

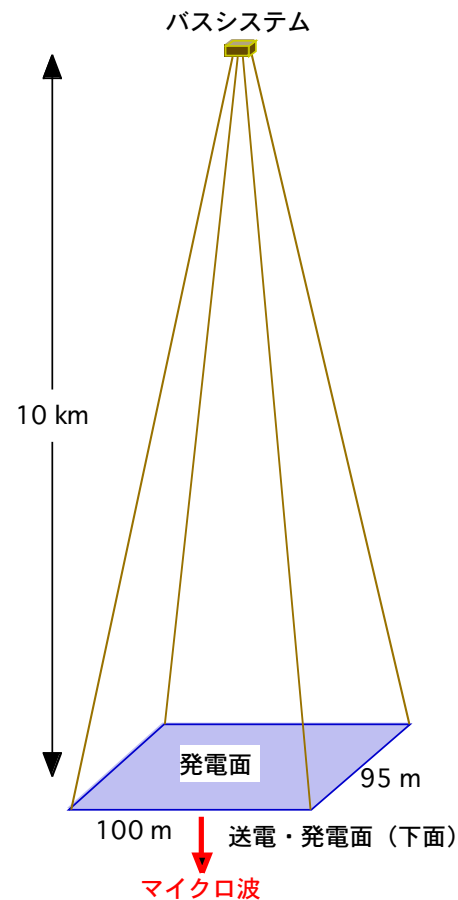
新しいタイプのテザーSPSの検討

- ・新しいテザーSPSの概念
- ・主な特長：
 - (1) 姿勢安定
 - (2) モジュール構成
 - (3) 熱的成立性
 - (4) メンテナンス性
 - (5) 構築シナリオ
 - (6) 開発ロードマップ
 - (7) 投資性
 - (8) 他の宇宙インフラとの共存
- ・解決すべき技術的課題

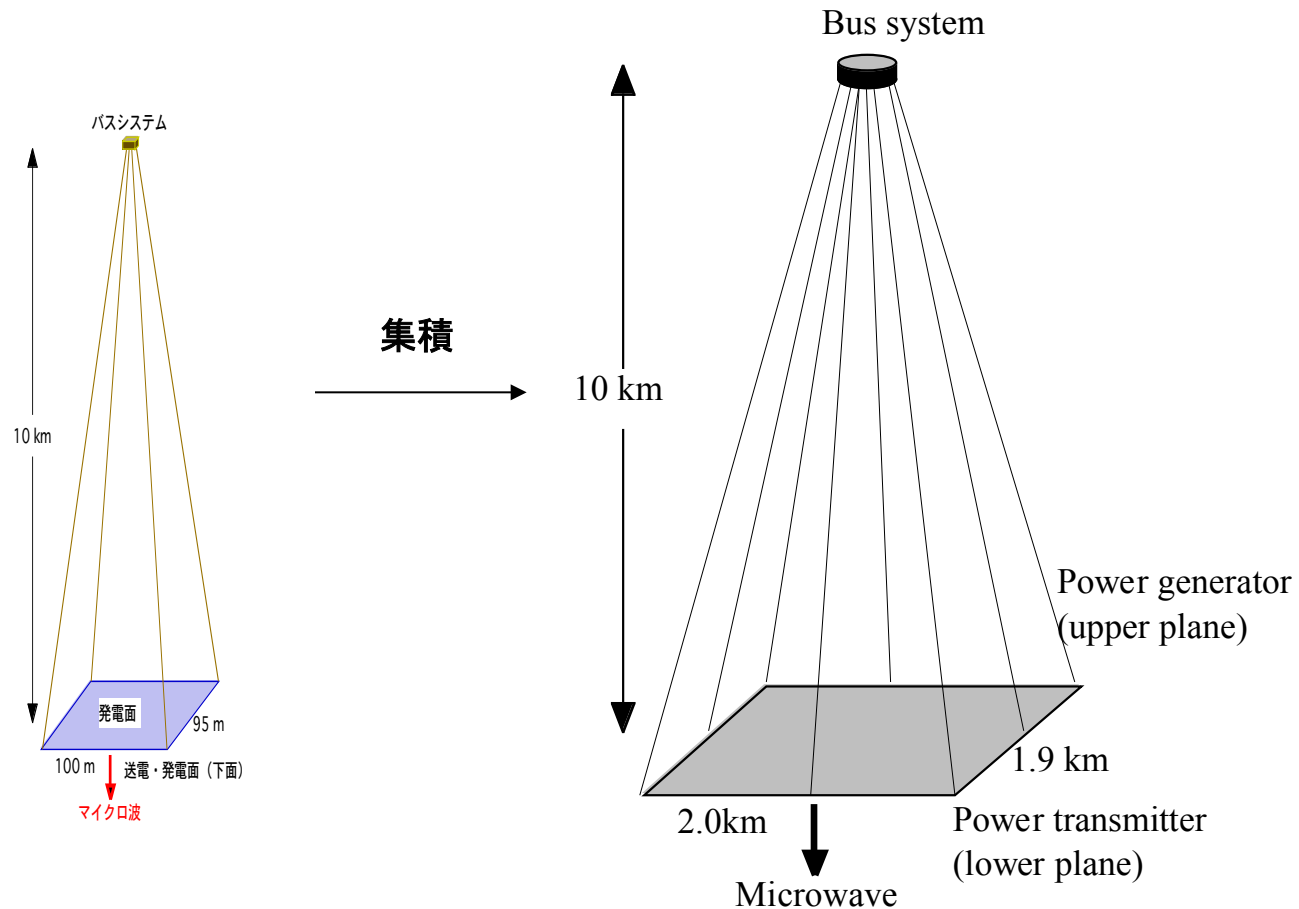
SPSシンポジウム
2005年9月

テザー太陽発電衛星の基本単位〔ユニット〕

全重量:	42.5 MT
パネル重量:	40 MT
バスシステム重量	2MT
マイクロ波出力:	2.2 MW
テザー長:	10 km
重力傾斜力($3mL\omega^2$):	0.337 N

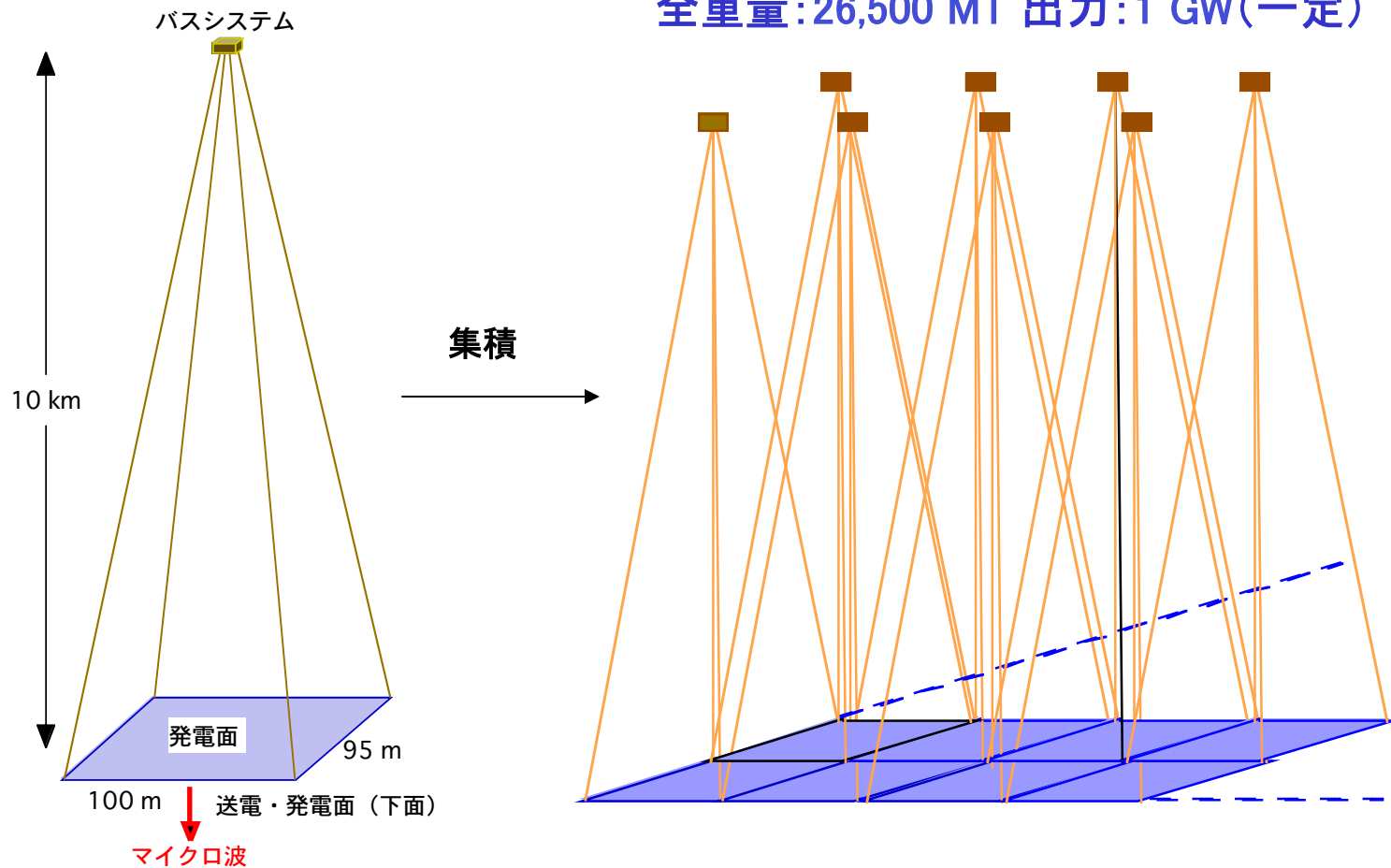


従来のテザーSPSのコンセプト(バス統合型)



新しいテザーSPSのコンセプト(バス分離型)

全重量: 26,500 MT 出力: 1 GW(一定)



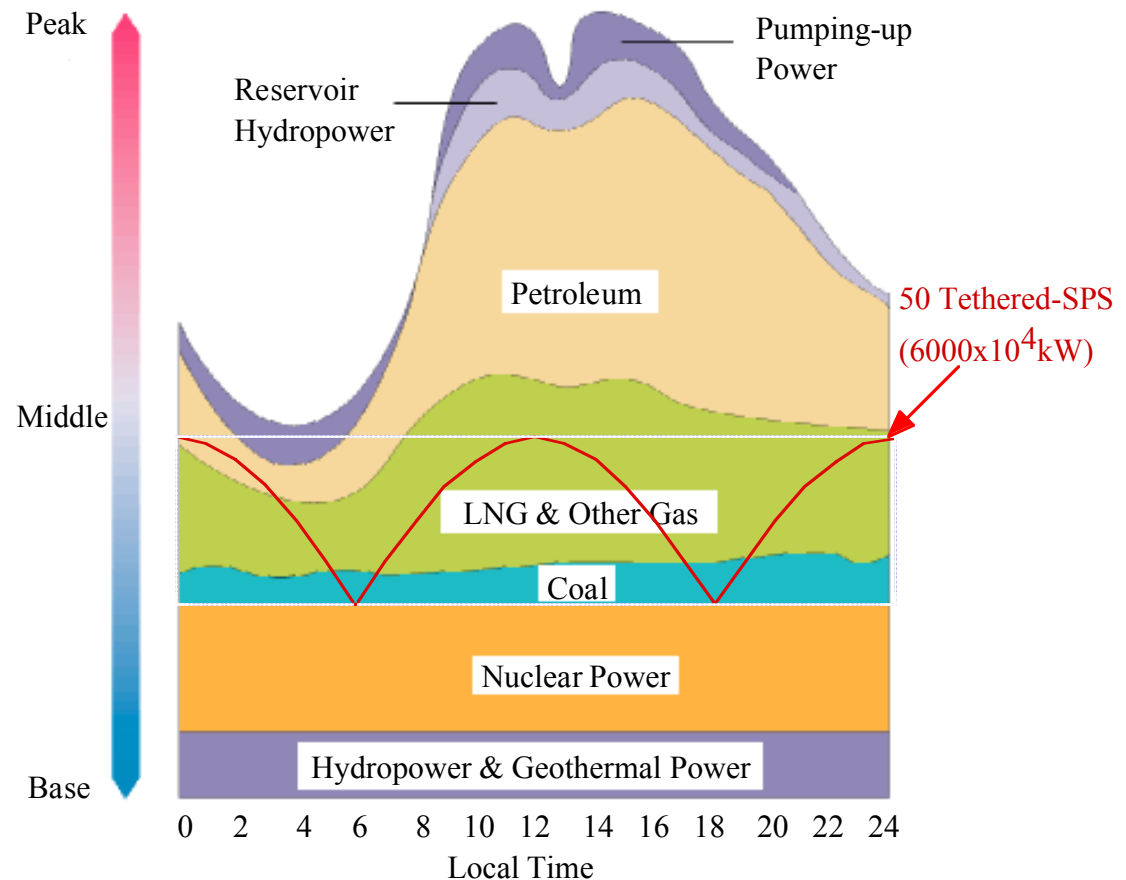


バス分離型テザー太陽発電衛星の主要性能（出力一定型）

システム構成 パネル寸法 テザー長	発送電一体型パネルを2500本のテザーワイヤーで吊り下げ 2.5 km x 2.375 km x 0.02 m 約10 km
全重量 パネル重量 バス部重量	26,500 トン 25,000 トン 1,500 トン
サブパネル パネル寸法 サブパネル総数	発送電一体型パネルを4本のテザーワイヤーで吊り下げ 100 m x 95 m x 0.02 m 625(25x25)
構造パネル 構造パネル数/サブパネル	10 m x 1 m x 0.02m 950(10x95)枚
モジュール 発電 送電 寸法 モジュール数/構造パネル	発送電機能 473 W max (1,350x0.35) 222 W一定 (473x0.95x0.97x0.6x0.85) 1 m x 1 m x 0.02 m 10
マイクロ波周波数 レクテナでの最終出力(DC)	5.8 GHz 1 GW(一定出力)

平板型テザー太陽発電衛星の変動電力に対する考え方

電力消費量は時間により大きく変化する。テザーSPSの発電量の時間変化は各種地上発電システムの混合の中で調整する。特にテザーSPSの全電力に占める割合が10%以下程度の初期段階であれば、容易に適合可能。



(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自然法則に従い安定な姿勢。

地心からの距離: H km

テザー長さ: L km (≥ 10 km)

パネル中心からの面外距離: D km

軌道高度での重力加速度: g (m/s^2)

バス部重量: m (kg)

重力とパネル面法線のなす角: θ

テザーとパネル面法線のなす角: α

バス部のパネル中心からのずれ: x km

テザーテンション: $T = 3Lmg/H$ (パネル部重量が

バス部重量よりはるかに大きい場合)

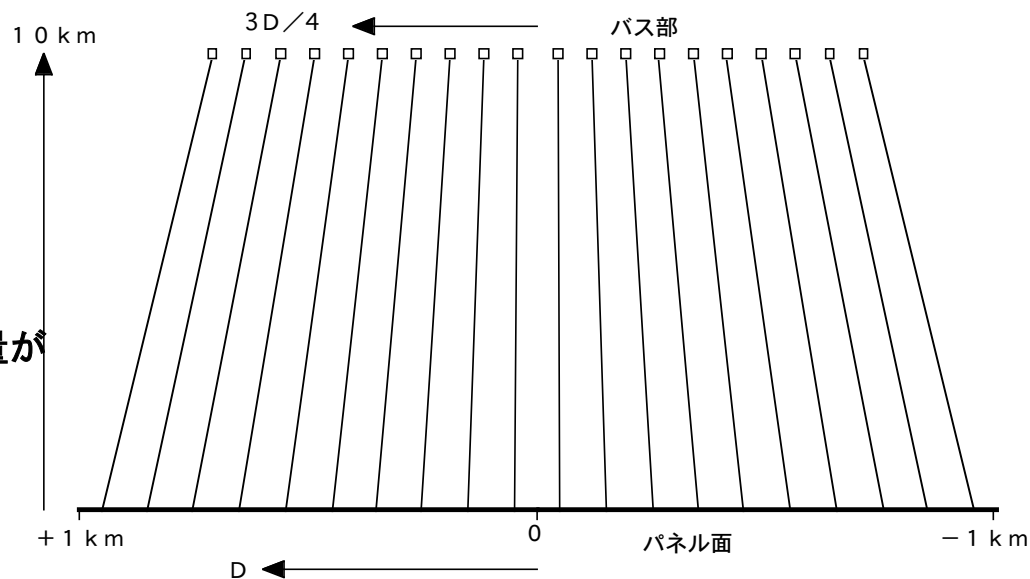
力の釣り合い: $T \cdot \sin \alpha = mg \cdot \sin \theta$

$\sin \theta = (D-x)/H$

$x = L \cdot \sin \alpha = (D-x)/3$ より $x = D/4$

各パネルの大きさを100mとすればバスの間隔は75mとなる

20枚パネル構成とすれば、最外バスは237.5m内側にずれる



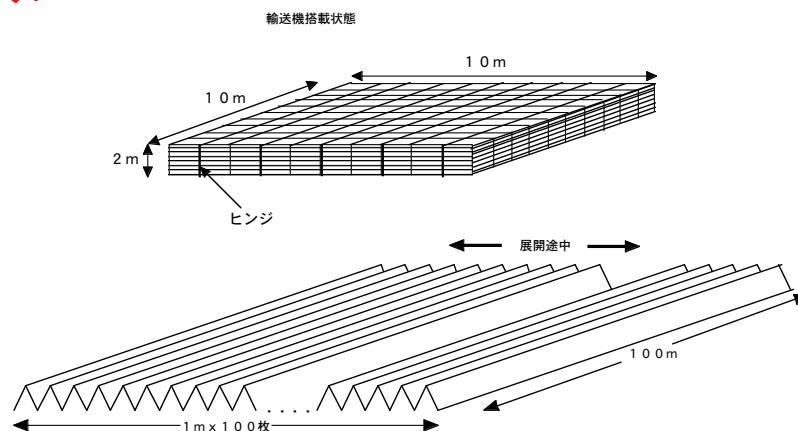
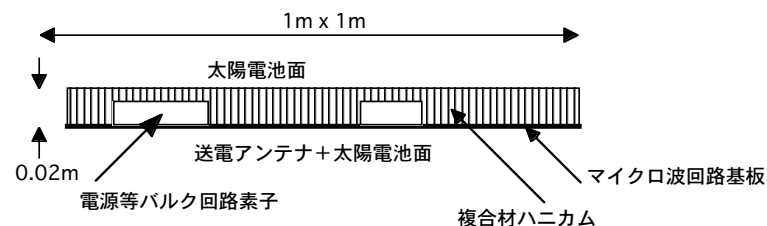
(2)モジュールは構造的にも電氣的にも全く同じなので低コストの大量生産が可能

発送電一体型パネル(電氣的にも構造的にも全く等価な多数のモジュールでパネルを構成)

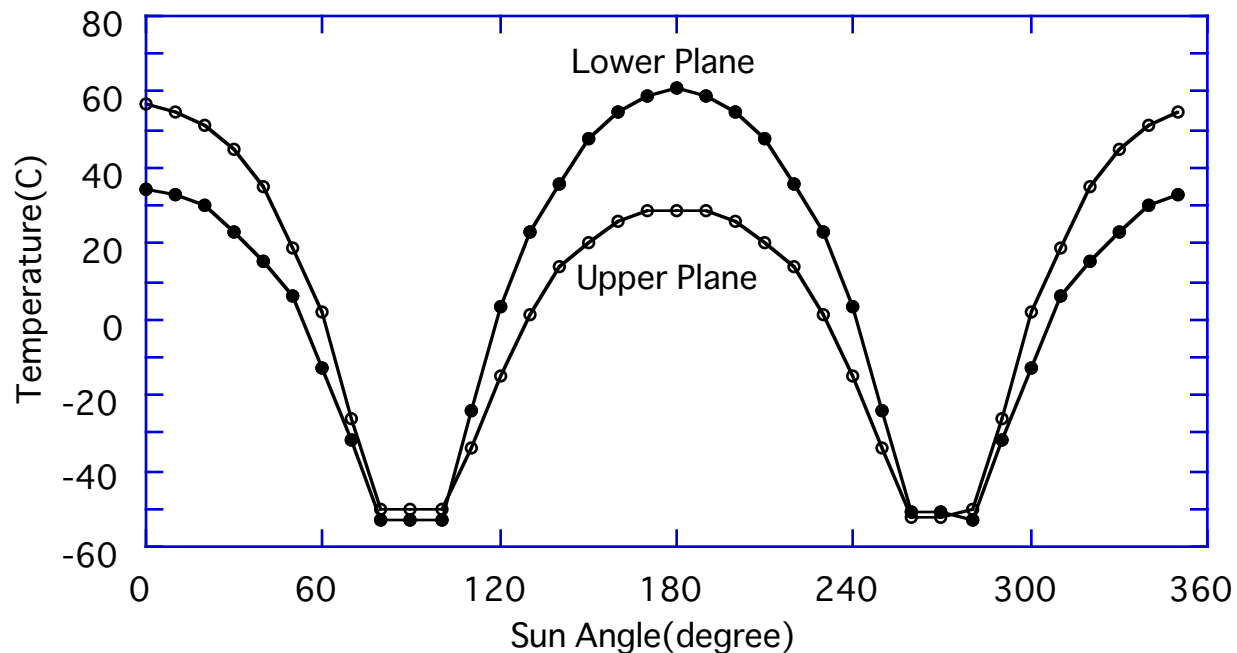
- パネル上面の太陽電池で得られた電力は下面のアンテナからマイクロ波として放射
- 全てのモジュールは無線LANで集中制御

⇒モジュール間には一切の電力、信号ケーブルのインターフェイスはない

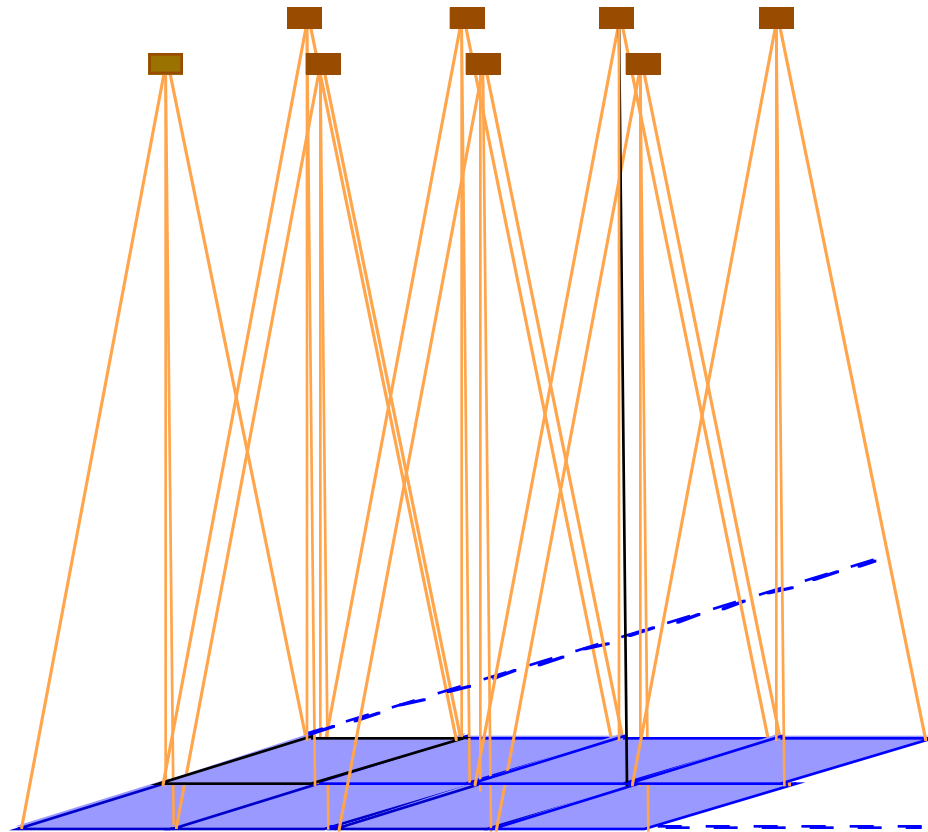
- 容易な取り付け、取り外し
- 電力システムとしてロバスト
- 製造、試験、品質管理が容易



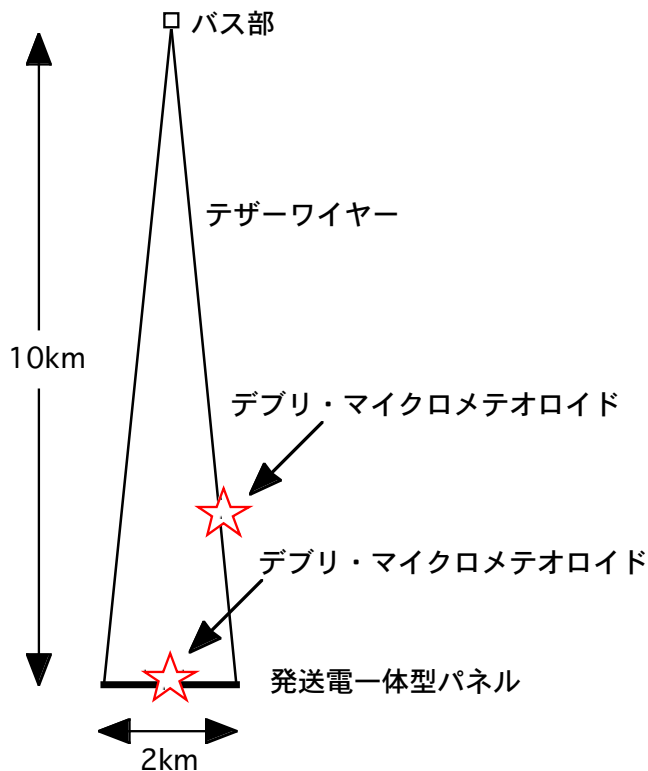
(3) 各モジュールで発生する熱は各モジュールからの常温付近での熱放射により排熱が可能で熱的な問題がない



(4) テザーSPSは構造的にも電氣的にも全く同じなのでテザーSPS単位での交換が可能。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。



平板型テザー太陽発電衛星へのデブリ・マイクロメテオロイド衝突頻度



パネルへの衝突頻度

10cm以上
1cm以上
1mm以上

200年間に1回

1年に1回

**30年間で12
モジュールに1回**

テザーへの衝突頻度

1mmのワイヤ
10mm幅テープ

3年で全て切断

30年で1%の本数が切断

パネルでの対策

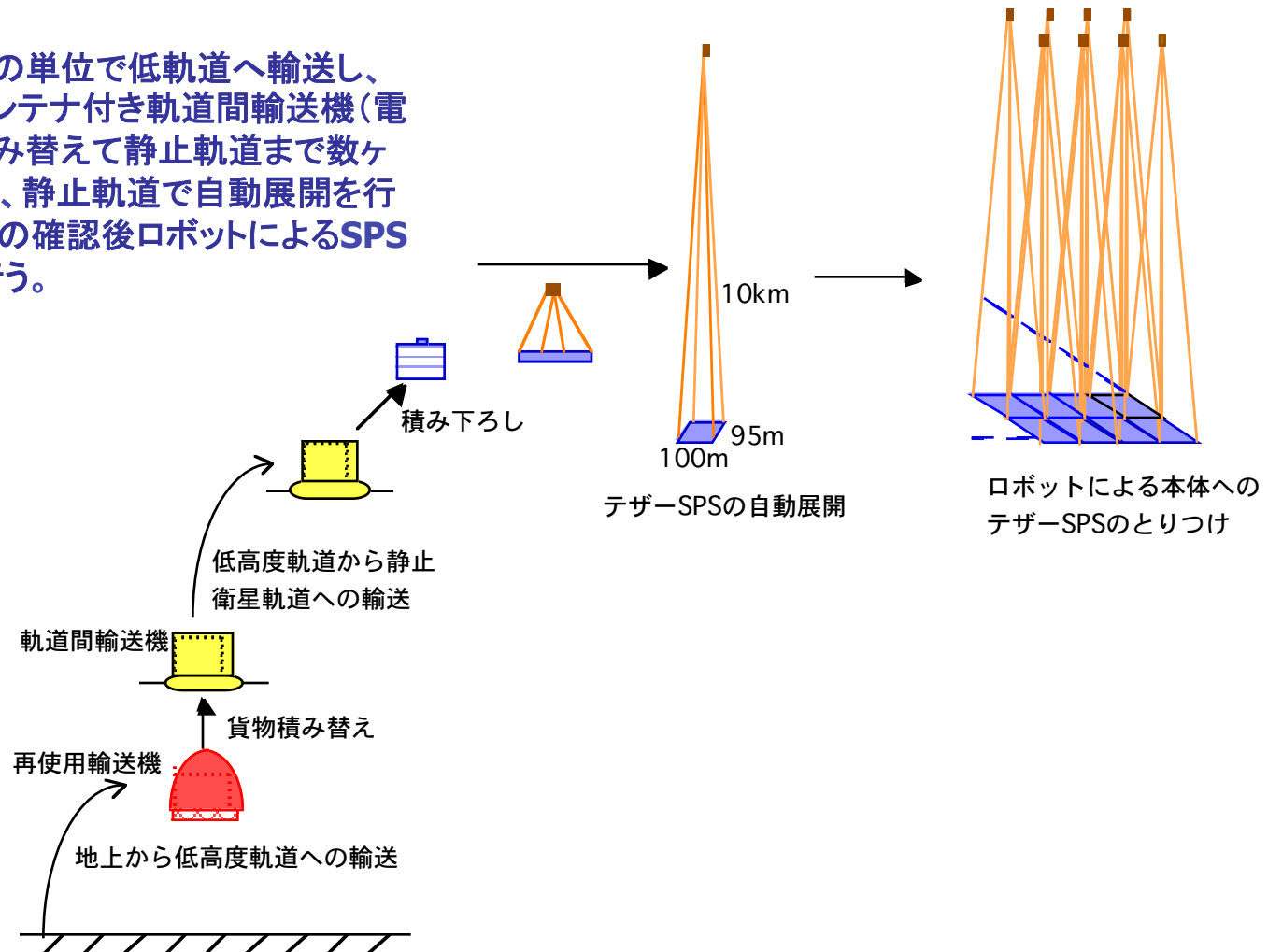
- ・1cm程度の物体の衝突では影響を1モジュール(1mx1m)以内に止める。
- ・1mm程度以下の微粒子の衝突の影響はモジュール内のユニット単位(0.1mx0.1m程度)で止める。

テザーでの対策

- ・1600本中1%程度の本数のワイヤーの切断は許容するよう設計。現設計では最外周頂点4点は1本だが、最外周96点は2本、内部の576点は4本の冗長となる(全部で2500本)。

(5) 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が可能。

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本体への結合を行う。



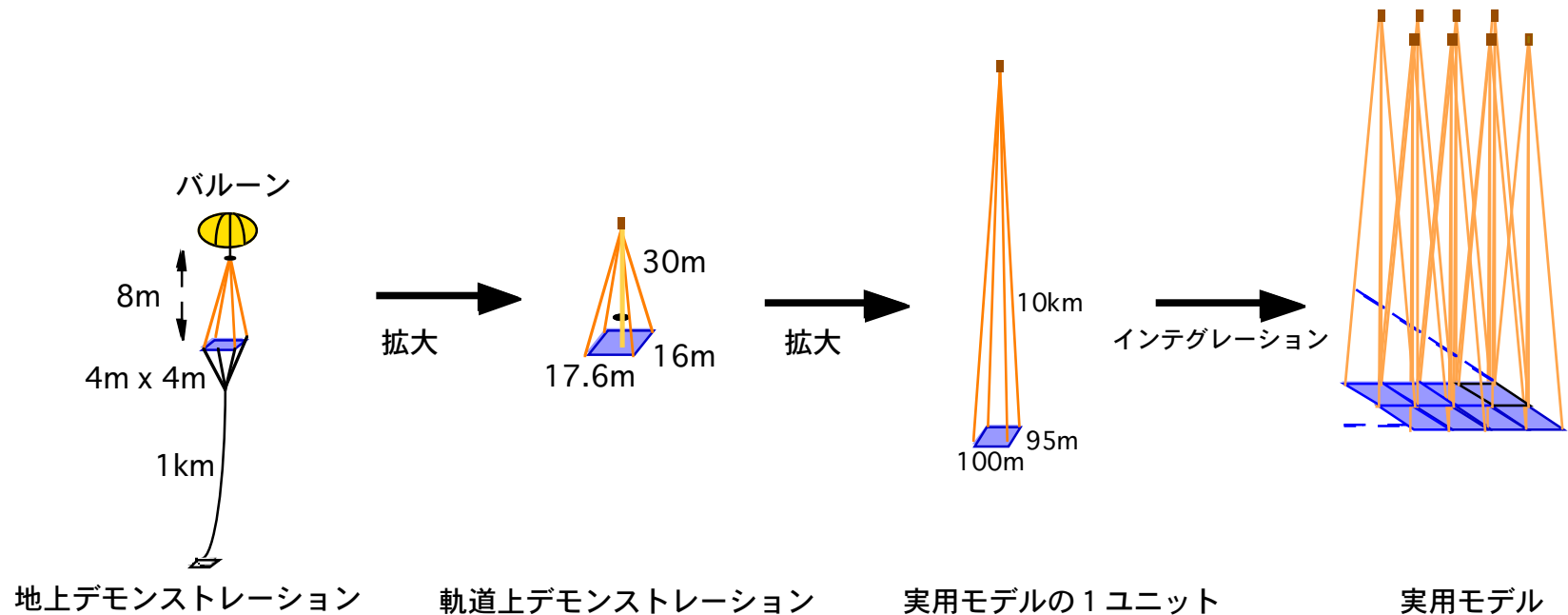


イオンスラストOTVによる静止衛星への輸送

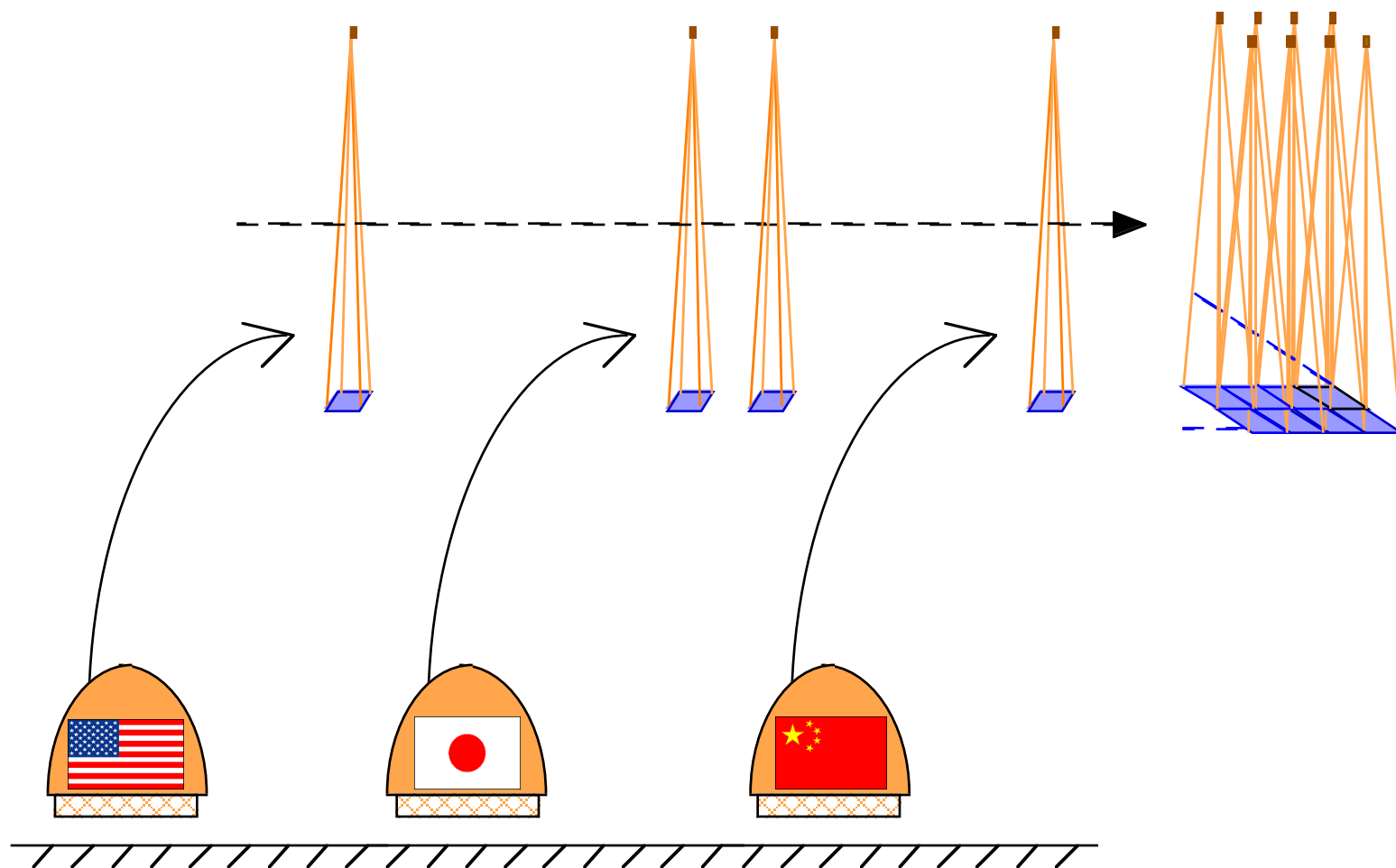
ペイロード重量 50ton、比推力3000秒、推進薬アルゴン、電源比重量10kg/kW、スラスト比重量2kg/kW

輸送期間	LEO軌道傾斜角	構造重量	総重量(初期)	推力
4 months	0°	50 ton	128 ton	52.5 N
4 months	30 °	50 ton	139 ton	73.2 N
4 months	0 °	100 ton	192 ton	78.7 N
4 months	30 °	100 ton	209 ton	110.0 N
8 months	0 °	50 ton	121 ton	24.8 N
8 months	30 °	50 ton	129 ton	33.9 N
8 months	0 °	100 ton	182 ton	37.2 N
8 months	30 °	100 ton	193 ton	50.9 N

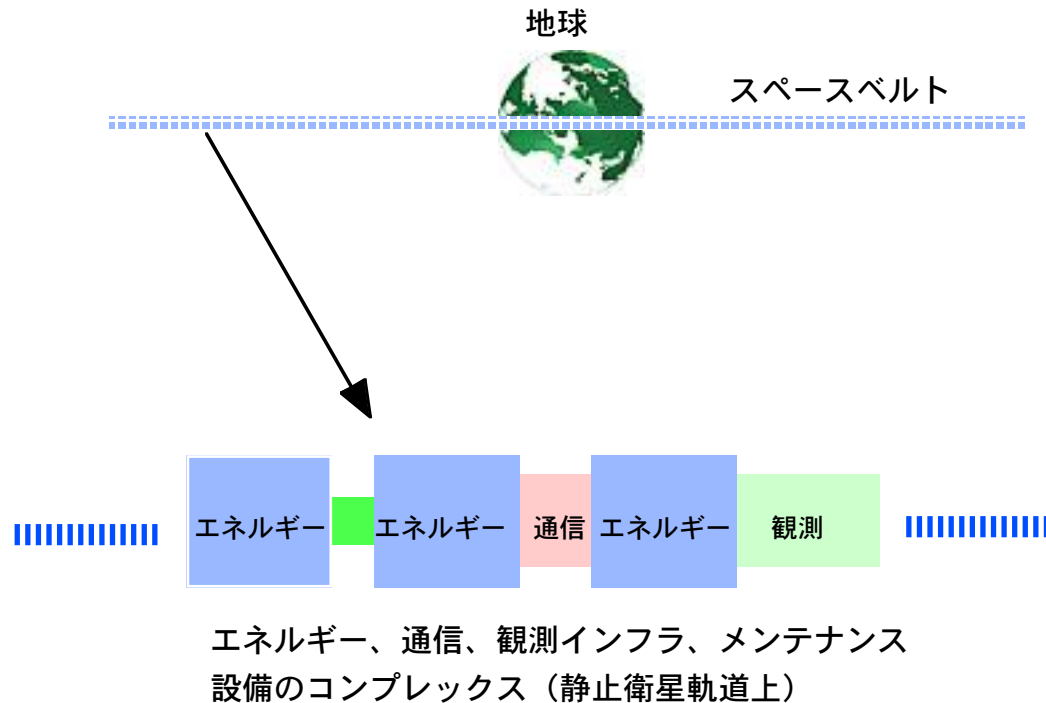
(6) 1基のテザーSPSのスケールモデルのミニチュア版(20m規模のパネル)で近未来に軌道上実証実験を行い、スケールアップして実用型に発展させるという技術的に継続性のあるロードマップの設定が可能



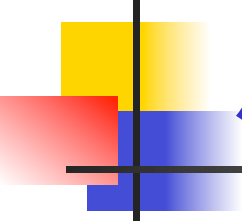
(7) 1基のテザーSPSは2MW, 20億円規模であり、建設に当たって資力とエネルギー事情に応じた各国間の分担投資、会社間の分担が容易



(8) 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可能

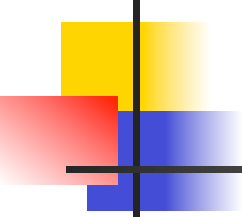


地球上の全ての一次エネルギー(13000 GW)を出力一定型のテザーSPSでまかなうとしたら全長32,500kmとなり、スペースベルト全周の14%を占めることになる。



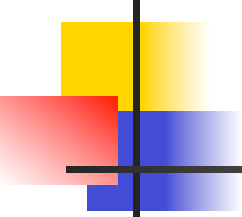
バス分離型テザーSPSの技術的課題

1. 分離したバス同士の干渉が発生しないためのコンフィギュレーション検討(ユニットの大きさ・テザー長の検討)
2. 各モジュールのマイクロ波原振の位相同期の方法(バス同士の同期と各バスとパネル上モジュールの同期の階層化)
3. 微小テンションテザーの伸展方法とダイナミクスの検討
4. 100mx100m(200mx200m)サブパネルの自動展開方法
5. サブパネル同士のラッチ・アンラッチ方法
6. 建設途上での姿勢安定性の確保(サブパネル接続の順序)
7. 軌道維持方法(推進器の方式・位置と動作時のダイナミクス)
8. マイクロ波の一樣放射の場合の電磁干渉[テーパーをつけた場合よりサイドローブが大きい]



テザーSPS（出力1GW）が成立するための技術的前提

事項	コスト・性能	最終目標	近未来の目標	現状	備考
太陽電池	コスト	50 円/ W	100 円/ W	数百円/ W	at 1 kW/ m ²
	効率	35 %	20～25 %	10～20 %	
	重量比	2 W/g	1.5 W/g	1 W/g	薄膜、ベアであれば既に 5W/gのものあり
マイクロ波 回路	コスト	100 円/ W	500 円/ W	1000～10,000 円/W	
	効率	85 %	60 %	40 %	
	重量比	0.1 W/g	0.02 W/g	0.01 W/g	
蓄電	コスト	10 円/Wh	50 円/Wh	100 円/Wh	
	重量比	2 Wh/g	1 Wh/g	0.2 Wh/g	
	充放電効率	90 %	85 %	70～80 %	DOD 50 % 寿命充放電3万回(40年)
輸送コスト	重量比(打ち上げ)	10,000 円/ kg	500,000 円/kg	1,000,000 円/ kg	
	重量比(軌道間輸送)	5,000 円/ kg			打ち上げコストの50 %
レクテナ	コスト	50 円/ W			
	効率	85 %	75 %	50～70 %	



まとめ:テザー太陽発電衛星による諸問題の解決

問題点	問題の内容	T-SPSによる問題の解決
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 超電導ケーブル	非現実的なケーブル重量 超電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補遺車線劣化が不可避	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