

B18 メカナムホイールを用いた水平方向重力補償装置の作製と評価

Manufacture and Evaluation of the Horizontal Direction Gravity Compensator Using the Mechanum Wheel

中町 友久 (東京都市大学・院), 高橋 樹生 (東京都市大学・院),

野原 拓海 (東京都市大学・学), 宮坂 明宏 (東京都市大学)

Tomohisa Nakamachi (Tokyo City University), Tatsuki Takahashi (Tokyo City University),

Takumi Nohara (Tokyo City University), Akihiro Miyasaka (Tokyo City University)

あらまし: 宇宙用展開構造物の地上展開試験を行う際に使用される重力補償装置について, 本研究室で過去に提案された高さ方向機構に水平方向の移動機構を追加するための調査及び作製を行った. 本研究では, 水平方向の移動機構にメカナムホイールを採用し, 3軸の力覚センサーを使用することで水平方向動作の実現を行った. 最後に, 現時点における提案した水平方向移動機構の性能調査と評価を行った.

Key Words: 重力補償, 展開構造, メカナムホイール, 水平移動, 地上試験

1 緒言

近年における宇宙ミッションの高度化に伴い, 宇宙用構造物は大型化が不可欠である. しかし, 大型構造物を直接ロケットフェアリング内に収めることが困難である. 大型構造物をフェアリング内に収めるため, 宇宙用の大型構造物は展開構造が多用される. 展開構造を採用することにより, フェアリングサイズの制約をクリアし, 宇宙空間では大型の構造物を形成することが可能である.

宇宙用展開構造物は, 宇宙空間での展開可能性検証が理論および実験の両面で課題である. 理論では, 無重力空間を模擬したシミュレーションで展開可能性検証が可能であるが, 重力の影響を受ける地上において実験的に展開可能性検証を行うことは困難であり, これまで多くの重力補償方法が用いられてきた. ここで技術試験衛星VIII型(ETS-8)において用いられた重力補償装置について紹介する. 技術試験衛星VIII型では, プーリーとカウンターウエイト, プーリーのガイドとなるレールで構成される吊下げ式の重力補償装置と, エアベアリング上で展開を行う下方支持式の重

力補償装置が主に使用された^[1]. しかし, どちらの重力補償装置にも欠点が存在する. 吊下げ式の重力補償装置は試験時に展開構造物を吊下げるための高所作業が必要である. また, レールによって滑車のガイドを行っているため自由度を阻害する可能性と展開構造が変更されると補償装置自体も組み替える必要があるため汎用性に問題がある. 下方支持式の重力補償装置はエアテーブル上で展開を行うために3次元展開構造で使用できないという問題がある. これらの問題を踏まえ, 我々は新たな重力補償装置の提案を行う.

我々の提案する重力補償装置は高さ方向の動作と水平方向の動作を機能分解し, 3次元展開に対応する装置とした.

2 提案する重力補償装置

我々は, 技術試験衛星VIII型で使用された重力補償装置と置き換え可能な重力補償装置の開発を目指す. 置き換えのために設定した条件は以下の通りである.

- ① 自由度の阻害をしない

- ② 放射状展開を主な補償対象とする
- ③ 汎用性のある機構を採用する

①にある自由度の障害をしないというのは、技術試験衛星VIII型で使用された吊下げ式重力補償装置において存在したレールの概念を取り除くことにより、展開構造物が意図しない挙動を示した場合もその動きを妨害することなく現象を確認することが可能になる。②の放射状展開は、技術試験衛星VIII型のように中心部から放射状に展開する構造 (Fig.1) を意味する。放射状展開構造は基本の補償器構成が垂直方向と水平方向が直線運動で構成される。③の汎用性については、展開構造の設計変更などによって補償対象が変わった場合に重力補償装置の構成も変更する必要がないようにする。

これらの条件を踏まえ、我々の提案する重力補償装置の概念図を Fig.2 に示す。提案する装置は、高さ方向の機構としてエアシリンダーを使用するものである。また、水平方向の機構として本研

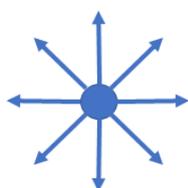


Fig.1 Radial Deployment

究の対象であるメカナムホイールを採用する。これまで本研究室では、高さ方向の機構であるエアシリンダーを使用した装置の研究を行ってきた^[2]。使用するエアシリンダーは SMC 社製の低速シリンダーを使用しており、低速でも滑らかな動作が可能となっている。エアシリンダーの空気圧制御は、排気側の圧力を調整し出力調整を行う変則的なメーターアウト制御を採用している。メーターアウト制御を採用することによって負荷変動や供給圧力変動の影響を受けにくくなるというメリットがある。しかし、水平方向移動機構であるメカナムホイールを使用した装置開発は進んでおらず、これまでエアシリンダーを使用した高さ方向機構の試験時には手動によって水平方向移動を行ってきた。そこで、本研究では水平方向移動のためのメカナムホイールを研究対象とし、性能確認を行った。

3 メカナムホイールを使用した機構

3.1 ハードウェア

本研究で製作した装置を Fig.3 に示す。本研究で使用したメカナムホイールは、Nexus robot 製の 60 mm アルミメカナムホイールである。また、使用したマイクロコンピューター、小型 3 軸力覚センサーモーター、モーターの諸元を Table.1 に示す。

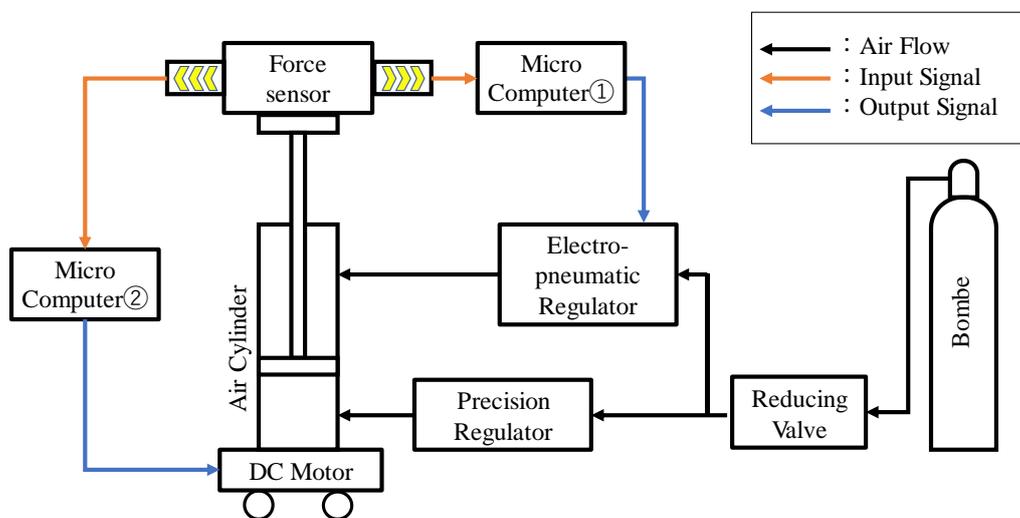


Fig.2 Proposed Gravity Compensator

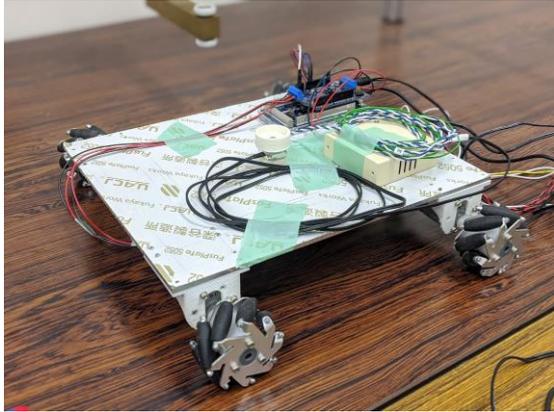


Fig.3 Mecanum Wheel

Table.1 Specification Table

Microcomputer	Model	Arduino Due
	MOF	84 MHz
	ROM	512 kB
	RAM	96 kB
3-Axis Sensor Unit	Sensor Head	USL06-H5-50N
	Amplifier Unit	DPA-03A2
	Analog Output	0 – 3.3 V
	Zero Center	1.65 V
	Measurement Range	-25 – +25 N
Motor	Model	AO-8012
	Voltage	7.2 V
	Torque	1.8 kg · cm

3.2 制御システム

本研究においてメカナムホイールの制御は、3軸力覚センサーによって検出した x, y 方向の力を合成し、Fig.4 に示した合力及び方向を算出し、移動制御を行っている。(1)に力の合成、(2)に移動方

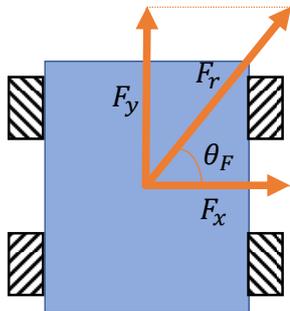


Fig.4 Moving Direction of Mecanum wheel

向を決定する式を示す.

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (1)$$

$$\theta_F = \tan^{-1} \left(\frac{F_y}{F_x} \right) \quad (2)$$

本来、メカナムホイールの制御では検出した x, y 方向の力を速度に変換し、目標速度として使用することが望ましい。しかし、本研究ではメカナムホイールを支持点の真下に移動させるため、メカナムホイールが支持点の真下に来た場合に入力される3軸力覚センサーの目標値は x, y 方向ともにゼロとなる。そこで、入力値である電圧が0となる方向に移動するプログラムを作製した。こうすることで、制御用コンピューターの計算量を減らし計算速度の向上も実現することが可能となった。

4 性能試験

4.1 試験方法

本研究で提案するメカナムホイールが水平方向機構として使用できるか試験を行う必要がある。今回我々は、簡易トルク計測機能付きのステッピングモーターを使用することにより性能試験を行った。性能試験方法は簡易トルク計測機能付きのステッピングモーターに単純梁を取り付け、梁が水平面を 90° 展開する際のステッピングモーターにかかるトルクを計測した (Fig.5)。性能



Fig.5 External View of Performance Test

Table.2 Configuration of Performance Test

Beam Length	0.1325 m
Deployment Angular Velocity	5 deg/s
Deployment Angle	0-90 deg

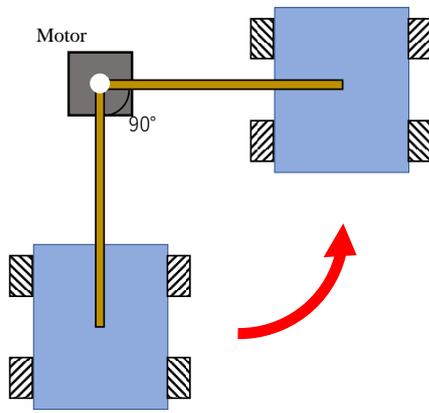


Fig.6 Deployment Test Angle Configuration

試験のコンフィギュレーションを Table.2 及び Fig.6 に示す. 本試験により, ステッピングモーターにかかるトルクが少ないほど水平方向の移動を阻害していないことがわかる.

4.2 性能試験結果

上記試験方法を使用し, 本研究で開発したメカナムホイールを使用した水平移動機構の試験結果を Fig.7 に示す. 本試験結果より, 展開モーターで測定された最大トルクは 0.5 Nm 程度であったことがわかる. しかし, Fig.7 を見るとトルクのピーク値が概ね 0.3 Nm から 0.2 Nm へ減少傾向にあった. 0.5 Nm の検出トルクはメカナムホイールの動作特性による特異点と考えると 0.3 Nm のトルクが検出されたとき, 腕の先端とメカナムホイールの接続点において発生する力 F_c は検出トルク: T_m , 腕の長さ: l_b として(3)で表せる.

$$F_c = \frac{T_m}{l_b} \quad (3)$$

(3)より, 接続点で発生する力は 2.3 N となる.

しかし今回使用したセンサー及びコンピューター-の特性上, やむを得ず 3 軸力覚センサーの入

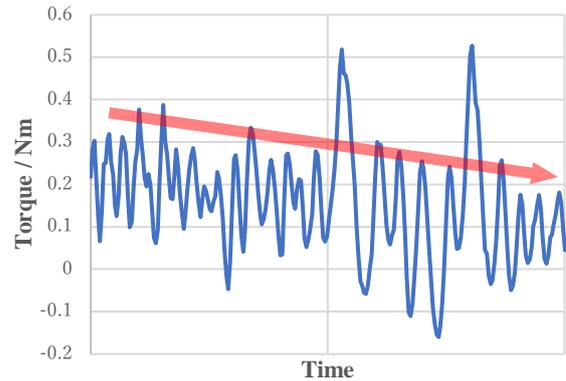


Fig.7 Experimental Result of Horizontal Deployment

Forward	Right	Left	Right Rotation
Back	Diagonally Right	Diagonally Left	Left Rotation

Fig.8 Variety of Mecanum Wheel Movement

力値として x, y 方向ともに ± 1.65 N 分の振れがゼロ点設定後も発生してしまうため, 制御プログラム上では ± 1.65 N の幅はゼロ点として扱っている. そのため, 梁先端と 3 軸力覚センサーの接続点で発生する 2.3 N は展開梁の接線方向の力が x, y 方向と同じ向きに入力された場合, 28%の誤差であり, 接線方向の力が x, y 方向となす角 45° となる場合には 0.01%の誤差となる. よって, 本研究で使用したハードウェアの要件を考慮すれば我々が提案する重力補償装置の水平方向機構へ利用可能であると考えられる.

5 考察

結果で特異点とした 0.5 Nm の誤差は, メカナムホイールに取り付けられた 4 つのモーターの回転方向が変化した際に発生したと考えられる. メカナムホイールは全方向移動を実現するため Fig.8 のように各モーターを動作させている. よっ

て前後左右の移動方向が急に変わった際は4つのモーターの回転方向を同時に変更する必要があり、本装置で使用しているマイクロコンピュータ、ギヤードモーターでは応答速度が十分ではないと考えられる。しかし、本装置が支持点下に追従していくことが可能であるという見通しを得ることができた。また本試験方法では0-90°展開時の挙動を確認したが、実際は我々の提案する重力補償装置は先述の通り放射状展開構造への使用が主用途である。そのため、本試験方法は実際の用途と比較してより厳しい条件での試験となっている。Fig.7からもわかる通り、横方向から前進方向に移動方向が変わるにつれてトルク誤差が減少傾向にある。我々の想定する放射状展開構造で使用する場合には前進方向が主移動方向となるため、展開を阻害する力はより減少すると考えられる。

6 結言

本報告では、放射状3次元展開構造に対応した重力補償装置のための水平方向移動機構としてメカナムホイールの有用性を検討した。性能試験により、展開構造物の移動に追従することは確認できた。しかし、追従性の観点から見ると展開構造物の展開を阻害してしまっているため追従性の向上が今後の課題として挙げられる。

7 参考文献

- [1] 新館恭嗣ら:大型展開アンテナ反射鏡部,通信総合研究所季報,49 巻,pp.27-32(2003)
- [2] 中町友久ら: 空気圧を用いた下方支持式重力補償装置の提案と性能試験法, 第 34 回宇宙構造・材料シンポジウム: 講演集録