

## 窓ガラスの熱破壊等に関する研究(第一報)

辻 英 機\*  
千 葉 博\*

### 1. はじめに

最近の中高層建物には、数多くの窓ガラスが使用されているが、これらの建築物において火災が発生した場合、火災熱によって窓ガラスが破壊され屋外に窓ガラスの破片が落下し消防隊員および住民に損傷をおよぼすことが予想される。

また、最近是一般住宅等の非耐火建物から発生した火災によって耐火建物へ延焼する場合がしばしばみられる。これは、耐火建物といえども窓ガラスが火災や輻射熱によって破壊され室内に延焼するものである。

このようなことから、窓ガラスが熱によってどのように破壊されるのか、あるいは窓ガラスが破壊されなくても窓ガラスをとおして、輻射熱によって室内の可燃物にどのような影響を与えるかを調査し今後の消防活動上の資料を得ようとするものである。

今年度は、旭硝子研究所の加熱試験炉および板橋区の明治製菓工場跡の建物を使用して熱による破壊実験を実施したので、その概要を報告する。

### 2. 実験項目および場所

- (1) 実験1 加熱炉によるガラスの破壊実験  
神奈川県横浜市神奈川区羽沢町  
松原1150 旭硝子研究所
- (2) 実験2 模擬火災によるガラスの破壊実験  
板橋区加賀二丁目3番1号  
明治製菓工場跡地

### 3. 実験方法

- (1) 実験1 (加熱炉によるガラスの破壊実験)

#### ア 加熱方法

ガラスに与える加熱温度は、JISA1340に定める加熱標準曲線とした。(図1)

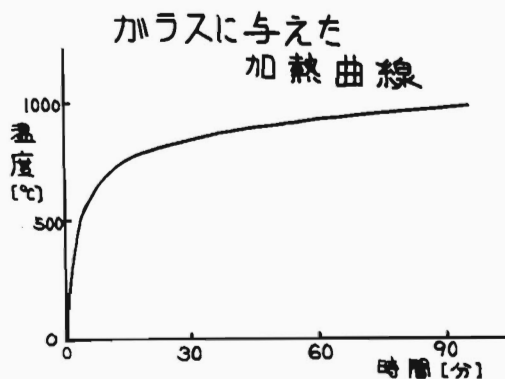


図1 加熱標準曲線

#### イ 供試ガラスの種類

- 透明フロート板ガラス (縦2m, 横1.5m)  
5, 8, 12mm 各2枚  
線入板ガラス (縦2m, 横1.5m)  
6, 8, 10mm各1枚

#### ウ 設定方法

ガラスに鉄枠をつけ、加熱試験炉にとりつけた。なお、ガラスの加熱面と非加熱面に、図2のように、それぞれ3個の熱電対を付けている。

#### (2) 実験2 (模擬火災によるガラスの破壊実験)

##### (ア) 火災条件

耐火造建物内の一室(床面積34㎡)に木材680kg(単位面積当り20kg)を直方体に積み上げ、アルコールを助燃材として燃焼した。(図3参照)

##### (イ) 供試ガラスの種類

- 透明フロート板ガラス (縦2m, 横1.5m)  
5, 8, 12mm厚各1枚

\* 第一研究所

普通板ガラス (縦1.8m, 横0.9m)  
3mm厚1枚

(ウ) 設定方法

ガラス(3mmを除く)を図3のD1部分に鉄枠をはめて取りつけた。なおガラス面上の熱電対の位置は図2と同じ箇所である。

3mmの普通板ガラスはD2部分に設定した。この場合の熱電対の設定箇所は図4のとおりである。なお、実験2では火災室の圧力を測定した。

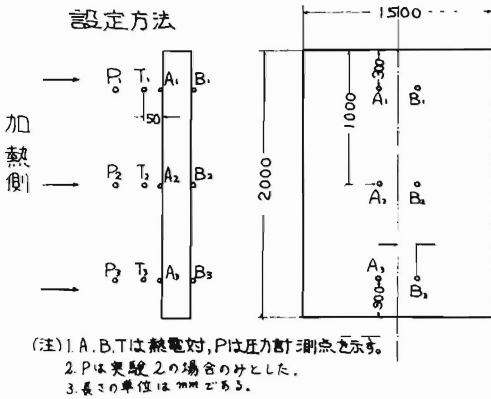


図2 設定方法

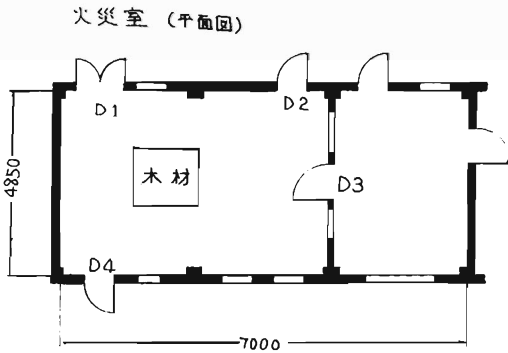


図3 火災室

4. 実験結果

(1) 加熱温度

実験1では、JISに基づく加熱曲線にそって加熱されるように自動的に調節されているのであるが、実際の加熱温度もJISに定める加熱温度にほぼ等しい。

実験2では、4回木材を燃焼させたが、扉の開閉の相異により、それぞれの加熱温度は異なる。

そこで、図2および図4における  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$

の位置における温度(これが加熱温度である)温度を図5~図8で示す。

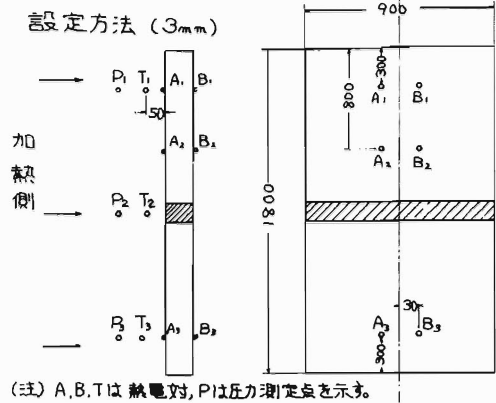


図4 設定方法

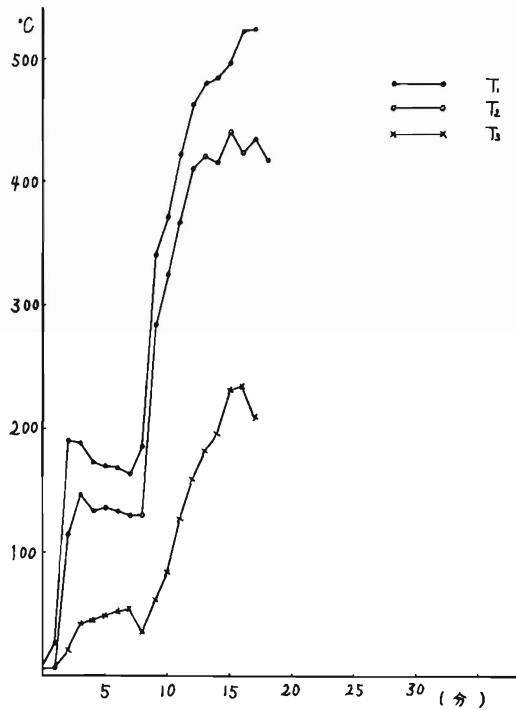


図5 加熱温度(5mm)

(2) 熱によるガラス破壊性状

ア 実験1

線入ガラスは、その厚さに関係なく、加熱開始後、約40秒後にひび(以下クラックという。)が発生し、その発生起点は四つの隅近くであった。

その後、散発的にクラックが生じるが、ある時点で、一挙に全平面にわたりクラックが発生

する。

クラックの発生にともなってガラスの小片が少量飛び散るが、ガラス自体が倒壊することはない。表1に最初にクラックの発生した時間を、図9にクラックの状況を示す。

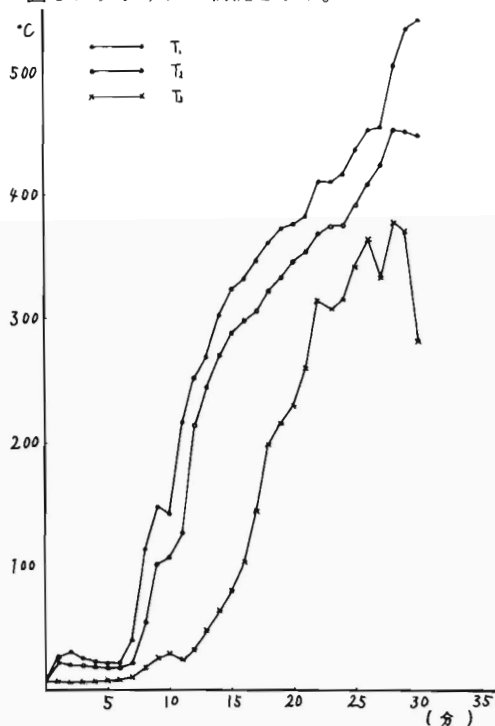


図6 加熱温度 (8mm)

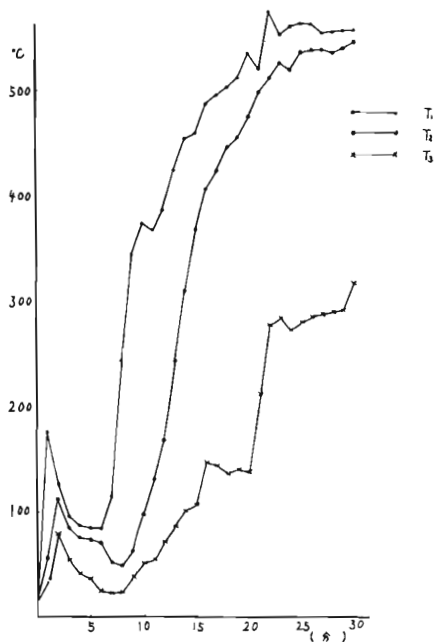


図7 加熱温度 (12mm)

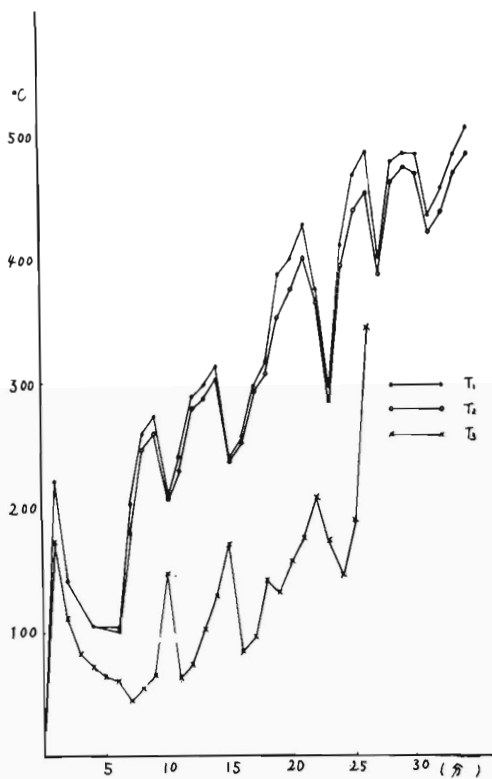


図8 加熱温度 (3mm)

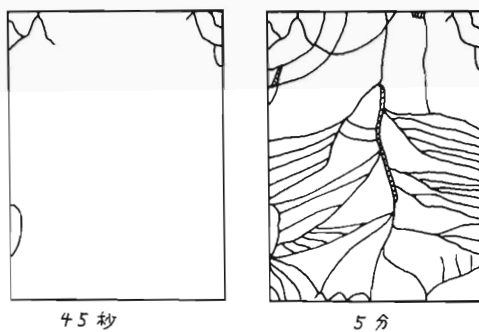


図9 線入板ガラスのクラック (板厚6.8mm)

透明フロート板ガラスは、加熱開始後、約1分前後にクラックを生じ、その発生点は線入ガラスと同様四つの隅付近であった。そして、最初のクラック発生時とはほぼ同時に、4つの隅の部分のガラスが脱落する。その後、散発的にクラックが生じるが、ある時点でガラスは一拳に倒壊する。図1に透明フロートガラスのクラックの状況を示す。

#### イ 実験2

模擬火災実験では、最初にクラックの生じた時間は50秒から14分までとばらつきが大きい。(表2参照)これは、加熱炉のような一定の温

度上昇をガラスに与えることができないので当然であろう。また、ガラス面の温度上昇も加熱炉のそれに比べ緩慢であるため歪のたまる速さも遅い。

したがって、クラックはゆっくりと辺に沿って発生し、面上に一気にクラックが発生することはない。実験2における最初のクラック発生時間を表3に、クラックの状況を図11、図12に示す。

表1 クラック発生時間

種別・板厚 (mm)	線10	線 6.8	線10	線 6.8	透5	透5	透12	透8	透8	透12
発生時間 (秒)	30 <sup>sec</sup>	44	45	45	45	50	55	60	65	69

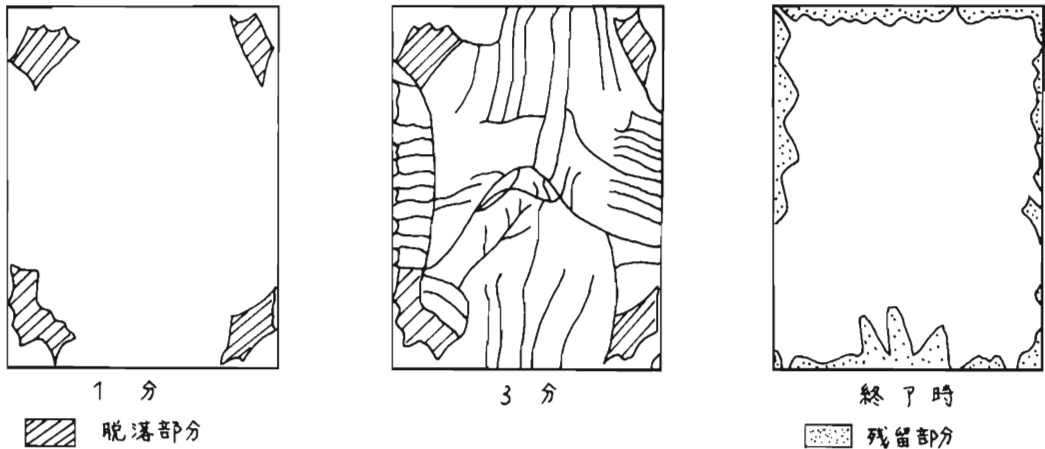


図10 透明フロート板ガラスのクラック状況 (板厚8mm)

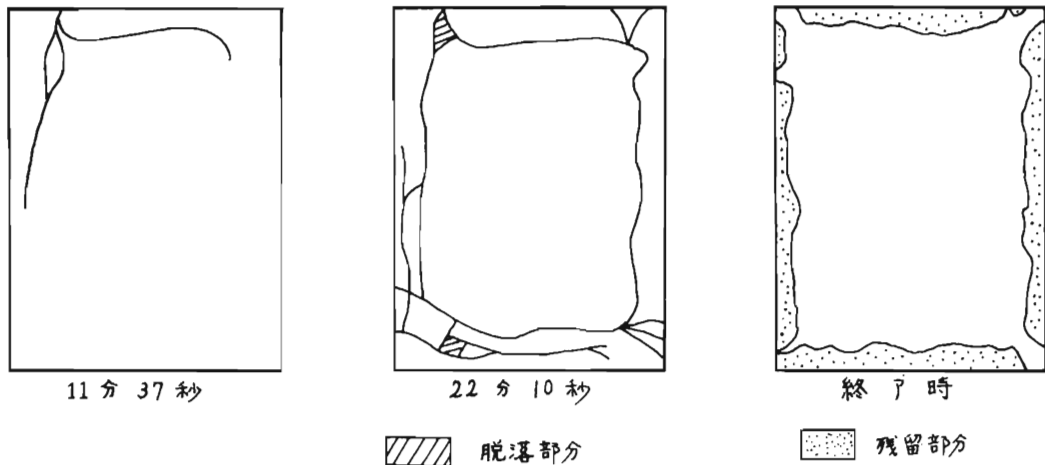


図11 透明フロート板ガラスのクラック状況 (板厚12mm)

表2 クラック発生時間

種別・板厚mm	透明5 <sup>mm</sup>	透明8	透明12	透明3
発生時間	9分20秒	13分25秒	11分37秒	50秒

(3) ガラスの破壊温度

ガラスが破壊するのは熱膨張による応力が原因

であるので、ガラスが最高何度になると割れるかという議論は無益である。つまり破壊応力を生ぜしめるのは温度分布であるといわれており、一般には面上の最高温度と最低温度の差が70℃位になると破壊するという説がある。そこで、この実験においても破壊時の最高温度と最低温度の差を調べたところ表3および表4のようになった。

表3 破壊時の面上温度差（実験1）

種別・板厚 (mm)	線10	線 6.8	線10	線 6.8	透明 5	透明 8	透明12	透明 8	透明12
$\Delta T$ (°C)	40	30	87	60	87	62	105	130	161

$\Delta T$  = 最高温度 - 最低温度

表4 破壊時の面上温度差（実験2）

種別・板厚 (mm)	透明 5	透明 8	透明12	透明 3
$\Delta T$ (°C)	—	106	124	60

$\Delta T$  = 最高温度 - 最低温度

(4) 火災室の圧力

実験2において、ガラス面附近の空気圧を測定した。その結果を図13～図16で示す。なお図中のP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>は図2および図4における圧力計測点である。図の横軸は1気圧であり0.3mmAgは大気圧に0.3mm水柱の圧力を加えた圧力である。

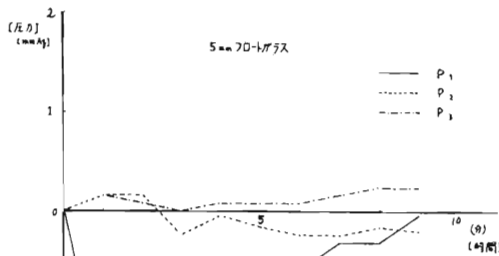


図13 火災室の圧力（板厚 5 mm）

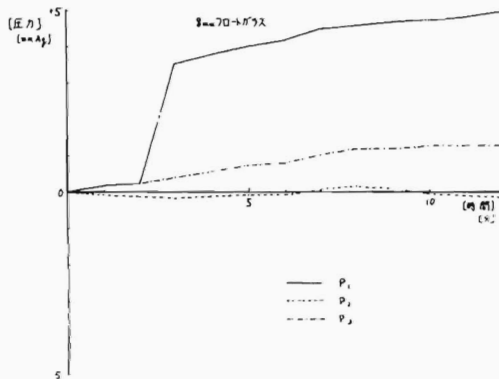


図14 火災室の圧力（板厚 8 mm）

(5) ガラスの飛散

ア 実験1

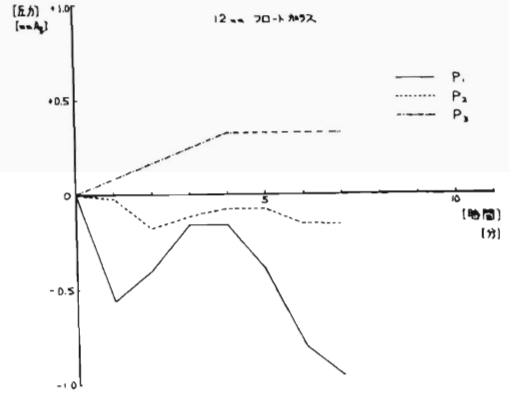


図15 火災室の圧力（板厚12mm）

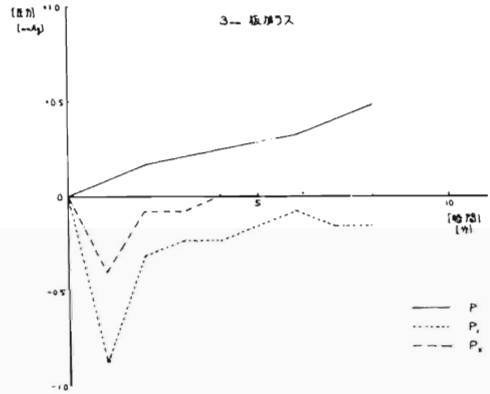


図16 火災室の圧力（板厚 3 mm）

透明フロートガラスの加熱炉内外への落下重量分布を表5～表6で示す。

非加熱側への飛散状況を見ると、そのほとんどが、ガラスの固定位置から1m以内に落下しており、1mから2mの間には微小片がわずかに飛散している程度であった。なお、飛散したガラスの形状は床面での二次破壊も加わり、微粒状のものから数十センチの短形状、鋭利な刃物状と諸々であった。なお、ガラス厚の相異による形状の相異はなかった。

イ 実験2

加熱炉による実験と同じく、飛散範囲はガラス面から1m以内がほとんどであり、形状等もほぼ同様である。

表5 落下重量分布 (実験1)

種類・板厚	透明12mm	透明5	透明8	透明5	透明8	透明12
加熱側	39.9 <sup>kg</sup> (44.3%)	12.8 (33.9)	35.1 (58.1)	16.4 (43.3)	38.2 (65.5)	非落下
非加熱側	50.2 (55.7)	25.0 (66.1)	25.3 (41.9)	25.3 (41.9)	20.8 (34.5)	〃

(注) 窓枠残留部分は非加熱側に算入している。

表6 落下重量分布 (実験2)

種類・板厚	透明5mm	透明8	透明12	透明3
加熱側	6kg(15%)	26 (43)	29 (32)	5 (22)
非加熱側	32 (85)	25 (57)	57 (68)	15 (78)

## 5. 考 察

### (1) 熱によるガラスの破壊性状について

ガラスに撃力を加えた場合は、折撃点がクラックの発生点となり、そこから放射上にクラックがはしる。ガラスに熱を与えた場合は、辺がクラックの発生点となり、そこから放射状にクラックが延びていく。枠により拘束されていないガラスに熱を均等に与えると、ほぼ辺の midpoint がクラックの発生点となり、拘束されていると、隅の近くの辺から発生する。

ガラスを所定の大きさに切ると、その切口には無数の微細なクラックが生じている。このクラックがガラスの強度を弱めている原因である。

ガラスの破壊強度は、線入板ガラスの場合、面中央部で約500kg/cm<sup>2</sup>、周辺部で200kg/cm<sup>2</sup>であり、透明フロート板ガラスの場合は、面中央で約500kg/cm<sup>2</sup>、周辺部で350kg/cm<sup>2</sup>とされている。線入ガラスは理想的なクリアカットができないため切口にクラックが多く発生し、破壊強度が低下する。打撃の場合は、短時間に集中荷重がかかるが、熱破壊の場合は、緩慢な膨張により面に一様に応力が発生し、強度の弱い周辺部から破壊が起るのであろう。特に、枠に拘束されている場合は、隅近くでは応力に加え隅という特殊性に基づく力が作用していると考えられる。そして、歪みが蓄積されるごとにクラックが生じて一時的に歪みを解消するが、ついには力学的平衡を保つことが不可能になり倒壊する。

加熱炉による破壊性状と、模擬火災による破壊

性状を比較すると、加熱炉によるものの方が著しく早くクラックが生じており、またガラス平面上のクラックも多い。これは、加熱炉の方が急激な温度上昇を与えるためであろう。

### (2) ガラスの破壊温度について

前述したように、ガラスの破壊は加熱側ガラス面上の温度差が70位になると発生するというのが定説であるが、加熱炉の場合は多少のばらつきがあるものの70℃前後に分布している。模擬火災実験では資料数が少ないので70℃からはずれているが資料数をふやせば70℃を中心として分布すると考えられる。

### (3) 火災室の圧力について

火災が発生すると、室内には空気の対流が発生するため下の冷たい空気は吸い上げられ負圧となり上部では正圧となる。この実験でも、この現象が現われているが、上部の正圧は最高でも0.5cmAgすなわち、大気圧に0.5g重/cm<sup>2</sup>の圧力を加えたにすぎない。負圧の減少程度はさらに小さい。これは開口部が密閉されていないためであろう。

火災室内の圧力がガラスの破壊に影響をおよぼすかという問題が有るが、ガラスは破壊強度は最も弱い所で200kg重/cm<sup>2</sup>なので、この実験からは、圧力の影響はないものと考えられる。

## 6. お わ り に

今回の実験は、火災熱によるガラスの破壊の様相を定性的に把握することを意図した。

今後は、開口部を通過する輻射熱による室内可燃物への影響を調べていく予定である。

最後に、今回の実験において終始貴重な御意見および御指導を賜った東京大学菅原助教ならびに資料、施設などの便宜をいただいた板硝子協会等の各位に対し深く感謝の意を表します。