

押出發泡法による光反射シートの開発

Development of Light Reflection Sheet by Extrusion Foaming Method

稲森 康次郎*
Kojiro Inamori

大来 裕*
Yutaka Okita

山崎 宏行*
Hiroyuki Yamasaki

概要 気泡を微細化することにより光反射特性を高めた発泡シート(古河電気工業製MCPET®)がある。MCPETは反射性能が高く成形性も優れるものの、バッチ発泡法で製造されているため、必ずしも製造効率は高いとはいえなかった。そこで、製造効率のよい押出發泡法で光反射率の高い発泡シートを得ることを目指した。

樹脂発泡シートの場合、反射率に大きく影響する因子はシートの厚さ方向の気泡壁の数である。気泡壁の数が多いほど光が入射した方向に戻る可能性が増えるからである。ここでは、気泡が微細な厚肉の発泡体を押し出してから、シートの厚さ方向に圧縮することで気泡壁数を増やすことを試みた。結果として、押出發泡法で光反射率97.7%の発泡体を得ることができた。

1. はじめに

近年の省エネ指向に伴い、光源の光を有効に利用するための光反射シートが蛍光灯、看板、液晶ディスプレイなどに用いられている。いずれも全光線反射率(以下、単に反射率と言う)が高いほうが省エネにとって有利となるため、これまで反射率の高い光反射シートを得るための工夫がなされてきた。

例えば、無機フィラーを含有したPET樹脂を延伸したシートが光反射板として使用されている¹⁾。このシートは薄肉で、ある程度高い反射率を実現できるという利点がある。しかし厚肉のシートを作ることは難しく、また一度延伸されているため、更に延伸が必要な二次成形が困難であった。

一方で、シートの内部に10 μm以下という極めて微細な気泡を生成させたPET樹脂の発泡シートが光反射板に使用されている(古河電気工業製MCPET)²⁾。このシートは光反射率が高く、成形性もよいという利点がある。しかし発泡シートの製造に使われるバッチ発泡法(図1(a))はロール状に巻かれた樹脂製のシート(母板)を常温・高圧のガスで満たされたオートクレーブ内に静置し、母板中にガスを浸透させ、浸透後オートクレーブから母板を取り出し熱風炉で加熱するという工程を経るためガスの浸透に時間がかかり製造効率が必ずしも高くはないという問題があった。

発泡シートを作製する他の方法として押出發泡法(図1(b))がある。この方法は押出機のパレル中途から高圧ガス(例えば炭酸ガス)を供給することで樹脂中にガスを溶解させ、ダイから押し出すと同時に発泡させる方法である。ダイから出た直後に発泡シートができるので工程が少なく、リードタイムが短く、

そして厚肉のシートができるという利点がある。しかし光反射板として使用するには反射率が不足するという問題があった。

本報では押出發泡法で反射率の高い光反射シートの作製を試みた結果について報告する。

2. 本研究の方針と調査項目

2.1 反射率を向上させる方法

光線が屈折率の異なる異物質の界面に入射すると、反射、透過、吸収のいずれか1つ以上の現象が起こる。この界面が1つしかなければ透過した光が入射側に戻ることはないが、界面が多ければ多いほど光が入射側に戻る機会が増えるので、結果として反射率は向上する。樹脂発泡体の場合、この界面は樹脂と気泡の界面に相当する。したがって、気泡壁による反射率の向上のためには、気泡壁数の増大を図ればよい。ただ、気泡壁の厚さが増すと、光の吸収が問題になる。結局、気泡壁厚を減らしつつ、気泡壁数を増やす即ち気泡の微細化を図り、しかも気泡の密度を増やすことが望ましい。

2.2 厚さ方向の気泡壁数を増やす方法

シートの厚さ方向の気泡壁の数を増やす方法の1つは気泡を微細化することである。ただし、微細化だけでは気泡壁の数を増やすことにはならないので、微細化に加えてある程度高い気泡密度も必要である。

厚さ方向の気泡壁の数を増やすもう1つの方法は、厚肉に作ったシートを厚さ方向に圧縮することである。この方法を用いると気泡の微細化が難しくても気泡壁の間隔を小さくすることができる。例えば、直径100 μmの気泡が厚さ方向に100個並んだ厚さ約10 mmの発泡シートを考える。このシートは厚さ方向に約100層の気泡壁がある。このシートを圧縮して1/10の厚さにしたとすると、気泡の連通などを無視した理想的な場

* 研究開発本部 環境エネルギー研究所

合、厚さ1 mm、厚さ方向の気泡壁数100層、気泡壁間隔10 μmのシートが得られることになる。ただし、この方法を用いるためには厚肉の発泡体を得る必要がある。

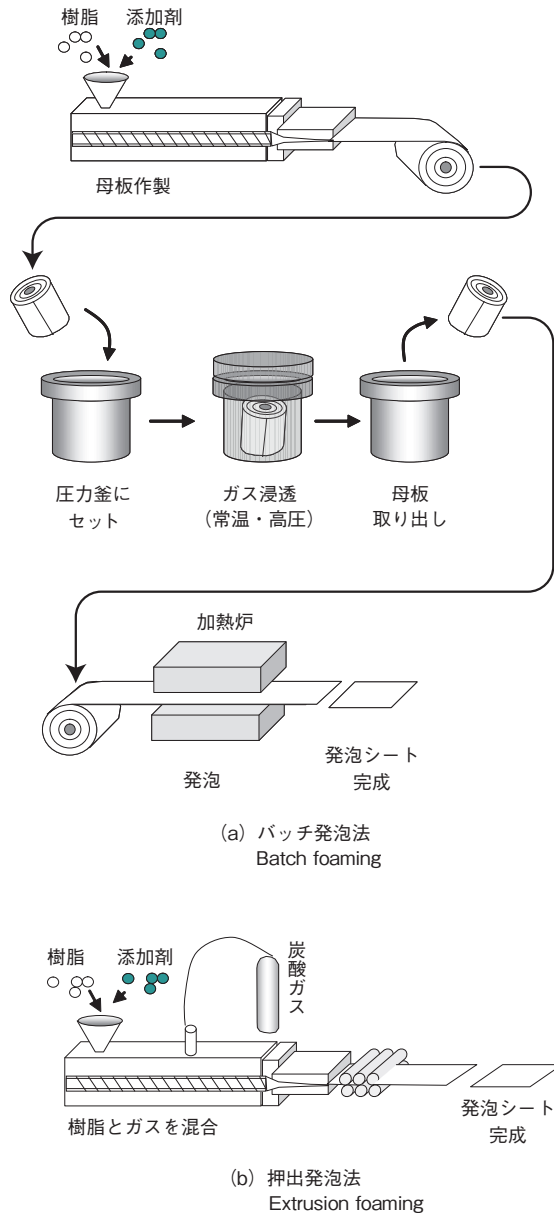


図1 発泡プロセスの概略図
Schematics of foaming processes.

そこで、気泡が微細かつ厚肉の発泡シート得る方法を検討することにした。

2.3 気泡を微細化する方法

気泡を微細にする方法は気泡の成長を抑制することと、気泡核の数を増やすことの2つが考えられる。ここでは、それぞれの可能性について考察する。

気泡の成長を抑制する方法としては、樹脂の粘度を高めて気泡の成長に対する抵抗力を高める方法がある。バッチ発泡法で得られる発泡体の気泡が微細なのは、この気泡成長の抑制によるところが大きい。なぜならバッチ発泡法は融点未満の温度で発泡させるため、気泡が成長する際に気泡の周囲に結晶が存在し、この結晶が気泡の成長を抑制するからである(表1参照)。

しかし押出発泡法の場合、樹脂の融点未満では押し出すことが不可能なため結晶で気泡の成長を抑制することはできない。そこで気泡を微細化するために、気泡成長を抑制するのではなく気泡の数を増やすことを検討した。

表1 各発泡プロセスの気泡成長時の様子
Images of bubble growth in various foaming processes.

発泡方法	バッチ発泡法	押出発泡法
気泡成長時の様子	結晶 気泡	分子鎖 気泡
発泡温度	樹脂のガラス転移点以上融点未満	樹脂の融点以上

2.4 気泡の数を増やす方法

ここでは核生成速度を上げることで気泡の数を増やすことを検討する。気泡核生成速度式には均質核生成速度式と不均質核生成速度式の2種類があるが、現実的に不純物の全くない樹脂の入手は困難と考え、ここでは不均質核生成を考える。

古典的気泡核生成理論^{3), 4)}によれば、不均質核生成速度式 J_{s_het} は次のように表わされる。

$$J_{s_het} = AN^{2/3} \frac{1 + \cos(\theta)}{2} \left(\frac{2\sigma}{\pi w F} \right)^{1/2} \exp \left(\frac{-16\pi F \sigma^3}{3kT (P_D - P_C)^2} \right) \quad (1)$$

ここで N は樹脂単位体積あたりに溶解したガスの分子数、 w はガス分子の質量、 A は樹脂単位体積あたりの気泡核剤の表面積、 θ は樹脂と気泡核剤との接触角、 F は濡れ角によって変化する変数 $(= 2 + 3\cos(\theta) - \cos^3(\theta)/4)$ 、 σ は樹脂の表面張力、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度、 P_D は気泡内圧、 P_C は雰囲気気圧である。

式中に直接的には表れていないが、ダイ出口近傍の圧力降下速度は気泡数を増やすうえで重要なパラメーターである。これは次のように考えると分かる。

いま、ガスが雰囲気気圧 P_C で樹脂に接しており、樹脂中のガス濃度が飽和している状態を考える。この状態から、雰囲気気圧が無限小の短時間で P_D から P_C に変化したとすると、気泡核生成速度は最大値となる。しかし、バッチ発泡や押出発泡といった実際のプロセスの圧力降下速度は有限なので、気泡核生成速度は前述の最大値より小さくなる。このことから、圧力降下速度は大きければ大きいほど気泡核生成数は大きくなると予想される⁵⁾。

圧力降下速度はダイの形状によって変化する。そこでまず圧力降下速度を高められるダイを選定することにした。

2.5 ダイの選定

押出発泡法(ガス発泡法)では、押出機のパレル中途に設けられたノズルからガスを注入し、熔融樹脂とガスを混練溶解さ

せ、次にダイから樹脂を押し出すと同時に発泡させる。このプロセスではダイ内の圧力がガスの飽和溶解圧を下回ったときに気泡核が生成すると考えられている。前述のとおり、この気泡核の数はダイ出口付近の圧力降下速度が高ければ高いほど多くなる。

圧力降下速度はダイの形状に依存する。円形ダイの場合は円の直径に依存する。パワーロー流体の場合、ダイ内の圧力差は次式で表される⁶⁾。

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{2m}{R} \left[\frac{\left(\frac{1}{n} + 3 \right) Q}{\pi R^3} \right]^n \quad (2)$$

ここで Q は樹脂の体積流量、 R は孔の半径、 L は孔の長さ、 ΔP は区間長さ L における圧力差、 m と n はパワーローインデックスで粘度は次のように表される。

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} \quad (3)$$

ここで η は樹脂の粘度、 $\dot{\gamma}$ はせん断速度である。

Parkら⁵⁾は、圧力降下速度(= $|\mathrm{d}P/\mathrm{d}t|$)を表現するために次の式を用いた。

$$\left| \frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}t} \right| \approx \frac{-\Delta P Q}{\pi R^2 L} \quad (4)$$

(4) 式に(2) 式の ΔP を代入すると円形ダイの圧力降下速度は次のようになる。

$$\left| \frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}t} \right| \approx \frac{2mQ}{\pi R^3} \left[\frac{\left(\frac{1}{n} + 3 \right) Q}{\pi R^3} \right]^n \quad (5)$$

同様に矩形ダイの場合、圧力降下速度は次のように表現できる。

$$\left| \frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}t} \right| \approx \frac{mQ}{2WB^2} \left[\frac{\left(\frac{1}{n} + 2 \right) Q}{2WB^2} \right]^n \quad (6)$$

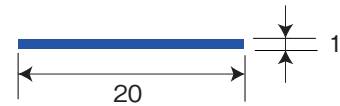
ここで、 W はダイ出口の幅、 B はダイ出口の間隔の半分の長さである。

次に、気泡が微細で、かつ厚肉の発泡シートを得るのに矩形ダイと多孔ダイのどちらが適しているかを検討した。

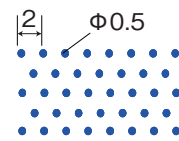
まず、図2(a)に示すような幅20 mm ($W=20 \times 10^{-3}$ m)、ダイ出口の間隔が1 mm ($2B=1 \times 10^{-3}$ m)の矩形ダイを考える。このダイにポリプロピレン($m=48780$ Pa·s, $n=0.2343$)を40g/

min ($Q=7.41 \times 10^{-7}$ m³/s)で流したとすると、圧力降下速度($|\mathrm{d}P/\mathrm{d}t|$)は15.2 MPa/sとなる。一方、図2(b)のような直径0.5 mm ($R=5 \times 10^{-4}$ m)の38個の孔をもつ多孔ダイで同じ樹脂を同じ吐出量で流したときの圧力降下速度を計算すると250.6 MPa/sとなる。つまり、同じ吐出量でも多孔ダイの方が圧力降下速度は高く、結果として気泡を微細にしやすだけでなく、厚肉のサンプルが得やすいことが分かる。

そこで以降の検討ではロッドダイ(孔が1つの多孔ダイと考えられる)と多孔ダイを使用することにした。



(a) 矩形ダイ



(b) 多孔ダイ(Φ0.5×38)

図2 矩形ダイと多孔ダイの比較図
Comparisons between T-die and Multi-hole die.

2.6 調査した項目

(1) 式を見れば、ダイの形状以外に樹脂中のガス分子数(N)と気泡核剤の表面積(A)も気泡核生成速度に影響するファクターと言える。そこで、具体的には次の各項目について調査した。

- 樹脂中のガスの分子数(N)が気泡サイズに及ぼす影響。本来ならガスの濃度を変更してその影響を見るべきであるが、ガスの濃度を直接測定することができなかったため、ここではガスの供給圧力が気泡径に及ぼす影響を調査した。ガスの供給圧力が高ければガスの濃度も高いと考えられる。
- 厚さ方向の気泡壁層数が反射率に及ぼす影響。層数が増えると反射率が向上するかどうかを確認した。
- 核生成サイトの表面積(A)が反射率に及ぼす影響。核生成サイトを増やすために、粒径が小さく表面積の大きい気泡核剤を使用し、その添加量が気泡径および反射率に及ぼす影響を調査した。

3. 実験方法

3.1 実験装置

3.1.1 押出機

押出發泡法でガス抜けの少ない良好な発泡体を得るためには、ダイ出口付近で樹脂を十分かつ均一に冷却する必要がある。そのため中間のギアポンプを介して押出機を2台連結したタンデムシステムを用いた(図3参照)。タンデムシステムであれば、1段目押出機はスクリュウ回転数を上げて十分に混練する役割、2段目押出機は低回転で樹脂を冷却する役割というようにそれぞれ分担させることができる。1段目押出機にはスクリュウ径40 mmの単軸押出機($L/D=40$)を、2段目押出機にはスクリュウ径65 mmの単軸押出機($L/D=34$)を使用した。

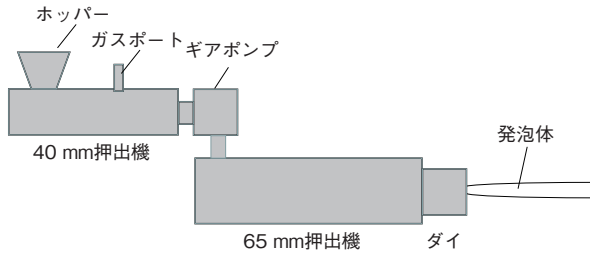


図3 タンデムシステムの概略図
A schematic of tandem system.

3.1.2 ダイ

孔数と孔径の異なる表2に示すダイを使用した。

Iのダイは圧力降下速度は大きいものの幅が狭すぎて反射率を測定することができない、IIのダイは幅は広いものの圧力降下速度が小さい、IIIのダイは幅が広くIIのダイよりも圧力降下速度は高いがIのダイには及ばない、IVのダイは圧力降下速度が4つの中では最も高いという特徴がある。

表2 使用したダイ
Dies used in this research.

タイプ	I	II	III	IV
流路出口形状				
孔径 (mm)	2	1	1.5	0.5
孔数	1	25	3	38
$ dP/dt $ (MPa/s)	131.7	32.3	98.5	250.6

* $|dP/dt|$ は ($Q=7.4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$, $m=48780 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $n=0.2343$) という前提で計算した。

3.1.3 スチールベルト成形機

サーモ・プラスティックス工業社製のスチールベルト (図4) を使用した。ベルトはステンレス製で、ベルトの幅は200 mm、接触部の長さは350 mmである。ベルトの裏面は内部に冷却水を流せる金属ブロックと接している。冷却水としては水 (約20℃) を使用した。

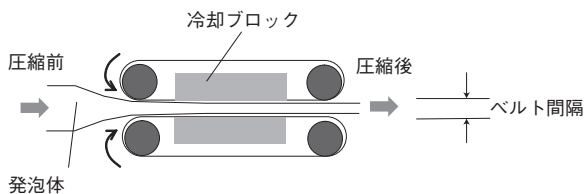


図4 スチールベルト成形機の概略図
A schematic of steel belt forming machine.

3.2 材料

3.2.1 ベース樹脂

MFR=2の市販のポリプロピレンブロックコポリマーを使用した。

3.2.2 発泡剤

市販の炭酸ガスボンベ (純度99%, 圧力50 kg/cm²) を使用した。ガスは40 mm押出機の中に設けられたガスポートより所定の圧力で樹脂中に圧入した。

3.2.3 気泡核剤

一部の試験で気泡核剤として反応型気泡核剤 (EE207E: 永和化成製) を使用した。この気泡核剤は気泡微細化効果に優れるものの、添加量を増やすと吐出量が著しく低下するという問題があった。そこで他の試験では、粒径が小さく表面積も大きい炭酸カルシウム (アクチフォート700 白石カルシウム社製) を使用した。押出機に供給するときには、あらかじめ3.2.1のポリプロピレンをベースとした30%マスターバッチを作製してから使用した。炭酸カルシウムの物性を表3に示す。

表3 使用した炭酸カルシウムの特性
Properties of calcium carbonate used in this research.

結晶形		カルサイト
格子形状		立方晶
BET比表面積	m ² /g	70
平均粒子径 (電子顕微鏡)	nm	20
白色度	%	90
pH		8.8
比重		2.48

* 数値はすべて白石カルシウム (株) のカタログより抜粋。

3.3 実験手順

ベース樹脂と添加剤を所定の混合比率でドライブレンドしてから1段目押出機のホッパーに供給し、押出機内で溶融させた。1段目押出機の中から所定の圧力で炭酸ガスを供給し、押出機の中で前述の樹脂とよく混ぜ合わせた。樹脂と炭酸ガスの混合物を2段目押出機内で冷却し、最後はダイから大気中へ押し出すと同時に発泡させた。

ガス供給圧力を高くしたときはダイの設定温度は低く設定した。ガス供給圧力が高いと、ガスの可塑性効果によって樹脂の粘度が低下するので、ダイの設定温度を低くしなければ、ダイの出口直前までガスの飽和溶解圧力を維持できないからである。

ダイから押し出された発泡体のうち、圧縮しない発泡体については室温で空冷した。圧縮する発泡体については、ダイを出た直後に所定の間隔に調整されたスチールベルト成形機を通し、発泡体の圧縮と表面の平滑化を行った。ダイ出口とスチールベルトとの距離は約10 mmとした。

こうして得たサンプルを以下の評価方法で評価した。

3.4 評価方法

3.4.1 発泡倍率

発泡前の熱可塑性樹脂組成物の密度を、JIS-K7112のA法 (水中置換法) にしたがって電子天秤 (メトラート社製の形式AG204) で測定した発泡体の密度で割った値として求めた。

3.4.2 厚さ方向の気泡壁数

発泡体を液体窒素で冷却してから2本のペンチで破壊し、破

断面を走査型電子顕微鏡で撮影した。次に厚さ方向に3本の直線を引き、それぞれの直線状の気泡壁数を目視でカウントし、最後に3本の気泡壁数の値を平均して厚さ方向の気泡壁数として用いた。

3.4.3 全光線反射率

JIS-K7105の測定法Bに準拠して、分光光度計(株式会社日立ハイテクノロジーズ社製形式U-4100 標準白色板酸化アルミニウム)を用いて300～800 nmの光線波長域における全光線反射率(%)を測定した。代表値で表わす場合は波長550 nmにおける反射率を用いた。

4. 結果と考察

4.1 ガス供給圧力が気泡径に及ぼす影響

2.4で示したように、樹脂中のガス濃度が高いほど気泡径は小さくなると考えられる。ここではガス供給圧力が高いほどガス濃度も高まると考え、ガス供給圧力が気泡径に及ぼす影響を調査した。ダイはタイプⅠのものをを用い、樹脂は気泡核剤を混ぜずにポリプロピレンのみを用いた。ダイ出口の設定温度は150～166℃とし、ガス供給圧力が高くなるほど低く設定した。こうして得たサンプルの断面写真を図5に示す。

ガス供給圧力が増えるほど気泡は小さくなっていることが分かる。

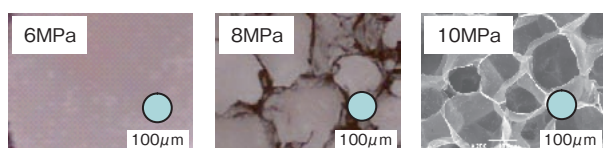


図5 ガス供給圧力が気泡径に及ぼす影響
Effects of gas supply pressure on cell size.

4.2 シートの圧縮の効果

反応型気泡核剤を2 wt%加えたポリプロピレンをタイプⅠのダイから押し出し、ダイを出た直後にスチールベルト(間隔1 mmに設定)を通すことで、厚さ方向に圧縮した発泡シートを得た。スチールベルトの線速度は押し出される発泡体の流れ方向の速度と同程度とした。圧縮前と圧縮後の発泡体の気泡壁層数と発泡倍率を表4に示す。なお、圧縮前の発泡シート表面は室温で空冷している。

気泡壁層数は圧縮によって40%程度少なくなっているが、気泡壁の数密度は4倍以上に増えていることが分かる。

表4 圧縮前後の発泡体の特性
Properties of foams before and after pressing.

	圧縮前	圧縮後
発泡倍率	38	10
発泡体厚さ(mm)	11	1.5
気泡壁層数(個)	83	50
気泡壁数密度(個/mm)	7.5	32.6

4.3 気泡壁層数が反射率に及ぼす影響

4.3.1 ガス供給圧力が反射率に及ぼす影響

前項でガス供給圧力が高いほど気泡は微細になること、そして発泡体の圧縮により気泡壁の数密度が増えることを確認した。しかしタイプⅠのダイでは圧縮したとしても反射率を測定するのに十分な幅のシート(幅20 mm以上)を得ることができなかった。そこで、タイプⅡのダイを用いてガス供給圧力を6, 8, 10 MPaと変化させ、ガス供給圧力が反射率に及ぼす影響を調査した。組成はポリプロピレンに反応型気泡核剤を2 wt%加えたものを用いた。結果を図6に示す。

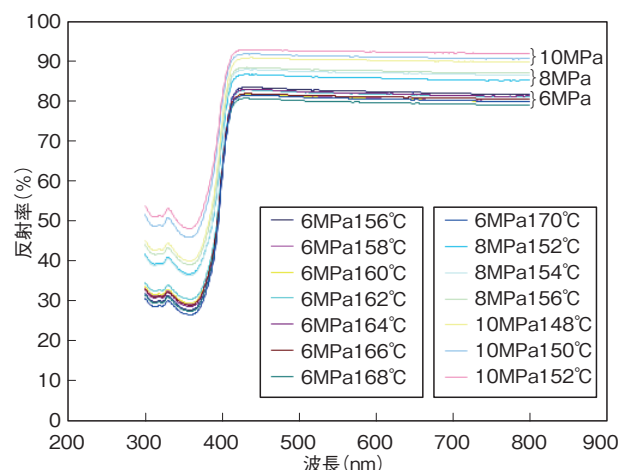


図6 ガス供給圧力が反射率に及ぼす影響
Effect of gas supply pressure on light reflectance.

ガス供給圧力が6 MPaのときの反射率は80～82%, 8 MPaのときは86～87%, 10 MPaのときは89～92%となっており、ガス供給圧力が高いほど反射率は高くなっていることが分かる。

各ガス供給圧力で得られたシートのうち、最も反射率が高いものについて反射率を比較すると表5のようになった。ガス供給圧力が増えるにつれて気泡壁の層数も増えており、これが反射率の向上につながったと考える。

表5 ガス供給圧力が反射率に及ぼす影響
Effect of gas supply pressure on light reflectance.

	6	8	10
圧縮前			
圧縮後			
ガス圧(MPa)	6	8	10
反射率(%)	82.5	85.9	89.4
気泡壁層数	25	35	45

4.3.2 シートの積層が反射率に及ぼす影響

前項で気泡壁の層数が多いほど反射率が高くなることを述べた。気泡壁の層数を増やせば更に反射率が高まるかを確認するには、単純にシートを積層すればよいと考えた。

そこでまず、炭酸カルシウムを2 wt%加えたポリプロピレンにガス供給圧10 MPaでガスを供給し、タイプⅢのダイから押し出し、出てきた発泡体を圧縮することで厚さ2.1 mm、発泡倍率8.8倍、厚さ方向の気泡壁層数75層のシートを得た。次に得られたシートを1～5枚に積層することで反射率がどのように変化するかを調査した。結果を図7に示す。

波長550 nmにおける反射率は1枚のときは92.8%、2枚のときは95.7%、3枚以上のときはいずれも96.3%であった。このように積層により層数が増えるほど反射率は向上することが分かった。3枚以上のときは反射率がほぼ飽和しているが、これは積層によって光線の透過を減らせても吸収は減らすことができないためと考える。

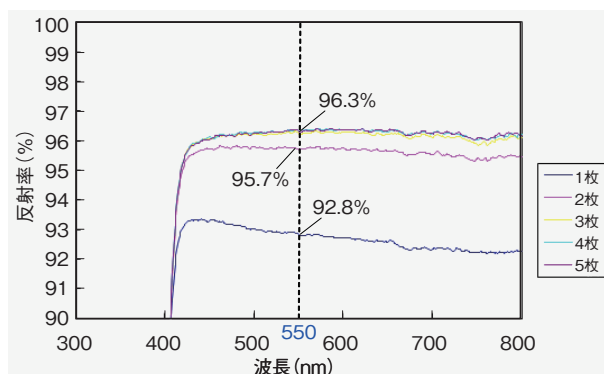


図7 シートの積層枚数が反射率に及ぼす影響
Effects of the number of laminated sheets on light reflectance.

4.4 気泡核剤の添加量が反射率に及ぼす影響

4.3.2項ではシートを積層することで反射率が向上することを確認した。しかし、最終的には単一のシートで反射率を向上させなければ実用性がない。そこで、単一のシートで反射率を向上させるために気泡の微細化を検討した。

2.6では気泡を微細化する方法として気泡核剤の表面積を増やす方法をあげた。ここでは樹脂としてポリプロピレン、気泡核剤として炭酸カルシウムを用い、炭酸カルシウムの添加量を0, 1, 5, 10, 20, 30 wt%と変化したときの発泡体特性(気泡壁間隔、発泡倍率)および反射率に及ぼす影響を調査した。ダイにはタイプⅣのものを用了。

図8に炭酸カルシウムの添加量が気泡壁間隔に及ぼす影響を示す。気泡壁間隔については炭酸カルシウムの添加量が増えるほど小さくなっていることが分かる。これは、炭酸カルシウムが増えたことで気泡核の生成数が増え、結果として気泡が微細になったためと考える。ただ、気泡壁間隔は同図から炭酸カルシウムが5 wt%以上では添加量を増やしても大きく変化しないので、添加量をあまり増やしても気泡を微細にする効果は期待できないと考える。圧縮後の気泡壁間隔に対する炭酸カルシ

ウム添加量の影響については、圧縮前の傾向とほぼ同様になっていることが分かる。つまり、圧縮前の気泡壁間隔が圧縮後も影響するので、圧縮後の気泡壁間隔を小さくするには圧縮前に気泡を小さくする必要があると言える。

図9に炭酸カルシウムの添加量が発泡倍率に及ぼす影響を示す。圧縮前の発泡倍率については、炭酸カルシウムの添加量が増えるほど低くなっている。樹脂中の炭酸カルシウム濃度が増えるほど、気泡が成長する際に気泡壁が破れやすくなり、結果としてシート表面からのガス抜けが増えたためと考える。圧縮後の発泡倍率に対する炭酸カルシウム添加量の影響については、気泡壁数密度と同様、圧縮前の傾向に近くなっている。ただ、圧縮後の気泡壁間隔は圧縮前に比べて1/5程度に小さくなっているのに対し、圧縮後の発泡倍率の低下率は1/2程度にとどまっている。これは、発泡シートがスチールベルトと接触した際に表面が冷却され、ガス抜けが抑えられたためと考える。

次に圧縮後のシートの反射率の炭酸カルシウム添加量依存性を図10に示す。反射率は炭酸カルシウムの添加量が10%のときに最大値97.7%のもの(シート厚さ1.2 mm)が得られた。炭酸カルシウムの添加量は、10%より多くなっても少なくなっても低下した。炭酸カルシウムの添加量が減ると反射率が低下するのは気泡壁間隔の数密度が十分でないためであり、炭酸カルシウムの量が増えると反射率が低下するのは、圧縮した際に気泡壁が破れやすくなり、結果的に気泡壁間隔の数密度が小さくなったためと考える。炭酸カルシウムの添加量が10%のときと30%のときの気泡の様子を表6に示す。10%のときは圧縮後も気泡壁の多くが残っているのに対し、30%のときは連通気変化が進み圧縮後の気泡壁の多くがなくなっていることが分かる。

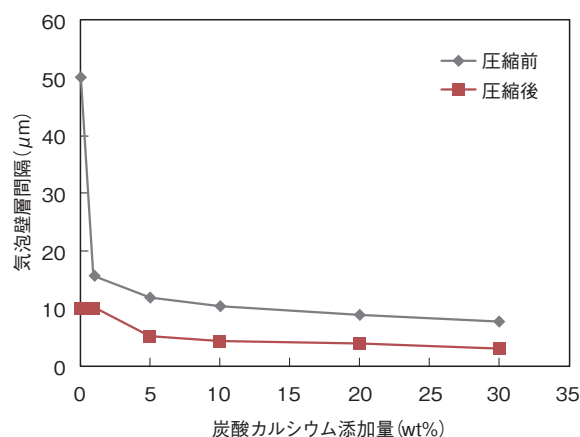


図8 炭酸カルシウムの添加量が気泡壁間隔に及ぼす影響
Effects of the amount of added calcium carbonate on the average distance of adjacent cell walls.

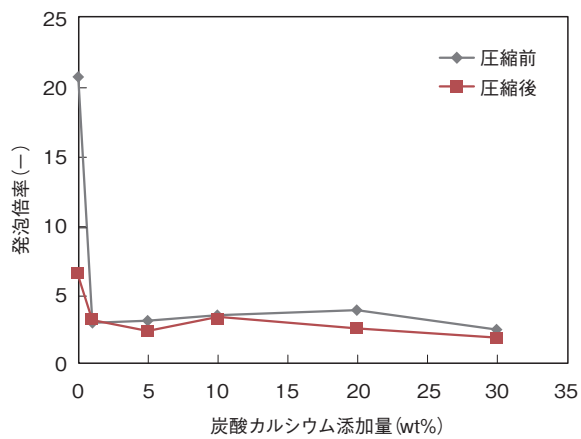


図9 炭酸カルシウムの添加量が発泡倍率に及ぼす影響
Effects of the amount of added calcium carbonate on expansion ratio.

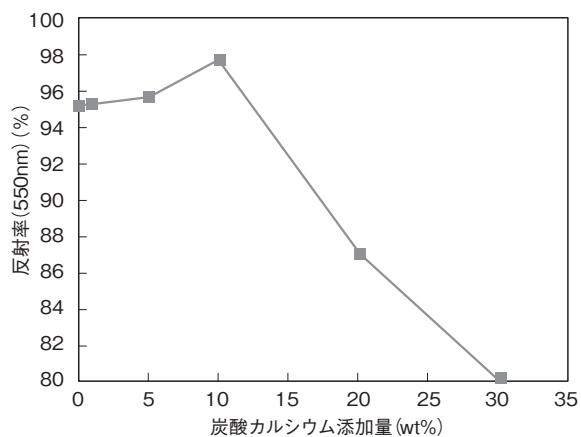
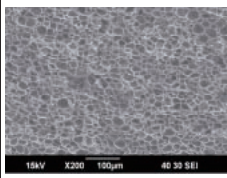
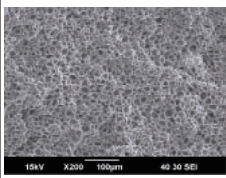
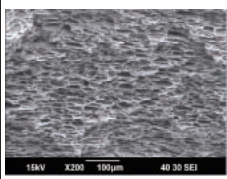
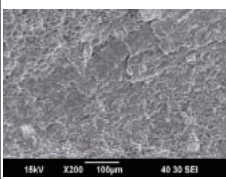


図10 炭酸カルシウムの添加量が反射率に及ぼす影響
Effects of the amount of added calcium carbonate on reflectance.

表6 炭酸カルシウム添加量が気泡構造に及ぼす影響
Effects of the amount of added calcium carbonate on cell structure.

圧縮前		
圧縮後		
炭酸カルシウム添加量 (wt%)	10	30
ガス供給圧力 (MPa)	12	12
設定温度 (℃)	152	152
圧縮後の反射率 (550nm) (%)	97.7	80.0

5. まとめ

押出発泡法で反射率が高くかつ厚肉の発泡シートを得ることを目指した。

反射率を高めるために気泡を微細化し、更に圧縮によって気泡壁層数を増やした。気泡の微細化は圧力効果速度の高いダイの使用、ガス供給圧力の上昇、気泡核剤の量の最適化によって実現した。

最終的に、ポリプロピレンに炭酸カルシウムを10 wt%加えた組成をタイプIVのダイから押出発泡させることで、反射率97.7%、厚さ1.2 mmの発泡シートを得ることができた。

6. おわりに

押出発泡法で反射率の高い発泡シートを得ることができたが、バッチ発泡法で得たシートの反射率(99%以上)にはまだ及ばない。更に反射率を上げる方法として樹脂との屈折率差の高い添加剤を加えるという方法が考えられる。

本報告では成形性については言及できなかったが、得られた発泡シートは延伸されていない厚いシートなので成形性は良いと予想する。ただ、本法で得られたシートを引き延ばしたときは、融着した棒状発泡体同士が剥離しないように工夫する必要があると考える。

参考文献

- 1) 伊藤勝也 他: “ポリエステルフィルム,” 特開平6-322153, (1993)
- 2) 株本 昭: “マイクロセルラープラスチックの新展開 (光反射板への応用),” 成形加工 **11**, (1999), 970.
- 3) M. Blander and J. L. Katz: “Bubble Nucleation in liquids”, A. I. Ch. E. J., **21** (1975), 833.
- 4) M. A. Shafi, K. Joshi and R. W. Flumerfelt: “Bubble size distributions in freely expanded polymer foams,” Chem. Eng. Sci., **52** (1997), 635.
- 5) C. B. Park, D. F. Baldwin and N. P. Suh: “Effect of the Pressure Drop Rate on Cell Nucleation in Continuous Processing of Microcellular Polymers,” Polym. Eng. Sci., **35** (1995), 432.
- 6) R. Byron Bird: “Fluid Mechanics’ Dynamics,” of Polymeric Liquids, Wiley Interscience, Vol. **1** (1987), 176.