

# Solar Power Satellite

- Toward Unexplored Frontier with Nobel Technologies -

@ 宇宙産業・科学技術基盤部会 2020/3/10

篠原 真毅

京都大学 生存圏研究所

shino@rish.kyoto-u.ac.jp

[SPSパラメータ]

- 太陽光発電所 > 1GW
- 太陽電池面積 > 2kmφ
- マイクロ波送電アンテナ径 > 2kmφ
- 衛星重量 < 10,000 t

発電所としてのSPS

|       | 設備稼働率 | CO2排出量          | 判定 |
|-------|-------|-----------------|----|
| SPS   | > 90% | 11-31 g-CO2/kWh | ◎  |
| 地上太陽光 | < 15% | 53-76 g-CO2/kWh | ○  |
| LNG火力 | > 90% | 631 g-CO2/kWh   | ×  |
| 原子力   | > 90% | 22 g-CO2/kWh    | △  |

CO2排出量: 吉岡他, 宇宙太陽発電衛星のある地球と将来, 2009



# Solar Power Satellite (SPS)

# SPS研究開発に係る政策的背景

## 宇宙基本計画（平成28年4月1日閣議決定）

エネルギー、気候変動、環境等の人類が直面する地球規模課題の解決の可能性を秘めた『宇宙太陽光発電』を始め、宇宙の潜在力を活用して地上の生活を豊かにし、活力ある未来の創造につながる取組や、…（中略）  
… に関する研究を推進する。

## 宇宙基本計画 工程表（令和元年12月13日 宇宙開発戦略本部決定）2020年度以降の取組

宇宙太陽光発電システム(SSPS)について、実現に必要な発送電一体型パネルの開発やマイクロ波無線送受電技術に関わる送電部の高効率化等を行い、将来の長距離大電力無線送受電技術への進展を図る。  
併せて、実現に向けた課題を整理しつつ、当該技術の他産業へのスピンオフを目指す。

## JAXA 第4期中長期計画（平成30年4月1日～平成37年3月31日）

宇宙太陽光発電システムに係るエネルギー送受電技術については、宇宙開発の長期的な展望を踏まえつつ、要素技術実証による波及成果の創出に留意した研究開発を行う。

# SPSの意義

将来の宇宙開発へのマイルストーンの一つ  
(巨大宇宙構造物 (ロケット, 宇宙構造, etc.)

将来の安定でCO2フリーな発電所  
(宇宙での太陽光発電)

[Key Technologies for SPS]

- 打ち上げロケットのコスト削減 (再使用型, OTV, etc.)
  - 数万トンの打ち上げ
- 超大型宇宙構造物の軽量化・建設・制御・保守(ロボティクス, etc.)
  - 数kmの宇宙構造物
- 宇宙プラズマ中での電力制御技術
  - 100万kW以上の電力制御 (プラズマ中で > 10-100kV)
- ワイヤレス給電技術 (マイクロ波, レーザー, etc.)
  - 36,000kmを50%以上でワイヤレス給電 (電気->無線送電(>90%)->電気変換)

# 最近の世界の輸送機開発動向

- 軌道投入能力

BFR、SLS、Long March 9など、月探査や深宇宙探査を目的とした輸送機の開発が進んでおり、従来の基幹輸送機の数倍の軌道投入能力を有する宇宙輸送機が検討されている。

米国における次期基幹輸送機の候補となっているロケットはいずれもDelta IV級の軌道投入能力を有している。

- 開発主体

大型の宇宙輸送機の開発主体は各国の宇宙機関か、国との結びつきの強い旧来の宇宙企業が大半を占める。いわゆるNew Spaceと呼ばれる宇宙新興企業では、Space XやBlueOriginが基幹輸送機の開発を進めている。

- スケジュール

米国および欧州の次期基幹輸送機及び米国における大型輸送機(BFR、SLS)の初飛行は2020年以降の1～2年の間で相次いで実施される予定である。

- 再利用可能性

BFR、New Glenn、Vulcan centaur、Ariane6、Long March8等、コスト低減の手段として、1段もしくは全段の再使用が想定・検討されている宇宙輸送機が多い。

世界は月や火星を目指し、さらにはその先の月面基地や宇宙への移住すら目標として輸送機の開発を推進している。

この流れは日本の宇宙開発と共にSPS実現に向けてよい方向である。  
日本も「何を輸送するか」の目標を定め、輸送機開発を推進すべきである。



# >2km の巨大宇宙構造物の建築・保守

by ロボティクス & AI

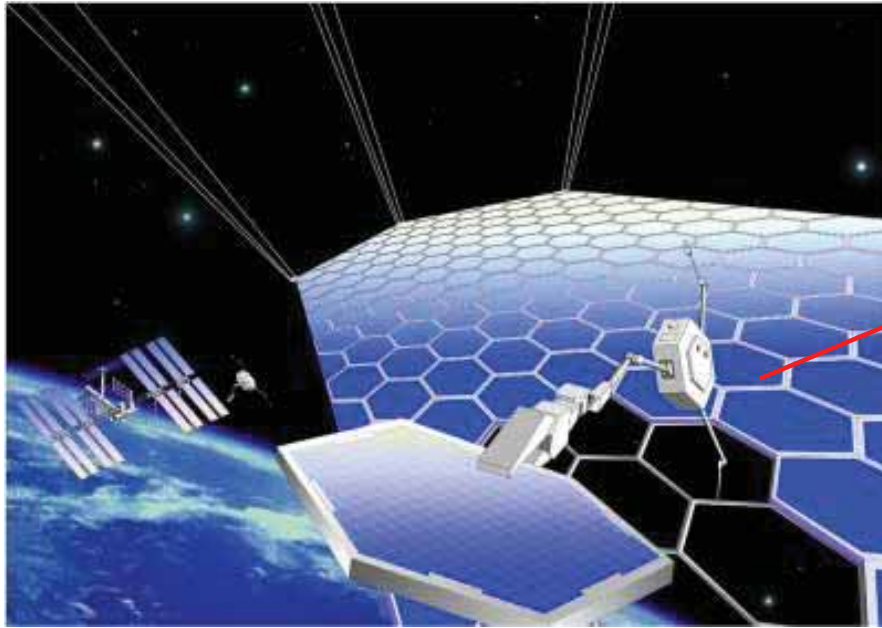


Image of SPS Structure (Solar Cell, WPT)  
(Easy Construction)



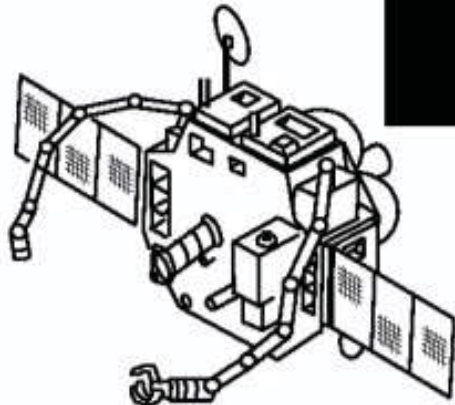
Unit Structure (Micro : Rigid, Macro : Soft)  
Actively Fluctuated Structure

Structure Friendly Robot  
Robot Friendly Structure

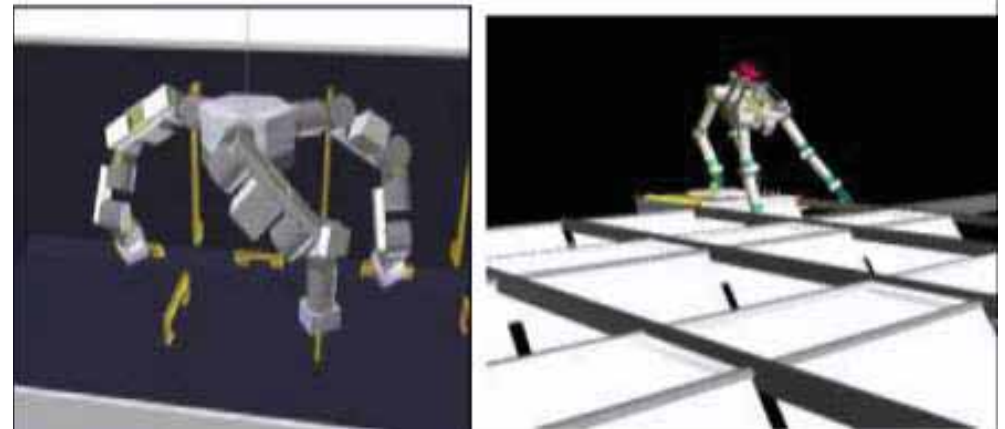
Robot  
in Space



収納状態



Robot on Structure



日本が得意とする宇宙ロボット技術をSPSと共に発展させたい!!

# 最近の日本のSPS研究開発 by JAXA

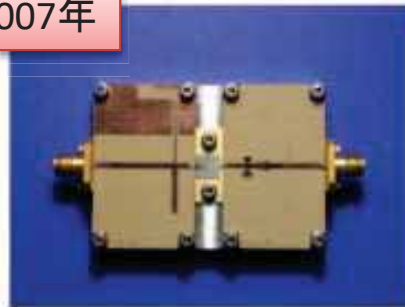
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構JAXAでは、SPS実現のキー技術である、マイクロ波・レーザ無線電力伝送、大型宇宙構造物の研究開発やSPSのシステム検討を実施してきており、SPS実現に向けて着実に前進している。以下に、主な研究開発成果を示す。

2000年



マイクロ波方式SPSにおけるエネルギーの一連の流れを地上で実証

2007年



F級増幅器の試作では世界最高のレベルの高効率を実現

2016年



垂直方向200mでの高精度レーザビーム方向制御を地上で実証

2017年



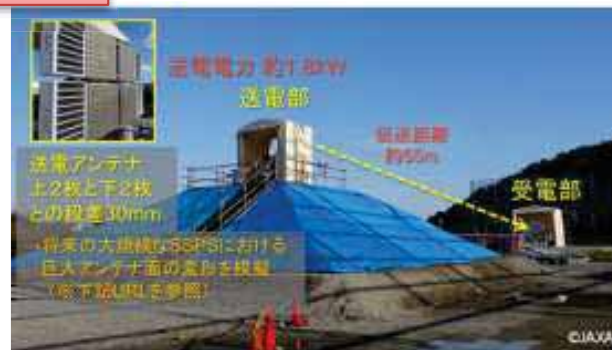
大型平面アンテナ展開機構のコンセプトを地上で実証

2006年



水平方向500mでのレーザ無線電力伝送を地上で実証

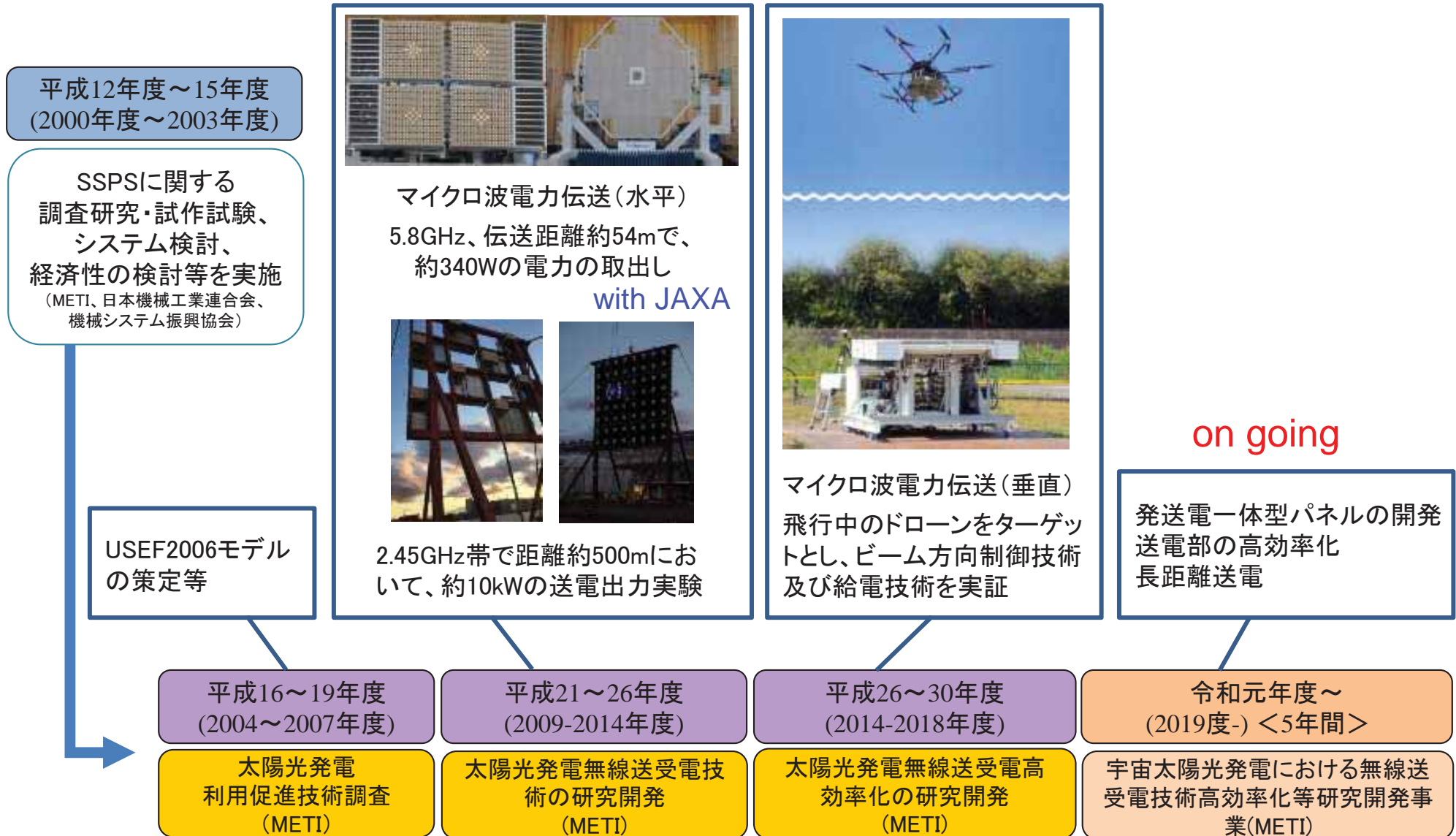
2015年



水平方向55mでの高精度マイクロ波ビーム方向制御を地上で実証 with 経産省PJ

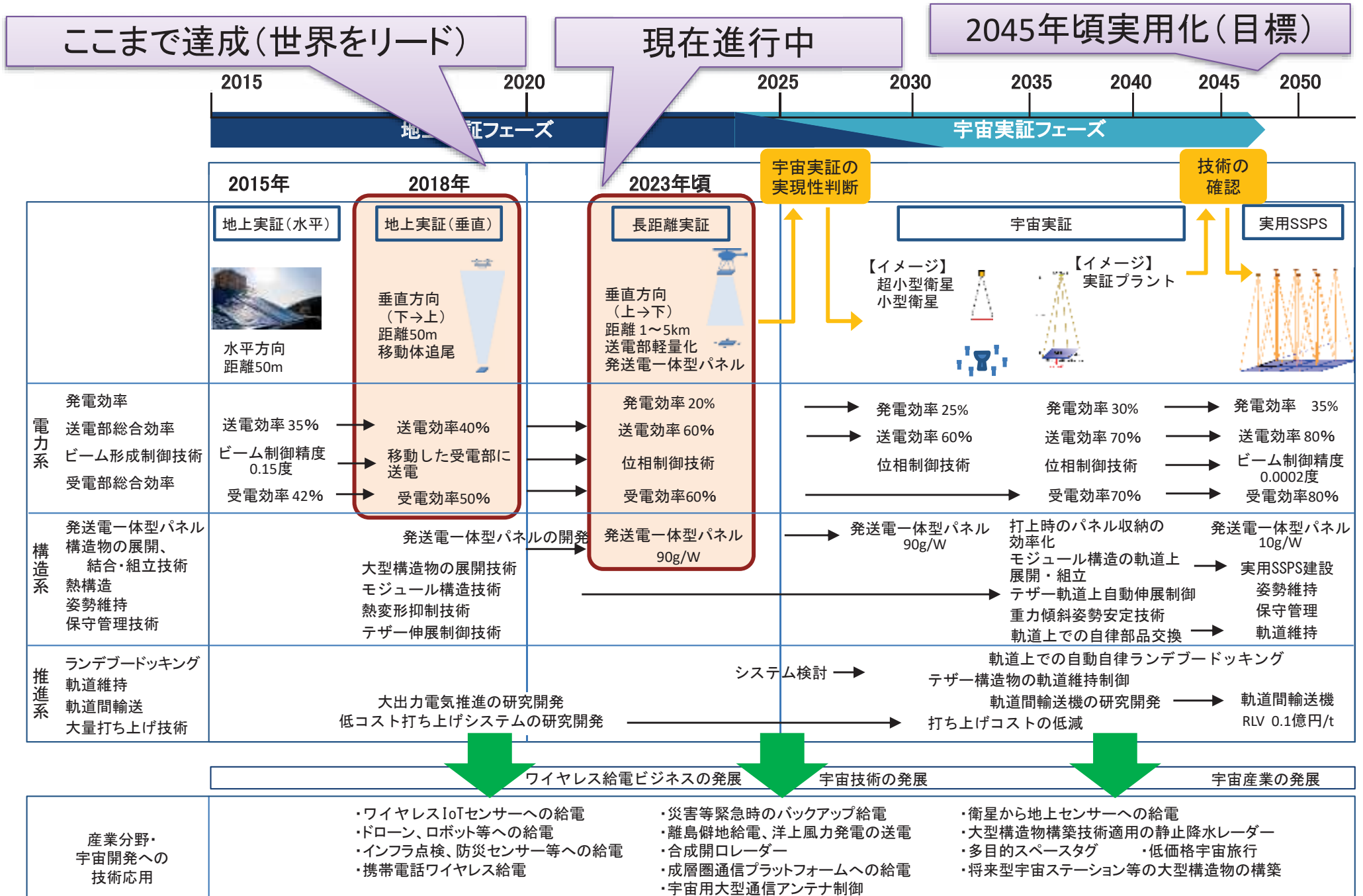
# 最近の日本のSPS研究開発プロジェクト by 経産省

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構では、主に METI からの受託業務において、SPS 実現のキー技術の1つであるマイクロ波無線電力伝送の実証実験を実施し、2020 年現在、まだ日本が世界をリード





# SPS研究開発ロードマップ by 経産省



# ワイヤレス給電の研究開発とビジネス

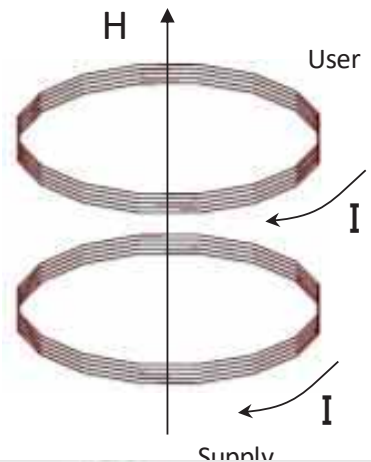
電磁誘導  
( $< 100\text{kHz}$ 磁場)

ビジネス・標準化で  
連携

マイクロ波送電  
( $\text{GHz}$ 帯電磁波)

ビジネスで連携

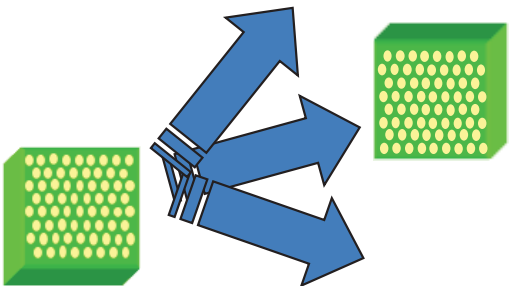
レーザー送電  
( $\text{PHz}$ 程度レーザー光)



Apple含む500社以上参加の  
コンソーシウムWPC



IEC, ISO, ITU, SAE等で標準化  
中国欧州で実用化開始



米国FCCの周波数認可を受けた  
米国ベンチャー会社



米国ベンチャー会社のビジネス



米国NRLによるデモ (2019)



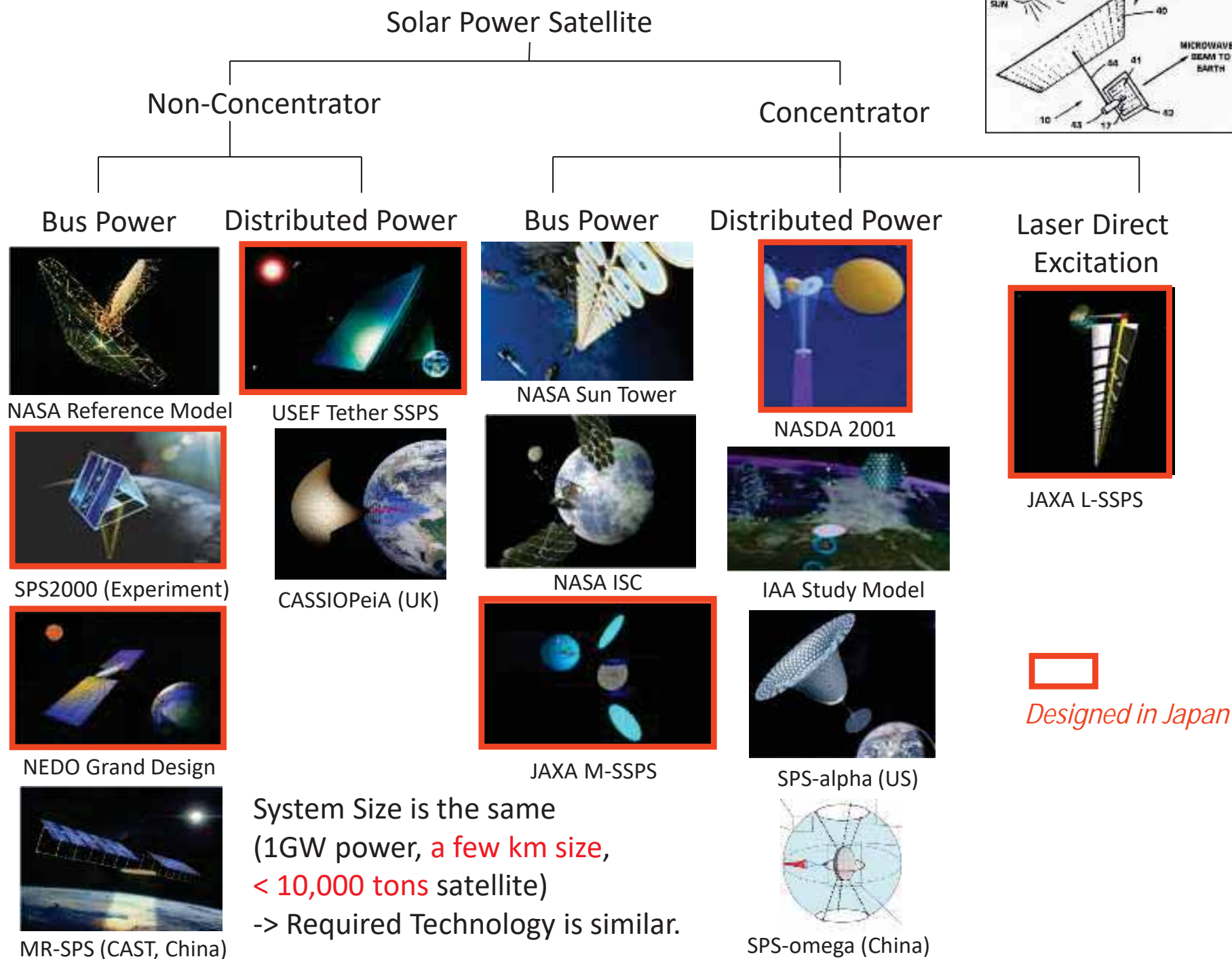
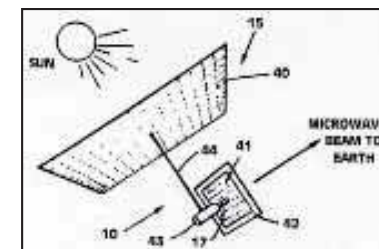
経産省  
SSPS委員会による  
ビジネス化推進

様々な研究開発への投資, 2020年夏以降のマイクロ波送電用  
周波数の省令改正(日本、総務省)

日本のSPS研究開発が  
ビジネスをけん引

# 世界の様々なSPS

First SPS (Glaser, P.E.)



*Designed in Japan*

System Size is the same  
 (1GW power, a few km size,  
 < 10,000 tons satellite)  
 -> Required Technology is similar.



# 世界のSPS研究キーパーソンと日本との関係

## [米国]

### Naval Research Laboratory [Paul Jeffe氏ら]

広くSPS研究を進める。日本との連携が深く、相互に訪問しあい、共同プロジェクトを模索中。

### California Institute of Technology [Sergio Pellegrino教授ら]

Northrop GrummanからのSPS共同研究を推進。情報交換を行っている。

### Raytheon Company [James McSpadden氏ら]

70年代にマイクロ波送電とSPS研究を推進。近年研究開発を再開。共同プロジェクトを模索中。 他

## [Europe]

### Universidade de Aveiro (Portugal) and COST-WiPE (EU) [Nuno B. Carvalho教授ら]

マイクロ波送電研究の第一人者。COST-WiPEはワイヤレス給電のEUプロジェクト。宇宙応用を進め、共同プロジェクトを模索中。

### SICA Design Limited (UK) [Ian Cash氏ら]

新SPSデザインを提唱。共同プロジェクトを模索中。 他

## [中国]

### China Academy of Space and Technology (Xinbin Hou氏, Shiwei Dong氏ら)

中国版SPS PJを推進中。京都大と連携を深め、相互交流実績多数。

### Xidian University [Baoyan Duan教授ら]

中国版SPS(別様式)を推進中で、プロジェクト予算獲得。京都大と連携を深め、相互交流実績多数。

### Chongqing University [Huaiqing Zhang教授他]

SPSに向けたマイクロ波送電実証実験を実施予定(2019)。京都大を訪問し、研究協力を要請。

### Sichuan University (Kama Huang教授他)

マイクロ送電実証実験を実施。GaN増幅器で中国企業と連携。京都大と連携中。 他

## [韓国]

### Korea Aerospace Research Institute [Joon-Min Choi氏ら]

2度のKorean SPS Symposiumを開催し、京大他が招待講演。韓国国会議員にも働きかけ。

### Korea Electrotechnology Research Institute [Youngjin Park教授ら]

ビームマイクロ波送電実験を実施。京都大と議論中。 他

## [シンガポール]

### National University of Singapore [Yongxin Guo教授ら]

SPSに関するシンポジウムを実施。京大が招待講演を行い、半導体関連で共同研究中。 他

## [ベトナム]

### Vietnam Academy of Science and Technology [Khac An Dao教授ら]

SPSに関するベトナム語の書籍出版。京都大と連携を模索中。 他