

# 高性能フィルムの技術動向と市場(下)



金井俊孝\*

## 2.5 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では更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った。また、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、更に薄型になったことにより大型の画面が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、コストダウン化が更に求められており、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20及びスマートフォンのシェア表5に示す<sup>55)</sup>。

液晶パネル分野では、中国のBOEテクノロジー (京東方科技) など中国勢による巨額の設備投資によって、サムスン・LGの韓国勢やホンハイ・AUOの台湾勢が劣勢になっている。日本勢は中小液晶パネル分野のジャパンディスプレイが、主な顧客である米アップルがiPhoneの画面を液晶から有機ELに切り替えていることが響い

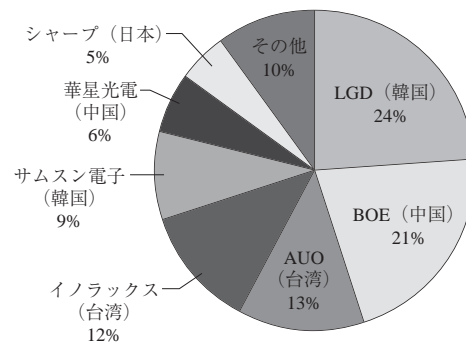


図20 大型液晶パネルの2019年の世界シェア

表5 世界のスマートフォンのシェア (2020年)

Vendor	2020 Sales	2020 Market Share (%)	2019 Sales	2019 Market Share (%)	2020-2019 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)

て苦戦している。

有機ELディスプレイでも、先行する韓国勢に中国勢が追い上げを図っている<sup>56)</sup>。図21に有機ELディスプレイの構成を示している<sup>57)</sup>。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、軽く、偏光フィルムも液晶の2枚が1枚になり、そして光源を常時光らせておく必要がなく、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。

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

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

発光層（EL層）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

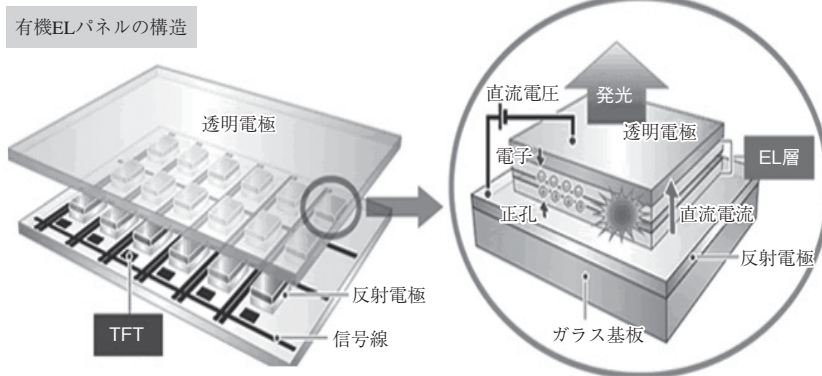


図21 有機ELディスプレイの構成<sup>57)</sup>



図22 3枚折り曲げスマホ<sup>58)</sup>

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が2021年5月に開催された世界最大のディスプレイ展示会「Display Week 2021」にて、「S-foldable」の名称でSamsungが3枚折の技術を発表しており（図22）<sup>58)</sup>、更に4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、薄膜ガラスに割れ防止フィルムの貼付や有機・無機ハイブリッドバリアフィルム等を各社開発している。

2021年の年初には、BOEのフレキ

シブル有機ELパネルがアップルの認証を通り、同社はアップルにおいてサムスン電子、LGに次ぐ3社目のフレキシブル有機ELパネル・サプライヤーとなった。アップルのiPhone12用パネルの納入をすでに開始している。

スマートフォンの技術を牽引するSamsung, Apple, BOE, 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23）<sup>58)</sup>。

シャープは、NHKと共同開発した30型・4Kフレキシブル有機ELディスプレイを2019年11月に千葉市・幕張メッセで開催された国際放送機器展

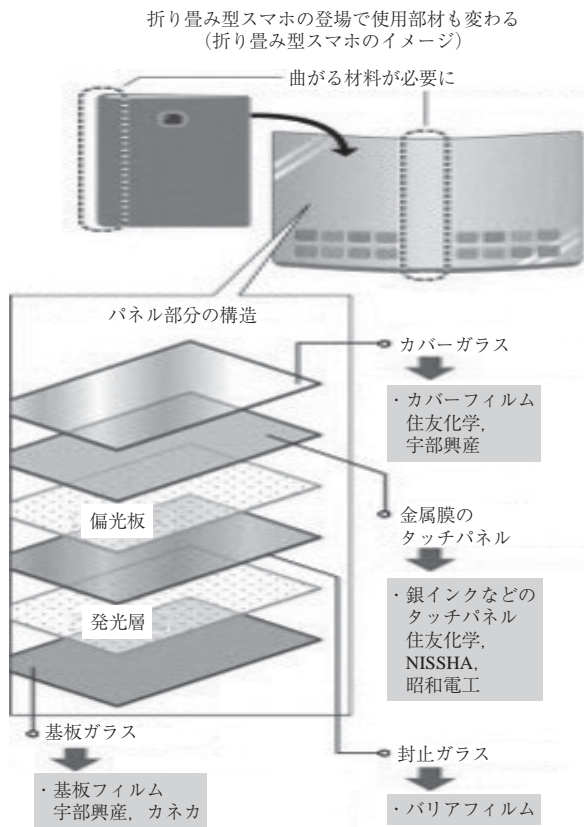
「Inter BEE 2019」のNHK/JEITAブースにて展示した、バックライトのような複雑な構造が不要なので、基板部分に柔軟性の高いフィルム素材を使うことで、折り曲げは比較的容易に実現できる（図24）<sup>59)</sup>。

また、世界最大という30型4Kで画面を巻き取って収納できるフレキシブル有機ELディスプレイを開発し、「ローラブル（巻取型）」商品の実現を目指している（図25）。

フレキシブルガラス市場は、2020年に13億5,000万米ドルの規模に達している。今後、2021年から2026年の間に6.7%のCAGRで成長すると予想されている<sup>60)</sup>。フレキシブルガラスは、割れずに何度も曲げることができる極薄のガラス基板で、高強度、温度安定性、耐久性、剛性、耐スクラッチ性など、硬質ガラスと同様の特性を持っている。ロール状のガラスは、一般的に使用されているフレキシブルガラスの一つで、スマートフォン、照明、デジタルディスプレイなどの家電製品の製造に広く使用されている。また、自動車の窓ガラス、携帯電子機器、ソーラーパネル、建築物の内装などにも使用され、軽量化、美観の向上、全体的な耐久性の向上が図られている<sup>61)</sup>。

AGCは、フロート法で生産するガラスとして0.05mm厚の超薄板ガラス「SPOOL」を、幅1,150mm、長さ100mのロール状に巻き取ることに成功したと発表している（図26）。超薄板ガラス「SPOOL」は、透明性、耐熱性、耐薬品性、ガスバリア性、電気絶縁性などガラスの優れた特徴に加え、非常に薄く、軽量でフレキシブルであることを活かし、フレキシブルディスプレイや有機EL照明、タッチパネルなど最先端のアプリケーションへの採用が期待されている<sup>62)</sup>。

日本板硝子も超薄板ガラスG-Leaf<sup>®</sup>（以下<sup>®</sup>を省略）を図27に示す「オーバーフロー法」という製造法で、ガラス表面が空気以外のものに触れないた



スマホ向けパネルでは有機ELの存在感が高まる (出荷枚数予測)

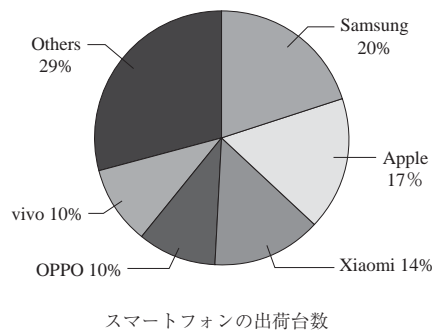
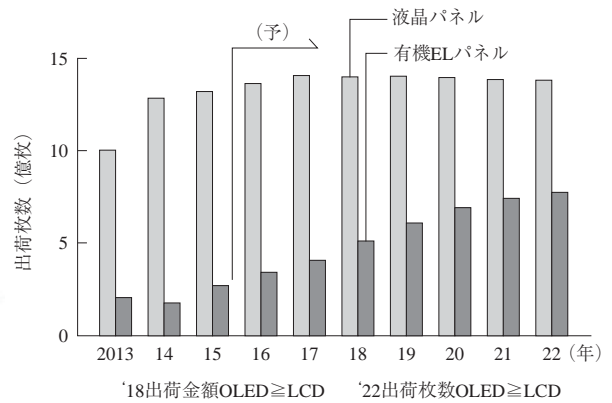


図23 有機ELを利用したスマートフォン

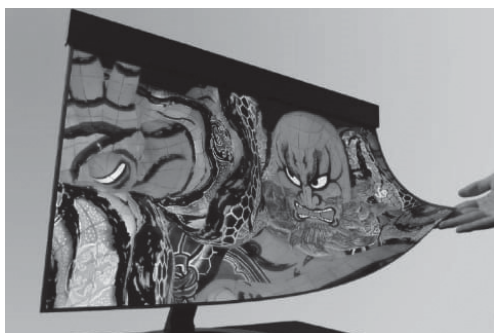


図24 シャープ・NHKのフレキシブル有機ELディスプレイ<sup>59)</sup>



図25 表示部を巻き取って収納できる「ローラブル (巻取型)」商品<sup>59)</sup>

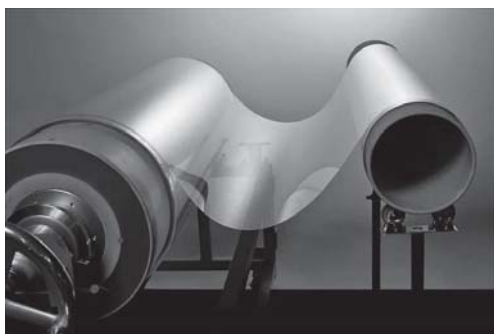


図26 AGCのフロート法で生産する0.05mm厚の超薄板ガラス『SPOOL』<sup>62)</sup>

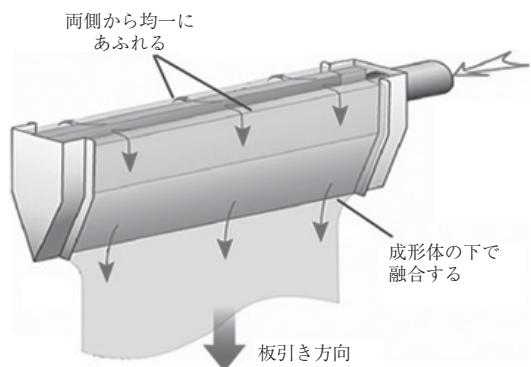


図27 日本板硝子の超薄板ガラスG-Leaf<sup>®</sup>を製造の「オーバーフロー法」<sup>63)</sup>

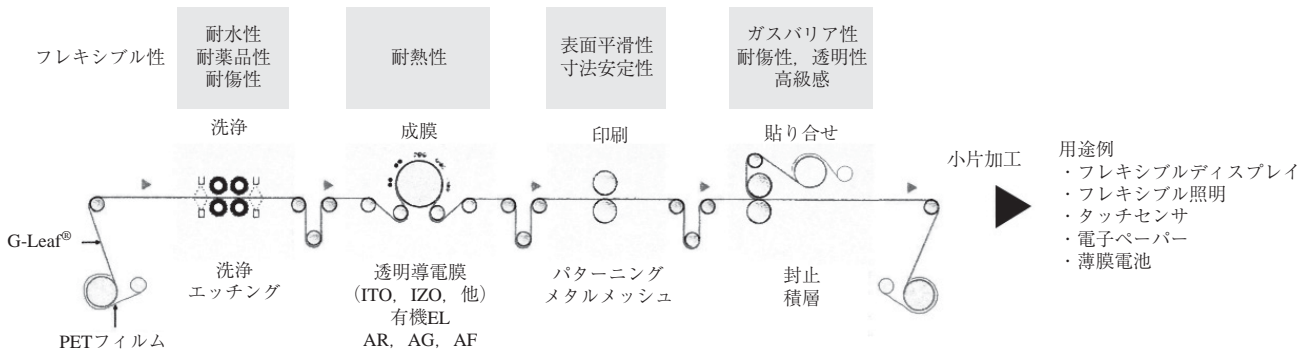


図28 G-Leaf®を用いたロールtoロール方式によるフレキシブルデバイス製造プロセス<sup>63)</sup>

め、非常に平滑で、無研磨でも平坦度が高いガラスを生産できる。この製造技術に磨きをかけ、薄さ $35\mu\text{m}$ を実現したことを発表している<sup>63)</sup>。また、G-Leafを用いたロールtoロール方式によるフレキシブルデバイス製造プロセスを図28に示す<sup>63)</sup>。

更に、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、軽量に作る事ができるため、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、薄くて面照明のため、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。

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、更に複数の中国企業が有機ELパネルを生産しており、生産の増強を進めている。

薄さ、軽さ、そして繰り返し折り曲げできるフレキシビリティを持つ有機

表6 積層構造と特性発現の概念図<sup>60)</sup>

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 

ELディスプレイにするには、プラスチック材料では実用に供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 $10^{-5}\text{g/m}^2\cdot\text{day}$ 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なし）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<sup>64)</sup>。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6）。

## 2.6 ウェアラブルデバイス用フィルム

コンピュータの小型化、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<sup>65)</sup>。すべての素子の厚みが $3\mu\text{m}$ で薄いため、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、肌に直接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、貼るだけで皮膚のディスプレイに表示できるため、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29)<sup>65)</sup>。

## 2.7 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、1,271億円規模の市場になっている<sup>66)</sup>。

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<sup>67)</sup>、形状適応性が更に広がっている。インモールド成形は更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。加飾フィルムに使用される樹脂としては、主

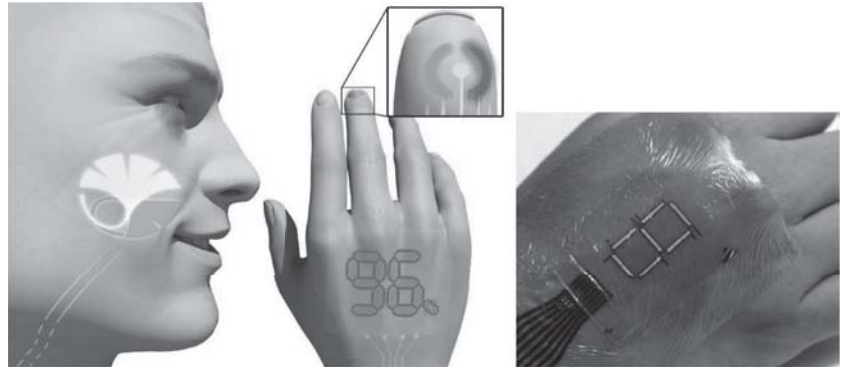


図29 東京大学染谷隆夫教授らのグループから発表された超柔軟な有機LED (素子の厚み $3\mu\text{m}$ )<sup>65)</sup>



図30 Mercedes-Benz SLS AMG Electric Drive : Paris 2012<sup>69)</sup>

にPMMA, PET, PC, ABSや高透明PP化技術を利用したフィルムが使用されている。

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、あるいは印刷、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、家電、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がインテリアトリ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とり、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<sup>68)</sup>。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持たせた車を発表している(図30)<sup>69)</sup>。

自動車製造工程のCO<sub>2</sub>排出の20%を占めるボディー塗装では、CO<sub>2</sub>排出やVOC発生の削減が重要である。トヨタ自動車は2035年までに世界の自社工場のCO<sub>2</sub>排出量を実質ゼロにすることを明らかにしている<sup>70)</sup>。製造工程でCO<sub>2</sub>排出量の多い塗装工程の脱炭素化に取り組んでいくことを説明しており、自動車ボディーの塗装代替検討の加速が期待される。これにより塗装代替の加飾技術が加速される可能性がある。加飾技術は各種のパターン、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、車両では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<sup>71)</sup>。

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、加飾フィルムの耐傷付性、耐スクラッチ性、耐候性、表面硬度の向上が重要となる。

## 2.8 高周波特性の優れたフレキシブルプリント基板(FPC)

第5世代(5G: 5<sup>th</sup> Generation) 移动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、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。

2018年のFPCメーカー別シェアを図31に示した<sup>72)</sup>。日系FPCメーカーが約40%のシェアを維持しているが、日系メーカーと韓国メーカーのシェアが縮小し、台湾メーカーと中国メーカーは拡大している。

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、絶縁材料の持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32<sup>73)</sup>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、基板材料では熱硬化性の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、

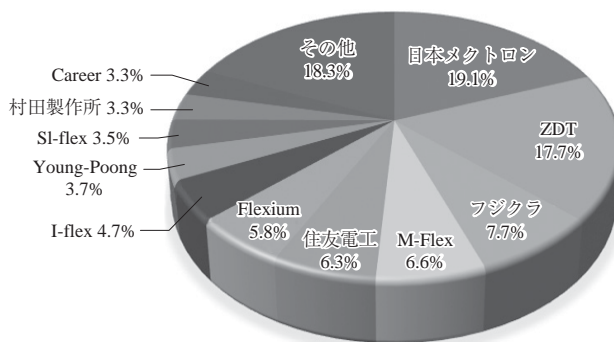


図31 2018年FPCメーカー別シェア<sup>72)</sup>

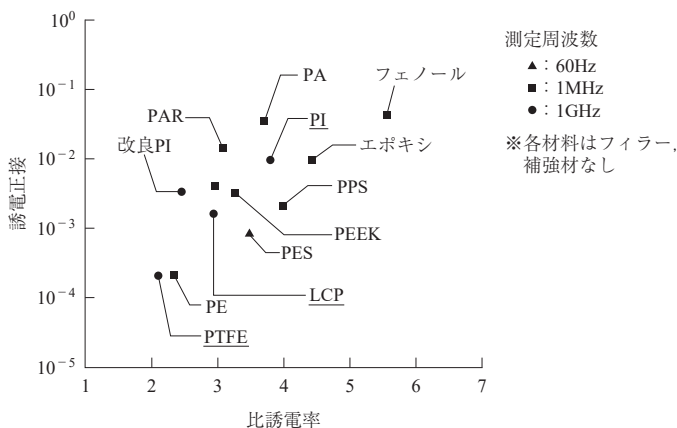


図32 各種樹脂の電気特性<sup>73)</sup>

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。表7に低伝送損失基板材料・フィルムなどを巡る各社の取組みを示した。

高速伝送FPCが使われているスマートフォンのiPhoneのアンテナモジュールは、2017年からPIフィルムに代わって、低誘電性・ハイバリア材料であるLCPフィルムが採用されている。PIフィルムは吸水性が高いこと、誘電率3.2、静電正接0.007 (at 1MHz)に課題があり、5G向けではLCP材への切り替えが始まっている。

高耐熱エンブラである液晶ポリマーLCPはダイス内で配向しやすく、バランスしたフィルムが成形しにくいデメリットがあるが、クラレ等はインフ

レーション成形技術により、縦横バランスしたフィルムの製造を可能にしている<sup>73)</sup>。

ただし、LCPは粘度の温度依存性が大きい樹脂で、粘度も比較的低くかつ配向しやすい。バランスの良いフィルムを成形する目的で、成形機の温度を厳密制御し、かつブロー比を大きくしてバブルの安定化を図る高度なインフレーション成形技術が必要である。また、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

表7 低伝送損失基板材料・フィルムなどを巡る各社の取組み

企業名	製品名	主要材料	備考
クラレ	ベクスター	LCP	LCPの老舗，スマホ用実績
千代田インテグレ	バリキュール	LCP	LCPフィルムで供給，回路基板用途にも展開
村田製作所	メトロサーク	LCP	基板材料からの一貫生産，市場開拓のパイオニア
東レ	シベラス	LCP	スクリーン印刷用メッシュで参入
住友化学	スミカスーパー LCP	LCP	LED用途や鉛フリーはんだに対応，可溶性のLCPを新規開発
大倉工業		LCP	2021年顧客へサンプル提供開始
デンカ	AXSORDER	LCP	ダブルベルトプロセス
宇部興産	ユーピレックス	PI	自社生産BPDAを原料に300℃長期耐熱性を有する
カネカ	アピカル	PI	銅箔に近い線膨張係数グレードあり，広範囲の温度での寸法安定性に優れる
東洋紡	ゼノマックス	PI	室温～500℃まで線膨張係数が3ppmと一定，400～500℃の高温化加工可能
東レ・デュボン	カプトン	PI	-269～400℃の広範囲で性能発揮，5μm厚のPIフィルムも展開
三菱ガス化学	ネオプリズム	PI	溶媒可溶性の透明ポリイミド，無色透明，光学特性に優れ超高耐熱性Hシリーズあり
日鉄ケミカル&マテリアル	エスパネックスFシリーズ	PI	低誘電PIの2層CCL，20GHzまで対応
利昌工業	CS-3379M他	PPE	ミリ波レーダー，5Gアンテナ，多層化可能
パナソニック	ハロゲンフリー超伝送損失基板材料	熱硬化性樹脂	フッ素樹脂代替へ2018年からサンプル出荷
日本ゼオン	L-24	COP	パイロットプラント構築中
ロジャーズ	CuClad	フッ素樹脂	基地局やミリ波レーダー向けで圧倒的実績
AGC	Fluon+EA-2000	フッ素樹脂	画期的なフッ素樹脂，千葉で能力増強
信越化学工業	SLK	熱硬化性樹脂	自社の低誘電石英クロスと組合せてCCLを提供
日東紡	NE/T ガラス	低誘電/低CTE ガラス	高周波CCL，低弾性PKG基板向けに増産中

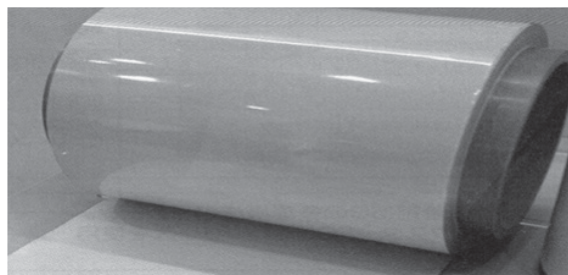


図33 クラレのインフレーション成形のLCPフィルム

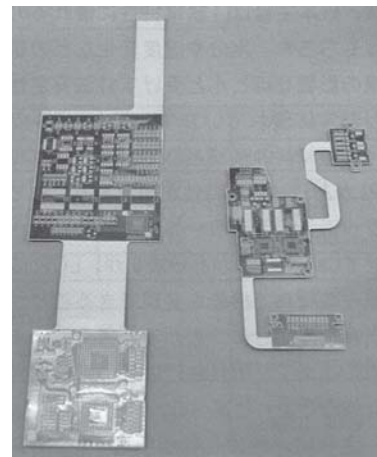


図34 ベクスタFCCLを用いたFPCサンプル<sup>73)</sup>

や水蒸気バリア性が高いため，5G用のFPC基板材料として最も期待されている。図33<sup>73)</sup>と図34<sup>73)</sup>はクラレがインフレーション成形で開発したLCPフィルム基材とそ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。

同社は熱変形温度よりも多少低い温度での延伸も検討している。溶液製膜

法で製造する方法に比較し，溶剤のワニスなどの使用とその回収が必要ないため，設備上簡単で，LCPの価格も下落気味であり，コスト的に優位性があり，今後はLCPの方がPIよりも成長

する可能性が高い。

第5世代移动通信システム (5G) の本格商用化や，環境負荷低減に向けた電気自動車 (EV) の普及などを背景に，LCPの需要が増加しており，今後も

5Gミリ波対応の本格化によりLCPの用途拡大が期待されている。そのため、ポリプラスチックは年産5,000tonのLCPプラントをPolyplastics Taiwan Co. Ltd.の台湾高雄工場内に新設し、2024年上半期稼働時期を予定している。住友化学も愛媛工場に生産プラントを増設し、2023年夏の増設後の生産能力はグループ全体で現行比約3割増となる予定になっている。

LCPの低線膨張係数、高周波特性、ハイバリア性、耐熱性などの特徴を生かして、フレキシブルプリント基板(FPC)、スピーカークォーンや航空・宇宙分野への適用が可能になり(図35)、新たな用途展開が注目されている<sup>74)</sup>。実用化が開始された第5世代の5G高速通信は高い周波数帯の電波を用いるため、高周波特性が求められ、優れた低誘電率(2.9 at 1GHz)や低誘電正接(0.002 at 1GHz)を有するLCPフィルムの需要が高まっている。

インフレーション法ではクラレ、千代田インテグレ、大倉工業、ダブルベルトプロセスではデンカ、溶液キャスト法では村田製作所、住友化学などで、製造されている。藤森工業もLCPフィルムを製造し、出荷している。海外中国メーカーでは、インフレーション法や二軸延伸テンター法による製造が行われている。また、住友重機械モダンのインフレーション機械が中国にも輸出されている。

更に、高周波特性の優れたフッ素樹脂の設備投資をAGCなどが積極的に行っており、フッ素系フィルムにも先を見据えた期待が高まっている。一方で、従来からFPCに広く使用されてきたポリイミドの欠点であった高温での熱収縮率を、400℃でも小さく抑えるグレードも開発されている。

今後の6Gに向け、部材の研究開発が多く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

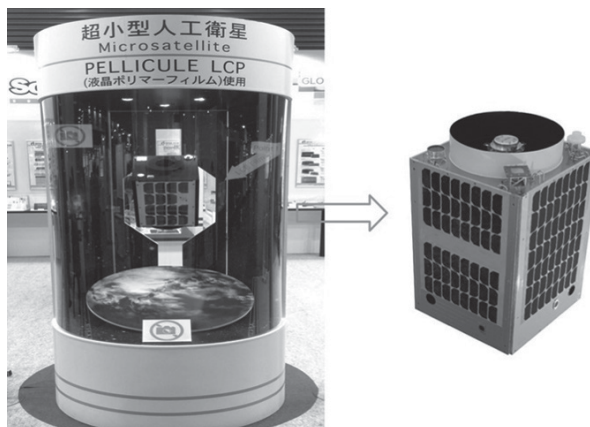


図35 LCPフィルムの人工衛星用途例<sup>74)</sup>

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やダイキン等はフッ素樹脂に大型投資をしており、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<sup>75)</sup>。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までに実用化できるよう急ピッチで開発が進行中である。

SPSは、出光興産がメタロセン触媒を使用し独自開発したエンブラで、融点270℃、耐熱水性、絶縁性、電気特性に優れるため、電気自動車を含む自動車部材、コネクタ部品、5Gをはじめとする高速通信機器のアンテナ部への採用等が広がり、需要が拡大している。現在、日本で9,000ton/年を商業生産しているが、SPSの原料であるスチレンモノマーの調達に最適であり、今後需要の拡大が見込まれる東南アジアに位置していることから、2022年8月に生産能力9,000ton/年(コンパウンド品1万7,000ton/年相当)の製造装

置がマレーシアで商業運転開始予定である<sup>76)</sup>。

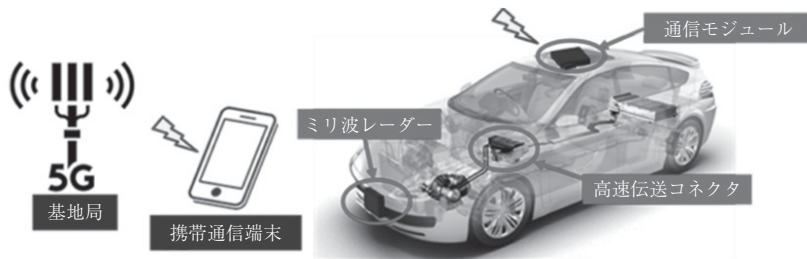
東レは、PBTの特性である寸法安定性、機械物性や成形加工性を維持しながら、ポリマー重合技術で実現した新規ポリマー構造により、高周波ミリ波帯(79GHz)における誘電損失を従来比約40%低減した誘電正接0.006を実現した高性能PBTを開発したと発表している<sup>77)</sup>。

同開発品は、5G通信の周波数帯であるsub6から高周波ミリ波帯の広範囲で低誘電損失化を維持し、高温や多湿環境下での誘電特性の安定性に優れており、5G通信用基地局や自動運転に向けた車載高速伝送コネクタ、通信モジュール、ミリ波レーダー等の性能向上、製品の小型化に貢献できると報告している(図36)<sup>78)</sup>。

一方、熱硬化性のPIフィルム及び一部のLCPの製造では、バンド式やドラム式溶液キャスト法<sup>79)</sup>で行なわれており、溶剤としてワニスが一般的に使用されている(図37)。

PIフィルムの大きなメリットは高耐熱である。高耐熱性ポリイミドフィルムのサプライヤーとしては、東レ・デュボン、カネカ、東洋紡、三菱ガス化学、韓国SKC Kolonのほか、ワニスだけでなくモノマーからポリマー、フィルムまで持つ宇部興産がある。最近、高耐熱PIフィルムを上市したのが、





民生			自動車用途		
5G基地局 カバー	スマートフォン 筐体	フィルム・ シート	ミリ波レーダー	通信 モジュール	高速伝送 コネクタ

図36 低誘電損失PBTの活用例<sup>78)</sup>

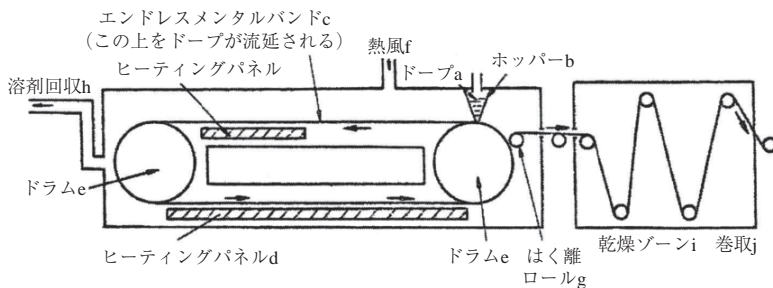


図37 バンド式溶液（キャスト）装置<sup>79)</sup>

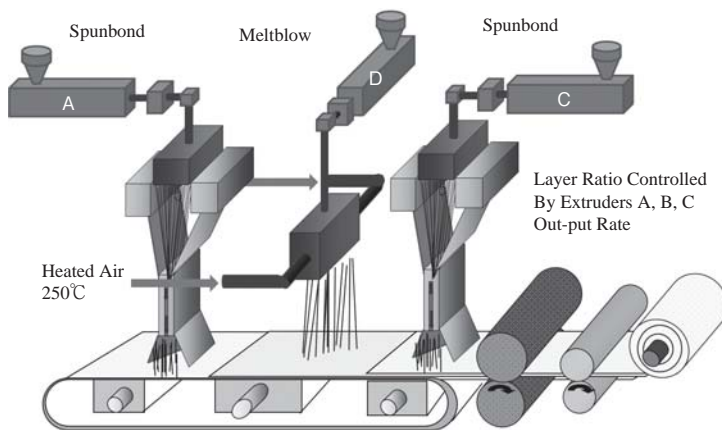


図38 スパンボンド/メルトブロー/スパンボンドの3層プロセスの概略図

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38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もしくは過酸化物で高分子量成分をカットした分子量分布の狭い ( $M_w/M_n < 3$ )、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<sup>80)</sup>。また、Melt Blown用樹脂としては、フィルタ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。

## 2.10 その他、高機能シート及び容器

### (1) 高透明PPシート及び電子レンジ容器

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球晶サイズを小さくした後、熱処理を行うことにより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<sup>81)</sup>。また、表面に低粘度の樹脂を流すことにより、せん断応力を下げ、配向結晶化を抑制<sup>82)</sup>し、更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39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<sup>83)</sup>。また、この高透

東洋紡で、高耐熱PIフィルム「ゼノマックス」は500℃の生産工程に対応できるため、アモルファスシリコン、低温ポリシリコン、酸化物などすべて

のTFT工程に対応する。

## 2.9 Spunbond不織布

COVID19による感染症の広がり



図39 高透明PPシート



賞味期限は缶詰と同じ、3年！、長期保存OK、容器のままレンジOK！  
リサイクルOK！と表示されているスマートカップ

図40 スマートカップとオキシガードの原理

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。更に、自動車に使用されている樹脂材料はPP系複合材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

ヤマサ醤油が発売している醤油容器<sup>84), 85)</sup>は、柔らかなフィルム製の二重袋構造の容器で、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、逆し弁のおかげで内部に空気が入りにくい。従って、醤油の酸化を防ぎ、開封後、何度注い

でもなか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、「やわらか密封ボトル」を発売している<sup>86)</sup>。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取め、袋のなか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で構成されて

いる。

## (3) 金属缶代替プラスチック容器

(株)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PEやPPを積層している(図40)<sup>87)</sup>。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。

## (4) 青果物の鮮度保持フィルム

カット野菜などの青果物の品質をできるだけ長く保持することができれば、フードロス削減に大きく貢献できる。住友ベークライトの「P-プラス」は、フィルムにマイクロの穴加工を施す等の方法によって、通常のフィルムより酸素の透過量を上げることが可能であり、包装される青果物の種類、重量、流通温度等に応じて微細孔の数と大きさをきめ細かく調整することで、最適なフィルムの透過量を設定することができる。この透過量調整により、包装内の青果物が呼吸を続けるために必要な酸素を取り入れ、二酸化炭素を逃がす仕組みになっており、フィルムの透過性と青果物自身が行う呼吸とのバランスにより、袋内を少しずつ「低酸素・高二酸化炭素状態」にして、やがて平衡状態になる。いわば青果物の“冬眠状態”を作り出し、青果物の鮮度を長く保持できる工夫がされている(図41)<sup>88)</sup>。

以上、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・青果物の劣化が抑制され、Long life化が可能となり、我々が生活する上で必

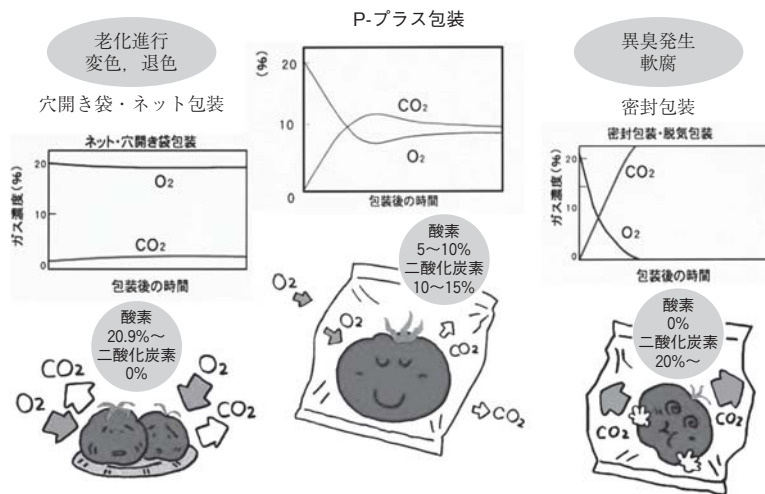


図41 包装形態別の袋内ガス濃度比較<sup>88)</sup>

が今後期待される<sup>90),91)</sup>。そのためには、今後CNTの分散技術の向上や低コスト化が益々重要になってくる(図42)<sup>91)</sup>。一部の企業からは低価格のCNTも販売されている。

### 3. 今後の機能性フィルム開発

ロシアのウクライナ侵攻の影響や円安が進んだ影響などで原油を原料とするナフサの高騰で、PEやPPの価格が、約1年間で1.5倍に高騰し<sup>92)</sup>、300円/kg以上の価格に達し、包装用フィルムの価格にも影響を与えている。そのため、資源の有効利用、つまりリサイクル、リユース、減容化に対応した高強度二軸延伸PEフィルム、石油原料を使用しない植物由来の原料の利用を進めるには良い機会かもしれない。

また、食品の賞味期限の長期寿命化は、賞味期限を長く伸ばせ、食品の廃棄を減らすことが可能であり、食品分野など各種食品包装への展開が期待できるため、ハイバリア、脱酸素、多層構造などの技術革新が必要である。

蒸着やコーティング技術により、透明性を維持しながら高バリア化、表面傷つき防止、耐候性などの技術も高度化してきており、自動車製造時に炭酸ガス排出の20%を占める塗装の代替として加飾フィルム、更にバイク、家電や建物の外装などにきれいな印刷を施した加飾フィルムなどへの適用が進むと期待される。有機ELなどに適用できるフレキシブルなバリアフィルム、医療用の透明容器、金属缶代替として易開封で電子レンジにも利用可能で廃棄が簡単な高バリア食品容器など、高透明高分子材料の用途は今後益々拡大すると期待される。

PP用延伸機のほとんどが、MD延伸後、TD延伸を行な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やすく、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こりやす

要不可欠になっている。

## 2.11 その他のフィルム用材料

### (1) 高透明高分子材料

透明高分子材料は、軽量で、複雑な形状でも成形がしやすく、柔軟性があり壊れにくく、印刷が容易などの特徴があり、ガラスではできない分野にも広く応用展開されている。

非晶性PETはクリア感があり、お菓子、IT部品や化粧品のケースなどに利用されている。PMMAは高分子のなかで最も透明性に優れた樹脂であり、各種レンズ、液晶ディスプレイ、加飾フィルム、最近ではCOVID19の感染症対策として、レストランやホテルでの衝立など様々な用途に利用され、今後も高透明材料として期待されている。ただし、耐熱性は比較的低く、電子レンジ対応の用途には使用できない。

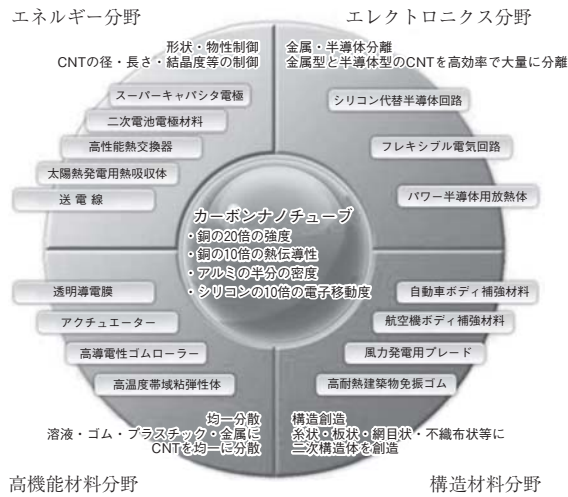
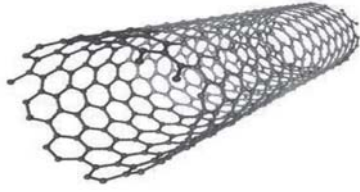
PCは高強度、耐熱性、COPやCOCなどは賦型性、耐熱性、バリア性、低複屈折、PETは低コストかつ二軸延伸性に優れている。PSは、耐熱性は低いが高コストで二次加工性に優れ、PPは結晶化制御技術により高透明で、かつ電子レンジ耐熱があるなど、それぞれの特徴を活かし、今後の成長が期待される。

### (2) 易成形性ハイバリアEVOH

エチレン量の少ないEVOHはハイバリア性に優れているが一般的には、延伸や熱成形性に劣り、延伸性や熱成形の深絞り性を改良したエチレン量33%の変性EVOHが開発されている。逐次二軸延伸(縦7倍×横7倍)でも均一延伸可能で、バリア性は通常のエチレン量32mole%品と同等で、融点は一般的な同じエチレン量のEVOHよりも10℃低く170℃で、PPとの深絞り熱成形品の側面部でも不良現象も発生しにくく、成形性が良く、外観が良好になる。一部を変性しているが、変性しているのはOH基ではないため、バリア性は同等であると報告されている<sup>89)</sup>。

### (3) カーボンナノチューブを利用したフィルム

ナノ材料としてのカーボンナノチューブも、微分散技術を活用した電子ペーパーや曲げて成形してもセンサ機能を発現できるCNT透明電極としてスマホや自動車のタッチパネルへの応用、また高熱伝導性の性質を利用した高集積回路用の高放熱フィルム、Liイオン電池・燃料電池や空気電池用の正極材の高性能化、ゴムの複合材料、キャパシタのエネルギー密度の向上、メモリーの記憶密度の向上への応用展開



出典：産総研ナノチューブ応用研究センター

図42 CNTの応用分野とアプリケーション<sup>91)</sup>

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<sup>89)</sup>。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る。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。

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

積極的に行なわれており、分野は異なるがバリア技術としては共通技術である。

太陽光や風力などのエネルギー源の貯蔵や電動車が今後益々重要になっており、その部材となるセパレータ、電池パッケージ、キャパシタなどの需要も今後、伸びることが予想されており、機能性フィルムの開発は益々重要性を増しているため、今後この分野の研究開発に磨きをかけていくことを期待している。

### 参考文献

55) 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2019.

56) DEALLAB 2022.04.24.

57) (株)JOLEDのホームページ.

58) Samsung WEBサイト(2021), CNET NEWS 2022年1月18日, 日本経済新聞2018年2月12日.

59) Sharp WEBサイト <https://corporate.jp.sharp/eshowroom/item/b09.html> IDC Media Center 1月17日(2022).

60) (株)グローバルインフォメーション 2021年7月29日13時00分.

61) “極薄フレキシブルガラスとその応用,” 工業材料, **69**(8), (2021).

62) AGC; <https://www.agc-automotive.com/ja/news-and-events/agc-succeeds-in-rolling-spooltm-a-0-05-mm-thick-sheet-glass-ja/>

63) 日本板硝子; <https://www.neg.co.jp/rd/topics/product-g-leaf/>

64) 鈴木信也, 成形加工, **27**(2), 61(2015).

65) 米国「Science Advances」誌2016年4月15日(米国時間)オンライン速報版.

66) 富士経済 2020年加飾・裝飾フィルム関連市場の現状と将来展望. エンプラネット 加飾・裝飾フィルムの世界市場 市場動向.

67) 榊井捷平, プラスチック加飾技術の最近の動向と今後の展開, 加飾技術研究会編集(2018) 日本写真印刷WEBページ, [http://www.nissha.co.jp/industrial\\_m/index.html](http://www.nissha.co.jp/industrial_m/index.html)

68) 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).

69) 湯澤幸代, 吉田耕, 塗料の研究, 156, 32(2014).

70) 日本経済新聞トヨタ, 35年に自社工場のCO<sub>2</sub>排出実質ゼロ 目標前倒し2021年6月11日16:24.

71) JR東日本ホームページ, 現美新幹線.

72) 柏木修二, 高分子学会第65回プラスチックフィルム研究会講座:2019年10月3日要旨集p1-4.

73) 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)及び砂本辰也, コンバーテック, 559, 6-10(2019).

74) 中島義明, 吉田正樹, 浜中裕司, コンバーテック, 521, 88(2016).

75) 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).

76) 出光興産WEBページ SPS.

77) 東レ プレスリリース, 2021.07.13 <https://www.toray.co.jp/news/details/20210712152248.html>

78) ゴムタイムス, “低誘電損失PBT開発 東レ 5Gで性能向上貢献,” 2021年07月14日.

79) 沖山聡明, プラスチックフィルム 加工と応用, p55(技報堂(株), 1995).

80) T.Kanai, Y.Kohri, T.Takebe, *Advances in Polymer Technology*, **37**, 2085-2094(2018).

81) A.Funaki, T.Kanai, Y.Saito, T.Yamada,

- Polym. Eng. Sci.*, **50**(12) 2356-2365 (2010).
- 82) 船木章, 蔵谷祥太, 山田敏郎, 金井俊孝, 成形加工, **23** (5) 229-235 (2011).
- 83) A. Funaki, K. Kondo, T. Kanai, *Polym. Eng. Sci.*, **51** (6) , 1066-1077 (2011).
- 84) ヤマサ醤油(株)ホームページ 商品情報.
- 85) 株悠心ホームページ 製品紹介.
- 86) キッコーマン(株)ホームページ 商品情報.
- 87) 久保典昭, 食品と開発, **49** (7) 21-23 (2014).
- 88) 溝添孝陽, 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16節, 399-412 (Andtech出版, 2019.7).
- 89) 小室綾平, 古川和也, 松井一高, 小野裕之, 成形加工シンポジア '17, 249-250 (2017).
- 90) ナノカーボンのすべて, 新エネルギー・産業技術総合開発機構編, 日刊工業新聞社, 2016.12.26.
- 91) 産業総合研究所ナノチューブ応用研究センターホームページ.
- 92) 日本経済新聞2022年5月24日朝刊, 日経電子版2022年5月23日18:40.