

マイクロ波無線電力伝送及び 電磁波環境発電の 研究開発現状と将来展望

保物セミナー2019

2019/11/29

京都大学 生存圏研究所 教授

篠原 真毅

無線電力伝送技術

「コードレスで電気を送る!」

電磁波の利用方法(1/2)

- **通信・情報**：キャリアに情報を印可(変調)して利用
- **レーダー**：対象物からの反射情報(振幅・位相)を利用



テレビ, 衛星放送



ラジオ



無線通信
(アマチュア無線)



無線LAN



携帯電話



レーダー



カーナビ(GPS)



ETC

電磁波の利用方法(2/2)

- ・加熱：電磁波のエネルギーを熱として利用
- ・エネルギー伝送：キャリア自体をエネルギーとして電気に再変換



電子レンジ



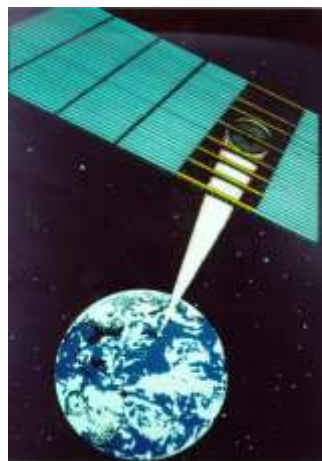
ハイパーサーミア(温熱療法)



一部の木材乾燥機



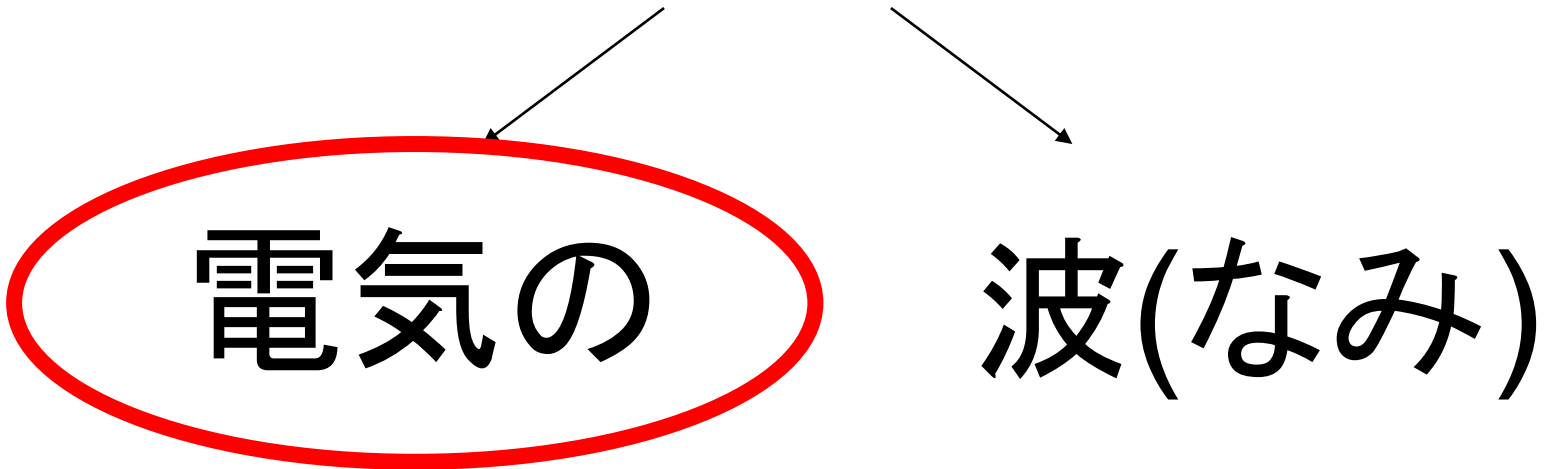
ICカード, ICタグ



宇宙発電所



電波



```
graph TD; A[電波] --> B[電気の]; A --> C[波(なみ)];
```

電気の

波(なみ)

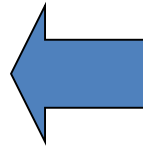
電波は電気の波だから電気である!!

ただ、電波は「とても動きが速い波」(1秒に20億回位 = 2GHz)で、
電気は「動きが遅い波(交流)」(1秒に60回位 = 60Hz)という違いがあり、
「アンテナ」で電波をひろっただけでは電気として使えない。
しかし、「速い」→「遅い」変換をすれば電波は電気になる!

マックスウェル方程式

- マックスウェル方程式

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

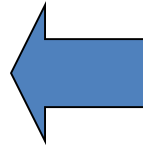


アンペアの法則(右ねじの法則)の拡張形
「右ねじをHの方向に回すとき、そのねじの進む方向がIの進む方向になる」

積分形 $\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{s} = \vec{I} \quad [A]$

微分形 $\text{rot} \vec{H} = \vec{J} \quad [A/m^2]$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$



ファラデーの電磁誘導法則の一般的表現式
「ある回路に誘導される起電力は、その回路の鎖交磁束が時間的に変化する割合に等しい」

$$v = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

$\vec{H}$: 磁束 [A/m] $\vec{B} = \mu \vec{H}$: 磁束密度 [T]

$\vec{E}$: 電界 [V/m] $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$: 電束密度 [C/m²]

$\vec{J} = \sigma \vec{E}$: 電流密度 [A/m²]

同じ原理の別の装置(電波型)

電子レンジ



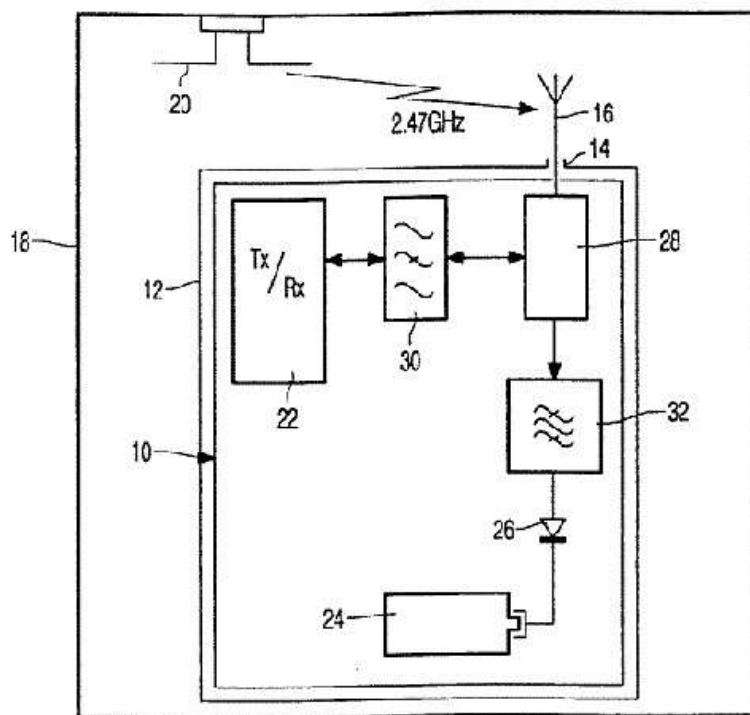
電子レンジの英語：マイクロウェーブ・オーブン

レンジで「チン」してスマホ充電

United States Patent 5,994,871

Charging of secondary cells using transmitted microwave energy

Assignee: U.S. Philips Corporation (New York, NY)



10: cellular telephone

12: Faraday cage

14: opening

16: antenna

18: unmodified microwave oven

20: antenna

22: transceiver

24: secondary cell

26: half-wave rectifier

28: high quality diplexer

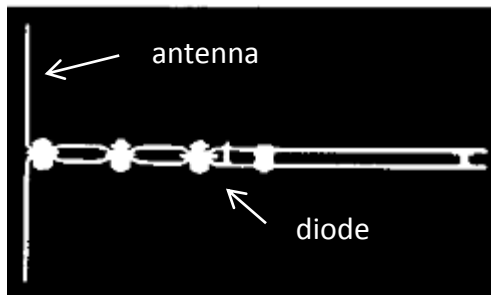
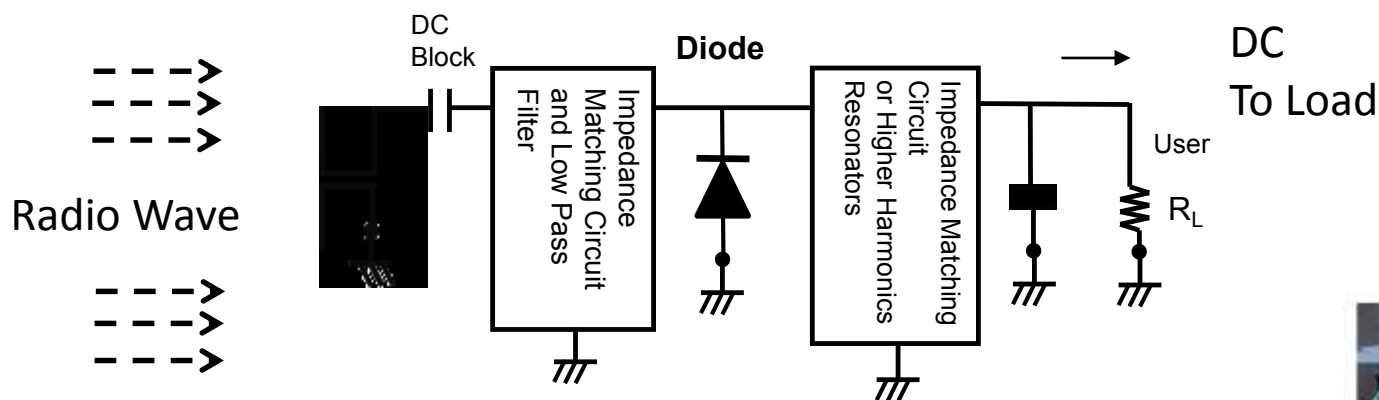
30: band stop filter

32: band pass filter

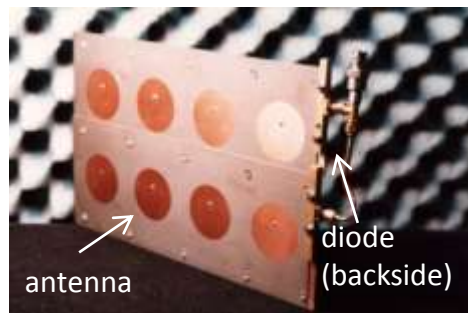
電子レンジに携帯直接ではなく、シールドにしまっ
て入れ、アンテナだけ外に出す

700Wの電子レンジの場合には、充電効率を100%と仮定すると6V1Ahのバッテリーが30秒で充電できる計算

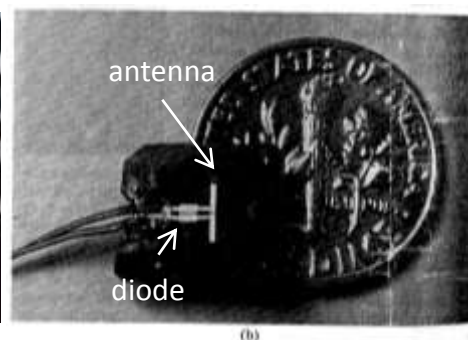
電波を受け電気に変換する装置 - レクテナ -



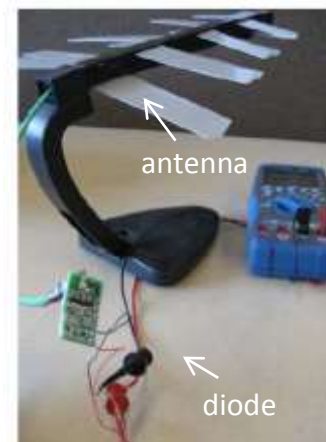
Brown&JPL Rectenna
(2.45GHz) 1970-75



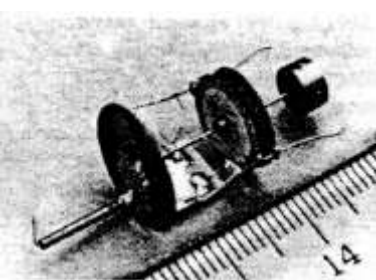
Rectenna by Hokkaido Univ.
(2.45GHz) 1984



Rectenna by Texas A&M Univ.
(35GHz) 1992



Rectenna by Intel co.
(674 - 680 MHz) 2009



Rectenna
by Kyoto Univ.
(5.8GHz) 2001

Rectenna
by DENSO co.
(21GHz) 1997

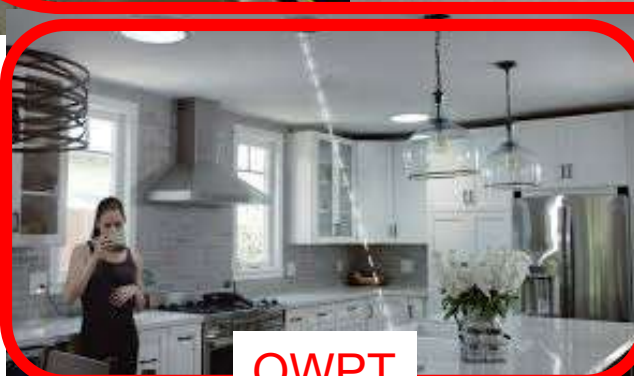


Commercial Rectenna by DENGYO co. (2.45GHz) 2011



Various Wireless Power Transfer (WPT) Products

Inductive WPT (Magnetic Field)



OWPT



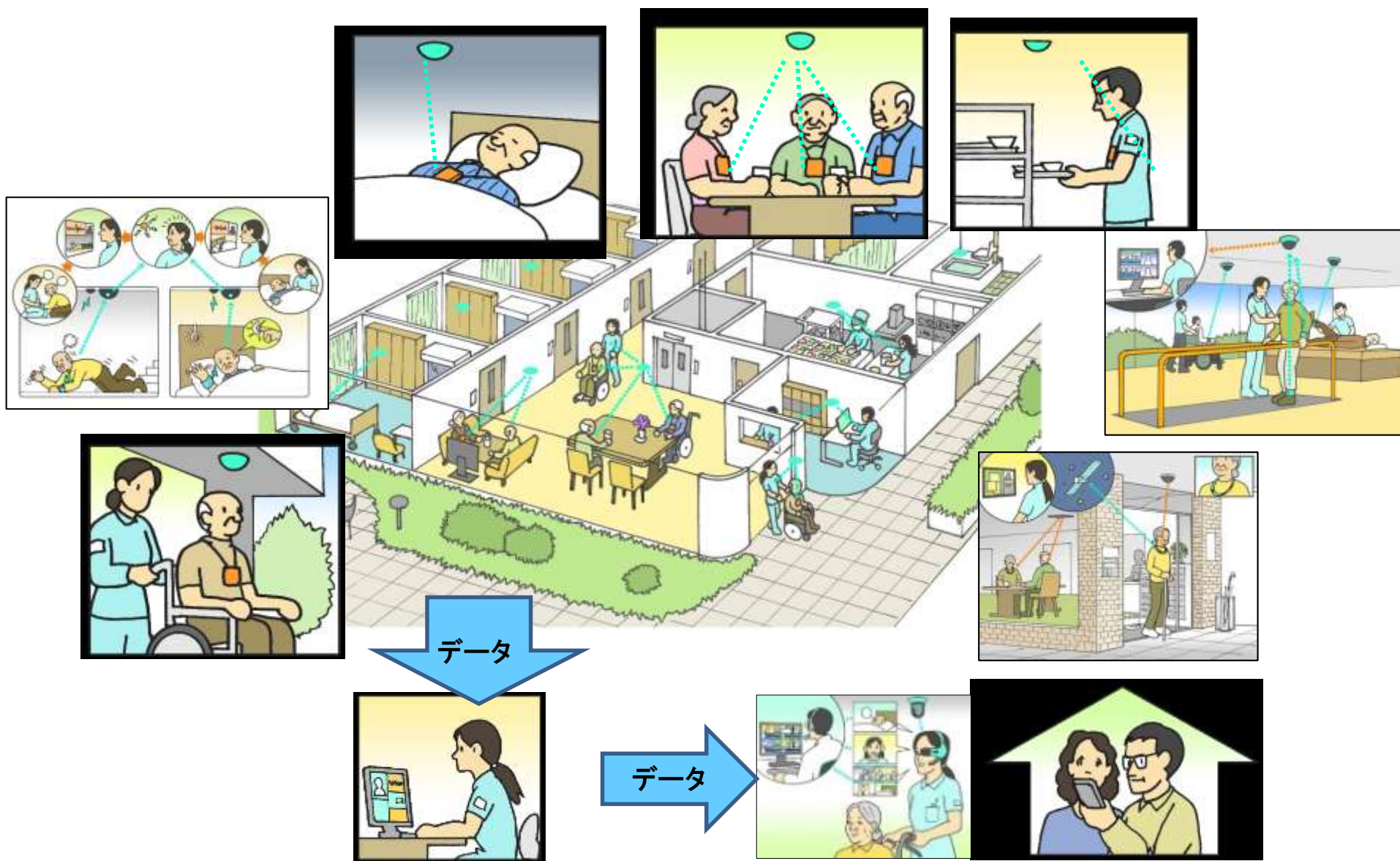
WPT via Radio Wave (Microwave, UHF)



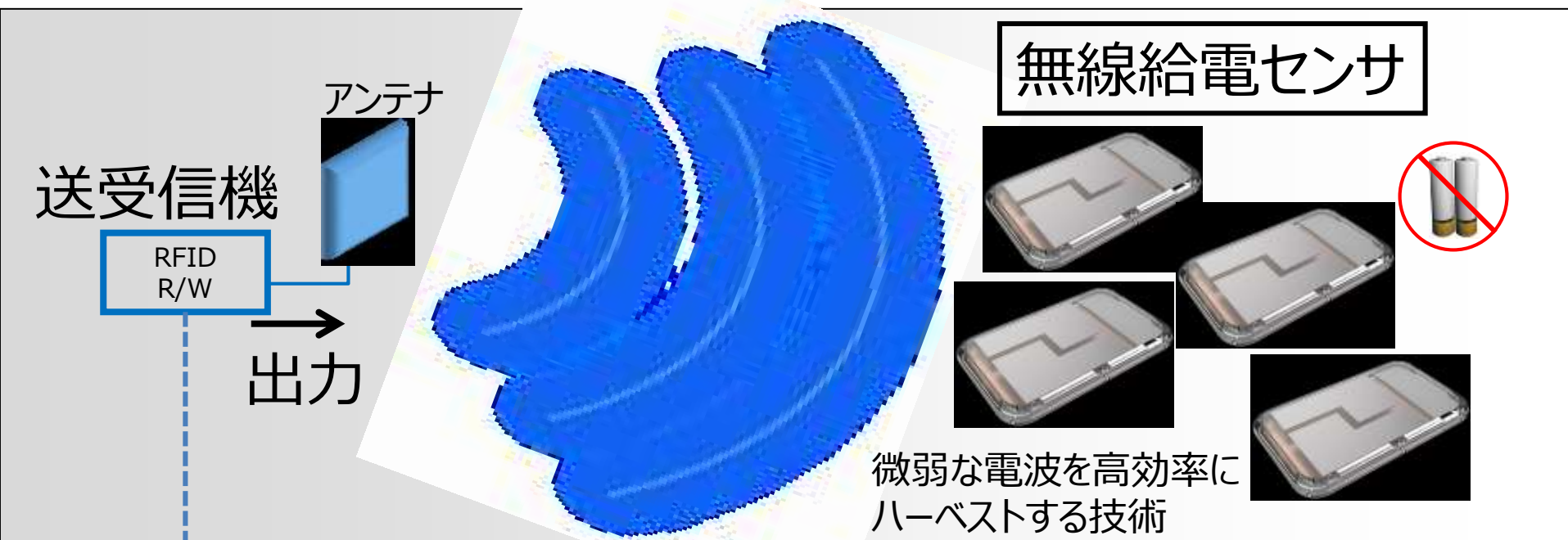
マイクロ波無線電力伝送(1)

- 通信とよく似た、
弱い電力を多数のユーザーへ -

マイクロ波給電により、電池切れの不安なく 24時間、施設全体のあらゆる場所での業務改善・見守り



限られた送信出力の中で、できるだけ広範囲のセンサを動作させる技術



開発当初の給電距離：～2m弱 ⇒ 長距離化

920MHz帯構内無線局 (ARIB STD-T106)

項目	緒言
周波数	916.8、918.0、919.2、920.4 MHz
送信出力	1W以下
空中線利得	6dBi以下

- RFIDで活用される構内無線局をベースに開発。
- 国家戦略特区を活用した高出力実証活動。

空間伝送型ワイヤレス電力伝送 システムの技術的条件 (2018/12/12)

情報通信審議会に諮問
されたことが公表される
@ 総務省ホームページ
[http://www.soumu.go.jp/
menu_news/s-
news/b_wpt_consult_pr
essrelease.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/b_wpt_consult_pressrelease.html)

総務省
MIC Ministry of Internal Affairs and Communications

Google カスタム検索

総務省ホームページ > 広報・報道 > 報道資料一覧 > 空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件

報道資料

平成30年12月12日

空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件

～情報通信審議会への諮問～

総務省は、本日、「空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」について、情報通信審議会(会長:門山田 竹志)トヨタ自動車株式会社(取締役会長)へ諮問しました。

諮問理由等は、以下のとおりです。

1 諮問の理由

空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムは、電波の送受信により電力を伝送するシステムであり、有線と接続することなく、情報通信機器等への充電や給電が可能であることから、工場内で利用されるセンサー機器等への給電、オフィスにおけるマルチメディア機器等の充電など、幅広い分野での利用が期待されており、現在、それらの実用化に向けて国内外で実験・開発が進められています。

空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムは、既に実用化されているコイルを介した磁界結合型ワイヤレス電力伝送システムや電極を介した電界結合型ワイヤレス電力伝送システムと異なり、空中線を介して空間へ電磁的に電波を放射することで電力を伝送するという性格を有しています。

このため、空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの実用化にあたっては、従来の無線システムと同じように他の無線システムとの周波数共用や電波の安全性等に関する技術的条件を明らかにすることが必要です。空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件に関し、情報通信審議会に諮問を行いました。なお、参考資料は[別添](#)のとおりです。

2 諮問を希望する事項

空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件

1 諮問を希望する時期

平成31年12月頃 一部諮問

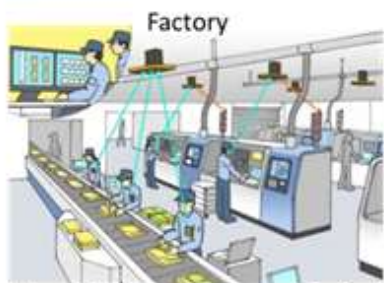
2 今後の予定

諮問を受けた後、速やかに関係法令等の改正を行う予定です。

WORKING DOCUMENT TOWARDS A PRELIMINARY DRAFT NEW REPORT ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACTS] rev. in ITU, 2019

System specifications of beam WPT **at the first step** commercialization (2020)

System		System 1	System 2	System 3
Spec.	Frequency	920 MHz bands (915-930 MHz)	2.45 GHz bands (2.40-2.499 GHz)	5.7 GHz bands (5.470-5.770 GHz)
	Output Power	1 W	15 W	32 W
	Antenna gain	6 dBi	24 dBi	30 dBi
	EIRP	4 W (36 dBm)	65 dBm	70 dBm
	Modulation	TBD	TBD	TBD
	Place of use	Indoor	Indoor	Indoor



Machine and Line management in Factory



Application of wide-beam WPT technology for
wireless powered sensor network (System1)



Application of wide-beam WPT technology for
wireless charger of mobile devices (System2,3)



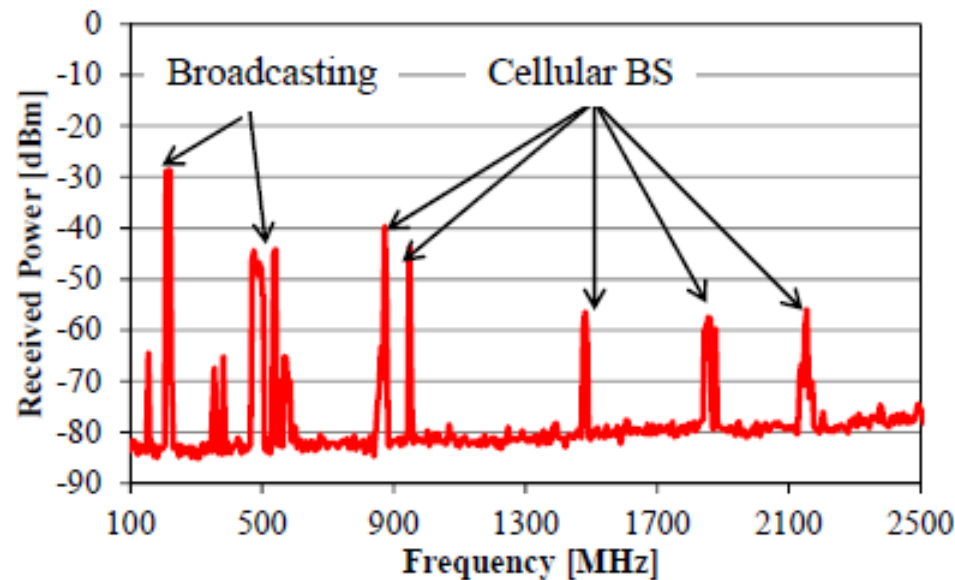
For mobile devices in the place where people gather,
• Station-Airport (Public)
• Conference Arena (Semi-public)
• Meeting room
etc.

現在日本で検討しているシステムが中心の提案

電磁波環境発電

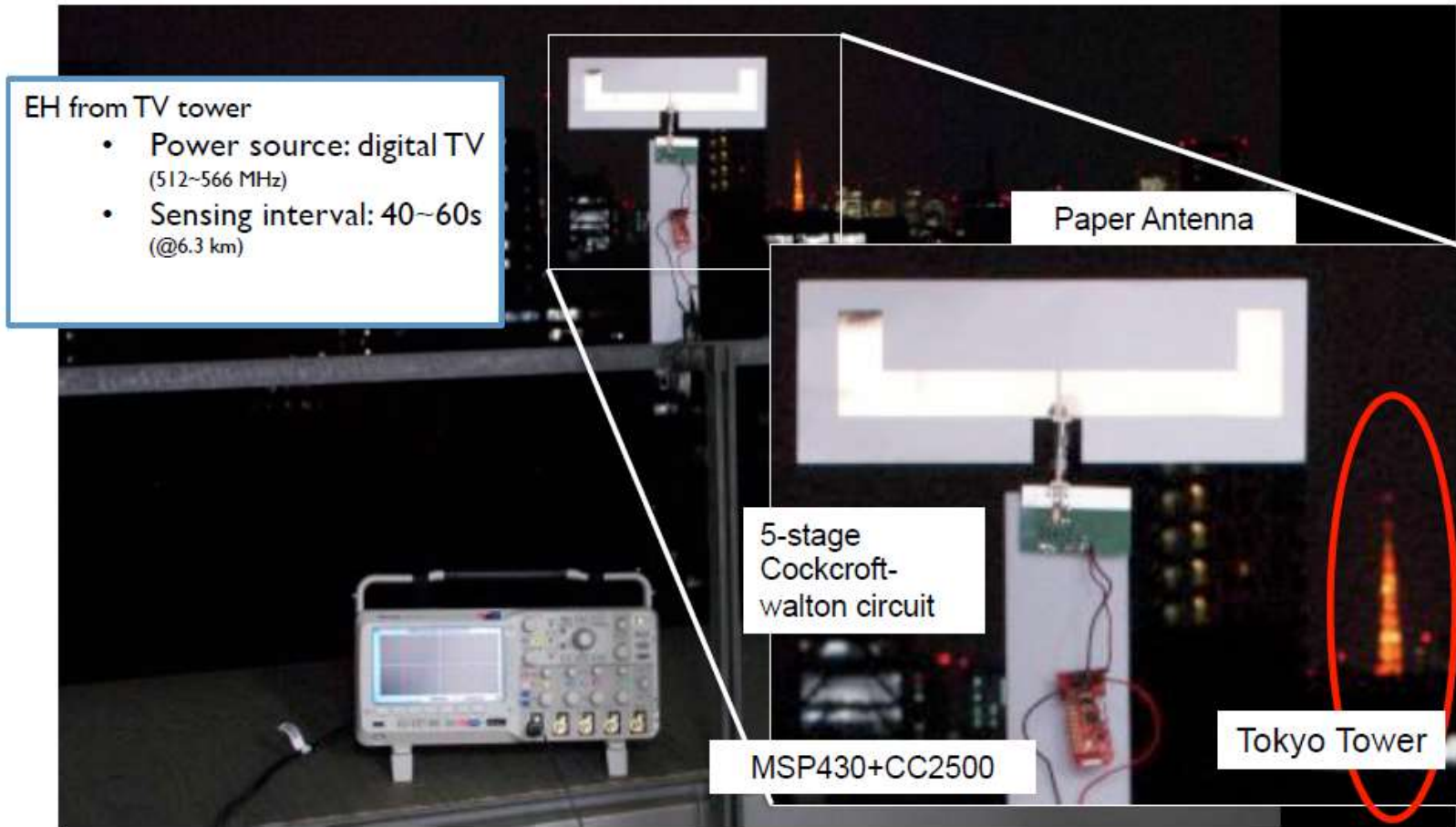
- 通信の電波そのものを
電力に変換 -

Power Density of TV/Mobile Phone in Nara, Japan



Source	Frequency	Received power	Power flux density
Mobile Multimedia	207-222 MHz	-17.2dBm	75.1 μ W/m ²
DTV	470-560 MHz	-25.7 dBm	47.1 μ W/m ²
Cellular BS	860-890 MHz	-26.8 dBm	133.7 μ W/m ²
	2110-2170 MHz	-38.4 dBm	57.0 μ W/m ²

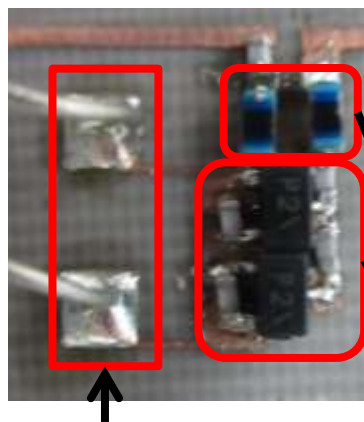
Energy Harvesting from TV Tower Signal by Univ. of Tokyo and Georgia Inst. of Tech.



R. Shigeta, et al., "Ambient RF Energy Harvesting Sensor Device With Capacitor-Leakage-Aware Duty Cycle Control," IEEE Sensors Journal, Vol. 13, No. 8, pp.2973-2983, July 2013.

R. Vyas, et al. "E-WEHP: An Embedded Wireless Energy Harvesting Platform for Powering on Sensors using existing, ambient digital TV Signals present in the Air," IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, Vol. 61, No. 6, pp. 2491-2505, June 2013.

High Impedance Energy Harvester by Kanazawa Inst. Tech.



1.6k Ω Antenna

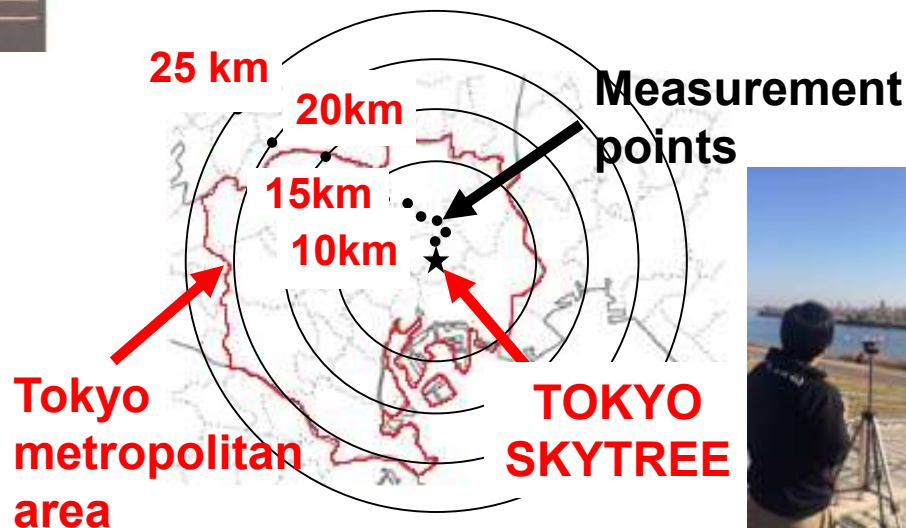


Diode
HSMS-285C

L type LPF

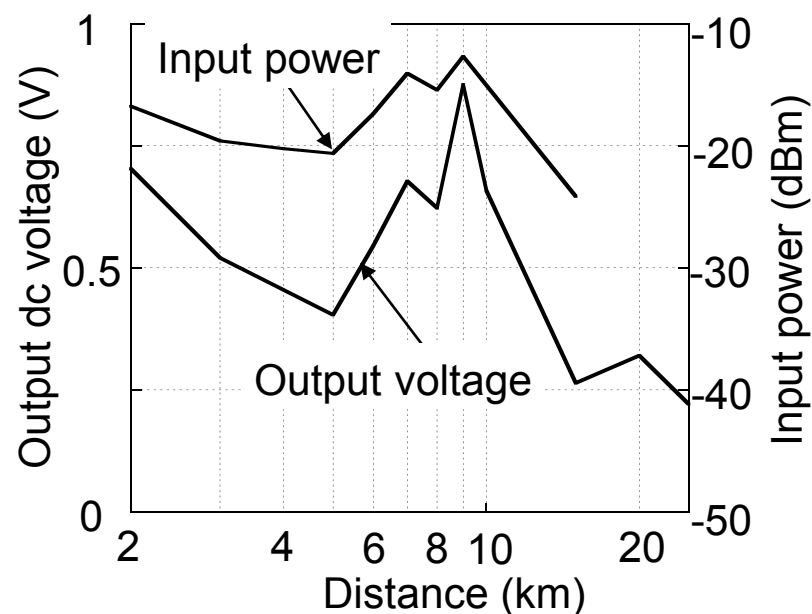
Cockcroft-Walton
type rectifier(m=2)

Load resistance terminals



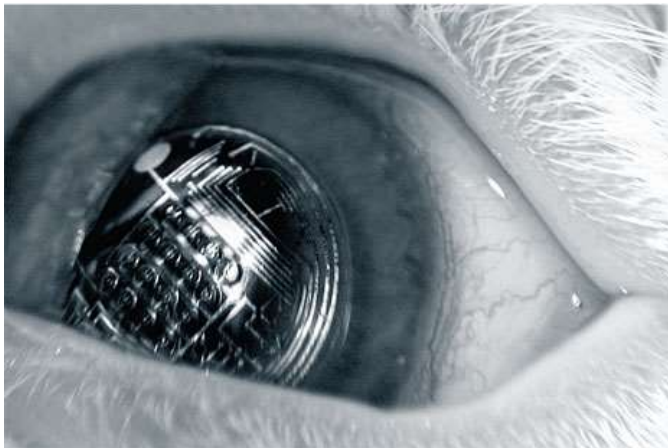
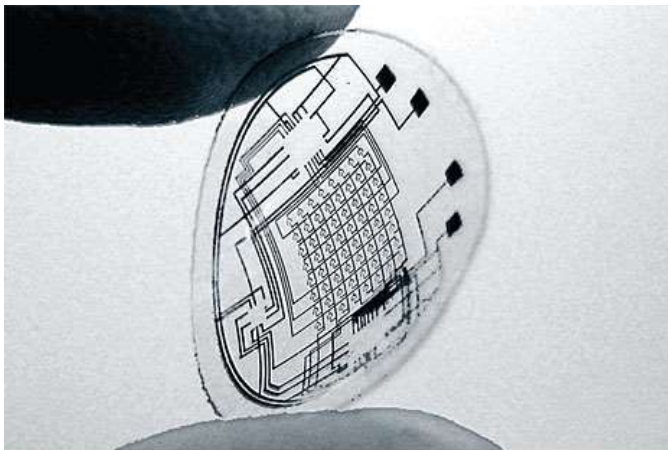
Frequency plan at Tokyo area

Center frequency	ERP	TV Stations
491MHz	11.5 kW	MX
521MHz	69 kW	CX
527MHz	69 kW	TBS
533MHz	69 kW	TX
539MHz	69 kW	EX
545MHz	69 kW	NTV
551MHz	68 kW	NHK(Edu.)
557MHz	68 kW	NHK



WISP (Wireless Identification and Sensing Platform) at University of Washington

Augmented Reality in a Contact Lens



2009

完全バッテリーレス携帯電話

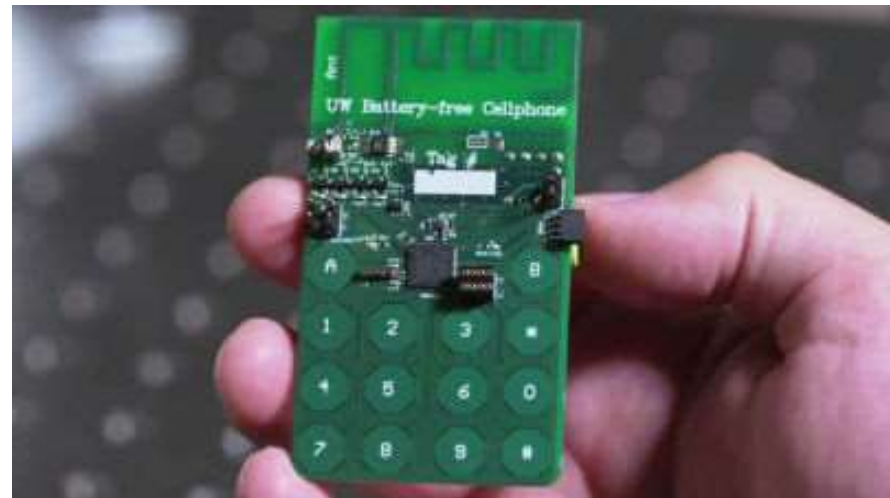


Table 1. Summary of the power consumption of battery-free phone

Component	Power Consumption
Harvester & Power Management	2.15 μW
MSP430 micro-controller (LPM3)	0.86 μW
RF switch	0.22 μW
Biassing & Misc.	0.25 μW
Total	3.48 μW

2017

携帯基地局からドローンに無線充電、ファークウェイが 計画中。将来は無着陸ドローンも:MWC2017



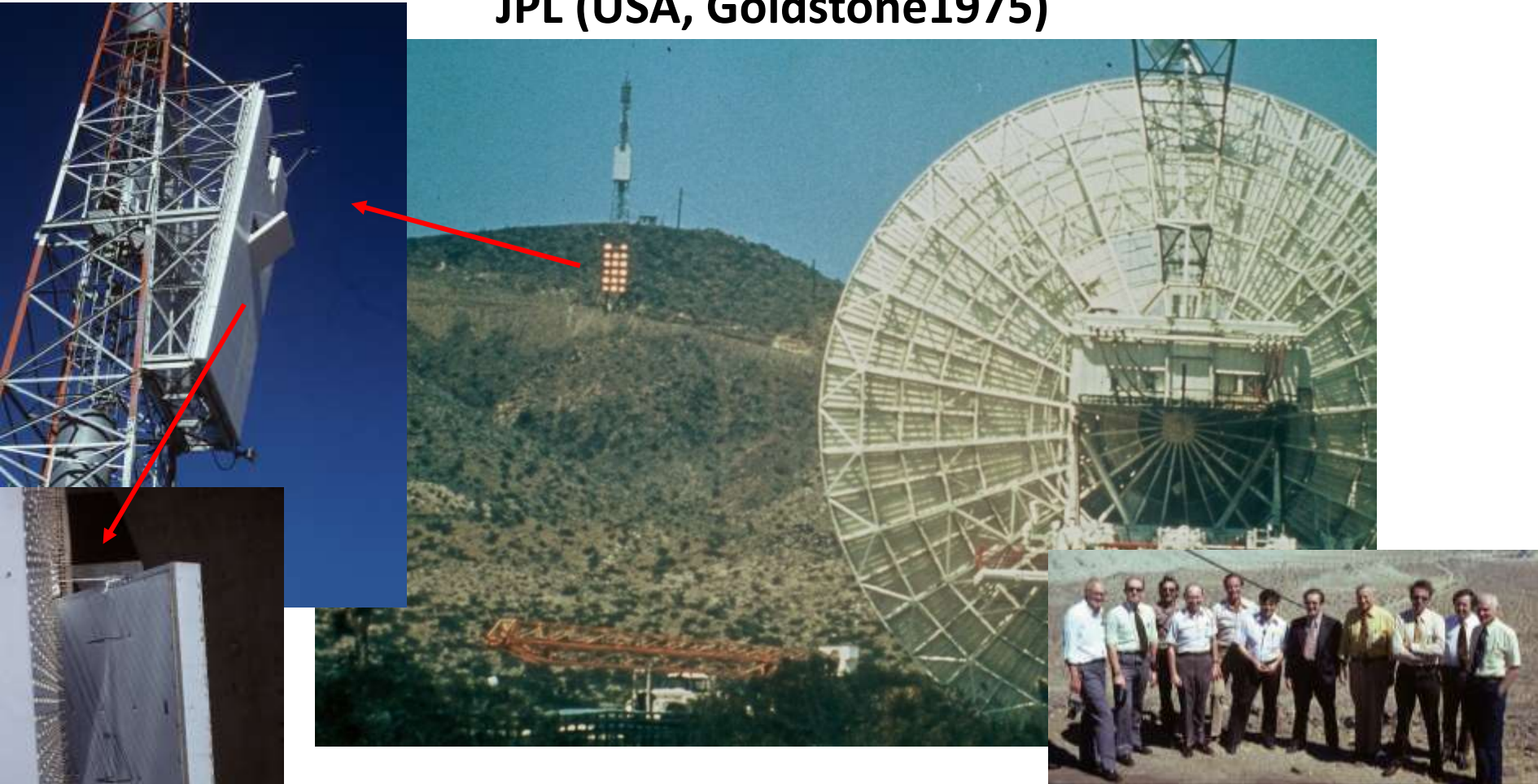
Huawei unveiled a plan **to let cell towers wireless charge drones** at MWC 2017 as part of its X Labs initiative. The idea is that while drones can replace humans to perform inspections of cell towers (climbing towers to inspect them is one of the most dangerous jobs for workers), the combination of interference and the length of time it takes makes this a difficult job for drones to perform. The most challenging part of using a drone to inspect a cell tower is that signal interference from the tower can interfere with the drone's ability to maintain a GPS lock, which can contribute to faster power use by the drone. Huawei hopes to develop a wireless charging technology that can provide additional power to the drone while it's flying around the tower, and also hopes to have the tower boost GPS data sent to the drone. While Huawei acknowledges that the technology is still years in the future, it says that it would improve drone performance and safety. If developed, the solution would also appear to have broader uses, perhaps in other types of building inspection and to improve overall drone navigation in areas where GPS signal interference is an issue.

マイクロ波無線電力伝送(2)

- 長距離大電力, 移動体等へ -

Largest MPT Field Experiments

JPL (USA, Goldstone 1975)



Tx System : 450kW CW Klystron, 2.388GHz, 26 m ϕ Parabolic Antenna

Rx System 3.4m x 7.2m =24.5 m², 30kW DC (82.5%)

Distance : 1.54 km

Estimated Beam Collection Efficiency : 8.1%

WPT to Flying Drone (Airplane)

SHARP Experiment (Canada, 1987)



<http://friendsofcrc.ca/SHARP/sharp.html>

Mechanical Beam Control
with Parabolic Antenna

MILAX Airplane Experiment (Japan, 1992)



Fuel-free Airplane MILAX

Microwave
(2.411GHz)

Transmitter
(1.25kW)



With Kobe Univ., CRL, Nissan motor co., Fuji heavy industry co., ISAS in Japan

Electrical Beam Control with Phased Array

MILAX マイクロ波飛行機実験 by 京都大学他 (1992)



MPT to Flying Drone Demonstration (2019.5.24)



Tx MW Power : 1.6kW, Distance : 30m, Rx DC Power : 42W

by J-Spacesystems, funded by METI

まとめ

ワイヤレス電力社会 (IoT and IoE)

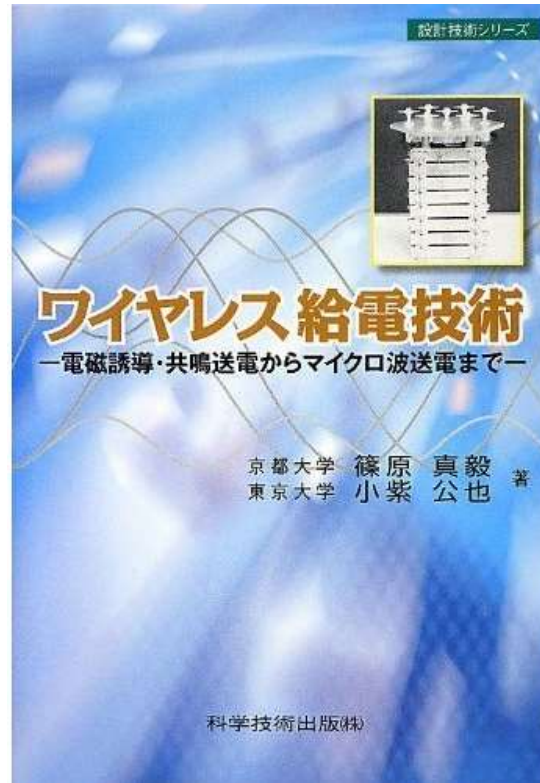


わが国が「技術立国」であるなら、わが国初のイノベーション技術と標準化を!!

WPT Books (1/2)



宇宙太陽発電
篠原真毅(監修)
オーム社, 2012.7
ISBN978-4-274-21233-8
¥3,800+税

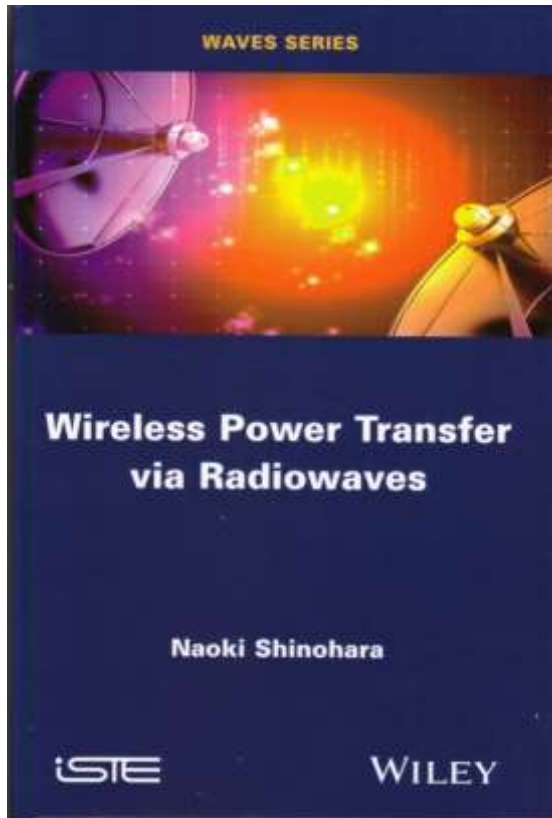


ワイヤレス給電技術
-電磁誘導・共鳴送電から
マイクロ波送電まで-
篠原真毅, 小紫公也(著),
科学情報出版社, 2013.2
ISBN978-4904774021
¥2,800+税



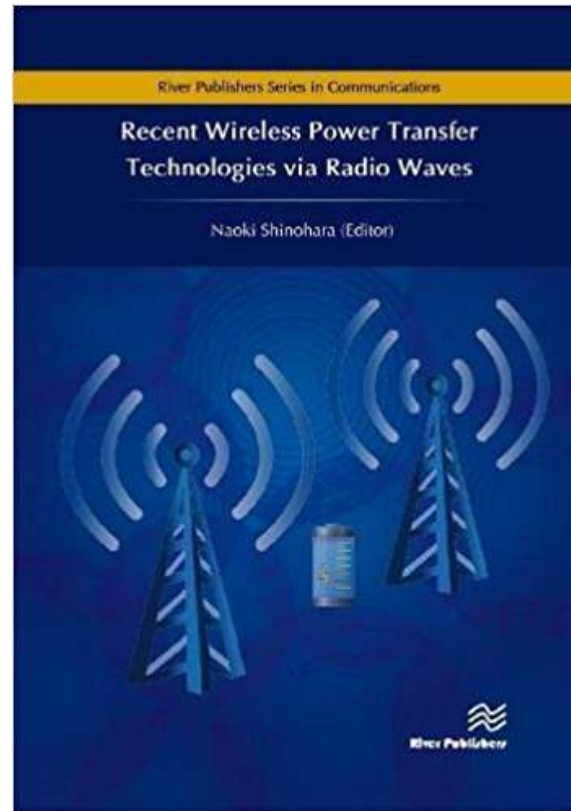
**電界磁界結合型
ワイヤレス給電技術**
-電磁誘導・共鳴送電の理論と応用-
篠原真毅(監修, 著),
科学情報出版社, 2014.12
ISBN978-4-904774-28-1
¥3,600+税

WPT Books (2/2)



Wireless Power Transfer via Radiowaves (Wave Series)

by Naoki Shinohara
ISTE Publishing &
John Wiley & Sons, Inc.,
UK & USA, 2014.1
ISBN 978-1-84821-605-1



Recent Wireless Power Transfer Technologies Via Radio Waves

by Naoki Shinohara (ed.)
River Publishers, EU, 2018.5
ISBN 978-879360-924-2



Wireless Power Transfer: Theory, Technology, and Applications

by Naoki Shinohara (ed.)
Inst of Engineering &
Technology, UK, 2018.11
ISBN 978-178561-346-3