

# ドナー・アクセプター系分子化合物型 帯電防止剤の製造と性能の確認(上)

浜中博義\*

## はじめに

現代の人間生活で欠かせない材料である種々の合成高分子は、今日まで高分子化学の基礎及び応用研究に携わってきた先人の熱意と努力によってそれぞれに特色のある構造体が開発されるとともに、大量生産化の検討が真剣になされた結果生み出されたものである。

そして、次に個々の高分子材料に対して最も適した加工方法を見いだすべく精進を重ねてきた専門技術者達の成果とが相俟って、いろいろな形の製品がつくられ、様々な用途で役立つが、さらなる新材料の開発とそれを利用しようとする研究は止まることなく続けられている。

合成高分子は、特殊な分野で用いるために構造設計して製造している一部の導電性ポリマーを除いて、大部分の材料が絶縁体であり、その性質が、家庭や産業施設等の最重要なエネルギー源である電気を安全、適正に運用するための防衛機能として役立っていることは言うまでもない。しかし、空気のような気体を含めて近辺にある他の物との間で、接触、摩擦、摩擦が繰返しなされると、表面にたやすく静電気を発生させ滞留させてしまうので、周辺雰囲気内にある有機物や無機物よりな

る不潔な塵埃を吸着したり、人体に電撃を与えたり、また可燃性液体を発火させるなどの短所にもなる。

このようなことから、合成高分子材料の価値を更に高めるための一手段として、有効な帯電防止剤を開発する研究が付随して行われてきた。

帯電防止剤の研究は高分子材料への処理がしやすいことと、性能の持続性が期待できることから製品加工時に添加させる内部練込み型帯電防止剤の開発に重点が置かれ、初めに、ポリマーマトリックスの内部より表面の方に多く分布する性質を有する界面活性剤構造の物が種々試験に供せられた。

しかし、イオン伝導機構によって高分子製品表面で帯電防止作用を行わせようとしていたカチオン型、アニオン型及び両性イオン型界面活性剤ではポリマーマトリックスと相溶しないか、もしくは相溶しても高分子製品の成形の最終段階で熱分解を起こしてしまうために有効な性能発現がなされ難い。また、電気伝導性を有しない非イオン界面活性剤は、イオン型界面活性剤に比べてポリマーマトリックス中に入りやすく、熱安定性も良好な物が多いが、高分子製品表面の電気特性改善を十分に行うまでには至らなかった。

それにより、単一物質で内部練込み型帯電防止剤として実際に使用し得るのは、ごく少数のものに限られていた。

更に、通常使用されている高分子材料のマトリックスは均質ではなく、多くの場合、結晶域と非結晶域とが混ざ

った状態になっているので、低分子の界面活性剤系帯電防止剤は自らの界面活性作用によって内部の非結晶域から高分子製品の表面へ移行し、吸着して、密な分布状態にある間は帯電防止効果をもたらすが、高分子製品の表面も内部と同じように不均質であるために安定な吸着分子層を形成することができず、性能発現の再現性と持続性を確保することが難しかった<sup>1)</sup>。

また、界面活性剤系帯電防止剤以外では、ポリオキシエチレン鎖をセグメントの一部としている非イオン高分子系内部練込み型帯電防止剤類や側鎖にイオン性基を連結させているものがあり、界面活性剤系帯電防止剤の5~10倍程度の量を付加重合高分子材料中に投入し、製品加工時にポリマーアロイ化して帯電防止性能を長期間持続させることに成功している<sup>2)</sup>。

しかしながら、ガラス転移点の異なる高分子物質同士の混合物であり、マトリックス内が常に均質な融合状態になるとは限らないので、高分子系帯電防止剤の投入量を単に増やすだけでは帯電防止性能がそれに比例して良くなっていくという傾向は見られない。

一方、20世紀後半から今世紀にかけて電子工学が世界的に発展した結果、異なった回路素子を一つの所で結合させて小型化したマイクロ波集積回路や光集積回路が家庭で使用する電気製品から公共施設や多くの産業活動の場などで日々稼働している通信システム装置などに組み入れられるようにな

\* Himeyoshi Hamazaki  
日立ゼオン研究所  
Tel. 03-3806-3998  
Fax. 03-3806-9563

ってきて、それが、普遍的な状態にある現在の環境下では、わずかな量の静電気発生や濡潤が集積回路(IC)内蔵機器の誤作動や破壊を引き起こす原因になるという重大な事実が判明してきた。

それにより、帯電防止剤の研究においても更に新しいメカニズムを追求しつつ、一般と優れた帯電防止性能を有する物質を探索し、それを高分子材料に複合させて、IC内蔵機器を取り巻く高分子製品の静電気対策を完全なものにすることが急務になってきた。

筆者は前に、半極性有機ホウ素化合物をドナー〔D〕成分とし、塩基性窒素化合物をアクセプター〔A〕成分とするドナー・アクセプターハイブリッド系内部練込み型帯電防止剤を作製して、ポリオレフィン構造中に溶融混和

させた成形物をつくり、その電気特性改質の実態を観察したが、その結果、この新しい系の内部練込み型帯電防止剤は、オレフィン樹脂に対して前述の高分子系帯電防止剤よりかなり少ない複合量で良好な帯電防止効果を示わし、しかも、界面活性剤系帯電防止剤のような表面移行作用もほとんどなく、長時間帯電防止性能を示し続けるという特徴が見いだされた<sup>2)</sup>。

これは、ドナー・アクセプターハイブリッド系内部練込み型帯電防止剤が単純な混合体のままで高分子製品の成形時にポリマーマトリックス内にあるのではなく、二成分間で適切なクーロン力を働かせている組成物の形態で微粒子分散しており、次いで、製品の成形後に、両成分中の長鎖炭化水素基がポリマーマトリックスの炭化水素セグ

メントと多重的にファンデルワールス力を働かせて、固相相の中でその分散状態を安定なものにしていることによると推測した。

今回は、その知見をもとにして一層厳密に構造検討を行い、1:1型のドナー・アクセプター系分子化合物を精製に作製した後、製造方法、加工方法等でそれぞれ異なる多くの合成高分子製品を対象にした練込み試験を実施し、幅広い使用分野で最も優れた帯電防止効果を現すものを選び出すことを目的として研究したので、報告する。

## 1. ドナー・アクセプター系分子化合物の製造

従来の内部練込み型帯電防止剤の研究では、高分子製品の化学構造と相溶

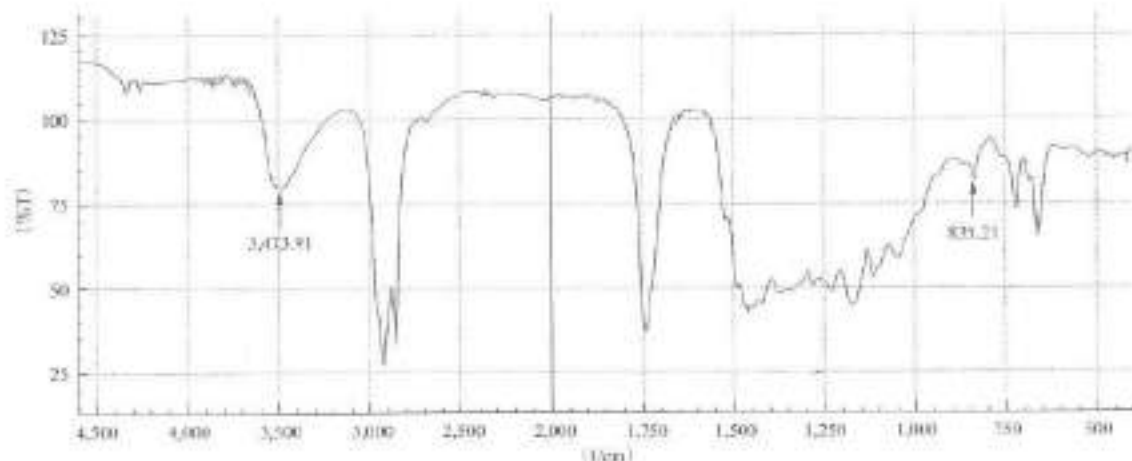


図1 ドナー〔B〕成分のIR吸収スペクトル

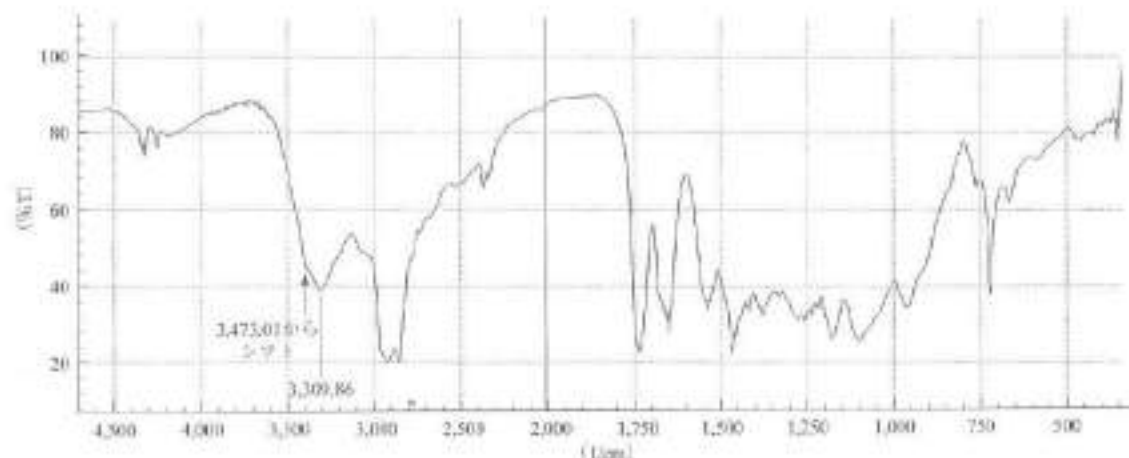


図2 BN-01AMのIR吸収スペクトル

する物質を選び出して試験し、その中で高分子製品の表面の電気特性改質をなし得る原子団を連結させているものを見いだすという方法が、各対象高分子製品について行われていた。

本研究は、対象とする高分子製品自体の化学構造に関係なく、成形時に安定して溶融分散するエネルギーを有するようにまず成分設計し、かつポリマーマトリックス中に有効に分散して、高分子製品に帯電荷が発生すると同時に漏洩するような特異なエネルギー状態を、各高分子製品に共通するかたちで構築することを主眼点とし、成分の合成や分子化合物の作製を行った。

### 1.1 ドナー [B] 成分

筆者らが過去に構造決定した半導性有機ホウ素界面活性剤の合成方法を参考にして、直鎖型長鎖アルキル基と隣接ヒドロキシル基を有するジオールを出発物質とし、ホウ酸エステル化剤と無触媒で反応させて、近接してOH基を1個残存させているホウ酸トリエステルを合成した。

ドナー [B] 成分は熱安定性が良好で、加水分解もしにくい化合物である。

### 1.2 アクセプター [N] 成分

直鎖型長鎖アルキル基と三級アミンからなる塩基性窒素化合物のうち、末端OH基を有するか、又はアルキル基の中間にアミド基を連結させている構造のものをそれぞれ合成した。

### 1.3 分子化合物の作製と確認

内部線込み型帯電防止剤の試験試料とする分子化合物の作製は、上記ドナー [B] 成分とアクセプター [N] 成分を1molづつ取り、それぞれを溶解させた後、70～100℃で混合して発熱が

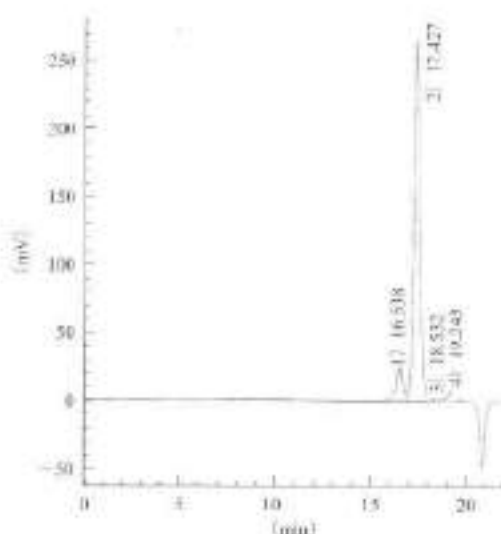


図3 ドナー [B] 成分のGPC

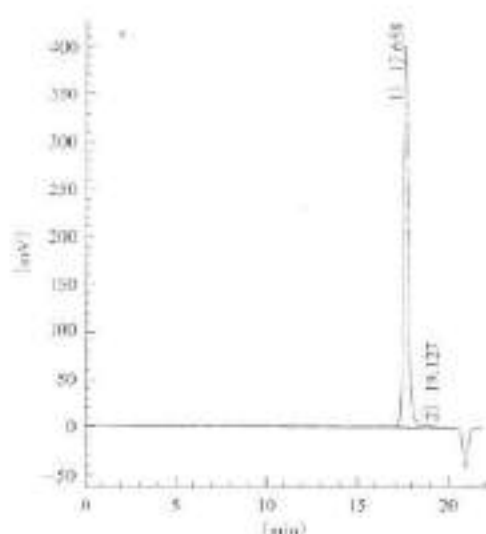


図4 BN-01AMの原料アクセプター [N] 成分のGPC

観測された時点で直ちに冷却し、固化させて静置するという手順で行った。

試料名はアミド連結基の数の差異に基づき、BN-00AM、BN-01AM及びBN-02AMとした。

ここで、分子化合物の確認はIRスペクトル分析とGPC測定による分子量解析により行った。

図1はドナー [B] 成分のIR吸収スペクトルであり、半導性結合の特性吸収帯である $\delta_{\text{C-H}}$  (面外変角振動) が $830 \sim 836\text{cm}^{-1}$ に顕著に見られ、また、 $3,500\text{cm}^{-1}$ 付近に $\nu_{\text{O-H}}$  (伸縮振動) の吸収帯が通常見られる領域に存在しているが、アクセプター [N] 成分と1:1 (モル比) で加熱条件下に相互接触させた後、固化させた化合物 (代表例としてアミド連結基が1個含まれている試料: BN-01AM) のIRスペクトルを図2である図2では、 $\delta_{\text{C-H}}$  の吸収帯が消失していることと $\nu_{\text{O-H}}$  の吸収帯は見られるが、アミド基のN-H伸縮振動の吸収帯の $3,310\text{cm}^{-1}$ に近接する領域までシフトしていることが観測される。

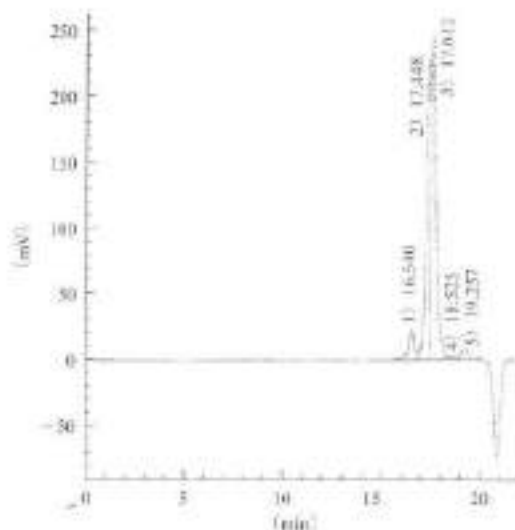


図5 ドナー・アクセプター系分子化合物試験試料 BN-01AMのGPC

一方、出発原料であるドナー [B] 成分と、BN-01AM作製用のアミド連結基を有する長鎖アルキル基と三級アミンとからなる塩基性窒素化合物のアクセプター [N] 成分をTHF溶液としてGPC測定を行い、図3と図4でそれぞれの分子量のリテンションタイムを調べた後、同様に、BN-01AMをTHFに溶かした懸液をつくり、GPC測定を行った。その結果を図5に示したが、測定ピークは二つ現われており、各リテンションタイムは出発原料であるド

ナー [B] 成分及びアクセプター [N] 成分とそれぞれ同じであるということが認められる。

これらの分析結果の解析から、本研究で作製した帯電防止剤試験試料はドナー [B] 成分とアクセプター [N] とが単に混合されているだけの組成物ではなく、ドナー [B] 成分の半極性構造形成に関係している近接のOH基の水素原子の活性が増してアクセプター [N] 成分の三級アミン基の窒素原子との間でクーロン力を働かせ、二つの成分の分子が互いに対つて選択的に結びついた状態のものになっており、しかも、それは電荷移動により配位結合を完成させて分子量を大きくしたイオン化合物ではなく、それぞれが非イオン状態を保持した形で結合している分子化合物になっているものと結論づけた。

そして、本研究で作製した試験試料を対象とするいくつかの高分子材料に練込んで帯電防止性能を調べるに際し、既存分類の試験試料と区別するためにドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤ということにした。

図6に、それぞれの構造の特徴を示した。

## 2. 内部練込み型帯電防止剤としての性能試験

本研究で製造した3種類のドナー・アクセプター系分子化合物について、炭化水素基を主鎖にしている合成高分子やオキシアルキレン基の繰返し構造よりなる付加重合高分子、炭化水素基と極性を有する基とが規則的に連結しているセグメントで形成されている重縮合及び重付加高分子等の幅広い材料を対象として、帯電防止性能を比較測定した。

その際に、一部の界面活性剤系帯電防止剤や高分子系帯電防止剤も試験試料として選り、同様に性能試験した。

試験は、対象とした高分子材料の種

類や成形物の形態、目的とする用途等をもとにそれぞれに適する方法を選択した。表面抵抗率の測定は、例えば、三菱化学アナリテック製ハイレスターUP-MCP-HT450型抵抗率計や、米田SIMCO社製ST-4型表面抵抗計を使用して行った。

また、帯電正減衰特性の観測には、米国ETS社製MODEL406Dヤシンド帯電気装スタチックオネストメータを用いた。

一方、除静帯電荷を測る手段としてシンド帯電気装スタチロンDZ-4を使用した。同時に、直接帯電の状態を観察するために、300gの荷重をかけてポリエステル布で供試成形物の表面を連続的に摩擦した後、1cmの距離に置かれた3mm四方の紙片が吸着するかどうかを調べた。

### 2.1 付加重合系高分子材料についての試験例

#### 2.1.1 ポリエチレン

LDPEとHDPEの原料ペレットに対して帯電防止剤純分が0.3%含有されるように、試験試料のBN-00AM、BN-01AM及びBN-02AMの10%複合LDPE (MFR10の物) マスターバッチを希釈し、押出機を用いて30  $\mu\text{m}$  のLDPEフィルムと20  $\mu\text{m}$  のHDPEフィルムをそれぞれ製造した。

また、ポリエチレンフィルム用として従来から使われている界面活性剤系帯電防止剤のグリセリルモノステアレート (GMS) を0.5%、LDPEとHDPEの2種類のフィルムに含有させた比較検討成形物も製造した。

加えて、これまで帯電防止性を十分に付与することが難しかったHDPE射出成形物について、試験試料の一つで

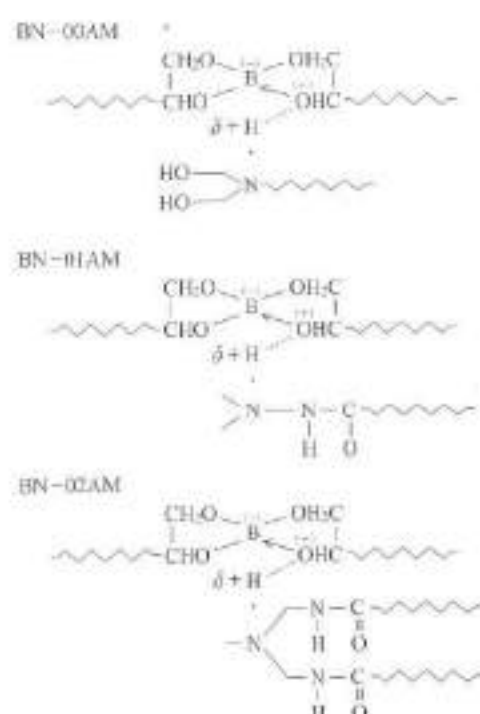


図6 ドナー・アクセプター系分子化合物試験試料の構造の特徴

あるBN-01AMと界面活性剤系帯電防止剤をそれぞれ1.5%含有させた7×10cm<sup>2</sup>、厚さ3mmの試験板を製造した。LDPEフィルムの押出成形温度は170℃とし、HDPEフィルムの押出成形温度と試験板の射出成形温度は210℃とした。

表1と表2に、各供試成形物の帯電防止性能試験結果を示す。

本研究のドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤では、アミド連結基を1個有するBN-01AMが各成形物に対して特に優れた帯電防止性能を付与するということが確認された。

表1では、内部からの移行作用によって表面分布を多くしている界面活性剤系帯電防止剤のGMS成形物よりもBN-00AM成形物の方が表面抵抗率が高いにもかかわらず帯電荷漏洩性が良好であるという結果も観察されているが、これはドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤が界面活性剤系帯電防止剤と同様に成形物表面の電気特性改善を行うことに加えて、ポリマーマ

表1 ポリエチレンフィルムの帯電防止性能試験結果

(23℃, 50% RH条件)

試験項目	成形1カ月後		成形1年後		成形2年後		紙片吸着特性
	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	
帯電防止剤無添加LDPEフィルム	$>10^{17}$	$>60$	$>10^{17}$	$>60$	$>10^{17}$	$>60$	3min以上紙片吸着
BN-00AM 0.3%複合	$3.2 \times 10^{12}$	1.8	$3.4 \times 10^{12}$	1.5	$3.2 \times 10^{12}$	1.5	紙片吸着せず
BN-01AM 0.3%複合	$1.6 \times 10^{16}$	なし (帯電せず)	$1.4 \times 10^{16}$	なし (帯電せず)	$1.5 \times 10^{16}$	なし (帯電せず)	*
BN-02AM 0.3%複合	$7.9 \times 10^{12}$	47.0	$7.5 \times 10^{12}$	40.3	$7.5 \times 10^{12}$	41.2	1min後に吸着紙片脱離
GMS 0.5%複合の場合	$8.0 \times 10^{11}$	3.9	$2.5 \times 10^{12}$	11.7	$1.5 \times 10^{12}$	52.1	1min後も吸着紙片脱離せず
帯電防止剤無添加HDPEフィルム	$>10^{17}$	$>60$	$>10^{17}$	$>60$	$>10^{17}$	$>60$	3min以上紙片吸着
BN-00AM 0.3%複合	$4.6 \times 10^{12}$	22.3	$5.0 \times 10^{12}$	25.0	$5.0 \times 10^{12}$	23.1	1min後に吸着紙片脱離 少量吸着した紙片
BN-01AM 0.3%複合	$1.3 \times 10^{17}$	3.9	$1.3 \times 10^{17}$	3.6	$1.3 \times 10^{17}$	3.6	5sec以内に脱離
BN-02AM 0.3%複合	$1.3 \times 10^{14}$	$>60$	$1.0 \times 10^{14}$	$>60$	$1.0 \times 10^{14}$	$>60$	2min後に吸着紙片脱離
GMS 0.5%複合の場合	$8.3 \times 10^{11}$	$>60$	$8.3 \times 10^{11}$	$>60$	$9.5 \times 10^{11}$	$>60$	3min以上紙片吸着

表2 HDPE射出成形物 (7cm×10cm, 厚さ3mm) の帯電防止性能試験結果

(23℃, 50% RH条件)

試験項目	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰半減期 (sec)	飽和摩擦帯電量 (kV)	紙片吸着特性
帯電防止剤無添加HDPE射出成形物	$>10^{17}$	$>60$	12.3	3min以上紙片吸着
BN-01AM 1.5%複合	$2.5 \times 10^{12}$	1.1	1.6	少量吸着した紙片5sec以内に脱離
GMS 1.5%複合	$3.2 \times 10^{14}$	$>60$	7.1	3min以上紙片吸着

(注) 供試成形物は製造後1週間、23℃, 50% RH条件の環境環境に帯電していたものである。

トリックスの内部でも帯電防止作用をなし得るメカニズムを働かせているということをうかがわせている。

また表2では、HDPE射出物の結晶性が高いためにGMSが界面活性力によって表面分布を多くする状態をつくり得ず、それにより十分に帯電防止性能を付与することができないのに対して、本研究の試験試料のBN-01AMでは同じように表面の分布が少なく、大部分がポリマーマトリックスの内部に存在する状態でありながら効率よく成形物に帯電防止性能を付与するというドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤の特徴が一層明確に見られている。

## 2.1.2 ポリプロピレン

試験試料のBN-00AM, BN-01AM及びBN-02AMを10%複合させたホモPPマスターバッチをそれぞれ作製した後、PPの原料ペレットで造粒し、押出機を使用して40  $\mu$ mのフィルムと

200  $\mu$ mのシートを製造した。PPフィルムは210℃で成形し、PPシートは225℃で成形した。

PPフィルム用比較検討成形物としては、ポリエチレンフィルムの帯電防止性能試験で用いた界面活性剤系帯電防止剤のGMS 0.5%含有物を選び、PPシート用比較検討成形物としては、オキシアルキレン基を有する界面活性剤系帯電防止剤のポリオキシエチレンアルキルアミン (POEN) とポリエチレンオキシドポリアルキルエステル系高分子系帯電防止剤 (PEOPE) の各含有物も選んだ。表3に、各供試成形物の帯電防止性能試験結果を示す。

結晶性の高いホモPPでは、これまで低分子物質の界面活性剤系帯電防止剤を少量含有させても十分な帯電防止性能を持たせることが難しいとされていたが、表3の長期間にわたる試験結果から、フィルム、シートともに本研究のBN-01AMはポリエチレンと同様に原料ペレットに少量組み入れられて

安定分散存在しているだけで十分に有効な電気特性改質をなし得ることが分かり、高分子系帯電防止剤を相当量使用してポリマーブレンドを行い、ポリマーマトリックス全体を半導体域にするという従来技術とは異なる新たな帯電対策方法として期待できる。

また表3では、同じくポリマーマトリックス中に少量で安定分散しているBN-00AMとBN-02AMのPP複合成形物でも、BN-01AM複合成形物より表面抵抗率は高いが、他の低分子物質からなる界面活性剤系帯電防止剤含有供試検討成形物より帯電減衰性が優れていることが前述の表1のポリエチレンフィルムの帯電防止性能試験結果と同様に観測された。

この試験結果を更に追求するために、本研究のドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤複合供試成形物のうちのBN-01AMの0.5%複合PPフィルムを試験対象として、成形後の異なる静置期間において表面抵抗率を

表3 ポリプロピレンフィルム及びシートの帯電防止性能試験結果

(23℃, 50% RH条件)

試験項目 供試成形物	成形24時間後		成形 3ヵ月後	成形1年後	成形2年後		
	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期 (sec)	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期 (sec)	紙片吸着特性
帯電防止剤無添加PPフィルム	$> 10^{14}$	$> 60$	$> 10^{14}$	$> 10^{14}$	$> 10^{14}$	$> 60$	3min以上紙片吸着 1min後に吸着紙片剥離
BN-01AM 0.5%複合 *	$4.2 \times 10^{12}$	1.8	$3.0 \times 10^{12}$	$3.0 \times 10^{12}$	$3.0 \times 10^{12}$	1.7	紙片吸着せず
BN-01AM 0.5%複合 *	$1.6 \times 10^{13}$	なし (帯電せず)	$6.5 \times 10^{10}$	$6.4 \times 10^{10}$	$6.4 \times 10^{10}$	なし (帯電せず)	紙片吸着せず
BN-02AM 0.5%複合 *	$1.3 \times 10^{13}$	9.8	$1.6 \times 10^{12}$	$1.5 \times 10^{12}$	$1.5 \times 10^{12}$	9.1	2min後に吸着紙片剥離
GMS 0.5%複合の場合 *	$8.7 \times 10^{12}$	22.1	$6.8 \times 10^{12}$	$7.0 \times 10^{12}$	$6.9 \times 10^{12}$	22.6	3min以上紙片吸着
帯電防止剤無添加PPシート	$> 10^{14}$	$> 60$	$> 10^{14}$	$> 10^{14}$	$> 10^{14}$	$> 60$	3min以上紙片吸着 少量吸着した紙 3sec以内に剥離
BN-01AM 1.5%複合 *	$1.2 \times 10^{11}$	6.9	$1.5 \times 10^{11}$	$1.5 \times 10^{11}$	$1.4 \times 10^{11}$	6.8	紙片吸着せず
BN-01AM 1.5%複合 *	$1.6 \times 10^{10}$	なし (帯電せず)	$1.3 \times 10^9$	$1.6 \times 10^9$	$1.5 \times 10^9$	なし (帯電せず)	紙片吸着せず
BN-02AM 1.5%複合 *	$6.3 \times 10^{12}$	49.3	$6.4 \times 10^{12}$	$6.1 \times 10^{12}$	$6.2 \times 10^{12}$	37.0	2min後に吸着紙片剥離
GMS 3.0%複合 *	$5.8 \times 10^{11}$	$> 60$	$6.8 \times 10^{12}$	$7.1 \times 10^{12}$	$7.0 \times 10^{12}$	$> 60$	3min以上紙片吸着
POEN 3.0%複合 *	$7.9 \times 10^{12}$	22.0	$7.0 \times 10^{12}$	$6.8 \times 10^{12}$	$6.4 \times 10^{12}$	19.9	2min後に吸着紙片剥離
PEOPE 10.0%複合 *	$3.6 \times 10^{13}$	$> 60$	$3.5 \times 10^{13}$	$3.4 \times 10^{13}$	$3.4 \times 10^{13}$	$> 60$	3min以上紙片吸着
PEOPE 15.0%複合 *	$6.5 \times 10^{10}$	なし (帯電せず)	$6.7 \times 10^{10}$	$6.4 \times 10^{10}$	$6.5 \times 10^{10}$	なし (帯電せず)	紙片吸着せず

注) BN-01AM 1.5%複合PPシートは、23℃、50%RH条件での表面抵抗率の測定でも $1.0 \times 10^{10} \Omega/\square$ を示しており、絶縁性を呈している。

表4 BM-01AM 0.5%複合PPフィルムの強制帯電荷減衰特性測定結果

(23℃, 50% RH条件)

供試成形物	試験項目	強制帯電荷減衰特性 測定時の表面抵抗率	+5kV → 0kVまでの 減衰時間 (sec)	-5kV → 0kVまでの 減衰時間 (sec)
成形1時間後のBM-01AM 0.5%複合PPフィルム		$5.0 \times 10^{10}$	1.9	1.5
成形24時間後のBM-01AM 0.5%複合PPフィルム		$1.6 \times 10^{11}$	1.7	1.5
成形3ヵ月後のBM-01AM 0.5%複合PPフィルム		$6.5 \times 10^{10}$	1.7	1.5

測定する一方で、プラス電荷とマイナス電荷を各5kVずつそれぞれ印加してoffにした後、0kVまで完全に減衰するまでの時間を計測した。

結果を表4に示したが、表面抵抗率が絶縁体級の $10^{14} \Omega/\square$ である成形1hr後の供試成形物でもプラス帯電荷とマイナス帯電荷の両方を首尾良く2sec以内に消滅させるという、固有でかつ有益な帯電防止性能を発現する実態を見ることができた。

なお、従来の方法では、ポリプロピレン材料をそのまま成形する製品に対しても十分に帯電防止性能を付与させることが難しかったが、更に難しいのが、非泡体の帯電防止性能付与である。製品の内部で気/固界面が多数存在しているPP発泡成形物では、界面吸着

力の強い界面活性剤系帯電防止剤は表面移行性が弱まり、最表面の分布量がより少ないものになるために効果が発現できず、高分子系帯電防止剤も絶縁性気泡が共存しているポリマーマトリックスを半導体域に保持するためにさらなる複合量の増加が必須となり、発泡の阻害や気泡の均質性低下への影響のないポリマーブレンド技術の完成に至っていない。

しかし、本研究のドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤では、BN-01AMを通常のポリプロピレン成形物製造の際の複合量と同じように、1~2%使用するだけで、PPの8~10倍発泡成形物(写真1)を全体的に改質した有益な帯電防止性能付与製品にするという実態が確認できた。表5に、



写真1 BN-01AMが均一に塗り込まれているPP発泡成形物

その試験結果を示す。

### 2.1.3 シクロオレフィンポリマー

PE, PP等の非環状炭化水素鎖からなる高分子材料と異なり、脂環型炭化水素骨格の繰返し構造物であるシクロオ

表5 150~155°Cで製造したPP8~10倍発泡成形物の帯電防止性能試験結果

供試成形物			表面抵抗率			連続摩擦後の紙片吸着性 (厚さ1cm)
			測定1回目 (Ω/□)	測定2回目 (Ω/□)	測定3回目 (Ω/□)	
BN-01AM 1%複合PP発泡成形物	第一面(表)	部位①	$3.2 \times 10^{11}$	$2.5 \times 10^{10}$	$3.2 \times 10^{11}$	第一面、第二面紙片吸着せず
		部位②	$1.3 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{10}$	
		部位③	$2.0 \times 10^{10}$	$2.0 \times 10^{10}$	$2.0 \times 10^{10}$	
	第二面(裏)	部位①	$1.0 \times 10^{11}$	$1.0 \times 10^{11}$	$1.0 \times 10^{11}$	
		部位②	$5.0 \times 10^{10}$	$6.3 \times 10^{10}$	$3.2 \times 10^{10}$	
		部位③	$5.0 \times 10^{10}$	$6.3 \times 10^{10}$	$1.0 \times 10^{11}$	
BN-01AM 2%複合PP発泡成形物	第一面(表)	部位①	$1.6 \times 10^{10}$	$1.3 \times 10^{10}$	$2.5 \times 10^{10}$	第一面、第二面紙片吸着せず
		部位②	$2.5 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{10}$	
		部位③	$7.9 \times 10^9$	$6.3 \times 10^9$	$7.9 \times 10^9$	
	第二面(裏)	部位①	$6.3 \times 10^9$	$7.9 \times 10^9$	$5.0 \times 10^9$	
		部位②	$1.3 \times 10^{10}$	$1.3 \times 10^{10}$	$1.3 \times 10^{10}$	
		部位③	$1.3 \times 10^{10}$	$1.6 \times 10^{10}$	$1.3 \times 10^{10}$	

注) BN-01AMを複合していないPP8~10倍発泡成形物の表面抵抗率は $> 10^{12} \Omega/\square$ であり、表面摩擦によって紙片を吸着した状態を1mm以上剥離する。

表6 COP射出成形物 (7cm×10cm、厚さ3mm) の帯電防止性能試験結果

供試成形物	試験項目	表面抵抗率 (Ω/□)		
		帯電減少半減期(sec)	紙片吸着性	
帯電防止剤無添加・COP射出成形物		$> 10^{12}$	$> 60$	1mm以上紙片吸着
BN-01AM 2%複合*	*	$4.0 \times 10^{12}$	1.24	紙片吸着せず
GMS 3.0%複合*	*	$8.9 \times 10^{12}$	23.6	1mm以上紙片吸着

レフィンポリマー (COP) は帯電防止剤との相溶性が良く、界面活性剤系帯電防止剤では帯電防止効果発現の原動力となる表面移行性が弱い状態になるので、表面の分布量を高めるために含有割合を多くして表面抵抗率を低下させたCOP製品の製造が検討されているが、摩擦帯電を完全になくすまでの電荷漏洩性を示す成形物は得られていない。

本研究では、ドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤のCOPマトリックス内の挙動を調べるために、BN-01AMの2%複合COP射出成形物を製造し、比較検討成形物として選んだ界面活性剤系帯電防止剤GMSの3%含有COP射出成形物とともに帯電防止性能を測定した。射出成形温度は280°Cである。表6に、試験結果を示す。

両供試成形物ともに表面抵抗率は $10^{12} \Omega/\square$ の絶縁体域にあり、それに

よりGMS含有COP成形物では目視によって摩擦帯電現象が明確に認められるのに対して、BN-01AM複合COP成形物では同様に表面摩擦を繰返しても帯電現象は観測されなかった。

COPについても、BN-01AMの連続的な帯電荷漏洩機能が有効に作用していることが認められる。

#### 2.1.4 ポリ塩化ビニル

合成高分子業界で古くから製造が行われ、種々の用途で大量に消費されているポリ塩化ビニル (PVC) は、塩化ビニルモノマーを重合させたままの状態では結晶性が高いので、硬くてもろく、かつ紫外線によって劣化する。

そのため、PVC製品は一部を除いて可塑剤や安定剤を加えた軟質PVC成形物として各種成分の割合を調整しつつ製造されている。

軟質PVCは、その中に更に金属や導電性カーボン等の無機物フィラーを

投入したり、特別に導電性を有する可塑剤を使用する措置を講じることで、半導体化させた組成物製品をつくり、IC機器周辺での静電気対策を行っているが、別途、そのまま練込むだけでPVC製品を半導体域まで改質させる帯電防止剤の研究も続けられている。

しかしながら、多量添加を必要とする高分子系帯電防止剤では、固体のポリマー相と液体の可塑剤相との二つが混在するマトリックスの中で、均質に相溶状態を取り得ず、一方、界面活性剤系帯電防止剤では、表面に移行すべき分子が可塑剤相にミセル溶解して安定な集合体となってしまいうので、表面での分布量が少なくなることなどが原因で、添加量を増やしても帯電防止性能が期待通りに強化できなかった。

本研究では、ドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤の軟質PVCへの帯電防止性能付与効果を知るために、PVC原料100部、ジオクチルブタレート40部、ステアリン酸アルシウム0.5部及びステアリン酸亜鉛0.5部からなる混合物中に試験試料のBN-00AM、BN-01AMならびにBN-02AMを各1部添加し、165°Cで押出成形して、200 $\mu$ mの透明シートを製造した。また、同じ組成の軟質PVCシ

ート成形用混合物中に界面活性剤系帯電防止剤のGMSならびにPOENを各2部添加し、165℃で押出成形して200 $\mu$ mの比較検討用透明シートを2種製造した。

表7に、それぞれの供試成形物の帯電防止性能試験結果を示す。

BN-01AMを1部複合させた軟質PVC透明シートだけが半導体級の製品となり、摩擦帯電を生じさせない良好な電気特性改良状態を現している。

本研究では更に、軟質PVC透明シート製造用原料混合物に対して10部酸化チタン粉末を投入して、分散状態としたペーストレジンへのドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤の複合化実験を行った。

これは、クリーンルームなどの高度な静電気対策への適用化を目指すも

のである。今までのところ、界面活性剤系帯電防止剤の添加では、効果の目安の最低目標である表面抵抗率 $10^{10}$  $\Omega/\square$ まで達せず、特別に設計して製造した体積固有抵抗値 $10^9\Omega\cdot\text{cm}$ の導電性可塑剤を60部程度混入させたペーストレジンがその数値を満たすことで使われているが、帯電防止剤の範囲で更に低い表面抵抗率をもたらすものを要求する声は高い。

表8に、165～170℃で布地にBN-00AMとBN-01AMの5部添加ペーストレジン組成物をそれぞれ貼り付け加工した供試成形物と、織地にBN-01AMの2部添加ペーストレジン組成物を貼り付け加工した供試成形物の性能試験結果を既製の導電性可塑剤使用物についての測定データと比較して示す。

BN-01AMを複合している酸化チタ

ン配合軟質PVC貼り付け加工物は布地、織地ともに電気特性の改良が極めて良好になされており、しかもその帯電防止性能が長期変化しないという安定性も確認できている。

更に、この試験ではBN-00AMとBN-01AMの複合物が、現在使用されている導電性可塑剤配合成形物で課題であった表面の粘着性をほとんど示さない加工物を導くことも特色として観測している。

## 2.1.5 ポリフッ化ビニリデン

フッ素を含むオレフィンを重合して得られる合成高分子材料として、最初に開発されたポリテトラフルオロエチレンは熱安定性が良好で電気絶縁性が高く、また化学薬品に対する耐久性に優れて、摩擦係数が非常に小さいとい

表7 軟質PVC透明シート（厚さ200 $\mu$ m）の帯電防止性能試験結果

(23℃、50%RH条件)

供試成形物	静置期間	成形1カ月後		成形1年後		成形2年後		
		表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	紙片吸着特性
帯電防止剤無添加軟質PVC透明シート		$>10^9$	$>60$	$>10^9$	$>60$	$>10^9$	$>60$	3min以上紙片吸着 少量吸着した紙片 5sec以内に脱離
BN-00AM 1部複合	*	$2.8 \times 10^{12}$	5.1	$4.0 \times 10^{12}$	4.1	$5.1 \times 10^{12}$	4.6	紙片吸着せず
BN-01AM 1部複合	*	$7.9 \times 10^6$	なし (帯電せず)	$1.0 \times 10^6$	なし (帯電せず)	$1.6 \times 10^6$	なし (帯電せず)	紙片吸着せず
BN-02AM 1部複合	*	$8.3 \times 10^{12}$	37.0	$6.3 \times 10^{12}$	32.3	$6.2 \times 10^{12}$	31.9	1min後に吸着紙片脱離 1min後も吸着紙片脱離 せず
GMS 2部複合	*	$4.1 \times 10^{12}$	4.7	$1.3 \times 10^{12}$	13.1	$2.7 \times 10^{12}$	12.5	1min後に吸着紙片脱離
POEN 2部複合	*	$2.4 \times 10^{12}$	2.9	$6.0 \times 10^{12}$	6.0	$8.3 \times 10^{12}$	8.7	1min後に吸着紙片脱離

表8 酸化チタン配合軟質PVC貼り付け加工物の帯電防止性能試験結果

(23℃、50%RH条件)

供試成形物	静置期間	成形1カ月後		成形1年後		成形2年後		
		表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	表面抵抗率 ( $\Omega/\square$ )	帯電減衰 半減期(sec)	紙片吸着特性
帯電防止剤無添加 酸化チタン配合軟質PVC布地貼り付物		$>10^9$	$>60$	$>10^9$	$>60$	$>10^9$	$>60$	1min以上紙片吸着
BN-00AM 5部複合 酸化チタン配合軟質PVC布地貼り付物		$1.6 \times 10^{11}$	0.71	$1.3 \times 10^{11}$	0.70	$1.3 \times 10^{11}$	0.70	紙片吸着せず
BN-01AM 5部複合 酸化チタン配合軟質PVC布地貼り付物		$6.0 \times 10^6$	なし (帯電せず)	$6.0 \times 10^6$	なし (帯電せず)	$5.6 \times 10^6$	なし (帯電せず)	*
導電性可塑剤60部複合 酸化チタン配合軟質PVC布地貼り付物		$5.0 \times 10^{10}$	なし (帯電せず)	$5.5 \times 10^{10}$	なし (帯電せず)	$6.0 \times 10^{10}$	なし (帯電せず)	*
BN-01AM 2部複合 酸化チタン配合軟質PVC布地貼り付物		$7.0 \times 10^6$	なし (帯電せず)	$6.3 \times 10^6$	なし (帯電せず)	$6.3 \times 10^6$	なし (帯電せず)	*



表9 PVDF 射出成形物 (7cm×10cm, 厚さ3mm) の帯電防止性能試験結果  
(25℃, 50% RH条件)

供試成形物	試験項目	表面抵抗率 (Ω/□)	帯電減衰 半減期(sec)	紙片吸着特性
帯電防止剤無添加PVDF射出成形物		$> 10^{10}$	$> 60$	1min 以上紙片吸着
BN-01AM 1.0%複合	*	$1.3 \times 10^9$	1.05	紙片吸着せず
BN-01AM 2.0%複合	*	$5.0 \times 10^8$	0.61	*

表10 POM 射出成形物 (7cm×10cm, 厚さ3mm) の帯電防止性能試験結果  
(25℃, 50% RH条件)

供試成形物	試験項目	表面抵抗率 (Ω/□)	帯電減衰 半減期(sec)	紙片吸着特性
帯電防止剤無添加POM射出成形物		$> 10^{10}$	$> 60$	1min 以上紙片吸着
BN-01AM 2.0%複合	*	$7.0 \times 10^8$	2.02	紙片吸着せず
GMS 2.0%複合	*	$3.9 \times 10^8$	$> 60$	1min 以上紙片吸着

う特徴があることから、Vパッキン、Oリング、ガスケット等の部品やパイプ、スリーブ、シートなどに加工されて大いに役立つが、熱可塑性がないために成形性は良くない。

そこで、フッ素樹脂の特徴を保持した状態で成形性を向上させる手段として、メチレン基を共存させたセグメントよりなるポリマー材料やフッ素基の一部を塩素基で置き換えた材料を製造し、それぞれの物性を利用してより簡単に成形する材料も出てきている。

ここで、フッ素樹脂も他のポリオレフィンと同様に帯電現象を引き起こすので、当然、製品において静電気対策をする必要はあるが、他の化学物質と親和しにくい性質のために内部練込み型帯電防止剤をポリマーマトリックスの内部に適切に相溶させたり、また表面塗布型帯電防止剤を表面に首尾良く吸着させたりすることができず、従来の方法ではフッ素樹脂に対して有効、確実に帯電防止性能を付与するまでには至っていない。

本研究では、ドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤の中で、これまでに試験したポリオレフィン類への帯電防止性能付与効果が最も優れていたBN-01AMを使用し、まずメチレン基と二フッ化メチレン基との組合せからなるポリフッ化ビニリデン(PVDF)

に対する内部練込み試験を行い、その適応性の可否を検討した。

表9に、265℃で射出成形した供試成形物の帯電防止性能試験の結果を示す。

BN-01AMを練込んだPVDF成形物は1.0%複合物、2.0%複合物ともにPVDFのマトリックス全体が良く改質されており、帯電防止性能が十分に具備できていることが認められる。

ここで、別途PVDFより帯電性の低いポリ四フッ化エチレン(PTFE)の射出成形物を摩擦して帯電させ、紙片吸着することを観察した後、その上に、BN-01AMを2.0%複合させて摩擦帯電性をなくした表9のPVDF成形物を重ね、PTFE側を再度摩擦しても紙片吸着しないという様子を写真2で示した。

PVDF側に複合されているBN-01AMの作用で、PTFE側で発生する帯電荷も連続的に引き付けつつ消滅していく。

## 2.1.6 ポリアセタール

オキシメチレン基の繰返し構造よりなるポリアセタール(POM)は強度、弾性率、耐衝撃性の優れた合成高分子材料であり、特に摺動特性が良いこと



①は摩擦帯電により、紙片を吸着しているPTFE成形物であり  
②はBN-01AMを複合させた結果、帯電防止性能が付与できたPVDF成形物である  
③はPTFE成形物の上にBN-01AM複合PVDF成形物を重ねた物であるがPTFE側を強く摩擦しても、紙片が吸着しなくなる

写真2 フッ素樹脂成形物に対する紙片吸着試験

から、軸受け部品や台車枠等の用途で役立つ。

しかし、水溶性のモノマーを重合して、エーテル酸素を規則的に多量に含有させている構造でも親水性ポリマーではなく、他の絶縁体高分子と同じように摩擦などによって静電気を発生、滞留させるが、これまでPOM材料と相溶して、有効、確実に帯電防止性能を付与させる物質がなかった。

本研究では、供試高分子材料成形物の表面抵抗率が絶縁体の領域にある状態でも、優れた電荷漏洩性を発揮する試験試料のBN-01AMと、従来の界面活性剤系帯電防止剤のうちで比較的良くPOMと相溶するGMSをそれぞれ2.0%、POM材料に添加し、270℃で射出成形を行った。表10に、供試成形物の帯電防止性能試験結果を示す。

ここで試験したドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤のBN-01AM複合射出成形物についても、表面抵抗率が絶縁体域である状態で良好な電荷漏洩性を示すということが観察された。

## 2.2 重合系高分子材料についての試験例

### 2.2.1 ポリエステル

ポリエステルはジカルボン酸成分とジオール成分を反応させて製造する高分子材料であるが、その中では、ポリエチレンテレフタレート (PET) が早くから生産され、耐熱性、強度に優れていることから、繊維やフィルム、容器等の製造に広く使用されている。

PETは帯電防止性能が付与されれば、一層有益な製品を生むことができるのであるが、現在のところ、界面活性剤系帯電防止剤の投入量を増やしても表面移行性が向上せず、表面抵抗率もそれほど低くならない。一方、高分

子系帯電防止剤を多量に混合させると、PET材料自体の物理的性質を大きく損ねてしまうために不適であり、内部練込み型帯電防止剤で良好なものがなかったゆえに表面塗布型帯電防止剤を吸着させて、半導体域まで表面抵抗率を低下させることが行われていた。

そこで今回の研究では、PETに対してBN-01AMを少量複合化させることで、新規な内部練込み型帯電防止剤として開発したドナー・アクセプター系分子化合物が正しく電気特性改質作用を働かせることができるかどうかを確認するための試験を行った。

その際、構造と性能の関係についても調べるために、BN-00AM複合PET射出成形物も試験した。射出成形温度は260℃である。表11に、試験結果を示す。

BN-01AMについては、特に複合化量に応じて有効。適切にPETのポリマーマトリックス中で電荷漏洩点を構築し、増加させるという実感をうかが

うことができた。このことから、BN-01AMは繊維向けも含めて内部練込み型帯電防止剤としての期待がもてる。

### 2.2.2 ポリアミド

ポリアミドはジカルボン酸成分とジアミン成分との重合やω-アミノカルボン酸の重合反応によって製造するか、又は環状ラクタムの開環重合反応によって製造する高分子材料であり、引張り強度や破断強度などが優れており、更に低温から高温まで強靱さがあり、繊維やフィルム、食品包装材料などに使われている。

吸水性は多少見られるが絶縁体であり、静電気の発生、滞留は常に起こる。そのため当然、用途によっては帯電防止剤を用いる必要があるが、ポリアミドの構造的特徴としてポリマーマトリックスの内部でアミド基同士の水素結合が多重的になされており、異質物質である帯電防止剤分子がその中に相溶して、有効な分散状態とすることが

できにくい。一方、電気伝導性を示すモノマーを製造時に添加して共重合体とする永久帯電防止剤の考え方を実践した研究例はある<sup>9)</sup>。

ここに、本研究のドナー・アクセプター系分子化合物がポリアミドと良く相溶し、帯電防止性能付与を首尾良く行い得るかどうかを探索するために、PA66、PA12及びPA6の3種類のポリアミド材料に、各々BN-01AMを複合させた供試射出成形物を作製して、帯電防止性能試験を行った。

射出成形温度は、PA66が280℃、PA12が250℃、PA6が250℃である。表12に試験結果を

表11 PET射出成形物 (7cm×10cm, 厚さ3mm) の帯電防止性能試験結果

(25℃, 50% RH条件)

供試成形物	試験項目	表面抵抗率 (Ω・cm)	帯電減衰半減期 (sec)	紙片吸着特性
帯電防止剤無添加 PET 射出成形物		$> 10^{12}$	$> 60$	2min 以上紙片吸着
BN-01AM 0.5% 複合 *		$4.5 \times 10^{11}$	4.02	少量吸着した紙片 3sec 以内に脱離
BN-01AM 1.0% 複合 *		$2.5 \times 10^{11}$	1.1	紙片吸着せず
BN-01AM 2.0% 複合 *		$3.2 \times 10^{11}$	0.55	*
BN-01AM 3.0% 複合 *		$9.7 \times 10^9$	なし (帯電せず)	*
BN-00AM 2.0% 複合 *		$5.5 \times 10^{11}$	47.50	1min 後に吸着紙片脱離
BN-00AM 4.0% 複合 *		$2.5 \times 10^{11}$	4.79	少量吸着した紙片 3sec 以内に脱離

表12 ポリアミド射出成形物 (7cm×10cm, 厚さ3mm) の帯電防止性能試験結果

(25℃, 50% RH条件)

供試成形物	試験項目	表面抵抗率 (Ω・cm)	帯電減衰半減期 (sec)	紙片吸着特性
帯電防止剤無添加 PA66 射出成形物		$> 10^{12}$	$> 60$	1min 以上紙片吸着
BN-01AM 1.0% 複合 *		$1.3 \times 10^{12}$	1.02	紙片吸着せず
帯電防止剤無添加 PA12 射出成形物		$> 10^{12}$	$> 60$	1min 以上紙片吸着
BN-01AM 1.0% 複合 *		$8.6 \times 10^{11}$	2.03	紙片吸着せず
BN-01AM 2.0% 複合 *		$4.1 \times 10^{12}$	1.78	紙片吸着せず
帯電防止剤無添加 PA6 射出成形物		$> 10^{12}$	$> 60$	1min 以上紙片吸着
BN-01AM 1.0% 複合 *		$2.5 \times 10^{11}$	2.86	紙片吸着せず

表13 ポリウレタン射出成形物 (直径10cm, 厚さ2.5cm) の帯電防止性能試験結果

(23℃, 50% RH条件)

試験成形物	試験項目	成形1ヶ月後		成形2年後		紙片接着特性
		表面抵抗率 (Ω/□)	飽和摩擦帯電量 (kV)	表面抵抗率 (Ω/□)	飽和摩擦帯電量 (kV)	
帯電防止剤無添加・ポリウレタン射出成形物		$8.9 \times 10^{17}$	6.8	$8.1 \times 10^{17}$	6.6	1min以上紙片接着
BN-01AM 2.0%複合*	*	$7.9 \times 10^8$	0	$7.9 \times 10^8$	0	紙片接着せず
GMS5.0%複合*	*	$1.3 \times 10^{11}$	4.7	$3.2 \times 10^{11}$	5.8	1min以上接着紙片剥離
POEN5.0%複合*	*	$9.1 \times 10^{11}$	4.1	$8.8 \times 10^{11}$	4.0	*



写真3 常時床面と接触、摩擦しているため帯電荷が蓄積しやすいキャストロール (BN-01AMで無帯電化に成功)

示す。

ドナー・アクセプター系分子化合物型帯電防止剤のBN-01AMは、3種類のパリアミド製品のポリマーマトリックスの中で、ともに効果的な電荷漏洩拠点を構築するように分散しており、表面抵抗率が絶縁体域にあっても問題なく静電気発生と滞留の防止に寄与するという固有の特徴が顕著に出ている。

## 2.3 重付加系高分子材料についての試験例

### 2.3.1 ポリウレタン

ポリウレタンはジイソシアネートと多価アルコールを反応させて、ウレタン結合を有する重合体とした高分子材料であり、抗張力や耐磨耗性、耐油性があり、繊維、靴などの生活用品から自動車部品や断熱材、防音材等の様々な用途で使われている。

これらの中では、例えば、射出成形によってつくられる硬いキャストロール (写真3) が常時連続して床面と接するために摩擦帯電を引き起こし、それが人への電撃や層間のIC機器の誤

作動の原因にもなってくるので、帯電防止性能を付与する必要がある。

しかし、ポリウレタンは他の汎用性高分子材料より親水性があり、また、それ自体の表面抵抗率も絶縁体としてはそれほど高くないので、従来の帯電防止剤では添加量を多くしても、それに応じて電気特性を大きく変化させることができず、静電気対策は不十分であった。

そこで、本研究において重合方法や種類、骨格構造の異なる種々の高分子材料に対して、これまで有効に帯電防止性能を付与させることを確認した試験試料のBN-01AMを界面活性剤系帯電防止剤のGMS及びPOENと対比させて、ポリウレタン材料と複合した供試射出成形物を作製し、帯電防止性能の比較試験を行った。射出成形温度は210℃である。表13に、試験結果を示す。

BN-01AMは少量の複合量でポリウレタン材料の電気的性質を半導体域まで改質し、更に、長期にわたって成形品の無帯電性を維持させている。

## 参考文献

- 1) 長嶋伸也, 堀川幸徳, CMCテクニカルライブラリー-294-帯電防止材料の応用と評価, 9 (2003).
- 2) 村根弘, CMCテクニカルライブラリー-294-帯電防止材料の応用と評価, 40 (2003).
- 3) 浜中博義, プラスチックスエージ, 52 (1), 82 (2011).
- 4) 日本物理学会編, 高分子物理, 02 (朝倉書店, 1963).
- 5) M.Ionescu, *Revista Romana de Chimie*, 34 (1), 129 (1989).