

高機能フィルムの技術動向と市場

金井俊孝*

はじめに

コロナ感染症が広まり始めてからすでに2年半以上が過ぎてしまったが、いまだに完全に元の状態に戻らない状況が続いている。その間に、自然環境対応でプラスチック廃棄物の問題、炭酸ガス排出削減、脱化石燃料依存とサステナブル社会を目指し植物由来原料へのシフトなど、プラスチック業界にとって厳しい状況になっているが、逆にこのチャンス新たなビジネスチャンスと捉えることもできる。

具体的には環境問題として、ごみ問題やマイクロプラスチックの海洋汚染問題なども深刻化しており、マイクロプラスチックの関連対策は年々重要性が増し、レジ袋の有料化が義務付けられ、レジ袋などへの植物由来原料の採用、サステナブルな素材であるポリ乳酸(PLA)やセルロースナノファイバー(CNF)などの植物由来のプラスチックによるCO₂の削減、海中での生分解材料による廃棄プラスチック対策、モノマテリアル化や工場でのロス材料の再利用によるリサイクル化が広く進められている。ポリオレフィン等の二軸延伸による高強度化・高剛性化による減容化、ロングライフ化としてEVOHの共押出多層化やSiO_x、AlO_x蒸着、コーティング等による賞

味期限の延長、紙や無機物のブレンドによるプラスチック材料の減容化など、各社がそれぞれの強みを生かしたフィルム開発が行われ、包装材のリサイクル、減容化、モノマテリアル化、リユース技術の必要性も益々高まってくる。

自動車分野では、大気汚染の観点からガソリン車から電動自動車(xEV)への移行が進行している。2021年に世界の電気自動車(EV)の新車販売台数が約460万台と2020年の2.2倍に増え、初めてハイブリッド車(HV)を上回った。今後、xEVへの移行が進めば、この7~8年で使用される機能性フィルム部材は数倍の急速な伸びが期待されている。例えば、機能性フィルムとして、Liイオン電池用の微多孔構造を有する二軸延伸HDPEやPPのセバレータ、そのLiイオン電池パッケージに使用される二軸延伸PA6(BOPA6)フィルムやPETフィルム、また絶縁破壊電圧が高く、高容量、高耐熱化、軽量化で2.5~3.0 μ mの超薄膜BOPPコンデンサーフィルムの需要の伸びが期待される。

また、情報端末による教育や自宅での業務、WEB会議など、IT端末によるコミュニケーションの重要性が高まっている。今後のディスプレイ分野では、薄肉化、軽量化、高精細を特徴とする有機ELが液晶に比較し大きな伸びが期待されている。スマホ分野では、すでに出荷金額では2018年に有機EL

が液晶を超え、2022年には数量としても、有機ELが液晶を超えることが予想されている。有機EL、LCD、太陽電池など電子部材はハイバリア性の機能が重要になってきている。

また、通信分野では、高速・大容量、低遅延化、接続数の増加に役立つ5Gの普及の期待も益々高まり、比誘電率や誘電正接の小さな基板材料開発が積極的に行われており、5Gが普及すれば車の自動運転化にも拍車がかかる。2028年の米国で開催予定のロサンゼルスオリンピックでは、更に次世代の6G通信が計画されている。これらのディスプレイや通信分野でも高機能フィルムが重要な役割を果たしている。

一方、大量の食品が賞味期限切れにより廃棄されている。ハイバリア包装材料による食品の長期寿命化は、膨大な食品ロスの低減につながり、各種食品、弁当、酒類や医薬品などの各種包装や容器への展開が期待できる。感染防止でなかなか外出ができなかった状況では、賞味期限の長いレトルト食品などでバリア性の高い食品包装の必要性が高まっている。多層化、リサイクルの観点からハイバリアの機能を有したEVOH層を有する共押出多層二軸延伸フィルムも期待され、ハイバリア、脱酸素、多層化、リサイクルなど、更なる技術革新が必要である。

また、塗装は優れた機能付加価値技術ではあるが、CO₂排出量が多く、VOC発生の問題もあり、自動車の内

* KT POLYMER 代表
Tel. / Fax. 0438-62-4411

外装材への加飾フィルムの利用が進むものと期待される。

従来、主に使い捨て紙おむつ用の需要が高かった不織布が、コロナウイルスの感染が世界中に広まり、現在では使い捨てマスクや医療従事者用の防護服としての利用が今までになく高まり、これらの素材となるPPのSpunbondやMelt-blown不織布は、この分野での重要性が高まっている。

そこで、機能性フィルムを題材に、環境対応プラスチックフィルム、食品、飲料、医薬品など、内容物を長持ちさせるためのバリア性包装フィルム、今後大きな伸長が期待される電池用フィルム、ディスプレイ用フィルム、加飾フィルム、高速通信用フレキシブル基板、不織布などの技術動向について、述べてみたい。

1. 包装用フィルムの動向及び高機能フィルムテーマ

2020年の日本の包装・容器の出荷統計実績を（図1）に示した¹⁾。図に示されたように、全体的出荷金額は5兆5,618億円、その内、プラスチック製品は1兆5,519億円（前年対比90.7%）に留まり、全体的出荷数量は1,850万ton、そのうち、プラスチック製品の数量は351万ton（前年対比93.8%）となっており、プラスチックの環境問題が騒がれるなか、この1年間でのプラスチック製品の落ち込みが大きくなっている。

プラスチックフィルムは用途別に見るとプラスチック全体の約39%を占め、非常に大きな割合となっている²⁾。そのなかでも、二軸延伸ポリプロピレンフィルム（BOPP）は包装フィルム用途を中心として、2013年の実績では、世界のBOPPの製造能力は1,152万ton、BOPETの製造能力は660万ton、全体では1,945万tonに達しており（図2）³⁾、その後も世界のPPの包装市場の成長率は年率約6%で伸びて

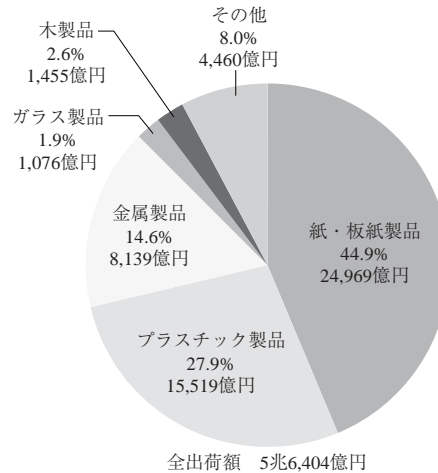
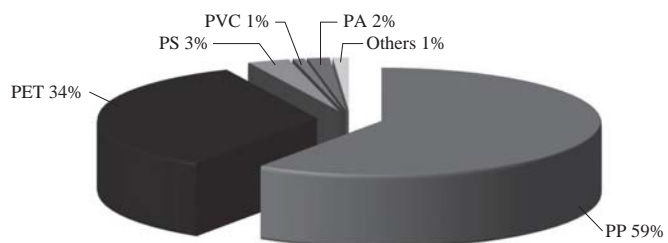


図1 2020年包装・容器出荷金額¹⁾



Raw material	PP	PET	PS	PVC	PA	Others	Total
(1,000ton/年)	11,520	6,600	603	170	322	230	19,450

図2 二軸延伸フィルムの世界の生産能力³⁾

いる。

包装用フィルムは内容物を長持ちさせる包装用フィルムであるバリアフィルムの開発により、食品の賞味期間のLong life化が可能になった。ガラス瓶代替のバリアPET容器（日本酒、焼酎、ワイン、炭酸飲料等）、新鮮生醤油の包装容器などは、バリア層として、例えば、酸素バリア層となるEVOH層を共押出層に挿入、蒸着やコーティング層の付与、酸素吸収層（アクティブバリア）を設ける工夫等がなされている。

最近、機能性フィルム・シートとして、活発に研究開発が進められている興味ある高機能フィルムのテーマの一覧表を表1に示す。

2. 環境対応、機能性包装・IT・自動車用フィルム

SGDsへの取組みがこの数年で活発になってきており、各企業は環境への配慮を求められるようになってきている。日本政府は、令和元年5月、海洋プラスチックごみ問題、気候変動問題、諸外国の廃棄物輸入規制強化の幅広い課題に対応するため、表2に示すような「プラスチック資源循環戦略」を策定し、3R + Renewableの基本原則と、6つの野心的なマイルストーンを目指すべき方向性として掲げている⁴⁾。この促進法が成立したことを受けて、各種プラスチック使用製品は環境配慮設計が求められることになった。このことも踏まえ、環境テーマと機能性フィルム開発について、記載する。

表1 高機能フィルムテーマ

フィルム種類	高機能フィルム	用途	要求特性
環境対応材料	植物由来材料, PLA, PBS/PBSA, PHA PHBH, デンプン, セロハン, CNF	ゴミ袋, 食品包材, 農業資材 家電・自動車部材 微細発泡体, 補強材料	成形加工性, 生分解性, 高弾性 高強度, 非化石燃料素材
3R 減容化 リサイクル リユース	BOPE, 高耐熱BOPP モノマテリアル化, 耐熱分解 耐劣化	包装材料 家電・自動車材リサイクル 省資源	良延伸性, 高剛性・高強度 高剛性・高耐熱, リサイクル性
液晶用	偏光フィルム, 超複屈折 位相差視野拡大, 反射プリズム 拡散プロテクト	大型TV, 携帯電話 パソコン, PDA 各種ディスプレイ	厚み均一性, 高透明, 寸法精度 低残留応力, 低位相差 輝度・長期寿命, 耐熱・透明薄膜 低異物, ハイバリア, 配向均一性 歩留まり, 良表面外観, 低ボーイング
有機EL用や表示用	有機EL用超ハイバリア (有機無機ハイブリッド)	スマホ携帯, TV, 照明	輝度・長期寿命, 耐熱・透明薄膜 低異物, ハイバリア, 配向均一性 歩留まり, 良表面外観, 低ボーイング
	導電性フィルム	タッチパネル	
	電子ペーパー	電子書籍	
電池関係	バックシート (PET)	太陽電池 (無機, 有機)	耐候性, 耐熱, 反射性, 低吸水
	封止材シート (EVA)		耐光性, 耐熱, 低温封止, 低吸水
	セパレータ (ポラスHDPE)	Liイオン電池 全固体Li電池	均一孔径, 融点, 自己修復
	ソフトパッケージ (PET/PA6/Al/PP)		高強度, ヒートシール強度, 深絞り ハイバリア
	超薄膜フィルム (BOPP)		大容量コンデンサー
高速通信	フレキシブル基板 LCP, PI, PEN, SPS, PTFE	高速通信5G, 6G等 自動運転車, 家電, IoT	高周波特性 (誘電特性), 高耐熱性 表面平滑性, 寸法精度, 異物フリー 低線膨張係数, 低吸湿性
食品包装	ハイバリア包装 (EVOH)	長期保存食品	ハイバリア, 透明性
	レトルトフィルム	レトルト食品	易裂性, 衝撃性, ボイル特性
医療包装	ハイバリア	PTP (両面ハイバリア) 輸液バック	ハイバリア, 賦形性, 透明性 安全性, 異物フリー
透明包装・トレイ	高透明フィルム	文具, 化粧品パッケージ 電子レンジ用トレイ	高透明 (急冷, 結晶制御, 球晶抑制) 高剛性, 熱成形性
加飾	加飾フィルム PP, PMMA, PET, PC, ABS	家電, IT, 建材, 自動車 バイク	高透明, 印刷性, 硬度 賦形性, 耐傷付性, 耐候性 厚み精度

2.1 生分解性プラスチック

世界のプラスチックごみの発生量は年間3億tonを超え、環境中に流出して観光や漁業に悪影響をもたらすなどの損害額は年間130億ドル (約1兆4,000億円) に上ると推定されている。また、海洋に漂流するプラスチックの正確な量は把握されていないが、世界でプラスチックの全生産量3億6,700万ton/年のうち、900万ton/年を超えるプラスチックごみが陸上から海洋へ流出していると報告されており⁵⁾、

その約55%が東南アジアから排出され、特に中国、インドネシア、フィリピン、ベトナムからの排出量が多い。プラスチックの消費量が急速に伸びている一方で、プラスチックごみ処理能力が追いつかないまま、投棄されている問題があり、海洋汚染につながっている。

そのごみ問題対策の一つとして、生分解性プラスチックが、最近急速に関心を集めている。生分解性プラスチックとは、使用中は通常のプラスチックと同様に使えて、使用後は自然界にお

いて微生物が関与して低分子化合物へ、更に最終的に水と二酸化炭素に分解されるプラスチックである。

(1) 現在開発されている環境にやさしいプラスチック

プラスチックを環境面から分類すると、化石資源を原料にする石油合成プラスチックと植物資源 (カーボンニュートラル) の二つに分類でき、またそのなかでも生分解するプラスチックと生分解しないプラスチックに分類される。そのため、環境にやさしい生分解性プラスチックは、原料が必ずしもバ

表2 プラスチック資源循環戦略



プラスチック資源循環戦略（概要）

令和元年5月31日

背景

- ◆廃プラスチック有効利用率の低さ、海洋プラスチック等による環境汚染が世界的課題
- ◆我が国は国内で適正処理・3Rを率先し、国際貢献も実施、一方、世界で2番目の1人当たりの容器包装廃棄量、アジア各国での輸入規制等の課題

重点戦略

基本原則：「3R+Renewable」

【マイルストーン】

リデュース等	<ul style="list-style-type: none"> ▶ワンウェイプラスチックの使用削減（レジ袋有料化義務化等の「価値づけ」） ▶石油由来プラスチック代替品開発・利用の促進 	<p><リデュース></p> <p>① 2030年までにワンウェイプラスチックを累積25%排出抑制</p> <p><リユース・リサイクル></p> <p>② 2025年までにリユース・リサイクル可能なデザインに</p> <p>③ 2030年までに容器包装の6割をリユース・リサイクル</p> <p>④ 2035年までに使用済プラスチックを100%リユース・リサイクル等により、有効利用</p> <p><再生利用・バイオマスプラスチック></p> <p>⑤ 2030年までに再生利用を倍増</p> <p>⑥ 2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入</p>
リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> ▶プラスチック資源の分かりやすく効果的な分別回収・リサイクル ▶漁具等の陸域回収徹底 ▶連携協働と全体最適化による費用最小化・資源有効利用率の最大化 ▶アジア禁輸措置を受けた国内資源循環体制の構築 ▶イノベーション促進型の公正・最適なりサイクルシステム 	
再生材 バイオプラ	<ul style="list-style-type: none"> ▶利用ポテンシャル向上（技術革新・インフラ整備支援） ▶需要喚起策（政府率先調達（グリーン購入）、利用インセンティブ措置等） ▶循環利用のための化学物質含有情報の取扱い ▶可燃ごみ指定袋などへのバイオマスプラスチック使用 ▶バイオプラ導入ロードマップ・静脈システム管理との一体導入 	
海洋プラスチック対策	<p>プラスチックごみの流出による海洋汚染が生じないこと（海洋プラスチックゼロエミッション）を目指した</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ポイ捨て・不法投棄撲滅・適正処理 ▶海岸漂着物等の回収処理 ▶マイクロプラスチック流出抑制対策（2020年までにスクラップ製品のマイクロビーズ削減徹底等） ▶海洋ごみ実態把握（モニタリング手法の高度化） ▶代替イノベーション推進 	
国際展開	<ul style="list-style-type: none"> ▶途上国における実効性のある対策支援（我が国のソフト・ハードインフラ、技術等をオーダーメイドパッケージ輸出で国際協力・ビジネス展開） ▶地球規模のモニタリング・研究ネットワークの構築（海洋プラスチック分布、生態影響等の研究、モニタリング手法の標準化等） 	
基盤整備	<ul style="list-style-type: none"> ▶社会システム確立（ソフト・ハードのリサイクルインフラ整備・サプライチェーン構築） ▶技術開発（再生可能資源によるプラ代替、革新的リサイクル技術、消費者のライフスタイルのイノベーション） ▶調査研究（マイクロプラスチックの使用実態、影響、流出状況、流出抑制対策） ▶連携協働（各主体が一つの旗印の下取組を進める「プラスチック・スマート」の展開） 	<ul style="list-style-type: none"> ▶資源循環関連産業の復興 ▶情報基盤（ESG投資、エシカル消費） ▶海外展開基盤

- ◆アジア太平洋地域をはじめ世界全体の資源・環境問題の解決のみならず、経済成長や雇用創出 ⇒ 持続可能な発展に貢献
- ◆国民各界各層との連携協働を通じて、マイルストーンの達成を目指すことで、必要な投資やイノベーション（技術・消費者のライフスタイル）を促進

環境省 プラスチック資源循環戦略 <https://plastic-circulation.env.go.jp/about/senryaku>

バイオマスである必要はなく、石油から合成されているものもある。

当然、植物由来の原料で製造されたバイオPE、バイオPP、バイオPETなどは、いったんアルコールを経由して、PE、PP、PETなどを合成するため、物性や成形性は通常の化石燃料から合成されたプラスチックとほぼ同じであり、カーボンニュートラルという観点では意味があるが、生分解しないため、海洋汚染対策にはつながらない。

生分解性プラスチックとして、最初に開発された材料は石油から合成されたエステル結合を有するポリエステルである。一方、バイオマスプラスチックは、再生可能資源であるバイオマスを原料としている点に特徴があるが、

すべてのバイオマスプラスチックが必ずしも生分解性という機能を持っているわけではない。バイオマスプラスチックでは、化石燃料ではなく、植物由来の原料から二酸化炭素の循環を考慮した「カーボンニュートラル」材料である。

主なバイオプラスチックの種類と用途、世界の製造能力を表3⁵⁾に示す。主なバイオプラスチックはトウモロコシや砂糖キビなどの植物由来原料による生分解性を示さないバイオPE、バイオPET、バイオPAと生分解性を示すPLA、PHA、でん粉由来のポリエステル樹脂である。世界のバイオプラスチック製造能力は2019年には211万ton（生分解性バイオプラスチックは

94万ton、非分解性バイオプラスチックは117万ton）であり、2024年には242万ton（生分解性バイオプラスチックは109万ton、非分解性バイオプラスチックは133万ton）と推定している。主なバイオプラスチックは、非生分解性としてバイオPE 25万ton、バイオPET 21万ton、バイオPA 25万ton、生分解性としてPLA 29万ton、でん粉ポリエステル樹脂45万tonとなっている。

日本では、レジ袋など通常の化石燃料PEを100%使用したレジ袋は有料化が義務付けられているが、トウモロコシや砂糖キビなどの植物由来原料からのバイオマス原料を25%以上使用した場合には、有料化の対象外であり、

表3 主なバイオマスプラスチック⁵⁾

樹脂	主なバイオマス原料 ^{a)}	バイオマス度上限 ^{a)}	生分解性 ^{a)}	主な用途 ^{a)}	世界の製造能力 ^{b)} (万 ton)		主なメーカー ^{b)}
					2019 (実績)	2024 (予測)	
バイオPE	バイオエタノールや植物油由来等のバイオナフサ等	100%	×	石油由来のPE, PP, PETと同じ用途	25	29	Braskem社 (ブラジル), LyondellBasell社 (米国), Dow (米国), SABIC社 (サウジアラビア)
バイオPP	植物油等由来のバイオナフサ等	100%	×		2	13	LyondellBasell社 (米国), Borealis社 (オーストリア), SABIC社 (サウジアラビア)
バイオPET	テレフタル酸及びバイオマス由来のエチレングリコール (MEG)	約30%	×		21	15	【モノマー (MEG)】 India Glycols社 (インド) 【ポリマー】 Indorama Ventures社 (タイ), Lotte Chemical社 (韓国), Far Eastern New Century Corporation社 (台湾), 東レ(株) (日本), 帝人(株) (日本), 東洋紡(株) (日本)
バイオPA		100%	×	自動車部品, 電気電子部品等	25	30	Arkema社 (フランス), Evonik社 (ドイツ), BASF社 (ドイツ), DSM社 (オランダ), DuPont社 (米国), 東レ(株) (日本), ユニチカ(株) (日本), 東洋紡(株) (日本), 三菱ガス化学(株) (日本)
	PA11	ヒマシ油	100%				
	PA610	ヒマシ油(片方のモノマー)	約60%	×			
PLA	バイオマス由来の乳酸	100%	○	食品容器, 繊維, 農業用資材等	29	32	NatureWorks社 (米国), Total Corbion PLA社 (オランダ), Zhejian Hisun Biomaterials社 (中国)
PBS	バイオマス由来のバイオコハク酸 (片方のモノマー)	約50%	○	農業用資材, カトラリー, コンポスト用バッグ等	9	9	PTT MCC Biochem社 (タイ)
PHA (PHBH等)	糖や植物油 (微生物が体内にポリマーを生成)	100%	○	食器類, 農業用資材等	3	16	Newlight Technologies社 (米国), Danimer Scientific社 (米国), Tianan Biologic Material社 (中国), 株カネカ (日本)
でん粉ポリエステル樹脂	でん粉 (可塑化して他のバイオプラスチックとブレンド/コンパウンド)	100%	○	野菜・果物袋, 農業用資材等	45	45	Novamont社 (イタリア)
バイオPC	バイオマス由来のイソソルバイド (片方のモノマー)	約60-70%	×	自動車用途等	—	—	三菱ケミカル(株) (日本), 帝人(株) (日本)

(出典) a) : 日本バイオプラスチック協会 吉田正俊, 「バイオプラスチックの開発と展望」, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 30, No.2 (2019年) 及び 日本バイオプラスチック協会 吉田正俊, 「バイオプラスチックの実用化に向けた取組の現状と展望」, 環境情報科学48巻3号 (2019年) をもとに作成

b) : 欧州バイオプラスチック協会, “Bioplastic Market Development Update 2019”, https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2019/11/Report_Bioplastics-Market-Data_2019_short_version.pdf
バイオプラスチック導入ロードマップ検討会参考資料から抜粋

かつ日本バイオプラスチック協会のバイオマスマークの認証が得られる。そのため、レジ袋やごみ袋などは成形加工性もほぼ同じ条件で成形できるため、バイオマス原料を化石燃料からの原料にブレンドするケースが増えている。

現在注目されているバイオマス資源によるプラスチックの代表例であるPLAやセルロースナノファイバー(CNF)、生分解性プラスチックについて、

以下に述べる。

(2) ポリ乳酸 (PLA)

最も一般的な植物性由来材料であるPLAの結晶化速度や耐熱性はD体の濃度で大きく左右されるため、この値を4%以下に制御したPLAを溶融押出してシート化し、更に延伸することでフィルムを作製することができる⁷⁾。PLAは、比較的結晶サイズを小さく制御することができるため、透明で配向した延伸フィルムを作製することがで

きる。通常、70～80℃程度の耐熱性を有する。

PLAを使用して医療用プラスチックや生分解プラスチックの研究が推進されており、PLA (T_m 160～170℃)はPET (T_m 260℃)と比較し、耐熱性が低い欠点があった。それを解決するために、ポリ-L-乳酸とポリ-D-乳酸のステレオコンプレックスが新たな構造を形成することによる耐熱性向上(200～230℃)が見出され、製品開発

されている⁸⁾。マツダのカーシート、バスタオル、電子機器の筐体、TV外枠に使用開始されている⁸⁾。また、生分解性を利用した農業用マルチフィルムも開発されている。

国内のPLAメーカー・サプライヤーとして、ユニチカはPLAを原料としたバイオマス素材、テラマック[®]シリーズを展開している⁷⁾。テラマックは、コンポストで生分解性を示すプラスチックであるPLAをユニチカが改質・成形したプラスチック材料で、通常の室温環境下ではほとんど分解せず、長期間使用可能で、通常のプラスチックと同様である。使用後にコンポスト又は土中などの高温と高湿度の環境下に置くことで加水分解が促進され、その後、微生物による分解（生分解）が進行し、最終的にはCO₂と水に分解すると報告されている⁹⁾。

富士ケミカル(株)は生分解性プラスチック「ラクリエ」を製造し、射出成形、押出、ブロー成形向け各種グレードの開発・製造・販売している。とうもろこしなどのでん粉から得られる乳酸を原料とする植物由来の樹脂で、PLAの特性である生分解性により、使用後は微生物の働きによりコンポスト化が可能である。用途展開例としては、生分解性ストローや植生ピンなどがある¹⁰⁾。

海外のPLAメーカーとして、NatureWorks LLCは世界最大のPLAサプライヤーである。米国の穀物メジャー、カーギル社とタイ最大の石油化学メーカーであるPPTグローバルケミカル（PTTGC）が出資しており、PLAを各種プラスチック製品や繊維分野に展開している¹¹⁾。

Total Corbion PLAは、フランスの石油メジャーのトタル社とオランダの乳酸メーカーのコービオン社の合弁会社で、世界第2位のPLAサプライヤーであり、タイ東部のラヨン県にPLAの製造拠点を有している¹²⁾。

安徽豊原福泰来聚乳酸は中国安徽省

に製造拠点が有り、世界第3位のPLAサプライヤーで、日本国内ではハイケム(株)が取扱いを開始しており、ハイケムは日本と中国の架け橋として、顧客のニーズに対応している¹³⁾。

PLAは、バイオマスプラスチックとして有名であるが、エステル結合が加水分解で分解し、オリゴマーまで分解された後、一般的な微生物の働きで水と二酸化炭素にまで分解される。土壌中でもこの分解は徐々に進むが、完全に水と二酸化炭素にまでに分解するには温度にもよるが5年程度はかかる。これに比べて、コンポスト条件（PLAのT_g以上の温度60℃以上、湿度60%以上）に上げることができれば、約1カ月で完全に分解できることが分かっている¹⁴⁾。

PLAを使用中は分解しにくく、使用後は分解を促進させる方法として、分解する酵素proteinase-Kを200℃での溶融混練下で耐えられるように、多孔質なゲルに固定化した後、PLAと熱混練し、酵素を内包させる方法がある。酵素を内包したPLAを使用したフィルムは使用中には分解しにくいですが、使用後に水の中に浸漬し、物理的に崩壊すると、フィルムの切断面に露出した酵素が水と接触し活性化することにより分解することが確認されている⁶⁾。具体的には、PLAペレットと高耐熱性固定化酵素を200℃で熱混練し、酵素

内包PLAフィルムを作製、環境に流出すると、ひび割れや破断などの物理的崩壊により、水が酵素に接触し、分解が開始する（図3）。

PLAは溶融張力が低く、硬く、結晶化速度が遅いため、インフレーション成形では一般的には可塑剤を添加して、溶融張力を上げ、かつ柔軟性を上げて、フィルム成形する必要がある。

（3）海洋生分解プラスチック

最近、海洋汚染問題対策で注目されているのは、海洋生分解プラスチックである。カネカが微生物産生ポリエステル（PHBH；ポリヒドロキシアルカン酸の一種）を5,000ton／年生産しているが、価格、物性、成形性に課題もあり、日用品など適用範囲も狭く、全プラスチック生産量から考えれば少量である。三菱ケミカルも土壌での生分解性を有するポリブチレンサクシネート（PBS）を生産しており海洋での生分解性も期待されるが、PHBHと同様な課題が指摘されている。

でん粉配合の海洋生分解性プラスチックも期待されている。でん粉と生分解性熱可塑性ポリマーとのブレンドであるマタービー（Mater-Bi）は、15万ton/年生産されており、生分解性を生かした農業用マルチフィルム、レジ袋、コンポストバック、紙ラミネート、食器・容器類、射出成形品等に加工できる。高価格で、限定的な物性からヨー

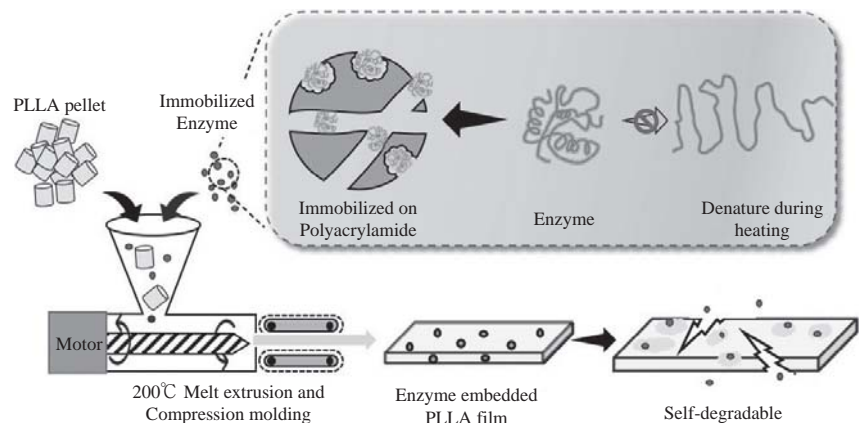


図3 生分解性開始機能を有する酵素内包生分解性プラスチック⁶⁾

ロッパでは広く使用されているが、日本では広く流通してはいない。PBATやPLA等の原料を使用した生分解マルチフィルム等の開発が進行しており、大倉工業は、生分解マルチフィルムを上市している¹⁵⁾。生分解マルチフィルムは、収穫後地中にすき込むことで分解し、マルチフィルムの回収が不要になるため、植え付け面積が広い場合やマルチフィルムの回収が難しい作物の場合に適している(図4)。

大阪大学の宇山研究室では、加工でん粉とTOMPO酸化セルロースナノファイバー(TOCN)の複合化による海洋生分解性プラスチックシートが開発されている¹⁶⁾。加工でん粉とTOCN

を複合化するとでん粉の耐水性が大幅に向上し、水中でも溶解せず、透明で、強度がPE、PPよりも向上すると報告されている。更に、海水中に一カ月浸漬すると分解が進み、シートに多数の穴が開き、穴付近に菌類を含む微生物の存在が確認されている。でん粉含有複合シート表面にバイオフィームが形成し、バイオフィーム(微生物)から産出した酵素によりシートが生分解したと考えられている。海洋生分解を誘発するトリガーとしてでん粉を用いることで、通常使用では分解せず、海洋中に浸漬されることで分解が開始されるスイッチ機能をプラスチックに搭載できると報告されている(図5)。

熱可塑性でん粉をベースに、生分解性プラスチック(PBS, PLA, PBAT等)をブレンドすることで、海洋生分解バイオマスプラスチック(MBBP)の開発が進められており、要求特性に応じて、炭酸カルシウム、セルロース等のフィラーを添加することができる。ブロー成形品、インフレーションフィルムや射出成形品が成形されている(図6)。

また、この材料設計発想の源として、ドイツのBASF社で開発された芳香族含有生分解ポリエステル(PBAT, ポリブチレンアジペートテレフタレート)の土壌中での生分解機能が挙げられる。BASF社は農業用マルチフィル

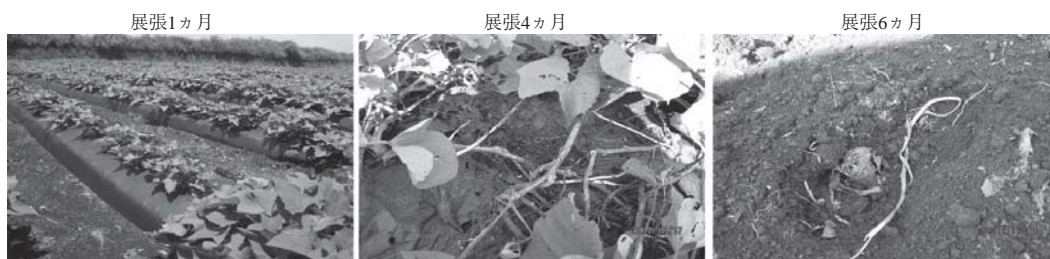


図4 生分解フィルムの分解¹⁵⁾

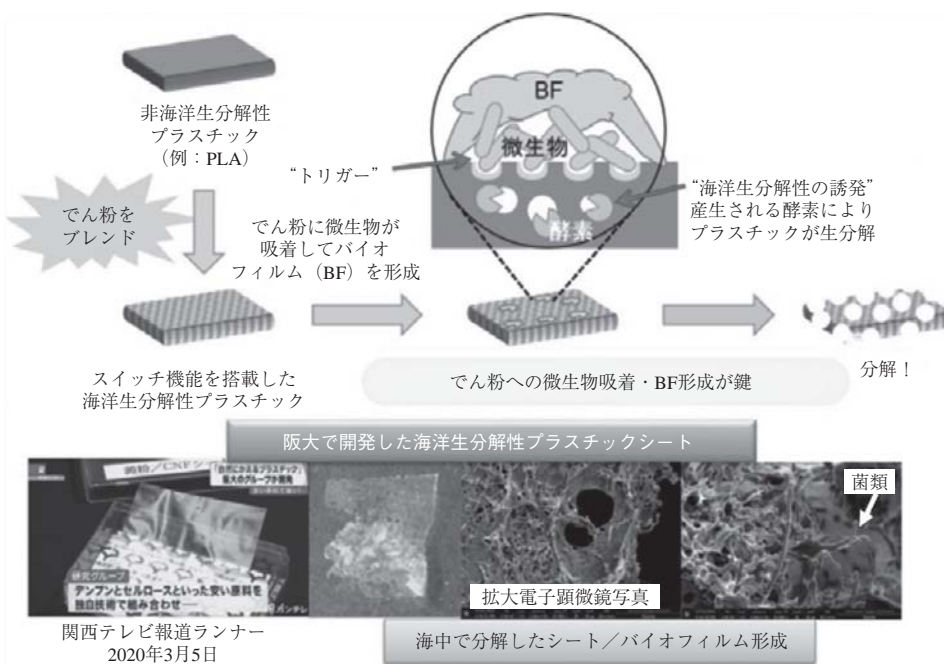


図5 海洋生分解機能発現の材料設計(大阪大学プレスリリース 2020年11月4日)

ム用途で、PLAとPBATのブレンド（商品名：エコバイオ）を事業化している。PLAは土壌中では生分解を示さないが、土壌生分解性を示すPBATとブレンドすることで、土壌中で生分解することを示している。

日本の酪農の分野でも牧草用のストレッチフィルムが大量に使用されており、使用済フィルムの回収とリサイクルが行われている。

(4) セルロースナノファイバー

植物由来材料であり、環境型資源であるセルロースナノファイバーも、木質バイオマスの応用例として最近注目を集めている。セルロースナノファイバーはセルロース分子鎖が規則的に配列した結晶性のマイクロフィブリルで直径3～4nm、長さサブミクロン～数ミクロンのサイズからなっている。セルロースナノファイバーは植物由来であることから、紙と同様に環境負荷が小さくリサイクル性に優れた材料であり、かつ地球上にあるほとんどの木質バイオマス資源を原料にでき資源的にも豊富な材料で、次世代の大型産業資

材あるいはグリーンナノ材料として注目され、近年盛んに研究開発が行われている。セルロースナノファイバーは、鋼鉄の1/5の軽さで、低線膨張係数、高強度・高弾性率、発泡成形性（高倍率・微細発泡化、吸音特性向上）、高透明性の改善効果を有し、自動車部材の補強、スピーカーコーン、微細発泡容器、包装材料のバリア付与、ディスプレイのガラス代替などの応用が期待されている¹⁷⁾。

また、安全性、長期耐久性に関する基準が厳しい自動車への本格投入はその後となるが、それに先立ち2019年

には、22の機関が参画し、ドア（外板、トリム）、樹脂ガラス、エンジンフード、リアスポイラー、ホイールフィン、ルーフサイドレール、フロア部材など様々な部材にCNF材料を利用した実走するクルマ：ナノセルロースヴィークル（NCV）が完成し、東京モーターショーに出展した。NCVではCNFによる部材の軽量化効果で一般的な自動車と比較し16%の軽量化、11%の低燃費化を達成できるとしている。図7にそのコンセプトカーの一例を示す¹⁸⁾。



図6 でん粉ペレット、MBBPコンパウンド、ダンベル片（左）、ボトル（中）、フィルム（右）

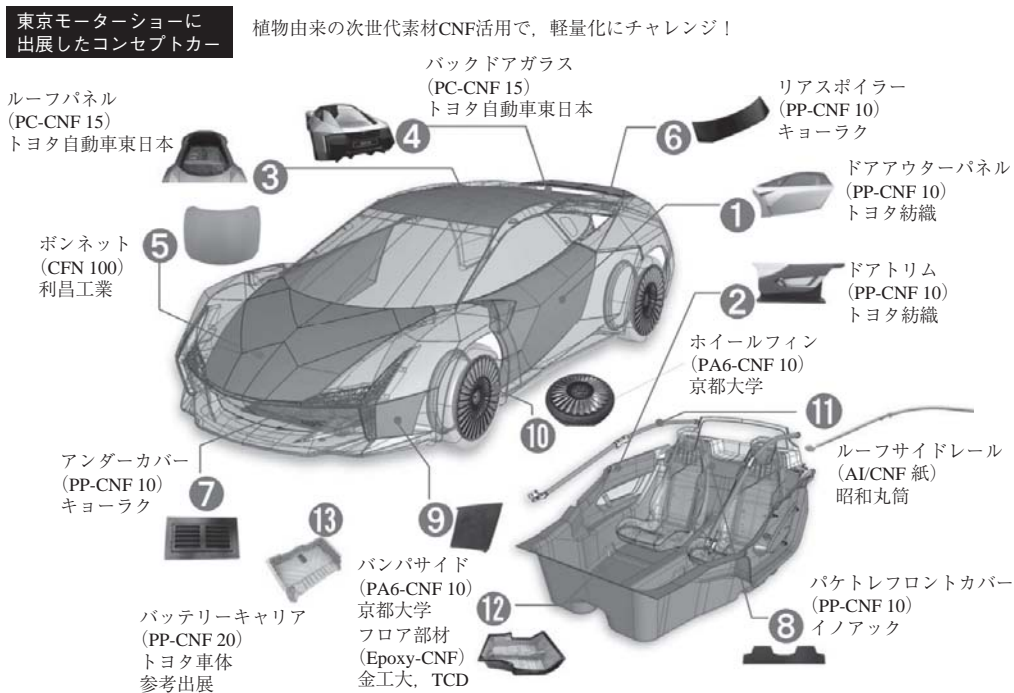


図7 木からつくったミライのクルマ

2.2 環境対応に対する取組みの減容化、モノマテリアル化、リサイクル化

食品、タバコ、繊維包装などに多く使用されているポリオレフィンを使用したフィルムの研究開発が行われている。例えば、PPでは高速化が進行し、最近の二軸延伸機は有効幅8.4m幅、巻取速度約525m/minが中心になっており、1機で3万ton/年の生産量に達しており³⁾、更に600m/minで10m幅を超える成形機も販売されており、依然として年率6%の成長率を維持している。

今後は包装用途として、高剛性・薄肉化BOPPフィルムや電動車向けのコンデンサーフィルムに代表されるような薄膜・均一化・高次構造制御による表面凹凸制御技術、Liイオン電池用セパレータなどの均一で微細な孔径制御されたフィルムの開発などが注目されている。また、食品のロングライフ化を狙って、バリア性を有し、広い延伸温度範囲で延伸性に優れた変性EVOH樹脂を共押し出したフィルムやシート、更に二軸延伸した共押し出BOPPやBOPEフィルムの開発も行われている。

最近ではPPだけでなく、延伸することで高強度化による減容化を期待したPE二軸延伸フィルムの開発が盛んになっている。直鎖状低密度ポリエチレン(LLDPE)の二軸延伸フィルムではチューブラー延伸法による高強度なシュリンクフィルムが製造されている。これは密度の異なる樹脂のブレンドで組成分布を広げることにより、延伸可能な温度範囲が狭いLLDPEの延伸性を改良し、突刺強度や衝撃強度の高いシュリンクフィルムが開発されている^{19),20)}。水素結合が強いPA6の延伸でも、チューブラー延伸法で、BOPA6フィルムを製造し、高強度を生かしレトルト包材や電池用パッケージ等に使用されている。また、高強度、

耐ピンホール性、吸湿寸法安定性の優れたPBT二軸延伸フィルムも開発されている²¹⁾。

一方、生産性の高い逐次二軸延伸テンター法では、PPやPETだけでなく、PA6やLLDPE、HDPEの二軸延伸フィルムが生産されている。LLDPEの二軸延伸フィルムは未延伸の熔融キャストフィルムと比較し、衝撃強度、透明性や引張り強度が高い。ヒートシール温度も低いため、PEフィルム単体の利用だけでなく、PEシーラントとしても展開されている。テンター二軸延伸用PEは、Dow Chemical、Sabic、Sinopec、Nova Chemicals等が市場に供給中である。Dow Chemicalの報告では、テンター法逐次二軸延伸によるBOPEフィルムでは未延伸フィルムと比較して、弾性率、衝撃強度、光学特性が大幅に向上し、易引裂性を有することが報告されており²²⁾、未延伸フィルムに対して30%程度の減容化が期待される。

米袋、ペットフード袋、頑丈な輸送袋、液体洗剤袋等の用途において商品化されている。原料や延伸機の改良により、2021年12月に開催された高機能フィルム展では、密度0.921のLL-BOPEフィルムや密度0.937のHD-BOPEフィルムが展示されている(図8)²²⁾。

SABICも同様に延伸性に優れたBOPEの原料販売を行っている。またNova ChemicalsやDow Chemicalは、より剛性の高いHDPEを使用したHD-BOPEフィルム用原料を開発し、高強度、易開封性、モノマテリアル化やリサイクルしやすい特徴を生かした用途に展開中である。

環境対応のため、現在、原料やフィルム製造の多くは欧米や中国を中心にプラスチックの減容化、モノマテリアル化が進行しているが、日本企業でもPE製造メーカーの2~3社が顧客限定でBOPE用原料を供給している。

BOPE用の二軸延伸機の開発もブル

ックナー社や日本製鋼所などで行われており、BOPPフィルム用逐次二軸延伸機用押し出機のせん断発熱の抑制、ダイのリップ部の適切な開度、キャスト成形時の安定化、結晶化を抑制するための高効率のシャワー水冷、延伸部テンターオープン内の温度均一化なども検討されている²³⁾。表4にBOPE関連メーカーを示している。

また、高立体規則性PPを使用した耐熱BOPPフィルムが東レ^{24),25)}や東洋紡^{26),27)}で開発されている。延伸過程での結晶化制御技術や二軸延伸フィルムの高結晶化制御により、従来のBOPPフィルムよりも収縮開始温度が大幅に高い耐熱性を有し、二次加工時の高温下での低収縮フィルムが達成できたと報告している²⁵⁾。また、BOPPの高耐熱化によりBOPETの置き換えやモノマテリアル化、工業製品にも適用可能な用途をターゲットにして市場拡大を狙っている²⁷⁾。

同時二軸延伸テンター法は、逐次二軸延伸では水素結合が強く、結晶化速度が速く延伸しにくいPA6やEVOHなどのフィルムの生産に利用されている。ユニチカは二軸延伸PA6フィルムのアジア地域を中心とした食品、特に食肉包装やレトルト食品包装用途などの需要拡大やLi電池パッケージフィルム等の急速な需要増が見込まれ、2020年末にはインドネシアに年産1万tonの設備を増設し、グループ全体で年産5万1,500ton体制になっている²⁸⁾。

2.3 易裂性、バリアフィルム

開封しやすい易裂性フィルムが各社から上市されている。そのなかの一例として、易裂性ナイロンフィルムはPA6にバリア性を有するMXD6をブレンドすると、ダイス内でMXD6が縦方向に配向したドメインを形成し、その後延伸することにより、高強度と直線カット性を有する延伸フィルムが開発されている(図9)²⁹⁾。易裂性と高

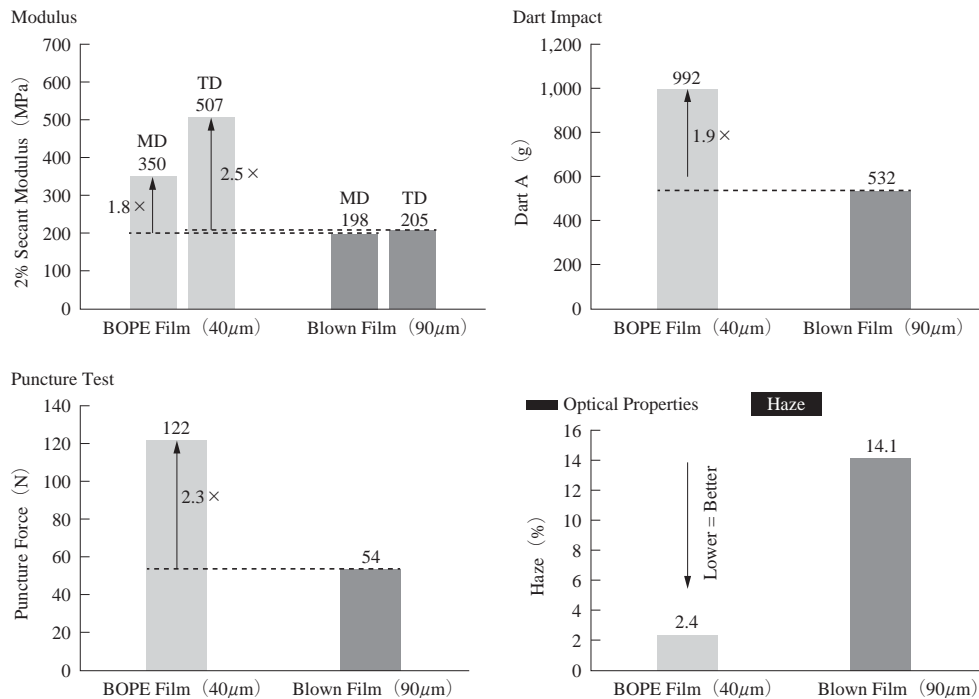


図8 二軸延伸PEフィルムとインフレーションフィルムの物性比較⁵⁾

表4 BOPE関連メーカー

BOPE 関連メーカー	BOPE 樹脂メーカー		BOPE Film メーカー		BOPE 機械メーカー
	LLDPE	HDPE	LLDPE	HDPE	LLDPE, HDPE
原料メーカー					
Dow Chemicals (米国)	○	○			
Nova Chemicals (カナダ)		○			
SABIC (サウジ)	○				
Sinopec (中国)	○				
フィルム製造メーカー					
Jindal Films (米国, 仏)			○	○	
Plastchim-T (ブルガリア)			○	○	
Maxspecialityfilms (インド)			○		
Shaoxing Huabiao (中国)			○		
DeguanFilm (中国)			○		
Foshan Fosun (中国)			○		
Xiamen Goodway (中国)			○		
大倉工業 (日本)			○ ^{a)}		
住友ベークライト (日本)			○		
機械メーカー					
Bruckner (ドイツ)					○
日本製鋼所 (日本)					○

a) チューブラー延伸

強度を単層のフィルムで満足できるため、2層構成のラミ・製袋品の目的を1層で達成することが可能となり、か

つバリア性も付与することができる。また、共押出多層インフレーション成形で両外層にPE、中間層にPE系易カ

ット樹脂から構成されるPE直線カット性フィルム³⁰⁾やポリオレフィンにCOCをブレンドして直線易カット性

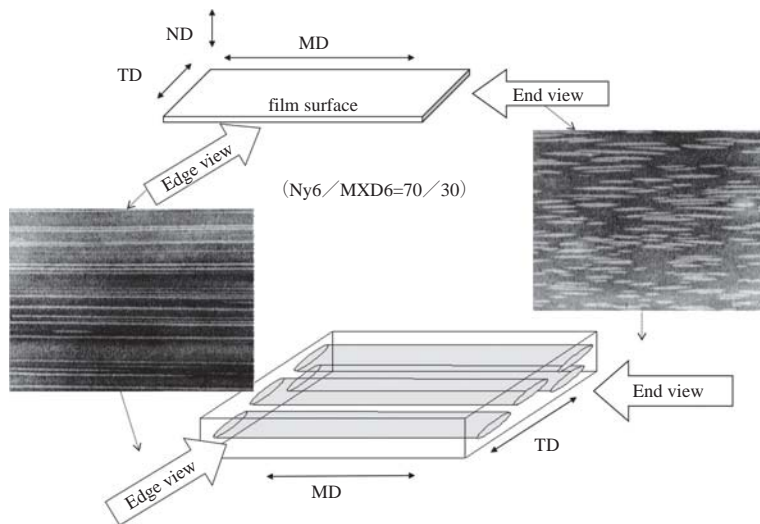


図9 易裂性PA6延伸フィルムの透過型電子顕微鏡観察 (TEM)

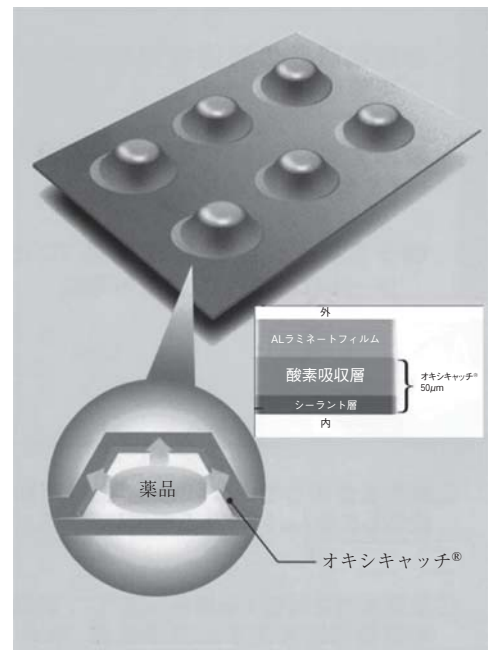


図10 ALラミネート 酸素吸収PTP包装

を付与したフィルムなども開発されている^{31)~34)}。

医薬品のPTP包装はバリア性で、今後更に厳しい要求が求められており、図10で示したAl・PA6ラミネート/酸素吸収層/シラント層からなる多層シートなどが検討されている³⁵⁾。

2.4 電動自動車用Liイオン電池用フィルムとコンデンサーフィルム

(1) 市場動向

モバイルパソコン、スマートフォンやタブレット端末などに代表されるスマートデバイスの台頭による小型LiBの需要に加え、自動車の電装化の進展・普及に伴う大型LiBの需要は大きく伸びている分野である。

特に、地球環境対応でガソリン車から電動自動車xEV（ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車）へ急速に移行する機運が高まっており、xEVは2018～2025年の間で大きく伸びると予測されている³⁶⁾。EV車の世界販売台数は2015年に35万台だったが2021年に世界の電気自動車（EV）の新車販売台数が約460万台に増え、2020年対比で2.2倍となり、初めてハイブリッド車（HV）を上回っ

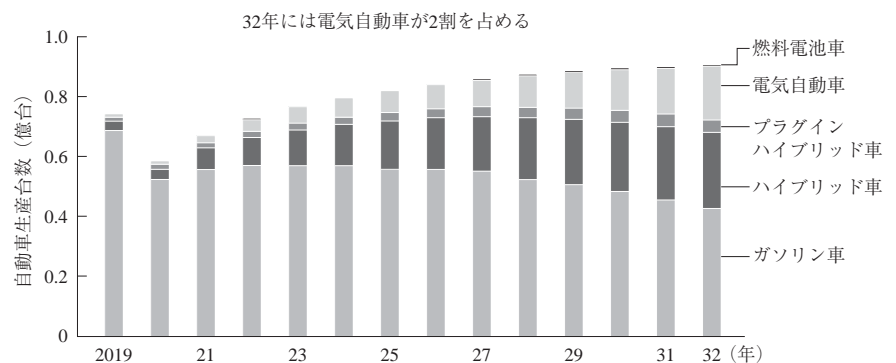


図11 各自動車の生産台数の予測³⁷⁾

た（図11）³⁷⁾。特に低価格帯の車種が人気の中国で新車の1割を占め、温暖化対策を掲げてEVを後押しする欧米でも販売が好調である。

一方、日本では充電設備の問題や電池の劣化で走行距離が短くなること、EV車では遠出しにくい、ハイブリッド車の性能が良いことなどで、欧米ほどの伸びはないのが現状である。ただし、日産自動車と三菱自動車は、両社で共同開発した電気自動車としてはエコカー減税を利用した初めて実質100万円台で購入できる軽自動車のEVを

発表している。モータやバッテリーなど車の内部の設計は日産側が行い、製造は三菱の工場で行われ、一度の充電で180km走行できる³⁸⁾。日本の自動車の約4割を軽自動車が占めるなか、両社には軽自動車でもEV化を広げる狙いがある³⁹⁾。

一方、中国では、中国政府が国策として電動化ビジネスを手掛ける企業へ潤沢な助成金の供給、機能や装備を都市走行に必要な最低限の水準に絞り込み、通常のEVより低コストで低スペックのバッテリーを使うことで、上汽通

用三菱自動車は2020年7月、約50万円の廉価なEV車“宏光MINI EV”の販売を開始し、2021年1～9月までの販売台数は28.6万台と、EV販売台数1位で圧倒的に売上を伸ばしている（図12）⁴⁰⁾。

リチウムイオン電池（以下、LiB）市場は2017年には車載用がモバイル用を抜き、車載用の急速な伸びにより、2020年のLiB主要4部材世界市場規模は200億3,811万7,000ドルとなっている⁴¹⁾。今後の平均成長率は18%/年程度が見込まれ、2025年には2017年比7.4倍の7兆3,914億円に拡大すると予測されており⁴²⁾、LiBの伸びは図13のように電池容量も2025年（570GWh）には2018年（140GWh）対比で、4倍以上の伸びとなり、Mobile-IT市場の



図12 上汽通用三菱自動車は廉価なEVで販売を伸ばしている⁴⁰⁾

約7倍になると予想されている⁴³⁾。

（2）セパレーター

LiBの構造は図14⁴⁴⁾のようになっており、LiBフィルム部材に関連するセパレーターは4,000億円規模になっており、2018年のセパレーター出荷量実績を図15⁴⁵⁾に示す。2020年では、①上海エネルギー（中国）20%、②旭化成14%、③SK ic technology（韓国）10%、④東レ9%となり、旭化成が上海エネルギーに首位の座を明け渡した結果となっている。2022年には7,400億円規模になると予想されている。使用されるセパレーターの開発・製造・低コスト化

が益々重要になってきている。中国では政府からの資金援助もあり、大規模な投資が行われ急速に成長しており、大規模での大量生産によるコストダウンにより、日本企業の収益性が従来に比較し低下している。

LiBに用いられる代表的なセパレーターとして、PEとPPの多孔膜があり、それぞれ湿式法と乾式法で製造される代表的な多孔構造をした膜である。湿式法で製造されるPEのセパレーターの製造ラインは、芝浦機械⁴⁶⁾、日本製鋼所⁴⁷⁾やブルックナー社から販売されている。

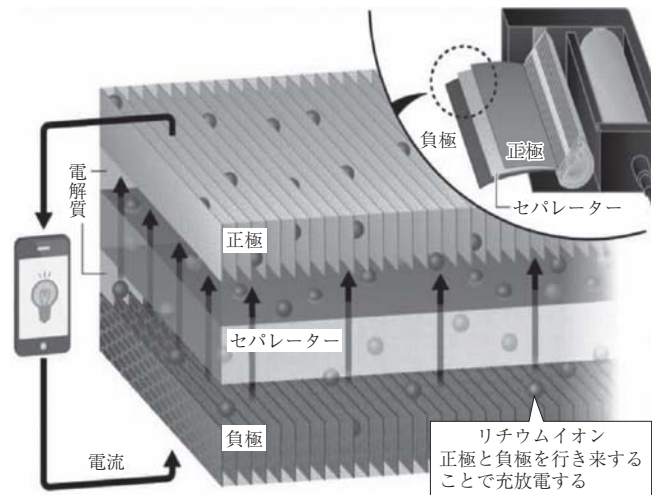


図14 リチウムイオン電池の構造¹⁸⁾ (放電時)

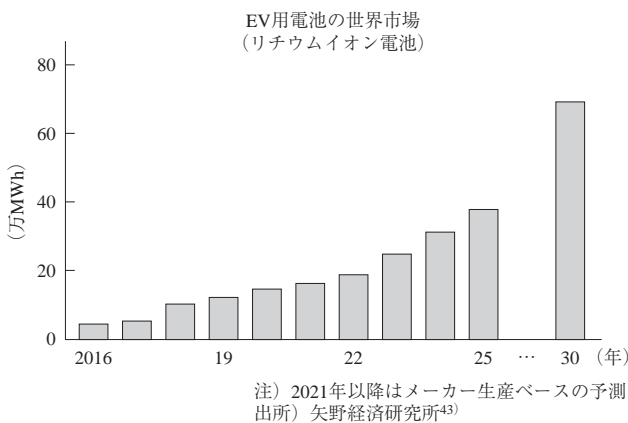


図13 EV用Liイオン電池の世界市場

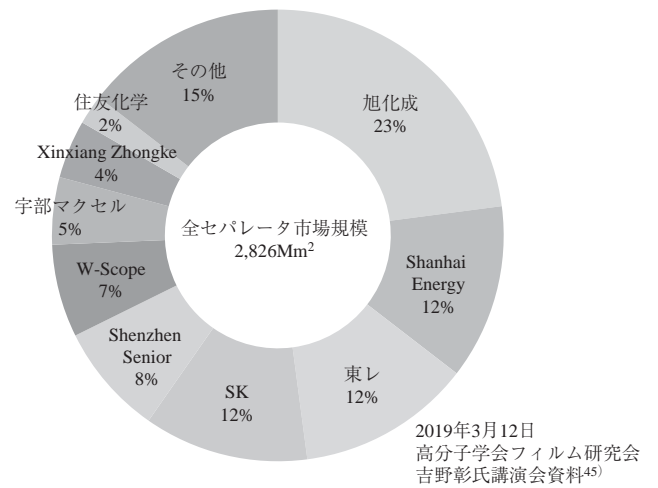


図15 2018年のセパレーター出荷量実績

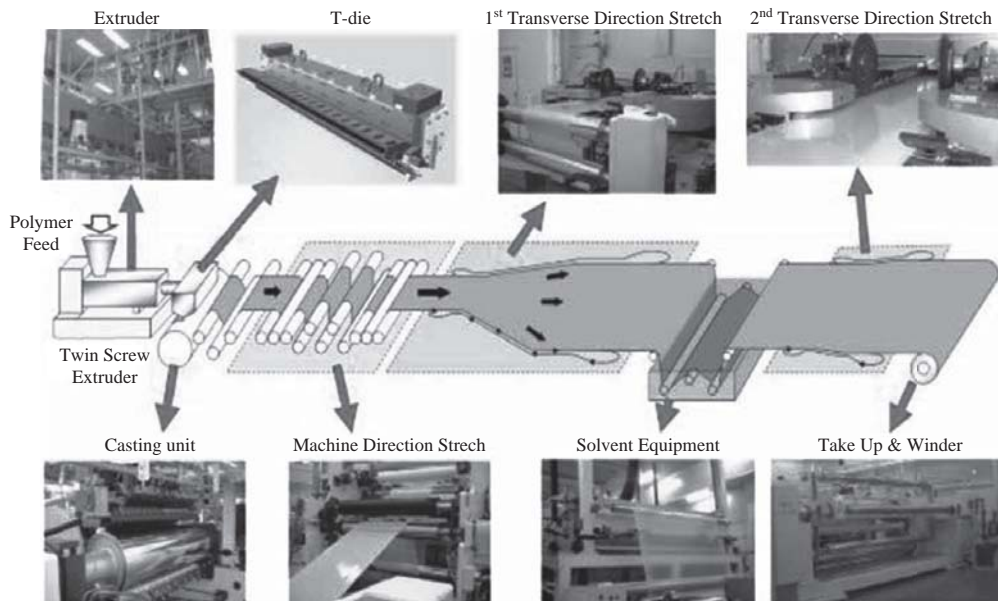


図16 日本製鋼所 セパレータ製造ラインの装置構成⁴⁷⁾

芝浦機械はLiB用湿式セパレータフィルム製造ライン (SFPU-32014XW) を2017年同社のソリューションフェアで一般公開している⁴⁶⁾。

日本製鋼所が開発した成形機も報告されている (図16)⁴⁷⁾。特徴は基材樹脂である超高分子量HDPEと一緒に、多量の流動パラフィン (LP) を供給して均質化する点にある。LPの役割は、HDPEを膨潤させて可塑性を容易にしたり、LPを除去した後に形成される微細孔を形成させたりする点である。流動パラフィンの配合比率は60～70wt%と高いため、HDPEと均一に混練分散させるために混練性能の高い二軸スクリュウ押出機TEXを採用している。中国の旺盛な需要に支えられている状況である。

最近の報告では、疎水化処理し更に界面活性剤を用いて解繊を促進させたセルロースナノファイバーを超高分子量HDPEと複合化させたセパレータは、突刺し強度の1.5倍の向上、耐熱性の向上や電解液との親和性が向上したとの報告がされている⁴⁸⁾。

電池セパレータ (図17) は微細な孔 (0.01～0.1 μ m) を均一に配置す

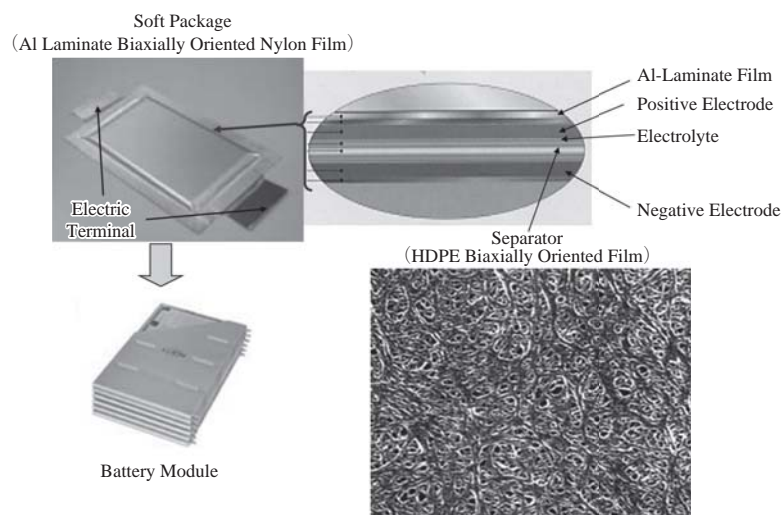


図17 Li-ion Battery (セパレーター, ソフトパッケージ)

る構造になっており、EV車への移行に伴い、多くの需要が見込まれる。LiBの熱暴走を抑えるため、融点130℃付近のHDPEのセパレータが多く用いられており、微細孔を閉じるシャットダウン機能も備えているが、安全性の観点から膜形成を維持できなくなるメルトダウン温度とシャットダウン温度の差 (セーフティマージン) を大きくする検討も行われており、PPとの共押出技術によるメルトダウン温度

の向上やコーティング技術で表面層に耐熱層を形成することで、メルトダウン温度を上げる検討もされている。

この分野の最近の伸びは、EV車の急速な需要増に支えられ、今後もしばらくは続くものとみられる。

(3) 電池用ソフトパッケージ

LiB 電材向けアルミラミネートのソフトパッケージ (図17) は、高強度、ハイバリア性が要求される用途に適しており、市場規模は、今後電気自動車

(EV車)が本格化すれば、急激な需要量になると期待されている。ラミネートフィルムとして、車載用はPET 12 μ m/ONy 15 μ m/AL 40 μ m/PP 80 μ mのフィルム構成である(モバイル用はPET層なし)が、薄肉・軽量化の要望が強く、年々薄肉化傾向にある。車載用は水蒸気バリア性が必要であり、PET層がある。PPのヒートシール層の構成やシール条件にノウハウがある⁴⁹⁾。PPは内部の圧力に強いが、長時間の圧力には弱い。PPのシール性は安全面からも非常に重要であり、またナイロンフィルムは、バリア層としてのAl層に対し、強度・熱成形性を付与し、変形追随性を持たせ深絞り性を向上させる機能を付与することであり、フィルムのすべての方向での伸び、強度の均一性が必要である。国際的な企業間での競争が激化しており、水面下では、大きな資本をかけての開発競争が激化している。2020年には669億円の市場にまで成長し、DNPが世界のシェアの55%を有し、昭和電工が続き、バッテリー向けに必要な高品質技術を日本企業が保有している。韓国や中国企業参入の動きも活発化しているが、品質面では日本企業が優位にある。

今後のラミネートフィルムは、EV車以外にも、スマートフォンやタブレット端末などのモバイル機器、ノートパソコン、電気自転車、ゲーム機、ロボット、ロケット、電動工具等は着実に成長している。また、コストダウンの観点からPET 12 μ m/ONy 15 μ m層を1層に統合化する検討も行われている。

(4) コンデンサーフィルム

xEV用などのコンデンサーフィルムはPPが耐電圧性能に優れているために、xEV用などに薄膜フィルムが使用されている。PPコンデンサーは原料の表面凹凸形成も重要であり、クレター構造形成に関する研究も報告されている^{50),51)}(図18)。絶縁破壊抵抗(BDV)を高めるためには、触媒残渣

を極力低減した原料が不可欠である。PP重合触媒残渣、特にAlを極力減らす、スリップ剤(AB剤7)やアンチブロッキング剤(AB剤)を添加しないことや高立体規則性PPを使用することなどの制約がある。

東レがPPコンデンサーフィルムの世界最大手であり、世界に先駆けて、高静電容量のため、薄膜化の検討を行

っており、現在は2.5 μ mレベルの薄膜が可能になっており、2.0~2.3 μ m厚フィルムの開発を進めている(図19)^{36),52)}。また、極薄・高耐電圧OPPフィルムを製造している土浦工場の設備を2022年稼働開始で、現行の1.6倍の増産体制を構築中である。コンデンサーフィルムに関する樹脂の特許は王子製紙からも出願されており⁵³⁾、ま

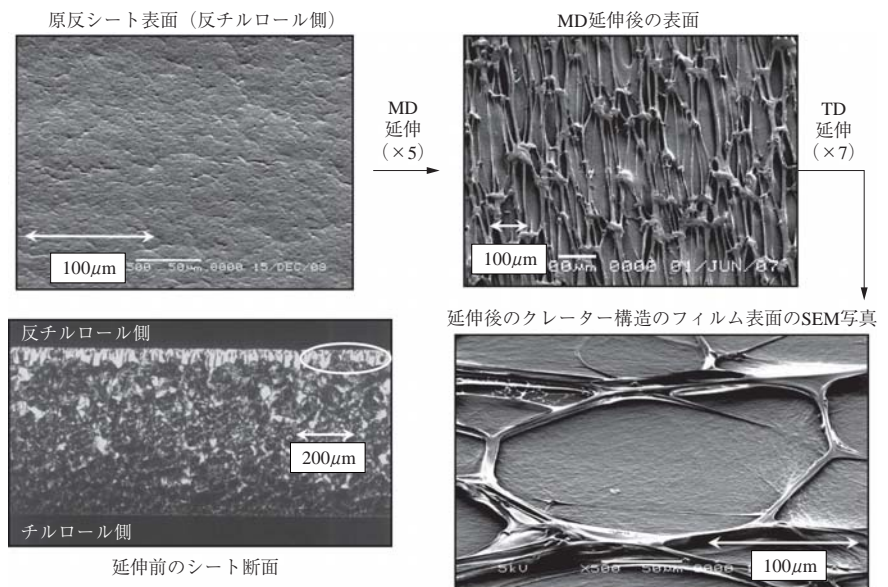
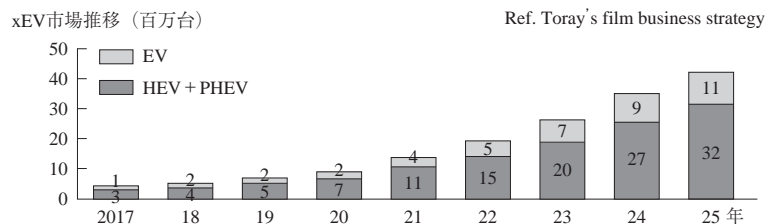


図18 原反シート及び延伸後の表面のモルフォロジー



薄膜化(=小型化)と高耐電圧化で業界をリード

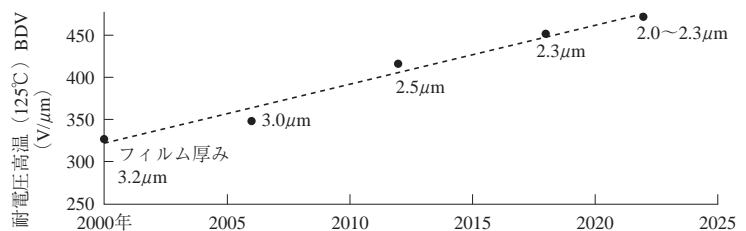


図19 車載コンデンサ用極薄OPPフィルムの拡大³⁶⁾

た高立体規則性PPでかつ結晶の微細化が有効であると発表している⁵⁴⁾。

(次号につづく)

参考文献

- 1) 日本包装技術協会ホームページ, 令和3年日本の包装産業出荷統計 (2020).
- 2) プラスチック加工製品の分野別生産比率, 経済産業省「生産動態統計」(2020).
- 3) J.Breil, Chapter 7 in *Polymer Processing Advances*, T.Kanai, G.A.Campbell (EdS.) (Hanser Publications, 2014).
- 4) 環境省 プラスチック資源循環戦略, <https://plastic-circulation.env.go.jp/about/senryaku>
- 5) バイオプラスチック導入ロードマップ検討会参考資料.
- 6) 岩田忠久, プラスチック成形加工学会主催第178回講演会 (2022年5月13日), 61-68 (2022).
- 7) 角川仁人, 上田一恵, フィルムの機能性向上と成形加工・分析・評価技術, 第10章第2節, 監修金井俊孝, (Andtech出版, 2013.3).
- 8) 遠藤浩平, フィルムの機能性向上と成形加工・分析・評価技術 (監修金井俊孝), 第10章第4節, 218-223 (Andtech出版, 2010.8).
- 9) ユニチカのテラマック商品Webサイト, <https://www.unitika.co.jp/terramac/>
- 10) 富士ケミカルのラクリエWebサイト, <https://www.fuji-chem.co.jp/enviroment/>
- 11) NatureWorks LLC Webサイト, www.natureworkslc.com
- 12) Total Corbion PLA Webサイト, <https://www.total-corbion.com/>
- 13) 安徽豊原福泰来聚乳酸Webサイト, <https://highchem.co.jp/topics/2020-08-19/>
- 14) J. Lunt, *Polymer Degradation and Stability*, 59, 145 (1998).
- 15) 大倉工業 西尾祥ら, フィルムの機能性向上と成形加工・評価Ⅲ (監修金井俊孝), 第4章第9節, 439-446 (Andtech出版, 2019.7).
- 16) 宇山浩, 徐于懿, *生産と技術*, 73 (2), 100-103 (2021).
- 17) ナノセルロース, ナノセルロースフォーラム編, 日刊工業新聞社 (2015, 8.28.)
- 18) 京都大学生存圏研究所 セルロースナノファイバーの現状と将来から引用 (2021).
- 19) H. Uehara, K. Sakauchi, T.Kanai, T.Yamada, *Int. Polym. Process.*, 19 (2), 163-171 (2004).
- 20) H. Uehara, K. Sakauchi, T.Kanai, T.Yamada, *Int. Polym. Process.*, 19 (2), 172-179 (2004).
- 21) 永江修一, 日本食品包装協会, 152号, 10月.1 (2016), コンバーテック, 516, p108 (2016).
- 22) DowDuPont WEB Site, Biaxially Oriented Polyethylene (BOPE) Films Fabricated via TenterFrame Process and Applications Thereof, Y. Lin, J. Alaboson, J. Wang, K. Hausmann, J. Xu, J. Pan, X. Yun, M. Demirors, S. Ge.
- 23) 串崎義幸, 貞金徹平, 延伸による高分子の構造と物性, 監修 鞠谷雄士 (S&T出版, 2022).
- 24) 東レ特許; 特許公開2004-160688, 二軸延伸ポリプロピレンフィルム及び金属蒸着BOPPフィルム.
- 25) 岡田一馬, コンバーテック, 581 (8) 90-93 (2021), プラスチックスエージ, 67 (9) 31-37 (2021).
- 26) 東洋紡特許; 特許公開2014-55276, 延伸ポリプロピレンフィルム.
- 27) 清水敏之, 高分子学会第68回プラスチックフィルム研究会講座; 2021年10月5日要旨集p20-23.
- 28) ユニチカフィルム事業部WEBサイト <https://www.unitika.co.jp/film/products/emblem/anniversary50th.html>
- 29) M.Takashige, T.Kanai; *Int. Polym. Process.*, 19 (2), 147-155 (2004).
- 30) 神谷達之, コンバーテック, 546, (9) 16-19 (2018).
- 31) 特開2017-61148, 日本ポリエチレン, 青木晋, 弁藤航太, 北出真一 (2017).
- 32) 特開2015-123642, ポリプラスチック, 小野寺章晃, 根津茂 (2015).
- 33) 特開2012-236382, DIC, 松原弘明, 古根村陽之介 (2012).
- 34) 特開2015-89619, DIC, 松原弘明, 佐藤芳隆, 川岸秀樹 (2015). (監修: 金井俊孝) シーエムシー出版 2015年3月.
- 35) 葛良忠彦, フィルムの機能性向上と成形加工・分析・評価技術Ⅱ (監修: 金井俊孝), 第6章第2節, 164-175 (株AndTech出版, 2013年1月).
- 36) 井上治, 東レ中期経営課題“AP-G 2022”事業説明会資料, フィルム事業, (2020年6月4日).
- 37) イギリスのLMCオートモーティブの予測値.
- 38) 日産自動車ニュースルーム (日産WEBサイト; 2022年5月20日) <https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/release-62f323df4b615e03378855c905038929>
日経電子版, 2022年4月12日 18:00 (2022年4月13日 5:08).
- 39) ビジネス+IT 2021/12/02 <https://www.sbbt.jp/article/cont1/74866>
- 40) 日経Automotive 2021年8月25日. <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00134/081800275/>
- 41) 矢野経済研究所 車載用リチウムイオン電池の世界市場調査: 2021年03月16日.
- 42) 富士経済, 二次電池の市場調査 (2019).
- 43) 矢野経済研究所 車載用リチウムイオン電池市場の現状と将来展望 (2020).
- 44) 日本経済新聞, 10月20日朝刊 (2019).
- 45) 吉野彰, 高分子学会第117回プラスチックフィルム研究会; 2019年3月12日要旨集p8-11.
- 46) コンバーテック, 531 (6) 38 (2017).
- 47) 山澤隆行, 藤原幸雄, 木村嘉隆, 鎗谷敏夫, 兼山政輝, 井上茂樹, 柿崎淳, 福島武, 日本製鋼所技報, No.66, 1-22 (2015.10).
- 48) 石黒亮, 中村論, 吉岡まり子, 境哲男, 向孝志, 日本製鋼所技報, No.69), 24-33 (2018).
- 49) 奥下正隆, 成形加工, 22 (6), 279-286 (2010).
- 50) S. Tamura, K. Takino, T. Yamada, T.Kanai, *J. Appl. Polym. Sci.*, 126, 501 (2012).
- 51) S. Tamura, T.Kanai, *J. Appl. Polym. Sci.*, 136 (5), 3555 (2013).
- 52) 大倉正寿, 伊藤達也, 永井逸夫, 浅井哲也, 森口勇, 高分子, 70 (5), 264 (2021).
- 53) 特許 4653852, 2011.3.16, 王子製紙, 石渡忠和, 松尾祥宜, 荒木哲夫, 宍戸雄一 (2011).
- 54) 宮田忠和, 高分子学会第67回プラスチックフィルム研究会講座; 2020年10月8日要旨集p7-10.