

# 宇宙からのクリーンエネルギーの獲得に向けて —宇宙太陽光発電—

2014年3月7日  
宇宙航空研究開発機構  
名誉教授 佐々木進

## はじめに

18世紀後半からの産業革命以来、人類の生活は急速に便利で豊かになったが、その社会を支えるエネルギーの消費量はほぼ一貫して増え続けてきた。現在のエネルギー消費量は産業革命時の数十倍にも達している。世界的に見れば、現在私たち人類が使用しているエネルギーの8割以上は、石油や石炭、天然ガスなどの化石燃料を燃やすことにより得られている。しかし化石燃料を現在のペースで使用すると今後100年程度で枯渇する。より緊急の問題として化石燃料の大量消費は大気中のCO<sub>2</sub>（二酸化炭素）濃度の増大をもたらしている。原子力発電はCO<sub>2</sub>負荷が小さく低コストであるとして社会の期待を集めていたが、安全性の面から社会的な受容性に問題がある上、現在の方式では燃料のウランは化石燃料と同様今後100年程度で枯渇する。

人類社会を持続的に維持していくためには、化石燃料に代わる新しいCO<sub>2</sub>フリーのエネルギーシステムが必要である。太陽から地球近傍に供給されるエネルギーは、人類社会が使用する総エネルギーの1万倍以上に及んでいる。宇宙空間には地上と異なり天候に左右されない太陽エネルギーとそれを大規模に獲得するための広大な場がある。宇宙太陽光発電システムとは、宇宙空間でふんだんな太陽エネルギーを利用して発電しその電力を地上に無線送電する構想であり、クリーンで大規模なエネルギーシステムとして大きな可能性を持っている。本稿では、宇宙太陽光発電システムの仕組みと研究の歴史、それを実現するために必要な技術、今後の研究開発の展望について述べる。

## 1. 宇宙太陽光発電システムの概念と意義

太陽光の強度は地球近傍の宇宙空間で約1.35kW/m<sup>2</sup>である。これは夜があり天候の影響を受ける地上での平均日射量の5~10倍に達する。宇宙太陽光発電システムは、衛星軌道上で太陽エネルギーを電力に変換し、その電気エネルギーをマイクロ波やレーザーなど無線で地上に送電する電力設備である。地上では、無線送電された電力を受電し、商用電力に変換して既存の電力網を通じ家庭や工場などの利用者へ配電する。図1に無線送電としてマイクロ波を用いた場合の軌道上設備（太陽発電衛星）と地上設備の基本的な構成を示す。このシステムは地上での太陽光発電と比較して、無線送電の部分が付加されたシステムである。しかし、送電の過程で失われる電力は50%以下とすることが技術的に可能である。このため平均日射量を考慮すると宇宙太陽光発電システムは地上の太陽光発電システムと比較して、なお単位面積当たり数倍以上エネルギー収集効率の良いシステムと言える。さらに重要な点は、天候や季節の影響を受けず安定したエネルギーを供給できること、宇宙空間は広大であることから実質的に無尽蔵の太陽エネルギーを取得できること、無線電力の送電方向を変えることにより瞬時にサービス地域の切り替えができること、である。

宇宙太陽光発電システムの最初概念<sup>1)</sup>は、1968年に米国のグレーザー博士により提案された。1970年代には、米国エネルギー省とNASA（米

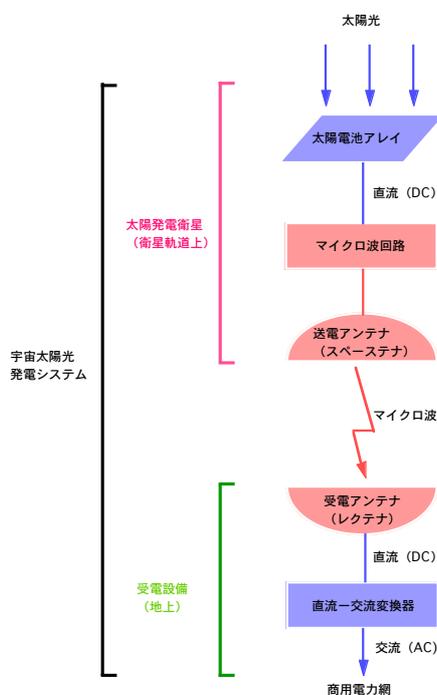


図1 宇宙太陽光発電システムの原理。軌道上の太陽発電衛星と地上の受電設備で構成されるエネルギーシステム。

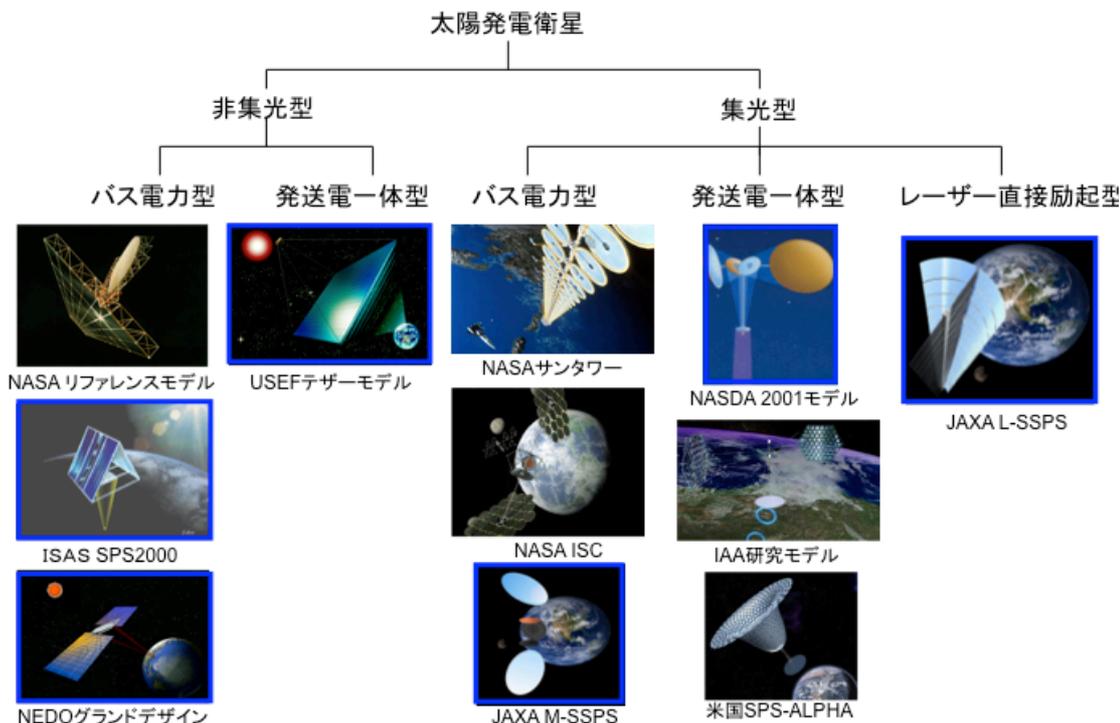


図2 これまで設計研究が行われた各種の太陽発電衛星（宇宙太陽光発電システムの軌道上部分）

航空宇宙局)により技術的な側面からだけでなく、社会、経済、環境の立場からの総合的な評価研究が行なわれた。この時概念設計された宇宙太陽光発電システムは、リファレンスシステム<sup>2)</sup>と呼ばれている。この研究は21世紀初頭のアメリカの電力(約3億キロワット)を全て宇宙太陽光発電システムで賄うという前提で行われた。その規模は壮大で10km x 5kmの大きさの衛星を静止衛星軌道に60基(1基約5万トンの重さ)配備するというものであった。このリファレンスシステムは現在最大の宇宙構築物である国際宇宙ステーション(約100mの大きさ)と比較してもはるかに大きい。この構築のための輸送用超大型ロケットも新規に開発することが考えられた。リファレンスシステムは余りにも巨大なシステムを検討の対象としたため、技術的・社会的な飛躍が大きく未だその時機ではないと判断され、実現のための一歩を踏出すことなく米国の検討は終了した。

米国での研究が中断した1980年代初頭以降は、我が国で宇宙太陽光発電システムの構想に注目した研究者たちにより観測ロケットによる無線送電技術の宇宙実験<sup>3)</sup>や、早期の実現をめざした実証システムの設計研究<sup>4)</sup>が行われた。1980年代の終わり頃からは、人類社会の重要な課題である地球環境問題が全世界的に認識されるようになり、これを解決するための有力な選択肢として、宇宙太陽光発電システムを現実のエネルギーシステムとして見直そうという機運が高まってきた。1990年以降、米国、日本、欧州で様々なタイプの宇宙太陽光発電システムが設計研究されている。図2にこれまで設計された太陽発電衛星の代表例を示す。

宇宙太陽光発電システムに必要な素材の製造、軌道上への輸送と構築を含む全てのプロセスで発生するCO<sub>2</sub>を考慮しても、宇宙太陽光発電システムからの単位電力当たりのCO<sub>2</sub>発生量は原理的に非常に小さ

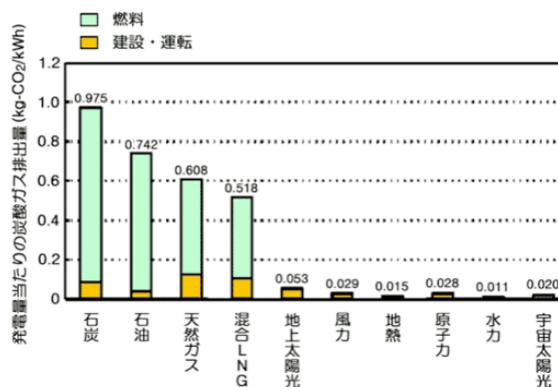


図3 各種電力システムのCO<sub>2</sub>発生量の比較<sup>5)</sup>

い。図3に無人宇宙実験システム研究開発機構(USEF)(現在はJapan Space Systemsに統合)の調査研究で行われた各種の発電システムからのCO<sub>2</sub>発生量の比較の例<sup>5)</sup>を示す。宇宙太陽光発電システムの単位電力当たりのCO<sub>2</sub>発生量は原子力発電と同レベルであり、化石燃料を用いる場合の数十分の一以下と試算されている。

エネルギーシステムの第一義的な評価はエネルギー収支を基準としたエネルギーペイバックタイムである。エネルギーペイバックタイムとは、あるエネルギーシステムを構築するために投入した全エネルギーをそのシステムが生み出すエネルギーにより何年間で回収できるかを示す指標である。エネルギーシステムが正味のエネルギーを生み出すためには、エネルギーペイバックタイムはシステムの稼働可能年数より短くなければならない。宇宙太陽光発電システムのエネルギーペイバックタイムは数年以下と試算<sup>6)</sup>されており、30年以上と考えられる宇宙太陽光発電システムの寿命と比べはるかに短い。

一方エネルギー収支が正のシステムであっても、その構築と運転に投入される資金が稼働可能年数の間に回収される見込みがなければ、投資の対象にならず実現されることはない。現在の高コストの宇宙技術で太陽発電衛星を構築する場合は、その電力コストは地上の電力システムの電力コストの50倍以上となって経済的に成立しないため、現状のままでは宇宙太陽光発電システムは社会的に受け入れられることはない。しかし、現在の宇宙太陽光発電システムのコストでその大きな部分を占める宇宙への輸送コストは、技術革新と輸送量の増大により将来1/50~1/100程度まで下がる可能性がある。衛星本体の構築に低コストの民生品と民生技術を適用することにより、宇宙太陽光発電システムからの電力コストは地上の電力システムのコストと同レベルになる可能性がある<sup>7)</sup>。ふんだんなエネルギー資源、地球環境への優しさ、短いエネルギーペイバックタイム、低コスト化の可能性、技術的な実現可能性の高さ、安全性の点から宇宙太陽光発電システムは人類の将来エネルギーシステムとして極めて有望であると言えよう。

### 3. 宇宙太陽光発電システムに必要な技術

宇宙太陽光発電システムの構築には、宇宙での太陽発電技術、電力管理技術、無線送電技術、大型構造物建造・姿勢制御・軌道維持技術、宇宙への大量輸送技術が必要である。これらの個々の技術は小規模なレベルであれば既に実用化されており、原理的に新たな検証を必要とする技術はない。この点が未だ原理が検証されていない核融合発電と基本的に異なる点である。今後各技術の大規模システムへの応用と低コスト化が宇宙太陽光発電システム実現のための主要な技術課題である。表1に主要技術の現状の到達点と実用レベルの宇宙太陽光発電システムを実現するための技術目標を示す。

表1 宇宙太陽光発電システム実現のために必要な技術とその規模

主要な技術項目	現状の到達レベル	目標レベル	オーダー
宇宙太陽光発電規模	数十 kW (国際宇宙ステーションで 110kW)	1 GW	10,000
マイクロ波送電規模	数十 kW (地上)、1kW (宇宙)	1 GW	100,000
レーザー送電規模	数 kW (地上)、1W 以下 (宇宙)	1 GW	1,000,000
排熱規模	数十 kW	数百 MW	10,000
大型構造物規模(長さ)	100m クラス (国際宇宙ステーション)	数 km	10
宇宙機製造コスト	1000 万円/kg	10 万円/kg	1/100
宇宙輸送のコスト	100~200 万円/kg	2 万円/kg	1/100-1/50

#### 3.1 大電力発電技術と電力管理技術

太陽発電衛星用の太陽電池としては、1) 宇宙環境での劣化が少ないこと、2) ロケットでの輸送と宇宙空間での展開に便利なこと、3) 資源が充分あり大量生産が可能で低コストであることが条件である。この内、1) と 2) は地上の太陽光発電にはない太陽発電衛星特有の条件である。比較的新しいタイプの薄膜太陽電池は、変換効率が他のバルクの高効率タイプの太陽電池と比べてまだ低いが、薄膜のため大量生産が可能で重量当たりの出力が大きく、折り畳んでの輸送と宇宙での展開のしやすさから、太陽発電衛星用の太陽電池として大きな可能性を持っている。シリコンは地球上に資源として大量に存在しているため、高効率ではあるが稀少元素を必要とする化

化合物半導体の太陽電池よりもシリコン太陽電池の方が優れている。化合物半導体に用いられる Ge, Ga, In の資源量は地球上で最大でも数千 GW 分しか存在しない。太陽光発電の方式として集光ミラーと組み合わせた方式も考案されている。この場合は発電部のサイズを小さくすることが可能で必要な太陽電池量も少なく済むという利点を持っているが、巨大な軽量可動ミラーの実現、高精度の方向制御及び集光に伴う太陽電池面の排熱という技術的な課題を克服する必要がある。

宇宙環境については、宇宙放射線による太陽電池の劣化と数 km/s 以上の高速で空間を飛び交う宇宙塵や宇宙ゴミ（宇宙デブリと呼ばれる）の衝突破壊を考慮する必要がある。これまでの放射線照射実験では、薄膜の太陽電池は結晶シリコンの太陽電池よりも放射線に対する耐性が高いことが確かめられている。一方宇宙塵や宇宙ゴミの衝突による太陽電池の破壊は、衝突体のサイズよりもかなり大きな規模となることが実験で示されている。この破壊の影響が広く伝搬しないような太陽電池のユニット化を設計におこむ必要がある。

発電した電力は集電して無線送電システムに配電する。発電システムと送電システムの距離が大きく離れている場合は、発電システムと送電システムの間で大規模な集配電ケーブルが必要である。この場合ケーブルでの抵抗損失を極力抑えるため、できるだけ高い電圧で集配電を行う必要がある。現在の数 kW クラスの宇宙機では通常 50V 程度、100kW クラスの宇宙ステーションで 100V 程度の電圧が使用されているが、百万 kW クラスの太陽発電衛星では 10kV 以上の高電圧の使用が必要とされている。宇宙空間では電子とイオンから構成される電離気体が希薄ではあるが存在するため、高電圧の使用にあたってはアーク放電事故の防止対策をとる必要がある。一方このような集配電系での電力損失を回避するため、太陽電池と送電素子を一体型ケーブルでの電力損失を考慮する必要の無いサンドイッチタイプのアプローチも提案されている。この場合も集光ミラーと組み合わせることにより送電システムを小さく設計することができるが、集光部と送電部の発熱部が同一場所となるため排熱の問題を克服する必要がある。

### 3.2 無線送電技術

送電はマイクロ波帯の電磁波あるいは 1 ミクロン付近のレーザーを使うことが一般に考えられている。送受電系の大きさは波長に比例するため、波長の短いレーザーは波長の長いマイクロ波を使用する場合に比べてシステムを小さくすることが可能である。但しレーザーの送受電効率はマイクロ波に比べて低く、また雲や雨により大きく減衰するという問題がある。マイクロ波帯の電磁波を利用する場合も、高い周波数を使う程送受電のアンテナは小さくて済むが、10GHz 以上の周波数になると大気中での降雨減衰が大きくなる。宇宙からの無線送電には、数 GHz 付近の周波数のマイクロ波が、大気による減衰が少なく回路技術の成熟度からも適している。この帯域で通信以外の高周波利用設備に優先的に割り当てられている周波数（工業用、科学用、医療用バンドと呼ばれる）は 2.45GHz と 5.8GHz である。この周波数帯のマイクロ波の場合、軌道上から地上への伝搬損失は小雨程度までであれば数パーセント程度であり、直流電力からマイクロ波、マイクロ波から直流電力への変換効率は各々 80~90% が期待できる。マイクロ波の回路素子としてマグネトロンやクライストロン等の電子管が以前は考えられていたが、最近では半導体増幅器の使用が有力と考えられている。マイクロ波帯の半導体は近年携帯電話の普及で急速に性能が上がりコストも下がってきたが、宇宙太陽光発電システム用としては更に大幅な低コスト化と高効率化が必要である。無線送電技術としては高効率化とともに、地上の受電アンテナ（レクテナと呼ばれる）の方向に正確にマイクロ波ビームを向けるための制御技術が必要である。マイクロ波の指向制御は多数のアンテナ素子に給電されるマイクロ波の位相を制御することにより実現する。地上の受電アンテナへマイクロ波ビームを指向させるには、受電局からのパイロット信号を利用した送電波の位相制御を行う必要がある。位相制御技術は通信の分野では既に実際に使用されているが、大電力送電への応用には位相制御の方式検討を含め大きな研究課題が残っている。

マイクロ波による送電では、軌道上の送電アンテナ、地上の受電アンテナともに相当大きなアンテナが必要である。例えば 36,000km 離れた静止衛星軌道の太陽発電衛星から 5.8GHz のマイクロ波電力を送電する場合は、送電アンテナの直径を 2km としても、地上では直径数 km 規模の受電アンテナが必要である。受電アンテナは、海洋沿岸、ダムなどの既存電力設備近傍に設置することが現実的とされており、環境へのインパクトを最小限に抑えるために透過率 80% 程度の太陽光透過型のアンテナも考案されている。

宇宙太陽光発電システムで考えられているマイクロ波ビームの地上付近でのエネルギー密度は、アメリカの5百万kWのリファレンスシステムの場合、ビーム中央の最大強度部分で23mW/cm<sup>2</sup>、ビームの端では1mW/cm<sup>2</sup>である。ビームの最大エネルギー密度23mW/cm<sup>2</sup>は、マイクロ波が高度数百km付近に密度のピークを持つ電離層プラズマと強い非線形相互作用を行わない（電離層に強い影響を与えない）ための条件とされている。ただしこの値は一部の理論から推定した値であり、より高いエネルギー密度でも強い非線形相互作用はないとの理論も提案され、最近では最大電力密度100mW/cm<sup>2</sup>（5.8GHz）を前提としたモデルについて検討が行われている。100mW/cm<sup>2</sup>のエネルギー密度は太陽光程度であり、電子レンジ内部の百分の1程度であるため、ビーム内を一時的に横切る動物、航空機、衛星等に対する熱的な影響は殆どない。人間へのマイクロ波の許容レベルは国際的に1mW/cm<sup>2</sup>とされているので、受電設備領域内は立ち入り禁止区域として管理する必要がある。エネルギー密度から決まる熱的効果の定量的な評価と管理は比較的容易であるが、高周波の非熱的効果（電場や磁場の振動そのものが生体に及ぼす効果、特に長時間晒された場合の影響）についてはまだ分かっていない点も多く、今後さらに研究が必要である。マイクロ波帯やその高調波の電波は通信などの社会インフラや電波天文観測にも用いられているので、使用電波の帯域の調整とともに、送受電部で不要波を発生させないことも強く求められる。

### 3.3 構築技術と機構

地上の電力供給に一定の役割を果たす宇宙太陽光発電システムの規模は一基百万kWクラスである。このクラスの太陽発電衛星のスケールはkm規模の宇宙構造物となる。現在運用中の国際宇宙ステーションのスケールは100m規模なので、太陽発電衛星はこの100倍以上の面積を持つ構造物となる。衛星の周回運動による遠心力と地球重力が釣り合う軌道上は、通常微小重量の世界であり、実際小さなスケールの物体を移動したり伸ばしたりする時には重力の影響を考慮する必要はない。しかし、スケールの大きい構造物の場合、重心から離れた場所では遠心力と地球重力の釣り合いが崩れ、無視できない力（重力勾配力と呼ぶ）が働く。この軌道上で発生する力は地球中心方向又は地球中心と逆の方向に働くが、この力を利用して大型構造物の姿勢を安定させるような建築手法と手順を考案する必要がある。宇宙での大型構造物の構築には、安全確保のためのコストが大きい有人の作業は避け、できるだけ繰り返し単純作業による建設が可能となるようなシナリオを考案して自動展開やロボットによる組立の方式をとることが必要である。大型構造物の構築は部材をジョイントで結合して組み立てていくというのが一般的であるが、折り畳んだ構造物を展開する方式や、薄膜を膨張硬化させる方法も考えられている。

太陽発電衛星は送電アンテナを地上の受電所に向けながら地球のまわりを周回するので、発電面を常時太陽方向に指向させるためには、発電システムと送電アンテナを可動部（ロータリジョイント）で接続する必要がある。このための姿勢制御とロータリジョイントについては、これまで十分な検討が行われているとは言い難い。ロータリジョイントでの大電力の伝達方式としては、接触型のスリッピングや非接触型の電磁結合方式が考えられているが、構造、強度、熱、寿命、信頼性など厳しい技術的な課題が残っている。この問題を回避するため、太陽光を太陽電池パネルに導くための可動反射ミラーを用いたモデルも提案されている。この場合回転部では電力を通過させる必要がなく、巨大ではあるが薄膜軽量のミラーを回転させれば良いのでロータリジョイント方式より現実的と考えられているが、構成が複雑である。ミラー部を送電部と物理的に切り離して編隊飛行させる案（後述のAdvanced Model）も提案されているが、ミラーの軽量構造と形状・姿勢・軌道維持に大きな課題がある。一方回転部を持たず太陽指向をしないシステム（後述のBasic Model）も提案されている。この方式は太陽指向する方式と比較して同一の電力を取得するためにはより多くの太陽電池を必要とし、発電量も1日の中で時間的に変動するという欠点があるが、単純でロバストなシステム構成であるという利点を持っており、SPS実用の初期の段階で実現されるシステムと考えられている。

### 3.4 軌道選択と軌道上への輸送技術

太陽発電衛星の軌道は、地上の特定の受電施設に常時電力を伝送できるという点に注目する限り、多くのモデルが採用している高度36,000kmの静止衛星軌道が最も望ましい。しかしながら、静止衛星軌道は、通信、放送、地球観測など”電力”よりもはるかに付加価値の高い”情報”を

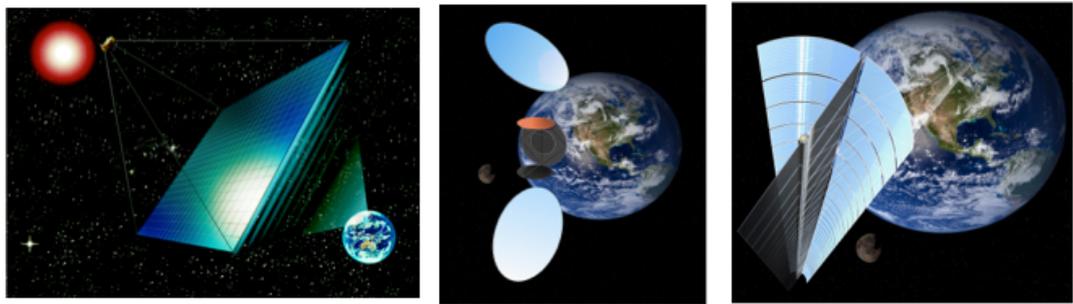
扱う衛星にとっても理想的な軌道である。静止衛星軌道には容積当たりの経済的価値のより高い衛星が優先して使用すべきであるという考え方もある。大きなスケールのシステムとならざるを得ない太陽発電衛星は、資材輸送費の点からも、より低い軌道の方が現実的である可能性もある。静止衛星軌道を採用する場合には通信など他の目的の衛星との複合システムを考える必要がある。静止衛星軌道に太陽発電衛星を配備する場合は、いったん低高度軌道で部分的に建造した後、電気推進の方式で静止衛星軌道へ時間をかけて上昇させるシナリオが当初考えられていた。但しこの場合は放射線強度の強い放射線帯の中をゆっくり通過することになるので、太陽電池や他の半導体素子の放射線劣化について考慮する必要がある。最近では建設部材を低高度まで輸送した後比較的高速の電気推進の輸送機に積み替えて静止衛星軌道まで運び、すべての組立は静止衛星軌道で行う案が有力となっている。一方太陽発電衛星を低高度軌道に配備する場合は、送電距離が短いため送受電のアンテナの径は小さくて良いというメリットがある。しかし、この場合は地上の受電所から見て軌道上の発電衛星は時間とともに移動することになり、一つの受電所が電力を連続的に得るためには軌道上に多数の発電衛星を配備し連携した送電ビームの切替を行う必要がある。また低高度軌道の場合、特殊な太陽同期軌道以外の軌道では日陰の影響を避けられず、電力取得効率が劣るという問題点もある。軌道の選定は、輸送コスト、建設コスト、運用コスト、半導体素子の劣化を支配する宇宙放射線環境、太陽電池パネルの破損をもたらす宇宙デブリ環境、を総合的に考慮して決める必要がある。

太陽発電衛星を建設するための資材は、将来的には月資源の利用も考えられるが、少なくとも初期の段階では、地上から輸送することが現実的である。地上から軌道上への輸送コストは、高度数百 km の低軌道に輸送する場合でも現在 1kg あたり 100～200 万円かかる。このような宇宙輸送の高コストをそのまま適用した場合には、宇宙太陽光発電システムの電力コストは極めて高いものとなる。宇宙太陽光発電システムからの電力を地上の電力コストと同等レベルにするためには、革新的な低コスト宇宙輸送手段の開発が必要条件である。宇宙輸送のコストが高い理由は、現在のロケットは航空機などと異なり使い捨てであるためであり、輸送コストを大幅に下げるためには再使用型の輸送手段を開発する必要がある。現在世界で研究が進められている完全再使用型の宇宙輸送システムは、輸送費を現在の 1/50 から 1/100 程度にすることを目指しており今後 20～30 年で kg あたり 1-2 万円程度の低コスト打ち上げシステムの登場が期待できる。一方宇宙への輸送コストの低減にはその需要が充分にあることが前提である。宇宙商業輸送に関する研究によると単位重量当たりのコストを現在の 1/100 にするためには、現在より 100 倍程度の輸送量を見込む必要がある。宇宙輸送の需要の大幅な増大には、微小重力や高真空などの宇宙環境を利用する宇宙産業だけでなく、最近では宇宙観光産業が重要な役割を果たすと考えられている。大規模な宇宙のインフラストラクチャである太陽発電衛星の建設が始まれば、宇宙輸送量は高い水準に維持され、輸送コストは低いレベルに維持される。宇宙太陽光発電システムは再使用型宇宙輸送機の最大のユーザとなるだろう。

#### 4. 我が国の研究開発計画と今後の展望

我が国では文科省系の JAXA、経産省系の Japan Space Systems、各大学、情報通信研究機構 (NICT)、産総研 (AIST) 等で、システム設計研究、要素試作試験、経済性・CO<sub>2</sub> 負荷評価、生態への影響評価などの研究が行われてきた。図 4 に詳細な検討の行われた最近の 3 つの代表的な設計例を示す。宇宙太陽光発電システムが人類の新しいエネルギーシステムとして一定の役割を果たすためには、百万 kW (原子力発電所 1 基分) 程度の規模の宇宙太陽光発電システムが必要である。しかし、最初からこのような百万 kW 規模の宇宙太陽光発電システムの建設に着手するには技術的、経済的なリスクが大きすぎる。宇宙太陽光発電システムについても他のエネルギーシステムと同様に、図 5 のロードマップに示すような実証的研究を積み重ねて行くことが必要である。kW 級の小型のデモンストレーションモデルによる地上実験から始めて軌道上の小型実験、100kW 級大型実験、MW 級から百 MW 級試験発電所 (パイロットプラント) を経て実用に至る段階的なプロセスを踏むことが考えられている。

宇宙太陽光発電システム技術の中で当面特に重点的に取り組むべき課題は、軌道上で発電した GW クラスの電力を数千～数万 km 離れた地上の受電施設に高い効率で無線送電できる技術を実証することである。宇宙太陽光発電システムの成否を握るキー技術である無線送電技術については、



**Basic Model**

太陽非追尾マイクロ波型  
 発電電一体型パネルのモジュール構成  
 テザーによる重力安定  
 総重量: 20,000トン

**Advanced Model**

太陽追尾マイクロ波型  
 ミラー(反射集光鏡)は編隊飛行  
 発電電分離型  
 総重量: 10,000トン

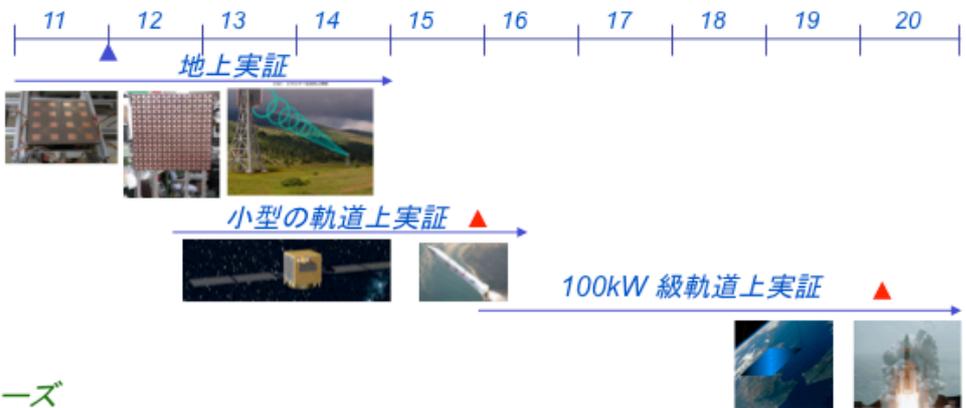
**Laser Model**

太陽光直接励起レーザー型  
 高倍率反射集光鏡・発電電・  
 放熱部のモジュール構成  
 総重量: 5,000トン

図4 我が国で設計研究の行われている代表的な太陽発電衛星モデル

できるだけ早い段階で軌道上からの実証実験を行うことが必要である。これ以外にも宇宙太陽光発電システム構築のためには、宇宙での大電力発電技術、宇宙大型構造物技術、低コスト大量宇宙輸送技術が必要であるが、これらは汎用技術としてより広い商用技術や宇宙開発の中で技術開発が進められることが期待できる。しかし宇宙から地上への無線送電技術は、宇宙太陽光発電システムに特有な技術であるため、宇宙太陽光発電システムを目指すグループが自らの手で技術開発を行う必要がある。

**研究フェーズ**



**開発フェーズ**



**実用フェーズ**

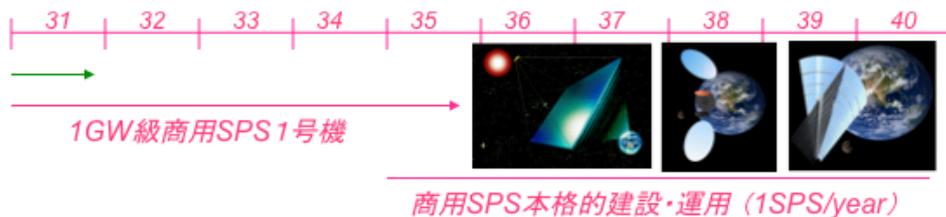


図5 宇宙太陽光発電システム実用に至る研究開発のロードマップ

## おわりに

宇宙太陽光発電システムの研究は発想から半世紀近くを経過し、ようやく調査研究から本格的な実証研究の段階に入ろうとしている。特に我が国では2009年に宇宙基本計画が策定され、将来の実用化を目指した地上及び軌道上の実証実験の実施が謳われている。我が国の宇宙開発のめざす基本理念は、1)安全で豊かな社会をつくる、2)国民の希望と未来を作る、3)自在な宇宙活動ができる能力を作る、4)新たな基幹産業をつくる、である。1)は地球環境問題への取り組みを含んだ重要な理念である。この中で衛星からの地球環境の監視という“診断”は既に行われているが、今後はさらに一步進んで宇宙空間を利用した問題解決という“治療”に挑戦することが社会から求められている。宇宙太陽光発電システムの研究は、地球環境・エネルギー問題という課題解決のための研究であり、技術開発を通じた新たな宇宙利用の創出と我が国の経済社会発展に貢献する基幹産業の創出、に結びつく研究として、1)、2)、4)の理念をストレートに具現しうる研究と位置づけられる。また宇宙太陽光発電システムは大量宇宙輸送を必要とする最大のユーザとして、3)の宇宙輸送系の研究にもその推進の動機と開発指針を与えるものである。

それぞれの国の資源という観点で国策として調達が進められてきた化石燃料や原子力などのエネルギーは、これまで国家間の利害関係のせめぎ合いの中で取り扱われ、しばしば国際的な争いのもととなってきた。しかし宇宙空間という人類共有のフロンティアを利用する宇宙太陽光発電システムの構想は、本質的には国際的な協調の下にのみ成り立つ構想である。国際協力を成立の要件とするこの構想は、人類にあまねくエネルギーを供給するだけでなく、平和共存を保障する国際的な共通社会基盤としての役割も果たすことになるだろう。

## 参考文献

- 1) P. E. Glaser: Power from the Sun: Its Future, Science, Vol. 162, pp. 867-886 (1968)
- 2) DOE/NASA: Program Assessment Report Statement of Findings, DOE/ER-0085 (1980)
- 3) R. Akiba, K. Miura, M. Hinada, H. Matsumoto and N. Kaya: ISAS Report No. 652 (1993)
- 4) M. Nagatomo and K. Itoh: An Evolutionary Satellite Power System for International Demonstration in Developing Nations, Space Power, Vol. 12, pp. 23-36 (1993)
- 5) 小林徹: 経済産業省-USEF の委員会活動について-宇宙太陽光発電システムの実用化に向けて、SPS2002-01 (2002)
- 6) 加藤和彦、山田興一: 太陽光発電システムの位置づけ、第1回宇宙太陽光発電システム (SPS) シンポジウム、東京大学、1999年11月
- 7) 平成19年度 太陽光発電利用促進技術調査 成果報告書、pp. 145-154、平成20年3月、無人宇宙実験システム研究開発機構 (USEF)