

総論—ディスプレイ用基板の変遷と加工技術の進歩—

Overview

-The transition of the substrate for Flat Panel Display and the progress of cutting technique-

留井直子*, 福西利夫*

Naoko TOMEI and Toshio FUKUNISHI

Key words : Flat Panel Display, scribing, breaking, LCD, OLED

1. はじめに

ディスプレイを一度も見ずに終わる日がないほど、我々の周りにはディスプレイがあふれている。TV や PC, スマートフォンやタブレットなど、そのアプリケーションは多種多様である。1982 年に世界で初めて液晶ディスプレイを使用した製品が販売されて以降、2000 年代後半、アナログからデジタル放送への転換期における TV の買い替えにより、FPD(Flat Panel Display)は目覚ましい成長を遂げた。その後、市場は減少の一途かと思われていたが、スマートフォンやタブレットの普及により、FPD の開発は減速するどころか多様化している。

タッチパネルを含めたディスプレイ関連デバイスの市場を図 1 に示す¹⁾。白抜きは見込み・予想である。その市場は、年間 14 兆円前後の規模で推移しており、今後もスマートフォンがけん引するかたちで、一定の需要が見込まれる。

本特集では、ディスプレイ基板の変遷と、基板や構造の変化に応えるべく、開発されてきた切断加工技術の進歩について述べる。

2. 液晶ディスプレイ

液晶ディスプレイ(LCD:Liquid Crystal Display)の構造を図 2 に示す。2 枚の板ガラスに液晶が注入されており、スペーサーと封止材により、板ガラスの間隔(セルギャップ)は 10μm 以下に保たれている。

多くの LCD パネルは、液晶注入後、製品サイズに分割される。そのため、高速かつ乾式で切断できる「スクライプ+ブレイク」技術が広く用いられており²⁾、切断速度は 300~1000 mm/s

である。図 3 のモデル図に示すように、この技術は「スクライプ」と「ブレイク」の 2 つの工程からなる。スクライプ工程では、ガラス表面にスクライプラインをつけることで、基板厚みの 10~15% 程度の垂直クラックが形成される。次のブレイク工程で、曲げ応力により垂直クラックを伸展させて基板を分離する。この方法は、ガラスをはじめとした脆性材料のもつ「クラックの伸展しやすさ」を生かした切断技術である。

図 4 に製品サイズ別の市場を示す³⁾。ディスプレイ市場は、40~60 in の大型 TV と 10 in 以下のモバイル用途に二極化されていることがわかる。本項では、大型 TV とモバイルそれぞれにおけるニーズの変化とその課題解決のための開発について述べる。

2. 1 液晶テレビ向け基板のニーズと課題

LCD-TV 用の基板は、ディスプレイサイズの大型化と取り個数增加のために、マザーガラスのサイズが大きくなっている。マザーサイズの変遷とパネルの取り出し数を表 1 に示す。

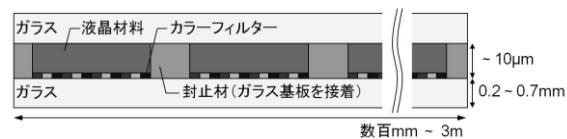


図 2 LCD パネルの構造

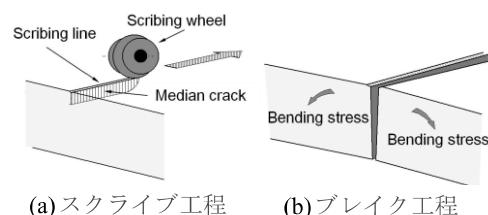


図 3 「スクライプ+ブレイク」技術のモデル図

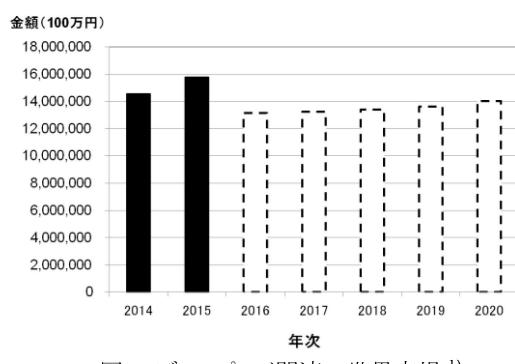


図 1 ディスプレイ関連の世界市場¹⁾

* 三星ダイヤモンド工業株式会社: 〒566-0034 大阪府摂津市香露園32-12

〈学会受付日: 2017年10月11日〉

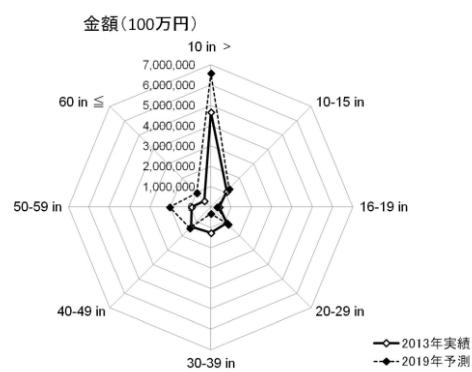


図 4 ディスプレイ製品のサイズ別市場³⁾

表1 液晶用マザーガラスの大きさの変遷とパネルの取り出し数^{4)~8)}

サイズ名称	1G	2G	3G	4G	5G	6G	7G	8G	10G
ガラスサイズ mm	320×400	370×470	550×650	680×880	1100×1250	1500×1800	1870×2200	2160×2460	2850×3050
稼働開始年	1992	1994/09	1995/12	2000/05	2002/05	2004/01	2005/04	2006/10	2009/10
面積比	1	1.4	2.8	4.7	10.7	21.1	32.1	41.5	67.9
取り出し枚数 標準14in	—	—	4	6	16	—	—	—	—
ワイド32in	—	—	—	1	2	8	12	15	—
ワイド50in	—	—	—	—	—	—	—	6	8

2006年には2m×2m以上の大型基板が登場していることがわかる。

「スクライプ+ブレイク」技術によるLCDパネルの切断工程を図5(a)に示す。A面基板のスクライプ→反転→A面基板のブレイク→B面基板のスクライプ→反転→B面基板のブレイク→分離となり、合計7工程が必要である。

しかし、マザーサイズの大型化によって、基板のたわみが大きくなり基板が割れやすくなつた。さらに、注入された液晶が偏るといった問題が出てきたために、ブレイク工程と反転工程が困難になった。

2.2 液晶テレビ向け基板の課題解決

そこで、上記2工程(図5(a)の2,3,5,6工程)を必要としないブレイクレスホイール(Penett®)が開発された。図6に示すように、ブレイクレスホイールは、通常のホイール(ノーマルホイール)の先端に微細な溝が加工されている。ノーマルホイールでは、垂直クラックの深さが板厚の10~15%であるのに対し、ブレイクレスホイールでは、80%以上の深い垂直クラックが形成される。

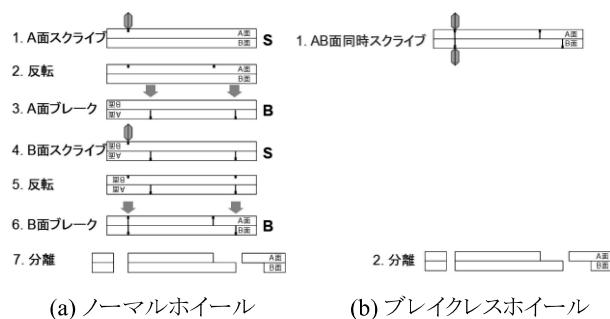


図5 LCDパネルの切断工程

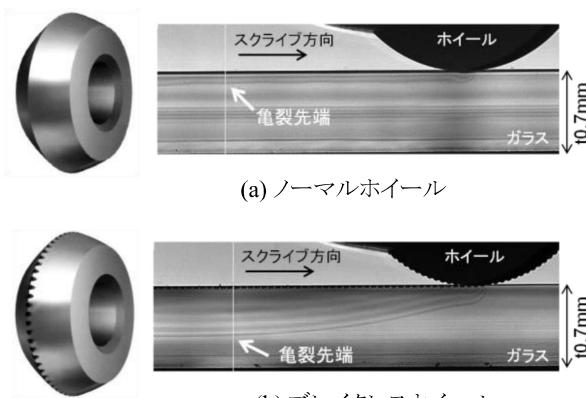


図6 スクライプ時の亀裂伸展

ブレイクレスホイールの開発により、LCDパネルの切断工程が大きく変化した。ノーマルホイールとブレイクレスホイールでの切断工程を図5(b)に示す。ノーマルホイールでは、スクライプ時の垂直クラックが浅いため、ブレイク工程と反転工程が必要であったが、ブレイクレスホイールでは、垂直クラックが深いため、スクライプ工程と分離工程の2工程のみになった。これにより、ブレイクレスホイールで切断する技術や装置が普及し、LCDパネルの大型化やコストダウンが急速に進んだ⁹⁾¹⁰⁾。

2.3 モバイル向け基板のニーズと課題

モバイル向けLCDガラスでは、製品のスリム化・軽量化のために薄板化が進んだ。そのため、切断後の面取り加工が困難となり、切断後のガラスエッジ強度の向上が求められるようになった。

2.4 モバイル向け基板の課題解決

そこで、ブレイクレスホイールよりもガラスエッジ強度が向上するホイールが開発された。図7にホイール先端形状によるガラスエッジ強度の比較を示す。3~10μm品は、ブレイクレスホイールの溝深さを示している。溝深さの減少とともに強度が向上しているのがわかる。高エッジ強度ホイール(APIO®)では、ホイール先端が、より微細に溝加工されている。これにより、ブレイクレスホイールよりも高いエッジ強度が実現された。

3. ディスプレイ基板の最近の動向

最近のディスプレイは、スマートフォンをはじめ、タッチパネル式になっているものが多い。そのため、表面のカバー基板やタッチパネル基板を切断する需要も多くなっている。

また、製品の軽量化・高付加価値のためにフレキシブル基板の採用も増加している。有機発光ダイオード(OLED: Organic Light-Emitting Diode)の需要も拡大しているので、本項では、それぞれの基板のニーズと課題について述べる。

3.1 カバー基板のニーズと課題

タッチパネル液晶ディスプレイの構造を図8に示す。カバー基板は、製品の最表面に位置するため、基板表面に傷がつきにくく、割れないことが求められる。そのため、Dragontrail®(旭硝子社製)¹¹⁾やGorilla®(Corning社製)¹²⁾のような化学強化ガラスが用いられる場合がある。例えばDragontrail®であれば、ソーダガラスに比べて、高硬度だけでなく、約10倍傷つきにくいことが報告されている¹¹⁾。傷つきにくさとは、圧子圧入後の圧痕から発生する亀裂伸展挙動により評価される。このような高強化ガラスは、「スクライプ+ブレイク」技術で切断する際、以下2つの問題により、加工が非常に難しいといえる。1つ目は、表面に圧縮応力層があるため、スクライブラインを

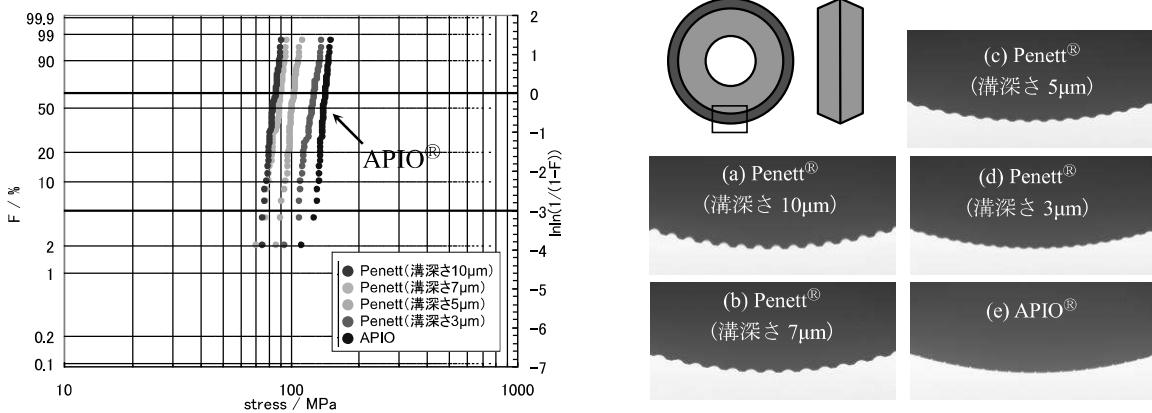


図 7 さまざまなスクライビングホイールを用いて切断されたガラス基板の強度



図 8 タッチパネル液晶ディスプレイの構造

形成していく。2つ目は、ガラス内部に引張応力があるため、切断加工時にクラックが生じやすく、割れやすいという点である。そのため、スクライブ時のホイール形状や加工条件の選定には注意が必要である。

また、一部のスマートフォンやスマートウォッチのカバー基板には、単結晶サファイアが検討されている。サファイアの硬度は 22.5GPa¹³⁾で、LCD に使用される無アルカリガラス(アルミニシリケート)のおよそ 3.5~4 倍である。また異方性があるため加工の難易度は計り知れない。

表面の硬さや耐曲げ性能に加え、製品のスリム化・軽量化を実現するために、カバー基板も薄板化が進んでいる。また、基板が薄くなればなるほど、曲げ強度が求められる。

曲げ強度を向上させるための加工技術を紹介する。厚さ 50μm のガラスを「スクライブ+ブレイク」で切断した様子を図 9 に示す。リボン状に曲げても割れないダメージの少ない加工方法が開発されている。

さらにダメージを低減する方法として、「スクライブ+ブレイク」で切断した後、中赤外レーザを照射することにより基板エッジを溶融し面取りする方法が開発されている。面取り後の基板エッジを図 10 に示す。溶融面取り後のガラスエッジ強度は、機械的な面取り加工に比べ約 2 倍高い値を示すことが報告されている。

3.2 タッチパネル基板のニーズと課題

次に、タッチパネルの構造および出荷数量を図 11, 12 に示す。タッチパネルの方式は、大きく分けて抵抗膜式と静電容量式があり、現在その多くは静電容量式である。しかし、ペンや手袋を使用する場面においては抵抗膜式が用いられており、一定の需要がある。このタイプのタッチパネルは、ガラス基板と PET(Polyethylene terephthalate)フィルムで構成されているものが主流であるが、図 11 に示すようにプラスチック基板などさまざまな構成がある。図 13 に「スクライブ+ブレイク」で切



図 9 「スクライブ+ブレイク」で切断した超薄板ガラス(t0.05mm)

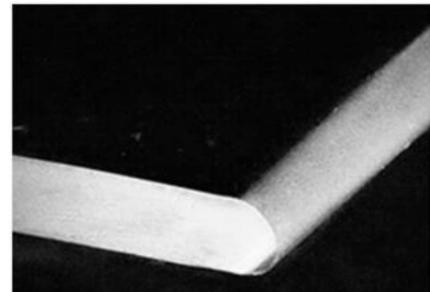
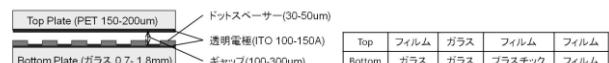
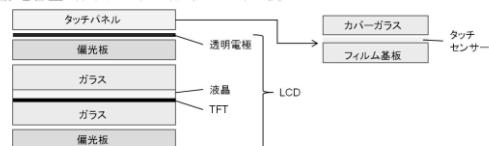


図 10 中赤外レーザで溶融面取りしたガラスエッジ(t0.2mm)

抵抗膜式タッチパネルの例



静電容量式タッチパネル(アウトセル)の例



静電容量式タッチパネル(オンセル)の例 静電容量式タッチパネル(インセル)の例



図 11 タッチパネルの構造

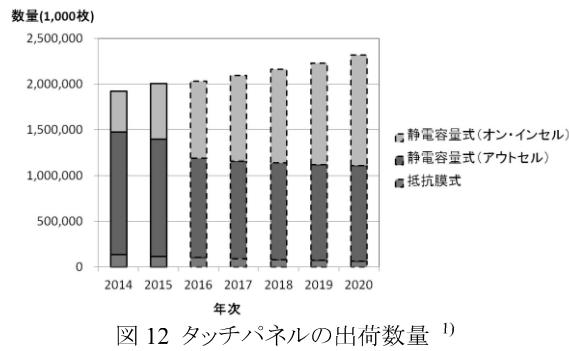


図 12 タッチパネルの出荷数量¹⁾

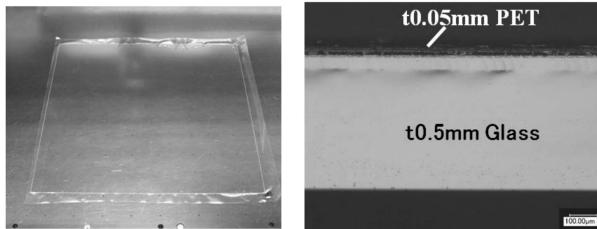


図 13 「スクライプ+ブレイク」で切断したタッチパネル基板

断した様子を示す。表面の PET が薄い場合、PET 側からのスクライプにより切断が可能であった。

一方、静電容量式は、アウトセルからオンセル・インセルへの移行が進むと予想される。アウトセルの場合、LCD とタッチパネル部分は別々に切断されたあと、貼り合わされる。しかしオンセル・インセルの場合、工程の順序から変更になる可能性も否めない。とくにインセルは、各メーカーにより構造が異なるため、その動向を注視する必要がある。

3.3 OLED 基板のニーズと課題

LCD と OLED の構造と変遷を図 14、15 に示す。製品のスリム化や高付加価値のため、OLED の需要が確実に伸びていることがわかる。OLED のなかでも、リジットタイプはガラス基板を使用しているのに対し、フレキシブルタイプは PI (Polyimide) 基板とバリアフィルムを使用している。そのため、脆性材料の切断に適した「スクライプ+ブレイク」での切断は困難である。これらの材料の切断には、例えレーザ加工やナイフのように鋭利な形状の刃物による加工が好ましいと考えられる。

4.まとめ

ディスプレイは限りなく薄く・軽く、かつ傷つきにくくなっている。消費者にとって、それは喜ばしいことに違いない。しかし硬い性質・傷つきにくい性質という点は、切断加工において、マイナスに働くことが多い。これが薄くなると、さらに加工の難易度は急上昇する。見方をかえれば、切断技術があきらめることなく、ディスプレイとともに進歩を続けてきたからこそ、消費者に大画面の薄型テレビや軽くて丈夫なスマートフォンを届けることができたのではないだろうか。

これまで FPD 基板の切断といえば、ガラス基板の切断で

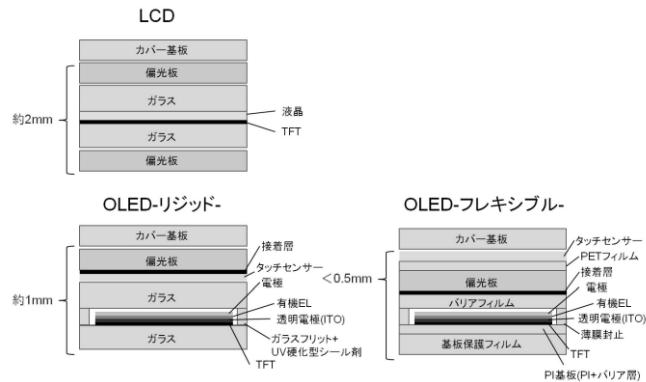


図 14 LCD と OLED の構造

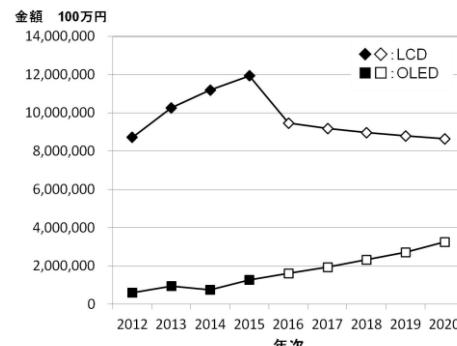


図 15 LCD と OLED の変遷¹⁾³⁾

あった。しかし、強化ガラスや単結晶サファイア、プラスチックやフィルムなど、これまでにない性質をもつ基板の採用が急速に進んでいる。材料のもつ特性に合わせて、切断技術も開発していく必要がある。

また、今後もディスプレイ業界は、車載用やヘッドマウントディスプレイ(HMD: Head Mounted Display)用の需要拡大が予測される。これらの用途は、平面・直線だけでなく曲面・曲線加工であるため、より難しい加工になると考えられる。期待に応えるべくディスプレイの切断技術開発は、まだまだ進歩していくものと期待したい。

5.参考文献

- 2016 ディスプレイ関連市場の現状と将来展望(上巻), 株式会社富士キメラ総研, (2016).
- 伊勢田徹 : ガラス工学ハンドブック, 株式会社朝倉書店, (1999) 392.
- 2014 ディスプレイ関連市場の現状と将来展望(上巻), 株式会社富士キメラ総研, (2014).
- Morgan Stanley Research, (2002).
- Electronic Times, January (2002).
- Nikkei Microdevices, (2005).
- Sharp news, (2007).
- Sharp Display Products, (2009).
- Y. MIYAKE : Separation technology for FPD glass, J. Jpn. Soc. Abras. Technol., 45, 7 (2001) 342 (in Japanese).
- N. TOMEI : Cutting Technology of Glass Sheet by Scribing and Breaking, NEW GLASS, 30, 112 (2014) 37 (in Japanese).
- Res. Reports Asahi Glass Co., Ltd., 61 (2011).
- Corning Incorporated HP : <http://www.corning.com/gorillaglass/>.
- 京セラ株式会社 カタログ