

Introduction of Multi-bus Tethered-SPS*

S.Sasaki

The Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)
Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
3-1-1 Yoshinodai, Kanagawa 229-8510, JAPAN

The Tethered-SPS, consisting of a power generation/transmission panel suspended by tether wires, has been studied for 5 years under coordination with university researchers (Kyoto University, Hokkaido University, Kanazawa University, Shizuoka University, Tokyo Metropolitan University) and USEF (Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer). Since this system does not track the sun, the total power efficiency is 36 % lower than that for the sun-pointing type SPS even when the solar cells are attached to both sides of the panel. However, the simple, technically feasible, and practical configuration resolves almost all the technical problems in the past SPS models. Figure 1 shows a unit of Tethered-SPS, in which a power generation/transmission panel of 100 m x 95 m is suspended by four 5~10 km tether wires extended from a bus system. The weight is about 45 MT. The unit has a power transmission capability of 2 MW. The units are connected to form a larger SPS as shown in Fig.2, depending on user requirements. 1 GW-class SPS can be constructed by 25 x 25 unit assembly.

This simple and flexible configuration has many advantages, as summarized below;

- (1) Since the attitude is stabilized automatically by the gravity gradient force, no active attitude control is required.
- (2) There is no moving structure, which makes the system highly robust and stable. Especially one-point failure mode peculiar to the rotary mechanism is excluded.
- (3) The system is composed of equivalent units, which enables the phased construction and leads to easy integration and maintenance.
- (4) The unit consists of equivalent power generation/transmission modules, which enables low cost mass production.
- (5) There is no wired signal/power interface between the modules, which leads to easy deployment of the unit.
- (6) Active thermal control is not required because of uniform distribution of the transmitting power.
- (7) A scale model of the unit of the Tethered-SPS can be used for the demonstration experiment on the ground and in orbit in the near future, which assures an evolutionary scenario for the SPS development from the initial demonstration to the commercial SPS.

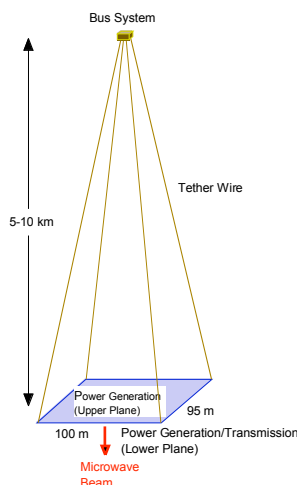


Fig.1 A unit of Tethered-SPS.

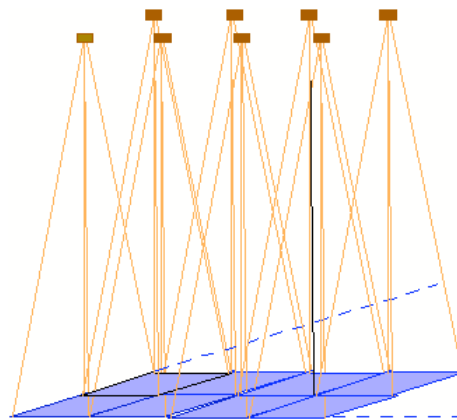


Fig.2 Integration of Tethered-SPS units by connecting panels.

* Presented at the Eleventh SPS Symposium, 17-18 September 2008

マルチバス型テザーSPS の紹介*

佐々木進

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

〒229-8510 相模原市由野台 3-1-1

sasaki@isas.jaxa.jp

技術的な実現性とコストの点で説得力のある SPS のコンセプトとして、マルチバス型テザー SPS を紹介する。テザーSPS は発電電一体型パネルをテザーワイヤで吊って重力安定させる単純な構成のシステムである。発電面が太陽を追尾しないため太陽電池の単位面積当たりのエネルギー取得効率は太陽追尾タイプより劣るが、技術的には現有宇宙技術の延長上で充分実現可能なシステムであり、本格的なユニット化とモジュール化により大量生産による低コスト化を図ることのできる現実的な SPS のコンセプトである。マルチバス型テザーSPS は、テザーSPS ユニットの階層化した方式で、シングルバス型テザーSPS よりも更にユニット化を進めたコンセプトであり、様々な電力規模の SPS を柔軟に構築することが可能なシステムである。

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年が経過し、これまで図1に示すような様々な構成のSPSが提案されてきた。これまで提案された殆どのタイプのSPS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システムである。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回転機構を組み込む必要がある。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が考案されてきたが、軌道上のインフラとしては技術的に実現が極めて困難である。そこで太陽追尾のための複雑で寿命に問題のある回転機構を止め、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しようとするのがテザーSPSのコンセプトである。テザーSPS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るが、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あり、表1に示すように他のタイプのSPSの技術的な問題点を全て克服できる。発電電力は地方時に依存して変化する(蓄電機能を持つ場合は送電電力の時間変化はない)が、天候の影響を受けず日平均では一定電力を供給できることから安定したベース電源としての役割を果たすことができる。

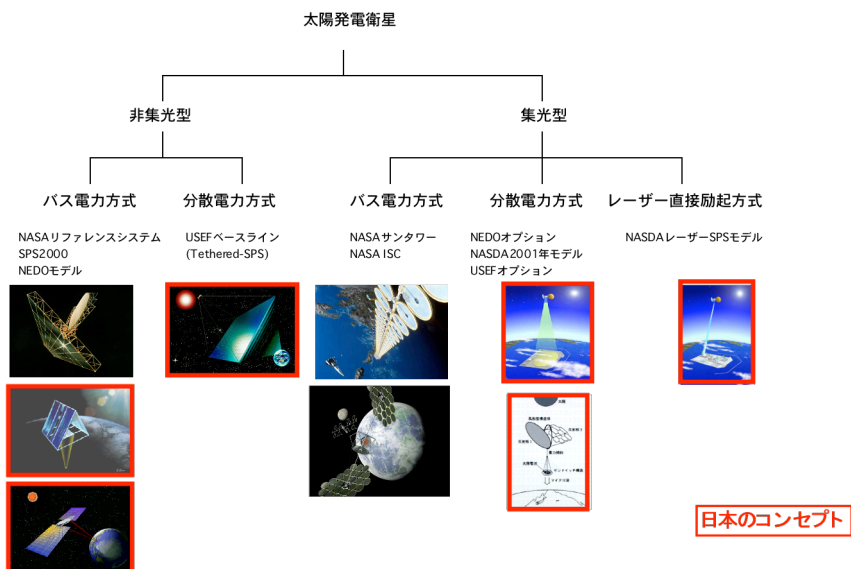


図1 これまで世界で検討されてきた様々なタイプのSPS (太枠は日本で発案されたコンセプト)

* 第11回SPSシンポジウム、慶應義塾大学にて2008年9月17,18日開催

表1 これまでのSPSの主要な技術的課題とテザーSPSによる解決

課題	課題の内容	テザーSPSによる課題の解決
回転電力伝達機能 ミラー回転機能	ロバスト性の欠如 (冗長機能なし) 一点故障で全機能喪失	可動部なし
バス集電ケーブル 超伝導ケーブル	非現実的なケーブル重量 超伝導システムも現技術では適用困難	バス集電機能なし
集光ミラー	集光部での排熱が困難 薄膜大型構造物の太陽指向姿勢制御が困難	集光ミラーなし
全ての建設が終了後に始めて機能動作可能	開発リスク、投資リスク 商業システムとして受け入れ困難	建設途上で性能検証可能
低高度軌道で建設、完成後静止衛星軌道へ移動	巨大な(非現実的な)軌道間輸送機が必要 低速移動のため半導体素子の放射線劣化が不可避	静止衛星軌道での展開、建設
デモンストレーションと実用SPSを独立に検討	一貫した開発のロードマップが描けない	デモンストレーションモデルは実用SPSの一部

我が国ではこれまで図1の太枠で囲った様々なSPSが検討されてきたが、現在ではテザーSPSは技術的実現性が高いことからBasic Model、高いエネルギー収集効率が期待できるが技術的な課題の多いミラー集光型太陽指向方式はAdvanced Model、小型のシステムが期待できるが技術の未成熟な太陽光直接励起レーザ方式はLaser Modelとして、図2のようなロードマップ案のもとに検討が行われようとしている。

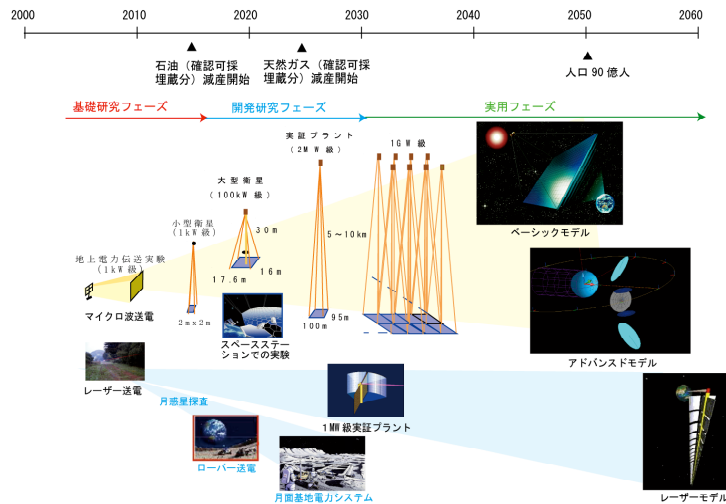


図2 All JapanでのSPS開発のロードマップ案

マルチバス型テザーSPSのコンセプト

テザーSPSは多数の電気的にも構造的にも等価なユニットから構成される。各ユニットは図3の左パネル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

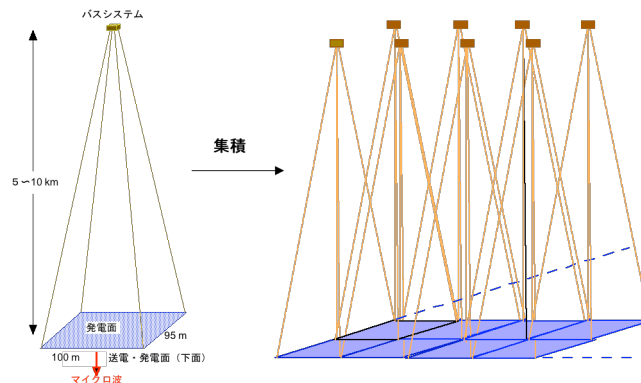


図3 テザーSPSのユニット(2MW級)と多数のユニットを集積して構成する実用システム(GWクラス)

に変換して下面のマイクロ波アンテナから放射するパネル)を4隅のテザーで吊った發送電システムである。広さ 100mx95m、厚さ 2-10cm、重量 45 トンのテザーSPS ユニットにより 2MW のマイクロ波電力を地上に送電することが出来る。このテザーSPS ユニットは 3800 枚の構造ユニット (5m x 0.5m) から構成され、各構造ユニットは発電、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發送電モジュール 10 枚から構成される。各モジュールの太陽電池で発電した電力はモジュール内でマイクロ波に変換されて送電されるためモジュール間の電力のインターフェイス (ケーブル) は不要である。また、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 で行うため、モジュール間の有線の信号インターフェイスも不要である。パネルは折りたたまれた状態で軌道以上に運ばれ自動展開するが、構造ユニット間にケーブルが存在しないため展開が容易である。

図 4 に示すように、1 基のテザーSPS ユニットの単位として再使用型輸送機を用い地上から低軌道へ輸送する。低軌道で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 3-4 月かけて輸送する。静止軌道で地上コマンドによりテザーSPS ユニットの自動展開を行い、機能の健全性を確認した後組立支援ロボットで SPS 本体へ接続を行う。このシナリオであれば、建設に高価な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) が可能である。

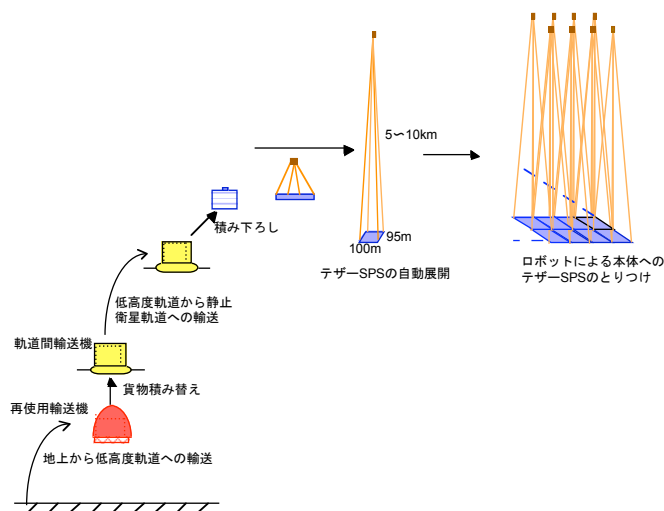


図 4 テザーSPS の構築方法

表 2 に上記の概念のマルチバス型テザーSPS を実用システムとして実現するために必要な技術を示す。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はあるが、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る。

表 2 マルチバス型テザーSPS を実用システムとして実現するために必要な技術

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 (オプション)	1.5kWh/kg, 10 円/Wh, 充放電効率 90%, DOD50%, 充放電寿命 30,000 回以上
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、低軌道から静止衛星軌道)

参考文献

Construction Scenario for Tethered Solar Power Satellite. S. Sasaki, K.Tanaka, K.Higuchi, N.Okuizumi, S.Kawasaki, M.Shinohara, and K.Ishimura, 57th International Astronautical Congress-2006, Valencia, Spain (2006)