

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

1～6 ページ
7～10 ページ

I 不正行為への対処

不正行為には厳正に対処する。不正行為を行った場合は、試験会場から退出させ、全課目の試験結果を無効とする。

具体的な不正行為については裏表紙を参照（※1）のこと。

II 試験中における注意事項

1. 受験票は、机の上の見やすい位置に、常に置いておくこと。
2. 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、監督員に知らせること。
ただし、問題内容についての質問は一切受け付けない。
3. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。
4. 以下の場合、監督員に挙手合図をすること。
・体調不良 ・水分補給が必要 ・トイレに行きたい

III 問題解答上の注意事項

1. 問題の解答は答案用紙（マークシート）に記入すること。
2. 答案用紙へ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。
3. 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。
4. その他の問題解答上の注意事項については裏表紙を参照（※2）のこと。

注意事項は、裏表紙に続くので、この問題冊子全体を裏返して必ず読むこと。
その際、冊子の中は決して見ないこと。



指示があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。

(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等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) アンモニアの燃料としての利用について考える。

1) アンモニア (NH₃) は化石燃料とは異なり、燃焼時に を排出しない次世代燃料である。ただし、1 kg 当たりの発熱量は一般的な石油等よりも低く、また、その組成から が発生するので除去装置が必要となる。

近年では火力発電所で との混焼が試行されている。

< の解答群 >

ア CO₂ イ NO ウ NO₂ エ H₂O

< の解答群 >

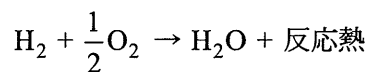
ア 硫黄酸化物 イ 窒素酸化物 ウ 水蒸気 エ すず

< の解答群 >

ア ナフサ イ 軽油 ウ 灯油 エ 石炭

2) 今後は、再生可能エネルギー由来の水素等でアンモニアを合成することが期待されている。

i) 水素の 1 kmol 当たり燃焼反応式 (25℃、大気圧基準) は、次式のように表すことができる。



ここで、反応熱は生成される H₂O が蒸気である場合は 242 MJ であるが、液体である場合には 286 MJ となる。これは生成される H₂O が持つ の差による。この反応熱が燃料としての発熱量となり、 を含むときを高発熱量、含まないときを低発熱量と呼ぶ。

< の解答群 >

ア 顕熱 イ 潜熱 ウ 比熱 エ 比容積

ii) 第一次近似として水素の反応式を用いて、単位質量当たりのアンモニアの高発熱量を推定してみる。反応式上の水素原子3個に相当する反応熱を求め、1kmol のアンモニアの質量である約 [kg] で除すと、1 kg 当たりの高発熱量は [MJ] となり、実際の測定値 22.5 MJ/kg より少し高い。この差は、アンモニア中の水素と窒素の結合エネルギーによるものと考えられる。

〈 の解答群 〉

ア 14 イ 17 ウ 18 エ 19 オ 20

〈 の解答群 〉

ア 22.8 イ 23.4 ウ 25.2 エ 26.4 オ 27.8

iii) なお、1 kg 当たりの高発熱量をアンモニアと水素で比較すると 。

〈 の解答群 〉

ア アンモニアの方が大きい イ アンモニアの方が小さい
ウ 両者同程度である

問題 8 は次の頁に続く

(2) 各種燃料の燃焼方式における燃焼不良について考える。

- 1) 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、8 と呼ばれる、大きさが 9 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、10 分である。

＜ 8 の解答群 ＞

ア アシッドスマット イ グラファイト ウ セノスフェア エ チャー

＜ 9 の解答群 ＞

ア 数 nm～数百 nm イ 数 μm ～数百 μm ウ 数 mm～数百 mm

＜ 10 の解答群 ＞

ア オゾン イ 硫黄 ウ 残留炭素 エ 窒素

- 2) 気体燃料の拡散燃焼では、運転空気比が過小であったり、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 11 の球形粒子が凝集し、すすが生成される。

＜ 11 の解答群 ＞

ア 数 nm～数百 nm イ 数 μm ～数百 μm ウ 数 mm～数百 mm

(3) 建屋内の燃焼設備で、都市ガス（13A）あるいはLPGを使用する場合を考える。

- 1) 都市ガス（13A）の主成分であるメタン（ CH_4 ）の分子量は約 であり、LPGの主成分であるプロパン（ C_3H_8 ）の分子量は約 である。

＜ の解答群 ＞

ア 14 イ 16 ウ 18 エ 20 オ 22

＜ の解答群 ＞

ア 40 イ 44 ウ 48 エ 50 オ 60

- 2) この二つの燃料の漏洩検出センサの正しい設置高さについては、空気の平均分子量との相対的な大小関係より決められ、都市ガス（13A）用については に、LPG用については に設置するのが適正である。

＜ 及び の解答群 ＞

ア 床面側 イ 天井側 ウ 屋根裏 エ 床下 オ 床と天井の間

(燃料及び燃焼管理)

問題 9 次の各文章の ～ の中に入れるべき最も適切な字句等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) ばいじんの生成機構及びその発生防止対策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 燃焼により発生するばいじんの主たるものは、燃料の燃焼によって生成する灰分と未燃炭素である。
- ② 微粉炭燃焼ボイラは、ガス燃焼ボイラと比べて生成するばいじん量が多い。
- ③ 重油燃焼の未燃炭素は、残炭形と気相析出形に分けられる。残炭形の粒子の直径は、0.02 ～ 0.05 μm 程度である。
- ④ アシッドスマットとは、未燃炭素が塩酸を吸着して雪状に発達し、排ガスとともに排出されるものである。
- ⑤ ばいじんの発生防止対策として、灰分の少ない燃料を選択する。
- ⑥ 排ガス中のばいじんを捕集するためには、適正な集塵装置の選定を行う。

< 及び の解答群 >

ア ① イ ② ウ ③ エ ④ オ ⑤ カ ⑥

(2) 気体燃焼に使用するバーナには、燃料と空気の混合方式から、①拡散燃焼式バーナ、②部分予混合燃焼式バーナ、③完全予混合燃焼式バーナなどの種類がある。

これら①～③のバーナの中で、燃料と空気の混合気以外に二次空気の取入れ経路が設けられている形式のバーナは、 燃焼式バーナである。この方式のバーナのうち、燃料ガスの動圧で燃焼用空気の一部を吸引する形式のバーナは、 燃焼バーナとも呼ばれている。

< の解答群 >

ア 拡散 イ 部分予混合 ウ 完全予混合

< の解答群 >

ア 高気圧 イ 低気圧 ウ 大気圧 エ 負圧

- (3) 液体燃料燃焼装置の中には、回転噴霧式と流体噴霧式などがある。回転噴霧式の霧化用空気は、全燃焼空気量の [%] 以下、送風圧は数 kPa 程度である。また、流体噴霧式の特徴として、 ことが挙げられる。

〈 の解答群 〉

ア 20 イ 40 ウ 60 エ 80

〈 の解答群 〉

- ア 灯油や軽油のような良質燃料油しか使用できない
イ 粘度の高い燃料油も良好に微粒化させることができる
ウ 霧化を圧縮窒素によって行う
エ 霧化を回転する中空軸によって行う

- (4) 燃焼排ガスの物理的ガス分析法には、赤外線ガス分析法やガスクロマトグラフ法などがある。

- 1) 赤外線ガス分析法は 及び などのガスが赤外線に対して持っている固有の吸収波長帯を利用したものである。

〈 及び の解答群 〉

ア H₂ イ O₂ ウ CH₄ エ CO₂ オ H₂O

- 2) ガスクロマトグラフ法は多成分からなる試料の分析に適しており、特に微量成分の分析が可能である。

赤外線ガス分析法とガスクロマトグラフ法を比較すると、次のとおりである。

- ・応答速度が速いのは である。
- ・連続分析への適性があるのは である。

〈 及び の解答群 〉

ア ガスクロマトグラフ法 イ 赤外線ガス分析法 ウ 両方法とも同等

(燃焼計算)

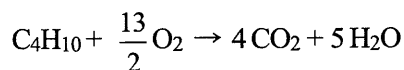
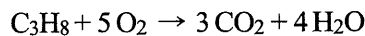
問題 10 次の各文章の 1 ～ 14 の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。(配点計 50 点)

プロパンとブタンの体積割合がそれぞれ 70 % と 30 % の混合燃料を、空気で完全燃焼させているボイラがある。このボイラの燃焼排ガスによる熱損失の低減を目的として燃焼用空気量を削減したときの熱損失の削減効果を試算する。

燃焼用空気量削減前の燃焼において、湿り燃焼排ガス中の CO_2 の体積割合は 9.4 %、排ガス温度は 250 °C である。燃焼用空気については、酸素の体積割合は 21 % で残りはすべて窒素とする。また、燃焼用空気の比熱は $1.32 \text{ kJ}/(\text{m}^3_{\text{N}} \cdot \text{K})$ 、湿り燃焼排ガスの比熱は $1.41 \text{ kJ}/(\text{m}^3_{\text{N}} \cdot \text{K})$ でいずれも温度と燃焼用空気量にかかわらず一定値とし、熱勘定の基準温度、燃料の温度及び燃焼用空気の温度はいずれも 25 °C とする。なお、単位の m^3_{N} は標準状態の気体の体積であることを示し、標準状態の燃料の単位体積当たりとして、プロパンには $/\text{m}^3_{\text{N-p}}$ 、ブタンには $/\text{m}^3_{\text{N-b}}$ 、プロパンとブタンの混合燃料には $/\text{m}^3_{\text{N-f}}$ を用いる。

1) 理論空気量と燃焼ガス生成量の計算

プロパン (C_3H_8) とブタン (C_4H_{10}) の完全燃焼反応式は次のようになる。



- i) 燃料 1 m^3_{N} の完全燃焼に必要な理論空気量について、プロパンを $V_{\text{A-p0}}$ 、ブタンを $V_{\text{A-b0}}$ とすると、完全燃焼反応式による酸素と空気中の酸素の体積割合からそれぞれ次の値となる。

$$V_{\text{A-p0}} = \boxed{1} [\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-p}}]$$

$$V_{\text{A-b0}} = \boxed{2} [\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-b}}]$$

したがって、混合燃料 $1 \text{ m}^3_{\text{N-f}}$ の完全燃焼に必要な理論空気量 V_{A0} は、次の値となる。

$$V_{\text{A0}} = \boxed{3} [\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-f}}] \text{ となる。}$$

〈 の解答群 〉

ア 5.95 イ 11.9 ウ 15.5 エ 23.8 オ 35.7

〈 の解答群 〉

ア 7.75 イ 15.5 ウ 21.7 エ 24.8 オ 31.0

〈 の解答群 〉

ア 13.0 イ 26.0 ウ 33.8 エ 39.0 オ 52.0

ii) 混合燃料 $1\text{m}^3_{\text{N-f}}$ の完全燃焼により生成する CO_2 の体積 V_{CO_2} と H_2O の体積 $V_{\text{H}_2\text{O}}$ は、それぞれ次の値となる。

$$V_{\text{CO}_2} = \text{ } [\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \text{ } [\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N-f}}]$$

〈 の解答群 〉

ア 0.86 イ 1.10 ウ 2.15 エ 3.30 オ 4.95

〈 の解答群 〉

ア 1.29 イ 2.15 ウ 4.30 エ 5.16 オ 6.60

問題 10 は次の頁に続く

2) 燃焼用空気量削減前の損失熱量の計算

i) 燃焼用空気量削減前の空気比を α とすると、燃焼用空気量 V_A は次式で表される。

$$V_A = \boxed{6} \text{ [m}^3\text{N/m}^3\text{N-f]} \quad \text{イ } (\alpha-1)V_{A0}$$

く $\boxed{6}$ の解答群

ア αV_{A0}

ウ $\alpha V_{A0} + V_{CO_2} + V_{H_2O}$

イ $(\alpha-1)V_{A0}$

エ $(\alpha-1)V_{A0} + V_{CO_2} + V_{H_2O}$

ii) この空気量で混合燃料 $1\text{m}^3_{\text{N-f}}$ の完全燃焼により生成する湿り燃焼排ガス中の CO_2 の体積割合は、 $\boxed{7} \times 100 \text{ [%]}$ で表すことができる。

く $\boxed{7}$ の解答群

ア $\frac{V_{CO_2}}{\alpha V_{A0}}$

ウ $\frac{V_{CO_2}}{(\alpha-1)V_{A0} + V_{CO_2} + V_{H_2O}}$

イ $\frac{V_{CO_2}}{\alpha V_{A0} + V_{CO_2} + V_{H_2O}}$

エ $\frac{V_{CO_2}}{(\alpha-0.21)V_{A0} + V_{CO_2} + V_{H_2O}}$

iii) 燃焼排ガス中の CO_2 の体積割合が9.4%であることから、空気比 α 、燃焼用空気量 V_A 及び湿り燃焼排ガス量 V_G は次の値となる。

$$\alpha = \boxed{8}$$

$$V_A = \boxed{9} \text{ [m}^3\text{N/m}^3\text{N-f]}$$

$$V_G = \boxed{10} \text{ [m}^3\text{N/m}^3\text{N-f]}$$

く $\boxed{8}$ の解答群

ア 1.07

イ 1.17

ウ 1.27

エ 1.37

オ 1.57

く $\boxed{9}$ の解答群

ア 33.0

イ 39.6

ウ 46.2

エ 49.5

オ 52.8

く $\boxed{10}$ の解答群

ア 17.6

イ 21.1

ウ 28.1

エ 35.1

オ 56.2

iv) 燃焼用空気量削減前の燃焼排ガス温度が250℃であることから、その熱損失量を求めると、

11 [MJ/m³_{N-f}]となる。

〈 11 の解答群 〉

ア 5.55 イ 11.1 ウ 22.2 エ 33.3 オ 44.4

3) 燃焼用空気量削減後の省エネルギー効果の計算

燃焼排ガスによる熱損失を削減するために、混合燃料1m³_{N-f}当たりの燃焼用空気量を5m³_N減らしたところ、完全燃焼を維持することができ、燃焼排ガス温度も同じであった。このときの燃焼排ガスによる熱損失の削減効果を試算する。

i) 燃焼用空気量を5m³_N/m³_{N-f}削減した場合の空気比を α' 、そのときの湿り燃焼排ガス量を V'_G とすると、 α' 及び V'_G は削減前と同様の手順で計算でき、それぞれ次の値となる。

$\alpha' =$ 12

$V'_G =$ 13 [m³_N/m³_{N-f}]

〈 12 の解答群 〉

ア 1.08 イ 1.10 ウ 1.14 エ 1.18 オ 1.24

〈 13 の解答群 〉

ア 22.0 イ 28.1 ウ 30.1 エ 37.9 オ 45.1

ii) 燃焼用空気量削減前後において燃焼排ガス温度は250℃で変わらないことから、削減後の熱損失量は、削減前の熱損失量に対して 14 [%]削減され、高い省エネルギー効果が得られることがわかる。

〈 14 の解答群 〉

ア 7.10 イ 8.52 ウ 9.94 エ 14.2 オ 18.5

(表紙からの続き)

(※1) 不正行為とみなされる行為

1. 使用禁止電卓、電子機器、通信機器等使用不可のものを使用する。(注1、注2参照)
2. 使用不可のものを定められた場所以外に置く。(注3参照)
3. 本、ノート、メモ等を見る。
4. 他の受験者と接触する。(他の受験者の答案を見る、会話をする、物品の貸し借りをを行う)
5. 試験開始の合図の前に試験問題を見る。
6. 試験終了の合図にもかかわらず解答を続ける。

注1) 試験中に使用可のもの

試験中に使用してもよいものは以下のものとし、それらのみ机の上に置いておくことができる。

- ・受験票(必ず置いておくこと)
- ・筆記用具(鉛筆、鉛筆削り、シャープペンシル、替え芯、プラスチック製消しゴム)
- ・時計機能のみの時計
- ・電卓1台(使用禁止ではないもの)
- ・眼鏡、拡大鏡

注2) 試験中に使用不可のもの

- ・携帯電話、スマートフォン、PC、タブレット端末、スマートウォッチ、電子ルーペ等の電子機器
- ・その他、通信機能を有するすべての機器(スマートグラス、補聴器、小型通信機等)
- ・使用禁止電卓(関数電卓、携帯電話などの電卓機能、数式等が記憶できる電卓、プログラム機能を有する電卓等)
- ・使用禁止のものが使用できないことによる事態には一切配慮しない。

注3) 定められた場所について

- ・使用不可の物は、試験中は鞆等にしまい、その口を閉め、簡単に取り出せないようにしておくこと。
- ・机の上だけでなく、机の棚板に置くこと、身につけておくこと(ポケットに入れる、手に持つ等)、その他利用可能な状態になっている場合は不正行為とみなす。

(※2) その他の問題解答上の注意事項

1. 問題は全て、、 … で示す設問番号付きの空欄の中に当てはまる字句等(字句、数値、式、記述、図、グラフ等を含む)を、該当する解答群から選択する形式であり、一つの設問に対する正答は唯一(順不同の問題を除く)である。概略数値を当てはめる設問で、「約」が付されている場合も正しい値に最も近い値のみを正答とする。
2. 、 … で示す設問のうち、同じ設問番号付きの空欄が複数箇所ある場合は、同じ設問番号の正答は同じ字句等である。
3. 一つの解答群から同じ字句等を2回以上用いてよい場合は、当該の設問においてその旨が明記されている。
4. 解答は、該当する解答群の字句等から正答を選択し、選択した字句等に付された「ア」、「イ」、「ウ」…の記号を答えるものとし、答案用紙(マークシート)の該当欄のその記号を、記入上の注意に従い正しく塗りつぶすこと。
5. 数値計算の結果をもとに解答群から正答を選択する問題においては次の点に留意すること。
 - ① 問題文中で与条件として示されている数値については、記載してある位より下の位は「0」であるものとし、十分に有効桁数が確保されている値として扱う。例えば、2.1kgの2.1は、2.100…と考える。特に、「 $\sqrt{3}=1.73$ とする。」などと特記がある問題については、真の値は1.7320…であるが、本試験においては、特記されている数値は与条件として扱い1.7300…として扱う。(重力の加速度、円周率なども同様)
 - ② ①を踏まえ、数値計算においては、全ての設問において計算過程を含めて十分に大きい有効桁数を確保して正しく計算した値を「計算結果の値」とする。
 - ③ 解答群の選択肢の数値のうち「計算結果の値」に最も近い値を数値計算における唯一の正答とする。