2021　千葉大 5

問 1 状態 I における気体の圧力を p_1，絶対温度を T_1 とする．ピストンのつり合いの式より

$$p_1S = p_0S + mg \quad \therefore \quad p_1 = \underline{\underline{p_0 + \frac{mg}{S}}}$$

はじめの状態と状態 I において，ボイル・シャルルの法則より

$$\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{p_1V_0}{T_1}$$

$$\therefore \quad T_1 = \frac{p_1}{p_0}T_0 = \underline{\underline{\left(1 + \frac{mg}{p_0S}\right)T_0}}$$

問 2 状態 II における気体の圧力を p_2，絶対温度を T_2 とする．ピストンのつり合いの式より

$$p_2S = p_0S + (M+m)g \quad \therefore \quad p_2 = \underline{\underline{p_0 + \frac{M+m}{S}g}}$$

はじめの状態と状態 II において，ボイル・シャルルの法則より

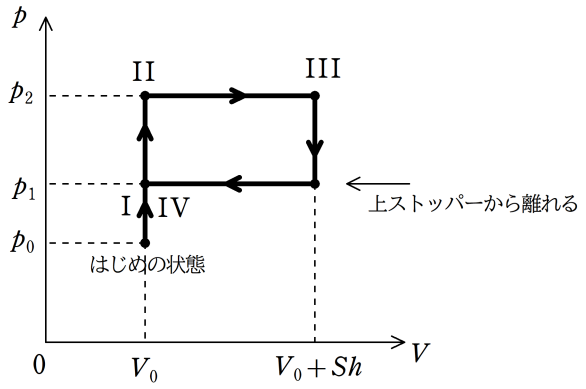
$$\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{p_2}{V_0}T_2$$

$$\therefore \quad T_2 = \frac{p_2}{p_0}T_0 = \underline{\underline{\left\{1 + \frac{(M+m)g}{p_0S}\right\}T_0}}$$

問 3 状態 II から状態 III では，ピストンにはたらく力の情報が変化せず，定圧変化となる．状態 III における圧力を p_3 とすると，$p_3 = p_2 = \underline{\underline{p_0 + \frac{M+m}{S}g}}$．また，絶対温度を T_3 とする．はじめの状態と状態 III におけるボイル．シャルルの法則より

$$\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{p_3(V_0+Sh)}{T_3}$$

$$\therefore \quad T_3 = \frac{p_3(V_0+Sh)}{p_0V_0}T_0 = \underline{\underline{\left\{1 + \frac{(M+m)g}{p_0S}\right\}\left(1 + \frac{Sh}{V_0}\right)T_0}}$$



問 4 縦軸を圧力 p，横軸を体積 V とした，pV 図をかくと，上のようになる[*1]．pV 図の長方形で囲まれた部分の面積は状態 I から IV のサイクルで気体がした仕事 W と等しいので

$$W = (p_2 - p_1)Sh = \underline{\underline{Mgh}}^{*2}$$

問 5 内部エネルギー変化 ΔU_{12}[*3]は

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}(p_2V_0 - p_1V_0) = \underline{\underline{\frac{3MgV_0}{2S}}}$$

問 6 内部エネルギー変化 ΔU_{23} は

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\{p_3(V_0 + Sh) - p_2V_0\} = \underline{\underline{\frac{3}{2}\{p_0S + (M+m)g\}h}}$$

[*1] 状態 III から荷物をおろすと，気体がピストンをおす力とピストンの重さでは気体がおす力の方が大きくなるため，上ストッパーからピストンに垂直抗力がはたらく．(pV 図における状態点の位置は変化しない．) その後，温度を下げるとともに，気体の圧力が下がり，それとともに，上ストッパーがピストンをおす力の大きさも小さくなる．気体の圧力が p_1 となったときに，気体がピストンをおす力とピストンのおもさがつり合い，ピストンが下降をはじめる．やがて，ピストンが下ストッパーに到達し，状態 I にもどる．(状態 IV)

[*2] 気体は荷物の位置エネルギー Mgh を上昇させた分の仕事をしている．

[*3] 単原子分子理想気体において，圧力 p_1，体積 V_1，絶対温度 T_1 の状態から，圧力 p_2，体積 V_2，絶対温度 T_2 に変化したときの内部エネルギー変化 ΔU は，物質量を n(一定とする．)，気体定数を R として

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$$