

熱分野
専門区分

課目Ⅳ 熱利用設備及びその管理

試験時間 14:00～15:50 (110分)

3 時限目

必須 問題11, 12	計測及び制御	1～8 ページ
必須 問題13, 14	ボイラ、蒸気輸送・貯蔵装置、 蒸気原動機・内燃機関・ガスタービン	9～15 ページ

次の問題15から問題18までは、4問題中2問題を選択して解答すること。

選択 問題15	熱交換器・熱回収装置	} 2 問題を選択	17～19 ページ
選択 問題16	冷凍・空気調和設備		21～24 ページ
選択 問題17	工業炉、熱設備材料		25～28 ページ
選択 問題18	蒸留・蒸発・濃縮装置、 乾燥装置、乾留・ガス化装置		29～33 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. 以下の場合は、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。

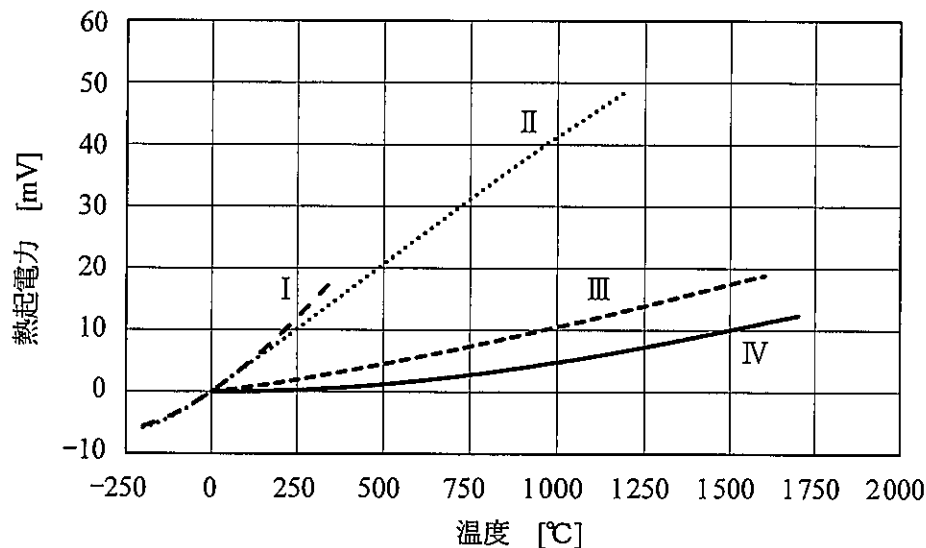
（表紙）

(計測及び制御)

問題 11 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 50 点)

(1) 熱電対とは、2 種類の異なる金属線の両端を接合したときの接点間の熱起電力を利用した温度センサである。温度を一定に保った基準接点と測温接点の間の熱起電力を計測することで、測温接点の温度が測定できる。

図は、基準接点の温度を 0℃ とした場合の熱電対の特性について、熱起電力 [mV] を縦軸、温度 [℃] を横軸に示したものであり、図中の I ～ IV は、JIS で規定されている代表的な熱電対である B、K、R 及び T 熱電対のいずれかに該当する。



図

- 1) 図中の I は 熱電対であり、I ～ IV のうち温度に対する熱起電力の変化が最も大きい、使用可能な温度範囲は最も狭い。
- 2) 図中の II は 熱電対であり、温度に対する熱起電力の変化は I よりもやや小さいが、使用可能な温度範囲が広く、一般によく使われている。
- 3) 図中の III は 熱電対であり、IV は 熱電対である。

< ～ の解答群 >

ア B

イ K

ウ R

エ T

- 4) 熱電対の素線の材料については、Ⅱの熱電対は「ニッケル及びクロムを主体とした合金」と「ニッケルを主体とした合金」を用いている。Ⅲ及びⅣの熱電対は、素線の材料に貴金属を用いたものであり、Ⅲは を組み合わせたもの、Ⅳは を組み合わせたものである。

＜ 及び の解答群 ＞

- ア 「ロジウム13%を含む白金ロジウム合金」と「白金」
イ 「ロジウム30%を含む白金ロジウム合金」と「ロジウム6%を含む白金ロジウム合金」
ウ 「鉄」と「コンスタンタン」
エ 「銅」と「コンスタンタン」

- 5) 熱電対を用いた計測では、熱起電力を温度に変換して表示する指示器を用いるが、熱電対の種類に対応して指示器の変換結果は異なる。例えば、基準接点を0℃に保って10mVの熱起電力が得られる場合に、Ⅲの熱電対用の指示器が示す温度に対して、Ⅳの熱電対用の指示器が示す温度は、約 [℃]の差がある。

＜ の解答群 ＞

- ア 100 イ 200 ウ 500 エ 1000

問題11は次の頁に続く

(2) 流れの中の物体の下流側に発生した渦から、流体の流量を計測する流量計を渦流量計という。

1) 流れの中に、柱状の物体を流れと直交させて置くと、ある流速の範囲ではこの物体の下流側には 8 列の渦が発生する。この渦はカルマン渦と呼ばれる。カルマン渦の発生周波数は、流れの中にある振動現象の周波数に関する無次元数であるストローハル数と関係があり、ストローハル数 St は、渦発生体の幾何学的寸法 d 、渦発生体の周波数 f 及び流速 v を用いて、次式で表される。

$$St = \text{9}$$

〈 8 の解答群 〉

ア 1 イ 2 ウ 3 エ 4

〈 9 の解答群 〉

ア fdv イ $\frac{fd}{v}$ ウ $\frac{fd}{v^2}$ エ $\frac{fd^2}{v^2}$

2) 渦流量計は、ストローハル数 St がレイノルズ数のある範囲において 10 ことを利用して、周波数 f を測定することにより流速を求めている。

〈 10 の解答群 〉

ア レイノルズ数に比例する イ レイノルズ数に反比例する
ウ レイノルズ数の2乗に比例する エ 一定値となる

3) 渦流量計の特徴としては、次のような点が挙げられる。

- ① 構造が簡単で安価である。
- ② 可動部がなく保守が容易である。
- ③ 差圧式流量計と比較すると、11。
- ④ レイノルズ数が過小な場合は、渦が発生しないか又は不安定になる。

〈 11 の解答群 〉

ア 圧力損失が大きい イ 圧力損失が小さい
ウ 取付け向きは垂直、という制約がある エ 取付け向きは水平、という制約がある

(3) 周辺を固定したダイアフラムの片側に圧力を加えると、ダイアフラムがたわむ。ダイアフラム式圧力計はこの現象を用いており、ダイアフラムに生じた変位又は歪み、あるいはダイアフラムが受けた力を検出して圧力を測定している。

1) ダイアフラム式圧力計と同じ測定原理を利用しているが、より豊富な機能を持ち、流量測定、液位測定、密度測定などに広く使用されているものに 12 がある。これを流量測定に使用するとき、差圧を流量に変換するための開平機能や気体流量測定用の温度・圧力補正機能を付加する。また、ダイアフラムの片側一方を真空にしてから封止し、絶対圧力を測定する製品もある。

2) 12 は、検出原理や伝送出力によって次のように分けられる。

i) 検出原理による分類

検出原理によって次のように①～④に分けられる。

① 力平衡式

② 静電容量式

③ 13 式

④ 振動式

ここで、③の方式は、単結晶シリコンの薄いダイアフラム上に 13 を形成し、差圧に比例した出力を得る方式である。

ii) 伝送出力による分類

伝送出力によって、主に 14 式と電子式に分けられる。実用化されたのは前者の方が先であったが、その後、後者の電子式が登場し、現在は電子式が主流となっている。

i) の①～④のうち、②～④の伝送出力は電子式である。

＜ 12 の解答群 ＞

ア 差圧伝送器 イ ブルドン管圧力計 ウ ベロース式圧力計 エ U字管圧力計

＜ 13 の解答群 ＞

ア コンデンサ イ 重錘 ウ 測温抵抗体 エ 半導体歪みゲージ

＜ 14 の解答群 ＞

ア 液柱 イ 空気 ウ 水圧 エ 電圧

(計測及び制御)

問題 12 次の各文章の 1 ～ 15 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)

(1) 温度制御及び流量制御の具体的な制御の仕組みを、図 1 のような構成で示して考える。

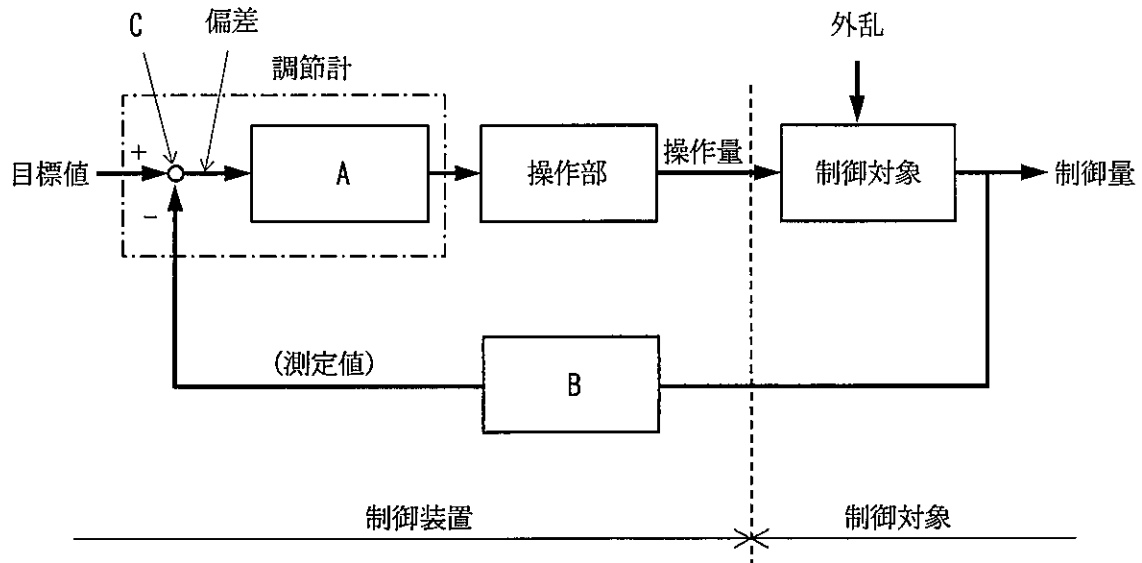


図 1 制御系の構成

1) 図 1 のような構成の制御系では、系が安定しているときに目標値の変更や制御対象に外乱が与えられると、その影響で目標値と測定値の間に偏差が現われ、図中の A で示す 1 部は、それをなくす方向に操作部への制御出力を変化させ、操作部はそれを受けて制御対象への操作量を変化させる。その他、この制御系は、図中の B で示す 2 部、図中の C で示す 3 部などで構成されている。このような構成の制御系をフィードバック制御系と呼ぶ。

＜ 1 ～ 3 の解答群 ＞

ア 検出	イ 制御演算	ウ 動作	エ 比較
オ 変換	カ 補償		

2) 図1のような制御系を構成する各部分について、信号の流れに重点を置いて図示したものを
4 線図と呼ぶ。

く 4 の解答群

ア ブロック

イ 信号

ウ 制御

エ 伝達

(2) 自動制御は信号の流れ、目標値に測定値を追従させる方法などによって種々に分類される。

1) 予測される外乱などの情報に基づいて、その影響が制御量に現れる前に操作量を決定する
制御を 5 制御という。

2) フィードバック制御系において、一つの制御装置（一次調節計）の出力信号によって、他の
制御系（二次調節計）の目標値を決定する制御を 6 制御という。

3) あらかじめ定められた変化をする目標値に追従させる制御を 7 制御という。例えば、
熱処理プロセスや種々の反応プロセスなどで、制御量を時間によって特定のパターンで変化
させる必要があるときに用いられる。

く 5 ～ 7 の解答群

ア カスケード

イ シーケンス

ウ フィードバック

エ フィードフォワード

オ プログラム

問題12は次の頁に続く

(3) 温度調節計がP動作のみの調節計で、設定値が65℃、比例ゲインが5、偏差が0のときのバイアスが50%、測定値のスパンが100℃であるとする。

ある運転条件のとき、図2に示すように、温度調節計の出力が60%でバランスしたとする。ここで、「出力＝比例ゲイン×偏差＋バイアス」の関係があるので、そのとき生じる定常偏差は 8 [℃] ということになる。

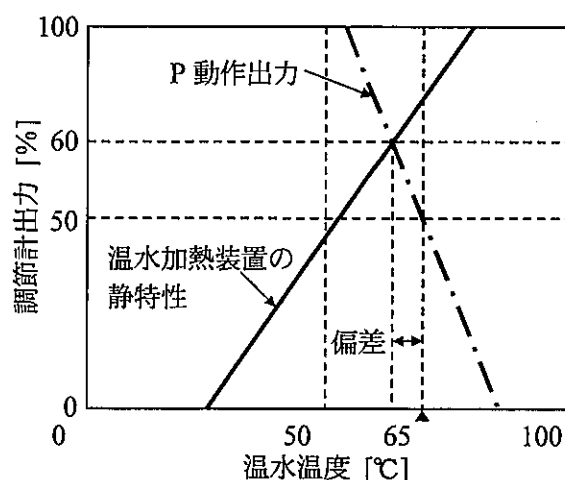


図2 偏差の説明図

< 8 の解答群 >

ア 0.1 イ 0.2 ウ 1.0 エ 1.2 オ 2.0

(4) PID 制御について考える。なお、PID のPは比例動作、Iは積分動作、Dは微分動作を示す。

1) 流量・レベルなどの各種の測定量をPID動作により制御する場合、その特性によりPID動作の選択は異なる。

流量プロセスは一般に操作信号に対する応答が速い。また、流量の測定値には小さい脈動が乗っていることが多い。したがって流量制御には通常、9 動作を使用する。

レベル制御では、通常、レベルを一定の位置に保つことは必ずしも必要ではなく、ある範囲に入っていればよいという場合が多い。ある程度オフセットを許容できる場合、レベル制御では 10 動作のみ、またはギャップ付PID動作を使用することが多い。

< 9 及び 10 の解答群 >

ア D イ I ウ P エ PD オ PI

2) PID 制御アルゴリズムのパラメータの調整については次のとおりである。

- i) 一般的に経験的な値が使用されることが多いが、厳密に行うには、オープンループで行う
[11] 法と、クローズドループで行う [12] 法がよく使用される。

く [11] 及び [12] の解答群

ア ゲイン調節 イ 過渡応答 ウ 限界感度 エ 限界周期 オ 波形観測

- ii) 調節計のパラメータの調整を前者で行うには、調節計を手動モードとし、調節計の出力を
[13] 状に X だけ変化させ、そのときの制御変数の変化を記録する。その結果の典型的な例
を図3に示す。ここで、最終変化量を Y とする。

図3において、 L は [14]、 T は [15] と呼ばれる。

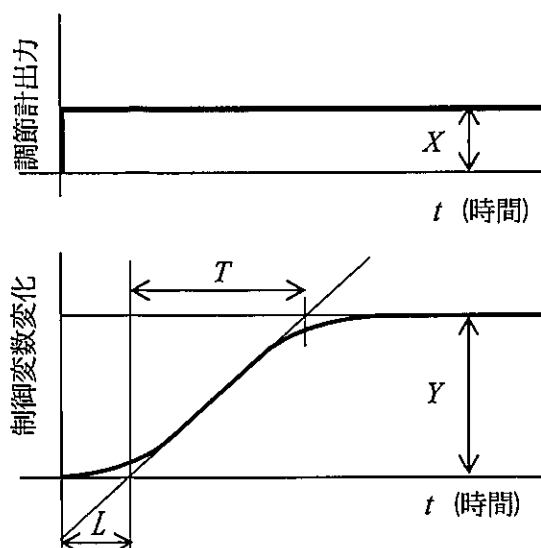


図3 出力の変化に対する制御変数の変化の例

く [13] の解答群

ア インパルス イ ステップ ウ ランプ エ のこぎり

く [14] 及び [15] の解答群

ア 整定時間 イ 等価サイクル時間 ウ 等価時定数 エ 等価不感帯
オ 等価むだ時間

(ボイラ、蒸気輸送・貯蔵装置、蒸気原動機・内燃機関・ガスタービン)

問題 13 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 50 点)

(1) ボイラの形状を主とした分類とその特徴について考える。

1) ボイラは、本体の構造形式により、大きくは次のⅠ～Ⅲに分類される。

- Ⅰ. ボイラ：本体が径の大きな円筒形の胴からなるボイラ
- Ⅱ. 水管ボイラ：径の小さな多数の水管により構成されているボイラ
- Ⅲ. 特殊ボイラ：排熱を回収して熱源としたり、特殊燃料を用いたりするボイラ

＜ の解答群 ＞

ア 循環 イ 単胴 ウ 鋳鉄 エ 丸

2) Ⅰのボイラの特徴は次のとおりである。

i) このボイラは、円筒形の胴の内部に、燃焼室としての炉筒や などの伝熱面を配置した構造のボイラである。

ii) このボイラの長所としては、次の①～③が挙げられる。

- ① 多数の を用いることで、多くの伝熱面積を確保でき、高い熱効率が得られる。
- ② 構造が簡単であり、取扱いも容易である。
- ③ ボイラ内に多くの飽和水を保持していることから、蒸気要求量が急増しても、 の低下が小さい。

＜ の解答群 ＞

ア 煙管 イ 降水管 ウ 上昇管 エ 蒸発管

＜ の解答群 ＞

ア ドラフト イ ボイラ給水温度 ウ 湿り度 エ 蒸気圧力

iii) 一方、短所としては、ボイラ内の保有水量が多いため、4 ことが挙げられる。

＜ 4 の解答群 ＞

- ア ボイラ水の濃縮比が大きく水質管理が厳しい
- イ ボイラ内の水循環性が悪く過熱損傷が多い
- ウ ボイラの荷重が増し支柱損傷が増える
- エ 始動から所定の蒸気発生までに時間がかかる

3) II の水管ボイラでドラム式のものの主な特徴については、次に示すとおりである。

- ① ドラム内に炉筒はなくドラム径が小さいので、ドラム製作が容易で、ドラムの厚肉化を伴う蒸気の 5 化に適する。
- ② 水管はドラムの外に配置できるため、管本数を増やすことが容易なので、6 のボイラに適する。
- ③ 負荷変動により蒸気圧力やドラム水位が変動し易いので、これらの制御には応答の速い燃焼制御及び 7 制御を必要とする。

＜ 5 の解答群 ＞

- | | | | |
|------|------|-------|--------|
| ア 高圧 | イ 低圧 | ウ 高純度 | エ 腐食低減 |
|------|------|-------|--------|

＜ 6 の解答群 ＞

- | | | | |
|--------|-------|-------|-------|
| ア 急速起動 | イ 高効率 | ウ 多台数 | エ 大容量 |
|--------|-------|-------|-------|

＜ 7 の解答群 ＞

- | | | | |
|------|-------|------|-------|
| ア 給水 | イ 周波数 | ウ 電圧 | エ 炉内圧 |
|------|-------|------|-------|

問題 13 は次の頁に続く

(2) ボイラ水の水質管理について考える。

- 1) ボイラの伝熱管内面の付着物は、ボイラ水中のカルシウムなどの硬度成分や溶解固形物などが管の内面に付着したもので、その付着物の 8 は、管材である鋼のそれよりもはるかに小さく、結果として管の温度を上昇させるので、管の 9 や破壊を生じさせることもある。

＜ 8 の解答群 ＞

ア 熱伝達率 イ 熱伝導率 ウ 熱負荷 エ 熱輻射

＜ 9 の解答群 ＞

ア 炭化 イ 腐食 ウ 振動 エ 膨出

- 2) 伝熱管内面の付着物対策としては、日常の水質管理を水質基準に即して実施するとともに、ボイラ停止時に付着量を測定して、経年により付着量が基準値に接近した場合は、10 洗浄により化学的に付着物を除去することなどが挙げられる。

＜ 10 の解答群 ＞

ア アルカリ イ 研磨 ウ 酸 エ 中性

- (3) 表1に示す条件で運転している、油を燃料とする蒸気ボイラがある。

表1 ボイラの運転条件

項 目	単 位	数 値
ボイラ発生蒸気	MPa	11
発生蒸気の比エンタルピー	kJ/kg	2 681
ボイラ給水の比エンタルピー	kJ/kg	428.1
ボイラ燃料消費量	kg/h	200
燃料の低位発熱量	MJ/kg	40.1
ボイラ効率	%	85.0

1) 入熱は燃料からのみ供給されたとすると、このボイラの蒸発量は 11 [t/h] となる。

＜ 11 の解答群 ＞

ア 3.0 イ 3.5 ウ 4.0 エ 4.5 オ 5.0

2) ボイラの発生蒸気の乾き度を、表2の飽和表を用いて求めると、 12 [%] となる。

＜ 12 の解答群 ＞

ア 95 イ 96 ウ 97 エ 98 オ 99

3) ボイラから蒸気使用先へは蒸気配管で接続されており、蒸気配管中ではドレンが発生している。そこで、このドレンからの熱回収を考えた。ドレンは、圧力が11MPaに維持された飽和水であり、これを0.6MPaに減圧して発生するフラッシュ蒸気として活用するとしたとき、表2の飽和表を用いてこのフラッシュ蒸気の発生量を求めると、ドレン1kg当たり 13 [kg] となる。ただし、減圧に伴い発生する熱は、全てフラッシュ蒸気の発生に使われるものとする。

＜ 13 の解答群 ＞

ア 0.32 イ 0.35 ウ 0.37 エ 0.39 オ 0.41

表2 飽和表

圧力 [MPa]	比エンタルピー [kJ/kg]	
	飽和水	乾き飽和蒸気
11	1450.3	2706.4
0.6	670.5	2756.1

(ボイラ、蒸気輸送・貯蔵装置、蒸気原動機・内燃機関・ガスタービン)

問題 14 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 50 点)

(1) 蒸気タービンの損失を低減させるための手段のうち、シール装置の役割は重要である。

- 1) 蒸気タービンの損失を低減させるためには、ロータの 貫通部から が外部へ漏洩することや、逆に外部から が低圧部へ侵入することを防止しなければならない。
また、タービン内部の段落間で、蒸気が仕事をしないで動翼及び静翼をバイパスして次の段へ漏れ込むと、損失になる。

＜ の解答群 ＞

ア ケーシング イ 軸受 ウ 遮音壁 エ 中心孔

＜ 及び の解答群 ＞

ア 油 イ 海水 ウ 空気 エ 蒸気 オ 冷却水

- 2) 前述のようなタービンの損失を引き起こす漏えいや侵入を防止するため、蒸気タービンの多くには 式のシール装置が設けられる。

＜ の解答群 ＞

ア バランス イ ラビリンス ウ 偏心 エ 密閉

- 3) シール装置の回転部と静止部の接触による損傷や摩耗で生じる の増大は、漏洩損失を増加させるので、適切な管理、保守が重要である。

＜ の解答群 ＞

ア 差圧 イ 振動 ウ 隙間 エ 熱

(2) 容積形の内燃機関では、熱効率と共に単位質量の作動流体の行う仕事量が重要であり、有効仕事量を作動流体の [6] で除したものを平均有効圧力として機関出力の基準値とする。
[7] により多量の空気を送入すると、同容積のシリンダ内での燃焼量は増加し、平均有効圧力を高めて有効仕事量が増加できる。このように [7] の設置は、サイクル効率向上・燃費低減が図られ、確実に効果の大きい手段であるが、このとき [8] が上昇するので、各構成部材の強度、[9]、シリンダライナ、軸受などの耐久性、信頼性に影響を及ぼす。したがって、効率のよい運用のためには計画的な保守・管理が必要である。

＜ [6] の解答群 ＞

ア 行程容積 イ 最大容積 ウ 最小容積 エ 全容積

＜ [7] 及び [9] の解答群 ＞

ア EGR イ ジャケット ウ ピストンリング エ 過給器
オ 排気マニホールド

＜ [8] の解答群 ＞

ア シリンダ最高圧力 イ シリンダ最低圧力 ウ 回転速度 エ 危険速度

問題 14 は次の頁に続く

(3) ガスタービンの排気ガスに含まれる大気汚染の原因物質の一つに NO_x がある。

1) 天然ガスを燃料として使用するガスタービンでは、燃料中の窒素が関与して発生する

NO_x はわずかであり、大部分は空気中の窒素が関与して発生する NO_x である。

＜ 及び の解答群 ＞

ア サーマル イ フューエル ウ 初期 エ 副生 オ 燃焼

2) 大部分を占める後者の NO_x の低減には、基本的には を下げることが有効であり、そのための方法には大きく湿式法と乾式法がある。湿式法の例としては、水、蒸気を噴射して下げる方法などがあり、乾式法の例としては、燃料濃度を均一にすることで、局所的な高温領域のない均一な温度分布が得られる 燃焼による方法などがある。

＜ の解答群 ＞

ア 燃焼温度 イ 燃焼用空気温度 ウ 燃料圧力 エ 燃料温度

＜ の解答群 ＞

ア 拡散 イ 希薄予混合 ウ 間接 エ 直接

選択問題

次の問題 15 から問題 18 までは、4 問題中
2 問題を選択して解答すること。

問題 15 熱交換器・熱回収装置

問題 16 冷凍・空気調和設備

問題 17 工業炉、熱設備材料

問題 18 蒸留・蒸発・濃縮装置、乾燥装置、乾留・ガス化装置

(熱交換器・熱回収装置 — 選択問題)

問題 15 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 40 点)

(1) ヒートパイプ式熱交換器の原理と特長について考える。

1) ウィック式ヒートパイプにおける伝熱管部は、高温側も低温側もそれぞれ温度分布がほぼ一様である。高温側を始点とすると、そこでは高温の流体との熱交換によってヒートパイプ内の作動媒体が熱を吸収して し、圧力差で低温側に移動する。そこでは、低温の流体との熱交換によって、作動媒体が して熱を することで熱が移動する。低温側で液体となった作動媒体は、ウィックを通して により始点の高温側に移動し、再び熱を吸収してヒートパイプ内で循環を繰り返すことになる。相変化を利用するため、小さな温度差でも多量の熱を輸送できる。ヒートパイプ式熱交換器は、このようなヒートパイプの特長を利用した熱交換器である。

〈 ～ の解答群 〉

ア 移動	イ 吸引	ウ 吸着	エ 凝縮
オ 蒸発	カ 昇華	キ 放出	ク 放射

〈 の解答群 〉

ア サイフンの原理	イ パスカルの原理	ウ 自励振動	エ 毛細管現象
-----------	-----------	--------	---------

2) ヒートパイプ式熱交換器は、熱風炉や乾燥機などにおける空気予熱のような気体同士の熱交換にも用いられる。気体同士の熱交換では、パイプの高温側と低温側それぞれの伝熱管部の外側に を付けることで、熱交換器の伝熱面積の拡大が可能であり、熱交換器がコンパクトになる。

〈 の解答群 〉

ア チャンバ	イ フィン	ウ ベルト	エ ボンネット
--------	-------	-------	---------

(2) 熱交換器は、高温側熱媒体から低温側熱媒体に熱を移動させる装置であり、その性能を表す指標として温度効率やエネルギー効率がある。エネルギー効率は、熱交換器において交換可能な最大熱量 $Q_{\max}$ に対する、実際に交換された熱量 Q の比である。

ここで、高温側熱媒体の質量流量を m_h 、比熱を c_h 、熱容量流量を C_h 、低温側熱媒体の質量流量を m_c 、比熱を c_c 、熱容量流量を C_c としたときの熱交換器のエネルギー効率について考える。ただし、 $C_h < C_c$ であるとし、高温側熱媒体の熱交換器の入口温度を T_{h1} 、出口温度を T_{h2} 、低温側熱媒体の熱交換器の入口温度を T_{c1} 、出口温度を T_{c2} とする。

1) 最大熱量 $Q_{\max}$ は、「熱交換器に流入する高温側熱媒体と低温側熱媒体の温度差で、6 方の熱媒体が熱交換する」としたときの理論的に可能な最大の交換熱量」である。

< 6 の解答群 >

- | | | |
|-------------|------------|-------------|
| ア 質量流量の大きい | イ 質量流量の小さい | ウ 熱容量流量の大きい |
| エ 熱容量流量の小さい | オ 比熱の大きい | カ 比熱の小さい |

2) 熱交換器に流入する二つの熱媒体の最大の温度差を $\Delta T_{\max}$ とすると、 $\Delta T_{\max} =$ 7 で表され、また、 $C_h < C_c$ であるとしているので、 $Q_{\max}$ は最大の温度差を用いて次式で表される。

$$Q_{\max} = \text{8} \times \Delta T_{\max}$$

3) 実際に交換された熱量 Q は、低温側から見ると、熱容量流量を用いて次式で表される。

$$Q = C_c \times \text{9}$$

よって、エネルギー効率を η_E とすると、 $\eta_E = \frac{Q}{Q_{\max}}$ が求められる。

< 7 の解答群 >

- | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ア $T_{c1} - T_{c2}$ | イ $T_{c2} - T_{c1}$ | ウ $T_{h1} - T_{c1}$ | エ $T_{h1} - T_{h2}$ |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|

< 8 の解答群 >

- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ア $m_c \times c_c$ | イ $m_c \times c_h$ | ウ $m_h \times c_c$ | エ $m_h \times c_h$ |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|

< 9 の解答群 >

- | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ア $(T_{c2} - T_{c1})$ | イ $(T_{c2} - T_{h2})$ | ウ $(T_{h1} - T_{c1})$ | エ $(T_{h2} - T_{c1})$ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

問題 15 は次の頁に続く

- (3) ある熱交換器において、比熱が $1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ で質量流量が 1 kg/s の高温側熱媒体が、入口温度 200°C で流入し、出口温度 80°C で流出している。一方、比熱が $4 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ で、質量流量が 1 kg/s の低温側熱媒体が、入口温度 40°C で流入している。

このとき、熱交換器の性能の評価指標としてエネルギー効率と温度効率を求める。ただし、この熱交換において両熱媒体から外部への熱損失は無視できるものとする。

- 1) 熱交換器のエネルギー効率を η_E とすると、 η_E は次の値となる。

$$\eta_E = \boxed{10} [\%]$$

< $\boxed{10}$ の解答群 >

ア 19 イ 25 ウ 33 エ 50 オ 75

- 2) 熱交換器の温度効率のうち、低温側熱媒体の温度効率を η_{TC} とすると、 η_{TC} は次の値となる。

$$\eta_{TC} = \boxed{11} [\%]$$

< $\boxed{11}$ の解答群 >

ア 15 イ 19 ウ 25 エ 50 オ 75

(空 白)

(冷凍・空調設備 - 選択問題)

問題 16 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 40 点)

(1) 冷凍・空調設備の省エネルギー対策について考える。

1) 冷凍・空調設備の省エネルギー対策としては、まず、空調負荷の低減を図ることである。
空気負荷のうち、顕熱負荷及び潜熱負荷を併せ持つ負荷としては、外気負荷や 負荷などが挙げられる。

＜ の解答群 ＞

ア 加湿 イ 照明発熱 ウ 人体発熱 エ 日射

2) 外気負荷を低減するためには、室内からの排気熱を有効に活用するため、 が用いられる。ただし、中間期において室内に冷房の要求があり、外気の比エンタルピーが室内の比エンタルピーと比べて 場合は、 を停止又はバイパスさせ、 を行うのが省エネルギー上有効である。

＜ の解答群 ＞

ア エコマイザ イ ヒートポンプ ウ ファンコイルユニット
エ 全熱交換器

＜ の解答群 ＞

ア 大きい イ 小さい ウ 同等な エ 2 倍以上の

＜ の解答群 ＞

ア デシカント空調 イ 外気冷房 ウ 台数制御 エ 熱回収

3) 空調方式の中で、空調用の各ユニットを熱源水配管で接続し、この熱源水を冷房運転時のユニットでは冷却水、暖房運転時のユニットでは加熱水として、ある温度幅で循環使用する方式は 方式と呼ばれており、冷房するユニットと暖房するユニットが同時に存在する場合には、 が可能である。

〈 の解答群 〉

ア エコノマイザ

イ ファンコイルユニット

ウ 空気熱源ヒートポンプ

エ 水熱源ヒートポンプ

〈 の解答群 〉

ア 加湿

イ 加熱のみ

ウ 冷却のみ

エ 熱回収

4) 熱搬送設備の有効な省エネルギー手法として、空調負荷に応じて水量を変化させる方法がある。この場合、ポンプの回転速度を変化させることにより水量を変化させる制御方法を用いると、水量削減に応じてポンプ動力の大幅な削減が可能となる。ただし、ポンプの圧力は理論上回転速度の 乗に比例して変化するので、圧力が下がり過ぎないように注意を要する。

〈 の解答群 〉

ア 1

イ 2

ウ 3

エ 4

問題 16 は次の頁に続く

(2) 図は、冷房時の空気調和のプロセスを湿り空気線図 ($h-x$ 線図) 上に表したものである。

ここで、図中の R は室内空気の状態点、S は空調機の吹出し空気の状態点、O は外気の状態点、M は室内空気と外気の混合空気の状態点を示す。また、 $kg(DA)$ は乾き空気の質量を示す。

空調機の吹出し風量 (体積流量) は Q_s 、取入れ外気量は Q_o であり、外気を取入れ分は室内から排気している。なお、空気の密度を ρ 、空気の定圧比熱を c_p とする。

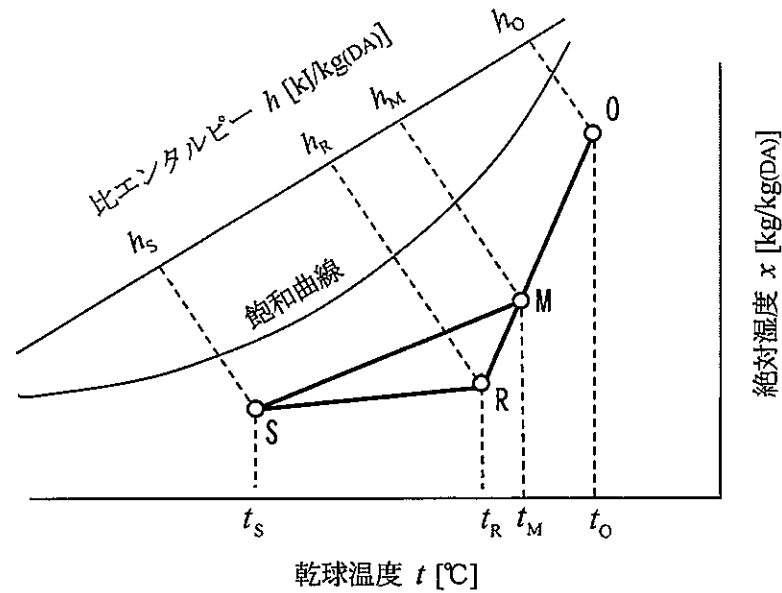


図 冷房時の空調プロセス

- 1) 空調機内の空気の主要な状態変化は、M→Sであり、このプロセスは、一般的には 8 となる。

〈 8 の解答群 〉

ア 過冷却 イ 冷却のみ ウ 減湿のみ エ 冷却減湿

- 2) 空調機のコイルの冷却負荷を L_C とすると、 L_C は次式で表される。

$$L_C = \text{ 9 }$$

〈 9 の解答群 〉

ア $Q_s \times (h_M - h_s)$ イ $Q_s \times c_p \times (h_M - h_s)$
ウ $Q_s \times \rho \times (h_M - h_s)$ エ $Q_s \times \rho \times c_p \times (h_M - h_s)$

- 3) 空調機のコイルの冷却負荷は室内負荷と外気負荷に分けられるが、室内負荷のうちの顕熱負荷分を L_{RS} とすると、 L_{RS} は次式で表される。

$$L_{RS} = \text{ 10 }$$

〈 10 の解答群 〉

ア $Q_s \times (t_R - t_s)$ イ $Q_s \times c_p \times (t_R - t_s)$
ウ $Q_s \times \rho \times (t_R - t_s)$ エ $Q_s \times \rho \times c_p \times (t_R - t_s)$

(工業炉、熱設備材料 — 選択問題)

問題 17 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 40 点)

(I) 工業炉を熱源で分類すると燃焼加熱式と電気加熱式に分類され、それぞれ特徴があり、用途によって使い分けられる。ここでは、電気加熱式について考える。

1) 電気加熱式は、燃焼加熱式では発生する を生じないので、それによる熱損失がない。

＜ の解答群 ＞

ア NO_x イ SO_x ウ VOC エ 排ガス

2) 電気加熱式は、作業性が良く、温度制御が容易であり、急速加熱ができる。また、燃焼加熱式と比較して高温が得やすく、雰囲気熱処理、 の利用も多い。

＜ の解答群 ＞

ア レキュペレータ イ 過負荷運転 ウ 空気予熱 エ 真空熱処理

3) 電気加熱式には種々の方式があり、アーク加熱方式は電極間に生じるアーク熱を利用したもの、また、抵抗加熱方式は を利用したものである。

＜ の解答群 ＞

ア ジュール熱 イ プラズマ ウ 反応熱 エ 摩擦熱

4) 電気抵抗加熱の発熱体には、使用温度に応じてニクロム、モリブデンなどの金属製、炭化ケイ素や黒鉛などの非金属製のものがある。いずれも使用上の温度と に制約があるので、選択を誤らないように注意が必要である。

＜ の解答群 ＞

ア アウターカバー イ 被加熱材の搬送速度 ウ 被加熱材の放射率 エ 雰囲気ガス

(2) 工業炉の省エネルギーに関して取り組むべき事項については、「エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律」に基づく「工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断の基準」において、次のように示されている。

1) 燃料の燃焼の管理では、燃焼設備及び使用する燃料の種類に応じて「」の基準値、廃熱の回収利用の基準では「廃ガス温度又は廃熱回収率」の基準値、断熱の基準では「炉壁外面温度」の基準値を定めている。

2) 燃料の燃焼熱を熱源とする工業炉においてそれらの基準値は、「」では炉の種類別、燃料別に、「廃熱回収率」では 温度別、定格容量別に、「炉壁外面温度」では 別、位置（天井、側面、外気に接する底面）別に規定されている。

＜ の解答群 ＞

ア 温度 イ 空気比 ウ 酸素濃度 エ 燃料比

＜ の解答群 ＞

ア 大気 イ 排ガス ウ 燃焼用空気 エ 燃料

＜ の解答群 ＞

ア 生産効率 イ 熱通過率 ウ 炉内温度 エ 炉壁材質

3) これらに則して燃料の燃焼熱を熱源とする工業炉の省エネルギーを図るために、燃焼状態に関する管理・計測、工業炉の保守・点検及び断熱化の措置、廃熱回収の効率を維持するための保守等を実施する必要がある。特に複数の燃焼設備を使用するときは、燃焼設備全体としての が高くなるように管理標準を設定し、それぞれの設備の負荷を調整する。

＜ の解答群 ＞

ア 稼働率 イ 生産効率 ウ 熱効率 エ 製品歩留まり

問題 17 は次の頁に続く

(3) 各種の耐火物及び断熱（保温）材について考える。

1) れんがの表面の温度が急激に上昇すると が生じることにより、れんが表面に変形や亀裂などが発生して脱落等の危険が生じることがある。れんがが、このような急加熱や急冷却に対して安定した性質を有することを、 に優れているという。

＜ の解答群 ＞

ア 気孔 イ 再結晶化 ウ 軟化 エ 熱応力

＜ の解答群 ＞

ア 耐スポーリング性 イ 耐酸化性 ウ 耐腐食性 エ 耐候性

2) シリカを主成分としているけい石れんがは、機械的強度が高いだけでなく、圧縮荷重をかけて加熱した場合、最初に膨張してその後収縮を始める が 1580℃ 以上と、使用中に収縮しにくい特長を持つ。

＜ の解答群 ＞

ア 昇華 イ 荷重軟化始発点 ウ 硬化開始点 エ 疲労限界

3) 一般に、耐火断熱れんがは多孔質であるため通気性を持っている。そのため、雰囲気ガス中の や H_2 の浸透により、成分であるシリカが SiO となって蒸発して崩壊する恐れがあるので、注意が必要である。

＜ の解答群 ＞

ア CO イ CO_2 ウ N_2 エ O_2

4) 炭素れんがは、石炭由来コークス粉末やピッチコークス粉末、天然黒鉛や人造黒鉛粉末とそれらを結合させるピッチや樹脂バインダーを原料として、高温で焼成して作られる工業用れんがである。熱的な性質としては、13、熱衝撃に比較的強く高温まで構造が安定していて、スラグや熔融金属に対して濡れにくいので、溶鋼や熔融スラグに直接さらされる環境で使用される金属精錬炉や電気炉、化学プラントなどで採用され、特に熔融金属やスラグに直接接する部分の内張り材として使われることが多い。

＜ 13 の解答群 ＞

- | | |
|---------------------|---------------------|
| ア 熱伝導率が大きく、熱膨張率が大きい | イ 熱伝導率が大きく、熱膨張率が小さい |
| ウ 熱伝導率が小さく、熱膨張率が大きい | エ 熱伝導率が小さく、熱膨張率が小さい |

5) 保温材としては、350℃程度までの低い温度ではグラスウールなどが使用され、より高温で600℃程度までの温度域では、主に 14 が使用される。

＜ 14 の解答群 ＞

- | | |
|-------------|-------------|
| ア ウレタンフォーム | イ セルローズファイバ |
| ウ フェノールフォーム | エ ロックウール |

(蒸留・蒸発・濃縮装置、乾燥装置、乾留・ガス化装置 — 選択問題)

問題 18 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 40 点)

(1) 蒸留操作について考える。

1) ある多成分系溶液が理想溶液である場合、気液平衡関係において、「 i 成分の蒸気分圧 P_i は純粋成分の蒸気圧 P_i^* と液のモル分率 x_i との積に等しい」という法則と、「各成分の蒸気分圧 (例えば i 成分の場合は P_i^*) の和は全圧 (操作圧) π に等しい」という法則が成り立つ。ここで、後者を の法則という。これらのことから、 i 成分の蒸気分率 y_i と液のモル分率 x_i の間には、式 の関係が成り立つので、ある温度の蒸気組成は液組成から簡単に計算することができる。

〈 の解答群 〉

ア ダルトン イ ラウール ウ ラプラス エ ル・シャトリエ

〈 の解答群 〉

ア $x_i y_i = \pi P_i^*$ イ $x_i \pi = y_i P_i^*$ ウ $y_i \pi = x_i P_i^*$ エ $x_i y_i \pi = P_i^*$

2) 図1は蒸留塔における気液平衡を示したものである。単蒸留缶に、低沸点成分Aのモル分率が x_F で、温度が T_0 の混合溶液を入れてゆっくりと加熱すると、温度 3 で沸騰を始める。このときの蒸気中のA成分のモル分率は 4 である。さらに加熱すると液組成は 5 曲線上を温度の高い方向に変化し、温度は T_2 となり、そのときの蒸気中のA成分のモル分率は 6 となる。

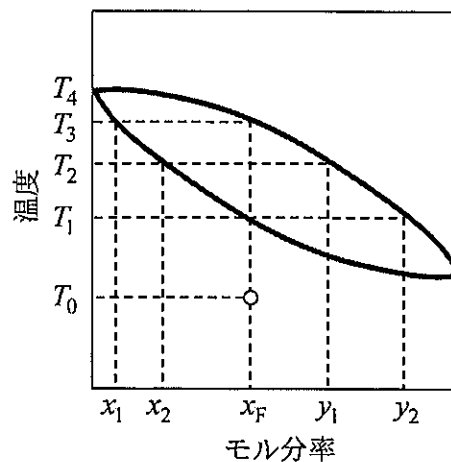


図1 単蒸留における気液平衡

< 3 の解答群 >

ア T_1 イ T_2 ウ T_3 エ T_4

< 4 の解答群 >

ア x_1 イ x_2 ウ y_1 エ y_2

< 5 の解答群 >

ア 濃縮 イ 沸騰 ウ 沸点 エ 露点

< 6 の解答群 >

ア x_1 イ x_2 ウ y_1 エ y_2

問題18は次の頁に続く

- (2) 図2のように、湿潤な被乾燥材料を熱風による向流接触型の連続通気乾燥法で処理する場合について考える。

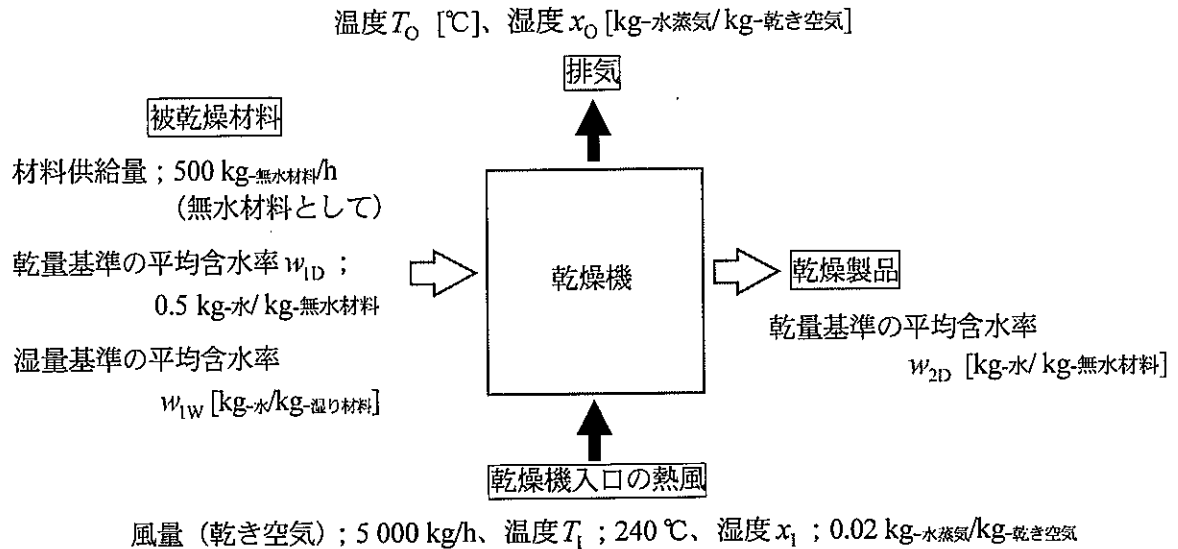


図2 熱風による向流接触型の連続通気乾燥法のフロー

- 1) 供給される被乾燥材料の乾量基準の平均含水率 w_{1D} が 0.5 kg-水/kg-無水材料 である場合、被乾燥材料の湿量基準の平均含水率 w_{1W} は [kg-水/kg-湿り材料] である。

< の解答群 >

ア 0.222 イ 0.333 ウ 0.444 エ 0.5 オ 1.0

- 2) この乾燥装置で被乾燥材料から単位時間あたりに蒸発する水分の量が 200 kg-水/h である場合、乾燥器出口の乾燥製品の乾量基準の平均含水率 w_{2D} は [kg-水/kg-無水材料] である。

< の解答群 >

ア 0.1 イ 0.2 ウ 0.3 エ 0.4 オ 0.5

- 3) 被乾燥材料から乾燥器入口熱風の湿度 x_1 を $0.02 \text{ kg-水蒸気/kg-乾き空気}$ とすると、蒸発した水分により排気の湿度 x_0 は $[\text{kg-水蒸気/kg-乾き空気}]$ に上昇する。

〈 の解答群 〉

ア 0.03 イ 0.04 ウ 0.06 エ 0.08 オ 0.10

- 4) 水の蒸発潜熱を 2400 kJ/kg とすると、被乾燥材料中の水分の蒸発に要する熱量は、 $[\text{MJ/h}]$ である。

〈 の解答群 〉

ア 240 イ 480 ウ 720 エ 960 オ 1 200

- 5) さらに、乾燥のために被乾燥材料に与えた顕熱を 30 MJ/h 、乾燥機の放散損失及び排気中の水分の顕熱の合計を 70 MJ/h 、空気の平均比熱を $1.0 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ とすると、熱風温度 $T_1 = 240 \text{ }^\circ\text{C}$ から、乾燥機の排気温度 T_0 は $[\text{ }^\circ\text{C}]$ となる。ただし、乾燥後の材料の水分の昇温に必要な熱量は無視してよい。

〈 の解答群 〉

ア 116 イ 124 ウ 140 エ 156 オ 172

問題 18 は次の頁に続く

(3) 石炭の乾留について考える。

1) 石炭の乾留とは、空気を遮断した状態で石炭を加熱し、熱分解することによって、ガスやタール及びコークスを生成する操作をいう。乾留中に発生するガス成分のうち、高温乾留で出るガスで最も多いのは である。

＜ の解答群 ＞

ア エチレン イ メタン ウ 一酸化炭素 エ 水素

2) コークス炉の構造は、種々の炉形式によって異なるが、いずれも炭化室、燃焼室、 の3部分によって炉本体が構成されている。この他にコークス炉附帯設備あるいは作業用機械がある。

＜ の解答群 ＞

ア 押し出し機 イ 消火車 ウ 石炭室 エ 蓄熱室

3) コークス炉の熱バランスを考えた場合、炉からの出熱の中で最大の割合を占めているのは であり、排熱回収の上で重要になる。

＜ の解答群 ＞

ア コークス炉ガスの顕熱 イ コークス炉ガスの潜熱
ウ 赤熱コークスの持ち出す顕熱 エ 炉体の放熱量

4) コークス炉で生成されたコークスは、過去には水を散布する湿式消火法により消火冷却されていたが、これに対し、密閉容器の中で を用いて消火冷却し、この顕熱を回収利用する乾式消火法が主流になっている。

＜ の解答群 ＞

ア 活性ガス イ 不活性ガス ウ 空気 エ 燃焼ガス

(空 白)

(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。