
平成28年度太陽光発電無線送受電高効率化の研究開発
発送電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデル
研究開発ロードマップ

2016年度改訂版

平成29年3月

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

1. ロードマップ改訂の考え方

H19年度に策定した現行のロードマップについて、現実の開発状況に遅れがあることから現状を踏まえてロードマップを改訂することとし、以下のとおり検討を行った。

- マイクロ波送電による発送電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデルの実用システムの構想について、そのシステム及び構成する技術要素について再確認し、現時点では構想自体は見直さないこととした。
- その上で、将来にわたり着実に技術開発を進めていくため、実用システムに到達するまでの過程に段階的にマイルストーンとなる実証試験を設定し、その段階で開発目標とする技術項目や水準を検討した。
- その結果、当面の開発目標となる地上での実証試験は、「地上実証(垂直)」と「長距離実証」を設定した。宇宙での実証にはまだ時間があり、現時点で実証方法を絞り込むことは現実的ではないと判断し、想定されるイメージとして複数案を記載した。
- また、宇宙太陽光発電システム(SSPS)の実現まで長期の取組となる中、研究開発の途中段階においても、研究成果を積極的に産業分野や宇宙開発へ応用していくことが開発を継続していく上で重要であることから、開発した技術のスピノフの可能性も併せて示した。

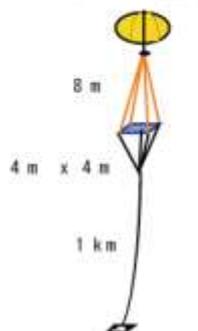
2. [参考]H19年度に策定したロードマップ(1)



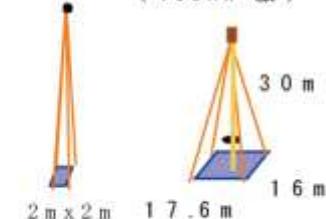
地上電力伝送実験
(1kW 級)



バルーン
(10kW 級)



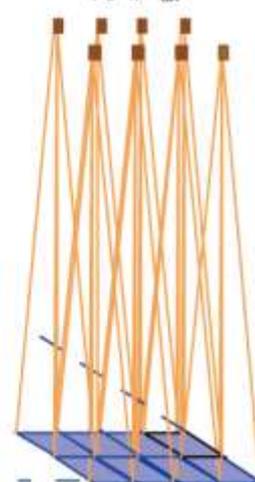
小型衛星 (1kW 級) 大型衛星 (100kW 級)



実証プラント
(2MW 級)



1GW 級



平成19年度 太陽光発電利用促進技術調査 成果報告書

図2.1.3-1 2030年の実用SSPSのシステムの開発着手を目指したSSPS開発計画

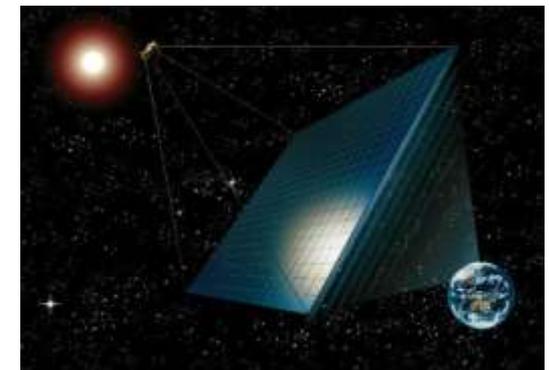
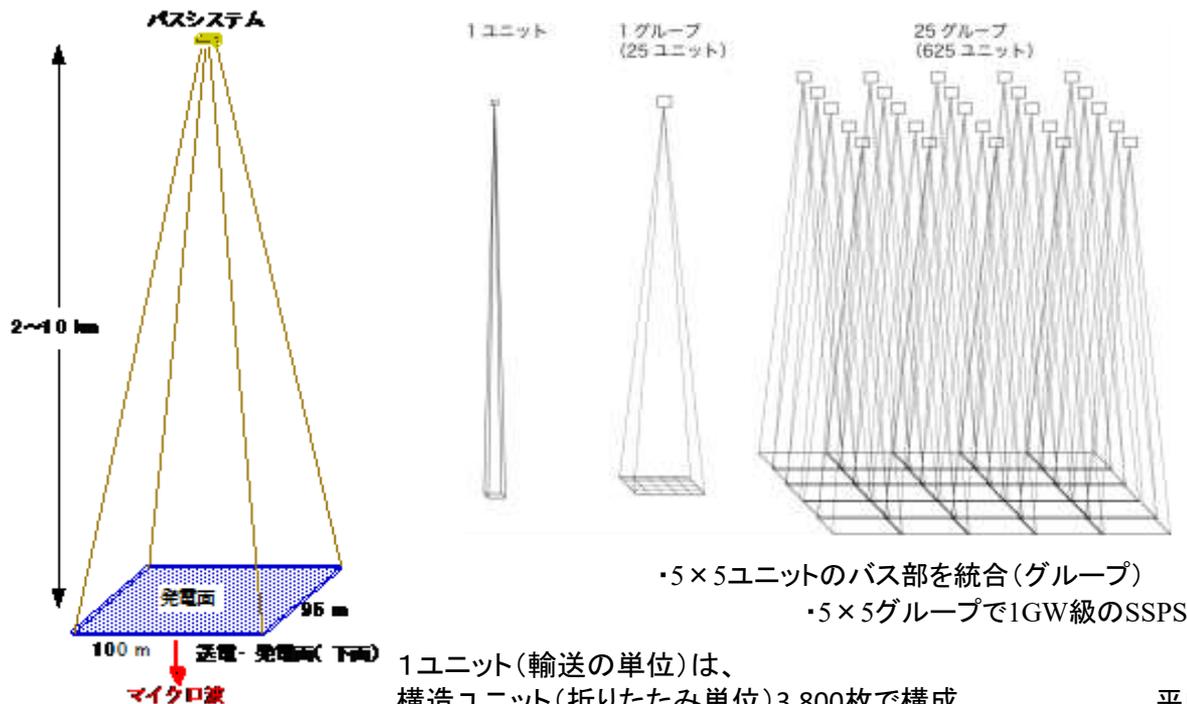
2. [参考]H19年度に策定したロードマップ(2)



平成19年度 太陽光発電利用促進技術調査 成果報告書
図2.1.3-2 基礎開発フェーズの研究開発のシナリオ

3. 発送電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデルの再確認

- ・発送電一体型パネルは、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。
- ・1ユニットの発送電一体型パネルの4隅をテザーで吊る。(広さ100m×95m, 厚さ20mm, 重量40t, 2MW送電)
- ・1システムは 25×25=625ユニットで構成。地上で1GW取出し。
- ・バス部でマイクロ波の基準信号を発生し、各モジュールへ原振の周波数と位相同期を無線により提供するため、モジュール間の有線のインターフェイスを持たない。
- ・発電単価を kWhあたり10円以下に設定すると、宇宙システム5,683億円、地上システム2,286億円、輸送4,747億円として建設総コストは12,716億円、そこに保守・運用336億円/年が加わる。



将来のSSPTSイメージ

- ・システムの大きさ: 2.5km × 2.375km
- ・システムの重さ: 26,600トン
- ・発電衛星の送電出力: 1.3GW
- ・運用年数: 40年

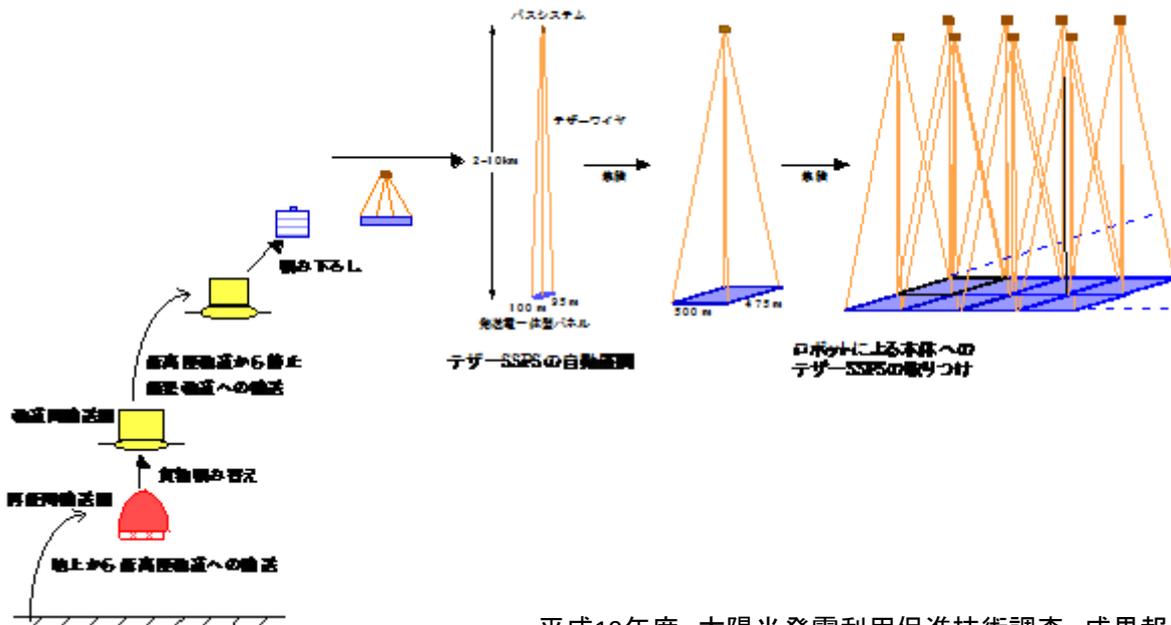
3. 発送電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデルの再確認

【宇宙輸送】

1基のテザーユニットを単位として、折り畳んだ貨物を再使用型輸送機(RLV)を用いて高度約500kmの低高度軌道へ輸送し、そこで電気推進を用いた再使用型の軌道間輸送機(OTV)に積み替えて静止衛星軌道まで輸送する。

RLV1機あたりのSSPS貨物を約32tonとすると、延べRLV打ち上げ回数827回、必要RLV台数は19機となる。地上からLEOまでの輸送期間は365日としている。

また、OTVによるLEO～GEOまでの往復航行期間は350日であり、SSPS1機あたりの必要OTV輸送重量は14,000ton規模となる。総輸送コストは約4,747億円と試算される。



3. 発送電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデルの再確認

システムの特徴

- ・構成モジュールは構造的、電氣的に全く同じ。低コストの大量生産が可能
- ・重力傾斜安定方式を使った姿勢安定方式(能動的な姿勢制御不要、自然現象の利用)
- ・各モジュールからの熱放射により排熱が可能なので能動的な熱制御が不要
(日陰時にヒータ使用の可能性)
- ・パイロット信号に対する個別モジュールでのレトロディレクティブ採用
- ・太陽電池を送電パネルの表裏面に持つことによる発電の効率化
(バッテリー搭載による送電電力の均一化も可能:太陽の位置の影響を受けない)
- ・他の通信インフラ、地球観測インフラと結合し情報とエネルギーの複合インフラとして利用可能

システムのメリット

- ・開発はまず最小単位の送電モジュールから(太陽電池、高効率化送電素子等)
- ・100m×95mの最小ユニットを成熟化させることで、必要に応じてシステムを拡大可能
- ・ユニット単位で資力とエネルギー事情に応じた異なる組織間の分担投資が容易

他システムに比べて

- ・機械的可動部分の不適用
- ・高電圧送電に伴う課題の回避(電力線、真空放電等)
- ・熱集中の回避(反射鏡の不適用)

まとめ

- ・目標とする発送電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデルの構想を再確認し、現時点で構想自体は見直さないこととした。

3. [参考]ロードマップ検討専門委員会における宇宙輸送に関する議論

実用段階における将来の技術進展を見込んで、現時点では宇宙輸送の方法、コストは見直さないこととしたが、ロードマップ検討専門委員会において次のような議論があった。

- 再使用型輸送機は打ち上げの時の全備質量に対して、低軌道への軌道投入能力は1%から2%と検討されている。低軌道上に20トンを打ち上げる場合、軌道投入能力を2%と仮定すると機体規模として1,020トン程度になる。もしペイロードとして20トンクラスのもの上げるエンジンを再使用型で作るには、複合材を使うなど、より比強度の高い軽量化を目指す必要があると思われる。
- 昨今の衛星バスの大型化にともない、全電化衛星の実用化など急速に電気推進の研究開発が進められている。将来の小惑星捕獲ロボットや火星有人探査機などの輸送機としてスペースタグへの期待も大きい。再使用型の軌道間輸送機の開発にあたっては、資源量が限られ高価なキセノンに代わるアルゴン等の代替推進剤の開発やエンジン製造費用の低減など低コスト化の研究が必要である。電気推進による再使用型軌道間輸送機を使用して、低軌道から静止軌道へ輸送するケースでは、1往復に3年かけて300機が3往復することで輸送期間を10年にすると、コストが最適化するという試算がある。軌道間輸送機については、SSPSの宇宙実証試験の中で検証する必要がある。
- SSPS建設において一日に何機も打ち上げるという設定については、ロジスティック(シナリオ自体)を精査して、地上での製作、射場への輸送、ペイロード積み込み等、地上系システムの検討や、低軌道上での再使用型の輸送機から軌道間輸送機への積み替えの検討も重要である。

4. マイルストーンとする実証試験の設定

実用化までのマイルストーンとして、次のように実証試験を設定する

地上実証フェーズ

宇宙実証フェーズ

地上実証
(水平) [実証済]

【目的】

水平方向での無線電力伝送技術を実証

【試験内容】

・5.8GHZで1.8kW送電し、距離54m先で340wを受電

・2.45GHZで10kW送電し、距離500m先で受電

地上実証
(垂直)

【目的】

・垂直方向での無線電力伝送で、適切なビーム形成技術を実証
・精度の高いビーム方向制御技術と移動した受電部への送電技術を実証

【試験内容】

・地上から上空へ送電

・送電出力約1.8kW

・距離約5～50m

・移動した受電部へ送電

長距離実証

【目的】

・長距離の無線電力伝送技術を実証
・発送電一体型パネルを開発

【試験内容】

・上空から地上へ送電

・軽量の発送電一体型パネルの開発

・送電出力約1kW

・距離1～5km程度

宇宙実証

【目的】

宇宙で確認すべき事項の実証
・マイクロ波の電離層通過実証
・宇宙-地上間のマイクロ波電力伝送効率の定量的評価
・宇宙太陽光発電システムの成立性検証
・大規模柔軟構造物の建設、組立、保守
・効率的な輸送、軌道間輸送

【想定する試験イメージ】

・超小型衛星による送電実証

・テザー型小型衛星による無線送電、構造、テザーによる姿勢制御

・実証プラント1/4モデル×1機による大型構造物の展開技術、輸送技術実証

・実証プラント1/4モデル×4機による大規模柔軟構造物の建設、組立技術実証

上記の宇宙実証試験は、すべてを実施するのではなく、必要に応じて実施する。

4-1. マイルストーンとする実証試験 ～地上実証(水平) [実証済]

【地上実証(水平)】

1. 目的
 - ・複数のフェーズドアレイアンテナでレトロディレクティブ技術を活用し、精密ビーム制御技術を実証する
2. 確認すべき技術内容
 - ・複数のフェーズドアレイアンテナ制御技術
 - ・レトロディレクティブ技術
 - ・精密ビーム制御技術
3. 実証試験内容
 - ・屋内試験施設10m以上で角度精度0.5度rmsを達成する
 - ・屋外試験地50m程度で複数送電モジュールの協調動作試験により最大電力を得る
4. 諸元
 - ・周波数: 5.8GHz
 - ・送電距離: 約50m (水平方向)
 - ・送電出力: 約1.8kW
 - ・送電アンテナサイズ: 約1.2m × 1.2m
 - ・送電部: 半導体増幅器方式
 - ・受電部: レクテナ、パイロット信号送信器あり
 - ・受電部レクテナサイズ: 約2.6m × 2.3m
 - ・ビーム方向制御: REV (屋外でソフトウェアレトロを実行せず)



(左):
約0.6m × 0.6m × 0.025m
× 4モジュール



(右):
約2.6m × 2.3m
× 1モジュール



4-2. マイルストーンとする実証試験 ～地上実証(垂直)

【地上実証(垂直)】

1. 目的

- ・電波の地面反射の影響がない垂直方向(下から上方向)への送電において、適切なビームを形成する技術を実証する。
- ・水平方向の屋外試験で地面反射の影響のない環境にて、レトロディレクティブ方式による精度の高いビーム方向制御技術とともに、移動した受電部の位置を特定し送電する技術を実証する。

2. 確認すべき技術内容

- ・垂直方向でのビーム形成技術
- ・パイロット信号によるレトロディレクティブ [屋外・垂直方向での送受電確認、移動した受電部への送電技術]

3. 実証試験内容

- ・地面に送電部を設置して、地上から上空へ送電実証を行う。

① ビーム形成技術、ビーム方向制御技術実証

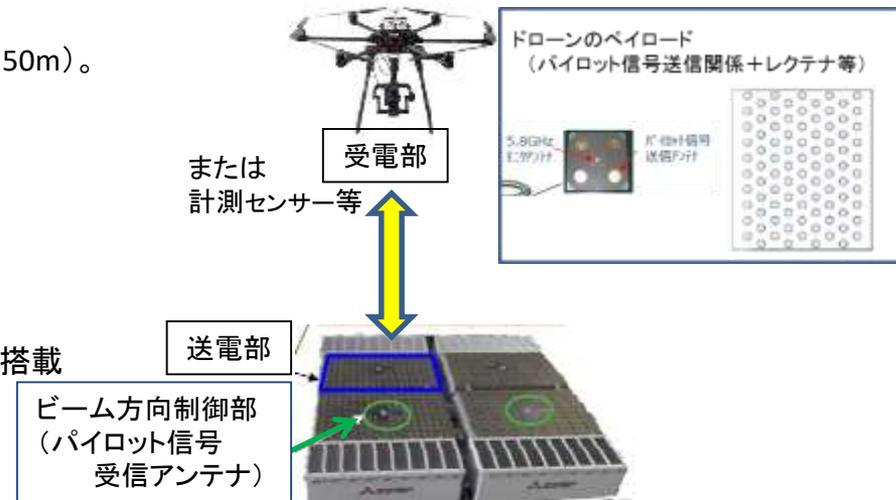
- ・マルチコプタ等に計測センサーを搭載し、空中のビームパターンを測定(距離約50m)。
- ・ビーム形成、方向制御技術により垂直方向にマイクロ波を送電。
- ・マルチコプタ等を移動し、レトロディレクティブにより移動後の位置を特定し、送電する技術を実証。

② マルチコプター受電技術実証

- ・受電部は軽量高効率(捕集効率)レクテナを採用。
- ・マルチコプタ等に搭載した受電部へ無線給電を実施(距離約5～50m)。

4. 諸元

- ・周波数: 5.8GHz
- ・送電距離: ①約50m ②約5～50m
- ・送電出力: 約1.8kW
- ・送電アンテナサイズ: 約1.2m×1.2m
- ・送電部: 半導体増幅器方式
- ・受電側: ①計測センサー、パイロット信号送信器等を搭載
②受電部(高効率レクテナ、パイロット信号送信器等を搭載
レクテナサイズ: 約40cm角)
- ・ビーム制御: ソフトウェアレトロ+REV



4-2. マイルストーンとする実証試験 ～地上実証(垂直)つづき

5. 実証試験の実施にあたり必要な技術、技術水準

技術実証項目	必要な技術、技術水準
送電部総合効率	40%
DC-RF変換効率	PAE = 70% (typical) (サブアレイ 外でマイクロ波生成、 有線分配)
ビーム形成技術	位相制御技術
送電部軽量化	36g/W*

* 送電部軽量化
(送電ANT+HPA+BFN+他)のモジュール重量(g)/モジュール出力(W)

技術実証項目	必要な技術、技術水準
受電部総合効率	50%
RF-DC変換効率	捕集効率: 85% 整流素子単体: 80% RF-DC変換: 70%
受電部軽量化	100g/W(参考値)

6. 想定する実施時期

2018年頃

<考え方>

2016年度までに高効率な送受電部の研究開発を行い、必要な技術水準に到達する見込みであり、2017年度から実証試験に向けたシステムを開発し、2018年度に実証試験を行う。

7. 期待される産業応用

移動した受電部への送電技術

- ・ドローン、ロボット等の電動無人機への給電

ビーム形成技術

- ・インフラ点検等のセンサーネットワークへの給電
- ・ワイヤレスIoTセンサーへの給電
- ・携帯電話へのワイヤレス給電

4-3. マイルストーンとする実証試験 ～長距離実証

【長距離実証】

1. 目的

- ・上空から地上へ長距離(km規模)のマイクロ波電力伝送技術を実証する。
- ・発送電一体型パネルを開発し、多数パネルの総合動作技術を確認する。(軌道上動作の事前確認)

2. 確認すべき技術の内容

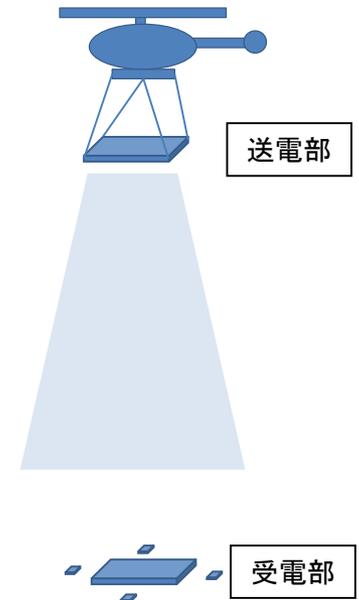
- ・長距離でのビーム方向制御技術(送電距離km規模)
- ・不要波の抑圧レベルの評価(既存の通信インフラに対する電磁適合性の確認)
- ・上面に発電素子、下面に送電アンテナを取り付けた発送電一体型パネルの開発(電氣的機能試験)
- ・送電部の軽量化

3. 実証試験内容

- ・ヘリコプタ等に送電部を搭載して、上空から地上へ長距離実証を実施。
- ・機体下に送電部を懸架。
- ・受電部の周りにセンサーを配置してビームパターンを測定する。
- ・発送電一体型パネルの性能評価を実施する。

4. 諸元

- ・周波数 5.8GHz
- ・送電距離 1~5km程度
- ・送電出力 1kW規模
- ・発送電一体型パネル(上面に発電素子、下面に送電アンテナ)
- ・発送電一体型パネルサイズ: 2m×2m×0.1m程度
- ・発送電一体型パネル重量: 90kg規模(発電、送電を含む)
- ・増幅器: 半導体
- ・受電部: 高効率レクテナ、パイロット信号送信器を搭載
- ・受電部レクテナサイズ: 数メートル程度、周辺にセンサー配置
- ・ビーム方向制御: ソフトレットロ+REV、又はPAC法・並列化法
- ・追尾機能(送電部の振れに対する追尾確認)
- ・レクテナ: 耐環境恒久対策(風雨への対策)



4-3. マイルストーンとする実証試験 ～長距離実証つづき

5. 実証試験の実施にあたり必要な技術、技術水準

技術実証項目	必要な技術、技術水準
送電部総合効率	60%
DC-RF変換効率	チャンピオン 80% (HPA周辺回路改良)
ビーム形成技術	位相制御技術
送電部軽量化	上面90g/W(送電)*
発送電一体型パネル	上面に太陽電池 下面に送電アンテナ

技術実証項目	必要な技術、技術水準
受電部総合効率	60%
RF-DC変換効率	RF-DC変換:80%
レクテナ建設と系統接続技術	耐環境恒久対策(風雨への対策)

* 送電部軽量化(発電、蓄電を除く)
マイクロ波回路関連の重量(g)/サブアレイ出力(W)

6. 想定する実施時期

2023年頃

<考え方>

2018年度に計画する地上実証(垂直)での成果が確認された後、長距離実証に必要な研究開発に着手し、5年程度の期間を目標として必要な技術水準に到達し実証試験を実施する。

7. 期待される産業応用

長距離送電技術

- ・走行中EVへの給電
- ・航空障害等への給電
- ・災害時等の代替送電
- ・洋上風力発電からの送電、離島への送電
- ・成層圏無人機、通信プラットフォーム等への給電
(送電アンテナと太陽セルの共存)

4-4. 宇宙実証の試験イメージ ～超小型衛星または小型衛星

【宇宙実証(超小型衛星または小型衛星)】

送電部のみを搭載して送電実験を行う超小型衛星、または発送電一体型を搭載する小型衛星を想定する。

1. 目的

- ・軌道上(宇宙空間)から地上へのマイクロ波電力伝送技術の実証を行う。
- ・宇宙太陽光発電システムとしての成立性、実現性を検証する。

2. 確認すべき技術内容

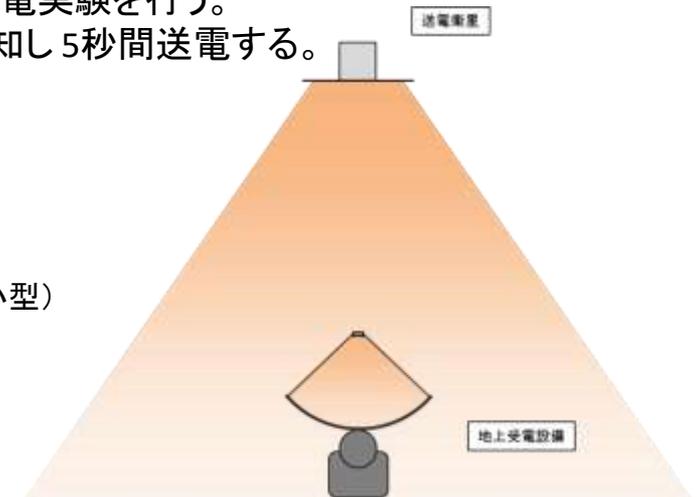
- (共通) ・地上実証よりさらに長距離でのビーム方向制御技術[300km規模]
 - ・マイクロ波の電離層通過実証[パイロット信号の位相擾乱と主ビームの非線形現象の評価]
- (小型) ・発送電一体型パネルの宇宙環境実証
 - ・発送電一体型パネルの2次元展開技術
- (超小型) ・小型ロケットでの打上げが可能となる薄型、軽量送電部の開発

3. 実証試験内容

- (小型) ・小型衛星に発送電一体型パネルを搭載し、低軌道上(300km)から地球に向けて送電する。
- (超小型) ・軽量送電パネルを搭載することで超小型衛星による送電実験を行う。
- (共通) ・送電出力は数kWとし、パイロット信号を受けて方向探知し5秒間送電する。
 - ・地上ではパラボラアンテナで受電する。

4. 諸元

- ・周波数 5.8GHz
- ・送電距離 300km規模
- ・送電出力 数kW (送電時間 5秒)
- ・発送電一体型パネルモジュールサイズ 0.5m×0.5m×0.1m, 6kg規模 (小型)
- ・パネル数 8枚
- ・送電アンテナサイズ(パネル展開後) 1.5m×1.5m
- ・衛星質量 バス部約40kg、搭載部約60kg (小型)
バス部約30kg、搭載部約20kg (超小型)
- ・衛星サイズ 約0.5m×0.5m×0.5m
- ・地上受電 Φ18mパラボラ使用(数mW受電)

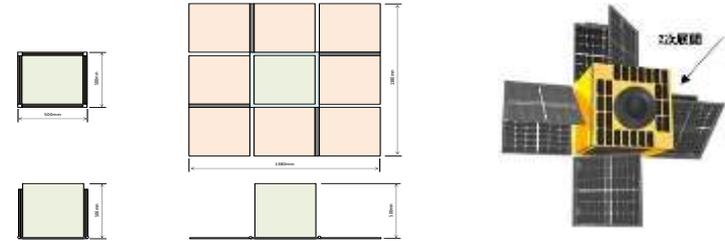


無線電力伝送評価試験

4-4. 宇宙実証の試験イメージ ～超小型衛星または小型衛星つづき

5. 実証試験の実施にあたり必要な技術、技術水準

技術実証項目	必要な技術、技術水準
送電部総合効率	60%
DC-RF変換効率	チャンピオン 80% (HPA周辺回路改良)
ビーム形成技術	位相制御技術
発送電一体型パネル	超小型衛星の場合 送電部のみで厚さ 0.02m
	小型衛星の場合の厚さ 0.1m
構造物展開技術	1m規模のパネルの2次元展開
熱	システムでの成立性実証



パネル基本構造と2次元展開イメージ

6. 期待される産業応用

発送電一体型パネルの設計・製造技術

- ・太陽電池応用向けの発電蓄電一体型セル
- ・小型衛星用の発送電一体型セル
- ・熱構造・電子機器の一体設計・製造技術による稠密システムの実現
- ・壁/天井などの建築資材が画面や各種センサ・空調システムと一体となった知能構造システム

4-5. 宇宙実証の試験イメージ ～テザー型小型衛星

【宇宙実証(テザー型小型衛星)】

1. 目的

- ・軌道上(宇宙空間)から地上へのマイクロ波電力伝送技術の実証を行う。
- ・宇宙太陽光発電システムとしての成立性、実現性を検証する。
- ・2次元パネル構造の展開技術、テザー伸展技術を実証する。

2. 確認すべき技術内容

- ・地上実証よりさらに長距離でのビーム方向制御技術[300km規模]
- ・マイクロ波の電離層通過実証[パイロット信号の位相擾乱と主ビームの非線形現象の評価]
- ・発電電一体型パネルの宇宙環境実証
- ・発電電一体型パネルの2次元展開技術、テザー伸展技術

3. 実証試験内容

- ・小型衛星に発電電一体型パネルを搭載し、低軌道上(300km)から地球に向けて送電する
- ・送電出力は数kWとし、パイロット信号を受けて方向探知し5秒間送電する。
地上ではパラボラアンテナで受電する。

4. 諸元

- ・周波数 5.8GHz
- ・送電距離 300km程度
- ・送電出力 数kW (送電時間 5秒以上)
- ・発電電一体型パネル(モジュールサイズ) 0.5m×0.5m×0.1m, 6kg規模
- ・モジュール数 16枚(4×4モジュール)
- ・送電アンテナサイズ(パネル展開後) 2m×2m
- ・ミッション重量 約150kg、
(発電電パネル100kg、制御部20kg、展開テザー伸展部25kg、観測機器部5kg)
- ・地上施設 パイロット信号送信局、受信分散アンテナによるビームパターン
及びEMCの計測、送電周波数及び高調波測定

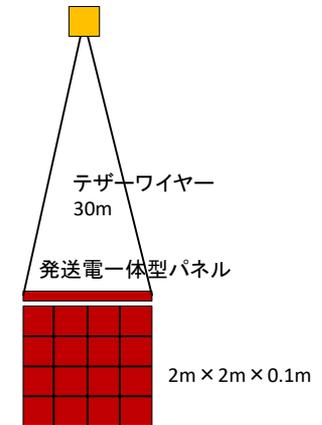


無線電力伝送評価試験

4-5. 宇宙実証の試験イメージ ～テザー型小型衛星つづき

5. 実証試験の実施にあたり必要な技術、技術水準

技術実証項目	必要な技術、技術水準
送電部総合効率	60%
DC-RF変換効率	チャンピオン 80% (HPA周辺回路改良)
ビーム形成技術	位相制御技術
発送電一体型パネル	厚さ 0.1m
構造物展開技術	1m規模のパネルの2次元展開
熱	システムでの成立性実証



パネル基本構造と2次元展開イメージ

6. 期待される産業応用

発送電一体型パネルの設計・製造技術

- ・太陽電池応用向けの発電蓄電一体型セル
- ・熱構造・電子機器の一体設計・製造技術による稠密システムの実現
- ・壁/天井などの建築資材が画面や各種センサ・空調システムと一体となった知能構造システム

4-6. 宇宙実証の試験イメージ ～実証プラント1/4モデル

【宇宙実証(実証プラント1/4モデル)】

1. 目的

実証プラントの1/4モデルによる実証プラント1ユニットの事前実証を行う。

2. 確認すべき技術内容

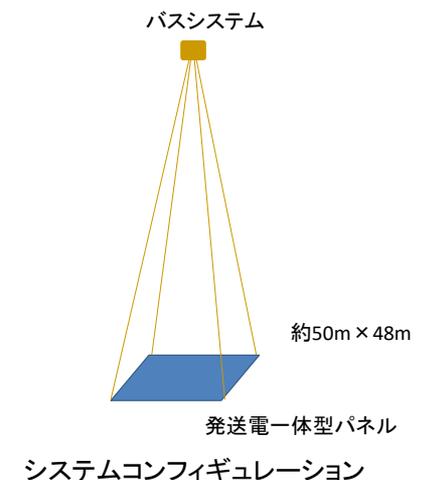
- ・大規模柔軟構造物建設技術の検証。
- ・大規模柔軟構造物の姿勢・軌道維持技術の検証。

3. 実証試験内容

- ・大型ロケット1機で低軌道(370km)に打ち上げる。
- ・低軌道にて軌道間輸送機に積み替えて静止軌道へ輸送する。

4. 諸元

- ・発送電一体型パネル(モジュール) 0.5m×0.5m×(0.02m～)0.1m、1.6kg
- ・四分の一ユニット
外形寸法 約50m×48m×(5km～)10km、15t 規模
- ・送電出力 500kW
- ・ビーム制御方式 レトロディレクティブ
- ・マイクロ波周波数 5.8GHz
- ・試験高度 36,000km



4-6. 宇宙実証の試験イメージ～実証プラント1/4モデルつづき

5. 実証試験の実施にあたり必要な送受電技術、技術水準

技術実証項目	必要な技術、技術水準
送電部総合効率	70%
DC-RF変換効率	85% (HPA周辺回路改良)
ビーム形成技術	位相制御技術
構造物構築技術	50m規模のパネルの2次元展開
送電部軽量化	20g/W*

技術実証項目	必要な技術、技術水準
テザー進展技術	5～10km規模
姿勢制御	テザー構造の姿勢安定技術
受電部総合効率	70%
RF-DC変換効率	80%
熱	システムでの成立性実証

* 送電部軽量化(発電、蓄電を除く)
マイクロ波回路関連の重量(g)／サブアレイ出力(W)

6. 期待される産業応用

大型送電パネルの設計・製造技術

- ・センサーネットワーク(送電衛星)
- ・マイクロ波加熱

テザー伸展技術

- ・デブリ回収衛星
- ・極限環境システム

構造物展開技術

- ・合成開口レーダー
- ・通信アンテナ、発電パネル(深宇宙探査・大型通信衛星用)

4-7. 宇宙実証の試験イメージ ～実証プラント1/4×4モデル

【宇宙実証(実証プラント1/4×4モデル)】

1. 目的

実証プラント(1ユニット)相当の軌道上実証を行う。

2. 確認すべき技術内容

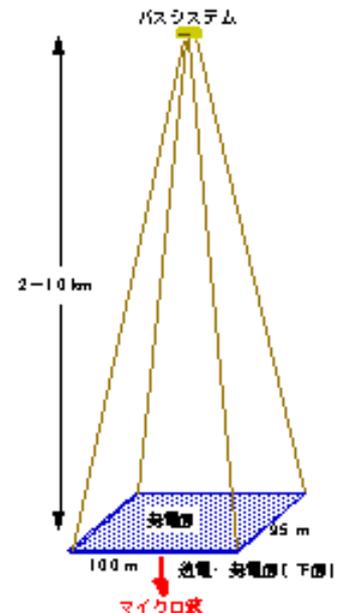
- ・大規模柔軟構造物建設技術の検証。
- ・大規模柔軟構造物の保守の実現性検証。
- ・大規模柔軟構造物の姿勢・軌道維持技術の検証。
- ・静止軌道にて建設(ランデブードッキング)し、姿勢・軌道維持を行う技術検証。

3. 実証試験内容

- ・大型ロケット1機で低軌道(370km)に打ち上げる。
(四分の一ユニットを1システムとして、4システム同梱する)
- ・低軌道にて軌道間輸送機に積み替えて静止軌道へ輸送する。
- ・建設後の構造物において保守機能を確認する。

4. 諸元

- ・発送電一体型パネル(モジュール) 0.5m×0.5m×(0.02m～)0.1m、1.6kg
- ・四分の一ユニット
外形寸法 約50m×48m×(5km～)10km
- ・組立後の外形寸法 約100m×95m×(5km～)10km
- ・送電出力 2MW
- ・ビーム制御方式 レトロディレクティブ
- ・マイクロ波周波数 5.8GHz
- ・試験高度 36,000km



組立て後のシステムコンフィギュレーション

4-7. 宇宙実証の試験イメージ ~実証プラント1/4×4モデルつづき

5. 実証試験の実施にあたり必要な送受電技術、技術水準

技術実証項目	必要な技術、技術水準
送電部総合効率	70%
DC-RF変換効率	85% (HPA周辺回路改良)
ビーム形成技術	位相制御技術
構造物構築技術	50m規模のパネルの2次元展開 ランデボードッキング
送電部軽量化	20g/W*

技術実証項目	必要な技術、技術水準
テザー進展技術	5~10km規模
姿勢制御	テザー構造の姿勢安定技術
受電部総合効率	70%
RF-DC変換効率	80%
熱	システムでの成立性実証

* 送電部軽量化(発電、蓄電を除く)
マイクロ波回路関連の重量(g)/サブアレイ出力(W)

6. 期待される産業応用

大型送電パネルの設計・製造技術

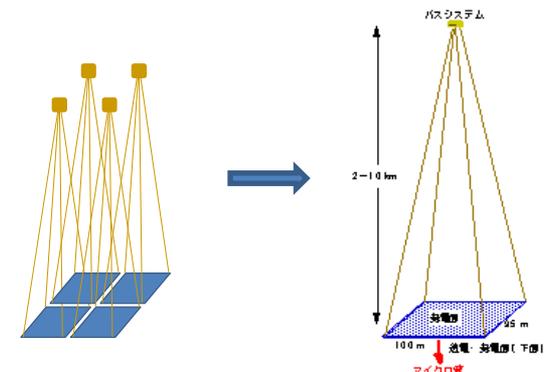
- ・センサーネットワーク(送電衛星)、赤道周辺国への送電
- ・マイクロ波加熱

テザー伸展技術

- ・デブリ回収衛星
- ・極限環境システム

構造物展開技術

- ・合成開口レーダー
- ・通信アンテナ、発電パネル(深宇宙探査・大型通信衛星用)



5. 今後の研究開発の考え方

- 電力系では、太陽電池の技術開発により軽量化、高効率化、低コスト化が進められる^{*1}とともに、メガソーラー等の直流電力と大規模系統連系技術の発展も見込まれる。
- 送受電部については変換効率の向上やビーム制御など無線送受電技術に関する要素研究を引き続き進める。さらに、マイクロ波の環境評価や周波数調整、認知度の向上など無線送受電の実用化にかかるさまざまな課題の解決にも取り組んでいく。
- 構造系では、発送電一体型パネルの研究開発に取り組む。JAXA・大学等で実施されている展開技術やテザー伸展技術等の開発と協力しつつ、さらに今後大型構造物の構築・維持・制御技術の研究開発が進められる中で、大型の構造物に関する各種技術の進展が見込まれる。
- 推進系では、世界的にロケットの大型化と再使用等による低コスト化が急速に進んでおり、また今後、電気推進による軌道間輸送システムの開発の動きもあり、こうした技術進展により将来の実用時点における低コスト大量輸送の実現が見込まれる^{*2}。
- これらの技術開発や社会的な課題解決を進め、2020年代に地上で確認できる技術の確認を終えた段階で、宇宙実証への移行が適切かどうか判断する。その後宇宙で確認すべき技術の実証を行いながら、社会的な必要性やシステムの経済性も踏まえて、SSPSの実用化技術を確認する。2045年以降に実用化への着手を目指す。

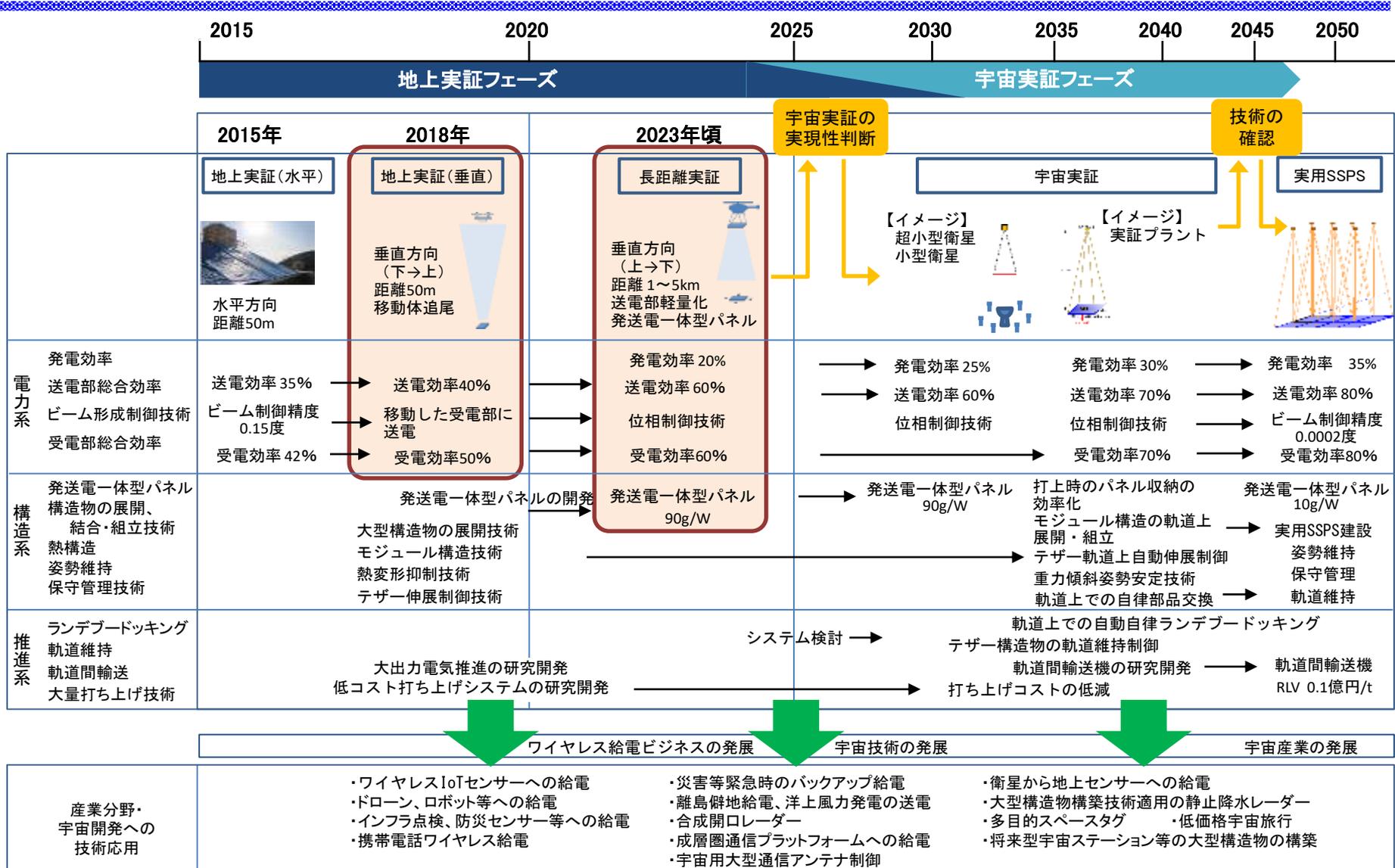
*1: 太陽光発電開発戦略(NEDO PV Challenges)(H26年9月NEDO)

*2: 宇宙輸送システム長期ビジョン(宇宙政策委員会H26年4月)

6. 将来における宇宙太陽光発電システムの意義

- 宇宙太陽光発電システム(SSPS)は、昼夜・天候といった自然条件に左右されることなく発電が可能であることから、地上の太陽光発電と比べて安定供給が可能なクリーンなエネルギーという特徴を持ち、将来のエネルギー問題の解決に必要な技術として、実現が期待されている。
- エネルギー基本計画(平成26年4月閣議決定)では、多くの資源を海外に依存せざるを得ない我が国が抱えるエネルギー需給構造上の脆弱性や、2050年に世界で温室効果ガスの排出量半減、先進国では80%削減といった困難な課題を根本的に解決するためには、革命的なエネルギー関係技術の開発が必要であるとし、SSPSはその一つに位置づけられている。
- 科学技術イノベーション総合戦略2016(平成28年5月閣議決定)でも、クリーンなエネルギー供給の安定化と低コスト化という課題解決に向けて、SSPSは超長期的なエネルギー技術として、重きを置くべき取組の一つとされている。
- また、宇宙政策委員会がまとめた宇宙輸送システム長期ビジョン(平成26年4月)では、将来の宇宙利用の姿として、滞在型宇宙旅行や軌道上での人工衛星組立などと並んで、SSPSも想定されている。2040年から2050年頃に、将来宇宙輸送システムが社会インフラとして整備され、広く日常的に宇宙輸送を利用できるような社会が想定されている。
- SSPSの建設には大量の輸送を必要とすることから、将来の宇宙開発をリードするミッションになりうるものであり、こうした点からも実現が期待されている。

7. 発電電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデル研究開発ロードマップ



送発電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデルの技術課題と開発目標

		地上実証 (水平)	地上実証 (垂直)	長距離実証	宇宙実証				実用SSPSで 必要な技術レ ベル	テザー 固有 技術	
					イメージ <低軌道>	イメージ <静止軌道>	イメージ <低軌道>	イメージ <静止軌道>			
目的	-	水平方向での無線電力伝送技術を実証	・垂直方向での無線電力伝送において、適切なビーム形成技術を実証 ・精度の高いビーム方向制御技術と移動体を追尾する技術を実証	・長距離の無線電力伝送技術を実証 ・送発電一体型パネルを開発	・低軌道上から地上へのマイクロ波電力伝送技術の実証 ・宇宙太陽光発電システムとしての成り立ち、実現性検証 (小型衛星)	・宇宙太陽光発電システムとしての成り立ち、実現性検証 ・2次元パネル構造の展開技術、テザー伸張技術実証 (テザー型小型衛星)	静止軌道上で実証プラントの1/4モデルによる実証プラント1ユニットの事前実証	静止軌道上で実証プラントの1/4モデル×4機で実証プラント1ユニットによる大規模柔軟構造物の建設、組立技術実証	静止軌道上に以下の構造物を構築 ・パネル寸法: 2.5km×2.4km×0.02m ・テザー長: 5km~10km ・全重量: 26,600トン(パネル25,200t、バス1,400t)	-	
分野	技術課題	必要な技術									
発電	高効率(対重量、対面積)	産業用太陽電池の高効率化*1	-	-	20%	25%	25%	30%	30%	35% 0.5g/W	-
送電	DC-RF変換	HPA素子、周辺回路、高調波処理等による高効率化	総合効率率 35%	総合効率率 40%	総合効率率 60%	総合効率率 60%	総合効率率 60%	総合効率率 70%	総合効率率 70%	総合効率率 80%	-
		軽量化技術 重量比電力*2 1m ² あたりの重量	36g/W 44.7kg/m ²	36g/W 44.7kg/m ²	90g/W 11.8kg/m ²	90g/W 11.8kg/m ²	90g/W 11.8kg/m ²	20g/W 4.4kg/m ²	20g/W 4.4kg/m ²	10g/W 2.2kg/m ²	-
受電	RF-DC変換	位相制御によるビーム形成技術 レトロディレクティブ方式による高精度ビーム方向制御技術	1.9度	1.9度	1.5度	2度	1.5度	0.1度	0.03度	0.001度	-
		アンテナ入力、分配、合成、整流、再放射抑制等による高効率化	総合効率率 42%	総合効率率 50%	総合効率率 60%	-	-	総合効率率 70%	総合効率率 70%	総合効率率 80%	-
大型構造物	レクテナ建設とシステム接続	恒久的大規模レクテナの建設と商用システム連携技術	-	-	風雨対策の実施	-	-	小規模レクテナ開発	小規模レクテナ開発	環境対策	-
		送電パネルの設計・製造 厚さ: 2.5cm	送電パネルの設計・製造 厚さ: 2.5cm	送電一体型パネルの設計・製造 厚さ: 10cm	送電一体型パネルの設計・製造 厚さ: 10cm	送電一体型パネルの設計・製造 厚さ: 10cm	送電一体型パネルの設計・製造 厚さ: 10cm	展開可能な送電一体型パネル 厚さ: 10cm	展開可能な送電一体型パネル 厚さ: 10cm	厚さ: 2cm	-
大型構造物	送発電一体型パネル	発電・送電等回路、構造部材等軽量化技術	送電モジュール 16kg	送電モジュール 16kg	送電一体型 9kg	送電一体型 9kg	送電一体型 6kg	送電一体型 1.6kg	送電一体型 1.6kg	送電一体型 1kg	-
		大型2次元(パネル)構造の展開技術および結合・組立	軽量で打上時の収納高効率化技術(軌道上組立可能なモジュール構造)	4 モジュール	4 モジュール	16 モジュール	8 モジュール	8 モジュール	9,500 モジュール	38,000 モジュール	2,375万 モジュール
	熱構造	熱変形最適化技術	-	-	-	1.5m級	2m級	50m級	50m級	2,500m級	-
	姿勢維持	熱的成り立ち	-	-	-	低軌道	低軌道	静止軌道	静止軌道	静止軌道	-
	保守管理技術(部分交換含む)	大規模柔軟構造物の姿勢制御(重力傾斜姿勢安定技術)	-	-	-	-	2m級	50m級	100m級	2500m級	○
	テザー伸張技術(軌道上で自動自立的に行うテザー伸張、モニタリング)	-	-	-	-	-	30m	5km~10km	5km~10km	5km~10km	○
宇宙輸送	ランデブードッキング技術	軌道上での予備品交換を自動自立的に行う技術	-	-	-	-	-	-	自律ロボット技術	自律ロボット技術	-
	軌道維持	軌道上での予備品交換を自動自立的に行う技術	-	-	-	-	-	1/4ユニット交換	総量10%保管	-	
	軌道間輸送	軌道上での予備品交換を自動自立的に行う技術	-	-	-	-	-	電気推進OTV	電気推進OTV	往還型OTV	-
	大量打ち上げ技術	軌道上での予備品交換を自動自立的に行う技術	-	-	-	-	-	電気推進OTV	電気推進OTV	往還型OTV	-
運用管制	軌道上運用	軌道上での予備品交換を自動自立的に行う技術	-	-	-	手動運用	手動運用	手動運用	手動運用	手動運用	-
		運用寿命終了後の廃棄(地球周回軌道からの離脱、地上回収後資源再利用)	-	-	-	終了処置、回収等運用	終了処置、回収等運用	終了処置、回収等運用	終了処置、回収等運用	終了処置、回収等運用	-

*1: 太陽光発電開発戦略(NEDO PV Challenges)(H26年9月NEDO)から

*2: マイクロ波回路関連の重量比電力