

[1] 研究目的

宇宙太陽発電は1968年に始めて米国のピーター・グレーザー博士が提唱し、約50年間にわたり米国や日本をはじめとして世界各国で研究に取り組まれている。地球温暖化と化石燃料の枯渇は、我々人類の大きな課題であり、温室効果ガスの排出が少ない代替エネルギー源の研究開発が進められているが、宇宙太陽発電はその有望な候補と考えられている。

米国のエネルギー省（DOE）と航空宇宙局（NASA）は70年代後半に大規模な調査研究を行い、大きさが5km×10kmの太陽光発電部を有する巨大な衛星を60機使用し、米国の全電力をまかなうという壮大な計画の検討を行った。わが国では、70年代後半から調査研究が開始され、1980年代後半から90年代に宇宙科学研究でSPS2000や宇宙実験の計画が検討された。現在では、JAXAとJspacsystemsを中心に太陽発電衛星（SPS）に関連した基礎研究、ミッション検討、要素技術開発が取り組まれている。図1に、Jspacsystemsで検討されたテザー型SPSを示す。

地上での太陽光発電や風力発電は自然条件に左右されるため出力が不安定であり、エネルギー利用の大幅な拡大には大きな課題があり、導入量の大幅な進展はいまだなされていない。一方、宇宙では昼夜天候の別なく安定した太陽エネルギーを得ることができるため、地上に比べて平均5~10倍も多くの太陽光エネルギーを得ることができる。宇宙太陽発電は、宇宙環境をエネルギー取得の場として新たに利用することで、エネルギー問題、温室効果ガスの放出による環境問題の解となる可能性を有している。

宇宙太陽発電の原理図を図2に示す。宇宙に作る太陽発電衛星（SPS）と地上の受電設備であるレクテナから構成される。SPSでは、衛星軌道上の巨大な太陽発電システムにより発電を行い、その電力を無線で地上に送電する。太陽光を利用した大規模発電と商用電力網への安定した電力供給が可能であり、また、定常運用における温室効果ガスの発生は原子力発電所並と非常に少ない。宇宙太陽発電を実現するための大きな課題は、大規模宇宙発電、衛星軌道上からのエネルギー伝送、それらを実現する大規模宇宙構造物とその建設のための衛星軌道上への大量輸送である。いずれの課題も小規模であればすでに実現されているが、要求される規模が現状とは大きく異なるため、近い将来での実現性が理解されにくい現状にある。特に、SPSで必須の技術である無線送電に関しては、類似の技術としてエバネッセント界による励振が非接触給電として実用化されているのに対して、SPSで必要となる放射界による遠方への空間伝送は実用化のための研究開発課題があり、一般には空想科学的にとらえられる場合もある。

本研究では、電波応用の一つとして無線送電技術が実用化に近いことを一般にわかりやすく伝え、理解を得るための教育ツールの開発を行い、宇宙太陽発電は実現性が高い近未来エネルギーシステムであることを伝えるための活動に役立たせることを目的とする。

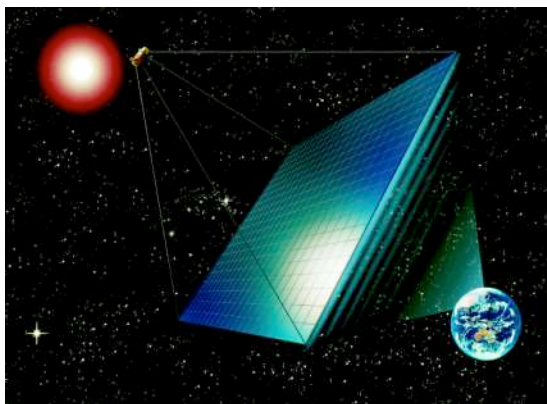


図1 テザー型太陽発電衛星（Jspacsystems）

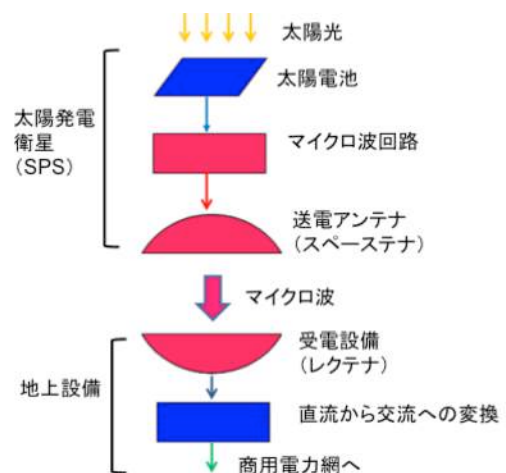


図2 宇宙太陽発電原理図

[2] 研究の内容・方法

電波は、アマチュア無線機やTV、ラジオのような情報の伝達、GPSのような測位、レーダーのような探知や観測、電子レンジのような加熱などに広く用いられている。電波がエネルギーの伝達手段として用いられるようになると太陽発電衛星も夢ではなくなる。マイクロ波を使用する電子レンジは広く普及しており、電波のエネルギー利用は広く認識されていると考えられるが、しかし、エネルギーの伝送手段としての応用に関しては、技術や安全性の観点も含め十分な理解が得られているとは限らず、近未来における大規模応用は懐疑的と考えられる場合が多い。

無線送電の理論の確立や電磁波がエネルギーの流れであることは、19世紀に明らかにされ、無線送電の最初の試みは、20世紀初頭においてテスラによって試みられた。1960年代に、ブラウンがマイクロ波による無線送電実験を成功させ、以降、無線送電技術は太陽発電衛星の概念を創起するとともに、実用化のための研究開発がなされている。2015年の3月には、JAXAとJspacesystemsが共同で、将来の太陽発電衛星への応用を目指した、デモンストレーションを行っている。図3に無線送電実験の様子を示す。

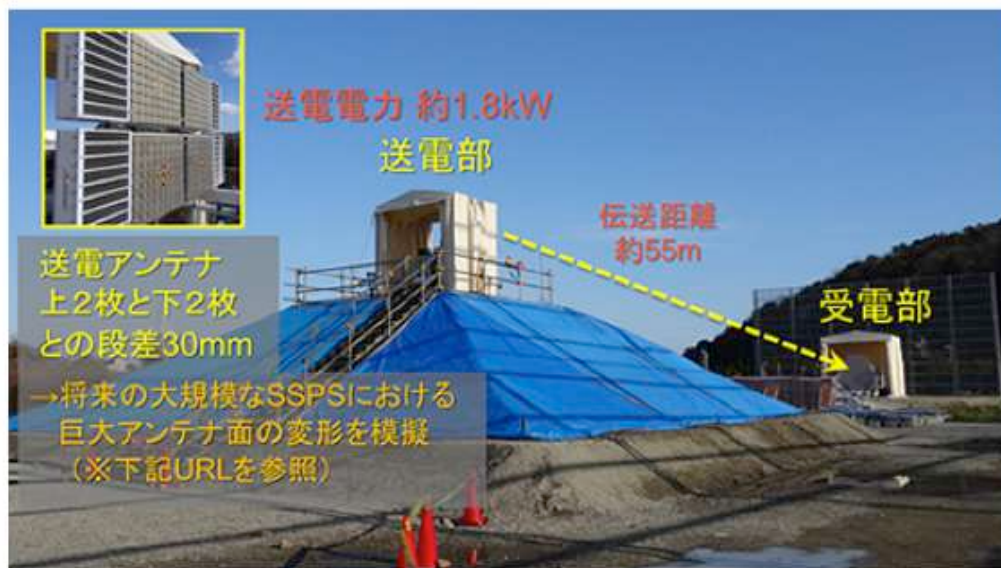


図3 JAXA/Jspacesystemsによる地上無線送電実験 (JAXA ホームページより)

電波は、周波数によっては、電離層で反射されたり、あるいは、大気中の水分により大きく減衰する場合もあるが、電波のうちのマイクロ波を用いると電離層や大気の影響をほとんど受けることなく衛星軌道上から地上へエネルギーを無線で、低損失で送ることが可能になる。

しかし、電波は視覚的認識が困難なためか、電波の無線送電への応用は、一般にはなかなか理解が得難い状況にある。本研究では、電波の無線送電への応用への理解を広めるために、電波によりエネルギーを送ることを視覚により確認できるツールを開発し、一般への普及のための方法を検討する。

電波を受信するアンテナと受信された電波を整流する回路を組み合わせたデバイスや装置はレクテナと呼ばれる。電波源として日常に使われている携帯電話やアマチュア無線機を用い、その電波を受信することでLEDを光らせる装置を開発し、中学・高校生以上を対象とした実習教材を製作する。

また、高校生や一般への講演会やセミナーで使用することで、効果の確認を行う。

[3] 結論・考察

今回作製した無線送電のデモンストレーションを行う実験装置の概略を図4に示す。無線機には、350MHzのデジタル無線機、1.2GHzのアマチュア無線機、5.7GHzへのトランスバータ及び携帯電話（スマートフォン）を使用した。また、比較のために太陽電池を用いた簡易装置も製作した。実験装置は、電波の伝播路上に誘電体や金属板を挿入することが可能であり、電波と光の伝播特性の比較ができるようにした。レクテナのアンテナ部には、直線偏波のダイポールアンテナと円偏波マイクロストリップアンテナの2種類のアンテナを用いた。

中学・高校生を対象とした教材として、レクテナの製作方法と図4で示した実験コンフィギュレーションによる無線送電実験のワークシートを作成した。実際に、高校1年生に対するセミナーで、ワークシートを用いて実習を行った。この時、予備知識として、波動に関する予習を高校では行っていただいた。半田付け作業を伴うレクテナ製作を実際に行い、異なる周波数のレクテナの比較により、周波数とアンテナエレメントサイズの関係、光と電波の伝播特性の比較、偏波特性に関する実験を実施した。図5に携帯電話用のレクテナを示す。また、デジタル無線機（350MHz）用レクテナを図6に示す。電波に関しては、授業ではこれからであったが、電波でエネルギーを送ることに、理解が得られた。

また、年1回開催される宇宙科学研究所の一般公開において、図7に示すように、アマチュア無線機を応用した実験装置とデジタル無線機用レクテナでデモンストレーションを実施した。幅広い年齢層に対して、対話を行いながら電波でエネルギーを送ることを可視化して見せることで、無線送電技術の実現性や安全性、環境影響等を平易に説明できたと考える。無線送電や太陽発電衛星に関して、誤解のない情報伝達のため、今後、教材や説明用ツールとして完成度を高めたい。

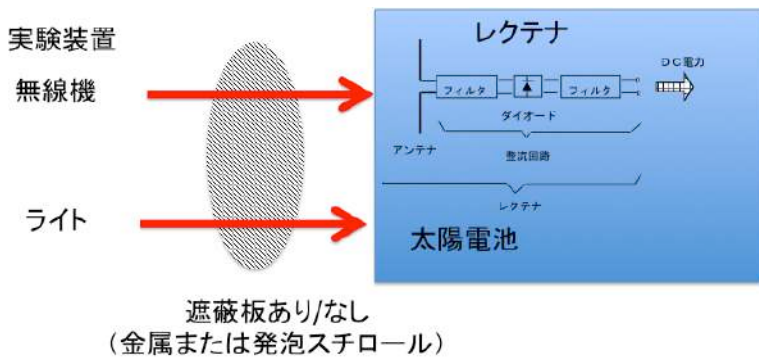


図4 実験装置の概要

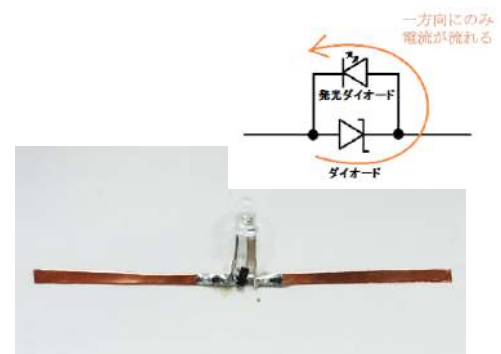


図5 携帯電話用レクテナ

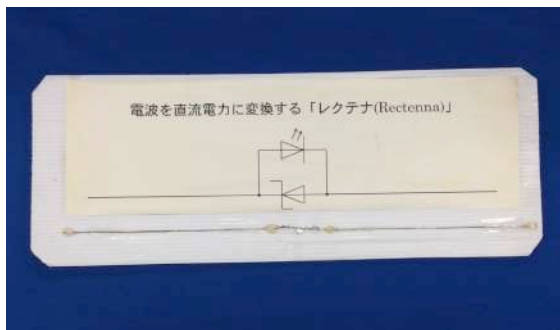


図6 デジタル無線機（350MHz）用レクテナ

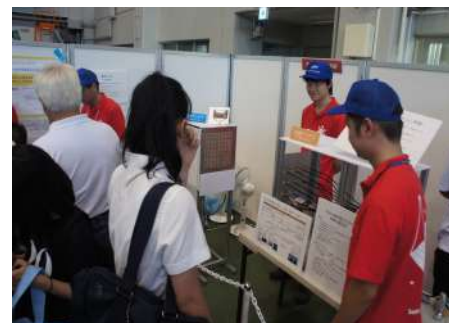


図7 一般公開での無線送電のデモンストレーションの様子