

フレキシブル導光フィルム

電子電装開発センター 富塚 稔 瑞¹・稲田 具 貞²・小野 朗 伸³・二木 直 洋³
光電子技術研究所 佐藤 新 平⁴
Fujikura Electronics Thailand Ltd. 大 山 昌 紀⁵・Sirinda Archeewanunt⁶

Flexible Light Guide Film

T. Tomitsuka, T. Inada, A. Ono, N. Futaki, S. Sato, M. Ohyama, and A. Sirinda

フレキシブル導光フィルムはドームスイッチシートと一体化して携帯電話に搭載され、各キー間、キー内での均一な照光とキースwitchのクリック感の伝達を実現している。当社では、導光フィルムの均一照光技術や分割照光・迷光遮断技術を開発し、その高機能化を実現した。本報では、携帯電話用フレキシブル導光フィルムの当社最新技術とその応用展開について紹介する。

Flexible light guide films with dome sheet switches are assembled in mobile phones. The functions are illuminating keys with high uniformity in a single key switch area and among key switches and transforming click feeling. New light guide films with segmented illumination, light blocking, and highly uniform illumination have been developed. We report our new technologies and new products with new applications.

1. ま え が き

フレキシブル導光フィルムは、高い可視光透過性を有するフレキシブルなベースフィルムと、ベースフィルム内を伝播した光を効率的に散乱させる照光拡散ドットにて構成される。この導光フィルムは、携帯電話のキーマットの下に配してキー部を照光するものであり、点光源である側面発光型LEDからの発光を面発光に変える機能と、キースwitchのクリック感を伝達する機能を有する。携帯電話の薄型化、低消費電力化、キー照光の美観性向上の要求に対応し、2006年頃よりドームスイッチシートと一体化して商品化され¹⁾、現在は多くの携帯電話に採用されている。

最近では、携帯電話のさらなる低消費電力化、薄型化にともない、キーマットも高透過率化、薄型化している。高透過率・低ヘイズを有する薄型キーマットの下に従来の導光フィルムを配した場合、照光時、非照光時ともに、外径200 μm 程度の照光拡散ドットがキーマット越しに透けて見え、発光が不均一と見られる場合があった。そこで、当社は、グラビアオフセット印刷法を適用し、外径50 μm の微細照光拡散ドット付

き導光フィルムを開発した。これにより拡散ドットは視認されにくくなり、実質的にキー内の照光輝度均一性を高めることに成功した。

また、さらなる消費電力削減のために光の外部への漏れを減らす迷光遮断機能や、各々のキーを別々に光らせる、または異色で光らせる分割照光機能を持たせるために、溝を形成して黒色インクを埋め込むことによりフィルム内に遮光部を有する導光フィルムを開発した。

本報ではこれらのフレキシブル導光フィルムの高機能化について紹介する。

2. フレキシブル導光フィルムの概要

2.1 フレキシブル導光フィルムの照光原理

図1に導光フィルムの照光原理を示す。導光フィルム端部より入射したLED光はフィルムと空気の界面での全反射を繰り返してフィルム内を伝播して行く。

表1 各種導光フィルムの特徴

Table 1. The characteristic of production method for flexible light guide film.

項 目	印 刷 法	レーザ加工法	射出成型法
高輝度性	普通	普通	高い
量産性	良い	難	普通
設計自由度	高い	普通	低い
材 料	制限なし	制限あり	薄肉化 難
生産コスト	低い	普通	低い

1 機能部品開発部主席研究員

2 機能部品開発部主査

3 機能部品開発部グループ長

4 応用電子技術研究部

5 Manager, Membrane Switch Division, Lamphun F1

6 Metal Dome Engineering Division, Navanakorn F1

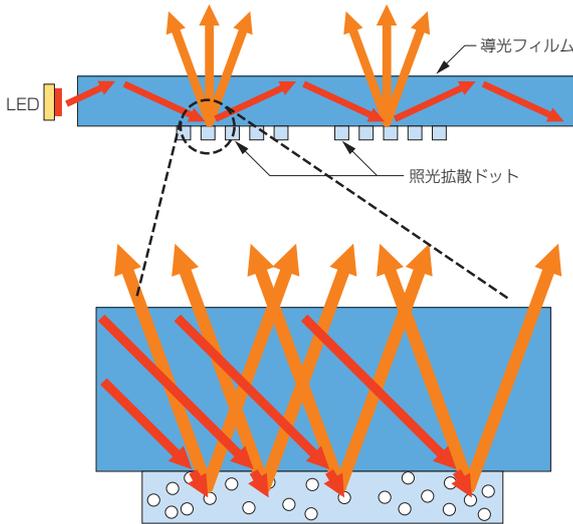


図1 フレキシブル導光フィルムの照光原理
Fig. 1. The mechanism of flexible light guide film.

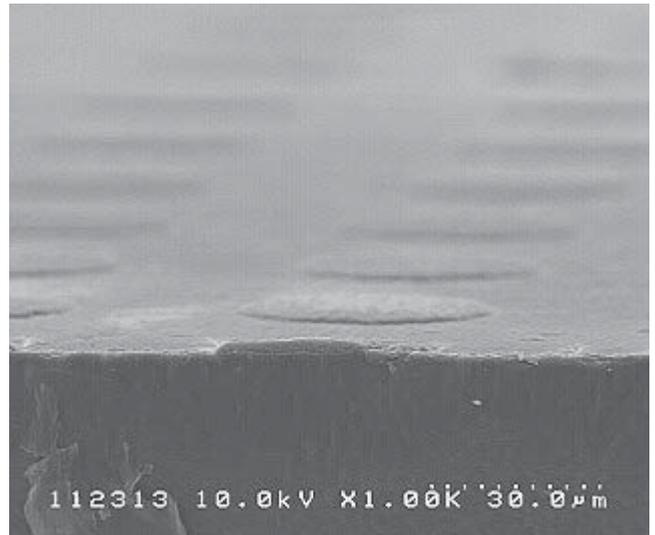


図2 照光拡散ドットのSEM写真
Fig. 2. The SEM image of illumination diffusion dots.

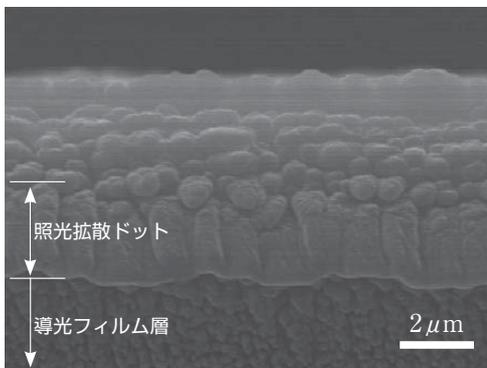


図3 照光拡散ドットの断面写真
Fig. 3. The cross section of illumination diffusion dot.

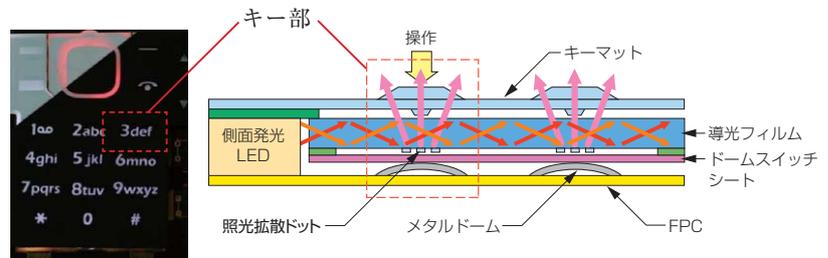


図4 導光フィルム付きドームスイッチの断面図
Fig. 4. The cross section of dome sheet switch with light guide film.

光は図2および3に示すような微粒子を含む数 μm 厚の照光拡散ドット部で、微粒子による光散乱とドットと空気の界面での乱反射および屈折などを経てフィルム外に放出される。

当社では、照光拡散ドットの形成法として、設計の自由度が高く、大量生産性に優れた印刷法を用いているが、その他の方法として、レーザ加工や射出成型にて光を拡散・反射させるための凹部を形成する方法も用いられており、それぞれ、表1に示すような特徴を有している。

2.2 フレキシブル導光フィルムの要求特性

図4に示すようにフレキシブル導光フィルムはドームスイッチシートと一体化して携帯電話に搭載される。そのため、フレキシブル導光フィルムには、各キー間、キー内での照光輝度の均一性とキースイッチのクリック感を伝達するフレキシブル性が要求される。また、長期にわたる打鍵および使用環境下においても、破断や著しい特性変化の無いことが要求される。

2.3 フレキシブル導光フィルムの技術動向

フレキシブル導光フィルムの技術動向を表2に示す。

フレキシブル導光フィルムは、薄型化、高輝度化、輝度均一化が求められるとともに、分割照光、多色化、迷光遮断などの高機能化要求が高まっている。当社では、それらに対応するために、照光拡散ドットの微細化、分割照光技術の開発を行ってきた。今後、立体(3D)照光、指向性照光など導光フィルムへの要求はさらに高度化すると予想される。

3. 照光拡散ドットの微細化

従来のスクリーン印刷法による照光拡散ドット径は $200\mu\text{m}$ 程度が最小であり、キーマツト越しに照光ドットを視認できてしまい、キー内の輝度均一性を低下させていた。そこで、ファイン印刷性に優れたグラビアオフセット印刷法によるドット微細化の開発を行った。同印刷法に適する紫外線(Ultraviolet 以下UVと略す)硬化型照光拡散ドット用白色インクも開発した。

3.1 最適な照光拡散ドット径

厚さ 0.2mm ×幅 10mm ×長さ 15mm の導光フィルム中心部 4mm 角エリアにて照光拡散ドットの総面積が一定となるように、ドット径とドット密度を変え

表2 フレキシブル導光フィルムの技術動向
Table 2. Technical trend and forecast of flexible light guide film.

項目		2007	2009	2011	2013
柔軟性	材料厚さ (mm)	0.20	0.15	0.10	0.08
	材料透過率 (%)	80	90	93	94
高輝度性	材料屈折率	1.48	1.50	1.52	1.54
	輝度均一性 (%)	+/-30	+/-20	+/-15	+/-10
難燃性	UL 規格	非難燃性	非難燃性	UL94HB	UL94V0
機能性	照 光		多色	微細照光	分光拡散 ドットレス
	光制御			分割, 遮光	光指向性 3D

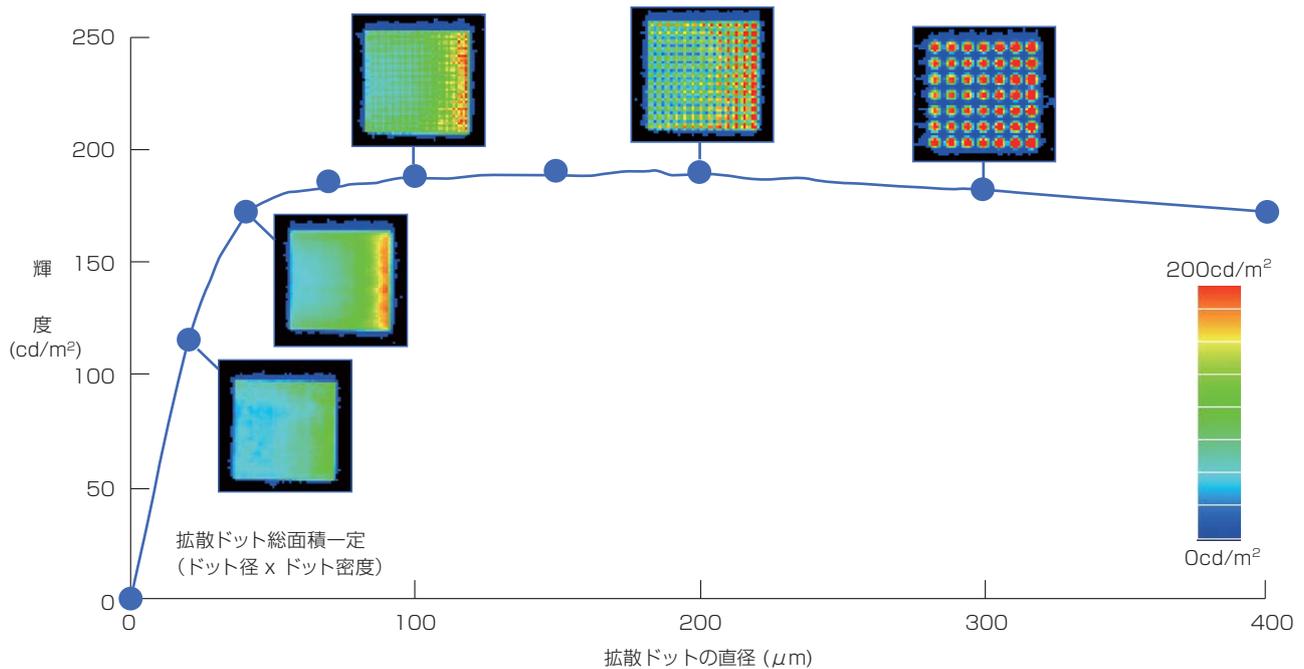


図5 照光拡散ドット径と輝度，輝度分布の関係

Fig. 5. Relationship between illumination diffusion dot diameter, luminance and distribution of luminance.

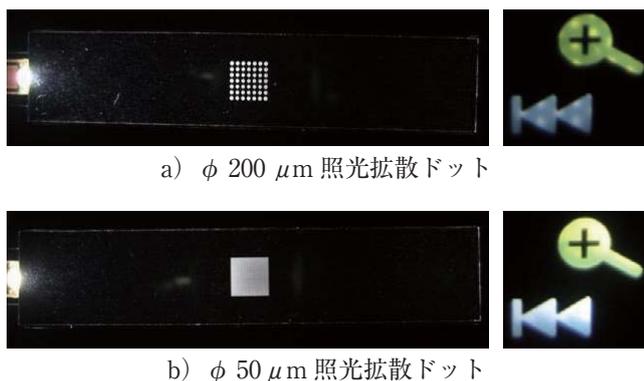


図6 φ 50 μm および φ 200 μm 照光拡散ドット付き導光フィルムの照光写真と薄型キーマットへの組み込み写真
Fig. 6. Lighting image of light guide film with φ 50 μm and φ 200 μm illumination diffusion dot and appearances of key mat on their light guide film.

てテストサンプルを作製した。LED 光をその導光フィルム端部から入射して，照光エリアの輝度測定を行った。図5に照光拡散ドット径と輝度，輝度分布の関係を示す。照光拡散ドット径 40 μm から 400 μm の間

において輝度は一定であった。また，100 μm 以下の照光拡散ドットでは，照光拡散ドットが視認できず，あたかも面光源のように発光して，キー照光エリア内において美観性の高い輝度均一性が得られることがわかった。図6に 50 μm と 200 μm の照光拡散ドット径を有する導光フィルムの照光時の写真とそれらを薄型キーマット下に組み込んで発光させたときの写真を示す。従来の φ 200 μm 照光拡散ドットでは，薄型キーマット上からドット自身が視認できたが，φ 50 μm 照光拡散ドットでは視認できず輝度均一性の高い照光が得られた。そこで，当社では輝度と美観性から φ 50 μm の照光拡散ドットを適用することとした。

3. 2 照光拡散ドット用白色インクの開発

グラビアオフセット印刷法による φ 50 μm の微細照光拡散ドットの形成に適した，UV 硬化型白色インクを開発した。高い光散乱効率，照光の白色度，打鍵時の耐久性などの要求にこたえられるよう，インクの構成材料であるバインダと微粒子を最適化した。屈折

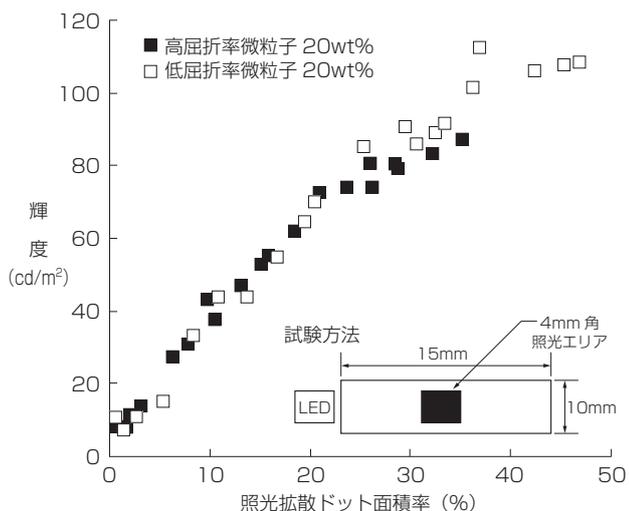


図7 照光拡散ドットに含有される微粒子が導光フィルム輝度に与える影響調査

Fig. 7. Relationship between luminance and dot area per unit by particles with different refractive index in illumination diffusion ink.

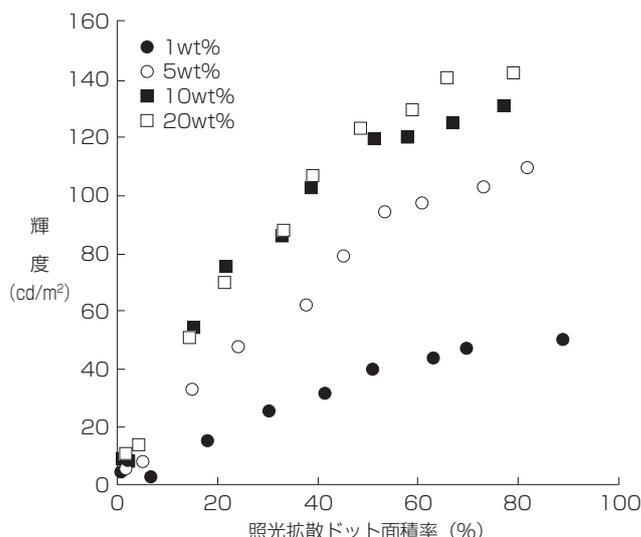
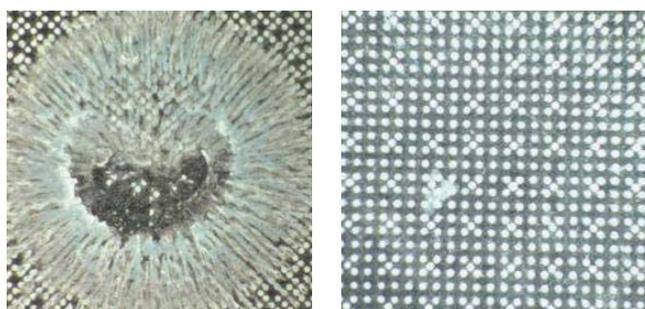


図8 照光拡散ドットに含有される微粒子量が導光フィルム輝度に与える影響調査

Fig. 8. Relationship between luminance and dot area per unit by with different volume of particles in illumination diffusion ink.

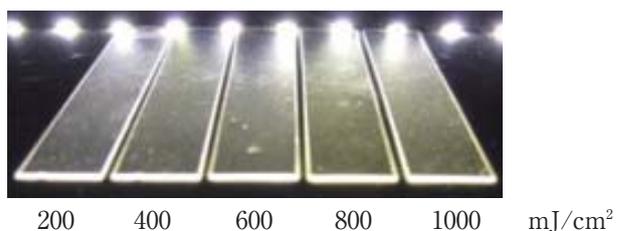


a) 低架橋密度白色インク b) 最適化された白色インク

図9 100万回打鍵試験後の照光拡散ドットの写真
Fig. 9. Appearance of illumination diffusion dot after knocking test.

率が異なる2種の微粒子をそれぞれ、塗膜形成後に1-50 wt%の含有量となるようインクを調製し、屈折率や微粒子含有量が輝度に与える影響を調査した。これらのインクを用いてφ50 μm照光拡散ドットを、各種ドット面積率になるよう印刷したものをテストサンプルとして使用した。図7に示すように、低屈折率微粒子20 wt%含有インク、高屈折率微粒子20 wt%含有インクを用いた、それぞれの導光フィルムの輝度はドット面積率の増加に比例して増加し、両者の輝度値に大きな差がないことがわかった。また、図8に示すように、1-10 wt%では微粒子含有量の増加とともに、輝度が増加するが、含有量10 wt%以上では、輝度値に大きな差がないことがわかった。そこで、当社では屈折率の高い微粒子を10 wt%以上含有した白色インクを用いることにした。

次に、微小ドットが100万回8 N荷重の厳しい打鍵試験に耐えるようにするため、バインダ樹脂の物性を



a) UV照射後の従来型フレキシブル導光フィルムの外観



b) UV照射後の開発フレキシブル導光フィルムの外観

図10 UV照射後のフレキシブル導光フィルムの外観
Fig. 10. Appearance of flexible light guide film after UV irradiation.

最適化した。架橋密度が高く硬いバインダ樹脂を用いた場合は容易に打鍵後のドット剥がれが発生するのに対し、架橋密度を下げると打鍵により流動してしまい、図9(a)のようにドットが変形して照光性能が変化してしまうことがわかった。架橋密度、すなわち弾性率を適正な範囲とするとともに、バインダのベースフィルムへの密着性を高めることにより、図9(b)のように打鍵後も損傷のない微小ドットが得られた。

3.3 耐UV性を有する高透過率フレキシブルベースフィルムの開発

UV硬化型照光拡散インクを用いることから、UV照射により透過率や機械物性が低下しないフレキシブ



図 11 微細照光拡散ドットを有するフレキシブル導光フィルムの照光写真とそれを用いたキーボードの写真
Fig. 11. Lighting image of flexible light guide film with fine illumination diffusion dots.

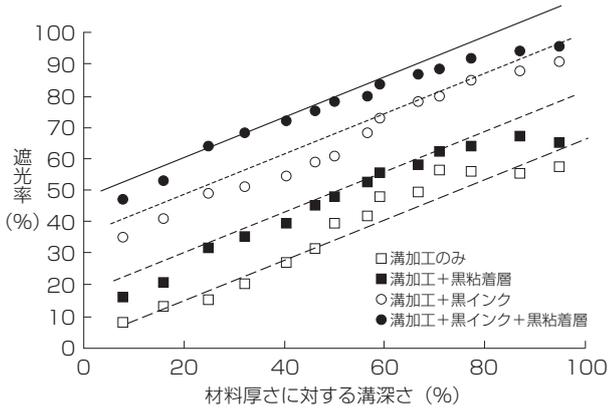


図 13 溝深さと遮光率の関係

Fig. 13. Relationship between groove depth and light blocking ratio.

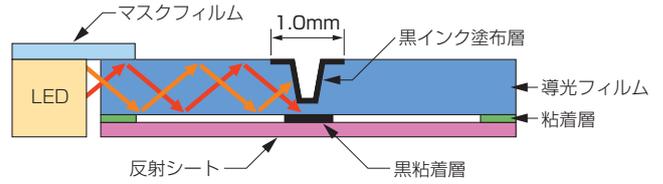


図 12 当社遮光技術の原理
Fig. 12. The mechanism of light blocking.

No.	条件	外観写真
1	溝加工のみ	
2	溝加工と黒粘着層	
3	溝加工と黒インク	
4	溝加工, 黒インクと黒粘着層	

図 14 各種条件にて作製したサンプルの光遮断状況
Fig. 14. Light blocking of each samples.

表 3 開発品の特性

Table 3. Investigation result of developed flexible light guide film for mobile phone.

No.	項目	要求特性	目標	評価結果
1	機械特性	キースイッチのクリック感伝達 耐久性	クリック率 30-60 % 100 万回打鍵にて破断なし	48 % 合格
2	光学特性	高透過率(面方向) 各キー間での輝度均一性 キー内での輝度均一性	90 %以上 各キー間にて +/-20 %の輝度差 ホットスポットなし	93 % 13 % なし
3	耐環境特性	ヒートサイクル試験 恒温恒湿試験 低温試験	著しい特性低下がないこと	変化なし

ルベースフィルムの開発を行った。ベース材料の再選定、および配合する光吸収剤の最適化を行い、図 10 に示すように UV 照射後においても外観の変化がなく、高い透過率を有するフレキシブルベースフィルムの開発に成功した。

3. 4 微細照光拡散ドット導光フィルムを一体化させたドームスイッチシートの特性

開発したフレキシブル導光フィルムを積層したドームスイッチシートの特性を表 3 に示す。クリック率は約 50 % であり、導光フィルムを積層しても、クリック感触は低下しないことがわかる。また、図 11 にその照光状態が示されているように、各キー間、キー内の輝度均一性も高いものが得られた。

4. 導光フィルム内への遮光部形成技術

4. 1 遮光の原理

分割照光や、多色発光による装飾性向上、光によるガイド機能などキー照光の機能化要求が高まっている。そのためには導光フィルム内部で LED 光を遮断する必要がある。当社では、図 12 に示すように、導光フィルムに約 1.0 mm 幅の溝を設け、溝内に黒色インクを塗布し、溝の背面に黒色の粘着層を配することにより、LED 光を遮断する技術を開発した。

4. 2 遮光部付き導光フィルムの遮光性能

図 13 に導光フィルムに 1) 溝加工のみ、2) 溝加工 + 背面の黒色粘着層、3) 溝加工 + 黒色インク塗付、4) 溝加工 + 黒色インク塗布 + 背面の黒色粘着層の 4 条件にて作製したサンプルの遮光率と溝深さの関係を示

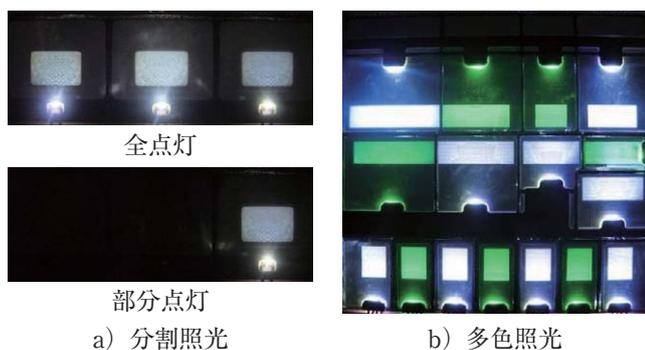


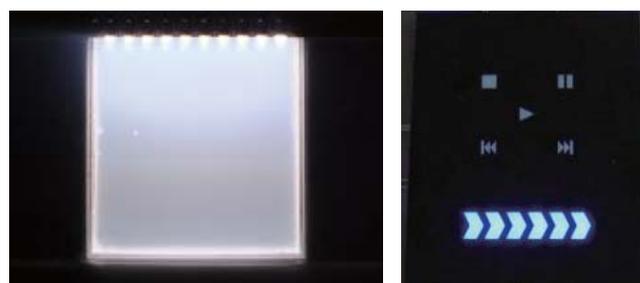
図15 分割照光フレキシブル導光フィルムの断面写真
Fig. 15. Cross section of groove with black ink.

す。また、図14に材料厚さに対して溝深さ80%加工を行ったときの各種サンプルにおける遮光部の写真を示す。各条件で溝深さの増加とともに、遮光率が増加していく傾向が得られた。しかしながら、溝加工のみでは、材料厚さに対して溝深さが90%の場合でも50%程度の遮光率であり、分割照光、透光遮断機能の発現には不十分であった。そこで、背面の黒色粘着層や溝部への黒色インク塗布を適用し、溝深さ80%にて90%以上の遮光率を得ることができたので、本法を採用することにした。

4.3 遮光機能付き導光フィルム試作例

試作した分割照光、透光遮断機能付き導光フィルムの照光状態を図15に示す。分割部から光の漏れもなく、完全に光が遮断されていることがわかる。また、小さな領域においても異なる色調の光が混色することなく、分割されている。同技術を用いて、導光フィルム端部からもれる光も遮断することが可能となり、従来指摘されていた携帯電話筐体とキーマット隙間からの光もれもなくなり、顧客の設計自由度が高まった。

当社はすでにレーザーにより導光フィルムに溝加工を行い、高速ディスペンサにて速乾性遮光黒色インクを塗布する製造ラインで量産を行っている。



a) フレキシブル導光フィルム照明
b) 照光機能付き薄型フレキシブル静電容量タッチセンサ

図16 応用商品
Fig. 16. New application.

5. むすび

輝度均一性の高い面発光を実現する微細照光フレキシブル導光フィルムの開発にあたり、フレキシブルフィルム用グラビアオフセット Roll to Roll 印刷製造装置の開発、微細照光拡散ドット径の最適化、微細照光拡散ドット用白色インクの開発、耐UV高透過率フレキシブルベースフィルムの開発を行った。さらに、装飾性、利便性の向上、低消費電力化を実現する分割照光、透光遮断フレキシブル導光フィルムの開発にあたっては、黒色インクを塗布した溝でLED光を遮断する技術の開発を行った。当社はすでにこれらの技術を用いた導光フィルム付きドームスイッチシートを製造している。今後、これらの技術を用いて、図16に示すような曲面発光が可能なフレキシブル導光フィルム照明や、これまで製品化が困難であった照光付き薄型静電容量タッチセンサなどの応用商品へと展開していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 江戸ほか：「携帯電話照光用ライトガイドフィルム」、フジクラ技報、第117号、pp.27-32、2009