

有極性高分子 EVA フィルムの電気伝導と空間電荷*

村上義信** 山田達朗***

Electric Conduction and Space Charge in EVA Film

MURAKAMI Yoshinobu and YAMADA Tatsuro

This paper deals with electric conduction and space charge in ethylene-vinylacetate copolymer (EVA). Conduction current and space charge in EVA films, which have electrode of different metals, were measured. From conduction current measurement, it was considered that conduction mechanism in EVA film depend on the hopping conduction mechanism in the high electric field region. It was also considered that magnitude of conduction current under low electric field region was decided by electrode metal. Under high electric field region, magnitude of conduction current was different against low electric field region. Electric field on the electrode was calculated from space charge distribution to compare with conduction current under high electric field region. However, there is not correlation between magnitude of conduction current and electric field on the electrode. It was suggested that electric conduction under high electric field region was decide by other mechanism containing space charge effect

キーワード: 電気伝導, 空間電荷, エチレン酢酸ビニル共重合体

1. はじめに

電力用の押出しポリエチレンケーブルでは絶縁層と金属電極のなじみをよくするため、カーボンを高分子に混入した半導電層が使用される¹⁾。半導電層にはポリエチレンに比べ融点を低くするためエチレン酢酸ビニル共重合体(EVA)などの極性基を有する高分子が用いられる。絶縁層および半導電層の押出し工程において系は高温に保たれるため、半導電層側から絶縁層側に有極性高分子が移行し、100 μ m オーダーの厚さの拡散層が形成される²⁾。絶縁破壊の起点が突起などの半導電層と絶縁層との界面にあると考えると、全路破壊に至る最初の局所破壊は極性基を含む高分子の中で生じていることになる。押出し絶縁ケーブルを直流送電用として用いることが検討されているが、実用化にあたっては有極性高分子その物の電気伝導を知ることは重要である。

そこで本論文では、半導電層のベース樹脂であるエチレン酢酸ビニル共重合体(EVA)を用いて伝導電流を測定した。また、伝導電流に影響を及ぼすと思われる空間電荷もパルス静電応力(PEA)法にて測定し、EVA フィルムの電気伝導を考察したので報告する。

2. 試料および実験方法

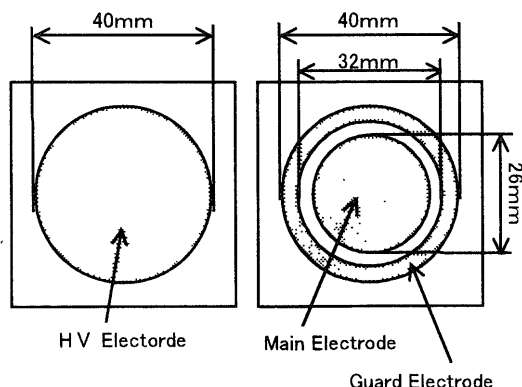
2-1 伝導電流測定

伝導電流測定試料として厚さ 100 μ m の EVA(酢酸ビニル含有量:10wt%)フィルムを用いた。図 1 に(a)伝導電流測定用試料の電極形状と(b)伝導電流測定回路を示す。試料の片面には直径 40mm の高電圧電極、もう片面には、直径 26mm の主電極および内径 32mm 外径 40mm のガード電極を蒸着により施した。蒸着金属は Au-Au(陽極側-陰極側), Au-Al, Al-Au, Al-Al の組み合わせを用意した。このフィルムに直流電圧 4kv, 6kv, 8kv, 10kv を印加し、印加開始から 10 分間の伝導電流を 1 秒おきに測定した。

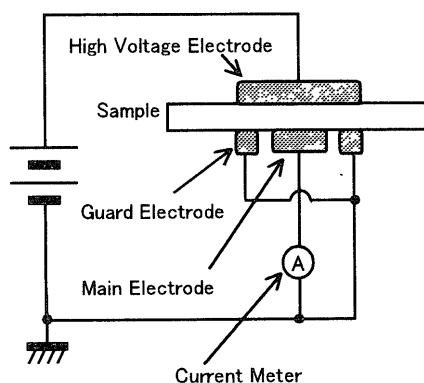
* 本研究は、平成 14 年度長野高専教育特別経費の助成を受けて行われた

** 電気工学科助手

*** 電気工学科教授



(a) 伝導電流測定用試料の電極形状



(b) 伝導電流測定回路

図1 伝導電流測定用試料の電極形状と伝導電流測定回路

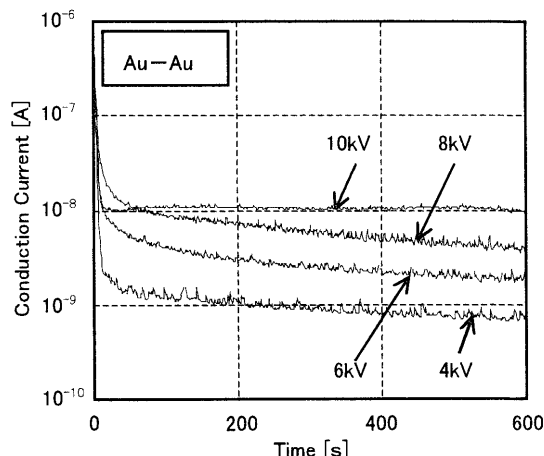


図2 伝導電流の時間変化

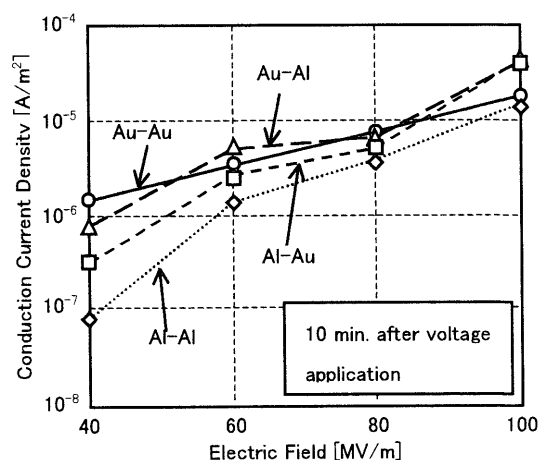


図3 各電極金属を有する伝導電流密度の印加電界変化

2-2 空間電荷測定

空間電荷測定試料として両面に直径 10mm の蒸着を施した厚さ 100 μ m の EVA フィルムを用いた。蒸着金属の組み合わせとしては上記と同様な組み合わせを用いた。このフィルムに直流電圧 10kV を印加し、PEA 法を用いて電圧印加開始から 10 分間の空間電荷分布を 10 秒おきに測定した。なお、印加電圧の極性は上部電極に一致させた。

3. 実験結果および考察

3-1 伝導電流測定

図2に伝導電流の時間変化(Au-Au)を示す。印加電圧が 4kV~8kV では吸収電流が流れた後、時間と共に伝導電流が減少している。また、印加電圧が 10kV では、電圧印加 100 秒後に伝導電流が一端上昇し、その後徐々に減少している。これは後述する EVA に蓄積された空間電荷がヘテロ空間電荷として作用し、電界を強調したため、伝導電流が一端上昇したと考えられる。

図3に各電極金属を有する伝導電流密度の印加電界変化を示す。伝導電流密度は電圧印加 10 分後の伝

導電流値を主電極面積で除することにより求めた。電極金属が Au - Au においては、印加電界に対して指数関数的に電流密度が増加している。従って EVA フィルムの電気伝導は伝導電流密度が印加電界に対して指数関数的に増加する高電界におけるホッピング伝導であると考えられる。

ホッピング伝導の高電界における電気伝導は

$$j \propto \exp\left(\frac{eaE}{2kT}\right) \quad (eaE \gg kT) \quad (1)$$

で表される³⁾。ここで、 j は伝導電流密度 [A/m²]、 e は電荷素量 [e]、 a はホッピング距離 [m]、 E は印加電界 [V/m]、 k はボルツマン定数 [J/K]、 T は絶対温度 [K]である。また、式(1)は

$$\frac{\ln j}{E} \propto \frac{ea}{2kT} \quad (2)$$

のように書き換えられ、この式(2)と図3における傾きからホッピング距離 a を評価することができる。この傾きから評価したホッピング距離は 2.2×10^{-9} m と

なった。この値は一般的に知られている高分子絶縁材料のホッピング距離³⁾に近い。

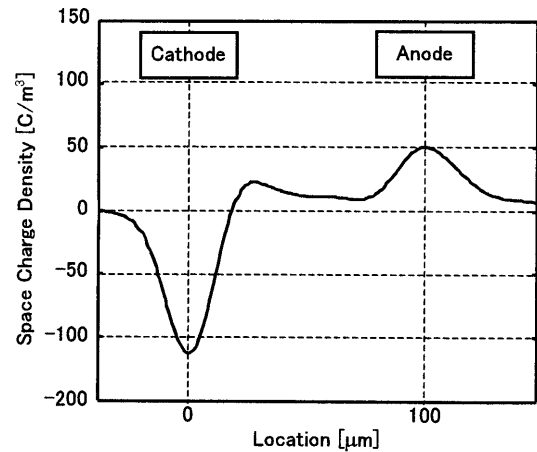
また、同図から印加電界が 80MV/m までは陽極金属が Au のほうが Al のときより伝導電流密度が高いことがわかる。陽極金属が Au の方が Al の時より伝導電流密度が高いのは、電極金属の仕事関数が Au の時はホール、Al の時は電子に対して低いため⁴⁾と考えられる。また、この付近の電界を EVA フィルムに印加した場合、陽極からの注入と思われる正極性空間電荷の形成を確認している⁵⁾。したがって、この付近の電界では陽極からの注入と思われるキャリアにより、電気伝導が律測されている可能性が高い。

さらに同図より、印加電界の上昇と共に電極金属による伝導電流密度の差が減少していることがわかる。これは、印加電界の上昇と共に正極性空間電荷がより多く形成され、陰極に対してヘテロ空間電荷として作用し、陰極近傍電界を強調したため各電極金属の伝導電流密度の差が減少したと考えられる。

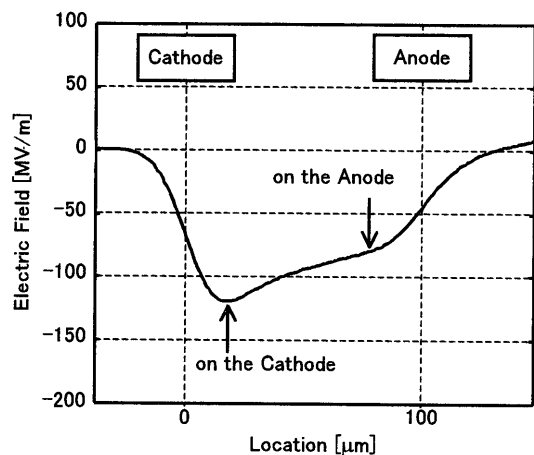
3-2 空間電荷測定

前述したように印加電界が 80MV/m 以下の場合は、陽極金属が Au の方が Al のときより伝導電流密度が高い。しかし、印加電界が 100MV/m になると、電流密度の大小関係が異なっている。これを考察するため、各電極金属を有する試料中の空間電荷分布を測定した。

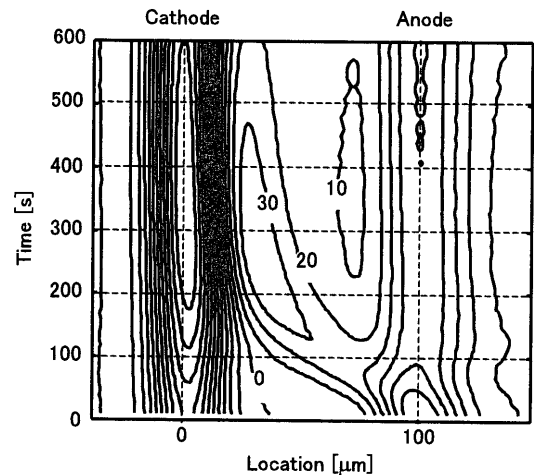
図 4 に EVA フィルム (Au-Au) の空間電荷分布を示す。同図(a)は電圧印加 10 分後の空間電荷分布であり、縦軸が空間電荷密度[C/m³]、横軸が位置[μm]である。同図(b)は(a)を位置方向に積分した波形であり、試料内の電界分布を示す。同図(c)は横軸に位置、縦軸に時間[s]をとり、空間電荷分布を等高線表示したものである。同図(a)および(c)より試料内には時間と共に正極性空間電荷が形成され、特に陰極近傍に多量の正極性空間電荷が形成されていることがわかる。電極金属が Au-Au 以外の試料においても量の大小はあるものの、同様に正極性の空間電荷が形成された。同図(b)より、この正極性空間電荷は陰極に対してヘテロ空間電荷(陰極電界を強調)、陽極に対してホモ空間電荷(陽極電界を緩和)として作用していることがわかる。この電界分布より求めた両電極近傍の電界を伝導電流測定の結果とともに表 1 に示す。表中の①～④は各電極試料の電極からのキャリアの注入のしやすさを示している。この表から、伝導電流と電極近傍電界の大小関係は矛盾することがわかる。従って、高電界になると各試料の伝導電流は電極金属の仕事関数や内部の空間電荷の影響のみでは決定さ



(a) 電圧印加 10 分後の空間電荷分布



(b) 電圧印加 10 分後の電界分布



(c) 空間電荷分布(等高線表示)の時間変化

図 4 EVA フィルムの空間電荷分布 (Au-Au)

表 1 電極近傍電界と伝導電流

	Electric Field on the Electrode [MV/m]		Current Density [μA/m ²]
	Cathode	Anode	
Au-Au	126 ①	86 ④	17.9
Au-Al	121 ③	94 ①	46.9
Al-Au	119 ④	92 ②	46.9
Al-Al	126 ①	89 ③	14.5

れず、その他の伝導機構を考える必要があると思われる。

4. ま と め

半導電層のベース樹脂であるエチレン酢酸ビニル共重合体(EVA)の電気伝導を考察するため、伝導電流と伝導電流に影響を及ぼすと思われる空間電荷を測定した。主な結論は以下の通り。

- (1) 低電界領域では、伝導電流は電極金属の影響が大きく、陽極からの注入と思われるキャリアによって律測される。
- (2) 高電界になると、伝導電流は試料内に形成された空間電荷により影響を受け、電極金属の影響が少なくなる。

- (3) さらに高電界になると、伝導電流は電極金属や内部の空間電荷の影響のみでは決定されず、その他の伝導機構を考える必要がある。

参 考 文 献

- 1) 速水:「CV ケーブル」, コロナ社, pp.7-9(1986)
- 2) M.Ieda et al: Memories of the Faculty of Eng., Vol138, No.2, pp.137-182(1986)
- 3) 家田 他:「誘電体現象論」, 電気学会, pp.240-241(1983)
- 4) 日本金属学会:「金属便覧」, p.981(1977)
- 5) 村上 福間 穂積 長尾:“極低温－室温領域におけるEVA フィルムの空間電荷測定”, 電気学会論文誌, Vol.121-A, No.8, pp.758-763 (2001.8)