解 説

コンパウンド複合材料—V. スタンパブルシート フィルム型

野 村 昌*

1. は じ め に

補強繊維マットに熱可塑性樹脂を含浸させた複合材料で、板金のプレス加工と類似の方法でプレス成形加工ができるシート材料（スタンパブルシート）が、新しいプラスチック複合材料として注目されている。

熱可塑性樹脂にガラス繊維を混入したいわゆる FRTP は、ベースとなる汎用樹脂の耐熱性、寸法安定性、弾性率などの物性を改良され、広く各種分野で実用化されてきた。しかし、これらはいずれもベース樹脂の改良の域を出ず、構造材料としては「性能」と「コスト」の点でいまい一つ信頼性に欠けるものがあった。これを解決したのがスタンパブルシートである¹⁾。

スタンパブルシートは今、地球温暖化の主な原因である CO₂ の抑制のために、自動車の燃費向上のための「軽量化材料」として世界的にその需要を拡大しつつある。

日本においてもスタンパブルシート市場への参入が盛んに行われており、各種のスタンパブルシートが登場しているが、その中でもガラス長繊維マットと PP との組合せである、ラミネート法（乾式法）によるものはスタンパブルシートを代表するもので、そのすぐれた物性と加工性および高生産性から、特に自動車の、“軽量化” “一体化” “耐食性” “リサイクル性” などへの要求の高まりと共に、急速にその用途を拡大している。

スタンパブルシートは、シートの製造上から、ラミネート法（フィルム型-乾式法）と分散法（抄紙型-湿式法、乾式法の 2 種類）に大別される。前者が長繊維マットを基本としているのに対して、後者は中繊維マットを使用している。他に欧州で短繊維マットを使用している例もあるが、現在世界における商品化例のほとんどが長繊維マットを補強材とし、これに PP を含浸させたラミネート法（フィルム型）によるものである。以下に、スタンパブルシートの適用例を基に、現状技術と今後の技術課

題について述べる。

2. スタンパブルシートの製造法と特徴

まず素材については、現在の商品化例では補強材はまだガラス繊維（以下 GF と略す）に限定されている。マトリックス材もわずかに PET, PBT の採用例もあるが、ほとんどがポリプロピレン（以下 PP と略す）である。

次に製造工程としては、まず、連続した GF に特殊な加工を施して立体構造の不織布マットとし、これに PP を溶融合浸させている。図 1 にアズデル原板の積層加工工程を示す。アズデル原板は、成形加工時に加熱されると、ガラスマットが元の立体構造に復元し、溶融状態にある PP 樹脂を形状保持させるため、ハンドリング性を良くし、さらには複雑な形状の成形品においてもガラス長繊維が均等に分布し、強度および寸法精度の優れた製品を得ることができるように高度な工夫がなされている²⁾。

抄紙型の中繊維タイプは繊維長が短いことによって、リブ・ボスなどの製品端部への GF の流動性（局部流動性）がよいという特性を有している。一方、フィルム型の長繊維タイプは全体的な初期流動性に優れており、製品形状への成形加工が容易である。また成形時の GF の配向が小さいことから製品の強度および寸法安定性が大きく、物性特に耐衝撃性（特に低温時）に優れた特性を発揮する。さらに成形加工時の作業性においても加熱されたシート（ホットブランク）の剛性が高くかつ「べたつき」がないために、金型へのチャージ性が良く、特に自動化ラインにおいては非常に有利となる。なお、リブ・ボスなどの製品端部への GF の流動性が問題となる製品に対しては、改良材（高流動材）の開発が行われている。

これらの技術は、ランダムなガラス長繊維マットを使用した、均質な成形品が得られる標準グレードが基本であるが、特に、ある方向の強度が要求される例えばバンパービームなどの製品に應えるために、一方向強化グレードが新たに開発された。一方向強化グレードとは、ラ

* Sho NOMURA : 宇部日東化成㈱名古屋支店 (460 名古屋市中区錦 2-15-22)

表 1 アズデル「標準グレード」と他の競合材料との基本物性比較

	単 位	アズデル GC40%	FRPP GC30%	SMC	アルミ	鋼 板
比 重	—	1.2	1.12	1.8	2.8	7.85
引張り強度	kgf/mm ²	9	7	9	16	28
曲げ強度	kgf/mm ²	16	12	18	16	28
曲げ弾性率	kgf/mm ²	560	450	1,000	7,200	21,000
アイゾット衝撃強度 (ノッチ付)	kgf・cm/cm	80	8	60	—	—
熱変形温度	—	156	135	225	—	—
線膨張係数	cm/cm/°C・10 ⁻⁵	2.7	3.7	2	2.3	1.17
成形収縮率	%	0.2	0.6	—	—	—

ンダムマットを使用する標準グレードを基本とし、これを一方方向に対してガラス長繊維で強化したものである³⁾。

材料の一般的な特徴を示すと、

- (1) 軽量で、強靱な製品が得られる。
- (2) 衝撃特性が優れる、特に低温において顕著である。
- (3) 耐腐食性、耐薬品性に優れている。
- (4) 生産性が高い、成形サイクルが 30~60 秒で、熱硬化性の複合材料 SMC と比較すると、成形サイクルは 1/3~1/4 である。
- (5) 流動特性が優れており、大型成形品においても寸法、強度の安定した製品が得られる。
- (6) 複雑な形状の製品を一体で成形することができるため、製品設計の自由度が高く、金型費用が低減できる。
- (7) 熱可塑性樹脂を使用しているので、リサイクルが可能である。

3. 材料技術の現状と課題

3.1 標準グレード

表 1 に「標準グレード」と他の複合材料および金属材料との基本物性の比較を示す。標準グレードは、ランダムなガラス長繊維マットを使用したガラス含量 40% 品である。このものは、「成形性」と「物性」が最もバランスがとれており、自動車、非自動車の各種分野で最も広く使用されている。これにはカーボンブラック量により LK, MK, BK の三つの基本品種が用意されている。これらは外観、耐候性、耐熱老化性などの要求性能に応じて使い分けが成されているがいずれも基本物性はほと

図 1 「アズデル」原板の製造工程

図 2 アイゾット衝撃強度 (ノッチ付) の温度依存性

んど同じである (表 2)。従来の射出成形用 FRPP と比較すると、特に衝撃強度 (エネルギー) に大きな差が認められ、補強繊維の長さの影響が非常に大きいことがわかる。図 2 にアイゾット衝撃強度の温度依存性を示す。通常プラスチック材料が低温で脆くなるのに対して、アズデルは低温のほうが衝撃強度が強くなる。これはア

表 2 アズデル「標準グレード」の基本品種

品 種	単 位	P1037LK	P1037MK	P1137BK
カーボン含有量 (対 PP)	wt %	0.04	0.2	1.0
基本物性		表 1		
曲げ疲労特性 (10 ⁷ 回)	kgf/mm ²	3.8		3.5
熱老化性 (150°C LTHA)	hr	1,000~1,500	800	400~500
耐候性 (W.O.M.) 2000 hrs. 後の強度保持率	%		80	
GF 繊維の表面露出時間	hr	200 以下	600	4,000
スタンパビリティ (成形性)	ton	40~45	40~45	45~50
成形品外觀		薄い黒色で繊維が見える 黒色で、繊維が見えない		

イゾット衝撃試験片の破断面の観察から、長繊維強化の場合の破壊モードがマトリックスからの GF の「脱接合および引抜」であり、低温ほど GF を取巻くマトリックス樹脂の収縮により、界面の摩擦抵抗が大きくなるからと考えられる。これは、長繊維強化プラスチックに共通した現象である⁴⁾。また、この衝撃強度の値はノッチ付の場合であるが、ノッチなしの場合でも値はほとんど変わらず、ノッチ効果の少ない材料であることを示している。これらの特性は、耐久疲労強度特性と並んで、従来のプラスチック材料のイメージを大きく変え、材料の信頼性を高めた大きな要因となっている。次に、鉄に対しては、設計自由度の高さと強度解析等により平均肉厚 2~3 倍で等性能を満足している。その結果、バッテリートレイ、リトラクタブルヘッドランプハウジング、A/T シフトベース等自動車部品の商品化例では 50~70% の軽量化、防錆、一体成形によるコントダウン (工数減、型費減) が達成されている。コスト、加工性などに難点はあるが、軽量化率やリサイクル性の点で注目されているアルミ材との比較では、材料になるまでの一次エネルギー消費を考慮すれば、トータルでは地球環境保護に対する貢献度はスタンパブルシートのほうが大きいと考えられる。SMC との比較では、等強度比較ではほぼ同一肉厚で設計できるのでかなり軽くなるが、等剛性比較ではあまり軽くない。しかし曲げ試験での S-S 曲線比較から、弾性率は SMC より低いが、破壊および弾性限界内でのエネルギー比較では、2~4 倍にもなる。このことはアズデルが、軽量で、強靱な材料であり、低衝撃では、凹みや傷が付きにくく形状が復元しやすいとい

う性質があることを示している³⁾。そのほかに成形サイクル、リサイクル性、作業環境等の点で優位にある。

3.2 特殊グレード

これらの標準品種のほかにも用途に応じた特殊グレードが用意されている。例えば、自動車の外装部品に要求される耐候性を保持した超耐候グレードが、フェンダー、ステップなどに使われている。ガラス含有率 (GC) 30% の品種は、低比重で成形加工性に優れており、軽量で薄肉の製品が得られるため、軽量で大型の成形品ができるというスタンパブルシートの特徴を発揮して、アンダーカバー類に多く使用されている。本商品化例では広い温度範囲 (特に低温) における衝撃強度の強さと耐食性、耐久性などの特性を保持しつつ、従来の鉄製品に対して 50~70% の軽量化を達成している。また軽くて寸法精度がよいので部品の取付作業性がよく組立工場で好評である。日本では、現在ほとんどオフロード車のエンジン、ガソリンタンク、トランスミッションなどのアンダーカバーに採用されているが、今後騒音対策、エアロダイナミックスなどの要求の高まりと共に欧州の例のように普通車への展開も考えられる。電力ケーブルの接続部カバーには、気密グレードおよび難燃グレードが使用されている。これは特殊な材料配合によって達成された。そのほかに、耐衝撃性を少し犠牲にしても、剛性アップのためにリブやボスを付与した設計に応えるために高流動材の開発が行われている。

3.3 UD グレード

UD グレードは、ある方向に特に強度が要求されるバンパービーム用途に開発された一方向強化グレードであ

り、直線繊維の配向方向の強度、弾性率は飛躍的に向上しているが、その直角方向での強度は標準品よりも低くなる。UD グレードは、一方向に配向させたガラス長繊維とランダムなガラス長繊維とを組合せた特殊なガラス長繊維マットに PP を溶融、含浸させたものである。したがって標準グレードの一般的な特徴はある程度維持している。強化された方向への成形流動性は若干低下するが、チャージパターンの工夫により解決できる⁵⁾。図3に、強化方向から直角方向に向けて角度を振った場合の物性値を示す。下に凸の曲線は、強化方向の GF が少し乱れても、物性値が大きく低下することを示唆するものである。

バンパービームは車種によって製品形状および要求性能が異なるのでそれぞれに適した各種 UD 材が開発されている。現在は対米向け5マイル仕様为主体であるが、今後、軽量でエネルギー吸収が大きくコスト、リサイクル性、安全性等最もトータルバランスの優れた材料として、国内車にも拡大していくものと期待されている。

4. 成形加工技術

図4にアズデルの成形加工の工程図を示す。成形条件で特に重要なのは、加熱、プレス速度、チャージパターンである。加熱はブランクの均一加熱を得るために遠赤外線加熱炉が使用され、成形サイクルに合わせて通常3~6ゾーンに設計されている。ブランクの内部温度が低すぎると「欠け」が発生しやすく、表面温度が高すぎると、金型内流動において GF と PP が分離しやすく、耐熱老化性も低下し、外観も悪くなる。そのために加熱炉出口で表面温度計によるホットブランクの表面温度管理が成されている。プレス機は、加圧スピードの早い油圧プレスが最適であるが、小型の部品では部分改造した機械プレスも使用されている。チャージパターンは、金型内での GF の流れ具合を決定づけるので特に重要で、試作段階において、軟X線による GF の流動分布状態の観察がよく行われている。ブランクの、加熱炉への送り込みは、日本ではほとんど100%自動化されているが、ホットブランクの金型への投入は、手動と自動の両方が行われている。穴明けは金型内同時成形と後加工の両方が行われている。金具等のインサート、アウトサート成形も行われている。バリは、型精度と型温の上下制御により、ほとんどゼロかまたは薄い PP フィルム程度に抑えることができるので簡単に除去することができる。そのほか、成形品の表面外観をよくするために金型表面のシボ加工がよく行われており、塗装性も向上する。

図3 「アズデル」 UD グレードの強度の角度依存性

図4 「アズデル」の成形加工工程図

A: ブランク, B: 加熱器, C: ホットブランク, D: 金型, E: 金型冷却装置, F: プレス

また表皮材との一体成形（装飾オーバーレイ）も可能であり、まだ商品化例は少ないが今後特に内装部品の開発には不可欠な成形技術である。

5. リサイクル

最近、西欧ではドイツを中心に地球環境保護の立場から、リサイクル問題への取組みが熱心に行われている。日本でも昨年10月「リサイクル法」（再生資源の利用促進に関する法律）が施行された。既に自動車部品の開発においてはリサイクル可能な材料でなければ設計段階から外される動きが始まっている。「軽量化」と並んで、今後リサイクル可能で、廃車解体で分別回収しやすいように、素材の変換および統合や部品の一体化が急速に進行するであろう。図5はリサイクルシステムの一例である。このうちで、粉碎品を原板製造ラインに一定量戻す方法が再使用用途の適用範囲も広く、最も実用的である。また破碎または粉碎処理物を再加熱後、再成形する方法も有効である。ただし、破碎度に比例して GF の長さが短くなり、物性が低下するので、使用用途を考慮する必

図5 アズデル (UNK) のリサイクルシステム概念図

図6 破砕度と曲げ強度保持率

図7 破砕度とアイゾット衝撃強度保持率

要がある。図6および図7に、破砕度 (GF 長さ) と、曲げ強度およびアイゾット衝撃強度との関係を示す。曲げ強度が、破砕度による強度低下度が小さいのに対して、

アイゾット衝撃強度は低下度が大きいので注意すべきである。なお、圧縮強度および曲げ弾性率は、曲げ強度より低下度が小さい。

表 3 日本における商品化例

部 品 名	車 種 名
自動車	
バンパービーム	アコード, レジェンド, MR2, コスモ, インフィニティ, フェアレディ Z
バンパーサイド	フェアレディ Z
バッテリートレイ	シャレード, クオーレ, ラガー, ミラ, クラウン, マーク II, ランドクルーザー, ブリザード, MR2, エステマ, ライトエース, ハイエース, レクサス, カルタス, シティ, アコード, ビガー, スペーシー, サバンナ, フェスティバ, ファミリア, トレディア, コルディア, ミラージュ
フュエルタンクプロテクター	ライトエース, タウンエース
エンジンアンダーカバー	ハイエース, ハイラックス
トランスミッションアンダーカバー	ランドクルーザー
アンダーカバー	アルシオーネ
ステップ	ダイナ, トヨエース, タイタン, デリカ, デルタ
リトラクタブルヘッドランプブラケット	スーブラ, MR2, アンフィニ RX-7
フェンダー	ダイナ
A/T シフトベース	ピスタ, カムリ, アンフィニ RX-7
リヤシート	エスクード
シートクッション	救急車 (ハイエース), アンフィニ RX-7
エンジン防音板	トラック
インテークマニホールド	トラック
マットセットカバー	ハイエース
Lサイドカバー	ボーカー
シフトレバーカバー	バス (イズズ)
ブレーキカバー	ラガー
リヤフロアデッキ	サバンナ
ブレーキエアスクープ	ランドクルーザー, コースター
ジャッキホルダー	ランドクルーザー
トノカバー	セリカ, ピスタ, カムリ, クラウン, コロナ, ランドクルーザー, ハイラックス
サンシェード	スカイライン, インフィニティ, シーマ, プリメーラ, サニー, アベニール
スピーカーボックス	MR2
エンジンカバー (PET)	トラック
エアライナー	トラック導風板
非自動車	
スリーブ	引抜型枠
組立ドラム	コンクリート型枠
溶接マスク	円形水槽
	橋脚保護カバー

6. 最 後 に

表3は、日本におけるスタンバブルシートの用途例を示す。全体量の80%以上が自動車関連部品で占められている。軽量で、強靱なスタンバブルシートは、これまでその優れた成形性と高生産性を発揮して、各種の「機能部品」において、要求性能を満足しながら軽量化、防錆、一体化によるコストダウンを達成してきた。今後さらにユーザーニーズからの「多様化」「高級化」、労働環境対策からの「部品のユニット化（モジュール化）」、地球環境対策からの「軽量化」「リサイクル性」そして安全性、騒音対策などの要求に応じて、他車種への展開やフロントエンド（VW：GOLF）のような大型部品の開発が一段と進むものと考えられる⁶⁾。いわゆるクラスAの要求される外板への適用については、表面状態を改良し、塗装性を向上するために(1)ガラスマットの改質、(2)アルファ-1にみられる新しい成形方法（圧縮成形+射出成形）の開発などが検討されているが、まだ実用化されていない。また高剛性や耐熱性を要求されるニーズに対しては、最近BMW社Z-1のサイドドアサポート、ロッカーパネルにPBTベースで、また日産トラックのエンジンカバーにPETベースで採用された例がある。今

後、PP以外のエンブラと言われる樹脂ベースのスタンバブルシートで、エンジン回り、オイルパンなどの用途への開発も進むであろう。一方、補強繊維の方も、カーボン繊維やケブラー繊維などが他のエンブラとの組合せで登場してくる可能性もある。スタンバブルシートは、高分子研究者が果たせなかった「Extended Chain から成る結晶構造」実用化の夢をガラス長繊維の助けを借りて今、実現しつつある。

参 考 文 献

- 1) 高浜通博：アズデルの特性と応用，工業材料，**30**，6（1982），25-31.
- 2) 河内 淳：スタンバブルシートモールドイング，プラスチック，**40**，10（1989），45-51.
- 3) 藤生重行：PPをマトリックスとしたアズデル，工業材料，**39**，3（1991），75-80.
- 4) 美安 明：UBE スタンバブルシート USS の特性と応用，工業材料，**30**，6（1982），32-36.
- 5) 木村 博：一方向強化熱可塑性樹脂シートの開発，日本複合材料学会誌，**14**，3（1988），101-108.
- 6) 野村 昌：スタンバブルシートの開発・応用の現状と今後の展開，自動車の軽量化対策，技術情報協会（1991. 12. 24），pp. 238-253.