立体図形による炭化水素燃焼の 一表示法 (I)

--1980. 6. 11 受理--

小山工業高等専門学校 代 淳吉朗

1. 緒 言

ここ数年来、注目を集めてきた各種公害対策は炭化水素の燃焼分野においても多分にもれずエネルギー変換の本筋にかえって逆行するような風潮にあったが、周知のように最近国際情勢の激変に伴い省エネルギーの推進が強調されるに及んで、改めて燃料の適切かつ効果的な利用法が切実に要望されてきている。

本稿ではこれらの観点から取り扱いの簡易化ならびに設計運用の各面にある程度資することを目的として燃料および空気と比較的広い変域にわたり、物質収支に焦点を絞り燃焼工学上の諸特性を具体的に追究してみた次第である。この際変数の関係から立体図形の導入に踏み切ったところ、今まで見過されてきたと思われる一連の潜在性能がある程度顕示され、とかく概念的色彩の濃かった上記特性をかなり端的に表現できたものと考えている。さて従来多くの場合、燃焼方程式は完全燃焼と不完全燃焼とに区分して論じられる¹⁾か、またはいずれかを基準にこれより他を誘導する方式²⁾をとっており統制に欠ける節が見受けられたので、筆者は完全燃焼は不完全燃焼の単なる一形態に過ぎないという考え方の下に新規の空気表示法を提案し、在来のもものと比較検討を行った。なお、実用の便を計るため、各性能のガス分析値による表示も試みた。

2. 基礎式

問題を簡単化するため、次の仮定をおく、(1)燃料は純炭化水素³⁾ (2)使用空気はかわき (3)各分子量、空気組成は近似値使用 (4)HC, NO_x 各種ラジカルなどの生成ならびに反応速度、可燃限界はそれぞれ無視

いま、x, y および z を炭素、水素の完全燃焼度ならびに炭素の遊離析出度とする。すると燃焼方程式は次のようになる。

方式A：不完全燃焼を基準としたすなわち空気量が x, y, z の関数として示される筆者提唱の方式

$$\begin{aligned} &C_mH_n + \lambda\{(m/2)(1+x-z) + (n/4)y\}\{O_2 \\ &+ (0.781/0.210)N_2 + (0.009/0.210)Ar\} \\ &= m\{x CO_2 + (1-x-z)CO + zC\} \\ &+ (n/2)\{yH_2O + (1-y)H_2\} \\ &+ \{(m/2)(1+x-z) + (n/4)y\}\{(\lambda-1)O_2 \\ &+ \lambda(0.781/0.210)N_2 + \lambda(0.009/0.210)Ar\} \end{aligned} \quad \dots\dots(1)$$

方式B：完全燃焼を標準においた従来の方式

$$\begin{aligned} &C_mH_n + \mu\{m + (n/4)\}\{O_2 + (0.781/0.210)N_2 \\ &+ (0.009/0.210)Ar\} \\ &= m\{x CO_2 + (1-x-z)CO + zC\} \\ &+ (n/2)\{yH_2O + (1-y)H_2\} + [\mu\{m \\ &+ (n/4)\} - \{(m/2)(1+x-z) + (n/4)y\}]O_2 \\ &+ \mu\{m + (n/4)\}\{(0.781/0.210)N_2 \\ &+ (0.009/0.210)Ar\} \end{aligned} \quad \dots\dots(2)$$

λ, μ はそれぞれ空気過剰率であって、その変域は上式から

$$\infty \geq \lambda \geq 1 \quad \dots\dots(3)$$

$$\infty \geq \mu \geq \{1+x-z+(\varphi/2)y\}/\{2+(\varphi/2)\} \quad \dots\dots(4)$$

となり λ のほうが簡単になる。ここで $\varphi=n/m$ ⁴⁾は燃料組成比であって $\varphi=0, \infty$ は純炭素、純水素を表わすことになり一般に使われている燃料特性値 σ ⁵⁾との関係は $\sigma=1+(\varphi/4)$ となる。なお、今後取り扱いの便を考え、次の仮定に従って論じることとする。

(1)第1報では炭素の析出を無視 $z=0$

(2)第2報では水素は完全燃焼 $y=1$

3. 理論空気量

式(1), (2)において $\lambda=1, \mu=1$ の場合の燃料単位量 $[Nm^3, kgf]$ 当りの空気量 $[Nm^3]$ を理論空気量と定義すれば次の形で表わされる。

$$\text{方式A: } lo = (1/0.210)\{(m/2)(1+x) + (n/4)y\} \\ [Nm^3/Nm^3] \quad \dots\dots(5)$$

$$\begin{aligned} L_{ov} &= (22.413/2)(1/0.210)\{1+x \\ &+ (\varphi/2)y\}/(12+\varphi) \\ &[Nm^3/kgf] \quad \dots\dots(6) \end{aligned}$$

	l_{01}, L_{0v1}	l_{02}, L_{0v2}	l_{03}, L_{0v3}
(a) BEHIOG	CDFEBA	AFGOBE	
" BEHIAF	CDFEBA	AFGOIH	
(b) BCE'IOF	E'FGHIO	ADFOBC	
" BCE'IAO	E'FGHIO	ADFOIE	
(c) BCE'IAO	E'DFHIA	AFGOIH	
(d) BEHIOG	CFGEBO	ADFOBC

Fig. 1 Diagrammatic Arrangement of Stoichiometric and Partial Air

Fig. 2 Stoichiometric Air Plane in Method "A"

方式 B : $a_0 = (1/0.210) \{m + (n/4)\}$

$$[\text{Nm}^3/\text{Nm}^3] \dots\dots (7)$$

$$A_{0v} = (22.413/2) (1/0.210) \{2 + (\varphi/2)\} / (12 + \varphi) \quad [\text{Nm}^3/\text{kgf}] \dots\dots (8)$$

方式 B のものは方式 A のものが $x=1.0, y=1.0$ をとった場合に相当する。方式 A のものは Fig. 1 の平面 ABCD で、方式 B のものは点 C でそれぞれ示され、 m, n または φ によってその位置が移動する。

Table 1 Coordinate Value of Main Points for each Figure

Fig.	Pt	y	3rd Ax.
2	M	0.333	8.894
	N	0.167	4.447
4	N''	1.000	0.645
5	M'	0.667	0.781
	T''	0.500	0.645
6	H	0.395	0.095
	H'	0.234	0.210
	I	0.734	0.210
12	M	0.395	0.347
	M'	0.500	0.347
13	J	0.290	0.347
	I	0.395	0.190
	M	0.395	0.347
14	I'	0.500	0.190
	M'	0.500	0.347

なお l_0, L_{0v} は一般に $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{CO}$ の生成に必要な三個の部分空気量 (l_{01}, l_{02}, l_{03} および $L_{0v1}, L_{0v2}, L_{0v3}$) に分割可能であり、これらは図のように四種のくさび型図形 (組合せ六通り) の横幅で与えられる。Fig. 2 は L_{0v} の一般的性質を表わすために $\varphi=0, \infty$ の平面を例として取り上げたものである。この場合、二平面の交線 MN を φ が異なるすべての他の平面が通過している。言い換えると線分 MN は φ にまったく無関係である。すなわち燃料の組成に左右されないことであって、実用的にはこの付近においては低質燃料でも良質のものとはほぼ同等に燃焼できることを意味する。Table 1 は本図の M, N を始め以後各図の主要点の座標を示したものである。

4. 生成ガス量

燃料単位量 $[\text{Nm}^3, \text{kgf}]$ 当りの生成ガス量 $[\text{Nm}^3]$ を方式 A, B についてそれぞれ g, g', G, G' および v, v', V, V' とする。ここで ' のないものは湿り、あるものはかわき各燃焼ガスの場合を表わす。いま

$$1 + \varphi - x - (\varphi/2)y + (\lambda/0.210) \{1 + x + (\varphi/2)y\} = a \quad a - \varphi y = a'$$

$$1 + \varphi - x - (\varphi/2)y + (\mu/0.210) \{2 + (\varphi/2)\} = b$$

$$b - \varphi y = b' \quad \text{とおく, すると}$$

$$g = (m/2)a \quad [\text{Nm}^3/\text{Nm}^3] \dots\dots (9)$$

$$g' = (m/2)a' \quad [\text{Nm}^3/\text{Nm}^3] \dots\dots (10)$$

Fig. 3 Combustion Efficiency Plane for Typical Fuels

$$G = (22.413/2)a / (12 + \varphi) \quad [\text{Nm}^3/\text{kgf}] \dots\dots (11)$$

$$G' = (22.413/2)a' / (12 + \varphi) \quad [\text{Nm}^3/\text{kgf}] \dots\dots (12)$$

$$v = (m/2)b \quad [\text{Nm}^3/\text{Nm}^3] \dots\dots (13)$$

$$v' = (m/2)b' \quad [\text{Nm}^3/\text{Nm}^3] \dots\dots (14)$$

$$V = (22.413/2)b / (12 + \varphi) \quad [\text{Nm}^3/\text{kgf}] \dots\dots (15)$$

$$V' = (22.413/2)b' / (12 + \varphi) \quad [\text{Nm}^3/\text{kgf}] \dots\dots (16)$$

5. 燃焼効率

これを η とすれば方式に関係なく次式で与えられる。

$$\eta = (29620 + 67580x + 28875\varphi y) / (97200 + 28875\varphi) \quad [\text{—}] \dots\dots (17)$$

一般性質は Fig. 3 に示したように、 φ を異にする平面はすべて線分 CN を通る。これは Fig. 2 とまったく同じ傾向であってその意味するところも同様といえる。

6. 成分ガス含有率

燃焼ガス中の各成分ガス容積含有率を方式 A, B について $[\]_v, ()_v$ とし、特にかわきガスに関するものには前と同様' を付けることにする。ここでも L_{ov} と同じく $\varphi=0, \infty$ のものを主用することとし、これに挟まれた一連の同質曲面を φ 曲面、この φ (または λ, μ) にまったく無関係となる曲線を特有曲線、 λ, μ (あるいは φ) によって特有曲線がえがく曲面を特有曲面とそれぞれ呼び、空気中の酸素および窒素含有率に相当する平面を特定平面と名付けてみる。これによると Fig. 2, 3 の MN, CN はいずれも特有直線である。一般に φ 曲面は λ, μ によって移動するが、その速度はこれの増大に伴い次第に低下して行くことがわかる。また、この領域は式 (3), (4) で示されるように低限、高限の両限界がおのずから規定されてくる。

6.1 酸素および窒素

方式 A :

$$[\text{O}_2]_v = (\lambda - 1) \{1 + x + (\varphi/2)y\} / a \quad [\text{—}] \dots\dots (18)$$

$$[\text{N}_2]_v = \lambda (0.781/0.210) \{1 + x + (\varphi/2)y\} / a \quad [\text{—}] \dots\dots (19)$$

$$[\text{O}'_2]_v = (\lambda - 1) \{1 + x + (\varphi/2)y\} / a' \quad [\text{—}] \dots\dots (20)$$

$$[\text{N}'_2]_v = \lambda (0.781/0.210) \{1 + x + (\varphi/2)y\} / a' \quad [\text{—}] \dots\dots (21)$$

方式 B :

$$(\text{O}_2)_v = [\mu \{2 + (\varphi/2)\} - \{1 + x + (\varphi/2)y\}] / b \quad [\text{—}] \dots\dots (22)$$

$$(\text{N}_2)_v = \mu (0.781/0.210) \{2 + (\varphi/2)\} / b \quad [\text{—}] \dots\dots (23)$$

sf. = surface
add. = addition
w.l.sf. = weak limit surface

 Fig. 4 O_2 and N_2 Concentration Surface for Wet Products in Method "A"

 Fig. 5 O_2 and N_2 Concentration Surface for Dry Products in Method "A"

$$(O'_2)_v = [\mu\{2 + (\varphi/2)\} - \{1 + x + (\varphi/2)y\}]/b' \quad [—] \cdots \cdots (24)$$

$$(N'_2)_v = \mu(0.781/0.210)\{2 + (\varphi/2)\}/b' \quad [—] \cdots \cdots (25)$$

ここでアルゴンなどの含有率は省略することにしたが、窒素の各式において 0.781 の代りに 0.790 を使えばこれらを含めたいわゆる空気窒素を表わすことになる。

Fig. 4, 5 は方式 A の $\lambda=2$ の場合を示すが、参考として $\lambda=1$ のものを併記してある。方式 B については Fig. 6, 7 で示され、この場合 $\mu=1$ のものを特に基準曲面と呼ぶ。一般に酸素の低限、高限は φ のいかによらず左端の $x-y$ 平面および特定平面 $A'B'C'D'$ であるが、窒素の低限は φ によって異なり、高限は φ に無関係に特定平面 $J'LMN'$ となる。 $\varphi=0$

では両方式とも酸素の湿り、かわき各曲面および窒素の湿り、かわき各低限曲面の一致が見られる。Fig. 4 の点 D, N は φ に無関係な $[O_2]_v$, $[N_2]_v$ の各特有点で、これの λ による軌跡が特有線分 GD' , $N''N'$ であり、Fig. 5 においては $[O'_2]_v$, $[N'_2]_v$ の特有曲線 HI , TM' は同一曲面上の特有曲面 $H''T'T'H'$, $T''M'T'$ をそれぞれえがくことになる。Fig. 6, 7 の $(O_2)_v$, $(O'_2)_v$ は基準曲面の各特有曲線 HC を有し、これが μ の動きにより各特有曲面 $H''CIH'$ を作り、また $(N_2)_v$ は低限曲面の特有点 N'' (Fig. 4 と同一) のみを持ち、 $(N'_2)_v$ は基準曲面の特有曲線 TM' が特有曲面 $T''M'T'$ をえがく。ここで注目されるのは本特有曲面 $T''M'T'$ が Fig. 5 のものとは線分 $T''T'$, 点 M' を除き完全に一致しないことである。ただし低限曲面の交線 $T''U'M'$ を作れば Fig. 5 の $T''M'$ と合致する。また、各図とも同じように見える窒素の $\varphi=0$ 曲面 $JLMN$ は Fig. 4, 5 では $\lambda=2$, Fig. 6, 7 のものは $\mu=1$ であるため上下端 LM , JN 以外では多少のずれがある。一方、特定平面 $J'LMN'$ 上に

Fig. 6 O_2 and N_2 Concentration Surface for Wet Products in Method "B"

Fig. 8 N_2 Specified Plane for Dry Products

Fig. 7 O_2 and N_2 Concentration Surface for Dry Products in Method "B"

Fig. 9 Typical Example of O_2 and N_2 Surface for Dry Emission in Method "B"

 Fig. 10 CO₂ Content Surface for Method "A"

 Fig. 11 CO₂ Content Surface for Dry Products in Method "B"

においては $[N'_2]_v$, $(N'_2)_v$ と λ , μ^* に無関係な特有直線を有し、各 ϕ 曲面はこれを境に**一部が特定平面の右方に出てくるため、これを軸として λ , μ によって回転する形をとる。本直線は Fig. 8 のように ϕ によって移動し当平面の $1/3$ の面積を占める平面 $MM'R''N'$ を構成する。これら一連の特有曲面は前にも少し触れたがこの付近においては低質燃料が良質のものと対等の性能を発揮できることあるいは比較的少量の空気をもって多量の場合に匹敵する運転も可能であることなどを示唆する一方、窒素の含有率から安直に空気量の推定はでき難いことも教示している。

*この場合、 $\mu \geq \{2 + (\phi/3)\} / \{2 + (\phi/2)\}$

**厳密にはここから右方では低限曲面は高限曲面となるが、紛らわしくなるので名称はそのままとする。

Fig. 9 は Fig. 7 における任意の ϕ のものの一例で、完全燃焼線上における基準、低限両曲面の一致ならびに $\mu < 1$ に際しては、各 ϕ 曲面の x , y 上限はそれぞれ制限を受けることを表わしている。

6.2 炭酸ガス

$$\text{方式 A : } [CO_2]_v = 2x/a \quad [—] \cdots (26)$$

$$[CO'_2]_v = 2x/a' \quad [—] \cdots (27)$$

$$\text{方式 B : } (CO_2)_v = 2x/b \quad [—] \cdots (28)$$

$$(CO'_2)_v = 2x/b' \quad [—] \cdots (29)$$

Fig. 10 は方式 A, Fig. 11* は方式 B に関するもので、任意の ϕ の高限または基準曲面をそれぞれ表わしており、いずれも λ あるいは μ の増大につれて y を軸として立上り $x-y$ 平面に近接する。 $x-y$ 平面は $\phi = \infty$ の全曲面および ∞ 以外のものの低限曲面も兼ねる。Fig. 11 も Fig. 9 と同様に基準曲面と高限曲面との完全燃焼線上での合致および $\mu < 1$ の場合には ϕ 曲面の x , y 上限が制約されることをそれぞれ明示している。なお、炭酸ガス含有率の最大値は方式に関係なく次のようになる。

$$\begin{aligned} [CO_2]_{v \max} &= 4 / [\phi \{ (1/0.210) + 1 \} + (4/0.210)] \\ &= (CO_2)_{v \max} \quad [—] \cdots (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [CO'_2]_{v \max} &= 4 / [\phi \{ (1/0.210) - 1 \} + (4/0.210)] \\ &= (CO'_2)_{v \max} \quad [—] \cdots (31) \end{aligned}$$

6.3 未燃ガス

$$\text{方式 A : } [CO + H_2]_v = \{2(1-x) + \phi(1-y)\} / a \quad [—] \cdots (32)$$

$$[CO' + H'_2]_v = \{2(1-x) + \phi(1-y)\} / a' \quad [—] \cdots (33)$$

$$\text{方式 B : } (CO + H_2)_v = \{2(1-x) + \phi(1-y)\} / b \quad [—] \cdots (34)$$

$$(CO' + H'_2)_v = \{2(1-x) + \phi(1-y)\} / b' \quad [—] \cdots (35)$$

これらに関し高限および基準曲面を図示したのが、Fig. 12, 13 ならびに 14 でこの場合、 $\phi = 0$ では CO , $\phi = \infty$ では H_2 のみの含有率を示すことになる。さてすべての ϕ 曲面は前項と同じく λ または μ の増大により低限曲面である $x-y$ 平面に近づく。Fig. 12 において特有曲線 MC , $M'C$ は $x-y$ 平面上の線分 HC で合致するところの特有曲面 MCH , $M'CH$ をそれぞれえがく、Fig. 13, 14 において基準曲面の特

*湿り、かわき両ガスともほぼ類似の形となるためかわきの場合を代表として取り上げた。

Fig. 12 Unburned Gas Content Surface for Method "A"

Fig. 13 Unburned Gas Content Surface for Wet Products in Method "B"

Fig. 15 Typical Example of Unburned Gas Surface for Dry Emission in Method "B"

Fig. 14 Unburned Gas Content Surface for Dry Products in Method "B"

有曲線 IC, IC' が作る特有曲面 JCH, M'NCH も同様に HC で一致するが、各高限曲面の交線 MC,

M'LC は Fig. 13 の MC, M'C とは一応一致はするが、点 M', C を除いてこれら特有曲面からは離れてくる。Fig. 15 は Fig. 14 の任意の ϕ の一例で Fig. 9 または 11 の各図と類似の性質を示す。

6.4 湿り度の影響

燃焼ガスの湿り度は計測に際して留意しなければならない事項と考えられるので、湿り、かわき各燃焼ガスについての成分ガス含有率の差違の最大条件を求めてみた。とりあえずこの差違を一個の変量に関して偏微分し、その値を 0 とおき、二次方程式の正根に他の変量を加味する数値解法を行ってみた。その結果を Table 2 に示す。すなわち最大差違は各方式に左右されず、また、酸素および炭酸ガスのものは同値となる。水素を使用した場合、完全燃焼に際して酸素および窒素が、また 30% 程度燃えると未燃ガスのものがそれぞれ最大となる。また $\phi=4$ (ほぼメタンに相当) の燃料が完全に燃えると炭酸ガスの最大値が表われ

Table 2 Maximum Difference among the Constituents Concentration in the Dry and Wet Products.

Item	Value	ϕ	λ	μ	x	y	Remark
$[\text{O}_2]_v - [\text{O}_2]_v$ $(\text{O}_2)_v - (\text{O}_2)_v$	0.02229861	∞	1.978	1.978	—	1.0	
$[\text{N}_2]_v - [\text{N}_2]_v$ $(\text{N}_2)_v - (\text{N}_2)_v$	0.34315305	∞	1.0	1.0	—	1.0	
$[\text{CO}_2]_v - [\text{CO}_2]_v$ $(\text{CO}_2)_v - (\text{CO}_2)_v$	0.02229861	4.091	1.0	1.0	1.0	1.0	
$[\text{CO}' + \text{H}_2]_v - [\text{CO} + \text{H}_2]_v$ $(\text{CO}' + \text{H}_2)_v - (\text{CO} + \text{H}_2)_v$	0.10618388	∞	1.0	0.30049	—	0.30049	only H_2 in this case

る。空気過剰率は未燃ガスのものを除いて方式に無関係であり、窒素、炭酸ガスでは 1.0、方式 B の未燃ガスにおいては水素の燃焼度と同値を示す。総括してみると燃焼ガスの湿度は窒素含有率には大きな影響を及ぼすが、未燃ガスに対してはさほどでもなく、酸素または炭酸ガスについては無視してもさしつかえないように思われる。

7. 実際面への適用

上述の各燃焼特性値はガス分析値*を使用すれば、次のように空気諸量以外は方式にあまり左右されず、また比較的計測が面倒な流量などの測定を行わなくて済みそうである。なお、式の形が A, B 方式とも同一型をとる場合には A のもので代表させることにする。

$$\phi = 4\{0.5[\text{CO}']_v + (1/0.781)[\text{N}'_2]_v + 1.5[\text{H}'_2]_v - 1\} / \{[\text{CO}'_2]_v + [\text{CO}']_v\} \quad \dots\dots(36)$$

$$\begin{aligned} l_o &= (m/0.210)[1 + \{(1/0.781)[\text{N}'_2]_v + [\text{H}'_2]_v - 1\} / \{[\text{CO}'_2]_v + [\text{CO}']_v\}] \\ &= (n/0.210)(1/4)[1 + \{[\text{CO}'_2]_v + 0.5[\text{CO}']_v - 0.5[\text{H}'_2]_v\} / \{0.5[\text{CO}']_v + (1/0.781)[\text{N}'_2]_v + 1.5[\text{H}'_2]_v - 1\}] \end{aligned} \quad \dots\dots(37)$$

$$L_{ov} = (22.413/2)(1/0.210) / [2 + \{4[\text{CO}'_2]_v + 5[\text{CO}']_v + [\text{H}'_2]_v\} / \{(0.210/0.781)[\text{N}'_2]_v - [\text{O}'_2]_v\}] \quad \dots\dots(38)$$

$$\begin{aligned} a_o &= (m/0.210)[1 + \{(1/0.781)(\text{N}'_2)_v - 1\} / (\text{CO}'_2)_v] = (n/0.210)(1/4)[1 + (\text{CO}'_2)_v / \{(1/0.781)(\text{N}'_2)_v - 1\}] \end{aligned} \quad \dots\dots(39)$$

$$A_{ov} = (22.413/4)(1/0.210) / [1 + 2(\text{CO}'_2)_v /$$

$$\{(1/0.781)(\text{N}'_2)_v + (\text{CO}'_2)_v - 1\}] \quad \dots\dots(40)$$

$$\begin{aligned} g' &= m / \{[\text{CO}'_2]_v + [\text{CO}']_v\} \\ &= (n/4) / \{0.5[\text{CO}']_v + (1/0.781)[\text{N}'_2]_v + 1.5[\text{H}'_2]_v - 1\} \end{aligned} \quad \dots\dots(41)$$

$$\begin{aligned} G' &= (22.413/4) / \{3[\text{CO}'_2]_v + 3.5[\text{CO}']_v + (1/0.781)[\text{N}'_2]_v + 1.5[\text{H}'_2]_v - 1\} \end{aligned} \quad \dots\dots(42)$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \{0.5851[\text{CO}']_v + 0.5[\text{H}'_2]_v\} / \{0.8416[\text{CO}'_2]_v + 1.3416[\text{CO}']_v + (1/0.781)[\text{N}'_2]_v + 1.5[\text{H}'_2]_v - 1\} \end{aligned} \quad \dots\dots(43)$$

$$x = [\text{CO}'_2]_v / \{[\text{CO}'_2]_v + [\text{CO}']_v\} \quad \dots\dots(44)$$

$$\begin{aligned} y &= 1 - 0.5[\text{H}'_2]_v / \{0.5[\text{CO}']_v + (1/0.781)[\text{N}'_2]_v + 1.5[\text{H}'_2]_v - 1\} \end{aligned} \quad \dots\dots(45)$$

$$\lambda = [\text{N}'_2]_v / \{[\text{N}'_2]_v - (0.781/0.210)[\text{O}'_2]_v\} \quad \dots\dots(46)$$

$$\begin{aligned} \mu &= (0.210/0.781)(\text{N}'_2)_v / \{(\text{CO}'_2)_v + 1.5(\text{CO}')_v + (1/0.781)(\text{N}'_2)_v + 1.5(\text{H}'_2)_v - 1\} \end{aligned} \quad \dots\dots(47)$$

v' , V' については g' , G' と全く同様である。

これから燃料組成比もガス分析値で表示できることならびに空気過剰率については方式 A が簡易化の面で有利であることがわかる。式 (46) は多くの文献に見られる完全燃焼のものと同一型をとっているが、不完全燃焼の場合にも適合できる特色を有する。また、気体燃料については m , n のいずれかを知っておかねばならないことも示している。

なお、電算機の発達した今日、姑息とは思われるがこれらは共線図表によるのがきわめて簡便な方法と考えられるので参考として末尾に添付することとした。

*多くの場合、かわき燃焼ガス

Fig. A-1 Nomogram of ϕ Fig. A-2 Nomogram of L_{ov}

8. 結 言

以上を取りまとめてみるとおおよ次のようになる。

(1) 立体図形を使うことによって、今までともすれば抽象的な役割りを演じることの多かった諸燃焼特性をある程度具体的に表現することができたものと考えている。

特に燃料組成比と空気過剰率とをパラメータにとれば、複雑な各量間の関係を何とか整理統合できる模様である。さらにパラメータにまったく無縁の一連の特有部分の存在が改めて確認され、これらは低質あるいは組成未知燃料の効果的な利用ならびに性能の劣化を伴わない空気量の適正制御法など運転面にいくつかの示唆を与えてくれる。

(2) $\phi = \infty$ に関する各事項は最近脚光を浴びてきた燃料として水素の運用分野に多少反映できるものと思われる。

(3) 方式Aは理論空気に関する部分空気概念なら

びに空気過剰率表示の簡易化など理論、実用両面でそれぞれ特色を持つものと考えられる。

(4) 窒素含有率を計測あるいは算定するに当たっては、湿度に特に注意を払う必要がある。

(5) ガス分析値を使用すれば、方式にあまり左右されず、また、手数を要する燃料、空気および生成ガス各流量の測定をいちいち行わなくても、燃料組成比を始め、ほとんどの性能値を容易に求めることができる。

(6) 実際上、各変量は多くの場合、 $\phi = 1 \sim 4$ $\lambda = 1 \sim 2^*$ $\mu = 0.5 \sim 2^*$ $x = 0.8 \sim 1.0$ $y = 0.95 \sim 1.0$ の範囲内にあるものと思われるので、必要部分をその都度抽出し綿密に検討を加えれば利用価値はさらに高まるものと考えられる。

〔付 録〕

かわき燃焼ガス分析値を使用して共線図表により各性能値を求める数例を次に示してみる。

*ガスタービン等においては5以上をとることあり。

 Fig. A-3 Nomogram of g' and v'

 Fig. A-4 Nomogram of G' and V'

 Fig. A-5 Nomogram of η

 (1) φ Fig. A-1

CO, H₂, CO₂, N₂ の各含有率をそれぞれ点 A (2 点), B, C, D として線分 AB, AC と a, b 各尺との交点を E ならびに F, 線分 DE と c 尺との交点

を G, 線分 FG と d 尺との交点を I とし, 定点 H と点 I とを結べば φ 尺上の点 J が求める値を示す。

 (2) Lov Fig. A-2

CO, H₂, CO₂, N₂ および O₂ の各値を点 A, B,

Fig. A-6 Nomogram of x Fig. A-8 Nomogram of λ Fig. A-7 Nomogram of y Fig. A-9 Nomogram of μ

C, D, E とし AB, DE の a , c 各尺との交点をそれぞれ F, H, CF と b 尺との交点を G, GH と d 尺との交点を I として定点 J と I とを結べば L_{ov} 尺上の点 K が求めるものである。

(3) g' , v' Fig. A-3

CO_2 , CO , m の値を点 A, B, C として AB と a との交点を D, CD と b 尺との交点を E, 定点 F と E とを結べば g' , v' 尺上の点 H が求める値である。

(4) G' , V' Fig. A-4

CO , H_2 , CO_2 , N_2 の値を点 A, B, C, D とし, AB と a 尺との交点を E, CE と b 尺との交点を F, DF と c 尺との交点を H, ここで H と定点 I とを結び d 尺との交点を K, 定点 J と K とを結べば G' , V' 尺上の点 M が求める値を示す。

(5) η Fig. A-5

CO_2 , N_2 , CO , H_2 の値をそれぞれ点 A, B, C (2

点), D とし, AB と a 尺との交点を E, CD と b 尺との交点を F および G, EF と c 尺との交点を H とすれば GH と η 尺との交点 I が求めるものとなる。

(6) x Fig. A-6

CO₂, CO を点 A, B にとれば, AB と x 尺との交点 C が x の値となる。

(7) y Fig. A-7

CO, N₂, H₂ を点 A, B, C (2点) とし, AB と a 尺との交点を D, CD と b 尺との交点を E とすれば, C と E とを結んだ y 尺上の点 F が求めるものである。

(8) λ Fig. A-8

O₂, N₂ の値を点 A, B にとれば, AB と λ 尺との交点 C が λ の値を示すことになる。

(9) μ Fig. A-9

CO, H₂, CO₂, N₂, O₂ を点 A, B, C, D, E とし, AB と a 尺との交点を F, CF と b 尺との交点を

G, DG と c 尺との交点を H, EF と d 尺との交点を I とすれば, HI と μ 尺との交点 J が求める値となる。

文 献

- 1) たとえば 関 真治, 金子靖雄, 月刊内燃機関, 8, (91), 62 (1969), 宮部英也, 下村竜朗, 日本機械学会論文集, 28, (192), 1008 (1962)
- 2) たとえば R. S. Spindt, *SAE paper* 650507 (1965) L. S. Leonard, *SAE paper* 379A (1961)
- 3) K. Annamalai, V. Kuppu Rao, A. V. Sreenath, *J. Inst. Fuel* 45, (1), 48 (1972)
- 4) J. E. Germain, "Catalytic Conversion of Hydrocarbons," Academic Press, p. 1 (1969), R. D. Kopa, B. R. Hollander, H. Kimura, *SAE paper* 633A (1963)
- 5) 谷下市松, "工業熱力学基礎編", 裳華房, p. 272 (1960), 吉原英夫, 最新燃料工学大系"燃焼工学", 青年書房昭光社, p. 319 (1943)

Representation in Solid Figure for Combustion of the Hydrocarbon Fuel (I)

Junkichiro DAI

(Oyama Technical College)

SYNOPSIS: —In the present paper, the author attempts to employ three coordinates in representing the theoretical study of hydrocarbon fuel combustion phenomena.

We compare method "A", in which supplied air is represented by a function of burning rate, with method "B", which is normal.

The carbon present in the combustion products is not considered in this report.

Therefore, it can be illustrated that theoretical air, combustion efficiency and concentration of oxygen, nitrogen, carbon dioxide, carbon monoxide and hydrogen in the wet or dry products are expressed as the characteristic surface with burning rate and fuel composition.

It is found that surfaces intersect usually at a particular curve.

The equations of these curves may be obtained by equating the equation of any two surfaces.

By varying the excess air ratio or fuel composition, this curve is removed and the surface is formed. These results suggest the beneficial use for low quality fuel and suitable control of air flow rate with improvement in performance.

The maximum difference among the constituents content actually obtained by dry emission and theoretical wet products, is acquired by equating partial differential with respect to one variable on the equations.

Practically, each performance factors may be found from the results of the gas analysis for dry emission.

However, since these treatments are too complicated it seems that, an easier method of evaluation can be established by utilizing the series of alignment charts.