

# 高頻度動作が可能な高信頼性回転駆動機構の国内開発 (II)

今田晋亮、清水敏文、渡邊恭子、西塚直人(ISAS/JAXA)、梶田直希、田島崇男、佐藤典夫、中山聰 (MPC)、坂東貴政、原弘久、常田佐久(NAOJ)

## Abstract.

数100万から1000万回以上動作させ得る長寿命・高信頼性をもつ回転駆動機構の国内開発(戦略経費支援)の開発状況を報告する。報告する主な点は、軸受のグリース潤滑剤によるアウトガス評価結果、および長寿命試験のために製作した中空薄肉大口径軸受を使った回転駆動機構、である。高い信頼性を持つ回転駆動機構は、Solar-Cの高精度スペース望遠鏡焦点面観測装置に必要な要素技術であるばかりでなく、他のミッションへの展開が可能な基盤技術である。

## 液体潤滑剤の選定

宇宙用の潤滑油・グリース基油として最近広く用いられているのは、シクロヘキサン(MAC, Multiply-alkylated cyclohexane)系の潤滑油・グリース基油で、極めて低い蒸気圧またアウトガス特性が優れていると言われている。基油MAC系2001Aに増強剤を加えたグリース潤滑剤を有効候補とし、以下の2つの国産グリース潤滑剤のアウトガスレートを測定した。

表1. グリース潤滑剤の基本特性  
(数値単位: Hz hr<sup>-1</sup>)

グリース潤滑剤	スペースループ MU : 協同油脂製	スペースループ ML : 協同油脂製
増強剤	ウレア	リチウム石けん
基油	シクロヘキサン	
基油粘性	106 mm <sup>2</sup> /s	
流动点	-50 °C	
蒸気圧 20°C	$1 \times 10^{-10}$ Torr	
蒸気圧 125°C	$4 \times 10^{-7}$ Torr	
概要	淡褐色粘性状	
混和性	300	280
滴点	260 °C以上	209 °C
TML	0.641 %	0.143 %
CVCM	0.111 %	0.007 %
WVR	0.011 %	0.019 %
用途	アクチュエーター の潤滑	軸受の潤滑
使用温度範囲	-40 ~ 180 °C	-40 ~ 150 °C

表4. 第一計測におけるTQCM吸着率実測値  
(数値単位: Hz/hr)

TQCM 温度	-80 度	-45 度	-15 度	0 度
MU+冷媒	32.76	1.44	0.030*	0.144*
ML+冷媒	81.72	3.6	0.022*	0.144*
DEHP+冷媒	348.12	..	..	347.4
MU	..	..	1.44	0.72
ML	..	..	1.80	0.72
DEHP	..	..	1805.04	1807.20

\* 誤差範囲 0.2 Hz hr<sup>-1</sup>以下

表5. 第二計測時のTQCM吸着率実測値  
(数値単位: Hz/hr)

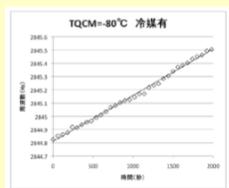
TQCM 温度	-80 度	-45 度	-15 度	0 度
ベーキング+冷媒	0°	0.72	0.72	0.72
ベーキング	..	..	0.36	0.18*
回転+冷媒	0.72	1.08	0.72	0.72
回転	..	..	0.36	0.29

\* 誤差範囲 0.2 Hz hr<sup>-1</sup>以下

バックグラウンド処理済み

## 軸受ホルダおよびアウトガス計測: 第二計測

グリース潤滑方式の場合アウトガスの影響をできるだけ抑えるために、宇宙機では軸受ホルダの開口部にラビリンス構造を施し、潤滑剤からのアウトガスが外部に出にくい対策を施す場合が多い。0.1mm幅のラビリンス隙間の供試体(軸受ホルダ)を、先の第一計測で最もアウトガス特性が良かったMUをグリース潤滑剤として使い、第一計測と同様の手順で真空槽にてアウトガスレートの測定をおこなった。さらに、30回転ホルダを回転(時計回り15回、半時計回り15回)させ、その後ベーキングせず、再び先の計測と同様の計測をおこなった。本研究の目的は回転駆動機構からのアウトガス特性を理解する事にあり、軸受の回転によってアウトガス特性がどのように変化するかも理解する対象だからである。



## 実アウトガス放出率の絶対値較正

試料から放出されたアウトガスは真空ポンプによって排気されるか、TQCMまたは支持ジグ等に全て吸着するどしどれにどれだけつかははそれぞれの実効的な断面積で決まるどると、次式が成立

$$\Phi = F S (A_{\text{pump}} + A_{\text{TQCM}} + A_{\text{jig}})$$

$\Phi$ 、F、S、 $A_{\text{pump}}$ 、 $A_{\text{TQCM}}$ 、 $A_{\text{jig}}$ は、それぞれアウトガス放出率(g hr<sup>-1</sup>)、TQCM 周波数レート(Hz hr<sup>-1</sup>)、TQCM 感度( $1.96 \times 10^{-9}$  g cm<sup>-2</sup> Hz<sup>-1</sup>)、真空ポンプ排気口の実効断面積、TQCM 検出器の実効断面積、その他支持ジグ等の実効断面積である。

DEHPの計測結果から真空ポンプの実効断面積を求める。

DEHPの蒸気圧は次式

$$\log(P_s) = 10.044 - 5008 T^{-1}$$

Knudsen cell中の試料からのアウトガスはLangmuirの蒸発速度式

$$dW/dt = P_s (M / 2 \pi R_0 T)^{0.5}$$

$dW/dt$ 、M、 $R_0$ は単位面積あたりのアウトガスレート(g cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)、分子量(390.57 g mol<sup>-1</sup>)、気体定数(8.3146 K mol<sup>-1</sup>)である。

DEHPの蒸気圧等をしに入れると放出レートが $1.72 \times 10^{-4}$ (g/hr)上の表からFを入れると、 $A_{\text{pump}}=48.3$ (cm<sup>2</sup>)

次に冷媒をまわしている影響について見積もる。まわしているとき、まわしていないときの差分を取ると

$$A_{\text{jig}} = (A_{\text{pump}} + A_{\text{TQCM}})(F_2 - F_1) / F_1$$

計測結果を入れ、 $A_{\text{jig}}=194.5$ (cm<sup>2</sup>)を得る。

以上を較正すると、以下になる。

表6. グリース潤滑剤 MUからのアウトガス放出量  
(数値単位:  $10^{-4}$  g hr<sup>-1</sup>)

TQCM 温度	-80 度	-45 度	-15 度	0 度
MU(セル)	1560	68.6	13.7	6.86
MU(軸受 <sup>a</sup> )	0°	6.86	3.43	1.72 <sup>b</sup>
MU(軸受 <sup>c</sup> )	0.86	10.3	3.43	2.76

\* TQCM 計測値が誤差範囲 0.2 Hz hr<sup>-1</sup>以下

<sup>a</sup> ベーキング直後に計測

<sup>b</sup> ベーキング後、30回転して計測

表7. 光学素子に堆積する厚みの見積もり  
(数値単位:  $10^{-4}$  μm hr<sup>-1</sup>)

TQCM 温度	-80 度	-45 度	-15 度	0 度
MU(セル)	390	17.2	3.43	1.72
MU(軸受 <sup>a</sup> )	0°	1.72	0.868	0.43 <sup>b</sup>
MU(軸受 <sup>c</sup> )	1.72	2.58	0.868	0.69

\* TQCM 計測値が誤差範囲 0.2 Hz hr<sup>-1</sup>以下

<sup>a</sup> ベーキング直後に計測

<sup>b</sup> ベーキング後、30回転して計測

結果、年に1μm程度で汚染物質がつる

## 実験装置および測定の温度条件

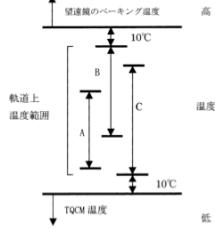


### 実験装置概要

アウトガス検出器: Thermoelectric Quartz Crystal Microbalance (TQCM, QCM) 研究社製、発信周波数 15MHz、感度  $1.96 \times 10^{-9}$  g cm<sup>-2</sup>

第一計測: Knudsen cell(φ0.3cm)

第二計測: 軸受ホルダ

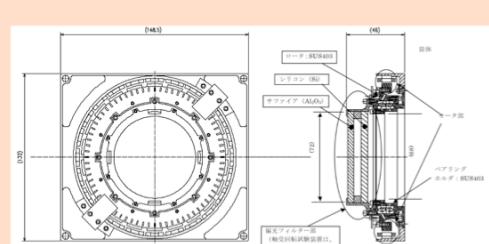


### 測定温度条件

NASAMSFC-SPEC-1238 による

機構部の置かれる温度は0~30°Cなので試料温度を40°Cに、ガスの吸着面として望遠鏡内部で最も低温となる箇所(CCD)を想定し、-80、-40、-15、0の面に対して吸着する量を計測した。

## 駆動機構の作成および今後の試験



### 回転駆動機構



### 回転駆動機構概観

次期太陽観測衛星の搭載望遠鏡では、フィルタホイールやシャッタのようないわく厚内軸受のものから、回転波長板(偏光解析装置)のように口径8cm程度の大口径でかつ薄肉(軽量化)の軸受を必要とするもの、など幾つかの駆動機構が必要である。中でも特に長寿命化の実現性を早期のうちに検証すべき「薄肉大口径」の軸受を用いて長寿命検証を行こととした。

薄肉大口径軸受を必要とする回転波長板(変更解析装置)は、1.5m径のUV-可視-近赤域望遠鏡の焦点面装置で使用される機構である。機構が置かれる位置での光束径を考慮して、外径Φ88.9mm、内径Φ76.2mmの軸受とした。今後、1000万回以上の確実な回転駆動動作を確認する試験をていく。また、回転動作中のアウトガス計測や、長時間ベーキングの効果等も検討する必要があり、これらは回転駆動動作耐久試験の最中におこなう予定である。