

ボイラーの構造に関する知識

- 問 1 廃棄物焼却炉に付設した廃熱ボイラー（運転圧力 $P=3.92$ MPa、飽和温度 $t_s=249.18$ °C）において、焼却炉出口高温側（廃熱ボイラー入口側）は、ガスの流れの方向に4面のパネル式水冷壁（矩形断面）で構成され、現状では、入口燃焼排ガス温度 $t_1=870$ °C、ガスの流れの方向下流側にある矩形断面の燃焼排ガス温度 $t_2=630$ °C で運転されている。この設備のダイオキシン生成を抑制することを目的として、この水冷壁を不定形耐火物（熱伝導率 $\lambda_c=1.07$ W/(m・K)）で覆うことによって熱吸収を抑え、前述の下流側にある矩形断面の燃焼排ガス温度 $t_r=800$ °C とする計画がある（次ページの計画参考図参照のこと）。

この計画に対し次の問に答えよ。

ただし、パネル式水冷壁は平板壁とみなし、耐火物施工の有無による伝熱面積の増減は無視できるものとし、また、燃焼排ガスの比熱はガス温度にはよらず一定、燃焼排ガスから水冷壁面または耐火物面への放射伝熱による放射率及び吸収率は耐火物施工の有無によらず不変とする。

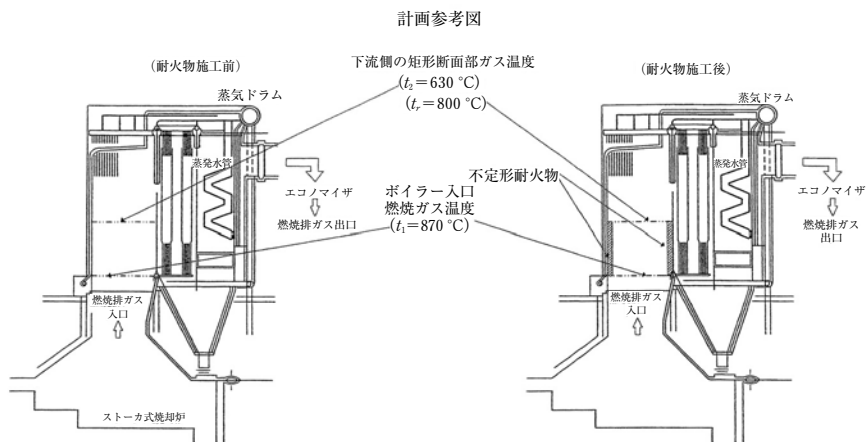
計算に際しては下記計画値によることとし、それぞれ本問で使用されている記号を用いた計算式を示し、答の端数処理はそれぞれの指示に従うこと。

[計画値]

水冷壁管内熱伝達率 (α_w)	1,400 W/(m ² ・K)
水冷壁管厚さ (δ_w)	4.0 mm
水冷壁管熱伝導率 (λ_w)	50 W/(m・K)
水冷壁管外燃焼排ガス熱伝達率 (α_g)	170 W/(m ² ・K)
不定形耐火物の熱伝導率 (λ_c)	1.07 W/(m・K)
自然対数の真数と対数	

計算に際しては、最も近い真数を用いること。

真数	1.0383	1.1271	1.6302	3.0099	3.3510	3.5597
対数	0.0375	0.1196	0.4887	1.1019	1.2093	1.2697



- (1) 耐火物施工前の現状の熱交換を示す対数平均温度差 Δtm_1 ($^{\circ}\text{C}$) を求めよ。

なお、答は、小数点以下第2位を四捨五入せよ。

- (2) 耐火物施工前の熱貫流率 K_1 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] を求めよ。

なお、答は、小数点以下第1位を四捨五入せよ。

- (3) 耐火物施工後の熱交換を示す対数平均温度差 Δtm_2 [$^{\circ}\text{C}$] 及び耐火物施工後の熱貫流率 K_2 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] を求めよ。

なお、答は、 Δtm_2 は小数点以下第2位を四捨五入し、 K_2 は小数点以下第1位を四捨五入せよ。

- (4) 施工すべき耐火物厚さ δ_c [mm] を求めよ。

なお、答は、小数点以下第1位を四捨五入せよ。

問 2 ボイラー効率改善を目的として設置するエコノマイザ及び空気予熱器について、次の問に答えよ。

- (1) エコノマイザ又は空気予熱器によるボイラー効率の増加はどの程度か。
- (2) 空気予熱器を設置した場合、特に重質油燃焼では、燃焼性能の面でのどのような効果があるか。
- (3) エコノマイザ及び空気予熱器の環境に及ぼす影響について違いを述べよ。
- (4) 硫黄を含む燃料を使う場合に、エコノマイザ及び空気予熱器の設備に生ずる現象を一つ挙げ、その現象に対するそれぞれの設備での対策を二つずつ述べよ。

問 3 次の文中の 内に入る適切な語句，数値又は文字式を答えよ。

- (1) 蒸気を加熱用を使用する場合はエンタルピの大きい ① を利用することが得策であり，加熱温度を一定に保つことができるので ② を用いる方が良い。

蒸気を熱仕事に変換して使用する場合は， ③ を用いる方が良い。これはタービンなどのように蒸気を ④ させて仕事に変える場合， ④ 後の蒸気の ⑤ を減らす必要があるからである。

- (2) 材料に繰返し荷重がかかる場合は引張強さよりもずっと低い応力で材料が破壊する。これを材料の ⑥ という。この現象は材料の種類，応力の種類，切欠きの有無などによっても異なるが，一般的に引張強さの ⑦ 程度である。

材料に高温下である応力が長時間加わる場合は徐々に変形が進行し，ときには破断に至る。この現象を ⑧ という。炭素鋼においては通常 ⑨ 程度の温度まではこの現象の影響は少ない。

- (3) ボイラー制御で，例えば給水加減弁を操作したときの ⑩ の変化及び空気ダンパを操作したときの ⑪ の変化は，制御量が操作量の変化にすぐ追従するケースであるが，供給熱量（燃料量）を変えたときの ⑫ の変化などはすぐに追従しないケースであり，変化が認められるまでには ⑬ があり，初期の変化速度がそのまま持続すると仮定した場合に，最終平衡値に達するまでの時間を ⑭ という。 ⑮ の値が大きければ一般的には制御の安定度は比較的容易に得られると考えられる。

問 4 次のAからEまでは、ボイラーの材料、伝熱、構造などに関する記述であるが、誤っているものみの組合せは(1)~(5)のうちどれか。

- A ある一定の体積の湿り空気に含まれる水蒸気の量と乾き空気の量との質量比を相対湿度といい、ある温度の湿り空気中の水蒸気の分圧とその温度に対する水蒸気の飽和圧力との比を絶対湿度という。
- B 単位質量のガスを一定圧力の下で温度1 K (1°C) 上げるのに要する熱量を定圧比熱といい、一定体積の下で温度1 K (1°C) 上げるのに要する熱量を定容比熱 (定積比熱) という。また定圧比熱と定容比熱の比を比熱比という。
- C 中低面に圧力を受ける皿形鏡板において、内部の圧力によって生じる応力は、すみの丸みの部分において最も大きい。この応力は、子午線方向に生じるものと緯線方向に生じるものがあるが、前者の方が大きい。また、この応力は、すみの丸みの半径が小さいほど大きくなる。
- D 材料の降伏点は、炭素鋼では明らかであるが、合金鋼や非鉄金属では明らかでない。後者の場合は、通常、0.2%の永久ひずみを生じる応力をもって降伏点とみなし、これを耐力という。
- E 過熱器のあるボイラーにおいて、伝熱面の配置を蒸発部と過熱部に分けると、高温高圧ボイラーでは全吸収熱量のうち蒸発部の占める割合が大きく、比較的圧力の低いボイラーでは過熱部の占める割合が大きい。

- (1) A, C (2) A, E (3) B, C
(4) B, D (5) D, E

ボイラーの構造に関する知識

問 1 (※正答例)

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \Delta t m_1 &= \frac{(t_1 - t_s) - (t_2 - t_s)}{\ln\{(t_1 - t_s)/(t_2 - t_s)\}} \\
 &= \frac{870 - 630}{\ln\{(870 - 249.18)/(630 - 249.18)\}} = \frac{240}{\ln 1.6302} \\
 &= 491.09 \doteq 491.1 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad \frac{1}{K_1} &= \frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_g} \\
 &= \frac{1}{1,400} + \frac{0.004}{50} + \frac{1}{170} = 0.0066766 \\
 K_1 &= 149.7 \doteq 150 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (3) \quad \Delta t m_2 &= \frac{(t_1 - t_s) - (t_r - t_s)}{\ln\{(t_1 - t_s)/(t_r - t_s)\}} \\
 &= \frac{870 - 800}{\ln\{(870 - 249.18)/(800 - 249.18)\}} = \frac{70}{\ln 1.1271} \\
 &= 585.28 \doteq 585.3 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_2 &= \frac{\Delta t m_1}{\Delta t m_2} \times \frac{(t_1 - t_r)}{(t_1 - t_2)} \times K_1 \\
 &= \frac{491.09}{585.28} \times \frac{(870 - 800)}{(870 - 630)} \times 149.7 = 36.6 \doteq 37 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

$$(4) \quad \frac{1}{K_2} = \frac{1}{K_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c}$$

の関係から

$$\begin{aligned}
 \delta_c &= \left(\frac{1}{K_2} - \frac{1}{K_1} \right) \lambda_c \\
 &= \left(\frac{1}{36.6} - \frac{1}{149.7} \right) \times 1.07 \\
 &= 0.0220 \text{ m} = 22.0 \text{ mm} \doteq 22 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

問 2 (※正答例)

(1) 「排ガス温度を 20℃ 下げると約 1% 増加する。」

(2) 「燃焼効率を改善し空気過剰率が少なくて済む。」

(3)[エコノマイザ]

「常温又は低温の空気で燃焼するため、サーマル NO_x の発生が低く抑えられる。」

[空気予熱器]

「燃焼用空気温度が上昇するため、NO_x の発生が増加する傾向となる。」

(4)[現象]

「硫酸腐食が発生する。」

[対策]

・エコノマイザ

次の二つ

「給水温度を露点温度以上に保持する。」

「ステンレス鋼などの耐食性材料を採用する。」

・空気予熱器

次のうち二つ

「冷空気のバイパス法を採用する。」

「熱空気の再循環法を採用する。」

「あらかじめ空気を予熱する蒸気式空気予熱器を設置する。」

「ステンレス鋼などの耐食性材料を採用する。」

問 3 (※正答例)

- (1) ① 凝縮潜熱 ② 飽和蒸気 ③ 過熱蒸気
④ 膨張 ⑤ 湿分
- (2) ⑥ 疲れ ⑦ 0.4~0.6 ⑧ クリープ
⑨ 350℃
- (3) ⑩ 水量 ⑪ 空気量 ⑫ 炉内圧

		⑬ 無駄時間	⑭ 時定数	⑮ 時定数／無駄時間
問	4	答	(2)	
問	5	答	(1)	
問	6	答	(4)	