

究極のエネルギーを宇宙から

—世界を先駆ける宇宙太陽光発電システムの研究開発

■佐々木 進

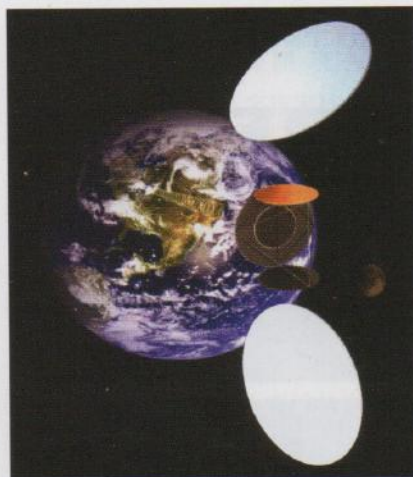
宇宙航空研究開発機構(JAXA)
宇宙科学研究所宇宙情報・エネルギー工学研究系教授



宇宙でつくり地上に送る

環境問題の観点から、石油、天然ガス、石炭などの化石燃料に代わる新エネルギーに注目が集まっています。特に太陽から地球に供給されるエネルギーは、人類が社会活動で使うエネルギーの1万倍と非常にポテンシャルが大きいものです。この太陽光のエネルギーを電力に変換する太陽光発電は、持続可能な社会を形成する上で、大きな役割を果たすものと期待され、日本でも研究開発が盛んに行われています。

宇宙航空研究開発機構(以下、JAXA)では、この太陽光による発電を地上ではなく広大な宇宙空間で行い、その電力を地上に送電するという、究



マイクロ波タイプのSSPS。図中の白い円盤状の大型反射鏡2基で、太陽光を太陽電池に集光する

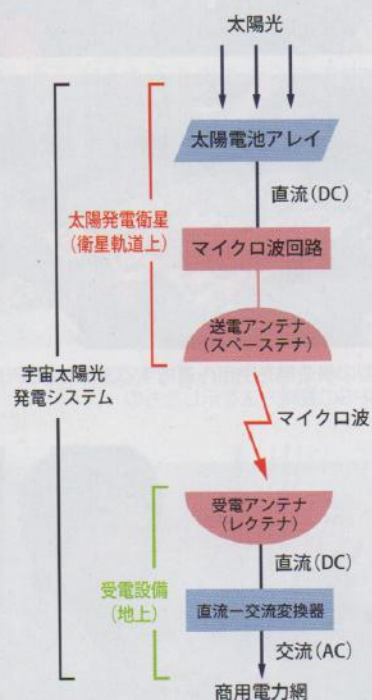


レーザータイプのSSPS。マイクロ波と同様に反射鏡によって太陽光を集光する

極の壮大な宇宙太陽光発電システム(SSPS: Space Solar Power Systems)の研究開発が進められています。

このシステムは、太陽光発電衛星を高度36,000kmの静止衛星軌道に建設し、太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波やレーザーなどの無線で地上に送電し、地上に建設した受電設備で受電し、商用電力に変換して既存の電力網を通じて配電する仕組みになっています。

なぜ地上ではなく宇宙なのでしょう。研究開発の中心を担う宇宙情報・エネルギー工学研究系教授の佐々木先生は、宇宙での発電のメリットについて「静止衛星軌道上は、24時間夜の無い状態ですし、天候に左右されずに発電して送電できますから、一定の電力を供給できるという定常性があります。また、宇宙では平均的な太陽エネルギー密度が地上の約10倍ありますので、エネルギーを取得するのに非常に効率がいいのです。そして、地上のように土地問題がありません」と語ります。



SSPSの原理。軌道上と地上のシステムのインフラで構成されるエネルギーシステム

オーロラから太陽光発電へ

佐々木先生は、もともと理学出身。大学院では、大電力マイクロ波とプラズ

マとの非線形相互作用を研究していました。「当時の研究はオーロラの生成。つまり、なぜオーロラができるのか。高エネルギーの電子を使って人工的に

オーロラをつくるという研究をしていました」。JAXA(当時は、東京大学宇宙航空研究所)に就職し、最初の仕事はスペースシャトルを用いた粒子ビームによる宇宙科学実験(SEPAC計画)。これはスペースシャトルに実験装置を搭載し、宇宙から電子ビームを射出して、人工的にオーロラをつくる実験で、1983、92年の2回実験が行われて、2回目に見事に成功を収めます。

「新しい研究には様々な計測機器が必要になります。その機器の研究を発展させて、次第に人類が宇宙を利用する際に、どのような環境が形成されるか、あるいは利用する際にどのように宇宙との相互作用があるかという研究に移行したのですが、当時の恩師の研究テーマと重複することあって工学に移ったわけです」。そして、現在はエネルギー利用の研究=宇宙太陽光発電に携わるようになります。

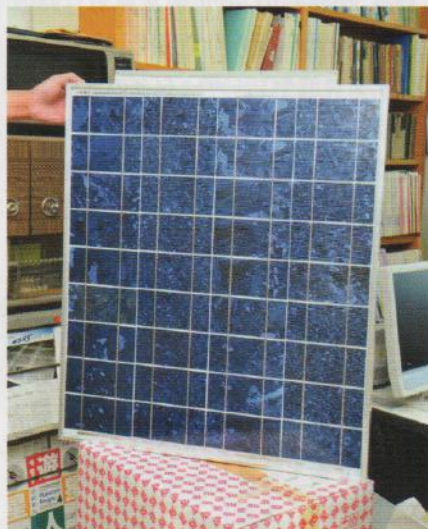
時代とともに組織も変化

佐々木先生の研究内容も変化していますが、その間、研究機関の組織も大きく変化しているようです。配属も、最初は東京大学宇宙航空研究所でしたが、その後1981年には、組織が大学から文部省直轄の宇宙科学研究所に、2003年には宇宙開発事業団、航空技術研究所と一緒にJAXAの宇宙科学研究所本部に、そして今年、宇宙科学研究所と81年以降の名前に再び変わりました。まるで行政機関並みの組織変更です。

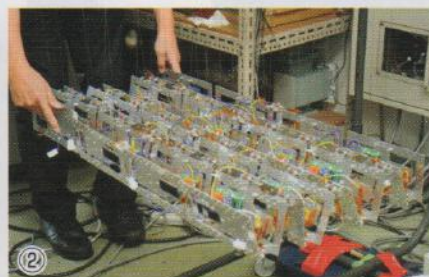
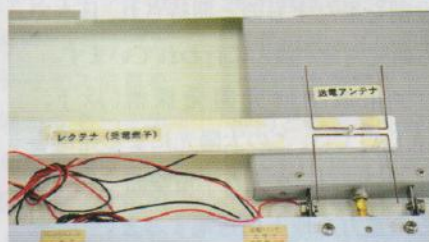
組織が一体化し、内部的な交流も別々の組織だった時代に比較して盛んになったといいます。

「かぐや」による月探査への挑戦

佐々木先生は、2007年に打ち上げられた月周回衛星「かぐや」にも参加。プロポーザル方式で選定された15の観測機器開発チームの取りまとめ役を担い



SSPSの宇宙軌道上システムの仕組みをわかりやすく説明した模型。太陽電池パネル(左)の裏側(右2点)には、太陽電池パネルで発電した電力をマイクロ波電力に変換する回路と送電アンテナが装着されている。構成自体はいたってシンプル



大型の構造物を宇宙へ運搬する方法もSSPSの課題。写真①～④はコンパクトな折りたたみ式のSSPSの展開方法を示したもの



月球儀を手に月周回衛星かぐやが行った様々な月探査について語る佐々木先生(左)。写真右はJAXA相模原キャンパスの一般公開コーナーに展示されているかぐやの模型





JAXAでは月探査だけではなく、最近話題となった小惑星探査も行われている。相模原キャンパス一般公開コーナーに展示されている小惑星探査機「はやぶさ」。地球の軌道と似た軌道を持つ小惑星「ITOKAWA」の表面物質を持ち帰る目的で開発された。2003年5月に打ち上げられ、10年6月に地球に帰還し、搭載カプセルをオーストラリアに落下させ、その運用を終えた

ました。「サイエンスは競争です。外国との競争になります。人が既にやったことでは意味がありません。やられていないことを研究しなければなりません。15チームそれぞれが、国際的な評価が得られるデータを取得できる最先端でかつ現実的なものを、また予算内でかつスケジュールに間に合うものをつくらなければいけません。この調整が一番難しい作業でした。

「かぐや」は大型路線でしたが、プロジェクト期間の短縮、予算の小型化、機動的な研究、研究者の研究機会維持などのため、小型衛星路線で世界に対する競争力強化を行おうとするのが最近の傾向です」。

09年に役割を終えたかぐやは様々な観測データを地球に送り続けましたが、その一例として、今回、世界初、月の裏側の重力場観測があります。月は地球に対して常に同じ面を向けているので、いままで裏側が観測できませんでした。かぐやは主衛星1機と副衛星2機で構成されています。月の高度100kmの極周回円軌道に投入された主衛星は、月の重力場の下で自由運動をするので、重力場に凹凸があると微妙に軌道が動きます。その際、主衛星から出している電波の周波数が変わります。月の裏側に周ったときにこの周波数の変化を副衛星で中継して、地上局

に伝送することで初めて月の裏側の重力場が、しかも表側と大きな違いがあることがわかりました。

世界のトップを走る 日本の SSPS 研究

SSPSは、68年にアメリカのグレイザー博士により提案され、70年代にはエネルギー省とNASAにより、21世紀初頭のアメリカの電力(約300GW)をすべて宇宙太陽光発電で賄うという前提で研究を進めていました。しかし80年代のレーガン政権で主に財政的な問題から研究が止められてしまいます。

その後、当時アメリカに渡って研究していた日本の大学等の研究者が帰国し、その後も国内で連綿と研究を続けていました。やがて98年に当時のNASDA(宇宙開発事業団 現JAXA)が、次いでUSEF(無人宇宙実験システム研究開発機構)が大学等の研究者とともにSSPSの調査研究をスタートさせ、それが今も続いている状況です。そのような活動が実り、09年に提出された国の「宇宙基本計画」にもSSPSが組み込まれました。「国の宇宙計画としてSSPSが組まれているのは日本だけです。80年代以降、連綿と続けられた基礎的研究、実証的研究は高いレベルのもので、実際に我が国の研究者による論文数も多く、これは海外も認めているところです」。

2030年の実用化を目指して

SSPSの技術的な課題は、マイクロ波

やレーザーを目標に正確に送る制御技術。「これまで要求されなかった技術を開発しなければいけません。既に実験室レベルでは小規模な実証は行われているのですが、これを地上でより大規模に、さらに最終的には宇宙で実証する必要があります」。

今後の計画は、マイクロ波を100m、レーザーを500mの距離から目標に正確に送るkW級地上実証実験を2012年頃までに行い、その後、この技術を用いて宇宙での小規模な実証実験を15年頃までに行う予定です。「宇宙実証実験では、小型の送電実証衛星を高度400kmの電離層に打ち上げ、地上からパイロット信号という誘導電波を上げて、その誘導電波通りにマイクロ波を送ることができるかを実証します」。さらに引き続いて100kW級の宇宙実証実験を行うまでが基礎研究フェーズの段階で、20年以降は開発研究フェーズとしてパイロットプラント実証を行い、30年以降からは実用フェーズへとSSPS実現に至るまでのロードマップが提案されています。

佐々木先生の夢は「やはり、このプロジェクトがきちんと走るように道筋をつけていきたいと思います。そのためにも後継者を育てていきたいと思います。後継者不足は日本に限らず海外でも同様です。日本では宇宙基本計画に組み込まれたこともありますし、これをきっかけにSSPSの次世代の研究を担う人材育成ができればと考えています」。



JAXA相模原キャンパスの特殊実験棟にある実験設備の一部。宇宙の諸現象のシミュレーション実験並びに宇宙理工学における基礎研究の一部としてSSPSに係わる研究なども行っている