

フルフラットガラスドアの接着固定技術

Adhesion-Fixing Development of the Full-Flat Glass Door

山口 太郎
Taro Yamaguchi

中尾 真梨子
Mariko Nakao

雨川 量太郎
Ryotaro Amekawa

要 旨

「フルフラットガラスドア」は、従来の冷蔵庫ガラスドアにあった、ガラス端面を挟み込む樹脂フレームによる段差を無くし、前面をすべてフラットにしたガラスドアである。今回、インテリア性が高く、高級感と透明感のあるフルフラットガラスを独自の工法で固定することで、ガラス素材のもつ高級感を引き出し、デザイン性の大幅な向上を可能にした。ガラスの固定は断熱材（ウレタン）、および強力接着部材との接着により行い、断熱材（ウレタン）、および強力接着部材、双方の接着による長期信頼性を確保することにより、ライフエンドにおいてガラスドアが落下しないことを実証し、ガラス端面の樹脂フレームレス化を実現した。

Abstract

A full-flat glass door is a glass door whose front face has been made fully flat by eliminating the level difference created by resin frames that are used for holding the end face of glass and that had existed on conventional glass doors of refrigerators.

Now, we have succeeded in bringing out a luxurious feel of glass material and largely improving the quality of design by fixing fully flat glass, which has a high quality of interior design and gives a luxurious and clean appearance, with our original method.

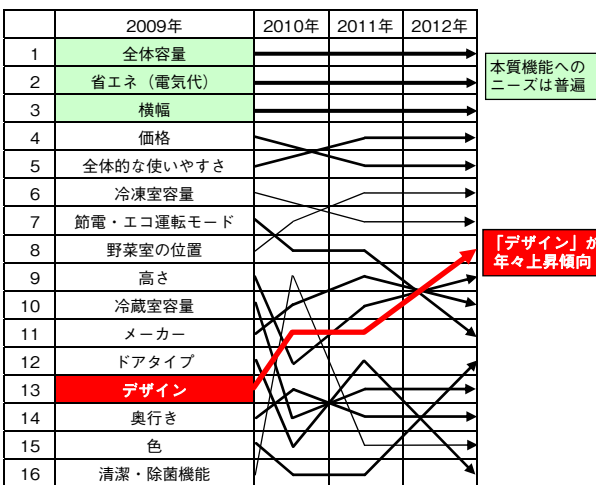
Glass is fixed by adhesion to heat insulation material (urethane foam) and strong adhesive material. We have secured safety by ensuring the long-term reliability of adhesion to both urethane foam and strong adhesive material which never allows the glass door to fall even at the end of its useful life, and this enabled us to remove resin frames from the end face of the glass.

1. はじめに

近年、冷蔵庫を購入するときに重視する点として、第1図に示すように、容量や省エネ性（電気代）に加え、冷蔵庫のデザインや色を重視する方が増えており、キッチンやリビングのインテリアの一部として質感のあるデザインを選ぶ傾向にある。

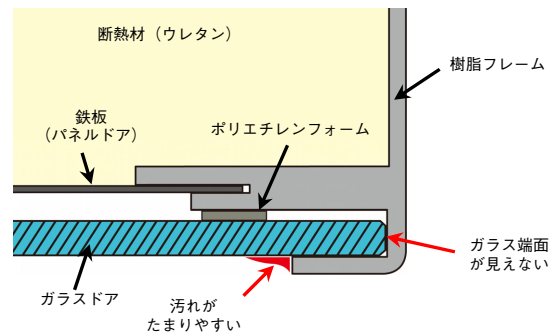
そのなかでも高級感、強度、およびクリーンといった観点から、ガラスをドア面材に使用するのがトレンドと

なっている。しかしながら、ガラスをドア面材として使用する場合、ガラス落下を防止し、安全性を確保するため、従来のガラスドア固定方法は、第2図に示すように、ガラス端面を樹脂フレームで挟み、固定するものであった。



第三者機関による調査資料に基づく

第1図 冷蔵庫購入時に重視する点
Fig. 1 Important point when purchasing a refrigerator



第2図 従来機種のガラスドア固定方法
Fig. 2 Conventional method of fixing glass door

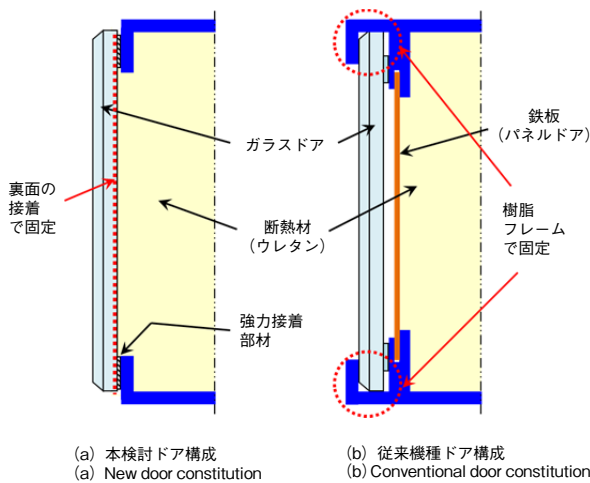
この場合、①ガラス端面を見せることにより得られるガラス素材のもつ透明感、奥行き感、硬質感などの「ガラスらしさ」が損なわれる、②樹脂フレームとガラスとの段差に汚れがたまりやすく掃除が難しい、などの課題があった。本稿では、ガラス裏面の接着信頼性確保により、ガラス端面を挟み込む樹脂フレームを無くし、ガラス素材のもつ高級感を引き出すことで、デザイン性を大

幅に向上させた「フルフラットガラスドア」の接着固定技術について説明する。

2. フルフラットガラスドアの接着固定技術

2.1 接着固定の信頼性課題

第3図にガラスドア固定方法の比較を示す。第3図(b)に示すように従来機種のガラスドア構造体はガラスの落下防止のため、ガラスドアの端面を樹脂フレームで固定している。しかしガラス素材の高級感を最大限引き出すには、額縁のように見える樹脂フレームをできる限り極小化し、ガラスの前面には何も突出していないフルフラットデザインのガラスドアが望ましい。これを実現するためには、従来機種のようにガラスドアを端面で固定することはできず、第3図(a)に示すように、ガラスドア裏面での接着固定が必要となる。よってガラスドアの接着固定に関する長期信頼性を確保するため、ガラスドアに関する接着強度劣化の解明と製造段階での接着信頼性の確認を行った。



第3図 ガラスドア固定仕様
Fig. 3 Fixing method of glass door

2.2 ガラスドアに掛かる力、および接着目標の設定

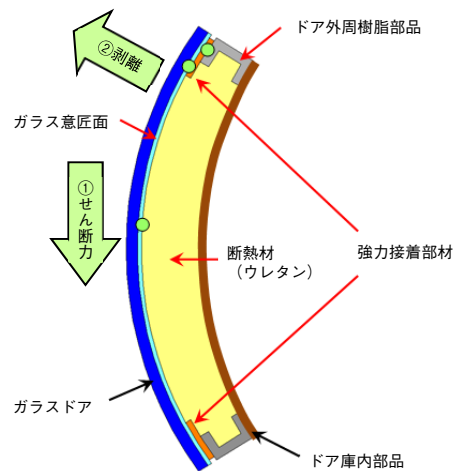
ガラスドアを裏面の接着で固定したドア断面を第4図に示す。ガラスドア構造体は、外周を構成するドア外周樹脂部品とガラスドアを強力接着部材で接着した箱形状とし、このなかに断熱材(ウレタン)を流し込んだ後、ドア庫内部品で密閉し形成する。

冷蔵庫使用時におけるガラスドアの接着面には大別すると、①せん断力：ガラスドア(正確にはガラス意匠面)／断熱材(ウレタン)と②剥離力：強力接着部材／ガラスドア(正確にはガラス意匠面)、および強力接着部材／

ドア外周樹脂部品、の2方向の力が掛かる。

①せん断力はガラスが自重によって鉛直下向きに落ちようとする力であり、断熱材(ウレタン)単位接着面積あたりに掛かるガラスドア重量に相当する。冷蔵庫に取り付けられている複数枚の各ドアにおいて断熱材(ウレタン)接着面積とガラスドアの重量が異なるが、せん断力の最大値をせん断力に対する接着目標値とした。

②剥離力はガラスドア端面からガラスが剥がれようとする力である。断熱材(ウレタン)の発泡段階では、発泡圧による部品変形を防止するため、ドア全体を治具で押さえて発泡するが、治具から取り出し後は発泡時のウレタン反応熱で高温となっていた部品の温度が下がり収縮する。ガラスドアとドア外周樹脂部品、断熱材(ウレタン)、およびドア庫内部品の線膨張率の差により、第4図のようにドアに反ろうとする力が発生する。また、冷蔵庫運転時においても、冷蔵庫庫内と庫外(室温)の温度差により同じ理由でドアに反ろうとする力が発生する。冷蔵庫に取り付けられている複数枚の各ドアにおいて、ドアが反ろうとする力の最大値を剥離力に対する接着目標値とした。

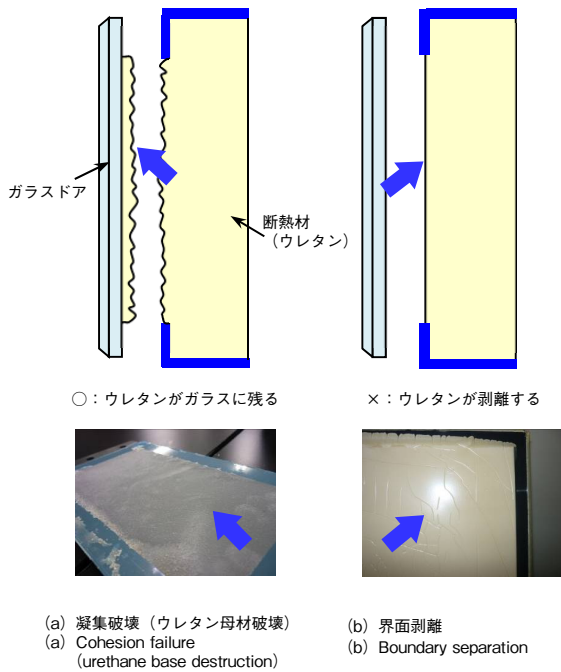


第4図 ガラスドア基本断面
Fig. 4 Cross section of glass door

ガラス落下に対する接着長期信頼性の開発目標は、①せん断力、②剥離力について上記で算出した目標値を上回るガラスドアの保持力を耐用年数後も確保することとした。

また製造段階での接着信頼性として、①せん断力を確保するためのガラスドア／断熱材(ウレタン)の接着状態は第5図に示すように、常にウレタン母材破壊を伴う凝集破壊となり、接着界面部で剥がれる界面剥離などの

接着力の弱い状態にならないこと、とした。



第5図 ガラスドアと断熱材の接着モードの違い
Fig. 5 Difference of adhesion mode between glass and heat insulation material

2.3 接着長期信頼性の確保

接着の信頼性評価手法については、「製品の耐用年数経過後の安全率の定量化法」[1]を採用した。

第6図に接着強度の経年変化の概念図を示す。接着強度は使用中の環境・応力により経年変化を生じ、強度が低下する。また接着強度のばらつきに対する許容不良率についても考慮する必要がある。

耐用年数経過後の安全率 (S_y) は次式で表される。

$$S_y = F_y / P_{max} \dots\dots\dots (1)$$

F_y : 許容不良率を考慮した、耐用年数経過後の実効接着強度

P_{max} : 必要接着強度

上記定量化法[1]中の、使用中に接着部に加わる応力の最大値、最大発生応力 P_{max} はガラス接着に最低必要な接着力、必要接着強度とした。

次に、実効接着強度 (F_y) は、初期接着強度に以下の各係数を掛け合わせるにより算出できる。

$$F_y = F_{\mu R0} \times \eta_{T0} \times D_y \times \eta_y \dots\dots\dots (2)$$

$F_{\mu R0}$: 標準状態における静的な平均接着強度 (初期接着強度)

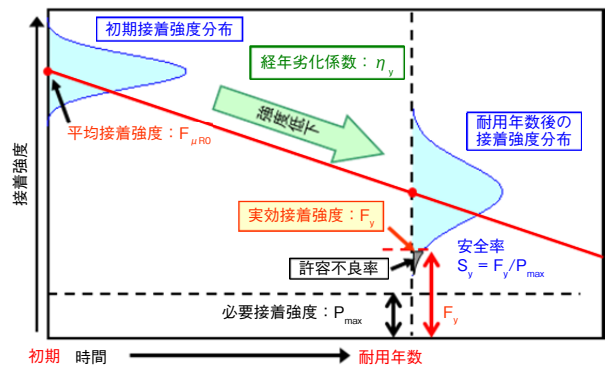
η_{T0} : 温度係数 = 周囲温度変化による接着力の低下割合

D_y : 耐用年数経過後の接着強度ばらつき係数

η_y : 耐用年数経過後の劣化係数

$\eta_y = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots$: 製品特有劣化モード

製品特有劣化モードでの劣化係数は別途評価試験にて算出し、それらを最悪条件の積み重ねとして掛け合わせ、実効接着強度 (F_y) および安全率 (S_y) を求める。安全率 (S_y) は、必要接着強度に対する余裕度を表し、目標値は基本的に1.0以上あれば良い。



第6図 接着強度の経年劣化の概念図
Fig. 6 Concept of age-related deterioration in adhesion strength

冷蔵庫ガラスドアの接着長期信頼性としては、許容不良率を従来機種実績より100万分の1と設定した。

劣化係数 (η_y) を求めるための「製品特有の劣化モード」の選定は、生産からライフエンドまでを想定し、ドア開閉衝撃、清掃溶剤付着など6項目を劣化モードとして選定した。

- 【使用条件 η_1 】 温度、湿度変化による接着力低下
- 【使用条件 η_2 】 昼夜温度差による接着力低下 (ヒートショック)
- 【使用環境 η_3 】 清掃溶剤や食品付着による接着力低下
- 【静的荷重 η_4 】 ガラス自重によるクリープ力での接着力低下
- 【輸送条件 η_5 】 輸送振動、運搬衝撃による接着力低下
- 【使用環境 η_6 】 ドア開閉衝撃による接着力低下

接着長期信頼性の評価結果については、第1表に示すように、①せん断力：ガラスドア (正確にはガラス意匠面) / 断熱材 (ウレタン)、②剥離力：強力接着部材 / ガラスドア (正確にはガラス意匠面)、および強力接着部材 / ドア外周樹脂部品、の2方向に対し、評価条件ごとの係数を求めた。

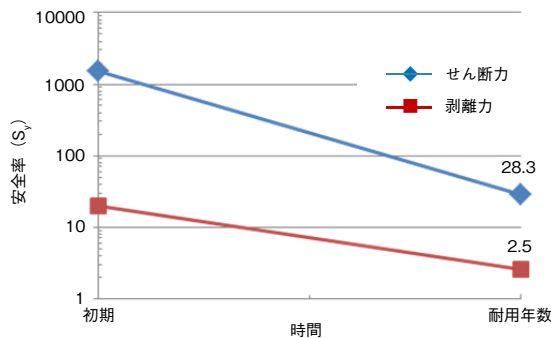
この確認結果から第7図に示すように、耐用年数後の

接着強度（実効接着強度）を計算し、安全率（ S_y ）を求めた。その結果、安全率（ S_y ）はせん断方向で28.3、剥離方向で2.5を得られており、目標値である1.0以上を確保した。

第1表 接着評価係数の確認結果

Table 1 Results of examining evaluative factor for adhesion strength

項目	接着界面		
	ガラス（着色層） -ウレタン	両面テープ -ガラス（着色層） -ドア外周樹脂部品	
ガラスドアに掛かる力	①せん断力	②剥離力	
温度係数	η_{T_0}	0.87	
ばらつき係数	D_y	0.15	
劣化係数	温度湿度	η_1	0.80
	冷熱衝撃	η_2	0.76
	薬液	η_3	0.83
	クリープ	η_4	0.28
	落下衝撃	η_5	1
	ドア開閉	η_6	1



第7図 接着強度の試験結果

Fig. 7 Results of examining adhesion strength

2.4 製造段階での接着信頼性確保

ガラスドア（正確にはガラス意匠面）と断熱材（ウレタン）の接着状態については、2.2項で示したように、接着モードとしては、(a)凝集破壊であることが必要であり、(b)界面剥離では信頼性の確保が難しいため、第2表に示した試験条件に基づき、想定される製造条件におけるガラスドアと断熱材（ウレタン）の接着モードを確認した。

その結果、製造段階における断熱材（ウレタン）の発泡条件や設備想定条件などのすべての条件において、ウレタンの母材破壊を伴う凝集破壊を実現した。

第2表 接着信頼性試験条件

Table 2 Test conditions of adhesion reliability

試験条件
①発泡設備：低温度
②断熱材：低密度
③ガラス-ウレタン接着面：潤滑油付着（半面）
④ガラス-ウレタン接着面：潤滑油付着（全面）

3. まとめ

冷蔵庫に使用するガラスドアの固定方法において、ガラスドアの接着面に掛かる力を2つの方向に分解し、製品特有の劣化モードを加味した接着信頼性評価手法により、①せん断力、②剥離力、双方の接着長期信頼性を確保すること、また①せん断力を確保するためのガラスドア／断熱材（ウレタン）の接着状態について、製造条件に影響されないウレタンの母材破壊を伴う凝集破壊を実現すること、によりライフエンドにおいてガラスドアが落下しないことを実証した。

その結果、第8図に示すように、従来のドア構造体を一変、ガラス端面を挟み込む樹脂フレームを無くし、ガラス素材のもつ高級感を引き出すことで、デザイン性を大幅に向上させた「フルフラットガラスドア」を実現することができた。今後も、新たな信頼性などを確保することにより、デザイン性を向上させるなど、新しい技術開発に積極的に取り組み、さらに魅力ある商品づくりに貢献していく。



(a) 樹脂フレーム無（本検討）
(a) Glass door with resin frames removed (New model)
(b) 樹脂フレーム有（従来機種）
(b) Glass door surrounded by resin frames (conventional model)

第8図 ドアの外観変化

Fig. 8 Exterior changes of door

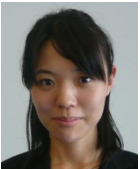
参考文献

[1] 原賀康介, “電機・電子機器における接着品質設計と安全率の定量化,” 日本接着学会誌, vol. 39, no. 12. pp. 448-454, 2003.

執筆者紹介



山口 太郎 Taro Yamaguchi
アプライアンス社 冷蔵庫事業部
Refrigerator Business Div., Appliances Company



中尾 真梨子 Mariko Nakao
アプライアンス社 冷蔵庫事業部
Refrigerator Business Div., Appliances Company



雨川 量太郎 Ryotaro Amekawa
解析センター 信頼性サポートグループ
Reliability Support Group, Analysis Center