

大気圧および真空中での N₂O/DME 推進剤を用いた 小型推進機の性能評価

○黒石 竜太 (宮大工・院), 浦岡 佑 (宮大工)
矢野 康之 (ものづくり教育実践センター), 各務 聡 (宮大工)

1. 序 論

現在、衛星放送や全地球測位システム (GPS) など人工衛星は私たちの生活により身近なものとなっている。宇宙開発はさらに活発になり多くの人工衛星や探査機が打ち上げられている。ところが人工衛星は、地球重力や月、太陽の重力、太陽からの放射圧力、大気の抵抗など様々な力の影響を受けるため、通信衛星のアンテナや観測機器の方向にずれが生じる。そのため、軌道保持や姿勢制御、軌道遷移のために小型推進機 (スラスタ) が搭載されている。

スラスタの推進剤には主にヒドラジンが使用されている。ヒドラジンは性能や信頼性に優れ、四酸化二窒素 (N₂O) などとハイパゴリック性を有するため、イグナイタを用いなくても混合させるだけで点火することができる。その一方で、空気中に漏れると自然発火を起こす可能性がある。また、ヒドラジンは発がん性があるなど毒性が非常に強い。地上での取り扱いの際には特別な処理装置や施設が必要となり安全対策にコストがかかる。さらに、ヒドラジンは凝固点が 1.1 °C と高く、貯蔵時には温度管理のためのヒーターが必要になる。

そこで、本研究では N₂O/ヒドラジンを用いた 2 液式推進機にかわる推進機として無毒で凝固点の低い亜酸化窒素 (N₂O) とジメチルエーテル (DME) を用いた 2 液式推進機を提案し、大気圧下と真空中において試作したスラスタの性能評価を行う。

2. N₂O/DME 推進剤

酸化剤として用いる N₂O は笑気ガスと呼ばれ医療用麻酔薬に使用されており人体に対して無毒である。さらに、高温で高い助燃性を持ち、質量比で 36% の酸素を含むため空気よりも燃焼を効果的に促進できる。燃料である DME は、示性式 CH₃OCH₃ のエーテル化合物であり、含酸素化合物であることから燃焼時に煤や PM (粒子状物質) の発生がなく自動車用の燃料としても期待されている。スプレー缶に使用されていることから人体に対して無毒である。以下に N₂O/DME 推進剤を用いることによる利点を示す。

- 無毒である。
- N₂O が 3.18 MPa, DME が 0.6 MPa と適度な蒸気圧なため供給用加圧ガスが不要である。
- N₂O が -102°C, DME が -142°C と凝固点が低いためヒーターが不要である。
- 金属材料に対する腐食性がない。

3. 実験装置および条件

3.1 実験装置 N₂O と DME の混合の促進および燃焼の安定化をはかるために試作したスラスタの概略図を Fig. 1 に示す。気体状態の N₂O と DME を角度 90° をもたせた噴射器により衝突させることで混合させ、保炎板を通して再循環領域をつくり、さらに混合させる。そして燃焼室のイグナイタにより点火し燃焼を起こす。推進剤の点火の判定は燃焼室圧力を測定し、圧力変動により判定する。本研究で使用するノズルのスロート直径は真空中での推力を 0.5 N に設定し、化学平衡計算プログラム NASA-Chemical Equilibrium with Application (CEA) を用いて計算した結果、スロート直径を 1 mm とした。また、大気圧下で最適膨張させるために開口比を 1.3 とした。スラスタの諸元を Table 1 に示す。

3.2 実験条件 本実験は大気圧下および真空中で行った。また、供給する N₂O/DME の流量を CEA を用いて計算した。混合比については、比推力が最大となる混合比、量論混合比、酸化剤過多である O/F=3.5, 5.7, 8.0 とした。実験条件を Table 2 に示す。

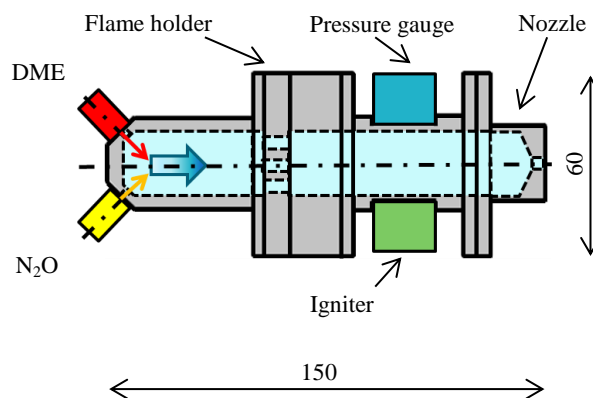


Fig. 1 試作したスラスタの概略図

Table 1 スラスタの諸元

推進剤	N ₂ O/DME
設定推力 (真空)	0.5 N
設定燃焼室圧力	0.4 MPa
スロート直径	1 mm
スロート断面積	0.785 mm ²
ノズル出口直径	1.14 mm
ノズル出口断面積	1.02 mm ²
開口比	1.3

4. 実験結果および考察

4.1 大気圧下の場合 量論混合比である O/F=5.7 における燃焼室圧力, DME 流量, N₂O 流量の時間変化を Fig. 2 に示す. イグナイタ作動中は燃焼が行われているが, イグナイタが停止したとき燃焼が中断され, 維持することができなかった. また, N₂O 側の供給ラインで逆火が発生し, 保炎板を用いても防ぐことができなかった. このことから, 逆火により N₂O の供給ができなくなり燃焼が維持できなかったと考えられる. O/F=3.5, 8.0 においても同様に逆火が見られイグナイタ作動時のみ燃焼が行われていた. また, Fig. 3 に燃焼時にノズルからブルームが発生している様子を示す.

4.2 真空下の場合 量論混合比である O/F=5.7 における燃焼室圧力, DME 流量, N₂O 流量の時間変化を Fig. 4 に示す. 真空下の場合ではすべての混合比で燃焼が見られなかった. 原因としては真空であることから圧力が低下し推進剤の流速増加による吹き消えや燃焼に必要な圧力に達していなかったことが考えられる.

Table 2 実験条件

O/F	DME 流量 [kg/s]	N ₂ O 流量 [kg/s]
3.5	4.6×10^{-5}	1.6×10^{-4}
5.7	3.3×10^{-5}	1.9×10^{-4}
8.0	2.6×10^{-5}	2.1×10^{-4}

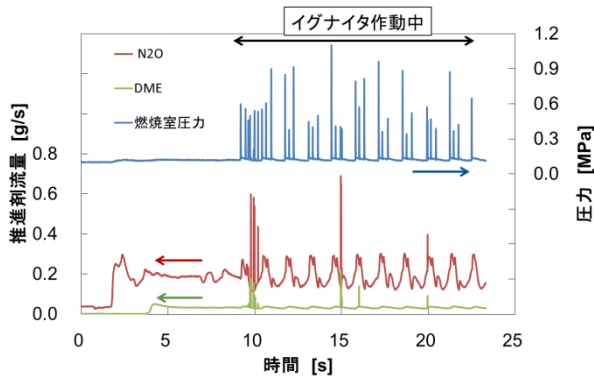


Fig. 2 O/F=5.7 大気圧下

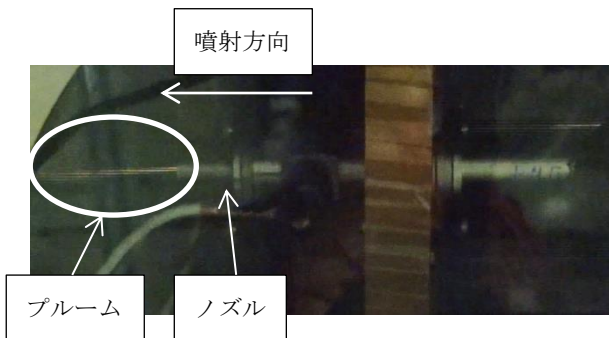


Fig. 3 プルーム発生の様子

5. 結論

本研究では以下のような結論が得られた.

- 従来のヒドラジン系推進剤のかわりに無毒で凝固点が低く, 貯蔵性に優れることから N₂O/DME 推進剤を用いることを提案した.
- スラスタに衝突型の噴射器と保炎板を設けた.
- 0.5 N 級のスラスタを試作して大気圧下および真空下での作動実験を行った.
 - 大気圧下の場合
 - ・ 全ての混合比でイグナイタ作動時のみ燃焼反応が見られ, 作動停止とともに燃焼が中断し, 消炎した.
 - ・ 燃焼時において N₂O 側供給ラインに逆火が見られた.
 - ・ 燃焼時, ノズルから発生したブルームの様子が見られた.
 - 真空下の場合
 - ・ すべての混合比でイグナイタ作動中も燃焼が誘起されなかった.

参考文献

- (1) 松下 達也. N₂O/DME 推進剤を用いた宇宙用小型推進機. : 平成 23 年度 九州工業大学 機械知能工学科 卒業論文, 2012.
- (2) 村上 徹. DME アークジェット推進機の性能に陰極が与える影響. 平成 22 年度 九州工業大学大学院 修士論文, 2011.
- (3) 仲町一郎 庄司不二雄. ガス燃焼の理論と実際. 財団法人省エネルギーセンター, 2012.
- (4) 平野湧太 古田真一郎. N₂O/DME 推進剤を用いた宇宙用小型推進機. 平成 24 年度 宮崎大学工学部 機械システム工学科 卒業論文, 2013.

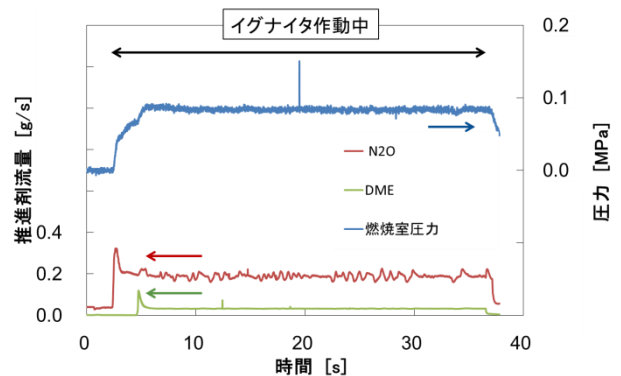


Fig. 4 O/F=5.7 真空下