

K-30

3Dプリンターを利用したハイブリッドロケットの固体燃料に関する研究 A study on solid fuel for hybrid rocket with using 3D printer

○山崎貴也¹, 押切快¹, 斎藤寛風¹, 高橋晶世², 高橋賢一²*Takaya Yamazaki¹, Oshikiri Kai¹, Hirona Saitou¹, Akiyo Takahashi², Kenichi Takahashi²

Abstract: There is few practical using of hybrid rockets. The reasons for this are the slow fuel recession rate and low specific impulse. In this study, we will use a 3D printer to study metal additions to improve fuel gas generation and specific impulse.

1. 研究背景

ハイブリッドロケットは、固体燃料と液体酸化剤の相が異なる2種類の推進剤を用いるロケットである。ハイブリッドロケットは燃料が爆発する心配がなく、また扱う液体が1種類であるため、液体ロケットや固体ロケットに比べて安全で小型化が可能であり、そのため安価に製造できるという特徴がある。^[1]しかし、ハイブリッドロケットは実用例が少ない。^[2]その理由として、燃料後退速度が遅く、比推力も低いことが挙げられる。^[3]

そこで3Dプリンターを用い固体燃料を製作しようと考えた。3Dプリンターの利点は、試作工程の効率の向上や今まで出来なかった複雑な内部形状の製作が可能になることが挙げられる。この研究においての3Dプリンターの利点は燃焼表面積を変化させやすいことである。それにより、高充填率の固体燃料が製作可能だと考えられる。現在ほとんどの航空宇宙産業で使われる材料3Dプリンターでも扱えるようになってきた。^[4]3Dプリンターを利用し、グレイン内の形状を複雑にすることによって燃料ガス発生量向上、また比推力を向上させるためには金属添加が考えられる。

本研究では3Dプリンターを用いて、金属を添加した固体燃料に関する研究を進める。

2. 実験装置

本研究では3Dプリンターで印刷するために、CADにはAutodesk Fusion 360を使用し、印刷ソフトにはCUREを使用した。実験装置の簡易図をFigure 1に示す。

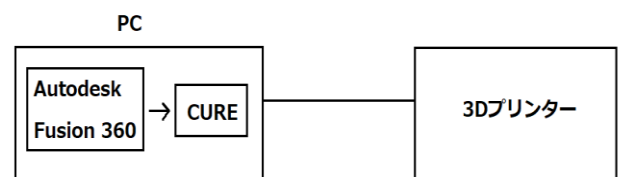


Figure 1. Schematic diagram of the experimental setup

3. 実験方法

Autodesk Fusion 360のアプリケーションを使用し、固体燃料のモデルを製作し、CUREを使用し印刷する。本研究では、グレイン形状を星形で統一し、螺旋形状のピッチの異なる3種類を製作した。

4. 実験結果及び考察

金属添加のNASA CEA^[5]による比推力に関するグラフをFigure 2に示す。O₂, N₂Oは300K, H₂Oは500Kで解析を行った。また、H₂Oを500Kで行った理由は過熱水蒸気で使用することを想定して解析した。

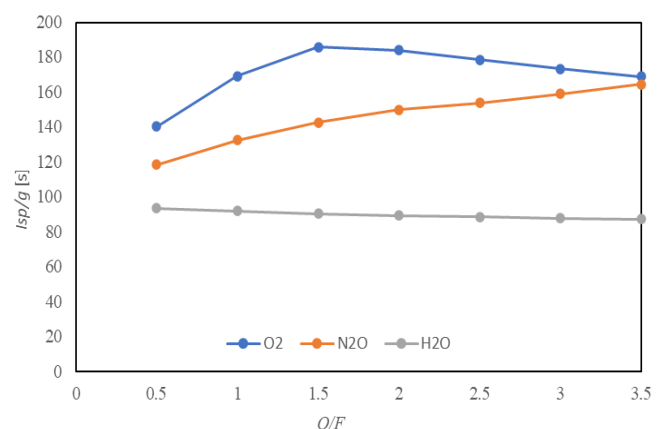


Figure 2. Specific impulse

製作したグレイン形状モデルを Figure 3 に示す. それぞれのモデルを左から順に No.1 Model, No.2 Model, No.3 Model とする.

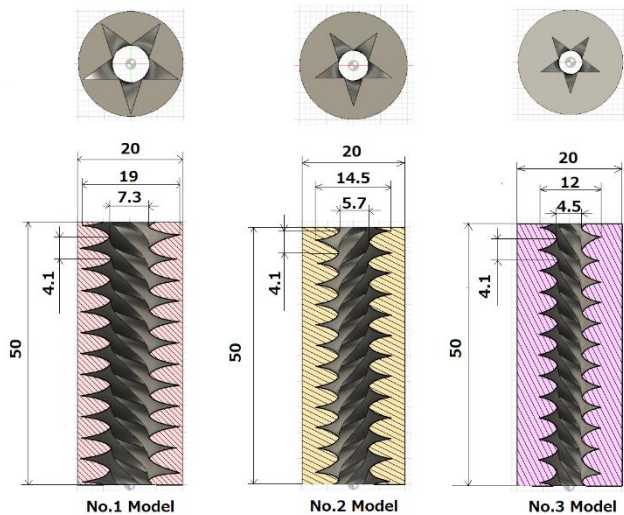


Figure 3. Grain shape model

Table 1.2 にフィラメントで製作した固体燃料の解析結果を示す. 充填密度で重さが変わるため, それによる燃料変化を今後検討するため, 充填密度を変えて行った.

Table 1. Filling density 20%

	No.1	No.2	No.3
体積 [cm ³]	11.13	12.21	13.56
質量 [g]	12.10	11.38	10.27
密度 [g/cm ³]	1.110	0.757	0.964
内部表面積 [cm ²]	68.9	45.8	31.9

Table 2. Filling density 100%

	No.1	No.2	No.3
体積 [cm ³]	11.39	13.01	13.83
質量 [g]	13.56	15.93	16.91
密度 [g/cm ³]	1.209	1.230	1.227
内部表面積 [cm ²]	68.9	45.8	31.9

Figure 2 より, O₂ の数値の変化が 1 番大きいことが分かる. O/F が 1~1.5 の間で比べると, I_{sp}/g が O₂ は 16.5, N₂O は 10.1 増加した. しかし H₂O は I_{sp}/g が -1.41 と減少した. Table 1.2 より, 充填密度 20% の時は内部表面積も密度も No1 が一番大きい結果となったが, 充填密度 100% の時は密度が一番小さい結果となった.

5. 結論と今後の課題

- ・内部表面積が増えるような新たな内部形状の設計を行う.
- ・並行して比推力を向上するために金属添加物の選定を進める.
- ・フィラメントだけの燃料と金属添加した燃料を比べ, 解析する.

参考文献

- [1] 片野田 洋, 永田 晴紀:「ハイブリッドロケットの c^* 効率について」, 鹿児島大学工学部研究報告第 58 号, 2016
- [2] 原田潤一, 那賀川一郎:「ワックス系燃料ハイブリッドロケットにおける燃焼効率改善に関する研究」, 東海大学紀要工学部, Vol.55, No.1, pp.33-41, 2015
- [3] 本目将大, 内島圭介, 舘山哲也, 西野沙也加, 藤方優樹, 高野敦, 船見祐輝, 神奈川大学:「星形フラクタルポートを用いたハイブリッドロケットグレインの局所後退速度」, 平成 30 年度宇宙輸送シンポジウム, 2018
- [4] Michael Creech, Alix Crandell, Nick Eisenhauer, Sarah Marx, Tobi Busari, Austin Link, Jason Gabl and Tiomothée L. Pourpoint: “3Dprinter for Paraffin Based Hybrid Rocket Fuel Grains”, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2015
- [5] Sanford Gordon and Bonnie J. McBride: “Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions and Applications”, NASA Reference Publication 1311, 1994