

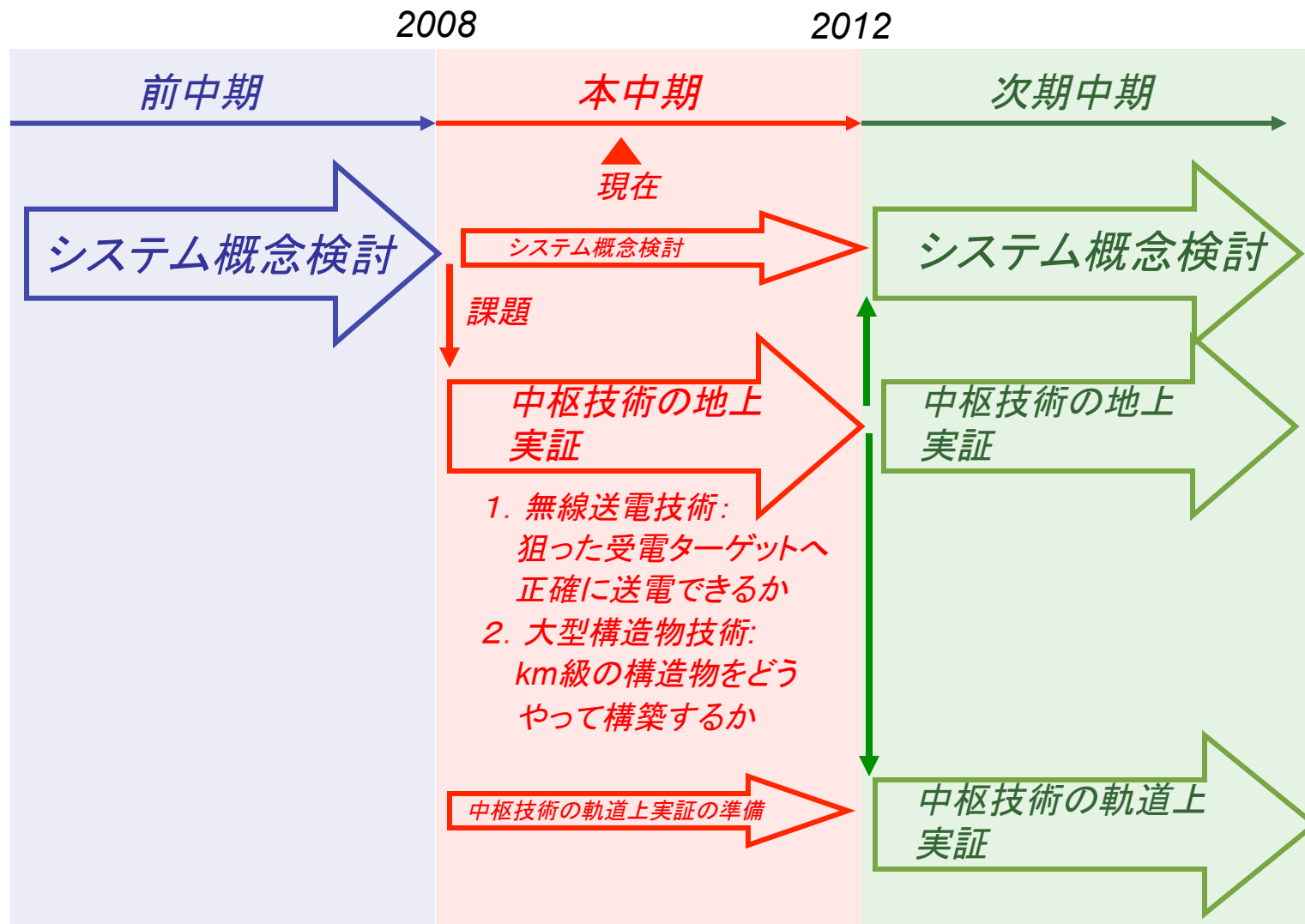
# JAXAにおけるSSPSの研究状況と課題

JAXAでは、SSPSの中核課題である無線送電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13回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム

2010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 $\mu$ 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 <sup>2</sup>	
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、小型衛星又はJEMで の実験計画策定
		レーザー送電技術実証	kW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

技術ロードマップ: ロードマップを実現するために全ての技術要素  
について何時までにどの性能まで必要かを明確化

# マイクロ波送電技術の地上実証

送電パネル

1.8m x 1.8 m, 3cm 厚さ

4 サブパネル構成(可動)

マイクロ波出力

2.8 kW, 5.8 GHz, 変換効率 >60 %

ビーム制御

パイロット信号を利用した制御

レクテナ

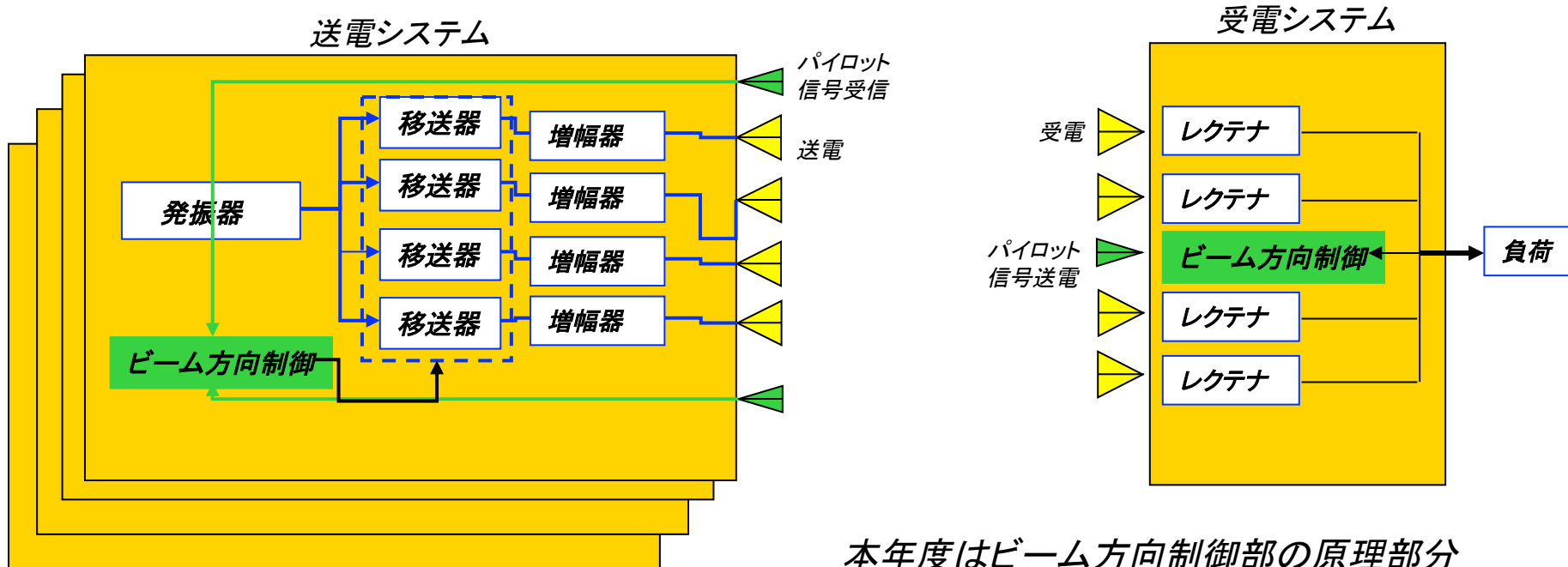
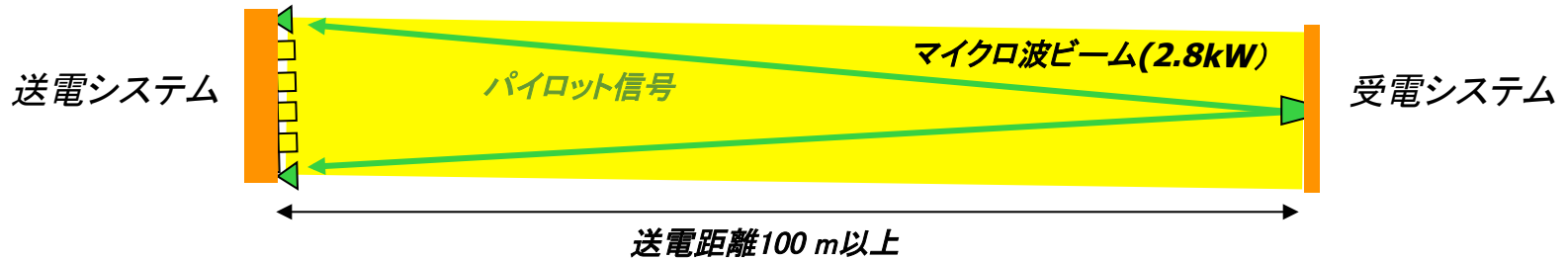
2.5 m x 2.5 m、素子変換効率 > 70 %

送電距離

100 m (typical)

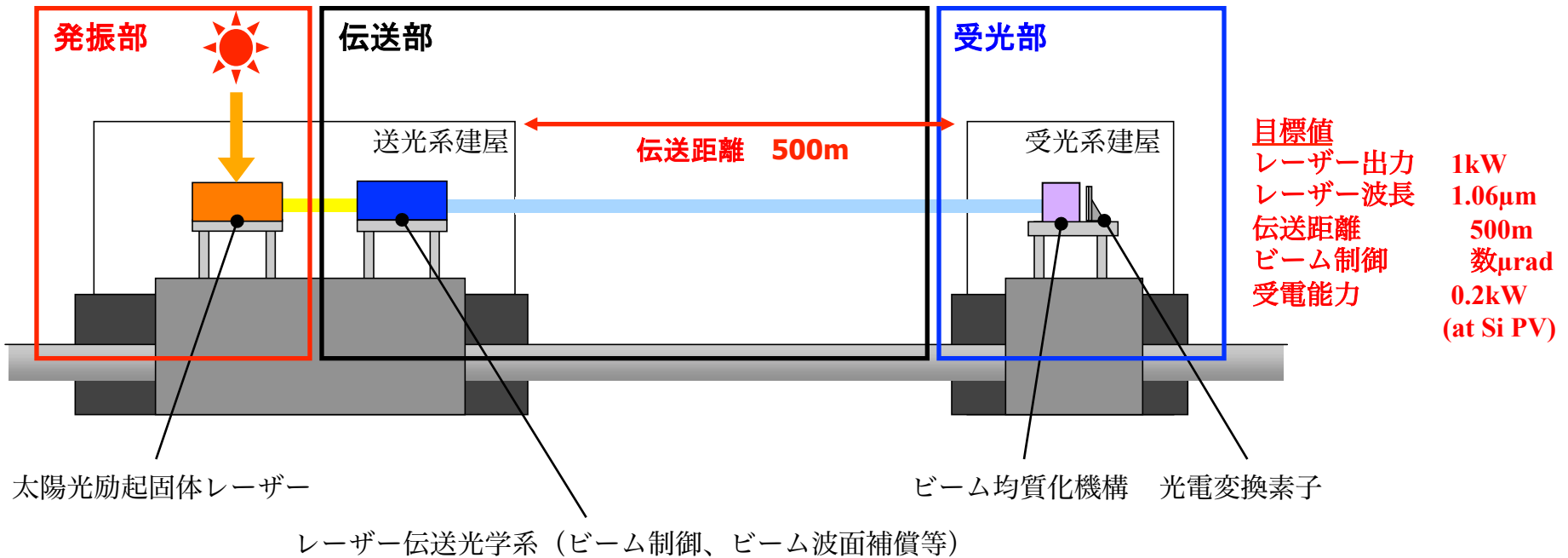
# マイクロ波送電技術の地上実証

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



本年度はビーム方向制御部の原理部分の設計試作試験を実施

# 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

太陽光

高集光



目標: 集光率1000-2000倍  
現状: 集光率600-800倍

Cr/Nd:YAG結晶



目標: 散乱係数0.1%  
現状: 散乱係数0.6%

レーザー(1.06 $\mu$ m)

目標: 出力100W, 効率20%  
現状: 出力数W(十数W)、数%

ビーム方向精密制御

目標: 数 $\mu$ ラジアン  
現状: 試験準備中

高効率受光

目標: 20%以上  
現状: 試験準備中





福井大等との共同で実施中の太陽光直接励起レーザー発振実験



以前実施した200W クラスレーザー送電実験(角田/JAXA)

# 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

太陽発電衛星

非集光型

集光型

バス電力型

発電電一体型

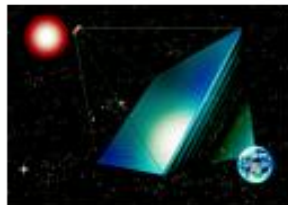
バス電力型

発電電一体型

レーザー直接励起型



NASA リファレンスモデル



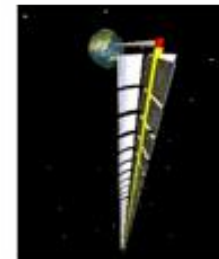
USEFテザーモデル



NASA サンタワー



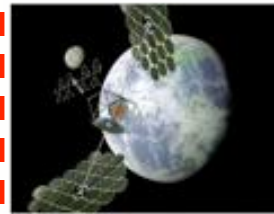
NASDA 2001モデル



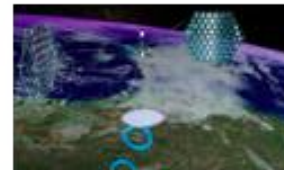
JAXA L-SSPS



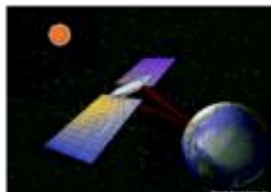
ISAS SPS2000



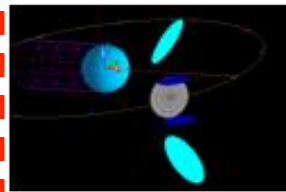
NASA ISC



IAA研究モデル



NEDO グランドデザイン



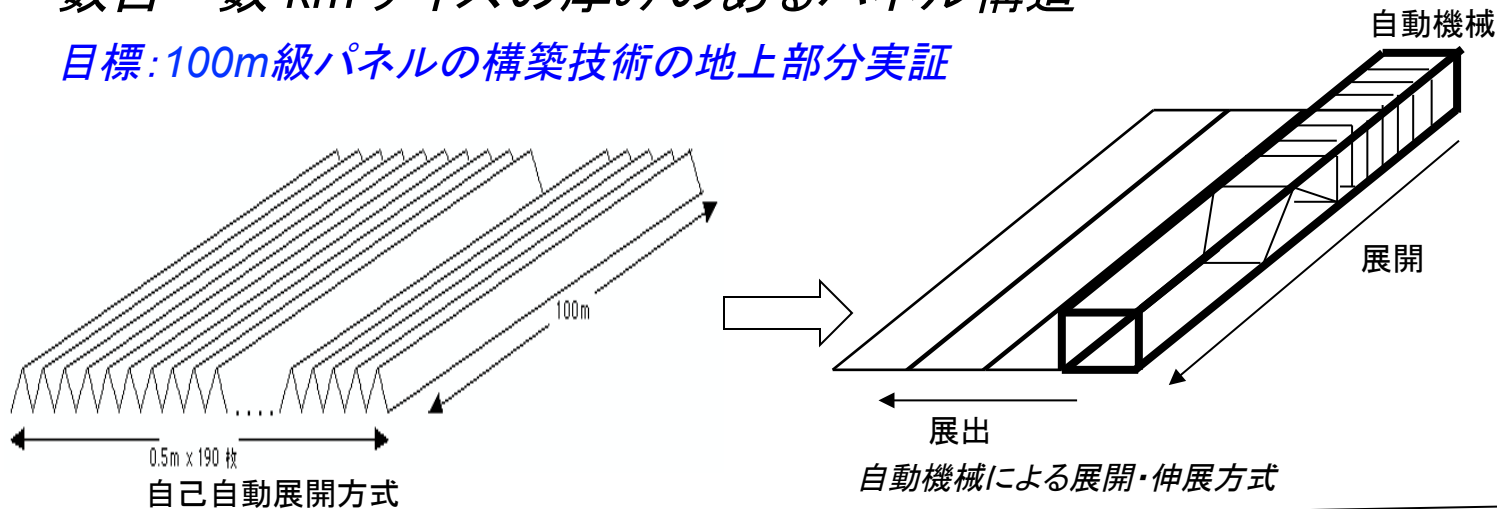
JAXA M-SSPS



# SPSに必要な大型構造に係わる研究

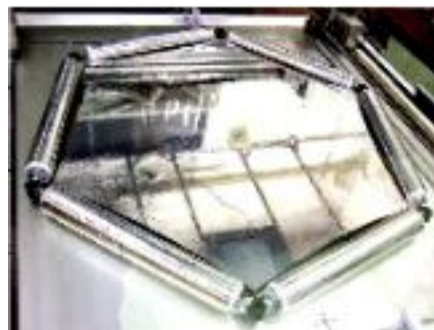
数百～数 kmサイズの厚みのあるパネル構造

目標: 100m級パネルの構築技術の地上部分実証

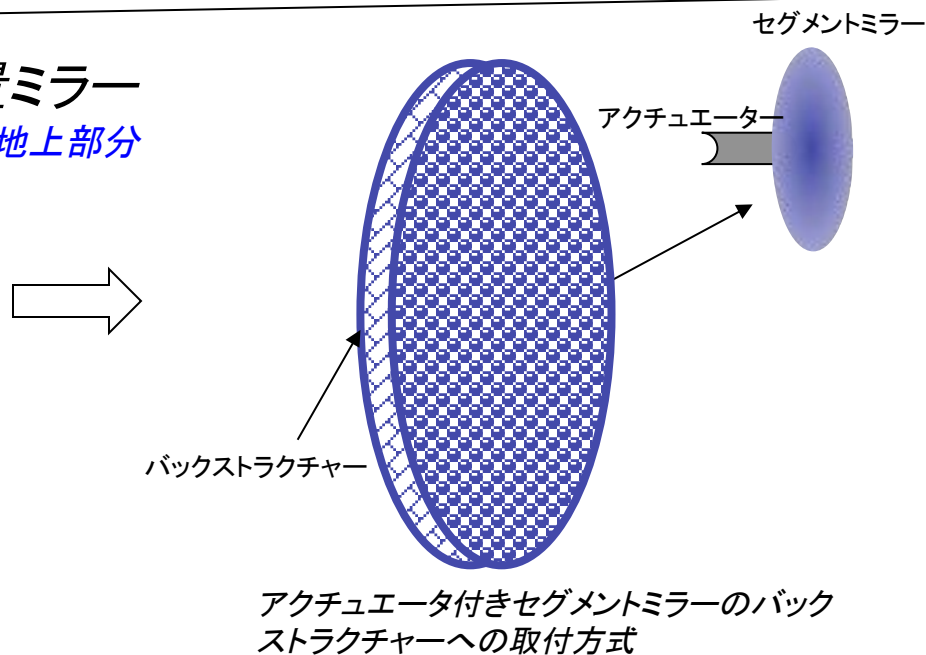


数百～数kmサイズの超軽量ミラー

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

# 反射鏡の集光性能評価

## 鏡面評価

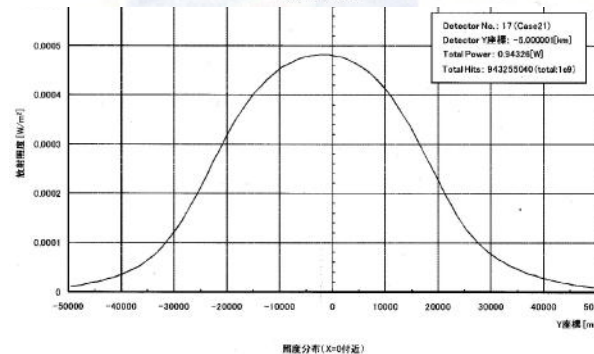
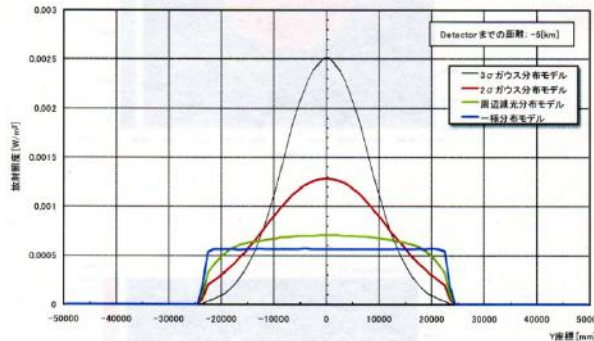
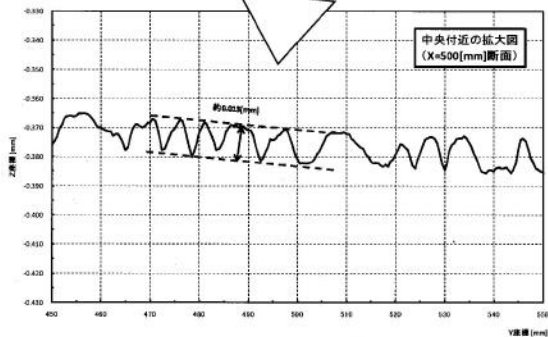
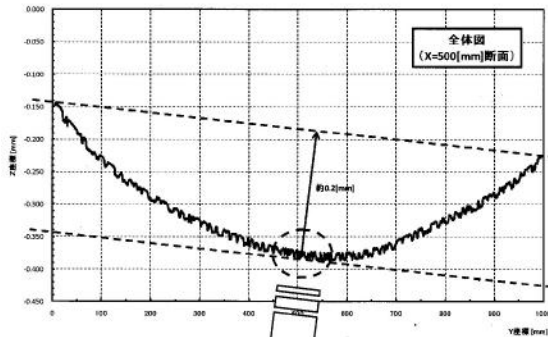
サンプル:リフェックスマirror(平面膜鏡、透明ポリエステル、裏面アルミ、反射率83-95%, 1mx1m)

レーザー変位計:計測精度0.1mm(相対的には0.01mmで計測できている)

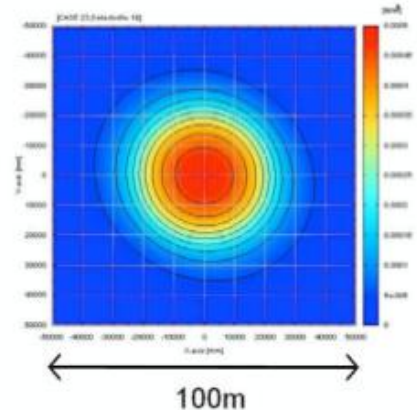
## 照度分布評価

光学解析ソフト:ZEMAX

計算の前提:太陽の視野半角(0.267度、4.66mrad)、太陽の周辺減光 $0.6\mu\text{m}$ のもの(外縁部で中心部の約50%)



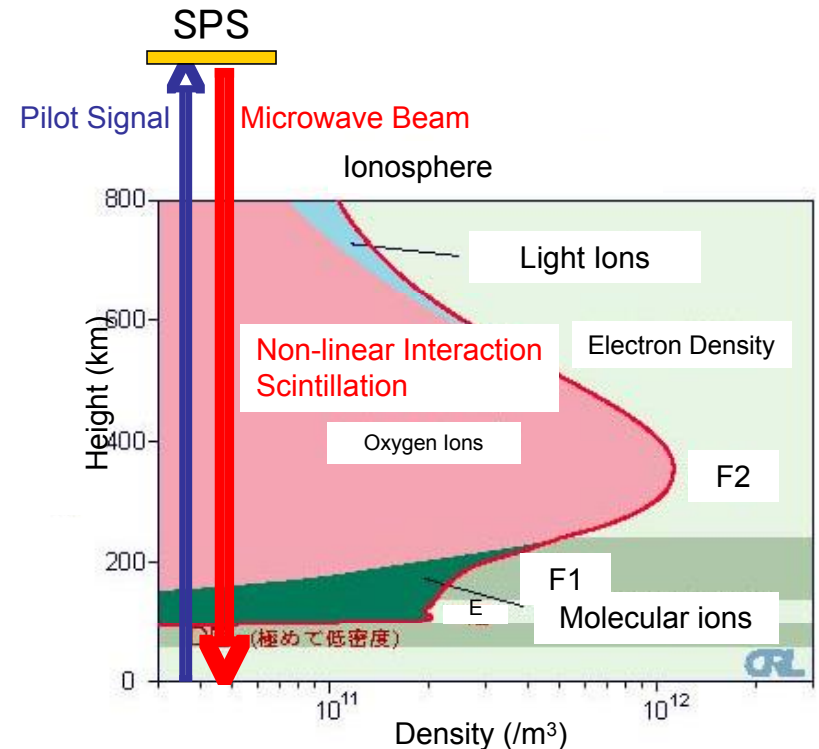
0.013mm (小振幅) / 3mm (長さ)  
 =4.3mrad, 5kmで22m  
 0.2mm (大振幅) / 500mm (長さ)  
 =0.4mrad, 5kmで2m  
 4.66mradの太陽角, 5kmで23m



# マイクロ波送電の軌道上実証実験

## 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)



# 小型衛星を用いたマイクロ波送電実験の案

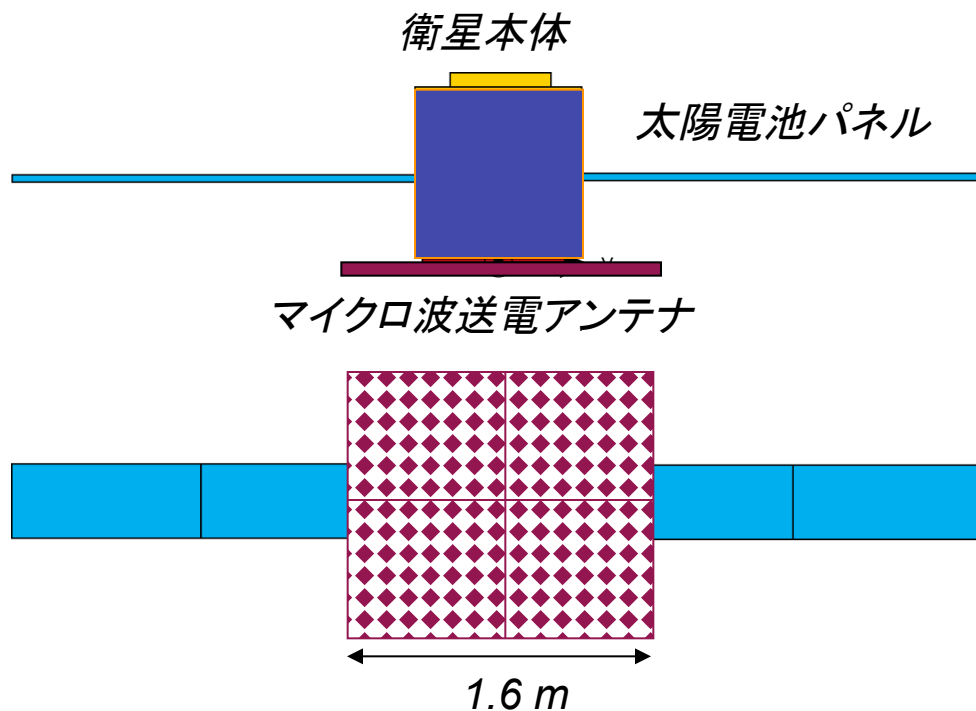
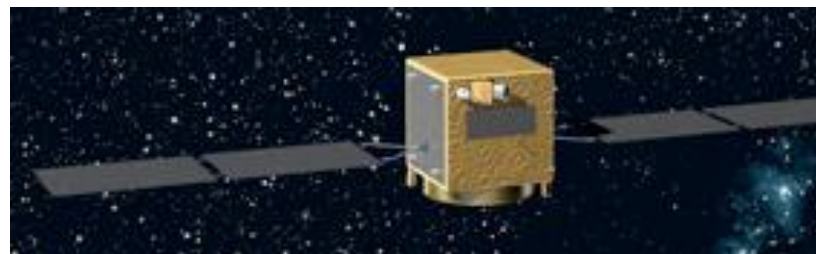
軌道: 低高度周回軌道 (370 km)

衛星重量: 400 kg

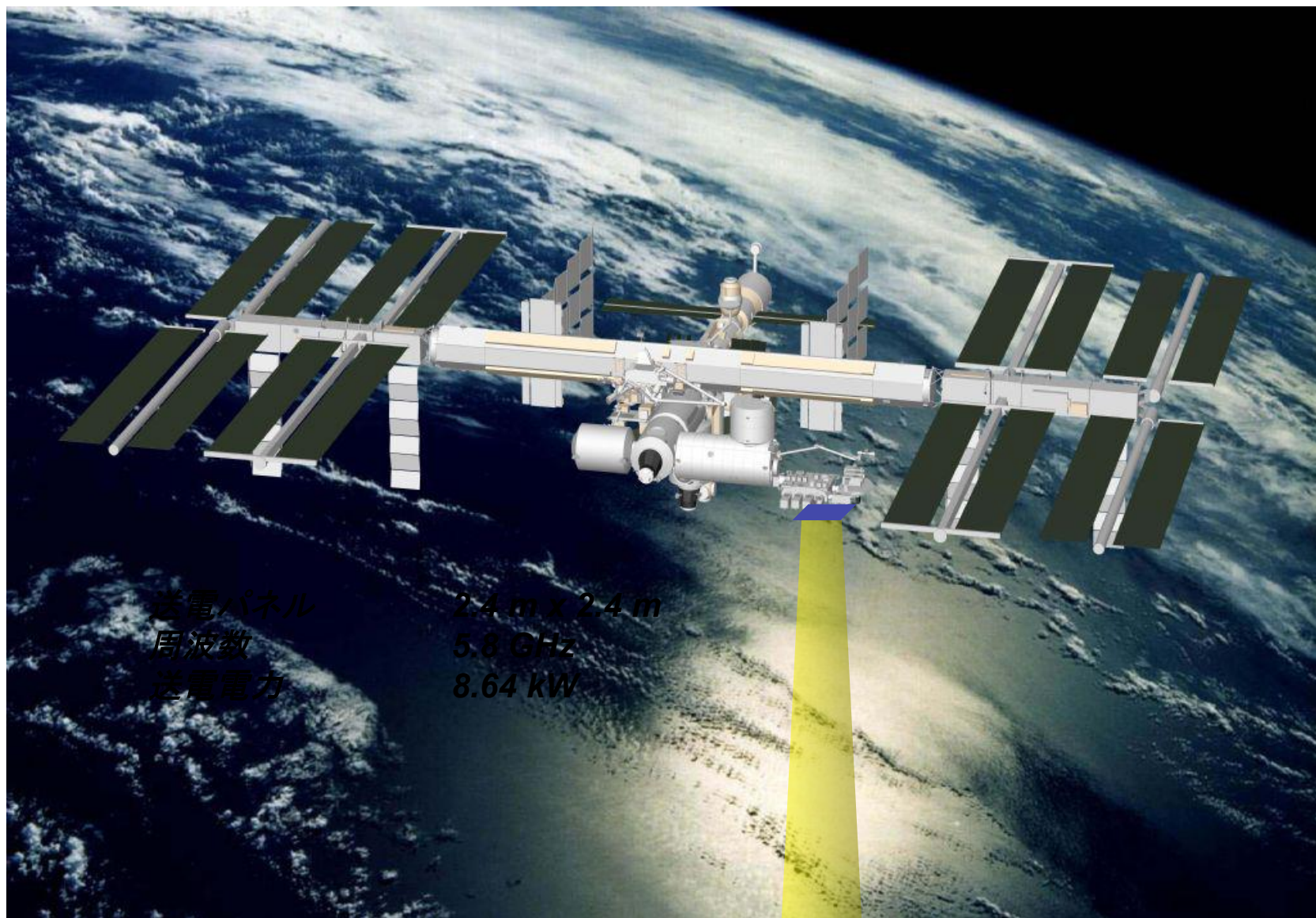
実験機器重量: 200 kg

姿勢制御: 3-軸制御

送電電力: 3.8 kW



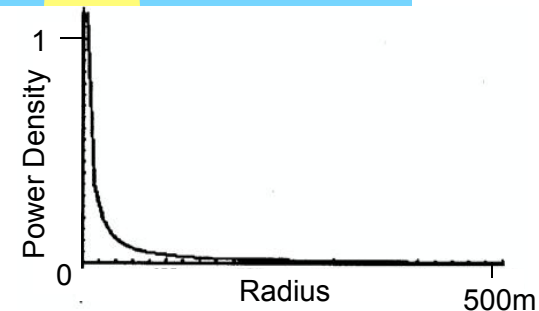
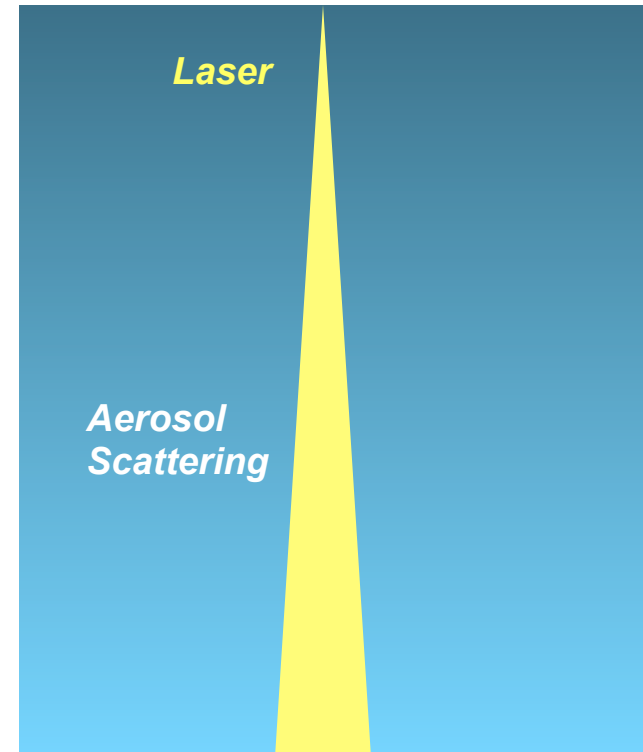
# 宇宙ステーション日本実験モジュール(JEM)でのマイクロ波送電実験案



# レーザー送電の軌道上実証実験

## 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



# 宇宙ステーション日本実験モジュール(JEM)を利用したレーザー送電実験案

## 国際宇宙ステーション日本実験モジュール(JEM)



レーザー送電装置  
1 kW, 1.06  $\mu\text{m}$   
20 cm $\Phi$  送光系

レーザービーム

ビーム拡がり 15  $\mu\text{rad}$   
指向精度 1  $\mu\text{rad}$

ガイドビーム

受電システム  
10 m $\Phi$  受光系  
出力200 W



受光セルアレイ

## システム検討(実現性のある開発計画の策定)

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	JAXA内の宇宙輸送の専門家とのロードマップとその実現性についての検討の枠組み準備中。
	開発計画	SPS実現に至るロードマップの検討	JAXA内の担当者による技術ロードマップの作成中。その後外部専門家との協働で詳細化。

### 検討のベースとしている実証計画案

実証フェーズ	地上実証	小型衛星あるいはJEM	大型衛星	2MW級プラント	200MW級実証プラント
電力レベル、軌道	KW級、地上	KW級、低軌道	100KW級、低軌道	2MW、低軌道又は1000km付近	200MW、低軌道又は静止衛星軌道
ビーム制御技術実証	100m級	400km級	400km級	(36000km級)	36000km級
電離層通過実証	-	1kW/m <sup>2</sup> 級			
電力伝送実証(受電電力)	(試験的レクテナkW級)	-	小型レクテナ10kW級	大型レクテナ2MW級	大型レクテナ200MW級
SPSとしての全機能実証	-	-	10kW級	2MW級	200MW級
実用電力の供給	-	-	-	2MW級	200MW級



# 現段階で検討のベースとしているロードマップ



# まとめと課題

1. JAXAでは、SSPSの中核課題である無線送電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軸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当初計画より遅れてスタートしたが、目標達成の目処が立ちつつある。但し今後の開発資金に不透明さがある。
3. レーザー送電については、太陽光直接励起部の難度が想定以上に高く研究開発が当初予定よりも遅れている。
4. 大型構造については、地上実証すべき事項の洗い出しと地上実証方針設定が完了した段階である。
5. 近未来の軌道上実証については、本年中に実験内容の検討を終え、来年度半ばまでにプリプロジェクトの段階にすることを目標としている。
6. 輸送系を含む技術検討に基づくロードマップは本年度中にその素案を完成することを目標としている。