

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	1～6 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

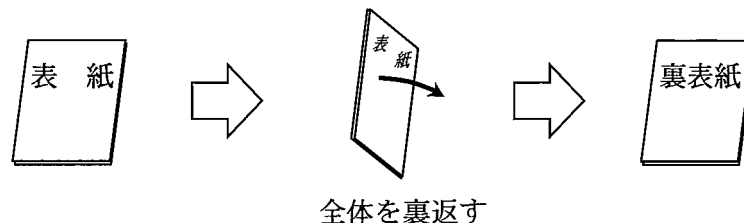
次の問題15から問題18までは、4問題中2問題を選択して解答すること。

選択 問題15	熱交換器・熱回収装置	} 2問題を選択	15～17 ページ
選択 問題16	冷凍・空気調和設備		19～22 ページ
選択 問題17	工業炉、熱設備材料		23～25 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		27～30 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 50 点)

(1) 材質の異なる2本の金属線の両端を接合して閉回路を構成した際に、二つの接点を異なる温度に保つと電流が流れる。これを 効果といい、その電流を起こさせる起電力を熱起電力という。この2本の金属線の組み合わせを熱電対といい、熱起電力を計測することで接点間の温度差が測定でき、一方を基準接点とすることにより、もう一方の測定対象の温度を知ることができる。

よく使われる熱電対として、K 熱電対、T 熱電対、R 熱電対があるが、これらの熱電対のうち、銅と、銅及びニッケルを主とした合金(コンスタンタン)とを組み合わせたものが、 熱電対であり、ニッケル及びクロムを主とした合金と、ニッケルを主とした合金とを組み合わせたものが、 熱電対である。これらの熱電対を、同じ温度差に対する起電力が大きい順に並べると、 となり、常用できる限度の温度が高い順に並べると、 となる。

< ~ の解答群 >

ア K	イ R	ウ T	エ K>R>T
オ K>T>R	カ R>K>T	キ R>T>K	ク T>K>R
ケ T>R>K	コ ゼーベック	サ ペルチェ	シ マイスナー

(2) 流速計には様々な原理を用いたものがあるが、ベルヌーイの式に基づいたものとして、 式流速計がある。 式流速計は、 の差を動圧として測定し、その測定値と流体の から流速を計算することができる。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 ピトー管
オ ブルドン管	カ ベンチュリ管	キ 温度	ク 湿度
ケ 密度	コ ゲージ圧と絶対圧	サ 正圧と負圧	シ 全圧と静圧

(3) 電磁流量計は電磁誘導に関する の法則を利用しており、原理は発電機と同じである。液体が流れている測定管の外側から管軸に垂直に磁界を加えると、管内の液体が磁界を横切るので、平均流速と磁束密度の に比例した電圧が液中に発生する。この電圧を管の側面に設置した1対の電極によって検出する。電磁流量計は多くの液体に適用できるが、 が全くない液体には適用できない。

〈 ~ の解答群 〉

ア ドップラー イ パスカル ウ ファラデー エ 和 オ 積
カ 比 キ 磁性 ク 絶縁性 ケ 導電性

(4) 通常の圧力計は大気圧を基準として圧力を測定している。一般的によく用いられている圧力計として、ブルドン管圧力計や 圧力計などの弾性式圧力計がある。

ブルドン管圧力計には、正のゲージ圧を測定する圧力計、負のゲージ圧を測定する真空計、正及び負のゲージ圧を測定する連成計の3種類がある。ある気体の圧力がブルドン管圧力計で10kPaの負のゲージ圧と測定された場合、この気体の絶対圧は、約 [kPa] である。

〈 及び の解答群 〉

ア -10 イ 0 ウ 10 エ 90
オ 990 カ U字管 キ ダイアフラム式 ク 重錘式

(計測及び制御)

問題 12 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。なお、 は 2 箇所あるが、同じ記号が入る。

(配点計 50 点)

(1) プロセス制御の調節計では PID 動作が一般的に使用される。

1) PID の P は比例動作、I は積分動作、D は微分動作を示す。ラプラス演算子を s とし、PID 動作の伝達関数をラプラス変換して表示すると、 で表される。この式の制御係数 PB は比例帯、 T_i は積分時間、 T_d は微分時間と呼ばれる。

流量制御では、測定値のノイズが拡大しないように PID 動作のうちの 動作を使用するのが原則であり、また、ある程度のオフセットが許される液位制御では 動作のみを使用することが多い。

< ~ の解答群 >

$$\text{ア } \frac{100}{PB} \times \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \text{イ } \frac{100}{PB} \times \frac{1 + T_d s}{1 + T_i s} \quad \text{ウ } \frac{100}{PB} \times \frac{1 - T_d s}{1 - T_i s}$$

エ I

オ P

カ PD

キ PI

2) PID 動作を使用するに当たり、制御係数を適当な値にチューニングする必要がある。そのチューニングには、過去の経験値を使用することが多い。しかし、希望する制御応答を厳密に得るためには、プロセスの特性を測定して行う必要がある。その代表的な方法として、ステップ応答法と の二つがある。

ステップ応答法は、調節計を手動モードにして、出力をステップ状に変化させて、そのときの制御変数の変化を計測するものである。その例を図 1 に示す。ここで、 L を 、 T を と呼び、これら L 及び T を使用して調節計の制御パラメータをチューニングする方法が各種提案されている。

は、調節計を自動モードにして持続振動が起こるまで PB を徐々に することにより行う。そのときの PB の値と持続振動の周期から制御パラメータをチューニングすることになる。

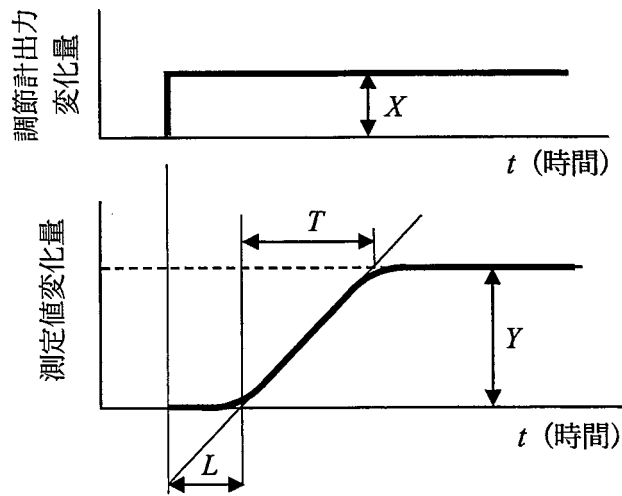


図1

〈 4 ~ 7 の解答群 〉

- ア パルス応答法 イ 限界感度法 ウ 周波数応答法 エ 遅れ時定数
 オ 進み時定数 カ 等価時定数 キ 等価無駄時間 ク 狭く
 ケ 広く

3) 代表的な制御応答を図2に示す。ここで、行き過ぎ量や減衰比などの特性値が希望する値になるようにチューニングすることになる。なお、図で減衰比は 8 で表される。

また、ステップ応答が設定した許容範囲内に落ち着くまでの時間を 9 時間という。

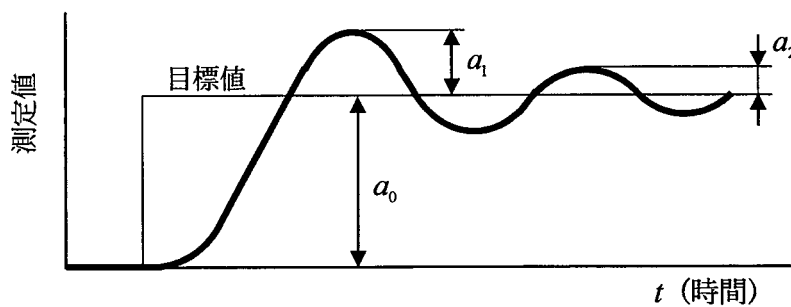


図2

〈 8 及び 9 の解答群 〉

- ア $\frac{a_2}{a_0}$ イ $\frac{a_2}{a_1}$ ウ $\frac{a_1 - a_2}{a_1}$ エ 整定 オ 遅延 カ 行き過ぎ

問題 12 は次の頁に続く

(2) ポンプの流量制御について考える。

1) 流量を制御する操作端として、調節弁が使用されることが多い。図3は、ある配管系において、調節弁によって流量制御するときの仕組みを渦巻きポンプの例で示したものであり、図の縦軸は圧力、横軸は流量である。

この図で、①は を、②は を、③は を示している。配管系全体の圧力損失とポンプ特性とが交わる点Aが運転点となり、運転点Aでの流量 Q_A がその条件で流れる流量となる。調節弁を閉じていくと、弁による圧力損失が するために、交点は左側の運転点Bに移動し、流量が Q_B に減少することになる。調節弁により流量を制御すると、流体に圧力損失を生じさせるので、必ずエネルギー損失が生じる。

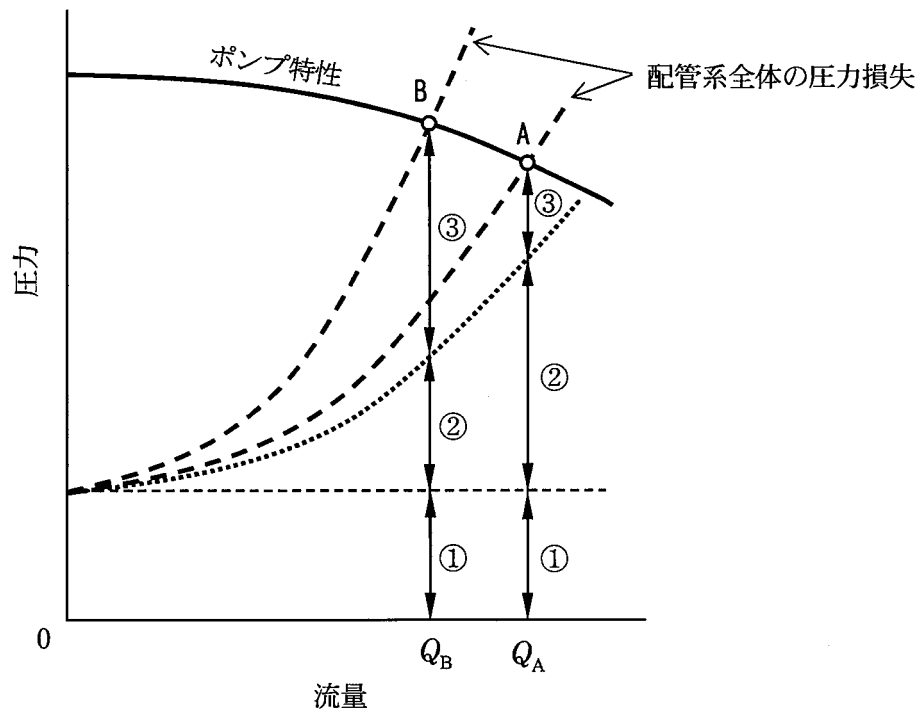


図3

< ~ の解答群 >

ア 減少 イ 増加 ウ 実揚程 エ 調節弁の圧損 オ 配管の圧損

2) 最近では、省エネルギーの観点から、調節弁の代わりにポンプの回転速度を で変えることで流量を制御する回転速度制御が採用されることが増えてきている。それを図4に示す。

理論的には、ポンプの吐出圧は回転速度の 乗に比例し、ポンプの軸動力は回転速度の3乗に比例する。よって、ポンプの回転速度を変化させて流量を調整することは、ポンプの軸動力の削減につながり省エネルギーとなる。図4において、調節弁による運転点 B と回転速度制御による運転点 B' から得られる斜線部の面積分が、回転速度制御による省エネルギー分に相当する。ただし、回転速度により吐出圧も影響されるので、 が大きいときには回転速度制御のメリットは少ない。

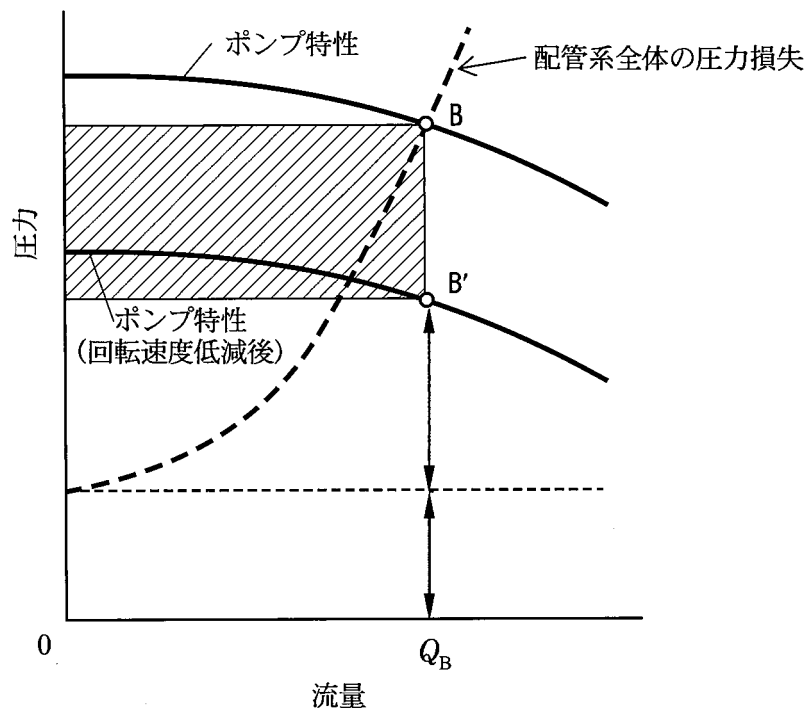


図4

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|----------|---------|---------|-------|
| ア 1 | イ 2 | ウ 3 | エ 4 |
| オ インバータ | カ サイリスタ | キ サーミスタ | ク 実揚程 |
| ケ 調節弁の圧損 | コ 配管の圧損 | | |

(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] ~ [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。

また、[A] ab.c ~ [D] 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) ボイラでは、スケール生成、腐食など、水に起因する障害を防ぐため、水処理が行われる。

1) ボイラ水の水処理として、比較的低下のボイラでは主として [1] などを用いるアルカリ処理が広く適用されている。これは、水の [2] を調節して障害を防止するものである。

< [1] 及び [2] の解答群 >

ア pH	イ 塩素濃度	ウ 溶存酸素濃度
エ アンモニア	オ 水酸化カルシウム	カ 水酸化ナトリウム

2) 高圧ボイラにおいては、ボイラ蒸発管のアルカリ腐食を防止するため、ボイラ水中に過剰の腐食成分を溶存させることは避けなければならない。この場合には、アルカリ処理に代わり [3] や [4] が広く適用されている。特に後者はアルカリ腐食の懸念がなく、ボイラ水中の全蒸発残留物の濃度を低く抑えられるので蒸気の純度が向上するが、スケール付着防止の効果が少ないので、給水中の不純物(鉄など)の濃度を厳しく管理する必要がある。

さらに、給水系統の [5] の低い高純度の水が使用できる条件下では、微量の [6] を添加して管内面に形成される酸化被膜を溶解度の低い 3 価の酸化鉄に維持して腐食やスケール成長を抑制する方式もある。

< [3] ~ [6] の解答群 >

ア イオン鉄	イ 塩素	ウ 酸素	エ リン酸塩処理
オ 揮発性物質処理	カ 物理的処理	キ 分散剤処理	ク 硬度
ケ 濁度	コ 電気伝導率		

(2) ボイラ補給水の水処理の目的は、補給水として使われる原水中の不純物を化学的あるいは物理的方法で取り除くことである。

原水中の不純物は、その大きさにより分けられ、1 nm 以下の低分子領域の不純物としては、溶存状態の電解質、溶存気体、非電解質等があり、1 ~ 500nm のコロイド領域の不純物としては、フミン酸などの有機物、有機酸、コロイド状シリカなどがある。さらに大きな懸濁質領域の不純物としては、電解質及び非電解質の懸濁状物質（土壌成分、重金属、酸化物、 等）がある。

補給水中の不純物の除去方法としては、低分子領域の不純物については、イオン交換、逆浸透、あるいは が、コロイド領域の不純物については、主として などが、懸濁質領域の不純物については、主として などが用いられる。

原水の水質及び処理目的に応じて、これらの方法が単独又は組み合わせられて用いられる。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------------------|
| ア スケール | イ スラッジ | ウ 蒸気 | エ 藻類 |
| オ 遠心分離 | カ 加熱処理 | キ 限外ろ過 | ク 蒸溜 |
| ケ 精密ろ過 | コ 脱気 | サ 沈降分離 | シ ^{ふるい} 篩 |

問題 13 は次の頁に続く

(3) 400 t/h の過熱蒸気を、蒸気配管を經由して蒸気タービンへ供給するボイラがある。このボイラの運転状態は表 1 のとおりであり、蒸気タービンの入口で蒸気温度を 540℃とするために、配管熱損失を見込んでボイラ出口の蒸気温度は 543℃となっている。また、有効出熱は蒸気発生のみで、入熱は燃料からのみ供給されるものとする。

表 1 ボイラ運転状態

項目	単位	数値
ボイラの発生蒸気量	t/h	400
燃料消費量	kg/h	30 810
燃料の低発熱量	MJ/kg	41.0
燃料 1 kg 当たりの排ガス量	m ³ /kg-f	12.1
排ガスの平均定圧比熱	kJ/(m ³ ·K)	1.38
ボイラ給水の比エンタルピー	kJ/kg	857.7
ボイラ出口蒸気の圧力	MPa	12
ボイラ出口蒸気の温度	℃	543
大気温度	℃	20

1) 表2の蒸気表を用いて、ボイラ出口を基準としたボイラ効率(低発熱量基準)を計算すると、
A | ab.c [%]となる。

2) このボイラから蒸気タービンまでの蒸気配管の保温を強化したところ、蒸気タービン入口までの放熱がほぼゼロとなり、ボイラ出口の蒸気温度を3℃低下させて540℃としても、必要なタービン入口温度を保つことができた。ここで、蒸気配管における蒸気圧力の低下が無視でき、ボイラ効率は変わらないものとして、保温の強化による燃料の低減量を求める。

ボイラ効率が一定であることから、燃料消費量は蒸気の発生に必要な正味の熱量に比例するので、蒸気表を用いて保温の強化前後の必要熱量の低減比率を求めることで、ボイラ効率の値を用いずに燃料の低減量が求められる。これにより計算すると、燃料消費量はB | ab [kg/h]低減できたとわかる。

3) さらに、ボイラ効率の改善による燃料消費量の低減を図るため空気予熱器を設置したところ、設置前に350℃あったボイラ出口の排ガス温度が、空気予熱器の設置により150℃に下がった。空気予熱器設置前後のボイラの排ガス熱損失を低位発熱量基準で計算すると、設置前の排ガス熱損失が入熱のC | ab.c [%]であったのに対し、設置後はD | a.b [%]に低減され、ボイラ効率の向上した省エネルギー運転となったことがわかる。

表2 過熱蒸気表 (抜粋)

圧力 [MPa]	比エンタルピー [kJ/kg]	
	540℃	543℃
12	3 455.8	3 463.6

(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、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、[15] は 2 箇所あるが、同じ記号が入る。
(配点計 50 点)

(1) 蒸気タービン本体の損失と性能劣化について考える。

1) 蒸気タービン本体の損失は、内部損失と外部損失に大別される。

内部損失は、翼の空気力学的損失と排気損失に大別される。翼の空気力学的損失にはノズル及び回転羽根自体の形状によって生じる [1] 等がある。また、排気損失には最終段羽根出口から [2] までの通路で発生する排気室損失等がある。

外部損失には外部漏れ損失、機械損失、放熱損失などがある。このうち最も支配的なものは [3] である。

これらの損失をできるだけ少なくして蒸気タービンの性能低下を防止することは、省エネルギーを図る上で重要である。

< [1] ~ [3] の解答群 >

ア 外部漏れ損失	イ 機械損失	ウ 湿り損失
エ 発電機損失	オ 放熱損失	カ 翼プロファイル損失
キ 給水加熱器	ク 脱気器	ケ 復水器

2) 蒸気タービン本体の性能低下の要因としては、

- ・鉄やシリカなどの酸化物が動翼や静翼に付着することによる翼の摩擦損失の増加や、蒸気の通過面積を [4] させる翼へのスケール付着
- ・ボイラからの硬い酸化スケールの飛来により主に [5] に生じやすい侵食や、復水タービンの最終段動翼における [6] による侵食
- ・グランドラピリンズ等の回転部と静止部の接触による損傷・摩耗で生じる [7] の増大などが挙げられる。

〈 4 ～ 7 の解答群 〉

- | | | | |
|-------------|---------|---------|--------|
| ア タービンケーシング | イ 第一段静翼 | ウ 非常調速機 | エ 過熱蒸気 |
| オ 再熱蒸気 | カ 湿り蒸気 | キ 蒸気圧力 | ク 隙間 |
| ケ 引張応力 | コ 減少 | サ 増加 | |

(2) 内燃機関の排ガス中に含まれる大気汚染物質としては、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)、ばいじんなどがある。ここでは、内燃機関のうちのディーゼル機関の大気汚染対策について考える。

ディーゼル機関の排ガス中の CO や HC 成分は、火花点火機関より 8 。

ディーゼル機関の SO_x の排出量の低減は 9 で対処しうる。

ディーゼル機関の NO_x については、一般に 10 [ppm] 程度のレベルにある。NO_x の排出量の低減対策としては、ディーゼル機関の排ガス中の残存酸素濃度が高いことにより 11 の使用が困難なため、燃焼改善又は選択還元脱硝法などの手法が採られてきている。

〈 8 ～ 11 の解答群 〉

- | | | |
|-------------------|----------|-----------|
| ア 10 | イ 100 | ウ 1000 |
| エ 10000 | オ 希薄燃焼 | カ 使用燃料の選定 |
| キ 燃焼温度の低下 | ク 吸蔵還元触媒 | ケ 三元触媒 |
| コ 排気ガス再循環 (EGR) 法 | サ 多い | シ 少ない |

問題 14 は次の頁に続く

(3) ガスタービンの構成要素である圧縮機について考える。

1) ガスタービンに用いられる圧縮機の種類のうち、大型のガスタービンには、大流量に適し、高圧力も得やすい 圧縮機が使用されている。

2) ガスタービンの運転範囲を制限する要因の一つの現象に、圧縮機が低流量の運転に移行していくときに風量、圧力が脈動し、圧縮機本体及び風道を含む自励振動が起こる がある。

< 及び の解答群 >

ア キャビテーション	イ サージング	ウ デトネーション
エ 遠心	オ 往復	カ 軸流

3) 圧縮機の起動中の低回転時では、後方段で空気が十分に されないため、吸気流量が減少して前方段で が発生する。このため、圧縮機中間段から し、吸気流量を増加させたり、圧縮機入口に を設置し、圧縮機初段での吸気の を適切にして による空気の乱れを防止したりしている。

< ~ の解答群 >

ア クリープ損傷	イ 圧縮	ウ 吸気	エ 給水
オ 失速	カ 侵食	キ 抽気	ク 膨張
ケ 冷却	コ 可変入口静翼	サ 吸気サイレンサ	シ 空気予熱器
ス 酸素濃度	セ 湿度	ソ 流入角度	

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] ~ [13] 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、[10] は 2 箇所あるが、同じ記号が入る。

また、[A | ab] ~ [D | 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) 熱交換器は高温の媒体から低温の媒体に熱を伝えるための装置であり、形状や伝熱方式等により分類される。また、同じ形状でも用途や機能等によって様々な呼称がある。熱交換器の選定に当たっては、用途、温度や圧力、日常管理の容易さなどの様々な条件を考慮する必要がある。

1) 多管式熱交換器は、管と管板の取り付け方法や管の形状等によって、管板が片側だけにあり、管束を引き抜くことができる構造の [1] 式、両端の管板の間に直管の伝熱管を通した構造の [2] 式、両端を管板で支えて片方の管板を固定しない構造の [3] 式に分類される。

また、同じ多管式熱交換器でも用途や機能により呼称が異なる。例えば、冷凍サイクルで用いられる熱交換器では、冷却塔から送られる水に放熱する熱交換器は [4] 器、冷房に用いる冷水を製造する熱交換器は [5] 器と呼ばれている。

< [1] ~ [5] の解答群 >

ア U字管	イ スパイラル	ウ フィン	エ 円柱	オ 固定管板
カ 二重管	キ 遊動頭	ク 加熱	ケ 凝縮	コ 減圧
サ 再生	シ 蒸発	ス 冷水		

2) この他に、燃焼ガスを通して管本体を高温にして被加熱物を加熱するラジアントチューブのような [6] 式加熱装置、セラミック等の充填槽内に高温の燃焼排ガスと燃焼用空気を交互に流通させて燃焼用空気を予熱する [7] 式熱交換器等、その用途や熱交換の方式等によって様々な呼称のものがある。

< [6] 及び [7] の解答群 >

ア スイング	イ 回転	ウ 充填	エ 蓄熱	オ ふく射
--------	------	------	------	-------

(2) ボイラとその蒸気利用設備において、系外に熱損失として排出されるものとして、燃焼排ガス、ブロー水などがあり、これらからの熱回収が効率の向上のために重要である。

1) ボイラの燃焼排ガスからの熱回収では、燃焼用空気に熱回収させて排ガス損失を減少させる方法や、 を使って給水の温度を高くすることで加熱に要する燃料を減少させる方法などが効果的である。

< の解答群 >

ア エコノマイザ イ ヒートポンプ ウ レキュペレータ

2) ボイラ水に含まれる不純物等の による弊害を防止するためにブローを行う必要がある。ブローは、発生する蒸気と同じ圧力の を排出するものであり、ボイラの種類や水質の管理基準にもよるが、給水量の数%～10%程度である。

ブロー水は大きな熱エネルギーを保有している。例えば、圧力0.5MPaの飽和蒸気の比エンタルピーは2748kJ/kg、蒸発潜熱は2108kJ/kgであり、ボイラ水が同じ圧力の であるとする、その比エンタルピーは蒸発潜熱の [%]である。このことから、ブロー水からの熱回収は効率向上に重要なことが分かる。

< 及び の解答群 >

ア 過熱蒸気 イ 過熱水 ウ 飽和水 エ 蒸発
オ 低濃度化 カ 濃縮 キ 放散

3) 蒸気配管や蒸気の利用設備で発生する は、それらの温度、量及び性状の範囲について管理標準を設定して熱交換による熱回収を行うことが求められている。例えば、高圧で回収できる場合、 蒸気を得て低圧蒸気として回収利用することや、そのままボイラ給水として利用するなどの方策を検討することが熱の有効利用にとって重要である。

< 及び の解答群 >

ア ドレン イ 排蒸気 ウ フラッシュ エ 過熱 オ 乾き カ 余剰

(3) 熱交換器の日常点検において、例えば温度効率の変化を把握して適切に性能を維持管理することはエネルギーの有効利用に重要である。

1) 熱交換器に流入する高温流体及び低温流体の入口温度と流量がいずれも一定であるとき、汚れにより高温側の伝熱面の性能が低下すると、高温流体の出口温度は 。

< の解答群 >

ア 高くなる

イ 低くなる

ウ 変わらない

2) 次の条件で伝熱操作を行っている熱交換器について温度効率等の計算を行う。

高温流体の入口温度を 80℃、出口温度を 65℃、低温流体の入口温度を 20℃、出口温度を 60℃ とし、それぞれの流量は一定で熱交換器での熱損失はないものとする。

i) 高温流体に着目した温度効率は [%] である。

ii) 低温流体に着目した温度効率は [%] である。

iii) 低温流体の比熱を 4 kJ/(kg·K)、質量流量 300 kg/min としたとき、高温流体から低温流体へ移動した熱量は ×10² [kW] である。

(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) 空調設備は建物と一体のものである。その省エネルギーを推進するためには、まず建物の省エネルギー化を図ることが大切であり、次に空調設備の省エネルギー化を考えなくてはならない。これらに対する省エネルギー手法は、大きく次の①～③の三つに分類することができる。

- ① 空調負荷の低減
- ② 自然エネルギー・排出エネルギーの有効利用
- ③ 空調設備の高効率化

1) 建物の形状や外壁デザインなどの建築計画上の工夫が最も寄与するものを、①～③の省エネルギー手法の分類項目から一つ挙げると である。

2) 外気導入時に用いられる全熱交換器の機能は、①～③の省エネルギー手法の分類項目の の二つを組み合わせたものである。

3) 空調設備において数多く用いられる送風機及びポンプの流量制御方法の最適化は、①～③の省エネルギー手法の分類項目の に該当する。

< ～ の解答群 >

ア ① イ ② ウ ③ エ ①と② オ ①と③ カ ②と③

(2) 図1は送風機の風量制御方式のうちの吸込みベーン制御、吹出しダンパ制御、回転速度(周波数)制御の制御特性を示したものである。ここで、①の曲線は 制御、②の曲線は 制御、③の曲線は 制御の特性を示している。

回転速度制御により送風機の風量を制御した場合、理論上、風量は回転速度の 乗に比例し、軸動力は回転速度の3乗に比例する。

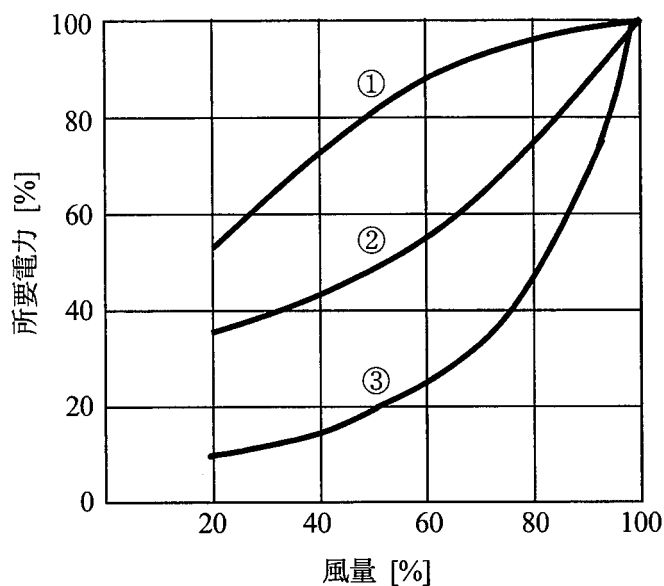


図1 送風機の風量制御特性

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|-----------------|----------|----------|-----|
| ア $\frac{1}{2}$ | イ 1 | ウ 2 | エ 3 |
| オ 回転速度 | カ 吸込みベーン | キ 吹出しダンパ | |

3) D-BあるいはE-Bのプロセスの勾配は によって決められる。 は の変化量の の変化量に対する比を示す値で、単位は となる。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|---------|-----------|--------|----------|
| ア kg/kJ | イ kJ/kg | ウ 無次元 | エ アスペクト比 |
| オ 乾球温度 | カ 顕熱比 | キ 絶対湿度 | ク 相対湿度 |
| ケ 熱水分比 | コ 比エンタルピー | | |

4) 蒸気加湿のプロセスは で表され、 温度がほぼ一定となる。

< 及び の解答群 >

- | | | | | |
|-------|-------|------|------|------|
| ア D-B | イ E-B | ウ 乾球 | エ 湿球 | オ 露点 |
|-------|-------|------|------|------|

(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、 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) 次の表は、各種産業分野に用いられる主な工業炉について、その例と例示した工業炉の機能や特徴を示したものである。

表 各種産業分野に用いられる主な工業炉

分野	工業炉の例	例示した工業炉の主な機能と特徴
製鉄・非鉄金属	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 <input type="text" value="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。
	<input type="text" value="2"/> 炉	電気炉の一種で、電流が正極・負極間の気体中を高密度で流れる際の <input type="text" value="2"/> を利用して鉄スクラップ、銅、アルミなどの溶解を行うものである。
	鋼片加熱炉	鋼片を鋼板、棒鋼、形鋼、鋼管などに加工するために加熱する炉である。 <input type="text" value="3"/> に必要な温度、1150~1250℃程度に加熱する。
自動車・機械等	<input type="text" value="4"/> 炉	主に焼きなまし、焼入れ、焼き戻しなどを行う炉である。
窯業	<input type="text" value="5"/> 炉	耐火物、陶磁器、タイルなどの被加熱物材を台車に載せて、トンネル状の連続窯を移送する方式が多く用いられている。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|--------|---------|-------|------|
| ア アーク | イ ジュール熱 | ウ 磁気 | エ 焼成 |
| オ 熱間圧延 | カ 冷間圧延 | キ 熱処理 | ク 熱風 |
| ケ 焙焼 | コ 反射 | サ 熔融 | シ 還元 |
| ス 酸化 | セ 浄化 | | |

(2) 工業炉の性能を表すものとして熱効率が、次式で示される。

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

熱効率を高めるためには、次のような検討項目が挙げられる。

- ① 加熱後の被加熱物の温度偏差を極力少なくする、あるいは炉内温度の不均一に伴う抽出温度の温度分布の幅を極力少なくするよう検討する。抽出温度を目標の温度に近づけるためには $\boxed{7}$ 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対策となる。
- ② 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 $\boxed{8}$ で燃焼しないように注意が必要である。
- ③ 排ガス量の低減のために $\boxed{9}$ 燃焼や $\boxed{9}$ 富化燃焼の導入を検討する。
- ④ 炉体や炉壁からの放熱の低減策として、断熱強化が重要である。生産調整等で炉が休止されたときは、再立ち上げ時に再昇温する必要があるが、このような再昇温が頻繁に行われる場合には、 $\boxed{10}$ の少ない断熱材、例えば、セラミックファイバを使うことを検討する。

< $\boxed{6}$ ~ $\boxed{10}$ の解答群 >

- | | | |
|-------------|--------------|-------------|
| ア クロスリミット | イ スキッド | ウ スケール |
| エ モル比 | オ 空気比 | カ 燃料比 |
| キ 酸素 | ク 排ガス循環 | ケ 不完全 |
| コ 昇華量 | サ 潜熱量 | シ 蓄熱量 (熱容量) |
| ス 被加熱物が得た熱量 | セ 被加熱物の全保有熱量 | ソ 被加熱物の発熱量 |

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 [11] 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、耐 [12] に優れているという。

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 [13] が 1580℃ 以上と、使用中に収縮しにくい特長を持つ。

< [11] ~ [13] の解答群 >

- | | | |
|-----------|---------|--------|
| ア スポーリング性 | イ 酸化性 | ウ 腐食性 |
| エ 荷重軟化始発点 | オ 硬化開始点 | カ 疲労限界 |
| キ 気孔 | ク 熱応力 | ケ 疲労亀裂 |

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 [14] 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おそれがあるので、注意が必要である。

4) 熔融金属に濡れにくいことから金属冶金用るつぼなどに用いられる [15] れんがは、熱伝導率が大きく、熱膨張率が非常に小さいという特長を持つ。

5) 配管などの保温施工では、保温材中に [16] が浸入するとそれが伝熱媒体となって、保温材の断熱性を著しく損なうので注意が必要である。

< [14] ~ [16] の解答群 >

- | | | | | |
|---------|--------|----------|--------|---------|
| ア N_2 | イ CO | ウ CO_2 | エ アルミナ | オ ドロマイト |
| カ 空気 | キ 炭素 | ク 微粒子 | ケ 水 | |

(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 次の各文章及び図の ~ 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 3 箇所、、 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) 液体混合物の蒸発と蒸留に関する基礎的事項について考える。

1) 溶液とその蒸気が互いに平衡状態にあるとき、その状態を気液平衡という。多成分系 (n 成分) の気液平衡において、各成分の蒸気分圧 p_i の和は全圧 π に等しく、次式のように表される。

$$\pi = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad \text{..... ①}$$

これを の法則という。

また、 i 成分の蒸気分圧 p_i は、理想溶液の場合は純粋成分の蒸気圧 p_i^* と液モル分率 x_i との積に等しく、次式のように表される。

$$p_i = x_i p_i^* \quad \text{..... ②}$$

これを の法則という。

蒸気のマール分率 y_i は、 $y_i = \frac{p_i}{\pi}$ となるから、この関係を式②に代入すれば、次式のような平衡状態での蒸気組成と液組成との関係式が与えられる。

$$y_i \pi = x_i p_i^* \quad \text{..... ③}$$

2) 次に、2 成分からなる液体混合物の蒸留分離の原理について、温度 T と液組成 x 及び蒸気組成 y の関係を示した図 1 を用いて考える。

一定圧力下において、C 点で表される液組成の液体混合物を加熱し温度を上げていくと、D 点で初めて気相が出現する。この点を と呼び、液組成に対してプロットして得られる曲線を 曲線という。D 点の温度は低沸点の純正分の沸点 (B 点) より高く、高沸点の純正分の沸点 (A 点) より低いことがわかる。そして、このとき蒸気組成は式③に液組成を代入することで求められるが、低沸点成分の蒸気組成がより大きくなり E 点で表される。さらに温度を上げていき、F 点を超えると液相はなくなり全て蒸気となる。その蒸気組成は初めの液組成と同じである。

今度は、逆に G 点から温度を下げっていくと、F 点で液相が出現する。この点を と

呼び、蒸気組成に対してプロットして得られる曲線を 曲線という。このときの液組成は、式③に蒸気組成を代入することで求められ、高沸点成分の液組成が大きくなり H 点で表される。

D 点から F 点までの間の温度では、気液2相が共存し、気相は元の液体混合物に比べて 成分の組成が大きく、逆に液相は 成分の組成が大きくなる。これを利用して高沸点成分と低沸点成分に分離するのが蒸留分離である。

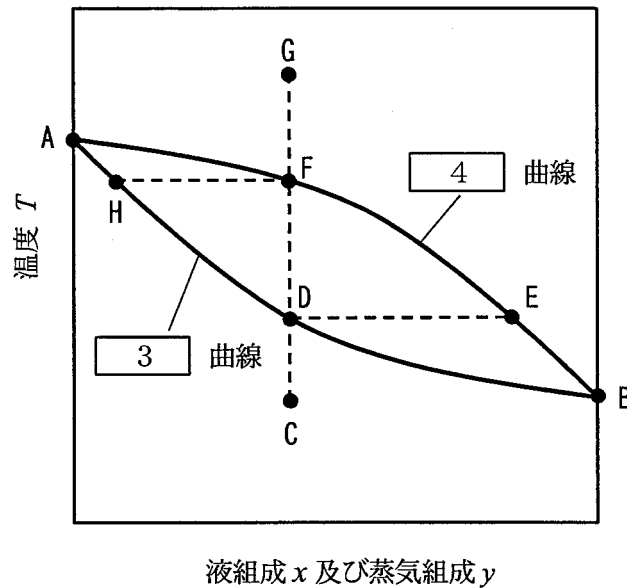


図 1

< ~ の解答群 >

- | | | | | |
|--------|--------|-----------|-------|-------|
| ア ダルトン | イ ラウール | ウ ル・シャトリエ | エ 凝縮点 | オ 蒸発点 |
| カ 沸点 | キ 露点 | ク 高沸点 | ケ 低沸点 | |

3) 溶媒と溶質からなる溶液の蒸気圧は、その純溶媒の蒸気圧と比較して 。従って、溶液は純溶媒より 温度で沸騰する。一定濃度の溶液と純溶媒とが同一の蒸気圧を示す温度は、多くの場合、お互いに直線関係にあることが知られており、これを描いたのが 線図である。

図2は、水酸化ナトリウムの 線図である。この図から、水酸化ナトリウム30%水溶液の圧力200 kPaでの沸点は約 [°C]であることが分かる。

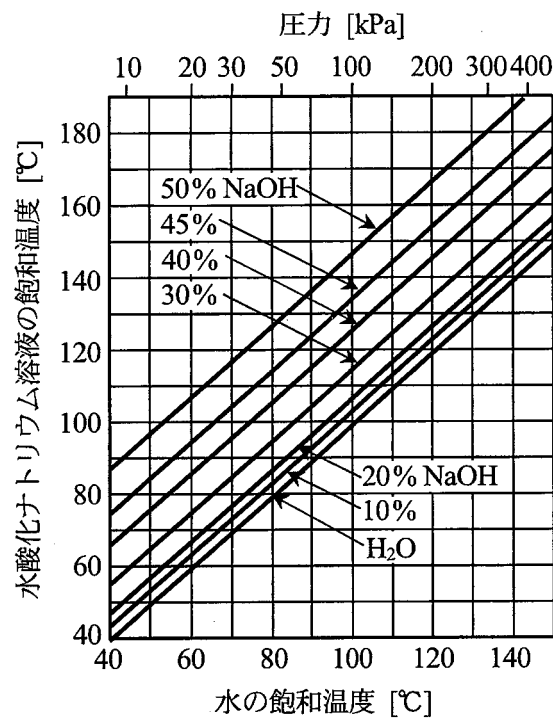


図2

< ~ の解答群 >

- | | | | | |
|-------------|--------|-------|-------|----------|
| ア 115 | イ 125 | ウ 135 | エ 145 | オ デューリング |
| カ マッケーブ・シーレ | キ 気液平衡 | ク 高い | ケ 低い | |

(2) 乾燥装置の基礎的事項について考える。

1) 乾燥装置の受熱方式には、主に、気流乾燥機、噴霧乾燥機、回転乾燥機、流動層乾燥機などの 受熱式と、ドラム乾燥機、溝形攪拌乾燥機、真空乾燥機、などの 受熱式がある。また、その他の加熱方式として、 乾燥機やマイクロ波乾燥機のように電磁波のエネルギー照射による方式がある。

2) 一般に、 受熱式乾燥装置から排出される熱のうち最も多いのは、排風の持ち出す である。この熱量を減らす方法としては、乾燥効率を維持できる範囲で熱風の量を 方法や熱風の温度を する方法がある。

< ~ の解答群 >

ア バンド	イ 循環	ウ 赤外線	エ 伝導	オ 凍結
カ 熱風	キ 顕熱	ク 潜熱	ケ 反応熱	コ 高く
サ 低く	シ 増やす	ス 減らす		

(3) 石炭ガス化複合サイクル発電システム (IGCC) では、石炭ガス化炉で石炭をガス化させて発生したガスを、ガス精製設備で^{ばいじん}煤塵や硫黄分を分離除去して、 に送り発電した後、 からの排熱を で回収し、さらに で発電する。発電効率が高く、石炭をクリーンに有効利用することができる。IGCC に を組み合わせ、さらに高効率化を図った IGFC の開発も進められている。

< ~ の解答群 >

ア PSA	イ ガスエンジン	ウ ガスタービン
エ スターリングエンジン	オ ヒートポンプ	カ 空気分離装置
キ 蒸気タービン	ク 排熱回収ボイラ	ケ 燃料電池

(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
---	----------------------

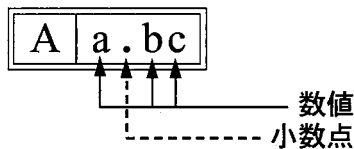
 などは、計算結果などの数値を解答する設問である。a,b,c,d などのアルファベットごとに該当する数字「0,1,2,3,4,5,6,7,8,9」(ただし、aは0以外とする)を塗りつぶすこと。

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一つ下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 $\pi = 3.1415...$ 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)

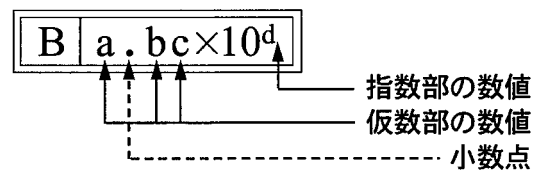
「683」を
塗りつぶす



A		
a	b	c
0	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	●
4	4	4
5	5	5
●	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)

「9182」を
塗りつぶす



B			
a	b	c	d
0	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