

## 超小型衛星用姿勢制御モジュールの開発

石川 卓\* 小暮 誠\*

### 1. はじめに

人工衛星の中でも総重量 100kg 以下のものは超小型衛星と呼ばれ、低コスト、短期間で開発できることで注目されている。中でも、10cm×10cm×10cm を基本サイズ (1U) とする CubeSat は、利用目的に応じて複数個連携し、3U、12U、18U として運用される。電子部品の小型化、高性能化に伴い、人工衛星のさらなる発展が予想される。

非静止衛星の場合、人工衛星が地上基地局と通信できるのは衛星可視時間に限られる。その際、衛星の通信方向を基地局の方向に合わせて通信が行われる。このため、人工衛星の姿勢制御技術が重要となる。

当センターでは、超小型衛星の機能向上を目的に、要素技術の研究開発を進めてきた。姿勢制御技術については、これまで、1U 筐体に搭載可能な姿勢制御用アクチュエータ (リアクションホイール) を開発し、姿勢制御モジュールを構築した (図 1) <sup>1) 2)</sup>。



図 1 超小型衛星用姿勢制御モジュールの外観

### 2. 目的

宇宙を模擬した環境で、姿勢制御モジュールの動作を実証することは困難である。そこで、当センターでは、リアクションホイールによる姿勢制御モジュールの動作を検証するシステムを開発した (図 2) <sup>1)</sup>。

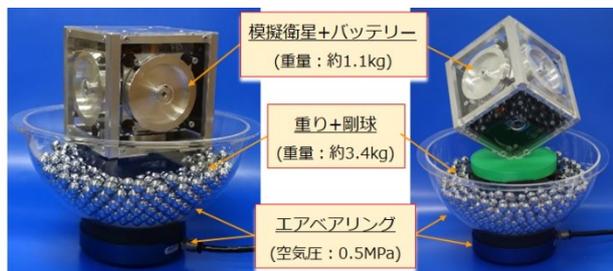


図 2 姿勢制御モジュールの動作検証システム

本システムは、エアベアリングを用い、ボウルに載せたモジュールを空気圧で約 1μm 浮かし、水平方向の回転動作を無負荷に近い状態で検証できるようにしている。本システムへのモジュールの設置方法により、

1 軸 (図 2 の左図) または 3 軸 (図 2 の右図) のリアクションホイールによる動作を検証することができる。

本姿勢制御技術を発展させ、宇宙探査用ロボットや宇宙以外の様々な分野に応用するには、以下の課題がある。

- 1U サイズの姿勢制御モジュール単体で動作させ、その検証を行うため、各構成部品を小型化し、バッテリーを含めてモジュール内に搭載する必要がある。
- 姿勢制御モジュールの動作速度の高速化を行う。そのためには、モータの減速時に発生する回生エネルギーの対策が必要である。
- 前述の姿勢制御モジュールの動作検証システムでは、水平方向の 1 軸周りの回転動作しか検証できない。宇宙環境を想定して、モジュールの動作検証を行うためには、3 軸周りの回転動作を同時に検証する手法が必要である。

今年度は、上記 3 つの課題解決に向けて、研究を実施した。

### 3. 研究内容

#### 3.1 バッテリーの選定と衛星筐体内への搭載

これまで試作した姿勢制御モジュールは、外部から電源を供給していた。その電源仕様を基に、モジュールへ搭載可能なバッテリーの選定と動作実験を行った。表 1 に、使用可能な検討対象のバッテリーを示す。

表 1 バッテリーの比較

	試作機	検討対象①	検討対象②
種類	リチウムポリマーバッテリー	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池
基準電圧	22.2V	14.8V	14.8V
容量	1800mAh	650mAh	990mAh
	39.96Wh	9.62Wh	(146.5Wh)
放電能力	120C	80C	-
	(216A)	(52A)	
寸法	65x42x50mm	58x30x21	72x80x20mm
実験結果 (連続動作)	9h	1.5h	4h
外観			

姿勢制御モジュールの筐体内にバッテリーを搭載するため、ドライブユニットを小型化した。ドライブユニットは 3 つのドライブ基板から構成されているが、そのドライブ基板は各々 3 種の基板から構成されている。その構成基板の大きさと配置を改良した (図 3)。

その結果、これまでのドライブユニットの大きさが 45×49×51mm であったのに対し、改良後の大きさは

35.5×46.5×46.5mm となり、ドライブユニットの体積を約30%削減することができた。これにより、その他の構成機器の配置を調整し、空いたスペースにバッテリーを配置することができた。

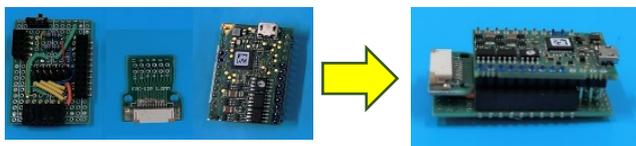


図3 改良した構成基板

### 3.2 回生エネルギー対策

リアクションホイールで使用されているブラシレス型DCモータは、姿勢制御時に2,000~8,000rpmの速度で回転するので、減速時に発生する回生エネルギーを逃がす機構が必要となる。

これまで試作した姿勢制御モジュールでは、姿勢制御性能を損なわない範囲で加減速の速度勾配を設け、回生エネルギーの発生を抑制していた。制御性を高めるためには、速度勾配を大きくする必要があり、新たな対策を検討した。

回生エネルギーの一般的な対策として、以下の方式がある。

- ①回生エネルギーを発生させないブレーキの搭載
- ②シャントレギュレータや大容量の電気二重層コンデンサでエネルギーを電氣的に吸収

しかし双方ともに、大掛かりな機構が必要になるため、1Uサイズのモジュールに搭載することが困難である。

本研究では、部品や機構を新たに追加する必要がない方式③を考案した。

- ③バッテリーとモータドライブユニットを直結させ、回生エネルギーをバッテリーで回収(充電)その構成図を、図4に示す。

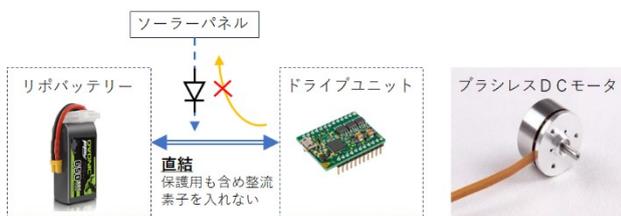


図4 実験の構成図

これまで、速度勾配を800rpm/s以上にすると、モータメーカー提供診断ソフトでエラー（モータ駆動出力回路異常）となり、ドライブ回路が故障していた。今回、③に示す方式で実験した結果、速度勾配が1,500rpm/sにおいてもエラーとならなかった。これにより、本システム構成において、バッテリーが出力モードから充電モードに切替わり、回生エネルギーを回収できていることを確認した。

### 3.3 3軸同時制御の動作検証用治具の開発

宇宙環境を想定して姿勢制御モジュールの動作検証を行うためには、3軸周りの回転動作を同時に検証する必要がある。そこで、図5に示す様々な半径(30、50、70mm)の球面キャップを3Dプリンタで



図5 球面キャップ

試作した。(図5) このキャップをモジュール下部に取り付け、平面に設置すると、平面との接点がキャップの球面のみとなる(図6)。衛星は、その接点を中心にあらゆる方向に回転動作が可能となるが、モジュールが姿勢を維持するには、3軸のリアクションホールを同時に制御する必要がある。その場合、モジュールの重心の偏りが回転方向に大きく影響を及ぼす。これを解決するため、各部品の重量を補正する治具(重り)を試作し、重心がモジュールのおおよそ中心位置となるように調整した。

なお、当センターが製作したリアクションホイール制御用プログラムをもとに、共同研究先のエーテック株式会社が姿勢制御用ソフトウェアを開発中である。

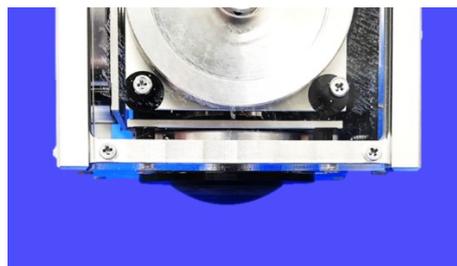


図6 動作検証用治具を付けた姿勢制御モジュール

## 4. まとめと今後の課題

本研究では、当センターが開発した超小型衛星の姿勢制御モジュールを発展させるため、ハードウェアの改良、回生エネルギー対策、及び宇宙環境を想定した動作検証方法の検討を実施した。その中で、姿勢制御モジュールを小型化し、その性能を向上させるためには、「部品レベルでの構成の見直し」と「システム全体の動作検証」が必要であった。

今後も、制御プログラムの改良や、更なる低消費電力化を実現するため、継続して研究を進めたい。

## 5. 参考文献等

- 1) 行武栄太郎他、超小型衛星の高機能化に関する試験研究事業(第3報)、茨城県産業技術イノベーションセンター研究報告、51、1-8、2023
- 2) 行武栄太郎他、超小型衛星の高機能化に関する試験研究事業(第2報)、茨城県産業技術イノベーションセンター研究報告、50、1-6、2022