

ガラスのレーザスクライブ機構

三星ダイヤモンド工業株式会社

山本 幸司

Laser scribing mechanism of glass

Koji Yamamoto

Mitsubishi Diamond Industrial Co., Ltd.

1. はじめに

一般的に、ガラス基板は、ガラス表面にスクライビングホイール¹⁾でけがき線を形成し、そのけがき線（以下、スクライブ線という）に沿って曲げ応力を付加することにより分断される。このガラス基板の分断方法は、工具を直接ガラス表面に押し付ける機械的なスクライブ法であるので、パーティクルの発生が避けられない。また、分断エッジにマイクロクラックが生じ、それが起点となってガラス基板が割れる場合がある²⁾。

機械的なスクライブ法に対して、レーザ加熱により熱応力を発生させ、非接触でスクライブを行う方法がある。この方法をレーザスクライブという。レーザスクライブを用いると、図1のような滑らかな分断面が得られるので、機械

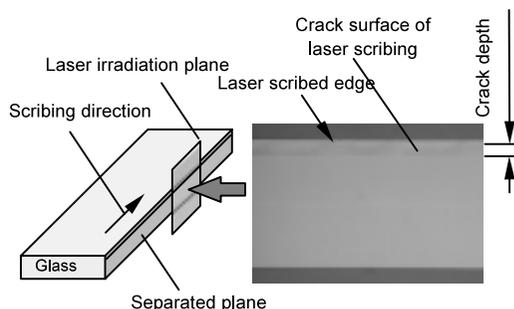


図1 レーザスクライブの分断面

的なスクライブ法と比べて、パーティクルの発生が抑制できるとともにガラス基板のエッジ強度が維持される^{3,4)}。このような利点から、レーザスクライブは、ガラス基板の有効なスクライブ法といえる。本稿では、レーザスクライブの加工メカニズムについて紹介する。

2. レーザスクライブ法

まず、レーザスクライブの加工手順を記す。スクライブを開始するガラス基板端にスクライブの起点となる初期亀裂を設け、次に、CO₂レー

〒564-0044 大阪府吹田市南金田 1-4-37
TEL 06-6378-3364
FAX 06-6378-3550
E-mail: kyamamoto@mitsuboshi-dia.co.jp

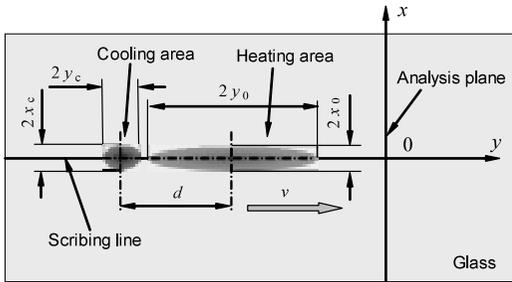


図2 レーザスクライブの加熱域と冷却域の位置関係

ザを用いて表面で楕円形状となるようにビーム成形する。初期亀裂生成後、レーザー光をガラス表面に照射し、レーザー光とガラスに相対的な速度を設け、スクライブ予定線上を加熱する。レーザー光の後端付近をウォータージェットにより急冷する。このような手順で、レーザスクライブの冷却域において、初期亀裂を進展させ、レーザスクライブ線を形成する。図2に、レーザービームの加熱域とウォータージェットによる冷却域の位置関係を示す。

3. ガラスのレーザスクライブにおける熱応力解析⁵⁻⁸⁾

レーザスクライブの亀裂進展機構を明らかにするため、板厚0.7mmのソーダガラスに対するレーザスクライブ可能なレーザ出力 $P = 58.7$ W、スクライブ速度 $v = 200$ mm/s の条件で、有限要素法による三次元熱弾性解析を行った。ここでは、図2におけるレーザービームによる加熱域を $2x_0 = 2.1$ mm, $2y_0 = 22$ mm, ウォータージェットによる冷却域を $2x_c = 2$ mm, $2y_c = 3$ mm, 冷却点距離 $d = 10$ mm とした。レーザー照射面に $x-y$ 座標をとり、 y 軸と x 軸方向をそれぞれスクライブ方向と板厚方向にとった。レーザスクライブの温度分布と応力分布の解析例を図3に示す。図3 (a) (i), (ii) のように、表面温度はビーム中心より遅れて最大値に達し、その直後、冷却され急激に低下する。内部温度は、 z が増加するほど加熱と冷却の影響を受けにくくなり、冷却域では表面層だけが冷却されている

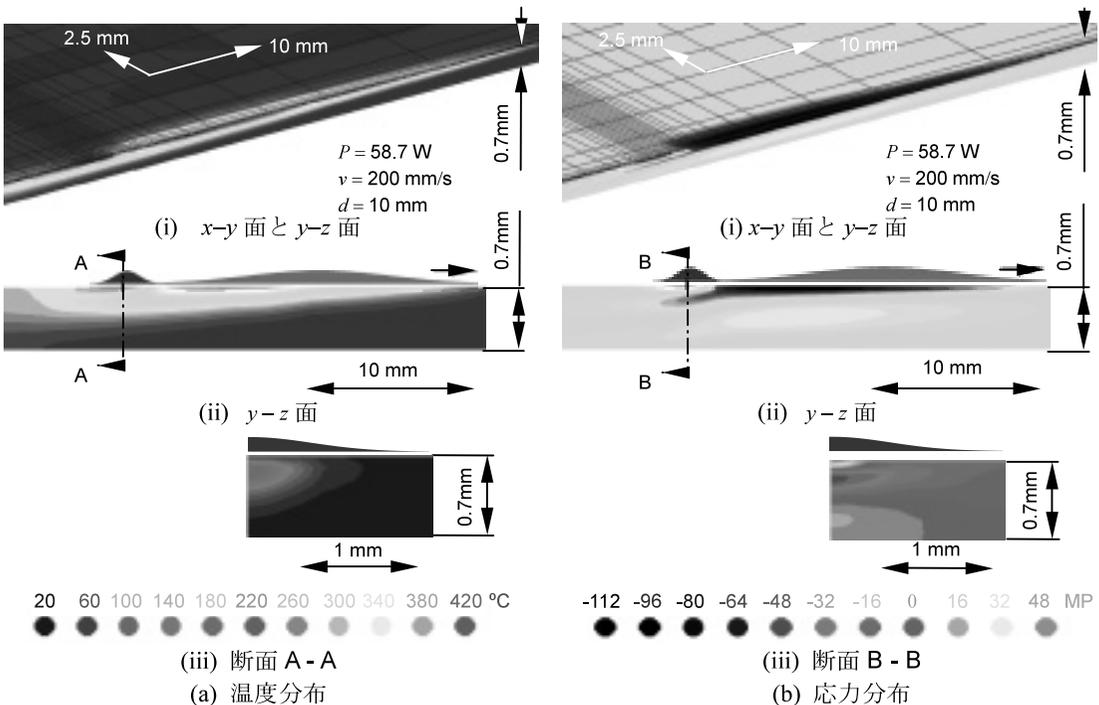


図3 レーザスクライブにおける三次元解析の温度分布と応力分布の解析例

る。これに伴い、図3(b)(i),(ii)のように、表面近傍では加熱域で圧縮応力が発生し、直後の急速冷却によって急激に圧縮応力から引張応力へ変化する。加熱域の内部では、 ϵ が増加して温度が低下するほど圧縮応力が減少し、逆に引張応力となっている。冷却直下の内部は圧縮応力状態にある。これは、表面が急冷されても内部がまだ高温状態にあるためである。図3(a)(iii)からわかるように、 $x-z$ 面の温度分布は表面だけ冷却され、内部に冷却の影響をそれほど受けていない高温域が残存する。応力分布は、図3(b)(iii)のように、冷却されたガラス表面に引張応力が発生する。内部に残存する高温域が圧縮応力場となり、表面で発生した引張応力を助長する。この冷却域表面に発生した大きな引張応力により亀裂が進展すると考えられる。

4. レーザスクライブ機構

レーザスクライブ機構を図4の模式図を用いて簡単に説明する。レーザ照射によりガラス表面が加熱され、表面から内部へ熱が伝わる(図

4(b))。レーザ加熱直後にウォータージェットにより、表層が冷却される(図4(c))。これにより、冷却域表層で引張応力が発生して亀裂が進展する。表層だけが冷却されるので、内部に高温領域が残存する。これが圧縮応力場となり、表層の引張応力の発生を助長すると考えられる(図4(c))。つまり、冷却域で、板厚方向に温度分布が形成され引張応力が表層に生じることによって、レーザスクライブの亀裂が進展する。

5. おわりに

レーザスクライブは、パーティクル発生抑制とガラス基板強度の維持という利点があるので、ガラス基板の有効な加工法と考えられる。本稿では、レーザスクライブの熱応力解析例を紹介するとともに、レーザスクライブ機構について簡単に述べた。また、ガラスのレーザスクライブにおける板厚と線膨張係数の影響や、レーザクロススクライブ機構に関心のある向きは文献⁹⁻¹¹⁾を参照されたい。

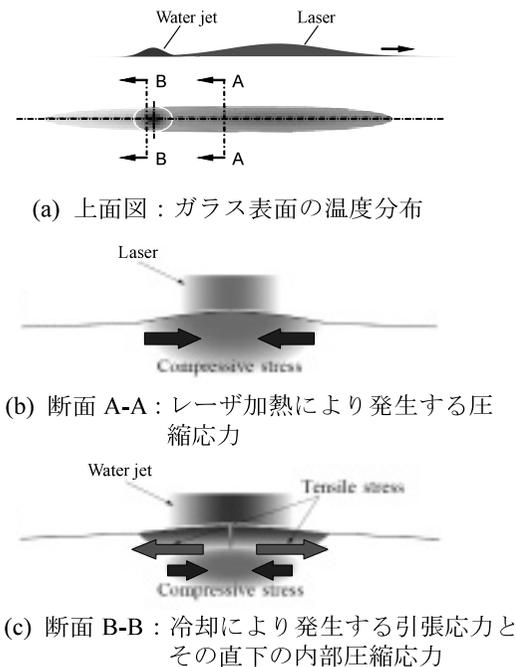


図4 レーザスクライブ機構の模式図



図5 レーザスクライバ12(三星ダイヤモンド工業製 MDLC 900)

近年、タッチパネル用ガラス基板の分断工程に、図5のようなレーザスクライバ¹²⁾ (三星ダイヤモンド工業製 MDLC 900)が適用され、レーザスクライブ技術が導入されている。技術進化とともに、レーザスクライブにおいても、さらなる技術開発を進める必要があると考えている。

参考文献

- 1) 例えば、三星ダイヤモンド工業株式会社製品カタログ, (2004).
- 2) 渡部紀夫, ガラス工学ハンドブック, 朝倉書店, 392 (1999).
- 3) 三宅泰明, FPD ガラス基板の切断技術, 砥粒加工学会誌, 45-7, 342 (2001).
- 4) C. Hermanns, Laser Separation of Flat Glass, Proc. 63rd Laser Mater. Processing Conf., Jpn. Laser Processing Soc., 105 (2005).
- 5) 山本幸司, 羽阪 登, 森田英毅, 大村悦二, ガラスのレーザスクライブにおける熱応力解析, 精密工学会誌, 71-9, 1157 (2005).
- 6) 山本幸司, 羽阪 登, 森田英毅, 大村悦二, ガラスのレーザスクライブにおける三次元熱応力解析, 日本機械学会論文集, C 編, 72-724, 3927 (2006).
- 7) K.Yamamoto, N.Hasaka, H.Morita, and E.Ohmura, Three Dimensional Thermal Stress Analysis on Laser Scribing of Glass, Precision Engineering, 32-4, 301 (2008).
- 8) K.Yamamoto, N.Hasaka, H.Morita, and E.Ohmura, Thermal Stress Analysis on Laser Scribing of Glass, Journal of Laser Applications, 20-4, 193 (2008).
- 9) 山本幸司, 羽阪 登, 森田英毅, 大村悦二, ガラスのレーザスクライブにおける板厚の影響, レーザ加工学会誌, 15-4, 270 (2008).
- 10) 山本幸司, 羽阪 登, 森田英毅, 大村悦二, ガラスのレーザスクライブにおける線膨張係数の影響, レーザ加工学会誌, 15-4, 277 (2008).
- 11) 山本幸司, 羽阪 登, 森田英毅, 大村悦二: ガラスのレーザクロススクライブにおける熱応力解析, 精密工学会誌, 74-9, 937 (2008).
- 12) 例えば、三星ダイヤモンド工業株式会社製品カタログ, (2009).