2022 年度（令和 4 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

専門試験問題

（電気・機械工学系プログラム　機械工学）

注　意　事　項

1．試験開始の指示があるまで，この問題冊子を開いてはいけません。

2．問題は，1ページから 10 ページまであります。解答用紙は，5枚あります。ページの脱落等に気付いたときは，手をあげて監督者に知らせてください。

3．下記表の問題を全て解答してください。1題につき解答用紙1枚を使用して解答してください。解答用紙の追加配付はありません。

問題番号	出題科目
18	制御工学
22	力学・材料力学
23	流体力学
24	熱力学
25	生産加工

4．監督者の指示に従って，問題番号，志望プログラム及び受験番号を5枚の解答用紙の該当欄に必ず記入してください。

5．計算用紙は，問題冊子の白紙ページを利用してください。

6．解答用紙の裏にも解答を記入する場合には，表と上下を逆にして記入してください。

7．机の上には，受験票，黒の鉛筆・シャープペンシル，消しゴム，鉛筆削り及び時計（計時機能だけのもの）以外の物を置くことはできません。

8．コンパス及び定規等は，使用できません。

9．時計のアラーム（計時機能以外の機能を含む。）は，使用しないでください。

10．スマートフォン，携帯電話，ウェアラブル端末等の音の出る機器を全て机の上に出し，それらの機器のアラームを解除してから，電源を切り，かばん等に入れてください。

11．試験終了まで退室できません。試験時間中に用がある場合は，手をあげてください。

12．試験終了後，この問題冊子は持ち帰ってください。

問題 18　制御工学　設問すべてについて解答すること。

Ⅰ　図１のフィードバック制御系において，次の（１）～（３）の問いについて答えよ。

（１）　$G(s)=\frac{1}{s(s+4)}$，$H(s)=K$とする。入力$r(t)$から出力$y(t)$までの伝達関数の減衰係数が$1/\sqrt{2}$となる実数Kを求めよ。

（２）　$G(s)=\frac{1}{s(s+4)}$，$H(s)=as+b$とする。フィードバック制御系の極が｛-1，-10｝となる実数a，bを求めよ。

（３）　$G(s)=\frac{1}{s(s+p)}$，$H(s)=5$とする。入力$r(t)$として

$$r(t)=\begin{cases}0 & (t<0)\\ 1 & (0\le t)\end{cases}$$

を加えたとき $r(t)-y(t)$ は次式となった。実数pを求めよ。

$$r(t)-y(t)=e^{-t}\left(\cos 2t+\frac{1}{2}\sin 2t\right)$$

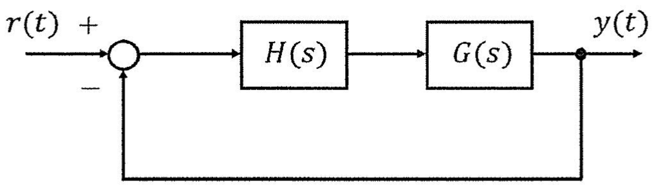


図１

Ⅱ　図２の電気回路において，入力電圧を$v_i(t)$，出力電圧を$v_o(t)$としたときの伝達関数を求めよ。

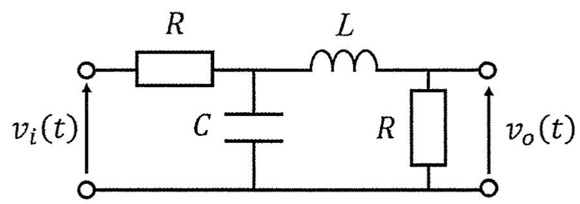


図２

Ⅲ　伝達関数 $G(s) = a\frac{(s+b)(s+c)}{s^d(s+f)}$ について考える（dは整数，a, b, c, f は正の実数であり$b < c$を満たす）。図３は横軸を対数目盛とした伝達関数 $G(s)$ のゲイン線図の概形図（折れ線近似）である。(a, b, c, d, f)の値をそれぞれ求めよ（なお，ω_1~ω_4を適宜用いること）。

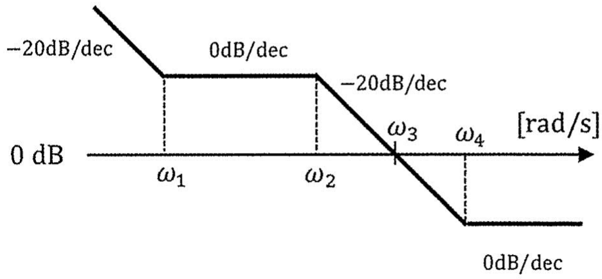


図３

Ⅳ　つぎの時間関数 $f(t)$ のラプラス変換を求めよ。

$$f(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 & (0 \leq t < 1) \\ 2 & (1 \leq t < 2) \\ 0 & (2 \leq t) \end{cases}$$

問題 22　力学・材料力学　設問すべてについて解答すること。

I　長さL，質量Mの細長い剛体棒 AB の重心を G とすると，この剛体棒は GB の中央点 O でピン支持されている。剛体棒は端点 A に水平方向に対して 30° の角度でつながれたケーブル AC によって図１のような配置で平衡状態にある。このとき，次の（1）～（4）の問いについて答えよ。ただし，図１のように水平方向にx軸，鉛直方向にy軸となる座標を取り，重力加速度をgとする．剛体棒 AB の重心に関する慣性モーメントは$I_G = ML^2/12$で与えられる。

（1）ピン支持点 O に関する剛体棒 AB の慣性モーメントI_Oを求めよ。

（2）図１のように剛体棒 AB が平衡状態にあるとき，ケーブルの張力Tを求めよ。

（3）ケーブルを静かに切り離した直後の剛体棒 AB の回転角加速度αを求めよ。

（4）ケーブルを切り離した後，剛体棒 AB は 90° 回転して図１の点線の位置に到達した。このときの剛体棒 AB の回転角速度ωを求めよ。

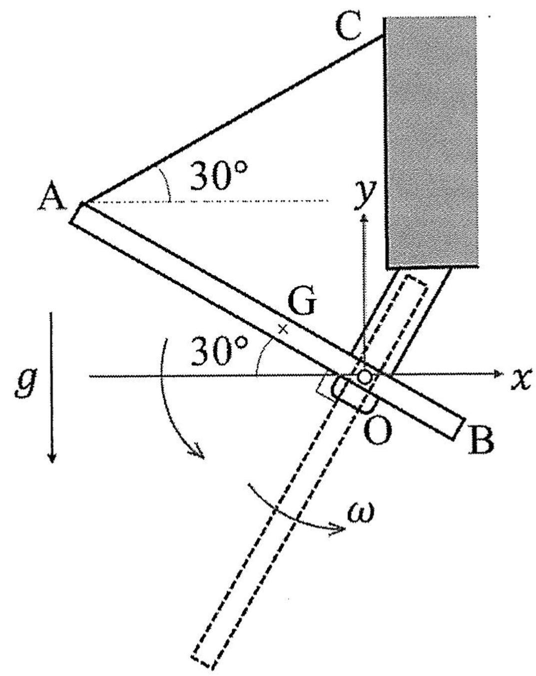


図１

II　図２に示すように，長さ L のはり AB が，左端 A を回転支点，A より距離 $4L/5$ にある断面 C を移動支点で支持され，はり最上面に単位長さ当たり w の等分布荷重を受けている。左端面 A の図心 G を原点とし，はりに沿って右向きに x 軸，下向きに y 軸，両軸と直交する方向に z 軸を定義する。はりの yz 断面は，図３に示すような底辺の長さ b，高さ h の二等辺三角形である。横断面に作用する曲げモーメント M は図４に示す方向を正とする。はりの変形は，はりの長さに比べて十分に小さいとして，以下の（１）～（４）の問いに答えよ。

（１）　A 点と C 点での反力 R_A，R_C の大きさを求めよ。

（２）　断面 A から距離 x（$0 \le x \le 4L/5$）の断面に生ずる曲げモーメント $M(x)$ を w，L，x を用いて求めよ。

（３）　AC 間（$0 \le x \le 4L/5$）の横断面に生ずる曲げモーメントの大きさが最大となる断面を D とする。断面 D の A からの距離 x_D，断面 D に生ずる曲げモーメント M_D を求めよ。

（４）　はりの横断面の断面２次モーメントを $bh^3/36$，断面 C と D に生ずる曲げモーメントの大きさを $|M_C|$，$|M_D|$ とするとき，断面 C と D に生ずる最大引張応力 σ_C, σ_D を $|M_C|$，$|M_D|$，b，h を用いて示せ。

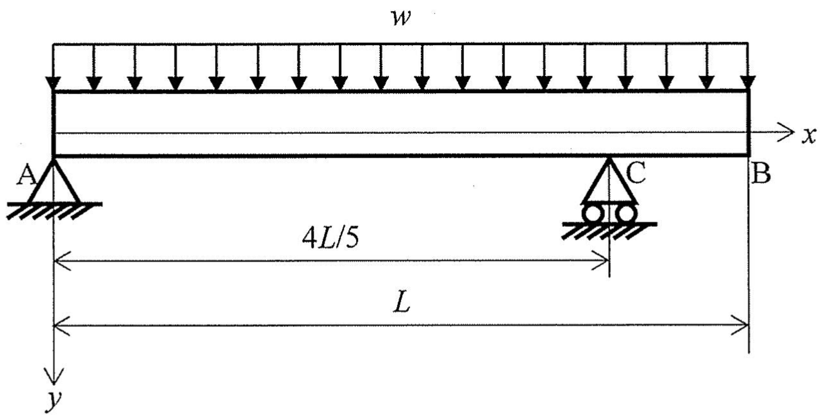
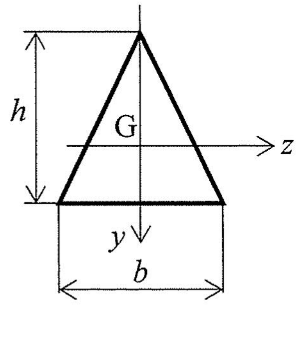


図２



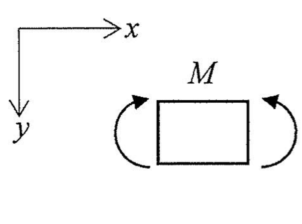


図３　　　　　　図４

問題 23　流体力学　設問すべてについて解答すること。

解答の注意：設問Ⅰを表面に，設問Ⅱ，Ⅲを裏面に記入すること。また，各設問の小問について，たとえば，<u>（1） $x=y+z$</u> のように，最終的な解答に小問の番号を付して下線で明示すること。

Ⅰ　図１に示すように，材質および直径の異なる３本の水平な円管を通って貯水タンク（水位一定）から，一定流速 v の水が大気に放出されている。円管 1，2，3 の直径を d_1, d_2, d_3 (ただし，$d_3 < d_1 < d_2$)，長さを l_1，l_2，l_3 (ただし，$l_2 < l_3 < l_1$)とし，それらの管摩擦係数を λ_1，λ_2，λ_3 とする。また，タンクから管路への流れの入口損失係数を ζ_1，急拡大損失係数を ζ_2，急縮小損失係数を ζ_3 とする。重力加速度を g とする。このとき，次の（1）～（4）の問いについて答えよ。その際，問題文中で使用されている文字以外を使用しないこと。

（1）管路系の全摩擦損失ヘッド h_f を求めよ。
（2）管１と管２の接続に伴う急拡大損失係数 ζ_2 を求めよ。
（3）全局所損失ヘッド h_s を求めよ。ただし，急拡大損失係数 ζ_2 を用いること。
（4）タンクのヘッド H（管中心からのタンクの水面までの高さ）を求めよ。ただし，全摩擦損失ヘッド h_f と全局所損失ヘッド h_s を用いること。

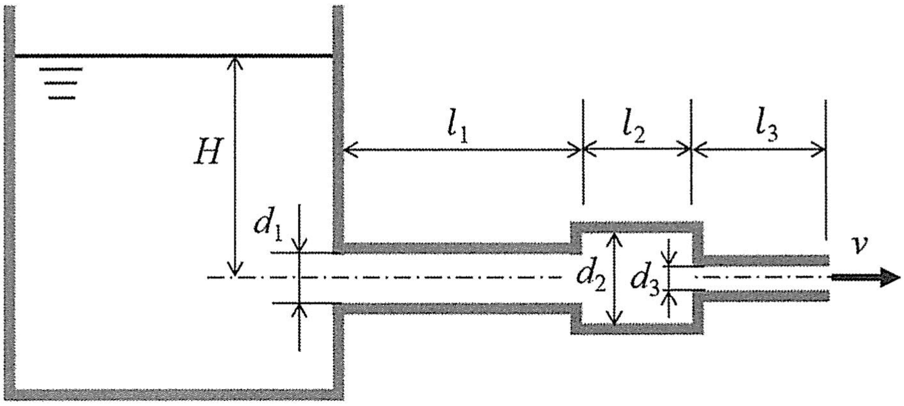


図１

Ⅱ　長さの次元 $[L]$，質量の次元 $[M]$，および時間の次元 $[T]$を用いて，次の（1）～（5）の物理量の次元を示せ。

（1）質量流量

（2）圧力

（3）粘度（粘性係数）

（4）表面張力

（5）動力

Ⅲ　複素平面 $z = x + iy$（i は虚数単位）における2次元ポテンシャル流を考える。このとき，次の（1）～（3）の問いについて答えよ。

（1）流速 V で，y 軸と平行な流線を持つ流れの複素ポテンシャル $W(z)$を求めよ。ただし，流れ方向は y 軸の正の方向とする。

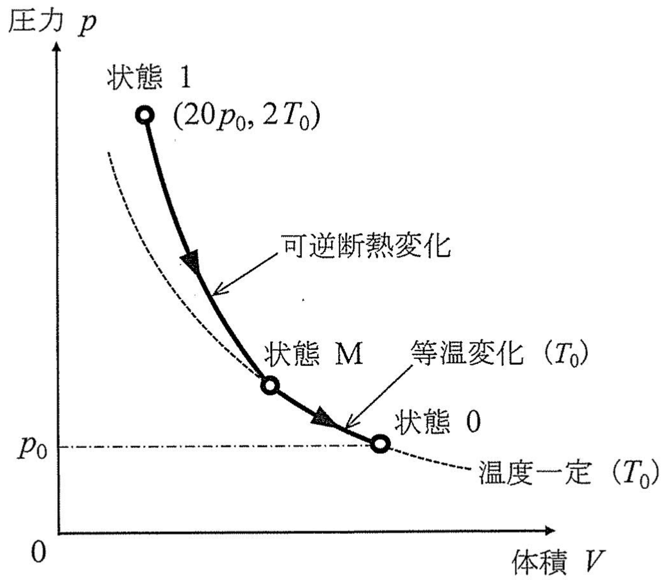
（2）x 軸に平行に流れる流速 U の一様流中に置かれた循環 Γ（時計回りを正とする）を持つ回転円柱（半径 R）に働く単位幅当りの揚力 L とその向き求めよ。ただし，流体の粘度を μ，密度を ρ とする。流れ方向は x 軸の正の方向とする。

（3）$y \geq 0$ では U_1，$y < 0$ では U_2 である x 軸に平行な流れ（$U_2 > U_1 > 0$）により形成される渦層がある。この時，頂点の座標（x, y）が A (l, h)，B $(-l, h)$，C $(-l, -h)$，D $(l, -h)$である長方形 ABCD で囲まれる循環 Γ（反時計回りを正とする）を求めよ。

問題24　熱力学　設問すべてについて解答すること。

ピストンとシリンダーで構成される閉じた系があり，系の作動物質を理想気体とする。この理想気体の状態を圧力 p [Pa]，温度 T [K]，体積 V [m^3] で表し，気体の質量を m [kg]，気体定数を R [J/(kg·K)] で表す。ここで，比熱比 κ の値を $\kappa = 7/5$ とする。この閉じた系の周囲（外界）の圧力と温度はそれぞれ p_0 [Pa]，T_0 [K] であり，これらの値は常に一定に保たれる。なお，理想気体の定積比熱 c_v [J/(kg·K)] と定圧比熱 c_p [J/(kg·K)] の間にはマイヤーの関係 $c_p - c_v = R$ が成立する。

下図に示す過程でこの系が状態1から状態0まで状態変化する（状態1 → 状態M → 状態0）。ここで，状態1の圧力と温度をそれぞれ $20\,p_0$ [Pa]，$2\,T_0$ [K] とし，状態0の圧力，温度，体積をそれぞれ p_0 [Pa]，T_0 [K]，V_0 [m^3] とする。以下の問いに答えよ。ただし，熱と仕事の符号（正負）については，系が外部から熱を得る場合（系の内部エネルギーが増加する場合）を「正」，外部に仕事をする場合を「正」とする。



次の（1）～（10）の問いに答えよ。

（1）状態0での気体の体積 V_0 を p_0，T_0，m，R から必要な記号を用いて表せ。

（2）状態1での気体の体積 V_1 を p_0，T_0，V_0，m，R から必要な記号を用いて表せ。

（3）この理想気体の定積比熱 c_v と定圧比熱 c_p の値を気体定数 R を用いて表せ。

（4）系が状態1から可逆断熱変化してその温度が T_0 になった。このときの系の状態を記号Mで表す。状態Mの気体の体積 V_M を p_0，T_0，V_0，m，R から必要な記号を用いて表せ。

（5）状態1から状態Mまでの可逆断熱変化により系がする絶対仕事（気体の体積変化による仕事）を p_0，T_0，V_0，m，R から必要な記号を用いて表せ。

（6）状態Mから状態0までの等温変化（T_0）により系が周囲から得る熱を p_0，T_0，V_0，m，R から必要な記号を用いて表せ。

（7）系が図に示す過程で状態1から状態0まで変化するとき，系の絶対仕事を T_0，m，R から必要

な記号を用いて表せ。

閉じた系が状態 1 にあるとき，そのエクセルギー E_1 は $E_1 = (U_1 - U_0) - T_0(S_1 - S_0) + p_0(V_1 - V_0)$ で与えられる。ここで，U [J]，S [J/K] はそれぞれ内部エネルギー，エントロピーを表す。また，添字 0 は系が周囲（外界）と平衡にあることを表す。

（8）内部エネルギーの変化 $U_1 - U_0$ を求めて，T_0，m，R から必要な記号を用いて表せ。

（9）エントロピーの変化 $S_1 - S_0$ を求めて，T_0，m，R から必要な記号を用いて表せ。

（10）エクセルギー E_1 を求めて，T_0，m，R から必要な記号を用いて表せ。

問題 25　生産加工　設問すべてについて解答すること。

I　次の（1）～（3）の問いについて答えよ。

図 1 は，Fe-C 系状態図の一部の模式図である。以下，必要に応じて図 1 を用いよ。

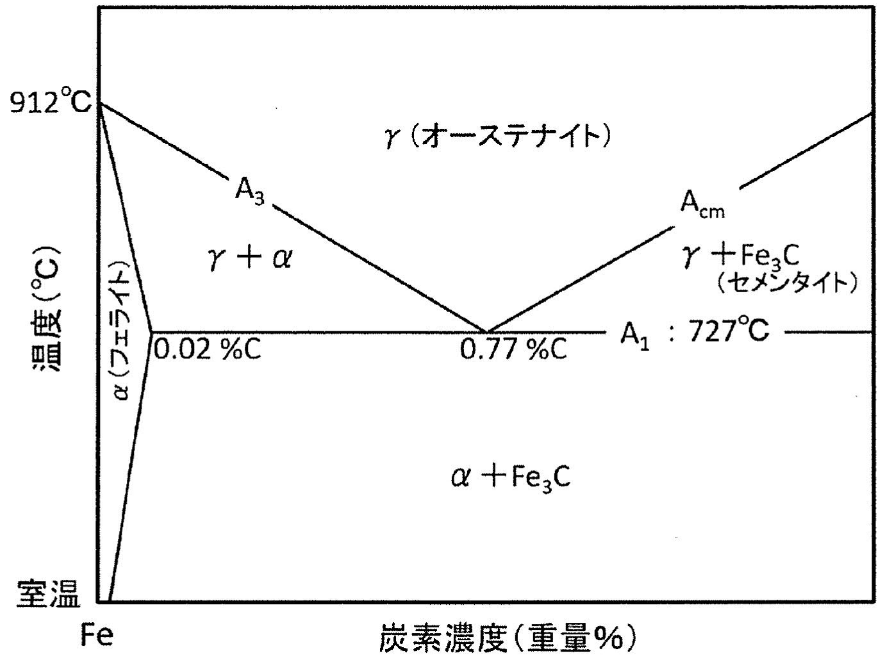


図 1　Fe-C 系状態図の模式図

（1）炭素濃度が B（$0.02 < B < 0.77$）の材料を 920℃からゆっくり室温まで冷却した。その組織の初析フェライトとパーライトの比率を，てこの法則に基づいて，濃度 B と図 1 中の数値を使って示せ。

（2）拡散変態が起こる範囲では，冷却速度を大きくするほど組織が細かくなる．この理由を「過冷度」，「核生成頻度」，「組織の体積分率」という言葉を使って説明せよ。

（3）組織の細かさと機械的性質（降伏点）の関係を，ホール－ペッチの式を用いて説明せよ。

II　降伏点Y_0が400 [MPa]の薄肉円管が2本ある。いずれも厚みは0.10 [mm]，外側の円周長さは100 [mm]（外側の直径が$100/\pi$，ただしπは円周率），長手方向の全長は900 [mm]である。これらの管を以下の方法で降伏させる。以下の問いに答えよ。ただし，降伏はTresca（トレスカ）の降伏条件に従うとし，小数点以下は切り捨てよ。

（1）1本目の管を，長手方向に引張って降伏させるために，必要な荷重 [N]を予想せよ。

（2）2本目の管を，長手方向に引張りかつ長手方向の軸周りにねじって降伏させるために，必要なせん断応力τ [MPa]を予想せよ。ただし，この管の断面（Z面）には，せん断応力τと引張応力σ が生じており，$\sigma=2\tau$の条件になっている。Θ面には，Z面のせん断応力に共役なせん断応力が生じていて，またΘ面には垂直応力は作用していない。R面は応力のない面である。円管のR面，Θ面，Z面の場所については図2に模式的に示す。

（3）上記の問い（2）に記述した応力状態に対する3個のモールの応力円を示せ。さらに R面，Θ面，Z面で生じている応力状態を示す点を，これらのモールの応力円上にプロットし，点の近くにR面，Θ面，Z面と記せ．ただし，管をねじる方向は，時計周りでも反時計周りでも構わない。

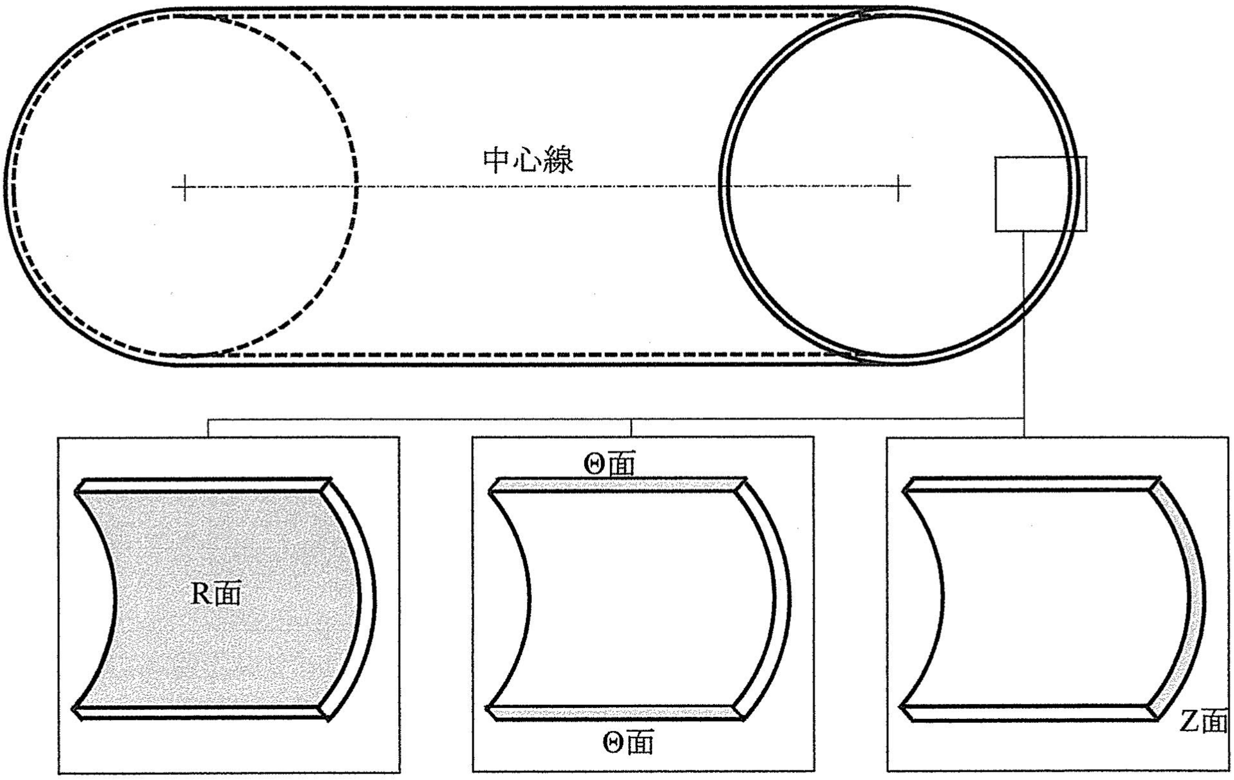


図２　　円管の (a) R 面, (b) Θ 面, (c) Z 面