状態変化２

番　氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

1 質量 110 g の銅製の熱量計に水 50 g を入れて温度を測ると 20 ℃であった。そこへ 80 ℃の高温の水 30 g を加えたところ，全体の温度が 40 ℃になった。水の比熱を 4.2 J/(g · K) とし，外部との熱の出入りはないものとする。

(1) 高温の水が失った熱量 Q_0 は $\boxed{\textbf{ア}}$ J となる。

(2) 熱量計の熱容量 C_M は $\boxed{\textbf{イ}}$ J/K となる。

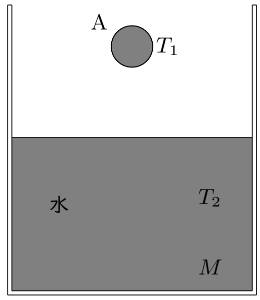
(3) (2) より銅の比熱 c_1 は $\boxed{\textbf{ウ}}$ J/(g · K) となる。

(4) 全体の温度を 40 ℃から 50 ℃にしたい場合，80 ℃の高温の水をさらに $\boxed{\textbf{エ}}$ g 加えればよいことになる。

(5) 全体の温度が 50 ℃となった (4) の状態で，さらにこの中へ，100 ℃に加熱された質量 400 g の金属球を入れたとき，全体の温度が 60 ℃となった。この金属球の比熱 c_2 は $\boxed{\textbf{オ}}$ J/(g · K) となる。

2 空所 $\boxed{\text{ア}}$ には「小さく」か「大きく」を，$\boxed{\text{イ}}$ と $\boxed{\text{ウ}}$ には 2 桁の小数値を入れよ。

アルミニウムの比熱が 0.90 J/(g · K) であることを確認する実験をしたい。温度 $T_1 = 42.0$ ℃，質量 100 g のアルミニウム球 A を，温度 $T_2 = 20.0$ ℃，質量 M〔g〕の水の中に入れ，A と水が同じ温度になった時の T_3〔℃〕を測定する。水の質量 M が $\boxed{\text{ア}}$ なるほど，温度上昇 $T_3 - T_2$ が小さくなる。



温度上昇 $T_3 - T_2$ が 1.0 ℃になるようにするためには，$M = \boxed{\text{イ}} \times 10^2$ g としなければならない。ただし，水の比熱は 4.2 J/(g · K) であり，熱は A と水の間だけで移動する。続いて，A と水全体に 9.9×10^3 J の熱量を加えると，温度はさらに $\boxed{\text{ウ}}$ ℃上昇する。

3 断熱容器内に質量 250 g の薄い銅製容器を入れた水熱量計を用いて以下の実験を行った。

実験１： 温度 10 ℃の銅製容器内に，10 ℃の水を 100 g 入れ，スイッチを閉じて消費電力 10.0 W で抵抗線を加熱し，かきまぜ棒で水をかき混ぜながら水温を測定した。加熱時間を水温の関係を図２に示す。

実験２： 10 ℃の銅製容器内に，10 ℃の水 200 g 入れ，スイッチを閉じて消費電力 9.0 W の抵抗線を加熱し，**実験１**と同様の測定をした（図２）

実験３： 10 ℃の銅製容器内に，10 ℃の水を 200 g 入れた後，80 ℃に熱した 100 g の金属球を水中に沈めた。かきまぜ棒を使用し，十分時間がたったときの水温は 17 ℃であった。

以下の問に有効数字 2 桁で答えよ。ただし，断熱容器によって外部との熱の出入りはなく，抵抗線で消費された電力は，水と容器の温度上昇に全て使われたものとする。

(1) 銅製容器と水の合計の熱容量を，**実験１**，**２**についてそれぞれ求めよ。

(2) **実験１**と**実験２**の結果から水と銅の比熱をそれぞれ求めよ。

(3) **実験１**～**３**の結果から**実験３**で使用した金属の比熱を求めよ。

(4) 水熱量計の断熱容器をはずして，**実験３**と同様の実験を行った。このとき，室温は 25 ℃で，他の実験条件は**実験３**と同じであった。この実験の結果の水温は 17 ℃より高いか，低いか。また，外部との熱の出入りがないと仮定して得られる金属球の比熱は，**実験３**の値より大きいか，小さいか。

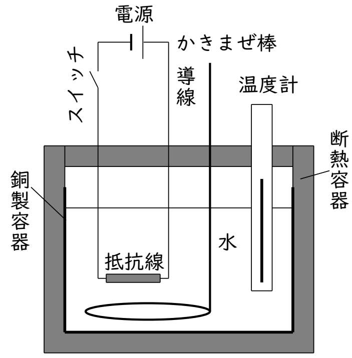


図１

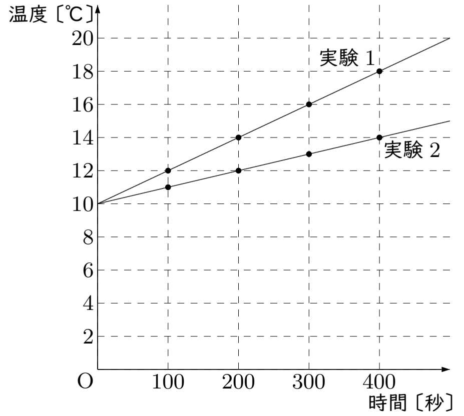


図２

4 断熱された容器の中に，-20 ℃の氷が 200 g 入っている。この容器にヒーターを入れて，一定の電力で加熱を開始したところ，容器内の温度は図に示すような変化をして，40 秒後に 0 ℃になった後，しばらく温度は一定となった。加熱開始 360 秒後には，再び温度が上昇し始め，560 秒後には 50 ℃になった。水の比熱は 4.2 J/(g・K) であり，容器からの熱の出入りはないものとする。

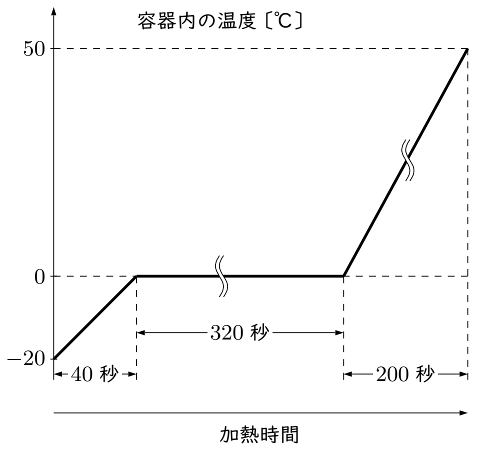
(1) 200 g の水の温度が 0 ℃から 50 ℃まで上昇する間に与えられた熱量を求めよ。

(2) ヒーターの電力はいくらか。

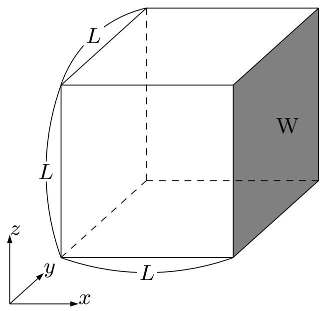
(3) 氷の融解熱 L はいくらか。

(4) 氷の比熱 c_0 はいくらか。

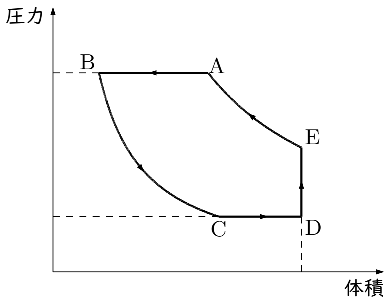
(5) 加熱開始 120 秒後には，この容器の中に氷はいくら残っていたか。



5 辺の長さ L の立方容器内の理想気体について考える。ある分子（質量 m）の速度の x 成分を v_x とすると，1 回の弾性衝突によりこの分子が x 軸に垂直な壁 W に与える力積は，$\boxed{\text{ア}}$ である。この分子は時間 t の間に W と $\boxed{\text{イ}}$ 回衝突するから，この間に W に与える力積は $\boxed{\text{ウ}}$ である。したがって，容器内の全分子 N 個についての v_x^2 の平均値 $\overline{v_x^2}$ を用いると，全分子が W に与える力は $\boxed{\text{エ}}$ となる。また分子運動はどの方向についても同等であるから，$\overline{v_x^2}$ は v^2 の平均値 $\overline{v^2}$ で書き換えられる。このようにして圧力 P は $\overline{v^2}$ を用いて $P = \boxed{\text{オ}}$ となる。一方，この理想気体の状態方程式として P と T の間には，気体定数 R，アボガドロ定数 N_{A} を用いて $\boxed{\text{カ}}$ の関係式が成り立つので，分子の運動エネルギーの平均値 $\dfrac{1}{2}m\overline{v^2}$ は T を用いて $\boxed{\text{キ}}$ と表せる。そして，この理想気体が単原子分子からなるとすると，内部エネルギー U は T を用いて $U = \boxed{\text{ク}}$ と表せる。



6 容器に閉じ込めた理想気体の状態変化を図の ABCDEA の順に行った。B→C は断熱過程，E→A は等温過程である。次の問の答えを**ア**～**ウ**から選べ。



(1) 過程 A→B において気体は
ア. 仕事をされた。　**イ.** 仕事をした。　**ウ.** 仕事をしない。

(2) B→C において気体の内部エネルギーは
ア. 増加した。　**イ.** 減少した。　**ウ.** 変わらない。

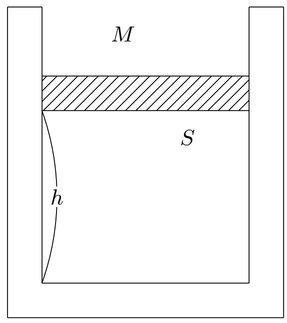
(3) C→D において気体の温度は
ア. 上昇した。　**イ.** 下降した。　**ウ.** 変わらない。

(4) D→E において気体は
ア. 熱を放出した。　**イ.** 熱を吸収した。　**ウ.** 熱を授受しない。

(5) E→A 気体分子 1 個当たりの運動エネルギーは
ア. 増加した。　**イ.** 減少した。　**ウ.** 変わらない。

(6) 1 サイクル ABCDEA において気体が外部にした仕事は
ア. ゼロである。　**イ.** 正である。　**ウ.** 負である。

7 なめらかに動く質量 M〔kg〕，断面積 S〔m^2〕のピストン付きの容器がある。容器は断熱材でできているが，加熱器より熱を加えることができる。この容器に n モルの理想気体を入れたところ，ピストンの高さは h〔m〕であった（状態 A）。大気圧を P_0〔Pa〕，重力加速度の大きさを g〔$\mathrm{m/s^2}$〕，気体定数を R〔J/(mol · K)〕とする。



(1) 状態 A での気体の圧力 P〔Pa〕と温度 T〔K〕を求めよ。

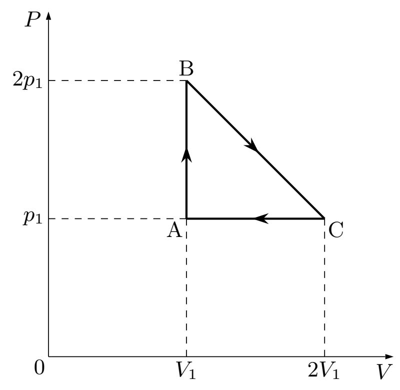
次に，気体をゆっくりと加熱したところ，気体の温度は T'〔K〕となった（状態 B）

(2) 状態 B でのピストンの高さ h'〔m〕を h，T，T' で表せ。

(3) 状態 A から B まで変化する間に気体がする仕事 W〔J〕を n，T，T'，R を用いて表せ。また，その間に気体に与えた熱量を Q〔J〕として，内部エネルギーの変化 ΔU〔J〕を Q と W で表せ。

(4) (3) の結果を用いて，定積モル比熱 C_V〔J/mol · K〕と定圧モル比熱 C_P〔J/mol · K〕との間に成り立つ関係式を求めよ。

8 単原子分子理想気体をなめらかに動くピストンのついたシリンダー内に閉じ込め，外部との熱のやりとりをすることにより，気体の圧力 p と体積 V を図のサイクル A → B → C → A のように変化させる。気体定数を R とする。



(1) A における絶対温度を T_1 とするとき，B および C における絶対温度をそれぞれ求めよ。

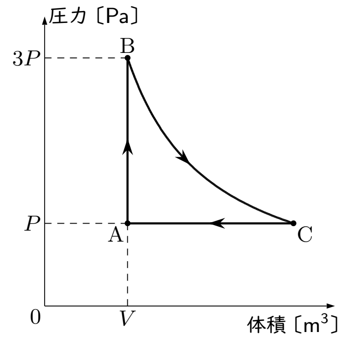
(2) A → B および C → A の過程において，気体が吸収する熱量をそれぞれ求め，p_1，V_1 を用いて表せ。

(3) B → C の過程で気体がする仕事と，吸収する熱量を求め，p_1，V_1 を用いて表せ。

(4) このサイクルを一巡する間に，気体がする仕事を求め，p_1，V_1 を用いて表せ。

(5) このサイクルにおいて，絶対温度 T（縦軸），と体積 V（横軸）の関係を表すグラフの概形を描け。

9 単原子分子理想気体の状態を図に示すような A→B→C→A の経路に沿って，ゆっくり変化させた。B→C は等温変化である。



(1) A→B の過程における気体の内部エネルギーの変化は **ア** 〔J〕である。

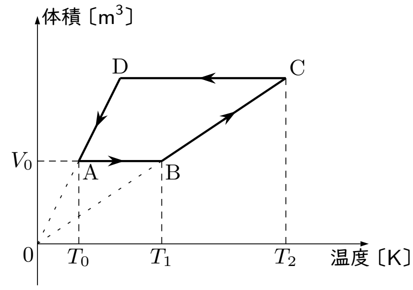
(2) B→C の過程において気体が吸収した熱量が Q〔J〕であるとすると，気体の内部エネルギーの変化は **イ** であり，気体が外部にした仕事は **ウ** 〔J〕である。

(3) C→A の過程で気体が受けた仕事は **エ** 〔J〕である。

(4) A→B→C→A の 1 サイクルで気体がした正味の仕事は **オ** 〔J〕であり，このサイクルの熱効率は **カ** である。

10 なめらかに動くピストンをもったシリンダーの中に 1 mol の単原子分子理想気体が入れられている。図のように，気体の状態を温度 T_0〔K〕，体積 V_0〔m^3〕の状態 A からゆっくり変化させて，A→B，B→C，C→D，D→A の過程を経て状態 A にもどした。

A→B および C→D の過程では体積が一定に保たれ，B→C および D→A の過程では体積は温度に対して直線的に変化している。気体定数を R〔J/(mol・K)〕とする。



(1) A→B の過程で気体が吸収した熱量は何 J か。

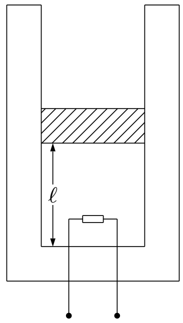
(2) 状態 C での気体の圧力は何 N/m^2 か。

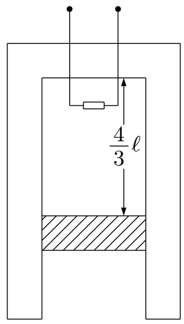
(3) D→A の過程で気体が外部へ放出した熱量は何 J か。

(4) A→B→C→D→A の 1 サイクルしたとき，気体が外部へした仕事は何 J か。

(5) この 1 サイクルの熱効率 e はいくらか。

11 なめらかに動く質量 M〔kg〕のピストンを備えた断面積 S〔m^2〕の容器がある。これらは断熱材で作られていて，ヒーターに電流を流すことにより，容器内の機体を加熱することができる。ヒーターの体積，熱容量は小さく，無視できる。容器は鉛直に保たれていて，内部には単原子分子の理想気体が n〔mol〕入っている。気体定数を R〔J/(mol · K)〕，大気圧を P_0〔Pa〕，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。





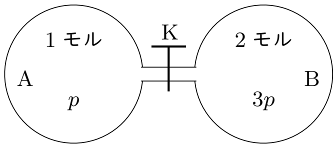
(1) 最初，ヒーターに電流を流さない状態では，図 1 のように，ピストンの下面は容器の底から距離 ℓ〔m〕の位置にあった。このときの気体の温度はどれだけか。

(2) 次に，ヒーターで加熱したら，ピストンは最初の位置より $\frac{1}{2}\ell$ 上昇した。気体の温度は (1) の何倍になっているか。また，ヒーターで発生したジュール熱はどれだけか。

(3) (1) の状態で，容器の上下を反対にして鉛直にし，気体の温度を (1) の温度と同じに保ったら，図 2 のように，ピストンの上面は容器の底から $\frac{4}{3}\ell$〔m〕の位置で静止した。ピストン M を他の量で表せ。

(4) この状態で，ヒーターにより，(2) におけるジュール熱の $\frac{1}{2}$ だけの熱を加えたら，ピストンの上面は容器の底からどれだけの距離のところで静止するか。

12 それぞれの容器が V〔$\mathrm{m^3}$〕の２つの容器 A,B がコック K を取り付けた細い管で結ばれている。はじめ，コック K は閉じられており，それぞれ１モルと２モルの単原子分子理想気体が入っている。A，B の気体の圧力はそれぞれ，p〔Pa〕，$3p$〔Pa〕であった。気体定数を R〔J/(mol・K)〕として，$\boxed{}$ に適する数値を答えよ。

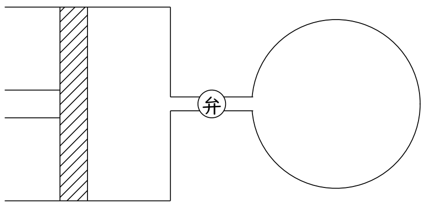


(1) A の気体の温度を $T_{\mathrm{A}} = T$〔K〕とすると，B の気体の温度は $T_{\mathrm{B}} = \boxed{\text{ア}} \times T$〔K〕である。また A，B の気体の内部エネルギーの和は，$\boxed{\text{イ}} \times RT$〔J〕である。

(2) 容器の壁を通して熱の出入りがないようにして，コック K を開いて A，B の気体を混合した。このときの混合気体の温度は $\boxed{\text{ウ}} \times T$〔K〕となり，圧力は $\boxed{\text{エ}} \times p$〔Pa〕となる。

(3) このの ち，K を開いたまま，A，B の気体の温度を調整し，はじめの温度 T_{A}，T_{B} にもどした。このとき，A 内の気体の量は $\boxed{\text{オ}}$〔mol〕となり，圧力は $\boxed{\text{カ}} \times p$〔Pa〕となる。

13 なめらかに動くピストンとシリンダーからなる容器 A と，容積 V の容器 B があり，その間はごく細い管とこれを開閉できる弁で連結されている。器材は熱を伝えない材料でできている。容器の A に単原子分子の理想気体を入れ，体積 V，圧力 p，絶対温度 T の状態でピストンは固定され，弁は閉じられている。また，容器 B には同種の理想気体が圧力 $2p$，絶対温度 T で封じ込められている。気体定数を R とする。

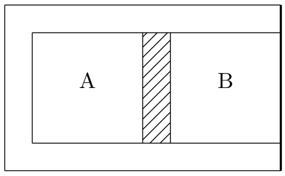


(1) 容器 A 内には何モルの機体が入っているか。また，気体の内部エネルギー U はいくらか。

(2) ピストンを動かし容器 A の体積を $\dfrac{V}{8}$ に圧縮する。A 内の気体の圧力と温度はいくらになるか。ただし，この断熱変化では気体の圧力 p と体積 V の間には，$pV^{\frac{5}{3}} =$ 一定 という関係がある。

(3) 上の状態でピストンを固定したまま，弁を開けて十分長い時間放置する。そのときの容器内の気体の温度および圧力はいくらになるか。

14 図のように両端を密閉したシリンダーが，なめらかに動くピストンで２つの部分 A，B に分けられており，それぞれに単原子分子理想気体が 1 モルずつ入れられている。シリンダーの右端は熱を通しやすい材料で作られている。初めの状態では，A，B 内の気体の体積は等しく，温度はともに T_0〔K〕であった。次に，右端から B 内の気体をゆっくりと熱したところ，ピストンは左方向に移動し，最終的に A 内の気体の体積はもとの半分になり，温度は T_1〔K〕になった。気体定数を R〔J/(mol・K)〕とする。



(1) この変化の過程で，A 内の気体が受けた仕事はいくらか。

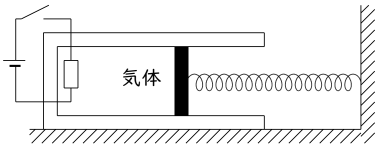
(2) 変化後の A 内の気体の圧力は最初の状態の何倍になったか。

(3) 変化後の B 内の気体の温度はいくらになったか。

(4) この変化の過程で，B 内の気体の内部エネルギーはどれだけ増加したか。

(5) この変化の過程で，B 内の気体が外部から吸収した熱量はいくらか。

15 n モルの単原子分子からなる理想気体が，水平なばね振り子（ばね定数は k〔N/m〕）につながれた断面積 S〔m^2〕のピストンによってシリンダー（床に固定）内に封入されている。ピストン，シリンダーはともに断熱材でつくられており，ピストンはなめらかに動くものとする。さて，ヒーターにより気体を熱したところ，気体はゆっくりと膨張し，加熱前の体積 V_0〔m^3〕の 2 倍になった。加熱前のばねは自然の長さであり，気体定数を R〔J/(mol·K)〕，大気圧を P_0〔Pa〕とする。



(1) 加熱前の気体の温度を求めよ。

(2) 加熱し始めてからピストンが移動した距離を x〔m〕として，そのときの気体の圧力 P〔Pa〕を x の関数として表せ。また，P を気体の体積 V の関数として表せ。

(3) 2 倍の体積になったときの気体の温度を求めよ。

(4) 2 倍の体積になるまでに気体がした仕事を求めよ。

(5) 気体に加えた熱量を求めよ。

16 断面積 S，質量 M の一端を閉じた円筒が，開口部を下にし，上端は水面に一致して鉛直に静止している。円筒には鉛直下向きに外力が加えられている。円筒の内部には気体が入っており，円筒の上端から内部の水面までの距離を d とする。円筒の厚さ，内部の気体の質量，水の蒸発は無視する。大気圧を P_0，水の密度を ρ，重力加速度の大きさを g とする。

(1) 外力の大きさを求めよ。

次に円筒を深さ h の位置まで沈めると，外力を加えなくても円筒は静止した（図２）。このときの内部の気体の高さは $\frac{1}{2}d$ であった。

(2) 円筒の質量 M を P_0，ρ，S，d，g の中から必要なものを用いて表せ。

(3) 円筒内の気体の変化は等温変化とみなせるものとする。h を P_0，ρ，S，d，g の中から必要なものを用いて表せ。

(4) 円筒内の気体の変化が断熱変化とみなせる場合を考える。円筒が静止できる深さ h は (3) で求めた値より大きいか，小さいか。

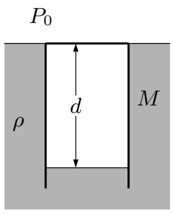


図１

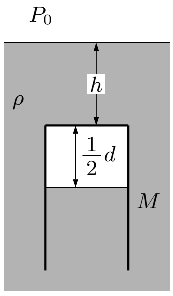
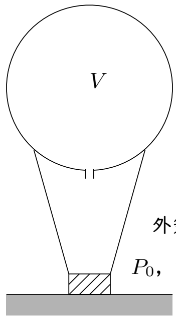


図２

$\boxed{\textbf{17}}$

(1) 気体の圧力 P，密度 ρ，絶対温度 T の間には，状態方程式より，$P=\alpha\rho T$ の関係が成り立つ。定数 α を気体定数 R と 1 モルの気体の質量 m_0 で表せ。

(2) 熱気球がある。風船部の体積は V〔$\mathrm{m^3}$〕であり，風船部内の空気（内部空気）を除いた全体の質量は M〔kg〕である。内部空気の圧力は外気圧に等しく，温度は自由に調節できる。地表での外気の圧力を P_0〔Pa〕，気温を T_0〔K〕，密度を ρ_0〔$\mathrm{kg/m^3}$〕とする。



ア. 内部空気を加熱していくと，気球は地表に静止したまま，温度が T〔K〕となった。内部空気の密度 ρ〔$\mathrm{kg/m^3}$〕を求めよ。

イ. 内部空気をさらに加熱し，温度が T_1〔K〕より高くなると，気球は地表より浮上する。T_1〔K〕を求めよ。

ウ. 気球が浮上した後，内部空気の温度を αT_0〔K〕($\alpha>1$) としたところ，気球はある高度で静止した。そこでの外気の圧力は βP_0〔Pa〕であった。内部空気の密度 ρ'〔$\mathrm{kg/m^3}$〕，および外気の密度 ρ_0'〔$\mathrm{kg/m^3}$〕を求めよ。