

# ワイヤレス電力伝送の現在と未来

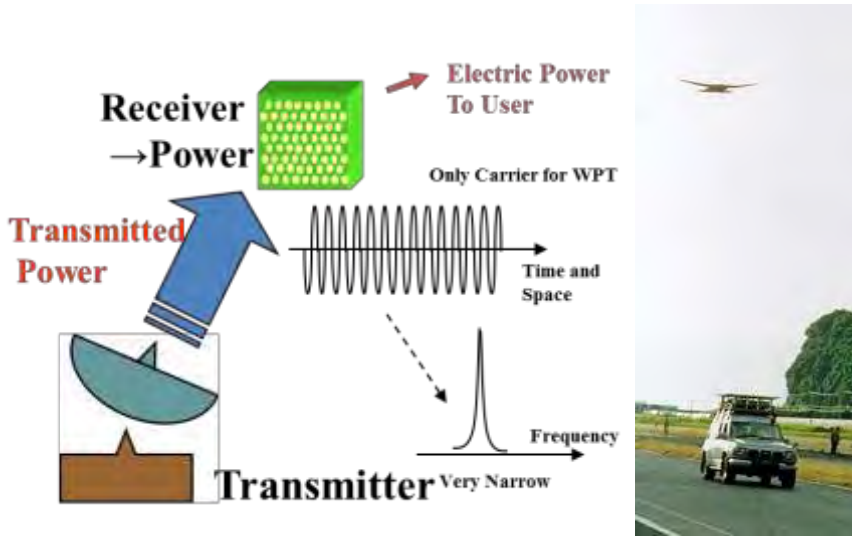
京都大学 教授

篠原真毅

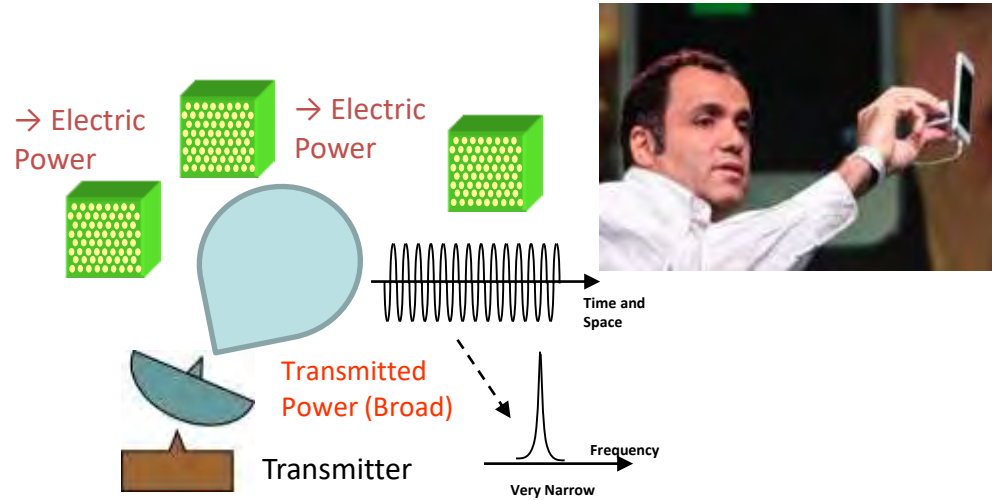
shino@rish.kyoto-u.ac.jp

# Various Wireless Power Transfer via Radio Waves

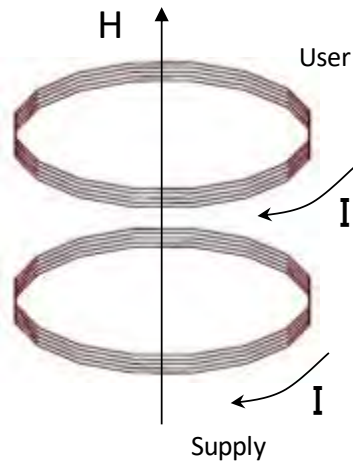
(a) Beam-type (Narrow-Beam)  
(High efficiency with higher frequency)



(b) Ubiquitous-type (Wide-Beam)  
(Low efficiency, like RF-ID)



(c) Inductive-type  
(Contactless, Low efficiency)



(d) Laser-type



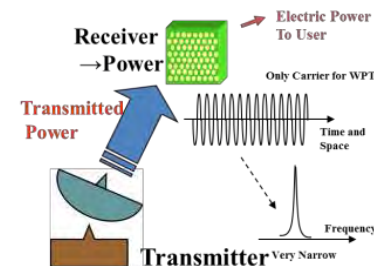
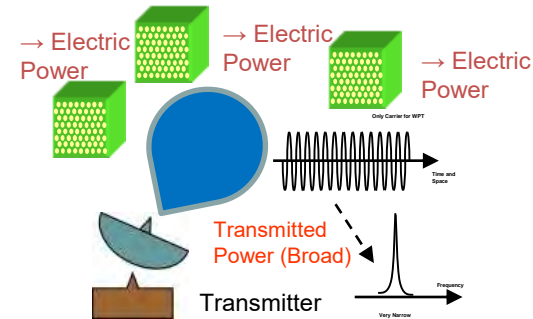
# Perspective of Wireless Power Transfer in Next Decade

- - 2010 R&D period of WPT
- 2010 – 2020 Commercialization of Inductive WPT
- 2020 – Commercialization of Wide-Beam WPT via Microwaves (On-going)

– Establishment of New Radio Regulation of WPT

- 2030 - Commercialization of Narrow-Beam WPT via Microwaves (Hopefully)

- 2040 – IoT and IoE Society (Our Dream1)
- 2050 - Power from Space (SPS) (Our Dream2)



# 電波 (920MHz帯/2.4GHz帯) の周波数利用の現状

920MHz帯の周波数利用の現状



MCA : 業務用移動通信システム (mcAccess e)  
 RF-ID : Radio Frequency – Identification )  
 携帯電話 : SoftBankの「プラチナバンド」

2.4GHz帯の周波数利用の現状



電波は同じ(近い)周波数では干渉する。(通信は符号化等様々な手法で共存している)

「WPTは有望な技術だから周波数を使わせろ」は通用せず、  
 全員が譲り合い、共存を目指さなければならない。



膨大な交渉(政治力)が  
 必要となる。

国際の間(ITU-R)で議論が始まったのが1997年、国内は2012年前後(しかも電磁誘導型から)。  
 国内の空間伝送型WPTの議論に移れたのは2016年以降 (正式には2018.12から)





無鉛鉛酸の世界市場は、EVの普及に伴って急激に拡大している。特に手付現金決済の割合が増加していることが注目される。

### パワーエレ 最後のフロンティア 電池切れのストレス解消

EVの普及に伴って、バッテリー切れによるストレス解消が求められる。パワーエレは、そのためのソリューションを提供している。

## 専用電波、年度内に割り当て

電波法改正で利用範囲拡大  
企業の開発加速

専用電波の割り当てが年度内に完了する見込みです。これは、5Gや6Gの普及に向けた重要なステップです。



### 技術革新と安全性両立を

現  
日本が技術とビジネス  
動かなければ勝ち抜けない」と、無線給電研  
究の第一人者である京  
都大学の橋本真毅教授  
は断言する。

## 日本 1.5兆円市場 世界と争奪戦

「日本が技術とビジネス、制度の三位一体で動かなければ勝ち抜けない」と、無線給電研究の第一人者である京都大学の橋本真毅教授は断言する。

## 深層断面

SPECIAL EDITION

深層断面は、業界の最新動向と課題を掘り下げた記事です。

学がけん引する産官学

産官学連携の重要性がますます高まっている。特に、先端技術の開発においては、学問の力を活用することが不可欠である。

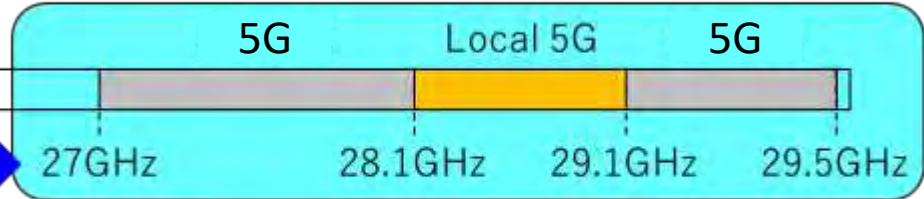
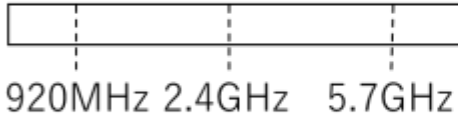
# 「学(京都大学)」の最近の取り組み (1)

Kyoto Univ. with SoftBank, Kanazawa Inst. Tech.

Frequency



WPT standardization in Japan



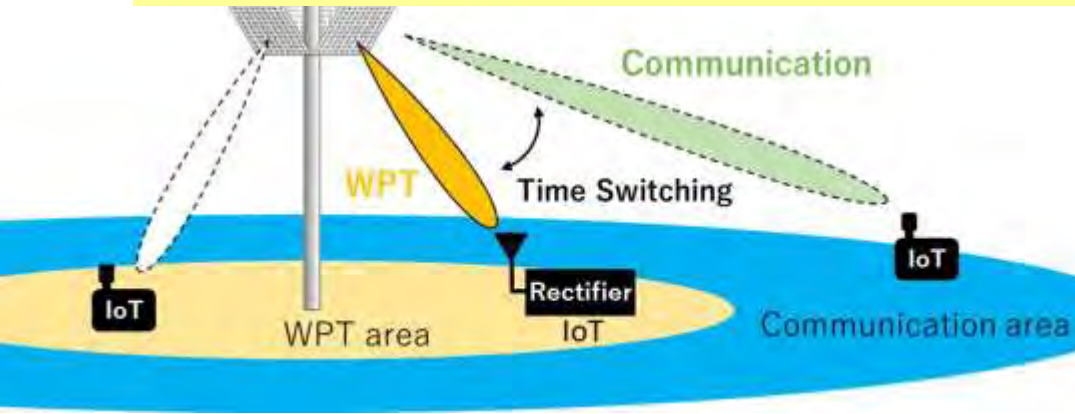
Communication × WPT System

OFDM modulation signal



Example of link budget (Assumed system)

**by Kyoto Univ. : to simplify phase control**



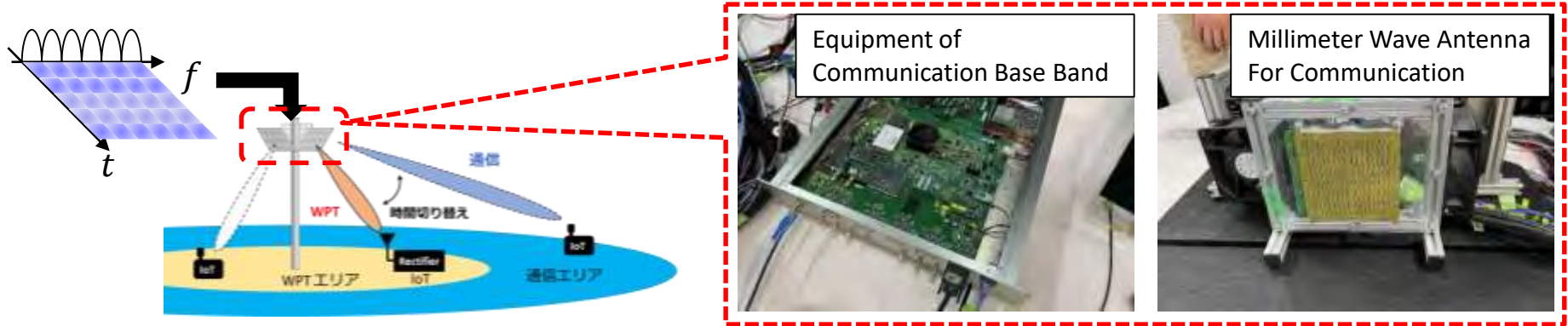
Assumed Communication × WPT System

Link budget (@28GHz)	
Tx EIRP (Max.)	75 dBm
FSPL (10m)	-81.3 dB
Rx Antenna element gain	1.3 dBi
RF receiving power (100 elements)	-5 dBm (1 element) 15 dBm (100 elements)

The power transmission system to sensors with existing base stations .

# R&D Project in Japan (Nov. 2021- )

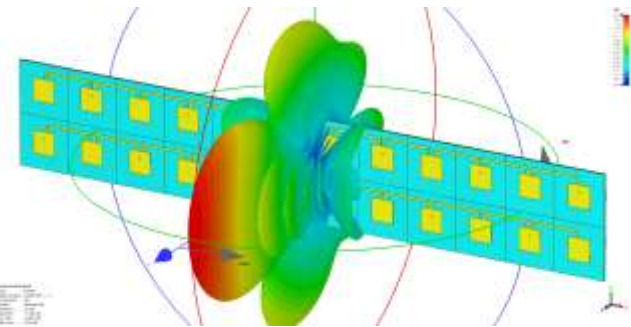
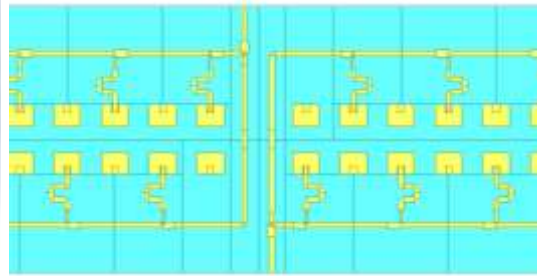
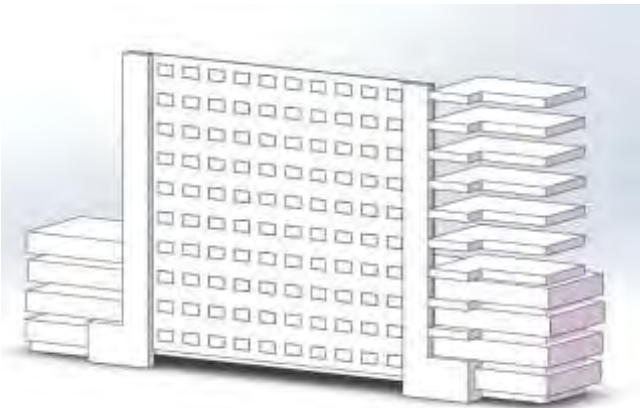
## - Millimeter Wave WPT X Communication (28GHz) -



Initial WPT experiment is succeeded in 2022.



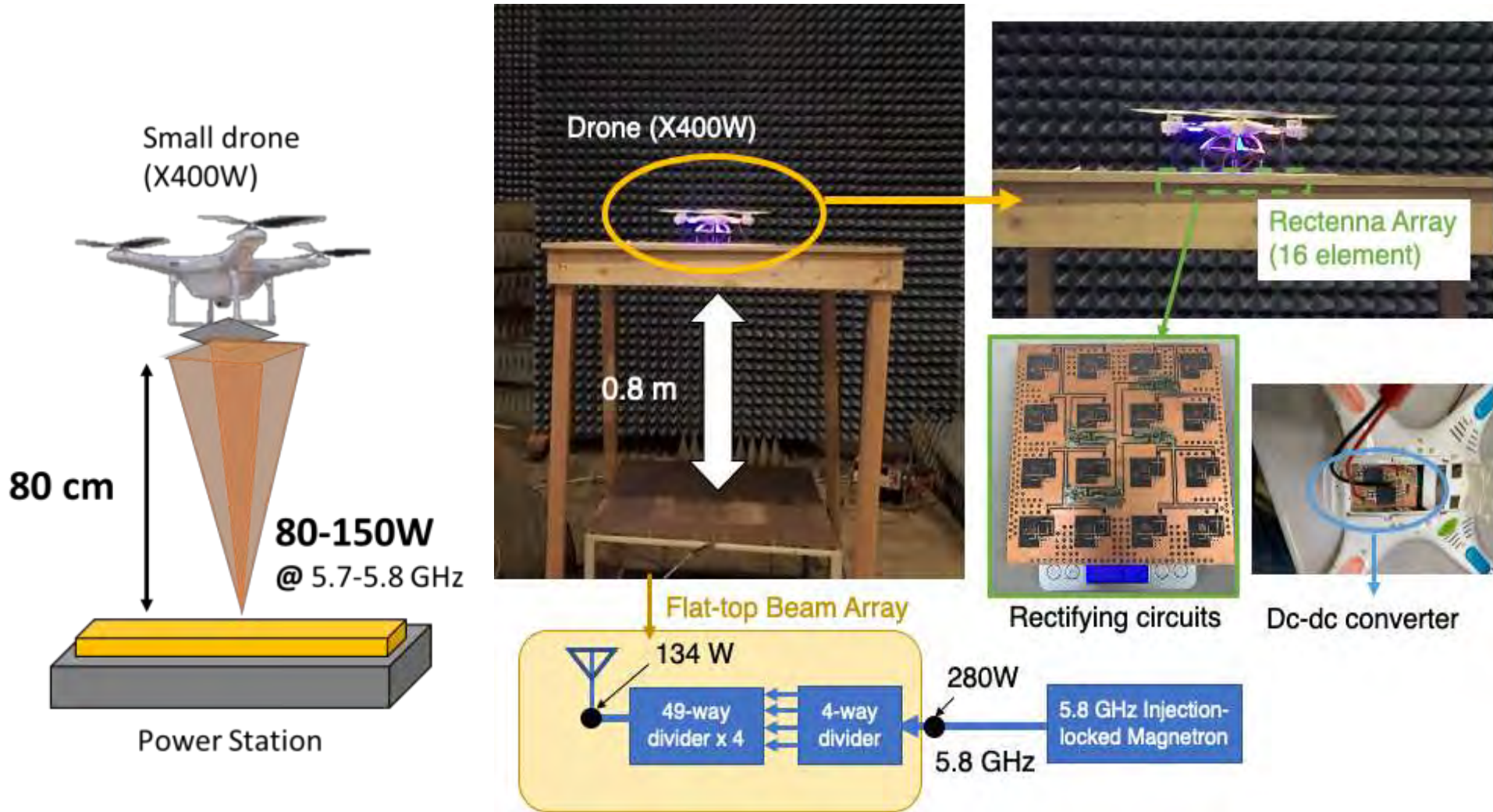
Novel cheap and high efficiency phased array antenna is developed now in Kyoto University.





# 「学(京都大学)」の最近の取り組み (2)

## 電波のエネルギーだけで飛ぶマイクロドローン(2021)





# WPT to Flying Micro-Drone in Kyoto Univ.(2021)



# ワイヤレス給電の実用化に向けた生存圏研究所発の「産」への取り組み

- ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアムWiPoTの設立と運営(代表)(2013- )  
43法人, 4研究機関会員, 57学識会員 (2021年4月) → 2022年度より一般社団法人化



- ベンチャー企業Space Power Technologiesの設立(顧問) (2019- )



- ワイヤレスパワーマネジメントコンソーシアムWPMcの設立と運営(代表) (2013- )
- 一般社団法人 海洋インバースダム協会 理事 (2014- )
- エネルギーハーベスティングコンソーシアム オブザーバー (2011- )
- Start-up Company "EMROD" @New Zealand のTechnical Adviser (2021- )
- Raytheon @ USと共同研究検討中(2022- )
- 3期18年(2004-21)で述べ84件(年4.7件)の共同研究実施 等

日本のかつ現代的な「進化した護送船団方式withベンチャー企業」でイノベーションを起こせないか？



# (一社) ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム(WiPoT)

<http://www.wipot.jp/>    [info@wipot.jp](mailto:info@wipot.jp)

ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム  
Wireless Power Transfer Consortium for Practical Applications

Japanese English

WiPoTについて    活動内容    出版物・論文    入会申し込み    イベントのご案内    会員のページ    リンク    HOME

## WiPoT

— 動画集 —

- WiPoTとWPTのご紹介 (2020年10月制作)
- 電気が空気のようになる世界 (2020年10月制作)
- 空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム 制度化に向けた答申概要 (2020年10月制作)
- 京都大学篠原研究室 Video Collection
- 電子情報通信学会 通信学会無線電力伝送研究会
- WPTC-2020 IEEE Wireless Power Transfer Conference 2020 May 5-9, 2020 Seoul, Korea
- Journal of "Wireless Power Transfer"
- ワイヤレスパワーマネジメントコンソーシアム(WPMo)
- Wireless Power Transmission for Sustainable Electronics
- Asian Wireless Power Transfer Workshop 2021

法人会員 : 41  
学識会員 : 55  
研究機関会員 : 3



Panasonic

OMRON



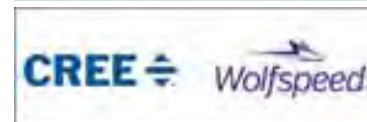
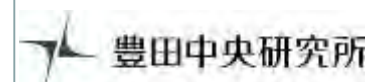
muRata

株式会社IHIエアロスペース

azbil

ECE  
E&C エンジニアリング株式会社

SMK



## Topix

### イベント情報・お知らせ

2021年04月07日    ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム2021年度総会が4月6日(火)にweb会議にて開催され、役員案、決算報告、予算案が承認されました。  
2021年度の活動計画についても提案、意見交換の後、合意が得られました。  
また、新規加入の法人会員各位の自社紹介と「WPTの周波数に関する国内・国際制度の現状と課題」について学識会員の小林氏より講演が行われました。

他

# ワイヤレス給電の実用化に向けた生存圏研究所発の

## 「官」への取り組み

「産」だけでは誰も火中の栗を拾いに行かない@日本

### ● 対 総務省

- 総務省 情報通信審議会からの答申として「空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」のうち「構内における空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」が2020/7/14に答申 ->答申に盛り込まれた「運用調整機構」設置の省令改正 (2022.5)
- ITU-R (International Telecommunication Union)に日本代表団として参加し、国際的なWPT法制化の議論を喚起



### ● 対 経産省

- 無線送受電高効率化技術委員会 委員長としてSPS実現に向け活動しつつ(2009-)、マイクロ波無線送電技術ビジネス化研究会を協賛/協力 (毎回100名弱の参加者)

### ● 対 国会議員

- 宇宙エネルギー利用促進議員連盟にて2011頃より毎年SPSとWPTのレクチャー → 各省庁への研究/実用化の取り組みを促進



2020/3/24



### ● 対 内閣府

- 宇宙政策委員会委員・基本部会委員としてSPS及び関連するWPTを推進 (2020-)
- 宇宙基本計画にSPSを重点事項として記載(2021)



# 「産官学」連携の結果による電波法の省令改正 (日本及び世界)

	日本 (第1ステップ)			日本 (第2ステップ)		USA			欧州
制度化状況	3つの周波数帯で制度化を準備中 (2020/7/14答申 ⇒ 2022/5月 無線局として制度化完成)			4つの周波数を BWFにて検討中		現制度で個別に FCCが認可 (ISM機器として)		FCC認可 申請中	制度化はまだ (SRDとして 規格化検討 中)
周波数帯	COIテーマ 920MHz帯 センサ給電	2.4GHz帯	5.7GHz帯	COIテーマ 920MHz帯 災害予防保全	920MHz帯、 2.4GHz帯、 5.7GHz帯、 24GHz帯	2.45GHz帯 (Ossia社)	920MHz帯 (Energous社、 Powercast社)	24GHz帯 (GuRu社)	920MHz帯 (ETSI 他)
送電電力	1W	15W	32W	10W	TBD	5W	(不明)	(不明)	(不明)
	4W	3.8kW	10kW	1.9kW	TBD	(不明)	3W	(不明)	4W
利用場所	屋内	屋内 (無人管理環 境)	屋内 (無人管理環 境)	屋外 (トンネル内)	TBD (屋内外、有人 も含めて検討 中)	屋内 (産業用 途)	屋内	屋内 (車 内)	屋内
動作仕様等	無線タグ (T106) に準ずる	他無線シス テム検出・停 波機能	他無線シス テム検出・停 波機能	受電機を検 出し送電方 向制御する 機能	TBD (他無線シス テムと人を検出 し送電方向制 御する機能等 を検討中)	(壁反射利 用)	(不明)	受電機を 検知してそ こへ送電	TBD (RFIDに準 じて検討)
送電距離	~5m	~10m	~10m	~6m	~10m	~1m	~0.9m	~3m	—
受電電力	~数百μW	~約2W	~数百mW	~143 mW	TBD (~25W)	~1W	~150mW	不明 (~数W?)	—

SPT, Panasonic, Omuron等

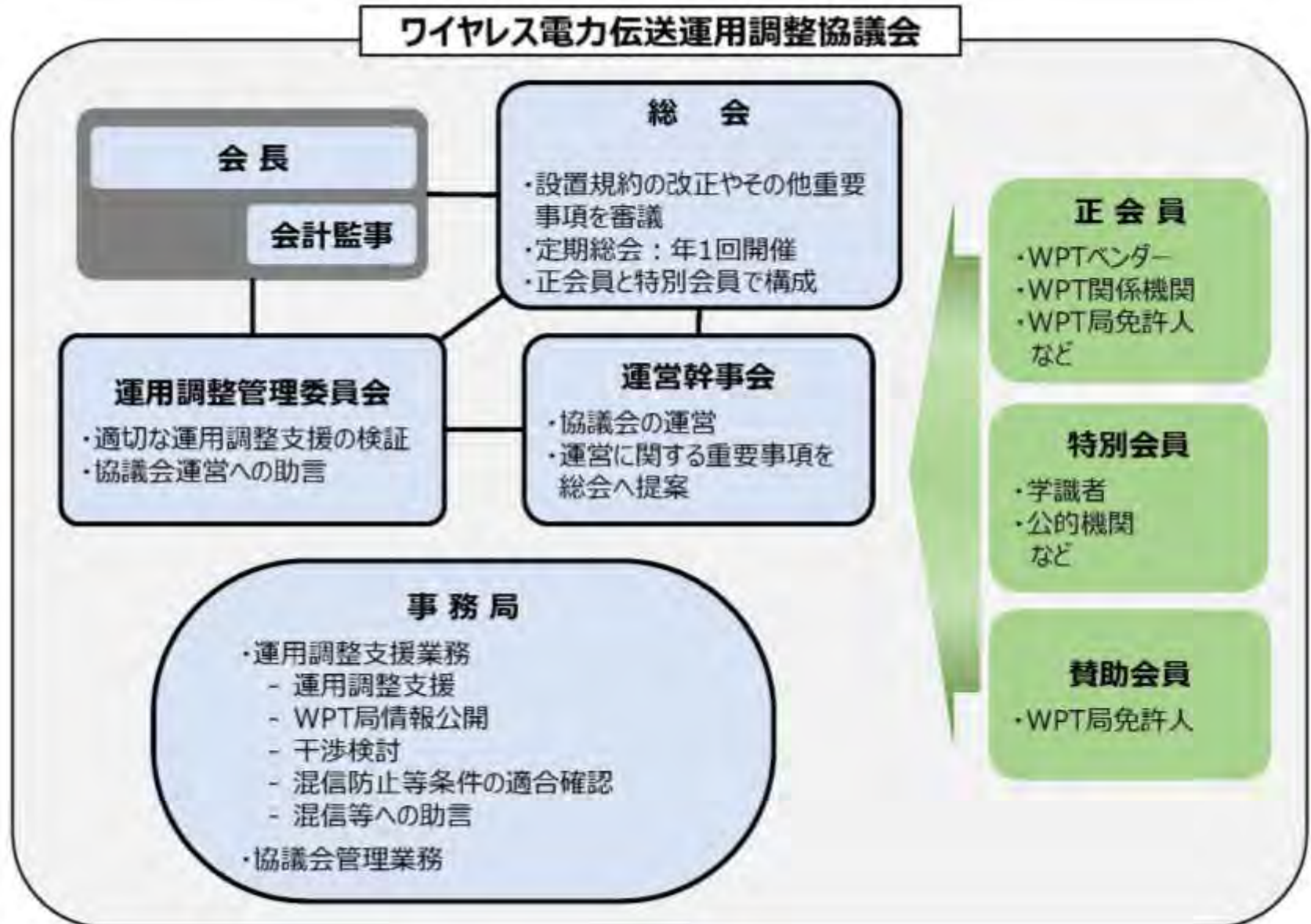
Ossia, PowerCAST, Energous等

国際電気通信連合無線通信部門 (ITU-R) での長年の議論/日本の貢献により + IEEE Standard  
 干渉検討新報告書 Report ITU-R SM.2505-0 採択 (2022/7) の議論開始 (2023)  
 周波数の新勧告 ITU-R SM.2151-0 採択 (2022/9)

国際  
標準化



# ワイヤレス電力伝送運用調整協議会(JWPT)





# 協議会HP (WPT局の情報提供)



< <https://jwpt.jp/> >



# AETERLINK corp. received Japanese first WPT license (AirPlug™) (2022/9/26)



▲技適マーク

With Takenaka corp.



920MHz-1W Transmitter

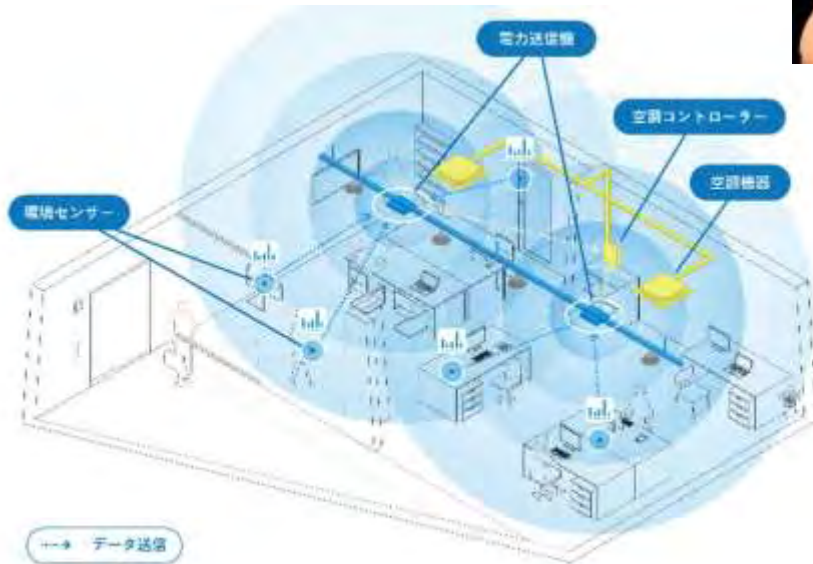
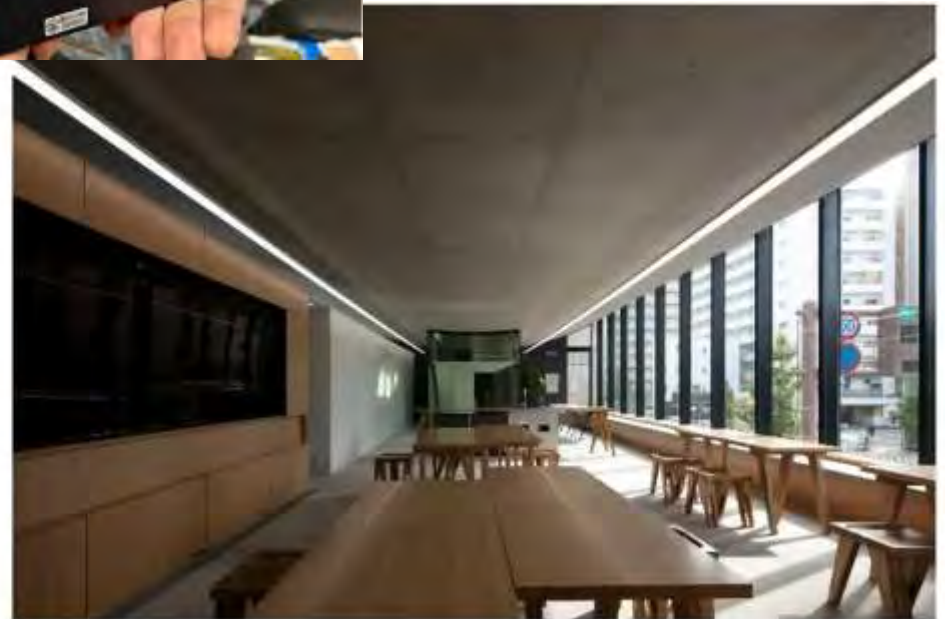


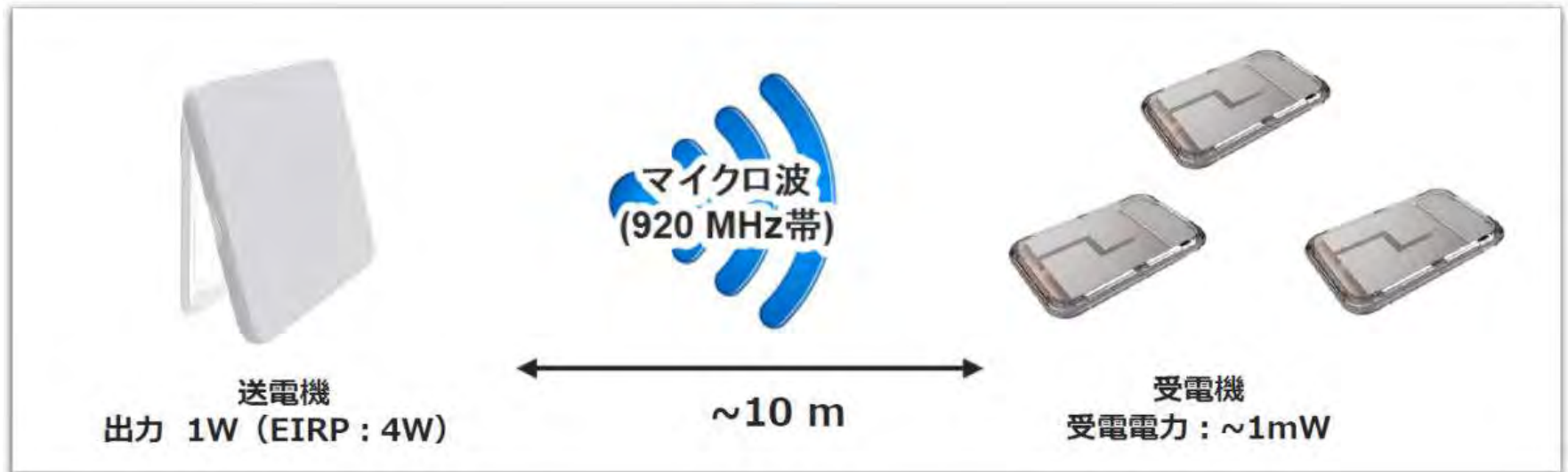
Image of Wireless powered sensors to control air conditioner



IoT sensors behind chairs to measure temperature/humidity/etc.

# “Enesphere” – WPT products by Panasonic. (2022)

Technology to drive sensors as wide of a range with limited Tx microwave power



Receiver (Rectenna) < 1mW @ 10m

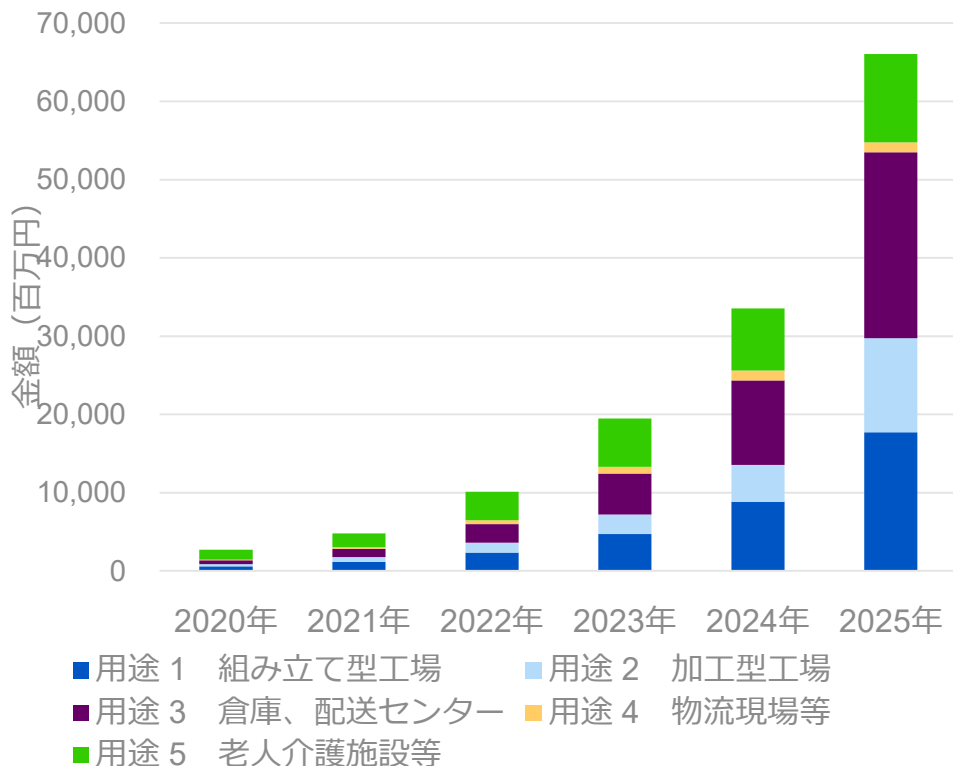
920MHz, 1W, 6dBi, Transmitter

すでに免許所得(関東初)。Panasonic汐留にて実環境実験中。+2局も申請中。

# 空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの普及予測

- 本報告の空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムは当初提案よりも制限を設けた第1ステップとなるため、屋内の無人の工場ライン（組み立て型工場）、プラント（加工型工場）、倉庫、配送センターの無人エリア、有人の物流現場、老人介護施設等での普及となり、2025年に約700億円の市場規模が見込まれる。
- また、当初提案された①FA/IoTセンサ、②介護・見守り用途センサ、③モバイル端末（スマートフォン、タブレット等）への展開では、2025年に約5,520億円の市場規模が見込まれる。

本報告のシステムの市場規模予測  
(第1ステップ)



当初提案の  
市場規模予測

用途	市場規模予測金額 (2025年、国内)
①FA/IoTセンサ	3,750億円
②介護・見守り用途センサ	500億円
③モバイル端末 (スマートフォン、タブレット等)	1,270億円
合計	5,520億円

※ ブロードバンドワイヤレスフォーラムにおいて試算  
試算方法については報告書「第1章 1.4.3 本システムの導入による国内市場規模予測」に記載



# ワイドビーム型WPTによるCO<sub>2</sub>削減効果の一例

(SIPプロジェクト「IoE社会のエネルギーシステム」2021年度成果報告書より)

検討年度	2020年度	2021年度	
検討対象部門	民営事業所が主 (業務部門含む)	業務部門、家庭部門	
WPT適用シーン	省エネ施策を民営事業所へ主に展開  クリーン・スマート・EMS    タスクアンビエント照明 S&Pファインレスト	昨年同様検討の業務部門における照明を除く、空調と家庭部門へ展開  タスクアンビエント空調 (業務部門)    WPTセンシング照明・空調 (家庭部門)	エネルギー管理システム(EMS)の導入を前提とし、EMSの導入についてパナソニックにおいて実績のある取り組みを踏まえて拠点や設備、類似の事業所等に適応した際の効果の分析
脱炭素量 [t-CO <sub>2</sub> ]			合計
WPTあり	26,612,832	734,907	27,347,739
WPTなし	16,452,591	655,609	17,108,200
<b>貢献分</b>	<b>10,160,241</b>	<b>79,298</b>	<b>10,239,539</b>

エネルギー換算  
0.235 [kg-CO<sub>2</sub>/kWh] ※

**WPT適用により、脱炭素量1,024万tに貢献 (2030年度)**

参考) 2030年における年間電力供給量推定 9350億kWh → 電力由来CO<sub>2</sub>排出量 2.197億t-CO<sub>2</sub>  
**WPTは総排出量の約4%の削減に貢献**



# 世界のWPTビジネスの現状

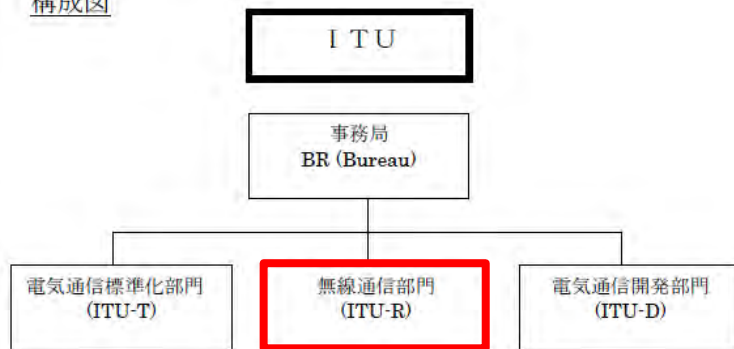


# 国際電気通信連合 (ITU) の概要

ITU : International Telecommunication Union

- 目的: 電気通信の改善と合理的利用のため国際協力を増進し、電気通信業務の能率増進、利用増大と普及のため、技術的手段の発達と能率的運用を促進すること
- メンバー:
  - 加盟国: 193か国 (2016年4月時点)
  - セクターメンバー (団体、企業等): 700以上
- 本部: ジュネーブ (スイス)
- 構成: 3部門と事務局からなる。

構成図



Discussion Result is published as

Question



Report



Recommendation



Regulation

Working Document (作業文書)、Preliminary Draft (草案)を経て、Draft (案)を承認して公表に至る。

# ワイヤレス給電のRadio Regulationに関する議論 @ ITU-R (International Telecommunication Union)

## ◆ 議論は古く1978年から

- ・宇宙太陽発電衛星SPSからのマイクロ波送電を行うBEAM WPT
- ・1997年にQuestion ITU-R 210/1としてNASAとJAXAが提案、議論をリポート

## ◆ 2013年にNON-BEAM WPTとBEAM WPTに分割 → NON-BEAM WPTの議論

- ・磁界結合WPT実用化の機運が高まり、NON-BEAM WPTの議論に集中へ
- ・主にEV-WPTを中心に議論、少しだけ携帯充電器も含む
- ・ITU-R Report SM.2303-0(2014) → SM.2303-1(2015) → SM.2303-2(2017) → SM.2303-3(2021), “Wireless power transmission using technologies other than radio frequency beam”
- ・ITU-R Recommendation SM.2110-0(2017)→SM.2110-1(2019), “Guidance for the use of frequency ranges for operation of non-beam wireless power transmission for electric vehicle”

## ※ NON-BEAM WPTの国際的な市民権は獲得(?)

## ◆ 現在は民生応用のBEAM WPTに関し熱い議論

- ・BEAM WPTアプリケーションに関するITU-R Report SM.2392を発行(2016年) → SM.2392-1(2021), “Applications of wireless power transmission via radio frequency beam”
- ・WIDE BEAM WPTの周波数共用検討に特化したITU-R-REP-SM.2505, “Impact studies and human hazard issues for wireless power transmission via radio frequency beam” を発行(2022)
- ・同共用検討に特化した周波数勧告SM.[WPT.BEAM.FRQ]を発行(2022)



# Report ITU-R SM.2505-0 (Jul., 2022) for Wide Beam WPT

“Impact studies and human hazard issues for wireless power transmission via radio frequency beam”,  
<http://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2505>



TABLE 1

Examples of radio characteristics of beam WPT systems

System	System 1	System 2	System 3	System 4	System 5	System 6	System 7
Frequency	915-921 MHz	915-921 MHz	915-921 MHz	917-920 MHz	2 410-2 486 MHz	5 738-5 766 MHz	61-61.5 GHz
Output power	4 W	15 W	Up to 50 W	1 W	15 W	32 W	50 W
Antenna gain	7 dBi	8.24 dBi	10 dBi	6 dBi	24 dBi	25 dBi	45 dBi <sup>(1)</sup>
e.i.r.p.	43 dBm	50 dBm	54.8 dBm	36 dBm	65.8 dBm	70 dBm	92 dBm <sup>(1)</sup>
Bandwidth	500 kHz	500 kHz	500 kHz	200 kHz	N/A <sup>(2)</sup>	N/A <sup>(2)</sup>	10 MHz
Beacon signals	Other wireless systems	Other wireless systems	Other wireless systems	Other wireless systems	Other wireless systems	Beam-WPT dedicated wireless system	Other wireless systems
Antenna	Wide-angle directional antenna	Wide-angle directional antenna	Wide-angle directional antenna	Wide-angle directional antenna	Beam forming	Beam forming	Near field beam focusing
Applications	Wireless charging of mobile/portable devices Wireless powered and charging of sensor networks						

NOTE – The technical specifications contained in this Table describe some of the characteristics used in the respective studies and are not meant to be interpreted as regulatory limits, as there may be other beam WPT systems with higher power than those listed. In most cases, out-of-band emission limits for beam WPT devices are set by each Administration.

<sup>(1)</sup> The figures given for antenna gain and e.i.r.p. here are for cases where the device receiving power is in the far field of the transmitter.

<sup>(2)</sup> The regulation on this system designates its occupied bandwidth as zero because its modulation is CW.

Question



Report



Recommendation



Regulation

# Recommendation ITU-R SM.2151-0 (Sep., 2022)

“Guidance on frequency ranges for operation of wireless power transmission via radio frequency beam for mobile/portable devices and sensor networks”

[https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.2151-0-202209-!!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.2151-0-202209-!!!PDF-E.pdf)



*recommends*

- 1 that administrations may consider as guidance the use of the frequency ranges, or portions thereof, listed in the Table 1 below, for the operation of beam WPT for mobile/portable devices and charging of sensor networks;
- 2 that necessary steps should be taken to ensure that beam WPT does not cause harmful interference to radiocommunication services, so that radiocommunication services remain protected from radio frequency energy emanating from WPT operations falling into all bands.

TABLE 1

Frequency ranges for operation of beam WPT

Frequency range	Suitable beam WPT technologies and applications
915-921 MHz	Wireless charging of mobile/portable devices Wireless powered and charging of sensor networks
2 410-2 483.5/2 486 MHz	
5 725-5 875 MHz	
61-61.5 GHz	

NOTE 1 – The frequency ranges listed in this Table indicate those with possible use for beam WPT, noting that some frequency ranges may not be designated for ISM applications, and may not be available for beam WPT applications in some countries, as a result of the different national allocations and regulatory conditions.

NOTE 2 – In some administrations in Regions 1 and 3, the compatibility study of beam WPT is still ongoing and the available frequency ranges for beam WPT are still under consideration.

Question



Report



Recommendation



Regulation

# Current Policy for Far-Field WPT in Each Country

**Japan** – One of **radio applications** with License (In-Door, 2.4GHz-band, 5.7GHz-band, and 920MHz-band without license)(2021- )

**US** – One of **ISM applications** (governed by Part 18 of the Federal Communications Commission (FCC) rules, while Part 15 contains the rules for unlicensed communication devices, even those that share ISM frequencies) (920MHz-band, 2.4GHz-band and 5.7GHz-band without license)(2017- )

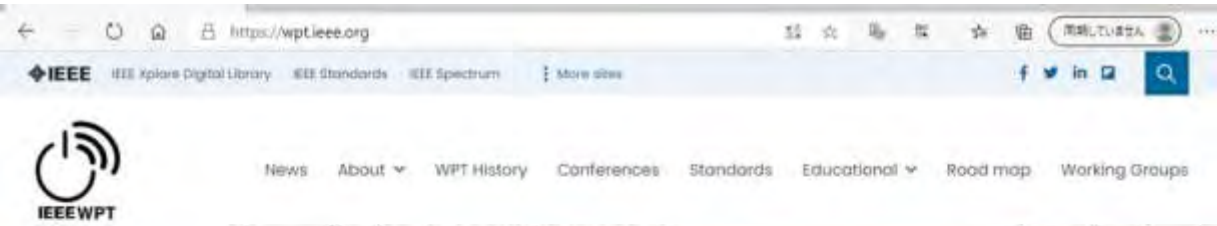
**China** – One of **ISM applications** (2016- ) ?? *personal information*

**EU** – One of the **Short Range Device** (917.3–917.7 MHz) (2020.5 in Addendum to ECC Report 200) ?? *ECC : Electronic Communications Committee*  
But European Broadcasting Union (EBU), BBC, and the others are negative in ITU-R)

**We work together but in different worlds now.**



# IEEE Wireless Power Transfer Initiative



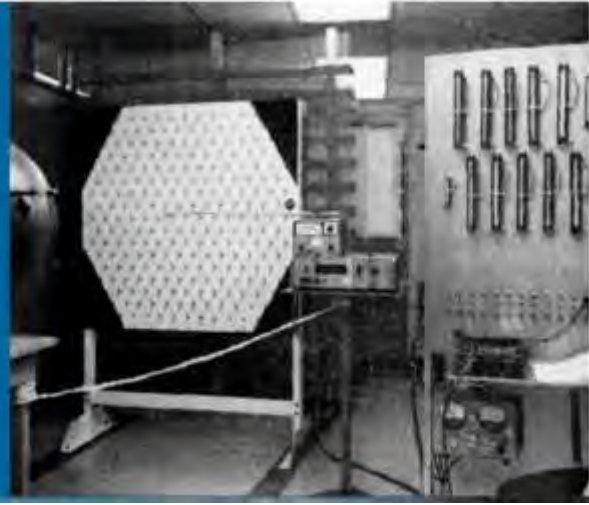
## Standardization efforts for V Telecommunication Union

- [1] ITU-R : Recommendation ITU-R SM.2110, "Guidance for electric vehicle", <https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.2110/en>
- [2] ITU-R : Report ITU-R SM.2303-2, "Wireless power trans", <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2303-2-2017>, 2017.



## Wireless Power Transfer History and State-of-The-Art

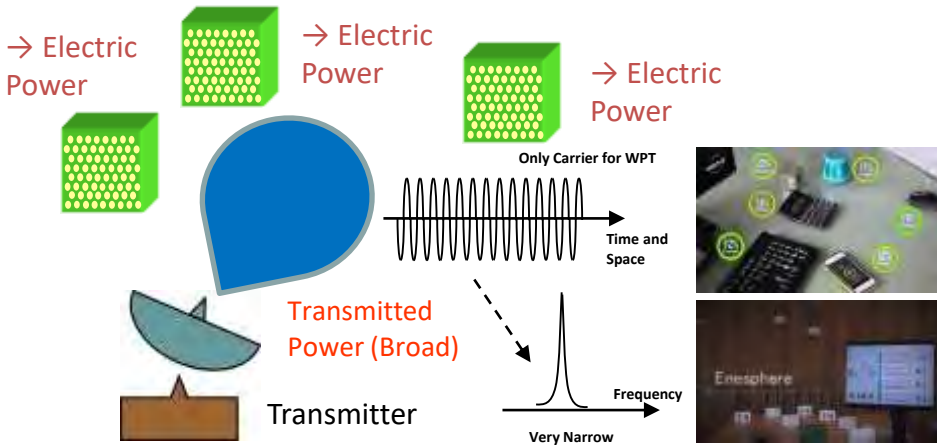
The history of wireless power transmission is rich with interesting projects. Although the inherent difficulty kept this technology from being used commercially, the advancements have been significant and are worth analysing.



Visit [wpt.ieee.org](https://wpt.ieee.org) !

# Wide Beam Type WPT – Low Power Rectennas -

## (a) Wide Beam Type including Energy Harvesting for Multi-Users, Low Power, in Fraunhofer Region

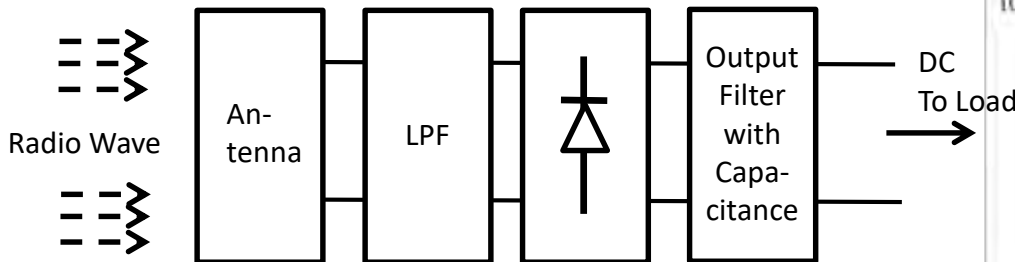


$$\eta = \frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t A_r}{4\pi d^2}$$



- Low Power Rectenna is important.

## [Rectenna – Rectifying Antenna –]



### Antenna



Octave Bandwidth RF Harvesting Tee-Shirt by J. A. Estrada et al., Colorado Univ., WPW2019

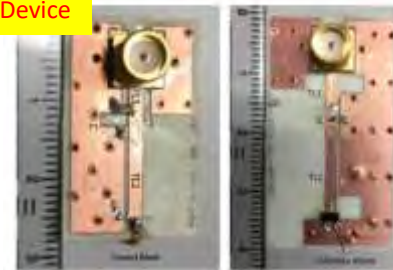


### Antenna + Circuit



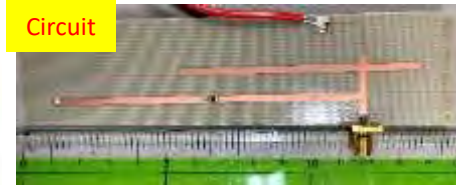
Broadband and High Impedance Rectenna by C Song et al. Univ. Of Liverpool, IEEE TIE, 2017

### Device



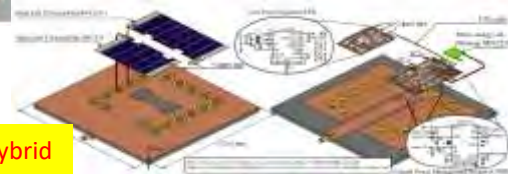
Rectenna with Tunnel Diode by V. Manev et al., Eindhoven Univ. of Tech., WPW2019

### Circuit

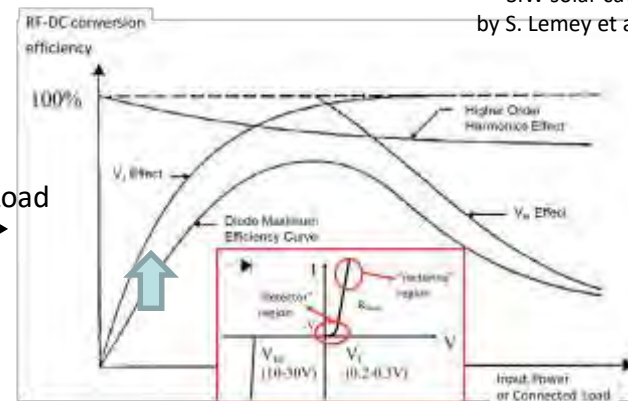


100mW Rectenna by K. Kawai et al., Kyoto Univ., AWPT2021

### Hybrid

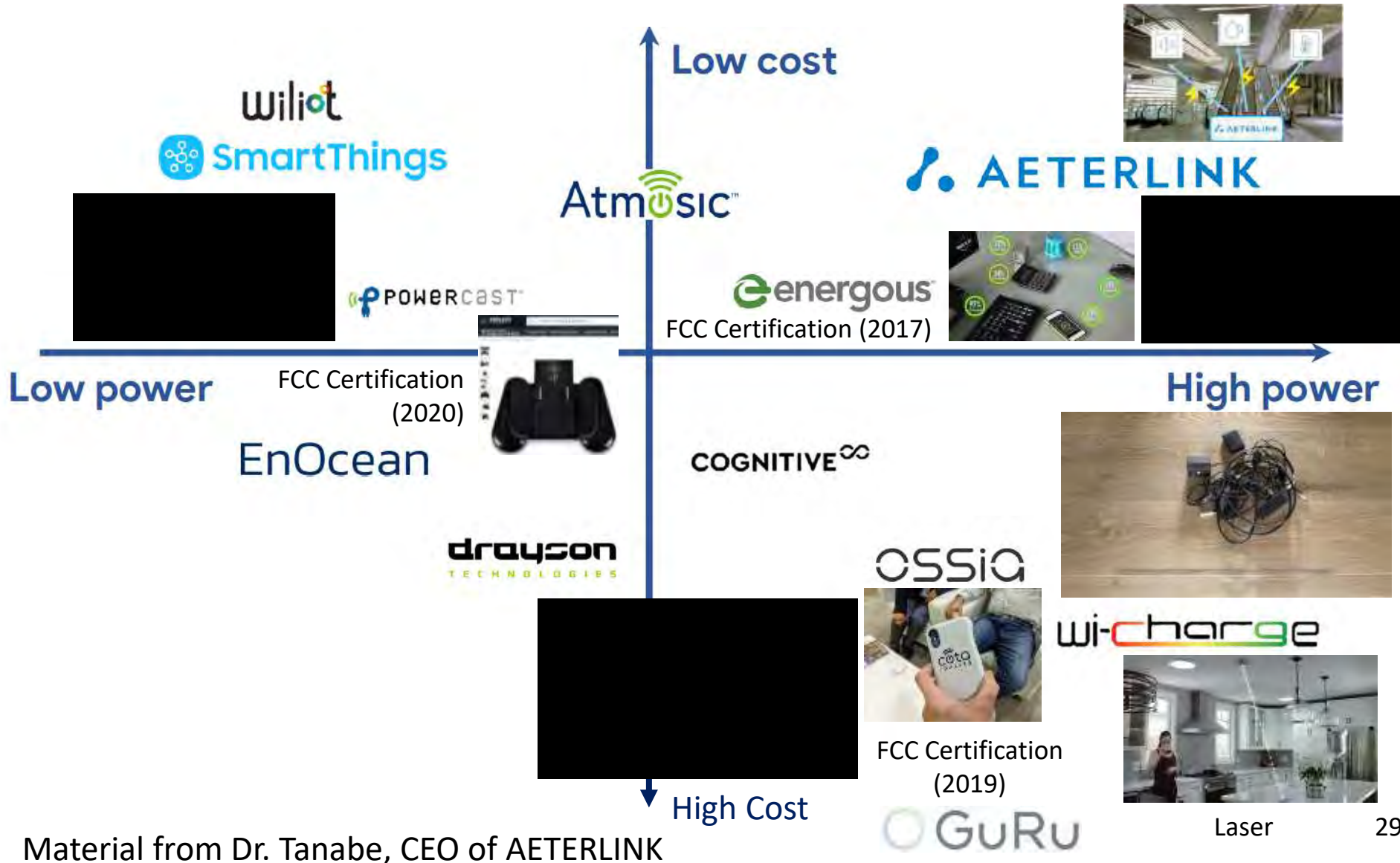


SIW solar cavity-backed slot antenna by S. Lemey et al., Ghent Univ., EuMW2015



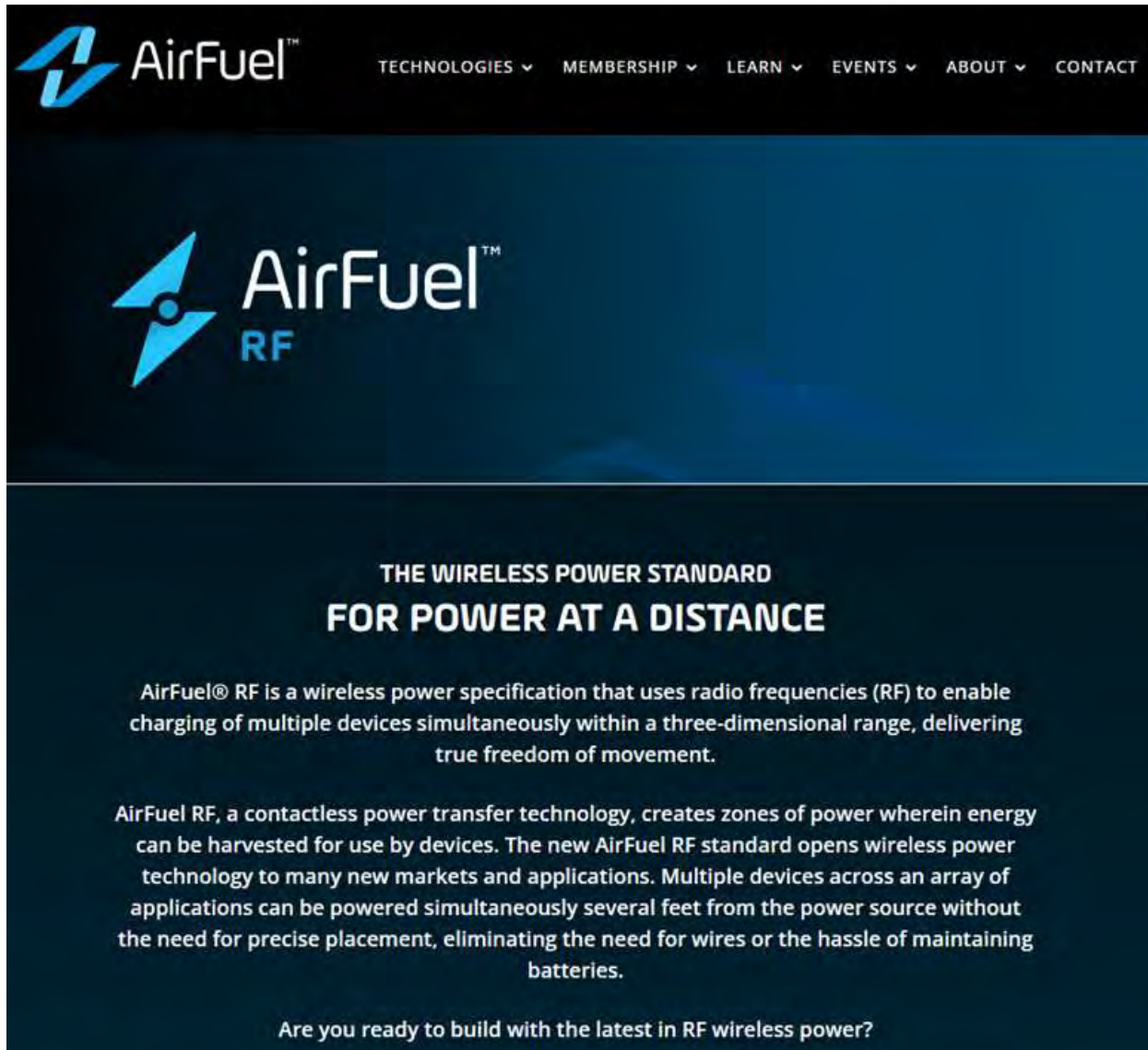
Peak RF-DC Efficiency  
> 90% @ 2.4GHz  
> 85% @ 5.7GHz

# Startup Companies of Far Field WPT in USA





# AirFuel RF (with Energous) (2022)



The image shows a screenshot of the AirFuel website homepage. At the top left is the AirFuel logo, which consists of a stylized blue lightning bolt icon followed by the text "AirFuel™". To the right of the logo is a navigation menu with the following items: "TECHNOLOGIES", "MEMBERSHIP", "LEARN", "EVENTS", "ABOUT", and "CONTACT", each with a small downward arrow. Below the navigation menu is a large blue banner with the AirFuel RF logo, which is a stylized blue lightning bolt icon followed by the text "AirFuel™" and "RF" in a smaller font below it. Below the banner is a dark blue section with the following text:

**THE WIRELESS POWER STANDARD  
FOR POWER AT A DISTANCE**

AirFuel® RF is a wireless power specification that uses radio frequencies (RF) to enable charging of multiple devices simultaneously within a three-dimensional range, delivering true freedom of movement.

AirFuel RF, a contactless power transfer technology, creates zones of power wherein energy can be harvested for use by devices. The new AirFuel RF standard opens wireless power technology to many new markets and applications. Multiple devices across an array of applications can be powered simultaneously several feet from the power source without the need for precise placement, eliminating the need for wires or the hassle of maintaining batteries.

Are you ready to build with the latest in RF wireless power?

# Energoursの1W WPTを 日本のIoTデバイスに (2023/1/10)



2023年01月10日  
サトーホールディングス株式会社

ワイヤレス給電技術大手のエナジス・コーポレーション（以下、エナジス）と、サトーホールディングス株式会社（以下、サトー）は、エナジスのトランスミッター（送電機）「1W WattUp Power Bridge」とサトーのIoTソリューションを組み合わせた次世代スマートストア・アプリケーションの共同開発において協業することを本日発表いたします。この共同開発により、サトーが構築する店舗や倉庫での在庫管理や在庫管理の効率化において、5m〜最大10mの距離から、IoTセンシング・ラベル「Wiiot IoT ピックル」（以下、Wiiotタグ）へのワイヤレス給電の実現をめざします。

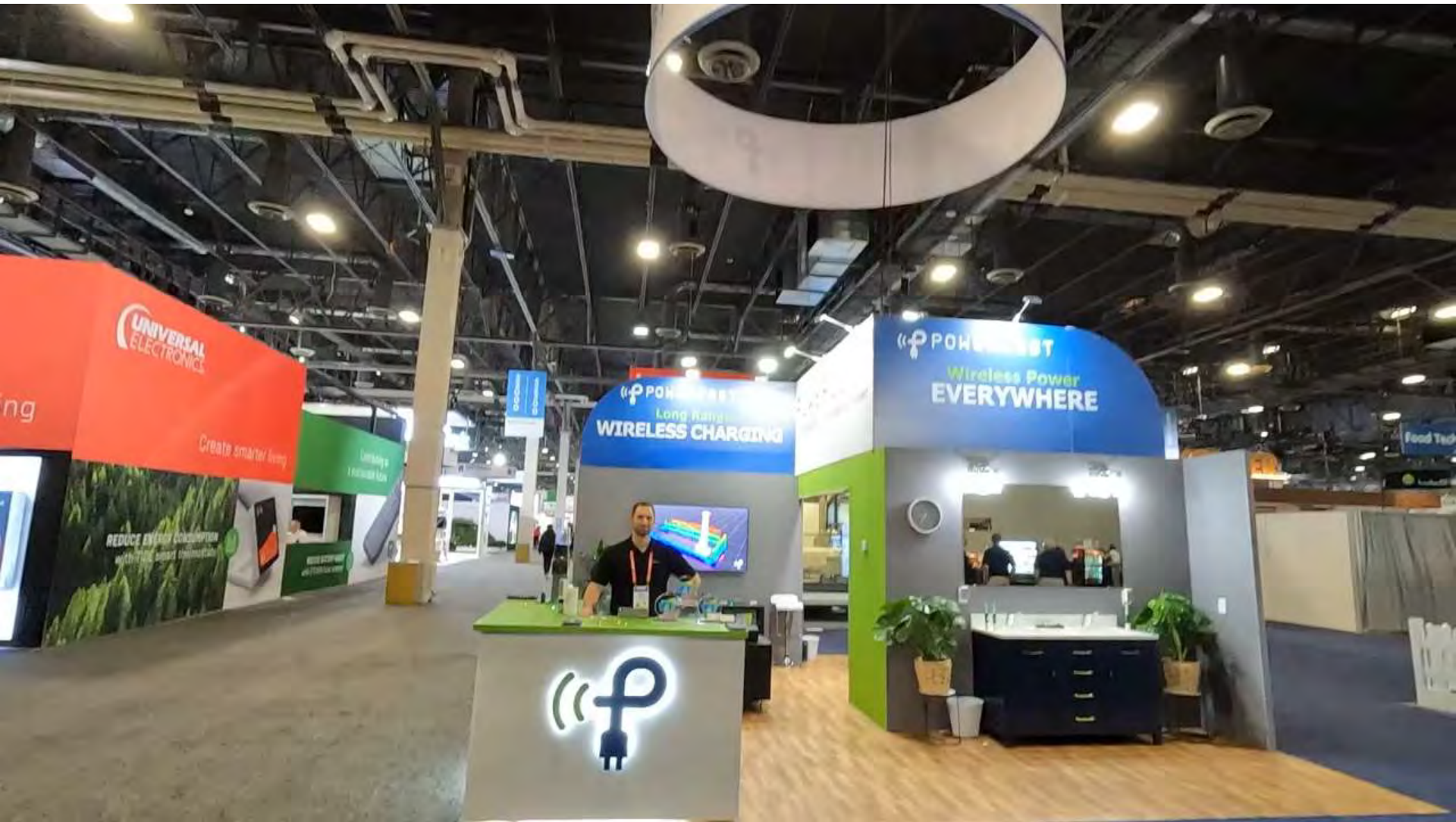


Wiiotタグは、小型のWiiotタグで、温度、湿度、気圧などを検知するセンサーを備えています。商品情報、または商品棚に置くだけでWiiotタグを取り付けることで、手をかけることなく商品情報や在庫をリアルタイムに把握することが可能になります。エナジスのトランスミッターからデータを受信した商品のWiiotタグは、データ送信を開始、トランスミッターがブリックとして機能し、タグからのデータを置くフォルダリング（複数）した上で、クラウドに送信します。

エナジスとサトーは、エナジスのトランスミッターとWiiotタグを用いた小売店舗向けのアプリケーションを、主要小売業協会が主催する世界最大規模の小売展示会「NRF 2023 Retail's Big Show」（日程：1月15日～17日、場所：ニューヨークのサトー・スペース（442nd）で

<https://www.sato.co.jp/about/news/2023/release/20230110.html>

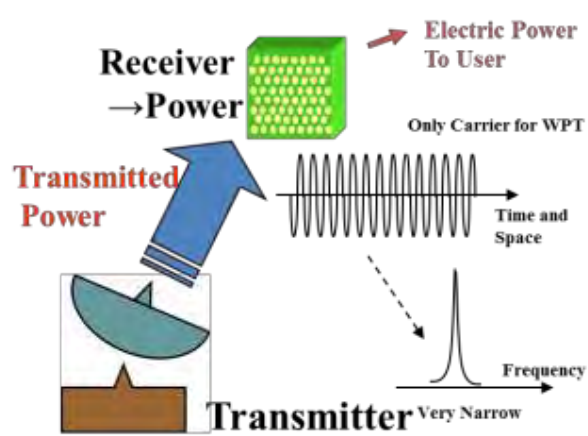
# PowerCAST – CES2023



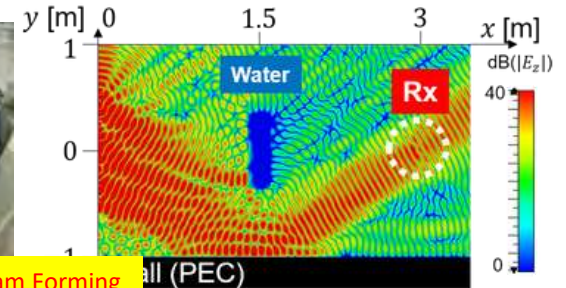


# Narrow Beam Type WPT – Beam Forming with Higher Frequency-

## (b) Narrow Beam Type for Single User, High Power, in Fresnel Region



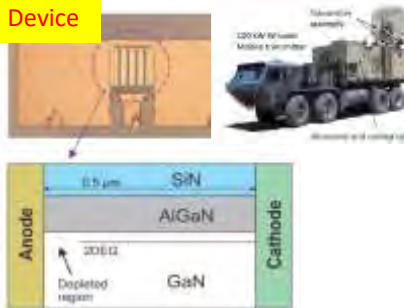
Beam Forming



“Cota” system by Ossia corp. Retrodirective in Multi Path

EM Simulation in 2.4GHz by T. Sasaki et al., Kyoto Univ., IEEE WPW2019

Device



Rectenna at 95GHz with New Developed GaN Diode, by H. Kazemi, Raytheon, TMTT, 2022

Field Experiment



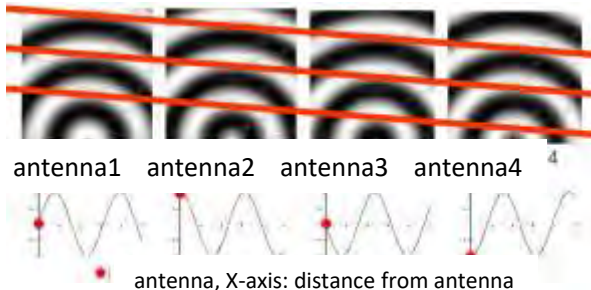
Field Experiment with 91.2kW-TxMW to 1.6kW-RxDC in > 1km in X-Band, by C. Rodenbeck, NRL, J. of Microwaves, 2022

$$\eta = 1 - e^{-\tau^2}$$

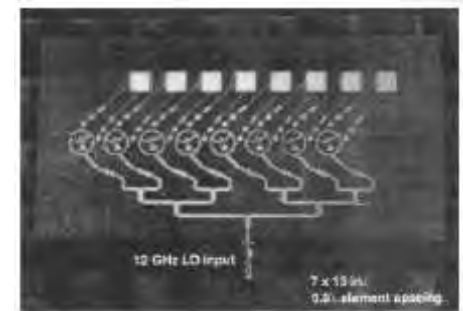
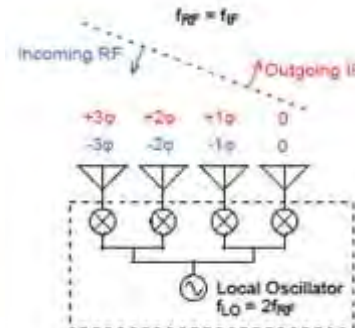
$$\tau^2 = \frac{G_t A_r}{4\pi d^2} = \frac{P_r}{P_t}$$

- Theoretically 100%
- Target detecting and beam forming is important.
- Higher Frequency is better.

## [Beam Forming by Phased Array Antenna]



## [Target Detecting by Retrodirective]



# Millimeter wave WPT by Xiaomi (2021/1)

# Field Experiment in Munich by EMROD corp. (Sep.26, 2022)



(EMROD is founded in New Zealand in 2019)  
<https://emrod.energy/>



Supported by ESA  
(European Space Agency)



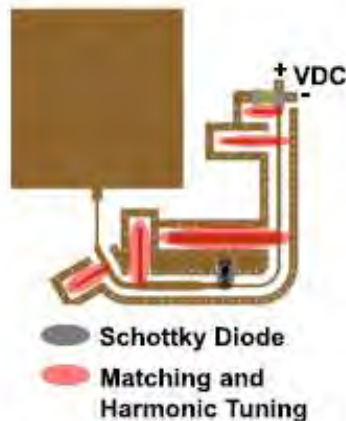
5.8GHz  
Phased Array



# X-Band Beam WPT Experiment at the US Army Research Field in Blossom Point (2021)

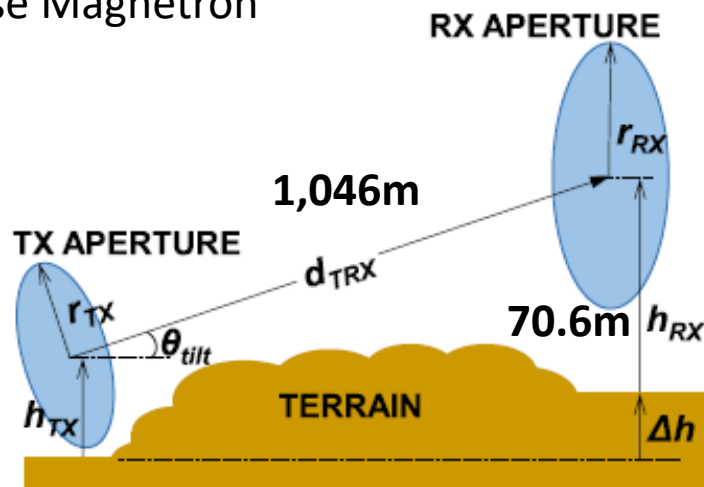
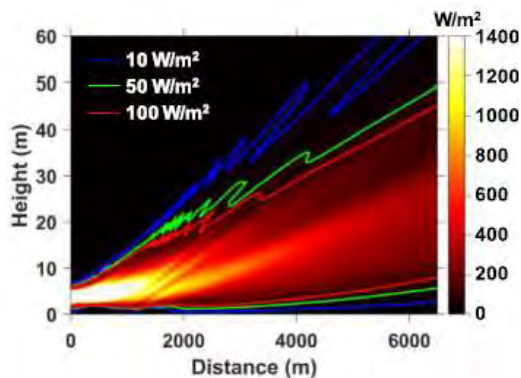
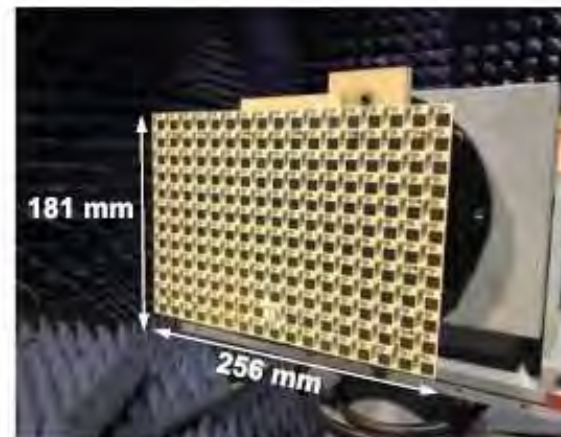


5.4m Parabolic Antenna with 10.5 GHz, 91.2kW Pulse Magnetron



- Schottky Diode
- Matching and Harmonic Tuning

MACOMMA4E1317 Schottky diode



Received RF Power 2.27kW  
Rectified DC Power 1.65kW

**この論文(篠原共著)が2023 IEEE Journal of Microwaves Best Paper Awardを受賞!**

# 94GHz Rectenna with New GaN Diode by Raytheon, US (2022)

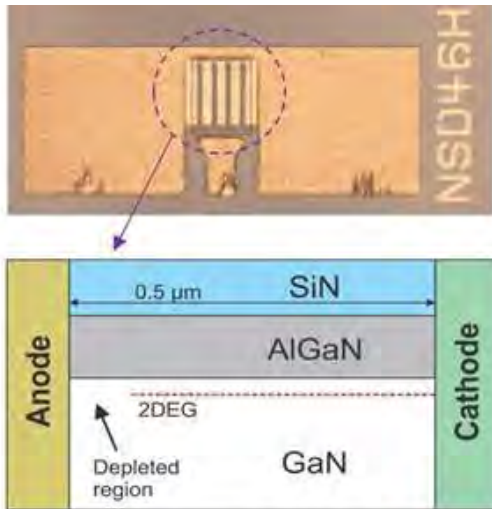


Fig. 3. Technology cross section of the NSD. The anode metal contacts laterally with a 2DEG formed in an AlGaIn/GaN HEMT structure. The cathode is made of a regrown  $n^+$  GaN on the 2DEG.

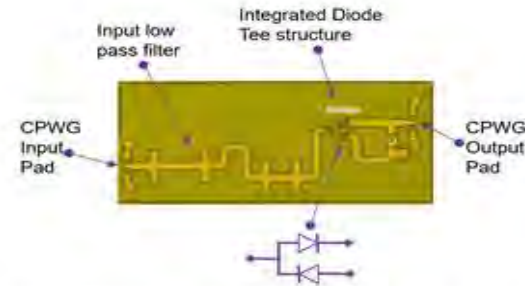
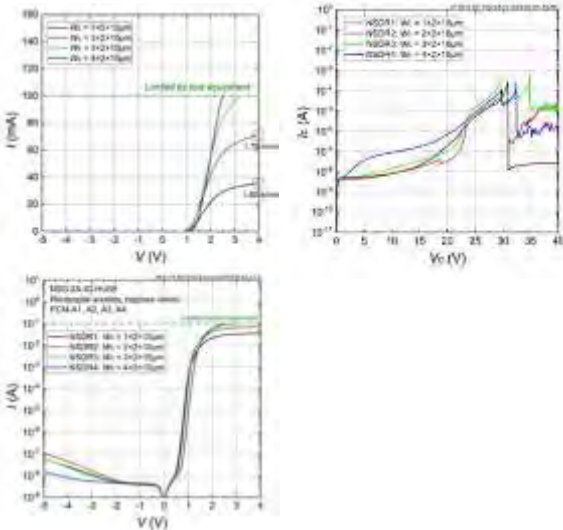


Fig. 7. GaN nano-Schottky rectenna MMIC integrated with a voltage doubler diode topology, input LPF, and dc circuitry measuring  $2.1 \text{ mm} \times 0.75 \text{ mm}$ . The GaN MMIC is fabricated on GaN/SiC wafers with the MMIC having a final thickness of  $50 \mu\text{m}$  with substrate vias for low-inductance ground on the bottom side of the MMIC.

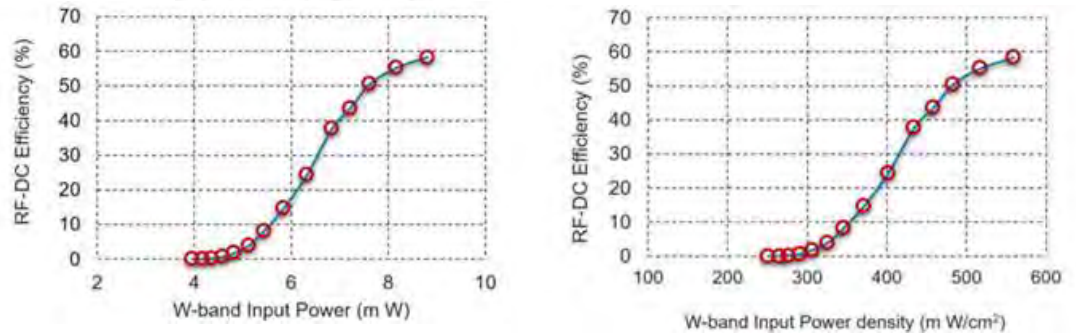


Fig. 12. Plots of RF-dc efficiency at 93 GHz are shown versus input power level and the power density. The GaN nano-Schottky rectenna circuit represents an outstanding input power handling at high degree of efficiency.

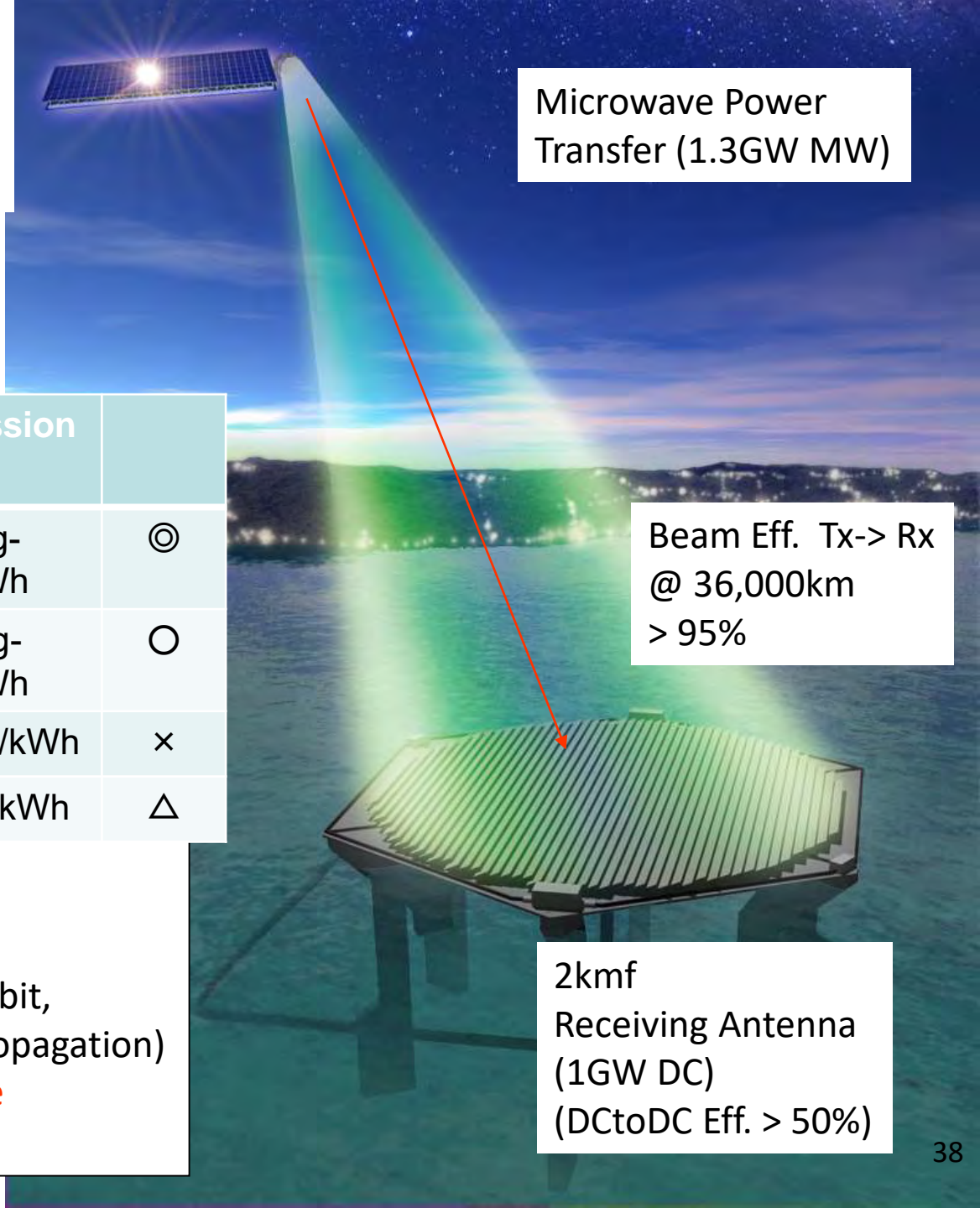
## 94-95GHz Rectenna

Reference	9	24	25	26	27	This WORK
Rectifier Tech.	GaAs Diode	$0.13 \mu\text{m}$ CMOS Sch Diode	65nm CMOS	GaAs Diode	40nm CMOS	GaN nano-Schottky
Architecture	Ant + Diode Chip	Integ MMIC with Ant	Integ MMIC with Ant	Ant + Diode Chip	MMIC no-Ant.	MMIC no-Ant.
Tx Source Type	Klystron	Network Analyzer	Solid State Power Amp	Solid State Power Amp	Network Analyzer	Solid State Power Amp
Tx Power (W)	100	0.1	0.14	0.4	0.063	0.09
Rectenna DC Power (mW)	0.65	0.9	0.1	39	0.029	5.7
Efficiency (%)	32.3	37	10	38	45.8	61.5
Element Area ( $\text{mm}^2$ )	5.62	2.9	0.48	18	0.0756	1.58
Power Handling ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )	0.17	0.31	0.038	2.38	0.38	3.61



1GW Solar Power Station  
 2kmf Solar Cells  
 2kmf Microwave Antenna  
 < 10,000 ton weight

# Solar Power Satellite (SPS)



Microwave Power Transfer (1.3GW MW)

Beam Eff. Tx-> Rx @ 36,000km > 95%

2kmf Receiving Antenna (1GW DC) (DCtoDC Eff. > 50%)

	Equipment utilization rate	CO2 Emission	
SPS	> 90%	11-31 g-CO <sub>2</sub> /kWh	◎
Ground PV	< 15%	53-76 g-CO <sub>2</sub> /kWh	○
LNG	> 90%	631 g-CO <sub>2</sub> /kWh	×
Atomic	> 90%	22 g-CO <sub>2</sub> /kWh	△

Ground PV

: < 15% (Night, Rain...)

Space PV (SPS)

: >90% (No Night in 36,000km Orbit, No Rain by Microwave Propagation)

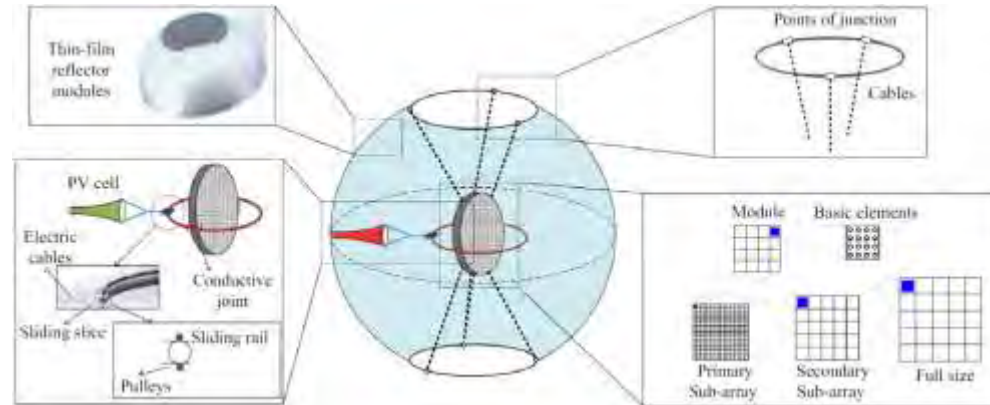
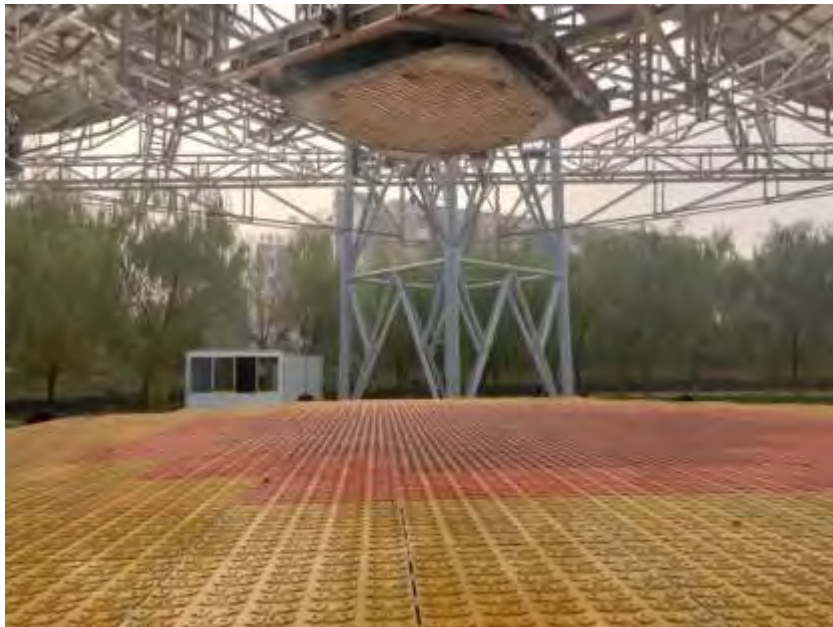
-> SPS is huge, stable, and CO<sub>2</sub>-free Power Station



# 日本のSPSに関する政策の偏移(2/2)

宇宙基本計画 #1	宇宙基本計画 #2	宇宙基本計画 #3	宇宙基本計画 #4
平成21年6月 宇宙開発戦略本部決定	平成25年1月 宇宙開発戦略本部決定	平成27年1月 宇宙開発戦略本部決定	令和2年6月 閣議決定
実現に必要な技術の研究開発を進め、地上における再生可能エネルギー開発の進捗とも比較しつつ、10年程度を目途に実用化に向けた見通しをつけることを目標	「将来の宇宙開発利用の可能性を追求する3つのプログラム」の一つとして、「宇宙太陽光発電研究開発プログラム」を位置づけ	(2) 具体的取組 ② 個別プロジェクトを支える産業基盤・科学技術基盤の強化策 iii) 将来の宇宙利用の拡大を見据えた取組	(5) 産業・科学技術基盤を始めとする宇宙活動を支える総合的な基盤の強化 エネルギー問題、気候変動問題、環境問題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、宇宙構造物等の給電システムへの応用も期待できる宇宙太陽光発電システムの実用化に向け、宇宙太陽光発電システム研究開発ロードマップ等に基づき、宇宙実証実験フェーズへの移行の検討も含め、着実に取組を進める。その際、宇宙太陽光発電の研究開発は、IoTセンサやドローン、ロボット等へのワイヤレス給電等、地上の技術への派生も期待できることに留意する。(文部科学省、経済産業省)
関係機関が連携し、総合的な観点からシステム検討を実施する。並行して、エネルギー伝送技術について地上技術実証を進める。	宇宙太陽光発電システムについては、我が国のエネルギー需給見通しや将来の新エネルギー開発の必要性に鑑み、無線による送受電技術等を中心に研究を着実に進める。	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、……(中略)……に関する研究を推進する。	
その結果を踏まえ、十分な検討を行い、3年程度を目途に、大気圏での影響やシステム的な確認を行うため、「きぼう」や小型衛星を活用した軌道上実証に着手する。	宇宙空間での実証に関しては、その費用対効果も含めて実施に向けて検討する。	※宇宙実証に関する記述なし	

# SPS Omega Demonstrator in Xidian Univ. (June, 2022)



Chinese SPS “SPS Omega”

# 各国のSSPS研究開発の指針(個人的まとめ)

SSPSは「宇宙技術」「環境技術(発電所)」「スピンオフを生む技術」である。

## [日本]

- 「宇宙技術」(=JAXA)「環境技術」(=経産省)のどっちつかず。やや「スピンオフを生む技術」オリエンティッド
- 小型衛星実証にGOサイン(2025)
- 予算:年数億円程度

## [米国]

- NRL、AFRL、Northrop Grumman、Raytheon等が中心のため、「スピンオフを生む技術」=軍事応用的。
- 小型衛星実証X-37B終了(2020)
- 中型?衛星実証SSPIDR (2024??)
- 予算:最低1億ドル×2=140億円×2

## [中国]

- 「宇宙技術」的
- 小型衛星実証未定
- ただし地上実証多数(西安、重慶等)
- 予算:年数十億+要求50-60億(2022, 重慶)

## [欧州]

- 「環境技術」的
- 段階的に月実証も検討中。
- 予算:1億ユーロ?=150億円要求中(SOLARIS) → 決定(2022.12)

## [韓国]

- 「環境技術」的



# ワイヤレス電力社会 (IoT and IoE)



未来は予測するものではない。  
自らが創るものだ。(by アラン・ケイ)

わが国が「技術立国」であるなら、わが国初のイノベーション技術と標準化を!!