

高圧酸素により急速圧縮を受けた可燃性液体の発火限界*

板垣晴彦**

Autoignition Limit of Flammable Liquids when Rapidly Compressed by High Pressure Oxygen*

by Haruhiko ITAGAKI**

Abstract: When the valve for high pressure gas is operated quickly, the temperature of gas rises partially at the other valves or at the end of pipe by rapidly compression of gas. If there is some combustible substance near the valve or the end of pipe, it can ignited. In the worst case, whole pipeline explodes. We can easily calculate the temperature of gas after compression easily, if there is no heat conduction to outside, that is, adiabatic condition. But, the calculated temperature under adiabatic condition is excessive high, if it compares with the ignition temperature of combustible substance to decide the possibility of ignition.

The actual temperature to ignite is obviously lower than the calculated temperature under adiabatic condition. Because, there are heat conduction to the vessel wall and the mixing of gases, so that the duration time of high temperature spot is very short.

In the experiment, various volume with a drop of flammable liquid was compressed rapidly by high pressure oxygen was carried out to determine the minimum pressure ratio of ignition. Besides, the heat conduction factor that describes the heat flux per unit volume was introduced to be able to decide whether ignition occur or not. The results of the experiment and consideration are as follows.

- (1) The minimum pressure ratio of ignition is affected by the diameter and length of vessel. The lowest minimum pressure ratio of ignition is obtained when the ratio of length to diameter is between 10 and 15.
- (2) The influence of the length and diameter on the minimum pressure ratio is caused by the duration time of high temperature spot. It is supposed that the heat flux per unit volume affects the duration time.
- (3) The modified heat conduction factor was introduced to describe the heat conduction between compressed gas and the vessel, and the mixing of compressed gas and expanded gas.
- (4) The relationship between the minimum pressure ratio of ignition and the modified heat conduction factor is shown by a linear equation for each flammable substance.
- (5) The possibility of estimation whether ignition occur or not for other case was found by using the modified heat conduction factor.

Keywords; Adiabatic compression, Ignition limit, High pressure oxygen

* 平成 8 年 12 月 5 日, 第 29 回安全工学研究発表会, 平成 10 年 7 月 2 日, 第 28 回安全工学シンポジウムにおいて一部発表した。

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

1. はじめに

高压気体の配管においては、バルブを急に開くなどにより圧力が急激に上昇すると、圧力が高い部分から低い部分へ気体の流れが生じる。この流れが配管の端部や閉じたバルブへ達したり、配管の曲部や内径が狭くなる部分を通過したりすると、局部的ではあるものの、気体の流れの停滞部において、温度が急上昇する。

配管全体から比べれば非常に局部的な温度上昇ではあるものの、空気あるいは酸素など支燃性ガスの配管の場合、バルブ等のシール材が熱により損傷、あるいは、燃焼することがある。また、万一、配管内に油類や有機物などの可燃性物質が存在していると、急速な温度上昇により高压雰囲気と相まって、それら可燃性物質が発火することもある。取り扱っている気体の種類と圧力、および、油類などの付着状態によっては、圧力が急上昇して配管が破裂したり、さらには、配管系統全体にわたる破裂・爆発に至ることもある。バルブの焼損事故¹⁾、酸素ポンベの圧力調整器の発火や破裂事故、あるいは、高压空気貯槽の爆発・破裂事故がその実例である。

流れ込んできた高压気体により急速な圧縮が行われた場合の温度上昇は、ある瞬間を捉えるならば、圧縮

がほぼ理想的な断熱条件でなされたと仮定することにより、Fig. 1 のように到達温度を計算することができる。しかし、実際には、圧縮過程とその直後において流れ込んで来た常温気体と圧縮された高温気体とが混合するため、また、高温気体が接触している配管の壁面などから熱が散逸するため、高温気体の温度は急速に低下していく。このため、発火が起きるための実効的な温度上昇は、理想的な断熱圧縮と仮定した場合の計算値よりも低くなる。

仮に温度の持続時間を考慮せず、Fig. 1 の温度値と従来から測定されている発火温度の測定値を比較してその大小から発火の可否を判定すると、その結果は過剰に安全側のデータを与える。例えば、空気配管において10~20気圧程度は普通に使われる圧力だが、この場合の到達温度は約300~400°Cと計算され、ペンタンやヘキサンなどの多くの可燃性液体のほか、鉄粉や木炭なども発火すると判定されることになる。

本報では、可燃性液体が存在する様々な大きさの空間を高压酸素で急速に圧縮して発火の有無を観測する実験を実施し、実際に発火が起きるために必要な高压酸素の限界圧力の測定結果を示す。また、熱の移動を考慮した放熱速度パラメータを導入して、様々な大きさの空間における発火の可否の推定方法について検討する。

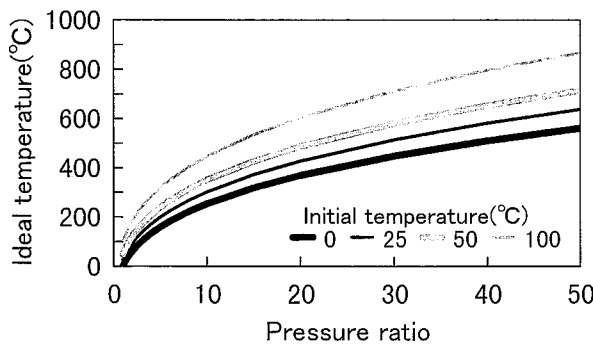


Fig. 1 Ideal temperature of compressed gas under adiabatic condition.
断熱圧縮した気体の理論計算による温度

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

Fig. 2 の実験装置は、高压側と低压側の2つの円筒容器と両容器を接続する配管と弁からなる。この装置には、気体の導入とパージ操作用の配管類、圧力計が接続されている。高压側容器は直径が10 cm、長さが30 cm、体積が約2300 cm³である。弁は空気圧作動式の超高压ボールバルブで、その口径は13 mmである。低压側容器には、長さが100~300 mm、内径が7~20

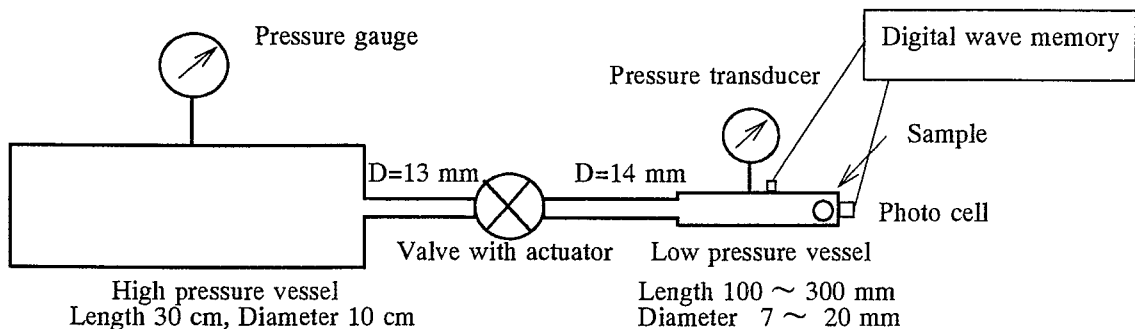


Fig. 2 Outline of apparatus for autoignition in case of fast compression by high pressure gas.
実験装置概略図

mm の容器を合計 18 種類用意した。なお、弁と容器の間は内径 13 mm と 14 mm の配管により接続した。

低压側容器にはピエゾ素子型の圧力計とフォトセルを取り付けて、低压側容器内の圧力変動と発光をデジタルウェーブメモリーにより記録した。

2.2 実験方法

実験は、まず低压側容器内に高压側容器と同一の気体(すなわち酸素)を流通させて容器内の気体を置換した後、マイクロシリンジを用いて測り取った試料を微量の脱脂綿片に付着させ、これを手早く低压側容器の末端部にセットする。

次に高压側容器の圧力を所望の圧力値に調整してから、両容器を隔てていた弁を空気圧式アクチュエーターにより急激に開いて、高压酸素を高压側容器から大気圧の低压側容器に急速に流入させる。

計測は、低压側容器内の圧力変動と発光について弁の作動と同期させて開始し、発火の有無はフォトセルの出力により判定した。また、測定は同一条件で繰り返して行い、少なくとも 1 回発火する場合を発火、6 回続けてすべて発火しない場合を不発火とした。

この実験を高压側容器の圧力値と低压側容器にセットする試料量の 2 つのパラメータを変化させて実施し、Fig. 4 に示す発火領域を定めた。その発火領域の中で最も低い高压側容器の圧力値と低压側容器の初期圧力値の比を、急速圧縮による発火限界圧力比とした。

なお、低压側容器の初期温度は、室温をなるべく一定とするようにした結果、21~24°C の範囲にあった。

また、試料としては、液体の直鎖飽和炭化水素の中から、沸点が 36°C と最も低いペンタン、および、引火温度が 46°C と室温より十分高いデカンの 2 種類を選んだ。

3. 実験結果

3.1 発火時の圧力変動と発光のパターン

Fig. 3 に計測される圧力と発光の波形のパターンを模式的に示した。試料をセットしていない場合、圧力は(A)のように圧力が上昇し始めてから 10~12 ms で設定圧力に到達し、その後は一定圧力となる。発光は、装置の使い始めにおいて切削屑とみられる金属粉の発光がスパイク状に観測されることもあるが、それ以外では(a)のようにまったく信号に変化は生じない。

試料をセットすると、設定圧力が発火限界圧力比よりも十分高い場合は、(B)と(b)のように、圧力が設定圧力に達する前にスパイク状の圧力と発光が観測される。

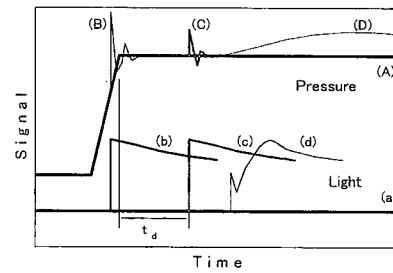


Fig. 3 Pattern for time history of pressure and light intensity.
測定される圧力と発光の波形のパターン

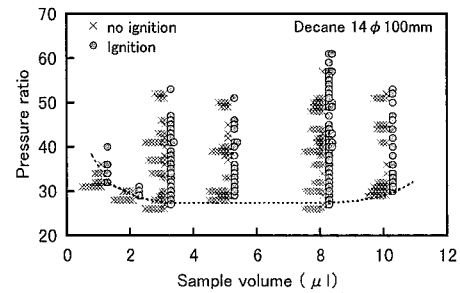


Fig. 4 Example of ignition area for Decane.
デカンの発火領域の一例

設定圧力を下げていくと、(C)と(c)のように圧力のスパイクが低くなると同時に圧力と発光が現れる時刻が徐々に遅くなっていく。そして、設定圧力が、発火限界圧力付近になると、圧力にはスパイク状の波形が現れず、発光のみが観測される。その発光は、部分的な発火が周囲に伝播するためなのか、(d)のように発火した後にさらに明るくなる場合が時々見られる。

なお、発火後の圧力については、ほとんどの場合に圧力上昇はみられない。ただし、試料量を多くした場合には、(D)のように試料の燃焼によるとみられる圧力上昇が観測されることがある。

発火遅れ時間 t_d は、圧力が設定圧力に到達した時刻を基点とした。したがって、(b)の場合には、発火遅れ時間はマイナスとなる。

3.2 測定される発火領域

Fig. 4 は、低压側容器の直径を 14 mm、長さを 100 mm とし、デカンの試料量を 1~10 μ l まで変化させた場合の結果である。試料量が 3~8 μ l の範囲で発火限界圧力比は 27 で最低となっている。

3.3 発火限界圧力比への容器の径と長さの影響

Fig. 5 と Fig. 6 は、横軸に低压側容器の容器径、縦軸に発火限界圧力比をとり、低压側の容器長を変化させた場合の結果である。

発火限界圧力比は概して太くなるか長くなるにつれ

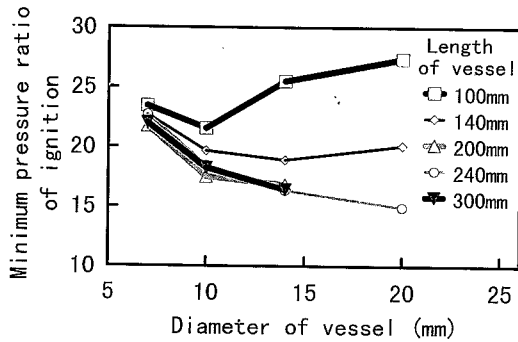


Fig. 5 Relationship between minimum pressure ratio of ignition and diameter of vessel for Decane in various vessel length.
各容器長における低圧側容器の容器径とデカンの発火限界圧力比の関係

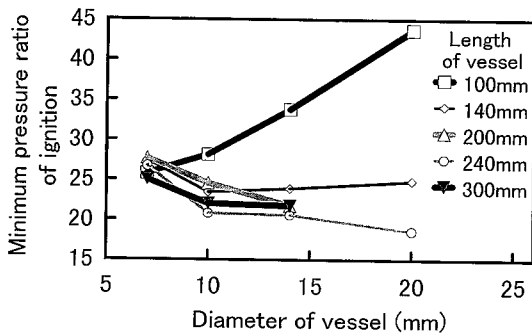


Fig. 6 Relationship between minimum pressure ratio of ignition and diameter of vessel for Pentane in various vessel length.
各容器長における低圧側容器の容器径とペンタンの発火限界圧力比の関係

て低くなる傾向があり、容器長 240 mm、容器径 20 mm の時における発火限界圧力比は、デカンの 14.9、ペンタンの 18.6 であった。ちなみに、この圧力比だけ断熱圧縮された場合に到達する計算上の温度は、それぞれ 372°C、414°C である。

容器径の影響については、容器長が 200 mm 以上では、どちらの試料でも実験の範囲では容器径が大きくなるにつれ発火限界圧力比は低下する。しかし、容器長が 100 mm あるいは 140 mm と短い場合にはそうではなく、最も細い 7 mm、あるいは、その他の中間の径の時に最低となった。

容器径が一定の際の容器長の影響については、容器径が 7 mm と細い場合にはおよそ一定値となる。しかし、太くなるにつれて、特に容器長 100 mm の発火限界圧力比は大きくなり、その差は顕著になる。

3.4 発火遅れ時間への容器の径と長さの影響

Fig. 7 と Fig. 8 は、横軸に低圧側容器の容器径、縦

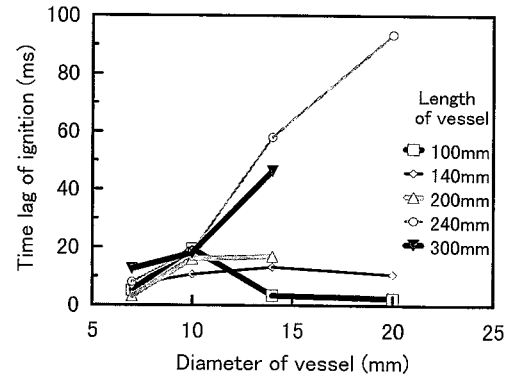


Fig. 7 Relationship between time lag of ignition and diameter of vessel for Decane in various vessel length.
各容器長における低圧側容器の容器径とデカンの発火遅れ時間の関係

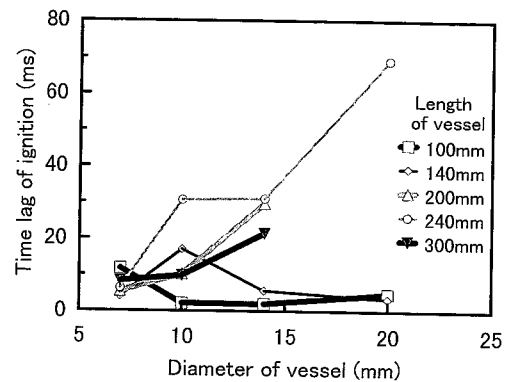


Fig. 8 Relationship between time lag of ignition and diameter of vessel for Pentane in various vessel length.
各容器長における低圧側容器の容器径とペンタンの発火遅れ時間の関係

軸に発火遅れ時間を取り、低圧側容器の容器長を変化させた場合の結果である。発火遅れ時間は、容器長が 100 mm あるいは 140 mm と短い場合には長くても 20 ms 程度である。容器長を 240 mm あるいは 300 mm と長くし容器径を太くすると長くはなるが、この実験条件では最長でも 100 ms を越えず、従来の発火温度測定法での発火遅れ時間と比べてきわめて短い。

ただし、発火限界圧力比との関連は従来の測定法と同じように、発火限界圧力比が低いと発火遅れ時間が長くなる傾向にある。

3.5 長径比と発火限界圧力比の関係

Fig. 9 と Fig. 10 は、横軸を低圧側容器の長さとしてプロットし直した図である。容器の長さごとに見ると、変化させた長径比の範囲が十分には広くないためはっきりしていないが、いずれの条件においても長径比が 10~15 付近において発火限界圧力比が最低になる傾向がみられる。ただし、その最低の発火

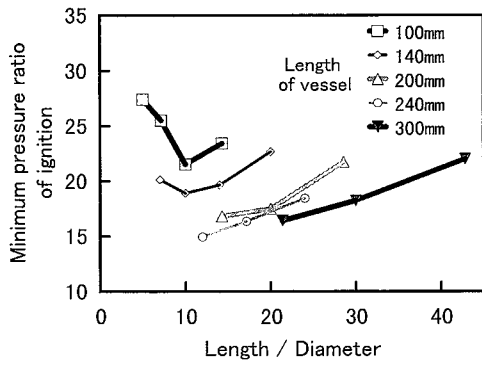


Fig. 9 Relationship between minimum pressure ratio of ignition and ratio of length to diameter of vessel for Decane.
デカンにおける低圧側容器の長径比と発火限界圧力比の関係

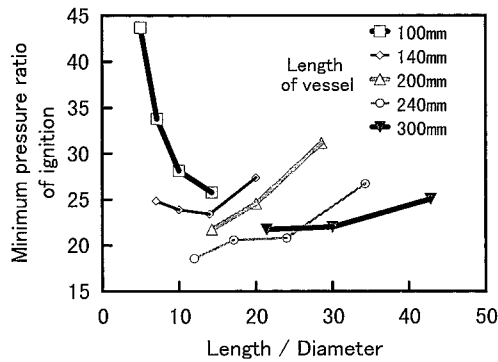


Fig. 10 Relationship between minimum pressure ratio of ignition and ratio of length to diameter of vessel for Pentane.
ペンタンにおける低圧側容器の長径比と発火限界圧力比の関係

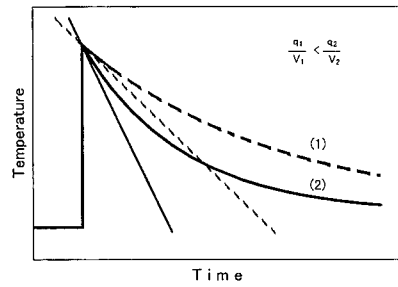
限界圧力比は、容器長によって異なっている。

4. 考 察

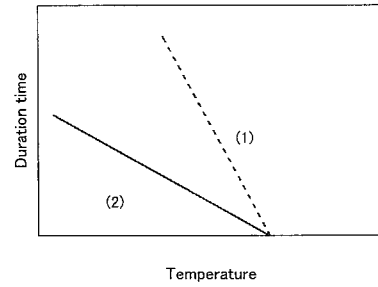
4.1 急速圧縮された気体の温度変化のモデルと熱発火理論

高圧側容器からの高圧気体の急速な流入により、低圧側容器の気体は、圧縮されて体積が小さくなると同時に気体の温度が急上昇する。そして、容器壁の温度は室温のままであるから、両者の温度差によって容器壁へ熱が移動し、その結果気体の温度は低下していき、最終的には外界の温度と等しくなる。

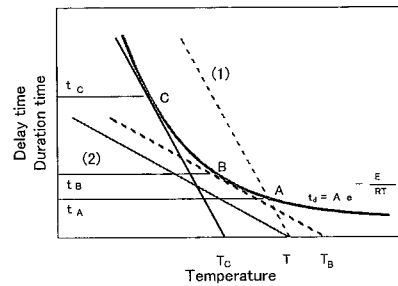
Fig. 11(a) は、その温度変化を示す説明図であるが、図中の (1) は (2) に比べて、圧縮後の容積 V が大きい、あるいは、放熱速度 q が小さく熱が逃げにくい状態を表している。このため、(1) は (2) よりも温度の低下速度が遅くなっている。



(a) Temperature change of compressed gas.
圧縮された気体の温度変化



(b) Relationship between duration time and temperature.
温度と持続時間の関係



(c) Thermal ignition theory and duration time.
熱発火理論と持続時間

Fig. 11 Model of temperature change of compressed gas and thermal ignition theory.
容器内の温度変化のモデルと熱発火理論

発火が起こる時点は、温度が急上昇した直後の短い時間であり、この部分のみに限れば、温度は時間に反比例すると近似することができる。Fig. 11(b) は、この近似を行い、ある温度以上が継続する時間を (1) と (2) で比較した図である。(2) は (1) よりも温度が速く低下するため、ある温度が持続する時間は、常に (1) よりも短い。

物質の発火理論の1つである熱発火理論を考えると、物質が発火するためには、温度が発火温度よりも十分高ければ短い発火遅れ時間で発火するが、発火温度に近づくにつれて、長い発火遅れ時間を必要とする。すなわ

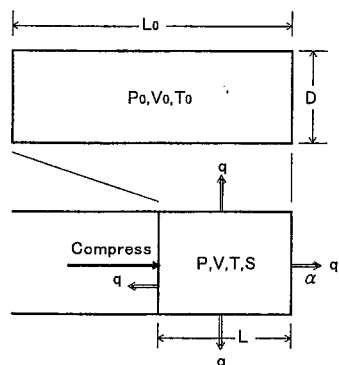


Fig. 12 Heat conduction to outside.
周囲への熱の移動

ち、温度と発火遅れ時間の関係は Fig. 11(c) 中の曲線のように表される。

Fig. 11(c) には Fig. 11(b) を重ねてあるが、(1) の場合は、曲線と点 A で交差するので、必要な持続時間が満たされて発火する。そして、さらに圧縮比を小さくして圧縮直後の温度 T が低下しても、しばらくの間は曲線と交差するので発火する。発火の限界は、ちょうど点 C で曲線と接する場合であり、その時の圧縮直後の温度は T_C である。

一方、(2) の場合は、そのままでは曲線とは交差しないので発火せず、曲線と点 B で接するために圧縮直後の温度を少なくとも T_B まで上昇するよう圧縮比を大きくしないと発火しない。

発火遅れ時間は、圧縮直後の温度が低いほど長くなるので、最も長くなる条件は発火限界の時となる。つまり、(1) の場合は点 t_C 、(2) の場合は点 t_B だから、(1) の方が長いことになる。

ところで、試料の濃度、あるいは、試料自体を変えると曲線の位置が変わるので、発火限界となる圧縮比とその際の発火遅れ時間の値は変化するが、曲線と直線の位置関係に変化はないので、(1) と (2) の関係は同じである。

4.2 外界への熱の移動速度

Fig. 12 は、気体が圧縮されて高温となり、その高温気体から、容器壁などへ熱が移動する様子を示した図である。

熱の移動速度 q について考えると、高温気体から周囲への伝熱係数を α 、高温気体の表面積を S 、高温気体と周囲との温度差を ΔT とすれば、 q は次式で表される。

$$q = \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

さらに、高温気体には温度分布があるとも思われるが、その代表値として平均温度を考えると、この平均

温度の低下速度は、熱の移動速度 q に比例し、高温気体の体積 V に反比例する。したがって、単位体積あたりの熱の移動速度、すなわち

$$q/V = \alpha \cdot S \cdot \Delta T / V \quad (2)$$

の値が小さいほど温度の低下速度が遅くなるため、高温の場合が保持される時間が長くなり、発火が起こりやすくなると思われる。そこで、実験条件の違いによる伝熱係数 α の変動を小さいとして無視して、(2) 式の下線部の値を放熱速度パラメータと定めることとする。

4.3 放熱速度パラメータと発火限界圧力比の関係

(2) 式中の放熱速度パラメータに対し、高温気体が円筒型に圧縮されたとして、その円筒の容積を V 、被圧縮側気体との接触面を含めた表面積を S 、断熱条件で圧縮されたとして求めた計算値 (Fig. 1) と圧縮前の初期温度の温度差を ΔT として値を求めた。Fig. 13 と Fig. 14 には、横軸を放熱速度パラメータ、縦軸を発火限界圧力比とし、各容器長ごとにプロットした。

どちらの試料においても、容器長が 100 mm と 140 mm において容器径が太い場合のプロットをいくつか除外すれば、プロットはほぼ 1 本の直線により表されている。また、放熱速度パラメータが小さくなって高温気体の温度低下速度が遅くなるにつれ、発火限界圧力比が低下していることがわかる。

また、2 つの試料の直線の位置を比較すると、デカンの方がペンタンよりもやや下にある。よって、同じ放熱速度パラメータであるならば、デカンの方がペンタンよりも低い圧力値、すなわち、低い温度で発火することがわかる。

4.4 修正放熱速度パラメータ

4.4.1 修正放熱速度パラメータの定義

放熱速度パラメータを用いた Fig. 13 と Fig. 14 では、低圧側容器が短く太い場合に直線からはずれている。この原因としては、圧縮側と被圧縮側の気体の間では、伝熱が気体と気体の間の境膜伝熱だけではないため、単位面積当たりの実効的な熱の移動速度が、容器壁と気体との間の熱の移動速度よりも大きくなっていることが考えられる。

すなわち、容器長を変えずに直径を大きくした場合、圧縮側と被圧縮側の気体が接する部分の面積の全体の表面積 S に占める相対的割合が増し、全体の実効的な熱の移動速度が増大するのである。

そこで、熱の移動速度の (1) 式中の表面積を Fig. 15 のように 2 つの部分に分け、添え字 1 を容器壁との間、添え字 2 を圧縮側気体との間の値とする。さらに、圧

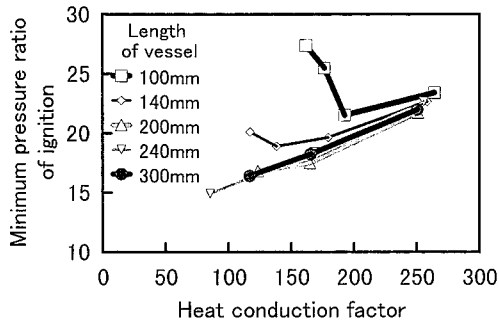


Fig. 13 Relationship between heat conduction factor and minimum pressure ratio of ignition for Decane.

デカンにおける放熱速度パラメータと発火限界圧力比の関係

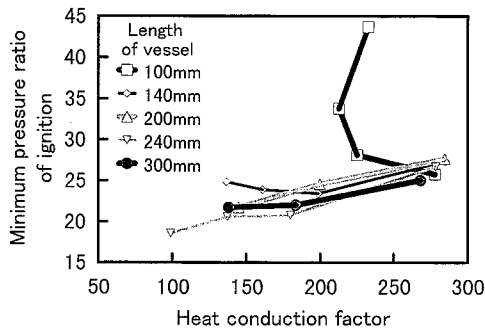


Fig. 14 Relationship between heat conduction factor and minimum pressure ratio of ignition for Pentane.

ペンタンにおける放熱速度パラメータと発火限界圧力比の関係

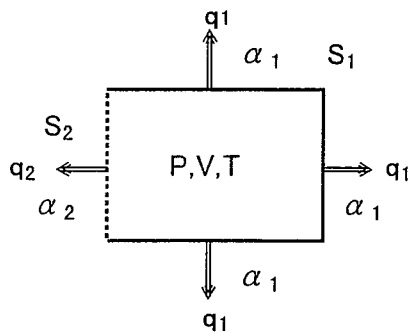


Fig. 15 Heat conduction to vessel wall and gas. 容器壁と被圧縮側気体への熱の移動

縮側気体との間のみかけの伝熱係数 α_2 に容器壁との間の伝熱係数 α_1 の k 倍が上積みされるとすれば、(1)式は

$$q = \alpha_1 \cdot (S + k \cdot S_2) \cdot \Delta T \quad (3)$$

$$k = \alpha_2 / \alpha_1 \quad (4)$$

と書き直すことができる。すると、単位体積あたりの熱の移動速度は、(5)式で表される。

$$q/V = \alpha_1 \cdot \frac{(S + k \cdot S_2) \cdot \Delta T}{V} \quad (5)$$

そして、(2)式と同様にして(5)式の下線部を修正放熱速度パラメータと呼ぶことにする。

ところで、この修正放熱速度パラメータに含まれている k 値は、圧縮側気体と被圧縮側気体の間の境膜の乱れに由来するものである。このため、容器の形状や容器壁の状態、あるいは、容器に接続している配管、高圧側気体の圧力と種類などの影響を受け、理論的に推定することは困難である。そこで、この k 値のモデルとしては、まず、容器の形状や大きさにかかわらず一定値をとると想定した。

いま、具体的に圧縮された高温気体を円筒状とし、その空間の直径を D 、長さを L と定めると

$$\begin{aligned} S &= \pi/2 \cdot D^2 + \pi DL \\ S_2 &= \pi/4 \cdot D^2 \\ V &= \pi/4 \cdot D^2 L \end{aligned} \quad (6)$$

となるから、修正放熱速度パラメータは

$$q/V = \alpha_1 \cdot (2 + 4L/D + k) / L \cdot \Delta T \quad (7)$$

により算出される。

4.4.2 修正放熱速度パラメータと発火限界圧力比の関係

Fig. 16とFig. 17は、比例定数 k を7に調整した場合の修正放熱速度パラメータと実測した発火限界圧力比の関係を示す図である。先の図では直線から離れていた点を含め、プロットはほぼ一直線となり、その相関は非常に良好となった。このことは、試料の発火が熱発火であること、および、急速に圧縮された際に高温となった気体の温度の低下速度が、修正放熱速度パラメータにより良好に表現されていることを示唆している。

圧縮される空間の表面積と体積、および、圧縮圧力が与えられたならば、修正放熱速度パラメータを計算することができる。そして、その与えられた条件のプロットが、この図の直線の上方の発火領域なのか下方の非発火領域なのか判定できる。すなわち、適用範囲についての吟味をしたならば、その条件での発火の可否を推定することが可能である。

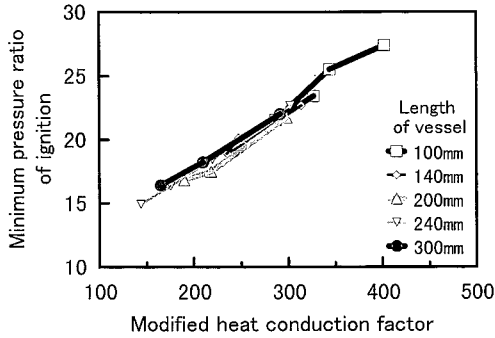


Fig. 16 Relationship between modified heat conduction factor and minimum pressure ratio of ignition for Decane.
デカンにおける修正放熱速度パラメータと発火限界圧力比の関係

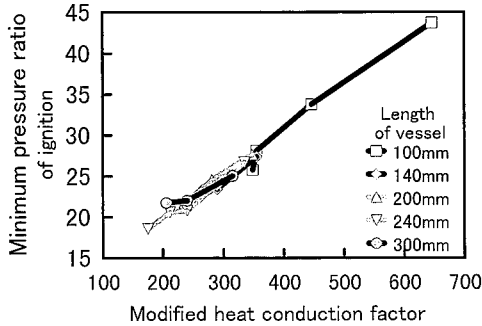


Fig. 17 Relationship between modified heat conduction factor and minimum ignition pressure ratio for Pentane.
ペンタンにおける修正放熱速度パラメータと発火限界圧力比の関係

Table 1 Comparison estimated ignition temperature from this method with measured by other method.
他の発火温度測定値との比較

Sample	Estimated	Reference
Decane	262	202
Pentane	286	300, 258

従来の発火温度測定は、その多くが試料をある温度に急速に加熱した後、できる限り一定温度に保ち、発火が起こるか否かを観察する方法をとっている。これは、図の修正放熱速度パラメータが0であることに相当する。そこで、直線の外挿の正当性はまだ保証されていないものの、修正放熱速度パラメータが0の時の発火限界圧力比を求めたところ、デカンが7.74、ペンタンが9.04であった。仮にこの圧力比まで断熱圧縮した場合の到達温度を参考までに算出すると、初期温度

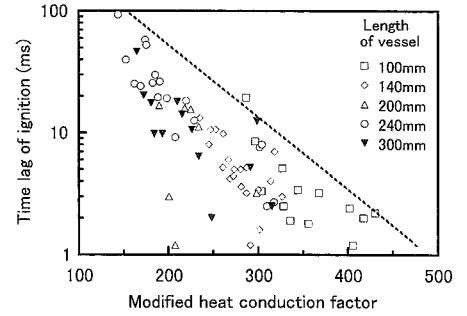


Fig. 18 Relationship between modified heat conduction factor and time lag of ignition for Decane.
デカンにおける修正放熱速度パラメータと発火遅れ時間の関係

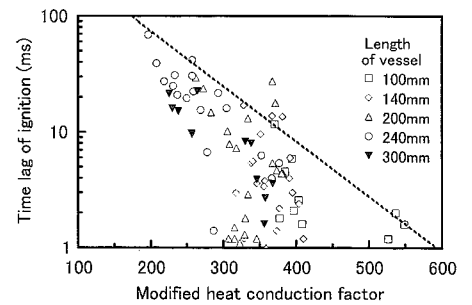


Fig. 19 Relationship between modified heat conduction factor and time lag of ignition for Pentane.
ペンタンにおける修正放熱速度パラメータと発火遅れ時間の関係

が25°Cの場合は、デカンが262°C、ペンタンが286°Cとなる。これらの値を文献値²⁾と比較すると、Table 1のとおりであり、デカンの値は文献値よりも60°C高く、ペンタンの値は2つの文献値の間にある。

なお、k値のモデルとして、一定値とするモデルのほかに、直径に比例するモデルや断面積に比例するモデルなどについても検討してみたが、得られた実測値に対しては、一定値とするモデルが最も良い適合を示した。

4.4.3 修正放熱速度パラメータと発火遅れ時間の関係

Fig. 18とFig. 19は、横軸を修正放熱速度パラメータとし、発火限界圧力比が得られる試料量の時の発火遅れ時間をプロットした。Fig. 11(c)の関係に基づくと、修正放熱速度パラメータが大きくなり温度の低下速度が速くなるにつれて、観測される発火遅れ時間の最長時間が短くなるはずである。ペンタンにおいて適合しない点が数点存在するが、いずれの図においてもその限界をほぼ直線によって区分けすることができる。これは、先の発火限界圧力比の図と同様に、急速に圧縮された際に高温となった気体の温度の低下が、修正

放熱速度パラメータにより良好に表現されているものと考えられる。

5. まとめ

高圧気体を取り扱う配管において急速な圧縮がなされた際の発火の可否の推定を行うため、高圧酸素により可燃性液体（デカンとペンタン）が存在する空間を急速に圧縮する実験を行った結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) 圧縮される空間の直径と長さにより発火限界圧力比は大きく変化した。圧縮される空間の長径比により整理したところ、その比が10～15付近において発火限界圧力比が最低になると推定された。
- (2) 発火限界圧力比が圧縮される空間の直径と長さにより変化する原因は、高温の場の持続時間によるものであり、圧縮された空間の単位体積あたりの放熱速度に依存すると推定した。
- (3) 圧縮された空間の単位体積あたり放熱速度を表す値として、被圧縮側気体と容器壁の間、および、被圧縮側と圧縮側気体の間の2種類の伝熱を考えた

修正放熱速度パラメータを導入した。

- (4) 発火現象は圧縮された空間の高温場による熱発火であり、その高温場の持続時間が長くなるにつれて発火限界圧力比が低下する。修正放熱速度パラメータは、様々な形状の容器での持続時間の変化を良好に表しており、発火限界圧力比の変化が1本の直線によって整理された。
- (5) 実験で得られた結果と修正放熱速度パラメータを用いることにより、様々な大きさの空間での急速圧縮に対して、発火の可否の推定が可能であることを見出した。

参考文献

- 1) 成田義雄, 伊藤博, 断熱圧縮による高圧酸素ガスの災害と防止対策, 安全工学, 6-4, 278～283 (1967).
- 2) 可燃性物質の発火温度に関するデータ表 (1), 安全工学, 6-4, 305～313 (1967).

(平成 11 年 1 月 12 日受理)