

CubeSat用 10mN級6自由度スラストスタンドの性能評価

Performance evaluation of 10mN and 6 degree-of-freedom thrust stand for CubeSats

学生証番号 47186066 氏名 菊池 航世
(指導教員 小泉 宏之 准教授)

Key Words: thrust stand, 6 DOF, CubeSat, VCM

1. 研究背景

現在、小型衛星やCubeSatの打ち上げ数が伸びている。小型衛星は開発期間の短さや開発・打ち上げコストが低いことが理由としてある。つまり、失敗リスクが小さいため、挑戦的なミッションに適している。

挑戦的なミッションにはコンステレーション、フォーメーションフライト、深宇宙探査などがあるが、これら3つに共通しているのが細かな位置、姿勢制御が必要であることである。そうした制御には推進機の性能取得が不可欠である。性能取得手段としてスラストスタンドがあるが、多くの研究では1自由度のもの(主推力方向のみ)が多く、6自由度のスラストスタンドの研究は少ない。また、現状の6自由度スラストスタンドは、推力レンジが大きすぎる、搭載可能質量が1kg程度といった、小型衛星の地上試験で使用できるものは現在のところ無い。

そこで、以下の2つを満たす6自由度スラストスタンドを設計し、性能評価をすることを目的とする。

- ・推力レンジが10mNオーダーである
- ・搭載可能質量が10kgである。

2. 設計した6自由度スラストスタンド

Figure 1に設計した6自由度スラストスタンドの外観を示す。3三角形のプレートが3つのばねによってつるされている。プレートの上にはカウンターウェイトと水平器がおいてあり、プレートの傾きを検知できるようにしている。ばねの先端(プレートと反対側)にはステージが取り付けられており、高さ方向に位置の調節が可能である。

Figure 2にスラストスタンドに設置したVCMの配置の模式図を示す。VCMは中のコイルに電流を流すと電磁力を発生させる装置で、今回のスラストスタンドの較正用使用する。赤字のVCMはz軸方向、青字のVCMはxy平面に作用するVCMである

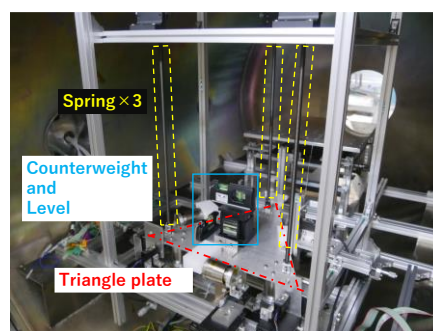


Figure 1 設計した6自由度スラストスタンドの外観

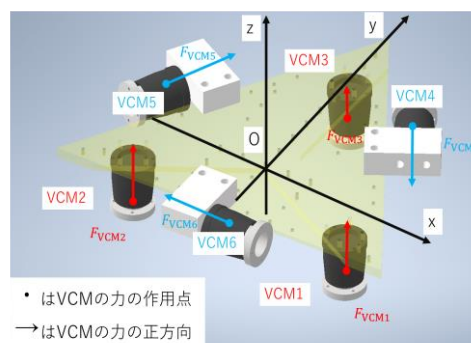


Figure 2 VCMの配置

3. 試験系と試験条件

Figure 3に試験系全体を示す。VCMは電流増幅回路を介してLabviewと接続されている。また、変位計は5Hzのローパスフィルターを介してロガーと接続されている。表 1に各自由度におけるVCMにかける力のまとめを示す。Fは0-6mN、1mN刻みで力をかけていく。

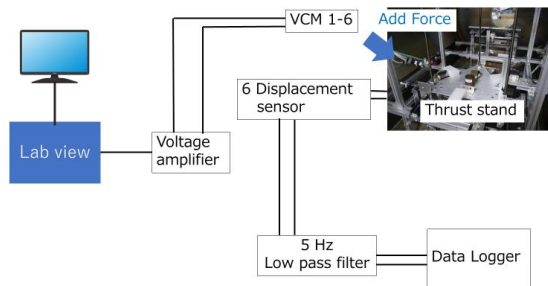


Figure 3 試験系全体図

表 1 各自由度におけるVCMにかかる力
F=0-6mN, 1mN刻み

	VCM 1	VCM 2	VCM 3	VCM 4	VCM 5	VCM 6
Fx	0	0	0	F	F	-2F
Fy	0	0	0	-F	F	0
Fz	F	F	F	0	0	0
Mx	-F	-F	2F	0	0	0
My	-F	F	0	0	0	0
Mz	0	0	0	-F	-F	-F

4. 審査の際に用意するもの

Figure 4にFzにおける時間履歴を示す。Figure 4からわかる通り、z変位計の値だけ大きく変化し、ほかの変位計わずかながら変化していることがわかる。Figure 5に実際にかけたFzに対する変位計の関係をまとめた。エラーバーは5回行った試験の標準偏差である。Fzとz変位計がおおむね線形の関係になっていることが分かった。

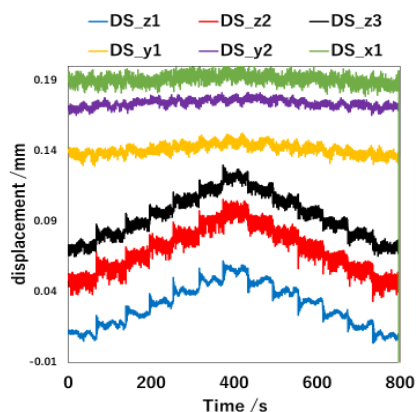


Figure 4 時間履歴 (Fz)

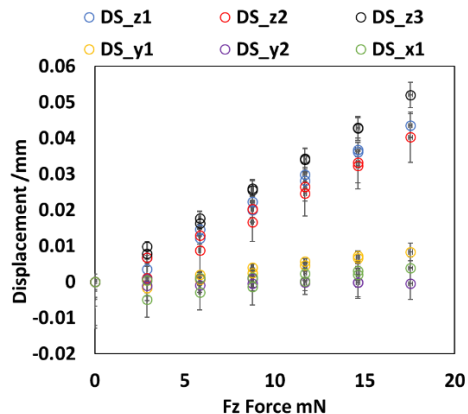


Figure 5 平均化したFzに対する変位計の関係

5. 性能評価

最終的にこのスタンドでどのくらいの推力分解能があるか調べた。変位計の分解能を $2.1 \mu\text{m}$ とし、較正で得られた予測式に代入すると、表 1の結果を得た。10mNの推力に対し、最大でも0.8 mNになっていることから、10mN級のスラスタに対して、計測は可能であるということが分かった

表 2 設計したスタンドの分解能

item	Resolution
Fx	0.307 mN
Fy	0.301 mN
Fz	0.803 mN
Mx	0.00830 mN*m
My	0.0737 mN*m
Mz	0.0430 mN*m

6. まとめ

- ・10mNを計測できる、10kgのCubeSatが搭載可能なスタンドを設計、製作した。
- ・較正実験を行い、かけた力またはトルクに対して変位計が線形的に変化することが分かった
- ・スタンドの推力分解能は0.8mNであり、10mNを十分に計測可能であることが分かった。