

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	1～7 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		25～27 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。以下の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。

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| ①電子機器、通信機能付機器、使用禁止電卓の使用 | ②本・ノート、メモ等を見る。 |
| ③他の受験者の答案を見る。 | ④他の受験者と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。 |
- なお、①、②については、対象物を、机の上、机の棚板に置いている、手に持っている、身につけている、その他しまわずに利用可能な状態になっている場合は、不正行為を行ったものとみなす。

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、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。
7. 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

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。
問題の内容に関する質問にはお答えできません。

(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) 熱電対を用いて温度を測定する際には、次のような誤差となる要因について十分に注意を払う必要がある。

1) 炉内温度や配管内の流体温度などを測定する場合、装置や配管などへの熱電対の挿入長さが短いと、熱電対の測温接点の温度は保護管が接する壁や外界との熱伝導の影響を受けて、測定対象の温度に対して誤差を生ずる。誤差を小さくするためには、配管に挿入する場合は曲がり部分を利用するなどして、一般に、金属の保護管では保護管外径の 15 ～ 20 倍の長さを挿入するとよい。一方、非金属の保護管では、誤差が同程度となる場合の挿入長さは、金属の保護管と比べて なる。

2) 熱電対を用いて物体の表面温度を測る場合には、測定対象に測温接点を確実に接触させることや、熱電対によって測定対象の温度が変わってしまうようなことがないように十分注意して測温接点を取り付けることが、誤差を小さくすることにつながる。

測定対象の温度は、熱電対を通して外界などとの熱の授受が生じることにより変化し、一般に、測定対象の熱容量や熱伝導率が ほど、熱電対の熱容量や熱伝導率が ほど測定対象の温度に影響を与えやすい。

物体の表面温度が一樣な場合に、より正確な表面温度を測定するには、できるだけ細い熱電対を用いて熱電対を測定対象の表面に ことにより、熱電対素線内の測温接点近傍の温度勾配を小さくすることなどが有効である。

〈 ～ の解答群 〉

ア 長く	イ 短く	ウ 同程度と	エ 大きい
オ 小さい	カ ^は 這わせる	キ 点で接触させる	ク 接触させない

- (2) 流速計には様々な原理を用いたものがあるが、流体のエネルギー保存に基づいたものとして、流体の を測定し、その差である動圧と流体の から流速を求める 式流速計がある。測定した差圧が2倍になると、流速は 倍になっている。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|--------------|---------|----------|
| ア $\sqrt{2}$ | イ 2 | ウ 4 |
| エ ゲージ圧と絶対圧 | オ 正圧と負圧 | カ 全圧と静圧 |
| キ ピトー管 | ク ブルドン管 | ケ ベンチュリ管 |
| コ 温度 | サ 湿度 | シ 密度 |

- (3) 面積流量計は、テーパ管とフロートから構成され、テーパ管中のフロートの位置で流量を計測するものである。テーパ管の下から流体を流すと、流体がフロートとテーパ管のすき間を通ることにより、 を発生する。この上向きの力と、フロートの による下向きの力が釣り合う位置でフロートは静止する。

面積流量計は、このフロートの静止位置で流量が読み取れるように作られている。このため、テーパ管を透明にすることによりフロートの位置すなわち流量として直視できる。動力源が不要でかつ安価に製作できるため、現場指示計としてよく用いられている。注意点としては、テーパ管を に取り付ける必要があることなどがある。

< ~ の解答群 >

- | | | | | |
|--------|------|---------|------|------|
| ア 鉛直 | イ 水平 | ウ 斜め45度 | エ 回転 | オ 重量 |
| カ 摩擦抵抗 | キ 差圧 | ク 静圧 | ケ 全圧 | |

問題 11 は次の頁に続く

(4) 圧力とは、ある面に加わる単位面積当たりの垂直な力を表し、従来から mmH₂O や mmHg などの単位が用いられているが、SI 単位では Pa を用いることになっている。ここで、1 Pa、1 mmH₂O、1 mmHg の圧力の大きさを比べると、12 となる。

また、圧力計には基準とする圧力の違いにより、絶対圧測定用、ゲージ圧測定用、差圧測定用がある。ここで、絶対圧は絶対真空を基準とした圧力、ゲージ圧は大気圧を基準とした圧力、差圧は測定対象の二つの圧力の差を指している。また、大気圧を基準とした場合、大気圧より高い圧力を正圧、低い圧力を負圧という。従って、ゲージ圧での正圧 0.9 MPa は、絶対圧では約 13 [MPa] となる。

〈 12 及び 13 の解答群 〉

ア 0.009

イ 0.09

ウ 1.0

エ 1.9

オ 1 mmH₂O < 1 mmHg < 1 Pa

カ 1 mmH₂O < 1 Pa < 1 mmHg

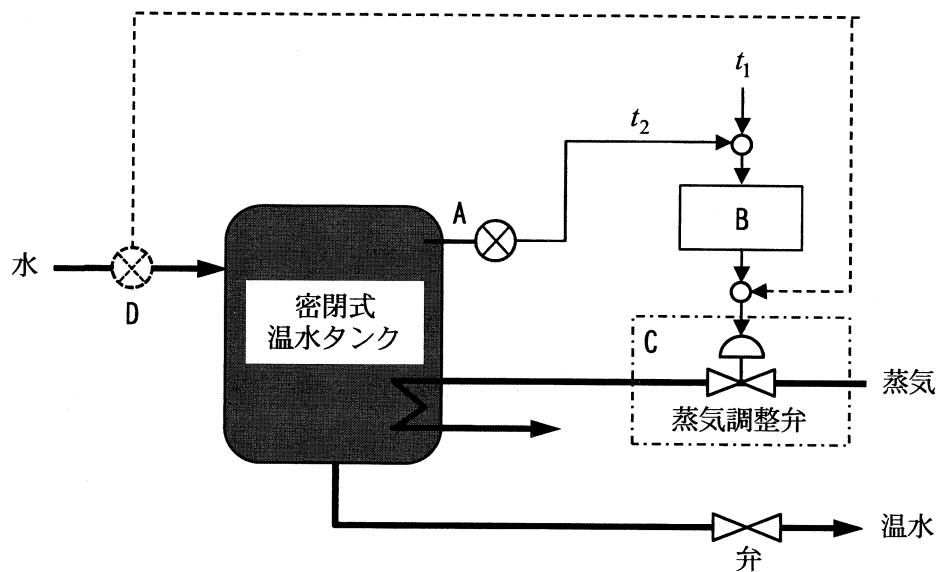
キ 1 Pa < 1 mmH₂O < 1 mmHg

(空 白)

(計測及び制御)

問題 12 次の各文章の 1 ～ 13 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) 図は、密閉式タンクに入っている温水を蒸気で加熱する装置の制御システムを示したものである。使用した温水の分だけタンク内に水が供給されるが、温水使用量が変動しても温度制御装置により加熱用蒸気の変動に応じて供給され、タンク内の温水温度が一定になるように制御されている。



図

- 1) タンクが、図のような温水で充満された密閉式ではなく、開放式で断続的に温水を供給する場合、タンク内にまず定量の水を入れ、次に蒸気で一定時間加熱して所定の温度まで昇温した後に弁を開いて温水を使用し、タンク内の温水を全て使った後にタンク内に定量の水を供給するといった一連の操作により、温水使用量が変動しても一定温度の温水の供給は間欠的ではあるが可能である。

このような操作を 1 制御という。ただし、この制御では、例えば使用途中でタンク内に水が入ってきたときなどに修正動作を行わなければ、一定温度の温水を確実に供給することはできない。

＜ 1 の解答群 ＞

ア カスケード イ シーケンス ウ フィードフォワード エ フィードバック

2) 一方、図のようにタンクが密閉式の場合には、温水の使用分だけタンク内に水が供給されるため、蒸気が一定量供給されていても、温水使用量が一定でなければ温水温度が変動してしまう。

したがって、図の制御においては、図中の A で示されている からの温水温度情報を B で示されている へ伝える。B は、 t_1 で示す設定された と、 t_2 で示す とを比較し、この両者の がなくなるように C で示されている を動作させることで、温水の使用量の変動にも対応している。この制御では蒸気調整弁が C となる。

〈 ～ の解答群 〉

ア 温度検出部	イ 温度調節計	ウ 操作部	エ 誤差
オ 偏差	カ 測定値	キ 標準値	ク 目標値

3) このような制御システムでは、蒸気流量の調整によるタンク内の温水温度の変化は t_2 の変化として B に戻ってくる。そこで、このように制御する方式を 制御という。温水温度が上昇して t_1 を超えれば B は蒸気流量を させ、温水温度が下がるように動作させる。

4) タンクへの給水流量だけでなく給水温度が変化しても、タンク内の温水温度は変化する。2) の制御では、これらの温水温度を変化させる要因によってタンク内の温水温度が変化してから修正動作を起こすので、温水温度が元へ戻るには若干時間を要する。この影響を早く除くために考えられたのが、 制御であり、例えば、要因となる給水流量を D で検出し、これによるタンク内の温水温度への影響を修正する方向に、予め蒸気調整弁を動作させる制御である（図の点線部分）。この制御では、温水温度を変化させる要因を検出したら直ちに蒸気調整弁を動作させるので、2) の制御に対して温水温度をより速く目標値に戻すことができる。

〈 ～ の解答群 〉

ア オーバーライド	イ カスケード	ウ フィードフォワード	エ フィードバック
オ 追値	カ 減少	キ 増加	

問題 12 は次の頁に続く

(2) 各機器や装置を信号の流れで表す図をブロック線図という。その各ブロックには、機器等の入力信号と出力信号との比に相当する 11 関数が用いられ、それを 12 表示で記入するのが一般的である。

プロセス制御演算には、そのブロック表現が、一般に式 $\frac{100}{PB} \times \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right)$ で表される 13 アルゴリズムが一般的に使用される。ここで、式の中の s は変換の演算子を表し、 PB を比例帯、 T_i を積分時間、 T_d を微分時間と呼ぶ。

〈 11 ～ 13 の解答群 〉

ア PID 制御

イ オンオフ制御

ウ サンプル値制御

エ ガンマ

オ シグマ

カ 伝達

キ フーリエ変換

ク ラプラス変換

ケ 積分変換

(空 白)

(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。なお、 は複数箇所あるが、同じ記号が入る。

また、 及び 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)

(I) 火力発電所等のボイラは、燃料を燃焼して熱エネルギーに変えて、蒸気タービンに送る蒸気を発生している。一方、ボイラで発生する燃焼排ガスの環境規制値を守るため、次のようなことが運転や設備上で考慮されている。

1) ボイラでの燃焼に伴って発生する NO_x の抑制方法として、燃焼の改善及び燃料の改善がある。

i) 燃焼の改善では、主要要素として次の ①～③が挙げられる。

① 燃焼域での酸素濃度を する。

② 高温域での燃焼ガスの滞留時間を短くする。

③ バーナでの を低くする。

具体例として燃焼過程を 2 段階に分割し、1 段目で 燃焼を行わせて NO_x を還元し、2 段目で完全燃焼させる 2 段燃焼法などがある。

< ～ の解答群 >

ア 希薄予混合

イ 燃料過濃

ウ 燃料希薄

エ 燃焼位置

オ 燃焼温度

カ 未燃分比率

キ 高く

ク 低く

ケ 維持

ii) 燃料の改善は、 の少ない燃料を使用することである。

< の解答群 >

ア 硫黄分

イ 炭素分

ウ 窒素分

2) ボイラ排ガス中の硫黄酸化物や窒素酸化物を除去する方式には、いずれも乾式法と湿式法の二つがある。

i) 硫黄酸化物を除去する排煙脱硫装置

乾式法の中には、二酸化硫黄を活性炭に吸着させた後、再生及び回収工程を経て硫酸や

5 として回収する、活性炭法と呼ばれる方法がある。

一方、湿式法には石灰石膏^{こう}法、水酸化マグネシウム法、ソーダ吸収法などがある。これらのうち、大容量処理に適し、脱硫性能が高く、実績も豊富な方法は、6 である。

ii) 窒素酸化物を除去する排煙脱硝装置

一般的には、乾式法のうちの選択式接触還元法が用いられる。その還元剤には 7 が用いられ、これを排ガス中に注入し、その下流に設置される触媒の作用により、窒素酸化物を窒素ガスに還元する。

〈 5 ～ 7 の解答群 〉

ア アンモニア

イ 硫黄

ウ 塩化マグネシウム

エ 過酸化水素

オ 硫化水素

カ ソーダ吸収法

キ 水酸化マグネシウム法

ク 石灰石膏^{こう}法

問題 13 は次の頁に続く

(2) 蒸気輸送配管について考える。

1) 蒸気配管は、口径を大きくすると、重量の増加により 8 が大きくなるばかりでなく、表面積の増大により 9 も大きくなる。逆に口径を小さくすると、流速が増加して圧力損失が増大するので、過剰に口径を絞ると蒸気使用設備に必要な圧力の供給が困難となる。したがって、蒸気配管は、できる限り短距離となるように、かつ、9 と圧力損失のバランスがとれた適正口径となるよう計画する必要がある。

〈 8 及び 9 の解答群 〉

ア 設備投資	イ 騒音値	ウ 伸び差
エ 排気損失	オ 放熱損失	カ 摩耗減肉

2) 圧力損失は管内流速によって左右されるが、蒸気配管計画では、次に示すように、使用する蒸気圧力に応じて適正流速範囲があるので目安にするとよい。

蒸気の管内流速 V [m/s] は、蒸気流量 G [kg/h]、蒸気の比体積 v [m³/kg] 及び管の内径 D [m] を用いて次式で表される。

$$V = \frac{Gv}{900\pi D^2}$$

速度水頭を用いた圧力損失の式にこの流速の式を代入して整理すると、蒸気配管の圧力損失は、 G 、 D 及び v を用いた式 10 に比例する。すなわち、蒸気の比体積 v にも比例することがわかる。

3) 蒸気の比体積は高圧になるほど小さくなることから、圧力損失も小さくなるので、蒸気の圧力が高ければ高いほど、適正流速の選定範囲を高くすることができる。一般に、0.2～0.5 MPa の低圧蒸気の適正流速は圧力に応じて 15～20 m/s、0.5～4 MPa の中圧蒸気の適正流速は圧力に応じて 20～11 [m/s] が目安とされている。

〈 10 及び 11 の解答群 〉

ア 50	イ 100	ウ 150	エ $\frac{G^2v}{D^3}$	オ $\frac{G^2v}{D^4}$	カ $\frac{G^2v}{D^5}$
------	-------	-------	----------------------	----------------------	----------------------

(3) 表に示す運転条件で定格運転及び部分負荷運転をする火力用ボイラがある。このボイラの部分負荷時の蒸発量（表中の①）を、燃料の発熱量以外の入熱はないものとして、入出熱の式から求めると、A ab.c [t/h] となる。また、部分負荷時の排ガス熱損失（表中の②）を求めると、B a.bc [%] となる。部分負荷時には、燃焼の安定化のために、空気過剰率を定格時よりも高くする必要があり、燃料 1 kg 当たりの排ガス量の増加により、排ガス熱損失は増加する。ただし、部分負荷時にはボイラ入熱量の減少に伴い排ガス量は減少するが、ボイラの伝熱面積は変わらないため熱交換効率は向上する。このため、12 は定格時よりも低下して、排ガス熱損失の増大を低減させる方向に働く。結果として、部分負荷運転時のボイラ効率が大きく低下することはない。

表

項目	単位	定格負荷運転	部分負荷運転
ボイラの蒸発量	t/h	180	①
ボイラ効率	%	90.0	89.8
ボイラ燃料消費量	t/h	13.12	6.79
ボイラ出口蒸気の比エンタルピー	kJ/kg	3 051.9	3 051.9
ボイラ入口給水の比エンタルピー	kJ/kg	428.1	344.5
空気過剰率（空気比）	—	1.05	1.15
ボイラ排ガス量	t/h	207	117
燃料 1 kg 当たりの排ガス量	kg/kg	15.8	17.2
ボイラ排ガス温度	℃	144	137
排ガス熱損失	%	5.24	②
大気温度	℃	20	
排ガスの平均定圧比熱	kJ/(kg・K)	1.07	
燃料 1 kg 当たりの発熱量	MJ/kg	40.01	

＜ 12 の解答群 ＞

ア ボイラ入口給水の比エンタルピー

イ ボイラ排ガス温度

ウ 灰中未燃分

(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) 蒸気タービンの駆動原理や部分負荷運転時の特性について考える。

1) 蒸気タービンでは、ノズル（静翼）と回転羽根（動翼）の組合せで、ノズルにより蒸気を させて熱エネルギーを運動エネルギーに変換し、高速の蒸気流を回転羽根に導入して方向変換させることにより、運動エネルギーの一部を動力に変換して出力軸に伝達する。

蒸気タービンは、このときの回転力の発生方法から衝動式と反動式に分けられるが、単段当たりの熱落差を大きくすることができるのは の方である。

〈 及び の解答群 〉

ア 圧縮 イ 膨張 ウ 凝縮 エ 衝動式 オ 反動式

2) 発電用などの蒸気タービンを部分負荷で運転する場合には、定格時の蒸気圧を維持して加減弁で蒸気流量を調整する定圧運転とするか、加減弁は全開のまま蒸気圧を調整する変圧運転を行う。この両者のうち、部分負荷運転時の効率を極力落とさないためには 運転とする方が望ましい。

〈 の解答群 〉

ア 定圧 イ 変圧

(2) 容積形内燃機関の分類及び熱損失について考える。

1) 容積形内燃機関は、 サイクルの応用である火花点火方式のガソリン機関と、ディーゼルサイクルの応用である圧縮着火方式のディーゼル機関に分類される。

2) ガソリン機関の場合は、空気と共に気化した燃料をシリンダ内で高圧に圧縮するので、圧縮する途中での のないように、オクタン価に注意して燃料を選定する必要がある。

＜ 及び の解答群 ＞

- | | | |
|--------|---------|--------|
| ア オットー | イ ブレイトン | ウ ランキン |
| エ 自己着火 | オ 火花点火 | カ 着火遅れ |

3) ディーゼル機関の場合は、空気のみをシリンダ内に吸入し、圧縮して高温高圧になった空気の中に燃料を噴霧して着火させる方式であり、 は不要である。また、ガソリン機関と比べたディーゼル機関の特徴として、熱効率が ことなどが挙げられる。

＜ 及び の解答群 ＞

- | | | |
|-------|--------|---------|
| ア 吸気弁 | イ 着火装置 | ウ 噴射ノズル |
| エ 高い | オ 低い | |

4) 容積形内燃機関における熱損失には、排ガス損失、冷却損失、摩擦損失などがあるが、これらの中で一般に最も損失が大きいのは 損失である。

＜ の解答群 ＞

- | | | |
|-------|------|------|
| ア 排ガス | イ 摩擦 | ウ 冷却 |
|-------|------|------|

問題 14 は次の頁に続く

(3) ガスタービンの構造や性能等について考える。

1) ガスタービンは、圧縮機、燃焼器及びタービンにより構成されている。

燃焼器は、その構造の違いにより、タービン軸に対して同心の環状断面を持つ筒状の外筒と内筒一組からなる「アニュラ形燃焼器」、外筒の中に複数個の円筒状の内筒が輪状に配置されている「キャニュラ形燃焼器」、筒形（キャン形）燃焼器を複数輪状に配置した「マルチキャン形燃焼器」などの形式がある。これらのうち、燃焼器の分解・交換が容易で、一般に大形発電用ガスタービンに最も多く使用されているのは 形燃焼器である。

燃焼器に用いられる構成材の材質については、高温の燃焼ガスにさらされる内筒と尾筒は、耐熱合金の板で形成され、空気によるフィルム冷却や などにより保護されている。

〈 及び の解答群 〉

ア アニュラ	イ キャニュラ	ウ マルチキャン
エ シリコン焼付塗装	オ 遮熱コーティング	カ 酸化被膜

2) 単純開放サイクルガスタービンの排ガスを活用し、蒸気タービンをボトムリングに使用したコンバインドサイクル発電には排気再燃方式、排気助燃方式、排熱回収方式などと呼ばれる種々の方式があり、近年、ガスタービン側のタービン入り口温度の上昇に伴い排気ガス温度が上昇していることや、排気ガス中の残存酸素濃度が低下してきたことなどにより、現在は 方式の採用が主流となっている。

最新のプラントでは、ガスタービン出力の約 [%] 相当分をさらに蒸気タービンで出力し、ガスタービンの高効率化と相まって、エネルギーの有効利用に大きく貢献している。

〈 及び の解答群 〉

ア 30	イ 50	ウ 70
エ 排気再燃	オ 排気助燃	カ 排熱回収

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。なお、 は複数個所あるが、同じ記号が入る。

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40点)

(1) 多管式熱交換器は、各種プラントにおいて一般的に用いられる熱交換器である。その形式は、図の概略の構造図 (a) ～ (c) に示すように、大きく三つの基本形式に分類される。

1) 図の (a) ～ (c) のうち、胴の両側に を固定した固定 式熱交換器の概略の構造図は である。この形式は、 の部分が密閉されているために、その内部の検査や清掃が難しい。一般に、汚れが少ない方の流体を、清掃が難しい側に通すようにすると良い。

2) 図の (a) ～ (c) のうち、伝熱管内外の清掃や検査を最も容易に行うことができるのは、構造図 の形式の 式熱交換器である。

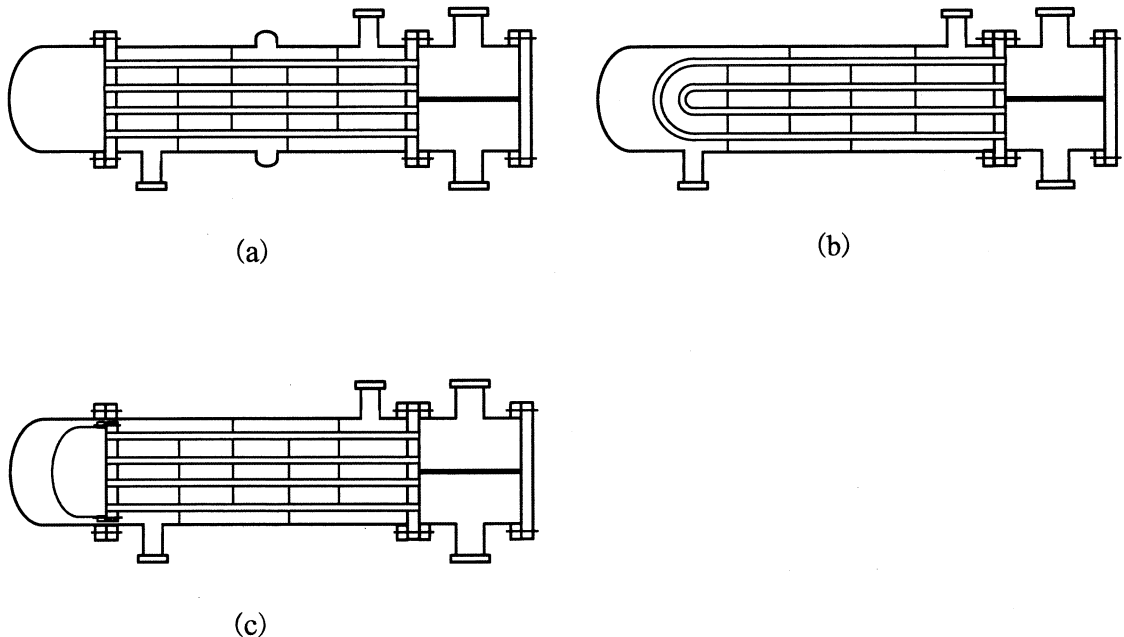


図 多管式熱交換器の概略の構造図

〈 1 ～ 5 の解答群 〉

ア (a)	イ (b)	ウ (c)	エ U字管
オ 多重管	カ バッフル板	キ 管板	ク 仕切り室
ケ 分岐室	コ 胴	サ 遊動頭	

(2) 大気開放型の冷却塔では、被冷却機器との間を循環する冷却水が大気と直接触れて、大気中の粒子や酸性物質などの汚染物質が冷却水中に溶け込むなどすることで、水質が徐々に悪化する。被冷却機器側に設置されている熱交換器では、熱交換器内の冷却水の汚れが増大し、伝熱面において、汚染物質による腐食や水分の蒸発により 6 された不純物分の晶出を招き、これらによる伝熱抵抗の増加によって、その熱交換性能が大きく低下する。通常は、適正な 7 や薬液注入処理の実施などによって、冷却水を正常な水質範囲に保つと共に、定期的に伝熱管の洗浄などを行うことで、冷却水系統に設置されている熱交換器の効率が管理値の範囲を下回らないようにする。

〈 6 及び 7 の解答群 〉

ア 凝縮	イ 濃縮	ウ 分解	エ 融解
オ ブロー	カ 加熱	キ 空気注入	ク 凍結処理

問題 15 は次の頁に続く

- (3) 高温の排ガスの熱を温水で回収する場合、熱交換の加熱面の排ガス側と受熱面の温水側の熱抵抗の値に大きな差が生じるので、伝熱板にフィンをつけて熱抵抗を減らした熱交換器を用いている。

1) フィンを付けて熱抵抗を減らすのは、熱抵抗の大きい 8 側の伝熱面である。

< 8 の解答群 >

ア 温水

イ 排ガス

- 2) 伝熱板の片側にフィンを付けたときの熱通過率 K と単位面積当たりの熱抵抗の関係は、次の式のようになる。

$$\frac{1}{K} = \boxed{9} + \frac{l}{\lambda} + \boxed{10}$$

ここで、伝熱板の厚さを l 、フィンの付いていない側の伝熱面積を A 、熱伝達率を α_1 、フィンを付けた側の熱伝達率を α_2 、フィン表面の面積を A_f 、フィンの付いていない部分の面積を A_b 、フィン効率を η_f 、伝熱板及びフィンの材料は同じ材料としてその熱伝導率を λ とする。

< 9 及び 10 の解答群 >

ア $\frac{1}{\alpha_1}$

イ $\frac{1}{\alpha_2}$

ウ $\left(\frac{1}{\alpha_1}\right) \frac{A_f}{A(1+A_f)}$

エ $\left(\frac{1}{\alpha_2}\right) \frac{A_f}{A(1+A_f)}$

オ $\left(\frac{1}{\alpha_1}\right) \frac{A_b}{A_b + \eta_f A_f}$

カ $\left(\frac{1}{\alpha_2}\right) \frac{A}{A_b + \eta_f A_f}$

- (4) 二重管式熱交換器において、比熱が $2\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ の流体が、入口温度 T_{h1} 90°C 、流量 180 kg/min で流入している。この流体を冷却する目的で、比熱が $4\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ の流体が、入口温度 T_{c1} 20°C で流入して熱交換している。ただし、熱交換器の外部への熱損失は無視できるものとする。

1) この高温側の流体を 80°C に冷却するために必要な交換熱量は A ab [kW] である。

2) 低温側の流体の出口温度 T_{c2} を測定したところ 34°C であった。このときの低温側の温度効率、
B ab [%] である。

3) このとき、冷却に必要な低温側の流体の流量は C ab [kg/min] である。

(空 白)

(冷凍・空気調和設備 — 選択問題)

問題16 次の各文章の 1 ～ 10 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、4 は複数箇所あるが、同じ記号が入る。(配点計 40 点)

- (1) 図1は、空気調和機を用いた空気調和システムを示したものであり、①～⑩は、システム内の空氣の通過位置を示すものとする。また、図2は図1の空気調和システムにおける暖房運転時の空氣の状態変化を、湿り空氣線図 (h - x 線図) 上に示したものである。なお、A～Fはシステム内の空氣の状態点を表し、単位の kg(DA) は乾き空氣の質量を示す。

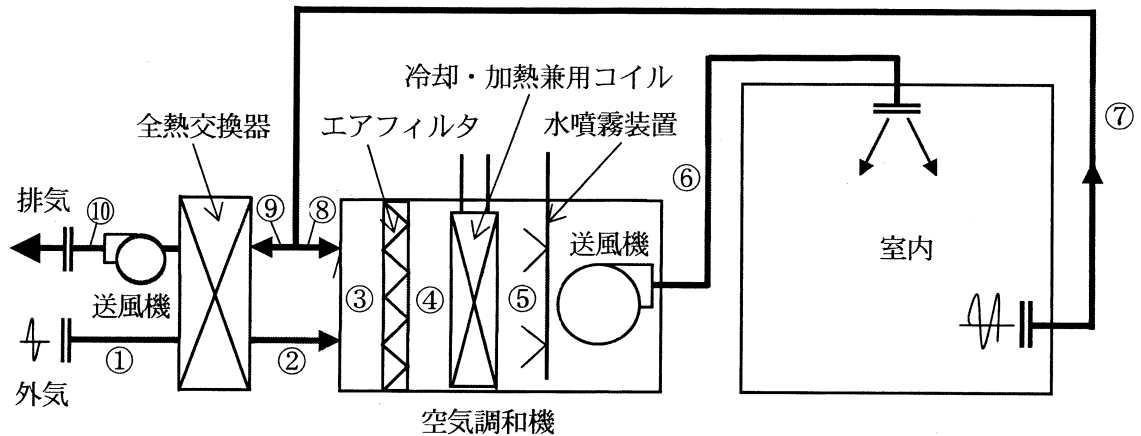


図1 空気調和システム

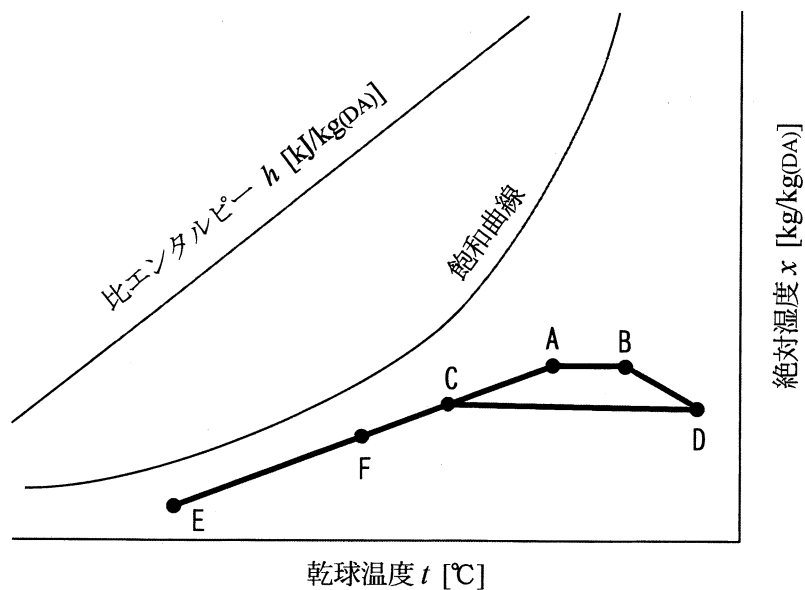


図2 湿り空氣線図 (h - x 線図)

1) 図1の空気調和機における外気が全熱交換器を通過した直後の②の空気の状態点は、図2の となり、その後に室内からの還気と混合した③の空気の状態点は、図2の となる。また、冷却・加熱兼用コイル通過後の⑤の空気の状態点は、図2の であり、さらに水噴霧装置で加湿された後に室内に供給される。

< ～ の解答群 >

ア A イ B ウ C エ D オ E カ F

2) 図1の全熱交換器における回収熱量は、「外気の状態点と、外気が全熱交換器を通過した後の状態点との 差」と「外気量（質量）」の積となる。

3) 1) を経て空気調和機から供給される空気によって室内負荷が処理され、室内の温度、湿度が一定に保たれる。このとき、「システム内の通過位置 を流れる空気の質量」と、図2の「二つの状態点 との 差」の積は空調負荷に合致している。

< ～ の解答群 >

ア AとC イ BとA ウ BとD エ DとC
 オ ② カ ⑥ キ ⑧ ク ⑨
 ケ 乾球温度 コ 絶対湿度 サ 比エンタルピー

問題16 は次の頁に続く

- (2) 図3は、 $P-h$ 線図（モリエ線図）上の蒸気圧縮冷凍機の冷凍サイクルで、冷媒の絶対圧力を対数目盛で縦軸に、比エンタルピーを横軸として、圧縮→凝縮→膨張→蒸発のサイクルを示したものである。ここで、1～4は冷媒の状態点を示す番号である。

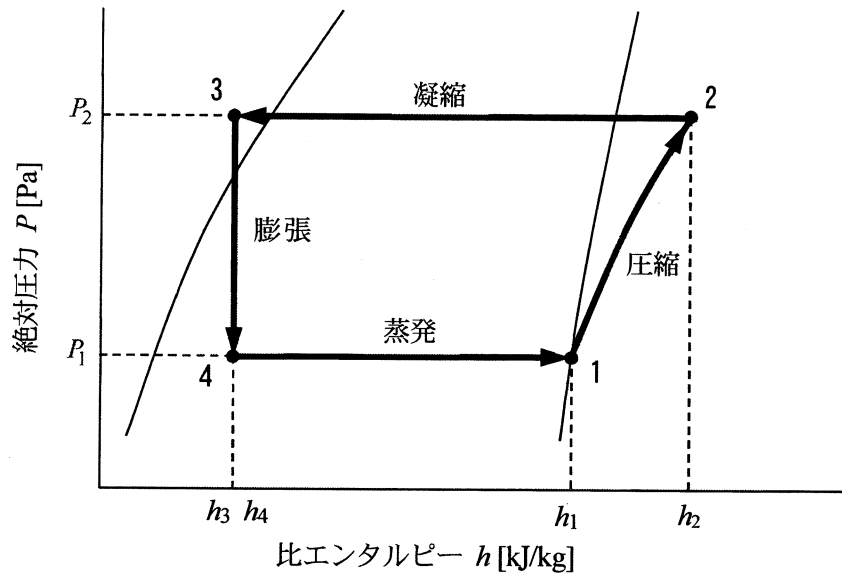


図3 $P-h$ 線図上の蒸気圧縮冷凍機の冷凍サイクル

- 1) 図3の冷凍サイクルのプロセスの中で、空調系統へ供給する冷房用の冷水を冷却するのは 7 プロセスである。

〈 7 の解答群 〉

ア 圧縮 イ 凝縮 ウ 蒸発 エ 膨張

- 2) 冷凍機の性能を表す成績係数を ε_R とすると、 ε_R は図3の各点の比エンタルピーを用いて、式 $\varepsilon_R =$ 8 で表わされる。成績係数は、略して 9 と呼ばれている。

〈 8 及び 9 の解答群 〉

ア $\frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$	イ $\frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$	ウ $\frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_3}$	エ $\frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4}$
オ CEC	カ COP	キ LCC	

3) 図3のサイクルを、温熱を供給するヒートポンプとして使用する場合の成績係数について考える。1～4の各状態点の圧力と比エンタルピーの条件が同じであれば、ヒートポンプとしての成績係数は、冷凍機の成績係数 ε_R を用いて、10 と表すことができる。

〈 10 の解答群 〉

ア ε_R

イ $\varepsilon_R + 1$

ウ $\varepsilon_R - 1$

エ $\frac{1}{\varepsilon_R}$

(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。なお、 は複数個所あるが、同じ記号が入る。(配点計 40 点)

(1) 次の表は、各分野の工業炉の例について、その機能や特徴を示したものである。

表 工業炉とその機能や特徴

分野	工業炉	主な機能や特徴
製鉄	高炉	溶鉱炉とも呼ばれ、鉄鉱石を鉄源とし、コークスを熱源及び 1 剤として炉上部より装入して、熔融状態の鉄を製造する一つの反応塔である。
	2	コークスの燃焼熱を利用して銑鉄や鉄くずを溶解するために、古くから用いられている炉であり、立型円筒形の形状をしている。
非鉄金属	3	各種の硫化金属鉱を高温雰囲気により空気で酸化し、亜硫酸ガスと酸化金属にする炉であり、ほとんどに流動床方式が採用されている。
窯業	4	耐火物、陶磁器、タイルなどに用いる場合は、それらの被加熱物材を台車に載せて、トンネル状の連続窯内を移送する方式が多く用いられている。
環境	灰溶融炉	ごみ資源化の必要性、最終処分場からの有害物質の溶出問題等を解決するための手段として、ごみ焼却炉で発生した焼却灰を 1300℃ 以上で溶かし、 5 にする処理を行う炉で、 5 は固化した上で、コンクリート原料等として使用される。

< ～ の解答群 >

- | | | | |
|--------|------------|---------|--------|
| ア キュボラ | イ ロータリーキルン | ウ 鋼片加熱炉 | エ 焼成炉 |
| オ 転炉 | カ 熱処理炉 | キ 焙焼炉 | ク るつぼ炉 |
| ケ クリンカ | コ スラグ | サ モルタル | シ 還元 |
| ス 酸化 | セ 浄化 | | |

(2) 工業炉の性能について考える。

1) 工業炉の性能を表すものとして熱効率があり、次式で示される。

$$\text{熱効率} = \frac{\boxed{6}}{\text{供給熱量}} \times 100 [\%]$$

＜ $\boxed{6}$ の解答群 ＞

ア 被加熱物が得た熱量 イ 被加熱物の全保有熱量 ウ 被加熱物の発熱量

2) 熱効率を高めるためには、次の i) ～ iii) で示すような検討項目が挙げられる。

i) 加熱後の被加熱物の温度を、被加熱物の全体にわたって目標の温度に近づけ、温度偏差を小さくすることが熱効率の向上につながる。そのためには、 $\boxed{7}$ マークの低減や高速バーナなどによる炉内温度分布の均一化が効果的な対策となる。

ii) 燃料の燃焼熱のうち、燃焼排ガスが炉から排気されるときに排ガス顕熱を少なくして、省エネルギー化を図ることを検討する。通常、燃料の燃焼が理論空気量より若干空気過剰状態となるように操業される。このとき、排ガスからの熱損失を抑制するためには、必要以上に過剰な $\boxed{8}$ 比で燃焼しないように注意が必要である。

＜ $\boxed{7}$ 及び $\boxed{8}$ の解答群 ＞

ア クロスリミット イ スキッド ウ スケール
エ モル オ 空気 カ 燃料

iii) 空気による燃焼では、燃焼熱が燃焼には寄与しない窒素分の昇温にも費やされ、それが損失につながる。そこで、排ガス損失の低減のために、 $\boxed{9}$ 富化燃焼の導入などの対策が考えられる。

＜ $\boxed{9}$ の解答群 ＞

ア 酸素 イ 排ガス ウ 燃料

問題 17 は次の頁に続く

(3) 断熱性が良好な熱設備材料としてセラミックファイバ材料が広く使用されている。

1) セラミックファイバは、 と を主成分とした人造鉱物繊維の総称であり、高温で熔融した後にブローイングと呼ばれる高速気流の吹き付けによる方法やスピニング法と呼ばれる高速回転するロータを利用する方法で繊維化して製造される。そのため、急冷されることによって構造的には 相を多く含んでいる。

〈 ～ の解答群 〉

ア アルミナ	イ カルシア	ウ シリカ
エ デンドライト	オ パーライト	カ フェライト
キ マグネシウム	ク 結晶	ケ 非晶質

2) セラミックファイバは、1000℃以上の高温域でも使用できる耐火材・断熱材で、鉄鋼・窯業・石油・化学などの分野において広く使用されている。他の耐火物に比べ、断熱性が高く、軽量で が小さいので、省エネルギーの観点から、特に断続操業の炉の場合等に対して非常に優れた炉材である。

〈 の解答群 〉

ア 気孔率	イ 蓄熱量（熱容量）	ウ 熱伝達率
-------	------------	--------

3) セラミックファイバの施工法として、板状に加工したセラミックファイバのボードを貼り付けるボードライニングや壁紙のように断熱材を層状に重ねて施工するペーパーライニング、ブランケットを短冊状に切断して炉殻面と直角方向になるように積層するスタックライニングや、既設炉の炉内面にセラミックファイバ層を貼り付ける がある。様々な施工法が開発されており、急速に普及している。

〈 の解答群 〉

ア ガンニング	イ ベニアリング	ウ ラミング
---------	----------	--------

(空 白)

(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等群から選び、その記号を答えよ。なお、、 及び は複数個所あるが、それぞれ同じ記号が入る。(配点計 40 点)

(1) 蒸発及び濃縮について考える。

1) 化学工業では、溶液を加熱又は減圧することによって溶媒を蒸発させ、不揮発性溶質と溶媒に分離する操作が多く行われている。工業的には、 を熱媒体として管を通して溶液を間接的に加熱する蒸発装置が多く用いられている。

< の解答群 >

ア フロン

イ 水蒸気

ウ 熱媒体油

2) 溶質の存在によって、溶液の沸点は純溶媒の沸点より上昇する。溶液の濃度、蒸気圧、沸点の関係を図示したのが 線図で、これを用いて溶質の存在に起因する沸点上昇を求めることができる。

< の解答群 >

ア エントロピー

イ デューリング

ウ ラウール

エ 気液平衡

3) 蒸発操作では、発生した蒸気の熱を再利用して省エネルギー化が図られている。このような蒸発操作の方法として、次の①～③のような方法がある。

- ① 法：発生した蒸気を圧縮して温度を上げて、溶液の蒸発に再利用する方法
- ② 法：圧力を順に低くした複数の蒸発缶を直結し、はじめの蒸発缶で発生した蒸気をより減圧された次の蒸発缶の蒸発用熱源として使い、これを順次繰り返す方法
- ③ 法：加熱した溶液を、その温度での蒸気圧より低い圧力の容器に過熱状態で供給して自己蒸発させて蒸気と濃縮液に分離し、蒸気は凝縮させて凝縮熱を原液の予熱に用いる。濃縮液は、圧力がより低い次の容器に供給して自己蒸発させ、これを繰り返して順次濃度を高めていく方法

< ～ の解答群 >

ア 真空蒸発

イ 蒸気圧縮

ウ 多重効用

エ 多段フラッシュ蒸発

問題18は次の頁に続く

(2) 図は、表面まで十分に湿った被乾燥材料（非親水性粉粒体）を一定条件の熱風中に吊るして乾燥させたときの、被乾燥材料の含水率と材料温度の時間変化を表している。

乾燥初期の期間Ⅰ（材料予熱期間）では、材料の温度は初期温度から次第に上昇し、乾燥条件によって定まるある平衡温度（ T_a ）に近づいていく。この平衡温度は、熱風からの対流伝熱のみによって加熱されるとき、その熱風の湿球温度と一致する。

期間Ⅱ（定率乾燥期間）では、材料温度は一定で、流入した熱がすべて水分の蒸発に費やされ、乾燥速度は一定となる。

期間Ⅲ（減率乾燥期間）では、乾燥が進んで材料内部の水分量が減少し、材料内部からの補給が材料表面での蒸発に追い付かなくなり、乾燥速度が遅くなるとともに、材料表面の温度は上昇していく。ある程度まで含水率が下がると、材料温度が熱風温度に近づいても含水率は一定となり、それ以上は乾燥が進まなくなる。（c 点）

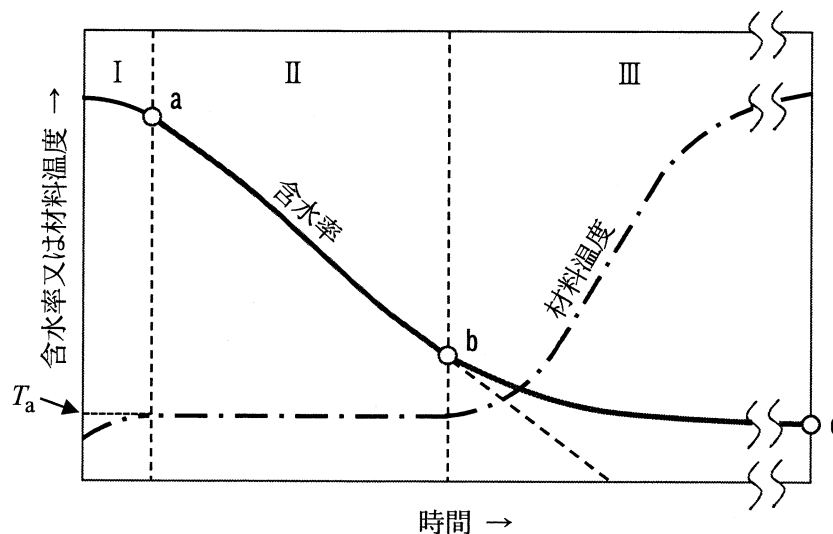


図 乾燥における含水率と材料温度の変化

- 1) 期間Ⅱで乾燥速度が一定となるのは、材料表面に存在する 6 が蒸発しているが、蒸発しても材料内部から 6 が材料表面に補給されるためである。

< 6 の解答群 >

ア 結合水

イ 自由水

ウ 純水

2) c 点における含水率を 含水率という。また、材料含有水分のうち乾燥によって除去できる水分は、初期の材料含水率とそのときの 含水率との差であり、それをその条件における 含水率という。

3) b 点における平均含水率は 含水率と呼ばれ、乾燥装置を設計する上で重要な数値である。

＜ ～ の解答群 ＞

ア 限界

イ 自由

ウ 平衡

エ 飽和

4) セッケン、にかわ、ゼラチンなどの均質材料の乾燥では、非均質材料の乾燥と違って、 期間が存在しない。

＜ の解答群 ＞

ア 減率乾燥

イ 材料予熱

ウ 定率乾燥

問題18は次の頁に続く

(3) 炭素系資源（石炭、重質油、バイオマス、廃棄物）のガス化について考える。

1) 炭素系資源を加熱していくと、まず 反応が起こり、低分子量の揮発分が気相に出て、残りが縮重合してチャーが生成する。

2) さらに、水蒸気や空気などのガス化剤が存在すると、チャーが水蒸気と反応して一酸化炭素と水素が生成する 反応が起こる。この反応は吸熱反応なので、酸素により 反応させて熱を発生させバランスさせる。

< ～ の解答群 >

ア 水性ガス イ 水素化分解 ウ 熱分解 エ 部分酸化

3) ガス化炉は固体と気体の接触様式によって、次の①～③のような形式のものがある。

① 層ガス化炉：石炭ガス化複合サイクル発電（IGCC）で主に用いられ、1000℃以上で微粉原料をガス化剤とともに高温のガス化炉に吹き込み、数秒でガス化して灰を溶融スラグとして取り出す形式の炉。

② 層ガス化炉：バイオマスガス化など小規模なプロセスで塔頂から原料を投入し、比較的低温でガス化させ灰分を塔底から取り出す形式の炉。

③ 層ガス化炉：粉粒体の原料を、塔底部からガス化剤を吹き込むことによって 化させて、800～1000℃でガス化する形式の炉。

< ～ の解答群 >

ア 固定 イ 噴流 ウ 流動

(空 白)

(表紙からの続き)

Ⅲ 試験中に使用する物品・機器に関する注意事項

1. 試験中、机の上に置いてよいのは以下のものとする。それ以外のものは鞆等にしまい、鞆の口を閉めておくこと。机の棚板や衣服のポケットにはしまわないこと。
受験票、HBの鉛筆又はシャープペンシル、鉛筆削、替芯、プラスチック製消しゴム、時計、電卓1台（使用禁止ではないもの）、眼鏡、拡大鏡
2. 試験中、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、電子ループ等の電子機器・通信機器の使用は禁止する。
3. 通信機能を有する全ての機器（時計、眼鏡、補聴器等を含む）は、試験中は使用を禁止する。通信機能を有する機器を使用できないことによる事態には一切配慮しない。通信機能を有しない代替品、例えば、スマートウォッチの代わりに時計機能のみの時計を使用すること。
4. 使用禁止電卓は、関数電卓、携帯電話などの電卓機能、数式等が記憶できるもの、プログラム機能を有するものである。

Ⅳ 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、解答群の字句等（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
---	------

、

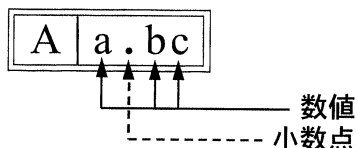
B	a.bc×10 ^d
---	----------------------

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。なお、下位の桁の値が「0」となる場合にも0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、解答すべき数値を求める過程の計算においても、必要となる桁数には十分配慮し、「解答として最後に四捨五入した数値」が、「解答が求める最小位まで有効な値」となるようにすること。
- (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、(1)の「解答は解答すべき数値の最小位の最小位の位で四捨五入すること。」の計算条件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)

6.795…
↓ 四捨五入
6.80

(解答)

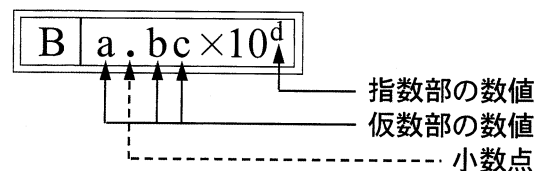
「680」を
塗りつぶす



A		
a	b	c
0	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…×10²
↓ 四捨五入
9.18 ×10²

(解答)

「9182」を
塗りつぶす



B			
a	b	c	d
0	0	0	0
1	1	1	1
2	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