

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 10:50～12:40 (110分)

2 時限

必須 問題11, 12	計測及び制御	1～10 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	11～18 ページ

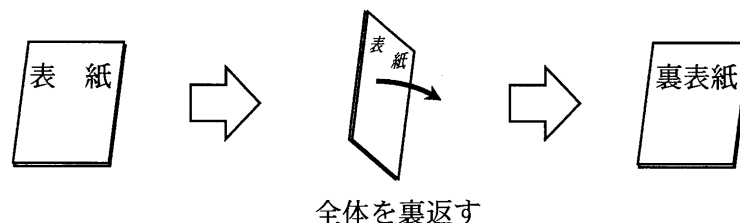
以下の問題15から問題18までは、4問題中2問題を選択して解答すること。

選択 問題15	熱交換器・熱回収装置	} 2問題を選択	21～24 ページ
選択 問題16	冷凍・空気調和設備		26～28 ページ
選択 問題17	工業炉、熱設備材料		29～34 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		35～37 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 ～ 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、 及び 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 50 点)

(1) 熱電対は、2本の異なる金属線の両端を接合して回路を構成したものであり、二つの接点間に温度差があると、回路にその温度差に応じた熱起電力が生じる現象を利用して温度計測を行うものである。この現象は、 と呼ばれ、これを利用すれば、一方の接点を基準となる一定温度(通常 0℃)に保っておくことで、発生した熱起電力により、基準熱起電力表を用いて、もう一方の接点の温度を知ることができる。

ここで、基準となる接点は基準接点(もしくは冷接点)、測定対象の接点は測温接点と呼ばれ、基準接点と測温接点との間の電圧を測定することで、測温接点の温度を求めることができる。

さらに、二つの熱電対の素線を直列につないだときに得られる熱起電力は、それぞれの熱電対の となる。これは、中間温度の法則と呼ばれる。実用上は、この法則を応用して、基準接点なしで測温接点の温度を計測することが多い。すなわち、計測器側の接点を中間接点と考えると、その がわかれば、基準接点から中間接点までの熱起電力は基準熱起電力表から得られ、一方、中間接点と測温接点の間の熱起電力は計測値として得られるので、合計の熱起電力から測温接点の温度を求めることができる。

また、熱電対の間の任意の場所に異種の金属線を挿入した場合に、挿入した金属線の ときは、回路の熱起電力に変化は生じない。これは、中間金属の法則と呼ばれる。

< ～ の解答群 >

- | | | |
|---------------------|-----------|----------|
| ア ゼーベック効果 | イ トムソン効果 | ウ ペルチェ効果 |
| エ 温度 | オ 電圧 | カ 電流 |
| キ 熱起電力の積 | ク 熱起電力の平均 | ケ 熱起電力の和 |
| コ 電気抵抗が熱電対の電気抵抗と等しい | | |
| サ 両端の温度が測温接点より低い | | |
| シ 両端の温度が等しい | | |

(2) 全ての物体は、その表面から電磁波の形態で熱を放出している。この熱放射を利用して温度計測を行うのが放射温度計である。放射温度計は、高温の測定、移動物体や回転体の測定、遠距離物体の測定、速い応答速度の測定が可能であるなどの長所があるが、物体の放射率により測定精度が左右される。

熱放射を検出する素子には や熱形があり、比較的低温度の測定には、熱形素子を用いた全放射温度計が主に使用される。測定の際に、水蒸気や が光路上にあると、熱放射のエネルギーが吸収されて誤差を生じるので、通常、水蒸気や の影響が少ない 範囲を選んで測定する。

全放射温度計における放射率の影響を低減するものとして考えられた でも放射率の影響は残るが、むしろ視野欠けや灰色減光に効果があるとされている。

また、くぼんだ場所やくさび形になっている場所は放射率が高いので、測定対象の測定場所として選択したり、測定対象の表面に を施工したりすることも、放射率の影響への対策として採用されている。後者は特に、測定対象の表面が低放射率である場合に効果的であり、施工有無の放射率の違いにより補正を行うことで誤差を低減することができる。

放射温度計の中で温度分布を測定するものには、物体表面を線状に走査することによって測定する走査放射温度計や、機械的走査部を持たず、対象を面として温度分布を映像化する などがある。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|------------|--------------|--------------|
| ア アルゴンガス | イ 水素ガス | ウ 炭酸ガス |
| エ 窒素ガス | オ サーモパイル | カ 光電形 |
| キ 焦電形 | ク 2色放射温度計 | ケ 赤外線サーモグラフィ |
| コ 光高温計 | サ 温度 | シ 濃度 |
| ス 波長 | セ 黒色テープや黒色塗料 | ソ 白色テープや白色塗料 |
| タ 反射テープや鏡面 | | |

問題 11 の (3) 及び (4) は次の 3 頁及び 4 頁にある

(3) 配管内の流体の流量を計測する方法には様々なものがあるが、ベルヌーイの式に基づいた方法により計測するものに、がある。この流量計では、絞り部分を通過した前後の静圧の差が流量の乗に比例するという関係式を利用して、この差圧を計測することにより流量を求めることができる。

この流量計は、構造が簡単で安価であり、液体や気体と、広い範囲の流体に適用できる長所があるが、圧力損失が大きいため、高速の流体の測定には適さない。また、流体の測定にも適さない。

< ~ の解答群 >

ア $\frac{1}{2}$

イ 1

ウ 2

エ オリフィス流量計

オ コリオリ式流量計

カ ピトー管

キ 高温の

ク 固形物や気泡を多く含む

ケ 導電性が全くない

(4) 超音波流速計には、超音波の伝播速度差方式と を利用した方式がある。

前者は、一般には1対の対向させた超音波送受信機において、流れの順方向と、その逆方向の超音波の伝播時間の差が、流れの することを利用して計測を行うものである。この方式で3対の送受信器を使用すれば、3次元の風速の測定ができるので、風向風速計やクリーンルーム用の風速計などに使用されている。

後者は、流体に超音波を送信すると、流体中の、流れに追従する気泡や微粒子から反射された超音波が、 によって がシフトすることを利用して計測を行うものである。また、同様の原理で、 を流体に照射すると、流体中の微粒子からの散乱光は、 によって、微粒子の速度に応じて がシフトする。これを利用して微粒子の速度を測定することにより、流体の速度を求める流速計もある。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|-------------|-----------|------------|
| ア コリオリ力 | イ ドップラー効果 | ウ ファラデーの法則 |
| エ レーザー光 | オ 白色光 | カ 平行光共振点 |
| キ 位相 | ク 共振点 | ケ 周波数 |
| コ 速度に比例 | サ 速度に反比例 | シ 速度の2乗に比例 |
| ス 速度の2乗に反比例 | | |

(空 白)

(計測及び制御)

問題 12 次の各文章の 1 ~ 17 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、3 は 2 箇所、7 及び 12 は 3 箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

また、A 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)

(1) 図 1 のように、蒸気を熱源として温水を製造する装置について考える。この装置では、温水槽の水位によって工場で消費される温水分だけ供給水が補給されており、蒸気流量を操作して、温水温度を目標温度で一定に保つような制御を行っている。

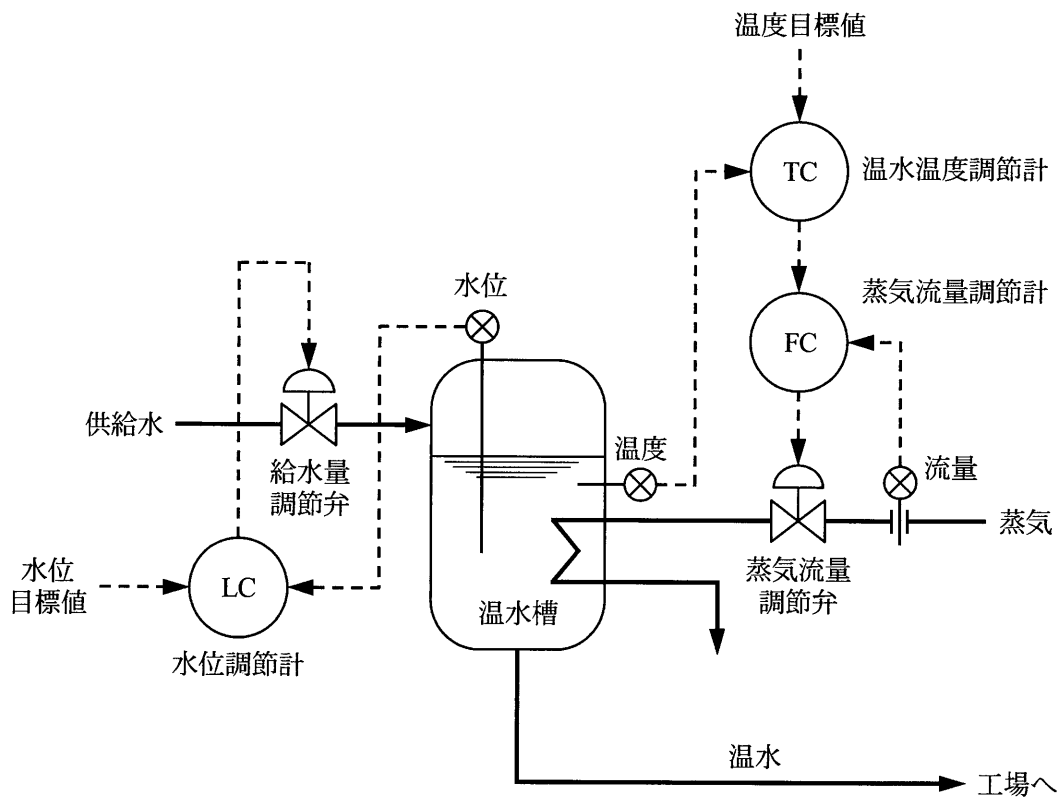


図 1

問題 12 の (1) の続き及び (2) は次の 7 頁～10 頁にある

1) この制御システムでは、 である温水温度の変化を測定し、その値と目標値との差である を求め、それを解消させるように である蒸気流量を調節する。このように制御する方式を という。

2) 図1では、温水温度調節計と蒸気流量調節弁との間に蒸気流量調節計が設けられており、温水温度調節計から出力される が蒸気流量調節計の目標値を与えている。この温水温度調節計と蒸気流量調節計の構成に代表されるような機能を持つ制御を、 という。

このように蒸気流量調節計を間に入れる目的は、蒸気系の元圧変化などの を吸収して温水温度を乱れなく一定に保持するためである。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|---------------|-----------|-------------|
| ア カスケード制御 | イ シーケンス制御 | ウ フィードバック制御 |
| エ フィードフォワード制御 | オ プログラム制御 | カ 比率制御 |
| キ 外乱 | ク 残差 | ケ 偏差 |
| コ 分散 | サ 検出量 | シ 制御量 |
| ス 操作量 | セ 動作量 | |

3) 次に、1)に示した制御方式の調節計のアルゴリズムとして一般的に適用されているPID制御について考える。

① PID制御における制御アルゴリズムとしてP動作だけを使用した場合に、制御対象の値と目標値との差(=eとする)がいつまでも零にならない が生じることがある。

② 図1の温水温度調節計がP動作のみの調節計の場合、調節計の出力はPBを用いて次式で表すことができる。なお、PBはP動作の調整パラメータで と呼ばれる。

$$\text{出力} [\%] = \frac{100}{PB} \times e + \text{バイアス}$$

③ ここで、設定値が70℃、PBが20%、eが0%のときのバイアスが50%、測定値、目標値の
スパンが100℃であるとする。

ある運転条件のとき、温水温度調節計の出力が70%で平衡状態となったとする。そのとき、
□ 7 □ は □ A □ a.b □ [℃] 生じることになる。この □ 7 □ は、制御アルゴリズムに
I動作を加えることにより解消される。また、温度測定で、保護管の熱容量のため大きな
測定遅れが伴うときなどには、D動作が使用される。

④ PID制御のラプラス変換表示は、式 □ 9 □ で表すことができる。ここで、 T_i はI動作の
調整パラメータで □ 10 □ と呼ばれ、 T_d はD動作の調整パラメータで □ 11 □ と呼ばれる。

< □ 7 □ ~ □ 11 □ の解答群 >

ア $\frac{100}{PB} \times \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right)$

イ $\frac{100}{PB} \times \frac{1+T_d \cdot s}{1+T_i \cdot s}$

ウ オーバシュート

エ オフセット

オ オンオフ動作

カ 遅れ時間

キ 進み時間

ク 積分時間

ケ 微分時間

ク 比例ゲイン

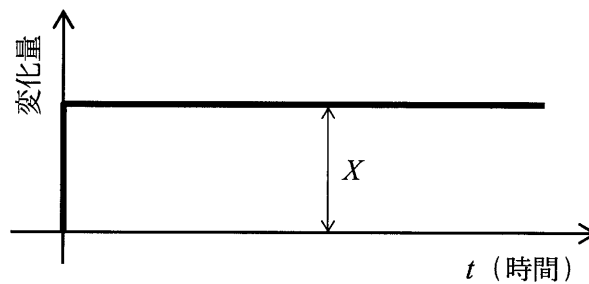
サ 比例帯

問題12の(2)は次の9頁及び10頁にある

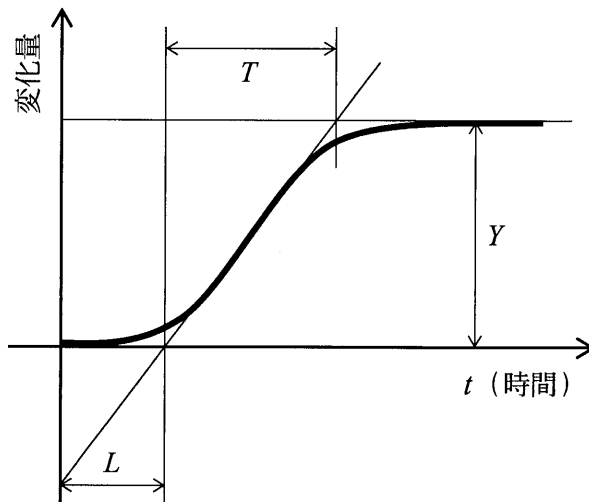
(2) PID 制御では、PID の調整パラメータをプロセス特性に合わせて適切な値にする必要があるが、その作業をチューニングと呼ぶ。ここで、チューニングについて考える。

1) PID のパラメータの調整は、経験的な値が使用されることが多いが、厳密に行うにはプロセス特性を測定して行う。プロセス特性の測定方法としては、制御を手動モードで行う [12] 法と制御を自動モードで比例帯を狭めて行う [13] 法がある。

[12] 法は、操作量をステップ状に変化させた時の測定値の変化を見る方法である。図 2 に示す [12] から、 L の [14]、 T の [15]、及びプロセスゲイン $\frac{Y}{X}$ を求める。このようにして求めた L 及び T の値から、制御指標に応じた制御パラメータの値を計算する方法がいくつか提案されている。



調節計出力



測定値

図 2

2) PID 調整パラメータの制御指標として、一般に、図 3 に示すように、設定値をステップ状に変化させ、測定値の追従性を見たときの $\frac{a_2}{a_1}$ に相当する や、 $\frac{a_1}{a_0}$ に相当する が使用される。

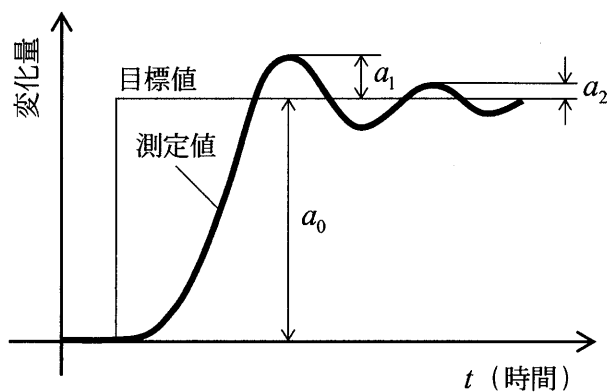


図 3

< ~ の解答群 >

ア 行き過ぎ量

イ 整定量

ウ 過渡応答

エ 減衰比

オ 増幅比

カ 限界感度

キ 波形観測

ク 等価サイクル時間

ケ 等価むだ時間

コ 等価時定数

ク 等価不感帯

(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 [1] ~ [16] 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、[12] は 2 箇所あるが、同じ記号が入る。

また、[A] [ab] に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。(配点計 50 点)

(1) 水管ボイラには、大別すると循環ボイラと貫流ボイラとがある。

1) 循環ボイラの水循環系統には、[1] を行う蒸気ドラム、缶水を炉底に運ぶ降水管、気水の上昇する蒸発管がある。循環ボイラの運転では、ドラム水位を一定に保つように [2] が制御される。なお、蒸気負荷が増加するとボイラ内部の蒸気圧力が変化して、気水の気泡の体積が変化し、ドラム水位が一時的に上昇してしまうことがある。この現象を [3] といい、制御上留意が必要である。

また、循環ボイラの蒸気圧力は、蒸気負荷側の影響を受けて変動するが、ボイラ側で圧力を維持するように、[4] によって制御される。

過熱器を有するボイラの蒸気温度は、過熱器出口の蒸気温度が一定になるように制御される。その制御方法には、蒸気を加熱する側の [5] を操作するものと、蒸気を冷却する側のものがある。蒸気を冷却するものには、水を蒸気中に直接噴射するものと、[6] を用いるものがある。水を蒸気中に直接噴射するものは、水の [7] による熱吸収があるので、冷却に必要な水の量は少なく、また直接噴射されることで応答も速い。

〈 [1] ~ [7] の解答群 〉

ア オリフィス	イ キャリオーバ	ウ ヒートパイプ	エ フォーミング
オ ブロー量	カ 給水量	キ 燃料量	ク 薬液量
ケ 渦消し	コ 気水混合	サ 気水分離	シ 安全弁
ス 表面冷却器	セ 逆応答	ソ 顕熱	タ 潜熱
チ 伝熱面積	ツ 比容積	テ 燃焼ガス	

2) 貫流ボイラは、一連の長い水管から構成されており、長い水管の一端からポンプで押し込まれた給水が順次に、昇温、蒸発、過熱されて、管の他端から過熱蒸気として取り出される。

この貫流ボイラの場合、例えば、蒸気圧力と蒸気量が増加する負荷上昇では、[8] が

少ないことにより、燃料による入熱が速やかに蒸気発生につながるため、ボイラの蒸気圧力変化の応答速度は速い。特に貫流ボイラの特性上、 の変化が蒸気圧力に直接影響するので、制御上留意が必要である。

また、貫流ボイラは、蒸発開始点や過熱開始点がボイラ内で移動する特性を持つ。このため、蒸気温度は、給水量と燃料量の によって制御されるが、応答が遅いので、水を蒸気中に直接噴射する制御を併用している。

〈 ～ の解答群 〉

ア ブロー量 イ 給水量 ウ 薬液量 エ 差
オ 積 カ 比 キ ボイラからの放熱量 ク 飽和水の内部保有量

(2) ボイラ水の水質に起因する腐食には様々な形態があり、高温水による一般的腐食、孔食、苛性脆化^{かせいぜいか}などがある。

高温水による一般的腐食は、ボイラ水の が低かったときや、溶存酸素が多く存在したときに、金属一面に発生する腐食である。

孔食は、 で覆われている金属表面が局所的に深く腐食される形態で、 が何らかの原因で破れると、その部分に が形成され、鋼から鉄イオンが溶出して起きる腐食である。

苛性脆化は、苛性ソーダなどのアルカリ成分が濃縮されて生じるもので、鋼の の一種でもある。これは鋼材の亀裂など、微細な隙間で応力の集中するところに起こりやすい。

これらの腐食を防止するためには、ボイラ水の水質を適正に維持管理する必要があるが、循環ボイラでは、給水系統のボイラドラムに薬剤を注入するとともに、ボイラ水中の不純物濃縮の抑制を図るため、ボイラドラムからのボイラ水ブローを適切に行うことが肝要である。

〈 ～ の解答群 〉

ア pH イ 硬度 ウ 濁度 エ クローム層
オ フェライト層 カ 酸化被膜 キ 応力腐食割れ ク 高温腐食
ケ 低温腐食 コ 応力場 サ 局部電池 シ 高温度部

(3) 圧力が 12 MPa の蒸気を 33 t/h 発生しているボイラがある。このときのボイラ給水の比エンタルピーは 428.06 kJ/kg、発生蒸気の比エンタルピーは 2662 kJ/kg である。また、このボイラの入熱は燃料からのみ供給されるものとし、燃料の低発熱量は 40.9 MJ/kg、低発熱量基準のボイラ効率 は 90% で、条件によらず常に一定であるものとする。

なお、1) ~ 3) の計算に当たって、飽和蒸気の比体積 v 、比エンタルピー h は、表 1 の飽和蒸気表、水の比エンタルピーは、表 2 の水・蒸気表を用いること。また、符号 ' は飽和水の状態、符号 " は乾き飽和蒸気の状態を表す。

1) 蒸気を 33 t/h 発生するための燃料消費量は [t/h] となる。

2) 表 1 の飽和蒸気表を用いて発生蒸気の乾き度を求めると、 [%] となる。

3) ここで、燃料消費量を 3% 低減するため、給水温度を上げることを計画する。給水温度は、水・蒸気表を用いて求められ、現在の温度からの温度上昇分 [°C] で、燃料消費量を 3% 低減できることがわかる。

< 及び の解答群 >

ア 1.1	イ 1.8	ウ 2.0	エ 2.4
オ 92	カ 94	キ 96	ク 98

表1 飽和蒸気表 (抜粋)

圧力 [MPa]	比体積 v [m ³ /kg]		比エンタルピー h [kJ/kg]	
	v'	v''	h'	h''
12	0.0015263	0.014269	1491.33	2685.58

表2 水・蒸気表 (抜粋)

圧力 [MPa]	温度 [°C]	比エンタルピー [kJ/kg]
12	90	386.21
	∩	
	100	428.06
	∩	
	110	470.02
	111	474.22
	112	478.43
	113	482.63
	114	486.84
	115	491.05
	116	495.26
	117	499.47
	118	503.69
	119	507.90
	120	512.12
121	516.34	

(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 次の各問に答えよ。(配点計 50 点)

- (1) 次の各文章の ～ の中に入れるべき最も適切な字句又は数値を ～ の解答群 > から選び、その記号を答えよ。なお、 及び は 2 箇所、 は 4 箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

- 1) 蒸気タービンにおけるタービン内部効率^①は次式で示される。

$$\text{タービン内部効率} = \frac{\text{タービン内部仕事}}{\text{ から復水器入口までの蒸気の }} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

ここで、式①の分母は、理想的にタービンで利用しうるエネルギーのことであり、分子のタービン内部仕事とは、仕事に変換しうる第 1 段静翼入口から復水器入口までの蒸気の実際の熱落差をいう。

タービン各段間で失われるエネルギーのうち支配的なものは、羽の形状や流体の流れ・摩擦に起因した である。

- 2) 蒸気タービンにおける 効率^②は次式で示される。

$$\text{ 効率} = \frac{\text{タービン内部仕事から外部損失を差し引いた軸端仕事}}{\text{タービン内部仕事}} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

ここで、一般に、タービンの外部損失は 損失が大部分である。

- 3) 蒸気タービンにおけるタービン効率^③は次式で示される。

$$\text{タービン効率} = \frac{\text{タービン内部仕事から外部損失を差し引いた軸端仕事}}{\text{ から復水器入口までの蒸気の }}$$

また、同時にタービン効率は、式①及び式②からも明らかのように、タービン内部効率と 効率の積となる。つまり、タービン効率は、蒸気タービン本体の を含んだもので表される。タービン効率は、300 MW 級以上の大型タービンでは、 [%] が一般的な値である。

〈 1 ~ 6 の解答群 〉

ア 70 ~ 80	イ 80 ~ 85	ウ 85 ~ 93
エ 圧力	オ 外部漏れ	カ 機械
キ 主蒸気止弁入口	ク 第一抽気弁出口	ケ 全実効熱落差
コ 全断熱熱落差	サ 全有効熱落差	シ 排気損失
ス 放熱損失	セ 内部のみで発生する損失	ソ 内部や外部で発生する全損失
タ 翼の空気力学的損失		

問題 14 の (2) 及び (3) は次の 17 頁及び 18 頁にある

- (2) 次の各文章の [7] ~ [12] の中に入れるべき最も適切な字句、式又は記述をく [7] ~ [12] の解答群 > から選び、その記号を答えよ。なお、[7] 及び [8] は2箇所、[11] は3箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

内燃機関の運転において、その排ガス中には、環境問題の要因となる大気汚染物質として、窒素酸化物 (NO_x)、硫黄酸化物 (SO_x)、一酸化炭素 (CO)、未燃炭化水素 (HC)、ばいじんなどが含まれており、それらに対する汚染防止対策が必要となる。

1) 及び 2) は、定置式の内燃機関の汚染防止対策について述べたものである。

1) 汚染物質のうちの [7] 対策については、燃料の質の改善による解決がなされてきており、近年は [8] 機関での対策において効果が現れている。また、[9] を燃料とする内燃機関では、クリーンな燃料を使用するため燃焼が良好であり、他の汚染物質の低減、除去も比較的容易である。

2) 汚染物質のうちの [10] 対策としては、構造的に機関内部で対策する排気ガス再循環法や、機関外部で処理する [11] などがあり、技術はほぼ確立している。[11] は、排ガス中に含まれる前述の大気汚染物質のうち、ばいじん、[7] 以外の成分を同時に処理でき、排ガス浄化能力は高い。なお、[11] では、機関の運転に際して、[12] 付近とする必要があり、排ガス中の酸素濃度が10%前後となる [8] 機関への適用は困難である。

< [7] ~ [12] の解答群 >

- | | | |
|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| ア CO | イ HC | ウ NH ₃ |
| エ NO _x | オ SO _x | カ V ₂ O ₅ |
| キ EGR | ク オットー | ケ ディーゼル |
| コ プレイトン | サ 希薄燃焼法 | シ 三元触媒法 |
| ス 軽油 | セ 都市ガス | ソ 圧縮比を10 |
| タ 空気過剰率を1 | チ 締切比を1 | |

(3) 次の各文章の [13] ~ [18] の中に入れるべき最も適切な字句をく [13] ~ [18] の解答群 } から選び、その記号を答えよ。なお、[15] は2箇所、[16] は3箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

- 1) ガスタービンは、圧縮し、燃焼等で高温化させた作動流体でタービンを回転させる [13] 形の原動機である。往復動による [14] 形の内燃機関とは異なり、作動流体の流れが連続的で、機関内部の平均流速を高くとれるので、出力当たりの容積を小さくでき、大容量化に適する。
- 2) ガスタービンのサイクルとしては、燃焼ガスを作動流体とする [15] 形が実用機の主流を占め、主として発電用や航空用などに用いられる。
- 3) [15] 形のガスタービンは排気ガスの温度が高く、この排熱を回収し、蒸気タービンを駆動して利用するものが [16] 発電方式である。この発電方式は、総合熱効率を高められるので、省エネルギー等の面から適用が推進されている。しかし、部分負荷で運転すると [16] 発電プラントの熱効率は急激に低下するため、プラントを複数のガスタービンで構成して [17] を行うことで、部分負荷効率を高く維持している例もある。
- 4) [16] の発電方式には、ガスタービンと蒸気タービンの構成の仕方により二つの方式がある。そのうち、ガスタービンと蒸気タービンを同軸上に直結した [18] 式のものを複数並べて構成する方式は、軸単位での定期点検が行えると同時に、それ以外の軸は発電が可能であるという特徴がある。

く [13] ~ [18] の解答群 }

- | | | |
|--------------|--------------|-----------|
| ア コージェネレーション | イ コンバインドサイクル | ウ ミラーサイクル |
| エ インバータ制御 | オ 可変翼制御 | カ 台数制御 |
| キ 変圧制御 | ク 一軸 | ケ 多軸 |
| コ 間欠 | サ 連続 | シ 循環 |
| ス 単純開放 | セ 排気再燃 | ソ 密閉 |
| タ 速度 | チ 容積 | |

(空 白)

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 次の各問に答えよ。(配点計 40 点)

(1) 次の各文章の [1] ~ [11] 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、[1]、[2] 及び [6] は2箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

1) 排ガスから熱回収する熱交換器には、ボイラ給水の予熱を行うエコノマイザ、工業用加熱炉の燃焼用空気を加熱する [1] や、排ガスを用いて蒸気を発生させる [2] がある。ただし、[1] については、燃焼用空気を加熱すると燃焼温度が上昇するため、[3] の増加への配慮が必要である。

[2] では、硫黄を含む燃料の燃焼排ガスから熱回収をする場合、ガス温度が低くなったところで著しい損傷が生じることがある。これは [4] と呼ばれ、これを防止するためには、あらかじめ硫黄分の少ない燃料の使用、熱交換部の適切な材料の選定などの対策を実施する。その他、日常管理においては、適切な空気比での燃焼管理や、排ガス温度が [5] 以上となるよう管理する必要がある。

< [1] ~ [5] の解答群 >

- | | | |
|----------|-----------|------------|
| ア ガスタービン | イ コンデンサ | ウ スーパーヒーター |
| エ ヒートポンプ | オ レキュペレータ | カ 排熱ボイラ |
| キ ダイオキシソ | ク 窒素酸化物 | ケ バナジウム腐食 |
| コ 高温腐食 | サ 低温腐食 | シ 凝固点 |
| ス 酸露点 | セ 沸点 | |

2) 隔壁式熱交換器の性能が低下する現象として、次のことが挙げられる。

時間の経過に伴って伝熱面の表面に汚れが付着し、が増大して交換熱量が減少する。このの増大の度合を表すのにが用いられる。汚れの原因としては、液体中では、溶解しているの析出、微粒子や固形物の堆積などがある。また、ガス中では、高温分解ガスに含まれる固体物質やタール状物質が付着、固化する現象などもある。

また、凝縮式熱交換器の性能が低下する現象としては、が混入したり、汚れが付着したりして、が低下することや、凝縮水が伝熱管まで上昇し伝熱を阻害することなどがある。

熱交換器の性能を維持するためには、流体流量と温度効率との関係をグラフ化し、日常データの変化から汚れの状況を把握して、伝熱面の清掃時期や周期を設定するなど、適正に管理することが求められる。

〈 ~ の解答群 〉

- | | | |
|---------|----------|----------|
| ア コーキング | イ コーティング | ウ スライム |
| エ 塩類 | オ 金属 | カ 水分 |
| キ 微粒子 | ク 不凝縮ガス | ケ 凝縮熱伝達率 |
| コ 熱伝導率 | サ 接触抵抗 | シ 熱通過抵抗 |
| ス 摩擦抵抗 | セ 沸点 | ソ 汚れ係数 |

問題 15 の (2) は次の 23 頁及び 24 頁にある

(2) 次の各文章の の中に入れるべき最も適切な字句を の解答群 > から選び、その記号を答えよ。

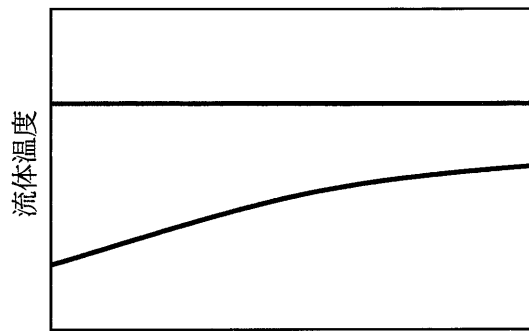
また、 及び に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。

今、加熱源である、比熱 $4.0 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ の高温側の流体が、質量流量 0.2 kg/s 、入側温度 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ で、向流型の二重管式熱交換器に流入している。一方、加熱される、比熱 $2.0 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ の低温側の流体は、質量流量 0.5 kg/s 、入側温度 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ で熱交換器に流入している。ただし、両流体共に、この熱交換の温度範囲では相変化がなく、外部への熱損失がないものとする。

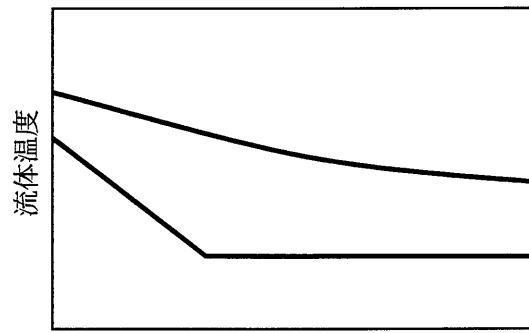
1) 交換熱量が 40 kW のとき、高温側の流体の出口温度は $^\circ\text{C}$ となる。

2) このとき、低温側の流体の温度効率 η は [%] である。

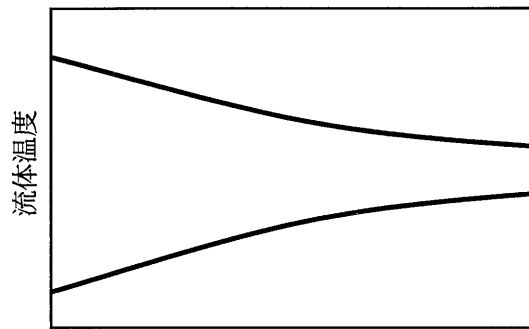
3) このような、向流型の熱交換器における熱交換で、相変化のない 2 流体の温度分布を模式的に示しているのは、図の (a) ~ (d) のうちの である。なお、これらの図において、横軸は流体出入口両端部からの位置、縦軸は流体温度を表している。



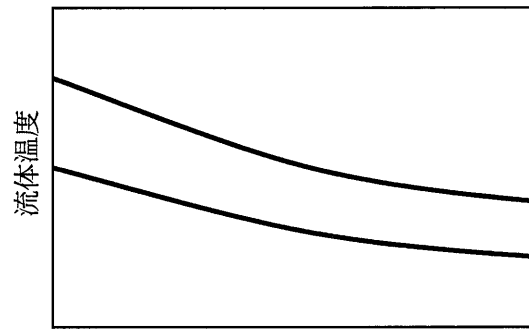
位置
(a)



位置
(b)



位置
(c)



位置
(d)

図

< 12 の解答群 >

ア (a)

イ (b)

ウ (c)

エ (d)

(空 白)

(冷凍・空気調和設備 — 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、 は 2 箇所あるが、同じ記号が入る。

(配点計 40 点)

(1) 空気調和設備について考える上で、空気の組成や熱的性質を把握することは必要不可欠であり、空気線図(又は湿り空気線図)を用いることにより、空気の状態値や状態変化を知ることができる。

1) 地表付近の大気の主成分は、比率が高い順に、窒素、酸素であり、その二つで 99% 以上を占め、次いで、0.9% が 、0.04% が となっている。それ以外にも若干の水蒸気が含まれているが、その量は場所や時間によって大きく変動する。水と水蒸気との間の相変化に伴う潜熱量は、同じ質量の水の温度が 1℃ 変化する際の顕熱量の約 倍と大きいため、水蒸気量が変化するときの熱的影響は、空気調和設備について考える上で非常に大きなものとなる。

< ~ の解答群 >

ア 80	イ 100	ウ 500	エ 1000
オ アルゴン	カ ヘリウム	キ 一酸化炭素	ク 二酸化炭素

2) 一般的に、大気の組成は での組成で表されるが、これが水蒸気と混合したものは と呼ばれている。

この の状態は、乾球温度、湿球温度、露点温度、相対湿度、絶対湿度、比エンタルピー、比体積など、様々な指標により表されるが、これらを線図上に示したものが空気線図と呼ばれるものであり、このうち 当たりの値で表されるのは、比エンタルピー、比体積及び である。この線図上では、二つの状態値が定められると、他の状態値も知ることができる。

< ~ の解答群 >

ア 乾燥空気	イ 湿り空気	ウ 標準空気
エ 乾燥空気の質量	オ 湿り空気の質量	カ 標準空気の容積
キ 顕熱比	ク 絶対湿度	ケ 相対湿度

問題 16 の (2) は次の 27 頁及び 28 頁にある

(2) 図は、空調時の空気の状態変化を空気線図上に表したものである。ここで、室内の負荷を処理するための空調機を送風量を $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ とし、空気の密度は $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、空気の比熱は $1.0 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ とする。

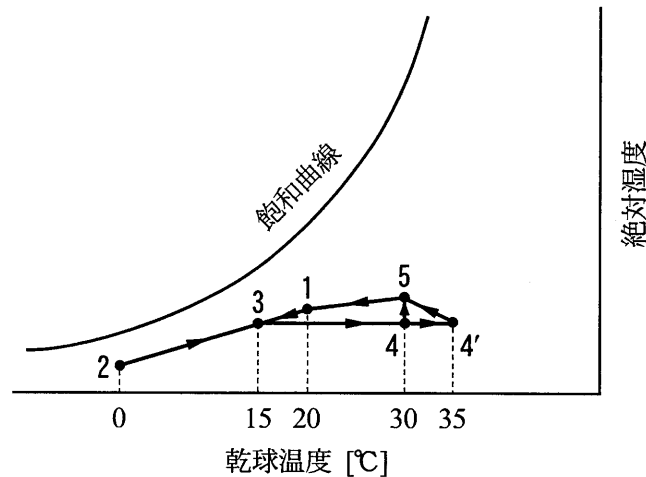


図 空気線図上での空気の状態変化

1) 図は、 時の空調プロセスを示したものである。

< の解答群 >

ア 暖房

イ 熱交換換気

ウ 冷房

2) 状態点 2 が外気を示し、室内空気は状態点 で示される。

< の解答群 >

ア 1

イ 3

ウ 4

エ 5

3) 加湿を蒸気で行う場合の状態変化は、状態点の への変化で示され、水噴霧で行う場合の状態変化は、状態点の への変化で示される。

4) 水加湿を行う場合に必要な加熱量（顕熱） Q [kJ/h] は、状態点の への変化から求められる。

〈 10 ~ 12 の解答群 〉

- ア 2から3 イ 2から4 ウ 2から4' エ 3から4
オ 3から4' カ 4から5 キ 4'から5

5) 空調機の送風量が $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ であることから、加熱量 Q の値は 13 [kJ/h] となる。

6) 図より、外気導入量は約 14 [m^3/h] となる。

〈 13 及び 14 の解答群 〉

- ア 250 イ 500 ウ 750 エ 15000
オ 18000 カ 20000 キ 24000

7) 空調機から室内へ吹き出す空気の状態を、室内負荷から求められる 15 線上を移動して、室内条件に達するように調整することによって、目標の室内条件に維持できる。

〈 15 の解答群 〉

- ア 顕熱比 イ 湿球温度一定 ウ 水蒸気分圧 エ 熱水分比

(工業炉、熱設備材料 - 選択問題)

問題 17 次の各問に答えよ。(配点計 40 点)

- (1) 次の表の ~ の中に入れるべき最も適切な字句又は数値を ~ の解答群 > から選び、その記号を答えよ。なお、 は 2 箇所あるが、同じ記号が入る。

次の表 1 は、各種産業で用いられる主な工業炉について、業種別にその主な機能を示したものである。

表 1 産業に用いられる主な工業炉

業種	工業炉の例	例示した工業炉の主な機能
鉄鋼	高炉	シャフト炉型の製錬反応炉で、鉄鉱石と <input type="text" value="1"/> を主原料として銑鉄の製造に用いられる。
圧延・非鉄金属	加熱炉	鋼片加熱炉は、鋼片を圧延して鋼板、棒鋼、形鋼、鋼管、線材などにするためにスラブ、ブルーム、ピレットなどを熱間圧延に必要な温度、 <input type="text" value="2"/> [°C] に加熱する炉である。
非鉄金属	アルミ溶解炉	アルミニウム溶解用の燃焼炉には、直接加熱式の反射炉や、間接加熱式の <input type="text" value="3"/> 炉などがある。
自動車・機械等	<input type="text" value="4"/> 炉	主に鋼製品の焼きならし、焼きなまし、焼入れ、焼き戻しなどを行う。
窯業	<input type="text" value="5"/> 炉	シャトル窯、トンネルキルン窯、ロータリーキルン、サスペンションプレヒータ付きキルンなどの炉で、成形セラミックや粉粒体セラミック、セメント、石灰などの <input type="text" value="5"/> を行う。
環境	廃棄物焼却炉	火格子型炉、流動床炉、ロータリーキルン等の焼却処理炉で、廃棄物の <input type="text" value="6"/> 化、無害化、安定化、資源化等を行う。

〈 1 ~ 6 の解答群 〉

ア 650~900	イ 1100~1250	ウ 1400~1550	エ コークス
オ シリカ	カ 硫黄	キ トンネル	ク るつぼ
ケ バッチ	コ 連続	サ 加熱	シ 減圧
ス 減容	セ 合成	ソ 焼成	タ 変成
チ 複合	ツ 熱処理		

問題 17 の (2) 及び (3) は次の 31 頁~34 頁にある

(2) 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 ～ の解答群 > から選び、その記号を答えよ。なお、 及び は3箇所、、 及び は2箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

加熱炉の省エネルギーを検討するには、炉の熱勘定を行い、炉の操業で生じている損失熱等を明らかにし、解析することが重要である。表2は鋼材加熱炉の熱勘定の一例（鋼材トン当たり、低発熱量基準）である。

1) 炉に供給される入熱では のほか、燃料の顕熱、装入鋼材の含熱量や などがある。この例では、循環熱である による回収熱量が大きく、その分 が節約されている。

2) 一方、出熱では が最も大きく、 がその次に大きい。これらに炉体の放熱・蓄熱、冷却水の持ち去る熱を加えた4項目が出熱の主たる項目である。これらの4項目をいかに減少させるかの検討に加え、 を高めて、循環熱を増やすことが加熱炉の省エネルギー対策の基本となる。熱勘定表では、これらの熱の分配状況、収支バランスの確認が可能である。

表2 鋼材加熱炉の熱勘定表の例

入 熱			出 熱		
項 目	[MJ]	[%]	項 目	[MJ]	[%]
① <input type="text" value="7"/>	1041.6	95.7	⑥ <input type="text" value="10"/>	801.2	73.6
② 燃料の顕熱	9.0	0.8	⑦ <input type="text" value="11"/>	147.7	13.6
③ 装入鋼材の含熱量	9.4	0.9	⑧ 炉体の放熱・蓄熱	28.8	2.6
④ <input type="text" value="8"/>	28.0	2.6	⑨ 冷却水の持ち去る熱	49.8	4.6
—	—	—	⑩ その他の出熱	60.5	5.6
計	1 088.0	100	計	1 088.0	100
⑤ <input type="text" value="9"/> による 回収熱量	(581.4)	(53.4)	⑪ <input type="text" value="9"/> による 回収熱量	(581.4)	(53.4)

< ~ の解答群 >

- | | | |
|-----------|---------|--------------|
| ア スラグの顕熱 | イ 材料溶解熱 | ウ 酸化スケールの生成熱 |
| エ 水分の蒸発熱 | オ 対流熱 | カ 抽出鋼材の含熱量 |
| キ 排ガスの顕熱 | ク 放射熱 | ケ 燃焼用空気予熱 |
| コ 燃料の燃焼熱 | サ 燃料予熱 | シ 熱効率 |
| ス 排ガス酸素濃度 | セ 排熱回収率 | ソ 保熱率 |
| タ 理論酸素量 | | |

問題 17 の (3) は次の 33 頁及び 34 頁にある

(3) 次の各文章の ～ 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。

1) れんが表面の温度が急変すると が発生し、これによって、れんが表面に傷が発生し、脱落の危険が生じることがある。これをスポーリングといい、急熱・急冷に対して安定していることは耐火れんがに要求される重要な性質である。

2) けい石れんがは、シリカ (SiO_2) を主成分とする。また、 が 1580°C 以上と高く、機械的強度が高く、使用中収縮しにくい特長を持つ。一方、低温域での熱膨張率が大きく、 650°C 以下でスポーリングを起こしやすい。

3) 高アルミナ質耐火れんがの2種（焼成品）は、JIS R2305:2006 で Al_2O_3 含有率が [%] 以上と規定されている。また、熔融金属、スラグに対する が良好であり、耐スポーリング性にも優れている。

< ～ の解答群 >

ア 30 イ 45 ウ 60 エ 荷重軟化始発点

オ 降伏点 カ 融点 キ 残留応力 ク 残存収縮

ケ 熱応力 コ 耐浸食性 サ 耐摩耗性 シ 断熱性

4) 炭素れんがは熱伝導率が大きく、 が非常に小さく、熔融金属に濡れにくい特長があり、耐スポーリング性も良好である。原料としては、天然黒鉛や人造黒鉛が使用され、主に高炉の炉床や金属冶金用つばなどに用いられている。

5) セラミックファイバは、耐火性、断熱性を兼ね備え、かつ、単位体積当たりの が小さいため、蓄熱損失が少ない。

6) 不定形耐火物の代表的な例として、流し込み施工 や、大型壁が一体に成形できる がある。このような耐火物は複雑な炉形状に対応でき、また、施工の機械化が容易などの利点がある。

< 17 ~ 20 の解答群 >

- | | | | |
|----------|----------|-----------|---------|
| ア キャスタブル | イ プラスチック | ウ コーティング材 | エ ラミング材 |
| オ 圧入材 | カ 耐火モルタル | キ 温度伝導率 | ク 導電率 |
| ケ 熱通過率 | コ 熱伝達率 | サ 熱膨張率 | シ 熱容量 |

(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 次の各問に答えよ。(配点計 40 点)

(1) 次の各文章の [1] ~ [6] の中に入れるべき最も適切な字句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、[4] は3箇所あるが、同じ記号が入る。

1) 蒸発操作では、蒸発缶に供給される熱量の大部分は、発生する蒸気によって蒸発缶の外に持ち去られることから、この熱を回収して再び溶液の蒸発に利用することができれば、加熱量を節約できる。

沸騰液と発生蒸気の温度を比較すると、[1] なので、そのままでは、発生蒸気は利用できない。そこで、第1缶で発生した蒸気を、第1缶よりも [2] 条件で操作される第2缶の熱源として用いて、蒸気を発生させる。さらに、第2缶で発生した蒸気を第3缶以降の熱源として利用するというように、繰り返し利用する方法がとられる。これを [3] 法という。

< [1] ~ [3] の解答群 >

- | | | |
|-------------|-------------|-----------|
| ア 蒸気圧縮 | イ 多重効用 | ウ 多段フラッシュ |
| エ 低い圧力 | オ 高い圧力 | カ 高い温度 |
| キ 発生蒸気の方が低温 | ク 発生蒸気の方が高温 | ケ 両者が同一温度 |

2) 蒸発操作の加熱源としては、[4] が広く用いられている。これは、被加熱液が均一に加熱され、過熱の心配がないこと、また、[4] の [5] によって、被加熱液の蒸発温度が容易に制御できること、[4] の [6] 熱伝達係数が大きいこと、などの理由による。

< [4] ~ [6] の解答群 >

- | | | |
|-------|------|------|
| ア 圧力 | イ 凝縮 | ウ 沸騰 |
| エ 水蒸気 | オ 電圧 | カ 電気 |

(2) 次の各文章の [7] ~ [12] の中に入れるべき最も適切な字句を [7] ~ [12] の解答群 > の解答群から選び、その記号を答えよ。

1) 液状又はスラリー状の被乾燥材料を、微粒化して加熱気流中に投入し、落下するまでの間に粉末状の製品を得る方式の乾燥機を [7] 乾燥機という。

2) 粉粒状の被乾燥材料を金網や多孔板の上に乗せ、下から熱風を流し、材料を浮遊させながら乾燥させる方式の乾燥機を [8] 乾燥機という。

3) 内部にかきあげ板を備えた傾斜回転円筒中に被乾燥材料を入れ、熱風と接触させながら乾燥させる方式の乾燥機を [9] 乾燥機という。

4) 金網又は多孔板のベルトコンベア上に被乾燥材料を置き、熱風と接触させて連続的に乾燥する方式の乾燥機を [10] 乾燥機という。

5) 多量に水分を有した被乾燥材料を、一般的に、 -30°C 前後に冷却して氷にした後、低真空下で加熱し、氷を直接気化して乾燥させる方式の乾燥機を [11] 乾燥機という。

6) 回転する加熱円筒表面に、液状又はスラリー状の被乾燥材料を薄膜状に塗布し、回転円筒からの熱によって乾燥させ、ナイフと呼ばれる剥ぎ取り機で剥ぎ取る方式の乾燥機を [12] 乾燥機という。

< [7] ~ [12] の解答群 >

ア ドラム	イ バンド	ウ ノズルジェット	エ 回転	オ <small>かくはん</small> 攪拌
カ 気流	キ 赤外線	ク 凍結	ケ 噴霧	コ 流動層

問題 18 の (3) は次の 37 頁にある

(3) 次の各文章の [13] ~ [17] の中に入れるべき最も適切な字句を [13] ~ [17] の解答群 > から選び、その記号を答えよ。なお、[15] は2箇所あるが、同じ記号が入る。

1) 水素ガスを石炭から製造するには、石炭の炭素と水素の質量割合の比 (C/H 比) が大きいことから、水素源として [13] を導入し、主として水素と [14] を生成させる。この反応を [15] という。

2) この [15] は、[16] 反応であることから、反応熱の供給のため、石炭の [17] を行うことになる。

< [13] ~ [17] の解答群 >

ア 一酸化炭素

イ 二酸化炭素

ウ 空気

エ 水蒸気

オ 水素

カ 窒素

キ 水性ガス反応

ク 水素化分解

ケ 熱分解

コ 部分酸化 (部分燃焼)

サ 吸熱

シ 発熱

(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、計算をともなう解答の場合は以下によること。

(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。

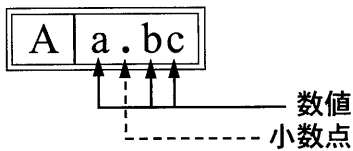
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、用いる数値は四捨五入後の数値ではなく、四捨五入する前の数値を用いるなど、(1)の計算条件を満足すること。

(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)

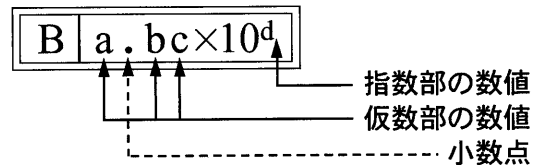
「6.83」に
マークする



A			
	a	.	b c
			0 0
①			1 1
②			2 2
③			3 ●
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
			0 0	0
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

(裏表紙)