次の文を読んで，[　　]に適した式をそれぞれ記せ。

質量が M_1 の台車１と M_2 の台車２がある。台車１は水平な床の上に置かれてなめらかに動き，その水平な上面 AB の上に質量 m の箱がのっている。箱と AB 面の間には摩擦力(静止摩擦係数 μ)がはたらく。箱と台車２は，図１に示されたように，なめらかに回転する滑車 E を通じて一定の長さの糸で連結されている。台車２は，台車１の鉛直な壁面 BC に接してなめらかに動く。滑車と糸の質量は無視してよいものとする。

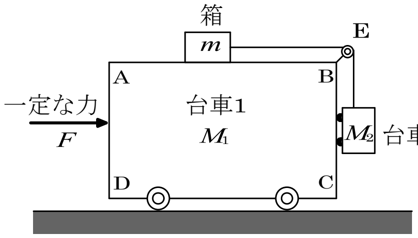


図 1

台車１の鉛直な壁面 AD を押す水平方向の一定な力を F とし，重力加速度を g とする。

(1)最初に $F=0$ で，台車 1，台車 2，箱がともに静止した状態を考える。このとき箱にはたらいている力は，鉛直方向の重力と，AB 面に垂直な方向の抗力[　イ　]，糸の張力，AB 面に沿った左向きの摩擦力[　ロ　]である。また，箱がすべりださないための条件式は，[　ハ　]で与えられる。

(2)次に，力 F を AD 面にはたらかせて，台車１を一定の加速度で走らせたところ，台車２と箱はともに，台車１に対して静止した状態を保ち続けた。このときの台車１の加速度は[　ニ　]である。また，箱にはたらいている力は，重力と，張力 $T=$ [　ホ　]，垂直抗力 R，摩擦力 $S=$ [　ヘ　]である。ここで摩擦力 S は，左向きを正とする。一方，台車１と台車２の間には，水平方向の力 $f=$ [　ト　]がはたらいている。

(3)設問(2)において，台車１の水平方向の加速度 a と，台車１が床からうける垂直方向の抗力 H とを，質量 M_1 および種々の力 F, T, R, S, f と g を用いて表すと，$a=$ [　チ　]，$H=$ [　リ　]となる。

(4)設問(2)の運動は，力 F がある値[　ヌ　]以下の場合に可能であるが，この値をこえる場合には，箱は AB 面上に静止することができず，AB 面上をすべる。

(5)箱と AB 面上の間に摩擦がない場合でも，適当な大きさの力 $F=$ [　ル　]をはたらかせると，設問(2)と同様の運動(すなわち，台車２と箱がともに台車１に対して静止した状態を保つ運動)が可能である。

(解説)この問題では台車１が加速度運動をしているときも，箱と台車２は台車１に対して静止している。つまり，台車１と同じ運動をしている。力の図をしっかりと書いて，それぞれ運動方程式を考えればよい。また，台車上で考えて，慣性力を含んだつりあいを考えてもよい。

台車１に働く力を考える際，滑車に糸から働く力を忘れないように。

(4)で，F の大きさにより静止摩擦は負の値もあり得ることに注意すること。

(1)糸の張力を T_0 とする。台車２に働く力の鉛直方向のつりあいより

$$T_0 - M_2 g = 0 \qquad \therefore \quad T_0 = M_2 g$$

イ. 箱に面から働く垂直効力の大きさを R_0 とする。箱に働く鉛直方向のつりあいより

$$R_0 - mg = 0 \qquad \therefore \quad R_0 = mg \qquad \cdots(答)$$

ロ. 箱には左向きに静止摩擦力が働く。静止摩擦力の大きさを S_0 として，箱に働く水平方向のつりあいより

$$T_0 - S_0 = 0 \qquad \therefore \quad S_0 = T_0 = M_2 g$$

ハ. 滑り出さない条件は

$$S_0 \leqq \mu R_0$$

$$M_2 g \leqq \mu mg \qquad \therefore \quad M_2 \leqq \mu m \qquad \cdots(答)$$

(2)ニ. 箱，台車 1，2 を一体として考える。加速度を a として

$$(M_1 + M_2 + m)a = F \qquad \therefore \quad a = \frac{F}{M_1 + M_2 + m} \qquad \cdots(答)$$

ホ. 台車２は鉛直方向には動いていない。ゆえに鉛直方向のつりあいより

$$T - M_2 g = 0 \qquad \therefore \quad T = M_2 g$$

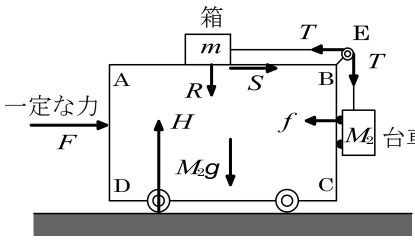
ヘ. 箱は水平方向右向きに加速度 a で運動している。右向きを正として箱の水平方向の運動方程式より

$$ma = T - S \qquad \therefore \quad S = T - ma = M_2 g - \frac{mF}{M_1 + M_2 + m} \qquad \cdots① \quad \cdots(答)$$

ト. 台車２も水平方向右向きに加速度 a で運動している。右向きを正として台車２の水平方向の運動方程式より

$$M_2 a = f \qquad \therefore \quad f = \frac{M_2 F}{M_1 + M_2 + m} \qquad \cdots(答)$$

(3)チ. 台車１に働く力は図１のようになる。(床から受ける垂直抗力 H や，台車２からの力 f は車輪ごとに分けるべきだが，図では１つの力とした)



台車１の水平方向の運動方程式より

$$M_1 a = F + S - T - f$$

$$\therefore \quad a = \frac{F + S - T - f}{M_1} \qquad \cdots(答)$$

リ. 台車１の鉛直方向のつりあいより

$$M_1 g + R + T - H = 0 \qquad \therefore \quad H = M_1 g + R + T \qquad \cdots(答)$$

(4)ヌ. 箱に働く鉛直方向のつりあいより，箱に働く垂直抗力 R は $R = mg$ である。箱に働く静止摩擦は，左右どちらにも向く場合があるので，箱が台車１上ですべらない条件は

$$|S| \leqq \mu mg$$

$S \geqq 0$ のとき①式より

$$M_2 g - \frac{mF}{M_1 + M_2 + m} \leqq \mu mg$$

$$\therefore \quad F \geqq \frac{(M_2 - \mu m)(M_1 + M_2 + m)g}{m} \qquad \cdots②$$

$S<0$ のとき①式より

$$-\left(M_2 g-\frac{mF}{M_1+M_2+m}\right) \leqq \mu m g$$

$$\therefore \quad F \leqq \frac{(M_2+\mu m)(M_1+M_2+m)g}{m} \qquad \cdots ③$$

③, ④式より箱がすべらないための F の最大値は

$$F=\frac{(M_2+\mu m)(M_1+M_2+m)g}{m} \qquad \cdots(\text{答})$$

(5)ル. ①式より $S=0$ として

$$S=M_2 g-\frac{mF}{M_1+M_2+m}=0$$

$$\therefore \quad F=\frac{M_2(M_1+M_2+m)}{m}g \qquad \cdots(\text{答})$$