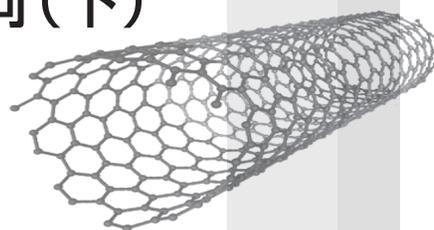


機能性フィルムの最近の技術動向(下)

金井俊孝*



2.7 IT・ディスプレイ用フィルム

2.7.1 液晶ディスプレイと有機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るようになった。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り、ブラウン管は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で大量生産され、低コストで入手できるようになった。LCDは使用しているプラスチックの光学部材により、光の導光、反射、拡散、プリズム効果、偏光、視野拡大、反射抑制技術などを巧みに制御している。東洋紡はPETの

延伸フィルムで超複屈折による虹むら を解消したフィルムを開発し、液晶ディスプレイの偏光子保護フィルムとして、採用が拡大している³²⁾。

しかし、現在はコストダウン化が強く求められており、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おり、液晶パネルの生産の中心も、日本→韓国→中国に移っている。液晶パネルの世界シェアを図11に示す³³⁾。

一方、韓国は有機ELディスプレイに主力を移している。図12に有機ELディスプレイの構成を示した。有機EL材料は自発光のため、バックライトが不要であり、LCDよりシンプルな構造で、必要とする光学フィルムの数も少ない³⁴⁾。

スマートフォン大手3社のSamsung

(韓国)、Huawei (中国)、Apple (米国) 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販売されている³⁵⁾ (図13)。今後更に、スマートフォンサイズでタブレット機能を持たせた三つ折りできるタイプの開発も進んでいる。OLEDはLCD以上にハイバリア性能が要求されるため、フレキシブルな特徴を生かすため、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。

スマートフォンの技術を牽引するSamsung, Huawei, Apple社が有機ELを採用することで、パネル産業の世界

* Toshitaka Kanai
KT POLYMER 代表
Tel. 0438-64-2300
Fax. 0438-64-2451

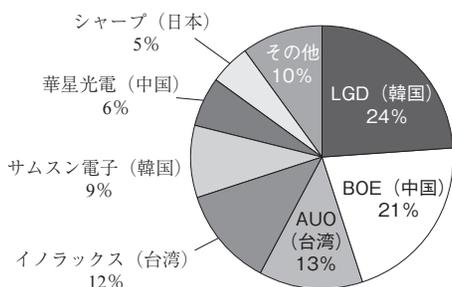


図11 大型液晶パネルの2019年の世界シェア³³⁾

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る

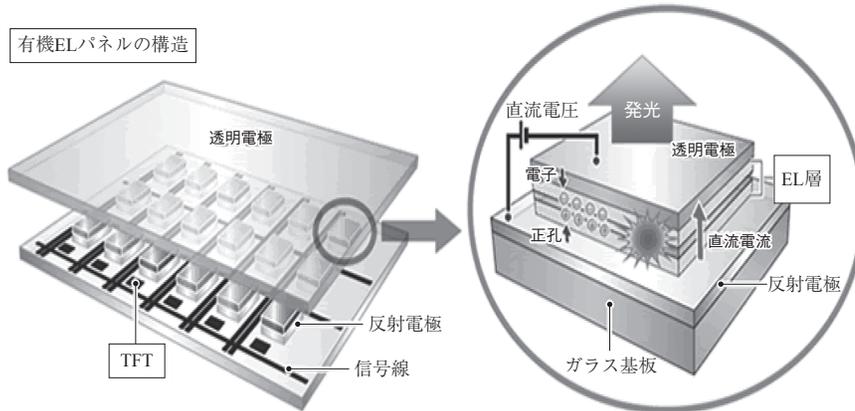


図12 有機ELディスプレイの構成³⁴⁾

市場の勢力図が変化している(図14)³⁶⁾。また、韓国のLGは出光興産の有機EL素材を使用し、55、65、75インチの大型TVの低コスト化を進めているが、中国も多額の投資を行い、BOEなど是有機EL大型TVパネルの生産計画を積極的に進めている。

現在、韓国や中国の多くの企業は、真空環境で材料を加熱、気化させてEL層を形成する蒸着方式で製造している。日本のJOLEDの有機ELディスプレイは、大気圧環境で製造できるRGB印刷技術を確立し、低コストのプロセスで製造することを目指しているが、投資面や製造可能なパネルサイ

ズ等で苦戦を強いられている。韓国のSamsungは量子ドット有機ELと呼ばれるパネルを量産する。中国メーカーも同様な研究を進めている。

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、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。スマートフォンに要望される超高精細で、薄くて、軽く、そして電池の消費量の抑制が可能である。

自発光の有機ELは、液晶ディスプレイのようなLEDバックライトが不要で、軽量につくることができるため、最低限のサポートで天井から吊るす大きな宣伝広告表示用への応用³⁷⁾(図15)などデザイン性にメリットがある。

有機ELの面照明分野もかなりコストを削減できれば本格化する可能性が現実味を帯びてくる。また、薄くて面照明のため、壁紙に照明の機能を持たせ、夜でも昼間の感覚(青空感覚等)の照明などを実現できる。

薄さ、軽さ、そしてフレキシビリティを持つ有機ELディスプレイには、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。

2.7.2 有機無機ハイブリッド超バリアフィルム

有機ELのディスプレイ・照明用途への最新技術動向も見逃せない。低消



図13 折り曲げスマホ³⁵⁾



図15 天井から吊るすことができる大型の有機ELディスプレイ³⁷⁾

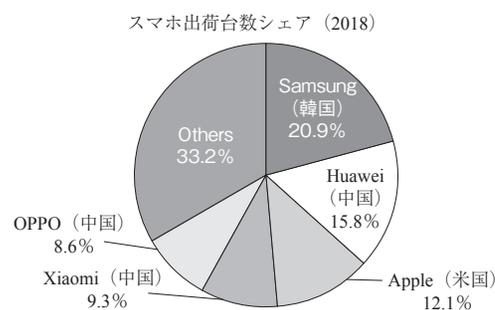
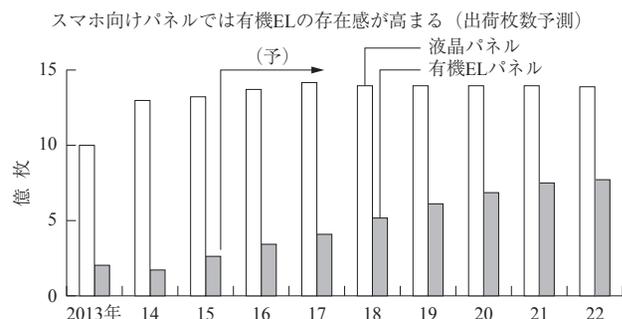
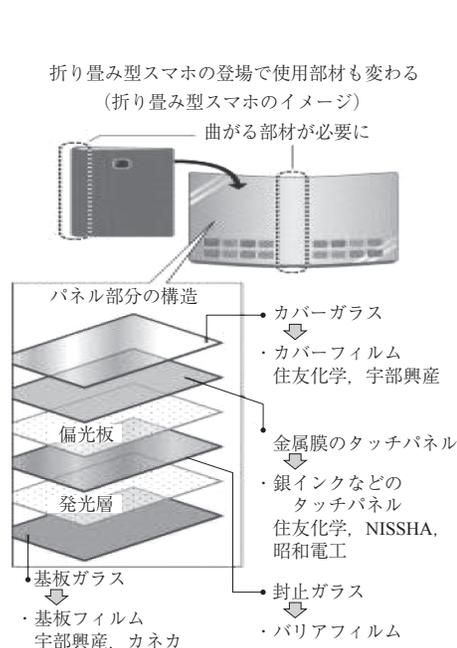


図14 有機ELを利用したスマートフォン³⁶⁾

費電力、高輝度、部材の削減が可能、超薄型化・軽量化が可能などの特徴を生かしたディスプレイや面光源の特性を生かした照明分野に、広く活用できる非常に高いポテンシャルを持っている。

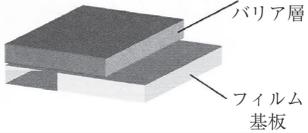
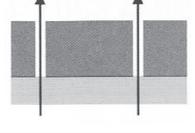
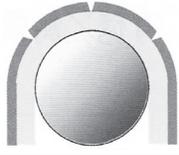
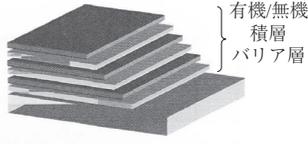
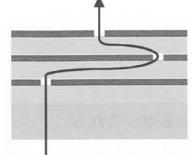
有機ELテレビは大型化しても視野角に問題がなく、自由に形状を変えられる有機ELの特性を活かして没入感のある曲面ディスプレイも製造可能である。現在では壁に貼れる厚さ4～6mmの超薄型55～77インチのTVが販売されている³⁷⁾。有機EL分野は、スマートフォン、タブレットPC、超高画質の4Kや8K TVに、軽量化、フレキシブルや透明性を特徴とした用途に重点を置いた戦略で展開されている。中国国有のパネル最大手のBOEも多額の投資をして有機EL・大型パネル工場を成都に建設しており、複数の中国企業が有機ELディスプレイの生産を開始する模様で、価格競争の時代になると予想される。

今年、日本でも5Gの高速通信が可能となり、4K、8Kの高画質放送が益々増えていく。高精細で薄くて軽く大型化が可能であるため、大型TVで臨場感のある画像が楽しめることになり、2021年に開催予定のオリンピックに合わせて、買え替え需要も高まると予想される。

また、Samsung Mobile Displayも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。 $10^{-6} \text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ レベルの超ハイバリアフィルムが実用化されれば、フレキシブル分野も有機ELの特徴を生かした分野になる。

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

表5 積層構造と特性発現の概念図³⁸⁾

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 

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³⁸⁾。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5)。

東レもバリア材の開発を行っており、シンプルな単層のバリア層で $10^{-4} \text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ のバリア性を達成している。500回の繰り返しの折り曲げにも品質の保持が可能で、基材の上に塗布によるコーティング層を設けるタイプである。また、電子ペーパー用CNT透明導電性フィルムは2層構造により、CNT同士の凝集を防止し、CNTの分散性を飛躍的に向上させ、ナノオーダーのCNTを独立に分散できる構造にすることで、透明性90%を達成し、 $0.00044 \Omega \cdot \text{cm}$ の導電性を達成し、高透明導電性フィルムへの用途展開を行っている。CNTの電顕の分散状態の写真から、CNTの外径は1.5～2.0nmでかつ分散性が良好である。

具体的な用途として、例えば面照明、携帯電話、自動車用ディスプレイ、デジカメ、TVなどの適用例が挙げられる。有機ELの材料は低分子材料が主流になってきており、また蛍光から燐

光へと移ってきている。

ディスプレイ用部材の投資計画として、電子デバイス産業新聞調べによると、表6³⁹⁾に示すようなFPD材料・装置メーカーの設備投資が実施もしくは計画が予定されている。

2.8 太陽電池用フィルム・シート

2.8.1 封止材

太陽電池の封止材としては95%がEVAである。EVAはエチレンと酢酸ビニル(VA)の共重合体で、VA量で融点、柔軟性、バリア性等が変化する。太陽電池の封止材としては、VA25～33%、MFR4～30の範囲で、有機過酸化物の架橋剤とSiカップリン材が添加されている。製品サイズは1,800mm幅、4.5mm厚が主流で、一般にはシート成形ラインで、製造されている⁴⁰⁾。

融点70℃のEVAが一般的で、押出成形時には低温成形でシート成形(450 μm)し、Si太陽電池セルの封止時に高温下155℃で100%架橋剤を消費させ、架橋反応を起こし、三次元架橋構造にして耐熱性を付与するとともに、Siカップリングさせて、ガラスとの密着性を付与する。耐候性を付与するため、UV吸収剤も添加し、成形時の酸化防止剤も添加するのが一般的である。

表6 FPD材料・装置メーカーの設備投資³⁹⁾

企業名	内 容
AGC	中国惠州子会社に10.5G用ガラスの製造窯を日本から移設。投資額約320億円。18年10～12月期に量産開始
DIC	鹿島工場でカラーフィルタ用ブルー顔料の生産能力を1.5倍に。売上高を21年に16年比1.5倍へ。韓国にTFT液晶材料の分析・評価センターを設立
LGイノテック	FPD用フォトマスクを増強。LGディスプレイ向け。17年に30億ウォン、18年に1,030億ウォンを投資
LG化学	広州に偏光板新工場。広州開発区と合併契約締結。1,238億ウォン（約126億円）投資。23年までの5年間で最大3,200億ウォンを投資。19年以降生産開始。中国子会社2社で偏光板設備投資と小型電池増産に各社284億ウォン、1,193億ウォンを追加出資する
Screen ファインテックソリューション	中国企業と合併で製造会社設立。中国常熟にFPD製造工場を新設し、18年10月操業開始予定
出光興産	成都の子会社で有機EL材料製造工場を建設。20年1～3月生産開始。年産12ton
大倉工業	約9億円投じ仲南工場を約630m ² 増設。光学フィルム設備導入。18年11月稼働
クアナムマテリアル	香港子会社に量子ドット材料の生産ラインとアプリ開発センターを建設。中国ファンドが約2,180万ドルを援助
クラレ	倉敷事業所で光学用ポパールフィルムを3,200万m ² 分増設。投資額は100億円超。19年末に稼働。全社で年2億6,400万m ²
コーロンインダストリー	透明PIのサンプル供給開始。16年に900億ウォン投じ亀尾工場に量産ライン構築
住友化学	韓国の東友ファインケムで有機ELパネル用フィルムタッチセンサの生産能力を3倍に。18年1月から量産開始。中国の偏光板合弁会社を子会社化
積水化学工業	高機能プラスチックカンパニーが上海子会社に材料技術サービスセンター新設
ダイセル	新井工場で銀ナノインク量産設備。年産数ton設備導入。19年1月から稼働開始
大日本印刷	三原工場に広幅対応のコーティング設備導入。約65億円。19年10月稼働。65型向けで従来より面積比1.3倍以上増強。20年度光学フィルムの売上高1,000億円
椿本興業	偏光板製造設備を盛波光電から受注。20年2月に納入予定
東洋紡	長瀬産業と合併。敦賀事業所内にポリイミドフィルム「ゼノマックス」の生産工場新設。投資額約30億円。犬山工場に超複屈折フィルム「コスモシャインSRF」専用設備新設。投資額は100億円で20年5月に量産開始
ニコン	18年半ばから10.5G用露光装置の組立能力を月2台体制に倍増
三菱ケミカル（日本合成化学）	熊本工場で光学用PVOHフィルム年産2,100万m ² 増設。約16%生産能力増強。全社で年1億2,700万m ² に。広幅対応。20年1～3月に完工。同所で5ライン目、全体で8ライン目
日本ゼオン	高岡製造所でモバイル用光学フィルムの原反製造ラインを増強。19年10月稼働。敦賀製造所で大型テレビ用位相差フィルム製造ライン5,000万m ² 増設。20年4月に量産開始。広幅対応。全生産能力は1億6,900万m ² に
日本ビグメント	埼玉県にカラーフィルタ用液体分散体の工場新設。投資額25億円で生産能力4倍に。19年春稼働開始予定。
日立化成	中国重慶にディスプレイ部材の信頼性評価などを行う施設を18年6月に開設
日立金属	約90億円投じ安来工場を増強。有機ELパネル用スパッタリングターゲット材は21年度に17年度比約3倍にする
平田機工	熊本本社工場を建て替え。延べ床面積約2万1,000m ² 。投資額は約70億円。20年に操業予定。有機EL製造用蒸着装置などを生産
パイ・テクノロジー	山形県米沢市に子会社VETの工場新設。21年までに約50億円。有機EL用マスクの製造と技術開発を行う。
フォトロニクス	中国合肥にFPDフォトマスク工場を新設。22年までに1.6億ドルを投資。19年春に稼働予定。
マクセル	九州事業所内に有機EL蒸着用マスクの専用ライン整備。18年初頭から試作。ジャパンディスプレイに供給
三菱ケミカル	中国無錫子会社で液晶TVの偏光板用リリースフィルムを増強。投資額は約15億円。19年4月に商業生産開始
メルク	上海パイロット自由貿易区に有機EL技術センター開設

長年使用しても黄変せずに透明性を維持することが重要で、水蒸気バリア性、100℃以上の耐湿熱、耐熱性や冬

の環境下での耐寒性、絶縁性も重要事項で、EVAはVA含量によっても値段が異なるが、ポリオレフィンの約2倍

の低コストということもあり、長年広く使用されている。太陽光のエネルギーをすべての波長

で有効利用できないため発光効率が低下するが、波長変換するため、封止材に蛍光剤を添加することにより、発電効率が12.93→13.17%に向上する結果が得られ、そのデータの信頼性の確認と開発品の上市に向け検討されている⁴⁰⁾。

耐候性を更に高めるために、EVAの代替材料としてエチレン系共重合体も各種検討が行われており、架橋反応、反応による透明性の維持、耐寒性なども考慮した検討も行われている。

2.8.2 太陽電池用バックシート

LCDの反射フィルムの技術を太陽光の半導体パネルの下に設置し(図16)、反射効率を上げるフィルムが開発・販売されている。原理的には微細多孔のPET延伸フィルムである。封止樹脂と一体接合されるので、耐候性、水蒸気・ガスバリア性、電気絶縁性、接着性等の特性が重要であり、種々な機能を満足させるために多層フィルム構成になっている⁴¹⁾。

2.9.3 有機薄膜太陽電池

最近ではシリコン系だけでなく、フラーレン誘導体を利用した有機薄膜太陽電池のエネルギー変換効率も10%のレベルに達し、現実味を帯びてきている⁴²⁾。有機化合物を利用しているために、軽量かつフレキシブルな太陽電池ができる。印刷技術を応用して太陽電池ができるため、簡単なプロセスで太陽電池ができる⁴³⁾(図17)。

モバイル・自動車・窓ガラス・建材などにも応用可能であるため、従来にない太陽電池分野の活用が可能である。今後は長寿命で、高効率な有機薄膜太陽電池の開発が期待され、薄膜でフレキシブルな電池にするには、バリア性、特に水蒸気バリア性や耐候性の優れた基材で、低コスト化も必要となる⁴³⁾。

2.9 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

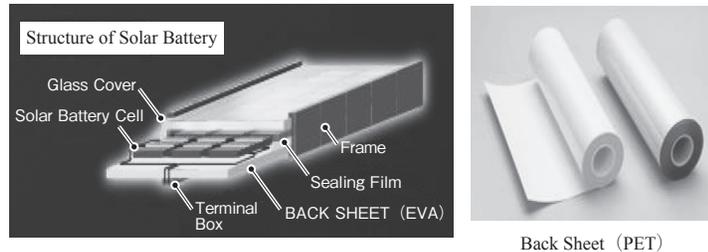


図16 太陽電池部材

・有機薄膜太陽電池の層構造と製造時のイメージ

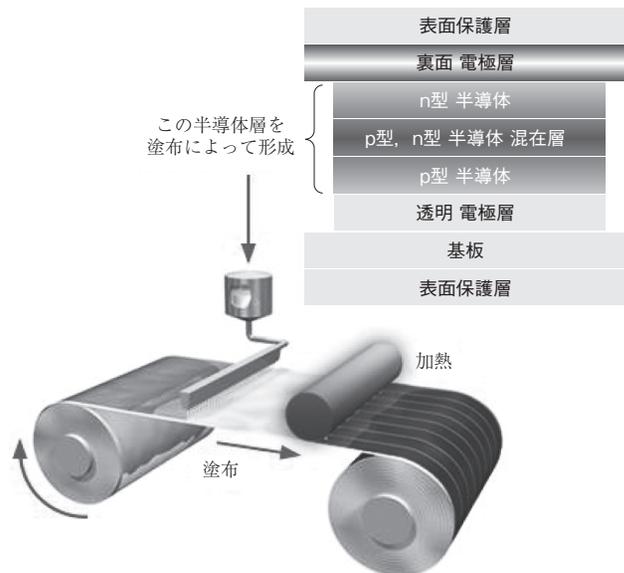


図17 有機薄膜太陽電池⁴³⁾

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

可能となり、皮膚がディスプレイになる⁴⁴⁾。

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18)⁴⁴⁾。

2.10 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なっている⁴⁵⁾。

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⁴⁶⁾、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。加飾用のフィルムとしては、PMMA(旭化成、カネカ、三菱ケミカル、住友化学、ク

ラレ)、PET(東レ、東洋紡)、PC(帝人)、ABSなどが使用されるが、PP系フィルムも高透明化技術により出光ユニテックから上市されている^{47)~49)}。

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、ソフト感を必要としない自動車内装品などに適用しやすい。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⁴⁷⁾。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した車を発表している(図19)⁴⁸⁾。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。

世界主要4地域における自動車内装用加飾フィルムの市場規模(メーカー出荷数量ベース)は、自動車生産台数の落ち込みの影響もあり、2018年は前年比1.3%減の1,231万7,000m²、2019年見込みは同3.8%減の1,184万4,000m²と微減で推移している。自動車外装用加飾フィルムの市場規模(メーカー出荷数量ベース)は、2018年が483万8,000m²、2019年は508万4,000m²の見込みである⁴⁹⁾。

上越新幹線のラッピング車両「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ている。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⁵⁰⁾。

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

皮膚に直接貼り付けることによって、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し、貼るだけで運動中の血中酸素濃度や脈拍数をモニターできるようになり、ヘルスケア、医療、福祉、スポーツ、ファッションなど応用が期待

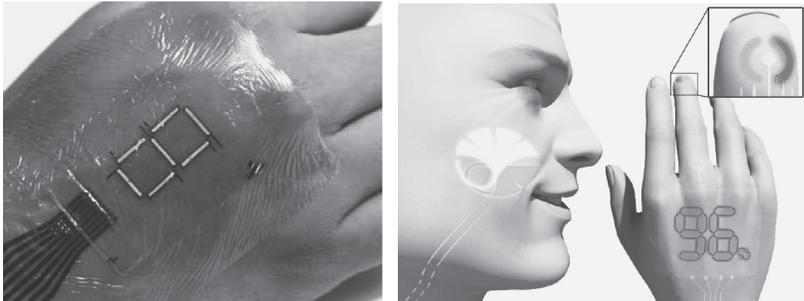


図18 東京大学染谷隆夫教授らのグループから発表された超柔軟有機LED(素子の厚み $3\mu\text{m}$)⁴⁴⁾



図19 Mercedes-Benz SLS AMG Electric Drive : Paris 2012⁴⁸⁾

ツキラインがいらなくなる自動車製造も近い将来実現する可能性が高い。将来、自分でデザインした加飾フィルムを外装に用いることも可能になる時代がくるかもしれない。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。

2.11 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。車の衝突防止レーダーの広がりや今年から運用が開始された5Gは高速通信かつ処理データ量の向上による安全かつ確実性を実現するため、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、このことは銅張積層板における信号の伝送損失に関する下記の3つ関係式⁵¹⁾から理解でき、比誘電率や誘電正接に影響される。

$$a = a_1 + a_2 \text{ (dB/cm)} \quad (1)$$

a : 伝送損失, a_1 : 導体損失,
 a_2 : 誘電損失

$$a_1 \propto R(f) \cdot \sqrt{\epsilon} \text{ (dB/cm)} \quad (2)$$

$R(f)$: 導体表皮抵抗,
 ϵ : 絶縁体の比誘電率

$$a_2 \propto \sqrt{\epsilon} \cdot \tan \delta \cdot f \text{ (dB/cm)} \quad (3)$$

$\tan \delta$: 誘電正接, f : 周波数

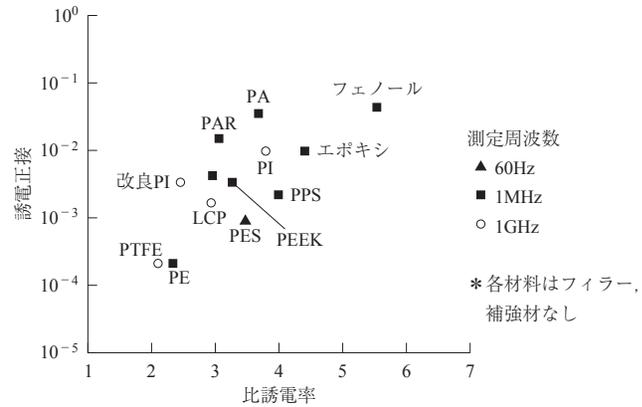


図20 各種樹脂の電気特性⁵²⁾

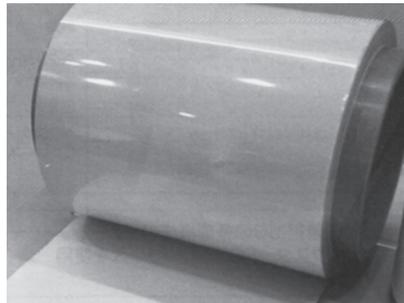


図21 LCPフィルム基材フレキシブル銅張積層板⁵³⁾

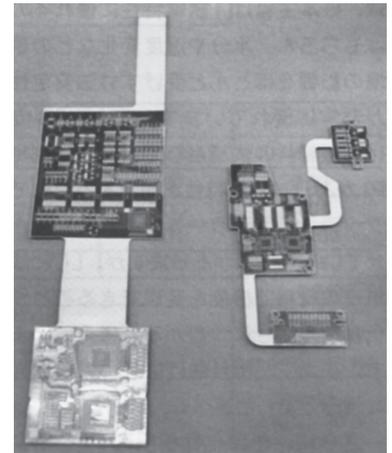


図22 ベクスタFCCLを用いたFPCサンプル⁵³⁾

図20⁵²⁾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ポリイミド (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。LCPによるFPCをクラレ、村田製作所、千代田インテグレなどが製造している。多くの企業はインフレーション成形やキャスト法を用いた高度な成形技術により、5G用のFPCの生産を開始している。図21⁵³⁾や図22⁵⁴⁾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。

電子デバイス産業新聞の調べ⁵⁴⁾では、表7のような企業が低伝送損失基板の取組みを実施している模様である。

5G用の基板材料として期待されている液晶ポリマー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。液晶ポリマーの低線膨張係数、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)、スピーカーコーンや航空・宇宙分野への適用が可能になり、新たな用途展開が注目されている⁵⁵⁾。日本では今年から実用化された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。

スマートフォンを中心としたFPC市場での用途展開にも取り組まれている。PPSが持つ優れた誘電特性や難燃性、耐薬品性を維持しつつ、PPSフィルムの結晶構造制御により、耐熱性を従来に比べて40℃以上高めている。また、フィルム内の分子鎖の配向を制御する技術により、低い厚み方向の熱膨張係数98ppm/℃を実現し、回路基板の多層化による小型化設計が可能と

なるなど、5G用の伝送ケーブルやアンテナなど幅広い用途展開が期待される。5Gなどに用いられる高速伝送用フレキシブルプリント基板に適用することで、通信デバイスの高周波での伝送ロスを低減し、高温・高湿度などの幅広い環境での高速通信を安定させることが期待され、2020年度中に量産体制を整え、5G向け通信機器の普及に取り組んでいる⁵⁶⁾。

更に、高周波特性の優れたフッ素樹脂の設備投資をAGCやダイキン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PIも、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が開発されている。

2.12 環境対応型フィルム

最近ではカーボンニュートラルの観点から、ポリ乳酸 (PLA)、セルロースナノファイバーなどの素材も注目されており、以下に簡単に述べてみたい。

(1) ポリ乳酸 (PLA)

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を熔融押出ししてシート化し、更に延伸することでフィルムを作製することができる⁵⁷⁾。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が、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。

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⁵⁸⁾。

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⁵⁹⁾。

(2) ナノセルロースファイバー

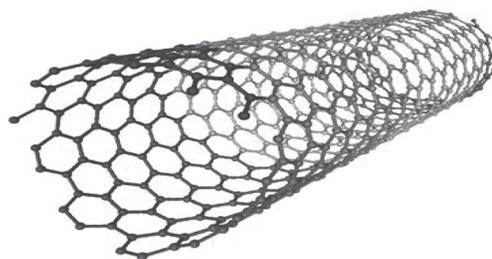
植物由来材料であり、環境型資源であるセルロースナノファイバーも木質バイオマスの応用例として、最近注目を集めている。セルロースナノファイバーはセルロース分子鎖が規則的に配列した結晶性のマイクロフィブリルで直径3～4nm、長さサブミクロンから数ミクロンのサイズからなっている。セルロースナノファイバーは植物由来であることから、紙と同様に環境負荷が小さくリサイクル性に優れた材料であり、かつ地球上にあるほとんどの木質バイオマス資源を原料にでき、資源的にも非常に豊富な材料で、次世代の大型産業資材あるいはグリーンナノ材料として注目され、近年盛んに研究開発が行なわれている。セルロースナノフ

表7 低伝送損失基板材料を巡る各社の取組み⁵⁴⁾

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、新工場も視野
千代田インテグレ	ベリキュール	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、市場開拓も大赤字
東レ	シベラス	LCP	スクリーン印刷用メッシュで参入
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、18年夏からサンプル出荷
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
ロジャース	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
新日鉄住金化学	エスパネックスFシリーズ	PI	低誘電ポリイミドの2層CCL、20GHzまで対応
AZOTEK		LCP	キャスト法で量産ライン準備中

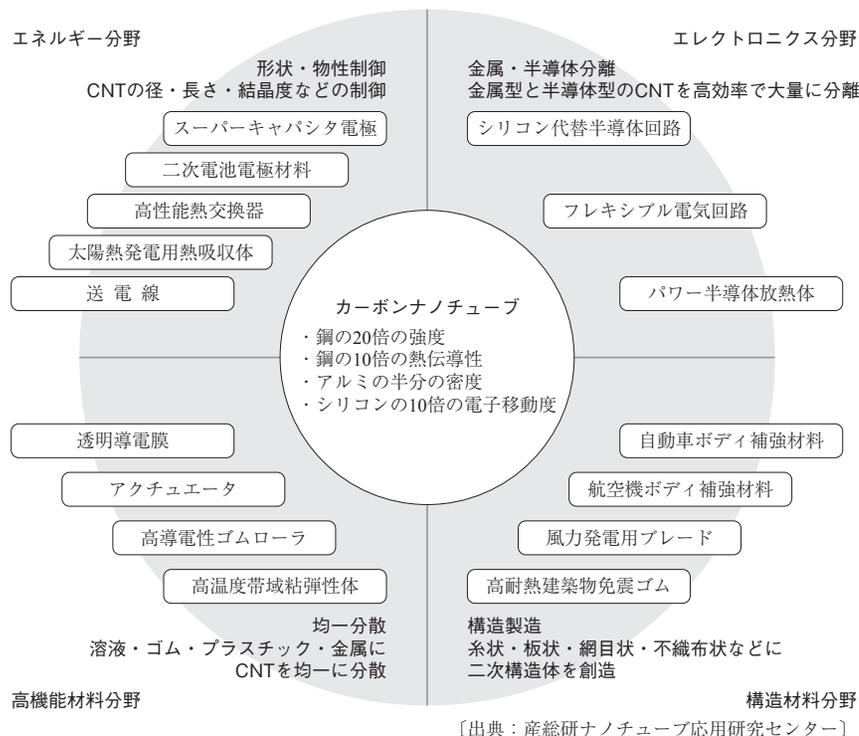
(電子デバイス産業新聞調べ)

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⁶⁰⁾。



2.13 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ートフォン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が今後期待される⁶¹⁾、⁶²⁾。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23）⁶²⁾。



3. 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、賞味期限を長く伸ばせ、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。

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なわれている。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延伸を行なう逐次二軸延伸のため、ハイバリアである低エチレンEVOHの延伸では配向結晶化が進みや、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、均一延伸が難しいのが現状である。

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て

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でも延伸しやす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。また、環境問題の観点からリサイクル可能な共押出多

層フィルムの組合せの考慮も重要である。

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。

参 考 文 献

- 32) 佐々木靖, 高分子学会第117回プラスチックフィルム研究会;7月11日要旨集, 超複屈折フィルム「COSMOSHINE SRF」の開発と応用展開.
- 33) 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).
- 34) ㈱JOLEDホームページ.
- 35) Samsung ホームページ (2019).
- 36) 日本経済新聞社朝刊(2018年2月12日).
- 37) LG社有機ELテレビのホームページ (2015).
- 38) 鈴木信也, 成形加工, **27** (2), 61 (2015).
- 39) 電子デバイス産業新聞調べ, 2349号, 2019年6月6日.
- 40) 瀬川正志, 高分子学会フィルム研究会第45回講座 (2009).
- 41) 小山松 敦, 高分子学会第46回フィルム研究会講座 (2010).
- 42) 日経BP, 有機太陽電池で約10%の効率も, 京大が新薄膜材料 (2020/03/11).
- 43) 有機薄膜太陽電池, 三菱ケミカルホールディングスホームページから引用.
- 44) 米国「Science Advances」誌2016年4月15日(米国時間)オンライン速報版.
- 45) 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).
- 46) 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 ホームページ, http://www.nissha.co.jp/industrial_m/index.html
- 47) 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).
- 48) 湯澤幸代, 吉田 耕, 塗料の研究, 156, 32 (2014).
- 49) 矢野経済調べ, “自動車内装用加飾フィルムの市場規模,” (2020年1月17日).
- 50) JR東日本ホームページ, 現美新幹線.
- 51) 片寄照雄, 高周波用高分子材料の開発と応用, 馬場文明 監修, 79-92 (1999).
- 52) 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).
- 53) 砂本辰也, コンバーテック, 559, 6-10 (2019).
- 54) 電子デバイス産業新聞, 5G見据えて次世代基板材料の開発激化 (2018年8月3日).
- 55) 中島義明, 吉田正樹, 浜中裕司, コンバーテック, 521, 88 (2016).
- 56) 東レ㈱ニュースリリース, “5G回路基板用PPSフィルムを創出,” (2019年12月19日).
- 57) 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 (Andtech出版, 2013.3).
- 58) 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 第10章第4節, 218-223 (Andtech出版, 2010.8).
- 59) 大倉工業, フィルムの機能性向上と成形加工・評価Ⅲ 第4章19節 (Andtech出版, 2019年7月).
- 60) 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).
- 61) 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).
- 62) 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.

参 考 図 書

- 63) フィルム成形のプロセス技術, 監修 金井俊孝 (AndTech社, 2016).
- 64) Polymer Processing Advances, T.Kanai, G.A.Campbell (EdS.), (Hanser Publications, 2014).
- 65) 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).
- 66) 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).
- 67) 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).
- 68) 高機能フィルムの開発と応用, 監修 金井俊孝 (CMC出版, 2016).
- 69) 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).