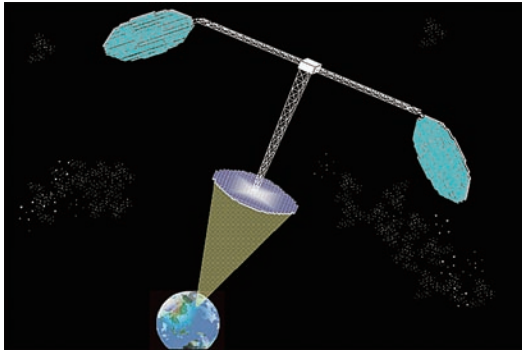


特 集 論 文

宇宙太陽発電システムと無線電力伝送技術

Space Solar Power System and Wireless Power Transmission Technology



布施 嘉 春^{*1}
Yoshiharu Fuse

安 岡 健 一^{*2}
Kenichi Anma

木 村 友 久^{*3}
Tomohisa Kimura

塚 原 愛 一 郎^{*4}
Aiichiro Tsukahara

山 本 修 作^{*5}
Syusaku Yamamoto

吉 田 義 彦^{*6}
Yoshihiko Yoshida

宇宙太陽発電システム（SSPS：Space Solar Power System）は、静止軌道上の太陽電池で発電した電力をマイクロ波／レーザーにより地上へ無線電力伝送し、地上で再び電気エネルギーに変換し、電力として利用するものである。クリーンで安全な枯渇しないエネルギーであることから、将来のエネルギー問題・地球温暖化問題を解決するエネルギー供給システムとして期待されている。当社は、宇宙太陽発電システム実現に向け、国の研究機関や大学などとともに技術開発に取り組んでいる。本報告では、当社の研究開発の状況／成果について紹介する。

1. は じ め に

宇宙太陽発電システム（SSPS：Space Solar Power System）は、静止軌道上の太陽電池で発電した電力をマイクロ波／レーザーにより地上へ無線電力伝送し、地上で再び電気エネルギーに変換して、電力として利用するものである。宇宙空間にあふれている太陽光から発電するため、クリーンで枯渇しないエネルギーであり、将来のエネルギー問題・地球温暖化問題を解決するエネルギー供給システムとして期待されている。現在、国の研究機関や大学などとともに研究開発を行っている。また、宇宙太陽発電システムで開発研究されてきた無線電力伝送技術は、電気自動車への無線充電や離島・遠隔地への無線電力伝送など地上の他分野への応用が可能であるため注目を集めている。

当社では、宇宙太陽発電システム実現に向け、多岐にわたる技術分野をカバーする当社技術力を最大限に活用して、技術開発に取り組んでいる。本報告では、当社の研究開発の状況／成果について紹介する。

2. 宇宙太陽発電システムの概要

宇宙太陽発電システムのシステム概要を図1に示す。宇宙太陽発電システムは3万6千km離れた静止軌道上で、多数の発電パネルを展開し、パネルの上面に設置された太陽電池で発電した電力を、マイクロ波／レーザーに変換して地上へ向けて放射する。マイクロ波／レーザーのビーム方向を制御することで、地上に設けた受電設備で安全に受電することができる。受電

設備においては、受電したマイクロ波／レーザーを商用電力網へ接続するためのエネルギー変換を行う。受電設備周辺や上空は立入／飛行規制区域を設けるとともに、万一発電パネルが故障した場合においても、ビーム制御の冗長化機能により受電設備以外の方向へビームが放射されないように安全性が確保されている。宇宙空間では、昼夜や天候に左右されることなく24時間太陽光を受けることができるため、効率良く安定して発電を行うことができる。本システムは、火力発電所一基分（400 MW 級）相当の電力を供給し、現状の一般供給電力と同レベルの電力価格により、2030年頃の商用運用を目指している。

3. 技 術 開 発

当社技術開発の主な成果として、システム技術及び要素技術（マイクロ波送受電技術、大型宇宙構造物技術）について紹介する。

3. 1 システム技術

宇宙太陽発電システムは、システム規模1000m級（従来100m級）の大型構造物であり、かつ軽量のシステムとする必要から柔軟構造となる。このため、マイクロ波やレーザーによる無線電力伝送時の面精度確保が技術課題である。その解決策の一つとして、面精度確保とともに構造の軽量化を図ることが期待できるテザー（ワイヤなど）による構造体制御について検討した。柔軟パネルにおけるテザー制御による振動抑制効果の有効性について、シミュレーションと簡易モデルによる実証実験を行った（図2）。その結果、テザー

^{*1} 名古屋航空宇宙システム製作所宇宙機器技術部主席

^{*2} 名古屋航空宇宙システム製作所宇宙機器技術部電子装備設計課主席

^{*3} 名古屋航空宇宙システム製作所宇宙機器技術部電子装備設計課

^{*4} 名古屋航空宇宙システム製作所宇宙機器技術部構造設計課

^{*5} 技術本部高砂研究所電子・光技術研究室

^{*6} 技術本部高砂研究所熱システム研究室

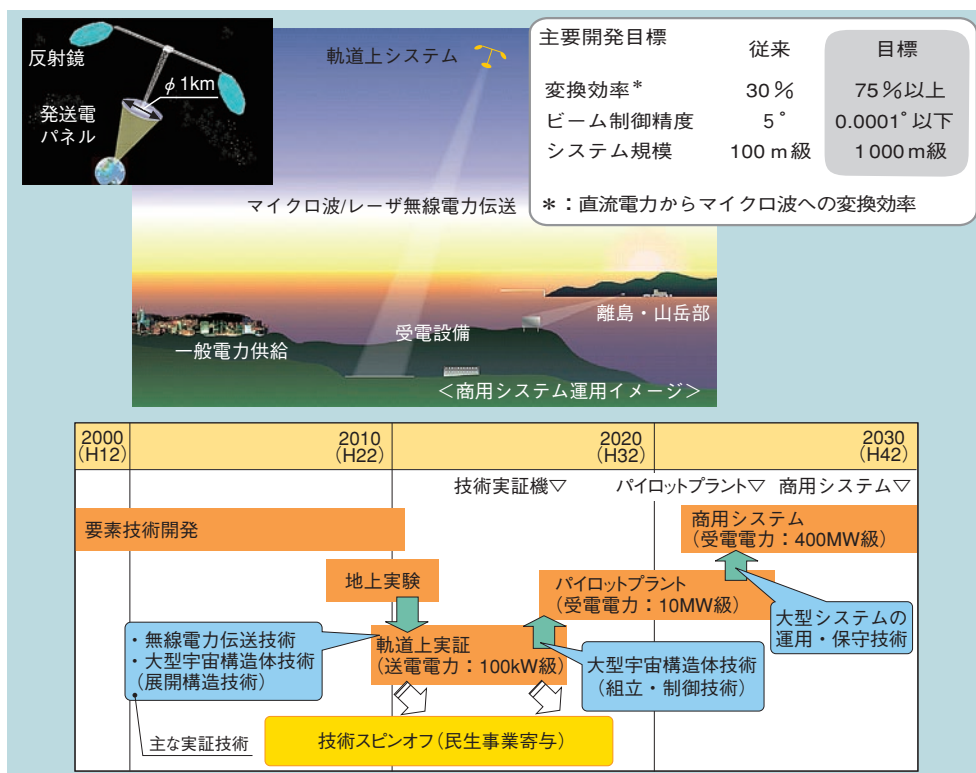


図1 宇宙太陽発電システムの概要

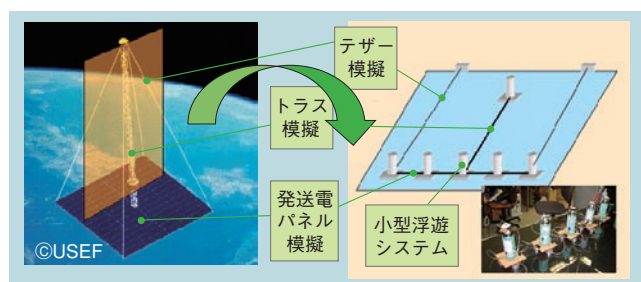


図2 テザー制御による実証実験コンフィギュレーション

制御によりパネルの振動レベルを大幅に低減できることを実証(図3)し、シミュレーション技術の獲得と大型柔軟構造制御方式としてテザー制御の有効性確認を行った。

3.2 マイクロ波送受電技術

宇宙太陽発電システムにおいてマイクロ波により地上へ無線電力伝送を行う場合には、経済性/安全性などの観点から発電電力(直流電力)からマイクロ波へ変換する際の高効率化(目標:75%以上)と、地上の受電設備に向けたマイクロ波ビーム方向制御の高精度化(目標:0.0001°以下)が主要な技術課題である。

(1) 高効率化技術

マイクロ波は直流電力から半導体アンプにより変換/増幅されることから、半導体アンプの解析モデルを用いて回路寸法/バイアス電圧などの回路最適化を行うことで、無線電力伝送効率(直流電力からマイクロ波への変換部)の向上を図った。この

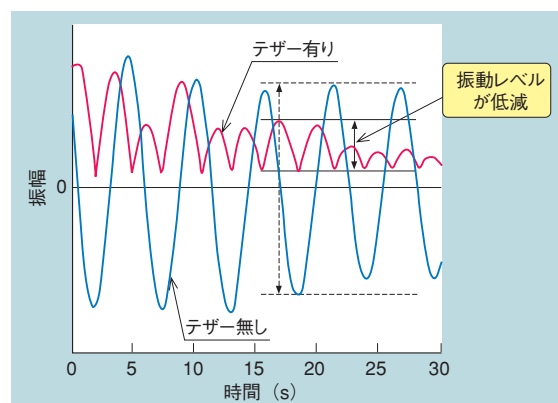


図3 テザー制御による実証実験結果

解析結果を反映し、宇宙太陽発電システムにおける軌道上送電システムの基本ユニットを部分試作した(図4)。その結果、無線電力伝送効率45%(従来:30%)を達成した。今後は、普及が期待されるGaN(窒化ガリウム)半導体アンプ技術との組み合わせなどにより、最終目標の無線電力伝送効率75%以上の達成を目指す。

(2) 高精度ビーム制御技術

地上に向けてのマイクロ波伝送は、受電設備から送信されたパイロット信号の到来角度を推定し、到来方向へビームを放射することで制御する。ただし、この制御だけではシステムが有する静的誤差や動的誤差などにより、3万6千kmの静止軌道上から地上へのビーム精度としては不十分であった。そのた

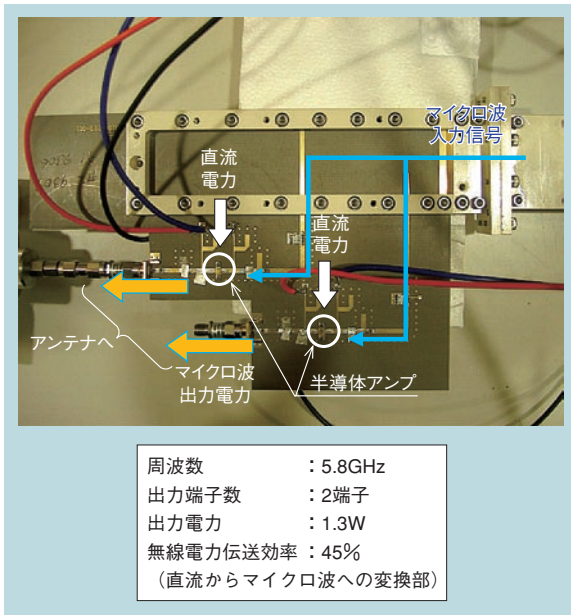


図4 高効率化技術
送電システム基本ユニット試作結果

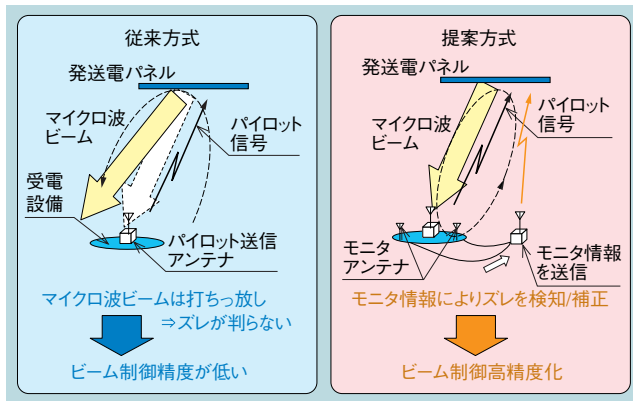


図5 マイクロ波ビーム制御方式

め、受電設備で到来したマイクロ波ビームの位置ずれをモニタし、その情報に基づきマイクロ波ビームの送電方向を補正するクローズドループ方式を併用する方式を検討した(図5)。本方式では、受電設備中心からのビームずれ補正が可能であることから、マイクロ波ビーム制御システムの高精度化を図ることができる。本方式の有効性を実証するため、2007年度(財)無人宇宙実験システム研究開発機構(USEF)契約により、マイクロ波ビーム制御システム要素試験を実施した。要素試験の結果を図6に示す。その結果、ビーム制御精度 0.6° 以下(従来: 5°)を達成した。これは宇宙太陽発電システムの規模に換算すると、ビーム制御精度 0.0001° 以下に相当することから、本システムとしての有効性を確認した。

3.3 大型宇宙構造体技術

宇宙太陽発電システムを構成する構造体は、軌道上へ輸送するために小さく折り畳み、軌道上で大き

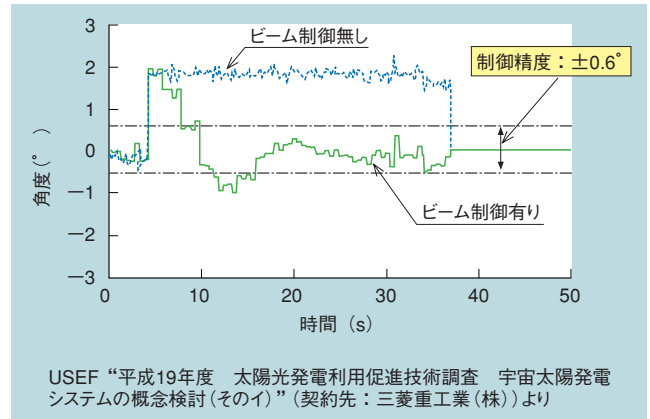


図6 マイクロ波ビーム制御システム 要素試験結果

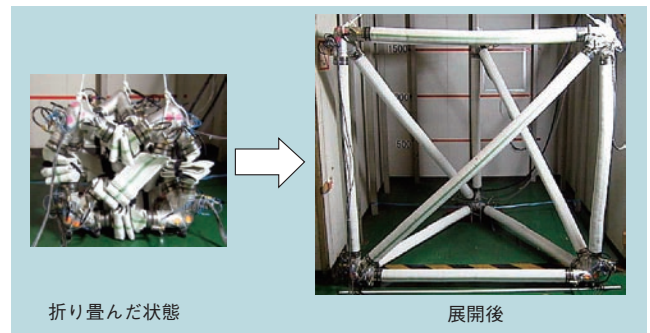


図7 インフレータブル展開構造 展開実験結果

く展開するインフレータブル展開構造技術が必要となる。インフレータブル展開構造技術は、宇宙空間での展開技術と、展開後の硬化技術が主な課題である。展開技術として、複合材材料を折り畳んだ構造体内部に展開用ガスを供給することにより展開する方式を開発した。また、展開後の硬化は、展開動作の過程で硬化剤を封入した樹脂嚢を割り、複合材に樹脂を含浸させる方式を検討した。試作トラス構造により展開実験を行った結果(図7)、折り畳んだ状態から三次元トラス構造への展開を確認した(拡大率4倍)。さらに、複合材の適用や構成要素の小型化などにより二次元トラス展開試験で拡大率20倍以上を達成した。

4. 地上実証実験

当社は、無線電力伝送技術の地上実証として、マイクロ波及びレーザーによる地上エネルギー伝送実験の検討/計画の全体取りまとめを行ってきた。特に、レーザーによる地上エネルギー伝送実験については、基本的技術確認と技術課題の抽出を目的として、2007年度(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)委託契約により、レーザー光によるエネルギー伝送の実証実験(伝送距離:500m)を実施した。図8にレーザー地上エネルギー伝送実験の概要を示す。

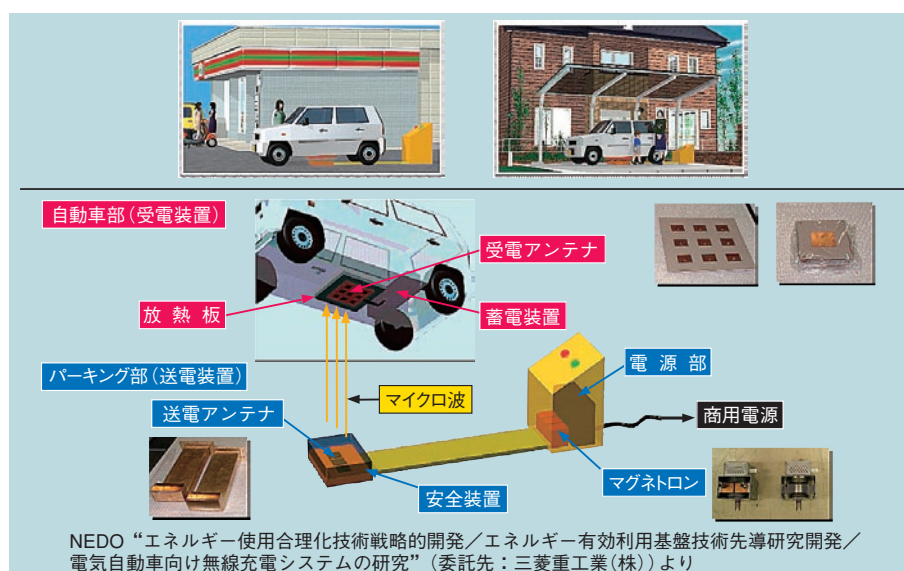
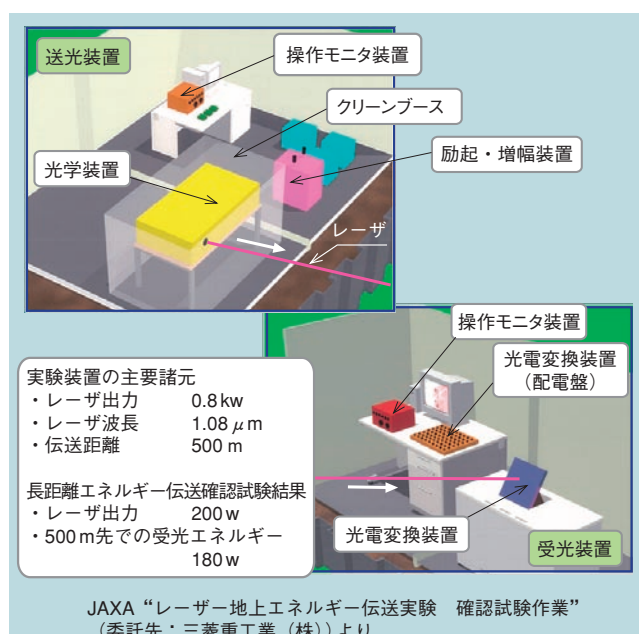


図9 電気自動車向け無線充電システム

図8 レーザ地上エネルギー伝送実験
試験コンフィギュレーション

5. 技術波及

宇宙太陽発電システムにおいて開発を行ってきた無線電力伝送技術は、他分野への技術波及が期待されている。その代表例として、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託研究として当社が開発を行っている電気自動車向け無線充電システムを紹介する。

図9に電気自動車向け無線充電システムの概要を示す。駐車場に設置した送電装置からマイクロ波を送電し、電気自動車の下面に取り付けた受電装置によりマイクロ波を受電する。受電装置から取り出した直流電力により、電気自動車に搭載しているバッテリーを充電する。

なお、送電装置と受電装置間の空間は完全遮蔽されているため、マイクロ波による人や電気自動車などへの影響は無い。ユーザは、電気自動車を所定の場所に停車するだけで、自動で安全にバッテリーを充電できるため、ケーブル接続などのユーザの手間が不要となる。

このシステムは、宇宙太陽発電システムで開発を行ってきた高効率でマイクロ波を送受電する技術を活用することにより、無線電力伝送効率 90 %（熱エネルギー回収効率分を含む）を目標として開発を行っている。

6. まとめ

宇宙太陽発電システムは、エネルギー問題や地球温暖化問題を解決する将来の基幹エネルギーとして期待されている。当社は、これまで技術開発及び地上実験などを行い、キー技術を確立してきた。今後も、技術課題への挑戦を続けるとともに、次ステップの大規模地上実証実験及び宇宙実証にも取り組み、宇宙太陽発電システムの実現に向けて積極的に推進していく。



布施嘉春



安間健一



木村友久



塚原愛一郎



山本修作



吉田義彦