

「第4回先端ガラス材料の変形と破壊に関する国際討論会」参加報告

日本電気硝子株式会社液晶板ガラス事業部製品技術部

野田 隆行

Report on the 4th International Workshop on Flow and Fracture of Advanced Glasses (FFAG 4)

Takayuki Noda

Nippon Electric Glass Co.,Ltd. LCD Glass Division, Products Quality Laboratory

2007年11月4日～7日の4日間、「第4回先端ガラス材料の変形と破壊に関する国際討論会 (FFAG 4)」が開催された。滋賀県立大学の松岡先生、吉田先生を中心としたグループが実行委員となり、滋賀県長浜市の北ビワコホテル GRAZIE を会場として50～60名の参加者により活発な議論が繰り広げられた。

この学会は4回目ということで比較的新しく、これまでガラスの変形と破壊についての研究が盛んなフランス（第1回）・イタリア（第2回）・アメリカ（第3回）の順で開催され、今回の日本での開催に至った。アメリカ・イギリス・イタリア・台湾・デンマーク・フランス・日本など各国からの参加者により発表がなされ、今回は私もポスターセッションとして発表の場を持たせて頂いた。

発表はまず招待講演となるレンスラー工科大学（アメリカ）友澤先生の「Role of water in fracture of glass」から始まり、ガラスの破壊強度への水の影響について議論がなされた。友



会場：北ビワコホテル GRAZIE

澤先生が本書のバックナンバー（NEW GLASS Vol. 21 No. 3）で執筆されているように、水の作用によりガラスの強度が低下することは良く知られているが、まだそのメカニズムは解明されていない。この講演ではそのメカニズムとして、ガラスへの水分子の進入によりガラスの Swelling（膨張）が起り、それに伴い弾性率が低下することによって破壊強度が低下するということが提唱されていた。このメカニズムはゴムといったポリマーのものと似ていることも紹介され、Swelling という現象が重要であり、

単なるクラック先端における水分子と Si-O-Si 結合の結合開裂反応では説明がつかないと解説されている。他にも水の影響によるガラスの強度低下に関する発表が数多く有り、この問題は本学会での中心的なテーマのひとつであった。また NIST (アメリカ) Wiederhorn 博士による AFM を用いたクラック先端形状の精密計測についての発表があり、先のクラック先端での水の影響の発表と合わせて研究はますますクラック先端での現象の詳細へ向かっていると感じた。

さらにこの学会の特徴として“Flow and Fracture of Advanced Glasses”とあるようにガラスの破壊と合わせて変形 (flow) についての研究も対象となる。変形に関する研究は圧子による indentation の発生メカニズムについてのものが中心であり、滋賀県立大学の吉田先生からは「Energy-based inelastic hardness of soda-lime silicate glass」という発表があった。この発表では圧子がガラスに及ぼした仕事の非弾性変形への寄与のみに注目し、その寄与エネルギーを indentation の凹み体積で割ったものを inelastic hardness と定義して各種圧子の実験結果に対してその値が算出されている。Indentation の非弾性変形は shear flow と densification から成り圧子の種類 (形状) によってその割合が変化するが、この inelastic hardness の値には圧子の形状やその形状に伴う変形の形態 (shear flow と densification の割合) が反映されるため、indentation の発生メカニズムを理解する上での有効な指標となる。また巨視的なガラスの変形に関して、レンヌ大学 (フランス) Sangleboeuf 氏の「Room temperature viscosity and delayed elasticity in infrared TAS glass fibers」では低 T_g ガラスファイバー ($T_g = 137^\circ\text{C}$) の曲げ実験での遅れ弾性について発表があり、その現象が視覚的にも分かりやすく興味深い内容であった。このガラス (Te-As-Se glass) は低 T_g であるため室温においても粘弾性が顕著となり、曲げられたファイバーは



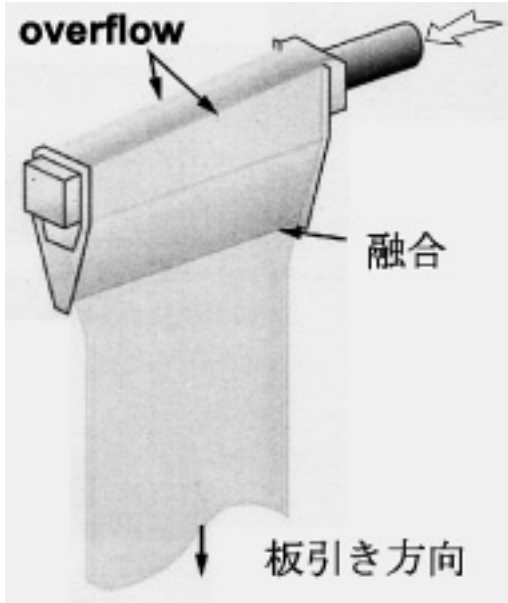
コーヒーブレイク中も活発な議論が見受けられた

曲げ外力の解放後に数日のオーダーでゆっくり形状を回復するが、ついには真直ぐな形状に戻らず永久変形を残留してしまうというものである。明確な転移を示さないガラスの重要な特性を示すものであり、研究対象として非常に興味深い。

発表タイトルの全体を眺めるとこの学会の性格から発表の大半は基礎研究的なものであり、大学の研究者によるものや企業の基礎研究部門からのものが多くを占めていたが、私の発表を含めてコーニング研究所 (静岡) の小野氏などからガラスの商用製品における実用強度に関しての発表がなされた。

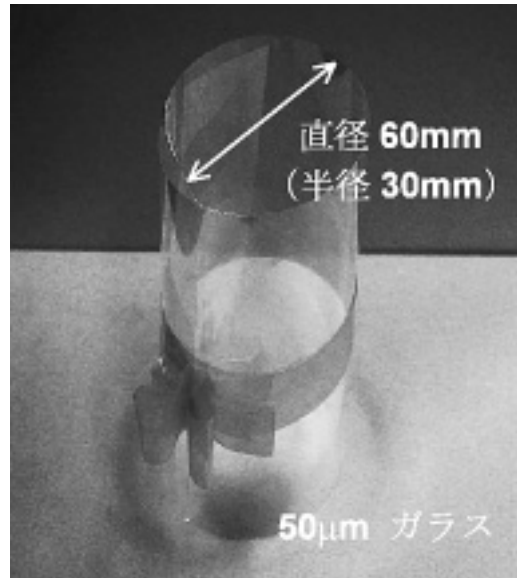
私の発表について簡単に紹介させて頂くことにする。

日本電気硝子では板ガラスの成形方法のひとつであるオーバーフロー法 (overflow method) により世界最薄となる薄さ 50 ミクロンの無アルカリガラスシートを開発し、2007 年 10 月に横浜で開かれたフラットディスプレイに関する展示会“FPD international 2007”においてそれを披露した。ここでの無アルカリ材質とは主として液晶ディスプレイ用ガラス基板として使用されるものである。またオーバーフロー法とは図にあるように、熔融したガラスを成形体に供給し、成形体の両側から溢れ出たガラスを再度成形体の下部で融合させることによって板ガラスを成形する手法であり、その原



理からガラス表面は成形部材と非接触な空气中で成形されるため、極限まで滑らかな表面品位が得られることが特徴である。母材となる厚板から研磨等の手法により得られる薄いガラスシートはよく知られているが、薄さ100ミクロン以下の極薄のガラスがダイレクトに成形されているという意味でこのガラスシートの価値は極めて高い。

このような極薄のガラスシートを前にして「どのくらいまで曲げて使用可能か？」という質問をよく受ける。脆性材料であるガラスを長期間曲げた状態（引張り応力を負荷した状態）で使用する事の妥当性については議論の要するところであるが、「どのくらい曲げてよいか？（＝長期的に破壊しないか？）」との問いに答えるため、実験的に薄さ50ミクロンのガラスシートの柔軟さを見積りその結果を今回の発表内容とした。破壊起点となるべき箇所をガラスシート端部（辺部）のみと想定し、柔軟さを表現する指標として視覚的にも理解しやすい曲げの曲率半径を用いることとした。つまり半永久的とは言わないまでも長期間曲げておいても薄さ50ミクロンのガラスシートが端部から破壊（疲



労破壊）を起こさない最小の曲げ曲率半径を求めた。ガラスシート端部の破壊強度はその端部の状態（欠陥状態）に大きく依存するので、商用の実製品としての端部状態を強度実験結果から定義し、その定義をもとに議論を展開している。結果の方に話を進めると、実製品としてのガラスシートは端部状態のバラツキにともなう破壊応力の分布を持ち、通常の3点曲げや4点曲げ強度試験において140～150 MPaあたりに破壊応力値の下限も持つと見積られる。ここで曲げ試験においての負荷応力を下げていくと、55～60 MPaまでくるともはや長期に渡っても破壊が起こらなくなってしまうことが今回の実験で見積られた。つまり実製品としては55～60 MPaの端部への負荷が破壊を伴わない許容引張り応力の上限となる。そして、薄さ50ミクロンのガラスシートにおいて端部に55～60 MPaの引張り応力を生ずる曲げ変形の曲率半径は約30 mmであると結論付けられた。よって50ミクロンのガラスシートは半径30 mmの円筒状に丸めてリボンを掛けておいても、長期的に破壊しないということになる（写真）。

最後になるが、今回の学会での発表を聴講してあらためてガラスの破壊を理解することの困難さを認識した。またガラスの強度を向上または低下させる要素についても発表があり非常に興味深かった。その一方でガラスの実製品を扱う立場のものとして、実製品の取り扱われる環境（温度・湿度・曲げ・衝撃など）がガラスの破壊強度に対して如何に苛酷であるかを再認識した。”割れないガラス”は夢のものとなるが、本学会のような世界中での日々の研究成果により世の中のガラス少しずつでも割れないものへと近づいて行くことを期待する。

次回のこの学会（FFAG5）は2009年にオタワ（カナダ）にてICF12（12th International Conference on Fracture）の中のひとつのセッションとして開催される。興味のある方はぜひご参加頂きたい。

追記：

今回の学会での発表論文（一部の発表について）が「Journal of the Ceramic Society of Japan」の特集号に掲載される予定