

1. 緒言

ハイブリッドロケットは、液体ロケットに比べて構造が簡単であり、固体ロケットに比べて火薬を使わず安全性が高いなどの利点を持つ。このような特徴から、小型ハイブリッドロケットは教材として適していると考え、これまで研究を行ってきた。本論文では提案するロケットの燃料内での着火位置の変更がペットボトルハイブリッドロケット(PHR)の性能に与える影響を明らかにし、酸化剤ノズルが焼損しない実験条件について検討を行った。さらに、模擬打上や打上実験を実施し検証した。また、小中学生を対象にした理科教室を実施し、教材用として適しているかを実践的に評価した。

2. 実験方法

2-1 燃焼実験

本論文で提案する PHR を図1に示す。ペットボトルを酸化剤タンクに使用し、酸化剤を供給するための酸化剤ノズル、燃料、燃焼室およびノズルスロートで構成される。実験は、酸化剤ポンベよりノズルスロートから挿入したチューブを通して酸化剤タンクに所定の圧力まで酸化剤を供給した後、チューブに巻いたニクロム線へ所定の電圧を供給し、着火および燃焼を開始させた。そして、燃焼状態を観測するために圧力ピックアップで酸化剤タンク圧力と燃焼室圧力を計測し、さらにビデオカメラで観察した。なお本論文において、ノズルでは適正膨張および推力係数を 1 と仮定し、燃焼室圧力とノズルスロート断面積から推力を算出し、さらに定義したロケットの作動時間で推力を積分した値を総推力 I_t とした。

本論文では、着火位置 D_{ig} と酸化剤ノズル径 d_o がロケットの性能に及ぼす影響を検討した。ここでの着火位置とは、酸化剤ノズルからニクロム線コイルの先端までの距離を図2に示す。

実験条件には燃料長さ L_f が 150 mm および燃料内径 d_f が 10 mm のポリエチレン製単孔燃料を使用し、また酸化剤タンク容量 V_{O0} は 1.0 L、ノズルスロート径 d_{sn} は 5.0 mm とし、酸化剤に O_2 を使い、 P_{O0} を 0.6 MPa の同一条件とした。さらに、ニクロム線の着火位置 D_{ig} を 10, 20, 30, 40, 50mm と変化させ、酸化剤ノズル径 d_o は 2.0 と 2.5mm を対象とし燃焼実験を行った。

2-2 理科教室

本研究で提案する PHR が理科教室で教材用として適するか実践的に評価した。理科教室ではロケットの組み立てや模擬打上を行い、最後に改善点や小学生、中学生の感想を調査

するためにアンケートを実施した。

3. 実験結果と考察

3-1 燃焼実験

図3に D_{ig} と I_t の関係を示す。また、図4に着火位置 D_{ig} が 10, 40, 50mm のときの燃焼室圧力の最大値から 80% 時の燃焼の様子を示す。図中の誤差棒は標準偏差を表している。さらに、図3中の着火位置 D_{ig} が 10mm、酸化剤ノズル径 d_o が 2.0mm の条件は過去のデータのものを示す。

図3より、推力は d_o が 2.0 と 2.5mm によらず着火位置が 10, 20, 30, 40mm までは概ね変わらないが、50mm になると低下していることがわかる。この要因として、燃焼に使用される燃料内の燃焼表面積に差があるためであると推測できる。燃焼実験で撮影した動画から観察した結果、図4のように着火位置が 10~40mm の実験では燃料棒の上端から下端まで白く強く発光しており、燃料内面全体が燃焼していることがわかる。しかし、着火位置が 50mm のときでは燃料棒が上端まで燃焼しておらず、燃焼表面積の範囲が小さくなっていることがわかる。このように観測される原因として着火位置と燃焼室の距離が関係していると思われる。燃焼室は黄銅でできており、燃料の材料であるポリエチレンに比べ熱伝導率が約 600 倍大きい。このため着火位置が 50mm の場合は燃焼による発熱に比べ、燃焼室からの熱損失が大きく、推力が極端に低下したと考えられる。

3-2 理科教室

教室実施後のアンケート結果より、全体的に理科教室に対する小学生、中学生の反応は概ね良好だった。今年の理科教室では低学年の生徒が多く参加しており、「ロケットの組立が大変だった」という意見があった。そこで理科教室を円滑に進めるために年齢層によってロケット組立の簡素化が必要であることがわかった。

4. 結論

- (1) d_o によらず着火位置が 10, 20, 30, 40mm までは概ね総推力は変わらないが、50mm で推力が低下した。
- (2) 酸化剤ノズルが焼損せずに性能も大きな差が出なかった。したがって、 D_{ig} は 20mm 程度が実験に適していると考えられる。
- (3) 小学生や中学生を対象に行った理科教室は好評であり、教材用として適していることがわかった。

5. 参考文献

- (1) 山口 幸一, 愛媛大学修士論文, p. 99 (2022)

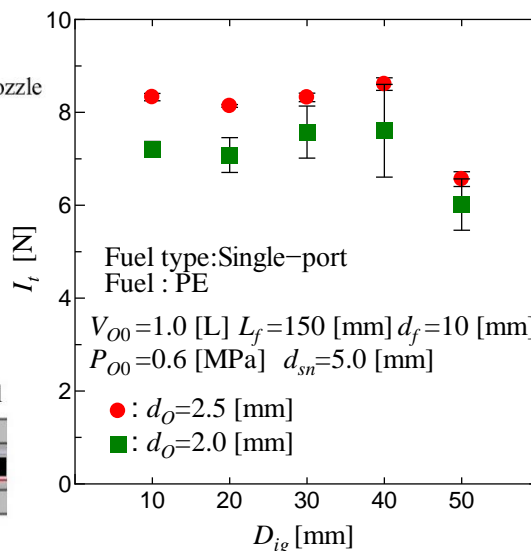
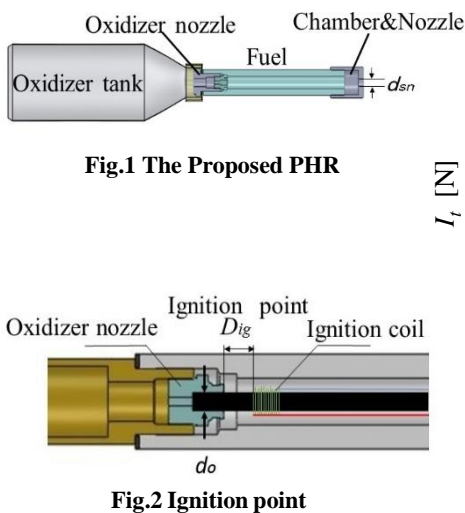
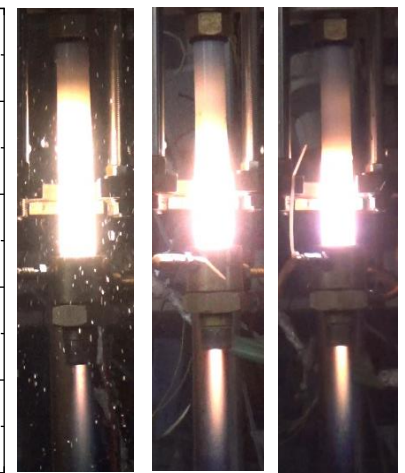


Fig.3 Relationship among D_{ig} and I_t



(a) $D_{ig}=10$ mm (b) $D_{ig}=40$ mm (c) $D_{ig}=50$ mm

Fig.4 Fuel rods during combustion