

第1回 Flow and Fracture in Advanced Glasses 参加報告

滋賀県立大学工学部 材料科学科

吉田 智

Report on the 1st Flow and Fracture in Advanced Glasses

Satoshi Yoshida

Department of Materials Science, School of Engineering
The University of Shiga Prefecture

平成13年10月22日より10月25日までの4日間、フランス・レンヌ市のレンヌ第1大学に於いて「第1回 先端ガラス材料の流動性と破壊に関する討論会」が開催された。この討論会は、レンヌ第1大学機械工学科応用力学研究室のタンギー・ルクセル教授が主催し開かれたもので、12ヶ国から61名の研究者が集い、ガラスの流動性および破壊現象について活発な議論が行われた。6件の招待講演と32件の一般発表からなるコンパクトな討論会ではあったが、ガラスの強度、脆性、亀裂伸長挙動等について多くの知見が得られ、また世界の研究状況を知る良い機会となった。

ガラスは、理想的な等方性固体である。その特徴のために、ガラスは破壊力学の発展とその実験的検証に大いに貢献した。ガラス組成の多様性を理解し、それらが破壊特性に与える影響を考慮した研究は1970年代に入ってから活発化する。その頃にガラスの静的・動的疲労現象

が定量的に考察された。その先導的研究を行ったのが今回の討論会にも参加している米国標準化研究所のヴィーダーホーン博士である。このように活発な研究が行われた時期があったものの、1980年代後半に入ると光通信分野へのガラスの進出により、ガラスの研究は光関係へと大きくシフトする。それが原因であるかどうかは別として、ガラスの流動性、破壊特性には未だ解明されていない次に述べる問題点が残されている。それらの問題点について討議することが今回の討論会の主題である。

主催者であるルクセル教授は、この討論会の目的として「緩やかな亀裂伸長の原因」、「ガラス脆性の支配要因」、「ダイヤモンド圧子直下でのガラスの流動メカニズム」、「破壊の化学的解釈」について十分な議論を交わすことを挙げている。これらのテーマこそがガラスの流動性・破壊現象における未解明な問題点である。ルクセル教授は機械工学科で研究室を持っておられるが、セラミックスやガラスの強度や脆性・延性について多くの仕事をされている「材料」研究者である。ルクセル教授の業績の一端はセラミックス協会学術論文誌109号2001年6月号に詳しい。破壊現象についてはガラスならばど

れも同じとか強度には差が見られないと片づけられがちだが、それは材料研究者が報告する破壊のデータがあまりにも少ないことによるものと思われる。今回の討論会は、ガラス材料の研究者達が集った破壊に関する初めてのワークショップと言って良い。

本討論会の興味深い研究報告について幾つか紹介したい。

ペンシルバニア州立大学のグリーン教授は、イオン交換強化ガラスについて講演された。イオン交換強化法は、ガラス中のナトリウムイオンをイオン半径の大きなカリウムイオンと交換することによりガラス表面に圧縮応力を誘起させるガラス強化法である。グリーン教授は、一度イオン交換したガラスを再度溶融塩に入れ表面のカリウムを若干量洗い流し、圧縮応力の最大値がガラス再表面から数十ミクロン内部にシフトしたガラスを設計・開発した。このガラスは破断強度をそれほど下げることなく強度のばらつきを押さえられ、さらには再表面のキズが内部まで伸長しないことから「破断予知」ガラスとなり得る。グリーン教授の招待講演はMacを駆使したもので、「破断予知」亀裂の発生から材料の破断までの観察映像がドラマチックな効果音と共に「上映」された。

熊本大学の河村助教授はアモルファスマタルの粘度・変形特性について講演され、ニュートン流動から非ニュートン流動への移行条件について解説された。この粘性・変形挙動を掌握することにより、非常に大きなアモルファスマタルの作製に成功している。このアモルファスマタルは非常に優れた強度特性を有しており、様々な分野への応用が期待される。例えば、高強度・高弾性を生かしてゴルフのクラブヘッドに採用されているそうである。「飛び」が違うらしい。

アモルファスマタルの研究結果は筆者にとって非常に新鮮なものであった。アモルファスマタルは当にニューガラスである。化学系の研究

者からのアプローチは少ないが、強度に限らずトラディショナルなガラスで培った評価手法を持ってアモルファスマタルや準結晶といった新規脆性材料に挑む意義は大きいと感じた。脆い材料はオールドガラスだけではない。

討論会の主催者であるルクセル教授のグループやマックス・プランク研究所のレンデル博士は、シリカガラスの酸素を炭素に置き換えたSiOCガラスの強度特性を報告した。Si-C結合はSi-O結合に比べて共有結合性が強いので、この系のガラスは硬度やヤング率が高いことが報告されている。ルクセル教授は、炭素導入により2~3 nmのSiC微結晶が析出し、それによりSiOCガラスの高温強度特性がシリカガラスよりも向上することを報告した。一方、レンデル博士は無機クラスター前駆体を合成する手法によりSiOC多孔性ガラスを作製し、その強度特性が熱処理条件に強く依存することを報告した。

筆者も「ナトリウムゲルマン酸塩ガラスの亀裂伸長挙動」という題目で発表を行った。緩やかな亀裂伸長挙動の原因をガラス組成の点から評価した研究成果の発表である。ゲルマン酸塩ガラスにおける緩やかな亀裂伸長特性は、ケイ酸塩ガラスと大きく異なり、ナトリウムの添加により亀裂が非常に伸びやすくなること、この原因はゲルマニウムの配位数変化と関係があること等の知見を発表した。過去のガラス強度の研究は、ほとんどが商業用ケイ酸塩ガラスを実験対象としたものであり、本研究のような単純組成、さらに非ケイ酸塩ガラスの破壊現象の報告は極めて珍しく、発表後も多くの参加者から発表に対する質問やコメントを頂いた。マイナーな研究分野であるからこそ、国境を越えて研究者が集う重要性があると感じた。

このように、新規な高強度ガラス材料の開発や、従来のガラス材料における強度支配因子の考察など本討論会での議論は多岐にわたり4日間という短い期間ではあったが、実り多い学会となったと考える。本討論会で発表された論



写真 モンサンミッシェル (撮影：姫路工業大学 横山嘉彦氏)

文は、2003年に *Journal of Non-Crystalline Solids* に掲載される予定である。また、主催者であるルクセル教授は、この討論会が継続されることを強く希望され、2年後あるいは3年後に第2回討論会を開催したいとの意志を表明された。

余談とエクスカージョンの話題に移りたい。

筆者の発表は討論会初日に予定されていた。しかし、予定していたフライトがキャンセルとなり（すなわち出発が24時間遅れ）レンヌ到着が討論会初日の深夜となってしまった。このトラブルにも関わらず、快く発表日程を変更してくれたルクセル研究室の皆さんには本当に感謝している。キャンセルの原因はブレーキシステムの故障だったらしいが、機内で5時間も待たせたあげく（カップヌードル1杯で）、「成田経由でも東南アジア経由でもヨーロッパに行く術が無いからホテルに泊まってくれ」というのはあまりにも失礼というか、前時代的というか、その場では怒りと呆れで言葉もなかったが、ホテルの食事がおいしかったので時間と共にエールフランスを許してしまう小市民の筆者であった。重要な商談等を抱えているビジネスマンだと訴訟を起こしたりするのだろうか？乗客はテロ事件の影響もあって少なく、2日分

まとめても客席には空席が認められた。

討論会3日目の午後には、エクスカージョンとしてモンサンミッシェルを観光した。モンサンミッシェルは世界遺産の一つで、ブルターニュとノルマンディーの境界にある「海に浮かぶ」修道院である。西洋の驚異という言葉が当にピッタリの要塞のような建築物であった（写真）。8世紀に、とある司教が聖ミカエル（サンミッシェル）のお告げを聞いて建築を始め、800年の歳月を経て完成したという途方もなく歴史を感じる建造物である。百年戦争中は要塞としての役割を果たし、ナポレオンI世の時代には牢獄となっていたという。当時は干潮時しか寺院に渡れなかったということから、十分に牢獄としての立地条件を満たしていたのだろう。近年もイギリスの観光バスが所定の場所以外に駐車したために見学後バスが海の中に沈んでいたという笑えない実話があるそうだ。

モンサンミッシェルの帰りには、ブルターニュの港町サンマロに立ち寄った。時間の関係で生牡蠣を食べることができなかったことが心残りである。ルクセル教授は松島の牡蠣の方がおいしいと言っていたが（彼は何度も日本に滞在している）、あの値段と鮮度を考えると牡蠣を食べる目的だけで、もう一度フランスに行く価値があると思う。

駄文が続いたことをご容赦願いたい。これほど充実した討論会だったと言うことである。参加者のほとんどが討論会会場に隣接するホテルに宿泊し、まさに寝食を共にして合宿のような討論会であった。この分野の先駆者あるいはエキスパート達と雑談・議論を交わすことができたことは本当に幸せだったと思う。最後になったが、本討論会を紹介頂き、レンヌ大ルカ研の見学が出来るようお世話いただいた物質・材料

研究機構の轟真市氏に深く感謝申し上げます。モンサンミッシェルの写真のみならず筆者の写真も数多く撮って頂き、アモルファスメタルの興味深い話も教えて下さった姫路工業大学の横山嘉彦先生にもこの場を借りて御礼申し上げます。また、本討論会の参加に際して渡航費の助成を頂いた財団法人 泉科学技術振興財団に謝意を表し学会参加報告を締めくくりたい。