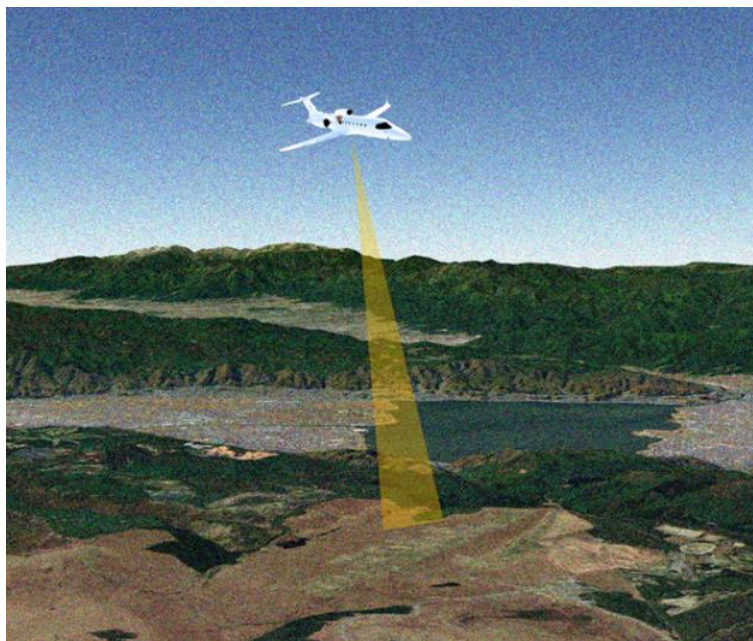


2024年度実証実験速報

航空機を用いた長距離無線送電実証実験



2024年12月12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

J-spacesystems のご紹介

1. 宇宙太陽光発電(SSPS)の実現に向けたJSSの取り組み
2. 2024年度実証実験
航空機を用いた長距離無線送電実証実験
3. まとめ・謝辞

宇宙から地球を創る

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 (Japan Space Systems) は、衛星システム、打上げシステム、地上システム、衛星リモートセンシング、衛星測位及び宇宙環境利用等の宇宙システムに関する研究開発、調査研究、国際協力、衛星データの利活用、普及啓発及び人材育成を推進しています。

本財団は、**宇宙産業の発展、地球環境保全、資源エネルギーの確保に寄与し、国民の安全・安心の確保、国民経済の健全な発展、高度な地理空間情報を享受する社会の実現及び持続可能な国際社会創造への貢献を目的としています。**

主な事業紹介

ASTERの運用

(ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer)

ASTERは、米国NASAと旧通商産業省(現、経済産業省)による共同プロジェクトとして開発されました。1999年に衛星Terraに搭載して打上げられ、2000年よりデータ受信がはじまり現在も運用を継続中です。

SSPSの開発

(SSPS : Space Solar Power System)

宇宙にて太陽エネルギーで発電した電力をマイクロ波による地上への伝送を行う宇宙太陽光発電システムの実現のため、経済産業省のプロジェクトとして、1993年からそのシステム及び要素技術の研究開発を実施してきました。持続可能なエネルギーとして期待されるSSPSは、現在その中核的技術であるマイクロ波無線送電技術の開発を継続中です。

HISUIの運用

(HISUI : Hyperspectral Imager SUITE)

HISUIは、石油・金属資源探査のさらなる効率化等を実現するために経済産業省のプロジェクトとして開発され、2019年に国際宇宙ステーションに搭載されました。HISUI データは高いスペクトル分解能を有し、データ処理・解析等により精密に地表の物質を特定する事が可能となります。

CLAS/RTK補正情報配信システム

(CLAS : Centimeter Level Augmentation Service)

QZSS(みちびき)のサービスの一つでcm級補強情報配信サービスCLASを低価格のRTK受信機端末で使えるように、CLASの補強情報をRTK用の補正情報に変換し、地上回線を介して配信するCLAS補正情報配信システムを独自に開発・運用中です。

宇宙システムに関するトータルソリューションの提供

国際協力・人材育成・産業振興

衛星データの利用技術開発を行った経験を活かし、泥炭地、ブルーカーボン等の環境監視・気候変動・資源開発・技術協力プロジェクトへの実施及び発展途上国を対象に衛星データ利用技術者を育成し、宇宙利用の拡大を目指しています。



沿革・実績

- 1981年(昭和56年) 9月 財団法人資源・環境観測解析センター(ERSDAC)設立

- 1986年(昭和61年) 5月 財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構(USEF)設立

- 1986年(昭和61年) 11月 財団法人資源探査用観測システム研究開発機構(JAROS)設立

- 2007年(平成19年) 2月 財団法人衛星測位利用推進センター(SPAC)設立

- 2012年(平成24年) 3月 ERSDAC、USEF、JAROS が合併し、財団法人宇宙システム開発利用推進機構として業務開始

- 2013年(平成25年) 4月 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構へ移行

- 2021年(令和 3年) 4月 一般財団法人衛星測位利用推進センター(SPAC)と合併し、新しい体制で事業を開始



1. 宇宙太陽光発電(SSPS)の実現に向けたJSSの取り組み

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)

@約2km四方の
太陽電池/送電パネル

宇宙太陽光発電衛星 (地上36000km上空)

@重力傾斜姿勢安定
(月がおもての面を常に
地球に向ける原理)

太陽エネルギー
⇒電気エネルギー
⇒マイクロ波エネルギー

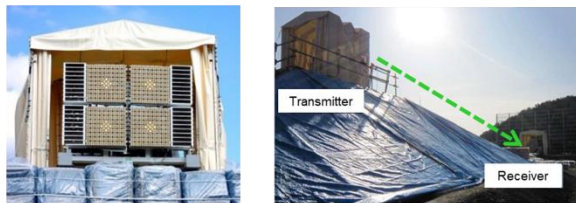
パイロット信号を発する地上
受電システムのみマイクロ
波エネルギーを送る。



JSSによるマイクロ波無線送受電実証実験のStep Up

◆ 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 (30~100m) 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



Next Step

- 飛行機～地上間の無線送受電実証実験 (2024年冬実施)
- 小型人工衛星による宇宙～地上間の無線送受電実証実験 (2025TBD)

2. 2024年度実証実験

航空機を用いた長距離無線送電実証実験

【飛行実験の目的】

目標の0.0003%

最終的なSSPSの送電距離 … 36,000km

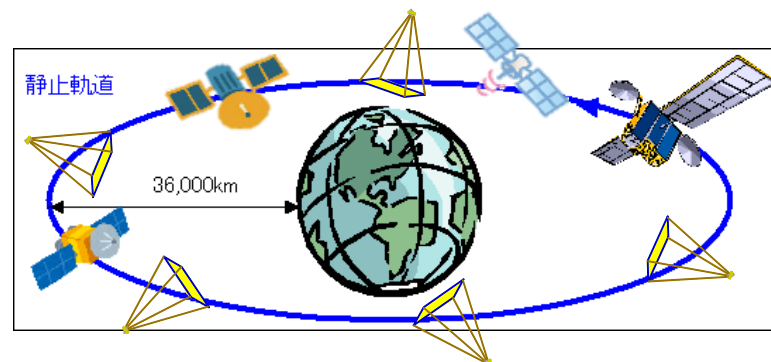
JSSによるこれまでの送電距離 … 30~100m(垂直方向)

(海外では、異なる技術を用いた1.6km(非垂直方向)の地上~空中間の送電実験あり。)

今回、我々が目指すSSPSと同じ技術により、高度7kmを飛行する航空機と地上との間での無線送電実証実験を行う(世界初)。

今回の飛行試験による送電距離 … 約5km(垂直方向)

⇒ この実験で様々な技術の確認を行い、もって宇宙実験までの準備を整えることが、本実験の目的となる。



2. 2024年度実証実験

航空機を用いた長距離無線送電実証実験

【試験の概要】

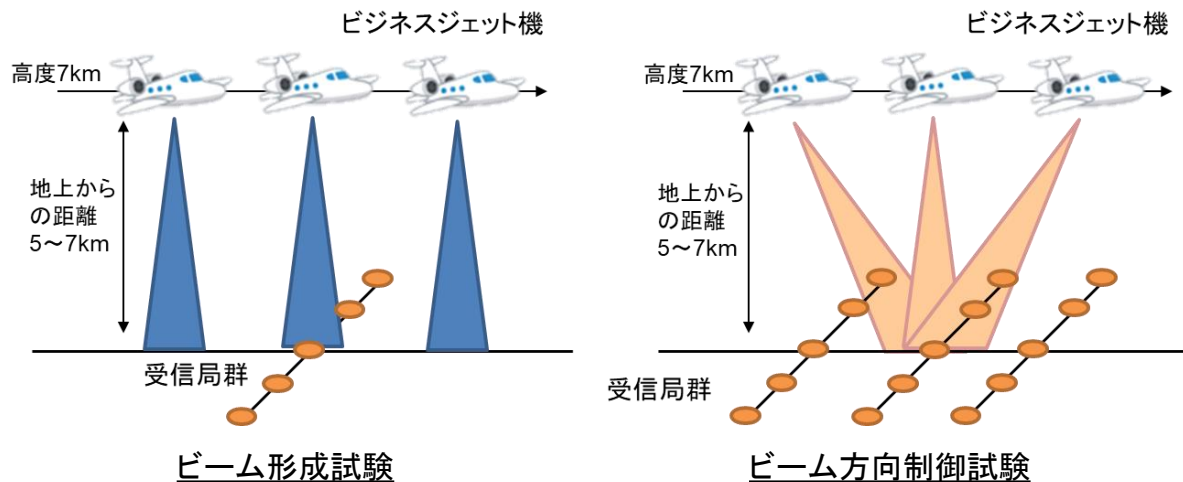
航空機に送電部を搭載して、高度7kmを飛行する航空機と地上との間の無線送電実証実験を行う。

実験では、限られた範囲だけに電力を送るために、フェーズドアレイ方式のアンテナを用いた

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）

の獲得を目指す。



飛行試験の概要



2024年飛行試験のロゴマーク

2. 2024年度実証実験

航空機を用いた長距離無線送電実証実験

日時: 2024年12月3日(火)~6日(金)

12:00~15:00

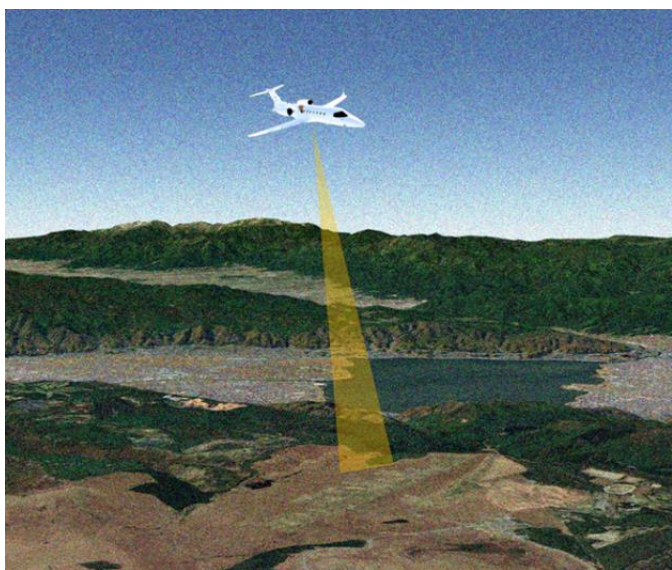
報道機関向け公開: 12月4日(水)

天候予備: 12月7日(土)、8日(日)

場所: 長野県諏訪地域

霧ヶ峰グライダー滑空場

(標高約1,700m)



試験イメージ

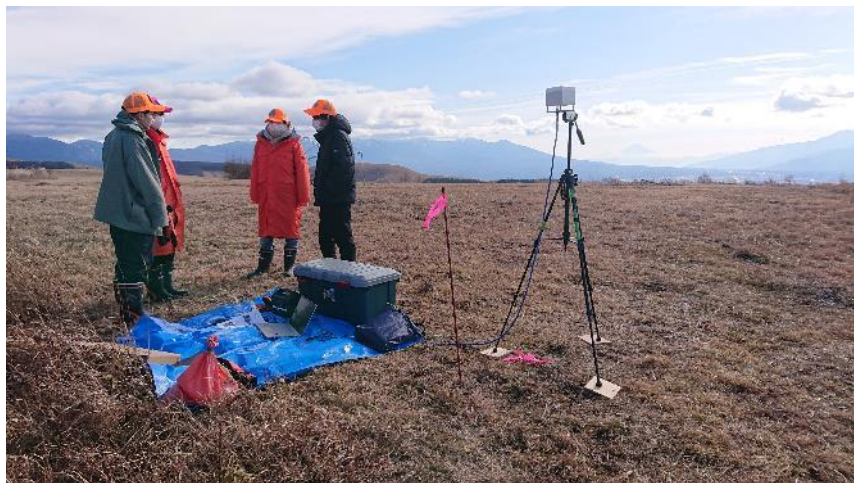


東側にある車山山腹からの眺望

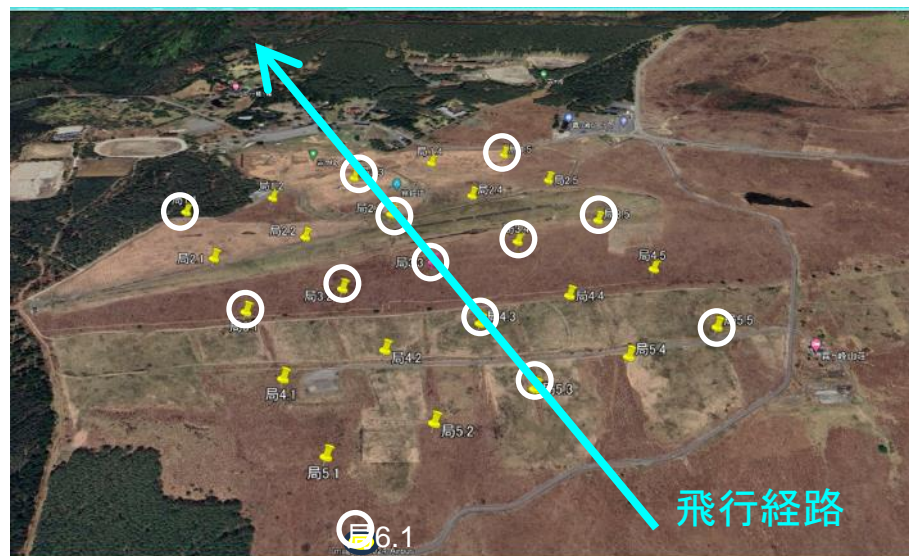
2. 2024年度実証実験

航空機を用いた長距離無線送電実証実験

地上側計測装置： 下図に示す計測装置（電波を受信するアンテナ、電波を電気に変換する装置、電気信号を変換する装置と計測ソフトを走らせるPCよりなる）を、地上600m四方に13ヶ所配置し、航空機から発信される電波の計測を行った。
計測の結果、限られた範囲に電波強度を絞ること（ビーム形成技術）、ならびに電波の集中するポイントを自由に変更できること（ビーム方向制御技術）の確認を行う。



計測装置/計測局

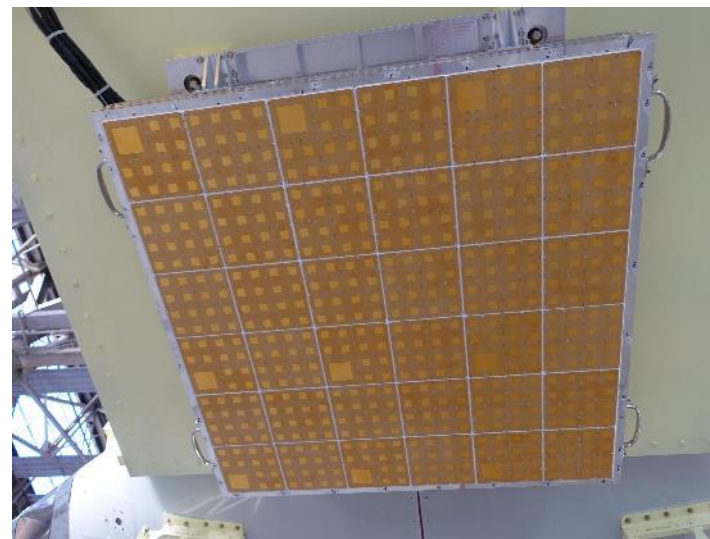


計測局配置（白丸で囲った13地点）

2. 2024年度実証実験

航空機を用いた長距離無線送電実証実験

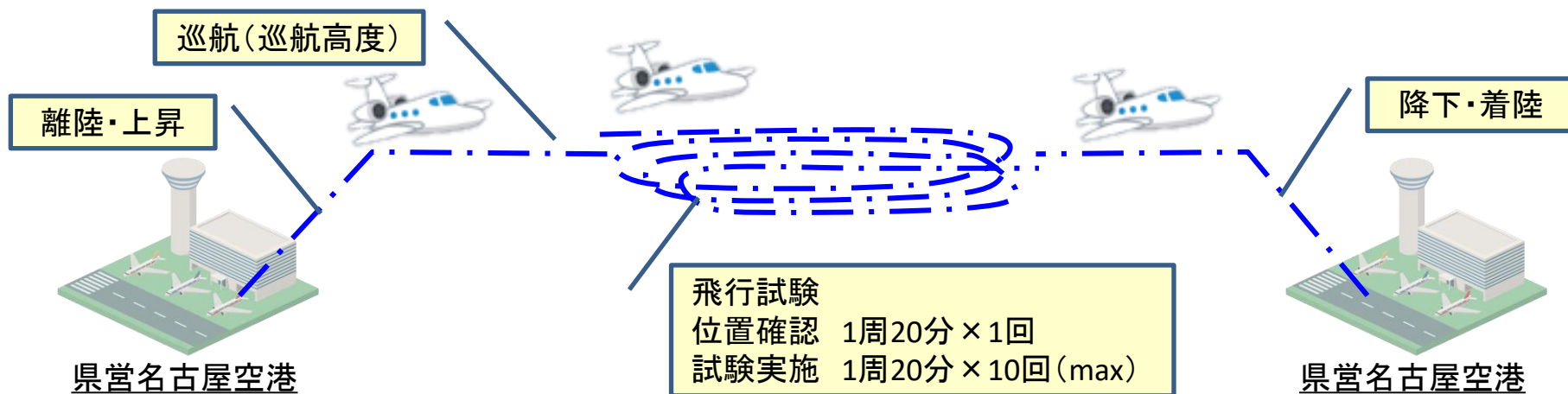
航空機: ダイヤモンドエアサービス社所有の Gulfstream-IV型機を使用。
この航空機の下部に、マイクロ波送信装置を搭載する。



試験装置(無線電力伝送装置)
レドーム内に取り付け済み

2. 2024年度実証実験

航空機を用いた長距離無線送電実証実験



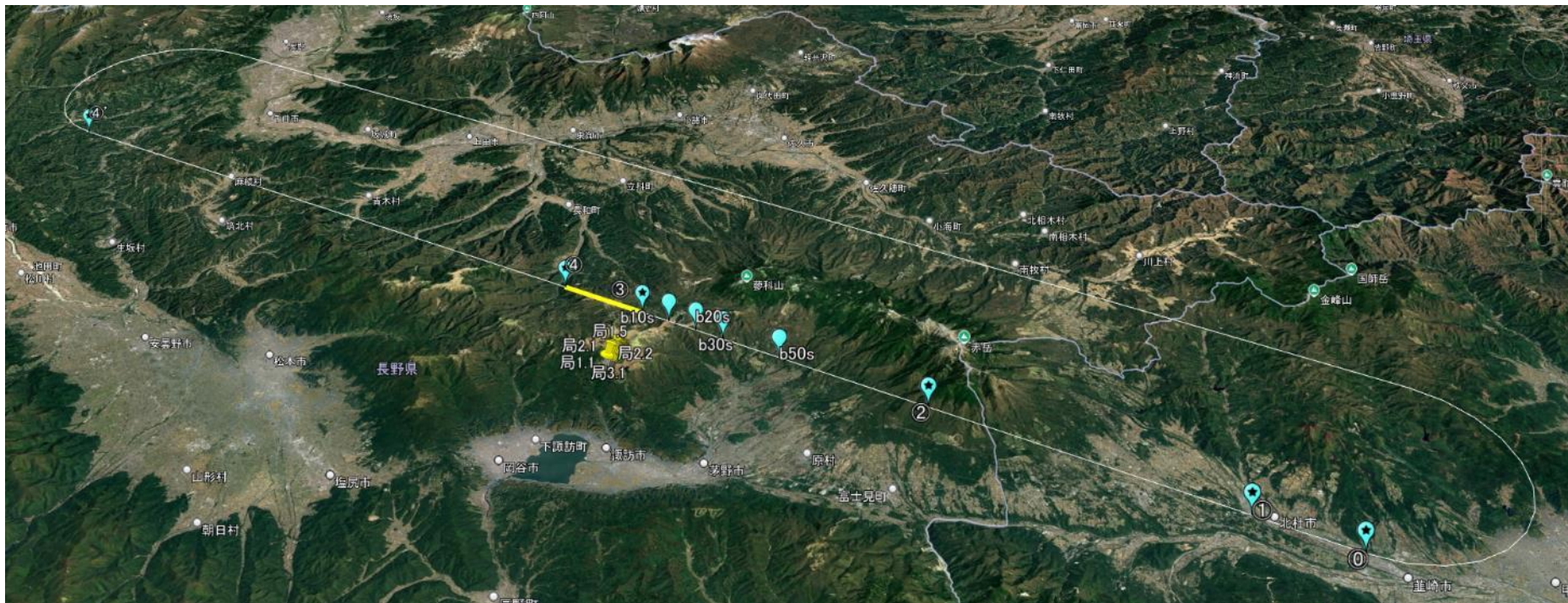
No.	項目	飛行時間・高度	実施内容・備考
1	離陸@県営名古屋空港		
2	上昇・試験空域までの巡航	30分(長野)、巡航高度	
3	試験空域到着	気圧高度 7,000m近傍(長野)	搭乗者試験準備開始
4	試験位置確認	1周回(20分)	電波を放射せず1周回実施
5	試験実施(1)	1周回20分×n回 (n=3~5回)	ビームパターン計測 - 直下
6	試験実施(2)	1周回20分×m回 (m=3~5回)	ビーム制御 - ビーム形成・方向制御
7	試験空域離脱		
8	空港までの巡航・降下	30分(長野)、巡航高度	
9	着陸@県営名古屋空港		

2. 2024年度実証実験

航空機を用いた長距離無線送電実証実験

飛行経路： 下図の通り。

航空機は時速700kmで飛行するため、
1周回およそ20分かかる。



【実験結果速報】

結果の詳細評価は必要なものの、今回の実証試験の目的は達成できた。

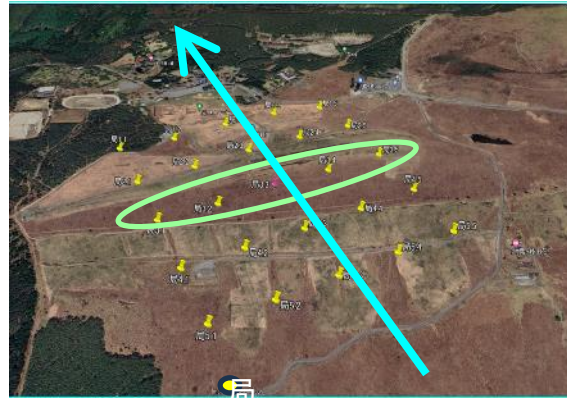
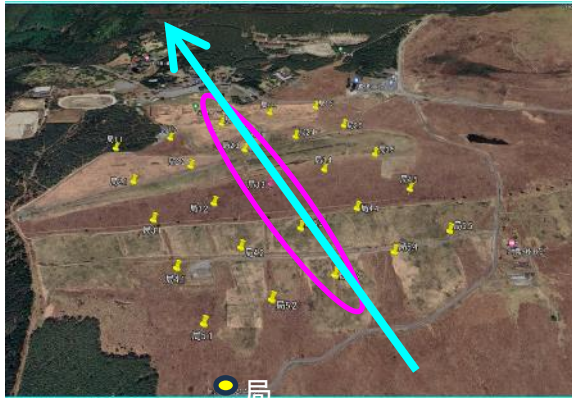
(飛行回数 4回、送電実験回数 40回)

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。

ビーム形成技術: 航空機より直下方向にビームを形成して照射し、地上で電波強度を計測した。結果、航空機の直下がピークとなるビームが形成できており、またピーク位置が航空機の移動に伴い移動していることを確認した。

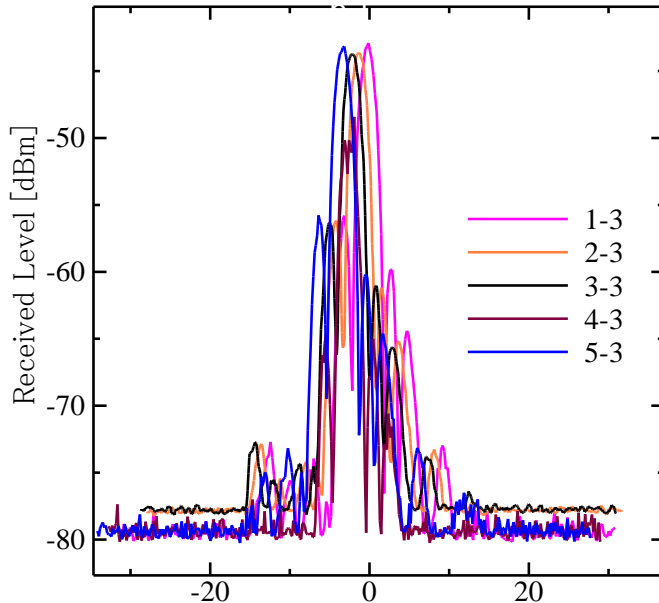
ビーム方向制御技術: 航空機からある地点を焦点としてビーム状に電波を照射し、地上で電波強度を計測した。結果、航空機が移動しても狙った場所の電波強度がピークとなっていることを確認した。また、焦点を変えても、それぞれ変更した場所をピークとして電波が集中して送られていることを確認した。

結果速報: アンテナパターン測定試験(ビーム形成技術の確認)



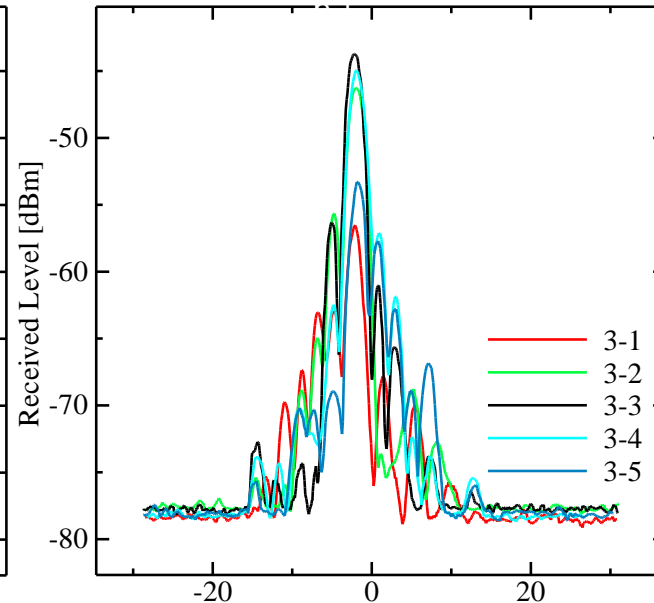
【縦方向と横方向の受信点の受信レベルの時間変化】

- ✓ 縦方向はほぼ同じ。
- ✓ 横方向は3-3が一番強く、3-2、3-4が次点。3-1、3-5は低かった。
- ✓ アンテナパターンとして矛盾ない。



2024年12月05日12:07:28.03からの経過時間

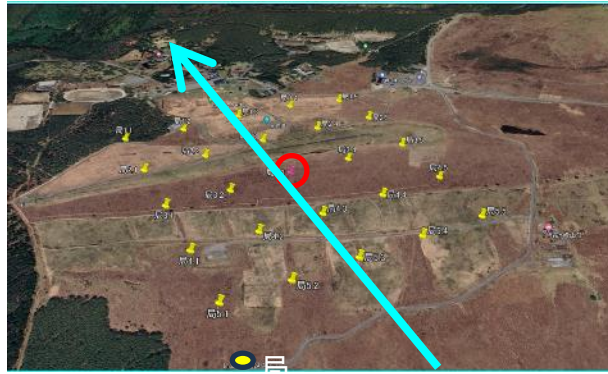
縦方向の受信局測定値



2024年12月05日12:07:28.03からの経過時間

横方向の受信局測定値

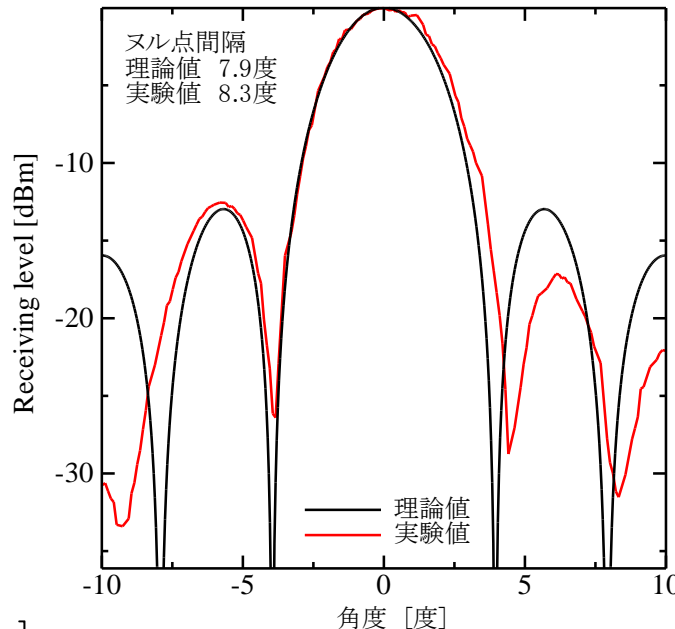
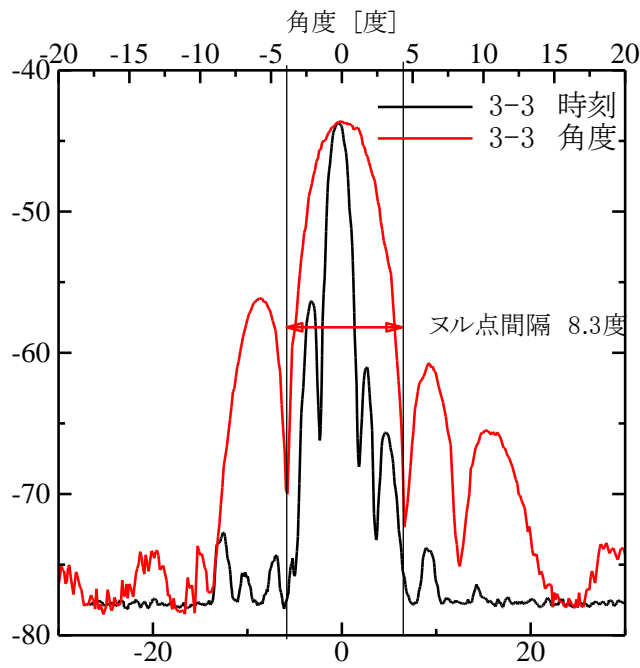
結果速報: アンテナパターン測定試験(ビーム形成技術の確認)



- ✓ 局3-3の受信パターンを精査
- ✓ 時間変化を角度に変換。理論値(等振幅励振のパターン)と比較。
- ✓ ヌル点間隔がほぼ一致。



アンテナ特性が良好であることを確認。

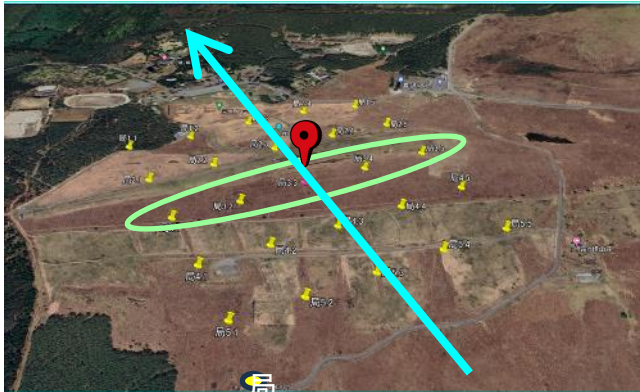


2024年12月05日 12:07:26.23を基準とする時刻[sec]

3日目1回目アンテナパターン直下

3日目1回目アンテナパターン直下

結果速報: 追尾特性測定試験(ビーム方向制御技術の確認)



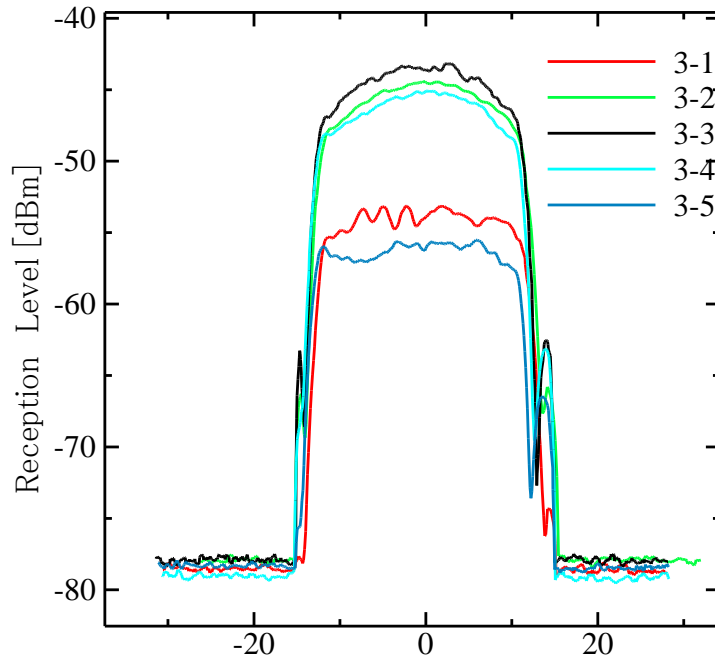
✓ 局3-3中心に追尾実験を実施。



✓ 局3-3が最大。
局3-2と局3-3が次点。
局3-1、局3-5は低い。



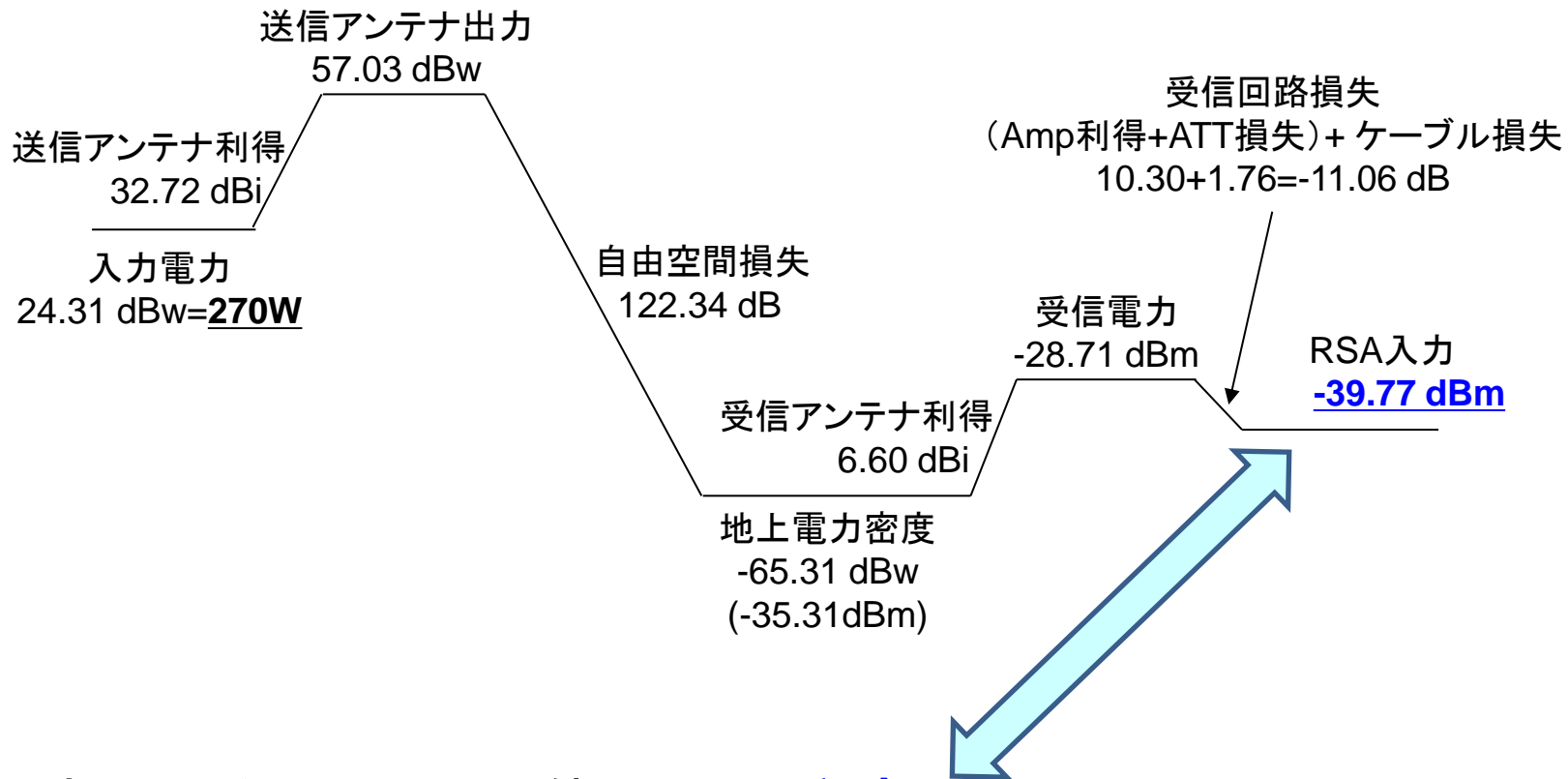
追尾特性が良好であることを
確認。



2024年12月06日12:27:11.69からの経過時間 [sec]

結果速報:受信レベルの整合性

✓ 受信レベルダイヤの理論値(下図)



✓ 測定した受信電力の最大値 -43dBm程度

✓ 3dB程度の誤差で整合している。今後、送信電力の精査が必要。

報道結果

- ✓ 2024年12月4日(水)に報道機関向け公開実験を実施。
以下の報道機関に参加いただき、TVやネット、新聞等で報道いただいた。
 - NHK(TV、ネット記事)
 - 日本経済新聞(ネット記事、英文記事(Nikkei Asia)、12/10朝刊)
 - 信濃毎日新聞(12/5朝刊)
 - 長野日報(12/5朝刊)
 - 中日新聞(12/5朝刊(長野版))
 - 読売新聞(12/7朝刊(長野版))
 - NHK 水野解説委員
 - LCV(長野ローカルのケーブルTV)



3. まとめ・謝辞

- 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、一般に思われているよりも、近い将来に実現し得るものとなってきた。
- 今回の飛行試験は、SSPS実現に向けた重要な一歩であり、また宇宙実験に移行する前の最後の長距離無線送電実験となる。
- 今回の飛行試験では、愛知県側／長野県側から参加いただいた各社団体、および長野県関連各所の皆様からの多大な尽力・支援・ご協力をいただいた結果、大きなトラブルなく成功することができました。
大変ありがとうございました。

試験チーム(愛知県側)



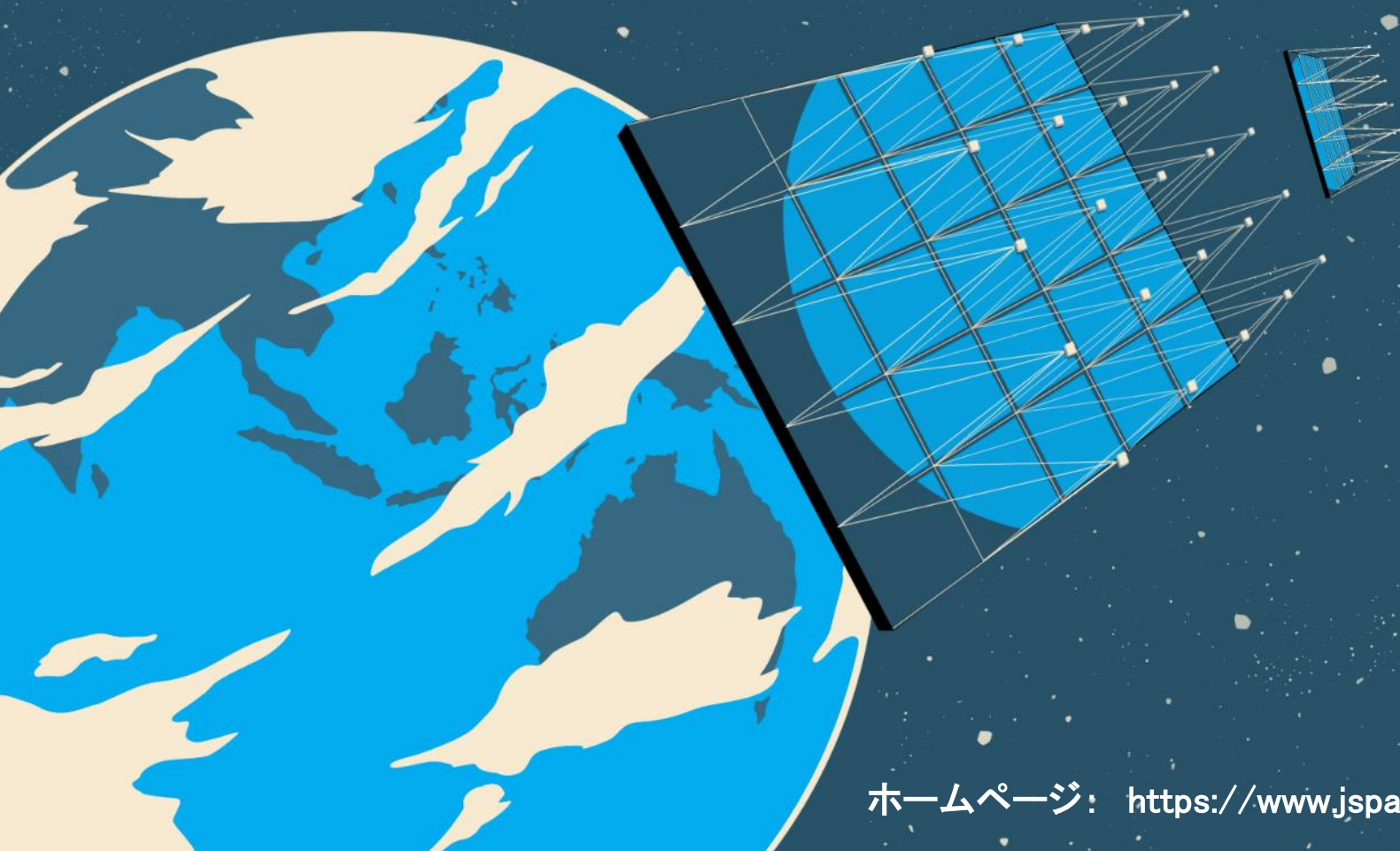
参加団体： JAXA宇宙科学研究所田中研、京都大学三谷研、ダイヤモンドエアサービス、オリエントマイクロウェーブ、テクノソルバ、京セラコミュニケーションシステムズ、サウンズオブメモリー、宇宙システム開発利用推進機構(JSS)

試験チーム(長野県側)



参加団体： 東洋大学藤野研、JAXA宇宙科学研究所田中研、京都大学三谷研、公立諏訪東京理科大学、京セラコミュニケーションシステムズ、ダイヤモンドエアサービス、アースクリエイト、諏訪市グライダー協会、ITイナイ、サウンズオブメモリー、宇宙システム開発利用推進機構(JSS)

本件に係る問合せ先： 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構
宇宙観測事業本部 副本部長 柳川 祐輝
Tel: 03-6809-1745(直通) 03-6809-1410(代表)
mail: Yanagawa-Hiroki@jspacesystems.or.jp



ホームページ: <https://www.jspacesystems.or.jp/>

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構（Jspacesystems）のHPに、SSPS開発の取り組みに係る様々な情報を掲載しております。

□ Jspacesystemsについて:

<https://www.jspacesystems.or.jp/>

□ SSPSについて:

<https://www.jspacesystems.or.jp/project/observation/ssps/>
動画、資料、ポスターのDLなどが可能

□ Youtubeチャンネル JSS_SSPS:

飛行試験関連動画を順次 公開予定

https://www.youtube.com/@JSS_SSPS-v3h