

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 3 年度

甲 種 機 械

学識試験問題

E Z

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 7 ~ 9 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 二重管式熱交換器を使用して、内管内の油を外管と内管の間の飽和蒸気の凝縮熱によって加熱する。油の流量 G は 8000 kg/h 、油の入口温度 T_1 は 303 K 、出口温度 T_2 は 363 K 、飽和蒸気温度 T_s は 433 K である。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。ただし、外管から外部への熱損失はないものとする。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を用いよ。 (20点)

ただし、内管の外径	$d_1 = 60 \text{ mm}$
内管の厚さ	$x = 4 \text{ mm}$
内管の熱伝導率	$\lambda = 50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
蒸気から内管への熱伝達率	$h_1 = 8000 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
内管から油への熱伝達率	$h_2 = 600 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
飽和蒸気 (433 K) の比エンタルピー	$i_1 = 2754 \text{ kJ/kg}$
飽和水 (433 K) の比エンタルピー	$i_2 = 674 \text{ kJ/kg}$
油の比熱容量 (比熱)	$c = 2.64 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$

とする。

- (1) 内管の内径 d_2 [mm] と内管の平均径 d_{av} [mm] および、飽和蒸気から油への総括伝熱係数 U [$\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$] (内管平均径基準) を求めよ。
- (2) 熱交換器の平均温度差 ΔT_{av} [K] および所要伝熱管長さ L [m] を求めよ。
- (3) 凝縮蒸気量 W [kg/h] を求めよ。

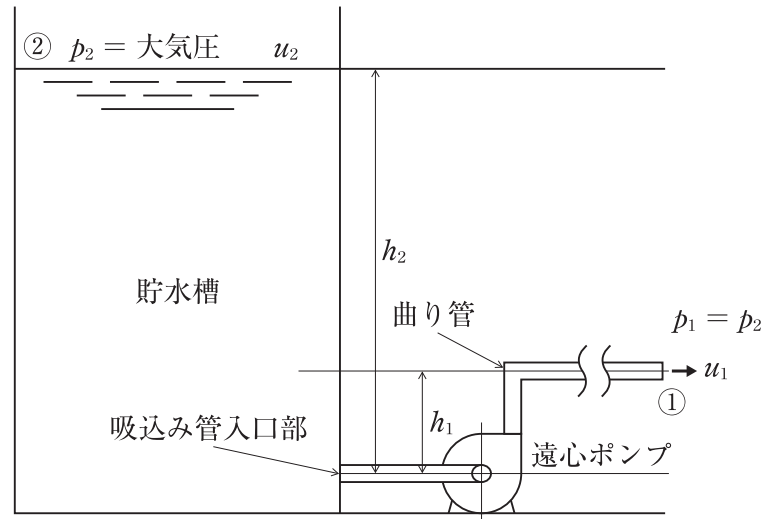
なお、必要な場合、計算式に下記の記号を使用する。

熱交換器の伝熱面積	A [m^2]
熱交換器の単位時間当たりの伝熱量	Q [W]
飽和蒸気温度と油の入口温度との差	ΔT_1 [K]
飽和蒸気温度と油の出口温度との差	ΔT_2 [K]

問2 下図に示すような貯水槽に接続された遠心ポンプを使って、図中①から水を流量 $q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ で流出させている。以下の各問について解答用紙の所定欄に根拠を示して答えよ。(20点)

ここで、

- ・貯水槽からポンプへの吸込み管路の入口部を基準として、貯水槽の液面②までの高さ $h_2 = 10 \text{ m}$ 、流出点①における配管中心までの高さ $h_1 = 2 \text{ m}$ とする。
- ・①における圧力を p_1 、平均流速を u_1 、②における圧力を p_2 (ただし $p_2 = p_1 = \text{大気圧}$)、平均流速を u_2 とする。
- ・水の密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、水の粘度 $\mu = 1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ で変化はないものとする。
- ・使用する管の内径 $D = 100 \text{ mm}$ とする。管摩擦係数 $f = 0.005$ とする。
- ・管路の全長 $l = 100 \text{ m}$ (吐出し管路では曲り管の相当長、吸込み管路では入口部の相当長を含む) とする。
- ・重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とする。



図

- (1) 管路の平均流速におけるレイノルズ数 Re を求めよ。
- (2) 管路における全損失 F [J/kg] を求めよ。
- (3) 貯水槽の液面②の状態から流出点①の状態にするために、単位質量当たりの水について必要な機械的仕事 w [J/kg] をベルヌーイの式 (エネルギー保存則の式) を使って示せ。
また、送液に必要な理論動力 P_w [W] を、機械的仕事 w [J/kg] と質量流量 q_m [kg/s] を使って示せ。
- (4) 貯水槽は十分大きく、 $u_2 = 0$ とし、理論動力 P_w [W] を求めよ。

問3 高圧ガス設備の非破壊試験のうち、放射線透過試験、磁気探傷試験（磁粉探傷試験）、渦電流探傷試験（渦流探傷試験）それぞれの原理と方法、検出する欠陥の種類と位置および適用対象について、例示する事項を参照して、解答用紙の所定欄に答えよ。（20点）

（例）超音波探傷試験

原理と方法	試験体に超音波を入射すると、欠陥が存在する場合には、その欠陥によって超音波が反射または散乱する。この超音波の反射、散乱から試験体中の欠陥の有無や形状を検査する。
欠陥の種類と位置	試験体の内部および表面の欠陥、特に、疲労き裂、応力腐食割れなどの微細な割れ
適用対象	放射線と比べて、減衰が少ないため厚肉の試験体にも適用できる。

問4 両端を閉じた薄肉円筒胴の圧力容器に関する以下の各問について、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 、内圧による胴の内径の増加量を ΔD 、胴の厚さを t とし、胴の材料の縦弾性係数を E 、ポアソン比を ν とする。必要に応じて円周率の記号 π を用いよ。(20点)

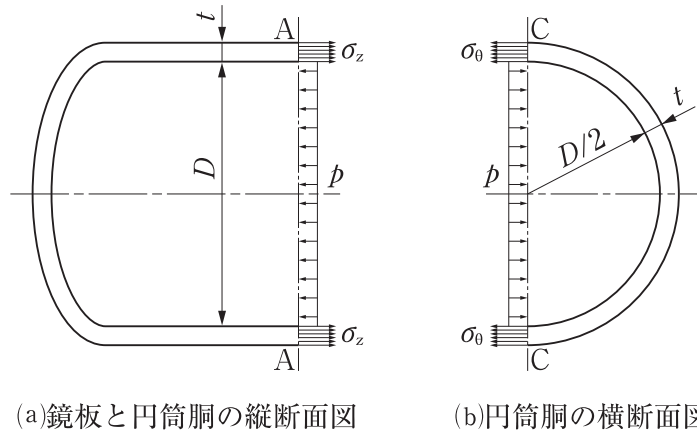


図1 内圧が作用する薄肉円筒胴の圧力容器

まず、図1(b)のC-C断面について考え、胴に生じる円周応力 σ_θ を導出する。

- (1) 軸方向単位長さあたりに内圧 p が作用する面積 (投影面積) を、記号 D を用いて表せ。
- (2) 軸方向単位長さあたりに円周応力 σ_θ が作用する面積を、記号 t を用いて表せ。
- (3) C-C断面における力の釣合い式を示せ。
- (4) 胴に生じる円周応力 σ_θ を導出し、記号 p 、 D 、 t を用いて表せ。

次に、図1(a)のA-A断面について考え、胴に生じる軸応力 σ_z を導出する。

- (5) 内圧 p が作用する面積 (投影面積) を、記号 D を用いて表せ。
- (6) 軸応力 σ_z が作用する面積を、記号 D と t を用いて近似的に表せ。
- (7) A-A断面における力の釣合い式を示せ。
- (8) 胴に生じる軸応力 σ_z を導出し、記号 p 、 D 、 t を用いて表せ。

さらに、胴の変形について考える。

- (9) 内圧が作用する前後で胴の内径が D から $D + \Delta D$ に変化することを踏まえて、円周ひずみ ε_θ を導出し、記号 D と ΔD を用いて表せ。
- (10) 胴の円周ひずみ ε_θ は、平面応力状態でのフックの法則から、

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

と表せる。この関係式を利用して、内圧による胴の内径の増加量 ΔD を導出し、記号 p 、 D 、 t 、 E 、 ν を用いて表せ。

問5 理想気体の圧縮に関する以下の各問について、解答用紙の所定欄に答えよ。なお、計算問題は計算式も記すこと。ただし、圧力 p は絶対圧力、温度 T は絶対温度とし、体積は V 、比熱容量の比（比熱比）は γ で表すものとする。 (20点)

- (1) 下図はすきま容積のない1段圧縮のサイクルを表す p - V 線図である。A→B→C→D→A が圧縮機のサイクルを示し、A→B が圧縮行程である。圧縮の仕事（絶対仕事） W_{12} とサイクルの正味の仕事（工業仕事） W_t のそれぞれが、 p - V 線図上のどの領域の面積に相当するか表せ。例えば、ABCOA' の面積は、「①+②+③+④」と表せ。

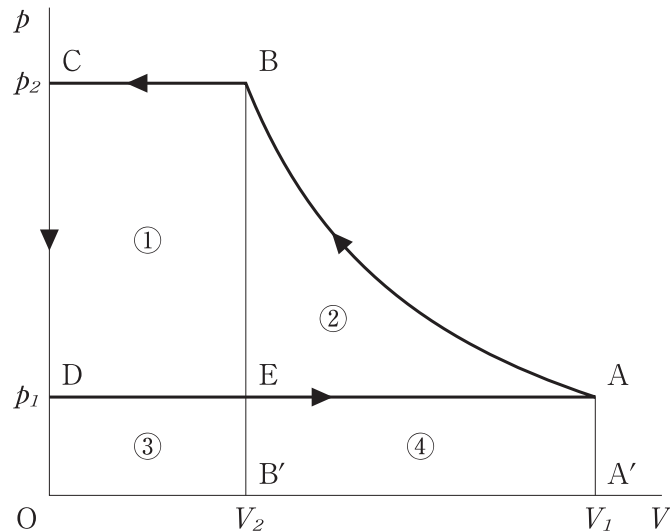


図 p - V 線図

- (2) A→B の行程が等温圧縮のとき、絶対仕事 W_{12} と工業仕事 W_t が等しくなることを、 p - V 線図上の面積の関係を用いて説明せよ。
- (3) A→B の行程が断熱圧縮とする。圧縮前の状態が $p_1 = 0.1$ MPa、 $V_1 = 1.0$ m³、 $T_1 = 300$ K であり、圧縮後の圧力が $p_2 = 0.5$ MPa のとき、圧縮後の体積 V_2 [m³]、温度 T_2 [K] を求めよ。ただし、 $\gamma = 1.40$ とし、必要であれば指数計算の表の数値を用いよ。

n	$\frac{0.40}{1.40}$	0.40	$\frac{1}{1.40}$	1.40	$\frac{1}{0.40}$	$\frac{1.40}{0.40}$
5 ⁿ	1.584	1.904	3.157	9.518	55.90	279.5

- (4) 上記(3)の場合、絶対仕事 W_{12} [kJ]、工業仕事 W_t [kJ] を求めよ。

常用対数表は 7 ~ 9 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

