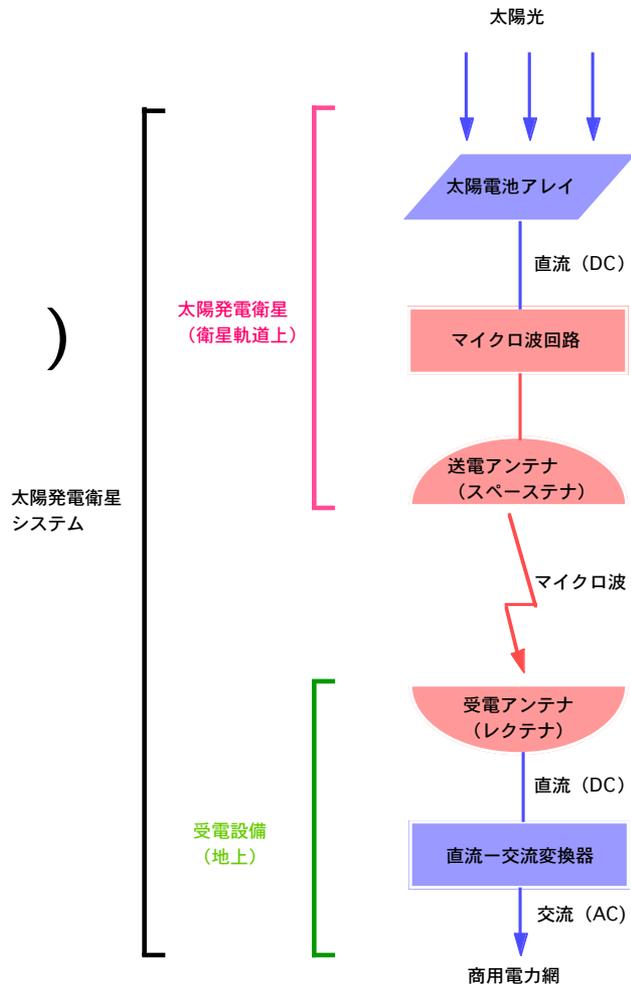


# 小型衛星による宇宙太陽発電の理工学的研究

2007年1月

1. 新しい発想の太陽発電衛星のコンセプト
2. 関連する理工学実験の必要性
3. 小型衛星による実証実験計画案

# 太陽発電衛星の原理とエネルギーシステムとしての特長



宇宙での太陽光からのエネルギー取得の効率<sup>1</sup>は地上太陽光利用の場合の**5~10倍**。一方無線送受電の効率は**50%**が期待できる。

従ってこのシステムは地上の太陽光利用に比べ**2.5~5倍**の高い効率で変動のない電力を供給できる**可能性**を持っている。

**クリーンで大規模なエネルギーシステムの可能性**

- ・ EPT (Energy Payback Time) : **数年以下**
- ・ コスト : **10~30円/kWh**
- ・ CO<sub>2</sub>負荷 : **化石燃料火力発電の数十分の一以下**
- ・ 取得可能エネルギー : **実質的に無制約**

# 太陽発電衛星の分類

## 太陽発電衛星

非集光型

集光型

バス電力方式

分散電力方式

バス電力方式

分散電力方式

レーザー直接励起方式

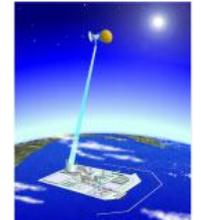
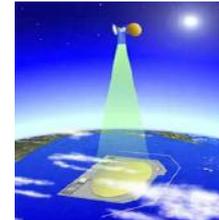
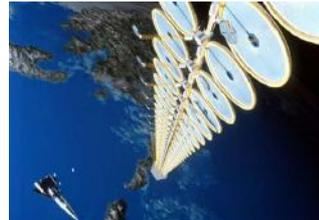
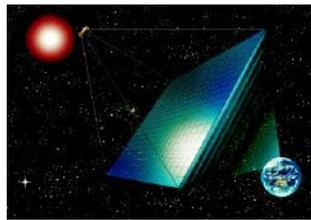
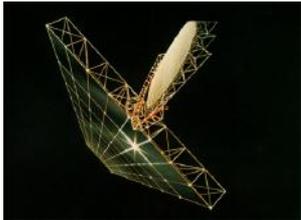
NASAリファレンスシステム  
SPS2000  
NEDOモデル

USEFベースライン  
(Tethered-SPS)

NASAサンタワー  
NASA ISC

NEDOオプション  
NASDA2001年モデル  
USEFオプション

NASDAレーザーSPSモデル



# 新しい考え方で設計したテザー太陽発電衛星

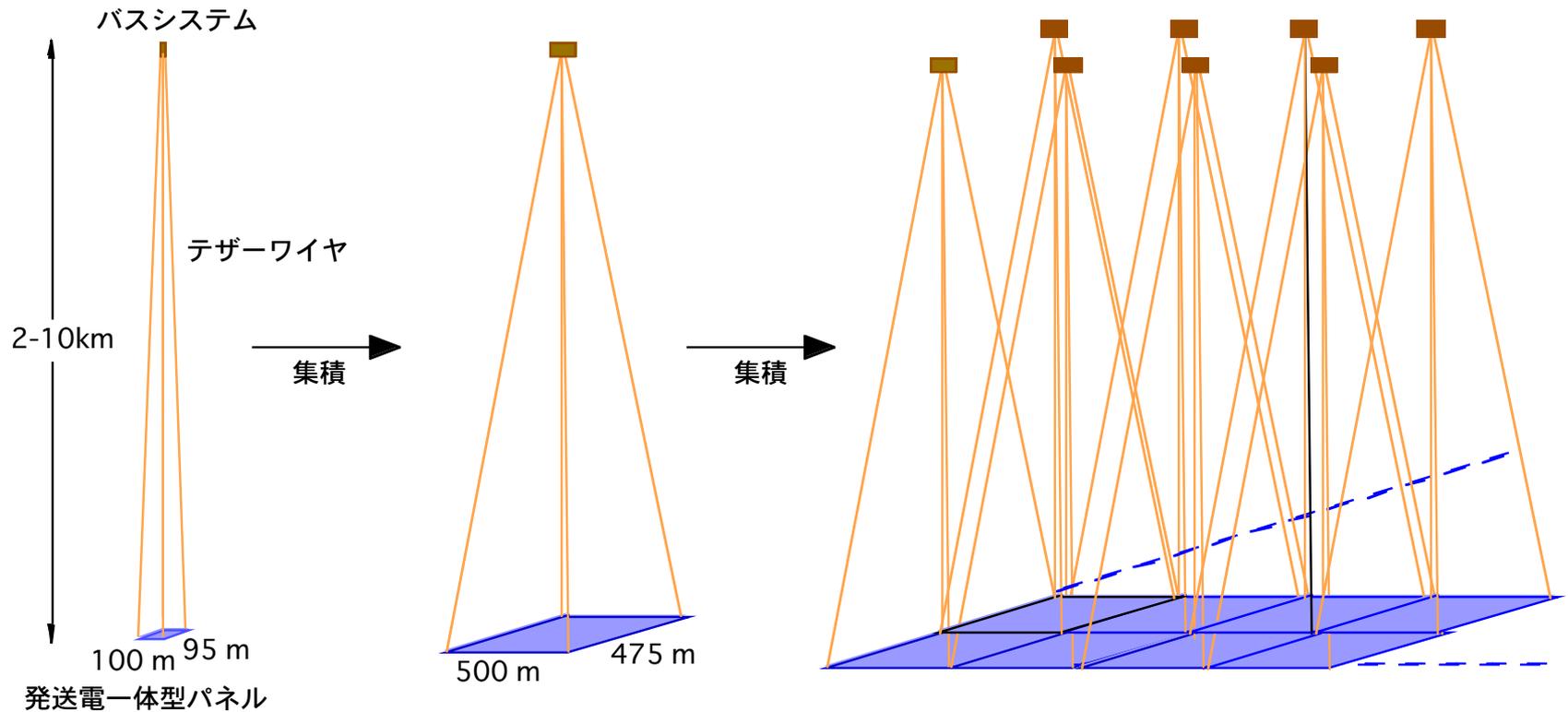


## テザー太陽発電衛星による問題の解決

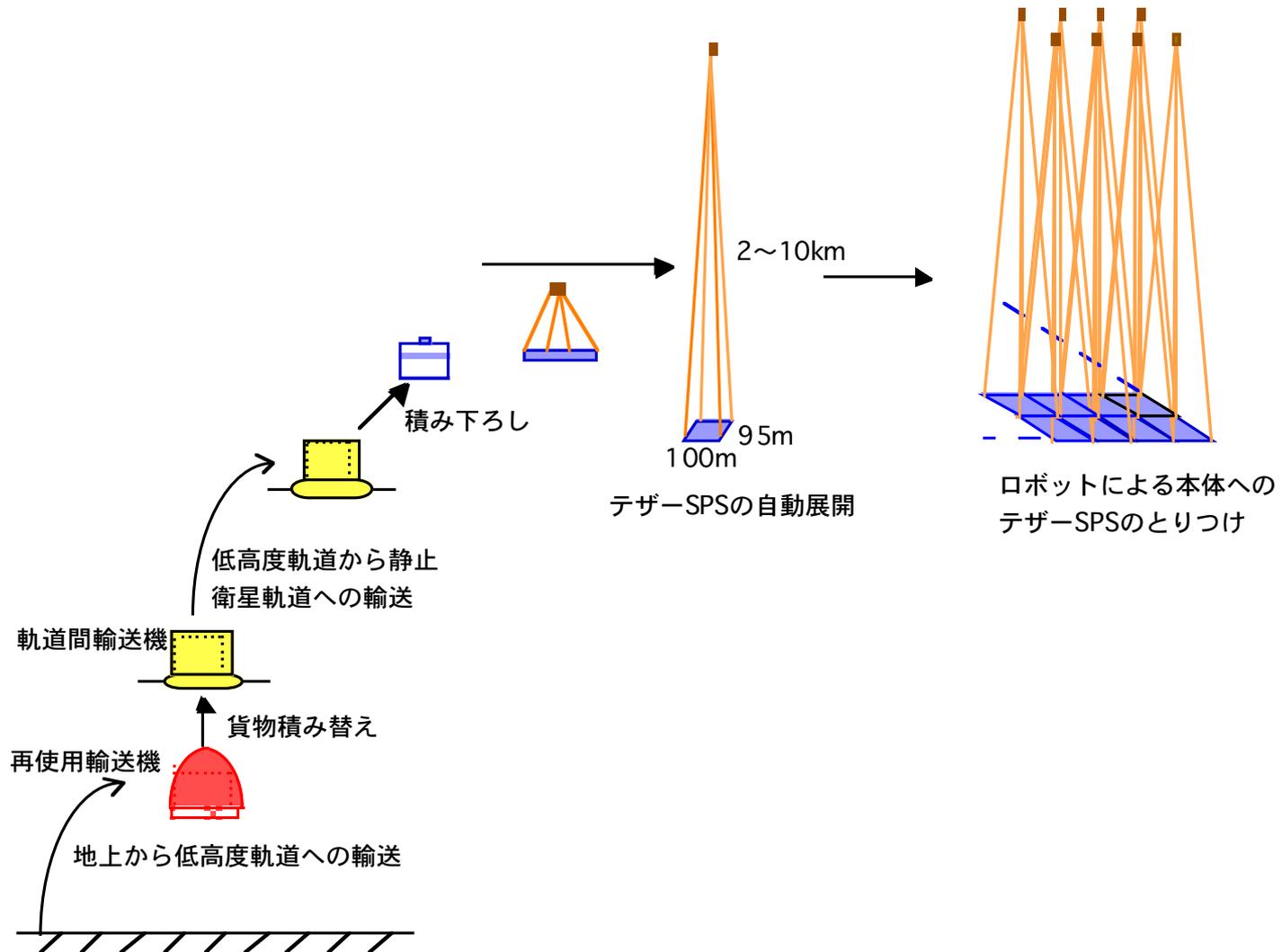
問題点	問題の内容	T-SPSによる問題の解決
回転電力伝達機能 ミラー回転機能	ロバスト性の欠如（冗長機能なし） 一点故障で全機能喪失	可動部なし
バス集電ケーブル 超電導ケーブル	非現実的なケーブル重量 超電導システムも現技術では適用困難。	バス集電機能なし
集光ミラー	集光部での排熱が困難 薄膜大型構造物の太陽指向姿勢制御が困難	集光ミラーなし
全ての建設が終了後に始めて機能動作可能	開発リスク、投資リスク 商業システムとして受け入れ困難	建設途上で性能検証可能
低高度軌道で建設、完成後静止衛星軌道へ移動	巨大な（非現実的な）軌道間輸送機が必要 低速移動のため半導体素子の放射線劣化が不可避	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

# テザー太陽発電衛星のインテグレーション

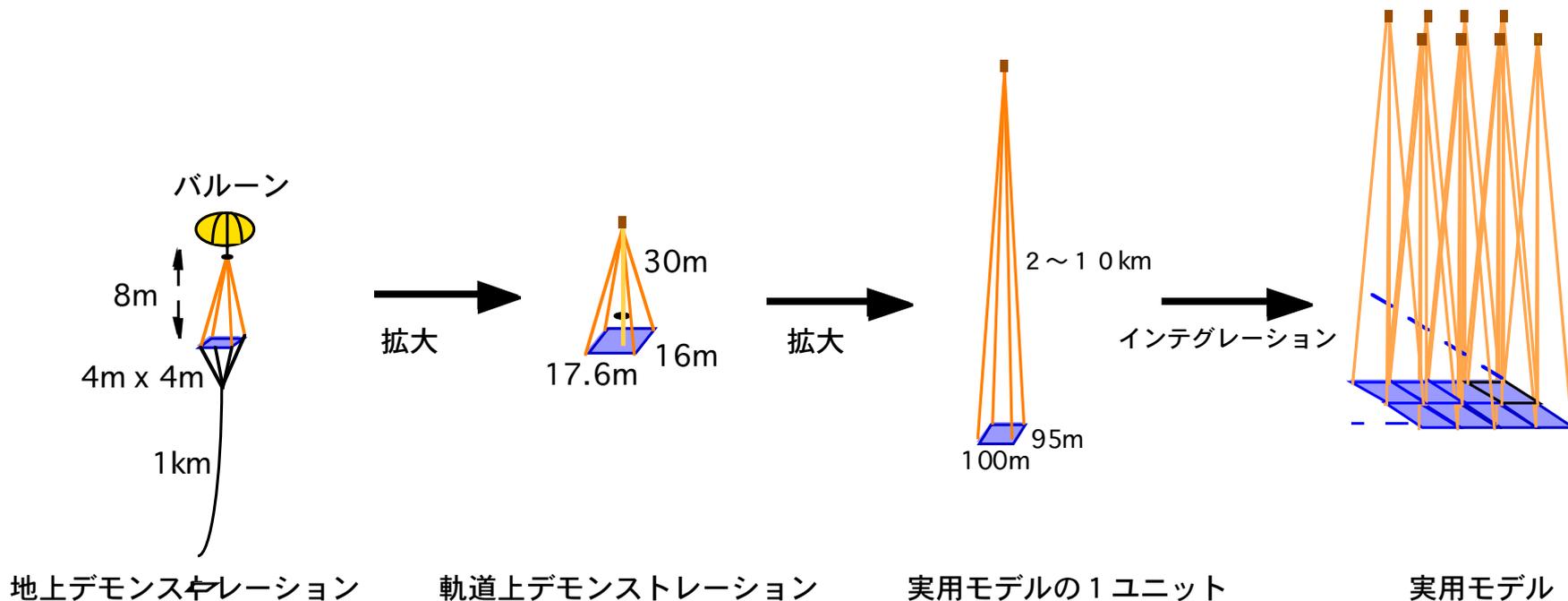
全重量: 26,500 MT 出力: 1 GW(一定)



# テザー太陽発電衛星の建設シナリオ



# テザー太陽発電衛星の進化



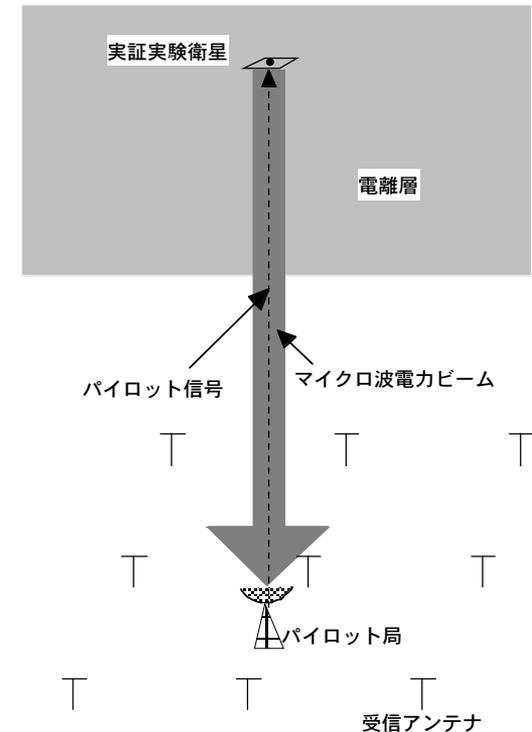
# SPS小型衛星実証実験の提案

## 主目的

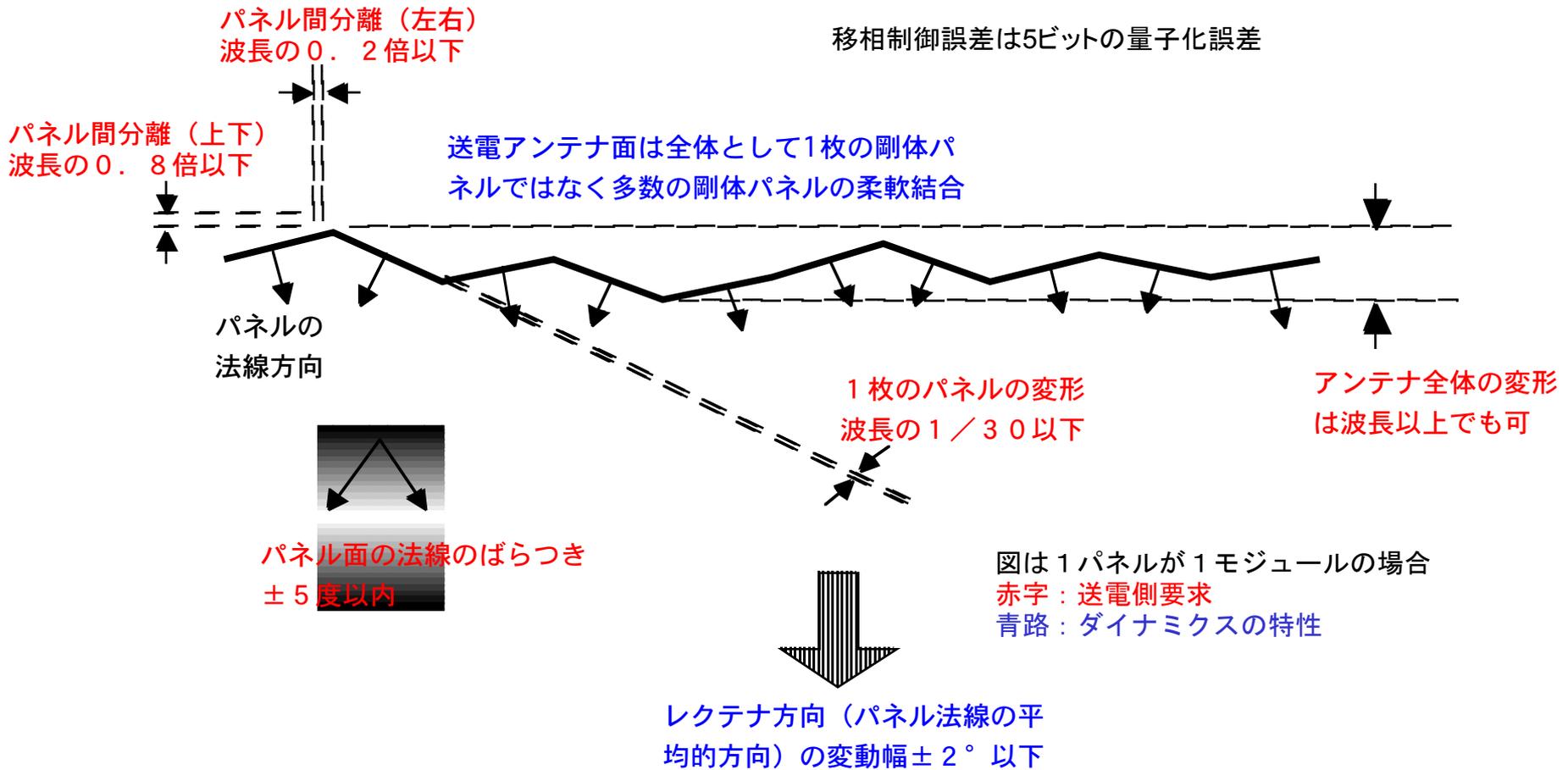
- (1) マイクロ波ビーム制御能力実証(軌道上のアンテナダイナミクスの条件の下でのパイロット信号への追従能力)⇨構造維持とビーム制御
- (2) マイクロ波の電離層通過実証⇨パイロット信号の位相擾乱と主ビームの非線形現象の評価

## 副目的

- (3) 軌道上平板パネルの展開方法の実証
- (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)



# パネルダイナミクス制御とマイクロ波移相制御の協 調的統合で実現するマイクロ波電力ビーム



## 電離層プラズマとマイクロ波との相互作用)

影響	メカニズム	評価
屈折効果	プラズマ(全電子数)による屈折)	パイロット信号による誘導を考慮すれば影響は問題とならない。
ファラデー回転	磁場による回転	伝送効率への影響は小さい
シンチレーション	プラズマ密度不規則構造による位相経路長の変動)	比較的激しいシンチレーションの場合 $N_r' = 5 \times 10^{16}$ electrons/m <sup>2</sup> $\Delta P = 0.34\text{m}$ (波長0.12mの2.78倍)(2.45GHz) $\Delta P = 0.06\text{m}$ (波長0.052mの1.16倍)(5.8GHz) (パイロット信号、送電ビームともに無視できない可能性がある。)
非線形作用	熱的自己収縮現象 マイクロ波密度勾配自己収縮現象 3波共鳴現象)	熱的自己収縮現象: 数百W/m <sup>2</sup> -数十kW/m <sup>2</sup> まで議論あり マイクロ波密度勾配自己収縮現象: 影響少ないと予想されている 3波共鳴現象: 影響少ないと予想されている

# マイクロ波と電離層プラズマとの相互作用

通過実証に係わる主な現象

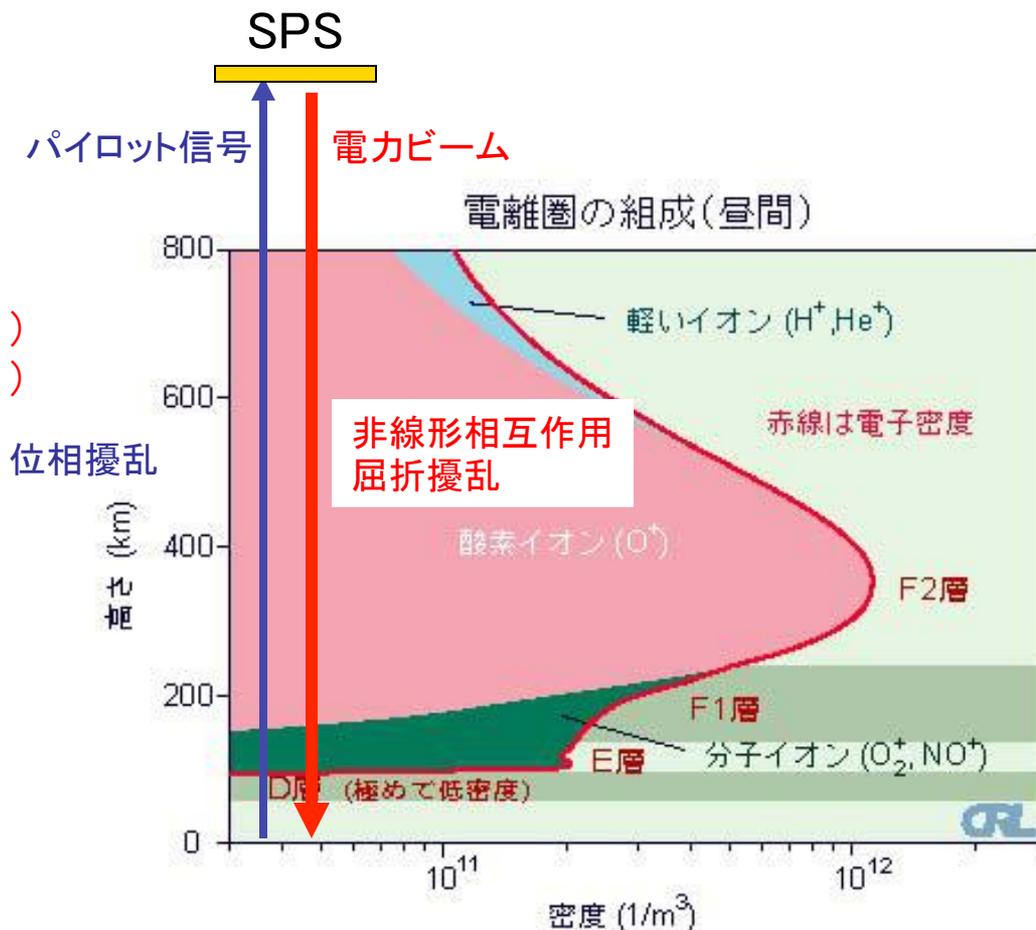
## 1. 位相経路長の変化

定常分: 10波長程度 ( $N=5 \times 10^{17} \text{ e/m}^2$ )

擾乱分: 波長程度 ( $\Delta N=5 \times 10^{16} \text{ e/m}^2$ )

## 2. 非線形作用

熱的自己収縮現象



# 太陽発電衛星の比重量比較

フェーズ	モデル	軌道上出力	重量	比重量	備考
実用	NASAリファレンスシステム	6.5 GW	50000 トン	7.7 g/W	
	NASDA2002モデル	1.34 GW	10000 トン	7.5 g/W	平成13年度宇宙太陽発電システムの研究成果報告書 宇宙開発事業団
	平板型テザーSPS	1.32 GW	27000 トン	20 g/W	
	Sun Tower(GEO)	1.2 GW	15700 トン	13 g/W	Powell et al., 51 <sup>st</sup> IAC, 2000
	Integrated Symmetrical Concentrator	1.2 GW	18000~31500トン	15g/W~26g/W	Carrington and Feingold, IAC-02-R.P. 12
	European Sail Tower	275 MW	2140 トン	7.8 g/W	Seboldt et al., Acta Astronautica, 2001
実証	SPS2000	10 MW	240 トン	24 g/W	概念計画書1993年
実験	SPS-WT実験衛星	100kW	8トン(発送電部のみ)	80g/W	篠原,、2001年(NASDA SSPS検討委員会)
	テザーSPS軌道上実証モデル	280 kW	18.1トン	65 g/W	S.Sasaki et al., ISAS Res.Note 2005

# SPS小型衛星実証実験たたき台案(1/2)

衛星重量	400-1000kg
想定ミッション重量	240-600kg(以下は600kgの場合。400kgの場合は下記数値の40%)
送電電力規模	マイクロ波送電能力で6kW程度(現状技術100kg/kW)
マイクロ波電力	発送電一体型パネルあるいはバスからの電力供給
アンテナサイズ	3.2m×3.2m=10m <sup>2</sup> (5.8GHzで62λ×62λ)
太陽電池	発送電一体型の場合は薄膜太陽電池(CIS又はアモルファスシリコン) 最大1.3kW(効率10%)
バス	小型科学衛星共通バス
姿勢制御	重力安定(テザーまたはトラスによる)又は3軸制御
姿勢維持	±1°(共通バスによる)
軌道維持	スラスタ(数N程度)または電気推進(共通バスによる)
送電周波数	5.8GHzまたは2.45GHz
マイクロ波回路	マグネトロン+半導体、または高出力半導体構成
ビーム制御	搭載CPU制御及び地上からのパイロット信号によるレトロ方式
位相制御精度	5ビット
観測器	プラズマ計測器、電子エネルギー分析器、波動受信機
モニター	TVカメラ、電力、温度等HK

## SPS小型衛星実証実験たたき台案(2/2)

テレメトリ	1Mbps/40kbps(共通バスによる)
コマンド	4kbps(共通バスによる)
軌道:	円軌道、高度370km、3日の準回帰軌道
実験(送電)場所	日本に限らないが、日本を含む。 国際的なキャンペーンとしては、米、欧、ロシア、中国、インド等でも受信
電力密度	600W/m <sup>2</sup> (アンテナ部)、300W/m <sup>2</sup> (50m先)
地上電力密度	最大0.012 $\mu$ W/cm <sup>2</sup> (5.8GHz、高度370km、10m <sup>2</sup> ,6kWの場合) 平均的には雨傘程度のアンテナでLED点灯程度か (LED点灯最低電力シャープGL3PR8/赤色1.65V0.002mA, 0.0033mW)
ビームサイズ	地上で直径14km(同上)
地上施設	パイロット信号UPLINK局(1~10KW級)(JAXA局) 受信アンテナアレイ(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) 管制局、追跡局(JAXA局)
運用	受信局上空で5分間/パスで実験を行う(1日3パス程度、3日に1回真上通過)
実験モード	搭載CPU制御モード(搭載側でビーム方向制御) 誘導電波制御モード(地上からのパイロット信号でビーム方向制御)