

低密度ポリエチレンの電気伝導に及ぼす空間電荷挙動の影響

光本 真一*

土井 聡史**

福間 眞澄***

Effect of Space Charge movement on Electrical Conduction in Low density Polyethylene

Shin'ichi MITSUMOTO *

Satoshi DOI **

Masumi FUKUMA ***

Abstract: It is reported that space charge is accumulated in polymer under the voltage application and inside electric field is modified by accumulated space charge. This paper deals with effect of space charge movement on electrical conduction in low density polyethylene. From the result, it is considered that the displacement current calculated from the space charge behavior influences characteristics of circuit current.

Keywords: Space Charge Low density Polyethylene Electrical Conduction

1. まえがき

電力工学の分野において、従来から誘電体は機器絶縁、送配電施設の絶縁材料として広く用いられている。近年、送配電電圧の上昇につれて電力機器の使用電界向上に対する要求がますます厳しくなりつつある。このような電力機器の最大使用電界はそこに使用される絶縁材料の絶縁破壊強度、高電界での絶縁抵抗や誘電体損失に左右される。絶縁材料として、以前は天然ゴム、マイカ、鉱物油などの天然物質が主に用いられていたが、使用周波数範囲の拡大、使用電界強度、使用温度範囲の向上などにつれて、現在の天然物質ではこれらの要求を十分満たせなくなったことと、合成化学などの材料化学の進歩によって種々の高分子材料が続々と開発・使用されることとなった⁽¹⁾。しかし高分子物質から作られる高分子材料は、他の誘電体と同様に、電圧印加による空間電荷の蓄積が生じ、内部の電界分布に影響を与えることで絶縁破壊電圧も変化させている可能性が考えられている。このこと

は電気絶縁性能の信頼性を大きく左右させる一要因となっているが、その詳細については不明な点が多い。

これらのことを背景に本論文では、高分子材料として用いた低密度ポリエチレンの電気伝導および空間電荷の変位による電流を関連付けて考察を行ったので報告する。

2. 空間電荷測定原理

高分子材料中の空間電荷測定法として、パルス静電応力(PEA)法を用いた。その説明図を図1に示す。パルス静電応力法とは電気-圧力変換効果を利用して電荷の存在を知る方法である。つまり内部に空間電荷の存在する誘電体試料にパルス電圧を印加すると、内部電荷の静電気応力による圧力波が発生し、それが誘電体中を伝搬することでその圧力波を圧電素子によって電気信号に変換して測定する。そして信号の遅れ時間が検出側電極からの距離となるので、空間電荷の分布を直接観測することができる。

3. 実験装置および実験方法

[3.1] 実験装置

試料としては代表的な高分子材料である低密度ポリエ

(2001年12月12日受理)

*宇部工業高等専門学校電気工学科

**宇部工業高等専門学校電気工学科5年生

***松江工業高等専門学校電気工学科

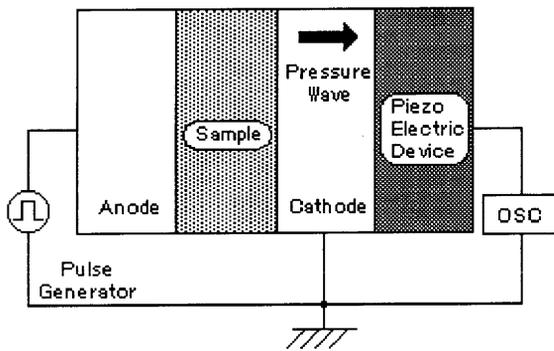


図1 測定原理

Fig1. Principle of space charge measurement

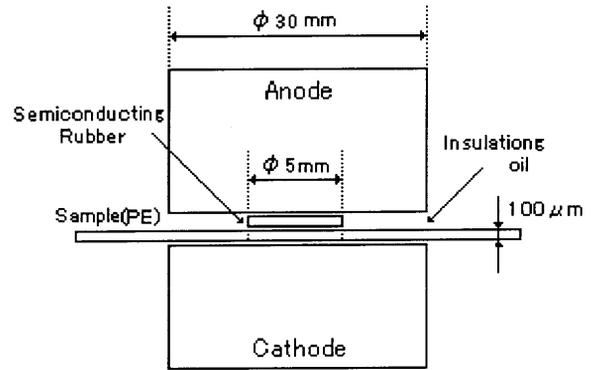


図3 電極部

Fig3. Part of electrodes

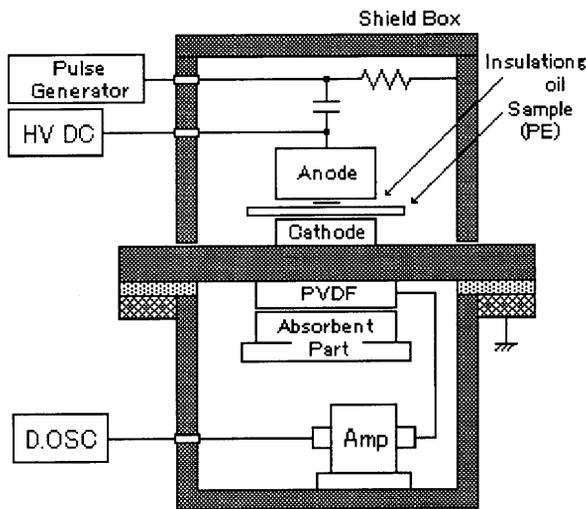


図2 空間電荷測定装置

Fig2. Schematic diagram of the space charge measurement cell

チレンフィルム(厚さ $100\mu\text{m}$)を使用した。測定装置の構成図を図2に示す。パルス発生器によってパルス電圧を上部電極(高圧側)から試料に印加する。その結果、発生する圧力波(音波)が下部電極(接地側)を伝搬し、電極下に装着している圧電素子(PVDF)の検出部で受けることで出力信号を得る。検出部の圧電素子の出力信号は微小であるので、厳重にシールドされた箱に入れられ、30dBの広帯域アンプによって増幅されたのち、デジタル・オシロスコープによって電圧信号として観測される。また、パルス発生器の電圧とパルス幅はそれぞれ500V、5nsとした。

図3に空間電荷測定装置の電極部の詳細を示す。下部電極と試料との密着性を良くする目的で、上部電極(陽極)

と試料の間に、半導電性ゴムを挿入した。また、部分放電を防止するために試料周辺を絶縁油(シリコン油)で満たしてある。

[3.2] 実験方法

実験では、試料に直流電圧を印加したときの回路電流およびその内部の空間電荷分布について測定を行った。

試料に一定直流電圧5kV、10kV、15kVを印加した後、1分ごとに30分間、試料に流れる回路電流を測定した。電流値に関して有効な測定値を最小でも30個得て、平均値を計算した。

一方、空間電荷分布は、電圧印加後1分ごとに30分間測定した。なお、電流測定および空間電荷分布の測定は大気雰囲気中で行った。

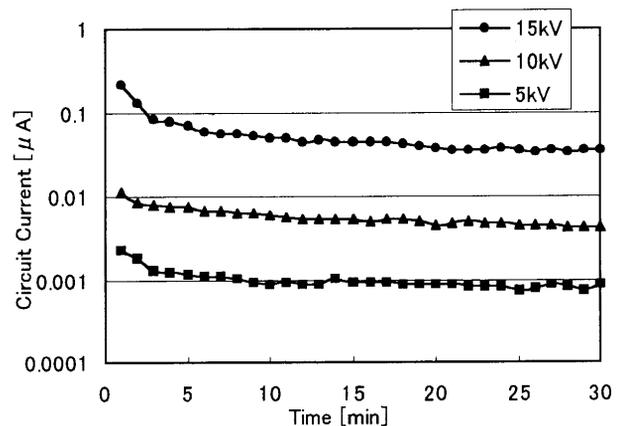


図4 回路電流-時間特性

Fig4. Characteristics of Circuit Current vs. Time

4. 実験結果および考察

[4.1] 電流-時間特性

試料に各々の電圧を印加した場合の、回路電流-時間特性を図4に示す。同図は試料の印加電圧が15kV,10kV,5kVの場合の時間に対する電流の変化を表している。印加電圧の減少に伴って電流も減少していることがわかる。また、各印加電圧において電流が時間の経過と共に減少し、初期時間の電流値の変化から比較すれば、徐々に定常状態になる傾向を示している。この場合、時間にして1~5分間は電流値が大きく変化(減少)をし、この時間以降は電流値の変化の割合が少ない。

誘電体に電圧を印加したときの電流値の急激な変化は、分極による電気伝導特性である。分極は、電界印加による電子やイオンの変位であり、電子分極、原子分極、双極子分極、界面分極、空間電荷分極に大別される。各々の分極によって変位電流が流れるが、分極の種類によって変位にかかる時間(応答速度)が異なり、各変位によって流れる電流の時間が異なることが報告されている⁽²⁾。

分極の応答速度について、一覧を表1に示す。表1より、図4の回路電流値が定常値を示す前の1~5分間で電流の減衰を引き起こしている要因として分極の応答速度が大きな影響を与えていると考えられる。電子、原子分極はその応答速度の速さから、その変位による電流を測定することは困難であり、本実験でも測定できていないと判断される。双極子分極は、有極性分子からなる誘電体のみにかかる現象であるので、試料として用いた無

表1 分極の応答速度

Table 1. Answer speed of dielectric polarization

分極の種類	応答速度 [秒]
電子分極	10^{-15}
原子分極	$10^{-12} \sim 10^{-13}$
双極子分極	$10^{-5} \sim 10^{-7}$
界面分極	10^{-2}
空間電荷分極	数秒~数日

極性分子からなるポリエチレンにはこの現象はみられない。界面分極は、複合誘電体に起こる現象であり、絶縁油、半導電性ゴム、試料の間で起こっていると考えられる。しかし電子分極などと同様に応答速度の速さから界面分極による変位電流は測定できていないと考えられる。よって、時間の経過に対して電流値が減衰するという現象を引き起こしている要因を空間電荷分極として仮定することができる。

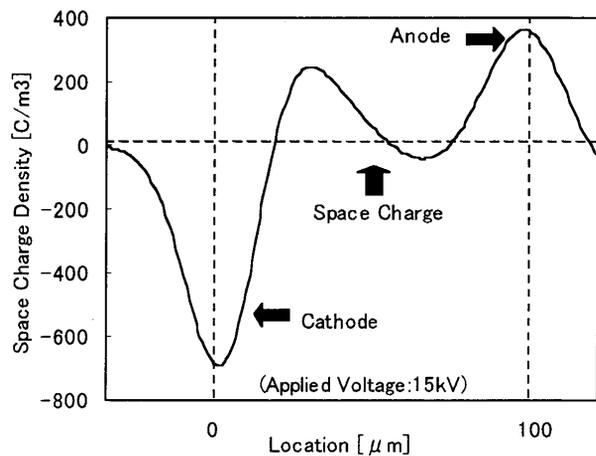


図5 空間電荷分布(1分後)

Fig5. Space charge distribution at 1min

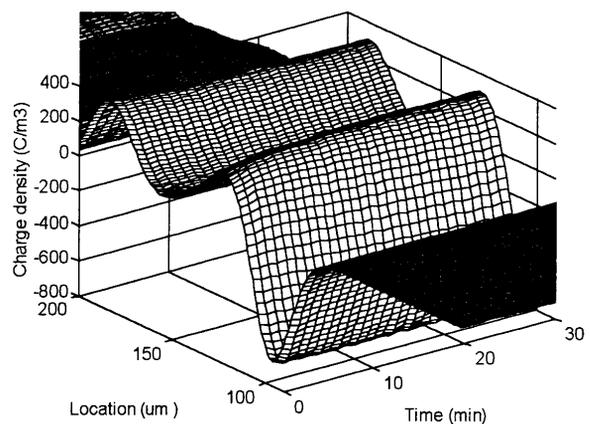


図6 空間電荷分布の時間変化

Fig6. Time dependence of space charge distribution

[4.2] 空間電荷分布

上記の結果を裏付けるために、印加する電圧が15kVのときの電圧印加履歴がない試料内の空間電荷分布の時

間変化を測定した。電圧印加して 1 分後の空間電荷分布を図 5 に示す。同図より局所的に空間電荷の蓄積状態を確認できる。この局所的な空間電荷は電極近傍にあり、その蓄積電荷は電極と極性が異なることから、電極近傍の電界を強めていると考えられる。さらに時間の経過に対する空間電荷の蓄積状態を図 6 に示す。さらに空間電荷の蓄積状態に特徴のある時間の電荷分布を図 7 に示す。

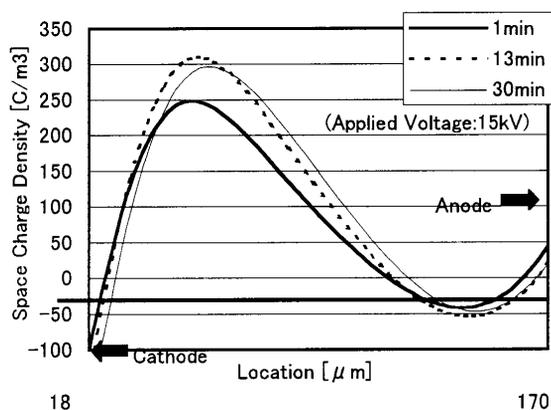


図 7 空間電荷分布の時間変化

Fig7. Time dependence of space charge distribution

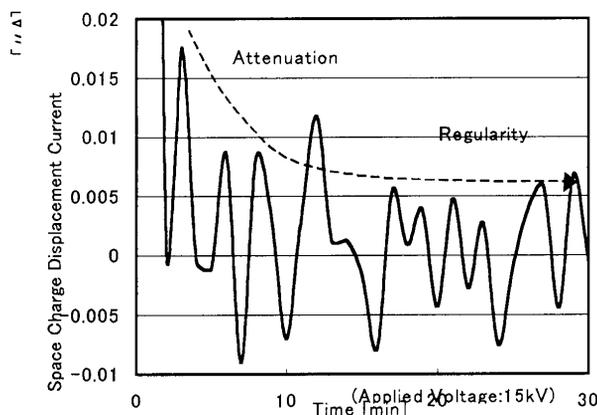


図 8 空間電荷変位電流の時間変化

Fig8. Time dependence of space charge displacement current

同図より、電圧を印加した後、時間の経過と共に試料内の蓄積電荷が増加しつづけるのではなく、蓄積電荷量に 1 つのピーク値を確認でき、そのピーク値が時間変化の過程で生じているといえる。以上の結果から空間電荷

の蓄積状態は時々刻々と変化していると判断されるので、単位時間あたりの電荷の増減から空間電荷変位電流を計算し、図 8 に示す。同図より空間電荷の変位による電流は、電圧印加後数分間で一定値になるのではなく、十分時間が経過するまで徐々に減少していることがいえる。しかしながら、その空間電荷変位電流は、減衰による変化が顕著な時間と比較すれば、電圧印加数分後ではほぼ定常値を示すと説明できる。

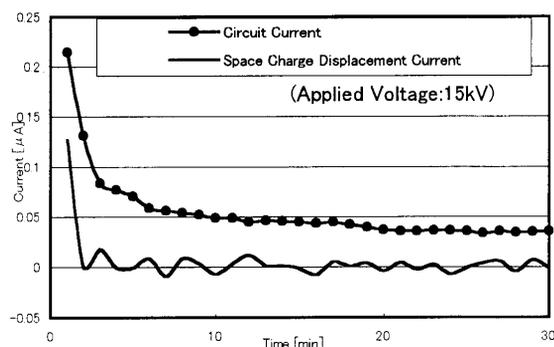


図 9 電流—時間特性 (15kV)

Fig9. Characteristics of Current vs. Time at 15kV

そこで、回路電流および空間電荷変位電流の時間変化を図 9 に示す。同図より、電圧を印加して 1 分後は、回路電流の大部分を空間電荷変位電流が占め、それらの電流値が定常状態と見なす事ができる時間は、ほぼ同じであることが確認できる。

5. まとめ

これらの結果から、試料の誘電体(高分子材料)に電圧を印加したときに、電圧印加数分以内の時間領域において、回路電流が時間と共に減少する主な要因は、空間電荷の蓄積の増減による影響の可能性があると考えられる。

最後に、本研究の測定の際にご協力頂いた電気工学科卒業研究生の古嶋康男君に感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 家田正之 「誘電体現象論」 電気学会 (1993)
- (2) 小川建男 「電気材料演習」 槇書店 (1979)