

## 防火窓用透明結晶化ガラス

日本電気硝子株式会社

永金 知浩

### Fire-resistant Transparent Glass Ceramic

Tomohiro Nagakane

Nippon Electric Glass Co., Ltd.

#### 1. はじめに

結晶化ガラスはガラスマトリックス中に微細な結晶が分散した材料である。歴史的には、1956年 Stookey によって、 $\text{TiO}_2$  を核形成剤とするガラスの結晶化法が発明されたことにより<sup>1)</sup>実用化された。様々な種類の結晶化ガラスが存在するが、その中でも、 $\beta$ -スボジウム固溶体や $\beta$ -石英固溶体を主結晶とする  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  (LAS) 系結晶化ガラスは、熱膨張係数が非常に低く耐熱性に優れているため、厨房器具や耐熱材料として広く用いられてきた。さらに、 $\text{TiO}_2$  以外に  $\text{ZrO}_2$  にも核形成作用があることが見出され、核形成剤として  $\text{ZrO}_2$  と  $\text{TiO}_2$  を併用した、透明な  $\beta$ -石英固溶体結晶化ガラスが発明された<sup>2)</sup>。これにより、大型の透明ゼロ膨張結晶化ガラスの製造が可能とな

り、防火窓等の建築材料や基板焼成用のセッター、精密光学部材にも用途が拡大された<sup>3)4)</sup>。本稿では、LAS系透明ゼロ膨張結晶化ガラス製品のひとつである、防火窓用建築材料、ファイアライトについて、その結晶化ガラスの特徴、製法、製品性能について解説する。また、ファイアライトの応用製品についても紹介する。

#### 2. 防火用透明結晶化ガラス、ファイアライト

ファイアライトは、従来の防火窓材料である網入りガラスに代わる高性能で網のない防火窓として実用化された。以下に、ファイアライトの特徴、製造方法、防火性能について説明する。

##### 2-1. ファイアライトの特徴

ファイアライトを構成するLAS系低膨張結晶化ガラスは、約70 mass%の負の熱膨張係数を有する $\beta$ -石英固溶体からなる結晶相が、約

〒520-8639 滋賀県大津市晴嵐 2-7-1

TEL 077-537-8772

FAX 077-537-1709

E-mail: tnagakane@neg.co.jp

表1 防火窓用ガラスの諸特性

		ファイアライト	フロートガラス
可視光透過率	5mm 厚	87	89
	8mm 厚	85	88
屈折率, $n_D$		1.54	1.52
熱膨張係数 ( $\times 10^{-7}/K$ , 30~750°C)		-4	88
比熱 ( $J/g \cdot K$ ) 25°C		0.71	0.76
熱伝導率 ( $W/m \cdot K$ ) 25°C		1.51	0.76
密度 ( $10^3 kg/m^3$ )		2.51	2.50
平均破壊応力 (MPa)	面内	49	49
	エッジ	35	35
許容応力 (MPa)	面内	25	25
	エッジ	18	18
ヤング率 (GPa)		88	74
ポアソン比		0.24	0.22
モース硬度		7.0	6.5
ピッカース硬度		700	550

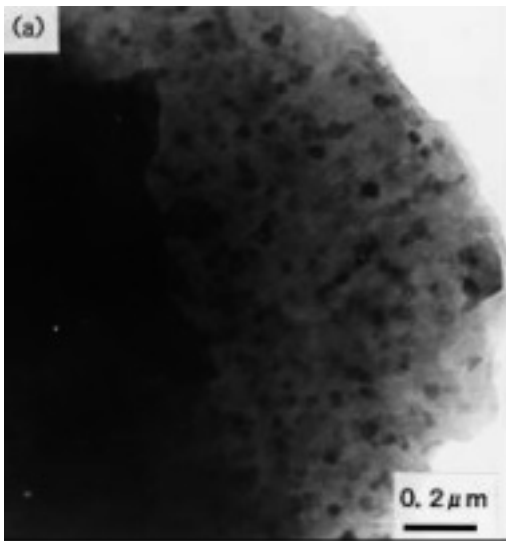


図1 透明ゼロ膨張結晶化ガラスの内部構造

30 mass%の正の熱膨張係数を有するガラスマトリックスに分散して複合化した材料である。このLAS系結晶化ガラスのTEM写真を図1に、フロートガラスとの特性の比較を表1に示す。TEM写真からもわかるように、析出している $\beta$ -石英固溶体結晶の大きさは約30 nmであり、可視光の波長(400~700 nm)に比べて

非常に小さいので高い透明性をもっている。表1より、5 mm厚のファイアライトでは可視光透過率が87%と、網入りガラスに使用されるフロートガラスと同程度である。

熱的特性について、表1に示すように、LAS系結晶化ガラスは広い温度域で熱膨張係数が非常に小さい( $-4 \times 10^{-7}/K$ , 30~750°C)。そのため、LAS系結晶化ガラスの熱衝撃強度は $\Delta T = 600 \sim 800^\circ C$ と、フロートガラス( $\Delta T = 60 \sim 80^\circ C$ )に比べて極めて大きい。したがって、ファイアライトの一方の面から炎を当てて反対の面から水を浴びせたときでも割れることはない。また、結晶相が熱的に安定で、かつその割合が高いため、最高使用温度(連続使用)は750°Cと、フロートガラスの380°Cにくらべて非常に高い。よって、火災時の高熱に対する耐久性が高く、網入りガラスに比べてよりクリアな視界を確保でき、火災時の救助・避難活動に効果を発揮できる。

LAS系結晶化ガラスの加工性や破壊強度は、表1に示すようにフロートガラスと同等である。



図2 LAS 結晶化ガラス製超大板セッター

## 2-2. ファイアライトの製造方法

ファイアライトの製造は、ガラス溶融、ロール成形、結晶化、そして製品加工といった一連のプロセスにより行われる。

LAS系結晶化ガラスは、フロート板ガラスよりも高温である約1700℃で溶融される。溶融されたガラス融液は約1450℃まで徐々に冷却されてガラス供給フィーダーより流し出し、一對のローラーで原ガラス融液を挟み急冷して板ガラスに成形される。しかし、このLAS系結晶化ガラス組成は1400℃以下の温度域において結晶化が起こり、特に1200℃に保持したときは1分以内に白濁するほどの強い失透性を有している。そのため、この結晶化ガラスにおいては、幅広の板の成形を行うことは困難であり、それを可能にするためにはガラス融液で結晶成長を進行させないための特別な配慮が必要となる。

そこで、第一に、ガラス供給フィーダーから流れ出るガラス融液の温度がいずれの場所においても1400℃以下にならないよう、ガラス供給フィーダーの形状などの改善を行った。第二に、ガラス融液が成形ローラーに巻き取られる際に一部のガラス融液が長時間滞留することがないように融液の流れを改善した。このように、ガラス供給部におけるガラス融液の温度低下防止とロール成形部での滞留防止により、いかなる失透も含まない均質な結晶化ガラス原板を安

定して成形できるようになった。これにより、最大2200×2500×5mmという非常に大きなサイズの大板が製造可能となった(図2)。

上記の方法で成形された結晶化ガラス原板は、まず750～800℃の核形成温度で熱処理して、ガラス内に約5nmのZrTiO<sub>4</sub>結晶核を析出させ、その後、さらに850℃～950℃の温度域で熱処理させることにより、結晶核の上にβ-石英固溶体結晶を析出させて、ファイアライトが出来上がる。

## 2-3. ファイアライトの防火性能

ファイアライトは、建築基準法に定められた乙種ならびに甲種防火戸に認定されている。また、米国を代表する安全規格である「UL規格」でも防火認定を取得している。UL規格では、消火活動時の放水の影響を確認するため、防火認定試験において加熱直後に放水試験を行い著しい欠陥が生じないことが義務付けられている。ファイアライトは高い耐熱性と耐熱衝撃性を有するため、単板ガラスでこの厳しいUL認定を取得している。

また、公的認定試験とは別に、より実火災に近い状況下での防火ガラス部材の挙動(破損などの発生)を調査するため、消防研究所、東京大学、(株)イー・アール・エス、日本電気硝子(株)による共同研究として、各種防火ガラスの性能評価試験が行われた<sup>5)6)</sup>。

実験方法としては、4m×4m、天井高さ2.3mの実験区画に、1.22m×1.93mの防火ガラスを枠材に取り付けて、木材を積み重ねたものを発火源として、区画の上部温度を15分間約700℃に保持して加熱した。その後、ガラスの非加熱側が最高温度(約470℃)に達した時点で、ポリエチレンフィルムで作製した水球(水量300cc～930cc)を高さ50cmから衝突させた結果、ファイアライトは、実火災を想定した温度分布のある状況や、高温での水との接触によっても安定であることが確認された。一方、耐熱強化ガラスは、加熱時の温度差や水球衝突

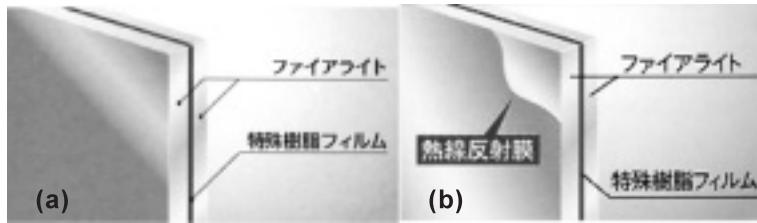


図3 (a) ファイアライトプラス, (b) 遮熱性を高めたファイアライトの構造

によりガラスは細かく破損・脱落し、火災の火が大きく噴き出した。

### 3. ファイアライトを用いた応用製品

前章で述べたようにLAS系結晶化ガラスの大板の製造が可能となったことにより、防火窓の大型化に対応できるようになった。これに伴い、ガラスへの人体の衝突や地震などの災害によるガラスの破壊など、重大な傷害につながる危険性が增大している。そのため、防火窓には耐熱性や耐熱衝撃性だけでなく、衝撃安全性を付与させることが必要になってきた。衝撃安全性を高めるためには、2枚の防火ガラスが中間膜によって接着された合わせガラスとすることが有効である。そこで、耐熱性、耐熱衝撃性と衝撃安全性を両立させるために、2枚のファイアライトを難燃性のフッ素系樹脂、THV (Tetrafluoroethylene - Hexafluoropropylene - Vinylidene fluoride) からなる中間膜で接着した合わせガラス、ファイアライトプラス (図3 (a)) が開発された<sup>7)</sup>。

合わせガラスが防火性能を有するには、中間膜が難燃性であること、および熱分解しにくいことが要求される。一般の合わせガラスに用いられるPVB (PolyVinylButyral) 中間膜を防火ガラスに使用すると、200℃以上の加熱によって熱分解し、ガラスエッジ部やクラック部から非火災室側にガスが噴出して輻射熱で着火したり、熱分解ガスが2枚のガラスの間に溜まりガラスが破裂したりするなど、防火ガラスの機能が損なわれる。一方、THV中間膜は、難燃性で熱分解温度が400℃以上と高く、分解ガス

にも着火しないためガラスの防火性能を損なうことなく合わせガラス化することができる。ファイアライトプラスはショットバック試験や鋼球落下試験においても高い耐貫通性を有することが確認されており、防火性能と高い衝撃安全性を兼ね備えた高機能な建築用ガラスとして用いられている。

ところで、ファイアライトを用いることにより炎を遮断することはできるが、輻射熱までは遮断できない。火災時の炎による輻射熱を遮り、安全に非難できるようにするため、ファイアライトプラスまたはファイアライトの表面に熱線となる赤外線を反射する薄膜をコーティングした製品も開発された (図3 (b))。ガラスの近傍で火災が発生し温度が約900℃に達したときにおいても、非火災室側のガラスから1mのところの温度は約60℃と優れた遮熱性を持ち、火災時により安全に避難することが可能となる。

### 4. おわりに

LAS系結晶化ガラス、ファイアライトは、従来の防火窓よりも優れた耐熱性・耐熱衝撃性を有する材料である。また、ガラス供給部におけるガラス融液の温度低下防止とロール成形部での滞留防止により、大板のガラス製造も可能となった。さらに、2枚のファイアライトを耐熱性に優れたフッ素樹脂フィルムで接着させることにより、防火性能を維持しつつ衝撃安全性を向上させることが可能となった。

最近、建築物のデザインが多種多様になる一方、火災などの災害に対する安全性が高いこ

とが非常に重要となっている。これまではデザインの自由度と安全確保の両立が困難であったが、ファイアライト、およびその関連製品が、安全性が高くかつ美しいデザインの建物を創り出す一助となることを期待する。

#### 文献

- 1) S. D. Stookey, U. S. Patent 2920971.
- 2) 田代 仁, 鷹木 清, 和田正道, 田中一好, 日本特許 450729 号
- 3) A. Sakamoto and T. Shibuya, Proc. 3 rd Int. Sympo. New Glass, 122 (1991).
- 4) H. Bach Ed., "Low Thermal Expansion Glass ceramics", Springer (1995) pp. 107-214.
- 5) 澤田ら, 日本建築学会学術講演梗概集, 33-34, (2005)
- 6) M. Sawada et al., Proc. 31 st Int. Sympo. Combustion, (2006)
- 7) 坂本ら, GBRC, 85, 31-35, (1997)