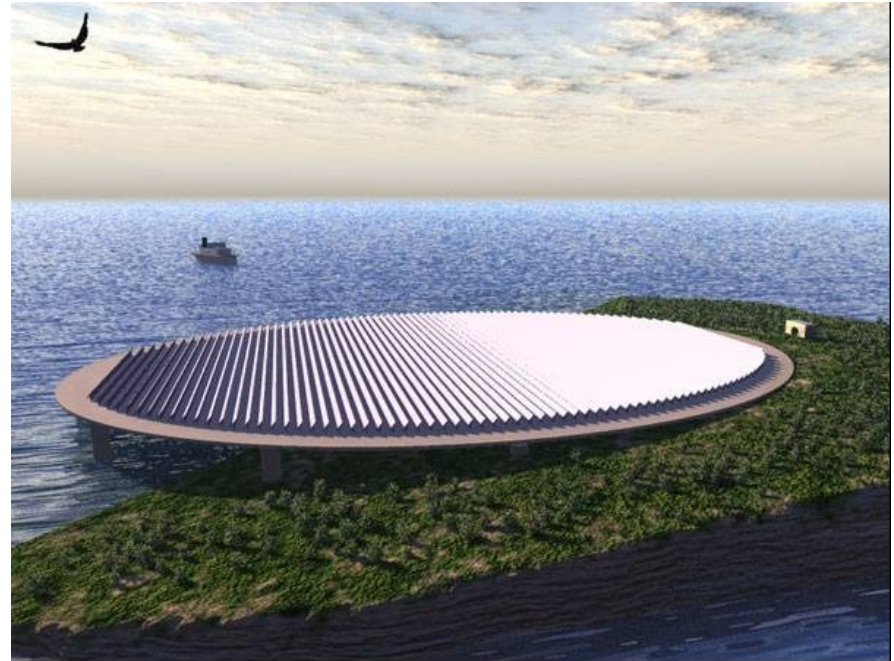
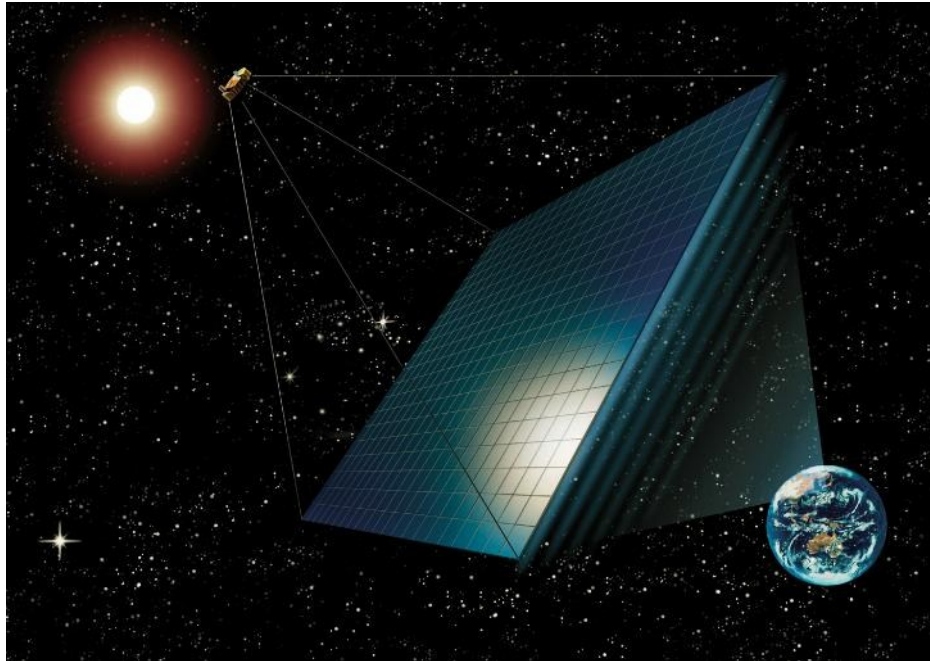


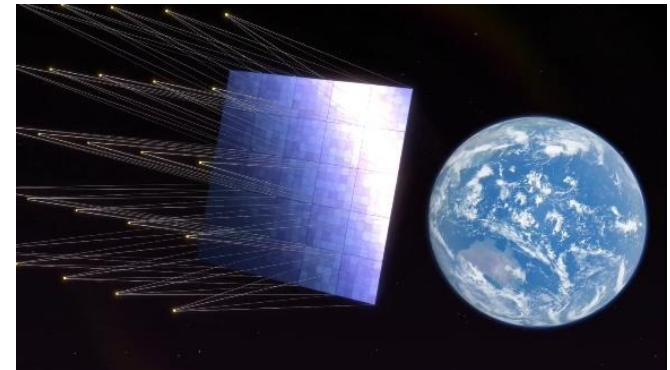
宇宙太陽光発電システム実現に向けた取り組みの現在位置



2025年10月28日
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
柳川 祐輝

目 次

1. はじめに:宇宙太陽光発電(SSPS)とは
2. SSPSの実現に向けたJ-spacesystemsの取り組み
3. 海外の動向
4. SSPS研究開発の現在位置
5. まとめ



1. はじめに： 宇宙太陽光発電システム(SSPS)とは

Space Solar Power System (SSPS)

宇宙太陽光発電システムとは

- ・宇宙空間に打ち上げた衛星が、太陽エネルギーを使って発電し電波で地上に送電し、地上で電力を利用する仕組み

主な特長

- ①運用時に二酸化炭素を全く排出することがないため、地球環境、温暖化対策としても有効である。
- ②地上の太陽光発電と比べて、昼夜や天候に左右されない安定な電力供給が可能である。(太陽光利用効率は地上の約10倍)

意義

- ①エネルギー資源の多様化
- ②エネルギー輸出国への転換
- ③エネルギー安全保障への貢献

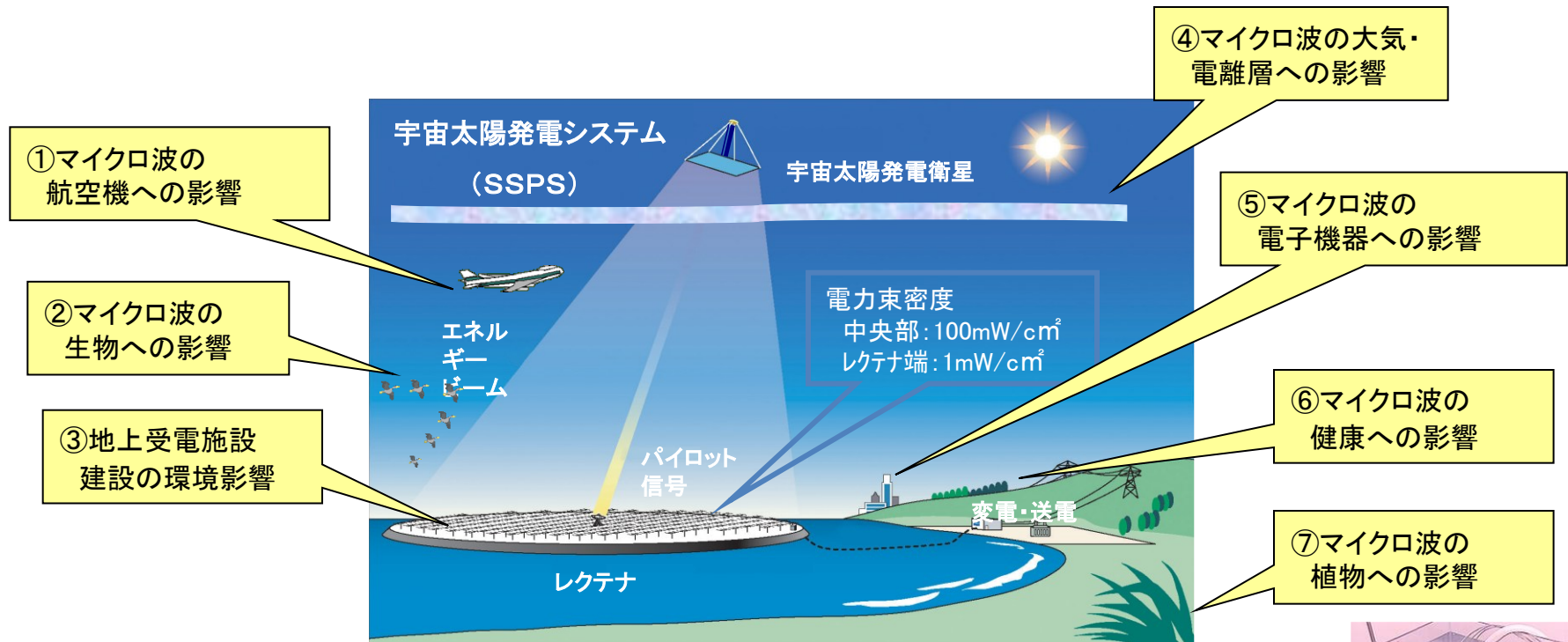
技術課題

- ①宇宙発電・送電部の薄型軽量化技術
- ②高効率な発電・送電・受電技術
- ③高効率と安全な運用を実現するエネルギー伝送ビーム制御技術
- ④大型構造物を宇宙空間に輸送し、組み立て、運用・維持する技術

宇宙太陽光発電システムのイメージ(100万kW)



Topic. 安全・環境適合性



○マイクロ波の動植物への影響は熱作用のみで、かつ、中央においても直ちに生命に影響を及ぼすことはない(東京都の盛夏の太陽光未満)。

○人や航空機に関しては、人体に対する電波防護指針以下に抑えつつ(＝薄いエネルギーを広い範囲に送る)、局所的に立ち入り制限区域を設けるなどの対処で、安全の確保が可能。



2. SSPSの実現に向けたJ-spacesystemsの取り組み

宇宙基本計画 平成21年6月(宇宙開発戦略本部) 最新: 令和5年6月閣議決定

宇宙基本法 平成二十年法律第四十三号(平成二十七年 法律第六十六号による改正)

エネルギー基本計画 平成15年10月(閣議決定) 最新: 令和7年2月閣議決定

上記制定を受けて平成21年度から事業開始

環境エネルギー技術革新計画(平成25年9月総合科学技術会議決定)

未来投資戦略2018(平成30年6月閣議決定)

エネルギー・環境イノベーション戦略(平成28年4月総合科学技術・イノベーション会議決定)

宇宙産業ビジョン2030(平成29年5月宇宙政策委員会決定)

▲ 2007年度ロードマップの設定 → 2016年度改訂

平成12年度
(2000年度)

平成13～15年度
(2001～2003年度)

平成16～19年度
(2004～2007年度)

平成21～26年度
(2009-2014年度)

平成26～30年度
(2014-2018年度)

SSPSに関する
調査研究
(日本機械工業連合会)

宇宙太陽発電システム
実用化技術
調査研究
(METI)

太陽光発電利用促進技術調査
(METI)

地上実証

SSPS

太陽光発電無線送受
電技術の研究開発
(METI)

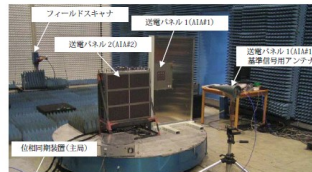
太陽光発電無線
送受電高効率化
の研究開発
(METI)



AIA#1 (FYH13-14): SWレトロ
(METI)

AIA#2 (FYH15): HWレトロ
(機械システム振興協会)

太陽光発電利用委員会
・システム専門委員会
・発電電技術専門委員会

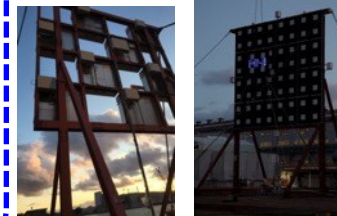


AIA#1/#2 (FYH16): 組み合わせ
(機械システム振興協会)

作業用ロボット用送受電系試作(FYH17-18)
(機械システム振興協会)



マイクロ波電力伝送試験モデル



スピンオフ技術実証システム



受電部
(受電電力によりLED点灯)

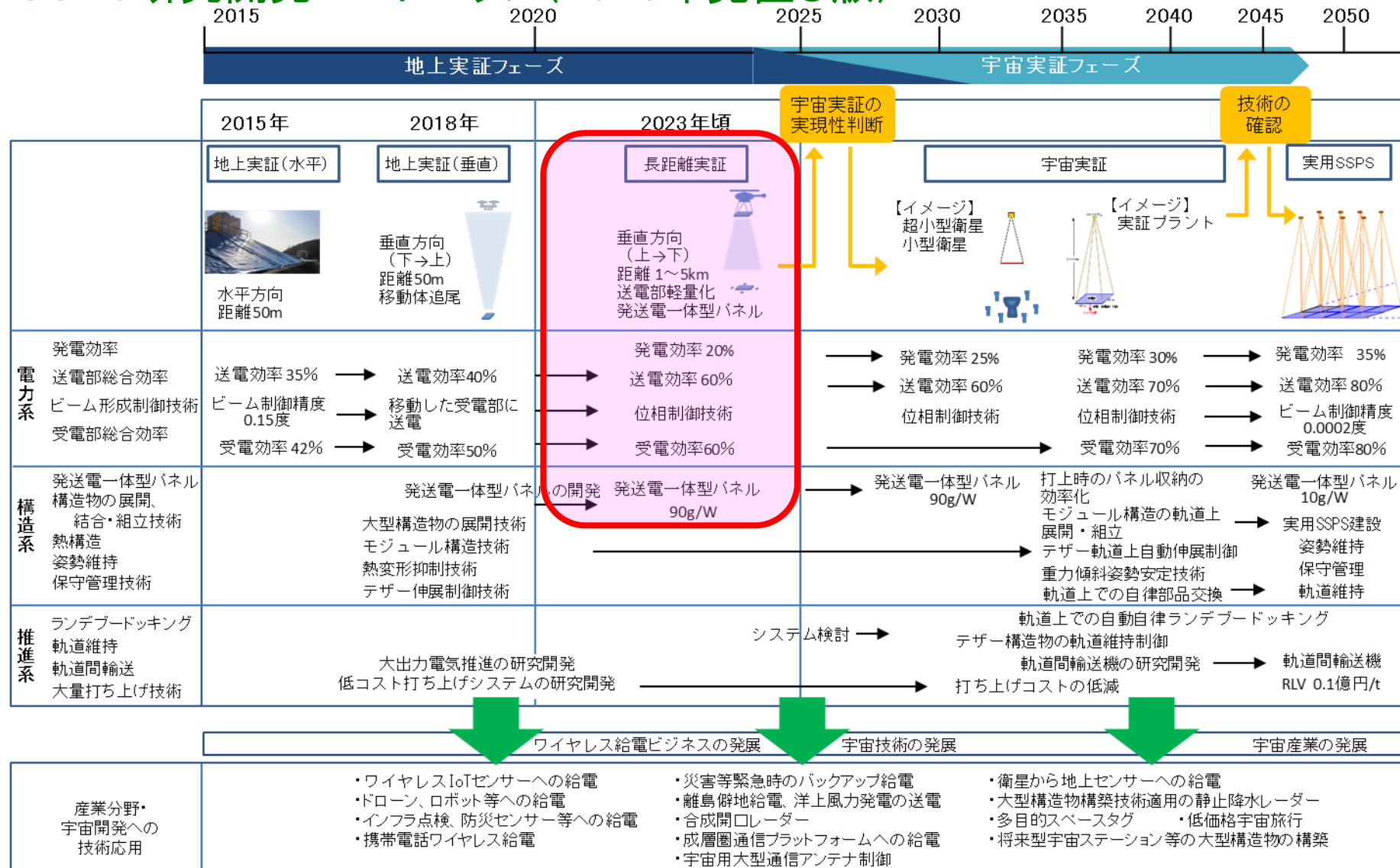


送電部

J-spacesystems (Japan Space Systems) : 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

2. SSPSの実現に向けたJ-spacesystemsの取り組み

SSPS研究開発ロードマップ(2016年見直し版)

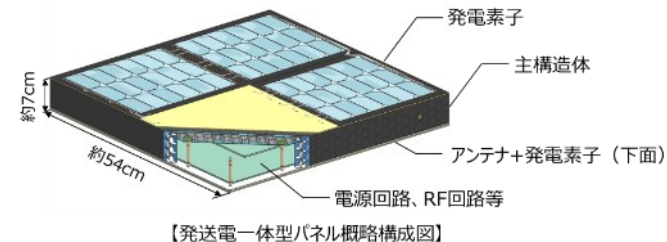


2. SSPSの実現に向けたJ-spacesystemsの取り組み

第三フェイズ(2019～2024年度)

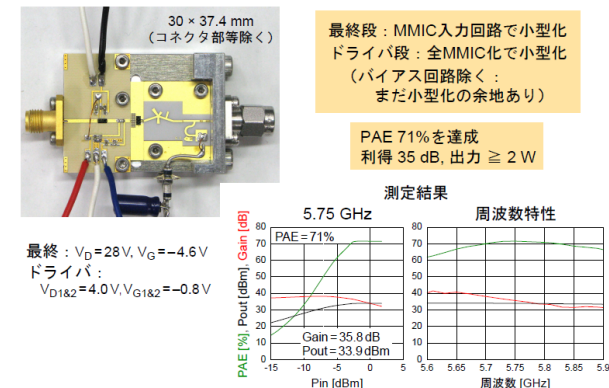
① 発電電一体型パネルの開発

- ・パネルの上面は太陽電池セル、下面は太陽電池セルと送電アンテナ(5.8GHz帯)を同一面に配置する発電電一体型パネル(50cm×50cm程度)を開発。



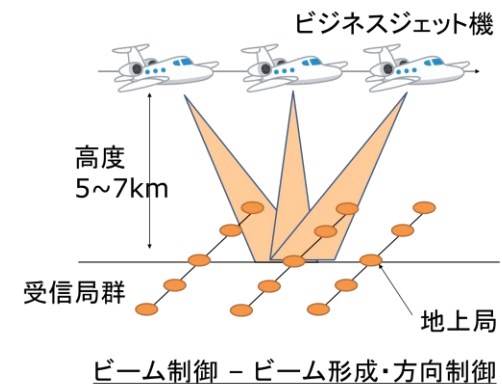
② 送電部の高効率化

- ・5.8GHz帯でのマイクロ波無線送受電技術に関し、送電部の高効率化のための方式及び機能性能配分の検討や試作を実施、送電部の供給電力(DC)と送電出力電力(RF)の比である**総合効率60%を達成**。



③ 長距離送電の実証

- ・送電装置(衛星搭載用)と地上機器、観測装置との同期と機能確認を行うとともに、マイクロ波ビームの評価手法を検討した。
- ・衛星用の実大送電アンテナパネルと技術的に等価な送電パネル供試体を航空機に搭載し、送電地点(地上)へ向けた**マイクロ波無線送電実証実験に成功**。
- ・使用周波数： 5.8GHz帯(送電用マイクロ波)

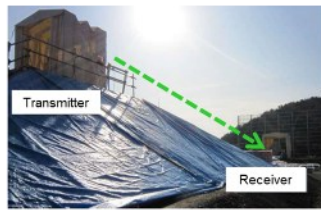


Topic. 実証実験

マイクロ波無線送受電実証実験

◆ SSPS 無線送受電技術開発の計画・実績

- 2015 • 水平方向 (50m) の無線送電実証実験を実施

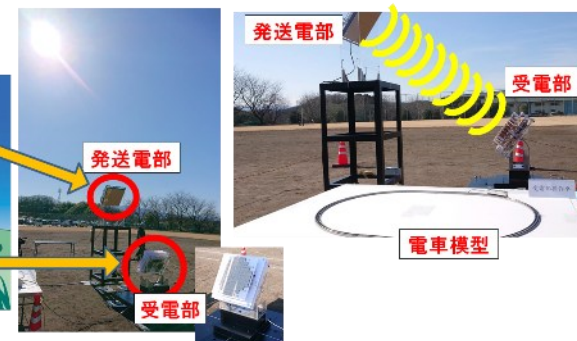
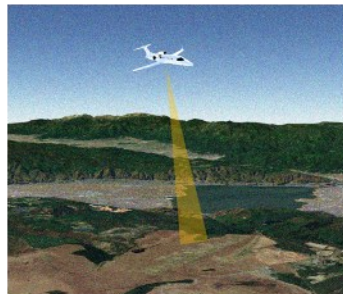


- 2019 • ドローンを使った垂直方向 (30m超) の無線送電実証実験を実施



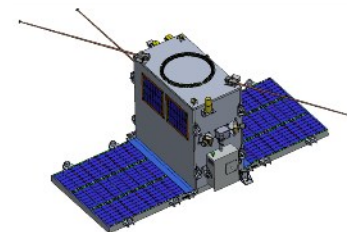
- 2024 • SSPSコンセプトモデルによる、太陽光のみによる無線送受電デモンストレーション

- 飛行機～地上間の無線送受電実証実験 (2024年12月実施)



Next Step

- 小型人工衛星による宇宙～地上間の無線送受電実証実験



Topic. 実証実験(2014年度)

屋外試験:

伝送距離約54mで、平均約340Wの利用可能電力の取出しを確認。

・期間: 平成27年2月～3月 ・場所: 兵庫県内の屋外試験場

5.8GHz帯で半導体増幅器を使用したフェーズドアレーアンテナを用いて、複数モジュールの協調動作によって、キロワット級マイクロ波のビーム制御を行うシステムの屋外無線送電としては、世界的に例を見ない試験に成功。



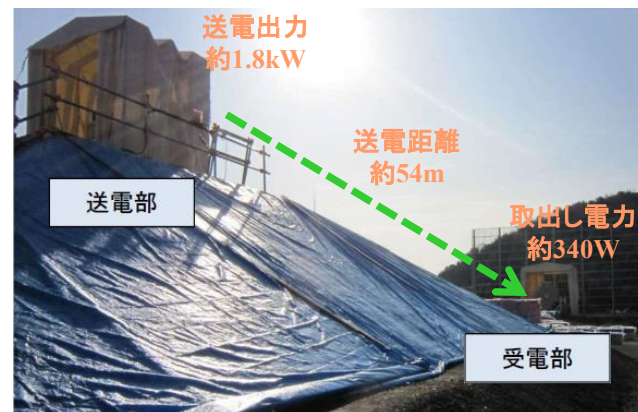
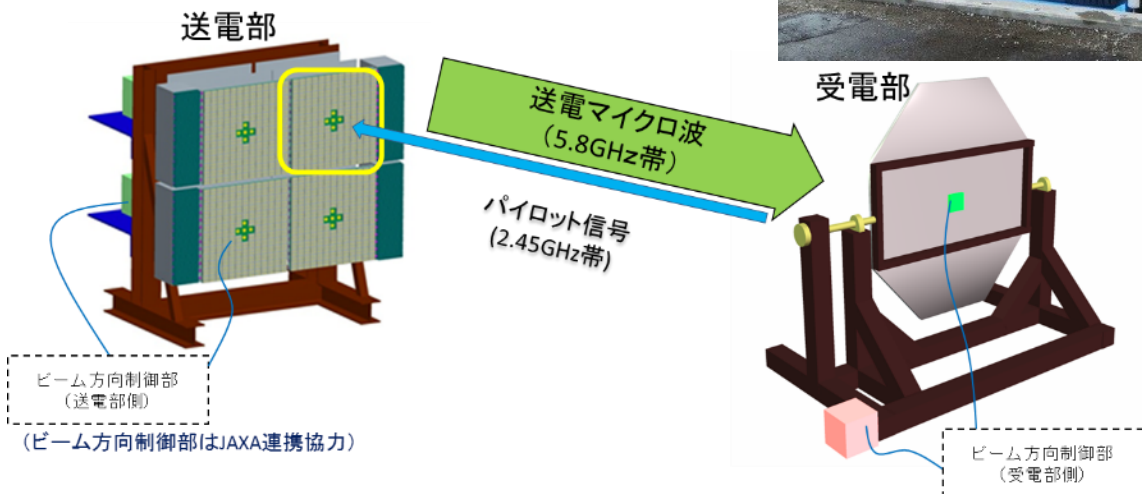
約0.6m×0.6m×0.025m
×4モジュール

三菱電機(株)



約2.6m×2.3m
×1モジュール

(株)IHIエアロスペース

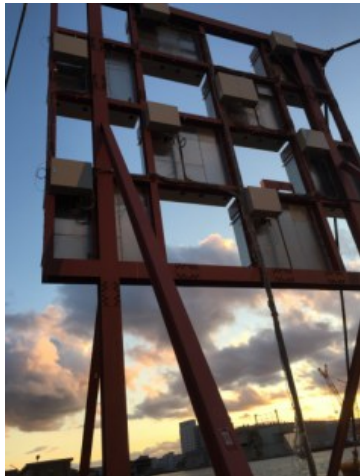


Topic. 実証実験(2014年度)

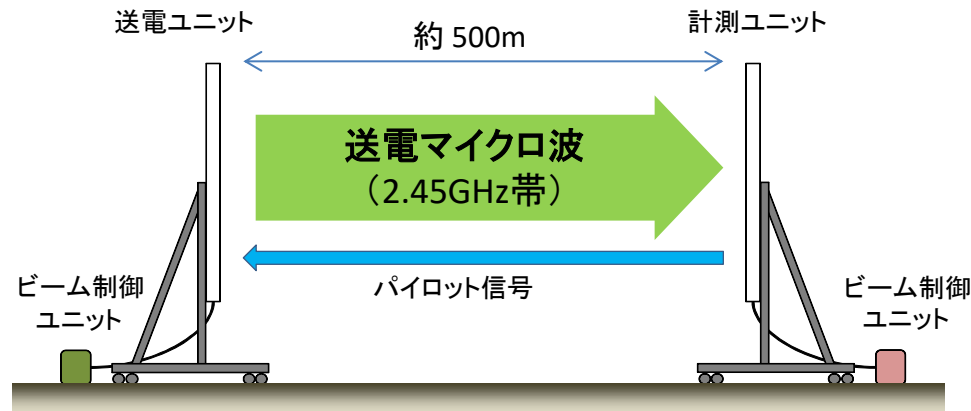
既存技術を活用して、産業応用を目指した低コストな実証システムの試作評価。

・期間:平成27年2月 ・場所:三菱重工業(株) 神戸

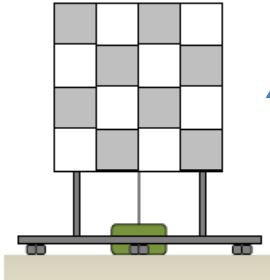
2.45GHz帯で距離約500mにおいて、約10kWの送電出力実験を行い、制御された条件下での動作を確認した。国内では最長、最大級電力の屋外無線送電実験に成功。



2.45GHz帯
位相制御マグネトロン使用



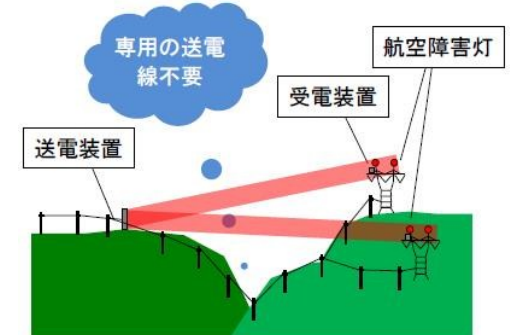
送電ユニット (正面)



- ・見かけの開口面積大 ⇒長距離送電
- ・建設初期の配置

応用例

- ・ 航空障害灯への送電
- ・ 離島への送電
- ・ 洋上風力発電所から送電



(出典) 三菱重工業株式会社

Topic. 実証実験(2019年度)

◆無線送電システムの高効率化

- ・送電系：送電部総合効率40%（現状35%）を目標とし、44.8%を達成。
- ・受電系：受電部総合効率50%（現状42%）を目標とし、54.9%を達成。

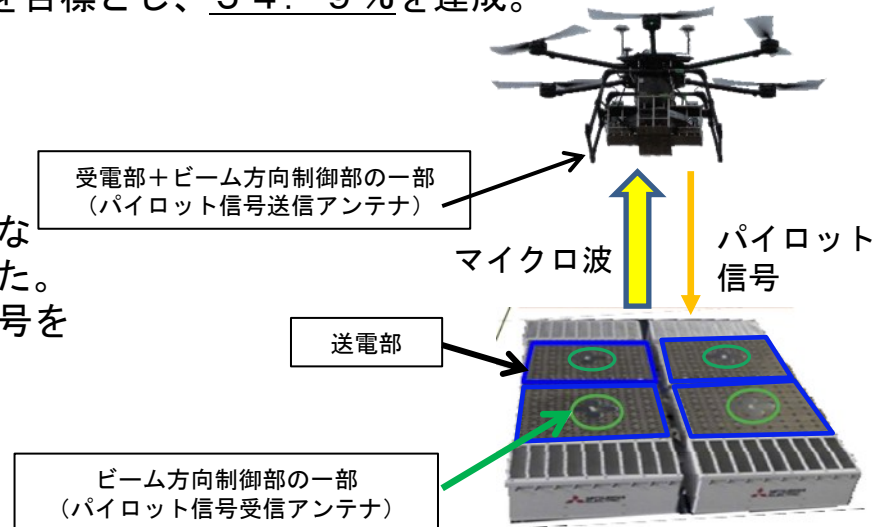
◆垂直方向マイクロ波無線送電技術実証

- ・垂直送電技術実証：

屋外の地面反射の影響のない環境での垂直方向（下から上方向）でのマイクロ波送電における適切なビーム形成技術を、マルチコプタを使用して実証した。また、マルチコプタを移動させた後、パイロット信号を受けて移動後の位置を特定し、その方向に送電するビーム方向制御技術を実証した。

- ・マルチコプタ等への給電技術実証：

受電部を搭載したマルチコプタへのマイクロ波による無線送電を実施し、電力として取り出せることを確認した。



飛行ケース		取り出し電力	
No.	飛行内容	実測値(Max)	計算値
1	送電部天頂19mをホバリング後、ラスタスキャン飛行	105.4W	123.1W
2	送電部天頂30mをホバリング後、ラスタスキャン飛行	42.5W	39.7W
3	送電部天頂30mをホバリング後、西7度でホバリング	39.3W	39.7W
4	送電部天頂30mをホバリング後、八の字飛行	36.9W	39.7W

Topic. 実証実験(2023年度)

発電電一体型パネルの開発／屋外デモンストレーション

- 実際にSSPSが実現したときと同じ状況を可視化して見せることで、
「SSPSが遠い将来の夢物語・SF世界のことではなく、身近になってきた技術であること」を広く
アピールすることを目的として、2024/1/19～2/9に 屋外無線送電実証試験を実施。
- SSPS(USEFモデル)のキー技術の1つである「発電電一体型パネル」を製作し、このデバイスを用いて、自然太陽光のみをエネルギー源とし、
 - ①. 太陽エネルギーから電気を生成(発電)、
 - ②. 発電した電気を電波(周波数:5,750MHz)に変換、
 - ③. 変換した電波をアンテナから送信、
 - ④. 送信した電波を受信アンテナで受信、
 - ⑤. 受信した電波を電気に変換、
 - ⑥. 変換した電気を使って仕事を行うという「宇宙太陽光発電所」の一連の流れを視野内に収めて再現し、実際に動作している様子を示した。



Topic. 実証実験(2024年度)

航空機に送電部(フェイズドアレイ方式)を搭載し、高度7kmを時速700kmで飛行する航空機と地上との間の無線送電実証実験を2024年12月3日～6日にかけて実施。

飛行回数 4回、送電実験回数 40回の送電実験に成功し、

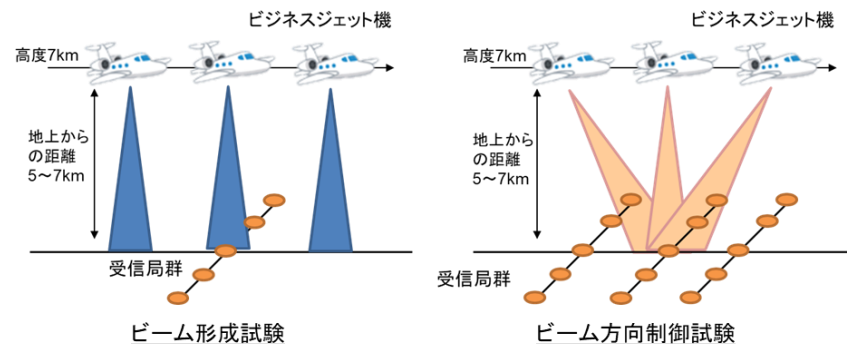
- ①. ビーム形成技術 (限られた範囲に電波を集中させる技術)
- ②. 方向制御技術 (形成したビームを狙った場所に当てる技術)

の実証データを得た。

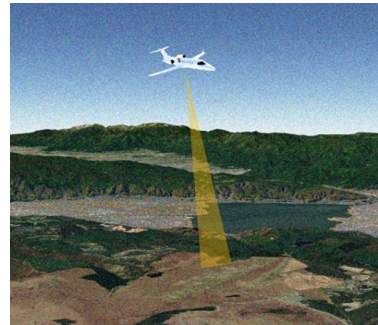
本実験は、**フェイズドアレイ方式による、上空から地上への、5km超の長距離送電という点で世界初**のもので、軌道上実証へ向けた重要なステップを踏むことができた。



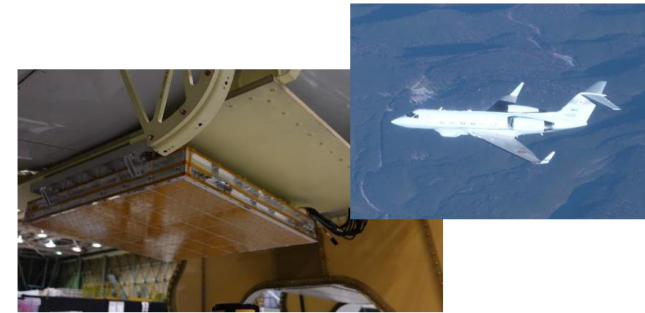
試験ロゴマーク



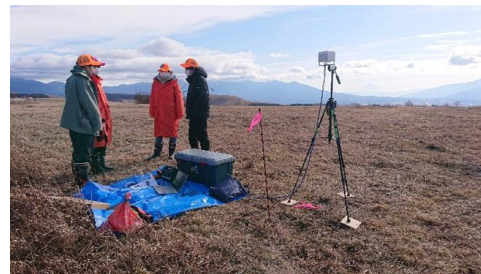
飛行試験の概要



試験イメージ



航空機/試験装置



計測装置/計測局



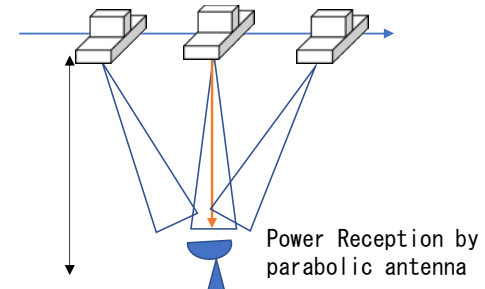
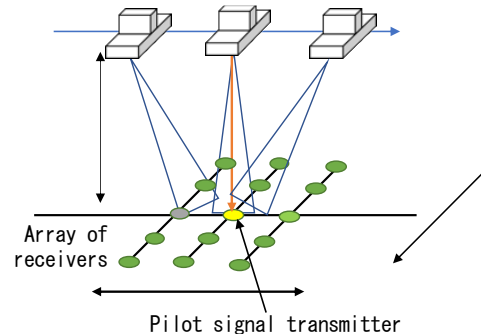
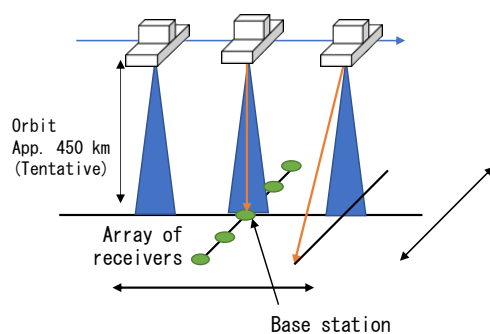
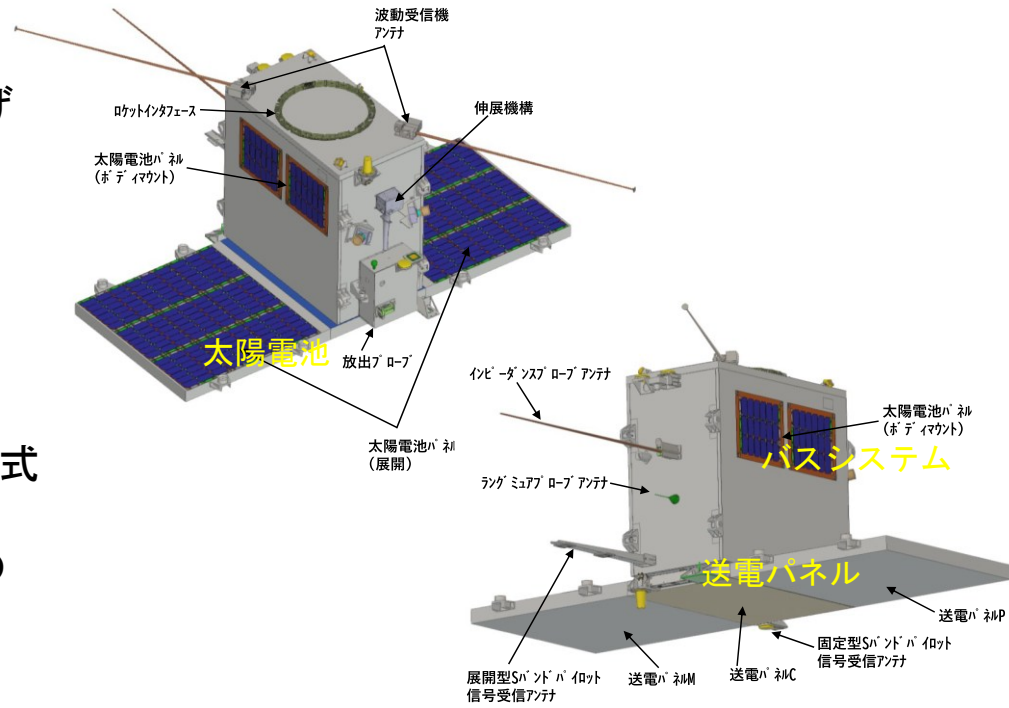
計測局配置

Topic. 実証実験(2026年度TBD)

- 航空機実験で実施した長距離無線送電実証実験を、小型の実験用衛星を打ち上げて、宇宙空間から地上への送電実験を行う計画を進行中。

【概要】

実験用衛星重量 ... 180kg程度
送電出力 ... 720W(計画値)
送電方法 ... アクティブフェイズドアレイ方式
飛行高度 ... 約450km前後
ステータス ... 衛星本体とミッション機器のFM機器を製造評価中



軌道上から無線送電実験概要

Youtubeチャンネル【JSS_SSPS】



JSS_SSPS

@JSS_SSPS-v3h · チャンネル登録者数 54人 · 16本の動画

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 (J-spacesystems) SSPSチームの公...さらに表示

jspacesystems.or.jp/project/observation/ssps

チャンネルをカスタマイズ

動画を管理

ホーム

動画

再生リスト

投稿



宇宙太陽光発電システム(SSPS) 世界初の長距離無線送電実証...

988 回視聴 · 1 か月前

2024年12月に長野県の霧ヶ峰高原で行われた、SSPS(宇宙太陽光発電システム)の実現に向けて重要となる、長距離無線送電技術の世界初の実証実験ドキュメンタリーです。

Space Solar Power Systems (SSPS) English.ver
World-first long-distance wireless power transmission test documentary...

詳細

[SSPS] 2024年度WPT実証実験 ▶ すべて再生

2024年12月に実施した航空機実験と関係者インタビューです。実験の詳細については、以下のリンク先をご覧ください。 <https://www.jspacesystems.or.jp/news/4608.html> 2024.12.13 JSS二...



宇宙太陽光発電システム (SSPS) 世界初の長距離無線...

JSS_SSPS
267 回視聴 · 1 か月前



【SSPS (宇宙太陽光発電システム)】スペシャルインタビ...

JSS_SSPS
94 回視聴 · 1 か月前



【SSPS (宇宙太陽光発電システム)】スペシャルインタビ...

JSS_SSPS
130 回視聴 · 1 か月前



【SSPS (宇宙太陽光発電システム)】スペシャルインタビ...

JSS_SSPS
70 回視聴 · 1 か月前



【SSPS (宇宙太陽光発電システム)】スペシャルインタビ...

JSS_SSPS
247 回視聴 · 1 か月前

3. 海外の動向

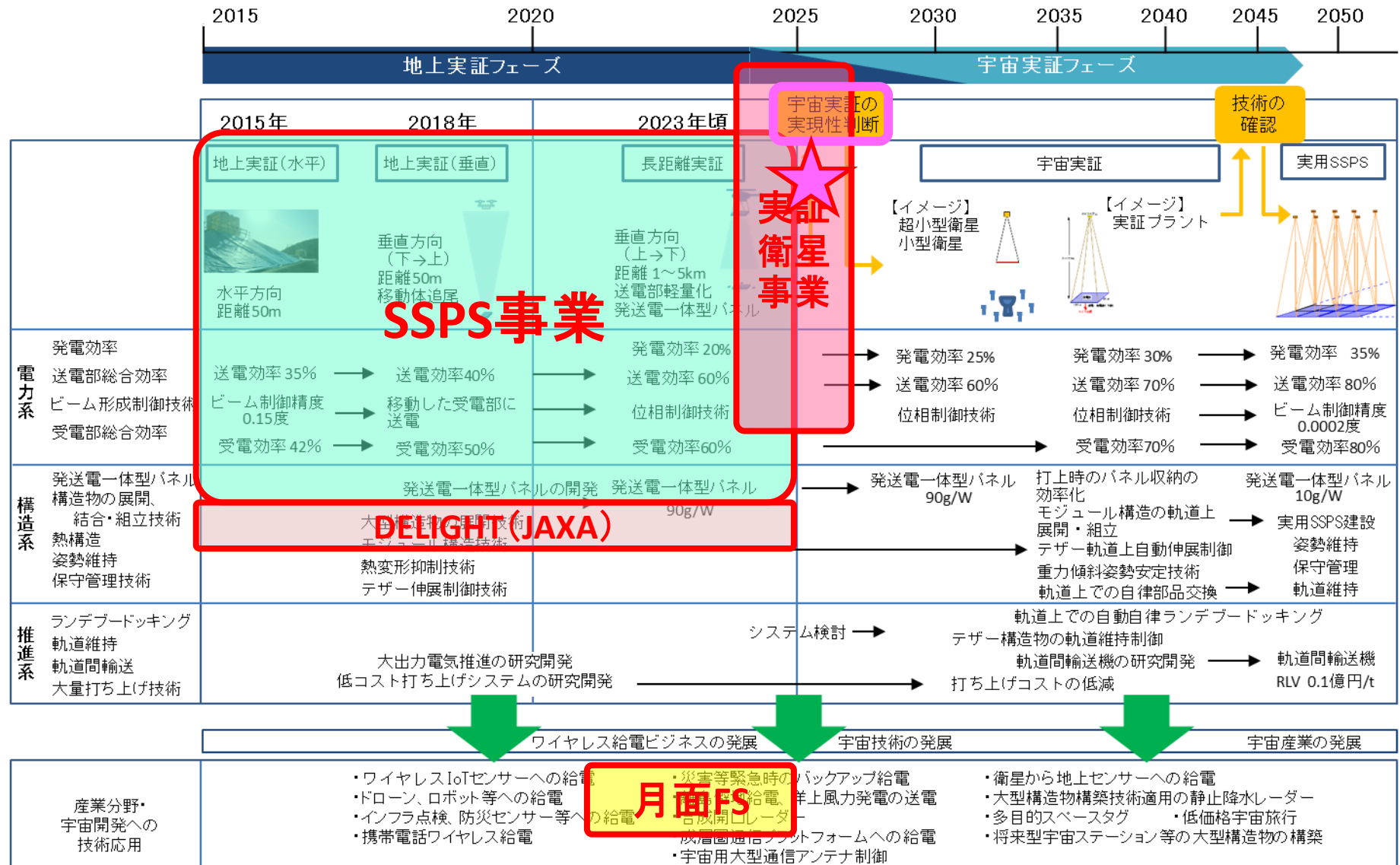
- 1970年代までは米国が宇宙太陽光発電の研究の中心であったが、1980年代に入りアメリカの緊縮財政政策などを受けて減速。
- 近年になって、Caltechによる軌道上実験の実施、中国における積極的な開発推進、欧州のSOLARIS計画開始、英国のCASSIOPEIA計画、事業会社立上げなど、複数の巨額事業が立ち上がっている。

国・地域	研究開発の動向
米国	・2020年、国際宇宙ステーションでのマイクロ波送電デモ、無人宇宙往還機X-37Bでのモジュール実験 ・2021年、空軍研究所(AFRL)が軌道上実証試験を2023年～2024年に計画(SSPIDR)→2025年～に順延 ・2022年、NASAの技術・政策・戦略室(OTPS)がSSPS再評価検討を開始、2024年1月報告書発行 ・<u>2023年、カリフォルニア工科大学 Caltech が 1 億ドル以上の寄付を受けSSPI(Space Solar Power Initiative)プロジェクトを実施しており、5月には人工衛星から送られた信号を地上で受信することに成功</u>
欧州	・2020年、欧州宇宙機関(ESA)が地上/月面における宇宙太陽光発電への取組に関する新アイデア公募 ・2020年、英国宇宙局(UKSA)がFrazer-NashとOxford Economicsに宇宙太陽光発電FS調査委託 ・<u>2022年、ESAがSOLARISと呼ばれる欧州向けSBSP(Space Based Solar Power)準備プログラムを正式に開始</u> ・2023年、英国衛星利用推進センターがUKSA資金を受けSBSPシステムの研究開発プロジェクトを開始 ・2023年、SBSPへの共同投資の可能性を含む、宇宙における英国とサウジアラビアの協力関係について協議を開始
中国	・2014年、中国国家航天局が宇宙太陽光の専門家チームを立ち上げ、研究開発を継続中 ・2022年、西安電子科学大学キャンパス内に大規模な地上実験施設が完成

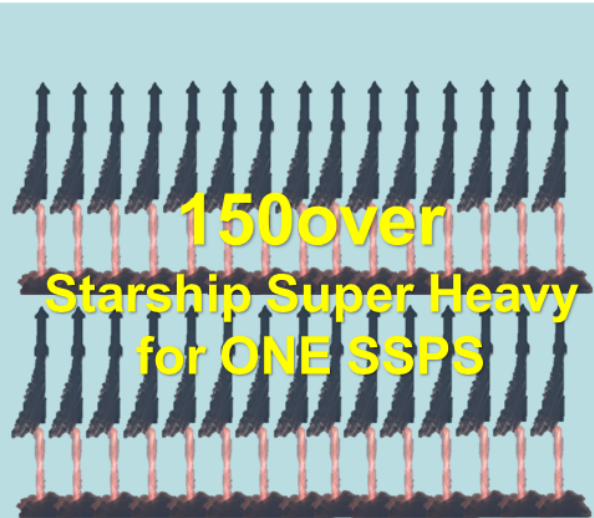
Topic. 近年の無線電力伝送実証実験

方式	実施年	実施者	概要
マイクロ波	2022年	NRL (米国)	米NRLが、メリーランド州 Blossom Point の米国陸軍研究フィールドで、マイクロ波無線送電実験 (10GHz、1.6kW、1km強) を行い、地上マイクロ波電力ビームの実現可能性を実証した。
マイクロ波	2024年	KARI (韓国)	韓国KARIが、地上のパラボラアンテナから係留した飛行船の下に取り付けたアンテナまで無線送電を実施。送電距離1.81km、送電電力2kW。
レーザー	2025年	DARPA (米国)	米DARPAが、ニューメキシコ州で行った実証実験において、レーザーによる無線電力伝送を行い、いくつかの新記録を樹立した。開発チームは、距離8.6km、30秒間のレーザー送電を行い、800W以上の出力を記録した。
レーザー	2025年	NTT・MHI (日本)	NTTとMHIは、2025年1月/2月に、南紀白浜空港 (和歌山県) の旧滑走路を使い実験を実施。 送電距離: 1km 送電出力: 1,000W 受電電力: 152W (効率15%は世界最高効率)

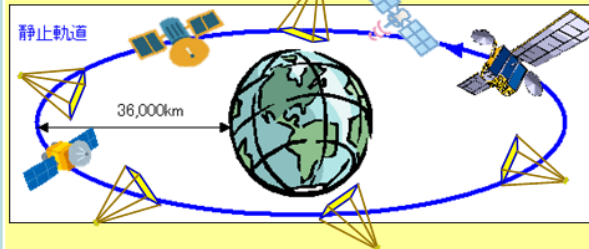
4. SSPS研究開発の現在位置



4. SSPS研究開発の現在位置



✓ Huge numbers
of Rockets



GEO Placement
Competition



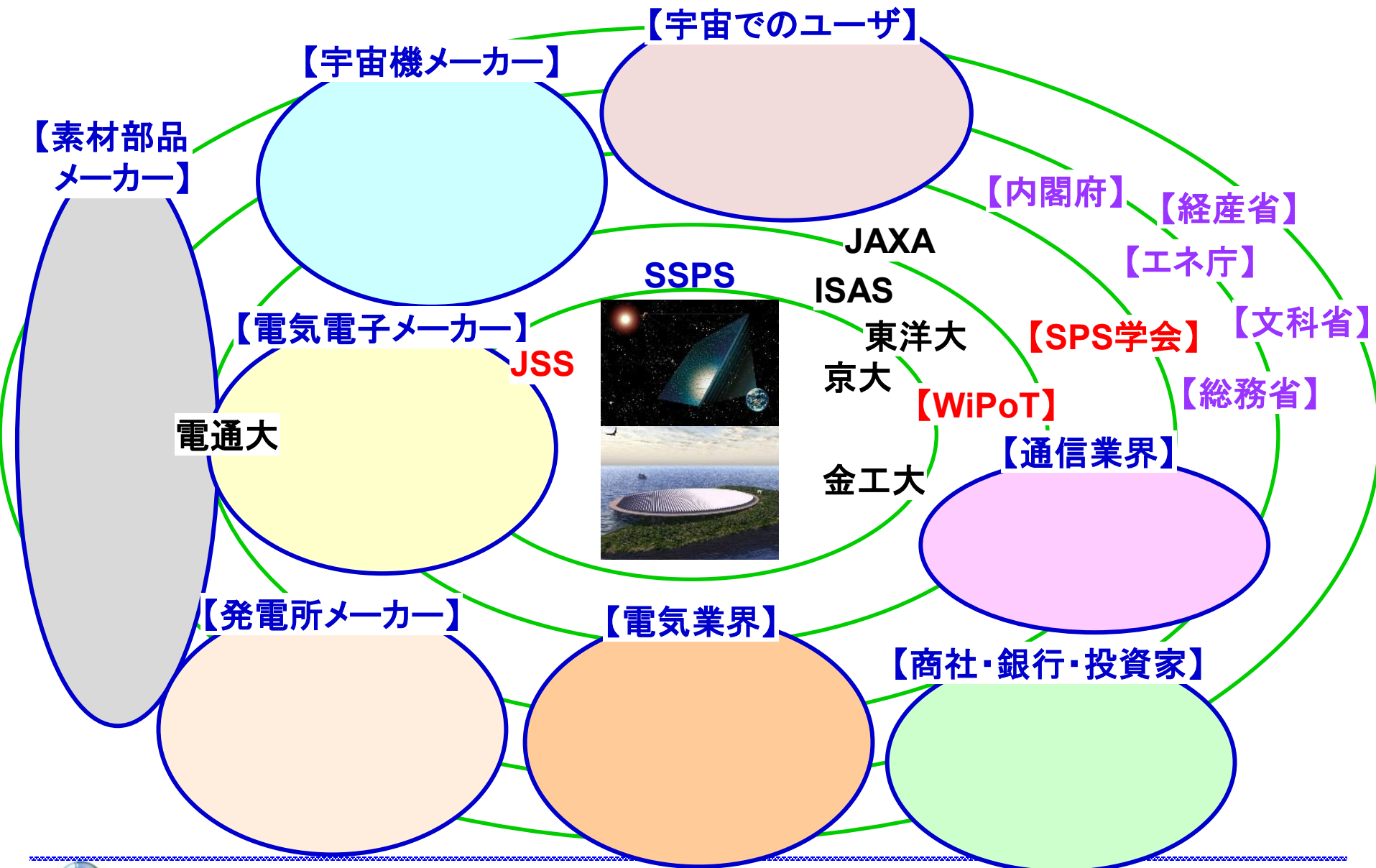
Frequency

✓ Limited
Resources



✓ Security

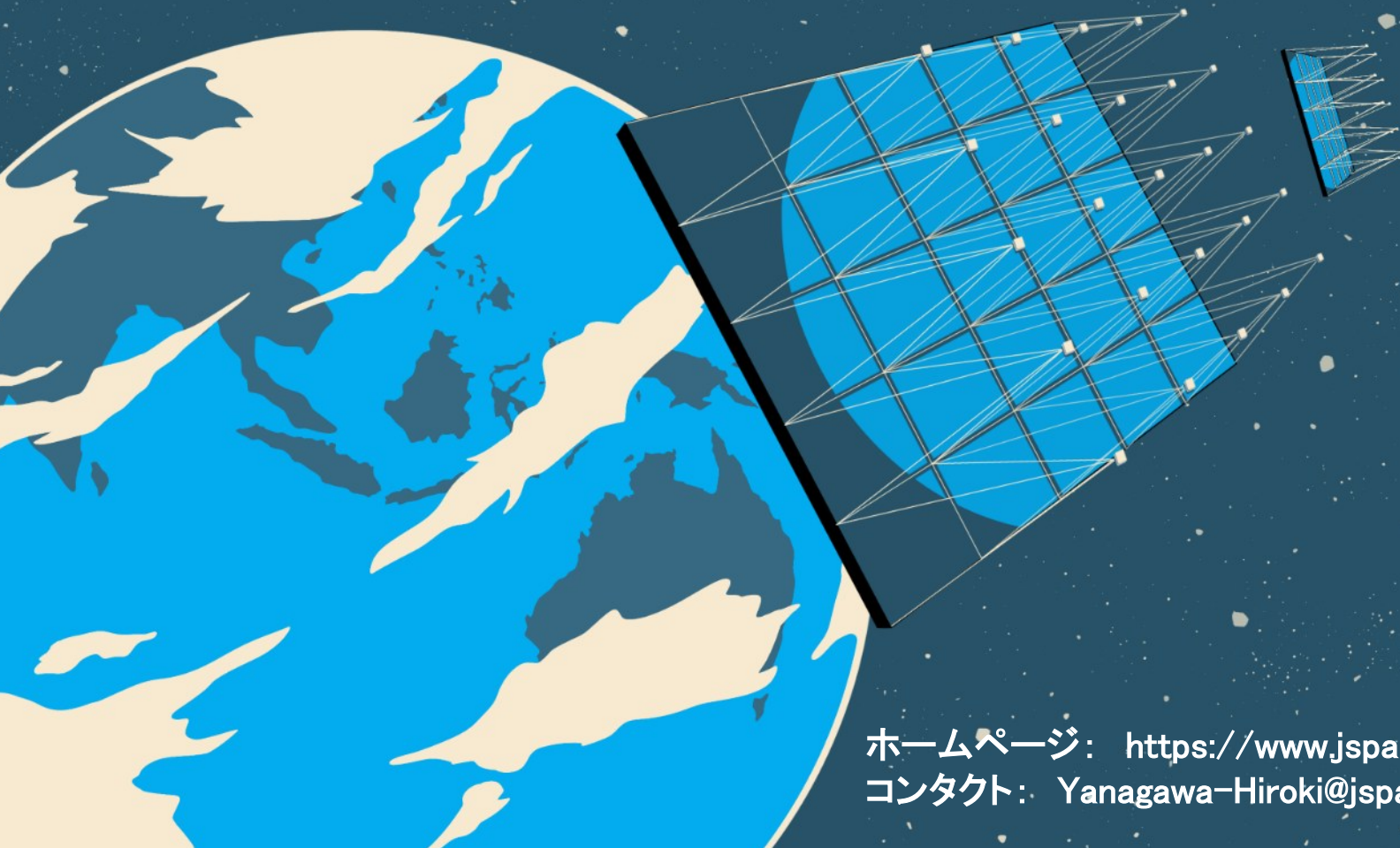
4. SSPS研究開発の現在位置



5. まとめ

- 宇宙太陽光発電システム（SSPS）は、夢物語やSFの世界のものではなく、近い将来に実現し得るものとなってきた。
- 昨年の飛行試験と、現在準備中の軌道上実証は、いずれも世界初の取り組みとして、SSPS実現に向けた重要な一歩になる。
- 現在は、SSPSを実現するための次のステップを決める非常に重要なタイミング。
コンセプトモデル&ロードマップの見直し、素材・部品・コンポーネントから組立・メンテナンス・運用・廃棄、またサービス展開・投資・電力受給者など、あらゆる分野での新規プレイヤーの参加が必要です。

ご清聴ありがとうございました



ホームページ: <https://www.jspacesystems.or.jp/>
コンタクト: Yanagawa-Hiroki@spacesystems.or.jp