



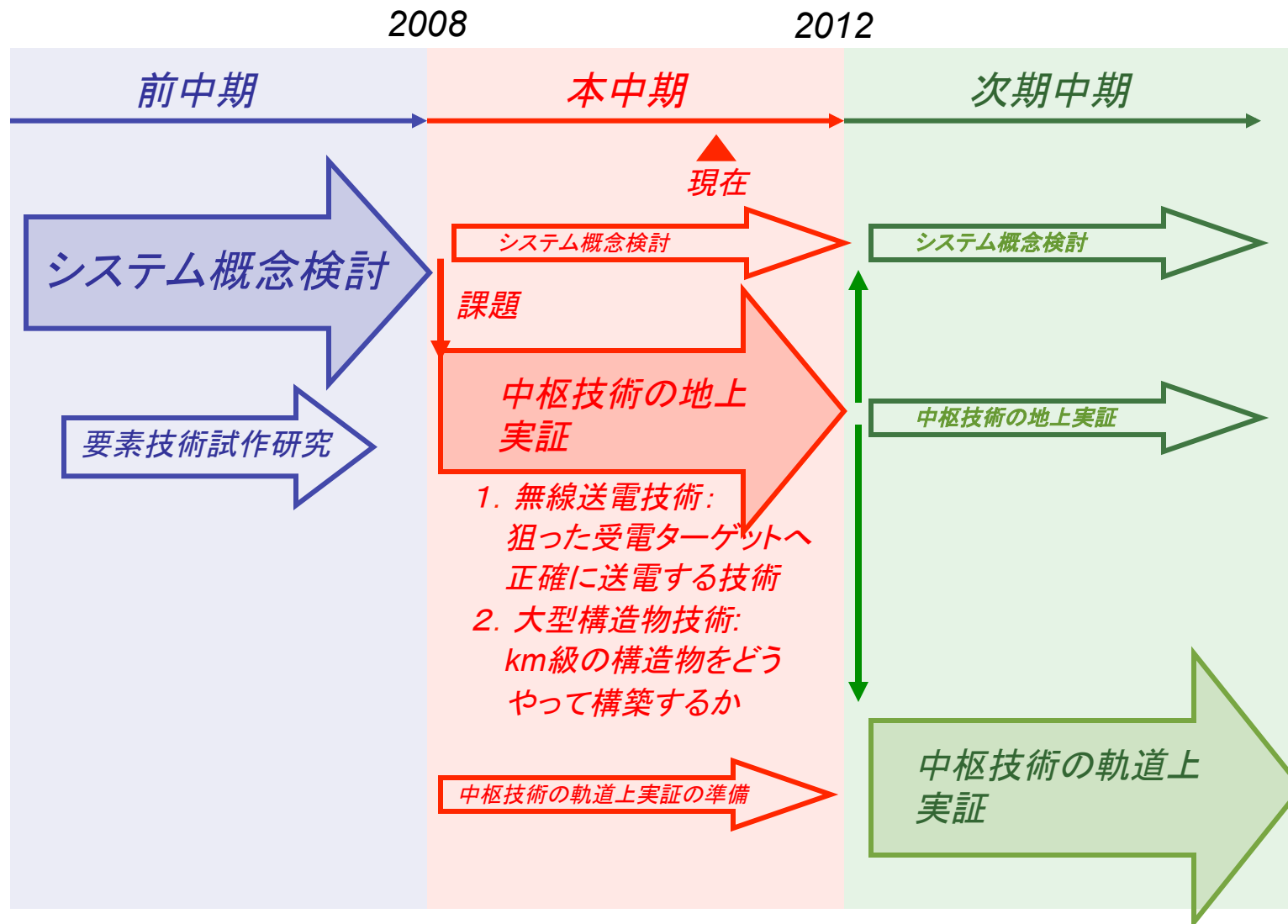
JAXAのSSPS研究開発状況

JAXAでは、SSPSの中核課題である無線送電(マイクロ波、レーザー)と大型構造構築についての実証的アプローチの研究及び近未来の軌道上実証の検討の3本柱を軸として研究を進めており、その研究状況と課題について述べる。

第14回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

2011年10月

JAXAでの現在の研究の位置づけ



JAXA本中期の研究のターゲット

区分	分野	項目	具体的な目標
中枢技術の地上実証	マイクロ波送電技術	マイクロ波ビーム制御技術	制御精度 0.5度以内
	レーザー送電技術	高効率送受電技術	太陽光直接励起効率 20%以上 受電効率 20%以上
		レーザービーム制御技術	制御精度 10 μ ラジアン以内
	大型構造物技術	厚みのあるパネル展開	100mサイズの展開の部分実証
		薄膜反射鏡の展開	100mサイズの展開の部分実証 反射鏡光学性能評価
	耐宇宙環境性	高電圧・高出力マイクロ波のプラズマ干渉	電圧15KV、 電力密度1500W/m ²
中枢技術の軌道上実証の準備	無線送電技術	マイクロ波送電技術実証	kWクラス、小型衛星での実験計画策定
		レーザー送電技術実証	kWクラス、100WクラスJEMの実験計画策定
システム検討	宇宙輸送	SPS構築に必要な宇宙輸送機の検討	宇宙輸送の専門家との協働によるロードマップの策定
	開発計画	SPS実現に至るロードマップの検討	各分野の専門家との協働による技術ロードマップの策定

JAXAの研究の体制

JAXA

JAXA他本部・ 他グループ

周波数課
輸送本部
宇宙環境利用センター
ミッションデザイン支援
グループ

研究開発本部

SSPS基盤技術検討委員会

高度ミッション研究G

システム(ロードマップ検討、他)

レーザー委員会

大型構造委員会

軌道上実証検討
(含む周波数検討)

輸送系検討

電源グループ
構造・機構グループ
ロボテックスグループ
推進系グループ

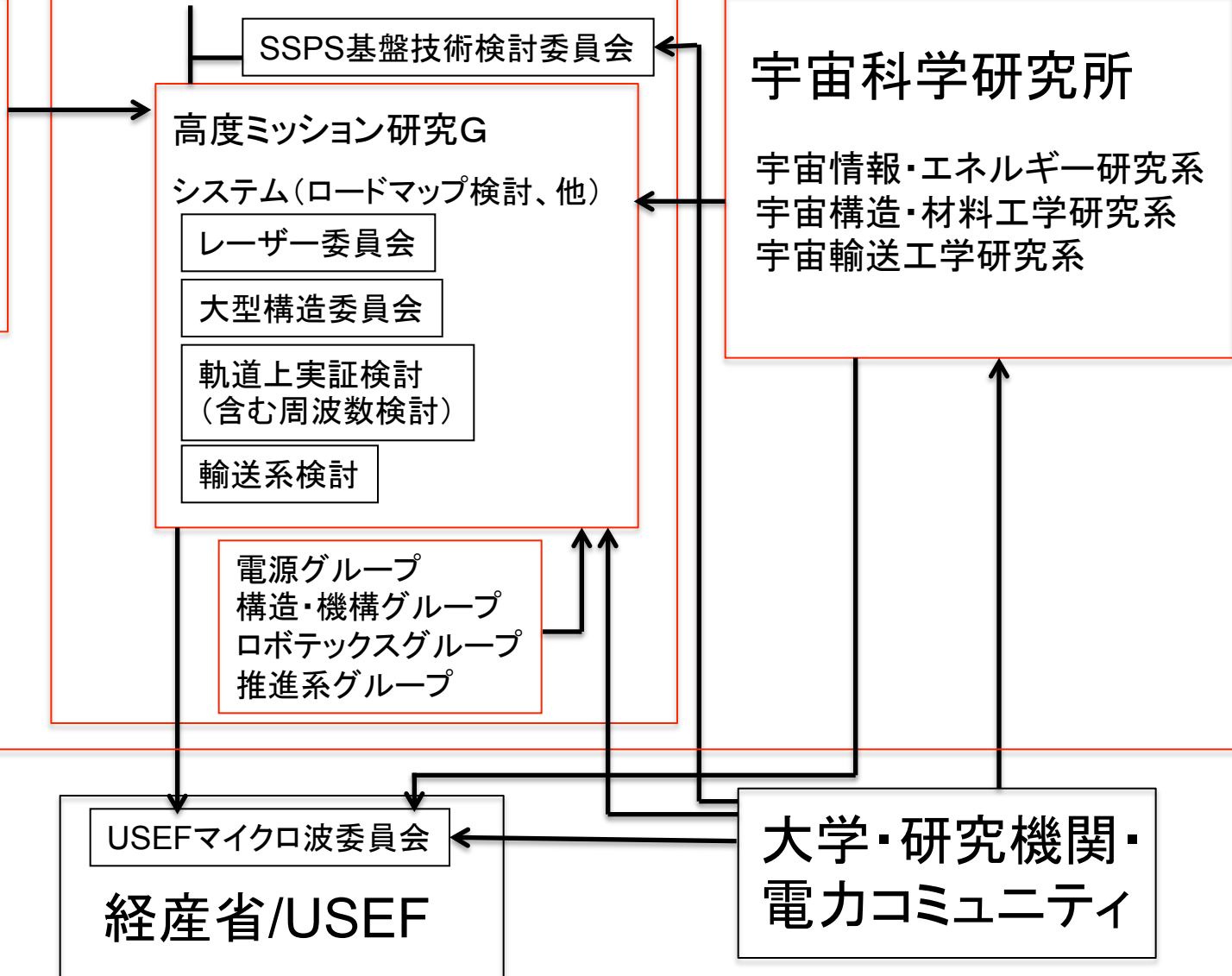
宇宙科学研究所

宇宙情報・エネルギー研究系
宇宙構造・材料工学研究系
宇宙輸送工学研究系

USEFマイクロ波委員会

経産省/USEF

大学・研究機関・
電力コミュニティ



マイクロ波送電技術の地上実証

送電パネル

1.2m x 1.2 m, 4cm 厚さ(昨年度:1.8mx1.8m)

4 サブパネル構成(可動)

マイクロ波出力

1.6 kW, 5.8 GHz, 素子変換効率 >60 % (昨年度:2.8kW)

ビーム制御

パイロット信号を利用した制御、制御精度0.5°

レクテナ

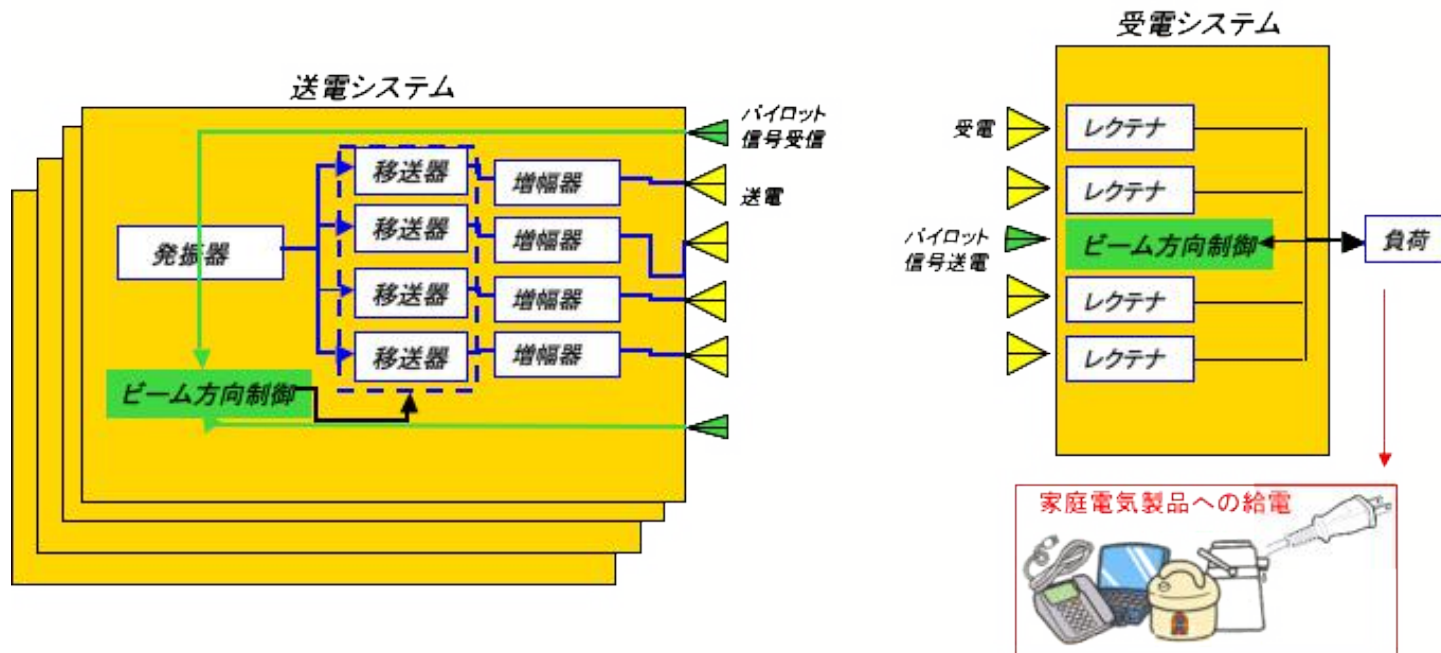
直径2.5 m、素子変換効率 > 70 %

送電距離

50 m (typical) (昨年度:100m)

マイクロ波送電技術の地上実証

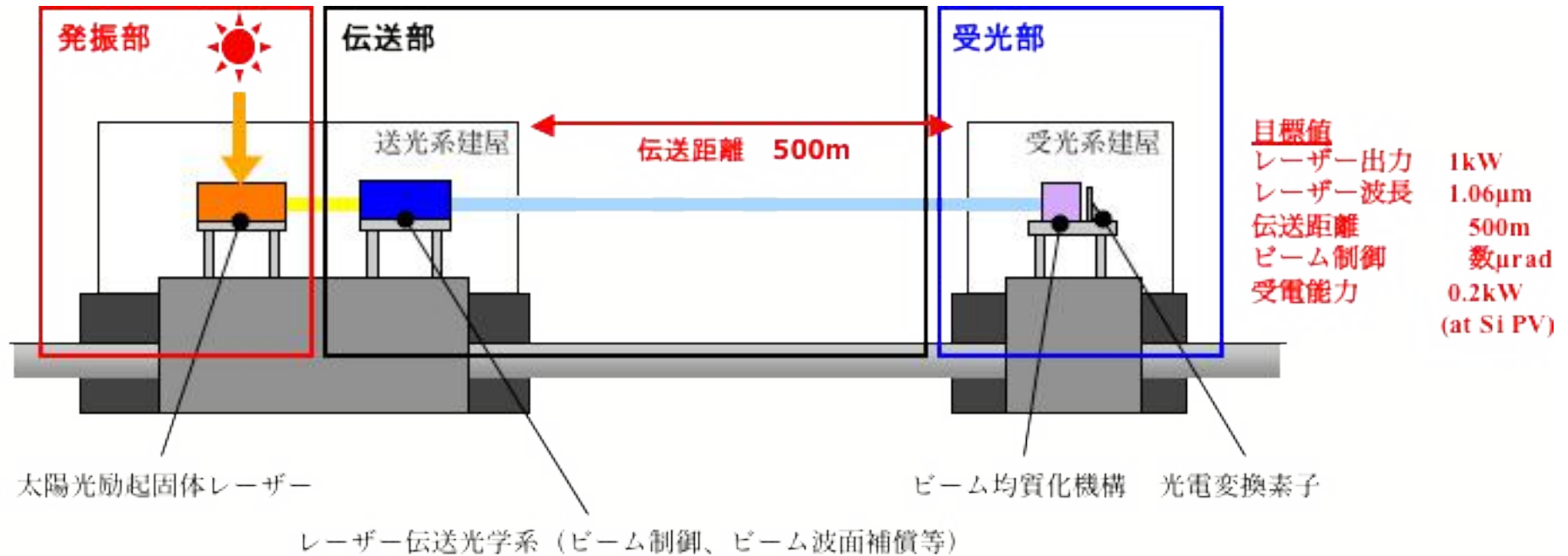
目標: 制御精度0.5度のレトロディレクティブビーム方向制御



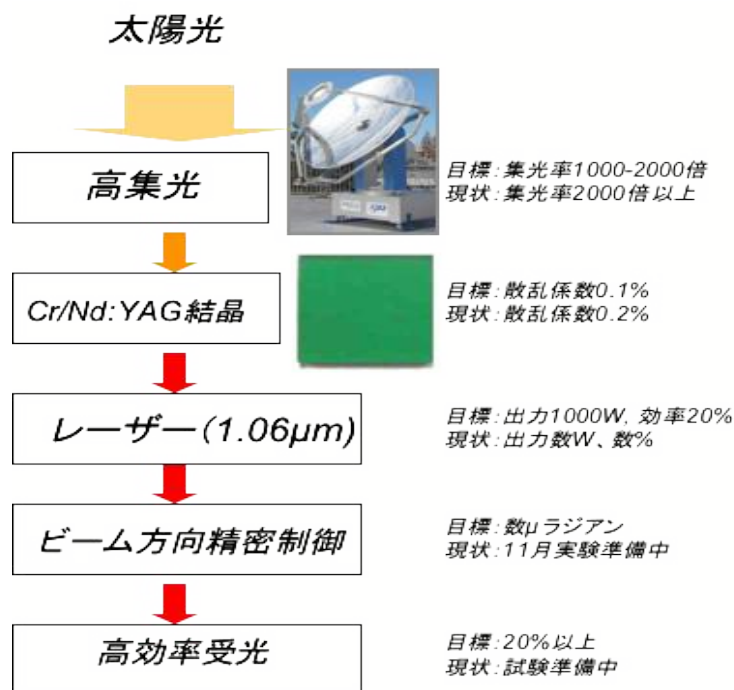
	FY2009	FY2010	FY2011	FY2012	FY2013	FY2014
USEF計画						屋内試験
	予備設計		基本設計		詳細設計, 製作試験	屋外試験
ビーム方向制御装置				▽PDR	▽CDR	組込み
		予備設計	基本設計	詳細設計	製作試験	

← 評価モデル製作試験 →

レーザー送電技術の地上実証



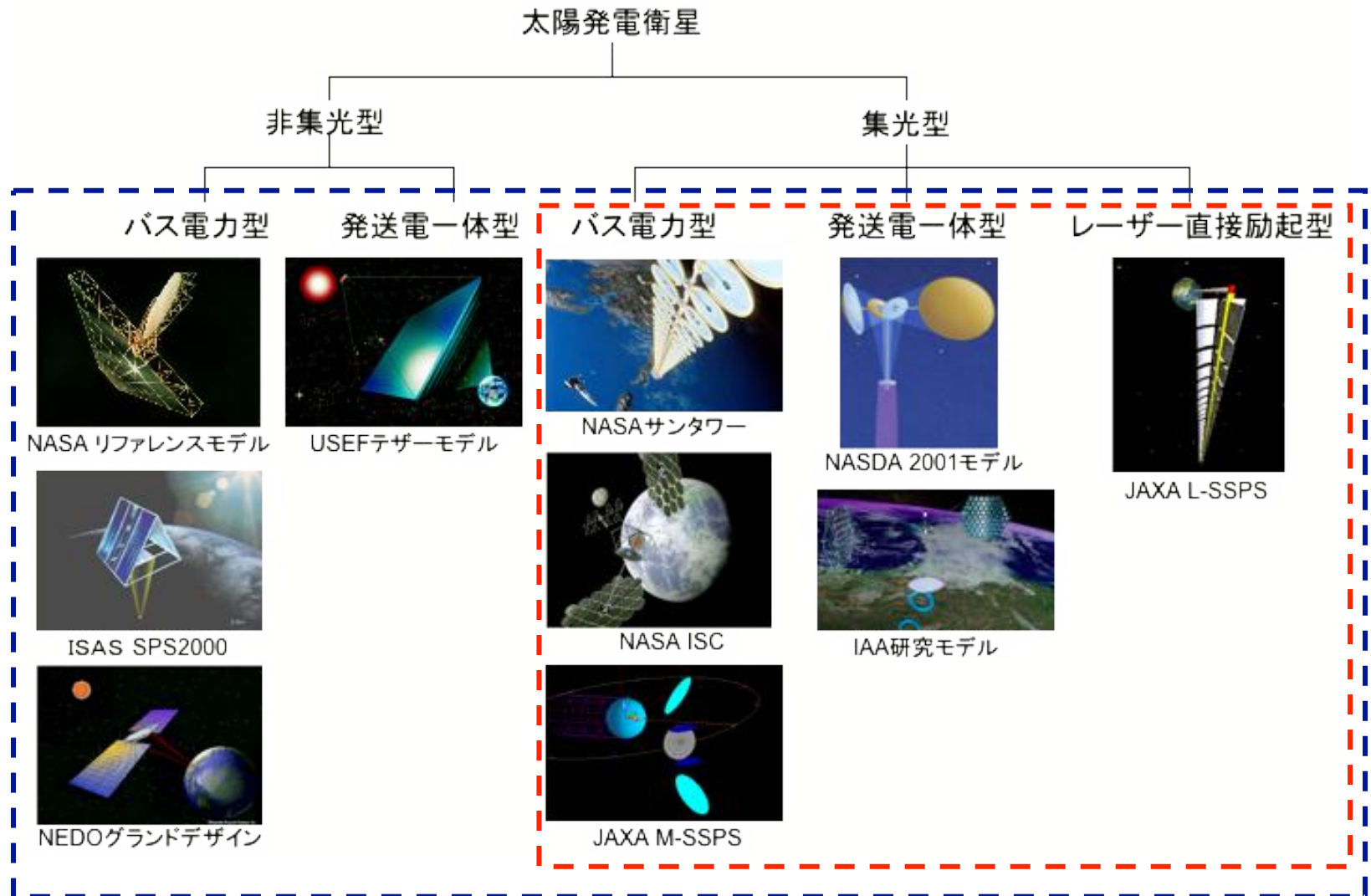
太陽光直接励起レーザー方式による送電実証



	FY2008	FY2009	FY2010	FY2011	FY2012	FY2013
集光	2000倍集光					総合試験
レーザー発生	20%100W級の実現(未)			発振基礎実験	20%kW級	
送電	数μラジアン制御(低出力)				高出力	
受電	均質化、高効率					
システム	軽量ミラー、波長選択膜					

SPSに必要な大型構造の様式

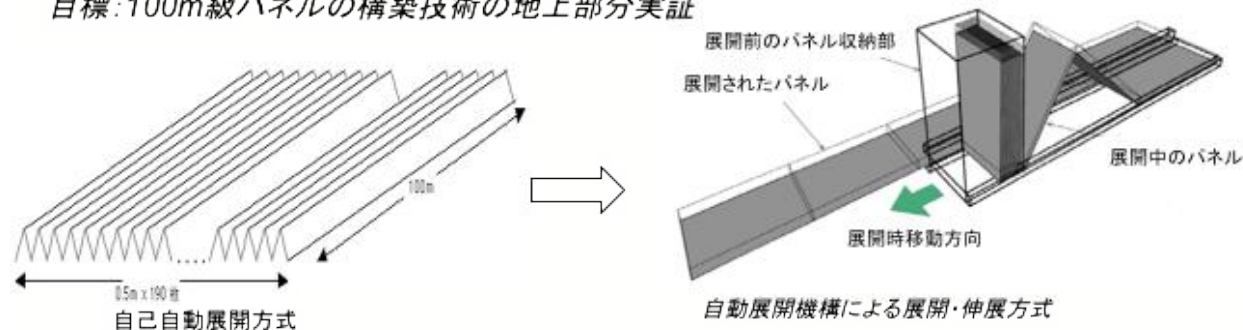
- [---] : 数百～数 kmサイズの厚みのあるパネル構造
[---] : 数百～数kmサイズの超軽量ミラー



SSPSに必要な大型構造に係わる研究

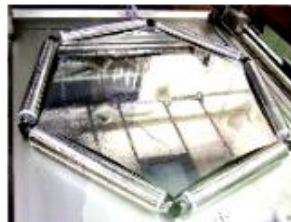
数百～数 kmサイズの厚みのあるパネル構造

目標:100m級パネルの構築技術の地上部分実証

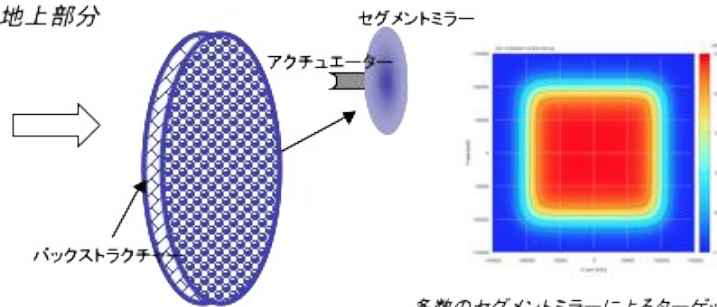


数百～数kmサイズの超軽量ミラー

目標:100m級反射ミラーの構築技術の地上部分実証(含む光学性能)



膨張硬化型ミラー



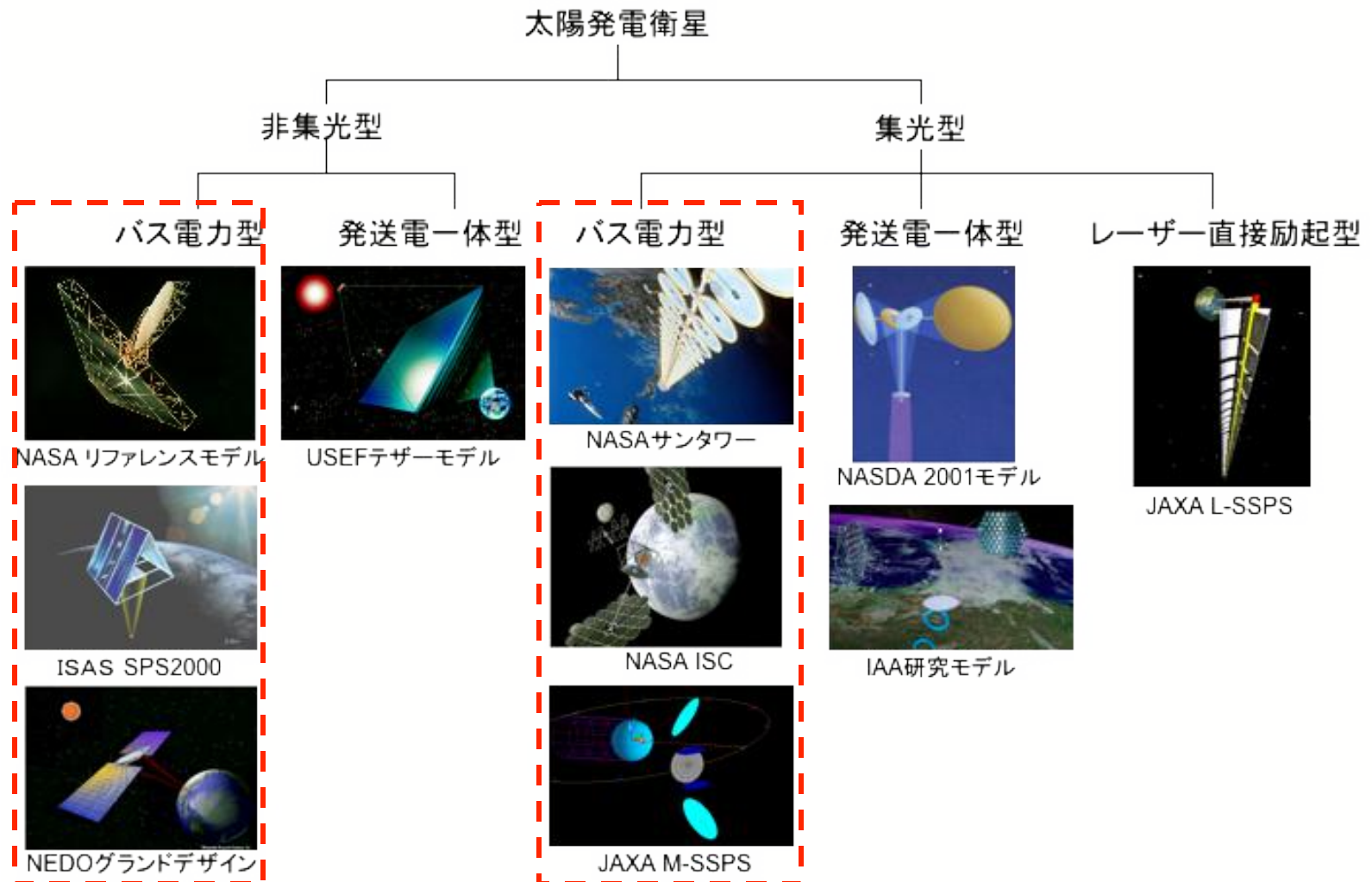
アクチュエータ付きセグメントミラーのバックストラクチャーへの取付方式

多数のセグメントミラーによるターゲット面(太陽電池面)への一様分布の計算例

	2008	2009	2010	2011	2012
パネル	構造選定・設計・要素試作試験			製作	試験
ミラー					

SPSに要求される高電圧技術

 : 高電圧技術が必要なタイプ(バス電力型)



高電圧技術の研究



高電圧部でのアーク放電

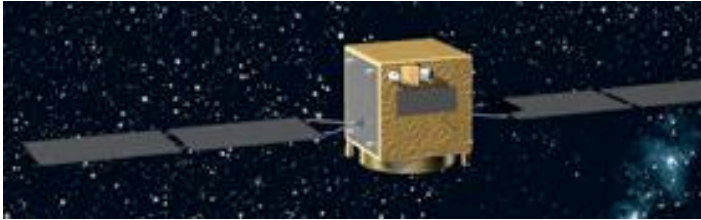


アンテナ部での高周波放電



	2008	2009	2010	2011	2012
高電圧ケーブル絶縁性	実験と評価		設計ガイドライン		
マイクロ波アンテナの放電			実験と評価		

近未来に実施する小型の軌道上実証実験



イプシロンロケット(2013年度初号機)により打ち上げられる小型衛星



2020年までの運用延長が考えられている国際宇宙ステーションのJEM利用



	2008	2009	2010	2011	2012
マイクロ波	概念検討、実験用周波数選定・調整				MDR
レーザー					
大型構造	概念検討				

近未来に実施する小型の軌道上実証実験(マイクロ波伝送)

目的

- (1) マイクロ波ビーム制御能力実証(軌道上のアンテナダイナミクスの条件の下でのパイロット信号への追従能力)
- (2) 高電力密度($\sim \text{kw}/\text{m}^2$)マイクロ波の電離層通過実証
- (3) 電力システムとしての効率評価
- (4) 不要波の抑圧レベル評価(既存の通信インフラに対する電磁適合性の実証)

実施中の検討作業

- (1) 使用できる周波数及び実験場所について、総務省及び関係機関と協議中
- (2) 実験計画・実験内容についてJAXA内で検討中

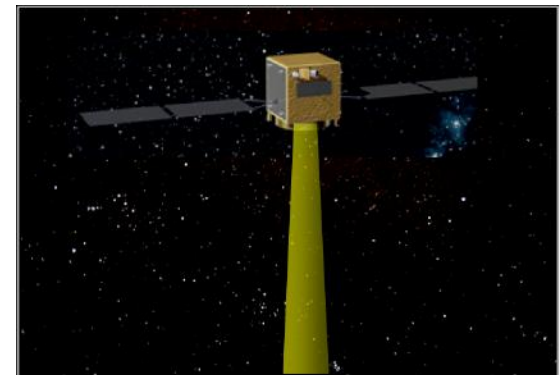
軌道: 低高度周回軌道 (370 km)

衛星重量: 400 kg

実験機器重量: 200 kg

姿勢制御: 3-軸制御

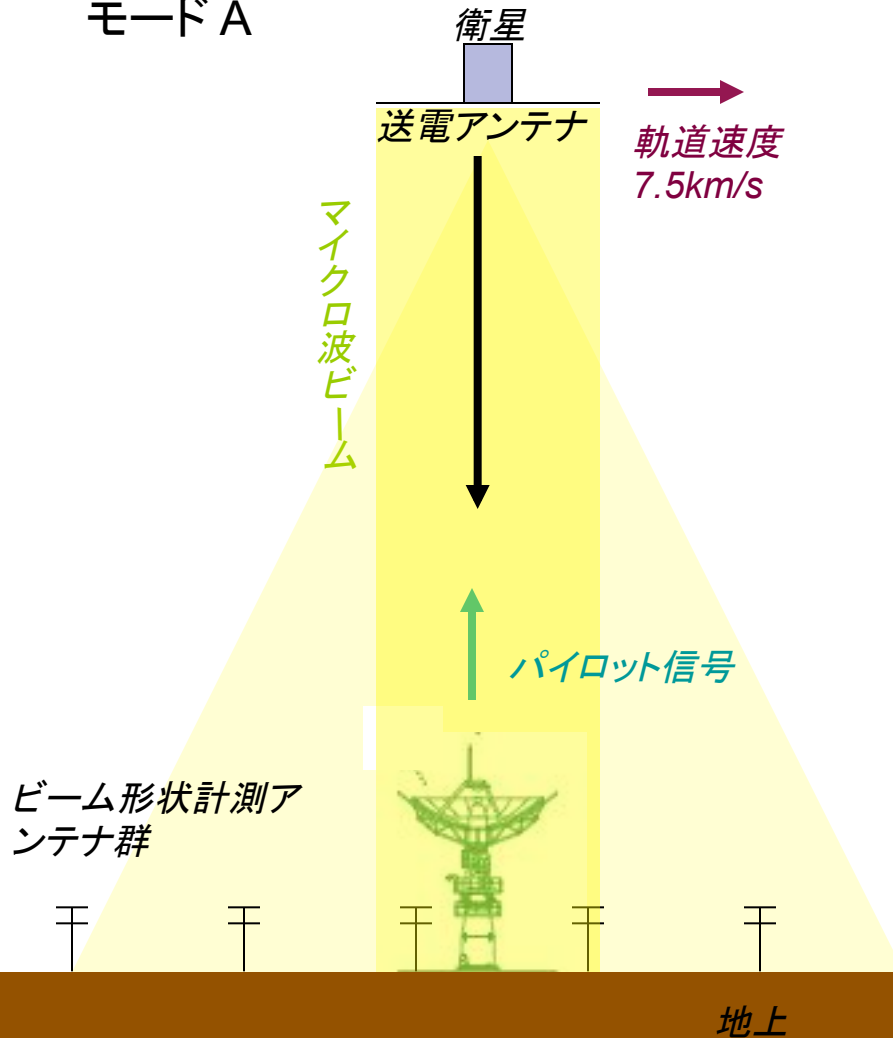
送電電力: 3.8 kW



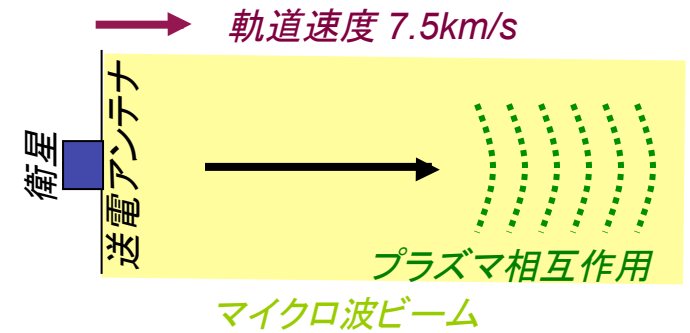
小型衛星から地上へのマイクロ波送電実験。

実験コンフィギュレーション

モード A



モード B



近未来に実施する小型の軌道上実証実験(レーザー伝送)

目的

- (1)レーザービーム制御能力実証(軌道上から地上の受電所への精密指向制御)
- (2)レーザービーム($\sim 1\mu\text{m}$)の大気通過実証
- (3) 電力システムとしての効率評価
- (4) レーザービームを電力伝承手段として使用した場合の安全性実証

国際宇宙ステーション日本実験モジュール(JEM)



レーザービーム

ガイドビーム

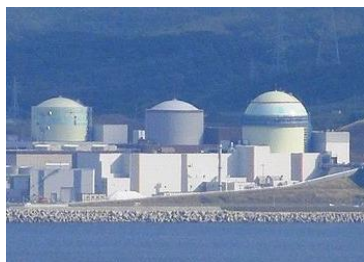
受光セルアレイ

現在実施中の検討作業

- (1)宇宙環境利用センターの支援を得て、実験内容方法を検討中。
- (2)レーザー関係者で、特に実証実験でのレーザービームの制御方法について検討を実施中。
- (3)国際協力での実施の可能性についても模索中。

SSPSの開発計画(他のエネルギーシステムの開発計画との比較)

原子力発電(歴史)



初期実証

1942

連鎖反応実証

+10 years

1951

最初の発電炉(200kW)

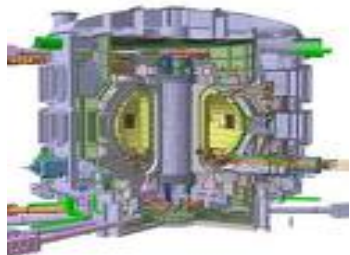
+20 years

1960

軽水炉初号機(180MW,GE)

+30 years

核融合炉(計画)



2025

核燃焼実証
($Q>10$)

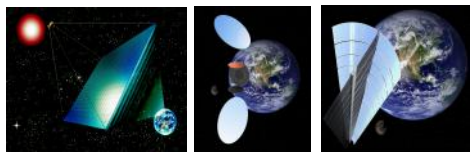
2035

原型炉運転開始

2045-50

実用段階

宇宙太陽光発電(計画)



2015

軌道上実証

2019

初期End/End
実証
(100kW)

2024

小型プラント
(2MW)

2030

大型プラント
(200MW)

2035

商用1号機
(1GW)

SSPS開発計画を基にした輸送系への要求(予備検討案)

フェーズ	小型実証	大型実証	小型プラント実証	大型プラント実証	商用初号機	商用
実施時期	2015年頃	2020年頃	2025年頃	2030年頃	2035年頃	2035年以降
軌道	低軌道	低軌道	1000km	静止衛星軌道	静止衛星軌道	静止衛星軌道
電力規模	数kW	100kW	2MW	200MW	1GW	1GW
実証項目	400kmビーム制御 大気・電離層通貨実証	End-End 実証(地上受電)	MW級プラント 実証(地上配電)	100MW級プラント 実証	1号機フルスケール 実証	
総重量	500kg	15トン	50トン	4000トン	20000トン	20000トン
建設期間	NA	NA	1年	3年	5年	1年
ペイロード重量	500kg	15トン	10トン	50トン	50トン	50トン
地上から低軌道の輸送系	小型ロケット (ELV) 500kg、低高度	大型ロケット (ELV) 15トン、低高度	再使用型(RLV) 1機5回往還 10トン、1000km 2.4ヶ月に1回打上	再使用型(RLV) 50トン、500km 4機各160回往還 1週間に1回打上	再使用型(RLV) 50トン、500km 8機各640回往還 3日に1回打上	再使用型(RLV) 50トン、500km 28機各640回往還 毎日2回打上
軌道間輸送機(OTV)	NA	NA	NA	50トン(燃料30トン) 往復6ヶ月 17機各6回往還	50トン(燃料30トン) 往復6ヶ月 40機各10回往還	50トン(燃料30トン) 往復6ヶ月 200機各2回往還



イプシロンロケット



H-II ロケット



再使用ロケット



軌道間輸送機(イメージ図)

まとめと課題

1. JAXAでは、SSPSの中核課題である無線送電〔マイクロ波、レーザー〕と大型構造構築について実証的アプローチでの研究及び近未来の軌道上実証の検討を3本の柱とした研究を進めている。
2. マイクロ波送電の地上実証については開発資金の問題から当初予定より2年遅れているが、一部開発試験を完了し、現段階では順調に設計中
3. レーザー送電については、太陽光直接励起部に課題があることが判明し、現在原理的な部分に立ちかえった研究開発を実施中。
4. 大型構造については超軽量ハニカムパネル(1kg/m^2)の試作を実施。パネル構造の自動展開装置の原理試験を完了し、地上実験装置の設計・製作を本年度中に実施する。
5. 近未来の軌道上実証については、本年中にマイクロ波及びレーザーの実験計画の検討を終え、来年度にMDR(ミッション定義審査)を目指す。
6. 輸送系については、宇宙輸送の専門家との協働作業を開始した段階、今後本格的なロードマップ作成に向けた作業を予定。