

K7-25

アーク加熱風洞を用いた人工流星プラズマ実験 Artificial Meteors Plasma Experiment using the Arc-Heated Wind Tunnel

○沼田宗一郎¹, 荒木健吾², 岩崎太陽², 阿部新助³, 亀川将司¹, 出井裕³, 小宮良樹³
*Soichiro Numata¹, Kengo Araki², Taiyo Iwasaki², Shinsuke Abe³, Shoji Kamegawa¹, Hiroshi Izui³, Yoshiki Komiya³

Abstract: The spectroscopy of natural meteors and meteorite fireballs is not well understood due to rare observing opportunities. In order to test atmospheric entry of meteoroids and meteorites, the artificial meteor experiment was carried out using the JAXA/ISAS arc-heated wind tunnel. Artificial meteors made by metallic materials were used to simulate the ablation processes of fragile meteors. Near-ultraviolet and visible spectra of artificial meteors are compared with that of natural meteors such as Perseids and Geminids, and the Hayabusa spacecraft re-entry.

1. 緒言

流星 (meteor) とは、彗星や小惑星から放出された直径数ミリから数センチのメテオロイド (meteoroid) が、秒速 12[km]~72[km]の超高速で惑星大気に突入する際、大気との衝突励起によって構成物質と上層大気に含まれる原子・分子の双方が輝く「アブレーション (ablation)」に伴うプラズマ現象である。また、流星群 (meteor shower) とは、彗星の軌道上に延びたダスト・トレイル (dust trail) と地球が近接遭遇し、通常よりも多くの流星が発生する現象である。

流星群は、放射点 (radiant point) と呼ばれる天球上のある点から放射状に出現する。これまで、流星の放射点分布や軌道については多くの研究が行われてきたが、流星に含まれる物質や発光素過程については、まだ十分な研究が行われていない。流星の分光観測を行うことにより、物質ごとの発光強度比の時間変化、組成比、プラズマ温度などの発光環境を調べることが可能となる。

本研究では、天然の流星・火球の組成比による発光素過程を明らかにするため、隕石を模擬した金属体を用いて、JAXA/ISAS アーク加熱風洞による人工流星実験を行い、発光プラズマの放射分光計測を行った。

2. 装置及び観測方法

アーク加熱風洞は、アーク放電によって作動ガスを高エンタルピ化して、ノズルにより試験室に噴射し、供試体の耐熱試験を行う再突入飛行環境模擬装置である^[1]。本実験で用いた JAXA/ISAS アーク加熱風洞は作動ガスを空気とした場合、電流 550[A]、電圧 1500[V]、電力最大 1[MW]の作動が可能である。本実験での運転条件を Table 1 に示す。

Table 1. Instrument parameter

電流[A]	550
電圧[V]	1550
電力[kW]	854
主流総エンタルピ[MJ/kg]	16
ノズル出口から供試体までの距離[mm]	30

アーク加熱気流は超音速ノズルによって 4~6[km/s]の速度で真空タンク内に噴射され、供試体は高温ジェットの中に射出される。本実験で用いる供試体は、隕石を模擬して作製した金属体であり、Φ10[mm]、高さ15[mm]の弾丸形状である。それにΦ15[mm]、高さ10[mm]の円柱型を加えた、計2種類を供試体として用いた。供試体の支持は図3の様に、供試体に深さ3[mm]程度の穴をあけ、Φ2[mm]タングステン棒を挿入後、ジルコニア接着剤スミセラム S301 で固定した。反対側の端はΦ10[mm] SUS棒に挿入し、嵌め合いにて固定、その後、SUS棒をアーク加熱風洞施設側提供の銅のアタッチメントホルダに挿入し、イモネジにて固定した^[2]。アタッチメントホルダを熱から保護するためベークライトで覆っている。

観測機器の配置を Figure 1 に示す。Figure 1 の様に分光器から供試体までの距離は、レーザー距離計を用いて計り 0.8775[m]であった。スペクトル観測用の分光器は Ocean Optics HR4000 (波長域 250~1100 nm, 波長分解能 0.75nm, 時間分解能 1/30) を使用し、さらに観測窓は MgF₂ 窓に取り替え、紫外域を含む観測を行った。本実験では発光強度をキャリブレーションするために、ファイバーの先にコサイン・コレクターを装着し、得られた分光スペクトルを絶対校正用ハロゲンランプ (HL-3plus-Cal) のデータを用いて補正した。波長校正

には水銀-アルゴンランプ (HG-1) を用いた。

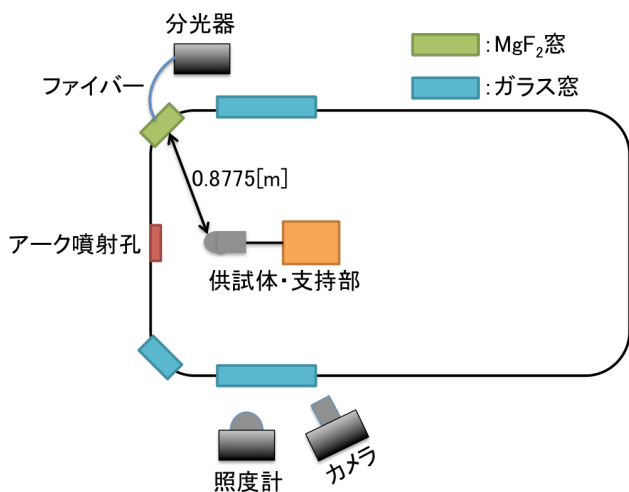


Figure 1. The schematic View of observational system

3. 実験結果及び考察

Figure 2 に供試体のアブレーション画像, そのスペクトル解析結果を Figure 3, 発光ライトカーブを Figure 4 に示す。



Figure 2. Ablation of test specimen

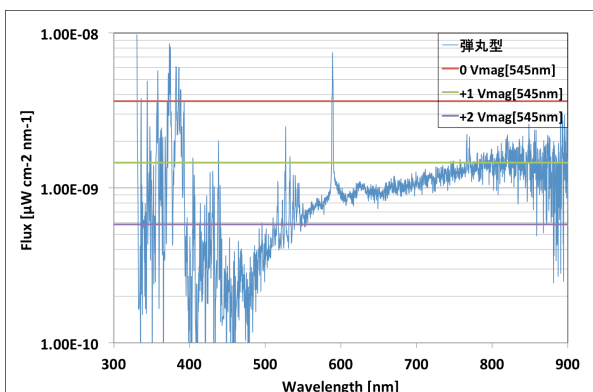


Figure 3. Spectrum of test specimen

Figure 3 のスペクトルは HL-3plus-Ca を用いて Flux を求めたもので, 天頂方向, 高度 60[km]で Flux を補正した. 高度 60[km]付近は最大空力加熱となる高度であ

り, 最も実視等級が明るくなると考えられる^[3]. 可視域 V バンド^[4]540~550[nm]の平均値を用いて算出したところ, 1.72 等級となった。

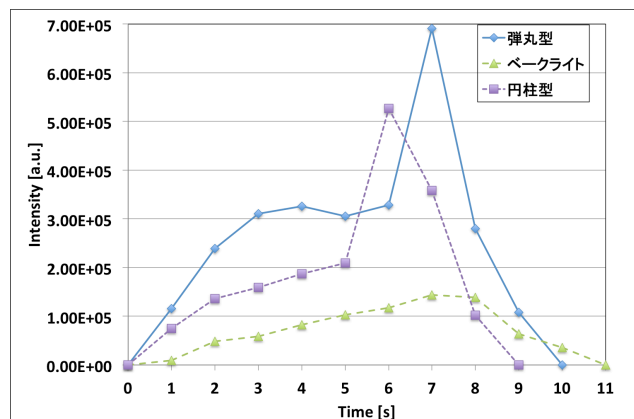


Figure 4. Light curve

Figure 4 の発光ライトカーブは各供試体の可視域 (380~780nm) の積算照度の時間変化である. 後半 (弾丸型: 6 秒後以降, 円柱型: 5 秒後以降) で急激に増光しているのは, 供試体のアブレーションが終了し, 供試体を支えているタングステン棒とベークライトの輝きによるものである. Figure 2 より, アブレーションの際にスパッタリングしながら輝きを増していると考えられる。

4. 結果

- ・ 供試体の発光強度: 可視域 V バンド 540~550[nm] で 1.72 等級.
- ・ アブレーションの際にスパッタリングを起こし, 発光強度が増光する.

5. 参考文献

[1] 山田哲哉, 安部隆士: 「はやぶさ」カプセルの地球大気再突入時におけるプラズマ現象とその周辺, J.Plasma Fusion Res. Vol.82, No.6, pp368-374, 2006

[2] 渡辺正樹: 「超小型衛星搭載用マストライバの研究開発とその応用」, 首都大学東京卒業論文, pp. 1-38, 2013

[3] Shinsuke Abe: 「Near-Ultraviolet and Visible Spectroscopy of HAYABUSA Spacecraft Re-Entry, PASJ:Publ. Astron. Soc. Japan 63, pp.1011-1021, 2011

[4] M.S. Bessell, F.Castelli, and B. Plez: 「Model atmospheres brosd-band colors,bolometric corrections and temperature calibrations for O-M stars」, Astron. Astrophys. 333, pp.231-250, 1998