

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

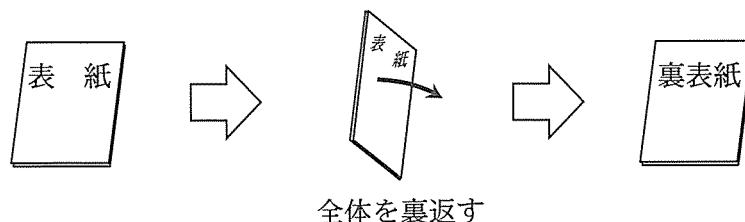
問題 8, 9 燃料及び燃焼管理
問題 10 燃焼計算

1～6 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 [1] ~ [15] の中に入れるべき最も適切な字句、数値、式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、[1] 及び [6] は2箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。(配点計 30 点)

- (1) 液体燃料の量は体積で計量されることが多く、質量への換算のために密度の値は重要である。通常、温度 [1] [°C] における密度を [g/cm³] の単位で表したり、その値に極めて近い値として、[1] [°C] における密度と [2] [°C] の水の密度との比(比重)で表したりしている。市販されている重油、軽油、灯油の3種の液体燃料のうち、一般に、密度が最も大きいのは [3] であり、密度が最も小さいのは [4] である。また、これら3種の液体燃料の単位質量当たりの高発熱量の値には大きな差はなく、[5] [MJ/kg] 程度である。

< [1] ~ [5] の解答群 >

ア 0 イ 4 ウ 15 エ 25 オ 40~50
カ 50~60 キ 60~70 ク 軽油 ケ 重油 コ 灯油

- (2) 規定条件下で小さな炎を液体燃料の試料蒸気に近づけたとき、試料蒸気が閃光^{せんこう}を発して瞬間的に燃焼し、かつ、その炎が液面上を伝播^{でんぱ}する試料の最低温度を [6] と呼ぶ。

重油の規格(JIS K 2205:2006)では、重油1種(A重油)についてその温度は [7] と規定されている。

軽油の規格(JIS K 2204:2007)においても [6] が規定されているが、その温度域は重油1種(A重油)の場合よりも [8] である。

< [6] ~ [8] の解答群 >

ア 60℃以下 イ 60℃以上 ウ 80℃以下 エ 80℃以上
オ 100℃以下 カ 100℃以上 キ 引火点 ク 煙点
ケ 着火点 コ 発火点 サ 高温側 シ 低温側

(3) 液体燃料の噴霧燃焼のための微粒化とは、液体燃料を微細な油滴に粉碎して単位質量当たりの表面積を増加させるとともに、油滴を空間に分散させ燃焼用空気との混合を良好に行わせることである。噴霧粒子群の粒度分布は図のような粒数分布柱状図で描くことができる。粒子群中の粒子を粒径によってグループに分け、 i 番目のグループの中心粒径を d_i 、そのグループに含まれる粒子の個数を Δn_i 、粒子の総数を n_T としている。

ここで、噴霧粒子群の全体としての特性を代表するような平均的な粒径を考える。次の式①で表されるのは、いわゆる算術平均粒径 d_{m1} である。

$$d_{m1} = \frac{\sum d_i \Delta n_i}{n_T} \dots\dots\dots ①$$

実際の噴霧バーナで形成される粒子群では小さい粒径の粒子の数が大変多いために、算術平均粒径はかなり小さい側の値になってしまい、粒子群の燃焼特性を代表する平均的な粒子径としては有用ではない。

そこで、噴霧粒子群の燃焼特性と関連付けて、粒子群の発熱量を特徴づける 9 の総和及び粒子群の蒸発・燃焼に要する時間を特徴づける 10 の総和を考慮した、次の式②で表される平均粒径 d_{m2} がよく用いられている。

$$d_{m2} = \frac{\text{11}}{\text{10}} \dots\dots\dots ②$$

この d_{m2} は 12 平均粒径と呼ばれている。

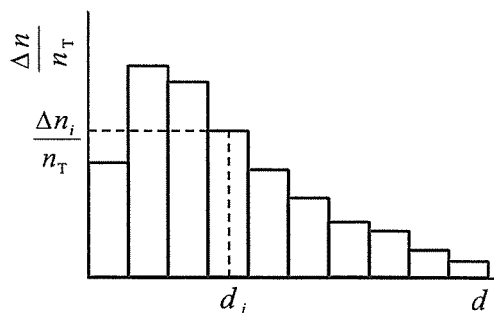


図 噴霧粒子群の粒数分布柱状図

< 9 ~ 12 の解答群 >

- | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| ア $\frac{\sum d_i^2 \Delta n_i}{n_T}$ | イ $\frac{\sum d_i^3 \Delta n_i}{n_T}$ | ウ $\frac{\sum (d_i^2 \Delta n_i)}{\sum (d_i \Delta n_i)}$ | エ $\frac{\sum (d_i^3 \Delta n_i)}{\sum (d_i^2 \Delta n_i)}$ |
| オ アンサンブル | カ ザウタ | キ メディアン | ク ロジーン・ラムラ |
| ケ 粒子個々の直径 | | コ 粒子個々の体積 | |
| サ 粒子個々の表面積 | | | |

問題 8 の (4) は次の 3 頁にある

(4) 気体燃料が円筒形の噴出管から静止空気中に鉛直上方に噴出され、安定した噴流拡散火炎が形成される場合を考える。ここで、噴出管の内半径を r_b 、気体燃料の噴出管出口での噴出流速を u_f 、気体燃料の層流拡散係数（分子拡散係数）を D_f とする。

1) まず、噴出流速が小さく、流れ場が層流である場合について考える。

簡易的な解析によれば、火炎の長さ l_f は、次の式③で表される。

$$l_f \propto u_f \frac{r_b^2}{D_f} \dots\dots\dots \text{③}$$

すなわち、 D_f は r_b や u_f に無関係で一定と考えられるから、噴出流速の小さい層流炎領域では、同じ噴出管を用いて噴出流速を変化させた場合、火炎の長さは 13 ことになり、これは実際の現象の傾向とよく一致している。

2) 一方、噴出流速が大きくなり、流れ場が乱流になった場合を考える。

その場合、式③で、層流拡散係数に代わって乱流拡散係数を使用することになる。乱流拡散係数は、概略として、流れ場の速度変動の大きさと渦のスケールの積に比例すると考えられ、速度変動の大きさは噴出流速に、渦のスケールは噴出管内半径に比例すると見なすことができる。

その結果、乱流炎領域では、同じ噴出管で噴出流速を変化させた場合、火炎の長さは 14 。また、内半径が異なる噴出管から同一の流速で燃料を噴出した場合、火炎の長さは 15 。

< 13 ~ 15 の解答群 >

- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| ア 噴出管内半径にほぼ比例する | イ 噴出管内半径の $\frac{1}{2}$ 乗にほぼ比例する |
| ウ 噴出管内半径の 2 乗にほぼ比例する | エ 噴出管内半径に依存せずほぼ一定となる |
| オ 噴出流速にほぼ比例する | カ 噴出流速の $\frac{1}{2}$ 乗にほぼ比例する |
| キ 噴出流速の 2 乗にほぼ比例する | ク 噴出流速に依存せずほぼ一定となる |

(3) 液体燃料燃焼装置について説明した次の記述のうち、明らかに間違っているものは、 及び である。

- ① 蒸発式に重油を用いると、ポット内に炭素が堆積し、燃焼が持続できなくなる。
- ② 回転噴霧式は、油圧が霧化に影響を与えないため、燃焼量の調整範囲が広い特徴を持つ。
- ③ 流体噴霧式は、比較的粘度の高い燃料油も温度を上げることで良好に微粒化させることができる。
- ④ 流体噴霧式のうち、低圧気流式は噴霧媒体として、主に水蒸気を用いる。
- ⑤ 平衡通風方式は、押込み送風機と排風機を併用し火炉を負圧に調整できるものである。
- ⑥ 保炎器のバフフルタイプは、旋回羽根によって空気に旋回を与え、循環流を発生させる特徴をもつ。

< 及び の解答群 >

ア ① イ ② ウ ③ エ ④ オ ⑤ カ ⑥

(4) 火格子燃焼方式、微粉炭燃焼方式及び流動層燃焼方式のうち、中小容量の燃焼装置で使用され、石炭等を粉砕せずにそのまま燃焼させるため動力費が少ないという特徴をもつのは、 燃焼方式である。

微粉炭燃焼方式では、灰は主に として排出される。

流動層燃焼方式には気泡流動層方式と循環流動層方式とがあるが、炉内ガス流速を比較すると、 。

< ～ の解答群 >

ア クリンカ イ フライアッシュ ウ ボトムアッシュ
エ 火格子 オ 微粉炭 カ 流動層
キ 気泡流動層燃焼方式の方が大きい ク 気泡流動層燃焼方式の方が小さい
ケ 同じである

(5) 燃焼排ガス中の一酸化炭素を非分散赤外線吸収分析計で測定する場合の干渉ガスは、 と である。

また、排ガス中の二酸化硫黄の分析において、紫外線吸収方式は、共存する の影響を無視できる場合、又は影響を除去できる場合に適用できる。

〈 ~ の解答群 〉

ア	一酸化炭素	イ	二酸化炭素	ウ	一酸化窒素	エ	二酸化窒素
オ	二酸化硫黄	カ	酸素	キ	水蒸気		

(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。

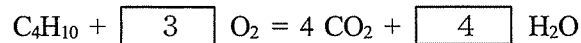
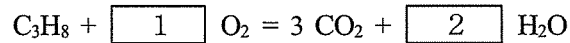
また、 a.bc ~ a.b に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。(配点計 50 点)

プロパンとブタンのみから成る燃料を、空気比 1.3 で燃焼させている加熱炉があり、この燃料 $1 \text{ m}^3_{\text{N-f}}$ を完全燃焼させると、 CO_2 が $3.2 \text{ m}^3_{\text{N}}$ と H_2O が生成するという。

排ガスによる熱損失を低減させるため、空気比を 1.2 に低下させてみたところ、それでも完全燃焼していた。このとき低減される損失熱量を求めるために、次の 1) ~ 3) の計算を、燃料単位量 ($\text{m}^3_{\text{N-f}}$ と表記する) 当たりについて行う。なお、空気中の成分は O_2 と N_2 のみとする。

1) 理論空気量を計算する。

i) プロパンとブタンが完全燃焼したときの反応式はそれぞれ以下のようなになる。



< ~ の解答群 >

ア $\frac{1}{2}$ イ 1 ウ 2 エ $\frac{5}{2}$ オ 3 カ $\frac{7}{2}$

キ 4 ク 5 ケ 6 コ $\frac{13}{2}$ サ 8 シ 11

ス 13

ii) 燃焼により CO_2 が $3.2 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}$ 生成することから、i) の反応式よりこの燃料中に含まれているプロパンのモル分率は [%] と分かる。

iii) このときに必要な理論酸素量は [$\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}$] であり、空气中に占める酸素の体積割合は [%] であることから、この値を用いて理論空気量は [$\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}$] と求められる。

< 及び の解答群 >

ア 16 イ 21 ウ 32 エ 60 オ 70 カ 80

2) 空気比低減前後の湿り燃焼ガス量を計算する。

i) この燃料を理論空気量で完全燃焼させたときに発生する CO_2 量及び H_2O 量は次のように整理できる。

CO_2 量 : $3.2 \text{ [m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$

H_2O 量 : [$\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}$]

ii) 運転空気比が 1.3 の場合、燃焼ガスに含まれる O_2 量及び N_2 量は次のとおりとなる。

O_2 量 : [$\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}$]

N_2 量 : [$\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}$]

以上より、このときの湿り燃焼ガス量は [$\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}$] と求められる。

iii) 同様にして、運転空気比が 1.2 の場合の O_2 量及び N_2 量も求めることができ、このときの湿り燃焼ガス量は [$\text{m}^3/\text{m}^3_{\text{N-f}}$] と求められる。

問題 10 の 3) は次の 9 頁にある

3) 空気比低減前後の排ガスによる損失熱量を計算し、損失熱量の低減率を求める。

i) 排ガスが持ち去る損失熱量 L_G は、排ガスを V_G 、湿り燃焼ガスの平均定圧比熱を c_{pm} 、排ガス温度を T_G 、基準温度を T_0 とすれば、式 $L_G = \boxed{7}$ と表される。

< $\boxed{7}$ の解答群 >

ア $V_G c_{pm} (T_G - T_0)$ イ $V_G c_{pm} \frac{T_G + T_0}{2}$ ウ $V_G c_{pm} \frac{T_G}{T_0}$

ii) 今回想定した加熱炉で空気比を 1.3 から 1.2 に低下させたとき、湿り燃焼ガスの平均定圧比熱が $1.37 \text{ kJ}/(\text{m}^3_{\text{N}}\text{K})$ 、排ガス温度が 300°C といずれも一定であるものとし、基準温度を 20°C とすれば、それぞれの運転空気比における損失熱量は、i) の L_G の式から求めることができ、排ガスによる燃料単位量当たりの損失熱量は $\boxed{\text{H} \mid \text{a.bc} \times 10^d}$ [$\text{kJ}/\text{m}^3_{\text{N-f}}$] 低減されると予測できる。これは、空気比低減前の損失熱量の $\boxed{\text{I} \mid \text{a.b}}$ [%] に相当する。

(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 ^d
---	----------------------

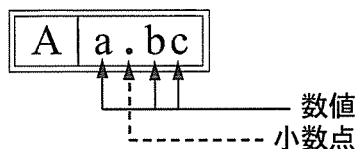
 などは、計算結果などの数値を解答する設問である。a,b,c,d などのアルファベットごとに該当する数字「0,1,2,3,4,5,6,7,8,9」(ただし、a は 0 以外とする)を塗りつぶすこと。

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 $\pi = 3.1415...$ 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

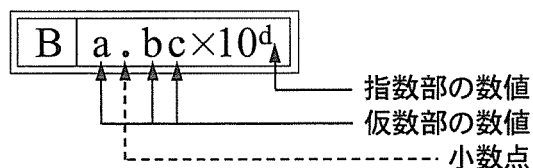
(解答)

「6.83」に
マークする ⇒

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

(裏表紙)