

MAY. 1974

RIIS-RR-23-1

UDC 614.833 : 536.46

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-23-1

粉じん爆発の危険性評価

—下限界濃度と爆発圧力—

内 藤 道 夫
松 田 東 栄

労働省産業安全研究所

MINISTRY OF LABOUR

THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

粉じん爆発の危険性評価

—下限界濃度と爆発圧力—

内藤道夫*・松田東栄*

Evaluation of Dust Explosibility

—Lower limits and explosion pressures—

Michio Naito* and Toei Matsuda*

The evaluation of dust explosibility is still of practical importance because it is quite difficult to predict the characteristics of the dust explosion hazards only from the properties of fine combustible materials. Also present knowledge of the dust combustion do not necessarily show whether an explosion arises with the dust.

An attempt has been made on evaluating the explosibility in comparison with lower concentration limits and explosion pressures. The measurements of the lower limits and explosion pressures were conducted with the widely used vertical tube apparatus for some chemical and plastic powders. They are shown in Table 1., where the lower concentrations are given in the range between nil and 100 per cent of explosion frequency. Here, the explosion frequency represents the ratio of combustions in at least ten trials for the same weight of dust samples.

The method itself involves many factors effecting the results and one of the governing factors would be the non-uniform dispersibility of dust in the combustion tube. As shown in Fig.2, the flame is extremely turbulent and seems not to occupy the whole volume of the apparatus. This leads the measured minimum explosible concentration would not have high accuracy or absolute limits, but the comparative values are expected to give the evaluation of explosibility.

Effect of particle sizes on the lower limits is shown in Fig.3 for polypropylene and telephthalic acid, that is, above a certain coarseness the flame propagation become very difficult.

Explosion pressures were measured in a closed tube and an example of time-pressure records is illustrated in Fig.5. Effect of dispersing air pressures on explosion pressures is shown in Fig.6. When a weighed amount of dust is dispersed in the closed tube by the release of high pressure air, the dust particles are in the strong disturbance and then, it would be reasonable to consider the explosion of the dust-air mixture under pressure for the closed apparatus. It was concluded desirable to use the explosion pressure ratio, that is the explosion pressure against dispersion air pressure. A correction is

* Chemical Engineering Research Division

made also for the dust concentration due to the dispersion air. At higher concentrations, it is, however, quite difficult to attain the full dispersion of the dust. Effect of particle sizes on explosion pressures is given in Fig.9 for polypropylene dust. It shows that the maximum explosion pressure becomes almost independent of fineness at last above a certain fineness.

Gas analysis after the combustion in the closed tube was made for oxygen, carbon mono- and di-oxide. The results are shown in Fig.11, against dust concentrations. Polypropylene and polyethylene powders contain relatively high proportion of toxic carbon mono-oxide in the burned mixtures.

The method and apparatus are still insufficient and have some limitations, but it may be concluded that the evaluation of dust explosibility is made on explosion parameters.

1. 緒 言

粉じん爆発の危険性を評価する上で、粉体の化学的成分や粉体特性からのみ、粉じん爆発の可能性や特性を論ずることは、まだ困難なため、実験的に粉じん爆発現象を検討することがなされている。これまで考案された実験装置には、実際の粉体取扱いプラントを模した大規模のものから、実験室用の簡便な試験装置まで、多種多様なものがある。ここで使用した装置は、もともと、米国鉱山局 (Bureau of Mines)¹⁾ において数多くの工業的粉体の実用的な爆発特性値を、測定するために使用されたものに基いているが、現在でも、非常に簡便なために粉じん爆発の試験装置として広く各方面で使用されているもので、その目的とするところは、あくまでも、粉体相互間の相対的な爆発危険性の評価ということにあるので、この試験装置による測定値は絶対的な粉体の特性値とは、なりにくいと考えられている。厳密に言えば、測定に使用された粉体そのものについてしか通用しない値でしかない²⁾。また、基本的な粉じんの燃焼機構が、はっきりと理解されないと、測定された特性値が、どのような意義をもつのかさえ疑問になってくる。

これまで、いわゆる粉じん爆発の危険特性値として考えられてきたものに、浮遊粉じんの発火温度、最小発火エネルギー、爆発下限界、最高爆発圧力、圧力上昇速度、限界酸素濃度などがあるが^{3), 11)}、これらの特性値のみによっては、粉じん爆発の危険性を論ずることはできない場合もあり⁴⁾、さらに問題を複雑にしている。しかし、上記の装置によって、これらの特性値のほとんどが容易に測定でき、また、これによって得られたデータが数多く蓄積されてきて、これに替る防災上のデータが外に見あたらない事もあって、今なお、粉じん爆発の危険性を評価する上で、有用なものと考ええる。そこで、この装置を用いて、特に重要と思われる爆発下限界濃度と爆発圧力の面から、粉じん爆発の特性を検討し、あわせて装置の限界性を明らかにした。

2. 実 験

2.1 粉 体 試 料

市販の化学薬品として入手できるものは、それをそ

のまま使用した。それらの粒度の調整は、乳鉢で粉碎し、篩いわけを行った。その他の試料は、次のものを用いた。ポリエチレン (MI=0.3), ポリプロピレン (MI=4.0), (共に三菱油化 (株) 製)。

2.2 実験装置

粉じん爆発試験装置の概略を、Fig.1 に示した。燃焼筒底部に、前もって秤量した粉体試料を、分散され易いように分布させて、これを加圧の空気溜からの空気によって、筒内に分散させる。その直後に、電極間に電気スパーク (アーク放電) を飛ばして、燃焼現象を観察するという原理に基いたものである。燃焼筒は内径 7.7cm, 内高 34cm で、下限界濃度の測定には、透明なアクリル樹脂製のものを使用したが、爆発圧力の測定には、アルミニウム合金製のもので置き換えて行った。

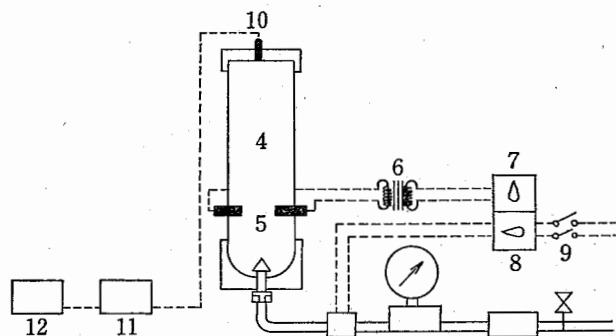


Fig.1 Experimental apparatus (for measurements of explosion pressures).

1. Silica-gel 2. Air reservoir (150-cm³)
3. Solenoid-operated valve 4. Combustion tube (34cm long, 7.7cm inside diameter)
5. Tungsten electrodes 6. Induction coil (15kV) 7, 8. Timer 9. Main switch
10. Pressure-pick-up 11. Strain meter 12. Recorder

下限濃度の測定は、大気圧下の条件で行う必要上、燃焼筒内への急激な空気の噴出による加圧を避けるため筒上端のろ紙に、3mm 程の小穴を開けてある。また、ろ紙は爆発の際に破裂して装置を保護する。粉体を分散させるための噴出空気は、電磁弁の作動によって制御されるが、これにタイマーを組込んで、電磁弁の開閉時間を変化させることができる。また、電磁弁と着火スイッチをリレーで接続し、かつタイマーを組入れることによって、電磁弁の作動が停止してから、着火スイッチが入るまでの時間 (着火遅らせ時間と定

める)も調節できるようになっている。

爆発圧力の測定は動的歪ゲージ式エンジン指圧計を、アルミ合金製燃焼筒の上蓋に取付け、その出力を電磁オシログラフで、記録して決定した。また爆発後の燃焼ガス設成は、一般のガス吸収分析法およびガスクロマトグラフィーによった。

3. 結果と考察

3.1 爆発下限濃度

3.1.1 測定条件の決定

粉じん爆発の成立条件は、ほとんど、ガス爆発のそれと同じであり、すなわち、可燃性粉じんが、空気中に浮遊して、爆発可能な濃度を形成した場合、十分なエネルギーを持つ着火源が、そのエネルギーを放出させると、粉じん爆発が成立することは、はっきりしている。しかし、もともと、可燃物が固体であるため、燃焼反応にあづかる粉じんと酸素からなる反応系は、ガス爆発とは、まったく異った、はなはだしい不均一系にある。そこで、このような粉じん空気混合物を形成させるにあたっては、できるだけ粉体粒子を均一に空気中に分散させ、各浮遊粒子間の距離が等しくなるようにすれば、理想的であろう。

この装置では、粉じん・空気混合物の形成に影響する因子として考えられるものに、噴出空気圧力(粉じんを分散させるための空気溜の空気圧力)、電磁弁の開放時間(加圧された空気溜からの空気放出時間)、着火遅れ時間(電磁弁を閉の状態にしてから、着火スパーク用の誘導コイル一次側スイッチを、ONにするまでの時間)があり、それらを種々変化できるように設計してある。その他に、この装置の特性とも言えるもので、粉じんの分散に影響するものと考えられるも

のに、燃焼筒の大きさ(高さおよび内径)、噴出空気中の燃焼筒内への入口の形状、燃焼筒底部の形状、空気溜の容量などがあげられるが⁵⁾、ここでは、これらは一定のものとして使用した。更に、爆発性に影響する装置の因子として、着火源の位置およびそのエネルギーの強さ、ろ紙の種類などが考えられる。着火源の種類によっても、爆発性は著るしい影響を受けることはよく知られているが、誘導コイルによる高圧電気スパークは、ややエネルギー的に強すぎるとは言え、瞬間的で再現性がよく、この種の実験には便利である。

粉じん、空気混合物の形成状況を観察すると、当然ながら噴出圧力に大きく依存する。すなわち、 5 kg/cm^2 の空気圧では、ほとんどの粉体にとって強すぎ、筒上部のろ紙小穴から、かなりの粉じん・空気混合気が噴出して、上昇した粉じん雲が落下して初めて着火可能となる。これが低くすぎる場合は、粉じん雲の形成は電極より下部に起り、着火は不可能である。しかし、どのように噴出圧力や電磁弁のオープン時間を変化させても、粉じんを筒内に一様に、しかも均一に分散させることは、不可能である。粉体量が少ない場合は、器壁への附着も見のがせない損失となろう。

上のような観察からすれば、粉体の分散性と燃焼性は必ずしも、一対一に対応するものではないであろうが、同一粉体の場合に限り、これを仮定して以下の実験で噴出圧力、電磁弁の開放時間、着火遅れ時間を検討した。すなわち、一定の粉体に対して、最も高い燃焼性を与える、これらの因子の値を求めるようにした。

実際には、空気の噴出時間および着火遅れ時間は、粉体の種類や粒度によって、あまり変わらず、噴出圧力($2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$)を決定すればよかった。噴出時間および着火遅れ時間の大方は、それぞれ、0.1秒および0.07秒であった。

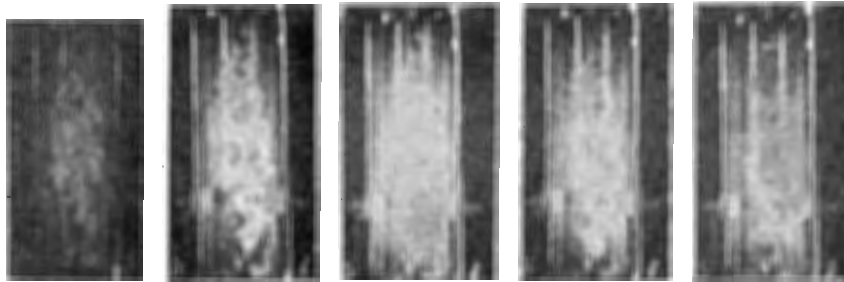


Photo. 1 Motion pictures of flame for polyethylene dust in the combustion tube.

爆発性に及ぼす装置因子は、ある特定の粉体に対して最も爆発しやすい粉じん・空気混合物を、着火源近くに形成させるための装置の形状に依存する因子である。粉体の特性が変化すれば、ある程度、装置因子も変化してくる。ここに装置の限界の一つがあるが、爆発下限界の測定にあたっては、粉体特性の変化にあわせて、装置因子を変化させたので、この装置による最も厳しい測定値を意味することになる。

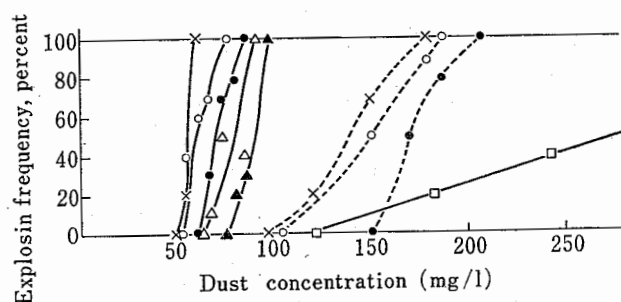
Photo. 1 に、燃焼筒内でのポリエチレン粉体 (300 メッシュ以下) の火炎の形状を示す高速写真の一部を示した。濃度は、爆発下限界よりかなり高いところであるが、火炎自体が燃焼筒全体に広がることはなく、筒の上、下部に、いわゆる dead space が形成され、火炎構造はひどく不均質で乱れているのが見える。この場合は、火炎のひろがりも大きく、ろ紙が破裂して爆発性があると判定できるが、濃度の減少につれ、いわゆる爆発下限界近くになると、弱い火炎のみが観察され、同一濃度でも火炎が見られなくなり、現われなかりするようになる。そこで、ろ紙の破裂がなくとも、筒の半分以上の容積にわたって、火炎のひろがりが見られる場合を爆発性があるものとし、同一濃度における十回の観察で、この爆発性があると見なされる割合を、爆発割合として表わす。このような結果によると、爆発下限界は、爆発割合が 0 となる濃度を意味する。

3.1.2 粉体の粒度および種類による変化

粉じん・爆発性に及ぼす粉体特性で、最も大きい因子と考えられるものに、粉体の種類と濃度はさておいて、粉体粒度 (表面積) がある。そこで各種粉体の相対的危険性を知る上で、ポリプロピレン粉体を選んで、粒度の爆発性に及ぼす影響を調べた (Fig.2(a))。

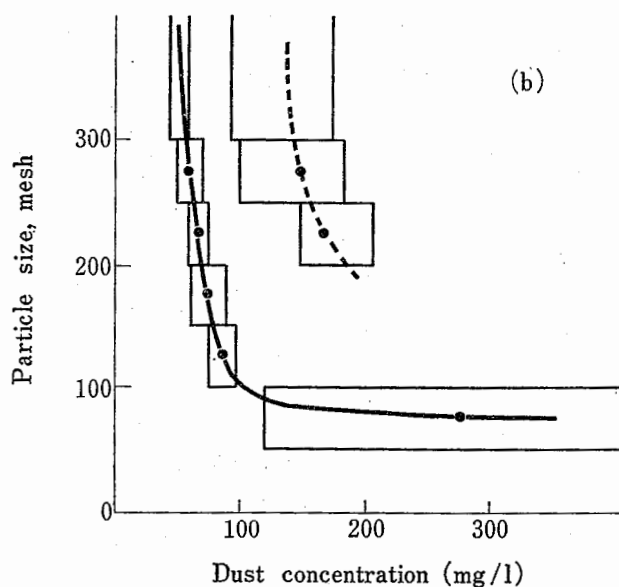
爆発割合と粉じん濃度の関係から見ると、100 メッシュより細かい粒度では、爆発割合 100% と 0% によって示される濃度範囲は、粒度が細かい程、ほぼ比例して、小さい濃度側にずれていく。ところが、50-100 メッシュの粒度では、極端に爆発性が小さくなり、それ以下の粒度の爆発性とはっきりと区別できる。50 メッシュ以上の粗大粒度では、その分散の困難性と相伴って、火炎の伝播は非常に困難になる。40 メッシュ位のポリプロピレン粉体では、明らかに粉じん雲中での火炎の自己伝播性はなくなり、したがって粉じん爆発の粒度上限界というものがあると考えられる。

逆に粒度が非常に小さくなると、下限界濃度は、どうしても、ある値に収束してしまうように考えられ



(a) Particle sizes

× 300 mesh <, ○ 250-300, ● 200-250, △ 150-200, ▲ 100-150, □ 50-100.



(b)

Fig.2 Effect of particle fineness on lower limit.
— Polypropylene, ----- Telephthalic acid

る。火炎の伝播が維持されるためには、粉じん・空気混合物中の単位容積中の燃焼ポテンシャル・エネルギーが最底値以上になければならないからである。そこで、粉体粒度と下限界濃度を対応させて見ると、爆発可能な粒子の大きさの限界と粒度に依存しない下限界濃度というものがある存在してもよいと思われる。実際には、300 メッシュ以下の粒度でプラスチック粉体などでは、特に静電気を帯電しやすい。そのために、篩分けが困難で、サンプルを用意できなかったが、静電気によって粒子の凝集が起り、粒度 (表面積) が変化することがあるかもしれない。その場合には、下限界は、えかって大きい濃度を示す事になるであろう。このような例と考えられる実験結果が、酢酸セルロース粉体

において報告されているが⁶⁾、粉じん雲の形成方法によって、これを避けることは可能と思われる。

Fig.2(b) は、Fig.2(a) を書き直したもので、ポリプロピレン粒度と下限界濃度の関係を示す。曲線の上方は、爆発可能領域であり、曲線は、50%爆発割合を示す濃度と粒度分布の中間の値とで描いてある。粒度は、その分布を示すので、この関係には、かなりの不確定さが残るが、両者は、双曲線によって示される関係にある事は確かであろう。このような関係は、他の粉じんについても、当てはまると思われるが⁷⁾、テレフタル酸粉じんについて、その一部を同じグラフに示した。

Fig.3 には、各種粉体の下限界における爆発割合変化幅と濃度の関係を示したが、高濃度側にずれるにしたがって、爆発割合0%と100%を示す下限界濃度範囲は広がる傾向がある。逆に低濃度では、一般にその濃度範囲は狭い。このことは粒度の大きさについても

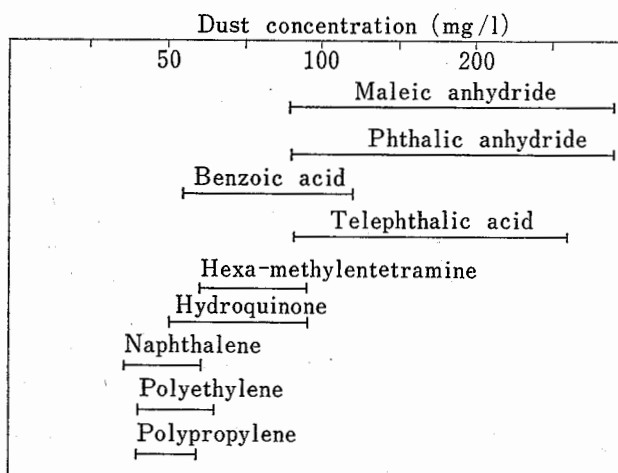


Fig.3 Lower limits of flammability for some dusts.

同じ事が言えた。いずれにしても、この装置では、分散すべき粉体量が多くなると、限界附近での濃度のバラツキは大きくなる。そこで、測定値は、粉体の分散性で代表される粉体の特性を含んだ爆発性となり、物質固有の特性値とは、なりにくいと考えられる。

3.1.3 計算値との比較

次にこのようにして測定された下限界濃度の値によって、粉じん爆発の難易の比較が可能であるか疑問となる。一つの比較方法として、燃焼熱による爆発下限界の計算値を Table 1 に示した⁸⁾。これは、粉体の完全燃焼反応に基いて生成する気体と燃焼熱から、下限界での燃焼温度、1000°C を仮定して、熱的平衡を達成するのに必要な粉体量を求めるものである。しかも、その他にも多数の仮定を含み、粉体の粒度などを考慮していないが、各種粉体の比較値を求める上で、参考になると思われる。定圧比熱、定容比熱を取るかによって、二つの値がえられるが、これはあたかも爆発割合0%と100%に対応するように見えるが、意味することは全く関連がない。両者を比較して、計算値は、実測値より必ず小さいながら、両者はかなりよく対応している。しかし、すでに述べたように、計算法は欠点の多いもので、現象をよく説明しえないので、ここでは参考程度にとどめる。また、粉じん爆発とガス爆発の類似性から、下限における燃焼熱が同じと考え炭化水素および空気の爆発性混合ガスの下限界値 40~45 mg/l が粉じん爆発の下限界に比較しようという考え方もあるが⁹⁾、これも上のような計算法に同じであると思われる。実際には、下限界でも、未燃焼の粉体が残る場合が多いので、計算としては、更に下限界が高くでる恐れがある。

Table 1 Lower limit concentrations for some dusts.
爆発下限界の計算値との比較

Dusts	Measured lower limits (mg/l), with 0 to 100% ignitability. (Fig. 4)	Calculated lower limits (mg/l) ⁸⁾	Stoichiometric dust concentration (mg/l)
Naphthalene	35—60	26—35	95
Hydroquinone	50—95	40—58	150
Telephthalic Acid	90—180	55—78	195
Benzoic Acid	55—110	34—56	140
Phthalic Anhydride	90—195	49—66	175
Maleic Anhydride	90—195	77—106	285
Polyethylene	40—65	24—33	80
Polypropylene	40—60	23—33	80

3.2 爆発圧力

3.2.1 爆発圧力に及ぼす因子

粉じん爆発の爆発圧力は、安全対策の上からも重要な特性値であるが、特にその最高圧力は、各種粉じんの爆発危険性を比較する上で、有効と考えられる。すでに、Bureau of Mines において多数の測定された資料があるが、その測定法⁹⁾にいくつかの疑問点があるので、改めてここで幾つかの因子を検討した。

粉じんの爆発圧力は密閉容器中に粉体を分散させることが必要になるので、粉体の分散状態によって、一般に大きいバラツキを示すと考えられている。すなわち、分散空気圧力、さらには密閉容器内に進入する分散のための空気容量が、爆発圧力に大きい影響を及ぼすと思われる。典型的な圧力記録を、Fig.4 に示した。Pi の変化は、噴出空気によるもので、第二の大きい変化 Pe が爆発的燃焼によるものである。従来¹⁾¹⁰⁾、爆発圧力として、Pe のみによって与えられてきたが、以下にのべたように、初圧の影響を考慮した方がよいと思われる。

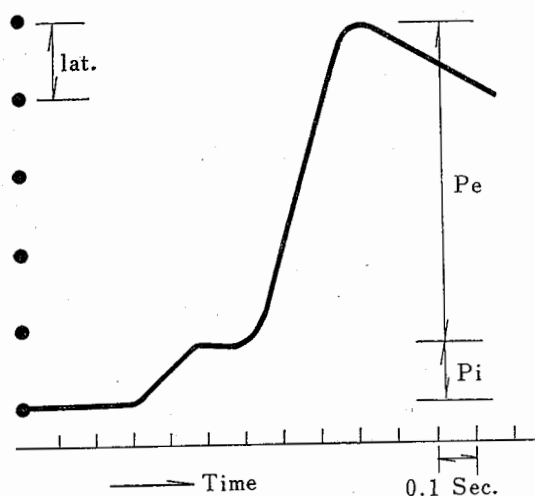


Fig.4 Typical explosion pressure-Record

Fig.5 はポリプロピレン粉体について、噴出圧力の爆発圧力に及ぼす影響を示した。同一濃度における各矢印は、5回の測定値のバラツキを示すもので、各曲線は、それらの平均値を結んだものである。濃度の表示は、爆発圧力の記録から初圧 Pi を読みとり、これを常圧における空気量に換算して行った。すなわち秤量試料 wmg, 燃焼筒の容積 Vi として、濃度 $c = w / Pi V$ (mg/l) で表わした方が、合理的であると思われる。Fig.5 を見る限りにおいては、噴出圧力が大きい程、高い爆発圧力が得られるが、粉じん濃度に対する

曲線のパターンが互いに異なり、いわゆる、ある粉体に対する爆発圧力というものを厳密に定めることは、困難になる。そこで、これは、わずかの圧力ではあるが、加圧条件下で測定される爆発圧力とみなし、爆発圧力の表示方法を、初圧に対する爆発圧力の割合、 $(Pi + Pe) / Pi$ とした方が、合理的と思われる。Fig.6 は、Fig.5 をこのような爆発圧力比によって書きかえたものである。

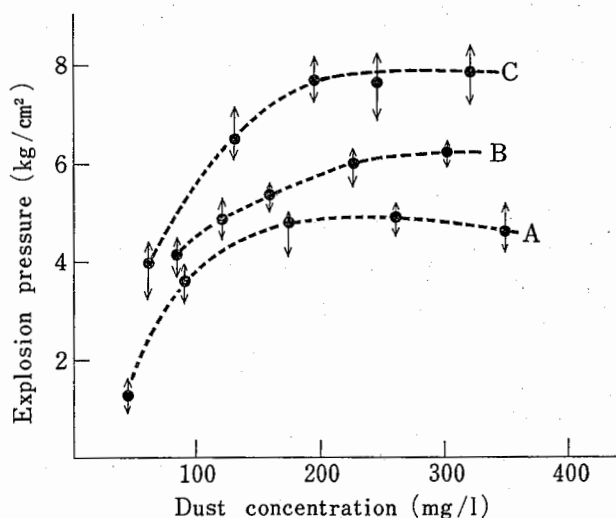


Fig.5 Effect of dispersing pressure on explosion pressures Dispersing pressure A : 3 kg/cm² B : 5 kg/cm² C : 9 kg/cm²

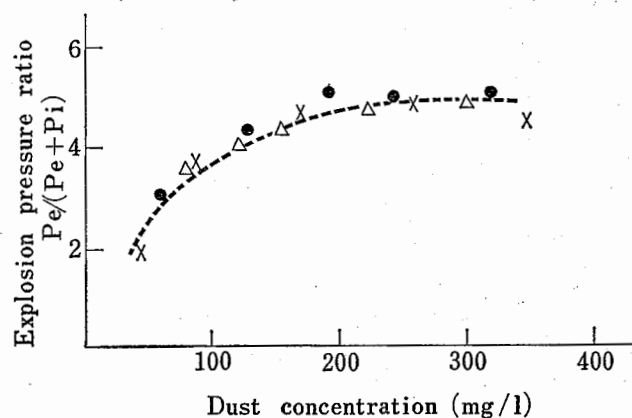


Fig.6 Explosion pressure ratios against dust concentration (Polypropylene)

初圧の値は、粉体を筒内に分散させるためのものであるから、当然ある範囲に限定されてくる。ここでは、1 kg/cm² 以内であるが、Fig.6 によれば、粉じん爆発においても、ガス爆発同様、爆発圧力比は、濃度の関数として表わされる。噴出圧力が大きい程、着火に先だつ粉じん雲の運動は激しく、それだけ燃焼反応

が進行し易くなり、得られる爆発圧力も高くなると考えられるが、結果的には大きい差がみられない。ここでは、燃焼筒の容積が小さいため、燃焼に先だつ可燃物の攪乱の影響は少ないと思われる。

3.2.2 粒度の影響

Fig.7 および Fig.8 は、爆発圧力に及ぼす粒度の影響を調べたものである。前者は一定の粒度における爆発圧力の粉じん濃度による変化を示し、後者は、一定粉じん濃度における粒度と爆発圧力の関係を、いずれもポリプロピレン粉体について示す。この場合にも、

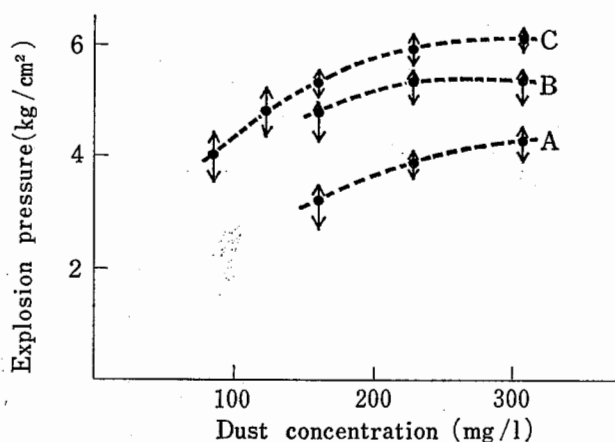


Fig.7 Effect of particle sizes on explosion pressure (I)
Dispersing pressure 5 kg/cm^2 . Polypropylene
A: 150~200 mesh B: 250~300 mesh
C: <300 mesh

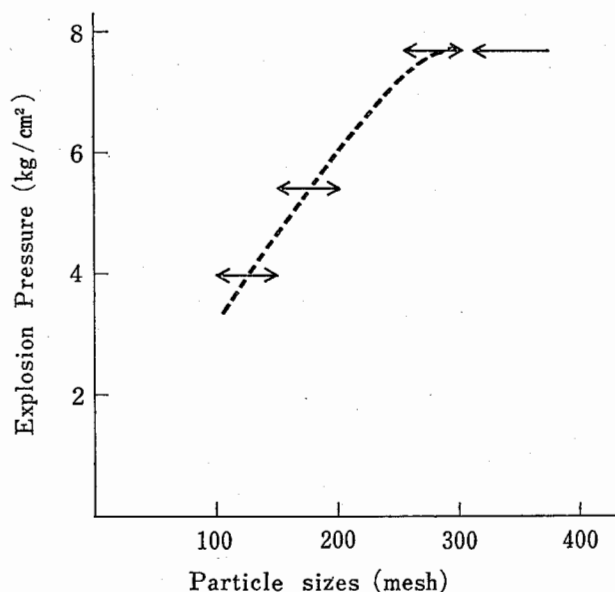


Fig.8 Effect of particle sizes on explosion pressures. (II)
(Polypropylene dust; 320 mg/l , dispersing pressure 9 kg/cm^2)

試料の粒度には、その範囲において粒度分布が存在するが、粒度に比例して爆発圧力は、大きくなり、ポリプロピレン粉体の 250 メッシュより細かい粒度では、ある最大値より大きくなる事はないように思われる。ポリプロピレン粉体では、最高爆発圧力を示す濃度は、約 300 mg/l であるので、粒度の影響は、この濃度附近で行った。ここでは、ポリプロピレンを例として粒度の爆発圧力に及ぼす影響を示したが、この傾向は、一般に、他の粉体についても十分成立すると考えられるので、各種粉体の爆発圧力と粉じん濃度を測定するため、300 メッシュ通過の試料を用いた。

3.2.3 各種粉体の爆発圧力

Fig.9 は各種粉体の爆発圧力を爆発圧力比で、粉じん濃度に対して測定し、比較したものである。これから一定の傾向を導き出すことは、困難であるが、最高圧力を示す濃度以上の粉じん量に対して、爆発圧力の低下は、一般に緩慢である。これは、すでに述べたように、高濃度では一部の粉体のみが、分散されて、実際には低濃度の粉じん雲の燃焼が起り、高い爆発圧力を示しているためと考えられる。噴出圧力を変えても、このような傾向は、改善されないのが、この装置の限界であると思われるが、爆発圧力比の最高値を比較的容易に測定できるので、これによって、粉体の爆発危険性を比較することは可能であろう。

ポリエチレン、ポリプロピレン粉体は、比較的低濃

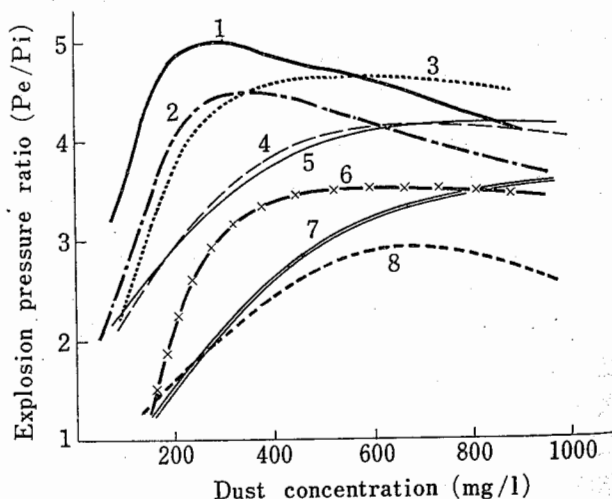


Fig.9 Explosion pressure ratio (P_e/P_i) at various concentrations.

1. Polypropylene 2. Polyethylene 3. Hexamethylene-tetramine 4. dimethyl-terephthalic acid 5. Hydroquinone 6. Benzoic acid 7. Naphthalene 8. Phthalic anhydride

度において、最高値を示すが、ナフタレンでは、この濃度範囲で、濃度が高くなるにつれて、大きくなっている。一般に、これらの爆発圧力は、爆発下限界で示される燃焼性に対応しているものと考えられるが、その点においても、ナフタレンの爆発圧力は、やや小さく例外的であると見られる。この物質の蒸気圧は非常に高いので、300 メッシュ以下の粒子となると、互いに凝固し易くなるためと考えられ、それ故にまた、条件によって更に高い爆発圧力を示す可能性がある。

初圧を大きくすることによって、かなり高い粉じん濃度まで、爆発圧力を測定することができるが、筒内における粉じんの分散性や燃焼性を観察することは不可能である。燃焼後は、いずれの粉体および濃度においても、多少なりとも未燃焼や部分的に燃焼した粒子が器壁に附着する。さらに、融点の低い物質では、火炎温度によって融解、凝固を起し、粉体粒子としての形態をとどめない場合が多い。そこで、次に燃焼後のガス分析を行って、燃焼反応の程度を検討した。

3.3 燃焼後のガス成分

爆発圧力時に合わせて、燃焼後のガス中の二酸化炭素 (CO_2)、一酸化炭素 (CO) および酸素 (O_2) を分析した。それらの結果を、Fig.10 に示した。爆発圧力のバラツキに対応して、ガス分析値にも、同じ粉じん濃度において、多少の変動があったが、平均値をとって、全体の傾向を比較するようにした。

酸素濃度は、低濃度側における急激な爆発圧力の立ち上りに対応して、最初、急激に低下するが、その後

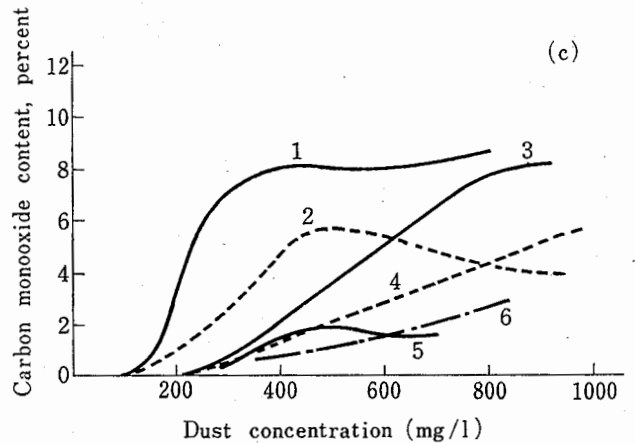
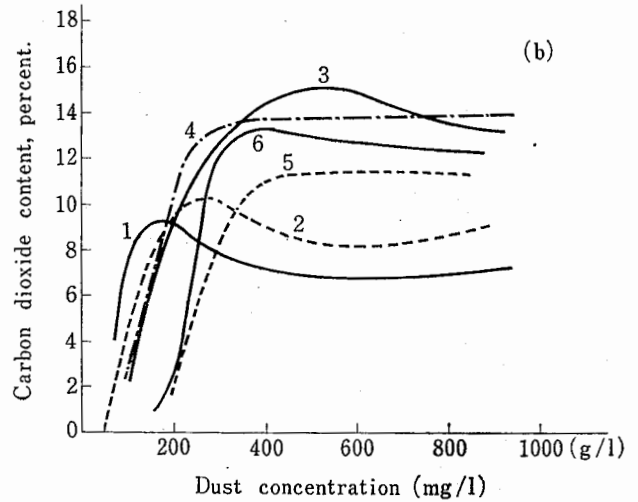
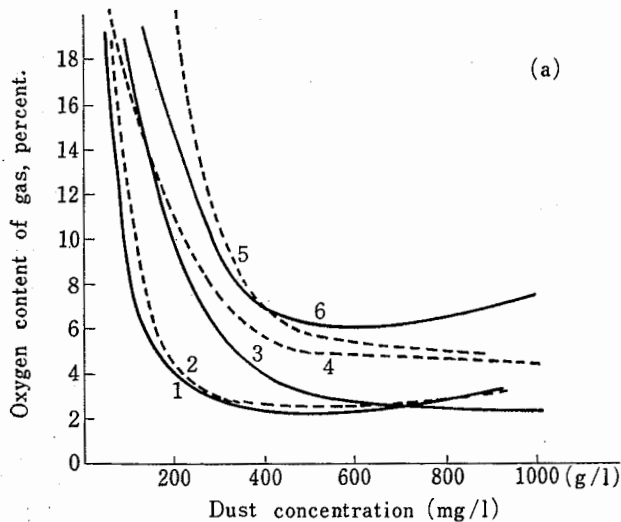


Fig.10 Oxygen, carbon dioxide and carbon monoxide contents of gas after combustion at various dust concentrations.

(a) O_2 (b) CO_2 (c) CO

1. Polypropylene 2. Polyethylene

3. Hydroquinone 4. Dimethyl-terephthalic acid 5. Acetanilide 6. Benzoic acid

は、濃度の増加によって、あまり変化しない傾向を持つ。燃焼反応で消費される酸素の割合は、ポリエチレンおよびポリプロピレン粉体が大きく、これらの粉体の大きい爆発圧力を説明する。また、燃焼の主生成分は、 CO_2 、 CO および H_2O と考えられるから、酸素の消費量は、大部分、これらの分子に転換されるはずである。 CO_2 および CO の濃度変化をみると、ポリエチレンおよびポリプロピレン粉体では、大きい CO の生成が見られ、逆に CO_2 の生成は小さい。両成分の割合は、他の粉体の CO_2 のみの割合に、ほぼ相当するので、これらの粉体の高い爆発圧力は、更に多量の H_2O の生成によって与えられると思われる。また、ポ

リプロピレンの方が、メチル基を有するので、 H_2O の生成反応には有利であると考えられる。また同時に、 CO の生成量も多いため、爆発圧力が高く、したがって、ポリエチレンよりも爆発性は大きいと説明できよう。

CO の生成曲線で、ヒドロキノン、ジメチル・テレフタル酸および安息香酸の粉体は、濃度の増加につれて、 CO 生成量が大きくなっている。一方、これらの粉体の CO_2 生成量は最大値を示した後では、濃度によって、あまり変化が認められなくなる。両生成物からのみ、これらの粉体の爆発圧力の特性を理由づけることは、困難であるが、高濃度になるにつれて、 CO の生成が多くなるのが見られる。でん粉およびジフェニル粉体の燃焼跡ガス組成には、 CO 、 CO_2 の他に CH_4 、 H_2 、不飽和炭化水素が、 CO や CO_2 に匹敵する程、多量に存在したことが報告されているが⁹⁾、それらの成分を検出することは困難であった。それらの成分は、主として急激な熱分解生成物であると考えられるが、燃焼筒内での粉体と火炎のひろがり大に関係すると思われる。燃焼跡ガスの組成は、火炎が器壁で消炎される場合が多いであろうから、火炎伝播中の生成物とも多少異るとも考えられる。しかし、大きな特徴は、爆発圧力が最高値に達する粉じん濃度以下で、すでになんかの CO が存在することである。これは、有機粉じんの燃焼は、下限界附近でも、一般にその火炎が赤黄色を示し、一種の拡散炎とみなされることに関連しているものと思われる。

4. 結 語

数種の粉体の粉じん爆発下限界濃度と爆発圧力を、Hartmann 型 (U.S. Bureau of Mines) の試験装置で測定し、爆発後の燃焼ガスを一部分析した。その結果、粉体の燃焼筒内への分散には、かなりの不均一さが見られるが、爆発下限界に及ぼす粒度および種類の影響について述べた。更に、爆発圧力に及ぼす因子を調べ、これを爆発圧力比で表わすことを提案した。燃焼ガス中の CO_2 、 CO 成分は、粉体の種類によって多少異なるにすぎなかった。

以上をまとめると、下限界濃度と爆発圧力の最高値によって、かなりのバラツキを認めるとしても、粉じん爆発の危険性を比較することは可能と思われる。しかし、それらの意義については、更に、伝播機構や物

質の急激な熱的变化による挙動などを研究しなければはっきりしない面が多い。すでに、このような実験方法によるデータの蓄積や研究方法について、鋭い批判があげられており¹²⁾、今後詳細な基礎的研究が必要と思われる。

(昭和 49 年 4 月 10 日受理)

文 献

- 1) Dorsett, H. G., et al R. I. 5624 (1960) and U. S. Bureau of Mines.
- 2) Essenhigh, R. H. Fire Research Abstracts and Reviews 8(2), 87 (1966)
- 3) Hartmann, I. Chem. Eng. Prog. 53 (3), 107 (1957)
- 4) Leuschke, G. Staub-Reinhalte, Luft 26 (2), 49 (1966)
- 5) Eggleston, L. A., et al Fire Technology 3, 77 (1967)
- 6) 北川, 長谷川, 目黒, 白井, 安全工学 5 (4) 291, (1966)
- 7) 石浜渉, 他 採鉱と保安 10, 55 (1964), 10, 111 (1964)
- 8) Selle, H and Zehr, J. VDI-Berichte 19, 73 (1957)
- 9) Nagy, J and Cooper A. R. R. I. 6561 (1964) U. S. Bureau of Mines
- 10) Raftery, M. M. Fire Research Technical Paper No. 21, H. M. S. O. (1968)
- 11) Palmer, K. N. and Butlin, R. N. Powder Technology 6, 149, (1972)
- 12) Essenhigh, R. H. Loss Prevention CEP Technical manual 2, 44 (1968)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-23-1

昭和49年7月20日

発行所 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番1号

電話 (03) 453-8441(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 614.833 : 536.46

粉じん爆発の危険性評価

——下限界濃度と爆発圧力——

内藤道夫・松田東栄

産業安全研究所報告 RIIS-RR-23-1, 1~10 (1974)

可燃性粉じんの爆発性の評価を爆発下限濃度と爆発圧力を比較する方法で行なった。

爆発下限濃度と爆発圧力の測定はいくつかの化学薬品とプラスチックの粉末について一般によく使用されている垂直管型爆発筒を用いて行なった。

爆発下限濃度における粒度の影響は顕著であって、ある程度以上粉体粒度が大きくなると火炎の伝播が非常に困難となる。

粉じんを分散させる空気圧力の大きさによって爆発圧力が影響を受けることは明らかであり、したがって初圧～爆発圧力比を使用することが望ましいことであると結論された。また最大爆発圧力はある程度以上粉体がこまかくなると、粒度にはほとんど無関係となることが分った。

(表 1, 写真 1, 図 11, 参 12)



UDC 614.833 : 536.46

Evaluation of Dust Explosibility

——Lower Limits and Explosion Pressures——

by M. Naito and T. Matsuda

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety RIIS-RR-23-1, 1~10 (1974)

An attempt has been made on evaluating the explosibility of dusts in comparison with lower concentration limits and explosion pressures. The measurements of the lower limits and explosion pressures were conducted with widely used vertical tube apparatus for some chemical and plastic powders.

Effect of particle sizes on the lower limits is shown clearly, above a certain coarseness the flame propagation become very difficult.

Effect of dispersing air pressures on explosion pressure is shown clearly, it was concluded desirable to use the explosion pressure ratio.

The maximum explosion pressure becomes almost independent of fineness at last above a certain fineness.

(1 Table, 1 Photo, 11 Figures, 12 References)

