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）

―粉体帯電の除去―

防爆課　坂主勝弘，田中隆二
電気課　上月三郎

Research on Elimination of Static Charges by the Use of Radioisotopes (3rd report)

——Elimination of Static Charges of Powders ——

by K. Sakanushi
R. Tanaka
S. Kohzuki

Reports on the elimination of static charges on running vinyl sheet by radioisotopes have been published in the previous papers (Vol.13, No.1, Vol.14, No.1).

This paper deals with the similar experimental results with powders and their considerations. In cases of elimination of charges in piling charged powders, the charges in powders are generated by friction, during flowing in a spout (refer to the device shown in Fig.1), while in cases of falling charged powders, by falling down through silk-meshes of a shifter (refer to the device shown in Fig.16).

The elimination efficiency, in various conditions, for the powders charged by these methods are investigated, experimental data being given for the elimination efficiency of charged powders in resting situation, β-rays applied on to the surface of the piling powders, and in naturally falling situation, β-rays applied to the falling powders laterally.

From the results obtained, it is shown that the sources emitting β-particles with larger energies eliminate the static charges of the powders in a shorter time but those with smaller energies take more time (elimination efficiency of 85% for application time 1.0 sec by ^{90}Sr with β-particle maximum energy of 0.545 Mev, 85% for the time 22 sec by ^{147}Pm with the energy of 0.223 Mev).

As a result, it is likely to be possible to neutralize the static electricity of powders in the couse of transportation by examining application methods of β-rays and suitable selections of β-ray sources etc.

1. まえがき

前報[1),2)]では物体の表面に帯電している静電荷（表面分布電荷）をＲＩから放射されるβ線を利用して除電する研究結果について報告した。

今回は，前報の結果を基礎として，粉体に体積分布をしている静電荷を同様な原理で除電する目的で，帯電体として小麦粉を利用することにし，先ず内部まで均一に電荷が分布している静置した堆積粉体の上方からβ線を照射した場合と，帯電した粉体が空気中を自然落下する途中においてβ線を側方から照射した場合とについて，条件を種々変化させて除電効果を研究したので，これらについて報告する。

2. 帯電粉体の除電

2.1 粉体への帯電

粉体―この実験では市販の小麦粉を使用―は図1に示す装置[3),4)]で実効長 1mの金属製 Spout A の中を落下し

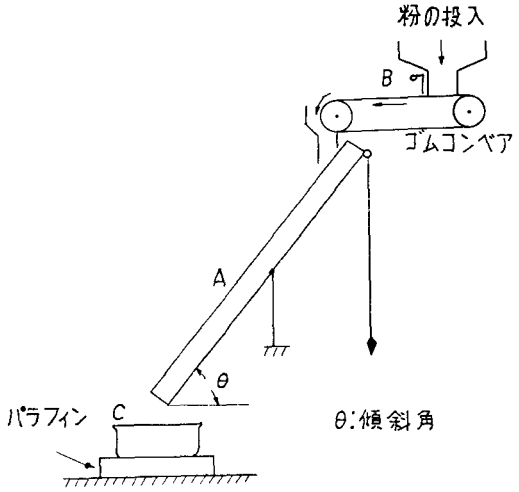


Fig. 1. Experimental device for generating static charges by friction between powder and spout. (Powder flow is from conveyer to container)

ているあいだにそれとの摩擦によって正(+)に帯電する。Bは単位時間当りに Spout の中へ落下する粉体の重量を制御するシャッターである。

実験結果図2が示すように粉体に帯電した電荷量 Q_1

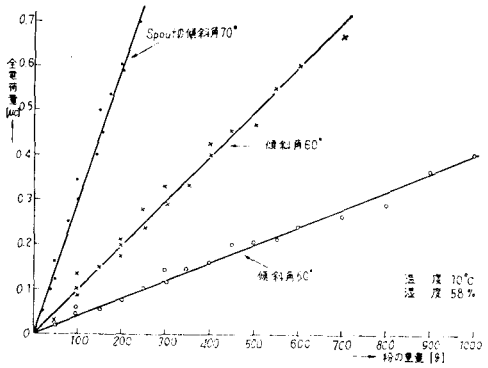


Fig. 2. Weight of powders flowing in spout v. s. quantity of static charges generated.

は粉体の重量と比例関係—落下する粉体重量と落下時間も比例関係にあるので当然落下時間と電荷量も比列関係—になっている。また粉体の電荷密度（単位重量当りの電荷量と定義する。図2の実験結果では直線の勾配が電荷密度を示している）は Spout の傾斜角度 θ によって変えている。

このようにして静電気を帯びた粉体を絶縁の良いポリエチレン製の容器（図3参照）に受けた。容器に受けた帯電粉体は Spout から自然落下で堆積したものである

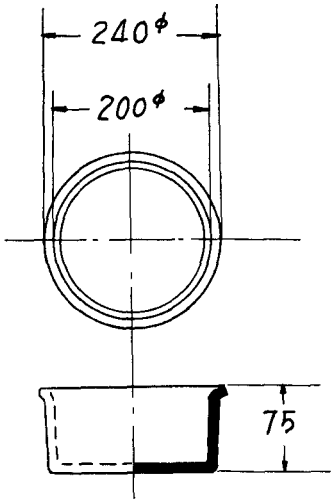


Fig. 3. Polyethylene container for receiving powders.

から多少上層と下層とではその密度を異にしているが，みかけの平均密度は 0.3g/cm³ 程度である。

一方粉が容器の中に堆積したとき電荷が粉体内に一様に分布しているかどうかという点が問題となる。実験に用いた粉の抵抗は図4のような測定法にて測定した結果

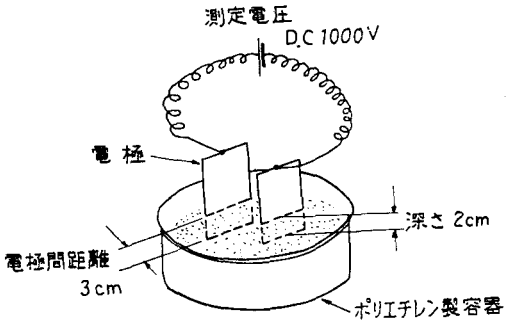


Fig. 4. Method of measurement of insulation resistance of powder.

$2\times10^{12}\Omega$ であったから導電率は非常に小さく，したがって粉体内には電位勾配の存在することが充分考えられる。加えて図5のような方法にて接地した導体棒を帯電している粉体の表面各部に接触させたときにも電荷はわずか（1％程度）しか漏えいしなく，その後はほとんど逃げないことが確認された。

したがって以上のことより静電荷は粉体の表面のみではなく，ほぼ粉体内部に一様に分布しているとみなしてさしつかえない。なお電荷密度が不均一であった場合の

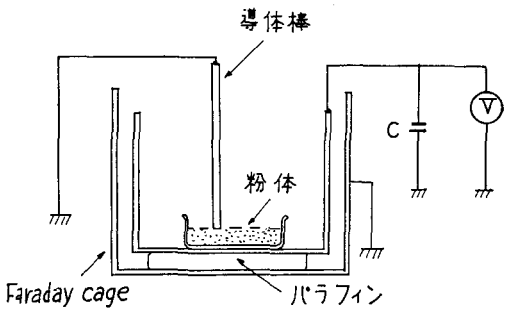


Fig. 5. Schematic diagram illustrating technique for measurement of charge leakage.

電荷の拡散は，電界による電荷の動きに比べると非常に小さいから無視している。

2.2 R I 線源と照射方法

実験に使用した β 線源についてその特性，寸法を表1，表2にそれぞれ示す[1,2]。

Table 1. Some properties of radioisotopes used.

線源の種類	強さ (mc)	最大エネルギ (Mev)	半減期(年)
^{90}Sr(SIC-8)	20	0.545	27.7
^{147}Pm(PHC-15)	20	0.223	2.6

Table 2. Dimensions of radioisotopes used

線源の種類	全寸法		実効寸法	
	長さ (mm)	幅(mm)	長さ (mm)	幅(mm)
^{90}Sr(SIC-8)	240	25	200	12.5
^{147}Pm(PHC-15)	240	25	200	12.5

この線源は図6に示すような鉛板を内張りした木製の収納器の底部にセロテープで線源の周辺を張って固定されている。

β 線を照射する方法は，堆積粉体の除電の場合，図7のような方法で一定時間行なっている。照射距離は前報[1),2)]のビニルシートの除電実験報告を参考にして，粉体の底部より 35 cm とした。

2.3 帯電量の測定方法

静電気の測定は図8に示す Faraday cage を用いて

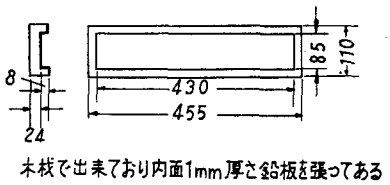


Fig. 6. Case fixing radioisotopes.

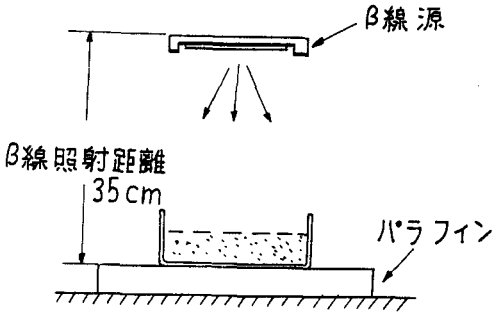


Fig. 7. Application of β-rays to charged powders in container.

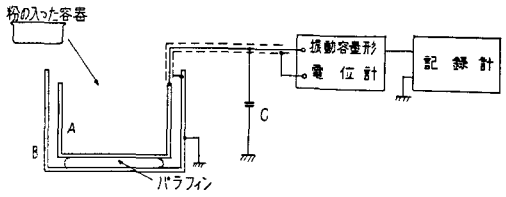


Fig. 8. Method of measurement of static electricity by Faraday cage.

行なった。A の cage の中には帯電している粉体が満たされている容器をそのまま入れ，測定用コンデンサCの電極間に誘導される静電電位Vを振動容量形電位計で読み取った。

このとき，粉体に帯電した電荷 Q_1 は

$$Q_1=(Co+C)V \qquad (1)$$

ただし Co：コンデンサ C 以外の測定系の大地間静電容量$=1.35\times10^2$(pF)

C：測定用コンデンサ$=1.00\times10^5$(pF)

として求まる。

2. 4 実験結果とその考察

粉体の帯電量は，粉と Spout との摩擦により発生する電荷と，粉の位置している雰囲気から漏えいする電荷とのバランスであることから，実験の周囲条件，粉体の入っている絶縁容器の取り扱い方等によって実験データにバラツキが生じて来る。したがってデータのバラツキをできるだけ小さくするように実験方法に注意を払った。注) しかしながらそれにもかかわらず実験結果にはかなりのバラツキがあったので，結果に対する考察も，後述するように定量的なものより定性的な考察に比重を置いている。実験データの処理はβ線を照射する前後における粉体の帯電量をそれぞれ Q_1, Q_2 とすれば

残留電荷率

$$p=\frac{Q_2}{Q_1}\times 100\% \qquad (2)^{1)}$$

または除電効率

$$r=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}\times 100=1-p\% \qquad (3)$$

で定義しβ線による除電作用を表現している。

なおβ線の照射により粉体内においても一様に除電出来ているかが問題であるが，2.1 において帯電粉体の分布状態を検討した方法によって実験してみると，粉体内も一様に除電できているものと推定される。

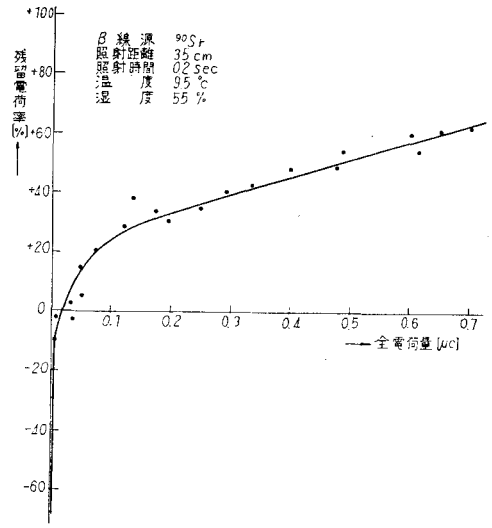
(a) 粉体の電荷量と除電効果

Spout から落下した帯電粉体を容器（図3参照）に受けその上方からβ線を一定時間照射した場合の，"粉体の全電荷量対残留電荷率" の実験結果を図9に示す。この実験結果では粉体の帯電量が少ない場合に負(−)の残留電荷率となっている。これはもともと正(＋)に帯電している粉体が，β線照射によって負(−)に逆帯電したことを示めすものである。この原因としてはβ線によって電離した空気の負(−)イオンがもともと正(＋)に帯電していた粉体の帯電量以上に付着したためではなく，むしろβ線自身がエネルギをもった負(−)の荷電粒子であるから，帯電体の作る電界に関係なくこれが直接粉体（帯電体）へ飛翔して付着したためと考えられる。

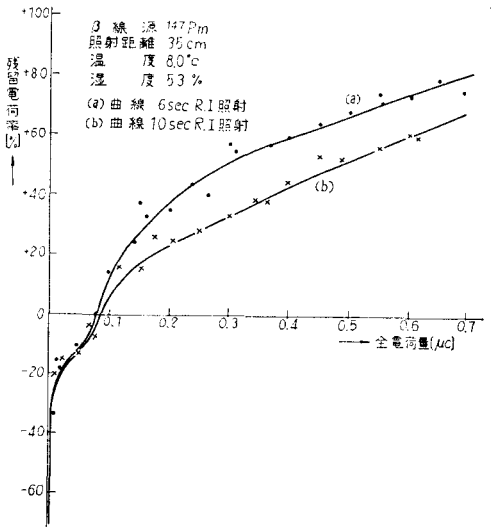
つぎに粉体の帯電量が大きくなるにつれて，だいたい比例関係に注) 残留電帯率も大きくなっている。これはβ線をある時間照射するとき，その放出エネルギのすべてが空気分子のイオン化に消費され，かつ生じた空気イオンも効率100%で除電に寄与したと仮定しても，除電を充分に行なうためのイオン数に不足を生ずる場合が起りうるからと推定される。

その除電に作用する生成イオンの全電荷量はつぎの式

$$Q_t=eN_0t$$



(A) β-ray source, ^{90}Sr



(B) β-ray source, ^{147}Pm

Fig. 9. Residual charges of powders after application of β-rays for constant time.

注) たとえば帯電粉体の大地間静電容量C_0が変らないようにすること，粉体の摩擦現象が実験の目的以外に起らないように注意して取扱うこと。しやへいにより外部からの静電誘導を防止すること等の実験的な工夫をした。

注) ビニルシートの除電においてもシートの速度が大きくなるにつれてこのような関係が出ていることと同じ傾向にある。

$$=e\left((3.7\times10^{10}\cdot I)\times\frac{\overline{E}\cdot10^{6}}{32.5}\right)t \text{ (coulomb) (4)}^{5)}$$

ただし N_0: 単位時間あたりのイオン対の数(個/sec)

e: 電荷量 1.6×10^{-19}(coulomb)

I: β 線源の強さ (curie)

$\overline{E}$: β 線源の平均エネルギ (eV)

t: 照射時間 (sec)

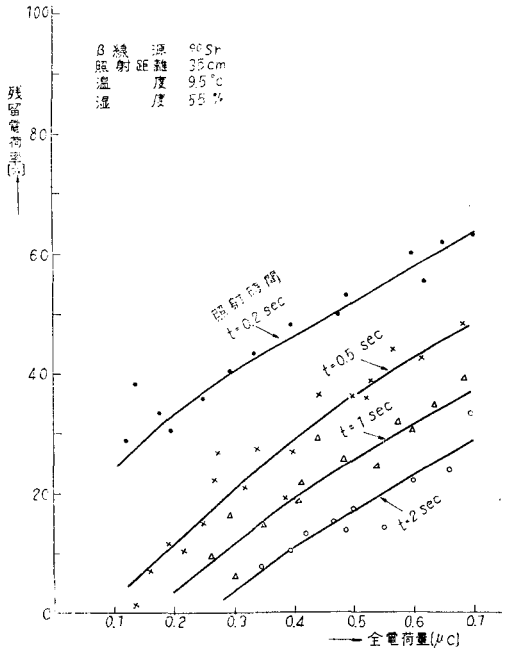
で表され，これから ^{90}Sr および ^{147}Pm の場合について Q_i を概略計算すると，^{90}Sr では 0.2 sec の照射時間において約 0.13μc,^{147}Pm では 6 sec または 10 sec 照射においてそれぞれ 1.7μc または 2.9μc となる。

この実験では以上の計算結果のように生成イオンの電荷量が粉体の帯電量と比べて同程度のものであり，また ^{147}Pm の場合は ^{90}Sr と比べてエネルギが小さいので，効率も悪いことから，粉体の帯電量が大きくなるにつれ残留電荷率も ^{90}Sr に比べて大きくなっていると考察される。

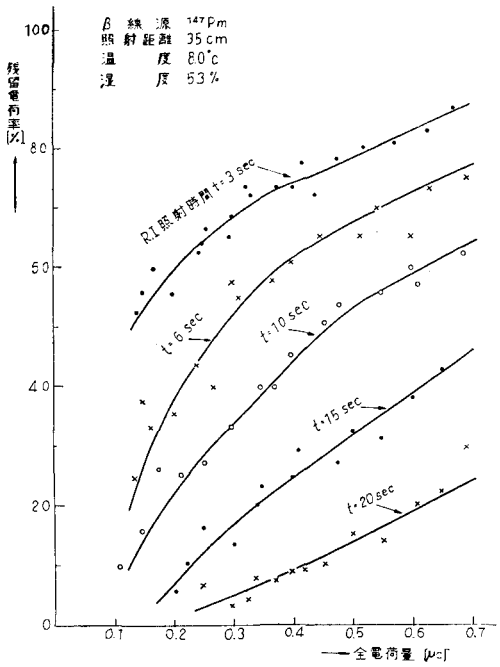
(b) β 線の照射時間と除電効果

a の実験において β 線を照射する時間を種々と変化した場合には図10に示すような実験結果が得られた。

この結果より β 線照射前の粉体の電荷量 Q_1 を Parameter として β 線の照射時間と除電性能との関係を求めると図11のようになった。図11の右上に示した結果は特に長時間 (60sec) β 線を照射してみたときの残留電荷



(A) β-ray source, ^{90}Sr



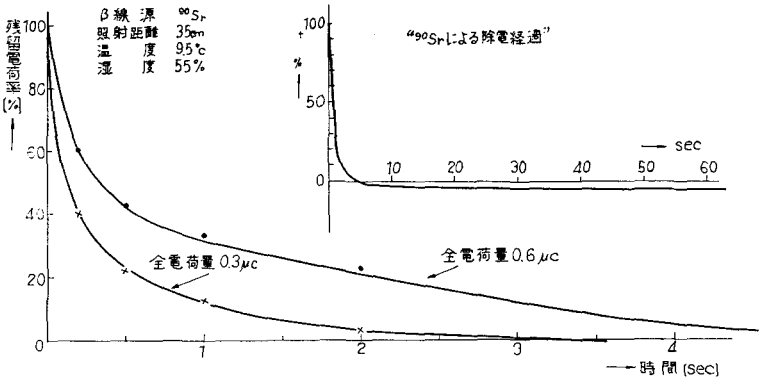
(B) β-ray source, ^{147}Pm

Fig. 10. Residual charges of powders after application of β-rays for various times.

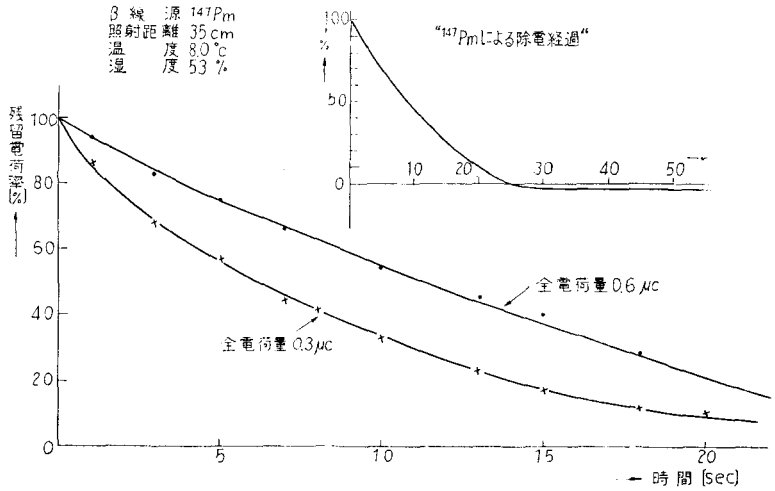
率であり，これは β 線の照射前における粉体の電荷量 Q_1 によって数値的には多少の変化を示すが "除電経過の傾向" を示す参考データとして記載した。

この実験結果図11が示すように長時間 β 線を照射した場合にも負(−)に帯電する現象が現われている。負(−)に帯電したという結果においては a，b の実験ともに変りがないがこの場合は定常状態において負(−)に帯電したということから，この原因が a の実験で帯電量が少ない場合に起ったと同じように β 線自身の飛翔によっているということを一層確定づけるものである。また "照射時間対除電効果" がほぼ対数的に減衰していることは，つぎのような除電機構から考察される。

すなわち β 線が空気を電離することによって生成された正(+)，負(−)のイオンが被除電物の作っている電界が存在する空間に置かれたとき，被除電物に帯電している電荷と異符号のイオンはこの電界に引きつけられ，逆に同符号のイオンは反発されて，帯電体によって誘起された接地体にある反対符号の電荷と中和する。したがって一種の放電電流が被除電物と接地体の間に流れる。このように除電に寄与するイオンは時間的に刻々 β 線によって生成され，そのイオンの動きがまた刻々イオンの位置している電界の強さに依存しているためほぼ対数的に



(A) Application of ^{90}Sr β-rays



(B) Application of ^{147}Pm β-rays

Fig. 11. Residual charges of powders v. s. applying time of β-rays.

減衰をすることは当然であろう。

(c) β 線源の種類と除電効果

今線源の違いによる考察の一例としてbの実験結果図11より一定の比率まで除電するに要した時間によってその除電効果を比較してみると図12のようになる。

この結果はビニルシート（表面に帯電しているもの）に帯電している静電気をβ線で除去する場合に現われた傾向と同じであった。

この実験で用いたβ線源 ^{90}Sr, ^{147}Pm は共に 20mc の線源でありながらa，b，の実験結果から明らかなように除電作用に大きな相異を示している。これは線源の特性が表1に記したものであって内部まで帯電している粉体のようなものの除電作用にも線源の有するエネルギ分布の相異が除電作用の相異となって現われているものと考えられる。

一般に大きなエネルギを有しているβ線が空気の分子を電離する比電離能は，β線のもっているエネルギとだいたい反比例の関係にある（表3参照）。しかし線源がβ崩壊した時に放射される電子について今の場合このよ

Table 3. Specific ionization factor (number of ion pairs per cm in air)

エネルギー〔Mev〕	0.062	0.094	0.169	0.246	0.444	0.565	0.792	1.125	1.663
比電離能	200	162	110	87	64	58	54	51	46

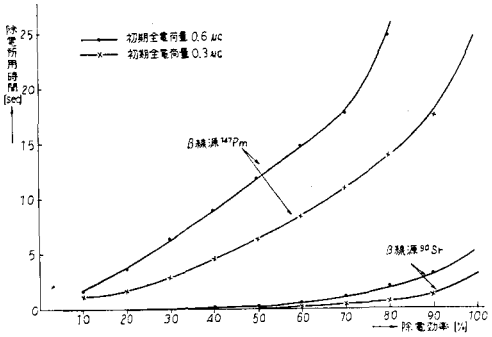


Fig. 12. Difference of elimination efficiency for kind of radioisotopes.

うな比電離能のみでもって検討することはあまり本質的でない。空気を電離するような大きなエネルギをもった電子が無電界の場でなく，被除電物の作っている電界の作用を受けながら運動しているのであるから，電子は空気分子と単なる機械的な衝突（電離作用の大半は衝突にもとづいている）ではなくクーロン力が加わることによって，電子の速度分布が Maxwell 分布から当然ずれてゆき衝突が起り易くなっている。注） このような衝突断面積が大きくなった状態では電離確率も大きくなって電子の失なうエネルギも全体として大きくなっている。

したがって β 崩壊した時に有するエネルギが大きい程多くのイオン対を生成できるのである。注）

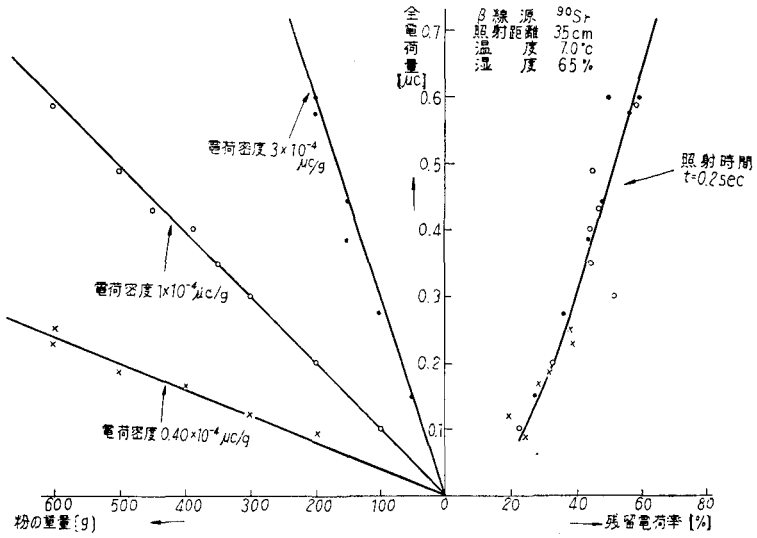
実験結果で大きなエネルギを有する ^{90}Sr の方が，小さいエネルギを有している ^{147}Pm より優れた除電効果となったのも以上のようなことからである。

（d） 電荷密度と除電効果

β 線によってイオン化された空気の分子が被除電物の作る電界によって吸引される機構，ならびに粉体は粉と空気とが一様に入り混じっているものと見なされること，この2点より，内部まで一様に帯電している粉体の除電作用を探求する目的としては，粉体の内部における電界の違いによって除電作用に影響が生ずるか否かを考察しておく必要がある。このために電荷密度のちがい，つまり粉体内の電界のちがいによる除電作用を実験的に検討した。この結果は図13に示すとおりである。

すなわち図13において左半面は "粉体の重量に対する電荷量" であって直線関係よりこの勾配は電荷密度 c/g を表わしている。したがって同じ直線上にプロットされている点は同じ電荷密度を有するものである（例えば×マークは 0.4×10^{-4} μc/g）。これより右半面において同じマークでプロットされている点を結べば，この電荷密度をもった粉体の "電荷量対残留電荷率" が得られることになる。

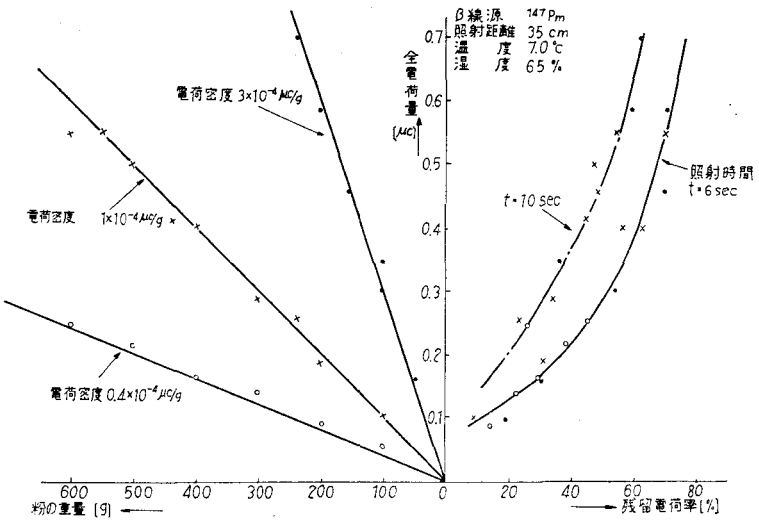
実験結果では図13でも明らかなようにどのマークでプロットされている点（マークによって電荷密度が異なっている）を結んでも "電荷量対残留電荷率" を示す曲線



(A) β-ray source, ^{90}Sr

注） Morton Johnson effect の一例と考えられる。

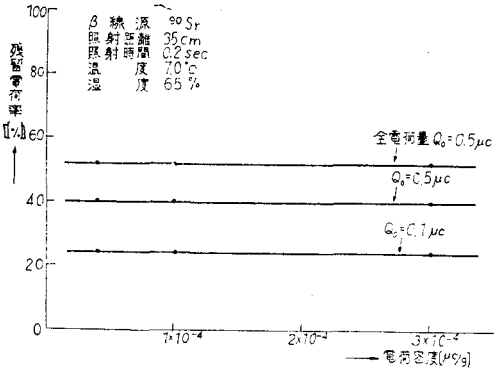
注） 野崎長二，"β 線による除電" 高分子，vol.6，No.2 に報告された実験結果では β 線による電離電流を測定してこの考察と同じ傾向を出している。



(B) β-ray source, ^{147}Pm

Fig. 13. Graphical method for investigation of effect of difference of charge density on residual charge rate. (1)

は一つに重なってしまっている。これは粉体の電荷密度によって除電作用が変らないという実験より導かれた結論であってこの結果を図14に示す。



(A) β-ray source, ^{90}Sr

以上のように粉体の電荷密度によって除電作用が影響しないことをイオンの粉体内での運動より考察してみる。イオンの運動が被除電物の電界に依存していることより，その運動を表現する一つとしてイオンの気体中における運動速度

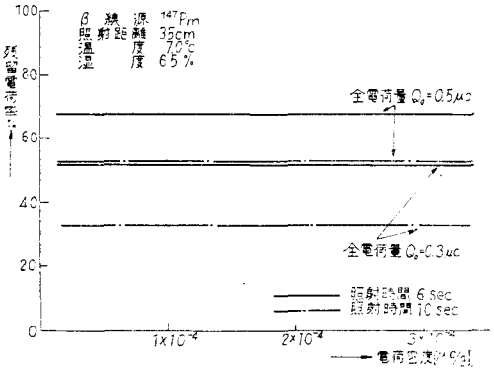
$$v=\mu E \qquad (5)$$

v：速　　度　　(cm/sec)

μ：イオンの移動度　(cm²/volt•sec)

E：電界の強さ　　(volt/cm)

を考えてみる。この移動度μはイオンの種類にほとんど



(B) β-ray source, ^{147}Pm

Fig. 14. Charge density in powder v. s. residual charge rate.

関係なく気体の種類で決まる。空気中では0 °C, 1 atm にて，

正(＋)イオンの移動度　$\mu_+=1.32$

負(－)イオンの移動度　$\mu_-=2.11$　　(6)

であり，気体の温度が常温程度までは $\mu\propto\frac{T}{P}$（T：絶対温度，P：気圧）の関係にあると考えてさしつかえない。

今 $E=1000$V/cm とすると(5)式よりその速度は負(－)イオンで $v=10^3$cm/sec の次数をもった速度となり非常に大きい速度である。勿論粉と空気とが一様に入り混じっている粉体内では当然空気中の速度と比較してこれ以

下の速度であると考えられるが，空気中におけるイオンの平均自由行程は 0°C, 1 atm の時大きくみて10^{-6}cmの次数である。これは粉体の粒子の大きさから検討してみてもそれほど平均自由行程が減少しているとは考えられない。したがって平均自由行程と移動度の比例関係 —$\mu \propto \lambda$—，移動度と速度の比係関係—$v \propto \mu$—から，仮りに粉体内におけるイオンの速度が 10^2cm/sec の次数に減じたものとしても，粉体内をイオンが動くに要する時間は 10^{-2}sec 程度以下の時間と推測されるから粉体内の電界によってイオンの速度が異なるというものの一瞬のうちに粉体に帯電している電荷とイオンが中和してしまうからである。

一方以上のことは粉体に直接飛翔してきた電子が除電にあずかる場合にも，やはり電子の移動度がイオンの移動度に比べて大であることから，同じことが考察される。

e 粉体の厚さと除電効果

a の実験結果図10では，粉体の電荷量が大きくなるに従って残留電荷率も大きくなる傾向である。しかし実験結果図 2 が示しているように粉体の電荷量と重量とは比例関係になっているから当然電荷量が大きい場合には容器で受けた粉体の厚さも大きくなっている（粉体の重量と容器に堆積した厚さはだいたい比例関係にある）。

したがって除電作用が粉体の厚さによって影響されているかどうかを考察しておく必要がある。実験結果は図15に示すように厚さによっても残留電荷率は変らなかった。ただし粉体の厚さ 25cm 以上は実験装置，実験技術の点から実験不可能であった。

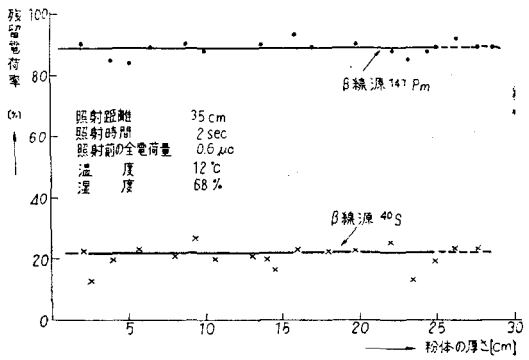


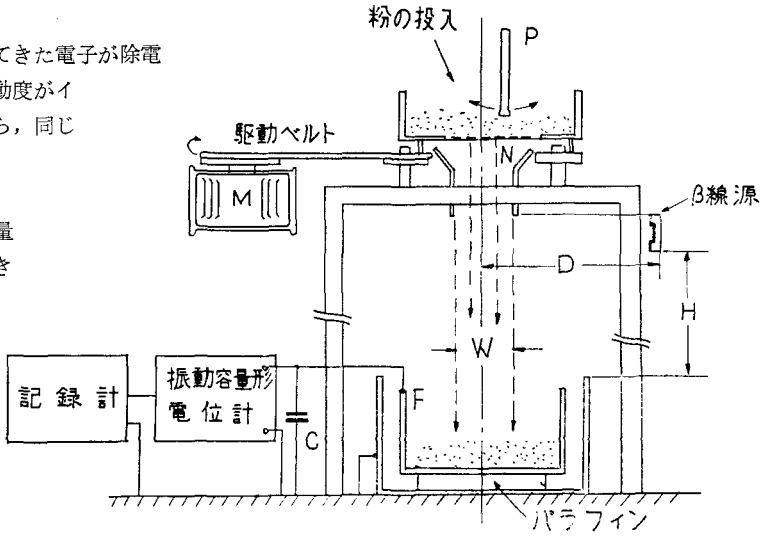
Fig. 15. Depth of powder v. s. residual charge rate.

なおこの結果は d の実験における "電荷密度によって残留電荷率" は変わらないという実験結論および考察を裏づけるものでもある。

3. Shifter から落下する粉体の除電

3.1 実験装置——shifter

流動している帯電粉体に β 線を照射して静電気を除去することが安全管理のためにも実際にはしばしば必要となってくる。したがってこの一つの模擬実験として shifter から自然落下している帯電粉体をとりあげ，これに β 線を照射して除電することを行なった。実験に用いた shifter は図16に示すような構造であって，モータ M によって粉の入った容器 V（底面は絹製の網でありこれを取り替え網目の大きさを変えることは可能である）をふるっている。網目を通りぬけることによって帯電した粉は自然落下して Faraday cage F の中へ直接落下するようになっている。単位時間あたりに落下する粉体の重量を制御するために絶縁材料で出来た撹拌棒 P を使っている。



P：撹拌棒　H：Faraday cage から β 線源までの高さ 100 cm
N：絹メッシュ　W：粉体の落下している範囲 15 cm×15 cm
D：照射距離　F：Faraday cage

Fig. 16. Experimental equipment (Shifter) for elimination of charged falling powder.

shifter の網目を通りぬけて Faraday cage の中へ落下した粉体の帯電量は図17の実験結果，"落下重量対落下電荷" に示されている。同図に示されるように粉体の電荷密度は網目が小さくなる(mash No. が大きくなる)につれて大きくなっている。

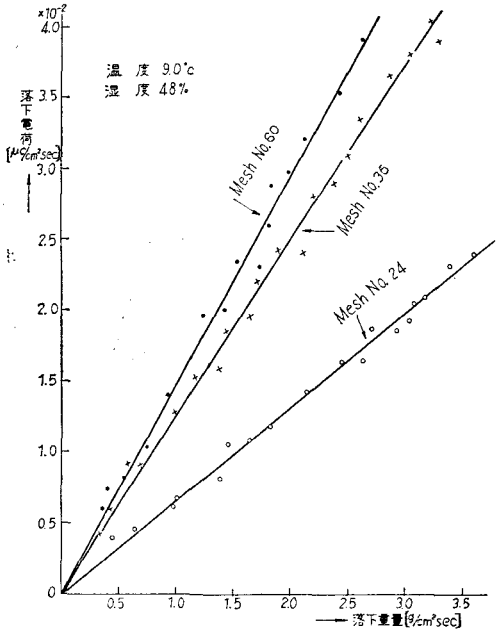


Fig. 17. Weight of powders falling from shifter v. s. quantity of static charges.

3.2 β線の照射方法

自然落下している帯電粉体にβ線を照射する条件としては，β線の形状が表2に示すような長方形をしているため，粉体の落下方向と垂直な関係にＲＩをセットしたもの（図18（ａ））と平行な関係にＲＩをセットしたもの（図18（ｂ））の二種類について実験した。また落下している粉体とβ線を照射する場合の幾何学的な配置は図16に示すような関係である。特に Faraday cage の上端から線源までの高さ H を 100cm にすることによって Faraday cage に落下してしまった粉体にはβ線の照射の影響がないことを確認した。また粉体帯電量の測定方法が Faraday cage に蓄積した全粉体の電荷量の測定であるので，除電のためには，なるべく落下している粉体の全範囲にわたってβ線の照射が行なわれることが必要である。このため粉体は 15cm×15cm（図16参照）程度の広がりの範囲内で落下するようにおさえてある。

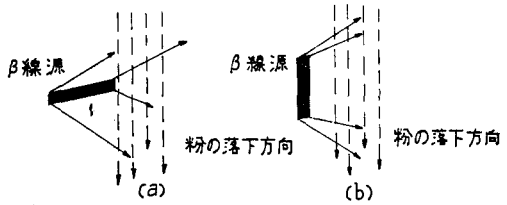


Fig. 18. Application of β-rays to charged falling powders.

なお静止している帯電粉体にβ線を照射した場合の時間に対する除電効果を検討すると，2. 4, b の実験結果図11—ＡおよびＢより β 線源が ^{90}Sr では短時間で除電することができるが，（0.3μc の帯電電荷に 1.0sec 照射して85％除電）^{147}Pmではかなりの時間を要する（0.3μc の帯電電荷に 10sec 照射して10％除電）。したがって粉体が自然落下による速度と同程度の速度で流動しているような場合では ^{90}Sr を線源として用いなくては除電がほとんど不可能であることは明らかである。このため shifter の実験では線源に ^{90}Sr のみを使用して以下の実験を行なった。

3.3 実験結果とその考察

実験結果ではβ線の照射条件が図18（ｂ）の場合の方が図18（ａ）の場合より約５％程度優れた除電効果となった。これは粉体の落下方向と平行な位置にβ線源がセットしてあるため多少とも時間的に多くβ線の照射を受けるからなのであると考えられる。このことから実験データのうち図18（ａ）のβ線照射条件のもとで行なった実験データのみを取り上げて報告する。

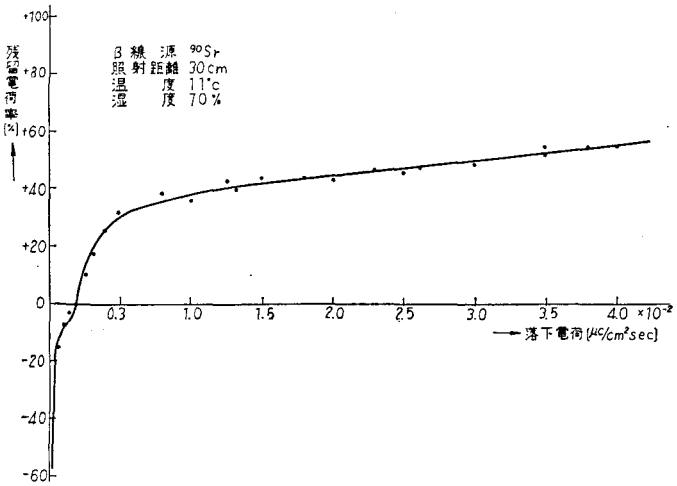


Fig. 19. Residual charge of powder after application of β-rays to powders falling from shifter.

単位時間，単位面積当り流動している粉体の"落下電荷に対する残留電荷率"を図19に示す。shifter の場合にも実験結果図19が物語っているように落下電荷が大きいとやはり残留電荷率も大きく，また落下電荷の小さい場合にはβ線自身によって負(−)に帯電するという 2.4 a の実験結果と類似した現象が現われている。

落下している粉体の"電荷密度対残留電荷率"はやはり 2.4, d で実験データを処理した方法にしたがって行なうと図20のような結果が得られ，これより流動している粉体の場合にも"電荷密度に除電効果は関係しない"という図21の結果が実験により確められた。

つぎにβ線の照射条件を変えた場合の除電効果を考察するため，その照射距離（図16参照）を parameter として"落下電荷対残留電荷率"を調べてみると図22のよ

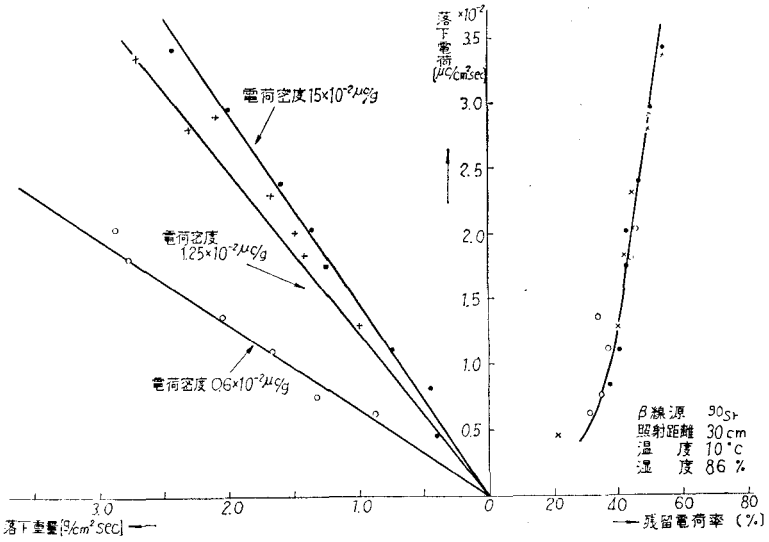


Fig. 20. Graphical method for investigation of effect of difference of charge density on residual charge rate. (2)

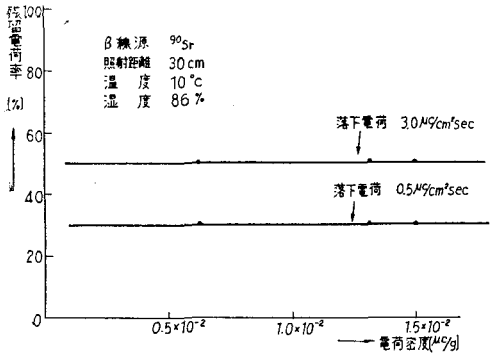


Fig. 21. Charge density of powder falling from shifter v. s. residual charge rate.

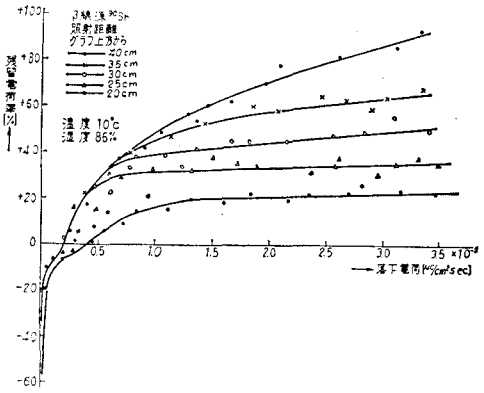


Fig. 22. Elimination efficiency v. s. charges on powders for various application distances (Parameters are application distance)

うな実験結果が得られた。この結果からβ線の"照射距離対残留電荷率"は図23のようになり，落下電荷 δ_0 によってその除電作用の効果に大きな相異をしめしていることがわかる。

前報[1),2)]によるとビニルシートの場合は照射距離によって除電効果に差程大きな相異が認められなかったが，これは被除電物が粉体であるということに基因してこのような結果が得られたのではなく落下電荷—被除電物の帯電量—がビニルシートに帯電している電荷に比較して大きいからなのである。というのは実験結果図23で示されているように落下電荷 δ_0 の大きさによってかなり，"照射距離対残留電荷率"の関係を異にしており，落下電荷が小さい場合はあまり照射距離に関係しない傾向が出ていることからも明らかである。

なおこの実験では図16に示しているように照射距離を落下している粉体の中心からβ線源までの距離を取っているのでβ線源と反対側にある粉体は事実上照射距離が

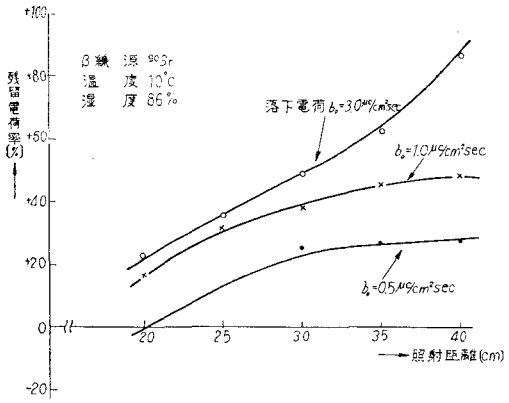


Fig. 23. Elimination efficiency v. s. distance of application of β-rays.

遠くなっているので除電に寄与しているイオンの利用率も下っていることを考慮しなければならないであろう。

その他の実験結果は2.4の静止している粉体に対して行なった除電の実験結果と同じ傾向が認められる。

したがってβ線による除電機構が定常状態では被除電物の静・動によって本質的に変らないのではないかと充分推測される。

4. むすび

以上，体積分布電荷を有する粉体として，容器中に堆積した帯電小麦粉の場合と空気中を自然落下する帯電小麦粉の場合とを例として，それぞれβ線を照射して除電する実際的効果について研究した結果を報告した。

β線による除電の機構については，まだ充分に検討すべき点が少なくなく，前報および今回の実験結果，ならびに今後引き続いて行なう予定の除電実験の結果などを参考として，理論的にもさらに解明し，ＲＩを除電器として採用するための基礎資料を得たいと考えている。

おわりにこの実験に御協力いただいた東京電機大学講師，田畠泰幸氏に謝意を表す。

参 考 文 献

1) 上月，坂主，田中，遠藤 "放射性同位元素による静電気の除去に関する研究"
産業安全研究所報告 Vol. 13, No.1 April, 1963

2) 田中，坂主，上月 "放射性同位元素による静電気の除去に関する研究"
産業安全研究所報告 Vol. 14, No 1, April 1965

3) 上月，"粉体の帯電"
火災学会誌 Vol. 7, No. 4, 1958

4) 木脇，佐久間，中曽根，"摩擦帯電量の測定"
電気試験所研究報告 第549号 昭30. 8

5) S. C. Currdn, J. D. Craggs, "Counting Tubes" London press, 1949

6) B. Rosei, H. Slaub, "Ionization chambers and counters"
McGraw Hill, 1962