

圧電性ユポ (開発品) の開発と商品化事例

— エレ・アコギター用コンタクトセンサーに採用 —

1. はじめに

ユポは、ポリプロピレン樹脂と無機充填剤を主原料とする、耐久性や耐水性に優れたフィルム法合成紙である。ユポは、国内外で多数の特許を取得する独自製法（二軸延伸フィルム成形法）により、無数の微細な空孔（以下「マイクロボイド」）がその表面および断面に付与されており、このマイクロボイドにより紙の特性である不透明度や印刷・筆記適性を実現している。

印刷用紙として印刷業界に認知されているユポ製品ではあるが、新たな市場を開拓すべく機能性フィルム分野への展開を強化している。その取組みの1つとして実用化に成功した“圧電性ユポ（開発品）”の開発経緯、さらにはヤマハ様、一般財団法人小林理化学研究所様（以下「小林理研」と略称）との3社共同で研究開発し、エレクトリック・アコースティックギター向けコンタクトセンサーの新規採用に成功した経緯について紹介する¹⁾。

2. “圧電性ユポ” 開発の経緯

圧電材料は力を加えると電荷を出力し、逆に電圧を印加すると歪みを生じる。この性質は電気機械結合効果と言われ、音や振動を検出するセンサーやブザーなどに長年応用されている。

圧電材料は水晶やPb (Ti, Zr) O₃ (PZT) といった無機系と、ポリフッ化ビニリデンなど有機系に分類される。近年、多孔性ポリマーにコロナ放電を

照射することで、各々の孔に分極が形成されたエレクトレット材料となり、厚み方向の伸縮に対して圧電性を発現することが海外で発表された²⁾。

多孔性ポリマーの圧電性は先に述べた従来の圧電材料と異なり、孔の周囲の帯電量が大きく、かつ孔が伸縮しやすいほど大きいという性質をもつ。合成紙として通常用いられる多孔性ポリマーは圧電性を発現するには孔が小さく、超臨界二酸化炭素を用いて孔を膨張させる必要がある。圧電性を有する多孔性ポリマーエレクトレットが得られたとしても、時間経過とともに孔が収縮し、さらに保持された電荷量が減衰し圧電率が大きく減衰する。

そこで、圧電性発現のために孔サイズやポリマー配合比を最適化する必要があるが、製造ロット間による多孔性構造の差異やポリマー配合のバラつきが圧電率の大きさや経時変化に強く影響し、製造工程を従来以上に緻密に管理するという課題があった。

当社は2007年から圧電性ポリマー研究の権威である小林理研との共同研究に乗り出した。この過程で、ユポ自社技術である「空孔制御技術」により、圧電材料に最適なマイクロボイド構造を見出し、加えて小林理研の高精度誘電測定および解析技術により、高圧電性



写真1 ヤマハ アコースティックギター「FG/FS Red Label (レッドレーベル)」エレクトリック・アコースティックギターモデル“FGX5”

と高耐久性を両立させた圧電性フィルム（以下「圧電性ユポ」）の開発に成功した。

さらに2013年より、大手楽器メーカーであるヤマハ様と共同開発メンバーに加わり、3社にて楽器用センサーの実用化に向けた研究開発に着手した。6年間の開発期間を経て、ギター向けピックアップシステムのコンタクトセンサーとして、2019年5月25日より新しく発売されたヤマハ製アコースティックギター「FG/FS Red Label (レッドレーベル)」のエレクトリック・アコースティック

表1 既存材料と圧電性ユポの厚み伸縮の圧電率 d_{33} / 弾性率 c_{33} 比較

	圧電率 d_{33} (pC/N)	弾性率 c_{33} (MPa)
圧電性ユポ (開発品) ³⁾	440	0.54
圧電性セラミック (PZT) ⁴⁾	360	52,000
圧電性ポリマー (PVDF) ⁵⁾	35	3,000



写真2 コンタクトセンサーにユポが使用されている、ヤマハ新開発の Atmosfeel®(アトモスフィール)ピックアップシステム

* Atmosfeel は英語で「空気」を意味する “Atmosphere” と、「雰囲気」を意味する “Feel” を組み合わせた造語。

クギターモデル “FGX/FSX” に採用となった。

3. “圧電性ユポ（開発品）” の特徴³⁾

小林理研にて測定された“圧電性ユポ”の厚み伸縮に対する圧電率および

弾性率を表1に示す。圧電性ユポの圧電率 d_{33} は 440pC/N で圧電性セラミックス PZT に匹敵し、弾性率 c_{33} は 0.54MPa で空気の体積弾性率に近いことが判明した。

弾性率は圧電性セラミックスの100,000分の1であることから木材や生体といった柔らかい材料の微細な振動を容易に検出することができる。

圧電性ポリマーである PVDF と比較すると、 d_{33} は10倍、 c_{33} は10,000分の1である。一般に d_{33} はポーリング処理と呼ばれる高電場印加の際に形成された残留分極量に比例し、残留分極量が同じ場合は、 c_{33} が小さい（柔らかい）ほど大きい。多孔質ポリマーエレクトレットが保持した分極量は PVDF の1,000分の1しかないが、 c_{33} が10,000分の1しかない。その結果 d_{33} は PVDF より10倍大きく、力に対して高感度な圧電性フィルムセンサーとなることが

わかる。

4. ギター向けコンタクトセンサーとしての特徴

3社共同開発したコンタクトセンサーは、弦や本体の振動を電気信号に変換するセンサー素子として圧電性ユポを使用した。柔らかくかつ薄い素材特性をもつユポを使用することにより、PZT を圧電素子とした従来センサーと比べて高感度かつ広帯再現性を有することを特徴とする。このセンサーをギター本体に装着することで、ギターの演奏で生じる楽器本体の振動をより忠実に電気信号へと変換できることに成功した。

新たに本センサーをエレクトリック・アコースティックギターのピックアップとして搭載した結果、従来のピックアップでは拾いきれなかった音や振動をセンシングすることができ、サウンドホールから出る弦振動のまとまり、1弦ごとの余韻、フィンガリング時のタッチ感、高音域の倍音成分によってもたらされる空気感や繊細な音を再現することに成功した。その印象は「アコースティックギターを生音で弾いている時の感覚を呼び起こす」と評される⁶⁾。

5. 今後の研究開発について

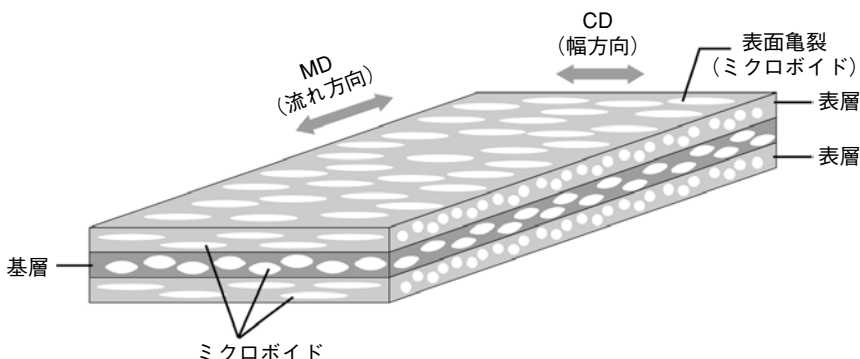
引き続き当社ではユポの圧電特性の研究開発に取り組み、新たな圧電センサーへの応用も検討していく。紙とフィルムの特長を併せもつ機能合成紙であるユポ特有の素材特性を活用した新たな価値創造、豊かな社会の発展に貢献していく所存である。

(飯田 誠一郎)

問合せ先

(株)ユポ・コーポレーション
商品開発本部 市場開発部
〒101-0062

東京都千代田区神田駿河台43



ユポはベースとなる基層を表層でラミネートした3層構造の合成紙である。基層によって強度を確保し、延伸する工程で表層に発生する無数のマイクロボイド（微細な空孔）によって、光が乱反射し、高い白色度と印刷・筆記適性、軽量化といった特性を実現する。

図1 ユポの構造イメージ図（参考）

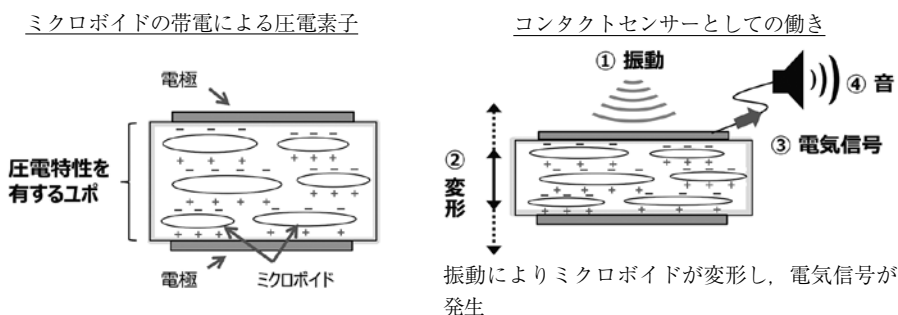


図2 コンタクトセンサーにおいてユポが圧電素子として機能するイメージ（参考）

新お茶の水ビル 15F
TEL 03-5281-6681

参考資料

- 1) 「ヤマハ アコースティックギター “FG/FS Red Label シリーズ”」ヤマハ(株)ニュースリリース (2019年4月25日)
- 2) J. Lekkala, and M. Paajanen, “EMFi – New Electret Material for Sensors and Actuators”, Proceedings of 10th International Symposium on Electrets, pp. 743–746 (1999～)
- 3) 「楽器用高分子センサー開発と誘電測定」, 児玉秀和, 小林理研ニュース 145号, pp2-4 (2019年7月)
- 4) (株)クレハ, KF ピエゾフィルム技術資料
- 5) 富士セラミックス(株), テクニカルハンドブック
- 6) 「ヤマハ アコースティックギター “FG/FS Red Label シリーズ”」, ヤマハ(株)ニュースリリース (2019年4月25日)

ユポ・コーポレーション

バイオマス樹脂配合の “ユポグリーン” をシリーズ化

ユポ・コーポレーションは、石油由来樹脂の一部を植物由来のバイオマス樹脂に置き換えた環境対応型の合成紙“ユポグリーン”のラインアップを拡充する。

同社では2018年にグリーンユポの開発に成功、翌19年3月には同社の代表製品である“ウルトラユポ”の厚手タイプ(型番: FEBA 300)にバイオマス樹脂を配合し、ユポグリーン最初の製品(型番: FEBG 300)として市場に投入した。

従来の合成紙ユポはポリプロピレン樹脂と無機充填剤を主原料とするが、ユポグリーンは原料に用いる化石燃料由来樹脂の一部を植物由来のオレフィン系バイオマス樹脂で代替することによって地球温暖化対策に寄与するとのコンセプトのもと、同社創立50周年(2019年5月10日)を見据えて開発に取り組んできたもの。

ちなみに、このオレフィン系バイオ

マス樹脂はサトウキビなどの植物由来であり、植物が育成する際に光合成によって大気中のCO₂を吸収するため、焼却廃棄時に放出されたCO₂をゼロとみなすことができるカーボンニュートラルな原料である。また同社によると、上記原料の代替にともない、A4用紙100枚で40Wの蛍光灯点灯約7時間分、もしくは燃費約22km/ℓの乗用車1.3km走行分と同等のCO₂排出量が抑制されるという(FEBG 300の場合)。

同社ではこの取組みをさらに推進するため、オレフィン系バイオマス樹脂を配合した製品を“ユポグリーン”シリーズとしてラインアップ。現在販売中の“スーパーユポ”(紙用オフセットインキでの片面印刷が可能なグレード)、“ウルトラユポ”(合成紙用インキでの乾燥性を高めた両面印刷可能なグレード)、“アクアユポ”(裏面に吸水性をもたせる

ことで水系接着剤を使用可能としたグレード)について、従来品の性能を維持しつつ全厚みをリニューアルした。

今回リリースした“ユポグリーン”シリーズは下記の通り。

- (1) スーパーユポ: FRBG 110/130, FRRG 70
- (2) ウルトラユポ: FEBG 95/110/130/150/200/250/300
- (3) アクアユポ: LARG 65/75/95

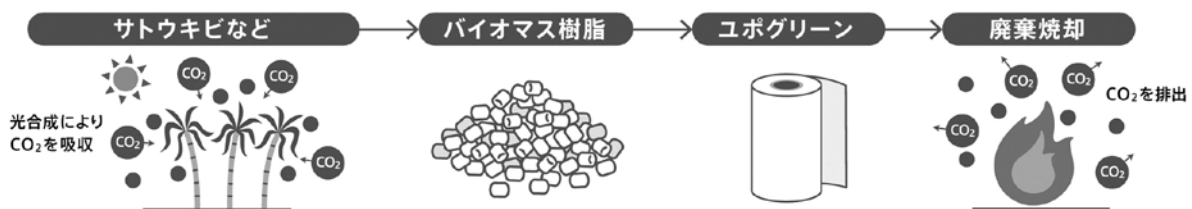
*従来品とラインナップの厚み・平判常備サイズに変更はなく、製品名(スーパーユポなど)は従来通りとし、グレード表記のアルファベットの最後に「G」を追加。

販売開始予定は2019年12月2日(FEBG 300は発売済み)で、現行品の在庫がなくなり次第、順次出荷を開始し、現行品(FRB, FRR, FEB, LAR)については廃グレードとする。

同社ではユポグリーンシリーズについて、2022年までに5,000tの販売を目指して拡販を進める方針で、これが達成されると約480tのCO₂排出削減につながる。

バイオマス樹脂とは

サトウキビなどの植物を原料とする樹脂。植物は成長する際に光合成によって大気中のCO₂を吸収するため、廃棄焼却時のCO₂の排出量をゼロとみなすことができます。



光合成によって吸収したCO₂量 = 焼却時のCO₂排出量 ⇒ CO₂排出量をゼロとみなす