

## A07 キネマティックカップリングを用いた アンテナ鏡面の高精度設置と位置姿勢調整

田中宏明 (防衛大), 荻芳郎<sup>※1</sup> (東大), 佐藤泰貴<sup>※2</sup>, 石村康生, 土居明広, 馬場満久 (JAXA/ISAS),  
高木健太郎 (防衛大・院), 中原聡美 (総研大・院)

Hiroaki Tanaka (National Defense Academy), Yoshiro Ogi<sup>※1</sup> (University of Tokyo), Yasutaka Sato<sup>※2</sup>,  
Kosei Ishimura, Akihiro Doi, Mitsuhisa Baba (JAXA/ISAS), Kentaro Takagi (National Defense Academy),  
Satomi Nakahara (SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies))

### 1. はじめに

将来のより高度なミッションに対応するため, より大型で高精度な宇宙構造システムが求められており, そのような高精度構造システムの実現に向けた技術の一つとしてキネマティックカップリング (KC: Kinematic coupling) を用いた高精度展開・組立が研究・開発されている<sup>1)</sup>. KC は二つの物体間の相対位置・姿勢 (剛体 6 自由度) を適切に拘束するための機構であり, 図 1 に示すような 1~3 自由度を拘束するカップリングを組み合わせることで実現されている.

一方, 成層圏気球を用いた VLBI による電波天文観測ミッションの実現に向けて, 直径 3 m クラスのセグメント型主鏡を有する大型高精度アンテナ構造 (図 2) が開発されている<sup>2)</sup>. 主高精度な鏡面の実現のために各セグメントの高精度設置および, 位置・姿勢調整に KC を適用することを検討しており, その有効性の確認と問題点洗い出しのため, 縮小モデルを用いた基礎試験を実施した. 本稿では試験の概要と結果について報告する. なお, 鏡面の設置時に KC に生じた傷のため, 本試験では KC の有効性確認には至らず, 現在, 改良を行っている段階である.

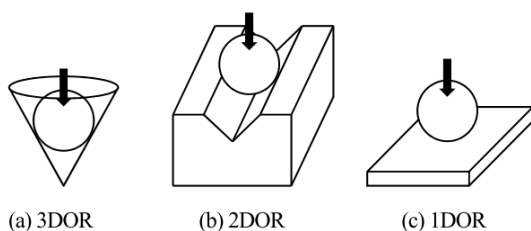


図 1 キネマティックカップリング<sup>1)</sup>

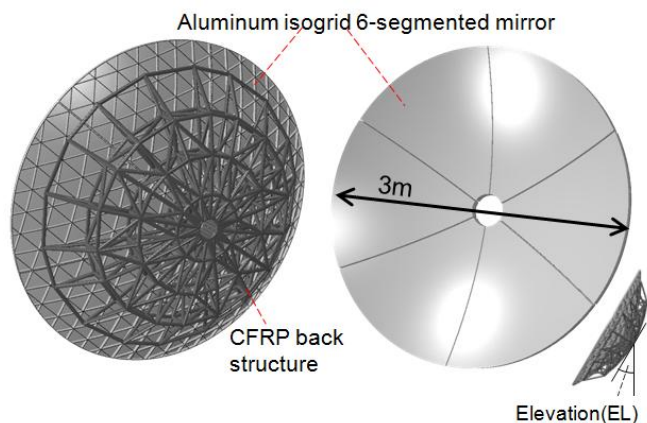


図 2 気球 VLBI ミッション主鏡概要<sup>2)</sup>

※1 現所属: Oxford space systems,

※2 現所属: 三菱電機株式会社/ Mitsubishi Electric Corporation

## 2. 試験装置

### 2. 1 供試体

KC を用いた高精度設置および位置・姿勢調整の効果を確認し、問題点を洗い出すために有効性確認試験を実施した。試験で用いた気球 VLBI 用主鏡面 BBM (縮小モデル (直径 2m) の 1 セグメント) の概要と外観を図 3 に示す。この BBM では 2DOR のカップリングを 3 組用いることで、支持構造と鏡面部の相対位置・姿勢の拘束を行っており、地上と成層圏での温度差による熱変形を適切に逃がす役割を有している<sup>2)</sup>。主鏡面はアルミニウム合金製であり、図 3 の外観は加工途中の段階の写真である。今回の BBM で用いた KC の概要と外観を図 4, 5 に、KC の配置を図 6 に示す。KC は SKH-51 材で製造されており、DOR 球部の半径は 50mm, DOR ピース部の当り面傾斜角は 45 度となっている。DOR 球部および DOR ピースの取り付け板には穴がけられており、その穴を通して主鏡側に取り付けられたワイヤーにバネにより張力を付与することで、設置時の結合力を付与している。また、位置・姿勢調整の際には KC の斜面にシムを挟むことで、DOR ピースの移動を模擬した。

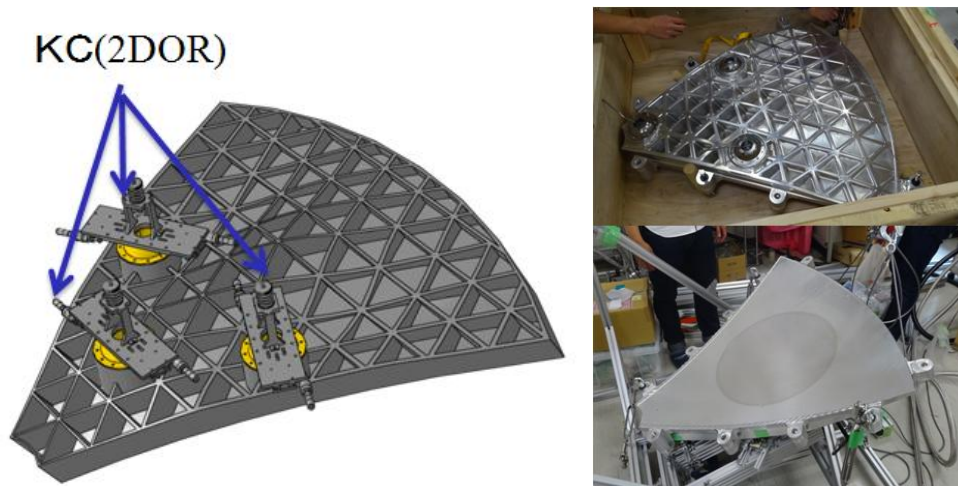


図 3 気球 VLBI 用主鏡 BBM (左：概要，右：外観)

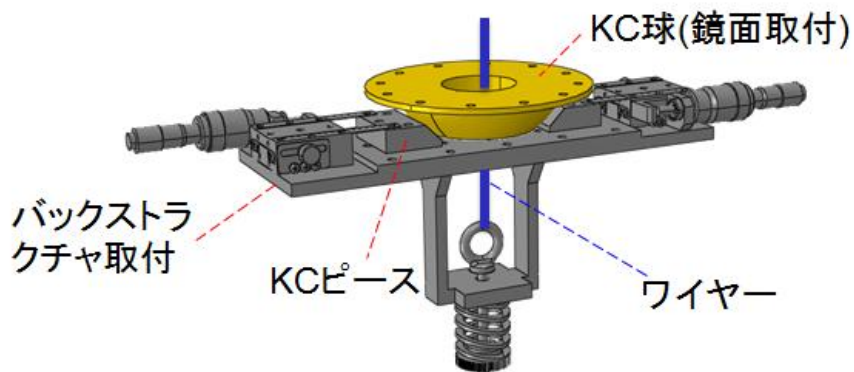


図 4 主鏡 BBM 用 KC 概要図

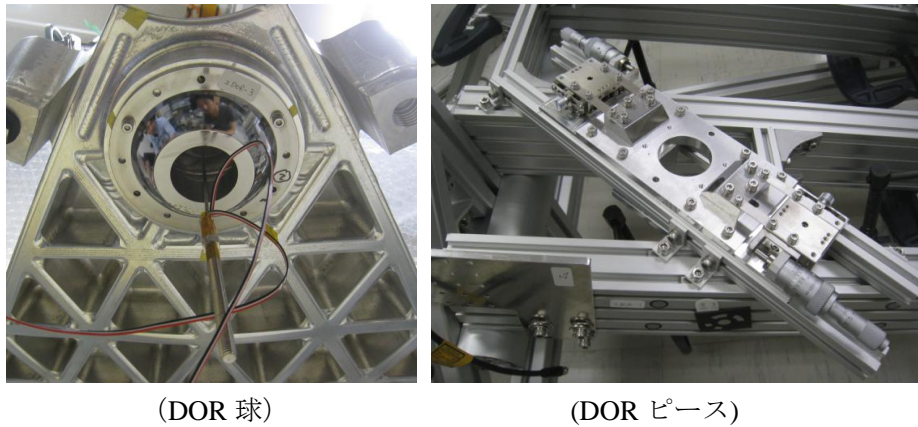


図 5 主鏡 BBM 用 KC 外観図

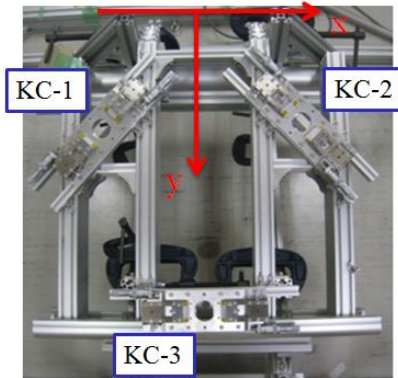


図 6 KC 配置

## 2. 2 試験装置構成

主鏡 BBM を、支持構造を模擬した治具上に設置し、試験を実施した。試験装置の概要を図 7 に示す。今回の試験ではフォトグラメトリシステム (AICON DPA)、オートコリメータ、レーザー変位計にて計測を行ったが、本稿ではフォトグラメトリシステムでの計測データを用いて評価を行う。フォトグラメトリシステムでの計測点(ターゲットマーカ貼付位置：主鏡側)を図 8 に示す。治具側にも同様にターゲットマーカを貼付し、それらの計測データから支持構造模擬治具に対する主鏡 BBM の相対位置・姿勢を評価した。

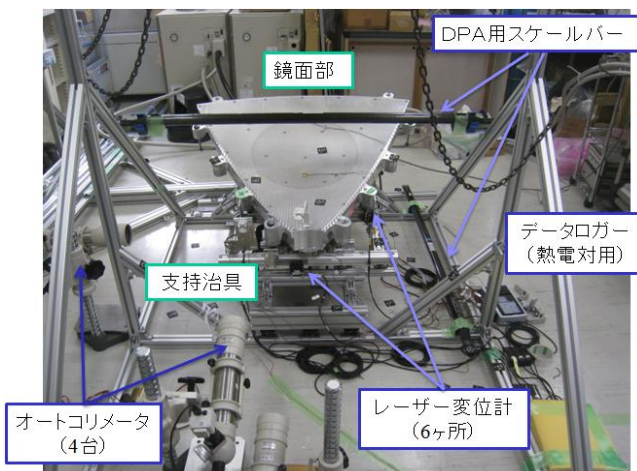


図 7 試験装置構成

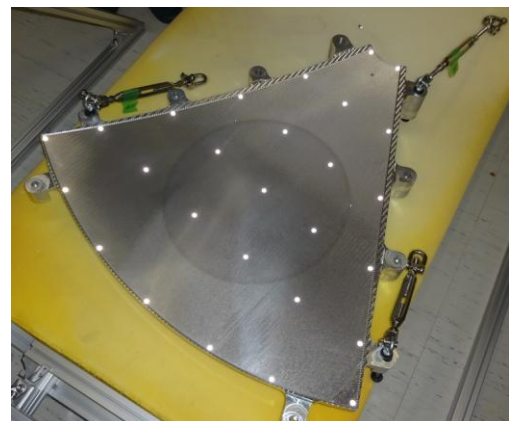


図 8 主鏡 BBM 上の観測点

### 3. 試験結果

#### 3. 1 相対位置・姿勢再現性試験

主鏡BBMと支持構造模擬治具間の締結を緩め、主鏡側を離したのち、再度締結力を付与し、前後での鏡面の剛体的な位置・姿勢の変化を評価した。試験概要を表1に示す。試験1を基準として、試験2,3ではKC3の1ヶ所のみを外した後、再度結合を行い、試験4~6では、3つのKCとも締結を外した後、再度締結を行っている。計測結果より試験1を基準として、相対位置・姿勢の変化を評価した。試験結果を表2に示す。試験の結果、1つのKCの取り外し、再結合を行った試験2,3では相対位置・姿勢の変化は小さく良好な再現性が得られている（相対変位の一例：図9）。しかし、3つのKCとも外した後、再度結合したケースでは明確な剛体変位が残っており（相対変位の一例：図10）、高い再現性を実現できていない。試験後にKC部を確認したところ、図11に示すような傷がKC1および2において観測された、この傷が相対位置・姿勢の再現性悪化の要因であると考え、現在検討を進めている<sup>3)</sup>。

表1 相対位置・姿勢再現試験概要

試験番号	概要
1	初期設置状態
2	KC3のワイヤー張力除荷⇒再負荷
3	KC3のワイヤー張力除荷 ⇒ハンマーにて鏡面部に衝撃印加 ⇒KC3部ワイヤー再負荷
4	3つのKCとも張力除荷、少し浮かした後⇒再負荷
5	鏡面部にハンマーにて衝撃印加
6	3つの3KCとも張力除荷、少し浮かした後⇒再負荷

表2 相対位置・姿勢再現試験結果

	試験2	試験3	試験4	試験5	試験6
Tx [μm]	-3.7	5.4	45.1	33.3	27.1
Ty [μm]	-14.0	-9.8	2.7	-14.8	-14.4
Tz [μm]	-6.9	-10.6	-6.2	-4.0	-10.5
Rx [arcsec]	-0.72	-4.78	10.8	0.74	2.39
Ry [arcsec]	-3.35	-5.48	-6.01	0.34	2.02
Rz [arcsec]	-2.35	-0.23	-4.92	-3.40	-4.67

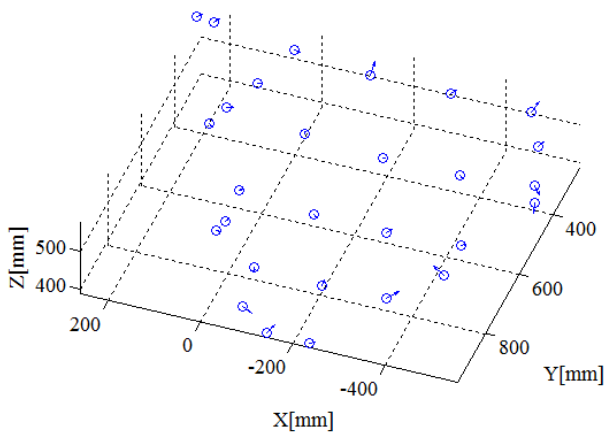


図9 鏡面上計測点の動き  
(試験2：変位は1000倍に拡大)

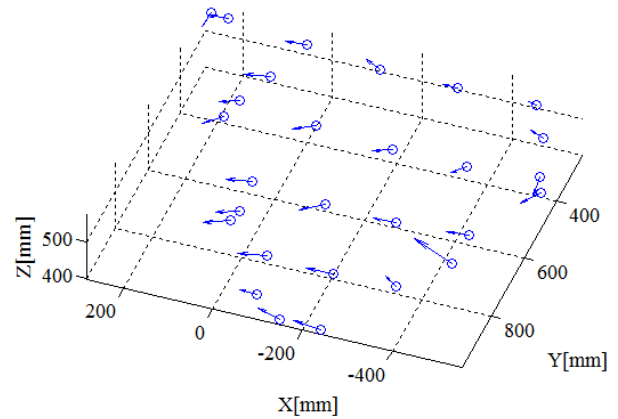


図10 鏡面上計測点の動き  
(試験4：変位は1000倍に拡大)



図11 KCに生じた傷の例 (左：DOR球部，右：DORピース斜面)

### 3. 2 位置調整試験

KCを用いた相対位置・姿勢の調整性を確認する試験を実施し、DORピースを動かした際の鏡面位置の移動を計測した。試験ではKC3の+X側ピース部に0.1mmまたは0.2mmのシムを挿入し、DORピースの移動を模擬した。試験結果を表3および図12,13に示す。

表3 位置調整試験結果

	シム 0.1mm 理論値	シム 0.1mm 試験結果	シム 0.2mm 試験結果
Tx [μm]	-50.0	8.5	26.3
Ty [μm]	0.0	24.6	20.5
Tz [μm]	50.0	-5.8	-3.88
Rx [arcsec]	-28.0	-34.5	-74.0
Ry [arcsec]	0.0	1.1	8.3
Rz [arcsec]	18.0	22.6	34.3

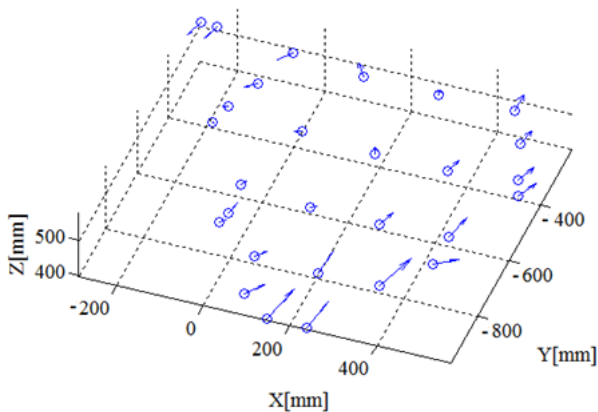


図 12 鏡面上計測点の動き  
(シム 0.1 mm 挿入：変位は 1000 倍に拡大)

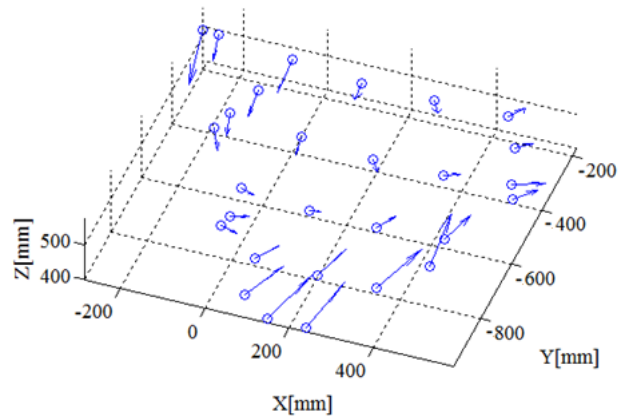


図 13 鏡面上計測点の動き  
(シム 0.2 mm 挿入：変位は 1000 倍に拡大)

試験結果より，剛体回転に関しては定性的に理論に一致するものの，並進成分には大きな差異が見られた．これらも KC 部に生じた傷の影響と考えられ，今後改善が必要である．

#### 4. まとめ

KC を用いた気球 VLBI 用分割鏡の高精度組立に関連して，KC による組立時の位置・姿勢再現性，調整性に関する試験を実施した．鏡面設置時に生じたと考えられる傷の影響か，KC による相対位置再現性はあまり良好でなかった．調整性についても，理論値との一致が見られず，傷が何らかの影響を与えている可能性がある．今後，傷発生メカニズムを確認し，傷を生じない設置方法を検討するとともに，摩擦係数の評価を行い KC 部の改良を行ったあと，再度評価試験を実施する予定である．

#### 謝辞

本研究は，JAXA 宇宙科学研究所の戦略的研究開発費の支援のもと実施された．

#### 参考文献

- 1) 荻 芳郎，他：運動学的カップリングを用いたラッチ機構の展開完了条件，第 55 回 構造強度に関する講演会講演集，3A08，2013.
- 2) Y. Sato, et al.: Development of High Precision Reflector for Balloon-Borne Radio Telescope, 30<sup>th</sup> International Symposium on Space Technology and Science, ISTS2015-c-31, 2015.
- 3) 高木 健太郎，他：キネマティックカップリングへの適用に向けた金属材料の耐衝撃特性評価，第 31 回 宇宙構造・材料シンポジウム，A08，2015.