

液状燃料化合物の燃焼速度

山崎 毅六・加藤 芳雄

Burning Velocity of Liquid Fuel Compounds

By Kiroku Yamazaki and Yoshio Kate

ABSTRACT : Concerning to antiknock properties, we measured burning velocity of 1. *n*-heptane, 2. *i*-octane, 3. benzene, 4. toluene, 5. methyl-alcohol, 6. ethyl-alcohol, 7. diethyl-ether, 8. di-*i*-propyl-ether, 9. acetone and 10. carbon bisulphide by the burner method.

The maximum burning velocity are as the following order : 10 > 5 > 3 > 6 > 7 > 1 > 8 > 4, 9 > 2

Ethyl fluid or methyl nitrate are mixed in compounds 1, 2, 3, 5 and 8, their ammounts are 0.4 % or 1.0 % (vol.) respectively and they are enough to change knocking tendency, but they do not change the burning velocity.

The flame speed at high pressure and temperature are also checked by CFR-Engine combustion chamber, and the same order as atmospheric burning velocity are found.

From the fact that the burning or flame velocity are not ranged in the order of their knocking properties, and are not effected by knock suppressor or inducer, the knocking has no direct connection to the flame speed.

(1950年12月27日受理)

内燃機関の燃焼室における燃料の燃焼速度はノック性、焰の安定性、燃焼率などに大きな作用をする。これまでの研究では主としてガス化合物の燃焼速度が測定せられていて、内燃機燃料としてもつともふつうである液状化合物については系統だつたものが少なかつたので、代表的な液状化合物の燃焼速度を定常焰の方法で測定した。

測定した化合物は (1) *n*-ヘプタン, (2) *i*-オクタン, (3) ベンゼン, (4) トルエン, (5) メチルアルコール, (6) エチルアルコール, (7) ジエチルエーテル, (8) *i*-プロピルエーテル, (9) アセトン及び (10) 二硫化炭素の 10 種である。

最大燃焼速度は次の順になる。

(10) > (5) > (3) > (6) > (7) > (1) > (8) > (4),
(9) > (2)

又, *n*-ヘプタン, *i*-オクタン, ベンゼン, メチルアルコール, *i*-プロピルエーテルにエチル液 (四エチル鉛 60 %) もしくは硝酸メチルをそれぞれ 0.4 % もしくは 1 % 混合しても, 測定精度の範囲ではいずれにおいても燃焼速度は變らないことがわかつた。

一方, CFR 發動機の燃焼室の高壓, 高温における火焰速度を實測してみると, これらの常壓におけるものと同じ順位であることがみとめられた。

したがつて, ノック性は燃焼速度だけでは論ぜられない。

1. 實 験

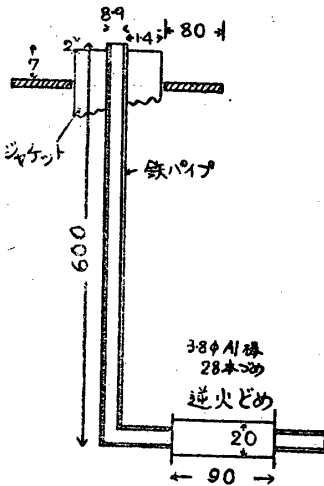
(1) 装 置

燃焼速度の測定装置は混合氣生成, 燃焼, 撮影の 3 部からなりたつている。

液體を氣化し, 任意の混合比, 任意の速度で混合氣を燃焼部に送るために, 空氣平衡蒸溜装置と同じものを用いた。それに續く燃焼部は第 1 圖のバーナーを主體としたもので, 混合氣生成用の浴と同じ温度の湯をその圍りに強制循環させて燃焼するときまで混合氣の温度がかわらないようにした。燃焼室として石油罐を利用し, ガスは上方から自由に出入し, のぞきまどから焰をしらべることができる。バーナー孔はこの室の底部中央にある。

バーナーは表面にニッケル鍍金した平滑な鐵管で,

直徑に對し長さを充分にとり、ガスが層流になるようにした。12 l/min の流量で 600°C のガスが流れても



第1圖

空気に換算したレイノルズ数は 950 であつて、目的を達したとおもわれる。

燃焼室は外氣の亂れによる焰の變形をさけるためのもので、バーナーの根元には逆火どめがある。

撮影は 4.5 のレンズとプロセス乾板を用いた。露出條件は 1 sec. 絞り度 4.5~11 である。メチルアルコールのときだけは絞り全開で 1~2 秒露出した。

(2) 試料

n-ヘプタンと i-オクタンはそれぞれオクタン價測定用標準燃料、その他のものは市販品をできるだけ精製したものである。

(3) 測定の方法

常壓の下で 40°C の混合氣をバーナーに送り、流速と混合比を目的のところに合せる。點火して後に、焰が定常になつたときに撮影する。現像後コンパレーターにかける。流れの速度分布が管の中心を頂點とする拋物線であるとして、平均速度である $0.707 D$ (D はバーナーの内徑) 點における焰面の切線とバーナー軸(垂直)との角度 α をはかり、混合氣流速 v から次式により燃焼速度を計算する。

$$v \sin \alpha = \text{燃焼速度}$$

この方法で多數回の測定は手がかかるので、焰の高さ H を読み次の實驗式で燃焼速度を計算することにした。

$$\alpha = 96.42 e^{-0.0681 H} + 126.07 e^{-0.2931 H}$$

これらのことを混合比、混合氣流速をかえてくりかえし、混合比と燃焼速度との関係をもとめた。

2. 測定成績

(1) 測定の精度

ベンゼンについて、混合氣の流速をかえて測定値の再現性をたしかめた。第1表はその成績をまとめたものである。廣い範圍にわたつて混合氣の組成をかえるためには装置からの制限で試料を溢流させるプランジヤの徑をかえなければならないので、一定の流速で任意の組成の混合氣をうるわけにはいかない。

第1表 ベンゼンの燃焼速度

實驗 番號	空氣重量 (g/min)	ベンゼン 重量 (g/min)	空氣 ベンゼン	$(1+\alpha)$	平均流速 (cm/sec)	$\sin \alpha$	燃焼速度 (cm/sec)
178	3.457	0.210	16.5	0.80	83.7	0.3811	31.9
179	3.399	0.232	14.6	0.90	82.6	0.4725	39.0
180	3.455	0.258	13.4	0.99	84.2	0.5000	42.1
193	3.421	0.266	12.9	1.03	83.4	0.5060	42.2
175	4.327	0.273	15.9	0.83	104.9	0.2933	30.8
176	4.327	0.306	14.1	0.94	105.2	0.3730	39.2
177	4.339	0.335	12.9	1.02	105.8	0.4044	42.8
191	4.342	0.397	10.9	1.21	106.4	0.3608	38.4
192	4.336	0.402	10.8	1.23	106.3	0.3330	35.4
181	5.114	0.315	16.3	0.81	123.5	0.2630	32.5
182	5.119	0.352	14.6	0.91	123.6	0.3073	38.0
183	5.074	0.389	13.0	1.01	123.1	0.3477	42.8
189	4.983	0.437	11.4	1.16	121.9	0.3445	42.0
190	4.983	0.462	10.8	1.22	122.1	0.2924	35.7

同じプランジヤによる流速の似たものをつかつてまとめてある。

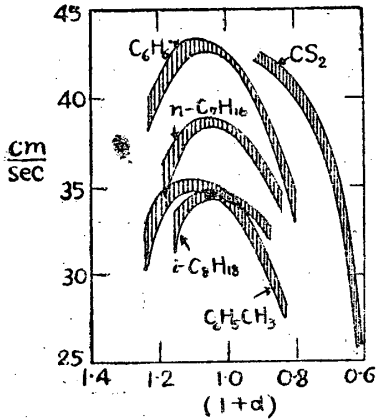
α は完全燃焼をする混合比における化合物のモル數に對し過不足するモル比で、 $(1+\alpha)$ が 1.0 であれば理論混合比であることをあらわし、これが > 1 であればこく、 < 1 であればうすいことをしめす。

第1表の實驗番號 193, 177, 183 の數値をくらべてみれば $(1+\alpha)$ はそれぞれ 1.03, 1.02, 1.01 であつて、燃焼速度はそれぞれ 42.2, 42.8, 42.8 cm/sec になつてゐる。このことから、燃焼速度の精度はかなりよいものと考えてよい。

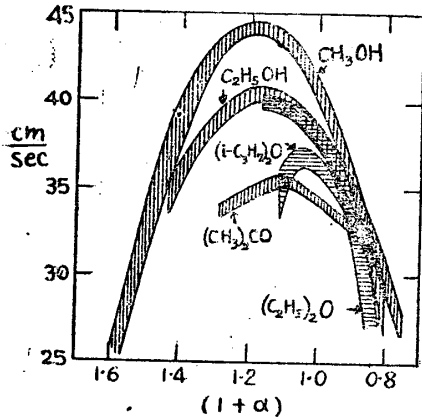
(2) 測定した燃焼速度

精度をしらべた實驗と同様にして、各化合物について混合氣の組成をかえながら燃焼速度を測定し、 $(1+\alpha)$ と燃焼速度との関係を標示したものが第2圖と第3圖である。混合比によつて燃焼速度はちがつて

くるが、最大の燃焼速度はいずれにおいても理論値よりややこいところでしめされる。この附近は燃焼温度



第 2 圖



第 3 圖

のもつとも高いところである。圖の曲線の幅は實驗精度をあらわし測定値はすべてこの範圍の内に入る。

最大燃焼速度を大きいものから順にならべれば第 2 表のようになる。

第 2 表 最大燃焼速度

化合物	最大燃焼速度 (cm/sec)	(1+α)
二硫化炭素	>47	>0.9
メチルアルコール	44.0	1.20
ベンゼン	43.0	1.10
エチルアルコール	40.0	1.15
ジエチルエーテル	40.0	1.15
n-ヘプタン	38.5	1.05
i-プロピルエーテル	37.0	1.05
トルエン	35.0	1.10
アセトン	35.0	1.10
i-オクタン	34.5	1.05

二硫化炭素は別として、アルコール、ベンゼンの燃焼速度の大きいこと、トルエン、アセトン、i-オクタ

ンのそれが小さいことはとくに目立っている。

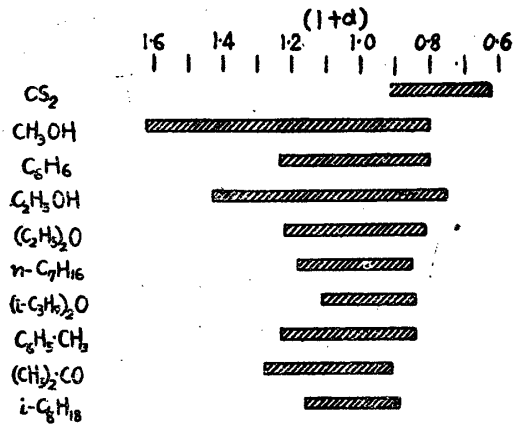
メチルアルコール、ベンゼン、n-ヘプタン、i-プロピルエーテル、i-オクタンにエチル液(四エチル鉛 60%)又は硝酸メチルをそれぞれ容量で 0.4%、1.0% 混合し、これらのアンチノック剤、プロノック剤の燃焼速度に対する効果をしらべてみた。これらの量は發動機のシリンダにおいては充分な効果をあらわす量である。

アンチノック剤の作用は燃焼速度をおさえることにもとづくという説もあるが、この實驗ではいずれのばあいにも第 2 圖、第 3 圖の曲線の幅に入ってしまう。たかだか實驗の精度では感じない程度の効果しか及ぼしていない。

3. 焰の安定な混合比の範圍

バーナー孔で定常焰ができるためには混合氣の流れとそれに逆行する焰面の速さがつり合をたもたなければならぬ。したがつて過度にこくなつたりやすくなつたりすればつり合がやぶれて焰が氣流に流されたり、バーナー孔から中に逆行する。化合物によつてはこくなり過ぎれば焰が振動することがある。

混合氣の組成をかえて、定常焰の安定な範圍をまとめれば第 4 圖となる。二硫化炭素の全範圍は裝置の構



第 4 圖

造から測定することができなかつた。第 4 圖の帯の長さは第 2 圖、第 3 圖の曲線の兩端の幅と同じわけである。

いずれにおいても理論混合比をはさんでいるわけであるが、アルコールでは混合比のこい方にはなほだしくのびている點が目立っている。二硫化炭素では他のものよりもうすい方までのびている。ベンゼン、ジエチルエーテル、トルエンはかなり廣い幅をもつている。これらに對して、i-プロピルエーテル、i-オクタ

ンはせまい。

アルコールは混合比の廣い範圍にわたり安定な定常焰をつくり、ベンゼン、ジエチルエーテルがこれに次ぐ。

これらの範圍はバーナー孔の口径でちがうであろう。

4. 發動機シリンダ内における火焰速度

常壓における燃焼速度を定常焰でもとめた結果、化合物によつてかなりのちがひがあることがわかつた。これがそのまま高温、高壓のシリンダ内における燃焼にあてはまるかどうかかわからない。この關係をたしかめるために、CFR-ガソリン發動機を用い、點火栓とバウンシングピン孔との距離を焰が進む時間、すなわち火焰速度を測定した。

測定にあつて、點火栓孔に直径 18mm の點火栓を入れてイオン化間隙とし、バウンシングピン孔に直径 10mm の小型點火栓をつけ、この點火栓からイオン化間隙にいたる距離を、焰が進むに要する時間を發動機の主軸に直結したネオン管の點滅するクランク角度を目測してもとめた。したがつて、クランク角度の讀とり精度は 0.5° よりよくはないが、簡単にできる利點がある。

運轉條件は、回轉數 900 rpm、點火進み 24°、混合氣温度 120~170°C である。混合氣の温度がこの範圍

第3表 CFR-發動機における火焰速度

燃 料	火焰速度 (クランク角度)				
	壓縮比	4.0	5.0	5.5	6.0
い-オクタン (F-3)		21.5	19.0	18.0	17.5
Γ-3+0.4% 加鉛		22.0	19.0	18.0	—
輕質ガソリン (A 62)		20.5	17.8	17.3	17.0
合成ガソリン		20.3	—	—	—
副標準ガソリン (M-6)		21.0	17.8	—	—
n-ヘプタン		20.0	17.5	—	—
n-ヘプタン +0.4% 加鉛		20.5	18.0	—	—
ベンゼン		19.0	16.8	16.0	15.8
ベンゼン +0.4% 加鉛		19.5	16.5	16.0	15.5
い-プロピル エーテル		20.0	18.0	17.3	—
アセトン		22.0	19.0	—	—
メチルアルコール		20.0	17.5	16.5	16.0
メチルアルコール +0.4% 加鉛		—	17.5	16.5	16.5
メチルアルコール +1% 硝酸メチル		19.5	—	16.5	—
メチルアルコール +3% アニリン		19.5	17.5	17.5	—

に對しても目立つた變化はないので、この間の温度でもとめた數値の平均をとつた。第3表はその成績である。

加鉛量はエチル液としての容量 % で、その他の添加劑もすべて容量 % である。

この結果によれば、クランク角度の小さいものほど火焰速度は大きいわけであるから、メチルアルコールをのぞけば、第2表にしめした常壓における燃焼速度と同じ順位をしめしていることがわかる。加えて、四エチル鉛、硝酸メチルなどのノック促進劑、抑制劑を十分に混合しても、測定精度のクランク角度 0.5° 以上に火焰速度はかわらない。

直径 10in の球型ポンプに 1atm の混合氣をつめ、中心で點火し、火焰速度を測定した研究⁽¹⁾によれば、火焰速度はベンゼンが最大で、い-オクタンが最小であり、n-ヘプタンはその中間にある。エチル液の混合が火焰速度に効果を及ぼさない。この結果はわれわれのものと同じ結果といえる。したがつて、ポンプ、發動機シリンダなどの中における高壓の火焰速度も常壓における定常焰の燃焼速度と定性的には同じ順になるといえる。

5. ノック性との關係

發動機シリンダにおける火焰速度とノック性との關係についてはいろいろの説があり、火焰速度の小さいほどアンチノック性が強いという考えも行われている。

このことはい-オクタンについてはうなずけるけれども、ベンゼンのようなノンノック性といわれるもの、アルコールのようにアンチノック性の高い化合物の火焰速度が大きいこと、さらに、ノックをシリンダ内でおさえるのに充分な量のエチル液が火焰速度に影響のないことなどは矛盾する。

第4表 最大燃焼速度とアンチノック性

化 合 物	文 献	アンチノック性 (ASTM オクタン價)	臨 界 (壓 縮 比)
メチルアルコール	(2)	98	
ベンゼン	(3)	117	
エチルアルコール	(2)	99	
n-ヘプタン	(4),(6)	0	2.8
い-プロピル エーテル	(5)	98	
トルエン	(3)	109	
アセトン	(3)	117	
い-オクタン	(4),(6)	100	7.7

チノック性とをならべれば第4表のようになる。

第4表をみれば、ノック性と燃焼速度との間に一定の関係のないことが明らかである。

ま と め

燃料の發動機シリンダにおける重要な燃焼性の一つである燃焼速度を炭化水素、アルコール、エーテル、ケトン、二硫化炭素などの10種について、常壓の下に定常焰を用いて測定した。

最大燃焼速度の大きいものからならべれば次のようになる。

二硫化炭素>メチルアルコール>ベンゼン>エチルアルコール>ジエチルエーテル>n-ヘプタン>i-プロピルエーテル>トルエン, アセトン>i-オクタン。

メチルアルコール, ベンゼン, n-ヘプタン, i-プロピルエーテル, i-オクタンにエチル液又は硝酸メチルをシリンダ内で十分に効果をしめす量だけ混合しても燃焼速度には変化がみとめられない。

最大の燃焼速度は理論混合比よりもわずかにこい混合比においてあらわれる。

安定な定常焰をつくる混合比の範囲は化合物によつてちがひ、アルコールのばあいにこい方向にいちじるしくのびている。ベンゼン, トルエンのそれらは他のものよりいくらかひろく, i-オクタンのそれはせまい。

CFR-發動機の燃焼室における火焰速度はメチルアルコールをのぞけば、常壓のもとで、定常焰で測定し、

た結果と同じ順位にならぶ。したがつて、常壓でもとめた燃焼速度でシリンダ内の火焰速度を論じてもよい。

燃焼(火焰)速度とノック性との間にははつきりした関係がない。

これらのことから、アンチノック剤の作用は火焰速度を小さくし、火焰速度が大きくなればノック性を強くするとする説は正しくない。ノックの機構はさらにこみいつている。

CFR-發動機による実験は飯沼一男氏が行つた。この研究の一部は、文部省科學研究費によつた。

文 献

- 1) E. F. Fiock, C. F. Marvin, F. R. Caldwell and C. H. Roeder: N. A. C. A. Tech. Reports No. 682, (1940) 11~24.
- 2) U. O. P. Co. 測定値.
- 3) 山崎毅六, 井上實: 理工研究報告 1, 1947, 171.
- 4) S. D. Heron and H. A. Beatty: J. Aero. Sci. 5, (1938), 463.
- 5) G. Egloff, W. H. Hubner and P. M. von Arsdell: Chem. Rev. 22, (1938), 175.
- 6) J. M. Campbell, F. K. Signaigo, W. G. Lovell and T. A. Boyd: Ind. Eng. Chem. 27, (1935), 593.

濕氣の吸収, 通過及び發散 (第2報)

纖維素誘導體膜及び合成樹脂膜の透濕性(1)

武 田 文 七

Absorption, Passage and Evaporation of Moisture (II)

Moisture Permeability of Cellulose Derivatives and Synthetic Resins (1)

By Bunshichi Takeda

ABSTRACT: Moisture permeability constants of cellulose acetate, cellulose nitrate, benzylcellulose, polyvinylalcohol, polyvinylacetate, polyvinylbutyral, polyvinylchloride, polyvinylchloride-polyvinylacetate copolymer, polystyrol etc. were measured.

It was found that moisture permeability of a substance is influenced by having hydrophil group or not.

(1950年12月27日受理)