

**「宇宙太陽光発電における無線送受電技術の高効率化に向けた研究開発事業委託費」プロジェクト評価用
資料
(中間評価)**

2022年1月14日

経済産業省製造産業局宇宙産業室

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

C 宇宙太陽光発電における無線送電技術の高効率化に向けた研究開発

上位施策名	宇宙基本計画（令和2年6月閣議決定） 宇宙産業ビジョン2030（平成29年5月宇宙政策委員会決定） エネルギー基本計画（令和3年10月閣議決定） 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） 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）						
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室						
目的	将来の新エネルギーシステムとして、昼夜や天候に左右されず電力の計画的供給が可能な宇宙太陽光発電システム（SSPS：Space Solar Power System）の実現が期待されており、これまで、我が国はもちろん、海外においても、様々な検討や技術開発が行われてきた。 本事業では、宇宙太陽光発電システムの中核的技術であるマイクロ波無線送電技術に係る研究開発を実施し、当該技術の高度化を目指す。						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実施時期	2014年度～2023年度（10年間）	会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計				
評価時期	事前評価：2013年度 中間評価：2015、2018年度、2021年度 終了時評価：2024年度（予定）						
実施形態	国 → 一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構（委託）						
プロジェクトリーダー	なし						
執行額（百万円）	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	総執行額	総予算額
	249	249	250	250	250	1,743	1,750

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

国内では戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）IoE 社会のエネルギーシステムにおいて、ワイヤレス電力伝送（WPT）システムへの応用を見据えた次世代電力伝送システムの開発、屋内センサーネットワークやモバイル機器への WPT システムの開発、多様な用途を見据えた飛行中のドローンへの WPT システムの研究開発が実施されている。

また、海外では米国での宇宙太陽光発電の再評価や、中国における積極的な開発が進展。

- ・ 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（米国）
- ・ 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）（米国）
- ・ 2020 年、欧州宇宙機関 (ESA) が地上及び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（EU）
- ・ 2020 年、英国宇宙局 (UKSA) が Frazer-Nash と Oxford Economics に宇宙太陽光発電 F S 調査委託
英国宇宙局は、2031 年の衛星実証、2039 年の初期運用、2043 年の実用化を目指す（英国）
- ・ 2018 年、宇宙太陽光発電実験基地を重慶市で建設開始。西安大学が宇宙太陽光発電プロジェクトを開始（中国）

2. 研究開発の内容

(1) 研究開発の全体構成

研究開発項目		実施者
①送電一体型パネルの開発 【一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構】	(a) 送電一体型パネルの開発	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構、株式会社 IHI エアロスペース、学校法人早稲田大学、株式会社テクノソルバ、株式会社翔エンジニアリング
②送電部の高効率化 【一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構】	(a) 送電部の高効率化	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構、国立大学法人電気通信大学、株式会社 R F デバイステクノロジーズ、株式会社オリエントマイクロウェーブ、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
③長距離送電の実証 【一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構】	(a) 長距離送電の実証	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構、三菱電機株式会社
④マイクロ波無線送電技術のスピノフ	(a) マイクロ波無線送電技術のスピノフ	一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

(2) 各研究開発項目の実施内容

① 発電電一体型パネルの開発

宇宙太陽光発電システムは、宇宙太陽発電衛星を静止軌道に打ち上げ、発電した電気をマイクロ波に変換して地上に伝送し、利用するシステムである。宇宙太陽発電衛星は、バス部からパネルを吊り下げる構造のため、静止衛星軌道上で常に発電できるように、発電電両方の機能を有するパネルが必要になる。

そこで、本研究開発では、宇宙太陽光発電システムの実現に必要な発電電一体型パネルの開発と実証を行う。

具体的には、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（5.8 GHz帯）を同一面に配置し、表裏の発電量の差及びアンテナの効率の変化を確認の上、最適なアンテナと太陽電池セルの混載方式を選定する。なお、開発する発電電一体型パネルは、50cm×50cm程度とし、軽量化が必要なことから36kg/m²を目指す（これまでの研究開発では送電パネルのみで44.7kg/m²）。また、開発した発電電一体型パネルを用いて、発電及び送電できることの実証、及び熱構造設計の妥当性について確認する。なお、実証においては、太陽電池で発電した電力のみを供給源とする（外部電力を使用しない）試験を実施する。

令和元年度から2年度にかけては、地上評価モデルの要求・仕様の検討を実施したほか、宇宙実証試験の検討や発電電一体型パネルの要素試作に向けた検討を行った。

② 送電部の高効率化

宇宙太陽光発電システムはマイクロ波により電力を伝送するシステムであるため、その伝送効率を向上させることが課題の一つとなっている。

このため、本研究開発では、送電部の高効率化に関する研究開発を実施する。

具体的には、宇宙太陽光発電システムでの採用を検討している5.8GHz帯でのマイクロ波無線送電技術に関し、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行い、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%を目指す（これまでの研究開発では44%）。

令和元年度から2年度にかけては、送電部の構成要素の試作に向けた調整・検討を行った。

③ 長距離送電の実証

宇宙太陽光発電システムでは、静止軌道上の宇宙太陽発電衛星から地上の受電部までの長距離をマイクロ波で伝送する技術が必要となる。

このため、本研究開発では、長距離（垂直方向、1～5km）での送電実証を実施する。

具体的には、供給電力は商用電源を使用し、長距離（1～5km）、垂直方向のマイクロ波電力伝送により、大規模無線送電システムに資する多素子の位相同期による無線送電技術及びビ

ーム形成技術を多数枚パネル（全体で2m×2m程度）で実証する。なお、実証では、ビームパターンの測定を実施する。

令和元年度から2年度にかけては、全体システムの検討や概念設計を行った。

④マイクロ波無線送受電技術のスピノフ

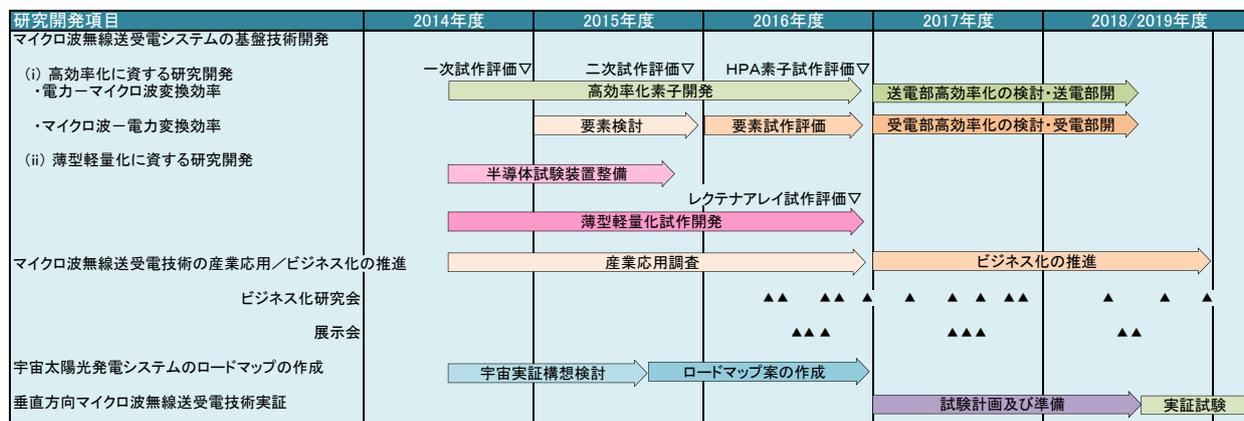
宇宙太陽光発電システムの要素技術であるマイクロ波無線送受電技術は、他の非接触給電方式と比べて、長距離間の送受電が可能となることから、様々な利用の場での活用が期待されている。このため、マイクロ波無線送受電技術の他産業での応用を促進するための取組を実施する。

令和元年度及び令和2年度に、ビジネス化研究会の開催及び展示会への出展を行った。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

(1) 研究開発計画

研究開発計画を示す。



(2) 資金配分

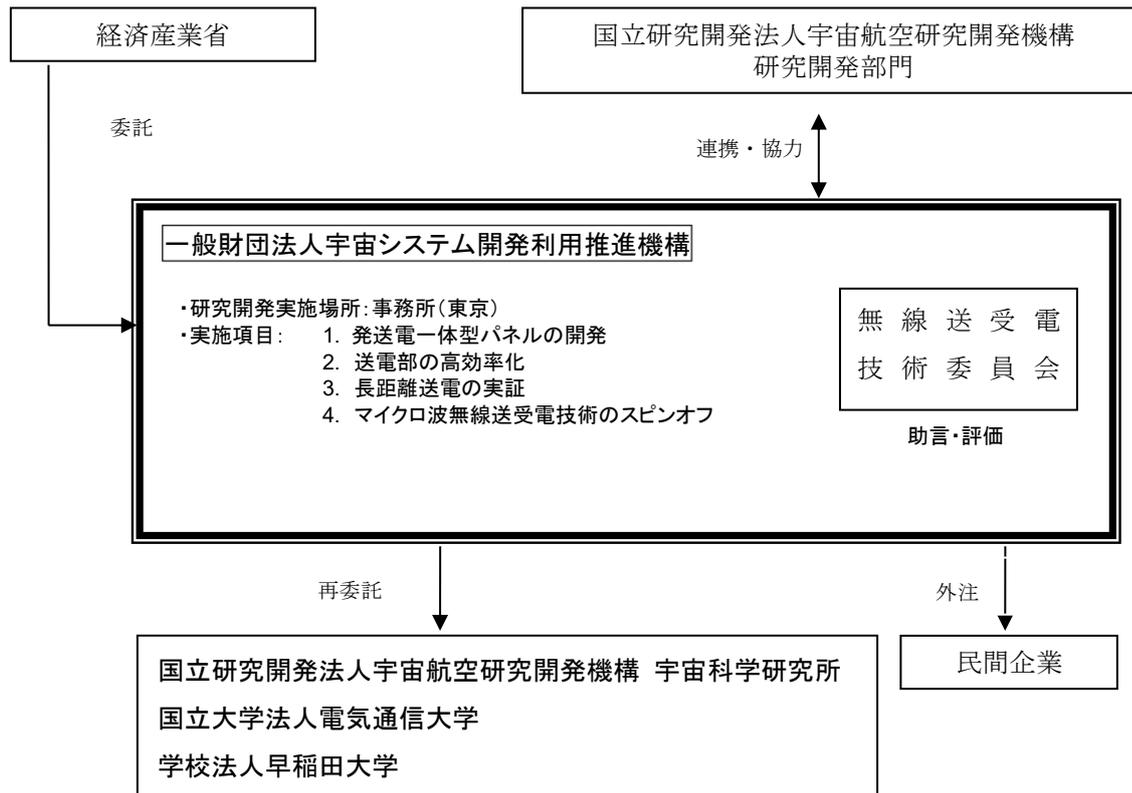
事業開始から 2020 年度（令和 2 年度）までの資金配分の年度推移を示す。

研究開発項目	2014FY	2015FY	2016FY	2017FY	2018/ 2019FY	合計
マイクロ波無線送電システムの基盤技術開発	—	—	—	—	—	—
①高効率化に資する研究開発	75 (委託)	87 (委託)	119 (委託)	121 (委託)	59 (委託)	461 (委託)
②薄型軽量化に資する研究開発	158 (委託)	151 (委託)	113 (委託)	0	0	422 (委託)
マイクロ波無線送電技術の産業応用/ビジネス化の推進	2 (委託)	3 (委託)	10 (委託)	19 (委託)	12 (委託)	46 (委託)
宇宙太陽光発電システムのロードマップの作成	12 (委託)	7 (委託)	7 (委託)	0	0	26 (委託)
垂直方向マイクロ波無線送電技術実証	0	0	0	109 (委託)	179 (委託)	288 (委託)
計	247	248	249	249	250	1,243

研究開発項目	2019FY	2020FY	合計
①発電電一体型パネルの開発	140 (委託)	135 (委託)	275 (委託)
②送電部の高効率化	16 (委託)	26 (委託)	42 (委託)
③長距離送電の実証	90 (委託)	88 (委託)	178 (委託)
④マイクロ波無線送電技術のスピンオフ	4 (委託)	1 (委託)	5 (委託)
計	250	250	500

(3) 研究開発の実施・マネジメント体制

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構が経済産業省からの委託を受けて実施した。また、再委託先として国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所が参加した。(図 5-1 参照) また、研究開発の実施に当たっては、助言・評価のため、無線送受電高効率化技術委員会を設置した。



(4) 知財や研究開発データの取扱い

本事業は、「知的財産マネジメントに係る基本方針」、「データマネジメントに係る基本方針」に従って、知的財産及び研究開発データについて適切なマネジメントを実施している。具体的には「知的財産権及びデータの取り扱いについての合意書」を作成し事業参加者間で締結し管理している。

4. 事業アウトプット

(1) 研究開発目標

研究開発項目	中間目標 (2021 年)	最終目標 (2023 年)	設定 (変更) 理由
送受電部の高効率化に関する研究開発の実施	1 事業/年	1 事業/年	宇宙太陽光発電システムの重要な要素技術であるマイクロ波無線送受電システムの基盤技術に関する研究開発事業数をアウトプット指標として設定した。 具体的な研究開発項目については、研究開発ロードマップに基づき抽出。

(2) 研究開発の成果

研究開発項目	最終目標 (2023 年度)	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/今後の見通し
発送電一体型パネルの開発	開発した発送電一体型パネルを用いて、発電及び送電できることの実証、及び熱構造設計の妥当性について確認する。	発送電一体型パネル地上評価モデルの設計を計画通り実施中。 将来の発送電一体型パネルの性能の実現の検討、並びに次フェーズの低高度からの電力伝送実験を行う低軌道実証衛星への要求仕様の作成のための開発を実施中。	—	研究開発実施中
送電部の高効率化	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行い、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%を目指す	送電部の直流電力/マイクロ波電力変換用高効率増幅器に関し、ドライバ段を含めた多段構成全体での高効率化を目指し、最終段増幅器の周波数調整および、ドライバ段専用増	—	研究開発実施中

		幅器を開発し、評価を実施した。		
長距離送電の実証	長距離（1～5 km）、垂直方向のマイクロ波電力伝送により、大規模無線送電システムに資する多素子の位相同期による無線送電技術及びビーム形成技術を実証する。	実証試験計画の検討、送電部の基本設計等を実施している。	—	研究開発実施中
マイクロ波無線送受電技術のスピノフ	マイクロ波無線送受電技術の他産業での応用を促進するための取組を実施する。	展示会への出展、ビジネス化研究会の開催を実施している。	—	

（3）活動指標

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT 出願
2018年	11件	2件	5件	1件
2019年	6件	1件	0件	0件
2020年	4件	1件	4件	0件

※論文数には対外発表のみも含む

国際標準への寄与
なし

プロトタイプの実成
なし

5. 事業アウトカム

（1）事業アウトカムの内容

宇宙太陽光発電システムは太陽電池で発電した直流電力をマイクロ波に変換して送電アンテナから地上に向けて送信する。したがって変換効率は宇宙太陽光発電システムを考えるうえで重要な指標であり、送電部の変換効率をアウトカム目標として設定した。また、宇宙太陽光発電システム構築の低コスト化に当たっては送電システムの薄型軽量化が必要不可欠であることから、送電一体型パネル単位面積当たり質量をアウトカム目標として設定した。

(2) 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2024年	周辺回路を含めた送電部の変換効率を60%に改善（令和5年度）	研究開発ロードマップに基づき設定	研究開発中
2024年	発送電一体型パネルを36kg/m ² に改善（令和5年度）	研究開発ロードマップに基づき設定	研究開発中

①周辺回路を含めた送電部の変換効率を60%に改善（令和5年度）

前回中間評価時の目標40%に対し44.8%を達成し、現在次の目標である60%に向けて研究開発中。

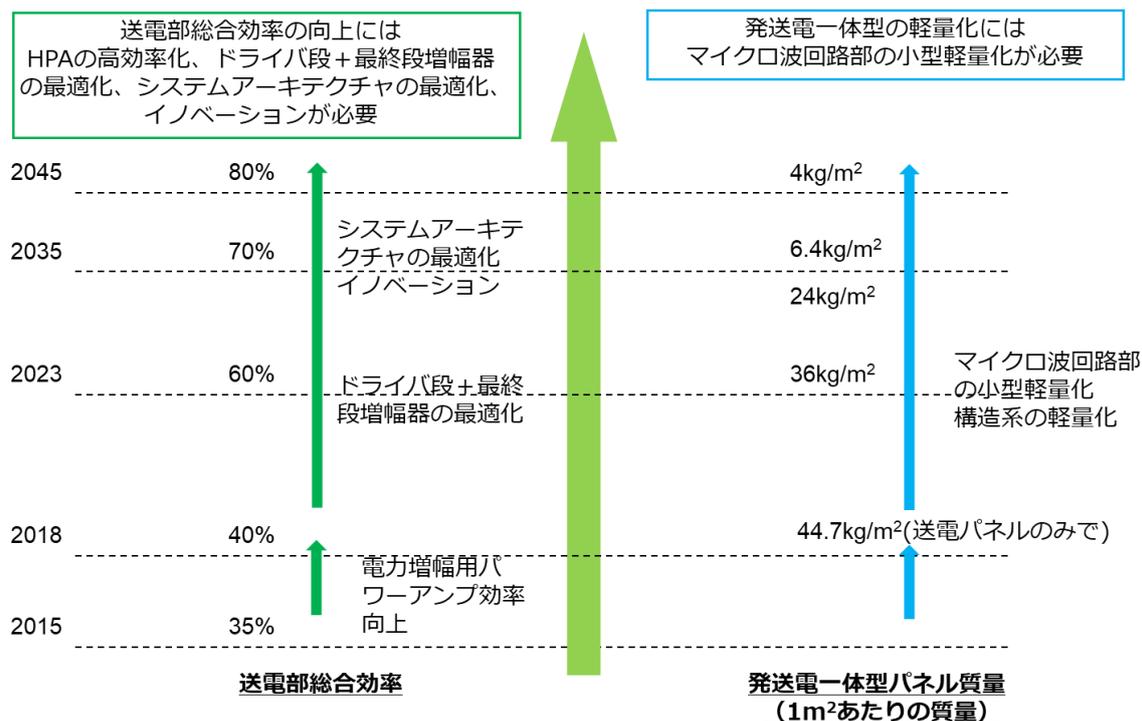
事業開始時（2014年度）	計画：40%	実績：35%
前回中間評価時（2018年度）	計画：40%	実績：44.8%
終了時評価時（2024年度）	計画：60%	実績：—
目標最終年度（2045年頃）	計画：80%	

②発送電一体型パネルを36kg/m²に改善（令和5年度）

これまでの研究開発では送電パネルのみで44.7 kg/m²であったパネル質量を、発送電一体型パネル（太陽電池パネルと送電パネルを一体化したもの）で36kg/m²に改善することを目標に研究開発中。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

マイクロ波無線送電技術における送電部総合効率及び発送電一体型パネル質量に係るロードマップを以下に示す。送電部総合効率の向上にはHPAの高効率化、ドライバ段と最終段増幅器の最適化、システムアーキテクチャの最適化、イノベーションが必要であり、発送電一体型の軽量化にはマイクロ波回路部の小型軽量化が必要である。



7. 費用対効果

宇宙太陽光発電システムについては、地上太陽光発電と異なり昼夜や天候に左右されることなく発電が可能であるとともに、発電時に温室効果ガスを排出しないという特長がある。

このため、宇宙太陽光発電システムの実現により、我が国として、エネルギーを計画的に確保することができるとともに、石油火力発電から代わることにより、CO₂の発生を削減することが可能となる。

将来の実用 SSPS 稼働時の CO₂削減効果については、SSPS の発電単位当たりの CO₂排出量は 31.4g-CO₂/kWh（運用中の補修含む）（*1）であり、原子力発電や風力発電等の再生可能エネルギーとほぼ同等、LNG 火力（複合）[474g-CO₂/kWh]、LNG 火力（汽力）[599g-CO₂/kWh] や石油火力 [738g-CO₂/kWh]、石炭火力 [943g-CO₂/kWh] と比べてはるかに排出量は少ない。（*2）

*1：出典 「宇宙太陽光発電衛星のある地球と将来 宇宙産業と未来社会についての学際的研究」（慶應義塾大学出版会）

*2：出典 「日本における発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量総合評価」（電力中央研究所報告）

本事業では、平成 26 年度からの 5 年間（計 12.5 億円）で、宇宙太陽光発電システムの実現に必要な受電部と送電部の総合効率改善に向けた研究開発等を実施し、受電部は目標を達成、送電部も達成、令和元年度から令和 2 年度の 2 年間（計 5 億円）においても引き続き送電部の総合効率改善、宇宙実証に向けた発送電一体型パネルの開発、長距離送電の実証に係る研究開発を実施し、着実に実績を積み重ねている。

なお、本事業の成果である送受電系の高効率化、小型軽量化については、ワイヤレス IoT センサへの給電、インフラ点検・防災センサ等への給電といった活用が期待できるほか、マイクロ波無線送電に関する研究や事業化を進める関係者が一堂に会し、情報交換や交流を行うための研究会を事業の一環として開催し、宇宙太陽光発電システムの実現に必要な要素技術の地上産業における活用を促す取組も実施するなど、事業の波及効果拡大を進めている。