法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-03

微小重力法によるDME燃料 : 空気混合気の燃焼特性の解明に関する研究

野村, 浩行 / NOMURA, Hiroyuki

(発行年 / Year)
2006-03-24
(学位授与年月日 / Date of Granted)
2006-03-24
(学位名 / Degree Name)
修士(工学)
(学位授与機関 / Degree Grantor)
法政大学 (Hosei University)

２００５年度
修士論文

微小重力法による DME 燃料－空気混合気の燃焼特性の解明に関する研究

Experimental Investigation on Combustion Characteristics of DME Fuel-Air Mixtures Using Microgravity Technique

指導教授　　岡島　敏

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程
学籍番号　　０４R１１３５
ノムラヒロユキ
野村　浩行

Experimental Investigation on Combustion Characteristics of DME Fuel-Air Mixtures Using Microgravity Technique

By

Hiroyuki NOMURA　Graduate Student

Abstract

At the present day, the development of new types of fuels such as DME (Di-Methyl Ether, CH_3-O-CH_3) is strongly required from the viewpoint of energy saving and air pollution prevention on exhaust combustion gases generated from many kinds of combustors. Especially, it is said that DME is very useful for reducing the pollutant substances from diesel engines and boilers, and moreover it is recognized that the combustion behavior of DME fuel-air mixture are very much similar to those of methane-air and propane-air mixtures in spite of low heat values of combustion. However, there are scarcely basic data on the combustion of DME fuel-air mixtures, though the application of DME fuel to many kinds of combustors is considered to be very important.

As the first step of the study, experiments have been carried out to investigate whether it is useful or not for the application to engine combustion by evaluating the values of burning velocity in both conditions of normal and micro-gravity. Especially the micro-gravity technique achieved in freely falling chamber is used to examine the burning velocity of lean side of mixtures of DME fuel because the micro-gravity environment makes it possible to realize the spherical flame propagation even for near the flammability limits by eliminating buoyant effect induced from gravity. The initial

conditions of temperature and pressure are 298K and 0.10MPa, respectively and the equivalence ratio is the range from ϕ=0.50 to ϕ=1.50.

The main results obtained for the study are as follows:

(1) Microgravity technique is very useful to analyze the flame behavior at very lean mixtures.

(2) The burning velocity of DME fuel-air mixtures are 11cm/s, 33cm/s and 31cm/s at 0.62, 1.00 and 1.50 of equivalence ratio, respectively.

(3) From these experimental data it is suggested that the application to the engine combustion of DME fuel is not so impossible.

KEYWORDS: DME, Premixed combustion, Burning velocity, Microgravity

目次

第１章　　緒論　1

１－１　　背景

１－２　　ＤＭＥについて

１－３　　実験目的

第２章　　実験装置及び実験方法　5

２－１　　実験装置

２－１－１　　実験装置本体

２－１－２　　燃焼容器

２－１－３　　点火装置

２－１－４　　高速度カメラ

２－１－５　　落下塔

２－２　　実験条件

２－３　　混合気の調整法

第３章　　実験結果及び考察　8

３－１　　燃焼写真

３－１－１　　通常重力環境

３－１－２　　微小重力環境

３－２　　火炎伝播距離

３－２－１　　通常重力環境

３－２－２　　微小重力環境

３－３　　火炎伝播速度

３－４　　燃焼速度

３－５　　圧力上昇の影響

第４章　　結論　１３

謝辞　１４

参考文献　１５

発表学会　１６

第１章　　緒 論

１－１　背景

18 世紀の終わり、イギリスを中心に産業革命が起こり、人類はそれまでの農耕文明から現在の工業文明へと革命的な発展を遂げた。この時初めて人は火を「火力」として利用したのである。以来このことは現在に至るまで変わっておらず、自動車や船、飛行機などの交通機関や電力など、人類が豊かな生活を営むために使用するエネルギーの 80%以上は、燃焼によって生み出されている。

Fig.1 に国際エネルギー機関(IEA: International Energy Agency)が発表した世界の燃料別エネルギー需要の見通しを示す[1]。ここで、toe とは石油換算トン(ton of oil equivalent)の略称であり、1 toe=107 kcal である。この図を見てみると、現在世界の一次エネルギー供給の大半を占めるのは、石油や天然ガス、石炭などの化石燃料であり、30 年後においてもその地位は揺るぐことがないということが容易に見て取れる。また、IEA によれば、2000 年から 2030 年の世界の経済成長率を年平均 3.0%とすると、世界の一次エネルギー供給は 2000 年の 91.8 億 toe から年平均 1.7%で増加し、2030 年には 152.7 億 toe(2000 年比で 66%増)に達すると予測している。この予測が必ずしも正確かどうかはわからないが、この先エネルギー需要は爆発的に増加し、またその中心が化石燃料であるということはまず間違いないであろう。

そのため、現在化石燃料の枯渇という問題が世界中で注目されている。現在石油の確認埋蔵量は約 40 年、天然ガスが約 80 年であり、石炭が約 200 年と言われている。まだまだ未確認資源が各地に点在しており、きっちりこの年数で資源がゼロになるということはありえないが、近年発見される油田も徐々に小規模なものになってきており、永く安心できる状態ではないというのは確かである。

また、燃焼の過程で生じる燃焼生成ガスによる様々な環境問題も、化石燃料の枯渇と同様に注目されている。燃焼ガスの主なものは窒素酸化物や炭化水素、

二酸化炭素、二酸化硫黄などである。窒素酸化物や炭化水素は大気中で強い紫外線を受けると、排気ガス中の炭化水素と化学反応を起こし、光化学オキシダントを生成する。これは、光化学スモッグの原因であり、これらは人体や植物に大変な悪影響を及ぼす。二酸化炭素はオゾン層を破壊することによって地球温暖化を引き起こす。また、窒素酸化物や二酸化硫黄は、酸化するとそれぞれ、硝酸、硫酸となり、これが雨に解けると酸性雨となり地表に降り注ぎ様々な影響をもたらす。このように、人類が豊かになろうと化石燃料を燃やせば燃やすほど、逆に人類はおろか、地球全体を徐々に痛めつける結果となっているのである。

上述したようなエネルギー問題は、様々な場面で日々伝えられ、現行のエネルギーシステムをこの先保っていくことは不可能であるということが、今や全世界の常識となっている。そのため、これからの技術者には、技術革新と同様、これらの環境問題を解決することが強く求められている。この観点から、現在様々な新エネルギーの研究・開発が行われており、本実験で取り上げるジメチルエーテル(DME、CH_3－O－CH_3)もこのうちの一つである。

１－２　DME について

DME は、沸点が-25.1℃の化学的に安定な物質で、燃焼しても SO_X やすすの発生が少ない大変クリーンな燃料といわれている。DME 及び他の既存燃料の基本的物性値を Table1 に示す[2]。DME は他の燃料に比べて、25℃における飽和蒸気圧が 6.1 気圧と低く、圧力をかけると容易に液化し、その性質が LPG の主成分のプロパン、ブタンに類似していることから、貯蔵、ハンドリングは LPG の技術が応用でき、LPG の既存インフラを利用することで、導入時に必要な初期投資を大幅に軽減することが可能である。また軽油と同様セタン価が高いことから、現在ディーゼル燃料としての利用が期待されている。

また DME の優位性の一つに、天然ガス、石炭、バイオマス等の幅広い資源から製造可能であるということがあげられる。Fig.2 に DME の製造工程を示す。DME を製造する場合、大別して二つの方法がある。一つは間接合成法といって、天然ガスを従来のメタノール合成技術によりメタノールに転換し、このメタノールを脱水して DME に転換する方法である。もう一つは直接合成法といって、天然ガスを合成ガス転換して、直接 DME に転換する方法である。直接合成法は間接合成法よりも工程が少なく、間接合成法の問題点であるメタノール合成の反応制約が緩和できるといわれている。間接合成法は、既存のメタノール合成技術と脱水技術との組み合わせであり、ほぼ成熟技術と言える。現在の DME 生産はこの間接合成法で行われている。一方更なる大量・安価な DME 製造技術を目指し、直接合成法が研究されている。多様な資源から製造できることは、循環型社会に対応する 21 世紀のクリーン燃料として大きな魅力の一つである。

以上の性質から、DME は、大気汚染と燃料枯渇の両面に対して極めて有効な燃料であるといえるのであるが、DME の欠点として単位重量あたりの発熱量が低いなどの問題があり、現在までその実用化は見送られてきた。現在の用途としては塗料や化粧品用のスプレー用噴射剤が主であり、国内で年間約１万トン、世界でも１５万トン程度の需要にとどまっている。そのため燃料としての DME の利用はまだほとんどなされておらず、燃焼分野における DME の基本的データはほとんどないというのが現状である。

１－３　実験目的

本実験は、DME の燃焼分野での開発的利用を可能にするために、DME 燃料－空気混合気の燃焼特性、特に火炎伝播の挙動やその燃焼速度等を調べるために行われたものである。しかし、可燃限界近傍での混合気は、火炎伝播速度が非常に遅いため、重力によって誘起される浮力の影響を強く受け、その伝播は極めて不規則・非対称となるため、通常重力下で正確な燃焼速度を得ることは困難である。この観点に立って、本研究では実験装置自体を落下塔内で自由落下させることで燃焼容器内に微小重力環境を作り出し、重力加速度の存在しない対称性空間で球状火炎伝播を実現することにより、可燃限界近傍での正確な燃焼速度を把握することを可能にしている。

第２章　　実験装置及び実験方法

２－１　実験装置

２－１－１　実験装置本体

Fig.3 に本研究で使用した実験装置(Test assembly)の概略を示す。実験装置は、縦 510mm、横 670mm 及び高さ 360mm の鋼製の直方体で、その内部に燃焼容器(Combustion bomb)、点火装置(Ignition equipment)及び高速度カメラ(High-speed camera)等が搭載されている。実験装置本体の総重量は約 35kg である。

２－１－２　燃焼容器

Fig.4 に燃焼容器の断面図を示す。燃焼容器は、内直径 120mm、長さ 120mm のジュラルミン製円筒形容器で、内容積は約 1356ml である。燃焼容器内壁は火炎からの反射光による影響を防ぐために黒色に塗装されている。また容器側面には観察用窓ガラスがあり、向かい側は内壁同様黒色に塗装されている。容器中央には火花点火用電極が配置されており、混合気の点火は容器の中心部で行われる。

また、燃焼容器上部には２つのバルブが取り付けられており、これによって攪拌貯蔵タンク内に作製された混合気を燃焼容器内に吸入する。

２－１－３　点火装置

Fig.5 に火花点火装置の電気回路図を示す。今回混合気への点火は火花点火(Spark ignition)で行った。電極には直径 0.7mm のピアノ線を使用し、火花間隙(Spark gap)は約 5mm である。火花の点火エネルギーは便宜上約 50mJ である。実験は、まず安定化電源及び水銀スイッチを ON にし、点火コイルの一次側に通電した状態にする。その後実験装置を自由落下させる事により、水銀スイッチが OFF になり、その瞬間点火コイルの二次側に高電圧が発生することで、火花間隙に火花を発生させる。

２－１－４　高速度カメラ

今回使用した高速度カメラは、400 コマ毎秒で撮影が行われた。このカメラによって得られた火炎挙動の画像はコンピューター処理され、それにより火炎伝播の様子は詳細に解析される。

２－１－５　落下塔

Fig.6 に、微小重力環境の実現のために今回用いた落下塔(Falling tower)の概略を示す。この落下塔は、高さ約 2.7m であり、実験装置自体の落下距離は約 1.7m である。実験は、塔内上部で、ポリプロピレンリボンにより実験装置本体を吊り下げ、リボンをカットすることにより自由落下させる。実験装置本体が落下中に受ける空気抵抗は、空気抵抗遮断箱(Air drag shield)により軽減される。空気抵抗遮断箱は、縦 610mm、横 765mm 及び高さ 470mm の木製の直方体で、Fig.7 に示すように、自由落下中は互いが接触しないように実験を行う。塔内下部には、落下の際の衝撃を吸収するためのクッションが敷かれている。この塔で実現できる重力レベルは約 10^{-5}g、微小重力時間は約 0.6sec である[3]。

２－２　実験条件

本実験で使用した混合気は、DME(純度 99.9%)と乾燥空気(窒素 79vol%、酸素21vol%)で製作され、当量比(φ)の範囲は、φ＝0.50 からφ＝1.50 までである。混合気の初期圧力(P)及び初期温度(T_u)はそれぞれ 0.10MPa 及び 298K である。また、火炎伝播速度の測定は、容器中心から 30mm 前後の比較的火炎伝播が安定したところで行われ、そこでは圧力上昇の影響はほとんど無視できる。

２－３　混合気の調整法

混合気の調整は、まず攪拌貯蔵タンクを真空にしてから、空気及び DME 燃料を各ボンベから、それぞれの分圧で攪拌貯蔵タンク内に充填する。その後、タンク内に装備されているファンで約 30 分攪拌を行い、均一混合気を作製する。そして真空にした燃焼容器内に攪拌貯蔵タンクから混合気を充填する。ここで、DME 燃料－空気混合気の分圧について説明する。

DME が理論量論比で完全燃焼するときの化学反応式は、次式で表される。

$$CH_3OCH_3 + 3O_2 + 3\times\frac{79}{21}N_2 \rightarrow 3H_2O + 2CO_2 + 3\times\frac{79}{21}N_2 \qquad (1)$$

よって、DME 燃料－空気混合気の理論燃焼比（容積比）は、式(1)より、

$$\frac{V_f}{V_a} = \frac{1}{(3 + 3\times 79/21)} = 0.070 \qquad (2)$$

となる。ここで、V_f は DME 容積、V_a は空気容積である。

また、燃空比はドルトンの分圧の法則(Dalton’s law)より、P_f／(P_t－P_f)で表される。ここで、P_f は DME の分圧、P_t は混合気全圧である。従って、当量比φは(燃空比)／(理論燃空比)で求められるから、

$$\phi = \frac{P_f/(P_t - P_f)}{V_f/V_a} = \frac{P_f/(P_t - P_f)}{0.070} \qquad (3)$$

で表される。したがって、DME の分圧は、式(3)より、

$$P_f = \frac{0.070\phi}{1 + 0.070\phi}P_t \qquad (4)$$

となる。式(4)から、各当量比に対する DME の分圧がわかり、混合気の調整が行われる。

第３章　　実験結果及び考察

３－１　燃焼写真

３－１－１　通常重力環境

Fig.8 に、通常重力環境下における、DME の各当量比での火炎伝播の様子（一画面）の直接写真を示す。白線部分は燃焼容器の内壁であり、赤点はそれぞれの点火点である。（a）はφ＝0.55 であり、この場合、火炎は重力による浮力の影響を極端に受けて、全体が中心より上方に持ち上げられ、「クラゲ型火炎形状」を呈して伝播する。（b）はφ＝0.62 であり、この場合、火炎は浮力の影響を受けて多少上方に持ち上げられ、回転楕円体を呈し、その形を維持したまま伝播する。そして（c）はφ＝0.84 であり、この場合、火炎伝播速度が速いため浮力の影響がほとんど現れず、火炎は点火点を中心としてほぼ球状に伝播する。これら通常重力環境下における火炎形状の変化は、プロパンの場合とほぼ同様である。

３－１－２　微小重力環境

Fig.9 に、微小重力環境下における DME のφ＝0.62 の場合の、火炎伝播の様子の連続直接写真を示す。ここでも同じく白線部分が燃焼容器の内壁であり、赤点が点火点である。また、写真下部に示されている時間表示は、それぞれ点火からの時間を示している。微小重力環境下では、重力による浮力の影響が存在しないため、通常重力環境下においてその火炎伝播が極端に歪められる当量比においても、火炎は完全に球状を保って伝播しているということが見て取れる。

３－２　火炎伝播距離

３－２－１　通常重力環境

Fig.10 に、DME の当量比φをパラメーターとして、通常重力環境下における、点火からの時間に対する点火点からの上方向及び下方向の火炎伝播距離を示す。この図より通常重力環境下において、当量比が１に近いところでは火炎伝播は時間に対してほぼ直線的に増大しており、当量比が小さくなるにしたがって浮力の影響が顕著に現れ、火炎の伝播挙動は波打つように不規則になっていき、また上下伝播距離の差も大きくなっていくということがわかる。

３－２－２　微小重力環境

Fig.11 に、DME の当量比φをパラメーターとして、微小重力環境下における、点火からの時間に対する点火点からの上方向及び下方向の火炎伝播距離を示す。微小重力環境においては、どの当量比においても上下火炎伝播距離の差は完全に一致していることが見て取れる。このことは、微小重力環境下においては火炎伝播に対して浮力が影響しないため、当量比に関係なく球状火炎伝播を実現することができるということを意味している。

３－３　火炎伝播速度

Fig.12 に、火炎伝播挙動の比較のために、通常重力環境下における各当量比での上方向及び下方向の DME とプロパンの火炎伝播速度を示す。この図より、プロパン及び DME 共に、当量比が小さくなるにしたがってその速度は減少し、それに伴い火炎伝播に対して浮力の影響が強く現れてくるため、上下火炎伝播速度の差は大きくなっていくことがわかるが、両者の間の火炎伝播挙動に大きな相違はないということもわかる。

３－４　燃焼速度

本研究では、火炎厚みを考慮し、以下の関係式を用いることにより、燃焼速度 S_u の算出を行った[4]。

$$S_u = \frac{\rho_b}{\rho_u} S_f = \frac{T_u}{T_b} S_f \times \mathrm{I} \tag{5}$$

ここで、ρ_u：未燃ガスの密度、ρ_b：既燃ガスの密度、T_u：初期温度[K]、T_b：定圧変化での断熱火炎温度[K]、S_f：微小重力環境下で得られた火炎伝播速度、Ｉ：火炎厚みを考慮した場合の補正係数である[5][6]。

断熱火炎温度 T_b は、希薄可燃限界近傍から理論混合比までの希薄領域においては火炎温度が低く、熱乖離が起こることはあまりないため、C、H、O、N の４元素のバランスのみを考えた理論断熱火炎温度を用いた。また、火炎温度が 2000K を超える過濃領域においては熱乖離の影響を考慮した平衡断熱火炎温度を用いた[7][8]。各当量比での DME 燃料－空気及びプロパン－空気混合気の断熱火炎温度を Fig.13 に示す。理論混合比付近においては、希薄領域においても DME 燃料－空気及びプロパン－空気混合気共に火炎温度が 2000K 以上の高温となるため、そこでは熱乖離が起こり始めている。そのため、この図において理論断熱火炎温度を用いたφ＝0.9 からφ＝1.0 の辺りの火炎温度は、実際の火炎温度より多少大きめの値となっている。この図より、DME 燃料－空気混合気の断熱火炎温度の方がプロパン－空気混合気の断熱火炎温度より多少大きいということがわかる。

また、補正係数 I は次式で表すことができる。

$$\mathrm{I} = \frac{1}{{r_b}^3}\left\{(r_b - \delta)^3 + \frac{3T_b \times {r_b}^2 \times \delta}{T_b - T_u} \times \ln\left|\frac{T_b}{T_u}\right|\right\} \tag{6}$$

ここで、r_b：火炎半径、δ：火炎厚みである。今回は r_b＝30mm として算出を行った。また、Fig.14 は、火炎帯の温度分布を直線と仮定した場合のモデルであ

り、この場合の火炎厚みδは次式で表すことができる。

$$\delta = \frac{2\overline{\lambda}}{S_u \times \overline{C_p} \times \rho_u} \tag{7}$$

ここで、$\overline{\lambda}$：火炎帯内の平均熱伝導率、$\overline{C_p}$：火炎帯内の平均定圧比熱である。Fig.15 及び Fig.16 に式(6)及び式(7)より算出した DME 燃料－空気混合気の補正係数 I 及び火炎厚みδをそれぞれ示す。

以上の３つの式を用いて燃焼速度 S_u の算出は行われる。その計算手順を以下に記す。

① 実験結果より、式(5)において補正係数 I を考慮しない場合の燃焼速度 S_u を算出する。

② ①において求められた S_u を式(7)に代入し、火炎厚みδを算出する。

③ ②において求められた火炎厚みδを式(6)に代入し、補正係数 I を算出する。

④ ③において求められた補正係数 I を式(5)に代入し、補正係数 I を考慮した燃焼速度 S_u を算出する。

⑤ ②で用いた S_u と④において求められた S_u を比較し、両者が異なった値である場合は、④において求められた S_u を式(7)に代入し、再び②～④の計算を行う。

⑥ ⑤の作業を繰り返し、②で用いた S_u と④において求められた S_u が同様の値になるまで計算を行う。

上記の繰り返し計算は、計算を進めていくうちに値が収束していくのであるが、今回は Excel によってそれぞれ９回程度繰り返し計算を行い、真の燃焼速度 S_u を算出した。

以上の計算より算出された DME 燃料－空気混合気の燃焼速度 S_u を Fig.17 に示す。初期温度 T_u は 298K である。また、この図にはメタン－空気及びプロパン－空気混合気の燃焼速度も併せて示されている[9]。この図より、DME 燃料－空気混合気の燃焼速度は当量比の減少に伴って減少しており、燃焼速度に関

しては、DME においても他の燃料と同様の燃焼挙動をとるということがわかる。微小重力環境下で得られた DME－燃料空気混合気の燃焼速度 S_u の値は、φ＝0.62 で約 11cm/sec、φ＝1.00 で約 33cm/sec であり、φ＝1.50 で約 31cm/sec である。この図からわかるように、DME－空気混合気の燃焼速度 S_u の値は、希薄領域においてはメタン－空気混合気の値より全体的に小さく、過濃領域においてはメタン－空気混合気の値より全体的に大きい値をとる。

３－５　圧力上昇の影響

今回の測定範囲において密閉容器内の圧力上昇が火炎伝播に及ぼす影響を検討するために、Fig.18 に、DME の当量比φをパラメーターとしたときの火炎半径の逆数に対する燃焼速度の値を示す。茶色の直線で囲まれた部分が容器中心から 30mm 前後、すなわち今回の測定範囲である。この図より、どちらの当量比においても、今回の測定範囲における燃焼速度の値はほぼ一定であるということが見て取れる。このことは、今回の測定範囲において、容器内圧力上昇の影響はほとんど無いということを意味している。

第４章　　結 論

本研究から得られた結論は以下の通りである。

(1) 火炎は重力によって誘起される浮力の影響によってその形状が歪められ、不規則伝播を行うが、DME においても当量比がおよそ 0.80 以上になるとその影響はほとんどなくなる。

(2) 微小重力環境下においては火炎伝播に対して浮力が影響しないため、通常重力下においてはその伝播が極端にゆがめられる希薄可燃限界近傍においてさえ、球状火炎伝播を実現することができる。

(3) DME－空気混合気の燃焼速度は、他の燃料と同様当量比の減少に伴って減少し、その値は希薄領域においてメタン－空気混合気の値より小さく、過濃領域においてはメタン－空気混合気の値より大きい。

(4) 今回の実験範囲において、DME 燃料と他の燃料との間の燃焼挙動に大きな相違は現れなかったため、現段階では DME 燃料の内燃機関への利用は不可能ではないと判断できる。

謝辞

本研究を行うにあたり、終始ご指導、ご鞭撻を頂きました岡島敏教授ならびに川上忠重教授に深く御礼を申し上げます。

また、実験を進めるにあたり、多くのご協力を賜った熱工学研究室の皆様に感謝の意を表します。

2005 年 2 月

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程

野村浩行

参考文献

1) International Energy Agency: World energy outlook 2002, Organization for Economic, (2002)

2) 日本化学会(編)：化学便覧　基礎編(改定３版)，丸善，(1984)

3) Okajima, S., Iinuma, K. and Kumagai, S.: Measurement of slow burning velocities and their pressure dependence using a zero-gravity method, Twentieth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, pp.1951-1956 (1984)

4) 新岡　嵩，河野通方，佐藤順一：燃焼現象の基礎，オーム社，p18-25 (2001)

5) Lewis, B. and von Elbe, G.: Combustion, Flame and Explosion of Gases, Academic Press, New York and London, p.691 (1961)

6) Andrews, G. E. and Bradley, D.: The Burning Velocity of Methane-Air Mixtures, Combustion and Flame, Vol.18, pp.133 -142 (1972)

7) 日本機械学会：技術資料　流体の熱物性値集(第７版)，丸善，(2000)

8) 水谷幸夫：燃焼工学(第３版)，森北出版，(2002)

9) Okajima, S., Kawakami, T. and Iinuma, K.: Measurement of slow burning velocity by zero-gravity method, Twentieth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, pp.1600-1609 (1988)

発表学会

1. 野村浩行、大室勇、岡島敏；“微小重力法による DME 燃料－空気混合気の燃焼特性の解明に関する研究”、日本機械学会関東支部山梨講演会、講演論文集 NO.040-4　pp55-56.(2004.10)

2. 野村浩行、和田陽司、大室勇、岡島敏；“微小重力法による DME 燃料－空気混合気の燃焼特性の解明に関する研究”、第 42 回燃焼シンポジウム、日本燃焼学会、pp41-42.(2004.12)

3. 中村昭夫、野村浩行、岡島敏；“微小重力下での DME 燃料-空気混合気の燃焼速度及び可燃限界の決定に関する研究”、日本機械学会東北支部 第 41 期秋期講演会、講演論文集 NO.2005-2　pp147-148.(2005.9)

4. 野村浩行、中村昭夫、岡島敏；“微小重力法による DME 燃料－空気混合気の燃焼特性の解明に関する研究”、第 43 回燃焼シンポジウム、日本燃焼学会、pp154-155.(2005.12)

5. H.NOMURA, A.NAKAMURA, T.SAKURAYA and S.OKAJIMA；“Experimental Investigation on Combustion Characteristics of DME Fuel-Air Mixtures for Application to Engine Combustion”, 14th ISME International Conference on Mechanical Engineering in Knowledge Age, CD-R, (2005.12)

Table1　Physical properties of DME fuel

	DME	メタン	プロパン	メタノール	軽油
化学式	CH_3OCH_3	CH_4	C_3H_8	CH_3OH	
沸点 [℃]	-25.1	-161.5	-42	64.6	180〜360
液密度 [g/cm^3,20℃]	0.67		0.49	0.79	0.84
飽和蒸気圧 [atm,25℃]	6.1	246	9.3		
自然着火温度 [℃]	235	650	470	450	250
可燃限界 [vol%]	3.4〜17	5〜15	2.1〜9.4	5.5〜36	0.6〜7.5
セタン価	55〜60	0	5	5	40〜55
低位発熱量 [kcal/kg]	6900	12000	11100	4800	10200
低位発熱量 [kcal/m^3]	14200	8600	21800		

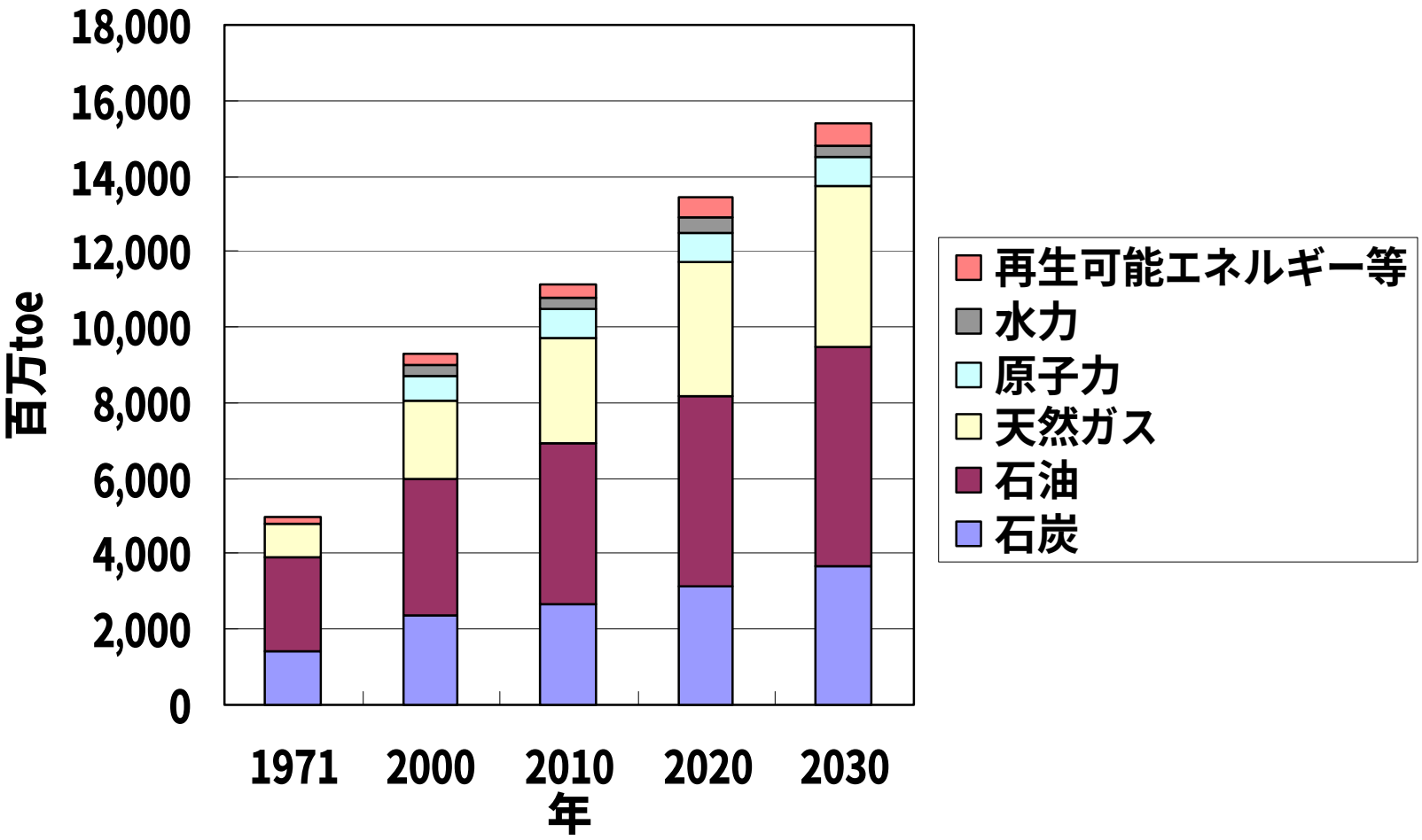
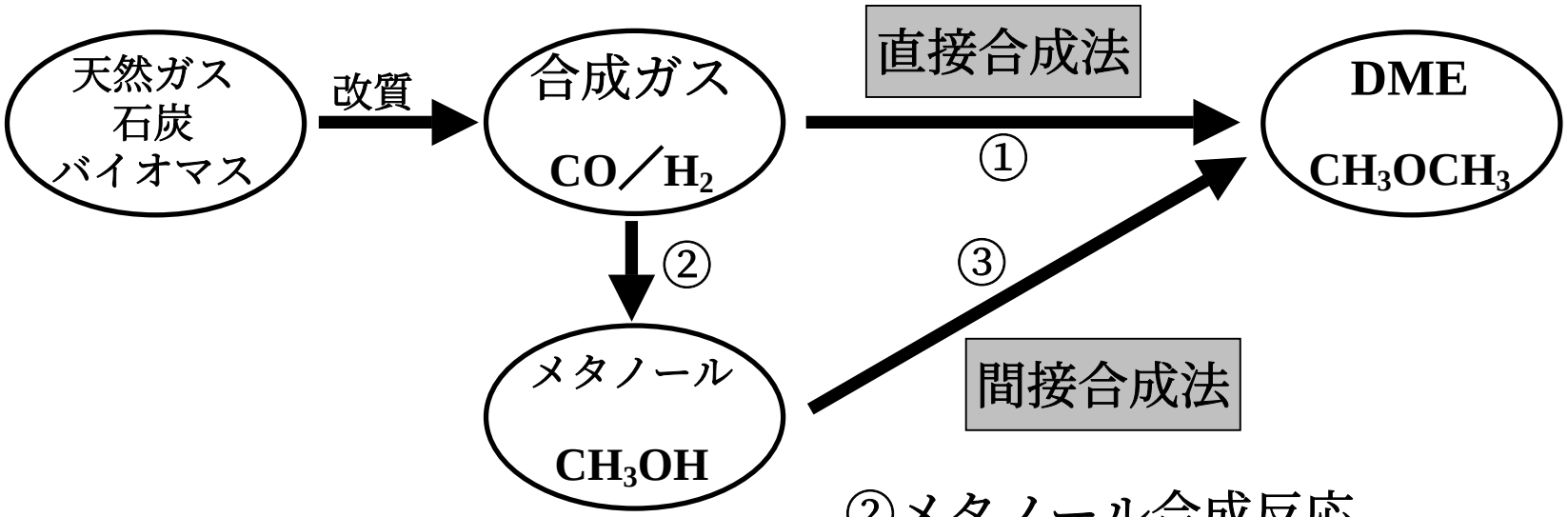


Fig.1 Prediction of global energy demand



②メタノール合成反応

①直接合成反応

$2CO+4H_2 \rightarrow 2CH_3OH$

$3CO+3H_2 \rightarrow CH_3OCH_3+CO_2$

③メタノール脱水反応

$2CH_3OH \rightarrow CH_3OCH_3+H_2O$

Fig.2　　Manufacturing process of DME fuel

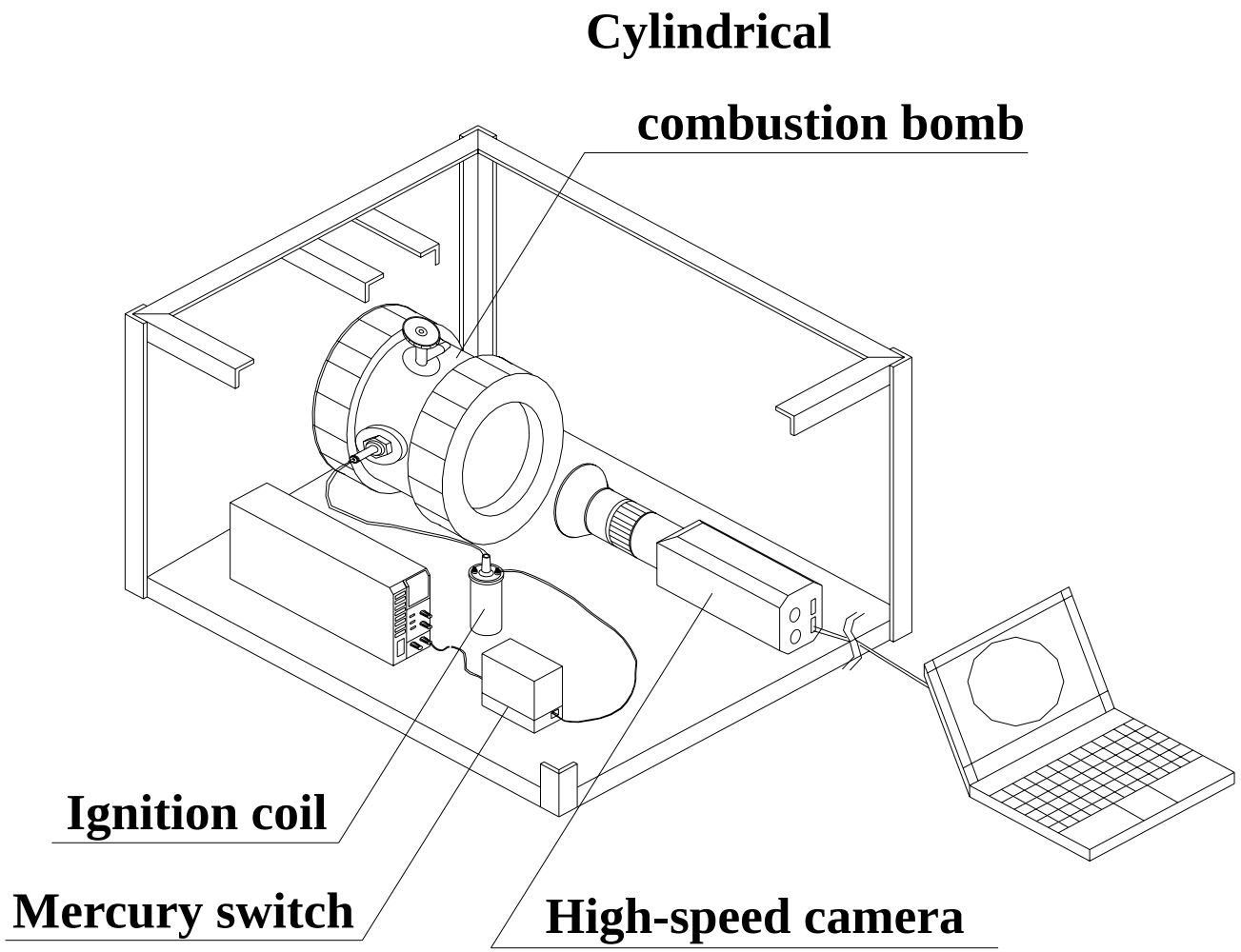


Fig.3 Outline of test assembly

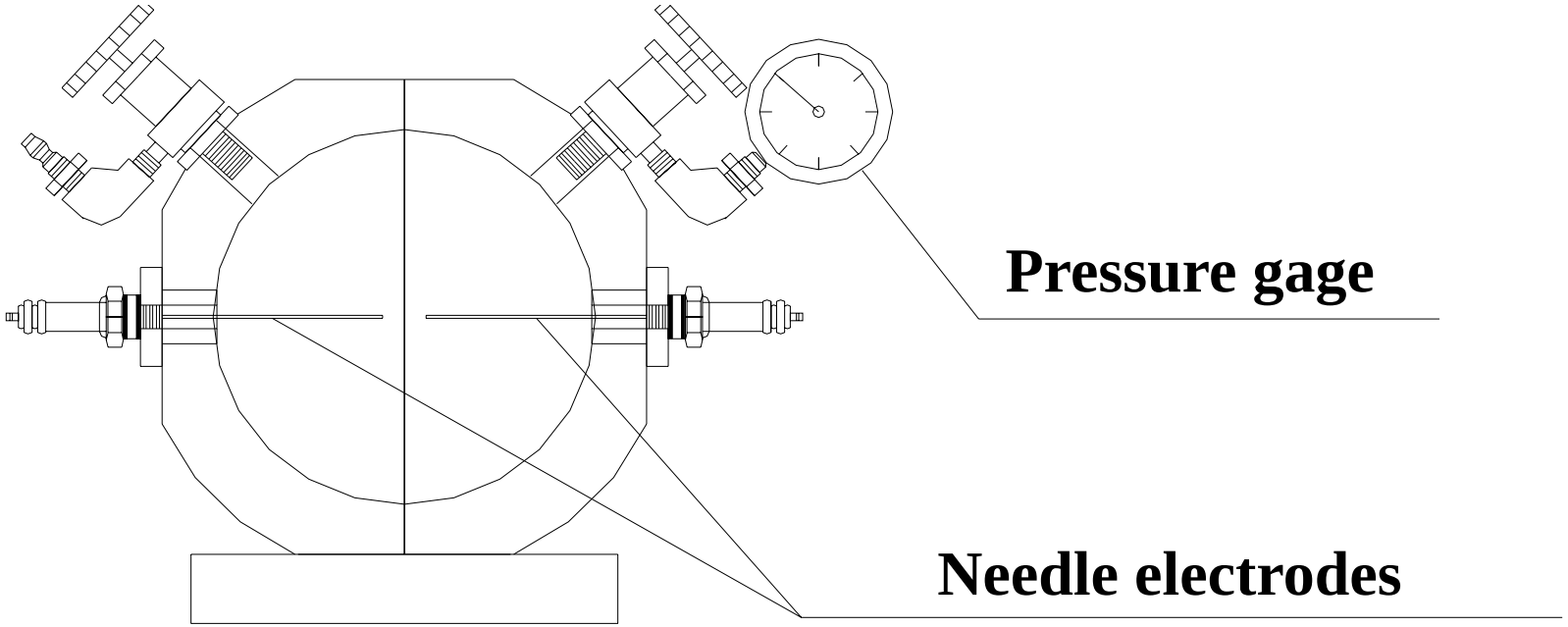


Fig.4 Combustion bomb

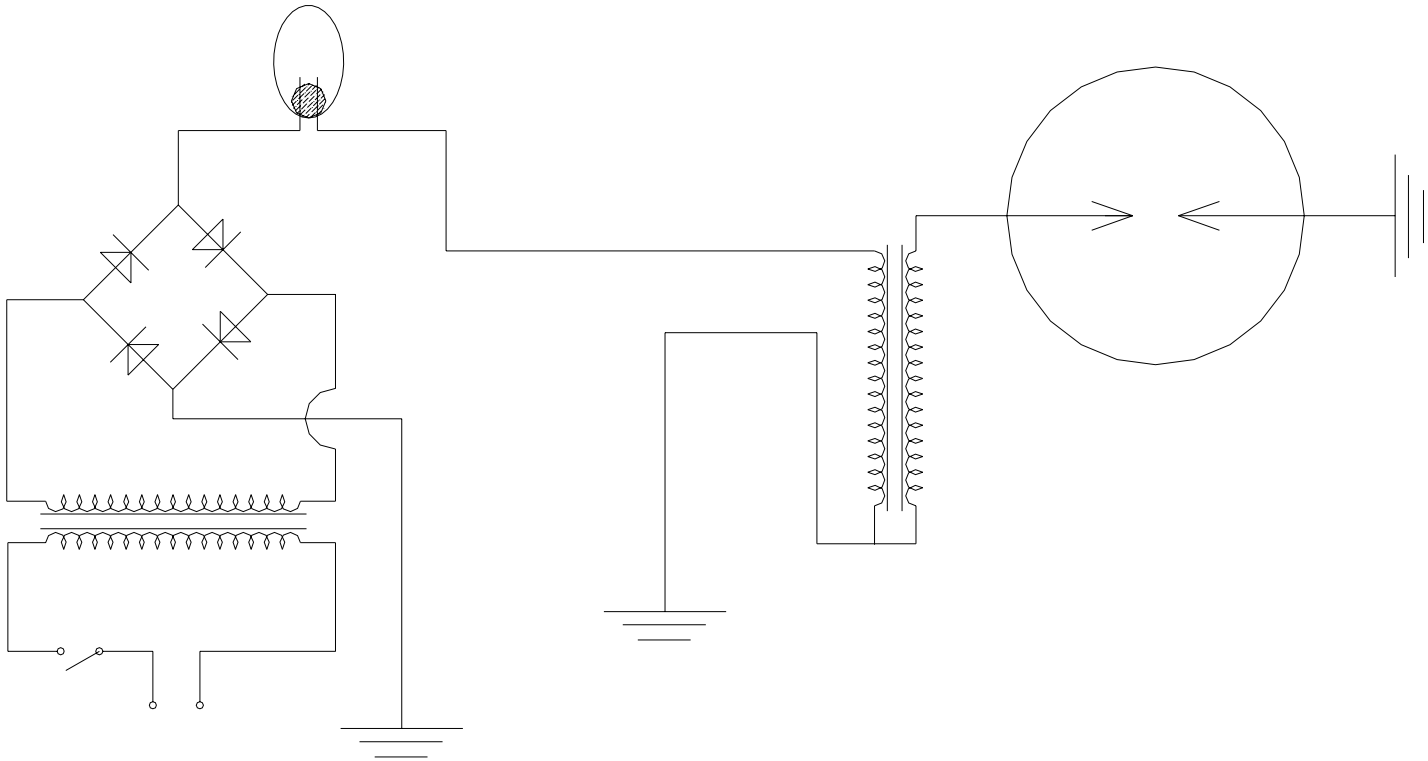


Fig.5 Control system of ignition

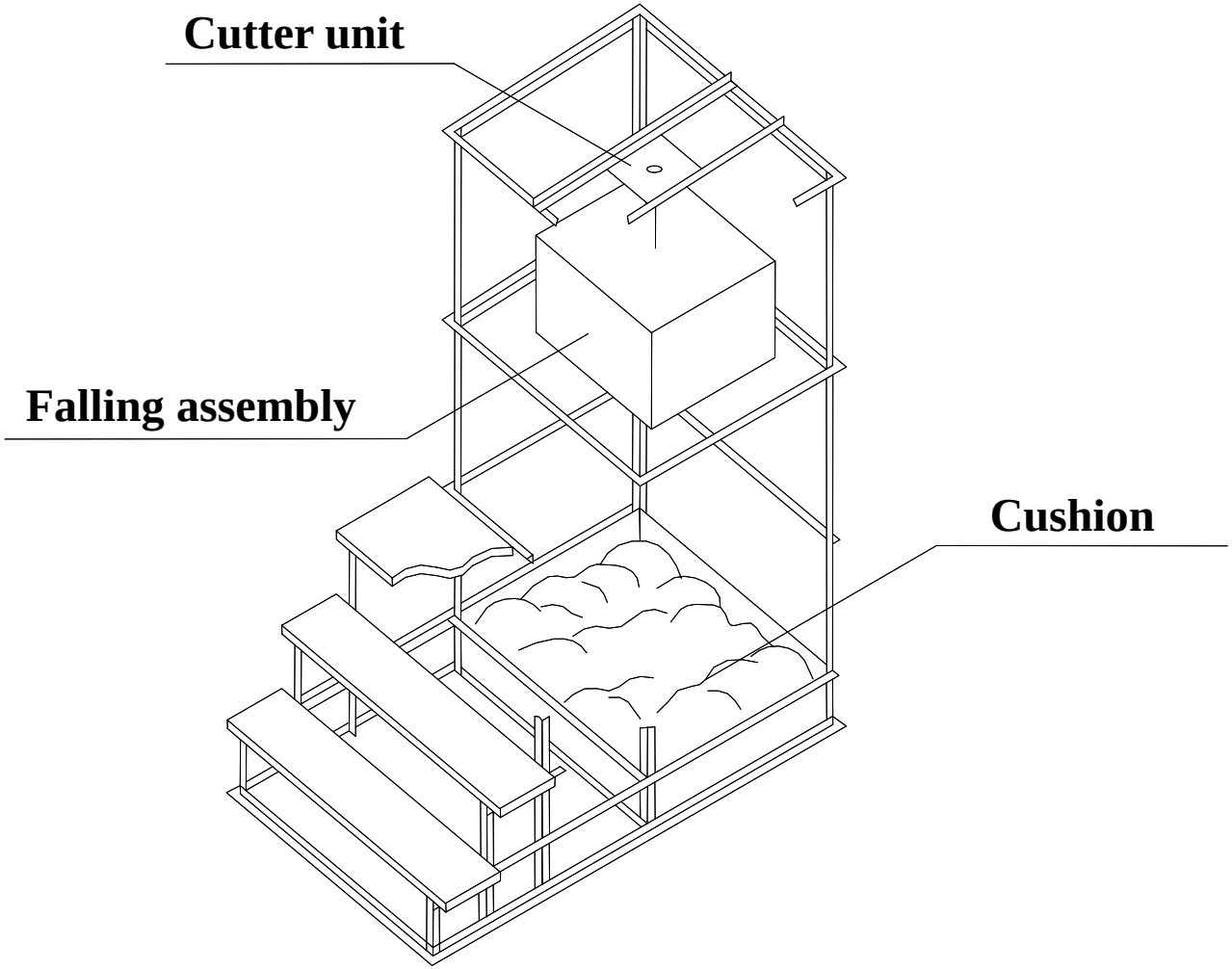


Fig.6 Falling tower

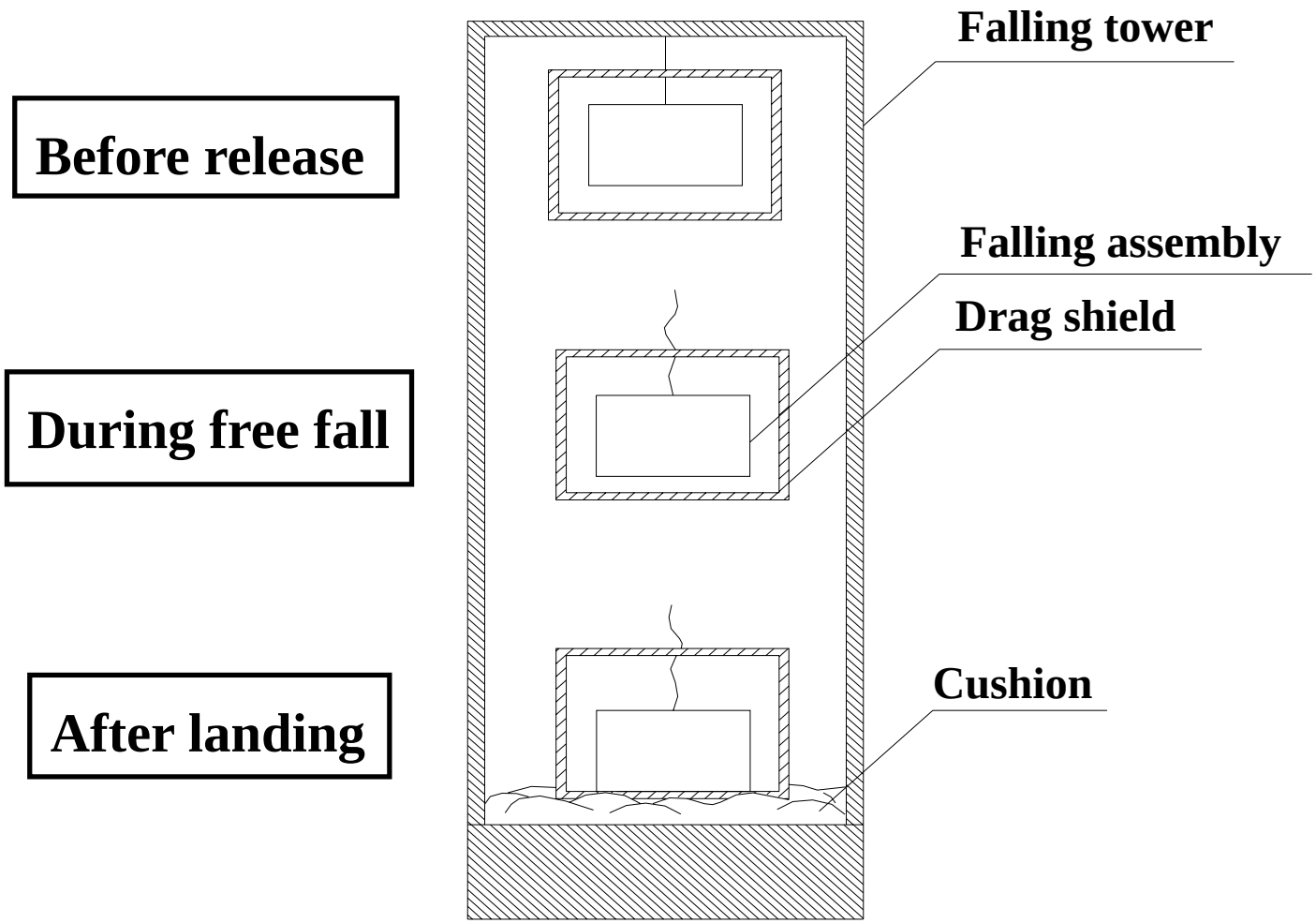
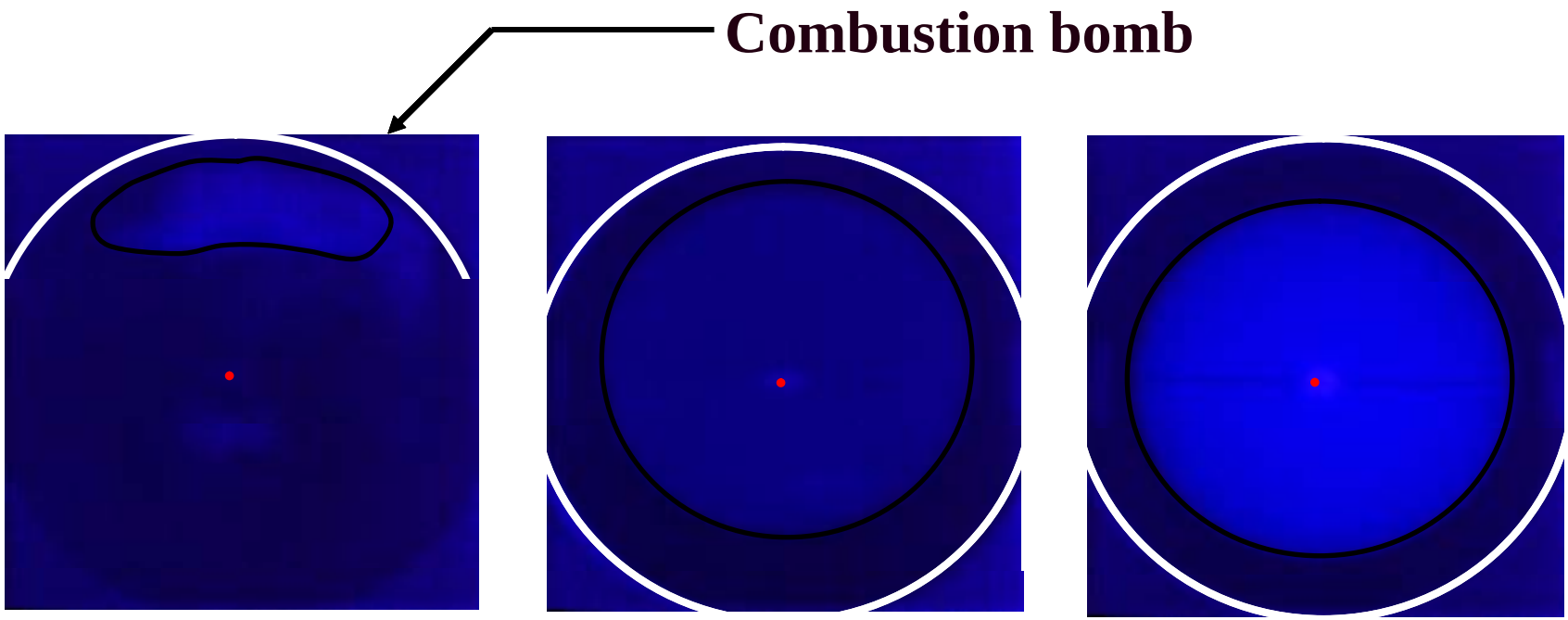


Fig.7 Falling tower and air drag shield



(a) Φ=0.55 (b) Φ=0.62 (c) Φ=0.84

Fig.8 One-shot photographs on combustion behavior of DME fuel-air mixtures under normal gravity

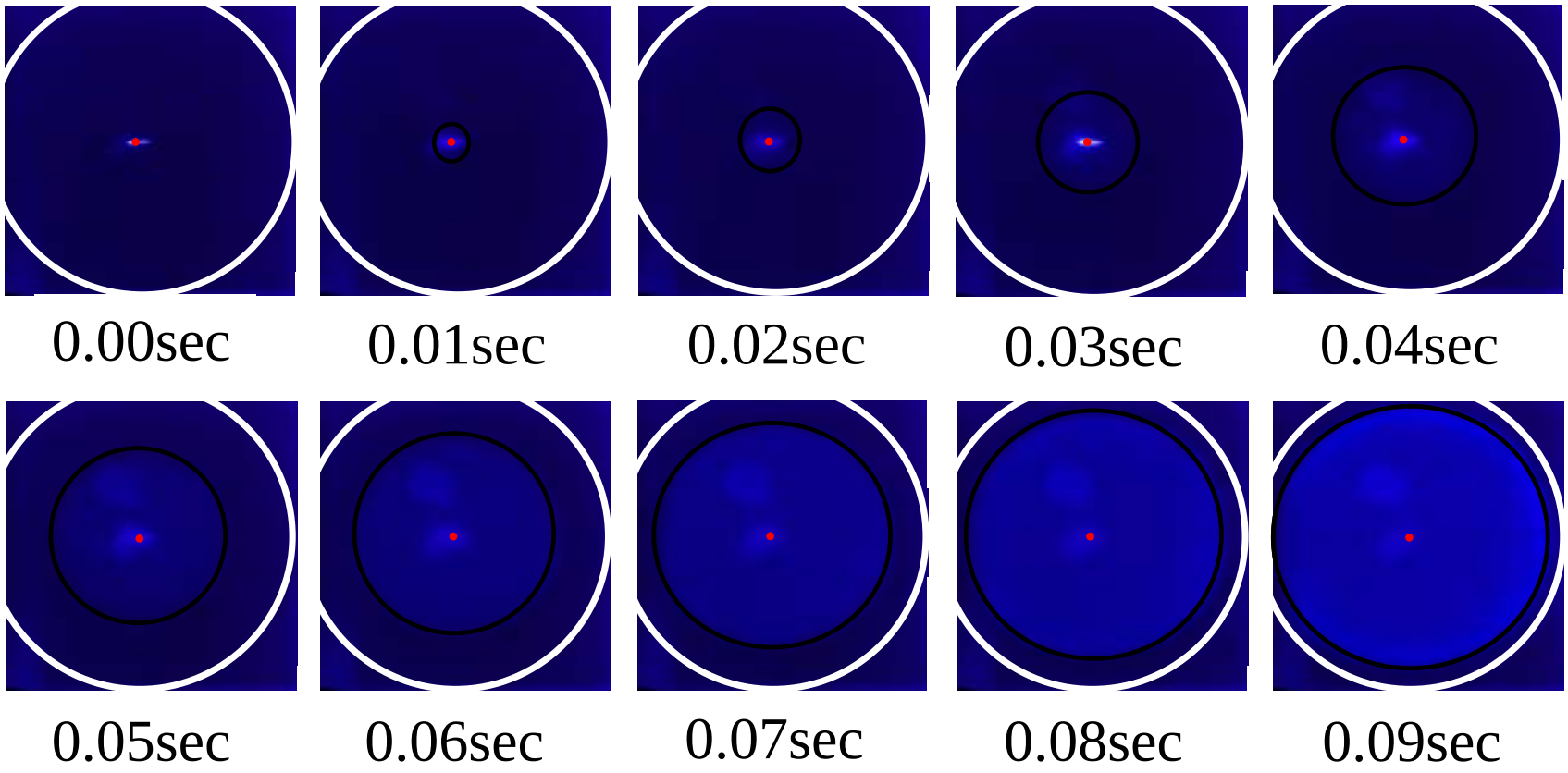


Fig.9 Sequential photographs on combustion behavior of DME fuel-air mixtures at 0.62 equivalence ratio under microgravity

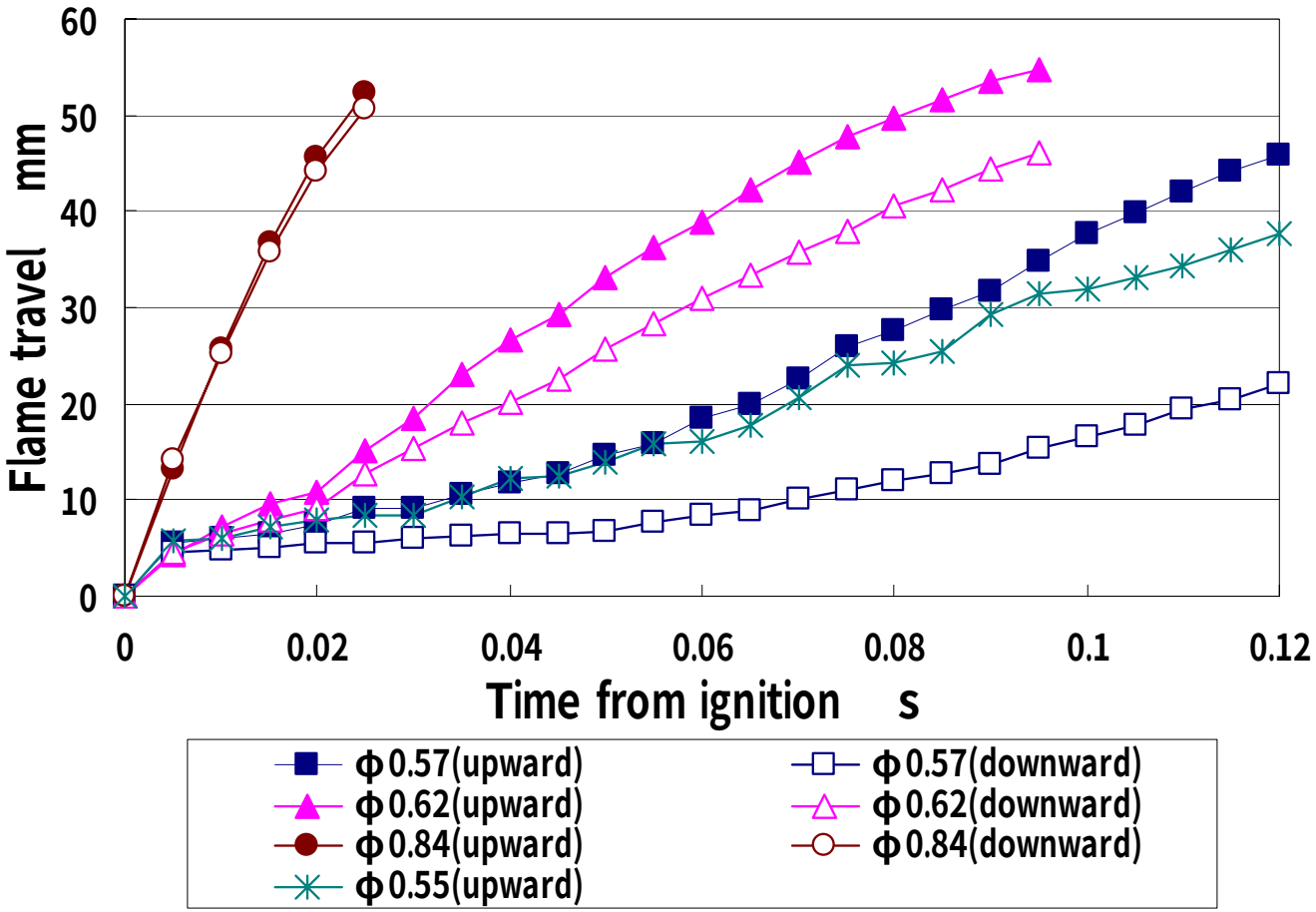


Fig.10 Flame travel behavior of DME fuel-air mixtures under normal gravity

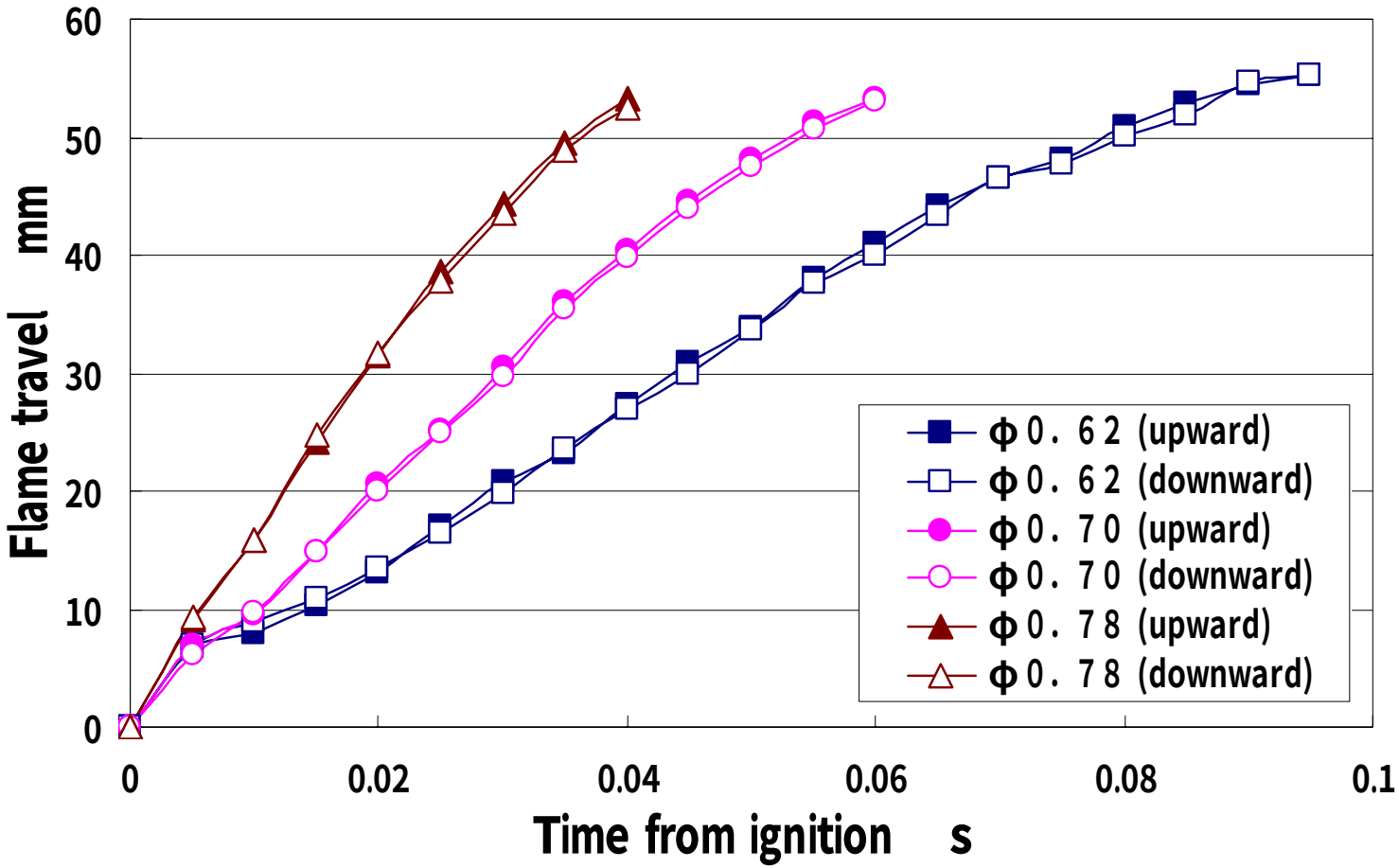


Fig.11 Flame travel behavior of DME fuel-air mixtures under microgravity

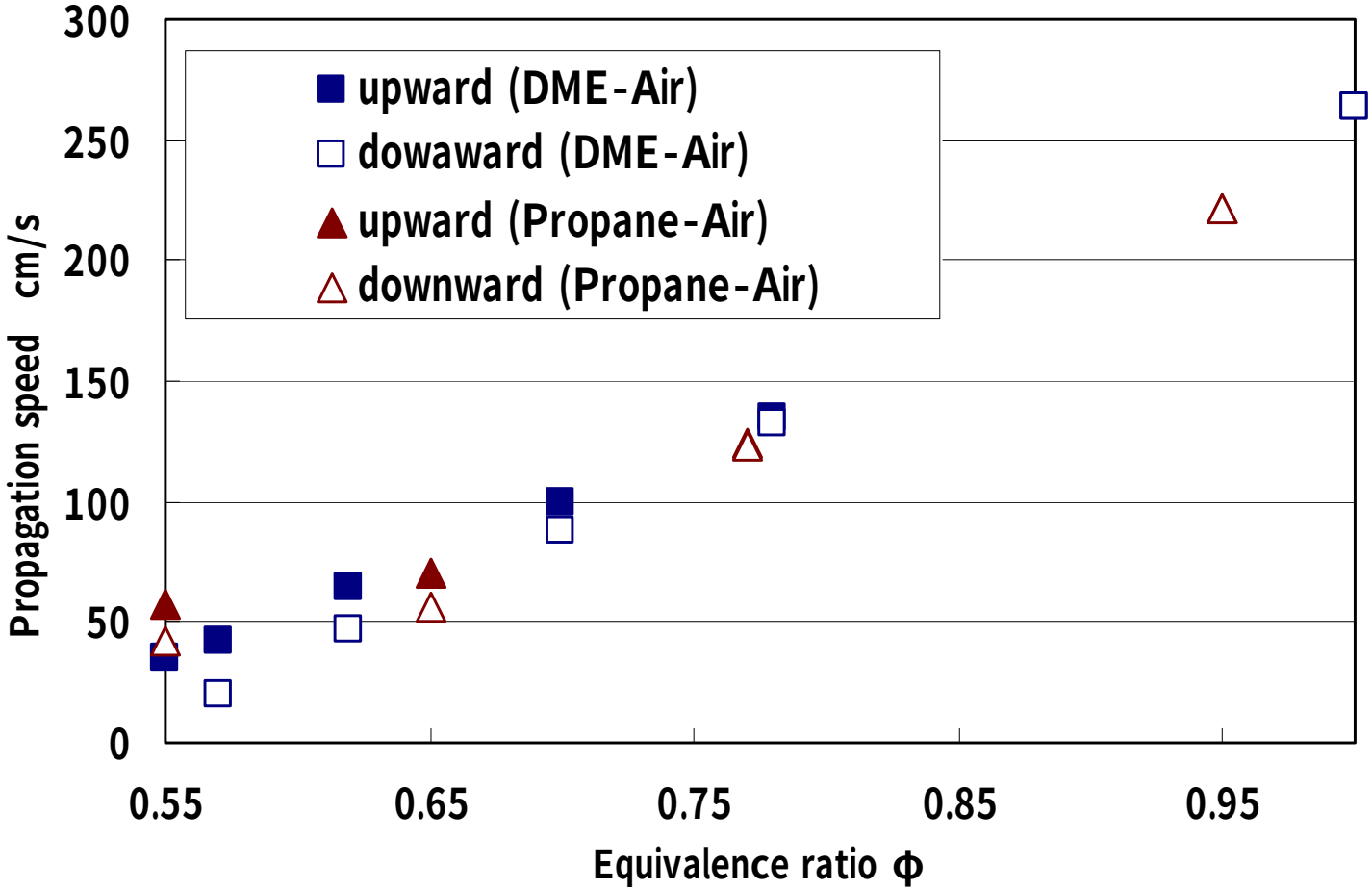


Fig.12 Flame propagation speeds of DME fuel-air and Propane-air mixtures under normal gravity

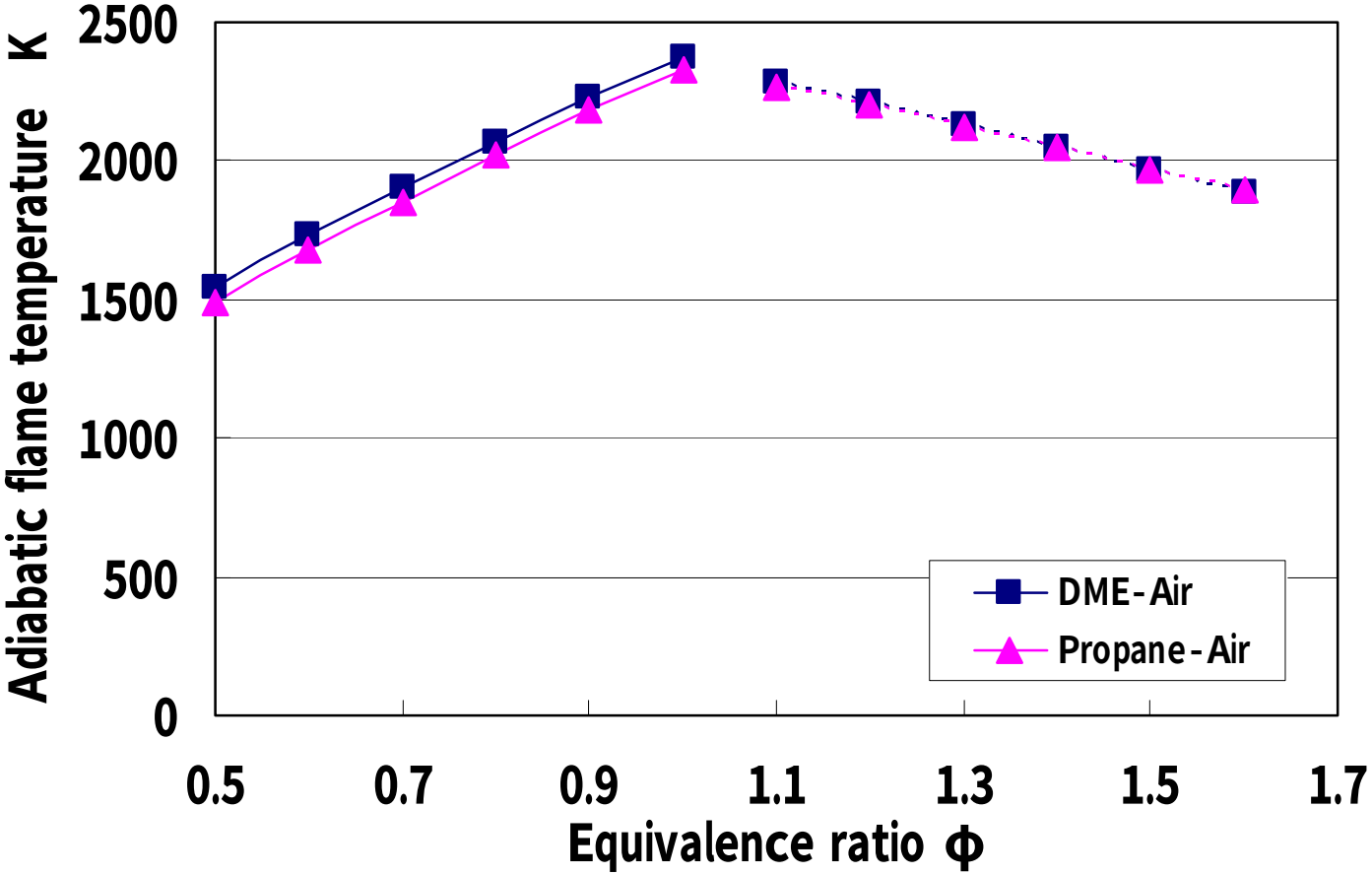


Fig.13 Adiabatic flame temperature of DME fuel-air and Propane-air mixtures

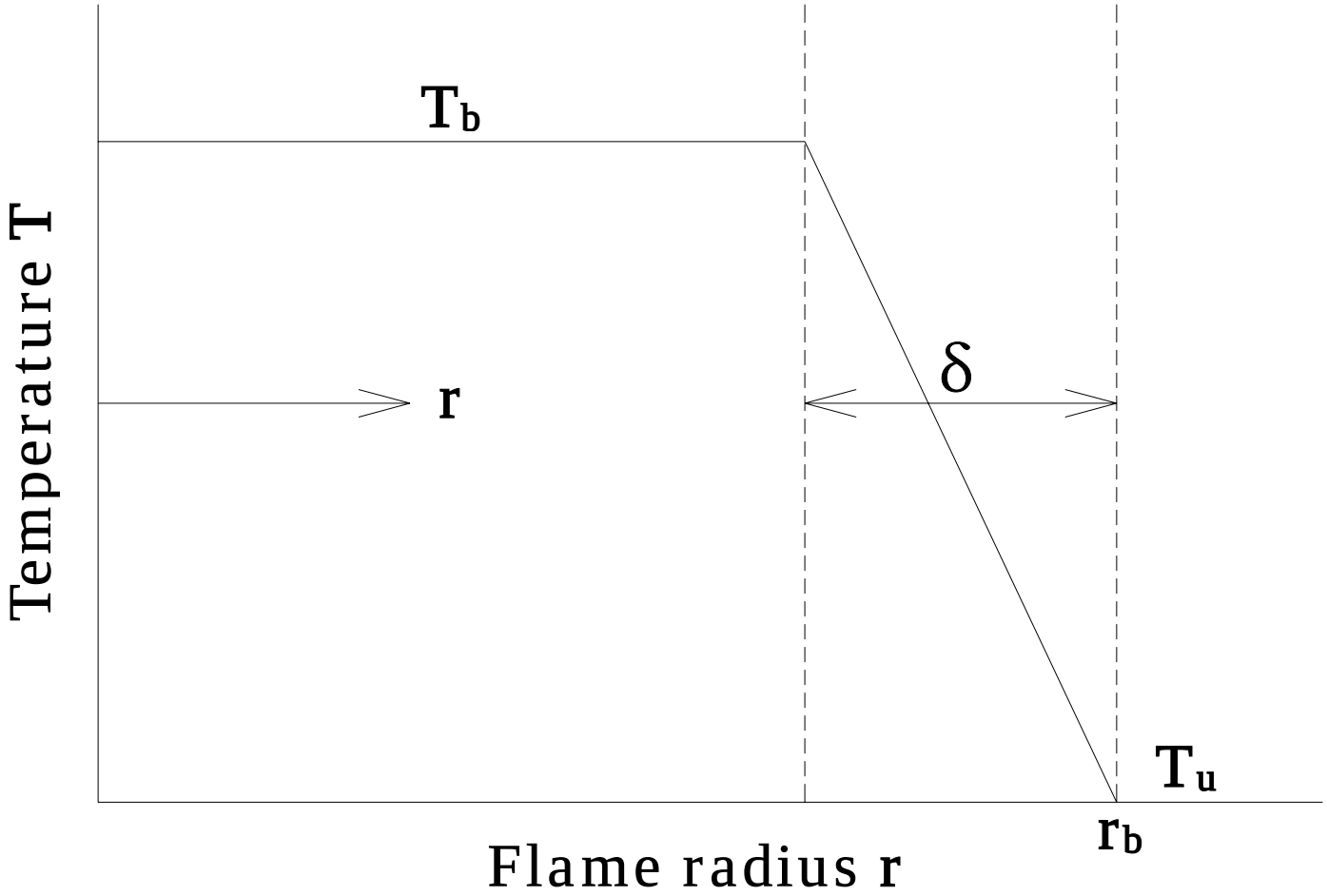


Fig.14 Model of temperature distribution for flame thickness

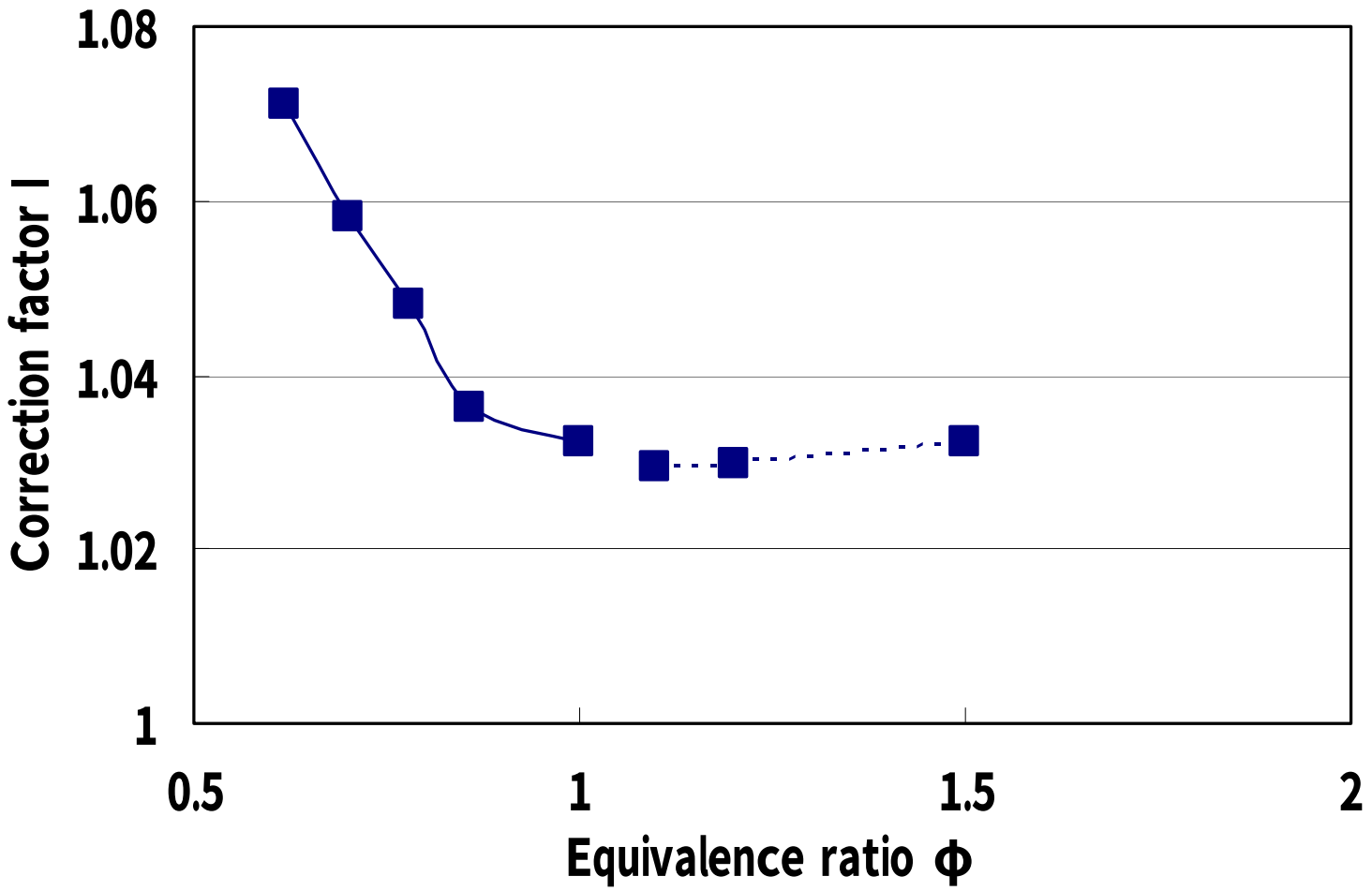


Fig.15 Correction factor I of DME fuel-air mixtures

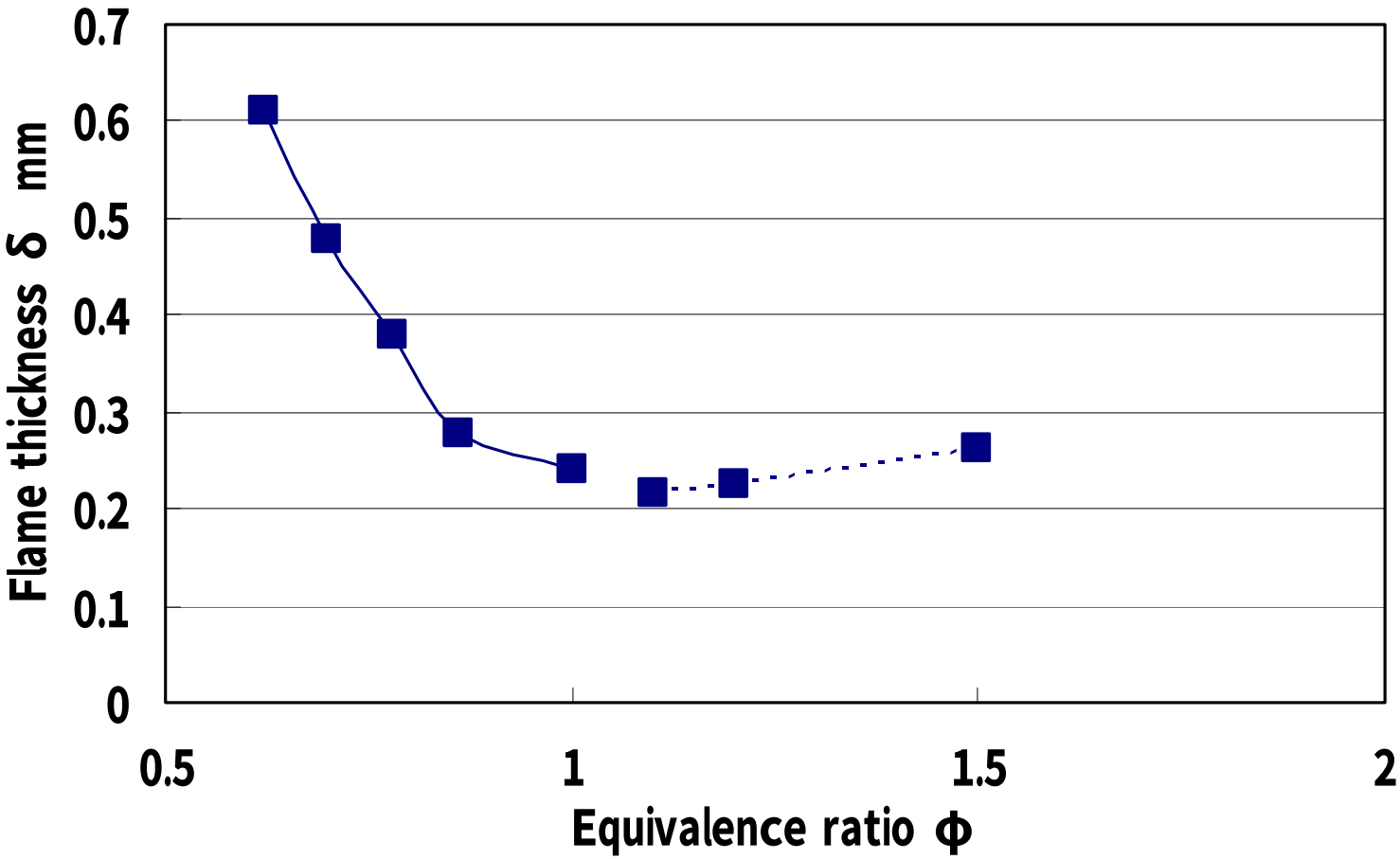


Fig.16 Flame thickness δ of DME fuel-air mixtures

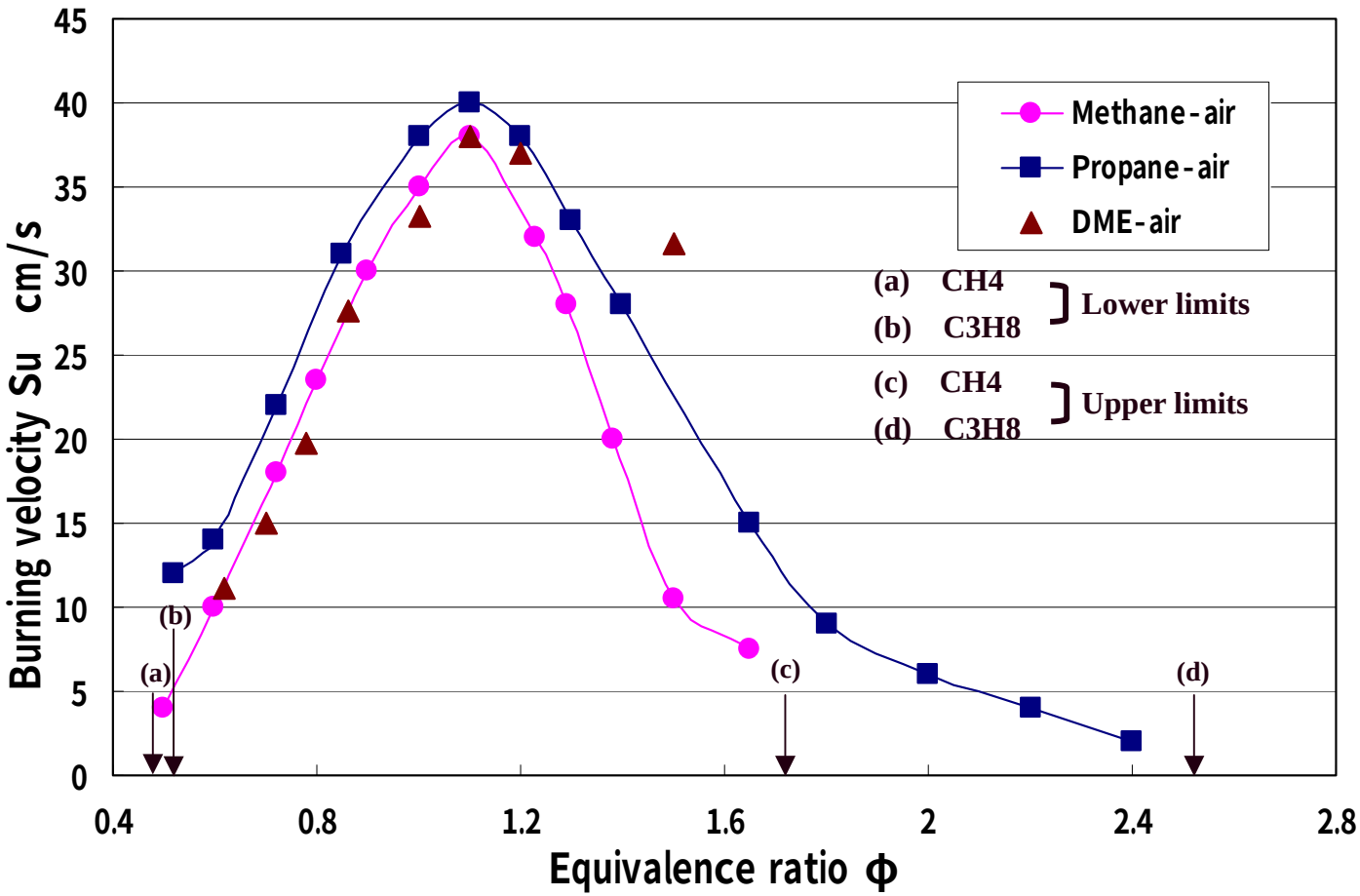


Fig.17 Burning velocity of DME fuel-air mixtures versus equivalence ratio

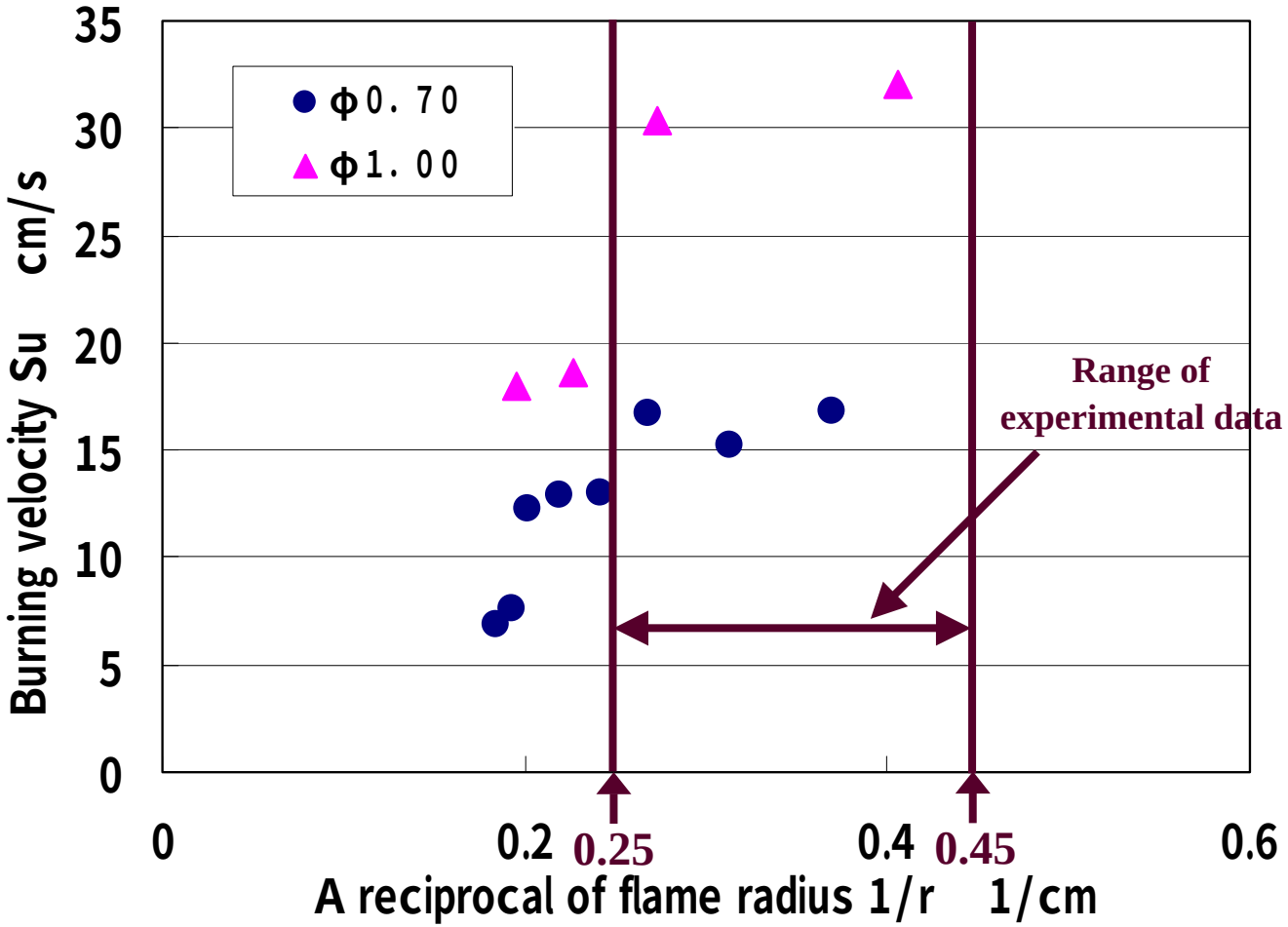


Fig.18 The influence of flame position in a closed bomb on burning velocity of DME fuel-air mixtures