

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月14日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760631

研究課題名（和文） 衛星搭載用大型アンテナ鏡面の超高精度化

研究課題名（英文） Study on high accuracy large satellite antenna surface.

研究代表者

田中 宏明（Hiroaki Tanaka）

防衛大学校・システム工学群・准教授

研究者番号：90532002

研究成果の概要（和文）：

本研究では、人工衛星搭載用の大型アンテナシステムの超高精度化を目指し、鏡面を悪化させる要因に関する検討を行うとともに、新しい軌道上形状制御手法を提案し、その実現可能性を検証した。軌道上形状制御手法としては、送受信する電波の強度変化の情報をを用いて制御入力を決定する方法、および、光学式形状計測結果を統計処理することにより制御入力を得る制御手法の2つを提案し、その有効性を数値シミュレーションおよび実験を通して確認した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, two novel methods for controlling the shape of a reconfigurable antenna reflector are developed. In these control methods, an antenna surface is deformed intentionally by using the surface adjustment mechanisms. In the one method, the changes in the gains caused by the intentional deformations are measured and in the other method changes in the surface accuracy of the measured surface shape are analyzed using an optical shape measurement system. Then, the control inputs for the shape correction of the deformed reflector are directly determined from the information about the changes in the antenna gains or the surface accuracy. Some numerical simulations and experiments are carried out to investigate the feasibility of these methods. Their results show that the antenna deformations are estimated and corrected adequately by using these methods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	0	900,000
2011年度	1,500,000	0	1,500,000
2012年度	700,000	0	700,000
総計	3,100,000	0	3,100,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：構造・材料，宇宙構造物，衛星搭載用アンテナ，高精度構造システム

1. 研究開始当初の背景

人工衛星を利用した天体・地球観測や通信・放送などにおけるミッションの高度化に伴い、衛星搭載用アンテナの反射鏡面として

も、より大型でより精度の高い鏡面構造が求められている。特に鏡面精度の劣化はアンテナの性能を著しく低下させるため、高精度なアンテナ鏡面の実現が重要な課題となって

いる。しかし大型のアンテナ構造では、無重量や極端な温度環境といった地上での再現が難しい軌道上特有の環境の影響を受けやすく、運用期間における高い鏡面精度を、開発・製造段階で保証することは設計上の大きな課題となる。

このような課題に対し、現在の衛星搭載用アンテナ鏡面の開発では、精度を低下させる要因を洗い出し、問題となる要因に対しては設計上の工夫を行うことで運用時の精度を保証する構造設計を行っているが、衛星搭載用アンテナの大型化・軽量化に伴い、現在の開発方法により達成できるアンテナ鏡面の高精度化は限界に達している。そのため次世代のより高精度な衛星搭載用アンテナの実現には、軌道上運用に適した新しい超高精度化技術の早急な確立が必要となっている。

2. 研究の目的

将来のより高精度なアンテナシステムの実現に向け、現在問題となっているアンテナ鏡面の精度を悪化させる要因の解明と、それを克服するための新しい高精度形状制御技術の開発を目指す。

(1) 本研究ではまず、衛星搭載用アンテナ構造として広く用いられているケーブルネットワーク構造を例にとり、その鏡面の形状誤差を生じる要因の一つであるの展開時の形状再現性について検討を行い、発生のメカニズムを究明するとともに、生じやすい誤差モードを洗い出す。これらは、より安定した鏡面構造を実現するための基礎研究となる。

(2) また本研究では、これまで実現できなかった軌道上での鏡面形状制御を可能とする、人工衛星搭載用超高精度形状可変アンテナシステムを提案し、その実現可能性と有効性を検証する。軌道上での適用が難しかった従来のアンテナ鏡面の形状計測方法を用いることなく、本システムでは、送受信する電波の強度情報を用いて制御入力を決定、鏡面形状を制御し、超高精度なアンテナ鏡面を達成する。

(3) さらに、(2)の形状制御手法の発展として、アンテナ鏡面誤差の計測方法として、軌道上での利用が可能ではあるが、計測精度が不足している光学的形状計測手法を用いた新しい高精度形状計測手法を開発し、その有効性を実証する。

3. 研究の方法

衛星搭載用の大型超高精度アンテナ鏡面の実現に向けて本研究で設定した3つの目的に対し、次のような方法で研究を遂行した。

(1) 衛星搭載用アンテナ構造として広く利用されているケーブルネットワーク構造を対象として検討を行った。まず単体のケーブルに対して、繰り返し荷重負荷試験を実施し、

ケーブルの機械的特性の数値解析モデル化を行った。次に簡易ケーブルネットワークモデルを用いて、数値解析により形状再現性を評価するとともに、同モデルを実際に作成し、それを用いた検証試験を実施、構築した数値解析モデルの妥当性を確認した。

(2) 軌道上でのアンテナ鏡面の形状制御に関しては次の様な検討を行った。まず、アンテナ鏡面の形状変化とアンテナゲインの関係性を求め、その関係性を基に送受信する電波の強度変化情報を用いたアンテナ鏡面の形状制御方法を導出した。また、アンテナの構造解析と放射特性解析を統合し、超高精度アンテナの設計・評価システムを作成した。

アンテナシステムとしては、衛星搭載用大型アンテナ構造として広く用いられているケーブルネットワーク型と、リブー反射鏡面型の2種類のアンテナ構造を対象に、数値シミュレーションを実施し、提案する形状制御手法の有効性を検証した。さらに、リブー反射鏡面型のアンテナ鏡面構造と12個の形状調整機構を有する概念検討モデルを開発した。

(3) 計測精度要求は満たさないものの、多点での形状計測が可能な光学式形状計測システムを用いた高精度な形状制御手法に関して、次の検討を実施した。まず計測された計測誤差を含む鏡面形状から鏡面精度の評価値を算出する際の計測誤差の影響を評価し、その情報を用いて形状制御を行う高精度形状制御手法を導出した。この手法に関して、数値シミュレーションを実施するとともに、概念検討モデルを開発し、それを用いた検証試験を実施、提案する制御方法の有効性を実証した。

4. 研究成果

設定した研究目的に対して、次のような成果が得られた。

(1) ケーブルネットワーク型アンテナは多数の衛星搭載用アンテナにて採用されているが、そのアンテナ構造では展開・収納毎に形状が変化する展開時の形状非再現性を有している。本研究では、まず、単体のケーブルにおける繰返し荷重負荷試験を実施、その結果を基にケーブルの機械的特性モデルを構築した。次に、そのモデルの有効性を確認するため、簡易なケーブルネットワークモデルを用いて、収納・展開の繰返しによる形状変化を計測・評価する、数値解析および実験を実施した。

数値解析と実験の結果を図1に示す。この図より、実施した実験の結果がほぼ、数値解析結果の平均±1標準偏差の範囲内に収まっており、ケーブルのモデル化が妥当であったことが確認できた。今後このケーブルモデルを利用してアンテナの形状非再現性を評

備することで、将来の高精度アンテナ鏡面開発において重要な、鏡面性能の予測精度を上げることができ、また問題となる鏡面変形モードを抽出することで、対策が必要な範囲を絞ることができる。

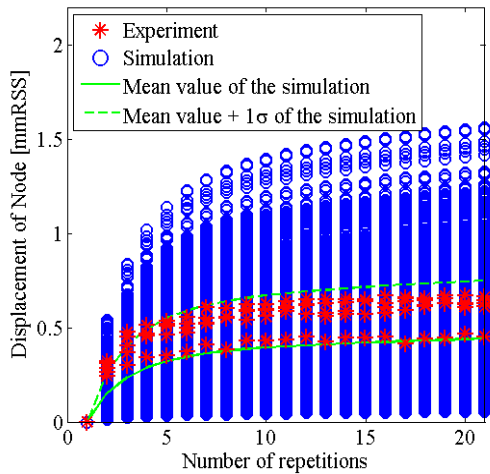


図1 ケーブルネットワーク構造の形状非再現性評価結果（実験および数値解析）

(2) 本研究では次に、鏡面調整機構を有し、軌道上でのアンテナ鏡面誤差（鏡面形状の理想パラボラからのずれ）を補正するよう鏡面に变形を与えることで高精度なアンテナ鏡面を得る高精度形状可変アンテナシステム（図2）を提案し、その形状制御手法を開発した。このアンテナシステムでは外乱により变形している鏡面に対し、鏡面調整機構により任意の变形を付与し、その際のアンテナが受信する電波強度の変化を観測、それらの情報を基に制御入力を決定する。そのため、鏡面誤差の計測に必要な高精度形状計測システムが不要という利点がある。

開発した形状制御手法に関して、その有効性を示すため、高精度形状可変アンテナモデルの概念検討モデル(図3)を対象とした数値シミュレーションを実施した。鏡面に付与した 1mm RMS の誤差を提案手法により制御する数値シミュレーションを 1000 回繰り返している。数値シミュレーションの結果を図4と図5に示す。図4より、制御の結果、ほぼ 0.1mmRMS 以下の鏡面誤差を有する鏡面が得られており、また図5より、アンテナゲインも制御によりほぼノミナルの状態に戻っていることが分かる。これらの結果より、開発した形状制御手法は、高精度アンテナ鏡面の実現に向け有効であることが明らかとなった。この手法は鏡面形状を計測する特別なシステムを必要としない利点を有しており、将来の超高精度アンテナシステムの実現において、重要な技術の一つとなると期待できる。また本研究では、提案した形状制御手法を組み込んだ概念検討モデルを開発して

いる。概観を図6に示す。本モデルを用いた有効性検証試験は今後の課題である。

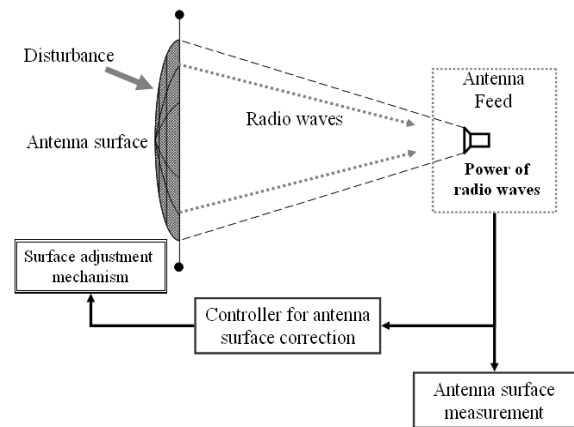


図2 高精度形状可変アンテナシステムの概要

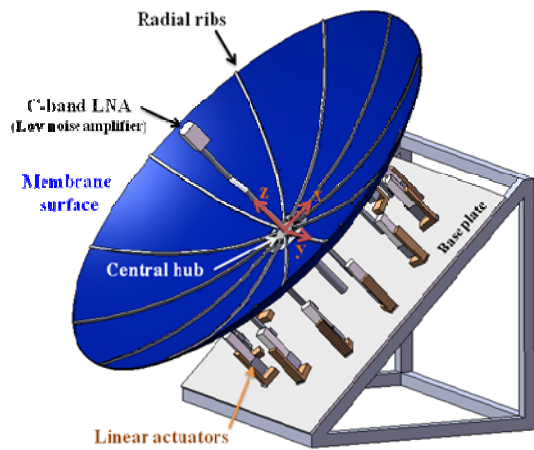


図3 高精度形状可変アンテナモデル — 概念検討モデルの概要

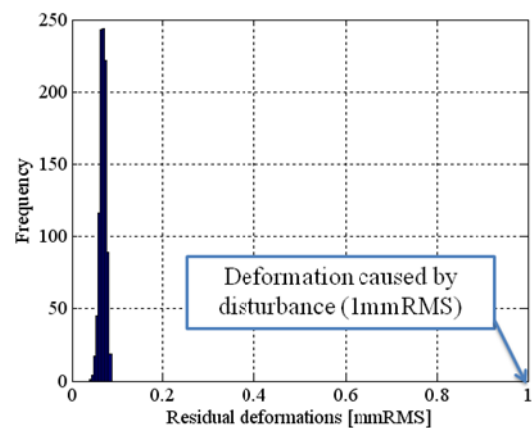


図4 アンテナゲイン解析に基づく形状制御結果（鏡面精度と頻度）

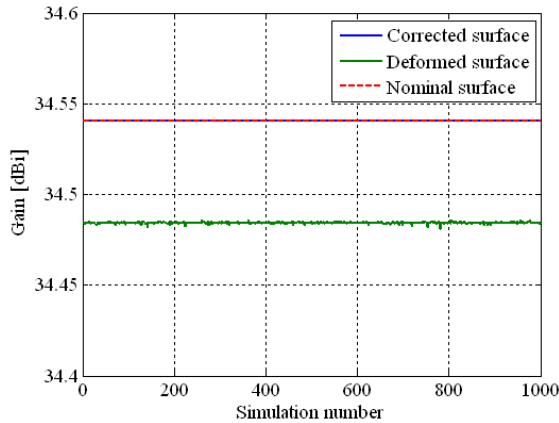


図5 アンテナゲイン解析に基づく形状制御結果（アンテナゲイン）

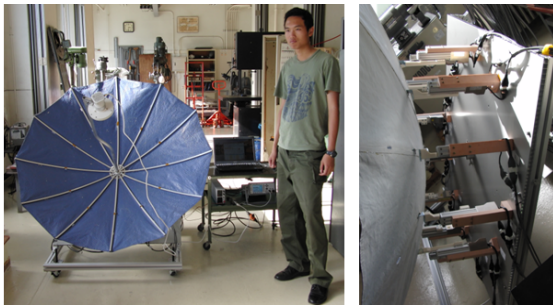


図6 高精度形状可変アンテナモデル
— 概念検討モデルの概観

(3) 中精度ではあるが多数の点で測定が可能な光学式形状計測システムを用いた高精度形状制御法を開発した。この形状制御法では、光学式形状計測システムを用いて計測された鏡面形状データから求まる鏡面精度の評価値のバラツキが、計測点数の増加により小さくなることを利用した方法であり、計測点数が増えるに従い、より高精度な形状制御結果が得られる。本制御方法の有効性実証に向けて、光学式形状計測方法としてステレオ視法を用いた高精度形状可変反射鏡試作モデル（図7）を開発し、対応する数値解析モデルを構築した。

これらのモデルを用いて、鏡面調整機構の初期位置誤差を外乱として形状制御を行う、数値シミュレーションと試作モデルを用いた検証試験を実施した。数値シミュレーションの結果を図8に、有効性検証試験の結果を図9に示す。これらの図には、形状調整機構への入力と対応する鏡面変形の関係を示す感度マトリクス的一般逆行列を用いて、鏡面形状の計測結果から制御入力を決定する、従来の制御手法についても制御結果を示している。これらの結果より、計測点数が1000点を超える様な多数の計測点数が得られる場合には、開発した形状制御方法が従来の

方法より、高い形状効果が得られていることが分かる。これらの結果より、多数の形状計測結果が得られる光学式形状計測システムと本形状制御方法を組み合わせることで、高い鏡面精度を実現できるアンテナシステムを得ることができる。このようなアンテナシステムは将来の高度なミッションにおける重要な技術課題であり、本アンテナシステムを用いることで、より高度な理学・通信ミッションを実現できると思われる。

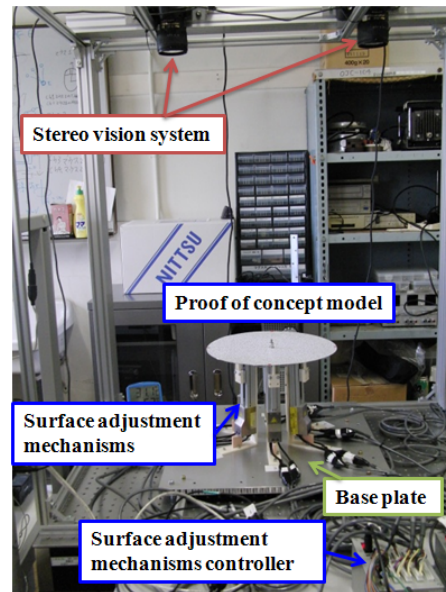


図7 光学式形状計測方法を用いた高精度形状可変反射鏡試作モデル

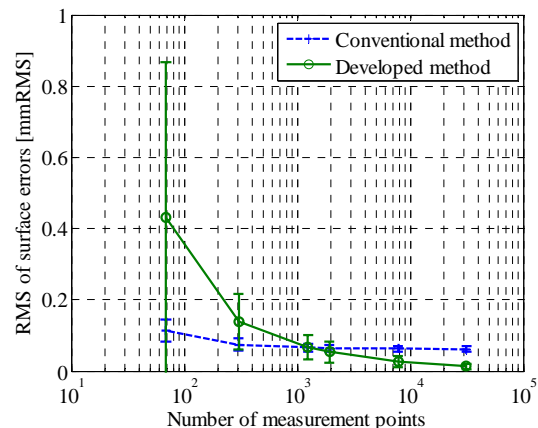


図8 光学式形状計測を用いた高精度形状制御—数値シミュレーション結果

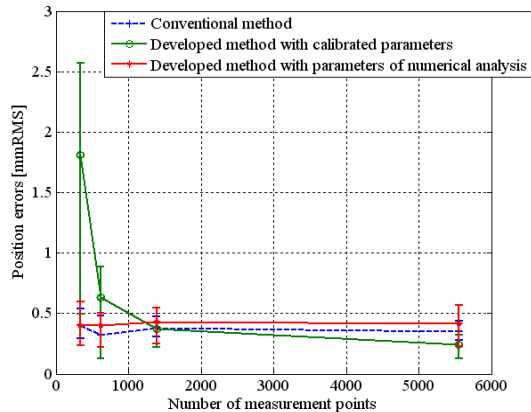


図9 光学式形状計測を用いた高精度形状制御—検証試験結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① H. Tanaka and K. Saito, A Study on the shape repeatability of a cable-network structure, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, 査読有, Vol. 10, 2012, Pc_59-Pc_65.
DOI: 10.2322/tastj.10.Pc_59

[学会発表] (計9件)

- ① 田中宏明, ステレオ視法による鏡面精度評価を介した高精度形状制御試験, 第21回スペース・エンジニアリング・コンファレンス, 2013年1月26日, 奈良県.
- ② 田中宏明, 光学式形状計測による鏡面精度評価を介した高精度形状制御, 第56回宇宙科学技術連合講演会, 2012年11月20日, 大分県.
- ③ H. Tanaka, Study on a Calibration Method for Shape Control Parameters of a Self-sensing Reflector Antenna Equipped with Surface Adjustment Mechanisms, The 63rd International Astronautical Congress, 2012年10月2日, Naples, Italy.
- ④ 田中宏明, 中精度の形状計測システムを用いた高精度形状制御に関する研究, 第54回構造強度に関する講演会, 2012年8月3日, 熊本県
- ⑤ 田中宏明, 齋藤健太, ケーブルネットワーク型アンテナ構造の展開再現性に関する研究, 第55回宇宙科学技術連合講演会, 2011

年12月2日, 愛媛県.

- ⑥ 田中 宏明, 衛星搭載用高精度形状可変アンテナシステムに関する研究, 第19回スペース・エンジニアリング・コンファレンス, 2011年1月28日, 熊本県.

- ⑦ H. Tanaka, Study on Self-Sensing High-Precision Reflector Equipped with Surface Adjustment Mechanisms, 32nd ESA Antenna Workshop on Antennas for Space Applications, 2010年10月5日, Noordwijk, The Netherlands.

他2件

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等: 特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 宏明 (Hiroaki Tanaka)
防衛大学校・システム工学群・准教授
研究者番号: 90532002