

# カバーガラス用高強度化学強化ガラスの開発

AGC 旭硝子(株)中央研究所

秋葉 周作

## Development of high strength cover glass by chemical strengthening

Shusaku Akiba

Asahi Glass Co., Ltd, Research Center

### 1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレットPCなどのモバイル機器が広く使われるようになってきている。これらのデバイスはタッチセンサー機能付きディスプレイが前面に大きく使われているのが特徴であるが、その前面ディスプレイのカバー材料として化学強化ガラスが広く使われている。ガラスが使われている理由は、プラスチックにはない表面の質感や耐スクラッチ性などの機能によるところが大きい。

モバイル機器は軽量化も求められ、カバーガラスもできるだけ薄く軽くという要望にこたえるために、多くのものは1mm以下の板厚で使われている。またその一方で、落下衝撃という強いダメージに耐える必要がある。強度を向上させるためには、表面に圧縮応力を付与し亀裂の発生および進展を抑制する強化ガラスが広く使われる。表面に圧縮応力を形成するガラスの主な強化法は物理強化と化学強化がある。物理強化を行う場合2mm以下の薄いガラスでは表面と内部に温度差をつける事が難しいため、物理強化はカバーガラス用途には適用されてい

ない。一方で化学強化は、イオン半径の大きいアルカリイオンをガラス中のイオンと相互拡散により交換して応力を形成するため<sup>1)</sup>、薄いガラスでも拡散時間を制御する事により所望の応力プロファイルを形成する事が可能でありカバーガラス用途に用いられている。

強化ガラスは表面の圧縮応力層との釣り合いを保つため、内部に引っ張り応力が発生する。化学強化ガラスの応力プロファイルを図1に模式的に示す。ガラスが薄いため、スクラッチや衝突で発生する亀裂が引っ張り層に到達する危険があり、圧縮応力層の強さと深さだけでなく、引っ張り応力をよく考えた設計をする必要

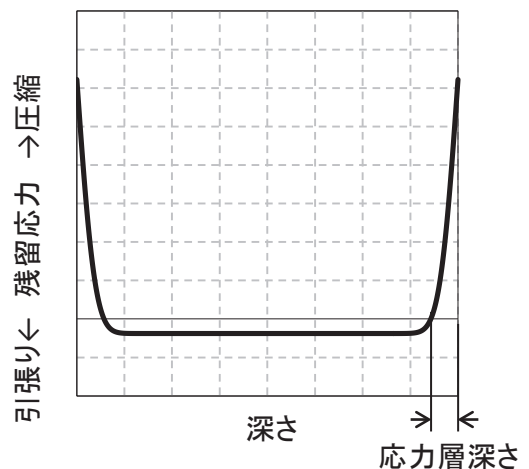










図1 化学強化ガラスの断面方向の応力プロファイル

表1 起点位置で分類した4つの割れパターン。また、それを再現する試験方法と各強度設計指針

分類	1	2	3	4
起点位置	エッジ表	エッジ裏	面表	面裏
典型的割れパターン				
起点位置断面図				
評価法	振り子試験 φ3mmSUS シリンダー	振り子試験 φ40mmSUS シリンダー	サンドペ パー落球試 験	落球試験
強度設計	高圧縮応力 圧縮応力層 20~30um	高圧縮応力 圧縮応力層 20~30um	低内部 引っ張り応力	高圧縮応力

がある。高い表面応力と深い応力層があれば強度は高くなり信頼性が向上する。しかし、あまりに高い内部引っ張り応力が形成していると、亀裂が内部引っ張り層まで到達した場合、ガラスが粉々になるため、その破砕片でケガをする可能性がある。そのために、引っ張り応力があまり大きくなならない適切な値の設計が重要である。

## 2. 化学強化カバーガラスの強度設計

カバーガラスに適したガラス材料および応力プロファイルを設計するためには、対象とする強度の課題を理解する事が非常に重要である。我々は市場で割れたガラスを解析する事により、カバーガラスに適した化学強化ガラスの開発を行った。カバーガラスは手元から地面に落とした時に発生する衝撃で割れる事が多いが、どのような地面にカバーガラスのどの場所が当たるかにより、異なった破壊メカニズムで割れる。それを割れた場所で整理すると表1で示す通り(1)エッジ表、(2)エッジ裏、(3)面表、(4)面裏の4つに分類できる。また、それぞれの割れパターンおよび起点を模擬する破壊試験を考案し、それぞれの割れを防ぐことのできるパラ

メータを明らかにした<sup>2,3)</sup>。

(1)エッジ表と(2)エッジ裏は振り子型の衝撃試験機を用いて割れパターンを再現する事ができる。(1)エッジ表に関してはφ3mmのSUSシリンダーをエッジにぶつける事により、市場の割れに類似したパターンを形成する事ができる。その場合接触ヘルツ応力による割れが発生するため、表面に発生する引っ張り応力に対抗する圧縮応力がガラスエッジ表面に強く入っているものが、より割れにくい傾向を示す事が分かった。(2)エッジ裏に関してはφ40mmのSUSのシリンダーをエッジにぶつける事により、市場の割れに類似した起点および破壊パターンを形成する事ができる。その場合、衝撃で発生する裏面の引っ張り応力に対抗する圧縮応力が強く入っているものが、より割れにくい傾向を示した。エッジ割れに関しては当てる物の曲率半径を制御する事により、表と裏の割れを再現する事が出来た。φ3mmよりも曲率半径が小さく、鋭いものが当たる可能性も考えられ、それに関してはさらに評価していく必要がある。

(3)面表割れは複数の破壊モードがあるので複雑である。衝突物が表面に当たる事により、クラックが発生する事が破壊の起点となる。その

クラックの長さが応力層内にとどまっている場合は、その傷をさらに伸展する引っ張り応力が表面側に発生しないと破壊しないが、応力層を突き抜けて内部の引っ張り層まで到達している場合は、引っ張り応力によりクラックが進展してしまうためにガラスは分断され破壊する。クラックの発生は衝突物の角度に着目すると鋭角である方がクラック発生 の 閾値が低下するため、それが致命傷になりやすい<sup>2)</sup>。地面に存在する鋭角物として路上に存在する砂の角度分布を調査したところ、先端が110°付近にピークのある角度分布を持つ事分かった。これは#30のサンドペーパーの角度分布に近いので、ガラスの上に#30のサンドペーパーを置き、その上から120g鋼球を落とし衝撃を与え、ガラス破壊強度の比較を行った<sup>4)</sup>。その結果、内部引っ張り応力が小さい方が破壊に対して高い耐性を持っている事が分かった。発生するクラックを応力層内にとどめる事によっても破壊は抑制する事ができるが、市場で発生しているクラックは応力層を突き抜けている物が多く、内部引っ張り応力に上限のあるカバーガラスの用途では、十分に深い応力層を形成する事は困難である。

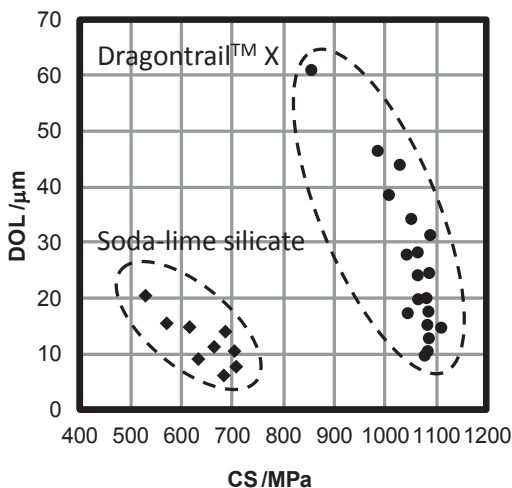


図2 Dragontrail™ X とソーダライムガラスの化学強化特性

(4)面の裏割れは面の表に尖っていない、例えば球状のものが衝突した時に、表面に大きなダメージを受けずに裏面に大きな引っ張りが発生し破壊する場合である。このモードは落球試験により模擬する事ができる。面裏割れを発生させるためには大きなエネルギーが必要なため、実際にはこのモードは発生しにくい。

以上の各割れモードの結果をまとめると、高い圧縮応力が必要なモード(エッジ表、エッジ裏、面裏)と内部の引っ張り応力を小さくする事が必要なモード(面表)がある事が分かる。高い圧縮応力を得つつ、内部引っ張り応力を小さくするためには適切な圧縮応力層深さの設定が必要である。我々は別途報告しているとおり、十分なエッジ強度を持たせるためには、圧縮応力層が20~30μmで充分であるという結論を得ている<sup>2,3)</sup>。

### 3. Dragontrail™ X

圧縮応力の最高値はガラス組成に依存するため、それに適したガラス組成を開発する必要がある。そこで我々は割れにくさを追究した化学強化用ガラス Dragontrail™ Xを開発した。図2に示されているように、20~30μm圧縮応力

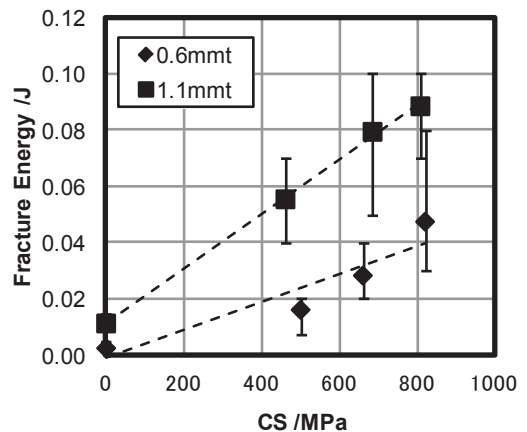


図3 0.6 mm と 1.1 mm の厚みの化学強化ガラスのΦ40 シリンダーインパクトによるエッジ裏割れ試験結果

層を得ている場合にも、1000 MPaを越える圧縮応力を入れる事が可能なガラスである。

特に薄板になると一般的に曲げ試験強度は弱くなる。すなわち、裏面の強度は板厚に依存があると考えられる。図3は厚さ1.1 mmおよび0.6 mmのφ40 mmシリンダーインパクトによるエッジ裏衝撃試験の結果である。圧縮応力が大きくなると強度が強くなる傾向は1.1 mm厚でも0.6 mm厚でも同様であった。また、衝撃試験結果においても薄くなると強度が弱くなる事が確認された。薄板になるにつれてより裏面で割れやすくなる事を示唆している。高い圧縮応力を得られるガラスは薄板になった時にさらに重要性を増すと考えられる。

#### 4. まとめ

市場割れパターンを4つに分類しそれらを模

擬する試験結果より、高い圧縮応力を持ちながら内部の引っ張り応力を小さくするために圧縮応力層を20~30 μmに設定するという設計指針を得た。ガラス組成としては高い圧縮応力を得るための組成設計が必要であり、1000 MPa以上の高い圧縮応力を応力層深さが30 μmの時にも得ることのできるDragontrail™ Xを開発した。

#### (References)

- 1) R. F. Barthoromew et al, "Glass: Science and Technology, Vol. 5, Chapter 6 "Chemical strengthening of glass" p 217 (1980) Academic Press
- 2) K. Hayashi et al, Proc. the society of information display 2012, pp 1584-1587
- 3) S. Akiba et al, Proc. the society of information display 2014, pp. 693-696
- 4) A. Nakagawa et al, Proc. the society of information display 2013, pp 1148-1152