

SURE: Shizuoka University REpository

<http://ir.lib.shizuoka.ac.jp/>

Title	119 衛星搭載用アンテナの固有振動数の予測：反射鏡モードの選定基準(振動の解析・制御)
Author(s)	水野, 淳平; 三澤, 正吉
Citation	東海支部総会講演会講演論文集. 2001(50), p. 37-38
Issue Date	2001-03-01
URL	http://hdl.handle.net/10297/4562
Version	publisher
Rights	日本機械学会：本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである

This document is downloaded at: 2017-09-24T23:09:40Z

Frequency prediction of a Deployable Antenna for satellite use

(Criterion for selecting Modes of a reflector)

○学 水野 淳平 (静大) 正 三澤 正吉 (静大)

Junpei MIZUNO, Shizuoka University, Johoku 3-5-1, Hamamatsu-si, Shizuoka
Masayoshi MISAWA, Shizuoka University

Key Words : Natural Frequency, Deployable Antenna, Finite Element Analysis

1. 緒言

大形アンテナを実現する一つの候補として展開アンテナが検討されている。展開アンテナの固有振動数はアンテナ展開機構の剛性や反射鏡の振動特性の影響を受ける。本論文では反射鏡モードの選定基準となるパラメータを提案し、これにより、採用するモード数が少なくとも展開アンテナの固有振動数を高精度に予測できることを示す。

2. 定式化

展開アンテナを反射鏡と展開機構 (ADM) が結合した連成系として考える。展開機構の固有振動数が反射鏡の固有振動数に比べて高いことから振動特性は考慮せず (質量を無視)、回転剛性のみを考慮して回転バネで ADM をモデル化する。

展開アンテナ上の任意点での変位が反射鏡単体の弾性変位と展開機構の回転による剛体変位の和で表わされるとすると、展開アンテナの運動方程式は、

$$[A]\{\ddot{\xi}\} + [B]\{\dot{\xi}\} = \{0\} \quad \dots (1)$$

で与えられる。ここに、

$$[A] = \begin{bmatrix} P_{1,1} & & 0 & P_{1,n+1} & P_{1,n+2} & P_{1,n+3} \\ & P_{2,2} & & P_{2,n+1} & P_{2,n+2} & P_{2,n+3} \\ & & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ & & & P_{n,n} & P_{n,n+1} & P_{n,n+2} & P_{n,n+3} \\ & & & & P_{n+1,n+1} & P_{n+1,n+2} & P_{n+1,n+3} \\ & & & & & P_{n+2,n+2} & P_{n+2,n+3} \\ & & & & & & P_{n+3,n+3} \\ & & & & & & & \text{symm} \end{bmatrix}$$

$$[B] = \begin{bmatrix} P_{1,1}\omega_1^2 & & & & & & & \\ & P_{2,2}\omega_2^2 & & & & & & \\ & & \ddots & & & & & \\ & & & P_{n,n}\omega_n^2 & & & & \\ & & & & P_{n+1,n+1}\omega_{\theta 1}^2 & & & \\ & & & & & P_{n+2,n+2}\omega_{\theta 2}^2 & & \\ & & & & & & P_{n+3,n+3}\omega_{\theta 3}^2 & \\ & & & & & & & & 0 \end{bmatrix}$$

$\{\xi\} = \{q_1, q_2, \dots, q_n, \theta_1, \theta_2, \theta_3\}$

ω_i は反射鏡の固有振動数, q は弾性モードの一般化座標, θ は展開機構の回転変位を表し、パラメータ P は次式で表される。

$$\begin{aligned} P_{i,i} &= \{\Phi_i\}^T [M] \{\Phi_i\} \\ P_{i,n+j} &= \{R_j\}^T [M] \{\Phi_i\} \\ P_{n+j,n+j} &= \{R_j\}^T [M] \{R_j\} \end{aligned} \quad \left(\begin{matrix} i=1, 2, \dots, n \\ j=1, 2, 3 \end{matrix} \right) \quad \dots (2)$$

ϕ は反射鏡の基準モード, M は反射鏡の質量マトリックス, R は X 軸, Y 軸, Z 軸回りの単位回転ベクトルからなるマトリックスを表し、添字 n は反射鏡の解析自由度数, 添字 j の 1, 2, 3 はそれぞれ, X 軸, Y 軸, Z 軸回りの量を表す。また, $\omega_{\theta j}$ は次式で表され、

$$\omega_{\theta j} = \sqrt{\frac{K_{\theta j}}{I_j}} \quad \dots (3)$$

$I_j, K_{\theta j}$ はそれぞれ, j 軸回りの慣性能率, 展開機構のバネ定数を表す。簡単のため展開機構のモードの自由度が 1 つの場合を考えると、式 (1) の特性方程式は

$$\omega_{\theta 1}^2 - \Omega^2 + \Omega^4 \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\Omega^2 - \omega_i^2} = 0 \quad \dots (4)$$

で表される。ここに

$$\mu_i = \frac{P_{i,n+1}^2}{P_{i,i} \cdot P_{n+1,n+1}} \quad \dots (5)$$

Ω は展開アンテナの固有振動数を表す。式 (4) より展開アンテナの固有振動数はパラメータ μ に依存することがわかる。今、モードとしてノーマルモードを取ると、式 (2) の第 1 式は 1 となる。そして、反射鏡の全モードを考慮すると、式 (2) の第 3 式から導かれるように、 $P_{i,n+1}$ の総和は $P_{n+1,n+1}$ に等しくなる。すなわち、 $P_{n+1,n+1}$ が慣性モーメントを表わすことから $P_{i,n+1}$ の総和は慣性モーメントに等しくなる。このことはパラメータ μ が j 軸回りの運動に対する i 番目のモードの寄与の大きさを示す。したがって、パラメータ μ の大きいモードを考慮することによって、精度の高い固有振動数の予測が期待できる。

4. 計算事例

上記の方法を図 1 に示すアンテナに適用した例を以下に述べる。本アンテナは移動体通信への適用を目的として開発された開口径 13m のアンテナで、電波の反射面となるメッシュ鏡面、これを所望の鏡面形状に保つためのケーブルネットワーク及びこれらを支持する展開トラスから構成される。展開トラスは打ち上げ時にはロケット内に収納され、軌道投入後にはばねにより図 1 に示した形状に展開する。電気的な観点から視野を確保するため、反射鏡はブームを介して衛星に結合される。また、反射鏡とブームの間には機構が取り付けられ、この機構によって反射鏡の方向を微調整することができる。方向微調整用機構のブームとの結合点を固定したときの解析結果を表 1 に示す。なお、図 1 に示したように、

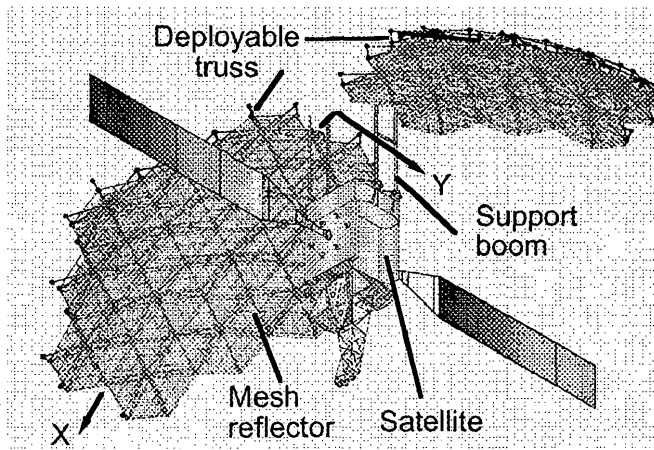


Fig. 1 A deployable satellite antenna

反射鏡の長軸をX, 短軸に平行な方向をY, これに直交する軸をZとした。

図2に40次までの反射鏡モードについてパラメータ μ を百分率で示す。一次モードの μ の値は約80%であり, 1つのモードのみでZ軸回りの慣性モーメントの約80%に相当する。Z軸回りの振動については, 大きな値を有するものが他のモードにないことから, 1次モードのみが展開アンテナの固有振動数に大きく影響すると考えられる。同様に, Y軸回りの振動については2次モード, X軸回りの振動については3, 4次モードの影響が大きいと考えられる。したがって, 以下ではX軸回りに関しては3, 4次モード, Y, Z軸回りに関してはそれぞれ, 2次モード, 1次モードを選定モードとして展開アンテナの固有振動数を予測する。

一例としてY軸回りについて展開機構の剛性を変化させたときの展開アンテナの固有振動数を図3に示す。一次の固有振動数は $\omega_{\theta 2}/\omega_2$ の増加とともに上昇し, $\omega_{\theta 2}/\omega_2$ が0.5以上では一定値をとる。一方, 2次の固有振動数は $\omega_{\theta 2}/\omega_2$ が0.5までは一定で, それ以降は上昇する。反射鏡のY軸回りの振動に対応する展開アンテナの固有振動数を同定するにはモードの対応を確認することが不可欠となるが, ここでは以下のように同定した。ADMの剛性 $K_{\theta 2}$ が増加すると展開アンテナのY軸回りの振動の固有振動数 Ω_Y は上昇し, 反射鏡の固有振動数 ω_2 に近づく。そこで, 反射鏡の4次までの固有振動数と ω_2 との比を求めると, 表2に示すように, 展開アンテナの固有振動数 Ω_Y/ω_2 は Ω_Y/ω_2 が0.44以下では1次, 0.44以上では2次になることが分かる。即ち, 図3の実線で示したように変化する。 $\Omega_Y/\omega_2=0.44$ となるモードは反射鏡の1次モード(Z軸回りの振動)で, その固有振動数 ω_1 は $K_{\theta 3}$ の影響を受けないことがわかる。

選定したモードを用いて展開アンテナの固有振動数を精度良く予測できることを確認するため, 40次までのモードを用いたときの固有振動数 f_{40} と選定したモードのみを用いたときの固有振動数 f_s を求めた。計算結果を両者の比として図4に示す。誤差は最大でも4%以下であり, 両者は良い一致を示す。したがって, パラメータ μ を反射鏡モードの選定基準とすることで展開アンテナの固有振動数を精度良く予測することができる。

5. 結言

モード選定の指標であるパラメータを提案し, これにより, 採用する反射鏡モードが少ない場合にも展開アンテナの固有振動数を精度良く予測することができる。

Table1 Vibration characteristics of the antenna

Mode No.	Frequency (Hz)	Mode
1	0.18	Bending (Y)
2	0.40	Bending (Z)
3	0.51	Torsion (X)
4	0.65	Translation (X)
5	0.77	Bending (Y)

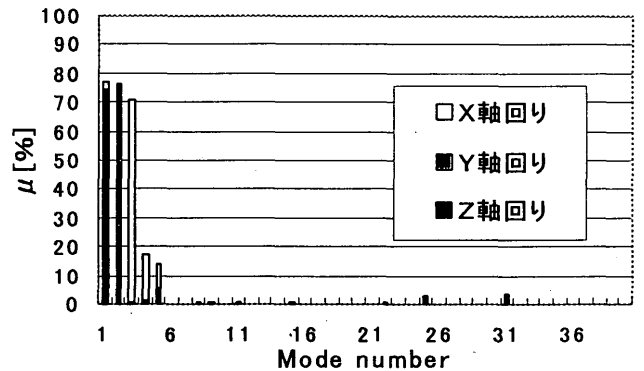


Fig. 2 Parameter μ

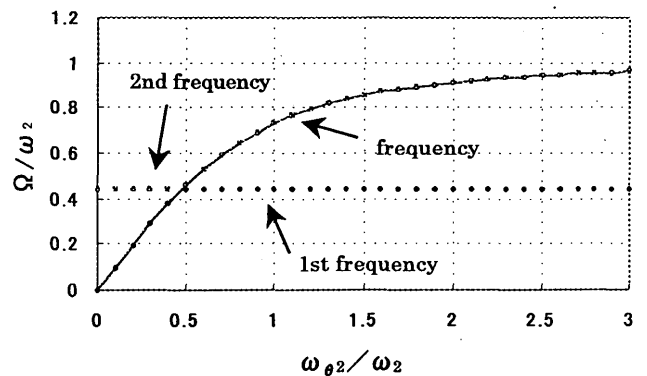


Fig. 3 Frequency variation of the antenna

Table2 Natural frequency ratio

i	1	2	3	4
ω_i/ω_2	0.44323	1	1.284591	1.638869

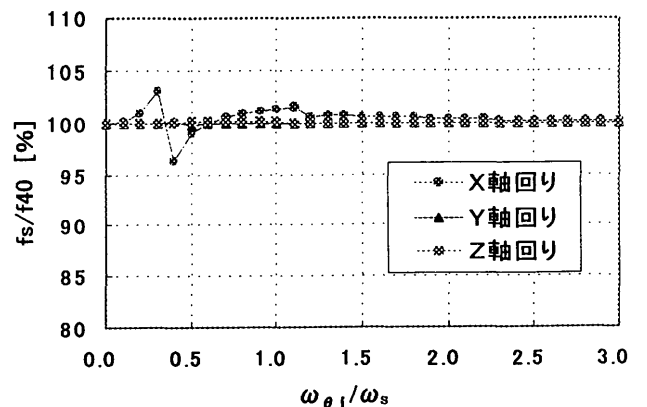


Fig. 4 Natural frequency comparison