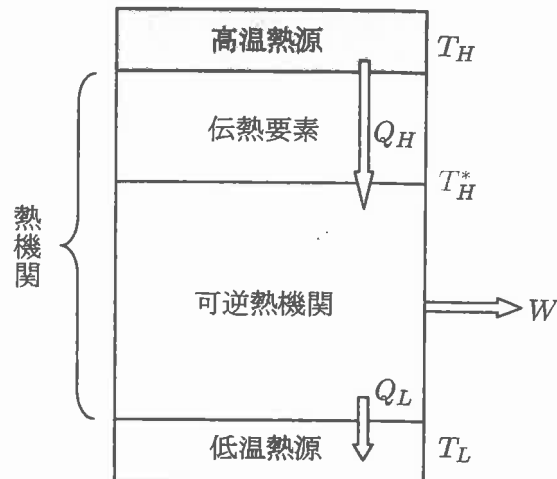


機械科学 II

(問題1から問題3の全てに解答し、それぞれ別の答案用紙に記入せよ。各問題に2枚以上の答案用紙を用いる場合には、「問題1 (2枚目)」などのように記入せよ。)

問題1 (次の(1)、(2)の両方を解答し、それぞれ別の答案用紙に記入せよ。)

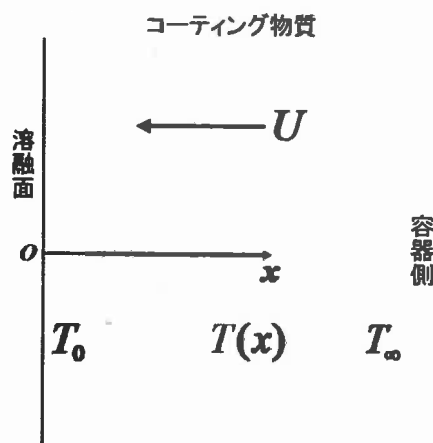
- (1) カルノーサイクルで運転される可逆熱機関は、熱平衡を仮定した等温の受熱、放熱過程を含むが、実際の熱機関では有限の伝熱面積を介して熱の授受を行うため、熱源と熱機関との間に有限温度差が必要である。この温度差の影響を考えるため、下図に示すような高温熱源と可逆熱機関との間に伝熱要素を付加した熱機関を考える(簡単化のため、低温熱源と熱機関との間は熱平衡にあるものとする)。高温熱源の絶対温度を T_H 、伝熱要素と可逆熱機関の接する面の絶対温度を T_H^* 、伝熱要素を介して可逆熱機関に供給される熱量を Q_H 、低温熱源の絶対温度を T_L 、低温熱源への放熱量を Q_L とする。また、供給熱量 Q_H は C を正の定数として、 $Q_H = C(T_H - T_H^*)$ で与えられるものとする。 T_H, T_L は一定であり、 $T_H > T_H^* > T_L > 0$ であるものとして、以下の設問に答えよ。
- (a) この熱機関から得られる仕事量 W を Q_H と Q_L を用いて表せ。
- (b) 可逆熱機関ではエントロピの生成量がゼロであることから、 T_H^*, Q_H, T_L, Q_L の間に成り立つ関係式を示せ。
- (c) (a)と(b)の結果から、この熱機関から得られる仕事量 W と熱効率 η^* を、 C, T_H, T_H^*, T_L のうち必要なものを用いて表せ。
- (d) この熱機関から得られる仕事量が最大になる T_H^* を、 T_H と T_L を用いて表し、このような T_H^* が存在する理由を簡潔に述べよ。
- (e) この熱機関が最大仕事をするときの熱効率 η^* は、伝熱要素を除いた場合の熱効率 η よりも小さくなる ($\eta^* < \eta$) ことを示せ。



伝熱要素を付加した熱機関モデル

問題1の続き

- (2) 高温にさらされる容器内の温度を一定に保つため、容器表面を高温で溶融・気化する物質でコーティングし、その気化潜熱を利用した冷却が行われている。コーティング物質内の温度分布を見積もるために、以下のモデルを考える。下図に示すように、溶融面（平面とする）に垂直に物質内に向かって座標 x をとる。その原点を溶融面にとると、この座標系では物質内の任意の点は一定の速さ U で溶融面に向かってゆっくり動いてくるように見える。コーティング物質は x 軸方向には十分厚いとして、その温度 T は x だけに依存し、時間には依存しない定常状態にあると仮定する。現象は定圧下で発生するものとして、コーティング物質の熱による変形の影響は無視し、物質の密度を ρ 、熱伝導率を k 、定圧比熱を c_p とし、これらの値は一定であるとする。以下の問いに答えよ。
- (a) コーティング物質内を熱伝導により、 x 軸の正の向きに流れる単位面積当たりの熱流 q を、フーリエの法則が成り立つと仮定して、 $T(x)$ 、 k を用いて表せ。
- (b) 単位面積当たりの熱流および熱伝導率の単位を、質量[kg]、長さ[m]、時間[s]、温度[K]で表せ。
- (c) コーティング物質の単位質量あたりのエンタルピ h を絶対温度 T によって示せ。
- (d) 単位時間に x 軸の正の向きに運ばれる、単位面積当たりのエネルギー流束 F を示せ。ただし、運動エネルギーの寄与は無視する。
- (e) 定常状態を仮定しているから、エネルギー流束は位置 x によらず一定でなければならない。これから温度 T を支配する方程式を導出せよ。
- (f) (e)で導出した方程式を解け。ただし、 $x=0$ での温度を T_0 とし、 $x \rightarrow \infty$ での温度を T_∞ とする。
- (g) (f)の結果から、(d)で考えたエネルギー流束の値を求めよ。



容器のコーティングのモデル

問題2

- (1) 質点 1(質量 m), 質点 2(質量 M), 質点 3(質量 m)が, 摩擦を無視できる水平な床に置かれている. 図 1 に示すように, これらは, ばね定数が k で, 質量の無視できるばねによって, x 軸上で直線状につながれている. 以下の問いに答えよ. ただし, 各質点は x 軸方向のみに運動し, 各質点の平衡位置からの変位をそれぞれ x_1, x_2, x_3 とする.

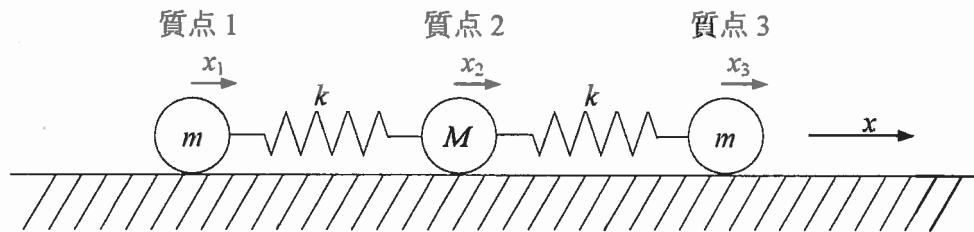


図 1

- (a) 各質点の運動方程式を示せ.
 (b) この系の固有角振動数を求めよ.
 (c) 各固有振動における質点 1, 2, 3 の振幅比は, $1: 0: -1, 1: -2m/M: 1$ となることを示せ. ただし, ここでは逆向きの運動を負号で表す.
 (d) (c)の結果に加え, 系全体が並進運動できることを考慮して,

$$\begin{aligned} x_1 &= X_1 + X_2 + X_3 \\ x_2 &= X_1 - \frac{2m}{M} X_3 \\ x_3 &= X_1 - X_2 + X_3 \end{aligned}$$

で示すような座標変換 (X_1, X_2, X_3 は並進運動および固有振動に対する一般化座標となる) を行う. X_1, X_2, X_3 を用いてラグランジアンを表せ. またラグランジアンから, X_1, X_2, X_3 に対する運動方程式を導出せよ.

- (2) 問(1)に示したばね質点系が, $t < 0$ では静止していた. $t = 0$ において, 力積 P の x 軸方向の撃力が質点 1 に与えられると, 各質点は運動しはじめた.
- (a) 撃力が加えられた直後の質点 1 の速度から, $t > 0$ における系のエネルギーを求めよ.
 (b) $t > 0$ における, 並進運動および各固有振動の運動(すなわち, X_1, X_2, X_3) を求めよ.
 (c) $t > 0$ における, 並進運動および各固有振動のエネルギーを求めよ. また, それらの和が (a) で求めたエネルギーと等しいことを示せ.

問題3

次の(1), (2)から1問を選択して答案用紙に記入せよ.

(1) めねじに対しておねじを回転させて、ねじを締める（おねじを軸方向に進める）場合について考える. 加えるトルクを T , 軸力を F とし, おねじの有効径が d_2 , リード角が β , ねじ面の摩擦係数が μ であるとき, 以下の問いに答えよ.

(a) 四角ねじ（図1）を締めていく場合, めねじがおねじのねじ面上で, 軸力 F とトルク $T = P \frac{d_2}{2}$ を与える力 P を受けていると考える. この状態を, 図2のように, 傾斜角 β の斜面上で物体が軸力 F と力 P を受けている状態と置き換えて考える. μ を摩擦角 ρ を用いて $\mu = \tan \rho$ と表すとき, トルク T は F, d_2, ρ, β を用いてどのように表されるか.

(b) ねじ山の角度が 2α である三角ねじの断面形状を図3のように定義すると, α と α' の関係が $\tan \alpha' = \tan \alpha \cos \beta$ となることを示せ.

(c) 図3の三角ねじを締めていく場合, トルク T はどのように表されるか.

(d) ねじの効率 η はトルク T を加えてねじを回転させるときの仕事と, ねじの軸方向に行われる仕事の比で表される. μ を摩擦角 ρ' を用いて $\mu = \tan \rho' \cos \alpha'$ としたとき, 三角ねじを締める場合の効率 η' を β と ρ' を用いて表せ. また, 三角ねじに比べて四角ねじの方が効率が高いことを示せ.

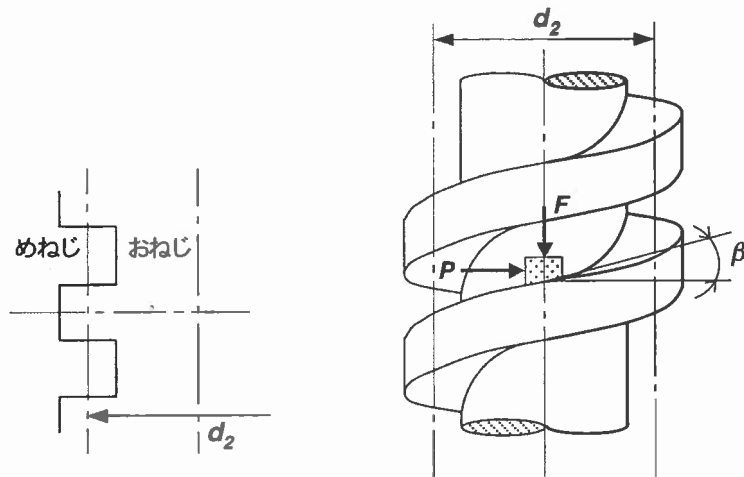


図1 四角ねじ

図2 四角ねじのモデル

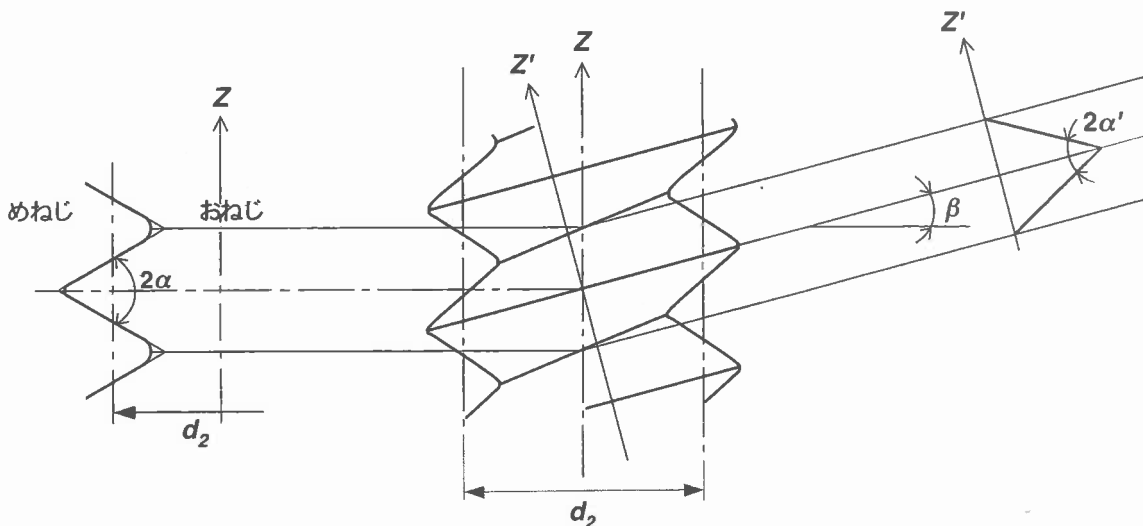


図3 三角ねじ

- (2) 計算機の内部ではすべての数値は2進数に変換されて取り扱われる。このことを踏まえつつ次のC言語で記述されたプログラムについて以下の問いに答えよ。なお、先頭に“0x”が付けられた整数定数は16進数を、先頭に“0”が付けられた整数定数は8進数を表す。また、int型およびunsigned int型のデータサイズは32ビット（4バイト）とする。

プログラム

```
#include <stdio.h>

const int Digit = 32;

void binary_number(unsigned int x) {
    int i;
    int bit = 1;

    for (i = Digit - 1; i >= 0; i--) {
        printf("%d", (x >> i) & bit);
    }
    printf("\n");
}

int main(void)
{
    unsigned int X = 0x1234; /* 行 [A] */
    unsigned int Y = (ア); /* 行 [B] */
    unsigned int Z, W, a, b, c;

    printf("X=%u \n", X); /* 行 [C] */
    printf("Y=%u \n", Y); /* 行 [D] */

    binary_number(X); /* 行 [E] */

    Z = X & Y;
    printf("Z=%u \n", Z); /* 行 [F] */

    a = (イ); b = (ウ); c = (エ); /* 行 [G] */
    W = (X >> a)*b + (X & c);
    printf("W=%u \n", W); /* 行 [H] */

    return 0;
}
```

- (a) プログラム中の行 [A] では、4桁の整数定数“1234”が変数“x”に16進数として代入されている。そして行 [C] では“x”の値が10進数（符号なし整数型）で標準出力される。行 [C] 実行時の出力結果を書け。
- (b) プログラム中の行 [B] の空欄 (ア) には8進数の整数定数が入る。行 [D] 実行時の出力結果として“Y=668”が得られたとき、空欄 (ア) に入るC言語の表現を書け。
- (c) 関数“binary_number”は引数“x”に対してその2進数表現を与えるプログラムである。プログラム中の行 [E] 実行時の出力結果を書け。
- (d) プログラム中の行 [F] では変数“z”の値が10進数で標準出力される。その値を書け。ここで、ビット演算子“&”は2つの数値の2進数表現の論理積をとる。
- (e) なぜ関数“binary_number”が引数“x”に対してその2進数表現を与えるのか、動作を具体的に示しながら説明せよ。なお、“>>”、“<<”はビットシフト演算子であり、例えば、“a >> 1”は“a”を2進数で表現した場合のビット列を右に1つだけシフトする。その際、最左端のビットには0が挿入されるものとする。
- (f) 設問 (d) および設問 (e) のビット演算子またはビットシフト演算子を用いて、行 [A] で定義された変数“x”を 2^n (n : 整数, $0 \leq n < 32$) で除した時の商の整数部分を表すC言語の表現を示せ。
- (g) プログラム中の行 [G] の空欄 (イ), (ウ), (エ) には整数定数が1つずつ入る。これらは変数“a”, “b”, “c”にそれぞれ格納される。そして行 [H] では変数“w”の値が10進数で標準出力される。“w”の値が変数“x”の値と等しくなるとき、“a”, “b”, “c”の値の間に成り立つ関係式を書け。