

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	1～5 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	7～13 ページ

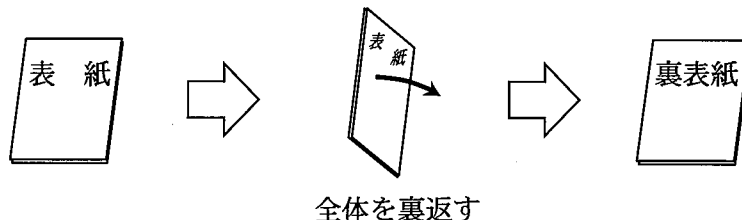
次の問題15から問題18までは、4問題中2問題を選択して解答すること。

選択 問題15	熱交換器・熱回収装置	} 2問題を選択	15～16 ページ
選択 問題16	冷凍・空気調和設備		17～19 ページ
選択 問題17	工業炉、熱設備材料		21～24 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		25～28 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。

(計測及び制御)

問題11 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、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、[2] は2箇所あるが、同じ記号が入る。

(配点計 50 点)

(1) 材質の異なる2本の [1] の両端を接続して回路を構成し、2つの接点を異なった温度に保つと、ゼーベック効果により回路に [2] が生じる。この大きさは、2本の材質が決まれば [3] によってのみ決まる。したがって、一方の接点の温度を一定に保ち、この回路に生じる [2] を測定することにより、もう一方の接点の温度を知ることができる。この原理を利用して温度を計測しているのが [4] である。

〈 [1] ~ [4] の解答群 〉

- | | | |
|------------|-----------|----------|
| ア サーマスタ温度計 | イ 測温抵抗体 | ウ 熱電対 |
| エ 起電力 | オ 電荷 | カ 電気抵抗 |
| キ 金属線 | ク 炭素繊維 | ケ 半導体線 |
| コ 回路内の温度差 | サ 回路の最高温度 | シ 両接点の温度 |

(2) 液体を入れた容器の底にかかる圧力は、液体の重量による圧力と、液面にかかる圧力の和に等しい。したがって、容器の底にかかる圧力 P は、液体の密度を ρ 、重力の加速度を g 、容器の液位を h 、液面にかかる圧力を P_f とすると、[5] で表される。この原理を用いて、容器の底にかかる圧力と液面にかかる圧力の差圧から液位を求める計器が圧力式液面計である。この計器を用いる際には、液体の密度が液体の [6] 及び [7] に依存することに注意が必要である。

いま、液面計の差圧の測定値が 1kPa 上昇したときを考える。重力の加速度を 9.8m/s^2 とすると、液体が密度 1000kg/m^3 の水の場合には、液位は約 [8] [mm] 上昇したことになる。もし、液体が灯油の場合には、水と比べると液位の上昇は [9] なる。

〈 5 ～ 9 の解答群 〉

ア 1	イ 10	ウ 100	エ $P_1 + \rho gh$
オ $P_1 + \rho gh^2$	カ $P_1 + \frac{\rho}{gh}$	キ 温度	ク 質量
ケ 種類	コ 動圧	サ 容積	シ 流速
ス 水より大きく	セ 水より小さく	ソ 水と同じに	

(3) 流れている流体に加熱した物体を接触させると、流体は熱エネルギーを得て温度が上昇する。

このとき、流体が得る熱量は、「流体の 10 × 流体の温度上昇度 × 流体の流量」に比例する。この原理を用いて流量を計測する計器が熱式流量計である。計測対象となる流体の種類は主に 11 であり、その 12 が直接に高精度で測定できるのが特徴である。

実際の熱式流量計は、流れの主流と細管によるバイパス流を並流させる構造のものが多い。計測部の細管の周りには、同一電流が流れる加熱抵抗体兼温度センサの抵抗が二つ巻いてあり、流体に流れがないと両抵抗の温度は同じであるが、流れると温度差が生じる。この温度差を電気抵抗として検出している。また、主流のフローエレメントの流動抵抗により、13 を一定に保つことで、さまざまな流量範囲の計測に対応している。

〈 10 ～ 13 の解答群 〉

ア 液体	イ 気体	ウ 混相流体
エ 質量流量	オ 体積流量	カ 定圧比熱
キ 導電性	ク 熱容量	ケ 流速
コ バイパス流の流量	サ 主流の流量	シ 主流とバイパス流との流量比

(計測及び制御)

問題 12 次の各文章及び図の ～ の中に入れるべき最も適切な字句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、 は2箇所、 は3箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

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 50 点)

図 1 は、化学反応槽の温度制御について示したものである。この反応槽の温度は、蒸気量を調節弁で調整することにより、設定した目標値となるように制御されている。また、槽の温度は常時一定ではなく、化学反応の進行に応じて変化させるように予め設定されている。

- 1) この化学反応槽の温度制御のように、予めその設定値を時間とともに変化させるような制御を 制御と呼び、カスケード制御や比率制御とともに 制御の一つである。

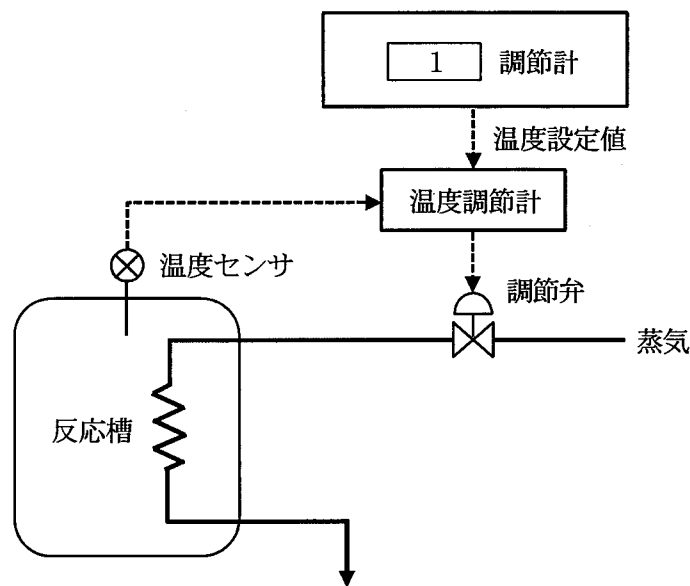


図 1 化学反応槽の温度制御

< 及び の解答群 >

- | | | |
|----------|-------|---------|
| ア オーバライド | イ サーボ | ウ シーケンス |
| エ プログラム | オ 選択 | カ 追値 |

2) 図1で示されている温度制御はフィードバック制御であり、そのブロック線図と制御装置の構成は、図2のようになる。

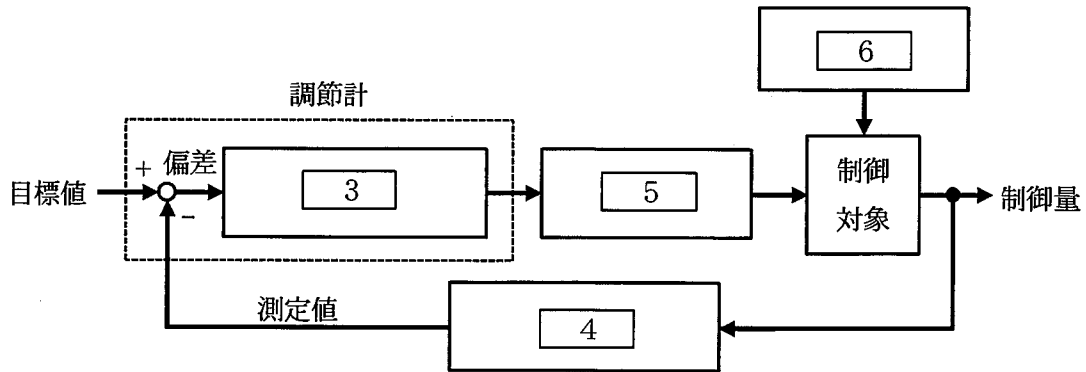


図2 フィードバック制御のブロック線図と制御装置の構成

〈 3 ~ 6 の解答群 〉

ア 外乱 イ 検出部 ウ 制御演算部 エ 操作部

3) フィードバック制御の調節計には、一般にPID制御アルゴリズムが適用される。ここで、Pは 7 動作、Iは 8 動作、Dは 9 動作を示す。

PID制御のラプラス変換表示は、次式で表される。

$$\boxed{10}$$

この式で、 PB はP動作の調整パラメータで 11 と呼ばれる。また、 T_i はI動作の調整パラメータで 12 、 T_d はD動作の調整パラメータで 13 と呼ばれる。

〈 7 ~ 13 の解答群 〉

ア $\frac{100}{PB} \left(\frac{1+T_d \cdot s}{1+T_i \cdot s} \right)$ イ $\frac{100}{PB} \left(\frac{1-T_d \cdot s}{1-T_i \cdot s} \right)$ ウ $\frac{100}{PB} \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right)$ エ 遅れ時間
 オ 進み時間 カ 積分時間 キ 微分時間 ク むだ時間
 ケ 三要素 コ 進み遅れ サ 積分 シ 微分
 ス 比例 セ 比例帯 ソ 不感帯

問題12の4)は次の5頁にある

4) 制御アルゴリズムとしてP動作だけを使用した場合に、偏差がいつまでも零にならない が生じることがある。

図1の温度調節計がP動作のみの調節計で、設定値が75℃、PBが50%、偏差零のときのバイアスが50%、測定値・目標値のスパンが150℃であるとする。ある運転条件のとき、温度調節計の出力が60%でバランスしたとする。「出力 = $\frac{100}{PB} \times \text{偏差} + \text{バイアス}$ 」の関係があるので、

そのときの は [℃] 生じることになる。

この は、制御アルゴリズムに 動作を加えることにより解消される。

< 及び の解答群 >

ア オフセット イ 誤差 ウ ^{ざんさ} 残渣 エ 積分 オ 微分 カ 比例

(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、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 50 点)

(1) ボイラに投入された熱量のうち、蒸気等で取り出された有効出熱以外の熱量を損失熱量という。この損失熱量を把握することが、ボイラ効率を管理することやボイラ効率向上対策を検討する上で、大変重要となる。JIS B 8222 - 1993 で規格化されている陸用ボイラ熱勘定方式によると、このボイラ熱損失の主な項目には、次の①～⑤に示すようなものがある。

- ① 排ガス熱損失
- ② 不完全燃焼ガスによる熱損失
- ③ 燃えがら中の未燃分による熱損失
- ④ 放散熱による熱損失
- ⑤ その他の熱損失

1) 排ガス熱損失

①の排ガス熱損失は、燃焼によって生じる排ガスがボイラから持ち去る熱損失である。排ガス熱損失 L_G は次式で表すことができる。

$$L_G = G \times c_p \times (t_g - t_0) \text{ [kJ/kg-f]}$$

ここで、 G [kg/kg-f] は燃料単位質量当たりの排ガス量、 c_p [kJ/(kg·K)] はボイラ排ガスの平均比熱、 t_g [°C] はボイラの排ガス温度、 t_0 [°C] は基準温度である。基準温度は大気温度とすることが多い。

この排ガス熱損失が増加する場合、何らかの原因で排ガス量 G が増加するか、排ガス温度 t_g が上昇していることになるので、この状況では次のような項目を疑ってみると良い。

- ・ 炉壁管や伝熱管の燃焼ガス側表面が で汚れていないか。
- ・ ボイラの にスケールが厚く付着していないか。
- ・ 必要以上に燃焼用空気がボイラに投入されていないか。

2) 不完全燃焼ガスによる熱損失

②の不完全燃焼ガスによる熱損失は、燃焼不良が生じて排ガス中に未燃ガスが排出される損失で、排ガス中に が検出される。

< 1 ~ 3 の解答群 >

ア CO イ NOx ウ SOx エ 煙突 オ 給水管
カ 伝熱管の水側表面 キ 鉄錆 ク 燃焼灰 ケ 油分

3) 燃えがら中の未燃分による熱損失

③の燃えがら中の未燃分による熱損失は、重質油や石炭などを燃焼した際に排出される燃え残りの熱量換算分で、4 の不足などにより燃焼不良が生じていると増加する。燃えがら中の未燃分による熱損失 L_c は次式で表すことができる。

$$L_c = H_c \times \frac{c}{100} \quad [\text{kJ/kg-f}]$$

ここで、 H_c [kJ/kg] は 5 であり、 c [%] は燃料単位質量当たりが発生する未燃炭素の質量割合であるが、 c は現場計測で知ることはできないので、次のように求める。

石炭などの固体燃料を燃焼した場合、一般にはボイラ排ガス中の燃えがらをサンプリングし、燃えがら中の未燃炭素を計測する。燃えがら中の未燃炭素の質量割合 u は、燃料単位質量当たりの灰分の質量割合を a [%] とすると、次式で表すことができる。

$$u = 6 \quad [\%]$$

これを c について解くと、次式で表すことができる。

$$c = 7 \quad [\%]$$

すなわち、計測値 u と燃料中の灰分 a を用いることで c が求められ、熱損失 L_c が計算できる。

< 4 ~ 7 の解答群 >

ア $\frac{c}{a} \times 100$ イ $\frac{c}{a+c} \times 100$ ウ $\frac{c}{a-c} \times 100$ エ $\frac{u \cdot a}{100}$
オ $\frac{u \cdot a}{100+u}$ カ $\frac{u \cdot a}{100-u}$ キ 再循環ガス ク 二段燃焼
ケ 燃焼用空気 コ 炭素の発熱量 サ 燃料の高発熱量 シ 燃料の低発熱量

問題 13 の (1) 4 ~ (3) は次の 9 頁及び 10 頁にある

4) 放散熱による熱損失他

④の放散熱による熱損失は、ボイラ本体の外表面などから放散される熱損失で、その算出方法にはボイラ各部の表面温度及び周囲外気温度の測定値と から求める方法などがある。

⑤のその他の熱損失としては、固体燃料及び液体燃料の場合には、燃えがらの顕熱やアッシュピットへの放射熱損失などが考えられる。

< の解答群 >

ア 排ガス温度 イ 炉内温度 ウ 熱伝達率 エ 熱伝導率

5) ①～⑤の熱損失の中で、最も損失熱量の大きなものは であり、その熱回収のため、中・大型ボイラでは や空気予熱器が設置されている。

< 及び の解答群 >

ア ① イ ② ウ ③ エ ④
オ ⑤ カ エコノマイザ キ サイレンサ ク ドレントラップ

(2) 空気予熱器には、ボイラの排ガスを一定時間厚さ1mm程度の金属板に接触させて熱を回収し、その後燃焼用空気を接触させて空気側に熱を放出して、燃焼用空気を予熱するものがある。これを 空気予熱器という。燃焼用空気が高温となることから、燃料の着火性及び燃焼効率が向上し、燃えがら中の未燃炭素分を軽減する効果があるので、 を小さくして排ガス損失を低減することも期待できる。なお、燃焼用空気が高温となることは、燃焼温度の上昇を伴うため、 の生成が促進される恐れがあるので、留意が必要である。

< ～ の解答群 >

ア アトマイズ蒸気量 イ 硫黄酸化物 ウ 窒素酸化物
エ 二酸化炭素 オ 空気比 カ 灰付着量
キ 鋼管式 ク 再生式 ケ 蒸気式

(3) 蒸気圧 11MPa の蒸気を発生しているボイラがある。発生蒸気の比エンタルピーは 2 681 kJ/kg で、ボイラ給水の比エンタルピーは 428.1kJ/kg である。このときのボイラの燃料消費量は 2 055 kg/h で、ボイラ効率（低発熱量基準）は 90% であった。ここで、燃料の低発熱量が 40.2MJ/kg で、入熱は燃料からのみ供給されたとする。

1) このボイラの蒸発量は [t/h] となる。

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

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 0.5MPa 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、このフラッシュ蒸気の発生量はドレン 1 kg 当たり [kg] となる。ただし、ドレンが他への熱損失なしに全てフラッシュ蒸気となるものとする。

表 飽和蒸気表（抜粋）

圧力 [MPa]	比エンタルピー [kJ/kg]	
	飽和水 (h')	乾き飽和蒸気 (h'')
11	1 450.3	2 706.4
0.5	640.2	2 748.1

< ~ の解答群 >

ア 0.33 イ 0.38 ウ 0.43 エ 31 オ 33
 カ 35 キ 92 ク 95 ケ 98

(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 [1] ~ [18] の中に入れるべき最も適切な字句又は数値をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、[1] は3箇所、[2] 及び [16] は2箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。(配点計 50 点)

(i) 蒸気タービンは、蒸気の持つ熱エネルギーをタービン軸の回転という機械仕事に変換することにより動力を発生させる原動機である。

1) 軸流タービンでは、動力を発生させるための構造として [1] と [2] の組合せを備えている。

[1] の形状や材質は蒸気タービンの性能を決める大きな要素であり、高性能かつ高強度であることが求められる。復水タービンの最終段では、圧力が低いため蒸気の [3] 流量が大きく、また蒸気タービンの損失全体に占める排気損失の割合が比較的大きいことを考え、排気損失を大きく左右する [1] の翼長は経済評価を含めて総合的な見地から決められる。

また、蒸気を整流する役割を持つ [2] は、断面形状や翼列の組み方が性能や信頼性に大きく影響するため、ねじれや翼高さ方向に屈曲した三次元の翼形を用いるなどして [4] 損失の低減を図っている。

< [1] ~ [4] の解答群 >

ア 回転 イ 絞り ウ 質量 エ 体積 オ 主翼 カ 尾翼
キ 静翼 ク 動翼 ケ 翼プロファイル

2) 蒸気タービンを長時間使用すると、復水タービン最終段の羽根は、[5] により引き起こされる [6] で、表面粗さ、後縁形状変化及び蒸気通路面積の増大などが生じ内部効率が低下する。このため、運転履歴や検査結果などで状況を的確に検知・把握して正しく評価し、計画的かつ経済的に補修や部品交換を行うなど、経済性と信頼性を高く維持し続けるよう保守管理を行うことが重要である。

< [5] 及び [6] の解答群 >

ア エロージョン イ コロージョン ウ 応力腐食割れ
エ 酸化スケール オ 湿り蒸気 (液滴) カ 腐食成分

(2) 容積形内燃機関は火花点火機関と圧縮着火機関に大別できる。

1) 火花点火機関の理論サイクルであるオットーサイクルの熱効率は、圧縮比を大きくすると向上できる。実際の火花点火機関においても、圧縮比が 程度までは効果が期待できることが知られているが、異常燃焼（ノック）を起こし運転ができなくなるため、通常、圧縮比は 程度としている。

ノックは混合気の火炎伝播における最終燃焼部分（末端ガス）での自己着火に起因し、その際の局所的な圧力上昇により燃焼ガス中に圧力振動を生ずる現象であり、その結果、出力や熱効率が低下するばかりでなく、機関の損傷をもたらすことがある。

ノックの発生を抑える方法としては、まず最適な燃料選択があり、たとえばガソリン機関では の高い燃料を使用する必要がある。その他、ノックの抑制因子には、混合気側では火炎伝播期間の短縮などがあり、機関側では圧縮比の低減などがある。

< ~ の解答群 >

ア 17 イ 29 ウ 5～13 エ 12～22
オ オクタン価 カ セタン価 キ メタン価

2) 圧縮着火機関であるディーゼル機関の特徴は、圧縮比を高く取れることにあり、通常、圧縮比は 程度である。

高圧縮比など性能向上に伴う重要な問題の一つに、シリンダライナとピストンリングとの からの燃焼ガスの吹抜け問題があり、機関の性能低下だけでなく、シリンダライナ壁面の油切れ、 の劣化などを早め、機関の耐久性低下が生じる原因となるため、十分な保守管理が必要となる。

< ~ の解答群 >

ア 5～13 イ 12～22 ウ 23～33 エ 結合部 オ 固定部
カ しゅうどうぶ 摺動部 キ 作動油 ク 潤滑油 ケ 冷却水

(3) ガスタービンは、圧縮機で圧縮した空気などの作動流体を燃焼器などで高温に加熱し、これをタービン軸の回転という機械仕事に変換することにより動力を発生させる原動機である。

1) ガスタービンの性能向上については、材料の耐熱性能の向上や燃焼器・翼の冷却技術の進歩に伴い、主として [13] を上昇させることにより、熱効率の改善や大型化が図られてきた。材料面では [14] 合金が実用化されており、また冷却技術としては、空気や蒸気による翼内部の対流冷却や翼表面への [15] などがある。

< [13] ~ [15] の解答群 >

- | | | |
|--------------|--------------|-------------|
| ア タービン入口ガス温度 | イ タービン出口ガス温度 | ウ 圧縮機入口空気温度 |
| エ フィルム（膜）冷却 | オ 再生冷却 | カ 自然冷却 |
| キ 単結晶 | ク 多結晶 | ケ 多方向凝固 |

2) 燃料の選択においては、新しい燃料の使用と燃料の多様化への大きな可能性に対して期待がかけられているが、低質燃料油においては、[16] 対策が必要である。[16] とは、燃料中の [17] 化合物が燃焼により低融点の化合物を生成し、タービン翼などに付着して、翼の内部まで激しい腐食を発生するものであり、燃料中に [18] などのアルカリ金属が含有されていると促進される。

< [16] ~ [18] の解答群 >

- | | | |
|----------|----------|---------|
| ア アルミニウム | イ クロム | ウ ナトリウム |
| エ バナジウム | オ マグネシウム | カ マンガン |
| キ 高温腐食 | ク 低温腐食 | ケ 腐食疲労 |

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 [1] ~ [10] の中に入れるべき最も適切な字句をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、[5] は3箇所あるが、同じ記号が入る。

また、[A | ab] ~ [C | 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 40 点)

(1) 工場の設備の機能維持や温度制御等において、様々な形で加熱あるいは冷却のための伝熱操作が行われている。熱交換器は伝熱操作を行うための装置である。一般的に熱媒体相互への混入を避けるため、熱媒体の間に [1] を持つ熱交換器が用いられる。

温水による加熱操作の場合、加熱側の伝熱面は主に [2] によって熱が移動する。

蒸気による加熱操作の場合、加熱側の伝熱面は主に [3] によって熱が移動し、伝熱面の温度が均一で大量の熱を被加熱側に供給できる。

< [1] ~ [3] の解答群 >

- | | | |
|---------|---------|---------|
| ア 隔壁 | イ じゃま板 | ウ 隙間 |
| エ 凝縮熱伝達 | オ 蒸発熱伝達 | カ 対流熱伝達 |
| キ 沸騰熱伝達 | ク 熱伝導 | ケ 熱放射 |

(2) 開放型冷却塔(クーリングタワー)の熱媒体である冷却水と大気との熱交換について考える。

1) 開放型冷却塔では、塔内を落下する冷却水の [4] による熱交換が支配的である。したがって、冷却能力及び冷却水温度に大きく影響するのは外気の [5] であり、理論的には冷却水の下限温度は [5] と等しくなる。

外気の [5] が低いときは、冷却塔ファンの [6] などを行っても冷却水温度を設定温度に維持することができ、省エネルギー対策の一つとして考えられる。

< [4] ~ [6] の解答群 >

- | | | |
|----------|----------|---------|
| ア バイパス制御 | イ 回転速度制御 | ウ 定風量制御 |
| エ 乾球温度 | オ 湿球温度 | カ 臨界温度 |
| キ 凝縮 | ク 蒸発 | ケ 昇華 |

2) 開放型冷却系の冷却水は、冷却対象設備の熱交換器との間で循環使用され、大気に開放して冷却されるため、そのまま使い続けると水質が劣化して伝熱性能が低下する。たとえば、冷却水に溶解している塩類等は、循環使用されることで次第に され、冷却対象設備の熱交換器伝熱面への塩類の付着等により伝熱性能が低下してしまう。

したがって、冷却系の伝熱性能を維持管理するためには、冷却水の適正水質の維持に必要な水質管理項目について管理の基準値を設定することが重要となる。

水質管理項目としては、腐食防止のためには塩類の濃度など、スケール生成防止のためには全硬度など、腐食防止及びスケール生成防止のためには や などがあり、基準値を超えないように冷却水の などが行われる。また、管理の基準値に従って防食剤、スケール防止剤等による薬剤管理を行うことも必要になる。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|--------|------|--------|---------|
| ア pH | イ 温度 | ウ 残留塩素 | エ 電気伝導率 |
| オ 比重 | カ 粘度 | キ ブロー | ク 逆洗 |
| ケ 流量調整 | コ 硬化 | サ 濃縮 | シ 分解 |

(3) 熱交換器により一定温度の冷水を製造し、使用先に供給する装置がある。冷水は入口温度 5℃ で熱交換器に流入し、出口温度 2℃ まで冷却されて供給される。冷水の冷却にはブラインが用いられ、入口温度 -10℃ で熱交換器に流入している。ここで、ブラインの比熱を 3.0 kJ/(kg·K)、流量を 10 kg/min、冷水の比熱を 4.0 kJ/(kg·K)、流量を 8 kg/min とする。また、外部への熱損失はないものとする。

1) この熱交換における冷水側の温度効率、 [%] となる。

2) この熱交換によりブラインが受けた熱量は、 [kW] である。

3) この熱交換によるブラインの熱交換器の出口温度は、- [℃] となる。

(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、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。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 40 点)

(1) 空調設備の熱源機器の特徴について考える。

1) 空気熱源ヒートポンプは、一つの機器で冷房と暖房のどちらも可能な便利な熱源として、汎用性が高い熱源である。

i) 空気熱源ヒートポンプは、同一のサイクルでは、温熱を利用する側の方が冷熱を利用する側より COP 値が なる。

ii) 空気熱源ヒートポンプは、外気条件によって暖房時には、冷房時には必要ない 運転が必要となる場合があるが、その頻度が高い方が一般に暖房期間全体での平均的な COP の値は なる。

< ~ の解答群 >

ア ウォーミングアップ

イ 過負荷

ウ 除霜

エ 大きく

オ 小さく

2) 水冷式の蒸気圧縮冷凍機と吸収冷凍機の冷却水量を比較すると、両冷凍機共に必要な の冷却だけでなく、 では の冷却も必要となるため、単位冷却能力当たりの冷却水量は多くなる。

< ~ の解答群 >

ア 圧縮機

イ 吸収器

ウ 凝縮器

エ 再生器

オ 蒸発器

カ 吸収冷凍機

キ 蒸気圧縮冷凍機

(2) 冷房時、熱源機で製造した冷熱を冷水ポンプにより空調機まで搬送し、室内の冷房負荷を処理する中央熱源方式の空調の熱搬送について考える。ここで、冷水ポンプを用いる配管系の全揚程を25 m、ポンプ効率を0.7、水の密度を1000 kg/m³、比熱を4.22 kJ/(kg·K)とし、これらは冷水量や冷水温度によらず一定とする。また、重力の加速度は9.8 m/s²とする。

1) 同じ冷熱量を搬送するとき、冷水の行き還りの温度差が大きいほど、冷水ポンプの搬送動力を小さくすることができる。例えば、冷房負荷が500 kWの室を冷房するとき、冷水の行き温度が8℃、還り温度が13℃であれば、必要な冷水量は約 [L/min]であり、このときの搬送動力(冷水ポンプの軸動力)は約 [kW]となる。

2) 冷水の還り温度を変えずに行き温度を5℃まで低くできたとすると、冷水量は [%]に低減することができる。このとき、配管系の全揚程を一定とした場合の搬送動力は [%]に低減される。

< ~ の解答群 >

ア 4.1	イ 5.8	ウ 8.3	エ 39.1	オ 60.0
カ 62.5	キ 85	ク 142	ケ 1420	

3) 2) のように冷水行き温度を5℃まで低くして運用することを考えたとき、蒸気圧縮冷凍機と水-臭化リチウム系の吸収冷凍機とでは、機器の冷熱製造の性能からは 熱源として適しているといえる。

< の解答群 >

ア 吸収冷凍機の方が イ 蒸気圧縮冷凍機の方が ウ どちらも同等に

問題16の(3)は次の19頁にある

(空 白)

(工業炉、熱設備材料 - 選択問題)

問題 17 次の各文章及び表の ~ の中に入れるべき最も適切な字句をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、 及び は2箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。(配点計 40 点)

(1) 工業炉は熱源や操業方式などにより分類される。

1) 工業炉を熱源で分類すると、燃焼加熱式と電気加熱式とに大別され、それぞれに特徴があり、用途によって使い分けられている。

- ① エネルギー単価は、電気加熱式に比べて燃焼加熱式の方が一般に安価である。
- ② 燃焼加熱式の直火式では、 を調整することによって、ある範囲内で酸化又は還元雰囲気を作ることができる。
- ③ 燃焼加熱式では、燃焼ガスが流れていることを利用して、 による加熱を促進することができる。特に、低温度域での均一加熱にはこの による加熱が有効に働く。
- ④ 燃焼加熱式では、燃焼に伴う NO_x、SO_x や騒音の発生に対して環境対策が必要である。
- ⑤ 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ず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。その他にも誘導加熱方式などがあり、それぞれ特徴を活かして使われている。
- ⑥ 一般に、電気加熱式は、作業性がよく、 が容易であり、急速加熱が可能である。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|--------|---------|---------|---------|
| ア プラズマ | イ ジュール熱 | ウ 電子ビーム | エ 圧力制御 |
| オ 温度制御 | カ 流量制御 | キ 空気比 | ク 排ガス温度 |
| ケ 炉内圧 | コ 対流 | サ 伝導 | シ ふく射 |

2) 工業炉を操業方式で分類すると、バッチ式と連続式とに大別することができる。

① バッチ式は、被加熱材料を炉内へ装入して炉内に保持し、処理が終わって取り出してから次の被加熱材料を炉内に装入する方式である。このバッチ式は一般に 生産に適している。

② 連続式は、一般に被加熱材料を炉の一方の口から連続的に投入し、炉内を通過する際に加熱ないしは加熱・冷却して他方の口から取り出す方式で、被加熱材料の炉内移送が必要である。

炉内移送の方式には、炉外部より被加熱材料を押し込んで炉内を移送させる 形、炉内に設置されたコンベヤによって移送させるコンベヤ形、連続した带状金属ストリップや線材などを移送させる 形などがある。

< ~ の解答群 >

ア ウォーキングビーム

イ スtrand

ウ プッシャ

エ メッシュベルト

オ リンクチェーン

カ 回転炉床

キ 傾斜

ク 少品種多量

ケ 多品種少量

問題17の(2)及び(3)は次の23頁及び24頁にある

(2) 工業炉に供給される熱が、どのように使用されるかを収支計算することを という。
この結果は、炉の操業や燃料使用量の適否を判定する材料となる。炉の性能を表す指標として、供給した熱量に対する有効熱の割合を示す熱効率と、被加熱物単位重量当たり投入した燃料量を表す があり、これらの指標は省エネルギー対策を立てる上で役立つ。

鋼材の連続式加熱炉の を例にとると、出熱は次に示す4項目が主たるものである。

- ① 抽出鋼材の含熱量
- ②
- ③ 炉体の放散熱
- ④ 冷却水の持ち去る熱

具体的な省エネルギー対策としては、②の熱について、レキュペレータなどを使って燃焼用空気の予熱に利用するなどの熱回収が行われているが、さらに近年では、蓄熱体を使って高効率に予熱空気を高温化する バーナの適用事例が増えている。

< ~ の解答群 >

- | | | | | | |
|---|--------|---|-----------|---|----------|
| ア | パイロット | イ | リジェネレイティブ | ウ | コスト収支 |
| エ | 物質収支 | オ | スケール生成熱 | カ | 装入鋼材の含熱量 |
| キ | 排ガスの顕熱 | ク | 酸素富化 | ケ | 熱勘定 |
| コ | 燃焼空気比 | サ | 燃料原単位 | シ | 未燃燃料比 |

(3) 代表的な耐火・断熱材料をその形状により分類すると、次の表のようになる。

表 代表的な耐火・断熱材料の形状による分類

分 類		特 徴
12	耐火れんが	・ 窯炉など建造物の構築に用いる有形の耐火物
	耐火断熱れんが	・ 13 の小さい有形の耐火物
不定形耐火物	耐火モルタル	・ 耐火れんが構築時の目地材料 ・ 熱硬性、気硬性、水硬性あり
	14	・ 耐火性骨材と水硬性セメント、化学結合剤を混合した耐火材料 ・ 水と混練して流し込む
繊維状高温材料	15	・ 繊維状の耐火物であり、ブランケット、フェルト等に加工して用いる ・ 軽量で1000℃でも使用可能な耐火断熱材料

< 12 ~ 15 の解答群 >

ア ウレタン

イ キャスタブル

ウ セラミックファイバ

エ ポリエチレンフォーム

オ ラミング材

カ 高密度耐火物

キ 定形耐火物

ク 耐熱鋼

ケ 吹き付け材

コ 降伏強度

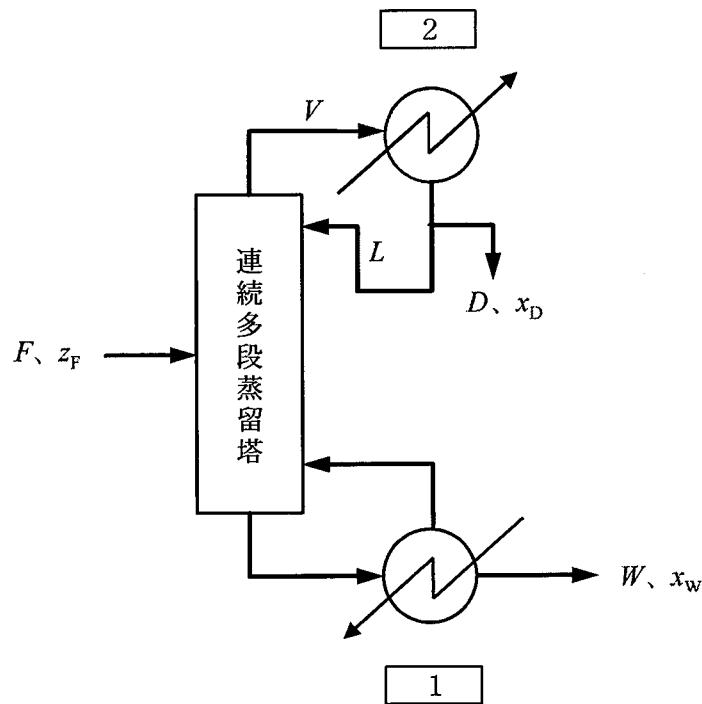
サ 熱伝達率

シ 熱伝導率

(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 次の各文章及び図の ~ の中に入れるべき最も適切な字句、式、記述又は図をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、 は 2 箇所、 は 3 箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。(配点計 40 点)

(1) 図に示すような連続多段蒸留塔の基本的事項と省エネルギーについて考える。



図

1) 蒸留塔は比較的多くの熱量を必要とする分離方式であり、一般的に、塔底の で水蒸気等により加熱蒸発させ、塔頂の蒸気は で冷却される。

2) 低沸点成分の組成が z_F である混合溶液を供給量 F [kmol/s] で供給したとき、組成 x_D の留出液量が D [kmol/s]、組成 x_W の缶出液量が W [kmol/s]、還流量が L [kmol/s] であった場合、 で冷却される蒸気量 V [kmol/s] は、 F 、 D 、 W 、 L のいずれかを使用して次式で表される。

$$V = \text{$$

3) 還流比 R は、還流量 L を用いて次式で表される。

$$R = \boxed{4}$$

4) 還流比が大きいくほど精留の効果は大きく分離は良くなるが、塔の蒸気流量が増加し、蒸留塔で使用されるエネルギーは大きくなる。したがって、省エネルギー化を図るには、必要な分離が得られる範囲で、できる限り還流比を小さくすることが重要である。たとえば、既存の蒸留塔において設計時と比較して原料組成が変化している場合などには、プロセスシミュレータなどを使用して $\boxed{5}$ 及び供給温度の最適化を図るなどの方策が考えられる。

< $\boxed{1}$ ~ $\boxed{5}$ の解答群 >

- ア $D+L$ イ $F+L$ ウ $F-L$ エ $L+W$ オ $\frac{L}{D}$ カ $\frac{D}{L}$
キ $\frac{L}{F}$ ク $\frac{L}{W}$ ケ 共沸点 コ 原料供給段
サ 製品拔出段 シ 凝縮器 (コンデンサ) ス 再沸器 (リボイラ)
セ 蒸発器 ソ 分離器

5) 一般的に蒸留塔の運転圧を下げれば、比揮発度は $\boxed{6}$ 、より少ないエネルギーで分離が可能になる。

6) 既存の蒸留塔を改造する場合、効率のよいトレイ形式や充填材^{じゅうてん}の採用により、既存の蒸留塔の実段数を基準とすると $\boxed{7}$ し、還流比が下げられることになる。

< $\boxed{6}$ 及び $\boxed{7}$ の解答群 >

- ア 蒸気量が増加 イ 塔効率が向上 ウ 比揮発度が向上
エ 大きくなり オ 小さくなり カ 変わらず

問題 18 の (2) は次の 27 頁及び 28 頁にある

(2) 表面まで十分に湿った被乾燥材料を一定条件の熱風中につるしたときの、平均含水率と材料温度の変化及び乾燥速度の変化について考える。

一般に、その乾燥機構はそれぞれ特徴のある三つの期間(期間Ⅰ、期間Ⅱ、期間Ⅲ)に分けられる。

1) 期間Ⅰは、材料の温度が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まで達する期間で、 期間という。

2) 期間Ⅱでは、流入熱量はすべて水分蒸発のみに費やされ、材料表面に自由水が存在し、そこで蒸発している限り続く期間で 期間という。

3) 期間Ⅲでは、乾燥が進んで材料内部の水分量が減少し、材料内部からの自由水の補給が表面での蒸発速度に追いつかなくなる期間で、 期間という。

4) 期間Ⅱと期間Ⅲの境界の平均含水率を 含水率と呼ぶ。

< ~ の解答群 >

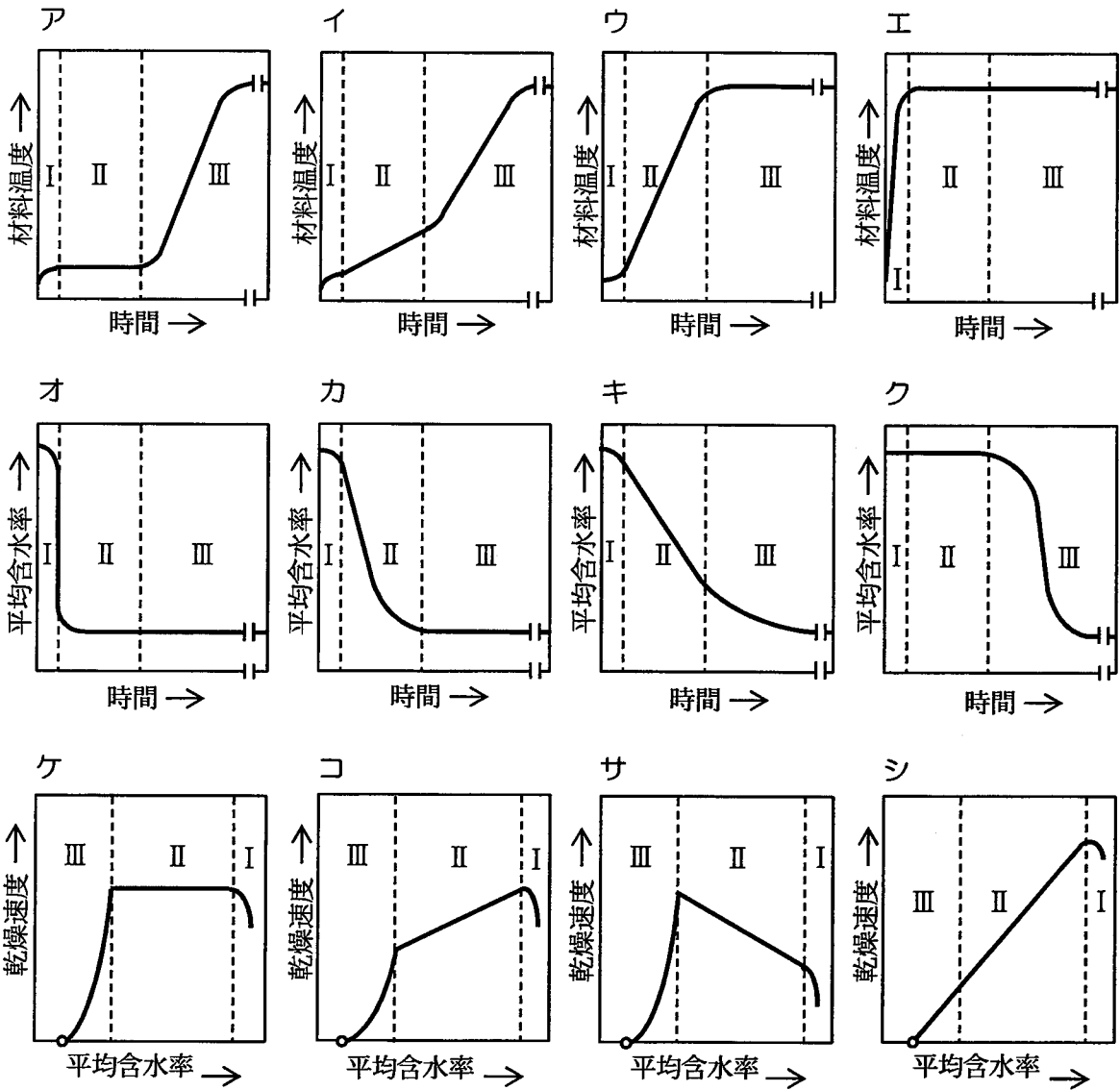
- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| ア 限界 | イ 自由 | ウ 平衡 | エ 限界乾燥 |
| オ 限界蒸発 | カ 減率乾燥 | キ 材料昇温 | ク 材料予熱 |
| ケ 定率乾燥 | コ 定率蒸発 | サ 平衡乾燥 | |

5) 横軸を時間、縦軸を材料温度としたときの材料温度の変化を正しく示した図は、 である。

6) 横軸を時間、縦軸を平均含水率としたときの平均含水率の変化を正しく示した図は、 である。

7) 横軸を平均含水率、縦軸を乾燥速度としたときの乾燥速度の変化を正しく示した図は、 である。

< 12 ~ 14 の解答群 >



(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「0,1,2,3,4,5,6,7,8,9」(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。

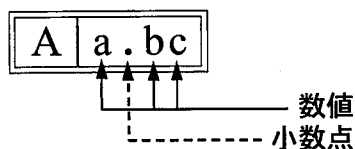
- (2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1)の計算条件を満足すること。

- (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)

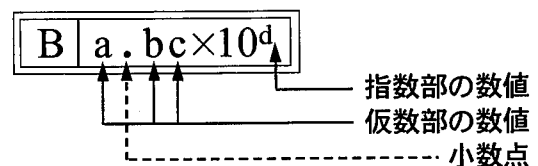
「6.83」に
マークする



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