論　文

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

留井直子*, 前川和哉*, 若山治雄*, 冨森　紘*

A study on scribing with a breakless wheel
1st Report : Observations of crack propagation using a high-speed camera

Naoko TOMEI, Kazuya MAEKAWA, Haruo WAKAYAMA and Hiroshi TOMIMORI

フラットパネルディスプレイ（FPD）用ガラスの大板化・薄板化に伴い，ガラスを割断する工程の中でブレーク工程やブレークするための反転工程に問題がでてきた．その問題を解決する方法として，従来のスクライビングホイールに比べ深い垂直クラックを生成することができるブレークレスホイールが開発された．

しかしこれまで，ブレークレスホイールをはじめホイールによるスクライビングにおいて，垂直クラックの観察はスクライブ後の静的な観察しか行われてこなかった．

そこで，高速度カメラを用いて，ブレークレスホイールによるスクライビングで垂直クラックが伸展する様子を観察したところ，刃先通過後0.02秒後にはガラス厚さの60％までクラックが急速に伸展し，その後伸展速度が減速することを確認した．

Key words : glass, high speed camera, scribing, median crack propagation, break-less

1．緒　言

フラットパネルディスプレイ（FPD）用ガラスの大板化・薄板化に伴い，ガラスを割断する工程では，ガラスをスクライブした後に行うブレーク工程での問題やブレークするための反転工程で発生するガラス割れ等の問題がでてきた．

そこでブレーク工程や反転工程そのものを必要としないブレークレスホイールが開発された[1]．このブレークレスホイールとは，通常のホイールに比べ垂直クラックを深く伸展させることができるホイールである．

このようなブレークレスホイールでのスクライビングにおいて，スクライブで形成されるクラック深さの計測は，スクライブ後のガラスを分離し，そのガラス断面を顕微鏡で観察することで行ってきた．しかし，この方法によるクラックの伸展の観察はスクライブ時ではなく，スクライブ終了後一定時間が経過した後の静的な観察である．そのため，ブレークレスホイールにおいて垂直クラックが深く伸展するメカニズムについては推察の域を出ておらず，未だ解明されたとはいえない．

また，これまで高速度カメラを使った垂直クラックの伸展に関する研究はあるものの，それは圧子を使った研究報告であり[2]，スクライビングホイールを使い垂直クラックが形成される過程を調べた例はない．

本報では，高速度カメラを用いることにより，ブレークレスホイールによるスクライビングにおいて垂直クラックが伸展する様子，ならびに垂直クラックの起点となるクラックが生成される様子の観察について報告する．

2．ブレークレスホイールの開発概念

従来，板ガラスを分割する手法として，主に「割断」が用いられてきた．「割断」とは，**図1**に示すようにスクライブした後，ブレーク工程を経てガラスを分割する手法である．

したがって，FPD用のセルガラスを割断する場合には，**図2**に示すように，スクライブ(S)→反転→ブレーク(B)→スクライブ(S)→反転→ブレーク(B)の工程となる．しかし近年，FPD用ガ

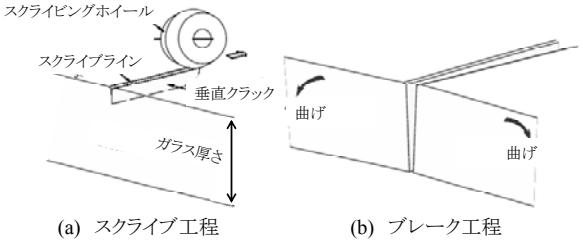


図 1　スクライブ−ブレーク工程図

＊ 三星ダイヤモンド工業㈱：〒564-0054　大阪府吹田市南金田 2-12-12
MITSUBOSHI DIAMOND INDUSTRIAL CO., LTD.
〈学会受付日：2009 年 4 月 27 日〉

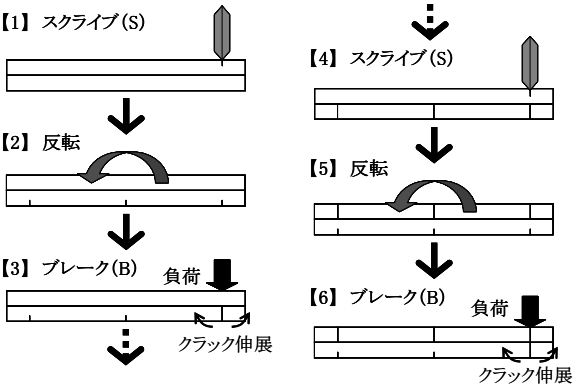
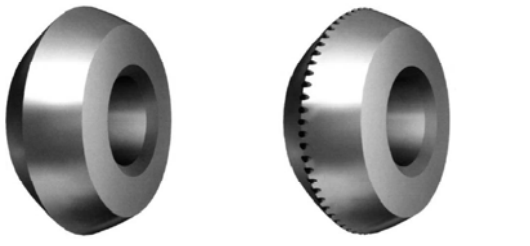


図 2 FPD の割断工程

ラスの大板化や薄板化に伴い，ブレーク不良の発生やガラスの反転等に問題がでてきた．

そこで，ブレーク工程そのものを必要としないスクライビングホイールとしてブレークレスホイールが開発された．ブレークレスホイールは，**図3**(b)(d)に示すように，外周部に所定のピッチで所定の深さの溝を加工することにより稜線を頂部とする突起を形成している．従来のスクライビングホイール（図3(a)(c)，以後，ノーマルホイールとする）で得られる垂直クラックの深さは，ガラス厚さの10～15%程度である[3)4)]のに対し，ブレークレスホイールではガラスの厚さの80%以上に達する垂直クラックが得られるため，ブレーク工程を必要とせず，またブレークのための反転工程も必要としない装置が可能となった．

また一方で，FPD用ガラスの薄板化に伴いガラスエッジの品質改善が求められてきた．従来はガラス割断後，断面を研磨することでガラスエッジに発生するカケやクラックを取り除くことができたが，ガラスが薄くなると研磨工程が極めて困難となり，研磨工程を必要としないスクライブに対する要求が高まってきた．スクライブ方法のモデル図[5)]を**図4**に，ガラス断面の写真を**図5**に示す．ノーマルホイールでは図4の(a)に示すように，ガラス上にホイールを下降させ，スクライブを開始する内切り法（Set-down method）では良好なスクライブラインが得られないため，(b)のようなガラスの外側からホイールを移動させ，スクライブを開始する外切り法（Edge-crash method）を用いる必要がある．しかし，外切り法の場合，図5の(a)の写真のようにガラスエッジにカケが発生し，製品の品質不良となる．一方，ブレークレスホイールでは図4の(c)に示すように内切り法を用いた場合にも，良好なスクライブラインが形成されるため，外切り法で発生するガラスエッジのカケが発生しない．ブレークレスホイールで内切り法を用いた場合のガラス断面写真を図5の(b)に示す． ブレークレスホイールを用いることで，ガラスエッジにカケを発生させないスクライブが可能であることがわかる．



(a) ノーマルホイールのイメージ (b) ブレークレスホイールのイメージ

(c) ノーマルホイールの稜線部分 (d)ブレークレスホイールの稜線部分

図 3 ノーマルホイールとブレークレスホイールの外観

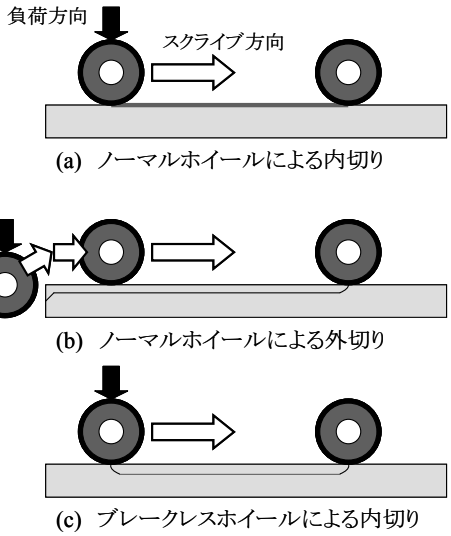
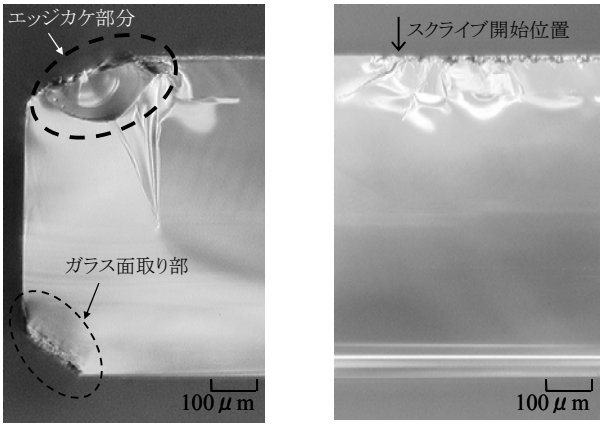


図 4 スクライブ方法のモデル図[5)]

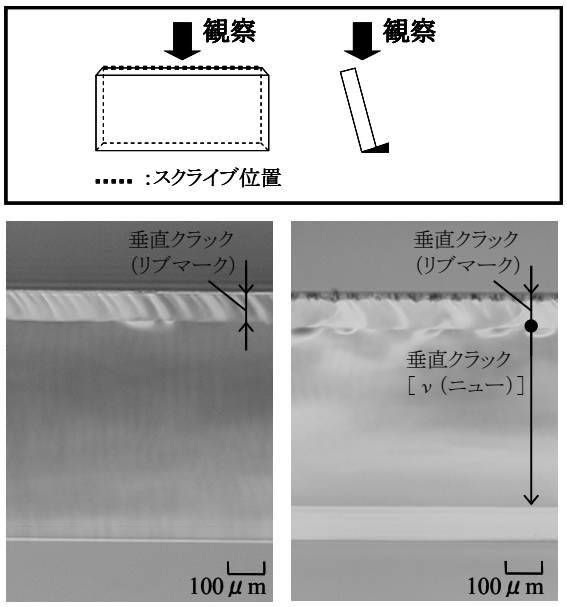


(a) ノーマルホイールによる外切り (b) ブレークレスホイールによる内切り

図 5 外切りと内切りのガラス断面写真

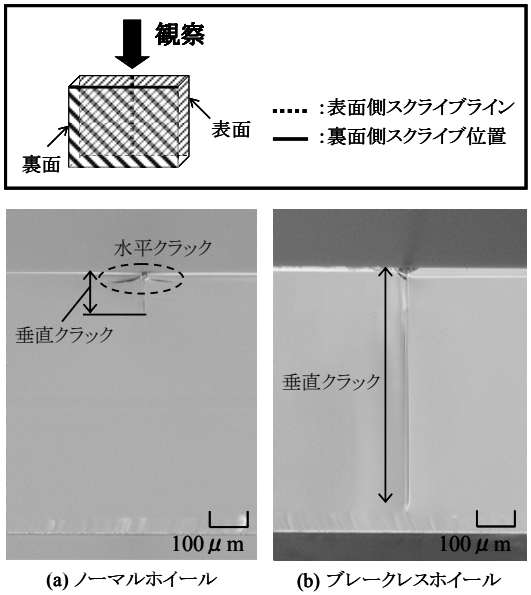
3. 従来の垂直クラック観察方法について

ブレークレスホイールを含めスクライビングホイールによる



(a) ノーマルホイール　(b) ブレークレスホイール

図 6　ガラス断面によるクラック伸展写真



(a) ノーマルホイール　(b) ブレークレスホイール

図 7　垂直方向からのクラック伸展写真

垂直クラックの観察は，以下の2つの方法が主流である．1つ目は，スクライブ後ガラスを分離し，その断面を傾斜させて観察する方法，2つ目は，1つ目の方法とは垂直な方向から観察する方法である．2つ目の方法は，スクライブ前にスクライブする面の裏面に対し，スクライブ方向と垂直方向にスクライブしておき，表面スクライブ後に裏面のスクライブラインに沿って分離することで観察できる．それぞれの方法で観察した写真を**図6**，**図7**に示す．スクライブ条件については後に記載する高速度カメラのスクライブ条件と同様とした．ここで，高速度カメラによる観察の際はスクライブ位置をガラス端面から0.5mmとしたが，顕微鏡による観察の際には試料片を製作しやすいようにガラス端面から5mmの位置とした．

図6に示す1つ目の方法の場合，ノーマルホイールに対して，ブレークレスホイールでは深く伸展した垂直クラックが確認できる．

また，図7に示す2つ目の方法の場合，1つ目の方法と同様に，ブレークレスホイールでは深く伸展した垂直クラックが見られる．この方法で観察することで，ノーマルホイールで発生している水平クラック(図7(a))についても確認が可能である．

しかし，これらの方法はいずれもスクライブ後一定時間が経過した後の観察であり，クラックの伸展する過程や生成する過程について観察することはできない．

4．実験方法

4．1　垂直クラック伸展の観察方法

高速度カメラによる垂直クラック伸展の観察方法を**図8**，**図9**に示す．テーブル上に固定したガラスをスクライブし，ガラス断面から観察した．ここで，ガラス断面はレーザスクライブした後，手折りした面を使用した．ガラスをはさんで高速度カメラと反対側に光源を設置することで，ガラス内部を透過した光の観察が可能となる．観察の際，レンズの前に青色のフィルタを貼り，カメラに入ってくる光を短波長に制限することで，わずか

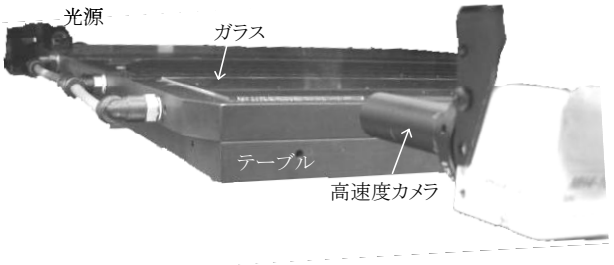


図 8　高速度カメラの観察方法

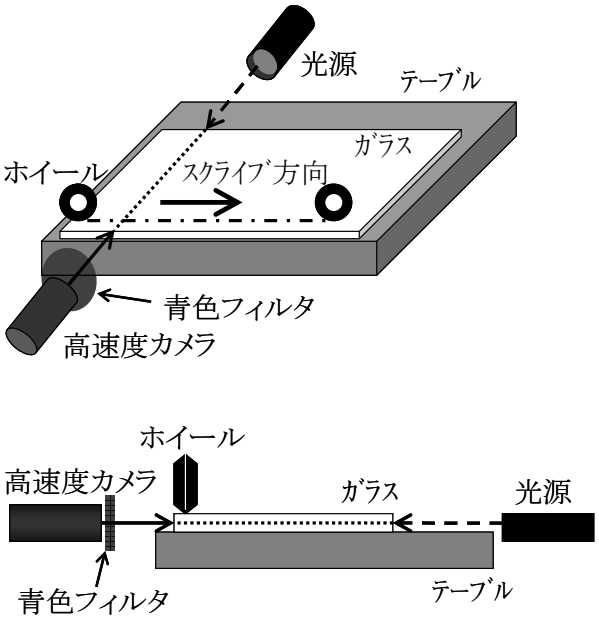


図 9　高速度カメラの観察方法概略図

な屈折率の違いによるクラックの生成過程を観察することができた．観察に使用したホイールの概略図を**図10**に示し，詳細なスクライブ条件を**表1**に示す．ここでオフセット量とは，ガラス厚さのバラツキ等が起きた場合にも，刃先がガラスに届かないままスクライブ動作をしないために設けてあるものである．ガラス表面に刃先が接するときのZ軸の値をゼロ位置とすると，スクライブの際，ゼロ位置を計測した箇所よりもガラス厚さが薄い場所があった場合に，刃先がガラスに届かずスクライブ不良となる．そのため，ガラスの厚み公差とテーブルの平坦度を考慮してオフセット量を設定している．また，観察に使用したレンズの倍率は0.7，撮影速度は500fpsとした．

垂直クラックの伸展を観察するため，高速度カメラを固定し，定点による観察を行った．また，テーブルとガラスも固定し，ホイールを移動させることでスクライブの様子について観察した．

4．2　クラック生成の撮影方法

垂直クラックの起点となるクラックを観察するため，高速度カメラ，テーブル，ガラスを固定し，画面内で刃先がガラスに接するようにカメラとホイールの位置を調整した．ホイールが下降し，ガラスに接してからおよそ0.40秒後にホイールを移動させ，スクライブを開始させることでスクライブ時に発生する垂直クラックの起点となるクラックの生成について観察を行った．

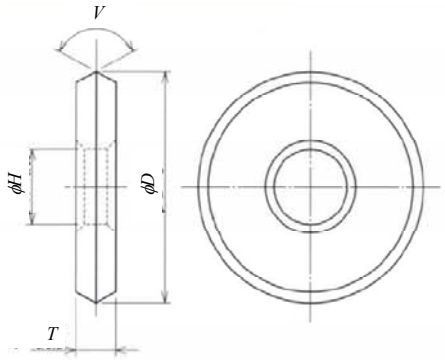


図 10 使用ホイールの概略図

表 1　スクライブ条件

使用ガラス	無アルカリガラス
使用ガラス厚さ　mm	0.7
スクライブ速度　mm/sec	100
オフセット量　mm	0.15
スクライブ荷重　N	11
スクライブ位置	ガラス端面から0.5mm 内側の位置
ホイール外径　ϕD　mm	2.0
ホイール穴径　ϕH　mm	0.8
ホイール厚さ　T　mm	0.65
ホイール刃先角度　V　°	ブレークレスホイール：115 ノーマルホイール：125

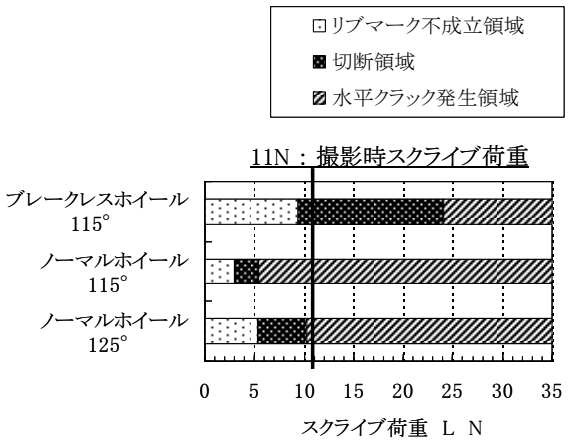


図 11　各ホイールの切断領域

4．3　スクライブ荷重の設定

観察に用いたガラス（厚さ0.7mm無アルカリガラス）に対し，ブレークレスホイールの刃先角度は，115°が広く用いられている．そこで，115°のノーマルホイールならびにブレークレスホイールについて切断領域の検証を行った．結果を**図11**に示す．ここで切断領域とは，良好にガラスを分離することができる荷重の領域を示しており，リブマーク（図6参照）が形成され，かつ水平クラック（図7(a)参照）が発生しない領域と定義する．切断領域の決定は，各荷重で5mm間隔でスクライブを行い，そのスクライブラインの品質ならびに分離した後のガラス断面を観察することで決定した．

115°のノーマルホイールとブレークレスホイールの切断領域を比較すると，良好に切断できる領域が重なり合っていないことがわかる．水平クラックが発生してしまうと，観察が困難となるため，ノーマルホイールについてはさらに鈍角の刃先である125°について切断領域の検証を行った．その結果，わずかな水平クラックは発生するものの，115°のブレークレスホイールと同じ荷重でスクライブしても高速度カメラによる観察が可能であったため，ノーマルホイールについては125°を選択した．

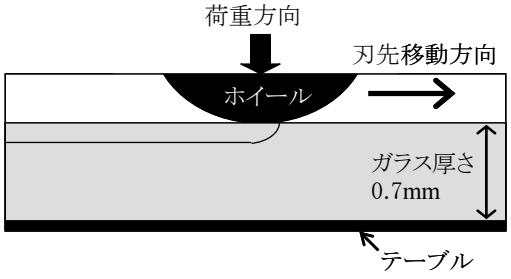


図 12　クラック伸展の画像概要図

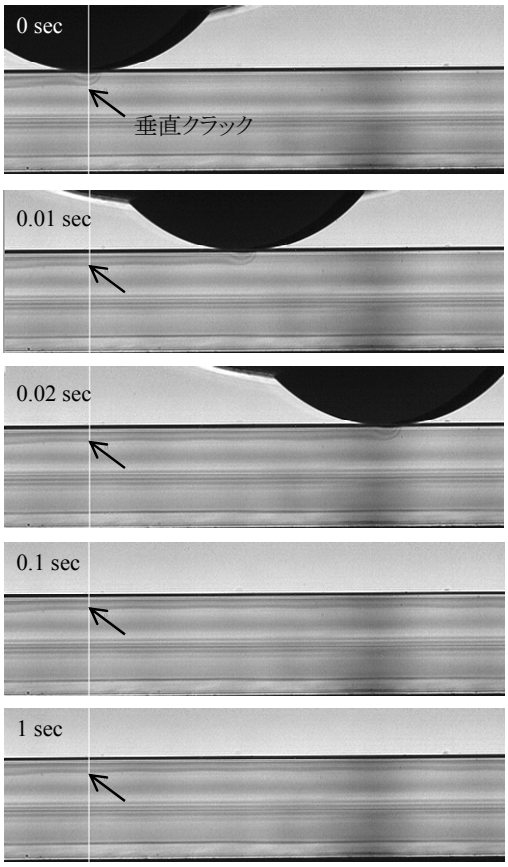


図 13 ノーマルホイールによる垂直クラックの伸展

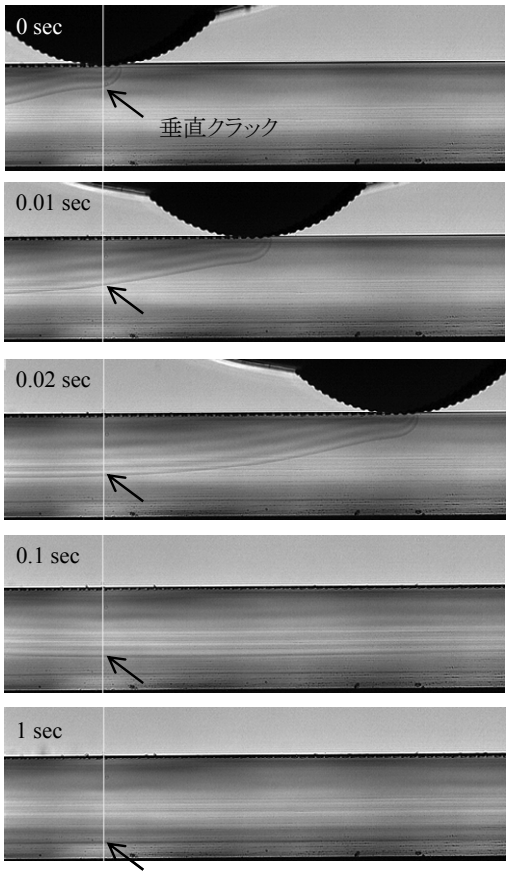


図 14 ブレークレスホイールによる垂直クラックの伸展

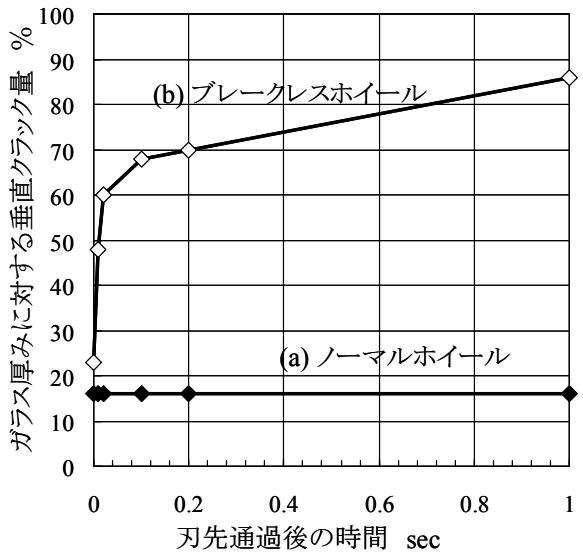


図 15 クラック伸展と時間との関係

5. 実験結果および考察

5. 1 垂直クラック伸展の観察

垂直クラック伸展画像の概要図を**図12**に示す. また, **図13**, **図14**に刃先が定位置を通過してからの時間ごとの画像を示す. ノーマルホイールによるスクライブ(図13)では, 刃先が通過した1秒後も垂直クラックの深さは変化していないのに対し, ブレークレスホイールによるスクライブ(図14)では, 刃先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%に達する伸展が観察された. 刃先通過後の時間と垂直クラックの伸展量を**図15**に示す. ブレークレスホイールでは, ガラス厚さに対し垂直クラックが60%程度に達するまでは, 垂直クラックの伸展する速度が速く, その後減速することが確認された.

5. 2 内切りでのクラック生成の観察

刃先が下降しガラスに接した後, 約0.40秒後にスクライブを開始させた. 刃先がガラスに接した時点を0秒とし, スクライブ開始直後までの時間ごとの画像を**図16**, **図17**に示す. ノーマルホイールによる内切り(図16)では垂直クラックの起点となるクラックが生成されず, スクライブ開始後も垂直クラックの伸展が見られなかった. 一方, ブレークレスホイールによる内切り(図17)では, 刃先がガラスに接した後, およそ0.10秒後にリブマークの起点となるクラックが生成し, スクライブを開始すると垂直クラックが観察された.

図18に0.10秒および0.20秒後の拡大写真を示す. ブレークレスホイールでは, 刃先稜線部に形成されている突起3個分それぞれの直下に起点となるクラックが発生し, その後3個のクラックがつながることで垂直クラックの元となる起点クラックが形成されていることが確認できた.

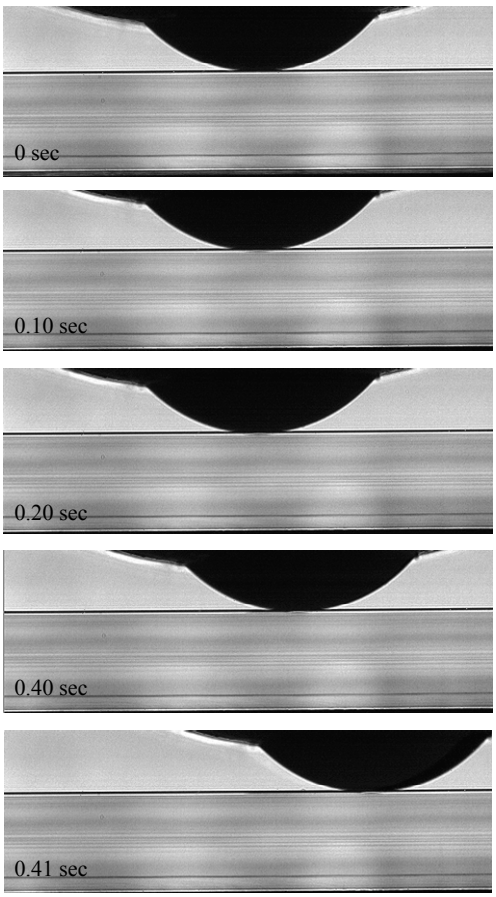


図 16 ノーマルホイールによる起点クラックの生成

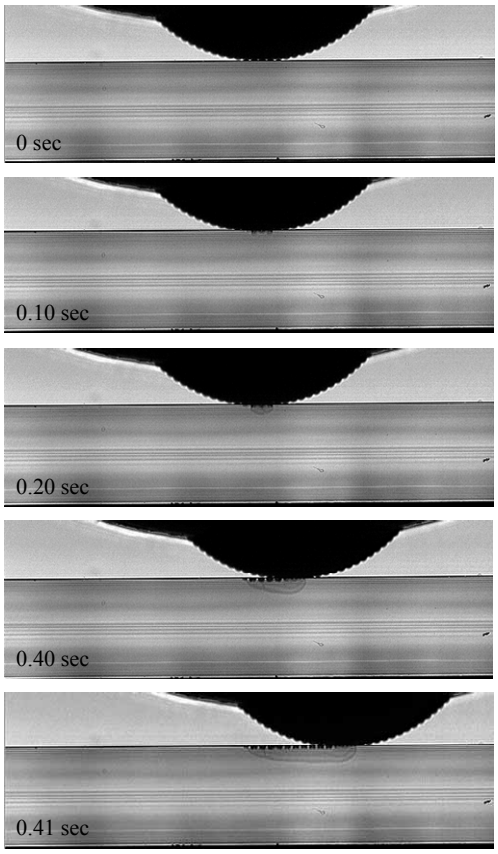
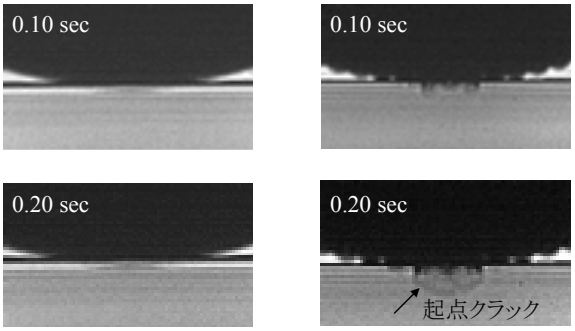


図 17 ブレークレスホイールによる起点クラックの生成



(a) ノーマルホイール (b) ブレークレスホイール

図 18 起点クラック生成時の拡大画像

また，これまでの圧子を用いたクラックの観察では，クラックは荷重の除荷過程で生成されると報告されている[2]が，ブレークレスホイールを用いた場合には荷重を負荷する過程でクラックが生成されていることが確認できた．

6. 結 言

0.7mm無アルカリガラスのスクライブにおいて，垂直クラックが伸展する様子を高速度カメラで観察し，以下の結果を得た．

1)ブレークレスホイールによるスクライブでは，垂直クラックは刃先通過後0.02秒でガラスの厚さのおおよそ60％に達する．

2)ブレークレスホイールでは，垂直クラックが60％程度に達するまでは，垂直クラックの伸展する速度が速く，その後減速する．

3)ノーマルホイールでは，スクライブ後時間が経過しても垂直クラックがほとんど伸展しない．

4)ブレークレスホイールでは，稜線部に形成された突起部がガラスに大きな応力を発生させることで，刃先をガラスに食い込ませることができるため内切りが可能である．

5)ブレークレスホイールにおいて，起点となるクラックは，荷重の負荷過程で生成されている．

7. 参考文献

1) 三星ダイヤモンド工業㈱: 特許3074143
2) For example- M. YOSHIOKA and T. SAWA: Dynamic Observation of Crack Formation Process by Indentation on the Surface of Glass－Study on the Mechanism of Micro-fracture of Brittle Materials (1st Report)-, J. Jpn. Prec., Eng., 60, 8(1994)1154 (in Japanese).
3) Y. MIYAKE: Separation technology for FPD glass: J. Jpn. Soc. Abras. Technol., 45, 7(2001)342(in Japanese).
4) T. ONO: Study on LCD Glass Cutting using Scribe and Break Method: Nagaoka University of Technology, Mar. (2001)41(Doctorial thesis).
5) T. ONO: Study on LCD Glass Cutting using Scribe and Break Method: Nagaoka University of Technology, Mar. (2001)27(Doctorial thesis).