K2-37

二液式インジェクターにおける衝突角と混合度の関係

The relationship between the impinging angle and mixing ratio of the two liquid type injectors

○山田卓音 [1]，桑原卓雄 [2]
*Takuto Yamada[1]，Takuo Kuwahara[2]

Abstract : DME (di-methyl-ethel) is focused as the green fuel. To use DME as a liquid fuel, it is necessary to mix with N_2O. However the mixing of DME/N_2O is difficult. In this study, to clear the relationship between the impinging angle and mixing ratio in the two liquid type injectors. As a result, the mixing ratio increases with increasing the impinging angle .

1.　背景

現在，人工衛星や探査機などの宇宙機では，軌道投入，姿勢制御の細かい操作が求められるため，一液式または二液式スラスタが使用されている．ここで二液式スラスタは高い比推力を得られるのが特徴である．

二液式スラスタの推進薬として，現在主流となっているのがヒドラジンと四酸化二窒素(NTO)の組み合わせである．ヒドラジンは，NTO と接触すると激しく反応するため点火器を必要とせず，比推力も大きいという利点から一般に用いられてきた[1]．しかし，人体に対する毒性が非常に強いため取扱いは困難である．また，凝固点も 274.4 K と高く，宇宙空間などの低温環境ではヒーターなどの加温設備が必要となるという欠点がある．そこで我々は，ヒドラジンと NTO に対して人体への影響が少ない DME(ジメチルエーテル)と亜酸化窒素の組み合わせに着目した．DME/亜酸化窒素を用いることの利点としては，どちらも無毒であること，DME が 131.5 K，亜酸化窒素が 182.1 K とどちらも凝固点が低いためにヒーターが不要であること，金属材料に対する腐食性が少ないことが挙げられる．

DME は自動車業界でも着目されているものである．また，亜酸化窒素は笑気ガスとも呼ばれ医療用麻酔として使われるなど人体に対しては無害である．

DME と亜酸化窒素を液体推進薬，液体酸化剤として使用するためには一般的に衝突型インジェクターが用いられる．現在，DME/亜酸化窒素に関しては，混合が不十分なことにより理論上の比推力が得られず問題となっている[2]．

そこで，本研究では両者の混ざり度合い，すなわち混合度を向上させることを考え衝突型インジェクターの衝突角に着目し，角度の増減に伴う混合度変化について明らかにすることとした．

2.　実験装置及び方法

インジェクターの衝突角が DME/亜酸化窒素の混合度に与える関係を明らかにするために，参考文献[2]で使用されていた 90 度，さらに角度を増加させた 120 度と衝突角を変化させたインジェクターを用いて実験を行った．インジェクターの衝突角に関する図を Figure 1 に示す．出口径は 2 mm とした．

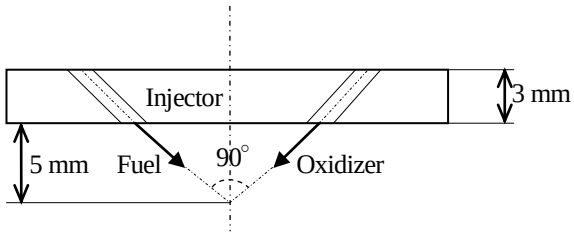

Figure 1. Impinging angle of the injector 90°

本実験では，実際の DME/亜酸化窒素を用いた燃焼実験において，両者が高圧ガスおよび危険物に該当することより，高圧ガス，危険物でないという安全性を考慮して模擬流体を用いた．模擬流体としては，密度と粘度が近い性質を持つサラダ油(DME の代用)，水(亜酸化窒素の代用)とした．混合度の状態は粘度，密度等によって変化するが，このうち密度による影響が最も大きいため，密度の近い液体を選定した．Figure 2 に実験装置概要図を示す．実験条件は，サラダ油/水ともに 293 K，噴射時間 3 s，タンクの押圧を燃料タンクでは 0.45 MPa, 酸化剤タンクでは 0.50MPa, O/F を 1.1 とし，大気中への噴射を行った．

1：日大理工・学部・航宇　2：日大理工・教員・航宇

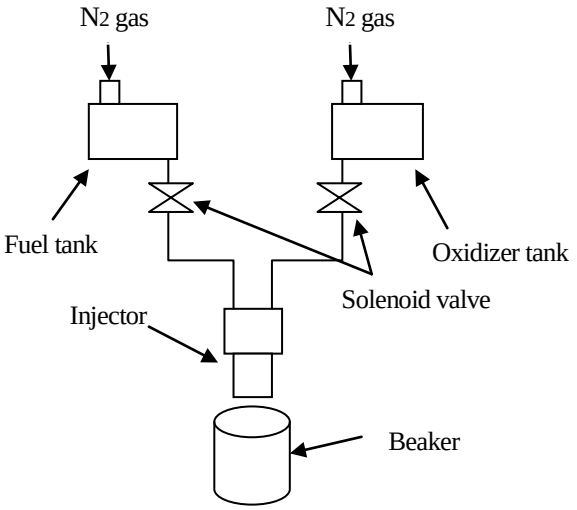

Figure 2. Experimental Apparatus

本実験において，推進薬タンク，酸化剤タンク内をそれぞれ窒素ガスにより加圧することで，サラダ油/水をインジェクターより噴射した．混合度の評価については，水と油が衝突し，その際発生する乱流によってエマルジョン化して生じる乳化物の量を用いた．インジェクターより噴射されたサラダ油/水の混合物及び乳化物を回収し，噴射量全体に対し乳化物の占める割合を算出し評価した．評価の際用いた式を以下に示す．ここで，η_mは混合度，m_{total}は噴射された液全体の質量，m_{em}は乳化物質量である．m_{em}については、ビーカー内から乳化物をスポイトで回収しその質量を測定した．

$$\eta_m = \frac{m_{em}}{m_{total}} \times 100 \qquad (2.1)$$

また，インジェクターについては水を用いて流量試験を行い，オリフィスの排出係数を求めた[3]．押し圧力を変化させて，噴射時間 3 s での流量を測定して平均値として算出した．その結果を Table 1 に示す．

Table 1. Discharge coefficient of injector orifice

Injector impinging angle	Discharge coefficient
90°	0.82
120°	0.81

3.　実験結果及び考察

本研究ではインジェクターの衝突角を変える事により，混合度への影響を測定した．Figure 3 に各噴射時の混合度を示す．Table 2 にも混合度を数値で示した．

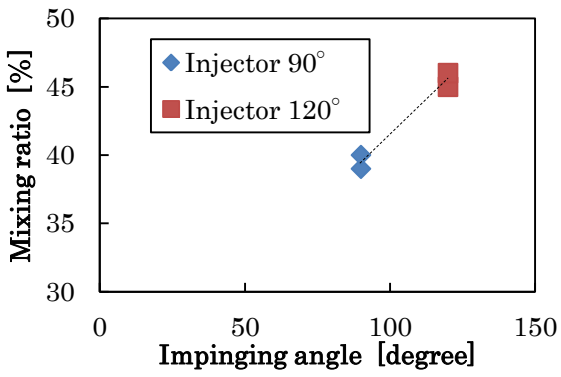

Figure 3. Relations of the impinging angle and mixing ratio

Table 2. Relations of the impinging angle and mixing ratio

Impinging angle	Mixing ratio (1)	Mixing ratio (2)
90°	39.5%	40.4%
120°	45.2%	46.3%

2 種類のインジェクターを製作し，それぞれ 2 回ずつ実験を行った．結果より，衝突角度が 90° に比べ 120° のインジェクターの方が混合度が約 6%増加している．

衝突角度の増加に伴い，ノズルから噴射された流体の運動量について考える．衝突角が増加すると，軸に垂直な向きの運動量も増加する．よって衝突時の流体同士の微粒化が促進され，この場合では乳化しやすくなったことにより，混合度も増加したと考えられる．

4.　結論

インジェクターの衝突角を増加させると，2 つの液体の混合度は増加する．

5.　参考文献

[1] 桑原卓雄，「ロケットエンジン概論」，産業図書，pp.51-54，2009.
[2] 松下達也，「N2O/DME 推進剤を用いた宇宙用小型推進機」，九州工業大学工学部機械知能工学科卒業論文，2012.
[3] ジョージ P サットン，「ロケット推進工学」，山海堂，pp.267-273，1995.