるため、本研究の成果を踏まえ、事業化に向けた検討も実施した。

(3) 研究開発の背景・課題及び目標

本研究開発は、2段階の研究内容から構成されている。

先ずⅠ. 植物由来・高耐熱性ポリ乳酸製工業用射出成形品の高品質－低コスト量産技術を確立し、次いでⅡ. 廃棄後の生分解速度を加速化可能なプラスチック射出成形品の生産技術を確立するため、以下のような研究開発を行うこととした。

《 現状技術水準と開発目標技術との比較 》

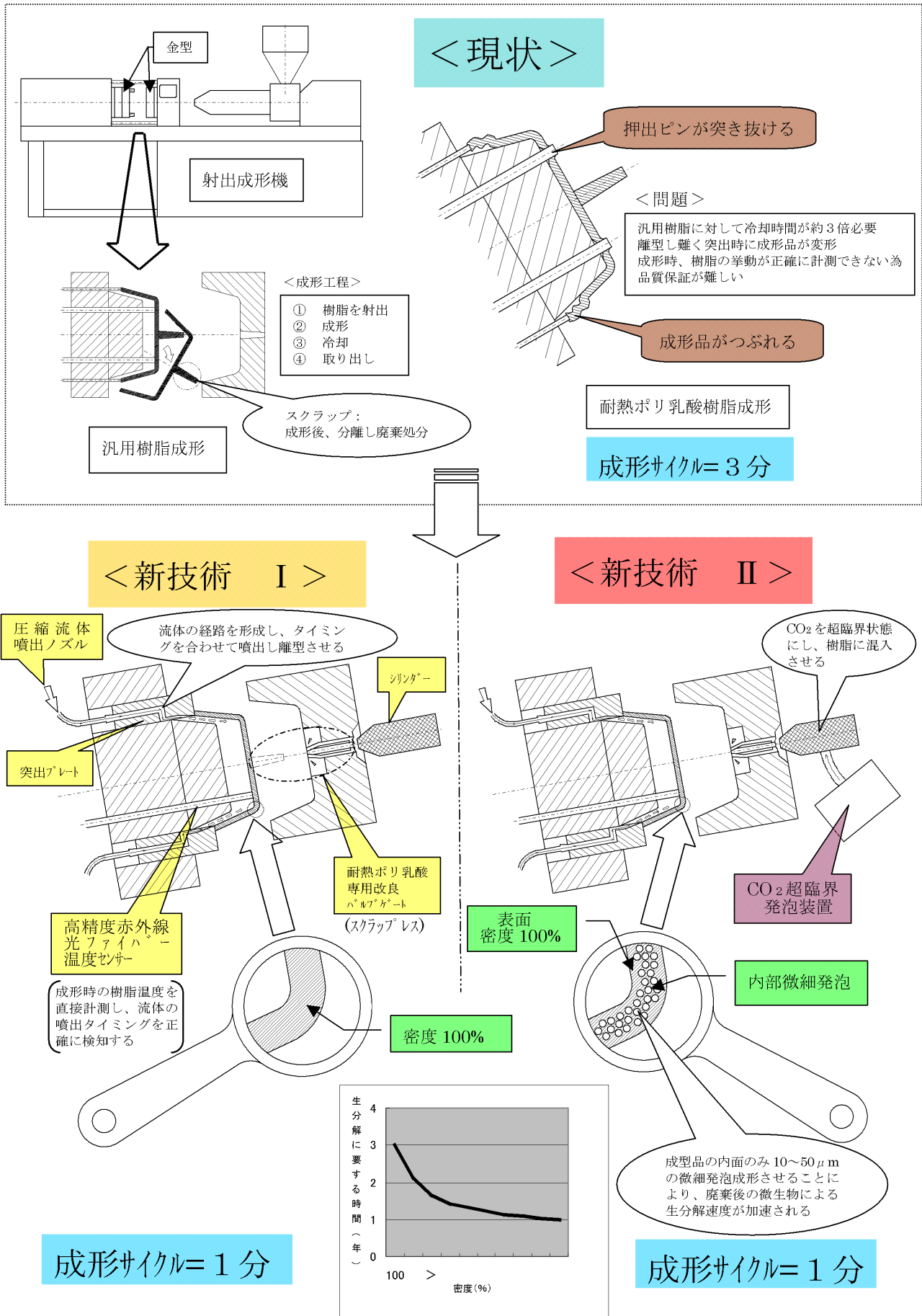
Ⅰ. 植物由来・高耐熱性ポリ乳酸製工業用射出成形品の高品質－低コスト量産技術の確立

技術的課題	現状技術水準	開発目標技術
冷却時間が長く、かつ金型から離型しにくい	冷却時間が汎用樹脂用金型に比較して約3倍も必要。	冷却時間を <u>1/3に短縮</u> する。
	金型からの離型が極めて困難。金型からの突出し時に成形品が大きく不安定に変形してしまう。	成形品が <u>変形しないで離型できる金型設計技術</u> を開発する。
原材料コストが高く、かつ材料歩留まりが低い	汎用樹脂：100～300¥/kg に対してポリ乳酸：500～900¥/kg と約5倍も高いにもかかわらず、材料歩留まりは50～70%である。	バルブゲート技術の改良により <u>材料歩留まりを98～99%</u> とする。
高品質の射出成形が困難	専用の射出成形機、周辺機器の最適化が実現されていない。	<u>専用の射出成形品生産システムを確立</u> する。
	金型内の樹脂挙動が正確にリアルタイムで計測が不可能なため、品質の保証が定性的。	<u>金型内の樹脂挙動を正確にリアルタイムで計測できるセンシングシステムを開発し高品質を理論値で保証可能</u> とする。

Ⅱ. 廃棄後の生分解速度を加速化可能なプラスチック射出成形品の生産技術の確立

技術的課題	現状技術水準	開発目標技術
原材料コストが高い	原材料を密度100%で使用している。	C02 超臨界微細発泡成形により <u>原材料密度を12%低減</u> することによりコスト低減させる。
廃棄後の生分解に時間を要する	成形品の肉厚が1mm程度の場合、完全な生分解には2～3年の歳月を必要とする。	C02 超臨界微細発泡成形により成形品内部に <u>バクテリアの侵入を促進する微細発泡を形成</u> させ、従来の完全な生分解に要する時間を <u>15～30%短縮</u> する。

図 1 研究開発概念図



(4) 期待される効果

本研究開発により確立される基盤技術は、プリンター等情報家電製品の構成部品や消耗品の現行品代替や新規部品への採用を目指すことを具体的ターゲットに置いている。最終製品を製造販売している大手企業の生産技術部門、商品開発部門と協働しつつ技術開発を進めていきたい。技術開発の途上で試作品の評価をユーザー側大手企業からアドバイスを受けながら技術を作り込んで行く。

(5) 産業政策との整合性

本研究開発は、経済産業省が推進する産業クラスター計画において、中部経済産業局が推進する「東海ものづくり創生協議会」のチタノミックス研究会の会員企業を中心となった申請であり、それぞれの分野で強みを持った企業が広域的に連携し、これに大学も加わり、産学官連携で新事業創出に取り組む意欲ある研究開発内容である。

情報家電の業界においては、使用するプラスチック部品のリサイクルの効率化を図りつつ、低コストで環境調和型のプラスチック製品を製造することが求められおり、こうした業界ニーズに対し、部品供給を担う中小企業は的確にニーズを把握し、自社技術を高度化し対応することが、他社との差別化となるが、本提案では正に自社技術の高度化が骨子となっている。

本研究開発においては、参加中小企業がこれまで培ってきた基盤技術を高度化するとともに、関連分野への波及効果も充分見込まれることから、情報家電の分野の活性化を通じ、地域産業のみならず産業構造全体の高度化に資するような内容となっている。

また、本研究開発により確立される技術は、京都議定書締約国会議における温室効果ガス削減に寄与する内容であり、かつアジア太平洋パートナーシップ（ＡＰＰ）の行動計画の具体的な二酸化炭素排出量の削減にも合致していると共に、内閣府「バイオテクノロジー戦略大綱(2002)」、「バイオマスニッポン総合戦略(2002)」における生分解性素材の普及促進政策にも適合している。

(6) 中小企業政策との整合性

本研究開発は、下請中小企業者が、日本を代表するユーザーとの課題解決のための摺り合わせを行いながら、それぞれ強みを持つ関係者とも協力しつつ、参加中小企業が持つコア技術を進化・発展させて、参加中小企業の技術の高度化・経営基盤の強化を図る内容となっており、本研究開発を通じ業界全体を革新し、地域のみならず日本のものづくり高度化に資するものであるといえ、中小ものづくり高度化法の趣旨とも合致する。

(7) 研究開発の背景及び当該分野における研究開発動向

【1】情報家電に関する事項

①川下製造業等の抱える課題及びニーズ

イ. 環境対応

- ・最終情報家電製品が廃棄された際の植物由来プラスチック部品のカーボンリサイクルを効率化させる理由から、生分解の加速化技術の確立が求められている。

ウ. 高付加価値化

- ・情報家電分野での植物由来ポリ乳酸製部品の適用では耐熱温度120℃程度の特徴が必要となるが、この特徴を有する樹脂の射出成形加工技術、金型量産技術は世界的にみても未確立の状況にあり、早期に量産技術の確立が求められている。

植物由来・生分解性プラスチックの射出成形品は、環境調和型のプラスチック製品として既に一部企業では商品化されているものの、素材価格が汎用樹脂に比較して5倍程度高価であり射出成形加工性も悪く生産コストが高い上、金型の基本設計技術も未確立の状況にある。

現状の国際的な研究開発水準は、冷却時間が汎用樹脂用金型の3倍程度必要な射出成形金型の基本設計技術は開発されているものの、汎用樹脂と同程度の冷却時間で成形加工が可能な金型の量産設計技術は確立されていない。

また、高耐熱性植物由来生分解性プラスチックのスクラップレスを実現可能なバルブゲート技術は、当研究チームメンバーによりNEDO提案公募型開発支援研究協力事業等で基盤技術は開発されているものの量産体制で活用できる高精度の技術確立には至っていない。

さらに植物由来・耐熱ポリ乳酸のCO₂超臨界微細発泡射出成形を可能とする技術は世界的に研究開発がまだ行われていない。

すなわち上記課題及びニーズに関する研究開発動向は、川下の情報家電分野並びに自動車部品分野では成形品の開発に留まり、量産に耐えうる品質、生産コストを満足させた射出成形方法並びに金型設計技術の開発まで十分な対応が図られていない状況にあると言える。

今回基本技術として採用する製法については副総括研究代表者らが国際特許出願中であり、植物由来生分解性プラスチック射出成形に関する類似先行技術については本提案時点で抵触する特許出願、実用新案登録出願は提案者による先行技術調査では見出せていない。

(8) 研究開発の高度化目標及び技術的目標値(上記①を踏まえた高度化目標)

- イ. 製品設計に応じて金型設計を行う設計技術、これに付随する各種のシミュレーション技術
 - ・植物由来・耐熱ポリ乳酸製射出成形品専用金型の市場ニーズ(高品質-ハイサイクル成形)に追従可能な専用金型設計技術を確立する。
- エ. マテリアルリサイクル技術、自然由来のプラスチック、生分解性ポリマーの導入に関する技術開発、プラスチックに添加される染料や可塑剤等における安全な新材料の開発
 - ・植物由来・耐熱ポリ乳酸製射出成形品の市場コスト、品質を満足させられる基盤技術を確立する。
- オ. ガスアシスト成形、微細気泡含有成形、エネルギー消費の低減に寄与できる多色一括成形・多層一括成形等の複合成形技術
 - ・植物由来・耐熱ポリ乳酸のCO₂超臨界微細発泡射出成形を可能とする技術を開発し、金型設計、射出成形機及び周辺機器等の最適化を図り、廃棄後の生分解速度を加速化可能な成形品の生産技術を確立し、プラスチック廃棄物による地球環境負荷の軽減を図る。

(9) 技術的目標値

1-1 : 耐熱温度 120℃以上の植物由来生分解性プラスチック射出成形金型設

計技術の確立

- ・冷却時間を約1/3に短縮する。
- ・非接触方式赤外線温度センサーの実用品開発と改良を実現し、温度計測精度±1% (対黒体)、分解能0.5℃を実現する。

2-1 : 改良型スクラップレス・バルブゲートシステム技術の開発

- ・改良型スクラップレス・バルブゲート技術を確立し、材料歩留まり98~99%を実現する。

2-2 : 植物由来・耐熱ポリ乳酸製射出成形品基盤技術確立

- ・専用射出成形加工システムを構築し、生産効率の最適化 (成形品重量50gf級、肉厚2mm級の成形品の成形加工サイクル55秒) を実現する。

3-1 : 植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機

の開発と成形加工方法の確立、専用金型設計基盤技術の確立

- ・原材料使用量を12%削減する。
- ・廃棄後の生分解に要する時間を15~30%短縮し地球環境負荷を軽減させる。

1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 事業管理者

名称：財団法人中部科学技術センター

住所：〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目17番22号

担当者 所属役職・氏名：研究開発推進部長 永田 達也

(2) 総括研究代表者

氏名：美和 敬弘

所属組織名：株式会社豊栄工業

所属役職：常務取締役

(3) 副総括研究代表者

氏名：小松 道男

所属組織名：小松技術士事務所

所属役職：所長

(4) 特定研究開発等の拠点となる施設（主たる研究開発等の実施場所）

施設名称：株式会社豊栄工業 本社工場

金型製作工場並びにプラスチック成形技術研究室

住所：愛知県新城市川田字新間平 1-369

(5) 研究実施者

研究実施者 (機関名)	代表者 役職氏名	連絡先	中小企業 チェック	備考
株式会社豊栄工業	代表取締役 美和敬二	〒441-1346 愛知県新城市 川田字新間平 1-369 連絡担当者： 常務取締役 美和 敬弘	◎ ○	
小松技術士事務所	所長 小松 道男	〒972-8301 福島県いわき市 草木台 2-14-6 連絡担当者： 所長 小松 道男	○	
京都工芸繊維大学	学長 江島 義道	〒606-8585 京都府京都市 左京区松ヶ崎橋上町 1 番地 連絡担当者： 大学院工芸科学研究科 伝統みらい研究センター 特任教授 長岡 猛		
トレクセル・ ジャパン株式会社	代表取締役 社長 砂村 安秀	〒240-0025 神奈川県横浜市 保土ヶ谷区狩場町 169-1 連絡担当者： 代表取締役 砂村 安秀	○	平成 21 年度は アドバイザーと して参画。
双葉電子工業 株式会社	取締役社長 桜田 弘	〒297-8588 千葉県茂原市 大芝 629 連絡担当者： 研究開発本部 リーダー 石綿 靖雄		平成 19 年度で 研究終了。

中小企業のチェック欄には、みなし大企業に該当しない中小企業に「○」を記載し、法第4条第1項に基づき認定を受けた中小企業者に「◎」を記載しています。

(6) 研究開発期間

総研究期間：平成19年8月20日～平成22年2月26日

1-3 成果概要

(1) 技術的成果概要

本研究開発は、2段階の研究内容から構成されている。

まずⅠ. 植物由来・高耐熱性ポリ乳酸製工業用射出成形品の高品質—低コスト量産技術を確立し、次いでⅡ. 廃棄後の生分解速度を加速化可能なプラスチック射出成形品の生産技術の確立するため、本年度は以下の研究開発を行った。

(現状技術水準と開発目標技術との比較) ☆印 平成21年度までに開発された技術

Ⅰ. 植物由来・高耐熱性ポリ乳酸製工業用射出成形品の高品質—低コスト量産技術の確立

技術的課題	現状技術水準	開発技術(成果)
冷却時間が長く、かつ金型から離型しにくい	冷却時間が汎用樹脂用金型に比較して約3倍も必要。	☆ <u>冷却時間を1/3に短縮した。</u>
	金型からの離型が極めて困難。金型からの突出し時に成形品が大きく不安定に変形してしまう。	☆ <u>成形品が変形しないで離型できる金型設計技術を開発した。</u>
原材料コストが高く、かつ材料歩留まりが低い	汎用樹脂：100~300¥/kgに対してポリ乳酸：500~900¥/kgと約5倍も高いにもかかわらず、材料歩留まりは50~70%である。	☆ <u>バルブゲート技術の改良により材料歩留まりを98~99%とした。</u>
技術的課題	現状技術水準	開発目標技術
高品質の射出成形が困難	専用の射出成形機、周辺機器の最適化が実現されていない。	☆ <u>専用の射出成形品生産システムを確立した。</u>
	金型内の樹脂挙動が正確にリアルタイムで計測が不可能なため、品質の保証が定性的。	☆ <u>金型内の樹脂挙動を正確にリアルタイムで計測できるセンシングシステムを開発し高品質を理論値で保証可能とした。</u>

Ⅱ. 廃棄後の生分解速度を加速化可能なプラスチック射出成形品の生産技術の確立

技術的課題	現状技術水準	開発目標技術
原材料コストが高い	原材料を密度100%で使用している。	☆ <u>C02 超臨界微細発泡成形により原料密度を12%低減することによりコスト低減させる専用射出成形機を基本開発した。</u>
廃棄後の生分解に時間を要する	成形品の肉厚が1mm程度の場合、完全な生分解には2~3年の歳月を必要とする。	☆ <u>C02 超臨界微細発泡成形により成形品内部にバクテリアの侵入を促進する微細発泡を形成させ、従来の完全な生分解に要する時間を15~30%短縮できることをの基礎データを確認した。</u>

(2) 研究開発委員会

本研究を推進するにあたり、各年度3～4回の研究開発委員会並びに技術委員会を開催した。委員会には、中部経済産業局よりものづくり基盤技術専門官、関連担当官の出席を頂き、研究推進のアドバイスを頂戴した。また、アドバイザーからは外部専門家としての研究内容について助言を頂いた。これらの委員会で議論された内容を研究へ反映するように努めた。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

事業管理者

名称：財団法人中部科学技術センター

住所：〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目17番22号

連絡担当者 所属役職・氏名：研究開発推進部長 永田 達也

Tel:052-231-3043

Fax:052-204-1469

e-mail : t.nagata@cstc.or.jp

総括研究代表者

氏名：美和 敬弘

所属組織名：株式会社豊栄工業

所属役職：常務取締役

Tel:0536-22-0696

Fax:0536-22-0896

e-mail : taka@hoic.co.jp

副総括研究代表者

氏名：小松 道男

所属組織名：小松技術士事務所

所属役職：所長

Tel:0246-28-8701

Fax:0246-28-8702

e-mail : komatsum@d6.dion.ne.jp

第2章 研究成果

研究成果を以下に報告する。

2-1 試作金型の開発

2-1-1 試作金型1の開発

成形品を金型から離型させるために流体を噴出させる基本技術は円筒形状のような単純形状金型では開発されているが、複雑な形状の金型では技術確立されていない。

そこで、実際のエンドユーザーが希望する複雑な形状の金型において、金型内の樹脂表面温度が110℃まで低下したことを検知した直後に、成形品を突き出すエジェクタ機構に内蔵された流体噴出機能により成形品を金型表面から瞬時に離型させ短い冷却時間で成形品を取り出せる金型構造を開発する。

具体的には「試作金型1」を以下の仕様により設計し、製作を行った。

<試作金型1の技術仕様>

金型構造	: コールドランナー方式 3プレート構造射出成形金型
ランナー方式	: サイドゲート方式並びにピンポイントゲート方式を部品交換によって切り換え対応可能な構造を採用。
取個数	: 2個取り（アッパーハウジング1個とローアハウジング1個のファミリーモールド）
試験片	: ①アッパーハウジング 成形品重量 : 46.26 g f 成形品平均肉厚 : 2 mm

<技術確認ポイント>

- 1) 外形寸法（幅×奥行×高さ）
- 2) 嵌合クリアランス
- 3) 表面テクスチャ（4種類の表面粗さ）
- 4) 四隅コーナーR部の形状変更（シャープコーナーに変更可能）
- 5) キャビティ内樹脂圧力センサー（3箇所、ストレインゲージ 検知方式）
- 6) キャビティ内樹脂温度センサー（3箇所、赤外線検知方式）
- 7) ピンポイントゲート直径可変構造

②ローアハウジング

成形品重量	: 43.34 g f
成形平均肉厚	: 2 mm

<技術確認ポイント>

- 1) 外形寸法（幅×奥行×高さ）
- 2) 嵌合クリアランス
- 3) 天面肉厚4段階変化による収縮
- 4) リブ幅4段階変化によるショートショット、収縮
- 5) 天面円形貫通穴によるウエルドライン生成
- 6) 天面十字リブによる収縮

- 7) 天面十字貫通穴による流動変化
- 8) ピンポイントゲート直径可変構造

金型サイズ : 380mm×400mm×375mm
 キャビティ材質 : プリハードン鋼 NAK55 (大同特殊鋼製)
 コア材質 : プリハードン鋼 NAK55 (大同特殊鋼製)
 金型温度制御範囲 : +20~+120℃
 金型温度制御方法 : カートリッジヒーターによるPID制御と冷却水循環方式による制御の併用
 熱電対 K方式
 成形品突出方式 : 型開き後、ストリッププレートに設置した複数ノズルからの気体流体の噴出による離型補助構造を採用。
 気体流体耐圧 10MPa
 耐熱温度 120℃
 スプルーブシュ : ノズルタッチ部が一般射出ノズル先端形状とホットランナー用射出ノズル先端形状に対応可能な構造を採用
 エアイベント : 一般射出成形 (フルソリッド) 対応用に設置。
 (超臨界微細発泡射出成形での試作時には金型を改造して対応する。)

2-1-2 試作金型2の開発

研究開発委員会における討議を経て、金型キャビティ内における超臨界微細発泡の樹脂挙動を視覚的かつ温度場、圧力場のリアルタイム情報を収集できる試作金型を開発することで研究全体の基礎データ収集能力を飛躍的に向上させる目的で本金型を開発することとした。

試作金型2が備えるべき技術要件は、以下の通りである。

要件1	金型キャビティ内熔融樹脂の流動挙動並びに微細発泡挙動の超高速度カメラによる動画撮影ができること。
要件2	金型キャビティ内熔融樹脂の温度挙動を精密計測できること。
要件3	金型キャビティ内熔融樹脂の圧力挙動を精密計測できること。
要件4	要件1ないし要件3を時刻同期させて評価できること。

上記要件を全て満足させるべく試作金型2を設計した。具体的な設計仕様を以下に示す。

<試作金型2の技術仕様>

金型構造 : コールドランナー方式
 2プレート構造射出成形金型

- ランナー方式 : サイドゲート方式。
1点ゲート又は3点ゲートに交換できる構造を採用。
- 取個数 : 1個取り
- 試験片 : 平板試験片
- 試験片サイズ : 195mm×80mm×2mm
試験片肉厚は、金型コアバック機構により2.5mmに増厚可能。
- 画像計測機能 : 超高速カメラによる撮影 1/24,000s
撮影倍率 10倍～1,000倍
撮影箇所 ウエルド合流部 1箇所
最終充填部 1箇所
- キャビティ内温度 : 赤外線放射式樹脂温度センサー 2箇所
- 計測機能 : 観察レンズ直前と直後に設置。
サンプリング周期 1ms
計測精度±0.5℃
- キャビティ内圧力 : ひずみゲージ式樹脂圧力センサー 2箇所
- 計測機能 : 観察レンズ直前と直後に設置。
サンプリング周期 1ms
- 最終充填部 : エアベントの有無を入れ子交換構造により対応できる。
- エアベント構造
- 金型サイズ : 400mm×450mm×495mm
- キャビティ材質 : STAVAX (ウッデホルム社製)
- コア材質 : STAVAX (ウッデホルム社製)
- 金型温度制御範囲 : +20～+120℃
- 金型温度制御方法 : カートリッジヒーターによるPID制御と冷却水循環方式による
制御の併用
熱電対 K方式
- 光学レンズ仕様 : 特殊石英ガラス製
ロンボイドプリズム
反射用特殊金属蒸着膜被服
耐圧構造
- レンズ保持構造 : 特殊金属製保持機構

試作金型2を実際に使用して画像撮影並びに温度データ、圧力データを採取する実験を行った結果、設計仕様通りのデータ採取が可能であることを確認した。ポリ乳酸、体熱ポリ乳酸、ポリカーボネート、変成ポリフェニレンオキサイド等の樹脂を用いてデータ採取を行った結果、キャビティ内での微細発泡挙動の超高速カメラ撮影映像と樹脂温度データ、樹脂圧力データの相関関係が極めて精密に計測することが可能となり、超臨界微細発泡射出成形の実務研究を行う上では世界最高水準のデータ収集が可能であることを確認できた。

2-1-3 試作金型3の開発

この金型は、植物由来耐熱ポリ乳酸専用超臨界微細発泡射出成形バルブゲート技術を開発することを目的とした。超臨界微細発泡射出成形では、射出シリンダー内の熔融樹脂へ超臨界状態で二酸化炭素、窒素等が急速に均一溶解することから、樹脂粘度は大幅に低下し、流動性が飛躍的に改善される。そのために、バルブゲートの開閉制御は、射出成形品の品質や寸法に通常のソリッド成形よりも大きな外乱因子となり得る存在となる。また、ホットランナーやマニホールド内の温度分布のばらつきも樹脂粘度を大きく左右するファクターとなる。

さらにゲート近傍での樹脂温度オーバーシュートによる焼け発生も懸念される。

このような背景を考慮し、試作金型3が備えるべき技術要件は、以下の通りである。

要件1	植物由来生分解性・耐熱ポリ乳酸の超臨界微細発泡射出成形専用バルブゲートであること。
要件2	バルブゲートの開閉速度が従来の空圧アクチュエータ及び油圧アクチュエータよりも高速であること。
要件3	バルブゲート間のバルブ開閉タイミングのばらつきが小さいこと。
要件4	バルブゲート先端部の加熱オーバーシュートが防止できること。

<試作金型3の技術仕様>

金型構造 : バルブゲートホットランナー方式射出成形金型

ランナー方式 : 電磁ソレノイド駆動バルブゲート方式。

2点ゲート

マニホールド分岐構造

取個数 : 2個取り

試験片1 : 箱形試験片

試験片サイズ 90mm×90mm×50mm

試験片肉厚（3種類選択） 0.5mm

0.4mm

0.3mm

試験片2 : 底付き円筒試験片

試験片サイズ φ60mm×50mm

試験片肉厚 0.5mm

バルブゲート仕様 : 耐熱ポリ乳酸の熔融に適したバルブゲート本体昇温構造

電源AC220V

出力250W

耐熱ポリ乳酸の超臨界射出成形に適したチップ構造

電磁ソレノイド駆動によるバルブピンの独立開閉制御構造

キャビティ内温度 : 赤外線放射式樹脂温度センサー 1箇所

計測機能 : サンプルング周期1ms

計測精度±0.5℃

キャビティ内圧力：ひずみゲージ式樹脂圧力センサー 1箇所

計測機能 サンプル周期 1ms

金型サイズ：400mm×450mm×430mm

キャビティ材質：プリハードン鋼 NAK80（大同特殊鋼株製）

コア材質：プリハードン鋼 NAK80（大同特殊鋼株製）

金型温度制御範囲：+20～+150℃

金型温度制御方法：カートリッジヒーターによるPID制御と冷却水循環方式による

制御の併用

熱電対 K方式

試作金型3により耐熱ポリ乳酸の超臨界微細発泡射出成形に最適化されたバルブゲートシステムの基本技術を開発することができた。電磁ソレノイドバルブは、超臨界微細発泡射出成形特有の低粘度状態での熔融樹脂のキャビティ内への注入制御を的確に実現することができることを確認した。さらに、ゲート間を電氣的に独立制御可能なことからキャビティ間の充填バランスの微調整が可能であり、実務的な生産技術として大変有用であることも確認された。

結論として熱可塑性樹脂の薄肉成形品の射出成形加工においては、肉厚0.5mmで流動長さ80mmもの距離を充填することが本技術で可能性を証明することができた。耐熱ポリ乳酸樹脂以外の熱可塑性樹脂の射出成形加工における新しい製法としての技術的価値を見いだすことができると考えている。

2-1-4 超臨界試作金型1の開発

この金型は、試作金型3で開発された耐熱ポリ乳酸用超臨界微細発泡射出成形の電磁ソレノイド駆動バルブゲートの取り数アップを確認するために開発された。

超臨界微細発泡射出成形用多点制御ソレノイド駆動バルブゲートシステムとしては世界で初めての開発事項であると考えられる。ゲート点数は、6点ゲートとした。これは、射出成形機の金型取付面積との関係において制約が生じたためである。また、一般的には8点ゲートが普通であるが、敢えて6点ゲートでランナー分岐バランスが難しい課題にリスクを前提に技術開発することが重要であると考えた背景がある。

このような背景を考慮し、超臨界試作金型1が備えるべき技術要件は、以下の通りである。

要件1	6点のバルブゲート間のバルブ開閉タイミングのばらつきが小さいこと。
要件2	大容量電磁制御装置が開発できること。
要件3	生産性を2個取りの3倍、1個取りの6倍を実現できること。

<超臨界試作金型1の技術仕様>

金型構造：バルブゲートホットランナー方式射出成形金型

ランナー方式：電磁ソレノイド駆動バルブゲート方式。

6点ゲート

取個数 : 6個取り
 試験片 : 底付き円筒試験片
 試験片サイズ $\phi 70\text{mm} \times 50\text{mm}$
 試験片肉厚 0.5mm
 バルブゲート仕様 : 耐熱ポリ乳酸の熔融に適したバルブゲート本体昇温構造
 電源 AC 220V
 出力 250W
 耐熱ポリ乳酸の超臨界射出成形に適したチップ構造
 電磁ソレノイド駆動によるバルブピンの独立開閉制御構造
 キャビティ内温度 : 赤外線放射式樹脂温度センサー 1箇所
 計測機能 : サンプルング周期 1ms
 計測精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$
 キャビティ内圧力 : ひずみゲージ式樹脂圧力センサー 1箇所
 計測機能 : サンプルング周期 1ms
 金型サイズ : 400mm \times 450mm \times 430mm
 キャビティ配置 : 円周上 $60^\circ \times 6$ 個 均等角度ピッチ配置
 キャビティ材質 : プリハードン鋼 NAK80 (大同特殊鋼株製)
 コア材質 : プリハードン鋼 NAK80 (大同特殊鋼株製)
 金型温度制御範囲 : $+20 \sim +150^\circ\text{C}$
 金型温度制御方法 : カートリッジヒーターによるPID制御と冷却水循環方式による
 制御の併用
 熱電対 K方式

2-1-5 試作金型4の開発

研究開発委員会における討議を経て、開発した超臨界微細発泡射出成形機の最大射出能力と金型サイズに対応した大型成形品用の試作金型を開発し、大サイズ成形品に対する適応可能性を立証する目的で本金型を起工することとした。

試作金型4が備えるべき技術要件は、以下の通りである。

要件1	開発した超臨界微細発泡射出成形機の最大射出容量と最大金型取り付け寸法の両者を考慮した最も大きなサイズの試験片を作成できること。
要件2	1個取りバルブゲートを搭載すること。

上記要件を全て満足させるべく試作金型4を設計した。具体的な設計仕様を以下に示す。

<試作金型4の技術仕様>

金型構造 : バルブゲート方式
 2プレート構造射出成形金型

ランナー方式 : バルブゲート方式。
 1点ゲート構造。

取個数 : 1個取り

試験片 : 平板トレイ試験片
 試験片サイズ 222mm×182mm×12mm
 板厚2mm
 試験片重量 115gf

金型サイズ : 400mm×400mm×492mm

キャビティ材質 : NAK80 (大同特殊鋼(株)製)

コア材質 : NAK80 (大同特殊鋼(株)製)

金型温度制御範囲 : +20~+120℃

金型温度制御方法 : カートリッジヒーターによるPID制御と冷却水循環方式による
 制御の併用
 熱電対 K方式

試作金型4を用いた試作実験により耐熱ポリ乳酸製トレイ試験片の射出成形加工試験を行った。CO₂及びN₂を超臨界状態で成型材料にミキシングさせて射出成形を行った。試験片断面には微細発泡層を含む3層構造が形成され、耐熱ポリ乳酸製大型成形品にも超臨界微細発泡射出成形が適用可能であることが確認された。

2-1-6 試作金型5の開発

この金型は、研究開発委員会の検討事項を盛り込み、耐熱ポリ乳酸樹脂と他の生分解性樹脂の2材質成形品の製法を検討する目的で起工した。

本研究チームでは、生分解速度が速い他の生分解性樹脂とポリ乳酸樹脂を2材質成形し、片方を強制的に生分解を促進させて除去し、アンダーカット部を有する耐熱ポリ乳酸成形品を生産する方法の確立に挑戦をした。

基本的な製法の確認を行う目的で試作金型5は起工された。

耐熱ポリ乳酸成形品には超臨界微細発泡射出成形することにより微細発泡層を有する成形体であって、アンダーカット部を有する成形体が得られることになる。

このような背景を考慮し、試作金型5が備えるべき技術要件は、以下の通りである。

要件1	植物由来生分解性・耐熱ポリ乳酸の超臨界微細発泡射出成形品と他の生分解性射出成形品の2材質成形品が得られること。
要件2	現在保有する超臨界微細発泡射出成形機を利用して2材質射出成形が可能なこと。

<試作金型5の技術仕様>

金型構造 : コールドランナー方式射出成形金型

- ランナー方式 : コールドランナート方式。
1点ピンポイントゲート
- 取個数 : 1次側（他の生分解性樹脂） 2個取り
2次側（PLA） 2個取り
- 試験片 : カップ形状試験片
試験片サイズ $\phi 38\text{ mm} \times$ 高さ 64 mm
試験片肉厚 1次側 0.8 mm
2次側 0.8 mm
- 金型サイズ : $350\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 330\text{ mm}$
- キャビティ材質 : プリハードン鋼 NAK80（大同特殊鋼株製）
- コア材質 : プリハードン鋼 NAK80（大同特殊鋼株製）
- 金型温度制御範囲 : $+20 \sim +150^\circ\text{C}$
- 金型温度制御方法 : カートリッジヒーターによるPID制御と冷却水循環方式による制御の併用
熱電対 K方式
- コア交換構造 : 1次側のみ射出成形できるようにランナー分岐を駒交換で対応できる構造とし、まず1次側のみ射出成形する。射出成形品は、コアと一緒に取り出す。次いで、1次側成形品が着いた状態のコアを金型の2次成形側へ手で挿入し、ランナー分岐の駒を交換して2次側のみ射出成形できるように切り替える。そして2次側を1次側にオーバーコートしながら射出成形する。2次側成形品は、エジェクタピンで突き出す。

完成した二材質成形体を、アルカリ水溶液に浸漬し、分解を促進させて分解させ、残った耐熱PLA成形品を得ることができた。

2-1-7 超臨界試作金型2の開発

本研究の集大成である技術開発を行うために、超臨界試作金型2を起工した。この金型は、研究開発委員会の議論を踏まえ、超臨界試作金型1で開発された耐熱ポリ乳酸用超臨界微細発泡射出成形の電磁ソレノイド駆動バルブゲートの取り数アップを確認するために開発された。超臨界微細発泡射出成形用多点制御ソレノイド駆動バルブゲートシステムとしてゲート点数は、超臨界試作金型1では6点ゲートとして開発されているが、さらに実際の量産性を考慮して一層の取り個数アップを図ることにより成形コストダウンを図ることが重要であると考え、8個取りで起工することとした。

超臨界試作金型1では6個取りの生産能力を有しているが、これを8個取りに増大させることにより成形品の成形加工コストをコストダウンさせることが可能となり量産時のコスト競争力が増大する。一方、ランナーの分岐は、6点ゲートに比較すると8点ゲートの方が分岐による充填バランスの乱れは少なくなると考えられるが、一方、計量が増大するために超臨界均一溶液の安定性が問題となる可能性が予見された。本試作金型では大容量の超臨界均一溶液の成形繰り返し安定性を確認することに重点を置かねばならない。

このような背景を考慮し、超臨界試作金型2が備えるべき技術要件は、以下の通りである。

要件 1	8 点の電磁ソレノイドバルブゲートにより品質が安定した成形加工ができること。
要件 2	射出成形機の最大計量の 40%以上を 1 ショットで使用する容量とすること。
要件 3	生産コストを 6 個取りに比較して 20%低減を実現できること。

<超臨界試作金型 2 の技術仕様>

金型構造 : バルブゲートホットランナー方式射出成形金型

ランナー方式 : 電磁ソレノイド駆動バルブゲート方式。

8 点ゲート

取個数 : 8 個取り

試験片 : 底付き円筒試験片

試験片サイズ $\phi 70\text{mm} \times 50\text{mm}$

試験片肉厚 0.75mm

バルブゲート仕様 : ゲート先端直径 $\phi * \text{mm}$

バルブピン先端角度 $*^\circ$

耐熱ポリ乳酸の溶融に適したバルブゲート本体昇温構造

電源 AC 220V

出力 250W

耐熱ポリ乳酸の超臨界射出成形に適したチップ構造

電磁ソレノイド駆動によるバルブピンの独立開閉制御構造

金型ホットハーフの断熱構造

金型サイズ : 500mm × 500mm × 430mm

キャビティ配置 : 8 個 均等距離ピッチ配置

キャビティ材質 : プリハードン鋼 NAK80 (大同特殊鋼株製)

コア材質 : プリハードン鋼 NAK80 (大同特殊鋼株製)

金型温度制御範囲 : +20 ~ +150°C

金型温度制御方法 : カートリッジヒーターによる PID 制御と冷却水循環方式による

制御の併用

熱電対 K 方式

超臨界試作金型 2 による成形量産試作評価を実施したところ、以下の成績を確認することができた。

① 1 ショットあたり成形品重量ばらつき : 対 6 個取り比較 = 1%未満。

② 1 時間連続成形時、成形品重量ばらつき : 対 6 個取り比較 = 1.2%未満

③ 成形サイクル : 対 6 個取り比較 12%増加。

④ 1 個あたり成形加工コスト比較 : 対 6 個取り比較 22%コストダウン。

⑤ 射出成形機最大射出容量に対する 1 ショット使用容量 :

43.8% = 88cm³ / 201cm³

2-2 最適金型設計条件の把握

試作金型、並びに超臨界試作金型の設計、製作の過程において、植物由来生分解性耐熱ポリ乳酸の超臨界微細発泡射出成形用金型の部品に最適な鋼材として昨年度選定された鋼材を採用して量産切削検証を実施した。

鋼種としては、プリハードン鋼NAK80（大同特殊鋼株）を選定し、3型の試作金型に実際に採用して、マシニングセンタによる切削加工検証を実施した。

NAK80は、実用的な鏡面度合いが得られることが昨年度の実験で把握されており、今回の試作金型では#8,000程度の鏡面加工を行った。耐熱ポリ乳酸の射出成形におけるコアからの離型は、阻害されなかった。

マシニングセンタによる切削条件、工具選定については昨年度の検証結果を踏襲してさらに追加切削試験を行ったが工具の折損や異常摩耗も発生せず合理的で所望の品質の切削面を得ることができている。

鋼材のコストと被削性を考慮した場合には、NAK80は優秀であり、レンズ等の特段の鏡面性や離型性を追求しない場合にはNAK80が耐熱ポリ乳酸用のキャビティ、コア材質としては最適であると結論付けることができた。

2-3 植物由来生分解性プラスチック専用バルブゲート開発システムの開発

試作金型並びに超臨界試作金型の設計、製作を通じて植物由来生分解性耐熱ポリ乳酸の射出成形に最適化されたバルブゲートシステムを開発した。

超臨界流体を含浸する溶融樹脂は、流動抵抗が一般樹脂と比較して低く低粘度であることからバルブゲートの開閉タイミングを高速化しないと適切な成形条件を安定化させることは困難であることは超臨界試作金型2で確認された。そこで、バルブピンの開閉制御方式は、電磁ソレノイド駆動による方式を採用した。電動アクチュエータとしては高出力かつ高速作動が特徴である方式であるが、電磁弁の小型化が難しく、金型内への搭載は実質的に困難であり、多数個取り金型には不向きであった。

今回開発した超臨界試作金型2では、ソレノイドを金型のモールドベース最外形に沿って8個の配列を試み、8個取りの多数個取りができるように工夫を行った。

試作の結果は、超臨界流体を溶解させた植物由来生分解性耐熱ポリ乳酸の射出成形を特段の不都合なく実現することができるに至った。最大射出容量の40%以上を使用した成形でも安定して量産ができることを確認した。

使用流体は、二酸化炭素と窒素についてそれぞれ実験を行ったがいずれの流体についてもガス漏れは一切発生せず、流体の臨界圧力をバルブゲート内で維持することができることを確認した。

バルブゲートのスクラップレス化の効果については、初期の材料パーキング分を除けば99~100%のスクラップレス化が実現できたことは言うまでもない。

2-4 最適生産条件の把握

本研究で開発してきた植物由来耐熱ポリ乳酸の超臨界微細発泡射出成形システムは、以下の構成要素

によって形成されている。

- S 1 植物由来生分解性耐熱ポリ乳酸専用超臨界微細発泡射出成形機
- S 2 超臨界流体（SCF）発生装置
- S 3 金型内圧縮気体流体供給装置
- S 4 金型温度制御装置（カートリッジヒーター）
- S 5 金型温度制御装置（クローズドタイプ冷却水循環装置）
- S 6 金型内樹脂温度・圧力計測監視用パソコン
- S 7 サイクロン式材料除湿予備乾燥装置
- S 8 電磁ソレノイド駆動バルブゲートシステム

平成20年度からはシステムの実証稼動によって、以下の項目を実用性の観点から評価してきた。

- 1) 成形条件変動による品質事項の変化データの採取と評価
- 2) キャビティ内耐熱ポリ乳酸脂挙動のリアルタイム計測と評価
- 3) キャビティ内耐熱ポリ乳酸樹脂圧力挙動のリアルタイム計測と評価
- 4) 適正成形サイクルタイムの確立
- 5) 安定生産性の確認

確認された最適生産条件の項目は以下の通りである。

成形品重量

成形品平均肉厚

成形材料

成形サイクル

充填時間

冷却時間

突き出し時間

金型開き時間

金型閉じ時間

金型キャビティ表面温度

金型温度設定

成形機シリンダー温度

キャビティ内樹脂温度（充填直後、赤外線温度センサーによる計測値）

キャビティ内ピーク圧力

射出速度

保圧

エアーエジェクタ開き時間

エアーエジェクタ圧力

2-5 植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機の開発

植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機を使用し、試作金型4、試作金型5並びに超臨界試作金型2を用いた試作試験を多数実施した。これらの数多くの試作を行いながら、開発した成形機のランニング上の課題を見だし、それらの改善、改良を行った。

2-6 最適成形加工条件の把握

植物由来生分解性耐熱ポリ乳酸の超臨界微細発泡射出成形における最適加工条件の範囲を明確化する取り組みを試作金型5（トレイ金型1個取り）を用いて行った。

以下に示す項目について知見が得られた。

使用成形材料：ナノコンポジットタイプポリ乳酸

【温度条件範囲】

金型温度範囲

ノズルシリンダー温度範囲

【射出速度条件範囲】

射出速度条件範囲

【射出圧力条件範囲】

キャビティ内樹脂圧力範囲

【超臨界流体濃度範囲】

二酸化炭素

窒素

2-7 専用金型設計基盤技術の確立

植物由来生分解性耐熱ポリ乳酸超臨界微細発泡射出成形金型の専用金型（超臨界試作金型2）の設計を通じ、この樹脂を用いる超臨界微細発泡射出成形金型の設計パラメータの蓄積を実施した。

成形品肉厚0.7mm～1mmまでの成形品の金型については、詳細な設計パラメータを蓄積することができた。

また、電磁ソレノイドバルブゲートを用いた金型設計に関しては昨年度に比較してより有用な設計パラメータを蓄積することができた。

2-8 高性能赤外線温度センシングシステムの開発

金型内の樹脂表面温度を高性能で計測できる温度センシングシステムが開発されていないために成形品を金型から離型させるタイミングを適切にとらえることが実現できていない。そこで、金型内の樹脂表面温度を、金型内に埋設し光ファイバーを経由して赤外線検知を用いた非接触でリアルタイムに計測

できる構造で、温度分解能 0.5°C、サンプリング速度 1ms、温度計測精度±1%のセンシングシステムを開発した

耐熱ポリ乳酸樹脂の金型内での熔融樹脂の温度変化は、射出成形加工の適正化を図る上では極めて重要な意義を有している。すなわち、冷却固化の過程における結晶化潜熱の吸収タイミングの検知が、離型性と耐熱性を支配する最も重要なトリガー情報となる。

計測原理は、金型内に光ファイバーを通じて樹脂から発せられる赤外線を計測アンプ内に内蔵したフォトダイオードに導く。赤外線を電気信号に変換、演算した後に温度データとして出力する。デジタルデータ化することで評価や分析をし易くする。

温度センサは金型の内部へ取り付けなければならないため、熔融樹脂の充填時に 1000 kgf/cm²もの圧力を受けることになり、このような高圧に耐えられるセンサヘッドの開発が必要になる。また、金型の内部へ装着することから、コンパクトなサイズに設計しなければならずこれも困難な技術課題となる。

計測データをキャリブレーションさせてデジタル処理する技術も実用化しなければならない。

そこで、まず金型のキャビティ内の樹脂温度を非接触かつ高分解能で温度検知をする手法として、従来から多用されているアルメルクロメル熱電対方式ではなく、赤外線放射温度計測原理を採用することとした。この測定原理は、測定物から発せられる放射赤外線を検知して表面温度を検出する。一般の産業用途では既に実用化されている。ただし、欠点は太陽光や室内照明の下ではこれらの光線中に含まれる赤外線の波長の外乱によって正確な温度計測が困難である点が挙げられる。しかし、金型のキャビティ内はほぼ完全に近い黒体状態であり赤外線を使用しての計測においては外部光による外乱影響はほとんど関係なく正確な温度計測が可能であることに着目しこの計測方法を採用することとしている。基本技術は、共同研究員である双葉電子工業(株)で開発済みである。

次いで、赤外線を金型のキャビティ内からなるべく減衰を少なくした状態で導く手段として、石英光ファイバを採用することとする。石英光ファイバは光通信で実用化されているプラスチック製のファイバと比較して極めて優れた赤外透過性能を有しており、高性能の情報通信媒体である。欠点は、曲率が小さな曲がり部分で破断してしまう点、光ファイバー自身の曲げ弾性率、圧縮強度がプラスチック射出成形において作用する圧力に対して不十分であると考えられる点が挙げられる。これらの欠点をリカバリする手段としては特殊鋼製の円筒スリーブ内に光ファイバを格納する構造を採用し、金型内での光ファイバの圧力による変形、曲がりに対抗できる強度を付与し、かつ金型への温度センサの組み込みを平易化することに成功した。実際に射出成形機での連続成形加工試験においても破損は一切発生せず、実用的な強度が得られているものと確信することができた。

このようなプロセスにより、従来の温度計測サンプリング速度 5ms に対して 5 倍以上の高速計測が可能な 1ms の赤外線非接触温度センシングシステムを開発することができた。

◇温度センシングシステムの仕様

今回開発した赤外線式温度センシングシステムの外観を図 1-1 に示す。

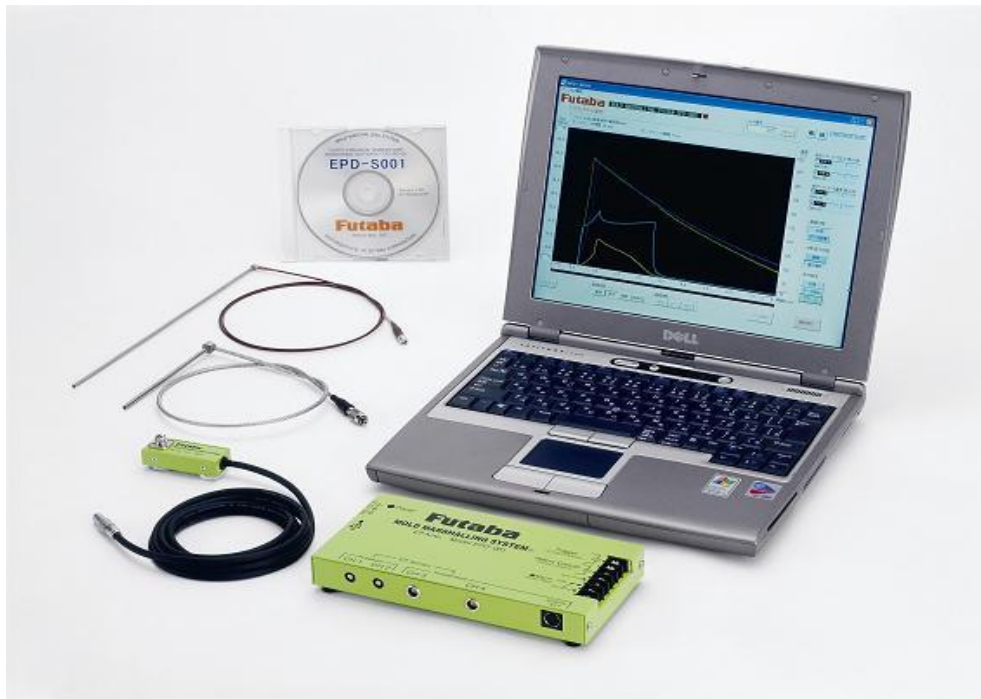


図 1-1 赤外線式温度センシングシステムの外観

詳細仕様は下記の通りである。

◇仕様一覧

計測温度範囲 : 100~300℃

測定精度 : ±1% (対黒体)

サンプリング速度 : 1ms

分解能 : 0.5℃

制御入力 : スタートトリガ 無電圧接点入力
アラーム解除 無電圧接点入力

電源仕様 : AC100V 50HZ/60HZ ACアダプタ入力

使用環境温度範囲 : 0~+50℃

使用環境湿度範囲 : 35~85%RH

計測アンプ : 計測点数 温度2チャンネル

計測ソフトウェア

対応OS : マイクロソフトWindows Xp

データベース : マイクロソフト Excel

◇センサ

<外観>

図1-2に、開発した温度センサの外観を示した。センサの形状を金型部品の一つであるエジェクタピンと同一にすることで、金型へのセンサ取り付けが極めて容易になっている。光ファイバケーブル部は、ステンレス製の保護管を装着することで、必要な柔軟性を確保しつつ、十分な強度を実現した。



図 1-2 温度センサの外観

図1-3は、温度センサの先端部を拡大撮影したものである。センサ先端の中央部の光ファイバが白く光っているのは、ケーブル端のコネクタから入光しファイバによって導かれた外光が映りこんでいるためである。



図1-3 温度センサの先端部

<外形寸法>

センサの外形寸法を図1-4に示す。軸部の長さは、60~220mmの間で任意に製作可能である。ファイバケーブル部の長さも、金型の大きさに合わせて500、1000、2000mmの3種類から選択可能であり、汎用性が高くなっている。

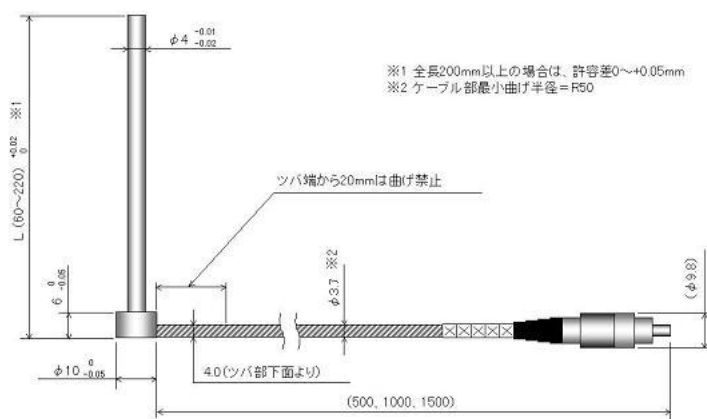


図1-4 センサ外形寸法

◇アンプ<外観>

図1-5に、開発した温度計測システムの外観を示した。温度センサのコネクタは、プリアンプ上面のレセプタクルに接続される。プリアンプ内にはフォトダイオードが内蔵されており、ここで赤外線が電気信号に変換される。電気信号はアンプ本体に伝送され、温度に変換される。デジタル化された温度データは、専用計測ソフトウェアがインストールされたパソコンに波形表示される。アンプとパソコン間の接続はUSBケーブルによって行うことができ、安定した高速通信が可能となっている。



図1-5 温度計測システム

<外形寸法>

アンプ本体の外形寸法を図1-6に、プリアンプの外形寸法を図1-7に、それぞれ示した。

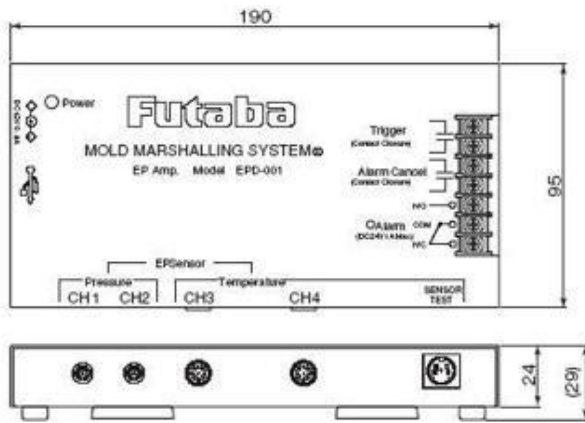


図1-6 アンプ本体の外形寸法

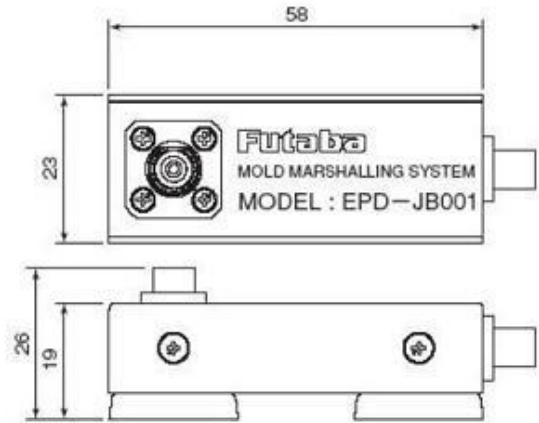
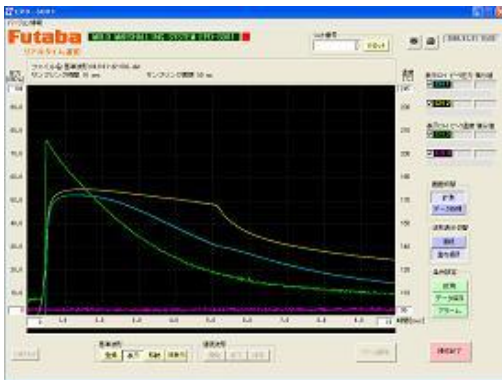


図1-7 プリアンプ本体の外形寸法

◇計測ソフトウェア

以下に、計測ソフトウェアの主な画面とその機能について示した。

<計測画面>



- ・起動後に表示されるメイン画面であり、リアルタイムに波形の表示・監視を行う。

<計測条件設定画面>



- ・センサ感度、サンプリング周期、トリガ条件等の設定を行う。

リアルタイムに波形の表示・監視を行う。

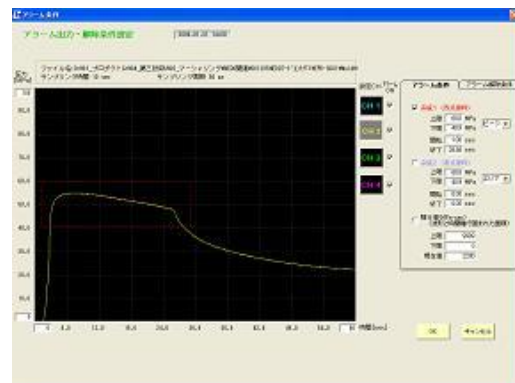
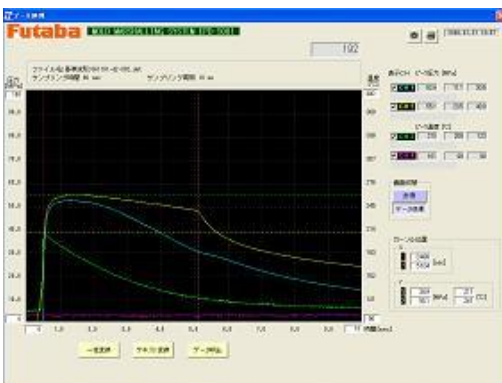


図1-9 温度データ(波形)

(2) 測定結果

成形品のキャビティ形状と、センサの設置位置は図1-8の通りである。

開発した温度センシングシステムを使用して、計測した波形（温度データ）を図1-9に示す。

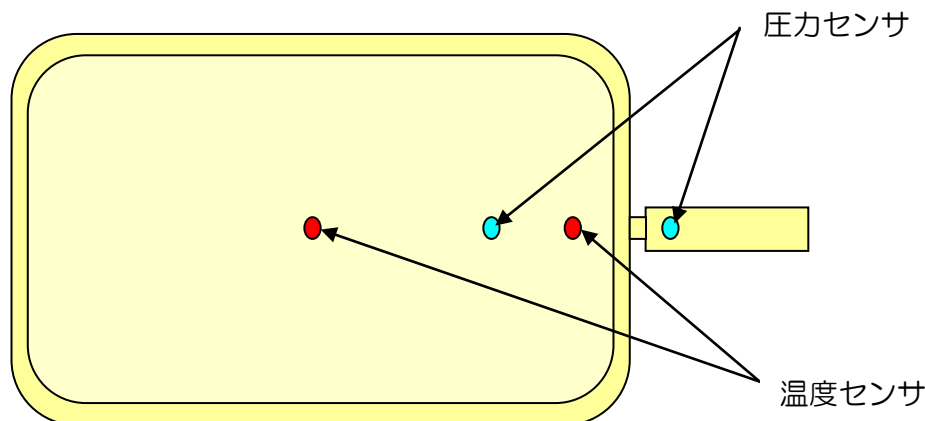


図1-8 キャビティ形状とセンサ設置位置

2-9 植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機の開発

現在の技術水準では成形品の断面がフルソリッド状態（内部は完全な固体）の成形品しか射出成形加工できないので生分解に長い年月を必要としている。そこで、成形品の強度等の物性低下をほとんど発生させずに生分解速度のみを従来品よりも加速できる成形品の生産システムを構築する。CO₂超臨界微細発泡射出成形機及び周辺機器を開発する。

CO₂超臨界微細発泡射出成形機は、基本設計を(株)豊栄工業と小松技術士事務所が行い、製作を東芝機械(株)が担当した。

射出成形機の基本仕様は、全電動式射出成形機EC160NIIを基本ベースとし、射出側をCO₂超臨界微細発泡射出成形が可能なスクリー、シリンダー仕様並びに超臨界炭酸ガス注入機構を備える仕様とした。

さらに、開発項目として以下の諸点について設計、製作を実施した。

- ①耐熱ポリ乳酸の成形加工に適したスクリー耐食・耐磨耗仕様
- ②金型温度調節機能の付与
- ③バルブゲート制御対応機能（シングルゲート対応、マニホールド対応）
- ④金型内赤外線樹脂温度センサー対応機能
- ⑤金型内樹脂圧力センサー対応機能
- ⑥金型内離型促進用圧縮流体噴出機能

開発した射出成形機の仕様を以下に示す。

ベース機種名 : 東芝機械(株) EC160NII
駆動方式 : 全電動式
高出力サーボモーター制御
高速高応答・高圧射出タイプ

最大型締力 : 1560kN (160tf)
電源仕様 : 3相AC200V (50HZ/60HZ)
スクリー径 : ϕ 40mm
射出容量 : 201cm³
最大射出圧力 : 200MPa
型締ストローク : 450mm
タイバー間隔 : 560mm×510mm
デイルイト : 950mm
金型厚さ : 200~500mm
ダイプレート厚さ : 790mm×740mm
成形機外形寸法 : 5200mm×1500mm×1900mm
機械重量 : 約6.5tf
ノズル直径 : ϕ 2.5mm
ロケートリング径 : ϕ 200mm
エジェクタロッド : ϕ 26六角mm
スクリー : 耐熱ポリ乳酸仕様 (耐食・高耐磨耗コーティング)
エアブロー機構 : 流体噴射タイミング制御可能
金型温度制御機構 : 熱電対検知カートリッジヒータ温度制御
出力仕様AC200V 3kW
ブリッジ回路PID制御

周辺機器に関する仕様を以下に示す。

<超臨界炭酸ガス発生装置>

基本仕様 : トレクセルジャパン(株)MuCell仕様
Trexel SCF Delivery System
Series-II-trj-10
製作元 : 昭和炭酸(株)
適応法規 : 高圧ガス保安法
日本工業規格 (JIS)
使用ガス : 液化炭酸ガス (CO₂)
窒素ガス (N₂)
設計圧力 : 16.2MPa/51.3MPa/46.1MPa
常用圧力 : 14.7MPa/46.0MPa/40.0MPa
設計温度 : 0~+40℃
供給可能流量 : 4.03kgf/h (CO₂)
2.43kgf/h (N₂)
電源仕様 : 3相 AC100~200V 50/60HZ 1KVA

<取り出しロボット>

基本仕様 : 1軸サーボトラバースロボット

製作元 : (株)ユーシン精機
ベース機種 : A T B - 1 5 0 D
成形品取り出し法 : ゴム吸盤による吸着-解放
電源 : A C 2 0 0 V / 3 A

<金型温度調節器>

基本仕様 : 水循環方式金型温度調節器
製作元 : (株)松井製作所
型式 : G M C L - 5 5 J
冷媒 : 清水
給水温度 : + 1 0 ~ 9 5 ° C
電源 : A C 2 0 0 V / 2 0 A

<成形材料予備乾燥機>

基本仕様 : 輸送機一体型除湿乾燥機
製作元 : (株)松井製作所
型式 : M J 3 - 2 5 J
電源 : A C 2 0 0 V / 3 0 A

2-10 開発成形品の物性評価

超臨界微細発泡成形された耐熱ポリ乳酸の生分解能力が既存製品と比較してどのぐらいの優位性があるかを検証するための物性評価方法の考案を国立大学法人京都工芸繊維大学伝統みらい研究センターにおいて実施した。

2-10-1 物性評価内容

ポリ乳酸樹脂の発泡による生分解度の評価方法としては、以下の測定方法があり、成形部品の評価に対しては、JIS 6953-2000が適していると考えられる。

参考； 生分解度の測定については、下記6試験方法が定められている。

1) ECD301C

化学物質—活性汚泥による好氣的生分解試験方法

2) JIS K 6950-2000

プラスチック—水系培養液中の好氣的究極性分解度の求め方
(閉鎖呼吸器計を用いる酸素消費量の測定による方法)

3) JIS K 6951-2000

プラスチック—水系培養液中の好氣的究極性分解度の求め方
(発生二酸化炭素の測定による方法)

3) JIS K 6953-2000

プラスチック—制御されたコンポスト条件化の好氣的究極性分解度及び崩壊度の求め方

4) JIS K 6955

プラスチック—呼吸計内の酸素消費量及び発生二酸化炭素量の計測による土壌内の究極的好氣的究極性分解度の測定

5) ISO 14855-2

Determination of the aerobic biodegradability of plastics materials under controlled composting conditions—Method by analysis of evolved carbon dioxide.

上記試験方法において、JIS K 6950及びJIS K 6951では都市下水処理場の活性汚泥が植種源として推奨され、試験体としては粉体が推奨される。

従って、今回の試験での射出成形品の分解度を試験するには、最適ではない。

本評価の実施に当たっては、JIS 6953-2000による本試験とは別に、テスト装置を作成し、目視による定性評価と分子量測定による定量評価を実施する方法を用いて、分解度の簡易判定法を採用することとした。

2-10-2 試験装置

生分解度の測定に当たっては、JIS 6953による環境条件を作成することが必要であり、恒温恒湿試験槽を作成した。

2-10-3 試験要領

① 試験片の作成

生分解度の評価サンプルを射出成形により作成し、各サンプルより評価試験片を作成した。評価サンプルは以下の5種類を選定した。

表 1 評価サンプル一覧

試験片番号	使用樹脂	発泡ガス	ガス注入量	その他
1	TE2000	なし	0	
2	TE2000	N2	0.15%	
3	TE2000	N2	0.30%	
4	TE2000	N2		コアバック
5	TE8210	N2	0.30%	

② 試験片の作成

射出成形機により作成した評価サンプルの断面は付録1に示す断面写真のように表面にスキン層と呼ばれる緻密な層が形成されており、発泡度による差異は明確ではないために、表層をマイクロームにより削除し試験片を作成した。

③ 評価試験

上記記載の試験槽を用いて、コンポスト皿にコンポストを敷き、同コンポスト内に試験片を埋め、時間経過と分解状況を目視し、写真に記録した。

試験条件

試験槽の雰囲気条件を以下の通りに設定した。

温度：80℃

湿度：60%以上

2-10-4 生分解度の評価試験

生分解度の評価を定量評価するために、試験槽より取り出した試験片の分子量を測定し、評価を実施した。

試験片は、コンポストの影響の比較評価のための試験片（成形下状態での試験片：TE2000（原料）と表示）を追加し、6試験片で評価を実施した。

2-10-5 分解度の評価

発泡によるポリ乳酸成形品の生分解度を約3ヶ月後の試験片を用いて、分子量測定を実施して評価した。

本結果より、以下のことが言える。

- 1) 発泡をしない群（TE2000, TE2000 SOLID,）と発泡させた群（TE2000 N2 0.15%, TE2000 N2, 0.30%, TE2000 CB）の比較においては、発泡させた群の試験片の分解が進んでいることが判明する。

- 2) 発泡度ではN₂ガス量の大きい試験片（発泡度が大きい）の分解がより進んでいる。
- 3) CBの発泡セルの状況は、N₂注入発泡と少し異なっているが、発泡度は同程度に進んでいる。
- 4) TE8210は耐熱性向上のために、珪酸カルシウムを添加したナノコンパウンドであり、ほとんど分解していないことが判明した。

2-1-1 事業化の検討

本年度は、研究の最終年度であり事業化への取り組みを研究開発と並行して実施をした。以下に平成21年度実施した事業化の検討取り組みを示す。

- ①平成21年6月4日タワーホール船堀（東京都）において開催されたプラスチック成形加工学会年次大会で小松技術士事務所所長小松道男（S L）が研究成果の一部を対外発表実施し、これに株式会社豊栄工業美和敬弘常務取締役（P L）も発表アシストのために参加した。学会の交流会にも出席し、発表内容について興味を示す企業、大学等の関係者と接点構築を図った。
- ②平成21年8月25日ホテルオークラ東京で東京三菱UFJ銀行が主催する環境ビジネスマッチング商談会へ株式会社豊栄工業美和敬弘常務取締役（P L）、村井修作研究員、小松技術士事務所所長小松道男（S L）が出席し、東京証券取引所一部上場企業等3社とビジネスマッチングを実施した。本マッチングの風景は、同日放送されたNHK19時全国ニュースで当研究チームの商談風景が映像として流された。本放送を環境ビジネスに対する豊栄工業(株)の宣伝広告ソースとして活用を図っている。
- ③平成21年11月27日愛知県産業労働センター6階展示室において、中部ものづくりシンポジウム2009サポイン成果発表会に株式会社豊栄工業がブース出展した。研究開発成果のPRを行い、事業化への糸口を探る活動を行った。また、中部地区のサポイン採択企業間の情報交換や交流も実施した。
- ④平成21年12月10日から12日に社団法人産業環境管理協会と日本経済新聞社が主催するエコプロダクツ2009において、株式会社豊栄工業が研究成果を2小間自社負担で出展した。この展示会は、環境に資する商品や技術を幅広く展示するショーとしては国内最大規模である。開催初日より多数の企業や大学から見学者が来訪し、商談に至る可能性の高い企業をピックアップすることができた。また、次年度以降は、以下のアクティビティを積極的に実施し、受注獲得へ向けて行動を起こすこととしている。
 - a 販売計画策定
 - b 情報発信
新聞、雑誌等へ積極的にアプローチする。また、学会発表へも協力を行う。
 - c インターネット
ホームページを作成し、開発技術や商品をネット上で発信する。
 - d 見本市への出展
 - e 営業展開ツールの整備

第3章 全体総括

3-1 成果の総括

本年度の研究は、計画通りに推進され、研究開始当初に掲題された以下の研究成果を得ることができた。

1-1: 耐熱温度120℃以上の植物由来生分解性プラスチック射出成形 金型設計技術の確立

【目標値】冷却時間を約1/3に短縮する。

【結果】

冷却時間は約1/3に短縮された。

【目標値】赤外線温度センサーの実用品開発と改良を実現し、温度計測精度±1%（対黒体）、分解能0.5℃を実現する。

【結果】

温度計測精度±1%（対黒体）を実現した。

分解能0.5℃を実現を実現した。

2-1: 改良型スクラップレス・バルブゲートシステム技術の開発

【目標値】

スクラップレス・バルブゲート技術を確立し、材料歩留まり98～99%を実現する。

【結果】

改良型スクラップレス・バルブゲート技術を確立した。

材料歩留まり98～99%を実現した。

2-2: 植物由来・耐熱ポリ乳酸製射出成形品基盤技術確立

【目標値】

成形加工システムを構築し、生産効率の最適化（成形品重量50gf級、肉厚2mm級の成形品の成形加工サイクル55秒）を実現する。

【結果】

専用射出成形加工システムを構築した。

生産効率の最適化（成形品重量50gf級、肉厚2mm級の成形品の成形加工サイクル55秒）を実現した。

3-1: 植物由来・耐熱ポリ乳酸に最適化されたCO₂超臨界微細発泡射出成形機の開発と成形加工方法の確立、専用金型設計基盤技術の確立

【目標値】

原材料使用量を12%削減する。

【結果】

原材料使用量を12～14%削減した。（成形品の形状による）

【目標値】

廃棄後の生分解に要する時間を15～30%短縮し地球環境負荷を軽減させる。

【結果】

廃棄後の生分解に要する時間を15～30%短縮し地球環境負荷を軽減させられる知見を実験で確認した。

本研究開発により確立される基盤技術は、プリンター等情報家電製品の構成部品や消耗品の現行品代替や新規部品への採用を目指すことを具体的ターゲットに置いて技術開発を行ってきた。具体的には、アドバイザー陣からの事業化に対するご意見を参考として、超臨界微細発泡射出成形を組み合わせた耐熱ポリ乳酸射出成形品のターゲットを模索した。

実際の量産ステージで開発された技術が、企業に採用されるためには品質、納期に加えてコストが市場価格とマッチングしていなければならないのは明白である。そこで、本研究では生産コストと材料コストの極小化を追求する姿勢を崩さずに試作金型テーマの選定を行ってきた。その結果、生産コストは、多数個取り（2個→6個→8個）と量産コスト要求に耐えられる超臨界微細発泡射出成形の電磁弁駆動バルブゲートの基盤技術を確立することができた。

一方、材料コストの極小化については、スクラップレスバルブゲート技術を開発したことにより材料歩留まりは98～99%と十分に高い効率を達成することができた。

具体的なターゲット商品は、プリンター等情報家電製品の構成部品や消耗品として研究機関内で実現することまでは到達することができなかったが、超臨界微細発泡射出成形品の特長である3層発泡構造であって植物由来生分解性樹脂を用いた精密射出成形品を、市場コストに追従して生産できる基盤技術が確立されたので、本研究終了後、事業化のステージで具体的な営業活動を行うことにより、ターゲット商品を選定することが可能である。

多数個取り、中型成形品、内側アンダーカット成形品のバリエーションがそろっているので企業への提案を行う際には間口を広く構えて営業活動を行うことができる。

ポリ乳酸樹脂および耐熱ポリ乳酸樹脂の射出成形品の需要は、ベースレジンの世界的増産傾向が急速に進行中であり、原材料価格も需要量の増大により低価格化が進んでおり、事業化への鍵を握る材料コスト要因は追い風が吹いている。また、複数の大手企業がポリ乳酸製の射出成形品を実際の商品に採用しはじめており、これらの企業が新規の顧客となる可能性があり、今後の事業展開の具体的な営業候補となる。

3-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

3-2-1 工業所有権の取得状況

研究成果から派生した工業所有権の取得状況は以下の通りである。

①権利化された知的財産権

1) 日本国意匠登録第1358559号

意匠に係る物品「井」

意匠権者 株式会社豊栄工業、小松道男

意匠登録年月日 平成21年4月3日

2) 日本国意匠登録第1358560号

意匠に係る物品「井」

意匠権者 株式会社豊栄工業、小松道男

意匠登録年月日 平成21年4月3日

3) 日本国意匠登録第1374440号

意匠に係る物品「椀」

意匠権者 株式会社豊栄工業、小松道男

意匠登録年月日 平成21年10月23日

②出願された知的財産権

1) 日本国特許出願 平成20年 3月28日「食品容器及びその製造方法」

出願人 小松道男

2) 日本国特許出願 平成20年 9月10日「成形体及びその製造方法」

出願人 小松道男

3) 日本国特許出願 平成20年10月10日「食品容器」

出願人 小松道男、株式会社豊栄工業

4) 日本国特許出願 平成20年11月 6日「金型内可視化装置」

出願人 小松道男、株式会社豊栄工業

トレクセルジャパン株式会社

5) 日本国特許出願 平成20年12月17日「超臨界発泡射出成形方法」

出願人 小松道男

- 6) 日本国特許出願 平成21年 6月18日「射出成形方法」
出願人 小松道男
- 7) 日本国特許出願 平成21年 6月18日「肉薄容器及びその射出成形方法」
出願人 小松道男
- 8) 日本国特許出願(国内優先権主張)
平成21年 9月10日「成形体及びその製造方法」
出願人 株式会社豊栄工業、小松道男
- 9) 特許協力条約に基づく国際出願
優先日 平成20年12月17日
国際出願日 平成21年12月11日「発泡成形品の製造方法」
出願人 小松道男

3-2-2 対外発表等の状況

- (1) 平成20年2月28日、プラスチック工業技術研究会第1234回特別セミナー(東京都千代田区神田・総評会館)
- (2) 平成20年11月7日-11日、国際プラスチックフェア(IPF2008)(幕張メッセ)
- (3) 平成20年12月5日、第33回関西繊維科学講座(主催:繊維学会関西支部、京都芸繊維大学)
- (4) 平成20年10月31日発行、「型技術10月臨時増刊号」第23巻第12号、通巻294号、日刊工業新聞社発行に株式会社豊栄工業が研究成果の一部を対外発表した。
- (5) 平成21年1月21日、社団法人日本合成樹脂技術協会会員月例会(東京都中央区銀座)
- (6) 平成20年10月31日、中小企業庁へ中小ものづくり高度化法の公報資料作成のため研究成果の一部を情報提供した。
- (7) 平成21年6月4日プラスチック成形加工学会年次大会(タワーホール船堀(東京都))
- (8) 平成21年12月10日-12日エコプロダクツ2009(主催:社団法人産業環境管理協会、日本経済新聞社)

3-3 今後の事業化に向けた取組み

開発された技術の市場での事業性を見本市、インターネットホームページ、学術文献等で周知を図り、事業化活動を行っていく。また、今年度外部開示した結果、開発技術へ興味を示した企業に対する実務ベースでの接点を模索する営業活動を展開する。

特に食品容器分野をまず手始めとして量産受注活動を目指した営業活動を行い、並行してOA機器分野、家電製品分野へも営業展開を図っていく計画である。

次年度については、過去3年度にわたり開発した基盤技術を事業化ステージに活用する補完研究を実施して参りたいと考えている。