

第25回衛星設計コンテスト

アイデア概要説明書

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） ロケットの空気抵抗の低減			
作品名 副題（これは公式文書では省略する場合があります） ディンプルや整流筒を用いた燃費の改善			
	氏名(フリガナ)	学校名、学科	学年
代表者(正)	吉岡 潤哉 (ヨシカ ジュンヤ)	山口県立山口高等学校 理数科	1
代表者(副)	岡村 真碧 (オカムラ マオ)	山口県立山口高等学校 普通科	1
メンバ1	溝部 壮太朗 (ミヅベ ソウタロウ)	山口県立山口高等学校 普通科	1
メンバ2	光田 圭佑 (ミツタ ケイスケ)	山口県立山口高等学校 普通科	1
メンバ3	岩村 明優果 (イワムラ アユカ)	山口県立山口高等学校 普通科	1
メンバ4	三原 知也 (ミハラ トモヤ)	山口県立山口高等学校 理数科	1
メンバ5	柳井 悠 (ヤナイ ムカ)	山口県立山口高等学校 理数科	1
メンバ6	阿南 太士 (アナム タイジ)	山口県立山口高等学校 理数科	2
メンバ7	村藤 海人 (ムラサジ カイト)	山口県立山口高等学校 理数科	2
メンバ8	福田 悠稀 (フクダ ユキ)	山口県立山口高等学校 普通科	2

2. アイデアの概要（プレスリリース等で使用するので、200字程度でわかりやすく表現して下さい。）

ロケットの形状は、円錐形のフェアリングに筒状の本体が接続したものが多く、差異が少ない¹⁾。現在の形状は究極の理想形であり、そのために差異が少ないものと推察される。しかし、既存の形状にとらわれず、自由な発想で試行錯誤してみると、空気抵抗を低減させることができる新たな形状を見つけることができるのではないだろうか。ゴルフボールの表面にあるディンプルという凸凹や、空気の流れを制御する筒（整流筒）を用いた空気抵抗の低減を模索する。

3. 目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

(a) 目的（今回考えたアイデアを何に利用するか等）

【当初の目的】

空気抵抗は、速度の2乗に比例して大きくなる。そのため、超高速で打ち上がるロケット（H-II B ロケット：高度 54km で慣性速度 1.9km/s）の場合、空気抵抗は極めて大きい。もし、ユニークな形状のロケットで空気抵抗を低減できるなら、燃料を少量化することが可能となり、機体の小型化や費用の削減につなげることができる。さらに、列車や飛行機、自動車など、高速で移動する交通機関に応用すれば、高速化・低燃費化・騒音の低減も可能となる。

【現在の目的】

音速を超えるロケットにおいては、私たちが提案した方法は効果が期待できないとの御助言をいただいた。そこで、音速を超えない物体における空気抵抗の低減に目的を変更した。今回の実験では、空気抵抗に着目し、ペットボトルロケットの飛距離を伸ばすことを目的とした。

(b) 重要性・技術的意義等(ex:宇宙空間で利用する理由、他にない技術など)

水ロケットをベースにして形状に加工を加え、その飛距離から空気抵抗の低減を評価する。これにより、「安全」かつ「容易」に試行錯誤することが可能であり、ユニークな形状の加工にも挑戦することができる。専門的な知識やシミュレーションから出発せず、実際に飛行させながら考察するという点において、課題の解決に対して挑戦的なアプローチが可能となり、独自性のある結果が期待できる。なお、今回の取組で空気抵抗の低減が見込める形状を見出した場合、飛行機や列車、車などの小型模型を製作し、風洞実験などによって実用化の可能性を検証する。表面構造の加工については検証が比較的容易であると考えている。

4. アイデアの概要



図1 発射装置

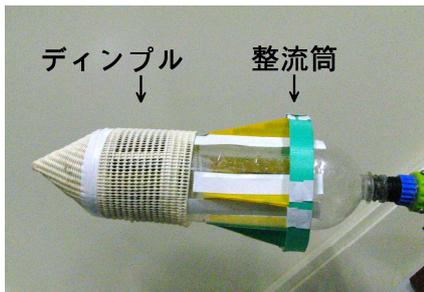


図2 整流筒とディンプル

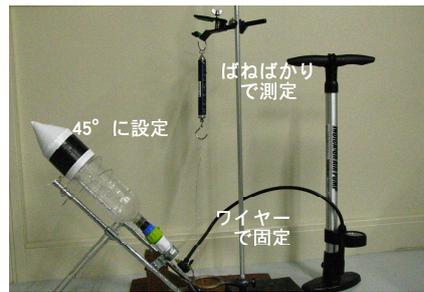


図3 推進力の実験装置

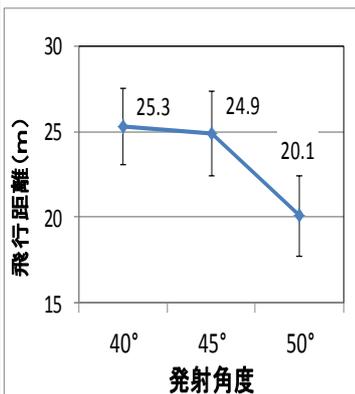


図4 発射角度と飛行距離

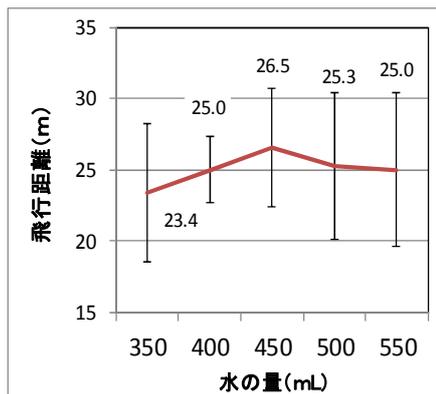


図5 水の量と飛行距離

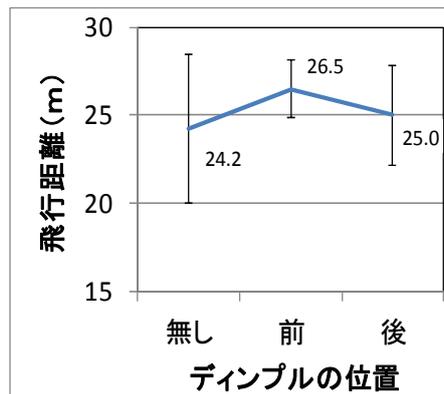


図6 ディンプルの有無と飛行距離

図4～図7 図中の数字は平均値、バーは標準偏差を示す。

各種実験

【角度】 ペットボトルロケットを発射する際の角度は40°、45°、50°の三つで、水の量を150mLに統一して発射し、飛行距離を測定した。なお、飛行距離は発射地点から着地点までの直線距離を巻き尺で測定した。40°と45°は同程度の飛行距離であった(図4)。物体の斜方投射運動の場合、計算上は45°が最も遠くまで飛行するので、実験は45°の角度で行うこととした。なお、入れる空気は、空気入れの気圧計で400kPaになるように統一した。

【推進剤(水)の量】 350mLから550mLまで、50mLずつ異なる水の量で発射実験を各10回ずつ行った(図5)。各群間の有意差について検定した結果、F値は0.626で有意な差は検出されなかった。平均値で比較すると450mLが飛行距離が最も大きかったことから、水の量は450mLが理想だと判断した。なお、水の量によって推進力に差が生じると考えられることから、350mL、450mL、550mLで推進力を比較した。ペットボトルにワイヤーをつけて固定した状態で発射させ、ペットボトルに接続したワイヤーがバネばかりを引く様子をビデオ撮影し、記録した画像から目盛を読んだ(図3)。350mLと450mLは23.2N、550mLは21.6Nであった。水の量が多くなると内部の空気が減少するため水を押し出す瞬間的な力は減少すると考えられた。これらのデータより、水の量は450mLが適当だと判断した。

【ロケット表面へのディンプル加工】 円柱の表面に直径約17mm、深さ3mmのディンプルを、密度5.7%で加工した場合、高レイノルズ数領域においては、薄い境界層が形成される。ディンプル付き円柱の方が、抵抗低減の効果は優れているという報告がある²⁾。このことから、ロケットの表面にディンプル加工を施すことで、空気抵抗が低減されると考えた。

【目的】 乱気流が発生すると考えられる機体後部にディンプル様の構造物を付けると、水ロケットの飛行距離が伸びると考えた。ディンプルを付ける位置を変え、効果を検証する。

【方法】 機体を前半、後半の2つに分け、それぞれに穴の大きさが縦5mm、横2mmの滑り止めシートを取り付けた状態のものを用意する(図2)。さらに、対照としてディンプルを付けない状態のものも用意し、これら、3つの条件の間に飛行距離の差があるか比較した。なお、機体には、軌道を安定させるために、横幅2cmの整流筒を取り付けた。また、水量は450mL、発射角度は45°、空気圧は400kPaで、各条件10回ずつ飛行実験を行った。

【結果と考察】 図6に示したように、ディンプル構造を付けた方が飛行距離が長くなる傾向が見られた。しかし、各群間のF値は1.376で有意差は検出されなかった。後側の方が乱気流が多く距離が伸びると予想していたが、前半に付けた方がより飛距離が長かった。空気を分ける先端部分により効果があると考えられるが、機体の重心が変化したことが影響した可能性も考えられる。今後、重心を一定にして飛距離を比較する方法で追試をする予定である。なお、山口県下松市にある山下工業所³⁾では、ハンマーで金属板をたたくことで微調整しながら、新幹線の先頭構体を製作している。ディンプル加工を施した模型の製作について、現在、山下工業所から御支援をいただくようお願いしている。

【整流筒】 九州大学応用力学研究所では、集風体と呼ばれる風の流れを制御する風力レンズを開発し、風力発電の風車に取り付けることで発電量を向上させることに成功している⁴⁾。集風体のような気体の流れを制御する部品を取り付けることで、ロケット周辺部の空気抵抗を低減することができるのではないかと考えた(図2)。また、旅客機の翼周辺に発生する気体の渦を低減させる目的で、先端部を垂直尾翼のように立ち上がっている形状のものがあり、これをウイングレットという。ウイングレットを取り付けることでも、空気抵抗の低減効果が得られないか検証したい。

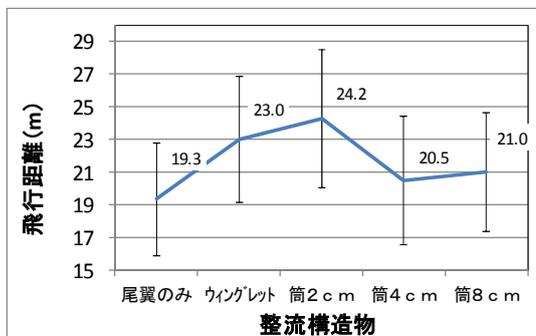


図7 整流構造物の種類と飛行距離

【方法】 ペットボトルロケットに整流筒と称する構造物、または横幅2cmのウイングレットを尾翼に取り付け、推進剤として水を450 mL入れ、空気圧を400kPa、角度45°で発射した。各条件で10回ずつ飛行させ、飛行距離の差を解析した。なお、整流筒と尾翼の重さが異なるため、機体全体の質量は異なる条件で実験を行った。

【結果と考察】 図7に示したように、整流機構を付けていないものに比べて付けたものは飛距離が伸びた。平均値で比べると幅2cmの整流筒で最も飛距離が伸びていることが分かった。各群間の値について有意差の有無を分析したところ、F値=2.65で有意差は無かった。これは、整流筒によって空気抵抗は軽減されているものの、整流筒の幅が増えると質量と空気抵抗が増加し、4cm以上では質量の増加が整流効果を上回るためだと考えた。

5. 得られる成果

小惑星上を移動する探査機など、音速を下回る速度で移動する輸送機や機器における空気抵抗を低減する技術が開発できることを期待している。ディンプル付や整流筒が付いた機器の登場により、人々に関心をもってもらえる効果も見込んでいる。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

※「ここは新しいアイデアである」という部分や、このアイデアによって世の中のここに役立つなど、特に主張したい箇所。

水ロケットの速度は最速でも約50km/時程度であり、ロケットの打ち上げ速度と比較すると極端に遅い。そのため、ロケットの形状が空気抵抗に与える影響について、同等に扱うことはできない。しかし、自分で加工しながら空気抵抗を低減できるロケットの形状を考える活動自体、独創的な取組と捉えることができる。今後は、大学や企業から御指導をいただきながら、この研究を推進したいと考えている。

7. 参考文献

- (1) ロケットナビゲーター JAXA 第一宇宙技術部門
<https://www.rocket.jaxa.jp/rocket/h3/> (2017.7 参照)
- (2) 辰野正和, 堀之内修, 石井幸治 「円弧溝あるいはディンプル付き円柱の空力特性」九州大学応用力学研究所所報 第128号 (15-21) 2005年
- (3) 山下工業所 会社案内 HP (2017.7 参照) <http://www.yamashita-kogyosho.com>
- (4) 九州大学応用力学研究所 新エネルギー力学部門風工学分野 研究室紹介
<https://riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/Windlensturbine.html> (2017.7 参照)

8. 謝辞

山下工業所様から御助言を賜りました。なお、本研究はJST中高生の科学研究実践活動推進プログラムの支援を受けて研究を実施しました。皆様の御支援にお礼申し上げます。