1

問１

（１）上面： $P_0+d_{\mathrm{W}}zg\ \ S$　　　下面： $P_0+d_{\mathrm{W}}\ \ z+h\ \ g\ \ S$

（２）鉛直方向　大きさ： $d_{\mathrm{W}}Shg$　　向き：上向き

理由

鉛直方向の合力の大きさを F とすると，

$$F=\ \ P_0+d_{\mathrm{W}}\ \ z+h\ \ g\ \ S-\ \ P_0+d_{\mathrm{W}}zg\ \ S$$

となるから。

水平方向　大きさ：0

理由

直方体が水平方向に受ける水圧による力は，水面からの深さが等しいとき同じ大きさで逆向きの力がはたらき互いに相殺されるから。

問２

（１）気体 1mol の体積を v_1 とすると，状態方程式より，

$$P_0v_1=RT_0 \qquad \therefore\ v_1=\frac{RT_0}{P_0}$$

よって，地表における大気の密度は，

$$d_0=\frac{w}{v_1}=\frac{wP_0}{RT_0}$$

（２）浮力の大きさ： $d_0V_0g=\dfrac{wP_0V_0g}{RT_0}$

（３）気球にはたらく力のつり合いより，

$$0=d_0V_0g-d_1V_0g-Mg \qquad \therefore\ d_1=d_0-\frac{M}{V_0}$$

（４）気体の密度と絶対温度は反比例するので，

$$d_1T_1=d_0T_0 \qquad \therefore\ T_1=\frac{d_0}{d_1}T_0$$

（５）気球全体にはたらく重力の大きさより，浮力の大きさの方が大きくないと気球は浮上しないので，

$$M_{\mathrm{c}}g=d_0V_0g \qquad \therefore\ M_{\mathrm{c}}=d_0V_0$$

（6）上昇前の風船部内の大気の密度をd_2，気球が静止した高度における大気の圧力をP_3，密度をd_3とする。気体の圧力は，密度，絶対温度と比例するので，

$$\frac{P_0}{d_0T_0}=\frac{P_0}{d_2T_2}=\frac{P_3}{d_3T_3}\quad\cdots①$$

気球が静止した高度における気球にはたらく力のつり合いより，

$$0=d_3V_0g-d_2V_0g-Mg\quad\cdots②$$

①，②式より，d_2，d_3を消去し，d_0を代入すると，

$$P_3=\underline{\frac{T_3}{T_2}P_0+\frac{MRT_3}{wV_0}}$$

問３

（1）管内の水面から受ける力の大きさは，深さz_0+hにおける水圧による力の大きさと一致するので，

$$\underline{P_0+d_{\mathrm{W}}\ \ z_0+h\ \ g\ \ S}$$

（2）管内の気体の圧力をPとすると，気体の状態方程式より，

$$PSh=nRT\qquad\therefore\ PS=\underline{\frac{nRT}{h}}\quad\cdots③$$

（3）力のつり合い

管：$0=PS-\ \ P_0+d_{\mathrm{W}}z_0g\ \ S-mg\quad\cdots④$

管と気体：$0=d_{\mathrm{W}}Shg-mg\quad\cdots⑤$

③，④，⑤式より，

$$z_0=\underline{\frac{nRT}{mg}-\frac{m}{d_{\mathrm{W}}S}-\frac{P_0}{d_{\mathrm{W}}g}}$$

（4）hの増減：<u>減る</u>

理由

温度一定なので，ボイルの法則より圧力が大きくなると，管内の気体の体積は小さくなるから。

管の移動：<u>沈む</u>

理由

管内の気体の体積が小さくなると，はたらく浮力の大きさが小さくなるから。

$\boxed{2}$

（1）$\underline{\dfrac{V}{L}}$

（2）$\underline{\mathrm{m}^0\cdot\mathrm{kg}^1\cdot\mathrm{s}^{-1}\cdot\mathrm{A}^0}$

（3）自由電子にはたらく力のつり合いより，

$$0 = e\frac{V}{L} - k|v_\mathrm{s}| \qquad \therefore\ |v_\mathrm{s}| = \frac{eV}{kL}$$

$v_\mathrm{s} < 0$ より，$v_\mathrm{s} = \underline{-\dfrac{eV}{kL}}$

（4）$|\Delta N| = nS|v_\mathrm{s}|\Delta t$

自由電子は負の向きに通過するので，

$$\Delta N = -nS|v_\mathrm{s}|\Delta t$$
$$= \underline{nSv_\mathrm{s}\Delta t}$$

（5）電流は単位時間当たりに断面を通過する電気量と一致するので，

$$I = \underline{\frac{-e\ \Delta N}{\Delta t}}$$

（6）オームの法則より，

$$R = \frac{V}{I} = \underline{\frac{kL}{e^2nS}}$$

（7）体積一定なので，

$$S'L' = SL$$

$R' = \dfrac{R}{10}$ より，

$$\frac{k}{e^2n}\frac{L'}{S'} = \frac{1}{10}\frac{k}{e^2n}\frac{L}{S}$$

この２式より，

$$L' = \underline{\frac{L}{\sqrt{10}}},\quad S' = \underline{\sqrt{10}\,S}$$

（8）(6)の結果より，

$$k=\frac{Re^2nS}{L}$$

$$=\frac{2.0\times10^{-2}\times\left(1.6\times10^{-19}\right)^2\times1.0\times10^{28}\times3.14\times\left(1.0\times10^{-3}\right)^2}{3.1\times10^{-3}}$$

$$=5.18\cdots\times10^{-15}$$

$$\fallingdotseq \underline{5.2\times10^{-15}\ \mathrm{kg/s}}$$

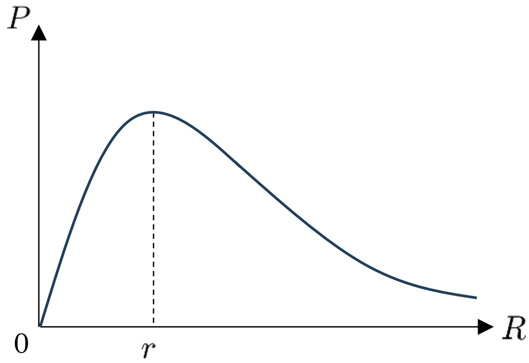
（9）抵抗器に流れる電流の大きさをIとすると，キルヒホッフの第２法則より，

$$V=RI+rI$$

$$\therefore\ I=\frac{V}{R+r}$$

抵抗器の消費電力は，

$$P=RI^2=\underline{R\left(\frac{V}{R+r}\right)^2}$$



(10) $$P=\frac{RV^2}{R^2+2Rr+r^2}$$

$$=\frac{V^2}{R+2r+\dfrac{r^2}{R}}$$

$$\leqq\frac{V^2}{4r}\quad(\because\ \text{相加相乗平均より})$$

等号成立条件は，

$$R=\frac{r^2}{R}$$

$$\therefore\ R=r$$

これと(6)の結果より，

$$L=\underline{\frac{e^2nSr}{k}}$$

(11) 自由電子の運動方程式

$$ma = k|v| - e\frac{V}{L}$$

$v < 0$ より，

$$\underline{ma = -kv - e\frac{V}{L}}$$

(12) (11)の結果より，

$$a = -\frac{k}{m}\left(v + \frac{eV}{kL}\right) \quad \cdots①$$

ここで，

$$v \;\; t \;\; = Ae^{-Bt} + C \quad \cdots②$$

と表せるとき，$t = 0$ の瞬間，自由電子は静止しているので，

$$0 = A + C \quad \cdots③$$

また，②式の両辺を t で微分すると，

$$a \;\; t \;\; = -B \cdot Ae^{-Bt}$$

$$= -B \;\; v \;\; t \;\; - C \quad \cdots④$$

となるので，①，④式を係数比較すると，

$$B = \underline{\frac{k}{m}}$$

$$C = \underline{-\frac{eV}{kL}}$$

③より，$A = -C = \underline{\frac{eV}{kL}}$