

# バンパフェイシア軽量化のための 高剛性ポリプロピレン素材とクリア塗膜の開発

Development of High-Rigidity Polypropylene Material and Clear Coat  
for Lightweight Bumper Fascia

能 見 恵 美\*  
Emi NOMI

中 根 健\*  
Ken NAKANE

## 要 旨

バンパフェイシアの軽量化を目的としたポリプロピレン素材とクリア塗膜を開発した。

軽量化のためバンパフェイシアの平均肉厚を 3.0 mm から 2.0 mm へ薄肉化できるポリプロピレン素材を開発した。開発素材は 2.0 mm で成形可能な高流動性を有し、かつ剛性を補完するため高剛性化を図った。一方、高剛性化により低下した衝撃性が、塗装後はさらに低下することに着眼し、素材だけでなく塗膜も開発することで衝撃性の低下を抑制した。バンパフェイシアの塗膜を構成するプライマ、ベース、クリア層のうち、割れの起点となっているのはクリア層であった。クリア層について、主成分であるアクリル樹脂を高ガラス転移温度化するとともに、粒径 0.1  $\mu\text{m}$  以下の粒子状の樹脂を配合することで塗膜を硬くもろい仕様とし、割れの数を増やすことで応力の分散を図った。

この結果、2016 年モデル CIVIC のバンパフェイシアは、従来材比で 23% 以上の軽量化を達成した。

## ABSTRACT

A polypropylene material and clear coat were developed for the purpose of reducing bumper fascia weight.

In order to reduce bumper fascia weight, a polypropylene material was developed that would make it possible to thin the average wall thickness of 3.0 mm down to 2.0 mm. The developed material has high flowability to enable injection at 2.0 mm, and steps were taken to augment its rigidity by making it a high-rigidity material. At the same time, attention was also paid to the reduction in impact resistance caused by the higher rigidity, and to the fact that it would be further reduced after coating. That reduction in impact resistance was therefore limited by developing not only a material but also a coating for the purpose. Of the primer, base, and clear layers that make up the bumper fascia coating, the origin of cracking is in the clear layer. The main component of the clear layer is acrylic resin, and the glass transition temperature of this resin was raised while also adding an admixture of resin particles with a diameter of 0.1  $\mu\text{m}$  or less. This was done to make the coating hard and brittle, increasing the number of cracks in order to distribute the stress.

As a result, a weight reduction of 23% or more relative to preceding materials was achieved in the bumper fascia of the 2016 model CIVIC.

## 1. ま え が き

地球環境保護のため、二酸化炭素排出低減への関心は高い。自動車のライフサイクルにおいて走行時の二酸化炭素の排出割合は高く、燃費向上による二酸化炭素の排出低減が求められている。燃費向上のため車体軽量化は重要視され、多くの部品で検討されている。

バンパフェイシアはフロントとリヤを合わせた 1 台当た

\*四輪 R&D センター

りの重量が 8 kg 前後あり、軽量化効果が期待できる大型ぎ装部品である (Fig. 1)。その軽量化の手法としては、素材の低比重化と部品の薄肉化が挙げられるが、既に低比重素材であるポリプロピレン (PP) 素材を使用しているため、主に薄肉化技術への取り組みが報告されている<sup>(1)</sup>。

薄肉化は成形性、剛性、衝撃性を低下させるため、部品設計、材料、製法等において、その性能向上が検討されている。特に材料については、PP 素材を構成する PP 樹脂、

配合充填剤としてのタルク、ゴムの3成分の特性と配合バランスが検討されている。

バンパフェイシアの成形加工には射出成形が用いられるが、薄肉化により金型内の流動性が低下し成形性が低下する。そのため、成形性の向上にはPP素材の流動性向上が必要となる。

バンパフェイシアは薄肉となると剛性が低下し、ワックス掛けをする時に押力による部品のべこつきが発生するため、素材の高剛性化が必要となる。さらにPP素材は、温度により特性が変化し、低温環境下の衝撃性が常温に対し低下する<sup>(2)</sup>。冬期の北米やロシアのような低温環境下では、衝撃性が低下し外力により部品が破損することが懸念されるため、衝撃性向上が必要となる。

一方で、Fig. 2に示すように、PP素材の剛性と衝撃性は相反する関係にある。さらに塗装後の低温衝撃性は、塗装前に比べて低下する。このためPP素材の開発だけで剛性と塗装後の低温衝撃性を両立させ、大きな軽量化効果を得るのは容易ではない。そこで低温衝撃性低下を抑制する塗膜を開発できれば剛性と衝撃性の両立が可能であると考えた。本稿では、薄肉化のためのPP素材と低温衝撃性低下を抑制する塗膜を新たに開発したので紹介する。



Fig. 1 Front and rear bumper fascia

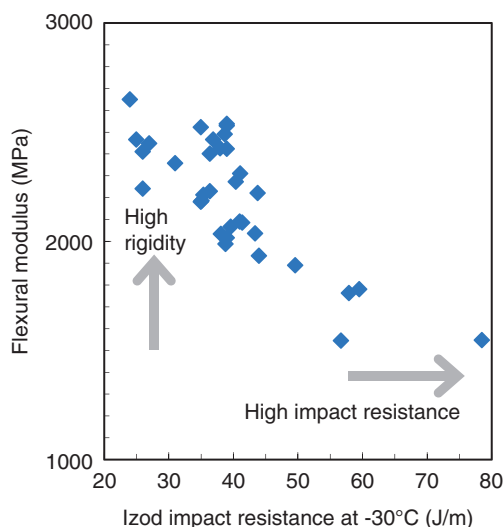


Fig. 2 Relationship between impact resistance and rigidity

## 2. 衝撃性低下抑制塗膜の考え方

一般的なバンパフェイシアの塗膜はPP素材との密着性を確保するプライマ、カラーを発現させるベース、紫外線から膜を保護するクリヤの3層で構成される (Fig. 3)。

塗装後の低温衝撃性の評価については、JIS K5600-5-3の6項<sup>(3)</sup>による変形デュポン式衝撃試験機を用いた (Fig. 4)。

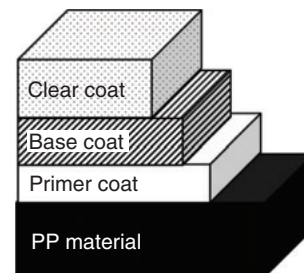


Fig. 3 Construction of bumper fascia coatings



Fig. 4 Modified Dupont impact tester

−30℃に冷却した試験片に1kgの重りを試験機の一定の高さから落下させ、試験片が割れなければ合格とした。落下高さを10cmずつ上昇させ、試験片が割れた高さを不合格とし、割れない最高値を衝撃値とした。また、バンパフェイシアの使われ方を調査し、実使用環境下で部品が破損しない衝撃値の目標を定めた。

塗装後の低温衝撃試験で割れた試験片の破面を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した結果を Fig. 5 に示す。割れは塗膜を起点に PP 素材表面へ進展し、下面へ伝播していることがわかる。

Fig. 6 に3層の塗膜と衝撃性の関係を示す。塗装していない素材に対して、プライマのみを塗装した場合とプライマとベースを塗装した場合はいずれも衝撃性は変化しない。一方、プライマとベースとクリヤを塗装すると衝撃性が低下する。

破面観察結果と塗膜各層の衝撃性の関係から、割れは以下のように起こると考えた。外力により試験片が変形する。この変形に追従できずクリヤ表面に割れが発生し、ベース、プライマ、PP 素材の順に伝播していき、PP 素材の割れに至る。割れの起点はクリヤであることから、クリヤ中の樹脂特性を変更し衝撃性低下を抑制することを検討した。

割れの伝播を抑制するためにクリヤの樹脂特性としては二つのタイプを考えた。一つめは外力による変形に追従する軟質タイプで、二つめは特定の割れの優先的な進展を避けるため、逆にクリヤを割れやすくし割れの数を増やすことで応力を分散し、割れの進展を抑制する硬質タイプである。軟質タイプは、夏季の高温下でクリヤ表面が軟質化しべとつくため、汚れが落ちにくくなり、変色による外観商品性の低下が懸念される。高温下のクリヤ汚染性と低温環境下の衝撃性を両立する樹脂特性の設定は容易ではない。

硬質タイプはクリヤを割れやすくすることで塗膜のフレキシブル性が損なわれ、バンパフェイシア脱着時の塗膜割

れによる外観商品性の低下が懸念されるが、脱着作業を模した屈曲試験で塗膜が割れない設計とすることで樹脂特性の設定が可能と考えた。

以上から、従来同等の機能と衝撃性低下の抑制を両立させるためにクリヤは硬質タイプの応力分散型とした。

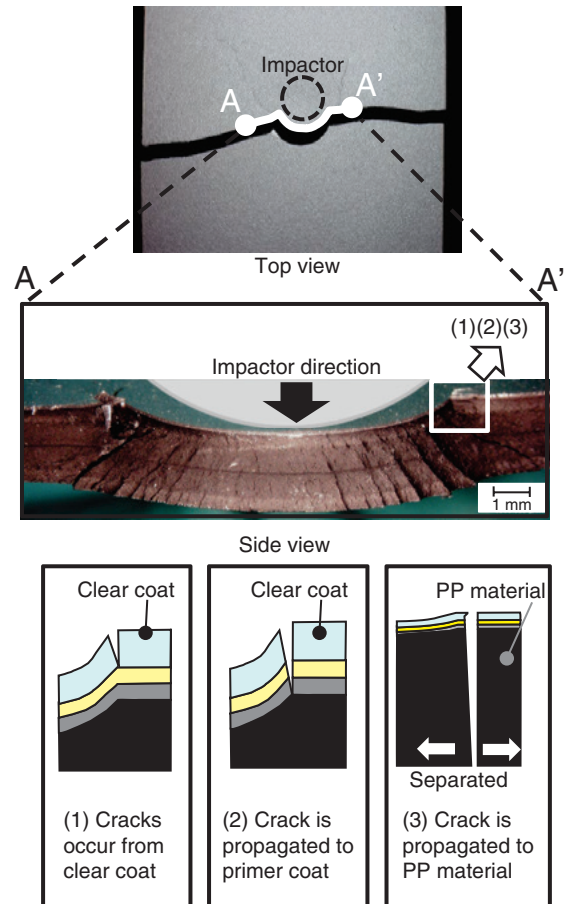


Fig. 5 SEM photograph of broken panel

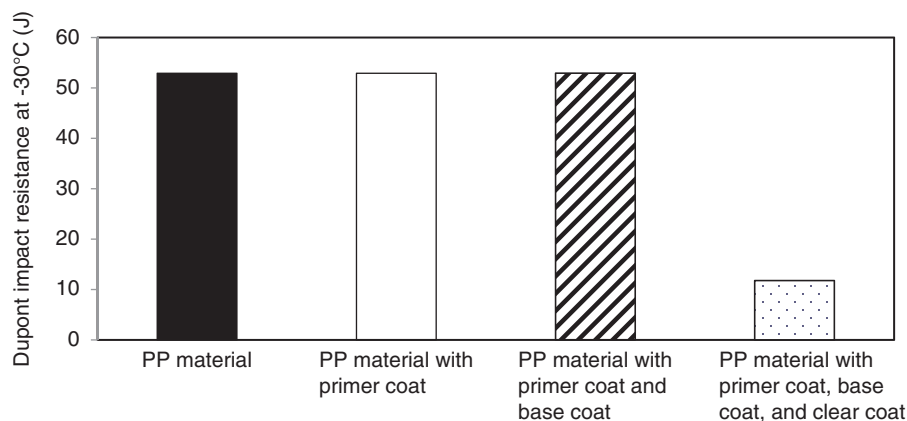


Fig. 6 Impact resistance of 3.0 mm PP material with coatings

### 3. 開発のねらい

薄肉化の目標は、既量産車のバンパフェイスの重量と平均肉厚を調査し、対他競争力のある軽量化 20% 以上、平均肉厚 2.0 mm とした。

#### (1) 流動性

平均肉厚を従来材 3.0 mm から 2.0 mm に薄肉化するため、2.0 mm でも PP 素材が流動するように約 50% 高流動化することを目標とした。流動性の指標にはメルトフローレート (MFR) を用いた。

#### (2) 剛性

一般に剛性は板厚の 3 乗に比例する。平均肉厚 2.0 mm で 3.0 mm 並みの剛性を確保し、20% 軽量化するために、比重を  $1.04 \text{ g/cm}^3$  以下、曲げ弾性率を 2200 MPa 以上とした。なお、曲げ弾性率の測定は ASTM D790<sup>(4)</sup> に準拠おこなった。

#### (3) 衝撃性

塗装の有無で PP 素材の衝撃値を比較した。Fig. 7 に示すように、従来材について (a) 塗装した PP 素材は無塗装の PP 素材の衝撃値に対して約 80% 低下する。(b) 肉厚を 3.0 mm から 2.0 mm へ薄肉化することで PP 素材の衝撃性が低下する。さらに、(c) PP 素材を高剛性化すると、衝撃性は従来材より低下する。(d) 薄肉、高剛性化した PP 素材に従来塗装をおこなう

と、目標とする衝撃値を下回る。(e) 薄肉、高剛性化による PP 素材の衝撃性低下分を推測し、塗装後の低温衝撃性を確保するための低下分は 50% 以内に抑制することを目標とした。

### 4. 開発仕様

#### 4.1. 高剛性かつ高流動な PP 素材

PP 素材には PP 樹脂、タルク、ゴムの 3 成分が主に配合されている。目標の比重と剛性を両立させるため、剛性向上成分であるタルクを増量し、剛性を低下させるゴム成分を減量した。

従来 PP 素材中のタルクは増量による比重増加分に対して剛性向上効果が小さく目標を達成できないため、開発材は異なるタルク種を検討した。一般的に配合が同量のタルクでは縦横比 (アスペクト比) が高いほど剛性向上効果が高いため、高アスペクト比のタルクを選定し、従来材に対し約 2 倍量を配合した。

ゴム成分は射出成形時に表層部で延伸され塗膜の密着性を向上させる効果があるため、減量による密着力低下が懸念される。安定した塗膜の密着強度を確保するため、ゴム成分の減量は従来材に対し約 30% とした。PP 素材中の 3 成分の配合比率を Fig. 8 に示す。

高流動化については、PP 素材中で最も配合量が多い

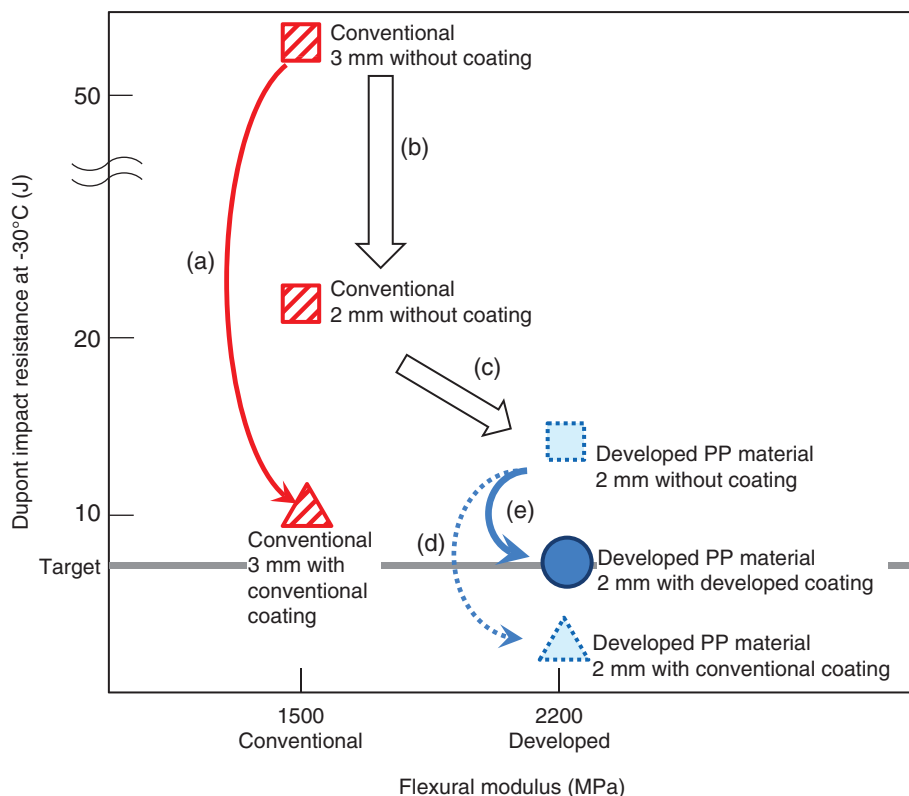


Fig. 7 Relationship between flexural modulus and Dupont impact resistance

Table 1 Properties of conventional and developed PP material

| Properties                    |                                       | Conventional | Target value | Developed |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|-----------|
| Moldability                   | Melt flow rate (g/10 min)             | 28           | $\geq 42$    | 44        |
| Rigidity and weight reduction | Flexural modulus (MPa)                | 1500         | $\geq 2200$  | 2280      |
|                               | Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.95         | $\leq 1.04$  | 1.04      |

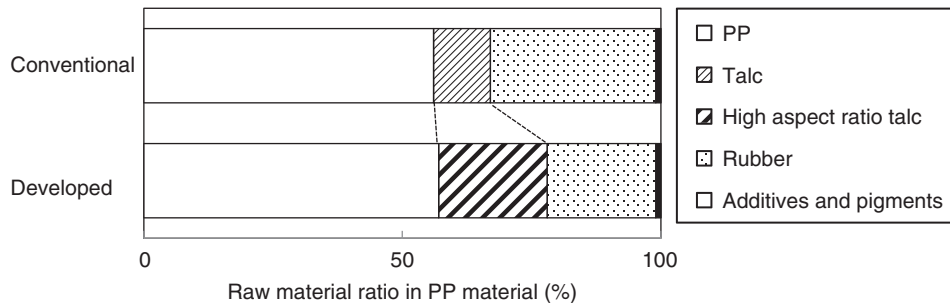


Fig. 8 Comparison of raw material ratio

PP樹脂の平均分子量を下げ低粘度化することで達成した。開発材と従来材を比較した結果を Table 1 に示す。

#### 4.2. 応力分散型クリヤ仕様

バンパフェイスには熱硬化型ウレタンクリヤが使用される。このクリヤ中の主成分であるアクリル樹脂を外力入力時に多数の割れが入るよう硬くもろい設計とした。具体的には、アクリル樹脂を従来材に対し高ガラス転移温度(Tg)とした。

さらに塗膜変形時に割れの起点となる硬質な粒子状の樹脂を配合した。粒子状の樹脂については、粒径が大きいと光が拡散されてしまいクリヤの光沢低下が懸念されるた

め、光沢を維持できる 0.1 μm 以下のものを配合した。

Fig. 9 に示すように、アクリル樹脂を高 Tg 化し、粒子状の樹脂を配合することで衝撃性が向上した。本クリヤを使用することで、塗装後の衝撃低下率は従来クリヤの約 80% に対し約 50% に抑制できた (Fig. 10)。

従来クリヤと応力分散型クリヤの衝撃試験後の塗膜断面を SEM で観察した。Fig. 11 から従来クリヤは応力が一ヶ所の割れに集中し、鋭利な割れとなって基材中に深く伝播していることがわかる。これに対し応力分散型クリヤは、塗膜に多数の割れが入っており、PP 素材の割れも浅くなっていることから、応力が分散され素材割れが抑制されていることがわかる。

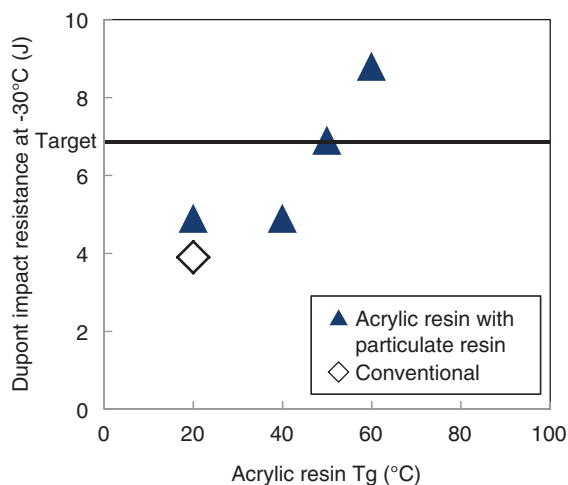


Fig. 9 Relationship between acrylic resin Tg and Dupont impact resistance

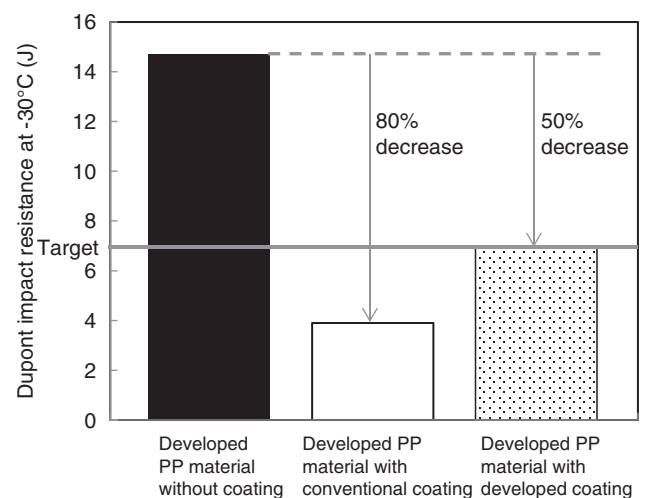


Fig. 10 Dupont impact resistance of developed 2.0 mm PP material with developed coating

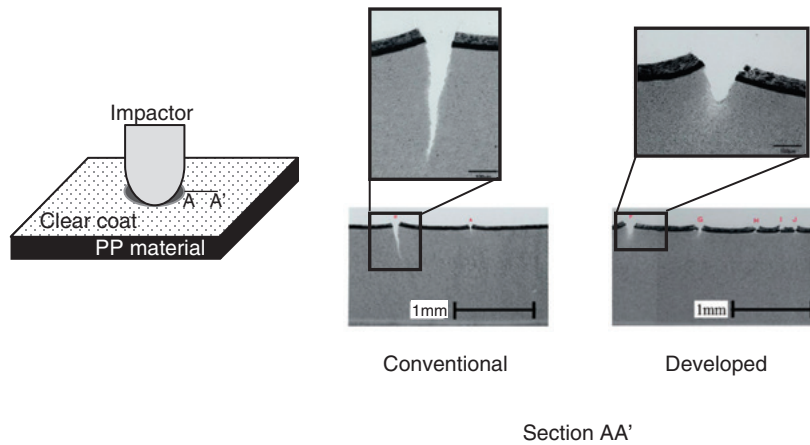


Fig. 11 Section AA' of coated PP after impact test, taken using SEM

## 5. 製品性能評価

## 参考文献

高剛性、高流動の PP 素材に応力分散型クリヤを塗装したバンパフェイスアの部品性能を振り子衝撃試験、押力に対する変形量測定、部品の脱着試験で確認した。

低温環境における車の使い方を想定し、 $-30^{\circ}\text{C}$  環境で十分に冷却したバンパフェイスア下部への振り子衝撃試験で破損がないことを確認した。

押力による部品のべこつきについては、一定荷重を入力した時の変形量を測定し、基準値以下であることを確認した。

塗膜割れについては、バンパフェイスアの脱着作業による検証をおこない、割れによる外観商品性の低下がないことを確認した。

部品の衝撃性と剛性を損なうことのない薄肉軽量なバンパフェイスアを開発し、2016 年モデルの CIVIC から適用を開始した。フロントとリヤを合わせて 23% 軽量化できた。

## 6. まとめ

以下に示す PP 素材とクリヤ塗膜の組合せにより、剛性と低温衝撃性を両立しつつバンパフェイスアを薄肉化することができた。

- (1) PP 素材については、PP 樹脂を低粘度化することで射出成形時の流動性を向上させた。また、高アスペクト比のタルクを選定し、目標とする比重と剛性値を両立した。
- (2) クリヤ塗膜については、アクリル樹脂を高  $T_g$  化し、 $0.1\ \mu\text{m}$  以下の粒子状樹脂を配合することで、外力による変形時の割れ起点を増やした応力分散型の仕様とした。

- (1) 朝野千明, 藤和久, 原正雄, 大西正明: バンパ用高剛性ポリプロピレン材料の開発, マツダ技報 No.30, p.191-194, (2012)
- (2) エドワード・P・ムーア・Jr. 編著, 保田哲男, 佐久間暢: 衝撃改良 PP, ポリプロピレンハンドブック 基礎から用途開発まで, 株式会社工業調査会, p.258, (1998)
- (3) JIS K5600-5-3:1999 塗料一般試験方法 - 第5部: 塗膜の機械的性質 - 第3部: 耐おもり落下性
- (4) ASTM D790-10: 2010, Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

## ■ 著 者 ■



能見 恵美



中 根 健