

# 電子レンジ内で発生するプラズマの分析

## —シャープペンシルからなぜナトリウムの強い輝線が現れるのか—



実施担当者 兵庫県立姫路東高等学校  
主幹教諭 川勝 和哉

### 1 はじめに

2019年8月に京都大学で開催された「ひらめきときめきサイエンス」に参加した生徒は、電子レンジ内で500Wで加熱したシャープペンシルの芯が発光し、プラズマが生じる実験を行った。このプラズマを簡易型の分光器で分光すると、ナトリウムのD線付近に強い輝線がみられ、他に目立った輝線はみられなかった<sup>1)</sup>。生徒は、なぜシャープペンシルの芯から強いナトリウムの輝線があらわれるのか、この輝線は本当にD線なのかという疑問を見逃さなかった。これらの疑問を明らかにしたいと考えたが、D線を2本に分離できるような市販の分光器は数万円と高額なために入手できない。そこで、D1線とD2線を分離することができる高い分解能をもつ簡易分光器を工夫して自作し、これを用いて電子レンジプラズマを観察して、プラズマ発光の原理に迫ろうと考えた。

自然界には、雷や恒星の発光、地球大気上層部の電離圏、オーロラなど、プラズマが普遍的にみられるが、それを電子レンジ内で再現し考察するような指向性エネルギーの研究は先行研究がほとんど見られない。このような研究は、高密度レーザーパルスなどのエネルギーシステムや、試料をプラズマ化して薄膜を作ったり微細加工するなど、工業的視点においても基礎研究として高い価値があるとされている。

### 2 高分解能をもつ分光器の作成とD線の観察

教科書や様々な資料<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>を参考にして、簡単に自作できる簡易分光器を作成してみたが、D1線とD2線を分離できる分解能がないとか、観察する角度の設定が難しい、などの理由で、電子レンジ内で発生するプラズマを分光する道具として用いることはできなかった。そこで、改良型の簡易分光器を作成することにした。分光の性能を確認する方法として、低圧ナトリウムランプ光の分光を行った。用いたナトリウムランプは、島津製作所製のスペクトロランプ(100V/60Hz)である。筆者らが作成した簡易分光器の写真(図1)と型紙(図2)を示す。

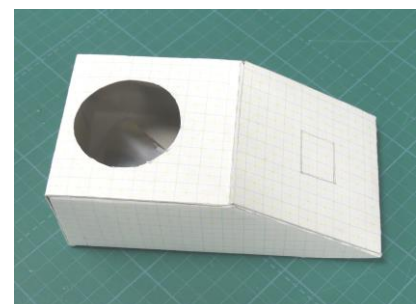


図1 製作した簡易分光器

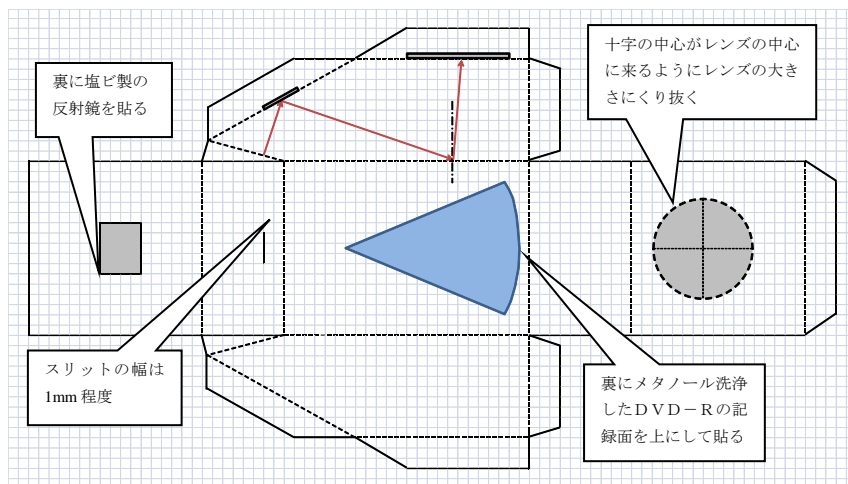


図2 簡易分光器の設計図（1目盛りは5mm）（破線は山折り）



図4 DVD-Rの記録面をメタノールで洗浄する



図5 撮影したナトリウムのD線

可能性がもっとも高い回折格子であるDVD-Rの記録面をメタノール処理し、塩ビの鏡で反射させた改良型の分光器のD線の分光を、デジタルカメラに装着してナトリウムのプラズマを撮影すると、(図5)のように、市販の高額な分光器のように、きれいに2本のD線を観察することができた。



図3 得られた輝線

簡易分光器の開発では、回折格子、反射鏡、スリット幅をさまざまに試した。この分光器で得られた輝線(図3)がD1線とD2線であることを確認するために、アメリカ国立衛生研究所がインターネット上で無料公開している画像解析ソフト「Image J<sup>4)</sup>」を用いて、スペクトルの波長を求め、2本に分光されたナトリウムのD線であることが実証された。

回折格子として、身近にあるCD-RやDVD-R、BRディスクの、いずれも単層のものを用いて分光器を作成し、比較した。CD-RはD線を2本に分光することができなかった。DVD-Rは、観察する角度を細かく調整すると複数の

輝線に分離することができた。BRは、観察に用いたナトリウムランプでは暗すぎて実用的・汎用的ではない。そこで、DVD-Rの盤面を用いることにした。

DVD-Rで繰り返し観察すると、観測のたびにD1線とD2線の太さが異なって観察された。また、2本の輝線がぼやけて見えた。DVD-Rの保護層に分光の能力はないので、記録層のみにして、表面の塗料をメチルアルコールで洗浄し(図4)アルミの蒸着面を露出させて分光器に使用すると、分離する前よりも明瞭な2本の輝線が得られた。通常ガラス製の鏡を用いてもD線を分離することはできるが、表面の保護膜のためにスリットからの入射光がうまくDVD-R面に反射できない。保護膜が貼られていない表面反射型の塩ビ製の鏡を用いると、観察が容易になった。分解能は、(回折格子までの距離)/(スリット幅)に比例するので、製作した分光器のように回折格子までの距離が一定であれば、スリット幅は狭いほど分解能があがることになる。しかし、スリット幅を小さくしていくと、分解能は回折格子の溝の数に依存するようになるため、スリットの幅はあまり意味をなさない。細すぎると入射量が少なく分光が弱くなり、観察には適さない。これらの結果、分光の



長さ 80mm のシャープペンシルの高分子焼成芯を 5mm ずつ短くして電子レンジ内で加熱（500W／700W）し、プラズマが生じるかどうかを調べた（表 1）。また、シャープペンシルの芯の太さや濃さ（硬さ）によっても、プラズマの発生が異なるのかどうかを調べた。条件を変えて実験をそれぞれ 5 回ずつ繰り返した。プラズマは芯の長さが 60mm の際にのみ発生し、芯の濃さや太さには関係しない。

### 3-3 シャープペンシルの芯以外の物質を用いた実験

シャープペンシルの芯以外でも同様のプラズマが発生するのかどうかを確認するため、縫い針や銅線でも同様の実験をおこなった。その結果、長さが 60mm であれば、縫い針でも銅線でも、シャープペンシルの芯と同様にナトリウムの輝線をもつプラズマが発生した。

### 3-4 芯や縫い針、銅線を支持する台を変える

プラズマを発生させた後の箸置きを観察すると、芯や縫い針、銅線に沿って白濁し、一部は欠けるなど破損していた（図 8）。筆者らは、当初、シャープペンシルの芯がプラズマを発生していると思い込んでいたが、成分の異なる芯や縫い針、銅線でもプラズマが発生することから、もしかすると箸置きの成分がプラズマ発生の原因になっているのではないかと考えるようになった。支持台を素焼きの箸置きから耐熱ガラスに置き換えて実験をおこなった。その結果、シャープペンシルの芯でも縫い針でも銅線でも、プラズマは発生しなかった。



図 8 素焼きの箸置きが白濁

## 4 まとめ

ナトリウムランプの D1 線の波長  $\lambda$  は 589.6nm、D2 線は 589.0nm であるため、分光するための分解能は 589.3nm 以上である。分解能は  $\lambda / \Delta \lambda = 589.3 / 0.6 \approx 1000$  となり、回折格子の本数（線密度）が 1mm あたり 1000 本あればよい。DVD-R の規格は 1350 本/mm であり、市販の多くの分光器（600～1000 本/mm）よりも有効である。スリット幅を 1mm にし、塩ビ製の鏡で反射させた入射光を、メタノール処理して皮膜を落とした DVD-R の記録面で回折させると、明瞭な 2 本の D 線に分離できる。このように、身近にあるディスクを用いて、性能のよい分光器を自作することができた。

電子レンジ内で加熱すると、シャープペンシルの芯や縫い針、銅線など、60mm の長さの導体であれば、それがアンテナになってプラズマが発生する。製作した分光器を用いて分光したプラズマは、ナトリウムの強い輝線である。当初は芯がプラズマを発生していると思い込んでいたが、箸置きの上に置いた針状の物体がナトリウムのプラズマを発生しているとは考えられない。そこで、陶器の支持台がプラズマを発生しているのではないかと考えた。ナトリウムは、支持台として用いた箸置きに含まれる成分のうち、第 1 イオン化エネルギーが最も小さい元素である。60mm の針状の物質の成分によらず、これらがアンテナとなって箸置きのナトリウムが励起され、プラズマとなって発光した。

## 謝 辞

本研究は、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の助成を受けて実施した。京都大学情報学研究科の宮崎修次先生や LLP 京都虹工房の小林仁美氏には、電子レンジプラズマの実験について多くの示唆をいただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) Y. Ueno, R. Yasufuku and S. Miyazaki, Spectroscopy of plasma induced by a kitchen microwave, ELCAS Journal, 2018, 3, p. 102.
- 2) 植松恒夫, 酒井啓司, 下田正編, 高等学校物理改定版, 啓林館, 2017, p. 210.
- 3) 若林文高, DVD 分光器の回折条件, 国立科学博物館理工学研究部紀要, 2005, 28, pp. 21-30.
- 4) <https://imagej.nih.gov.ij/>