

新しい太陽発電衛星（SPS）の構想 —テザーSPS—

2005年11月
宇宙科学研究本部
佐々木進

1. はじめに

1968年にピーター・グレーザーがSPSを発案して以来すでに40年近くたちました。SPSは多くの人々が人類のエネルギーシステムとして有望だと直感しているにもかかわらず、いまだ実現への第一歩さえ踏み出すに至っていません。その理由は、技術的な実現性の点で説得力のあるSPSのコンセプトをこれまで描くことができなかったためです。SPSの最大の技術的困難さは、軌道上で常に発電面が太陽を追尾し同時に送電面が地上を向くような大型のシステムの構築にあります。このようなシステムを実現するためにはシステムに何らかの可動機構を組み込む必要があります。これまで工夫を凝らした様々なタイプの太陽追尾機能を持つSPSが考案されてきましたが、軌道上のインフラとしては技術的に実現が困難と思われるようなコンセプトばかりでした。また太陽電池の本質的な特長は“可動部を持たないために実現される半永久的な発電素子”であることから寿命が制約される可動部を太陽電池と組み合わせることは太陽発電の特質を損なうこととなります。そこで太陽追尾のための複雑で寿命に問題のある可動機構を止め、そのために減少する取得エネルギーは低コストで長寿命の太陽電池の発電面の増加で補償することを考えました。ここに示すテザーSPS（図1）は、発電面が太陽を追尾しないシステムのため太陽追尾タイプよりエネルギー取得効率は劣りますが、構築と運用の観点から技術的には充分実現可能なシステムです。テザーSPSは経済面及び環境面からの定量的な評価が可能で、開発のための明確なロードマップを描くことができるこれまでで初めてのSPSの概念と言えます。

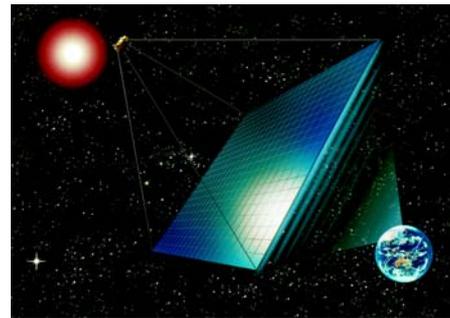


図1 テザーSPSの概念図(USEF)

2. テザーSPSのコンセプト

テザーSPSのユニットは図2に示すような発電一体型パネル（両面の太陽電池で発電した直流電力をマイクロ波に変換して下面から放射するパネル）を4隅のテザーで吊った発電システムです。広さ100m×95m、厚さ2cm、重量45トンのテザーSPSにより2MWのマイクロ波電力を地上に送電することが出来ます。この発電一体型パネルは発電、蓄電、送電機能を持つ構造的にも電氣的にもまったく等価な発電電モジュール9500枚から構成されます。各モジュールのマイクロ波回路の原振の周波数と位相同期を無線LANで行うた

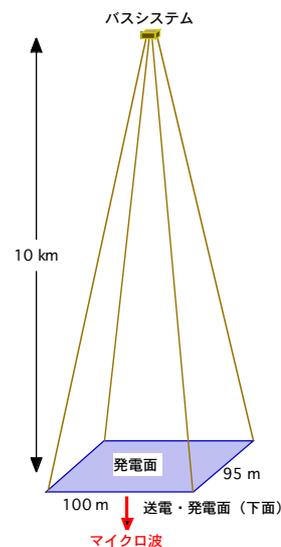


図2 テザーSPSシステム

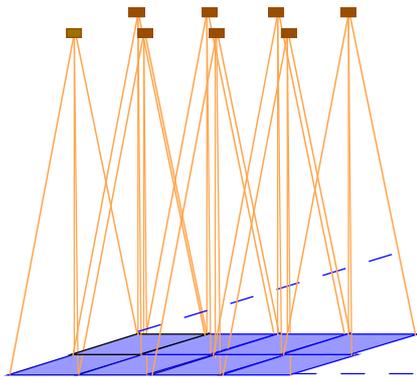


図3 テザーSPSの結合



図4 実用テザーSPSの運用想像図

め、モジュール間の有線のインターフェイスは不要です。

テザーSPSは図3に示すようにそのユニットの辺部をラッチして連結することにより規模を自由に拡大することができます。625基のテザーSPSユニットを正方形に結合し一辺2.5km程度の大きさにすれば、出力1GW（地上の受電所からの実効出力）の実用型SPSを構築することができます（図4）。5.8GHzの周波数を使用する場合、地上に必要なレクテナの大きさは径3.5kmです。このテザーSPSは以下のような特長を持っています。

- (1) 姿勢は重力安定なので能動的な姿勢制御が不要。月が表側を常に地球に向けていると同じ法則に従い自然に逆らわない安定な姿勢です。
- (2) モジュールは構造的にも電気的にも全く同じなので低コストの大量生産が可能です。
- (3) 各モジュールで発生する熱は各モジュールからの常温付近での熱放射により排熱が可能です。熱的な問題がありません。
- (4) テザーSPSは構造的にも電気的にも全く同じなのでテザーSPS単位での交換が可能です。このため故障に対しロバストであり、メンテナンスが容易です。
- (5) 図5に示すように、1基のテザーSPSの単位で低軌道へ輸送し、放射線シールドコンテナ付き軌道間輸送機（電気推進駆動）に積み替えて静止軌道まで数ヶ月の高速で

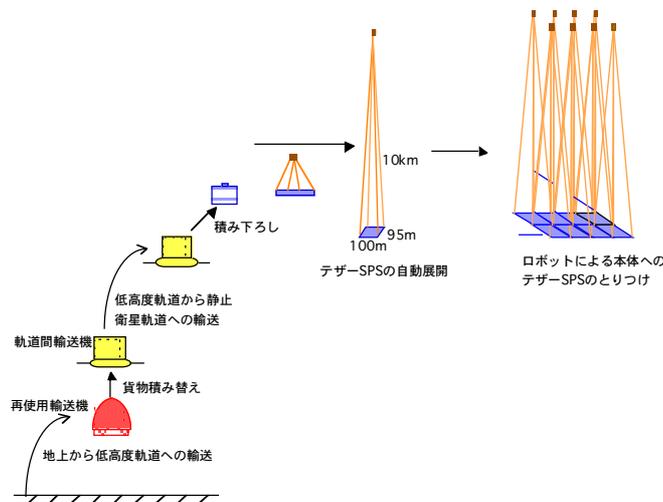


図5 テザーSPSの建設シナリオ

輸送し、静止軌道で自動展開を行い、機能の健全性の確認後ロボットによる SPS 本体への結合を行ないます。このシナリオであれば、建設に有人活動が不要であり、軌道間輸送システムは現実的な規模で良く、輸送時の半導体の劣化を回避でき、健全性を確認しながらの着実な建設（フェーズドコンストラクション）が可能です。

(6) 1 基のテザーSPS のスケールモデルのミニチュア版（20m 規模のパネル）で近未来に軌道上実証実験を行い、スケールアップして実用型に発展させるという図 6 に示すような技術的に継続性のあるロードマップを設定することが可能です。

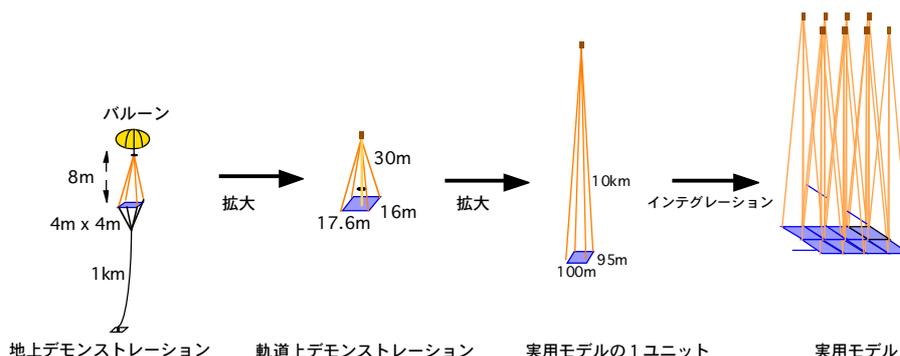


図 6 デモンストレーションから実用モデルに至るロードマップ

(7) 他の通信インフラ、地球観測インフラも同じ形状のテザーパネルで統一することにより、異なる機能のパネル接続が可能となり、静止衛星軌道を有効に利用できます（スペースベルト構想、図 7）。

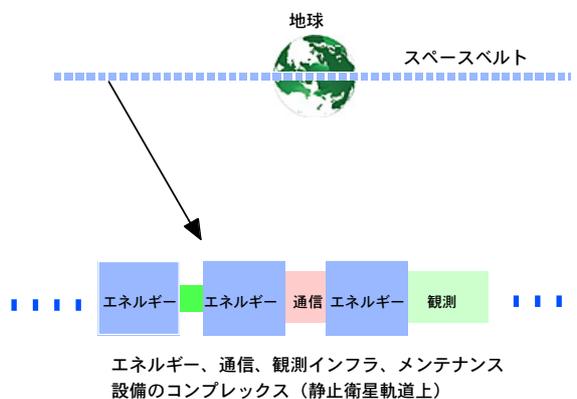


図 7 静止衛星軌道に構築する社会インフラのスペースベルト

(8) 1 基のテザーSPS は 2 MW, 20 億円規模であり、図 8 に示すように建設に当たって資力とエネルギー事情に応じた各国間の分担投資、会社間の分担が容易です。

以上のようにテザーSPS は多くの特長を持っていますが、特に (2),(4)～(8)は従来の SPS の構想には無かったユニークな点です。

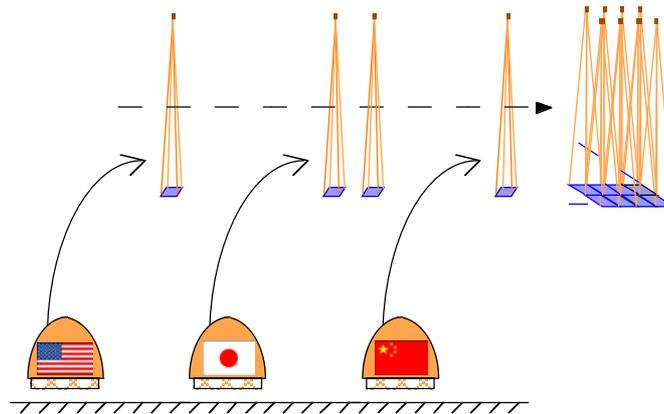


図 8 各国の投資による SPS の構築

3. テザーSPS の成立する条件

テザーSPS が技術的にも経済的にも成立するためには表 1 のような技術レベルが前提となります。

表 1 テザーSPS を成立させるために必要な技術レベル

太陽電池技術	発電効率 35%, 2kW/kg, 0.5kW/m ² , 50 円/W
マイクロ波送電技術	効率 85%, 10g/W, 100 円/W, 静止衛星軌道から 3.5km 径のレクテナへ 90%の効率で電力を送るマイクロ波制御技術*
蓄電技術	1.5kWh/kg, 10 円/Wh, 充放電効率 90%, DOD50%, 充放電寿命 30,000 回
マイクロ波受電技術	効率 85%, 50 円/W
輸送コスト	15,000 円/kg (地上から低軌道、低軌道から静止軌道衛星)

これらの技術レベルは現在の技術レベルの数倍から 1 桁高い（宇宙輸送については 2 桁高い）ものであり、その達成は非常にチャレンジングですが、20 年程度のタイムスパンで考えれば実現の可能性は十分あります。マイクロ波制御技術*については、SPS の成否を握るキー技術であり、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す。