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６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

⑴ **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。

⑵ 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。

⑶ **常用対数表をｐ９～11に添付しました。**

計算上必要な場合は、使用してください。

⑷ 「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。**

⑸ **試験問題に関する質問にはお答えできません。**

⑹ **「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。**

問1　向流の二重管式熱交換器を使用して、内管を流れる油を内管と外管との間を流れる冷却水で冷却している。ところが、内管の内表面に油の汚れが付着して、油の出口温度が上昇した。汚れ付着前後の運転条件は表1に示すとおりであり、そのうち汚れ付着前の運転条件は図1に示すことができる。以下の各問について、解答用紙の所定欄に図、根拠、計算式を示して答えよ。必要な場合は、図、根拠、計算式に表1の記号および数値を使用せよ。　（20点）

ここで、内管の内径　$d_1 = 0.046\ \mathrm{m}$

内管の厚さ　$x = 0.002\ \mathrm{m}$

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

油からの内管への熱伝達率　$h_1 = 500\ \mathrm{W/(m^2 \cdot K)}$

内管から冷却水への熱伝達率　$h_2 = 850\ \mathrm{W/(m^2 \cdot K)}$

とする。

ただし、汚れ付着前後の流量、比熱および伝熱面積は変わらないとして、外管から外部への熱損失はなく、冷却水側の汚れはないものとする。また、内管の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。

(1)　図1を参考にして、汚れ付着後の運転条件を図示せよ。

(2)　内管の外径 d_2［m］および内管の平均径 d_{av}［m］を求めよ。さらに、汚れ付着前の総括伝熱係数（熱貫流率）U［W/(m²･K)］（内管平均径基準）を求めよ。

(3)　汚れ付着後の冷却水の出口温度 t_{s2}［K］を求めよ。

(4)　汚れ付着前の算術平均温度差 ΔT［K］および汚れ付着後の算術平均温度差 ΔT_s［K］を求めよ。さらに、汚れ付着後の総括伝熱係数（熱貫流率）U_s［W/(m²･K)］（内管平均径基準）を求めよ。

表1　汚れ付着前後の運転条件

	汚れ付着前の運転条件	汚れ付着後の運転条件
伝熱面積	A［m²］	
伝熱速度 （単位時間当たりの伝熱量）	Q［W］	Q_s［W］
油の入口温度	$T_1 = 420\ \mathrm{K}$	$T_{s1} = 420\ \mathrm{K}$
油の出口温度	$T_2 = 380\ \mathrm{K}$	$T_{s2} = 385\ \mathrm{K}$
冷却水の入口温度	$t_1 = 290\ \mathrm{K}$	$t_{s1} = 290\ \mathrm{K}$
冷却水の出口温度	$t_2 = 303\ \mathrm{K}$	t_{s2}［K］

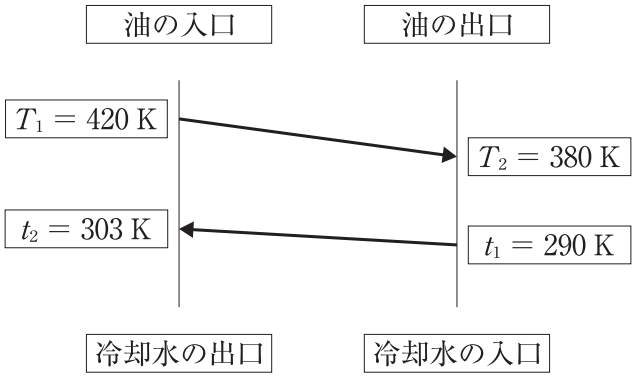
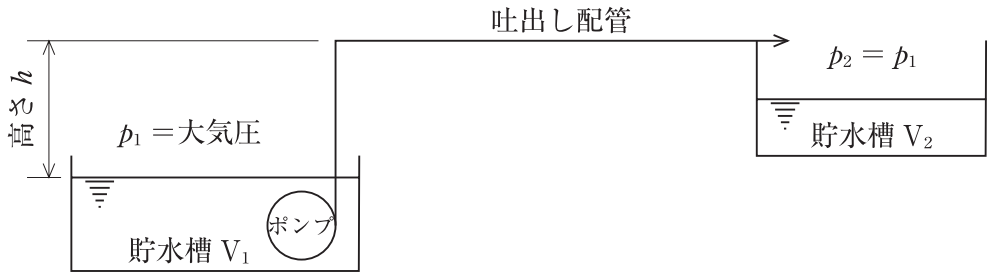


図１　汚れ付着前の運転条件

問2　下図に示す十分大きな貯水槽 V_1 の水をポンプにより上方高さ（貯水槽 V_1 の水面から吐出し配管の出口中心まで）$h = 10.0$ m にある貯水槽 V_2 に吐出し配管内平均流速 $\bar{u} = 2.00$ m/s で送水する。ここで、水の密度 $\rho = 1000$ kg/m^3、水の粘度 $\mu = 1.00 \times 10^{-3}$ Pa･s、重力加速度 $g = 9.8$ m/s^2、吐出し配管の全長（高さ h と曲がり管の相当長を含む。）$l = 100$ m、吐出し配管の内径 $D = 100$ mm、管摩擦係数 $f = 0.005$ とする。

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。　（20点）



図

(1)　吐出し配管内の平均流速における水のレイノルズ数 Re を求めよ。また、求めた Re の流れは、層流、乱流、遷移域のいずれであるか根拠を添えて述べよ。

(2)　吐出し配管における摩擦損失 F［J/kg］を求めよ。

(3)　送水に必要な機械的仕事 w［J/kg］を求めよ。

(4)　送水流量を質量流量 q［kg/s］で示せ。

(5)　送水に必要な理論動力 P_w［W］を求めよ。

問３　高圧ガス設備の溶接施工および溶接部の欠陥・劣化に関する次の各問について、解答用紙の所定欄に答えよ。　（20点）

⑴　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、その内容を述べよ。

⑵　溶接継手に生じる①、②、③の欠陥および劣化の原因、発生時期および防止策について、例示する低合金鋼の低温割れを参照して述べよ。

①　オーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 の粒界腐食

②　アルミニウム合金の高温割れ

③　疲労割れ

（例）低合金鋼の低温割れ

原因	不適切な溶接施工および熱処理により、拡散性水素が溶接金属中に拡散し、ある場所に凝集し溶接部に残留応力があると発生する。
発生時期	溶接直後あるいは溶接後ある時間経過後発生する。
防止策	低水素系溶接棒を採用する。 溶接棒の乾燥、適正な予熱・後熱、適正な溶接順序の選択を行う。

問4　十分に細長い真直棒（長さ L、断面積 A、断面二次モーメント I、縦弾性係数 E、線膨張係数 α）がある。

以下の各問について、解答用紙の所定欄に答えよ。　（20点）

(1)　まず、棒に座屈が生じない状態について考えよ。

1)　棒の両端が固定されておらず自由に伸縮できる状態で、温度が ΔT だけ上昇（$\Delta T > 0$ とする。）するときに、棒の長さ方向に生じる垂直ひずみ ε_0 を求めよ。ただし、伸びのひずみは正、縮みのひずみは負の符号をつけて表せ。

2)　棒の両端が固定されていて伸縮できない状態で、温度が ΔT だけ上昇（$\Delta T > 0$ とする。）すると、棒の長さ方向に熱応力 σ が生じる。このときの熱応力 σ の作用だけによって棒の長さ方向に生じる垂直ひずみ ε_1 を求めよ。ただし、熱応力 σ と垂直ひずみ ε_1 はいずれも、引張りのときを正、圧縮のときを負とせよ。

3)　棒の両端が固定されていて伸縮できない状態では、実際には $\varepsilon_0 + \varepsilon_1 = 0$ となる。このことを考慮して、棒の長さ方向に生じる熱応力 σ を、記号 L、A、I、E、α、ΔT のうち必要なものだけを用いて表せ。ただし、熱応力 σ は、引張りのときを正、圧縮のときを負とせよ。

(2)　次に、棒に生じる熱応力によって、座屈が生じる状態について考えよ。両端とも固定端の場合の座屈応力 σ_k は次式で表される。

$$\sigma_k = -\frac{4\pi^2 EI}{L^2 A}$$

この式において、右辺の負号は座屈応力が圧縮応力であることを表している。

(1)で求めた熱応力 σ によって座屈が生じる限界の温度上昇 ΔT を、記号 L、A、I、E、α のうち必要なものだけを用いて表せ。

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、気体のモル熱容量の比（比熱比）は $\gamma = 1.4$、モル気体定数は $R = 8.31$ J/(mol･K) とし、圧力は絶対圧力とする。必要な場合は次のページのグラフを使用せよ。

（20点）

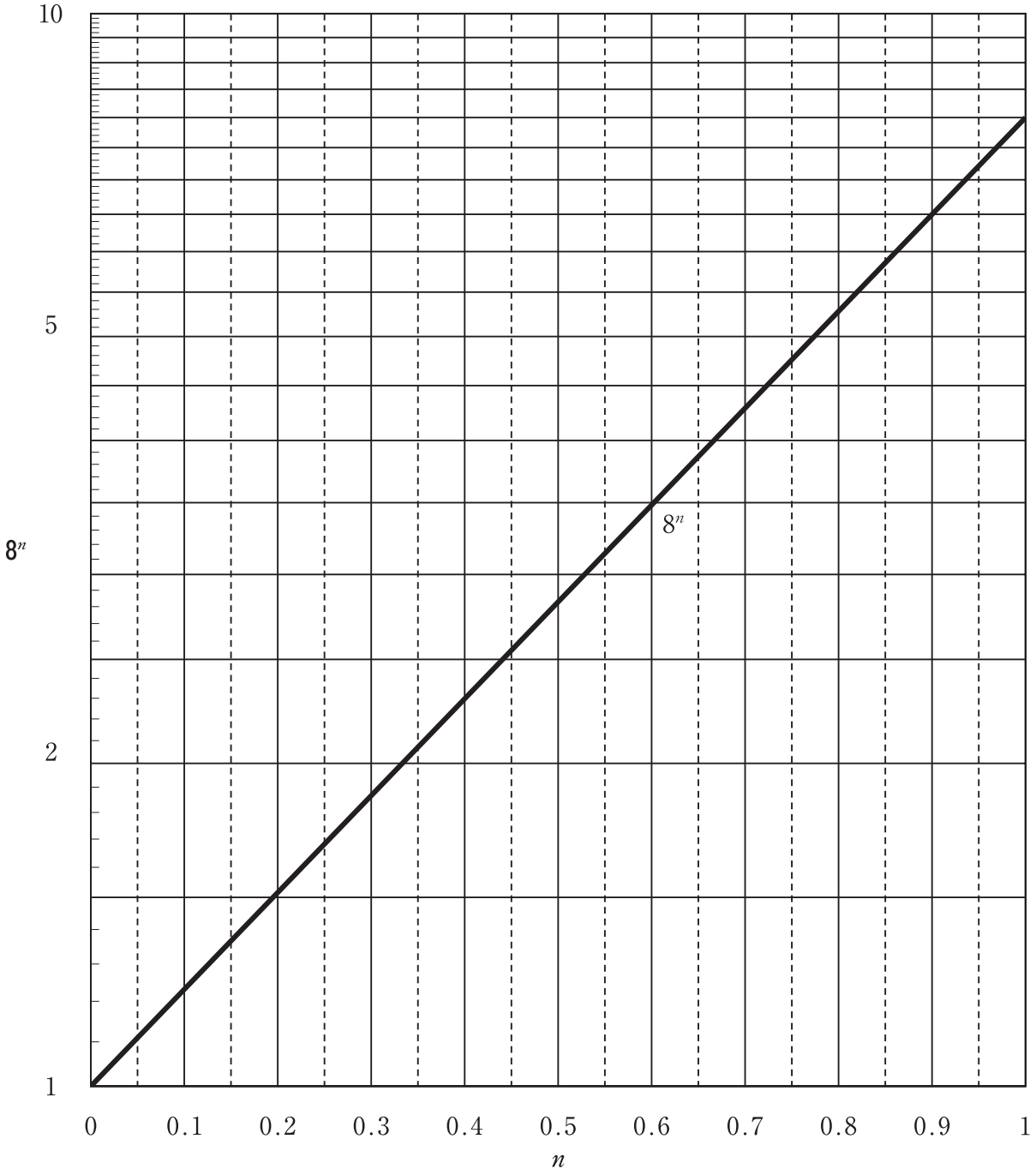
(1)　この気体の定圧モル熱容量 $C_{m,p}$［J/(mol･K)］および定容モル熱容量 $C_{m,V}$［J/(mol･K)］はいくらか。

(2)　この気体 3 mol を、圧力 $p_1 = 125$ kPa、温度 $T_1 = 300$ K の状態①から、圧力 $p_2 = 1$ MPa の状態②まで可逆断熱圧縮した。圧縮後の気体の温度 T_2［K］はいくらか。また、このとき圧縮に要した仕事 W_{12}［J］はいくらか。

(3)　次に、状態②から圧力一定で冷却すると、温度 $T_3 = 300$ K の状態③となった。このとき気体から取り去った熱量 Q_{23}［J］はいくらか。

(4)　状態②から状態③に変化する過程で、気体になされた仕事 W_{23}［J］はいくらか。

(5)　この気体 3 mol を、温度一定で状態①から状態③まで圧縮する場合に必要な仕事 W_{13}［J］はいくらか。


10
5
2
1
8^n
8^n
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
n

常用対数表は 9 ～ 11 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（$e = 2.718\cdots\cdots$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