

# 陸域観測技術衛星 2号(ALOS-2)向け データ中継衛星通信系アンテナ用メカニズム

大和光輝\* 猿渡英樹\*\*  
徳永裕典\* 鳩岡恭志\*\*  
中川 潤\*

*Data Relay Communication Antenna Mechanism for Advanced Land Observing Satellite-2*

*Mitsuteru Yamato, Hironori Tokunaga, Jun Nakagawa, Hideki Saruwatari, Yasushi Hatooka*

## 要 旨

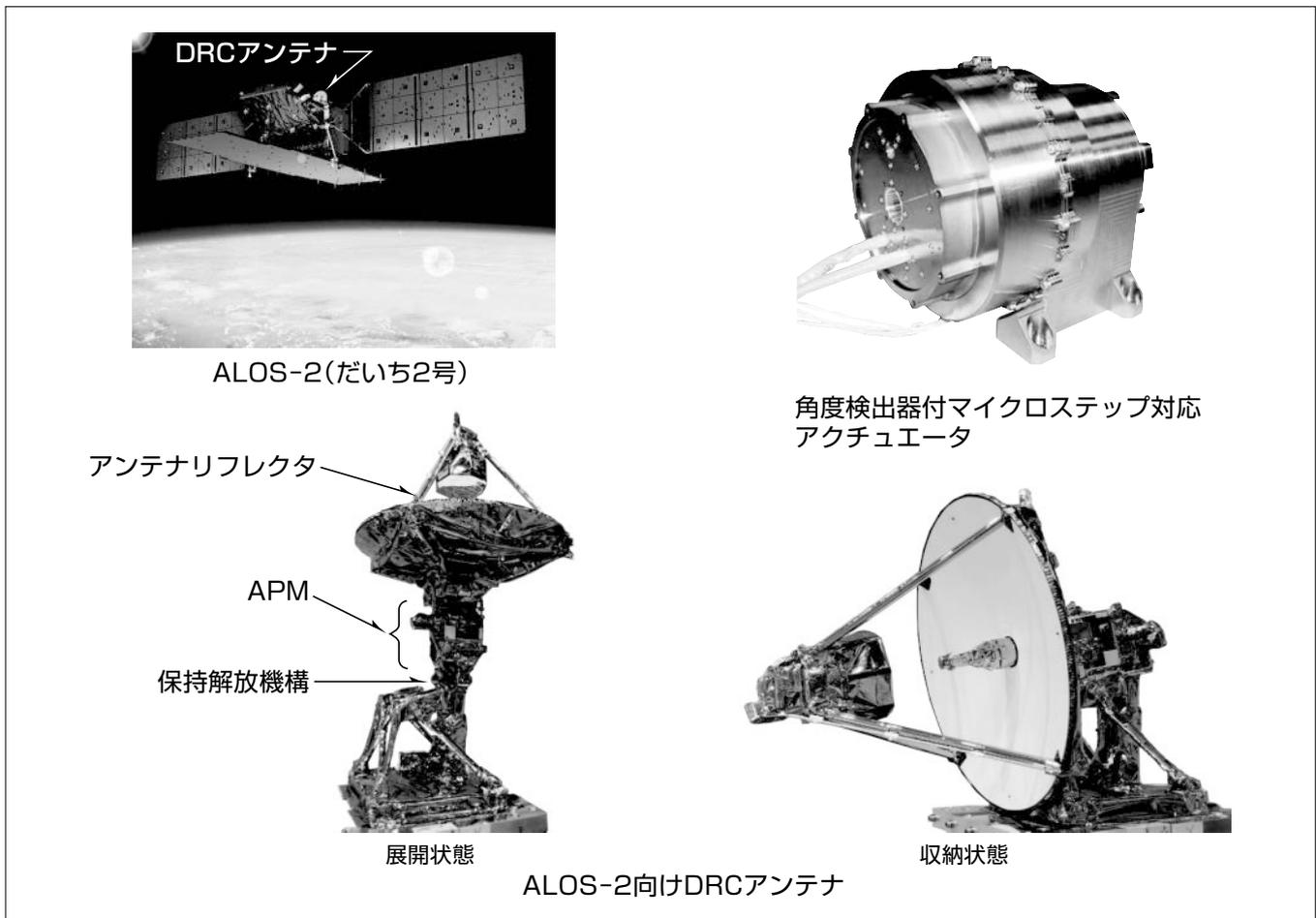
陸域観測技術衛星 2号ALOS-2(だいち 2号)に搭載された新規開発のデータ中継衛星通信系アンテナ(DRCアンテナ)に使用しているメカニズム(角度検出器付マイクロステップ対応アクチュエータ, S帯及びKa帯ロータリージョイント)の特長及び開発試験結果について述べる。

三菱電機が開発してきた従来の宇宙用アクチュエータは、フルステップ型ステップモータを使用していた。今回開発したマイクロステップ対応アクチュエータによって、リニアで円滑な駆動が可能となり、衛星の指向精度要求が厳し

く、駆動時発生擾乱(じょうらん)量を制限されているようなアプリケーションにも対応できるようになった。

また、JAXAミッションとして宇宙用としては国内初<sup>(注1)</sup>となるロータリージョイント(S帯及びKa帯)の開発を行った。これによって、可動部に従来のフレキシブルRF(Radio Frequency)ケーブルを使用していた場合と比較してRF損失を改善でき、またアンテナ全体の軽量・コンパクト化を実現できた。

(注1) 2014年8月29日現在、当社調べ



## ALOS-2向けDRCアンテナの基本構成

ALOS-2向けDRCアンテナの形状と基本構成を示す。APM (Antenna Pointing Mechanism) は、2台のアクチュエータで構成している。宇宙用アンテナメカニズムには軽量・コンパクト・長寿命であることが要求される。

1. ま え が き

2014年5月24日、陸域観測技術衛星2号ALOS-2(だいち2号)は、種子島射場から打ち上げられた。また、2014年6月には、同衛星に搭載された新規開発のデータ中継衛星通信系アンテナ(DRCアンテナ)を用い、データ中継技術衛星DRTS(こだま)との通信を行うことに成功した。

本稿では、DRCアンテナに使用しているメカニズム(角度検出器付マイクロステップ対応アクチュエータ、S帯、及びKa帯ロータリージョイント)の特長及び寿命試験結果について述べる。

表1. DRCアンテナの諸元

項目	設計結果	
機械系	寸法	収納時: 1,036×770×高さ769(mm) 展開時: 高さ1,421mm(MLIは除く) アンテナ開口径: φ770mm
	質量	20.7kg
	消費電力	アクチュエータ: 2.8W/軸 max @+24℃ 角度検出器: 1.2W/軸 max
	駆動角範囲	X軸(FB軸)周り: ±85°以上 Y軸(LR軸)周り: ±90°以上
	駆動速度	各軸1.5°/s以上
RF系	駆動寿命	7年相当以上
	チャンネル数	S帯: 1 ch, Ka帯: 1 ch
	利得	S帯: 18.8dBi以上(フォワード), 19.5dBi以上(リターン) Ka帯: 41.9dBi以上(リターン)

MLI: Multi Layer Insulation

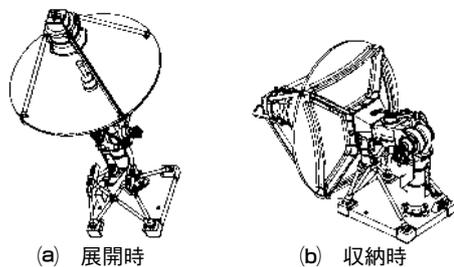


図1. DRCアンテナ

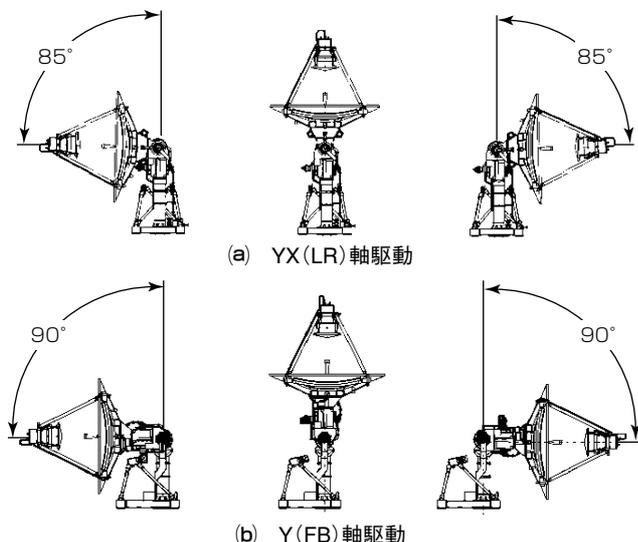


図2. DRCアンテナの駆動角範囲

2. ALOS-2向けDRCアンテナ

表1にDRCアンテナの諸元を示す。また、図1、図2にDRCアンテナの外観及び駆動角範囲を示す。

DRCアンテナは、APMと呼ぶ2軸ジンバル上にアンテナを配置しており、軌道上で2軸周りに独立に回転駆動する。打上げ時の収納形態では保持解放機構の2か所で可動部を締結固定しており、軌道上では締結ロッドを火工品を用いて切断することによって解放動作を行う。

3. DRCアンテナ用メカニズム

3.1 角度検出器付マイクロステップ対応アクチュエータ

表2にアクチュエータの主要諸元を示す。また、図3にAPMとアクチュエータの外観を示す。

APMを構成する2軸のアクチュエータは、三菱電機宇宙用標準アクチュエータ“MSA20(MELCO space Standard Actuator 20)”を用いている。その構成はステップ角度0.6°の2相バイポーラスステップモータ(巻線冗長)、減速比1/160のハーモニックギヤ、レゾルバ型角度検出器からなり、ハーネスを通すため中空軸構造としている。アクチュエータ部には合成炭化水素系のMAC(マルチアルキレーテッドシクロペンタン)グリス/オイルを使用しており、特にハーモニックギヤとその潤滑システムは、JAXA研究開発本部の開発品に準拠している。

表2. アクチュエータの主要諸元

項目	諸元
モータ	2相バイポーラスステップモータ(巻線冗長)
モータ駆動方式	電流制御型マイクロステップ駆動
モータステップ駆動速度	0~400pps(フルステップ時) 0~3,200pps(マイクロステップ分割1/8ケース)
モータ基本ステップ角	0.6°(フルステップ時)
自起動トルク	72Nm以上 @400pps, +24℃
ギヤ	ハーモニックギヤ, 減速比160:1
アクチュエータ駆動分解能	0.00375°(フルステップ時) 0.000469°(マイクロステップ分割1/8ケース)
角度検出器	レゾルバ型角度検出器 主/従 各1ch
角度検出器モニタ分解能	0.000687°(19bit)

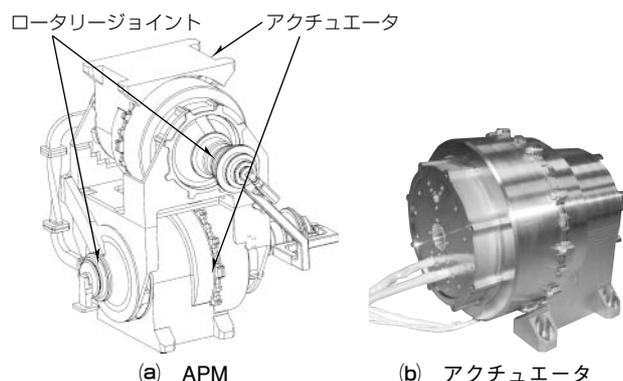


図3. APMとアクチュエータ

将来的にこのDRCアンテナが、アンテナ駆動時の発生擾乱量要求が厳しいアプリケーションにも使用できることを想定し、アクチュエータのモータは、円滑なマイクロステップ駆動に対応させるために、三菱電機従来品と比較して、ディテントトルクの低減化を図っている。

図4に、マイクロステップ駆動時のアクチュエータ出力軸角度履歴を示す。このDRCアンテナ用にはフルステップの8分割のマイクロステップ駆動を行っている。フルステップ駆動時の角度履歴と比較して、リニアで円滑な駆動ができていることが確認できる。マイクロステップ駆動用モータは、フルステップの64分割以上まで対応できることを別途確認しており、三菱電機の今後の宇宙用低擾乱型ステップモータの先鞭(せんべん)をつけることとなった。

### 3.2 ロータリージョイント

ロータリージョイントとは、相対的に回転駆動する部位で、RF信号を非接触で伝達するデバイスである。非接触であるがゆえに、動作時回転速度に制約がなく、また動作

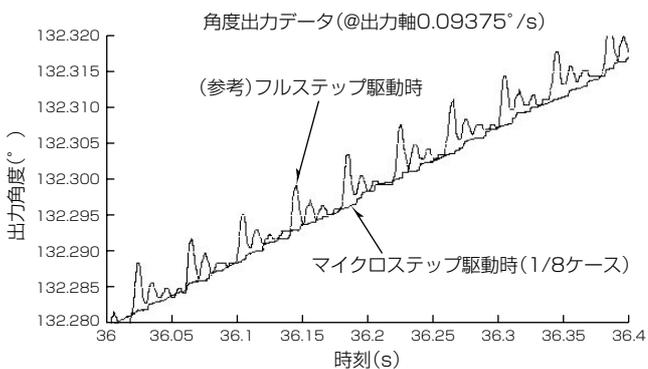


図4. マイクロステップ駆動時の角度履歴

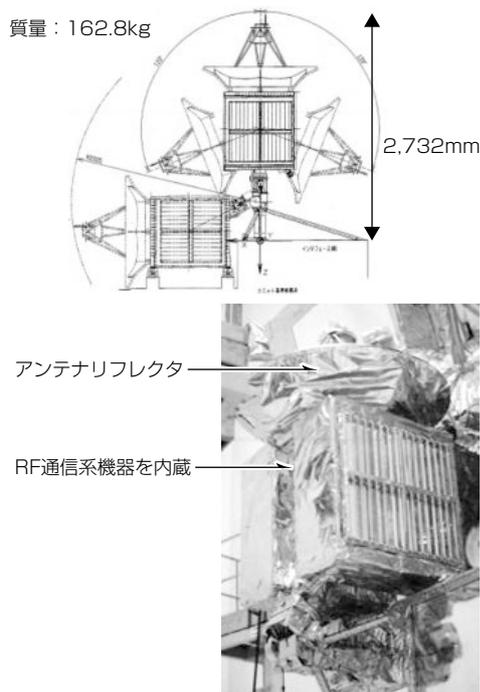


図5. ALOS(だいち)向けDRCアンテナ

寿命が比較的長いという特長を持つ。従来の衛星ALOS(だいち)向けDRCアンテナ用メカニズム(APM)では、可動部のRF信号の伝達にはフレキシブルRFケーブルを用いており、このケーブルの曲げによって可動部の相対運動を許容する構成であった。

しかしながらフレキシブルRFケーブルを採用した場合には次の課題があった。

- (1) RF損失が大きく、アンテナと通信系機器までの距離を短くする必要がある。またRFケーブルを通過させるための周波数コンバータが必要となる。
- (2) 動作時にケーブルの曲げや伸ばしを伴うので、ケーブルの動作寿命の制約がある。
- (3) ケーブル実装のために、比較的大きなスペースを必要とする。

特に(1)については、アンテナ近傍にRF通信系機器を配置する必要があるため、アンテナ可動部が非常に大きくなってしまいう課題があった。図5にALOS(だいち)向けDRCアンテナを示す。今回開発したALOS-2向けDRCアンテナは、ロータリージョイントを採用したことによって、ALOS向けDRCアンテナと比較して、劇的に軽量・コンパクトとなっていることが確認できる。

先に述べた(1)~(3)の課題を解決するため、ALOS-2向けDRCアンテナの開発で、JAXAミッションでは宇宙用としては初めてとなるロータリージョイント(S帯及びKa帯)の開発を行った。表3にロータリージョイントの主要諸元を、図6にロータリージョイントの外観を示す。

ロータリージョイントの回転部は軸受で構成し、アクチュエータに採用しているものと同一の合成炭化水素系のMACグリス/オイルを潤滑施工することによって、寿命要求を満足させている。このロータリージョイントは認定

表3. ロータリージョイントの主要諸元

項目	諸元		
	S帯用	Ka帯用	
RF系	VSWR	1.3以下	1.3以下
	通過特性	0.3dB以下	0.3dB以下
	耐電力	7 W max	30W max
機械系	寸法	φ50×89(mm)	φ50×40(mm)
	質量	172g	72 g

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio



図6. ロータリージョイント

表 4. 寿命試験の条件

大項目	項目	内容
駆動条件	駆動範囲	±90° 往復
	入力軸速度	±240°/s (±40rpm@3,200pps)
	出力軸速度	±1.5°/s (4 min/rev@3,200pps)
	出力軸負荷	±0.58Nm (正弦波負荷) (実機の外部慣性加速トルクは0.03Nm max)
環境条件	温度	-10~+60℃, 12H/1 サイクル
	真空度	0.4E-04~1.33E-3Pa
測定項目	最小自起動電流	各温度移行前に計測@3,200pps (原点位置で測定)
	駆動時電流/電圧	モニタのみ
	駆動時角度出力	モニタのみ
	RF特性	VSWR, 挿入損失
寿命判定基準	最小自起動電流	0.35A@3,200ppsを超えた時
試験目標	第一次目標	出力軸28,000回転 (ミッション期間5年相当)
	第二次目標	出力軸40,000回転 (ミッション期間7年相当)
	第三次目標 (試験終了)	出力軸56,000回転 (ミッション期間10年相当)

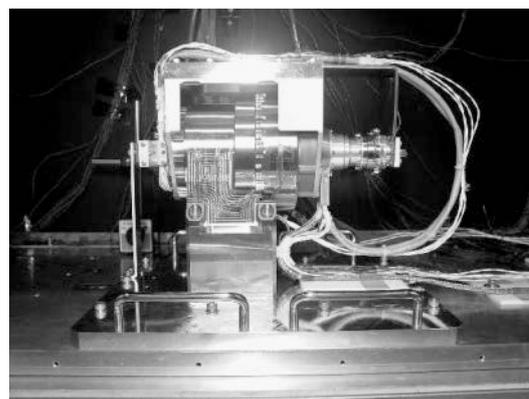


図 8. 試験コンフィギュレーション

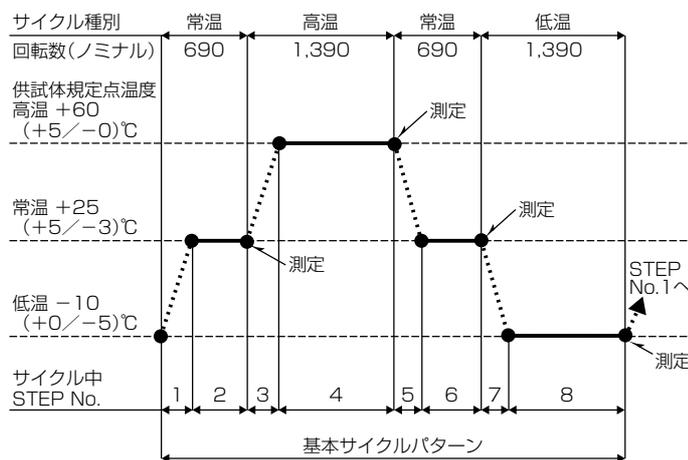


図 7. 試験時の温度プロファイル

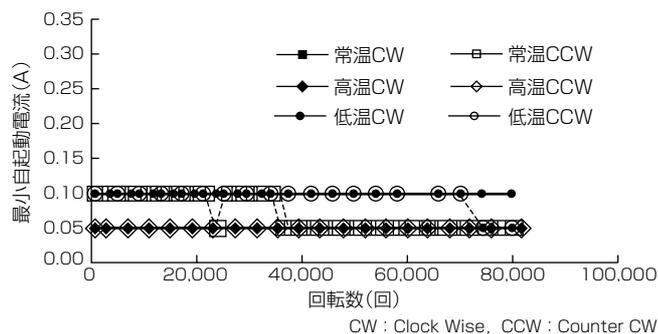


図 9. 最小自起動電流測定結果トレンドグラフ

試験によって、所望の仕様を満足することを確認できた。

### 3.3 1軸APM部分モデルによる寿命試験

APMを構成する2軸のアクチュエータ及びロータリージョイントが、DRCアンテナの寿命要求に適合していることを確認するために、APM 1軸分の部分モデルによる寿命試験を実施した。APM部分モデルはアクチュエータ1台、ロータリージョイントS帯用1台、Ka帯用1台で構成している。

表4に試験条件を示す。また、図7に試験時の温度プロファイルを、図8に試験コンフィギュレーションを示す。

動作寿命に関して、第一次目標：出力軸28,000回転(ミッション期間5年相当)、第二次目標：出力軸40,000回転(ミッション期間7年相当)、第三次目標：出力軸56,000回転(ミッション期間10年相当)として実施した試験は順調に推移し、最終的に出力軸81,571回転(ミッション期間

14.6年相当)に到達し、試験期間の時間的な制約から試験は打ち切った。なお、試験打ち切り時点でも、供試体は寿命判定基準まで劣化しておらず、健全な状態(動作性、角度検出機能、及びRF機能)を維持していた。

図9に寿命判定基準とした、アクチュエータの最小自起動電流測定結果トレンドグラフを示す。アクチュエータの最小自起動電流を測定することによって、アクチュエータ内部抵抗トルクを間接的に評価することができる。最小自起動電流値は、寿命判定基準である0.35Aに対して余裕を持って推移しており、試験開始時の状態とほぼ同程度か、やや抵抗トルクが減少している傾向が確認できる。

この寿命試験結果から、APMを構成する2軸のアクチュエータはDRCアンテナの寿命要求に対して適合していることが確認できた。

## 4. むすび

今回開発したDRCアンテナに用いているメカニズムについては、地上認定試験及び寿命試験でALOS-2の要求仕様に適合することを確認でき、また軌道上でも所望の性能を発揮していることが確認できた。

このメカニズムは、ALOS-2以外の衛星でのDRCアンテナ用メカニズムとしても、また、別のアプリケーションとしても汎用的に十分活用できるものと考えている。