

A09 大型リブ型アンテナ構造に関する設計法

紺野陽平（東京都市大学・院），宮坂明宏（東京都市大学）

Yohei Konno , Akihiro Miyasaka(Tokyo City University)

1 研究背景

近年，衛星ミッションの高度化により人工衛星に搭載されるアンテナや太陽電池パドルなどの宇宙構造物において大型化，軽量化されている．また，アンテナ開発の動向において，通信サービス拡大，電波天文観測が活発になっているため，高い通信能力向上を求められている．その対策として衛星に搭載されるアンテナの大型化と高精度化が求められている．しかし，フェアリング収納に収まる必要があるため，アンテナ構造における鏡面精度の向上と面密度の減少が要求される．

2 研究課題・目的

従来，複数の構造を連結して反射鏡面を構成するモジュール構造の研究が行われてきた．しかし，この構造様式であると大型化に伴い連結に必要なヒンジなどの部材数が増加し，軽量化に限界がある．そのため，少ない部材で構成可能な一体型の構造様式で，軽量化かつ大型化のアンテナを検討する必要がある．また，本研究室では，センターパラボラアンテナ面のみ解析が行われており，オフセットパラボラ面を考慮したアンテナ解析方法が確立されていない．本研究では，一体型リブ型アンテナ構造においてオフセットパラボラアンテナを考慮した支持構造の設計法の検討を行うことで，従来よりも大型かつ高精度な支持構造の設計法を確立することを目的とする．

3 ケーブルメッシュアンテナ

本研究では，ケーブルメッシュアンテナ構造を研究対象とする．このアンテナ構造は，ケーブルネットワーク構造と展開支持構造で構成される．ケーブルネットワーク構造は，パラボラ面を近似し，反射鏡面の役割を持つ．また，展開支持構造はケーブルネットワーク構造に張力を与え，平衡状態を保たせる役割を持つ．ケーブルネットワーク構造は，サーフェスケーブルとタイケーブル，バックケーブルで構成されている．

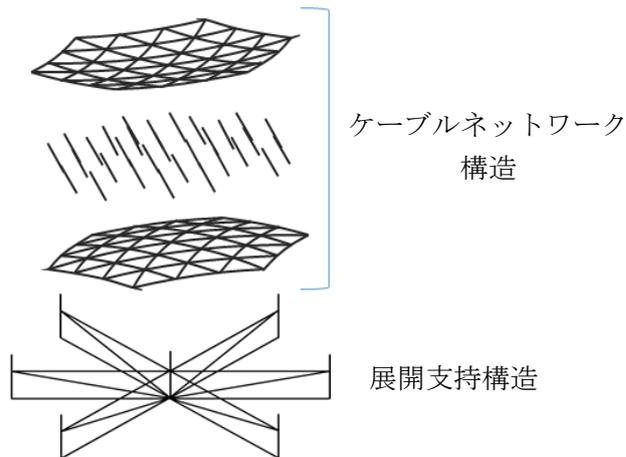


Fig. 1 Detail of the antenna structure

4 研究内容

4.1 展開支持構造モデルの作成

リブ型アンテナ構造は, Fig. 2 に示したトラス構造である四節機構が中心材を中心に複数結合されることで構成される.

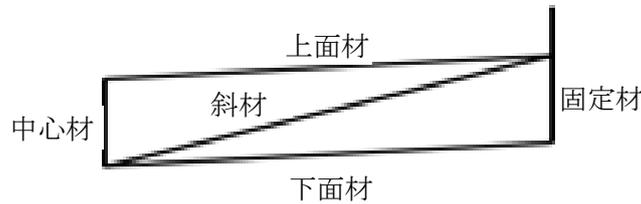


Fig. 2 Detail of the deployable supporting structure

初めに, 本研究での展開支持構造の設計方針を以下に示す.

- (1) 各部材は同一形状のものを用いる.
- (2) 中心材と固定材の上端の座標点を球面近似し, 球殻をパラボラ面に近似すること.
- (3) 収納, 展開を可能とするために, 中心材と上面材, 固定材と下面材の長さを等しくすること. 以降では上記の条件を制約条件として展開支持構造設計法を確立する.

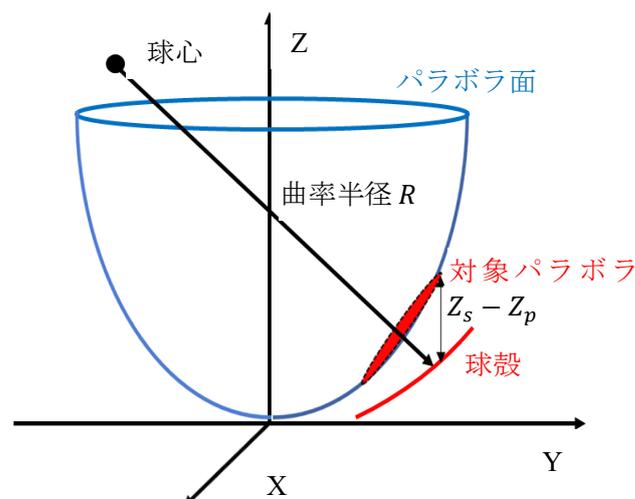


Fig. 3 Detail of the Calculating Coordinate of deployable supporting structure

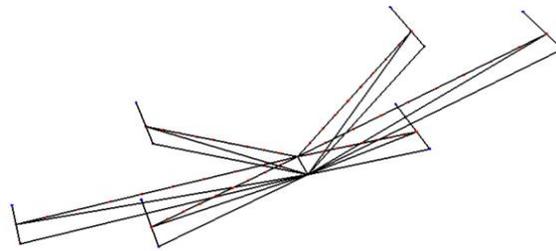
1. 最初に, 球殻とパラボラ面の式を式(1), (2)として示す. 球殻とパラボラ面の差を最小とするため, Excel のソルバー機能を使い, 式(3)が最小であるときの球心座標($O_x, 0, O_z$)を算出した. このときの F は焦点距離, 式(3)の積分範囲は対象パラボラ領域である. [1]

$$Z_p = O_z - \sqrt{r^2 - (x - O_x^2)^2 - y^2} \quad (1)$$

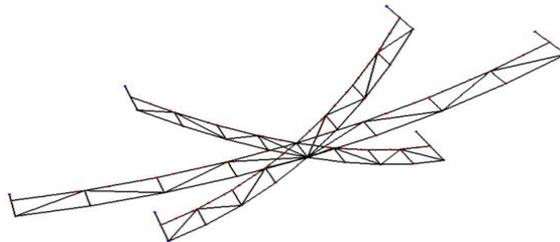
$$Z_s = \frac{(x_2 + y_2)}{4F} \quad (2)$$

$$I = \iint (Z_s - Z_p)^{2m} dx dy \quad (3)$$

2. Fig. 3 から，始点が球心である長さ R のベクトルの先を中心材上端の座標とした．方向は対象パラボラ面の端 2 点を通るベクトルがなす角度を等分する方向である．次に，同一方向ベクトルで，始点を対象パラボラ面の端 2 点としたベクトルが球殻と交差した座標を固定材上端座標とし，上面材長さを算出した．このときのベクトル長さ R は任意で決定した．
3. 算出した上面材長さ，制約条件 2 と 3 の中心材と固定材の上端が球殻上に位置すること，中心材と固定材，上面材と下面材の長さが同一であること条件から，中心材長さに値を与えたとき，他の座標は一意に決定される．
4. 四節機構のトラス構造が 1 つの展開支持構造を基本モデルとし，制約条件(2), (3)の中心材と固定材の上端が球殻上に位置すること，中心材と固定材，上面材と下面材の長さが同一であること条件を守るようにトラス構造を増やしたモデルを作製した．このとき，四節リンク機構が 4 つのモデルまで作成した．この設計法で作成した基本モデルを Fig. 4(a)，4 分割モデルを Fig.4 (b)に示す．



(a) Single-fold deployable supporting structure



(b) Four-fold deployable supporting structure

Fig. 4 Conceptual model of supporting structure

5 ケーブルネットワーク構図結合方法

従来のケーブルネットワーク構造と展開支持構造の結合方法では，サーフェスケーブルの 6 端をスタンドオフの上端，バックケーブルの 6 端を固定材の上端に結合していた．しかしながら，この従来の結合方法では，バックケーブルがサーフェスケーブルの方向に引き込まれ，干渉してしまう問題点があった．そのため，上面材，下面材にバックケーブルを結合することでサーフェスケーブルとバックケーブルが干渉しないようにした．また，バックケーブルを下面材に結合した場合には，タイケーブルと展開支持構造が干渉してしまう問題がある．そのため，Fig. 5 のように展開支持構造に位置するバックケーブルノードを円弧状に描くようにし，タイケーブルが展開支持構造と干渉しないようにした．

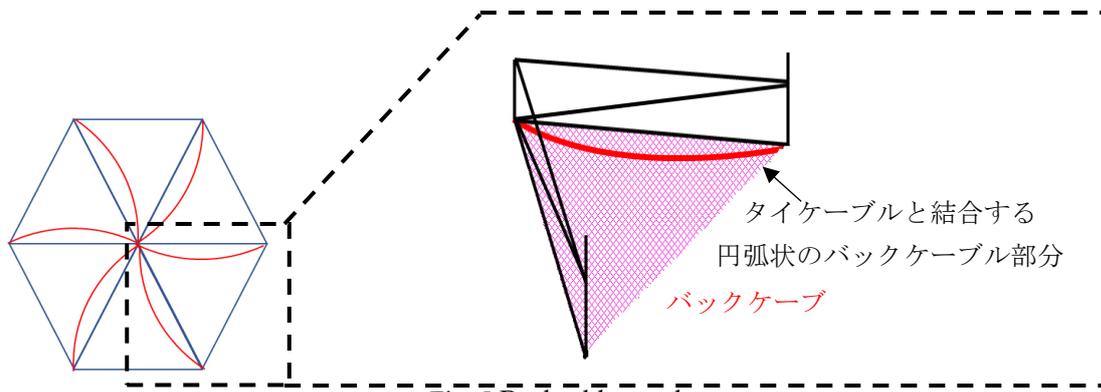


Fig. 5 Backcable topology

以上の手法で作製したアンテナ構造を Fig. 6, 7 に示す.

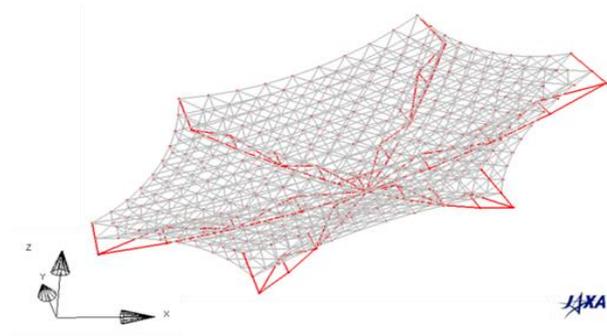


Fig. 6 Conceptual model of antenna on upper radial member

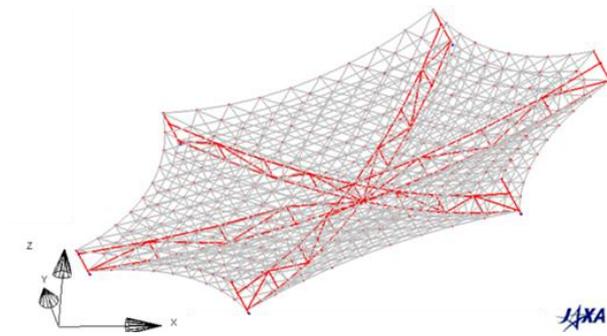


Fig. 7 Conceptual model of antenna on under radial member

6 鏡面精度解析

鏡面誤差 0.2 mmRMS 以下に調整したケーブルネットワーク構造を、作製した展開支持構造に接続して静解析を行った。このとき、部材は中空部材を用いた。目標鏡面誤差として1.0 mmRMS以内と設定し、外径 ΦD は 15 mm から 30mm の範囲で、5mm 刻みで決定し、中空部材の肉厚は最小値を 0.5 mm とし、0.5 mm 刻みで決定した。この解析結果から、鏡面誤差が1.0 mmRMS以内を満たすときの各モデルでの鏡面誤差を比較した。設計仕様を Table 1, 解析結果を Fig. 8 に示す。

Table. 1 Design condition of reflector

Aperture diameter	10000 mm
Focal length	8000 mm
Offset angle	51.2 deg
Facet number	9

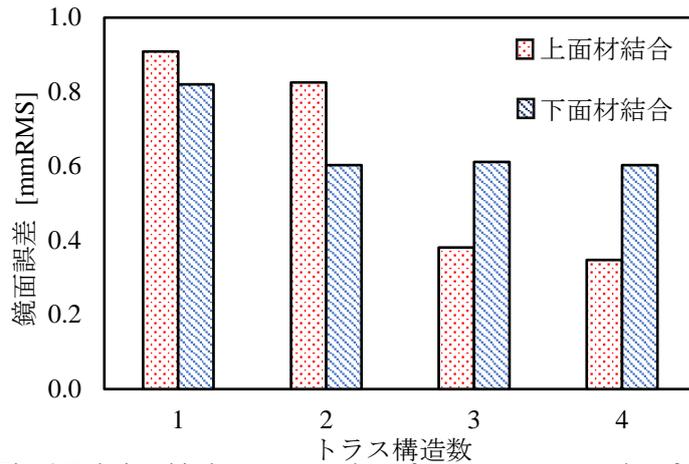


Fig. 8 Relationship between number of truss structures and surface error

Fig. 8 から、バックケーブルを上面材に結合した解析モデルでは、トラス構造が多いモデルの方が鏡面誤差が小さくなる。それに対し、バックケーブルを下面材に結合した解析モデルでは、2分割モデル以降のトラス構造の解析モデルでは鏡面誤差に変化はない。

7 結言

大型展開アンテナ構造の設計法を確立した。展開支持構造高精度化のためには、トラス構造数が 2 個までの場合はバックケーブルを上面材に結合したアンテナ構造が優れていることが分かった。また、トラス構造数が 3 個以上ではバックケーブルを下面材に結合したアンテナ構造が優れていた。この理由としては、バックケーブルを上面材に結合した解析モデルの場合は、曲げモーメントが発生し、バックケーブルを下面材に結合した解析モデルでは、圧縮力が働くためだと考えられる。トラス構造は、隣り合う部材では曲げモーメントが発生させない特徴があるため、トラス構造の数が多いモデルの方が安定すると考えられる。そのため、設計するアンテナ構造の開口直径からアンテナ構造を適宜使い分ける必要がある。

8 参考文献

- [1] 仙北谷由美, 三次仁, 最適球面近似によるアンテナ反射鏡面の決定方法, 特開平 10-209747, 1998 年