

藤田順治<sup>1)</sup>, 林 熙崇<sup>2)</sup>  
FUJITA Junji<sup>1)</sup>, HAYASHI Hirota<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>NIFS(名誉教授), <sup>2)</sup>名大理学研(客員)

<sup>1)</sup>NIFS(Prof. Em.), <sup>2)</sup>Nagoya Univ. (Guest Staff)

**研究の目的：**核融合炉の実現という長い道のりを考えると、青少年のプラズマ及び核融合に対する興味と関心を喚起することが極めて重要である。しかし、プラズマのもつ不思議さや面白さを演示実験によって説明するには、通常、大仕掛な装置を必要とする。本研究の目的は、身近なロウソクの炎をプラズマとしてとらえ、関連する物理現象を明らかにし、理科教育に役立たせるための手法として確立することにある[1]。

**ロウソクの炎への電場印加実験：**図1に示す通り、炎の挙動が四方八方から観測できるように金網電極を4 cm 間隔で平行に立て、中央のロウソクに点火して4 kVの直流電圧を印加する。高圧電源は市販の部品を用いて手作りした[2]。炎の先端は負電極側にたなびき、正に帯電していることが分かる。熱電離で生成された電子は、正電極へとドリフトするが、酸素分子との電子付着衝突により酸素の負イオンが生成される。この負イオンも正電極へとドリフトするが、あるものはメッシュを通り抜け、大気分子と衝突して運動量を与えているものと考えられる。このことは、図2に示すように、左の電極に負電圧をかけ、右側の電極をアース電位とし、その外側で線香の煙の流れから大気の流れを観測したとき、炎のたなびきとは逆に外向きに流れている場所があることから推測される。炎の安定性、再現性の観点からオイルランプを用いた。また、線香の煙の代わりに極性判別機能付き箔検電器[2]の電荷捕集電極を置いたときに、僅かながら負電荷が観測される。

**炎プラズマのラングミュア・プローブ測定：**より多くのプラズマパラメータが得られるようにシングルプローブ法を適用した。電位の基準電極として、SUS線( $\phi 0.3$ )を3回コイル状に巻いたものを、上昇する燃焼流に及ぼす擾乱を少なくするため炎の上部に挿入した。炎で赤熱するのでエミッシブ・プローブとして働き、その電位は自動的に空間電位に落ち着く。プローブはSUS線( $\phi 0.8$ )を碍管で絶縁して挿入した。プローブにピーク電圧3 V、繰り返し周波数20 Hzの三角波を加え、基準電極に流れ込む電流をオシロスコープで測定した。電子電流は電圧に対して指数関数的に立ち上がり、その指数から電子温度を、イオン飽和電流からイオン密度を求めた。電子温度は0.14から0.36 eV、イオン密度はイオン種が確定できないので正確な値は得られないが $10^{13}$ から $10^{14} \text{ m}^{-3}$ のオーダーで、空間電位ともども空間分布を持っている。図3にプローブ測定回路の概念図を示す。

**金属線の抵抗から炎の温度分布を求める：**炎を貫通して張られたTa線( $0.2 \phi$ )の抵抗値を、軸からの距離 $x$ を変えて測定し、 $x$ の関数として得られた値(比抵抗の $y$ に沿っての積分値)をアーベル逆変換して、比抵抗の増分の半径方向分布を求めれば、比抵抗の温度依存性から炎の温度分布が得られる。予備的データは得られているが、高温大気中での酸化や焼損に耐え得る線材の選定など、残された課題は多い。

**結論：**たとえ電離度は極めて低くても、ロウソクの炎の中心部はプラズマとしての性質を示している。ロウソクなどの炎に関する上記の実験はプラズマ及び関連する多くの物理現象を理解するための有用な教材であることが分かる。また、炎についての実験技術を確認することによって、燃焼機構を解明する上で有用と思われるデータも得られるものと期待される。

**参考文献：**[1] 藤田順治：プラズマ・核融合学会誌 **88**, 6, pp. 297-299 (2012).

[2] 藤田順治, 林 熙崇：応用物理教育 **35**, 1, pp. 7-12 (2011).

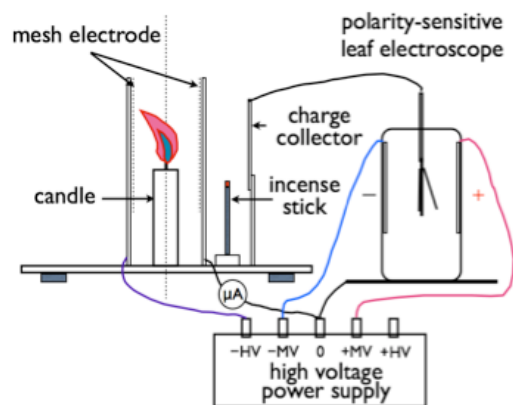


図1. ロウソクの炎への電場印加実験装置

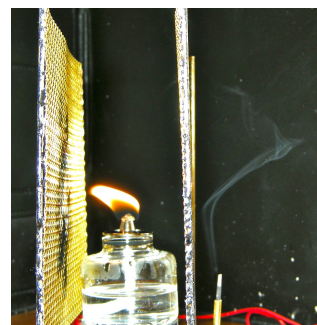


図2. 線香の煙による大気の流れの観測例

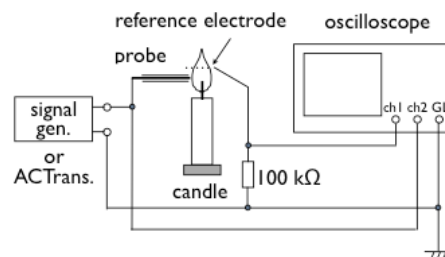


図3. 炎プラズマのプローブ測定回路