2 黒かすの爆発性と酸素濃度の関係について

化学課　技官　望　月　昌

§1 序　言

黒かすとは小麦又は大豆よりグルタミン酸ソーダを製造する際生ずる廃棄物で，炭素を主体とし，それに若干の植物油を含む黒い粉体である。

従来は，このものは棄てられていたが，神奈川県の食品工場で，これを燃料化すべく，一応のテスト・プラントによる研究を経て，昭和28年初冬，2基の黒かす乾燥用マルチクロンを建設し，その1基の運転を開始した。

黒かすは易燃性であり，マルチクロンで乾燥中も，火の子となつて，相当の熱を発生することが屢々あつた。運転は，ほぼ昼夜連続して行われたが翌29年3月3日午後，突然，爆発した。作業員の被害はなかつたが，巨大なマルチクロンの破裂は，多大の損害を与えた。

爆発原因は調査の結果，黒かすの乾溜ガス又は黒かす粉塵自体が，上記火の子によつて着火したものであろうと推定された。

ここに報告する研究は，この事故原因の追究と，この種爆発防止のための方策を見出さんとして，行われたものであり，特に雰囲気中の酸素量を制限することに於て，爆発防止に，有効であることを実証し得たものである。

§2 事故の概況

a. 作業工程

黒かすは wet の状態で取り出される。この泥漿状黒かすをオリバー・フィルターで濾過し，水分約 70 %とし，これに乾燥されて製品となつた水分 20 %の製品黒かすをLack し混合して，水分 50～60% のものとする。これを仕込機より粉砕機中に落す。

使用熱風は煙道廃ガスで，酸素量約7%，温度150°Cである。これをアシュ・マルチクロンによつて灰分を除去し，又，適当量の常温空気を混合して，温度120°Cとし，粉砕機に送り込む，この時，この熱風中の酸素量は約9～10% である。粉砕機で wet 黒かすを粉砕し，乾燥して，粉体を製品マルチクロンに送る。ここで温度は約60°C 位に下る。製品マルチクロンで製品黒かす水分20%のものを落し，廃ガスは排風機に引かれて煙突へ出る。

b. 事故の発生

3月3日朝，製品マルチクロンが手で触れられぬ程熱くなつていた。内部を点検したところ火の塊を発見したので，注水消火した。一時運転を停止していたが，17時25分再開のため，ダンパーを開き，排風機のスイッチを入れたところ約4秒後に爆発が起つた。

c. 被害状況

高さ約5m 容量約 45m³ の製品マルチクロンが最大の爆発をし，上部，下部に口を開き，内部の単位サイクロンを潰滅した。

同型のアシュ・マルクチロンの上部を破裂させ，下部に変形を与えた。

排風機を破裂させた。

粉砕機，ダクトの被害は少かつた。

死傷なし。

d. 考　察

破裂個所は，数ケ所あるが，爆発，乃至，爆風の進行方向を点検して，最初の爆発の起つた位置を製品マルチクロン最上部と判定した。

この場所は，集塵されずに逃れた乾燥粉末の，粉塵が堆積する場所であるので，ここに黒かすの火の子があつたとすれば，粉塵爆発の可能性が充分に考えられる。又乾溜ガスが発生していたとすれば，排風機の運転直後は，この場所で，最もよく，空気との混合が行われるであろう。

いずれにせよ，粉塵の堆積又は，点火源が存在しての爆発であるが，又同時に，雰囲気中に相当量の空気，即ち酸素が混入ししていた形跡がある。乾燥用に酸素の少い煙道廃ガスを利用しているのであるから，厳重に酸素量を或る限度以下に制限したら，この中で操業しても事故はないのではないか。

以上の予測に基き，ありうる爆発として，乾溜ガスの場合，粉体の場合と実験を二部に分ち各々その爆発性と酸素量制限による爆発防止の可能性を検討した。

§3 乾溜ガスに関する実験　その一
爆発範囲曲線の作成

a. 乾溜装置

黒かす試料（水分23.5%本実験に用いる試料は与えられた製品黒かす唯一種であり，以後特に断らぬ限り試料とはすべてこの水分23.5%製品黒かすを指す　10gについて 600°C 迄乾溜すると約2l～3lのガスが発生する。データー第1表に示した数値はすべて30gの試料によるものである。この試料を 300cc 鉄レトルトでメッケルバーナーで加熱する。最初レトルト中にあつた空気は炭酸

ガスで置換しておく。熱電対の先は黒かすの中に埋める。

b．乾 溜 温 度

現場で原料の含水量50%黒かすを乾燥する温度は大約120°Cである。しかし運転が停止するとき堆積した黒かすが着火していれば熱は蓄積し温度は上昇する。実際何度迄上昇するか不明であるが，一応常温より 600°C迄の乾溜ガスを分析し又比較的低温即ち 200°C 乃至 300°C迄のガス分析を求めて比較した。又夫々のガスについて爆発範囲を測定した。尚特に危険ガスを採取する意味で400°C以下の初溜ガスを切捨てたものを採り同様の実験を行つた。

c．ガス分析方法

ヘンペル装置による吸収法と爆発法によつた。

d．爆発範囲測定方法

ヘンペル爆発ピペットにより空気に対する爆発範囲及び空気を炭酸ガス（消火器用99.6%）で稀釈した気体中における爆発上限及び下限を求めた。

e．実験結果　　第 1 表

試　料	No.1	No.2	No.3	No.4
乾溜温度（°C）	25—355	20—600	400—500	30—550
時　間（時）	2	3	2 30—40 までのガスは捨てる	2
CO_2 （%）	43.2	41.3	11.0	45.2
不飽和炭化水素	5.8	3.1	1.9	3.8
O_2	1.7	1.3	0	2,0
CO	13.1	12.8	13.3	10.3
CH_4	14.5	9.7	29.5	10.4
H_2	4.8	18.5	35.5	15.3
N_2	16.9	13.3	8.5	13.0
可燃性ガス(%)	28.2	44.1	80.2	39.8
爆発範囲(%)	12.0-20.0	13.0-24.5	10.8—22.0	14.0-25.0

各々試料30 g

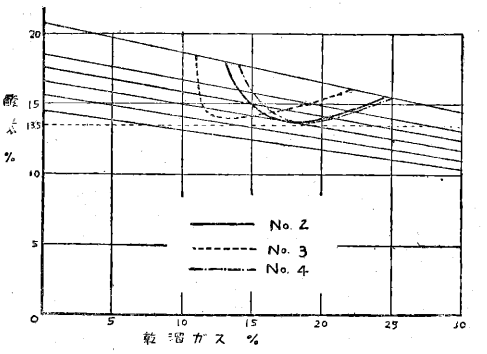
f，考　　察

前掲 第1表 において No.2とNo.4は殆ど同一条件であるから 第2表 の曲線においても大差ないが，No. 3は可燃性ガスの非常に多く炭酸ガスの少いものであつて曲線の位置は左にずれる。爆発下限側の曲線の傾きがNo.3 の方が急なのは炭酸ガスの少いためである。

混合ガス中の酸素量についてみれば，何れも約13.5%以上にその爆発圏があり，600°C迄の乾溜ガスの場合では酸素量が13.5%以下でさえあれば，爆発しないことになる。

実際問題として，現場と実験装置による場合との比較のことであるが，圧力，温度，爆発容器の大きさ，火焔の方向，点火源の種類（エネルギーの大きさ）等の諸条件の相違は主として，爆発範囲の幅に影響を与えるのであつて，爆発に必要な最低酸素量を変えることは極めて小さいと見てよい。むしろ，乾溜ガス中の一酸化炭素及び水素量が No.3 に比較して著しく増大する場合に最低酸素量が 13.5% を下廻ることが予想される，そのため，温度別乾溜ガス分析を行つた。

第 2 表



§4 乾溜ガスによる実験　その二 30°Cより1000°C迄の各温度分の乾溜ガス分析

a．装 置 と 操 作

§3. a. と同じ。但し熱電対はレトルトの外に出しレトルトと共に自動温度調節器付 7 kw エレマ電気炉中に入れる。メッケルバーナでは巧みにレトルト全面を囲つたとしても火焔は均等に及ばぬが電気炉では周囲より加熱されるから乾溜温度はより正確に知り得る。

乾溜温度は 200°C 割りに上げて行く。

200°C毎発生ガスの出方が少くなつた時スイッチを上げる。ガス捕集は三方コックにより連続的に切換えて行う。試料は 15g 同一試料につき 30°C より 1000°C 迄加熱しガスを捕集する。

b．実 験 結 果

（第3表，第4表の如くなる）

c．考　　察

発生ガス量は700°Cあたりを頂点としてそれ以上では急激に下る。この資料黒かすは大豆を酸処理し，蛋白質を分離した黒い粉体である。加熱すると先づ附着水分が蒸発し，次に油分が蒸発する。種々なるガスはこの油の分解物であつて数百度以上に加熱すれば油分はすべて揮発し尽して炭素だけ残る。表よりみて800°Cを越せば大部分のガスは出尽くすことが判る。又発生ガスの成分についてみれば CO_2 が常に比較的多量に発生するが一方CO，CH_4，H_2 の如き危険ガスの発生率が600°Cあたりにかけて急増する。

可燃性ガス成分が増すと爆発下限は左によりガスは少

第　3　表

ガス	A	B	C	D	E	計算に用いた爆発範囲数値
乾溜温度(°C)	30—200	200－400	400—600	600－800	800－1000	
時間(分)	45	45	60	90	30	
発生ガス容量(c.c.)	255	945	1330	1636	486	
中可燃性ガス容量(%)	2.4	55.9	71.7	71.7	50.5	
分析 CO_2 (%)	22.8	34.6	25.6	18.2	16.0	——
不飽和炭化水素	0.6	5.2	1.2	0	0	2.7 — 3.1
O_2	7.4	1.1	0	0	0	——
CO	0.1	15.5	6.6	25.6	31.2	15.7 —70.5
CH_4	1.7	20.0	24.9	11.6	13.1	6.12—13.25
H_2	0	15.2	39.0	34.5	6.2	9.0 —74.0
N_2	67.4	8.4	0.4	10.1	33.5	——
爆発範囲 実測	—	12.5－26.5	9.0—25.0	13.5—38.5	24.0—48.0	
爆発範囲 計算	—	12.7 24.5	8,1—25.6	13.1—50.0	18.8—47.5	

第3表に掲げたガス量を%でなく実量に換算すれば次の如くなる。

第　4　表

ガス	A	B	C	D	E	総計
CO_2 (c.c.)	58.0	327	341	297	78	1101
不飽和炭化水素	1.5	49	17	0	0	65.5
O_2	18.8	12	0	0	0	30.8
CO	0.2	146	91	419	152	808.2
CH_2	6.7	189	341	190	64	790.7
H_2	0	144	535	565	30	1274
N_2	172.0	79	5	165	164	585
小計	255	945	1330	636	486	4652cc/15g

量で爆発し易くなる。しかし温度別輪切りにガスが溜ることはなくAガス，Bガス，Cガス……と連続的に集積するから第3，第4表のみから危険度を論じ得ぬ。

そこでA，A＋B，A＋B＋C……$\sum$Aを表より求め且つ空気との爆発範囲を Le Chatelier の式より算出ずる。

Le Chatelier の式

各成分の空気との爆発限界を1とすれば混合ガスの極限Lは次式で求められる。

$$\frac{100}{L}=\Sigma\frac{V}{l}$$

（$\Sigma V=100$ 即ちVは各成分ガスの容量%を示す。）

第3表下段にこの式の適用例を示し信頼度を与えた。

第　5　表

ガス	A	A ＋ B	A ＋ B ＋ C	A＋B＋C＋D	A＋B＋C＋D＋E
容量(c.c.)	255	1200	2530	4166	4652
中可燃性成分(%)	2.4	44.8	60.1	64.9	63.2
CO_2	22.8	32.0	28.6	24.6	22.0
不飽和炭化水素	0.6	4.3	3.0	1.6	1.4
O_2	7.4	2.6	1.2	0.7	0.7
CO	0.1	12.2	9.3	15.8	17.4
CH_4	1.7	16.3	21.2	17.5	17.0
H_2	0	12.0	26.7	30.0	27.4
N_2	67.4	21.0	10.0	10.1	12.5
爆発範囲	——	14.4—28.8	11.8－29.0	12.3—35.6	12.9—37.0

上の如き数値が求められた。これを第3表と比較すると，Eガスのみでは爆発範囲は 24.0～48.0 と極めて広いがAガスからの累積として考えると上掲の如く12.9～37.0とかなり小さく変り又第1表 No.3 ガス組成と著しく類似して来ることが判る。

ただ本実験においては 1000°C 以上の乾溜ガスを捕集しなかつた点に不備があり，又各ガスについて CO_2 を混じてその爆発曲線を求めることをしなかつたためA＋B＋C＋D＋Eガスの如きものについてはその酸素許容量を明確に断じ得ない。

しかし実際の装置内では1. 黒かすの堆積は余り厚くなく蓄熱が比較的少いと考えられる。2. 燃焼の進行が緩慢である。3. 燃焼の方向が上から下，中心より周囲へと乾溜温度の上昇をさまたげる方向に進む等の理由から乾溜温度が極端に上昇することはないと思われること及び前記実験が酸素の供給を断つて行つた真の乾溜であるのに対し実際の場合は黒かすの燃焼と乾溜が併行して行われる訳であり，炭酸ガスの生成は実験の場合よりはるかに多くなる筈である。

即ち第1表 No.3 程度のガス組成でも装置内で考え得るものとしてはかなり severe なものと判断してよかろう。

尚装置内には通常湿度が多く又事故前にはかなり注水しているのであるが本実験では湿度を与えて行わなかつた点これも severe な方向に働くものである。

§5 粉塵爆発に関する実験　その一
濃度と着火温度（ニクロム線点火）

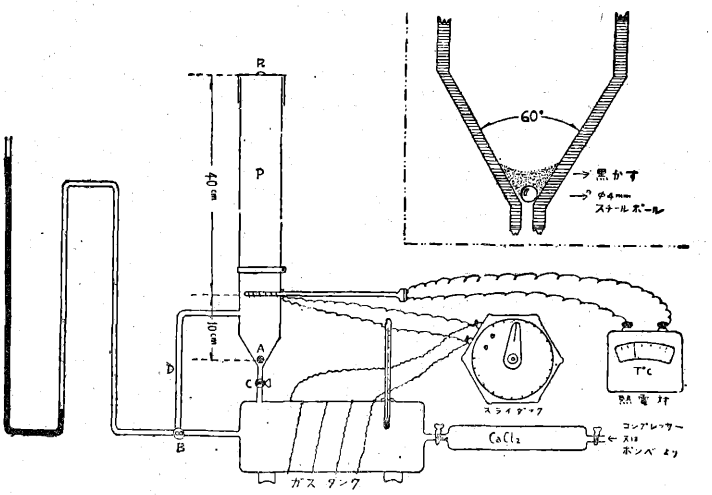
a. 装置と操作

装置は房村氏，疋田氏の各装置を modify したもので第1図に示す。その構造と操作を説明する。

爆発管は鉄製の点火部とガラスのパイプの爆発筒よりなりこれをゴムパッキングでつなぐ。フューマスの補給はこの部分を外して行う。パイプPの上部に軽い蓋R（77g）をかぶせる。爆発管の直径は5.5cm 全長50cm 点火源はAより 10cm のところにある。爆発管の全容積は約 1000cc である。

先づPの部分を外す，Aの部分に径 4mm のベアリングボールがある。その上に適当量の黒かすを落す。製品黒かすは極く flux なので上からこぼし入れるだけで均一に平らになる。パッキングをしめる。コンプレッサーから空気又は炭酸ガスで稀釈した空気を $CaCl_2$ 管を通してガスタンクに送る。圧は水銀圧力計でよみタンクは予熱しておく。タンク容量は約 1000cc 圧力 45cm Hg，爆発管内のガスを予め置換する時はDパイプを用う。ニクロム線を加熱する。ニクロム線は径 0.4mm 市販 500w 用 30cm を径 7mm の石英管にまきつけ，石英管の中に熱電対を入れておく。温度はスライダックで加減し，熱電対で温度をよみ適温になつた時Cコックを開く。粉塵が飛散し着火する。爆発すれば蓋Rがとぶ，爆発しなければガスタンクの圧だけではRは殆んど動かない。

第 1 図



b. 実験方法

ニクロム線の温度と黒かす粉塵の量を変えつつ爆発の有無を調べ着火温度の低限界と最大爆発を示す濃度を決定する。

房村氏炭塵爆発（昭和27年）p.3 によれば，炭塵の場合爆発の有無は 5°C の差で明瞭に現われるとあるが，本実験ではニクロム線が高温となる迄 30 秒ほど要し温度におくれをみて 25°C 間隔で結果を求めた。

C. 実験結果

噴出ガス室温 15°C 空気

ニクロム点火スイッチを入れて約 30 秒後に所要温度となる。その時Cコックを開く。

ニクロム線温度°C	黒かす量	爆発燃焼の有無
600°C	0.5 g	no
〃	1.5	no
〃	5.0	no
650	0.5	no
〃	1.5	no
675	0.5	yes　最小焔

〃	1.5	yes	〃
〃	5.0	yes	〃
700	0.5	yes	
800	0.5	yes	蓋Rを 10cm とばす
〃	1.5	yes	
〃	5.0	yes	
830	0.1	yes	爆発大
850	0.01	yes	爆発，蓋Rを約2 m とばす

黒かす量を一定にして温度を変える。

650	0.1	no
675	0.1	yes
800	0.1	yes

最低着火温度については更に数多く実験した。

ニクロム温度°C	黒かす量	爆発燃焼の有無
650	0.01 g	no
〃	0.1	no
〃	0.5	no
〃	1.5	no
〃	5.0	no
675	0.01	yes
〃	0.1	yes
〃	1.0	yes
〃	1.5	yes
〃	5.0	yes

黒かす量 5g になると濃度過剰となり黒かすを補給せずに2回乃至3回爆発燃焼させ得る。

即ち最低着火温度として 675°C を得た。尚最大爆圧を示す濃度を知らんとして粉塵量を変えて実験をくりかえしたが実験装置の不備もありこれを厳密に決定することは困難であつた。ただ一定圧の噴出ガスで最も適当に飛散し常に一定常態の爆発燃焼を示す量として経験的に 0.2～0.3g という量を得た。

d．考　　察

以上黒かす粉塵が 675°C 以上で着火し爆発燃焼を示すことを知つた。これらの結果よりみると黒かす粉塵の爆発燃焼の有無は粉塵濃度にはあまり関係なく専ら点火温度に厳密に影響をうけるようである。

爆発範囲の上限，下限の決定については，これを目的としなかつたので，深く追究しなかつた。又，雰囲気 1 l 中に黒かす 0.2～0.3g の時最も完全に燃焼し，且つ，最大の爆発を示すことについては，黒かすの完全燃焼濃度即ち，化学当量混合物を計算することにより大体妥当な値であると認められた。

即ち，黒かすの工業分析値より

	水分	灰分	揮発分	固定炭素	全硫黄	総発熱量
wt%	4.20	1.90	59.52	34.38	0.53	5940kcal/kg

この中の可燃性成分について完全燃焼に要する空気量を積算する。

全硫黄の燃焼は省略

固定炭素の燃焼

$$C + O_2 = CO_2$$

$\frac{34.38}{100}$kg のCに対し空気 $\frac{413}{100}$kg＝3200 l を要す

即ち，1kg の黒かす燃焼に際し，固定炭素分の要する空気量は 3200 l である。以下この計算をすすめる。

揮発分の燃焼

揮発分が分解して乾溜ガスとなる。上記工業分析値からはその成分は不明であるから，§4で得た分析表第4表の値を用いる。これによれば，59.52% の揮発分は

黒かす 1kg について

CO ＝ 133g

CH_4＝ 75g

H_2 ＝ 14g

が発生すると計算される

故に

CO の燃焼につき　256 l の空気を

CH_3について　1020 l の空気を

H_2 について　335 l の空気を必要とする

以上，固定炭素について 3200 l 揮発分について 1600 l 合計 4800 l の空気量が黒かす 1kg の完燃焼に必要な量である。即ち，約 5000 l 空気につき 1kg の黒のかすは 1 l につき 0.2g と計算され，実験値と一致することがわかる。

§6 粉塵爆発に関する実験　その二

雰囲気（ニクロム線点火）

§4において乾溜ガスの場合，雰囲気中の酸素量13.5%以下においては爆発しないことを知つたが粉塵爆発の場合について同様の実験を行つた。即ち雰囲気中の酸素分圧が減ずれば粉塵爆発は起らなくなる筈である。

a．実　験　方　法

ボンベに空気と炭酸ガス（消火器用99.6%）の適当な混合気を作り $CaCl_2$ 管を通してガスタンクに入れる。タンクは約 75°C に保つこの温度は製品マルチクロン内の温度に略々等しい。

ガスタンクからガスを一部洩らしてDパイプを通し爆発管内の空気と置換しておく。以下操作は前章の如し。

b．実　験　結　果

試料 0.3g につき同一温度で各3回乃至4回点火試験を行う。

O_2 : 20.7%（空気）

ニクロム温度°C	爆発燃焼の有無
600	no
650	no
675	yes　最小焔
700	yes
750	yes

O_2 : 18.4%

675	no
700	yes
750	yes

O_2 : 16.5%

700	no
725	no
750	yes
775	yes

O_2 : 15.3%

750	no
775	yes

O_2 : 14.5%

775	no
800	yes

O_2 : 14.1%

800	no
850	no
900	no

O_2 : 13.5%

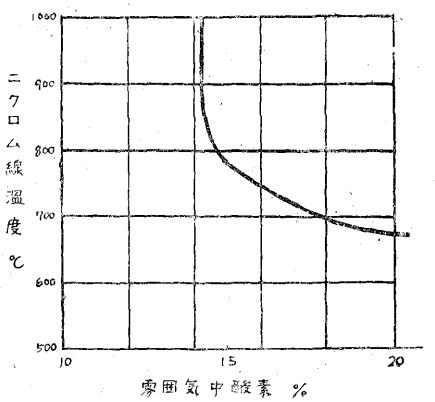
800	no
850	no
900	no

O_2 : 12.5%

800	no
850	no
900	no

これを図示すれば 第5表 の如くなる。

第 5 表



c．考　　察

以上により雰囲気中の酸素量が14%以下になると粉塵爆発は起らないことが判つた。つまり点火エネルギーの如何に関係せず爆発しない。

この爆発下限の酸素量14%は乾溜ガスの場合のそれと略々同値である。

これは炭塵等の粉塵が熱源にふれた場合瞬時乾溜が行われてその発生ガスに引火しその熱エネルギーが粉体に与えられて粉塵爆発に移行するという Hartmann その他の実験結果と一致している。

§7 粉塵爆発に関する実験　その三
電気火花を点火源とした場合

粉塵が静電気の放電によつて爆発を起すや否やを明らかにすることがこの場合の目的である。粉体がダクトを高速で流動する場合管壁との摩擦によつて静電気を発生する。これが蓄積されて行き遂にスパークを飛ばすことになるとこれで着火するか。これは電気量で決定されるから数量を知らねばならぬ。本実験では唯一種のインダクションコイルのみの不完全な実験で放電気量を知るに到らなかつたことを遺憾とするがこれは一つの目安である。実際のマルチクロン内でこれ以上の放電があるかないかも不明である。唯実際の場合はコイルの如き連続放電は起らないかと考えられる。

実験結果からいうと放電の連続性はあまり問題とならず一瞬の放電で充分着火するのであつて本実験結果は更に severe に考えねばならない余地がある。

a．装　　置

§5で述べた装置のニクロム線の代りに電極を挿入する。電極は径 1mm ビニール被覆銅線，放電先端はペンチで切つたままの形状で放電の位置を管の中心に一致させる。

インダクションコイルは 4V，2Amp である。

b．実 験 方 法

黒かすは 0.4g 噴出ガスは先ず空気を用い火花間隔の適当なる点を探す。次にその点で雰囲気を炭酸ガスで稀釈する。

c．火 花 間 隙

試料 0.4g 噴出ガス 75°C 空気

間隙距離mm	爆発の有無
12	no
6	yes
2	no

各距離4回宛行う。

この火花による爆発燃焼はおくれが大きく平均1秒で焔も小さく弱い燃焼である。

火花は粉塵飛散前から飛ばす場合と粉塵系が出来たところで飛ばす場合がある。間隙が 6mm の時は両方共着火する。大体飛散後おくれの時間をおいてスイッチを入れるとその時同時に着火する。このことは安定した Dust Cloud が着火の条件によく適うということを示す。激しい流動状態では着火しにくいのである。又火花間隙を拡げると電圧は高まるが電流は減ずる。電気エネルギーは変らぬと考えられるが間に入る粉塵量も多くなり単位粒子のうける着火エネルギーが減少して 12mmの時は着火しない。2mm の時は直径 5cm の円形断面積中直線距離にして 2mm の間に適当な粉塵系が入り得るチャンスが確率多与えられるかどうか本装置においてはいささか疑問とする。実験結果は着火はしない。

6mm 乃至 5mm の範囲ではよく着火する。この位置で次に雰囲気を変えて行う。

d. 雰 囲 気

試料0.4g　噴出ガス75°C　火花間隙 6mm

O_2 : 20.7%空気	爆発燃焼の有無
	yes
O_2 : 19.6%	no
O_2 : 18.5%	no

即ちニクロムの時と非常に異り極く僅かの酸素減で爆発燃焼は起らなくなる。これは火花のエネルギーが小さいからである。

しかしもし爆発範囲の乾溜ガスが共存すれば，これだけのエネルギーで充分粉塵爆発に移行する筈である。

e. 考　　察

火花放電による点火実験は，現場事故の原因解明に一つの暗示を求めたものであつたが，実際にマルチクロン内に発生する電気量も不明で，又，実験に用いた電気量も明確を欠き，この実験の程度の電気量では雰囲気中の酸素量を，僅かに2，3%減少させるだけで爆発を起さぬという結果を得たに過ぎぬ。

そして又，発生電気量が非常に大きなものとなり，それが放電しても，酸素量13.5%の線を守れば，やはり，ガス，粉塵両爆発からは安全であることが推定されるのである。

§8 ま と め

以上の実験により，爆発の原因としては，点検や，消火のため，マンホールを開いたので，マルチクロン内に相当量の空気が侵入し，消えていなかつた黒かすの火の塊で，堆積黒かすが乾溜され，その発生ガスと共に爆発混合気を形成していて，これに着火したこと。又，酸素量が14%以上に増加した雰囲気中に粉塵が浮遊して，これが爆発したこと，この二つの事態があり得ることが判明した。そして実際には，乾溜ガスが，爆発圏内に入るのには，大量の黒かすの乾溜が必要であり，併発を考慮しても，この場合は粉塵爆発が事故の主体であつたといえるのである。

更に，これらの爆発の防止策としては，マルチクロン内に点火源を作らぬこと。これと同時に雰囲気中の酸素量を制限すること。このことによつて，事故防止が果されることを結論として得た。

即ち，煙道廃ガスが酸素量に於て13.5%を越えなければこのガス中では，乾溜ガス爆発からも粉塵爆発からも安全であるといえるのである。

又，粉体とその乾溜ガスの爆発低限酸素量における関連性を知り得たことは，重要な点であつて，この点の追究によつて粉塵爆発の着火初期現象を説明する有力な根拠を得るであろうことも観測された。

以上報告を終るにあたり，終始，御懇篤なる助言を賜わつた青島研究部長，一貫して御指導下さつた田口化学課長に厚くお礼申し上げる。

参考文献

千谷利三　燃焼と爆発　昭24
Lewis & von Elbe
Combustion Flames and Explosions of Gases　1938
ミュラー・ヒルレブランド
防爆機器原論　昭19
N.F.P.A. National Fire Codes Vol. 1.　1951
Irving Hartmann
Recent Research on the Explosibility of Dust Dispersions
I.E.C. Vol. 40 No. 4 1948
疋田　強　粉体爆発に関する研究
工業火薬会誌 Vol. 10～11
Robin Beach
Industrial Fires and Explosions from Electrostatic Origins
Mech. Eng. Apr. 1953
I. Hartmann &. J. Nagy
Inflammability and Explosibility of Powders used in the plastic Industry
Rep. of. B. Mines. R.I. 3751 May1944
N.F.P.A. National Fire Codes Vol. 2. 1952
房村信雄　炭塵爆発　昭27