

熱放射に関する物理法則

1) プランクの放射則(Planck's law)

ドイツの物理学者プランク(Max Karl Ernst Ludwig Planck)が1900年に確立した放射測定に用いられる基本的な式です。分光放射輝度(波長 λ での単位波長幅あたり、単位立体角あたり、単位投影面積あたりの放射束) $L(\lambda, T)$ と熱力学的温度 T との関係はプランクの放射則から次式で求められます。

$$L(\lambda, T) = \frac{2C1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{C2}{\lambda T}\right) - 1}$$

$L(\lambda, T)$; 分光放射輝度($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}$)

λ ; 物体から発散する放射の波長(m)

T ; 物体の絶対温度(K)

$C1, C2$; 放射の第1定数、第2定数

$$C1 = c^2 h = 5.9548 \times 10^{-17} (W \cdot m^2)$$

$$C2 = ch/k = 0.014388 (m \cdot K)$$

c ; 真空中の光の速度($c = 2.99792458 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$)

h ; プランク定数($h = 6.6256 \times 10^{-34} J \cdot s$)

k ; ボルツマン定数($k = 1.38054 \times 10^{-23} J \cdot K^{-1}$)

2) ヴィーンの変位則(Wien's displacement law)

ドイツの物理学者ヴィルヘルム・ヴィーン(Wilhelm Wien)によって1893年に発見されました。分光放射輝度が最大となる波長 λ_m と、その放射体の温度 T との積 $\lambda_m T$ は一定値となります。

$$\lambda_m T = 2.8978 \times 10^{-3} (m \cdot K)$$

3) シュテファン・ボルツマンの法則(Stefan-Boltzmann law)

オーストリアの物理学者ヨーゼフ・シュテファン(Joseph Stefan)が1879年に実験的に明らかにし、弟子のルートヴィッヒ・ボルツマン(Ludwig Boltzmann)が1884年に理論的証明を与えました。

分光放射輝度(プランクの放射則より求められる)を、全波長域にわたって積分した放射発散度(全放射エネルギー)は、物体の絶対温度の4乗に比例します。

$$Me(T) = \frac{2}{15} \cdot \frac{\pi^5 C1}{C2^4} \cdot T^4 = \sigma T^4$$

$Me(T)$; 放射発散度($W \cdot m^{-2}$)

σ ; シュテファン・ボルツマン定数($\sigma = 5.6696 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$)

注) シュテファン・ボルツマンの法則は全波長域でのみ使用可能で、波長が限定される一般の放射测温には適用できません。プランクの放射則を測定波長で積分した放射輝度を使用します。