

# 高機能性フィルムの最近の潮流(2)

金井 俊 孝\*

## 2. 機能性フィルム用途(つづき)

### 2.4 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を熔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<sup>30)</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 ( $T_m$  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。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>31)</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>32)</sup>。

### 2.5 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14)。

#### (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熔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熔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15)<sup>33)</sup>。

更に負の屈折率の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われている<sup>34)</sup>。同社は

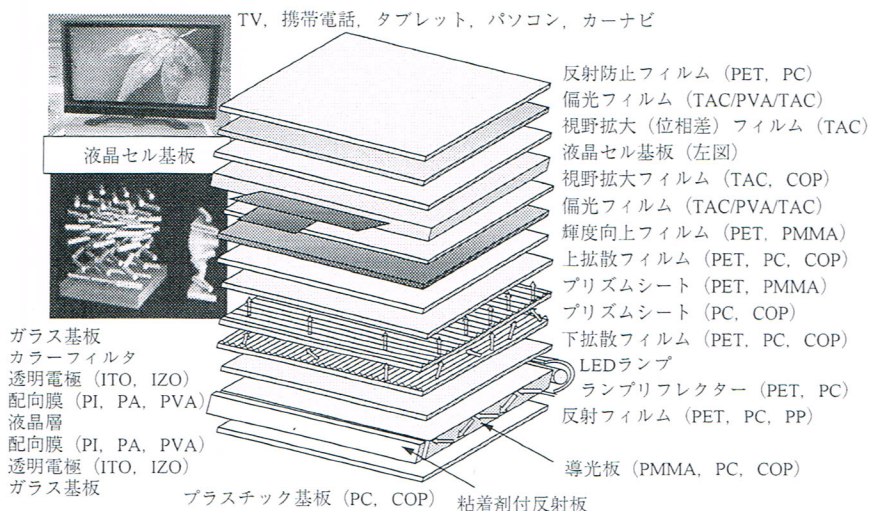


図14 LCDフィルムの構成

\* Toshitaka Kanai  
KT Polymer  
Tel./Fax. 0438-62-4411  
兼任 京都工業繊維大学 特任教授

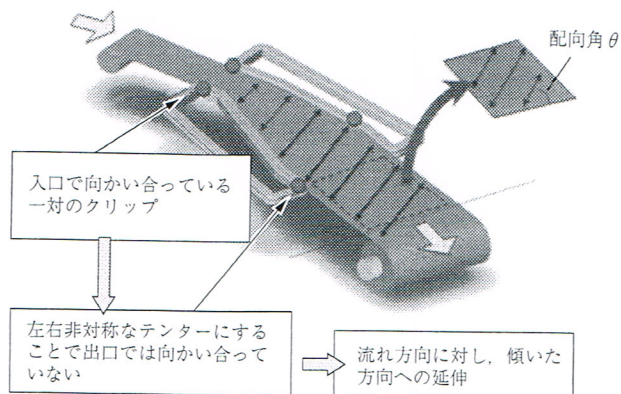


図15 斜め延伸テントの概念図



図16 LG社が発表した有機ELの大型TV

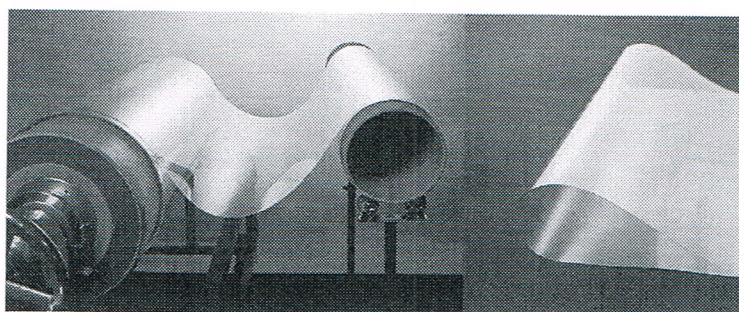


図17 フロート法による厚さ50 $\mu$ m, 幅1,150mm, 長さ100mの極薄ガラス<sup>39)</sup>

従来の常識を打ち破り、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>35)</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 $\mu$ 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。

韓国のSamsungやLGは有機EL用の量産工場を建設し、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している。LGは2015年に日本で65インチの画面中央部がくぼんだ曲面型デザインの有機ELテレビを発売した。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の特性を活かして曲面ディスプレイを採用している。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16)<sup>36)</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。

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 $10^{-5}$ g/m<sup>2</sup>/dayを達成し、長期間Dark Spotができない無機多層バリア構造のプラスチック材料を開発済みであることを発表している。 $10^{-6}$ g/m<sup>2</sup>/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( $\phi$ 10mm $\times$ 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 $10^{-6}$ g/m<sup>2</sup>/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>37)</sup>。リントックも有機・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、50 $\mu$ m厚み、全光線透過率88%、水蒸気透過率 $5 \times 10^{-5}$ g/m<sup>2</sup>/dayのフィルムの商品出荷を開始している<sup>38)</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 $10^{-4}$ g/m<sup>2</sup>/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

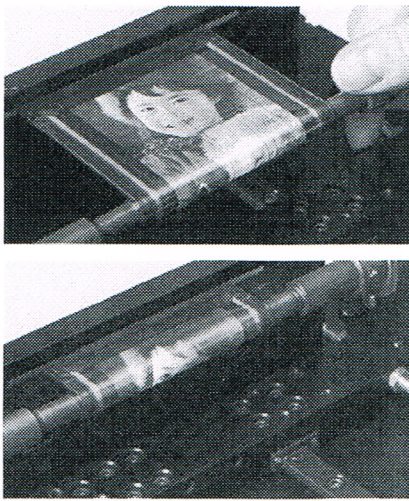


図18 フレキシブル有機ELディスプレイ  
曲率半径4mmで巻き取りながら写真  
を表示（動画表示も可能）

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の電頭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。

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1,150mm、長さ100m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17）。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、タッチパネルなどアプリケーションへの展開が期待される<sup>39)</sup>。

有機ELの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などの適用例を挙げられる。有機ELの材料は低分子材料が主流になってきており、ま

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）

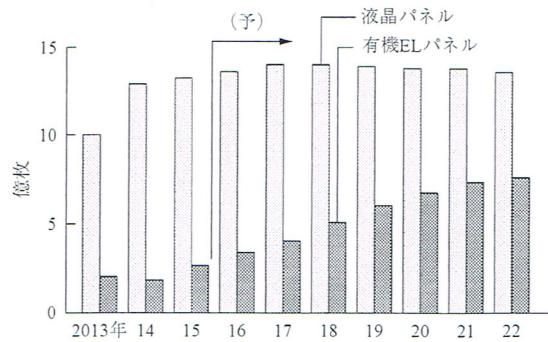


図19 2018年に販売予定の有機ELを採用すると報道されているiPhone 8

スマホ出荷台数シェア (2015年)

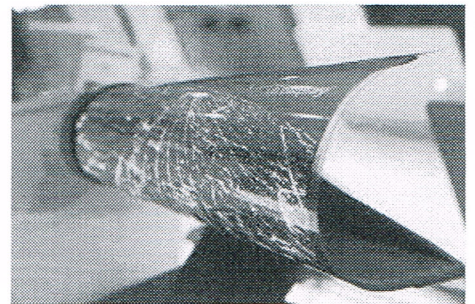
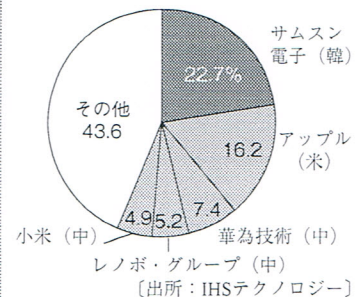


図20 フレキシブルな有機ELディスプレイ

た蛍光から燐光へと移ってきている。

ソニーから小さく巻ける有機TFT駆動有機ELディスプレイで極めて柔軟性が高く、厚さ80 $\mu\text{m}$ 、精細度121ppiの4.1型フルカラーディスプレイの開発に成功したとの発表が、新聞や同社のホームページで発表されている（図18）<sup>40)</sup>。

#### (4) 有機ELディスプレイ

現在、有機ELのスマートフォンはSamsung電子、有機ELのTVはLGが出光興産の有機EL材料<sup>41)</sup>を使用して65インチの高精細4Kのテレビ生産しており、ともに韓国メーカーである。

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>42)</sup>、スマートフォンの技術を牽引するアップルが有機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19）。

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>43)</sup>（図20）。従来からスマートフォ

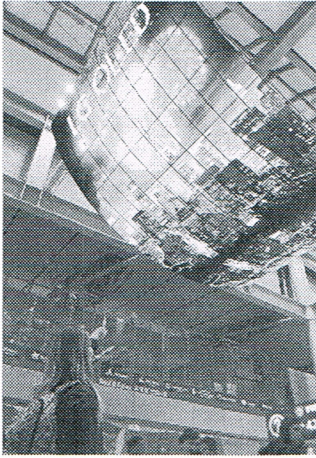


図21 天井から吊るす事ができる大型の有機ELディスプレイ

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。

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、実用に供する防湿性の非常に高いバリア膜の開発も重要である。

更に、大量生産で低コスト化が進めば、自発光の有機ELのため、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、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<sup>43)</sup>(図21)やデザイン性にメリットがある有機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。

## 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

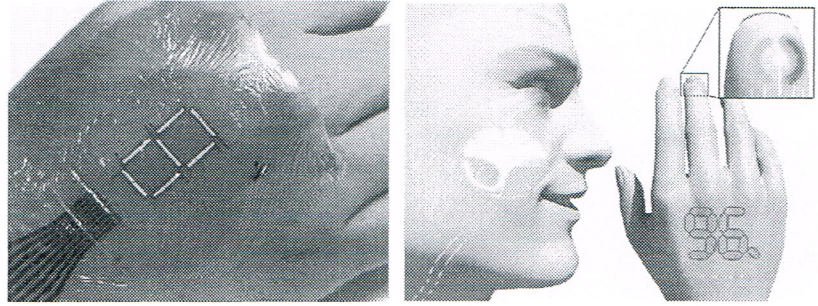


図22 東京大学 染谷隆夫教授らのグループから発表された超柔軟な有機LED(素子の厚み $3\mu\text{m}$ )

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>44)</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>44)</sup>(図22)。

## 3. 高機能性材料

### (1) 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に利用されている。PMMAは高分子の中で最も透明性に優れた樹脂であり、各種レンズ、水族館の水槽、液晶ディスプレイ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、電子レンジ用には使用できない。

PCは高強度、耐熱性に、COPやCOCなどは賦型性、耐熱性、バリア性、低複屈折に、PETは低コストかつ二軸延伸性に優れている。PSは、耐熱性はないが低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。

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、表面傷つき防止などの技術も高度化してきており、燃費向上の自動車の窓ガラス、家電、車やバイクなどに高級感を付与するきれいな印刷を施した成形品の加飾フィルム、光のどの方向からの入射でも成形品内の屈折をなくすゼロ・ゼロ複屈折材料<sup>45), 46)</sup>、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<sup>37)</sup>、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、各種酒類のボトル化など<sup>47)、48)</sup>、高透明高分子材料<sup>49)</sup>の用途は今後ますます拡大すると期待される。

## (2) ナノ材料

ポリマーの分散を数十nmレベルまで微細化したアロイ材料が開発されている。複数のポリマーをナノメーターオーダーで微分散させることで、従来材料と比較して、飛躍的に物性向上を発現できる<sup>50)</sup>。

2種類のポリマーに、両ポリマーの化学構造と特性に適合する親和性改質剤を加えて、せん断力を効果的に加える手法を取り入れた押出に投入すると、両ポリマーが数十nmのオーダーで入り混じり、それぞれが連結した構造をとる共連続型ナノアロイ<sup>®</sup>が出現する(図23)(以下<sup>®</sup>を省略)。

図24はPBT/PCが50/50%のナノアロイについての特性評価結果例である。靱性(粘り強さ)はPCを100として各サンプルの値を示している。耐薬品性評価では、元のPBTの曲げ強度を100として、クロロホルムに1時間浸した後の各サンプルの強度を現わしている。ナノアロイでは混合したにもかかわらず靱性の劣化が起こらず、更に、耐薬品性も良好なまま保たれている。ナノアロイにより、従来技術ではできなかったPCが持つ靱性とPBTが持つ耐薬品性を併せ持つことが示されている。また、PETフィルムの高耐熱化にも応用されている<sup>51)</sup>。

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>52)</sup>。

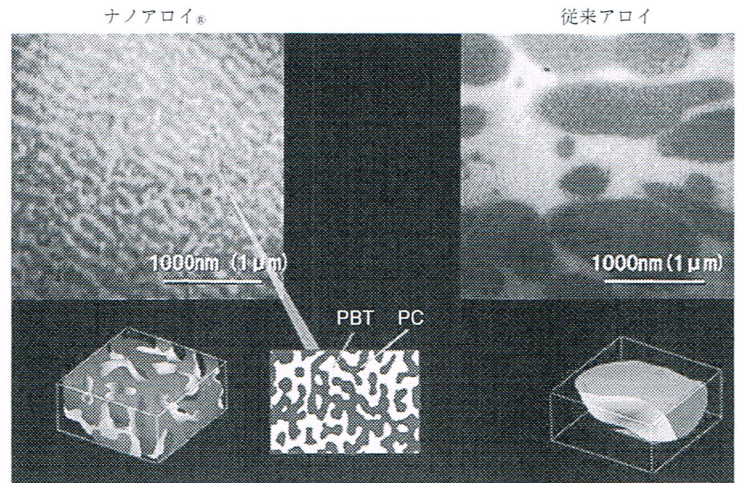


図23 共連続構造型のPBT/PC ナノアロイ<sup>®</sup>の構造

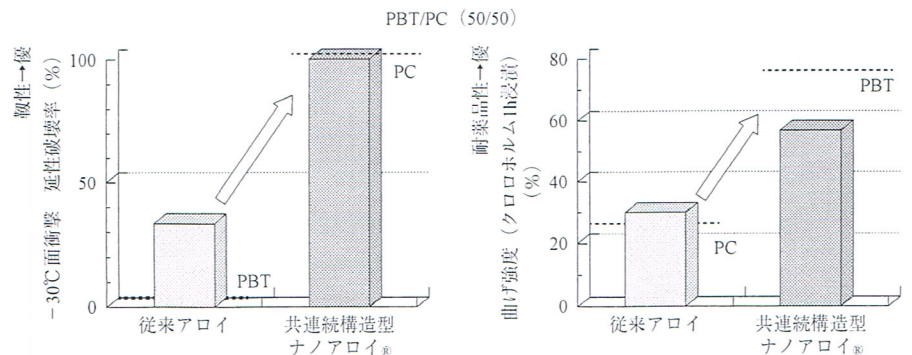


図24 共連続構造型のPBT/PC ナノアロイ<sup>®</sup>の特性上の特徴

## 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、ソフトパッケージやコンデンサ、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。

機能性フィルム・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、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

- 井坂 勤, 包装技術, 32 (9), 52 (1994).
- 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, 2010).
- ナノセルロース シンポジウム2016 要旨集, 京都 (2016年3月22日).
- 荒川公平, 山崎正弘, 川田敬一, 宮城

- 孝, 浅田 毅, 斜め延伸による位相差フィルム製造技術開発, 成形加工, **21** (9), 540-542 (2009).
- 34) 荒川公平, 川田敬一, 豊嶋哲也, 滝澤忠, 黒崎勝尋, 多層押出・同時二軸延伸を用いた厚み方向に高屈折率を有する位相差フィルムの開発, 成形加工, **24** (9), 531-533 (2012).
- 35) 板倉義雄, タッチパネル及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 (2008).
- 36) LG社 有機ELテレビのホームページ (2015)
- 37) 鈴木信也, 成形加工, **27** (2), 61 (2015).
- 38) 大橋健寛, フレキシブル有機LED用ハイバリアフィルム, CMC出版主催セミナー (2016年7月12日).
- 39) 旭硝子 プレスリリース (2014年5月26日).
- 40) Sony ホームページ, 技術開発情報, ペンほどの太さに巻き取れる有機TFT駆動有機ELディスプレイを開発 (2010年5月26日).
- 41) 月刊“出光”, 6月号 (No.762), p.2, p.13 (2016).
- 42) 日本経済新聞社 ホームページ (2016年6月13日)
- 43) Engadget 日本語版 (2016年1月5日)
- 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) 多加谷明広, 小池康博, 成形加工, **20** (3), 144 (2008).
- 46) 旭化成 ホームページ, プレスリリース (2014年6月19日)
- 47) 凸版印刷, ニュースリリース (2011年7月1日)
- 48) 白鶴酒造 ホームページ, ニュースリリース (2011年7月8日)
- 49) 金井俊孝, 高分子材料の高透明化技術, 高分子, **64** (7) 421-423 (2015)
- 50) 小林定之, 10<sup>-9</sup> Innovationの最先端, NanotechJapan Bulletin, 7(2), 1-9 (2014).
- 51) 恒川哲也, 高機能フィルムの研究・技術開発—東レの戦略と挑戦—, 第6回高機能フィルム展 (2015).
- 52) 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, CMC出版主催セミナー (2016年7月12日).