

## 学位論文題名

## 衛星搭載用アンテナの指向方向精度の向上に関する研究

## 学位論文内容の要旨

現在の衛星通信は、打ち上げロケットの大形化、衛星通信の大形化によって衛星回線のコストは著しく低下しており、その利用は大きく拡大する方向にある。このため、国際間の電話、テレビ電送に始まった衛星通信は、船舶、航空機等の移動体通信、テレビ会議等さまざまなサービス携帯が要求されており、有限な周波数の有効利用、大容量化、経済化のために、周波数の再利用、直交偏波の利用およびサービス形態に応じてサービスエリアを複数の電波ビームで覆うマルチビームや成形ビームの使用が必要となっている。このために衛星搭載用アンテナの大形化が不可欠となりつつある。

このような搭載用大形アンテナ、マルチビームアンテナでは、照射ビームの狭小化、地球局アンテナの小形化さらに他の電波ビームとの干渉を起こさないために高精度なアンテナの指向方向精度を確保することが極めて重要であり、このための技術の確立が要求されている現状にある。

本研究では、衛星搭載用アンテナの指向方向精度の向上を目的として、まず指向方向精度の向上に必要な搭載アンテナを回転駆動させて指向方向精度を確保するアンテナ駆動制御技術とその軌道上での制御特性を地上で検証するための地上試験技術を明らかにした。さらに、移動体衛星通信における移動機の携帯化を目的とする開口径10m級のアンテナを実現するためのアンテナ鏡面がケーブルとメッシュで構成されるメッシュアンテナに対する軌道上での鏡面変形、アンテナ特性解析技術およびアンテナとしての特性を確保するための鏡面形状制御方法について明らかにした。

具体的には、ソリッド鏡面から構成されるアンテナの指向方向精度を確保するためのアンテナ駆動制御系の方式設計および個々の制御系構成要素に要求される機能、基本性能について明らかにした。そして、地上からのビーコン波に追尾してアンテナ副反射鏡を回転駆動させるアンテナ駆動制御系を従来の衛星本体の姿勢制御系に加える制御系構成を実現するとともに、衛星の姿勢変動を模擬できる試験系を構成し、要求されたアンテナ指向方向精度 $0.015^\circ$ を

満足できる見通しを得た。

上記で構成したアンテナ駆動制御系の静止軌道上における制御特性の予測を目的とした地上試験技術について検討し、地上試験系に対する要求条件を設定した後、本駆動制御系の動作環境である軌道上の熱真空、無重力環境を模擬する試験系の構成を明らかにした。さらに制御特性を評価する上で不可欠である閉ループ系を室内で構成するために必要となる電波信号を模擬する試験装置を新たに開発した。そして、構築した試験系を技術試験衛星VI号（ETS-VI、1994年打ち上げ予定）に搭載されるアンテナ駆動制御系に適用してその特性を評価し、設計目標値を満足する特性を有していることを確認した。

次に、収納性、重量の観点から次世代の衛星通信用大形アンテナの有力な候補と考えられるメッシュアンテナの軌道上でのアンテナ特性を予測するために材料特性の異なるトラス構造とケーブルネットワークから構成されるアンテナ鏡面に対して最も大きな変形要因と予想される熱変形を見積もるための変形解析手法を明らかにした。そして、直径4mのメッシュアンテナを一例として取り上げ、計算機シミュレーションによって軌道上での変形量、鏡面変形の主要因を明らかにするとともに鏡面変形によるアンテナ特性の変化を評価した。

上記で明らかにした軌道上でのアンテナ特性の劣化を補償するために、宇宙環境において鏡面精度を確保することを目的としたアクチュエータを用いた能動的な鏡面形状制御方法について検討した。鏡面形状制御モデルの作成手法、変形補償のためのアクチュエータ駆動量を算出する方法を明らかにするとともに直径4mのメッシュアンテナ鏡面の試作モデルを用いた実験によって、提案した制御方法の妥当性を確認した。さらに、軌道上での熱変形を想定した変形を試作モデルに与えて提案した制御手法を適用し、その鏡面変形補償効果を明らかにするとともに実験データを用いてアンテナパターンを予測することにより、手法の有効性を確認した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 齋 藤 勝 政  
副 査 教 授 伊 藤 精 彦  
副 査 教 授 岸 浪 建 史  
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇

## 学位論文題名

### 衛星搭載用アンテナの指向方向精度の向上に関する研究

現在の衛星通信は、ロケットの打ち上げ能力の向上による通信衛星およびその搭載アンテナの大形化にともない、衛星回線のコストは著しく低下する方向にあり、このためその利用は大きく拡大する方向にある。大形アンテナの実現には、照射ビームの狭小化および他の電波ビームとの干渉を生じさせないために高精度なアンテナの指向方向の確保が不可欠である。

本論文は、このような技術的要求を踏まえ、衛星通信分野における衛星搭載用大形アンテナの指向方向精度の向上に関する技術について研究し、衛星通信技術上の有益な新技術を得ることを目的としている。

まず、アンテナからの照射ビームの指向誤差に応じてアンテナ反射鏡を東西、南北方向に回転駆動させて指向方向精度を確保するアンテナ駆動制御系について方式設計を行い、制御系の構成を明らかにするとともに制御系構成要素に要求される機能、性能について検討し制御系を実現している。そして、従来の衛星本体の姿勢制御系に本制御系を加えることにより、 $0.015^\circ$ の指向方向精度を確保する見通しを得ている。

さらに、軌道上での本駆動制御系の制御特性を地上で精度良く評価するための動作環境である軌道上での熱真空、無重力環境を模擬できる地上試験系の構成、装置を提案するとともに、制御特性を評価する上で不可欠である閉ループ制御試験を可能とするため、アンテナから放射される電波信号を再現する試験装置を新たに開発し、地上試験法を明らかにしている。そして、構成した試験系を用いて技術試験衛星VI号（ETS-VI：1994年8月打ち上げ予定）に搭載されるアンテナ駆動制御系の特性を評価し、本制御系が軌道上

の運用時において要求特性を満足し、所定のアンテナの指向方向を確保できることを確認している。

また、次世代の開口径10m超級の大型アンテナとして収納性、重量の観点から有力であるトラス構造である展開構造物上にケーブルネットワークとメッシュで電波の反射面となるアンテナ鏡面が構成されているメッシュアンテナを取り上げ、アンテナ特性に最も大きな影響を及ぼすと考えられる軌道上の温度環境による鏡面変形を見積もる変形解析手法を提案している。そして、本手法を用いた計算機シミュレーションによって鏡面変形量および変形によるアンテナ特性の劣化を求め、上記のアンテナ駆動制御系のみならず、変形したアンテナ鏡面による特性の劣化を補償する必要性のあることを明らかにしている。

シミュレーションで明らかにした鏡面変形の主要因を考慮し、特性補償法として、軌道上で鏡面形状を確保するためのアクチュエータを用いた能動的な鏡面形状制御方法について提案している。具体的には、形状制御モデルの作成手法、アクチュエータ駆動量を算出するアルゴリズムを明らかにし、想定したメッシュアンテナに適用し最も制御効果が期待できるアクチュエータ設定位置、駆動方向を示している。また、軌道上で想定される鏡面変形を直径4mの試作モデルに与えた実験を行い、制御前後の鏡面精度を3次元計測装置を用いて評価することにより、提案した手法の妥当性および制御効果を明らかにするとともに、実験で得られた形状データからアンテナパターンを計算機シミュレーションによって求め、アンテナゲイン、指向方向およびサイドローブレベルが確保できることを確認し、本手法の有効性を確認している。

これを要するに、著者は衛星通信における大容量化、経済化のために不可欠である大型アンテナを用いた衛星通信の実現のための重要な課題であるアンテナの指向方向精度の向上に関して有益な新技術を構築しており、衛星通信技術の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。