

論 文

コロナ放電処理によるポリエチレンの 帯電特性の変化と湿度依存性

小野田祐介*, 村田雄司*

(2002年2月16日受付; 2002年7月15日受理)

Change in Charging Characteristics of Polyethylene Surface by Corona Treatments and its Dependence on Humidity

Yusuke ONODA,* Yuji MURATA*

(Received February 16, 2002; Accepted July 15, 2002)

The charging characteristics of polyethylene film can be changed by corona-treatment, and the change depends on the amount of electric power. However, in order to carry out the corona-treatment in the atmosphere, we have to consider the influence of humidity. In the present experiment, the charging characteristics of sample films were measured at constant corona power in various humidity of atmosphere. The amount of change generated by contact and friction with copper beads increased in negative polarity with the increase in humidity. When the relative humidity differs, we have to change the applied voltage to keep the electric power constant. The change in the applied voltage results in the change in the ion velocity. Then, the mechanism of the change in charging characteristics of films treated in various humidity was investigated from the viewpoint of the kinetic energy of ion.

1. はじめに

材料の表面改質の分野において、プラズマ処理の研究は古くから行われておらず、接着性や印刷性の改良などの目的で成果が得られている。最近の研究では高分子材料表面の接触・摩擦帶電特性は処理によって大きく変化することがわかっている^{1,2)}。

減圧下で行うプラズマ処理と同様に、大気中で行うコロナ放電処理においても帶電特性を変化させることができ、その変化の程度は処理電力量によって決まる。しかし、コロナ放電処理は大気中で行うため、天候などの環境の違いによって変化する湿度の影響を考えなければならない。本実験では、高分子材料を処理電力量一定で、異なる相対湿度で処理した時の帶電特性を調べた。相対湿度が異なるとイオンのモビリティが変化するため、電力一定の条件では湿度の変化に伴って印加電圧を変化させなければならない。そこでコロナ放電処理の効果をイオンの運動エネルギーの観点から考察した。

キーワード: コロナ放電処理、帯電特性、湿度依存性

*東京理科大学理工学部 (278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

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

1:j301609@ed.noda.sut.ac.jp

2. 実験方法**2.1 コロナ処理装置**

本実験で用いた処理装置は高圧電源、コロナ放電電極及び恒温・恒湿槽から構成される。電源は 50Hz の交流高電圧源である。電極として、接地電極にはアルミ平板電極(140mm × 140mm)を使用し、高圧側には直径 40 μm のステンレスワイヤーを 6mm 間隔で 10 本ずつ格子状に張り、接地面と平行に 15mm 離して設置してある。そして、放電線に交流高電圧を印加して、試料を貼り付けた接地電極に向かってコロナ放電を発生させ処理を行った。コロナ放電処理を行う際、電極を恒温・恒湿槽に入れ、処理大気中の気温を 25°C、相対湿度を 10% から 90% まで変化させる。相対湿度が違う条件において、印加電圧を変化させて常に処理電力が一定になるように調整した。

試料はフィルム状で、低密度ポリエチレン (LDPE, 厚さ 33 μm), 高密度ポリエチレン (HDPE, 厚さ 30 μm), 直鎖状低密度ポリエチレン (LLDPE, 厚さ 33 μm) の 3 種類を接地電極と同様の大きさに切断して使用した。

2.2 帯電特性測定方法

本実験では帶電特性の測定に、カスケード法^{2,3)}を応用した装置を用いた。試料を真空装置内に置き、乾燥空気に置換

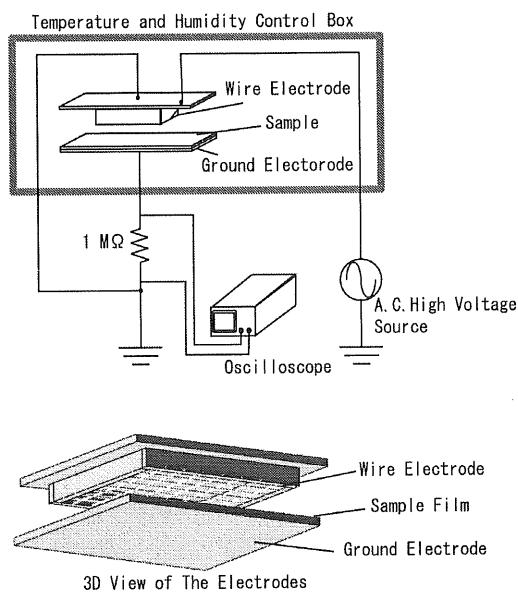


図1 コロナ放電処理装置

Fig.1 Corona treatment system.

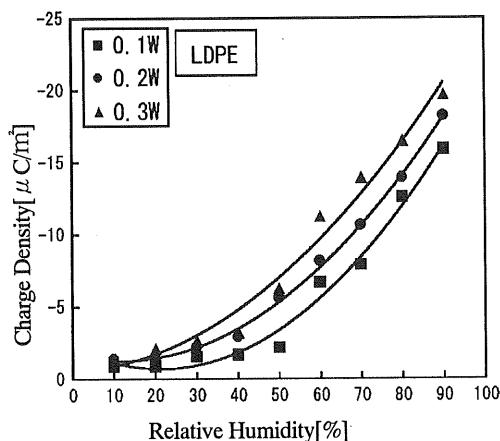


図2 相対湿度と電荷密度の関係（試料：LDPE）

Fig.2 Relation between relative humidity and charge density. (Sample : LDPE)

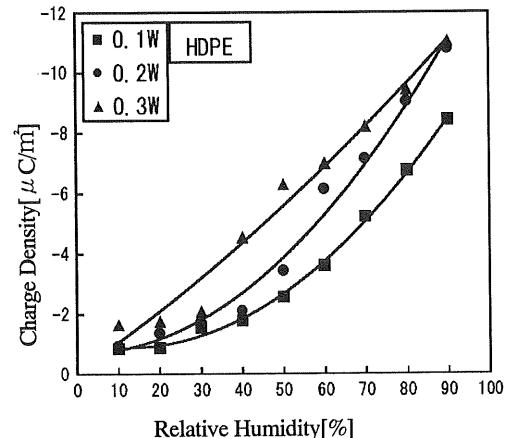


図3 相対湿度と電荷密度の関係（試料：HDPE）

Fig.3 Relation between relative humidity and charge density. (Sample : HDPE)

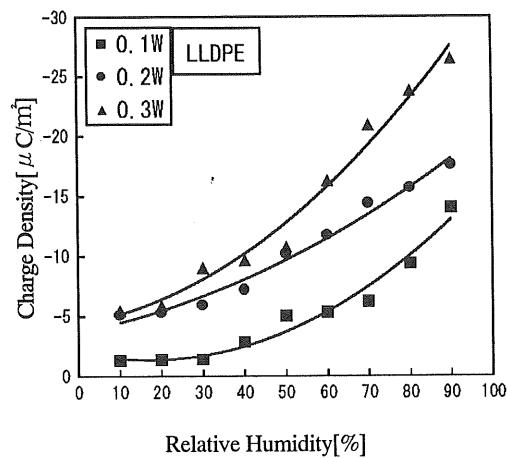


図4 相対湿度と電荷密度の関係（試料：LLDPE）

Fig.4 Relation between relative humidity and charge density. (Sample : LLDPE)

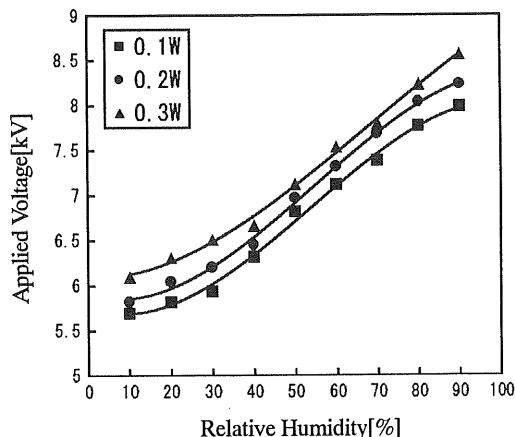


図5 電力一定の場合の相対湿度の違いによる印加電圧の変化

Fig.5 Relation between relative humidity and applied voltage for constant corona power.

した後に、試料表面に銅ビーズ（平均粒径 $450\text{ }\mu\text{m}$ ）20g を滑落させ、接触摩擦帶電させる。これによって発生した試料表面の帶電電位を測定し帶電量を求め、その値を銅ビーズが試料表面を滑落した部分の面積で除し、帶電電荷密度 [$\mu\text{C}/\text{m}^2$] を求めた。

3. 実験結果

3.1 帯電特性の変化

フィルム試料に対して電力一定で、相対湿度を変化させて15分間コロナ放電処理を行った時の表面電荷密度を測定した。各試料の結果を図2～4に示す。全ての試料で湿度の上昇に伴い負極性で帶電量が増加した。湿度が低い時は電荷密度の増加が緩やかであるのに対し、湿度が高くなるに従い増加の割合は増え、相対湿度に対して2次関数的な曲線となった。

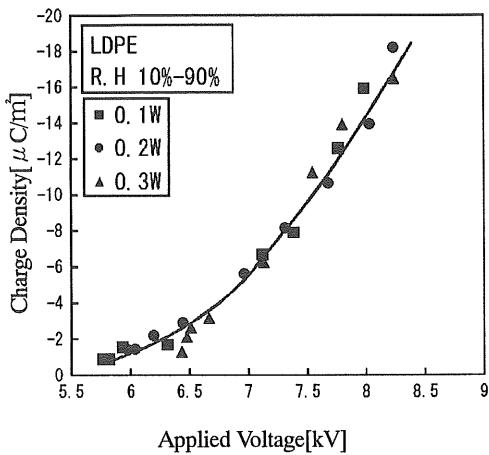


図6 印加電圧と電荷密度の関係（試料：LDPE）

Fig.6 Relation between applied voltage and charge density.
(Sample : LDPE)

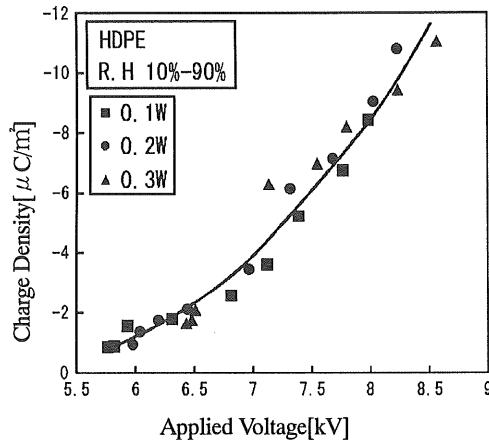


図7 印加電圧と電荷密度の関係（試料：HDPE）

Fig.7 Relation between applied voltage and charge density.
(Sample : HDPE)

3.2 印加電圧の変化

過去の研究³⁾においてコロナ放電処理による帶電特性の変化の程度は処理電力量によって決まるということが分かっている。この実験では電力一定で相対湿度が異なるとなぜ帶電量が変化しているのかを調べるために、電力を一定に保つために必要な印加電圧を調べた。結果を図5に示す。この結果から電力一定の場合、相対湿度が高くなるにつれ印加電圧も高くなっている事がわかる。空気中の水分がコロナ電流を減少させる理由は、水分子に電子が付着して重いイオンとなり、同時に電離能力を失う傾向が強いからである⁴⁾。

3.3 印加電圧に対する帶電特性の変化

3.1 および3.2の結果より、印加電圧の違いによる帶電電荷密度の変化を求めた。結果を図6～8に示す。これらの図は、一定電力で処理するのに必要な印加電圧を横軸にとり、その時の電荷密度を縦軸に示したものである。つまり各図には異

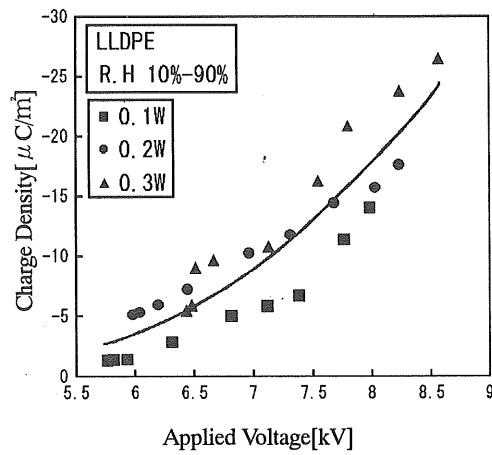


図8 印加電圧と電荷密度の関係（試料：LLDPE）

Fig.8 Relation between applied voltage and charge density.
(Sample : LLDPE)

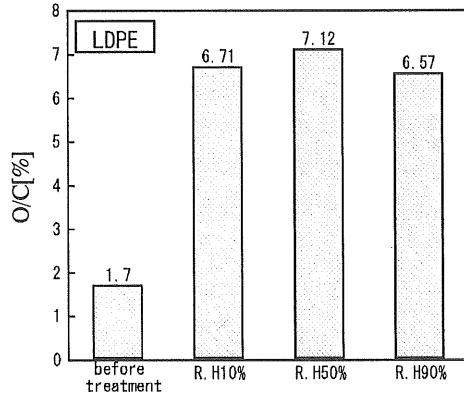


図9 ESCAによる分析結果（試料：LDPE）

Fig.9 Result by ESCA analysis of sample treat indifferent
Humidity. (Sample : LDPE)

なった電力及び相対湿度のデータが含まれているが、この場合それらとは無関係に印加電圧のみを考慮して表している。結果は、湿度が高くなるにつれ必要な印加電圧も高くなり、印加電圧の上昇と共に帶電電荷密度も2次関数的に増加していることを表している。この原因の一つには、電圧が高くなると電極間の荷電粒子の動きが速くなり、試料表面への荷電粒子の及ぼす影響が大きくなつたことが考えられる。

3.4 ESCAによる分析結果

LDPEを異なる相対湿度でコロナ放電処理した後、ESCAにより表面分析し、試料表面の炭素に対する酸素の割合(O/C[%])を求めた。結果を図9に示す。この結果ではO/C[%]は、未処理時に1.7%であったものが、処理後は処理大気中の相対湿度が10%の時6.71%，50%の時7.12%，90%の時は6.57%であった。処理後の試料は、未処理時に比べて酸素の導入量がいずれも増加している。しかし、湿度の違いによる

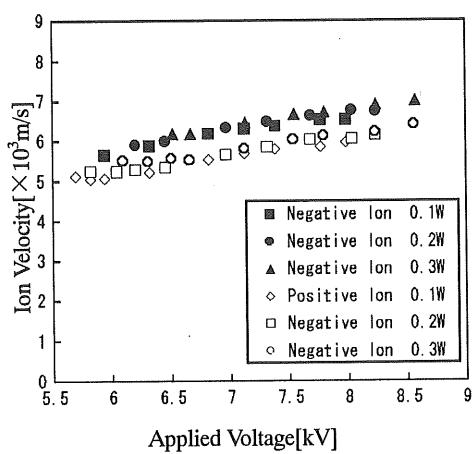


図 10 印加電圧とイオン速度の関係

Fig.10 Relation between applied voltage and ion velocity.

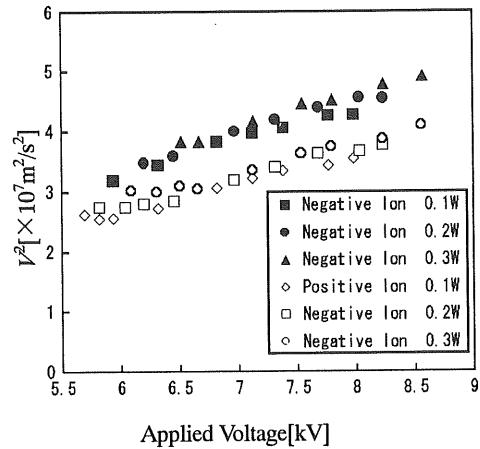


図 11 印加電圧とイオンの速度の2乗

Fig.11 Relation between applied voltage and v^2 .

酸素導入量の変化は極めて小さい。

4. 考察

一定電力で相対温度を上昇させた場合コロナ電流は減少するため²⁾、一定電力を維持するには3.2の結果からわかるように印加電圧を上昇させなければならない。そのため、相対湿度の上昇に伴う帶電量増加の原因は、電圧の変化による可能性が高い。帶電量の増加が電圧の変化によって起こるものとすれば、高分子材料表面に衝突するイオンの運動エネルギーが変化するためではないかと推測できる。

図10には、一定電力で処理するために必要な印加電圧を横軸に、その時の大気中の水分量を考慮したイオンの速度を縦軸に示した。この図は大気中の水分量に対するイオンのモビリティの変化の特性を示したデータを用いて求めた図であり、異なった相対湿度、電力の条件が含まれる。大気中の水分量が増加すると高い印加電圧を加えなければならないのと同時にイオンのモビリティは減少する。しかし、湿度の増加に伴

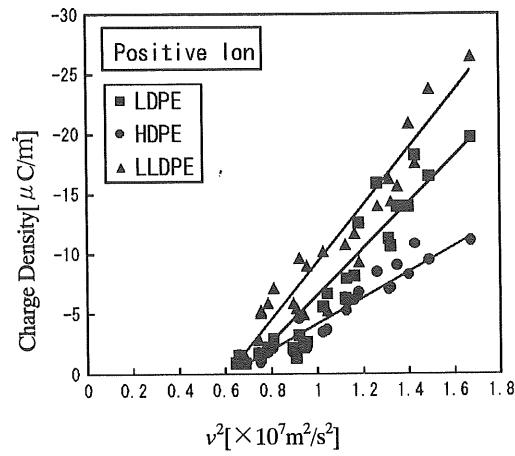


図 12 イオン速度の2乗と電荷密度

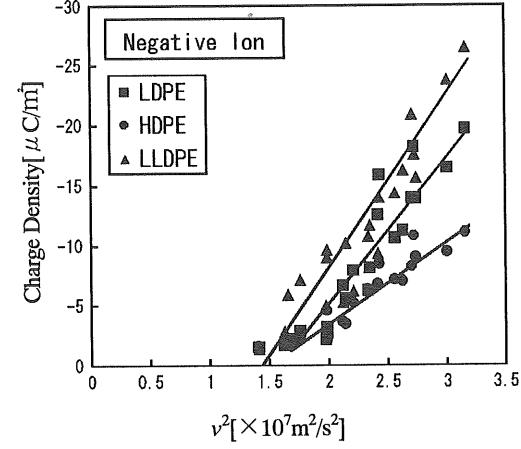
Fig.12 Relation between v^2 and charge density.

図 13 イオン速度の2乗と電荷密度

Fig.13 Relation between v^2 and charge density.

う印加電圧の増加はモビリティの減少に対して極めて大きいため、正負両イオンの速度は大気中の水分量にかかわらず増加する。電極間の電界中で加速されたイオンは速度 v で試料表面に衝突する。そして、イオンが試料表面に衝突した時の運動エネルギー U は

$$U = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

で表すことができる。ここで m はイオンの質量である。それぞれの印加電圧に対するイオン速度の2乗 (v^2) のグラフを図11に示す。印加電圧が高くなると、正負両イオン共に v^2 は増加している。質量 m は一定値と考えると、 v^2 は運動エネルギー U に比例している。ここで、 v^2 と各試料における電荷密度の関係を正イオンについて図12に、負イオンについて図13に示す。 v^2 に対して各試料の電荷密度は直線的に増加していることがわかる。この結果からコロナ放電処理では、高分子試料表面の接触・摩擦帶電特性の変化は衝突するイオンの

運動エネルギーによって引き起こされるという仮説を考えることができる。イオンの運動エネルギーの増加が試料表面にどんな変化を起こすかは現段階では明確ではないが、表面の励起や表面に与えるダメージ、表面の酸化などの変化を起こすものと考えられる。

これまでに報告した研究で、相対湿度を変えて処理したときの LDPE 試料を ESCA によって表面分析した結果は、3. 4 に示した。この結果、未処理の時に比べて処理後の試料は、O/C[%] の増加はあるが相対湿度への依存性をほとんど示してはいなかった。従って、処理大気中の相対湿度の違いによる試料表面の化学的組成の変化はなく、大気中の水分が化学的に試料表面に影響を与えていたとは考えにくい。

5.まとめ

ポリエチレンフィルムは未処理の状態でも負極性に帯電するが、コロナ放電処理を行うことによって、さらに大きく負極性側に帯電させることができた。また、相対湿度の上昇に伴い接触・摩擦帯電量は増加することがわかった。

一定電力量でのコロナ放電処理で大気中の相対湿度が異なる場合、印加電圧が変化する。印加電圧の変化はイオンの速度を変え、高分子材料表面に衝突するイオンの運動エネルギーを変化させる。このイオンの運動エネルギーの変化がポリエチレンフィルムの接触・摩擦帯電特性の変化と関係あると推測できる。

参考文献

- 1) J.Kodama, R.Foerch, N.S.McIntyre and G.S.P.Castle :
J.Appl.Phys.,**74** (1993)
- 2) H.Takeda and Y.Murata : *Jpn.J.Appl.Phys.*,**35** (1996) 4791
- 3) 江原史和、村田雄司：静電気学会誌、**23**(1999)33
- 4) 本多侃士：気体放電現象、p.95、東京電機大学出版局
(1964)
- 5) J.E.Jones, R.T.Waters, J.Dupuy and G.O.S.Schreiber :
J.Phys.D.,**25** (1988) 322
- 6) 藤岡伸宏、大仲雅人、角田美弘：電気学会放電研究会資料、ED - **82** (1982) 29