

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「植物由来樹脂の結晶化速度を早める植物由来添加剤の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成23年3月

委託者 近畿経済産業局
委託先 特定非営利活動法人
近畿バイオインダストリー振興会議

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	1
1-2	研究体制 （研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	5
1-3	成果概要	8
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	10

第2章 本論

2-1	（1）添加剤の最適化（サブテーマ①）	11
2-2	（2）混合技術開発（サブテーマ②）	14
2-3	（3）成形技術開発（サブテーマ③）	17
2-4	（4）製造プロセス開発（サブテーマ④）	19

最終章	全体統括	21
-----	------	----

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

1-1-1 研究開発の背景

(1) 背景概要

本研究開発「植物由来樹脂の結晶化速度を早める植物由来添加剤の研究開発」は、中小企業のものづくり基盤技術の高度化に関する法律に基づく特定研究開発等の計画として平成20年3月に認定を受けた研究計画（認定番号 近畿0803002）に基づいており、特定ものづくり基盤技術の種類（四）プラスチック成形加工に係る技術に該当する技術開発である。プラスチック成型加工の分野においては、川下製造業者等からは①環境対応、②高付加価値化、③生産性向上、④安全・快適への要請が年々高まってきている。

① 環境対応：地球環境問題が深刻化すると共に、川下製造業者等からは環境対応への要請が年々高まってきている。特にプラスチック材料に関しては、化石資源の枯渇や地球温暖化の防止の観点からカーボンニュートラルである植物由来という新しい付加価値へのニーズが高い。特に自動車業界では、燃費向上のための軽量化対策としてプラスチック使用量を増やしている（自動車1台当りの材料構成比 8.2%、約 110kg）うえに、自動車リサイクル法で定められたリサイクル率を 2015 年以降には現行の 80%から 95%へ引き上げることから、自動車用プラスチック材料の環境対応が急務であり、植物由来樹脂への期待は大きい。

② 高付加価値化：国内におけるプラスチック生産量は 1995 年以降、年産 1400 万トンで殆ど成長していない。一方、日本を除くアジア諸国での生産は成長著しく、2004 年では約 6500 万トンに上り、北米を上回るトップシェア（29.0%）である。また、自動車、家電などの生産拠点の海外移転に伴う海外からの部品調達の増加のため、国内生産量が増加する見込みはない。しかし、情報家電においてエンブラに絞った需要予測では 2010 年において 2006 年比で 39%の成長が見込まれている。国内プラスチック産業は高付加価値化の要請対応に商機がある。

③ 生産性向上：中国を中心とするアジアの低価格品に対抗するために、生産性の向上が求められる。例えば植物由来のポリ乳酸（PLA）が既に量産されており、石油系樹脂の一部の代替が期待されているが、実際に樹脂メーカーや川下製造業者等数社へヒアリングしたところ、ポリ乳酸を射出成形用途で使用する場合、金型温度が高いため成形品の変形やバリの発生が多く歩留まりが悪いこと、成形時間が汎用樹脂よりも長いことにより、樹脂そのものの価格以上に高コストとなっていることが明らかになった。生産性向上による価格競争力の追求が重要な課題である。

④ 安全・快適：安全快適な室内及び車内空間を与えるため、プラスチック製品の臭気および VOC が課題になっている。また成形品には添加剤等を加えたコンポジットが用いられるが、添加剤の中には機能的に優れていても、人体や自然環境に悪影響を与えるものが存在するため、安全性の高い添加剤が求められている。

(2) 研究開発動向（最新の技術水準との比較）

ポリ乳酸樹脂の生産者はこれまで米国ネイチャーワークス社の 1 社のみであった。米国、欧州、アジア、日本でほぼ同規模の市場を形成しているが、ネイチャーワークスの戦略もあり、ポリ乳酸の高付加価値化のための技術開発については日本が世界を圧倒的にリードしている。ポリ乳酸を射出成形用に使用するための大きな課題は耐熱性であるが、耐熱性向上の技術について最新の技術水

準をベンチマークした（図 1-1-1）。②他樹脂とのアロイ化が先行的に検討されたが、ポリ乳酸の含有量は 30%と低く、植物由来樹脂の過渡的な使用法でしかない。次に③ケナフやセルロース等の繊維との混合による植物度の高い構成となるが、金型温度、成形時間、流動性などの生産性に劣る。④添加剤による結晶化促進が最も高い耐熱性を得ることができるが、全て高温金型、長時間保持による結晶化促進であり生産性に劣る。このように従来技術は川下製造事業者の要請を全てかなえるものではなく、実用化されたものの本格的に事業継続され、技術シーズとなったものはないのに対し、本提案の技術は、ほぼ全て植物由来であり、汎用樹脂並みの生産性（低温金型、短時間）を有し、汎用エンブラ領域の耐熱性を示すことから、デファクトスタンダードとなり、中国やベルギー企業のポリ乳酸市場参入の動向とあわせて、大きな市場を獲得できる可能性が高い。

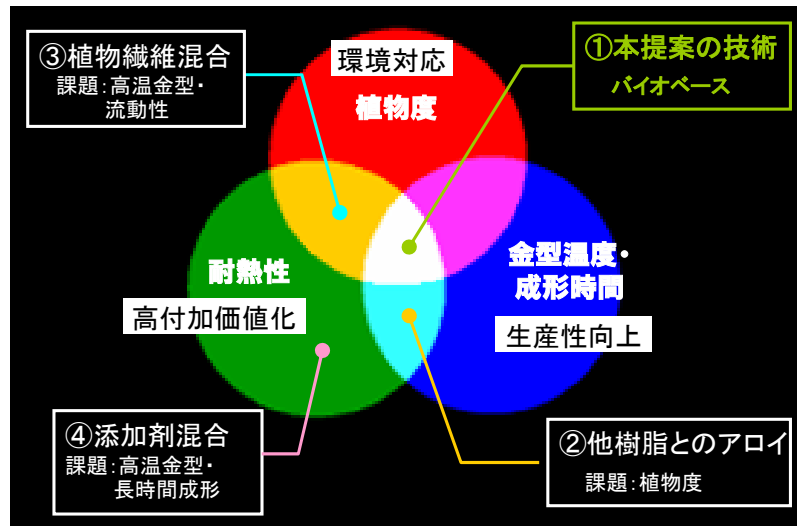


図 1-1-1 最新技術水準とのベンチマーク

1-1-2 研究目的及び目標

（1）研究目的

本研究開発は、上述のような川下製造業者からの要請に対して、植物由来樹脂（ポリ乳酸）の付加価値（耐熱性）、生産性を向上する植物由来の添加剤（高安全性）を開発し、自動車・情報家電用材料として実用化することで、地球温暖化の防止と、国内プラスチック産業の伸張に貢献することを目的としている。

（2）「高度化指針」において定める高度化目標

本研究開発は、高度化指針において定めるところの以下を高度化目標としている。

（A）情報家電に関する事項

ア.プラスチック成形加工に用いる樹脂材料、成形条件の選定技術

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

カ.環境に有害物質を放出しないシステム技術、エネルギー消費の少ないプラスチックの製造方法の開発、エネルギー消費の少ないプラスチックの成形方法の開発

ク.ポリマーアロイ化、高い配向性により高い強度を有する液晶ポリマー（LCP）、ポリマー構造をナノ制御したナノコンポジット等の材料に適した金型と成形方法を開発するための材料のデータベースの構築

(B) 自動車に関する事項

ウ、バイオ燃料（エタノール他）タンク等に用いられるプラスチック部品の耐バイオ燃料性の向上、
ポリ乳酸系の植物由来プラスチック等と既存材料との複合技術及びそれらの射出成形技術

(3) 高度化目標の概要

具体的目標値を次のように設定した。新材料とポリ乳酸の混合によっても植物由来である特徴を薄れることのないよう植物度を 98%以上とした。また、現在のポリ乳酸（PLA）の耐熱性は半硬質塩化ビニル並であり、20～30℃耐熱性を向上することで自動車内装部品などに使用できる用途はあるが、様々な用途に使用ができる汎用性の高い技術とするため、自動車外装や機構部品に用いることができる従来のエンジニアリングプラスチックの耐熱性を目標とした。また、成形時間についても、汎用性を高めるためにポリプロピレンなどの汎用樹脂の成形加工時間を目標とした。また、臭気や VOC の原因となる未反応物や低分子量体を低減するために、新材料における分子量 1000 以下の存在量 1%以下を目標とした。さらに安全な新材料であるために、以上の条件を満たしながら、化学物質審査規制法や労働安全衛生法への届出対応及び MSDS 作成に必要な試験を行うことを目標とした。これら目標を達成することで情報家電および自動車用材料として実用化可能となる

(4) サブテーマ毎の技術的目標値

研究目的を達成するため、研究開発を大きく 4 つのサブテーマに分け、それぞれの技術的目標値を以下のように定めた（表 1-1-1）。

表 1-1-1 サブテーマと各技術的目標値

研究項目 (サブテーマ)	技術的目標値	従来技術	
		植物由来	石油由来
1 添加剤最適化	・ 200℃溶融後毎分 100℃の冷却速度での冷却時結晶化発熱量 $\geq 40\text{J/g}$	・ 200℃溶融後毎分 100℃の冷却速度での冷却時結晶化発熱量 $< 20\text{J/g}$	・ 結晶性樹脂（PP、PET など）の結晶化促進技術は確立されている
2 混合技術開発	・ 熱変形温度 $\geq 110^\circ\text{C}$	・ ポリ乳酸耐熱温度： 56°C ・ 従来添加剤配合耐熱温度 $< 100^\circ\text{C}$	・ 熱変形温度 $\geq 110^\circ\text{C}$ （ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリカーボネート等）
3 成形技術開発	・ $30\sim 40^\circ\text{C}$ 低温金型 ・ 成形時間 < 30 秒	・ 110°C 高温金型 ・ 成形時間：70～420 秒	・ $30\sim 40^\circ\text{C}$ 低温金型 ・ 成形時間 < 60 秒
4 製造プロセス開発	・ 量産可能プロセス確立。 ・ 低分子（分子量 ≤ 1000 ）含有率 $< 1\%$ ・ 低コスト直接重合プロセスの確立 ・ 添加剤含む PLA $< \text{¥}500/\text{kg}$	・ ラクチド重合法（従来ポリ乳酸重合法：多段階）	・ 汎用樹脂 $\text{¥}150/\text{kg}$ ・ イソシアリクプラスチック $\text{¥}500/\text{kg}$ 程度

(5) 本研究開発の位置づけ

本研究開発では、これまでの基礎研究で得た技術を将来の量産事業化に結びつけるための、基盤技術の確立、実用化のフェーズであると位置づけている（表 1-1-2）。

表 1-1-2 本事業の位置付け及び開発範囲

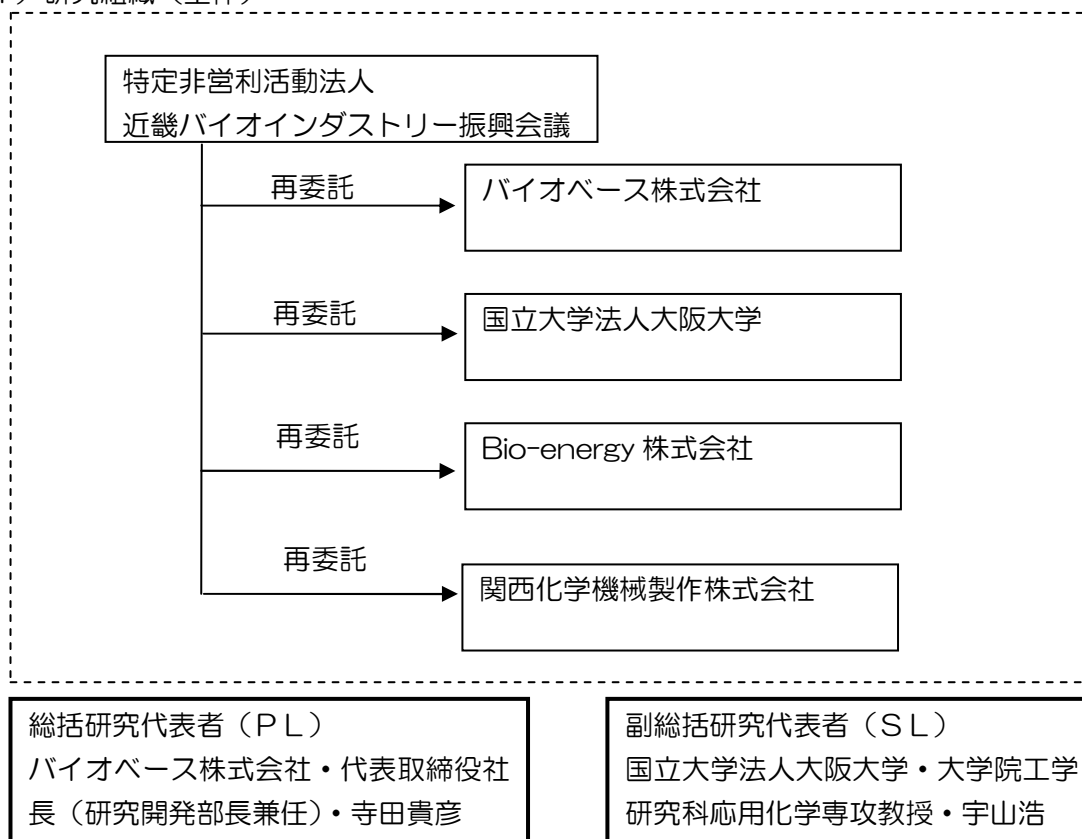
ステップ			1	2	3	4
フェーズ			基礎研究	基盤技術の確立	実用化	量産化
特定研究開発						
設定目標			新規添加剤の創製	実用性能の発現	サプル試作	製品化
実施項目	1.添加剤最適化	メカニズム解析	基本構造決定	設計指針明確化	実機での最適化	
		D-乳酸の活用	試薬使用	Bio-energy によるサンプル供試		Bio-energy による原料供試
	2.混合技術開発	ラボ攪拌機	攪拌機／溶解混合	—	—	—
		実機混練機	—	小型混練押出機使用	混練押出機での検討	混練押出機での検討
	3.成形技術開発	基礎物性評価	結晶化能で評価	—	—	—
		実用物性評価	—	成形性、耐熱性等評価	射出成形後、耐熱温度で評価	射出成形後、耐熱温度で評価
	4.製造プロセス開発		5～50g 合成方法開発	1～2kg 製造プロセス検討→ベンチ試験（～30L）	パイロット試験（1～3m ³ ）	プラント実証運転

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-2-1 研究組織及び管理体制

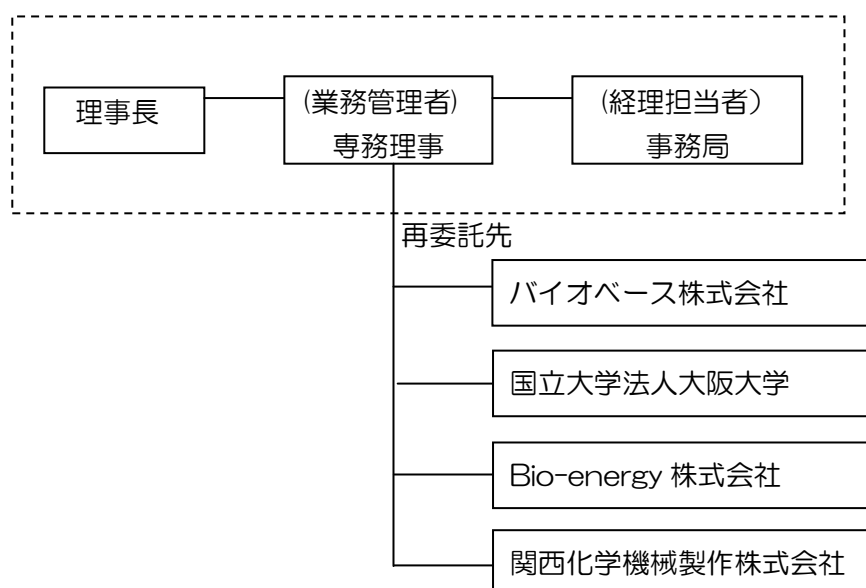
(1) 研究組織(全体)



(2) 管理体制

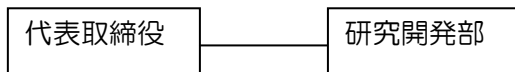
①事業管理者

[特定非営利活動法人近畿バイオインダストリー振興会議]

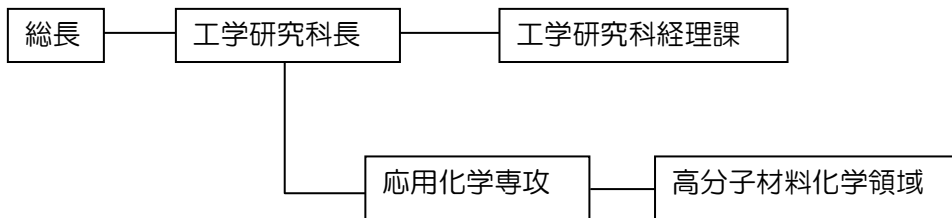


②（再委託先）

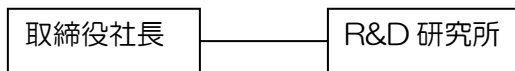
[バイオベース株式会社]



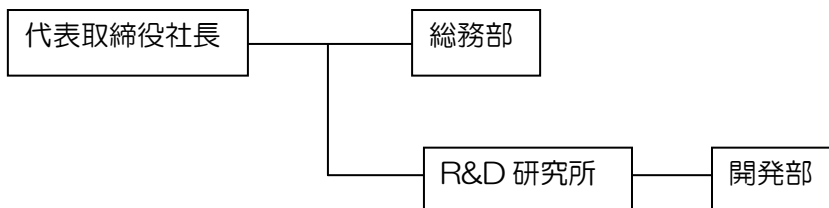
[国立大学法人大阪大学]



[Bio-energy 株式会社]



[関西化学機械製作株式会社]



1-2-2 研究者氏名

【再委託先】

バイオベース株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
寺田貴彦	代表取締役 兼 研究開発部長	①-1,2、②、③ ④-1,2,3
柳本 健	研究開発部 研究員	①-1,2、②、③ ④-1,2
内山 幸世	研究開発部 研究補助員	①-1,2、②、③ ④-1,2

国立大学法人 大阪大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
宇山 浩	工学研究科 応用化学専攻 教授	①-1
辻本 敬	工学研究科 応用化学専攻 助教	①-1

Bio-energy 株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
伊藤 芳光	R&D研究所 主任研究員	①-3
木原 真希	R&D研究所 研究員	①-3

関西化学機械製作株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
野田 秀夫	代表取締役社長	④-1
倉谷 伸行	R&D研究所 開発部 課長	④-1
柴田 由佳	R&D研究所 開発部 研究補助員	④-1,2

1-2-3 協力者（アドバイザー）

氏 名	所属・役職
寺澤 勇	三菱自動車工業株式会社 技術開発本部 材料技術部 マネージャー (樹脂材料技術担当)

1-3 成果概要

本研究開発の平成22年度の成果は以下の通りである。

①_r 添加剤の最適化（バイオベース株式会社、国立大学法人大阪大学、Bio-energy 株式会社）

初年度の検討により、開発中の添加剤がポリ乳酸マトリックス中に分散し、熔融状態からの冷却過程で、まず添加剤が結晶化し、その結晶が造核剤となり、表面にポリ乳酸鎖が吸着しエピタキシャルに結晶化が進行することが、第2年度の検討より添加剤の分子運動性を大きく向上させることで結晶化速度が大幅に向上することがわかった。最終年度である今年度は100kgスケールの生産においても目標である110℃を超える耐熱性138℃を実現できる添加剤の仕様を確立した。

①-1 メカニズム解明（大阪大学、バイオベース株式会社）

初年度の解析から添加剤がまず結晶化し、ポリ乳酸の結晶化を誘発することがわかった。そして第2年度の解析から、添加剤の分子運動性向上が重要であり、ガラス転移温度を低下させる条件を見出した。これを基に最適化を行うことで上記のサブテーマ全体の目標値を達成した。また、最終年度では、これらの観点から添加剤最終仕様を確定し、量産上の指針となる基礎データを蓄積した。

①-2 乳酸光学異性体による性能向上検討（大阪大学、バイオベース株式会社）

第2年度の検討から、添加剤単体として高い結晶化度を達成するためには、添加剤を構成する乳酸の光学純度を要求することがわかった。光学異性体としては、L-乳酸、D-乳酸に絞って検討する。ただし、L-乳酸からなるポリ乳酸に対して、D-乳酸からなる添加剤は、改質することなく（すなわち後工程を経ずに）結晶化促進することや、ポリ乳酸とより融点の高い（210℃）結晶を形成できること、D-乳酸を使用した添加剤の混合（10%）で、64%という過去にはない高結晶化度を実現できることを見出した。最終年度では、ステレオコンプレックスの微結晶がポリ乳酸の結晶化を促進していることがわかった。

①-3 低コスト D-乳酸の開発及び提供（Bio-energy 株式会社）

α -amylase 分泌 D-乳酸生産菌に glucoamylase を提示した菌を育種する事に成功した。これにより、添加していた glucoamylase の量を 1/2~1/3 に減少させることが可能となった。第2年度の検討で、J-ソスティープル(CSL)を用いて、生澱粉からの安価な D-乳酸発酵に成功した。ただ、CSL 由来の乳酸によって光学純度が低下してしまう問題も明らかとなった。まず、乳酸を含まない他の安価な培地を検討し、大麦焼酎粕由来の培地を用いることにした。この培地を用いて弊社が有する数株の乳酸菌に対して生育試験を行った結果、どの株も生育できることが明らかとなった。そこで、この培地を用いて生澱粉からの D-乳酸発酵を試みた結果、発酵効率は落ちるものの目標値である¥500/Kg D-乳酸発酵液が得られる見込みとなった。

② 混合技術開発（バイオベース株式会社）

実機仕様の 10L、100L バッチ混練、2 軸押出混練によりコンパウンドを良好に製造した。いずれの混練方法によっても冷却時に 30J/g 以上の発熱結晶化を示した。また、混練時のポリ乳酸の劣化抑制に対する混練条件検討を詳細に行った。100kg スケール混練生産仕様で、目標値である「混合物の冷却時結晶化発熱量 $\geq$ 40J/g（ただし添加剤混合量 $\leq$ 10%）」を上回る 41J/g を達成した。

③ 成形技術開発（バイオベース株式会社）

開発したコンパウンドを原料に、射出成形実験によって得られたサンプルの耐熱性を荷重たわみ温度計で評価したところ、従来ポリ乳酸の耐熱性 57℃を 80℃も向上した 138℃を達成し、今年度の目標である「耐熱性（熱変形温度） $\geq$ 110℃」を大きく上回った。また、成形材料の諸物性を評価したところ、耐熱性だけでなく耐衝撃性も従来ポリ乳酸の 4 倍であり、引張強度、曲げ強度を含めてポリプロピレンと同等の成形材料に仕上がっている。また、成形における熱劣化を抑制するた

めの成形時可塑化に関する詳細なデータを蓄積することができた。

また、成形時のドライブレンドで様々な着色に対応できることを見出しており、本事業終了後の実用化の可能性を拡大するものである。

④ 製造プロセス開発（バイオベース株式会社、関西化学機械製作株式会社）

実用化可能な量産工法を開発するため、本添加剤の合成規模をスケールアップして、量産プラント設計のための製造プロセス確立検討を行った。L-乳酸及び D-乳酸などを原料に、重合工程の最適化を行った。「低分子（分子量 ≤ 1000 ）含有率につき $\leq 1\%$ 」の目標に対し、0.00%を達成した。また、最終仕様での添加剤のコストが原料費、工賃も含めて目標付近である 400～600 円/kg を達成できる見込みである。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

(事業管理者)

特定非営利活動法人近畿バイオインダストリー振興会議

専務理事・クラスターマネージャー 遠山伸次

〒550-0004

大阪府大阪市西区靱本町 1 丁目 7 番 8 号

ビーイングビル 7 階

TEL : 06-6459-6795 FAX : 06-6447-7011

(総括研究代表者 (PL))

バイオベース株式会社

代表取締役社長 (研究開発部長兼任) 寺田貴彦

〒536-8553

大阪市城東区森之宮 1 丁目 6 番 50 号

大阪市立工業研究所第 5 創業支援研究室

TEL : 06-6963-8121 FAX : 06-6963-8121

第2章 本論

2-1 添加剤の最適化（サブテーマ①）

2-1-1 本事業前の成果

プラスチック加工製品の分野別生産比率でフィルムに次いで、容器と同等の割合を占めるのが機械器具部品であり、2007年の統計では12%を占める。家電製品、自動車、OA機器など各種機械器具部品が相当する。植物由来樹脂であるポリ乳酸は、力学物性等は既存のプラスチックに近い性質を示すものの、50～60℃の耐熱性しかなく、機械器具部品においては限られた用途にしか使用できない。ポリ乳酸の耐熱性の低さは、結晶化速度の遅さに起因する。ポリ乳酸はポリプロピレンと同等の約170℃の融点を有しながら、通常の成形加工条件では結晶化させることができないために、ガラス転移温度付近の耐熱性しかない。ポリ乳酸の耐熱性を高めるためにはポリ乳酸の結晶化速度を高めることが必要となる。耐熱性ポリ乳酸を開発するにあたり、できるだけ天然物を多く利用することでカーボンニュートラルへの貢献を高めることを考え、植物由来原料からなる結晶核剤の開発を目指した。これまでの基礎研究により、植物由来樹脂（ポリ乳酸）の結晶化速度を早めることができる植物由来添加剤を見出しており、分子構造の異なる多分岐型のポリ乳酸を添加することで、基材ポリ乳酸の結晶化を促進する新しい機構を開発している。すなわちポリ乳酸のみで結晶化を促進できる。

サブテーマ①添加剤の最適化では、基礎研究の結果に基づき、さらに上述の川下製造業者のニーズである環境対応、高付加価値化（特に耐熱性に絞った）、生産性向上、安全・快適の全ての要請に応えるべく、添加剤の分子デザイン最適化の検討をおこなった。特に本項では、添加物の構造と結晶性促進効果との相関性を検討することで結晶性促進のメカニズムを解明し、添加剤の設計指針を明確にすることを目的に実施した開発の内容を報告する。

2-1-2 開発方法

（1）開発のアプローチ

ポリ乳酸は結晶性高分子であり、本質的には十分に結晶化するポテンシャルを有しているが、汎用高分子をはじめとする種々の高分子材料の一般的に成形される条件下で成形すると（例えば金型温度50℃）、ほとんど結晶化が進行しない。一般的には金型温度を低く設定しポリ乳酸を非晶状態で固化させた成形品が得られるのみで、ポリエチレンテレフタレートに近い結晶化挙動であると云えよう。非晶状態のポリ乳酸成形品の耐熱性、特に熱変形温度は50～60℃であり、この変形温度はポリ乳酸のガラス転移点に関係している。すなわち結晶化が進行せず非晶状態の成形品を使用している限りにおいては、熱変形温度は50～60℃であるが、十分な結晶化が進行すれば、このような問題点は解決できるものと考えられる。

一般に不純物が全く混入していない高分子の結晶化（均一核生成）の速度は遅く、且つ生成する核の数は極めて少なく、その結果、高分子溶融体全体としても結晶化が遅い。この場合、結晶化促進を目的として、造核剤が使用される。造核剤は溶融した高分子マトリックス中に固体として分散し、結晶化過程において核生成を促進するもので（不均一核生成）、溶融高分子の冷却過程で造核剤表面からの高分子結晶のエピタキシャルな成長を促進するものである。核剤の基本性能は、核剤の表面の結晶と高分子結晶の整合性が決定付ける。従って、ポリ乳酸の結晶構造に近い表面を異物である核剤の表面として設計できるかが重要である。

本研究では、乳酸鎖によって構成されるポリマー型の添加剤を使用しており、ポリ乳酸と整合性は非常に高いが、さらに分子デザインを最適化することで結晶化を早める。

(2) 混練実験

ポリ乳酸と添加剤の混練はラボプラストミルで行った。予め加熱された混練部に約 80g の材料を投入すると、2 枚のブレードの回転によるせん断力で分配混合される。本テーマの実験では、混練部の加熱を 180℃、ブレードの回転を 50rpm で行った。なお、基材であるポリ乳酸と添加剤を同時に混練部に投入すると融点の違い、粘度の違いから混練性が良好でないために、先にポリ乳酸を投入し、ポリ乳酸が熔融して十分に粘度が下がったところで、添加剤を混練部に投入して混練した。

(3) 熱測定など評価実験

ポリ乳酸の特徴的な熱挙動はガラス転移と、融解である。ニートなポリ乳酸ではガラス転移温度は 55~60℃に、融点は 160~170℃に観察される。ポリ乳酸は半結晶性の高分子であり、結晶化領域とアモルファス領域が混在する。結晶化度の向上は、結晶領域の増加、すなわち融解熱量の増加として観察される。また、成形時の過冷却状態での結晶成長は、熔融状態から急冷過程での発熱減少として観察される。また、ガラス転移は分子の運動性の指標であり、結晶化過程での分子運動性についてはガラス転移温度で評価することができる。本テーマでは示差走査熱量計 (DSC) により混練サンプルの熱特性のうち、ガラス転移温度、融点、融解熱量、融解後冷却時の結晶化温度・発熱量を測定した。

2-1-3 添加剤の効果測定

ポリ乳酸単独および開発の添加剤を混合したポリ乳酸の DSC 測定を行った。下左図が熔融状態からの冷却過程のチャート、右図が 105℃における等温結晶化のチャートである。左図より、毎分 100℃での冷却過程においてポリ乳酸単独ではピークが殆ど見られないのに対し、添加剤により大きな発熱ピークが観測された。これは熔融後の冷却時に結晶性が添加剤による大きく向上していることを示している。また、右図のチャートより、熔融状態から急冷し 105℃で保持した場合、添加剤の混合によりポリ乳酸の結晶化ピークが左へシフトしており、結晶化速度が上昇していることが示された。結晶化が速くなったことから、射出成形などにおいて成形性（成形時間の短縮）が向上すると考えられる。

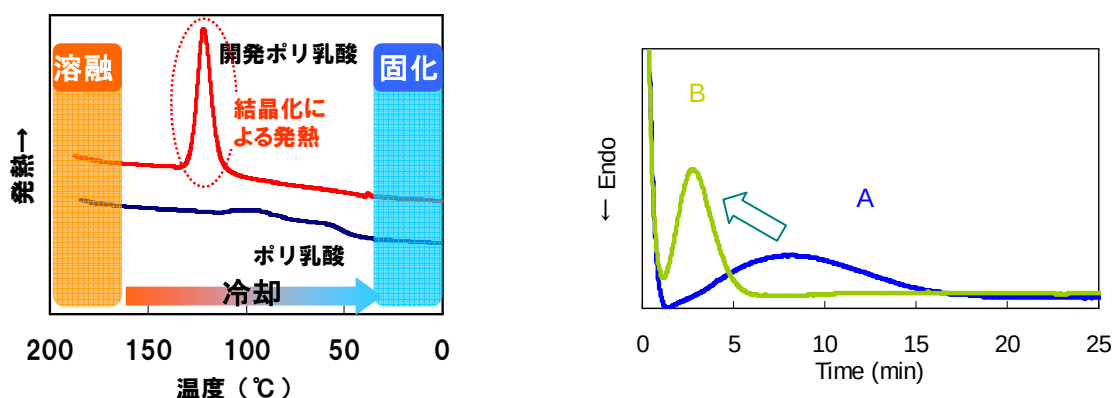


図 DSC 曲線 (青) ポリ乳酸、(赤) 添加剤混合ポリ乳酸 (冷却過程)

図 DSC 曲線 (A) ポリ乳酸、(B) 添加剤混合ポリ乳酸 (95:5 wt%) (105℃等温結晶化) ..

ポリ乳酸単独とポリ乳酸コンパウンドの偏光顕微鏡観察を行った。サンプルを熔融後、室温まで冷却した際の結晶について観察した (次頁図)。左がポリ乳酸の偏光顕微鏡観察の写真であり、右が同様に撮影した添加剤とポリ乳酸のコンパウンドフィルムの写真である。これより、添加剤により結晶の数が増大していることがわかった。また、結晶径が小さくなっており、添加剤により結晶が微細化されたことも示された。これらより、偏光顕微鏡観察からも、添加剤

により結晶化が促進されていることが明らかとなった。

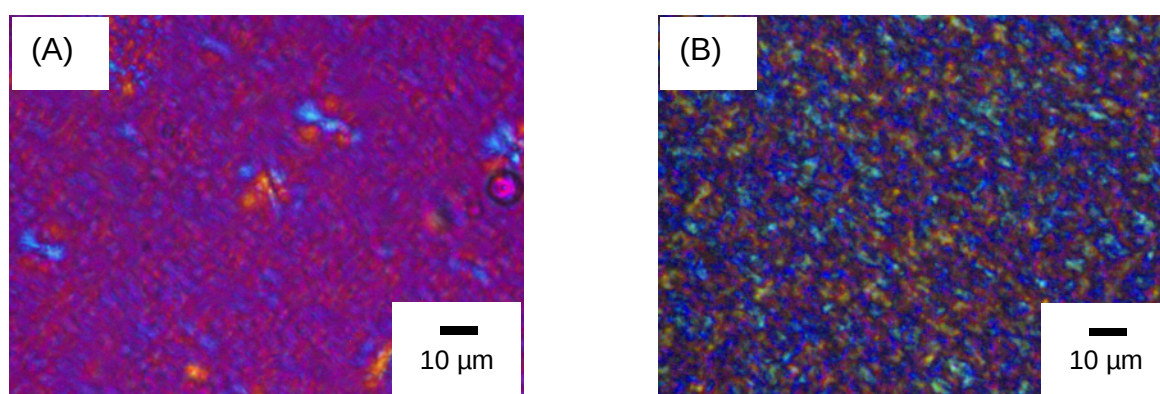


図 偏光顕微鏡写真 (A)ポリ乳酸、(B) 添加剤混合ポリ乳酸。

2-1-3 低コスト D-乳酸の開発および提供

添加剤の高機能化が期待できる原料として D-乳酸の開発検討を行っている。2 年目の検討で *Spololactobacillus inulinus* JCM6014^T を用いて D-乳酸発酵を行ない、kg あたり¥4800 と試薬の D-乳酸よりも安くできることを報告した。しかし、試薬のグルコースが約半分のコストを占めているため本年度はバイオマスからの D-乳酸発酵を行なった。バイオマスとしてキャッサバの生澱粉を使用し、1.8kg を仕込み、*Streptococcus bovis* 148 由来 α -amylase とグルコチーム#20000(ナカセケムテックス) glucoamylase を用いて、1.34kg の D-乳酸を回収した(89.4g/L)。発酵コストはグルコースを澱粉系バイオマスに置き換えたことにより半額の¥2400 以下でできる見込みとなった。しかし、酵素剤の添加や発酵培地にコストがかかっているため更なる検討が必要である。そこで、弊社と共同研究先である神戸大が育種した D-乳酸生産菌 *Lactobacillus plantarum* NCIMB8826 Δ ldhL::amyA¹)を用いて D-乳酸発酵を行なうことにした。Clostridium thermoamylolyticum 由来の glucoamylase 遺伝子(CTGA)を表層提示用 plasmid pCUA に導入した(pCUA-CTGA)。これを、D-乳酸生産菌 *Lactobacillus plantarum* NCIMB8826 Δ ldhL::amyA に形質転換し、 α -amylase 分泌、glucoamylase 表層提示 D-乳酸菌を育種することに成功した。これにより、添加するグルコアミラーゼの量を 1/2~1/3 に減少することができる。草本系バイオマスからの乳酸発酵も視野に入れ、Endoglucanase, Cellobiohydrolase, β -glucosidase のクローニングならびに乳酸菌での発現を試みたが Endoglucanase 分泌株のみしか取得できなかった。低コスト培地での D-乳酸発酵の検討を行ったところコーンステープリカー(CSL)培地を用いて、グルコアミラーゼを添加する系において、D-乳酸を Kg 生産するために可溶性澱粉で 800 円、生澱粉で 550 円、多収量米で 250 円となったが、CSL 持込の L-乳酸が光学純度低下を引き起こしており、目標の光学純度に達していなかった。そこで、光学純度の問題を解決するために、乳酸を含有しない他の培地を検討する事にした。候補として、麦焼酎製造過程で廃棄される焼酎粕を利用した培地「バーレックス」)を試験した。D-乳酸生産菌 *L. plantarum* NCIMB8826 Δ ldhL::amyA を用いて可溶性澱粉、生澱粉、多収量米と発酵試験を行った結果、どの原料でもいい成績を出した。そこで、初期の原料仕込み濃度を上げられるか検討したところ、当初よりも発酵効率は落ちてしまうが原料を多く仕込んで D-乳酸発酵液コストを目標の¥500/Kg まで安くする事に成功した。

2-2 混合技術開発（サブテーマ②）

2-2-1 混合技術の必要性と目的・目標

本章では、開発添加剤の植物由来樹脂（ポリ乳酸）への混合を最適化した検討結果を報告する。添加剤が生成する結晶とポリ乳酸結晶の整合性も重要である一方で、数（ポリ乳酸マトリックス中の添加剤結晶表面の数）も重要である。数多くの添加剤結晶表面がポリ乳酸中に分散していることで、生成する結晶の数も増加し、結果として系全体の結晶化の促進につながる。しかし、混入量をやみくもに増やすことは、混合を困難にするだけでなく、コストアップや他物性（強度など）の低下につながる。少ない添加量で均一分散安定化させることが重要である。

また、混合は植物由来樹脂が成形品になるまでに経る初めの熱過程である。どんな樹脂材料でも熱過程によって劣化することは避けられないことであるが、ポリエステル樹脂であり、脂肪族であり、エステル結合濃度の大きいポリ乳酸は、より劣化しやすい。そのため、混合過程においては、ポリ乳酸と添加剤を良く混合することはもちろん重要ではあるが、混合のための加熱、せん断により劣化させないことが重要である。熱過程における分子量低下は、強度など物性低下となり、分子量低下時に生成する乳酸やラクチドなどの低分子、単量体の生成は、その後の経時劣化を加速度的に促進する。そのため混合技術の開発が必要となる。

本サブテーマでは、開発添加剤最終仕様での植物由来樹脂（ポリ乳酸）への混合を最適化が目的であり、混合物の冷却時結晶化発熱量 $\geq 40\text{J/g}$ （ただし添加剤混合量 $\leq 10\%$ ）が目標値である。

2-2-2 実験手法

（1）小スケールバッチ式混練実験

ポリ乳酸と添加剤の混連はラボプラストミルで行った。予め加熱された混練部に約 80g の材料を投入すると、2 枚のブレードの回転によるせん断力で分配混合される。本テーマの実験では、混練部の加熱を 170~200℃、ブレードの回転を 50rpm で行った。なお、基材であるポリ乳酸と添加剤を同時に混練部に投入すると融点の違い、粘度の違いから混練性が良好でないために、先にポリ乳酸を投入し、ポリ乳酸が溶融して十分に粘度が下がったところで、添加剤を混練部に投入して混練した。

（2）大スケールバッチ式混練実験

ポリ乳酸と添加剤の混連を、混練性の向上による結晶化効果増大及び実機試作も目的として大型バッチ式混練実験を行った。まずは、10L 容量の加圧型ニーダーにより混練を行い、次にフィーダルーダーにより連続移送し、押し出したストランドをホットカッターにより破碎して、最後に造粒機による冷却して成形材料（ペレット）を得た。また、100L スケールでも混練試験を行った。

（3）連続混練実験

ポリ乳酸と添加剤の連続混連は 2 軸押出混練機で行った。ポリ乳酸と添加剤をツインフィードでホッパーへ供給し、2 軸混練機で押し出す。2 軸混練機による混練条件は、スクリュー径 15mm または 30mm、L/D=40、回転数は 100~300rpm、フィード量 1~20kg/h である。また、押し出したのち、コールドカットまたはホットカットでペレット化した。コールドカットは、ダイスから吐出したストランドを水浴により冷却固化した後、ペレタイザーで破碎ペレット化する。また、ホットカットは、ダイバーターから吐出した樹脂を水流中で回転刃によりカットし、水流により遠心分離機まで移送され、遠心脱水した樹脂をブローアでさらに移送して回収する。ホットカットでは球形のペレットが得られる。

（４）熱測定など評価実験

ポリ乳酸の特徴的な熱挙動はガラス転移と、融解である。ニートなポリ乳酸ではガラス転移温度は 55~60℃に、融点は 160~170℃に観察される。ポリ乳酸は半結晶性の高分子であり、結晶化領域とアモルファス領域が混在する。結晶化度の向上は、結晶領域の増加、すなわち融解熱量の増加として観察される。また、成形時の過冷却状態での結晶成長は、熔融状態から急冷過程での発熱現象として観察される。また、ガラス転移は分子の運動性の指標であり、結晶化過程での分子運動性についてはガラス転移温度で評価することができる。本テーマでは示差走査熱量計（DSC）により混練サンプルの熱特性のうち、ガラス転移温度、融点、融解熱量、融解後冷却時の結晶化温度・発熱量を測定した。

2-2-3 小スケールバッチ式混練実験

180℃で熔融させたポリ乳酸に添加剤を配合してブレードを回転して混合する。添加剤配合後はしばらく添加剤の潤滑化効果で回転に負荷がかからないが、50rpm で 2~5 分回転を続けることで、負荷がかかり始め、さらに 2~3 分後にはトルクが一定となり良好な混練となる。トータル所要時間は 5~8 分である。ポリ乳酸へ添加剤投入後、いったんトルクは低下するが混練により混合が進むとトルクは上昇し、再度安定化する。良好な混練を達成できたが、缶体およびブレードが高温であるため、混練後のサンプルは缶体およびブレードに付着している。冷却後においては付着は認められなかった。

市販ポリ乳酸（Nature works 社製）に添加剤を加えて作製したコンポジットを熔融した後、冷却時の結晶化挙動について冷却速度を変化させて評価した。結晶化は発熱を伴うので発熱量の大小によって結晶化の程度を評価することができる。その結果、毎分 100℃の冷却速度でも半結晶性のポリ乳酸がかなりの割合で結晶化していることがわかった。また、これは既に上市あるいは実用されている他の添加剤の結晶化能よりも優れていることがわかった。開発の添加剤と、市販ポリ乳酸を原料に、ラボプラストミルを用いて混練して得たコンポジットについては、褐色化や軟化など外観的劣化は認められず、また SEC による評価でも基材ポリ乳酸と添加剤の分子量の2つのピークが観察されており、基材ポリ乳酸の分子量は市販のものとはほぼ変化はなかった。よって、開発の添加剤の混練によってもポリ乳酸の物性や信頼性が損なわれることはない。

2-2-4 大スケールバッチ式混練実験

開発の添加剤と、ポリ乳酸を 10L ニーダ、押出機により混練りした。まずニーダの缶体温度を 60℃にしたところ混練によっても発熱せず、熔融まで至らなかったため、100℃まで昇温したところ熔融、ゲル化し、混練することができた。2 バッチ目は初期から 100℃まで昇温したところゲル化し、混練することができた。混練後はニーダ内への付着も少しあるが、冷えると付着はなかった。押出においては、ケーシングおよびシリンダ温度をおよそ 160~170℃に設定することで、良好に押出、カットすることができたが、少し温度を上げると粘度が下がりホットカットが難しく、ルーダ回転数、カッター回転数を下げて調整した。また少し温度を下げると粘度が高いために押出負荷が上がることから、条件の選定範囲が狭く、課題となった。また、フィーダの付着は無いが、ペレット同士の互着が少しあることから、設定粘度はもう少し高めが良い。設備条件とのマッチングが課題である。また、ホットカットすることで高温で水と接することもなく、コンパウンド生産時の初期劣化を防ぐことができる。また、ペレット化の状態では樹脂は既にある程度結晶化しているために、成形前の加熱やホッパーでのブロッキングがなく、その点からも当方式は有効である。

2-2-5 連続混練実験

スクリー径 30mm の混練機に、ツインフィードで添加剤とポリ乳酸を供給してコンパウンドを作製した。混練機の長さである L/D は 40 である。スクリーデザインを変えながら、スクリー温度、スクリー回転数を調整して、コンパウンドを製造した。まず、ポリ乳酸単体で素通し混練を行い、ポリ乳酸の分子量と熱特性を評価し、スクリーデザインなどの最適化を行った。その結果、せん断を増し、温度を下げた方が、混練後のポリ乳酸の分子量低下は少ない。さらに、より低温の条件でも、分子量の低下は少ないが、低分子量が増加の傾向にあるため、実用化混練では、分解劣化の主要因である低分子生成を抑制するため、ベント真空排気や窒素通気が必要であると思われる。

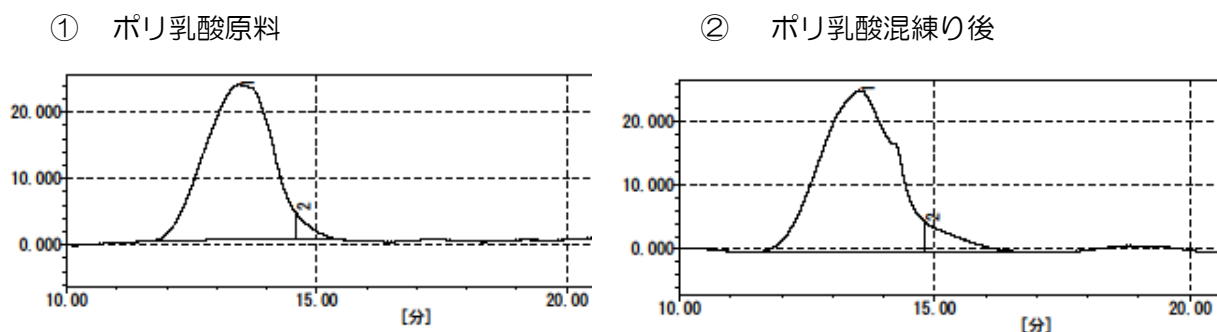


図 混練後ポリ乳酸分子量測定結果例（SEC 測定生チャート）

次に、ポリ乳酸と添加剤を供給し、混練の最適化を行った。せん断を増した方が、混練後のポリ乳酸の結晶化向上効果は大きいことがわかった。よりせん断を加え、温度を低下させた条件を今後検討する。また、ポリ乳酸単独と同様に、低分子量は分解劣化の主要因であるので、ベント真空排気や窒素通気が必要となる。混練後のコンパウンドについて、成形時の可塑化条件（温度、回転数）などを詳細に検討した。

以上の検討により最適化した混練手法で作成したコンパウンドの溶融後冷却時の発熱量を測定した。開発添加剤を 8% 混練したコンパウンドを溶融した後、毎分 100℃ で冷却した時の発熱量は 41.4J/g であり、今年度の目標を達成した。このコンパウンドで成形した成形品の耐熱温度は 130℃ に相当する。

2-3 成形技術開発（サブテーマ③）

2-3-1 混合技術の必要性と目的・目標

本章では、開発添加剤を配合した植物由来樹脂（ポリ乳酸）の成形条件最適化の検討結果を報告する。成形プロセスで、良好な可塑性溶解、金型への充填、冷却固化過程での結晶化が最適に行われないと、耐熱性の高い良好なポリ乳酸成形品を得ることができない。

また、成形は、混合に続いて植物由来樹脂が成形品になるまでに経る2回目の熱過程である。どんな樹脂材料でも熱過程によって劣化することは避けられないことであるが、ポリエステル樹脂であり、脂肪族であり、エステル結合濃度の大きいポリ乳酸は、より劣化しやすい。そのため、成形混合過程においては、良好なポリ乳酸成形品を得ることはもちろん重要ではあるが、成形のための可塑性における加熱、せん断により劣化させないことが重要である。熱過程における分子量低下、強度など物性低下となり、分子量低下時に生成する乳酸やラクチドなどの低分子、単量体の生成は、その後の経時劣化を加速度的に促進する。そのため成形技術の開発が必要となる。

2-3-2 射出成形実験

予め乾燥したポリ乳酸を原料に、射出成形実験を行い、テストピースを成形試作した。射出成形においては、シリンダ温度、スクリュウ回転数を主に変更し、23種の条件でテストピースを成形した。射出成型機は型締力50トンの住友重機械工業株式会社SE50DUZを用いた。上記23種の条件で成形した成形品の分子量を測定した。成形品においては、いずれも初期のポリ乳酸ペレットよりも分子量が低下することが確認された。また、SECデータなので多少のばらつきはあるものの、全データからは成形においては、十分な温度、せん断を与えて可塑性化した方が、成形品の分子量低下は少ない傾向がみられた。

次に、30mm2軸押出混練機を素通ししたポリ乳酸を原料に、射出成形実験を行い、テストピースを成形試作した。射出成形においては、シリンダ温度、スクリュウ回転数を主に変更し、23種の条件でテストピースを成形した。上記23種の条件で成形した成形品の分子量を測定した。成形品においては、いずれも混練後ポリ乳酸ペレットよりも分子量が低下することが確認された。また、SECデータなので多少のばらつきはあるものの、全データからは成形においては、十分な温度、せん断を与えて可塑性化した方が、成形品の分子量低下は少ない傾向がみられた。これは先の混練なしのポリ乳酸ペレットと同じ傾向である。

最後に、30mm2軸押出混練機を用いて添加剤を混合したポリ乳酸を原料に、射出成形実験を行い、テストピースを成形試作した。射出成形においては、シリンダ温度、スクリュウ回転数を主に変更し、16種の条件でテストピースを成形した。上記16種の条件で成形した成形品の分子量を測定した。これらの成形品はもともとポリ乳酸より低分子の添加剤を含むために、平均分子量はポリ乳酸単独に比べて低くなるが、成形品においては、いずれも混練後ポリ乳酸ペレットよりも分子量が低下することが確認された。また、SECデータなので多少のばらつきはあるものの、全データからは成形においては、十分なせん断を与えて可塑性化した方が、成形品の分子量低下は少ない傾向がみられた。今後は、混合量の異なるポリ乳酸ペレットについても同様に検討し、量産のためのデータを蓄積する。

2-3-3 耐熱評価実験

予め混練して得たコンパウンドを原料に、射出成形実験によって得られたサンプルの耐熱性を荷重たわみ温度計で評価し、従来ポリ乳酸と比較した。射出成型機は東洋機械金属株式会社S i - 8 O IVを用いた。シリンダ、ノズル温度は160-180℃で行った。荷重たわみ温度計は安田精機製、HEAT DISTORTION TESTER No.148 HD-500-PC TYPEを用いた。荷重たわみ温度測定（低荷

重)の結果によると、添加剤を加えていないポリ乳酸ではガラス転移温度の 57℃しか耐熱性がないが、開発の添加剤の効果により耐熱性は 134℃～138℃を記録した。従来品よりも 80℃程高く、本プロジェクトの目標である 110℃大きく上回った。

2-3-4 着色試験

予め混練して得たコンパウンドを原料を材料に、様々な色材、着色剤（21 種類）をドライブレンドで加え、射出成型機で成形し、成形品の着色を観察した。比較的淡い色もきれいに発色しており、ある程度の着色に対応できることがわかった。着色可能となったことで、応用性は格段の広がりをみせる。



図 開発ポリ乳酸コンパウンド成形品の着色試験

2-3-5 射出成形品の物性評価

予め混練して得たコンパウンドを原料に、射出成形実験によって得られたダンベル等の試験片サンプルの強度、衝撃強度などの物性を JIS 規格に則って測定した。測定結果を、従来ポリ乳酸と比較した。射出成型機は東洋機械金属株式会社 S i - 8 0 IV を用いた。シリンダ、ノズル温度は 160～170℃で行った。開発ポリ乳酸の諸物性を下表にまとめた。開発ポリ乳酸（PLA）では、結晶化速度を早めたことにより耐熱温度が向上しているばかりか、耐衝撃性も向上している。耐衝撃性のため、引張強度、曲げ強度共に従来ポリ乳酸よりも低下しているが、本事業で自動車用、情報家電用としての実用化の際に目標となるポリプロピレンに非常に近い諸物性を示しており、生産性をさらに向上させることにより、川下事業者のニーズに応え得るプラスチック材料とすることができる。

表 開発コンパウンドの諸物性

試験項目		開発 PLA	従来 PLA	PP
密度	g/cm ³	1.21	1.25	0.91
引張強度	MPa	34	61	20～30
引張破断伸度	%	10	4	>200
曲げ強度	MPa	56	110	30～40
曲げ弾性率	GPa	1.9	3.5	1.0～1.4
Izod 衝撃強度(ノッチ付)	kJ/m ²	4～8	2	8～10
荷重たわみ温度（低荷重）	℃	137	55	110
ガラス転移温度	℃	41	55	—
融点	℃	166	166	—
結晶化度	%	45	25	—
生産性（型温／時間）	℃／sec	90/30	110/600	40/30

2-4 製造プロセス開発（サブテーマ④）

実用化可能な量産工法を開発する必要があり、本添加剤の合成規模をスケールアップして、量産プラント設計のための製造プロセス確立検討を行った。まずは、①添加剤の最適化における合成の試験結果を元に、プロセス開発をスケールアップしながら行う。小スケールでの合成手法と同様の手順で合成を実行し、薬剤の使用量や各工程の課題を抽出した。ラボスケールでの合成試験を繰り返し、各工程の主要条件と具体的手段を決定した。

本年度の検討では、重合工程開発と後工程開発に分けて検討を行った。重合工程開発では、本添加剤の合成規模をスケールアップして、量産プラント設計のための製造プロセス確立検討を行った。反応スケールは、1~2kg、3~7kg、10~20kg の3段階である。試験検討の結果、運転条件や装置構成を改良して運転方法の最適化を行った。また、後工程開発についても実用化可能な量産工法を開発する必要があり、本添加剤の合成規模をスケールアップして、量産プラント設計のための製造プロセス確立検討を行った。

2-4-1 重合工程開発

重合反応の装置は、反応缶で重合を進めると共に生成した水分とモノマーを分離するために蒸留塔をつけ、真空ポンプにより層内を減圧にして水分を除去する構成からなる。

【実験1】5Lスケール重合実験

これまでのラボスケールでの合成実験で得られた知見を元に、約5L装置での合成実験を行う。またラボスケールでの試験結果と運転条件から装置構成を改良して運転方法の最適化を行うためのデータを取得した。実験装置を下図に示す。実験装置は、タンク容量5Lである。ジャケットの封液にはドデカンを使用しており、加熱温度は250℃程度まで昇温が可能である。

本重合実験では、分子量は狙い通り、生成物の重量は3.25kgであり、理論収量ほぼ100%の回収率であった。さらに生成物の酸価を常法により測定したところ1KOHmg/gであり、残存モノマー、分解生成脂肪酸などが殆ど副生しない反応系であると言える。得られた重合物の分子量1000以下の成分は分子量測定において検出されず（0.0%以下）となり、収率と共に目標を達成した。なお、この重合物を原料に、後工程に供試して添加剤を合成したところ、熔融後の急冷（毎分100℃）時に41J/gの発熱量を示した。



図 合成実験装置

【実験 2】20kg スケール重合実験

これまでのラボスケールでの合成実験で得られた知見を元に、約 30L 装置での合成実験を行った。またラボスケールでの試験結果と運転条件から装置構成を改良して運転方法の最適化を行うためのデータを取得した。実験装置は、タンク容量 30L である。ジャケットの封液にはドデカンを使用しており、加熱温度は 250℃程度まで昇温が可能である。回収された生成物を冷却後に分子量を測定したところほぼ仕込の狙い通りであった。また、収率は 90%を超えた。

2-4-2 後工程開発

重合、変性後の精製を目的として、濾過乾燥機（FILTER RENOVATION DRYER、下図）による分離、洗浄、乾燥試験を行った。この装置の特徴は、乾燥品の残量が極めて少ない、フィルターの破損が少なく交換作業が容易である、伝熱面積が大きく短時間での乾燥に優位である点である。

この装置に、変性反応物を投入し、系内に圧縮空気による 0.1MPa の加圧でろ過をした。次に、洗浄水を加えては、加圧ろ過を行うこと 2 回繰り返した。この後、装置を反転し、ろ布表面を掻き取り、80℃で真空乾燥を行った。真空乾燥中は 50rpm で内容物を攪拌した。30 分後に取りだすと、内部は直径 2~3cm の球状に造粒していた。さらに回転数を 150rpm まで変えて 10 分間乾燥しても、内部の形状などには影響はなく、球状のままであった。これをさらに 80℃で昼夜真空乾燥して得られた球状粉体を破碎して粉体添加剤を得た。この添加剤の結晶性を DSC で測定したところ、溶融後の急冷時（毎分 100℃）発熱量が 43J/g あった。また、今回は 90L の装置で試験を行ったが、大型容器（1800L）で製造を行えば、1 バッチ約 100kg の添加剤生産が可能となる。



図 FR DRYER の外観

第3章 全体総括

3-1 3年間の研究開発成果

サブテーマ①添加剤の最適化

初年度の検討により、開発中の添加剤がポリ乳酸マトリックス中に分散し、熔融状態からの冷却過程で、まず添加剤が結晶化し、その結晶が造核剤となり、表面にポリ乳酸鎖が吸着しエピタキシャルに結晶化が進行することが、第2年度の検討より添加剤の分子運動性を大きく向上させることで結晶化速度が大幅に向上することがわかった。第3年度においては、各サブテーマ②、③、④の目標を達成しうる添加剤を開発し、最終仕様を確立した結果、添加剤単体での結晶化度 $\geq 50\%$ を達成した。

また、添加剤を高性能化できる可能性のある原料 D-乳酸については、市場には殆ど出回っておらず、また非常に高価である。そこで、D-乳酸の低コスト生産の検討および D-乳酸サンプルの提供の検討を行い、原料供給の確保をはかる。初年度はグルコースからの D-乳酸発酵を行ない、サンプル原料および低コスト生産の検討を行った。第2年度においては、生キャッサバ澱粉からの D-乳酸発酵を行った。最終年度は、低コスト培地を用いての多収量米からの D-乳酸発酵を検討し、¥500/Kg 以下のプロセス開発にめどをつけた。

サブテーマ②混合技術開発

開発添加剤の植物由来樹脂（ポリ乳酸）への混合を最適化する。添加剤が生成する結晶とポリ乳酸結晶の整合性も重要である一方で、数（ポリ乳酸マトリックス中での添加剤結晶表面の数）も重要である。数多くの添加剤結晶表面がポリ乳酸中に分散していることで、生成する結晶の数も増加し、結果として系全体の結晶化の促進につながる。しかし、混入量をやみくもに増やすことは、混合を困難にするだけでなく、コストアップや他物性（強度など）の低下につながる。少ない添加量で均一分散安定化させることが重要であることがわかった。初年度～第2年度では混合後の冷却時結晶化発熱量を目標としたが、量産スケール成形品でも目標を達成した。最終年度は添加剤最終仕様で同じ目標値達成しつつ、添加剤最終仕様の混練仕様条件を確定した。

サブテーマ③成形技術開発

初年度～第2年度では市場ニーズに合わせて変更した目標値も含めて、成形時間＝30 秒（金型温度 90℃）、耐熱性＝130℃を達成した。最終年度も、①の添加剤最適化、②の混合技術と合わせて、成形の最適化を行い、138℃の耐熱性を実現した。また、評価用試験片の成形試作だけでなく、実成形機、実金型を用いた成形試作を行い、200～800 トンの大型成形機での試作によって得られる大型成形品まで十分に適応可能であることがわかった。最終年度も実機試作を行い、成形品の評価と共に、成形仕様の確立を目指す。

サブテーマ④製造プロセス開発

実用化可能な量産工法を開発するため、①の検討で得られる添加剤の最終仕様の合成規模を、3年間かけてスケールアップして、量産プラント設計のための製造プロセス確立検討および工賃試算を行ってきた。その結果、高い収率で製造でき、最終仕様での添加剤のコストが原料費、工賃も含めて目標付近である 400～600 円/kg を達成できる見込みである。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

3 年間戦略的基盤技術高度化支援事業で開発した実用化技術をベースに、新規添加剤を混合したポリ乳酸コンパウンドを商材として、2 年後に年産 100 トン、5 年後に年産 3,000 トンの事業化展開を計画している。そのための課題は次の4項目、①ハイサイクル添加材仕様開発、②コンパウンド生産工法確立、③成形品生産工法確立、④連続式添加剤生産プロセスの開発である。これらを補完研究にて実施する予定である。

①ハイサイクル添加剤仕様開発

添加剤分子設計や補助剤の開発により更に結晶化性能を向上させ、ポリ乳酸溶融後急冷時での結晶化完了、すなわち如何なる成形温度においても、短時間で結晶化が完了する生産性の高い、高耐熱ポリ乳酸コンパウンドを実現するための添加剤開発を行う。

②コンパウンド生産工法確立

2 軸押出混練機（スクリー径 30mm、46mm）での生産における製造仕様（スクリーデザイン、スクリー回転数、シリンダ温度、フィード量、造粒方法、その他）の確立

③成形品生産工法確立

量産射出成形機でのコンパウンド可塑化条件（シリンダ温度、回転数）、射出条件（射出速度、保圧、背圧等）の確立と金型設計指針の確立

④連続式添加剤生産プロセスの開発

添加剤生産数量の拡大、生産安定化、低コスト化を実現する連続式添加剤生産プロセスを開発する。

また、本事業による研究開発における成果として、「コンパウンド」「成形品」の2つの商材が挙げられるが、前者では成型メーカー、ユーザーが一体となった商品開発が必要である。また、後者ではプロトタイプによる企画営業が必要である。本研究開発の成果を、確実に事業化に結びつけるために、これら営業活動も大きな課題であり、補完研究とあわせて実施する予定である。