

# タッチパネル向け 高屈折率コート剤の開発

Development of High Refractive Index Coating Agent for Touch Panels

原田鉄也 / 研究開発カンパニー 研究開発センター 樹脂・化成品開発室  
Harada Tetsuya Resins & Tall Oil Products Development, R&D Center, R&D Company

田鶴 葵 / 研究開発カンパニー 研究開発センター 電子材料開発室  
Tazuru Aoi Electronics Materials Development, R&D Center, R&D Company

山田裕樹 / 研究開発カンパニー 研究開発センター 樹脂・化成品開発室  
Yamada Yuki Resins & Tall Oil Products Development, R&D Center, R&D Company

望月武仁 / 研究開発カンパニー 研究開発センター 樹脂・化成品開発室  
Mochizuki Takehito Resins & Tall Oil Products Development, R&D Center, R&D Company



原田鉄也

田鶴 葵



山田裕樹

望月武仁

## 1 はじめに

ユーザーインターフェースとして普及、発展してきたタッチパネルディスプレイ。画面上に表示されるアイコンやボタンを直感的に操作できる使いやすさから、スマートフォン、ゲーム機、カーナビゲーション、ATMなど多くの機器に採用され私たちの生活の中に定着している。

タッチパネルの方式には、抵抗膜方式、静電容量方式、光学方式など、さまざまな種類があるが、全用途で使用できるタッチパネル方式はなく、それぞれ課題を有している。抵抗膜方式は、同時に複数の入力を検出するマルチタッチが難しい、静電容量方式は、タッチパネルサイズとともに応答速度が遅くなり大型化が難しい、光学方式は、細かい入力を検出することが不得意<sup>1)</sup>など。これらの課題に対してメーカーの技術者は日々改良検討を行っている。

最も身近なタッチパネルであるスマートフォンには、マルチタッチ性が求められるため静電容量方式が採用されているが、大型ディスプレイに適應させるためには、応答速度の改善が求められている。加えて画像の鮮明さも求められるため、光学的な技術が複数織り込まれているのだ。本稿では、当社が開発しているタッチパネル向け高屈折率コート剤について、その技術紹介と応答速度向上のための開発に関して報告する。

## 2 タッチパネルについて、その課題

スマートフォンを一例にタッチパネルの構成を説明する(図1)<sup>2)</sup>。液晶パネルの上に、横方向の位置を感知するX軸センサーと縦方向の位置を感知するY軸センサーを粘着剤で貼り合わせ、カバーガラスをのせてタッチパネルを形成している。センサーには電気を通しつつ、可視光(目に見える光)を透過するITO(Indium Tin Oxide)という金属酸化物でパターンニングしたITOフィルムが使用されている(図2)。指で画面を触ったときに発生する微小な電気的変

化をX軸、Y軸それぞれのITOフィルムが感知することで場所を特定する仕組みとなっている。このITOの抵抗値がセンサーの応答速度に影響しており、抵抗値が低いほど応答速度が速くなる。ITOを厚くすると抵抗値を下げるができるが、光の吸収量が増加するためパターンが可視化してしまい、画像の品質を落としてしまう。

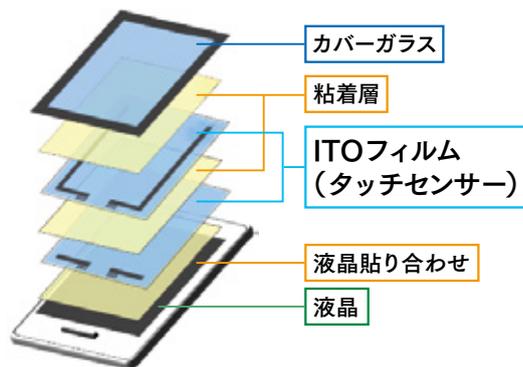
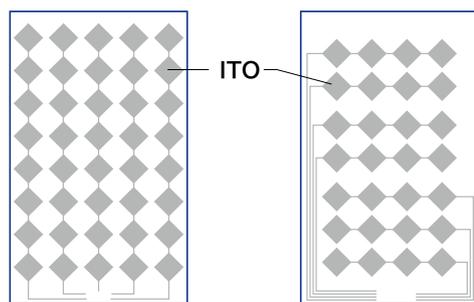


図1 スマートフォンの構成



X軸検出ITOフィルム

Y軸検出ITOフィルム

図2 パターンニングされたITOフィルム

また、ITOは無機物であるため有機物に比べて光の反射率が高く、ITO表面と基材フィルム(PET)の反射率が異なるためITOパターンが可視化される。この課題を解決するためITOフィルムにはインデックスマッチング層(IM層)と言われる光の反射を制御する層が設けられている。ITOフィルムの断面図を図3に示す。IM層の光の反射率「R2」はITOの反射率「R1」に近づけてあり、そのためITOとIM層の識別がしにくくパターンを見えないようにしている。

このIM層がなければ、**図3**右のようにPETフィルムの反射率「R3」とITOの反射率「R1」に差が生じてパターンが可視化され、画面の品質を損ねてしまう。そのほか、ITOはIM層上に成膜されるため、その状態によって抵抗値が高くなってしまい応答速度が低下するという課題がある。

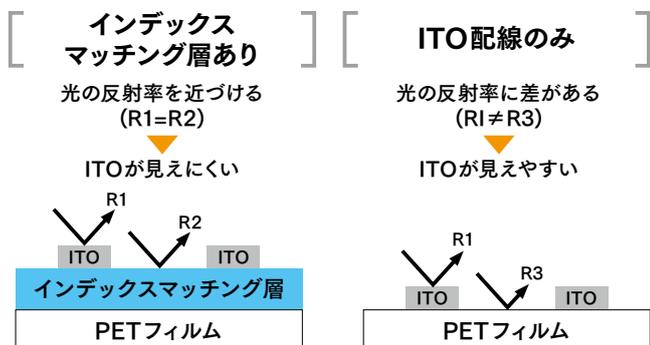


図3 IMフィルムの役割

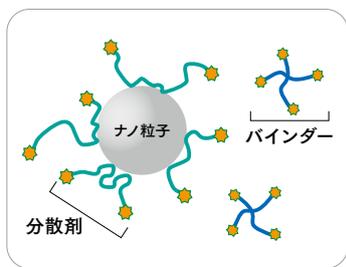
### 3 当社の高屈折率コート剤

前項で述べた課題を解決するために、当社ではナノ粒子を使用したコート剤を開発し製造販売している。使用しているナノ粒子の高い屈折率を機能として取り込んでいるため、以後「高屈折率コート剤」と表記する。

当社高屈折率コート剤の外観とイメージを**図4**に示す。高屈折率コート剤に求められる主な機能として高屈折率、基材との密着性、透明性、硬度、耐光性、耐薬品性などが挙げられる。



高屈折率コート剤の外観



コート剤のイメージ

図4 高屈折率コート剤

これらの機能のうち、高屈折率については有機物だけで達成することは困難である。当社では屈折率の高い金属酸化物をナノスケールまで微細粒子化し、コート剤に安定的に分散することで屈折率の高いコート剤を設計している。ナノスケールまで微細化する理由は、**図1**にあるように、センサーを液晶の上に積層するため光の透過率が高くなければ画面の輝度が下がってしまうことにある。ナノ粒子は光の波長より小さいため、可視光が透過することができる。また**表1**に示すように、一般的なナノ粒子は有機物にない特徴を持っており、それらの特徴もコート剤に取り込むことができる。当社が開発した高屈折率コート剤には、屈折率が高い酸化ジルコニウムを主粒子として使用しているが、

求められる性能により複数のナノ粒子を併用することも可能である。

表1 ナノ粒子の屈折率と特徴

	酸化ジルコニウム	酸化チタン	酸化亜鉛	酸化アルミニウム	酸化ケイ素	チタン酸バリウム
屈折率	2.17	2.47	1.90	1.77	1.44	2.41
特徴	高屈折率	高屈折率 紫外線遮蔽	紫外線遮蔽	高硬度	低屈折率 高硬度 凹凸付与	高屈折率 高誘電率

ただし、これらナノ粒子は粉末状態では一次粒子が凝集しているため、そのままコート剤化することはできない。まず、粉末状の粒子と当社で開発した分散剤を溶剤に懸濁し、分散機により一次粒子近くまで分散することで透明性の高い分散液を調製する。その後、バインダー樹脂、添加剤などを配合しコート剤化する。本稿ではUV硬化型のコート剤なので、UVバインダーと光重合開始剤を添加し高屈折率コート剤を調製している。

### 4 課題解決に向けた開発コンセプト

先に述べた課題を目標値に変換すると、IM層に求められる目標値は、屈折率1.65、ITOスパッタ後の抵抗値140Ω/□となる。当社のこれまでの開発で、高屈折率コート剤の硬度、透明性、耐薬品性などの塗膜物性に関する知見は蓄積しているが、ITOに及ぼす影響について詳細な検討はできていなかった。よって、今回の開発課題はITOに対するコート剤の影響を明らかにし、目標値をクリアすることである。

仮説として、コート剤塗工後の表面粗さがITOの結晶性に影響を与え、抵抗値を変えてしまうことを考えた。次にその検証実験を述べる。

### 5 表面粗さと抵抗値の検証

#### 5-1 フィルムの調製

##### ①IMフィルム

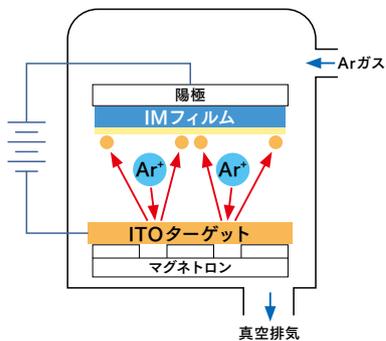
基材であるPETフィルムに高屈折率コート剤を塗布し60℃×1分乾燥させ、膜厚1μmの塗膜を形成する。その後、高圧水銀灯で460mJ/cm<sup>2</sup>のUVを照射し塗膜を硬化させIMフィルムを作製する。

##### ②ITO成膜方法

ITOフィルムはIMフィルムにITOをスパッタリングすることで作製する。スパッタリングでは、減圧下でイオン化したアルゴンイオンをITOターゲット材に衝突させ、放出されたITOをIMフィルムに付着させる(**図5**)。その後、

150°Cで60分加熱することで、ITOの結晶化を促進させるアニール工程を実施する。ITOの成膜条件による差をなくするため、スパッタリングとアニールは下記に固定する。

スパッタリング条件：ITOターゲット材 In/Sn=97/3  
ITO膜厚：27nm  
スパッタリング温度：室温  
アニール条件：150°C 60分



## 5-2 検討および結果と考察

### ①表面粗さと抵抗値

高屈折率コート剤の組成を変えず、塗工条件を変更することで塗膜の表面粗さが異なるIMフィルムを作製し、表面粗さと抵抗値の関係を確認した(図6)。

表面粗さとITOの抵抗値には比例関係があり、表面粗さが低く平滑性が高いほど、ITOの抵抗値が低くなる結果となった。

本検討では塗工条件により表面粗さをコントロールしているが、塗膜の表面粗さが変化する要因としてコート剤の硬化収縮がある。UVバインダーを検討することで、塗膜の表面粗さを改善できる可能性があり、検討を行った。

### ②UVバインダーの検討

UVバインダーの主な役割は基材との密着性確保と、UV硬化により架橋構造を形成し、硬度や耐薬品性を上げることである。代表的な多官能バインダーを図7に示す。

強靱な塗膜を得るためには、3官能以上のバインダーを使用し架橋密度を高めるほうが好ましい。しかし、架橋密度が高いバインダーはUV硬化時の体積収縮が大きく、塗膜表面が荒れる要因になることがわかる(図8)。

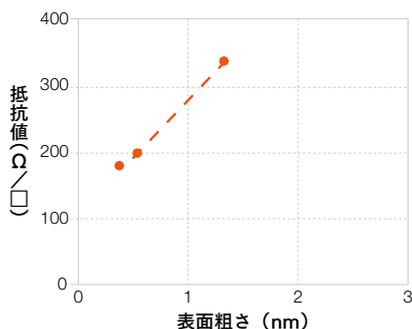


図6 表面粗さとITOの抵抗値

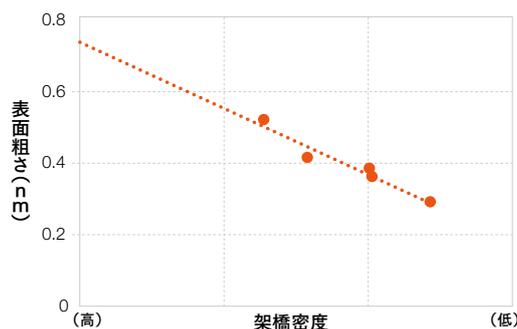


図8 UVバインダーの架橋密度による表面粗さ

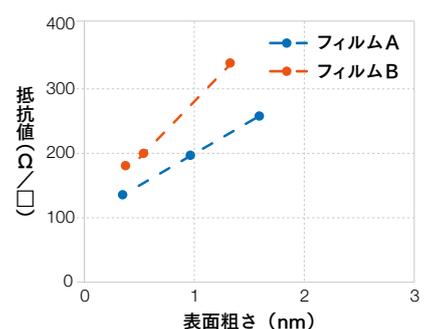
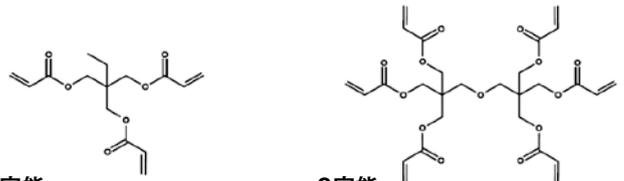


図9 UVバインダー種によるITOの抵抗値



**3官能**  
トリメチロールプロパン  
トリアクリレート (TMPTA)

**6官能**  
ジペンタエリスリトール  
ヘキサアクリレート (DPHA)

図7 代表的な多官能バインダー

上記の結果から表面粗さと塗膜の硬さを両立するため、異なるコンセプトでバインダーを配合したコート剤A、Bを調製しフィルムを作製した。フィルムAは、高分子量化することで体積収縮を低減した多官能バインダーを用い、フィルムBは、低官能基数で嵩高い剛直な骨格を持つバインダーを用いた。フィルムA、Bも塗工条件を変更することで塗膜の表面粗さが異なるフィルムを作製し抵抗値を評価。その結果を図9に示す。

以上のように表面粗さが同程度であっても抵抗値に差が見られ、表面粗さ以外にUVバインダー種によっても抵抗値に差があることがわかった。このことから、バインダーがITOの状態に影響を及ぼし、抵抗値を悪化させていることが考えられる。

### ③ITOの結晶化度の測定

ITOの抵抗値は結晶化度により変化することが知られている。そのためUVバインダー種によりITOの結晶化度に差が生まれ、抵抗値として表れていると考えられる。そこで、抵抗値に差が見られたフィルムA、BにスパッタリングしたITOの結晶化度を測定した(図10)。

XRD(X-ray Diffraction)は分子や原子にX線を照射し、X線の回折を測定することで物質の結晶構造や結晶化度を測定することができる。結晶化が高いほどシャープなピークが観測され、非結晶であればブロードになる。

抵抗値が低いフィルムAはITO結晶化度が高く、図10中の▼で示すITO由来のX線回折が確認された。対して抵抗値が高いフィルムBは、X線回折がブロードになっている。これは、フィルムBにはITOの結晶化を妨げる成分が含まれていることを示唆している。

### ④揮発成分の分析

③の結果よりITOの結晶化度を低下させる成分は、アニ

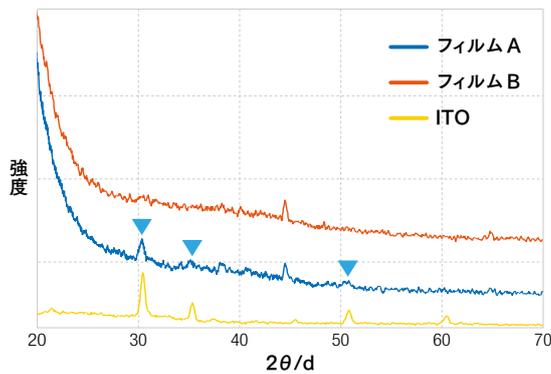


図10 ITO膜のXRD測定結果

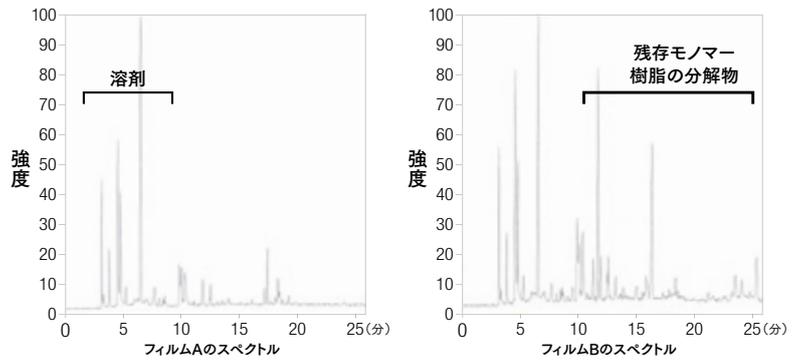


図11 ヘッドスペースガスクロマトグラフィー質量分析の測定結果

ール工程でフィルムから発生する揮発成分であると考え、ヘッドスペースガスクロマトグラフィー質量分析 (HS-GC/MASS) にてその成分を同定した。HS-GC/MASSはパイアル内で測定サンプルを加熱し揮発成分を抽出し、カラムで分離した後に質量分析することで揮発成分を同定することができる。本検討ではアニール工程を想定し加熱温度は150℃とした。

低抵抗値のフィルムAと、高抵抗値のフィルムBについてHS-GC/MASSを測定したところ、フィルムAの揮発成分はコート剤に使用している溶剤が多く、フィルムBからは溶剤に加え、未反応のUVバインダーや嵩高い側鎖を有するUVバインダーの分解物が高い割合で検出された (図11)。

低沸点成分である溶剤は、スパッタリング時に行う減圧工程で除去できるが、未反応のUVバインダーやUVバインダーの分解物は沸点が高いため減圧工程では除去されず、アニール工程で揮発し、ITOの結晶化を阻害していると考えられる。

表2 開発品のコート剤スペックと塗膜性能

		(代表値)	開発品
コート剤 スペック	不揮発分 (%)		40
	粘度 (mPa・s)		4
	平均粒子径 (nm)		45
	表面張力 (mN/m)		24
塗膜 性能	試験項目	目標値	開発品
	屈折率	1.65	1.65
	基盤目密着性	100/100	100/100
	HAZE (%)	≤0.5	0.5
	全光線透過率 (%)	≥90	90
	b値	≤1.2	1.2
	鉛筆硬度	≥H	H
	マンドレル	≤φ3mm	φ3mm
	耐薬品性	外観変化/剥がれなし	外観変化/剥がれなし
	耐煮沸性	外観変化/剥がれなし	外観変化/剥がれなし
	耐光性	≥3,000mJ/cm <sup>2</sup>	6,000mJ/cm <sup>2</sup>
	表面粗さ	≤0.5nm	0.4nm
ITOの抵抗値	≤140Ω/□	140Ω/□	

塗膜作製条件

基材：東レ製PETフィルム ルミラーUH-4V 125μm

塗布方法：マイクログラビア

膜厚：1.0μm

硬化条件：60℃×1分、高圧水銀灯 460mJ/cm<sup>2</sup>

6

高屈折率コート剤のスペック

以上の検討より、ITOの低抵抗値化には表面粗さとITOの結晶化度が関与しており、表面粗さを下げるためには体積収縮が少ない多官能バインダーを選定することが重要だ。また、ITOの結晶化を上げるためには未反応のバインダーが残りにくく、嵩高い官能基を含まないバインダーにすることが重要であることがわかった。

検討結果より、配合の最適化を行うことでITOを低抵抗値化できる高屈折率コート剤を開発することができた。開発した高屈折率コート剤の液スペックと塗膜性能の代表値を表2に示す。目標値に対し光学特性、硬度、耐薬品性、耐光性などの塗膜物性だけでなく、静電容量方式タッチパネルの課題であるITOの抵抗値も達成可能なコート剤が設計できたことがわかる。

7

おわりに

今回紹介した高屈折率コート剤は塗膜の硬さ、透明性、耐薬品性といった塗膜性能だけでなく、ITOの低抵抗値化について検証を進めることで競争力の高い製品を設計することができた。この取り組みにより本コート剤の販売量は徐々に増えていき、2020年12月には生産設備へ投資を行い、生産能力を約3倍に増強した。

しかし、タッチパネル市場の変化は早く、スマートフォンではフォルダブル、ローラブルといった折り畳めるディスプレイが発売され始めた。ディスプレイのフレキシブル化により、折り曲げに対する耐性や傷付きに対する要求が高まってくると予測しており、開発を進めている。また、タッチパネルに限定することなく市場の変化点を見極めながら、当社の表面改質技術、界面コントロールによる密着技術、分散技術を駆使した製品を提案し、市場を牽引していきたい。

〈参考文献〉

- 1) 越石健司ほか、「タッチパネルがわかる本」, オーム社, 2012
- 2) 東京マーケティング本部第五部, 「2017タッチパネル/フレキシブルディスプレイと構成部材市場の将来展望」, 株式会社富士経済, 2017
- 3) 小林敏勝ほか, 「きちんと知りたい粒子表面と分散技術」, 日刊工業新聞社, 2014