

# ワイヤレス給電とSPS

(宇宙太陽発電, SSPS, SSP, SBSP, 宇宙太陽光発電...)

1) 宇宙太陽発電学会 理事

2) (財)J-Spacesystems 太陽光発電無線送受電技術委員会 委員長

3) IEEE Wireless Power Transfer Conference Advisory Committee Member(Founder)

4) IEEE Microwave Theory Tech. Technical Committee (TC) 26

“Wireless Power Transfer and Conversion” Member

5) International Journal of Wireless Power Transfer (Cambridge Press) Executive Editor

6) 電子情報通信学会無線電力伝送研究会 委員長

7) 日本電磁波エネルギー応用学会 理事

8) (独) 日本学術振興会 電磁波励起反応場第188委員会 委員

9) ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム 代表

10) ワイヤレスパワーマネジメントコンソーシアム 代表

11) エネルギーハーベスティングコンソーシアム アドバイザー

12) 一般社団法人 海洋インバースダム協会 理事

13) 有機太陽電池研究コンソーシアム 幹事

京都大学 生存圏研究所 教授

**篠原真毅**

# SPSの技術/波及効果



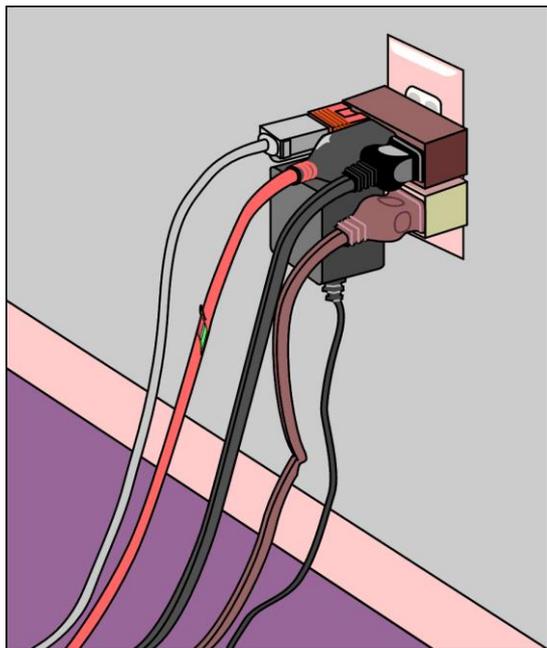
関連する新エネルギー技術・環境技術産業分野

# 無線電力伝送(ワイヤレス給電)とは

電気を送る(送電)

+ 電波で情報を送る =

電波で電気を送る  
(ワイヤレス給電)



発電所から家庭まで  
電線で電気を送る



ラジオ放送



TV放送

携帯電話

放送局から受信機まで空間  
を電波に乗せた情報を送る



情報通信はほぼ無線化された

次は電力も無線化を!!

# ワイヤレス給電とSPS (1960-2000頃)

## SPS研究



## ワイヤレス給電研究

- ワイヤレス給電(マイクロ波送電)はSPS以外のキラードームがなかった
- 理論的なアンテナサイズの限界の印象が悪く、高周波ゆえの高コスト、低効率も問題
- SPSはマイクロ波送電により「発電量が5-7倍」というアドバンテージが付加

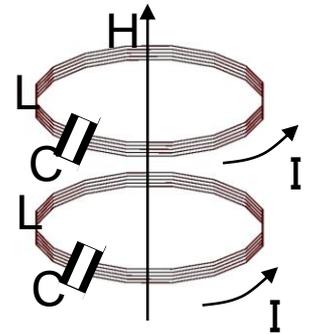
# ワイヤレス給電とSPS (2000頃-)

---



- ワイヤレス給電(マイクロ波送電)は様々なキラーアプリが存在
- 理論・技術的な限界を踏まえてもなお「ワイヤレスで給電したい」要求が増加
- SPSとマイクロ波送電が相乗作用で発展を目指す

# MITによるワイヤレス給電革命(コロンブスの卵)(2007)

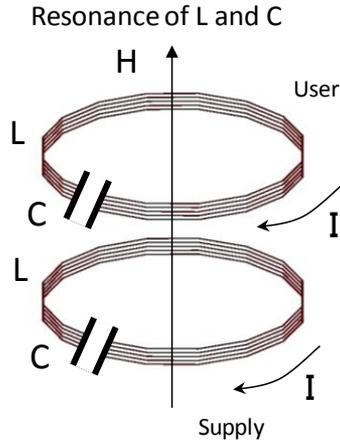


Coil (L) + C  
= Resonance  
: Expansion of  
WPT distance

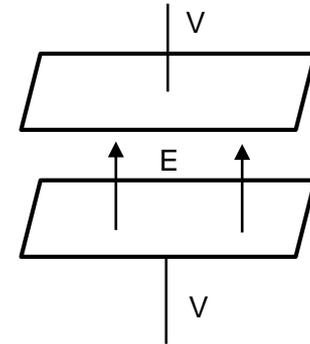
Inductive Resonant Coupling

# Various Wireless Power Transfer

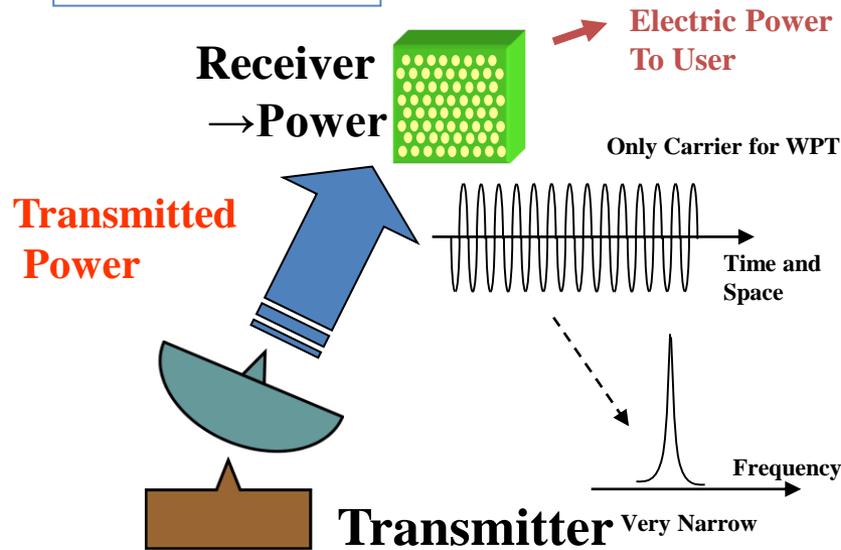
Inductive Coupling or (Magnetic) Resonance Coupling



Conductive Coupling or (Electric) Resonance Coupling



Radio Waves (Microwaves)

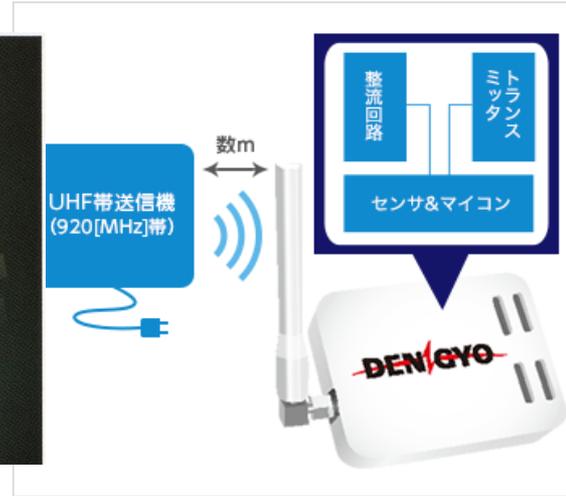


# いろいろなワイヤレス給電商品

非接触タイプ (磁場・電場利用)

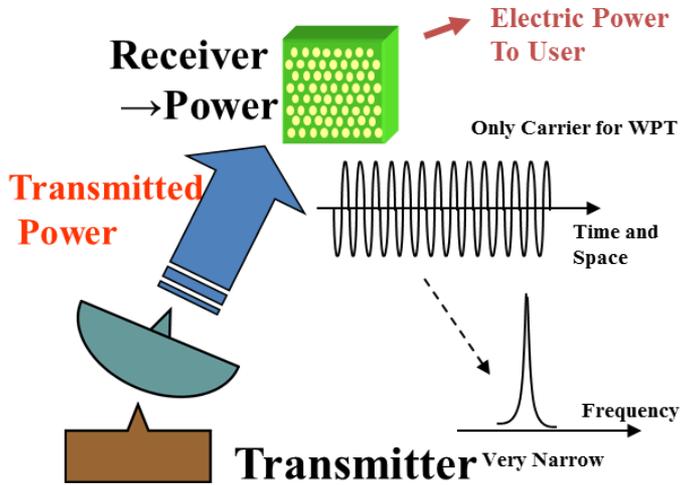


距離タイプ (電波利用)

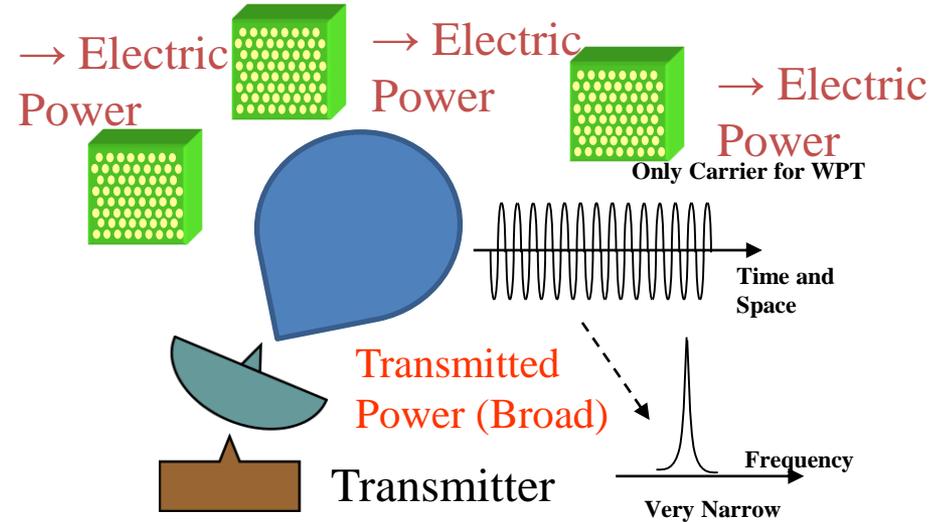


# Various Wireless Power Transfer via Radiowaves

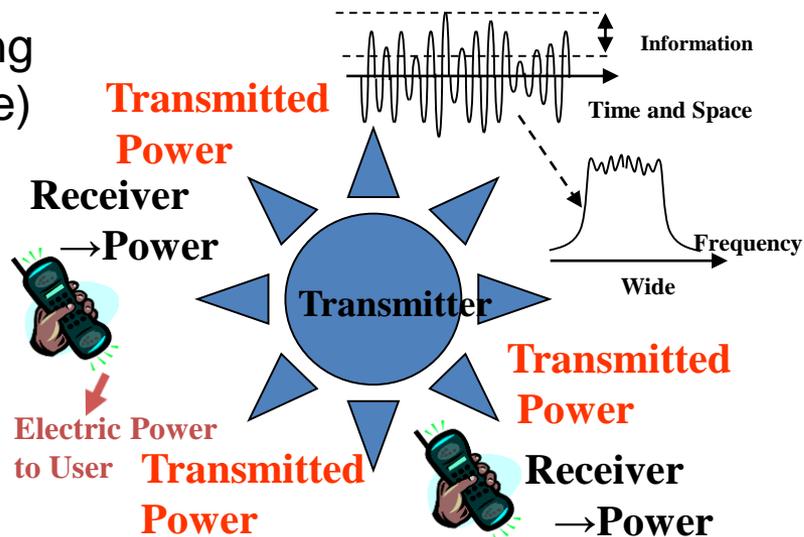
(a) Beam-type  
(High efficiency with higher frequency)



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



(c) Energy Harvesting  
(No power source)



# 最近の京大マイクロ波無線電力伝送研究の例



建物内無線配電



電気自動車無線充電

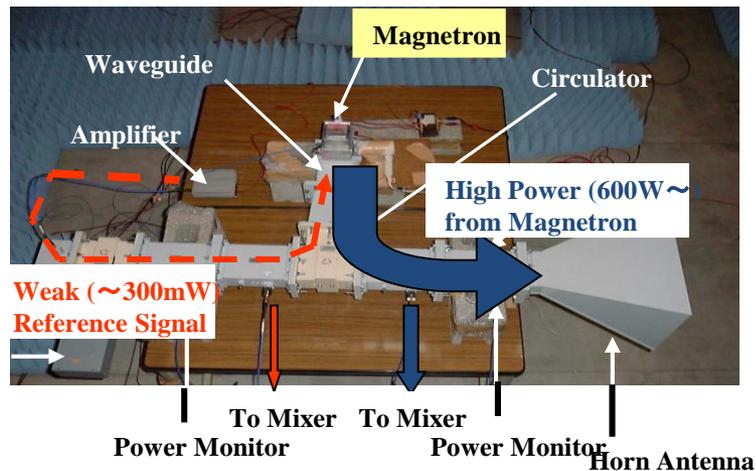


緊急時無線送電  
(飛行船から地上への無線送電)



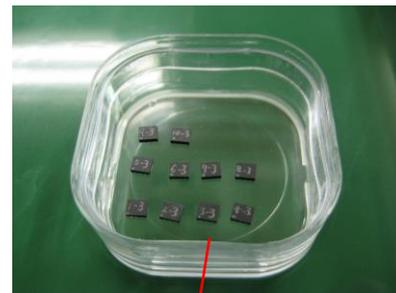
電池レス  
センサー

無線送電用フェーズド  
アレー(GaNアンプ)

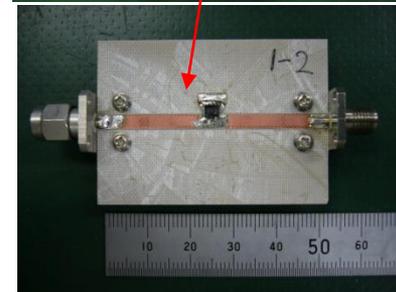


位相制御マグネトロン  
GaNダイオードレクテナ

徳島大が  
開発した  
GaNダ  
イオード



京大が  
開発した  
レクテナ  
整流回路



# 電磁波のHarvesting (by Intel)

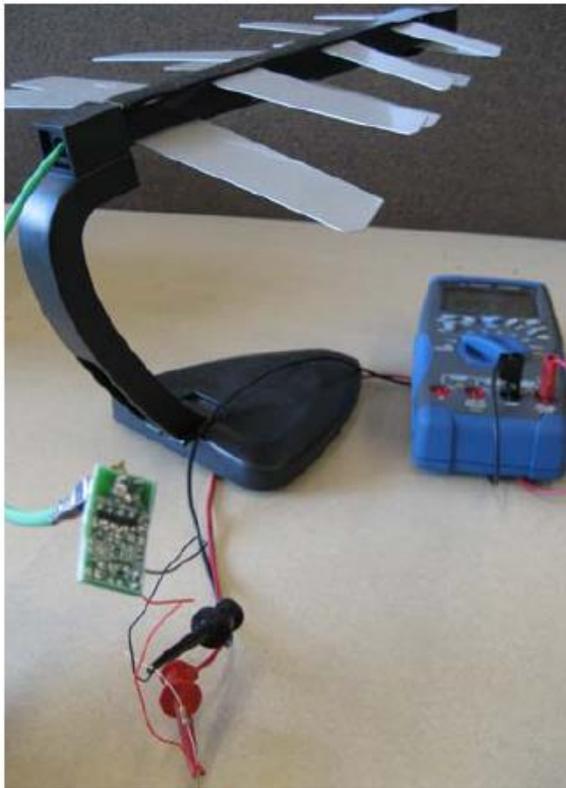


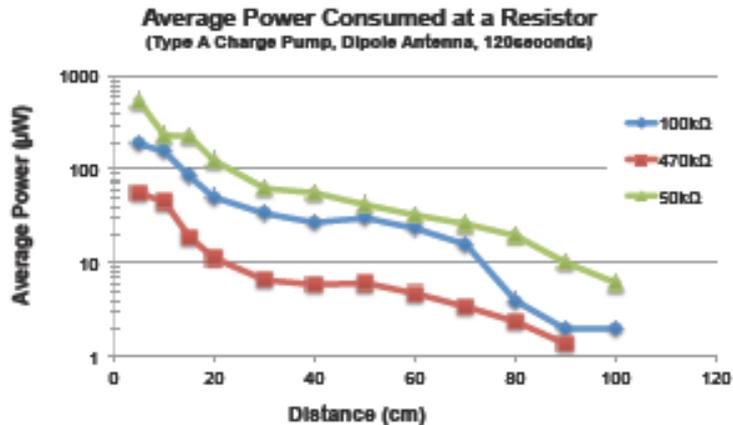
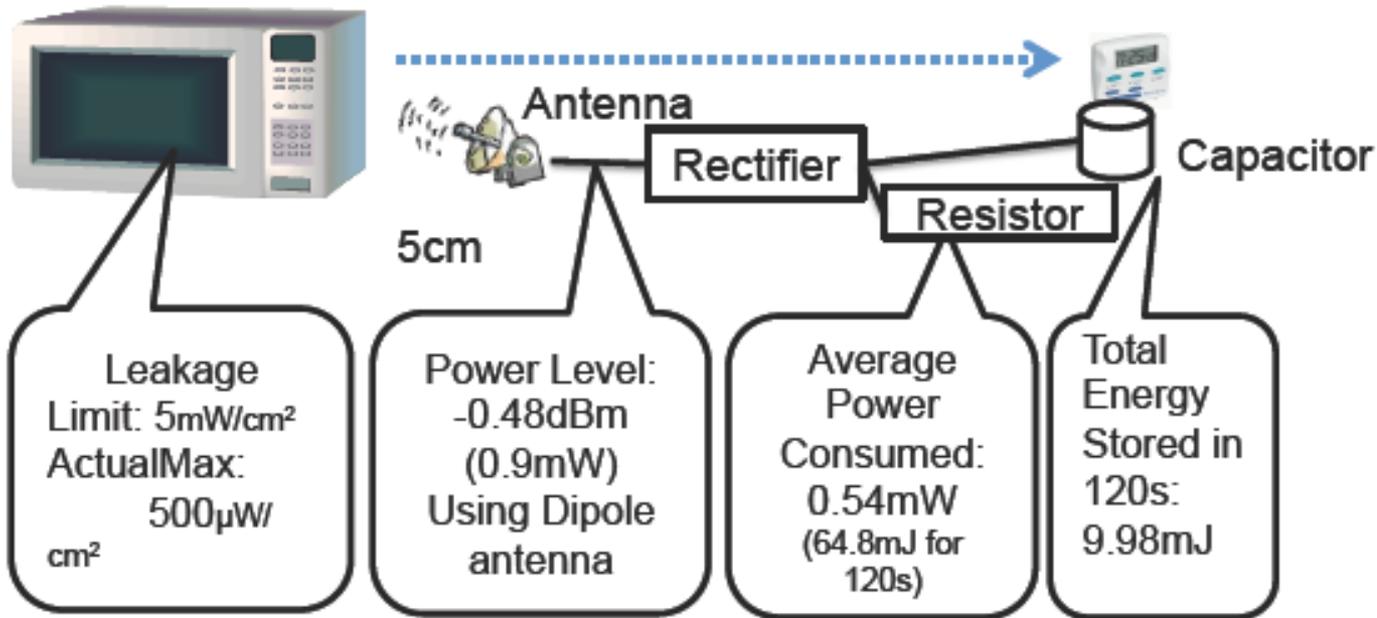
Fig. 6. Apparatus for ambient RF harvesting experiment. The power harvester is the PC board in the lower left. The harvester is fed by the log period antenna. The harvester output is connected to an 8K Ohm resistive load and a volt meter.



Fig. 7. Operating a temperature and humidity meter (including LCD display) using only ambient RF power.

- broadcasts 960kW ERP on channel 48, at 674 - 680 MHz
- distance of 4.1km
- broadband log periodic antenna (5 dBi) designed for TV applications and a 4 stage power harvesting circuit
- The bandwidth of the tuned front end : approximately 30MHz
- The measured open circuit voltage : 5.0V
- Across an 8K Ohm load, they measured 0.7V, which corresponds to 60uW of power harvested.

# Prof. Kawahara's Lab. in Tokyo Univ.



Y. Kawahara et al., "Power Harvesting from Microwave Oven Electromagnetic Leakage," UbiComp 2013 , pp. 373-382, Zurich, CH, Sept. 2013.

566 Alpha Drive  
Pittsburgh, PA 15238 USA  
www.powercastco.com



RF Wireless Power  
company founded  
in 2003



Emerging  
Technology



P2100  
Powerharvester®



EDN  
2010  
Hot 100  
TX91501  
Powercaster®



P2110  
Powerharvester®



P2110  
Powerharvester®

## PCC110 – RF to DC Converter

- High conversion efficiency, up to 75%
- Converts low-level RF signals enabling long range applications
- RF operating range: -18dBm to +20dBm
- Frequency range: 10MHz to 6GHz
- Harvests from all modulation types
- Interoperable with numerous RF sources: Powercast TX91501 transmitter, RFID readers, Mobile Phones, Wi-Fi routers, etc.
- SC-70 package



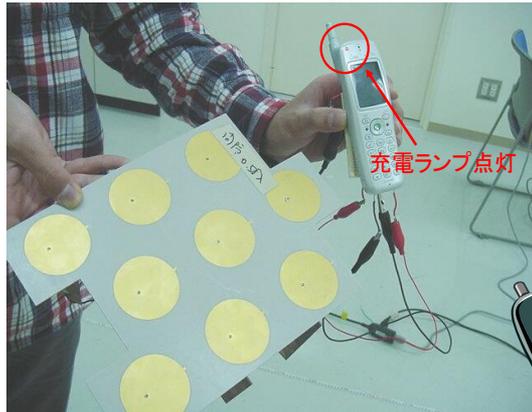
## Wireless Christmas Tree

Eliminates interconnecting wires  
Two RF transmitters located inside  
the tree  
A passive harvester directly drives  
each LED, 100 per tree  
Numerous lighting effects can be  
achieved via patented modulation  
techniques



# マイクロ波無線電力伝送応用例: ユビキタス電源

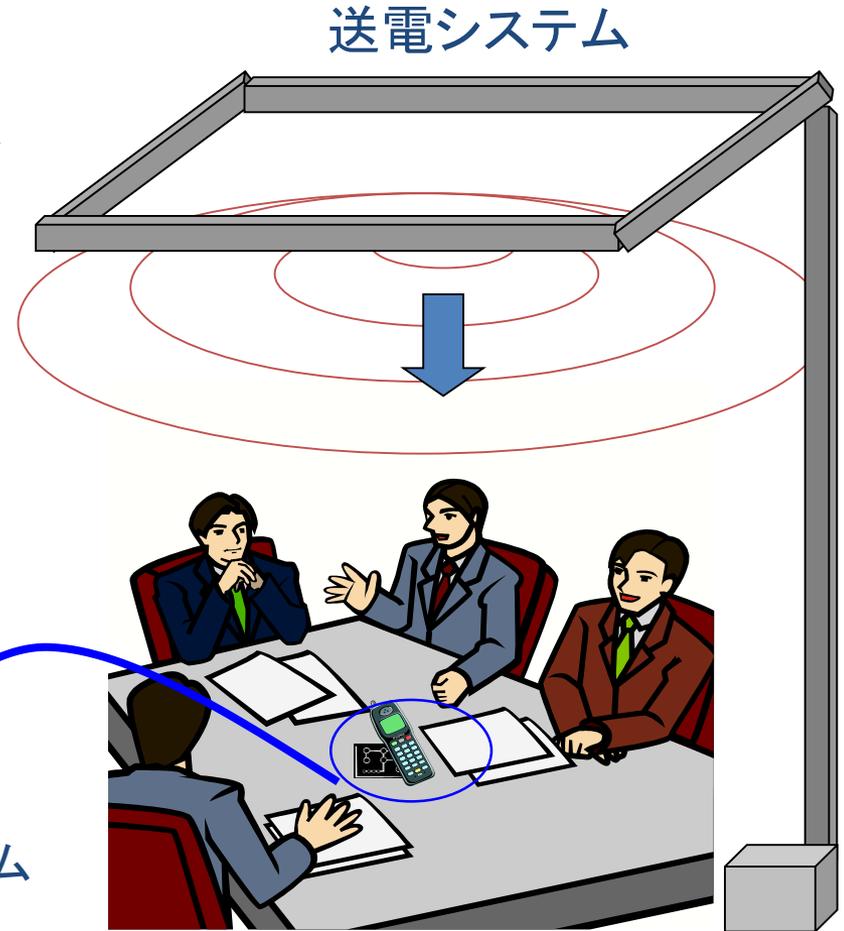
マイクロ波を用いて低消費電力(mW- $\mu$ W)の携帯機器等のバッテリーレス駆動、コードレス充電等、コンセントレスのユビキタス電源として利用。携帯電話の充電や、バッテリー内蔵の困難なICカード/タグの電磁誘導にかわる数 m の距離からの駆動が可能になる。



## 「ユビキタス電源」の実現



受電システム



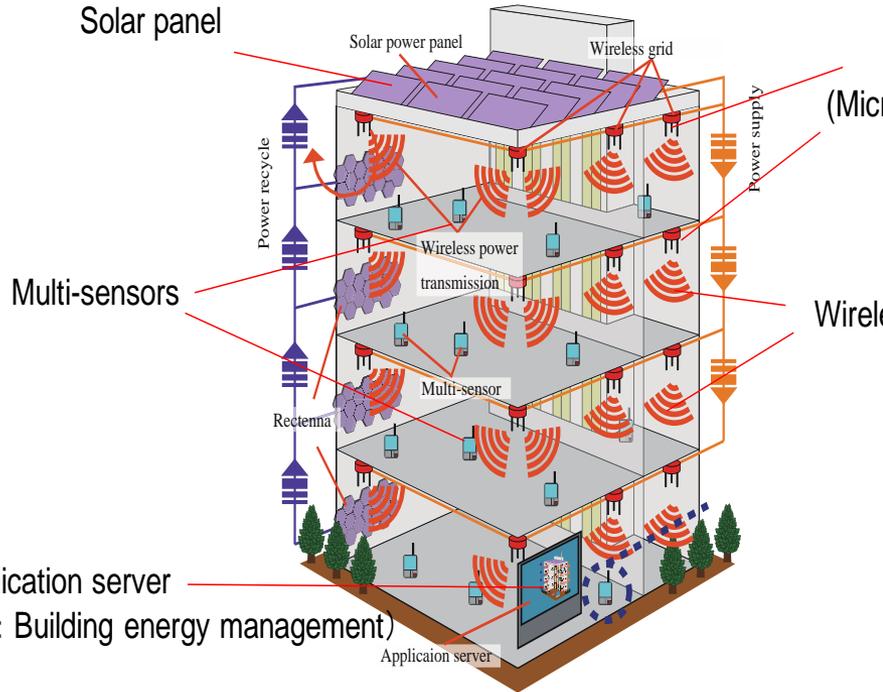
ユビキタス電源とは、電源のユビキタス化を実現したもので、微弱な電磁波を用いてエネルギー伝送を行い、ある空間内の至るところでIT機器をバッテリーレスで駆動させるシステム

- ・機器の自由度に制限がなくなる
- ・IT機器の小型化が行える

ある空間内の至るところで給電できるユビキタス電源

↓  
「無線電力空間」

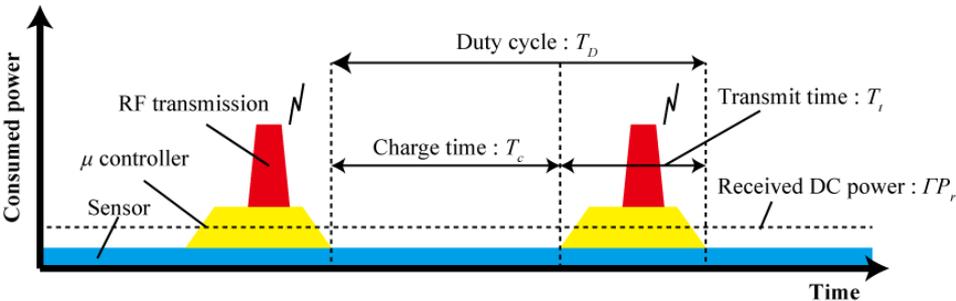
# 大阪大学 阪口研究室



Wireless grid  
(Microwave illumination)

920MHz,  
1W system

Wireless energy charging



# Commercial Product of Rectenna for Energy Harvesting

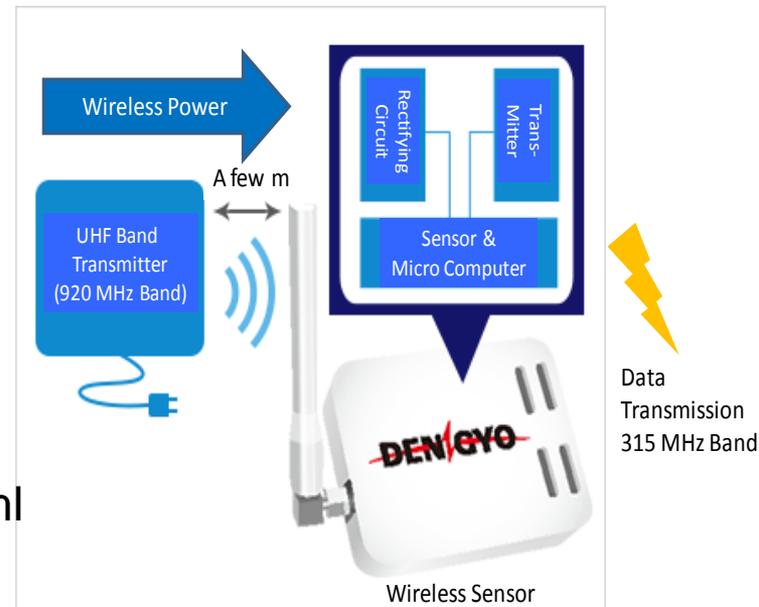
- 90% RF-DC Conversion Efficiency at 2GHz-Band (by Nihon Dengyo Kosaku, co.)



<http://www.den-gyo.com/technology/index.html>

- Battery-less Sensor (by Nihon Dengyo Kosaku, co.)

[http://www.den-gyo.com/solution/solution10\\_b.html](http://www.den-gyo.com/solution/solution10_b.html)



# 米ベンチャーOssia社が発表した 空中送電技術「Cota」

@ TechCrunch disrupt 2013 (2013/9)

---



- 30フィート(約9メートル)離れた位置へ1Wの電力を送信可能
- 100フィート(約30メートル)離れた位置でも、送電元の電力のおよそ10%を受電可能
- Cotaが利用している帯域は現在商用化されていないもので、安全かつ効率的に電力を送信するための「スイートスポット」
- 現状では送電部が大きめのタワーPCほどのサイズになってしまっているため、コンシューマー向けの製品化にあたってはこの部分のサイズダウンが必要
- 商業向け製品は数ヶ月以内に出荷予定。さらに、2015年までにはコンシューマー製品も投入するとのこと

<http://ggsoku.com/tech/cota-by-ossia/>

<http://techcrunch.com/2013/09/09/cota-by-ossia-wireless-power/>

国内の学会活動  
- 電子情報通信学会  
無線電力伝送研究会 -

# 電子情報通信学会 無線電力伝送研究会(WPT研) (2014- )

<http://www.ieice.org/~wpt/>

## 【本研究専門委員会に取り扱う主な分野】

- 1.無線電力伝送 マイクロ波送受電, 電磁誘導, 共鳴送電, レーザ送受電, エネルギーハーベスティング, システムの原理と構成法
- 2.送受電装置・伝送 カップリング, 無線電力伝送用コイル, 共振器, 送受電アンテナ, 無線電力伝送のための到来方向推定, レトロディレクティブシステム, 無線電力伝送用フェーズドアレーアンテナ, プラズマ中無線電力伝送
- 3.RF回路技術 電源回路, BPF, マイクロ波能動素子, マイクロ波管, レクテナ, インバータ, 高出力増幅器, 整流回路
- 4.応用技術 宇宙太陽発電, 携帯電話, モバイル機器, 電気自動車, センサーネットワーク, ユビキタス電源, RF-ID・無線タグ
- 5.環境問題 電子機器への電磁干渉, 無線通信への電磁干渉, 動植物や生態系への電磁波の影響, パブリックアクセプタンス, 温室効果ガス削減技術

## 【連携する研究会・学会等】(併催, 共催, 協賛実績あり)

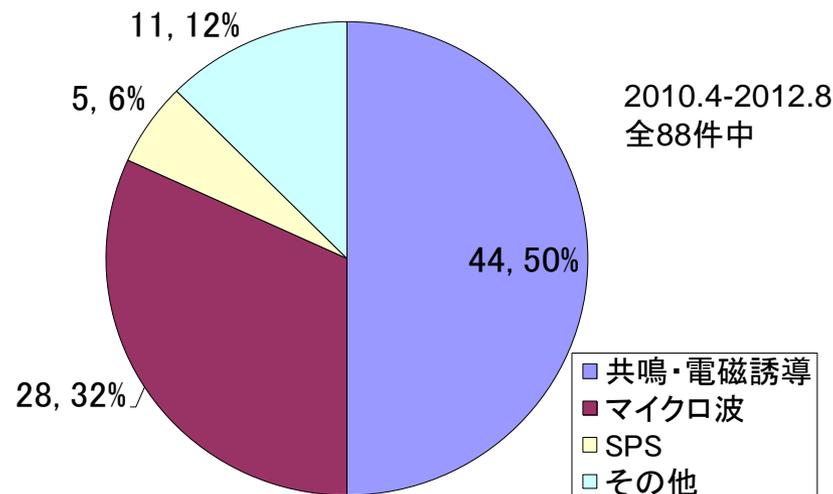
電子情報通信学会 AP研, MW研, EE研, EMCJ研 他

パワーエレクトロニクス学会 他

公益社団法人自動車技術会, ブロードバンドワイヤレスフォーラム 他

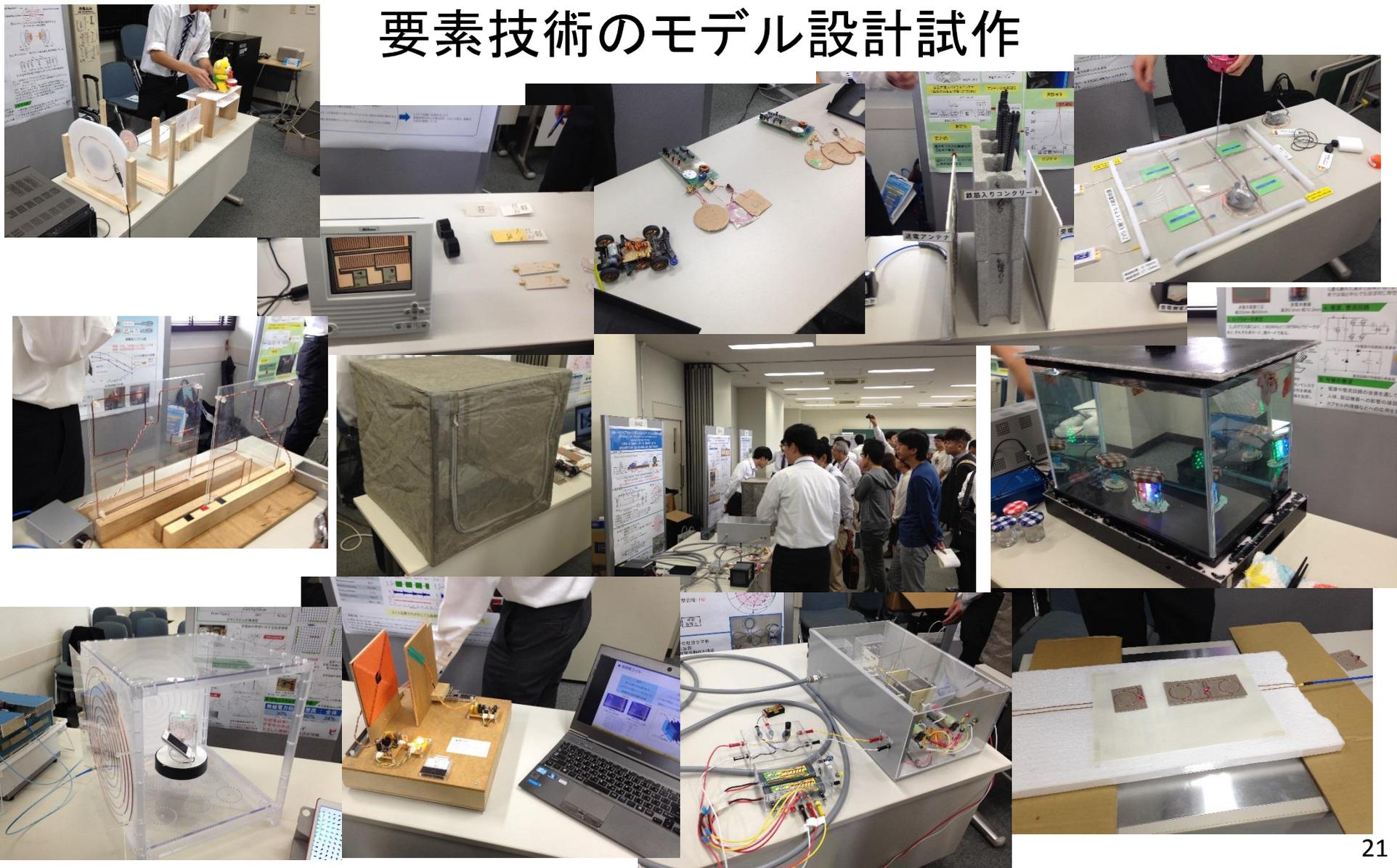
# 研究発表の推移

- 2002-2009 (SPS研)
  - 174件 /28回 (6.2件/回, 21.8件/年)
- 2010 (WPT2種研) 30件/5回 (6件/回), 参加者 246人
- 2011 (WPT2種研) 40件/4回 (10件/回), 参加者 334人
- 2012 (WPT2種研) 64件/6回 (10.6件/回) 参加者, 500名
- 2013 (WPT2種研) 43件/6回 (7件/回), 参加者 421名
- **2014 (WPT研) 57件/4回 (14.2件/回), 技報年間予約 >138**



# 電子情報通信学会ソサイエティ大会企画

## BI-8. 大学高専発ワイヤレス電力伝送システムと要素技術のモデル設計試作



# 海外の学会活動

## IEEE他

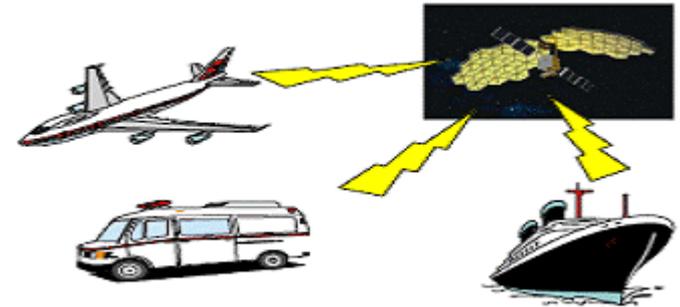
# IEEE MTTs TC-26

“Wireless Energy Transfer and Conversion”

<http://www.mtt-archives.org/~mtt26/>

---

For the last several decades, wireless power supply and energy transmission has been paid much attention. The committee promotes the Wireless Energy/Power Transmission (WE/PT) technology to the fixed access as well as the mobile communication with the near-field to the long distance. In addition, the energy harvesting related to WE/PT is also discussed in this committee.



## [MISSION]

MTT promotes the Wireless Energy or Power Transmission and conversion technologies, using either near-field or far-field techniques, for either fixed or mobile access platforms. Wireless energy harvesting from radio-frequency (RF) sources is also part of the interest of this committee.

# IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTc)



2<sup>nd</sup> WPTC (2014)  
in Jeju, Korea

3<sup>rd</sup> WPTC (2015)  
in Boulder, USA

1<sup>st</sup> WPTC (2013)  
in Perugia, Italy

1<sup>st</sup> IMWS-IWPT (2011)  
2<sup>nd</sup> IMWS-IWPT (2012)  
in Kyoto, Japan



# 2011 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications (IMWS-IWPT2011)



Opening



Oral Session



Oral Session



Poster Session



Award Winners



Banquet

**47 Oral Presentations** on 1 Keynote Session and 10 Oral Sessions

**21 Paper** Presentations on 1 Poster Session

**176 Audiences**

# WPTc2015 @ Boulder, Colorado, USA



**IEEE Wireless Power Transfer Conference 2015**  
**Technology, Devices, Systems**  
**May 13-15, 2015, Boulder, Colorado, U.S.A.**

[www.wptc2015.org](http://www.wptc2015.org) Submission deadline: January 16, 2015

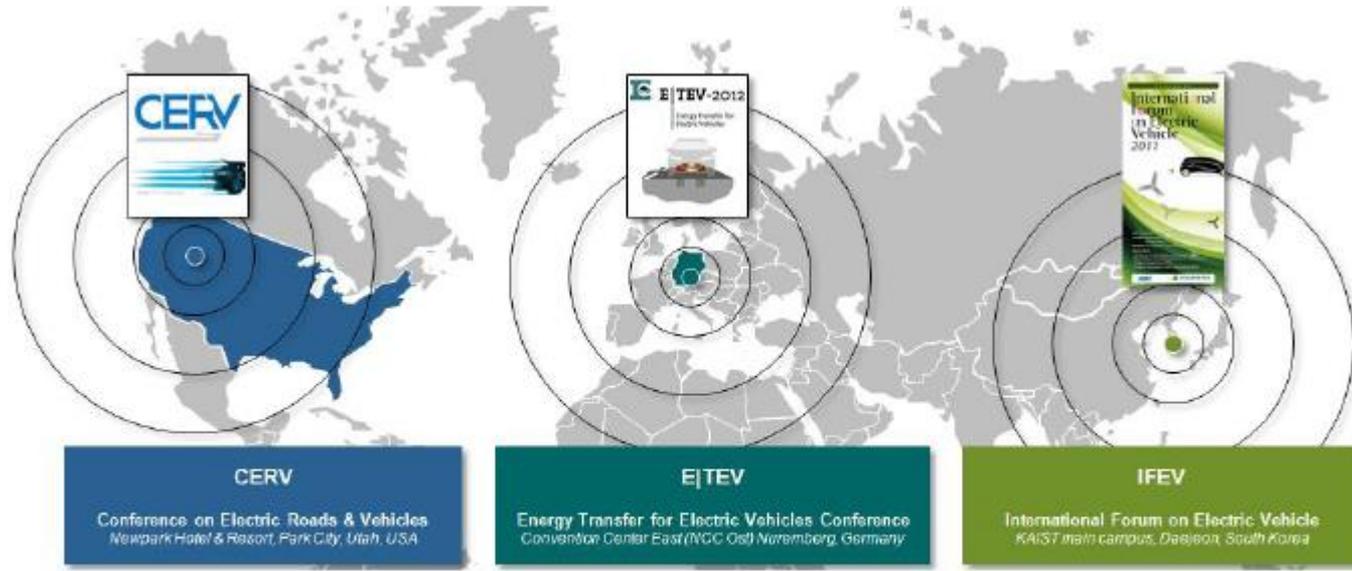
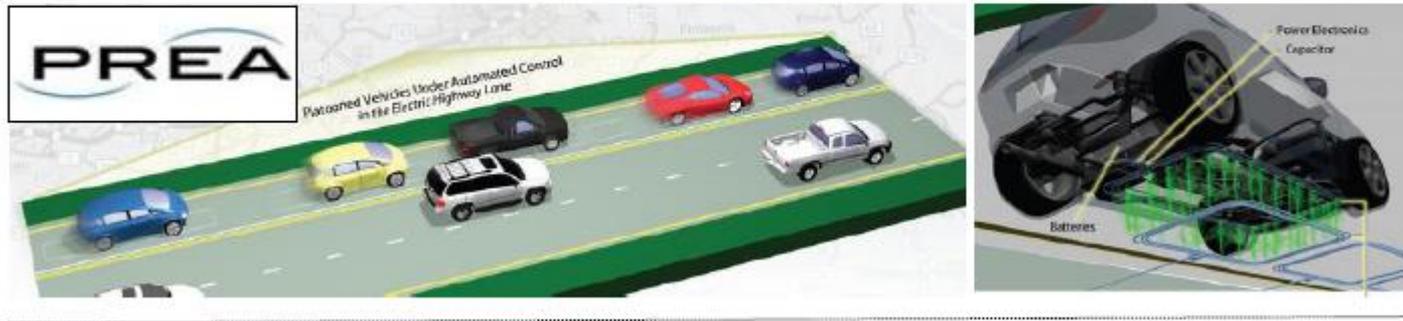
May 17 (Sun.) – 22 (Fri.), 2015

International Microwave Symposium 2015 (IMS2015)

@ Phoenix, Arizona

<http://ims2015.org/>

There are international conferences as a platform for the exchange of experiences for Roadway Electrification and Automation.



CREV @ US (from 2012)  
 (Conference on Electric Roads & Vehicles)  
 Feb. 9-10, 2015

E|TEV @ Euro (from 2011)  
 (Energy Transfer for Electric Vehicle)  
 Sep 15-16, 2015

IFEV @ Asia (from 2011)  
 (International Forum on Electric Vehicle)  
 Mar. 12, 2014

Coming in 2014

A new journal from Cambridge

# Wireless Power Transfer

[journals.cambridge.org/wpt](http://journals.cambridge.org/wpt)

*Wireless Power Transfer* will be the first journal dedicated to publishing original research and industrial developments relating to wireless power. The Journal will pull together research from across the field, covering aspects such as RF technology, near-field energy transfer, energy conversion and management, electromagnetic harvesting, novel materials and fabrication techniques, energy storage elements, and RFID-related electronics. *WPT* will cover all methods of wireless power transfer and articles will reflect the full diversity of applications for this technology, including mobile communications, medical implants, automotive technology, and spacecraft engineering.

#### Editor

Apostolos Georgiadis, CTTC, Spain

#### Executive Editors

Nuno Borges Carvalho, University of Aveiro  
Shigeo Kawasaki, Japan Space eXploration Agency  
Manos Tentzeris, Georgia Tech

Alessandra Costanzo, University of Bologna  
Joshua R Smith, University of Washington  
Patrick Hu, University of Auckland

#### Editorial Board

Ana Collado, CTTC  
Zhizhang (David) Chen, Dalhousie University  
Stepan Lucyszyn, Imperial College London  
Hendrik Rogier, Ghent University  
B W Flynn, University of Edinburgh  
Christos Kalialakis, EETT  
Yoshihiro Kawahara, Tokyo Institute of Technology  
Hiroyuki Arai, Yokohama National University  
Naoki Shinohara, Kyoto University

Gerald DeJean, Microsoft  
Mina Danesh, Wibicom  
Stavros Georgakopoulos, Florida International University  
Paul D. Mitcheson, Imperial College London  
Luca Roselli, University of Perugia  
Ki Young Kim, Samsung  
Debabani Choudhury, Intel

# New Online Journal of WPT

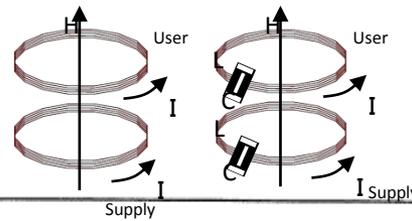
国内外の標準化活動  
WPC, PMA, A4WP, WiPE,  
BWF, WiPoT, WPMc, EHC, ...

# 最近の世界のワイヤレス給電の実用化・標準化状況

---

- 「置くだけ充電器」(電磁誘導・共鳴送電)
  - WPC, A4WP, PMAの3大グループのStandard Battle (5W以下)
  - ドイツ中心の実証実験・標準化 (EV用, kW-MW)
  - 米Bosh社のEV-WPT Chargerの販売 (EV用, kW)
  - ⇔ 日本: 総務省BWFの標準化、WPMcの実用促進(代表京大篠原)
- 距離のあるワイヤレス給電 (電磁波・マイクロ波)
  - EUのCOST-WiPEにおけるRF-ID, IoT, ワイヤレス給電のコンソーシアム活動
  - 米Ossia社の電磁波スマートフォンワイヤレス充電システムCotaの販売
  - ⇔ 日本: WiPoT(代表京大篠原)の活動

# Standards Battle



- Founded in 2009, 145+ members
- Integrated compatibility in Nokia, LG phones
- Integrated compatibility in Google (Asus) Nexus 7 (2<sup>nd</sup> Gen) Tablet
- Tightly coupled (inductive) specification
- The “first” with the largest membership. Millions of products in the market



- Founded in Oct 2012. Powermat, Starbucks, ATT as founding Members
- IEEE affiliation
- ATT: “PMA-certified wireless charging solutions by 2014”
- Witricity joined in May 2013
- Currently all accessory based



- Founded in May 2012 by Samsung & Qualcomm. Intel joined in June 2013
- 60+ Members
- Draft spec approved in Oct 2012
- Focussed on magnetic resonant technology at 6.78 MHz
- Test kits shipping, no product in market
- #1 smartphone and #1 smartphone chipset suppliers...

# WIPE Activities in Europe

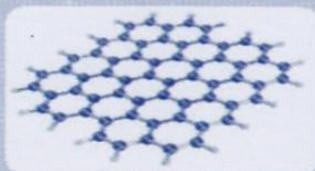


**IC1301 – WIPE**

**Wireless Power Transmission for Sustainable Electronics**

@ [www.cost-ic1301.org](http://www.cost-ic1301.org)

# WIPE Activities in Europe



WG1: Far-field  
WPT systems

WG2: Near-  
field WPT  
Systems

WG3: Novel  
Materials and  
Technologies

WG4:  
Applications

WG5:  
Regulation and  
Society impact

## Companies

Thales Systèmes Aéroportés  
TeleMobile Electronics  
ACORDE Technologies S.A.  
THALES Systèmes Aéroportés  
Drayson Wireless

## Research Institutes

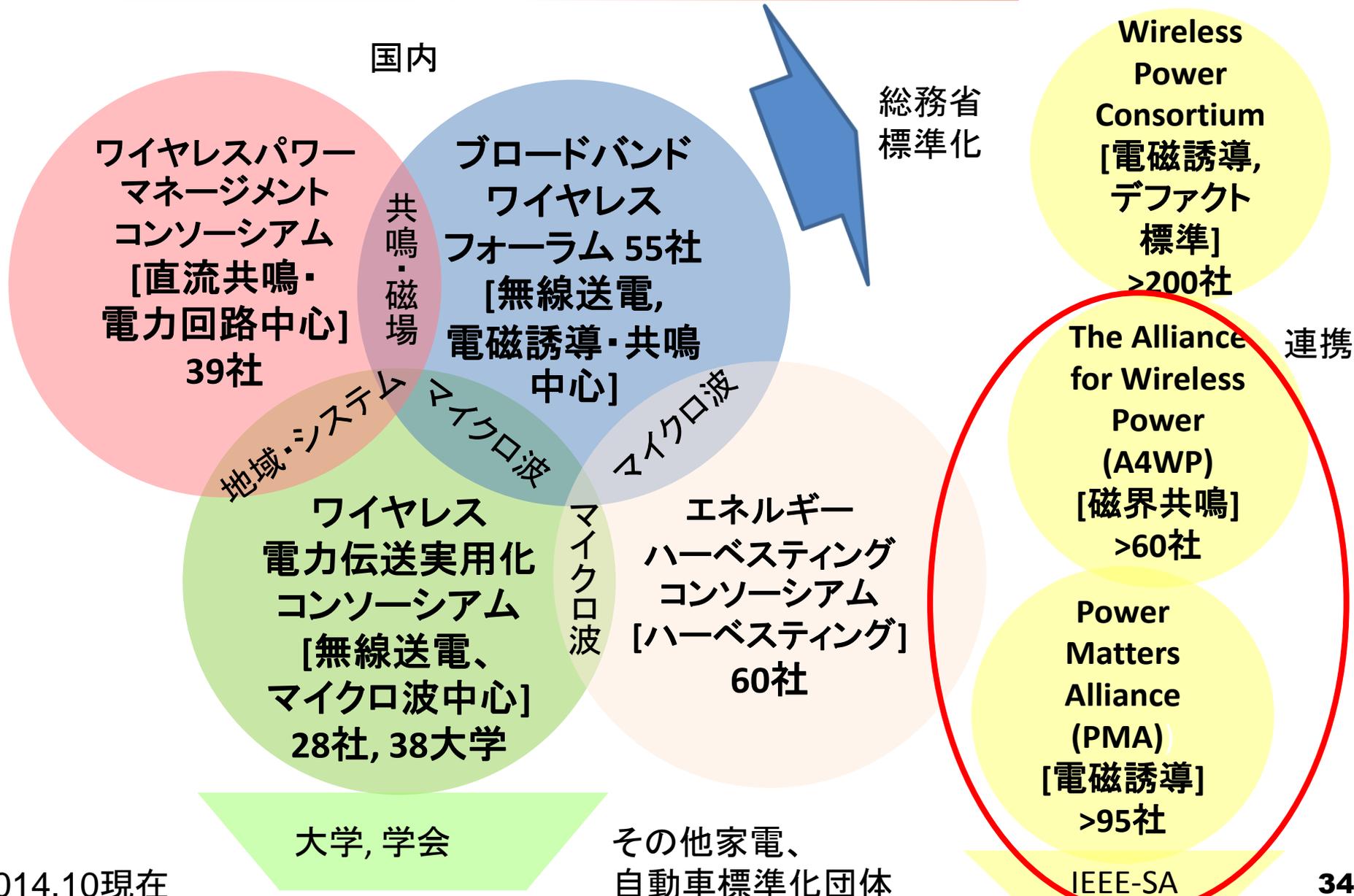
IT - University of Aveiro  
INESC TEC  
CTTC  
CNRS LAAS  
Instituto de Telecomunicações  
Oslo University Hospital

## Universities

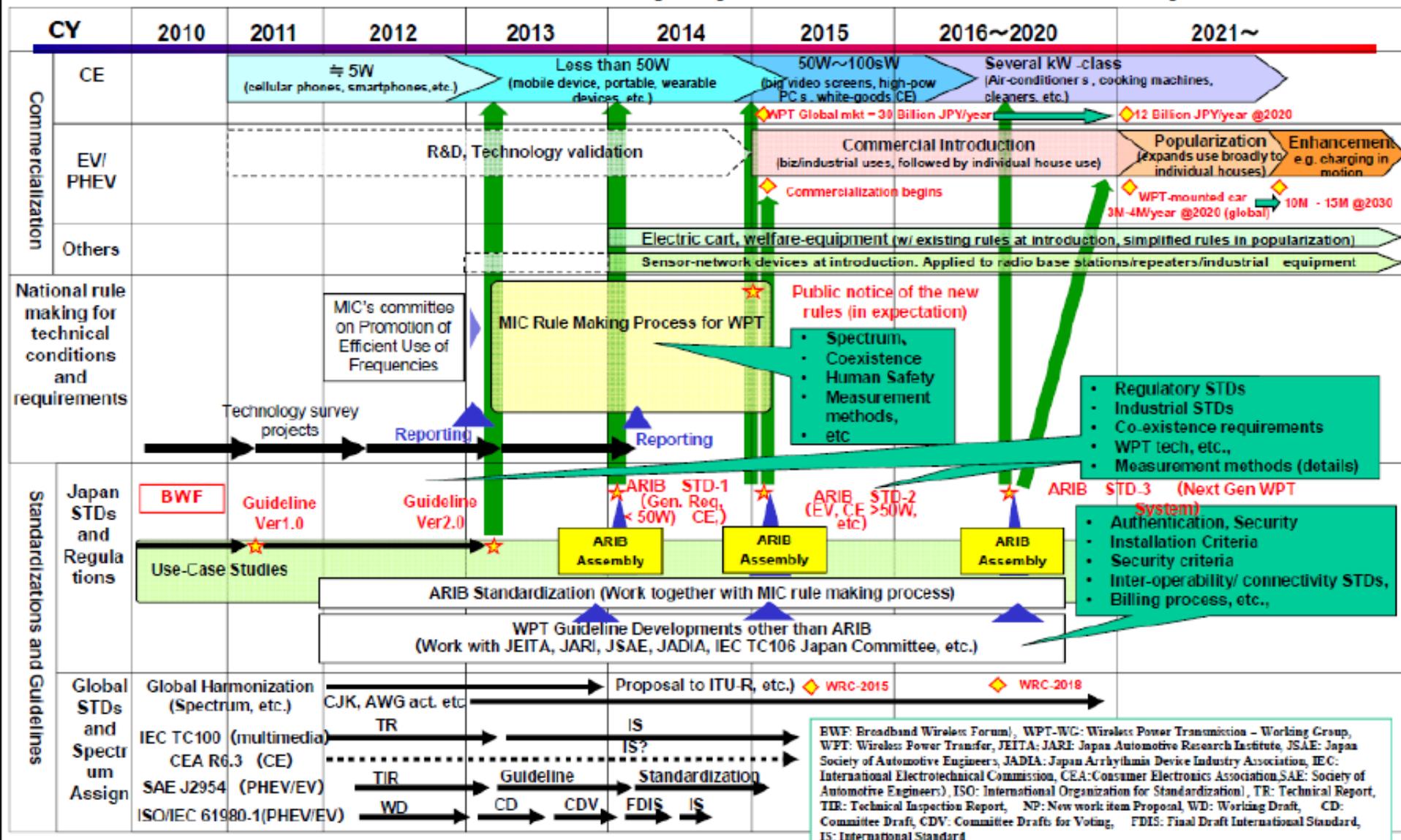
UPCT Technical University of Cartagena  
University of Nicosia  
Technical University of Iasi  
UCD - University College Dublin  
Brno University of Technology  
Buskerud & Vestfold University College  
Uppsala University  
Graz University of Technology  
Aalborg University  
Heriot-Watt University  
Bogazici University

Politehnica University  
Timisoara  
Imperial College  
Brno University  
of Technology  
UPB-CETTI

# 国内外のコンソーシアム等の関連



# BWF WPT Roadmap (released Dec.2012)



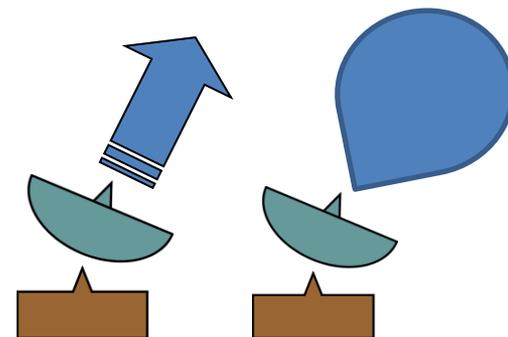
BWF: Broadband Wireless Forum, WPT-WC: Wireless Power Transmission - Working Group, WPT: Wireless Power Transfer, JEITA: Japan Automotive Research Institute, JSAE: Japan Society of Automotive Engineers, JADIA: Japan Arrhythmia Device Industry Association, IEC: International Electrotechnical Commission, CEA: Consumer Electronics Association, SAE: Society of Automotive Engineers, ISO: International Organization for Standardization, TR: Technical Report, TIR: Technical Inspection Report, NP: New work item Proposal, WD: Working Draft, CD: Committee Draft, CDV: Committee Drafts for Voting, FDIS: Final Draft International Standard, IS: International Standard

# 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 Application (WiPoT)

<http://www.wipot.jp/>

代表 / 京都大学  
篠原 真毅



## [設立趣旨]

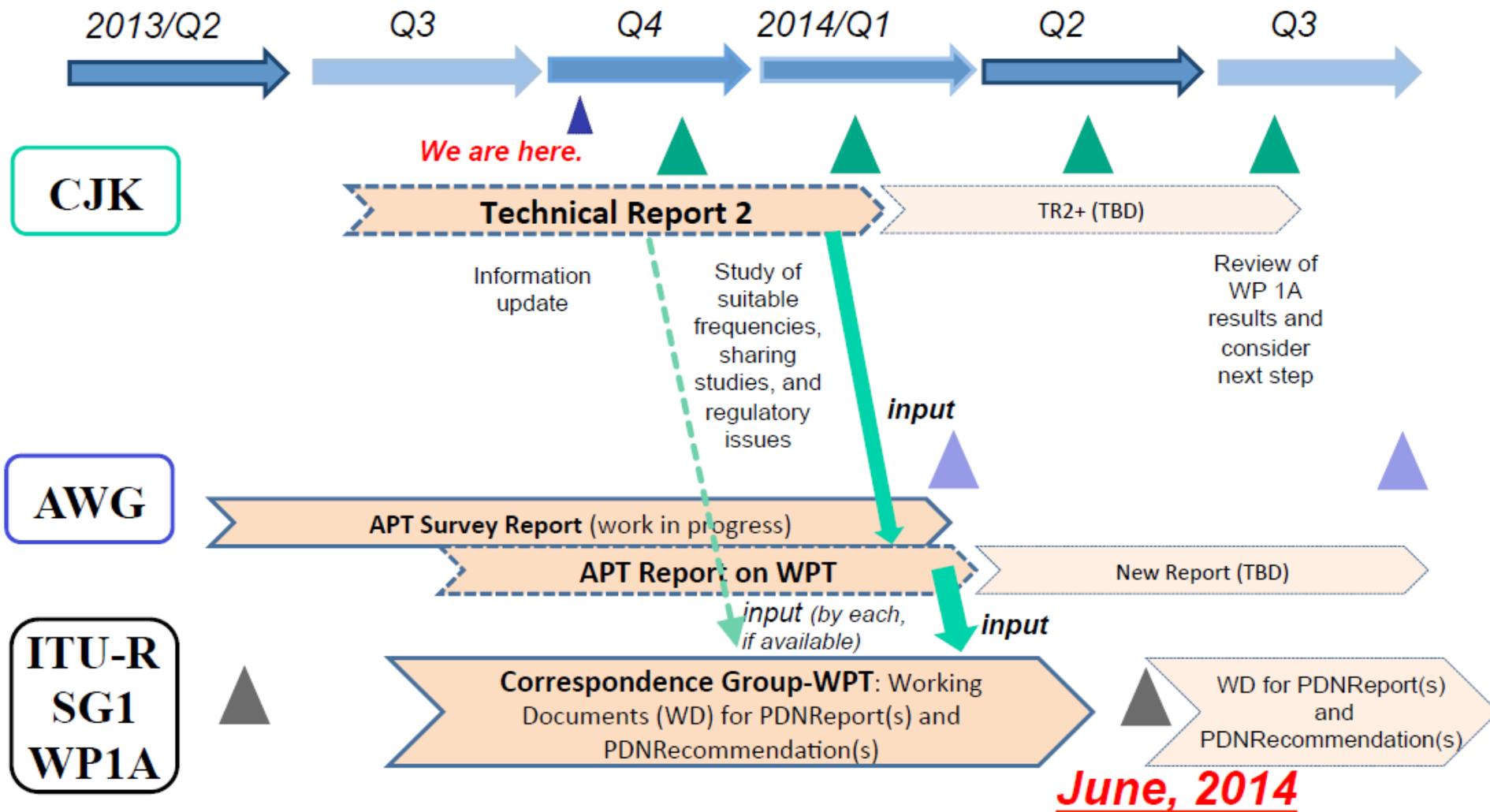
マイクロ波送電を中心としたワイヤレス給電のシーズとニーズをマッチングし、マイクロ波送電やワイヤレス電力伝送の実用化を加速する。そのために技術だけでなく、標準化や安全性、ユーザーニーズに関する情報共有を行う。また、マイクロ波送電を中心としたワイヤレス給電のPR活動を行う。

- 2014/10/9現在の参加 **28社**、学識会員 **38名**、研究機関会員 **3組織**
- 会費: **25万円/年** (法人会員) 無料 (学識会員)



**WiPoT**

# Timeline toward ITU-R WP1A 2014



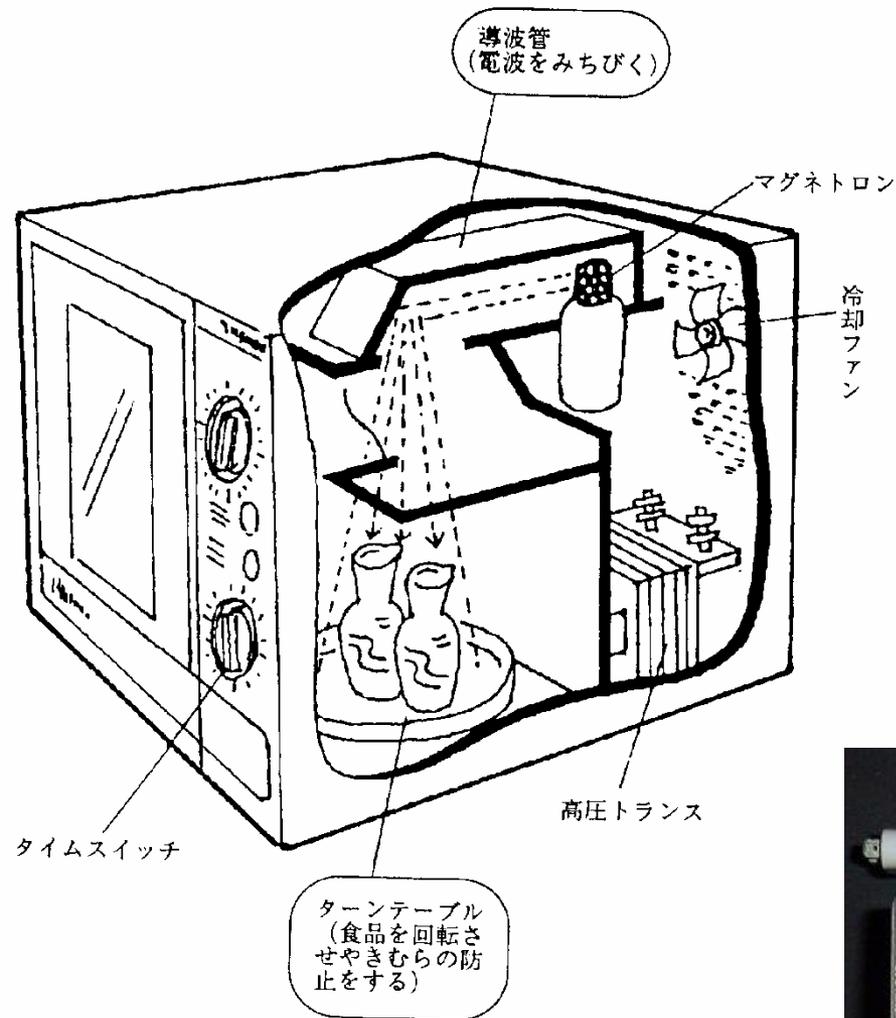
# 無線送電研究はまだまだこれから

---

- 何か無線送電の実用化を加速できる他の研究はないか？
- 無線送電のキーワードと言えば「マイクロ波エネルギー」
  - 電子レンジというマイクロ波エネルギー装置 (kW級) がある!
  - ただの電子レンジでは研究的でない
  - 「**マイクロ波化学**」という新しい分野を切り開こう!

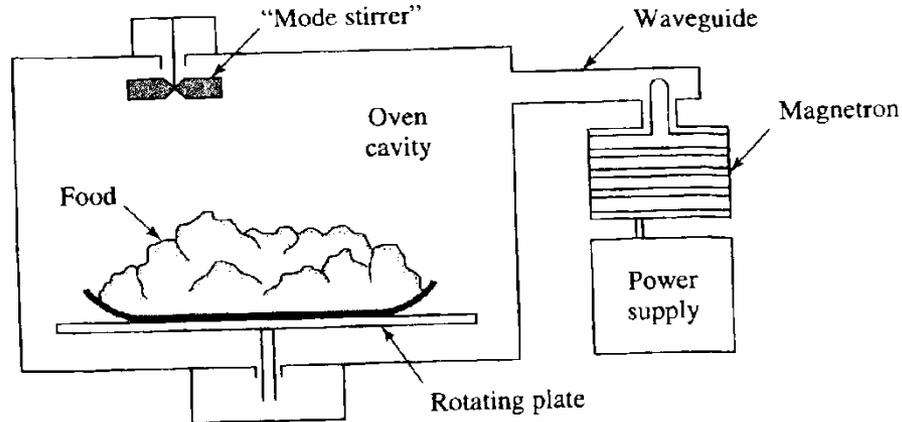
# 電子レンジ

電子レンジの構造



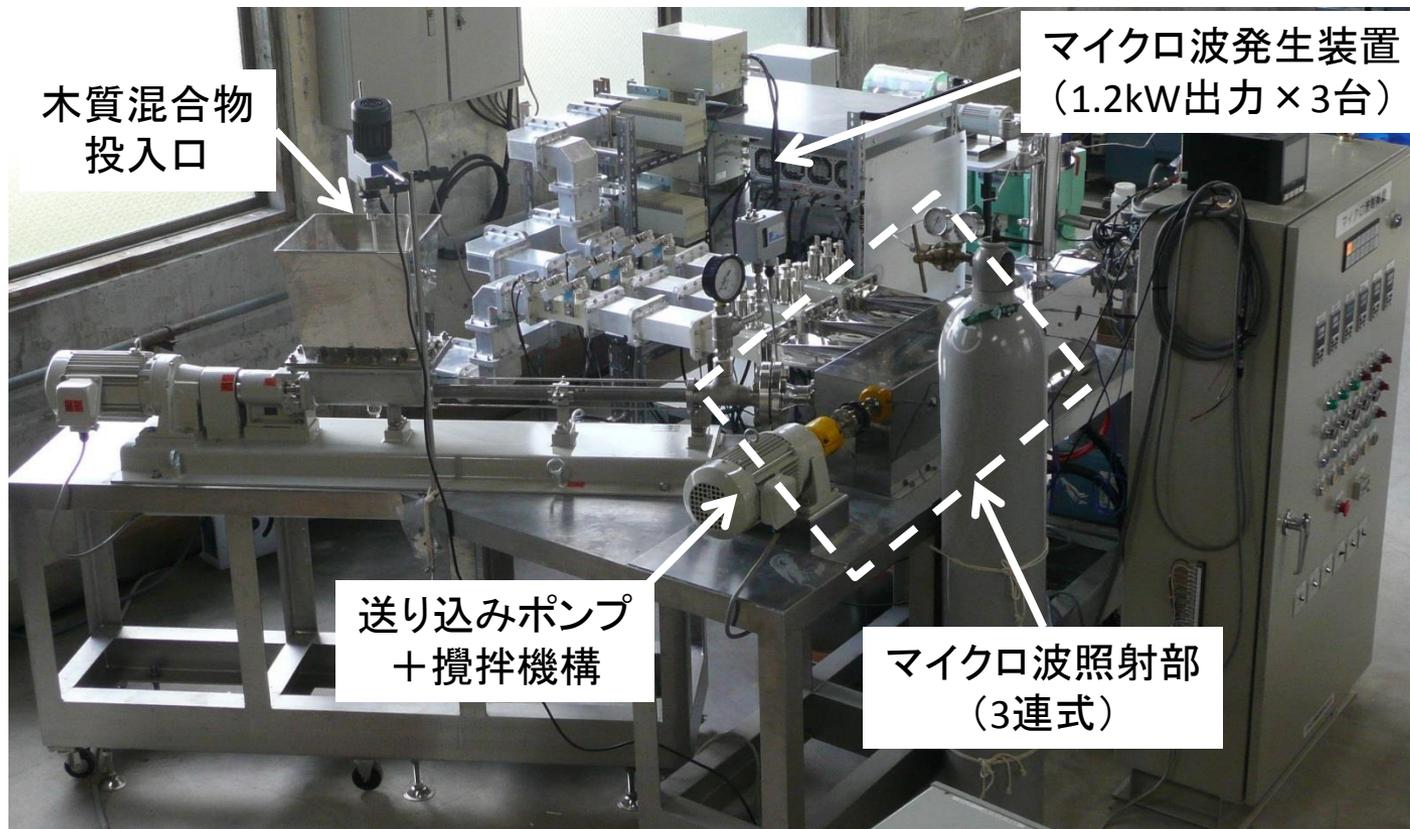
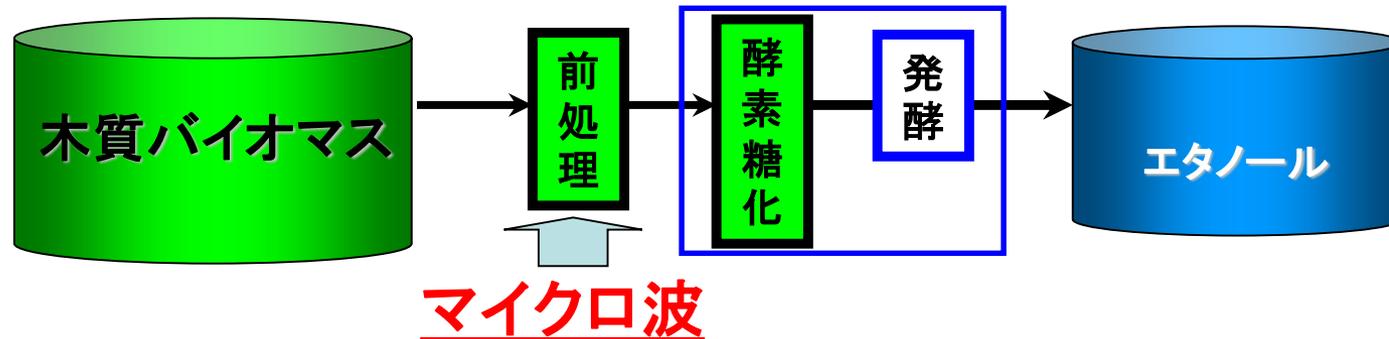
(東芝の宣伝パンフレットより)

2.45GHzマイクロ波



マグネトロンという  
大電力高効率  
マイクロ波発振器を利用

# バイオエタノール生成に向けた木質バイオマス前処理のための 連続処理型マイクロ波照射加熱装置(NEDOプロジェクト H20-H24)



# マイクロ波による瓦礫中の有害物質迅速処理 —アスベスト飛散とダイオキシン発生防止—

環境省環境研究総合推進費(委託費) (H24-H25)

プロジェクトリーダー:

・篠原真毅 (京都大学 生存圏研究所 教授)

研究グループ

・樫村京一郎 (中部大学 講師)

・吉川昇 (東北大学 環境科学研究科 准教授)

・堀越智 (上智大学 物質生命理工学 准教授)

・佐藤元泰 (中部大学 教授)

再委託

・日本スピンドル製造(株)

・(株) 日工



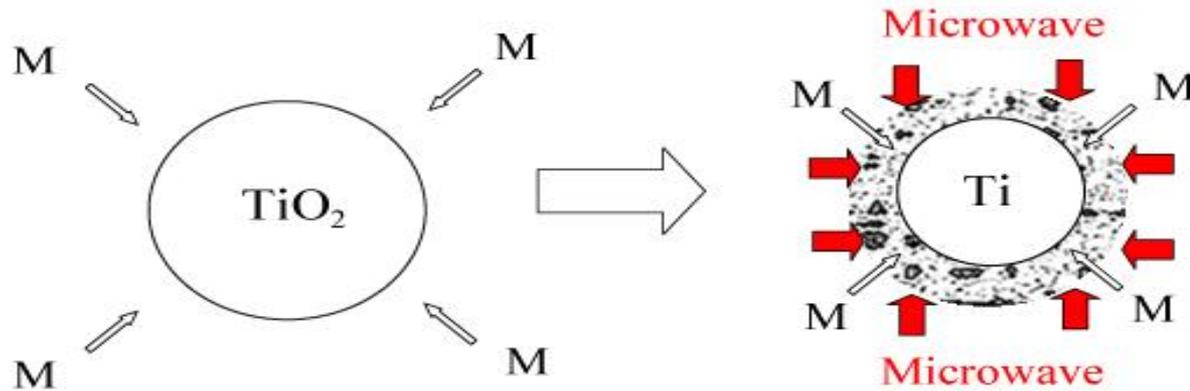
- 1) アスベスト含有スレート 1.9 ton / day, 木質瓦礫(ダイオキシン発生可能性物質) 3 ton / dayを達成(アスベスト繊維数が3000粒子中0粒子)
- 2) CaO(スレート瓦)母相中のTalcファイバー(アスベスト相当)交差箇所や先端で、電場集中が生じることをシミュレーションで確認

# マイクロ波によるチタン直接還元法

## 革新的新構造材料等技術開発プロジェクト(H25-H26)

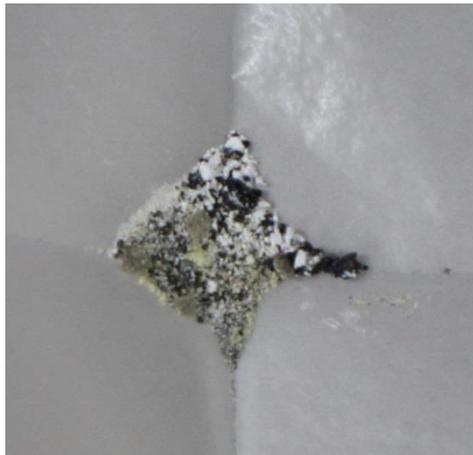
経産省委託・新構造材料技術研究組合ISMA

M: 金属元素 (Ca, Mg, 希土類金属)



従来法 (電気炉加熱)

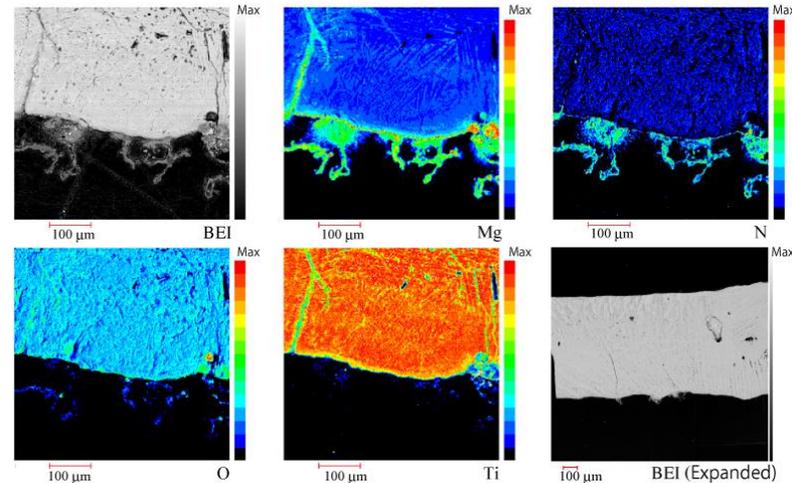
新技術 (マイクロウェーブ加熱)



粉末のまま



チタンの塊が確認できた



# 宇宙太陽発電実現のために

宇宙圏利用・  
太陽エネルギー利用による  
「宇宙開放系」生存圏

マイクロ波送電  
を利用した宇宙発電

マイクロ波送電  
(無線送電)

マイクロ波化学

化学

マイクロ波工学

電波工学

生存圏  
科学

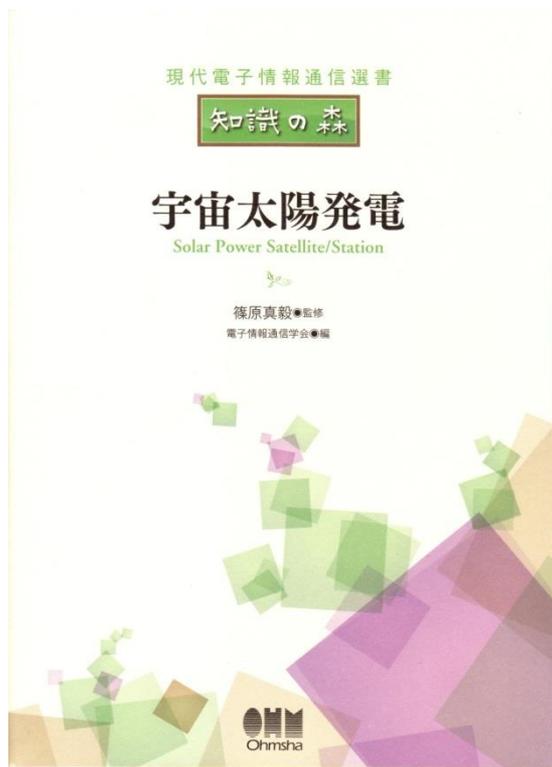
エネルギー工学

木質科学

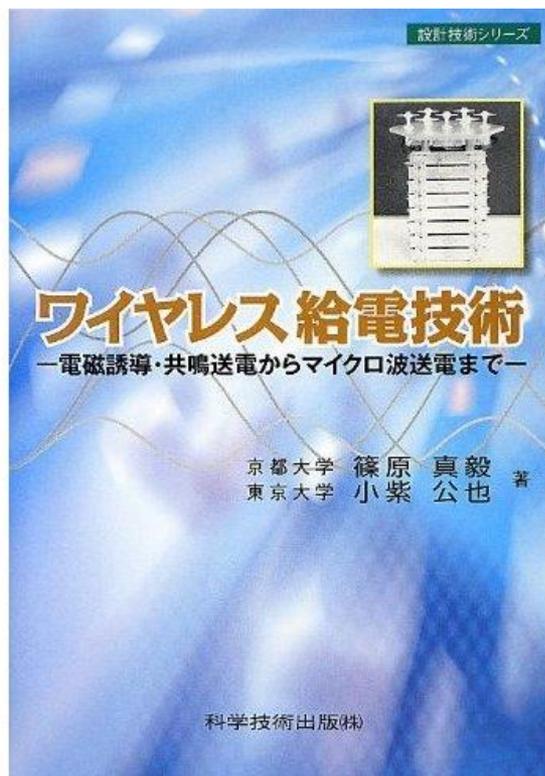
電気工学

等

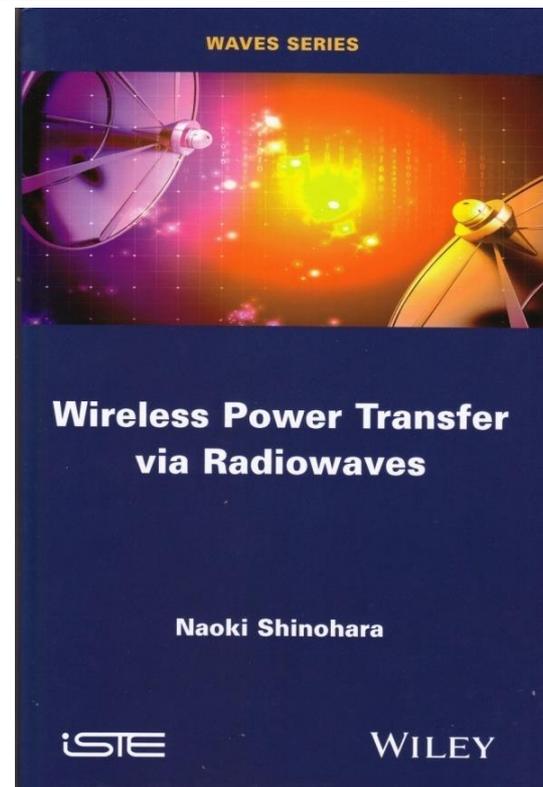
# もっと知りたい人のために



宇宙太陽発電  
篠原真毅(監修)  
オーム社, 2012.7  
ISBN978-4-274-21233-8  
¥3,990



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),  
科学技術出版社, 2013.2  
ISBN978-4904774021  
¥2,940



Wireless Power Transfer  
via Radiowaves (Wave Series)  
Naoki Shinohara  
ISTE Ltd. and John Wiley & Sons, Inc.,  
Great Britain and United States,  
2014.1  
ISBN 978-1-84821-605-1  
約¥12,655

「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 -」編集中! 2015/12/10発行予定!