

●発泡紙カップ用ラミネート技術の開発

四日市研究所フィルム・ラミG
ポリマー事業部 ポリエチレン部

増田 淳
永野 洋介
幸田 真吾

1. はじめに

発泡ポリスチレン、ポリプロピレンなどで形成されるカップ・トレイは、近年、環境負荷低減の観点から、ポリエチレンラミネート紙へ変更するケースが多くなってきた。特に、断熱性を必要とする飲料やスープ・カップ麺の用途では、ポリエチレンラミネート層を発泡させた容器（発泡紙カップ）が使用されている。

一般に、発泡紙カップは、ポリエチレン／紙／ポリエチレンで構成されている。ポリエチレン層を発泡させる方法としては、上記ラミネート紙を水の沸点及びポリエチレンの融点を超える温度で加熱処理し、紙に含まれた水分が蒸発する膨張力により溶融したポリエチレンが発泡する手法が主流である¹⁾。上記構成のうち、一方のポリエチレン層に低融点である低密度ポリエチレン（LDPE）を、他方のポリエチレン層に高融点である中密度ポリエチレン（MDPE）を使用した構成が多い（図1）²⁾。この構成では、加熱処理時に溶融しないMDPE層（非発泡層）が水蒸気を遮断するため、溶融したLDPE層（発泡層）を効果的に発泡することができる。

当社では、発泡紙カップ用ポリエチレンとして、非発泡層向けにMDPE「LW04-1」を、発泡層向けにLDPE「07C03C」を販売している（表1）。しかし、

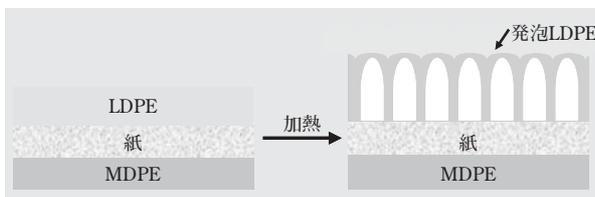


図1 発泡紙カップの模式図

表1 発泡紙カップ用ポリエチレンの性状

	非発泡層	発泡層
		MDPE 「LW04-1」
MFR [g/10min]	6.5	15
密度 [kg/m ³]	940	918

前記の構成では、従来の発泡ポリスチレン容器と比較すると断熱性が十分ではない。断熱性向上には発泡層の厚み増加が効果的であり、更なる性能向上が求められている。

本報では、当社が開発した発泡層厚みの増加が可能なラミネート技術（以下、新規発泡ラミネート技術と記す）について、その性能を紹介する。

2. 新規発泡ラミネート技術

[1] 概要

断熱性向上には、断熱性を付与している発泡層の厚みを向上させる必要がある。しかし、紙の片面のみ発泡させる構成（以下、従来構成）では、発泡層厚みのみを増加させると発泡層表面の平滑性悪化による外観不良が発生することから、限界がある。そこで、我々は、紙の両面に発泡層を配置する方法を試みた（以下、この積層構成を両面発泡構成と記す）。

[2] 発泡性能

まず、両面発泡構成として、紙の両面に積層されたA層、B層共に発泡層のみである構成（構成①）と、B層に発泡層と非発泡層を配置した構成（構成②）について、性能比較を行なった（図2）。なお、発泡層にLDPE「07C03C」、非発泡層にMDPE「LW04-1」を用いた。

両構成を比較すると、B層にMDPEを配置した構成②の方が、発泡層総厚みが大きい。これは、B層に配置したLDPE②の発泡層厚みは同等だが、A層に配置したLDPE①の発泡層厚みが異なるためである。このことから、両面のLDPEを効果的に発泡させるには、片面を発泡させる従来構成と同様、B層に非発泡層を

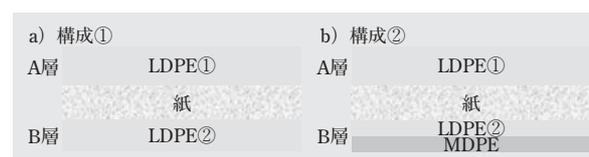


図2 両面発泡構成の模式図

表2 両面発泡構成の発泡性能

		ラミネート厚み [μm]			発泡層厚み [mm] ^{※1}		
		A層	B層		LDPE①	LDPE②	総計
		LDPE①	LDPE②	MDPE			
両面発泡 構成	①	70	40	0	0.48	0.34	0.82
	②	70	20	20	0.65	0.31	0.96
従来構成		70	—	40	0.90	—	0.90

※1 発泡条件：120°C×4min

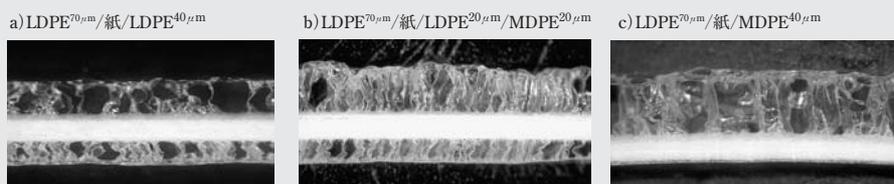


図3 両面発泡構成及び従来構成の発泡断面写真

配置し水蒸気を遮断することにより、A層のLDPEを優先的に発泡させる必要があると考えられる。

また、B層をLDPE/MDPEの2層とし発泡層の総厚みが大きい構成②と従来構成を比較すると、構成②の方が発泡層総厚みが大きく、従来構成よりも断熱性に優れることが示唆された。なお、断面観察より、紙両面に発泡層が形成されていることを確認している(図3)。

しかし、非発泡層にMDPE「LW04-1」を用いた両面発泡構成では、非発泡層表面に凹凸(以下、アバタと記す)の発生が確認された(図4)。次項にてアバタの抑制について説明する。

[3] 非発泡層表面のアバタ発生抑制

(1) アバタの発生機構

アバタ発生部位の断面観察写真を図5に示す。アバタ発生部位では、紙と垂直方向に存在する発泡セル隔壁が破断している。その隔壁の破断は、セルが垂直方



図4 両面発泡構成における非発泡層表面の外観写真
(構成：LDPE^{70μm}/紙/LDPE^{20μm}/MDPE^{20μm})

向に過度に伸長し破断するケースと、セル隔壁方向に水蒸気の膨張力が作用するケースで生じると考えられる。構成②では、表面に弾性率の高いMDPEを設けていることから、後者が原因である可能性が高い(図6)。

(2) 非発泡層向けポリエチレンの選定

アバタ発生機構の仮説より、非発泡層向けポリエチレンの弾性率を低くすることにより、アバタを抑制できると考えられる。ポリエチレンの弾性率を低下させるには、密度を下げるのが効果的である。しかし、密度を低下させると融点も低下するため、加熱処理時

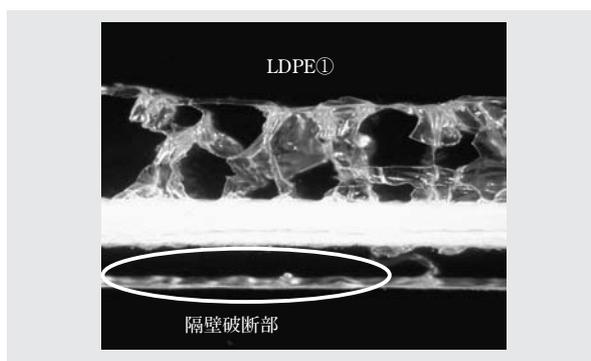


図5 アバタ発生部位の断面写真

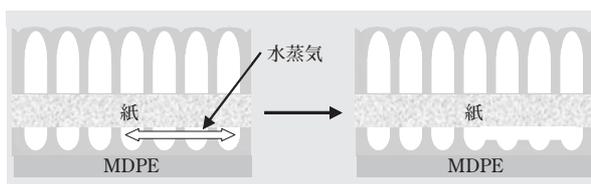


図6 アバタ発生の推定機構

に溶融してしまい、非発泡層としての機能を失うことから両面発泡構成の発泡層総厚みが低下する可能性がある。このことから、両面発泡における発泡層総厚みの増加とアバタ発生抑制の両立には、非発泡層向けポリエチレンの密度と融点のバランスが重要となる。

一般に、製造方法・触媒などが異なるポリエチレンでは、密度と融点の関係が異なることが知られている。そこで、各ポリエチレンの密度と融点の関係を比較した(図7)。LDPE、MDPE及びメタロセン触媒により重合された直鎖状低密度ポリエチレン(以下m-LLDPEと記す)では、密度に対する融点の変化が大きい。一方、チーグラール・ナッタ触媒により重合された直鎖状低密度ポリエチレン(以下ZN-LLDPEと記す)は、他のポリエチレンと比較し、密度に対する融点の変化が小さい。これは、ZN-LLDPEの組成分布が広く、高融点成分を含んでいることに起因している。このことから、非発泡層向けポリエチレンには、低弾性・高融点を満足できるZN-LLDPEが好適であると推測される。

そこで、非発泡層として、前述のMDPE「LW04-1」に加え、ZN-LLDPE「M65」、MDPE「LW01」を用いて、性能評価を行なった(表3)。なお、ZN-LLDPE

「M65」とMDPE「LW01」の融点は概ね同等であるものの、引張貯蔵弾性率は、ZN-LLDPE「M65」の方が低い(図8)。

(3) アバタ抑制効果

非発泡層の異なる両面発泡構成の発泡性能を表4に示す。「LW04-1」よりも密度を下げ、弾性率を低下させることによりアバタの発生数は減少し、更に密度を920 kg/m³近傍まで低下させると非常に良好な非発泡層表面外観を示した。同じ密度のZN-LLDPEとDPEを比較すると、ZN-LLDPE「M65」では高い発泡層総厚みが得られ、これは、LDPEに比べ融点が高いことに起因する。

表3 使用樹脂の物性

	発泡層		非発泡層	
	LDPE 07C03C	MDPE LW04-1	ZN-LLDPE M65	MDPE LW01
MFR [g/10min]	15	6.5	20	4.3
密度 [kg/m ³]	918	940	920	933
融点 [°C] *	103	133	122	127

※ JIS K6922-2 に準拠

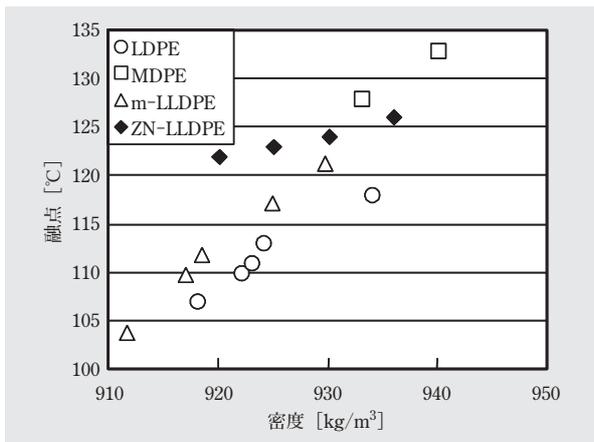


図7 各ポリエチレンの密度と融点の関係

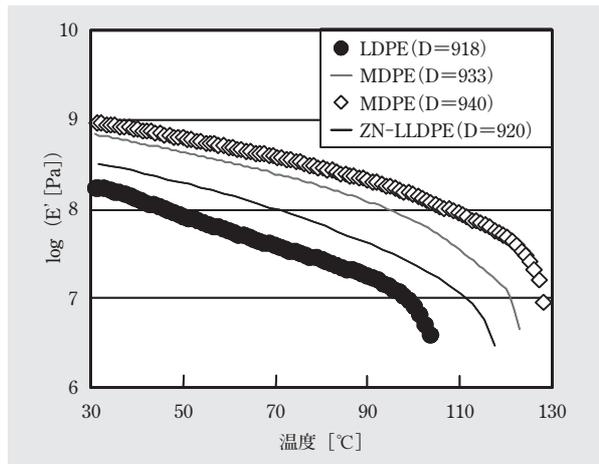


図8 使用樹脂の温度と引張貯蔵弾性率E'の関係

表4 非発泡層樹脂の異なる両面発泡構成の発泡性能

	非発泡層	密度 [kg/m ³]	融点 [°C]	発泡層総厚み ^{※2} [mm]	アバタ発生数 [個/400cm ²]
両面発泡 構成 ^{※1}	M65	920	122	1.03	0
	LDPE	918	103	0.82	0
	LW01	933	127	1.00	15
	LW04-1	940	133	0.96	40
従来構成	LW04-1	940	133	0.90	—

※1 構成：LDPE^{70μm}/紙/LDPE^{20μm}/非発泡層^{20μm}

※2 発泡条件：120°C×4min

[4] 各ポリエチレン層厚みの最適化

各ポリエチレン層のラミネート厚みが異なる両面発泡構成の発泡性能を表5に示す。B層に配置した非発泡層を薄膜化し、LDPE②層の厚みを大きくするほど、発泡層総厚みは増加する。また、A層に配置したLDPE①を薄膜化し、LDPE②層の厚みを大きくすることにより、更に発泡層総厚みの向上が可能となる。

[5] その他の特性～耐ピンホール性～

両面発泡構成では、内容物と接触する非発泡層のラミネート厚みが従来構成よりも小さい。そのため、容

器に使用する場合、内容物の漏れの観点から、耐ピンホール性が重要な特性となる。そこで、水と接触させた際のピンホール性を評価したところ、両面発泡構成についてもピンホールは発生せず、従来構成と同等性能であった(表6)。このことから、両面発泡構成では、幅広い温度範囲において、使用可能と考えられる。

5. まとめ

本報で紹介した両面発泡構成では、使用するPE量を維持したまま、断熱性の向上が可能であることから、発泡紙カップ市場への早期展開を期待している。今後、断熱性の向上だけでなく、美粧性の向上、PE使用量削減による環境負荷低減にも貢献するため、樹脂及び積層構成の改良を進めていきたい。

表5 各ポリエチレン層のラミネート厚みの異なる両面発泡構成の発泡性能

	ラミネート厚み [μm]			発泡層総厚み ^{※2} [mm]
	A層	B層		
	LDPE①	LDPE②	ZN-LLDPE	
両面発泡構成 ^{※1}	70	10	30	0.98
	70	20	20	1.03
	70	30	10	1.09
	60	40	10	1.16
従来構成	70	—	40 ^{※1}	0.90

※1 ZN-LLDPEの代わりにMDPE「LW04-1」を使用
 ※2 発泡条件：120℃×4min

参考文献

- 1) 特開2001-270571など
- 2) 株式会社矢野経済研究所、2010年度版容器市場の展望と戦略(2010)

表6 水接触時における両面発泡構成の耐熱ピンホール性

	ラミネート厚み [μm]			ピンホール数 [個/25cm ²] ^{※2}	
	A層	B層		水温23℃	水温95℃
	LDPE①	LDPE②	ZN-LLDPE		
両面発泡構成	60	40	10	0	0
基準構成	70	—	40 ^{※1}	0	0

※1 ZN-LLDPEの代わりにMDPE「LW04-1」を使用
 ※2 水接触時間：10min