

宇宙太陽発電向けマグネトロンフェーズドアレイの提案 Magnetron Phased Array for Space Solar Power Station

楊 波[†] 三谷 友彦[†] 篠原 真毅[†]
Bo YANG[†] Tomohiko Mitan[†] and Naoki SHINOHARA[†]

[†] 京都大学生存圏研究所

概要

巨大な宇宙太陽光発電所を地球の静止軌道に打ち上げ、電力を効率的に地上へ伝送することは、宇宙太陽発電が直面する最大の課題である。そのため、軽量型で遠距離対応の無線電力伝送システムの設計と実現が、宇宙太陽光発電所の建設の重要な科学的挑戦となっている。システムの重量を軽減しつつ、遠距離の目標に対して高効率かつ高精度な電力伝送を実現することが核心の問題である。宇宙太陽光発電の他の重要な構成要素である太陽電池やフレーム機械構造と比較して、無線電力伝送に使用されるマイクロ波フェーズドアレイシステムは、宇宙ステーションの性能に決定的な影響を与える。現在、フェーズドアレイに関する研究は主にレーダーや通信基地局の応用に集中しており、既存のフェーズドアレイはシステム効率が低く、宇宙太陽発電システムの要求を満たすことができない。そのため、高効率なマイクロ波源フェーズドアレイの研究が必要とされている。

本研究では、世界で唯一の出力と位相を同時に制御できる 5.8 GHz 磁控管フェーズドアレイを開発し、最大出力が 1600 W 以上、マイクロ波の総合変換効率が 61%に達しました。

磁場構造を変更せずに、従来の磁控管の位相同期技術では実現できなかった高精度の出力制御を達成しました。新しい位相同期の原理を用いることで、任意の I-f 特性を持つ磁控管の位相制御が可能になり、任意特性の磁控管の位相制御が難しいという問題を解決しました。4つの位相制御マグネトロンを使用しフェーズドアレイを構築し、システムは高さ 2 メートル、幅 1.3 メートル、重量約 800kg、最大連続出力は 1637W に達し、マイクロ波の総合変換効率は 61%に達した。大型フェーズアレイを構築するために必要な基本的なビーム形成制御技術、実験的に検証した。これにより、将来のより高出力のフェーズドアレイの研究に向けた基盤が築かれた。

Abstract

Launching a large space solar power station into geostationary orbit and efficiently transmitting power to Earth is one of the biggest challenges faced by space-based solar power. Therefore, designing and realizing a lightweight, long-distance wireless power transmission system is a critical scientific challenge in constructing space solar power stations. The core issue lies in reducing system weight while achieving high-efficiency, high-precision power transmission over long distances. Compared to other essential components like solar cells and structural frameworks, the microwave phased array system used for wireless power transmission plays a decisive role in the station's performance. Current phased array research focuses mainly on radar and communication base stations, where existing arrays lack the efficiency needed for space solar power systems. This study addresses this by developing the world's first 5.8 GHz magnetron phased array capable of simultaneous power and phase control, achieving a maximum output of over 1600 W with a microwave conversion efficiency of 61%. By introducing a new phase-locking principle, the study enables precise phase control for magnetrons with arbitrary I-f characteristics, overcoming previous limitations. The system, built using four phase-controlled magnetrons, measures 2 meters high, 1.3 meters wide, and weighs approximately 800 kg, with a continuous output of 1637 W and a conversion efficiency of 61%. This research establishes a solid foundation for future development of higher-power phased arrays.