

4 スパウトにおける粉体の帯電現象について

Studies on the electrification-phenomena of flowing flour in spout.

Abstract

Dust explosion is often occurred by spark-discharge of static electricity which is induced in the flow of flour: So we have researched fundamental cause of electrification of it.

Electro static charge induced on flour and spout must be measured and discussed as follows.

1. Relation between electro static charge on flour and spout.
2. Variation of electro static charge by kinds of flour.
3. Variation of electro static charge of flour by electrical effect of earth contact and inserting grid on spout.
4. Electrical effect by kinds of material, shape and inclination of spout.

§1. 緒言

粉体が流動するときに、摩擦により帯電しこの静電気が原因となつて、粉塵爆発を起す危険がある。

昭和28年1月某製粉工場の製粉タンク内で大爆発を起し、多数の死傷者を出した。この事故の原因を調査したところ、小麦粉の流動に基く、摩擦帯電による疑いが濃厚であつた。又製粉工場においてはスパウト（樋）、ミル、フィルター等において原因不明の小爆発を経験することがあつた。

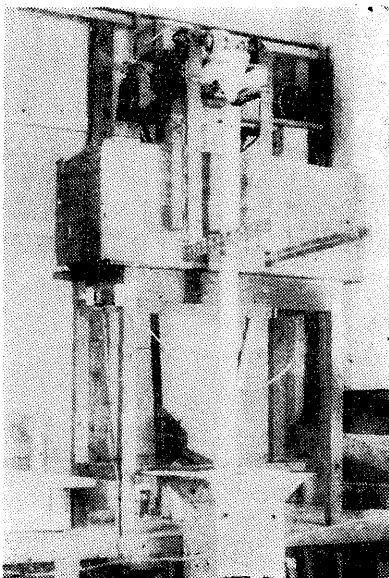
そこでこれらの危険性を解明するために、小麦粉がスパウト中を流動する際の帯電量を測定した。尚、静電気による粉塵爆発や作業者の感電危険は単に、製粉工場のみならず、広く粉体を取扱う工場において見られるので小麦粉以外の粉体についても実験を行つた。又これらの災害危険を軽減する方法を研究するために、スパウトを用いて粉体の種類及び落下密度の影響、並びにスパウトの材質、形状、絶縁、接地、傾斜角度、内面塗料等の影響を検討した。

§2. 実験設備

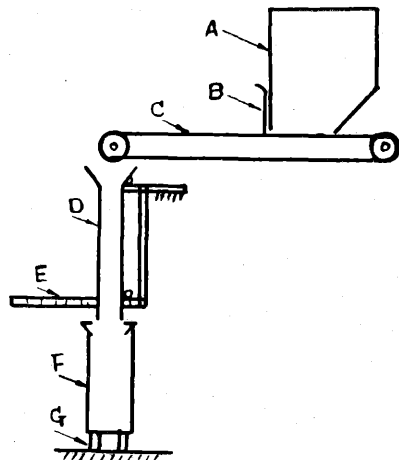
2.1. 実験装置 I

第1図はこの実験装置の概況を示したもので、第2図はその組立図である。

第 1 図



第 2 図



- A…上部タンク
- B…粉体落下量調節用シャッター
- C…ベルトコンベア
- D…スパウト
- E…スパウト支持腕及び傾斜角度目盛
- F…受器
- G…パラフィン

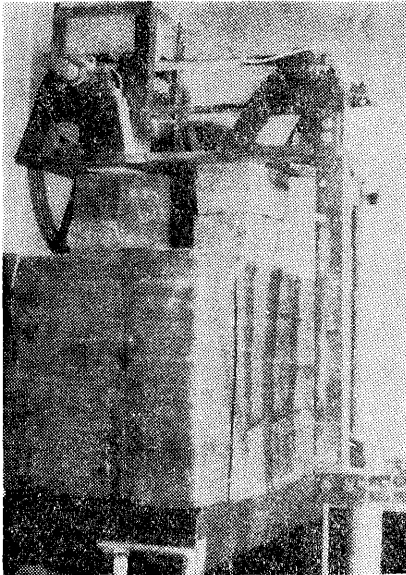
上部タンク(A)に入れた粉体は、ベルトコンベア(C)により均一にスパウト(D)に供給される。スパウトを通つた粉体はパラフィン(G)で絶縁された受器(E)に蓄積される。

(E)はスパウトの支持腕及び傾斜角度目盛で、これにより長さ1mのスパウトの傾斜角度を50度から90度まで5度毎に自由に变化できる。

又必要に応じ、パラフィンなどによりロート及びスパウトを $10^{12}\Omega$ 以上に絶縁することができる。

第3図は上部の粉体送給装置を示したもので、シャッター(B)により単位時間当りの粉体供給量を1gr/sec乃至10gr/secの範囲に調節することができる。

第3図



第4図は受器(E)を示したもので、スパウトより落下する粉体が再び受器外に噴出するのを防ぐように考慮している。

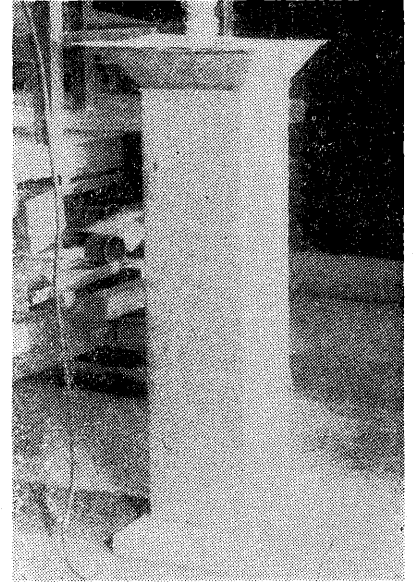
2.2. 実験装置II

長さ9mのスパウトを垂直に取付けて実験するため、当所の研究室に設けたもので、第5図はその組立図を示したものである。上部タンク(A)の中に充填した粉体はスクリュウコンベアによりスパウト(C)の落口に運ばれ、スパウト(C)を通じて受器(E)に蓄積される。

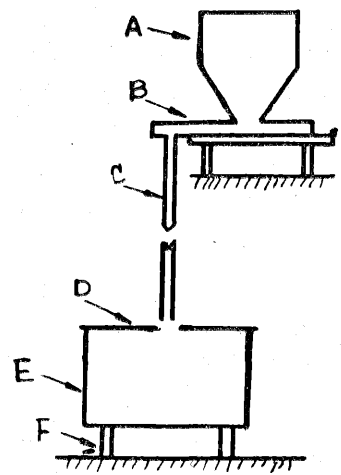
第6図はスパウトを取付けた状況を、第7図は受器に小麦粉を受けている状況を示したものである。

受器は木製函に鉄板を内張りしたものである。

第4図



第5図



- A…上部タンク
- B…スクリュウコンベア
- C…スパウト
- D…受器のフタ
- E…受器
- F…パラフィン

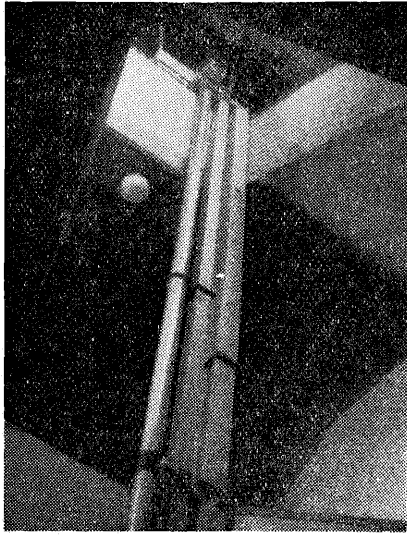
2.3. 実験装置III

現場で実際に操作する状態で帯電状況を測定するために、製粉工場に第8図及び第9図に示す如き設備を設けて実験をした。

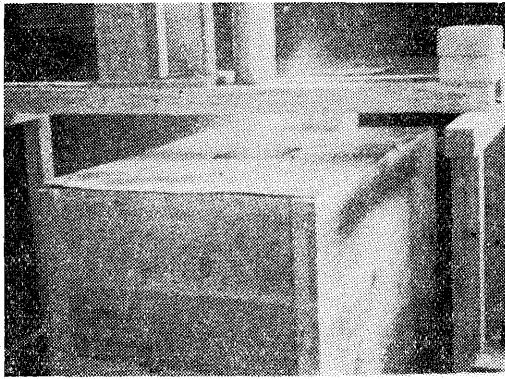
粉体の運搬機構はIIの装置と同様にスクリュウコンベアを用い、コンベアも実際と同様の太いものを使用した。

唯、粉体の供給には上の階にて袋より手にて送給するので、実験装置Iのように均一に送給することはできなかつた。

第 6 図



第 7 図

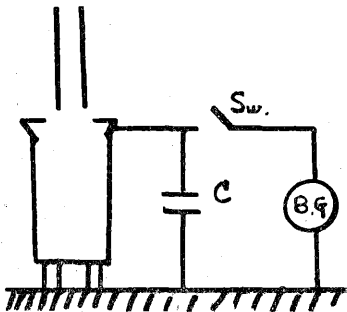


§3. 実験方法

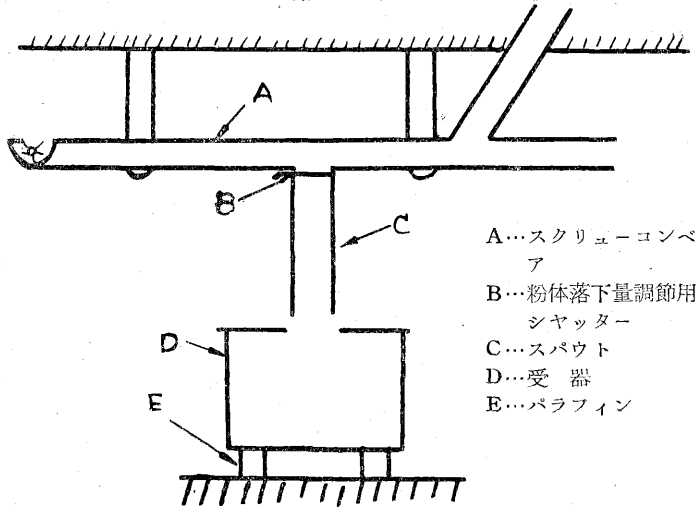
実験装置 I 乃至 III を通じ、受器に蓄積した粉体の持つ静電気を次のいずれかの方法で測定した。

3.1. 弾動検流計法

第 10 図

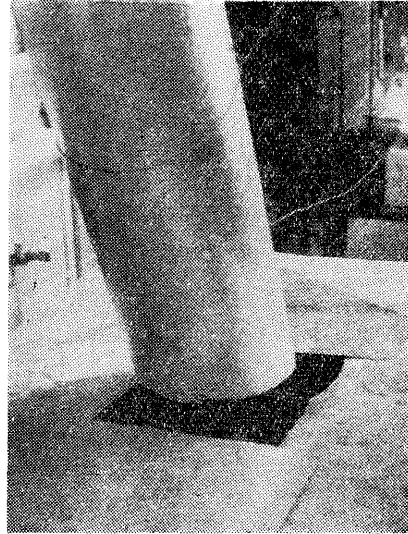


第 8 図

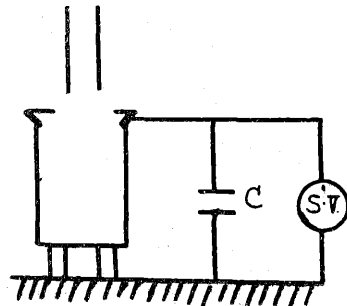


- A...スクリーコンベア
- B...粉体落下量調節用シャッター
- C...スパウト
- D...受器
- E...パラフィン

第 9 図



第 11 図



第10図の如く受器に $1\mu\text{f}$ 程度のコンデンサー(C)を接続し、粉体の落下終了と同時に(C)に蓄積された電荷を弾動検流計(B・G)によつて測定した。B・Gの最大感度は $81\text{mm}/\mu\text{c}$ である。

3.2. 静電電圧計法

第11図に示す如く受器に適当な静電容量の蓄電器(C)を接続し、蓄電器の端子電圧を、都電研型の静電電圧計(S・V)で測定した。

静電電圧計 750 ボルト目盛の静電容量は 12p.f 程度で絶縁は極めて良く、受器もできるだけ高絶縁に保つように努力した。

実験装置 I の受器の静電容量は 65p.f 程度、実験装置 II の受器の静電容量は 143p.f 程度であつた。

静電電圧計の読みは粉体の落下開始後 5 秒毎に記録し落下終了後も落下時間 T と同じ時間だけ記録を続けた。電圧は通常落下時間に比例して増大し、落下終了時に最高値に達し、その後僅かづつ減衰する。

落下終了後 T 秒後の電圧を V_m 、2 T 秒後の電圧を V_l とすれば、T 秒間の電圧降下は $V_m - V_l$ で、その間の全装置よりの漏洩電荷は $C(V_m - V_l)$ である。

次に落下開始より落下終了迄 T 秒間に蓄電器の端子電圧は零より V_m まで殆んど直線的に増加するので、その間の漏洩電荷は大体 $\frac{1}{2}C(V_m - V_l)$ と考えられる。故に粉体の真の帯電量は

$$Q = C \left(V_m + \frac{V_m - V_l}{2} \right) = CV_m \left(1 + \frac{V_m - V_l}{2 V_m} \right)$$

と考えられる。

一般には漏洩が少く $\frac{V_m - V_l}{2 V_m}$ が 0.5% 以下が多く、

その場合には

$$Q = CV_m$$

として計算した。

この方法は前の弾動検流計法の場合に比し、測定が容易であり、落下中の電荷の蓄積状況を知ることができる。唯、測定しようとする電荷が少く、蓄電器(C)の容量が非常に小さい場合には漏洩による誤差を生じ易い。

§ 4. 実験に用いた資料

4.1. スパウト

実験に用いたスパウトの種類は第 1 表の通りである。

第 1 表 スパウトの種類

番号	材質	形状	直径又は 一辺	長さ
1	金属	丸型	2in	100cm
2	〃	〃	3〃	〃
3	〃	〃	10cm	900cm
4	〃	角型	9〃	〃
5	木製	〃	〃	〃
6	金属	丸型	18〃	322cm
7	木製	角型	〃	〃

4.2. スパウトに用いた塗料

スパウトの内面塗装に用いた塗料は第 2 表の通りである。

第 2 表 塗料の成分表

1. ポリニール No.50

成 分	含有率 (%)
醋酸ヴィニール	30.0
ポリヴィニール	4.0
フタル酸デブチール	3.0
酒石酸	0.12
ソーダ灰	0.08
過酸化水素	0.15
酸化チタニウム	30.0
水	32.65

2. エバ・トップ

成 分	含有率 (%)
顔料	44.0
アレキドデジン	20.0
ブラシチック	7.5
乳融液	2.5
水	26.0

3. ビニレン

成 分	含有率 (%)
チタン白	20.0
黄土	15.0
カーボンブラック	5.0
醋酸ヴィニール	60.0

4. 防蝕塗料 A (絶縁ワニス)

主成分 フタル酸樹脂

溶剤 ミネラルスピレット, ステロール

添加 アマニ油, 支那桐油

比抵抗 $10^{14} \Omega \text{cm}/0.1 \text{mm}$

耐圧 $6500 \text{v}/0.1 \text{mm}$

4.3. 粉 体

実験に用いた粉体の性状は次の通りである。

4.3.1. 小麦粉

表は次頁

4.3.2. 砂糖類

イ成分

蔗糖分 99.91% 転化糖 0.03%

水分 0.04% 灰分 0.02%

第3表 小麦粉の性状

種類	粒度 (mesh)	比表面積 (測定値)	灰分% (推定)	用途
A	200~270	—	—	ビスケット類
B	170~200	—	—	パン類
C	300以上	—	—	麺類
D	170~200	1480	0.45	パン類
E	200~270	2360	0.48	ビスケット類
F	300以上	3700	0.35	天ぷら, カステラ類
G	300以上	2890	0.36	麺類

見掛比重 0.5 真比重 1.4

ロ 粒度

粉糖	325mesh以上	
砂糖(結晶)	30mesh以下	40%
	30~60mesh	55%
	60mesh以上	5%

第5表 実験結果のバラッキ

実験装置 I, 金属スパウト; 2"φ, 100cm, 垂直, 接地
試料, 小麦粉D, 落下量 100gr.

年月日	天候	室温(°C)	湿度(%)	粉温(°C)	落下時間 (sec)	帯電量 μc/100gr
30.3.9.	小雨	10.0	61.0	10.0	34.0	+0.300
					33.5	+0.320
					35.0	+0.290
					35.0	+0.300
					36.0	+0.302
					35.5	+0.315
					33.0	+0.292
						+0.313
30.3.10.	曇	10.0	61.0	10.0	34.0	+0.193
					34.5	+0.208
					35.0	+0.198
					35.0	+0.163
					34.5	+0.160
					36.0	+0.173
					35.5	+0.183
						+0.183
30.3.11.	曇	10.0	61.0	10.0	35.5	+0.392
					36.0	+0.392
					36.0	+0.385
					36.0	+0.350
					36.0	+0.360
					36.0	+0.345
					36.0	+0.357
						+0.369
30.3.14.	曇	12.0	54.0	10.3	34.0	+0.402
					35.5	+0.420
					35.0	+0.410
					36.0	+0.397
					35.5	+0.407
						+0.413

4.3.3. その他の粉体

第4表 その他の粉体の性状

種類	粒度 (ミクロン)	見掛比重
石膏	30~70	0.81
タルク	20~50	0.45
第二磷酸石灰	50~100	0.50
重質炭酸石灰	10~40	0.51
軽質炭酸石灰	10~20	0.21

§5. 実験結果とその考察

5.1. 実験結果の信頼度

同じ粉体及び同じ実験装置をなるべく同じ条件で, 帯電量を測定した結果は一般に実験日により相当の差を生じている。

しかし同じ日の実験結果のバラッキは極めて少ない。

					35.5	+0.425	
					35.5	+0.425	
30.3.15.	曇	11.0	62.0	10.3	34.0	+0.446	+0.456
					35.0	+0.480	
					35.0	+0.437	
					34.5	+0.480	
					35.5	+0.442	
					35.0	+0.468	
					35.5	+0.438	
30.3.16.	晴	12.0	63.0	10.1	34.0	+0.505	+0.536
					35.0	+0.488	
					34.0	+0.543	
					35.0	+0.519	
					34.0	+0.568	
					35.0	+0.575	
					36.0	+0.550	
30.3.18.	曇	16.0	77.0	15.5	34.5	+0.318	+0.313
					35.5	+0.317	
					35.5	+0.307	
					35.5	+0.317	
					35.5	+0.310	
					34.5	+0.317	
					35.5	+0.307	

第5表は小麦粉Dについて7日間に亘つてなるべく同じ条件で実験した結果であるが、実験日により著しい変動を生じている。

しかもこの変動と天候、温湿度、粉温等との間の相関関係は明らかでなく、変動の原因は未だ明確でない。

併し同じ日に行つた各7回の測定値のバラッキは割合に少く、確率誤差は±2~7%である。

又同じ日に実験条件を変えた相互の関係は実験日が異なつても類似の傾向を示している。

従つて実験結果の帯電量の絶対値には多少の疑問があるが、比較試験の結果が示す相互の関係には相当の信頼

性があるものと考えられる。

このような見解に基いて粉体並にスパウトの条件を変化して帯電量を測定比較し、実験結果についてはなるべく測定値をそのまま詳細に記載するようにした。

5.2. スパウトの帯電量と粉体の帯電量との比較

小麦粉がスパウト中を流下する場合に、如何にして帯電するかを検討するためにスパウトをゴム又はパラフィンで絶縁し、スパウトの帯電量と小麦粉の帯電量を比較した。又参考のために重質炭酸石灰についても同様の実験を行つた。その結果は第6表に示す通りである。

スパウトの帯電量と粉体の帯電量は大体に於て等しく

第6表 スパウトの帯電量と粉体の帯電量との比較

金属スパウト垂直

※1 30.3.11. 曇 10°C, 61%

※2 28.5.1. 晴 10°C, 67%

実験装置	スパウトの種類	粉体の種類	落下量(gr)	落下時間(sec)	帯電量 μc/100gr	
					粉体	スパウト
I ※1	2" φ 100cm	重質炭酸石灰 含水率 0.3%	100	35.0	+0.487	-0.500
			//	36.0	+0.475	-0.487
			//	36.0	+0.475	-0.487
			//	35.5	+0.462	-0.475
			//	34.0	+0.450	-0.462

I ※2	2" φ		100	34.5	+0.443	}	-0.456	}	-0.347							
			//	36.0	+0.462		-0.480									
	100cm	小麦粉 D 含水率14.4%	100	34.5	+0.375	} +0.376	-0.352									
			//	34.0	+0.385		-0.340									
			//	36.0	+0.362		-0.348									
			//	35.5	+0.380		-0.352									
			//	35.5	+0.380		-0.340									
//	35.0	+0.377	-0.352													
//	36.0	+0.370	-0.327													
II ※2	9cm□ 900cm	小麦粉 C 含水率13.6%	6,500	26.0	+0.618	} +0.626										
			8,300	32.0	+0.624											
			6,400	27.0	+0.636											
				6,600	28.0			-0.634	}	-0.633						
				7,600	29.0			-0.632								
				10cmφ 900cm	小麦粉 C 含水率13.6%	7,400		28.0			+0.544	} +0.545				
						8,100		29.0			+0.536					
						7,400		26.0			+0.556					
								4,800			24.0			-0.562	}	-0.566
								6,600			27.0			-0.570		

極性が反対である。従つてスパウトを流下する際に粉体に生ずる帯電は主にスパウトの内面との摩擦によるものと考えられる。

実験装置IIに於てはスパウトの帯電量と小麦粉の帯電量を別々に測定したので、厳密には実験条件が異なるので比較し難い訳であるが、実験条件のこの程度の相異では、単位落下量当りの帯電量には大した影響がないものと考えられる。

又スパウトの絶縁にゴムシートを用いたので、その絶縁抵抗は(1~2)×10⁹ オーム程度であつたが、1μfのコンデンサーを接続して帯電量を測定したので測定中における電荷の漏洩は殆んど認められない。

5.3. 粉体の種類による帯電量の比較

実験装置IIにより原麦、フスマ、並に小麦粉の帯電量を比較した結果は第7表の通りで、小麦粉はすべて正に

第7表 粉体の種類による帯電量の比較

実験装置II, 木製スパウト 9cm□, 900cm 垂直
30.4.22. 晴 16°C, 56%

粉体の種類	落下量 (gr)	落下時間(sec)	帯電量 μc/100gr	備考
原麦	14,000	29.0	-0.00214	} -0.00216
	//	15,000	-0.00218	
フスマ	6,300	25.0	+0.090	} +0.097
	//	6,700	+0.093	
	//	6,800	+0.097	

フスマ	6,900	24.5	+0.101	}		
	//	7,000	26.0			
小麦粉A	7,300	29.0	+0.206	} +0.196	含水率 13.6%	
	//	6,200	27.0			+0.198
	//	6,500	27.0			+0.198
	//	5,500	28.0			+0.190
	//	7,200	27.0			+0.190
小麦粉B	8,700	27.0	+0.288	} +0.311	含水率 14.0%	
	//	8,800	28.0			+0.306
	//	9,500	29.0			+0.316
	//	8,500	28.0			+0.324
小麦粉C	6,700	27.0	+0.364	} +0.363	含水率 13.2%	
	//	6,700	28.0			+0.362
	//	6,900	29.0			+0.362

帯電し、原麦は僅かに負に帯電した。フスマには小麦粉が多量に含んでいたもので、純粋のフスマの帯電量ではない。又実験装置により種々の小麦粉の帯電量を比較した結果は第8表の通りである。

実験装置IとIIではスパウトの径及び長さ並びに粉体の落下密度も異なる。従つてこの結果より直ちに両者の比較をすることは困難であるが、全体を通じて小麦粉では中力小麦粉(C及びG)が比較的多く帯電するように考えられる。

次に参考迄に小麦粉以外の種々の粉体の帯電量を比較した結果は第9表の通りで、砂糖、粉糖、石膏及びタル

クは負に帯電している。

第8表 粉体の種類による帯電量の比較

実験装置 I, 金属スパウト 2"φ, 100cm, 垂直, 接地
30.3.10. 曇 10°C, 61%

粉体の種類	落下量 (gr)	落下時間 (sec)	帯電量 $\mu\text{C}/100\text{gr}$	備考
小麦粉 D	100	34.0	+0.193	+0.183 粉温 9.5°C 含水率 14.4%
		34.5	+0.208	
		35.0	+0.198	
		35.0	+0.163	
		34.5	+0.160	
		36.0	+0.173	
		35.5	+0.183	
小麦粉 E	100	35.0	+0.178	+0.186 粉温 9.5°C 含水率 13.9%
		36.5	+0.196	
		36.5	+0.178	
		36.0	+0.180	
		37.5	+0.208	
		36.0	+0.190	
		35.0	+0.173	
小麦粉 F	100	35.5	+0.196	+0.191 粉温 9.5°C 含水率 13.6%
		37.0	+0.178	
		36.5	+0.183	
		36.0	+0.203	
		36.0	+0.196	
		36.5	+0.193	
		35.5	+0.185	
小麦粉 G	100	35.0	+0.231	+0.220 粉温 9.5°C 含水率 13.6%
		37.0	+0.231	
		35.5	+0.211	
		35.0	+0.221	
		34.0	+0.218	
		35.5	+0.193	
		35.5	+0.231	

第9表 粉体の種類による帯電量の比較

実験装置 I, 金属スパウト 2"φ, 100cm, 垂直, 接地
30.4.6. 晴, 12°C, 63%

粉体の種類	落下量 (gr)	落下時間 (sec)	帯電量 $\mu\text{C}/100\text{gr}$	備考
砂糖	100	34.0	-0.048	-0.047
		34.0	-0.046	
		33.5	-0.046	
		36.0	-0.051	
		35.0	-0.047	
		35.0	-0.046	
		35.0	-0.045	
		38.0	-0.237	
		33.0	-0.265	

粉糖	100	33.0	-0.260	-0.267
		33.0	-0.264	
		34.0	-0.285	
		33.0	-0.270	
		34.0	-0.284	
味の素	100	33.0	+0.012	+0.012
		33.0	+0.011	
		35.0	+0.012	
		35.0	+0.011	
		34.0	+0.011	
		36.0	+0.012	
		35.0	+0.012	
石膏	100	36.0	-0.042	-0.040
		37.0	-0.037	
		37.0	-0.042	
		36.0	-0.041	
		37.0	-0.041	
		37.0	-0.037	
		37.5	-0.041	
タルク	100	36.0	-0.104	-0.104
		37.0	-0.103	
		37.0	-0.099	
		35.0	-0.100	
		37.0	-0.104	
		37.0	-0.107	
		36.0	-0.107	
第二磷酸石灰	100	38.0	+0.226	+0.228
		36.0	+0.187	
		36.0	+0.196	
		36.0	+0.233	
		35.0	+0.278	
		35.0	+0.256	
		37.0	+0.221	
軽質炭酸石灰	100	37.0	+1.26	+1.22
		35.0	+1.24	
		36.0	+1.26	
		34.5	+1.20	
		36.0	+1.19	
		36.0	+1.22	
		38.0	+1.15	
重質炭酸石灰	100	37.0	+0.663	+0.655
		35.0	+0.682	
		37.0	+0.670	
		34.0	+0.663	
		34.0	+0.645	
		37.0	+0.620	
		34.0	+0.638	

5.4. 金属スパウトの絶縁及び接地の影響

金属スパウトを使用する場合、スパウトが帯電して電位が上昇するのを防ぐために、常に接地することになっている。この接地が粉体の帯電に如何に影響するかを調

べるために、スパウトをパラフィン、又はゴムシートで絶縁した場合と接地した場合との粉体の帯電量を比較した。

その結果は第10表の通りである。

第 10 表 金属スパウトの絶縁、接地による帯電量の比較

金属スパウト 垂直

※1 30.3.11. 曇 10°C, 61%

※2 28.5.1. 晴 16°C, 67%

実験装置	スパウトの種類	粉体の種類	スパウトの状態	落下量 (gr)	落下時間 (sec)	帯電量 $\mu\text{c}/100\text{gr}$
I ※1	2" ϕ 100cm	重質炭酸石灰 粉温 9°C 含水率 0.3%	接 地	100	35.0	+0.625
					35.0	+0.587
					35.5	+0.637
					35.0	+0.600
					35.0	+0.575
					35.5	+0.581
					35.5	+0.582
			高 絶 縁	100	35.0	+0.425
					35.5	+0.430
					35.5	+0.400
					36.0	+0.437
					35.5	+0.418
					35.0	+0.412
					36.0	+0.440
II ※2	10cm ϕ 900cm	小麦粉 D 粉温 10°C 含水率14.4%	接 地	100	35.5	+0.392
					36.0	+0.392
					36.0	+0.385
					36.0	+0.350
					36.0	+0.360
					36.0	+0.345
					36.0	+0.357
			高 絶 縁	100	36.0	+0.287
					35.5	+0.312
					35.5	+0.285
					35.5	+0.285
					35.5	+0.250
					36.5	+0.305
					36.0	+0.275
II ※2	10cm ϕ 900cm	小麦粉 C 含水率13.6%	接 地	7,000	29.0	+0.528
					7,600	+0.540
					5,200	+0.576
					7,600	+0.524
					7,200	+0.548
					7,400	+0.544
					低 絶 縁	7,400
			8,100	+0.536		
			7,400	+0.556		

II ※2	9cm口 900cm	小麦粉 C 含水率13.6%	接 地	7,000	27.0	+0.620	+0.617
				7,200	27.0	+0.620	
				6,900	27.0	+0.610	
	低 絶 縁	6,500	26.0	+0.616	+0.625		
		8,300	32.0	+0.624			
		6,400	27.0	+0.636			

註 高絶縁… $1\sim 4\times 10^{12}$ オーム 低絶縁… $1\sim 2\times 10^9$ オーム

実験装置 I に於てパラフィンにて高度 (10^{12} オーム程度) に絶縁した場合には小麦粉でも、重質炭酸石灰でも絶縁した時の方が、接地した場合より帯電量が却つて少い。

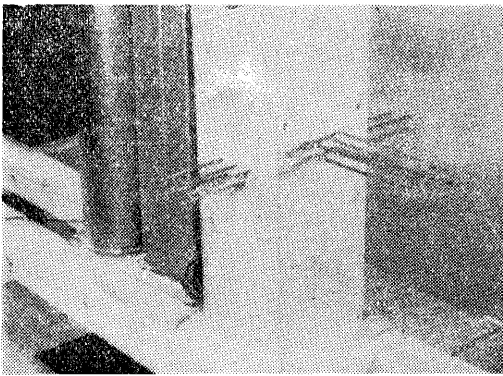
併し現場でスパウトをこのような高絶縁に保つことは困難であり、又極めて危険である。

次に実験装置 II に於てゴムシートにて絶縁 (10^9 オーム程度) した場合には、帯電量は接地した場合との間に差異を認め難い。従つて現実にはスパウトを接地しても絶縁しても粉体の帯電量には大差はないものと考えられる。そしてスパウトの電位上昇を防ぐために常に接地することが必要である。

5.5. スパウトへグリッド挿入の影響

スパウト中へグリッドを挿入し、これを接地して置けば、流下する粉体の有する電荷がこれを通じて逃げるのではないかと考え、第12図に示す如く実験装置 II に於て

第 12 図



木製スパウトに径 4mm の針金を挿入して、グリッドを作り帯電量を測定した。その結果は第11表に示す通りでグリッドのない場合の粉体の帯電量が $+0.321\mu\text{C}/100\text{gr}$ であるのに対しグリッドを挿入した場合は $+0.547\mu\text{C}/100\text{gr}$ で、却つて $+0.226\mu\text{C}$ も増大している。次に同じ条件でグリッド自体の帯電量を測定した結果 $-0.213\mu\text{C}/100\text{gr}$ である。従つてグリッドを挿入した結果、粉体はこれとの摩擦により却つて、それだけ多く帯電したものと考えられる。次にグリッドを挿入した位置及びグリッドの本数により帯電量が如何に変化するかを調べた。

第11表 グリッド挿入による帯電量の変化

実験装置 II, 木製スパウト9cm口, 900cm, 垂直
28.4.16. 曇, 13°C , 72%, 試料, 小麦粉 C
グリッド 4mmφ, スパウトの下端より 22.5cm に挿入

グリッド本数	落下量 (gr)	落下時間(sec)	帯電量 $\mu\text{C}/100\text{gr}$	備考	
10	6,700	28.0	粉体 +0.546	+0.547	グリッド接地
	5,800	26.0	〃 +0.548		
	4,100	24.0	グリッド -0.214	-0.213	
	6,800	29.0	〃 -0.212		
なし	6,300	28.0	粉体 +0.318	+0.321	グリッドなし
	6,600	28.0	〃 +0.324		

その結果は第12表の通りで、グリッドをスパウトの中間に挿入した場合よりも、下端に挿入した場合の方が帯電量が多い。下端の方が粉体の流下速度が大きいのではないかと考えられる。

又挿入した本数の多い方が帯電量が多い。

以上の結果より見て粉体の流動する場所に摩擦の増大するような障害物を置くことは、たとえそれを完全に接

第12表 グリッドの位置及び本数による帯電量の変化

実験装置 II, 木製スパウト9cm口, 900cm垂直
28.4.15. 晴, 12°C , 63%, 試料, 小麦粉 C

グリッドの位置	グリッド本数	落下量 (gr)	落下時間(sec)	帯電量 $\mu\text{C}/100\text{gr}$	
スパウト の下端より 22.5cm に 挿入 4mmφ接地	10	5,800	27.0	+0.590	+0.580
	〃	6,200	28.0	+0.570	
	6	6,200	27.0	+0.510	+0.489
	〃	5,500	25.0	+0.488	
	〃	1,200	10.0	+0.468	
	〃	3,100	13.0	+0.504	
〃	4,400	23.0	+0.576		
〃	3	5,600	27.0	+0.424	+0.409
	〃	4,900	25.0	+0.400	
	〃	6,800	26.0	+0.402	

スパウト の下端より 461.5cmに 挿入 4mmφ接地	10	7,300	28.0	+0.482	} +0.497
	//	6,800	27.0	+0.508	
	//	6,700	26.0	+0.502	
	6	6,700	26.0	+0.460	} +0.464
	//	6,500	26.0	+0.468	
	3	6,700	27.0	+0.402	} +0.403
//	6,900	28.0	+0.404		
なし	6,400	26.0	+0.308	} +0.307	
	6,800	27.0	+0.306		

地しても粉体の帯電量を増大することになるので、出来るだけ避けるべきである。

事故を起した製粉タンクでは壁面に梁が突出し、又粉の落し口の直下にチャンネルがあつて、粉がこれらに衝突して落下していたので、粉の帯電量が增大していたものと考えられる。従つて改造に際しては壁面の突起物を除くと共に、落し口をタンクの中央に設けた。

5.6. スパウトの傾斜角度の影響

現場ではスパウトは直立よりも傾斜して用いられる場合が多い。そこでスパウトの傾斜角度がスパウト中を流下する粉体の帯電に如何に影響するかを調べるために実験装置 I に於て径 2 in, 長さ 1 m の金屬丸形スパウトを水平に対する傾斜角度 50° より 90° まで変化させ 100gr

第13表 金屬スパウトの傾斜角度の影響

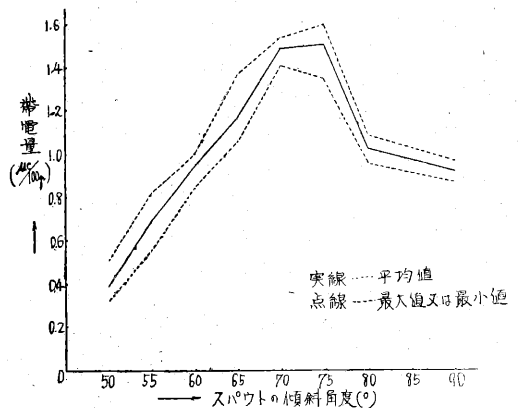
実験装置 I, 金屬スパウト 2"φ, 100cm, 接地
30.4.7. 晴, 15°C, 66%, 試料, 小麦粉 D

傾斜角度 (°)	落下量 (gr)	落下時間 (sec)	帯電量 μc/100gr	
50	100	38.0	+0.322	} +0.390
		37.0	+0.348	
		37.0	+0.348	
		35.5	+0.389	
		37.0	+0.503	
		36.0	+0.427	
55	100	38.0	+0.562	} +0.695
		37.5	+0.576	
		38.0	+0.697	
		37.0	+0.683	
		37.0	+0.764	
		36.0	+0.825	
60	100	38.0	+0.850	} +0.945
		37.5	+0.985	
		37.0	+0.957	
		36.5	+1.000	
		36.5	+0.958	
		36.0	+0.936	

65	100	37.0	+1.06	} +1.17
		38.0	+1.36	
		36.5	+1.20	
		36.5	+1.17	
		36.0	+1.07	
70	100	37.0	+1.41	} +1.49
		38.0	+1.54	
		36.0	+1.55	
		36.0	+1.43	
		36.0	+1.50	
75	100	37.0	+1.58	} +1.51
		38.0	+1.58	
		36.5	+1.35	
		37.0	+1.43	
		37.5	+1.52	
80	100	38.0	+0.955	} +1.020
		37.5	+0.967	
		37.0	+1.090	
		37.0	+0.930	
		37.5	+1.090	
90	100	35.0	+0.905	} +0.920
		36.0	+0.870	
		37.0	+0.951	
		35.0	+0.917	
		36.0	+0.890	

の小麦粉を流下させて、その帯電量を測定した。その結果は第13表の通りで、第13図は傾斜角度に対する帯電量の変化を示したものである。

第 13 図



傾斜角度が少い時は落下速度が遅いため帯電量が少く、一方垂直に近くなれば壁面との摩擦が少くなり、再び帯電量が減少するのではないかと考えられ、この実験では70~75度にて最高値を示している。

5.7. 粉体の落下密度の影響

実験装置 I に於て径 2in, 長さ 1m の金属丸形スパウトを垂直に取付け, 30gr 乃至 250gr の小麦粉を平均35

秒間に落下させ、帯電量が如何に変化するかを調査した。

その結果は第14表及び第14図に示す通りである。この範囲では大体に於て落下量に比例して帯電量が増加し、100gr 当りの帯電量は殆んど一定している。

尚、スパウトの断面積及び粉体の落下時間が殆んど一定であるからこの結果は粉体の落下密度による単位落下

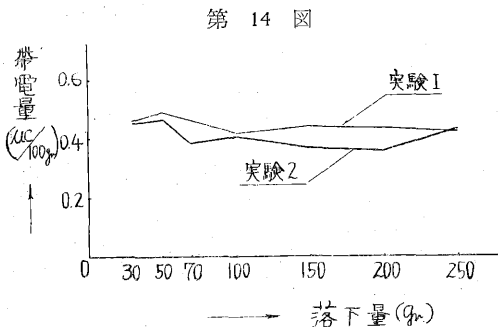
第 14 表 粉体の落下密度による帯電量の比較

実験装置 I, 金属スパウト 2"φ, 100cm, 垂直

落下量(gr)	実験No.1 (30.3.14.晴, 12°C, 54%)		実験No.2 (30.4.5.晴11°C, 62%)	
	落下時間(sec)	帯電量 (μC)	落下時間(sec)	帯電量 (μC)
30	37.5	+0.146	37.0	+0.134
	35.0	+0.136	33.0	+0.121
	34.5	+0.131	35.0	+0.144
	36.5	+0.141	37.0	+0.155
	36.0	+0.141	37.0	+0.135
	36.5	+0.135	33.0	+0.136
	36.0	+0.139	33.0	+0.136
		+0.138 (0.460μC/100gr)		+0.137 (0.457μC/100gr)
50	36.0	+0.228	37.0	+0.246
	34.5	+0.220	38.0	+0.256
	36.0	+0.233	33.0	+0.217
	36.0	+0.244	33.0	+0.216
	37.0	+0.232	33.0	+0.223
	37.0	+0.231	33.0	+0.229
	35.0	+0.231	33.0	+0.236
		+0.231 (0.488μC/100gr)		+0.231 (0.463μC/100gr)
70	36.0	+0.325	34.0	+0.268
	35.0	+0.337	33.0	+0.278
	35.0	+0.300	33.0	+0.280
	36.0	+0.325	33.0	+0.265
	36.0	+0.317	33.0	+0.265
	35.5	+0.312	33.0	+0.260
	36.0	+0.325	32.0	+0.263
		+0.321 (0.459μC/100gr)		+0.268 (0.383μC/100gr)
100	34.0	+0.402	35.0	+0.409
	35.5	+0.420	34.5	+0.404
	35.0	+0.410	35.0	+0.409
	36.0	+0.397	35.5	+0.407
	35.5	+0.407	34.0	+0.394
	35.5	+0.425	35.0	+0.399
	35.5	+0.425	34.5	+3.392
		+0.413 (0.413μC/100gr)		+0.402 (0.402μC/100gr)
150	36.0	+0.643	35.5	+0.570
	36.0	+0.681	36.0	+0.558
	35.0	+0.687	35.0	+0.552
	35.5	+0.681	34.0	+0.533
	35.5	+0.631	35.0	+0.527
	35.0	+0.650	34.5	+0.558
	36.0	+0.662	36.0	+0.564
		+0.662 (0.441μC/100gr)		+0.552 (0.369μC/100gr)

200	35.5	+0.868	+0.862 (0.431 μ c/100gr)	36.0	+0.695	+0.710 (0.355 μ c/100gr)
	36.0	+0.862		36.0	+0.700	
	37.0	+0.882		37.0	+0.707	
	36.5	+0.882		35.0	+0.718	
	36.0	+0.837		34.0	+0.725	
	35.5	+0.868		35.0	+0.718	
	35.0	+0.843		35.0	+0.707	
250	35.5	+1.050	+1.072 (0.420 μ c/100gr)	36.0	+1.100	+1.080 (0.432 μ c/100gr)
	36.0	+1.070		36.0	+1.070	
	35.0	+1.060		36.0	+1.170	
	35.5	+1.070		36.0	+1.160	
	35.0	+1.070		37.0	+1.100	
	35.5	+1.090		37.0	+1.050	
	35.5	+1.090		36.0	+0.923	

量当りの帯電量の変化を示している



5.8. スパウトの材質、形状による帯電量の比較

現場では金属丸型又は木製角型のスパウトを使用している。そこでこれらのスパウトの材質及び形状により帯電量が如何に変化するのかを調べるために、実験装置IIに於て金属丸型、金属角型及び木製角型のスパウトを垂直に取付け、小麦粉を流下させてその帯電量を測定した。その結果は第15表(※1)の通りで、金属丸型と金属角型とは大差がないが、木製角型は帯電量が少い。

次に現場に於て約60度に傾斜した金属丸型スパウトと木製角型スパウトとを比較した結果は第15表(※2)の通りで木製の方がはるかに帯電量が小さい。

第15表 スパウトの材質形状による帯電量の比較

- ※1 28.5.1. 晴, 16°C, 67%, 試料, 小麦粉C
含水率13.6%
- ※2 28.9.30. 曇, 24°C, 73%, 試料, 小麦粉C
含水率13.0%

実験装置	スパウトの種類	落下量 (gr)	落下時間(sec)	帯電量 μ c/100gr
※1	II 垂直 金属 10cm ϕ 900cm	7,300	29.0	+0.598
		6,500	27.0	+0.600
		6,500	26.0	+0.600

※1	II 垂直	金属 9cm口 900cm	7,000	27.0	+0.620	+0.617		
			7,200	27.0	+0.620			
			6,900	27.0	+0.616			
	III 傾斜 60°	木製 9cm口 900cm	4,700	22.0	+0.448	+0.463		
			5,300	27.0	+0.476			
			6,500	28.0	+0.466			
※2	III 傾斜 60°	金属 18cm ϕ 高さ 322cm	53,400	45.0	+0.0985	+0.0981		
			51,900	45.0	+0.1060			
			59,800	45.0	+0.0979			
			60,600	45.0	+0.0955			
			木製 18cm口 高さ 322cm	51,600	40.0		+0.0252	+0.0208
				60,200	45.0		+0.0241	
	54,200	45.0		+0.0218				
	64,400	51.0		+0.0171				
	63,800	50.0		+0.0160				

これらの結果に基づき事故を起した製粉タンクの改造に際しコンベヤと製粉タンクの落し口とを接続するスパウトには木製角型を使用することにした。

5.9. スパウトの内面塗料による影響

製粉タンク内面に塗るコンクリートペイントが小麦粉の帯電に如何に影響するかを調らべるために、実験装置IIに於てこれらの3種のペイントをそれぞれ木製スパウトに塗り、帯電量を比較した。その結果は第16表の通りで、全体を通じ、ポリニールが最も帯電量が少い。この値は塗料を塗らない木製スパウトでの帯電量に比べても少ないこの結果と電気試験所木脇氏の実験結果とを併せ検討して改造した製粉タンクの内面にはポリニールを塗ることに決定した。

次に実験装置Iに於て径2inの金属丸型スパウトについて、防蝕塗料として絶縁ワニス塗つたものと、塗ら

第16表 木製スパウト内面塗料の種類による帯電量の比較

実験装置II, 木製スパウト9cm口, 900cm, 垂直

粉体種類	塗料の種類	落下量 (gr)	落下時間(sec)	帯電量 $\mu\text{C}/100\text{gr}$	
小麦粉C 29.1.16. 曇 9°C.55%	ポリニール	13,350	18.0	+0.1094	+0.0718
		13,700	18.5	+0.0703	
		12,400	19.0	+0.0756	
		11,900	18.5	+0.0612	
		13,050	19.0	+0.0590	
		12,900	18.5	+0.0564	
	エバトupp	10,500	19.0	+0.336	+0.304
		10,515	18.5	+0.341	
		10,650	19.0	+0.318	
		9,400	19.0	+0.293	
		10,400	19.0	+0.300	
		9,550	19.0	+0.278	
	ビニレン	10,450	19.0	+0.386	+0.448
		9,550	18.5	+0.444	
		10,100	19.0	+0.457	
		9,900	18.5	+0.464	
		10,500	19.0	+0.461	
		10,300	19.0	+0.475	
ポリニール	8,400	19.0	+0.046	+0.048	
	8,410	19.0	+0.052		
	8,650	19.5	+0.049		
	9,200	19.0	+0.041		
	7,700	18.0	+0.039		
	7,750	19.0	+0.063		
エバトupp	6,350	19.0	+0.207	+0.209	
	5,900	19.0	+0.216		
	6,400	22.5	+0.197		
	6,500	21.0	+0.193		
	6,200	18.5	+0.220		
	6,200	18.0	+0.193		
ビニレン	7,200	19.0	+0.558	+0.584	
	5,800	17.0	+0.637		
	5,950	17.5	+0.587		
	7,700	23.0	+0.585		
	6,800	20.5	+0.580		
	7,000	19.0	+0.566		
小麦粉B 29.1.18. 9°C.59%	ポリニール	8,000	18.5	+0.097	+0.082
		10,150	19.0	+0.057	
		9,600	19.0	+0.076	
		11,900	20.0	+0.075	
		11,500	20.0	+0.076	
		5,700	16.0	+0.169	
	8,500	17.0	+0.148		

小麦粉B	エバトupp	9,900	21.0	+0.182	+0.173
		9,500	20.0	+0.170	
		9,600	20.0	+0.197	
29.1.18. 9°C.59%	ビニレン	8,300	19.0	+0.227	+0.274
		9,400	19.0	+0.269	
		9,400	19.0	+0.257	
		9,300	20.0	+0.294	
		9,250	19.0	+0.331	

ないものとを比較した処、その結果は第17表の通りで塗つたものの方が帯電量が少い。併し現場のスパウトに使用するには塗料の絶縁抵抗、内部の電位上昇等を検討しなければならない。

第17表 金属スパウト内面塗装の有無による帯電量の比較

実験装置I, 金属スパウト2"φ, 100cm, 垂直, 接地 30.3.11.曇, 10°C, 61%, 試料, 小麦粉D, 含水率 14.4%, 粉温9°C

塗料の種類	落下量 (gr)	落下時間 (sec)	帯電量 $\mu\text{C}/100\text{gr}$	
絶縁ワニス	100	35.5	+0.270	+0.299
		36.0	+0.287	
		36.0	+0.295	
		35.5	+0.295	
		36.0	+0.313	
		36.5	+0.315	
なし	100	36.0	+0.320	+0.369
		35.5	+0.392	
		36.0	+0.392	
		36.0	+0.385	
		36.0	+0.350	
		36.0	+0.360	
		36.0	+0.345	
		36.0	+0.357	

塗料 絶縁ワニス 比抵抗 $10^{14} \Omega \text{cm}/0.1\text{mm}$
耐圧 6500V/0.1mm

§6. 結 語

以上の結果より粉体の流動による帯電は、主に粉体とスパウトなどの壁面との摩擦によつて起り、スパウトの接地は粉体自体の帯電には殆んど影響しないことが明らかになった。又スパウトの材質、形状、内面塗料の種類傾斜角度等による帯電量の変化を確かめた。粉体の種類並に性状により帯電量が異なり、その極性も異なる。

電 気 課

上月 三郎・寺沢 正義・坂主 勝弘