

11 環境情報実験

題目：小型分光器による光のスペクトル計測

1. 目的

USB モジュール化された小型分光器を用いて、白熱電球、蛍光灯、LED 電球、水銀灯、レーザーなどの様々な光の分光スペクトルを計測し、背景にある物理現象について考察することで、分光計測法の原理と工学的価値を理解することを目的とする。

2. 実験装置

図 1 に本実験で使用する USB 小型分光器の外観を示す。先端部に設置されたレンズから取り込まれた光は、ファイバを介して本体ボックスに入射される。本体ボックスには図 2 に示すようなガラスボディが内蔵されており、ファイバから入射された光は回折格子(グレーティング)により波長毎に異なる方向へ反射(分光)され、イメージセンサ上に集光される。波長毎の光強度は 16bit のデジタル信号に変換され、分光スペクトル(横軸：光波長、縦軸：光強度)としてノート PC 画面上にリアルタイム表示される。

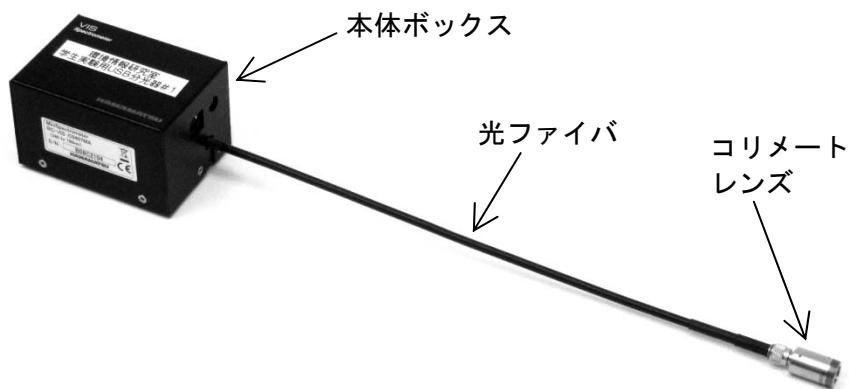


図 1 USB 小型分光器の外観

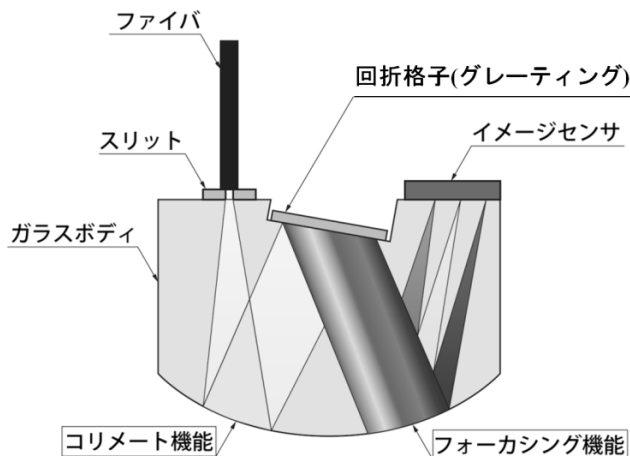


図2 USB 小型分光器の構造(浜松ホトニクス製品カタログより抜粋)

3. いろいろな光のスペクトル計測

白熱電球，蛍光灯，LED 電球，水銀灯，レーザーポインタ，ノート PC や携帯電話の画面，ろうそくの炎などの光や，これらの光を色セロファンを通して見たときの光など，いろいろな光のスペクトルを USB 分光器を用いて自由に計測する．分光器の使用方法，いろいろな光のスペクトルの特徴を理解したうえで，その背景にある物理現象について考察する．

4. 光学的温度測定

4.1 理論

絶対零度の物体以外は物体内部に必ず熱エネルギーを持つ．この熱エネルギーの一部は，常に輻射光(radiation)として物体表面から周囲に放出されている．

同じ温度の物体でも，輻射光を強く放出する物体と，あまり出さない物体がある．最も輻射光を強く放出する理想的な物体を黒体(black body)と呼ぶ．黒体は外部から入射する光や電磁波をあらゆる波長に渡って完全に吸収し，また放出できる物体である．一般的な物体は黒体ほど輻射光を出さない．放出される輻射光が黒体に比べてどれくらい少ないかを表す値を輻射率(emissivity)と呼び，記号 ε で表す． ε は 0 から 1 までの値をとる．

- $\varepsilon=1$: 黒体(輻射光をもっとも強く放出)
 $0<\varepsilon<1$: 一般の物質
 $\varepsilon=0$: 輻射光を全く放出しない

黒体が放出する輻射光の強度、波長及び物体の温度の関係は Planck の黒体輻射の式(式 1)で理論的に求められる。図 3 に 3500～5500K の温度に対して式(1)から求めた Planck の黒体輻射スペクトルの例を示す。また、これらの黒体輻射スペクトルのおよそのピーク波長は実験式である Wien の変位則(式 2)により求めることができる。

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (\text{式 1})$$

$$\lambda_{\max} = \frac{0.002898}{T} \quad (\text{式 2})$$

但し、 λ : 光の波長(m), T : 絶対温度(K)である。

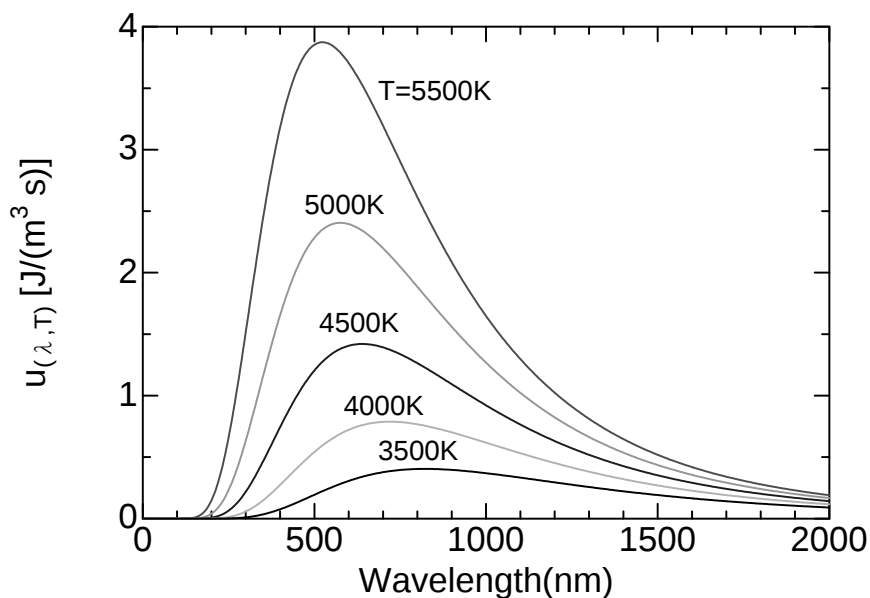


図 3 Planck の黒体輻射スペクトル

4.2 実験方法

USB 分光器を用いて白熱電球フィラメント及びろうそくの輝炎のスペクトルを計測する。計測されたスペクトルについて、ピーク波長を式(2)に示す Wien の変位則であらわされるピーク波長と比較するか、あるいはスペクトルの形状を式(1)に示す Planck の黒体輻射の式に基づく理論スペクトルと比較することによって、白熱電球フィラメント及びろうそくの輝炎の温度を求める。

5. 考察・課題

- 1) 分光器で測定した様々な光のスペクトルのうちから 3 つ以上を選び、スペクトルの特徴を波長等を含めてできるだけ詳細に説明したうえで、なぜそのようなスペクトルになったのか、物理的背景を考察しなさい。
- 2) 様々な物体・材質(3 種類以上)の輻射率を、インターネットや図書館の文献から調べなさい。
- 3) Planck の式で表されるスペクトルのピーク波長が Wien の変位則で表される波長 λ_{max} と一致することを示しなさい。
- 4) 供給電圧を変化させたときの白熱電球フィラメントの温度を、Wien の変位則を用いて求めなさい。また、求めた温度をインターネットや図書館などで調べた文献値と比較し、異なる場合はその理由を考察しなさい。
- 5) ろうそくの輝炎の温度を、Planck の式により求められる黒体輻射スペクトルの理論波形と、実験により得られる輝炎のスペクトルの測定波形が最もよく一致する温度を探すことにより求めなさい。また、求めた温度をインターネットや図書館などで調べた文献値と比較しなさい。
- 6) 本実験で用いたような高価な分光器を使用せずに、より安価な光センサーや光学フィルタだけを用いて、簡便に温度を計測する方法を考えなさい。