

機能性フィルムの最近の技術動向

KT POLYMER 金井 俊孝

1. はじめに

コロナウィルスの感染が世界中に広まり、日本では第3次の緊急事態宣言が発出され、健康被害と経済活動に大きな影響を及ぼしている。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、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、一時期は品不足が深刻になり、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。感染防止でなかなか外出ができない状況では、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。

また、学校の休校や企業の在宅勤務者が増え、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が液晶と比較し大きな伸びが期待されている。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開発が積極的に行われており、5Gが普及すれば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、さらに次世代の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、賞味期限切れにより大量の食品が廃棄されている。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繋がり、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。多層化、リサイクル化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。

環境問題として、ゴミ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、レジ袋は昨年7月から有料化が義務付けられ、Sustainableな素材、植物由来を原料した材料の採用、海洋での自然崩壊可能な素材が注目されており、ポリ乳酸(PLA)、セルロースナノファイバー(CNF)の研究も盛んに行われている。今後、包装材料のリサイクル、リユース技術、減容化、モノマテリアル化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。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セパレータ、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、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。

そこで、機能性フィルムを題材に、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や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。

2. 包装用フィルム・容器の動向および高機能フィルムテーマ

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。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¹⁾。

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。

3. 機能性包装・IT・自動車用フィルム・シート

3.1 包装用延伸フィルムの動向

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樹脂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3万トン/年の生産量に達しており²⁾、さらに600m/minで10m幅を超える成形機も販売されている。今後は包装用途として、更なる高速化による高生産性や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、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、バリア性を有する樹脂を共押出したフィルムやシート、さらに二軸延伸した共押出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、直鎖状低密度ポリエ

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	生産上の課題
液晶用	偏光、離型位相差視野拡大、反射プリズム、拡散プロテクト、	大型TV パソコン 携帯電話 PDA	高透明 寸法精度 低残留応力 低位相差	厚み均一性 コーティング 転写性 配向均一性 歩留まり 良表面外観 低ポーイング 表面処理技術
表示用	有機EL用超ハイバリア	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
	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	太陽電池(無機、有機)	耐候性、耐熱、反射性、低吸水性	連続成形性 厚み均一性 加工安定性
	封止材シート		耐光性、耐熱、低温封止、低吸水性	
	セパレーター	Liイオン電池	均一孔径、融点、自己修復	
	ソフトパッケージ		高強度、ヒートシール、深絞り、バリア	
	超薄膜フィルム	大容量コンデンサー	薄膜、BDV、凹凸	
環境対応	PLA、生分解性植物由来材料、CNF	ゴミ袋、農業資材 スベーカーン、微生物胞体	加工性、生分解 高弾性、高強度	
食品包装	ハイバリア包装	長期保存食品	ハイバリア、透明性	易裂性、衝撃性、ポイル特性
	レトルトフィルム	レトルト食品		
透明包装・トレイ	高透明フィルム	文具、化粧品パッケージ 電子レンジ対応トレイ	高透明、剛性	急冷、結晶制御 熱成形性
加飾	加飾フィルム	家電、IT 自動車、バイク	高透明、印刷性、 耐傷付性、耐候性	賦型性 厚み均一性
医療	ハイバリア	PTP(両面ハイバリア) 輸液バック	ハイバリア、成形性 透明性、安全性	賦形性 異物フリー
通信	フレキシブル基板(FPC)	高速通信5G等	高周波特性、高耐熱性 低線膨張係数、低吸湿性	配向バランス 寸法・厚み精度

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³⁾⁴⁾。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⁵⁾。

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 の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溶融キャストフィルムと比較し、衝撃強度や引張強度が高く、ヒートシール温度が低いため、PE フィルム単体の利用だけでなく、PE シーラントとして展開されている。テンター二軸延伸用 PE 樹脂は Dow、Sabic、Nova Chemicals 等が市場に供給中である。Dow の報告では、逐次テンター法二軸延伸による 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いる (図 1)⁶⁾。ま

た、Nova Chemicals は、より剛性の高い HDPE を使用した HD-BOPE フィルムを開発し、無延伸 HDPE フィルムの市場だけでなく、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て、BOPP や BOPET の市場の置き換えもターゲットにして市場拡大を狙っている。

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包装用途などの需要拡大や Li 電池パッケージ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 10,000 トンの設備を増設し、グループ全体で年産 51,500 トン体制になっている。

3.2 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。その中の一例として、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 2)⁷⁾。易裂性と高強度を

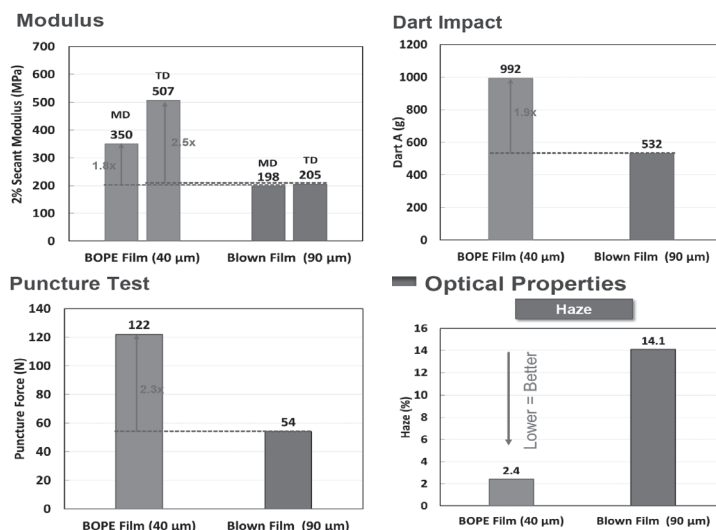


図1 二軸延伸PEフィルムとインフレーションフィルムの物性比較⁶⁾

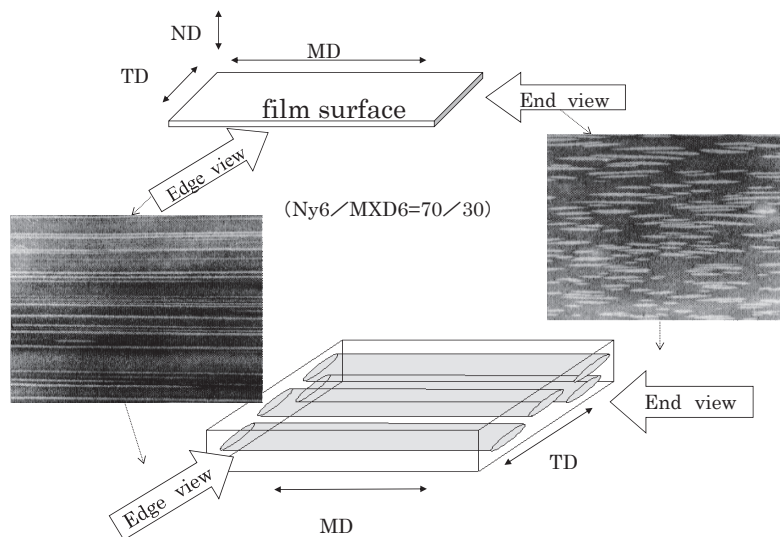


図2 易裂性PA6延伸フィルムの透過型電子顕微鏡観察 (TEM)⁷⁾

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、中間層にポリエチレン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⁸⁾やポリオレフィンにCOCをブレンドして直線易カット性を付与したフィルムなども開発されている^{9)~12)}。

医療品のPTP包装はバリア性で、今後さらに厳しい要求が求められており、図3で示したAL・ONYラミネート／酸素吸収層／シール層からなる多層シートなどが検討されている¹³⁾。

3.3 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の需要増大が期待され、将来的に大きく伸びが期待できる分野である。

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

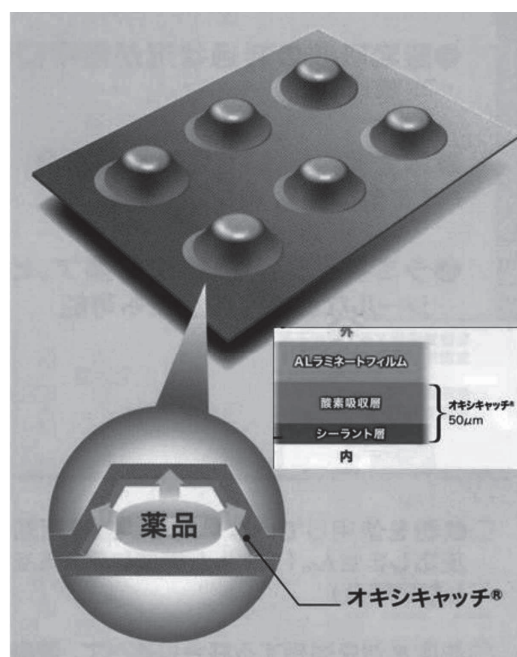


図3 ALラミネート酸素吸収PTP包装¹³⁾

まっており、xEVは2018年～2025年の間で数倍に大きく伸びると予測されている¹⁴⁾。IHSオートモーティブの予測ではEV車の世界販売台数が2015年に35万台だった台数が2025年に256万

台に急増すると見込まれている¹⁵⁾。また、2032年には電気自動車が全自動車の2割に達すると報告されている(図4)¹⁵⁾。LIB電池市場は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、Liイオン電池(LIB)の世界全体の市場規模は約3兆2,000億円(2017年実績)で、今後の平均成長率は18%/年程度が見込まれ、2022年には2017年比2.3倍の7兆3914億円に拡大すると予測されており¹⁶⁾、Li電池の伸びは図5¹⁷⁾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市場の約7倍になると予想されている¹⁸⁾。

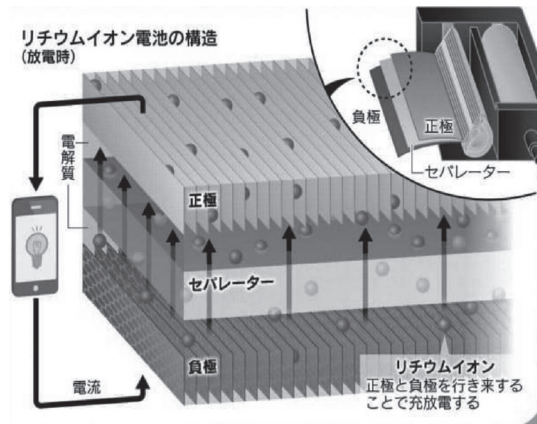


図6 Liイオン電池の構造¹⁸⁾

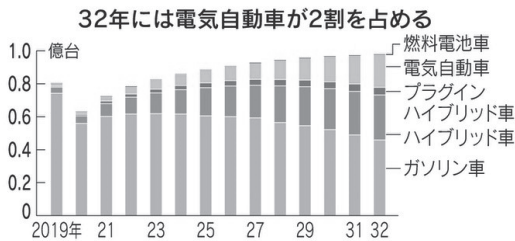


図4 各自動車の生産台数の予測

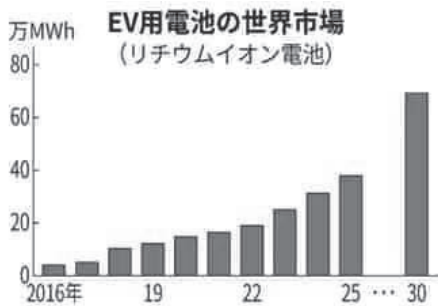


図5 EV用Liイオン電池の世界市場

(2) セパレーター

Liイオン電池の構造は図6¹⁸⁾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は2,000億円規模になっており、2018年のセパレータ出荷量実績を図7¹⁹⁾に示す。LIBに使用されるセパレータの開発・製造・低コスト化が益々重要になってきている。

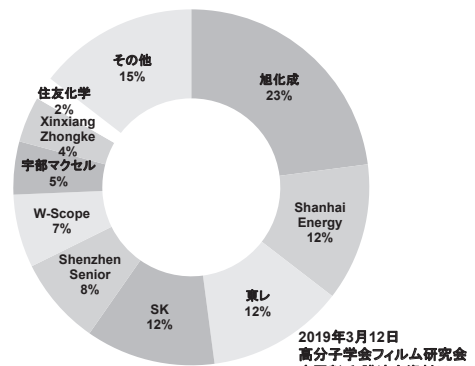


図7 2018年のセパレータ出荷量実績¹⁹⁾

セパレータの製造ラインは芝浦機械²⁰⁾、日本製鋼所²¹⁾やブルックナー社からも販売され、日本製鋼所が開発した成形機(図8)も報告されている²¹⁾。

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を膨潤させて可塑化を容易にしたり、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。最近の報告では、疎水化処理しさら

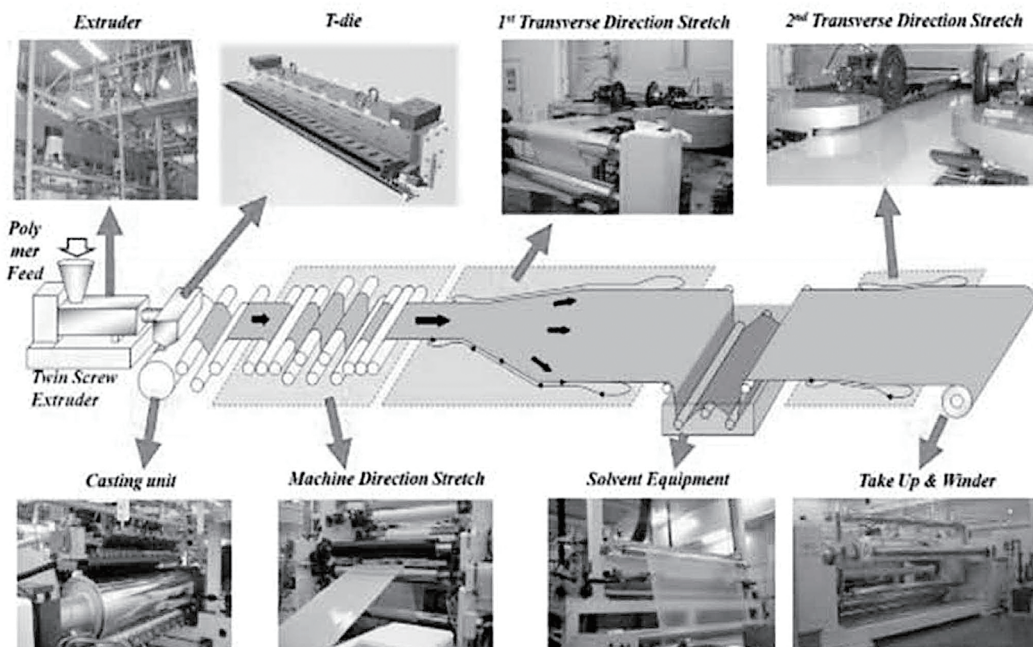


図8 日本製鋼所 セパレータ製造ラインの装置構成²¹⁾

に界面活性剤を用いて解織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²²⁾。

電池セパレータ(図9)は微細な孔(0.01~0.1 μm)を均一に配置す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(セーフティーマージン)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。

(3) 電池用ソフトパッケージ

LIB包材向けアルミラミネートのソフトパッ

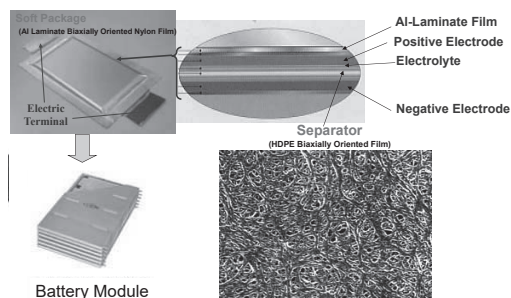


図9 Li-ion Battery (セパレータ、ソフトパッケージ)

ッケージ(図9)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PET12 μm / ONy15 μm / AL40 μm / PP80 μmのフィルム構成であるが、薄肉・軽量化の要望が強く、年々薄肉化傾向にある。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²³⁾。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。

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。

(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コンデンサーは表面凹凸形成も重要であり、クレーター構造形成に関する研究も報告されている(図10)^{24),25)}。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 $2.5\mu\text{m}$ レベルの薄膜が可能になっており、今後5年以内に $2.0\sim 2.3\mu\text{m}$ にフィルムの開発を行う計画である(図11)^{14),26)}。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いる²⁷⁾。

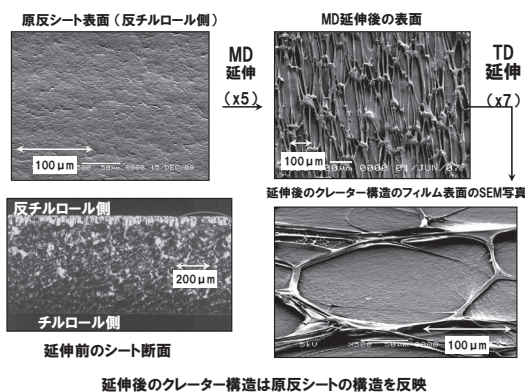


図10 原反シートおよび延伸後の表面のモルフォロジー

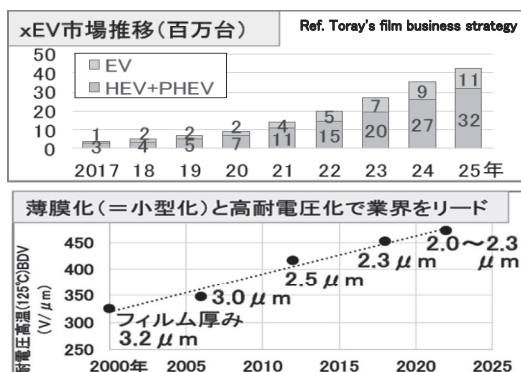


図11 車載コンデンサ用極薄OPPフィルムの拡大

3.4 IT・ディスプレイ用フィルム(液晶と有機ELディスプレイ)

液晶ディスプレイ(LCD)が開発され、携帯電話、ノートパソコンなどのモバイル機器に幅広く応用され、TVではさらに高視野角フィルムの開発により、どの方向からでも良く見えるようになり、ブラウン管からプラスチック製の光学フィルム部材からなる液晶ディスプレイに切り替わり、さらに薄型になったことにより大型の画面で大量生産により低コストで入手できるようになった。

現在は、コストダウン化がさらに求められており、部材の統合化やフィルム生産ラインの広幅化による歩留まりの向上などが進められている。2019年の大型液晶パネルの世界シェアを図12に、スマートフォンのシェアを表2に示す²⁸⁾。

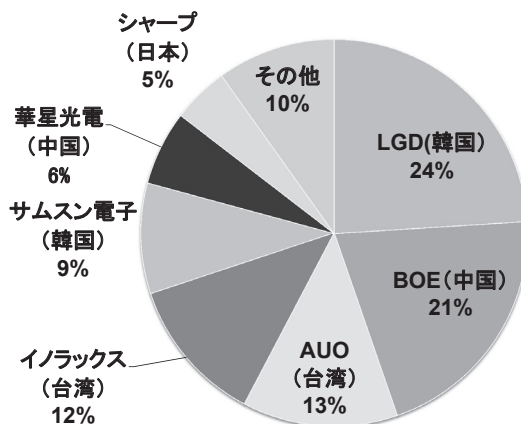


図12 大型液晶パネルの2019年の世界シェア

表2 世界のスマートフォンのシェア (2020年)

Vendor	2020	2020	2019	2019	2020-2019
	Sales	Market Share (%)	Sales	Market Share (%)	Growth (%)
Samsung	253,025.0	18.8	296,194.0	19.2	-14.6
Apple	199,847.3	14.8	193,475.1	12.6	3.3
Huawei	182,610.2	13.5	240,615.5	15.6	-24.1
Xiaomi	145,802.7	10.8	126,049.2	8.2	15.7
OPPO	111,785.2	8.3	118,693.2	7.7	-5.8
Others	454,799.4	33.7	565,630.0	36.7	-19.6
Total	1,347,869.8	100.0	1,540,657.0	100.0	-12.5

出展：市場調査会社のGartner 2021年2月22日



図14 折り曲げスマホ³⁰⁾

図13に有機ELディスプレイの構成を示している²⁹⁾。有機ELは色鮮やかで、素早い動きもくっきり映し出す鮮明な画像とバックライトが不要なため、薄くて軽く、そして光源を常時光らせておく必要がないので消費電力も抑えられ、曲げやすい特徴がある。従来からスマートフォンに要望されてきた超高精細で、薄くて軽く、そして電池の消費量の抑制が可能になる。

発光層(EL層)に直流電流を流すことで自ら発光するデバイス

有機ELパネルは発光層(EL層)が反射電極と透明電極の間に挟まれたシンプルな構造をしています

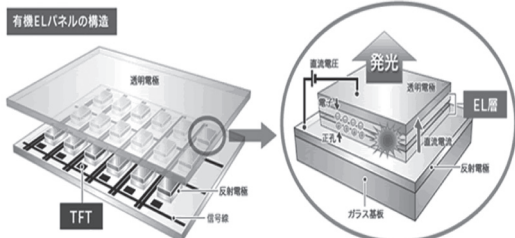


図13 有機ELディスプレイの構成²⁹⁾

スマートフォンの大手3社のSamsung(韓国)、Apple(米国)、Huawei(中国)等は、スマートフォンに有機ELディスプレイ(OLED)の機種を発売し、LCDからOLEDへのシフトが進んでいる。有機ELの特徴を生かしたバックライトがなく、薄膜化・軽量化・フレキシブルの機能を利用した折り曲げタイプのスマートフォンも開発されており³⁰⁾(図14)、さらに3枚折りの開発も進められている。OLEDはLCD以上にハイバリア性能が要求されるため、フレキシブルの特徴を生かすため

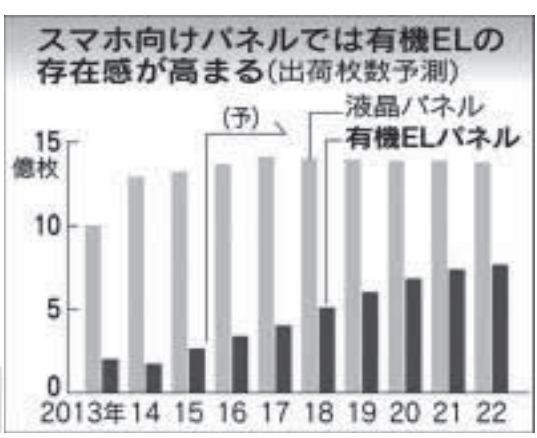
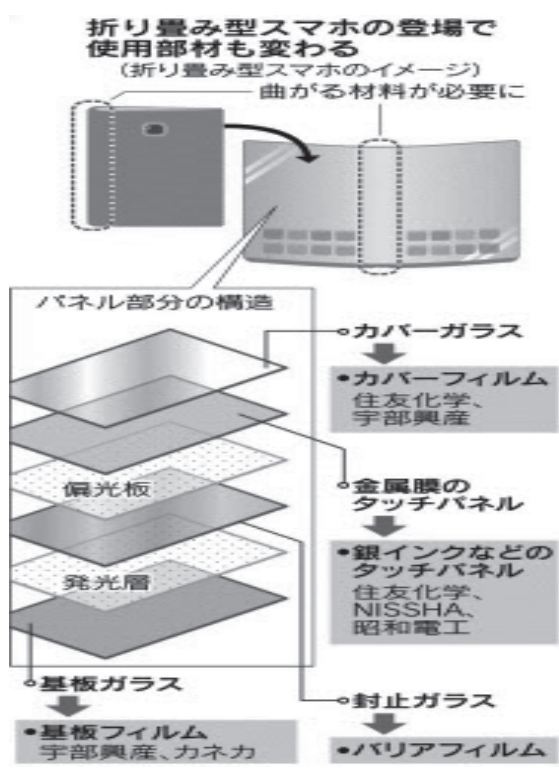
に、有機・無機ハイブリッドバリアフィルム等を各社で開発している。

スマートフォンの技術を牽引するSamsung、Apple、Huawei社が有機ELを採用することで、パネル産業の世界市場の勢力図が変化する可能性が高い(図15)³⁰⁾。

さらに、大量生産で低コスト化が進めば、液晶ディスプレイのようなLEDバックライトが不要で軽量に作ることができ、最低限のサポートで天井から吊るすことができる大きな宣伝広告表示用への応用や、デザイン性にメリットがある有機ELの面照明分野でも、低価格化できれば本格化する可能性が現実味を帯びてくる。また、薄くて面照明の為、壁紙が照明の機能を有し、夜でも昼間の感覚(青空感覚等)の照明が実現できる。

高精細、薄い、軽い、割れないことを特徴とし、携帯電話分野で広く採用されている。また、大型化しても視野角に問題がなく、図16のような自由に形状を変えられる有機ELの特性を活かした曲面ディスプレイも製造可能である³⁰⁾。有機EL分野は、スマートフォン、タブレットPC、超高画質の4Kや8K TVに、軽量化、フレキシブルや透明性を特徴とした用途に重点を置いた戦略で展開されている。韓国のSamsungやLGは有機EL用の量産体制にあるが、中国国有のパネル最大手のBOEも多額の投資をして有機EL・大型パネル工場を成都に建設し製造しているが、さらに複数の中国企業が有機ELパネルの生産を開始および生産予定である。

今後、薄さ、軽さ、そしてフレキシビリティをもつ有機ELディスプレイにするには、実用に供



スマホ出荷台数シェア(2018)

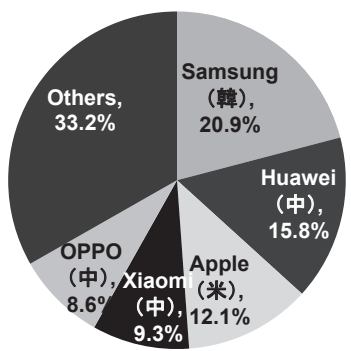


図15 有機ELを利用したスマートフォン³⁰⁾

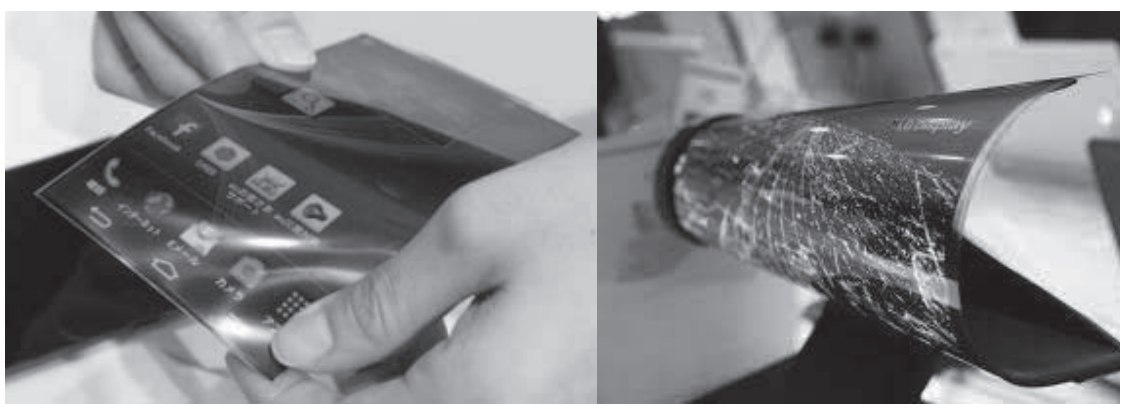


図16 フレキシブルな有機ELディスプレイ

する防湿性の非常に高いバリア膜の開発も重要である。Samsung Mobile Displayはフレキシブルのディスプレイとして、水蒸気バリア性 $10^{-5}g/m^2 \cdot day$ を達成し、長期間Dark Spotができない

無機多層ハイバリア構造のプラスチック材料を開発済であることを発表している。富士フィルムでは多層塗布技術で、有機・無機のハイブリッド構造によるハイバリアフレキシブルフィルムを開発

し、優れた屈曲性（ $\phi 10\text{mm} \times 100$ 万回の曲げ回数）の繰り返し屈曲試験での水蒸気透過性に変化（無）と高バリア $10^{-6}\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ で有機EL用にも適用可能なレベルのバリアフィルムを開発している³¹⁾。フレキシブル性を持たせるために、無機層を薄膜化し、凹凸の欠陥がない平坦な下地である有機層と緻密な無機層を積層することで、繰り返しの屈曲にも耐えうる柔軟なバリア層の形成を可能としている（表3）。

3.5 ウェアラブルデバイス用フィルム

コンピューターの小型化、軽量化に伴い、スマートフォンの普及によるモバイルネットの環境整備が整い、身につけて利用するウェアラブルデバイスが注目を集めている。例えば、Apple Watchなどに代表される腕時計デバイス、メガネ型デバイス、衣服に埋め込み型デバイスなどが開発されている。

薄くて良く伸びる特徴を生かして、肌着の裏地に貼って心拍数などを測れるフィルム状の素材を開発し、体の状態がわかるスポーツウェアや医療分野での利用などが想定されている。肌に接する部分で筋肉の微弱な電気信号をとらえ、スマートフォンなどにデータを送って表示する。心拍数のほか、呼吸数や汗のかき具合など、メンタルトレーニングや居眠り運転の防止などへの応用展開が期

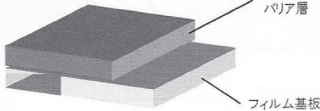
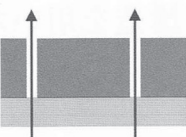
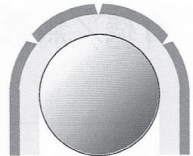
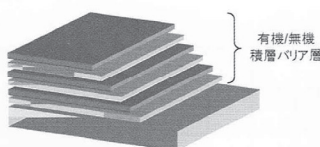
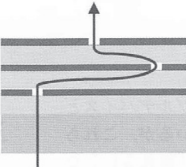
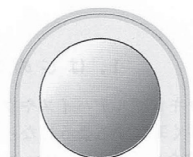
待される。

東京大学 染谷 隆夫教授らのグループから発表された超柔軟な有機LEDの研究は、超柔軟な有機光センサーを貼るだけで血中酸素濃度や脈拍の計測が可能となる皮膚がディスプレイになる³²⁾。この超柔軟有機LEDは、すべての素子の厚みの合計が $3\mu\text{m}$ しかないため、皮膚のように複雑な形状をした曲面に追従するように貼り付けることができ、実際に、肌 directly 貼りつけたディスプレイやインディケータを大気中で安定に動作させることができるという。極薄の高分子フィルム上に有機LEDと有機光検出器を集積化し、皮膚に直接貼り付けることによって、装着感なく血中酸素濃度や脈拍数の計測に成功している。開発のポイントは、水や酸素の透過率の低い保護膜を極薄の高分子基板上に形成する技術で、貼るだけで簡単に運動中の血中酸素濃度や脈拍数をモニターして、皮膚のディスプレイに表示できるようになった結果、ヘルスケア、医療、福祉、スポーツ、ファッションなど多方面への応用が期待される（図17）³²⁾。

3.6 加飾フィルム

加飾フィルムは自動車部品、家電製品、住宅設備、スマートフォン／タブレット端末など、幅広い用途に展開され、現在1,112億円規模の市場に

表3 積層構造と特性発現の概念図³¹⁾

構造	ガス透過パス	屈曲耐性
無機単層 	欠陥は直に透過パスとなる 	厚い無機膜は割れやすい 
有機/無機 積層 	迷路効果でガス透過が遅れる 	薄い無機膜は割れにくい 

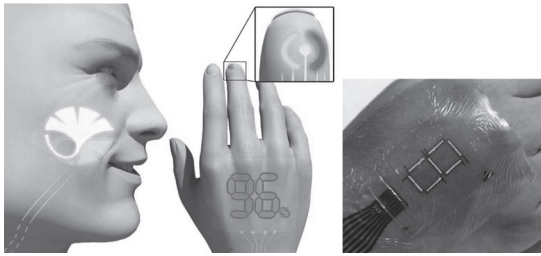


図17 東京大学染谷隆夫 教授らのグループから発表された超柔軟な有機LED (素子の厚み $3\mu\text{m}$)

なっている³³⁾。

成形方法としては射出成形によるインモールド成形が主であるが、成形品に後から貼合、転写させるオーバーレイ法が開発され³⁴⁾、形状適応性がさらに広がっている。インモールド成形はさらにインモールドラミネーションとインモールド転写に分類される。

印刷、塗装、真空蒸着、着色などで加飾したフィルムあるいはシートを用いて、フィルムを成形品表面に貼合せる、または印刷、塗装、真空蒸着などの加飾面を転写させる加飾技術は、モバイル機器、通信機器、ソフト感を必要としない自動車内装品、バイクの外装品などに幅広く適用されている。本物の木の外観を出すために、3Mがインテリアアトリウムフィルムを開発し、真空圧空成形により基材に貼り付ける方式を取り、すべての曲線にフィルムが追従できるようになっており、印刷パターンはあらかじめ伸ばされた状態で木に見えるように設計されている³⁵⁾。また、Mercedes Benzは車のボディーをフィルムでラッピングすることで意匠性をもたらした車を発表している(図18)³⁶⁾。加飾技術の利用により、各種のパターン、色などを施すことができ、活発な動きのある技術である。

また、上越新幹線の現美新幹線にも加飾フィルムが使用され、鮮やかにデザインされた車体が注目を浴びた。デザイナーによる現代美術を新幹線に持ち込むことで、洗練された、よりインパクトの高いものに完成されている(図19)³⁷⁾。

今後、環境問題や省力化、付加価値向上、軽量化の観点からますます自動車産業における塗装代



図18 Mercedes-Benz SLS AMG Electric Drive: Paris 2012³⁶⁾



図19 現美新幹線

替加飾フィルムの要求が大きくなり、塗装ラインやメッキラインがいなくなる自動車製造も近い将来実現する可能性がある。また、建材としても内装だけでなく、外装への展開が期待され、耐傷付性、耐スクラッチ性、耐候性の向上が重要となる。

3.7 高周波特性の優れたフレキシブルプリント基板 (5G用FPC)

第5世代 (5G; 5th Generation) 移動通信システムは、高周波数の電波の利用により遅延を少なくし、大幅な情報量の受送信を可能にした通信革命が起こることが期待されている。例えば、スマートフォン、ウェアラブルデバイス、自動運転車、家電製品、産業用ロボット、遠隔医療診断や遠隔手術、各種センサー、高齢者や子供の見守り機器

など、多くの分野で応用が検討されている。車の衝突防止レーダーの広がりや5G高速通信かつ処理データ量の向上による安全かつ確実に実現するため、誘電特性が優れた絶縁材料に注目が集まっている。優れた誘電特性とは、絶縁材料のもつ誘電特性の物性値が小さいことを意味し、比誘電率や誘電正接に影響される。

図20³⁸⁾には各種樹脂の比誘電率と誘電正接の値を示している。そこで期待されているのが、耐熱性に優れ、高周波特性に優れたフレキシブル基板(FPC)であり、樹脂では熱硬化性のPIと熱可塑性樹脂のLCPやフッ素樹脂が挙げられる。熱可塑性樹脂は、通常の押出成形機によるフィルム成形技術を利用することで、製品が製造できるため、通常の成形機での成形が可能である。

ただし、LCPは配向しやすい樹脂のため、バランスの良いフィルムを成形する目的で、高度なインフレーション成形技術が必要であり、フッ素系樹脂はTダイキャスト成形で成形されるが、銅との線膨張係数を合わせる点で、GFや線膨張係数を調整する基材の貼り合わせ等による工夫が要

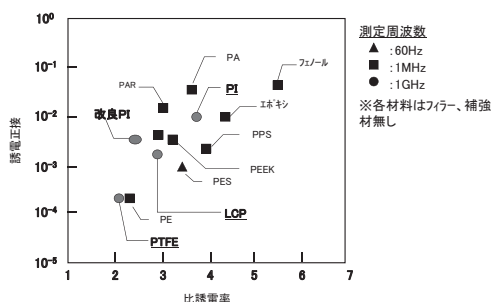


図20 各種樹脂の電気特性³⁸⁾

求される。

LCPは比誘電率や誘電正接が小さく、ハンダ耐熱があり、配向や熱処理条件を調整することで、銅との線膨張率がほぼ同じに調整可能で、かつガスや水蒸気バリア性が高いため、5G用のFPCとして最も期待されている。図21³⁸⁾はクラレがインフレーション成形で開発したLCPフィルム基材のフレキシブル銅張積層板(FCCL)やFCCLを用いたFPCのサンプル例である。

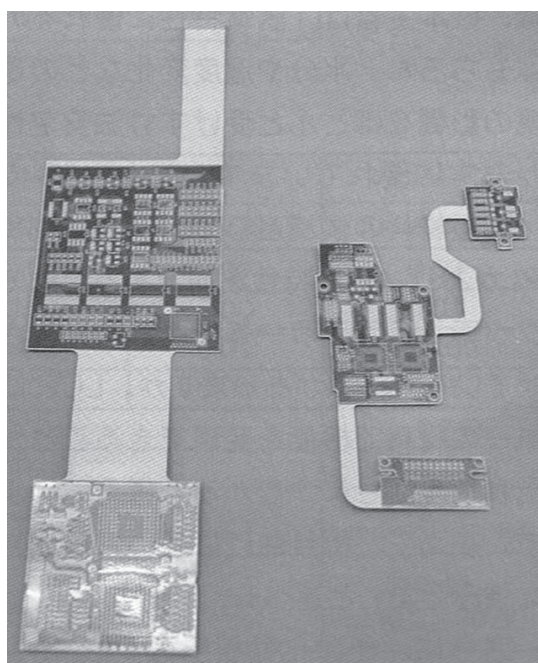


図21 バクスタFCCLを用いたFPCサンプル³⁸⁾

銅張積層板(FPC;携帯電話、携帯情報端末)、多層回路、アンテナ、スピーカーコーンなどにも使用されている。今後の6Gに向け、部材の研究開発が多くの企業で開始されている。特に、フッ素系樹脂であるPTFEはLCPよりも比誘電率、誘電正接が小さいが、一方、問題視されていた銅との線膨張率との違いは、無機物との複合化等により調整が行われている。フッ素樹脂大手のAGCやダイキン等はフィルム成形の技術開発を行っている。現在、PTFEのフィルムはミリ波レーダー用アンテナに使用されている。また、変性PFAの微粉分散液をMPIのフィルムの両面にキャスト塗工し、高温焼結する方法も考案されている。その他、LCPよりも比誘電率、誘電正接が小さい樹脂として、結晶性PS (SPS)、COP、COCの樹脂開発が進行中である³⁹⁾。MPIも改良が進み、LCPに近いレベルの製品に仕上がっている。6G通信は、2028年米国開催予定のオリンピック迄に実用化できるよう急ピッチで開発が進行中である。

3.8 Spunbond不織布

COVID19による感染症の広がりにより、従来紙おむつ等で多く使用されていた不織布が使い捨てマスクや医療用ガウンにも使用され、今までにない需要が急増している。使い捨てマスクはほとんどが三層構造になっており、PPのSpunbond/MeltBlown/Spunbondで構成されている。製造装置の概略図は図22に示した設備から成り立っており、Spunbond用樹脂では紡糸性を高めるために、メタロセン触媒で製造したPPもしくは過酸化化物で高分子量成分をカットした分子量分布の狭いMFR30～60のPPが使用されている。紡糸性向上を目指して、低立体規則性PPであるLMPPを5%ほど添加して結晶化速度を制御することで更なる紡糸性を向上させた検討も行われている⁴⁰⁾。また、Melt Blown用樹脂としては、フィルター機能を高めるために、細デニール化できるようにMFRが1,000付近のPPが使用され、加熱された高速エアをダイス先端で噴き出して微細な不織布を形成し、両側のspunbond不織布に挟んで3層の不織布を形成し、マスク素材としてウイルスの侵入を防ぐ役割を果たしている。

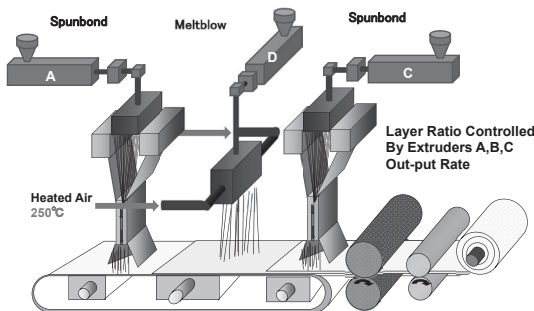


図22 スパンボンドメルトブローースパンボンドの3層プロセスの概略図

3.9 その他、高機能シートおよび容器

(1) 高透明PPシートおよび電子レンジ容器

従来、結晶性樹脂は高透明性を有する分野には不得意とされてきたが、PPでも、シート成形で両面を急冷した後、熱処理を行うことにより、球

晶サイズを小さくし、かつ球晶とマトリックスの屈折率をほぼ等しくすることにより、高透明化が可能である⁴¹⁾。また、表面に低粘度の樹脂を流すことにより、剪断応力を下げ、配向結晶化を抑制⁴²⁾し、さらに屈折率の等しい第三成分を添加して球晶生成を抑えることにより透明性が向上し、図23に示すようにPPでもガラスライクなシートが得られている⁴³⁾。また、この高透明PPシートは電子レンジでの耐熱性もあり、熱成形性も良いため、コンビニ弁当のような電子レンジ用食品容器や医薬品のPTP包装にも応用されている。さらに、自動車に使用されている樹脂材料はPP系複合材

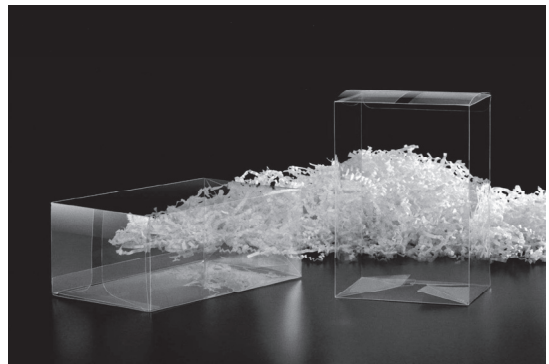


図23 高透明PPシート

料が多く使用されており、自動車やバイク用の加飾フィルムとしての展開が期待される。

(2) 鮮度保持の醤油容器

ヤマサ醤油が2009年8月に発売した醤油容器^{44),45)}は、柔らかなフィルム製の二重袋構造の容器(PID/Pouch in dispenser)で、特殊な薄いフィルムの注ぎ口により、容器から醤油を注ぎ出すと袋はしぼむが、逆止弁のおかげで内部に空気が入りにくい。したがって醤油の酸化を防ぐことができ、開封後、何度注いでも中に空気が入りにくく、酸化を防いで常温でも長期間鮮度を保つことができる。この鮮度パックは、新潟県三条市の悠心と共同開発している。

キッコーマンは2012年7月、新たな容器「やわ

ら「密閉ボトル」を採用した商品を発売している⁴⁶⁾。この醤油ボトルは二重構造になっていて、柔軟性と剛性を併せ持った外部容器の内側にフィルム製の袋を収め、袋の中に醤油を充填している。外部容器を押すと、注ぎ口から醤油が出て、押す力を弱めると外部容器と内部袋の隙間に外気が流入し、外部容器は元の形状に戻る。吉野工業所と共同開発している。

この容器の内部袋の材質は、多層構造でバリア層と酸素捕捉層があると推定される。

(3) 金属缶代替プラスチック容器

㈱明治屋は、ホリカフーズ(株)、東洋製罐(株)と共同開発し、コンビーフ用スマートカップを開発している。スマートカップは遮光性の高い4層の多層構造の容器で、中間層に酸素吸収層、その外層にバリア層(EVOH)、内側・外層にポリエチレンやポリプロピレンを積層している(図24)⁴⁷⁾。この構成により、外層側からの透過酸素はバリア層で遮断し、遮断し切れなかった酸素も酸素吸収層で吸収することが可能である。また、容器内の残存酸素は内面側から酸素吸収層で吸収することで、長期保存が可能になった。また、従来の金属

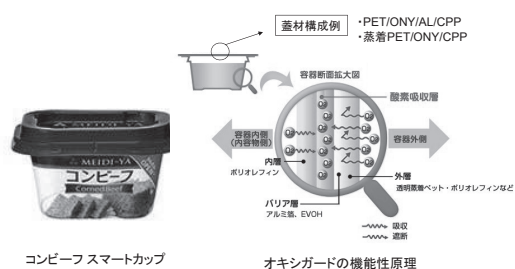


図24 スマートカップとオキシガードの原理

缶と比較し、開封が容易、蓋を剥がすと電子レンジでの加熱が可能、廃棄が容易、軽量化などのメリットがある。

以上、バリア性を有する機能性フィルム・シートにより、内容物の食品・医薬品・IT部品の劣化が抑制され、Long life化が可能となり、我々が生活する上で必要不可欠になっている。

4. 今後の包装フィルム・容器

食品の長期寿命化は、コンビニエンスストアやスーパーマーケットなどからの要望が高い。また、電子レンジ使用可能な透明フィルム・シートで、金属缶に近いレベルまでバリア性を達成できれば、賞味期限を長く延ばせ、無駄を減少でき、食品、弁当、飲料分野など各種包装や容器への展開が期待できる。キーワードとして、ハイバリア、脱酸素、多層構造など、従来の技術を革新する必要がある。

例えば、低コストでバリア性が達成できる共押出(PO//EVOH/PA6//PO:ハイバリアEVOH材、逐次二軸延伸、アクティブバリア層を含む)二軸延伸フィルムが製造されれば、金属缶やガラスボトル分野を含めた幅広い包装用フィルム・ボトルに展開できる。

PP、PETの二軸延伸フィルムはほとんどが逐次二軸延伸機で成形されている。PP、PETフィルムは食品包装を主体に幅広く使用されており、食品の長期寿命の観点からバリア性を要求する用途は多い。世界最大手の延伸機械メーカーであるブルックナー社では同時二軸延伸機LISIMで共押出ハイバリア二軸延伸フィルムの開発が行われている。同時二軸延伸あるいはチューブラー延伸では延伸性に問題がないが、コストの面ではPP用延伸機のほとんどが、MD延伸後、TD延伸を行う逐次二軸延伸である。ハイバリアである低エチレンEVOHの延伸は配向結晶化が進み易く、水素結合が強固になるため、偏肉精度の悪化やネック延伸が起りやすく均一延伸が難しいが、最近では変性EVOHが開発され、従来よりも二軸延伸性や熱成形性が改良されている⁴⁸⁾。

将来的に、ハイバリアEVOH/AD/PPの共押出の後、逐次二軸延伸ができれば、低コスト、ハイバリア、高透明、電子レンジ可能などの観点から多くの応用展開ができる可能性があり、低エチレンEVOHでも更なる延伸し易い逐次二軸延伸性グレードの開発を望みたい。低温シーラントが必要な場合には、逐次二軸延伸PEグレードの開発により、オレフィン層に酸素吸収剤を入れたPP/

AD/EVOH/AD/PEで偏肉精度の優れた逐次二軸延伸フィルムが製造可能になれば、今後食品の長寿命、低コストの透明フィルムが製造できる。容器の観点からも深絞りの優れた熱成形グレードが可能であれば、さらなる用途展開が期待できる。

このような開発は、まず小スケール、少量サンプルでの二軸延伸試験機での検討を行い、延伸性の評価⁴⁹⁾、延伸メカニズムの研究、延伸性の動的な観察などを含めた研究により、効率的で短期間の開発研究で、早期の開発が必要と考えている。

ハイバリア性能という観点では、IT分野で有機EL用の有機・無機積層構造を有した透明バリアフィルムをはじめとして、液晶ディスプレイ、太陽電池などの分野でバリア性の向上検討が積極的に行われており、分野は異なるがバリア技術としては共通技術である。

参考文献

- 1) 日本包装技術協会ホームページ, 令和元年日本の包装産業出荷統計 (2019)
- 2) J.Breil, Chapter 7 in Polymer Processing Advances, T.Kanai, G.A.Campbell (Ed.S.) (2014) Hanser Publications
- 3) H.Uehara, K.Sakauchi, T.Kanai, T.Yamada, Int. Polym. Process., 19 (2), 163-171 (2004)
- 4) H.Uehara, K.Sakauchi, T.Kanai, T.Yamada, Int. Polym. Process., 19 (2), 172-179 (2004)
- 5) 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)
- 6) 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
- 7) M.Takashige, T.Kanai; Int. Polym. Process., 19(2), 147-155 (2004)
- 8) 神谷達之, コンバーテック, 546, (9) 16-19 (2018)
- 9) 特開2017-61148, 日本ポリエチレン, 青木晋, 弁藤航太, 北出真一 (2017)
- 10) 特開2015-123642, ポリプラスチック, 小野寺章晃, 根津茂 (2015)
- 11) 特開2012-236382, DIC, 松原弘明, 古根村陽之介 (2012)
- 12) 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
- 13) 葛良忠彦 第6章第2節 p164-175, 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) (株) AndTech 出版2013年1月
- 14) 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
- 15) イギリスのLMCオートモーティブの予測値
- 16) 富士経済, 二次電池の市場調査 (2019)
- 17) 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)
- 18) 日本経済新聞, 10月20日朝刊 (2019)
- 19) 吉野彰氏, 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
- 20) コンバーテック, 531, (6) 38 (2017)
- 21) 山澤隆行, 藤原幸雄, 木村嘉隆, 鑑谷敏夫, 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)
- 22) 石黒亮, 中村論, 吉岡まり子, 境哲男, 向孝志, 日本製鋼所技報; 24, (69) 24-33 (2018)
- 23) 奥下正隆, 成形加工, 22 (6), 279-286 (2010)
- 24) S.Tamura, K.Takino, T.Yamada, T.Kanai, J. Appl. Polym. Sci., 126, 501 (2012)
- 25) S.Tamura, T.Kanai, J. Appl. Polym. Sci., 136 (5), 3555 (2013)
- 26) 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)
- 27) 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)
- 28) 日本経済新聞社朝刊, サムスンTV用液晶撤退 (2020年4月1日) 大型液晶パネルシェアー 2019
- 29) 株式会社JOLEDのホームページ
- 30) Samsung ホームページ (2019), 日本経済新聞社 朝刊 2018年2月12日
- 31) 鈴木信也, 成形加工, 27 (2), 61 (2015)
- 32) 米国「Science Advances」誌2016年4月15日 (米国時間) オンライン速報版
- 33) 富士経済 加飾フィルム関連市場の展望とメーカー戦略 2013年
- 34) 榊井捷平, 加飾技術概論, コンバーテック 43, (9) 46-52 (2015) 日本写真印刷WEBページ, http://www.nissha.co.jp/industrial_m/index.html
- 35) 加飾フィルム・材料・加工技術の最新開発と自動車用途展開 第2章3項 佐々木信, Andtech 出版, 2015.3
- 36) 湯澤幸代, 吉田 耕, 塗料の研究, 156, 32 (2014)
- 37) JR 東日本ホームページ, 現美新幹線
- 38) 砂本辰也, LCP系高周波基板, フィルムの機能性向上と成形加工・評価III, 監修金井俊孝, AndTech社 (2019) および砂本辰也, コンバーテック, 559, 6-10 (2019)
- 39) 芹澤肇, プラスチック成形加工学会主催第173回講演会 (2021年4月15日), 65-77 (2021)
- 40) T.Kanai, Y.Kohri, T.Takebe, Advances in Polymer Technology, 37, 2085-2094 (2018)
- 41) A.Funaki, T.Kanai, Y.Saito, T.Yamada, Polym. Eng. Sci., 50 (12) 2356-2365 (2010)
- 42) 船木章, 蔵谷祥太, 山田敏郎, 金井俊孝, 成形加工, Vol. 23. (5) 229-235 (2011)
- 43) A. Funaki, K. Kondo, T. Kanai, Polym. Eng. Sci., 51 (6) 1066-1077 (2011)
- 44) ヤマサ醤油(株)ホームページ 商品情報
- 45) (株)悠心ホームページ 製品紹介
- 46) キッコマン(株)ホームページ 商品情報
- 47) 久保典昭, 食品と開発, 49 (7) 21-23 (2014)

- 48) 小室綾平、古川和也、松井一高、小野裕之、成形加工シンポジウム'17, 249-250 (2017)
- 49) T.Kanai, Chapter 8 in Polymer Processing Advances, T.Kanai, G.A.Campbell (EdS.) Hanser Publications (2014)

参考図書

- 50) 実用版 フィルム成形のプロセス技術、監修 金井俊孝, AndTech社 (2021)
- 51) Polymer Processing Advances, T.Kanai, G.A.Campbell (EdS.), Hanser Publications (2014)
- 52) 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, AndTech社 (2013)
- 53) 産業を支える機能性フィルム, 機能性フィルム研究会編

(2013)

- 54) 機能性包装フィルム・容器の開発と応用、監修 金井俊孝, CMC出版 (2015)
- 55) 高機能フィルムの開発と応用、監修 金井俊孝, CMC出版 (2016)
- 56) フィルムの機能性向上と成形加工・分析・評価技術Ⅲ, 監修金井俊孝, AndTech社 (2019)

【著者紹介】

金井 俊孝
KT POLYMER 代表

NEWS CLIP

▶ 開発動向

カルボン酸合成技術を共同開発 日本触媒、ギ酸を有効利用

日本触媒は6月18日、超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクトに取り組んでいるNEDOが、産業技術総合研究所、先端素材超高速開発技術研究組合、同社と共同で、計算・プロセス・計測の三位一体による技術開発スキームを活用し、高効率な触媒を用い、ギ酸とアルケンからさまざまな化学品の基幹原料となるカルボン酸を合成する技術を開発したと発表した。

今回開発した技術は、安全で環境に優しいカルボン酸の合成技

術で、従来技術のような高压条件を必要とせず、有毒で爆発性の高い一酸化炭素(CO)ガスや環境負荷の大きい添加剤を使用しない。さらに、ギ酸は二酸化炭素(CO₂)と水素(H₂)から高効率に合成できるので、CO₂を利用したクリーンな原料とみなすこともできる。この技術が実用化されれば、CO₂を炭素資源として利用するカーボンリサイクル社会実現への貢献が期待できる。

なお同社は、同研究成果の詳細を2021年6月28日から29日ま

で新化学技術推進協会(JACI)がオンラインで開催する「第10回JACI/GSCシンポジウム」で発表する予定としている。

同社は、今回開発した触媒系の反応効率をさらに向上させるために、ロボティクスを活用したハイスループット実験により触媒のさらなる改良を迅速かつ効率的に実施し、最終的には化学品の連続生産技術であるフロー合成に使用できる固定化触媒の超高速開発を目指すとしている。