

## 機能性押出成形品の開発動向

金井俊孝\*

機能性押出成形品は最近、急速な進歩を遂げている<sup>1),2)</sup>。その中でも、高機能フィルムは数多くの商品が開発され、それらを扱う展示会などは常に多くの参加者があり、注目を集めている。

高機能なフィルムとして、モバイル機器やテレビなどに使用されている液晶ディスプレイ用各種フィルム、有機EL用フィルム、携帯電話やEV車等に使用されているLiイオン電池セパレーターやパッケージ用フィルム、家電・自動車・スマホ等用の加飾フィルム<sup>3)</sup>、さらに食品・医薬品包装ではバリア性が向上し、Long life化が進んでいる。また、レトルトパウチ、詰め替え用パウチ、電子レンジで温めるだけの食品用フィルム・トレイが膨大な量、使用されている。最近ではPETボトルでも、バリア性を付与し、酒類のボトルも市場に多く出回っている。それに伴い、プラスチックフィルム・ボトルの使用量も多くなっている。

そこで、ここでは高機能フィルムを主体的に取り上げ、ディスプレイ部材、次世代電池、エレクトロニクス、加飾関連のフィルムなど、工業用フィルムや食品包装用フィルムを中心に押出製品について紹介する。

### 1. 最近のフィルム開発動向

プラスチック押出成形品は、フィルム、容器・タンク、パイプ、発泡、シートなどがあり、プラスチック成形品全体の約70%を占めている。その中でもフィルムは約39%であり、非常に大きな割合となっている(図1)<sup>4)</sup>。

世界の包装分野の生産は東南アジアでの製造が増えている傾向にあるが、日本のフィルムの研究開発力は依然として優位な立場にある。機能性フィルム分野でも、日本での高付加価値商品の製造が期待される。日本で活発に研究・開発が行われている機能性フィルム・シートテーマを表1に示した。

以下に機能性フィルムや押出製品の具体的な例を、工業用フィルム・成形品、包装用・医療用フィルム、環境対応フィルムなどについて、紹介してみたい。

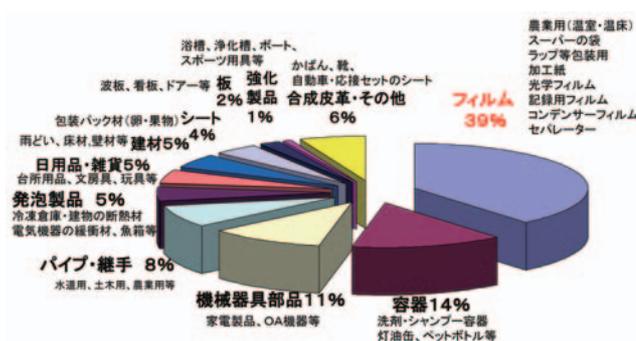


図1 プラスチック製品の分野別生産比率

### 2. 工業用フィルム(自動車、電池、IT、ディスプレイ用途)

#### 2.1 自動車・モバイル用フィルム

今後の需要の伸びが期待されるLiイオン電池用フィルムとして、セパレーターや電池用ソフトパッケージがある。  
1) セパレーター

セパレーター用HDPEはLiイオン電池の135℃以上の暴走反応を防止するため、安全面から必須材料である<sup>5)</sup>。HDPEとPPの原料は、触媒金属残渣を低減した高分子量原料が使用され、成形法としては湿式法と乾式法があり、湿式法はHDPE/WAX系の2成分系あるいは3成分系のスピノーダル分解の後期の相構造の制御をして延伸し、その後WAXを洗い流す乾燥工程も必要で、かなり複雑な製造工程で行われている<sup>6)</sup>。

平均0.04 μmの微細孔径を中心にした微細孔径分布は0.02~10 μmの分布であるが、均一な孔径ほど好まれ、厚みも16 μmからさらに薄膜化の傾向にある<sup>7)</sup>。

HDPEフィルムの耐熱性も不足しているので、PPとHDPEの多層構造を用いている場合が多い(図2)。加熱暴走温度に達するとHDPEの融点(HDPEフィルムは安全対応)で溶けてしまうと電池が使用できなくなってしまう問題があり、耐熱性を向上させるために、PP(例:PP/HDPE/PP)やさらに耐熱性のあるフィルム層を設けている。

PP/HDPE/PPの乾式方式で、結晶のラメラ構造の非晶部を二軸延伸テンター法で、nmオーダーレベルの微細孔を多数有する3次元構造を形成させるセパレーターも製造されており、イオンを膜全体に均一に移動させることがで

\* Kanai, Toshitaka  
KT POLYMER  
袖ヶ浦市蔵波台5-7-14 (〒299-0245)  
toshitaka.kanai@ktpolymer.com  
2017.1.7 受理

表1 高機能フィルム・シートテーマ

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 輝度・長期寿命 耐熱・透明薄膜 低異物 ハイバリア	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 低ボーイング 表面処理技術
表示用	有機 EL 用超ハイバリア	携帯, TV, 照明	耐熱・透明薄膜 低異物 ハイバリア	歩留まり 良表面外観 低ボーイング 表面処理技術
	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	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	
	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 スピーカーコーン, 微細発泡体	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	急冷, 結晶制御 熱成形性
	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	
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

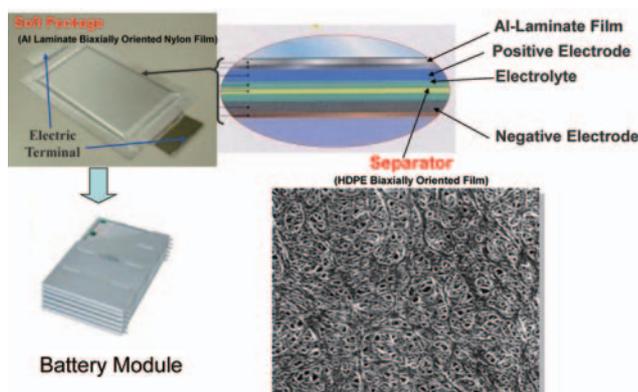


図2 Li-ion Battery (セパレーター, ソフトパッケージ)

きる<sup>8)</sup>。過熱防止のヒューズ効果を期待し、135℃を融点とする高分子量HDPEと160℃のPPの構成だが、最近ではさらなる高耐熱性を要求されている。Liイオン電池の伸びはモバイルの伸長に支えられてきたが、今後の大きな需要の伸びは電気自動車がどうなるかにより決まる。

Liイオン電池の課題は①大電流充放電、②急速充電、③絶対安全性、④低コスト化である。

現在、セパレーターの製造速度が遅いため、電気自動車が各社立ち上がった場合は十分な生産速度が確保できなくなる可能性が高いが、アジアを中心に生産基地が建設されている。延伸しにくい高分子量HDPEに加え、添加した成分の溶剤による除去と乾燥工程の速度がネックであり、溶剤を使用しない乾式方式の高品質、低コスト化が期待される。小型・軽量化、低コスト化のために、電気容量を上げるには正極と負極にもよるが、セパレーターの薄膜化と多孔径と数制御が重要である。

## 2) ソフトパッケージ

Liイオン電池の正極、セパレーター、電解液、負極の構成を包み込むソフトパッケージが使用されているが、携帯端末やタブレット型端末での需要の伸びが大きく、さらに将来的にはガソリン車からPHV車やEV車への比率が高くなるにつれて、大きく伸びる期待できる分野であり、注目されている。

ラミネートフィルムとして、モバイル用はNylon 25 μm / AL 40 μm / PP 50 μmのフィルム構成であり、車載用はPET 12 μm / Nylon 15 μm / AL 40 μm / PP 80 μmのフィルム構成である。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<sup>9),10)</sup>。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ることであり、フィルムのすべての方向で伸び、強度の均一性が必要であり、チューブラー延伸フィルムが広く利用されている。この分野でもさらなる薄膜化の要望は強い。最近では高強度で水蒸気バリア性にも優れるPBTのチューブラー延伸フィルムも開発されている<sup>11)</sup>。

自動車以外には、携帯電話、パソコン、電気自転車、電気モーターバイク、ゲーム、スマートフォンやタブレット型端末、モバイル製品、ロボット、ロケット、電動工具等は着実に成長している。

## 3) コンデンサー用極薄フィルム

コンデンサーの市場は2015年度で約1.7兆円に達し、その内、フィルムコンデンサーの市場は約1,600億円である。今後、ハイブリッド車、電気自動車が伸長し、高電圧が期待される分野が伸びれば、それに伴いフィルムコンデ



図3 フィルムコンデンサー (HYBRID CAR and EV CAR)

ンサーの大きな伸びが期待できる。

フィルムコンデンサーとして、PP, PET, PPSが考えられるが、図3に示すPPフィルムコンデンサーのメリットは絶縁抵抗が高く、自己回復性に優れ、高圧キャパシタ用として優れている上に耐久性にも優れる。電圧変動の安定化のためには大容量キャパシタが必須である。自己回復性とはアルミニウム、亜鉛等の金属蒸着により電極を設け、局部的に絶縁破壊しても、放電部周辺の蒸着膜が飛散することで、絶縁を回復し、キャパシタ全体の機能を維持するものである<sup>12)</sup>。

キャパシタの単位体積あたりの静電容量 (C/V) は、誘電体 (フィルム) の厚みの2乗に反比例するため、フィルムの薄肉化は極めて重要である。BOPPはハイブリッド車のキャパシタの形状から3µmが必須になってきているが、すでに開発品は2.5µmのレベルになっている。製造は逐次二軸テンター法だが、傷つき防止やフィルム物性のバランスから同時二軸延伸法も適用されている。インフレーション法は油の含浸性には優れるが、偏肉精度や薄膜化に問題があり、現在は数µmであり、薄物には使えない。

絶縁破壊電圧 (BDV) のアップが重要である。改善方法としては、フィルムの結晶化度アップ、ガラス転移温度のアップ、不純物の低減が挙げられる。フィルムの薄膜化に伴い、成形性、延伸性、搬送シワ、静電気制御、表面粗さ、寸法精度が重要なポイントになる。

自動車分野に採用されるには耐熱性が重要な因子であり、PPとしては高立体規則性のものが用いられるが、高立体規則性PPは結晶化速度が速いため、延伸前の原反シート段階で結晶化度が高くなりやすく、延伸可能な温度幅も狭いため、延伸機内の温度均一性が重要である。

薄膜化において、BDVに対するフィルム表面粗さは無視できない。フィルムキャパシタの製造工程ではフィルムを長く巻くが、フィルムに適度なすべりがないと、素子形成が安定せず、電気特性に影響を与える恐れがあり、適正な表面粗さが求められる (図4)。表面粗さの制御技術が極めて重要であり、β晶制御やトランスクリスタル構造の結晶を大きくする必要があり<sup>13)~15)</sup>、冷却ロール温度は高めに設定する必要がある。研究としては、β晶をより多く生成したり、PPとしては立体規則性制御のみならず、

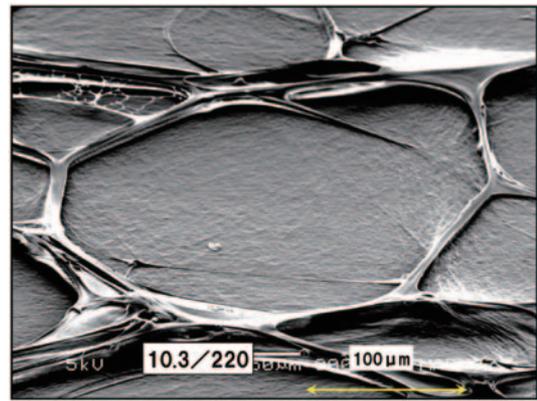


図4 フィルム表面の凹凸制御 (SEM写真)  
 枠内数値:十点平均粗さRz (µm) / クレーター径 (µm)

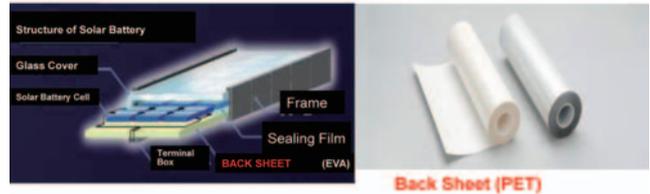


図5 太陽電池部材

分子量分布や長鎖分岐導入による結晶構造制御の検討も行なわれている。将来は、小型化、耐熱、耐電圧化が望まれる。また、蒸着電極膜の薄膜化や均一化も重要なテーマである。

## 2.2 太陽電池用フィルム・シート

### 1) 封止材

太陽電池の封止材として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、VA 25-33%、MFR 4-30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。現在、製品サイズは1800mm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<sup>16)</sup>。

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 (450µm) 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、3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されるのが一般的である。

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ある。

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、発光効率が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

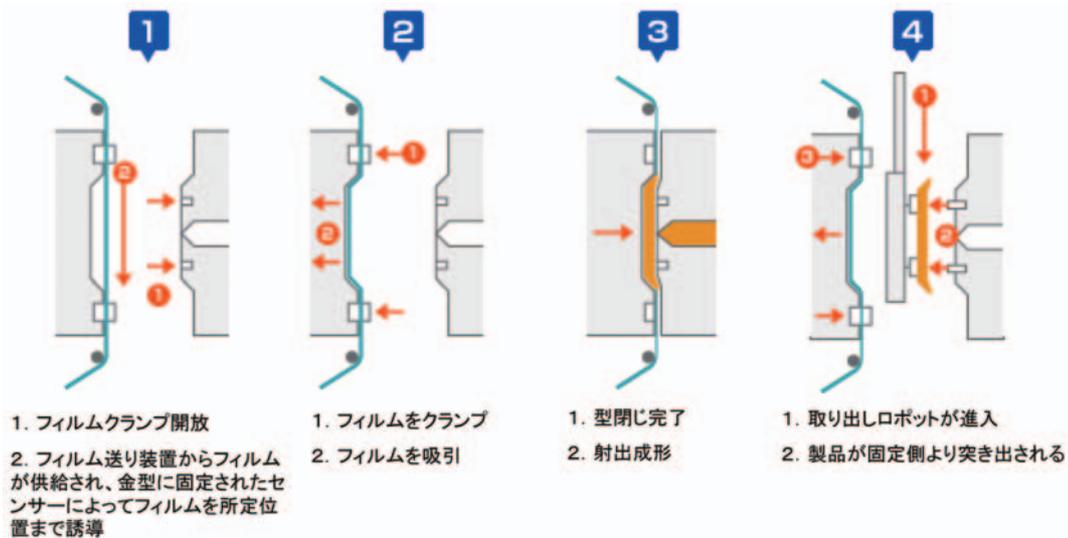


図6 日本写真印刷の Nissha IMD 工程概念図<sup>31)</sup>

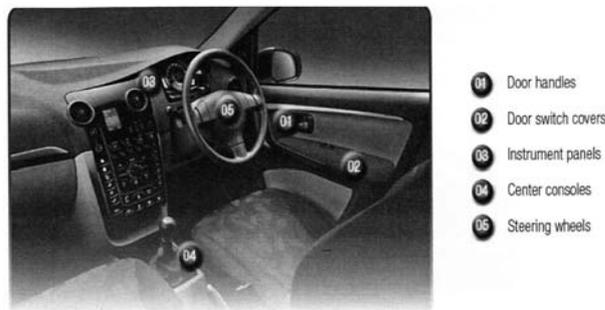


図7 3MTM インテリアトリムフィルムの実施例



図8 GENBI SHINKANSEN (現美新幹線)

検討されている<sup>16)</sup>。

## 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5)、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。

## 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。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の製造が可能になった。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、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も必要となる。

## 4) 加飾フィルム (自動車、バイク、鉄道、家電、IT・スマホ、住設)

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<sup>17)</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(図6)、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>18)</sup>、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、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。図7は、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>19)</sup>。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。

最近では、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

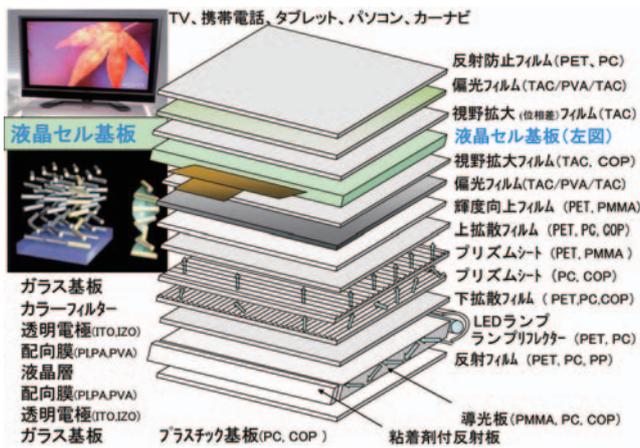


図9 LCDフィルムの構成

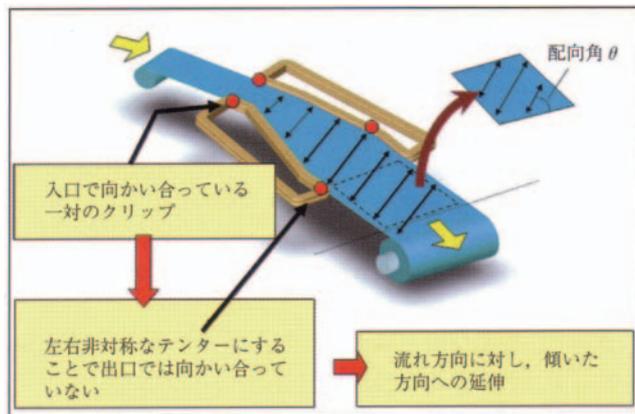


図10 斜め延伸テンターの概念図

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8)<sup>20)</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。

### 2.3 IT・ディスプレイ用フィルム

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。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(図9)。

#### 1) 位相差フィルム：斜め延伸フィルム

日本ゼオンは自社のCOPを使用し、光学フィルムを初めて溶融押出成形で光学基板を製造し、また45°斜め延伸位相差フィルムを溶融法で斜め延伸の連続製造することができる技術を確立している(図10)<sup>21)</sup>。

さらに負の屈折率のPSを多層構造の一層に用いて3軸の屈折率 $N_x, N_y, N_z$ の大きさを自由に制御できるフィルムの開発が行なわれている<sup>22)</sup>。同社は従来の常識を打ち破り、



図11 LG社の有機EL 65インチ大型TV



図12 フロート法による厚さ50 $\mu\text{m}$ 、幅1,150mm、長さ100mの極薄ガラス<sup>39)</sup>

Only One 製品を市場にいち早く出すことが重要であると強調している。

#### 2) タッチパネル用部材<sup>23)</sup>

タッチパネル用途は一昔前では、小型モバイル機器のPDA、タッチパネル、電子ペーパーが主体であったが、現在では、スマートフォンなどに利用され携帯電話でタッチパネル機能やズームイン、ズームアウト機能を持たせものが一般的になり、需要が急増し、タッチパネル市場は2014年度約2兆円と推定されている。基板のフィルム(180 $\mu\text{m}$ 前後)で、製膜は位相差を10nm以下に抑える関係から、PET, PESは溶融法、PC, APO, PARは溶液キャスト法が主流であったが、成形加工法の改良により溶融法への移行が進んでいる。透明電極はInの枯渇や原料高騰で、Inに変わるITO代替材が検討されている。

#### 3) 有機ELディスプレイ用超バリアフィルム

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。低消費電力、高輝度、部材の削減可能、超薄型軽量化可能などの特徴を生かした将来ディスプレイや面光源の特性を生かした照明分野、例えば、携帯電話、自動車用ディスプレイ、デジカメ、TV、面照明など広く活用できる非常に高いポテンシャルを持っている。高精細、薄い、軽い、割れないことを特徴とし、携帯電話分野で採用されている。大画面で中央部がくぼんだ曲面型デザインの有機ELテレビを発売され、視聴位置から目に届く映像情報が均等となり、映像に包み込まれるような臨場感あふれる映像を満喫できる(図11)<sup>24)</sup>。有機EL分野は、スマートフォン、タブレットPC、4KTV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。

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  $10^{-5} \text{g/m}^2/\text{day}$  を達成し、長期間 Dark Spot ができない無機多層バイバリアー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。また、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、優れた屈曲性と高バリア  $10^{-6} \text{g/m}^2/\text{day}$  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>25)</sup>。

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  $10^{-4} \text{g/m}^2/\text{day}$  のバリア性を達成している。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 1.5~2.0 nm でかつ分散性が良好である。

一方、ガラスメーカーの旭硝子もフロート法による世界最薄ガラス 50  $\mu\text{m}$  厚さのガラスで、幅 1,150 mm、長さ 100 m のロール巻きに成功したことをプレスリリースしている (図 12)。超薄板ガラスは、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長により、フレキシブルディスプレイや有機 EL 照明、タッチ



図 13 2018 年に販売予定の有機 EL を採用すると報道されている iPhone 8



図 14 フレキシブルな有機 EL ディスプレイ

パネルなどアプリケーションへの展開が期待される<sup>26)</sup>。

現在、有機 EL のスマートフォンは Samsung 電子から販売されているが、米アップル社はスマートフォンの 2018 年発売予定の iPhone 8 の新モデルに有機 EL パネルを採用すると報道されており<sup>27)</sup>、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 13)。

現状、有機 EL の寿命は LCD に比較して短い欠点はあるが、スマホの使用期間は TV に比較して短く、長所として色鮮やかで、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<sup>28)</sup> (図 14)。

これらの特徴を生かし、大きな宣伝広告表示用への展開がされており、デザイン性を生かした有機 EL の面照明分野も本格化する可能性が現実味を帯びてくる。

#### 4) 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。

最近、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 の研究も興味深い。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<sup>29)</sup>。

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

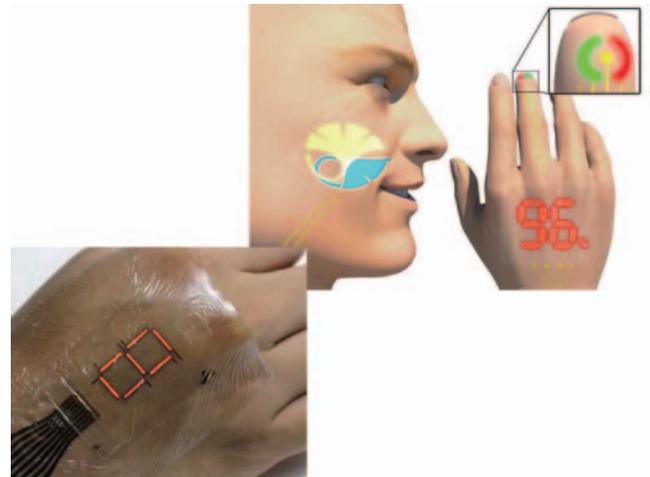


図 15 東京大学染谷隆夫教授らのグループから発表された超柔軟な有機 LED (素子の厚み 3  $\mu\text{m}$ )

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<sup>29)</sup> (図15)。

#### 2.4 ナノ材料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て電子ペーパーや曲げて成形してもセンサー機能を発現できるCNT透明電極として、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への応用展開が期待される<sup>30)</sup>。

### 3. 包装用、医療用フィルム・シート

#### 1) バリアフィルム

バリア性能を有するフィルムは、長年食品を長期保存できる包装を中心に要望されてきたフィルムである。また、医薬品を安全に保護できるフィルム、有機ELや電池パッケージなどに代表される電子・工業用途での高度なバリアフィルムはその代表例である。

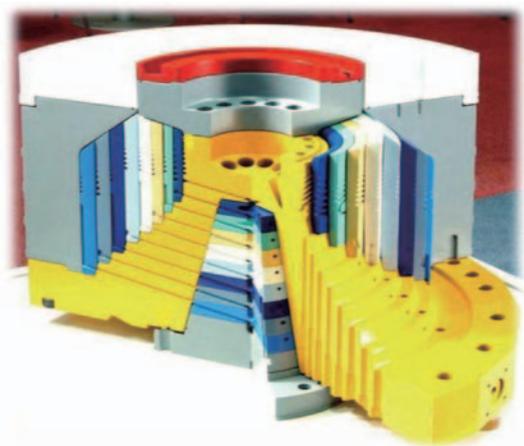


図16 9層のスパイラルダイスの構造 (Gloucester Engineering Inc.)

ハイバリア性樹脂と呼ばれるPVA・PVDC・PANは、どれも融点と分解点が接近しているため、熱溶融加工に難点があった。この点をもっとも有利に克服して実用化されたのがエチレンとビニルアルコールの共重合体EVOHである。多層ダイスによる共押出成形により(図16)多層フィルムのバリア層として使用され、当初、食品包装市場へ展開された。例えば、バリアフィルムは酸素透過性を著しく抑制できたことにより、削りかつお節のパッケージが可能になり、またマヨネーズボトルなどは賞味期限を10倍にも延ばすことが可能になっている<sup>31)</sup>。

さらに、用途が広がり、医薬品や非食品包装など中身の多様化や、対象ガスの種類も酸素だけでなく二酸化炭素や匂い成分・有機蒸気などと種類も増し、包装以外の自動車(ガソリタンク)・建材・地球環境関連などの分野にも広く応用範囲を拡大している。EVOHの二軸延伸フィルムはラミネート基材としても利用されている。

#### 2) 鮮度保持の醤油フィルム・容器

醤油容器(図17)<sup>32),33)</sup>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、常温でも長期間鮮度を保つことができる。

一方、やわらか密封ボトルも発売されている<sup>34)</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収め、袋の中に醤油を充填している。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) 高透明PPシート

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、結晶性樹脂でも、シート成形の両面急冷で、熱処理を行うことにより、球晶サイズを極力小さくし、かつ球晶とマトリックスの屈折率を等しくすることにより、高透明化が可能である<sup>35)</sup>。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<sup>36)</sup>し、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、さらに透明性が向上し、図18に示すようにPPでもガラスライクなシートが得られる<sup>37)</sup>。事務用品、化粧品やお菓子パッケージなどの用途の他に、高透明感、高剛性、熱成形性や耐熱性を生かし、電子レンジ可能なお弁当



図17 鮮度保持容器

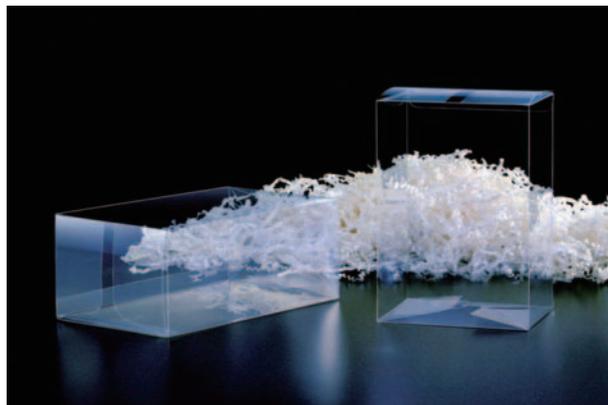


図18 高透明PPシート

の容器および PTP 包装や加飾フィルムとして自動車の内装やバイク、家電製品の装飾に展開されている。

最近では賞味期限を伸ばすために、ヒートシール層を追加し、本体 PP 透明容器とヒートシールし、内部にチッソガスを充填することで、食品の廃棄を減少させる用途が増えてきている。

#### 4) 直線カット性フィルム<sup>38)</sup>

易裂性ナイロンフィルムは環境問題対応の一環で、脱塩素化としての利用、便利さや製品安全 (PL 法) 対応として開封性の観点で易裂性・直線カット性の向上、口元カール性の向上による自動充填機械適性の改良、耐熱性の向上などが主な採用動機となっている。包装材料に易裂性を付与するためには図 19 に示すように、易裂性ナイロンフィルムを使用することにより易裂性と高強度を単層のフィルムで満足できる。これにより、ラミネート層数を減らすことができコストメリットもあり、かつバリア性も付与することができている。

レトルト食品では湯煎し、温かい状態で開封し、中身をスムーズに出すために包材の易裂性能が求められる。レトルト食品においても、近年の電子レンジの普及により、調理の簡便化が図られている。開封時に包材が切れ難いと内容物がこぼれる危険性などが増して、火傷などの事故につながる危険性が増すため、包材としては易裂性、直線カット性を有する易裂性ナイロンフィルムをラミ構成の一層として使用することが必要となる。

<構成例> PET/易裂性ナイロンフィルム/AL/ CPP  
(アルミ構成品)  
透明蒸着 PET/易裂性ナイロンフィルム/  
CPP (透明構成品)

等、高強度と易裂性の必要な分野で使用されている。

#### 5) 医療用フィルム<sup>39)</sup>

医薬品包装にはオキシガードフィルムやアルミラミネートフィルムが使用されている。医療用の点滴剤には、アミノ酸製剤、高カロリー栄養剤、あるいは酸素の影響で変質してしまう薬剤などがある。食品のプラスチック容器の場合、パッシブガスバリア材やアクティブバリア材と複合化する方法が一般に適用されているが、医薬品包装の場合、薬事法の関係で、使用できる材料に制約がある。このため、

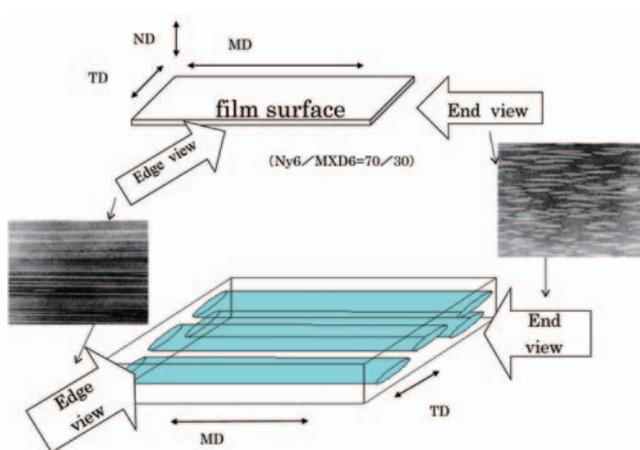


図 19 易裂性 PA 6 延伸フィルムの透過型電子顕微鏡観察 (TEM)

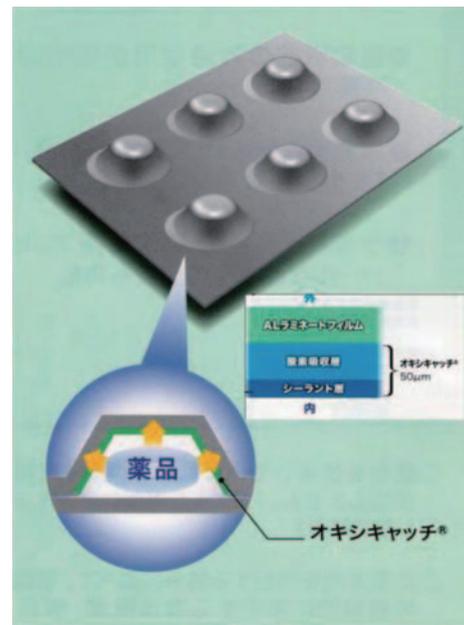


図 20 AL ラミネート酸素吸収 PTP 包装

ポリエチレン製輸液ボトルを両面アルミ箔構成の外装パウチに入れ、脱酸素剤を封入する方法やアクティブバリア機能をもつ外装パウチを適用する方法が採用されている。このアクティブバリア外装パウチの構成は、一方が PET/アルミ箔/オキシガードフィルム/シール層であり、他方は PET/パッシブバリア層/シール層で、透明多層フィルムが用いられている。片面が透明であるため、輸液ボトルの表示ラベルを見ることができ、パウチにラベルを貼る必要がない利点もある。狭心症の治療用点滴剤の製品は、レトルト殺菌が必要であり、輸液ボトルを「オキシガード」パウチに充填後、レトルト殺菌されている。今後、錠剤の PTP 包装はバリア性でさらに厳しい要求が求められており、図 20 で示す PTP 包装やアルミラミネートのシートなどが検討されている。

## 4. 環境対応フィルム

### 1) PLA フィルム・シート

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 を溶融押出ししてシート化し、さらに延伸することでフィルムを作製することができる<sup>40)</sup>。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のである。通常、70~80℃程度の耐熱性を有する。

ポリ乳酸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、ポリ乳酸 (Tm 160~170℃) は PET (Tm 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。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<sup>41)</sup>。

### 2) 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



SiO<sub>x</sub>蒸着のワイン用PETボトル<sup>12)</sup> 日本酒用DLCのPETボトル<sup>13)</sup>

図21 内面にバリア性を持たせたお酒のPETボトルの例

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3~4 nm、長さサブミクロン~数ミクロンのサイズからなっており、低線膨張係数、高強度・高弾性率、高透明性を有し、自動車部材の補強、スピーカーコーン、微細発泡容器、包装材料のバリアー付与、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<sup>42)</sup>。

### 5. その他の押出成形品(ボトル, 熱成形品, パイプ)

飲料用や酒類などの容器は、従来ガラスが使用されてきた分野であるが、最近では高透明で軽量であるPETボトルが広く使用されるようになってきた。PETボトルは利便性、コスト面から飲料・食品容器として急速に普及し、現在総容器に占める割合が50%以上に達している。その反面、スチール缶・アルミ缶やガラス壺と比較するとガスバリア性が低く、酸素の侵入・炭酸ガスの損失による内容物の品質に影響を受けやすい欠点をもっていた。

しかし、これらの欠点も、ボトル内面に薄膜を蒸着した非結晶炭素薄膜等の技術によりコーティング<sup>43)</sup>されたボトルは、ガスバリア性が10倍以上となり、品質の劣化を防ぎ、長期間の保存が可能になってきた。それらの技術開発の結果、清涼飲料だけでなく、炭酸飲料、ワイン、焼酎、日本酒、ウイスキー等のアルコール飲料など、酸素・炭酸ガス等の高バリア性を必要とする用途にもPETボトルが使用されるようになってきた。

また、PETボトルの内面にシリカ(SiO<sub>x</sub>)をプラズマCVD法で蒸着させることにより、高い酸素バリア性を実現させた無色透明のペットボトルが開発され、国内のワインボトルに初採用されている<sup>44)</sup>。

図21に内面にバリア性を持たせたPETボトルのワイン<sup>44)</sup>や日本酒<sup>45)</sup>への応用例を示す。アルコール飲料・炭酸飲料を中心にPETボトルに置き換わる可能性のある製品は世界で年間5000億本以上と言われ、装置市場としても極めて大規模となる。さらに、飲料製品に限らず、各種調味料用容器、医療用容器、化粧品等、非飲料業界への応用も可能であり、用途の拡大が期待される。

多層成形技術により、従来金属缶が用いられていた分野にも、図22に示すような多層容器が使用されている<sup>46)</sup>。

自動車用のガソリタンクも欧米では、ほとんどがHDPE製ブロー成形品に替わってきているが、日本では

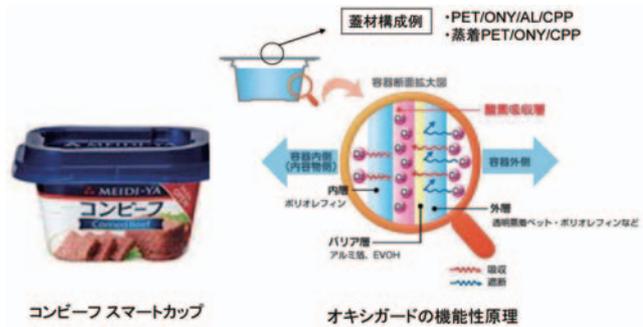


図22 スマートカップとオキシガードの原理

まだ金属製が多い。EVOH層を設けることにより、ガソリンバリア性が向上し、軽量かつ形状自由度が高いため、金属製からプラスチック製に置き換わる方向にある。

また、水道管ではHDPEが高強度、高寿命でかつ地震に強い特徴がある。高分子量HDPEで、低分子量側には分岐成分がなく、密度を高くし、高分子量側では分岐成分の導入で、タイ分子を増やし、高ESCR化、高寿命化を図っている。異なる分子量を混練により均一化することが重要なため、二軸押出機による均一混練化の研究も行われている。家庭用温水パイプの開発も進んでいる。ガスパイプだけでなく、燃料電池システムを想定して、水素供給用パイプとして、バリア性を持たせたPE/EVOH管の検討も行われている<sup>47)</sup>。

### おわりに

機能性フィルムとして、原子力の代替エネルギーとしての太陽光発電用の封止材やバックシート、省エネルギーとしてのバックライトの必要のない有機ELディスプレイ・照明用超バリアフィルム、カーボンナノチューブなどを利用したLEDやPC用放熱フィルム・シート、タッチパネル用高透明導電性フィルム、輝度向上フィルムや遮熱フィルム、電気自動車やプラグインハイブリッド車用Liイオン電池用セパレーター、ソフトパッケージやコンデンサー、デザイン性や塗装レス化に向けた加飾フィルムなど、日本が先行している技術に磨きをかけ、競争力のあるさらなる技術の発展が期待される。

将来的に成長が期待される機能性フィルムとしては次のようなものが挙げられる。

- ① スマートフォンやタブレット型端末などで注目される有機ELディスプレイ用フィルムや逆波長分散型位相差フィルム、タッチパネル用フィルム。
- ② モバイル機器やハイブリッド車、EV車に重要なLiイオン電池のセパレーターやソフトパッケージ、大容量薄膜キャパシタフィルム
- ③ 再生可能なエネルギーである太陽電池などに使用される機能性フィルム
- ④ 食品包装や医療包装のハイバリアフィルム・シート
- ⑤ 印刷されたフィルムを利用した自動車の内外装材、バイク、建材、家電、スマートフォン用の加飾フィルム
- ⑥ CNT透明電極や高集積回路用高放熱フィルム
- ⑦ エネルギー効率を高める遮熱フィルム

- ⑧ 化石燃料を使用しないPLA フィルムやセルロース ナノファイバーフィルム
- ⑨ ナノメーターレベルで微細分散した高機能付与フィルム

機能性フィルム・押出成形品の差別化技術として、製品設計、素材の触媒・重合技術、基盤評価技術、超精密加工技術とCAE解析技術を磨き上げていく努力が必要と感じている。今まで、日本が先導役として発展させてきた液晶、有機EL、記録メディアやLEDに代表されるIT分野、家電関連や食品・医療分野での高機能透明フィルム・シート分野で、日本の今後の貢献を期待したい。

### 参 考 文 献

- 1) 高機能フィルムの開発と応用, 監修金井俊孝, (株)シーエムシー出版(2016)
- 2) 機能性包装フィルム・容器の開発と応用, 監修金井俊孝, (株)シーエムシー出版(2015)
- 3) 加飾フィルム・材料・加工技術の最新開発と自動車用途と展開, (株)Andtech(2015)
- 4) 経済産業省生産動態統計年報「2015年プラスチック製品統計」, (2015)
- 5) 吉野彰: 成形加工, **22**(6), 274(2010)
- 6) 辻岡則夫: 高分子学会フィルム研究会第108回講演会(2009)
- 7) 伊藤達也: フィルムの機能性向上と成形加工・分析・評価技術, 第4章2項, (株)Andtech 出版(2013)
- 8) 中島孝之: プラスチック成形加工学会企画講演会 Liイオン電池講演会, 7月(2011)
- 9) 奥下正隆: プラスチック成形加工学会第112回講演会-将来のエネルギーの技術を担う, 太陽電池・二次電池の開発の最前線(2009)
- 10) 奥下正隆: 成形加工, **22**(6), 279(2010)
- 11) 永江修一: 日本食品包装協会, 会報152号, 10月(2016)
- 12) 伊藤達也: プラスチック成形加工学会第99回企画講演会“最先端の二次電池・キャパシタの開発動向”(2007)
- 13) Tamura, S., Ohta, K. and Kanai, T.: *J. Appl. Polym. Sci.*, **124**, 2725(2011)
- 14) Tamura, S., Takino, K. and Yamada, T. and Kanai, T.: *J. Appl. Polym. Sci.*, **126**, 501(2012)
- 15) Tamura, S. and Kanai, T.: *J. Appl. Polym. Sci.*, **136**(5), 3555(2013)
- 16) 瀬川正志: 高分子学会フィルム研究会第45回講座(2009)
- 17) 富士経済: 2013年加飾フィルム関連市場の展望とメーカー戦略(2013)
- 18) 梶井捷平: 加飾技術概論, コンバーテック, **43**, (9) 46(2015)  
日本写真印刷ホームページ, [http://www.nissha.co.jp/industrial\\_m/index.html](http://www.nissha.co.jp/industrial_m/index.html)
- 19) 佐々木信: 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, (株)Andtech 出版(2015)
- 20) JR 東日本ホームページ, 現美新幹線
- 21) 荒川公平, 山崎正弘, 川田敬一, 宮城孝, 浅田毅: 成形加工, **21**(9), 540(2009)
- 22) 荒川公平, 川田敬一, 豊嶋哲也, 滝澤忠, 黒崎勝尋: 成形加工, **24**(9), 531(2012)
- 23) 板倉義雄: タッチパネルおよびその部材の市場動向, 技術動向, 高分子学会プラスチックフィルム夏期交流会(2008)
- 24) LG 社有機EL テレビのホームページ(2015)
- 25) 鈴木信也: 成形加工, **27**(2), 61(2015)
- 26) 旭硝子(株)プレスリリース記事, 2014年5月26日(2014)
- 27) 日本経済新聞社ホームページ, 2016年6月13日(2016)
- 28) Engadget 日本語版 2016年1月5日(2016)
- 29) 米国「Science Advances」誌 2016年4月15日(米国時間) オンライン速報版(2016)
- 30) 荒川公平: カーボンナノチューブの高機能フィルムへの応用, 2016年7月12日, CMC 出版主催セミナー(2016)
- 31) 猪狩恭一郎: フィルムの機能性向上と成形加工・分析・評価技術, 第6章第1節, (株)Andtech 出版(2013)
- 32) ヤマサ醤油(株)ホームページ, 商品情報
- 33) (株)悠心ホームページ, 製品紹介
- 34) キッコーマン(株)ホームページ, 商品情報
- 35) Funaki, A., Kanai, T., Saito, Y. and Yamada, T.: *Polym. Eng. Sci.*, **50**, 2356(2010)
- 36) 船木章, 蔵谷祥太, 山田敏郎, 金井俊孝: 成形加工, **23**(5)229(2011)
- 37) Funaki, A., Kondo and K., Kanai, T.: *Polym. Eng. Sci.*, 2356(2010)
- 38) Takashige, M. and Kanai, T.: *Int. Polym. Process*, **20**(1), 100(2005)
- 39) 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, 第6章第2節, (株)Andtech 出版(2013)
- 40) 井坂勤: 包装技術, **32**(9), 52(1994)
- 41) 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, (株)Andtech 出版218(2010)
- 42) ナノセルロース シンポジウム 2016, 要旨集, 京都, 3月22日(2016)
- 43) 村田正義: PET ボトルのバリア膜に関する業界動向 2014年5月15日(2014)
- 44) 凸版印刷(株), 2011年7月1日付ニュースリリース(2011)
- 45) 白鶴酒造(株)ホームページ, 2011年07月08日付ニュースリリース(2011)
- 46) 久保典昭: 食品と開発, **49**(7)21(2014)
- 47) 樋口裕思, 日向黎, 山田和志, 西村寛之: 成形加工シンポジウム 2016, **24**, 240(2016)