

熱分野
専門区分

課目Ⅲ 燃料と燃焼

試験時間 16:20~17:40 (80分)

4時限目

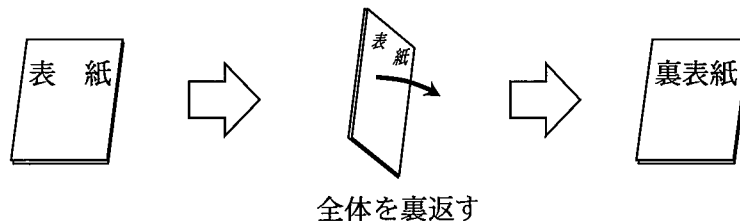
問題 8, 9 燃料及び燃焼管理
問題 10 燃焼計算

1~5 ページ
7~9 ページ

I 全般的な注意

1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子の中を見ないこと。
2. 試験中に問題の印刷不鮮明、冊子のページの落丁・乱丁などに気付いた場合は、係の者に知らせること。
3. 問題の解答は答案用紙（マークシート）に記入すること。
4. 答案用紙の記入に当たっては、答案用紙に記載の「記入上の注意」に従うこと。「記入上の注意」に従わない場合には採点されない。該当欄以外にはマークや記入をしないこと。
5. 問題冊子の余白部分は計算用紙などに適宜利用してよい。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

解答上の注意は、裏表紙に記載してあるので、この問題冊子全体を裏返して必ず読むこと。



指示があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
問題の内容に関する質問にはお答えできません。

(燃料及び燃焼管理)

問題 8 次の各文章の ～ の中に入れるべき最も適切な字句、数値又は記述をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。(配点計 30 点)

(1) 次の 1) ～ 3) は、燃料ガスの性状や燃焼に関わる性質について記述したものである。

1) 一般的に広く使用されている気体燃料中の代表的な成分に CH_4 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 等がある。 CH_4 は都市ガス 13A の主成分であり、 C_3H_8 及び C_4H_{10} は の主成分である。 C_3H_8 及び C_4H_{10} の 20°C における飽和蒸気圧について、 C_3H_8 のそれは約 0.8 MPa であり、 C_4H_{10} ($n\text{-C}_4\text{H}_{10}$) のそれは約 [MPa] である。

< 及び の解答群 >

ア 0.2 イ 0.7 ウ 0.8 エ 1.1 オ CNG
カ LNG キ LPG

2) 気体の CH_4 と C_3H_8 の単位体積当たりの高発熱量 ($\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 単位の値) を比較すると、 C_3H_8 は CH_4 の約 倍である。 C_3H_8 の単位質量当たりの高発熱量は約 [MJ/kg] であり、この値は、市販の重油や軽油などの燃料油の単位質量当たりの高発熱量の値よりいくぶん 。

< ～ の解答群 >

ア 1.5 イ 2 ウ 2.5 エ 3 オ 50
カ 60 キ 70 ク 高い ケ 低い

3) 燃料ガスと空気の混合気について、混合気が燃焼し得る濃度範囲（混合気中の燃料ガスの体積割合 %）を可燃範囲という。0.1 MPa、298 K のもとで、CH₄-空気混合気の可燃範囲は 5～15% 程度であり、C₃H₈-空気混合気の可燃範囲は [%] 程度である。これら混合気の層流燃焼速度の最大値についてみると、0.1 MPa、298 K のもとで、両者ともに、混合気の当量比が 程度の場合に層流燃焼速度は最大になり、その値は約 [cm/s] である。

< ~ の解答群 >

ア 0.9 イ 1.1 ウ 1.3 エ 1.8 オ 40
カ 150 キ 290 ク 2～10 ケ 5～10 コ 4～75

(2) 次は、火炎からの放射について記述したものである。

火炎からの放射には、OH、CH、C₂ などの励起化学種から発せられる化学発光、 や などの安定分子から発せられるガス放射、すすなどの固体粒子から発せられる固体放射の 3 要素がある。

すすなどの固体粒子を含まない火炎は化学発光とガス放射だけを生じ、低輝度の 色を呈し、不輝炎と呼ばれる。それに対し、すすなどの固体粒子を含む火炎は化学発光とガス放射も伴うが、輝度の高い固体放射が支配的で、 色を呈し、輝炎と呼ばれる。

また、燃焼方式による火炎の形態をみると、 火炎は不輝炎の形態をとることが多く、 火炎や 火炎は輝炎の形態をとることが多い。

< ~ の解答群 >

ア CO₂ イ H₂O ウ N₂
エ O₂ オ 青あるいは青緑 カ 黄あるいは黄赤
キ 液体燃料の噴霧 ク 気体燃料の拡散 ケ 気体燃料の予混合

(燃料及び燃焼管理)

問題9 次の各文章及び表の ～ の中に入れるべき最も適切な字句、数値又は式をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、、、 及び は2箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。(配点計 30 点)

(1) 燃料を燃焼すると燃料中の硫黄化合物は、大部分が となり、その一部は となる。低温腐食とは、硫酸蒸気が酸露点以下の表面温度の伝熱面に凝縮して硫酸となり、金属を腐食する現象である。ここで、酸露点は排ガス中の が水蒸気と共に凝縮する温度であり、高い場合には [°C] に達することもあるため注意が必要である。

< ～ の解答群 >

ア 160 イ 210 ウ 260 エ SO オ SO₂ カ SO₃

(2) 気体燃料燃焼装置に関する次の記述のうち、明らかに間違っているものは、 及び である。

- ① 拡散燃焼バーナは、逆火の危険なしに燃焼量を広範囲に調節できる。
- ② 拡散燃焼バーナは、予混合燃焼バーナよりもすすを発生しにくい。
- ③ 部分予混合燃焼バーナの基本形式の一例として、ブンゼンバーナがある。
- ④ 部分予混合燃焼バーナの空気の予混合には、ベンチュリー管が使用される場合が多い。
- ⑤ 完全予混合燃焼バーナは、逆火に対して十分な配慮が必要である。
- ⑥ 完全予混合燃焼バーナは、工業用ガスバーナとして最も多く用いられている。

< 及び の解答群 >

ア ① イ ② ウ ③ エ ④ オ ⑤ カ ⑥

(3) 液体燃料燃焼装置について、次の表に示す火炎の特徴及び主な用途に該当するバーナ形式はそれぞれ 、 及び である。

表 各種バーナの主な特徴と用途

バーナ形式	主な特徴	主な用途
<input type="text" value="6"/>	・比較的狭角の短炎	小型加熱炉など比較的小規模の加熱装置
<input type="text" value="7"/>	・広角火炎 ・狭い油量調節範囲	負荷変動の少ない発電用、船舶用などの大型ボイラ
<input type="text" value="8"/>	・優れた霧化特性 ・広い油量調節範囲	連続加熱炉、ガラス熔融炉など均一加熱の必要な加熱炉

< ~ の解答群 >

ア 高圧気流式 イ 低圧気流式 ウ 油圧式

(4) 流動層燃焼方式の固体燃料燃焼装置について考える。

1) 運転温度は通常 [°C] 程度で、NO_xの生成が少ないのが特徴である。

< の解答群 >

ア 650 ~ 750 イ 800 ~ 950 ウ 1000 ~ 1150

2) 気泡方式と循環方式とがあり、気泡方式の空気流速は、 [m/s] 程度である。

3) 汚泥焼却炉では、N₂O 生成抑制対策として、炉内温度を [°C] 以上に保つことが求められている。

< 及び の解答群 >

ア 0.1 ~ 0.2 イ 1 ~ 2 ウ 5 ~ 10 エ 700 オ 850 カ 1150

(5) 燃焼ガス分析に関する次の記述のうち、明らかに間違っているものは、12 及び 13 である。

- ① ガス分析法を分類すると、そのほとんどが化学的分析法である。
- ② ガスクロマトグラフ法は、連続的な測定に適している。
- ③ 試料ガス採取点の選定として、ダクト内にダストが堆積するところは避ける。
- ④ 試料ガスの採取管及び導管の材質は、腐食し難いものを選ぶ。
- ⑤ 赤外線ガス分析計は、ガスの種別ごとの赤外線吸収の強さから濃度を求める分析計である。
- ⑥ 空気比が大きくなるほど排ガス中の酸素濃度は増加する。

〈 12 及び 13 の解答群 〉

ア ① イ ② ウ ③ エ ④ オ ⑤ カ ⑥

(空 白)

(燃焼計算)

問題 10 次の各文章の ~ の中に入れるべき最も適切な数値をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、一つの解答群から同じ記号を 2 回以上使用してもよい。

また、 ~ に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。(配点計 50 点)

ボイラの熱効率を向上させるためには排ガスからの熱回収が有効である。最近の小型ボイラでは、排ガス温度が露点以下になるまで熱回収を行って水蒸気の潜熱を利用することもある。

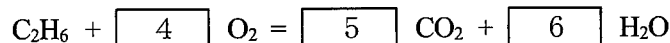
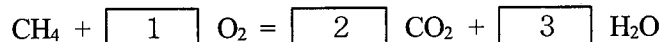
いま、組成(体積割合)がメタン 90%、エタン 10% の気体燃料を空気比 1.2 で完全燃焼させているボイラを想定し、基準温度を 25℃、排ガス温度を 300℃ としたとき、排ガスからの熱回収がどれほど有効かを概算する。ただし、ボイラからの熱損失は排ガスが持ち出す熱損失のみとし、燃焼用空気中の水蒸気は無視してよいものとする。

ここで、メタンの低発熱量を $35.8 \text{ MJ/m}^3_{\text{N-f}}$ 、エタンの低発熱量を $63.8 \text{ MJ/m}^3_{\text{N-f}}$ とし、排ガスの平均定圧比熱を $1.38 \text{ kJ}/(\text{m}^3_{\text{N}}\cdot\text{K})$ 、水蒸気の凝縮潜熱を 2.44 MJ/kg とする。また、空気中の酸素の体積割合を 21% とし、残りは全て窒素とする。

なお、 $[\text{m}^3_{\text{N}}]$ は標準状態での気体の体積、 $[\text{m}^3_{\text{N-f}}]$ はそのうちの気体燃料の体積を表すものとし、気体 1 kmol の体積を $22.4 \text{ m}^3_{\text{N}}$ とする。

1) 理論空気量を計算する。

メタンとエタンが完全燃焼したときの反応式はそれぞれ次のようになる。



用いる燃料の組成がメタン 90%、エタン 10% なので、燃料 1 m^3_{N} の燃焼に必要な理論酸素量は

$[\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$ であり、空気中の酸素の体積割合が 21% であることから、理論空気量は

$[\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$ と求められる。

< ~ の解答群 >

ア $\frac{1}{4}$ イ $\frac{1}{2}$ ウ 1 エ 2 オ $\frac{5}{2}$

カ 3 キ $\frac{7}{2}$ ク 4 ケ 5 コ 6

2) 湿り燃焼ガス量を計算する。

この燃料 1m^3_{N} を、完全燃焼させたときに発生する CO_2 量は $\boxed{\text{C} \mid \text{a.bc}}$ $[\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$ 、 H_2O 量は $\boxed{\text{D} \mid \text{a.bc}}$ $[\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$ と求められる。想定する燃焼では空気比が 1.2 なので、湿り燃焼ガス量は、発生する CO_2 量及び H_2O 量に、空気中の N_2 量と余剰の O_2 量を加えて $\boxed{\text{E} \mid \text{ab.c}}$ $[\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$ となる。

3) 熱回収前のボイラの熱効率を計算する。

ここで、ボイラの熱効率については、燃料の低発熱量基準で計算することとし、それによって熱回収の効果を評価する。

メタンとエタンの低発熱量から、この燃料 1m^3_{N} の燃焼による低発熱量は $\boxed{\text{F} \mid \text{ab.c}}$ $[\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$ となる。ボイラからの熱損失は、熱回収前の温度 300°C の排ガスが持ち出す熱損失のみとするので、熱回収を行う前のボイラの熱効率は 86.9% となる。

4) 熱回収の効果を計算する。

使用燃料がメタンとエタンのみによるクリーンなガス燃料であり、燃焼ガスによる低温腐食等の問題は少ないので、排ガス温度を燃焼ガス中の水蒸気が凝縮するまで下げることによって、顕熱だけでなく潜熱も回収することを考える。ただし、水蒸気が凝縮しても燃焼ガスの体積と比熱は変わらないものと仮定する。

i) 顕熱回収の効果

排ガス温度が当初の 300°C から 50°C に低下するまで燃焼ガスから熱回収できたとすると、燃焼ガス 1m^3_{N} から回収される顕熱量は $\boxed{\text{G} \mid \text{a.bc}}$ $\times 10^{-1} [\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N}}]$ である。想定する燃焼ガス量を勘案すれば、この顕熱回収により、ボイラの熱効率は $\boxed{\text{H} \mid \text{ab.c}}$ $[\%]$ まで改善されることになる。

問題 10 の 4) ii) は次の 9 頁にある

ii) 潜熱回収の効果

排ガス温度が 50℃ に低下するまでに、燃焼ガス中の水蒸気の 22% が凝縮してその潜熱が回収できたとする。ここで、1 kg の水蒸気は $\boxed{7}$ [kmol] であるから、水蒸気 1 m³_N 当たりの凝縮潜熱は $\boxed{\text{I} \mid \text{a.bc}}$ [MJ/m³_N] となる。

i) の顕熱回収に加えて水蒸気の潜熱回収も行った場合は、燃料の低発熱量基準のボイラの熱効率率は $\boxed{\text{J} \mid \text{a.bc} \times 10^d}$ [%] と算出される。効率の値は 100% を超えたものになるが、これは燃料の低発熱量基準でボイラの効率を評価しているためである。

< $\boxed{7}$ の解答群 >

ア $\frac{1}{22.4}$

イ $\frac{1}{18}$

ウ $\frac{1}{2}$

エ 1

(表紙からの続き)

II 解答上の注意

1. 問題の解答は、該当欄にマークすること。

2. 、 などは、解答群の字句、数値、式、図などから当てはまる記号「ア、イ、ウ、エ、オ・・・」を選択し、該当欄のその記号を塗りつぶすこと。

3. 、 などは、計算結果などの数値を解答する設問である。a,b,c,d などのアルファベットごとに該当する数字「0,1,2,3,4,5,6,7,8,9」(ただし、aは0以外とする)を塗りつぶすこと。

また、計算を伴う解答の場合は次の(1)～(3)によること。

(1) 解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。

このとき、解答すべき数値の計算過程においても、すべて最小位よりも一つ下の位まで計算し、最後に四捨五入すること。

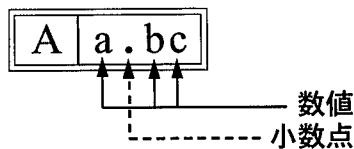
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1)の計算条件を満足すること。

(3) 問題文中で与えられる数値は、記載してある位以降は「0」として扱い、「解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。」を満足しているものとする。

例えば、2.1 kg の 2.1 は、2.100…と考える。特に円周率などの場合、実際は $\pi = 3.1415\cdots$ であるが、 $\pi = 3.14$ で与えられた場合は、3.1400…として計算すること。

「解答例1」

(設問)



(計算結果)

6.827……

↓ 四捨五入

6.83

(解答)

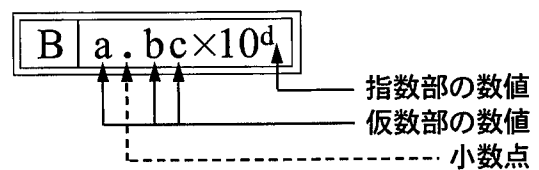
「6.83」に
マークする



		A			
		a	.	b	c
				0	0
①				1	1
②				2	2
③				3	●
④				4	4
⑤				5	5
⑥				6	6
⑦				7	7
⑧				●	8
⑨				9	9

「解答例2」

(設問)



(計算結果)

9.183×10^2

↓ 四捨五入

9.18×10^2

(解答)

「 9.18×10^2 」に
マークする



		B				
		a	.	b	c	×10 ^d
				0	0	0
①				●	1	1
②				2	2	●
③				3	3	3
④				4	4	4
⑤				5	5	5
⑥				6	6	6
⑦				7	7	7
⑧				8	●	8
⑨				9	9	9

(裏表紙)