# ●耐トラッキング性 PPS の開発

四日市研究所　PPS グループ　尾﨑　想
田中　保巳
春成　武
宗藤　俊彦
雪岡　聡

## 1. はじめに

ポリフェニレンスルフィド（PPS）樹脂は優れた機械的特性、耐熱性、耐薬品性、寸法安定性を示す結晶性樹脂である。融点は約 280℃、連続使用温度は 200 ～ 240℃であり、200℃以下で PPS を溶解する溶剤はなく、各種化学薬品に対して安定である。また、耐熱水性、電気絶縁性、高周波特性にも優れる [1)]。

今日、電力変換装置に用いられているパワーデバイスの主要素子である Insulated Gate Bipolar Transistor（IGBT）は、年々大容量化、高耐電圧化が進んできている。特に、大容量電力変換が必要な鉄道車両用途ではその発展が著しい。さらに、クリーンエネルギーとして注目されている太陽光、風力発電などの新エネルギー分野でも、高性能な電力変換装置の重要性は増している [2)]。これら大容量化、高耐電圧化が進展している IGBT パワーモジュールには、長期信頼性が求められるため、耐トラッキング指数（CTI：Comparative Tracking Index）600V 以上の材料が必要とされる場合がある [3)]。CTI600V 以上は、耐トラッキング指数の最も高い区分に位置づけられる。しかしながら、一般の PPS は CTI が 175V 程度であり、本要求を満たすことは出来ない。そのため、我々は CTI600V 以上の PPS の開発に取り組んだ。

## 2. 耐トラッキング性向上に向けたアプローチ

### ［1］トラッキング現象とは

トラッキング現象とは、有機絶縁体表面が湿気や塩分、埃などで汚染された状態で電圧が印加された際に、微小放電（シンチレーション）が生じ、表面が発熱することで燃焼あるいは分解し、絶縁体表面に沿って炭化物が形成（以下、炭化と略記する）され、導電路ができることである。耐トラッキング性試験法には、IEC 法 (International Electrotechnical Commission)、DIN 法 (Deutsches Institut fur Normung)、DustFog 法、高電圧微小電流耐アーク試験法、Differential Wet 法、Dip Track 法等多くの方法がある。これらのうち、最も一般的な方法は IEC 法であり学会標準法と見なされている [4)]。

### ［2］従来技術

一般に、ポリマーの耐トラッキング性を向上させるためには、トラッキング現象の機構から、次の 2 通りの方法が考えられる。

①ポリマー中のベンゼン環含有率の低減

ベンゼン環骨格を有するポリマーは容易に炭化するため、その比率を減らす。

②炭化物形成の抑制

ポリマーが完全燃焼し、二酸化炭素や水になることを促進する添加剤（炭化抑制剤）を加え、熱分解生成物をガス化させる [5)、6)]。

PPS は、主鎖中にベンゼン環を含むために、耐トラッキング性に乏しい事が知られている [7)]。そのため、無機フィラー、あるいはベンゼン環を含まない脂肪族系有機化合物や、炭化物形成を抑制する添加剤を配合することで、耐トラッキング性を改良することが一般的である。しかし、何れの方法においてもフィラーや添加剤を大量に配合しなければならず、その結果、成形加工性や、機械的特性、耐熱性を犠牲にしてしまう。従って、これまで PPS の物性を損なわずに、耐トラッキング性を効果的に向上させる事は困難であった。

### ［3］当社のアプローチ

我々は、耐トラッキング性を改良するフィラーとして、**表 1** に示すような分解吸熱フィラーに注目した。これらフィラーの分解吸熱反応を利用し、トラッキング現象時の発熱を抑制することができる。さらに新たに炭化抑制剤を見出し、分解吸熱フィラーと組み合わせることで著しく耐トラッキング性を改良することを可能にした。本報では、この分解吸熱フィラーと炭化抑制剤を組み合わせる事により、従来困難であった CTI600V という高い耐トラッキング性と、成形加工性を両立させた PPS の開発に成功したので紹介する。

**表1**　分解吸熱フィラー例

| 分解吸熱フィラー | | 吸熱量（cal／g） | 分解開始温度[1)]（℃） |
|---|---|---|---|
| 水酸化アルミニウム | $Al(OH)_3$ | 450 | 200 |
| 水酸化マグネシウム | $Mg(OH)_2$ | 340 | 350 |
| ホウ酸カルシウム | $2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$ | 240 | 340 |
| ホウ酸亜鉛 | $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3.5H_2O$ | 150 | 300 |

注1）1%重量減少温度

## 3. 耐トラッキング性 PPS グレードの特長

### ［1］耐トラッキング性と溶融流動性

先ず、分解吸熱フィラーの効果を検証した。

PPS に、粒径、表面処理剤を最適化した分解吸熱フィラーを所定量配合した。分解吸熱フィラーの配合量とCTI、及び成形加工性の指標である溶融流動性との関係をそれぞれ**図1**、**2**に示す。図から明らかなように、分解吸熱フィラーの配合量増加に伴い、CTI は向上する（**図1**）が、溶融流動性は低下する（**図2**）。従って、分解吸熱フィラー単一の使用では、CTI 性能と溶融流動性の両立に限界がある。つまり、CTI 性能を求めると、成形性が悪化するため、小型、薄肉部品への適用が困難になり、自ずと適用できる部品、あるいは部品形状が限定される。

PPS と分解吸熱フィラーを配合した系に対し、我々が新たに見出した炭化抑制剤をさらに配合した結果の一例を**図1**、**2**に示す。炭化抑制剤を配合することで、同一の分解吸熱フィラー量でも、CTI を 400V から 600V へと、1.5 倍向上させることに成功した。さらに、溶融流動性も 90mm から 123mm と約 1.4 倍に向上させることができた。このように、分解吸熱フィラーと、新たに見出した炭化抑制剤を用いることで、従来達成することが出来なかった CTI と溶融流動性の両立が可能となった。

### ［2］熱分解挙動

**図3**に、耐トラッキング性 PPS の熱分解挙動を示す。炭化抑制剤を配合することで、重量減少が大きくなった。炭化抑制剤の効果により、熱分解生成物の気化が促進され、残留する炭化物が減少したためと考えられる。

**図4**に、印加電圧 600V で耐トラッキング試験を行った後の試験片を示す。**図4**（a）は、分解吸熱フィラーと、炭化抑制剤を配合した試験片で、**図4**（b）は、分解吸熱フィラーのみを配合した試験片である。**図4**（a）、（b）に示すように、炭化抑制剤を配合した試験片では、表面への炭化物（煤）の付着が少ない事が分かる。これは、炭化抑制剤を配合した結果、効果的に炭化を抑制できたためと考えられる。

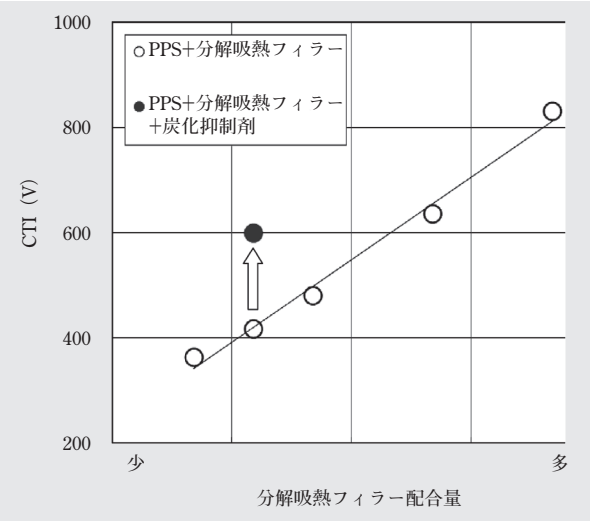


**図1**　分解吸熱フィラー配合量とCTI

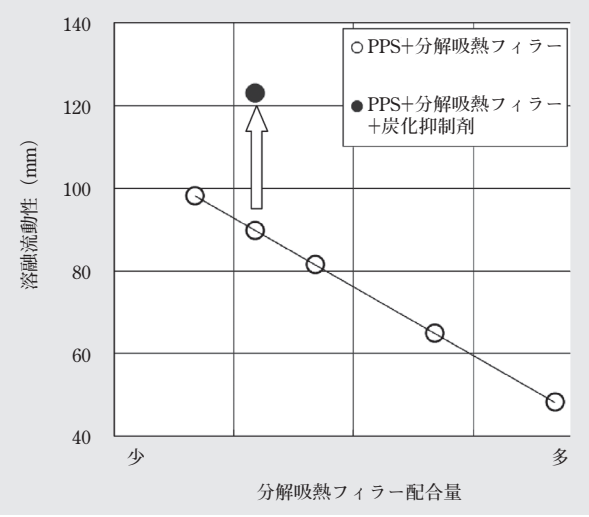


**図2**　分解吸熱フィラー配合量と溶融流動性

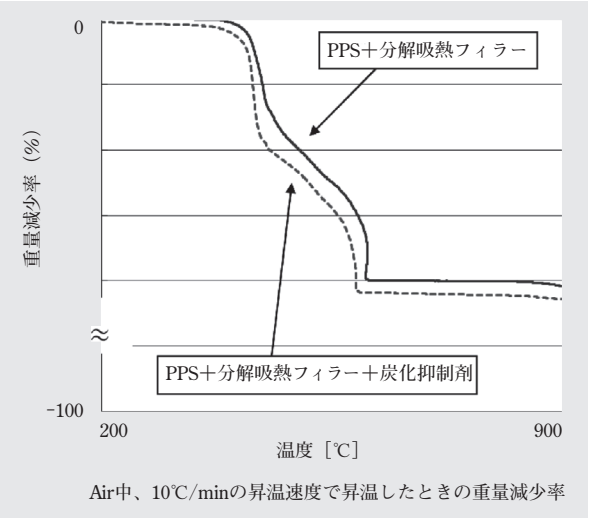


**図 3**　熱分解挙動

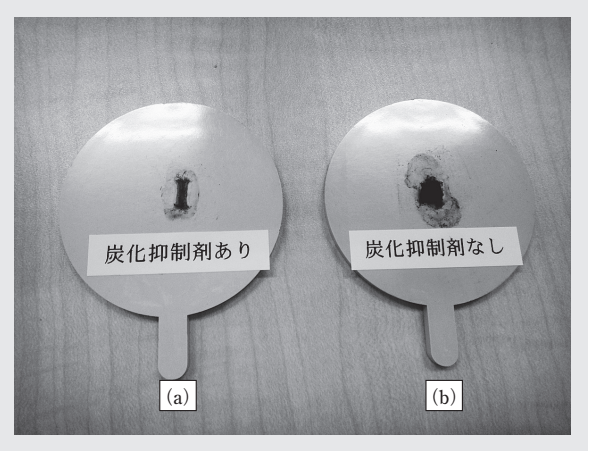


**図 4**　耐トラッキング試験後の試験片

### ［3］成形性

**表 2** に耐トラッキング性 PPS グレードの特性を示す。今回新たに開発した耐トラッキング性 PPS グレードは、当社で従来開発した CTI600V の耐トラッキング性 PPS グレードと比較して、耐トラッキング性や、機械的強度を維持しつつ、溶融流動性を大幅に改善できた。

**図 5** は、本開発品と従来品を同一条件で射出成形した成形品である。図から明らかなように、溶融流動性に優る本開発品は、ショートショットもなく、成形品末端に樹脂が充填している。そのため、小型部品、薄肉部品をはじめ複雑な形状を有する部品の成形が容易になることが期待される。

## 4. 用途展開

今回開発した耐トラッキング性 PPS グレードは、その高い CTI 性能が注目され、鉄道車両や、太陽光、風力発電向けの IGBT パワーモジュールケース等の部品として顧客評価が進められている。

さらに、今回開発した耐トラッキング性 PPS に期待される新たな活用方法を以下に提案する。

**表 3** に、CTI が異なる材料の最小沿面距離を示す。当社一般グレード（CTI：175V）に対して、耐トラッキング性 PPS グレード（CTI:600V）を用いることで、例えば定格電圧 1600V では、最小沿面距離を 25mm から 20mm へと 20%程度短くすることが可能である。このため、本材料を用いることで、部品の小型軽量化が期待される。

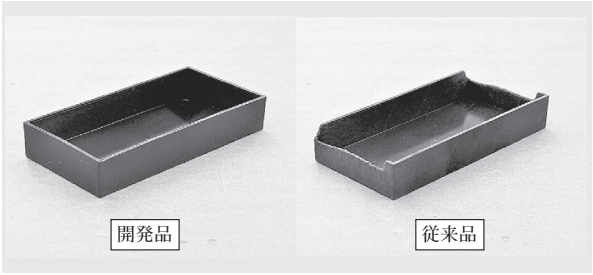


**図 5**　成形品比較

**表 2**　開発品と従来品の比較

| 測定項目 | 単位 | 測定方法 | 開発品 | 従来品 |
|---|---|---|---|---|
| 比重 | ― | ISO 1183 | 1.88 | 1.98 |
| 引張強度 | MPa | ISO 527 | 90 | 90 |
| 引張伸び | % | ISO 527 | 0.5 | 0.5 |
| 引張ウエルド強度 | MPa | ASTM D638 | 31 | 28 |
| 曲げ強度 | MPa | ISO 178 | 150 | 150 |
| 曲げ弾性率 | GPa | ISO 178 | 18 | 20 |
| シャルピー衝撃強度（ノッチ側） | KJ / $m^2$ | ISO 179 | 6 | 5 |
| 溶融流動長 | mm | TOSOH 法[1)] | 123 | 79 |
| 耐トラッキング指数（CTI） | V | IEC60112 | 600 | 600 |

注 1）金型形状；1mm 厚 ×10mm 幅バーフロー金型
　　成形条件；シリンダー温度 310℃、金型温度 130℃、射出圧力 177MPa

**表 3**　最小沿面距離

| 定格電圧（V） | 最小沿面距離（mm） | |
|---|---|---|
| | 耐トラッキング性 PPS | G-10-12（一般グレード） |
| 400 | 4.5 | 6.0 |
| 500 | 6.0 | 8.0 |
| 630 | 8.0 | 10.0 |
| 800 | 9.0 | 12.0 |
| 1000 | 12.0 | 16.0 |
| 1250 | 16.0 | 20.0 |
| 1600 | 20.0 | 25.0 |

出典：EN-61984改訂版1.0-2011-11、及び JIS C 0704-1955
耐トラッキング性 PPS　　CTI＝600V
G-10-12（一般グレード）　CTI＝175V

また、昨今、従来のシリコン（Si）パワーモジュールに代わって、より小型化が可能なシリコンカーバイド（SiC）パワーモジュールの開発が進められている。SiC パワーモジュールは、高温でも動作するため、長期信頼性を確保する意味でも高 CTI 特性が重要になると思われる。そのため、今回開発した耐トラッキング性 PPS グレードは有用と考えられる。

## 5. おわりに

現在当社では、CTI400V から 700V まで種々のグレードを開発中である。その一例を**表 4** に示した。今後は更に、顧客の様々な要望に合わせたグレードの開発を行い、用途展開を図っていく所存である。

## 参考文献


1）西川雷太、市川幸男、プラスチックス、61(1)、95（2010）
2）両角朗、丸山力宏、山田克己、富士時報、71(2)、135（1998）
3）西村孝司、高宮喜和、中嶋修、富士時報、81(6)、390（2008）
4）安田武夫、プラスチックス、52(6)、112（2001）
5）木下勝博、鑑識科学、6(2)、65（2002）
6）山口裕、前田正徳、上野晃、長谷川弘幸、松下電工技報、75、56（2001）
7）山形直樹、鍵崎秀樹、山城啓輔、高野哲美、前田孝夫、電学論 A、122(2)、164（2002）


**表 4**　耐トラッキンググレード

| 測定項目 | 単位 | 測定方法 | 高 CTI グレード | CTI 標準グレード | 高ウエルド強度グレード |
|---|---|---|---|---|---|
| 比重 | ― | ISO 1183 | 1.86 | 1.88 | 1.77 |
| 引張強度 | MPa | ISO 527 | 85 | 90 | 70 |
| 引張伸び | % | ISO 527 | 0.5 | 0.5 | 0.4 |
| 引張ウエルド強度 | MPa | ASTM D638 | 31 | 31 | 35 |
| 曲げ強度 | MPa | ISO 178 | 138 | 150 | 150 |
| 曲げ弾性率 | GPa | ISO 178 | 18 | 18 | 13 |
| シャルピー衝撃強度（ノッチ側） | $KJ/m^2$ | ISO 179 | 5 | 6 | 5 |
| 溶融流動長 | mm | TOSOH 法[1)] | 155 | 123 | 150 |
| 耐トラッキング指数（CTI） | V | IEC60112 | 700 | 600 | 400 |

注 1）金型形状；1mm 厚 ×10mm 幅バーフロー金型
　　成形条件；シリンダー温度 310℃、金型温度 130℃、射出圧力 177MPa