

シンジオタクチックポリスチレン樹脂の用途開拓



企業レポート

木村 誠太*

Development of applications for syndiotactic polystyrene resin

Key Words : Syndiotactic Polystyrene, Automotive, Daily Necessities, Appliances, 5G RF Components

1. はじめに

シンジオタクチックポリスチレン (SPS) は、出光興産(株)が1985年にメタロセン触媒技術を用いて世界で初めて合成に成功した結晶性ポリスチレンである(図1)。その後、工業化に向けた触媒改良、プロセス開発、コンパウンド材料開発を経て、数少ない純日本発のエンジニアリングプラスチックとして、1996年に商標名「XAREC™」で販売を開始した。現在は、世界唯一のニートレジンサプライヤーとしてグローバルな事業展開を図っており、千葉に生産能力9,000トンのニートレジンプラントを持ち、コンパウンドは、日本国内のほか、中国、北米および欧州の主要4極で生産している。販売開始から約四半世紀が経過した現在の市場規模が、コンパウンドベースで1万7,000トンを超え、需要の拡大に備

えて2022年の生産開始に向けてマレーシアのパシグダン事業所において二基目のニートレジンプラント建設にも着手している。

新規素材であるSPSの用途開拓は、他エンジニアリングプラスチックとの優位性を見出し、環境変化する成長市場にターゲットを絞り、規模拡大を図ってきた。以下、SPSのユニークな特性と用途開拓状況を紹介する。

2. SPSの特性

SPSは化学構造的には通常のポリスチレン(APS, atactic polystyrene, 非晶性)と同じであるが、シンジオタクチック構造と呼ばれる高度な立体規則性を有しており、結晶化速度が遅く工業的価値が低かったアイソタクチックポリスチレン(IPS, isotactic polystyrene)に対し、実用レベルの結晶化速度を有する結晶性樹脂である。

SPSの特性は、ポリアミド系樹脂[PA66(ナイロン66)、PA6T(芳香族ナイロン)]やポリエステル系樹脂[PBT(ポリブチレンテレフタレート)、LCP(液晶ポリマー)]等の縮合系エンジニアリングプラスチックとは大きく異なる。これは、SPSが極性

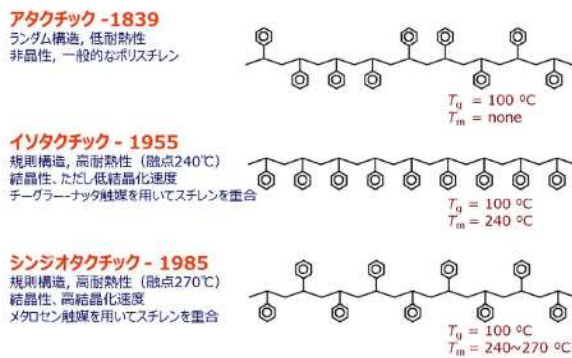


図1 ポリスチレン樹脂の立体構造



* Seita KIMURA

1989年4月生まれ
大阪大学大学院 工学研究科 応用化学
専攻 博士前期課程修了(2014年)
現在、出光興産株式会社
機能化学品部 機能材料研究所
SPS用途開発グループ所属 修士(工学)
専門/高分子化学・材料科学
TEL: 0436-60-1840
FAX: 0436-60-1125
E-mail: seita.kimura.0830@idemitsu.com



図2 ポリスチレンの結晶化に伴う新規特性

基を持たないポリスチレンを骨格としていることと結晶性を有する2点に由来する。ポリスチレン骨格の観点からは、低比重、耐加水分解性、良成形性、良電気特性等の良好な特性を受け継いでいる。また結晶性が付与されることにより、優れた耐熱性（融点約270℃）とAPSの大きな弱点であった耐薬品性の大幅な向上が発現した（図2）。

3. SPSの用途開拓事例

3.1 家電・日用品分野

2006年に3R（リデュース・リユース・リサイクル）の動きが活発化し中国の割り箸の輸出制限が始まる際に、外食チェーン店等で年間250億膳使用されていた木製割り箸¹⁾の樹脂化にターゲットをおいた。SPSは食品接触部品に用いられてきた他の一般的

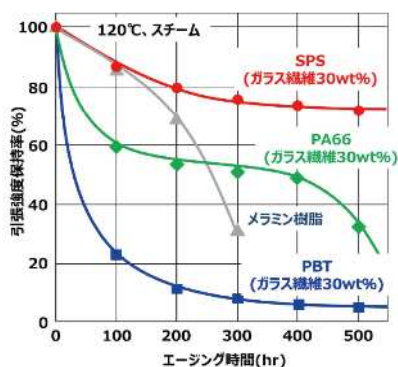


図3 耐スチーム性

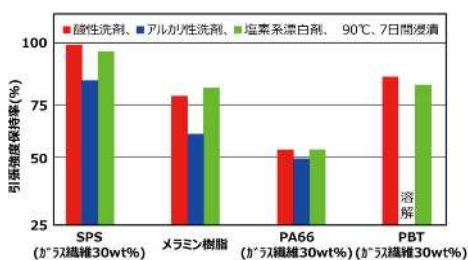


図4 耐洗剤性



図5 SPS製箸の普及

な樹脂（PA66, PBT, メラミン樹脂）に比べて、業務用食器洗浄機内での120℃スチーム環境下や洗浄用洗剤中に一定時間エージングした後の引張強度保持率が高く（図3, 4）、持ち運びに容易な軽量性、さらには着色性を活かし、現在では、SPS製箸が樹脂製箸の代名詞となるまで広く普及した（図5）。

さらに食品接触部品の用途は箸に留まらず、電子レンジ調理食器にも展開されている。陶器製食器の代替品として樹脂製食器は存在するが、家庭用電子レンジの出力が高まり、加熱時に求められる耐久性が厳しくなっている。電子レンジ加熱時のマイクロウェーブの照射にて容器温度が融点を超えて変形または熱劣化で変色し難いこと（図6）、さらに塩サバやベーコンなどの含油量が多い食材を電子レンジ調理した際に容器が変形・変色しないこと（図7）が要求される。SPS製食器は陶器製食器と比較して軽くて落としても割れ難い面から、病院給食・高齢者施設給食といった市場での認知度が高まっている。

また家電分野では、食の安全性の意識がグローバルに高まり、調理家電の食品接触部品への品質要求が高まりつつある。日本のポリオレフィン衛生協議

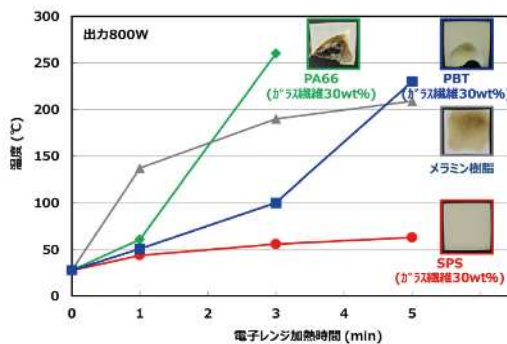
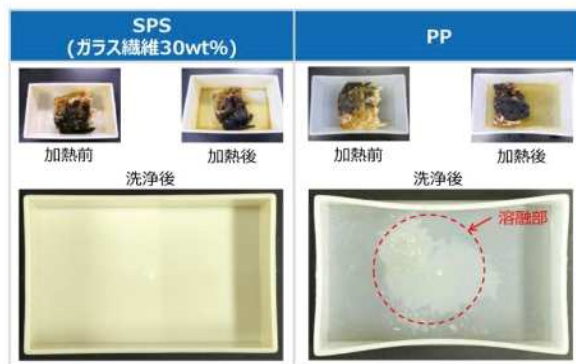


図6 電子レンジ加熱時のサンプル外観



塩サバ（出力800W、加熱時間2.5分）、食品温度180℃

図7 高含油食材の電子レンジ加熱

会のポジティブリストへの材料登録のみならず、FDA (Food and Drug Administration)、GB 規格 (中華人民共和国国家標準)、NSF (National Science Foundation) や KTW (Kontakt mit Trinkwasser) 等の海外の食品接触・飲料水接触規格に適合する SPS は、IH 高圧炊飯器やカプセル式コーヒーマシンなどの目に触れにくい高圧の熱水やスチームが接触する機能部品にも採用が進み、高機能化が進む調理家電製品を内側から支えている。

3.2 自動車電装分野

2006 年の RoHS 指令により鉛の使用が規制され、半田の鉛フリー化が推進されている。鉛フリー半田の融点は、電装品に用いられる従来の鉛とスズを主成分とした半田の融点 (180~200℃程度) に比べ、20~30℃上昇していることから、基板コネクタ材料への耐熱要求が高まった。従来使用されてきた PBT (融点約 220℃) よりも耐熱性が高い SPS が注目されるようになり、他エンジニアリングプラスチックに対して成形性、着色自由度、レーザーマーキングと低比重に伴う軽量化の面で優位となり、日系自動車メーカーを中心に採用、拡大に至った (図 8)。

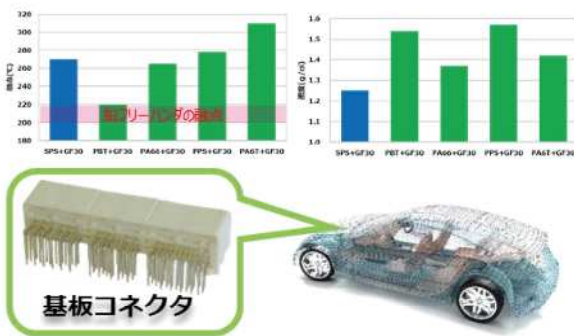


図 8 基板コネクタ採用事例

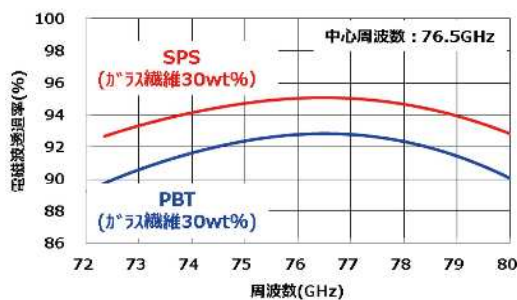


図 9 ミリ波領域の電磁波透過率

また近年、自動運転の開発が活発になっているが、SPS のミリ波領域での優れた電磁波透過性 (図 9) が着目され、自動運転システム (ADAS ; Advanced driver-assistance systems) の一つであるミリ波レーダーのレドームへの引合いが増加している。

3.3 高速通信分野

IoT (Internet of Things) の推進に向け、高周波帯域を用いる高速通信技術開発が加速しているが、高速通信技術に寄与する材料の要求特性も大きく変化してきている^{2),3),4),5)}。一般的に高周波信号の速度 (V) は比誘電率 (Dielectric constant : D_k) に反比例し、高周波信号の減衰 (電力損失) は比誘電率と誘電正接 (Dissipation factor : D_f) との積に比例することが知られている。

$$V = \frac{c}{\sqrt{D_k}} \quad \dots (1)$$

V: 信号速度、C: 光速

$$P_L = 2\pi f C_0 V^2 \cdot D_k \cdot D_f \quad \dots (2)$$

P_L : 電力損失、 f : 周波数、 C_0 : 真空中の静電容量、V: 電圧

さらに高周波帯域では電流が導体の表皮側を流れるため、導体に接する絶縁体の比誘電率、誘電正接が大きくなると信号速度が低下し、伝達効率が悪くなる。これより高周波帯域において、通信速度の高速化と減衰抑制を実現するためにアンテナ、回路基板、コネクタといった様々な高周波部品へ低比誘電率・低誘電正接 (低 D_k 、低 D_f) の要求特性が高まってきている。SPS は、鉛フリー半田耐熱性を有するエンジニアリングプラスチックにおいて低比誘電率・低誘電正接を示す非常に珍しい材料であり (図 10)、5G (第 5 世代移動通信システム) 向けの基地

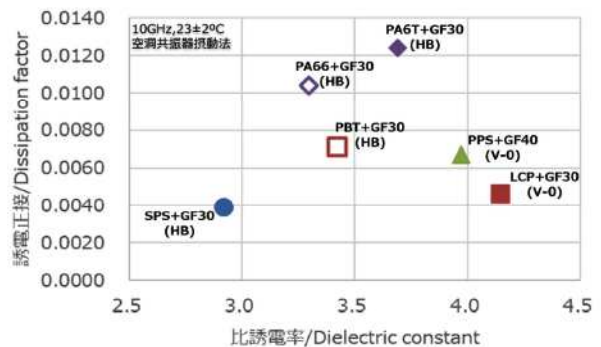


図 10 SPS および競合樹脂の高周波誘電特性

局設備、スマートフォン各部材への展開を推進している。

現在、5G 向けの樹脂材料として注目を集めているエンジニアリングプラスチックは耐熱性と難燃性に優れている PPS と LCP が代表的である。LCP は比誘電率が比較的高く誘電正接の周波数依存性が高く、PPS は比誘電率・誘電正接が全周波数領域で高いが、SPS は周波数・温度・湿度等の変化に対しても非常に安定した誘電特性を示し、東南アジアのような高温多湿から北欧のような低温乾燥環境など様々な過酷条件での使用に適していることが分かる (図 11、12、13)。

また、アンテナや高周波コネクタなどの高周波回路設計では、絶縁体の比誘電率と通信周波数に対して導電回路長に最適値が存在することが知られており^{6),7),8)}、絶縁体の比誘電率の異方性が大きい場合、絶縁体である樹脂の流動方向を調整するための金型設計との合わせ込み時間を費やす必要がでてくる。

誘電特性の異方性が小さい SPS は、高周波回路設計と金型設計の合わせ込みが容易である (図 14)。

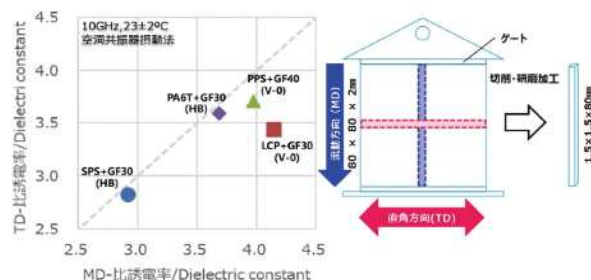


図 14 SPS および競合樹脂の比誘電率の異方性

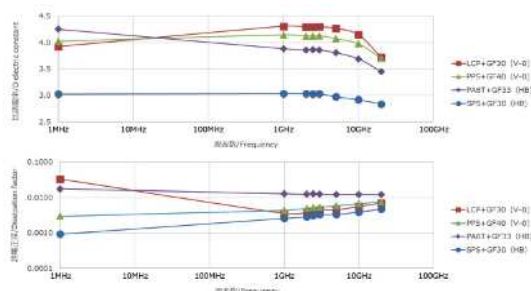


図 11 誘電特性の周波数依存性

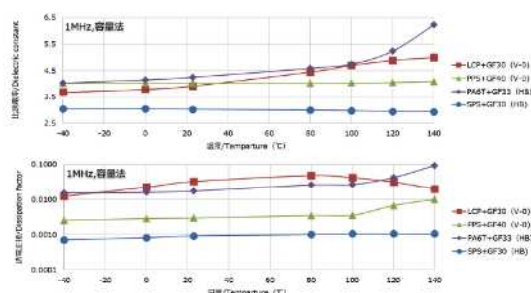


図 12 誘電特性の温度依存性

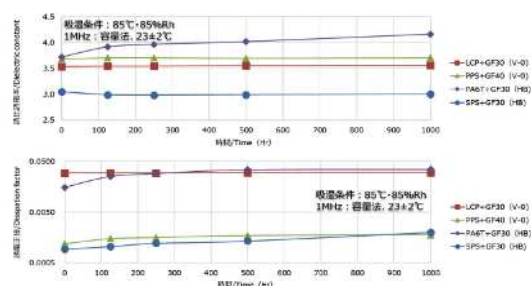


図 13 誘電特性の吸湿依存性

4. おわりに

5G 通信向け基地局をはじめとするインフラの整備、通信機器の入れ替えが加速しはじめている。今後さらに交通インフラが整備されることで完全自動運転が実現し、ローカル 5G 等の導入により製造業、運送業の変革、さらには遠隔医療、スマートシティーが構築されていくと予期される。

これらの構想を実現する機器を構成する素材に至っては、まだ 4G (第 4 世代移動通信システム) で使用されていた素材をそのまま使用している域を出ていない。5G の恩恵を十分に享受するためにも高周波用途向けの材料は変革の時期である。これらのイノベーションに対応するには樹脂材料メーカーだけの素材開発では限界があると思われ、異種素材との組合せや加工技術法、実装法の開発など、真のオープンイノベーションを実現化するようなメーカー間の連携やそれに付随したソリューション提案体制が必要と考えている。

<参考文献>

- 1) 割り箸から見た環境問題 2006、環境三四郎 2006 年度割り箸 PJ
- 2) 5G 通信を実現するコアテクノロジーの将来展望 2020、(株)富士キメラ総研
- 3) 2020 ワールドワイドエレクトロニクス市場総調査、(株)富士キメラ総研
- 4) 2020 5G 関連デバイスの現状と展望、(株)矢野経済研究所
- 5) ローカル 5G ビジネスの 2025 年展望、(株)矢野経済研究所
- 6) 高周波用高分子材料、(株)シーエムシー出版、1999
- 7) 図説・アンテナ、(株)コロナ社、1995
- 8) 小形・平面アンテナ、(株)コロナ社、1996