

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

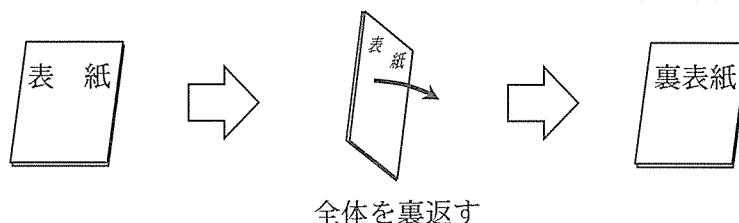
次の問題15から問題18までは、4問題中2問題を選択して解答すること。

選択 問題15	熱交換器・熱回収装置	} 2問題を選択	17～20 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		29～32 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等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 は複数箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。(配点計 50 点)

(1) すべての物体は、その表面から電磁波の形態でエネルギーを放射している。この電磁波は、紫外線・可視光線・赤外線からマイクロ波まで及ぶが、一般に産業分野の放射伝熱に關与する電磁波の大部分は である。

この放射エネルギーの波長と強度は、物体の温度と一定の関係があり、これを利用して物体の温度を求めるのが放射温度計である。

同一温度で最も多く放射エネルギーを放出する理想的な物体を と呼んでおり、その全放射エネルギーは、ステファン・ボルツマンの法則により熱力学温度の 乗に比例することが知られている。

放射温度計で測定する場合に注意すべきことは、一般の物体の放射エネルギーは、同じ温度の の放射エネルギーに を乗じて得られるため、一般の物体の測定では、 を考慮して補正しなければならないという点である。

< ～ の解答群 >

ア 2	イ 3	ウ 4	エ マイクロ波	オ 可視光線
カ 紫外線	キ 赤外線	ク 温度効率	ケ 透過率	コ 放射率
サ 黒体	シ 灰色体	ス 白色体		

(2) センサの電気的特性を利用して温度を求める温度計には、熱電温度計や抵抗温度計などがある。

1) 熱電温度計は、2種類の材質の異なる金属線の両端を接合したときの接点間の を利用した温度計である。温度を一定に保った基準接点と測温接点の間の の大きさは、両接点の温度によって決まり、金属線の長さ、太さ、接点以外の部分の温度には無関係である。

一般に用いられる R 型熱電対では、白金線と白金ロジウム合金線が用いられており、測温接点温度 550℃、基準接点温度 0℃ のとき、約 の電圧出力が得られる。JIS によると、この熱電対による測定温度の常用限度は [℃] である。

< ~ の解答群 >

ア 600 イ 1000 ウ 1400 エ 5 μV オ 5 mV カ 5 V
キ 差圧 ク 熱起電力 ケ 誘起電圧

2) 抵抗温度計は、金属や非金属の電気抵抗が温度によって変化することを利用した温度計であり、用いられる抵抗体としては白金が最も一般的である。白金測温抵抗体は、JIS では使用温度範囲によって区分されており、そのうちの高温用の使用温度範囲は、0℃ ~ [℃] である。

0℃ で 100 Ω の抵抗値を示す白金抵抗線は、1℃ 当たり約 0.4 Ω 抵抗値が変化する。この白金抵抗線について 100℃ で 1 mA の電流を流したとき、0℃ で 1 mA の電流を流したときと比較して約 [V] 電圧出力が増加する。

< 及び の解答群 >

ア 0.04 イ 0.4 ウ 4 エ 350 オ 600 カ 850

問題 11 は次の頁に続く

(3) 流量計には様々な種類があり、得られる測定量には体積流量、質量流量、積算体積流量があるので、知りたい測定量に適したものを選択する必要がある。

1) 熱式流量計や 式流量計は、流体の 流量を測定するのに適した流量計であり、この二つの流量計の測定原理は、それぞれ次のとおりである。

① 熱式流量計

流体を加熱した際の温度上昇をもとに流量を測定する。

② 式流量計

流体が流れている U 字形の管を上下に振動させると力が発生する。この力と、流体の 流量は 関係にあり、このことを利用して流量を測定する。

< ~ の解答群 >

ア コリオリ イ ピトー管 ウ ベンチュリ管 エ 質量
オ 体積 カ 積算体積 キ 比例 ク 反比例

2) 1) に示す①と②の流量計のうち、一般液体の他、固形物を含む液体、高粘度液体など広範な液体に適用できるのは、 の流量計である。

< の解答群 >

ア ① イ ② ウ ①と②の両方

(4) 真空圧は、絶対圧を測定する圧力計で測定できるが、 以下の圧力を測定するときは専用の真空計を使用する必要がある。気体の種類に関係なく物理量の測定だけから圧力を求められる真空計を絶対真空計と呼ぶ。

ダイヤフラム真空計は、ダイヤフラム式圧力計の基準となる片側の圧力を にしてダイヤフラムの変位から圧力を測定する絶対真空計である。

< 及び の解答群 >

ア 1 kPa イ 100 kPa ウ 1 MPa エ 1 気圧 オ 大気圧 カ 真空

(空 白)

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等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 ～ は複数箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。(配点計 50 点)

(1) 図 1 は、被加熱体を燃焼により加熱するための燃焼炉の制御システムについて示したものである。この燃焼炉では、燃料ガス流量を調整することにより、燃焼炉の温度を目標値に保つように制御されている。

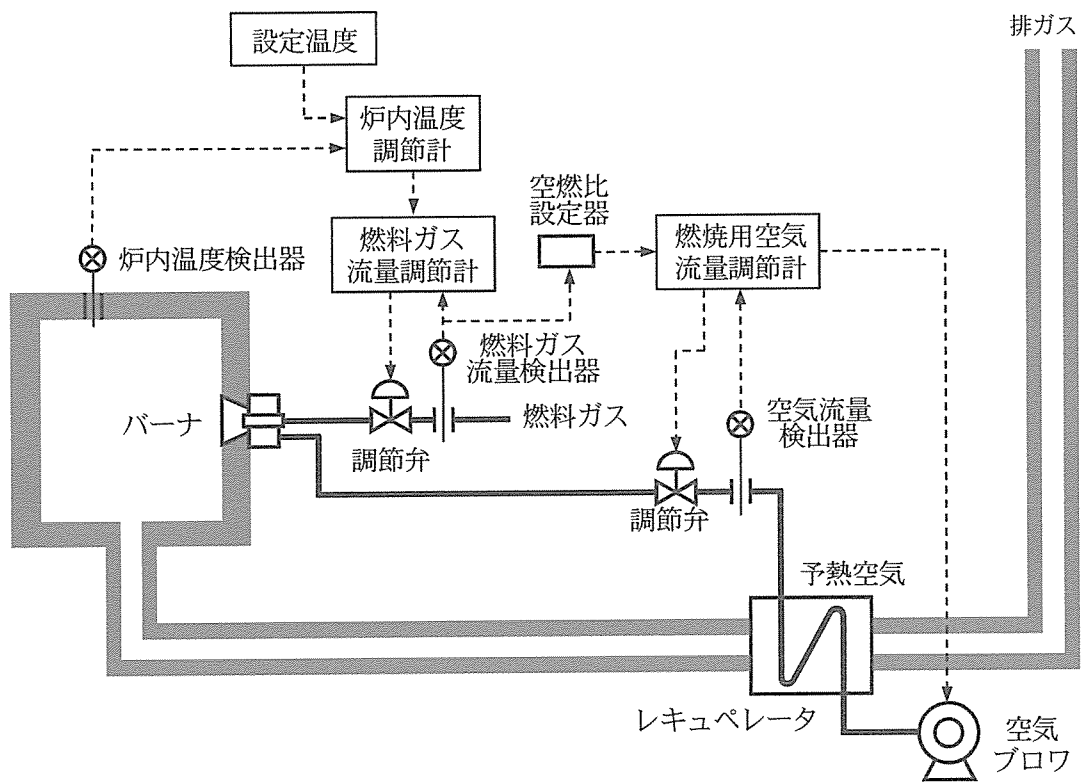


図 1 燃焼炉の制御システム

- 1) 図1の例では、炉内温度調節計の出力が、燃料ガス流量調節計の目標値となっている。このような制御を という。燃料ガス流量調節計は、燃料ガスの供給圧の変化などの燃料系に入る外乱の影響を、炉内温度に影響が出る前に処理し、炉内温度を安定化させる。このような手順における炉内温度調節計を 、燃料ガス流量調節計を と呼ぶ。
- 2) 図1では、燃焼空気比を一定に保ち過剰空気量をできるだけ抑えるために、燃料ガス流量検出器の出力が空燃比設定器を介して燃焼用空気流量調節計の目標値となっている。この制御を と呼ぶ。
- 3) や などの制御における のように、目標値が時々刻々変化し、それに測定値を追従させる制御を一般に という。そのような制御のもう一つとして、「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」である がある。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|-------------|---------------|-----------|
| ア オンオフ制御 | イ カスケード制御 | ウ シーケンス制御 |
| エ フィードバック制御 | オ フィードフォワード制御 | カ プログラム制御 |
| キ 追値制御 | ク 比率制御 | ケ 一次調節計 |
| コ 二次調節計 | サ 主調節計 | シ 従調節計 |

(2) 図2は流体の流量を制御する操作端の一つであるグローブタイプの調節弁の構造例を示したものであり、このような弁は流量調整用として一般に使用されている。

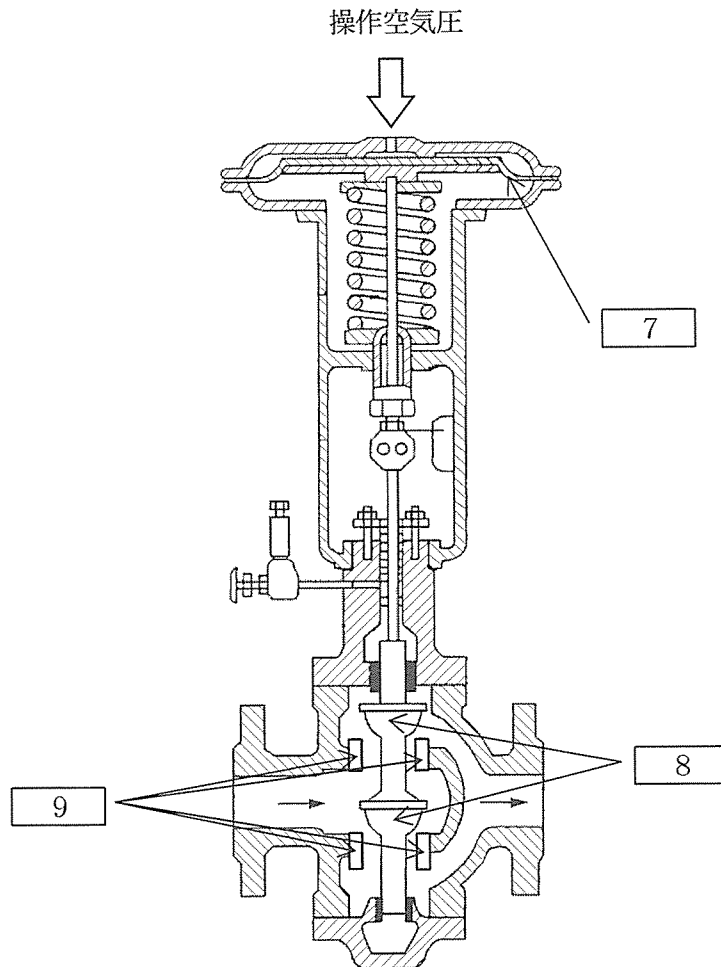


図2 グローブタイプの調節弁の構造例

1) 図2に示す弁の操作力としては、一般に空気圧力が使用される。例えば、操作信号である空気圧力が に加えられると、それにより と の隙間が狭くなり、流れる流量が小さくなる。反対に空気圧力が低くなると、隙間が広くなり流量は大きくなる。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|----------|----------|----------|--------|
| ア グラブ | イ シートリング | ウ シリンダ | エ ステム |
| オ ダイアフラム | カ パッキン | キ バルブプラグ | ク ブッシュ |

2) 図2に示すような構造のグローブ弁は 弁と呼ばれるものであり、流体の圧力をバランスさせ、弁の空気圧力が小さくて済むような構造となっている。

一方、その他に 弁と呼ばれるものがあり、大きな空気圧力を必要とするが、完全閉止を要求される場合に使用される。

< 及び の解答群 >

ア 逆座 イ 単座 ウ 複座 エ 平衡

3) 弁の固有の特性を表す数値として Cv 値がある。Cv 値がわかれば、次式より弁を通過する液体流量を計算できる。

$$\text{液体の体積流量 [m}^3/\text{h]} = \frac{1}{11.6} \times C_v \times \sqrt{\frac{\text{12}}{\text{13}}}$$

< 及び の解答群 >

ア 液体の比重 イ 液体の密度 [kg/m³] ウ 上流圧 [kPa] エ 弁前後の差圧 [kPa]

4) 弁の開度と流量の関係の特性としては次の3種類がある。

- ① 特性：オンオフ的な特性。
- ② 特性：Cv 値が弁開度に対して比例的に変わる特性。
- ③ 特性：弁開度変化量が一定ならば、 $\frac{C_v \text{ 値の変化量}}{\text{そのときの } C_v \text{ 値}}$ が一定の特性。

弁以外の配管圧損が大きいプロセスでは、システム全体で実質的な②の特性が得られるのでよく使用される。

< ~ の解答群 >

ア イコールパーセント イ クイックオープン ウ リニア
エ 双曲 オ 対数

(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] ~ [12] 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。

また、[A | abc.d] 及び [B | a.bc] 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) 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) 循環ボイラの構成と制御については次のとおりである。

i) 水循環系統には、[1] を行う蒸気ドラム、ボイラ水を炉底に運ぶ降水管、気水混合物の上昇する蒸発管がある。

ii) 循環ボイラの運転では、[2] を一定に保つように給水量が制御される。また、循環ボイラの蒸気圧力は、[3] によって制御される。

< [1] ~ [3] の解答群 >

ア ドラム水位 イ ブロー弁 ウ ブロー量 エ 渦消し オ 気水混合
カ 気水分離 キ 給水量 ク 燃料量 ケ 薬液量

iii) 蒸気温度制御は、過熱器出口での蒸気温度を一定になるように調整する制御であり、「[4] を操作するもの」と「蒸気を冷却するもの」とがある。

蒸気を冷却するものには、給水の一部を蒸気中に直接噴射する過熱低減器を用いるものと、[5] を用いて過熱蒸気と給水間の熱交換を行うものがある。前者は、水の [6] による熱吸収があるので、冷却に必要な媒体の量は少なく小型となり、蒸気に直接噴射されることで応答も速い。

< [4] ~ [6] の解答群 >

ア 空気冷却器 イ 表面冷却器 ウ 放射冷却器 エ 顕熱
オ 潜熱 カ 伝熱面積 キ 燃焼ガス ク 保温材

2) 貫流ボイラは一連の長い伝熱管から構成されており、長い伝熱管の一端からポンプで押し込まれた給水が、順次昇温、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。貫流ボイラは、給水量の変化が [7] に直接影響する。また、[8] は、給水量と燃料量の比で制御されることになるが、応答は遅いので他の方式を併用するなどの配慮が必要である。

〈 [7] 及び [8] の解答群 〉

- | | | | |
|---------|---------|--------|--------|
| ア ボイラ効率 | イ ボイラ寿命 | ウ 蒸気圧力 | エ 蒸気温度 |
| オ 水燃比 | カ 燃焼効率 | | |

(2) ボイラの効率を改善する方法として、エコマイザや空気予熱器の設置を考える。

エコマイザは、ボイラ給水をボイラの排ガスで予熱するもので、排ガス損失が低減され、ボイラ効率が改善される。給水温度が上昇し、例えばドラムボイラの場合には、給水とドラム水との温度差が小さくなり、ドラムにかかる温度差で発生する [9] が軽減される効果ももたらす。

タービンサイクル効率を向上させる目的で給水加熱器用抽気を行う再生サイクルが使われる場合、ボイラ給水温度が [10] になり、エコマイザでの回収熱量が少なくなる。そこで、排ガスの流れにおいてエコマイザの [11] 側に空気予熱器を設置すれば、十分な熱回収が可能となる。

大型ボイラで一般に採用されている再生式空気予熱器は、伝熱体である [12] に、ボイラの排ガスを一定時間接触させて熱を吸収し、その後燃焼用空気と接触させて空気側に熱を放出させて予熱するものである。

〈 [9] ~ [12] の解答群 〉

- | | | | |
|----------|----------|-------|-----------|
| ア フォーミング | イ プライミング | ウ 熱応力 | エ セラミックス板 |
| オ 金属球 | カ 金属板 | キ 下流 | ク 上流 |
| ケ 中間 | コ 高く | サ 低く | シ 不安定に |

問題 13 は次の頁に続く

(3) 蒸気配管で加熱用に、1.2 MPa の乾き飽和蒸気と5.2 MPa の乾き飽和蒸気を、それぞれ数百 m 離れた蒸気使用先に送ることを考える。

ここで、蒸気配管の保温は十分に施工され放熱は無視できるとするが、蒸気が流れることによるエネルギー消費や流量調整用のバルブがあり、その圧力損失は0.2 MPaであるとする。

なお、計算には表1及び表2の蒸気表を用いることとし、蒸気温度の値については、蒸気温度と比エンタルピーが直線的に補間できるものとして計算すること。

1) 1.2 MPa の乾き飽和蒸気の蒸気使用先における状態は、圧力が1.0 MPa、温度が $\boxed{A \mid abc.d}$ [°C] となる。すなわち、蒸気使用先に送られた蒸気は若干の過熱度を有する状態となる。

2) 5.2 MPa の乾き飽和蒸気の蒸気使用先における状態は、圧力が5.0 MPa となり、かつ湿り蒸気となる。このときの乾き度を計算すると、 $\boxed{B \mid a.bc} \times 10^{-1}$ となる。

このように、蒸気圧力レベルによっては、放熱をゼロとしても圧力損失による蒸気圧力変化によってドレンを発生する場合がありますので、十分留意することが必要となる。

表1 飽和蒸気表

圧力 [MPa]	飽和温度 [°C]	比エンタルピー [kJ/kg]	
		飽和水	乾き飽和蒸気
1.0	179.9	762.68	2777.12
1.2	188.0	798.50	2783.77
5.0	263.9	1154.50	2794.23
5.2	266.4	1166.88	2792.51

表2 過熱蒸気表

圧力 [MPa]	温度 [°C]	比エンタルピー [kJ/kg]
1.0	180.0	2777.43
	190.0	2803.52

(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 14 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) 蒸気タービンの構造について考える。

1) 復水器を設置する蒸気タービン最終段では、タービンの [1] 損失を減らし内部効率を向上させるためと、蒸気の体積流量がきわめて大きいことから、回転羽根の長さが相当長くなる。また、この段では蒸気の [2] も大きくなるため、水滴によるエロージョン対策が必要であり、[3] 層の形成などが検討される。

< [1] ~ [3] の解答群 >

ア ステライト	イ スラッジ	ウ 遮熱コーティング
エ 圧力	オ 乾き度	カ 湿り度
キ 絞り	ク 排気	ケ 摩擦

2) ケーシングには、圧力容器としての役割と高速で回転しているロータを支持する役割があり、両者を兼ね備えた構造にする必要がある。また、できるだけ軸対称とし急激な肉厚の変化のない構造として、過大な [4] が働かないよう考慮するとともに、自由な熱膨張と分解・組立の容易な形状にしておくことが望ましい。

< [4] の解答群 >

ア 弾性力	イ 熱応力	ウ 摩擦力
-------	-------	-------

3) 軸受は軸を介してロータを支え、その円滑で安定な回転状態を保つための重要な役割を担っている。軸受に供給される潤滑油の役割には、軸受で発生する 熱及び蒸気側からロータを経ての伝導熱を除去したり、振動を減衰させたりすることなどがある。一方、軸のケーシング貫通箇所から、高圧蒸気の漏洩あるいは真空側への空気の混入があるので、これを防止しなければならない。通常は 式のシールを設置しているが、真空側に水封式のものを採用して漏えい防止の効果を持たせることもある。

< 及び の解答群 >

- | | | | | | |
|---|-----|---|---------|---|-------|
| ア | リング | イ | ランドパッキン | ウ | ラビリンス |
| エ | 凝縮 | オ | 蒸発 | カ | 摩擦 |

(2) 内燃機関の種類や特徴について考える。

1) 内燃機関は、燃焼室（又は燃焼器）内部で燃料を燃焼させて高温・高圧のガスを発生させ、これをそのまま作動流体として膨張させ、その熱エネルギーを に変換する原動機である。一般に サイクルであり、サイクル内の作動流体は気相のまま相変化しない。

< 及び の解答群 >

- | | | | | | |
|---|-------|---|-------|---|-------|
| ア | ランキン | イ | 開放 | ウ | 密閉 |
| エ | 機械的工作 | オ | 磁気的工作 | カ | 電気的工作 |

2) 1) で述べたエネルギーの変換のための方式には、シリンダ内の燃焼ガスが膨張することによるピストンの往復運動をクランク軸で回転仕事に変える 形と、タービン内で作動流体を膨張させて回転仕事を得る 形とがある。

< 及び の解答群 >

- | | | | | | | | |
|---|----|---|----|---|----|---|----|
| ア | 圧力 | イ | 回転 | ウ | 速度 | エ | 容積 |
|---|----|---|----|---|----|---|----|

問題 14 は次の頁に続く

(3) ガスタービンの性能について考える。

1) ガスタービンの理論サイクルとして最も単純なものはブレイトンサイクルであり、その理論熱効率は の関数で示されている。

〈 の解答群 〉

ア 圧縮比

イ 圧力比

ウ 空燃比

2) ガスタービンは、作動流体の質量流量によって出力が変化する。稼動時の出力と大気のと温度及び圧力との関係は次のとおりとなる。

① 大気温度 。

② 大気圧力 。

〈 及び の解答群 〉

ア が高いほど出力は大きくなる

イ が低いほど出力は大きくなる

ウ は出力には関係ない

3) 実際のガスタービンでは、等エントロピー変化でなく、圧力損失、熱損失、機械損失などの影響も受ける。そのような実際のガスタービンサイクルでは最高最低温度比が影響し、その値が になれば、比出力は増加する。また、タービン入口温度に対し比出力あるいは を最高にする最適圧力比がある。

〈 及び の解答群 〉

ア 空気過剰率

イ 熱効率

ウ 平均有効圧力

エ 大きく

オ 小さく

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] ~ [12] 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、[1]、[2]、[6] 及び [8] は複数箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

また、[A ab.c] ~ [C ab.c] 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) 冷却を目的とした熱交換について考える。

空調設備や熱利用設備では、そこで発生する熱を大気へ放熱するために、一般的には冷却塔が用いられ、設備機器との間で冷却水を循環し放熱している。

冷却塔の方式は、冷却水と大気との接触形態の違いにより大きく二つに分けられ、直接接触により熱交換する [1] 式と、間接触により熱交換する [2] 式がある。

[1] 式は、冷却水を大気に直接接触させることで、冷却水の一部が気化することにより冷却水の温度を下げるため、熱交換の効率は高い。一方、直接接触することで冷却水中に大気中の種々の汚れが蓄積し、また溶解している塩類等の濃縮が起きるため、冷却水を使用する熱利用設備側の熱交換器の伝熱性能の低下を引き起こす。それを抑えるために水質の管理が必要である。

[2] 式の冷却塔は、一般に冷却塔内の充てん層中に冷却水管を挿入し、冷却水管外面に散布される水の気化熱を利用して冷却水管を冷却することで、管内の冷却水の温度を間接的に下げため、熱交換の効率は [1] 式より低い。この方式は、大気と冷却水が直接接触しないので、冷却水が清浄に保たれ、熱利用設備側で汚染を避ける場合に用いられる。

冷却塔で放熱により得られる冷却水の温度は、大気の [3] 温度より低くすることができるが、大気の [4] 温度より低くすることはできない。冷却塔の性能は夏期の大気条件で設計されるので、一年を通して使用する場合、中間期や冬期には、大気の温度や湿度に応じて冷却水の流量や冷却塔の送風量を適切に運転管理することが求められる。

< [1] ~ [4] の解答群 >

ア 開放	イ 対流	ウ ふく射	エ 噴流	オ 密閉
カ 乾球	キ 湿球	ク 凝縮	ケ 平衡	

(2) 各種の排熱回収の方法について考える。

1) 高温の固体から熱回収する例としてコークス 消火設備がある。これは、赤熱したコークスを冷却室に入れて により冷却し、高温となった を排熱ボイラに導入して蒸気として熱回収するものである。

〈 及び の解答群 〉

ア 乾式 イ 湿式 ウ 伝熱 エ 空気 オ 酸素 カ 不活性ガス

2) 燃焼排ガスから高温で熱回収する例として、セラミックを蓄熱体として用いた蓄熱式空気予熱器がある。この蓄熱式空気予熱器は、燃焼排ガスを蓄熱体に通した後、燃焼用空気を通すことで蓄熱体との熱交換により、高温の燃焼用空気として熱回収することができる。

燃焼用空気を高温に予熱できる小型の蓄熱体とバーナを一体とした では、燃焼用空気の温度を1000℃以上に高めることができる。

〈 の解答群 〉

ア エコノマイザ イ ヒートパイプ ウ リジェネレイティブバーナ
エ 排ガスバーナ

問題 15 は次の頁に続く

(3) 熱交換器の省エネルギー上の留意点について考える。

1) 熱交換器は流体中に混在する固形物が伝熱面に付着したり、溶解している塩類等が伝熱面に析出したりすることによって が増大すると、熱交換器を利用する系の様々なところで損失が増加するようになる。

例えば、冷凍機で低温のラインを製造し、一定流量のラインをタンク内の伝熱管内に通してタンク内の冷水を一定温度に保持しているような系を考える。冷熱負荷が同じであれば、伝熱面の が増大すると、ライン流量が一定のままでは冷水の温度が なるため、ラインの入口温度を 必要がある。それが冷凍機の動力増加という形で損失の増加となる。さらに、伝熱管の内部に固形物が蓄積して圧力損失が増加すると、一定流量のラインを供給するにはポンプの圧力を高くする必要があるため、搬送動力の増加という形で損失の増加となる。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|-----------|-------|--------|
| ア 対数平均温度差 | イ 熱抵抗 | ウ 熱伝導率 |
| エ 上げる | オ 下げる | カ 維持する |
| キ 高く | ク 低く | ケ 変わらず |

2) 被加熱媒体を水蒸気で直接加熱するような装置で、その排ガス中に大量の水蒸気が含まれる場合、潜熱も回収することで回収熱量が増大し、省エネルギー効果を高くすることができる。

このような排熱回収に用いられる熱交換器としては、単位体積当たりの伝熱面積の大きい 熱交換器が使われることが多い。この熱交換器の排ガス側の伝熱面では、凝縮を伴う伝熱となるため が非常に大きい。使用される熱交換器の効率を維持するためには、排ガスへの空気等の混入をできる限り少なくするとともに、熱交換器の伝熱面の汚れ対策の実施や、揮発成分などが含まれる場合の腐食対策の実施等を検討することも必要である。

< 及び の解答群 >

- | | | |
|----------|----------|---------|
| ア ジャケット式 | イ バヨネット式 | ウ プレート式 |
| エ 乾き度 | オ 熱抵抗 | カ 熱伝達率 |

(4) 二重管式の向流形熱交換器を使って、流体を冷却することを考える。ここで、低温側の流体の入口温度を 10°C 、比熱を $4.0\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、流量を $20\text{kg}/\text{min}$ とし、高温側の流体の入口温度を 85°C 、比熱を $3.5\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、流量を $25\text{kg}/\text{min}$ とする。また、この熱交換によって低温側の流体の出口温度は 55°C まで上昇するものとする。なお、熱交換による外部への熱損失はないものとする。

1) この熱交換による低温側流体の温度効率、

A	ab.c
---	------

 [%] となる。

2) この熱交換による低温側流体の受熱量は、

B	ab.c
---	------

 [kW] である。

3) このとき、高温側流体の出口温度は

C	ab.c
---	------

 [$^{\circ}\text{C}$] まで下がる。

(冷凍・空調設備 ー 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。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) 空調において一般的に用いられる熱源 (冷凍機) について考える。

1) 冷凍機は冷凍方式により蒸気圧縮冷凍機と吸収冷凍機に大別される。これらのうち、蒸気などの加熱源が用いられているのは、 である。

2) 吸収冷凍機の冷凍サイクルは、図1に示すように再生器、凝縮器、A、Bの順に冷媒が循環することにより構成される。ここで、Aは、Bはである。冷房用に用いる冷水は、から取り出すことができる。

一般空調用の吸収冷凍機では、冷媒には水、吸収剤にはが広く用いられている。

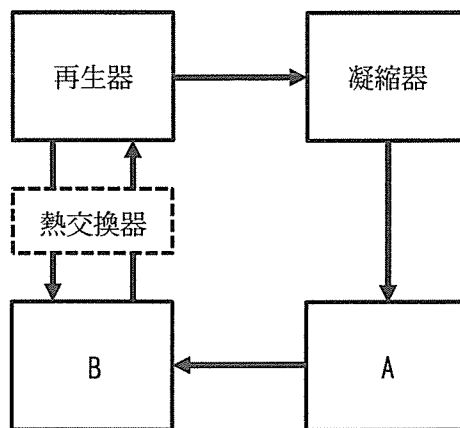


図1 吸収冷凍サイクル

< ～ の解答群 >

- | | | | | |
|---------|-----------|----------|-------|-------|
| ア シリカゲル | イ 臭化リチウム | ウ 炭酸ガス | エ 圧縮機 | オ 吸収器 |
| カ 凝縮器 | キ 再生器 | ク 受液器 | ケ 蒸発器 | コ 燃焼器 |
| サ 吸収冷凍機 | シ 蒸気圧縮冷凍機 | ス 両方の冷凍機 | | |

(2) 空気の熱的性質の状態値を図表上に示したものは空気線図（湿り空気線図）と呼ばれ、空気調和の分野では一般的に を一定として、比エンタルピーと を座標軸とした線図が使用されている。

比エンタルピーは、湿り空気が保有している を表している。また、熱水分比は比エンタルピーの変化量と の変化量との比を示す値で、暖房時の加湿の検討などの際に用いられる。

顕熱比は、顕熱量と との比を表し、冷房時の吹出空気の状態を検討する際などに用いられている。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|----------|--------|--------|--------|
| ア エントロピー | イ 圧力 | ウ 乾球温度 | エ 湿球温度 |
| オ 水蒸気分圧 | カ 絶対温度 | キ 絶対湿度 | ク 飽和曲線 |
| ケ 顕熱量 | コ 潜熱量 | サ 全熱量 | シ 水分量 |

問題 16 は次の頁に続く

(3) 図2は冷房時の空気調和のプロセスを空気線図上に表したものであり、点Rは室内空気、点Oは外気、点Sは空調機からの吹出空気、点Mは外気と室内からの還気の混合点を示している。

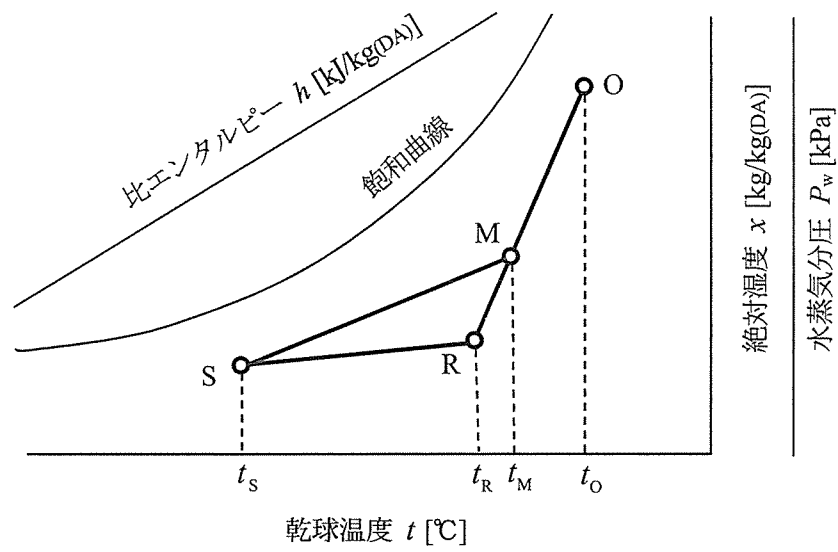


図2

1) 外気と室内からの還気の混合点 M は、外気量を Q_o [m³/h]、還気量を Q_r [m³/h] とすると、点 O と点 R をつなぐ直線を、点 O から に分けた点となる。

2) 点 S と点 R をつなぐ直線の傾きは 比となる。

< 及び の解答群 >

ア $Q_o : Q_r$ イ $Q_r : Q_o$ ウ 黄金 エ 顕熱

オ 潜熱 カ 全熱 キ 熱水分

3) 室内の熱負荷を処理するための送風量 Q_s は、

$$Q_s = \frac{1}{a} \times \frac{q}{c \times \text{$$

で求められる。

ここで、 q [kW] には室内の 負荷を用いる。 a は空気の である。 c は空気の定圧比熱で、常温では約 1.0 kJ/(kg·K) である。

< ~ の解答群 >

ア $(t_M - t_s)$ イ $(t_o - t_s)$ ウ $(t_r - t_s)$ エ 顕熱

オ 潜熱 カ 全熱 キ 質量 [kg] ク 比体積 [m³/kg]

ケ 密度 [kg/m³] コ 容積 [m³]

(工業炉、熱設備材料 - 選択問題)

問題 17 次の各文章の [1] ~ [18] 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]、[5] 及び [10] は複数箇所あるが、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) 工業炉を熱源で大別すると、燃焼炉と電気炉に分けられる。

燃焼炉の燃料としては、気体燃料、液体燃料及び固体燃料が用いられる。気体燃料には、都市ガスや天然ガスの他に、コークス製造工場で得られるコークス炉ガスや下水処理工程の汚泥から嫌気性発酵によって得られる [1] などがある。

電気炉では、加熱にジュール熱を用いるものがあり、直接電源につながれた被加熱物に電流を流して加熱する [2] 加熱や、加熱目的に応じて周波数や加熱電力密度を選択することによって表面加熱や全体加熱を選択することができる [3] 加熱があり、被加熱物を内部から昇温させることができる。これらの電気加熱は、急速加熱ができ、温度制御が容易であるという特徴を有する。

< [1] ~ [3] の解答群 >

- | | | | |
|---------|--------|---------|----------------|
| ア プラズマ | イ レーザ | ウ 赤外線 | エ 直接抵抗 |
| オ 電子ビーム | カ 誘導 | キ フロンガス | ク 合成天然ガス (SNG) |
| ケ 消化ガス | コ 水性ガス | | |

2) 工業炉を操業方式で大別すると、被加熱材が炉の一方の口から入って炉内を搬送される間に加熱ないしは加熱・冷却が行われて他方の口から出る [4] 式と、被加熱材が装入されてから加熱ないしは加熱・冷却が行われる間、概して炉内に置かれたままで、装入口と抽出口が同じである [5] 式に分けられる。一般に、[4] 式は、少品種で多量生産される材料の加熱に用いられ、[5] 式は、ロットの小さい材料を加熱するのに用いられる。

< [4] 及び [5] の解答群 >

- | | | | | |
|-------|------|------|-------|------|
| ア バッチ | イ 交換 | ウ 自走 | エ 無酸化 | オ 連続 |
|-------|------|------|-------|------|

3) 種々の用途の工業炉のうち、硫化金属鉱を高温雰囲気により空気で酸化して亜硫酸ガスと酸化金属にする炉を [6] といい、主原料である石灰石をはじめ、粘土、珪石、スラグなどを配合してクリンカと呼ばれるセメントの材料を焼成する回転式の炉は、ロータリー [7] と呼ばれる。

〈 [6] 及び [7] の解答群 〉

ア アニール イ キルン ウ ドライヤ エ 焼鈍炉 オ 熱風炉 カ 焙焼炉

(2) 工業炉の省エネルギーについて考える。

1) 工業炉の省エネルギーについて、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」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」（以降『工場等判断基準』と略す）において、燃料の燃焼の管理では、[8] の基準値、廃熱の回収利用の基準では、廃ガス温度及び廃熱回収率の基準値、断熱の基準では、[9] の基準値を定めている。

代表的な工業炉の性能を表すものとして熱効率と [10] がある。熱効率は、供給した熱量に対して被加熱物が受けた熱量の割合を示している。一方、単位量の材料を加熱、熱処理するために要した供給熱量は、[10] と呼ばれる。

『工場等判断基準』では、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熱効率が高くなるように管理標準を設定し、それぞれの燃焼設備の燃焼負荷を調整すること、加熱、熱処理等を行う工業炉については、設備の構造、被加熱物の特性、加熱、熱処理等の前後の工程等に応じて、熱効率を向上させるように管理標準を設定し、被加熱物の温度の時間の経過に対応した変化の態様である [11] を改善すること、が求められている。

〈 [8] ～ [11] の解答群 〉

ア ヒートパターン イ 温度効率 ウ 生産合理化 エ 空気比
オ 燃料比 カ 空気流量 キ 熱勘定 ク 熱量原単位
ケ 燃費 コ 炉材熱伝導率 サ 炉壁外面温度 シ 炉壁ふく射率

問題 17 は次の頁に続く

2) 燃焼炉の廃熱回収効率を高める設備として、近年では小型化された蓄熱式の熱交換器を装着した蓄熱式バーナが多く採用されており、高温の排ガスの顕熱から高温の燃焼用空気を得ている。

このバーナは2基で一對となって設置され、交互に燃焼運転させる時間を概ね 間隔とすることにより、高温排ガスからの蓄熱と燃焼用空気への放熱（予熱）とを繰り返す仕組みとなっている。高温空気を炉内に高速に噴射して炉内既燃ガスとの混合を促進させることによって、燃焼場での酸素濃度を低下させて の発生を抑制させている。

< 及び の解答群 >

ア 1秒～3秒

イ 30秒～90秒

ウ 30分～90分

エ CO₂

オ NO_x

カ SO_x

(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、高温で溶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 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 結晶相 | ケ 非晶質相 |

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・化学などの高温工業界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上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 |
|---------|----------|--------|

(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。なお、 は複数箇所あるが、同じ記号が入る。(配点計 40 点)

(1) 図に示すような多段連続蒸留塔がある。この蒸留塔に、塔中段から混合溶液を供給し、塔頂からの蒸気を凝縮させた液の一部を再び塔内に還流する。この蒸留分離操作により、塔頂から低沸点成分に富む留出液を、塔底から高沸点成分に富む缶出液を得ている。

図のように、混合溶液の流量を F [kmol/s]、低沸点成分のモル分率を z_F 、塔頂からの蒸気の流量を V [kmol/s]、留出液の流量を D [kmol/s]、低沸点成分のモル分率を x_D 、還流の流量を L [kmol/s]、缶出液の流量を W [kmol/s]、低沸点成分のモル分率を x_W で表す。ここで、 F は 100 kmol/s、 z_F は 0.5、 D は 50 kmol/s、 x_W は 0.02 である。

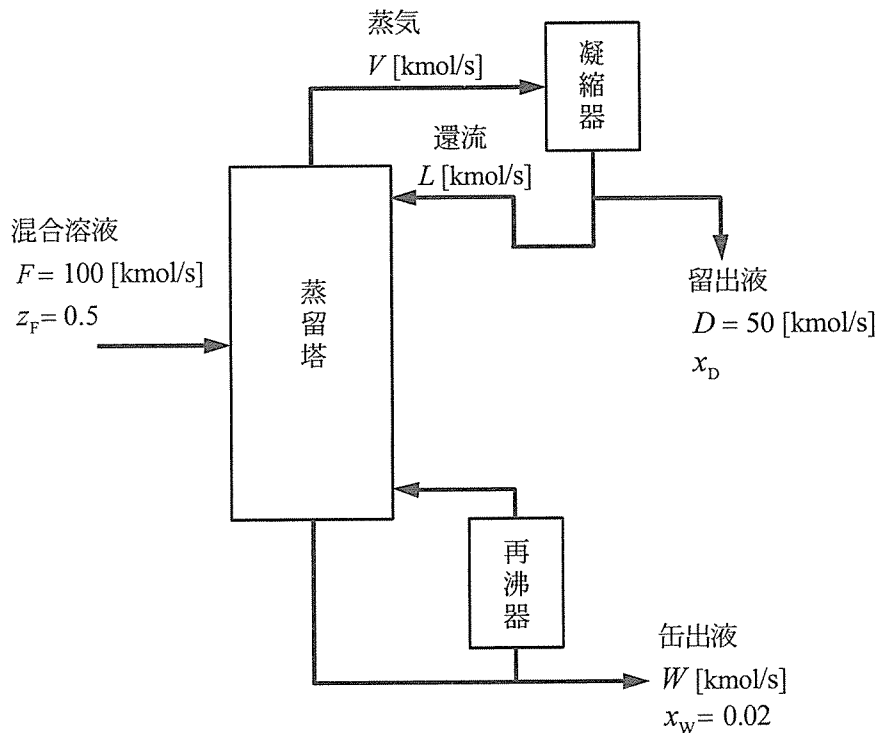


図 多段連続蒸留塔

1) 蒸留塔全体の全物質収支は、 F を D 、 L 、 W のいずれかを用いて表すと、次式で示される。

$$F = \text{①} \dots\dots\dots \text{①}$$

この式①を利用して缶出液の流量 W の値を求めると、 [kmol/s] となる。

< 及び の解答群 >

- ア 25 イ 50 ウ 100 エ 150
オ $D+W$ カ $D-W$ キ $D+W+L$ ク $D+W-L$

2) 次に蒸留塔全体の低沸点成分の物質収支は、 $F \times z_F$ を D 、 W 、 x_D 、 x_W を用いて表すと、次式で示される。

$$F \times z_F = \text{} \dots\dots\dots \text{②}$$

この式②を利用して留出液の低沸点成分のモル分率 x_D の値を求めると、 となる。

< 及び の解答群 >

- ア 0.02 イ 0.04 ウ 0.96 エ 0.98
オ $D \times x_D + W \times x_W$ カ $D \times x_D - W \times x_W$ キ $W \times x_D + D \times x_W$

3) 還流比 R は、 F 、 D 、 W 、 L 、 V のいずれかを用いて次式で定義されている。

$$R = \text{} \dots\dots\dots \text{③}$$

4) 塔頂部の蒸気流量 V は、 F 、 D 、 W 、 L のいずれかを用いて次式で表される。

$$V = \text{} \text{ [kmol/s]} \dots\dots\dots \text{④}$$

ここで、還流比 R が 2 であるとしたときの還流の流量 L の値は [kmol/s] となり、蒸気流量 V の値は [kmol/s] となる。

< ~ の解答群 >

- ア 25 イ 50 ウ 100 エ 150 オ 200
カ $\frac{D}{L}$ キ $\frac{L}{D}$ ク $\frac{L}{W}$ ケ $\frac{W}{L}$ コ $\frac{V}{L}$
サ $D+L$ シ $D+W$ ス $F-L$ セ $F-W$

(2) 汚泥は、もともと水中にあった物質が沈降又は浮上して泥状になったもので、多量の水分を含んでいる。ここで、汚泥の乾燥について考える。

1) ある汚泥の湿量基準の含水率が98%であった。この汚泥の全質量を100 kgとしたとき、全質量中の乾燥材料の質量は [kg] である。

この汚泥をそのまま乾燥させると多大な熱量が必要になるため、機械的脱水で湿量基準の含水率で80%まで脱水した。このときの乾量基準の含水率は [%] となり、全質量中の水分は [kg] となる。

< ~ の解答群 >

ア 1	イ 2	ウ 3	エ 4	オ 8
カ 16	キ 44	ク 400	ケ 440	コ 4000

2) 汚泥などを乾燥するための乾燥機として以下のような乾燥機がある。

- ① 内部にかき上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 乾燥機という。
- ② 中空状のかく^{はん}拌翼及びジャケットに加熱媒体を流し、かく^{はん}拌しながら加熱を行い乾燥させる方式の乾燥機を 乾燥機という。この乾燥機は、かく^{はん}拌翼自体が伝熱加熱面として構成されていることから、熱風受熱式の 乾燥機に比較すると、所要風量は ので、排気処理が容易で、また熱効率が高い。

< ~ の解答群 >

ア 回転	イ 通気バンド	ウ 凍結	エ 溝形かく拌
オ 流動層	カ 多い	キ 少ない	ク 変わらない

(3) 水素ガスを石炭から製造するには、石炭の炭素・水素比C/Hが大きいことから、水素源として水蒸気を導入し、石炭と水蒸気から水素と を生成させる。この反応を 反応という。この反応は吸熱反応であることから、反応熱の供給のため、石炭の を行うことになる。

< ~ の解答群 >

ア 一酸化炭素

イ 二酸化炭素

ウ 酸素

エ 水素

オ 水性ガス

カ 水素化分解

キ 熱分解

ク 部分燃焼

(空 白)

(空 白)

(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。

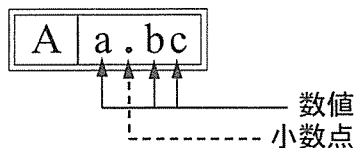
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1) の計算条件を満足すること。

(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)

6.795...
↓ 四捨五入
6.80

(解答)

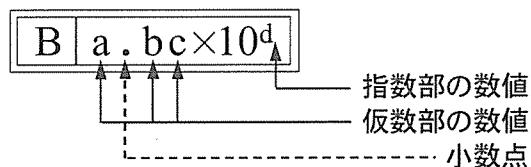
「680」を
塗りつぶす



	A		
	a	b	c
	0	8	0
①	1	1	1
②	2	2	2
③	3	3	3
④	4	4	4
⑤	5	5	5
⑥	6	8	0
⑦	7	7	7
⑧	8	8	8
⑨	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
	9	1	8	2
①	0	0	0	0
②	1	1	1	1
③	2	2	2	2
④	3	3	3	3
⑤	4	4	4	4
⑥	5	5	5	5
⑦	6	6	6	6
⑧	7	7	7	7
⑨	8	8	8	8