

平成 27 年度採択
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

「微細発泡技術を用いた軽量化プラスチック食品容器の開発」

研究開発成果等報告書

平成 30 年 5 月

担 当 局 四国経済産業局
補助事業者 株式会社テクノネットワーク四国

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
- 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2-1 実施内容と成果

- 【1】微細発泡技術の開発
 - 【1-1】化学発泡技術の開発
 - 【1-2】超臨界発泡技術の開発
- 【2】2種3層発泡プラスチックシートの作製と物性評価
- 【3】試作品成型

第3章 全体総括

- 3-1 研究開発成果
- 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

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

『食の安心・安全』の食文化の多様化や食の安全・安心、環境問題への関心の高まりに伴い、プラスチック製食品包装容器に求められる機能や役割は、より重いものへと変化している。食品には水分が含まれるため、水漏れ防止のため食品包装としてはプラスチックが多く使用される。便利である一方、廃棄物の蓄積と処理の困難性という課題が残っている。経済産業省においても 3R 政策（Reduce：発生抑制、Reuse：再使用、Recycle：再資源化）を推進しており、プラスチックの減量化、あるいは生分解性バイオマスプラスチックへの代替を進めている。

このような動きは各社に見られ、例えば、エレクトロニクス製品の搬送時に使用する梱包材として、微細発泡プラスチック材が開発されている。搬送時の衝撃に耐えうる強度を保持した製品として使用されているが、材の全体を発泡状態にしているため、食品を扱うには不向きである。

一方、食品用の容器としては、電子レンジで温め可能なナノハイブリッドカプセル入り食品容器が開発されているが、カプセルの大きさに依存するため、添加量を多くすれば強度が保持できない可能性があるという課題が残っている。

これまで軽量化に向けた開発として、プラスチックシートの厚みを薄くすることで対応してきたが、食品容器として強度を保持するには限度があり、薄くするだけでは対応できない。食品用容器としての強度を保持しつつ、表面は滑らかで、かつ従来製品よりも 30%軽量化を実現できる新規プラスチック包装容器の技術開発が必要である。

本提案では、包装容器成型前のプラスチックシートを 3 層とし、中間層を発泡層とすることで、2 種 3 層の新規発泡プラスチックシートを開発し、軽量化を図りつつ強度も保持する新たな食品容器の開発に取り組んだ。

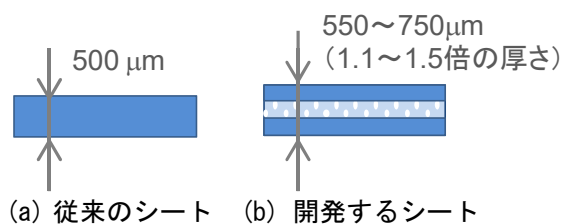


図1-1 開発するプラスチックシートの断面概略図

軽量化の目標値としては、製品成型時における重量の従来比 30%減達成を目指した。これらの開発は、製品の製造時コストの低減、ひいては製品のライフサイクルコスト全体の低減に繋がることが期待できる。

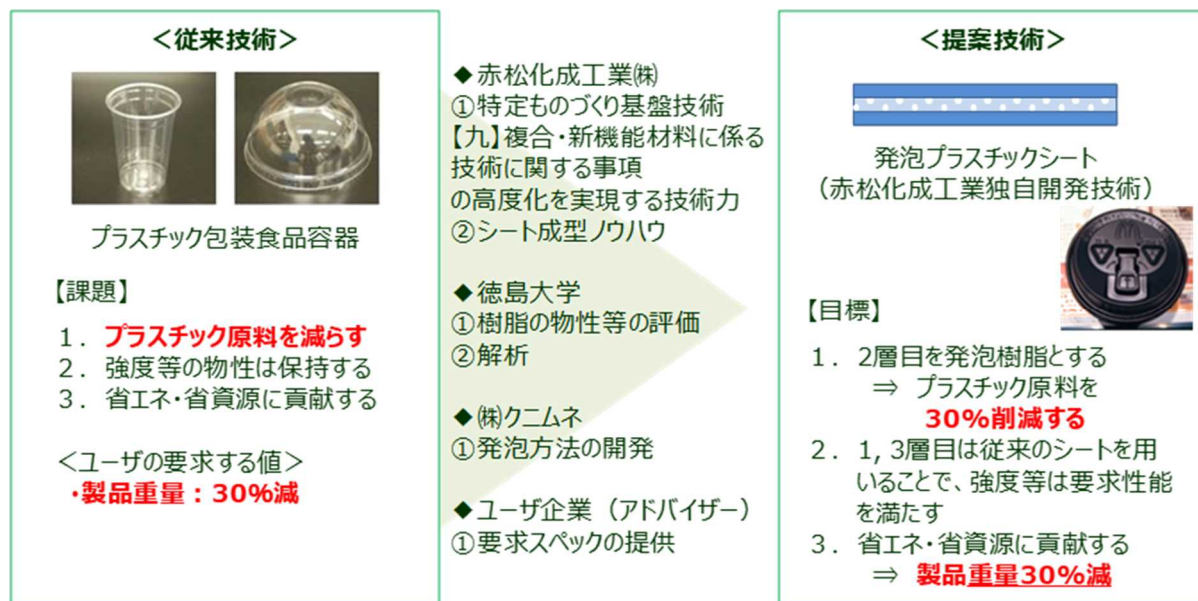


図1-2 従来技術と提案技術の比較及び開発目標

上記の目標値を達成するため、本研究開発において、具体的には以下の事項を実施した。

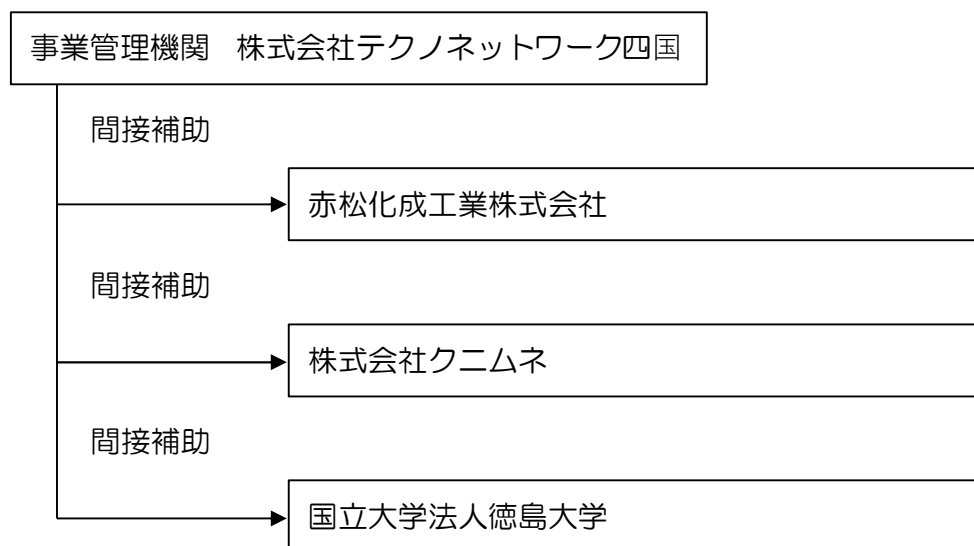
- ・微細発泡技術の開発：発泡層の泡の平均直径φ90-100μm（独立気泡）
- ＊化学発泡技術の開発
- ＊超臨界流体発泡技術の開発
- ・2種3層発泡プラスチックシートの作製と物性評価
- ・試作品成型

1-2 研究体制

【研究開発体制】



【管理体制】



株式会社テクノネットワーク四国

氏名	所属・役職
兼平 重和	代表取締役社長
山本 久美子	技術移転部
藤田 身和子	事業推進部 リーダー

赤松化成工業株式会社

氏名	所属・役職
赤松 伸一	常務取締役
大森 博徳	技術部 部長
三宅 真也	技術部 係長
九合 正	総務部 部長

株式会社クニムネ

氏名	所属・役職
長澤 次男	開発・技術部 部長
国宗 敬弘	開発・技術部 リーダー
奈良 卓亮	製造部 工場長

国立大学法人徳島大学

氏名	所属・役職
高木 均	大学院社会産業理工学研究部 教授
新居 由紀子	理工学部事務課予算管理係
手城 真実	四国産官学連携イノベーション共同推進機構
今獅々 恭子	四国産官学連携イノベーション共同推進機構

1-3 成果概要

【1】微細発泡技術の開発

化学発泡及び超臨界流体発泡の2種類の発泡技術について開発を行った。

【1-1】化学発泡技術の開発

押出機等の最適条件を検討して、2種3層のポリスチレン（PS）シートを作製し、目標である泡の平均直径 $\phi 90\text{--}100\mu\text{m}$ （独立気泡）を概ね達成した。

【1-2】超臨界流体発泡技術の開発

化学発泡剤の微量添加により超臨界発泡させた2種3層のポリプロピレン（PP）シートを作製したところ、比較的安定した製膜ができたが、化学発泡と比較して発泡セルの大きさが大きく、課題が残った。

【2】2種3層発泡プラスチックシートの作製と物性評価

ポリスチレン（PS）とポリプロピレン（PP）の2種類の樹脂原料について、前述の2種類の方法で成形した発泡プラスチックシートを用いて、ソリッド層－発泡層－ソリッド層の3層構造のプラスチックシートを作製し、物性評価を行った。

◆PS シート

PS樹脂の原料（HX220 及び HIPS475D）を用いた化学発泡について、いずれの原料でも、厚み・発泡状態とも良好なPSシートを生産することができた。

化学発泡法で作製したPSシートの実験データを基に、発泡倍率と層間厚さの値から2種3層PSシートの曲げ剛性を算出する式を導出した。

また、2種3層構造を有する化学発泡PSシートは未発泡材（ブランク材）に比べて熱伝導率が低下し、断熱性が向上することが明らかになった。

超臨界流体（SCF）発泡については、供給量を従来機の3分の1に落とすことにより、製造プロセスでの破泡を生じることなく、PSベースのシートを作製することができた。しかし、発泡シートの密度測定および顕微鏡観察から、独立気泡の存在率が低く、泡サイズも大きいことが明らかになり、さらに改善が必要である。

◆PP シート

試作した 2 種 3 層構造を有する PP シート（化学発泡材と超臨界発泡材）に対して強度特性評価を行ったところ、超臨界発泡 PP シートの引張強さとヤング率は化学発泡材の値よりも大きくなる傾向が認められた。そして、強度とヤング率は発泡倍率と強い相関があり、過剰な発泡を行うと機械的性質は低下する傾向が認められた。また、2 種 3 層構造を有する発泡シートのヤング率を精度よく算出可能な式を導出した。さらに、PP シートについても、2 種 3 層発泡シートの熱伝導率は未発泡材（ブランク材）と比較して低下し、未発泡材よりも断熱性が向上することが確認された。

【3】試作品成型

成型条件が決定した発泡樹脂シートを使用した製品サンプル（コーヒーカップのリッド、食品用トレイ、ヨーグルトカップ用プラスチックシート）を試作してユーザー企業へ提供し、評価を依頼した。コーヒーカップのリッドについては、従来の未発泡材でのリッドと比べて、断熱性が良いことが分かった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所 属	氏 名	電話・Fax・E-mail
株式会社テクノネットワーク四国 技術移転部 リーダー	矢野 慎一	電話：087-813-5672 Fax：087-813-5673 E-mail：yano@s-tlo.co.jp
赤松化成工業株式会社 常務取締役	赤松 伸一	電話：088-699-3733 Fax：088-699-3732 E-mail：sakamatsu@akamatsu.com
株式会社クニムネ 専務取締役 品質管理部 部長	国宗 敬弘	電話：06-6782-4777 Fax：06-6782-4779 E-mail：t.kunimune@kunimune.co.jp
国立大学法人徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 教授	高木 均	電話：088-656-7359 Fax：088-656-9082 E-mail：takagi@tokushima-u.ac.jp

第2章 本論

2-1 実施内容と成果

【1】微細発泡技術の開発

発泡プラスチックは、樹脂のマトリックスの中に気泡（セル）が多数分散したものである。気泡体との対比で発泡していない成型品をソリッド成型品と呼ぶ。発泡体には図 2-1 に示すように気

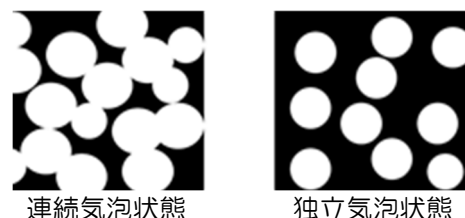


図 2-1 気泡の状態

泡が連続している連続気泡と、気泡が繋がっていない独立気泡がある。柔軟性が必要な場合は連続気泡が、剛性が必要な場合は独立気泡が用いられる。本提案の場合、成型を行うため、ある程度の柔軟性が必要であり、成型品となった場合は剛性が必要となるため、成型できる柔軟性をもち、かつ食品容器用途としての剛性を満足する気泡の連続性（あるいは不連続性）、大きさ等を検討する必要がある。

食品用途であるため、食品に接触する部分の表面はソリッドであることが望ましい。また、人が手にする部分については強度も必要となってくることから、こちらもソリッドであることが望ましい。よって本事業では、第 2 層に発泡プラスチックを有し、第 1 層及び第 3 層はソリッドである 3 層構造のプラスチックシートの開発を行うこととした。



図 2-2 発泡層を含むプラスチックシートの模式図

発泡方法としては、これまでの赤松化成工業(株)と協力者の(株)クニムネが保有する知見を活用できる化学発泡法と超臨界流体発泡法の 2 つを検討した。この 2 つの方法により樹脂の中に微細な泡を作り出し、発泡層をソリッドで挟み込む技術の開発を行い、軽量化、成型のし易さ等の観点から、より最適な発泡方法を選定することとした。

【1-1】化学発泡技術の開発

化学発泡法とは、化学発泡剤を用いて気泡を成形するためのガスを供給し、発泡させる手法である。化学発泡剤を使用する場合、気泡の状態が連続気泡になりやすく、気泡の大きさも大きくなる傾向になる。連続気泡で気泡のサイズが大きい場合、容器を成型

する工程（以下「成型工程」という。）にて穴が開きやすくなり、実用に適さない。従って化学発泡剤を用いて、成型工程にて実用可能なシートの生産を行うためには、できるだけ独立気泡状態で、かつ気泡サイズが平均直径 90-100 μm のシートの生産が必要となる。

〔成果〕

表2－1に示すの押出機の条件にて、2 種 2 層 のポリスチレン（PS）シートを作製し、目標である泡の平均直径 ϕ 90-100 μm （独立気泡）を概ね達成した。

＜2 種 2 層 PS シート＞
 発泡剤添加率 1.0%
 シリンダー温度 175℃
 発泡倍率 約 1.5 倍

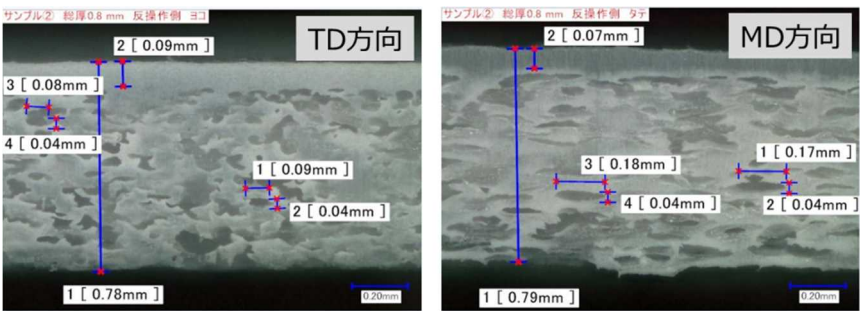


図2－3 PS シート断面図

表2－1 押出機の条件

PS樹脂サンプル名			E-②
		シート厚み (μm)	800
設定層比		S:M	2 : 8
原料	表層	HX220	95%
		ﾀﾌﾟﾚﾝ126	5%
	中心層	HX220	95%
		ﾀﾌﾟﾚﾝ126	4%
		セルマイクMB6064	1%
中心層発泡倍率		-	1.53倍

【1－2】超臨界流体発泡技術の開発

超臨界流体（以下「SCF」と略記する。）発泡技術とは、高圧下で樹脂に SCF を溶解させ、圧力低下あるいは加熱によって溶解度を低下させることによって気泡を生成させる発泡方法である。SCF を発泡剤として用いる利点は、注入量が正確に制御できる点である。また、圧力が高いことにより大量の発泡剤を溶解樹脂に溶解させることができる

点も利点である。この特徴により、化学発泡と比較して発泡倍率や発泡状態のコントロールが格段に容易となる。

窒素あるいは二酸化炭素を図2-4に示す SCF 供給装置を経て超臨界状態にし、既存の押出成形機に注入し熔融樹脂に混合させる。この方法を用いて発泡層を形成し、発泡粒子の直径、表面状態等を計測した。

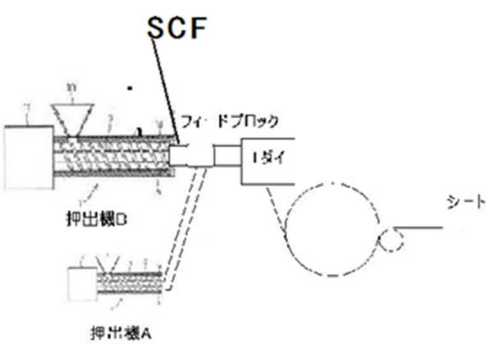


図2-4 2種3層発泡シート製造概略図

[成果]

発泡層の泡の平均直径φ90-100μm（独立気泡）を目標として、以下の条件での化学発泡剤の微量添加により超臨界発泡させた2種3層のポリプロピレン（PP）シートを作製した。化学発泡剤を核剤とした炭酸ガス発泡により、比較的安定した製膜ができたが、化学発泡と比較して発泡セルの大きさが大きく、課題が残った。

<2種3層 PP シート>

発泡剤添加率 <0.5%
シリンダー温度 230℃
発泡倍率 約 1.5 倍

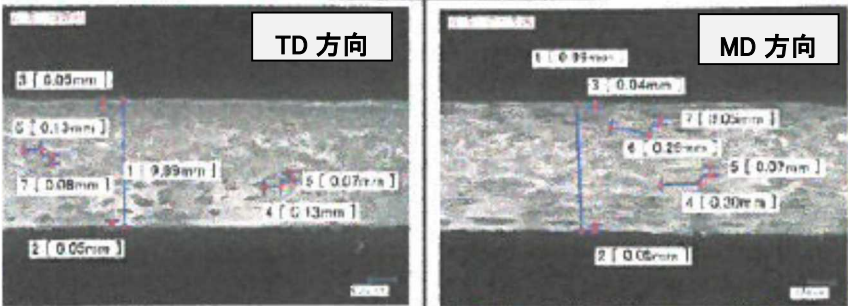


図2-5 PP シート断面図

表2-2 押出機の条件

PP樹脂サンプル名			G-⑤'
		シート厚み（μm）	800
設定層比		S:M:S	1：5：1
原料	表層	CM688A	70%
		VS700A(ホモ)	30%
	中心層	VS700A(ホモ)	99.5%
		セルマイクMB3064	≤0.5%
		炭酸ガス	10g/min
中心層発泡倍率		-	1.53倍

【2】2 種 3 層発泡プラスチックシートの作製と物性評価

前述の【1-1】【1-2】の方法で成形した発泡プラスチックシートを用いて、ソリッド層-発泡層-ソリッド層の 3 層構造のプラスチックシートを作製した。この 2 種 3 層のプラスチックシートの作製は、外層（第 1 層および第 3 層）成分はソリッド層となる熔融樹脂を図 2-4 の押出機 A から計量吐出し、中間層（第 2 層）成分は発泡層を形成する熔融樹脂を押出機 B から計量吐出する。これらの 2 種の樹脂を、フィードブロックを経て T ダイから 2 種 3 層シートとして吐出されると、同時に中間層で発泡する。

未発泡のプラスチックシートと、前述の【1-1】【1-2】の発泡方法で成形した 3 層構造のプラスチックシートに関して、物性の測定・評価を行った。これまで、赤松化成工業㈱が製造販売してきたプラスチック食品容器は、包装材としての機能を十分満たしてきているが、どこまで軽くできるか（軽量化できるか）、製品ごとに詳しく検証できていなかった。成型のし易さ（柔軟性）を保ちつつ、でき得る限りの軽量化（発泡層を厚くする）を目指して試行し、物性評価を繰り返し行い、その結果を基にプラスチック食品容器ごとの成型条件を検討した。

〔成果〕

◆PS シート

PS 樹脂の原料（HX220 及び HIPS475D）を用いて、2 種 3 層の化学発泡プラスチックシートを作製したところ、いずれの原料でも、厚み・発泡状態とも良好なシートを生産することができた。

化学発泡法で作製した 2 種 3 層構造（H.27 年作製）および 2 種 2 層構造（H.28 年作製）の PS シートに対して引張試験を行ったところ、2 種 2 層の PS シートは、2 種 3 層 PS シートの引張強さと同様な密度依存性を示したが、弾性率は、より低い値になることが分かった。次に、2 種 3 層 PS シートの曲げ試験を行ったところ、曲げ強度の値が引張強度と比較して低くなることが分かった。2 種 3 層構造を有する PS シートについてのこれらの実験データを基に、発泡倍率と層間厚さの値から 2 種 3 層 PS シートの曲げ剛性を算出する式を導出した。PS シートの試作開発においては、発泡材料に対する設計指針として、この関係式を利用可能である。

2 種 3 層構造を有する化学発泡 PS シートの熱的特性として板厚方向の熱伝導率をレー

ザーフラッシュ法により測定した結果、2 種 3 層発泡シートは未発泡材（ブランク材）に比べて熱伝導率が低下し、断熱性が向上することが明らかになった。

超臨界流体（SCF）注入機に関して、供給量を従来機の数分の 1 に落とせる注入機に置き換えて PS ベースの SCF 発泡シートの成膜テストを実施した。このテストで SCF 注入を 1/3 程度に落とすと、それまでのテストで発生していた T ダイ出口付近での破泡は解消した。そこで発泡シートの密度測定および顕微鏡観察からの発泡状況の評価をした。密度測定から独立泡存在率が低く、泡の観察結果も大きいので、PS の樹脂温度を更に下げる必要あると推定される。

表 2－3 発泡シートの発泡状況の評価

項目	単位		①	②	③	④	⑤	⑥
シート中央部			H29.8.23試作品					
アキュピック密度	g/cm3		0.8648	0.7172	0.9913	0.7672	0.5976	0.9355
アキュピック体積	cm3/g		1.156337	1.394311	1.008776	1.303441	1.67336	1.068947
未発泡部密度	g/cm3		1.0375	1.0375	1.0375	1.0375	1.0375	1.0375
未発泡部体積	cm3/g		0.963855	0.963855	0.963855	0.963855	0.963855	0.963855
見かけの密度	g/cm3		0.76	0.62	0.99	0.74	0.53	0.51
見かけの体積	cm3/g		1.315789	1.612903	1.010101	1.351351	1.886792	1.960784
開放気泡体積	cm3/g		0.1595	0.2186	0.0013	0.0479	0.2134	0.8918
独立気泡体積	cm3/g		0.1925	0.4305	0.0449	0.3396	0.7095	0.1051
独立気泡率	%		15%	27%	4%	25%	38%	5%
開放気泡率	%		12%	14%	0%	4%	11%	45%
非発泡部率	%		73%	60%	95%	71%	51%	49%

顕微鏡による泡の観察結果を図 2－6 に示す。一番泡の小さいサンプルでも 100 μ 程度あり且つ独立泡の分率は低く、成膜条件について、まだ選択の余地が多く残っている。

○サンプル測定結果 ※断面写真はTD(幅)方向

テスト実施日: 2017年8月23日(水)

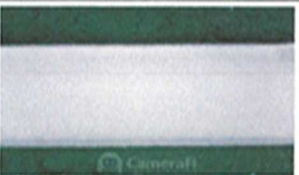
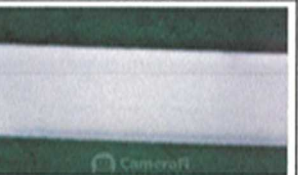
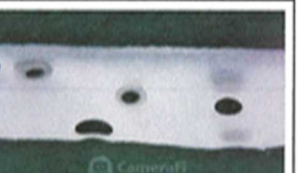
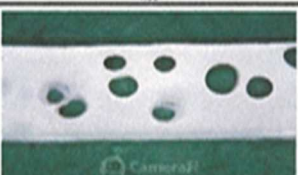
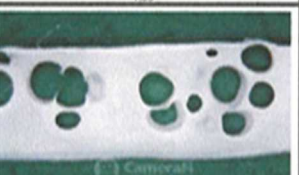
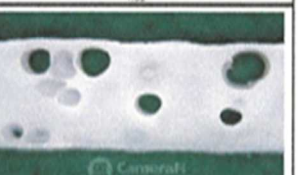
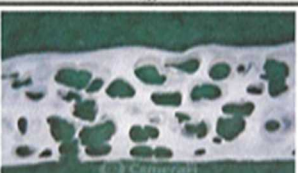
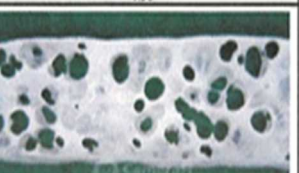
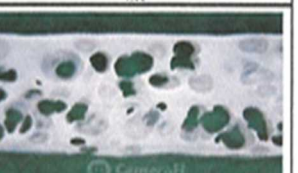
サンプル名	発泡条件	発泡倍率	操作側	中央	反操作側
BL	タルク1% 炭酸ガス無し	—			
	比重測定結果		1.03	1.04	1.03
	発泡倍率		1.01	1.00	1.01
サンプル①	タルク1% 炭酸ガス9g/min	1.17倍			
	比重測定結果		0.98	0.76	0.96
	発泡倍率		1.06	1.37	1.06
サンプル②	タルク3% 炭酸ガス9g/min <i>発泡倍率 1.64倍</i>	1.64倍			
	比重測定結果		0.67	0.62	0.61
	発泡倍率		1.55	1.68	1.70
サンプル③	タルク3% 炭酸ガス3g/min	1.03倍			
	比重測定結果		1.02	0.99	1.02
	発泡倍率		1.02	1.05	1.02
サンプル④	化学発泡剤0.001% 炭酸ガス5g/min	1.20倍			
	比重測定結果		0.88	0.74	0.82
	発泡倍率		1.18	1.41	1.37
サンプル⑤	化学発泡剤0.003% 炭酸ガス9g/min	1.60倍			
	比重測定結果		0.75	0.55	0.72
	発泡倍率		1.32	1.96	1.44
サンプル⑥	化学発泡剤0.01% 炭酸ガス9g/min	1.99倍			
	比重測定結果		0.53	0.51	0.54
	発泡倍率		1.95	2.04	1.86

図2-6 泡の状況観察結果

◆PP シート

試作した 2 種 3 層構造を有する PP シート（化学発泡材と超臨界発泡材）に対して引張試験による強度特性評価を行った。その結果、超臨界発泡 PP シートの引張強さとヤン

グ率は化学発泡材の値よりも大きくなる傾向が認められた。また、超臨界発泡材ではシート中央部よりも周辺部の発泡倍率が少し高くなり、これに対応して強度、ヤング率も低下する傾向が認められた。

強度、ヤング率は発泡倍率と強い相関があり、過剰な発泡を行うと機械的性質は低下する傾向が認められた。2 種 3 層構造を有する発泡シートのヤング率を導く式を導出した。この式の有効性を検証した結果、ヤング率を精度良く予測できることを示した。

【3】試作品成型

成型条件が決定した発泡樹脂シートを使用した製品サンプル（コーヒーカップのリッド、食品用トレイ、ヨーグルトカップ用プラスチックシート）を作製してユーザー企業へ提供し、評価を依頼した。コーヒーカップのリッドについては、2 種 3 層発泡シートでの熱伝導率が低いため、従来の未発泡材でのリッドと比較し、断熱性が良いことが分かった。そこで、コーヒー等の熱い飲料の適温での保持時間が延長される可能性について提案を行った。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

【1】微細発泡技術の開発

化学発泡及び超臨界流体発泡の2種類の発泡技術について開発検討を行った結果、化学発泡法により、2 種 3 層 のポリスチレン（PS）シートにおいて、目標である泡の平均直径 ϕ 90-100 μm （独立気泡）を概ね達成することができた。

【2】2 種 3 層発泡プラスチックシートの作製と物性評価

ポリスチレン（PS）とポリプロピレン（PP）の2種類の樹脂原料について、前述の2種類の方法で成形した発泡プラスチックシートを用いて、ソリッド層ー発泡層ーソリッド層の3層構造のプラスチックシートを作製し、物性評価を行った。

PS 樹脂の化学発泡については、HX220 及び HIPS475D のいずれの原料でも、厚み・発泡状態とも良好な PS シートを生産することができた。そして、作製した PS シートの実験データを基に、発泡倍率と層間厚さの値から 2 種 3 層 PS シートの曲げ剛性を算出する式を導出することができた。さらに、2 種 3 層構造を有する化学発泡 PS シートは未発泡材（ブランク材）に比べて熱伝導率が低下し、断熱性が向上することが明らかになった。

PP 樹脂に関しては、2 種 3 層構造を有するシート（化学発泡材と超臨界発泡材）に対して強度特性評価を行った。その結果、2 種 3 層構造を有する発泡シートのヤング率を精度よく算出可能な式を導出することができた。さらに、PP シートにおいても、2 種 3 層発泡シートの熱伝導率は未発泡材（ブランク材）と比較して低下し、断熱性が向上することが確認された。

【3】試作品成型

開発した発泡樹脂シートを用いて製品サンプル（コーヒーカップのリッド、食品用トレイ、ヨーグルトカップ用プラスチックシート）を試作し、評価用にユーザー企業へ提供した。コーヒーカップのリッドは、未発泡材のリッドと比べて、断熱性が良いことが分かった。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

化学発泡による 2 種 3 層シートの量産体制は、確立できたと判断されるが、超臨界流体（SCF）発泡については、参画企業の工場における予期せぬ事故により開発スケジュールが大幅に遅れた。今後、サテライト押出機ベントキャップからの SCF ガス注入についてさらにテストを進め、安定生産できる生産条件を確立していく予定である。

本事業の成果の事業化については、図 3-1 の実施体制により、事業展開を進める計画である。また、事業分野としては、図 3-2 に示すような製品の実用化を計画している。

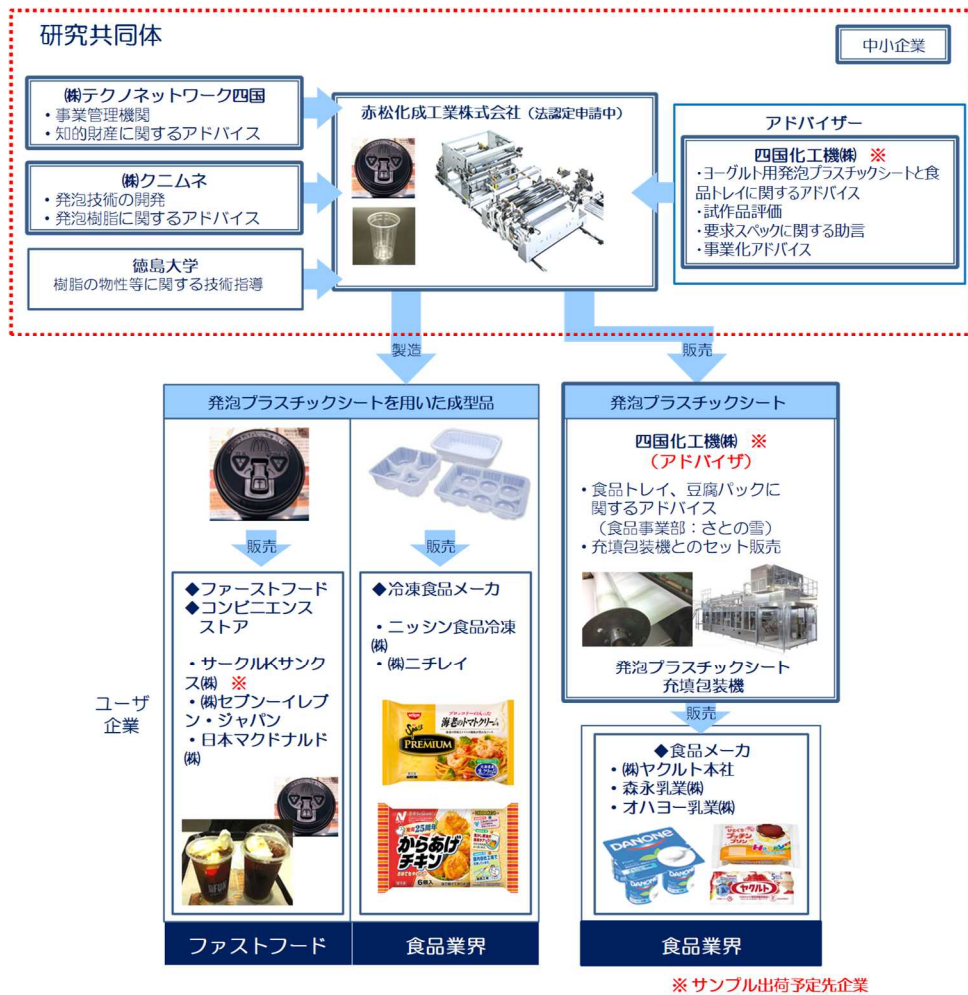


図3-1 事業化実施体制



図3-2 実用化製品