

熱分野  
専門区分

課目Ⅲ 燃料と燃焼

試験時間 9:00～10:20 (80分)

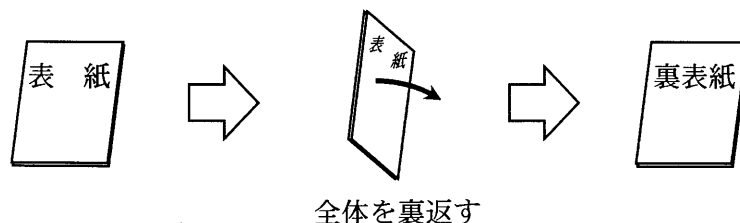
1  
時限

問題 8, 9	燃料及び燃焼管理	1～5 ページ
問題 10	燃焼計算	7～10 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 [ 1 ] ~ [ 18 ] 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。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。(配点計 30 点)

(1) 資源・環境問題を背景に、従来の化石燃料に代わる新たな燃料の開発の努力がなされている。

GTL は Gas To Liquids の略称で、天然ガスから FT 反応と呼ばれる化学反応により合成される燃料であり、[ 1 ] に相当する性状のものが製造されている。硫黄分や [ 2 ] 炭化水素成分をほとんど含まないので、燃焼した際の SO<sub>x</sub> やばいじんの生成を抑えることができる。

自動車用燃料電池については、当面の主たる燃料として、天然ガスの改質あるいは製鉄プロセスにおける副生ガスである [ 3 ] からの分離などによって製造される水素が想定されている。

< [ 1 ] ~ [ 3 ] の解答群 >

ア ガソリン	イ ナフサ	ウ プロパン	エ 軽油
オ 高炉ガス	カ コークス炉ガス	キ 転炉ガス	ク 鎖状飽和
ケ 鎖状不飽和	コ 芳香族		

(2) 重油は、JIS 規格 (JIS K2205:2006) によると、噴霧燃焼における微粒化性能に直接的に影響する [ 4 ] によって、1 種、2 種及び 3 種の 3 種類に分類されている。1 種重油は、[ 5 ] によって更に 1 号及び 2 号の 2 種類に細分類されている。

重油中の炭素と水素の質量割合の比 (C/H 比) が大きいほど、単位質量当たりの発熱量が [ 6 ] 。また、C/H 比が大きいほど密度が [ 7 ] という傾向があるが、1 種、2 種及び 3 種の 3 種類の重油のうち、密度が最も大きいのは、[ 8 ] である。

< [ 4 ] ~ [ 8 ] の解答群 >

ア 1 種重油	イ 2 種重油	ウ 3 種重油	エ 硫黄分
オ 残留炭素分	カ 灰分	キ 動粘度	ク 密度
ケ 流動点	コ 小さい	サ 大きい	

(3) 水素 - 空気、メタン - 空気、及びプロパン - 空気の 3 種類の可燃混合気について、大気圧、室温の下での燃焼特性を考える。

可燃混合気中の燃料ガスの濃度が低くなると、混合気中を火炎が伝播できなくなり、この限界は希薄可燃限界と呼ばれている。希薄可燃限界の可燃ガスの濃度を当量比で表すと、その当量比の値は  混合気と  混合気のそれがほぼ同じ値であり、残りの 1 種類の混合気については、希薄可燃限界の当量比の値はそれよりもかなり小さい。

可燃混合気の層流燃焼速度の値は、燃料ガスの濃度によって変わるが、層流燃焼速度の最大値については、 混合気と  混合気のそれがほぼ同じく  [cm/s] 程度であり、残りの 1 種類の混合気については、層流燃焼速度の最大値はそれよりもかなり大きく、ほぼ 300 cm/s である。

<  ~  の解答群 >

ア 10	イ 40	ウ 80
エ プロパン - 空気	オ メタン - 空気	カ 水素 - 空気

(4) 重質油の噴霧燃焼では、微粒化が不十分であったり、燃料噴霧と燃焼用空気との混合が不良であったりすると、熱分解により燃料微粒子の炭化が進行して、 と呼ばれる、大きさが  の粒状物質が生成される。この粒子の生成に対する燃料性状の上での影響因子は  である。

気体燃料の拡散燃焼では、運転空気比が  であったり、燃料と空気の混合が不良であったりすると、燃料から分解した炭化水素が脱水素や重合反応を経て、直径が  の球形粒子が凝集し、すすが生成される。

<  ~  の解答群 >

ア アシッドスマット	イ セノスフェア	ウ チャー	エ 数 nm ~ 数百 nm
オ 数 $\mu\text{m}$ ~ 数百 $\mu\text{m}$	カ 硫黄分	キ 残留炭素分	ク 灰分
ケ 過小	コ 過大		

(燃料及び燃焼管理)

問題9 次の各文章の [ 1 ] ~ [ 12 ] 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) 燃焼に起因するばいじんの主たるものは、燃料の燃焼に伴って発生する [ 1 ] と未燃炭素である。未燃炭素は、一般的に、燃料の炭素と水素の質量割合の比 (C/H 比) が [ 2 ] ほど生成され易い。

重油燃焼の未燃炭素は、残炭形と気相析出形に分けられ、それらの大きさを比べると、

[ 3 ] の方が大きい。

< [ 1 ] ~ [ 3 ] の解答群 >

- |        |         |       |
|--------|---------|-------|
| ア 揮発分  | イ 固定炭素分 | ウ 水分  |
| エ 灰分   | オ 気相析出形 | カ 残炭形 |
| キ 1に近い | ク 小さい   | ケ 大きい |

(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、 [ 4 ] 及び [ 5 ] である。

- ① ガスを数気圧の加圧下で大量に貯蔵する場合は、球形タンクが用いられる。
- ② 空気比例制御方式の中で、均圧弁方式は拡散燃焼バーナに適用される。
- ③ 拡散燃焼バーナは、予熱空気を使用でき、工業用バーナとして多用されている。
- ④ 拡散燃焼バーナは、逆火が生じやすいため、燃焼量を広範囲には調節できない。
- ⑤ 部分予混合バーナの空気の予混合には、通常、ベンチュリー管が使用される。
- ⑥ 完全予混合バーナは、燃焼用二次空気を必要とせず、輝炎による急速燃焼が可能である。

< [ 4 ] 及び [ 5 ] 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 蒸発式には、灯油や重油が燃料として用いられる。
- ② 油圧噴霧式には、広角の火炎で、油量調節範囲が比較的狭いという特徴がある。
- ③ 流体噴霧式は、噴霧媒体の圧力によって高压気流形と低压気流形とに分けられる。
- ④ 回転式の霧化用空気は、一般に、全燃焼空気量の 80% 程度であり、送風圧は数 kPa 程度である。
- ⑤ 油圧噴霧式は、100トン級の大型ボイラに多く用いられている。
- ⑥ 保炎器は、主としてスワラタイプとバッフルタイプがある。

<  及び  の解答群 >

ア ①                      イ ②                      ウ ③                      エ ④                      オ ⑤                      カ ⑥

(4) 石炭の燃焼装置において、微粉炭燃焼装置では、一般に、200メッシュ（目開き  [ $\mu\text{m}$ ]）のふるい通過が 70～80%の微粉炭を、一次空気とともにバーナから燃焼炉内に吹き込み、燃焼室内で二次空気と混合させ、浮遊状態で燃焼させる。

流動層燃焼装置には、気泡方式及び循環方式があり、気泡方式の空気流速は、 [m/s] 程度である。

微粉炭燃焼装置と火格子燃焼装置とを比較した場合、燃料として粘結炭の使用に適さないのは、 燃焼装置である。

<  ～  の解答群 >

ア 0.1～0.2                      イ 1～2                      ウ 10～20                      エ 7.4  
オ 74                              カ 740                      キ 火格子                      ク 微粉炭

(5) 燃焼ガス分析法に関する次の記述のうち、明らかに間違っているものは、11 及び 12 である。

- ① 燃焼ガス分析法は、化学的分析及び物理的分析に大別され、連続的な濃度測定が可能な分析法のほとんどは物理的分析である。
- ② オルザットガス分析法及びヘンペルガス分析法は、化学的分析法である。
- ③ オルザットガス分析法は、排ガスからサンプリングした試料を、二酸化炭素、酸素及び窒素の吸収液に順次接触させ、それぞれへの吸収量からガスの濃度を測定する方法である。
- ④ 排ガス中の二酸化炭素の分析において、熱伝導率法は、二酸化炭素の熱伝導率が空気の熱伝導率に比べて十分大きいことを利用したものである。
- ⑤ 排ガス中の全炭化水素の分析には、水素炎イオン化検出器を用いた分析法がある。
- ⑥ 排ガス中の酸素を連続測定する電気化学式酸素計には、ジルコニア方式と電極方式がある。

〈 11 及び 12 の解答群 〉

ア ①            イ ②            ウ ③            エ ④            オ ⑤            カ ⑥

(空 白)

(燃焼計算)

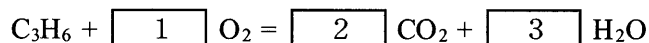
問題 10 次の各文章の  ~  の中に入れるべき最も適切な数値又は式をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、一つの解答群から同じ記号を 2 回以上使用してもよい。

また、 a.bc ~  a.bc×10<sup>d</sup> 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)

ゴミ(廃棄物)を燃焼させて、発生する熱を利用することをサーマルリサイクルという。今、代表的なゴミ(廃棄物)としてプラスチックゴミと紙ゴミについて考えてみる。両者とも、実際には様々な物質が混合したものであるが、計算を容易にするために、それぞれの代表的物質としてポリプロピレンとセルロースを考える。ポリプロピレンは、プロピレン(C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)が多数重合した物質であり、セルロースは、C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>が多数結合した物質である。空気中の水蒸気は無視することとして、次の 1) 及び 2) の計算を行う。

1) 理論空気量を計算する。

ポリプロピレンの単量体である C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> を完全燃焼させたときの反応式は次のように表される。



この式より、ポリプロピレン 1 kg を燃焼させるのに必要な理論酸素量は  a.bc [kg] となる。

また、空気中に占める酸素の体積割合は 21% であるため、空気の成分が O<sub>2</sub> と N<sub>2</sub> のみであると仮定すれば、空気中の O<sub>2</sub> と N<sub>2</sub> の質量比は 1 :  a.bc と求められる。従って、理論空気量は  ab.c [kg] と求められる。

ポリプロピレン 1 分子が何個の単量体からできているかにかかわらず、C と H の割合は単量体と同じであるから、ポリプロピレン 1 kg に含まれる炭素は  [kg] であることが分かる。

一方、セルロースの単量体である C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub> が完全燃焼したときの反応式は次のように表される。



この式より、セルロース 1 kg を燃焼させるのに必要な理論酸素量は  a.bc [kg] となる。



< 1 ~ 7 の解答群 >

ア  $\frac{1}{3}$

イ  $\frac{1}{2}$

ウ 1

エ 2

オ 3

カ  $3\frac{1}{2}$

キ 4

ク  $4\frac{1}{2}$

ケ 5

コ  $5\frac{1}{2}$

サ 6

シ  $8\frac{1}{2}$

ス 12

セ 32

ソ  $\frac{12 \times 3}{12 \times 3 + 6}$

タ  $\frac{12}{12+1}$

問題 10 の 2) は次の 9 頁及び 10 頁にある

2) 燃焼ガス温度を計算する。

ポリプロピレンとセルロースが空気比 1.3 で完全燃焼し、燃焼ガス成分は、 $N_2$ 、 $O_2$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$  のみであり、放熱がないと仮定して、燃焼ガス温度を計算する。

4 種類の気体からなる混合気体において、気体 a の質量を  $m_a$ 、定圧比熱を  $c_a$ 、気体 b の質量を  $m_b$ 、定圧比熱を  $c_b$ 、気体 c の質量を  $m_c$ 、定圧比熱を  $c_c$ 、気体 d の質量を  $m_d$ 、定圧比熱を  $c_d$  とした場合、混合気体の定圧比熱は、式  から求められる。

また、炭素 1kg を完全燃焼させると、 $CO_2$  は  [kg] 発生し、水素 1kg を完全燃焼させると、 $H_2O$  が  [kg] 発生する。

これより、 $CO_2$  の定圧比熱を 1.202 kJ/(kg·K)、 $H_2O$  の定圧比熱を 2.317 kJ/(kg·K)、 $N_2$  の定圧比熱を 1.164 kJ/(kg·K)、 $O_2$  の定圧比熱を 1.075 kJ/(kg·K) とし、比熱が燃焼ガス温度によらず一定であるとすれば、ポリプロピレンが空気比 1.3 で完全燃焼してできた燃焼ガスの定圧比熱は、  [kJ/(kg·K)] と求められる。

ここで、基準温度を 300 K とし、ポリプロピレンの低発熱量を 46.4 MJ/kg、燃焼ガスの定圧比熱が温度によらず一定であるとすれば、ポリプロピレンを空気比 1.3 で完全燃焼させた場合の燃焼ガス温度は   [K] と求められる。

同様にして、まずセルロースが空気比 1.3 で完全燃焼してできた燃焼ガスの定圧比熱は   [kJ/(kg·K)] と求められる。

基準温度を 300 K とし、セルロースの低発熱量を 13.6 MJ/kg、燃焼ガスの定圧比熱が温度によらず一定であるとすれば、セルロースを空気比 1.3 で完全燃焼させた場合の燃焼ガス温度は、  [K] と求められる。

これらの計算結果から、ポリプロピレンの燃焼とセルロースの燃焼では、燃焼ガスに大きな温度差が生じることが確認できる。また、実際には、紙ゴミには多くの水分が含まれるため、燃焼温度はこの計算値よりもさらに低くなるのが一般的である。これより、紙ゴミにプラスチックゴミが混入すると、想定外に燃焼温度が高くなり、焼却炉にダメージを与える可能性があることがわかる。

< 8 ~ 10 の解答群 >

ア 9

イ 10

ウ 12

エ  $12+16\times 2$

オ  $\frac{12+16\times 2}{12}$

カ  $\frac{12\times 2+16}{12\times 2}$

キ  $\frac{c_a+c_b+c_c+c_d}{4}$

ク  $\frac{m_a c_a+m_b c_b+m_c c_c+m_d c_d}{m_a+m_b+m_c+m_d}$

ケ  $(m_a+m_b+m_c+m_d)\left(\frac{c_a}{m_a}+\frac{c_b}{m_b}+\frac{c_c}{m_c}+\frac{c_d}{m_d}\right)$

(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.  1、 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.  A a.bc、 B a.bc×10<sup>d</sup> 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、計算をともなう解答の場合は以下によること。

(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。

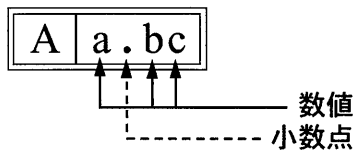
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、用いる数値は四捨五入後の数値ではなく、四捨五入する前の数値を用いるなど、(1)の計算条件を満足すること。

(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

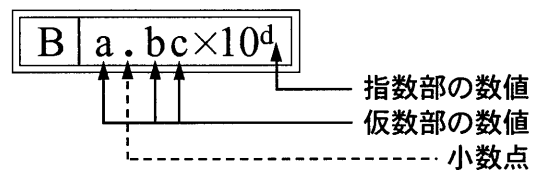
(解答)

「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<sup>2</sup>

↓ 四捨五入

9.18 × 10<sup>2</sup>

(解答)

「9.18×10<sup>2</sup>」に  
マークする

	B				
	a	.	b	c	×10 <sup>d</sup>
			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)