

ノート

# リモートプラズマ処理による ポリエチレンの帯電特性の変化

荒井和貴<sup>\*1</sup>, 村田雄司<sup>\*</sup>

(1999年11月29日受付, 2000年1月27日受理)

## Change in Charging Characteristics of Polyethylene by Nitrogen Remote-plasma Treatments

Kazutaka ARAI<sup>\*1</sup> and Yuji MURATA<sup>\*</sup>

(Received November 29, 1999; Accepted January 27, 2000)

The change in charging characteristics of low density polyethylene (LDPE) by plasma treatment in N<sub>2</sub> gas was investigated. The charging characteristics are measured using Cu beads sliding down on the sample surface. The charging tendency of LDPE was enhanced in negative polarity when the sample was exposed to plasma during the treatment. On the contrary, when the treating position is apart from the electrodes, the charging polarity was changed to positive; at the distance between the sample and the center of the electrodes  $l = 40\text{cm}$ , charge density was the maximum value of  $+29.8\ \mu\text{C}/\text{m}^2$  which was 418 times as large as the value before treatment in absolute value. The positive charging tendency is supposed to be due to nitrogen radicals.

### 1. はじめに

これまでに, 平行円板電極間に高分子フィルム試料を置きプラズマを高分子に直接作用させて処理すると (以後電極間処理と呼ぶ), 高分子の接触摩擦帯電特性が負極性に大きく変化することがわかっている<sup>1-2)</sup>.

リモートプラズマ処理は処理する材料を直接プラズマにはさらさず, プラズマ発生源から離れた場所で処理を行う。プラズマ発生源から離れた位置においてはイオンや電子の荷電粒子と比べて, 中性粒子であるラジカルの濃度が相対的に高くなる<sup>3)</sup>. このことから, 荷電粒子の影響が考えられる電極間処理とは異なった処理が行える可能性がある。リモートプラズマ処理による高分子の表面改質の研究はすでに行われており<sup>3-5)</sup>, 電極間処理を行った場合と比較してその優位性を明らかにした報告もある<sup>3)</sup>.

本研究では, リモートプラズマ処理による高分子材料の帯電特性の変化の特徴について調べることを目的として, 窒素ガス中でポリエチレンフィルムのリモートプラズマ処理をおこない, 電極間処理を行った場合と帯電特性を比較した。

キーワード: プラズマ処理, リモートプラズマ, 帯電特性

<sup>\*</sup> 東京理科大学理工学部 (278-8510 野田市山崎 2641)

Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, Yamazaki 2641, Noda 278-8510, Japan

†j7399602@ed.noda.sut.ac.jp

### 2. 実験方法

#### 2.1 プラズマ処理装置および処理方法

プラズマ処理装置は, チャンバー内の排気を行う真空排気系と, 一对の平行円板電極, 50 Hz の交流高圧電源, 電流, 電圧の測定装置, およびガス導入部からなるプラズマ発生系と, ステンレス製の処理管と真空ポンプからなる処理系から構成されている。図1に装置の概略を示す。電極は直径120 mm, 厚さ10 mm のアルミ製で, 電極間隔は15 mm であり, 上下電極の中心位置と処理管の中心を一致させた。処理管は, 直径20 mm, 長さ1,200 mm で中心軸に沿って処理を行う試料を置き, その他端に真空ポンプ(排気速度260 L/min)を接続する。

チャンバー内を $10^{-1}\text{Pa}$ 以下に排気し, 処理ガスに置換を行った後, 処理管に接続してある真空ポンプを作動させ, チャンバー内を133 Paにしてプラズマを発生させ, プラズマからの生成物を真空ポンプで処理管内の試料に送り込むことにより処理を行う。プラズマ発生電力は4.3 W, 処理時間は1時間である。処理用試料として, 低密度ポリエチレンフィルム(LDPE, 厚さ33  $\mu\text{m}$ , 三菱化学工業(株))を用いた。

#### 2.2 帯電特性測定法

帯電特性の測定にはカスケード法<sup>6)</sup>を用いた。試料表面に銅ビーズ(直径420~500  $\mu\text{m}$ ) 10 gを滑落させ, そのときの帯電電位を測定し, 帯電量を求める。これを銅ビーズが試料表面を滑落した面積で割り, 帯電電荷密度 [ $\mu\text{C}/\text{m}^2$ ] を求め

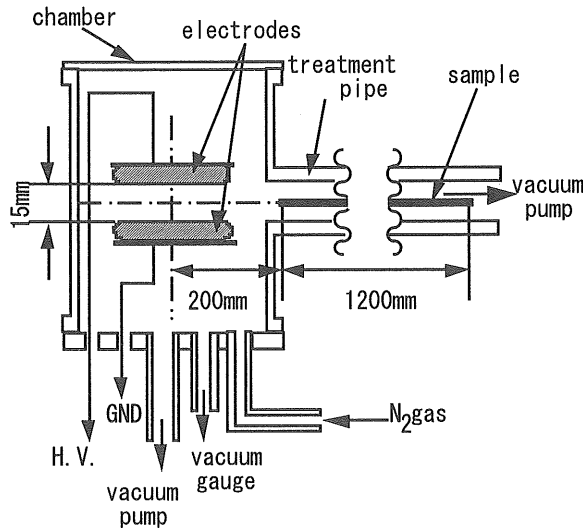


図1 リモートプラズマ処理装置  
Fig.1 Remote-plasma treatment system.

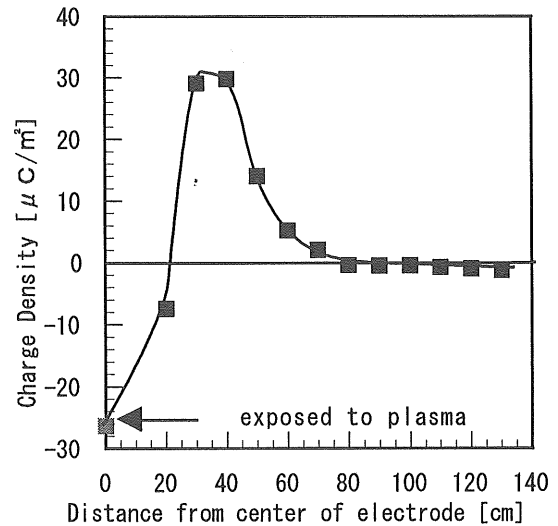


図2 リモートプラズマ処理による帯電特性の変化  
Fig.2 Change in charging characteristics of LDPE by remote-plasma treatment in N<sub>2</sub> gas.

る。測定は処理後 24 時間経過してから行った。

### 3. 実験結果

電極間処理及びリモートプラズマ処理の結果を図2に示す。LDPE フィルムは銅ビーズに対して負極性に帯電する。電極間処理では、過去の研究において不活性ガスであるアルゴンでLDPEをプラズマ処理した場合、帯電極性は処理前と同じ負極性で、電荷密度は未処理の542倍に増加したが<sup>2)</sup>、窒素で電極間プラズマ処理を行った場合の帯電電荷密度は $-26.3 \mu\text{C}/\text{m}^2$ であり、未処理の369倍であった。

リモートプラズマ処理では、電極中心から離れるに従い正極性帯電傾向が急激に強まり、電極中心から20cmから30cmの間で帯電極性が正極性になり、電極中心から40cmの位置で電荷密度は正極性のピーク値 $+29.8 \mu\text{C}/\text{m}^2$ を迎える。これは未処理の帯電電荷密度(絶対値)の418倍である。ピークを迎えた後は電荷密度は減少して行き、電極中心から90cmでほぼ0になり、これより離れた場所においてはわずかに負極性になり、未処理の特性に近づく。

このように、電極間で処理を行った場合は帯電特性は負極性を示すが、処理位置が電極中心から離れると正極性方向にシフトして行くことがわかった。

### 4. 考 察

本研究の結果より、窒素プラズマ処理によるLDPEの帯電特性の変化には、電極中心からの距離に対して強い依存性がある事が分かる。これは先に述べたように、リモートプラズマ処理においては、電極中心からの位置が遠くなると、電子やイオンに比べラジカルの効果が優勢になるためであると考えられる。処理ガスから考えてラジカルは窒素ラジカルであろうが<sup>7)</sup>、この窒素ラジカルにより帯電特性が正極性に変化

したものと思われる。

帯電特性は、電極中心から遠ざかるに従い正極性方向へシフトして行きピークを迎えるが、これはピークが現れる場所付近で寿命が尽きるラジカルが多いためか、あるいはこの付近のラジカルの濃度が高かったためと考えられる。また本研究は真空ポンプによりプラズマ生成物を吸引しているために、真空ポンプの排気速度によってもピークの現れる位置に変化が見られるものと思われる。

### 5. ま と め

窒素中のリモートプラズマ処理においては、LDPEの帯電特性は負極性方向だけでなく、電極中心からの距離によっては正極性方向にも変化する。このことから、LDPEの窒素プラズマ処理では、リモートプラズマ処理は、帯電特性を正負両極性に制御できる点で電極間処理と比較して優れた処理法であると考えられる。

### 参考文献

- 1) H.Takeda and Y. Murata : Jpn.J.Appl.Phys., **35** (1996) 4791
- 2) Matsuda and Y. Murata : Conf.Rec.1996 IEEE IAS Ann.Meeting, p.1959, San Diego (1996)
- 3) 稲垣訓宏 : 高分子加工, **44** (1995) 530
- 4) 稲垣訓宏 : 日本接着学会誌, **34** (1998) 73
- 5) N. Inagaki, S. Tasaka, H. Kawai and Y. Yamada : J. Appl. Polym. Sci., **64** (1997) 831
- 6) H.W.Gibson : J. Am. Chem. Soc., **97** (1975) 3832
- 7) 「電子材料」編集部編 : 超LSI時代のプラズマ化学, p.2, 工業調査会 (1983)