

第3回(4月22日1限)の復習・解答

- **SI単位系**では、質量に g ではなく、キロの接頭語付きの **kg** をつかう。これを理解していない答案がいくつか見受けられたが、減点しませんでした。
- 熱力学を学ぶ上では、SI単位系(基本単位系) **kg, m, s, K, mol** の5つ(に加えて、光度 cd, 電流 A)を記憶。
- 組立単位系として、 **$W = J/s$, $J = N \cdot m$, $N = kg \cdot m/s^2$, $Pa = N/m^2$** の4つを基本単位系で表現できるようにしてください。

第3回(4月22日1限)の復習・解答

- 一般(普遍)気体(ガス)定数, Boltzmann定数, Avogadro定数の三つは, 物質の種類によらず, 一定である。**気体定数 R と一般気体定数 R_0 の差異**に注意する。一般気体定数の数値を覚える必要はないが(次元は書けねばならない), 一般気体定数と, (ある理想気体の)分子量またはモル質量 M の数値が与えられたときに, その理想気体の気体定数を計算できるようにしておく。 **$R = R_0/M$** を使う。
- 理想気体の状態方程式(Boyle-Charlesの法則)にどの表式を使うか: 質量 m であらわすとしても, モル数(物質量) n であらわすとしても, 自由自在に変換できることが重要。

$$pV = mRT = n R_0 T$$

$$= NkT \quad \leftarrow \text{本講義の以後の部分ではあまり使わない}$$

(5) 熱力学第1法則

熱力学第1法則 (the first law of thermodynamics)

☆ 経験的事実や実験



機械的仕事は熱に変換することができる
熱はその一部を機械的仕事に変換できる
=> 「 」という。

ジュール(Joule)の実験

- 分銅の落下と水の温度上昇との関係から、機械的工作 [kgfm]は、熱 ([kcal]と等価であり、量的に次の関係があることを明らかにした.
- $W = J^* Q$ J^* : 熱の仕事当量 $J^* = 427$ kgfm/kcal
- $Q = A^* W$ A^* : 仕事の熱当量 $A^* = \frac{1}{J^*} = \frac{1}{427}$ kcal/kgfm

熱の仕事当量を定めたジュールの実験装置

例題5.1

容器に入った質量 m (kg) の水を 5 K 上昇させるために必要なと等価な仕事をして水を加速した場合の速度と, 容器を持ち上げたときの高さを計算せよ. ただし, 容器の熱容量と重量, 水を運動させるときの抵抗は無視し, 重力加速度を 9.81 m/s^2 とする. ただし, 熱の仕事当量を, $J = 4.1868 \text{ (kJ/kcal)}$ とし, 運動エネルギー E_k とポテンシャルエネルギー E_p は以下の式を用いてよい.

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (J) \quad (1)$$

$$E_p = mgz \quad (J) \quad (2)$$

熱力学第1法則

「熱と仕事は等価であり、ともにエネルギーの一形態である。

熱を仕事に変えることも、その逆も可能である。」

→

実際に熱で仕事を行うためには動作流体が必要
→ 内部エネルギーの導入

動作流体 (working fluid)

内部エネルギー (internal energy)

熱力学第一法則の定式化

状態1から状態2へ:

熱力学第1法則の数学的表現
(覚える!)

(注意1) **状態量**と微分:

内部エネルギー dU が状態量であるのに対して,
熱 $d'Q$ と仕事 $d'W$ は非状態量。

* 「 d 」にダッシュ「 d' 」をつけて区別

* d は(完全)微分。 d' は不完全微分。

$$d'Q = dU + d'W$$

(注意2) 熱と仕事の符号:

「 $d'Q$ 」の符号:

動作流体に入る熱を正(+)

動作流体から出てゆく熱を負(-)

「 $d'W$ 」の符号:

動作流体が外部にする仕事を正(+)

動作流体が外部からされる仕事を負(-)



符号の定義に注意。計算ミス招きやすい。

差分方程式と(完全形の)微分方程式

$$Q_{12} = (U_2 - U_1) + W_{12} = \Delta U + W_{12}$$

高校物理でも
見かけた表現

$$d'Q = dU + d'W$$

本講義では, 微分形で表現する
ことが多い → なぜ?

★ 両者の関係:

(復習)状態量とは。そもそも熱平衡と系とは。

内部エネルギーを主にした表現・・・符号に注意！

$$dU = d'Q - d'W$$

この定義では、「入る」熱、「外部へする」仕事

エントロピー

熱力学の基礎式

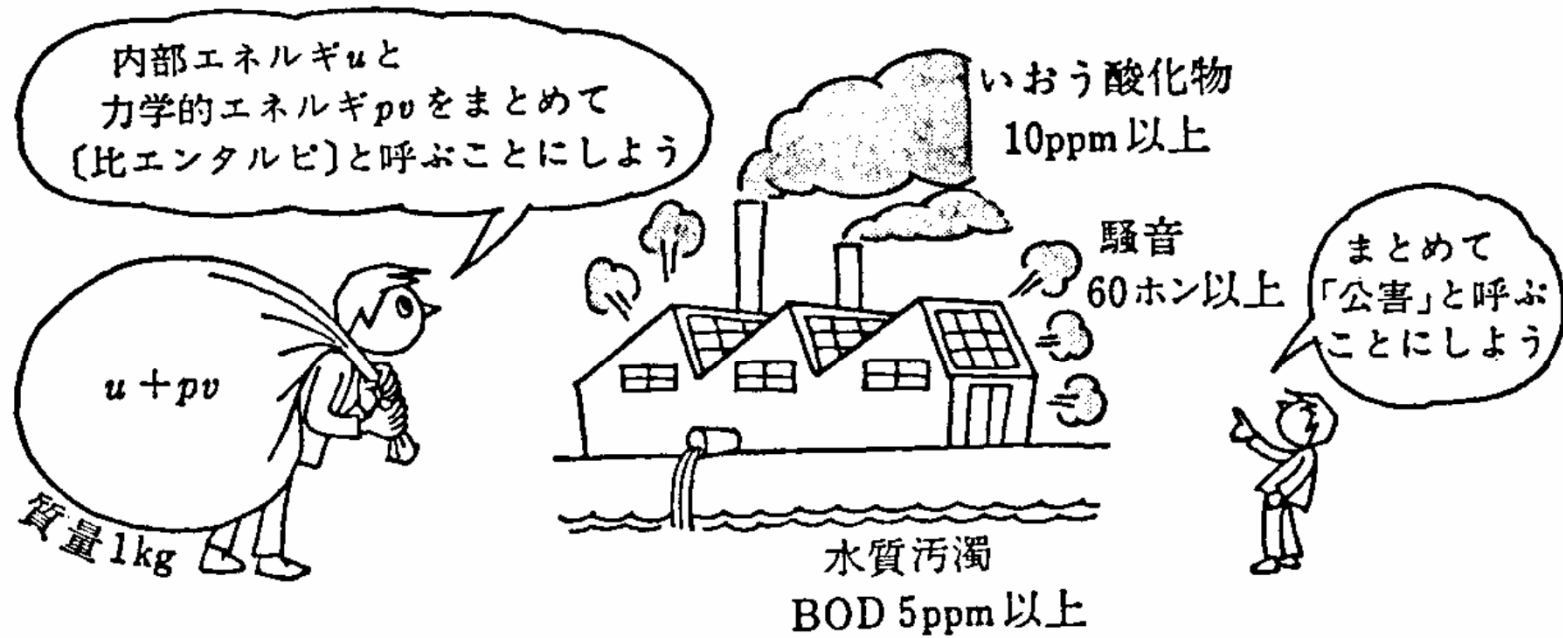
エンタルピー

エンタルピー (enthalpy)

☆ 動作流体の加熱 →



エンタルピー (enthalpy)



エンタルピーの定義を概念的に考える

熱力学の基礎式

熱力学の基礎式

熱力学第1法則より, $d'Q = dU + d'W$

圧力 p の動作流体の容積が dV だけ増加するときに外部に対してする仕事は, $d'W = pdV$

これを前式に代入して

$$\therefore d'Q = dU + pdV \quad \dots \text{熱力学第1基礎式}$$

一方, エンタルピーの定義式より, $H = U + pV$

H , U , p および V はいずれも状態量であるから, これらの微小量を考えると, $dH = dU + d(pV)$

となり, これに $d(pV) = pdV + Vdp$ を代入すると,

$$dH = dU + (pdV + Vdp) = (dU + pdV) + Vdp$$

$$(dU + pdV) = dH - Vdp$$

これを熱力学第1基礎式に代入すると,

$$\therefore d'Q = dH - Vdp \quad \dots \text{熱力学第2基礎式}$$

☆ 動作流体を加熱するとき,

(1) 容積が変化しない場合(定容過程) …… 例)ポンベの加熱

(2) 圧力が変化しない場合(定圧過程) …… 例)熱気球の加熱

熱力学第1法則のまとめ

☆ 熱力学第1法則 ... $d'Q = dU + d'W$

使いやすいうように変形 ↓

熱力学第1基礎式 ... $d'Q = dU + pdV$

熱力学第2基礎式 ... $d'Q = dH - Vdp$

※ 定容過程では、「加熱量」は「内部エネルギー」の増加量に等しい。

※ 定圧過程では、「加熱量」は「エンタルピー」の増加量に等しい。

例題6-1

- 動作流体が圧力147 kPa, 容積2.8 m³ の状態から, 圧力1.76 MPa, 容積0.3 m³ の状態に変化し, エンタルピーが145 kJ増加した. このときの内部エネルギーの変化量を求めよ.

例題6-2

標準大気圧(101.3 kPa)下で、ある量の水をすべて蒸発させるために潜熱として4.52 MJの熱を加えなければならない。そのとき容積は0.002 m³から1673倍に膨張する。

- (1)内部エネルギーの変化量を求めよ。
- (2)最初の水のエンタルピーは840 kJであった。蒸発後の水蒸気のエンタルピーを求めよ。