

— ガラスの受熱影響と出火箇所 —

一、概要

七年後には西暦二一世紀になります
が、近未来の姿として、日常生活の中
で「火」に直接触れる機会は今より極
端に少なくなり、「たき火」などを経験
したことがない消防職員が生まれるか
もしれません。このような中で「火災
実験」が持つ意味は、警防・子防・防
災などの消防行政のな面ばかりでなく、
教育的側面からも重要な事象になるこ
とと思われまます。火災調査においても、
火災実験は原因調査のためと教育的な
ためのものがあり、後者の場合は、実
験を通して教育効果が上がるように消
防学校と協力して行っています。全国
的にも、各県の消防学校で火災調査の

く、この落下方向により出火箇所が判
定される」と言われている現象の検証
があります。今回はこの検証を踏まえ
た火災実験の結果と、併わせてガラス
の受熱時の影響を紹介します。

二、ガラスの特徴

ガラスは、物性物理学的な固体結晶
からの定義がありますが、ここでは普
通のガラスに限定して説明しますと、
数種のけい酸塩が互いに高温で溶け
合い、形づくられた無定形あるいは非
結晶質の固溶体となります。酸と塩基
の化合としての塩であるため、酸性成
分とアルカリ成分の組合わせにより表
1のような種類があり、その性質によ
り用途も異なってきます(表2参照)。
この中で最も一般的なものが、ソーダ
石灰ガラスの「普通板ガラス」で、こ
れは安価な原料から造られるという利
点だけでなく、作業温度が低くて加工
が容易であるという実用上の便利さが
あります。

図はガラスの温度に対する状態変化

表1 化学成分によるガラスの分類と特徴

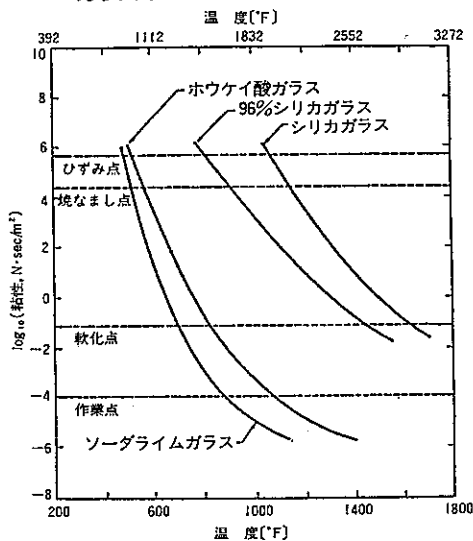
種別 (種類名)	主成分		性質	用途
	酸性	塩基性		
ソーダ石灰ガラス (ソーダガラス 普通ガラス)	無水けい酸	石灰 炭酸ナトリウム 硫酸ナトリウム	溶融しやすい 酸に強く、アルカリに弱い 比較的膨張率大、強度大	建築用 びん類その他 一般製品
カリ石灰ガラス (カリガラス 硬質ガラス)	//	石灰 炭酸カリウム 硫酸カリウム	溶融しにくい 薬品に侵されない 一般に透明度大	高級用品 理化学用器具 食器
カリ鉛ガラス (鉛ガラス クリスタルガラス)	//	炭酸カリウム 炭酸バリウム 硫化鉛	溶融しやすい 比重大 光線屈折率大、分散率大	高級食器 光学レンズ 真空管
ほうけい酸ガラス	無水けい酸 ほう酸 りん酸	石灰 炭酸カルシウム 酸化鉛	最も溶融しにくい 耐酸性、耐熱性、電気絶縁性 いずれも大、膨張率小	理化学用耐熱器具、 耐熱食器、電線絶 縁用等の原料
高けい酸ガラス (シリカガラス 石英ガラス)	無水けい酸 (石英)	カリウム	耐熱性、耐食性、紫外線透過 性いずれも大	電球 殺菌利用 グラスウールの原料

表2 板ガラスの種類と特徴

名称	特徴	用途
普通板ガラス	無色透明、採光性、透視性	住宅、店舗、ビル、工場等
フロート、みかき板ガラス	表面が平滑、平行面で採光性がよい	高級住宅、高級店舗、ショーケース
型板ガラス	透過光の拡散、視線の遮断	住宅、室内間仕切
網入板ガラス 線入板ガラス	板ガラスの網、線の入ったもの (安全ガラスといわれる)	防火的な性能のある物
合わせガラス	透視性、安全性、盗難防止 (安全ガラスといわれる)	銀行、貴重品、ショーウィンドー、 水族館、防弾用など
強化ガラス	耐衝撃性、耐風圧性、一部の力で全 部破壊する	室、出入口ドア、エスカレータ、階 段部
熱線吸収ガラス	太陽放射の吸収	ビルの窓

ための火災実験が多く行われ、教科書
なども整備されつつあります。
原因調査のための火災実験では、原
因究明そのものと延焼経路など原因調
査結果に係わる検証の
ためのものがあり、そ
れぞれに重要な役割を
担っています。
昨年は、日常生活用
品の延焼拡大状況の確
認実験を行い各署にビ
デオで供覧しましたが、
このように火災調査活
動を通じて様々な疑問
にぶつかり、これを火
災実験によって確認す
ることも必要なことと

ガラスの温度変化



粘度対温度曲線で示したケイ酸ガラスの成形加工にとって重要な温度 (単位の換算: $MN \cdot sec/m^2 \times 10^8 = NP$)

なりまます。
その一つとして、従来から「火災時
の熱・炎によって、窓や戸のガラスが
火点(出火室)側に落下することが多



写真1 加熱炉による破壊実験

を示したもので、ソーダ石灰ガラスでは、約四八〇度でひずみ(クラック)が生じ、約七〇〇度前後で軟化点となり、流動体へと変化します。この温度関係により、火災時の受熱影響による割れや溶けを生じます。

三、火災時における板ガラスの破壊
普通板ガラスの火災時における破壊挙動は、昭和五〇年ごろ消防科学研究所の研究があり、他の文献では防火ガ

の表からは、初期温度(概ね枠の温度)と破壊温度(ガラス表面の温度)の差が六三度前後で、破壊したガラスの分布は落下したものを母数とすると平均八三%が加熱側に落下しました。ガラスの破壊時の応力式は次のようになり、概ね七〇度といわれており大体一致してきます。

$$\sigma_f = E \beta \Delta T$$

σ_f : 垂直破壊応力 500kg/cm²
 E : ヤング率 $7.2 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$
 β : 線膨張係数 (8~11) $\times 10^{-6}$
 ΔT : 中心部と周辺部の温度差

この実験結果から、普通板ガラスの火災時の挙動は、火災室側に受熱によるたわみが生じ、次第にその歪みが大きくなって温度差が七〇度近くになると、窓枠周辺部からクラックが生じて破壊が始まり、火災室側に落下するガラスが全体の約七割近くになることが明らかとなりました。

このことから、一般的にはガラスの落下分布状況が出火箇所判定の指標となることはいえます。ただし、火災室

表3 普通板ガラスの加熱実験結果

ガラス板厚		3mm	5mm	8mm	平均
熱破壊	初期温度	20.0度	36.1度	18.7度	
	破壊時温度	88.3度	97.7度	77.7度	
	温度差	68.3度	61.6度	59.0度	63度
加熱側への落下率		70.8%	65.0%	68.8%	68%
(非加熱側落下)		(10.5%)	(18.0%)	(15.0%)	(15%)
落下重量に対する加熱側落下比率		87.1%	78.3%	82.1%	83%

(加熱側への落下率は、窓ガラスの全重量に対する比率)

受けると、加熱によるエネルギーを内部伝導により拡散させるように働き、窓枠へと広がって放熱を行い温度勾配が生じます。この温度勾配が、ガラス中心部と枠部の温度差により大きくなると、ガラス中央部の熱膨張を窓枠の周辺部が拘束することとなり、ガラス周辺部に熱応力として引張り力が生じ、この力が許容力を越えた時にガラスが破壊します。

の圧力など火災室の条件により異なることがあり、すべてについてこの火災実験で立証したものではありません。三、板ガラス片の受熱影響
火災現場調査時に現場の建物の窓枠に残存したり、または落下しているガラスには、微細なひび割れが破片に見

ラスの研究の中での調査・研究があります。しかし、出火箇所の判定要件の視点から研究したものはありませんでした。熱により板ガラスが割れるメカニズムは、窓枠にはめ込まれたガラスが熱を受けたガラスが熱を受けると、加熱によるエネルギーを内部伝導により拡散させるように働き、窓枠へと広がって放熱を行い温度勾配が生じます。この温度勾配が、ガラス中心部と枠部の温度差により大きくなると、ガラス中央部の熱膨張を窓枠の周辺部が拘束することとなり、ガラス周辺部に熱応力として引張り力が生じ、この力が許容力を越えた時にガラスが破壊します。

クラック(ひび割れ)が生じて、次第にクラックの枝分かれが進行してガラスの破壊落下へと進むこととなります。なお、このメカニズムは一般的なものであって、ガラスの厚さや急激な加熱条件により異なるメカニズムとなります。この、破壊から落下へのメカニズムの中で、加熱側にガラスが落下するものなのかどうかを火災実験により確認しました。東京大学工学部のガス加熱試験炉に、鋼製の枠にはめ込まれた一・〇m×一・五mの板ガラスを耐火標準加熱曲線に沿って片側から加熱する実験を行いました(写真1参照)。

熱による変化を「網入りガラスの加熱試験」で見ると、周辺部に生じたクラックがやがて全体に広がり、更に加熱側に向って大きいたわみ(中央部一四・五mmの反り)、表面に煤が付着しました。普通板ガラスの厚さ三mm、五mm、八mmの実験結果を表3に示しました。こ

分されます。これらが、どのような熱履歴を受けているのかを説明します。窓枠に残ったガラスや床に落下したガラスは、火災時の熱を受けた時に図のような粘性変化を示しますが、この時、消火活動の放水により急冷され、急激な熱収縮をするため、微細なひび割れが生じます。また、放水による水滴がガラス表面の剝離を生

- じさせます。
- (一) 貝殻状の剝離
放水を受けた面のガラス表面に貝殻状の剝離を生じ、その凹面を観察すると次のようなことが分かります。
- ① 少なく浅いと、約一五〇度前後
 - ② 多く深いと、約二五〇度以上
- (二) ガラス片のひび割れ状態
急冷による急激な熱収縮により、断面方向

に微細にひび割れが生じ、その状態を観察すると次のようなことが分かります。

- ①直径1cm以上だと、約四〇〇度
 - ②これより細かい割れ、約六〇〇度
- この状態を写真2、3に示します。
(三) 溶融して変化した状態
板ガラスが軟化点の温度近くに熱せ

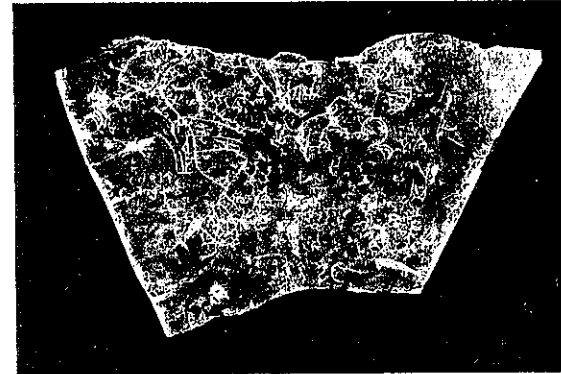


写真2 ガラス片のひび割れ状態 (400度)

＜ガラスの受熱温度＝約400度＞断面方向にクラックが入り、直径1～2cm以上の大きめの破片がある (ガラス厚み5mm)

られると液状化が始まり、この状態で放水によって冷却されると、その状態は次のように観察されます。

- ①自重で変形し、一部に溶着が見られると、約八〇〇度
- ②変形して割れたエッジ面が溶融して丸みをおびていると、約一〇〇〇度
- ③溶融したものが塊状になっていると、

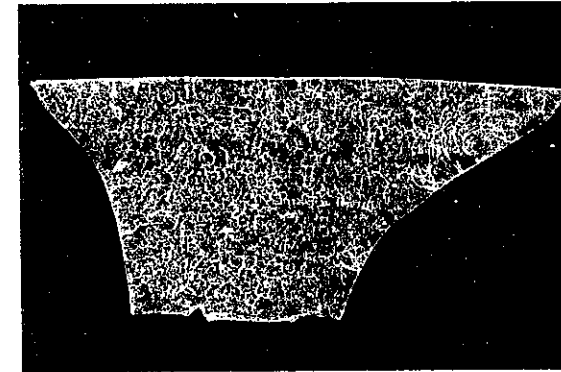


写真3 ガラス片のひび割れ状態 (600度)

＜ガラスの受熱温度＝約600度＞断面方向にクラックが入り、直径0.5cm程度の小さい破片が多い (ガラス厚み5mm)

約一六〇〇度

このように、ガラスは割れた破片によって、受熱の温度推定がおおよそ可能となり、出火室からの延焼経路を考察する際の指標となります。また、ガラスの表面に煤の付着がある面及び、落下量の多い面が出火室に近い方向であることが分かります。従来から、経験則で伝承されてきた事象を、火災実験を通じて検証し、確認していくことは原因調査の科学的な方法として必要なことであり、また同時に火災熱と物の物性変化の知られざる一面を解きあかす契機ともなり、より広い調査方法を提示することにもなります。今後とも、原因調査上の火災実験を積極的に考えていきたいと思っています。

(文責 北村)

参考文献

新編「建築学ポケットブック」オーム社、ガイ著
「材料科学」丸善、マイケル・ケスラー「区画室内
火災におけるガラス破壊の実験研究」U.S.DOC/
PB90-24443