

Development of Electric field antennas for SCOPE and Future Space Missions

Y. Kasaba (Tohoku Univ.)
 K. Higuchi (Muroran Inst. Tech.)
 J. Koyanagi, K. Ishimura (ISAS/JAXA)
 N. Kawabata, A. Watanabe, T. Ozaki, R. Sakai (Sakase Adtech)
 H. Kojima (RISH, Kyoto Univ.)
 K. Ishisaka (Toyama Pref. Univ.)

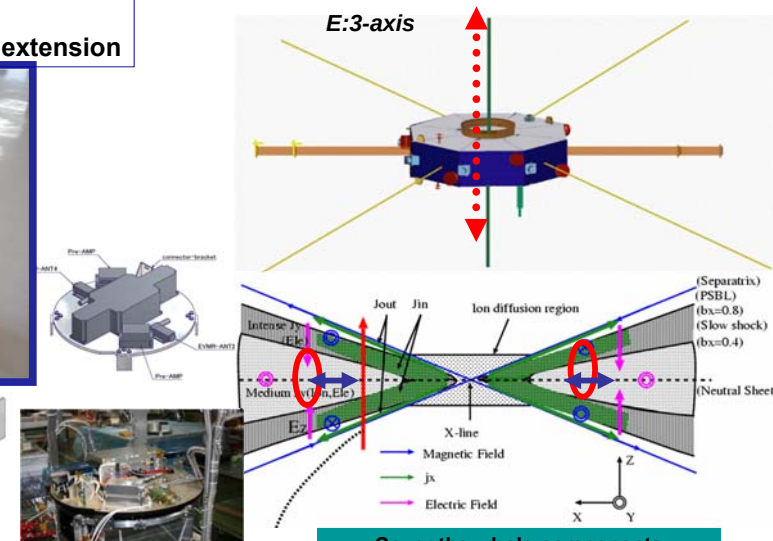
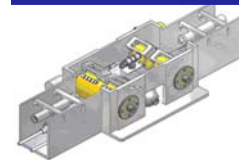
電場アンテナは、宇宙空間電場、プラズマ波動・電波、大気放電電波・レーダー反射電波を捉えるセンサーである。伸展機構を要し、衛星・探査機設計に与えるインパクトは大きい。以下の3開発を進めてきた。(2)(3)は軽量確実な伸展展開機構であり、応用範囲は広い。

- (1) 大型リジッド式アンテナ: CFRPを用いた5m級軽量伸展アンテナ
- (2) 小型リジッド式アンテナ: 観測ロケット・探査機・着陸機用の小型伸展アンテナ。
BeCu素材リボンアンテナ・カーボンファイバー(CFRP)素材ステムアンテナの2方式
- (3) ワイヤ式アンテナ: GEOTAIL型・CLUSTER型(水星探査機MMOでは両者搭載)の融合のため電気系フローティング回路技術を確立。

I. Electric Monopole/Dipole Antenna

~ SCOPE-PWI: Spin-axis Probe Antenna (SPT) ~

Rigid antenna
for the spin-axis extension

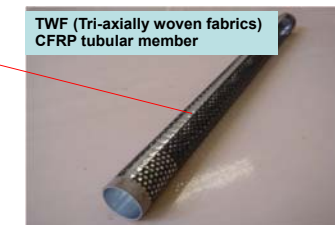
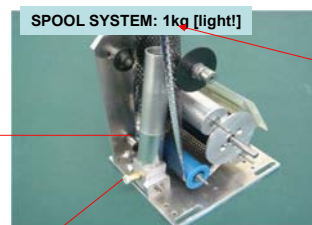
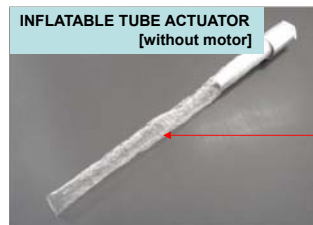


EVMR-ANT-1/3 [S-520-23 Sounding Rocket]

Cover the whole-components
in key regions

<<< Z-axis Antenna : History >>>

- | | |
|-------------|--|
| 2006 | - CFRP elements : Radio characteristic test
- SPINAR (dipole QFRP antenna: 2.5m length x 2) :
development start for S-520-23 sounding rocket |
| 2007 Sep. | - SPINAR extension success : during the flight of S-520-23! |
| Oct | - Loop CFRP antenna : development start |
| 2008 | - Yagi-Uda type antenna : development start |
| 2009 | - CFRP elements : Development of the facility for 5m-length
- ITA (dipole inflatable antenna without CFRP: 2.5m length x 2):
development start for S-520-26 sounding rocket |
| 2010 Summer | - ITA : test during the flight of S-520-26 |
| 2011 | - Test model for "Bi-STEM" "Motor-driven" Type |
| 2012 | - Additional test: Strength test of the Antenna elements |



Simple, stable, and light rigid boom is established.

EVMR-ANT-1/3 [S-520-23 Sounding Rocket (2007)]



Rigid, Long, Light, and Safe antenna for the extension
along Spin-axis and 3-axis stabilized spacecraft

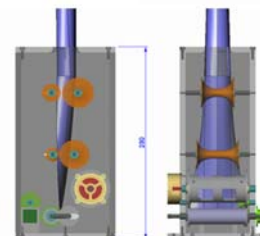
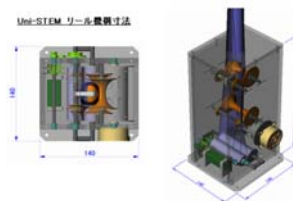
[2010FY] We gave up Uni-STEM type

伸展アンテナ材及びこれを用いた伸展機構に関わる、特にクリティカルな技術要素を抽出。
試作・評価を含む検討によりシステムとしてのフィジビリティを確認。

本アンテナの難点は「座屈しないか？」という点にある。

「固有振動数」「曲げ座屈強度」の2点において

- Uni-STEM 曲げとねじれの連成が発生。
「開断面」側で座屈が起きやすい。
- Bi-STEM 2枚のアンテナ要素間が摩擦で拘束。
上記の問題が明らかに起きにくい。



***** 試験内容 *****

<素材試験 (Uni/Bi 共通)>

- 線膨張係数 熱変形解析の基礎データ
- 脱湿ひずみ、含水率 吸湿変形解析の基礎データ
- 引張特性 運用温度環境での安全性確認
- 熱バランス特性 熱変形解析の基礎データ

<構造>

- 成形直進性、熱変形、脱湿変形、収納保管癖、固有振動数、
曲げ座屈強度 運用・伸展時の伸直性

<設計>

- Uni-STEM 伸展機構概念設計
- Bi-STEM 伸展機構概念設計

[2011FY] Bi-STEM type の詳細試験 -1

(1) アンテナの動特性の評価検討:

2010年度に作成したアンテナ試作モデルを動特性計測に耐えるように改装。
これと整合する数値モデルを構築。

(2) アンテナの動特性の検討:

(1)で作成した試作モデル・数値モデルにより、
衛星システムから与えられる外乱要因に対する応答の検討を行う。

[2012FY] Bi-STEM type の詳細試験 - 2

(3) アンテナ構造の設計検討:

(2)の結果を基に、アンテナ支持機構の設計検討を行う。

(4) アンテナ構造の成立性検討

(3)の結果から、アンテナの基本構造・基本機構(含む、電気系へのI/F)および
基本リソース(含む、質量・包絡域)を決定。

----- ...を予定したが、予算なく、以下を代替実施 -----

(5) アンテナ構造の破壊試験: 過荷重をかけ、座屈のモードと耐荷重を計測中

外乱 by System Requirement

	20rpm?	20rpm?	3rpm?	
項目	親機	遠子機	近子機	備考
衛星本体特性(慣性主軸など)				
衛星本体ティルト	< 0.2deg	< 1deg	< 1deg	マスト片側伸展によるスタティック成分 スロッシングによる変動は、下記条件で制御する範囲において微小。
スピン軸の、機械軸中心とのオフセット	< 0.02m	< 0.05m	< 0.05m	同上
スラスト入力				
角加速度最大値	< 1deg/s ²	< 5deg/s ²	< 5deg/s ²	RCS パルス幅は、左記値を満たす範囲で設定すると想定。
並進加速度	< 0.02m/s ²	< 0.1m/s ²	< 0.1m/s ²	(スラスト推力/衛星重量)+マージン
プリセクション/ニューテーション(姿勢制御実行時)(*)				
プリセクション角	0.04deg	0.02deg	0.6deg	1パルスあたりのワイヤアンテナ全体を含む系の姿勢変化 角加速度最大値に対応する角度
ニューテーション角	0.2deg	1.1deg	5.0deg	剛体部分(衛星本体と伸展された MAST)のニューテーション 周期。親機・遠子機については (1.0<I _{xx} /I _{yy} <1.5)であることを想定した条件。 近子機については、スピンレートが小さいことから、ニューテーション角速度<スピン角速度とした。
ニューテーション角速度	< 60deg/s	< 60deg/s	< 18deg/s	
姿勢制御実施条件				
頻度(制御実施時のスラスト噴射時間間隔)	3s	3s	20s	スラスト制御は 1パルス/スピン
姿勢制御持続時間/頻度	—	—	max 17 分/週	親機・遠子機については、姿勢制御実施頻度が小さいため未評価。
ΔV 制御実施条件				
頻度(制御実施時のスラスト噴射時間間隔)	3s	3s	20s	スラスト制御は 1パルス/スピン
ΔV 持続時間/頻度	max 10 分/周回	max 10 分/周回	max 67 分/周回	ΔV パルス幅は、親機 0.75s 子機 0.25s を設定 持続時間は、編隊規模に依存する。
ニューテーション減衰時定数(ニューテーションが 1/e になるに要する時間)	—	40 分	20 分	ニューテーションダンパの暫定的設計による概算値

最も大きな外力は、「高Spin時に、スピン軸が大きくティルト」するとき。

外乱 by System Requirement [2011FY]

[アンテナ側目標]

「最大変位量: 0.25deg、マージン込で 0.5degまで」。

この条件で、System外乱に耐えるようにアンテナ設計を目指す。

成立を見ない場合には、

(1)スピンレートを落とす

(2) アンテナ長を更に短縮する

のトレードオフを迫る(迫られる)こととなる。

* システム要求から既に以下のdegradationを受け入れることとなっている。

・「親機」のZ軸アンテナを「2対から1対へ減らす」ことを許容する。

[理由] 通信アンテナが衛星上部につくこととなる公算が大きい。

この場合、かなり無理のある設計を取らないと、

「導電体」たらずるを得ないZ軸アンテナと両立を図るのが困難である。

・「全機」のZ軸アンテナは、「アンテナ根本から5m」を上限とする。

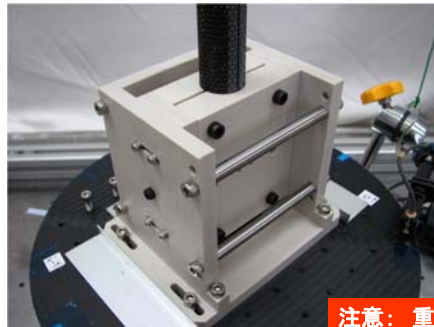
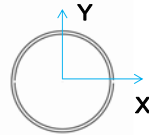
[理由] アンテナ周囲に電磁シールド部が付く、等の設計要求がまだFIXしていない。
しかし、その分を上乗せすると、アンテナ素材長の増大 = アンテナ座屈の危険性が増す。

「アンテナ素材が、最大5m」で設計思想を統一。

BiSTEM - 動特性の試験システム [2011FY]

- * サカセアドテック社内に、5m高の回転計測系を構築。
- * アンテナ部(BiSTEMアンテナ-5m + 固定部)をスピンドル上に設置し、
 - Offset 0.05m まで
 - Tilt 0.5deg まで
 の変位を与え、0/10/20rpmで回転させて変形を見る。

[断面図] 2枚のアンテナ素材重量した構造。「開断面」がX方向。



注意：重力キャンセルはしていない！



実験総括: [2011FY]

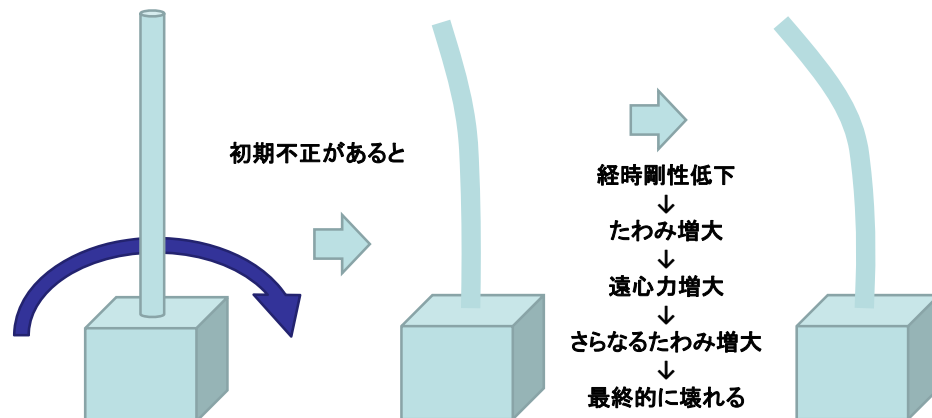
- * アンテナ素材試験から予想されたことだが、“50mm-offset” + “0.5deg tilt” + “20rpm”でも、想定座屈強度(～2Nm程度)に至るまでに5倍程度のマージンは確保されている。

課題

- * 2011年度試験系では、“0.5+1 deg tilt”の試験は、スペースの問題があって実施できない。
→ 追加試験 & 数値モデルによって外挿していく。
- * 現想定温度(20degC程度)から +40degC程度の加熱があると、“劣化速度が100倍程度”と加速される。
→ 現時点での表面熱特性なら、問題ないはずと考えている。
- 遠子機の条件 = “50mm-offset” + “1 deg tilt” + “20rpm”
にアンテナ側による「0.5 (-1.0) degのtilt」が加わると、さすがにマージン僅少。
→ 遠子機に対し(軽量で姿勢安定度が悪いというなら)スピン速度低減を要請せざるを得ない。
さもなくば、安全のため、アンテナ長削減を考えざるを得ない。
- ΔV、Spin-Upなどによる外部擾乱とのDynamical Coupling
→ System要求の明確化から

追加試験 [2012FY]

Z軸回転アンテナの長期信頼性

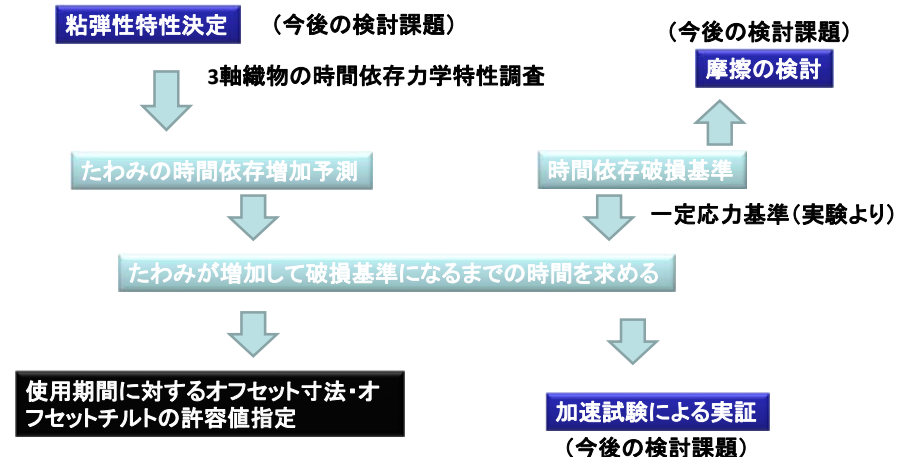


長期信頼性の観点から初期不正の許容値を設定することを最終目標とする

15

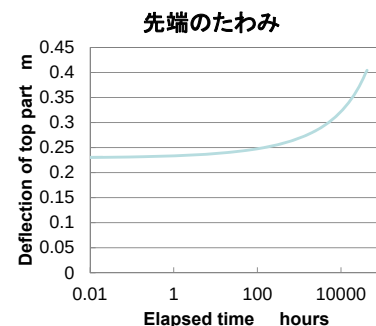
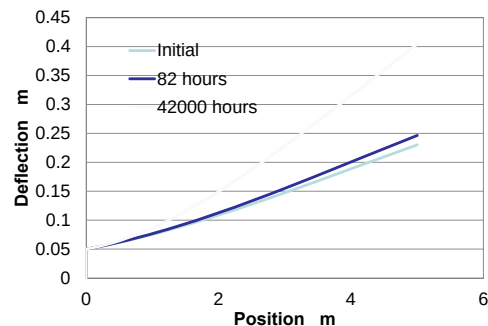
追加試験 [2012FY]

検討方法



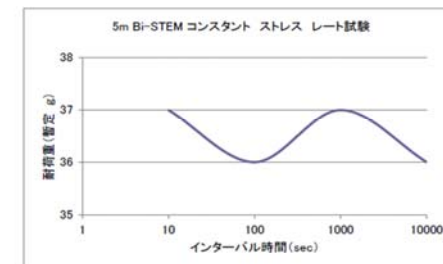
たわみの時間依存性

オフセット寸法5cm, チルト0.57°



破壊基準

条件	50%			
最初に先端を吊上げる種	42枚			
皿	8g			
試験日	11.16	11.16	11.17	12.4~8
気温	22.2	21.9	21.2	18~21.7
湿度	44.9	43.1	51.3	38~47.4
傾斜	度	34	34	34
インターバル	sec	10	100	1000
大変形	枚除去時	37	36	37
変形箇所	mm	1340	1340	1250
	mm	1900	2000	1960
				2265



時間依存性無し。
おもりを差し引いた根元のモーメントは1.74Nm
1.74Nmで常に破壊に至る。→破壊の基準とする

前のページのたわみの増加によるモーメントの増加が1.74Nmになる時間が寿命

II. New rigid antenna

with Sakase Adtech Co.



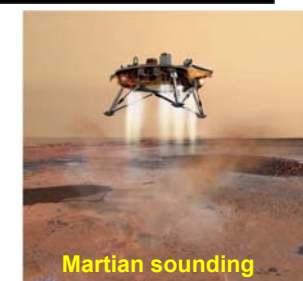
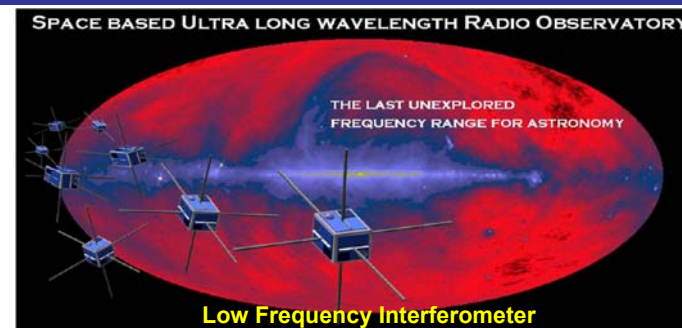
2m antenna test model

- self-extension, no motor!
- BeCu / CFRP

Potentially,
strong enough to support
heavier TOP-MASS.



Other possible applications!



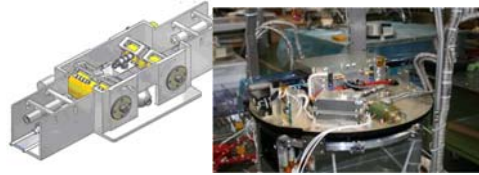
Base technology (1): Motor-driven STEM antenna

~ SCOPE-PWI: Spin-axis Probe Antenna (SPT) ~



TWF (Tri-axially woven fabrics)
CFRP tubular member
(enough stiffness & softness @ 77K)

- * 5m antenna along SPIN-AXIS
Under the development
(for our objective, it is too much
because of the endurance to
large centrifuge force)
- * STEM-type:
Flat antenna element winding to the drum
Extension by Motor-drive



EVMR-ANT-1/3 [S-520-23 Sounding Rocket (2007)]

<What is requested? >

- * Lighter-weight (5m→2m, Motor-drive)
Target: 1/5 !
- * Smaller-radius (2cmΦ – limited by CFRP)
Target: <1 cmΦ

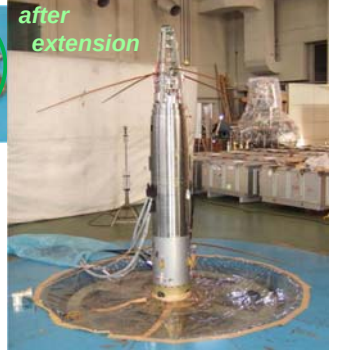
Base technology (2): Non-Motor Spring antenna

~ Rocket experiment: Ribbon antenna ~

- *Simple & reliable : Spring extension by the BeCu metal ribbon element itself
- *Short length : ~ 1m
- *Light weight : 0.2kg / 1 unit → **< 0.6kg as a Unified extension unit.**
- *Surface : Conductive (BeCu) or Non-conductive (Kapton film)

- * for Sounding Rocket
used in several 10s years
- * Self-extension by
BeCu spring elements
only after the cover-open

before
extension



<What is requested? >

- * Longer: now < 1m
>= 2m length ... new manufacturing
system is needed.
- * Higher strength: now – spin plain extension
self-standing on the 3-axis stabilized orbiter
- * Compact mechanism unified with 3-antennas

Similar concept to the STACER (Univ. Berkeley, used in many missions!)