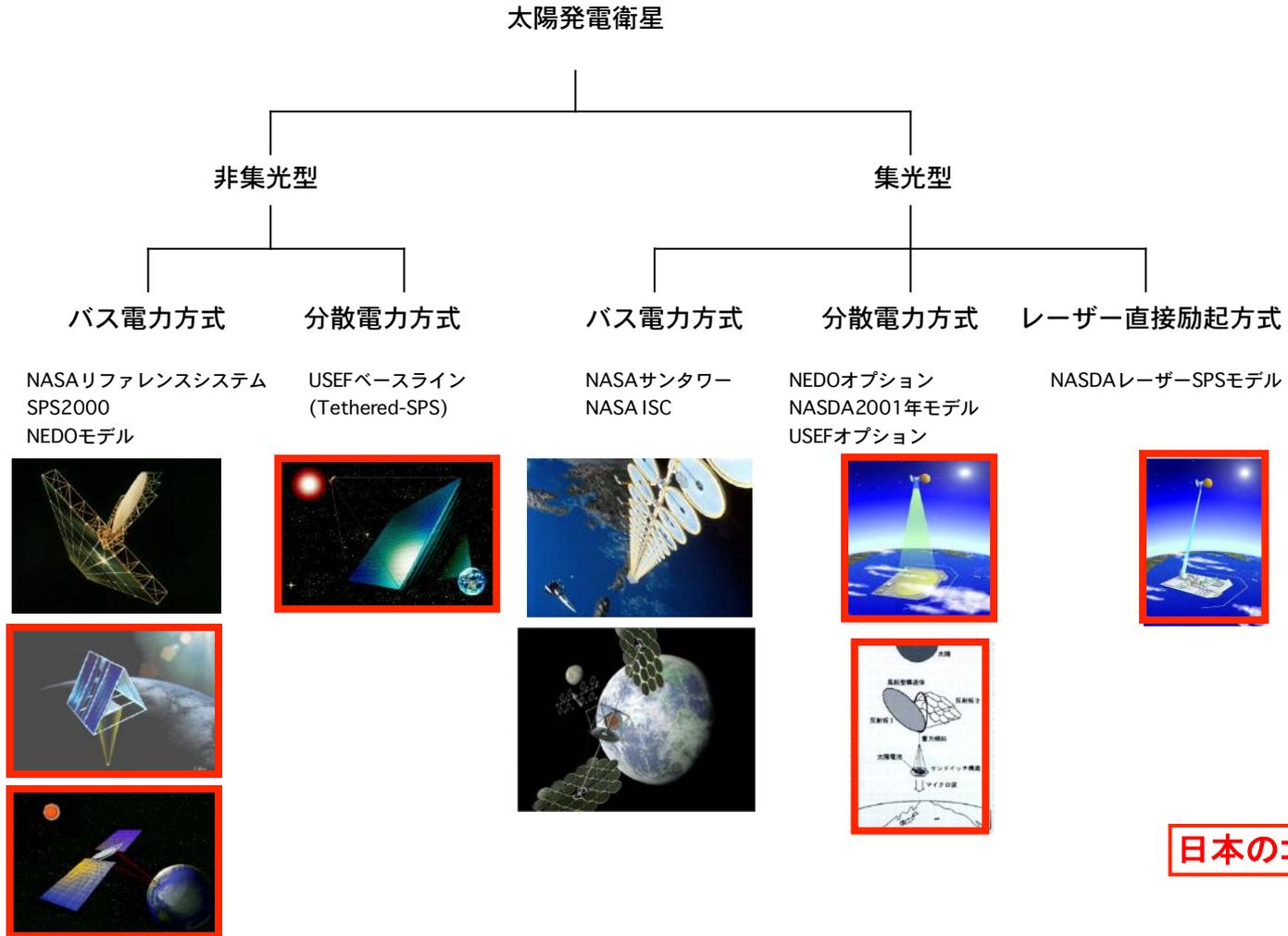


マルチテザー型SPSの紹介

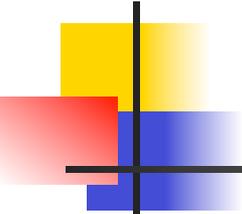
- ・マルチテザーSPSのコンセプト
- ・主な特性
- ・関連する技術的課題

第11回SPSシンポジウム
2008年9月

太陽発電衛星の分類



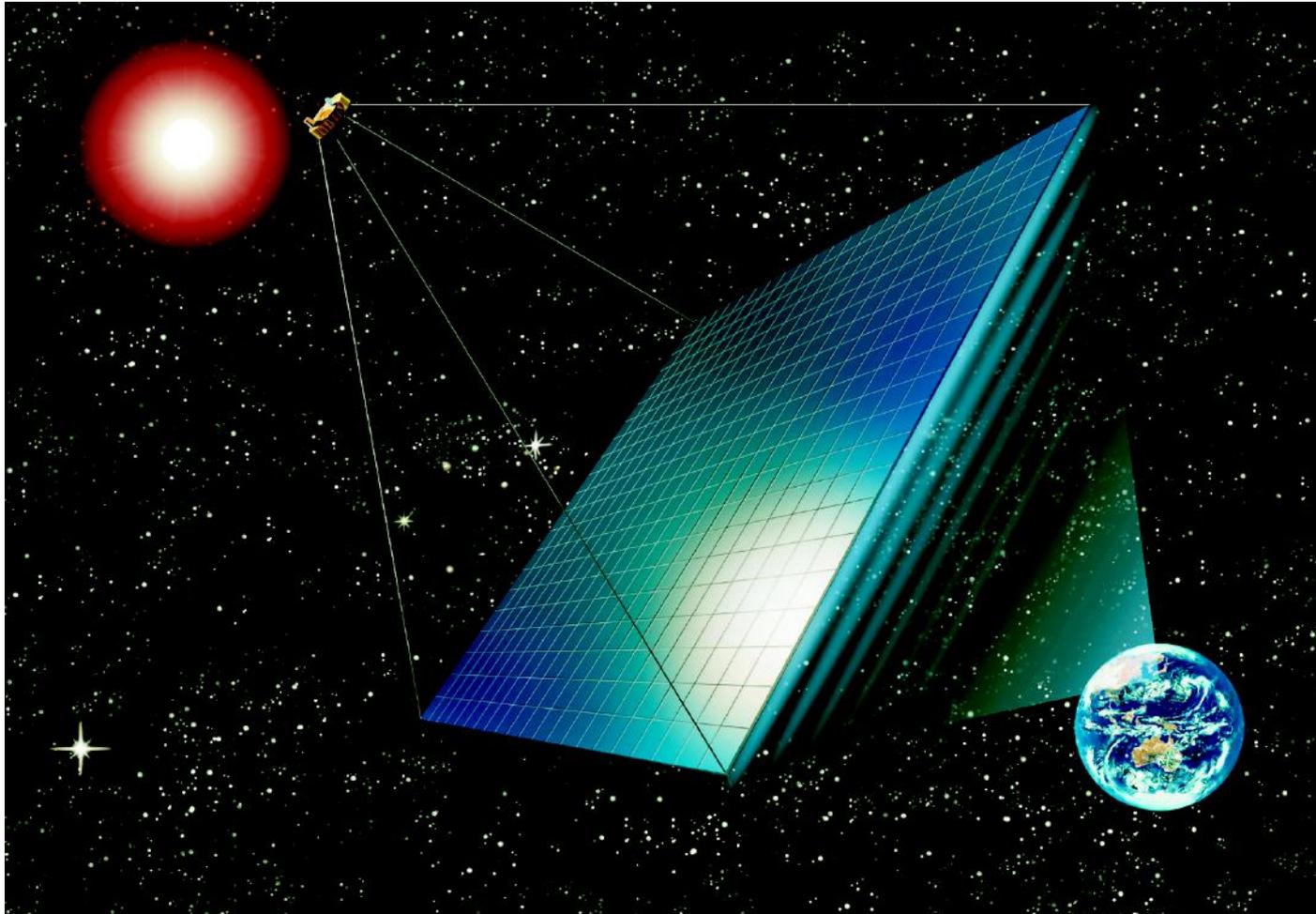
日本のコンセプト



これまでのSPSの課題

問題点	問題の内容
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
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.
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
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
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
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

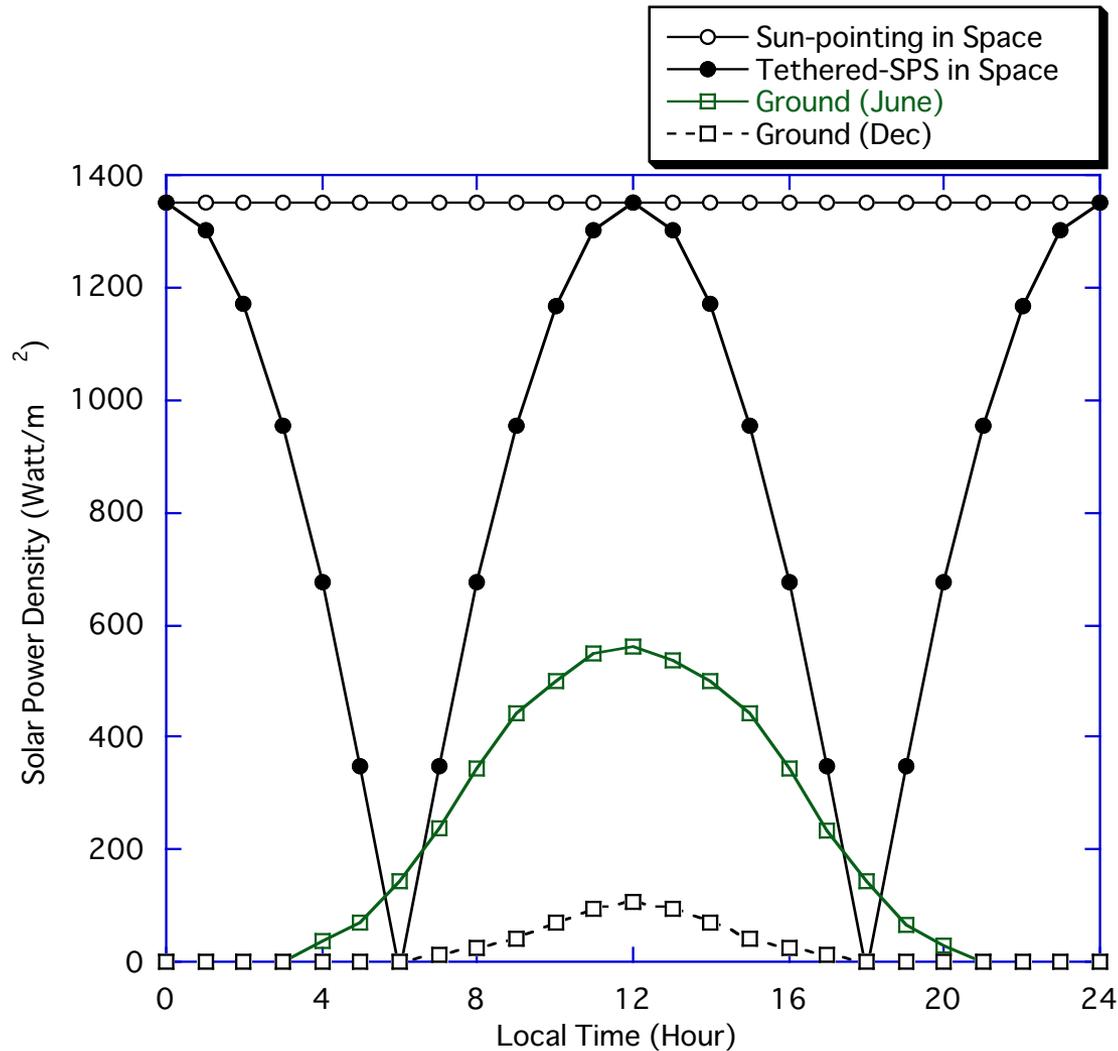
平板型テザー太陽発電衛星イメージ図(バス一体型)



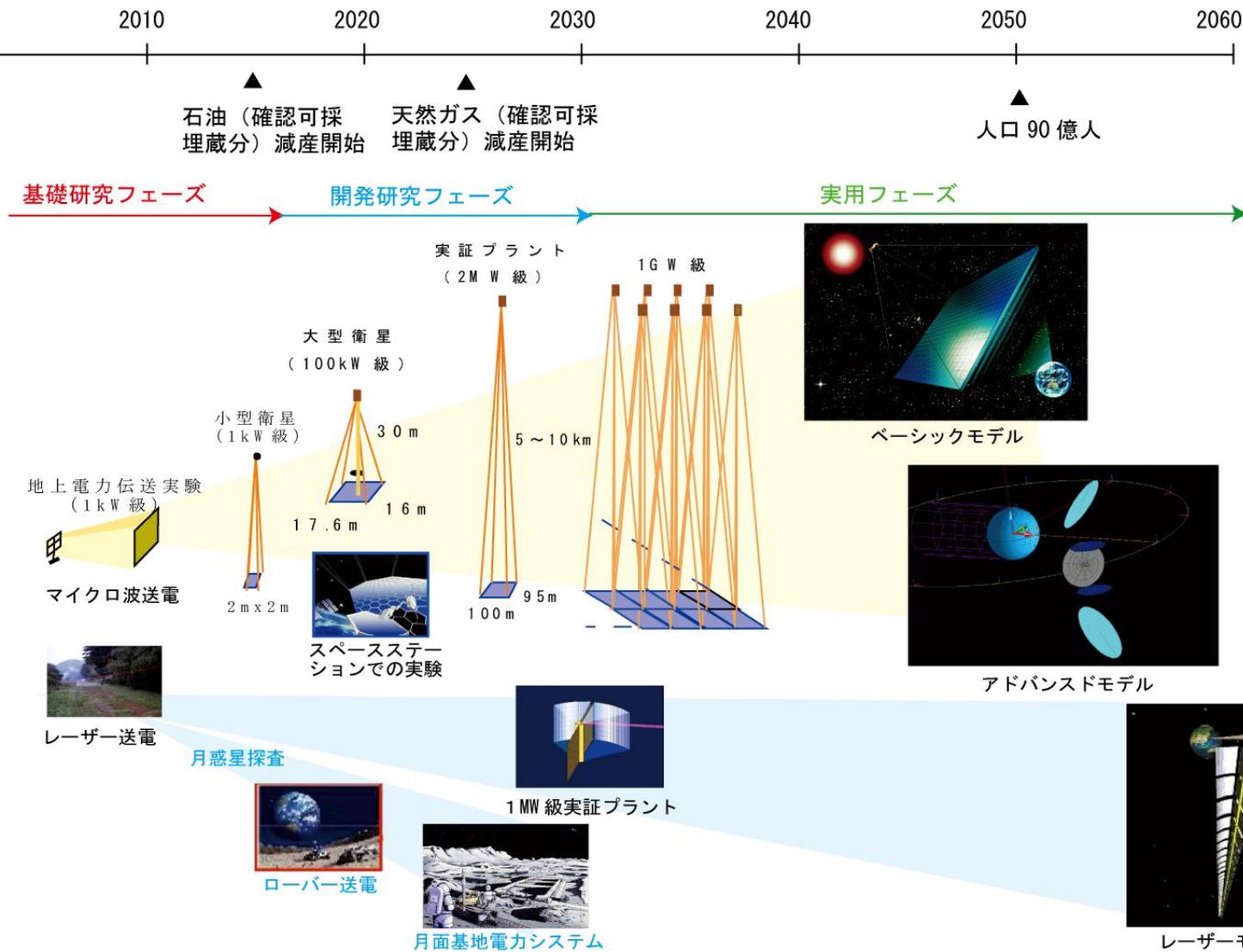
平板型テザー太陽発電衛星による問題の解決

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

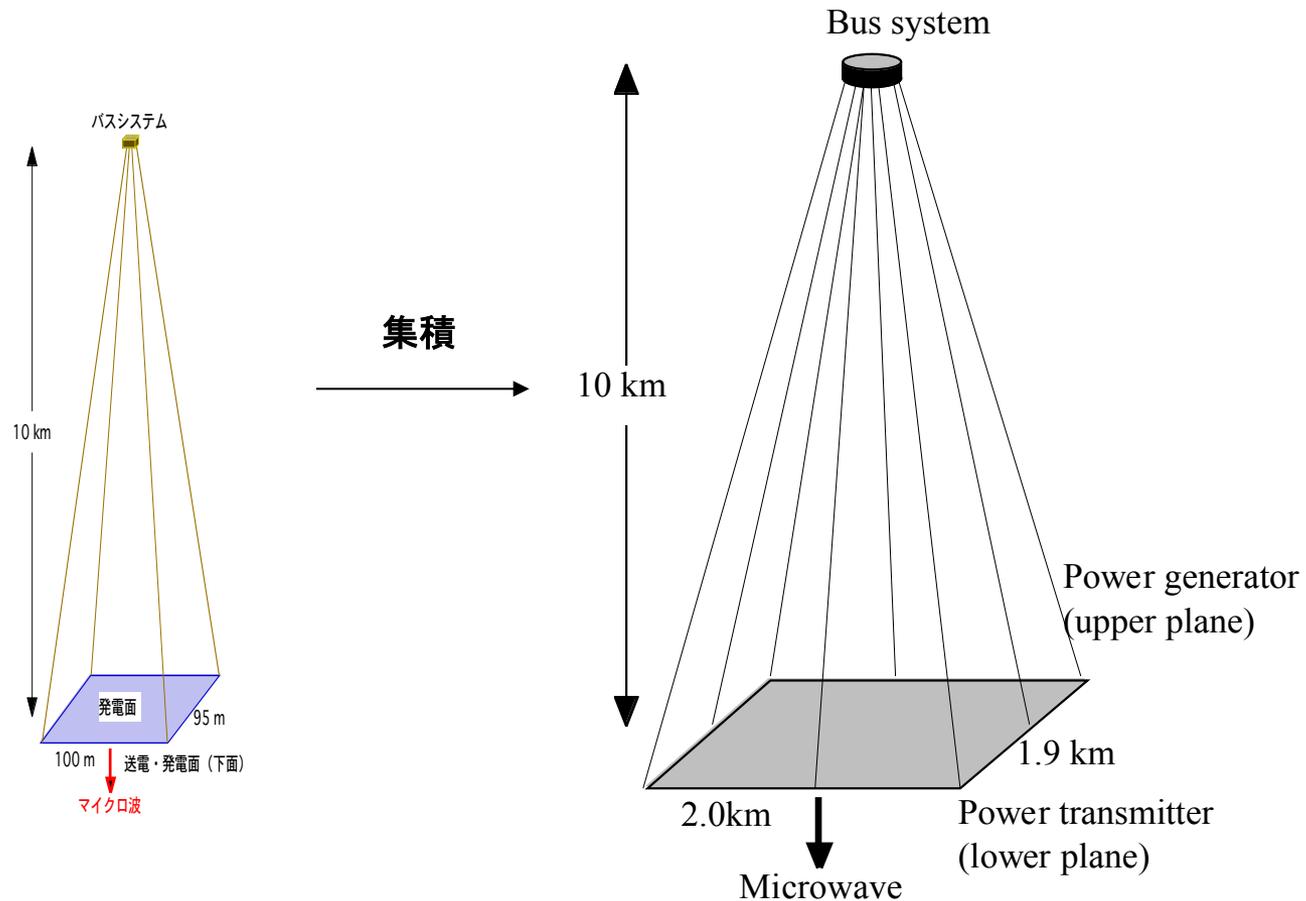
平板型テザー太陽発電衛星の特性の比較



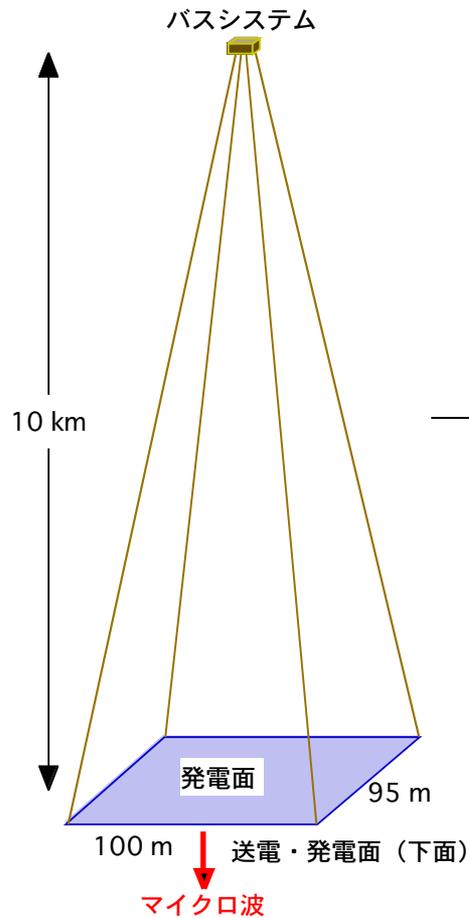
SSPS研究開発ロードマップ(検討中)



従来のテザーSPSのコンセプト(バス統合型)

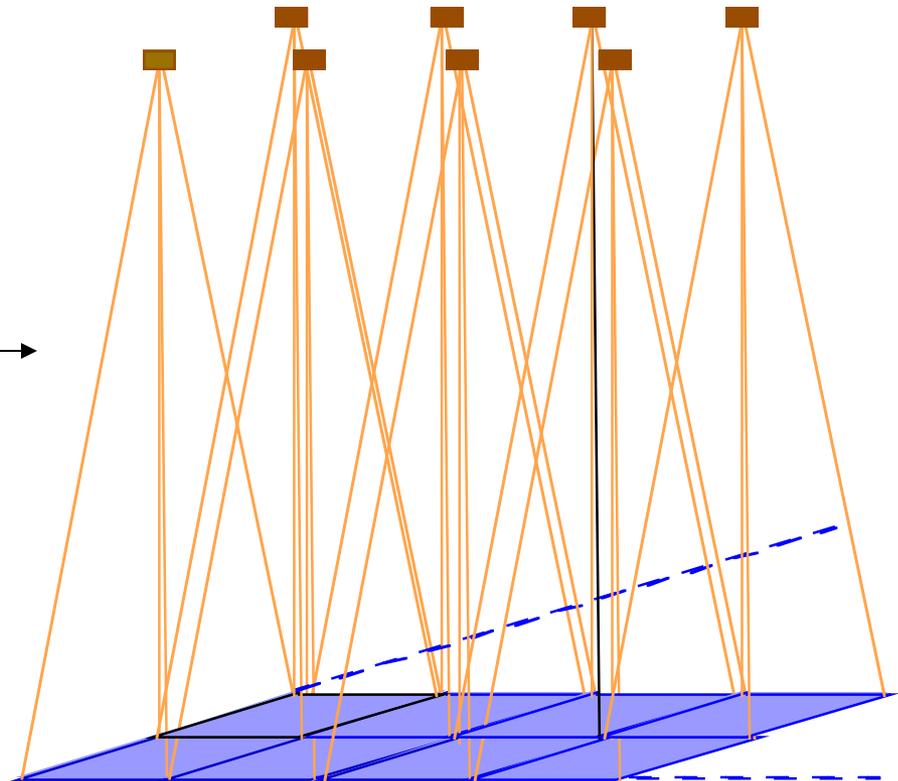


新しいテザーSPSのコンセプト(バス分離型)



集積

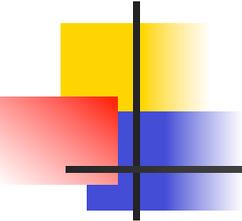
全重量: 26,500 MT 出力: 1 GW(一定)





平板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 (1,350x0.85) 222 W一定 (473x095x0.97x0.6x0.85) 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)



バス部統合型とバス部分離型SPSの比較

事項	バス部統合型	バス部分離型
バス部干渉	なし	可能性あり
ダイナミクス	安定。	条件付き安定。安定な平衡のためには、バス部の位置に制約あり
組み立て運用及びメンテナンス	ユニットの取り付け・取り外しのパターン数は189。	階層化により単純化。サブパネルの組み立てパターン数 5+サブパネル内ユニットの取り付け・取り外しパターン数 5
汎用性・拡張性	有り	高い

テザーSPSの特性(高い姿勢安定性)

(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。

大型構造物にとっては必ずしも無重量ではない。
大型構造物に働く力(重力勾配力)
低高度軌道では1トン10kmで約50N



スペースシャトルで行われた20kmの紐付き衛星伸展実験。
重力勾配力により紐がピンと張ることが確認できた。

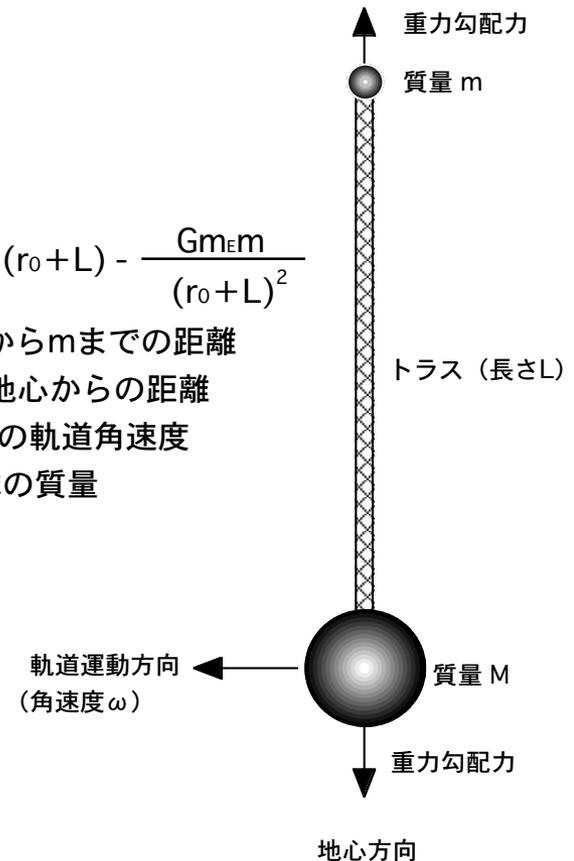
$$T = m\omega^2(r_0 + L) - \frac{Gm_E m}{(r_0 + L)^2}$$

L: 重心からmまでの距離

r_0 : mの地心からの距離

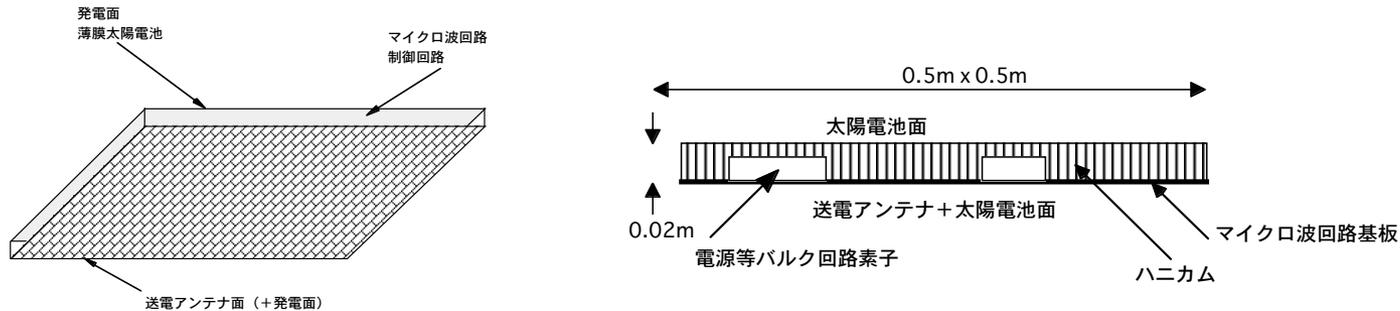
ω : 重心の軌道角速度

m_E : 地球の質量

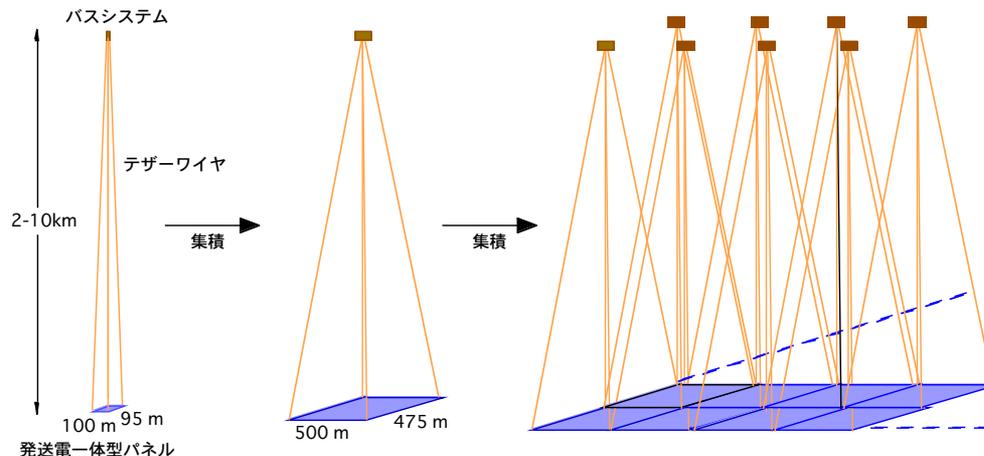


テザーSPSの特性(大量生産可能なモジュール構成)

(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。

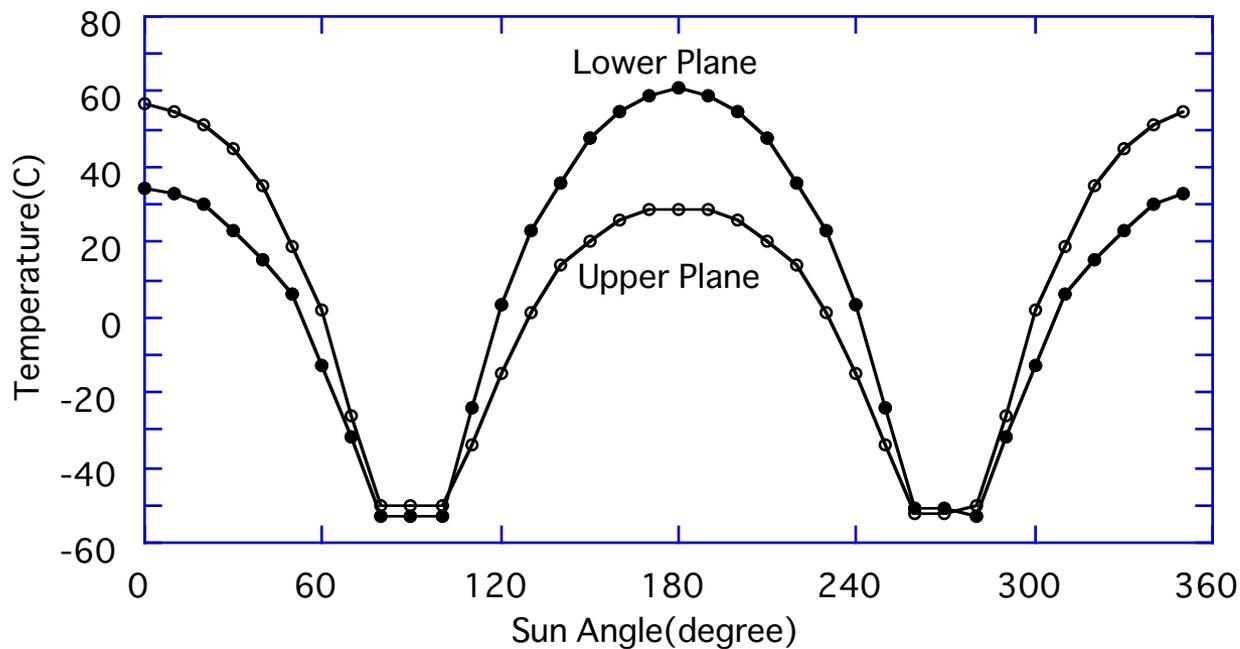


(3) テザーSPSユニットは構造的にも電気的にも全く同じなのでテザーSPSユニット単位での交換が可能。このため故障に対しロバストであり、メンテナンスが容易。また完成後も必要に応じ電力増強が可能。



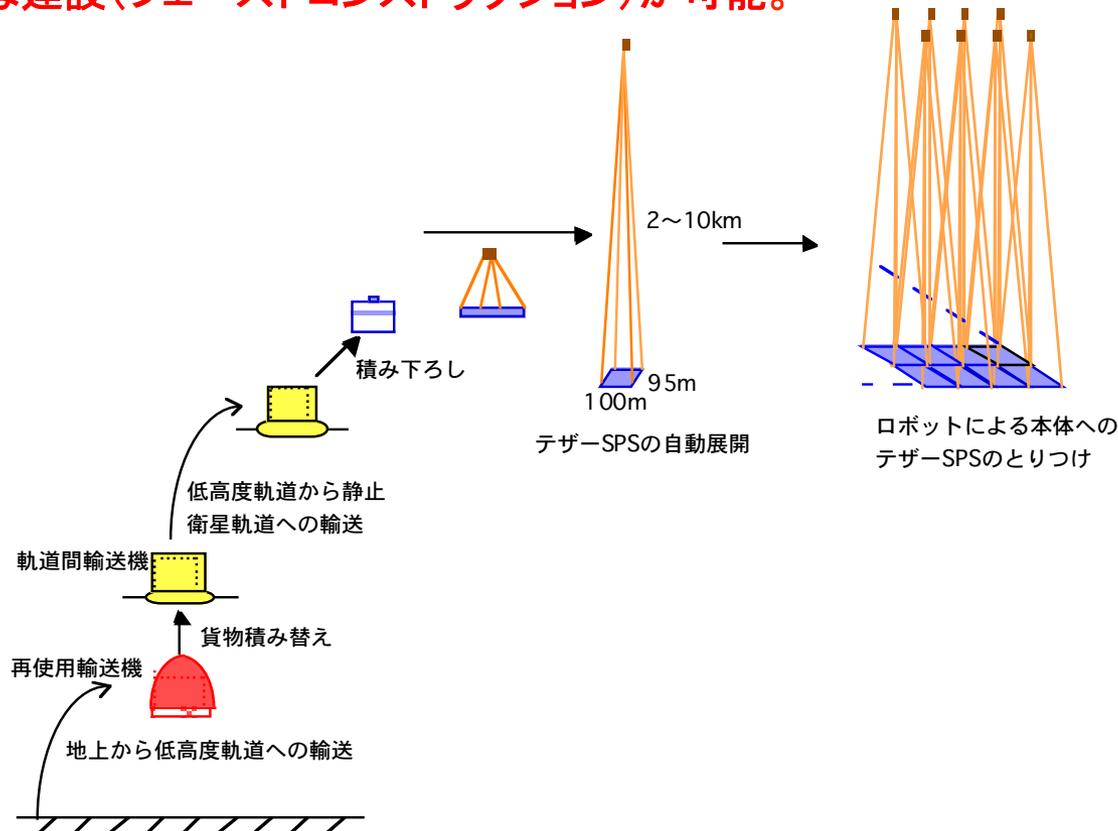
テザーSPSの特性(高い熱的成立性)

(4) 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。



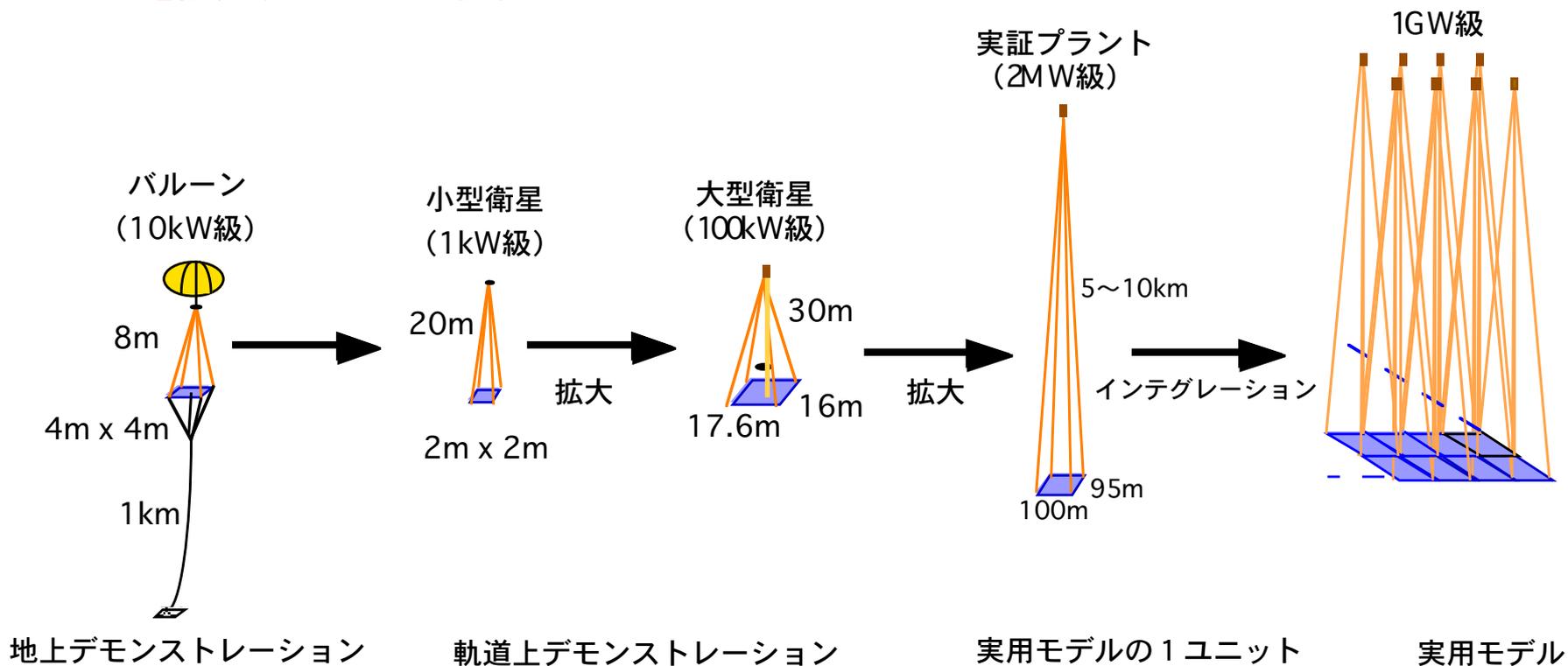
テザーSPSの特性(無人で建設可能なシナリオ)

(5) 1基のテザーSPSユニットを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。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数ヶ月かけて輸送。静止軌道でテザー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ロボットでSPS本体への組み付け。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。



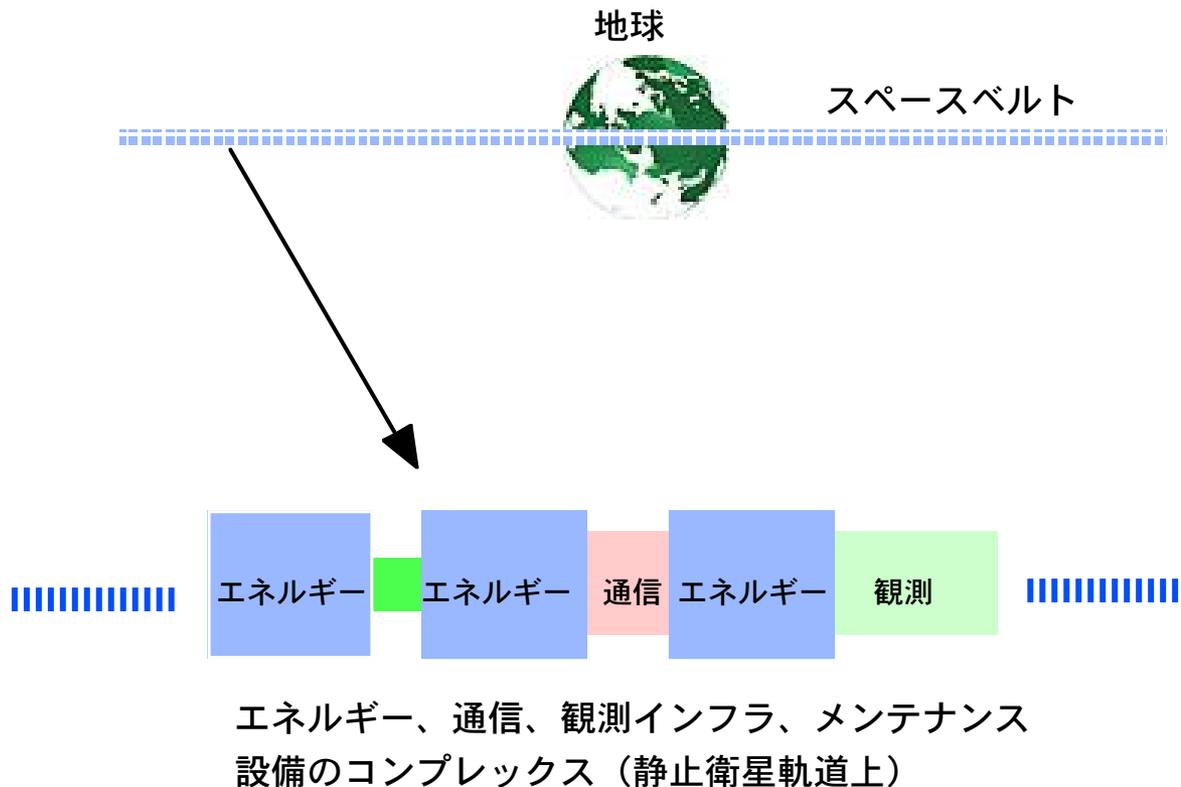
テザーSPSの特性(継続性のあるロードマップ)

(6) 1基のテザーSPSユニットのミニチュア版(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一貫した開発のロードマップを設定することが可能。



テザーSPSの特性(軌道資源の有効利用)

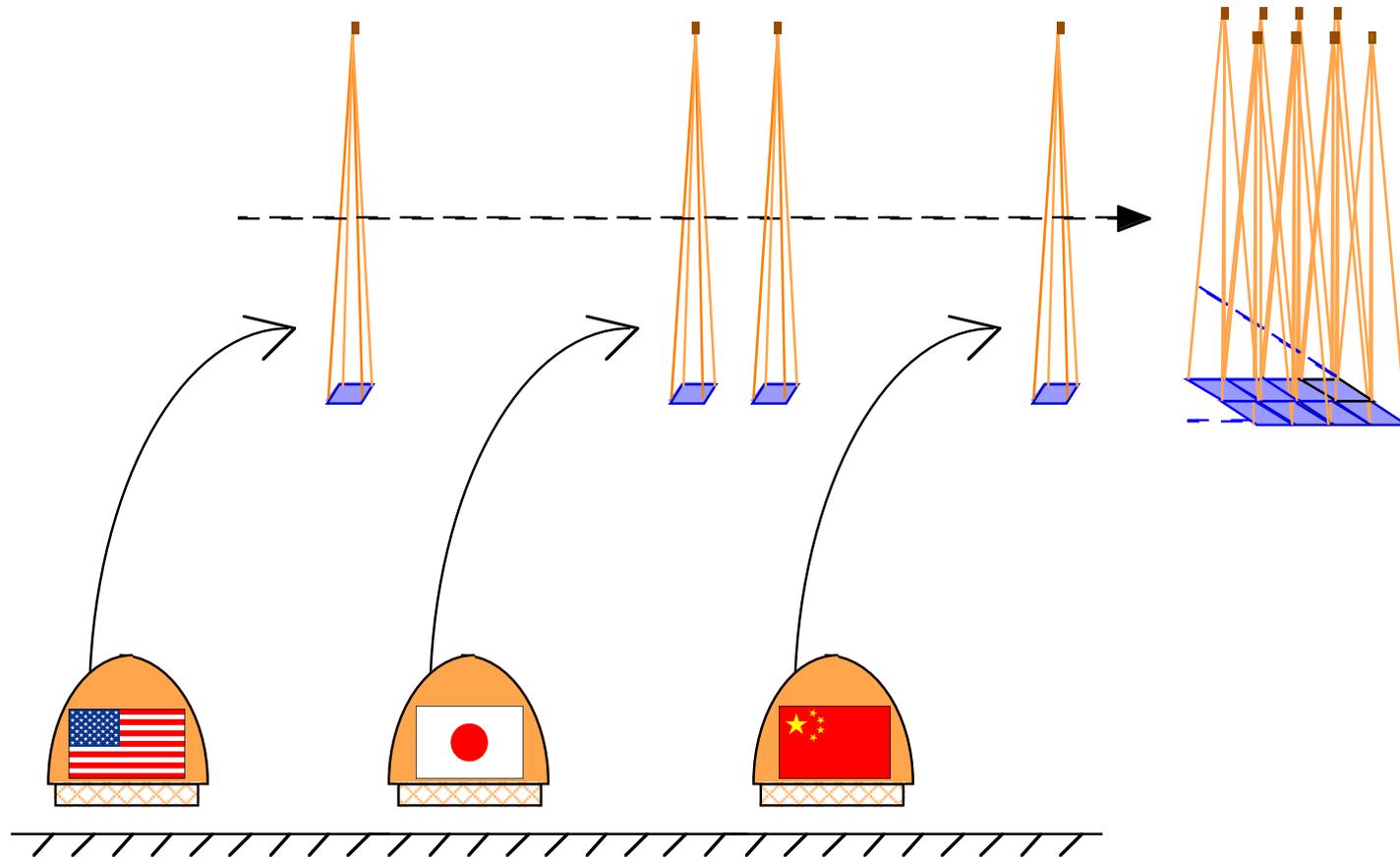
(7) 他の通信インフラ、地球観測インフラも同じ形状のテザーパネルで統一することにより、異なる機能のパネル接続が可能となり、静止衛星軌道を有効に利用することが可能(スペースベルト構想)。

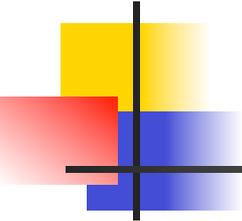


地球上の全ての一次エネルギー(13000 GW)を出力一定型のテザーSPSでまかなうとしたら全長32,500kmとなり、スペースベルト全周の14%を占めることになる。

テザーSPSの特性(共同開発組織間のクリーンインターフェイス)

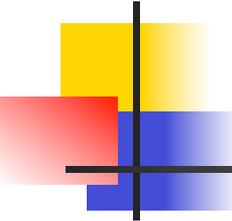
(8) 1基のテザーSPSユニットは2MW規模であり、建設に当たって資力とエネルギー事情に応じた各国間の分担投資、会社間の分担が容易。





テザーSPSを成立させるために必要な技術レベル

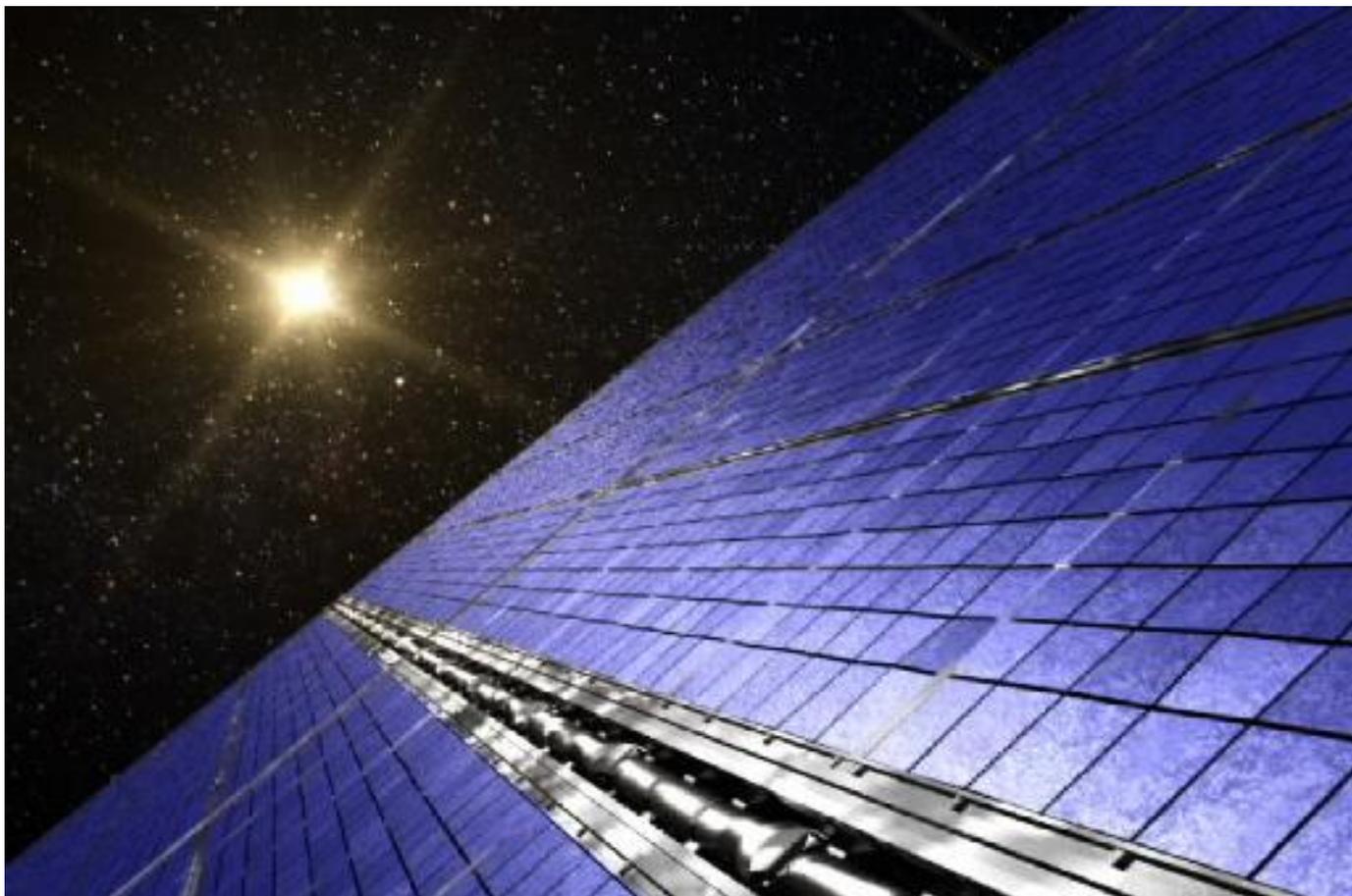
太陽電池技術	発電効率35%, 2kW/kg, 0.5kW/m ² , 50円/W
マイクロ波送電技術	効率85%, 10g/W, 100円/W, 静止衛星軌道から3.5km径のレクテナへ90%の効率で電力を送るマイクロ波制御技術
蓄電技術	1kWh/kg, 10円/Wh, 充放電効率90%, DOD50%, 充放電寿命30,000回
マイクロ波受電技術	効率85%, 50円/W
輸送コスト	15,000円/kg(地上から低軌道、低軌道から静止軌道衛星)



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. マイクロ波の一様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]

太陽発電衛星のデモンストレーションCG



製作：首都大学東京 藤井裕矩教授(現 神奈川工科大学、日本大学)