

ガラスの切断技術

三星ダイヤモンド工業(株)

留 井 直 子

Cutting Technology of Glass Sheet by Scribing and Breaking

Naoko Tomei

Mitsuboshi Diamond Industrial Co., LTD.

1. はじめに

ガラスを切断する方法¹⁾には、割断や固定砥粒・遊離砥粒加工、物理的・化学的加工等の方法がある。一般的に用いられているガラスの切断方法には、切りくずを出す『研削切断（除去加工）』と、切りくずを出さない『曲げ割断（切り折り）』の二種類に大別される。前者はブレードによる加工に代表され、後者はダイヤモンドポイント工具やスクライビングホイールによる加工に代表される。以後、曲げ割断を単に『割断』と記述する。

研削切断に比べ、切りくずを出さない『割断』では、①ドライ加工である、②カーフロスが発生しない等の利点がある。このような利点から、特にスクライビングホイールを用いた割断は、急速に拡大したFlat Panel Display (FPD) 用セルガラスの切断において、広く採用されている。

本稿では、スクライビングホイールによる板ガラスの割断について、その割断方法、スクライビングホイール、スクライブにより形成される垂直クラック等を説明した後、FPDの製造

工程での適用例を紹介する。

2. スクライビングホイールによる板ガラスの割断方法

板ガラスの割断における模式図を図1に示す。割断の工程は2つの工程からなっており、スクライビングホイールにより「切りすじ（縦割れ）」とよばれる垂直クラックを形成するスクライブ工程（図1（a））と、外力を加えることにより「切りすじ」に沿って垂直クラックをガラスの内部に向かって伸展させ、ガラスを分離するブレイク工程（図1（b））がある²⁾。

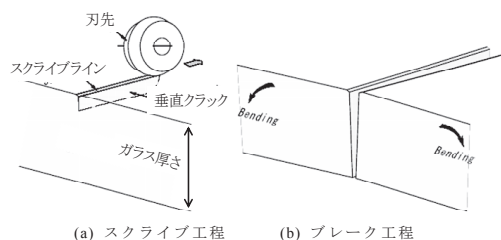
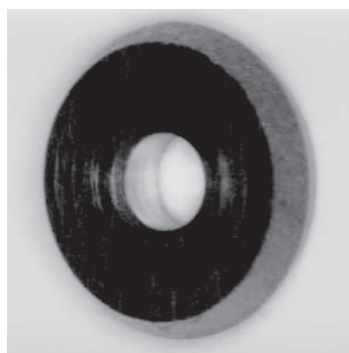


図1 板ガラスの割断の模式図

3. スクライビングホイール

3-1. スクライビングホイールの形状と種類

スクライブを行う工具であるスクライビングホイールについて説明する。図2（a）に最も一般的なスクライビングホイール（ノーマルホイール）の外観を示す。スクライビングホイー



(a) ノーマルホイール

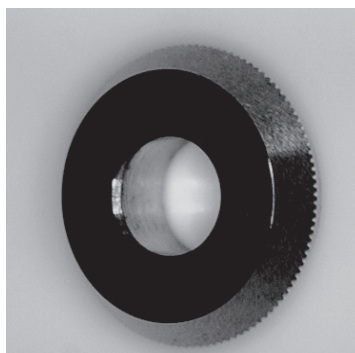
(b) ブレークレスホイール³⁾

図2 代表的なスクライビングホイールの外観

ルは、算盤珠(そろばんだま)形状をしており、両側の斜面が交わる稜線部が刃先となり、ガラス表面と接触する。

図2 (b)³⁾は、ノーマルホイールの稜線に、所定のピッチで溝を加工することにより、所定の高さの突起を微細に設けたブレークレスホイールと呼ばれるホイール(例えば、三星ダイヤモンド工業(株)製 Penett[®])である。ブレークレスホイールについては、5章以降で詳細に述べる。

3-2. スクライビングホイールの素材

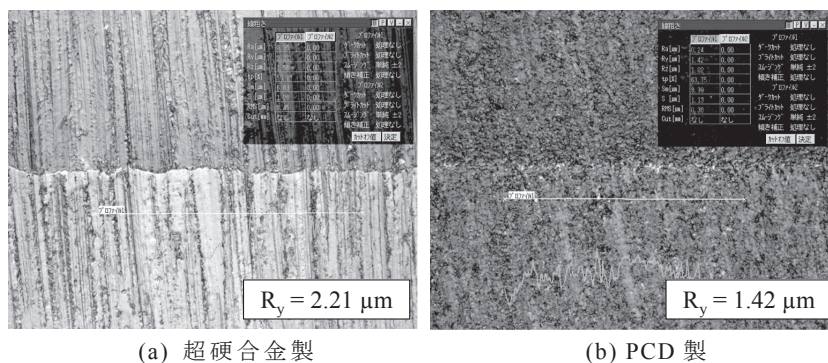
スクライビングホイールの素材は主に、超硬合金ならびに焼結ダイヤモンド(以後、PCD= Poly Crystalline Diamond とする)が用いられる。超硬合金とPCDを比較すると、超硬合金の方は低価格で、PCDの方は耐久性が高い傾向がある。

図3に、各素材で製作したスクライビングホイールの稜線部分を示す。どちらの素材も粒度600番のダイヤモンドホイールを用いて、スクライビングホイールの斜面の研削加工を行っている。図3 (b)のPCDでは、図3 (a)の超硬合金に比べ、研削加工の加工痕がつきにくく、斜面の表面粗さと稜線の粗さ(凹凸)が小さくなる。

これらのことから、スクライビングホイール素材の違いにより、価格と耐久性が異なるだけでなく、斜面の表面粗さと稜線粗さ(凹凸)も異なるため、スクライプする板ガラスの種類や製品用途に合わせてホイール素材を選択する必要がある。

3-3. スクライビングホイールの選定

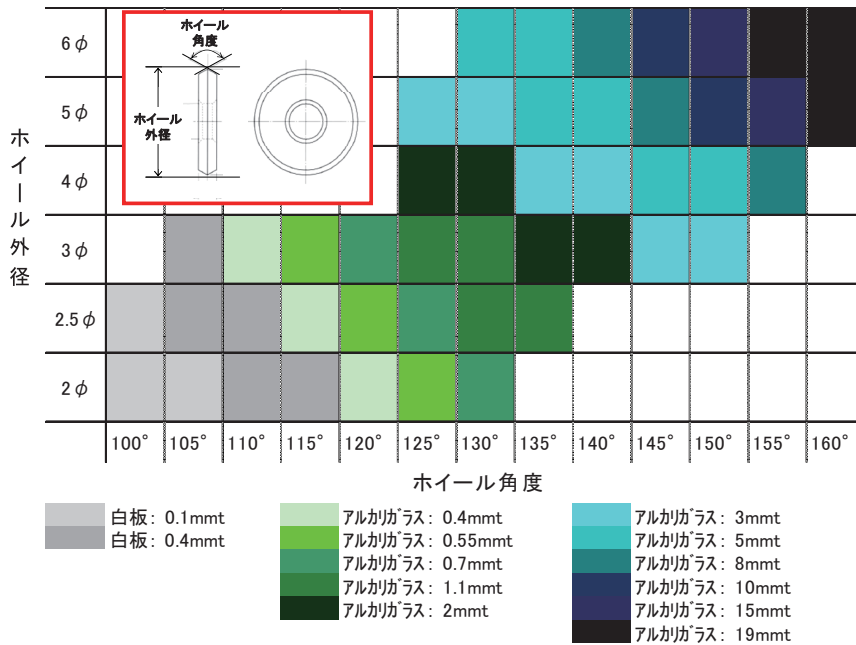
図4に、板ガラスの種類・板厚とホイール外径・角度の関係を示す。スクライプ工程では、



(a) 超硬合金製

(b) PCD 製

図3 スクライビングホイールの稜線部分

図4 ガラス種類・板厚とホイール外径・角度の関係⁴⁾

板ガラスの種類や板厚によって、スクライビングホイールの形状、特に外径と角度を選択することが重要である。一般的には、板ガラスの板厚が厚くなるほど、ホイール外径と角度は大きなものを選定する。

4. スクライビングホイールにより形成される垂直クラック

スクライビングしたガラスの切断面を図5に示す。スクライビングホイールにより形成される垂直クラックを観察するため、紙面の奥行き方向にスクライプした後、直交する方向にスクライブ・ブレイクし、ガラスを分離した。

分離したガラスの切断面を観察したところ、板ガラスの表面から、ガラス内部に向かって垂直クラックが伸展していることがわかる。さらにガラスの表層を詳細に観察すると、スクライビングホイールが接触したことにより形成された塑性変形域がある。塑性変形域の下にはリブマークと呼ばれる垂直クラックが形成され、さ

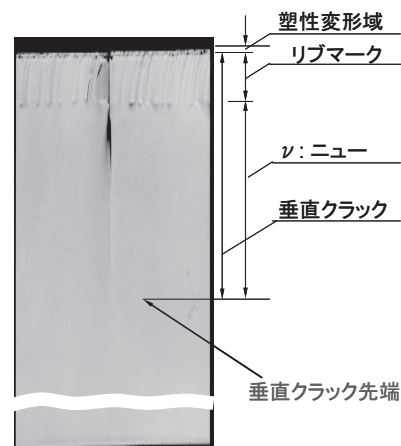


図5 スクライビングしたガラスの切断面

らにその下には、v（ニュー）と呼ばれる垂直クラックが伸展している。

これらより、スクライビングホイールで形成される垂直クラックは、リブマークとv（ニュー）と呼ばれる2種類のクラックからなっていることがわかる。

5. ブレークレスホイールによる垂直クラック

図6は、ノーマルホイールとブレークレスホイールで形成される垂直クラックを比較したものである。ノーマルホイールでスクライブした場合（図6 (a)）、水平クラックを発生させずに得られる垂直クラックの深さはガラス厚さの10～15%⁵⁾⁶⁾程度である。

ガラスのスクライブ工程では、チップング（ガラス表面に発生するカケ）や水平クラックを発生させないことが要求される。チップングや水平クラックが発生すると、後のブレーク工程で垂直方向に亀裂が伸展しにくくなることや、スクライブ後に水平クラックが伸展することで、ガラス表層が剥離して加工品質が低下するためである。

ノーマルホイールを用いて、垂直クラックを深くするために、刃先角度を125°から115°と

鋭角なものにすると、水平クラックが発生する（図6 (b)）。さらに、同じ刃先角度（115°）でスクライブ荷重を6 Nから14 Nに増加させると、水平クラックがガラス表層で剥離する（図6 (c)）。

図6 (d) は、ノーマルホイール（図6 (c)）と同じ条件で、ブレークレスホイールを用いてスクライブしたものである。水平クラックやガラス表面の剥離はなく、垂直クラックがガラスの厚さの80%以上に達していることが確認できる。

つまり、ノーマルホイールでは、刃先角度やスクライブ荷重を変化させても、水平クラックやガラス表面の剥離なしに垂直クラックを深く伸展させることはできない。一方、ブレークレスホイールでは、ホイール稜線に所定のピッチで突起を設けることにより、ノーマルホイールでは実現できないスクライビングが可能となった。

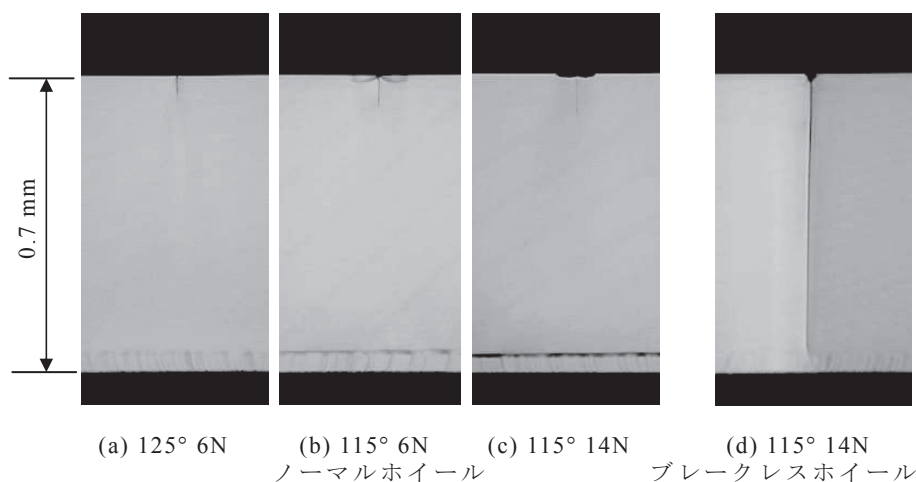


図6 各ホイールにより形成される垂直クラックの比較
(ガラス: 無アルカリ t0.7 mm)

6. ブレークレスホイールによる FPD セルガラス切断

図7は、ノーマルホイールおよびブレークレスホイールを用いた FPD 用セルガラスの切断方法である。図7 (a) のノーマルホイールを用いた切断方法では、スクライブ後にガラスを反転させ、ブレークする工程が必須である。そのため、ガラスサイズが約 1000 mm 以上と大きくなった際、これらの工程でガラスの破損やセルギャップムラの発生等、問題が発生した。

それに対して、図7 (b) に示すようにブレー

クレスホイールを用いた切断方法では、ガラスの厚さの 80% 以上に達する深い垂直クラックを形成できるため、ブレーク工程の省略が可能となり、それに伴って反転工程も不要となった。さらには、上下のガラスを同時にスクライブすることが可能となった。

これを基本コンセプトとした FPD 用セルガラスの上下同時切断という新しい生産技術が、2002 年に初めて実用化された。現在では、大型ガラスを扱う製造ラインにおいて、ブレークレスホイールを搭載したセルガラス切断装置は不可欠のものとなっている。

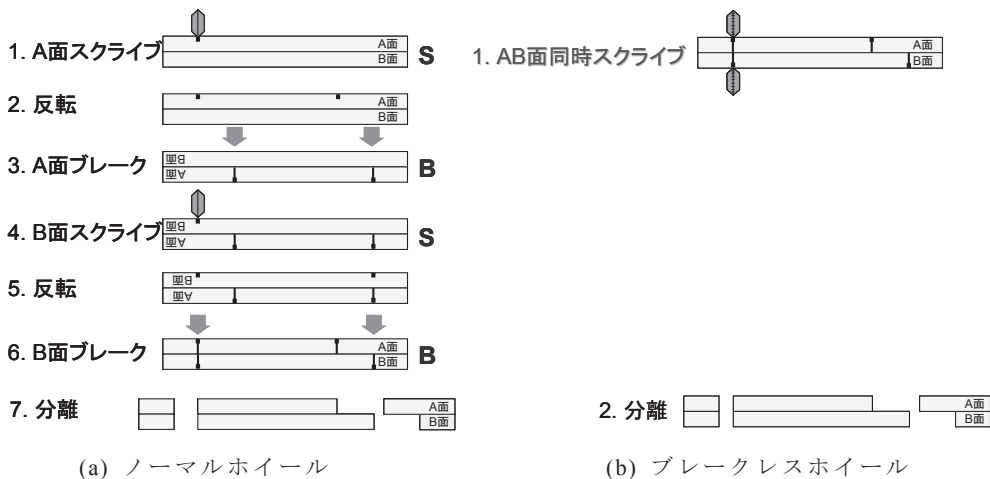


図7 各ホイールによる FPD 用セルガラスの切断方法

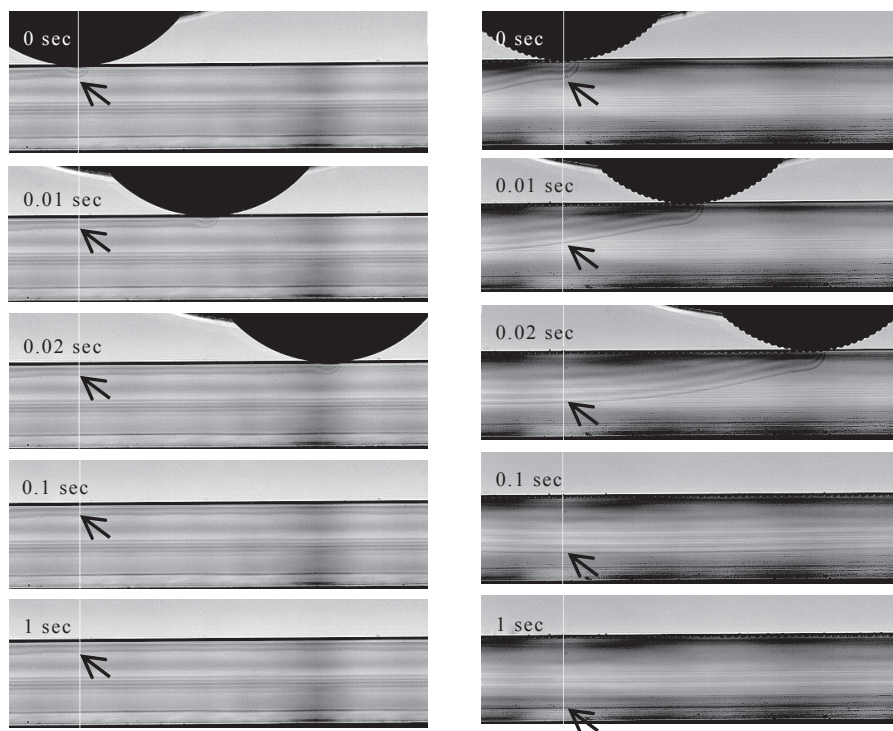
7. ブレークレスホイールにおけるクラック伸展挙動⁷⁾

ここでは、ブレークレスホイールにおける垂直クラックの伸展挙動を理解することを目的として、高速度カメラを用いた動的な観察を行った結果について紹介する。図8に高速度カメラにより観察した結果を示す。図8において、白いライン上の垂直クラック先端位置を矢印で示している。

ノーマルホイールによるスクライプ (図8

(a)) では、スクライビングホイールが通過した1.0秒後も垂直クラックの深さは変化しなかった。

一方、ブレークレスホイールによるスクライプ (図8 (b)) では、スクライビングホイールの通過直後から垂直クラックの伸展が確認され、0.02秒後にはガラス厚さのおよそ60%に達した。その後、1.0秒後には垂直クラックがガラス厚さのおよそ80%まで伸展することがわかった。



(a) ノーマルホイール 2φ -125°

(b) ブレークレスホイール 2φ -115°

図8 高速度カメラによる垂直クラックの伸展過程観察
(ガラス:無アルカリ t0.7 mm, スクライプ荷重:11 N, スクライプ速度:100 mm/s)

8. おわりにー最近の板ガラス切断への市場要求ー

本稿では、スクライビングホイールによる板ガラスの切断について、その切断方法、スクライビングホイール、スクライブにより形成される垂直クラックなどを説明し、また、FPD 製造工程での適用例についても紹介した。詳細については引用文献を参照されたい。

最近では、携帯電話やスマートフォンの普及により、小型 FPD 製品の多くは、ガラス切断後のガラス端面強度(抗折強度)が要求される。このような市場要求を満たし、かつ高い量産性を兼ね備えたスクライビングホイール「APIO®(三星ダイヤモンド工業(株)製)」⁸⁾が開発され、小型 FPD 製品の切断に広く使用されている。

今後も、FPD 製品をはじめとしたガラス製品の技術革新とともに、市場要求の多様化・高度化に対応するため、スクライビングホイールやスクライブ技術の研究開発が必須であると考えている。

9. 引用文献

- 1) 伊勢田徹：ガラス工学ハンドブック, 朝倉書店, (1999) 392
- 2) 今中治：硬脆材料の切断加工の歴史, 砥粒加工学会誌, 45, No 7 (2001) 333
- 3) 三星ダイヤモンド工業：特許 3074143
- 4) 三星ダイヤモンド工業株式会社総合製品カタログ, (2012) 15
- 5) 三宅泰明：FPD ガラス基板の切断技術, 砥粒加工学会誌, 45, No 7 (2001) 342
- 6) 小野俊彦：Study on LCD Glass Substrate Cutting using Scribe and Break Method, 長岡科学技術大学学位論文, March (2001) 41
- 7) 留井直子, 前川和哉, 若山治雄, 富森紘：ブレークレスホイールによるスクライビングに関する研究-第1報：高速度カメラを用いたクラック伸展の観察-, 砥粒加工学会誌, 53, 11, (2009) 684
- 8) 三星ダイヤモンド工業株式会社ホームページ, <http://www.mitsuboshidiamond.com/>