

樹脂製窓ガラスの黄変挙動と劣化評価への応用

材料技術研究部 防振材料研究室

研究員 山中 翔

1. はじめに

近年、鉄道車両の軽量化や破損防止等を目的として鉄道車両用ガラスへの樹脂ガラスの適用が拡大している。こうした傾向は新幹線、特急車両を中心とした高速鉄道車両において顕著である。例えば、最新の新幹線車両は樹脂ガラスを全面的に採用している。一方、在来線車両においても車両の軽量化、破損防止のニーズは同様である。樹脂ガラスは従来の無機ガラスよりも軽量であり、試算では、無機ガラスを樹脂ガラスに変更した場合、鉄道車両一両あたり 200kg 程度の重量の削減が可能である。一方、樹脂ガラスは通常は無機ガラスと異なり、環境中で一定程度劣化する傾向が認められる^{1,2)}。これは有機系材料を原料とする樹脂ガラスの本質的な課題であり、鉄道車両に用いられる樹脂ガラスは所定の周期で交換されている。

そこで、樹脂ガラスの交換周期の適正化によるメンテナンスコスト削減を目的として、実車で用いられている樹脂ガラスの長期劣化特性を把握し、長寿命化の可能性を検討した。具体的には、樹脂ガラスとして代表的な材料であり新幹線用の窓ガラスとしても使用実績のあるポリカーボネート樹脂 (PC) を主な対象とし、加えて、ポリメタクリル酸メチル樹脂 (PMMA) およびそれらを積層した製品や開発品などを試験品として各種初期特性、促進耐候性条件下における特性変化を測定した。また、実車で使用される複層窓ガラスの劣化評価の取組みについても述べる。

2. 樹脂ガラスの特徴

樹脂ガラスとは、透明な有機系材料を主原料として製造されるガラス全般を示す用語である。これに対して、本稿ではケイ酸塩を主成分とする一般的なガラスを無機ガラスと称する。

樹脂ガラスの代表的な材料である PC はその透明性に加え、無機ガラスと比較して密度が低く、耐衝撃性にも優れるといった利点を有する。しかし、屋外での使用に伴って黄変し、透明性が低下することや、高温高湿下で加水分解を起こすことで、強度低下を生じることが懸念される³⁾。

一方、PMMA は樹脂ガラスの中で最も優れた透明性を有する材料であるほか、屋外使用による黄変も少なく、長期使用に適した材料といえる。また表面硬度が高く、傷がつきにくいといった利点も有しており、水族館のガラスなどへの使用実績がある。しかし、比較的燃焼しやすく、PC と比較すると耐衝撃性なども低いことから、PMMA 単体では車両用の窓ガラスとして用いることは困難と考えられる。図 1 にそれぞれの樹脂を構成する分子の化学構造式を示す。いずれもこれが最小単位で、PC はこれが約 100 個、PMMA なら約 10000 個つながった構造をしている。

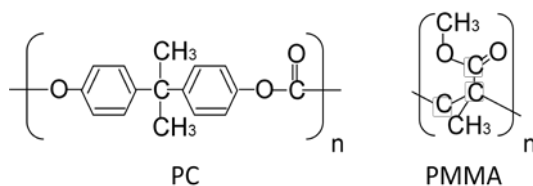


図 1 PC と PMMA の化学構造式

3. 耐候性の評価

鉄道車両への樹脂ガラスの適用において、主要な劣化要因は屋外環境における紫外線等の耐候性の不足と考えられる。そのため、劣化促進方法として、人工的に屋外環境を再現した促進耐候性試験を選択した。

3.1 試験品

本稿では樹脂ガラスとして代表的な材料であり新幹線用の窓ガラスとしても使用実績のあるPCを主な対象とし、PMMAおよびそれらを積層した製品や開発品などを試験品として選定した。これらに対し、促進耐候性試験を行い、車両用窓ガラス材料としての利用可能性を検討した。

試験品は4種類を準備した。PC単体およびPCの耐候性を向上させるためにPC表面にPMMAを積層したもの、PC表面に耐候性層を設けたPCを準備した。また、PMMA単体についても試験を実施した。それぞれの試験品は4mm厚さの成形品とした。試験品の詳細を表1に示す。

表1 試験品の仕様

試験品番号	試験品名称	製造プロセスおよび試験品詳細
1	PC	PC単体の押出成形品
2	PMMA積層PC	基材がPCで片面の表層に厚さ数十 μm のPMMA層を設けた二層押出成形品
3	耐候性PC	基材がPCで両面の表層に劣化防止の配合剤を重点的に配合し、耐候性を向上させたPC層（厚さ数十 μm ）を設けた多層押出成形品
4	PMMA	PMMA単体の押出成形品

3.2 促進耐候性試験の方法

JIS K7350-2に基づいて試験品を劣化促進環境下に設置した。所定時間の促進耐候性試験後に次節に示す黄変度測定を行い、促進耐候性条件における特性変化を測定した。車両用樹脂ガラスは通常5年程度の使用で劣化の傾向が見られ、交換される製品も見られる。よって車両用樹脂ガラスの長寿命化を考慮すると、少なくとも10年程度の寿命が望まれる。このため、10年の使用にする1万時間の促進耐候性試験を実施した。

3.3 評価方法

黄色度変化をJIS K 7105に準じて測定した。色差計によって得られる3刺激値 X , Y , Z から(1)式によって黄色度 YI を算出し、(2)式に示す初期値(YI_0)との比較から黄変度 ΔYI を求めた。

$$YI = (100(1.28X - 1.06Z)) / Y \quad (1) \quad \Delta YI = YI - YI_0 \quad (2)$$

強度物性試験としてシャルピー衝撃試験を実施し、黄変による耐衝撃性の変化を評価した。

4. 結果と考察

4.1 黄色度

図 2 に促進耐候性試験を行った PC 単体の経時変化の写真を示す。これより、PC 単体において試験経過時間の増加に伴い、試験品の黄色度が増加していることがわかる。

また、図 3 に各試験品の黄変度 ΔYI の測定結果を示す。進行度に差は見られるものの、全ての試験品において黄変度は促進耐候性時間に伴って増加傾向を示した。特に図 2 に示した PC の黄変度増加は大きく、紫外線による各種反応によって黄変が顕著に発生することが明らかとなった。

一方、PMMA 積層 PC や耐候性 PC では黄変度の増加がかなり抑制された。これら試験品の黄変度の抑制は耐候性向上対策によるものと考えられる。また、PMMA 積層 PC と耐候性 PC の黄変度に有意な差異は見られず、本試験の範囲においては同程度の黄変抑制の効果を有すると考えられた^{4,5)}。

PMMA はその化学構造から紫外線等による影響を受けにくく、あまり黄変を生じない材料であることが知られている。本試験結果においても PMMA 積層 PC や耐候性 PC の試験品以上にその黄変の程度は少ないことが明らかとなった。

また、黄変度測定結果とシャルピー衝撃試験結果との相関を検討したところ、図 4 のような結果が得られ、黄変度測定の結果は物性との相関性を有することが確認された。

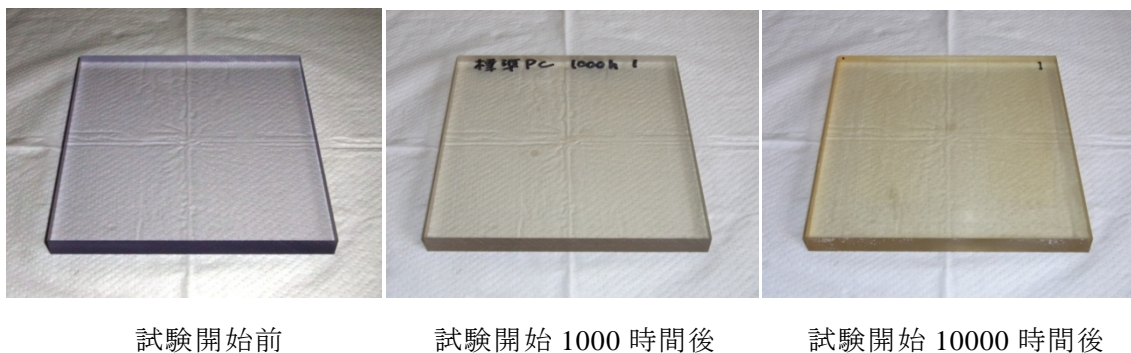


図 2 促進耐候性試験による PC 単体の変化

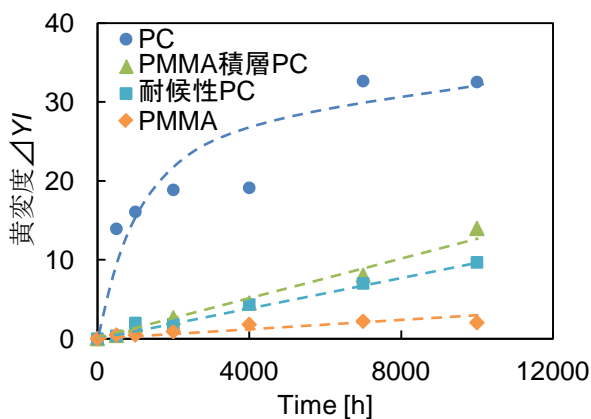


図 3 暴露時間と各試験品の黄変度

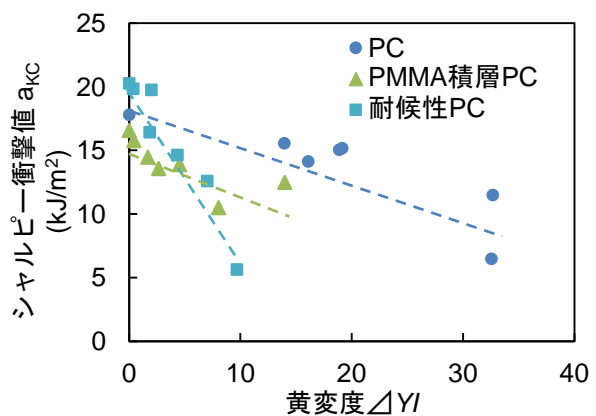


図 4 黄変度とシャルピー衝撃値の相関性

4.2 実使用品への黄変度測定の適用可能性

物性と黄変度測定との相関がみられ、劣化評価法としての有効性が認められたため、現車に使用されている実製品に対しても適用を試みた。

新幹線車両から交換のため取り外した PC 積層の複層窓ガラス回収品を用いて実験室内で黄変度測定を実施した。使用期間は最大 3.6 年程度使用した回収品である。測定は、図 5(a)のように

回収品の背面に基準面となる白色ホーロー板を設置し、PC 面側より黄変度の測定を行った。黄変度の測定は外光の影響が生じると結果の変動が生じやすいため、測定データの信頼性向上を目的として図 5(b)に示すように遮光性の高い暗幕を用いて測定を行った。環境を整えた結果、測定は良好に実施でき、得られた結果を ΔYI の値で整理すると図 6 が示された。結果として、今回の測定において最も使用期間の長い窓ガラスにおいても有意な黄変は生じていないことが明らかとなった。

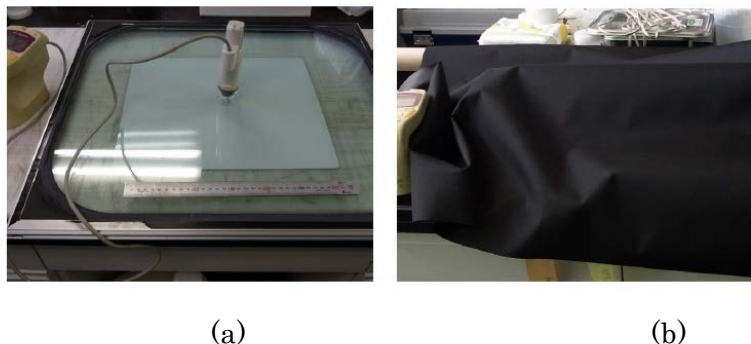


図 5 複層窓ガラス回収品の黄変度測定状況

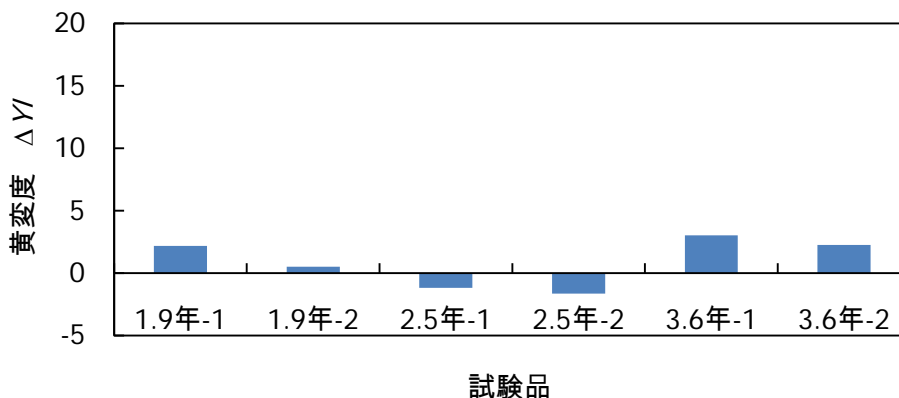


図 6 実使用品の黄変度

5. 今後の課題

現在、現車において在姿状態のまま黄変度測定を出来るような条件を検討している。今後、データを蓄積し、樹脂製窓ガラスの適正な取替えに反映していけるよう進める計画である。

謝辞

この研究を進めるにあたりご協力下さいました、東日本旅客鉄道株式会社殿に、この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) ニューマテリアル研究会編，新素材・新材料のすべて第 4 版，日刊工業新聞社，p.125 (1998)
- 2) 松金幹夫他，プラスチック材料講座[5] ポリカーボネート樹脂，日刊工業新聞社，p.150 (1969)
- 3) 日本化学会編，化学便覧応用化学編 I 第 6 版，丸善株式会社，p.804 (2003)；同，p.812
- 4) 伊藤幹彌，柘田吉弘，弓削田泰弘，高坂智也，ネットワークポリマー，33(2)，89 (2012)
- 5) M. Ito et al., J. Polym. Eng., 35(1), 31 (2015)