

①単原子理想気体のエントロピー— $S[U, V, N]$ が次式で与えられるとする。

$$S[U, V, N] = \frac{N}{N_0} S_0 + RN \ln \left(\left(\frac{U}{U_0} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{V}{V_0} \right) \left(\frac{N}{N_0} \right)^{-\frac{5}{2}} \right)$$

ここで、 U ：内部エネルギー、 V ：体積、 N ：物質モル量、 R ：気体定数、 $0.00 N S V$,, は定数とする。エントロピーに対して、次式成立する。

$$\frac{\partial S}{\partial V} = \frac{P}{T}$$

$$\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{1}{T}$$

エントロピーの式を V で偏微分すると次のようになる

$$\frac{\partial S}{\partial V} = NR \cdot \frac{1}{V}$$

これを $\frac{\partial S}{\partial V} = \frac{P}{T}$ と比較すると、状態方程式を得ることができます。

$$P = \frac{NRT}{V}$$

これは理想気体の状態方程式です。

次に、エントロピーを U で偏微分すると次のようになる

$$\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{3}{2} NR \cdot \frac{1}{U}$$

これを $\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{1}{T}$ と比較すると、内部エネルギーの関係式が得られる。

$$U = \frac{3}{2} NRT$$

これは単原子理想気体の内部エネルギーです

②エントロピーは、熱力学における重要な物理量であり、巨視的な状態と微視的な状態を関連づける役割を持っています。ボルツマンの原理に基づき、エントロピーは次のように表されます。

$$S = k_B \ln W$$

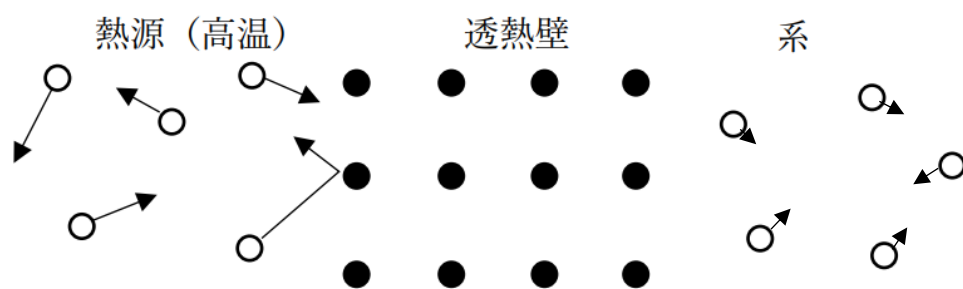
ここで、 S はエントロピー、 k_B はボルツマン定数、 W は系の可能な微視的状态の数を示しています。エントロピーは、系の無秩序さやランダムさを表す指標であり、微視的な粒子の状態が多ければ多いほど、エントロピーは高くなります。つまり、エントロピーが高いほど、系の内部構造はランダムで、無秩序な状態にあると言えます。エントロピーはまた、系が平衡状態に達する不可逆過程を示す量でもあります。孤立系が非平衡状態から始めると、エントロピーは自然に増加していき、最終的に平衡状態に達すると最大のエントロピーを持つこととなります。これは、平衡状態では可能な微視的状态数が最大となり、その分無秩序さも最大になるためです。たとえば、理想気体の自由膨張などの断熱過程では、系の温度が一定に保たれながら、体積が増えるにつれてエントロピーが増大することが観察されます。この過程では、系のエネルギーが外部に流出することはありませんが、内部の状態はより多様化し、無秩序が増します。

さらに、エントロピーの増大は、熱的なエネルギーの分散とも関連しています。熱が高温側から低温側に移動する際、エネルギーが均一に分散されることでエントロピーは増加します。例えば、高温の気体分子が壁を通して

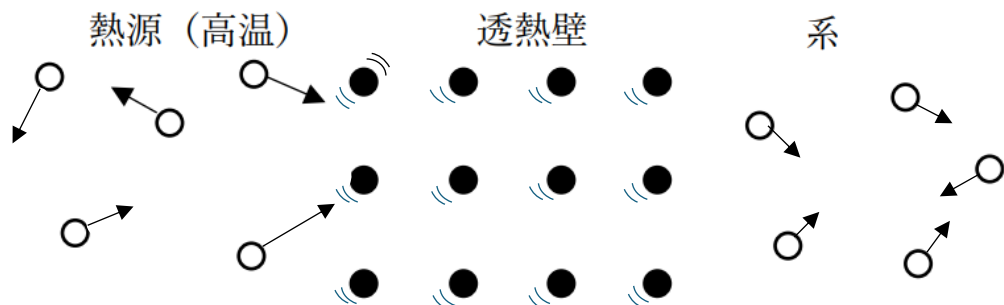
低温の気体分子にエネルギーを伝える場合、最終的に両者が同じ温度に達するとエントロピーは最大となり、系全体が熱平衡状態に至ります。この過程は不可逆であり、エントロピーは減少することなく増加する一方です。エントロピーの本質は、このようにエネルギーの分散や系の無秩序の増大、平衡への不可逆過程を記述するものであり、巨視的な熱力学的現象を微視的な粒子の運動や状態に基づいて理解するための重要な概念です。また、エントロピーが最大となる状態が熱力学的平衡状態であり、それ以上エントロピーが増加しないため、この状態が安定であることを示しています。

2.

① 左高温，右低温のまま壁で隔てられている始状態（非平衡状態）



② 熱平衡に達するまえの途中状態（非平衡状態）.



③ 熱平衡状態（終状態）

