

問題用紙は、試験監督員からの開始の指示があるまで一切開かないでください。

## 令和元年度

**甲種機械**

**学識試験問題**

EZ

試験時間 13:30 ~ 15:30

### 注意事項

- (1) 配布された問題用紙の種類（左上に黒地白文字で示しています。）が受験する試験の種類に間違いがないか、また、問題用紙と受験番号札の色が合致しているかどうか、必ず確認してください。  
万一、異なる場合は、速やかに試験監督員に申し出てください。
- (2) 解答は、問題ごとの「解答用紙」に記入してください。  
別問題の「解答用紙」に解答した場合、その解答は無効となりますので、記入を間違えないように注意してください。
- (3) 常用対数表をp 8 ~ 10 に添付しました。  
計算上必要な場合は、使用してください。
- (4) 「解答用紙」は、採点の際に問題ごとに切り離しますので、すべての解答用紙に「受験番号」、「氏名」を必ず記入してください。
- (5) 試験問題に関する質問にはお答えできません。
- (6) 「問題用紙」および「解答用紙」は、試験監督員の指示に従い必ず提出してください。

**甲機(学)EZ**

問1 冷却水を内管と外管の間に流し、内管を流れる油を冷却する並流二重管式熱交換器がある。

通常の運転条件は、図1に示すとおりである。

以下の各間について、解答用紙の所定欄に根拠、計算式を示して答えよ。

(20点)

ただし、内管の内径  $d_i = 54 \text{ mm}$

内管の外径  $d_o = 60 \text{ mm}$

内管の熱伝導率  $\lambda = 50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

油から内管への熱伝達率  $h_o = 500 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

内管から冷却水への熱伝達率  $h_c = 700 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

とする。

また、運転条件が異なっても各流体の比熱容量（比熱）の値は一定であり、外管から外部への熱損失はないとする。

内管平均径および平均温度差は本来対数平均であるがこの場合は算術平均で近似せよ。

総括伝熱係数  $U [\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}]$ （内管平均径基準）は、同じ装置でも流速、温度などによって変化するがここでは一定とみなす。

(1) 総括伝熱係数  $U [\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}]$ （内管平均径基準）を求めよ。

(2) 図2に示すように、夏季には冷却水入口温度が  $300 \text{ K}$  へ上昇した。冷却水出口温度を平均温度差一定として  $312 \text{ K}$  に設定した場合、必要な冷却水の流量は通常の運転条件の何倍となるかを求めよ。

(3) 図3に示すように、油の流量を  $1.2$  倍、冷却水の流量を  $1.3$  倍に能力増強した場合の冷却水出口温度  $t_2'$  を求めよ。

また、能力増強に必要な管の長さ  $L_2$  は、図1の通常の運転条件の管の長さ  $L_0$  の何倍となるかを求めよ。

なお、必要な場合、計算式に下記の記号を使用する。

	通常の運転時	夏季の運転時	能力増強後の運転時
内管平均径	$d_{av}$		
内管の厚さ	$x$		
管の長さ	$L_0$	$L_1 (= L_0)$	$L_2$
油の比熱容量 (比熱)	$C_p$		
冷却水の比熱容量 (比熱)	$c_p$		
伝熱速度	$Q_0$	$Q_1 (= Q_0)$	$Q_2$
伝熱面積	$A_0$	$A_1 (= A_0)$	$A_2$
総括伝熱係数	$U$		
油の流量	$W_0$	$W_1 (= W_0)$	$W_2 (= 1.2 W_0)$
冷却水の流量	$w_0$	$w_1$	$w_2 (= 1.3 w_0)$
油の入口温度	$T_0$	$T_1 (= T_0)$	$T_2 (= T_0)$
油の出口温度	$T_0'$	$T_1' (= T_0')$	$T_2' (= T_0')$
冷却水の入口温度	$t_0$	$t_1$	$t_2 (= t_0)$
冷却水の出口温度	$t_0'$	$t_1'$	$t_2'$

なお、伝熱速度は単位時間当たりの伝熱量である。

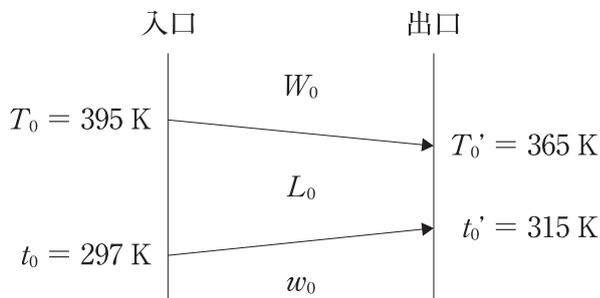


図1 通常の運転条件

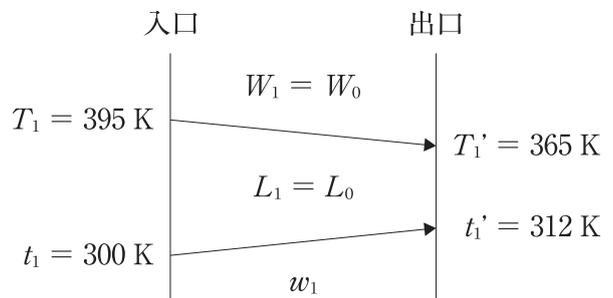


図2 夏季の運転条件

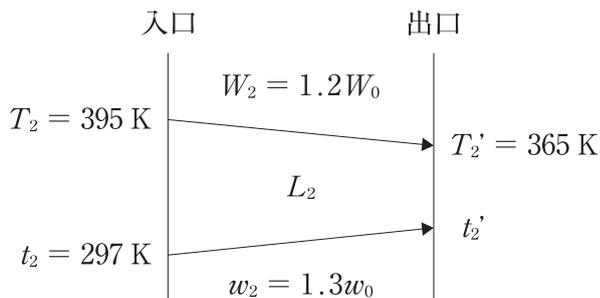
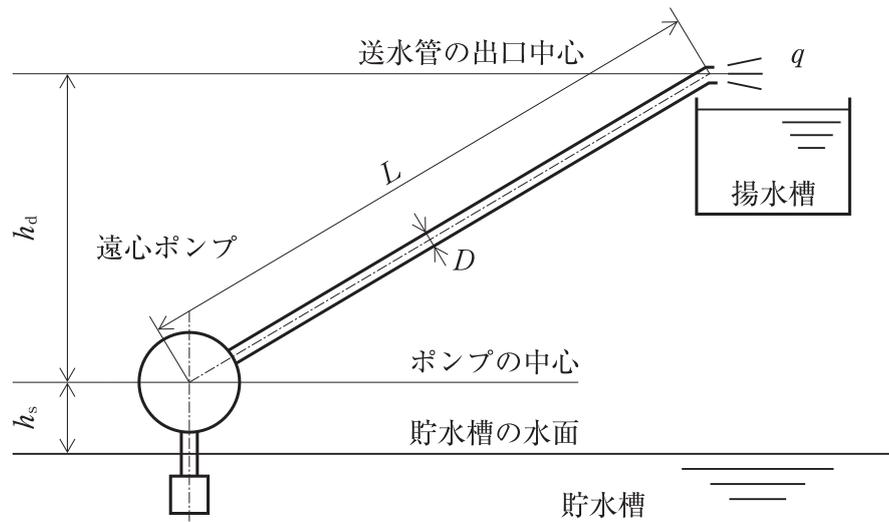


図3 能力増強後の運転条件

**問2** 下図に示すような十分に大きな貯水槽から揚水槽へ遠心ポンプを使って水をくみ上げる。吸水管と送水管には内径  $D = 100 \text{ mm}$  の鋼管を使用し、流量  $q = \text{毎時 } 50 \text{ m}^3$ 、貯水槽の水面からポンプ中心までの吸水管の垂直高さ  $h_s = 2 \text{ m}$ 、ポンプ中心から送水管の出口中心までの垂直高さ  $h_d = 30 \text{ m}$ 、送水管の経路中の曲りや継手などの挿入物の相当長さを含んだ全長  $L = 100 \text{ m}$  とした時、以下の各問について解答用紙の所定欄に根拠、計算式を示して答えよ。ここで、水の密度  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、粘度  $\mu = 1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、重力加速度  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 、管摩擦係数  $f = 0.005$  として、吸水管の圧力損失は無視する。

また根拠、計算式に使用する記号には、送水管の平均流速  $u$  [m/s]、管路の断面積  $A$  [m<sup>2</sup>] などを使ってよい。 (20点)



図

- (1) 送水管のレイノルズ数  $Re$  を求めよ。
- (2) 送水管の摩擦損失  $\Delta h_{fd}$  [m] を求めよ。
- (3) 実揚程 ( $h_s + h_d$ ) に速度水頭と管の摩擦損失を加えた全揚程  $h_t$  [m] を求めよ。
- (4) ポンプを駆動するのに必要な理論動力  $P_0$  [W] を求めよ。

問3 次の各問について、解答用紙の所定欄に答えよ。

(20点)

- (1) 高圧ガス設備の溶接施工の前に実施する溶接施工法確認試験の目的とその内容を答えよ。
- (2) 突合せ溶接継手に生じる欠陥のうち気孔（ブローホール）の原因、発生時期、防止対策について、例示する事項を参照して、解答用紙の所定欄に答えよ。

(例) 疲労割れ

原因	応力の繰返し、残留応力および止端部の応力集中による。
発生時期	溶接施工後の運転中に発生する。
防止対策	溶接施工上、余盛の止端部形状を滑らかに仕上げるか、または余盛部を削除する。溶接後熱処理を行い、残留応力を軽減する。繰返し応力を低減する。

- (3) 非破壊試験方法のうち放射線透過試験について、試験原理と方法、欠陥の種類と位置、適用対象について、例示する事項を参照して、解答用紙の所定欄に答えよ。

(例) 浸透探傷試験

試験原理と方法	試験体の表面に染色浸透液を塗り、表面に開口している欠陥に浸透させる。次に表面の余分な浸透液を除去し、現像液で欠陥に浸透した浸透液を吸い上げることで、欠陥の形状などを目視にて観察する。
欠陥の種類と位置	試験体の表面に開口している微小な欠陥を検出する。
適用対象	適用範囲が広く金属以外にも適用できる。

問4 両端を薄肉全半球形鏡板で閉じた薄肉円筒胴の圧力容器に関する次の各問について、解答用紙の所定欄に答えよ。ただし、容器内のガスの圧力を  $p$  (ゲージ圧力)、胴の内径を  $D_1$ 、胴の厚さを  $t_1$ 、鏡板の内径を  $D_2$ 、鏡板の厚さを  $t_2$  とし、両者の材料の縦弾性係数を  $E$ 、ポアソン比を  $\nu$  とする。(20点)

- (1) 胴の円周方向(接線方向)に生じる円周応力  $\sigma_\theta$  を、記号  $p$ 、 $D_1$ 、 $t_1$  を用いて表せ。ただし、最終的な解答のみを示せばよい。
- (2) 胴の軸方向に生じる軸応力  $\sigma_z$  を、記号  $p$ 、 $D_1$ 、 $t_1$  を用いて表せ。ただし、最終的な解答のみを示せばよい。
- (3) 胴の円周ひずみ  $\varepsilon_\theta$  は、平面応力状態でのフックの法則に基づいて、

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E} (\sigma_\theta - \nu\sigma_z)$$

のように表せる。このことを利用して、ガスの圧力が加わった後での内圧による胴の内径の増加量  $\Delta D_1$  を導出し、記号  $p$ 、 $D_1$ 、 $t_1$ 、 $E$ 、 $\nu$  を用いて表せ。

- (4) 鏡板の円周方向(接線方向)に生じる円周応力  $\sigma_t$  を、記号  $p$ 、 $D_2$ 、 $t_2$  を用いて表せ。ただし、最終的な解答のみを示せばよい。
- (5) 鏡板の円周ひずみ  $\varepsilon_t$  は、平面応力状態でのフックの法則に基づいて、

$$\varepsilon_t = \frac{1-\nu}{E} \sigma_t$$

のように表せる。このことを利用して、ガスの圧力が加わった後での内圧による鏡板の内径の増加量  $\Delta D_2$  を導出し、記号  $p$ 、 $D_2$ 、 $t_2$ 、 $E$ 、 $\nu$  を用いて表せ。

- (6)  $D_1 = D_2 = D$ 、 $t_1 = t_2 = t$  であるとき、胴の内径の増加量  $\Delta D_1$  と鏡板の内径の増加量  $\Delta D_2$  のどちらが大きいかを根拠とともに示せ。
- (7) (6)の結果は、胴の変形と鏡板の変形を別々に考えた結果である。実際の胴と鏡板の境界はどのような状況になるか、50字程度で説明せよ。

問5 理想気体の状態変化と圧縮仕事に関する次の各問について、解答用紙の所定欄に計算式を示して答えよ。ただし、モル気体定数  $R$  を  $8.314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  とし、圧力は絶対圧力とする。(20点)

- (1) ある理想気体  $2 \text{ kmol}$  を、圧力  $p_1 = 0.2 \text{ MPa}$ 、温度  $T_1 = 300 \text{ K}$  の状態①から、圧力  $p_2 = 2.0 \text{ MPa}$  の状態②まで断熱圧縮したところ、気体の体積は5分の1になった。状態②における気体の体積  $V_2$  [ $\text{m}^3$ ] および温度  $T_2$  [ $\text{K}$ ] はいくらか。
- (2) 次に、状態②から圧力一定のもとで  $Q_{23} = 16.6 \text{ MJ}$  の熱量を取り去ると、温度  $T_3 = 300 \text{ K}$  の状態③となった。この気体の定圧モル熱容量  $C_{m,p}$  [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ] および定容モル熱容量  $C_{m,v}$  [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ] はいくらか。
- (3) 状態①から状態②まで断熱圧縮するのに必要な仕事  $W_{12}$  [ $\text{MJ}$ ] はいくらか。また、状態②から圧力一定で状態③とするととき気体になされる仕事  $W_{23}$  [ $\text{MJ}$ ] はいくらか。
- (4) この気体  $2 \text{ kmol}$  を、状態①から温度一定のもとで状態③まで圧縮する場合の除熱量  $Q_{13}$  [ $\text{MJ}$ ] はいくらか。

常用対数表は 8 ~ 10 ページにあります

## 常用対数表の使い方

1.  $\log_b x = c$ において、 $b$ を底数、 $x$ を真数、 $c$ を対数という。
2. 次頁の常用対数表の縦は真数の小数第1位までの数値を、横は真数の小数第2位の数値を表し、表中の数値は常用対数（10を底とする対数で、 $\log x$ と表す。）の小数を表す。

(例) 真数  $x$  が 5.02 の場合、 $\log x = \log 5.02 = 0.701$  であることを表している。

(下表の網掛け部分を参照)

常用対数表 (表中の数値は小数を表す)

$x$ の小数第1位 までの数値 ↓	→ $x$ の小数第2位の数値					
	0	1	2	3	4	5
1.0	000	004	009	013	017	021
2.5	398	400	401	403	405	407
2.6	415	417	418	420	422	423
4.9	690	691	692	693	694	695
5.0	699	700	701	702	702	703
9.9	996	996	997	997	997	998

### 対数と指数の関係

1.  $\log_b x = c$  は、 $b^c = x$  を意味する。
2. 対数表を使って  $x$  を求める計算は、次の例のとおりである。

(例)  $5.02^{0.602} = x$  を求める場合、

$$\log x = 0.602 \log 5.02 = 0.602 \times 0.701 = 0.422$$

対数表より  $0.422 = \log 2.64$  であるから、 $x = 2.64$  となる。

(上表の網掛け部分を参照)

### 対数に関する公式

1. 自然対数 ( $e = 2.718 \dots$  を底とする対数で、 $\ln x$  と表す。) と常用対数の関係は、  
 $\ln x = 2.30 \log x$ 、 $\log x = 0.434 \ln x$  とする。
2.  $\log xy = \log x + \log y$
3.  $\log (x/y) = \log x - \log y$
4.  $\log x^n = n \log x$

(公式の使用例)

1. 真数  $x = 500$  の場合

$$\log 500 = \log(5 \times 10^2) = \log 5 + \log 10^2 = \log 5 + 2 \log 10 = 0.699 + 2 \times 1 = 2.699$$

2. 真数  $x = 0.05$  の場合

$$\log 0.05 = \log(5 \times 10^{-2}) = \log 5 + \log 10^{-2} = \log 5 - 2 \log 10 = 0.699 - 2 \times 1 = -1.301$$

## 常用対数表 (1)

(表中の数値は小数を表す)

1.00 ~ 5.49

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.0	000	004	009	013	017	021	025	029	033	037
1.1	041	045	049	053	057	061	064	068	072	076
1.2	079	083	086	090	093	097	100	104	107	111
1.3	114	117	121	124	127	130	134	137	140	143
1.4	146	149	152	155	158	161	164	167	170	173
1.5	176	179	182	185	188	190	193	196	199	201
1.6	204	207	210	212	215	217	220	223	225	228
1.7	230	233	236	238	241	243	246	248	250	253
1.8	255	258	260	262	265	267	270	272	274	276
1.9	279	281	283	286	288	290	292	294	297	299
2.0	301	303	305	307	310	312	314	316	318	320
2.1	322	324	326	328	330	332	334	336	338	340
2.2	342	344	346	348	350	352	354	356	358	360
2.3	362	364	365	367	369	371	373	375	377	378
2.4	380	382	384	386	387	389	391	393	394	396
2.5	398	400	401	403	405	407	408	410	412	413
2.6	415	417	418	420	422	423	425	427	428	430
2.7	431	433	435	436	438	439	441	442	444	446
2.8	447	449	450	452	453	455	456	458	459	461
2.9	462	464	465	467	468	470	471	473	474	476
3.0	477	479	480	481	483	484	486	487	489	490
3.1	491	493	494	496	497	498	500	501	502	504
3.2	505	507	508	509	511	512	513	515	516	517
3.3	519	520	521	522	524	525	526	528	529	530
3.4	531	533	534	535	537	538	539	540	542	543
3.5	544	545	547	548	549	550	551	553	554	555
3.6	556	558	559	560	561	562	563	565	566	567
3.7	568	569	571	572	573	574	575	576	577	579
3.8	580	581	582	583	584	585	587	588	589	590
3.9	591	592	593	594	595	597	598	599	600	601
4.0	602	603	604	605	606	607	609	610	611	612
4.1	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622
4.2	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632
4.3	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642
4.4	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652
4.5	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662
4.6	663	664	665	666	667	667	668	669	670	671
4.7	672	673	674	675	676	677	678	679	679	680
4.8	681	682	683	684	685	686	687	688	688	689
4.9	690	691	692	693	694	695	695	696	697	698
5.0	699	700	701	702	702	703	704	705	706	707
5.1	708	708	709	710	711	712	713	713	714	715
5.2	716	717	718	719	719	720	721	722	723	723
5.3	724	725	726	727	728	728	729	730	731	732
5.4	732	733	734	735	736	736	737	738	739	740

## 常用対数表 (2)

(表中の数値は小数を表す)

5.50 ~ 9.99

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5.5	740	741	742	743	744	744	745	746	747	747
5.6	748	749	750	751	751	752	753	754	754	755
5.7	756	757	757	758	759	760	760	761	762	763
5.8	763	764	765	766	766	767	768	769	769	770
5.9	771	772	772	773	774	775	775	776	777	777
6.0	778	779	780	780	781	782	782	783	784	785
6.1	785	786	787	787	788	789	790	790	791	792
6.2	792	793	794	794	795	796	797	797	798	799
6.3	799	800	801	801	802	803	803	804	805	806
6.4	806	807	808	808	809	810	810	811	812	812
6.5	813	814	814	815	816	816	817	818	818	819
6.6	820	820	821	822	822	823	823	824	825	825
6.7	826	827	827	828	829	829	830	831	831	832
6.8	833	833	834	834	835	836	836	837	838	838
6.9	839	839	840	841	841	842	843	843	844	844
7.0	845	846	846	847	848	848	849	849	850	851
7.1	851	852	852	853	854	854	855	856	856	857
7.2	857	858	859	859	860	860	861	862	862	863
7.3	863	864	865	865	866	866	867	867	868	869
7.4	869	870	870	871	872	872	873	873	874	874
7.5	875	876	876	877	877	878	879	879	880	880
7.6	881	881	882	883	883	884	884	885	885	886
7.7	886	887	888	888	889	889	890	890	891	892
7.8	892	893	893	894	894	895	895	896	897	897
7.9	898	898	899	899	900	900	901	901	902	903
8.0	903	904	904	905	905	906	906	907	907	908
8.1	908	909	910	910	911	911	912	912	913	913
8.2	914	914	915	915	916	916	917	918	918	919
8.3	919	920	920	921	921	922	922	923	923	924
8.4	924	925	925	926	926	927	927	928	928	929
8.5	929	930	930	931	931	932	932	933	933	934
8.6	934	935	936	936	937	937	938	938	939	939
8.7	940	940	941	941	942	942	943	943	943	944
8.8	944	945	945	946	946	947	947	948	948	949
8.9	949	950	950	951	951	952	952	953	953	954
9.0	954	955	955	956	956	957	957	958	958	959
9.1	959	960	960	960	961	961	962	962	963	963
9.2	964	964	965	965	966	966	967	967	968	968
9.3	968	969	969	970	970	971	971	972	972	973
9.4	973	974	974	975	975	975	976	976	977	977
9.5	978	978	979	979	980	980	980	981	981	982
9.6	982	983	983	984	984	985	985	985	986	986
9.7	987	987	988	988	989	989	989	990	990	991
9.8	991	992	992	993	993	993	994	994	995	995
9.9	996	996	997	997	997	998	998	999	999	1.000

