

平成20年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「生産性に優れた耐熱性生分解性樹脂使用

プラスチック製品の製造方法の開発」

研究開発成果報告書

平成21年 3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 関西ティール・エル・オー株式会社

目 次

第1章	研究開発の概要	3
1-1	研究開発の背景・研究目的および目標	
1-2	研究体制	
1-3	成果概要	
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	
第2章	各論—1 「急温急冷金型制御システムの開発と作成」	10
2-1	急温急冷金型の汎用熱設計	
2-2	温冷金型を使用する際の成形サイクル	
2-3	成形サイクル	
第3章	各論—2 「低粘度成形の流動シミュレーションの研究開発 および金型の設計制作」	13
3-1	汎用化のための準備	
3-2	具体的評価	
第4章	各論—3 「組成及びコンパウンド技術の研究開発」	16
4-1	コンパウンド装置能力概要	
4-2	組成およびコンパウンド技術の研究開発	
4-3	マテリアルリサイクルの検討	
第5章	各論—4 「システム及び製品の評価」	19
5-1	システムの評価	
5-2	製品の評価	
5-3	新たな用途の展開	
第6章	各論—5 「リール3体超音波融着法の研究」	23
第7章	全体総括	24

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

昨今の地球温暖化傾向から、環境にまつわる社会的ニーズは年々重要度を増している。特に情報家電における川下製造メーカーでは、「従来の石油由来プラスチック」から環境対応型の「自然由来の生分解性プラスチック」への代替ニーズが高まっている。

そこで本事業では、自然由来の生分解性プラスチックを用いて、IT商品における梱包資材「キャリアテープ用耐熱性ポリ乳酸リール」作製する。そのことにより地球温暖化の原因の一つである二酸化炭素の排出量削減に貢献することを目的とする。

平成19年度に研究開発した急温急冷金型およびその制御システムの使用による生産条件の確立を行う。具体的には、川下企業である半導体製造大手社用リール、および配膳車製造社用病院食配膳盆の2つのターゲット開発商品について成形サイクル1分以内に製品の安定取り出しの出来る成形条件を見出す。また急温急冷金型の汎用化に必要な熱設計の研究開発も合わせて行う。

20年度の具体的目標は以下の5項とした。

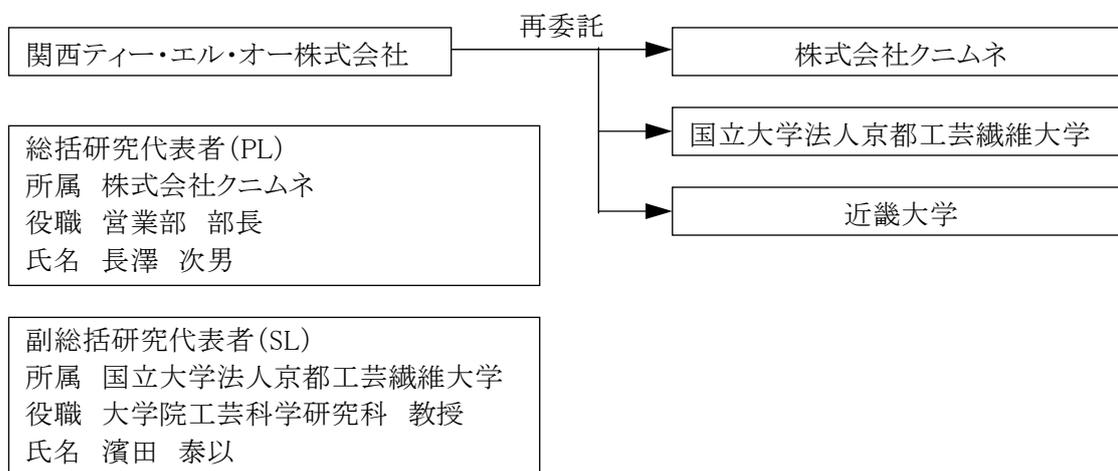
- ① 急温急冷金型制御システムの開発と作成
 - a 成形サイクル1分以内の条件確立とその実施（株式会社クニムネ）
 - b 急温急冷金型の汎用化熱設計ベースの仕上げ（京都工芸繊維大学、近畿大学）
- ② 低粘度成形の流動シミュレーションの研究開発および金型の設計制作
平成19年度に研究開発した低粘性成形発泡樹脂の流動解析手法を用いて、ターゲット製品以外にも応用展開できるよう、汎用的な耐熱PLAの特性値を解明する。（株式会社クニムネ、国立大学法人京都工芸繊維大学、近畿大学）
- ③ 組成及びコンパウンド技術の研究開発
 - a 小型2軸押出機を用いた組成およびコンパウンド条件の検討（京都工芸繊維大学、株式会社クニムネ）
 - b 組成（結晶化促進、導電性カーボン適正分散）の検討（株式会社クニムネ）
 - c マテリアルリサイクルの検討（株式会社クニムネ）
 - d 2軸押出機を用いた組成およびコンパウンド条件の検討（株式会社クニムネ）
- ④ システム及び製品の評価

- a 製品の評価（株式会社クニムネ）
 - b 各製品の軽量化、およびその他主要特性の評価（株式会社クニムネ）
 - c 新たな用途の検討（株式会社クニムネ）
- ⑤ リール3体超音波融着法の研究
- a リールの3体超音波融着手法の開発

1-2 研究体制

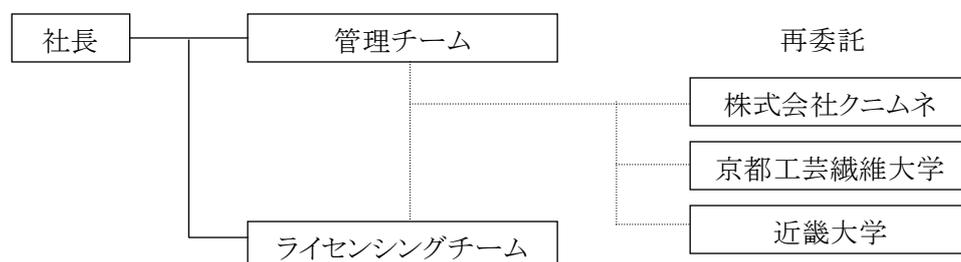
1-2-1 研究組織および管理体制

(1) 研究組織（全体）



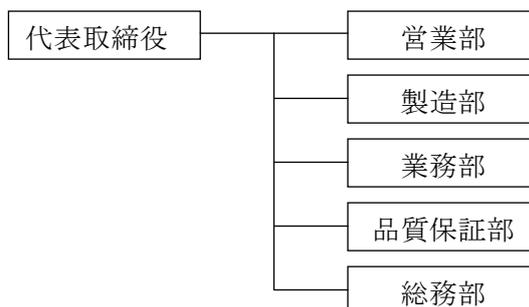
(2) 管理体制

① 事業管理者 [関西ティール・エル・オー株式会社]



② (再委託先)

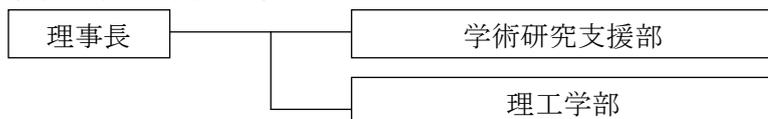
株式会社クニムネ



国立大学法人京都工芸繊維大学



学校法人 近畿大学



1-2-2 研究員及びプロジェクト管理員

【事業管理者】 関西ティー・エル・オー株式会社

・管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
坂井 貴行	ライセンシングチーム・取締役	⑥
岡田 裕子	管理チーム	⑥

【再委託先】

・株式会社クニムネ

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
長澤 次男	営業部 部長	⑤、全体統括
篠崎 伸次	製造部 課長	①、②、⑤
越智 富士雄	業務部 課長代理	①、②、③、④、⑤

・国立大学法人京都工芸繊維大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
濱田 泰以	大学院工芸科学研究科 教授	①、②、③
仲井 朝美	伝統みらい研究センター 准教授	①、②、③

・学校法人 近畿大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
橋本 知久	理工学部機械工学科 講師	①、②

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

関西ティー・エル・オー株式会社

(経理担当者) 管理チーム

岸田 哲

(業務管理者) 取締役

坂井 貴行

(再委託先)

株式会社クニムネ

(経理担当者) 総務部 総務課長 廣谷 春義

(業務管理者) 営業部 営業部長 長澤 次男

国立大学法人 京都工芸繊維大学

(経理担当者) 財務課長 仲井 章

(業務管理者) 大学院工芸科学研究科長 柴山 潔

学校法人 近畿大学

(経理担当者) 学術研究支援部 研究支援課長補佐 畑下 明宣

(業務管理者) 学術研究支援部長 祝原 豊

1-3 成果概要

委託事業の研究成果としては、ほとんど目標のレベルまで達成した。以下、個別目標に対して成果をまとめる。

①急温急冷金型制御システムの開発と作成

昨年度クニムネが既に先行的に実施していた温冷切り替え成形の知見、I 金型が所有していた金型材料等の知見を組み合わせた。同時にこの組み合わせで急温急冷が理論的に可能であることの検証を京都工芸繊維大学により計算した。この結果に基づいて、後記のような外観と基本組み合わせからなるシステムを開発作成した。本年度は、このシステムを使用して最終的にユーザーに受け入れられる製品開発を行った。

②低粘度成形の流動シミュレーションの研究開発および金型の設計制作

京都工芸繊維大学に依頼して低粘度成形の流動シミュレーションを実施した。低粘度シミュレーションで得られた知見は、低粘度成形では従来成形に比較して充填時間のみ短縮されることと、低粘度成形でも従来成形と同じようなパターンの樹脂流れで、金型に充填していくことがわかった。この充填時間短縮の結果から、リール金型において、ウェルド部で大きな問題は発生しないと、この段階では判断された。そのため、後記する様なリール金型を制作するとともに、急温急冷するため①に記した I 金型の知見を入れた素材を組み合わせた金型を制作した。今期製作した金型は 2 つの成形品に対応する金型である。即ち、リール金型に加え、配膳トレイ金型についてもリール金型と同様の設計思想で作成した。これらの金型に適宜改良をくわえ開発実験を実施した。

③組成及びコンパウンド技術の研究開発

組成及びコンパウンド技術開発する装置として京都工芸繊維大学に 35mm 2 軸押出機を改修し、クニムネに 50mm 2 軸押出機を設置した。この 2 台の役割は小型機でスクリーニングテストし、大型機で本番コンパウンドをする。これらの押出機を活用し、本年度はリール組成開発とコンパウンド技術の完成を目指した。市販耐熱銘柄レベルの耐熱性を有すると共に、必要な静電性を有する組成を作成できた。

④システム及び製品の評価

ここで云うシステムとは、①②③⑤からなるシステム全体のことであり、このシステムおよび、それを使って出来上がった製品の評価を行う。システム全体は前年度末に完成し、このシステムを使用してリール製品、配膳トレイの作成を行った。本年度から本格的に、クニムネの内部評価を開始した。本年度中に、目標ユーザーで、これら製品の使用が可能であるという評価を得られるまで完成度を高め、このシステムを使用してリール製品、配膳トレイ顧客の実使用を目指し、いずれもほぼ目標品質レベルに達している。

⑤リール3体超音波融着法の研究

リールの作成は、従来2体を合体させてリールとしていた。本事業のテーマでは、リール芯のサイズを変更することで、容易に各種巾のキャリアテープを捲くことが出来る3体超音波融着法を採用した。リール3体融着に最適なホーンを作成して、これによる融着法を研究した。その結果、通常成形の3体超音波融着によるリール、さらに微発泡成形されたリールも3体超音波融着法を適用できた。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

関西ティー・エル・オー株式会社
ライセンシングチーム 坂井貴行

〒600-8216 京都市下京区西洞院通塩小路下る東塩小路町 939 番地
キャンパスプラザ京都 6F

Tel : 075-353-5890

Fax : 075-353-5891

E-mail : ta-sakai@kansai-tlo.co.jp

第2章 各論—1 「急温急冷金型制御システムの開発と作成」

2-1 急温急冷金型の汎用熱設計

昨年度、クニムネが購入稼動始めた「急温急冷金型制御システム」は金型、切替機、加熱器、冷却器よりなる。

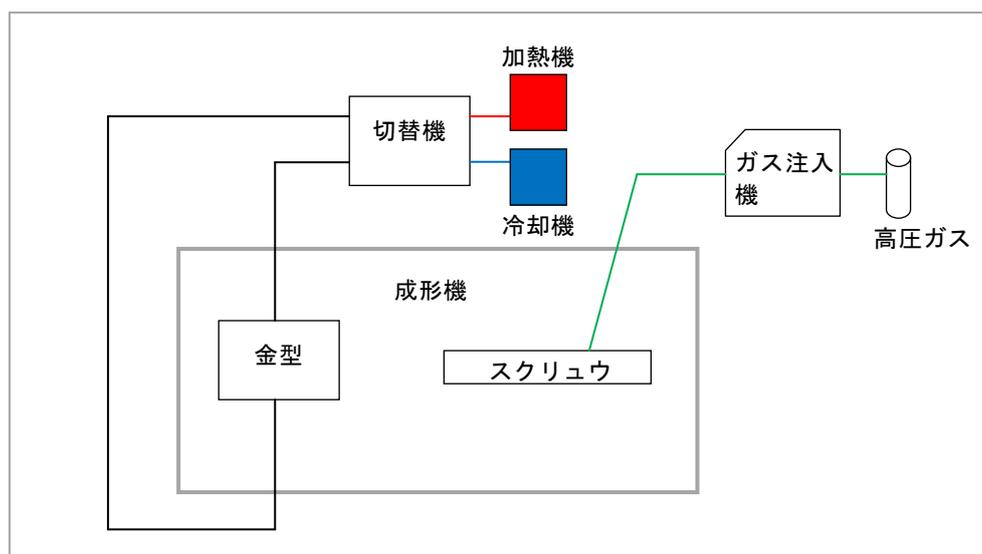


図 2-1 成形システム全体の構成図

この図の組み合わせで金型の急温急冷が理論的に可能であることの検証を近畿大学（京都工芸繊維大学）で行っている。計算は SUNDYXTRUD (株) プラメディア) の非定常金型温度解析を用いて実施した。これによれば計算上は 10 秒程度で目的の温度へ上昇、16 秒で下降が出来る。

金型実体部に使用した金属はベリリウム鋼であるが、この金属の特性表 2-1 に示す。今回のシステムの加熱器能力、冷却器能力を表 2-2 に示す。

表 2-1 ベリリウム鋼の特性値

	ベリリウム鋼（日本碍子）	金型鋼（日立金属）
銘柄	SUPRA	HPM2
硬度	HRC30	HRC33
熱伝導率 W/m°C	131	21
熱膨張係数 10 ⁻⁶	17	11

表 2-2 システムの加熱、冷却能力

		単位	能力値
加熱機	熱容量	KW	80
	流量	l/min	260-400
冷却機	熱容量	KW	55
	流量	l/min	260

2-2 温冷金型を使用しての成形サイクル

リール金型についての急温急冷成形実験をした結果をまとめる。
成形サイクルについては図 2-2 の如く変化させて成形している。

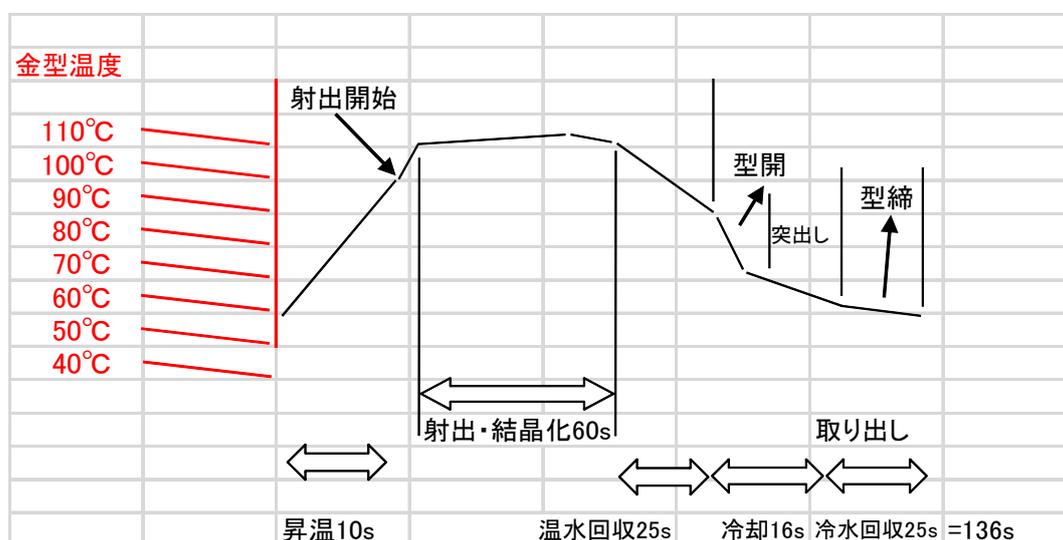


図 2-7 リールの成形サイクルと金型温度変化

この成形サイクル実験でリールのサイクル試験の成形に用いた材料はユニチカの TE-8300 である。図 2-7 にあるようにサイクル 136 秒程度で成形実験している。実際の成形サイクルは、110°C の高温で保持を 60 秒、型温度上昇、型温度降下に各 14&16 秒程度、温水冷水の回収に各 25 秒程度の構成で、合計約 140 秒のサイクル所要時間となっている。以上のように金型の加熱、冷却に要する時間は、ほぼ計算に近い値を示す。

2-3 成形サイクル

図 2-6 に示すように実際の成形サイクルは 140 秒であり、本研究の目的の 60 秒以内より長いものになっている。この差の原因は以下の 2 点の要約できる。

- ① 設置機器の設計思想により「各加温前および冷却前にそれぞれ冷水回収サイクルおよび熱水回収サイクルに各 25 秒、合計 50 秒を要している。
- ② 市販耐熱 PLA 材料 (TE-8300) の結晶速度の限界により結晶化時間に 60 秒を要している。

今回研究開発目標の 60 秒を達成するには今後、下記 1、2 を如何に実現するか依存する。

- ・ 昇温・降温の前処理としての熱回収サイクルをなくすための機器の改良
- ・ 材料結晶化特性改善による高温保持時間の短縮

第3章 各論—2 「低粘度成形の流動シミュレーションの研究開発 および金型の設計制作

3-1 汎用化のための準備

PLA樹脂の低粘度成形の流動を行うため、まず耐熱PLAとしてユニチカの耐熱銘柄（TE-8300）について、以下に示すようなデータベースの作成を実施した。測定データは比熱、せん断粘度特性、PVT特性、熱伝導率等である。

3-2 具体的評価

このガス注入樹脂の流動性のモデル計算をリール形状でゲート3点および2点とした場合について計算し比較してみた。図3-7および図3-8
ゲート3では成形品中央部のウェルドが激しく発生するが、ゲート2点では、樹脂の流動は比較的スムーズで概ねリール外周部にむかって樹脂が流動する。このためウェルドは比較的少ない。

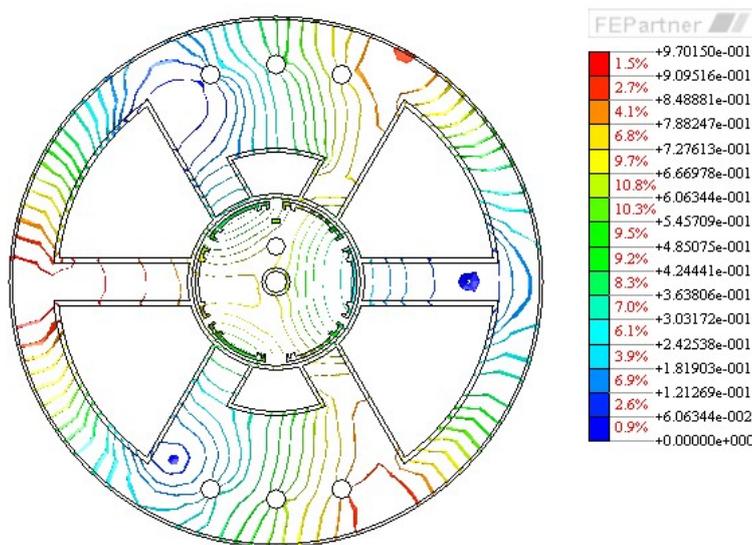


図3-7 ゲート3点でのメルトフロント（ガス注入）

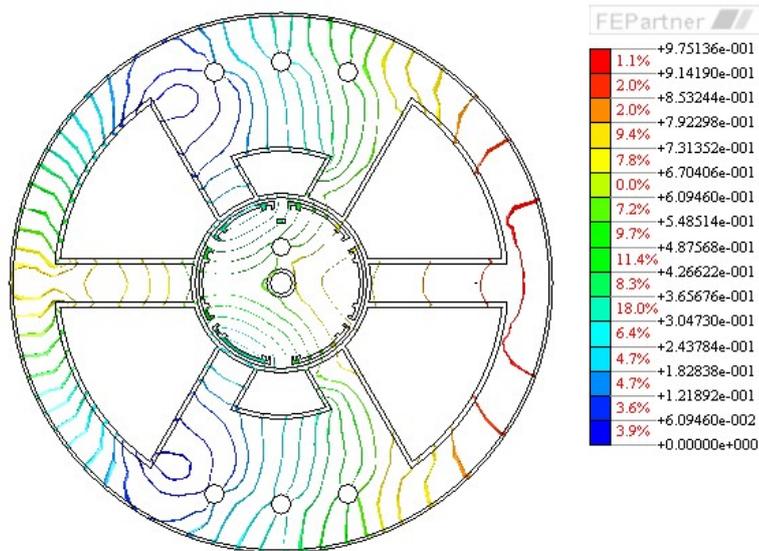


図 3-8 ゲート 2 点でのメルトフロント（ガス注入）

また配膳トレイについては配膳トレイのそり分析を行ったところ、図 3-9 のごとくそり変形が生ずることが分かった。このそり変形に関し流動性を配膳した樹脂を射出し成形すると図 3-10 の如くそり変形は減少する。この傾向は実際の成形トレイと同一である。

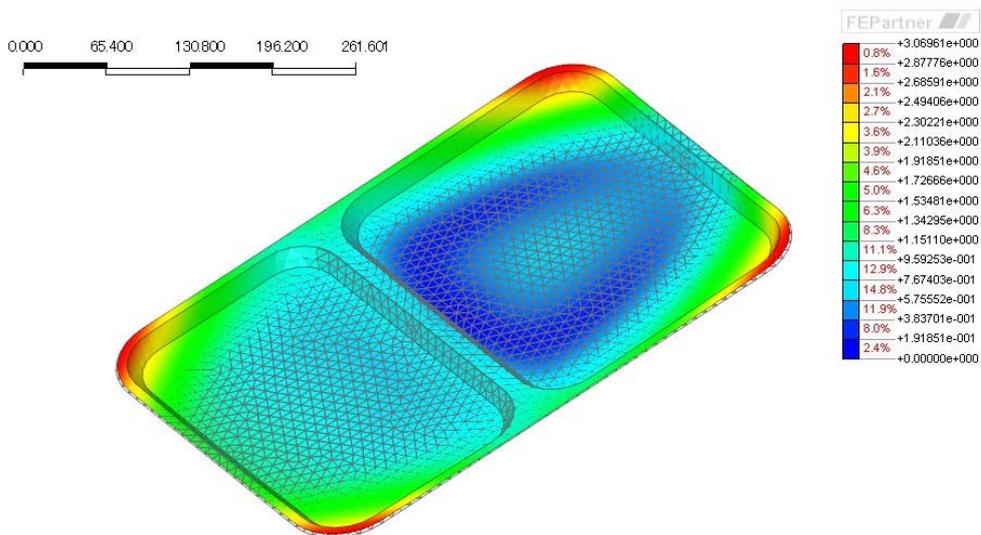


図 3-9 配膳トレイのそり分析 最大そり（赤）：3.1mm

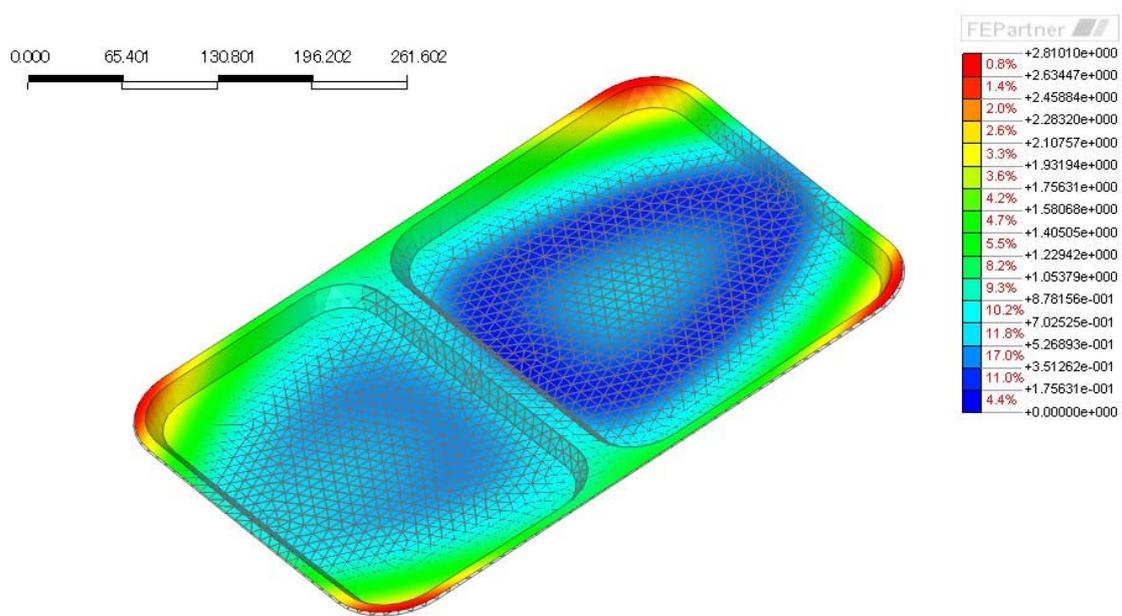


図 3 - 1 0 配膳トレイのそり分析 最大そり (赤) : 2.8mm

4章 各論—3「組成及びコンパウンド技術の研究開発」

4-1 コンパウンド装置能力概要

小型機と大型機を整備あるいは設置した。小型機は京都工芸繊維大学の35mmφ、大型機はクニムネの50mmφの二軸押出機である。小型機でコンパウンドの組成、条件等、各種スクリーニングテストをおこなっている。2機台の性能は表4-1のとおりである。

表4-1 小型・大型二軸押出機能力比較

メーカー	日本製鋼所	東芝機械
スクリュウ径	35mm	50mm
回転方向	同方向	同方向
L/D	32.5	34
スクリュウ回転数	375	400
スクリュウトルク	7.5kW	37kW

4-2 組成およびコンパウンド技術の研究開発

4-2-1 リール組成

急温急冷金型システムに最適なPLA樹脂組成、それに適したコンパウンド技術の開発を実施した。主としてリール組成開発とそのコンパウンド技術の開発を行った。この「キャリアテープ用リール」に要求される主要特性を表4-2に掲げる。このうち特に重要な「1の表面抵抗」と「5の耐熱性」である。

【表面抵抗の改質】

PLA樹脂はそのままだと10の12乗以上の表面抵抗である。本開発では、導電性カーボン添加PS同様に改質に導電性カーボンを使用する方法を採用。

表 4-2 リールの性能（電子情報産業協会規格 EIAJ ET-7200B）

番号	試験項目	性能	試験方法
1	表面抵抗	$10^9 \Omega s$ 以下	JIS6911 に準ず
2	ウェルド破壊強度	30N 以上	付属書 1 参照
3	フランジ部たわみ強度	フランジ部を垂直に 20mm ひっぱった時の引張り力 2N 以上	付属書 2 参照
4	落下強度	破損、張り合わせのガタなど異常がない。また外観に著しい異常がない	空リールで実施 落下高さ：1m 垂直落下、水平落下各 1 回
5	高温放置	初期寸法規格値を満足	50℃±2 の雰囲気 に 24 時間放置後、室温 で 3 時間後の寸法
6	低温放置	破損、張り合わせのガタなど異常がない。また外観に著しい異常がない	50℃±2 の雰囲気 に 24 時間放置後、室温 で 3 時間後に 4 の落 下強度を測定
7	リール張り合わせ強度	30N 以上	付属書 3
8	リール軸部の強度	軸部の破損、クラック、緩み等のないこと	リール軸のキイに 合わせたシャフト に固定し、2Nm のト ルクを加える

【結晶化速度の改質】

結晶核剤としては市販のものを選び検討している。最終的なリール組成としてはこれらの検討結果から標準組成として以下のレベルを採用した。（単位：％）

PLA/（導電性カーボン＋結晶核剤）＝90/10

4-2-2 配膳トレイ組成について

これについては、今回特に改質を行っていない。樹脂メーカーの市販銘柄を組み合わせて使用する。

4-3 マテリアルリサイクルの検討

配膳トレイについて成形品を粉砕しこの粉砕原料を使用して、今回の配膳トレイを成形した。今回は、トレイは成形直後の成型品を粉砕して再度使用している。今回はトレイを使用せずに粉砕して再生材としたが実際は使用による劣化、着色、異物の付着等のマイナス要素もあるがこれらを加味して使用方法を決めていけばよい。

表4-3 配膳トレイのマテリアルリサイクル例

	再生材使用率		
	0%	30%	50%
色調	自然色	左記と大差ない	やや黄身
片持曲げ N	110	103	95

この方法で作成したリール原料の特性値は以下のとおりであった。

表4-4 リール特性値

表面抵抗	DSC 結晶化温度
Ωs	(降温) °C
$10^4 \sim 10^5$	118

第5章 各論—4 「システム及び製品の評価」

平成19年度に準備した設備システムを使用してリール、配膳トレイの作成を行い、実使用可能な製品の作成を目指した。

5-1 システムの評価

第2章の図2-1に本研究の開発システム全体構成をしめした。19年度末の時点で、このシステム評価では、完璧ではないが基本構成は完成していた。以下に、完成したシステムを使用して成形品の試作を行い、必要なシステム改善をして評価をした。その結果についてまとめた。

成形機について「発泡成形を行うに必要な、制御ソフトとしてコアバック仕様の追加」「成形機スクリュウのガス漏れ防止機能を強化」が必要であった。



発泡不均一（極悪） スクリュウ変更後 条件検討による改善

図5-1 ガス注入による発泡状態の改良経緯

温冷発生装置については、温・冷回収時間が予想より長くなり、加温から冷却への切替え、および逆の冷却から加温への切替時、それぞれ25秒間合計50秒の回収時間を必要とした。

これが冷水・温水回収時間の必要のないシステムであれば1分30秒の成形サイクルを実現したことになる。

5-2 製品の評価

5-2-1 リールの評価

これらの材料で作成した発泡リールの耐熱（サグ性能）評価は表5-2のとおりであり、通常成形と比較しても大差ない。また試作材と市販耐熱銘柄での評価結果は大幅な差はない。いずれにしても今後若干の耐熱改善を完成すれば、現行品と全く変わらず、使用可能な領域となる。

以下の表に市販のPS導電性カーボン現行品との比較をしめす。（通常成形品）発泡成形を実施することにより、重量は大幅に軽減され、PSのバルク製品と同等以上の重量まで低減でき、なおかつ50℃耐熱もPSと同等で実用性能は十分である。

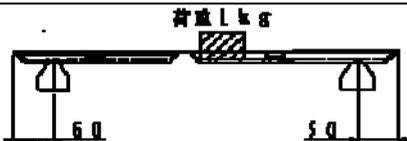
表5-1 試作PLAリールと市販リールとの比較

		リール重量	表面抵抗	耐熱性 60℃ ×24時間	耐熱性 50℃ ×24時間	落下衝撃 1m水平&垂直
単位		g	Ωs	mm	mm	
PLA	通常成形	357	10 ⁴ ~10 ⁵	4~0	1~0	破壊せず
	発泡成形	275	10 ⁴ ~10 ⁵	4~0	1~0	破壊せず
PS（市販）通常成形		277	10 ⁶ ~10 ⁷	1~0	1~0	1~0

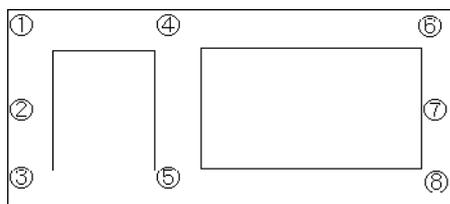
5-2-2 配膳トレイの評価

配膳トレイも、最大の評価ポイントは加熱処理後のそり（耐熱性）である。中央部の荷重による変形と、熱による短辺方向でのそり変形がやや大きい。現行品（熱硬化性エステル樹脂）はほとんどなく、何とか5mm程度（規格4mm）に低減を求められた。

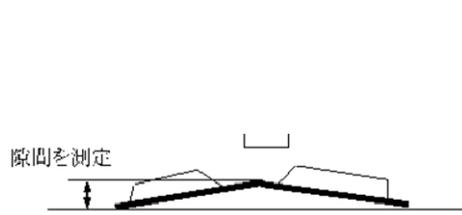
表5-2 配膳トレイの評価結果

試験名	試験方法概略図	結果	判定
熱変形 (100℃×1kg×24h)		10mm	×

100℃×1kg×24時間処理による熱変形結果は表5-2の如くであった。この結果からは初期そり変形を減らせば変形量は4~5mmの規格に入ると推定できた。



配膳トレイ裏から見た図
の変形



長辺方向の変形



短辺方向

この成形歪を解消する成形条件の確立にむけて取り組んだ。

- ① 市販耐熱グレードの流動性改良。
- ② ガス注入による流動性改良。
- ③ ガス注入条件下でコアバック発泡成形。

結果、表 5-3 のごとく流動性改良品は通常品にくらべ改善されている。しかし、ガス注入を使つての実験は、改良まえのスクリュウを使用した結果であり、ガス漏れのためガス注入が正常に行われなかった。このため、初期そりが極めて多いもの今後ガス漏れのないスクリュウでの検討をおこなう。

表 5-3 トレイのそり、変形と成形条件（銘柄含む）

単位：mm

		処理前	処理後	
		最大そり	負荷部曲がり	最大変形（そり）
市販品	通常成形	3	9	9
流動改善品		3	5	7
市販品	ガス注入低粘度成形	6	3	6
市販品	ガス注入発泡成形	7	3	7

表 5-3 の流動改善品×通常成形で最大変形が規格より 2mm 大きい。この改質を残すのみである。

5-3 新たな用途の展開

今回、最終的に実施しているように、ガス注入による成形方法に（コアバックなしだと発泡倍率が低い）、コアバック法を併用することにより、発泡倍率を大きくとることができるようになる。すなわち、リールの開発は、どちら

かといえは発泡倍率の高い方にシフトした開発であった。

逆に、発泡倍率の低い利用展開も考えられ、これについては、「気泡状の泡を成形品に含ませ意匠性のある成形品」を作ることが可能である。

第6章 各論—5 「リールの3体超音波融着法の研究」

リールの作成は従来2体を合体させてリールとしていたが、今回は、芯のサイズを変更することで、容易に各種巾のキャリアテープを捲くことが出来る。この3体超音波融着法を採用することにして、リールに最適なホーンを作成して、これによる融着法を研究した。その結果、3体超音波融着を使用するリールを作成出来た。昨年度末に実施したダイレクターの拡大後の融着品は1m落下試験でもはがれることなく問題ないレベルであった。

第7章 全体総括

平成19年～20年度の本プロジェクト全期間の研究開発成果は以下の如くとなる。

① 急温急冷金型制御システムの開発と作成

- ・③で改質した材料で目標1分に対し2分20秒までの成形サイクルを実施できた。(加熱・冷却機器の今後の改良で実質1分30秒のサイクル)
- ・急温急冷金型の汎用熱設計についてはSUDYTRUD(プラメディア社)の非定常金型温度解析を使用し金型の温冷能力評価できる。

② 低粘度成形の流動シミュレーションの研究開発および金型の設計制作

流動シミュレーションの基礎開発を汎用的に応用展開できるように市販耐熱PLAの特性値を解析し、応用展開可能とした。

③ 組成及びコンパウンド技術の研究開発

コンパウンド装置(小型、大型)を駆使して、①の成形サイクル1分以内を達成できる組成、材料を開発目指し、市販耐熱銘柄レベルの結晶化性能を有し、静電性を持つ材料を開発できた。今後はさらに結晶化しやすいレベルまで引き上げる開発を行う。

④ システム及び製品の評価

19年度に設備購入し、20年度は引き続き購入設備の改良を実施した。最終的に研究レベルで低発泡成形を実施するところまで達成した。本格生産設備への移行は今後となる。

リール製品は重量および実用特性は目標をクリアーした。残すは成形品表面のアバタなどの改質を残す。配膳トレイも実用性能は目標をクリアーし、耐熱そり規格を、あと数ミリの改質を残すのみである。試験使用を目指しユーザーと交渉中。

⑤ リール3体超音波融着法の研究

通常成形リールに加え、発泡成形リールについても3体融着適用可能を確認した。

【付記】

- ・ バイオジャパン2008 平成20年10月15日～17日パシフィコ横浜にブース出展
- ・ 産経新聞 夕刊 平成20年11月28日および平成20年12月5日にクニムネの環境ビジネス掲載
- ・ 関西支部繊維学会 平成20年12月4日～12月5日 京都工芸繊維大学にブース出展