

燃焼計算入門講座

(その 2)

第 2 講では、燃料(ごみ)の元素組成から計算により排ガス量を求める方法を説明します。

第 2 講 排ガス量の計算

1. 理論排ガス量 G_0

燃料が理論空気量で完全燃焼したと仮定したときの燃焼排ガス量を**理論排ガス量**といい G_0 であらわす。これは、燃料の化学組成から計算により求めることができる。

2. 湿り排ガスと乾き排ガス

燃料中の水分は燃焼熱によって蒸発して水蒸気になる。また、燃料中の水素が燃焼しても水蒸気となる。これらは、100℃以上の温度では気体の状態(水蒸気)で存在するが、常温に下がると凝縮して水になる。

前者の水蒸気を含む排ガスを**湿り排ガス**といい G_w であらわす。後者の水蒸気が水に凝縮している排ガスを**乾き排ガス**といい G_d であらわす。

湿り排ガス中の水分を X_w (%) とすると G_d と G_w には、次の関係がある。

$$G_d = (1 - X_w / 100) \times G_w \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad \dots \dots \dots (11)$$

<例題-3> 当工場の煙突からは、1 炉当たり約 54,800 Nm³/hr の湿り排ガスが出ている。
水分を 34% とすると、乾きガス量はいくらになるか。

<解答-3> (11) 式より

$$\begin{aligned} G_d &= (1 - 34/100) \times 54800 \\ &= 36,168 \text{ Nm}^3/\text{hr} \\ &\doteq 36,000 \text{ Nm}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

3. 理論排ガス量の計算

(1) 理論湿り排ガス量 G_{0w}

理論湿り排ガス量を G_{0w} であらわす。理論湿り排ガス量は以下の合計値である。

(a) 理論空気量の中の不活性な(燃焼に関係しない)窒素ガス

理論空気量の中の 79% を不活性な窒素ガスと考える。

$$\text{窒素ガス量} = 0.79 \times A_0$$

(b) 燃料が理論空気量の中の酸素（理論酸素）と反応してできる燃焼生成ガス

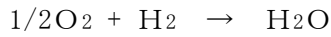
炭素：(3)式より 1kg の燃焼により二酸化炭素 1.87 Nm^3 ができる。

水素：(4)式より 1kg の燃焼により水蒸気 11.2 Nm^3 ができる。

硫黄：(5)式より 1kg の燃焼により二酸化硫黄 0.8 Nm^3 ができる。

酸素：水素と結合して水の形になっている。

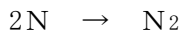
次式により酸素 1kg から水蒸気 1.4 Nm^3 ができる。



$$16\text{kg} \quad 2\text{kg} \quad 22.4 \text{ Nm}^3 \quad \therefore 22.4/16=1.4 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

(c) 燃料中の窒素分が燃焼熱により分解してできた窒素ガス

次式により窒素 1kg から窒素ガス 0.8 Nm^3 ができる。



$$28\text{kg} \quad 22.4 \text{ Nm}^3 \quad \therefore 22.4/28=0.8 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

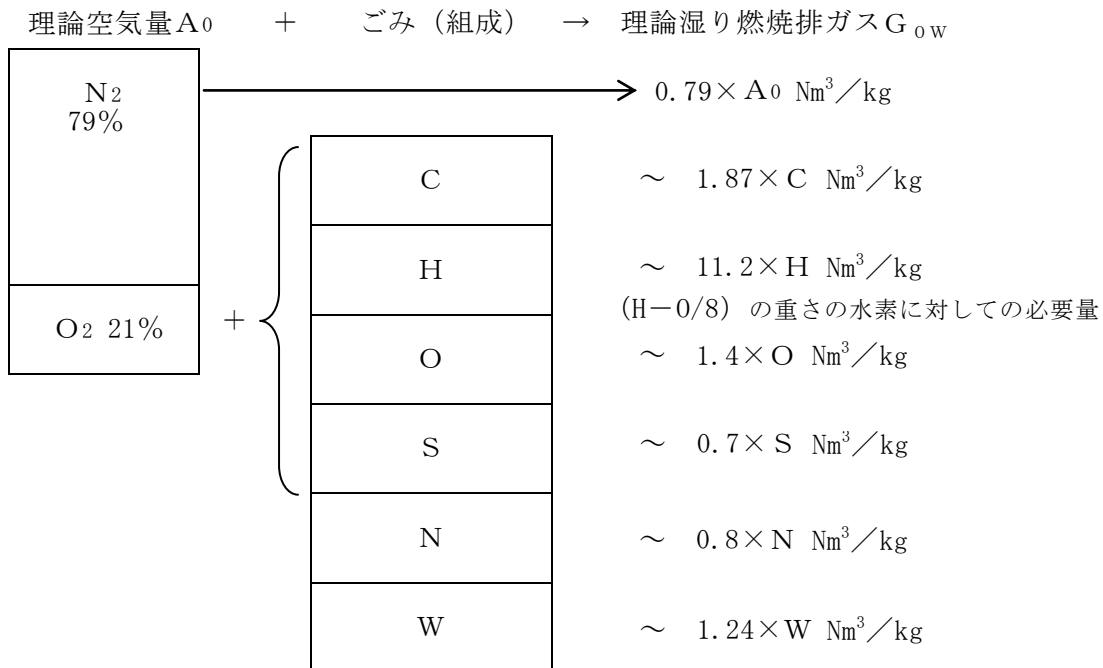
(d) 燃料中の水分が燃焼熱により蒸発した水蒸気

次式により水 1kg から水蒸気 1.24 Nm^3 ができる。



$$18\text{kg} \quad 22.4 \text{ Nm}^3 \quad \therefore 22.4/18=1.24 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

以上を図にすると<図-4>になる。



$$\text{合計燃焼排ガス量} = 0.79A_0 + 1.87C + 11.2(H - O/8) + 1.4O + 0.7S + 0.8N + 1.24W$$

整理すると O（酸素）の項がなくなり、次式になる。

$$G_{ow} = 0.79A_0 + 1.87C + 11.2H + 0.7S + 0.8N + 1.24W \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad \dots (12)$$

(12) 式に (8) 式を代入し、 A_0 を消去すると次式になる。

$$G_{ow} = 8.89C + 32.3H + 3.33S + 0.8N - 2.63O + 1.24W \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad \dots (13)$$

(2) 理論乾きガス量 G_{0d}

理論乾きガス量を G_{0d} であらわす。燃焼によって生じた水蒸気を含まない。常温における理論排ガス量である。

(12)式から燃焼によって水蒸気になる項 (11.2H、1.24W) を削除することで求める

$$G_{0d} = 0.79A_0 + 1.87C + 0.7S + 0.8N \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \quad \dots \dots \dots (14)$$

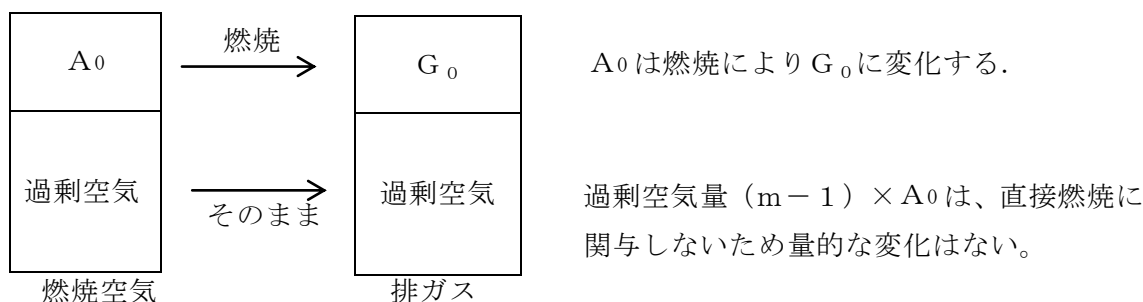
(14) 式に第1講に示した(8)式を代入し、 A_0 を消去すると次式となる。

$$G_{0d} = 8.89C + 21.1H + 3.33S + 0.8N - 2.63O \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \quad \dots \dots \dots (15)$$

4. 燃焼生成ガス量

単に排ガス量ともいう。湿りガス量 G_w と乾きガス量 G_d がある。過剰空気量 (空気量と理論空気量の差: $A - A_0 = (m - 1) \times A_0$) と理論排ガス量 G_0 の和である。

$$G = (m - 1) \times A_0 + G_0 \quad \dots \dots (16)$$



<図-5>

(1) 湿り排ガス量 G_w

(16)式は、湿りガスでも乾きガスでも成り立つ。

$$G_w = (m - 1) \times A_0 + G_{0w} \quad \dots \dots \dots (17)$$

(17)式に(12)式を代入して、整理すると次式になる。

$$G_w = (m - 0.21) \times A_0 + 1.87C + 11.2H + 0.7S + 0.8N + 1.24W \quad \dots \dots (18)$$

さらに、(18)式に第1講に示した(8)式を代入して整理すると次式になる。

$$G_w = m A_0 + 5.6H + 0.7O + 0.8N + 1.24W \quad \dots \dots \dots (19)$$

(2) 乾き排ガス量 G_d

(16)式より

$$G_d = (m - 1) \times A_0 + G_{0d} \quad \dots \dots \dots (20)$$

(20)式に(14)式を代入して、整理すると次式になる。

$$G_d = (m - 0.21) \times A_0 + 1.87C + 0.7S + 0.8N \quad \dots \dots \dots (21)$$

さらに、(21)式に第1講に示した(8)式を代入して整理すると次式になる。

$$G_d = m A_0 + 5.6H + 0.7O + 0.8N \quad \dots \dots \dots (22)$$

<例題-4> 例題-2と同じ組成のごみについて、次の条件を付け加えたとき、理論湿り排ガス量はいくらになるか。また、湿り排ガス量と乾き排ガス量はいくらになるか。

<解答-4> 計算式に各成分の数値を代入する。

ただし、C, H, Oなどの単位は%ではなく、燃料(ごみ) 1 kgに含まれる炭素、水素、酸素の重さ(kg)であることに留意する。

(13) 式より、

$$\begin{aligned} G_{0W} &= 8.89C + 32.3H + 3.33S + 0.8N - 2.63O + 1.24W \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \\ &= 8.89 \times 0.212 + 32.3 \times 0.0294 + 3.33 \times 0.00032 + 0.8 \times 0.0047 \\ &\quad - 2.63 \times 0.1647 + 1.24 \times 0.5268 \\ &= 3.06 \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

(19)式より

$$\begin{aligned} G_W &= mA_0 + 5.6H + 0.7O + 0.8N + 1.24W \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \\ &= 2.6 \times 2.12 + 5.6 \times 0.0294 + 0.7 \times 0.1647 + 0.8 \times 0.0047 + 1.24 \times 0.5238 \\ &= 6.47 \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

(22) 式より、

$$\begin{aligned} G_d &= mA_0 + 5.6H + 0.7O + 0.8N \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \\ &= 2.6 \times 2.12 + 5.6 \times 0.0294 + 0.7 \times 0.1647 \\ &= 5.49 \quad \text{Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

次に当工場の昭和59年度の排ガス測定結果および稼働状況の平均値を示す。

湿り排ガス量	54,800 Nm ³ /hr・炉
乾き排ガス量	33,500 Nm ³ /hr・炉
排ガスの酸素濃度	12.9% (空気比 m=2.6)
焼却量	6.10 t/hr・炉
水噴射量※	1.31 t/t・ごみ

※1 廃熱ボイラを持たないため、排ガスの冷却は高温煙道で工水を噴射して、その蒸発潜熱で排ガスの冷却をしていた。

<解答-4>より、1時間当たりの湿り排ガス量は

$$6.47 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 6,100 \text{ kg/hr} \cdot \text{炉} = 39,467 \text{ Nm}^3/\text{hr} \cdot \text{炉}$$

と水噴射量がガス化した水蒸気量

$$(22.4/18) \times 1310 \text{ kg/t} \cdot \text{ごみ} \times 6.10 \text{ t/hr} \cdot \text{炉} = 9,909 \text{ Nm}^3/\text{hr} \cdot \text{炉}$$

の合計 49,376 Nm³/hr・炉であり、排ガス実測量 54,800 Nm³/hr・炉の約90%になる。また、乾き排ガス量は<解答-4>より

$$5.49 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 6,100 \text{ kg/hr} \cdot \text{炉} = 33,489 \text{ Nm}^3/\text{hr} \cdot \text{炉}$$

となる。これは乾き排ガス量実測量 33,500 Nm³/hr・炉とほぼ同じである※2。

※2 乾きガス量について年平均値で検証すると、ごみ元素組成から計算した結果と排ガス測定時の実測量は、ほぼ一致し、ごみ分析結果と排ガス測定結果に整合性が保たれている。この整合性が大きく崩れた場合は、これら的一方または両者の信頼性が疑われる。

以上