

Research Reports of the Research Institute
of Industrial Safety, RIIS-RR-90, 1990
UDC 614.833:662.612

可燃性ガス-粉体混合物の爆発特性
-その1:水素-コーンスターチ粉の場合-*

林 年宏**, 松田 東栄**, 松井 英憲**

Explosion Characteristics of Flammable Gas-Dust Mixtures
-Explosion of Hydrogen-Cornstarch-Air Mixture-*

by Toshihiro HAYASHI**, Toei MATSUDA** and Hidenori MATSUI**

Abstract: There have been many reports on explosion characteristics of either flammable gas, vapour or dust. However, explosion hazard of flammable gas mixed with flammable dust, or hybrid mixture, has not been well understood yet. With the advancement of techniques in pulverizing solid materials and with the increase of powder handling processes, the hazard assessment and the establishment of preventive method for explosions of these hybrid mixture will be more important from the viewpoint of industrial loss prevention.

This report describes, as the first step to the study of hybrid mixture explosion, the effect of cornstarch powder content on such explosion characteristics of hydrogen-air mixture as maximum attainable pressure and pressure rise rate. Explosion tests were carried out in a 23-liter cylindrical vessel, in which a required mixture of hydrogen-air was filled; cornstarch was blown up from the bottom of the vessel so as to produce a dust cloud, by means of a pressurized gaseous mixture with the same composition as in the vessel. Cornstarch-air and hydrogen-air mixtures were also ignited at the center of the vessel by a red hot wire, and the results were compared to those of hybrid mixtures.

The maximum explosion pressure of cornstarch-air mixture was found comparable to that of stoichiometric hydrogen-air mixture. Cornstarch dust dispersed into rich hydrogen-air mixture gave decreased explosion pressures as the increase of dispersed mass of dust. For the stoichiometric hydrogen-air mixture, dispersion of dust gave slightly higher explosion pressures probably because of a partial contribution of thermal decomposition of dust. On the other hand, explosion pressure always increased when any amount of dust was dispersed into lean hydrogen-air mixture. Effect of dust dispersion on the maximum rate of pressure rise showed a similar trend to that on explosion pressure. In this case, however, no hydrogen-cornstarch-air mixture gave a higher pressure rise rate than that of stoichiometric hydrogen-air mixture. From a viewpoint of explosion safety in industries, one of the most hazardous situation was found in the mixture of smaller amount of hydrogen and cornstarch, which gave relatively higher increasing both in explosion pressure and pressure rise rate. Calculation trial for explosion pressure of hybrid mixture showed the importance of reasonable model of combustion and efficiency of dust combustion.

Key Words: Explosion, Hybrid mixture, Flammable Gas, Flammable Dust, Pressure

* 1990年12月7日 第23回安全工学研究発表会において発表

** 化学研究部, Chemical Safety Research Division

1. 緒 言

可燃性のガス・蒸気あるいは粉体がそれぞれ単独に空気と混合した場合の爆発に関する研究は多いが、可燃性のガス・蒸気と粉体が同時に存在する場合については、最近諸外国でも研究され始めたものの¹⁻³⁾、まだ未解明の部分が多い。国内では、石炭粉じんとメタンの混合物に関する研究^{4,5)}などがあるが、一般の産業現場ではこうした混合物の危険性は余り理解されていない。産業現場における可燃性のガス・蒸気と粉体の混合物の爆発災害としては、たとえば引火性液体（有機溶剤）を含む医薬品を流動式乾燥機により乾燥する工程における溶剤蒸気と医薬品粉粒の混合物の爆発があるが、こうした混合物の爆発特性をその成分ガスあるいは粉体の爆発特性から予測することは必ずしも容易ではない。固体を微粉化して利用する技術の進展につれて、こうした異相混合物による爆発災害の防止対策も重要になると思われるが、爆発の予防あるいは防護の対策を講ずるためには、こうした混合物の爆発特性に関する基礎的な理解が必要である。

この研究では、可燃性のガス・蒸気と粉体の混合物の爆発特性が、それぞれが単独の場合に比してどのように異なるかを明らかにすることを目的としているが、ここでは先ず、密閉容器中における水素-コーンスターチ粉-空気混合物の爆発圧力について

実験した結果を報告する。なお、ガス-粉体混合物の爆発実験用の装置については既にいくつかの提案がなされているが、本報の実験は筆者らが独自に考案した装置を用いて行った。

2. 実験の方法と結果

2.1 実験装置

実験装置を Fig. 1 に示す。内容積 23L の爆発容器（以下、容器という）を、粉体保持器を兼ねた送気管、逆止弁及び電磁弁（ C_v 値 18.5）を経て内容積 2L のガスホルダーに接続する。ガスホルダーは、粉体を吹き上げて分散させるための加圧気体の保持に用い、逆止弁は、分散用気体が水素-空気混合ガスの場合に容器内の火炎がガスホルダー内の混合ガスに逆火することを防ぐために設けた。

容器の中心にはコイル状のニクロム線を真鍮棒の電極により支持し、24V の電圧印加により赤熱させて着火源とした。

粉体の凝集を防ぐために、送気管の出口（容器の底部）に半球状の 20 メッシュ金網を取り付けた。また、容器内での粉体の分散を促進させ、かつ、粉体分散用気体の噴流による着火源の冷却を避けるために、容器の中心軸状に 6 本の支柱により円錐体（外径 24mm、高さ 28mm、頂角 60 度）を保持した。円錐体の寸法及び位置は、予備実験の結果をもとに、

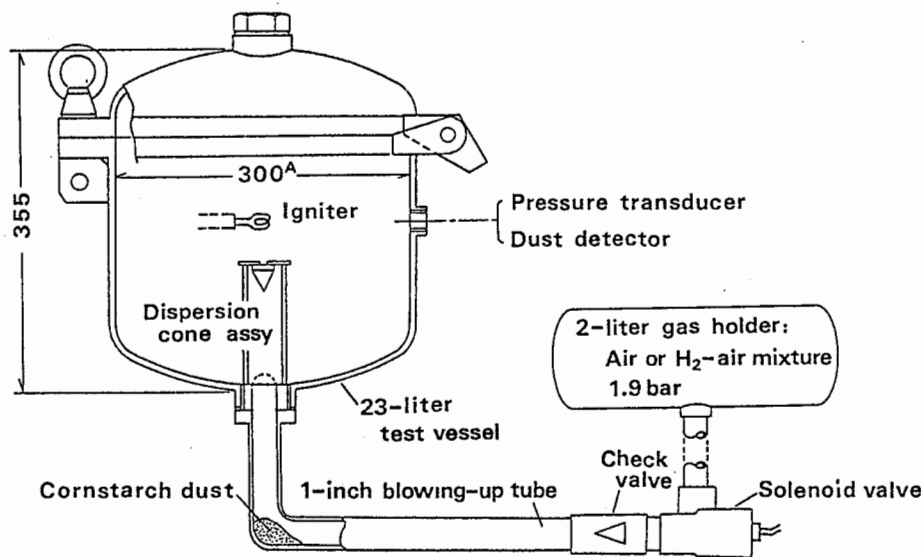


Fig. 1 Scheme of test apparatus.
実験装置

コーンスターチ粉-空気混合物の場合に火炎伝播を生ずる粉体量が最少となるように設定した。

爆発圧力の計測には容器側面に取り付けた歪ゲージ式圧力変換器(容量30bar)と動歪増幅器を用い、メモリ付波形測定器に記録したのち解析した。また、光透過式センサーを用いて、容器内のコーンスターチ粉の分散状況なども観測した。着火時の容器内の初期圧力を一定とするために、電磁弁への通電時間は0.4sに固定した。また、着火源への通電時間は0.6sに固定したが、電磁弁と着火源への通電を開始する時間間隔はタイマーにより制御した。

2.2 実験ガス及び粉体

水素は市販ボンベ入りのものをそのまま用い、空気はコンプレッサーからの圧縮空気をシリカゲル乾燥筒を通して用いた。水素-空気混合ガスは別に設けた混合タンク内に予め調合し、干渉計式ガス濃度計により水素濃度を確認したのち実験に用いた。

コーンスターチ粉は食品工業用のものを用い、200メッシュふるい通過分を80℃で24時間以上乾燥したのち実験に供した。

2.3 実験方法

コーンスターチ粉-空気混合物及び水素-コーンスターチ粉-空気混合物の爆発実験に際しては、秤量したコーンスターチ粉(以下、スターチ粉と略することがある)を容器底部から送気管内に落としこみ、凝集防止用金網、分散促進用円錐体及び着火源をセットしたのち、容器を密閉する。容器及び容器と電磁弁の間の送気管内を真空としたのち、空気又は所望の組成の水素-空気混合ガスを送入して容器の内圧を標準大気圧(1.013bar)に等しくする。ガスホルダー内には、容器内に満たすものと同一組成の混合ガスを1.9bar(圧力はゲージ圧、以下同じ)の一定圧力に満たす。粉体分散用気体の充填圧力は、3.2g以下のスターチ粉と空気との混合物に関する予備実験から、爆発圧力が最大となる条件として求めた圧力である。

電磁弁及び着火源への通電時期をタイマーにより設定したのち制御回路を始動すれば、設定値に従って電磁弁が開いて加圧気体によりスターチ粉が吹き上げられ、設定した時間遅れを経て着火され、圧力の時間的变化が記録される。スターチ粉との比較のために、同様の手順によって水素-空気混合ガスの

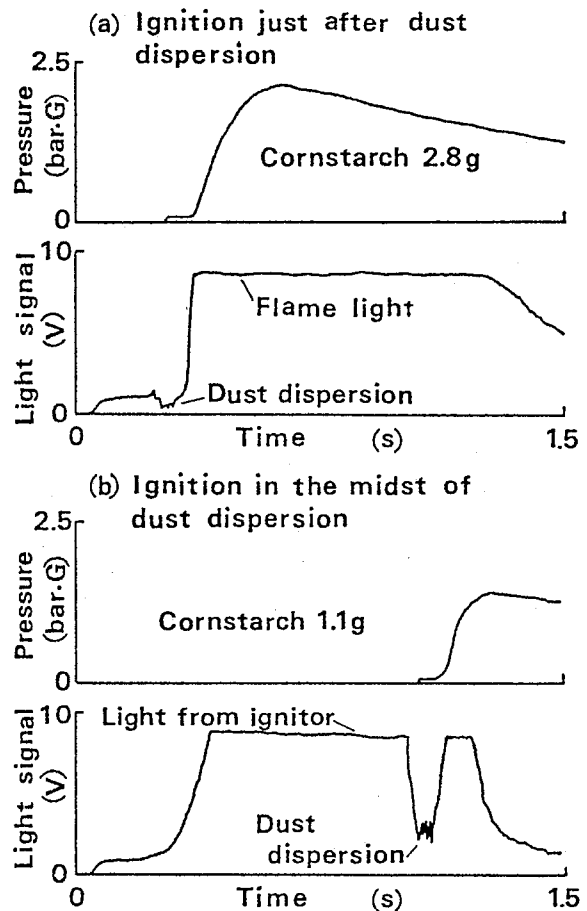


Fig. 2 Effect of ignition timing on explosion process of cornstarch-air mixture.

粉体の分散と着火時期の関係の説明図

爆発実験も行った

この実験方法では、粉体分散用気体の噴出により容器内圧が0.19barに上昇した時点で燃焼による圧力上昇が始まるが、この初期圧力を含めて到達した最大値を爆発圧力とした。また、着火源は手製のものであり、通電開始からニクロム線の赤熱までの時間は数10msの範囲で変動するので、これを考慮に入れて、同一条件下で着火時期を変化させた実験も行った。

水素-空気混合ガスの爆発実験は、着火時の気体に乱れない静止条件下においても行ったが、分散促進用の金網や、円錐体とその支柱の有無によって爆発圧力には差異が認められなかった。

2.4 実験結果

分散させた粉体の爆発実験においては、粉体の分散から着火までの時間間隔が着火後の挙動に影響す

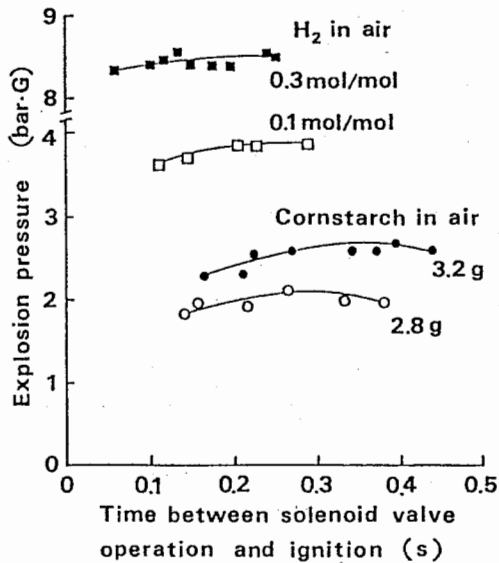


Fig. 3 Effect of ignition delay on explosion pressure.
 粉体の分散から着火までの時間が爆発圧力に及ぼす影響

ることがよく知られている。これは、分散後の時間経過により粉体が重力沈降するためであるが、分散気体による乱れの減衰も寄与するとされている。Fig. 2は、着火時期が適切な場合(a)と、既に着火源が存在するところへ粉体を分散させた場合(b)について、それぞれ圧力と光透過式センサーの出力(光信号出力)の時間的変化を比較したものである。Fig. 2(a)において、最初の平坦な出力は豆球光源の発光を示し、その後の出力減少は容器内への粉体の出現を意味する。これに続く立ち上がりは着火源による発光と燃焼の開始による発光が重なった出力である。同図(b)の光信号出力では、着火源の発光が続いている間に粉体が分散されたことがわかる。本報ではFig. 2(a)の過程を経る爆発を対象とした。同図(b)の場合には、燃焼による圧力上昇の開始により逆止弁が作動してしまい、それ以降の分散気体の送給が遮断されるという実験手法上の問題があることは別としても、着火源への粉体の吹き付けは本質的に別の現象であると考えべきである。

本報では、着火時の条件が一定の場合について論ずるために、通電時期の設定を少しずつ変化させながら実験をくり返し、着火前の容器内圧が0.19barであって、かつ、Fig. 2(a)の経過を経るデータのみを採った。初期圧力が0.19barという条件下における着火時期と爆発圧力(ピーク値、以下同じ)の関係

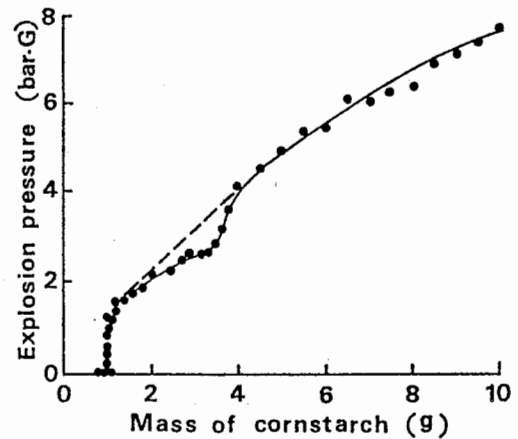


Fig. 4 Explosion pressure of cornstarch-air mixture.
 コーンスターチ粉-空気混合物の爆発圧力

Fig. 3に示したが、水素-空気混合ガス中のスターチ粉の有無にかかわらず、着火時期が爆発圧力に及ぼす影響は無視できることがわかる。

Fig. 4はスターチ粉-空気混合物における粉体量と爆発圧力の関係である。火炎の伝播しない限界の粉体量は1.0gとなり、初期圧力を無視して容器内容積のみから求めた平均濃度(43g/m³)は、米国鉱山局⁶⁾による大気圧下の爆発下限界(45g/m³)に近い値となった。粉体量が3.5g前後で曲線の傾きが変化するの、これより少ない粉体量では火炎が容器内全体に広がらないためと推測され、観測窓からの肉眼観察でも火炎が主として着火源の上方に伝播することが確認された。粉体量が10gを超えても爆発圧力の著しい増加はなかった。粉体量が10g前後では爆発後の未燃粉体の残存量が増すことからみて、燃焼に寄与する粉体量には限度があることを示唆しているが、この実験における粉体分散の諸条件は粉体量が3g付近での実験の再現性に重点をおいて定めたので、実験装置及び実験方法も部分的に影響した可能性がある。単に着火に適した粉じん雲を形成させるという観点だけからいえば、ガスホルダー内の分散気体の圧力(初期充填圧力)と分散気体の送給量(電磁弁への通電時間あるいはガスホルダーの容積)を、分散させる粉体の量に応じて細かく変化させなければならないが、必然的に着火時の容器内の初期圧力という重要な因子を無視することになり、従ってその場合には、着火時期を(たとえば火薬のような応答性のよい着火源を用いて)常に一定値に制御したとしても、あまり意味はない。

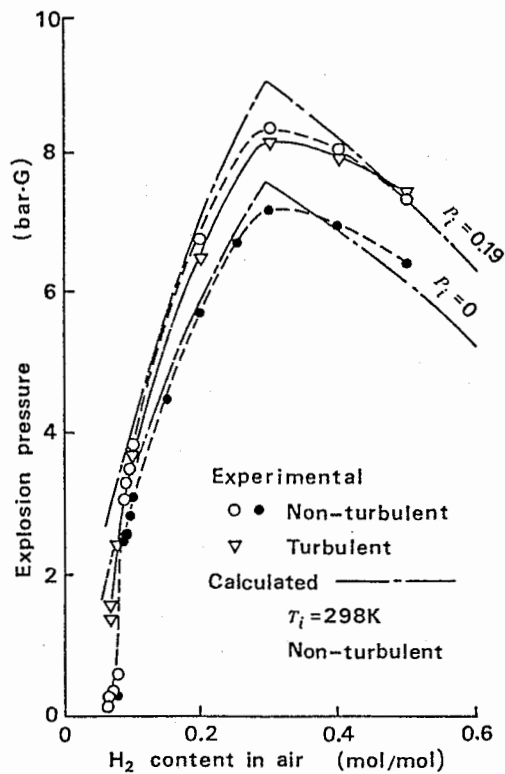


Fig. 5 Explosion pressure of hydrogen-air mixture.
水素-空気混合ガスの爆発圧力

水素-空気混合ガスの爆発圧力の実測値と近似計算値を、初期圧力 (P_i) が標準大気圧の場合とこれより 0.19bar 高い場合について比較した結果を Fig. 5 に示す。初期圧力が 0.19bar の場合には、予測に反して、静止混合ガスに着火したときの爆発圧力のほうがガスホルダーからの混合ガスの噴出を伴う場合より高くなったが、両者の差は小さく、水素の燃焼速度が大きいため分散気体の噴出による系内の乱れの影響は小さいことが示された。

静止混合ガスの爆発圧力の計算に際しては、水素と酸素から水蒸気を生ずる反応のみを考え、反応に関与しなかった気体はそのまま残ると仮定した。また、水素の燃焼熱を 241,800J/mol, 空気中の酸素と窒素のモル比は 21:79 として、次式を用いて計算した。

$$P = nP_iT/(n_iT_i)$$

ここに、 P_i, n_i, T_i はそれぞれ燃焼前の混合ガスの圧力 (初期圧力), モル数及び温度 (298K とした) であり、 n は燃焼生成物のモル数, T は断熱燃焼温度 (K), P は爆発圧力である。

断熱燃焼温度の計算は次の方法によった⁷⁾。まず、

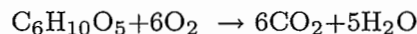
圧力 1bar について、298K 及び任意の温度における平均定圧比熱と気体定数から、燃焼生成物各成分の任意の温度における平均定容比熱を関数化する。本報で対象とする爆発圧力の範囲では圧力による比熱の変化は小さいとみなし、圧力の影響は無視する。次に、適当な温度 T を仮定し、その温度における燃焼生成物各成分の比熱とモル数の積の総和が反応により生じた燃焼熱に等しくなるまで、試行錯誤法により計算をくり返した。この計算方法は基本的には燃料希薄混合ガスの定圧燃焼に対して適用されるが、Fig. 5 に示すように水素濃度が 0.1 ~ 0.2(mol/mol) の範囲では、爆発圧力の実測値と計算値はよく一致した。

種々の濃度の水素-空気混合ガス中にスターチ粉を分散させたときの粉体量と爆発圧力の関係を Fig. 7 に示す。また、このときの最大圧力上昇速度に及ぼす粉体量の影響を Fig. 9 に示す。

3. 実験結果の考察

3.1 スターチ粉-空気混合物の爆発圧力

空気中では、スターチ粉量が約 4g までは燃焼後の残存粉体量 (未燃粉及び焦げ残り粉) はごく微量であったが、粉体量を増すにつれて残存量が増加した。燃焼に寄与する粉体の比率を推測するために、スターチ粉-空気混合物の爆発圧力の近似計算を試みた。計算に際してはスターチ粉の分子式を $(C_6H_{10}O_5)_n$ とし、燃焼反応は次式のみを仮定した。



本報の実験条件下で、上式に従ってスターチ粉が完全に燃焼するとすれば、粉体量が 6.4g を超える場合には酸素不足となるが、その場合には過剰の粉体は吸熱体として働くとした。スターチ粉の比熱は、固体化合物の常温における比熱に関するコップ・ノイマンの法則により算出される値 (約 1.4J/g·K) を、温度及び圧力の影響を無視して利用した。燃焼熱はデキストリンの値 14,110J/g を流用し、粉体の体積は無視した。その他の計算手法は先に述べた水素-空気混合ガスの場合と同じである。

結果は Fig. 6 に示すとおりであり、図中の燃焼率は、秤量したスターチ粉がすべて容器内に分散したとしたときの、燃焼した粉体の比率である。粉体量と爆発圧力の計算値の関係は、粉体量が約 4g 以上において実測値と類似の傾向を示し、実測値は燃焼率

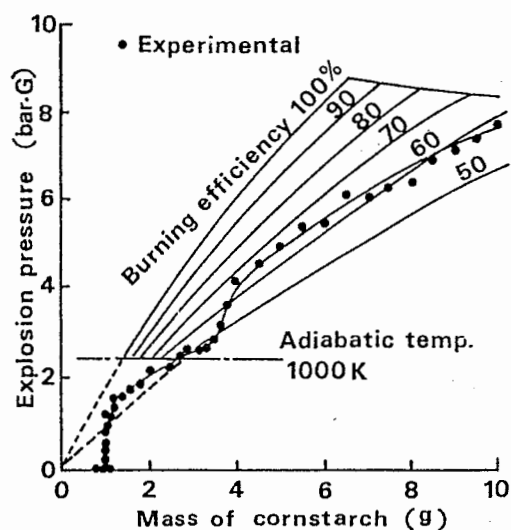


Fig. 6 Calculated explosion pressure of cornstarch-air mixture.

コーンスターチ粉-空気混合物の爆発圧力の計算値

が60%の場合とほぼ一致した。この計算には客観性に乏しい仮定が多く、燃焼率を論ずるには無理があるが、実測値との比較から、分散させた粉体のすべてが燃焼するとは考え難いこと、及び、粉体量の増すにつれて燃え残る量の比率が増すことが示唆された。簡単な近似計算により爆発圧力を予測する経験則を得るためには、種々の粉体に対する燃焼率の評価が要求され、今後の課題の一つである。なお、Fig. 6に示した一点鎖線は、各々の燃焼率曲線において断熱燃焼温度が1000Kに等しいときの圧力を結んだものであるが、実測値の曲線の傾きが急激に変化する領域とほぼ一致することに注目したい。つまり、火炎が持続的に伝播する限界の温度を1000Kと考えると、火炎が容器内全体に広がらない領域では粉体量と爆発圧力の関係に不規則性が生ずると考えられる。

3.2 スターチ粉-水素-空気混合物の爆発圧力

スターチ粉量が水素-空気混合ガスの爆発圧力に及ぼす影響は、Fig. 7からわかるように、混合ガス中の水素濃度が化学量論値0.3(mol/mol)を超えるか否かによって全く異なった。

水素濃度が0.5(mol/mol)という水素過濃側では、粉体量の増加につれて爆発圧力は減少した。この傾向は、水素が先ず燃焼し、その燃焼熱によってスターチ粉が熱分解して生じた可燃性ガスが燃焼するという経過により説明される。すなわち、水素の優先的燃焼により酸素が消費され、酸素不足となった粉体はもっ

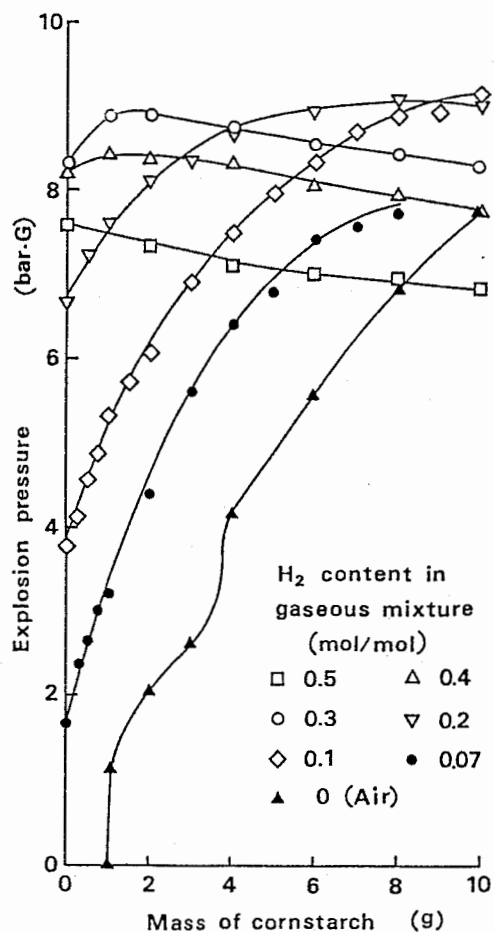


Fig. 7 Explosion pressure of hybrid mixture.

水素-コーンスターチ粉-空気混合物の爆発圧力

ばら吸熱体として働くので、粉体の増加は爆発圧力を減少させる。しかし、水素濃度0.3(mol/mol)では、粉体の存在により、空気との混合ガスの場合よりも爆発圧力が高くなり、また、水素濃度0.4(mol/mol)でも粉体量が少ない場合には同様の結果が得られた。これらは、燃焼しうる粉体（あるいは、その熱分解物）の量が水素の燃焼後の残存酸素量に支配されるという、上述の説明に反する結果である。可能な説明としては次の二つが挙げられる。

第一は、粉体の存在自体の影響である。この場合は粉体が燃焼そのものに寄与することは必ずしも必要ではなく、分散された粉体が（水素の）燃焼火炎の伝播を乱す障害物として働けば、燃焼の加速をもたらし、結果的に爆発圧力を増大させると考えられる。事実、不活性な固体粒子であっても条件によっては燃焼を加速させることが知られている⁸⁾。しかし、水素-空気混合ガスの場合においても、噴出による

着火前の乱れが爆発圧力にほとんど影響しないことを考慮すると、本実験に用いたような単純な形状の容器中の燃焼において、粉体の存在が燃焼の加速に大きく寄与するとは考え難い。

第二は、粉体の熱分解である。粉体と水素が共存する場合に水素が先ず燃焼することはあるとしても、全部の水素が燃焼した後に粉体の熱分解が始まるとは考えられず、水素の燃焼する間に粉体の熱分解あるいは分解生成物の燃焼も同時に生ずるであろう。固体の熱分解は気体の量(モル数)を増大させ、圧力増大の要因となる。一方、熱分解により生じた気体の燃焼においては、燃焼前後の気体のモル数はほぼ等しいのがふつうであるから、燃焼熱のみが圧力の増加に寄与する。粉体が熱分解する間にも水素の燃焼は続くので、全体としては熱分解生成物の燃焼は遅れるとみられ、結局、圧力の上昇は熱分解による気体の生成(モル数の増加)によると考えたほうが理解しやすい。しかし、この推論を確実にするには燃焼生成ガスの成分分析などが必要であり、今後の課題としたい。

一方、水素希薄側では、水素の優先的燃焼を仮定したとしても余分の酸素が残るので、粉体の燃焼が可能である。分散した粉体のすべてが燃焼に寄与するわけではないとしても、粉体量とともに爆発圧力は著しく増大し、その値は水素-空気混合ガスの爆発圧力よりも常に大きかった。しかし、スターチ粉-空気混合物についての実験結果からも、爆発圧力の増加率は粉体量の増すにつれて減ることが予測され、Fig. 7の結果もこのことを示している。特に留意すべき点は、水素濃度が燃焼下限界に近づくほど、また粉体量の少ないほど爆発圧力の増加率が大きいことであるが、ガスと粉体の両者が燃焼下限界に近い混合物は、産業現場においても最も起こりやすい状況であろう。

安全上の観点からは、スターチ粉の混合により爆発圧力が増加する水素希薄側混合ガスの場合がより重要であり、水素濃度と粉体量から爆発圧力を推測できれば実用上の価値が高い。Fig. 8には、希薄水素の燃焼後に余剰の酸素によりスターチ粉が燃焼すると仮定して爆発圧力を計算し、実測値と比較した。両者の差は粉体量の増すにつれて広がることから、粉体の燃焼率や、水素の燃焼と同時に粉体の熱分解が生ずることを考慮した解析が必要であることがわかる。

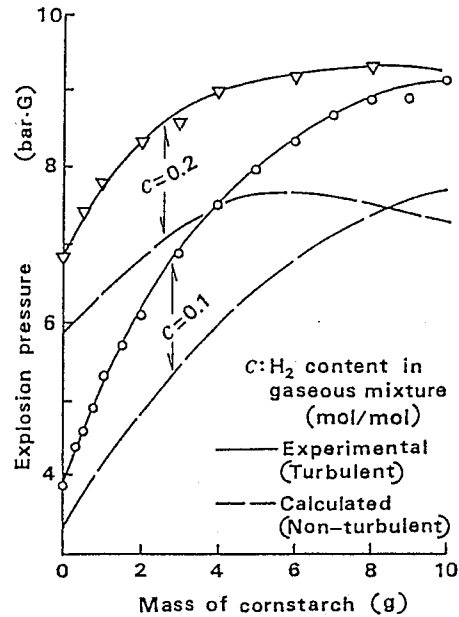


Fig. 8 Calculation of explosion pressure of hybrid mixture based on the predominant combustion of hydrogen.

希薄水素-空気混合ガスとコーンスターチ粉の混合物の爆発圧力の試算

3.3 爆発圧力の上昇速度

可燃性ガス-空気混合物の爆発の場合には、その圧力-時間曲線において、爆発圧力(圧力のピーク値)、最大圧力上昇速度(圧力-時間曲線の傾きの最大値)及び平均圧力上昇速度(ピーク圧力と、着火からピーク圧力に達するまでの時間の比)の三者の間には一般に単純な比例関係がみられる。また、圧力上昇速度が最大となるのは、圧力がピーク値の約1/2に達した時点においてである。こうした挙動は粉じん爆発においても同様にみられる。しかし、可燃性のガスと粉体の混合物ではこうした関係は必ずしも期待できない。特に、可燃性ガスが本報の実験に用いた水素のように燃焼速度の大きいものであって、かつ、空気中の可燃性ガス濃度が化学量論組成に近い場合には、粉体の混合が最大圧力上昇速度に及ぼす影響は小さいことが予測される。その理由は、着火直後においては水素の燃焼が支配的であるため、圧力が比較的低い時点で最大圧力上昇速度に達してしまい、それ以降はむしろ圧力上昇速度が減るとみられるからである。

Fig. 9の水素濃度0.3(mol/mol)の曲線は、この濃度では粉体の影響が小さいことを示している。水素

過濃側については、水素-空気混合ガスの燃焼速度の減少と粉体の吸熱作用により圧力上昇速度は減少し、いずれの水素濃度においても粉体の混合により圧力上昇速度が増大することはなかった。

水素希薄側においては、水素-空気混合ガスの燃焼速度が小さいのに対し、粉体の燃焼が寄与するため、粉体量の少ない範囲では圧力の上昇は速くなる。しかし、この場合も、着火後の早い時期に最大圧力上昇速度に達してしまうために、粉体量を増やすことの影響は小さいのが特徴である。一方、爆発圧力（ピーク値）は燃焼による発生熱量に支配されるので、Fig. 7 にみるように、水素希薄側での粉体量の増加に伴う爆発圧力の増加率は圧力上昇速度の増加率に比して格段に大きい。Fig. 9 にはスターチ粉-空気混合物の最大圧力上昇速度も示したが、水素希薄の場合の傾向がさらに増長されていることがわかる。

産業現場での災害防止という点では、可燃性ガスと粉体の濃度がいずれも小さい場合が特に重要とみられるが、こうした条件下では粉体量の増加により爆発圧力のみならず圧力上昇速度の増加率も大きいのが特徴であり、たとえば圧力上昇速度が重要な因子である爆圧放散口の設計などに際しては留意が必要である。

4. 結 言

可燃性のガス・蒸気と粉体との混合物の爆発特性に関する研究の一環として、水素-コーンスターチ粉-空気混合物について、密閉容器中に吹き上げて分散させた粉体に着火する方法により実験を行った。

コーンスターチ粉-空気混合物の爆発圧力の最大値は、化学量論組成の水素-空気混合ガスの爆発圧力に匹敵する値に達した。化学量論組成を超える濃度の水素-空気混合ガス中では、粉体量の増加につれて爆発圧力は減少した。化学量論組成の水素-空気混合ガス中では、特に粉体量の少ない範囲で、爆発圧力の増加がみられたが、これは粉体の一部が熱分解することによると推測された。水素希薄側では、粉体量を増すにつれて爆発圧力は常に増大したが、水素濃度が小さいほど爆発圧力の増加率が大きいという特徴を示した。コーンスターチ粉を含む混合物の爆発圧力の計算を試みたが、燃焼モデルが適切ではなく、実験値との一致をみるには至らなかった。燃焼生成物の分析を含めて、今後の課題である。

爆発圧力の上昇速度に及ぼす粉体の影響も爆発圧

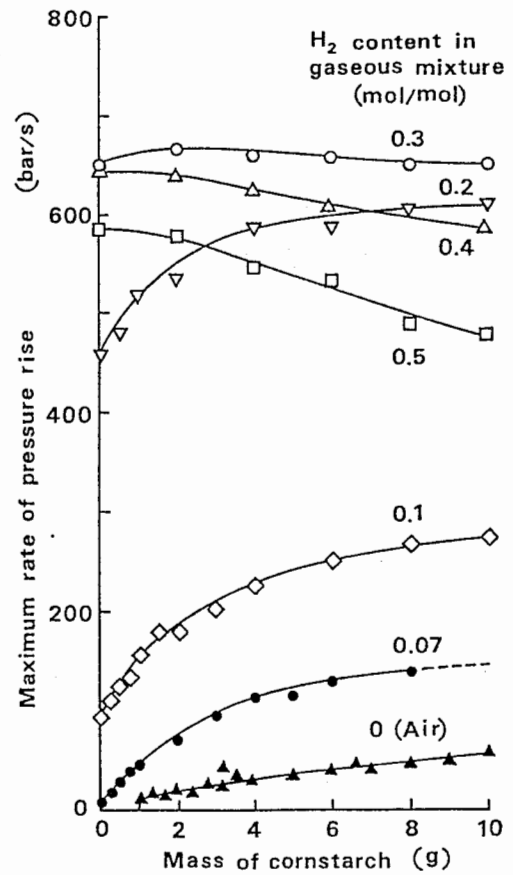


Fig. 9 Maximum rate of pressure rise for explosions of hybrid mixture.

水素-コーンスターチ粉-空気混合物の最大爆発圧力上昇速度

力の場合と同様の傾向を示し、水素過濃側では粉体量の増加は上昇速度の減少をもたらした。水素希薄側では粉体の混合により上昇速度は増大したが、いかなる混合組成においても、最大爆発圧力上昇速度が化学量論組成の水素-空気混合ガスのそれを超えることはなかった。コーンスターチ粉-空気混合物の爆発圧力上昇速度は濃度 0.1 (mol/mol) の水素-空気混合ガスのそれ以下であったが、燃焼下限界に極めて近い組成の水素-空気混合ガスであっても、少量のコーンスターチ粉の混合により爆発圧力上昇速度の増大することが示された。

爆発防護の観点からすれば、水素濃度が小さく、粉体量が少ない場合に、従来の知識から予測されるよりもはるかに危険な挙動を示した。

本報の実験では、可燃性ガスとして燃焼速度の大きい水素を用いたが、ガス-粉体混合物の爆発実験ではガスの燃焼速度が特に大きな影響を及ぼすこと

が示唆されたので、この点に留意したガスと粉体の組合せを用いてさらに検討を加えたい。

謝 辞

本研究の一部は、平成元年度の科学技術庁科学技術振興調整費による重点基礎研究として行ったものである。また、本研究を行うに際しては、ワルシャワ工科大学熱工学研究所の Piotr Wolanski 教授の助言を得たことを付記して謝意を表す。

(平成3年5月8日受理)

参 考 文 献

- 1) M. Gaug, R. Knystautas, J.H.S. Lee and J. Shepherd: The Lean Flammability Limit of Hybrid Mixtures, Paper presented at the Tenth International Colloquium on Dynamics of Explosions and Reactive Systems, (1985), Berkeley, U.S.A.
- 2) R. Klemens and P. Wolanski: Flame Structure in Dust and Hybrid Mixtures Near the Lean Flammability Limit, 同上
- 3) J.A. Senecal: Deflagration Suppression of High- K_{st} Dusts and Dust-Vapor Systems, 6th International Symposium "Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries", Volume II, (1989), 55-1, Norwegian Society of Chartered Engineers
- 4) 石浜 渉・榎本兵治・関本義則: 炭じん-メタンガス-空気混合気の爆発上限界, 日本鉱業会誌, 98-1135 (1982), 933-937
- 5) 石浜 渉・榎本兵治・関本義則・山尾信一郎: 炭じん-メタンガス-空気混合気の爆発発生圧力および爆発跡ガスについて, 日本鉱業会誌, 99-1139 (1983), 7-12
- 6) M. Jacobson, J. Nagy, A.R. Cooper, and F.J. Ball: Explosibility of Agricultural Dusts, Report of Investigation 5753, (1961), Bureau of Mines, U.S.A.
- 7) 水谷幸夫: 燃焼工学, (1989), 47-49, 森北出版
- 8) P. Wolanski: 私信