

燃焼計算入門講座

(その 1)

燃焼とは、物質が光と熱を出して酸素と結合する化学反応である。ごみ焼却も燃焼そのものであり、燃焼計算を理解するには基礎的な化学の知識が必要になります。この入門講座では、燃焼管理をする上で不可欠な燃焼計算の基礎を理解しやすいように連載します。

第 1 講 理論空気量

1. 標準状態

燃焼計算は 0℃、1 気圧の状態について行われる。この 0℃、1 気圧を標準状態という。この時の気体の体積の単位を Nm³（読み方、ノルマル立方メートル）と書く。

2. シャルルの法則

「気体の体積は、その絶対温度に比例する。」これをシャルルの法則という。温度 t℃の気体 V_t m³ の 0℃における体積 V は、次式で示される。

$$V = \frac{273}{273+t} \times V_t \quad \text{Nm}^3 \quad \dots \dots \dots (1)$$

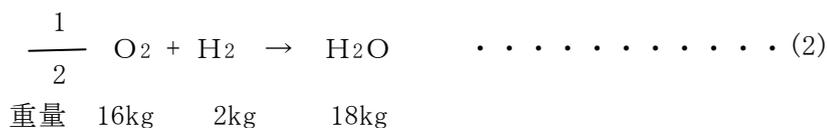
<例題－1> 当工場の煙突からは 1 炉当たり 260℃、約 90000m³/hr の排ガス(湿り)が出ている。標準状態ではいくらになるか。

<解答－1> (1) 式より、

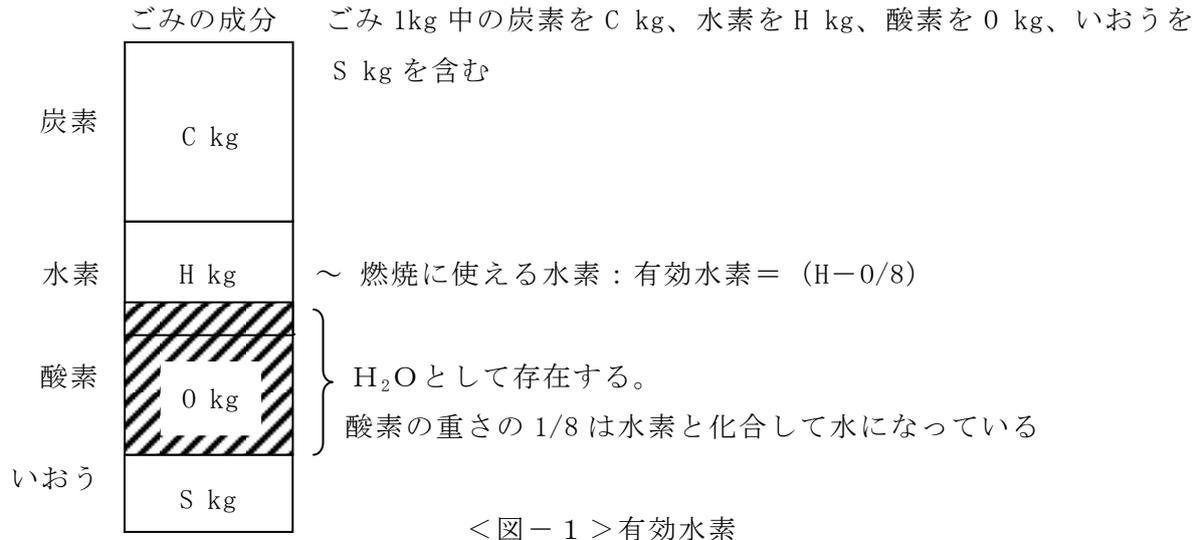
$$V = \frac{273}{273+260} \times 90000 = 46000 \quad \text{Nm}^3/\text{hr}$$

3. 有効水素

一般に、燃料に含まれている酸素は水素と化合して結合水(H₂O)の状態になっていると考えられている。ごみの燃焼計算の場合も同様に考える。



(2)式に示すように酸素 16kg は、水素 2kg と結合している。よって、酸素 1kg と結合している水素は 2/16=1/8 kg である。この水素は、水の形になっているため燃焼しない。燃焼するのは結合していない残りの水素である。

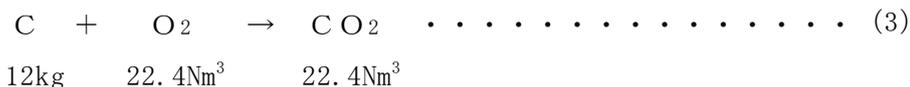


実際に燃焼する水素は、酸素と結合していない水素である。これを有効水素という。その重さは、(H - O/8) kg である。

4. 燃焼の基礎反応

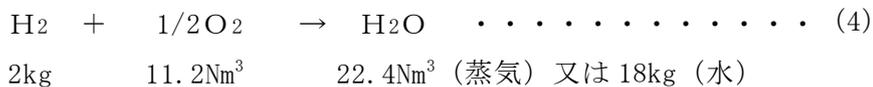
可燃物質を構成する主な要素は炭素C、水素H、いおうSの3つのいずれか、又は全部からなっている。これらの元素の燃焼反応の量的な関係から、燃焼に要する空気量や燃焼生成ガス量を求めることができる。(詳しくは備考参照のこと)

(1) 炭素



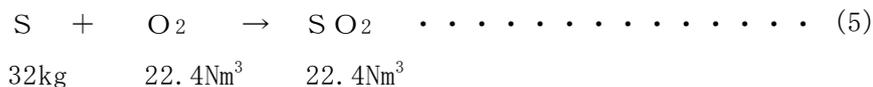
12Kgの炭素が22.4Nm³の酸素と反応(燃焼)して、22.4 Nm³の炭酸ガス(二酸化炭素)ができる。よって、炭素1kgの燃焼に必要な酸素は22.4Nm³/12kg = **1.867Nm³/kg**である。

(2) 水素



2Kgの水素が11.2Nm³の酸素と反応(燃焼)して、22.4 Nm³の水蒸気ができる。又は、18kgの水ができる。よって、水素1kgの燃焼に必要な酸素は11.2Nm³/2kg = **5.6Nm³/kg**である。

(3) いおう

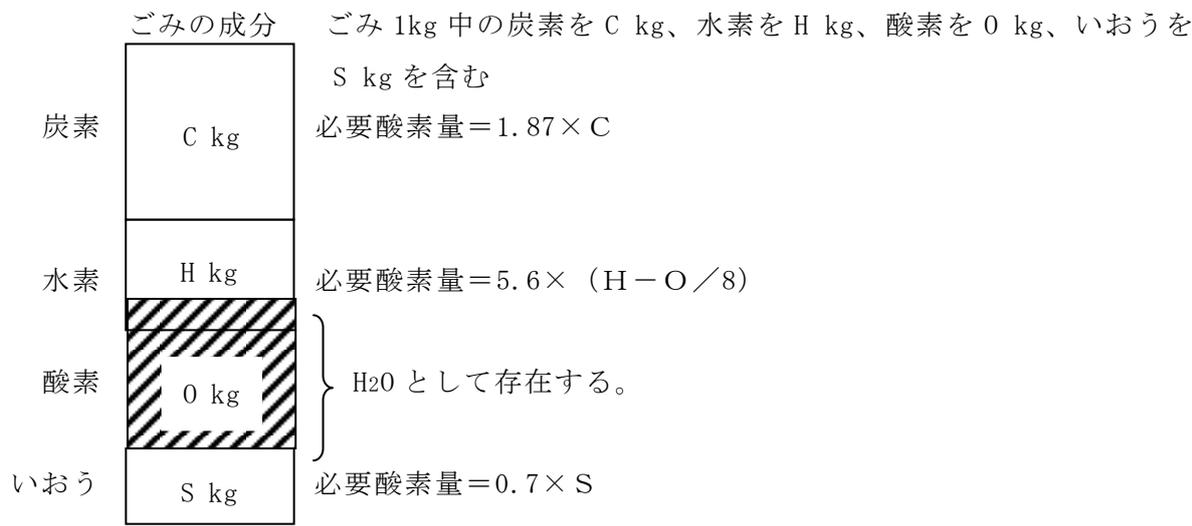


32Kgのいおうが22.4Nm³の酸素と反応(燃焼)して、22.4 Nm³の二酸化いおうができる。よって、いおう1kgの燃焼に必要な酸素は22.4Nm³/32kg = **0.7Nm³/kg**である。

5. 理論空気量 O_0

オーゼロと読む。可燃分 1kg の燃焼に必要な理論的（化学組成から求める）酸素量である。（空気量ではない）ごみ 1kg 中に含まれる炭素、水素、酸素、いおうの量（単位は kg）をそれぞれ C, H, O, S とすると理論酸素量は次式で与えられる。

$$O_0 = 1.87C + 5.6 (H - O/8) + 0.7S \quad \dots \dots \dots (6)$$



$$\text{合計酸素量} = 1.87C + 5.6 (H - O/8) + 0.7S$$

< 図 - 2 > 各元素の燃焼に必要な理論酸素量

ごみを構成する各元素の燃焼に必要な理論酸素量の合計が、そのごみの燃焼に必要な理論酸素量である。

6. 理論空気量

実際に、ごみを焼却するときは酸素だけで燃やすのではなく、必要な酸素量を空気の形で供給する。この空気量を理論空気量といい、 A_0 （読み方、エイゼロ）と書く。

空気 A_0

窒素、他 79%
酸素 21%

空気と酸素の体積比は 100 : 21 であるから

$$A_0 : O_0 = 100 : 21$$

$$\therefore A_0 = (100/21) \times O_0 \quad \dots \dots \dots (7)$$

< 図 - 3 > 理論空気量

(7) 式に (6) 式を代入する。

$$A_0 = (100/21) \times [1.87C + 5.6 (H - O/8) + 0.7S]$$

$$\therefore A_0 = 8.89C + 26.7 (H - O/8) + 3.3S \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \quad \dots \dots \dots (8)$$

7. 空気比 m (詳しくは第2講による)

実際の燃焼に使用した空気量を A (Nm^3/kg) で表す。また、 A を理論空気量 A_0 で除した値を空気比と呼び m で表す。

$$m = A / A_0 \quad \dots \dots \dots (9)$$

また、空気比は排ガス中の酸素濃度から ($\text{O}_2\%$) から近似的に求めることができる。

$$m = 21 / (21 - \text{O}_2) \quad \dots \dots (10)$$

これだけの予備知識があると次の例題を解くことができる。

<例題-2> 次の組成のごみ 1kg の燃焼に必要な理論空気量はいくらか。また、空気比を 2.6 としたときの燃焼空理量はいくつになるか。

炭素 21.2% 水素 2.94% 酸素 16.47% 灰 0.032%

<解答-2> 組成より、ごみ 1kg に含まれる各元素の重量は

C=0.212kg H=0.0294kg O=0.1647kg S=0.00032kg

である。これを(8)式に代入する。

$$\begin{aligned} A_0 &= 8.89 \times 0.212 + 26.7 \times (0.0294 - 0.1647/8) + 3.3 \times 0.00032 \\ &= 2.12 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (9) \text{より、} A &= m \times A_0 \\ &= 2.6 \times 2.12 \\ &= 5.53 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

<例題-2>のごみ組成は昭和59年度の当工場に搬入されたごみの平均値です。空気比 m は昭和59年度の排ガス測定結果の酸素濃度の平均値 12.6%から求めています。さて、ごみ質は今もあまり変わっていません。また排ガスの酸素濃度もほぼ同じです。

このごみを 6 t/hr のペースで焼却したときに必要な空気量は

$$A = 5.53 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 6000 \text{ kg/hr} = 33180 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

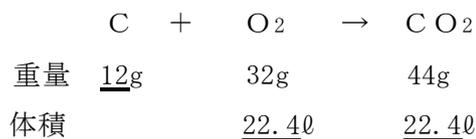
となります。6 t/hr のごみを燃やし、かつ排ガスの酸素濃度が 12.6%であったということは、約 33000 Nm^3/hr の燃焼用空気がどこからか炉体や煙道などに入っていることを意味します。しかし、このうち FDF でいくつになっているのでしょうか。約 33000 Nm^3/hr と FDF 流量との差が当工場の漏れ込み空気(リークエア)なのです。そして、このリークエアはどこから、どのくらい漏れ込んでいるのか、まだはっきりと分かっていません。

今後とも、燃焼管理による NO_x の低減や安定的な焼却を行っていくためには、制御できないリークエアを減らし、必要な空気量を適切な場所に入れていくことが不可欠です。

8. 備考

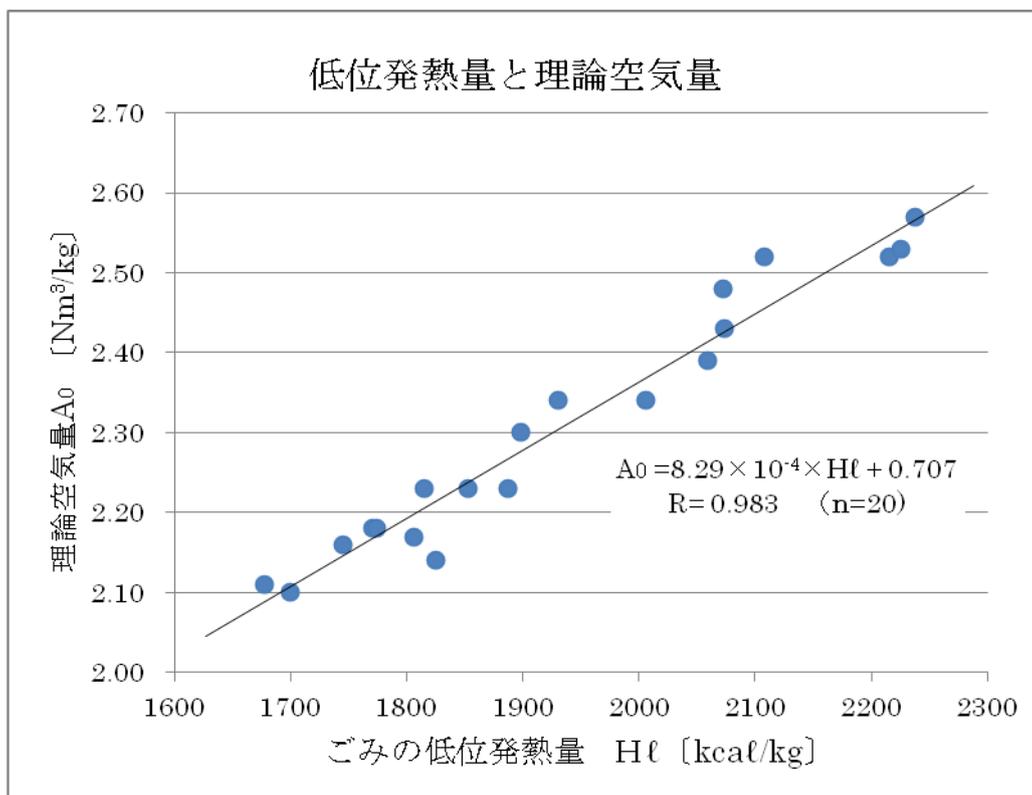
アボガドロの法則（同温、同圧、同体積の気体は、その種類によらず同数の分子からなる。）より、同数の分子からなる気体は、圧力を一定すると体積は等しくなる。標準状態（0℃、1気圧）では気体1グラム分子（分子量にgをつけた量、例 酸素1グラム分子は32gである。）の体積は22.4ℓである。

(3)式は炭素1グラム原子と酸素1グラム分子が反応して、二酸化炭素1グラム分子ができることを示している。



(3)式は上の式の下線部を取り出して、単位をkgとNm³に置き換えたものである。

9. 参考



「昭和60年度 工場搬入ごみの化学組成および発熱量（湿ベース）」（清研による）より江戸川、北、練馬、世田谷、千歳の5工場分のデータを用いて理論空気量A₀を算出し、実測低位発熱量との関係をプロットすると上図となる。A₀とH_lは強い相関があるため、H_lよりA₀を推定することが可能である。

昭和 60 年度 工場搬入ごみの化学組成

(東京都清掃研究所による)

清掃工場	C(%)	H(%)	O(%)	S(%)	H _l (kcal/kg)	A ₀ (Nm ³ /kg)
江戸川	21.39	2.99	18.10	0.014	1699	2.10
	22.79	3.27	20.24	0.014	1853	2.23
	25.28	3.60	19.28	0.021	2238	2.57
	21.40	3.03	17.30	0.015	1825	2.14
北	21.01	3.02	16.98	0.016	1677	2.11
	22.18	3.18	19.61	0.012	1745	2.16
	22.20	3.12	18.65	0.009	1771	2.18
	23.76	3.31	19.92	0.018	2006	2.34
練馬	24.60	3.51	18.25	0.016	2108	2.52
	22.31	3.16	17.78	0.023	1815	2.23
	23.86	3.35	18.79	0.015	2059	2.39
	22.66	3.19	19.09	0.013	1887	2.23
世田谷	23.16	3.27	18.92	0.018	1898	2.30
	23.36	3.29	18.35	0.015	1930	2.34
	21.86	3.11	17.66	0.009	1774	2.18
	24.67	3.45	19.18	0.016	2072	2.48
千歳	21.59	3.07	170.10	0.015	1806	2.17
	24.95	3.51	22.03	0.015	2073	2.43
	25.10	3.60	22.27	0.012	2216	2.52
	25.93	3.64	22.53	0.021	2226	2.53

$$A_0 = 8.89C + 26.7(H - O/8) + 3.3S \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$$

S: 可燃性イオウ

10. 次回の予定

第2講 排ガス量の計算と空気比

以上