

自動車内装天井用樹脂複合材 —軽量で剛性に優れた膨張性スタンパブルシート—

Composite Material for Automotive Headliners —Expandable Stampable Sheet with Light Weight and High Stiffness—

荒木 豊 ARAKI Yutaka JFE スチール スチール研究所 化学研究部 主任研究員(副課長)
鈴木 利英 SUZUKI Toshihide JFE スチール スチール研究所 研究企画部長
花谷 誠二 HANATANI Seiji ケーブラシート 技術部 副部長

要旨

KP シートはガラス繊維とポリプロピレンからなる膨張性を有するスタンパブルシートである。自動車内装天井の軽量・高剛性化を目的として、ガラス繊維の含有率と配向制御による膨張性の増大を検討した。ガラス繊維含有率を増加させるにしたがい、膨張性は向上し、厚みが増加することで弾性勾配が向上するが、50 mass%以上では、得られる弾性勾配の最大値は飽和した。厚み方向への繊維配向制御で、ガラス繊維のスプリングバックが増大し、膨張性は30%向上した。新たに開発した UL グレードは、従来材と同様の優れた成形性と寸法安定性を示すとともに、目付け 800 g/m² で 7.2 N/mm と高い弾性勾配を示し、さらなる軽量化が可能である。

Abstract:

KP-Sheet is a stampable sheet made of glass fiber and polypropylene and has distinct characteristics of expansion in thickness. For the development of lightweight and high stiffness KP-Sheet, glass fiber content and glass fiber arrangement in thickness direction were studied in order to increase the expansivity. Although the expansivity increased with an increase of glass fiber content and the elastic slope was enhanced due to an increase in the thickness, the value of the maximum elastic slope was saturated at over 50 mass% of the glass fiber content. By controlling the glass fiber arrangement in the thickness direction, the spring back of glass fibers was enhanced and the expansivity increased more than 30% at the same unit weight. A newly developed UL-grade improved the elastic slope, which was enhanced to 7.2 N/mm at a unit weight of web 800 g/m² and is able to reduce further the weight of the parts while holding superior moldability and dimensional stability equal to those of the normal grade.

1. 緒言

自動車では車の商品性を向上させるためにカーナビゲーションや後部モニター、エアバッグなどいろいろな装備が充実されてきている一方で、環境負荷軽減のために部品の軽量化やエンジンの高燃費化などの検討がされている。その軽量化に対応した材料として、比強度、比剛性に優れた繊維強化樹脂複合材が注目されている。

JFE スチールグループのケーブラシートはガラス繊維(GF)とポリプロピレン(PP)で構成されるプレス成形用の繊維強化樹脂複合材(スタンパブルシート:商品名「KPシート」)を製造販売しており、その軽量性や賦形性、低寸法変化率が評価されて、自動車内装部品、特に Photo 1 に示すような内装天井用基材として 1997 年ごろから、採

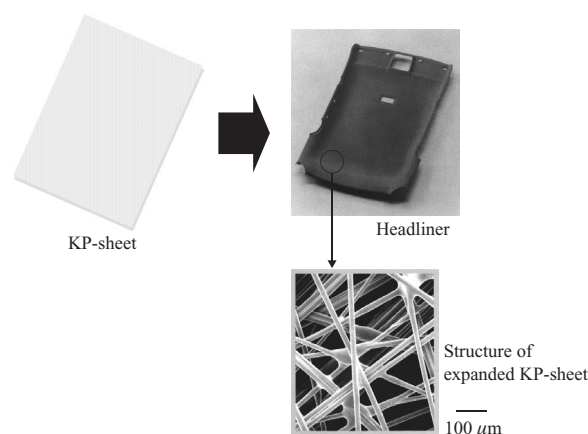


Photo 1 Headliner made of KP-sheet

用が拡大してきた。

近年の内装天井用基材には、大きく分けて KP シートのような GF と PP の複合材であるスタンパブルシート、一

般にウレタン天井と呼ばれる発泡ポリウレタンの両面にGF マットを積層したGF 積層ウレタン発泡体、熱可塑性発泡樹脂の3種が使用されている^{1,2)}。

天井用基材には(1)基材から天井部品への成形工程で臭気や有害物質の放散が少なく、作業者に対する負荷が小さいこと、(2)車体への組み込み作業時のハンドリング剛性に優れること、(3)部品として軽量で、かつ環境雰囲気に対して寸法変化が小さく、耐久性に優れることのほか吸音性にも優れること、(4)廃車後のリサイクル性に優れることなどの特性が求められる。

KP シートは、PP を使用しているため、成形工程で臭気や有害物質の放散がなく、再加熱も可能なことからリサイクル性も有している。天井に成形されたKP シートのミクロ構造は、Photo 1 に示すようにGF の交点をPP が固定した多孔質体となっており、GF がPP の成形収縮や環境熱負荷による形状変化を抑制するので、製品の寸法変化が小さく、耐久性に優れている上、多孔質体の特徴である吸音性も兼ね備えている³⁾。

本報告では、より軽量で高剛性のKP シートを開発する目的で、剛性向上の検討を行った結果と、その結果に基づき新たに開発したUL (ultra-light) グレードを紹介する。

2. KP シートの特徴と軽量材の設計

2.1 KP シートの製造方法

内装天井用基材に使用されるKP シートは Fig. 1 のように、スタンパブルシート的一方面に表皮材接着用と非通気性保持用のオレフィン系フィルムが、もう一方面にPET 製不織布が積層された構成となっている。KP シートの製造工程は、抄紙工程、プレス工程、剪断・精製工程からなっている。抄紙工程では、泡液中でGF とPP を均一分散させた後、連続的に抄いて、ウェブと称されるマット状の中間製品が得られる。次に、プレス工程で、ウェブにフィルムやスパンボンドを積層した状態でプレスし、シート化する。さらにこのシートが剪断・精製工程を経て、お客様に供給される⁴⁾。

2.2 KP シートの特徴

KP シートの最も大きな特徴は膨張性にある。ウェブ中のGF は2次元平面だけでなく厚み方向、すなわち3次元に配向しながら堆積している。この構造がKP シートの特

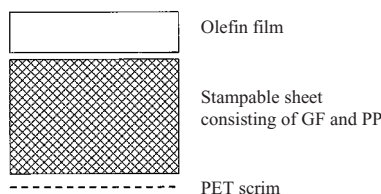


Fig. 1 Schematic illustration of KP-sheet for automotive headliner

長である高膨張の根源となる。プレス工程において、堆積したGF が圧縮され、応力が残留した状態でシート化される。内装天井用基材に使用されるKP シートは、一般に膨張成形と呼ばれる成形方法で加工される。お客様の成形工程において、遠赤外線加熱炉などの加熱炉を用いてKP シートを加熱し、PP を溶融させると、残留応力が開放されGF のスプリングバックが作用してKP シート全体が膨張する。その際、PP が溶融状態にあるため、GF 構造体は変形に対する自由度を得て、膨張と同時に優れた賦形性が発現される。膨張したKP シートを、クリアランスを設けた金型で成形すると、元のシート厚みに対して2-4 倍の厚みを有した成形品を容易に得ることができ、剛性の高い大型部品を製造することが可能である⁵⁾。また、膨張したシートの上に表皮材を積層し、賦形すると、表皮材との接着と賦形とを1工程で行うことも可能である。

2.3 軽量材の設計

剛性を維持しながら軽量化を実現するためには、元の剛性を向上させる必要がある。一般に剛性は弾性率(E)と断面2次モーメント(I)の積(EI)に比例することが知られている。すなわち、剛性を向上させるには弾性率を大きくする方法と、断面2次モーメントを大きくする(製品の厚みを大きくする)方法がある。前節で述べたように、加熱時にGF のスプリングバックで膨張するKP シートは断面2次モーメントを大きくできるという特長があるため、同一質量でも高い剛性を得ることが可能である。

KP シートの製造工程から膨張成形の過程において、シート中のPP の分散状態はFig. 2 に示すように変化する。ウェブ中ではPP 粒子がGF 間に保持されている。シート中では、プレス時にPP が溶融して流動するために、GF を包み込んだ状態になっている。シートを加熱してPP を再溶融させると、GF のスプリングバックによりPP はGF に引きずられて分散するため、GF の周りや交点に集中する。成形でKP シートのある程度圧縮しても、PP が融着する割合は少なく、分散状態は維持されるのでPP はGF の周りや交点に分散したままとなる。

単位面積あたりの質量(目付け)と厚みの剛性に寄与する効果を考えるために、GF を主体としてFig. 3 のような膨張成形体のモデルを用いた。任意の断面において、GF は均一に分布し、単位断面あたりに存在するGF の数は一定とすると、断面2次モーメントは次式で表される。

$$I = w \cdot A \cdot n \cdot h^3 / 12 \quad [1]$$

w : 幅 (mm)

h : 厚み (mm)

A : GF 断面積 (mm²)

n : 任意の断面に存在するGF 本数

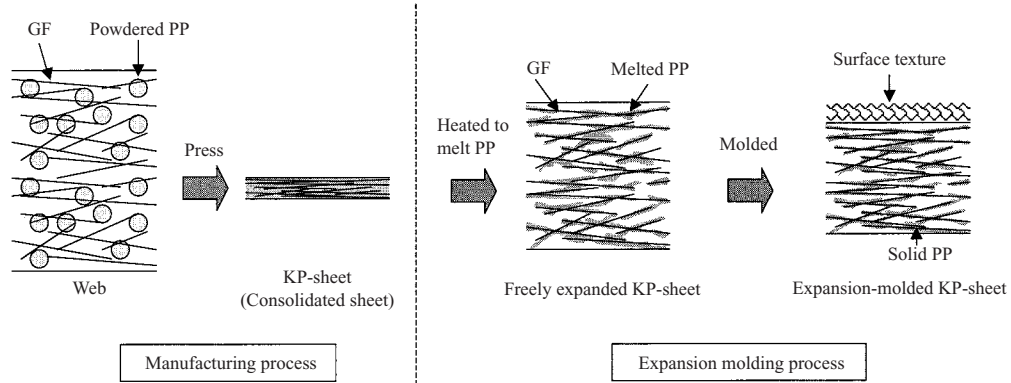


Fig. 2 Change in distribution of PP in manufacturing and expansion molding processes

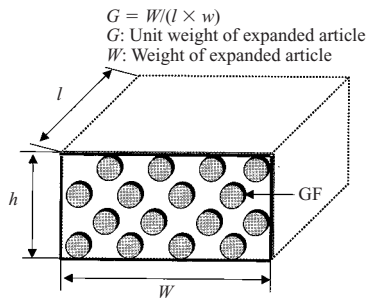


Fig. 3 Schematic model of expanded article of KP-sheet

また $A \cdot n$ は膨張成形体の単位面積あたりの質量（目付け）と GF 含有率を用いて次式のように表される。

$$A \cdot n = (GC/h)/\rho \quad [2]$$

G : 膨張成形体の目付け (g/mm²)

C : GF 含有率 (mass%)

ρ : ガラス密度 (g/mm³)

同一 GF 含有率において、PP により結合される GF 交点の強度が圧縮比（成形厚み / 膨張厚み）によらず一定である、すなわち、GF 交点の弾性率が一定であるとするとき EI は断面 2 次モーメント (I) に比例する。したがって (1) (2) 式を用いると EI は次式のように膨張成形体の目付けと厚みの 2 乗の積に比例する。

$$EI \propto (wC/\rho) \times G \times h^2 \quad [3]$$

この式から、KP シートの膨張成形体の厚みを大きくすることができれば目付けを小さくすることができる。厚みを大きくするためには GF のスプリングバックを大きく作用させ、膨張厚みを大きくする必要がある。

そこで、成形厚みと目付けが剛性に与える影響、GF の厚み方向への配向が膨張厚みに与える影響、膨張厚み増大

による PP 分散状態の変化が剛性に与える影響を検討し、それらの知見をもとに軽量・高剛性材の開発を行った。

3. 実験方法

3.1 KP シートの作製

長さ 25 mm の GF と PP パウダーを泡液中で分散させ 250 × 250 mm の大きさに抄紙した後、180 °C で乾燥させて目付け 635–800 g/m² のウェブを作製した。GF 含有率は 45, 50, 55, 60 mass% とした。ウェブの一方の面にはオレフィン系フィルムを、他方の面には PET 製不織布を積層して、205 °C で 0.3 MPa の圧力を 15 s 負荷し、その後冷却固化させ、シート化した。

また、GF 配向を制御したウェブはケーブラシートで抄紙したウェブを用い、同様にプレスしてシート化した。

3.2 膨張板の作製

2 種類の条件で膨張板を作製した。第一の方法は、自由に膨張させる方法であり、KP シートをテフロンシートの上に載せ、遠赤外線加熱炉で 200 °C まで加熱して自由に膨張させた。そのシートを冷却しないで常温の金型に移して成形を行った。一方、膨張させたシートを成形しないで放冷し、冷却後の厚みを測定して自由膨張厚みとした。第二の方法は熱プレス盤間で膨張させる方法であり、3.5 mm あるいは 5 mm のクリアランスを設けたプレス盤間で膨張させ、冷却しないで常温の金型に移して成形を行った。クリアランス 3.5 mm で膨張し、成形した時の膨張板を拘束膨張品とした。また、最大膨張厚みが 5 mm に達しないため、クリアランス 5 mm で膨張させ、成形した時膨張板を自由膨張品とした。

3.3 曲げ試験

得られた膨張板から l 150 × w 50 mm の試験片を切り出し、曲げ試験に供した。曲げ試験時のクロスヘッドスピードは 50 mm/min、支点間距離は 100 mm とした。荷重はオレフィン系フィルム面から加えた。剛性は曲げ試験時に

得られる荷重-変位曲線の初期の傾きから求められる弾性勾配で評価した。

3.4 断面観察

GF の厚み方向への配向は、断面を軟 X 線写真を用いて観察した。PP の分散状態は、膨張板から試験片を切り出してエポキシ樹脂で埋め込んだ後、研磨仕上げを行い、光学顕微鏡で観察した。

4. 結果および考察

4.1 成形厚みと目付けが剛性に与える影響

Fig. 4 に目付け 635 g/m² の場合の成形厚みと弾性勾配の関係を示す。各 GF 含有率において、弾性勾配の値は成形厚みの増加にしたがって大きくなった。同一成形厚みでは GF 含有率が低いほど弾性勾配の値は大きくなった。しかし、GF 含有率が 45 mass% の場合、GF 本数が少ないためにスプリングバックが弱く、2.8 mm までしか膨張しない。そのため得られる弾性勾配の最大値は 4 N/mm であった。これに対して GF 含有率を大きくすると、スプリングバックが増大し、膨張性が向上した。その結果 50 mass% の時、自由膨張厚みは 3.4 mm に達し、弾性勾配は 5.5 N/mm まで増加した。55 mass% 以上になるとさらに GF のスプリングバックが増大し、自由膨張厚みは増大したが、弾性勾配の最大値は飽和した。したがって最大の弾性勾配を得る最小の GF 含有率は 50 mass% であることになる。次に目付けの影響を調べるために GF 含有率 50 mass% で目付けを 700 g/m² に上げて同様の実験を行った。Fig. 5 に、目付け 635 g/m² とともに、(3) 式の関係にそって、GF 目付け × 厚み² で整理した結果を示す。弾性勾配と GF 目付け × 厚み² は比例し、635 g/m² と 700 g/m² は同一直線上にある。このことから目付けの低減を厚みで補うことが可能であり、635 g/m² の膨張性が向上すれば 700 g/m² と同じ弾性勾配が得られると予想される。

この関係を詳細に検討するために、目付けをさらに

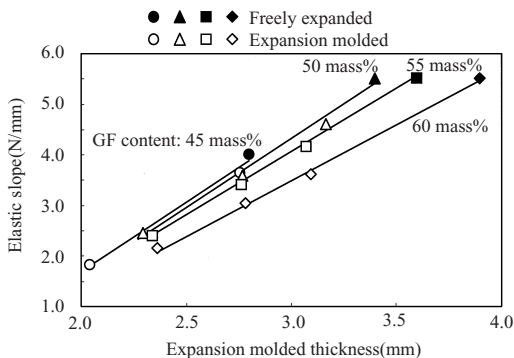


Fig. 4 Effect of GF content and expansion molded thickness on elastic slope (Unit weight of web: 635 g/m²)

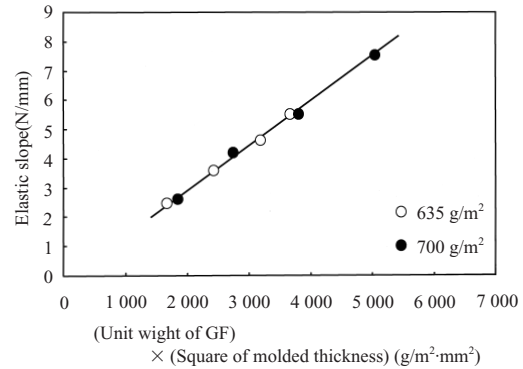


Fig. 5 Effect of the product of square of expansion molded thickness and unit weight of GF on elastic slope (GF content: 50 mass%)

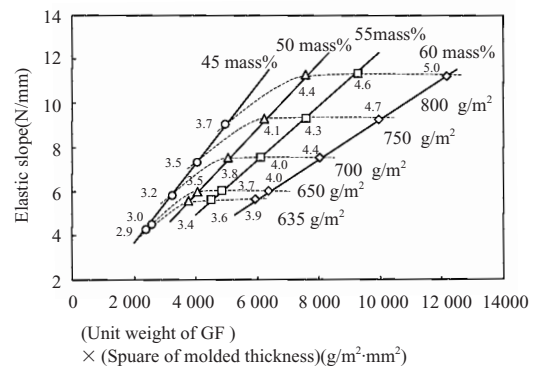


Fig. 6 Relationship between Elastic slope and the product of unit weight of GF and square molded thickness

800 g/m² まで変化させて実験を行った。各条件での自由膨張厚み（すなわち最大膨張厚み）と弾性勾配の関係を GF 目付け × 厚み² で整理した結果を Fig. 6 に示す。図中の数値は自由膨張厚みである。Fig. 5 で述べたのと同様に Fig. 6 でも目付けを変えても弾性勾配は GF 目付け × 厚み² で整理することができる。また、GF 含有率が高くなるにしたがい、直線の傾きは小さくなり、厚みを大きくしても弾性勾配は増加しにくい。GF 含有率の効果に関しては、目付けを変化させても、635 g/m² で得られた結果 (Fig. 4) と同様であり、50 mass% 以上で弾性勾配は飽和している。よって、目付け一定で、最大弾性勾配を得る最小の GF 含有率は 50 mass% となる。

さらに弾性勾配を上げるため GF 含有率 50 mass% で GF の配向に着目し、その検討を行った。

4.2 GF 配向が自由膨張厚みに与える影響

ウェブは Fig. 7 に示すように抄紙機で泡液が脱泡され GF と PP の混合物がフォーミングベルト上に堆積して形成される。その堆積角 θ が GF の厚み方向への配向に影響を与えると考え、数種の目付けで堆積角を制御して、ウェブを製造し、自由膨張厚みに対する効果を検討した。その結果を目付けで整理し、従来材と比較して Fig. 8 に示す。堆積角を制御することによって自由膨張厚みは従来材に

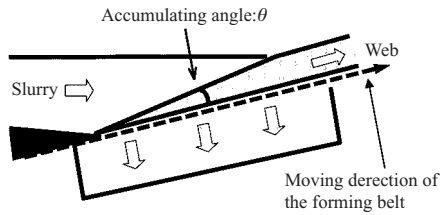


Fig. 7 Schematic diagram of the paper-making machine

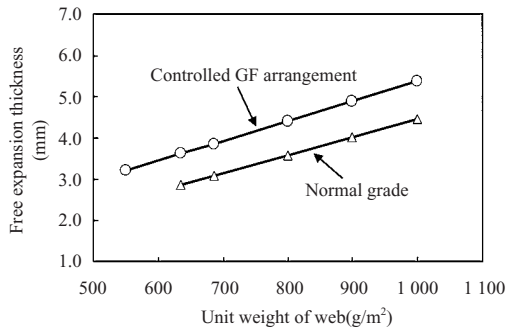


Fig. 8 Comparison in free expansion thickness between controlled GF arrangement and normal grade

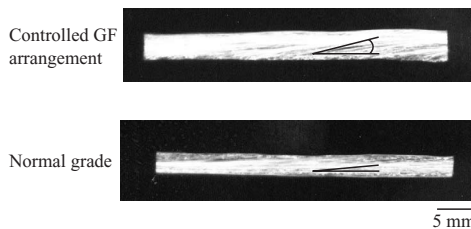


Photo 2 GF arrangement in thickness direction of expanded KP-sheet (Unit weight of web: 900 g/m²)

比べ 30% 向上させることができた。膨張板内での GF の配向を調べるために目付け 900 g/m² の試験片を用いて軟 X 線写真により断面観察を行った。その結果を Photo 2 に示す。厚み方向に GF が配向して堆積角が大きくなっていることが分かる。その結果、加熱時に大きなスプリングバックが生じ、自由膨張厚みが増加したと考えられる。

以上、(3) 式の仮定に基づき、自由膨張させた後に成形を行った場合の結果を述べた。次に、その膨張厚みに着目し、その弾性勾配に対する影響を検討した。

4.3 膨張厚みが剛性に与える影響

膨張時にクリアランスを設けたプレス盤を用い、それ以上膨張しないようにした。ウェブは目付け 800 g/m²、GF 含有率 50% で堆積角を制御したものを用いた。その弾性勾配を成形厚みに対してプロットした結果を Fig. 9 に示す。自由膨張品の成形厚みは最大で 3.6 mm、拘束膨張品の成形厚みは最大で 2.9 mm であった。同一成形厚みである 2.9 mm で弾性勾配を比較すると、自由膨張品が 3.4 N/mm であるのに対して拘束膨張品は 4 N/mm と高い値が得られた。しかし、最大値で比較すると、拘束膨張品

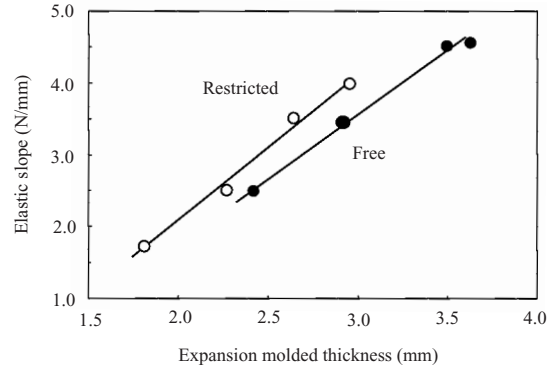


Fig. 9 Comparison in elastic slope between restricted and free expansions (Unit weight of web: 800 g/m², GF50 mass% Web: Controlled GF arrangement)

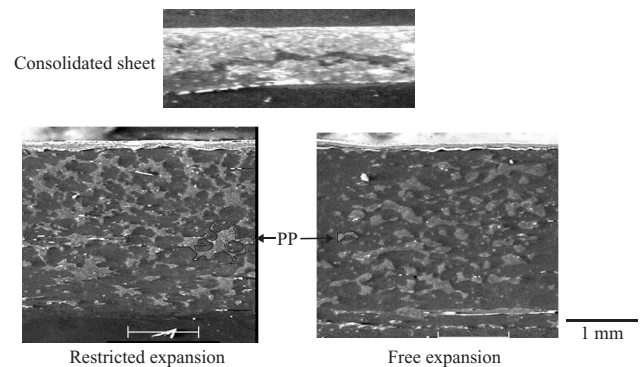


Photo 3 Distribution of PP in expansion-molded articles

の弾性勾配が 4 N/mm であるのに対して、自由膨張品は 4.5 N/mm と高くなっており、厚み増大の効果があることが分かる。これを (3) 式で考えると、目付け、GF 含有率とも同じであることから、同じ厚みでは同一弾性勾配が得られるはずである。ところが本結果はそれを示していない。拘束膨張品と自由膨張品のこのような違いを検討するため、弾性勾配が 3.5 N/mm を示す試験片の断面観察を行って PP の分散状態を比較した。その結果を Photo 3 に示す。白い部分が PP であり、その他は空隙である。拘束膨張品の PP は連続体を形成しているが、自由膨張品の PP は分断されている。自由膨張では膨張厚みが大きく GF 間距離が大きいため、熔融した PP が伸びきれず分断されてしまっていると考えている。したがって、同じ厚みで比べた場合には、GF 交点の強度が二者で異なることになると推定している。自由膨張品は PP が分断されることで弾性勾配が低下するものの、膨張厚みを十分に取れば低下した分を相殺することができることになる。このことから、成形厚みを大きくして剛性を向上させるには、膨張時の PP の分断による弾性勾配の低下を上回るように成形厚みを大きくする必要がある。また、成形厚みに制約がある場合には、膨張厚みを制限し、PP の連続体を形成させるとよいことが分かる。

以上、剛性に関する KP シートの膨張成形体モデルを用いて、GF 含有率、目付け、成形厚みおよび膨張厚みの検

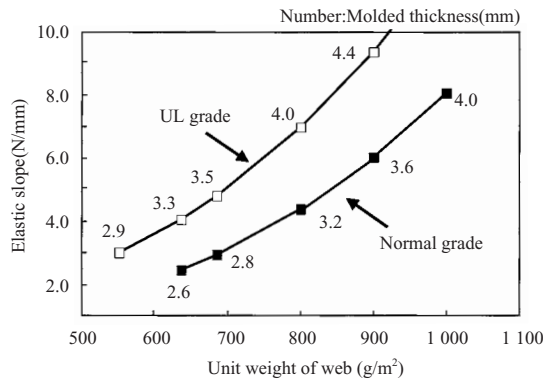


Fig. 10 Comparison in elastic slope between UL grade and normal grade

討を行い、それぞれの寄与を明らかにした。一方、本材料には軽量であることが要求されるために目付けが制限される。目付けはGF含有率と成形厚みで補うことが可能であり、成形厚みはGFの配向を制御し、膨張厚みを増大させることにより、大きくすることが可能である。また、膨張時のPPの分断による剛性の低下を上回るように成形厚みを大きくする必要がある。

本結果を踏まえて、それぞれの要因を最適化し、軽量で剛性の高いUL材を開発した。

4.4 開発材 (UL 材) の特長

GF含有率を50 mass%とし、GF配向制御により膨張性を向上させた開発材 (UL 材) の弾性勾配の評価を行った。Fig. 10に各目付けにおける弾性勾配の値をまとめたものを示す。図中の数字は成形厚みである。同一目付けで比較すると、開発材は従来材に対して50%弾性勾配が向上しており、また、同一弾性勾配では20%の軽量化が可能であることが分かる。すなわち、開発材であるUL材は部品の軽量化もしくは剛性性能向上を図るための優れた材料であると言える。

5. 結言

自動車部品の軽量・高剛性化の要求に応えるため、JFE

スチールとケーブラシートはGFの配向制御を行い、膨張性とPP分散状態の最適化を行うことで自動車内装天井用KPシートの剛性を高めることに成功し、KPシート (ULグレード)を開発、実用化した。開発材は次の点で優れている。

1. 従来材に比べ、ULグレードは自由膨張性を30%向上させることに成功し、その結果、断面2次モーメントを増加させ、剛性が50%向上した。
 2. 同一剛性ならば20%の軽量化が可能である。
- また、膨張成形体が多孔質である特長を活かした吸音性に優れた製品を検討中であり、さらに機能性を高めた材料として開発を行っていく予定である。

参考文献

1. Haque, E. et al. "Development of low density glass mat thermoplastic composites for headliner applications." SAE Technical Paper Series. SAE 2000 World Cong. Detroit (USA). Paper no. 2000-01-1129, 2000.
2. 久保穂穂ほか. 自動車内装基材用「KPシート」と木材代替用「KPボード」. 川崎製鉄技報. vol. 29, no. 4, 1997, p. 228-230.
3. 藤巻雅美ほか. 吸音特性と形状保持性に優れた多孔質体に適した新規スタンパブルシート. 川崎製鉄技報. vol. 29, no. 4, 1997, p. 196-201.
4. 吉武裕幸ほか. 抄造法スタンパブルシート KPシート および KPボード の用途開発. プラスチックスエージ. vol. 42, no. 9, 1996 p. 124
5. Araki, Y. et al. "Development of lightweight and high stiffness "New KP-Sheet" for automotive headliners by controlling of glass fiber arrangement." Pro. of the 7th Jan. Int. SAMPE Symp. Tokyo Big Sight (Japan), vol. 11, 2001, p. 407.



荒木 豊



鈴木 利英



花谷 誠二