

廃棄物処理工学

[http://ds.cc.yamaguchi-u.ac.jp/
~imai/haikibutsu/haikibutsu.html](http://ds.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~imai/haikibutsu/haikibutsu.html)

第11回：R1年12月16日分

今井 剛（循環環境工学科）

定期試験について

R2年1月27日(月)に実施予定
教室時間は通常通り

<お知らせ:12/23(月)は休講です>

講義代替(第12回目)レポート課題

- 講義資料12の「第5章(その2)」をレポートとしてまとめよ。
- 講義資料12に記載の宿題も提出のこと。
(A4サイズのレポート用紙(2枚程度以上)を使用して下さい:横書き)

提出期限:1月6日の講義時

講義終了時に出席レポートの次に重ねて提出

注意事項:ホッチキスでとめないこと、

折り曲げないこと、すべてのページに記名のこと

前回の宿題(第9回)

- 古紙100%再生紙の可能性について意見を述べよ。

提出期限: 次回講義時

講義終了時に出席レポートの次に重ねて提出

**注意事項: ホッチキスでとめないこと、
折り曲げないこと、すべてのページに記名のこと**

第6章

燃焼による資源化と処理

6.1.1 燃焼の形態

◇気体の燃焼

- 予混合燃焼方式・・・予め燃料と空気を均一に混合
- 拡散燃焼方式・・・燃料と空気別々に供給

◇液体燃料の燃焼

- 噴霧燃焼方式・・・燃料を霧状化
- 蒸発燃焼方式・・・蒸発を促進させて燃焼

◇固体燃料の燃焼

- 火格子燃焼・・・格子の上に固体の固定層を作り燃焼
- 流動床燃焼・・・流動させた高温の砂に燃料を接触させ燃焼
- 微粉燃焼・・・燃料を微粉化
- ガス化燃焼・・・燃料からの揮発分が酸素と混合して燃焼
- 表面燃焼・・・コークスや固定炭素が表面で酸素と反応(赤熱)

6.1.2 廃棄物燃料の特性

◇発熱量・・・1kgの燃料(固体, 液体)、または 1m^3_{N} の燃料(気体)が完全燃焼したときに発生する熱量

◇高位発熱量・・・燃焼ガス中の生成水蒸気が凝縮したときに得られる凝縮潜熱を含めた発熱量

- (1) 日本の総合エネルギー統計
- (2) 日本の火力発電所の発電効率
- (3) 日本の CO_2 排出量計算に使用される発熱量
- (4) 日本の都市ガスの取引基準

◇低位発熱量・・・水蒸気のみで凝縮潜熱を含まない発熱量
 低位発熱量 = 高位発熱量 - 水蒸気の潜熱 × 水蒸気量

- (1) ボイラ設備の熱効率
 - (2) ディーゼルエンジン, ガスエンジン, ガスタービンなどの原動機の熱効率
 - (3) コージェネレーション設備の性能表示
- 燃料は化学的なエネルギーを内蔵→そのままでは利用することができない

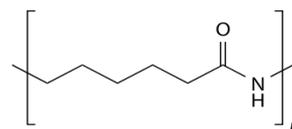
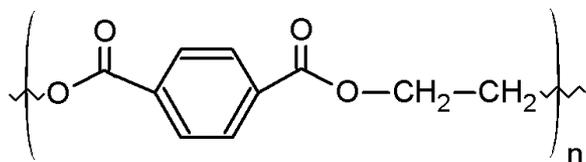
燃料を燃焼
 化学的エネルギー→熱エネルギー

◇都市ごみ可燃成分・・・炭水化物と石油系製品

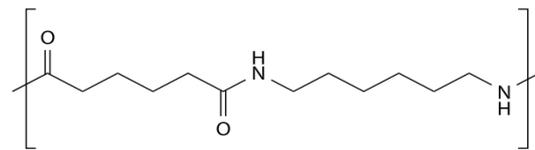
元素組成・・・C:44.4% H:6.2% O:49.4%

発熱量・・・教科書 表6.1-1参照

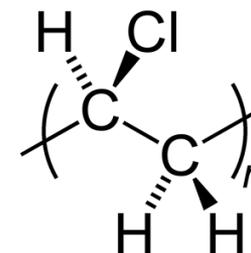
発熱量 炭化水素化合物 > 含酸素化合物 > 含塩素化合物
含窒素化合物



Nylon 6



Nylon 6,6



◇元素組成の推定

ごみの元素組成分析・・・多くの手間や労力が必要

ごみは不均質なため

①基本的推算法・・・ごみの物理組成の各成分を累積加算

↓
乾燥ごみ1kgに計算 水分を考慮

Pa:紙類 P:プラスチック類 Ga:厨芥類 Ce:繊維 Ba:木竹 Rr:その他 V:可燃分量

$$C=0.4210 \cdot Pa+0.7211 \cdot P+0.4512 \cdot Ga+0.5179 \cdot Ce+0.4911 \cdot Ba+0.4005 \cdot Rr$$

$$H=0.0656 \cdot Pa+0.1110 \cdot P+0.0612 \cdot Ga+0.0660 \cdot Ce+0.0635 \cdot Ba+0.0511 \cdot Rr$$

$$N=0.0035 \cdot Pa+0.0055 \cdot P+0.0315 \cdot Ga+0.0367 \cdot Ce+0.0078 \cdot Ba+0.0218 \cdot Rr$$

$$S=0.0003 \cdot Pa+0.0004 \cdot P+0.0009 \cdot Ga+0.0022 \cdot Ce+0.0001 \cdot Ba+0.0007 \cdot Rr$$

$$Cl=0.0019 \cdot Pa+0.0337 \cdot P+0.0030 \cdot Ga+0.0049 \cdot Ce+0.0014 \cdot Ba+0.0027 \cdot Rr$$

$$O=0.4038 \cdot Pa+0.0693 \cdot P+0.3251 \cdot Ga+0.3449 \cdot Ce+0.4162 \cdot Ba+0.2918 \cdot Rr$$

$$V=0.8961 \cdot Pa+0.9410 \cdot P+0.8729 \cdot Ga+0.9726 \cdot Ce+0.9801 \cdot Ba+0.7686 \cdot Rr$$

$$O = V - (C + H + N + S + Cl)$$

◇発熱量の推定

- ・・・ 燃焼性の良否の判断
処理設備の設計及び性能判断

- ①三成分値による推定・・・ごみの三成分(可燃分, 水分, 灰分)の値から低位発熱量を求める

$$H_L = \alpha \cdot B - 25 \cdot W$$

α : 可燃分の高位発熱量[kj/kg]を100で除した値
 B : ごみ中の可燃分[%] W : ごみ中の水分[%]

- ②物理組成による推定・・・プラスチック類とその他の可燃物に分けて低位発熱量を求める

$$H_L = \beta (B' - P) + \gamma \cdot P - 25 \cdot W$$

β : 180~190 γ : 310~340
 B' : ごみ中の可燃物割合[%]
 P : ごみ中のプラスチックの割合[%]

③元素組成による推定・・・ごみの元素組成(炭素C, 水素H, 硫黄S, 酸素O [%])から高位発熱量を求める

Dulongの式: 可燃分中の酸素はすべてH₂Oの形で存在していると仮定

$$H_h = 339.4 \cdot C + 1435.1 (h - O/8) + 94.3 \cdot S$$

Steuer式: 可燃分中の酸素はCOとして

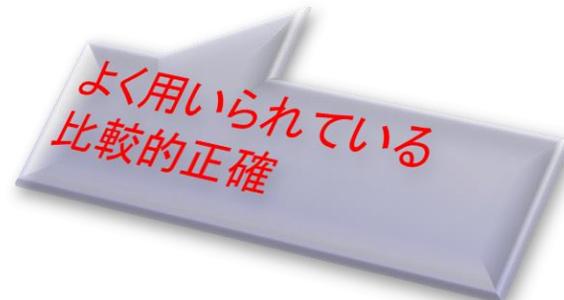
他の1/2はH₂Oの形で結合していると仮定

$$H_h = 339.4 (C - (3/8) O) + 238.8 \cdot (3/8) O + 1435.1 (h - O/16) + 94.3 \cdot S$$

Steuer-Kestnerの式: 可燃分中の酸素は炭素とCOの形で結合していると仮定

$$H_h = 339.4 (C - (3/4) O) + 1435.1 H + 238.8 \cdot (3/4) O + 94.3 \cdot S$$

④炉熱精算による推定・・・ごみ焼却量, 蒸気発生量, 排ガス量などの
運転データを用いて熱収支からごみの低位
発熱量を求める



6.1.3 燃焼計算

1) 理論量の定義

理論酸素量・・・燃料を完全燃焼させるのに必要な酸素量

理論空気量・・・燃料を完全燃焼させるのに必要な空気量

理論燃焼ガス量・・・理論空気量によって完全燃焼させた時に生成する燃焼ガスの量

元素	原子量	完全燃焼反応式
C	12	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
H	1	$1/2H_2 + 1/4O_2 \rightarrow 1/2H_2O$
S	32	$S + O_2 \rightarrow SO_2$
O	16	$O - 1/2O_2 \rightarrow 0$

理論酸素量 O_0 [kmol/kg-燃料]

$$= (C/12) + 1/2 * (H/2) + (S/32) - (O/32)$$

廃棄物1kg中 C:炭素[kg] H:水素[kg] S:硫黄[kg] O:酸素[kg] N:窒素[kg] W:水分[kg]

理論空気量 L_0 [m^3_N /kg-燃料] = $O_0 \cdot (22.4/0.21)$

2) 燃焼空気量 …… 実際には理論空気量よりも
多く空気を供給する



空気比 (air ratio) : λ
 空気過剰率 (excess air factor) : λ

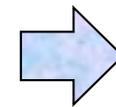
$$L(\text{燃焼空気量}) = \lambda \cdot L_0 \text{ [m}^3_{\text{N}}/\text{kg-燃料]}$$

気体燃料 (都市ガスなど) : $\lambda = 1.1 \sim 1.3$

液体燃料 (重油など) : $\lambda = 1.2 \sim 1.4$

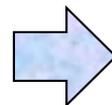
固体燃料 (石炭) : $\lambda = 1.4 \sim 2.0$

λ : ごみ質が低い (低位発熱量が低い)
 燃料と空気が混ざりにくい



大

排ガス中の
酸素濃度を測定



$$\lambda = 21 / (21 - \text{O}_2 [\%])$$

[O₂]: 乾き燃焼ガス中の酸素濃度 [%]

3-1) 燃焼ガス量

$$\begin{aligned}
 V_W(\text{湿り燃焼ガス量}) & [\text{m}^3_{\text{N}}/\text{kg}] \\
 &= 22.4 \times (\text{C}/12) \\
 &+ 22.4 \times \{ (\text{H}/2) + (\text{W}/18) \} \\
 &+ 22.4 \times (\text{S}/32) \\
 &+ 0.21(\lambda - 1) \cdot L_0 \\
 &+ 0.79 \cdot \lambda \cdot L_0 + 22.4 \times (\text{N}/28) \\
 &= 1.867\text{C} + 11.2\text{H} + 1.244\text{W} + 0.7\text{S} + 0.8\text{N} + (\lambda - 0.21) L_0 \\
 V_D(\text{乾きガス量}) &= 1.867\text{C} + 0.7\text{S} + 0.8\text{N} + (\lambda - 0.21) L_0
 \end{aligned}$$

- …CO₂の生成
- …H₂Oの生成
- …SO₂
- …余剰のO₂
- …空気のN₂ + 生成N₂

廃棄物1kg中 C:炭素[kg] H:水素 S:硫黄[kg] O:酸素[kg] N:窒素[kg] W:水分[kg]

元素	原子量	完全燃焼反応式
C	12	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
H	1	$\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
S	32	$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$
O	16	$\text{O} - 1/2\text{O}_2 \rightarrow 0$

L₀: 理論空気量
λ: 過剰空気率

3-2) 燃焼ガス組成

$$\text{CO}_2 = 1.867 \times (\text{C}/V_D) \times 100 \quad [\%]$$

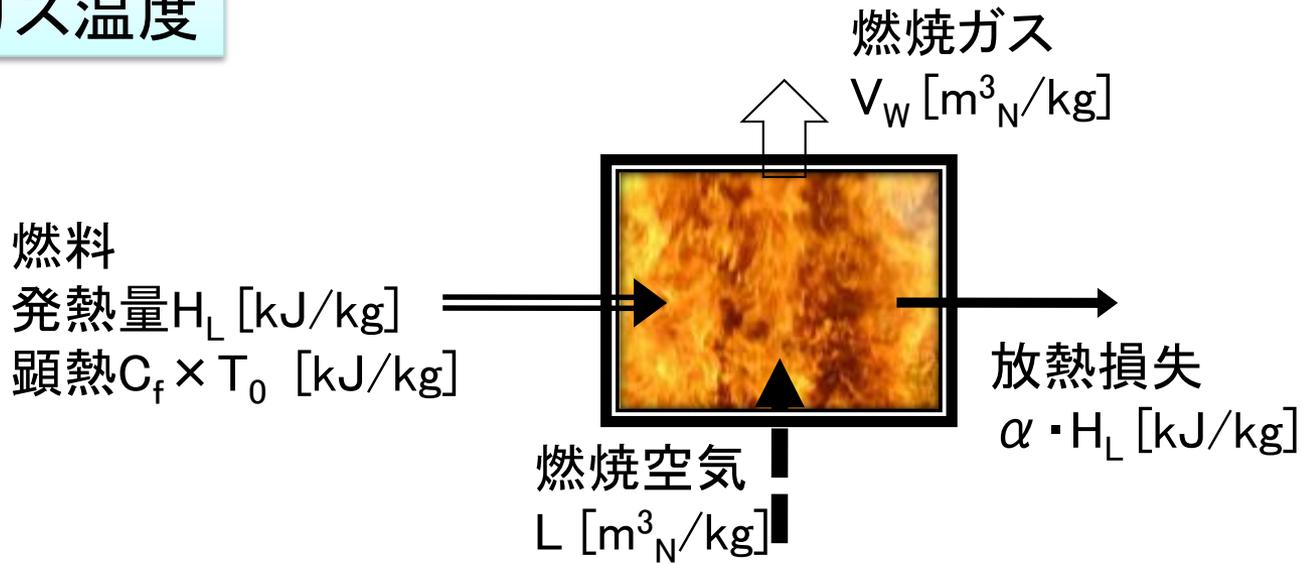
$$\text{O}_2 = 0.21 \times \{(\lambda - 1) \cdot L_0\} / V_D \times 100 \quad [\%]$$

$$\text{N}_2 = \{0.79 \lambda \cdot L_0 + 0.8N\} / V_D \times 100 \quad [\%]$$

廃棄物1kg中 C:炭素[kg] N:窒素[kg] W:水分[kg]
V_D:乾きガス量 L₀:理論空気量

SO₂, HCl, NO_x, CO, HCは微量のため無視する

4) 燃焼ガス温度



入熱

$$H_L + C_f \cdot T_0 + L \cdot C_{pa} \cdot T_a$$

出熱

$$V_W \cdot C_{pg} \cdot T_g + \alpha \cdot H_L$$

T_g (燃焼ガス温度)

$$= (H_L + C_f \cdot T_0 + L \cdot C_{pa} \cdot T_a - \alpha \cdot H_L) / (V_W \cdot C_{pg})$$

H_L : ごみの低位発熱量[kJ/kg] C_f (1.256): ごみの比熱 T_0 (20): 供給時のごみの温度[°C]
 L : 燃焼空気量[m³_N/kg] C_{pa} : 燃焼空気の平均定圧比熱[kJ/m³_N·°C] T_a : 燃焼空気温度[°C]
 α (0.03): 諸熱損失の燃料入熱に対する割合 H_L : 低位発熱量[kJ/kg] T_W : 湿り燃焼ガス量[m³_N/kg]
 C_{pg} : 燃焼ガスの平均定圧比熱[kJ/m³_N·°C] T_g : 燃焼ガス温度[°C]

本日の宿題

- 可燃ごみを乾燥して（含水率45%）、物理組成（乾基準）が次のように測定されたとき、このごみを1kgを燃焼させるために必要な燃焼空気量を求めよ。ただし、空気比 λ は1.7とする。
（紙類：48.18%、プラスチック類：19.09%、厨芥類：11.82%、繊維類：3.64%、木竹類：4.54%、その他：0.91%、大型不燃物：11.82%）※湿りごみへの換算が必要
- 教科書p.67[例4.2-2]の水分 W を65%に変更して計算を行い、もとの可燃ごみの低位発熱量 H_L を求めよ。

提出期限：次回講義日

講義終了時に出席レポートの次に重ねて提出

**注意事項：ホッチキスでとめないこと、
折り曲げないこと、すべてのページに記名のこと**