

放射性同位元素による静電気の除去についての研究(第4報)

— 油の帯電除去 —

防 爆 課 坂 主 勝 弘 田 中 隆 二
電 気 課 上 月 三 郎 児 玉 勉
 田 畠 泰 幸*

Research on Elimination of Static Charges by the Use of Radioisotopes

(4th report)

— Elimination of Static Charges in Oil —

by K. Sakanushi
R. Tanaka
S. Kohzuki
T. Kodama
Y. Tabata

Our previous work¹⁾, using radioisotopes, has indicated that it is likely to be possible to eliminate the static electricity in various charged materials. In this paper the writers describe that there is a possibility of charge eliminating in "kerosene" by β ray.

β -ray source, ^{90}Sr — ^{90}Y with a intensity of nominal 20 millicuries is used in this experiment and the test oil is charged with static electricity by a device shown in Fig. 1.

Although experimental data were varied according to a day of the work, those data show qualitatively that, an essential problem of eliminating mechanism depends largely upon the intensity of the radioactive source and does not upon the initial charge given in the oil. It was found also that the eliminating efficiency with charged oil is nearly equal to that reported with the charged powder.

Following the results, the writers, as the next step, will further study essential conditions for eliminating static electricity in a simple charged system constructed with the knowledge of experimental data so far obtained for vinyl sheet, powder and oil. Experiments are now under way to develop a practical eliminator using a radioisotopes.

1 ま え が き

各種物体に帯電している静電気を除去する方法として、筆者らは放射性同位元素(以下単にRIと記す)が有する空気電離作用によって、帯電している静電気を中和する(結果的に静電気を除去したことになる)方法に着眼し、過去ビニル・シートに帯電している表面帯電電荷、及び粉体に帯電している体積分布電荷の除去について、その基礎的実験を行ない報告した¹⁾。今回は油(白灯油)に帯電している静電気を、同様な原理で除去する目的のために実験を試みたところ、油の除電機構を解明する手がかり、および線源の強さと除電効率との関係等について、興味ある結果を得たので、これらについて報告する。

2 実験装置並びに実験方法

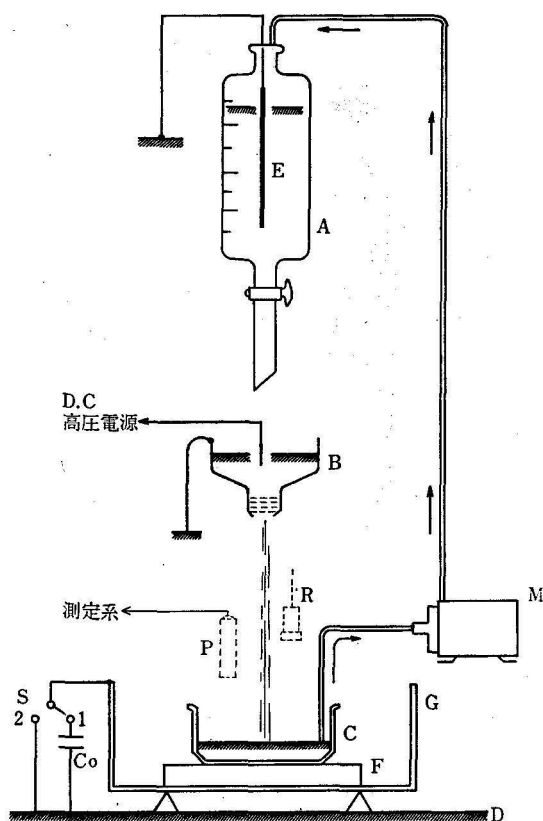
2.1 実験装置

この実験に用いた装置は図-1に示すものである。なおこの実験に使用する油としてはその特性(引火点、蒸気圧、導電率等)を検討した結果、油に帯電した静電気を除去する実験としては、白灯油が好ましく²⁾、また現場での使用頻度も高いので、今回の実験には市販されている白灯油を用いた。その主たる物性定数は表-1に示すとおりである。

2.2 油への帯電

油をほぼ均一に帯電させるために、図-1に示す実験装置によって行なった。すなわち電荷を帯びていない油が満たされているガラス製分液ロートAから毎回一定量ずつ油を金属製ロートBの中へ落下させた。この金属ロートには図-2に示されているように吐出口の部分に金

* 東京電機大学講師



A: ガラス製分液ロート B: 金属性ロート
C: 油受け容器 D: 金属板 E: 接地棒
F: パラフィン G: 金属性箱 M: 油もどし
ポンプ P: 測定プローブ (油落下後にセット)
R: 放射線源 (油落下後にセット) S: スイッチ

Fig.1 Experimental equipment.

Table-1 Physical constants and distilling ingredients of test oil

比 重	0.7912	蒸溜温度	172°C 初溜
引 火 点	57°C		182°C 10%
色	30°以上		212°C 50%
硫 黄 成 分	0.01%		219°C 90%
体積固有抵抗	$2 \sim 3 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$		232°C 90%
			232°C 100%

属性網 (ステンレス製, タイラーメッシュ200, 50枚積層) がもうけてあり, 油がこの網目を通過する時, 負 (-) に帯電するものである。負の帯電量を増加させるため図-1のように, さらに直流高圧電源によって負 (-) の電圧を供給した³⁾。この時油は自然落下によっており網目を通過する速さは約 2.8 l/min cm^2 である。

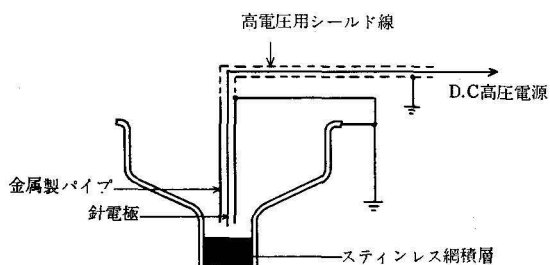


Fig.2 Structure of metal funnel for generating static charges in oil.

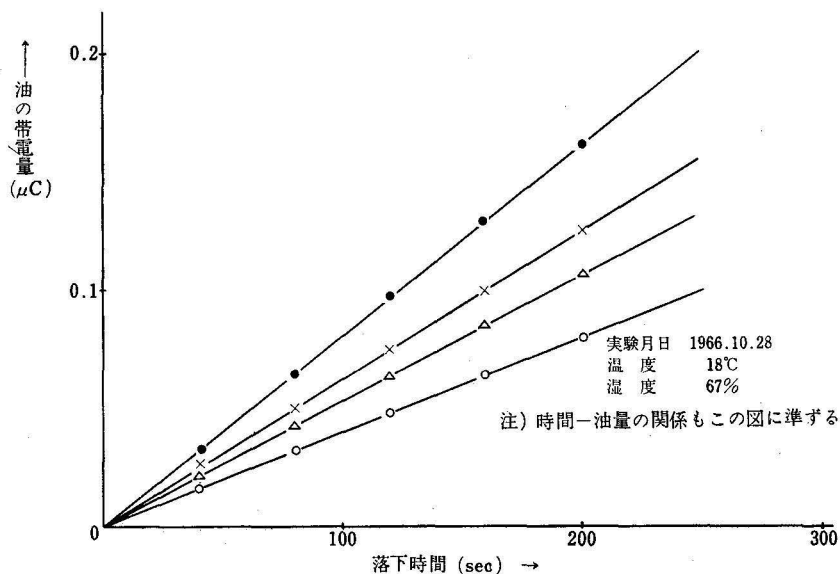


Fig.3 Charging characteristics of oil falling through metal funnel.

以上のようにして帯電した油を金属製容器 C で受けた。容器の中へ落下した油の量と帯電量とは実験結果図-3に示すごとくファラデー・ケージで測定すると時間に対して比例関係となっている。これより落下中は油がほぼ均一に帯電しているものと思われる。

なおこれらの実験データは図-3にも示されるように単位時間当りの帯電量は異なっているが約20回程度のくり返し実験すべてが、このように時間と比例関係になっている。ただしこの時容器内に落下した油が均一に静電気を帯びた状態で維持されているかどうかは確認していない。

2.3 β 線源と照射方法

放射線による除電の原理から考えて、油中に浮遊する静電荷まで除電しうるか否かについての問題があるので、本実験においては、過去の実験結果において比較的除電効率の良かった線源 (^{90}Sr , β 線源) をとりあえず使

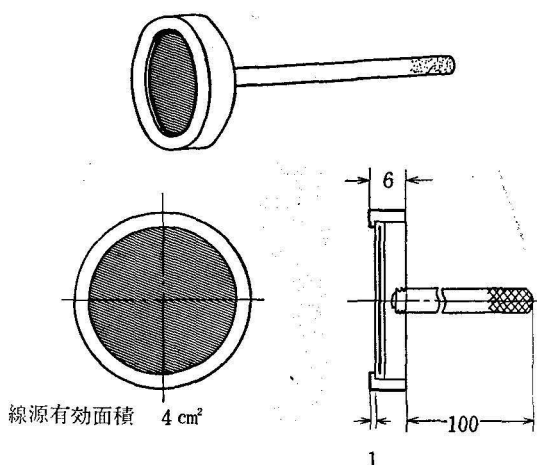


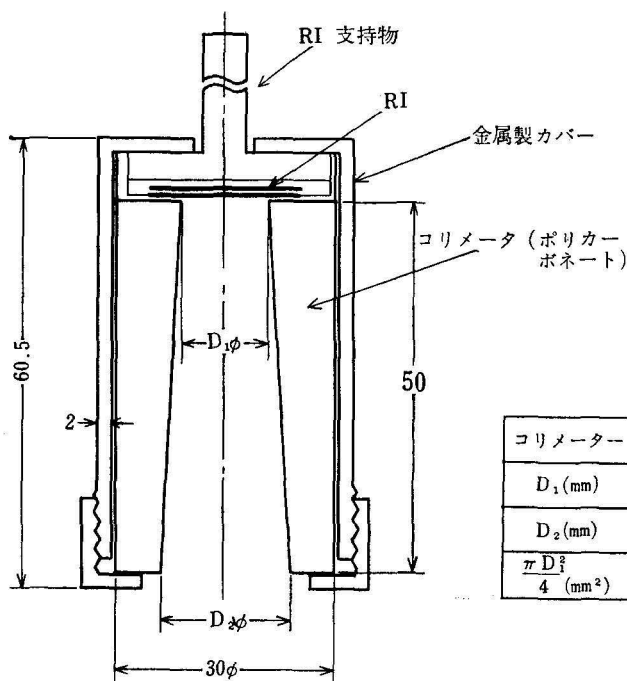
Fig. 4 Configuration of RI eliminator.

うことにした。実験に使用した β 線源の特性、寸法は表-2および図-4に示すとおりであるが、この線源の強さを種々変化させる目的で、図-5に示すようなコリメータを用いて線源の見かけの表面積を変えることにより、線源の強さを調節した。したがって、線源の強さは、コリメータの大きさに応じて異なっている。

Table-2 Properties of radioisotopes used

線源の種類	強さ(mci)	最大エネルギー(Mev)	半減期(年)
$^{90}\text{Sr}(\text{SPI-6})$	20	0.545	27.7

注) コリメータ使用時の線源の強さは上表の値より小さい。



コリメータ	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
D_1 (mm)	5.0	7.2	11.3	16.0
D_2 (mm)	11.0	13.2	17.3	22.0
$\frac{\pi D_2^2}{4}$ (mm ²)	20	40	100	200

Fig. 5 Sectional view of RI eliminator, collimator and metal casing.

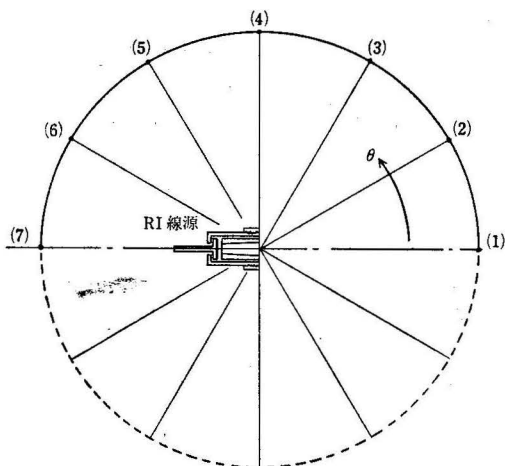


Fig. 6 Measurement of ion currents for directivity of RI eliminator.

つぎに β 線源の静特性は、実験結果図-6に示されているとおり、非常に強い前面指向性を持ったものであるので β 線の照射は、図-7のように帯電して容器中に静止している油の上方より油に向けて行なった。照射距離は β 線源のイオン化能力が図-8のように無電場の状態では距離に関係するけれども、さきに報告した粉体の除電実験にならって油の底面より35cm上方とした。

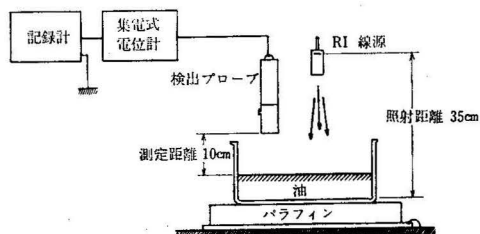


Fig. 7 Measurement of oil potential and method of application of β -rays to charged oil.

2.4 電荷の測定方法

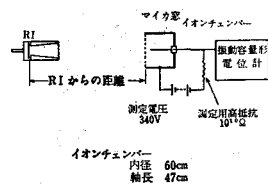
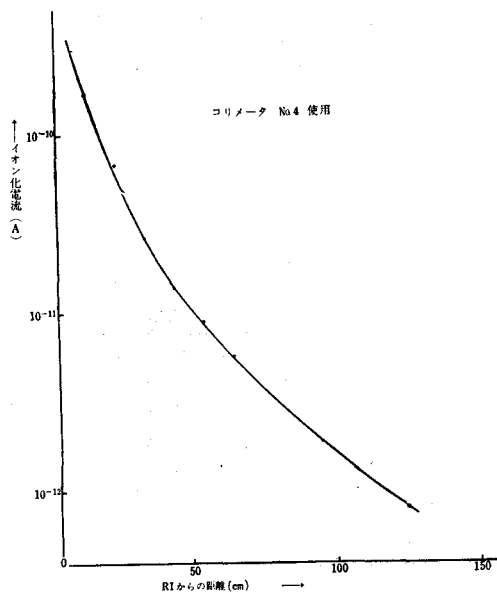
電荷の測定は β 線を照射する場合と全く同じ実験方法で行なったすなわち図-1に示すようにパラフィンの上に置かれた容器を金属製箱の中に入れ、スイッチを1へ倒せばファラデー・ケージとして測定できスイッチを2へ倒せば集電式電位計にて測定できる方法で行なった。今回の実験では被測定油の電位を主として集電式電位計によって測定した。これは油中で電荷の移動がなければ帯電量 Q と集電式電位計の指示電位 V とが比例関係になることを利用したものである。この集電式電位計の較正はプローブとの距離10cmにして十分大なる金属板電極に既知の電位を与えて行なっている。したがって今回の実

測定点	イオン化電流	備考
(1) 0°	$2.73 \times 10^{-11} (A)$	測定距離 (測定半径) 30cm コリメータ No.1 使用
(2) $\pm 30^\circ$	4.15×10^{-12}	
(3) $\pm 60^\circ$	5.01×10^{-13}	
(4) $\pm 90^\circ$	8.00×10^{-14}	
(5) $\pm 120^\circ$	0	
(6) $\pm 150^\circ$	0	
(7) $\pm 180^\circ$	0	

験のように電導率の小さな物体(油)を測定する場合ではかならずしも油面電位を測定する方法として、満足なものとは考えていない。この方法は帯電物体の静電気量 Q を電位 V ($V=Q/C$) に換算する測定方法であるため、帯電物体の対地静電容量 C が実験中に変化すると、この方法による測定の意味がなくなってしまう。したがってこの静電容量が実験中不変であるかどうかをチェックする意味で、ここではファラデー・ケージを随時併用して、これを確認した。また集電式電位計のプローブと RI とが図-7に示すような位置関係におかれた場合電位計の指示へ RI の影響があるかどうかを検討した結果、ほとんど影響のないことも確認して実験を行なった。

3 実験結果

油への静電気帯電状態は、図-3に示されているように、帯電する過程では、時間に対し完全な比例関係となっている。しかし単位時間当りの帯電量 $\left(\frac{dQ}{dt}\right)$ が実験のたびごとに異なっているため、最終の全帯電量(帯電電位)にはどうしても変動が生じて来た。変動という点では後述するように β 線を照射して油に帯電している静電気を除去する実験でも除電効果にそれが生じて来た。これらの変動は実験内容の再現性という立場からは、好ましくないものである。しかし“油に帯電している静電気を β 線によって除去する”という実験内容を、少し分析して、一つ一つの実験内容についてごく部分的にみえてみると、実験結果は必ずしも再現性のないものでもなく、定性的な除電機構を解明するための、なんらかの糸口をつかむ目的としては十分な実験結果が得られたと思われる。したがって以下実験内容別にそれぞれの実



実験日 1966.11.4
温度 11℃
湿度 67%

Fig. 8 Ion currents at various distances from RI eliminator.

験結果を説明する。

3.1 初期電荷と除電効果

油への静電気帯電量を種々に変え、油全体としての帯電量が異った油—除電する立場からみれば、 β 線照射開始時における初期電位の違った油—に β 線を照射して、

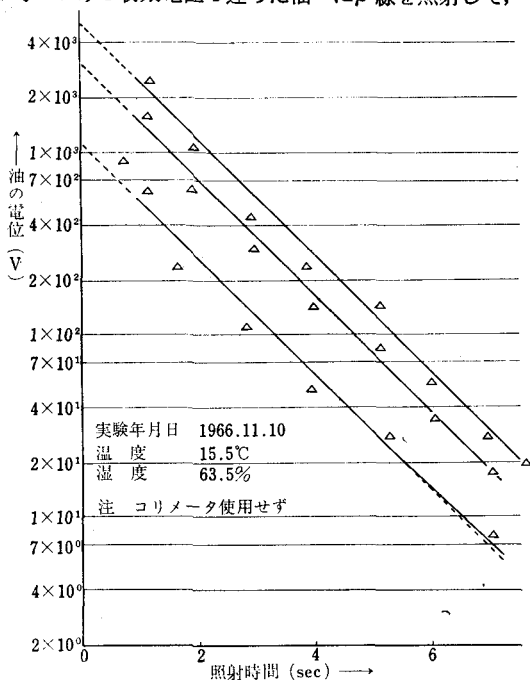
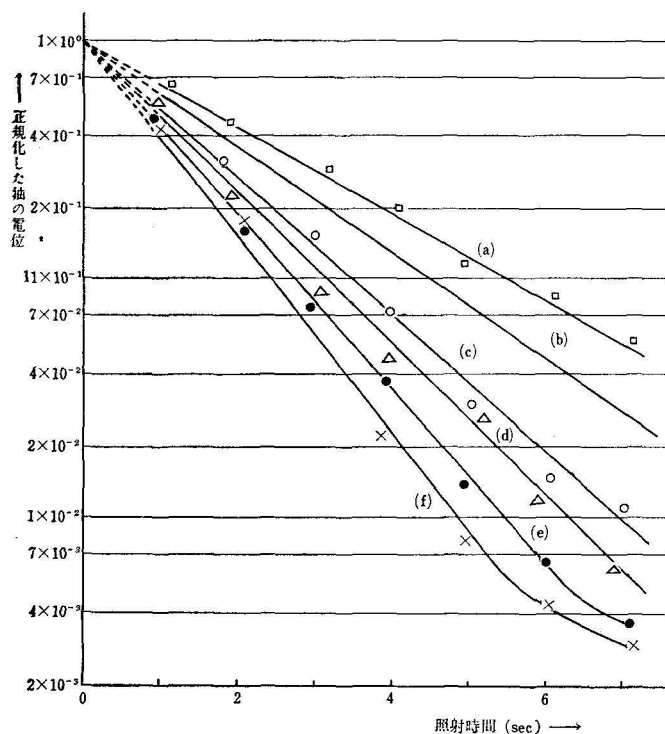


Fig. 9 Elimination of charges of oil with different initial potentials.

その除電効果を調べたところ同じ実験年月日では、初期電荷の違いによる実験結果を片対数グラフで示した時図-9のように直線、平行関係となっている。これらの実験データは最初で述べたごとく多少の変動があるが片対数グラフに示すとすべて直線、平行関係となっている。そうして実験月日によって生じるデータの変動は、こう配の違いとなって出ている。除電効果が実験日によってどの程度の変動があるかを示すと図-10のようである。この図は β 線源の照射を開始した時点における油の初期電位 V_0 で、 β 線照射によって除電された残留電位 V を正規化 (V/V_0) したものを示している。

3.2 帯電油の量 (油の深さ) と除電効果

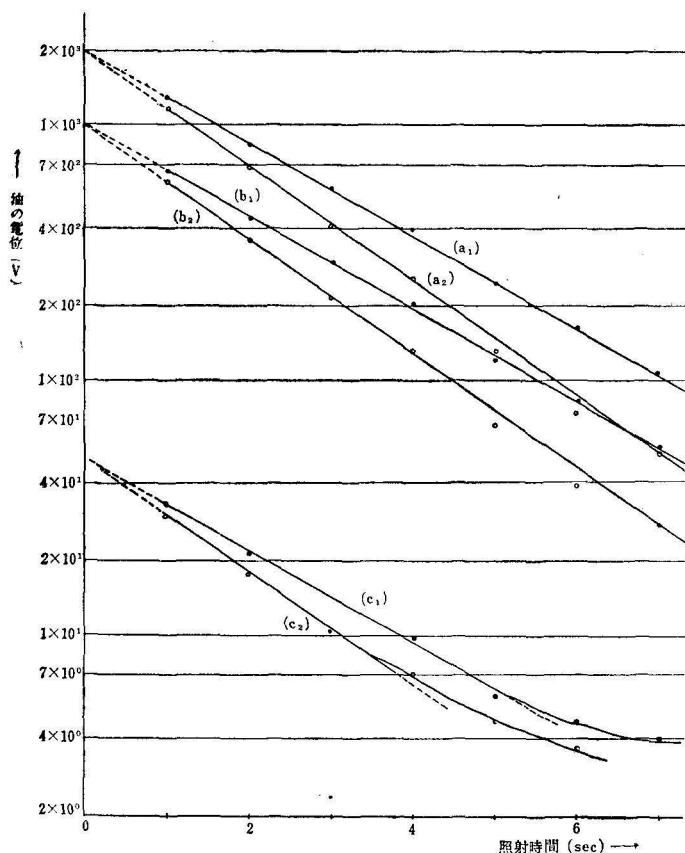
3.1の実験に関連して被除電物である油の深さが異なった場合 (電荷密度は一定)、除電効果にどういふ影響があるかを調べたところ図-11に示す実験結果を得た。これは電荷が金属のように導電率の大きな物体に帯電している場合には、表面帯電であって問題のないことであるが、油のように導電率の小さい液体に帯電している場合には、ほぼ均一に帯電していると仮定したとき、表面ではなく内部に帯電している静電気をいかに除去できるかということが検討の対象となる。したがって実験によってこれを調べてみた。その結果は図-11のとおりで、これによると除電効果は深さに影響しないものと思われる。しかしこの実験は前に述べたように、ほぼ均一に帯電したと思われる油を使用して行なったもので、内部の帯電状況を確認していないので、厳密には以上のような



グラフ記号	実験年月日	温度	湿度
(a)	1966.11. 9	16.0℃	65.5%
(b)	1966.11.18	15.5℃	65.0%
(c)	1966.11.26	14.5℃	70.0%
(d)	1966.11.16	13.0℃	68.0%
(e)	1966.11.21	15.5℃	65.0%
(f)	1966.12. 1	10.0℃	70.0%

注 コリメータ使用せず

Fig. 10 Comparison of elimination effects dependent upon days.



グラフ記号	帯電油の量	実験年月日	温度	湿度
(a ₁)	4 l	1966.11. 9	16.0℃	65.5%
(b ₁)	2 l			
(c ₁)	1 l			
(a ₂)	4 l	1966.11.18	15.5℃	65.0%
(b ₂)	2 l			
(c ₂)	1 l			

注 コリメータ使用せず

Fig. 11 Depth of charged oil v.s. eliminating effect.

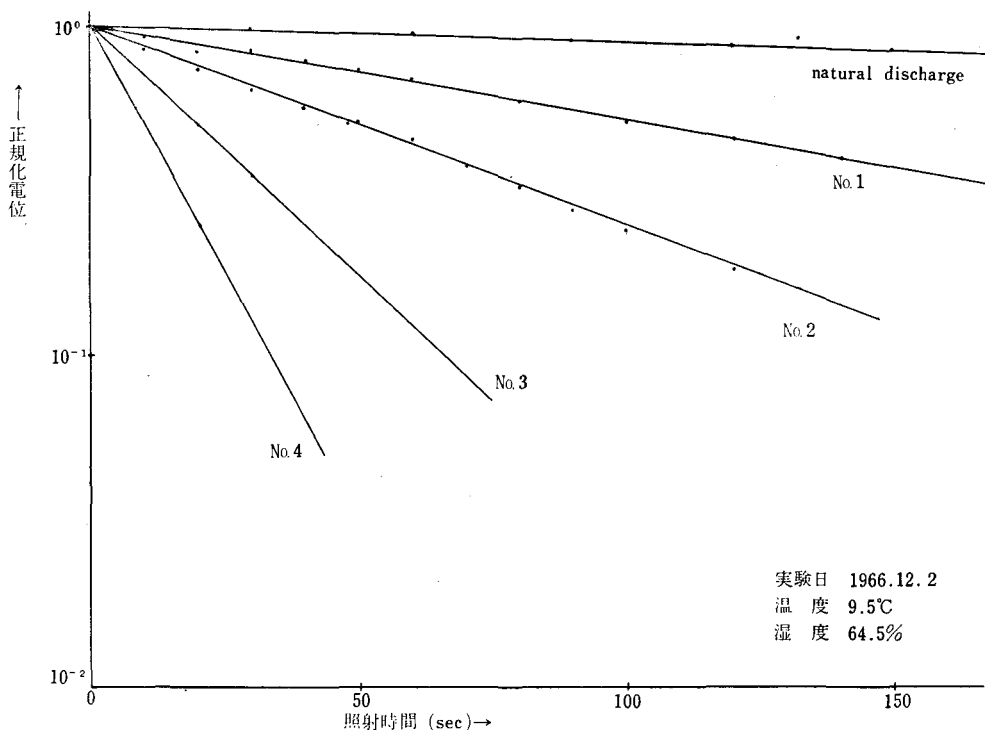


Fig. 12 Intensity of β -ray source v.s. eliminating effect.

結論を下すことは早計であらうと思われる。

3.3 β 線源の強さと除電効果

除電に寄与する空気イオンの製造源となっている β 線源の影響を検討するために、 β 線源の強さを4段階(2.21 mCi, 4.32mCi, 9.88mCi, 18.2mCi—実験値)に変えて実験を行なったところ図-12に示すような実験結果を得た。これによると除電経過は β 線の強さによって、その様相を変えていないが、除電効率は β 線の強さに依存していることは明かである。

なお図-12は β 線照射によって除電された残留電位 V を初期電位 V_0 で正規化したものを、照射時間(t)に対して示したものである。

4. 実験結果に対する考察

静電気を除去する機構が、帯電物体の作る静電場(Static electric field)の中で挙動しているRIの電離作用で生成された空気イオンであることより、静電場の電界強度(Field intensity)並びに電界分布(field pattern)空気イオン自体の特性(広い意味でRIの特性も含むものとする)等に依存して、除電効果が変わるであろうことは当然である。加えて除電という物理現象は、RIを照射している時間にも関係している動的現象でもある。

したがって実験結果の時間的過程に着眼して除電機構

の定性的なことを以下検討してみたい。

4.1 除電減衰定数

実験結果図-9では除電経過が片対数グラフで表示されたとき、だいたい直線とみなせることより、これは除電の実験式として

$$v = v_0 e^{-\alpha t}$$

v : β 線照射時における帯電物体の電位

v_0 : 帯電物体の初期電位

α : 除電減衰定数

あるいは電荷によって表現すると

$$q = q_0 e^{-\alpha t}$$

q : β 線照射時における帯電物体の電荷

q_0 : 帯電物体の初期電荷

なる式の成立を裏づけている。

上式における除電減衰定数 α —実験結果図-9における直線のこう配である—が、例えば“初期電荷と除電効果”の実験結果、図-9から明らかなように、いずれも平行な直線となっている。これにより、 β 線照射を開始した時点における油の有する初期電位 v_0 で、 β 線照射によって除電された油の残留電位 v を正規化すると当然図-13のように除電経過は初期電位には無関係となって、三本の平行直線が一致した結果となる。このような除電経過の関係は油の量(深さ)によっても定性的に異なるもので

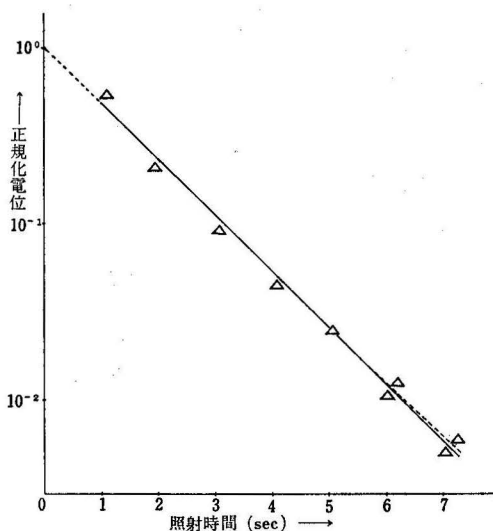


Fig. 13 Normalization of eliminating effect based on an application time of β -ray

はないことが図よりわかる。

したがって除電減衰定数 α は被除電物の初期帯電量、帯電油の量には関係していない。しかもこの結果から二次的に導出される結論として、油の帯電密度(帯電量/単位体積)にも除電効果は無関係であることが推定される。

このような実験結果から、除電減衰定数 α が

- (1) β 線源である R I の特性
- (2) 実験の周囲条件 (ふん囲気, 帯電体の形状, 近接地物等)

などに依存したものであると考えられる。ちなみに除電減衰定数 α を検討する方法として、初期電位 v_0 の $1/e$ の電位になる時間を減衰の時定数 τ として、“ β 線源の強さと除電効果”の実験結果図-12により、R I の強さと τ との関係を調べた。すると図-14、図-15のようになった。この図-15では R I の強さと $1/\tau$ の間には、きれいな比例関係が成立している。このことは減衰の時定数の定義からして、 τ と除電減衰定数 α とは $\alpha = 1/\tau$ の関係を満

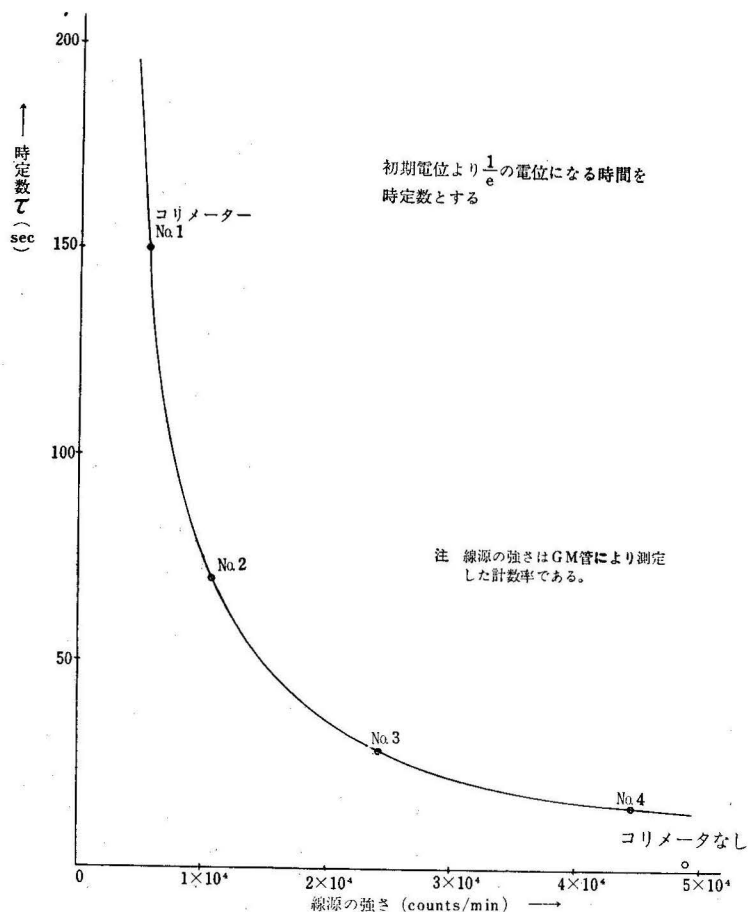


Fig. 14 Intensity of β -ray source v.s. time-constant of elimination

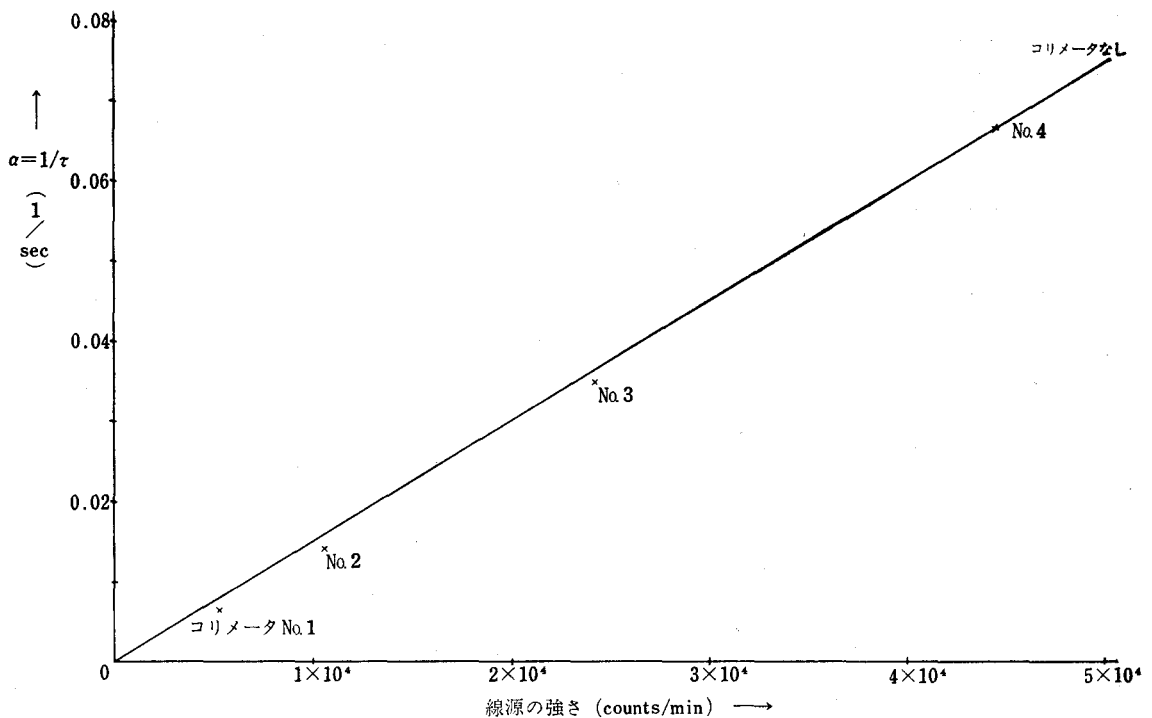


Fig. 15 Intensity of β -ray source v.s. attenuation constant of elimination

足しているから、このような検討結果—線源の強さと減衰定数は比例関係である—となっても、不思議はないであろう。

次に周囲条件によってどのように除電減衰定数が変わるかということであるが、これはデータ不足、実験方法等についての考察不足という点で、まだそれらの点は不明である。

4.2 電界強度と除電効果

今回報告した実験結果では、被除電物の作る電界強度——油に帯電している初期電荷——によって除電効果に影響がなかった。しかし β 線によって生成された空気イオンの挙動が被除電物の作る電界に依存していることから、極端に電界強度の大きい場合とか、小さい場合には、電界強度が除電効果に影響されるものと考えられる。すなわち電界強度が大きい場合には、空気イオンの移動速度 v ($v = \mu E$ μ : イオン移動度) が電界に比例して非常に大きくなり、空気イオンのなだれを起す確率が生まれるであろう。したがってこの場合には等価的に空気イオンが生成されたことになるため、減衰定数が大きくなって除電効果を高める。

また逆に電界強度が小さい場合には、空気イオンの移動速度 v が小さいため、被除電物までに到着する時間が

長くなる。この結果再結合の確率を増しせっかく β 線によって生成された空気イオンも、除電にあずからなくなると考えられる。このため結果的には減衰定数 α が小さくなって除電効果を下げることになる。

以上のようなことから、今回の実験では“電界強度—初期電荷—は除電効果に無関係”となっているが、いつの場合でもそう結論を下してしまうのは早計である。

4.3 粉体帯電を除去する場合との比較

参考までに前回報告した(第3報)“粉体帯電の除去”と今回の“油の帯電除去”とを除電に用いた β 線源が共に ^{90}Sr であることから定性的に比較してみると表3のような結果を得た。

表-3では油の場合と粉体の場合とで“初期電荷と除電効果”の場合のみ除電状態の様子を異にしているが、こ

Table 3. Comparison of eliminating effect (oil and powder)

	油の場合	粉体の場合
初期電荷と除電効果	初期電荷の影響なし	初期電荷により多少異なる
体積と除電効果	体積の "	体積の影響なし
電荷密度と "	密度の "	密度の "

れ以外は同じ除電効果の様相を呈している。

5. む す び

今回の実験結果からは、主として除電にあずかっている除電の減衰定数 α が

(1) β 線源である R I の特性

(2) 実験の周囲条件

等に依存していることが推定された。しかしこれは今回の実験が照射距離一定、電界分布一定という条件のもとで行なったものであったためであろうが、減衰定数 α についてはこの他にも

(3) R I の照射方法

(4) 被除電物の作る電界分布

等にも、関係したものであることは十分考えられる。

したがってこれらの点については、理論的にも実験的にも検討を加える計画でいる。

結論としては、油の帯電状態が実験によつて的確につかむことが出来なかったため、一部は仮定にもとづいて検討した点もあるが、除電機構の糸口をつかむことは出来たと思われる。

参 考 文 献

- 1) 例えば坂主他 “放射性同位元素による静電気の除去についての研究 (第 3 報)”
産業安全研究所報告 Vol.14, No.3, March '66
- 2) 特集 “静電気のこわさと高分子”
高分子 Vol.10, No.109, 4 '61
- 3) Otmer M. Stentger
“Ion Transport High Voltage Generators”
The Review of scientific instruments.
January. 1961
- 4) 村崎 “静電気応用装置” 日刊工業