



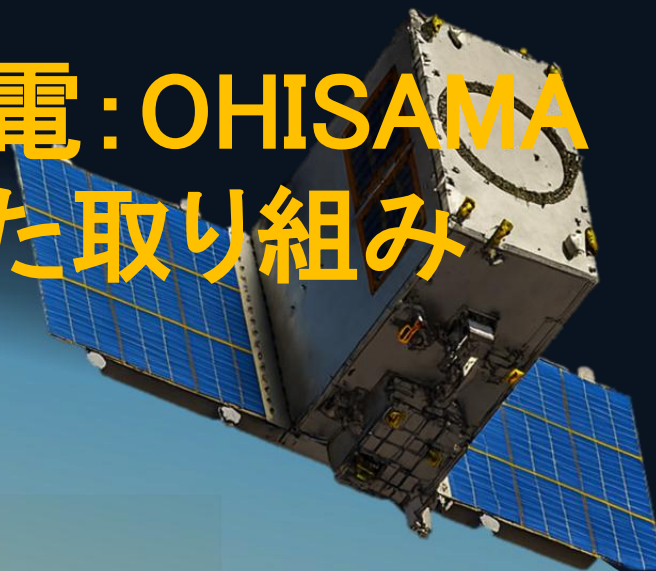
On-orbit experiment of High-precision beam control using
small SATellite for MicrowAve power transmission

R7年10月28日
NIHONBASHI SPACE WEEK

JSS主催サイドイベント

「宇宙太陽光発電(SSPS)- 2025年JSS活動報告 -」

宇宙からの無線送電: OHISAMA Project に向けた取り組み



JAXA宇宙科学研究所
田中 孝治

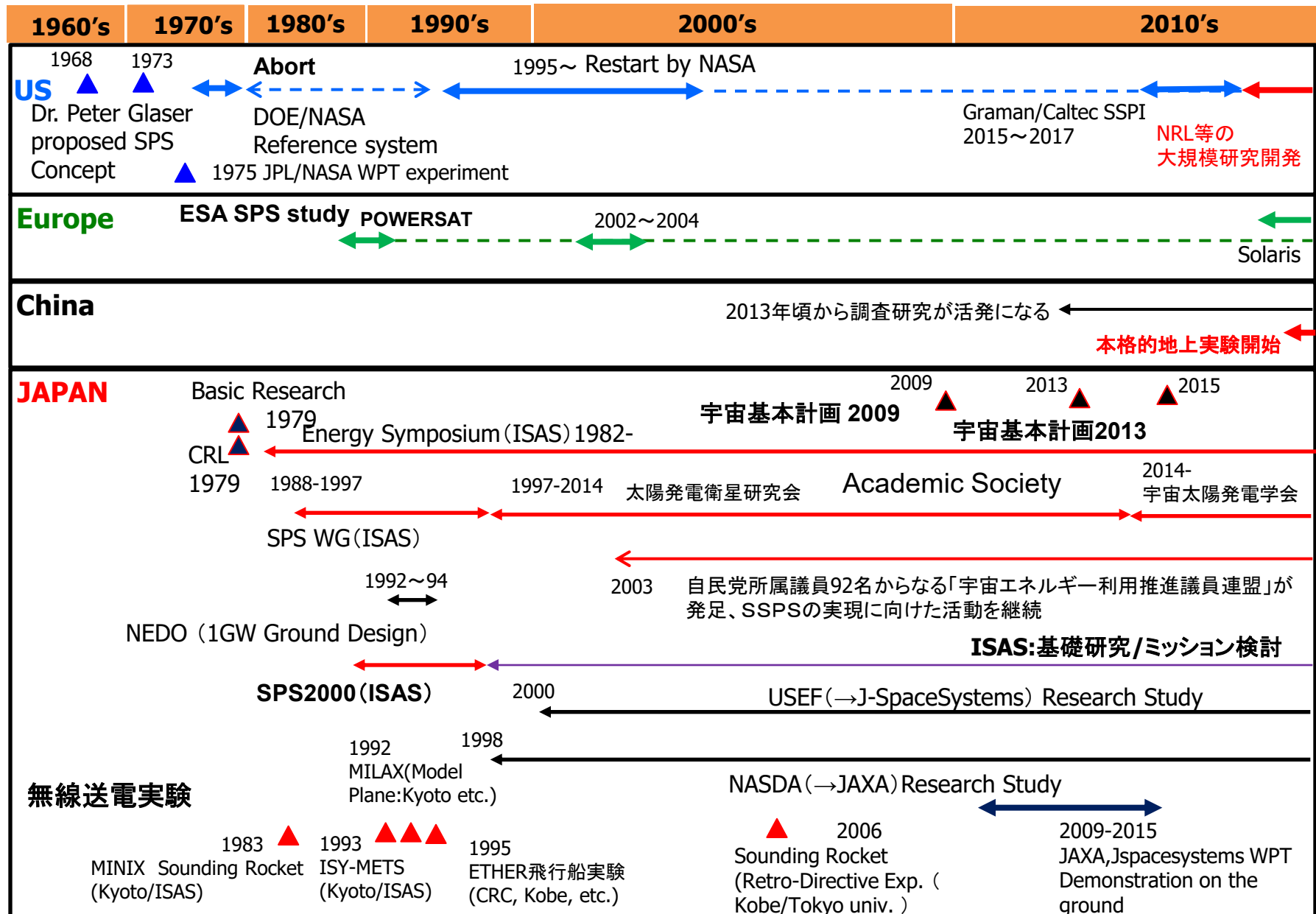
内容

- 太陽発電衛星 (SPS) の研究の背景
for the Earth
for the Moon
- 無線送電技術の実証
- OHISAMAプロジェクトにおける実験衛星の
開発
- まとめ

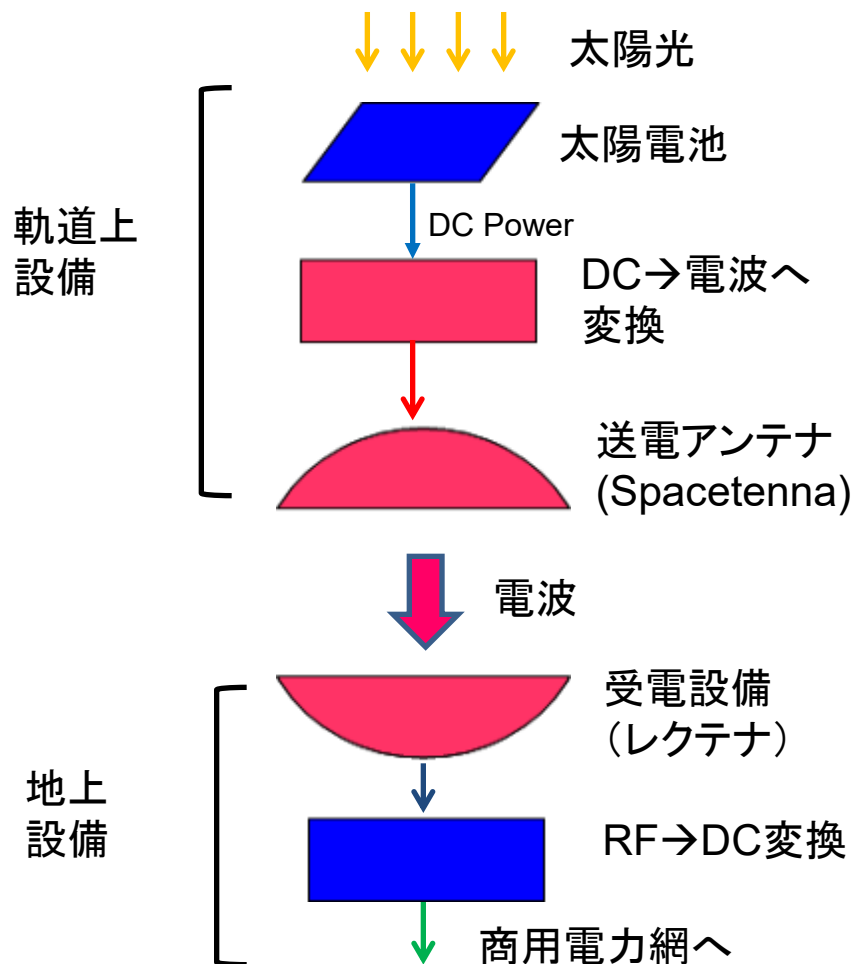
Background (1)

- The concept of the Solar Power Satellite (SPS) was proposed by Peter Glaser in 1968.
- SPS has been studied and developed in Japan since the 1980s. The conceptual study of SPS2000 conducted mainly at ISAS in the late 1980s is one of the most famous studies and is highly evaluated for its high feasibility. In the 2000s, the National Space Development Agency of Japan (currently JAXA) and the Ministry of Economy, Trade and Industry conducted a conceptual design of a future practical SPS.
- The Basic Plan on Space Policy determined by the Strategic Headquarters for Space Policy in 2009, and revised 2015, 2020 and 2023. SPS is mentioned as one of the important items. Space demonstration experiment by microwaves at LEO by 2025 was mentioned.
- Since 2019, the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) has been conducting a solar power satellite development project for future practical use.

宇宙太陽発電の歴史



太陽発電衛星（SPS）の原理と特徴



軌道上太陽光エネルギー密度 1350W/m^2
地上平均太陽光 140W/m^2

宇宙での太陽光からのエネルギー取得の効率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。

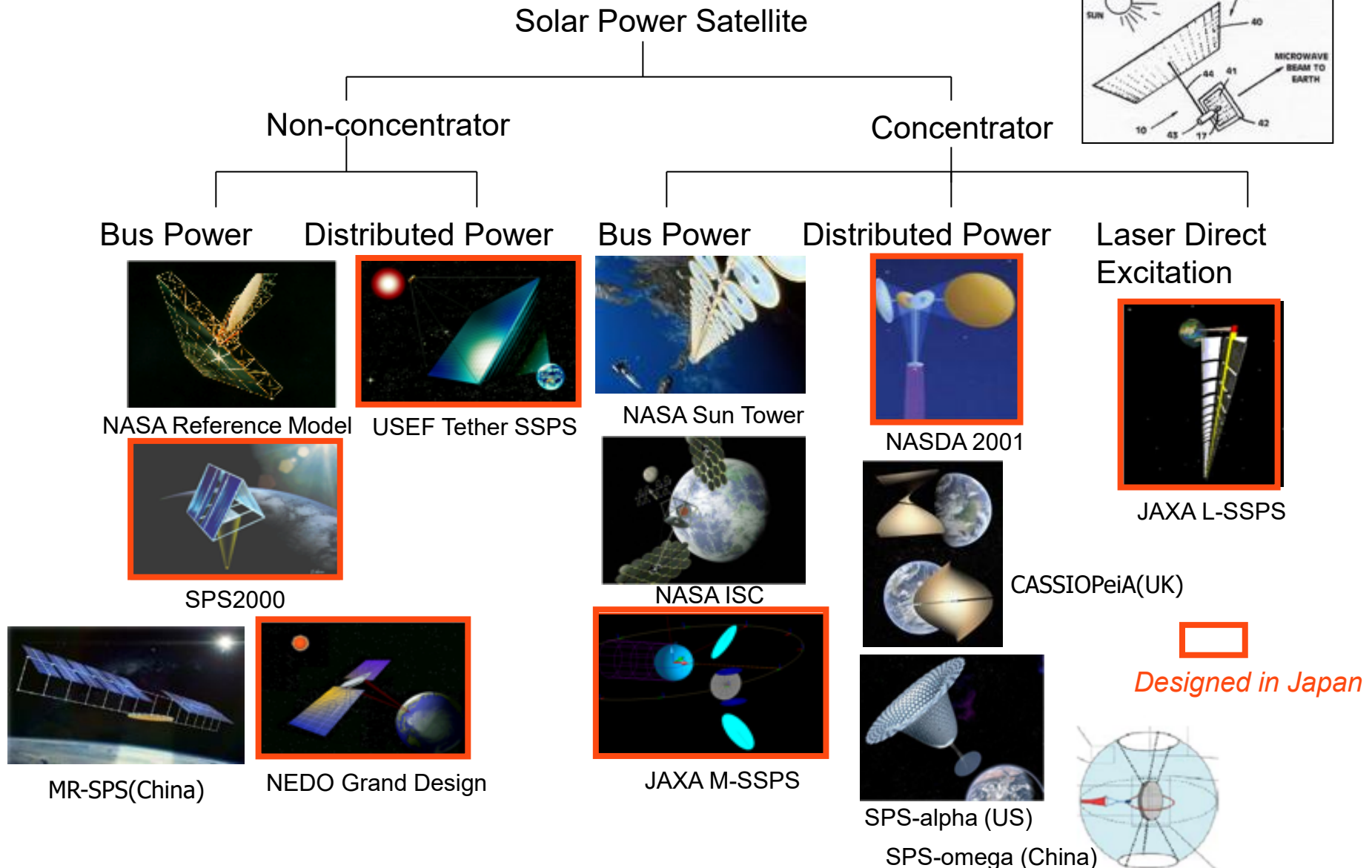
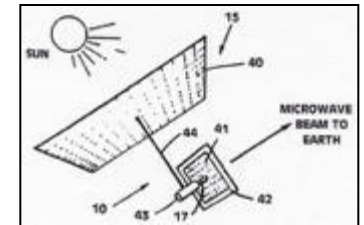
従ってこのシステムは地上の太陽光利用に比べ**2.5～5倍**の高い効率で電力を取得できる**可能性**を持っている。

地上の太陽光発電は発電量が変動し予測できないが、宇宙で発電した場合は、予測可能

クリーンで大規模なエネルギーシステムが実現できる
取得可能エネルギーは実質的に**無制約**

Typical SPS Concept

Glaser, P.E.



DOE/NASA Reference Designed in end of 70's

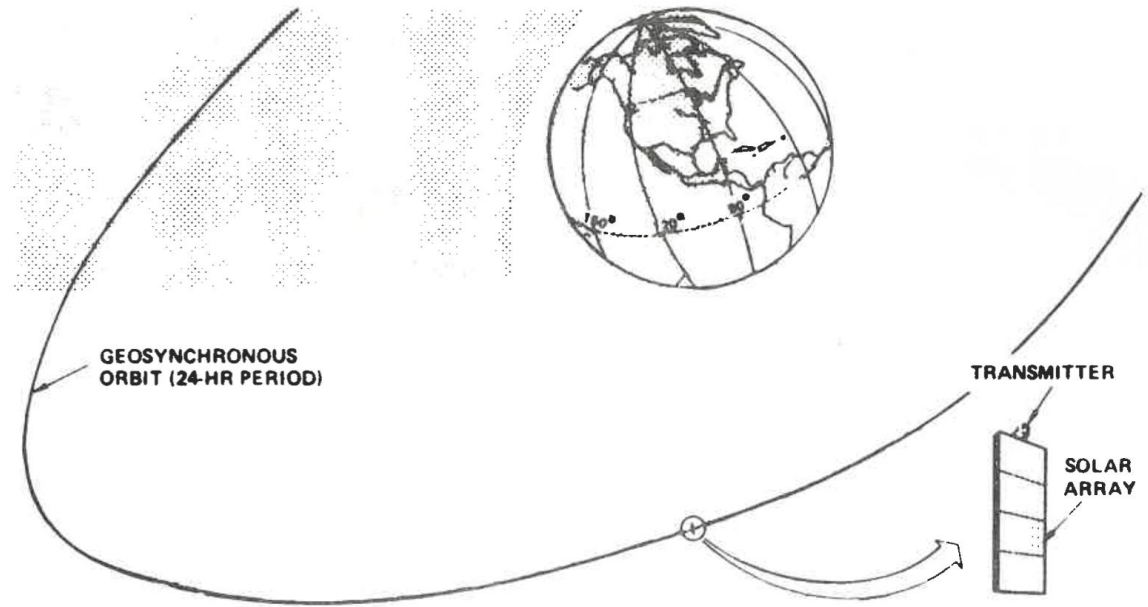
Famous Classic Model of SPS

Output Power : 5 GW

Weight : 50,000 tons

Size : 5km x 10km x 0.5 km

**Diameter of Transmitting
Antenna: 1km**



They aimed to supply all electricity of the United States with 60 satellites.

However, this was too large a plan for the time.

DOE/NASA Reference System

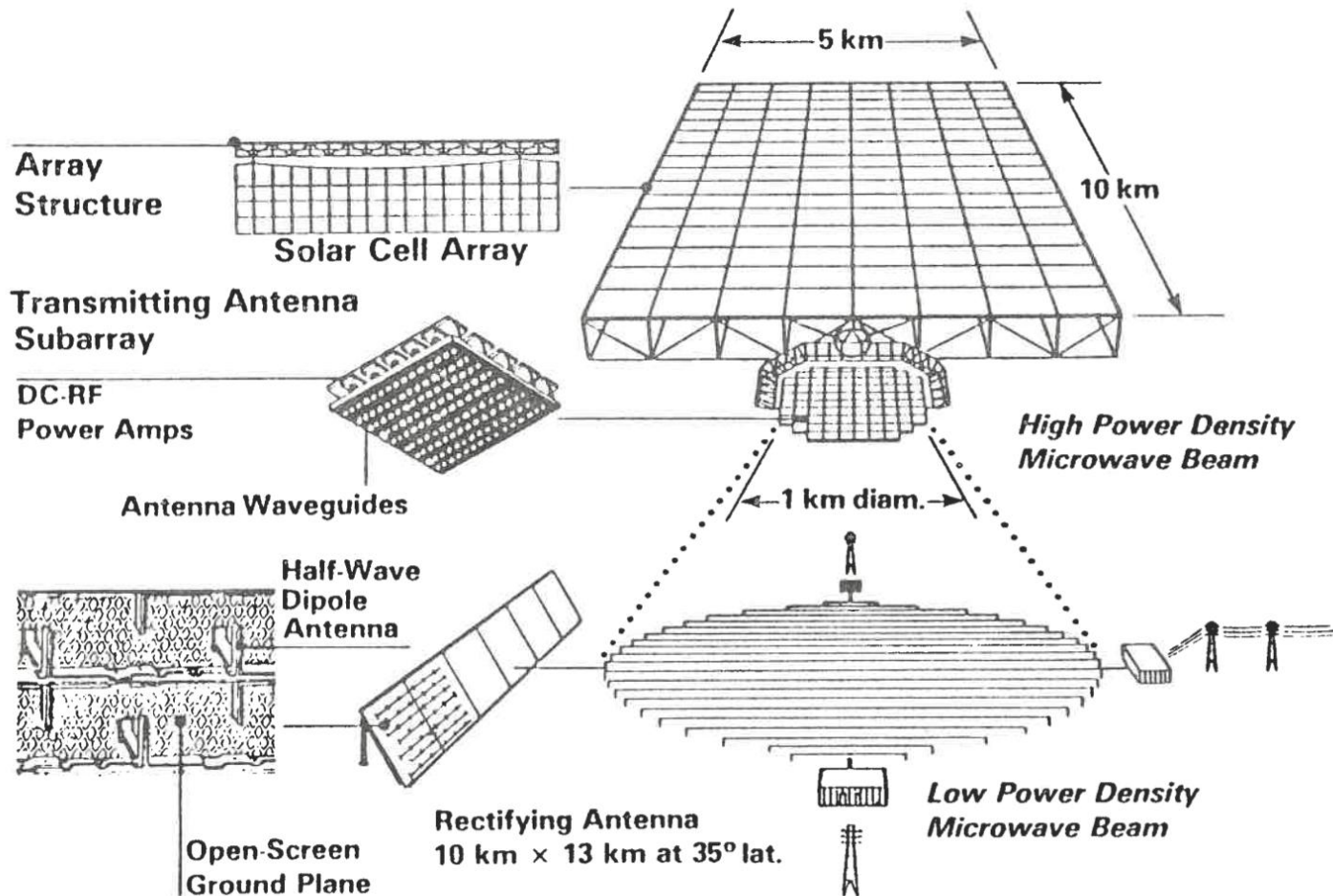


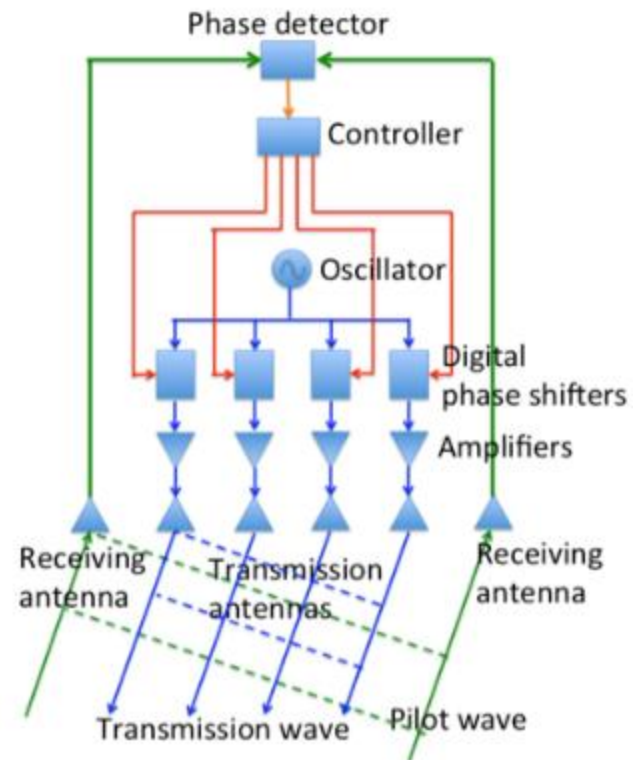
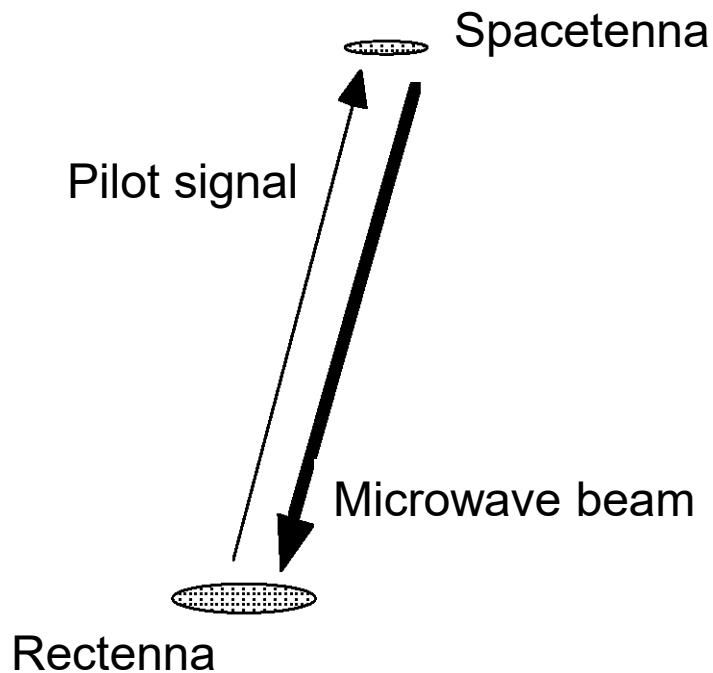
Figure 3. Basic SPS Reference System Characteristics

Problems to be solved toward SPS

- **Power generation Technologies**
 - Large scale Power Generation in the Space environment
 - Power management, Distribution and Control
- **Wireless Power transmission Technologies**
- **Construction and Control Large Scale structure**
- **Space Environment (Radiation and Debris, etc.)**
- **Low cost & mass space transportation**
- **Others**

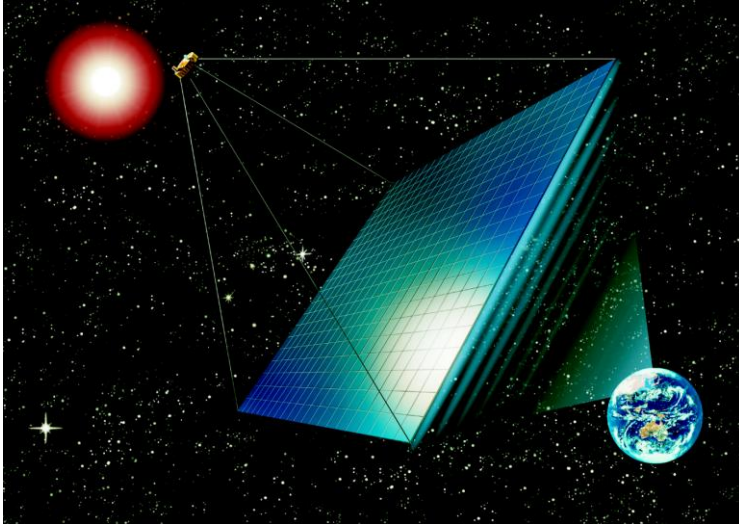
太陽発電衛星における長距離無線送電

レクテナ（受電サイト）からのガイド信号（パイロット信号）を用いた長距離高精度マイクロ波ビーム制御。（静止衛星の場合であれば1km離れて3cm内に指向する精度）



Recent 1 GW Class SPS Concept in JAPAN

Mass : several tens of thousands of tons、 Size : $\sim$ several kms



Tethered SPS (Jspacesystems)

Microwave power transmission system:

2.5 km $\times$ 2.37 km, t:several cm (thickness)

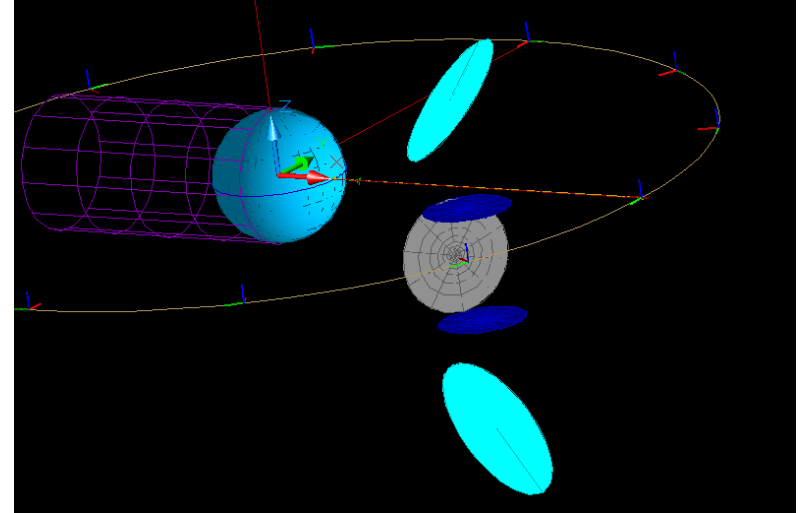
Non-sun tracking power generation system

Gravity gradient stabilizing system using tether
(5–10km)

Multi bus system

Total mass : 26,500 tons

Simple but low power efficiency (64%)



M-SSPS (JAXA model)

Microwave power transmission system :

ϕ 1.93km

Sun tracking power generation system :

ϕ 1.25km

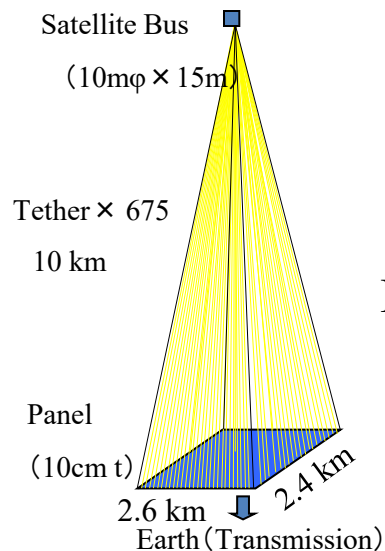
Concentrating ratio : 4 times

Total mass : 10,000 tons

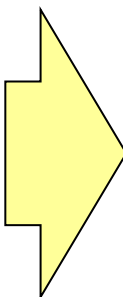
Complex but high power efficiency

* SSPS 2006 model (System to be realized by **road map 2016**)

Baseline Concept (2001)



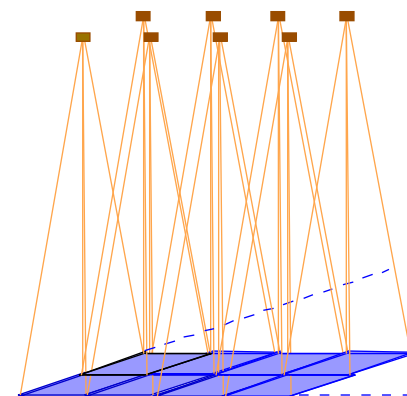
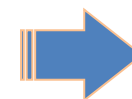
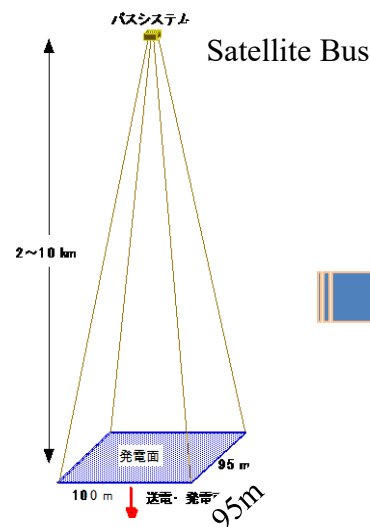
Freq: 5.8GHz



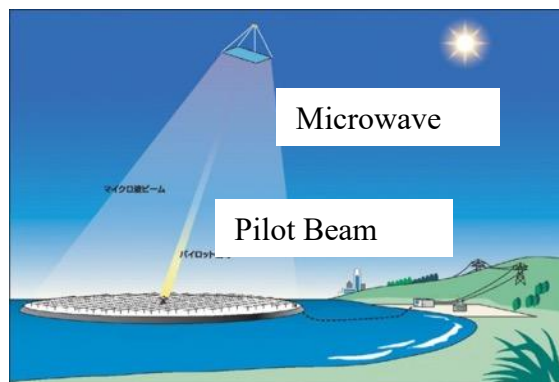
Growing Tethered SSPS Concept (2006)

SSPS Basic Unit

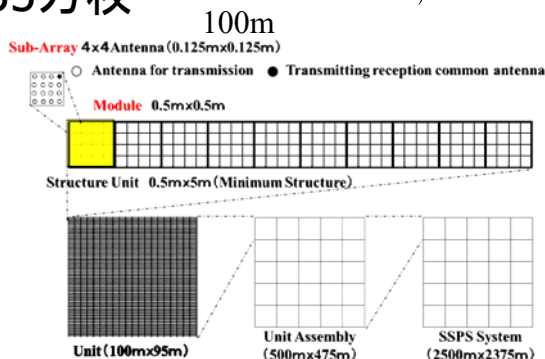
Growing Tethered SSPS
with multiple SSPS Units



SSPS System (2.5km x 2.3km)



235万枚



Stabilization:

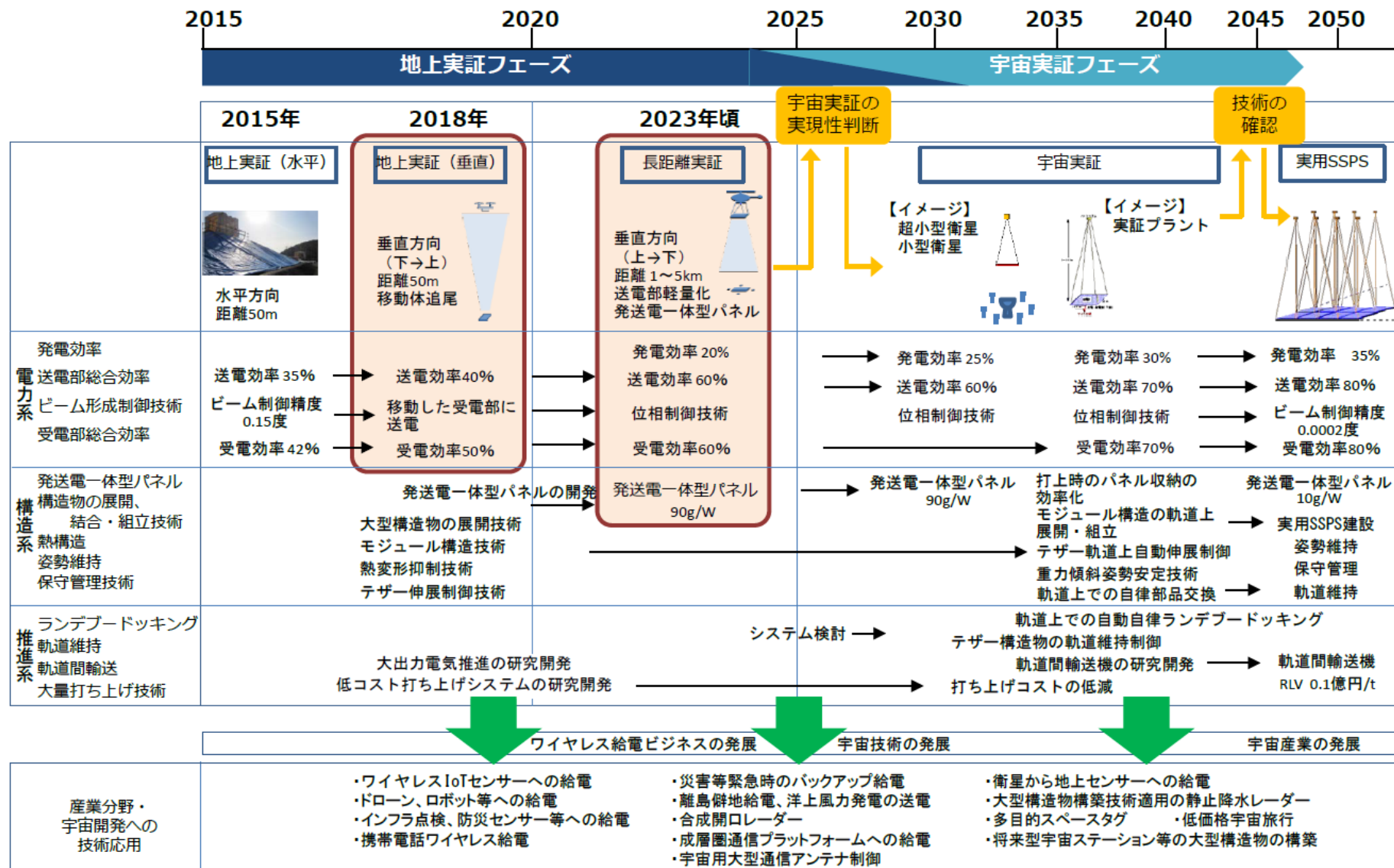
Gravity Gradient

Sandwich panel:

Solar cells on both sides, Antenna on earth side. Retrodirective system.

4kg/m², 55W/kg

<参考資料>宇宙の発電所実現のロードマップ(経産省)

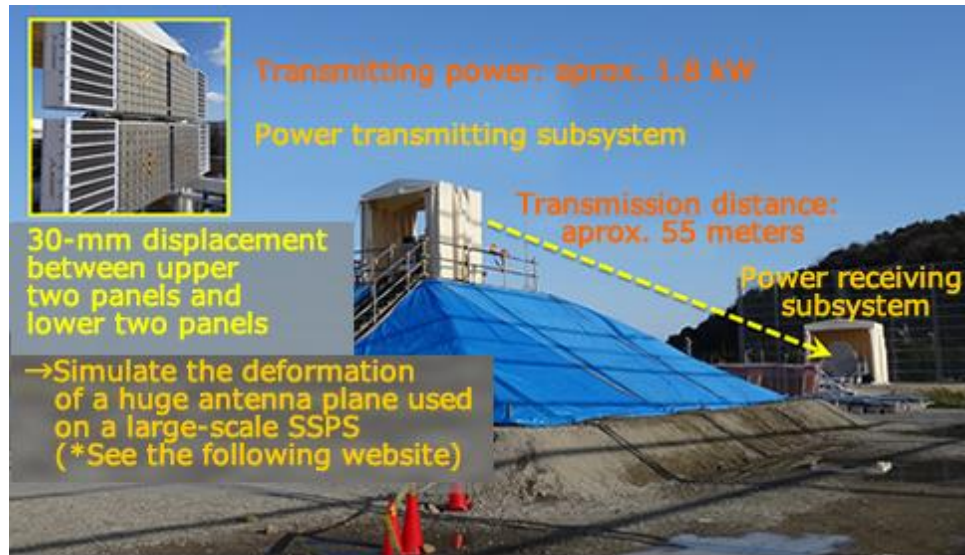


※ 宇宙政策委員会 宇宙産業・科学技術基盤部会 第28回会合（2017年3月28日）経済産業省提出資料より

WPT demonstration by JAXA & J-spacesystems

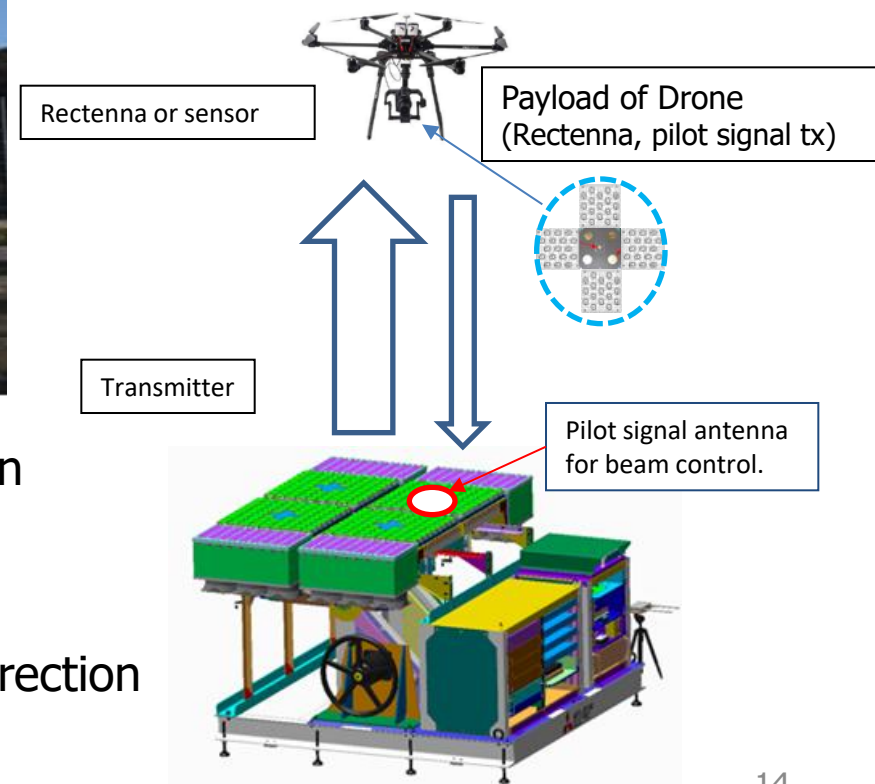
J-spacesystems and JAXA developed the WPT demonstration system on the ground from 2009 to 2014.

Demonstration was successfully performed in March 2015 and 2019.



2015 WPT experiment for horizontal Direction

2019 WPT Experiment for vertical direction
(from ground to the drone)

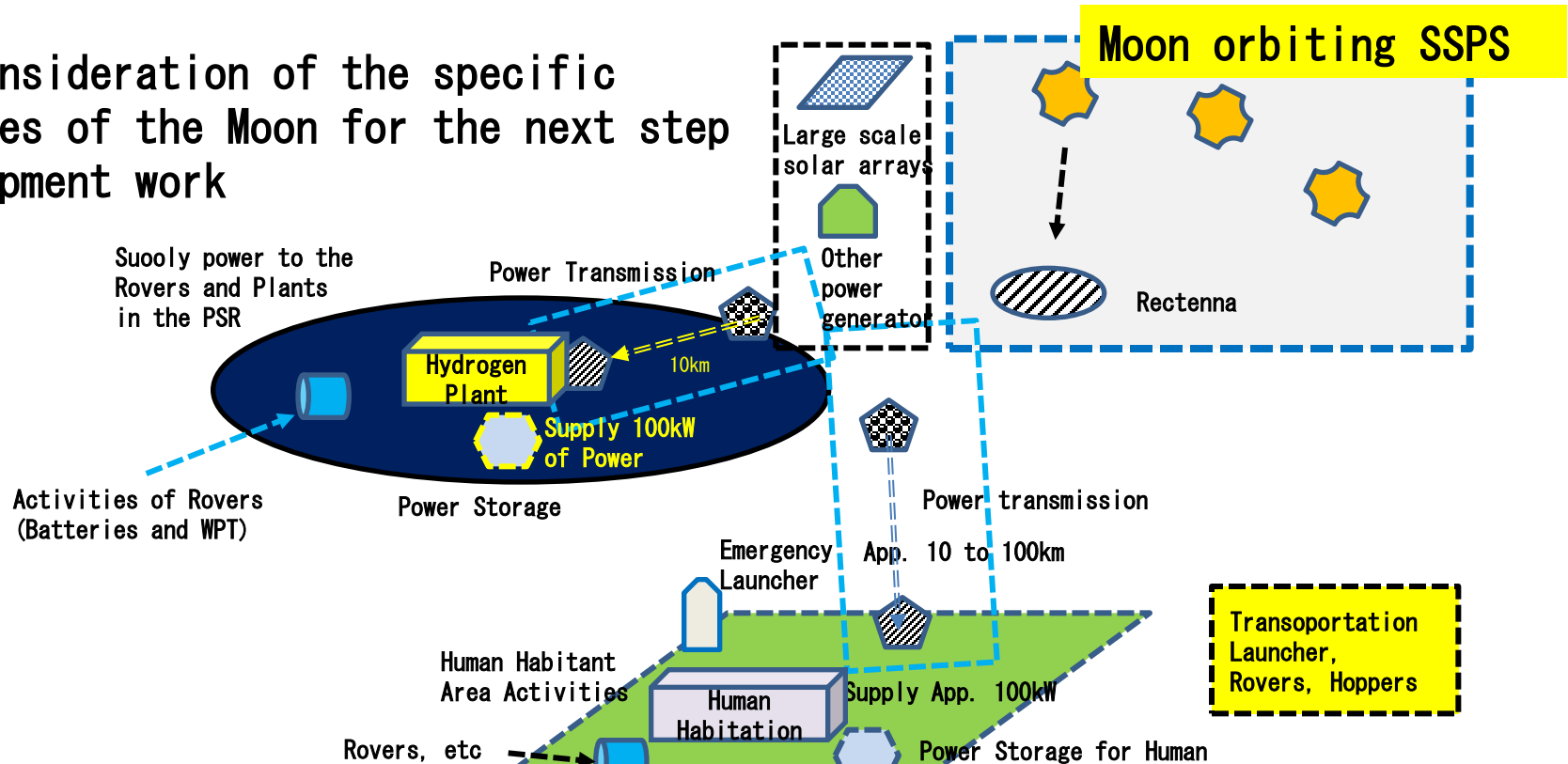


Background (2)

- 宇宙基本計画：2050年カーボンニュートラルに向けたSPS貢献へ期待
- METI：2015年から将来のSPS実用化に向けた研究開発を実施。2021年から月のエネルギーシステムの検討を開始。2022年小型衛星を用いた宇宙実験プロジェクトを開始。⇒OHISAMAプロジェクト
- 今までのSPSに関する研究成果を用い、月への応用をも考慮した技術検証ミッション検討を実施
- 月軌道上を周回する移動体から固定点への送電であり、送電には、マイクロ波を用いる場合を対象とする。
- 無線送電システムは、ビーム制御部（ビーム形成、方向制御）、電力増幅部、マイクロ波放射部から構成される。現在はビーム制御技術は近未来宇宙実験の技術レベルにある
- 超長距離エネルギー送電実験では、受電側からのパイロット信号を用い、衛星の姿勢制御とフェーズドアレーアンテナによる高精度なビーム制御の組み合わせで、大きなビーム操作角でのエネルギー伝送を実現する。なおビーム制御技術は、太陽発電衛星の研究開発で、軌道上実証が可能なTRLレベルにある。
- 実験実施時期は2025年を目途とする。

The image of typical the power supply system around the year 2040

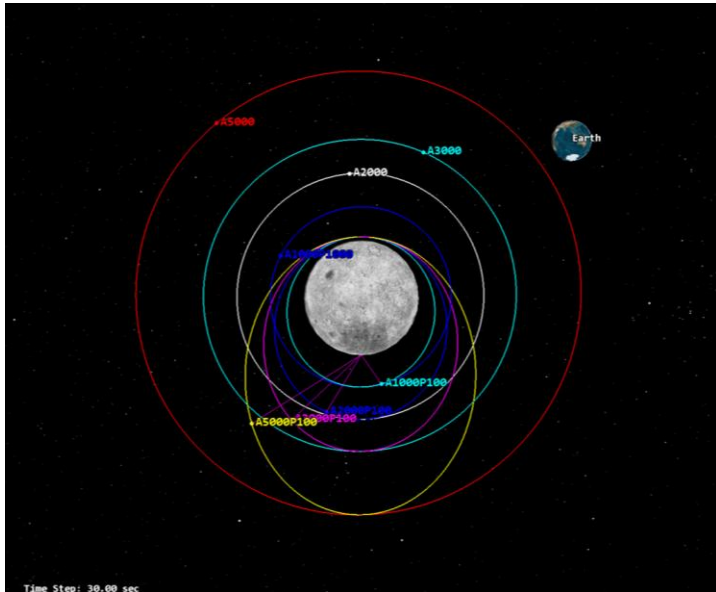
The consideration of the specific features of the Moon for the next step development work



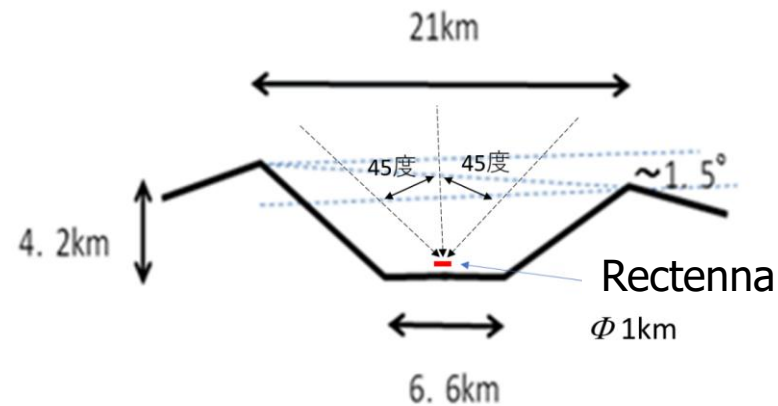
This slide shows a conceptual study of a moon power generation system conducted by MRI and J-spacesystems as a project commissioned by the Ministry of Economy, Trade and Industry in 2022.

SPS for the Moon

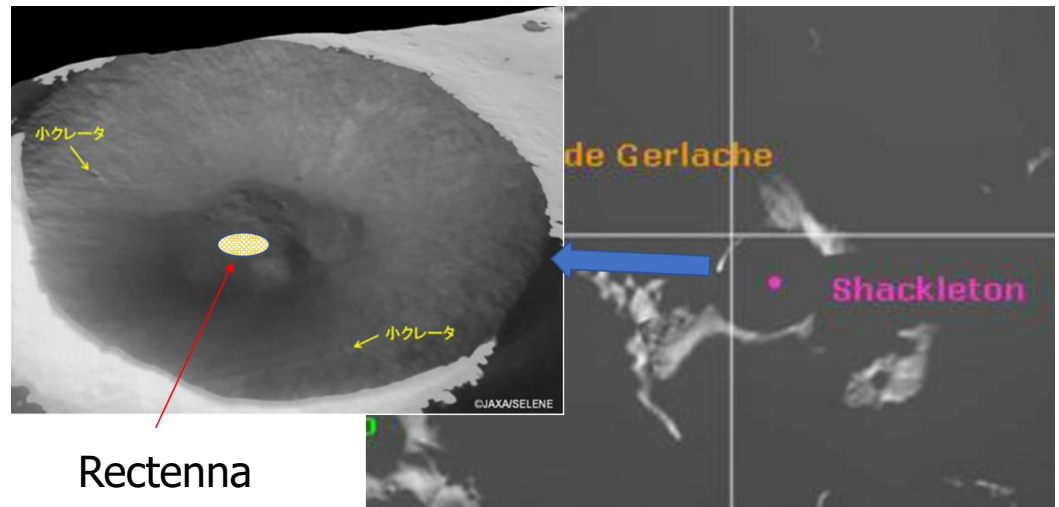
Energy supply by constellation operation from lunar orbit



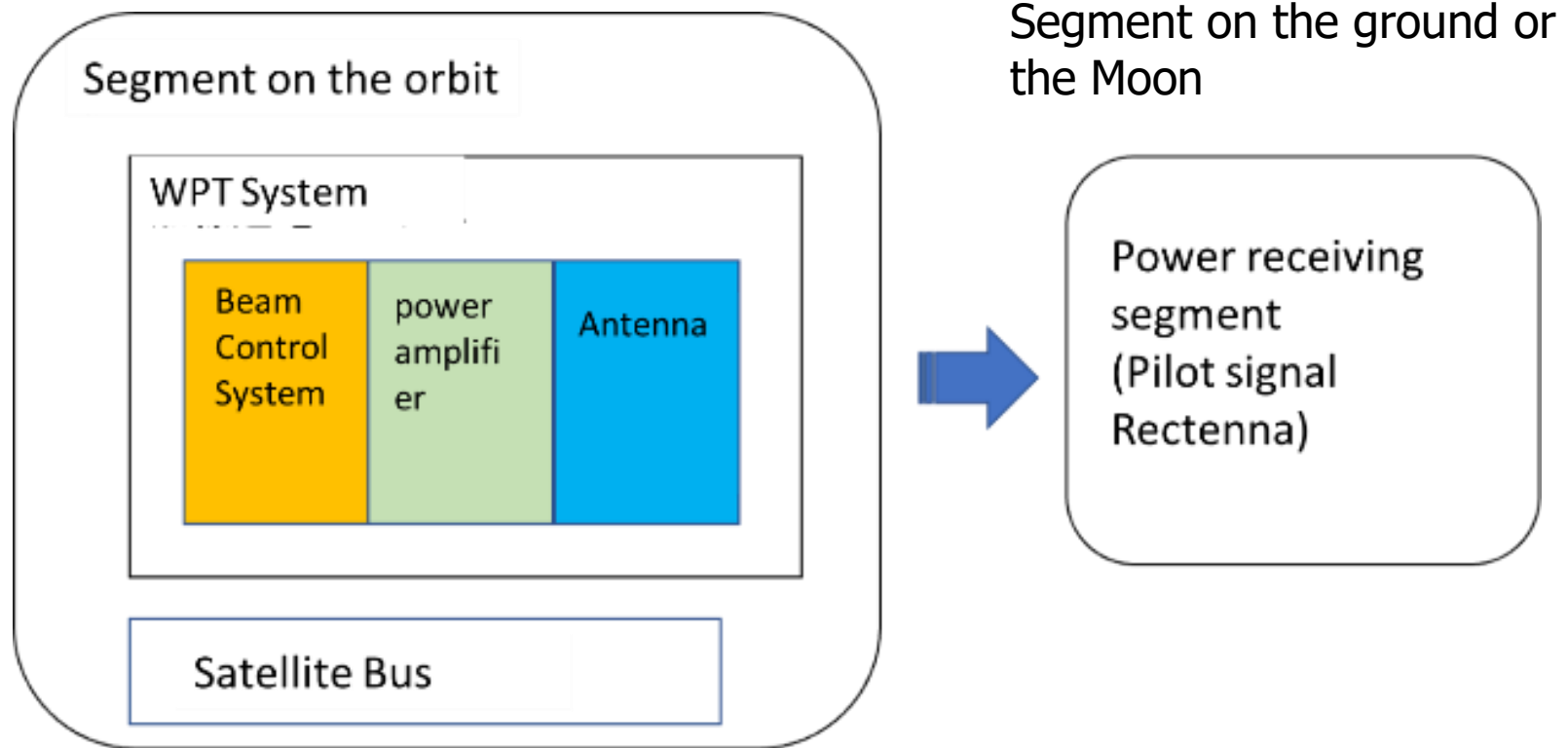
- In Lunar environments, high frequencies and large beam control angles will be required.
 - Electron tube devices
 - Solid state devices
- Beam control technology is a common and important issue for both the Earth and the Moon.



Shackleton crater



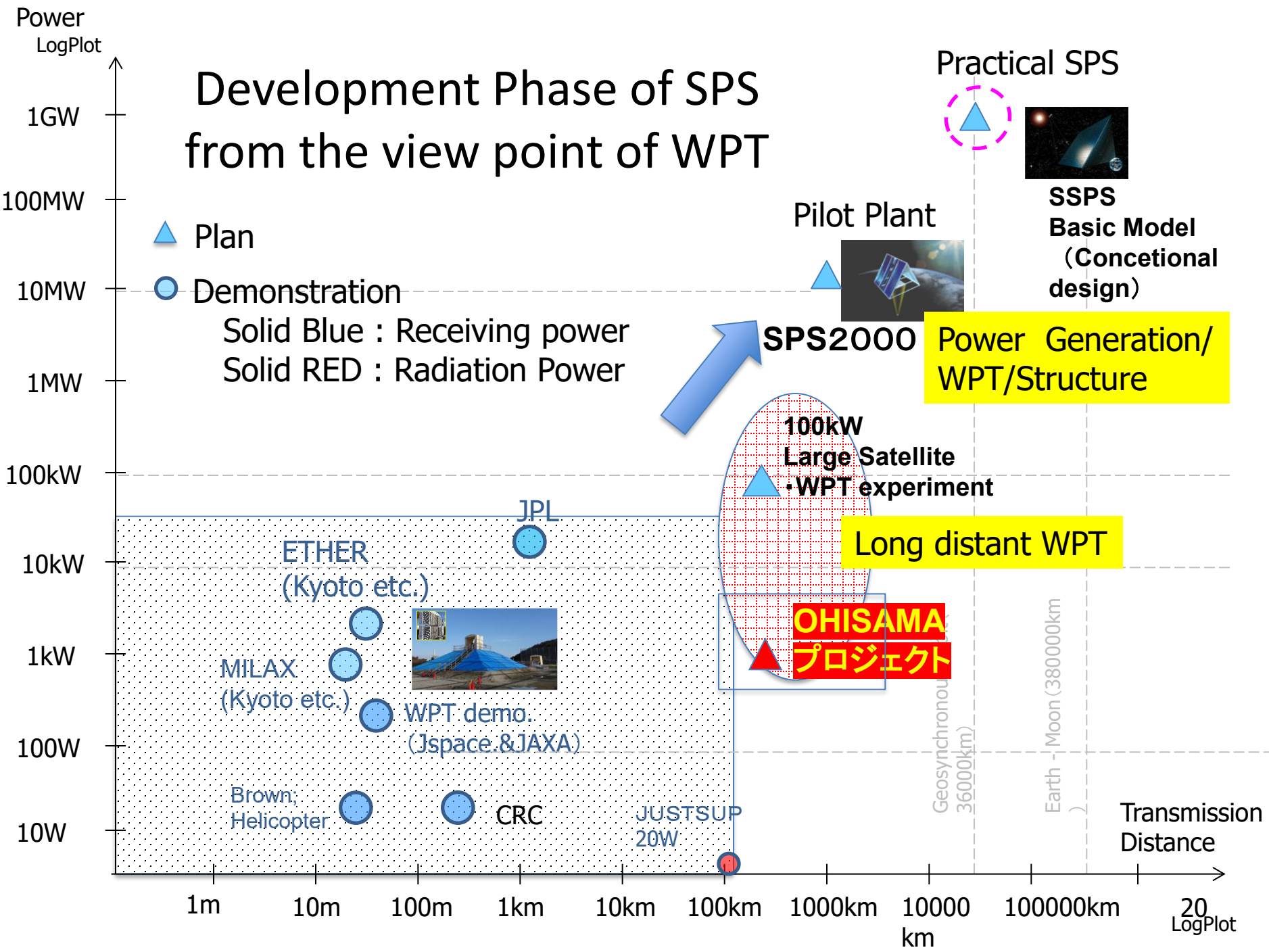
Block diagram of a system for transmitting energy from orbit.



WPT Demonstrations in Japan

- 1983 MINIX (JAPAN) -Sounding Rocket Experiment-
Interaction between microwave and ionosphere
- 1992 MILAX Project : The model aircraft was powered by a phased array antenna.
- 1993 ISY-METS(JAPAN) -Sounding Rocket Experiment-
A rocket experiment of the first microwave energy transmission experiments in the ionosphere
- 1995 ETHER: Energy Transmission toward High altitude airship Experiment
- 2006 Retro-Directive Demonstration Experiment (JAPAN)
– Sounding Rocket Experiment-
Microwave beam control
- 2015 WPT experiment on ground (JAPAN)
- 2019 WPT Experiment for vertical direction
(from ground to the drone):JAPAN
- 2024 Long-distance WPT using Aircraft
- 2026 **WPT experiment using small satellite “OHISAMA” project**

Development Phase of SPS from the view point of WPT



Sounding Rocket Experiment for WPT

	MINIX	ISY-METS
	S520-6 Mother-daughter	S520-16 Mother-Daughter
Frequency (GHz)	2.45	2.41
Radiated Power	830W(Magnetron) (from Horn antenna)	832W (Array antennas : 16elements × 13W × 4Paddles)
Power Density	15W/cm ²	0.1W/cm ²
Measurement Instruments	Frequency Analyzer: 0-18MHz probe	Probe : Electron Temperature, Electron Density Wave Receiver: HF(500KHz-10MHz) VLF(100Hz-15KHz)
Results	Plasma wave • Electron plasma frequency • Electron cyclotron Frequency	Plasma wave • Electron plasma frequency

OHISAMAプロジェクトにおける 無線送電実証実験の目的と実験項目/方法

無線送電実証実験の目的と実験項目

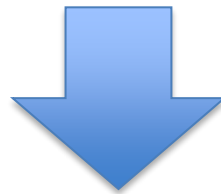
月軌道から月面への超長距離無線電力伝送実現に向けての技術検証のため
低高度地球軌道（LEO）における衛星/地上間の超長距離無線送電技術の実証実験
を実施する。

実験項目；

- （１） 発送電機能を有するモジュラー構造体の宇宙環境での機能性能検証
（太陽電池/アンテナ一体型システムの検証）
- （２） 長距離ビーム制御技術の検証（ビーム形成及び方向制御）
- （３） 長距離送電における送電エネルギーの定量的評価
- （４） 世界初の宇宙機間無線送電実証
- （５） 大電力マイクロ波照射下での電離層における環境計測

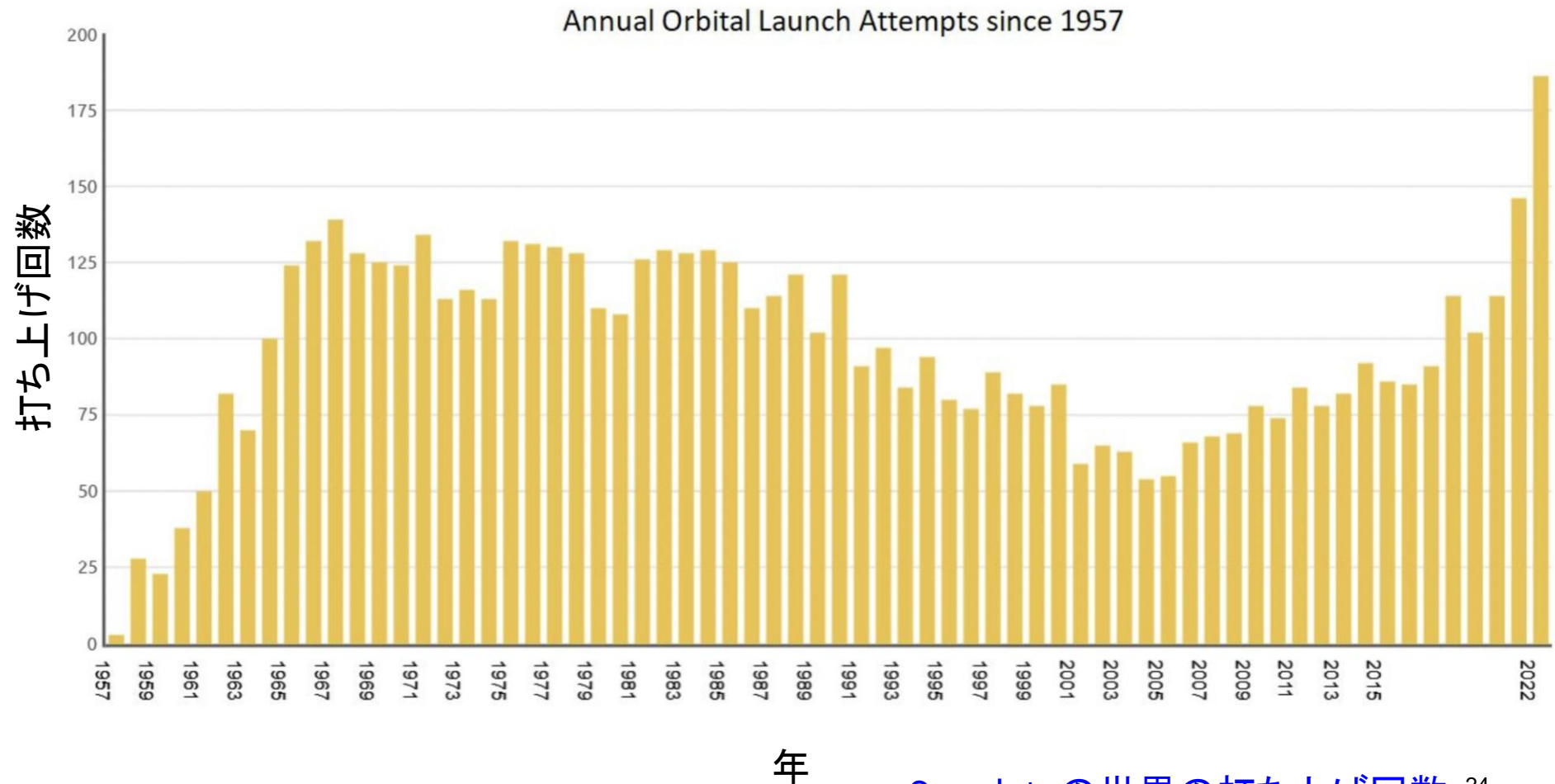
プロジェクトの特徴

- 既存小型衛星バス機器の利用
- セルフインテグレーション方式
- 今までに実施したプロジェクト成果の活用
- 民生品の活用
- 近年充実してきた小型衛星打ち上げシステムに合わせた衛星設計

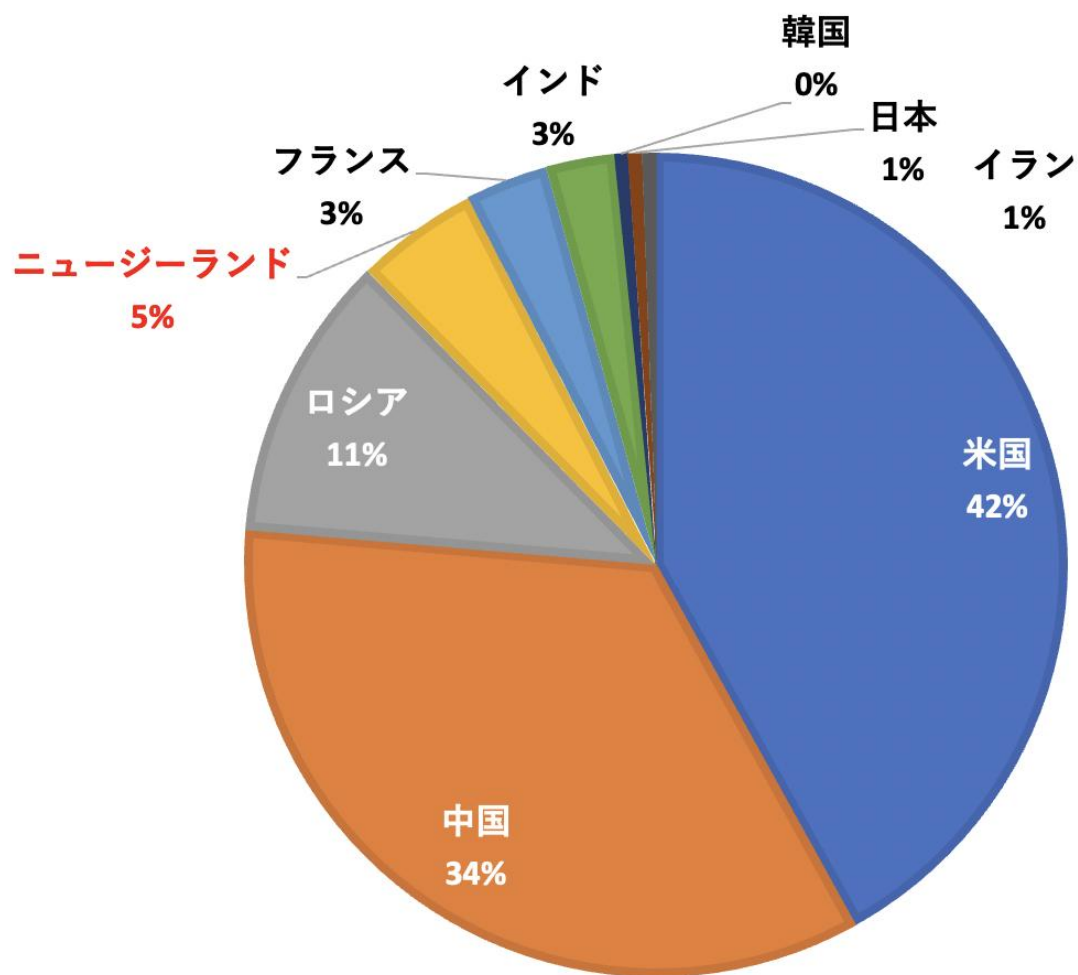


短期間・低コストでの衛星開発の実現

1年間のロケット打ち上げ回数



2022年の打ち上げ実績



合計	186
米国	78
中国	64
ロシア	21
ニュージーランド	9
フランス	6
インド	5
韓国	1
日本	1
イラン	1

Space-X 61回

打ち上げ失敗; 8回

スターリンク衛星

- ・2025年10月現在、スターリンクの運用衛星は約8,664基。
- ・打ち上げられた総数は約10,122基。
- ・最終的には最大で約42,000基を配備する計画。

年間の人工衛星の打ち上げ数:2000機以上



夜空横切るスペースXの
スターリンク衛星
(SatTrackBlogが観測した
今回の画像)

60基の衛星の打ち上げ(母機分離前) Official SpaceX Photos

無線送電実証実験システムの構成

＜衛星システム＞

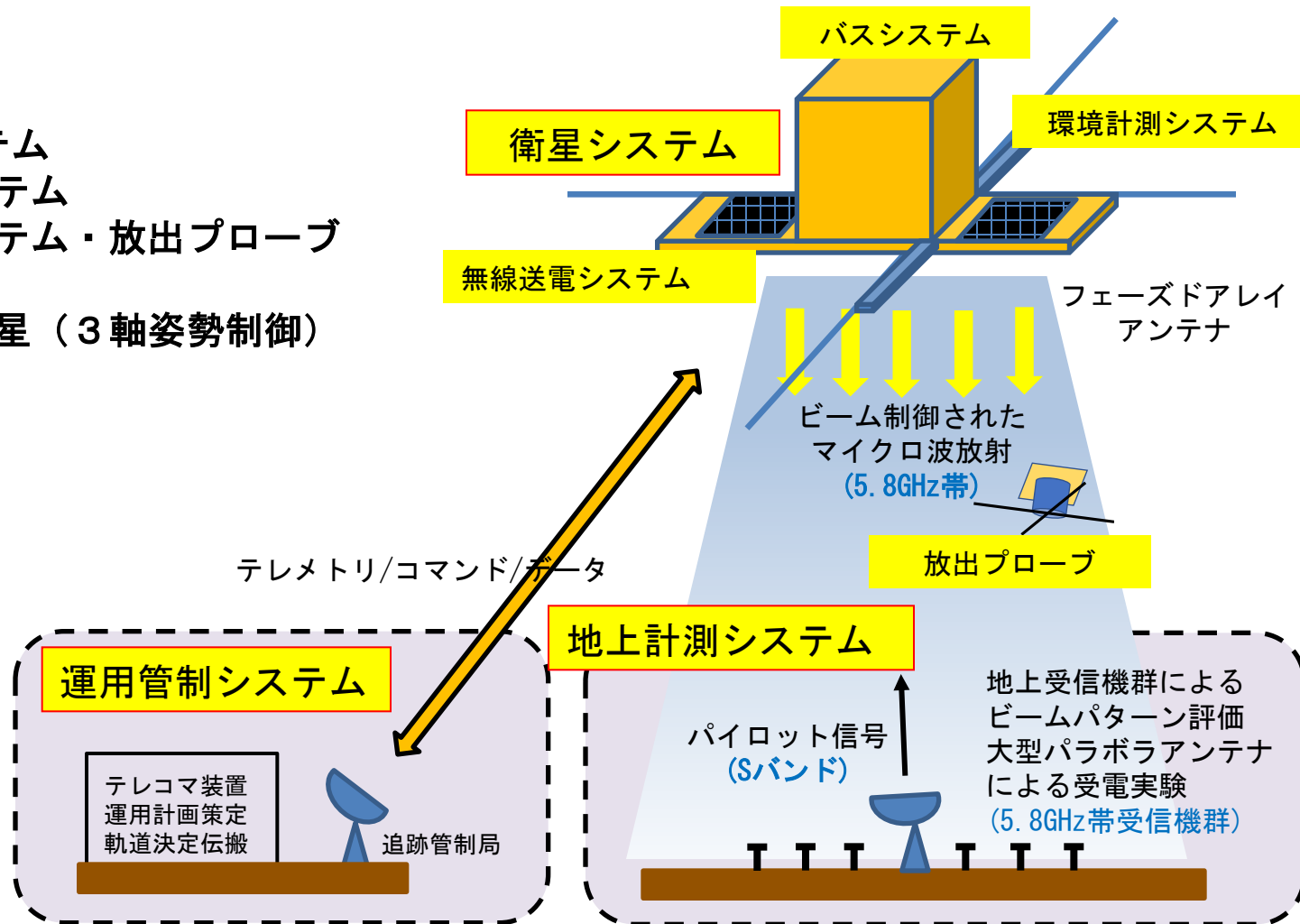
バスシステム
ミッションシステム
無線送電システム
環境計測システム・放出プローブ

- ・ 180kg程度小型衛星（3軸姿勢制御）
- ・ 高度：450km程度

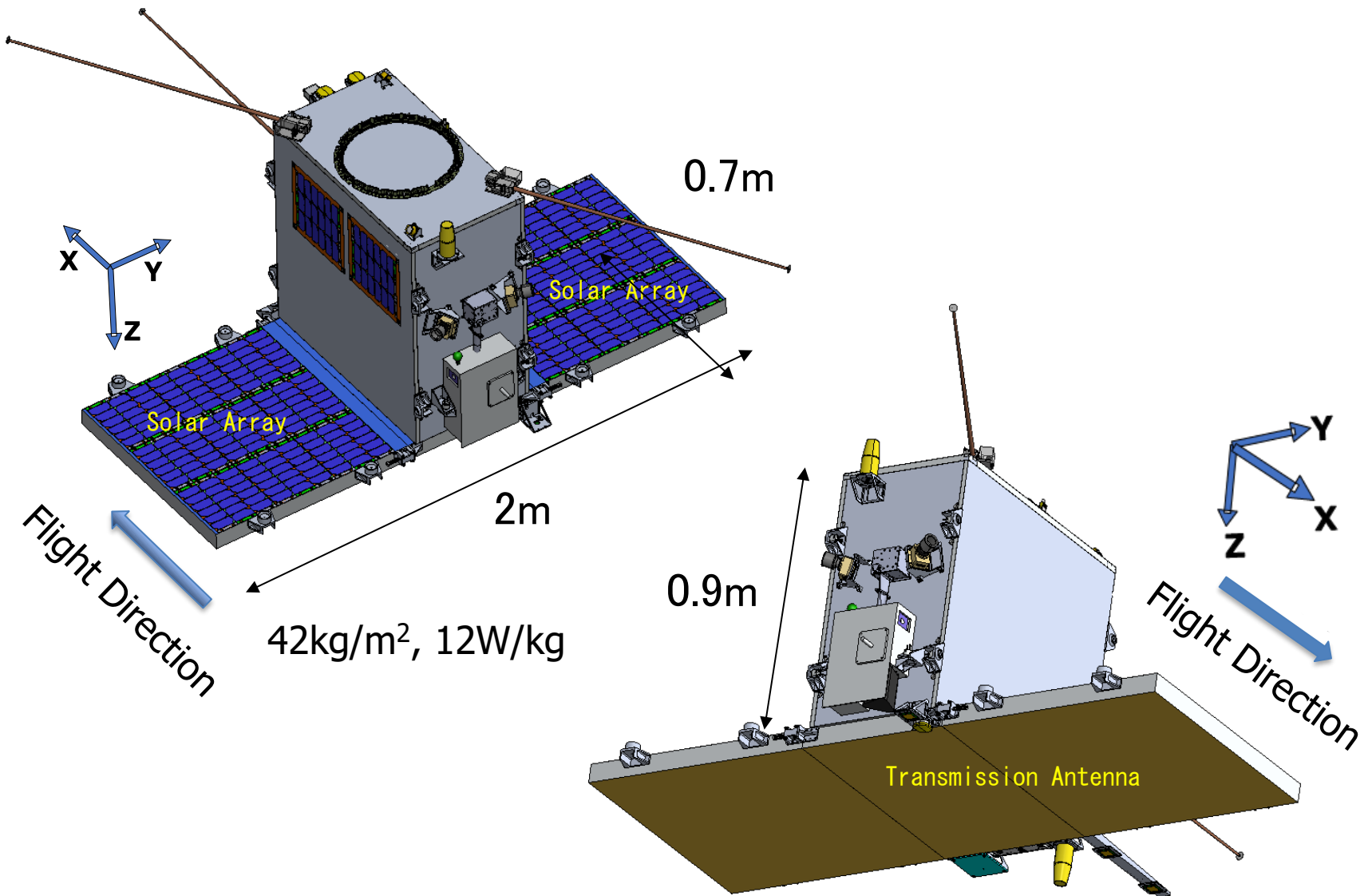
＜地上システム＞

運用管制システム
地上計測システム

- ・ **ビームパターン計測**のための観測機器群
- ・ パラボラアンテナによる**電力計測**システム

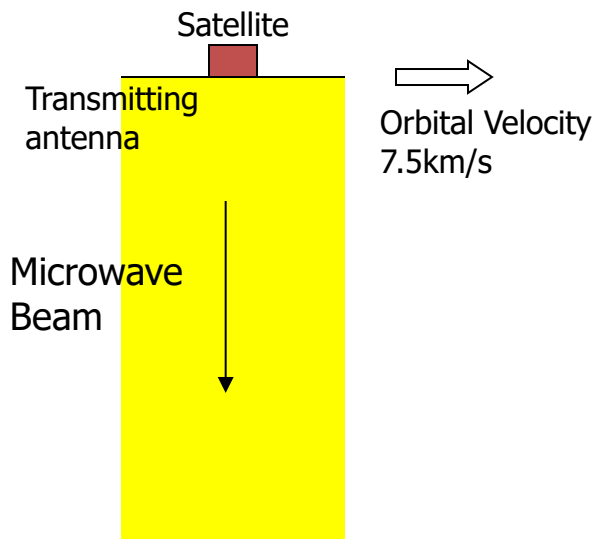


Satellite Configuration



Experimental Configurations

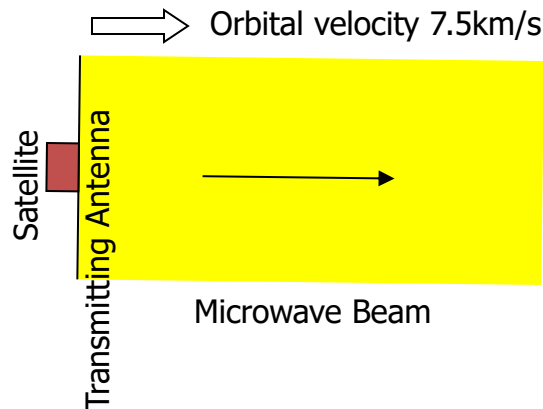
Mode A



↓
To Ground

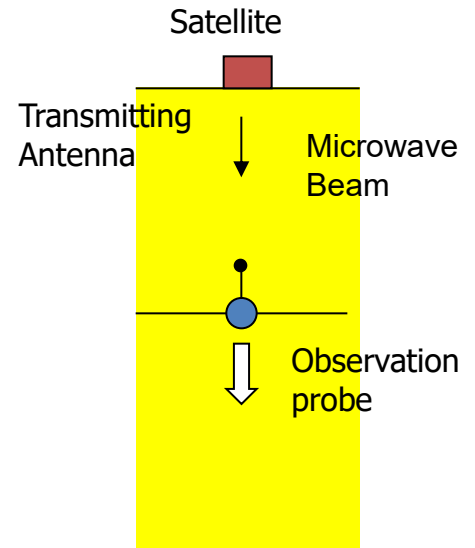
in the direction of the ground

Mode B



In the direction of forward
movement

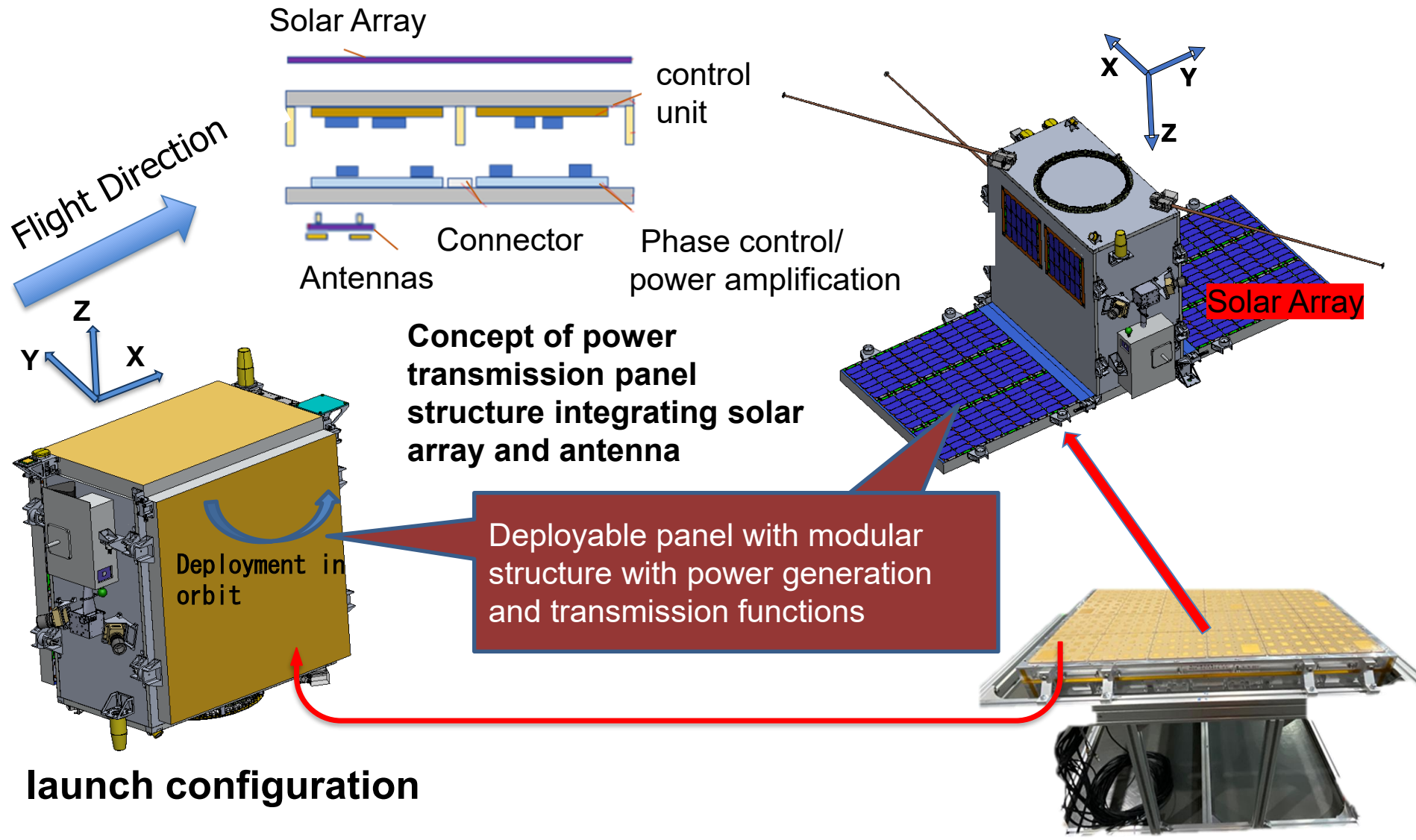
Mode C



In the direction of
the probe

(1) Evaluation of a modular structure of phased array antenna systems

(Integrated structure of solar array and transmission antenna)

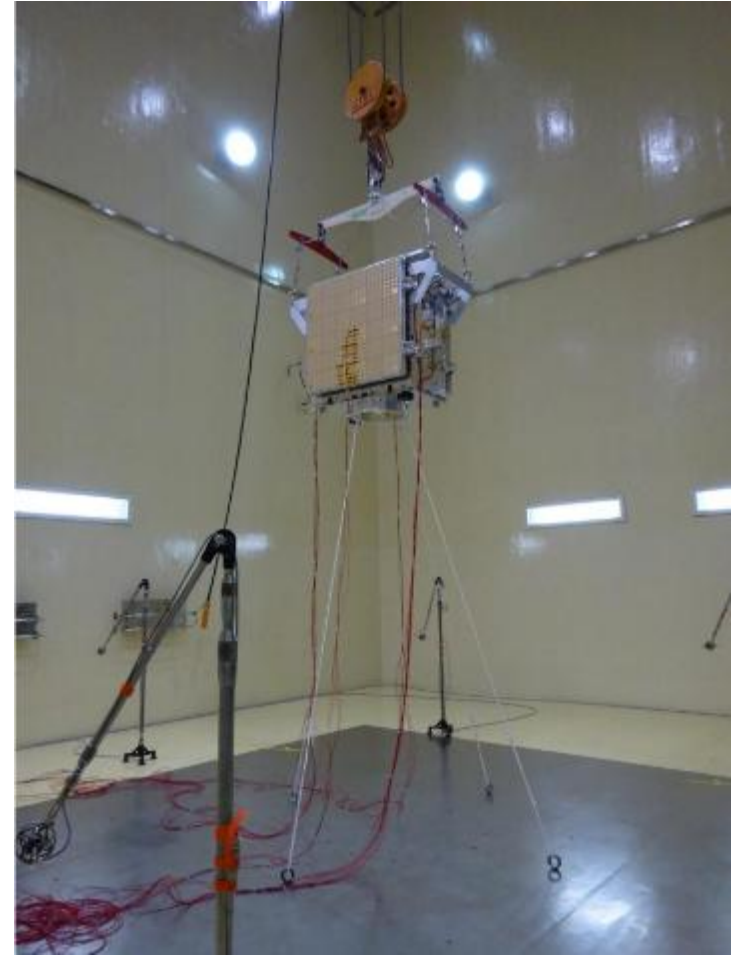


(2) Verification of long-distance beam control technology

(3) Transmission Power Evaluation

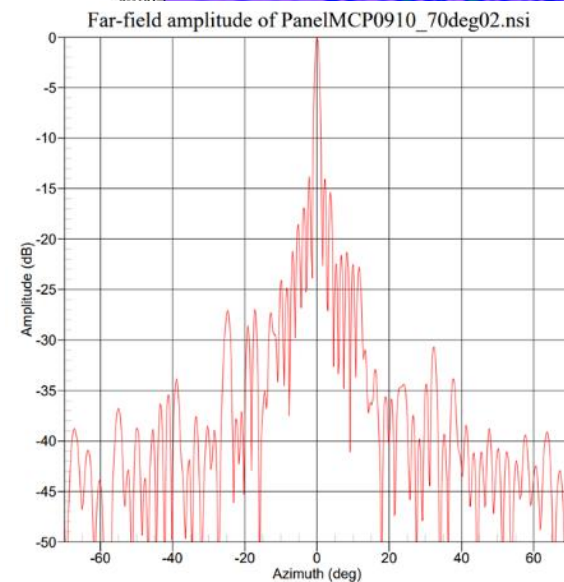
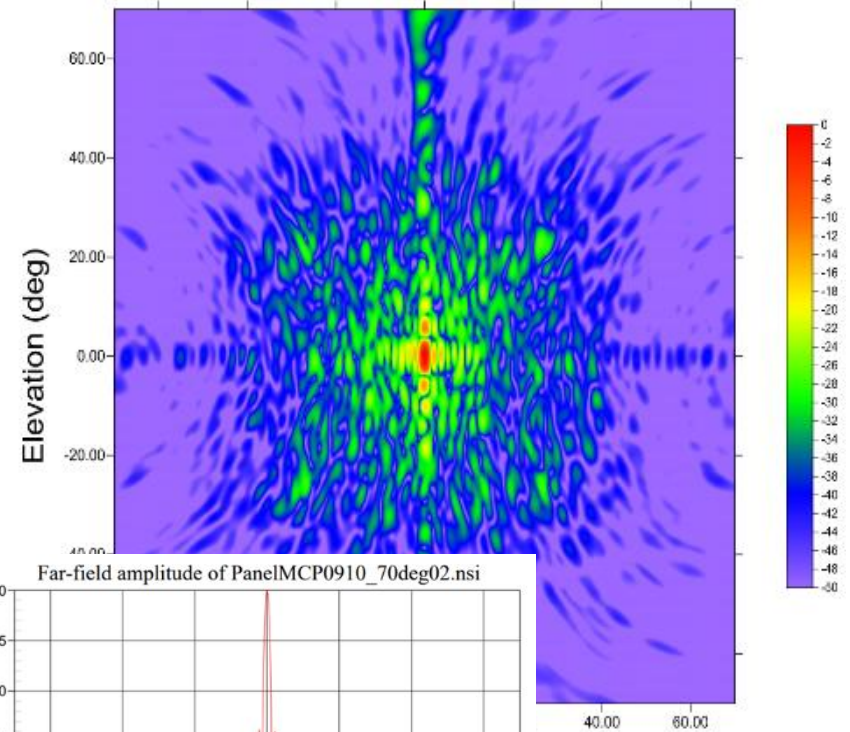
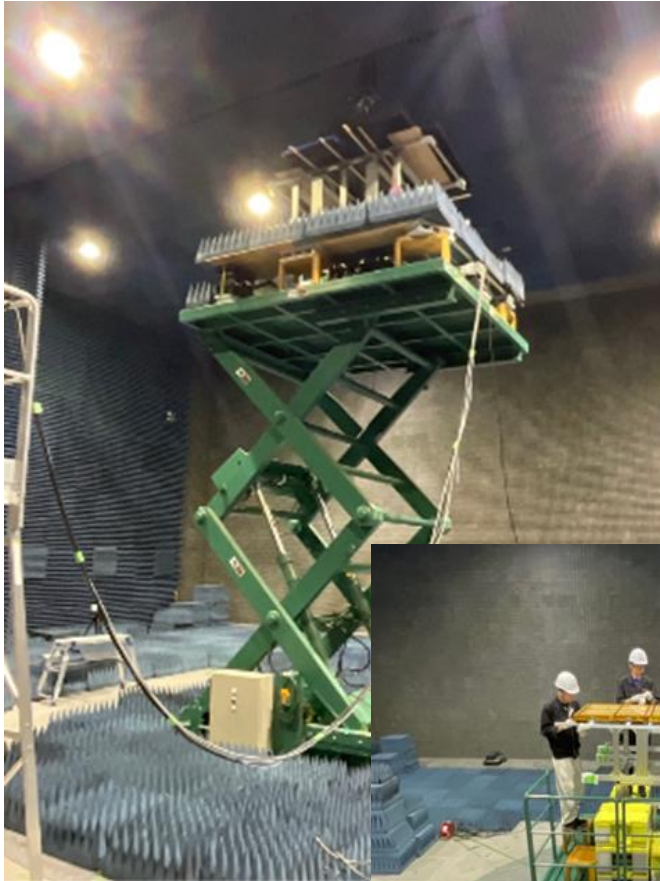


温度サイクル試験

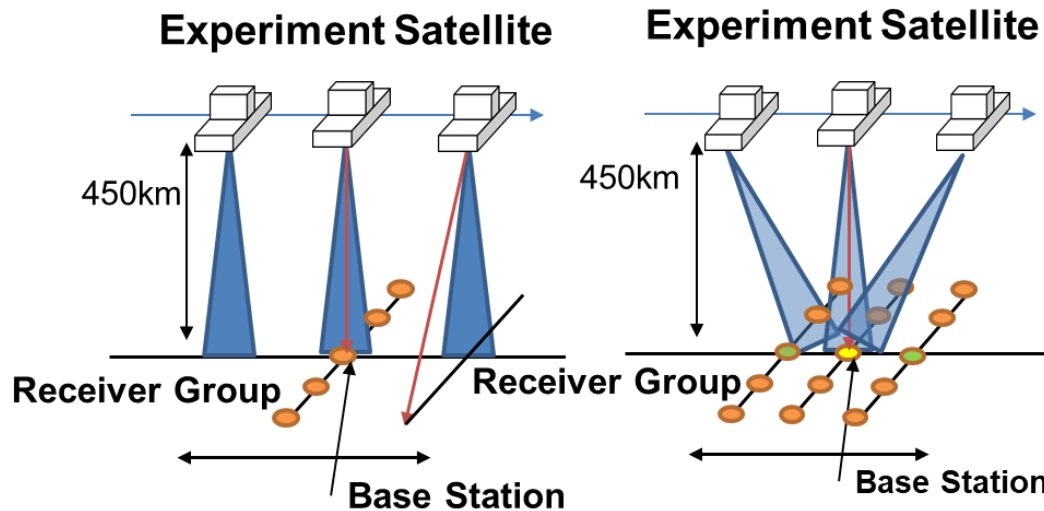
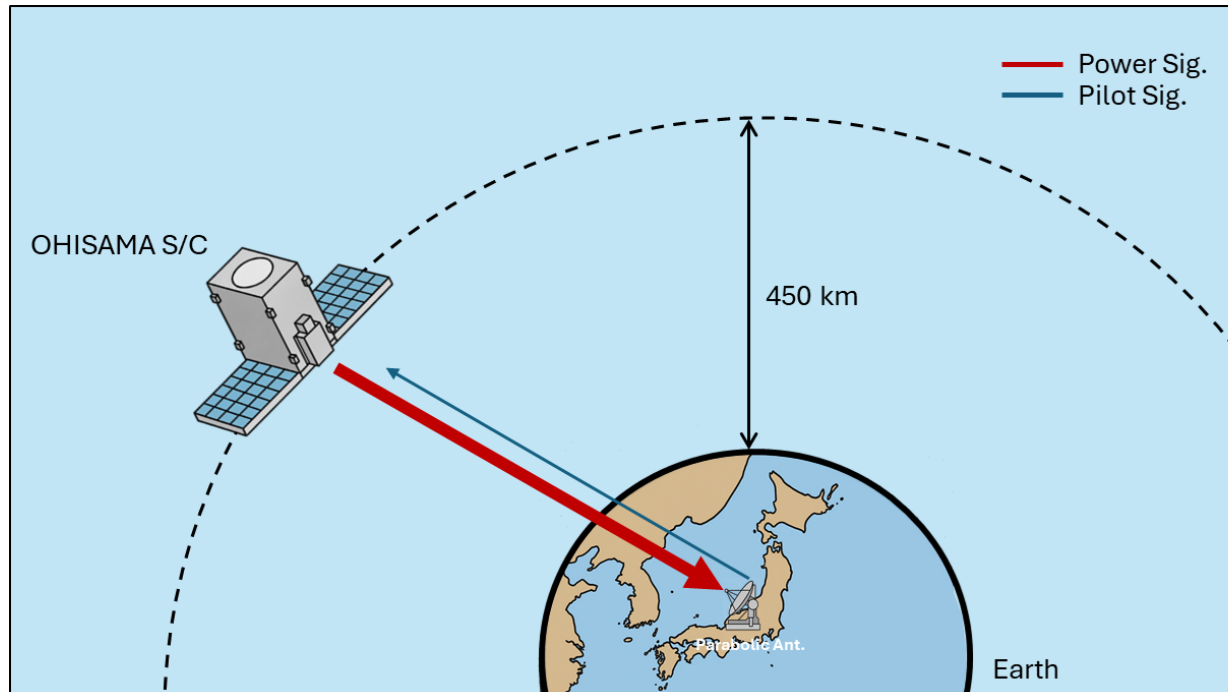


音響試験

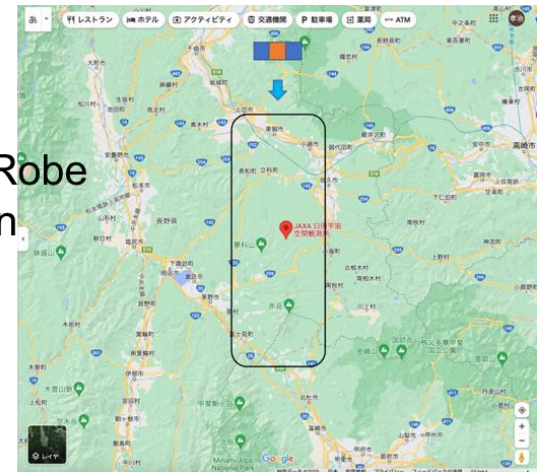
放射パターン計測



Beam Control Experiments

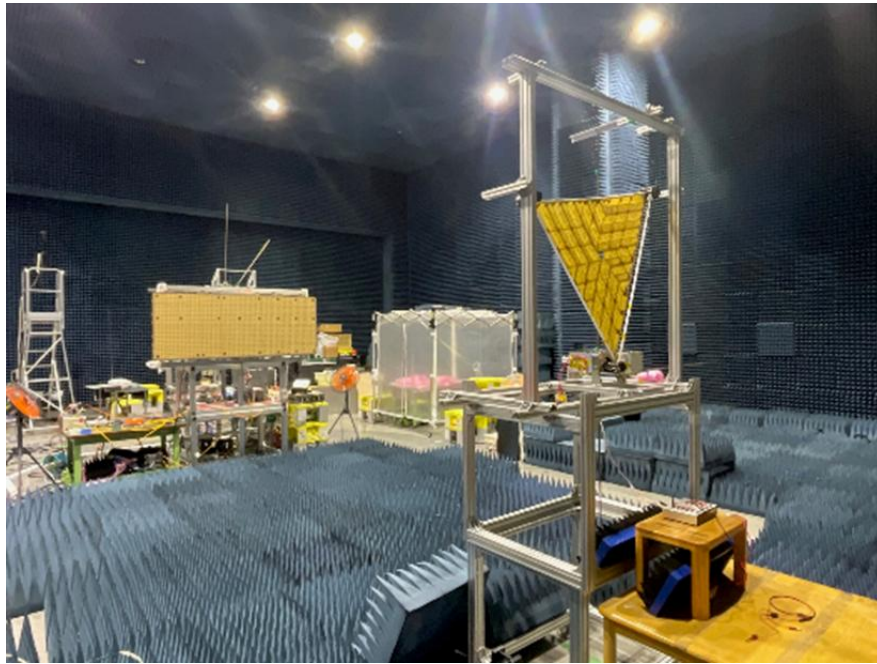


Main Robe Region

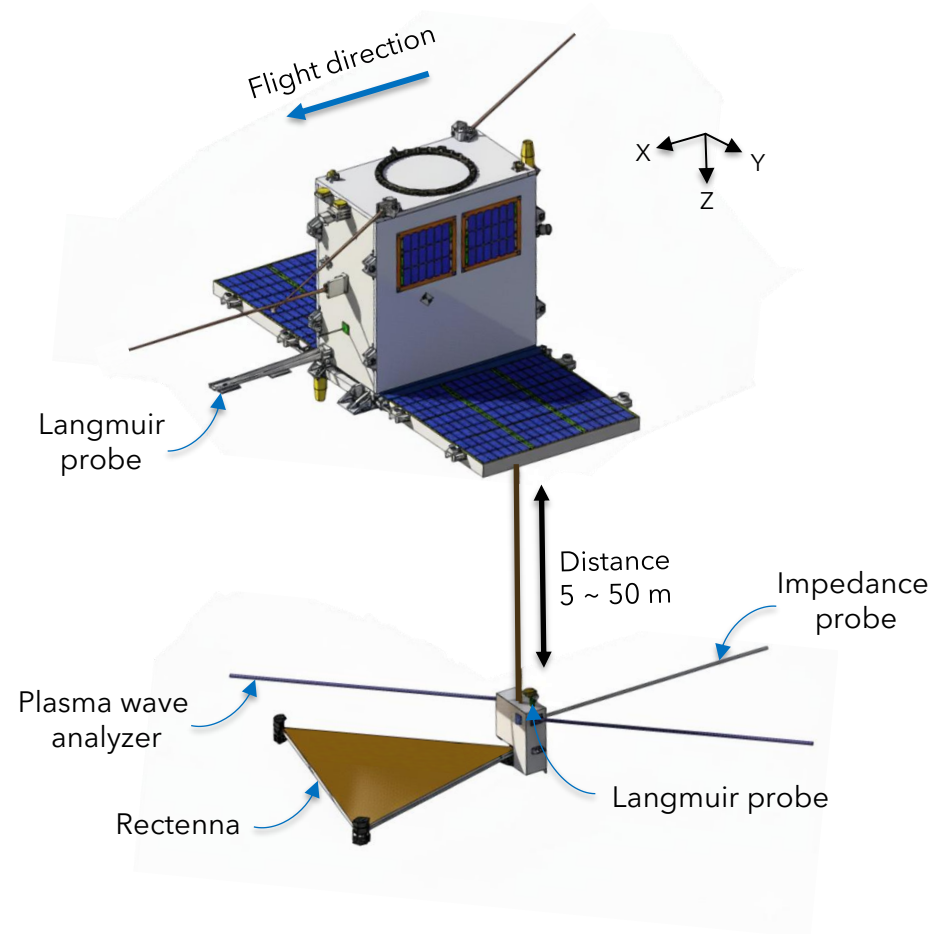


(4) Demonstration of WPT between flying objects

Microwaves radiated from the satellite are received by a rectenna mounted on the observation probe at a distance of about 5m to 50m from the satellite.



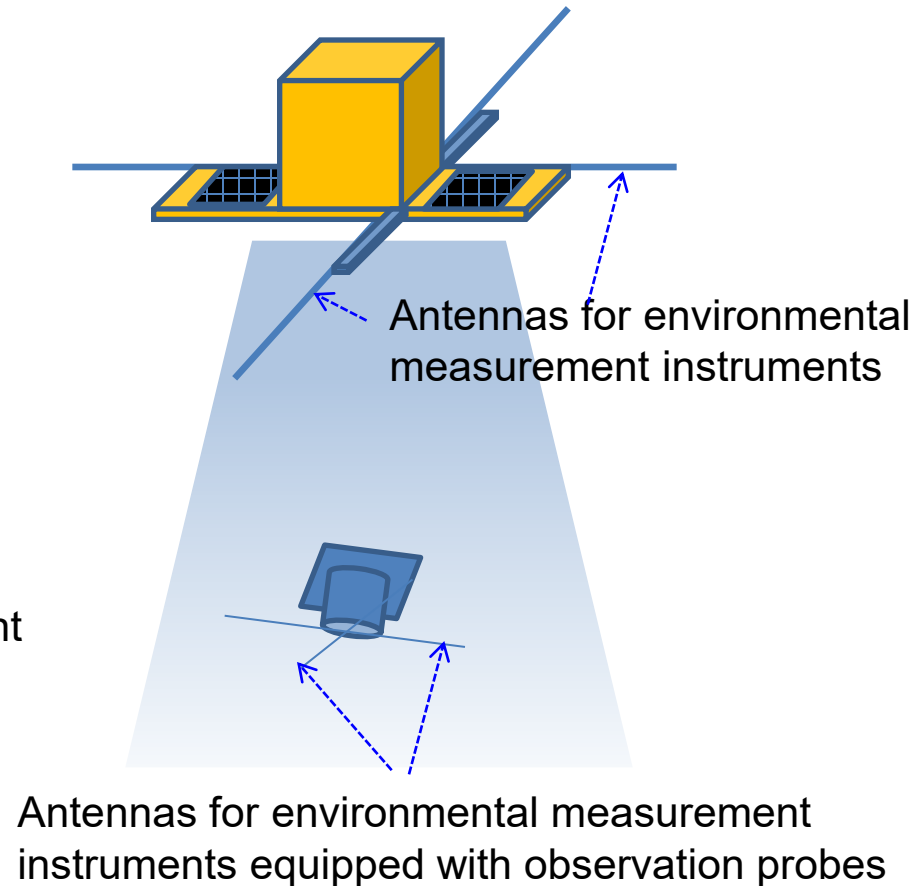
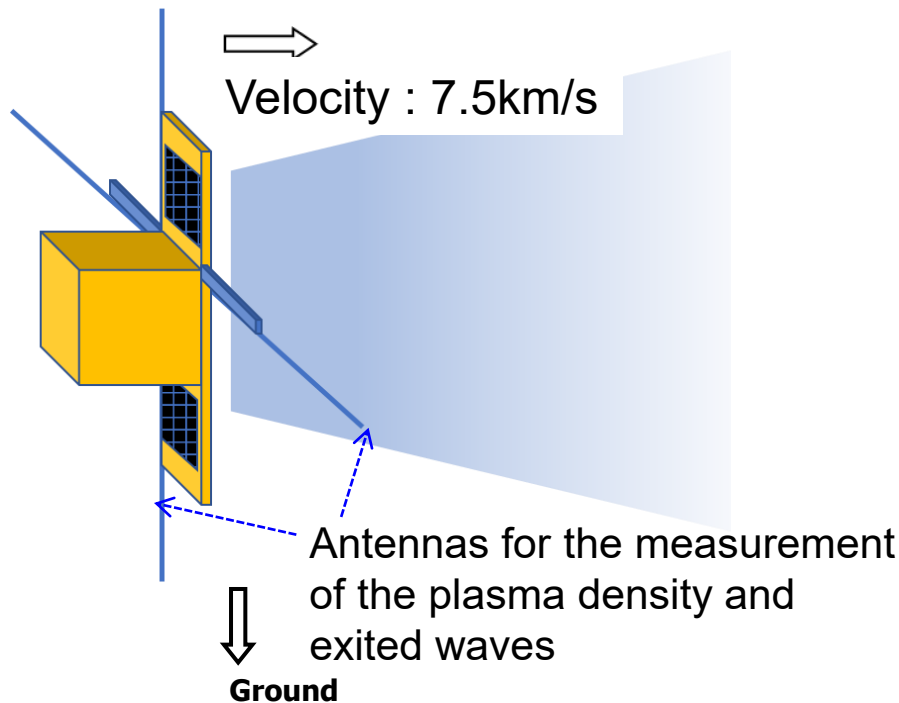
ミッション機器動作確認試験



(5) Environmental measurement under high power microwave irradiation

During microwave radiation, the ambient plasma environment is measured by environmental measurement instruments mounted on the satellite and observation probe.

The measurement parameters are electron temperature, electron density, and excitation waves.



Schedule of Mission Instruments for OHISAMA Project

- 2022 Conceptual Design/Test model Manufacture
- 2023 Pre/Crit. Design/Procurement Test Manufacture.
The critical design phase is completed.
Test models and EMs have been manufactured and
various tests have been conducted.
- 2024 FM Manufacture & Test
- 2025 FM Manufacture & Test
Unit tests (Electrical, Mechanical, Thermal test)
System Integration
- 2026 Launch & operation

Summary

- In Japan, research and development of Solar Power Satellite (SPS) has been conducted since the 1980s.
- SPS was mentioned in the basic plan on space policy, and SPS experiment in LEO using microwaves by 2025 was stated.
- R&D scenario toward practical SSPS by METI is ongoing. Jspacesystems is conducting.
- Space demonstrations of WPT from orbit using small satellites, which J-spacesystems is conducting in collaboration with ISAS/JAXA and university researchers, have been started.

The basic and critical design phases are almost complete, and PFM manufacturing will begin this fiscal year.

Thank you !

This work for “OHISAMA” project is performed under the contract and supervision of the Ministry of Economy, Trade and Industry(METI) and Jspacesystems.



This is a drawing by
Mr. Simon.