

「可燃ガス-酸素」混合物の評価方法

大阪大学工学部 水 野 政 夫

焰を用いて物体を加熱する場合、加熱目的に合致した「燃料ガス-酸素(または空気)」の適当な組合せを選定することは技術的にも経済的にも重要なことはいままでもない。加熱に際しては極めて概念的ではあるが次の如く混合ガスの能力を評価することができる。すなわち、被加熱物を所定温度まで加熱するために必要な時間が短いほど、加熱に用いられた混合ガスは優れたものである。ここでいう所要温度とは焰が当てられた場所における被加熱物の表面温度ばかりではなく、被加熱物表面の温度分布、被加熱物内部の温度分布をも含めての意味である。従つて加熱という問題は根本的には焰からどれだけのエネルギーが被加熱物に移り得るかかどうかということに帰着する。

焰から被加熱物への熱移動は

- a. 燃焼生成ガスから被加熱物への強制熱伝達
- b. 燃焼生成ガスから被加熱物への輻射
- c. その他、被加熱物表面における化学的な作用

に大別することができる。そのうち加熱における主役は a, b であつて、c はその影響が比較的少ないことが認められている。また輻射

による熱移動は実験結果によると予想外に少く、全伝達熱の約15%に過ぎないことも知られている。従つて a の項目について種々の「可燃ガス-酸素(または空気)」混合物の能力を比較すれば混合ガスの優劣を定めるある種の基準とすることができる。

1. 可燃ガスの諸性質

アセチレンは溶接、切断、ろう接その他種々の加熱目的に対し、広い範囲にわたつて使用されている最も重要な可燃ガスである。しかしながら次に掲げるような各種の可燃ガスも用いられている。これら可燃ガスの物理的・化学的性質は第1~2表に示した如くである。

第1表 可燃範囲と点火温度

可燃ガス	可燃範囲 Vol. %		点火温度 F°	
	空気中	酸素中	空気中	酸素中
アセチレン	2.5~80.0	2.8~93.0	763~824	781~824
メタン	5.0~15.0	5.4~59.2	1202~1382	1033~1292
エタン	3.2~12.4	4.1~50.5	968~1166	968~1166
プロパン	2.4~9.5	—	960~1100	914~1058
ブタン	1.9~8.4	—	920~1070	1130
水素	4.0~74.2	4.7~93.9	1076~1094	1076~1094

第2表 燃焼ガスの諸常数

可燃ガス	比重体積		重量	燃焼熱		可燃ガス1Ft ³ を完全燃焼させるに必要な量		可燃ガス1Ft ³ を空気中で燃焼させたときの燃焼生成ガス量			火焰温度 (理論値)	生成熱 (定圧)
	空気-1	Ft ³ /lb		BTU/Ft ³	60° F	30" Hg	空気	酸素	CO ₂	H ₂ O		
	60° F	30" Hg		lb/Ft ³	グロス*	ネット**	空気	酸素	CO ₂	H ₂ O	N ₂	° F
アセチレン(C ₂ H ₂)	0.9056	14.45	0.0692	1483	1433	11.94	2.5	2.0	1.0	9.45	4770	-227.5
メタン(CH ₄)	0.5545	23.64	0.0423	1012	912	9.56	2.0	1.0	2.0	7.56	3750	103.1
エタン(C ₂ H ₆)	1.0494	12.48	0.0801	1762	1612	16.75	3.5	4.0	3.0	13.23	3820	136.0
プロパン(C ₃ H ₈)	1.5223	8.61	0.1162	2509	2309	23.89	5.0	3.0	4.0	18.90	3840	167.2
ブタン(C ₄ H ₁₀)	2.0100	6.51	0.1535	3261	3010	31.06	6.5	4.0	5.0	24.51	3870	202.2
水素(H ₂)	0.0696	188.70	0.0053	325	275	2.39	0.5	—	1.0	1.89	4010	—

* グロス：水の凝縮熱を含む

** ネット：グロスの値から水の凝縮熱を差引いたもの

2. 「可燃ガス-酸素」混合物の焰の性質におよぼす混合比の影響

可燃ガスの種類が異つた場合は勿論のこと、例えば

「アセチレン-酸素」混合ガスにおいても混合比(C₂H₂/O₂)が異れば焰の組成、温度が異なることは周知の通りである。焰中の燃焼生成物、焰の温度については信頼できる実測値はなく、従来発表されている数値のほとんどが理

第 3 表 種々の混合ガスにおける火焰の性質¹⁾

混合ガス	最高温度 °C	火焰中の燃焼生成物 %								全燃焼熱 Cal	燃焼速度 cm/sec
		CO ₂	CO	H ₂ O	OH	H ₂	H	O ₂	O		
H ₂ + $\frac{1}{4}$ O ₂	2480	—	—	46.2	1.1	48.7	4.0	—	—	57600	890
CH ₄ + $\frac{1}{2}$ O ₂	2730	8.0	22.6	37.7	9.7	13.5	6.7	1.3	1.5	191600	330
都市ガス + 0.72 O ₂	2800	12.7	12.3	30.1	7.5	17.9	3.5	16.0	—	108790	705
C ₄ H ₁₀ + 4 SO ₂	2830	15.1	20.9	25.0	6.2	13.5	4.6	5.7	9.0	686600	370
C ₂ H ₄ + 2 SO ₂	2840	11.9	28.6	22.8	13.7	7.2	7.4	4.3	4.1	306700	—
C ₂ H ₂ + 1.1 O ₂	3030	0.6	58.2	2.0	1.3	18.1	19.8	—	—	301900	1350

第 4 表 混合比の異つた C₂H₂-O₂ 焰の性質¹⁾

混合割合	焰の種類 *	最高温度 °C	火焰中の燃焼生成物 %								
			CO ₂	CO	H ₂ O	OH	H ₂	H	O ₂	O	C
C ₂ H ₂ + 0.75 O ₂	C	2920	—	54.5	—	—	27.1	18.4	—	—	18.2
C ₂ H ₂ + 1.0 O ₂	N	2980	—	60.1	—	—	20.1	19.8	—	—	—
C ₂ H ₂ + 1.1 O ₂	O	3030	0.6	58.2	2.0	1.3	18.1	19.8	—	—	—
C ₂ H ₂ + 1.5 O ₂	O	3110	4.8	49.7	6.5	8.5	8.1	16.3	1.2	5.0	—
C ₂ H ₂ + 2.0 O ₂	O	3075	8.8	40.3	8.0	13.0	4.6	11.2	5.0	9.3	—
C ₂ H ₂ + 2.5 O ₂	O*	3025	12.0	32.7	8.3	14.4	2.9	9.7	10.5	11.5	—

* C : アセチレン過剰焰, N : 標準焰, O : 酸素過剰焰 * 化学当量的混合物

第 5 表 「プロパン-酸素」混合物の性質²⁾

混合比 O ₂ /C ₃ H ₈	燃焼生成物 mol. %					燃焼熱		火焰温度 °F
	CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O	O ₂	BTU *	% **	
1.5/1.0	3.0	0	4.00	0	0	92000	10.5	2100
2.0/1.0	2.85	0.15	3.15	0.85	Tn.	199000	22.7	3500
2.5/1.0	2.75	0.25	2.25	1.75	Tn.	305000	34.8	4700
3.0/1.0	2.65	0.35	1.65	2.35	0.15	380000	43.3	5200
3.5/1.0	2.55	0.45	1.30	2.70	0.43	429000	48.9	5300
4.0/1.0	2.50	0.50	1.10	2.90	0.80	456000	52.0	5400
4.5/1.0	2.45	0.55	0.95	3.05	1.20	477000	54.5	5300
5.0/1.0	2.40	0.60	0.90	3.10	1.65	488000	55.8	5200

* 一次焰先端における発熱量 ** プロパンが完全燃焼した場合発熱量 876000 BTU に対する比率

第 6 表 「アセチレン-酸素」混合物の性質²⁾

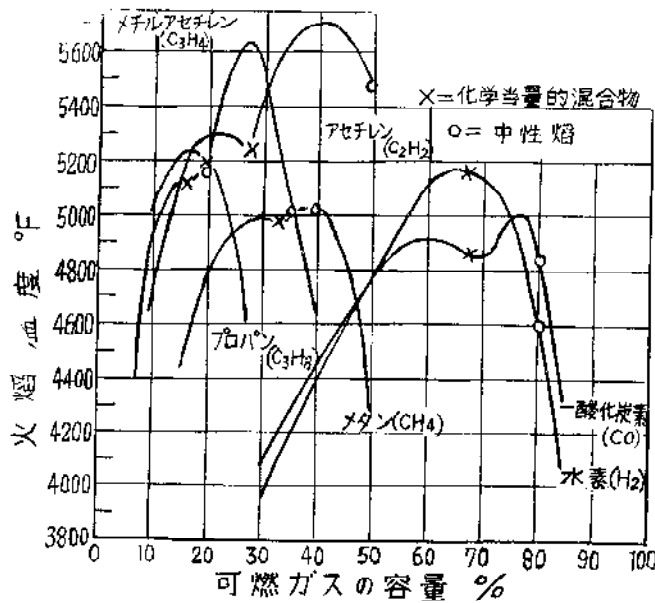
混合比 O ₂ /C ₂ H ₂	燃焼生成物 mol. %					燃焼熱		火焰温度 °F	
	C	CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O	O ₂	BTU *		% **
0.8/1.0	0.4	1.60	0	1.00	0	0	173000	31.7	5550
0.9/1.0	0.2	1.80	0	1.00	0	0	184000	33.9	5700
1.0/1.0	0	2.00	0	1.00	0	0	195000	35.9	5850
1.5/1.0	0	1.80	0.20	0.70	0.30	0.25	250000	46.1	6200
2.0/1.0	0	1.72	0.28	0.56	0.44	0.61	275000	50.7	6100
2.5/1.0	0	1.65	0.35	0.51	0.49	1.10	288000	53.2	6000

* 一次焰先端における発熱量 ** アセチレンが完全燃焼した場合の発熱量 542700 BTU に対する比率

論値であり、従つて解離度の用い方の如何によつてかなり異つた値となつている。第3~6表はその数例を示したものである。

3. 燃焼強度³⁾

焰から被加熱物への熱伝達が定常状態で行われているなら、その場合における加熱源である焰の優劣は焰の温度の大小によつて評価されるとも考えられる。第1図は



第1図 混合比と火焰温度 (理論値)

種々の可燃ガスと酸素との混合物について、それぞれの混合比と理論的な火焰温度との関係を示したものである。例えばアセチレン (C₂H₂)、プロパン (C₃H₈) はそれぞれ混合比が 50% C₂H₂、20% C₃H₈ である場合、一次焰 (白色錐) 先端において理論的な標準焰 (中性焰) が得られ、火焰温度はそれぞれ 5420 °F (C₂H₂)、5190 °F (C₃H₈) である。いま焰と被加熱物間の温度差のみによつて熱の受授が行われると考えるならば、ステフワノ・ボルツマンの法則により、移動熱量は温度差の4乗に比例する。一例としてアセチレン、プロパンを比較すると次の如くである。すなわち、被加熱物が 70 °F から 2000 °F まで加熱された場合

	アセチレン (C ₂ H ₂)	プロパン (C ₃ H ₈)
(a) [火焰温度 (°R)] ⁴	1195 × 10 ¹²	1020 × 10 ¹²
(b) [被加熱物の 最初の温度 (°R)] ⁴	0.08 × 10 ¹²	0.08 × 10 ¹²
(c) [被加熱物の 最終の温度 (R°)] ⁴	36.6 × 10 ¹²	36.6 × 10 ¹²
$\left[a - \frac{b+c}{2} \right]$	1177 × 10 ¹²	1002 × 10 ¹²

であり、アセチレンを基準とすると両者の差は $\frac{1177-1002}{1177} \times 100 = 14.9\%$ となる。前記の如く輻射に

よる伝達熱は全伝達熱の15%程度に過ぎないから C₂H₂、C₃H₈ の差は 14.9 × 0.15 = 2.24% となり、極めて僅少である。しかしながら実際問題として焰を用いた場合、後記の如く焰の加熱能力は焰の種類によつてある程度の差が認められ、異つた可燃ガスの性能を比較するためには焰の温度以外の特性にも着目する必要がある。

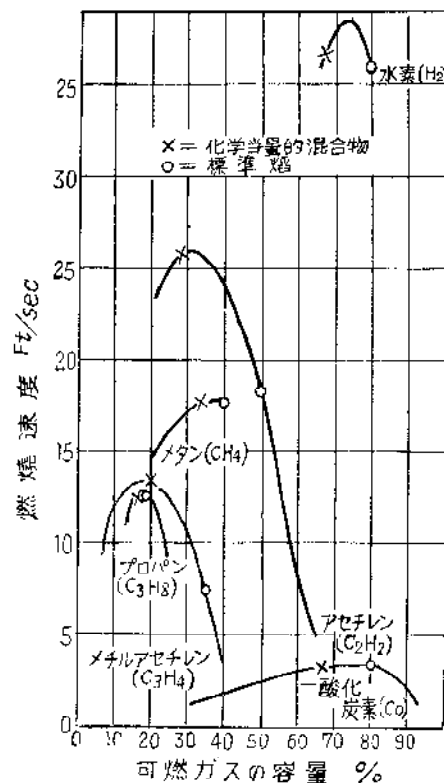
燃焼強度と呼ばれる物理量が可燃ガスを評価する場合に火焰温度よりも優れた尺度であることは多数の人々によつて認められ、多くの報告がある。4) 5) 6) 7) 8) Mone, Campbete³⁾ によると燃焼強度は混合ガスの発熱量と燃焼速度との積であらわしている。焰によつては燃焼に際し、一次焰、二次焰を形成するものもあり、従つて次の如く分けられる。

- i 一次燃焼強度 = (燃焼速度) × (一次焰の発熱量)
- ii 全燃焼強度 = (燃焼速度) × (全発熱量)
- iii 二次燃焼強度 = (全燃焼強度) - (一次燃焼強度)

燃焼速度は測定方法によりその絶対値に若干の差はあるが、可燃焰法によつて求めた値は第2図の如くである。また焰を形成する混合範囲内の各種混合ガスの発熱量は第3図の如くである。

第2、3図に基いて求められた燃焼強度は第4~6図の如くである。混合比として実用上興味のあるものは、化学当量的混合物、標準焰 (または中性焰) および僅かに酸素または可燃ガスの過剰な焰である。

化学当量的混合物、標準焰における可燃ガスの割合

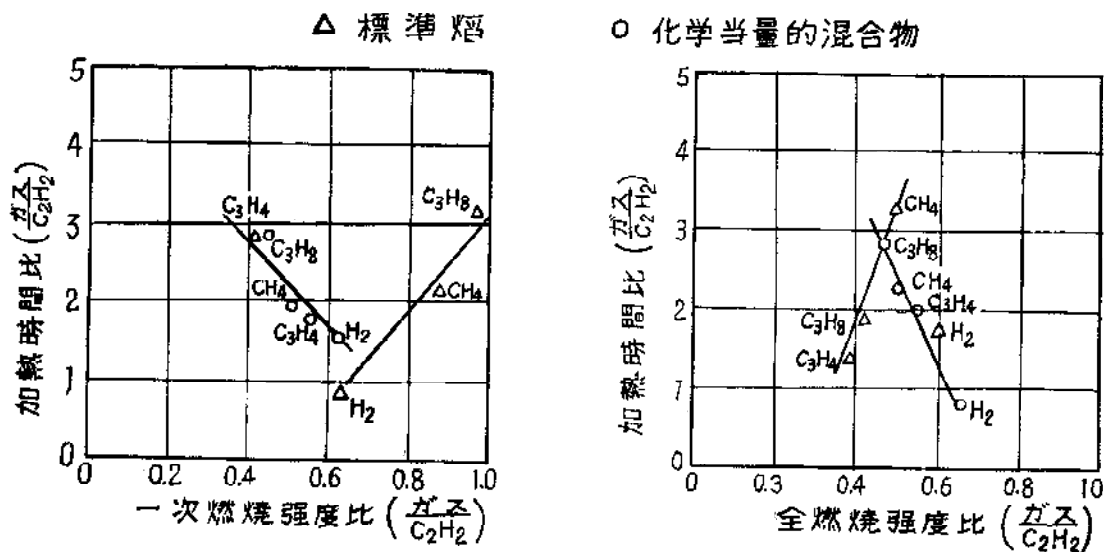


第2図 各種混合ガスの燃焼速度

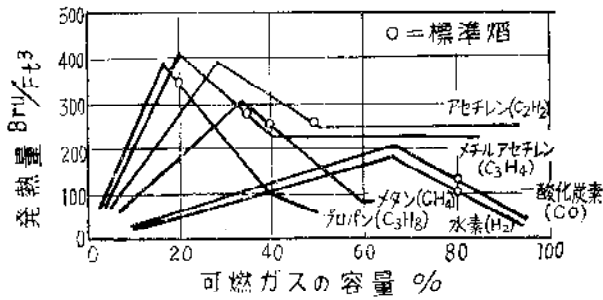
第7表 加熱実験の結果

ガス	供給熱量 BTU/H	火口径 inch	加熱時間 sec	燃焼強度 BTU/sec/Ft ²								
C ₂ H ₂ H ₂ C ₃ H ₄ CH ₄ C ₃ H ₈ CO	10,000	0.076 0.076 0.086 0.086 0.086 *	19 15 38 41 54 *	10,200 6,530 5,650 5,270 4,925 —								
化学当量の混合物 (完全燃焼)												
C ₂ H ₂ H ₂ C ₃ H ₄ CH ₄ C ₃ H ₈ CO					10,000	0.076 0.076 0.086 0.086 0.086 *	39 65 59 129 75 *	12,700 7,570 5,100 6,250 5,500 —				
標準焰 (完全燃焼)												
C ₂ H ₂ H ₂ C ₃ H ₄ CH ₄ C ₃ H ₈ CO									2,500	0.067 0.076 0.067 0.067 0.067 *	101 162 190 197 289 *	10,200 6,530 5,650 5,270 4,925 —
化学当量の混合物 (一次焰)												
C ₂ H ₂ H ₂ C ₃ H ₄ CH ₄ C ₃ H ₈ CO	2,500	0.067 0.076 0.067 0.067 0.067 *	148 136 430 330 480 *	4,600 2,850 1,930 4,170 4,500 —								
標準焰 (一次焰)												

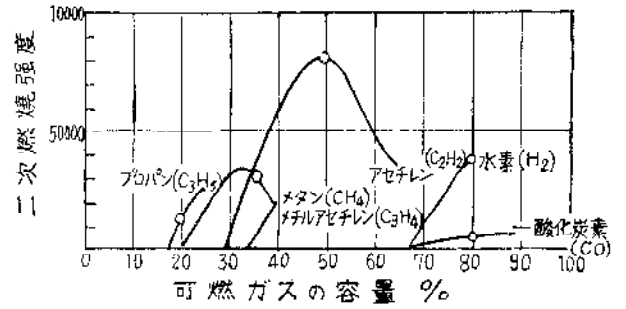
* 0.161φの火口を用いても溶融しなかつた。



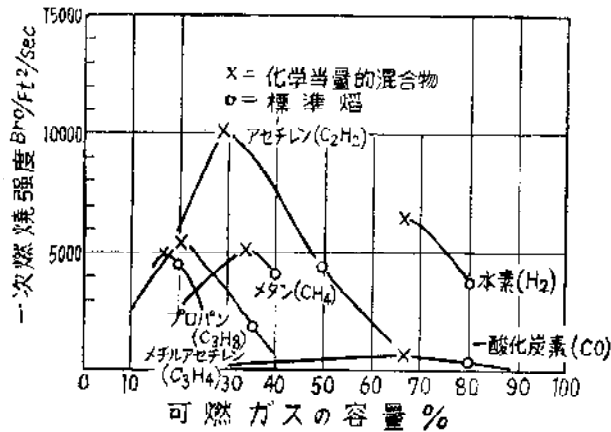
第8図 燃焼強度と加熱時間の関係



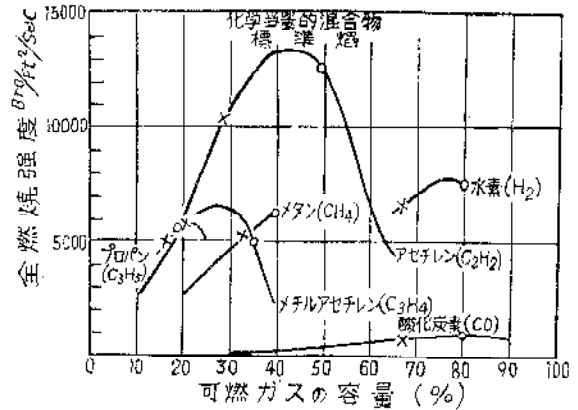
第3図 混合比と発熱量の関係



第5図 二次燃焼強度



第4図 一次燃焼強度

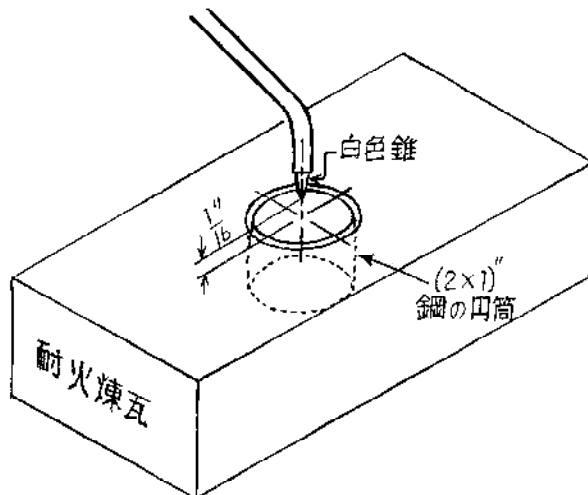


第6図 全燃焼強度

は次の如くである。

ガス	化学当量的 混合比 % (a)	標準焰 % (b)	(b) (a)
アセチレン	28.6	49	1.71
プロパン	16.7	19	1.14
メタン	33.3	40	1.24
水素	66.7	80	1.20
メチルアセチレン	20.0	35	1.75
一酸化炭素	66.7	—	—

上のように定義した燃焼強度が果して実験結果——すなわち供給熱量を一定とし、第7図のような方法で被加熱



第7図 加熱試験法

物表面が溶融するまでに要した時間を求め、焰の加熱能力の優劣を判定する。——と一致するかどうかを確かめることとした。実験結果は第7表に示した如くである。

燃焼強度（計算値）と加熱時間との関係は第8図の如くである。

2箇の例外はあるが、両者の関係は直線的であると見做すことができる。すなわち焰の評価は燃焼強度の大小で比較することができる。例外の生じた理由は今後さらに検討する必要があるが、燃焼速度の値が妥当なものになかったためと考えられる。しかしながらアセチレンは実験範囲内では最も優れた可燃ガスであるといえる。

燃焼強度により焰の優劣を判定する上記のような方法は今後燃焼ガスの利用に際し有効な手段となるであろう。

参考文献

- (1) 斎藤；溶接技術 (1954, No. 6)
- (2) G.V. Slottman; Oxygen Cutting (1951)
- (3) W.B. Mone, J. Campbete; Journal of the American Welding Society 1955, (No. 9)
- (4) F.A. Smith; American Chemical Society (1937, 389 p)
- (5) H. Passauer; Das Gas-ae Wasserbach (1939)
- (6) H.C. Runz; Mitt BEFA (1954, No. 9)
- (7) H. Bruckner, H. Lohr; Z. ver deutscher Ingenieure, 80 (1936)
- (8) J.H. Perry; Chemical Engineers Handbook (1950)