粉体・金属間接触電位差測定モデルの検討

板倉 隆行*, 野村 俊之*, 増田 弘昭*

Examination of the Contact-potential-difference
Measurement Model between a Powder and a Metal

by

Takayuki ITAKURA[†], Toshiyuki NOMURA[†] and Hiroaki MASUDA[†]

Key Words : Contact Potential Difference, Codenser Model,
Work Function

1. 緒 言

粉体の製造、生成も含めて種々の乾式操作を行うと、それに付随して粉体の帯電が起こるため、製造工程中の各種トラブルの原因となる場合が極めて多い。一方、電子写真や粉体塗装などの分野では、粉体の帯電を積極的に利用している。このような粉体材料においては、帯電特性の制御が最終製品の品質上、極めて重要な因子となる。電子写真におけるトナーの場合は、各種染料、顔料や表面処理剤によって帯電を制御しているが、その処方に関しては経験に基づいた試行錯誤の上、決定されているのが現状である。いずれにしても、粉体の帯電に起因するトラブルを防止し、かつ、積極的に利用するためには、粉体の帯電特性を定量的に評価する方法を確立することが必要不可欠である。

本報では、同一粒子径で組成(仕事関数)の異なる2種類の高分子系粉体を試料として用い、既報¹⁻⁴⁾における粉体・金属間接触電位差測定モデルを実験的に検証することによって、モデルの修正を行うとともに理論式を新たに導出した。なお、接触電位差測定装置の構成については前報²⁾に詳しく掲載されているのでこ

こでは省略する。

2. 試料粉体

試料粉体としては、質量中位径88 μm 、比重4.8の電子写真用二成分現像剤に用いられるフェライトキャリア(同和鉄粉社製)を用い、流動床法によってフェライトコア表面に樹脂を0.5wt%コーティングした。コーティング樹脂としては、アミノシラン系シリコーン(信越化学社製)とフッ化ビニリデン(ダイキン工業社製)の2種類を用いた。以後簡単のため、前者のコーティング試料をパウダーA、後者のコーティング試料をパウダーBと記すことにする。なお、コーティングによって、質量中位径はほとんど変化していない。

3. 測定モデルの実験的検証と修正

従来より、モデルにおける接触電位差の測定箇所に関して不明な点が多かった。そこで本報ではその点を明確化するために2種類の粉体を用い、充填方法を変えた実験を行うことによって測定箇所の特定制を行った。

実験ではFig. 1の断面概略図に示すような4タイプに粉体試料を充填し、その直後からの接触電位差の経時変化を測定した。その結果をFig. 2に示す。ここで、接触電位差が時間に対して変化するのは、前報²⁾で報告したように粉体の初期体積電荷が緩和するためである。この体積電荷の緩和過程における測定値が見掛けの接触電位差 V_0' であり、緩和後の定常値が粉体

1994年 7月 7日受付

粉体工学会春期研究発表会(1994年5月、京都)にて一部発表

* 京都大学工学部化学工学教室

(〒606-01 京都市左京区吉田本町) TEL. 075-753-5565

[†] Dept. of chem. Eng., Kyoto Univ.,

(Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-01)

Fig. 1 Cross-sectional view of powder layer

Fig. 2 Change of contact potential difference with time

固有の接触電位差 V_0 (基準電極に対する有効仕事関数の差)を表わす。この結果より、Type-1とType-2、Type-3とType-4が同じ接触電位差 V_0 を示していることがわかる。よって、定常値は粉体層上部に存在する物質に依存していることが明らかである。

以下に述べるモデルではFig. 2の実験結果を考慮して、接触電位差は上部電極(Au)を基準とした粉体層上部に存在する物質との電位差 $V_{\text{Powder}/\text{Au}}$ であるとした。さらにこのモデルでは、粉体試料が誘電体である場合の分極を考慮に入れて検討した。

3. 1 粉体層が1種類の場合(Type-1, 3)

Fig. 3(a)に粉体層が1種類であるType-1の電気回路を示し、Fig. 3(b)にコンデンサーモデルを示す。ここで、図中における ρ_a は粉体層Aの体積電荷密度、 ϵ_0 は空間層の誘電率、 ϵ_a は粉体層Aの見掛けの誘電率を表わす。このモデルに示した2個の直列コンデンサーは、下から粉体層Aと空間層を表す。また3個の電池はそれぞれ、下部電極(Ni)に粉体A(PA)が接触することによって生じる電位差 $V_{\text{PA}/\text{Ni}}$ 、その下部電極

Fig. 3 Electric circuit and condenser model for single powder layer

Fig. 4 The condenser model for single powder layer with volumetric charge

(Ni)が回路を形成する銅線(Cu)に接触することによって生じる電位差 $V_{\text{Ni}/\text{Cu}}$ 、及びその銅線(Cu)が上部電極(Au)に接触することによって生じる電位差 $V_{\text{Cu}/\text{Au}}$ を表す。そして、3個の電池が起電力となって各コンデンサーに電荷が誘起されている様子をFig. 4(a)に示す。なお、3個の起電力に関して電位には加算性が成立するので、次式のようにまとめて表現することができる。

$$V_{\text{PA}/\text{Ni}} + V_{\text{Ni}/\text{Cu}} + V_{\text{Cu}/\text{Au}} = V_{\text{PA}/\text{Au}} \quad (1)$$

すなわち、Eq.(1)の接触電位差 $V_{\text{PA}/\text{Au}}$ が起電力となって各々のコンデンサーに電荷が誘起される。ここで電荷は、誘電体である粉体の分極と体積電荷 Q_{PA} を考慮して決定した。

続いてFig. 4(b)に、測定時におけるコンデンサーモデルを示す。上部電極が上下振動することによって、上部のコンデンサーに相当する空間層の静電容量が時間変化するため、回路全体に変位電流が流れる。しかし、可変直流電源によって電位 V_{air} を打ち消すだけの電圧 V_0 を印加したとき、回路には変位電流が流れない。そのとき次式が成立する。

$$V_0' = V_{PA} + V_{PA/Au} \quad (2)$$

以上より、粉体層Aが帯電しているときの見掛けの接触電位差(印加電圧) V_0' は、粉体層Aの体積電荷による電位 V_{PA} と起電力 $V_{PA/Au}$ の和に等しいことがわかる。

従来の理論では、境界条件において回路を形成する銅線(Cu)に対する粉体A(PA)の電位差 $V_{PA/Cu}$ と、上部電極(Au)に対する銅線の電位差 $V_{Cu/Au}$ の両項を考慮していなかった。そこでこの点を考慮して、既報¹⁾と同様に空間層と粉体層にガウスの定理を適用すると、粉体層Aが帯電しているときの見掛けの接触電位差 V_0' は次式で表される。

$$V_0' = \frac{\rho_a}{2\epsilon_a} a_1^2 + V_{PA/Au} \quad (3)$$

ここで、 a_1 は粉体層Aの厚さを表す。粉体層Aの体積電荷が完全に緩和したとき ρ_a はゼロになるので、そのときの接触電位差 V_0 は次式で表される。

$$V_0 = V_{PA/Au} \quad (4)$$

3.2 粉体層を積み重ねた場合(Type-2, 4)

粉体層を上下2段に積み重ねたFig. 1におけるType-2の電気回路をFig. 5(a)に示し、コンデンサーモデルをFig. 5(b)に示す。この場合におけるType-1との相違は、粉体Aと粉体Bが接触することによって生じる電位差 $V_{PA/PB}$ が起電力として加わっている点である。よって、粉体層A-B間の接触電位差 $V_{PA/PB}$ と他の電池をType-1と同様にしてまとめた $V_{PB/Au}$ が起電力となって電荷が誘起される。この場合における測定時の印加電圧 V_0' は次式のように表現できる。

$$\begin{aligned} V_0' &= V_{PA} + V_{PA/PB} + V_{PB} + V_{PB/Au} \\ &= V_{PA} + V_{PB} + V_{PA/Au} \end{aligned} \quad (5)$$

次に、理論式に関しても前節と同様に誘導すると、粉体層A, Bが帯電しているときの見掛けの接触電位差 V_0' は次式で表される。

Fig. 5 Electric circuit and condenser model for two powder layers in series

$$V_0' = \frac{\rho_a}{2\epsilon_a} a_1^2 + \frac{\rho_a}{\epsilon_a} a_1 a_2 + \frac{\rho_b}{2\epsilon_b} a_2^2 + V_{PA/Au} \quad (6)$$

ここで、 a_2 は粉体層Bの厚さを表す。この場合も粉体層A, Bの体積電荷が完全に緩和したときの接触電位差 V_0 は前出のEq. (4)で表される。

これらの結果より、本装置は上部電極の物質と、対向面に存在する物質が仮に接触したときの電位差(接触電位差)を、起電力の合計値として間接的に測定しているといえる。すなわち、Voltaの法則をはじめとした金属・金属間における接触電位差の概念が金属・誘電体間においても適用できることを示している。

4. 結 言

接触電位差の測定に関して、同一粒子径で組成(仕事関数)の異なる2種類の高分子系粉体を用いた実験を行うと共に、コンデンサーモデルに基づいた理論的検討を行った。その結果、測定される接触電位差は電極間の物質にかかわらず、上部電極を基準とした粉体層上部に存在する物質の接触電位差であることが理論的、実験的に明らかになった。

[謝 辞] 接触電位差測定装置を試作していただいた三協パイオテック株式会社に謝意を表します。また、測定用試料の試作に協力していただいた三田工業株式会社の川田秀明氏と河野信明氏に謝意を表します。

Nomenclature

a_1, a_2 : thickness of powder layer	(m)	V_0' : apparent contact potential difference	(V)
ϵ_a, ϵ_b : apparent dielectric constant of powder layer	($F \cdot m^{-1}$)	V_0 : contact potential difference	(V)
ϵ_0 : dielectric constant of air	($F \cdot m^{-1}$)	$V_{Ni/Cu}$: potential of Ni against Cu	(V)
Q : charge	(C)	$V_{Cu/Au}$: potential of Cu against Au	(V)
Q_{PA} : charge of powder-A	(C)	$V_{PA/Au}$: potential of powder-A against Au	(V)
ρ_a, ρ_b : charge density of powder layer	($C \cdot m^{-3}$)	V_{air} : potential of space	(V)
$V_{Powder/Au}$: potential of powder against Au	(V)	V_{PA} : potential of powder-A	(V)
		$V_{PA/Ni}$: potential of powder-A against Ni	(V)

$V_{PA/PB}$: potential of powder-A against powder-B (V) $V_{PB/Au}$: potential of powder-B against Au (V)
 $V_{PB/Ni}$: potential of powder-B against Ni (V) V_{PB} : potential of powder-B (V)

References

- 1) Yoshida, H., T. Fukuzono and H. Masuda : *J. Soc. of Powder Tech., Japan*, **28**, 226(1991)
- 2) Masuda, H., T. Itakura, K. Gotoh, T. Takahashi and T. Teshima : *J. Soc. of Powder Tech., Japan*, **30**, 854(1993)
- 3) Yoshida, H., T. Fukuzono, H. Ami, Y. Iguchi, and H. Masuda : *J. Soc. of Powder Tech., Japan*, **29**, 504(1992)
- 4) Yoshida, H., Y. Iguchi, T. Matsumoto, H. Masuda, H. Murata and Y. Yamada : *J. Soc. of Powder Tech., Japan*, **30**, 330(1993)