

金属細線を用いた新規電気推進機構の開発

機械システム工学科 代表者 波多英寛

1. 緒言^{(1),(2)}

国際宇宙ステーション、通信衛星、気象衛星、深宇宙探査衛星など宇宙開発は着々と行われており、衛星放送、気象予報など我々の生活には無くてはならない存在となっている。近年、リスク回避・低コスト化・短期化のため衛星は小型化の傾向がある。衛星搭載用推進機には、液体や気体状態の燃料・推進剤が用いられている。これらの推進剤は、高密度貯蔵や押しガス利用のため、高圧タンクや高圧バルブが必要となり重量・体積が高み大型となる。そのため、衛星を小型化させるためにはシンプルな推進装置が必要である。燃料・推進剤には液体、気体状態のものがあるが、地上作業において高圧取り扱いのため危険を伴い、宇宙運用にあっては常時保温電力が必要である。また、化学反応を前提に用いる推進剤（固体を含む）には酸化剤を含んだ物が多く爆発の危険性がある。

そこで本研究では、衛星の姿勢制御用推進装置、衛星の軌道変換用推進装置として、安全・高推力・高比推力な電気推進機構の開発をめざす。これらの目標を達成するために金属を推進剤として用いる。金属は化学的に安定であるが、瞬間的に高電流を掛けることによって気化・プラズマ化する。この時のプラズマの膨張を利用し推力とする。本研究では基礎的な研究として、金属細線起爆によって発生する推力・比推力について検討を行った結果について報告する。

2. 実験装置および実験条件

本実験は熊本大学衝撃極限環境センター爆発ピットにて行った。実験装置、観測装置の配置図を Fig.1 に示す。Fig.1 のピット中央部に金属細線をセットし、

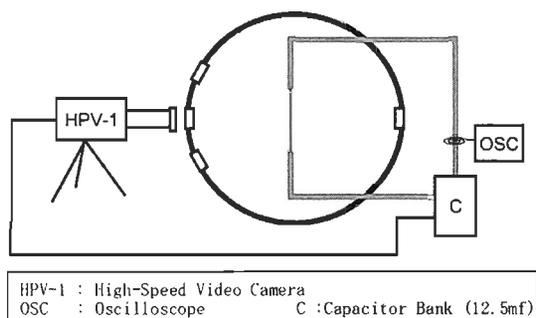


Fig.1 Experiment system

コンデンサバンクからのパルス電流によって気化・プラズマ化させる。その状況を高速度ビデオカメラ (HPV-1) にて撮影し、膨張速度から推力、比推力を求める。また、金属細線に流れた電流をログスキーコイルとオシロスコープで計測する。さらに、真空環境での性能を把握する場合には、Fig.2 に示すような真空容器を用いて実験を行う。これらの実験装置を用いて、充電電圧を 10kV~40kV に変化させ、各種金属細線を用い、周辺環境が大気圧と真空状態にて実験を行った。

3. 実験結果

銅細線 ($\phi 0.75\text{mm} \times 3$ 本)、充電電圧 40kV、大気中で撮影した結果を Fig.3 に示し、鉛線 ($\phi 0.5 \times 1$ 本)、

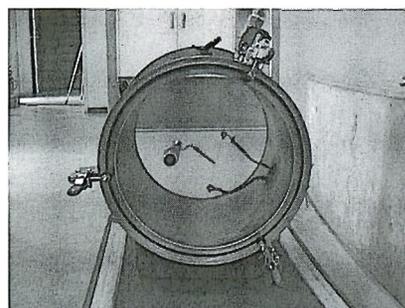


Fig.2 Photo of vacuum chamber

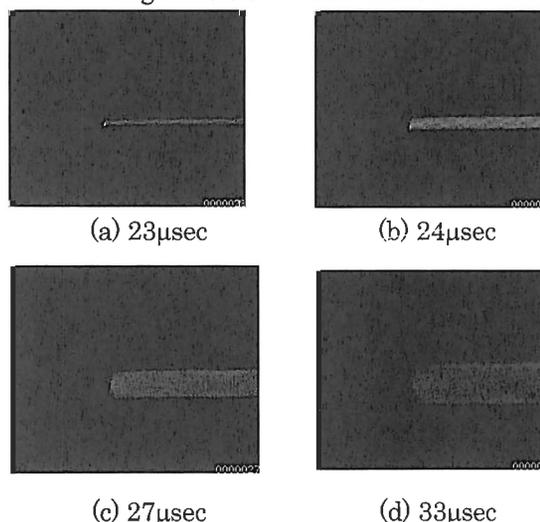


Fig.3 Photographs of explosion wire (Copper wire, 40kV, atmosphere pressure)

充電電圧 10kV, 大気中で撮影した結果を Fig.4 に示す. Fig.1 より金属細線が均一に膨張し, その後拡散している様子がわかる. この計測画像から膨張速度は約 5km/s である. Fig.2 においては, 局所的に発光の後, 全体が膨張, 拡散しているのがわかる. これは, 鉛細線に折れがあり, 局所的に線径が変化し抵抗が変わったために均一に膨張していないと考えられる. しかし, 膨張速度は約 5km/s あり, 10kV でも金属線が膨張していることが確認できた. 大気中で実験した結果では, いずれも時間が経過すると膨張速度は低下する傾向にあった. これは膨張した中心部の圧力が低下し, さらに空気が抵抗になるためと考えられる. そこでこれらの影響を排除するために, 真空中で銅細線 (φ0.75mm×3 本), 充電電圧 40kV の条件で撮影した結果を Fig.5 に示す. Fig.5 の中心部にて発光しているのが金属線が線爆を起こして発光している部分である. また, 写真右上からガスが膨張しているのが確認される. これは, 金属細線に高電圧パルス電流を供給

する銅線間にて放電が起こっており, その放電により銅線取り入れ部のゴムがアブレーションを起こし, それが撮影されていると考えられる. この原理はパルスプラズマスラスタ (PPT) と同様の原理である.

4. 考察

撮影実験より金属細線の膨張速度が求まっており, 膨張した金属の質量も求まっている. そこで以下の式より, 推力 F , 比推力 I_{sp} を求める.

$$F = -V \times \frac{dM}{dt}$$

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m}g}$$

上記より銅細線, 充電電圧 40kV の場合, $F=107\text{mN}$, $I_{sp}=510\text{sec}$, 鉛細線, 充電電圧 10kV の場合 $F=1000\text{mN}$, $I_{sp}=510\text{sec}$ となる. 銅よりも鉛の方が, 密度が多きく線径も太いため質量が大きいため, 推力が大きくなっている. 充電電圧が 10kV から 40kV に変化させても比推力が変化していないため 10kV 程度の電圧で十分だと考えられる. 今回得られた推力は従来使われている PPT などよりも優れており, 金属細線起爆を用いた推進機構の有用性を示している.

5. 結論

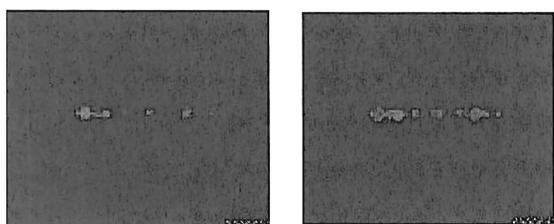
本研究では, 金属細線に高電圧パルス電流を流すことにより, 衛星の姿勢制御などが行える推力が得られることを確認した. 今後, 実際の使用環境である真空環境での推力・比推力を求めることを行う必要がある. また, 推力・比推力の向上のために, ノズルを用いた空力的加速, 電磁力を用いた電磁氣的加速のための実験を行うことを検討している.

謝辞

本研究の真空容器の制作には今村技術職員, 有吉技術職員に協力していただき, また本実験は衝撃・極限環境研究センター衝撃実験棟を利用し, 田中技術職員に協力していただいたことを記し謝意を表す.

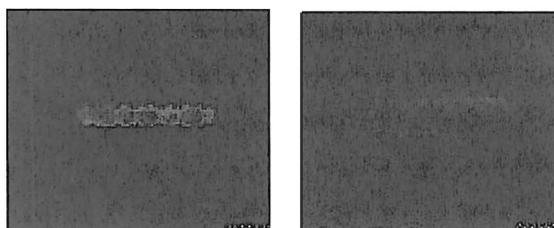
参考文献

- (1) 栗木恭一, 荒川義博, 「電気推進ロケット入門」, 東京大学出版会, 2003
- (2) 國中均など, 「イオンエンジンによる動力航行」, コロナ社, 2006



(a) 12μsec

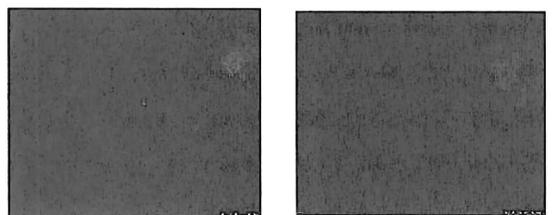
(b) 13μsec



(c) 17μsec

(d) 30μsec

Fig.4 Photographs of explosion wire (Plumbum wire, 10kV, atmosphere pressure)



(a) 20μsec

(b) 24μsec

Fig.5 Photographs of explosion wire (Copper wire, 40kV, vacuum environment)