

論 文

紙とプラスチックシートの圧縮・分離による電荷図形 紙上模様の転写への応用

白井正治*

(1981年9月7日受理)

Dust Figures by Compression and Separation of Plastic Sheet and Paper An Application to Transcribe Patterns on Paper

M. SHIRAI*

(Received September 7, 1981)

A dust figure experiment is made, by which patterns printed or impressed on a sheet of paper is transcribed onto a plastic sheet; pattern printed or impressed sheet of paper is sandwiched between two sheets of plastic, and they are pressed between two flat metal plates by a mechanical press. After removing the pressure, the sheet of plastic faced to the pattern-printed or impressed surface of the sheet of paper is separated or torn off from the sheet of paper by using electric insulating pincettes, and then by dusting fine compound powder of Pb_3O_4 plus sulphur or alumina powder onto the plastic surface, a dust figure can be obtained. The dust figure shows the transcribed patterns which correspond to the original patterns on the sheet of paper. By this method, Xerox-letters or ink letters on a sheet of paper, indented letters impressed on a sheet of paper or a fingerprint impressed on a sheet of paper can be transcribed onto a surface of a sheet of plastic.

1. 序

著者は紙を上下からプラスチックシートで挟み、これらをさらに2片の金属板で上下から挟んで機械的に圧縮した後、金属板、プラスチックシートおよび紙をおのおの引き剝すとこれらが帶電することを知った。この帶電はRoseらが示したものと同種のものであると思われる¹⁾。Roseらは球状の誘電体試料を誘電体や金属の円板に25kgの力で押しつけ、分離したときの試料に生ずる帶電をファラデーケージと電位計を用いて測定している。

本研究では、紙とプラスチックシートの圧着・分離によるおのおのの帶電の電荷量を測定し、電荷図形²⁾を用いてそれらの帶電状態を調べるとともに、この電荷図形により紙に印刷または押印されている文字などの模様をプラスチックシートに転写する実験を試みた。

2. 実験方法

図1(a)は紙とプラスチックシートを加圧する方法を示す。試料に用いた紙は厚さ0.1mmの印刷用上質洋

* 日本大学生産工学部電気工学科 (275 習志野市泉町 1-2-1)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Nihon University, 2-1, Izumi-cho 1-chome, Narashino, 275 Japan

紙を30mm×40mmの長方形に切ったものである。転写の実験では、この紙の面に文字等の模様を印刷または押印したものを用いた。プラスチックシートには、紙と同じ大きさの厚さ0.1~0.2mmの鏡面ロールされた塩化ビニールシートやポリエステルシート、ポリカーボネートシートを用いた。実験に先立ち、プラスチックシートの既存の帶電はアルコール等の有機溶媒による洗浄後、60~70°Cの温水に5~10秒間浸して空気中で乾燥させることにより除去された。また、紙の帶電はブタンガス焰から5~6cmのところに数秒間置くことで取り除かれた。これらは電位計と電荷図形により確認された。

紙は図1(a)に示すように厚さ40μmのアルミ箔で裏面を覆われた2枚のプラスチックシートの間に挟み、さらに2枚の鏡面に磨かれたステンレス板で上下から挟まれ、プレスの台座と頭部の間で圧縮される。アルミ箔でプラスチックシートの裏面を覆うのは、プラスチックシートとステンレス板との加圧後の分離を容易にするためである。圧縮は2,000kg/cm²前後の圧力で約20秒間行なった。紙とプラスチックシートが均一に圧縮されるように、ステンレス板とプレスの台座および頭部の間に厚さ0.5mmのポリ塩化ビニール板が置かれた。

圧縮後、紙とプラスチックシートは重ね合わされた状

態のままプレスから取り出し、プラスチック製の絶縁把手で、おののおのを接地しないように分離し、それぞれの電荷量をファラデーケージと振動容量型電位計を用いて測定した。図1(b)は測定に用いた装置の略図である。ファラデーケージの中に入れられた紙やプラスチックシートの電荷量はファラデーケージの静電容量を C_F 、ファラデーケージに接続される直列コンデンサの容量を C 、電位計の入力端子の容量を C_V 、電位計の指示を V とすると、 $Q = (C_F + C + C_V)V$ として求められる。本測定装置では $C_F + C + C_V = 9,800 \text{ pF}$ である。

また、分離されたプラスチックシートの電荷分布は、300 mesh 以下の Pb_3O_4 と硫黄または松脂の混合粉末による電荷图形²⁾によって調べられた。 Pb_3O_4 の粉末粒子と硫黄または松脂の粉末粒子は互いに摩擦し合い、 Pb_3O_4 の多くの粒子は正に、硫黄または松脂の多くの粒子は負に帯電しているので、この粉末を剥されたプラスチックシートの表面に散布すればシート面の正に帯電した部分には硫黄や松脂の粉末が多く付着し、負に帯電した部分には Pb_3O_4 粉末が多く付着してシート面に電荷图形が得られる。この图形からシートの電荷分布を知ることができる。ほかに、帶電していないアルミナ粉末や負に帯電した硫黄粉末による電荷图形も用いられた。帶電していないアルミナ粉末は分極によりプラスチックシートの帶電した部分に吸着される。

紙に印刷または押印された文字などの模様のプラスチックシート面への転写には、アルミナや硫黄の 300 mesh 以下の粉末による電荷图形をおもに用いた。なお、実験は温度 25°C、相対湿度約 75% の実験室内で行なった。

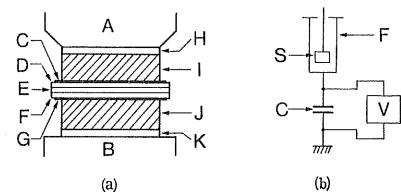
3. 実験結果および考察

3.1 プラスチックシートと紙の引き剝しによる帶電

紙とアルミ箔で裏面を覆われた 2 枚のプラスチックシートを図 1(a) のように圧縮した後、引き剝すとこれらは帶電する。塩化ビニール、ポリエステル、ポリカーボネートの 3 種のプラスチックシートについて、紙とアルミ箔で裏面を覆われたプラスチックシートに生ずる電荷量をファラデーケージと電位計を用いて測定した結果を

表 1 に示す。圧縮は 1,700 kg/cm² の圧力で 20 秒間行なった。これらの電荷量は紙やプラスチックシートの全体の電荷量を示している。表に示すように帶電の符号と電荷量はプラスチックの材質によって異なる。塩化ビニールシートと紙を圧縮する場合には塩化ビニールシートは負に、紙は正に帯電し、ポリカーボネートシートの場合にはシートは正に、紙は負に帯電した。ポリエステルシートについては生ずる電荷量が大きく変動し、定められなかった。また、いずれの場合にも電荷量は 2 枚のプラスチックシートの電荷量の合計にほぼ等しくなった。

紙から引き剝されたプラスチックシートの表面の電荷分布は Pb_3O_4 と硫黄の混合粉末の電荷图形によって調べた。図 2 は 1,800 kg/cm² の圧力を 20 秒間加えた後、紙から引き剝された塩化ビニール、ポリカーボネート、ポリエステルの各シート面に得られた電荷图形である。各シートの裏面はアルミ箔で覆われている。塩化ビニールシート面に得られた電荷图形(a)では Pb_3O_4 粉末が加圧された円形部分に多く付く。ポリカーボネートシート(b)では、硫黄の粉末が円形の加圧部分に付く。(a), (b)ともに付着むらを生じている。ポリエステルシート(c)では、円形の加圧部分に Pb_3O_4 と硫黄の粉末の付着部分が混ざって現われた。その中に線状の硫黄の付着部分や粉末の付着の少ないところが現われている。



in (a); A : press head, B : base plate of a press, E : a sheet of paper, D, F : plastic sheets, C, G : Al-foils, H, K : polyvinyl chloride sheets, I, J : flat stainless steel plates. in (b); F : Faraday cage, S : sample, C : capacitor, V : electrometer.

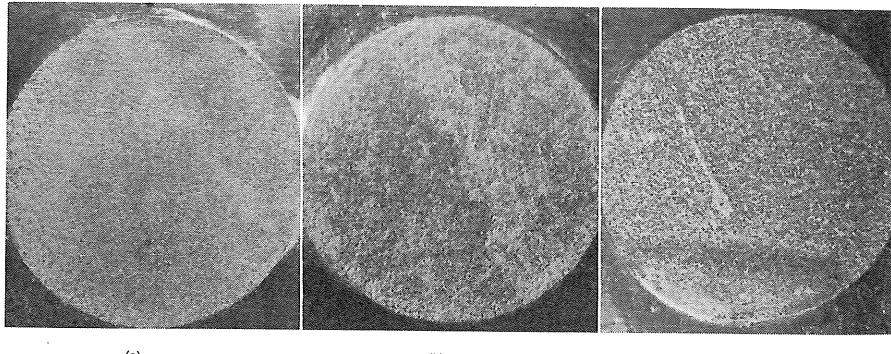
図 1 (a) 実験装置略図, (b) 電荷測定装置

Fig. 1 (a) Schematic diagram of experimental arrangement, (b) Apparatus for measuring the charge of a plastic sheet or a sheet of paper.

表 1 プラスチックシートと紙の引き剝しによる帶電

Table 1 Charges produced by the separation of the sheet of paper from the plastic sheets backed with Al-foil.

Polyvinyl chloride sheet backed with Al-foil -3,940 pC	Paper +6,470 pC	Polyvinyl chloride sheet backed with Al-foil -3,200 pC
Polycarbonate sheet backed with Al-foil +3,200 pC	Paper -5,490 pC	Polycarbonate sheet backed with Al-foil +3,370 pC



(a) Dust figure obtained on a polyvinyl chloride sheet, (b) Dust figure on a polycarbonate sheet, (c) Dust figure on a polyester sheet.

図2 紙から引き剥されたプラスチックシートに得られる Pb_3O_4 と硫黄の混合粉末による電荷図形

Fig. 2 Dust figures obtained on the plastic sheets separated from the sheet of paper. Compound powder of Pb_3O_4 plus sulphur was used.

これらの電荷図形から、帯電がプラスチックシートの加圧された部分に生じていることがわかる。塩化ビニールシートの加圧部分は負に、ポリカーボネートシートの加圧部分は正に帯電している。ポリエスチルシートの加圧部分には、正負の帯電部分が混在している。電荷図形の中に現われる粉末の付着のむらは帯電のむらを示している。このような帯電のむらは、引き剥し方や引き剥しの際に生ずる放電によるものと思われる。

なお、紙から剥されたプラスチックシートをブタンガスの炎から約 5 cm 離れたところに 1~2 秒間置くと、図3に示すように電荷図形は得られなくなる。これはプラスチックシートに残留していた電荷が、ガスの炎によって中和されたことを示す。

また、プラスチックシートから引き剥された紙の面には Pb_3O_4 か硫黄の粉末が一様に付いた。これは紙の固有抵抗が低いため、紙面の帯電が一様になることによる。

3.2 ゼロックス文字、インキ文字および凹文字の転写

(1) 紙にゼロックス文字を印刷し、この文字を3.1項で述べた電荷図形を用いてプラスチックシート面に転写する実験を行なった。ゼロックス文字は合成樹脂とグラファイト粉末を混ぜたものでできていて、紙の平均面から約 2 μm 盛り上がっている。そのため、この文字の部分は周囲の部分よりも大きな圧力でプラスチックシート面に接触することになる。接触する物質に差異があれば、それに応じてプラスチックシート面の帯電に差異を生ずるであろうことは3.1項の結果から推測できる。また、接触の圧力の差異も帯電に影響を与えるものと思われる。

図4 (a) はゼロックス文字紙(b)について、ポリカーボ

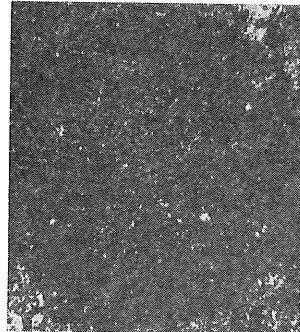
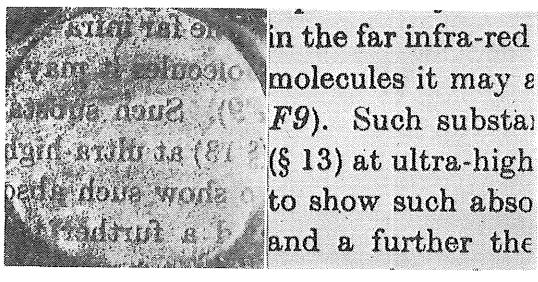


図3 ガス炎で不明瞭になるアルミナ粉末の電荷図形

Fig. 3 Alumina dust figure obscured by placing around a gas flame.

ネートシート面に得られた Pb_3O_4 と松脂の混合粉末による電荷図形である。圧縮は 2,000 kg/cm² の圧力を 20 秒間行なった。(a)には(b)の文字が転写されている。ゼロックス文字に接触していたシート面の部分には Pb_3O_4 粉末が付き、白紙部分に接触していた部分には松脂粉末が多く付いた。このことから、ポリカーボネートシート面のゼロックス文字に接触していたところは負に、白紙部分に接触していたところは正に帯電していたことがわかる。

図5 (a) はゼロックス文字紙(b)について、塩化ビニールシート面に得られたアルミナ粉末による電荷図形である。圧縮の条件は図4と同じである。アルミナ粉末は(b)の白紙部分に接していたシート面の部分に多く付き、文字部分に接していたところにはほとんど付かないで、(a)にはゼロックス文字の像が現われている。アルミナ粉末はほとんど帯電していないが、分極によりシートの帶電部分に付着している。(a)でアルミナ粉末が付着してい

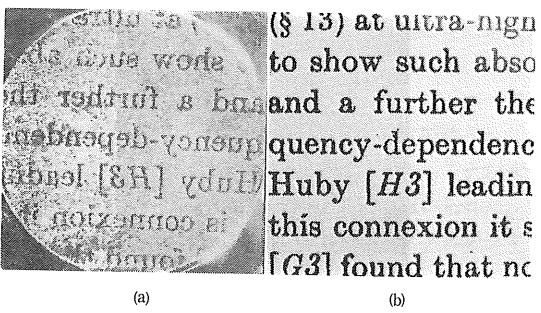


(a)

(b)

図 4 (a) ポリカーボネートシート上に得られたゼロックス印刷紙についての Pb_3O_4 と硫黄の混合粉末による電荷图形, (b) ゼロックス印刷紙

Fig. 4 (a) Dust figure on a polycarbonate sheet obtained for a Xerox-printed sheet of paper. Compound powder of Pb_3O_4 and sulphur was used. (b) The Xerox-printed sheet of paper used for (a).



(a)

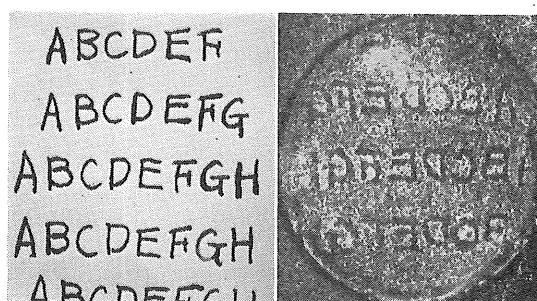
(b)

図 5 (a) 塩化ビニールシート上に得られたゼロックス印刷紙についてのアルミナ粉末による電荷图形, (b) ゼロックス印刷紙

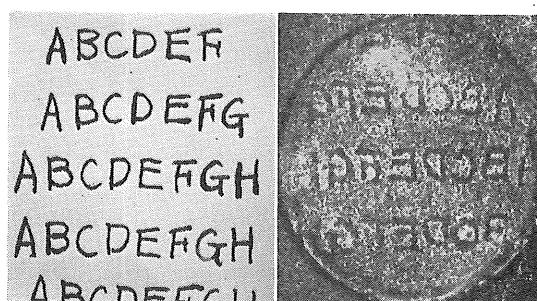
Fig. 5 (a) Alumina dust figure on a polyvinyl chloride sheet obtained for Xerox-printed sheet of paper. (b) The Xerox-printed sheet of paper used for (a).

るところは負に帯電している。

(2) 紙に書かれた黒インキの文字を、アルミナ粉末の電荷图形によってポリエステルシート面に転写した。黒インキで紙に文字を書き、この紙を乾燥容器中で3日間乾燥させた後、2枚のポリエステルシートの間に挟み1,700 kg/cm² の圧力で20秒間図1(a)のように圧縮した。圧縮後黒インキ文字の書かれた紙をポリエステルシートから剥し、シート面にアルミナ粉末を散布して図6の結果を得た。(a)はインキ文字を書いた紙である。文字の部分は紙の平均面より5~20 μm低い。したがって、文字部分のシート面への接触はその周囲に比べてわずかに弱い。(b)は(a)に接触していたポリエステルシート面に得られたアルミナ粉末による電荷图形である。粉末は文字に当たる部分には少なく付き、空白部分に当たるところには多く付いてインキ文字の像が現われた。



(a)



(b)

図 6 (a) インキ文字の原紙, (b) ポリエステルシート上に現われるアルミナ粉末による電荷图形

Fig. 6 (a) The original ink-letters drawn on a sheet of paper. (b) The alumina dust figure appeared on the sheet of polyester.

(3) タイプライタを用いて紙に凹文字を押し、この凹文字をポリエステルシート面にアルミナ粉末の電荷图形を用いて転写した。圧縮は1,600 kg/cm² の圧力を20秒間行なった。図7にこの結果を示す。(a)は圧縮前の凹文字紙である。凹文字部分は紙の平均面より約30 μm凹んでおり、周囲より小さな圧力でポリエステルシートに接触する。(b)はポリエステルシート上に得られたアルミナ粉末による電荷图形である。アルミナ粉末は凹文字の接触するシート面の部分に周囲よりも多く付着し、凹文字の形が現われた。このことは、接触の圧力の差異によって、シート面に帶電の差異が生ずることを示している。(c)は圧縮後の凹文字紙である。図7は目に見えぬ紙上の筆記痕を可視化することに用いることができると思われる。

電荷图形による紙面の文字の転写は、紙面とプラスチックシート面との間の接触の微細な差異がプラスチックシート面の帶電に微細な差異を与えることによるものと考えられる。

3.3 紙面に押された指紋のプラスチックシート面への転写

紙に押された指紋は通常、ニンヒドリンやヨウ素溶液により検出される。これら化学薬品の使用は、指紋のついた紙が犯罪の物的証拠であって、不变に保たねばならぬ場合には何かと不都合を生ずる。

そこで、これまで述べてきた圧縮と引き剝しによる帶電の電荷图形を用いて、紙に押された目に見えない指紋をプラスチック面に転写し、可視化することを試みた。

指紋は200~300 g/cm² の圧力で紙に押した。この紙は約2日間、温度25°C、湿度75%の空気中に放置してから実験に用いた。圧縮は1,700 kg/cm² の圧力で20秒間行なった。図8は紙に押された指紋をアルミナ粉末

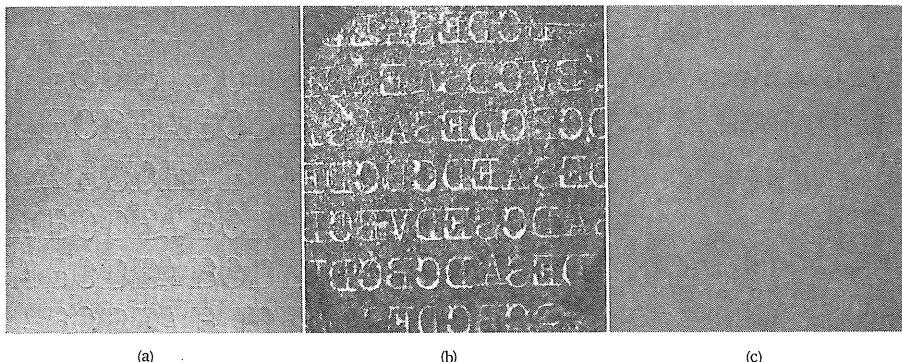


図 7 (a) 実験前の凹文字紙, (b) ポリエスチルシート上のアルミナ粉末による電荷图形, (c) 実験後の凹文字紙
Fig. 7 (a) A letter-indented sheet of paper before experiment. (b) Alumina dust figure on a sheet of polyester. (c) The letter-indented sheet of paper after the experiment.

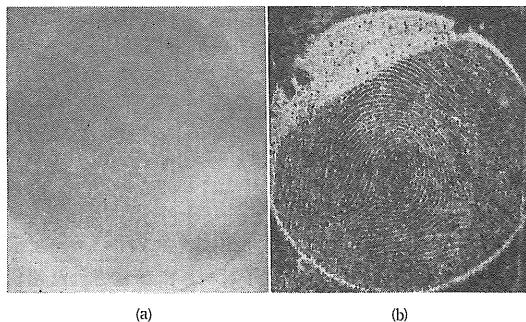


図 8 (a) 実験に用いられた指紋を押印した原紙, (b) ポリエスチルシート上に得られたアルミナ粉末による電荷图形
Fig. 8 (a) The original fingerprinted sheet of paper after it was used for the experiment.
(b) Alumina dust figure obtained on a polyester sheet for (a).

の電荷图形を用いてポリエスチルシート面に転写した結果である。 (a)は実験に用いた指紋を押した紙、(b)はポリエスチルシート面に得られた電荷图形である。(b)には(a)の指紋が現われている。

4. 結 論

本研究の結果をまとめると次のようになる。

(1) 紙を2枚のプラスチックシート面で挟み、圧縮し

引き剥すことによりおののに帶電が生ずる。この帶電はプラスチックの材質により帶電の極性と電荷量が異なる。

(2) プラスチックシート面の帶電の電荷图形を用いて紙面のゼロックス文字、インキ文字をプラスチックシート面に転写できた。また、凹文字を転写することができた。

(3) 電荷图形を用いて紙の指紋をプラスチックシート面に転写できた。

これらの電荷图形による転写は、模様を付けた紙からプラスチックシートを引き剥すときのシート面に生ずる帶電の微細構造によるものと考えられる。

終りに本研究に際し、ご指導、ご鞭撻を賜った東北大学名誉教授林威先生に感謝申し上げます。また、ご意見とご支援をいただいた前科学警察研究所員の荒居茂夫氏に感謝申し上げます。さらに、便宜をはかってくださった本学の斎藤勝巳教授に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) G.S. Rose and S.G. Ward : Br. J. Appl. Phys., 8 (1957) 121
- 2) Y. Toriyama : *Dust Figure of Surface Discharge and Its Application*, Chap. 1-2, Kinokuniya, Tokyo (1961)