

Research Report of the National Institute
of Industrial Safety, NIIS-RR-95 (1995)
UDC 543.876/614.83/614.838

活性炭の粉じん爆発危険性*
—爆発特性に及ぼす着火エネルギーの影響—

松田東栄**, 板垣晴彦**

Activated Carbon Dust Explosions*
—Effects of Ignition Energy on Dust Explosion Parameters—

by Toei MATSUDA** and Haruhiko ITAGAKI**

Abstract : The industrial use of activated carbons has been increased for environmental aspects, but they are predicted to show a dust explosion. Activated carbon dusts are characterized by a large specific surface area from their internal porosities, and they react heterogeneously with air at first step. However, the role of the surface reaction in dust explosion mechanism has not been well understood.

An International Standard (ISO) specifies one cubic meter explosion vessel for realistic dust explosibility determination. To improve time and cost effectiveness of the large scale tests, a 30% spherical closed vessel has been developed and used in our laboratory for hazard assessment of combustible dusts. The ISO standard also recommends the use of a 10 kJ chemical ignitor for the determination of dust explosion severity. However, the use of such a powerful ignitor in a smaller explosion chamber leads to overdrive of the dust-air mixtures.

This paper reports the effect of ignition energy on explosion pressures, maximum rates of pressure rise, and lower and upper explosible dust concentrations for activated carbon dust explosions in the 30% sphere and a standard 1 m³ cylindrical vessel.

Within the scatter in the data, the explosion pressures at a given dust concentration are almost independent of the ignition energies used. By increasing the dust concentration up to 10 kg/m³, the explosion pressure gradually decreases even to 2 bar when the 10 kJ ignitor is used in the 30% vessel. Each ignitor distinctively provides an ignitable range of dust concentration. Dust-air mixtures of two dusts used could not ignite at any concentration using the 1.5 kJ ignitor in the 1 m³ vessel. K_{st} values, the size-normalized maximum rate of explosion pressure, reflect the relatively weak explosion severity of the dusts used. The effect of ignition energy on the K_{st} is evident as the values increase with increasing ignition energies, and the 30% vessel shows the higher K_{st} for the dusts when the same ignitor energy is applied.

Explosion time, or combustion time from ignition to a peak pressure, has been used as the criterion for apparent limits of explosibility in our laboratory. In the 1 m³ vessel, the lower explosibility limits for two kinds of activated carbon dusts are relatively independent of ignition energies, whereas the data from 30% show wider apparent limits of explosibility with increased ignition energies. From a comparison of these data, the lower explosion limits for two dusts used in the 1 m³ vessel with a 10 kJ ignitor appear to be comparable to that in the 30% vessel with a 2.0 or a 1.5 kJ ignitor. Thus, the

*本稿の主旨を 6th International Colloquium on Dust Explosions, Aug. 29~Sept. 2, 1994, Shenyang (中華人民共和国) において発表した。

**化学安全研究部 Chemical Safety Research Division

result for the activated carbon dusts tested shows that the appropriate ignition energy for lower limit determinations, which should be used in the 30 l vessel in order to obtain comparable data to those in 1 m³ vessel, seems to depend on the kind of dusts being tested.

The upper limits for the activated carbon dust in both vessels show a large difference of more than 10 times in concentration with a 10 kJ ignitor. Although such a discrepancy would be explained by different turbulent levels in both vessels, the increase in the apparent upper limit concentrations with ignitor energy in the 30 l vessel would be promoted by the higher energy ignitor itself which preheats the excess dust particles acting as a heat sink in the denser mixtures. Nevertheless, it should be noted that the explosion pressure recorded with a 10 kJ ignitor near the upper limit in the small vessel is nearly 2 bar, as above mentioned. This value is close to the pressure criterion previously defined for the limit concentration. The upper limit of explosibility for the dust in the 30 l vessel would be then justified and therefore the 30 l vessel would be useful to reveal the potential hazard of such a dust.

Keywords ; Dust Explosion, Ignition energy, Activated carbon dust, Safety

1. まえがき

活性炭は多孔質で比表面積が極めて大きく、ガスや有機溶剤の優れた吸着剤として工業的に広く使用されている。今日、とりわけ環境問題の観点から、生活用水からの悪臭原因物質や有害物質の除去のため、あるいは半導体産業などで発生する各種有害ガスの処理などに、活性炭の需要は著しく増加している。しかし、その粉じん爆発危険性となると、十分な知見は得られていないように思われる。

一般に、炭じんなどの爆発危険性は揮発分の含有量に大きく依存するが、その点、吸着ガスを含有していない活性炭であればその爆発危険性は極めて小さいか、あるいは存在しないと考えられる。他方、比表面積がすこぶる大きいと、気-固体反応による燃焼はかなりの速度で進行して激しい爆発に至ることも推察できる。このように、異なる燃焼機構の見地からみて、活性炭の粉じん爆発危険性には予想しがたい面があるように思える。静止状態の炭素粒子の燃焼については理論的にも確立されているが、多孔質構造を持つ微粒子でもある活性炭の爆発危険性となると、単独の場合はもちろん、溶剤を吸着した場合の影響など、実用的な危険性データは不足している。

一方、可燃性粉じんの爆発危険性は、通常、爆発特性値を測定して評価する。現在、著者らは可燃性粉じんの爆発特性値を測定する試験装置としてISO規格の1 m³円筒型爆発試験装置¹⁾とそれに準拠する30 l球形爆発試験装置²⁾を使用しているが、どのような場合でも同等のデータが得られるという訳ではない。特に、これらの装置では着火源としていずれも10kJの強力な化学着火剤を使用するが、30 l球形爆発試験装置では容器容積に比較してエネルギー過剰の着火源であると考えられる。すなわち、比較的揮発分の少ない炭じん

試料では、1 m³円筒型爆発試験装置では爆発性を示さないが、30 l球形爆発試験装置では爆発性を示すという実験結果³⁾が存在する。そこで、両試験装置における活性炭の粉じん爆発特性に及ぼす着火エネルギーの影響を検討しつつ、活性炭の爆発特性を明らかにしたので報告する。

2. 実 験

爆発試験に使用した1 m³円筒型爆発試験装置と30 l球形爆発試験装置については、すでに報告されているので⁴⁾、ここではその概略を述べるにとどめる。Fig. 1は1 m³円筒型爆発試験装置の概略図で、円筒の長さと同直径が等しい爆発容器からなる。試料粉体を5 lの粉体容器に入れて密閉した後、それを空気で20bar*¹に加圧する。粉体容器の空気駆動型電磁弁を開いて、粉じんと空気からなる混合気を分散パイプを通して爆発容器中に一気に放出する。分散後、一定の遅れ時間を経過した後、着火剤を起爆させ、爆発圧力を測定する。ただし、粉体容器から混合気を放出すると、それだけで爆発容器内の圧力が上昇するので、電磁弁を開く前に、それに見合う分だけ爆発容器を減圧(0.4bar, abs.)にしておき、大気圧に等しい圧力で起爆できるようにする。また、混合気を放出した瞬間には、混合気は激しい乱れを伴っているが、乱れは時間とともに急激に減少する。それ故、どの時点で混合気に着火するかによって、最大圧力上昇速度などの爆発特性値は影響を受ける。この着火遅れ時間は600ms(±10%)とISO規格¹⁾に定められており、ここではそれに従った。

一方、30 l球形爆発試験装置 (Fig. 2) は、爆発容器本体の底部にある分散傘の周囲に試料粉体を置いて、それを高圧空気で分散させる方式のものである。この場合の着火遅れ時間は、1 m³円筒型爆発試験装置にお

*1 1 bar=0.1MPa

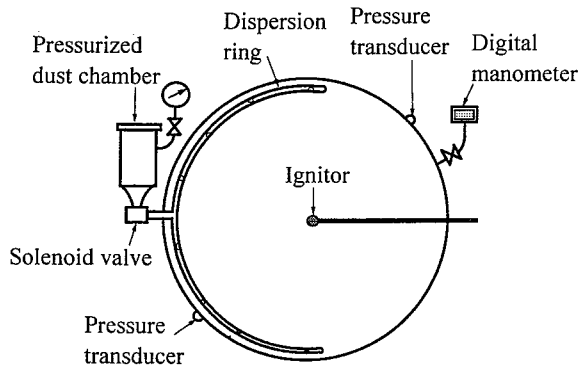


Fig. 1 1 m³ cylindrical dust explosion vessel.
1 m³ 円筒型爆発試験装置

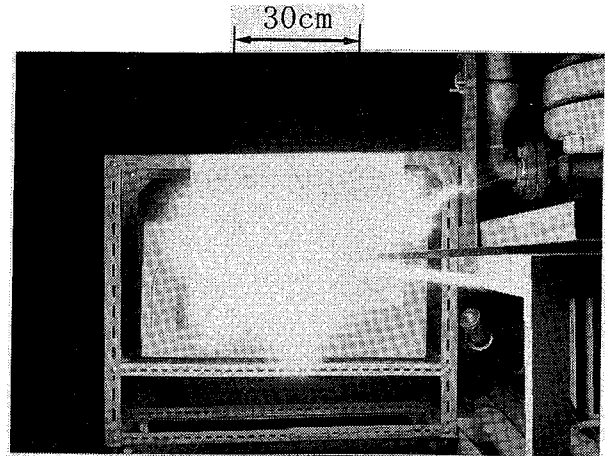
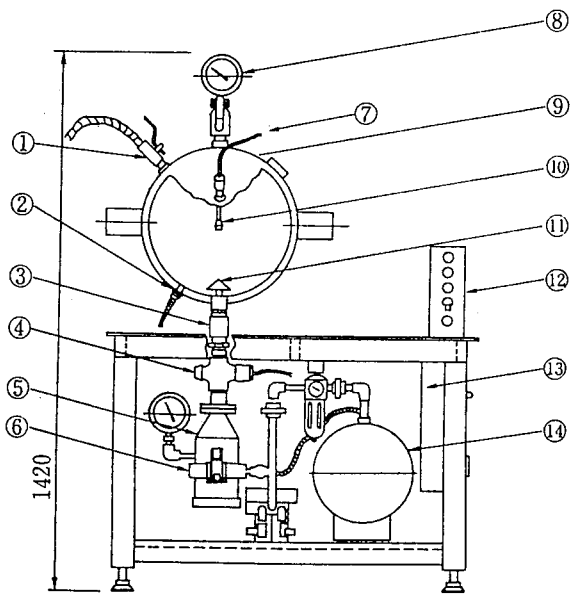


Photo 1 Flame spread by a 10kJ ignitor.
10kJの着火剤による火炎の広がり



①Vacuum valve, ②&⑦Pressure transducer, ③Stop valve, ④Magnetic valve, ⑤Air reservoir, ⑥Plunger for double pressure, ⑧Digital manometer, ⑨30l explosion vessel, ⑩Ignitor, ⑪Dispersion deflector, ⑫Switches, ⑬Control panel, ⑭Air tank

Fig. 2 30l spherical explosion vessel.
30l 球形爆発試験装置

ける検定用粉体試料の爆発特性と同等の特性が得られるように、校正して決定する²⁾。

起爆剤には、硝酸バリウム、過酸化バリウムおよびアルミニウムの各微粉を混合して作成した化学着火剤を使用し、白金線溶断によって着火した。着火剤のエネルギーはアルミニウムの燃焼熱から求め、その実効エネルギーは爆発容器中での着火剤のみの圧力上昇による仕事 ($5/2V\Delta p$) から算出した⁶⁾。着火剤のエネルギーは着火剤の重量によって調節でき、本報で用いたエネルギー値は熱量基準の値である。ISO規格による粉じん爆発試験においては、硝酸バリウム、過酸化バ

リウムおよびジルコニウムからなる着火剤(独, Sobbe社製)を使用することになっているが⁶⁾, ジルコニウム粉の取り扱いは極めて危険であるので, これをアルミニウムに置き換えた着火剤を使用することにした。実効エネルギーや圧力波形, 圧力上昇速度, 起爆時間などの諸点で比較したところ, 両者はほぼ同等のものであることが確認されたので⁷⁾, 代替品として十分使用できることが分かった。30l球形爆発容器中で10kJの着火剤を単独で起爆した場合の発生圧力は0.8bar(平均値)でその最大値に到達するまでの(燃焼)時間は比較的長く28~45msであったが, 圧力上昇の大部分は最初の10ms以内で完了する。これらの時間は試料粉じんの燃焼時間よりも短いので, 着火源として使用できると思われるが, 粉じん火炎の燃え広がりにかんがりの影響を及ぼすことは十分考えられる。室内で着火剤を起爆した際の状況をPhoto 1に示す。火炎の最大広がり, 1kJの着火剤で直径おおよそ17cm, 10kJで約40cmにも及ぶ。このような着火源を30l程度の小容積試験装置で使用した場合を考えると, 着火エネルギーによっては着火剤の火炎が爆発容器全体に広がり, 燃えにくい粉じんであっても爆発するようになることは容易に予想される。

実験に使用した活性炭は, 試料A(関東化学工業(株), 試薬1級)と試料B(和光純薬工業(株), 試薬特級)の二種で, レーザー散乱回析法粒度分布測定装置(Malvern MS64, 乾式空気流)による体積粒子径分布をFig. 3に示すように, 両者はやや幅広い粒度分布を持つ。体積平均粒子径および表面積平均粒子径は, 試料Aについては 27 ± 1 および $14 \pm 1 \mu\text{m}$, 試料Bについては 30 ± 1 および $13 \pm 1 \mu\text{m}$ であった。

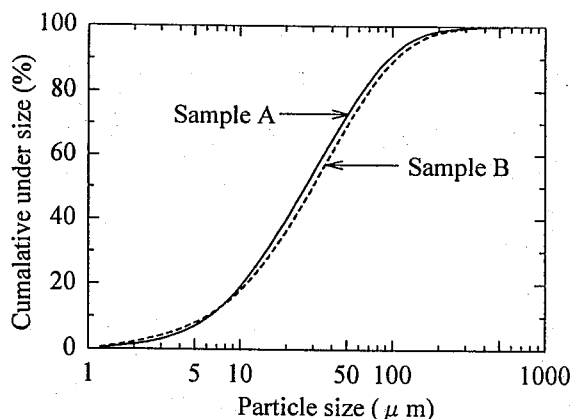


Fig. 3 Particle size distribution of sample dusts.
試料の粒度分布

3. 実験結果および考察

3.1 爆発圧力

着火エネルギーを30l試験装置においては0.9~10 kJ, 1m³試験装置においては2~20kJの範囲で変化させた場合の試料Aの粉じん濃度に対する爆発圧力の変化をFig. 4に示す。粉じん濃度は範囲が広いので対数軸上で示す。30l球形容器での爆発圧力は爆発により発生した圧力から各着火剤による平均の発生圧力を差し引いた値で示した。一方, 1m³円筒型爆発試験装置での着火剤単独の発生圧力はほとんど無視できる値であったので, 爆発圧力は容器内での爆発による発生圧力をそのまま記した。データのばらつきが多少見られるが, 着火エネルギーによる爆発圧力の相違はほとんどない。ただし, 着火エネルギーによって爆発濃度範囲は顕著な影響を受けることが見て取れるが, これについては後述する。定容々積における爆発圧力は混合気の燃焼による固有のエネルギーを表すので, 用いた着火エネルギーに関わりなく爆発反応が一樣に進行することを示すものと思われる。ただし, 同一濃度であれば, 1m³試験装置での爆発圧力のほうが30l試験装置でのそれよりも多少大きい, これは容器容積に対する器壁面積の割合を考えれば火炎の容器々壁における冷却効果が小容器ほど大きくなることから説明できるであろう。30l球形装置において着火エネルギーを10 kJとした場合, 粉じん濃度を10kg/m³まで増大してもなお爆発性が認められた。このような高い濃度では粉じん濃度の均一性が問題になるが, 濃度の増加に伴って爆発圧力は次第に減少し, 爆発上限濃度 (上限界) では約2 barに到達することは注目し値する。これについては3.4節 (爆発限界) で再び触れることにする。

一方, 着火エネルギーが爆発範囲に大きな影響を及

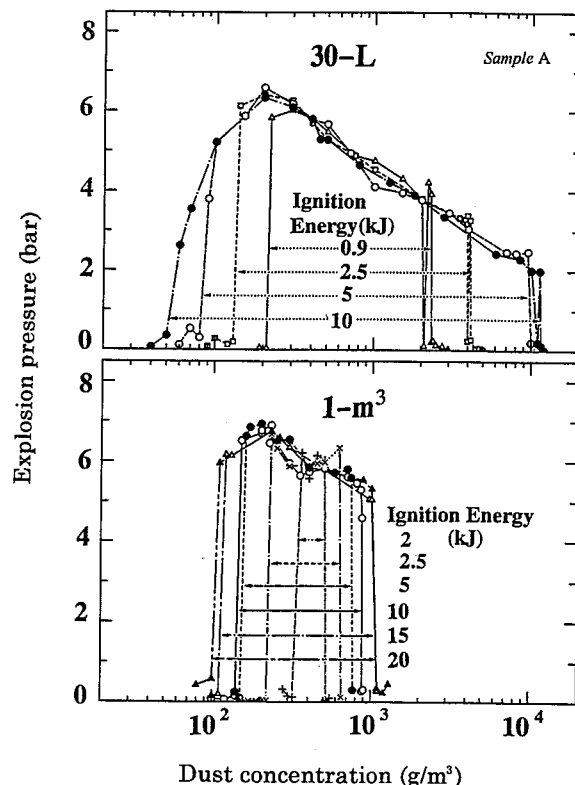


Fig. 4 Explosion pressure vs. dust concentration for dust sample "A" at different ignition energy in the 30l vessel and the 1m³ vessel.
種々の着火エネルギーにおける試料Aの粉じん濃度と爆発圧力の関係

ぼす結果, 必然的に, 1m³試験装置における爆発圧力の濃度に対する変化は, いずれの着火エネルギーにおいても上, 下限濃度において急激に圧力が低下するという特徴的な形を取る。また, 一般に, 有機物粉じんの場合に見られるように, 最大爆発圧力を示す粉じん濃度を中心にその両側に限界濃度が存在するが, 着火エネルギーが5 kJ以下になると, 次のような特徴的な現象を示す。すなわち, 爆発範囲は最大爆発圧力を与える濃度よりも高濃度側に移行するとともに, それらの爆発範囲は次第に狭くなる。これらの現象を明らかにするため, 3.3節では爆発後のガス分析を行った。

3.2 K_{st} 値

粉じん爆発の激しさを表す特性値の一つに最大圧力上昇速度, $(dP/dt)_{max}$ があり, 爆発容器の容積Vがある程度以上大きい場合は, 積 $(dP/dt)_{max} \cdot V^{1/3}$ が一定になりこれをK_{st}と呼んでいる⁹⁾。種々の着火エネルギーにおける試料Aの粉じん濃度に対する1m³試験装置でのK_{st}値の測定データをFig. 5に示す。データのばらつきが大きい, 一般にK_{st}値は濃度とともに単調に増加して最大値に到達した後は同じく単調に減少し

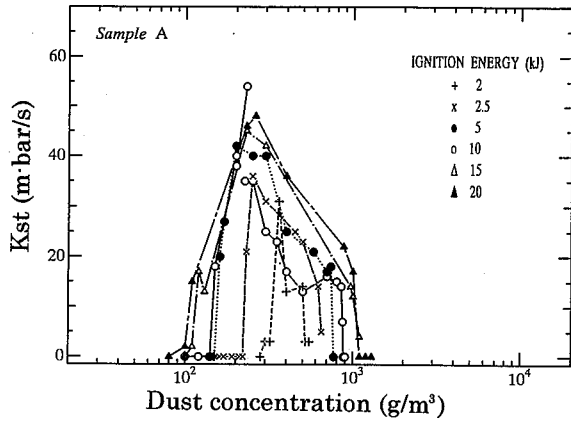


Fig. 5 Variation of K_{st} -value against dust concentration for dust sample "A" in the 1 m³ vessel.
試料Aの粉じん濃度に対する K_{st} 値の変化

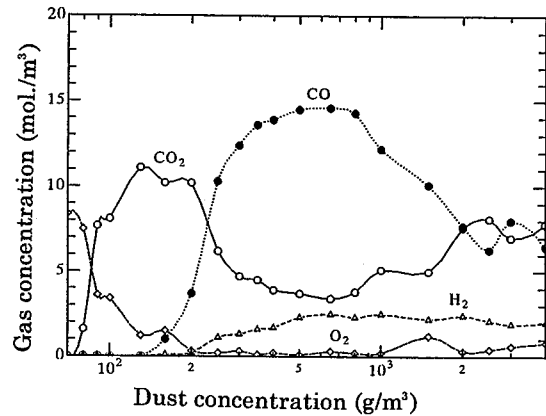


Fig. 7 Gas composition after explosion for dust sample "B" in the 30 l vessel.
試料Bの30 l 装置における爆発跡ガス組成

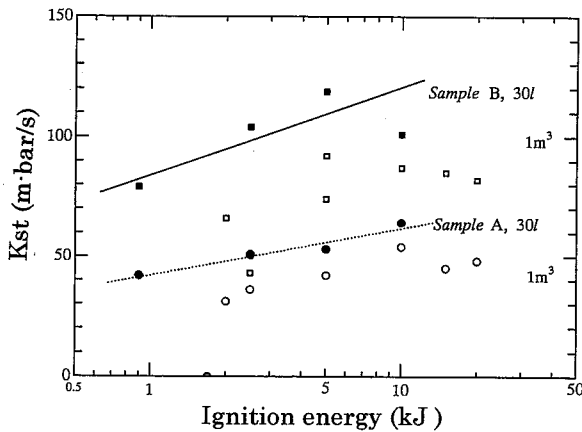


Fig. 6 K_{st} -values vs. ignition energy in the 30 l and 1 m³ vessels.
 K_{st} 値と着火エネルギーの関係

た。その最大値は、着火エネルギーが2 kJの場合を除いて、粉じん濃度が200~300g/m³の範囲にあり最大爆発圧力を示す濃度とほぼ一致する。Fig. 6は K_{st} に及ぼす着火エネルギーの影響を示したものであるが、同一着火エネルギーでは、いずれの活性炭でも30 l球形装置における K_{st} 値のほうが1 m³試験装置における値よりも大きい。そもそも30 l球形装置は、同一試料に対して1 m³試験装置における K_{st} 値と同等のデータを与える装置として開発されたものであるが、検定用粉体と異なる特性の試料ではいくばくかの差を生じることは免れないようである。しかし、両装置での K_{st} 値の差は許容誤差範囲内にある^{2),6)}。10 kJ着火剤によるデータから、実験に使用した活性炭の爆発クラスは比較的弱い爆発を示す部類に分類される²⁾。Fig. 6から分かるように、30 l球形装置での K_{st} 値は着火エネルギーの対数に対して直線的に変化するようであるが、1 m³試験装置ではあまり大きな変化はなく2 kJ以下の着火エネ

ギーではもはや爆発しえない。また、比表面積の差によるものであろうか、試料Aのほうが約2倍も大きい値を取るとともに、着火エネルギーによる変化も大きい。

以上のことから、実験で使用した活性炭の爆発の激しさは特に大きいものではなく、石炭粉程度のものであることが分かった。

3.3 燃焼跡ガスの分析

爆発実験後、種々の粉じん濃度における爆発跡ガス分析をマイクロガスクロマトグラフ（日本タイラン（株）、モデルM200D/MTI）によって行った。10 kJ着火剤による30 l球形装置における試料Bの爆発後のガス組成を、Fig. 7に示す。これらの結果は、20 l球形装置を用いて活性炭の爆発跡ガス分析を行ったWelら⁸⁾の結果と類似している。図によると、等モルの一酸化炭素および二酸化炭素が形成される粉じん濃度である200~300g/m³において最大爆発圧力が達成され、しかもそれは残存する酸素濃度が最低値になる粉じん濃度である。空気中での炭素の二酸化炭素および一酸化炭素への燃焼反応量論組成は、105および210g/m³である。CO₂濃度の最大値は粉じん濃度約120g/m³において達成されるが、COのそれはおよそ550g/m³において見られる。前者の濃度では、余剰の酸素濃度が存在し粉じん濃度は量論組成に近い。後者の粉じん濃度は量論組成の約2倍にも相当し、CO₂がCOの約1/4を占めているが、この粉じん濃度はむしろ1 m³試験装置において最小の着火エネルギーで起爆できる粉じん濃度に対応する。すなわち、活性炭粉じん（試料B）は完全燃焼反応の場合よりも4~5倍も高い粉じん濃度で最も着火しやすく、その濃度は燃焼生成ガス中で一酸化炭素の割合が最大となる濃度である。

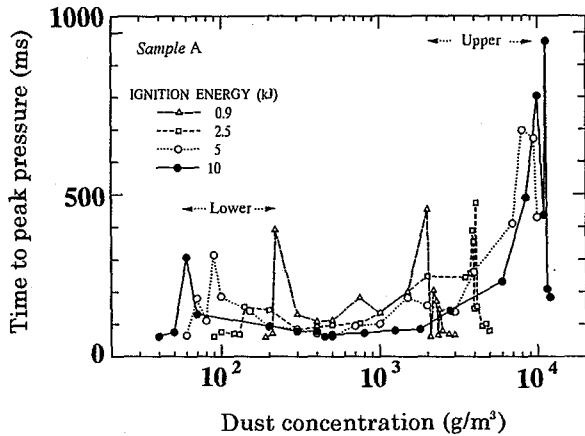


Fig. 8 Explosion time with dust concentration at different ignition energy in the 30l vessel.
30l 装置における試料Aの燃焼時間の変化

活性炭の比表面積は多孔質構造のため極めて大きく、爆発反応の初期過程では重要な要因となる。しかし、浮遊粉じんのすべての粒子が燃焼するわけでもなければ、火炎が通過する間に粒子表面がすべて不均一反応を起こすわけでもない。従って、上記の量論組成濃度は一つの目安にすぎないが、粒子表面へ酸素が拡散して $C + O_2 \rightarrow CO_2$ 、および (又は) $C + 1/2O_2 \rightarrow CO$ によって反応が進行するものの、粉じん濃度の増加と共に不完全燃焼反応が支配的になるようである。また、最終ガス組成から発火のような初期反応の機構を推定することはできないが、低温では表面反応が支配的になることから、小さな着火エネルギーでは粒子表面での $C + 1/2O_2 \rightarrow CO$ の反応がより容易に開始されるとみられる。なお、粉じん濃度が十分高くなると余剰粒子が吸熱体となって火炎温度が低下し、 CO/CO_2 の割合が逆転する燃焼機構に至ることが知られているが⁹⁾、Fig. 7の結果はそれに対応しているように見える。

なお、水素ガスの発生は活性炭の賦活化過程で吸着されたものが脱着したためと思われるが、酸素濃度の急激な減少後に生じていることから、酸素不足で燃焼反応には関与しなかった結果とみられる。

3.4 爆発限界

爆発限界を表す下限・上限は、浮遊粉じん中で火炎伝播を維持することのできる最低および最大の粉じん濃度として定義される。開放空間での粉じん爆発の“真”の下限の測定法についてはすでに報告したが¹⁰⁾、ここで述べる密閉爆発容器を使用する測定方法はより実際的な相対的危険性を表す測定法と言えるものである。しかし、特に密閉容器中の爆発限界付近での火炎伝播を検出することは、一般に次のような理由で困難を伴う。すなわち、密閉されているため火炎伝

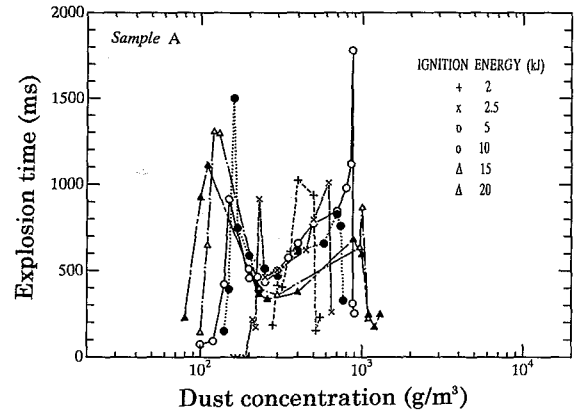


Fig. 9 Explosion time with dust concentration at different ignition energy in the 1 m³ vessel.
1 m³装置における試料Aの燃焼時間の変化

播が発生したかどうかを肉眼で観察できない、着火剤の起爆火炎が大きすぎて粉じん火炎との区別がつかない、着火源近傍で一部の粉じんが燃焼しただけで圧力が発生するので火炎伝播による爆発圧力かどうか判断することが困難である、などによる。そこで、著者らは、着火剤を起爆してから爆発圧力の最大値に至るまでの時間 (燃焼時間) を粉じん濃度に対してプロットした場合の燃焼時間のピーク値によって爆発下限を決定する方法を提案してきた⁹⁾。

Fig. 8は、種々の着火エネルギーを適用した場合の30l球形装置における燃焼時間の変化を示す。これによると、粉じん濃度の高低両側にそれぞれピークが見られる。粉じん濃度が爆発限界に近づくにつれて燃焼時間が長くなることから、低濃度のピークは上述のように下限に相当するが、この考え方は高濃度側の燃焼時間についても適用できると考えられる。すなわち、高濃度側の燃焼時間のピークを与える濃度は爆発上限と見なすことができる。例外もあるが、上限近傍での燃焼時間が下限近傍でのそれよりも長く、この図では粉じん濃度の対数を取って示してあるが、各曲線の変化はJ字形のように見える。また着火エネルギーが大きいくほど上限近傍での燃焼時間は長くなる。換言すれば、燃焼速度は極めて小さいが、高濃度においても爆発するようになる。また、上限近傍では爆発限界内であっても爆発に至らない場合があり、再現性にばらつきを示す傾向がある。このことは、粉じん濃度が極めて高い乱流混合気中での火炎伝播が不安定で、場合によっては消炎に至ることを示唆するものと考えられる。

一方、Fig. 9には1 m³試験装置における同じ試料Aの燃焼時間を示す。容器の直径が大きいため燃焼時間そのものは長くなるものの、上限が低濃度側へ移行するためJ字型の変化とは言えなくなる。

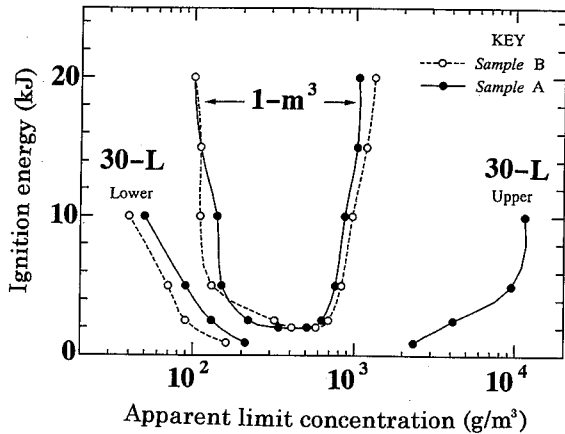


Fig. 10 Effect of ignition energy on apparent limit concentrations in the two vessels.

見かけの爆発限界に及ぼす着火エネルギーの影響

このようにして、燃焼時間の変化から求めた見かけの爆発限界と着火エネルギーの関係をプロットすると Fig. 10 のようになる（“真”の爆発限界は着火エネルギーの影響を受けないはずであることから、ここでは見かけの爆発限界と呼ぶことにする）。1 m³試験装置における2種類の試料の下限界は、互いに異なる値を取るが、着火エネルギー2～5 kJの間ではそれぞれ比較的着火エネルギーの影響を受けないようである。これに対して、30 l球形装置では0.9～10 kJの範囲で下限および上限とも大きな変化を示す。すでに示したように、同じ着火エネルギーであれば30 l容器における爆発範囲のほうがはるかに広い。これらのことから、着火剤の火炎の広がりや爆発容器の相対的な大きさを考慮することなく単に着火エネルギーで限界濃度を比較しても有意義であるとは思われないが、試験方法の観点からすれば、両装置での活性炭に対する着火エネルギーの効力に次のような差がある。すなわち、標準試験装置としての1 m³試験装置（着火エネルギー10 kJ）における試料A、Bの下限濃度は、30 l装置ではそれぞれ2.0または1.5 kJの着火エネルギーを使用した場合に相当する。言い換えれば、ここで使用した活性炭について、1 m³試験装置のデータと同等の下限界データを30 l装置で求めるために使用すべき着火エネルギーは2.0または1.5 kJとなるが、その値は粉じんの種類に依存するということになる。また、これらの下限界を測定するために適切な着火エネルギーが、必ずしも上限界を測定するのに適切な着火エネルギーとはならないことに注意する必要がある。

10 kJによる試料Aの上限界は1 m³装置では870 g/m³であるが、30 l装置では11,400 g/m³で10倍以上の濃度差がある。このような差の原因は小容器で使用する

強力な着火剤の起爆火炎が未燃粉じん粒子を予熱する結果による処が大きいであろう。すなわち、高粉じん濃度中では過剰粉じんが吸熱体の役割を果たすことが推測されるが、予熱によってこれらの役割が減少する結果、著しく高い上限界が達成されたものであろうと思われる。しかしながら、すでに述べたように10 kJ着火剤による30 l装置における上限界での爆発圧力は約2 barで、これはまさに下限界での爆発圧力もしくは爆発による限界圧力に相当する。すなわち、この時の火炎温度は限界火炎温度に匹敵し、これ以上の粉じん濃度では、恐らく酸素濃度の低下及び過剰粒子による冷却効果などによって、火炎伝播が可能な最低火炎温度を維持できないと考えられる。それ故、爆発圧力が約2 barに到達する濃度ということで実質的な上限界を定義できるものと思われる。Fig. 10では30 l装置における上限界は、起爆エネルギーをさらに増大させても10 kJで求めたデータを超えることはないように思える。これに対して、1 m³試験装置における見かけの上限界は実験範囲内でなお着火エネルギーの大きさとともに拡大する傾向がある。

以上のことから、粉じん爆発危険性の評価の観点からは、30 l装置において10 kJの着火エネルギーを用いた爆発試験方法によって、1 m³試験装置では顕在化しない危険性を検知できる可能性があることが分かる。

4. 結 論

ISO規格の1 m³円筒型爆発試験装置と30 l球形爆発試験装置を使用して、種々の着火エネルギーについて活性炭試薬級試料2種類の粉じん爆発特性を測定した。その結果、次のことが明らかとなった。

両装置において爆発圧力については大きな相違はないが、K_{st}値と爆発範囲は着火エネルギーによって大きな影響を受ける場合があった。また、使用した活性炭の粉じん爆発性は、炭じん（揮発分数10%）と同程度であって、特に激しい危険性を示すものではなかった。30 l装置におけるK_{st}値は、1 m³試験装置におけるK_{st}値よりも20～30%大きく、着火エネルギー1～2 kJで起爆すればほぼ同等のK_{st}値を得ることができた。また、30 l装置における見かけの爆発範囲は、同一着火エネルギーにおいて1 m³試験装置におけるそれよりも常に広い範囲を示した。特に、1 m³装置、着火エネルギー10 kJにおける上限界は870 g/m³であるのに対して、30 l装置、10 kJにおける上限界は11,400 g/m³であった。しかし、これらの上限界における爆発圧力はそれぞれ約5.2および2 barで、後者のそれはまさに30 l装置における下限界での爆発圧力に等しいことが分かった。すなわち、大容器中では実際には爆発しない濃度であ

っても30l装置では爆発するので、潜在的な危険性を指摘することができるという意味では30l装置が有用であろう。また、下限界については、1 m³試験装置のデータと同等な値を30l装置で求めるためには1.5~2kJの着火エネルギーを使用すればよいが、必要な着火エネルギーの値は使用した活性炭の種類に依存する。

また、1 m³試験装置において約1.8kJ以下の着火エネルギーでは活性炭を爆発させることはしなかったが、これらの最小着火エネルギーで爆発させうる粉じん濃度は完全酸化反応よりも、不完全燃焼反応によって一酸化炭素が多量に生成する濃度に対応することなどが分かった。

参考文献

- 1) International Standardization Organization, Explosion Protection Systems. Part 1 : Determination of Explosion Indices of Combustible Dusts in Air, ISO 6184/1 (E), Geneva (1985).
- 2) 産業安全研究所技術指針：可燃性粉じんの爆発圧力及び圧力上昇速度の測定方法, RIIS-TR-94-1 (1994).
- 3) 松田・板垣・森崎：第25回安全工学研究発表会講演予

稿集, p.61 (1992), 安全工学協会.

- 4) 松田, 産業安全研究所特別研究報告, RIIS-SRR-No. 12, p.39 (1993).
- 5) Hertzberg, M., Cashdollar, K.L. and Zlochower, I. A., 21st Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, (1988) pp.303~313.
- 6) Bartknecht, W., Dust Explosions : Course, Prevention, Protection, Springer, Berlin (1989).
- 7) Cesana, Ch., (Adolf Kuhner AG, Switzerland) との私信, December (1994).
- 8) van der Wel, P.G.J., van Veen, J.P. W., Lemkowitz, S. M., Scarlett, B. and van Wingerden, C.J.M., Powder Technology, Vol.71 (1992) pp.207~215.
- 9) Caram, H.S. and Amunden, N.R., Ind. Eng. Chem., Fundam., Vol.16, No.2, pp.171~181 (1977).
- 10) 松田・林, 産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-90, p. 51 (1990).

(平成7年5月8日受理)