

高分子フィルムの接触帯電系列

吉 田 元 郎*

Contact Electrification Series
of High Polymer Films.

Motoh YOSHIDA

要 旨

高分子フィルムの接触帯電の量を電位計を用いて、多数の測定を行い、平均値を取りデータを整理することにより、高分子フィルム間の接触帯電列を得た。この帯電列と従来の摩擦帯電列との比較および化学構造との関係を検討する。

Synopsis

The contact electrifications of highpolymer films were mesured quantativery with a take off electrode method, which was described preceding paper⁽⁶⁾.

The values of contact electrification of both side surfases of 27 films were measured with metals and several highpolymer films, and the mean values of contact electrification of each film were estimated from these data.

All of the mean values and standard deviations were shown in 11 tables.

The contact electrification series were made up by these 27 polymer films.

From these data, the mechanism of contact elefctrification were considered to depend on the chemical structures of highpolymer matters, and their sureface structures.

1. は じ め に

帯電現象は常に身近にあり、非常に古くから知られており、恐れや驚異の眼をもって見られ、調べられてきたが、その現象には多くの要因がからみ合っているため未だ不明のことが多い。ことに帯電発生に関する基本的機構については未だ種々議論されている^(1~5)。

この電荷発生の基本的要因を調べるため幾つかの素過程に分けて実験を進め、ある定性的な結果については前報迄に報告した^(6,7)。その中に指摘したように、より定量的議論の行なえる実験を計画し測定したので、ここにその全データを提示すると共に、そのデータを整理・検討を行ない、本実験で使用した高分子フィルム間の接触帯電列を作り、これを摩擦帯電列と比較し、又今後の帯電実

験の基盤にするためにいくつかの結果の検討および今後の問題点等を報告する。

2. 測定原理と測定装置

帯電の電荷発生に関しては種々の原因が考えられる。例えば表面二重層の分離、破壊による電荷分離、熱による電荷移動および電荷の吸着等があげられる。ここでは接触はく離による電荷二重層の分離が主体であると考え電荷二重層の分離による帯電を験べることににより、二重層の大きさおよび極性を知ることになり、この事が物質の表面状態の知見を与え又帯電現象の本質をつくものと考え実験を計画した。

本実験における基本的考えを図1に示す。A・B両物質間の表面エネルギーの相違は両物質を接触平衡に達せさせた時には電荷移動による電氣的エネルギーによって補われる。即ち表面に電荷二重層が形成されて平衡になる。(図1の上の状態)。

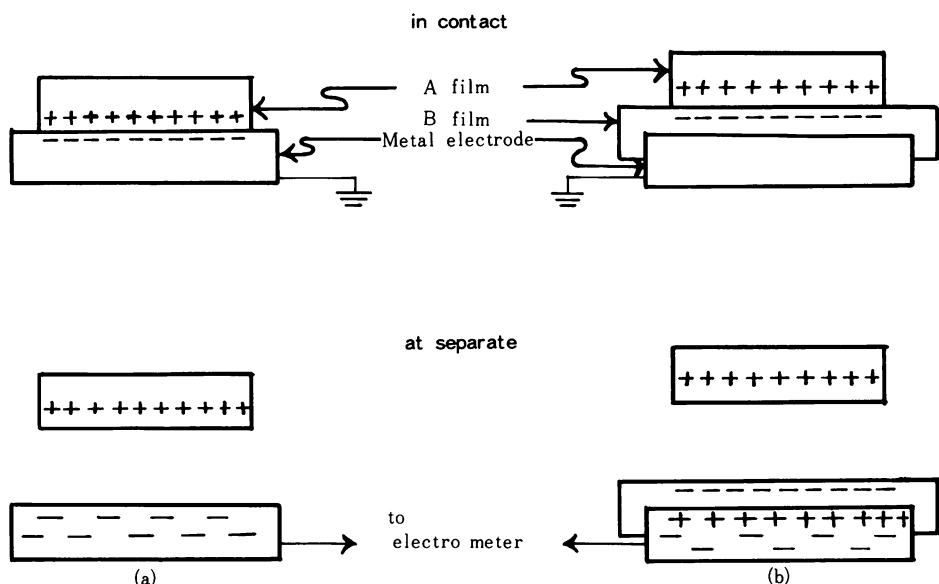


Fig. 1 Schematic diagram of principle of this measurements. (a) The case of contact with metal electrode. (b) The case of contact with polymerfilm covered electrode.

この接触を急激に引離すると表面で作られている電荷二重層は分離され電荷はそれぞれに残留して帯電を与える。この電荷が帯電発生の起原である(図1の下状態)。帯電体であるか否かはこの電荷が保持されるか否かであり、こゝでは考えない。

この分離による電荷発生量を定量的に議論する時の問題点として次の諸点が考えられる。

1. この接触が完全に平衡に達した後に分離されているか。
2. 表面の不均一のために接触面積に差異はないか。
3. 分離の時の電荷漏洩に物質によって差異はでないか。
4. 初期帯電による影響、即ちその物質の初期状態により表面状態の相違はないか。

これ等の事項に関して本測定において次の事を心掛け定量的議論を進められるように留意した。

1. に関しては各測定に充分時間をかけることにより平衡に達するよう注意した。多くの場合10分以上放置することにより平衡と考えた。2. については試料にフィルムを選んだことにより最も様な接触面積を保っているものと考えられる。3. については金属側に残留した電荷を測定しているので、常に様な漏洩条件になっている、(図1の下) によって試料の影響はないと考えられる。4. については当然考えられ、出来る限りの事前処置は行なうが、本測定の結果から再び論ぜられる

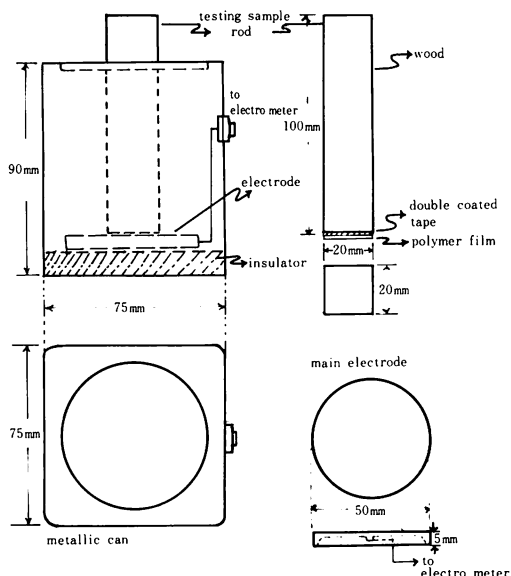


Fig. 2 Measurement Apparatus of contact electrification.

ことになると思う。

測定装置の詳細を図2に示す。測定原理は図1に記したもので、はく離により測定電極側に残った電荷は自由になり導線を通して測定器であるケースリー610C型電位計に流れ込み電位として読み取れる。測定器の条件は一定であるので、この電位は表面二重層で形成された電荷に比例する

と考える。そしてフィルム側には今測定した電気量と等量で符号が反対の電荷が発生している。この二重層はく離で発生する電荷はただか 10^{-12}C/cm^2 であるので装置の遮蔽を充分にしないと測定不能になる、図のように遮蔽を充分に行なえる金属かんの中で充分遮蔽に注意を払い実験を行なう。

測定は木材で作った試料棒の先端にフィルムを接着させ、このフィルムを電極に接触し放置して充分接触平衡に達せしめた後に電極をフリーにして引離す、このはく離の際に測定電極側に残った電荷を電位計にて測定する。

フィルム対フィルムの接触帯電も全く同様にして図1の右図に示すように電極側フィルムに残った電荷は金属電極に静電誘導を起しフィルムと同符号の電荷が測定出来る。したがって対接触面が金属又はフィルムのいずれの場合でも本装置で測定される電荷の符号は測定試料フィルムに発生した電荷とは等量で反対符号の電荷を測定していることになる。

3. 測定試料と測定結果

試料： 測定にはなるべく多くの種類の試料を使用したいと思い、メーカーに御願ひして素性の判っているフィルムを分けて戴いた。本実験で使用するフィルムの名称構造等の諸データおよび本実験において用いた番号記号等を表1に示す。実験には各社の代表フィルムを $20 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ に切り出しこれを2つに切り $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 平方の試料2個作り、これを $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ の木材角棒の一端にそれぞれフィルムの向きをかえて両面テープで貼りつける。これにより同一フィルムの表裏両面の測定が出来る。この試料棒の他端にはフィルム番号をそれぞれ黒赤で記入しておく。即ち同一番号の試料棒は同一フィルムの両面の特性を示すことになる。このようにして27種54本の測定試料棒が作られた。これ等試料は常に無用の帯電を除去するためにアースされた金属板上にフィルムを接しさせ収納しておき使用する。

測定法： 前記測定器の測定電極はアースしその上に試料フィルムを貼った試料棒を乗せ5分位

Table 1. Summary of used highpolymer films.

番号	商 品 名	記 号		厚さ μ	製法	メーカー名
1	ユカロン 50	PE ₁	(C ₂ H ₄) n	50	高压法	三 菱 油 化
2	ユカロンZE31	PE ₂	(C ₂ H ₄) n	30	高压法	三 菱 油 化
3	ミラソン	PE ₃	(C ₂ H ₄) n	50	高压法	三井ポリケミカル
4	ハイゼックス	PE ₄	(C ₂ H ₄) n	60	低压法	三井石油化学
5	ヒシレックス	PVC ₁	(C ₂ H ₄ cl) n	50	延 伸	三 菱 樹 脂
6	モンサント	PVC ₂	(C ₂ H ₃ cl) n	100		三菱モンサント
7	サラシ	PVDC ₁	(C ₂ H ₂ cl ₂) n	30	延 伸	旭 ダ ウ
8	クレハロン	PVDC ₂	(C ₂ H ₂ cl ₂) n	50	延 伸	呉 羽 化 学
9	ビニロン	PVA ₁	(C ₂ H ₃ OH) n	20		ク ラ レ
10	ビニロン	PVA ₂	(C ₂ H ₃ OH)(C ₂ H ₄)	25		ク ラ レ
11	ポリスチレン	PS ₁	(C ₂ H ₃ C ₆ H ₅) n	100	延 伸	東 レ
12	スチレックス	PS ₂	(C ₂ H ₃ C ₆ H ₅) n	40	延 伸	三 菱 樹 脂
13	エンブレシ	PA ₁	ナイロン	30	延 伸	日 レ
14	N Y - 12	PA ₂	[HN(C ₂ H ₂) ₁₁ CO] n	50		東 レ
15	不 明	PA ₃	ナイロン	70		不 詳
16	トレフアンNo.	PP ₁	(C ₂ H ₃ CH ₃) n	40	無延伸	東 レ
17	トレフアンBO	PP ₂	(C ₂ H ₃ CH ₃) n	50	延 伸	東 レ
18	ポリプロ	PP ₃	(C ₂ H ₃ CH ₃) n	70	延 伸	三井石油化学
19	ノーブレシ	PP ₄	(C ₂ H ₃ CH ₃) n	25	延 伸	三 菱 油 化
20	不 明	PP ₅	(C ₂ H ₃ CH ₃) n	70		不 詳
21	アフロン	PEF	[(C ₂ H ₄)(C ₂ F ₄)] n	50		旭 硝 子
22	K F	PVDF ₁	(C ₂ H ₂ F ₂) n	6		呉 羽 化 学
23	K F	PVDF ₂	(C ₂ H ₂ F ₂) n	240		呉 羽 化 学
24	ダイアホイル	PET ₁	(OC ₂ H ₄ CO ₂ C ₆ H ₄ CO ₂) n	40	延 伸	三 菱 樹 脂
25	ルミラー	PET ₂	(OC ₂ H ₄ CO ₂ C ₆ H ₄ CO ₂) n	25	延 伸	東 レ
26	ユーピロン	PC	ポリカーボネイト	450		三井ガス化学
27	T A C	AC	[C ₆ H ₇ O ₅ (CH ₃ CO ₃)] n	120		富士フィルム

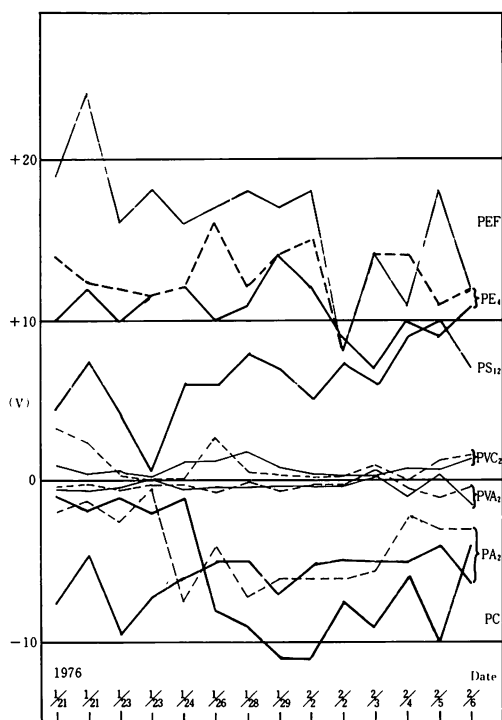


Fig. 3 Example of several value of each measurement vs. date.

放置し接触平衡に達せしめた後電極をアースより離してフリーにし試料棒を引きあげる。その時電極に残留した電荷は電位計の読みを与える（1回のみの測定をする。試料によっては繰返すことにより値の変わってくるものもある。）、電位計の読みは最大振れた値をなるべくすばやく読み取る。この方法で次々と各試料について測定する。各試料について1日1〜2回の測定を数日行ない、各実験約20回の測定の平均を取り、その試料の測定値とする。毎回の測定値は周囲の電界・湿度・気温・天候および接触状態その他もろもろの要件で微妙な違いが生じているが各試料の相互の関係は大体一致している。例として図3に数個のフィルムにおける各測定値を測定日と共に示して見る。個々の値については随分違っているが全体として見ると各フィルムの違いが分ると思う、従って平均値

を用いることにする。又各測定において試料の順序は無作為に取ることにして、系統的な誤差は消すように配慮した。以上のことより各試料の値としては個々のものでは論ぜず、各試料とも約20回の同一測定の平均値で議論することにする。各試料の平均値および標準偏差を求めその総てを表2に示す。最上段には主電極側の物質名と本実験における試料番号を記した。 M_1M_2 は共に金属電極そのものであり同一物であるが、測定時期に相違があり M_1 は本測定開始時期の51年1月頃の測定を、 M_2 は終了時期51年8月のもので、約半年違い、季節的にも冬と夏の違いがある。この間の試料および測定時期の変化をチェックする為に測定した。 Al は金属電極に Al 箔をはりつけアルミニウムに対する接触帯電を測定した。第2段以降はすべて測定の平均値とその偏差を示している。各試料上下2段になっているのはどれも表裏それぞれの値を与えている。この表を見ると次の事がいえる。

1. 各測定ともそれぞれ試料毎に異なったそれぞれの固有値をもっているものと思われる。
2. 試料によっては表裏の電位の違いの、はっきりしているものがある。
3. 同一材料のものはほぼ同じような値になっている。

以上のことからこの表2のデータを基礎として高分子フィルムの接触帯電列を調べて行く。

4. データの整理

各フィルムの個性を知るため表2の表裏の測定値の和をとりそのフィルムの帯電量とし表3を作る。又この値を横に総和をとって右に記した。この値は各試料の種々の接触面に対する帯電量の総和を与えるもので、本実験においては各試料フィルムの全体的な帯電の大きさを与えるものと考えられる。この総和値により各フィルムを並べて見ると図4になる。この図においてフィルムの特性を現わす為に左方に正、右方には負をとった。これは試料フィルムの帯電は左側は負に右側は正にと従来の帯電列と同じようにするためである。

これを見ると同種のフィルムは大体同じような

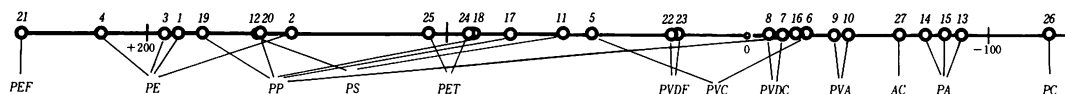


Fig. 4 Total contact electrification series of each films from Table 3.

Table 2. All bata of contact electrification of each film

試料 No.	M ₁		A ℓ		M ₂		P E (No.4)		P S (No.12)		P A (No.14)		P P (No.17)		P P (No.20)		P E F (No.21)		P E T (No.24)	
	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}$	σ
1	14.02	3.93	13.50	1.62	12.35	3.10	9.45	2.83	4.06	1.88	15.03	1.59	13.79	1.06	13.82	1.64	7.49	2.48	6.70	3.40
	7.14	1.42	9.58	2.00	7.25	1.96	6.75	1.50	3.40	2.57	9.38	1.74	8.60	0.92	10.79	2.06	8.65	3.38	6.17	2.59
2	10.31	1.97	14.05	1.53	10.76	3.26	8.98	2.76	6.47	2.87	12.50	1.28	9.29	1.44	12.63	1.61	1.15	1.58	6.17	1.79
	9.35	1.87	6.82	0.90	7.35	2.15	6.95	1.60	1.56	2.32	8.94	1.07	6.26	0.63	4.92	0.87	8.25	2.53	1.97	0.81
3	20.74	2.18	14.90	1.19	18.90	1.45	13.90	2.88	8.35	3.13	16.21	1.98	13.40	1.37	14.78	2.91	7.56	1.68	6.46	0.83
	5.48	1.76	10.90	1.26	7.85	2.04	5.06	1.09	2.36	1.98	7.56	0.63	6.42	0.75	7.44	1.53	6.23	1.73	4.79	1.92
4	11.91	3.94	16.32	0.75	12.65	3.97	9.30	4.00	7.36	2.47	13.76	1.80	12.47	1.64	13.17	1.74	11.22	0.77	8.83	2.26
	9.07	1.43	15.21	2.20	10.90	0.88	10.08	1.46	5.90	1.87	13.74	1.23	12.08	0.84	15.76	2.49	10.69	2.40	7.14	2.16
5	4.69	1.28	5.15	2.11	6.90	2.16	7.10	2.23	0.94	2.40	8.59	1.42	6.07	1.17	6.80	1.36	-0.05	1.27	0.27	1.21
	1.69	0.50	1.50	0.41	1.99	0.29	2.00	0.54	-2.50	0.99	2.47	0.39	0.58	0.34	0.39	0.53	-2.92	0.82	-1.53	0.91
6	0.95	0.54	0.12	0.30	0.85	0.37	0.10	0.34	-5.80	2.09	0.85	0.38	-1.58	0.36	-0.99	0.42	-3.41	1.20	-2.28	0.49
	0.61	0.19	0.05	0.37	0.80	0.24	0.29	0.64	-3.52	1.30	0.80	0.32	-1.25	0.17	-0.92	0.28	-3.72	1.16	-2.50	0.59
7	2.18	1.15	1.43	0.82	1.54	0.75	1.83	0.94	-5.29	1.90	2.88	1.53	-0.26	1.21	0.81	1.07	-2.12	1.26	-1.24	0.79
	-0.70	2.13	0.28	0.24	0.72	0.46	0.33	0.47	-6.18	1.90	1.38	0.58	-1.26	0.36	-0.72	0.24	-3.67	1.12	-2.05	0.45
8	1.52	0.64	0.48	0.88	1.71	0.85	1.04	0.40	-3.05	1.06	1.17	0.57	-0.53	0.37	-0.27	0.50	-2.95	1.11	-1.91	0.58
	1.26	0.74	0.36	0.55	0.93	0.60	0.84	0.52	-4.02	1.52	1.14	0.40	-0.90	0.40	-0.31	0.60	-2.91	0.88	-1.89	0.53
9	0.18	0.19	-0.93	0.76	-0.01	0.16	-0.35	0.49	-4.50	1.30	-0.35	0.92	-2.12	0.29	-1.80	0.67	-4.93	1.55	-3.45	0.87
	-0.09	0.23	-1.85	1.86	0.04	0.16	-0.39	0.40	-3.78	1.09	-0.36	0.37	-1.81	0.32	-1.60	0.38	-3.94	1.03	-3.15	0.45
10	-0.04	0.40	-0.58	0.39	-0.20	0.41	-1.04	0.93	-7.63	1.99	-0.19	0.33	-2.66	0.39	-1.73	0.41	-3.84	0.99	-2.59	0.59
	-0.12	0.54	-1.19	0.95	-0.03	0.33	-0.38	0.79	-4.70	1.63	-0.17	0.27	-2.68	0.71	-2.20	0.76	-3.94	1.00	-2.89	0.63
11	7.54	1.05	6.30	1.59	8.05	0.76	8.15	1.23	0.63	2.32	7.91	1.49	7.05	1.04	7.15	1.50	1.63	0.97	3.03	0.79
	1.26	0.37	1.11	0.66	1.71	0.44	1.48	0.37	-2.00	1.13	2.86	0.40	1.21	0.46	0.70	0.38	-2.33	0.90	-1.44	0.33
12	13.70	1.49	11.66	1.87	13.75	1.32	9.80	1.84	3.74	1.67	11.65	1.76	8.84	0.88	8.66	2.25	6.06	2.59	4.19	3.24
	8.70	1.56	10.76	1.57	6.80	1.54	6.02	1.51	3.81	2.28	11.94	1.58	9.05	1.27	8.77	2.63	5.36	2.92	4.11	2.58
13	-4.08	1.46	-1.51	0.88	-3.52	0.48	-1.75	0.95	-5.27	1.54	-1.43	0.72	-2.71	0.55	-2.22	0.54	-4.27	1.35	-3.08	0.46
	-5.05	2.70	-1.93	1.10	-6.08	1.88	-7.20	3.56	-11.58	3.50	-3.32	1.58	-4.66	0.78	-3.54	1.16	-4.74	0.96	-3.52	0.90
14	-2.16	1.07	-2.01	1.01	-1.48	0.84	-2.60	1.06	-6.39	2.06	-2.36	0.87	-3.62	0.62	-3.25	1.11	-4.64	1.21	-3.22	0.55
	-2.74	1.65	-2.42	0.98	-2.27	1.25	-3.04	1.22	-7.32	2.02	-2.72	0.92	-4.10	0.96	-3.33	0.83	-4.51	0.98	-3.35	0.51
15	-1.59	0.83	-1.83	1.11	-2.10	1.03	-2.16	0.86	-6.29	1.85	-1.79	0.74	-3.86	0.64	-2.79	0.85	-4.73	1.14	-3.12	0.51
	-3.57	1.54	-2.59	1.56	-3.65	1.21	-3.96	1.64	-8.60	1.97	-5.08	2.10	-5.37	1.80	-4.67	1.83	-4.51	0.98	-3.68	0.87
16	1.43	0.42	0.74	0.59	1.29	0.29	0.40	1.53	-5.10	1.35	2.34	0.36	-0.36	0.56	0.07	0.31	-2.98	0.72	-1.72	0.50
	0.94	0.43	0.16	0.36	1.16	0.32	-0.08	2.32	-5.58	1.81	1.12	0.36	-1.03	0.38	-0.62	0.32	-2.76	0.72	-2.13	0.55
17	6.76	1.13	7.42	1.27	8.05	1.00	6.80	1.23	0.74	1.49	8.35	0.95	5.64	0.82	6.64	0.64	3.35	1.57	3.19	1.18
	2.80	0.68	4.00	1.04	2.64	0.50	2.38	0.56	-1.99	1.25	3.78	0.76	2.10	0.42	2.74	0.62	0.43	1.57	0.69	0.86
18	10.13	1.16	8.42	0.80	9.50	0.62	8.02	0.62	2.87	1.36	8.15	0.49	6.50	0.41	7.71	0.75	3.70	1.35	3.34	1.09
	3.00	0.72	4.92	0.66	4.07	0.42	3.67	0.60	-3.32	2.30	4.58	0.49	2.87	0.44	3.50	0.69	0.66	1.21	1.22	0.97
19	17.30	3.01	14.37	1.18	17.40	2.27	13.92	2.26	7.87	3.26	16.32	1.96	14.87	1.37	14.68	1.80	11.09	1.73	8.63	2.18
	5.96	0.77	6.06	1.06	5.65	1.25	5.08	1.31	0.05	1.81	5.47	0.65	4.74	0.38	5.32	0.74	2.25	1.42	2.07	0.77
20	14.80	1.60	12.08	1.40	12.50	2.69	9.80	1.36	2.70	1.98	11.12	0.76	3.97	0.79	8.97	1.24	2.83	1.43	6.43	1.32
	10.24	1.36	10.42	0.61	10.50	0.74	7.75	1.79	2.94	0.56	9.44	0.66	8.40	0.59	11.29	2.23	6.34	1.41	3.00	1.13
21	13.07	2.02	21.00	2.31	14.40	2.46	11.68	1.88	7.21	1.64	13.34	1.32	12.82	1.13	16.76	2.18	13.72	2.85	9.43	2.91
	16.59	2.38	15.90	2.40	16.30	2.31	13.42	2.36	2.86	1.68	12.76	2.44	11.53	2.58	14.18	3.23	9.12	2.18	12.32	2.14
22	2.81	1.13	3.80	0.99	3.10	0.72	2.82	1.39	-1.20	1.63	3.97	1.23	2.26	1.43	2.19	1.34	-0.02	1.19	0.43	1.36
	1.98	0.76	2.09	1.12	2.28	0.65	2.30	0.94	-4.77	2.31	2.91	1.66	0.68	1.38	0.88	1.23	-2.08	1.52	0.02	1.16
23	3.72	1.26	2.93	1.89	4.15	2.07	2.84	1.36	-3.23	2.42	4.81	1.83	1.84	1.28	1.60	0.83	-1.50	1.43	-0.69	1.23
	1.83	0.86	1.44	1.08	2.87	1.25	2.28	0.80	-2.33	1.46	3.23	1.26	1.05	0.90	0.69	0.71	-1.67	1.07	-0.57	1.03
24	8.35	1.50	8.13	1.62	9.10	1.37	8.96	2.89	1.28	1.54	5.93	0.87	5.03	0.92	5.26	0.68	4.08	1.18	3.69	2.05
	6.62	2.38	4.87	1.10	9.70	1.18	5.29	1.89	-2.09	2.20	3.73	0.96	2.31	0.94	2.92	1.10	0.43	1.33	0.80	1.60
25	10.39	1.35	8.92	1.41	9.25	0.76	7.16	2.46	0.54	1.42	8.32	1.38	7.52	1.71	7.68	2.58	4.09	2.00	2.58	1.42
	7.83	1.84	5.64	1.19	8.50	1.70	6.80	1.39	-1.91	3.21	5.05	0.88	3.44	1.06	4.01	1.28	0.37	1.54	1.02	1.19
26	-1.05	0.42	-3.16	0.65	-1.84	0.64	-2.21	0.42	-4.95	1.31	-2.31	0.37	-3.95	0.83	-3.94	0.67	-5.96	1.19	-4.64	0.66
	-8.00	1.56	-8.53	1.03	-7.80	1.83	-7.98	1.77	-12.32	1.64	-9.06	0.86	-10.76	1.30	-10.26	1.82	-8.65	1.25	-6.67	0.77
27	-1.03	0.50	-1.21	0.70	1.62	1.05	-1.72	0.66	-7.47	2.03	-0.79	0.44	-2.32	0.52	-2.19	0.75	-4.02	0.70	-2.69	0.74
	-6.83	1.78	-0.56	0.31	-6.82	1.77	-5.03	1.92	-4.31	1.04	-0.60	0.32	-2.81	1.01	-1.54	0.44	-3.88	1.01	-2.95	0.49

Table 3. The total charge of contact electrification in both sureface

No.	M ₁	M ₂	Aℓ	PE ₄	PS ₁₂	PA ₁₄	PP ₁₇	PP ₂₀	PEF	PET	総和	区分
1	21.16	22.12	19.60	16.20	7.46	24.41	22.39	24.61	16.14	12.87	186.96	PE ₁
2	19.66	20.86	18.11	15.93	9.03	21.44	15.55	17.55	9.40	8.13	155.66	PE ₂
3	26.22	25.79	26.75	18.96	10.72	23.77	19.82	22.22	13.79	11.31	199.37	PE ₃
4	21.31	31.53	23.55	19.38	13.26	27.50	24.55	28.93	21.91	15.97	227.89	PE ₄
5	6.38	6.65	8.89	9.10	- 1.56	11.06	6.65	7.19	- 2.97	- 1.26	50.13	PVC ₁
6	1.56	0.17	1.65	0.39	- 9.33	1.65	- 2.82	- 1.91	- 7.13	- 4.78	- 20.05	PVC ₂
7	1.48	1.71	2.26	2.16	- 11.47	4.26	- 3.90	0.10	- 5.79	- 3.29	- 12.48	PVDC ₁
8	2.78	0.84	2.63	1.88	- 7.07	2.31	- 1.43	- 0.58	- 5.86	- 3.80	- 8.30	PVDC ₂
9	0.09	- 2.78	0.04	- 0.74	- 8.28	- 0.71	- 3.93	- 3.40	- 8.87	- 6.59	- 35.17	PVA ₁
10	- 0.16	- 1.78	- 0.24	- 1.42	- 11.33	- 0.36	- 5.34	- 3.93	- 7.78	- 5.48	- 38.82	PVA ₂
11	8.81	7.42	9.76	9.63	- 1.37	10.78	8.26	7.85	- 0.70	1.57	62.01	PS ₁
12	22.40	22.42	20.55	15.82	7.55	23.59	17.90	17.43	11.42	8.30	167.28	PS ₂
13	- 9.13	- 3.44	- 9.60	- 8.95	- 16.85	- 4.74	- 7.37	- 5.76	- 9.01	- 6.60	- 81.45	PA ₁
14	- 4.90	- 4.44	- 3.75	- 5.64	- 13.71	- 5.07	- 7.73	- 6.58	- 9.15	- 6.57	- 67.54	PA ₂
15	- 5.16	- 4.42	- 5.75	- 6.12	- 14.89	- 6.86	- 9.23	- 7.46	- 9.24	- 6.80	- 75.93	PA ₃
16	2.37	0.90	2.45	0.34	- 10.68	3.45	- 1.40	- 0.55	- 9.34	- 3.85	- 16.31	PP ₁
17	9.56	11.42	10.69	9.19	1.25	12.14	7.74	9.38	3.78	3.88	79.81	PP ₂
18	13.13	13.34	13.57	11.70	- 0.45	12.67	9.37	11.21	4.36	4.56	93.46	PP ₃
19	23.26	20.43	23.05	19.01	7.92	21.80	19.61	20.01	13.34	10.70	189.13	PP ₄
20	25.04	22.50	23.00	17.55	5.64	20.56	12.37	20.26	9.17	9.43	165.52	PP ₅
21	29.65	36.90	30.70	25.10	10.07	26.11	24.34	30.95	22.84	21.75	258.41	PEF
22	4.80	5.89	5.41	5.13	- 5.97	6.88	2.95	3.06	- 2.10	0.45	26.50	PVDF ₁
23	5.55	4.37	7.02	5.13	- 5.56	8.04	2.89	2.29	- 3.17	- 1.26	25.30	PVDF ₂
24	14.97	13.00	18.80	14.25	- 0.91	9.66	7.33	8.18	4.51	- 4.49	94.28	PET ₁
25	18.22	14.56	17.75	13.97	- 1.37	13.37	10.96	11.69	4.46	3.61	107.22	PET ₂
26	- 9.02	- 11.69	- 9.64	- 10.19	- 17.26	- 11.37	- 14.72	- 14.21	- 14.61	- 11.31	-124.02	PC
27	- 7.86	- 1.77	- 5.20	- 6.75	- 11.79	- 1.40	- 5.13	- 3.73	- 7.90	- 5.64	- 57.17	AC
Σ	242.17	252.50	252.05	191.01	- 76.95	254.94	149.68	194.80	31.50	49.79		

Table 4. Mean charge value of contact electrification for polymer substance

	M ₁	Aℓ	M ₂	PE	PS	PA	PP ₁₇	PP ₂₀	PEF	PET	Total
PE (1.2.3.4)	22.09	25.08	22.00	17.62	10.12	24.28	20.58	23.32	15.31	12.07	192.47
PVC (5.6)	3.96	3.46	5.27	4.74	- 5.44	6.36	1.92	2.64	- 5.05	- 3.02	14.84
PVDC (7.8)	2.26	1.28	2.44	2.02	- 8.27	3.28	- 2.66	- 0.24	- 5.82	- 3.54	- 9.25
PVA (9.10)	- 0.04	- 2.28	- 0.10	- 1.08	-10.30	- 0.54	- 4.64	- 3.66	- 8.32	- 6.04	- 37.00
PS (11.12)	15.60	14.92	15.16	12.72	3.09	17.18	13.08	12.64	5.36	4.94	100.65
PA (13.14.15)	- 6.40	- 4.08	- 6.37	- 6.90	-15.15	- 5.56	- 8.11	- 6.60	- 9.13	- 6.66	- 74.96
PP (16~20)	14.67	13.72	14.55	11.56	0.74	14.12	9.52	12.06	4.26	4.94	100.14
PEF (21)	29.65	36.90	30.70	25.10	10.07	26.11	24.34	30.95	22.84	21.75	258.41
PVDF (22.23)	5.18	5.13	6.22	5.13	- 5.76	7.46	2.92	2.68	- 2.63	- 0.40	25.93
PET (24.25)	6.60	13.78	18.28	14.11	- 1.14	11.52	9.14	9.93	4.48	4.05	100.75
PC (26)	- 9.02	-11.69	- 9.64	-10.19	-17.26	-11.37	-14.72	-14.21	-14.61	-11.31	-124.02
AC (27)	- 7.86	- 1.77	- 5.20	- 6.75	-11.79	- 1.40	- 5.13	- 3.73	- 7.90	- 5.64	- 57.17
Total	86.69	94.45	86.55	68.08	-51.09	91.44	46.24	65.78	- 1.21	11.14	

値を示していることが分り、又帯電は物質の構造によって定まると考えられる。接触面側で考え、縦に総和を取って表3の最下欄に記す。この値は対接触面による違いの総平均的なものを与えている。これによると $M_1 \cdot M_2 \cdot A\ell$ が殆ど同じ値を示していることは、金属に対する帯電量はほぼ一定であり、又本実験で半年の間の時間間隔をおいても余り変化ないことを示している。次に表3の最右端に各フィルムの種類別記号で現わすと12種のフィルムに分類することが出来る。この同種のものはまとめて平均し物質による帯電量の表を作ると表4となる。そこで各接触面毎の帯電量の大小

きを図4のように作って図5に示す。この線の順序は表4の各対接触面毎に縦に総和を作りこの値の大きなものから順に上方へ並べた。同種のフィルム間には各ラインの上で点線で結んだ、ここでは図4とは逆に右方に正の値を取っているので配列は逆になっている。この図を見ると点線で結ばれた各点が下より上に向かって次第に左にずれて行くのが分る。又同一ライン上の各点はそのフィルムと各フィルムの接触帯電の大きさを与えるものであり、この並びはどの対接触面についても同一であることが点線に交はりのないことから云える。これはどの対接触面を用いても帯電列に変化のないことを示す。

次に表2の各フィルムのデータの上下の値即ち表裏の値の差を取って表にする(表5)これにより各フィルムの表裏の帯電の様子がわかる。この値の大きいフィルム例えば、No.3, No.5, No.11, No.18, No.19等は明らかに表裏に大きな帯電差の見られるものであり、これ等は既にフィルムの表面状態が表裏で大きく違っているものである。表面状態は一見同一のフィルムのみ使っているので、この原因としてはフィルム成形時の延伸等による方向性をもったエレクトレットを作っているフィルムではないかと考えられる。今表5の値を試料毎に横に加えて平均を作り、この平均値と標準偏差を右欄に書く、この平均値が3以上のもの

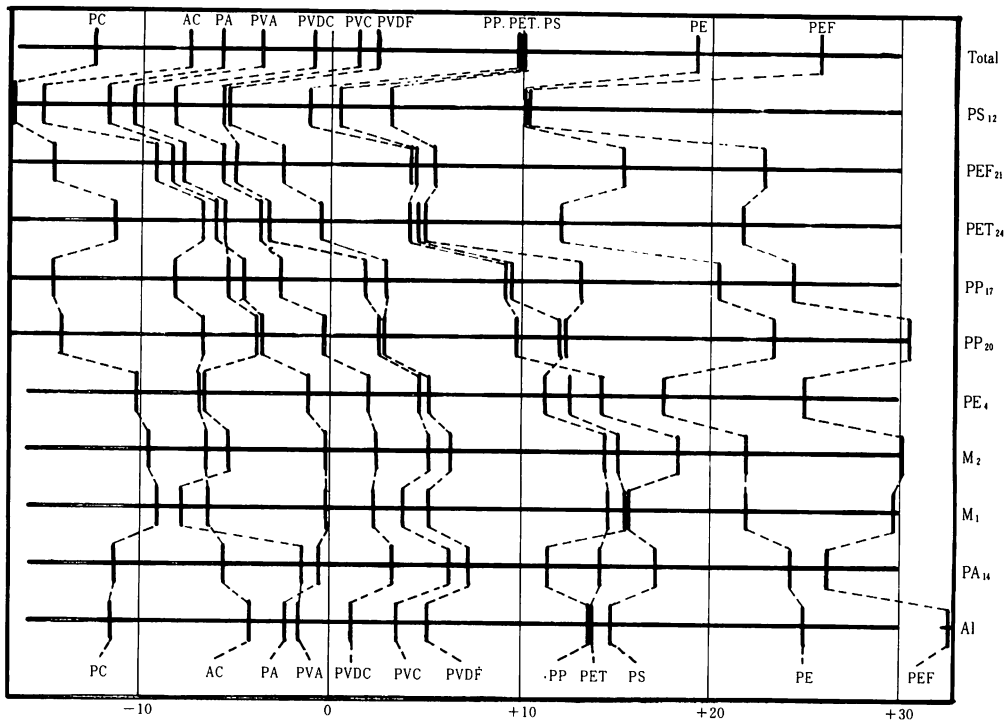


Fig.5 Contact electrification Serieses

ははっきり表裏の差のあるものと考えられるのでこのようなフィルムには表5の右端に↑で示した。又特に平均値の値が偏差の2倍以上のものについては表裏の差の更にはっきりあるものとして↑↑で示した、又両面差の平均値が偏差値より小さなものには○を、更に偏差値のより小さいものには◎をつけた。これ等の試料は両面差のない即ち表裏の区別ない試料と考えられる。平均は小さいが偏差が大きな値を示している試料については、各データの変動が大きい事を示しており必ず

しも両面差の小さいフィルムを与えているものではない。例えば No.20, No.21, No.27等はこれである。

対接触面として使用したフィルムにはこの欄に△で示した。この備考欄の記号は今後の議論およびフィルムの取扱について種々参考になるのでここに掲げておく。

表1と対応して見ると表裏の差異のあるものは延伸フィルムに多いように見える。これは前報にて論じたように加工成形の際に機械的に帯電して

いるものではないかと思われる。

5. 結果の検討

帯電列： 図4で与えた接触帯電列は本実験の多くの測定の集計として一応信ずべき値を与えているものと思われる、又個々の結果も大きな矛盾なく見えるので、この図4を本実験で得られた最終的な個々の物質に対する接触帯電列と考え従来の摩擦帯電列と比較して見よう。摩擦帯電列については古くから多くの人々の測定がなされているが、単に二物体間の帯電の極性によって順に並べて行くため、測定者により被測定物質の違う時には全く比較出来ず、多数の実験結果は発表されているが相互の関連をつけることは出来ず結果はばらばらである^(8~11)、しかし本実験結果と比較して見るとこれ等多くの実験と矛盾することなく極めて良く一致しているものと思われる。又本測定の序列は定量的な帯電列を与えている点に大きな意義がある、図4の2物体を取りあげ摩擦帯電を考えた場合左側にあるものが負、右方のものは正に

帯電することを、2, 3確めた例えば No.24, と No.17を摩擦した場合 No.24側は負に No.17は正に帯電した、又 No.11, と No5の実験でも No.11が負に No.5が正に帯電することが確められた。

物質構造による帯電列：図4の下に結んだように同一種類の物質はほぼ同じ位置におかれていることが分る。但し PEにおける No.2,PPの No.16, PSの No.11, と No.12, PVCの No.5と No.6のようになりに違った値を与えるものもある。これはフィルム成型に当って種々の添加剤、可塑剤等が加えられているので、その影響は当然どのフィルムの場合にも考えなければならないが、その影響の非常に強く現はれたものと思われる。しかし表4のように物質により纏めて考えて図5のような傾向が見られることは、物質本体で一つの帯電傾向が見られると考えられる。図5の最上部の系列を物質による帯電準位と考え構造との関係を見ると左方にある、PC, PAにはカルボニル基(C=O)が又 AC, PVAには水酸基(OH)が含まれているのに気付く、もっとも C=O 基のある PETの場合は

Table 5. Charge difference of contact electrification in both surefaces

対極 試料	M ₁	M ₂	Al	PE (No.4)	PS (No.12)	PA (No.14)	PP (No.17)	PP (No.20)	PEF (No.21)	PET (No.24)	平均 (Mean)	偏差 σ	特性
1	6.89	5.10	3.92	2.70	0.65	5.65	5.18	3.03	-1.16	0.53	3.25	2.59	↑
2	0.96	3.41	7.24	2.02	4.91	3.56	3.03	8.72	-7.10	4.20	3.10	4.26	↑
3	15.26	11.05	4.00	8.84	5.99	8.65	7.47	7.33	1.33	1.67	7.21	4.29	↑
4	2.86	1.75	1.11	-0.78	1.86	0.03	0.40	-2.60	0.53	1.69	0.68	1.56	◎△
5	3.00	4.91	3.65	5.10	3.44	6.12	5.50	6.40	2.87	3.80	4.48	1.29	↑↑
6	0.34	0.05	0.07	-0.19	-2.28	0.04	-0.33	-0.07	0.29	0.22	-0.19	0.76	◎
7	2.88	0.81	1.15	1.50	0.90	1.51	0.99	1.53	1.55	0.81	1.36	0.62	↑
8	0.26	0.78	0.13	0.20	0.96	0.03	0.37	0.06	-0.04	-0.02	0.28	0.34	○
9	0.27	-0.05	0.92	0.04	-0.71	0.02	-0.31	-0.21	-0.99	-0.30	-0.13	0.52	◎
10	0.08	-0.17	0.61	-0.66	-2.93	-0.02	0.03	0.46	0.10	0.30	-0.22	1.01	◎
11	6.28	6.24	5.19	6.67	2.62	5.05	5.84	6.45	3.96	4.47	5.28	1.29	↑↑
12	5.00	6.95	0.90	3.78	-0.07	-0.29	-0.21	-0.11	-0.70	0.08	1.53	2.70	○△
13	0.96	2.56	0.42	5.44	6.31	1.89	1.95	1.32	0.47	0.44	2.18	2.09	
14	0.57	0.79	0.41	0.45	0.93	0.36	0.47	0.07	-0.13	0.13	0.41	0.32	△
15	1.98	1.55	0.75	1.81	2.32	3.29	1.52	1.87	-0.22	0.56	1.54	0.98	
16	0.49	0.14	0.58	0.51	0.49	1.22	0.67	0.70	-0.12	0.41	0.51	0.35	
17	3.96	5.14	3.42	4.42	2.68	4.58	3.54	3.89	2.92	2.50	3.70	0.86	↑↑△
18	7.13	5.43	3.50	4.56	6.19	3.57	3.63	4.22	3.04	2.12	4.34	1.52	↑↑
19	11.35	11.75	8.31	8.84	7.83	10.85	10.13	9.36	8.84	6.56	9.38	1.64	↑↑
20	4.56	2.00	1.66	2.05	-0.24	1.68	-4.42	-2.32	-3.51	3.43	0.49	3.00	◎△
21	-3.52	-1.90	5.11	-1.75	4.35	0.58	1.29	2.58	4.60	+2.89	1.42	3.02	◎△
22	0.83	0.85	1.71	0.52	3.58	1.06	1.57	1.31	2.06	0.41	1.39	0.93	
23	1.89	1.28	1.50	0.56	-0.91	1.58	0.80	0.91	0.17	-0.12	0.77	0.87	
24	1.73	-0.60	3.26	3.67	3.38	2.20	2.72	2.33	3.65	2.89	2.52	1.27	△
25	2.56	0.75	3.28	0.36	2.45	3.28	4.07	3.67	3.72	1.44	2.56	1.30	
26	6.93	5.96	5.36	5.76	7.67	6.75	6.81	6.32	2.69	2.03	5.63	1.85	↑↑
27	5.80	8.44	-0.64	3.31	-3.16	-0.19	+0.49	-0.65	-0.14	0.26	1.48	3.41	◎

右方に入っているが、その他の右方にあるものは水素基又は置換されたハロゲン基をもっている。本測定から構造的な議論をするには試料も少なく系統的な測定もされていないので今後の問題とするが、本実験データからは、カルボニル基、水酸基を有するものは十側に、水素基ハロゲン基を有するものは負側に帯電すると思われる。又試料 No.22, No.23は PVDFであり No.21は(C_2H_4)と(C_2F_4)の共重合体で構造的には共に($C_2F_2H_2$) n で現われ同じ筈であるが、帯電量として大きな違いがあり、No.9とNo.10においてもNo.10は(C_2H_3OH)と(C_2H_4)の共重合体であるのにNo.9の(C_2H_3OH) n と殆ど同じ値を示している。このようなことは構造と同時に表面における微細構造が影響していると考えられる。今後は系統的に種々の

フィルムを使い又自作して、この問題に取り組んで行きたいと思う。

同一フィルム間の帯電の補正：

本実験において基本的に図1の原理により接触平衡による平衡ポテンシャル維持の為に帯電が生ずると考えれば物一物の同一面に於ては帯電発生はない筈である。而し表2を見ても特にOになっているとは見受けられない。

これは何らかの原因によって接触帯電以外の電荷を本測定器により測定していると考えなければならぬ。そこでその原因として、先づ試料が測定以前に帯電している場合を考える。

表面に発生した二重層による電荷のみでなくその試料内部にある電荷も一諸に測定していることになるのでその分の補正が必要と思われる。次に電極側に被せたフィルムによって測定器の電極に電位が生ずる場合が考えられる。今これらの事を調べる為に対接触面に使用したフィルムの中のデータを集めて表6にまとめると、7行7列の行列式のようになる。この内主対角線要素である回 $\square$ の個所は本実験の基本的考えから行けば零になるべきものである。この相違を初めの考え即ち測定試料の帯電と考えたと横列で補正すべきであり、被覆フィルムの影響と考えるならば縦列で補正すべきである。従ってこの2つの場合について補正を行ない。更にこの行列が見易くなるよ

Table 6. Total charge of contact electrification of selected sample

	4	12	14	17	20	21	24
4	$\square$ 19.37	13.26	27.49	24.55	28.93	21.91	15.97
12	15.82	$\square$ 7.55	23.59	17.89	17.43	11.42	8.30
14	-5.65	-13.72	$\square$ -5.08	-7.73	-6.58	-9.15	-6.57
17	9.19	-1.25	12.13	$\square$ 7.74	9.39	3.78	3.88
20	17.55	5.64	20.56	12.40	$\square$ 20.26	9.17	9.43
21	25.11	10.07	26.11	24.35	30.94	$\square$ 23.28	21.75
24	14.25	-0.80	9.66	7.34	8.18	4.51	$\square$ 4.49

Table 7. Total charge of contact electrification of selected sample

	4	12	14	17	20	21	24
4	0	-6.11	8.12	5.18	9.56	2.54	-3.40
12	8.27	0	16.04	10.34	9.88	3.87	0.75
14	-0.57	-8.64	0	-2.65	-1.50	-4.07	-0.92
17	1.45	-8.99	4.39	0	1.65	-3.96	-3.86
20	-2.71	-14.62	0.30	-7.86	0	-11.09	-10.83
21	1.83	-13.21	2.83	1.07	7.66	0	-1.53
24	9.76	-5.29	5.17	2.85	3.69	0.02	0

Table 8. Total charge of contact electrification of selected sample

	4	12	14	17	20	21	24
4	0	5.71	32.57	16.82	8.67	-1.37	11.48
12	-3.55	0	28.67	10.15	-2.83	-11.86	3.81
14	-25.02	-21.27	0	-15.47	-26.84	-32.43	-11.06
17	-10.18	-8.80	17.21	0	-10.87	-19.50	-0.67
20	-1.82	-1.91	25.64	4.66	0	-14.11	4.94
21	5.74	2.52	31.19	16.61	10.68	0	17.26
24	-5.12	-8.35	14.74	-0.40	-12.08	-18.77	0

Table 9. Total charge of contact electrification of selected sample

	12	24	21	4	17	20	14
12	0	0.75	3.87	8.27	10.34	9.88	16.04
24	-5.29	0	0.02	9.76	2.85	3.69	5.17
21	-13.21	-1.53	0	1.83	1.07	7.66	2.83
4	-6.11	-3.40	2.54	0	5.18	9.56	8.12
17	-8.99	-3.86	-3.96	1.45	0	1.65	4.39
20	-14.62	-10.83	-11.09	-2.71	-7.66	0	0.30
14	8.64	0.92	-4.07	-0.57	-2.65	-1.50	0

Table 10. Total charge of contact electrification of selected sample

	21	4	12	20	17	24	14
21	0	5.74	2.52	10.68	16.61	17.26	31.19
4	-1.37	0	5.71	8.67	16.82	11.48	32.57
12	-11.86	-3.55	0	-2.83	10.15	3.81	28.67
20	-14.11	-1.82	-1.91	0	4.66	17.26	31.19
17	-19.50	-10.18	-8.80	-10.87	0	-0.67	17.21
24	-18.77	-5.12	-8.35	-12.08	-0.40	0	14.74
14	-32.43	-25.02	-21.27	-26.84	-15.47	-11.06	0

うに順序を入れ換えたものも加え4個の表表7, 表8, 表9, 表10で示す。この値が二重層分離による電荷のみを表わすならば, すべてこの行列の対称要素は符号が反対で大きさが等しいものでなければならぬ。表9, 表10を較べて見ると表10ではかなり良い対称性が見られる。表9では符号の対称性はかなりあるが数値的には大きく乱れていると思う。この事より被覆フィルムによる影響と考えこれを除去した表10の結果は二重層分離による電荷を与えているものとする。この対称要素の絶対値の和を取りその二種フィルム間に出来る接触帯電の大きさと考え表にする(表11), この表

Table 11. The value of contact electrification between each film

21	4	12	20	17	24	14	21→14	
0	7.11	14.38	24.79	36.11	36.03	63.62	63.62	21
	0	9.26	10.49	27.00	16.60	57.59	64.70	4
		0	4.74	18.95	12.16	49.94	64.32	12
			0	15.53	29.34	58.03	82.82	20
				0	1.07	32.68	68.79	17
					0	25.80	61.83	24
						0	63.51	14

の縦横の交点はそれぞれのフィルム間に発生する接触帯電の大きさである。今21→4, では7.11, 4→12では9.26を与えているこれ等順次に足して14迄行くとその総和は63.51になった, この値を表の一番右端の下に書いた。同様に21→14間を和の形で求める21→24, 36.03に24→14の25.80を加えると61.83となるこれを下から2列目に記した, 以下順次同じように和をとったものを21→14の項で現わした。この結果を見るとどの値を見ても非常に良く一致していることに驚かされる。この結果から接触帯電の大きさは接触面間の電位差で現わされていることを証明するものと思われる。即ち各フィルムはそれぞれの表面電位を有し, 接触させた時にはその表面電位の違いに相当するだけの電荷が流れ込み帯電となる, この表11の電荷に相当するもので帯電列を作って見ると図6になる。この図を前の図4と対応させて見ると極めて良く一致していると考えられる。横への補正の結果は良い関係を示していないので,

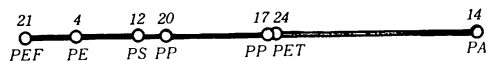


Fig. 6 Contact electrification series from Table. 11

この測定への影響は電極側フィルムによって起っていると考えると旨く説明出来るが, この原因はよく調べなければいけない。

ま と め

本報告は初めに述べた通り種々高分子物質間の接触帯電の帯電量の定量的測定により相互間の関連を調べるのを目易として行なったものであるが, 各測定値でなく平均的な値しか使えなかったことにより, 直接的な結果は出せなかったが, 大体以前の実験より予想していたことと矛盾なく。かつ量的な結果も得られたので更に研究を続けた。図4の接触帯電列は充分信頼出来るものであり。帯電はその物体固有のものであり, 環境や表面汚れ, 接触対称物による影響は2次的なものであると思われる。又物体固有のものとしてもその主構造体の化学構造によって定まり, 添加物等の影響は2次的なものと考えられる。物質として纏めて1つの傾向が見られる図5においてまとめて議論出来る。物質の化学的構造や配位による帯電の議論はこれ迄も多くの人々によってなされている⁽¹²⁻¹⁵⁾。

本研究もそれを目的として進めて来ているので当然その方向に向うが, 未だ系統的な取扱に至っていないので結論は出せないが, 他の測定結果と一致している所が非常に多い。これは今後化学構造と帯電の関係を明確にしようとする研究方針を力づけるものである。

又最近の論文⁽¹⁰⁾によれば帯電列と誘電率との比例関係を出しているが本実験の配列とかなり良く一致している。又前に述べたNo. 21のPEFとNo. 22, No. 23, のPVDFの大きな違いも, PEFとPVDFの誘電率の違いと考えると旨く説明出来る。表5における各フィルムの特性は今後構造的な研究を進めて行く為に大事な参考資料になるものと思う。表11および図6で現われた結果は余りにも良い数値でいさゝか信用し難く, 平均を取り演算を行なっていった, たまたまの一致ではないかとも思われるが, 期待していた結果と非常に良く一致したことは誠に好しく, 更に実験を進め確かめて行きたい。又被覆フィルムによる電位計のずれの原因も明確にして行かねばならぬと思う。以上のように予想した方向の結果を得たことは, 本測定に自信を得たので更に実験を進めて行きたいと思う。個々の測定値が直接比較出来る個々のデータから直接結論の出せる方向に向って今後の実験計画を進めて行こうと思う。

お わ り に

本実験は前報に述べたように帯電量の定量的測定を行ない各高分子材料の構造的な研究を目的に行なったもので、測定条件として雑音の除去、平衡にもつて行く忍耐と種々の問題があるが、根気よく測定を助けてくれた本校技術員藤田茂雄氏の協力によりまとめられたことと学会の度毎に^(16~18)御激励、御指導下さいました。高分子学会静電学分科会のメンバーの皆様のはげましによるもので、ここにデータの散逸を防ぎ、まとめ得たことを深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 上田 実 外, 静電気の基礎, 朝倉書店 (1971)
- 2) 村崎憲雄 静電気入門, 朝倉書店 (1968)
- 3) 静電気ハンドブック, 地人書館 (1964)
- 4) 橘高重義 プラスチックの帯電防止, 日刊工業新聞社 (1961)
- 5) 増田閃一 最近の静電気工学 KHKE 066 (1974)
- 6) 吉田元郎 苫高専紀要, **7** (1972), 42
- 7) 吉田元郎 苫高専紀要, **11** (1976), 7
- 8) 篠原 功 高分子, **16** (1967), 347
- 9) 橘高重義 プラスチックの帯電防止 (1961) 30
- 10) C. F. Gallol, W. L. Lama, J. of Electrostatics **2** (1976) 145
- 11) 葛西昭成 高分子, **16** (1967) 324
- 12) 篠原 功 工化 **62**(1966)690, 1351, 工化 **71**(1968) 1218, 工化 **73** (1970) 1660
- 13) Shashoua J. Plymer Sci. **33** (1958) 65
- 14) Shashoua J. Pohmer Sci.Part **A1**. (1963) 169
- 15) Shinopara J. Electrostatincs **2** (1976) 97
- 16) 第 20 回静電気研究発表会 (1975) 講演要旨 19
- 17) 第 21 回静電気研究発表会 (1976) 講演要旨 9
- 18) 第 22 回静電気研究発表会 (1977) 講演要旨 7

(昭和 52 年 12 月 1 日受理)

