

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)

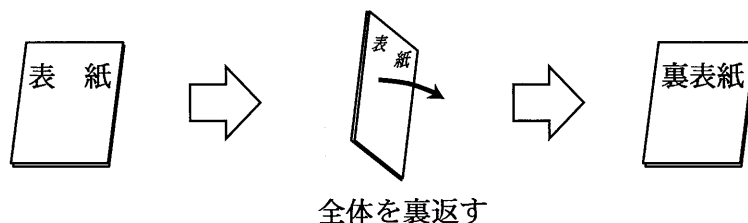
1 時限

問題 8, 9	燃料及び燃焼管理	1～ 6 ページ
問題 10	燃焼計算	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、数値又は式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) LPG (液化石油ガス) は、プロパン類及びブタン類を主成分とする液化ガスである。JIS 規格 (JIS K 2240:2013) では、用途やプロパン類とブタン類の成分割合によって幾つかの種類に分類されており、それぞれの種類について 40℃ における蒸気圧の上限が規定されている。そのうち、プロパン類の成分割合が最も大きい種類についての上限蒸気圧の概略値は [MPa] であり、ブタン類の成分割合が最も大きい種類の上限蒸気圧の概略値は [MPa] である。

LNG (液化天然ガス) の主成分はメタンであり、圧力 0.1 MPa における沸点は [℃] 程度である。LNG の密度は 0.4 ~ 0.5 kg/L 程度であり、一般的な原油の 15℃ における密度の約 [%] 程度である。

< ~ の解答群 >

ア	-200	イ	-160	ウ	-120	エ	-40	オ	0.2	カ	0.5
キ	1.0	ク	1.5	ケ	30	コ	50	サ	70	シ	90

(2) 重油は、JIS 規格 (JIS K 2205:2006) によると、1種 (A 重油)、2種 (B 重油) 及び3種 (C 重油) の3種類に分類され、更に A 重油は1号及び2号に、C 重油は1号、2号及び3号に細分類されている。

重油をポンプで送油する際に、ポンプの形式によって、一般に動粘度が 500 あるいは 1000 mm²/s 程度を超えると吐出量や全揚程が減少し、軸動力が著しく増大するといわれている。そのため、ポンプで送油する際に、 重油では特段の加熱は不要であるが、重油の JIS 分類の中で最も動粘度の高い油種である 重油の 号については、 [℃] 程度に加熱することが必要である。また、重油の噴霧バーナでの燃焼においては、一般に動粘度が 40 mm²/s 程度を超えると良好な霧化が困難であるといわれており、重油の JIS 分類の中で最も動粘度の高い油種については [℃] 程度に加熱してバーナに供給する必要がある。

〈 5 ～ 9 の解答群 〉

ア 1 イ 2 ウ 3 エ 10～20 オ 40～60
カ 60～80 キ 100～110 ク A ケ C

(3) 気体燃料を燃焼する同一の燃焼設備において、異なる種類の燃料ガスあるいは成分組成が異なる燃料ガスを燃焼させる場合は、適正な燃焼状態の確保という点からそれらの燃料ガス同士で互換性があるか否かを判別する必要があり、その指標としてウォッベ指数と燃焼速度がある。

燃料ガスにある一定の圧力を加え、ある一定の口径のノズルから噴出する場合を考える。燃料ガスの密度を ρ_g 、空気の密度を ρ_a とすると（燃料ガスの空気に対する比重は $\frac{\rho_g}{\rho_a}$ ）、燃料ガスの噴出速度（すなわち体積流量）は、燃料ガスの比重 $\frac{\rho_g}{\rho_a}$ の する。したがって、単位体積当たりの燃料ガス発熱量を H とすると、ノズルから噴出する燃料ガスの発熱量は式 に比例することになる。この式で表される量がウォッベ指数である。

適正な燃焼状態を形成していた従前の燃料ガスから、種類あるいは成分組成が異なる燃料ガスに変更しようとするとき、ウォッベ指数が従前よりも となる場合には、火炎の伸長や不完全燃焼を起こすおそれがある。また、予混合バーナにおいて、変更しようとする燃料ガスと空気の予混合気の燃焼速度が従前よりも過大になると、 のおそれが生じる。

〈 10 ～ 13 の解答群 〉

ア $H \left(\frac{\rho_g}{\rho_a} \right)$ イ $H \left(\frac{\rho_g}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{2}}$ ウ $\frac{H}{\left(\frac{\rho_g}{\rho_a} \right)}$ エ $\frac{H}{\left(\frac{\rho_g}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{2}}}$
オ 過小 カ 過大 キ 火炎の浮き上がり ク 逆火
ケ 吹き飛び コ $\frac{1}{2}$ 乗に比例 サ $\frac{1}{2}$ 乗に反比例 シ 1 乗に比例
ス 1 乗に反比例

問題8の(4)は次の3頁にある

(4) 気体燃料の拡散燃焼、気体燃料の予混合燃焼、液体燃料の噴霧燃焼の3種類の燃焼形態で形成されたバーナ火炎からの熱放射を考える。一般に、火炎中に生成される炭素粒子からの固体熱放射が支配的なのは、 火炎であり、 火炎においても輝炎が形成される場合には、固体熱放射が顕著である。放射エネルギーの主たるものが や からの気体熱放射であるのは、 火炎で不輝炎が形成される場合である。

< ~ の解答群 >

ア CO_2 イ H_2O ウ N_2 エ O_2

オ 液体燃料の噴霧燃焼 カ 気体燃料の拡散燃焼

キ 気体燃料の予混合燃焼

(燃料及び燃焼管理)

問題9 次の各文章の [1] ~ [13] 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) 燃焼に伴う高温腐食の発生防止対策について説明した次の①～⑥の記述のうち、明らかに間違っているものは、 [1] 及び [2] である。

- ① ドロマイトなどの添加剤の注入により灰の融点上昇を図る。
- ② バナジウム、ナトリウムなどの含有量が少ない燃料を使用する。
- ③ 定期点検時などを利用し、スケールの除去を行う。
- ④ 硫黄分の含有量が多い燃料を使用する。
- ⑤ スートブロワを適切に配置し、適切な時期に付着物をブローする。
- ⑥ 窒素分の含有量が少ない燃料を選択し使用する。

< [1] 及び [2] の解答群 >

ア ① イ ② ウ ③ エ ④ オ ⑤ カ ⑥

(2) 気体燃料用バーナを大きく分けると、燃料ガスと燃焼用空気の混合方式から、拡散燃焼バーナ、部分予混合燃焼バーナ及び完全予混合燃焼バーナに分類される。燃料ガス及び空気をそれぞれ高温に予熱できるのは、 [3] 燃焼バーナである。一方、急速燃焼、高負荷燃焼に最も適するのは、 [4] 燃焼バーナである。また、ブンゼン形、ベンチュリ形を基本形式とする [5] 燃焼バーナは、大気圧バーナともいわれる。

< [3] ~ [5] の解答群 >

ア 拡散 イ 完全予混合 ウ 部分予混合

問題9の(3)～(5)は次の5頁及び6頁にある

(3) 液体燃料の燃焼装置において、油圧式バーナには非戻り油式及び戻り油式がある。戻り油式バーナでは、燃焼量を定格値の 程度まで低下させることができ、油量の減少に伴って噴射角度は 特性がある。また、回転式、高圧気流形流体噴霧式及び低圧気流形流体噴霧式の油バーナのうちに、狭角の長炎の火炎形状を持つのは、 油バーナである。

< ~ の解答群 >

- | | | | | |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| ア $\frac{1}{10}$ | イ $\frac{1}{8}$ | ウ $\frac{1}{3}$ | エ $\frac{1}{2}$ | オ 回転式 |
| カ 高圧気流形流体噴霧式 | キ 低圧気流形流体噴霧式 | ク 減少する | | |
| ケ 増大する | コ 変化しない | | | |

(4) 石炭の燃焼装置において、燃焼方式に気泡方式及び循環方式があるのは 燃焼装置であり、その代表的な燃焼温度は [°C] である。この温度は、石灰石を用いた に適した温度でもある。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|-------------|---------------|---------------|
| ア 800 ~ 950 | イ 1000 ~ 1150 | ウ 1100 ~ 1250 |
| エ 高温防食 | オ 低温防食 | カ 微粉炭 |
| キ 流動層 | ク 炉内脱硝 | ケ 炉内脱硫 |

(5) 次の1)及び2)は、排ガス分析法の正誤について記述したものである。

1) 次の①～③の記述のうち明らかに間違っているものは、12 である。

- ① 物理的分析法は、電磁波の吸収、熱伝導率、密度、磁性などを測定することによって、排ガス中に含まれる化学種の濃度を決定する分析法である。
- ② 排ガス分析における試料の採取に当たっては、排ガス中の水蒸気や露点の高いガス成分などが凝縮してトラブルを起こすのを避けるため、必要に応じて採取管及び導管を保温・加熱する。
- ③ 排ガス中の全炭化水素の分析方法には、水素炎イオン化検出器（FID）を用いた分析法があり、FIDの無機ガスに対する感度は非常に大きい。

< 12 の解答群 >

ア ① イ ② ウ ③

2) 次の①～③の記述のうち明らかに間違っているものは、13 である。

- ① JISにおいて、計測器の種類として溶液導電率方式、赤外線吸収方式、紫外線吸収方式、紫外線蛍光方式及び干渉分光方式が規定されているのは、排ガス中の窒素酸化物の連続測定についてである。
- ② 排ガスの分析にはガスクロマトグラフ法も用いられ、排ガス中の N_2 、 O_2 、 CO_2 など試料中の多成分の分析に適している。
- ③ JISにおいて、排ガス中の酸素を連続的に測定する方式として規定されているものには、電気化学式及び磁気式がある。

< 13 の解答群 >

ア ① イ ② ウ ③

(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、 ~ 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)

木質バイオマスは、いわゆる「カーボンニュートラル」とみなされており、温室効果ガスの削減に有効である。ここでは、まず重油の一部を木質バイオマスで代替した場合の CO₂ 削減効果を試算し、次に木質バイオマス及び重油の全湿り燃焼ガス量を計算する。

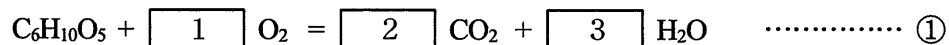
まず、木質バイオマスについては、計算を容易にするためその成分はセルロースと水のみであると仮定し、水分含量は湿量基準で 40% とする。セルロースの高発熱量を 19.5 MJ/kg とし、空気比 1.4 で完全燃焼させた。

一方、重油の質量組成は炭素 87%、水素 13% である。また、重油の低発熱量を 42.3 MJ/kg とし、空気比 1.2 で完全燃焼させた。

なお、空気は酸素と窒素のみからなるものと考え、空気中の水蒸気は無視する。また、水の蒸発潜熱は 2.44 MJ/kg とする。

1) CO₂ 発生量の計算

i) セルロースは C₆H₁₀O₅ が多数結合した物質であり、単量体 C₆H₁₀O₅ が理論酸素量で完全燃焼したときの反応式は次の式①で表すことができる。



< ~ の解答群 >

- | | | | | | |
|-----|-----|-----|------|------|------|
| ア 1 | イ 2 | ウ 3 | エ 4 | オ 5 | カ 6 |
| キ 7 | ク 8 | ケ 9 | コ 10 | サ 11 | シ 12 |

ii) セルロースの単量体の分子量が 162 なので、セルロース 1kg に含まれる単量体のモル数は [kmol] で、セルロース 1kg を完全燃焼させたときに発生する CO₂ の体積は [m³N]

と求められる。

iii) 重油1kgを完全燃焼させたときに発生するCO₂の体積は [m³_N]と求められる。

〈 ~ の解答群 〉

ア 22.4	イ $\frac{1}{162 \times 22.4}$	ウ $\frac{1}{162}$
エ $\frac{22.4}{162}$	オ $\frac{6 \times 22.4}{162}$	カ $\frac{0.87 \times 22.4}{12}$
キ $\frac{22.4}{12}$	ク $\frac{44 \times 22.4}{162}$	ケ $\frac{12 \times 22.4}{(12+2)}$

2) 発熱量の計算

i) 木質バイオマスは水分含量の変動が大きく、それによって発熱量が変わる。セルロース分の燃焼による高発熱量から「木質バイオマスの水分量及びセルロースの燃焼で生じるH₂O量の合計の水分の蒸発潜熱」を除いたものが木質バイオマスの低発熱量となる。

木質バイオマス1kgで考えると、その中に含まれる水分量 W_1 は [kg]であり、水分を除いたセルロース量と式①から、セルロースが燃焼することで発生するH₂O量 W_2 [kg]も求められ、合計の水分量 ($W_1 + W_2$) [kg]に水の蒸発潜熱 2.44 MJ/kg を乗じることで、水分全体の蒸発潜熱が求められる。これにより、木質バイオマスの低発熱量は、 [MJ/kg]と求められる。

〈 の解答群 〉

ア 0.4	イ $\frac{0.4}{1.4 \times 18}$	ウ $\frac{0.4}{1.4}$
-------	-------------------------------	---------------------

ii) この木質バイオマス1kgの燃焼により発生する熱量(低発熱量)は、重油 $\times 10^{-1}$ [kg]の燃焼熱量(低発熱量)に相当する。すなわち、木質バイオマスを1kg使用することにより、その重油相当分からのCO₂排出量 $\times 10^{-1}$ [m³_N]だけ発生が減少されると見なすことができる。

3) 湿り燃焼ガス量の計算

次に木質バイオマス及び重油の湿り燃焼ガス量を試算する。

- i) 重油 1kg を完全燃焼させたときに発生する CO₂ 量は、1) iii) で求めたとおりであり、発生する H₂O 量は [m³_N] である。

また、重油 1kg の理論酸素量は [m³_N] であり、空气中に占める酸素の体積割合が約 [%] であることから、理論空気量で重油 1kg が完全燃焼した場合の燃焼ガス中に含まれる N₂ 量は [m³_N] と求められる。

これまで求めた CO₂ 量、H₂O 量、N₂ 量に余剰空気量を加えて、全湿り燃焼ガス量は [m³_N] と求められる。

- ii) セルロース 1kg が理論空気量で完全燃焼したときに発生する CO₂ 量は、1) ii) で求めたとおりである。また、発生する H₂O 量は [m³_N] であり、N₂ 量は [m³_N] となる。空気比 1.4 で燃焼させた場合の全湿り燃焼ガス量は、これらに余剰空気を加えることにより、 [m³_N] と求められる。

これより、木質バイオマス 1kg を空気比 1.4 で燃焼させた場合の全湿り燃焼ガス量は [m³_N] となる。

木質バイオマス 1kg の燃焼と同じ熱量を発生させるために、2) ii) で求めた量の重油を空気比 1.2 で燃焼させたときの全湿り燃焼ガス量は [m³_N] となり、同じ発生熱量とする場合、木質バイオマスは重油に比べて大幅に燃焼ガス量が多くなることがわかる。原因の一つは、水分の含有量が多いことであり、木質バイオマスは予め乾燥させてから使用することで、熱損失を低減させることができる。

< ~ の解答群 >

ア 18

イ 21

ウ 25

エ $\frac{5 \times 22.4}{162}$

オ $\frac{10 \times 22.4}{162}$

カ $\frac{0.13 \times 22.4}{2}$

キ $\frac{18 \times 22.4}{162}$

ク 0.13 × 22.4

ケ $\frac{2 \times 22.4}{(12+2)}$

(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「0,0,2,0,4,0,6,0,8,0」(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。

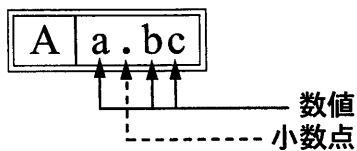
- (2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、解答すべき数値の桁数が同じ場合は、四捨五入後の数値ではなく、四捨五入する前の数値を用いて計算すること。

- (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 $\pi = 3.1415...$ 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)

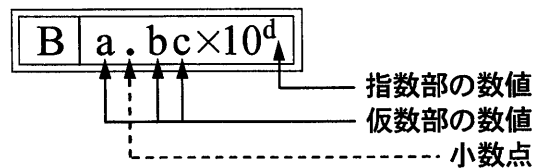
「6.83」に
マークする



		A			
		a	.	b	c
①		0		0	
②		1		1	
③		2		2	
④		3		●	
⑤		4		4	
⑥		5		5	
⑦		6		6	
⑧		7		7	
⑨		8		●	
⑩		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
①		0		0		①
②		1		1		●
③		2		2		③
④		3		3		④
⑤		4		4		⑤
⑥		5		5		⑥
⑦		6		6		⑦
⑧		7		7		⑧
⑨		8		●		⑨
⑩		9		9		⑩

(裏表紙)