

平成 20 年 8 月度技術士 C P D ミニ講座 (第 18 回)
「自動車技術を支える『プラスチックの現状と将来』」
- 軽量材料 (高張力鋼、アルミニウム、プラスチック) の
外板パネル部品、構造部品への適用可能性の考察 -

1 . 開催日時 : 平成 20 年 8 月 6 日 18 時 ~ 20 時

2 . 場所 : 日本技術士会荳手第二ビル 5 階 A B 会議室

3 . 講師 : ポリマー技術・ビジネス開発研究所 主宰 岩野 昌夫 氏

技術士 (化学部門・高分子製品) 環境計量士 (濃度関係)

講師の略歴 : 過去 30 年間、三菱化学 (株) とデュポン (株) で自動車部品用プラスチックの研究開発、企画、市場開発、営業に従事してきた。現在は、この分野での技術コンサルティングと技術・市場調査にもとづくレポート・論文の発信を行っている。

e-mail : iwnms@kpb.biglobe.ne.jp

著作 : 「自動車用プラスチック 自動車の高性能化と環境・安全問題への対応」
1997.1 (株) 工業調査会刊

お願い事項 : 講演要旨の文章、表、図を引用する場合には、かならず「岩野昌夫:技術士CPDミニ講座 (2008.08.06)」なり「参考文献」なりを明記して下さい。

4 . 講演要旨 : 「軽量材料 (高張力鋼、アルミニウム、プラスチック) の外板パネル部品、構造部品への適用可能性の考察」と題してご講演された。

1) プラスチックが自動車に活用されている事例説明 : 自動車に具体的に使用されているプラスチックの材料と使用部位を、車全体について説明された。プラスチック材料の優位な特性を活かして、沢山の部位に使用されていることを分かり易く解説した。

2) 自動車用プラスチックのトレンド (原材料構成比推移)

(1) (社) 日本自動車工業会の公表データ : 1973 年 ~ 2001 年の 29 年間で樹脂使用比率が 2.8 倍に増加したが、車両重量が 63% 増加したので、1 台当りの使用量は 4.6 倍になった。この間乗用車の生産台数はほぼ 2 倍に増加しているため、プラスチック使用量は 9.2 倍に増加したことになる。プラスチックの構成比は 2001 年度に 8.2% であったが、2007 年では 8.5% 程度と推定する。なおプラスチックのなかでは、特にポリプロピレンが大幅に増加している。

(2) 自動車メーカーの公表データ : 日産車のプラスチック構成比 ブルーバード (1995 年モデル) 8.0%、シルフィ (2000 年モデル) 8.1% で自工会資料よりも、若干高い。また、最高で 9.3% の車両がある。トヨタ・オーリス Auris (2007 年モデル、ヨーロッパ仕様車) はプラスチック構成比 10.2% と高い比率になっている。PP を全プラスチックのうちの 51% 使用。

3) 軽量材料への期待 : 国内 CO₂ 総排出量約 13 億トン、輸送部門はこのうち 20%、自動

車関連で 20%のうちの約 90%を占めている。さらに自動車関連のなかで、走行中に排出される量が 80%を占めているが、これは国内総排出量の 14%に相当するので、軽量化が重要である。

車両軽量化の効果

- (1) 燃費性能の向上 枯渇資源保護 (中型乗用車で 100kg 軽量化すると燃費が 3% 向上)
- (2) CO₂排出量の減少 地球環境保護 (地球温暖化対策)
(EU における CO₂排出量規制の強化: 2012 年より 120grams / km 以下に対応する必要もある。)

4) 軽量材料 (高張力鋼、アルミニウム、プラスチック) の特性対比 (<資料 1 >)

- (1) 比剛性: 等曲げ剛性厚さに基づく対スチール軽量化率
CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics, 炭素繊維強化プラスチック): 65%
PP-LGF40(Polypropylene-Long Glass Fiber40%, ガラス長繊維 40%強化ポリプロピレン): 52% PA6-GF30(Polyamide-GF30, ガラス繊維 30%強化ポリアミド (ナイロン)): 49% アルミ: 49%
- (2) 比強度: 等引張強度厚さに基づく対スチール軽量化率
CFRP: 74% PP-LGF40: 33% PA6-GF30: 23% アルミ: 10%
- (3) 衝撃エネルギー吸収性: 高剛性、高強度のプラスチック (繊維強化タイプ) は、一般的に破断伸びが小さいために、衝撃吸収エネルギー性能が極めて低い。
 - ・ 金属パイプは、圧縮応力負荷時に座屈現象により大きなエネルギーを吸収することが出来る。プラスチックにはこのようなメカニズムはないが、繊維の配向を工夫することにより、プログレッシブ・クラッシングを起させて大きなエネルギーを吸収させることができるので、このような工夫をすれば繊維強化プラスチックも外板パネルや構造部品への採用の可能性が出てこよう。(<資料 2 >)
- (4) 考察: 軽量材料の選択にあたっては、対象部品に必要な以下に記す主要特性 (物性、生産性、材料コスト等) の観点から、総合的に判断する必要がある。
 - ・ 軽量材料の主要特性 (物性、生産性、材料コスト) の対比: 低密度、力学物性 (比剛性、比強度、衝撃エネルギー吸収性、等方性) 耐熱性、耐腐食性、生産性 (成形法、成形時間 - パネル部品の場合) リサイクル性、材料コスト
 - ・ 繊維強化プラスチックは、スチール、アルミと比較して、リサイクル性と材料コストが特に大きな課題として残っている。

5) 軽量材料 (高張力鋼、アルミニウム、プラスチック) の採用の現状と将来における期待

- (1) モノコック構造における軽量材料の採用状況: 車両の前後部分をクラッシュブル・ゾーンとして衝撃エネルギーを吸収し、車室部分をセーフティ・ゾーンとする設計
- (2) 最近の乗用車における軽量材料の採用状況:
 - 日産・フーガ (2004 年型) の軽量材料採用部品 - アルミ合金 (フード、ドアパネル、トランクリッド) 高張力鋼 (フロントメンバー、サイドシル)
 - トヨタ・プリウス (2003 年型) の軽量材料の採用部品 - 高張力鋼の採用、アルミ化、樹脂化 (プラスチック燃料タンク等)
- (3) プラスチックの外板パネル部品への開発

採用例： 垂直外板部品 - バックドア・モジュール (PP 複合材他) マツダプレマシー (2005 年型) オフライン塗装
水平外板パネル部品 - エンジンフード (CFRP) - ホンダ NSX-R (2002 年型)

(4) 近未来 (2015 年 ~ 2020 年) における軽量材料採用の期待：高張力鋼板、アルミなどのボティ骨格構造部品、プラスチックフェンダー、アルミ製ドアパネル、クッション性を持つ伸縮表皮シート、透明プラスチック製ウインドウとルーフ

(5) 未来 (2021 年 ~) における CFRP 採用の期待： 部品別の重量割合と CFRP 採用の期待：東大海洋研究所・高橋 淳教授の提言 - CFRP350kg の採用 (およびエンジンなどの小型化など) で、車両重量 40% 低減 東レの CFRP 適用部品への期待 - 対象部品 (フード、ドアパネル、ルーフ、トランクリッド、フロントサイドメンバー、プラットフォーム、サイドシル) への適用で 200kg の軽量化

6) 結言：今後、軽量材料による車両の軽量化は更に強力に展開されよう。その中でも、プラスチックにはより大きな期待がかけられるであろう。

(1) 問題点： パネル部品の場合、プラスチックは月間 2,000 ~ 3,000 台を越えると、スチールに比べてコストが高い。 外観品質が日本の顧客の厳しい要望に応えられるか？ リサイクルのインフラが出来上がっていない。

(2) 開発・採用のためのインセンティブ：プラスチック採用拡大のための必要条件
より低コストで優れた性能を持つ材料の開発、優れた成形技術の確立、モジュール化によるアッセンブリ工数の低減、重量低減、トータルコストの低減、材料のリサイクル性向上とリサイクルのインフラ整備

(3) 開発・採用が期待される部品と必要材料特性：高剛性・高強度・衝撃エネルギー吸収性を持つプラスチックの開発と部品への応用を期待

水平外板、モノコックボティ構造体 車両衝突時の高い衝撃エネルギー吸収性に優れたプラスチック：CFRP は高コストのため高級乗用車やスポーツカー以外の応用は難しいが、走行距離の長いトラック (車体の軽量化による積荷重量の増加効果があり、車両価格が高いために、材料の高コストを吸収しやすい) では採用が期待される。(東大・高橋 淳教授)

歩行者保護外装・外板部品、ニーパッドなどの乗員の車室内衝突安全部品 比較的軽度の衝撃エネルギー吸収性に優れたプラスチックとその構造体：発泡構造体 (ストラクチュラルフォーム) サンドイッチ構造体、又、NOVA (Non Viscoelastic Alloy) のような優れた衝撃エネルギー吸収性と復元性を持つ新規プラスチックに期待したい。

5. 所感

- ・プラスチックが自動車に拡大採用されるためには、外板パネル部品、構造部品への適用が必須である。そのためには、軽量材料としての高張力鋼、アルミニウム材料と比較して、優位な材料に位置づけられなければならない。そのための課題と解決の方向付けを把握できた。
- ・2015 年ごろからの、また 2021 年ごろからの軽量材料の適用部品の予測がされていて、今後の材料開発への期待と課題の高さを把握できた。

- ・ 自動車用プラスチックの現状と将来について、現状から更に拡大してゆくための、自動車業界への課題と材料の問題についても、軽量化を推進する必要と課題を把握できて、自動車業界と関係の少ない技術者に対しても有益な講演であった。

2008年9月7日 文責：生涯教育推進実行委員 江口 正芳

<資料1>

表1 等曲げ剛性厚さに基づく対スチール軽量化率¹⁾

物性	単位	金属		プラスチック		
		スチール (高張力鋼 780MPa級)	アルミニウム	熱硬化性	熱可塑性	
				CFRP (60vol%, (70wt%) CF強化)	汎用プラスチック PP-LGF40 (*1) (40wt%LGF強化)	エンジニアリングプラスチック PA6-GF30 (*3) (30wt%GF強化) 絶乾時
密度 ρ_m	kgf/m ³	7.8×10^3	2.7×10^3	1.57×10^3	1.22×10^3	1.36×10^3
曲げ弾性率 FM_m	MPa	210,000	71,000	43,000	7,700	9,200
$(FM_m)^{1/3}$	(MPa) ^{1/3}	59	41	35	20	21
等曲げ剛性厚さ t_m = $(FM_{steel})^{1/3} / (FM_m)^{1/3}$ (*4)	mm	1.0 (仮定)	1.4	1.7	3.0	2.8
比剛性 $SR_m = (FM_m)^{1/3} / \rho_m$ (*5)	(MPa) ^{1/3} /(kgf/m ³)	7.6×10^{-3}	15×10^{-3}	22×10^{-3}	16×10^{-3}	15×10^{-3}
対スチール軽量化率 WRR_{FIm} (*6)	%	0	49	65	52	49
注	(*1) 日本ポリプロピレン/ファンクター LR24A, (*2) 旭化成/ナイロン A0100, (*3) 三菱エンジニアリングプラスチック/パルミド 1013GH30-1 (*4) 材料 m 製品の等曲げ剛性厚さ t_m とは, スチール製品の厚さ t_{steel} を 1mm と仮定した場合にスチール製品の剛性と同一の剛性を持つ材料 m 製品の厚さを意味する。材料の(曲げ剛性)が(曲げ弾性率 FM)と(試験片の厚さ t) ³ に比例することから, $t_m = (FM_{steel})^{1/3} / (FM_m)^{1/3}$ (JIS K 7203-1982) (*5) $\{(FM_m)^{1/3} / \rho_m\}$ を材料 m の比剛性 SR_m と定義する。 (*6) 材料 m の対スチール軽量化率 WRR_{FIm} (Weight Reduction Ratio _{FIm}) = $[1 - SR_{steel} / SR_m] \times 100\%$					

表2 等引張強度厚さに基づく対スチール軽量化率¹⁾

引張強度 TS_m	MPa	780	300	620	180	170
等引張強度厚さ T_m = TS_{steel} / TS_m (*7)	mm	1.0 (仮定)	2.6	1.3	4.3	4.6
比強度 $SS_m = TS_m / \rho_m$ (*8)	m	10,000	11,000	39,000	15,000	13,000
対スチール軽量化率 WRR_{TSm} (*9)	%	0	10	74	33	23
注	(*7) 材料 m 製品の等引張強度厚さ T_m とは, スチール製品の厚さ T_{steel} を 1mm とした場合にスチール製品の引張強度と同一の引張強度を持つ材料 m 製品の厚さを意味する。(*8) $SS_m = TS_m / \rho_m$ を材料 m の比強度と定義する。 (*9) 材料 m の対スチール軽量化率 WRR_{TSm} (Weight Reduction Ratio _{TSm}) = $[1 - SS_{steel} / SS_m] \times 100\%$					

<資料2> 圧縮応力がかかる場合のエネルギー吸収に関する考察 (岩野まとめ、参考文献2))

(1) 金属の場合

転位による座屈 (progressive folding) が生じるので、エネルギー吸収量が大きい。(図1)

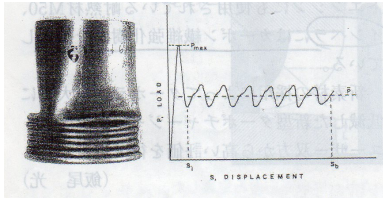


図1 金属パイプの座屈と圧縮荷重 変位曲線²⁾

(2) プラスチックの場合

- ・座屈のメカニズムはないので、脆性破壊が生じ、その結果エネルギー吸収量は一般に小さい。(図2左)
- ・しかし、円筒上面の一端にテーパを設けると、破壊はテーパ部から徐々に進展し、破壊部分が放射状に周囲に進展する。さらに、この破壊では初期破壊の後にほぼ一定の荷重値を示しながら破壊が漸進的に進展するので、吸収エネルギー量が大きくなる。このような破壊形態をプログレッシブ・クラッシング (progressive crushing) と呼ぶ。(図2右)
- ・プログレッシブ・クラッシングのメカニズムを繊維強化プラスチック製円筒に積極的に導入した自動車部品として、三菱自動車(株)のシャリオグランディスとRV R (1997年モデル)に搭載されたインパネステーがある。この部品は、プルトルージョン成形法により、GF (ガラス繊維) が1軸方向 (長手方向) に配向した中空断面形状に成形されている。したがって、車両に大きな衝撃が入った場合に、運転者の頭がステータに当たっても、プログレッシブ・クラッシングによりエネルギーが吸収されていくために、運転者の頭に負荷される加速度と荷重が緩和されて、ダメージを抑えることが可能となる。(図3, 4)³⁾
- ・このように繊維強化プラスチックは、材料設計と部品形状の設計により、非常に優れた衝撃吸収材となりうる。乗員や歩行者を衝突時に守るための部品に適用される期待がある。
(車両の衝撃吸収部品として金属を採用する場合、変形初期の急激な荷重変動問題を解決する工夫をしないと、衝撃加速度による乗員への大きな負担が生じる恐れがある。(図1))

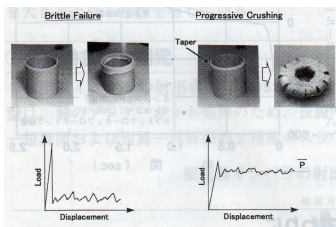


図2 繊維強化プラスチック製パイプの座屈と圧縮荷重 変位曲線²⁾

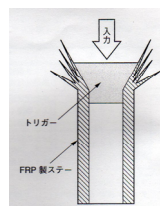


図3 FRPステアにプログレッシブ・クラッシング³⁾

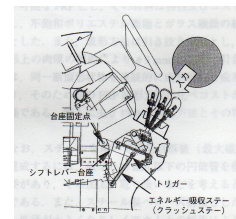


図4 インパネシフトの構造³⁾

(左) 単なる円筒の場合の脆性破壊

(右) 円筒の上面にテーパを設けた場合の
プログレッシブ・クラッシング

参考文献

- 1) 岩野昌夫: 「自動車用構造部品に対する要求特性と樹脂化」成形加工 ((社)プラスチック成形加工学会誌) Vol.20, No.6, P.324-330 (2008.6)
- 2) 濱田泰以: 「衝撃吸収材」, 『複合材料活用事典』 P.98-101 産業調査会刊(2001.1)
- 3) 伴 和義, 岩本勝敏: 「FRP製衝撃エネルギー吸収ステアの開発」三菱自動車テクニカルレビューNo.10, P.111-115 (1998)