

電験どうでしょう管理人
KWG presents

電験オンライン塾

第5回 電力計算2 (理論空気量の導出)

2022.06.04 Sat

電力量 [kW · h] とエネルギー [kJ]

$$\text{電力 [J/s]} \times \text{時間 (秒) [s]} = \text{エネルギー [J]}$$

$$\text{電力 [W]} \times \text{時間 (時) [h]} = \text{電力量 [W · h]}$$

エネルギー、電力量どちらも同じ意味の物理量

他の例) 体積: [l], [cm³], [cc]

$$\text{電力量 [W · h]} \times 3600 = \text{エネルギー [J]}$$

1時間 → 3600 秒

例) 出力 100 kW の発電機を 1 日稼働して
得られるエネルギーと電力量

$$100 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 2400 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$\begin{aligned} 100 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 3600 &= 8,640,000 \text{ kJ} \\ &= 8.64 \text{ GJ} \end{aligned}$$

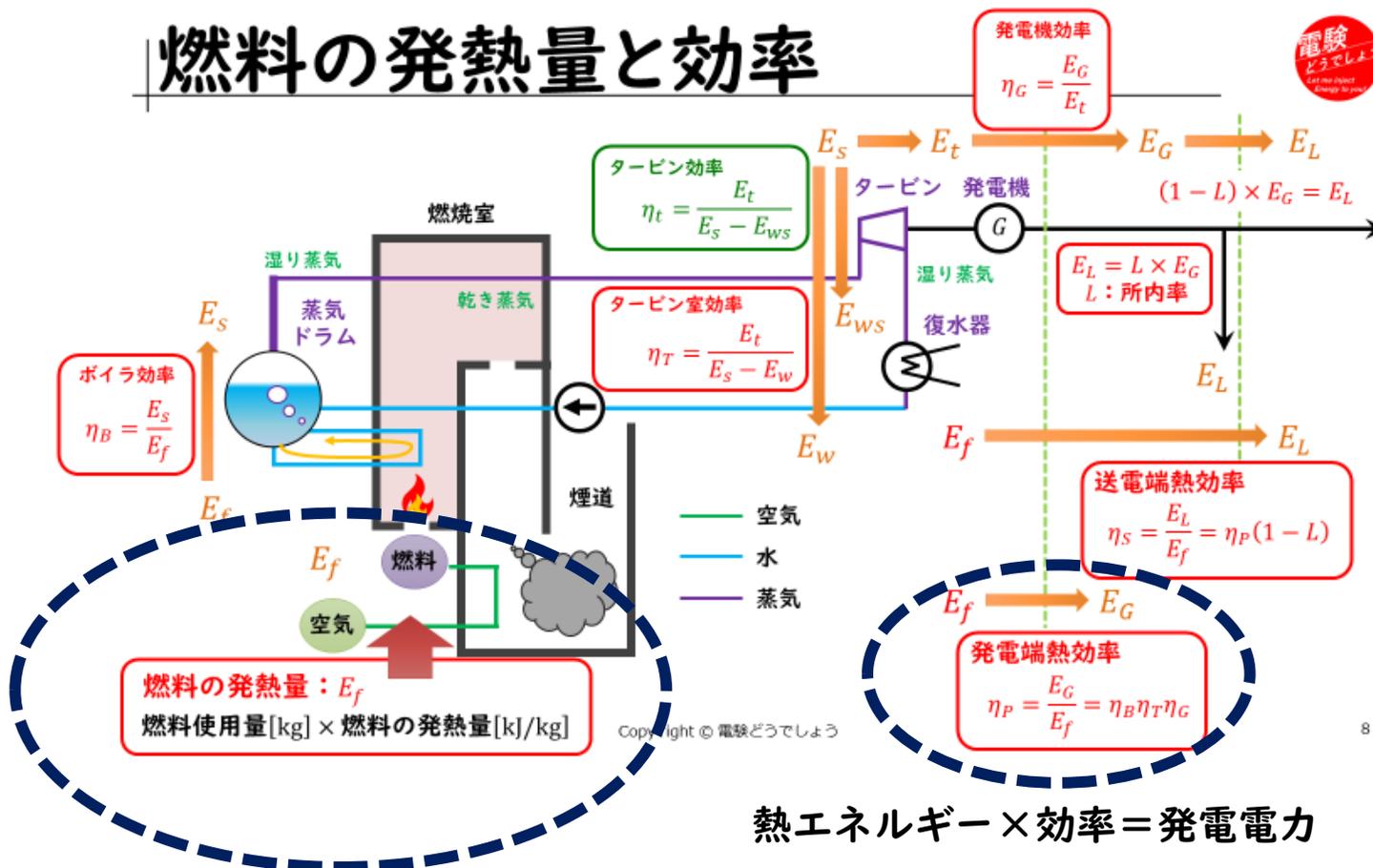
火力発電所の燃料と出力の関係

$$\text{発電所の出力 [kW · h]} = \frac{\text{燃料 [kJ]}}{3600} \times \text{効率}$$

$$\begin{aligned} 10^3 &\rightarrow 1 \text{ k (キロ)} \\ 10^6 &\rightarrow 1 \text{ M (メガ)} \\ 10^9 &\rightarrow 1 \text{ G (ギガ)} \end{aligned} \quad \begin{aligned} &\curvearrowright \times 1000 \\ &\curvearrowright \times 1000 \end{aligned}$$

燃料と空気

燃料の発熱量と効率



燃料が全て熱エネルギーになるわけではない

- 燃料中の炭素(C)と水素(H₂)が熱エネルギーとなる
- 空気中の酸素(O₂)と反応する

燃料の成分比率 (1kgに何g含まれるか)
 石炭 → 炭素70%、その他30%
 (1kg) (700g)

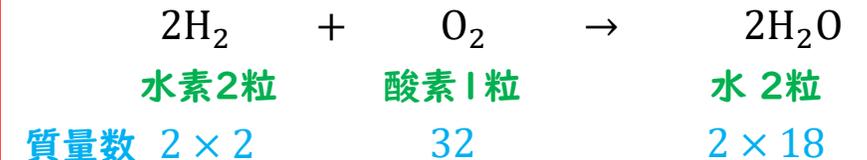
重油 → 炭素85%、水素15%
 (1kg) (850g) (150g)

空気中の酸素濃度 (1kgに何g含まれるか)
 空気 → 酸素21%、その他79%
 (1kg) (210g)

炭素の反応



水素の反応



質量数とmol (モル)

質量数：原子の陽子と中性子の個数の合計であり、原子の質量を表す

| | | | |
|-------|--------|--------|----------|
| 水素(H) | 質量数 1 | 銅(Cu) | 質量数 63.5 |
| 炭素(C) | 質量数 12 | 亜鉛(Zn) | 質量数 65.4 |
| 酸素(O) | 質量数 16 | 鉛(Pb) | 質量数 207 |

モル(mol)：原子の数を表す単位 $1 \text{ mol} = 6.02 \times 10^{23}$ 個

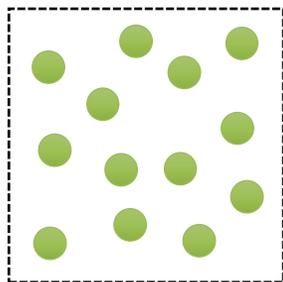
鉛筆12本で1ダース
みたいな感じ

1 molの物質の質量 → 質量数にグラムをつけたもの

1 molの物質の体積 → 0 °C、1 気圧で 22.4 l (気体の場合)

酸素O₂の体積 (質量数16 × 2 = 32)
1 mol → 32g → 22.4 l
1 kmol → 32kg → 22.4 m³

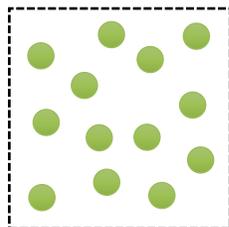
1 mol



数 6.02×10^{23} 個
体積 22.4 l

銅(Cu)

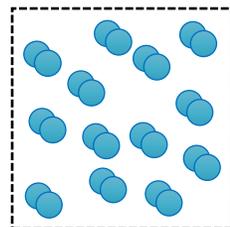
1 mol



63.5 g

水素(H₂)

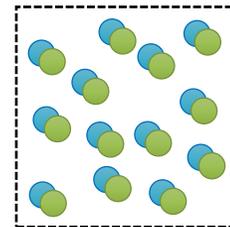
1 mol



$2 \times 1 = 2$ g

酸化銅(CuO)

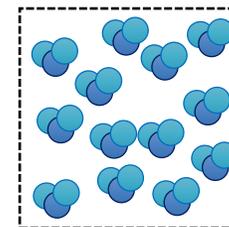
1 mol



$63.5 + 16 = 79.5$ g

水(H₂O)

1 mol



$2 \times 1 + 16 = 18$ g

H26 問17

問17 定格出力 200 MW の石炭火力発電所がある。石炭の発熱量は 28 000 kJ/kg、
定格出力時の発電端熱効率は 36 % で、計算を簡単にするため潜熱の影響は無視
するものとして、次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし、石炭の化学成分は重量比で炭素 70 %、水素他 30 %、炭素の原子量
を 12、酸素の原子量を 16 とし、炭素の酸化反応は次のとおりである。



(a) 定格出力にて 1 日運転したときに消費する燃料重量の値 [t] として、最も
近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

- (1) 222 (2) 410 (3) 1 062 (4) 1 714 (5) 2 366

(b) 定格出力にて 1 日運転したときに発生する二酸化炭素の重量の値 [t] と
して、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

- (1) 327 (2) 1 052 (3) 4 399 (4) 5 342 (5) 6 285

導出のポイント

問17 定格出力 200 MW の石炭火力発電所がある。石炭の発熱量は 28 000 kJ/kg, 定格出力時の発電端熱効率は 36 % で, 計算を簡単にするため潜熱の影響は無視するものとして, 次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし, 石炭の化学成分は重量比で炭素 70 %, 水素他 30 %, 炭素の原子量を 12, 酸素の原子量を 16 とし, 炭素の酸化反応は次のとおりである。



(a) 定格出力にて 1 日運転したときに消費する燃料重量の値 [t] として, 最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 222 (2) 410 (3) 1062 (4) 1714 (5) 2366

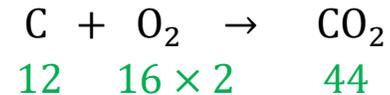
(b) 定格出力にて 1 日運転したときに発生する二酸化炭素の重量の値 [t] として, 最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 327 (2) 1052 (3) 4399 (4) 5342 (5) 6285

定格出力で 1 日運転した場合の電力量 [kW · h]

$$200 \times 10^3 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = \frac{28000 \text{ [kJ/kg]}}{3600} \times m \text{ [kg]} \times 0.36$$

$$m = \frac{200 \times 10^3 \times 24 \times 3600}{28000 \times 0.36} = 1714000 \text{ kg} = 1714 \text{ t}$$



石炭の質量比 0.70

$$\frac{44}{12} \times 0.70$$

発生する
二酸化炭素

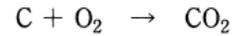
発生する二酸化炭素の量

$$1714 \text{ t} \times \frac{44}{12} \times 0.70 = 4399 \text{ t}$$

H23 問15

問15 定格出力 500 [MW]、定格出力時の発電端熱効率 40 [%] の汽力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 [kJ/kg] で、潜熱の影響は無視できるものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、重油の化学成分を炭素 85 [%]、水素 15 [%]、水素の原子量を 1、炭素の原子量を 12、酸素の原子量を 16、空気の酸素濃度を 21 [%] とし、重油の燃焼反応は次のとおりである。



(a) 定格出力にて、1 時間運転したときに消費する燃料重量 [t] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 10 (2) 16 (3) 24 (4) 41 (5) 102

(b) このとき使用する燃料を完全燃焼させるために必要な理論空気量[※] [m³] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、1 [mol] の気体標準状態の体積は 22.4 [l] とする。

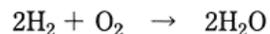
※理論空気量：燃料を完全に燃焼するために必要な最小限の空気量 (標準状態における体積)

- (1) 5.28×10^4 (2) 1.89×10^5 (3) 2.48×10^5
(4) 1.18×10^6 (5) 1.59×10^6

導出のポイント

問15 定格出力 500 [MW]、定格出力時の発電端熱効率 40 [%] の汽力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 [kJ/kg] で、潜熱の影響は無視できるものとして、次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし、重油の化学成分を炭素 85 [%]、水素 15 [%]、水素の原子量を 1、炭素の原子量を 12、酸素の原子量を 16、空気の酸素濃度を 21 [%] とし、重油の燃焼反応は次のとおりである。



(a) 定格出力にて、1 時間運転したときに消費する燃料重量 [t] の値として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

- (1) 10 (2) 16 (3) 24 (4) 41 (5) 102

(b) このとき使用する燃料を完全燃焼させるために必要な理論空気量[※] [m³] の値として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

ただし、1 [mol] の気体標準状態の体積は 22.4 [l] とする。

※理論空気量：燃料を完全に燃焼するために必要な最小限の空気量 (標準状態における体積)

- (1) 5.28×10^4 (2) 1.89×10^5 (3) 2.48×10^5
 (4) 1.18×10^6 (5) 1.59×10^6

発電端電力量 [kW・h]

$$= \text{燃料使用量 [kg]} \times \frac{\text{燃料の発熱量 [kJ/kg]}}{3600} \times \text{熱効率 } \eta$$

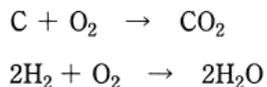
$$500 \times 10^3 \times 1 \text{ [kW} \cdot \text{h]} = m \times \frac{44000}{3600} \times 0.4$$

$$m = \frac{500 \times 10^3 \times 3600}{44000 \times 0.4} = 102272 \text{ kg} = 102 \text{ t}$$

導出のポイント

問15 定格出力 500 [MW]、定格出力時の発電端熱効率 40 [%] の汽力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 [kJ/kg] で、潜熱の影響は無視できるものとして、次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし、重油の化学成分を炭素 85 [%]、水素 15 [%]、水素の原子量を 1、炭素の原子量を 12、酸素の原子量を 16、空気の酸素濃度を 21 [%] とし、重油の燃焼反応は次のとおりである。



(b) このとき使用する燃料を完全燃焼させるために必要な理論空気量[※] [m³] の値として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

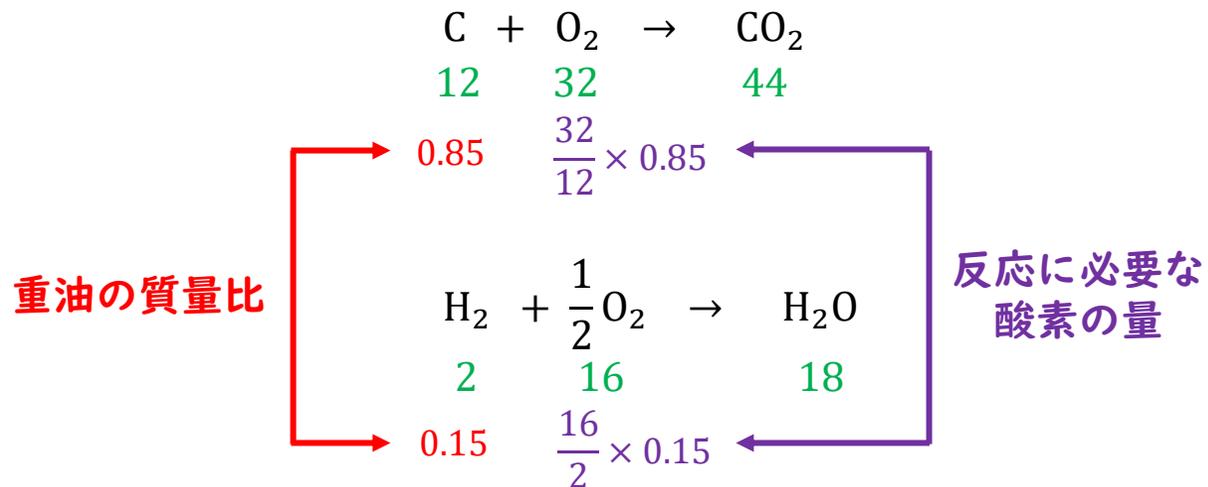
ただし、1 [mol] の気体標準状態の体積は 22.4 [l] とする。

※理論空気量：燃料を完全に燃焼するために必要な最小限の空気量 (標準状態における体積)

- (1) 5.28×10^4 (2) 1.89×10^5 (3) 2.48×10^5
 (4) 1.18×10^6 (5) 1.59×10^6

炭素の反応に必要な酸素の量
 $102 \text{ t} \times \frac{32}{12} \times 0.85 = 231.2 \text{ t}$

水素の反応に必要な酸素の量
 $102 \text{ t} \times \frac{16}{2} \times 0.15 = 122.4 \text{ t}$



酸素の体積

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol} &\rightarrow 32\text{g} \rightarrow 22.4 \text{ l} \\ 1 \text{ kmol} &\rightarrow 32\text{kg} \rightarrow 22.4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\frac{231.2 \times 10^3 \text{ kg} + 122.4 \times 10^3 \text{ kg}}{32 \text{ kg}} \times 22.4 \text{ m}^3 = 247520 \text{ m}^3$$

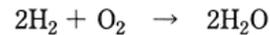
空気量 (酸素濃度 21%)

$$247520 \text{ m}^3 \times \frac{1}{0.21} = 1,179,000 \text{ m}^3 = 1.18 \times 10^6 \text{ m}^3$$

H23 問15

問15 定格出力 500 [MW]、定格出力時の発電端熱効率 40 [%] の汽力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 [kJ/kg] で、潜熱の影響は無視できるものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、重油の化学成分を炭素 85 [%]、水素 15 [%]、水素の原子量を 1、炭素の原子量を 12、酸素の原子量を 16、空気の酸素濃度を 21 [%] とし、重油の燃焼反応は次のとおりである。



(a) 定格出力にて、1 時間運転したときに消費する燃料重量 [t] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 10 (2) 16 (3) 24 (4) 41 (5) 102

(b) このとき使用する燃料を完全燃焼させるために必要な理論空気量[※] [m³] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、1 [mol] の気体標準状態の体積は 22.4 [l] とする。

※理論空気量：燃料を完全に燃焼するために必要な最小限の空気量 (標準状態における体積)

- (1) 5.28×10^4 (2) 1.89×10^5 (3) 2.48×10^5
(4) 1.18×10^6 (5) 1.59×10^6

H29 問15

問15 定格出力 600 MW、定格出力時の発電端熱効率 42% の汽力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 kJ/kg で、潜熱の影響は無視できるものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、重油の化学成分は質量比で炭素 85%、水素 15%、水素の原子量を 1、炭素の原子量を 12、酸素の原子量を 16、空気の酸素濃度を 21% とし、重油の燃焼反応は次のとおりである。



(a) 定格出力にて、1日運転したときに消費する燃料質量の値[t]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 117 (2) 495 (3) 670 (4) 1 403 (5) 2 805

(b) そのとき使用する燃料を完全燃焼させるために必要な理論空気量*の値[m³]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、1 mol の気体標準状態の体積は 22.4 L とする。

※理論空気量：燃料を完全に燃焼するために必要な最小限の空気量(標準状態における体積)

- (1) 6.8×10^6 (2) 9.2×10^6 (3) 32.4×10^6 (4) 43.6×10^6 (5) 87.2×10^6

導出のポイント

問 15 定格出力 600 MW, 定格出力時の発電端熱効率 42 % の汽力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 kJ/kg で、潜熱の影響は無視できるものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、重油の化学成分は質量比で炭素 85 %、水素 15 %、水素の原子量を 1、炭素の原子量を 12、酸素の原子量を 16、空気の酸素濃度を 21 % とし、重油の燃焼反応は次のとおりである。



(a) 定格出力にて、1 日運転したときに消費する燃料質量の値[t]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 117 (2) 495 (3) 670 (4) 1 403 (5) 2 805

(b) そのとき使用する燃料を完全燃焼させるために必要な理論空気量*の値[m³]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、1 mol の気体標準状態の体積は 22.4 L とする。

※理論空気量：燃料を完全に燃焼するために必要な最小限の空気量(標準状態における体積)

- (1) 6.8×10^6 (2) 9.2×10^6 (3) 32.4×10^6 (4) 43.6×10^6 (5) 87.2×10^6

定格出力で1日運転した場合の電力量[kW・h]

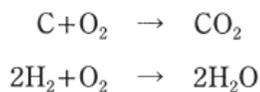
$$600 \times 10^3 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = \frac{44000 \text{ [kJ/kg]}}{3600} \times m \text{ [kg]} \times 0.42$$

$$m = \frac{600 \times 10^3 \times 24 \times 3600}{44000 \times 0.42} = 2805000 \text{ kg} = 2805 \text{ t}$$

導出のポイント

問 15 定格出力 600 MW, 定格出力時の発電端熱効率 42 % の汽力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 kJ/kg で、潜熱の影響は無視できるものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、重油の化学成分は質量比で炭素 85 %, 水素 15 %, 水素の原子量を 1, 炭素の原子量を 12, 酸素の原子量を 16, 空気の酸素濃度を 21 % とし、重油の燃焼反応は次のとおりである。



(b) そのとき使用する燃料を完全燃焼させるために必要な理論空気量*の値[m³]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

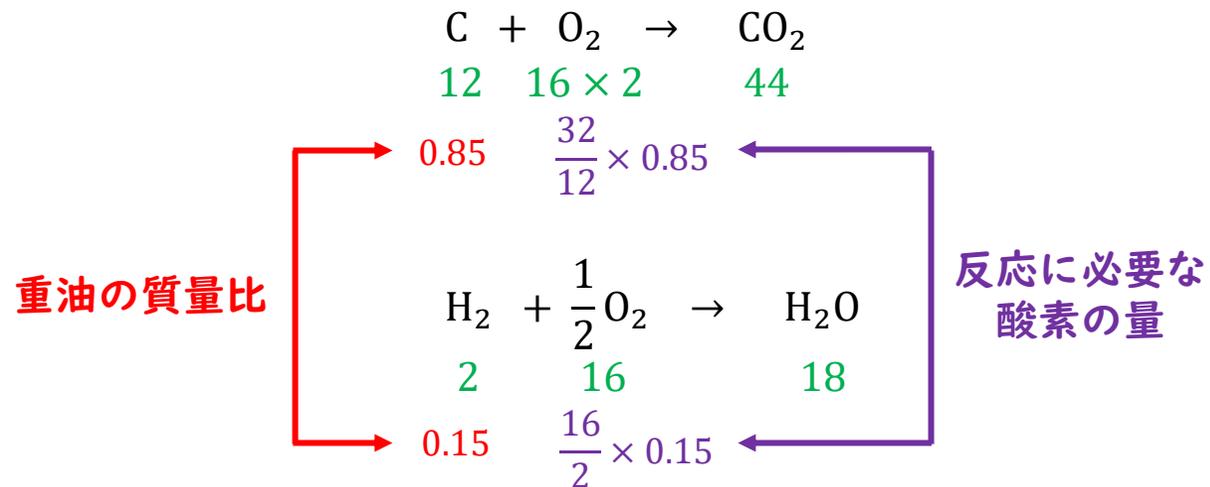
ただし、1 mol の気体標準状態の体積は 22.4 L とする。

※理論空気量：燃料を完全に燃焼するために必要な最小限の空気量(標準状態における体積)

- (1) 6.8×10^6 (2) 9.2×10^6 (3) 32.4×10^6 (4) 43.6×10^6 (5) 87.2×10^6

炭素の反応に必要な酸素の量
 $2805 \text{ t} \times \frac{32}{12} \times 0.85 = 6358 \text{ t}$

水素の反応に必要な酸素の量
 $2805 \text{ t} \times \frac{16}{2} \times 0.15 = 3366 \text{ t}$



酸素の体積

1 mol → 32g → 22.4 l

1 kmol → 32kg → 22.4 m³

$$\frac{6358 \times 10^3 \text{ kg} + 3366 \times 10^3 \text{ kg}}{32 \text{ kg}} \times 22.4 \text{ m}^3 = 6806800 \text{ m}^3$$

空気量 (酸素濃度 21 %)

$$6806800 \text{ m}^3 \times \frac{1}{0.21} = 32,413,000 \text{ m}^3 = 32.4 \times 10^6 \text{ m}^3$$

H29 問15

問15 定格出力 600 MW、定格出力時の発電端熱効率 42% の汽力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 kJ/kg で、潜熱の影響は無視できるものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、重油の化学成分は質量比で炭素 85%、水素 15%、水素の原子量を 1、炭素の原子量を 12、酸素の原子量を 16、空気の酸素濃度を 21% とし、重油の燃焼反応は次のとおりである。



(a) 定格出力にて、1日運転したときに消費する燃料質量の値[t]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 117 (2) 495 (3) 670 (4) 1 403 (5) 2 805

(b) そのとき使用する燃料を完全燃焼させるために必要な理論空気量*の値[m³]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、1 mol の気体標準状態の体積は 22.4 L とする。

※理論空気量：燃料を完全に燃焼するために必要な最小限の空気量(標準状態における体積)

- (1) 6.8×10^6 (2) 9.2×10^6 (3) 32.4×10^6 (4) 43.6×10^6 (5) 87.2×10^6

ご聴講ありがとうございました
ございました!!

H21 問15

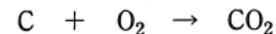
問15 最大出力 600 [MW] の重油専焼火力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 [kJ/kg] で、潜熱は無視するものとして、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) 45 000 [MW・h] の電力量を発生するために、消費された重油の量が 9.3×10^3 [t] であるときの発電端効率 [%] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 37.8 (2) 38.7 (3) 39.6 (4) 40.5 (5) 41.4

(b) 最大出力で 24 時間運転した場合の発電端効率が 40.0 [%] であるとき、発生する二酸化炭素の量 [t] として、最も近い値は次のうちどれか。

なお、重油の化学成分は重量比で炭素 85.0 [%]、水素 15.0 [%]、原子量は炭素 12、酸素 16 とする。炭素の酸化反応は次のとおりである。



- (1) 3.83×10^2 (2) 6.83×10^2 (3) 8.03×10^2
(4) 9.18×10^3 (5) 1.08×10^4

導出のポイント

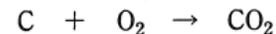
問15 最大出力 600 [MW] の重油専焼火力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 [kJ/kg] で、潜熱は無視するものとして、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) 45 000 [kW・h] の電力量を発生するために、消費された重油の量が 9.3×10^3 [t] であるときの発電端効率 [%] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 37.8 (2) 38.7 (3) 39.6 (4) 40.5 (5) 41.4

(b) 最大出力で 24 時間運転した場合の発電端効率が 40.0 [%] であるとき、発生する二酸化炭素の量 [t] として、最も近い値は次のうちどれか。

なお、重油の化学成分は重量比で炭素 85.0 [%]、水素 15.0 [%]、原子量は炭素 12、酸素 16 とする。炭素の酸化反応は次のとおりである。



- (1) 3.83×10^2 (2) 6.83×10^2 (3) 8.03×10^2
 (4) 9.18×10^3 (5) 1.08×10^4

発電端電力量[kW・h]

$$= \text{燃料使用量}[\text{kg}] \times \frac{\text{燃料の発熱量}[\text{kJ}/\text{kg}]}{3600} \times \text{熱効率 } \eta$$

$$45000 \times 10^3 [\text{kW} \cdot \text{h}] = 9.3 \times 10^3 \times 10^3 \times \frac{44000}{3600} \times \eta$$

$$\eta = \frac{45000 \times 10^3 \times 3600}{9.3 \times 10^3 \times 10^3 \times 44000} = 0.396$$

導出のポイント

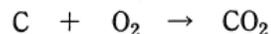
問15 最大出力 600 [MW] の重油専焼火力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 [kJ/kg] で、潜熱は無視するものとして、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) 45 000 [MW・h] の電力量を発生するために、消費された重油の量が 9.3×10^3 [t] であるときの発電端効率 [%] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 37.8 (2) 38.7 (3) 39.6 (4) 40.5 (5) 41.4

(b) 最大出力で 24 時間運転した場合の発電端効率が 40.0 [%] であるとき、発生する二酸化炭素の量 [t] として、最も近い値は次のうちどれか。

なお、重油の化学成分は重量比で炭素 85.0 [%]、水素 15.0 [%]、原子量は炭素 12、酸素 16 とする。炭素の酸化反応は次のとおりである。



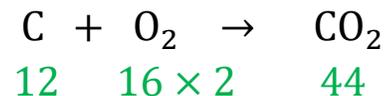
- (1) 3.83×10^2 (2) 6.83×10^2 (3) 8.03×10^2
 (4) 9.18×10^3 (5) 1.08×10^4

発電端電力量[kW・h]

$$= \text{燃料使用量}[\text{kg}] \times \frac{\text{燃料の発熱量}[\text{kJ}/\text{kg}]}{3600} \times \text{熱効率} \eta$$

$$600 \times 10^3 \times 24 [\text{kW} \cdot \text{h}] = m \times \frac{44000}{3600} \times 0.4$$

$$m = \frac{600 \times 10^3 \times 24 \times 3600}{44000 \times 0.4} = 2945000 \text{ kg} = 2945 \text{ t}$$



重油の質量比 0.85 $\frac{44}{12} \times 0.85$ 発生する二酸化炭素

発生する二酸化炭素の量

$$2945 \text{ t} \times \frac{44}{12} \times 0.85 = 9180 \text{ t} = 9.18 \times 10^3 \text{ t}$$

H21 問15

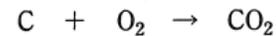
問15 最大出力 600 [MW] の重油専焼火力発電所がある。重油の発熱量は 44 000 [kJ/kg] で、潜熱は無視するものとして、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) 45 000 [MW・h] の電力量を発生するために、消費された重油の量が 9.3×10^3 [t] であるときの発電端効率 [%] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 37.8 (2) 38.7 (3) 39.6 (4) 40.5 (5) 41.4

(b) 最大出力で 24 時間運転した場合の発電端効率が 40.0 [%] であるとき、発生する二酸化炭素の量 [t] として、最も近い値は次のうちどれか。

なお、重油の化学成分は重量比で炭素 85.0 [%]、水素 15.0 [%]、原子量は炭素 12、酸素 16 とする。炭素の酸化反応は次のとおりである。



- (1) 3.83×10^2 (2) 6.83×10^2 (3) 8.03×10^2
(4) 9.18×10^3 (5) 1.08×10^4