

Research Reports of the Research Institute  
of Industrial Safety, RIIS-RR-90, 1990  
UDC 541.126.4:614.833:662.6

## 大型垂直管装置による粉じん爆発下限界の測定

松田 東栄\*, 林 年宏\*

### Measurement of Lower Explosibility Limits of Dusts Dispersed in Air in a Large Scale Vertical Tube

by Toei MATSUDA\* and Toshihiro HAYASHI\*

*Abstract:* A better knowledge of the flammability of combustible dusts is essential for prevention of the fire and explosion in their use. Many published recommendations or guidelines on explosion protection methods carry the lean flammability data of dusts for the sake of industry. However, the data are often quite different from one apparatus to another, and seem not to be reproducible even in a certain international round-robin tests with the accepted testing method in ISO or ASTM. Thus, accurate lean limit data are important for industrial safety considerations, as well as for intrinsic scientific interest.

In this report, lower flammability limits were obtained with dusts dispersed in air in a vertical tube of 225 mm in diameter and 189cm in overall length. The top of the tube was closed and the bottom was open for observation of upward flame propagation. The method of forming dust clouds in the tube was followed with Lee et al. (1987), who used a circular perforated tube and a rod to suppress turbulence level of the mixtures. The dust divided in two small chambers was dispersed through two perforated tubes with linear array of holes by high pressure air. The directed momentum of the dispersion jets was broken with a circular rod to provide a more uniform distribution of dust inside the explosion tube. The igniting source was the chemical powder of aluminium, barium peroxide and barium nitrate. The uniformity of the dust-air mixtures was examined with an optical monitor. The optical transmission data showed for the mixtures to keep even dust distribution after about 0.5s elapsed from the dispersion pulse. Ignition was then activated with the time delay.

Upward flame propagation was detected with phototransistors on the tube wall, and the radiation signals from dust flames indicated low-frequency vibrations. These observations were found to be similar to the results for corn-starch dust flames of Veyssi re et al. (1988). Then, the top flange of the tube was replaced by a 50 mm orifice to damp the vibration.

23 kinds of antioxidant or light-absorbing powders additive to plastics and lycopodium powder were used as organic fuels. The lower limits for these dusts were between 70 and 200g/m<sup>3</sup>, and the lycopodium and the other two dusts showed the lowest value of 70g/m<sup>3</sup>. Any relationship between average particle sizes and the lower limits was not suggested, but it seemed the dusts having good dispersability may show the value as high as 70g/m<sup>3</sup> for the "true" value of the lower explosibility limit for the dusts used in these experiments. Data from a Hartmann apparatus and a standard 20l spherical bomb vary from 26 to 45g/m<sup>3</sup> for the lean limit of lycopodium dust. The validity of industrial application of these data is discussed within the framework of safety considerations.

*Key Words:* Dust explosion, Lower limit of explosibility.

\*化学研究部, Chemical Safety Research Division

## 1. はじめに

可燃性粉じんと着火源が単に存在しただけでは、粉じん爆発は生起しない。粉じんが空気中に浮遊分散して、ある一定濃度以上の粉じん・空気混合気を形成する必要がある。この濃度は、爆発下限濃度（界）と呼ばれ、粉じん爆発を生起する最低粉じん濃度に相当し、爆発防止対策を取る上でもきわめて重要な爆発特性値の一つである。その決定方法に関しては、すでに理論的にも実験的にも確立された多くの方法がある。なかには、その測定法が何らかの規格、または試験法に取り入れられているものもあり、多くの参考資料やガイドライン等にもそれらのデータが記載されているが、粉じん爆発伝ば理論が十分確立されていない現状では、それらの決定方法についてなお多くの異論がある<sup>1)</sup>。

このように、一般に、可燃性粉じんの爆発危険特性値は、種々の装置並びに方法によって測定されているが、現状では測定装置並びに方法に依存した特性値が報告されている。例えば、これまで粉じん爆発の標準粉体試料として試験に用いられてきたピツツバーグ炭（あるいは同クラスの石炭）の空気中における下限界についての文献値は、 $5\text{g}/\text{m}^3$ 程度の低い値から $300\text{g}/\text{m}^3$ 程度の高い値まで分布しており、その中間的な値として $30, 40, 50, 60 \sim 70, 110, 150$  および $230 \sim 310\text{g}/\text{m}^3$ が報告されている<sup>2)</sup>。一体、このなかのどれが正しい値であるか、意見の一致は得られていない。ちなみに、米国鉱山局の研究者による最近の測定では、約 $135\text{g}/\text{m}^3$ というデータが報告されている<sup>2)</sup>。

爆発下限界の定義は、上述のように、着火源の存在で、爆発を起こす最低粉じん濃度であるが、一般に、最も激しい爆発を起こす粉じん濃度からその濃度を減ずるにしたがって爆発の激しさが急激に低下し、下限界近くの低い濃度では、弱い火炎伝ば（燃焼波の伝ば）が観察されるに過ぎない。それ故、弱い火炎の伝ばが、粉じん混合気のパラメータ（濃度の均一性、乱れ、粉体試料特性など）ばかりでなく、測定装置および着火源の大きさや形態によって著しく影響されるので、下限界の測定にあたっては、これらの影響因子を十分に考慮した決定が必要になる。特に、着火源の種類や効力は千差万別であり、それらの特性に対応した着火（下）限界が存在するが、これらの測定値がしばしば、本来、着火源の特性に依存

しないはずの爆発（下）限界と混同されてきた恐れもある。それ故、それらのデータを参照する場合は、その測定条件及び方法を考慮して慎重に扱うべきであろう。

このような粉じん爆発下限界の測定に関して、密閉系（定容）と開放系（定圧）の装置があり、前者では爆発圧力上昇の大きに基づき下限界を決定する。しかし、この基準では着火源の起爆のみによる圧力上昇か火炎伝ばに基づく圧力上昇か、区別が付き難い。上記の米国鉱山局の測定方法では、初圧に対する圧力上昇が2倍に達した場合の粉じん濃度を下限界の基準にした<sup>2)</sup>。それには、十分な根拠が明示されているが、密閉容器中での僅かな圧力上昇から、着火源近傍のみでの部分的な火炎伝ばであるのか、火炎伝ばがようやく混合気全体におよび管壁で消滅する場合であるのかを、判断することはかなり困難であろう。

他方、開放系の装置では、内容積約 $1.2\text{l}$ のHartmann装置が各国で最も広く使用されてきたが、濃度が均一にならないなど多くの欠点が認識されている<sup>1)</sup>。さらに、小さな実験室規模の装置から、内径 $7 \sim 30\text{cm}$ 、高さ $5 \sim 8\text{m}$ までの開放燃焼管を利用した種々のプラント規模の実験装置を使用した測定データも文献<sup>3)</sup>に報告されているが、粉じんの均一な分散や配管内での再循環流の発生などの点で問題があることが指摘されている<sup>2)</sup>。その点、ふるい落下式（石浜式）試験装置<sup>4)</sup>が、混合気に乱れを与えない点で優れているが、実大規模のような、より大きな装置ではたして伝ば火炎に進展するかどうかは不明である。

そこで、多数の内外のこれまでの研究を踏まえて、伝ば火炎が管壁などで消滅することがないように、いはゆる消炎距離（粉じんでは、数 $\text{cm}$ のオーダー<sup>5)</sup>）をはるかに越える寸法の大型垂直管装置を用い、上方火炎伝ばの基準で空気中におけるいくつかの有機粉じんの真の爆発下限界を測定した。また、この装置では、十分なエネルギーとその密度の高い着火源を使用し、混合気の乱れを抑制し、均一な粉じんの分散が達成できるように配慮した。

このような下限界の測定は、基本的な爆発特性値を明確にし、粉じん爆発の燃焼伝ば機構を確立する上で有用であるばかりでなく、現在参考とされているデータが、安全上どのような意義があるか考察するのに役立つであろう。

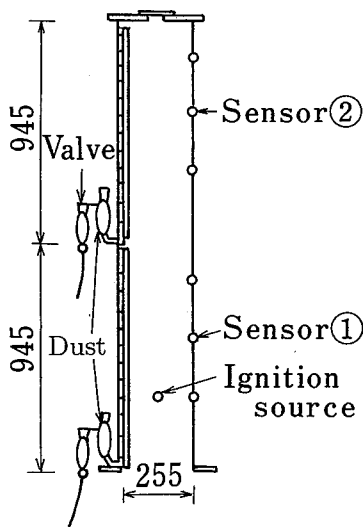


Fig. 1 Experimental apparatus (Schematic)  
実験装置の概略

2. 実験

一般に、燃料濃度に対して、爆発性混合ガスの伝ば火炎の消炎距離は、ほぼU字型に変化する。極限の下限界では、その値は無限大になるが、実際には測定用燃焼管の管径が(最小)消炎距離の約10倍程度であれば、下限界の測定には十分であろうと言われている<sup>5)</sup>。ちなみに、混合ガスの消炎距離は、一般に数mmのオーダーであり、混合ガスの下限界は直径5cmの垂直ガラス管を使用し、上端部閉塞、下端部開放の条件(上方火炎伝ば)で測定する<sup>6)</sup>。

これらのことを参考に、ここでは、管径があまりに大きいと火炎が不安定になることを考慮して、内径255mm、長さ945mmの鋼管2本を垂直に立てて1本に接続した燃焼管(内容積96.5l)を爆発下限界の測定に用いた。上端は鋼板で閉じ、下端は開放した。装置の概略をFig. 1に示す。装置全体は、架台上に設置した。燃焼管下端から床までの距離は約60cmであった。容器内での粉じん・空気混合気の形成は、実験上最も重要な要因であるが、種々の粉体特性を有する色々な試料を分散させるためには、空気圧による噴出分散法が優れている<sup>7)</sup>。その方法に従って、ここでは、一定量の試料粉じんを試料容器(300cc×2)に充填し、圧縮空気溜(9bar, 250cc×2)の電磁弁を開放して燃焼管内に粉じんを分散した。ただし、二個の試料容器の終端は、燃焼管内垂直側面に添って設置した内径15mmの穴あきパイプ(穴の

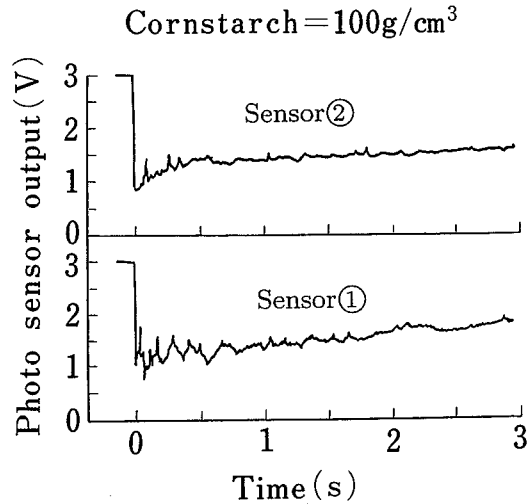


Fig. 2 Variations of light transmission for corn-starch dust mixtures in the tube  
コーンスターチ粉じんの配管中光透過度の変化

径4mm, 穴数15ヶ×2, 間隔5cm)にそれぞれ接続し、このパイプの小穴から、二分した試料粉体(量)を噴出させた。しかし、この方法では混合気の乱れが強いので、Leeら<sup>8)</sup>にならって、パイプの小穴直前6mmの所に固定した垂直丸鋼棒(径14mm)に噴流を衝突させることによって、混合気の乱れを軽減させた。なお、粉じん濃度は秤量粉体量を燃焼管容積で除した値(g/m<sup>3</sup>)とした。このようにしても、例外的な場合を除いて、管壁に付着する粉じん量は僅少で、試料量の大部分は燃焼管内に分散、浮遊することを確認した。

かくして形成した粉じん混合気の粉じん濃度の均一性を、豆球とホトランジスターから成る光透過度測定器によって検討した。光透過度測定器は浮遊粉じんによる光透過度の減少率を、Lambert-Beer則によって測定するものであるが、光路が長いと、僅かな粉じんによっても透過度が急激に低下して使用できない。ここでは、燃焼管管径の約 $\frac{1}{2}$ の光路長さを持つ測定器を使用し、管内の種々の位置および高さで測定した。Fig. 2はコーンスターチ粉じん( $d_{50} = 26 \mu\text{m}$ , 4.83g×2)を分散した時のホトランジスターの出力を示し、圧縮空気によって一気に試料粉が押し出されるように放出、分散されるので、出力パターンは下限界近くの粉じん濃度において条件を変えても類似のものであった。このようなデータによると、分散後約0.5秒経過後は濃度の変動は僅少で、時間経過に伴って少しずつ薄くなっていくことがわかる。

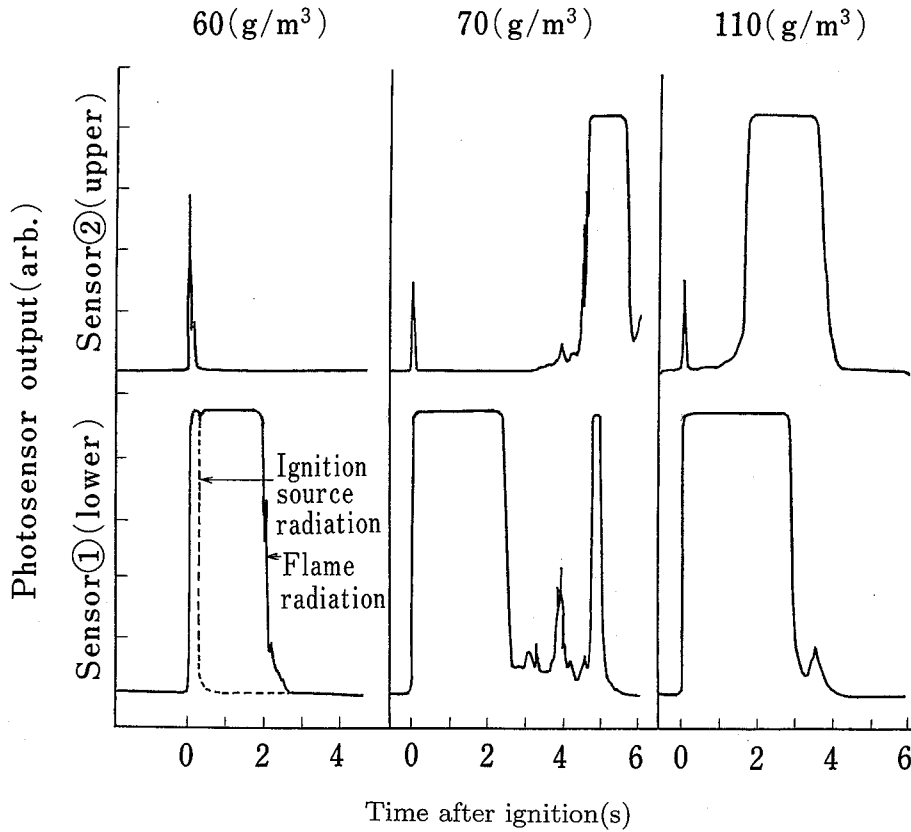


Fig. 3 Photosensor output records for lycopodium-air flames  
石松子粉じん火炎のホトセンサ出力記録

しかし、燃焼管上部位置（センサー②）での変化よりも下部位置（センサー①）での変化が僅かに大きい。それが、粉じん粒子の重力沈降によるのか、開放端に近い場合、対流による希釈のためかはわからない。また、圧縮空気溜の電磁弁を解放後、約0.2秒間で試料粉体が分散される。試料分散後、数秒経過後は、燃焼管下端から粉じん雲がゆっくり流出するのが見えた。これらの観察から、電磁弁解放後0.5秒後に混合気に着火することにした。

着火は、アルミニウム粉末と硝酸バリウム並びに過酸化バリウムからなる混合火薬を市販の点火玉で起爆する方法で行い<sup>7)</sup>、その位置は下端から30cm上の所とした（着火エネルギー約5kJ）。

実験で使用した主な粉体試料は、プラスチック添加剤として使用されている酸化防止剤や光安定剤であるが、実験上これらの化学構造が特別、有意義のものとは思わず、粉体状の有機化合物として用いた。他に、分散性の優れた標準粉体試料（(社)日本粉体工業技術協会）である石松子などを使用した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 爆発下限界

ここで用いた爆発下限界の判定条件は、混合ガスの標準測定法の場合と同様に、上端閉、下端開放の垂直配管における上方火炎伝ばの有無である。この判定のため、2個のプレーナ形シリコン・ホトトランジスタ（品名 NEC:PT8L, Fig. 1 に示した位置のセンサー①, ②）を使用した。同センサは、できるだけ受光面が水平方向に限定されるように内径6mmの細管内に保持したものを燃焼管壁面上に設置した。なお、イオン・ギャップも併用したが、粉が共存するためか出力感度が弱かったので、ここではホトセンサによる記録について述べる。

上方火炎伝ばがあれば、センサー①, ②ともに粉じん火炎の発光現象を捉えるが、伝ばがなければ、主にセンサー①のみの出力が記録される。さらに、センサー①の出力だけが得られても、着火源用火薬のみが発光する場合（継続時間約180～250ms）と着火源

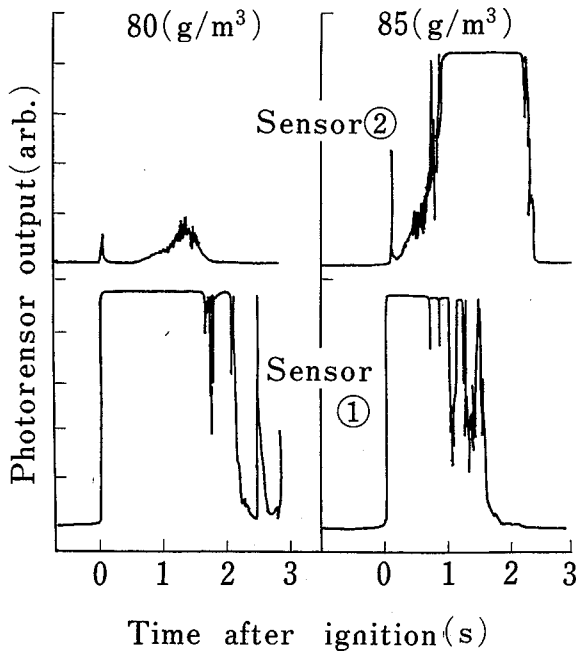


Fig. 4 Photosensor output records for the dust sample(S) in Table 1  
 ホトセンサ出力記録 (試料 S, Table 1)

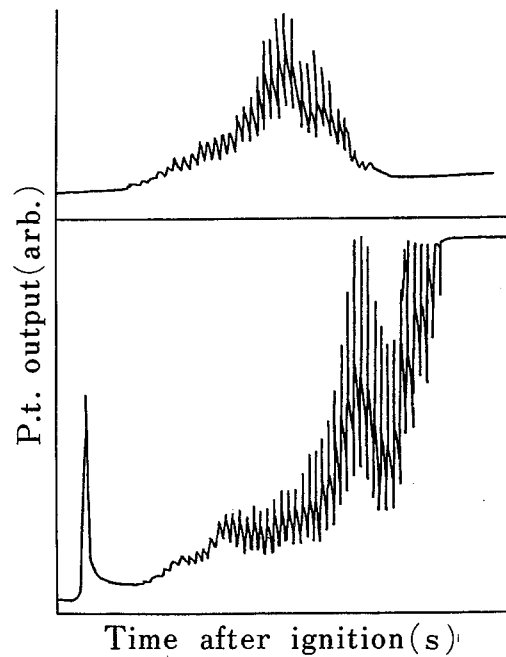


Fig. 5 Enlargement of a part of records in Fig. 4, showing flame vibration  
 Fig. 4 の火炎振動部分の一部拡大

近傍で粉じんが燃焼する場合があります、その燃焼の場合によって、発光継続時間が変わる。

石松子粉じんの下限界前後の濃度における、着火起爆時のホトセンサの信号記録を、Fig. 3 に示す。なお、ホトセンサの感度を高くして、弱い放射による出力も捕捉できるようにしたため、強い放射があった場合は、出力記録が振り切れている。図によると、火薬起爆の放射による出力は、必ずしも一定ではないが、比較的短時間で終わるので、粉じんの燃焼を伴う場合とは区別できる。粉じん濃度  $60\text{g/m}^3$  の場合には、センサ①の波形から、燃焼管下端部で大きく燃焼することがわかるが、火炎の上方伝ばは起こらない。 $70\text{g/m}^3$  の濃度になると、下端部での燃焼終了後ようやくセンサ②の大きな出力が得られることから、緩慢な上方火炎伝ばであることがわかる。また、火炎の一部あるいはその後尾は分岐して下方へ落下することも、その後のホトセンサ①の波形から推定できる。粉じん濃度をさらに高くして  $110\text{g/m}^3$  にすると、下端部での燃焼が終了しないうちに上方伝ばが起こり、火炎は一瞬燃焼管全体を満たすように広がることを、読みとれる。このような濃度では、実際上爆発的燃焼が起こるといえるだろう。なお、爆発容器の下端は開放してあるので、完全な上方火炎伝ばを生じない場合、つまり着火源近傍であるいは部

分的な伝ばを起こせば、容器下端から火炎が噴出または落下するので、目視によっても伝ば状況は把握できた。しかし、それよりも、上方火炎伝ばは大きな振動音を伴うものであった。

振動音の発生は、Fig. 3 からもうかがい知れるが、Fig. 4 の例はこれを良く示す。同図は、有機粉じん (Table. 1; 試料 S) の下限界近くにおける着火時のセンサ出力を示す。それによると、粉じん濃度の高低に対応した上方火炎伝ばの有無を示すセンサ②の出力差は明確で、拡大図 (Fig. 5) に示すように、火炎放射による出力波形のいずれの部分を見ても振動が認められた。火炎が上方伝ばした場合は、“ズズー” (低周波) という大きな音が聴こえ、センサの出力に対応した。これらの振動数は  $62.5 \sim 71.4\text{Hz}$  であった。

配管中でのこのような火炎の伝ばに伴う振動現象は、火炎と火炎前面での弱い圧縮波との相互干渉によることが知られており、最近、コーンスターチ粉じん火炎について観測した Veyssièrè ら<sup>9)</sup> の結果と類似する。彼らの写真観測によると、粉じん火炎は、多数のセル状に分離した小火炎からなる不安定な構造である。そこで、火炎の振動を除くため、以後、上蓋中央に直径  $50\text{mm}$  の小穴を開けて火炎伝ばを観測した。その結果、振動現象は緩和されたが、石松子粉じんの下限界測定値は変わらなかった。

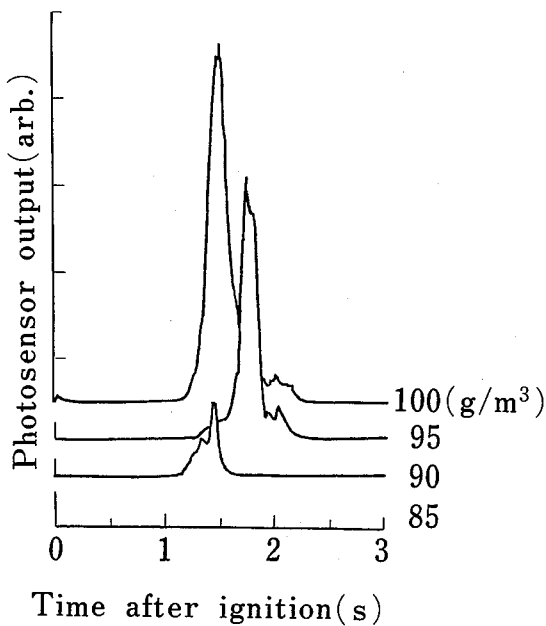


Fig. 6 Photosensor output records ② for polyethylene dust flame near the lean limit  
ポリエチレン粉じん火炎によるホトセンサ②の出力

かくして、下限界を  $5\text{g/m}^3$  の間隔で測定した。粉じんの種類によっては下限界近傍の薄い濃度では火炎の放射が弱く、ホトセンサの出力が弱いものもあった。ポリエチレン粉（低密度、平均粒子径  $d_{50} = 27\mu\text{m}$ ）はその例で（恐らく分子中の炭素数が少ないことがその原因であろう）、Fig. 6 に下限界近くにおけるセンサ②の出力記録を示す。火炎の伝ば状況は曲線の立上りと全体の大きさに反映されているものとして、この場合の火炎伝ばは、 $95\text{g/m}^3$  以上の濃度で観測され、90 以下では伝ばしなかったものと判断した。ここでの下限界は、実測結果から火炎伝ばを起こす最低濃度として、 $95\text{g/m}^3$  と決定した。

Table. 1 に粉体試料 23 種の測定結果をまとめて示す。これによると、ここで求めた下限界の最小値は  $70\text{g/m}^3$ （試料 B,D, 石松子）で、これ以下の濃度で火炎伝ばした粉じんはない。下限界データは  $70 \sim 200\text{g/m}^3$  の範囲にあり、平均粒径の大きな粉じんは、より高い下限界を取るように思えるが、平均粒径が小さい試料が必ずしも低い下限界を示すわけでもない。粒度の分布幅が狭く、平均粒径の小さな粉じんが、より低い値をとるようでもあるが、例外もある。これらの結果からは、爆発下限界と平均粒径とに何らかの相関性があることは見出せない。しかし  $70\text{g/m}^3$  の下限界を示す試料はいずれも浮遊・分散しやすい

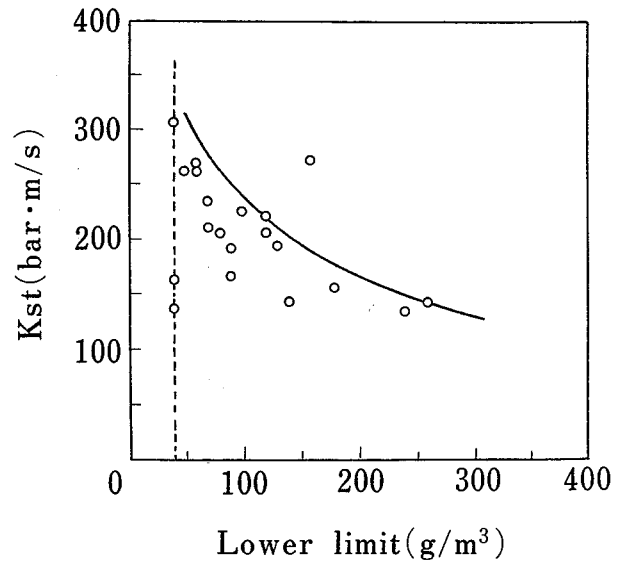


Fig. 7 Relation between lower limit and  $K_{st}$   
粉じん爆発下限界と  $K_{st}$  の関係

粉じんであったことから、分散性のような粉体特性は何も示していないが、それらの特性と関連があるだろうことは十分予想される。

ところで、このように有機粉じんの比較的大きい下限界については、従来、あまり報告がない。それは、すでに述べたように決定方法が異なることによるが、上述の Veyssière ら<sup>9)</sup> が大型の流動床を用い、 $200 \times 200\text{ mm}$  の断面積を有す燃焼管中に浮遊粉じん雲を形成し、上方火炎伝ば基準で測定したコーンスターチ粉じん ( $d_{50} = \text{約 } 20\mu\text{m}$ ) の下限界は、同じく  $70\text{g/m}^3$  であった。コーンスターチも有機粉じんの一種であることから、当然ながら、同規模の装置で同様の判定基準を用いれば、このように一致する値が得られるであろう。ところが、同一装置ないし同一方法を用いても、従来なかなか国際的に一致するデータは得られなかった<sup>1)</sup>。それらの決定方法に不安定な要素があったことになる。

石松子のハートマン型試験装置およびふるい落下式による測定値はともに約  $40\text{g/m}^3$ 、ISO 規格の  $1\text{m}^3$  爆発容器では  $30\text{g/m}^3$ 、その代替装置である  $20\text{l}$  球形装置では  $26\text{g/m}^3$ 、 $15\text{ l}$  “Nordtest” では  $35 \pm 6\text{g/m}^3$ 、とまちまちな値が報告されている<sup>1)</sup>。いずれにせよ、ここで求めた石松子の上方火炎伝ばする下限界  $70\text{g/m}^3$  よりもいずれも小さく、着火源近傍でのわずかな火炎伝ばを基準に判定されたものであることは明かであろう。とはいえ、粉じんの着火（引火）を伴うので、これらのデータは安全面からはそれなりに意味

Table 1 Summary of lower explosibility limit data  
粉じん爆発下限界測定データのまとめ

No.	Dust	$d_{50}(\text{span})^*$ ( $\mu\text{m}$ )	Lower limit ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	$K_{st}$ ( $\text{bar}\cdot\text{m}/\text{s}$ )
A	1,3,5-tris(3,5-di-t-butyl-4-hydroxybenzyl)-s-triazine-2,4,6-(1H,3H,5H)trione	32 (2.30)	85	234
B	1,1,3-tris(2-methyl-4-hydroxy-5-t-butylphenyl) butane	29 (1.47)	70	307
C	1,1'-bis(2-methyl-4-hydroxy-5-t-butylphenyl) butane	23 (2.93)	80	263
D	octadecyl-3-(3,5-di-t-butyl-4-hydroxyphenyl) propionate	94 (1.53)	70	137
E	pentaerythrityl-tetrakis-[3-(3,5-di-t-butyl-4-hydroxyphenyl) propionate]	54 (3.59)	170	135
F	2,2-bis[3-(3,5-di-t-butyl-4-hydroxyphenyl) propionyloxy] diethyl sulfide	85 (2.19)	140	156
G	3,9-bis[2{3-(3,5-di-t-butyl-4-hydroxyphenyl) propionyloxy} 1,1-dimethylethyl]2,4,8,10-tetraoxaspirodecane	15 (2.24)	120	143
H	1,3,5-trimethyl-2,4,6-tris(3,5-di-t-butyl-4-hydroxybenzil) benzene	88 (2.60)	85	235
I	pentaerythritol-bis-[(2,6-di-t-butyl-4-methylphenyl) phosphite]	14 (4.94)	110	206
J	methylene bis(3,5-di-t-butyl-2-phenyl)octyl phosphite	249 (1.77)	200	-
K	tris(2,4-di-t-butylphenyl) phosphite	29 (3.20)	80	269
L	N-(2,3,5-triazol)2-hydroxybenzamide	15 (2.50)	130	271
M	N,N'-(2-hydroxybenzoyl) dodecandioxy-hydrazide	15 (3.39)	115	195
N	bis(p-t-butylphenyl) sodium phosphate	3**	180	143
O	methylene bis(3,5-di-t-butyl-2-phenyl) sodium phosphate	3**	95	192
P	2-(3-t-butyl-5-methyl-2-hydroxyphenyl)-5-chlorobenzotriazole	40 (4.36)	85	210
Q	methylene bis(2-hydroxy-3-(2-benzo-triazyl)-5-octylphenyl)	37 (2.57)	75	263
R	2-benzoyl-4-octanoxy-phenol	117 (2.04)	110	222
S	methylene bis(2-hydroxyl-3-benzil-6-methoxyphenyl)	26 (2.03)	85	-
T	tetrakis(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidinyl) 1,2,3,4-butanetetracarboxylate	39 (3.34)	95	166
U	1,2,3,4-butane-t-carbonate/1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidinol/ $\beta, \beta, \beta$ -tetramethyl-3,9-(2,4,8,10-tetraoxa spiro)[5,5] undecandioethanol/condensed compounds (縮合物)	37 (2.69)	100	226
V	bis(3,3,5,5-tetramethyl-4-piperidinyl) octandioate	58 (1.49)	90	206
W	lycopodium (石松子) ***	31 (0.40)	70	163

\*  $d_{50}$ =particle mean diameter (Wet measurement by laser diffraction,  $\text{span}=(d_{90} - d_{10})/d_{50}$ )

\*\* Dry measurement (Microtrack-method)

\*\*\* Standard dust sample of The Association of Powder Process Industry & Engineering

$$K_{st} = (dp/dt)_{\max} \cdot V^{1/3}$$

のあるデータであることは否定できない。このように、決定方法に大きな違いがあるが、局所的な粉じんの燃焼とそれが上方伝ばに至るまでの粉じん濃度にはかなりの差がある。粉じん火炎では化学的特性時間が比較的長いことに主因があり、これも粉じん爆発の特徴の一つに数えられるだろう。

### 3.2 爆発圧力および最大圧力上昇速度

Table 1 には、419lの密閉爆発容器<sup>7)</sup>を用いて測定した  $K_{st}$  値 (体積基準での最大圧力上昇速度) を比較のため併せて示した。これらの粉体試料 (石松子を除く) の最大爆発圧力 ( $\Delta P_{\max}$ ) は 7.4 ~ 8.7 bar で、平均値 8.0 bar (標準偏差 0.3) であった。すな

わち、測定範囲内で最大爆発圧力はこれらの化学構造や平均粒径にはあまり関係しないようである。これに対して、 $K_{st}$  値と爆発下限界データをプロットすると (Fig. 7), 大きな  $K_{st}$  値は低い下限界を取るように見えるが、逆は成り立たずデータのばらつきも大きい。このように、爆発しやすい粉じんが必ずしも爆発が激しい粉じんではない。粉じん爆発の危険性評価法を確立するためには、 $K_{st}$  測定の妥当性の検討とあわせて、さらに多くのデータの蓄積が必要であろうと思われる。

## 4. まとめ

小規模装置を用いた粉じん爆発の下限界の従来デー

タは、それぞれ異なる判定基準によって測定されたものであり、火炎伝ばには至らない単なる発火限界を示すデータも含まれるようだ。それには、粉じん濃度の局所的偏りや火炎伝ば途中での消炎など、装置や測定方法による制約があることも否定できない。そのため、それらのデータは危険性を過大評価する恐れもあるが、濃度面で安全側にあると言えるだろう。いずれにしても、従来の測定装置・方法によるデータの差は大きく、同一方法で測定しても一致する値はなかなか得られず、下限界が粉じん爆発の特性値とはなりにくいように思われる面がある。

そこで、比較的規模の大きい、上端閉、下端開放の内径 255 mm、長さ 189 mm の円筒配管を用いて、上方火炎伝ば基準で有機粉じんの爆発下限界を測定した。その結果、石松子の下限界は  $70\text{g/m}^3$ 、プラスチック添加剤 23 種の粉じんのそれは  $70 \sim 200\text{g/m}^3$  であった。これらのデータの最小値  $70\text{g/m}^3$  は、同じく大きな装置で測定されたコーンスターチの文献値<sup>9)</sup>と一致した。ここでの結果は、最も低いもので、ハートマン型試験装置などによる従来データの約 2 倍以上の値であるが、縦方向の上方火炎伝ばが達成される真の下限界は、このように高い濃度になる。

(平成 3 年 5 月 7 日受理)

#### 参考文献

- 1) 松田：産業安全研究所安全資料, RIIS-SD 90-1 (1990), 1-39
- 2) M. Hertzberg, K.L. Cashdollar and J.J. Opferman, The Flammability of Coal Dust-Air Mixtures, U.S. Bureau of Mines, Report of Investigation 8360 (1979), 1-70
- 3) K.N. Palmer 著 [日本化学会訳編], 粉じんの爆発と火災, (1981), 97, 丸善
- 4) 石浜渉, 榎本兵治:安全工学, 14-4 (1975), 195
- 5) J. Jarojinski, J.H. Lee, R. Knystautas, J.D. Crowley: 21st Symp. (Intl.) on Combustion, (1986), The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 1917
- 6) H.F. Coward and G.W. Jones, Limits of Flammability of Gases and Vapors, U.S. Bureau of Mines, Bull. 503 (1952), 1-155
- 7) 松田：産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-88 (1988), 73
- 8) J.H.S. Lee, Y.K. Pu and R. Knystautas, Archivum Comb., 7-3/4 (1987), 279
- 9) C. Proust and B. Veyssièrre, Progress in Astronautics and Aeronautics, Dynamics of Reactive Systems, AIAA, New York, 113-2 (1988), 43