

氏 名	み 三 神 泉
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3900 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	Study on New Concept of Space-Solar Power Station (SPS) (宇宙太陽光発電システムの新しい概念に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 本 紘 教 授 橋 本 弘 藏 教 授 北 野 正 雄

論 文 内 容 の 要 旨

1968年、グレーザの提案以来さまざまな研究がなされてきた宇宙太陽光発電システム (SPS) は、地球環境を保護するクリーンエネルギー発生手段の一つとして期待されている。しかし、従来の研究は、巨大な一体型アンテナの衛星装備を前提に検討されて来たため、ロケット打上げや宇宙構造技術面から実現困難との問題が指摘されている。本論文は、この問題の解決に向け複数の小型衛星の編隊飛行によるマイクロ波送電の実現を目的とし、送電アンテナ離散的配列で発生するグレーティングローブを積極的に利用しビーム効率を最大化する研究についてまとめており、6章からなっている。

第1章は序論であり、従来のSPS研究例を紹介し、それらがキロメートル、1万トンクラスのアンテナを打ち上げることを想定した概念で、その前提条件が、送電アンテナの大型一体化による良いビーム効率にあることを述べ、この前提条件を取り払うため、小型衛星の編隊飛行による送電システムに関する研究の必要性を提唱している。

第2章では、国立天文台ハワイのすばる望遠鏡に筆者らが適用した8.3 m 主鏡の部分鏡材最適配列手法を紹介し、鏡材の熱膨張率ばらつきで発生する熱変形を主鏡支持アクチュエータで矯正することを前提に、Simulated Annealing 法を用いて残留変形を最小化する鏡材配列を1073通りから1つ決定する手法を説明している。また、この例が衛星配列の最適化問題に取組む動機となったことを述べている。

第3章では、小型衛星の編隊飛行によるSPSが波長よりはるかに大きなアンテナ口径やその隣接距離となるため、一次元光学スリットに類似の性質となることに着目し、(1)光学スリット回折理論を適用した放射パターンとビーム効率を解析的に算出し、(2)スリット幅と間隔をパラメータとするビーム効率の応答解析により受電サイト径極小値の存在を発見し、それがグレーティングローブを積極利用していることを理論的考察で初めて明確化し、(3)実験により、波長より大きな口径と隣接距離からなる送電アンテナアレーのビーム合成が可能で、解析に合致することを実証し、また、二次元のアンテナ配列検討は、口径一定、隣接距離を一樣の条件で解析的に行うことの妥当性を理論的に考察している。

第4章では、第2章、第3章での研究成果に基づき、静止衛星軌道 (GEO) からの1GW級の送電を想定し、既存宇宙技術で実現可能な限界と見られる200 m 口径のアンテナを装備した複数衛星の二次元配列最適化問題と、その配列による編隊飛行の宇宙技術から見た実現可能性を検討し、(1)同心の六角形の頂点に衛星を約290 m の隣接距離で配列するのが最適であり、95%ビーム効率に対応する受電サイト径は、1 km の一体型アンテナの場合に比べ17%増に抑圧され、(2)衛星数が少ない打上げの初期段階でも最適配列が有効で受電サイト径の縮小効果があること、(3)JPLが開発した衛星相対位置センサーとGEOを中心とするレコード盤軌道の採用で、メートルオーダの衛星位置制御が達成可能であり、最適配列のビーム効率を実現・維持できることを実証した。

第5章では、小型衛星の編隊飛行によるSPS新概念を具体化するため、精密なビーム制御の実現に関する要素技術開発について述べており、ダイレクトデジタルシンセサイザとフェーズロックループ (PLL) 回路を組み合わせ、安定、正確に位相を制御可能な高出力送電モジュールと、PLLヘテロダイン方式の導入により地上から受信するパイロット信号とマイクロ波送電の周波数を大きく離す選択肢の自由度を広げ、相互アイソレーションの確保により高精度なビーム指向制御を

達成するレトロディレクティブ方式を開発し、試作機による実験で実現性を実証した。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果を要約し、本研究の目的が全て達成されたことを確認している。また本研究の成果の一部である、小型衛星群発電方式「SOLAR-BIRD」が、JAXAのSPSロードマップに取入れられたことを紹介し、当該概念の更なる実現性研究が、広く実施される可能性に関して言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、宇宙太陽光発電システム（SPS）における送電アンテナ肥大化問題の解決を目的とし、複数の小型衛星を最適配列で編隊飛行させ送電する概念を構築し、発生するグレーティングローブ利用方法とそのメカニズムを明確化し、新たなSPS概念を提言した。これは、SPSの小型軽量化および早期実現に大きな寄与をもたらす重要な成果である。本論文で得られた主要な成果は次のとおりである。

1. 最適化問題の他分野での応用例として、すばる望遠鏡主鏡鏡材に適用した部分鏡材の最適化配列が光学性能を大幅に向上させることを示した。
2. 上記例のアナロジーを導入し、送電アンテナを一次元光学スリットに近似し、回折理論を用いた解析や実験でスリットのビーム効率を最大にする配列の存在を発見し、有害と信じられたグレーティングローブの有効利用方法を初めて明らかにした。
3. 上記1、2項に示す成果を基に、静止衛星軌道から送電するアンテナアレー送電において、「ビーム効率を最大化するアレー二次元配列の決定手法」を明らかにし、その配列が従来の一体大型アンテナに比べ17%の受電側口径増加に抑圧可能なことを解析で実証した。また、「レコード盤軌道や既存の衛星位置センサーの導入」により、最適配列が狙うビーム効率を達成可能なことを定量的に実証した。
4. 高出力送電モジュールとレトロディレクティブ方式にダイレクトデジタリシグナルサイザやPLL回路を組合わせ、SPS新概念の具現化に必要なビーム位相制御や指向制御が十分に達成可能なことを実験により初めて明らかにした。

本論文は、SPSに関して多岐にわたる解析、実験、および実現性の綿密な議論がなされ、また提言された小型複数衛星の編隊飛行による新概念がSPS実現の加速を実証しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年2月10日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。