

# 宇宙ロボット用モータの玉軸受試験装置と途中経過

## Experimental Results of Ball Bearing Test Apparatus for Space Motor

○岡田 養二\*<sup>1</sup> (正員)、近藤 良\*<sup>2</sup>、大槻真嗣\*<sup>3</sup>

Yohji OKADA (Mem.), Ryou KONDO, Masatsugu OTSUKI

Highly efficient and small motor is requested for space robot. One of the key technology is rotational resistance of ball bearing. A test apparatus for small angular ball bearing is proposed and developed. A flywheel is supported by two angular bearings and run up to 10,000 rpm. The setup is installed in a vacuum chamber and free run test was conducted. The bearing performance is evaluated by the decaying rotating speed in vacuum for six type ball bearings. The results are reported and discussed.

Keywords: highly efficient motor, power to weight ratio, ball bearing.

事務局記入(20??年??月??日受付)

### 1 緒言

宇宙ロボット用には、超小型で高効率モータが望まれる。小型高速モータは、軸受での摩擦損失の比率が高く、高効率化することが難しい[1]。本研究では、玉軸受の損失を評価する試験装置を設計・試作し、ADB と呼ばれるような特殊な軸受も含めて、真空中でアンギュラー軸受6種類の回転損失を測定した。その結果について報告し、今後の改善点や予定を述べる。

### 2 玉軸受回転試験装置

本研究で開発した軸受試験装置の概要を、図1に示す。図の右側は2つのアンギュラー軸受で支えられたフライホイール(質量  $M = 1.265 \text{ Kg}$ 、慣性モーメント  $J = 1.996 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$ )で、左側が駆動モータと移動台である。中央のトルクを伝達するカップリングは、電磁石でリニアガイド上のモータを右に移動させて、フライホイールに回転を伝える。高速回転(10,000~15,000 rpm)に達すると電磁石を切り、自由回転に入る。回転減衰から、玉軸受の抵抗を測定する。測定装置は

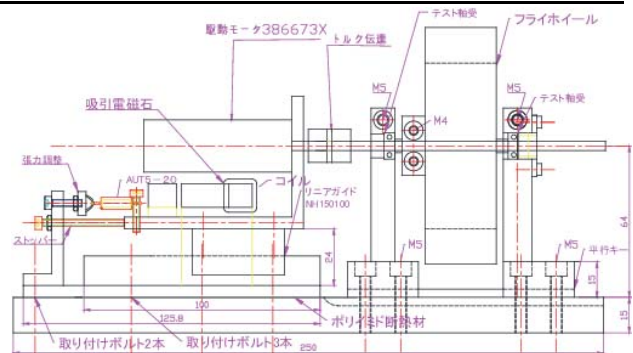


図1. 玉軸受試験装置の主要部分

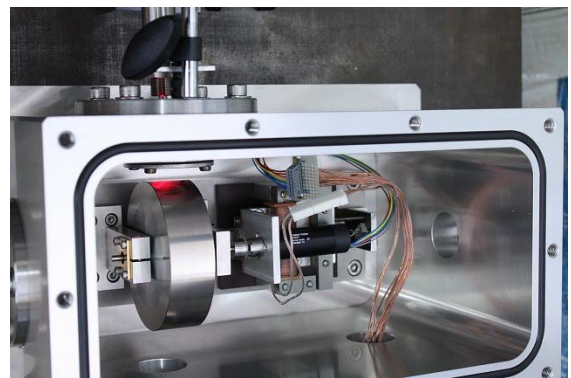


図2. 真空チャンバー内に納められた試験装置

真空チャンバー(赤田工業:特注)の中に納められ(図2)、大気圧の約 1/100 程度の真空度に保たれる。回転数は、真空チャンバーのフッ化バリウムガラスの窓の外側から、光学式回転センサー(小野測器: TM-3100, LG-9200)で測定し、記録される[4]。

### 3 結果

連絡先: 岡田 養二, 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1, 茨城大学工学部機械工学科,  
e-mail: yohji.okada.spam@vc.ibaraki.ac.jp

\*<sup>1</sup>茨城大学 \*<sup>2</sup>茨城大学 \*<sup>3</sup>JAXA

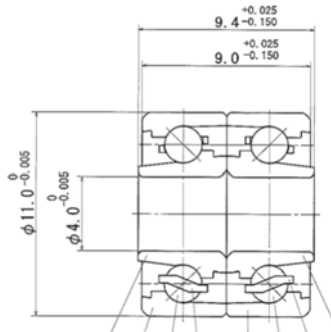


図3. 試験ベアリングの寸法

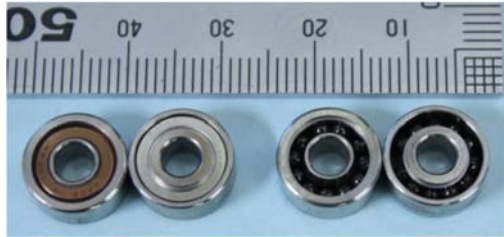


図4. ベアリングの写真(通常(左)と ADB(右))

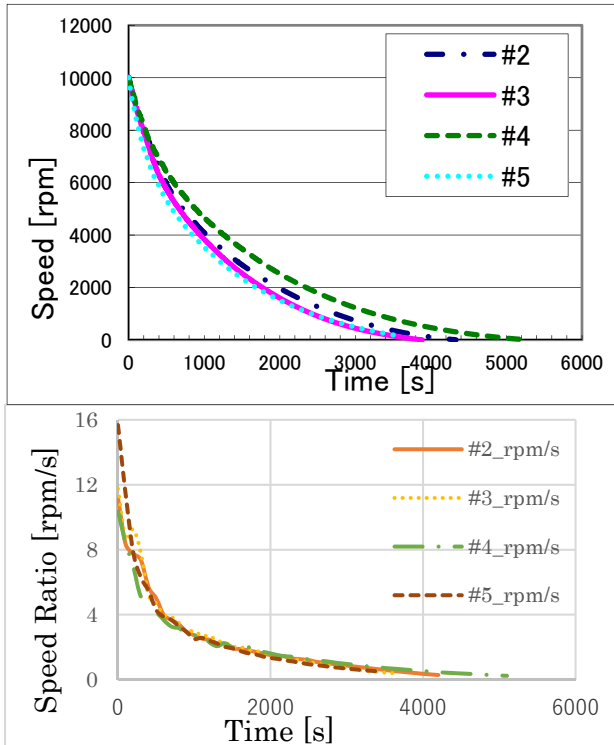


図5. 結果 1(上:回転数、下:減速率)

今回はシャフト径φ4に、NSK マイクロプレジジョン社(ISC)特注のアンギュラー軸受3種(各5個)と[2], それを(株)空スペース社で改造してもらった ADB (Autonomous Decentralized Bearing)と呼ばれる軸受[3]を3種類(各3個)でテストした。軸受寸法を図3に、軸受の写真を図4に示す。回転数は実験装置で10,000rpm程度まで回転できたので、その後のフリーランを記録した。

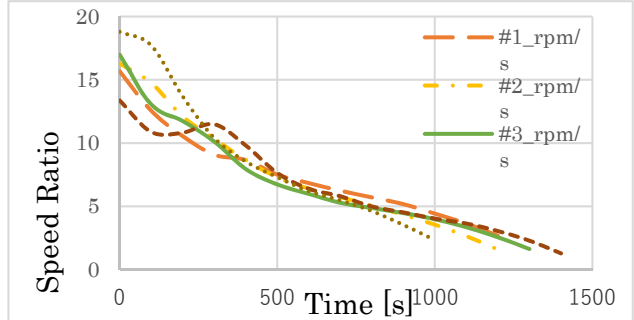
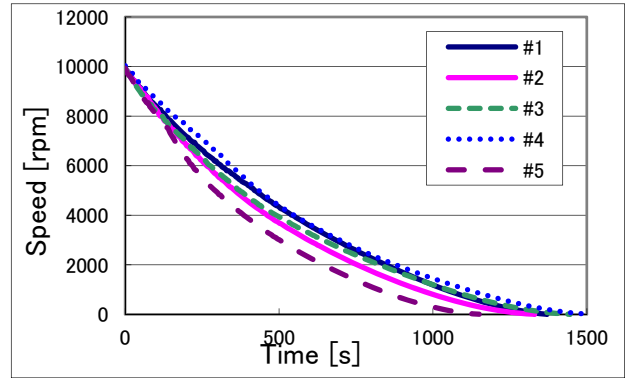


図6. 結果 2(上:回転数、下:減速率)

### 3.1 NSK マイクロプレジジョン社製の結果

最初に、ISC のセラミック玉で大気グリースを試験した。回転速度を図5の上に、減速率を下に示す。ほぼ1時間強の回転時間を示した。減速率は高速領域で大きく、これはフライホイールがバランスをとれなかったため、振動が大きいことも理由の1つである。

次にISCのメタル玉で真空グリースを試験した。回転数を図6の上に、減速率を下に示す。回転は約30分で止まってしまい、真空グリースは粘度が高く、高抵抗なことが推定できる。

最後にセラミック玉で真空グリースを試験した。回転数を図7の上に、減速率を下に示す。回転はほぼ30分で停止し、やはりグリースの粘度が高いと思われる。

### 3.2 空スペース社改造品(ADB)の結果

通常の玉軸受はボールホルダで玉を整列させるため、その接触抵抗が大きい。これを図4の右に示すように、ADBと呼ばれる方式で非接触で整列させる玉軸受を3種類改造してもらい、テストした。この軸受は1度テストした後に、信頼性があるかどうかで2度目の試験を行った。ここでは2度目の試験結果を示す。

最初はADBでセラミック玉、グリース無しで試験

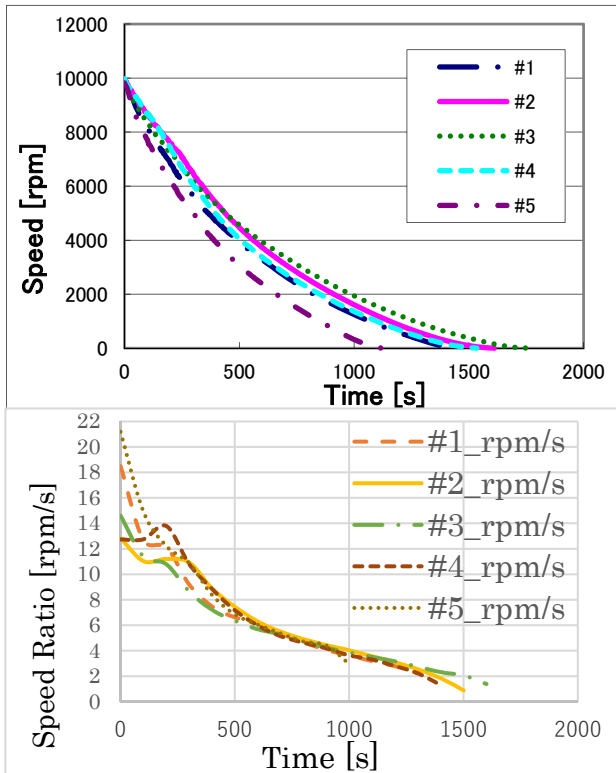


図7. 結果3(上:回転数、下:減速率)

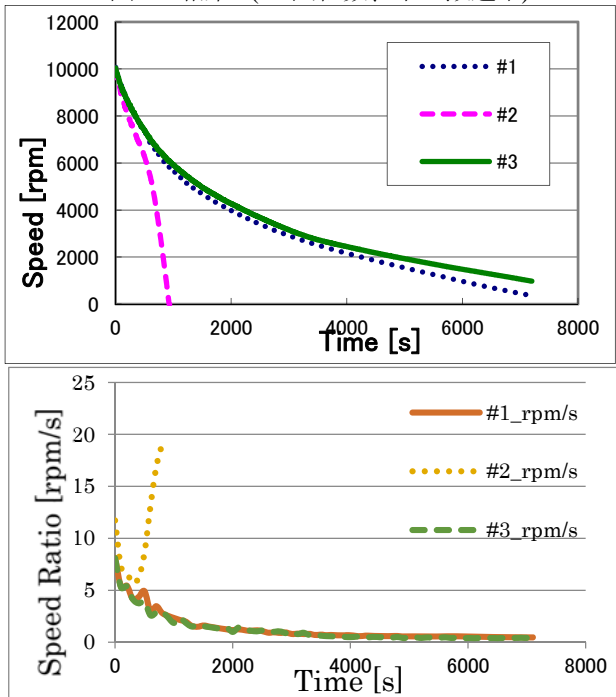


図8. 結果4(上:回転数、下:減速率)

した。回転数を図8の上に、減速率を下に示す。No.2を除いて、2個は2時間(2時間を試験時間の限度とした)を経過しても回転し続けた。潤滑無しでこれだけ廻り続けることは、宇宙環境に適している可能性を示した。

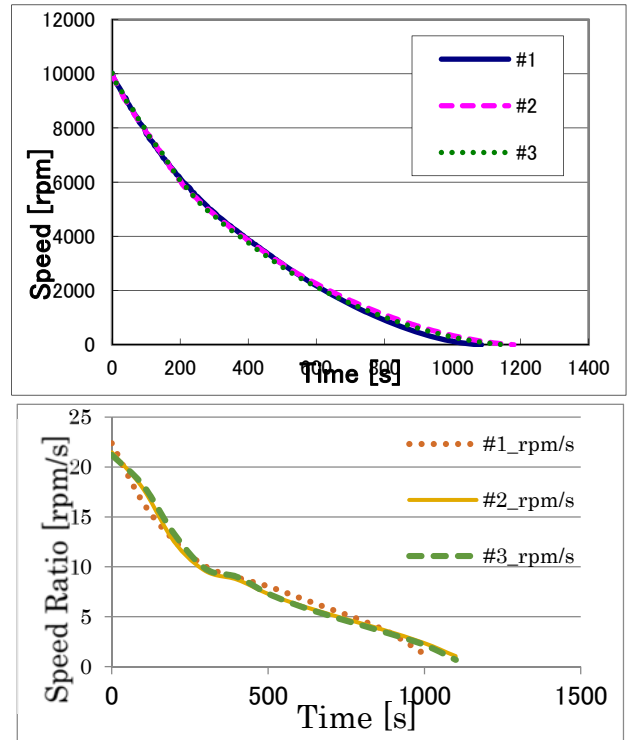


図9. 結果5(上:回転数、下:減速率)

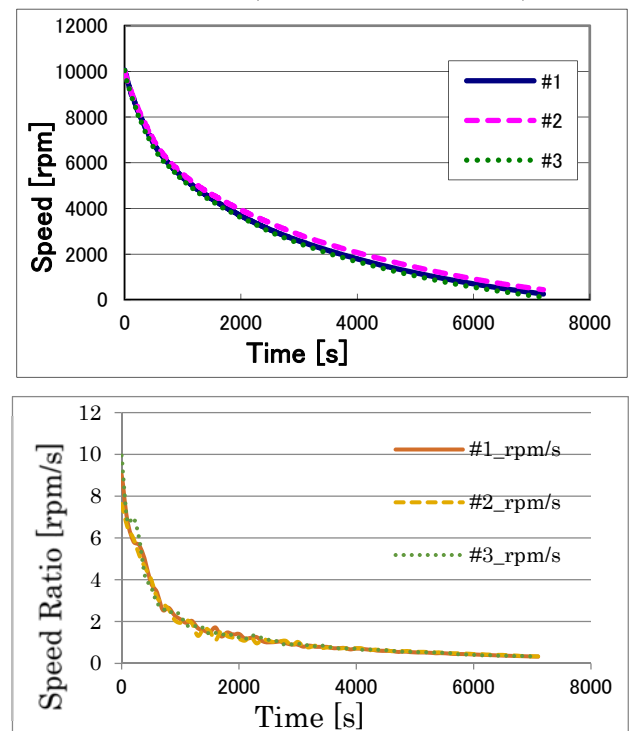


図10. 結果6(上:回転数、下:減速率)

次に ADB でセラミック玉、真空グリースの軸受を試験した。回転数を図9の上に、減速率を下に示す。20分程度で回転が停止してしまい、良好な結果は得られなかった。

最後に ADB でセラミック玉、ナノダイアを試験し

た。回転数を図 10 の上に、減速率を下に示す。全ての軸受で 2 時間回転し続けた。摩擦も減速率から小さいことが推定できる。しかしナノダイアでの潤滑は、宇宙環境で使えるかどうかは不明である。

#### 4 まとめ

本研究ではフライホイール型の軸受回転損失測定装置を設計・製作した。通常型の小型アンギュラー玉軸受 3 種類と、ADB と呼ばれる特殊軸受 3 種類を検査した。ADB 型の軸受は通常型よりも回転抵抗が小さくなる可能性を示しているが、ばらつきが認められた。良好な特性を示したものは、2 時間以上回転を続けていたが、高速領域では振動が大きかった。

今後は、フライホイール型の軸受試験機ではなく、実働の回転数で軸受の摩擦トルクを直接測定できる装置を設計・開発し、実運転での軸受損を評価できるかを試みる予定である。

#### 謝辞

本研究は、JST イノベーションハブ支援による JAXA プロジェクト「パワー密度が世界最高の小型アクチュエータの開発」の中で実施されました。関係各位に感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] 山下, 高効率小型磁石モータの開発動向, 電気学会誌, Vol. 128 (11), p. 752-755, 2008.
- [2] NSK マイクロプレジジョン, URL: <http://www.nskmicro.co.jp/>
- [3] 空スペース, URL : <http://www.coo-space.com/>
- [4] 岡田、近藤、大槻、宇宙用モータの体格構造と玉軸受試験装置、第 25 回 MAGDA コンファレンス in 桐生、pp. 355-358, 2016.