

ワイヤレス給電の現状と 将来の展望

早稲田大学 電動車両研究所
高橋 俊輔

2018年1月25日

環境ベテランズファームセミナー

NPO法人 新現役ネット会議室



WASEDA University



1. ワイヤレス給電システムとは

2. EV用ワイヤレス給電の動向

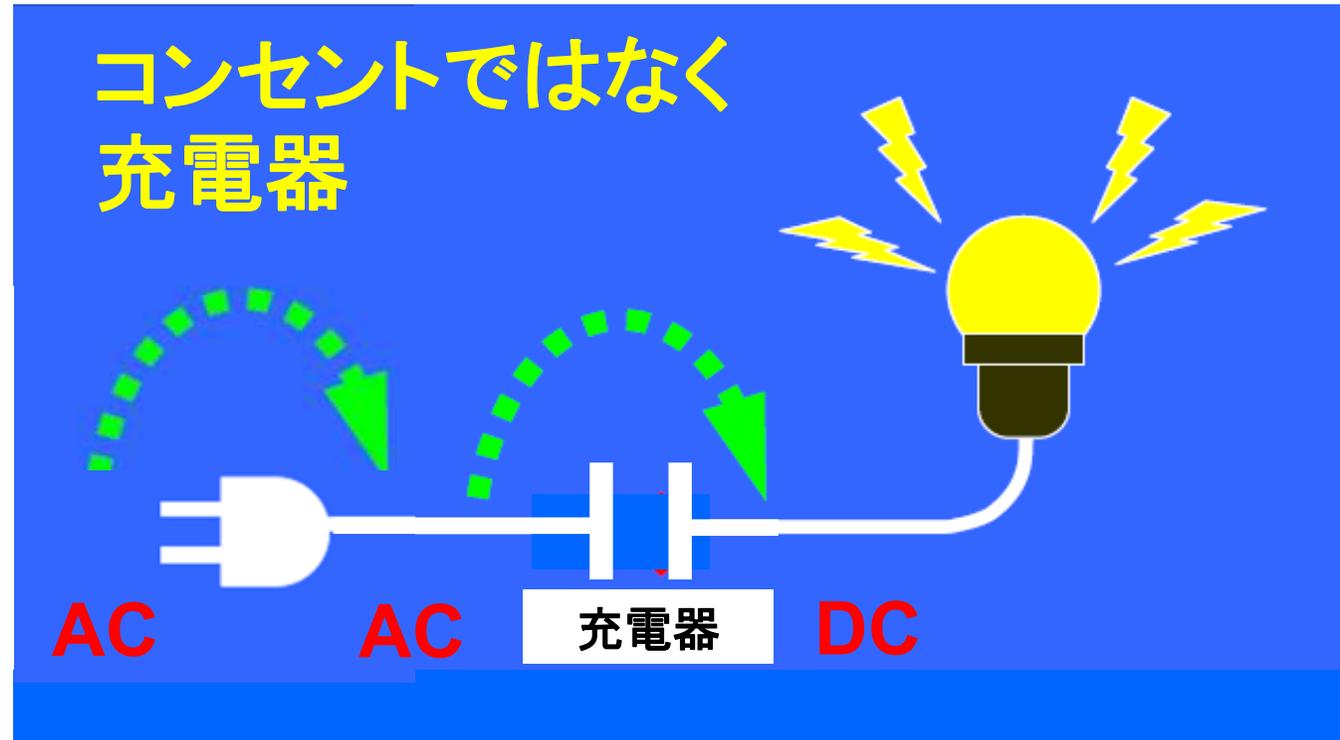
3. 汎用機器向けワイヤレス給電の動向

4. ワイヤレス給電における課題

5. 将来の展望

ワイヤレス給電とは

電磁誘導や電波を利用して、離れた場所へワイヤレスで給電する技術



ワイヤレス電力伝送方式

非放射型

①磁界結合方式

電磁誘導方式

磁界共振方式

②電界結合方式

放射型

③電波方式(マイクロ波など)

④光方式(レーザーやLEDなど)

その他の方式

⑤エバネセント波方式

⑥超音波方式

⑦回転磁石方式

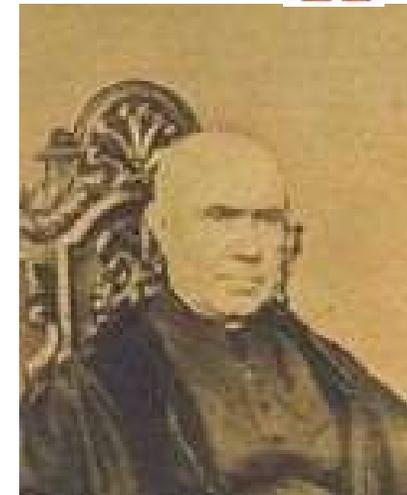
磁界結合方式（電磁誘導方式）



- ・ 19世紀のファラデーやカランの時代に発見された電磁誘導（トランス）の原理を利用
- ・ コイル間に発生する電磁誘導を利用して給電
- ・ 近距離（数mm～数十cm）で微小電力から100kW以上の大電力まで効率良く（90%以上も可能）伝送できる
- ・ 給電方式としては給電コイル上に静止して行うチャージ方式と給電ライン上を移動しながら行うレール方式がある



マイケル・ファラデー
イギリス
電磁誘導現象発見
(1831年)



ニコラス・カラン
アイルランドの牧師
誘導コイル発明
(1836年)

チャージ式

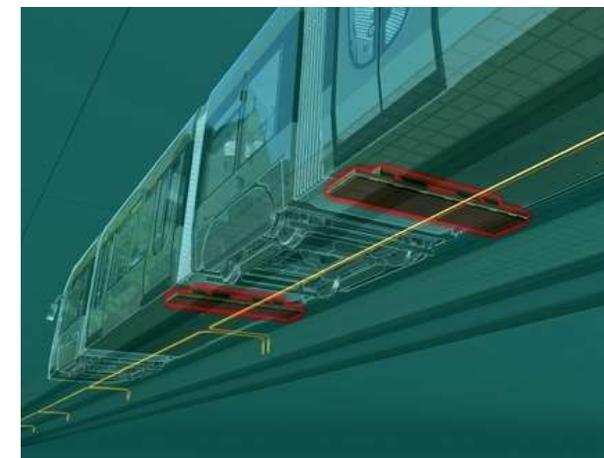


パナソニック
親子電話の子機充電(1997年)



Plugless Power社
電気自動車への給電(2010年)

レール式

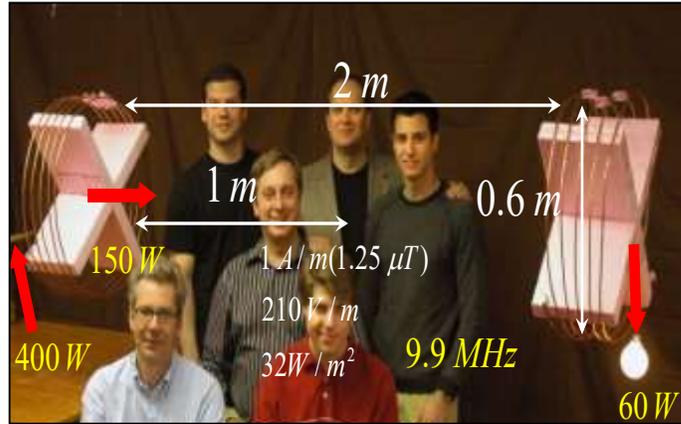


BOMBARDIER社
電車への250kW(2009年)

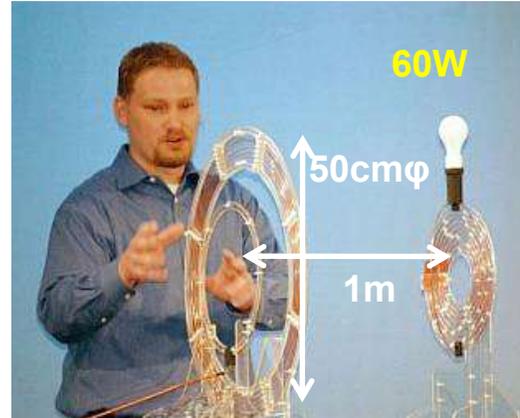


磁界結合方式（磁界共振方式）

- 2007年6月米MITのMarin Soljacic教授の研究グループが発表
- 共振回路同士の共鳴現象を利用, 2mの距離で60W送電伝送効率は40~45%
- 基本原理は新しくはないものの、給電方式としては新たな方式
- その後多くの会社が発表し、3kW程度のものが出てきた



MITの発表写真(2007年)



インテル



アルプス電機@ワイレスジャパン2014



WiTricity @CES 2015



長野日本無線



IHI



出典:各社HPの写真より

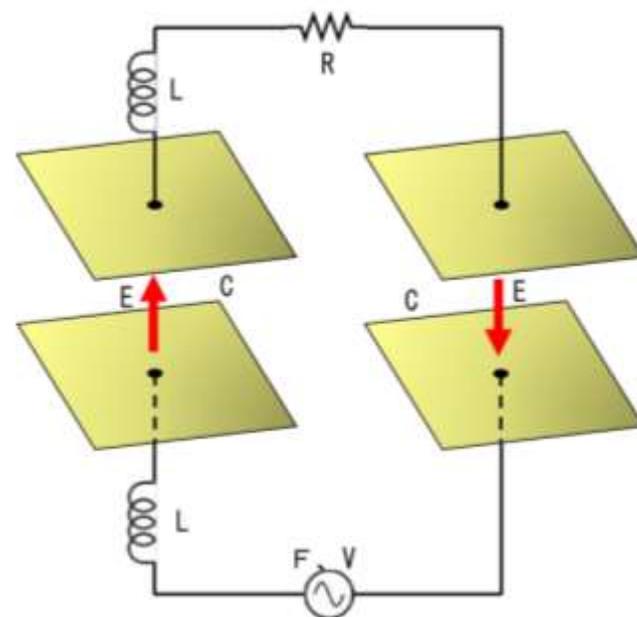
磁界結合だけでなく電界結合(誘電結合)共振方式も発表されている

送電側と受電側にそれぞれ電極を設置し、一種のコンデンサのように電極が近接したときに発生する「電界」を利用してエネルギーを伝送する技術

電界結合方式の特徴

- ・ 電磁誘導方式などに比べて伝送効率が高い
- ・ 機器の位置自由度が高い
 - 充電台と端末の電極をぴったり合わせなくても充電可能
- ・ ひとつの充電台に対して複数の機器・端末を対応させることが可能
- ・ ワイヤレス給電部の発熱が少ない
- ・ 電極の材料や在質、厚さの自由度が高い
- ・ 透明電極採用も可能

基本的にギャップが小さく、
未だ出力が小さい



電界結合方式の伝送回路図



豊橋技術科学大学(WTP2012)
(出力 50~60Wギャップ 10cm以上)



豊橋技科大と大成建設の共同開発
(CEATEC2014)



村田製作所の5W透明電極型
(WTP2012)



複数機器に給電できる電界共鳴方式
(出典: <http://www.nikkeibp.co.jp/>)

電波(マイクロ波)方式

過去の研究成果

- ・ 19世紀にテスラが通信実験を行う
ウォーデンクリフタワー
- ・ マイクロ波などの電波を
アンテナで受信、整流回路で
直流に変換(レクテナ)
- ・ 電波のビームを絞ることで
長距離大電力伝送も可能



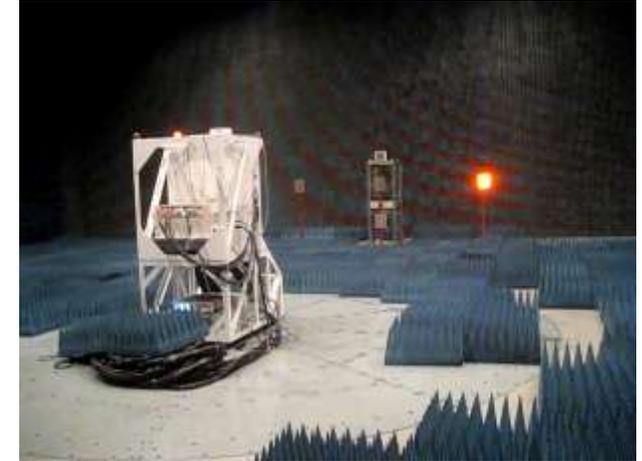
最近の動向と今後の方向性

日本電業工作とVolvo グループ (2012年)

- ・ 4m以上離れて10kW電力伝送



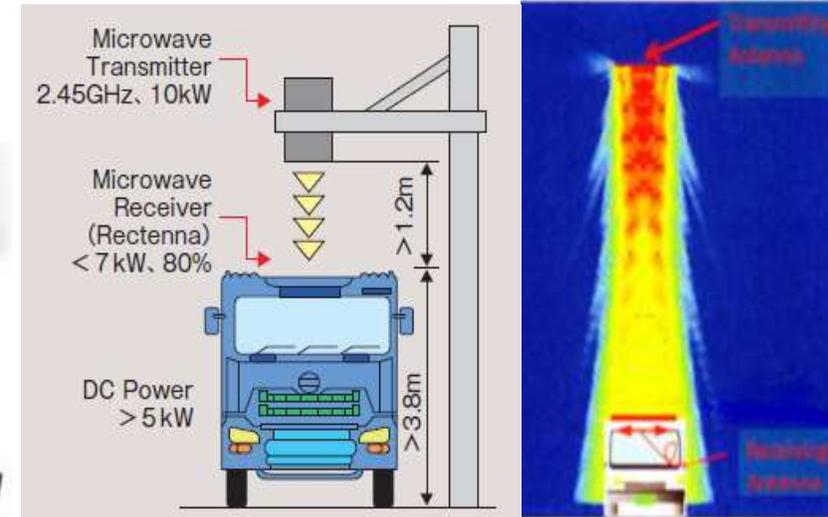
京都大学での検討



京都大学宇治キャンパス電波暗室

三菱重工業 (2008年)

- ・ NEDOから受託研究
- ・ 2009年2月のENEX2009に展示
- ・ 出力1kW、効率38%
- ・ マグネトロン管4本使用
- ・ 周波数 2.45GHz



マイクロ波の放射が認められていない



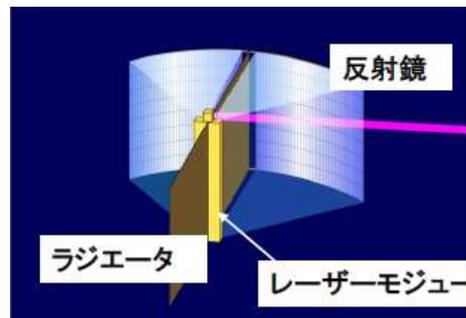
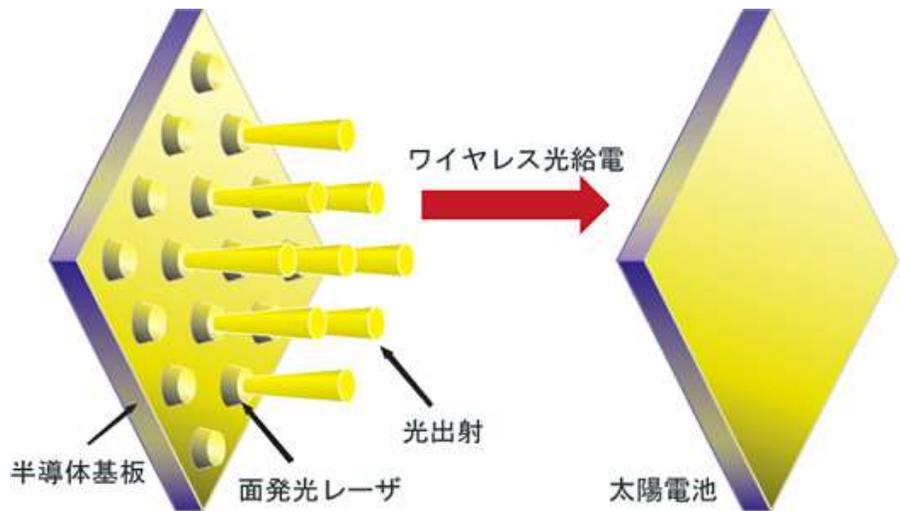
出典: NEDOカタログより

出典: 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory, Naoki Shinohara

光給電(レーザー)方式

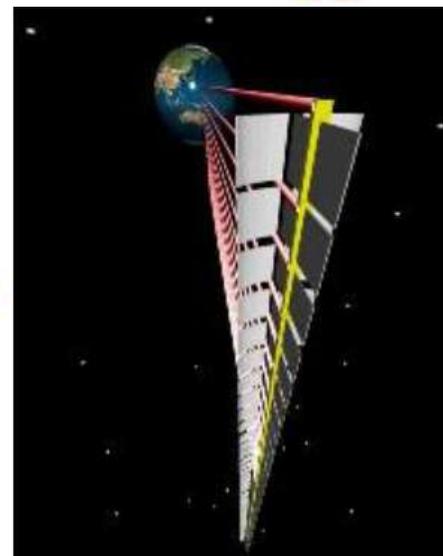


レーザー光を太陽電池で受け取ることでエネルギー電力伝送が可能



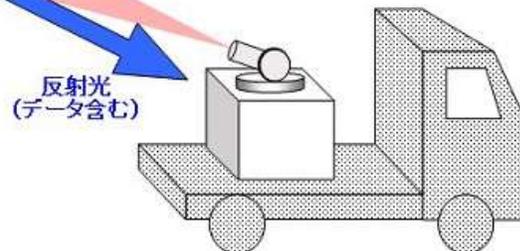
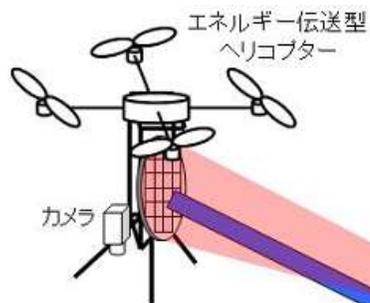
主要寸法

- 一次反射鏡: 100m × 100m × 2式
- ラジエータ: 100m × 100m × 2式 (6ton)
- レーザーモジュール: 100m ~ 120m (42ton)



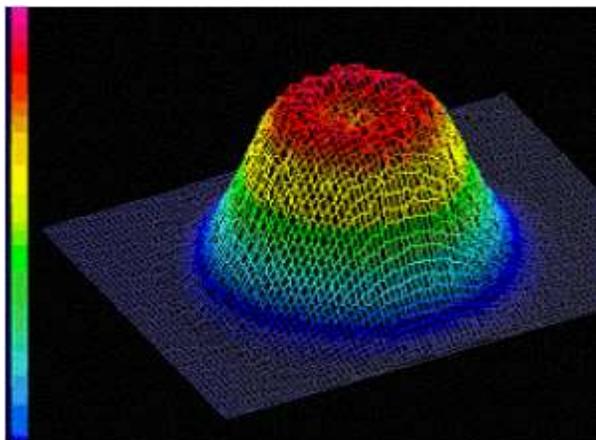
レーザー方式SSPSモデル

(出典: 宇宙航空研究開発機構資料)



レーザーエネルギーおよび情報供給システムのコンセプト

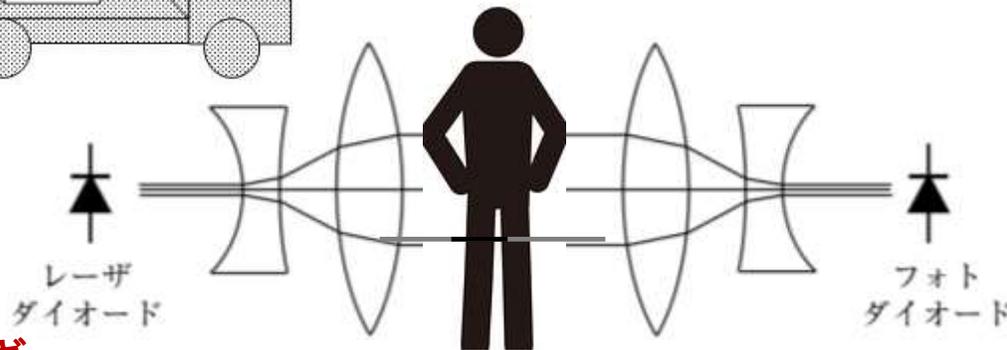
(出典: http://www-ng.fujikin.co.jp/csr/stp/sou/patent_download.php?id=12050005)



フラットトップなビームプロファイル

出典: http://www.ssr.titech.ac.jp/research/project_22.html

人体防護の観点からビームエネルギー密度の減少が必要



ビームエネルギー密度減少方法

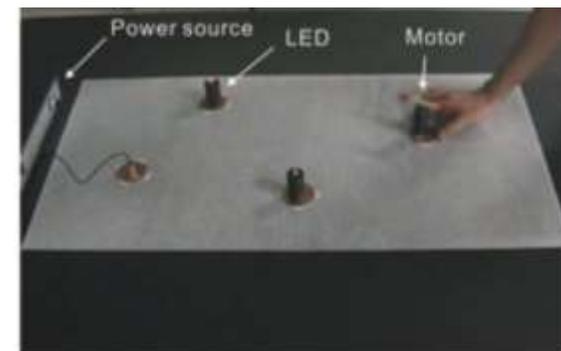
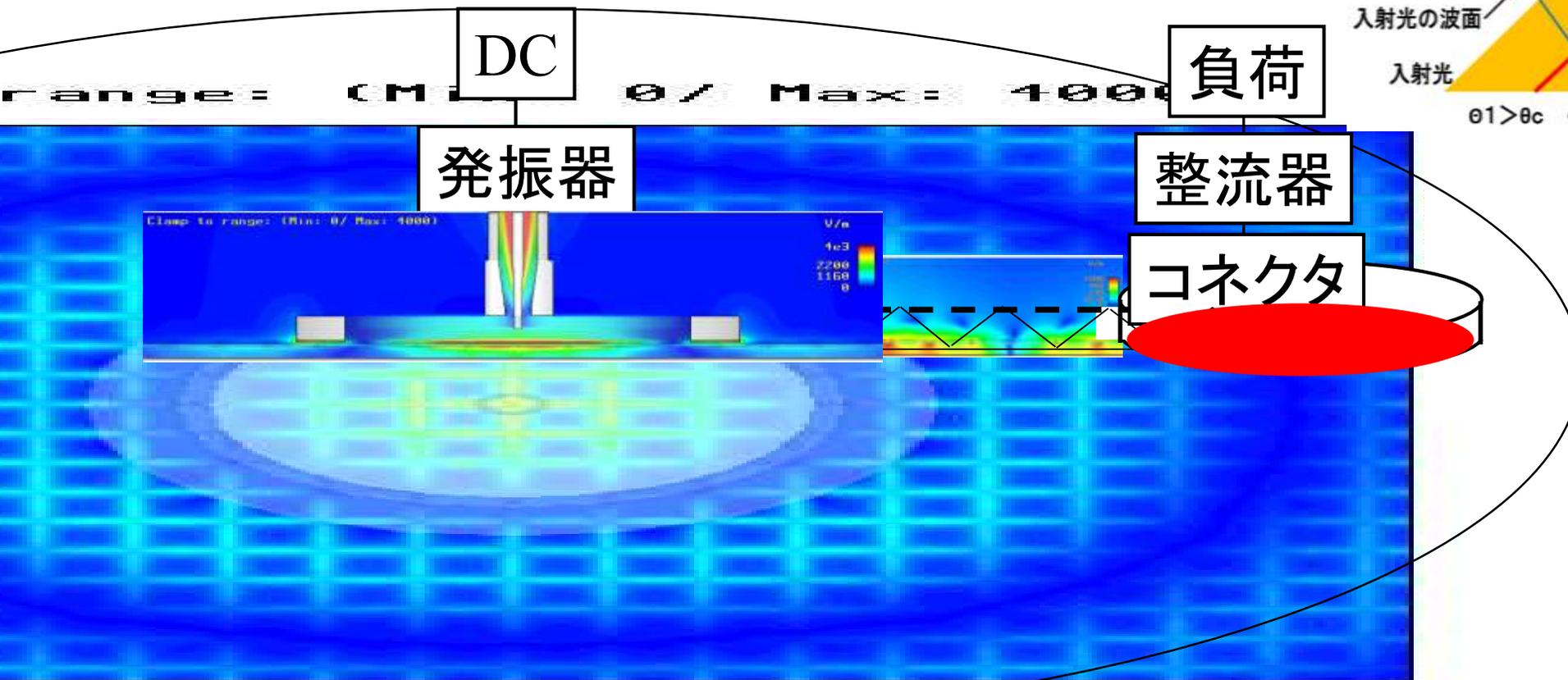
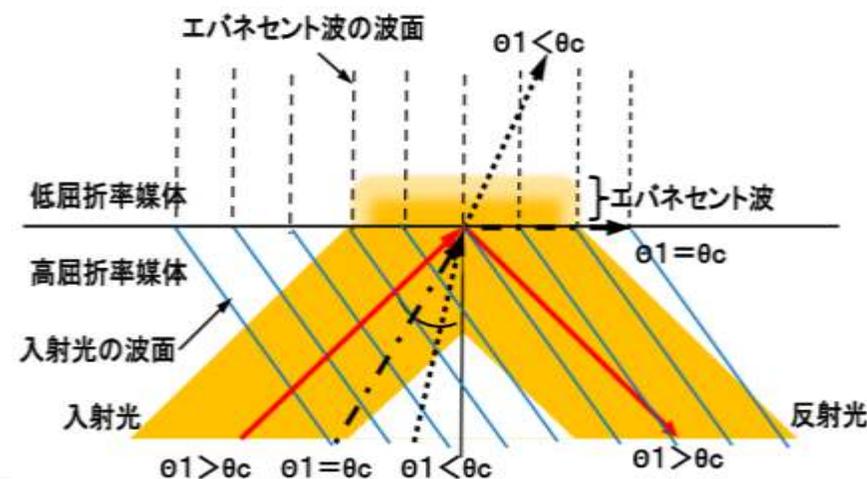
エバネセント波方式



放射型のマイクロ波を使いながら、
伝送空間にはヒトは入り込めない！
エバネセント波は非放射型と言う中間的な方式

基本的にギャップが小さく、出力が小さい

エバネセント波の発生

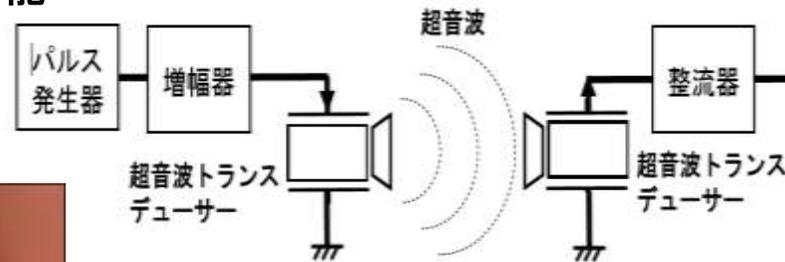


電力伝送の実験風景. 50×95 cm² のシートに 10 W の 2.4 GHz 信号を入力

その他のワイヤレス給電方式

超音波方式

- ・20kHz以上の超音波を利用
- ・伝送可能距離は7m程度
- ・電圧は8Vで出力はQiクラス以下
- ・広範囲にわたって電力伝送
部屋中を動き回りながらでも充電可能
- ・電力と同時にデータの送受信可能
- ・人体に対する影響がない
- ・壁などの遮蔽物に弱い



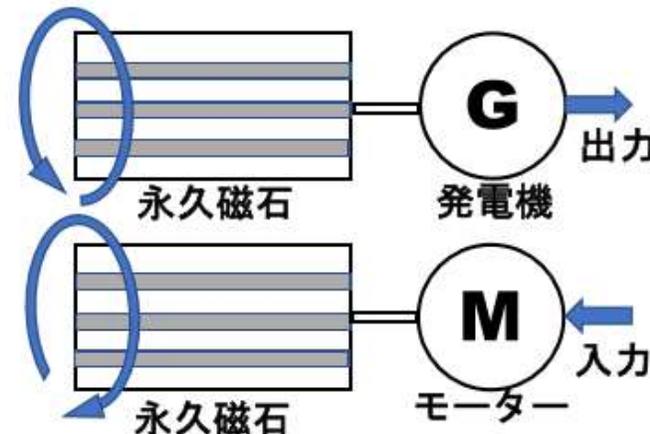
受信側デバイスは
シート状アンテナ

充電ステーションは厚さ
5mm以下、壁掛け式

出典: <http://juggly.cn/archives/124730.html>

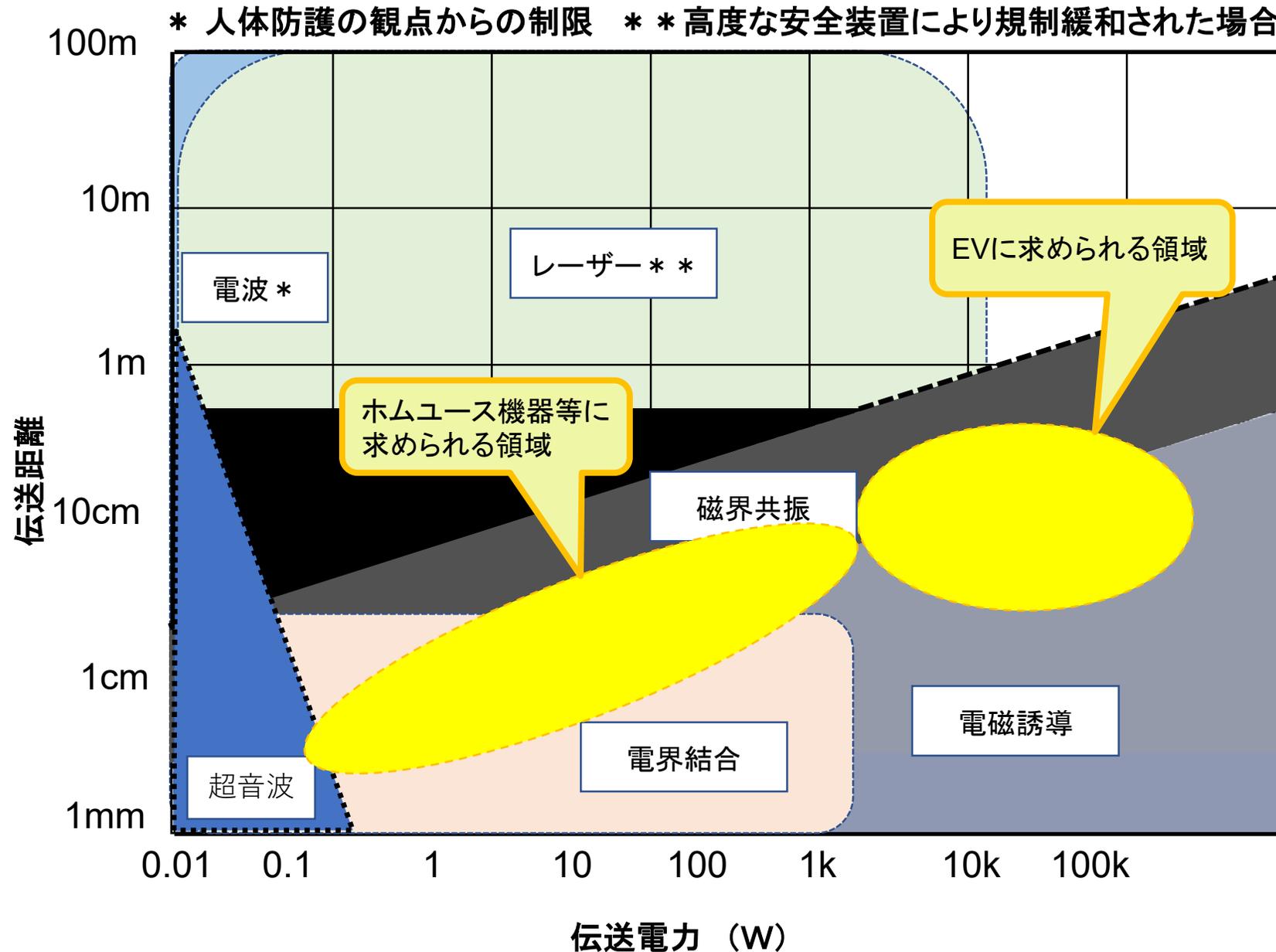
回転磁石方式

- ・カナダ・ブリティッシュコロンビア大学(UBC)が開発
- ・磁石の回転を利用
- ・周波数150Hz以下
- ・高周波の電磁界が発生せず、人体に対する影響がない
- ・給電部と受電部の位置合わせ精度が低くてもよい
- ・給電部と受電部のギャップ10cm
- ・出力 3.3kW
- ・送電効率90%超



出典: <http://sustainablejapan.net/?p=2719>

各方式の伝送電力と伝送距離



ワイヤレス電力伝送方式

非放射型

①磁界結合方式

- ・ 電磁誘導方式
- ・ 磁界共振方式

②電界結合方式

放射型

③電波方式 (マイクロ波など)

④光方式 (レーザーなど)

中間型 / 電磁波以外の方式

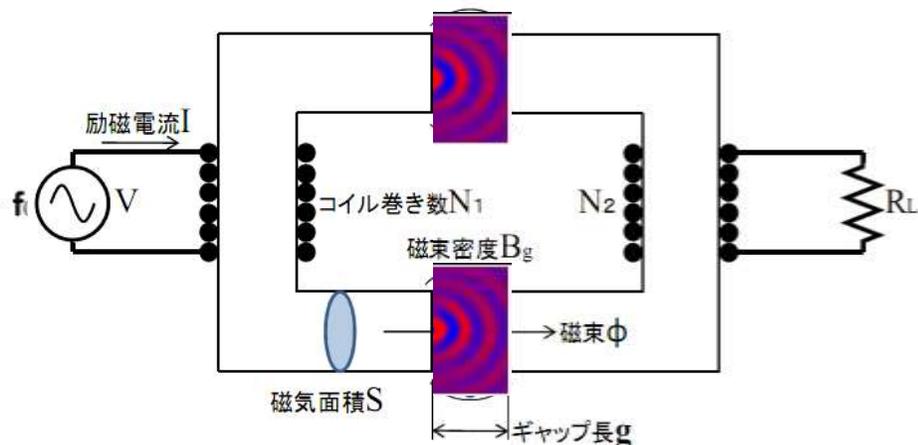
⑤エバネセント波方式

⑥超音波方式

⑦回転磁石方式



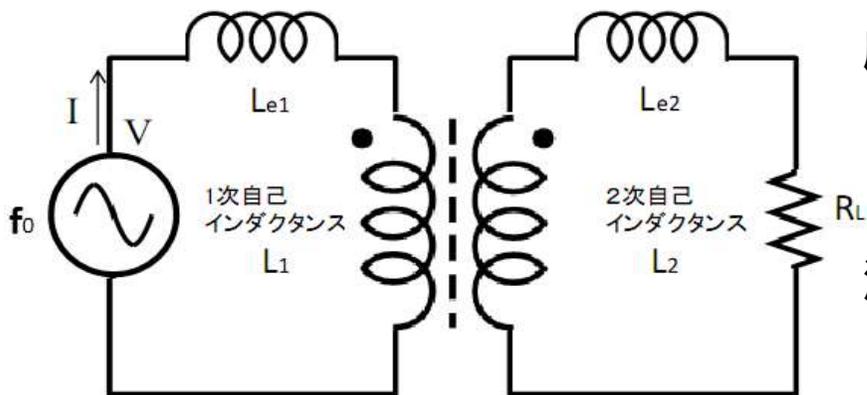
磁界結合方式の原理と回路構成



ギャップで磁路が切れ磁束が漏れる 結合係数 $k < 1$

1次漏れインダクタンス

2次漏れインダクタンス



励磁インダクタンスは

$$M1 = k \cdot L1$$

$$M2 = k \cdot L2$$

漏れインダクタンスは

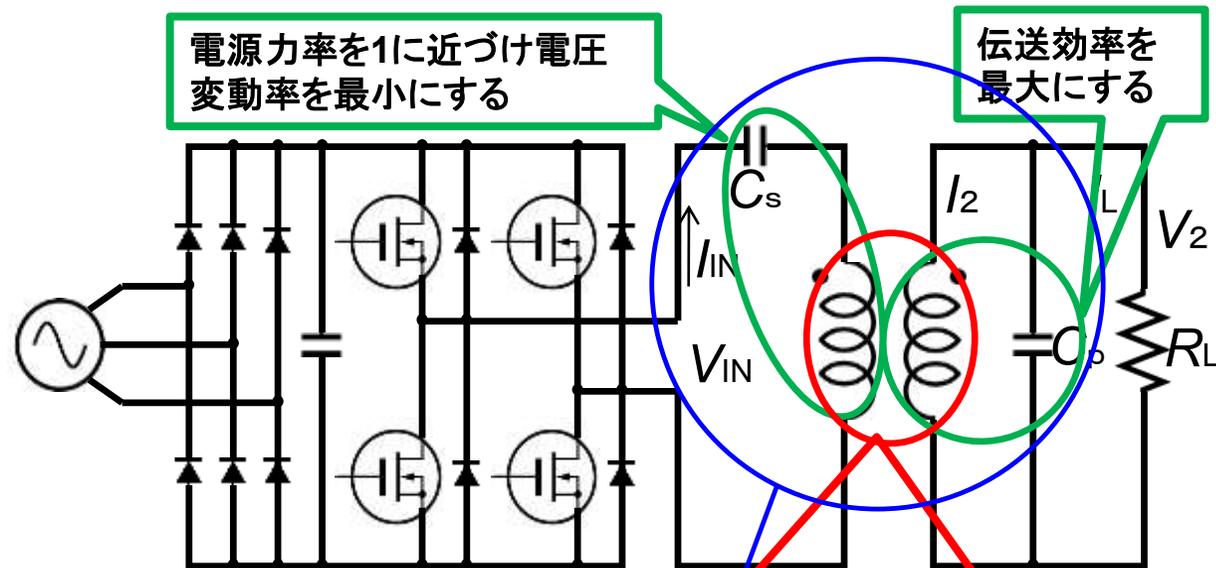
$$Le1 = (1 - k) \cdot L1$$

$$Le2 = (1 - k) \cdot L2$$

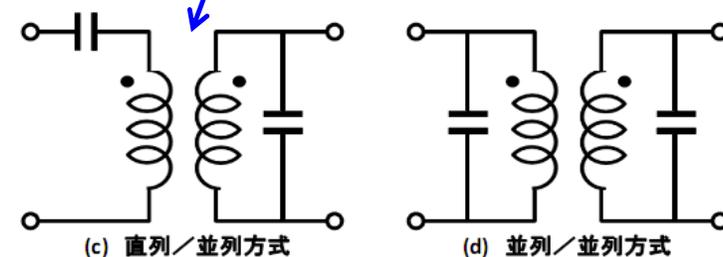
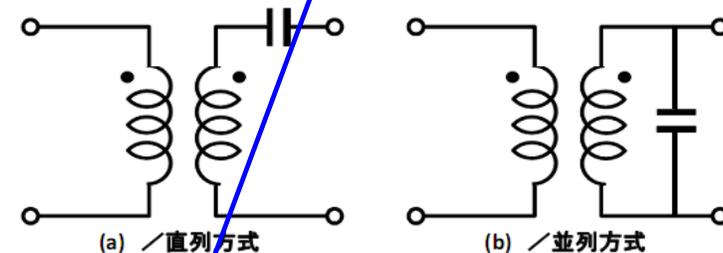
相互インダクタンスは

$$M = \sqrt{M1 \cdot M2} = k \cdot \sqrt{L1 \cdot L2}$$

静止型の回路構成例とコンデンサ配置



1次側と2次側を積極的に共振させると磁界共振型になる





1. ワイヤレス給電システムとは

2. EV用ワイヤレス給電の動向

3. 汎用機器向けワイヤレス給電の動向

4. ワイヤレス給電における課題

5. 将来の展望

EV用ワイヤレス充電システム



国内

日産リーフ(2011技術説明会)



三菱 iMiEV
(東京モーターショー2011)



トヨタ(CEATEC2013)



ホンダ フィット EV
(さいたまE-KIZUNA2014)



海外

Dimler Mercedes-Benz (2016年10月)



PHEV S550e
Qualcomm/Brusa



コンセプトカー「Generation EQ」
Paris Motor Show 2016

VW (2016年10月)



EV向けの新プラットフォーム
赤枠内が受電コイル

Bosch (2017年7月)



国内ではほとんど発表が無くなっているのに対し、海外では実搭載を含め発表が続いている



日本でのワイヤレス充電バス

早稲田大学での電動バス・ワイヤレス給電開発の年度別概要



年度	2002 (H14)	2003 (H15)	2004 (H16)	2005 (H17)	2006 (H18)	2007 (H19)	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)	2014~16 (H26~28)	
公的研究資金	「先進電動バスシステム開発・導入可能性調査」NEDO-FS事業	「WEB-0」早大自主開発	「先進電動マイクロバス交通システムモデル事業」NEDO-モデル事業	「電動バスシステムの大都市近郊適合性調査事業」NEDO-FS事業	「電動バスシステムの大都市近郊適合性調査事業」NEDO-FS事業	「電動バスシステム研究」早大自主開発	「奈良試験運行」奈良県/市 「オンデマンド電気バス実験」環境省 「電気バス実験」国交省	「低炭素社会モデル事業」経産省 「産官学連携事業」環境省 「側面給電」国交省 「自然エネルギー活用充電ステーション」埼玉県				「チャレンジ25地域づくり事業」環境省	「CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」環境省	
研究開発														
		WEB-0★	WEB-1★	WEB-2★	IPS(30kW)★	IPS(10/60/150kW)★	WEB-3★ 側面給電★	WEB-4★			WEB-3Adv.★	EVメルファ★		
公道実証試験		@本庄市 (WEB-1&2, 第1~2期)	@三鷹市 (WEB-2, 第1~3期)			@昭島 (WEB-1)	@ユウカリが丘 (WEB-1&2)	@新宿区 (WEB-2)	@大阪中之島 (WEB-2)	@堺市 (WEB-2)	@守山市 (WEB-2)	@熊谷市 (WEB-3)	@長野市 (WEB-3/4)	@川崎市 (WEB-3Adv.&EVメルファ)

マウンド方式

一次コイルの設置方法は？

Wampfler社製IPT (30kW) の設計寸法

最低地上高 : 198mm

《内訳》

コイル間ギャップ : 50mm

マウンド高さ : 148mm

車両条件

- ・エアサス標準位置
(上昇も下降も無い状態)



1次コイル設置改善策(道路面と面一にする)

ニーリング機能+コイル昇降装置

昭和飛行機製IPS (50kW) の設計寸法

最低地上高 : 198mm

《内訳》

ニーリング寸法 : 50mm

コイル間ギャップ : 50mm

コイル昇降寸法 : 98mm

148mm

望ましい設計寸法はコイル昇降装置無しでエアサスのみの方式であるが、148mmのコイル間ギャップが必要となる
電磁波漏洩が大きくなるためコイル昇降装置装備



2008年 洞爺湖サミット



2008年 羽田空港



2011年 東京駅南口



2011年 東京ビッグサイト



欧州でのワイヤレス充電バス

欧州のワイヤレス充電バス



Milton
Keynes
(120kW)



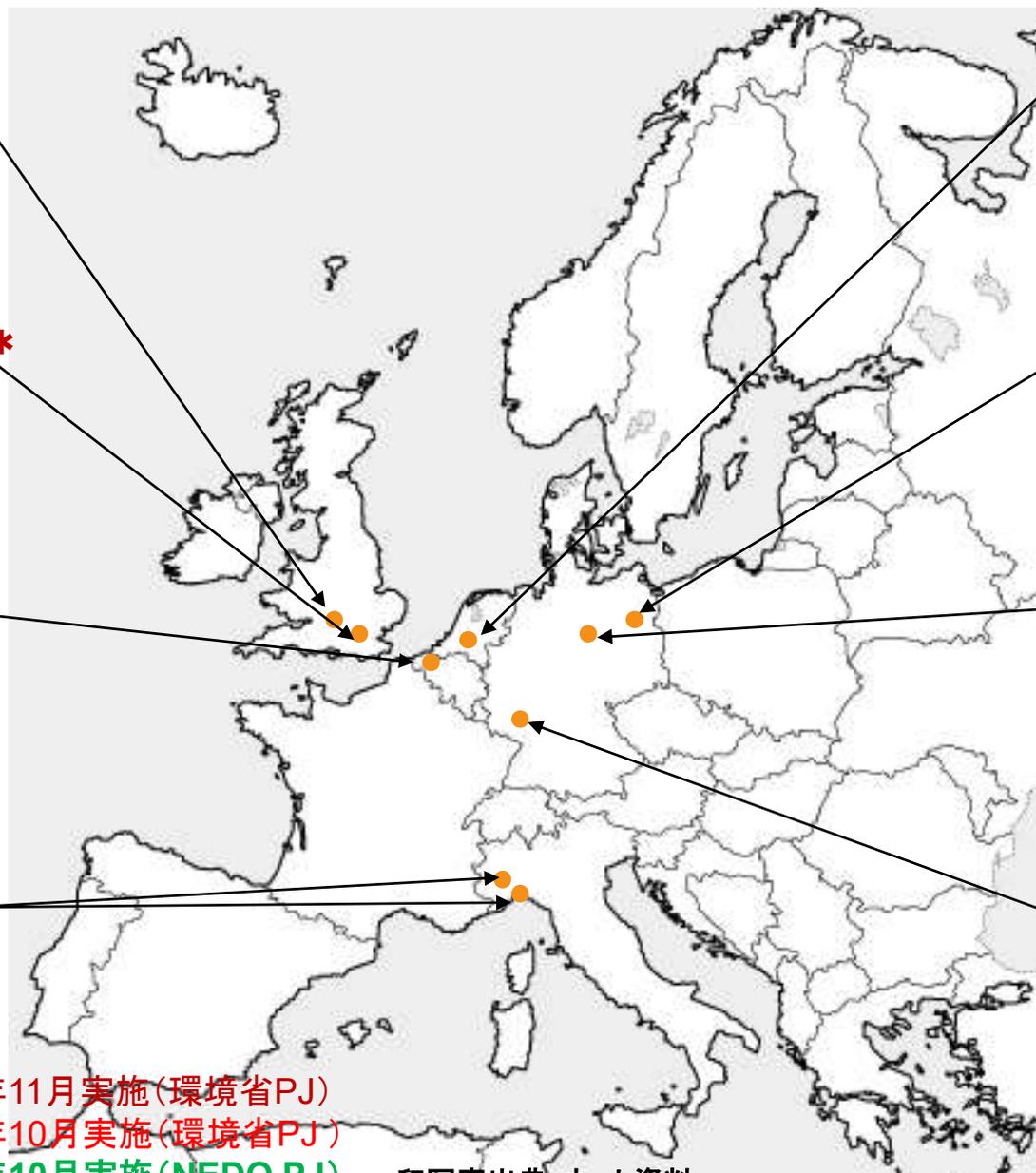
London
(200kW)*



Bruges
(200kW)



Torino/
Genova
(60kW)



s'Hertogenbosch
(120kW)*



Berlin
(200kW)*



Braunschweig
(200kW)



Mannheim
(200kW)*



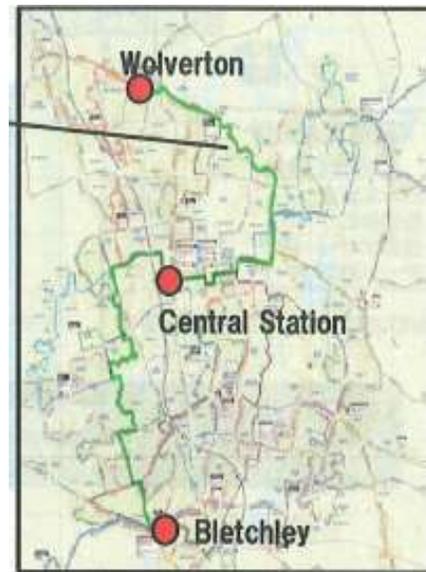
茶字 2017年11月実施(環境省PJ)
赤字 2015年10月実施(環境省PJ)
緑字 2005年10月実施(NEDO PJ) * 印写真出典: ネット資料

三井物産とARUPが2014年1月から路線バス事業

Route No.7
片道約24km

ワイヤレス給電システム：

IPT Technology社製電磁誘導式
120kW出力(30kW×4台)
充電時間は両ターミナルで10分間
ギャップは4cmで下降時間は2秒
地上コイルの耐荷重は6トン
冷却方式 1次側 水冷
2次側 空冷
高周波電源装置はコイル下
高周波ラインが短い
設置性が良い
景観性が良い



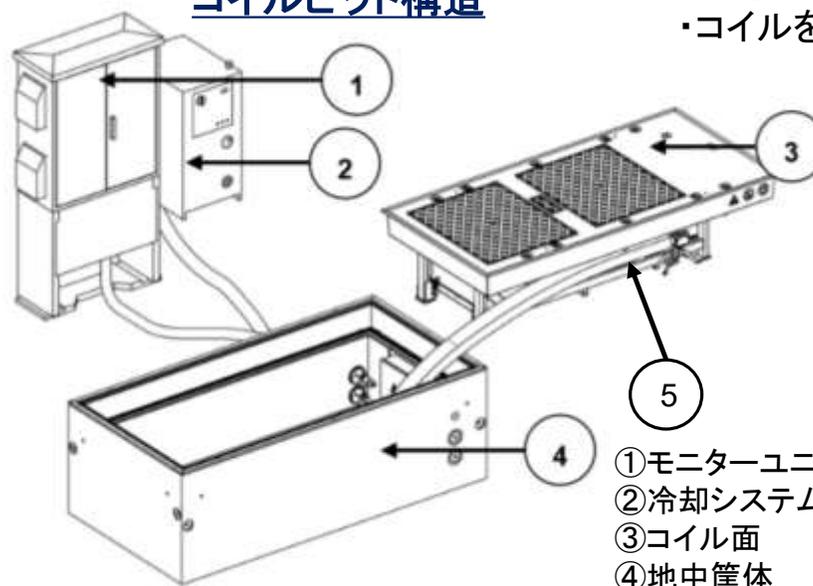
コイルピット構造

2次コイルは昇降式



日本国内導入当時は昇降式は否定的

- ・ギャップを広げる方向への開発
- 昇降式の利点が見直されつつある
- ・大電力でも電磁波漏洩対策が容易
- ・コイルを小型にできる



- ①モニターユニット
- ②冷却システム
- ③コイル面
- ④地中筐体
- ⑤高周波電源装置



地上コイル



2次コイルの設置状況



地上コイルの設置



中国でのワイヤレス充電バス

ZTE(中興通訊)のワイヤレス充電バス展開



ZTEが戦略的パートナーシップを結ぶ38市のうちe-BUSを導入した市(2015年)

赤字 2016年8月実施(環境省PJ)
 緑字 2016年1月実施(Volvo PJ)



Zhangjiakou
 张家口
 (kW×4基)



Hohhot
 呼和浩特
 (kW×2基)

Changchun
 長春
 (kW×3基)



Chengdu
 成都
 (30kW×2基)

Zhengzhou
 郑州
 (120kW×5基)



Lijiang
 丽江
 (30kW)

Xiangyang
 襄陽
 (120kW×2基×2か所)



Dali
 大理
 (30kW)

Guiyang
 貴陽
 (30kW×2基)

Huidong,
 Huizhou
 惠州惠東
 (120kW×2基)

Shenzhen
 深圳
 (60kW×2基)

2016年12月、ZTE Smart Auto が深圳公共交通から204台のWPT付きバス受注



EVバス運行路と充電場所（運用中の都市）



襄陽市



全長 約22.6km



車両外観



横2連の車上コイル



地上コイル

鄭州市



全長 約43.7km



車両外観と電源盤



車上コイル



縦2連の地上コイル

ルート全長：22.6km
コイル設置：2台×2ターミナル
電源盤出力：120kW(60kW×2台のコイル)
運行：2014年9月開始



2基の120kW電源盤と冷却システム、
奥に高圧電源盤(160kVA)

ルート全長：43.7km
コイル設置：2台×10基
電源盤出力：120kW
(60kW×2台のコイル)
運行：2014年9月開始

第2期工事を計画中



米国でのワイヤレス充電バス

カリフォルニア州Monterey市のWPT式EV Bus運用



2014年Q3 商用運用を計画
2016年6月 実運用開始

運用社 Monterey Salinas Transit

ルート仕様

・走行距離 7.2km

ワイヤレス給電システム仕様

- ・製造所 WAVE
- ・出力 50kW
- ・周波数 23.4kHz
- ・エアギャップ 17.8cm
- ・充電 30分間運用
10分間充電
- ・充電場所 1箇所

バス仕様

- ・タイプ コーチ型
- ・電池搭載量 213kWh
- ・台数 2台



EVバスルート

出典:IEEE ECCE2013 SS3.3 Hunter Wu
<http://www.montereyherald.com/article/NF/20150608/NEWS/150609796>

出典: <http://www.lbbizjournal.com/single-post/2016/04/11/Long-Beach-Transit-Receives-First-Battery-Electric-Bus>



地中に設置された1次コイル 2次コイルの設置状況

ロングビーチで商用運用を開始

2016年4月から運用開始

ルート走行距離 8.6マイル

ワイヤレス給電システム仕様

- ・出力 50kW
- ・充電 1時間運用中、10~20分間充電
- ・充電場所 2箇所



EVバス用ワイヤレス充電システム



製造所	東芝	昭和飛行機工業	WAVE	中興通信 (ZTE)	OLEV Technologies	Momentum Dynamics	IPT Technology	IPT Technology	Bombardier
型式名		SIPS30K/50k			OLEV		IPT Charge	IPT Charge	PRIMOVE200
出力	44kW	30/50kW	50kW	30/60/120kW	100kW (20kW x 5)	50kW/200kW	120kW (30kW x 2 x 2)	100/200/300kW (50kW x 2/3/4)	200kW
ギャップ	10.5cm	12cm/5cm	20cm以下	16~25cm	20cm	15~20cm	4cm	13cm	1.5~4.5cm
許容位置ずれ	左右20cm 前後15cm	±10cm/±5cm	±12.5cm	±15cm		40%の円内/	左右±5cm 前後±5cm		左右±10cm 前後±30cm
効率	84%	92%/93%	90%	90%	83%	90~91%	93%	90%	90%
	AC~DC	AC~DC	DC~DC	AC~DC	AC~DC		AC~DC	AC~DC	AC~DC
コイル形状	Solenoid	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
2次コイル寸法	62 x 80 x 4.65cm	120/84.7x120/ 84.7x 3.3cm	91cmφ	1m ²	125 x 69 x 11.7cm x 5	122cmφ/	102.5 x 87.5 x 6cm x 4	110 x 108 x 5.5cm x 2/4/6	220 x 90 x 10cm
2次コイル重量	107kg	60kg/37kg			600kg(120kg x 5)	22kg/	280kg (70kg x 4)		350kg
周波数	85kHz	22kHz	23.4kHz	85kHz	20kHz	23.5kHz	20kHz	20kHz	20kHz
発表時期	2015	2008/2011	2016/6	2014/9	2014/9	2013/9/2017/6	2014/1	2016/1	2014/3
備考			通信はDSRC	2次コイル 昇降式もあり	KAISTの事業実 施会社		2次コイル昇降式	ニーリング機能	2次コイル昇降式 FOD、清掃装置
運用都市	川崎 (終了)	長野 (終了)	Monterey	成都/襄陽/ 鄭州/深圳	亀尾/大田広域	Columbia	Milton Keynes/ s'Hertogenbosch	London	Braunschweig/ Bruges/Berlin
写真									



1. ワイヤレス給電システムとは

2. EV用ワイヤレス給電の動向

3. 汎用機器向けワイヤレス給電の動向

4. ワイヤレス給電における課題

5. 将来の展望



家庭・オフィス機器への応用



水回りで使用したり待ち受け時間の長い電気製品



位置決め用兼
磁束鎖交用コ
ア中央凸極部

電動歯ブラシや髭剃り



電話子機やインターホン
とその回路例



小型・薄型化でコネクタレス にしたい機器



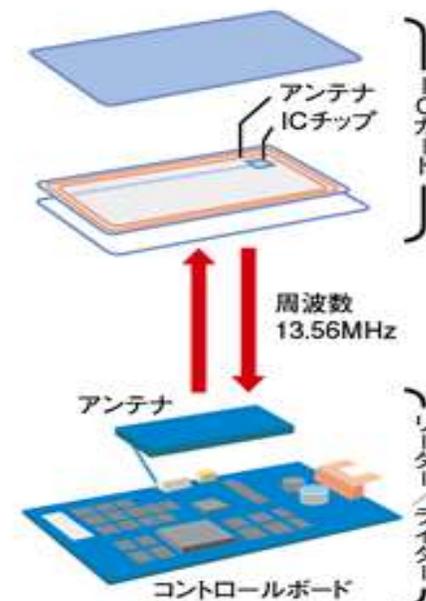
FOMA®端末用



SUICAもワイヤレス給電



”完全なワイヤレス給電機器”



Fellica読み書きの仕組み
(出典：ソニーHPより)

単3型のアルカリ電池の場合

- ・Panasonicの単3アルカリ電池容量
 - 1時間かけて放電の場合 → $900 \times 1 = 900\text{mAh}$
 - 5時間かけて放電の場合 → $300 \times 5 = 1500\text{mAh}$
 - 10時間かけて放電の場合 → $180 \times 10 = 1800\text{mAh} (1.8\text{Ah})$
 - ・最大容量の10時間率での電池エネルギー量
 $1.5\text{V} \times 1.8\text{Ah} = 2.7\text{Wh}$
 - ・Panasonicの単3アルカリ電池価格
オープン価格なので量販店での4社平均単価 → 74円/本
 - ・電池の電気代
 $74\text{円} / 2.7\text{Wh} = 27.4\text{円} / \text{Wh} (27,400\text{円} / \text{kWh})$
 - ・電力会社の電気代
電気代単価は27円/kWh(主要電力会社10社平均単価・2014年春)
- 実に、電池の電気代は商用電気の1,000倍以上の高さ
 - 更に多くの金属資源を浪費(1本につき23.5g)する



ワイヤレス給電による常時給電あるいは蓄電池への充電が求められる

出典: http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlgj/qAAC4000_JP.html
http://csknowledge.panasonic.co.jp/app/answers/detail/a_id/9728

電池へのワイヤレス充電



Charge Pad

(出典: 三洋カタログ)



Charge Pad

(出典: パナソニックカタログ)



置く電池

(出典: AAK社カタログ)



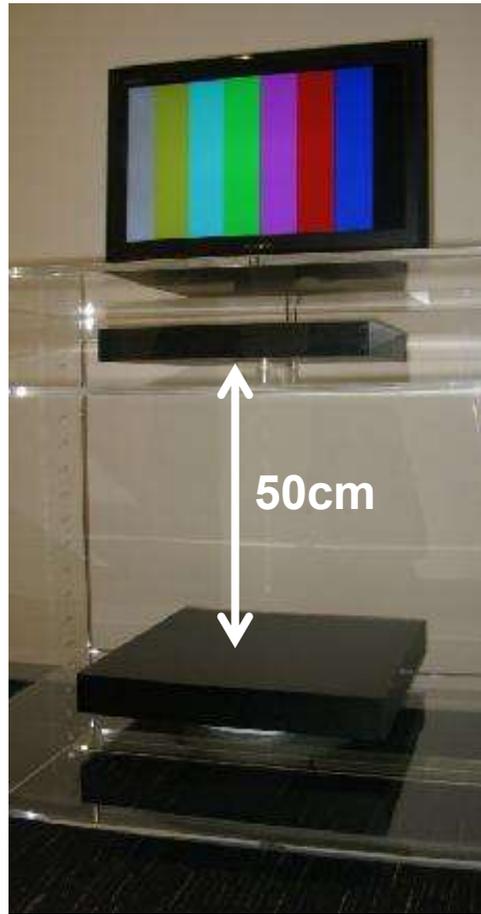
LEDホームライト

(出典: プロト社カタログ)



ソニーのワイヤレス給電システム

距離50cmで約60Wの電力伝送
伝送効率約80%



<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/200910/09-119/>

日立マクセルのiPad2用Air Voltage

約10Wの電力伝送
伝送効率約70%

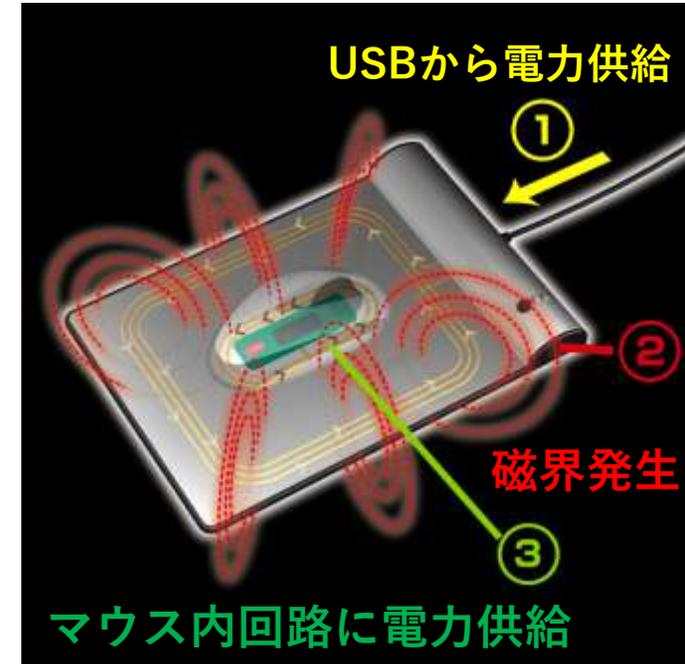


デルのワイヤレス給電システム



サンワサプライのワイヤレスマウス

約0.2Wの電力伝送



出典:
<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2007/0523/sanwa.htm>

家庭内でのその他の応用例



ハンディ電子機器



デジタルビデオカメラ「HC-V720M」



腕時計「W700」

ワイヤレス給電タンブラー

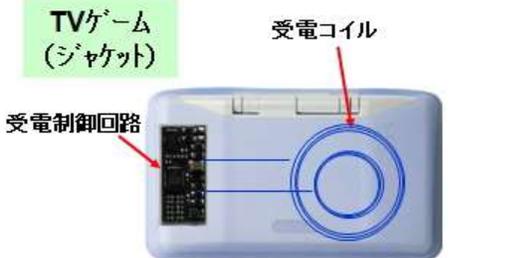


ディサプライン社DS Hot Mug
出典: <http://hi722.blog95.fc2.com/blog-entry-1218.html>

ゲーム機へのワイヤレス充電



置きらく充電 レシーバー for PS3
(出典: スペックコンピュータ社カタログ)



ワイヤレス充電システムESPASIO-5
(出典: クリーンパワー・テクノロジー社カタログ)

室内ディスプレイへの給電



ヘッドフォンへの充電(TDK)

出典:
http://www.amazon.co.jp/dp/B00ATOD892/ref=cm_cr_asin_ink

ドアモニターや電子ロックのワイヤレス給電への応用



ワイヤレス給電式ドアモニターシステム

映像をワイヤレス送信する電源は乾電池、待機電流が多く直ぐに電池が無くなる



ワイヤレス給電式電子ロックシステム

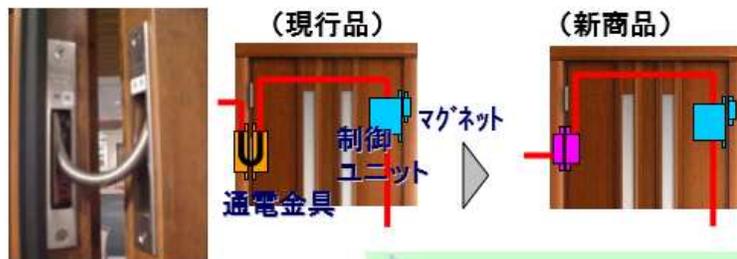


電子ロックの電池交換作業



第1回Qi(チー)ワイヤレスパワーアイデアコンテストに早稲田大学紙屋研究室の修士1年呉さんがドアモニターへのワイヤレス給電システムを応募、CEATEC2015に展示されTDK賞を獲得した(2015年)

■新技術
ワイヤレス給電式電子ロックシステム (LIXIL)
ワイヤレス給電で簡単施工 **業界初**
本体と枠の結線作業や調整が不要。吊りこむだけでOK



ドア開時の無給電状況

ドア側二次コイル

枠側一次コイル (これはリジットプリント基板だが、実際はFPCコイルを使用)



ドア閉時の給電状況

実験用ワイヤレス給電キット

電子ロックを模した箇所のLEDが点灯し、給電されていることを示している



長岡技術科学大学と日本ケミコン
(二次電池展2014)

埼玉大学とベルニクス(武蔵浦和駅前2016ほか)



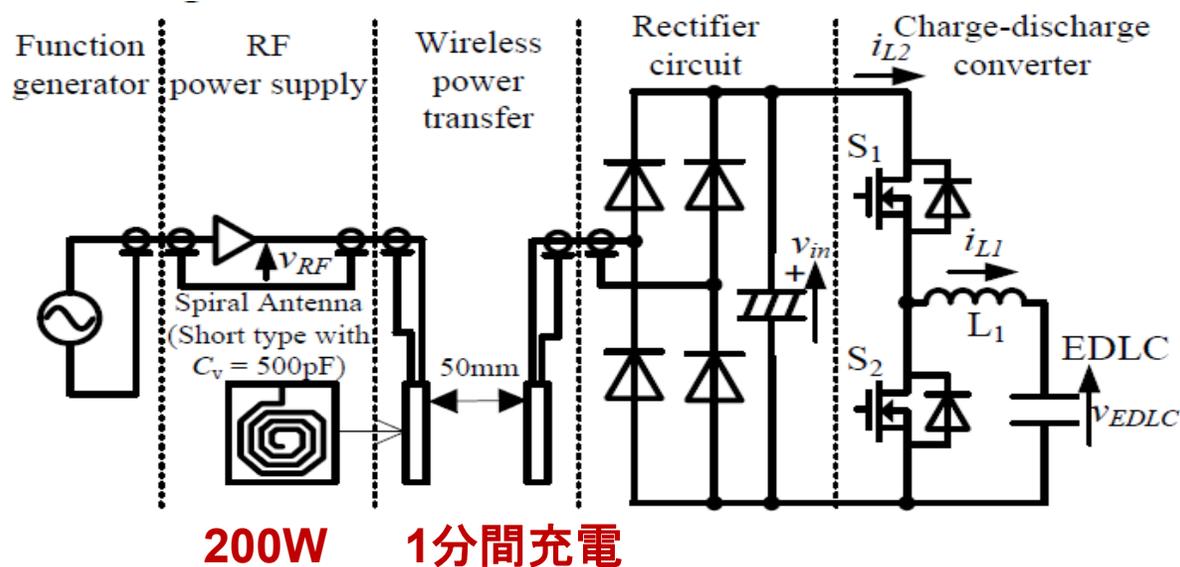
電動アシスト自転車



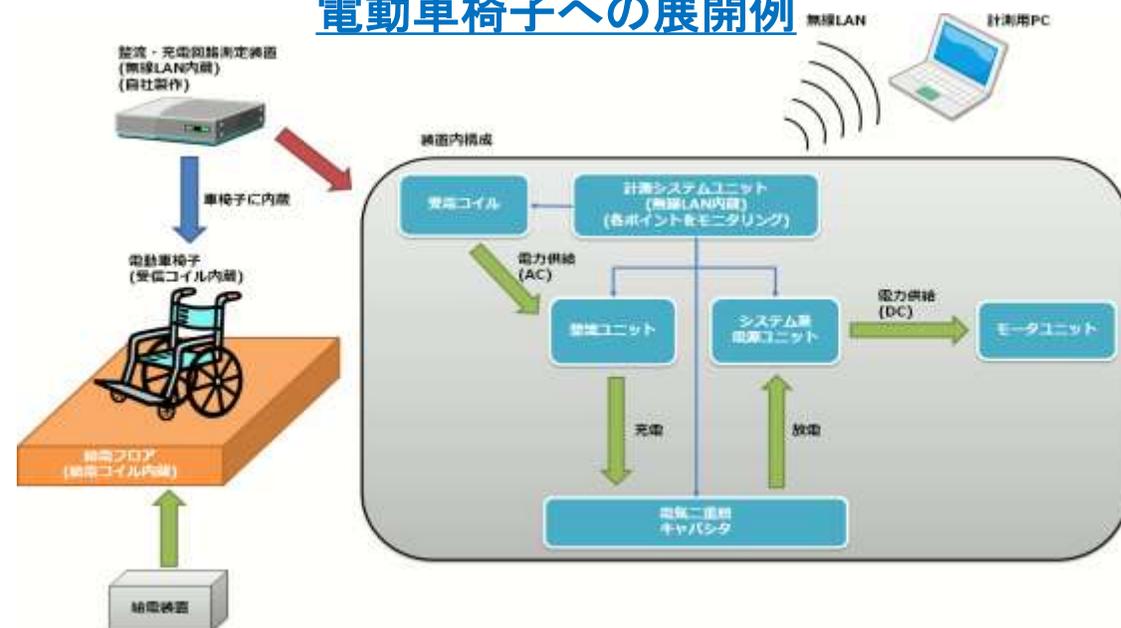
対向送受電コイル式



差し込み送受電コイル式



電動車椅子への展開例



パワーレンジと機能	アプリケーション
<p><u>2.5W以下</u></p> <ul style="list-style-type: none">・より小さく・充電機能の集積度	
<p><u>5W</u></p> <ul style="list-style-type: none">・良好な熱対策・より薄く・他の応用への充電制御機能の有無	
<p><u>10~15W</u></p> <ul style="list-style-type: none">・良好な熱対策・より薄く・他の応用への充電制御機能の有無・5Wとの互換性	
<p><u>15~120W</u></p> <ul style="list-style-type: none">・12.6~21V出力の3~5セル構成・良好な熱対策・バッテリーパック充電御機能の付加・Qi規格仕様の開発は2018年以降	
<p><u>120W以上</u></p> <ul style="list-style-type: none">・各社による独自検討段階・Qi規格仕様については白紙状況 <p>将来的な展開</p>	



モバイル機器への応用

岡村製作所「AirFeed（エアフィード）」シリーズ2012年6月発売

4つの利用シーン



テクノフロティア2012にて



クライアントとのミーティング中に（テーブル）



同僚との憩いのひとときに（カウンター）



机上面に表示された「qi」マーク



企画を練っているときに（ハイテーブル）



個人用ブースでの作業中に（アクセスボックス）

「qi(チー)」規格対応

- ・配線、送電コイルフラット組込み型オフィス家具
- ・机上面に「qi」マーク表示
- ・天板は非防水構造
- ・Convenient Power社の「qi」システム組込
- ・最大出力:5W
120Wクラスにも対応予定(PC用)
- ・価格:ハイテーブル98,595円～

IKEAのワイヤレス給電照明



SamsungのA4WPを使ったワイヤレス給電家具



Figure 9: Samsung's wireless charging table for Cafes

店舗へのQiワイヤレス給電導入事例



ANA 空港ラウンジ



プロント、タリーズコーヒー



てもみん



NOKIAによる空港コーヒー店



テーブルの裏面

自動車でのQiワイヤレス給電導入



トヨタが北米向けAvalon
2013モデルのコンソールに
Qi充電パッドを装備



Jeep Cherokee 2014モデルに搭載



デンソーがプリウス向け車載用ワイヤレス
充電器を発売 価格は1万4910円





水中機器・ロボットへの応用

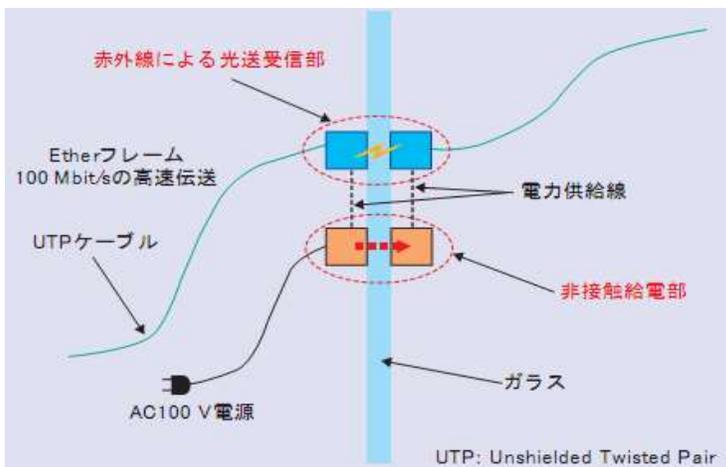
水中／壁を通してワイヤレス充電できる



水槽壁の内外に置いたコイル間で給電ができ、水中モーターを駆動する。感電しない。

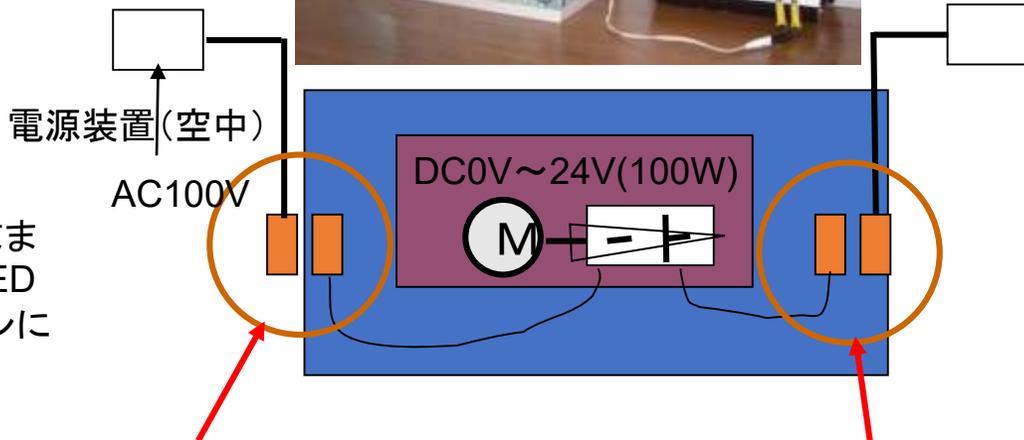
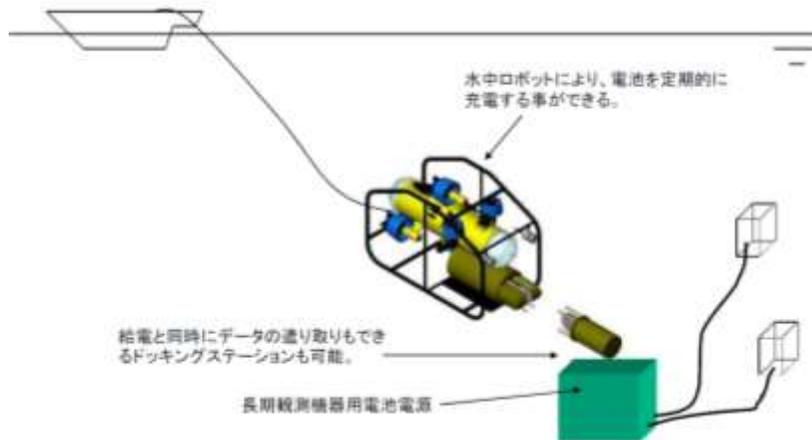
応用

- ・水中ロボットへの給電
- ・ガラス窓を通して給電



窓を閉めたまま
ベランダのLED
デコレーションに
給電できる

隔壁が樹脂、ガラスなどの非金属であれば隔壁給電式も可能



水中コンセント



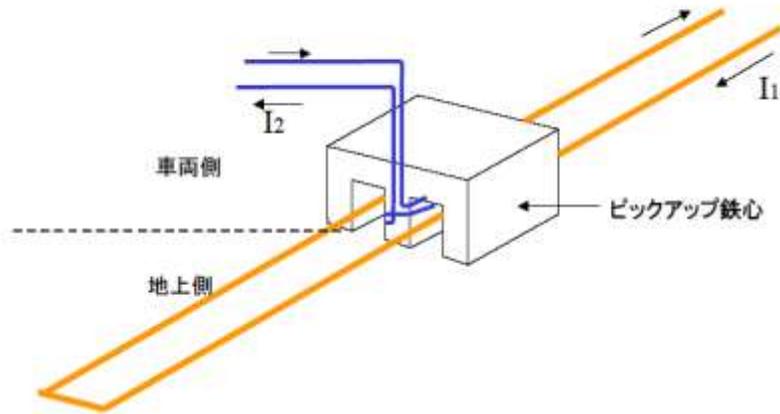
試作AUV「マリンバード」
出典：川崎重工技報第154号2004年1月



往還型深海探査機「江戸っ子1号」

出典：日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会
第23回海洋工学シンポジウム2012年8月

レール式電力伝送システム構成図



EXPO 2000, ハノーバー市
HERMES TOWER用エレベーター



オフィスビル用斜行エレベーター
(2005年ハンブルグ)

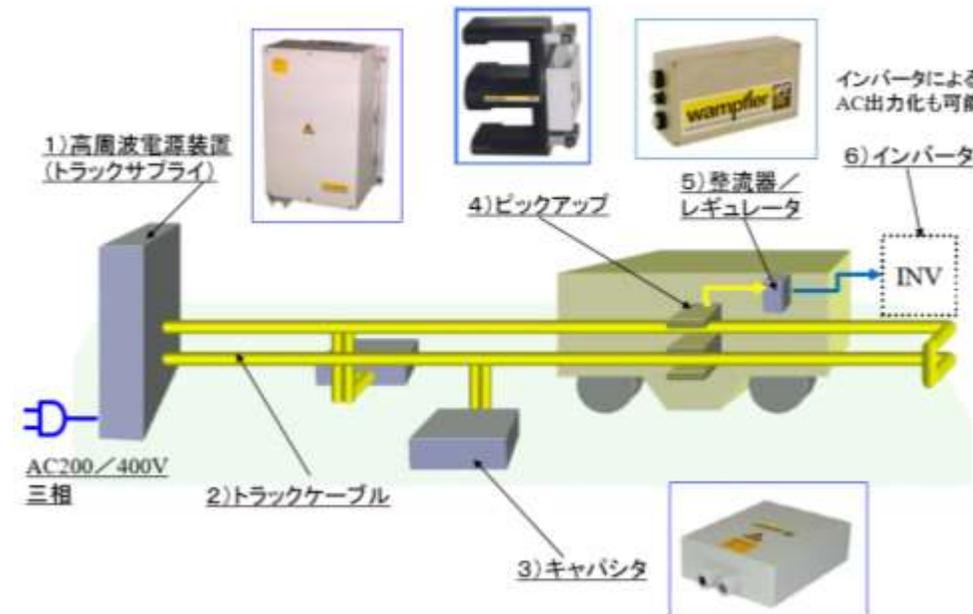


写真: Wampfler社提供

照明、換気、扉、通信用電力供給
通常のケーブルカーにも適用可能

スプラッシュゾーン用途例

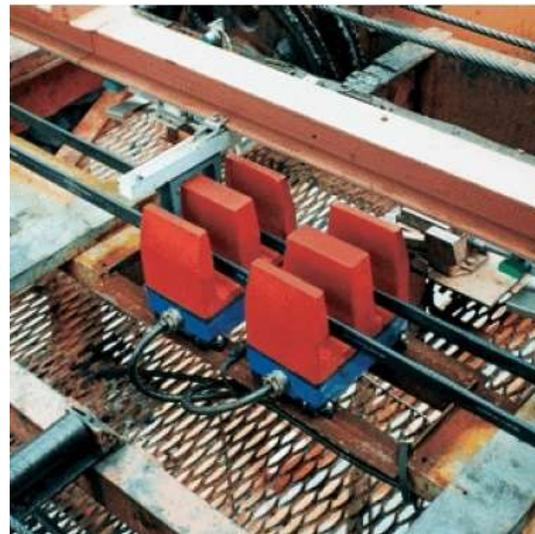
アミューズメント用途



オランダ: Walibi World(2005)

写真: Wampfler社提供

コンテナクレーンへの適用例



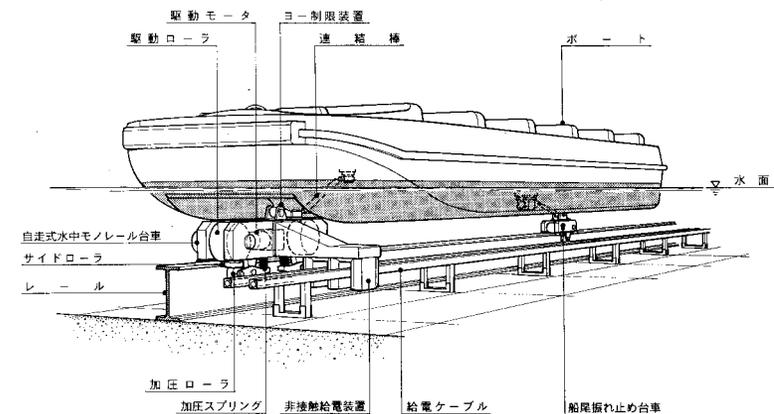
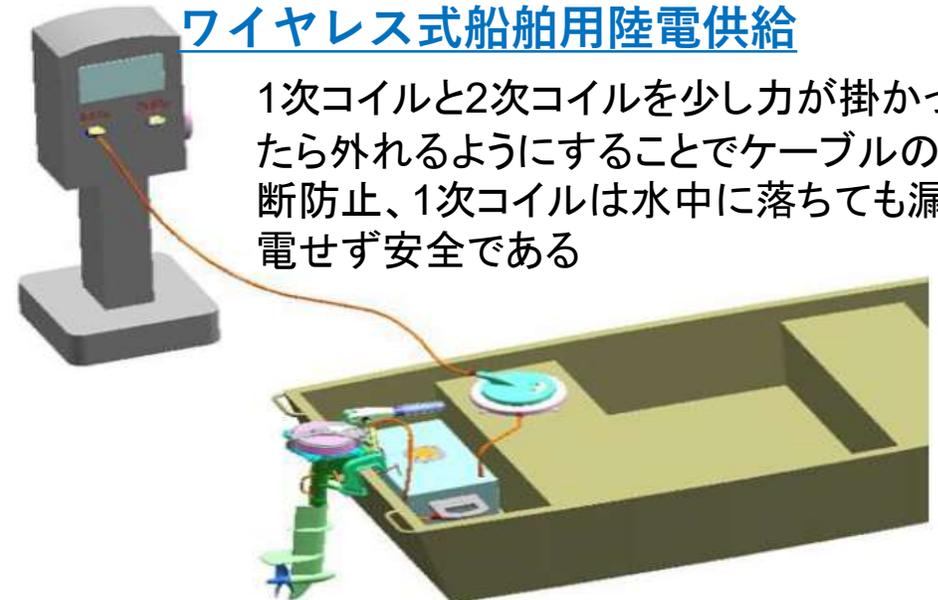
Roadway Lighting使用例



写真: Wampfler社提供

ワイヤレス式船舶用陸電供給

1次コイルと2次コイルを少し力が掛かったら外れるようにすることでケーブルの切断防止、1次コイルは水中に落ちてても漏電せず安全である



日本での水中仕様の提案例OLC向け
(ディズニー・シー)

図: 三井造船提供

出典: Paul Vahle GmbH & CO.のHPおよびカタログ

2005年の愛知万博に出展

小型非接触給電システム(600W)が搭載された総合警備保障株のC4ロボット

床に埋め込まれたコイルの上にロボットが載ると電池に充電ができる

ホンダのアシモは連続では30分しか出演できないが、C4ロボットは朝から晩まで出演できた

コストパフォーマンスを上げるため、夜は警備ロボット、昼はロボビーの充電器が埋められた場所で案内ロボットとして使う



写真: 総合警備保障提供

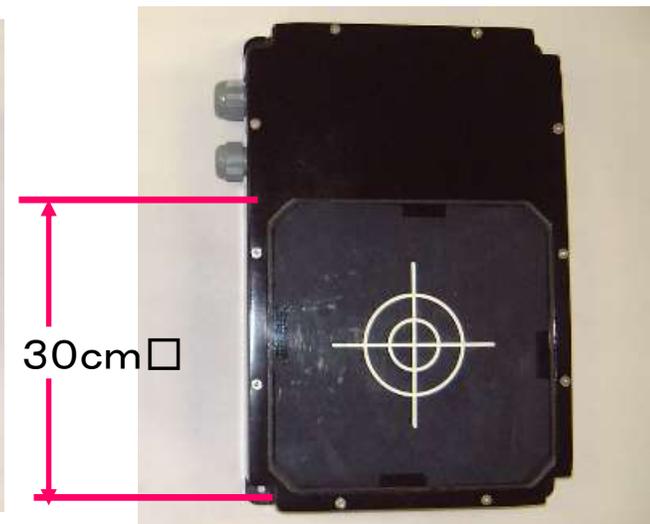


高齢者見守りロボット

- ・ピップ(株)の24時間見守り機能付きメンタルケアロボット
- ・高齢者との遊び相手の3歳児のイメージ
- ・介護サービスへの通報機能
- ・ワイヤレス給電機能
 - ・高齢者の充電へのストレスフリー
 - ・電界結合式を搭載
 - ・送電部は椅子
 - ・受電部は人形のお尻



ロボット側2次コイル

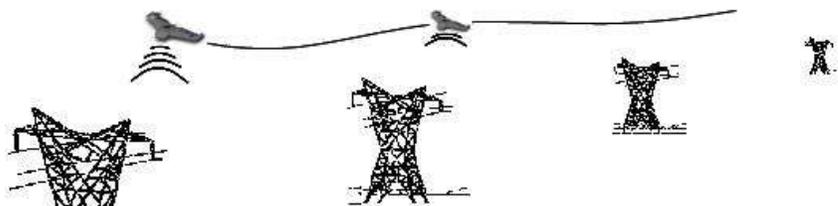


床埋め込み用1次コイル

小型無人偵察機「Devil Ray」のワイヤレス給電



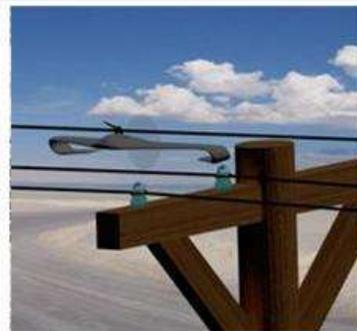
Small Unmanned Aircraft System (SUAS).



送電線の磁界を探し、それに沿って移動して偵察

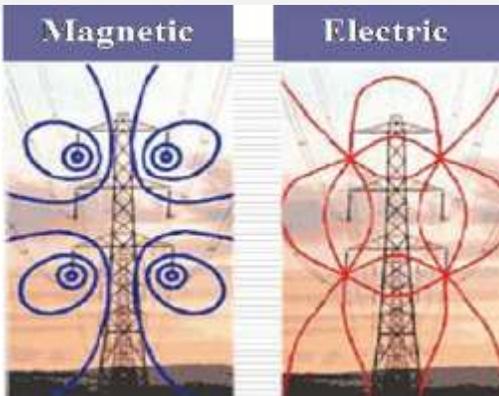


敵情偵察



送電線につかまりワイヤレス充電

充電中でも偵察を続行



送電線は格好な航法用ビーコン

- ・PLUSプログラムで2006年から開発
- ・Defence Research Associates社が取り組む
- ・プロトタイプの試験中
- ・発進は手投げ
着陸は近傍磁界センサー
- ・送電線探索は遠方磁界センサー
- ・充電は商用周波数での電磁誘導方式



推定性能	
最大ペイロード	0.9 kg
最大飛行時間	85 分
巡航速度	68 km/h



工場内機器等への応用

レールシステム 工場内搬送システム



自動車組立・溶接・塗装ライン用途 (モノレールタイプ)



三菱自動車、豪州



BMW、ドイツ

物流・搬送・クリーンライン用途 (搬送台車システム)



スキレットシステム

(ソーティングシステム)

(AGVタイプ)



DAF、オランダ



GM、上海



写真: Wampfler社提供

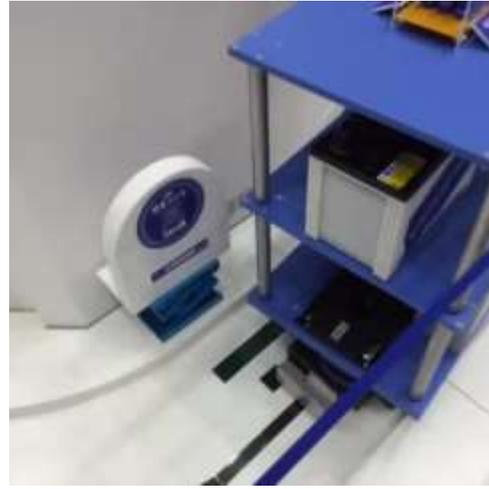


Wal Mart、ドイツ

キャパシタ搭載工場内搬送台車 (AGV) へのワイヤレス給電



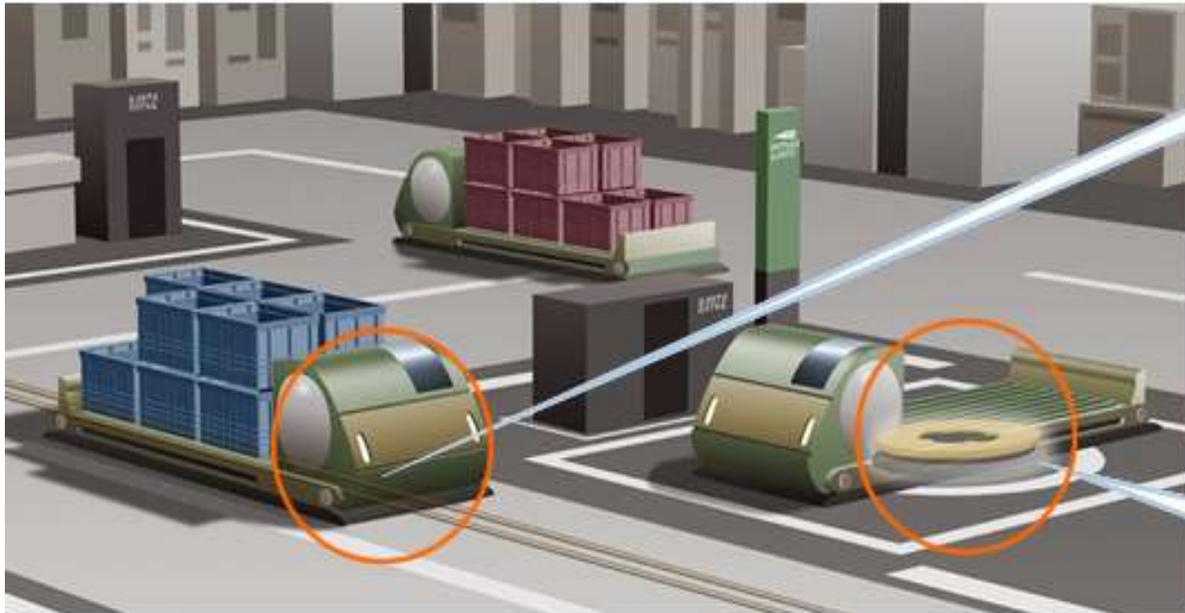
キャパシタAGV向けワイヤレス給電(ダイヘン)



AGV向けワイヤレス給電(HEADS)



AGV向けワイヤレス給電
(昭和飛行機工業)



キャパシタAGV向けワイヤレス給電(ダイフク)

バッテリーレス
移動中給電

キャパシタ
ワイヤレス急速充電



潜り込み式AGV用ワイヤレス給電 (日本テクモ)



セル生産への対応が求められる

自動車や家電などでの組み立てライン

電池ユニットの損耗が激しい

短時間での頻繁な取り外し

電池寿命が短い

軽量で長寿命のキャパシタに期待

締め付け本数を少なくし、短時間充電

電磁結合面が規定距離内を検知したら給電開始の機能付き

応用

・小型ロボットの充電



システム全景

HIOS®
 スーパーキャパシタードライバー
世界初!
MODEL SCL-2000 PAT. P

◆キャパシタを電源とした精密電動ドライバー化を世界で初めて実現



【特長】

1. 急速充電 — 超急速10秒充電/30本ねじ締め可能、100万回充電可能です。
2. 小型・軽量 — 小型・軽量（400g）、女性でも負担なく作業ができます。
3. 機動性 — コードレス化により作業領域は広範。場所を選ばない作業ができます。
4. 簡便性 — スロットイン・スタンドタイプのため、置くだけで即充電します。
5. 安全性 — 電池ではないので充電中は発火の恐れがありません。
6. 定速性 — 作業中の電圧降下を防ぐ安定回路を内蔵。充電量が不足しても、ムラのないねじ締め作業ができます。
7. リサイクル性 — コンデンサなので、電池に比べ破棄が容易です。

株式会社 **ハイオス** 〒270-2223 千葉県松戸市秋山111-6
 TEL:047-392-2000 (代) カタログ記載内容：2012年2月現在

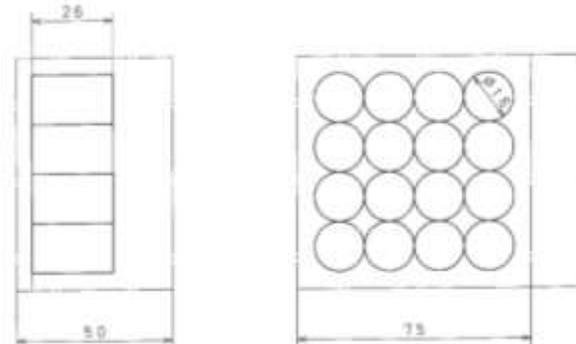
使用キャパシタ
 (Maxwell殿ご提供)



送電コイル



受電ユニット
 (受電コイル+整流器)



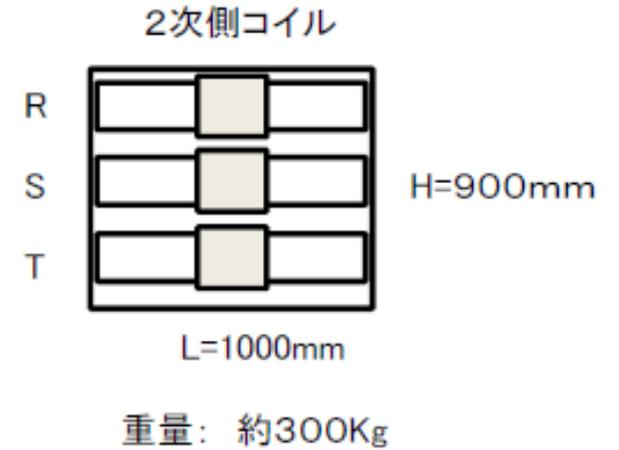
既存の電池ケース内への配置検討



- ・インバーターで高周波化せず、50/60Hzの商用周波数を使って非接触で伝送
- ・小出力ならば単相でも良いが、大型のものは3つのコイルで3相を伝送させることも可能
- ・大型になるが耐久性を必要とする応用に使える

他の応用

- ・船舶用陸電の供給充電



2次側コイルをここに
設置して地上の1次
コイルから給電する

モーター車
混鉄車を回転
させる

混鉄車
300トンの銑鉄
を運搬する

機関車
混鉄車を移動
させる



地中埋設1次コイル

TDLジョリートrolley向け



製鉄会社混鉄車向け



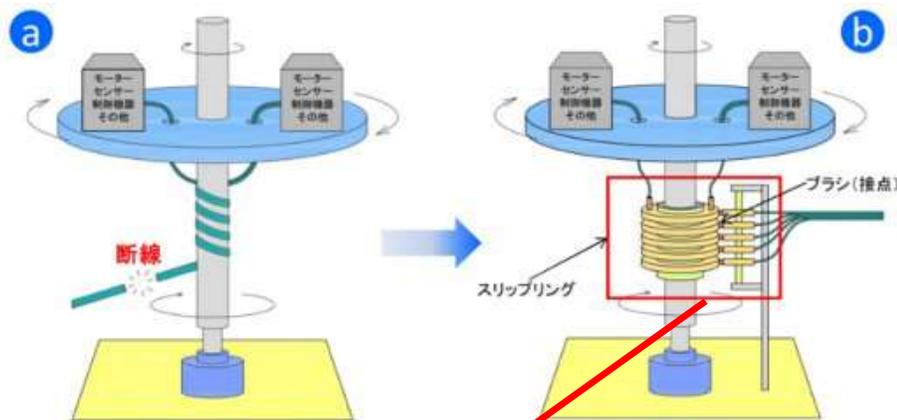
回転機器への応用

回転体へのワイヤレス給電

コイルを向かい合わせるだけで、回転体に影響を与えない軽量、接触抵抗無しで連続的に給電できる電力だけでなくCCリンク等で信号授受も可能

応用

- ・防水型給電ソケット
- ・光-電力複合カプラーに 응용可能



ロボットの腕回転部



平面式代用スリップリング



中央に光通信装置装備可能



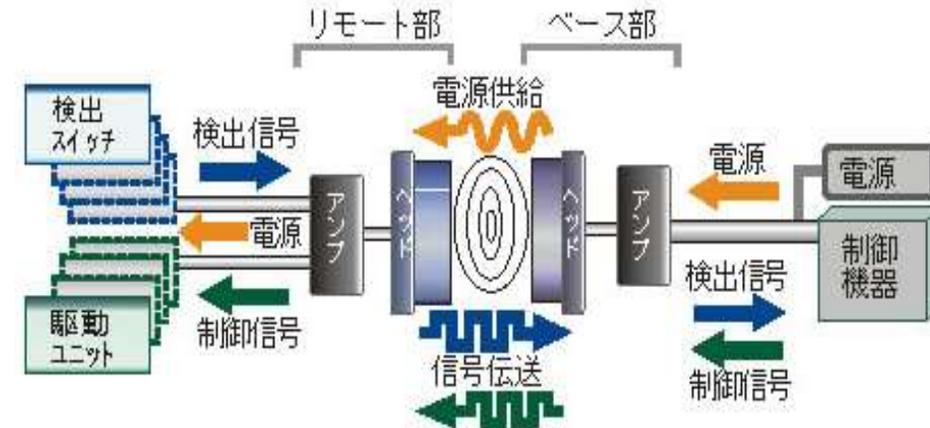
実際のスリップリングの構造



円周式代用スリップリング



リモートカプラーシステム



出典:ビー・アンド・プラス社カタログより

劇場の回り舞台用途

従来の方式



コンダクターレール



レール式ワイヤレス給電方式



設置場所	: Staatstheater Braunschweig(2004)
舞台	: 重量 70トン 舞台長さ 17m
回転速度	: 6m/min.
ピックアップ	: 2.2kW×10台
ケーブル長さ	: 45m
高周波電源容量	: 35kW



バネ式または電動式ケーブルリール

- ・ 摩耗、ケーブル損傷
- ・ 火災

Rotational system with high-power WPT

High-power WPT to minimize sound and wear for CT scanners

Application

Slip rings usually provide the high level of power required by generators in the high-speed rotational units of CT scanners. This high-power WPT system is intended to replace these slip rings.

Challenge

Designing wireless power transfer system for high-power rotational system. The conversion efficiency is critical.

Innovation

Very high-power and high-speed rotational interface by means of modular magnetic elements to create a robust – yet lightweight and efficient – power path.

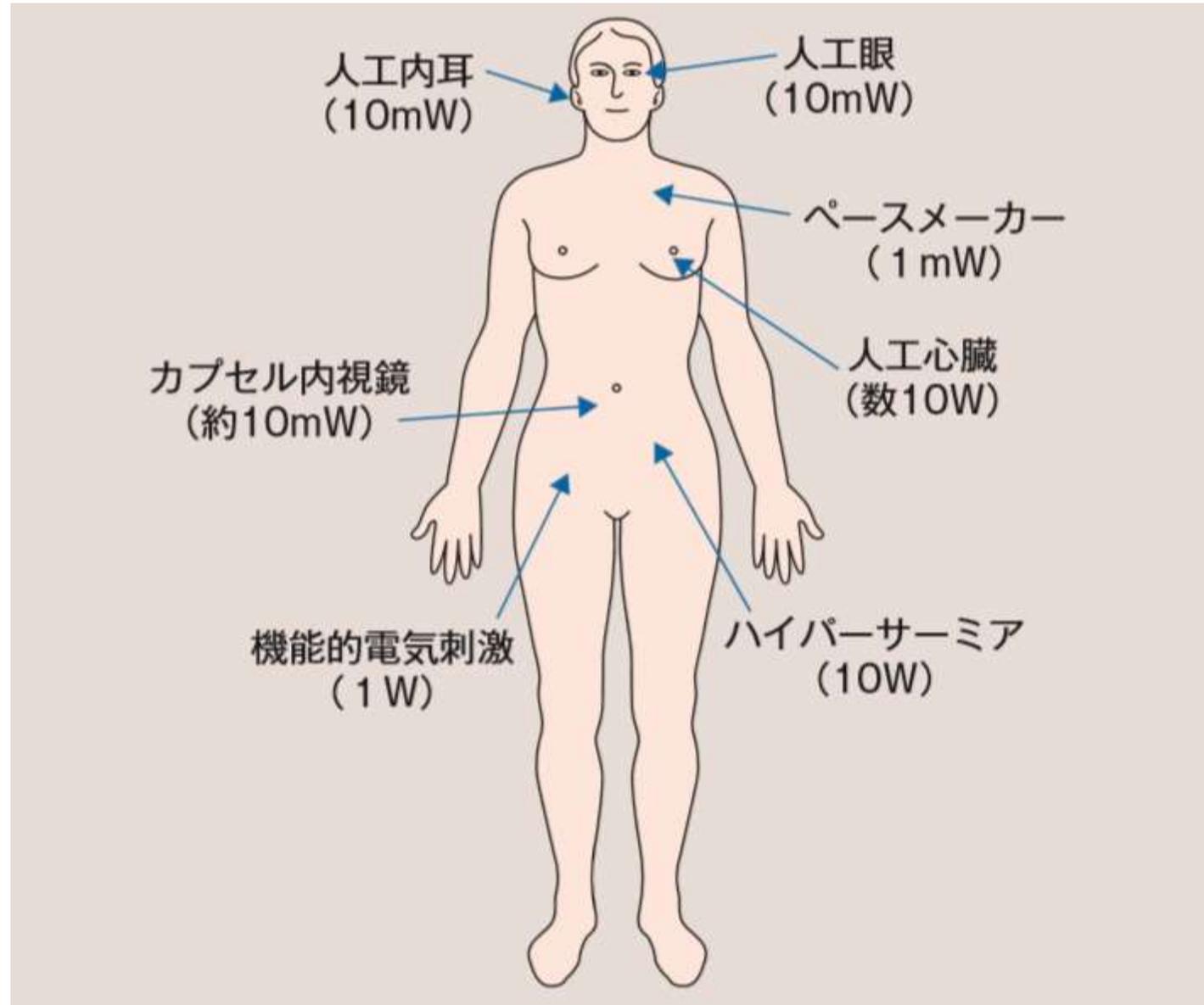
Key specifications

- Power: 200 kW peak, 100 kW continuous
- Switching frequency: 20 kHz
- Power transfer efficiency: 98% for the couplers, 90% end-to-end
- Type: electromagnetic coupling
- Additional technologies: high rotational speed of 300 rpm, separate optical data links (Gbit/s)

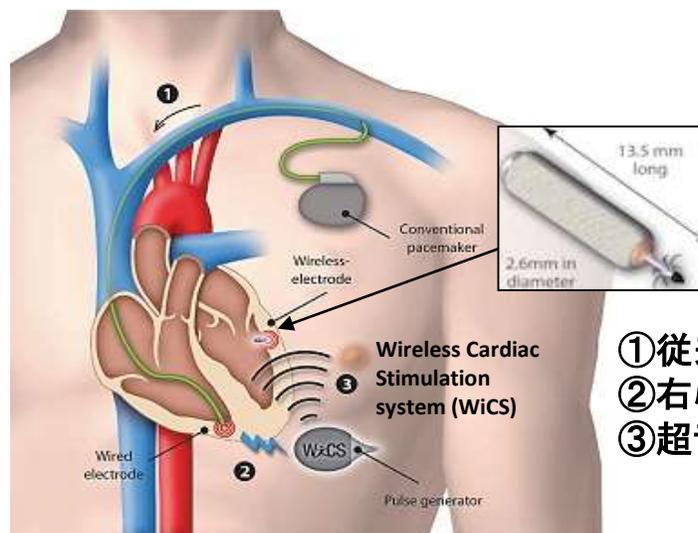




医療機器への応用



英Cambridge Consultants社が米EBR Systemsと世界初のワイヤレス給電方式心臓ペースメーカー共同開発



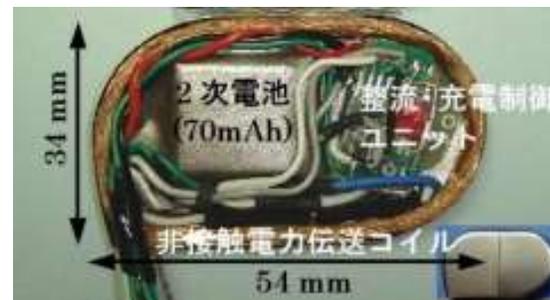
- ①従来配線
- ②右心室パルス
- ③超音波電力伝送

従来方式心臓ペースメーカー

- ・電源 リチウム一次電池(胸部埋め込み)
寿命は10年程度
- ・電源部サイズ 5cm程度と大きい
- ・配線
上大静脈経由で右心室内の電極に
冠状静脈洞など経由で左心室の電極に

この配線をワイヤレス化
電池の交換は定期的に必要

解決策

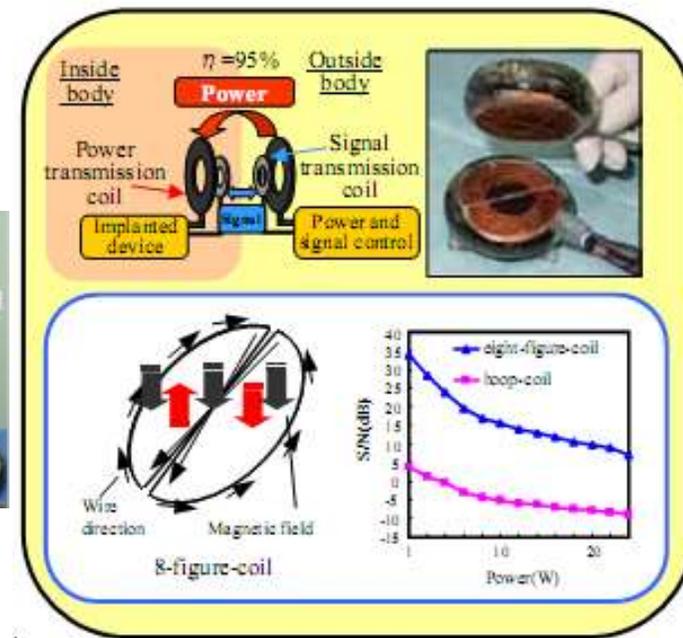


①エネルギー・ハーベスティング

英Zarlink Semiconductor社 (Microsemi社が買収) のコンソーシアムがSIMM (SELF-ENERGIZING IMPLANTABLE MEDICAL SYSTEMS) プロジェクトで、心拍をエネルギー源とする心臓ペースメーカーのプロトタイプを開発
駆動に必要なエネルギーの2割程度を発電

②体外からの非接触充電システム

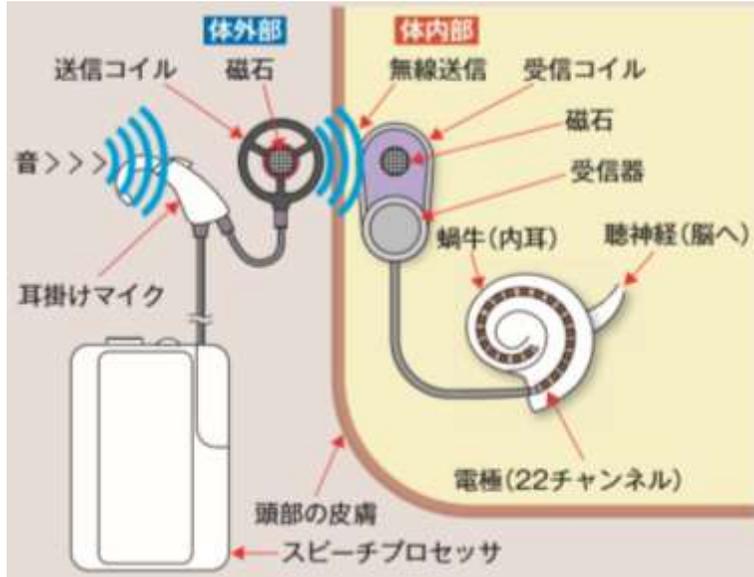
東北大松木研究室





人工内耳への応用

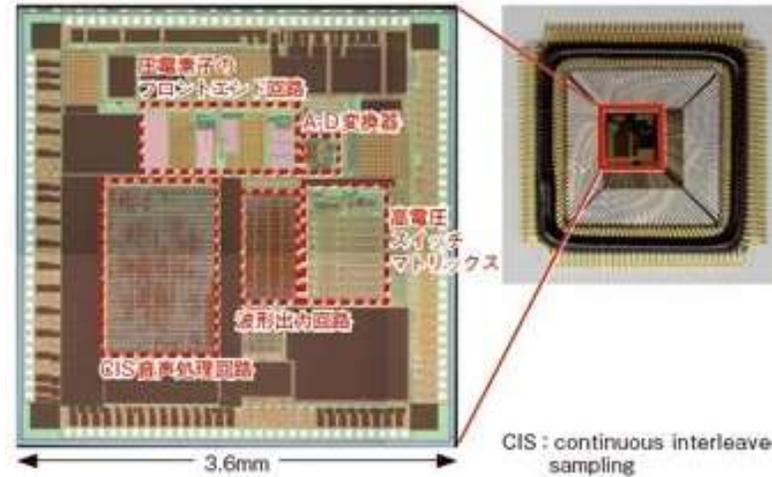
人工内耳の仕組み



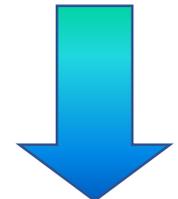
出典: <http://www.ricoh.co.jp/shuwa/qa/naiji.html>

中耳を利用しマイクレスに

MITのワイヤレス送電器を装着したスマートフォンを耳にあて、耳に埋め込んだ小型電池を1日1回充電してICを駆動するシステム



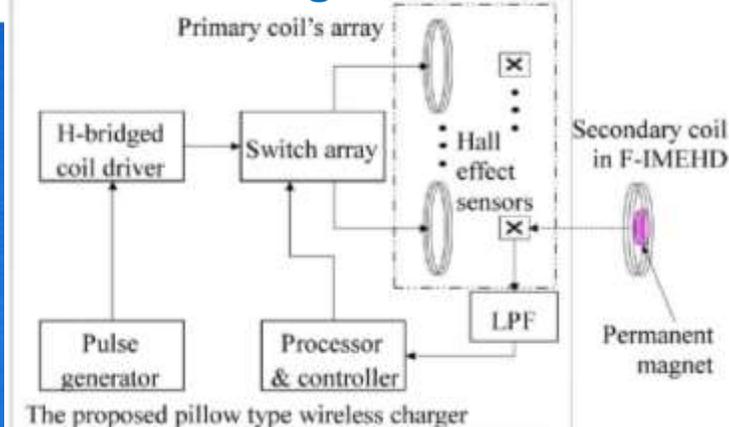
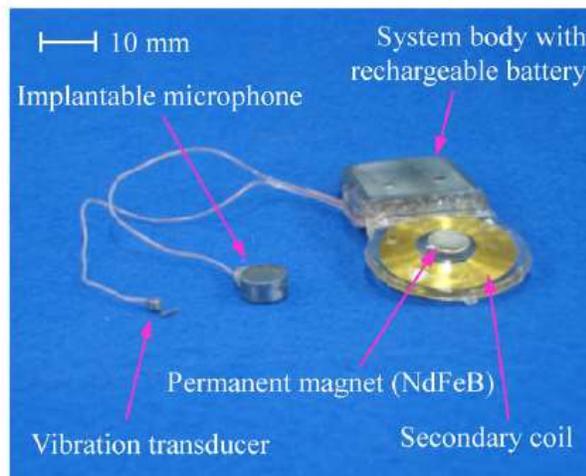
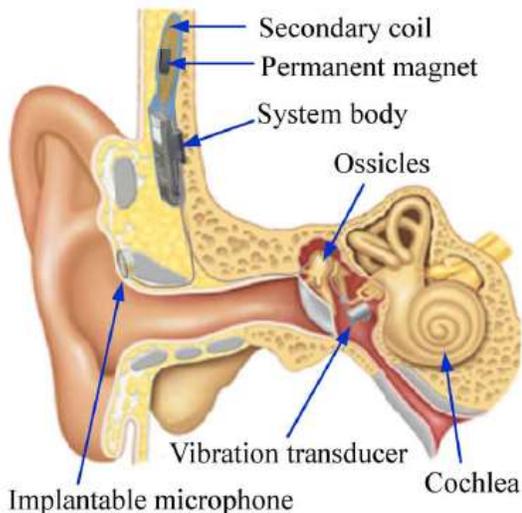
従来システム



新型システム



最新システム F-IMEHD (Fully Implantable Middle Ear Hearing Device 韓国)



寝ている間に人工内耳を充電するスマート枕

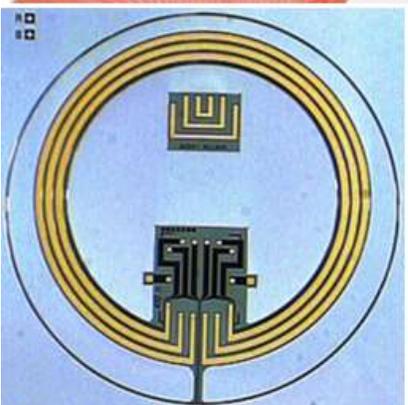
出典: IEICE Electronics Express, Vol.6, No.18, 1318-1324

出典: 日経エレクトロニクス, 2014年3月3日号, pp.16-17

眼圧測定機能付きコンタクト・レンズ

スイスSensimed社製

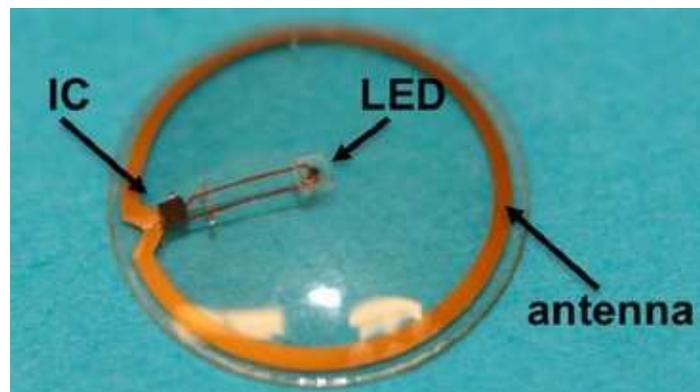
眼科医が患者に装着し、翌日取り外すまでの、ほぼ1日間の眼圧変化のデータを得ることができるコンタクトレンズには、眼圧を検出するための薄いMEMS圧力センサ、信号処理LSIや送受信のRFデバイスが集積されている
コンタクト・レンズに集積されたデバイスは、電磁波を通して駆動するため電源は搭載していない



出典: SENSIMED Triggerfish公式サイトより

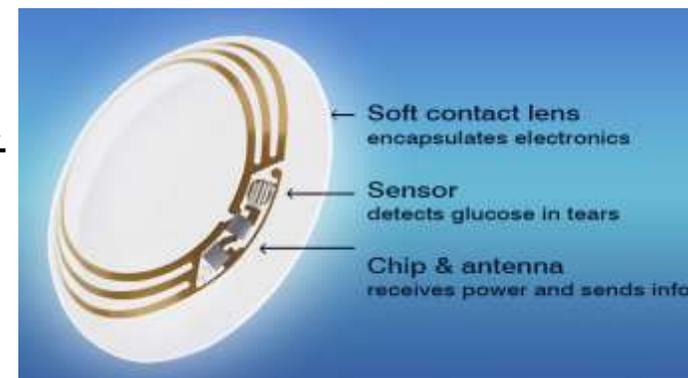
仮想情報空間表示コンタクト・レンズ

コンタクトレンズにテキストメッセージや実際の風景に仮想情報空間を重ねて表示
波長が475nmのInGaN/GaN構造青色LED素子
動物実験中



出典: EE Times Europe 2011年11月28日

涙用グルコースセンサー



GoogleのTear Glucose Sensor



Fraunhofer IMSによる
Wireless Tear Glucose Sensor



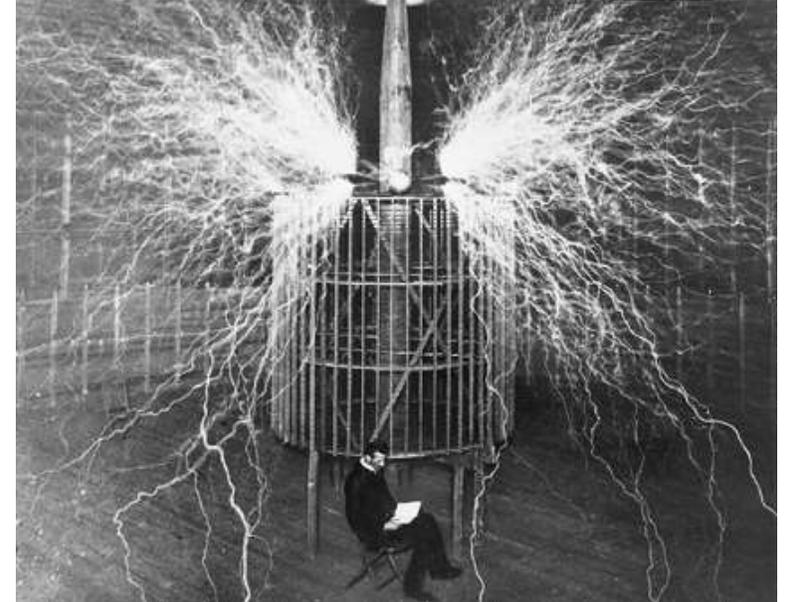
1. ワイヤレス給電システムとは
2. EV用ワイヤレス給電の動向
3. 汎用機器向けワイヤレス給電の動向

4. ワイヤレス給電における課題

5. 将来の展望



電磁波の課題

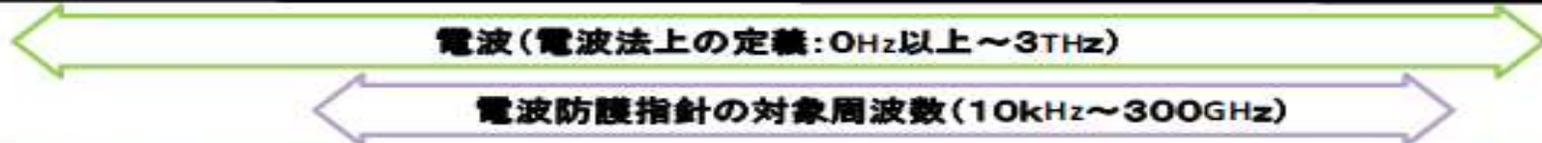


米B. フランクリンの雷実験と露G. W. リヒマン教授の感電死 M. キュリーの放射能被爆死 N. テスラのコロナ放電実験中の読書

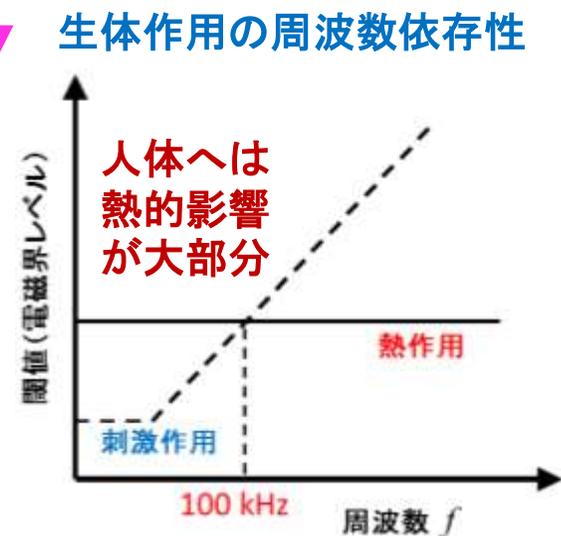


電磁波の人体への影響がわかっている現代でもWiTricityのCEO. ギラー氏は感受性の高い頭部に電磁波を平気で照射

ワイヤレス電力伝送方式の周波数帯



静磁界	ELF	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SH	EHF	光	X線
波長	6000km	100km	10km	100m	10m	1m	10cm	1cm	0.1mm		



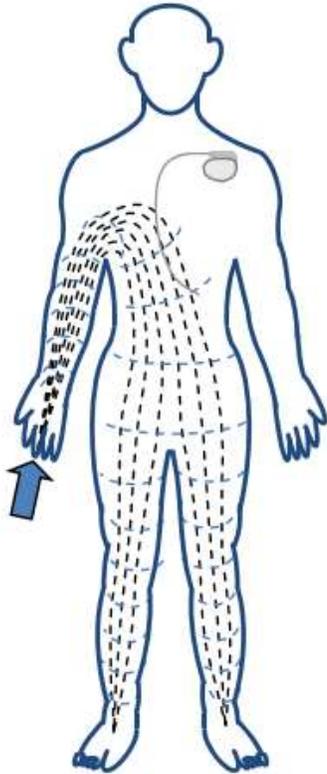
高圧送電線

感電

- ・直接接触
- ・接触電流

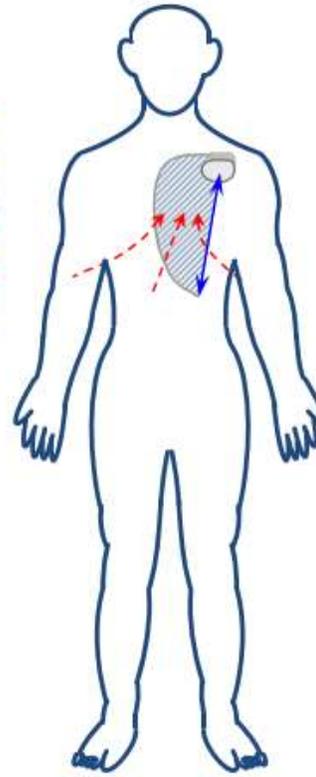
電磁界中の非接地導電物体に接地人体が触れることで接触点を介して流れる電流

体に伝導電流が流れる



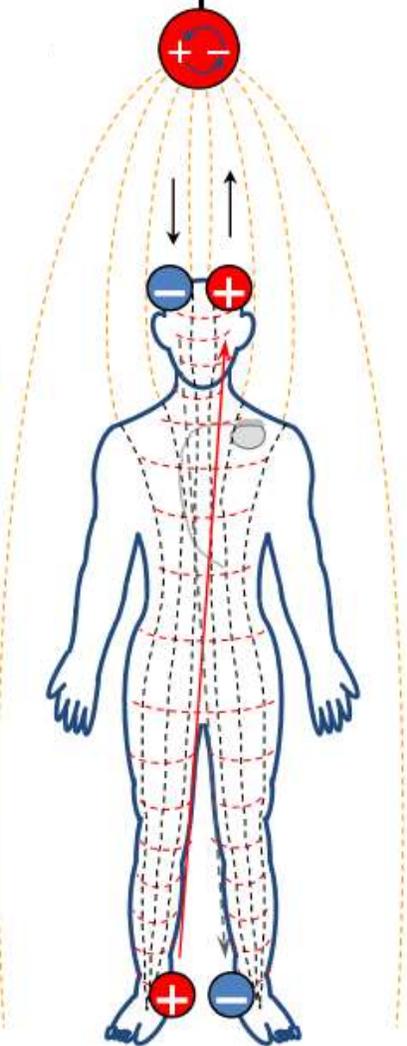
ビオ・サバルの法則
電流と距離が関係
電圧は関係しないので
高電圧だと言っても
必ずしも大きくない

体に変動磁界があびせられる



電圧一定→電界置一定
省令により地表1mで3kV/m以下

体に高圧電界があびせられる



全身曝露と局所曝露

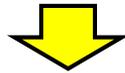
全身曝露

遠方のアンテナ



マルコーニが無線電信を
発明してから120年程度

電波に毎日さらされてい
るが、影響があるのかま
だ良くわからない



なるべく電磁波を
あびない方が良い

局所曝露

近傍のアンテナ



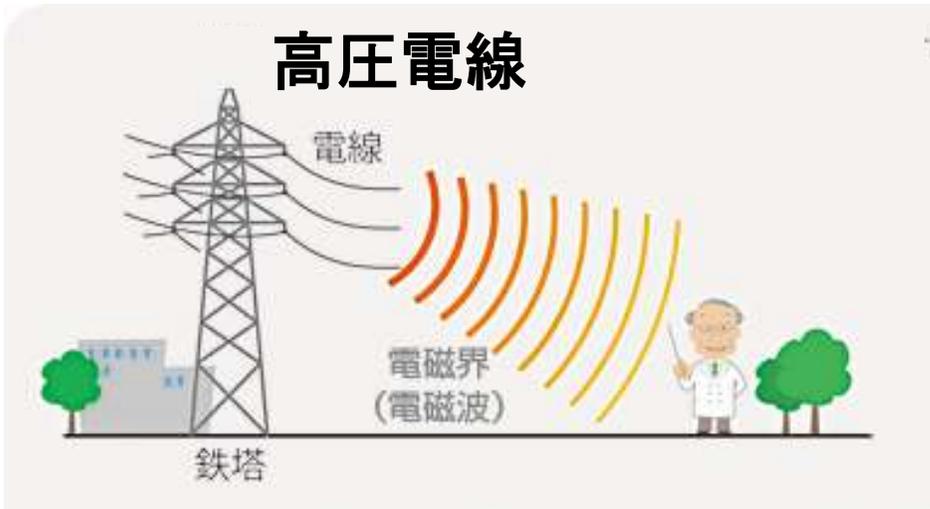
携帯電話からの電
磁波による感受性
の高い脳への影響



20年程度しか経っ
ていなくてもっと影
響がわからない

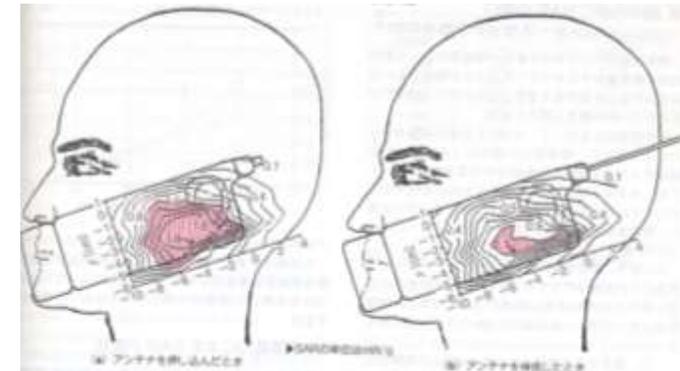
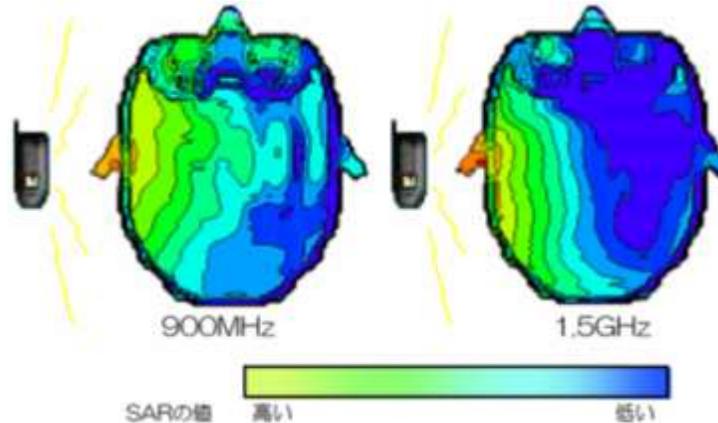
下記のようなことが
わかってきている

高圧電線



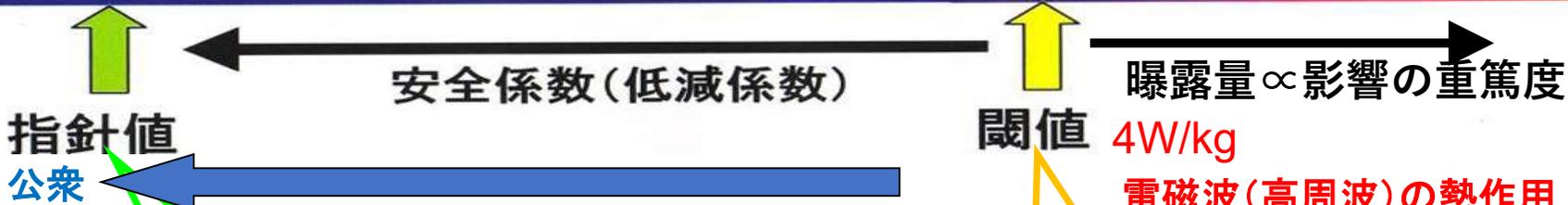
・周波数帯により分布は異なる

・アンテナの伸縮により分布は異なる





人体防護指針の考え方



■ 決定論的作用から決められる

- ◇ 閾値を超えると影響有り
- 曝露量 ∝ 影響の重篤度
- ◇ 閾値以下では本来は何も起こらない

■ 人体の健康を守るために超えてはならない曝露の限度値

- ◇ 安全係数があり、指針値を超えると直ぐに悪影響がある、というわけではない

■ 健康への不安無く、曝露が許容される限度値

- ◇ 指針の根拠に含まれない未知の生体作用がある可能性を否定することはできない

電磁波で発がんの恐れ
危険小さいが可能性

米国立研の
諮問委見解

送電線で白血病増加
電磁波の影
響 米国立研究所が見解

【ワシントン25日共同】送電線などから出る電磁波による人体影響を調べていた米国立環境衛生科学研究所の諮問委員会は二十五日までに、電磁波はがんの発症になり得るとする見解をまとめた。

送電線の健康影響は長い間、論争になっていたが、公的な組織が発がんとの関係を認めただのは初めて。見解を盛り込んだ報告書は七月末、公表される。諮問委員会は、送電線や変電所の電磁波が、公的な組織ががんとの関係を認めただのは初めて。見解を盛り込んだ報告書は七月末、公表される。諮問委員会は、送電線や変電所の電磁波が、公的な組織ががんとの関係を認めただのは初めて。見解を盛り込んだ報告書は七月末、公表される。

米国立研の諮問委見解

から出る電磁波と健康の関係を調べた九種類の動物実験と、マウス、ニワトリ、培養細胞を使った実験結果をもとに見解をまとめた。同研究所によると、疫学調査では送電線近くに住む子供の間にわずかに白血病

人体に影響を及ぼさない電磁波の強さの指針が出されている

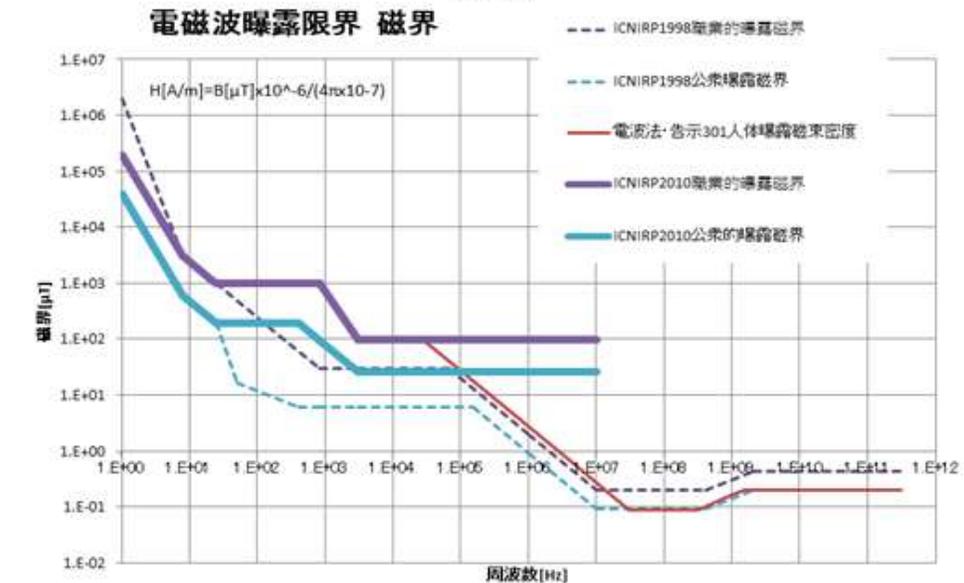
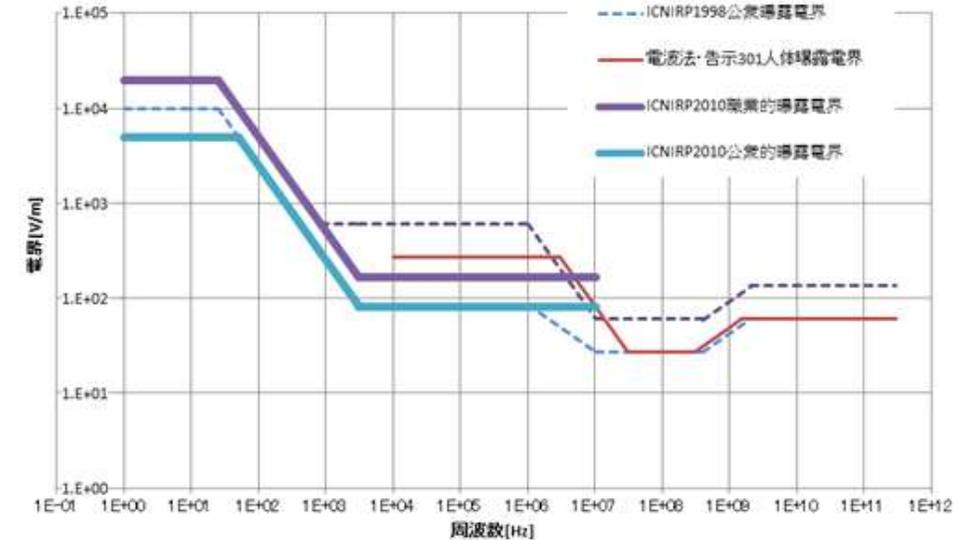
総務省電波防護指針

- 1990年 答申 (10kHz - 300GHz)
- 1997年 局所吸収指針の追加
ICNIRPとの整合が強まった

国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) のガイドライン

- 1994年 静磁界防護指針
- 1998年 時間変動する電界、磁界、
電磁界防護指針0 - 300GHz
- 1999年 欧州理事会勧告
(公衆曝露を対象)
- 2004年 EU指令(職業曝露を対象)
- 2010年 100kHzまでの制限緩和

WHOはガイドラインにもとづきリスク管理することを推奨

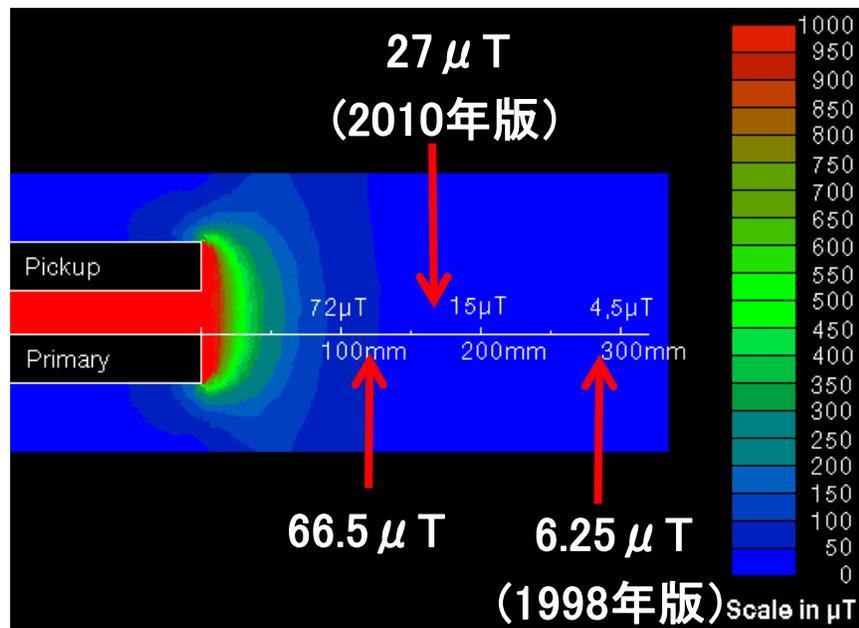


ICNIRPの参考レベル



コイルの近傍ではガイドラインをキープできず、車体などでコイルのそばに近づけないようにする

r=1 m地点における最大漏洩磁界
(30kWタイプの20kHzでのシミュレーション)



心臓ペースメーカーの最大許容磁束密度
(ドイツの規格)

周波数	磁束密度
15kHz	88.7 μ T
20kHz	66.5 μT

実際の電磁界計測結果

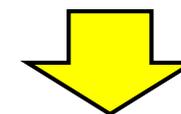
基準値 (μ T)	バス車内	バス車外
防護指針 / 91.5	1.5	4.5
ICNIRP / 6.25		
条件: 距離0.5m ギャップ80mm 位置ずれ60mmにて		

2010年11月11日、Health Physics誌に改訂ICNIRPガイドラインが公表され、HP上にFact Sheetが掲載された

FACT SHEET

ON THE GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 Hz – 100 kHz) PUBLISHED IN HEALTH PHYS 99(6):818-836; 2010.

基本制限値が改訂版では誘導電流密度ではなく、体内誘導電界強度に基づいている。これはIEEE規格と同様である。



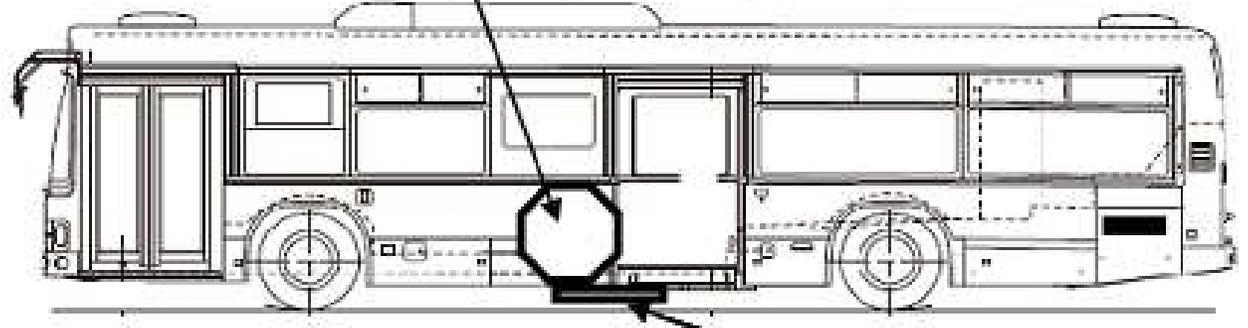
100kHzまでで27 μ Tと約4倍、緩和の方向に向かっている

電動バスでの漏洩磁界測定結果例



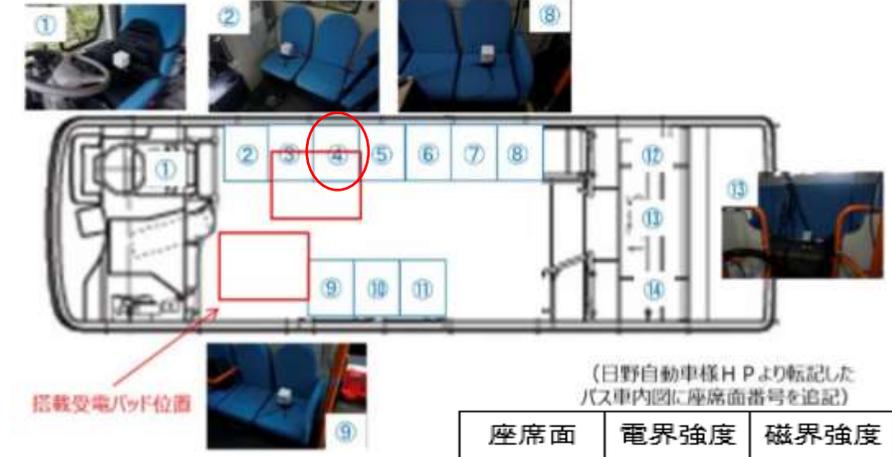
50kW型の実測値

側面給電用受電コイル



床面給電用受電コイル

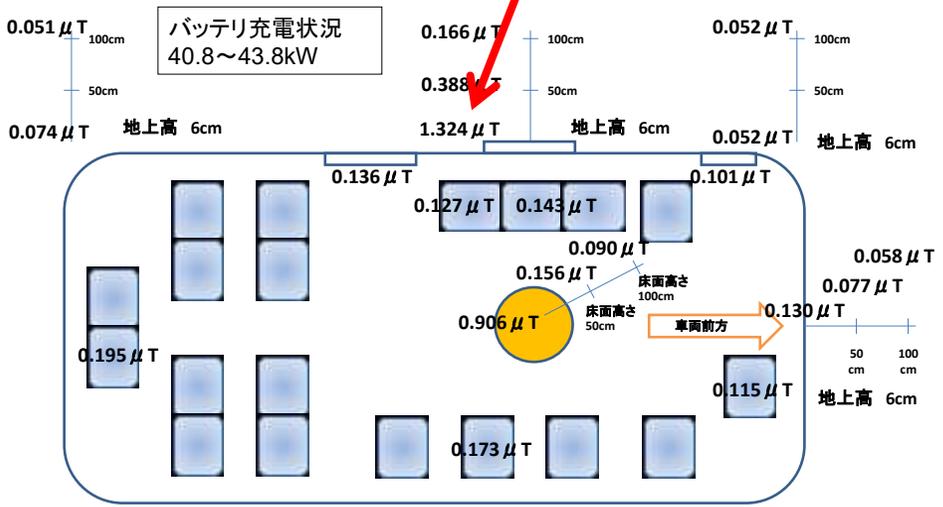
WEB-3Adv. / 44kW型の実測値



(日野自動車様HPより転記したバス車内図に座席面番号を追記)

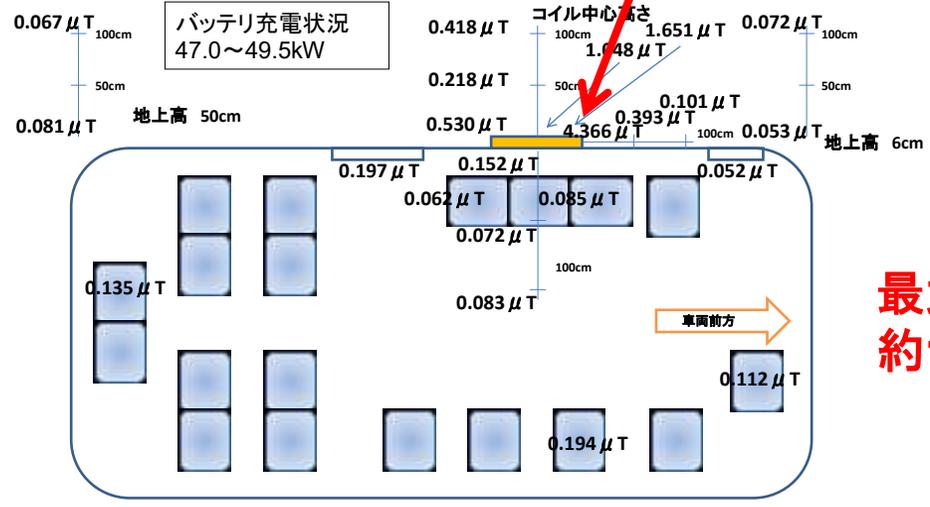
床面給電方式

最大値
1.324 μ T



側面給電方式

最大値
4.366 μ T



最大値
約1.1 μ T

床面給電方式および側面給電方式の全ての測定点において、電波法の規制値より、小さい磁界となった。また、より厳しいICNIRPの公衆の暴露指針値よりも小さい磁界となった。

座席面番号	電界強度 [V/m]	磁界強度 [A/m]
①	0.34	0.10
②	1.35	0.59
③	0.66	0.75
④	1.40	0.45
⑤	0.51	0.20
⑥	2.00	0.17
⑦	0.43	0.14
⑧	1.95	0.48
⑨	1.44	0.35
⑩	0.68	0.19
⑪	0.29	0.03
⑫	0.32	0.04
⑬	0.32	0.04
⑭	0.32	0.04
指針値	61.40	17.00
目標値		

1.電力パート → 高周波利用設備

- ・電波法第100条2項と電波法施行規則第45条3項に規定されている

無線設備及び前号の設備以外の設備であって **10kHz** 以上の高周波電流を利用するもののうち、総務省令で定めるもので **50W** を超えるもの

- に該当するため、各地の総合通信局に許可申請を提出、許可を受ける必要がある
- ・無線設備65条2項に規定されている下記数値を満足している必要がある

450kHz以下の使用周波数の輻射の電界強度は、
100m電界規制値 = 1mV/m 以下、かつ高周波出力が

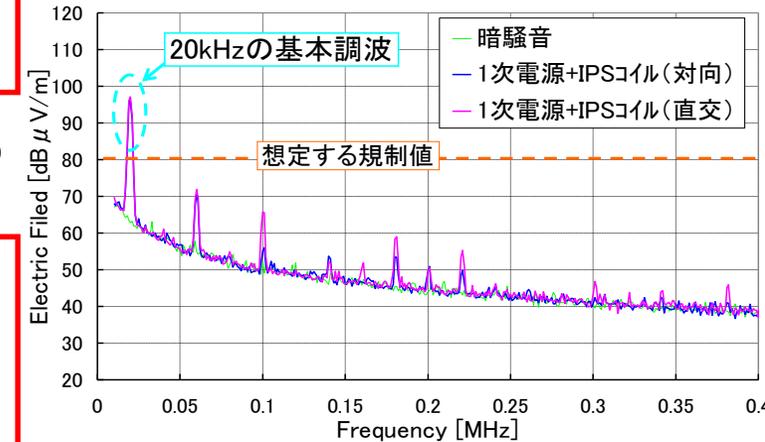
$$\begin{aligned} &500\text{W以上の場合} \quad 30\text{m電界規制値} = \sqrt{\frac{P}{500}} \text{ mV/m 以下} \quad (P\text{は装置の出力W}) \\ &500\text{W以下の場合} \quad 30\text{m電界規制値} = 1\text{mV/m 以下} \end{aligned}$$

2.通信パート → 微弱無線局

- ・無線設備から3mでの電界強度が右図のレベル以下
- ・無線設備から500メートルでの電界強度が200 $\mu\text{V/m}$ 以下で周波数などが総務省告示で定められているもの
これを超えると特定小電力無線局扱いになる

いずれも日本独自の規格で海外ではそれぞれの法律に合わせる必要がある

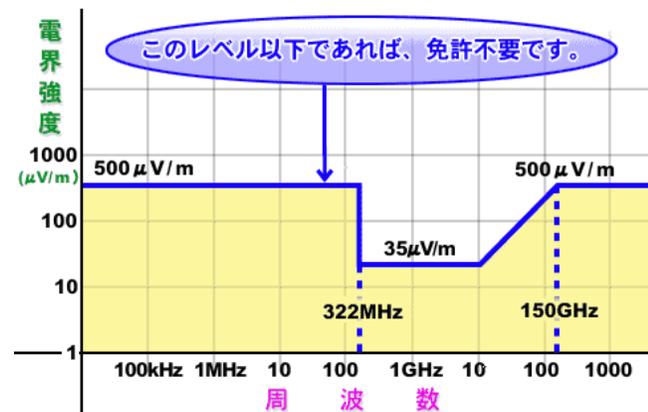
広帯域電界測定結果



10kW、10kHz～400kHzの1例

3m法とか10m法で計測した電界値を30mと100m電界規制値に換算したうえで、電波法に合致するか審査判定する

【図：微弱無線局の3mの距離における電界強度の許容値】



出典：総務省HPより



異物の侵入への課題



平板形状の異物挟み込みの影響度

侵入異物の誘導加熱

大出力の装置ではコイル空間に金属があると誘導電力で加熱される



異物検知システム(FOD)の検討が必要

電磁誘導による平板形状金属試料の温度上昇

- ・透磁率の高い金属ほど発熱が大きい
- ・抵抗率の高い金属ほど発熱が大きい
- ・同一素材でも面積が大きいほど渦電流のループが大きくなり熱損失が大きい

材質	比透磁率 (真空 = 1.0)	抵抗率 (Ωm)	サイズ (mm)	温度上昇 (deg)
アルミニウム (A5052)	1.00002	2.65×10^{-8}	50×50 t 1.0	14
銅	0.999991	1.68×10^{-8}	50×50 t 1.0	6
鉄 (SPCC)	2000 (軟鉄)	1.00×10^{-7}	50×50 t 1.0	160
鉄 (SPCC)	2000 (軟鉄)	1.00×10^{-7}	25×25 t 1.0	80

条件 : 出力1.0kW 周波数 : 90kHz

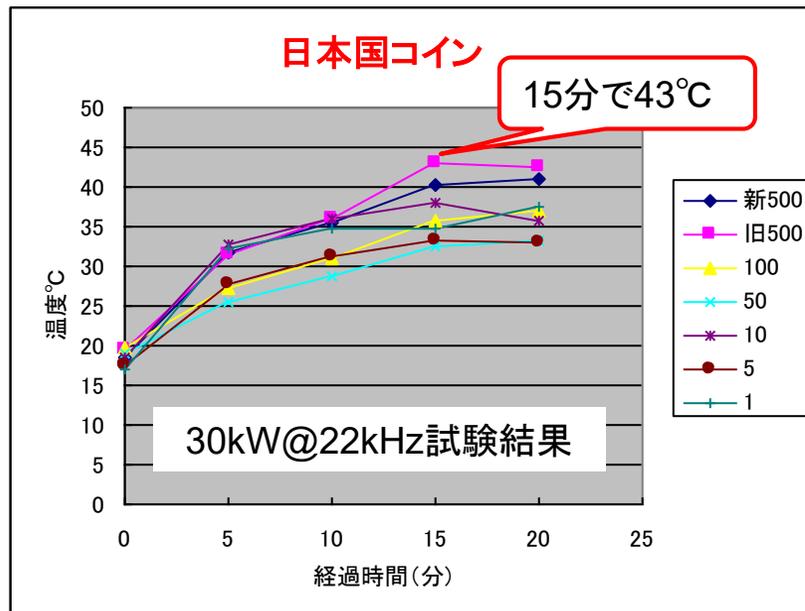
出典:パイオニア資料(WPT2012-24)に筆者がデータを加えて作成

異物挟み込みによる温度上昇と対応が要求される充電時期



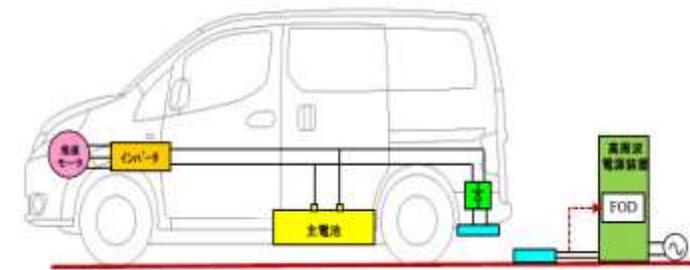
平板形状以外の金属試料の温度上昇

- ・**コイン**
面積が小さく温度上昇は大きくない
- ・**飲料水の缶**
アルミもスチール缶も温度上昇が激しい
- ・**釘**
大小にかかわらず50~60°Cで大きくない
- ・**ステンレスたわし**
温度上昇が大きい
渦電流ではなく細い線材では共振が考えられる

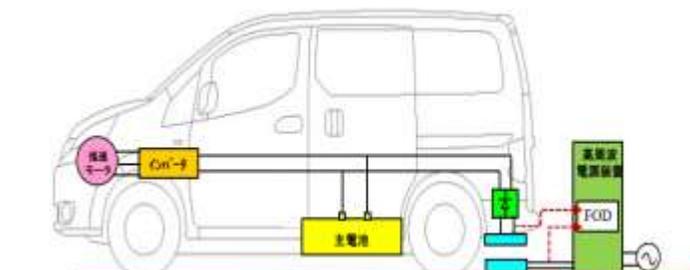


対応が必要な充電時期

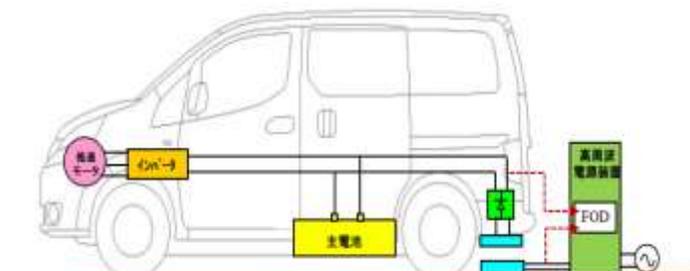
(a) 給電前



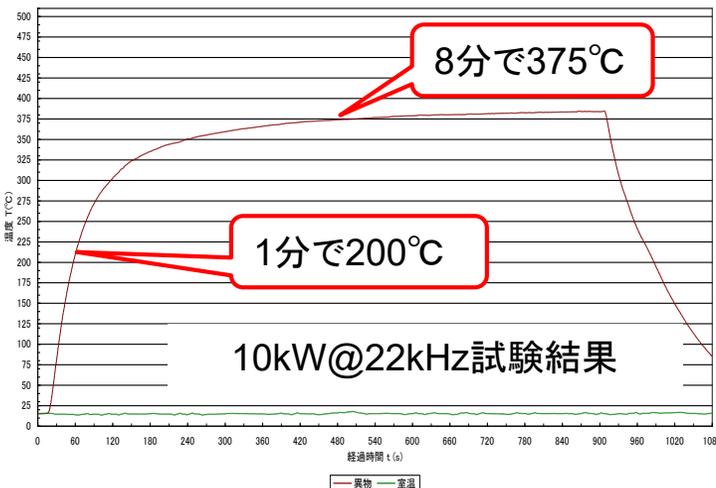
(b) 給電準備中



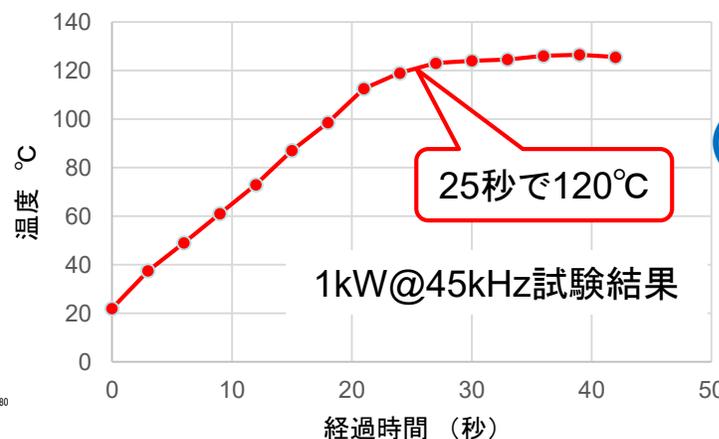
(c) 給電中



ステンレスたわし



スチール缶





異物検知実施例

Qualcommのシステム



- ・異物検知 (FOD)
- ・生体検知 (LOP)

テクノバ(EVTec2014)



東芝・早大による環境省プロジェクトでの異物検知と生体検知(2016)



地上コイル脇に地面すれすれに設置されたレーザーセンサー



メッシュに微弱な電流を流して検知

右の箱はコイン入り、左は空箱

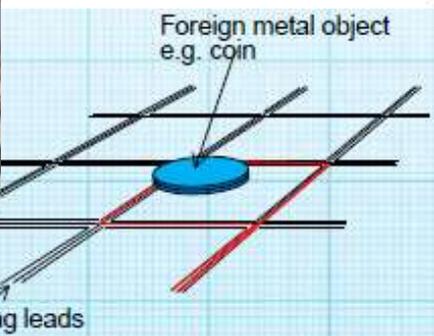
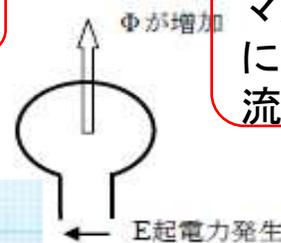


図: Qualcomm資料

給電中の主磁束によりマルチコイルセンサー内に大きな循環電流が流れることで検知



無誘導コイル形状の電極配置
電極形状



1円玉



小動物を摸した25ml水入り風船



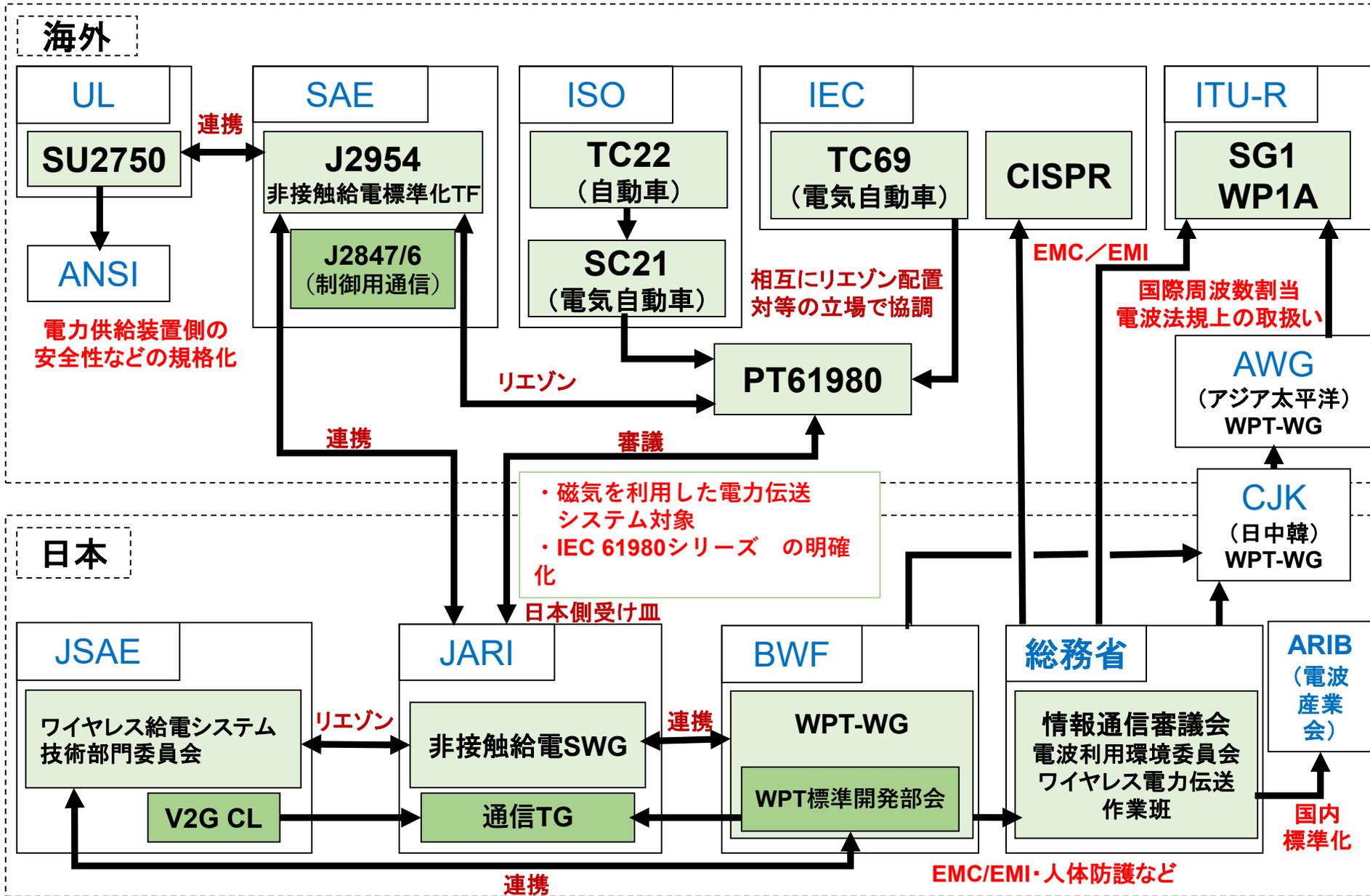
検知ランプが点灯し、給電停止

地上コイル脇に蹲る人物



標準化などの課題

国内・国際標準化／法制化活動マップ (EV関連)



使用周波数の標準化

国際／国内で既に多くの周波数に割り当てがあり、空いている周波数帯に限られる

20.5～100kHz：電磁調理器(イミュニティに関連)

9～315kHz：EU 医療用インプラント

110～205kHz：Qi

90～110kHz：FCC

135.7～137.8kHz：アマチュアハム

150～280kHz：EU AMラジオ

使用可能と考えられる周波数帯

バス等大型
車輛向け

21.05-
38.10kHz

42.00-
56.19kHz

69.93-
71.43kHz

81.38-EV向け
90.00kHz

140.91-
148.5kHz

最近、SAE、QualcommHalo、ドイツのメーカー等が85kHz帯を推奨するようになった

欧米での要求が強かった

SAE J2954 Ver.1.0推奨範囲(20～100kHz)

VDE推奨範囲(140kHz +50/-20kHz)

10kHz

50kHz

100kHz

150kHz

200kHz

未決定

ほぼ85kHz帯で
決定

134.2kHz:スマートキー／イモビライザー
(トヨタ、スズキ、マツダ)

125kHz:スマートキー／タイヤ空気圧モニタ
(ホンダ、日産、三菱、ルノー、フォード、現代、ボルボ)

95/110/117kHz: 駐車場車両検知システム

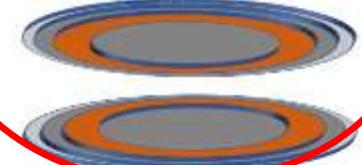
40/60/77.5kHz: 電波時計

22kHz: スマートキー(アウディ)

20kHz: スマートキー(ベンツ)

コイル形状の標準化

サーキュラー方式
(円形コイル)



DD/DD-Q方式



ソレノイド方式
(トランス巻き)



主として、
この両者で
互換性協議

モバイル機器の規格化



携帯端末

1次側が変わっても充電可



利便性が高い

家庭にあるベースの組合せ
iPhoneとDocomoを同時に



外出先での充電



Qi規格  WIRELESS POWER CONSORTIUM

WPC (Wireless Power Consortium)

2008年12月にWPCを立ち上げ
2010年12月にQi規格発表
フィリップス主導LG、東芝、ソニーなど235社(2016年1月)
電磁誘導 @105~205kHz
120Wまで開発(2017年から)、スマートキッチン規格として2.4kWを検討中
ギャップ4cm
すでに商品化済み

iPhone Xでの採用が追い風



 Alliance for Wireless Power

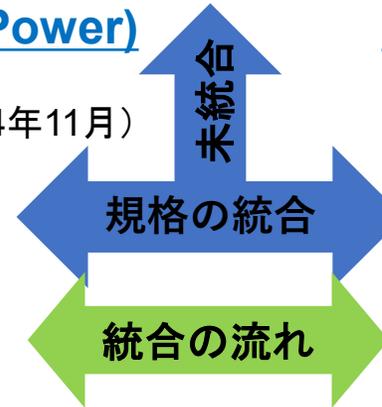
A4WP (Alliance for WirelessPower)

2012年5月にA4WPを立ち上げ
クアルコム、サムスン主導で121社(2014年11月)
磁界共振 @6.78MHz
20~50Wを目指す
ギャップ数cm

 PMA power matters alliance

PMA (Power Matters Alliance)

2012年3月にPMAを立ち上げ
デュラセル、スターバックスなど68社(2014年11月)
電磁誘導 @300~350kHz
5W
ギャップ数cm



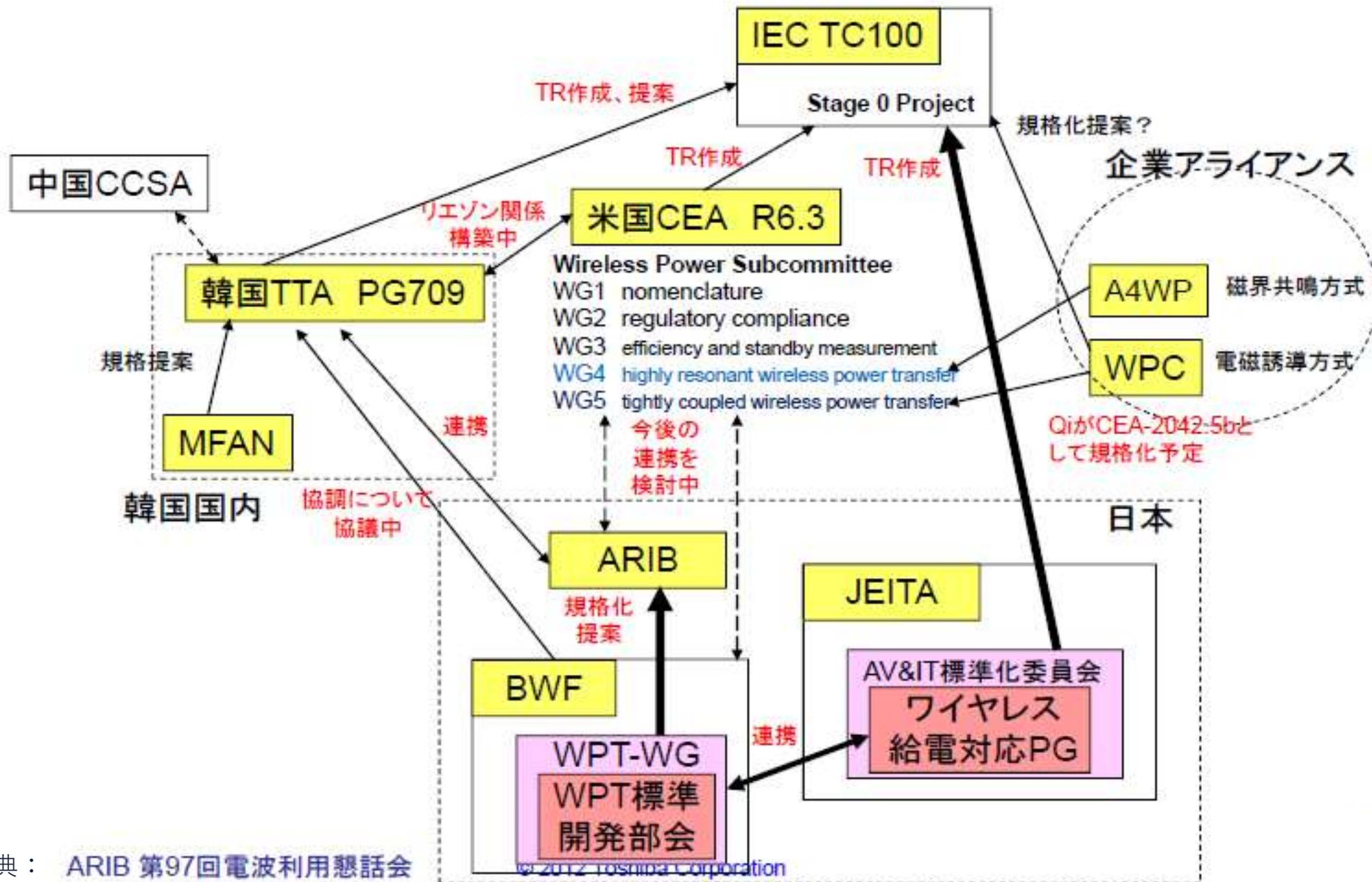
2015年1月 A4WPとPMAが規格統合への合意
2015年6月 A4WPとPMAが規格の統合
PMAはA4WPの磁界共鳴「Rezence」の採用
A4WPはマルチモードの実装サポートオプションとしてPMAの規格を採用



2015年11月 新しい「AirFuel Alliance」が発足



国内・国際標準化／動向マップ(家電機器関連)





1. ワイヤレス給電システムとは
2. EV用ワイヤレス給電の動向
3. 汎用機器向けワイヤレス給電の動向
4. ワイヤレス給電における課題

5. 将来の展望



技術開発の方向性

特許庁 平成26年度特許出願技術動向調査

ワイヤレス給電に関する各国の特許公報、論文を調査、日本のこの分野における強み、弱みを分析し、「技術開発の方向性」、「市場開拓のための課題」、および「知的財産戦略に関する課題」の観点から、以下の提言が行われた。

- | | | |
|------|------------------|---|
| 提言 1 | 技術開発の方向性 (1) | 電気自動車
EV用ワイヤレス給電技術およびそのFODやロボスト性向上技術 |
| 提言 2 | 技術開発の方向性 (2) | モバイル機器
コイル、コアなどの構成部品とモジュール化、実装技術 |
| 提言 3 | 技術開発の方向性 (3) | 新たな応用分野
エネルギーハーベスティング、回転体、医療機器、検査・診断機器 |
| 提言 4 | 市場開拓のための課題 (1) | 電気自動車への普及戦略 |
| 提言 5 | 市場開拓のための課題 (2) | ニーズに適合した技術開発 |
| 提言 6 | 市場開拓のための課題 (3) | 複数規格への対応 |
| 提言 7 | 知的財産戦略に関する課題 (1) | 標準化と連携した知的財産戦略 |
| 提言 8 | 知的財産戦略に関する課題 (2) | 実証実験と知的財産戦略 |
| 提言 9 | 知的財産戦略に関する課題 (3) | 中小企業・ベンチャー企業への支援 |



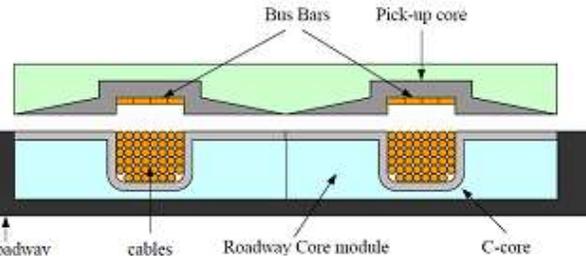
EVへの走行中給電

電動バスでの走行中給電実証試験の動向



PATHプロジェクト(～1996年)

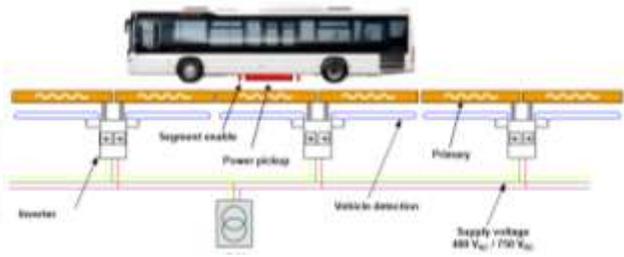
米国で実施
 1次側セグメント長さ 150m
 7.6cmギャップを効率60%以上
 ピックアップ容量 6～10kW/台
 給電コイル幅 1m
 周波数 400Hz
 建設コスト 0.74～1.22M\$/km
 (1億円/km程度)



出典: PATH資料

Bombardier(2012年)

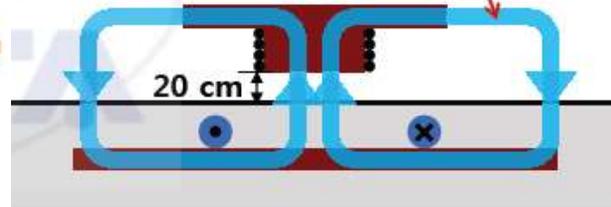
ベルギー ロンメル市で実施
 Flanders' DRIVE researchプロ
 ジェクト
 1次側セグメント長さ 125m +
 260m
 アスファルトとコンクリート舗装で
 相違を検証
 給電コイル長さ 3.6m
 周波数 20kHz



出典: EcofriendのHP, 「UITP Vienna 2009」

KAIST Gumi City(2013年)

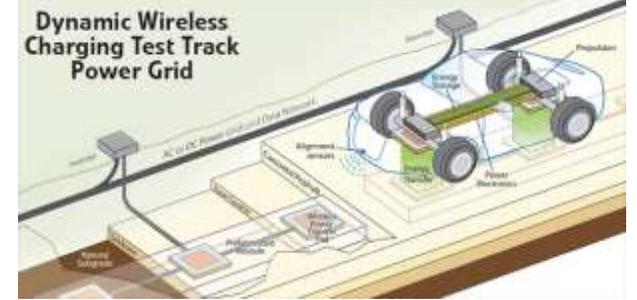
24km中36m × 4ヶ所 = 144mで実施
 2箇所の静止中給電も並行実施
 17cmギャップを効率85%で200kW送電
 ピックアップ容量15kW/台
 給電コイル幅80cm



出典: CJK WPT02札幌 7月8～9日発表資料

Utah州立大(2015年)

長径152m × 短径91mの楕円試験路の
 3か所で計400mで走行中給電
 2箇所の静止中給電も並行実施
 出力 750kW(AC～トラック間)
 総合効率 80%以上
 10年以内に90%台が目標
 電磁漏洩対策として、静止型と同じコイル
 を埋め、車両の進行に応じてスイッチ
 ング制御
 バスと道路施設の経過観測を実施中



出典: Zeliko Pantic, IAS Webinar Series, 10 June 2016

欧州の走行中給電プロジェクト



計画、デモ段階のものが多く、なかなか実現しない



London
Highway EnglandがFS実施、TRLが検討を引き継ぐ

Satory
2017年から実験開始

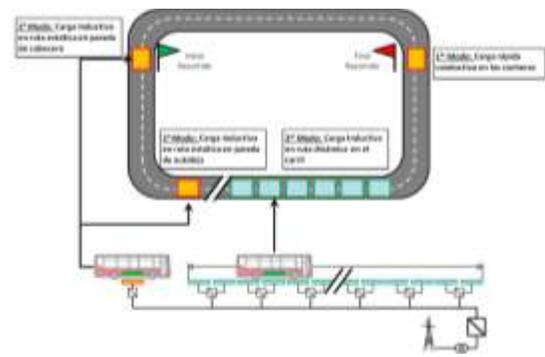
Malaga

Gävle
2016年6月開始、パンタグラフ接触式

Gothenburg
2013年6月、地上接触式

Lommel
2012年実験終了

Torino / POLIT
Torino / SAET





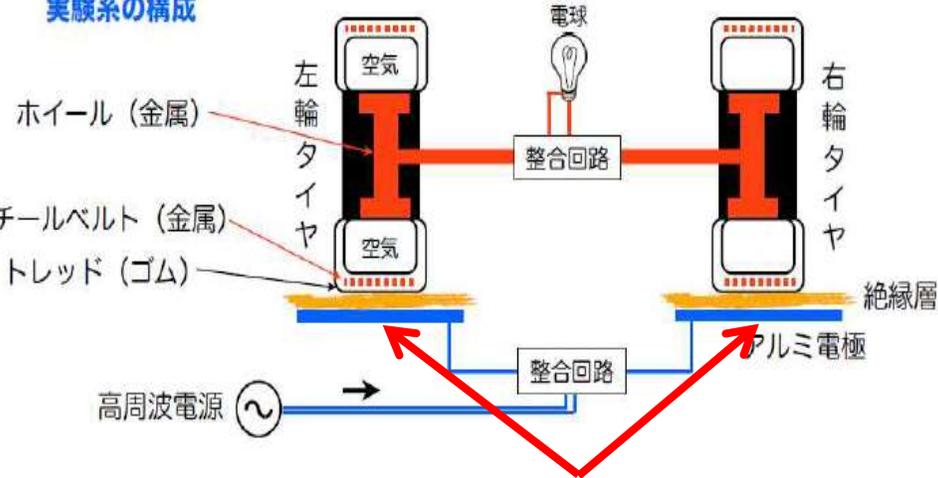
日本での走行中給電

豊橋技術科学大学

V-WPT (Via Wheel Power Transfer方式)

電界共振結合方式なので電磁漏洩は少なくできる

実験系の構成



両輪間の絶縁の確保が難しい



CEATEC2014
大成建設と共同開発

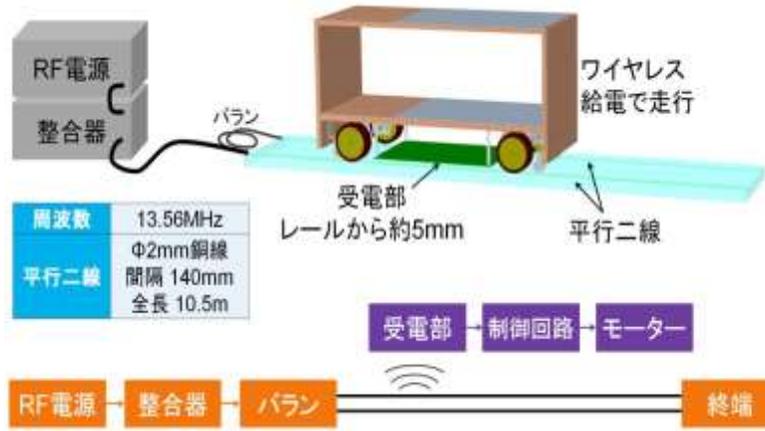
出典: 豊橋技術科学大学資料より



2016年5月
キャンパス内にて走行実験

ダイヘン/奈良先端科学技術大学院大学 平行二線方式

磁界共振結合方式でコイルが無く安価にできる



平行二線間からの電磁漏洩が心配



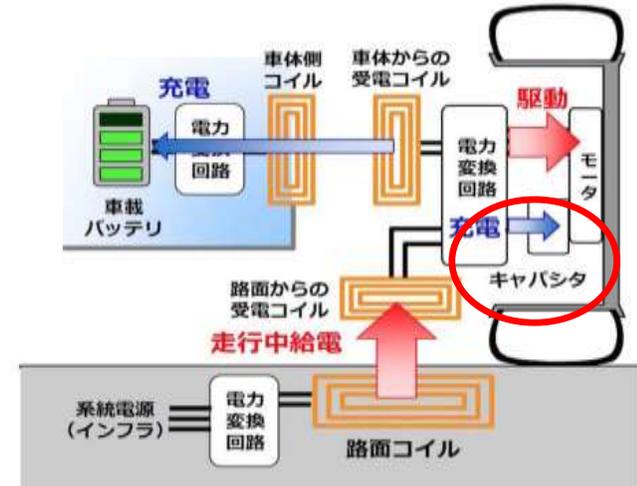
2017年1月
大分工場内にて撮影

出典: <http://www.synthesis.co.jp/product/wpt/>

容量3600F
のセルを21
個直列にし
て搭載、
52.5Vで使用

東大/東洋電機製造/日本精工 コイル埋設/インホイール方式

磁界共振結合方式



脚下荷重の増加が心配



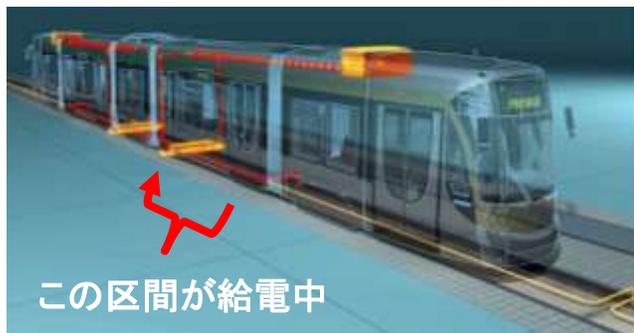
2017年4月
キャンパス内にて走行実験
<http://www.nikkei.com/article/DGXMZ015038230X00C17A400000/>

1輪あたり、
容量1500F
のセルを12
個直列にし
て前輪2輪
に搭載

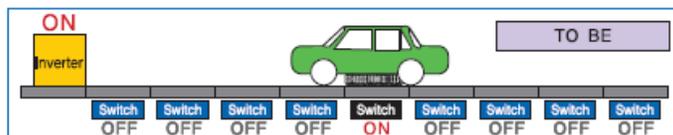
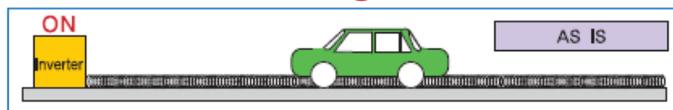
走行中給電の課題とその対応

電磁放射への各種対策が必要

- ・BOMBARDIER **PRIMOVE**技術

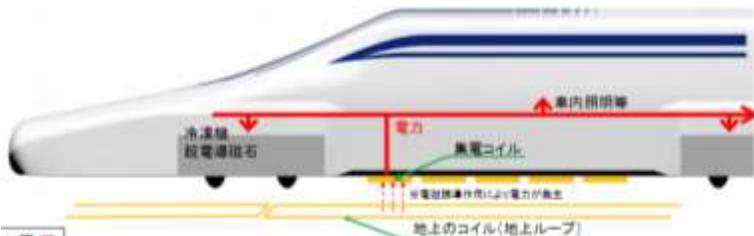


- ・KAIST **Segment method**



高度な制御システムが必要
コストの増加

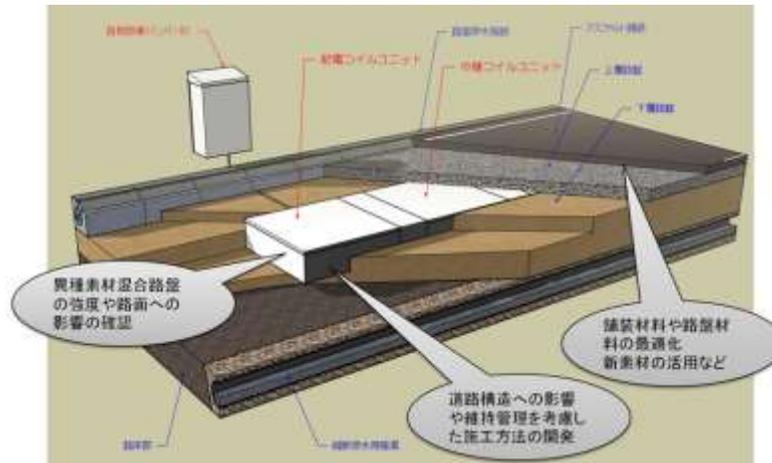
- ・国土交通省超伝導リニア **10kHz未満**



システムが大型になる

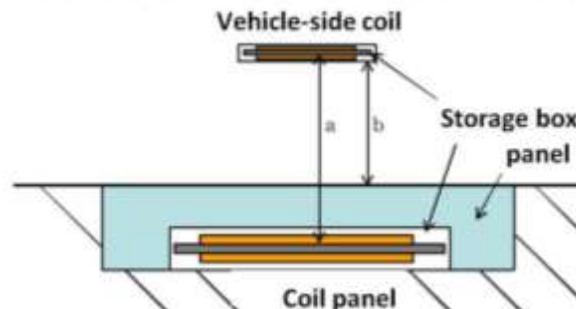
道路埋設への各種対策が必要

- ・国土技術政策総合研究所の検討



コイルの埋め込み深さ
道路メンテナンスの点から最低0.6m、できれば1m

- ・高速道路総合技術研究所の検討

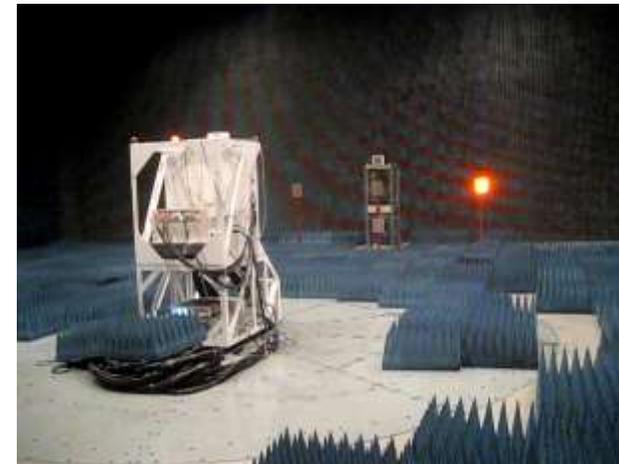


道路埋設にあたってはコンクリート埋設コイル構造

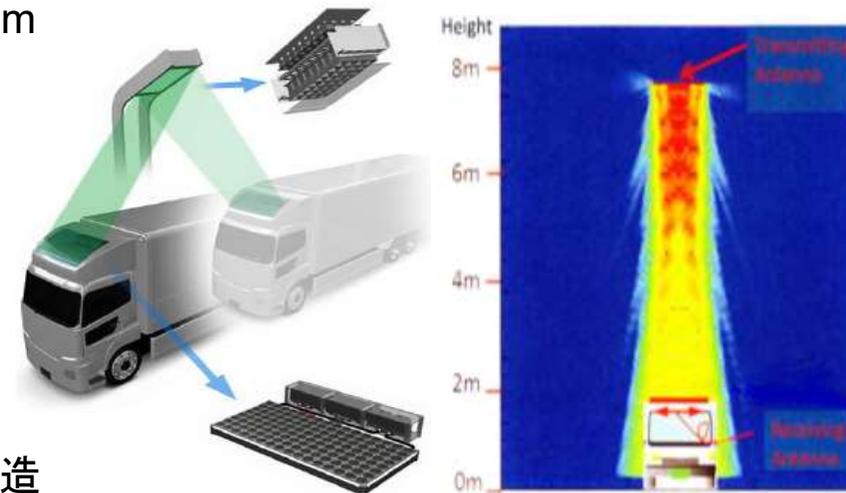
ギャップ化が必要 電磁漏洩の増加
コストの増加

道路埋設への対策の一例

- ・京都大学での検討 **安価にできる可能性**



京都大学宇治キャンパス電波暗室



マイクロ波の放射が認められていない



新たなコイル・デバイス等の構成部品



電線のブレークスルーが求められている

ワイヤレス給電用の多くの工業用材料が進歩をしている

- | | | | |
|----------|-------|---|---------|
| 1. 半導体 | Ge、Si | ➡ | SiC、GaN |
| 2. 鉄心 | フェライト | ➡ | アモルフォス |
| 3. コンデンサ | フィルム | ➡ | セラミック |
| 4. 電線 | | | |

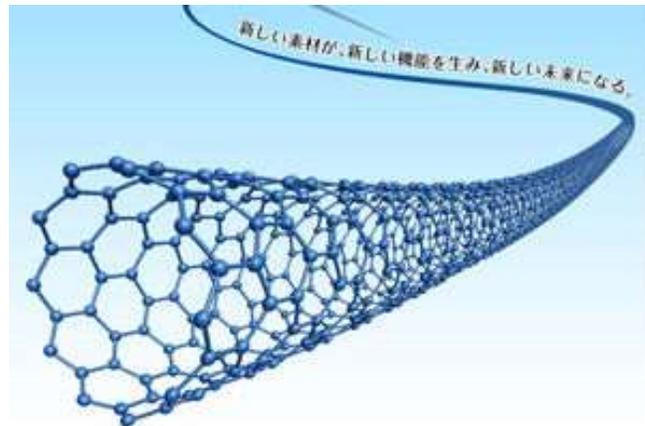
- Au、Ag : 超高価(半導体のボンディングケーブルなど特殊用途)
- 超伝導 : 超高価(リニアモーターなど特殊用途)
- Cu、Al : 汎用、安価(数10年経っても大きな性能向上がない)
(EV社会での銅需要の増大)



銅に変わる電線材料のブレークスルーが求められている



21世紀工業技術の大きな課題



カーボンナノチューブ電線の出現!!

- 電流密度 1Ga/cm²で銅の1000倍
- 真密度 1.3~1.4g/cm³で通常の樹脂並み
嵩密度は0.02~0.15g/cm³と非常に小さい
- 引張強度 50~70GPaで銅の100倍
- 熱伝導率 2000~3000W/mKで銅の10倍



電線のブレークスルーが見えてきた

「銅」需要、今後10年で9倍に EV普及で大幅増の見通し
(ブルームバーグ 2017/6/15 05:00)



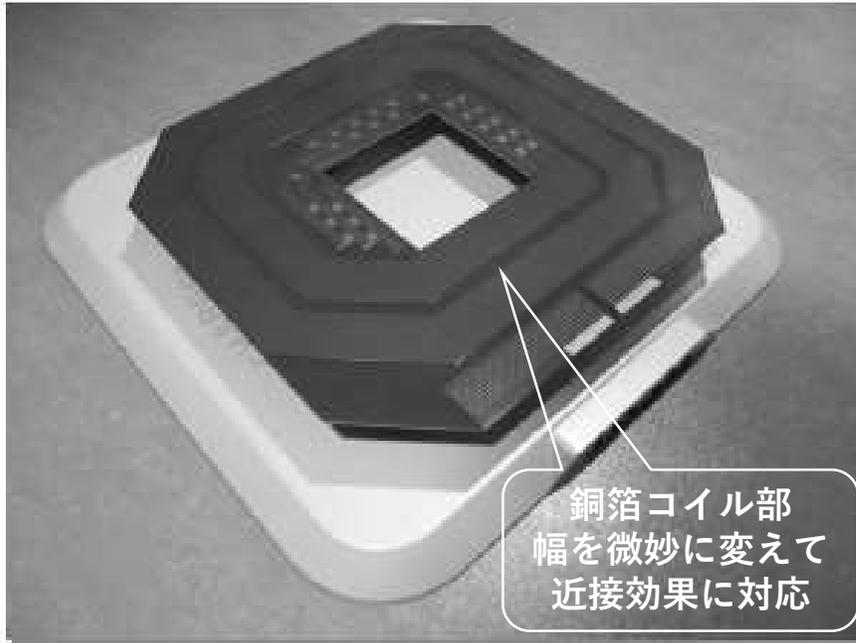
中国のEVタクシーと充電スタンド



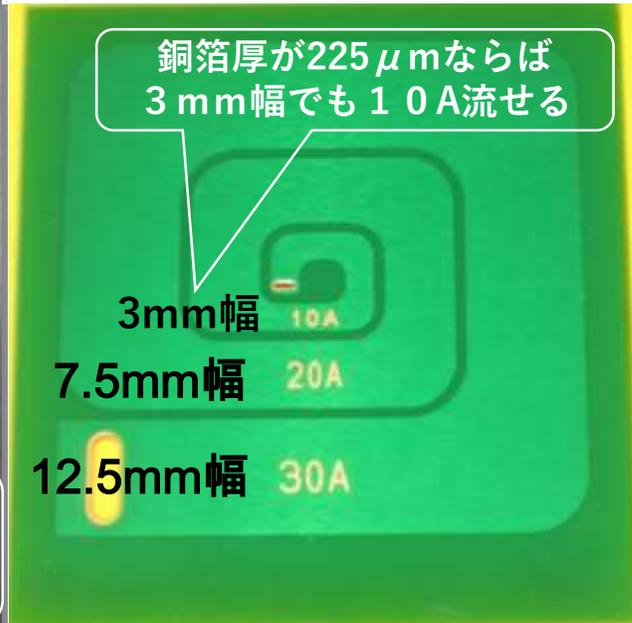
プリント基板コイルはいろいろな機能を持つ

大電力プリント基板コイル

金属薄膜で形成したEV用コイル
プリント基板コイルでも3kWの電力伝送ができる



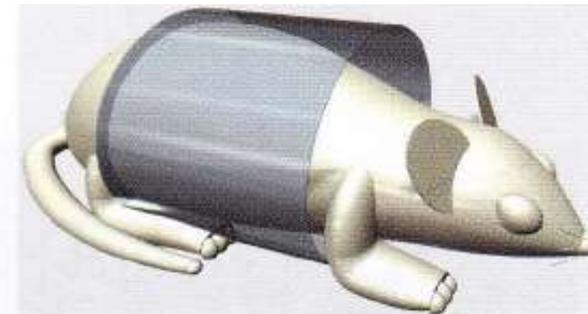
銅箔コイル部
幅を微妙に変えて
近接効果に対応



厚銅基板の電流と線幅
3mm幅のプリント基板コイルでも10A流せる

フレキシブル基板銀ナノペースト印刷コイル

- ・インクジェットプリンタで容易に印刷してコイルができる
- ・生体センサやウェアラブル機器への応用が容易
- ・研究開発レベルでは容易にコイルパターンを検討できる



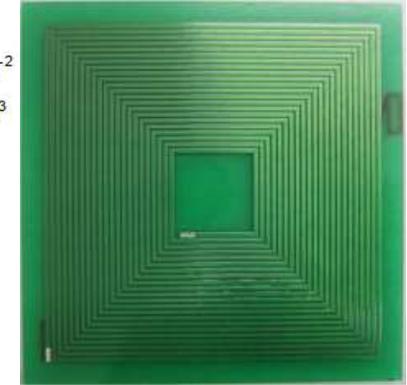


バルクコイルの電流強度解析

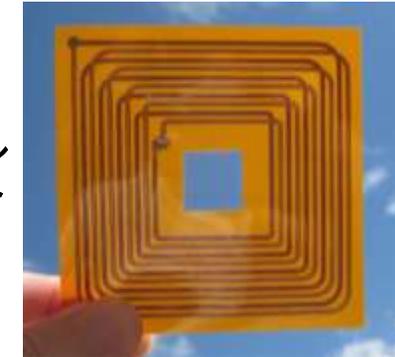
研究対象各種バルクコイル

導体を薄膜にした時の電流分布

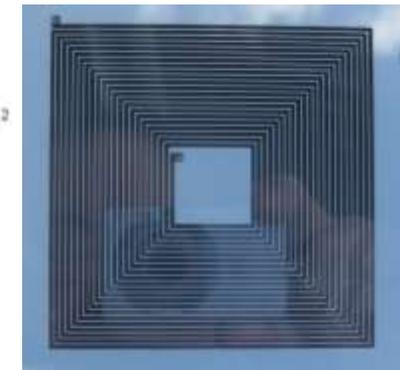
コイル各部における電流密度とジュール損失



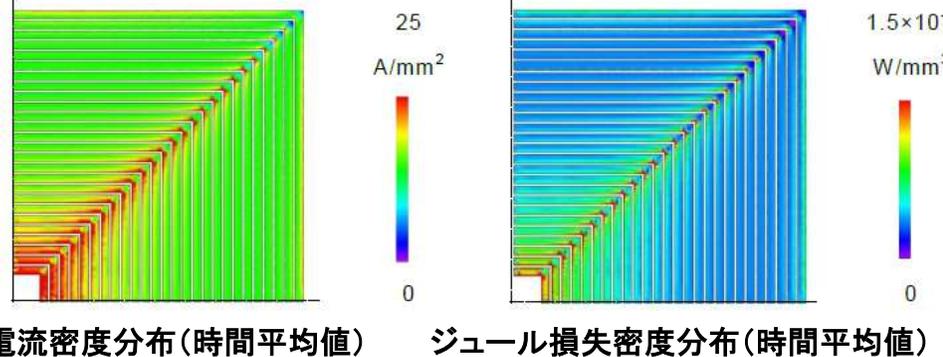
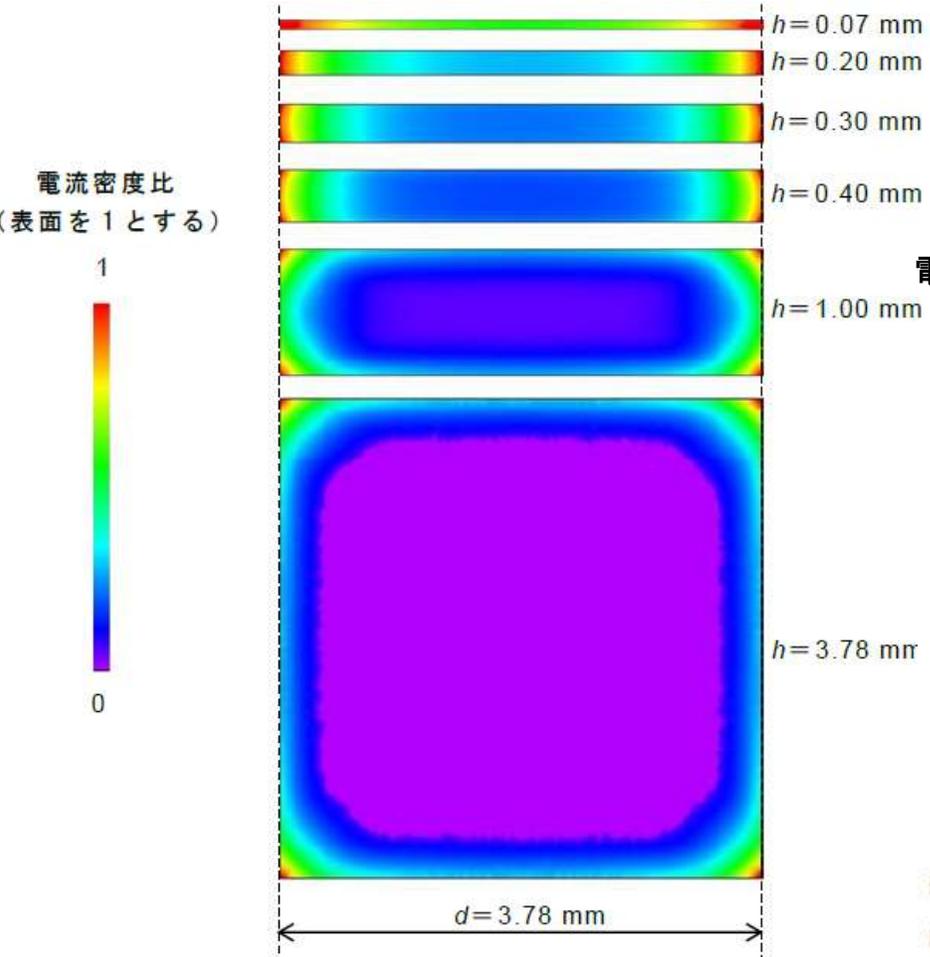
プリント基板
コイル



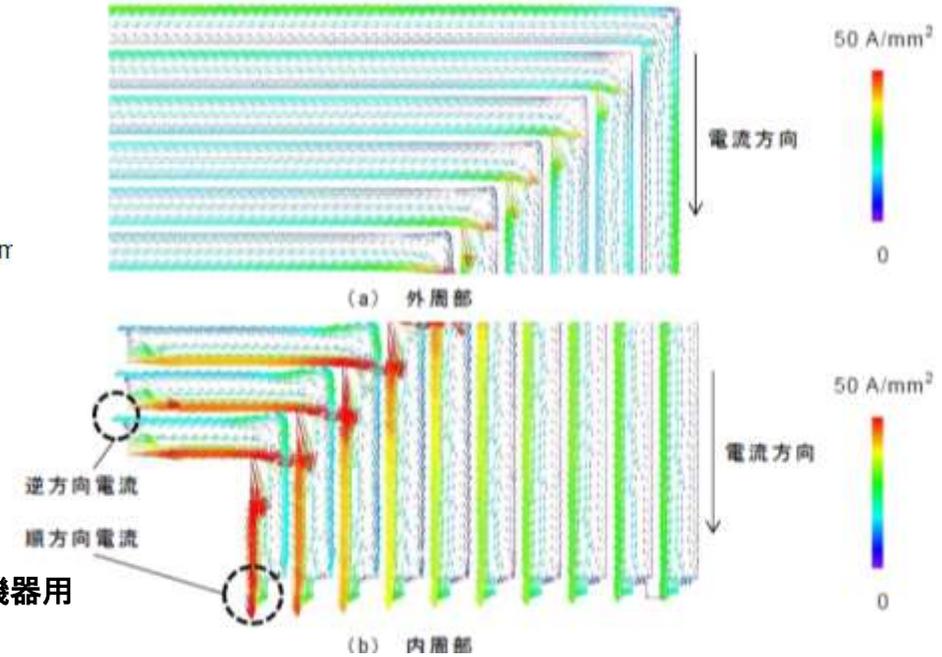
フレキシブル
両面プリント
コイル



銀ナノペースト
インクジェット
印刷基板

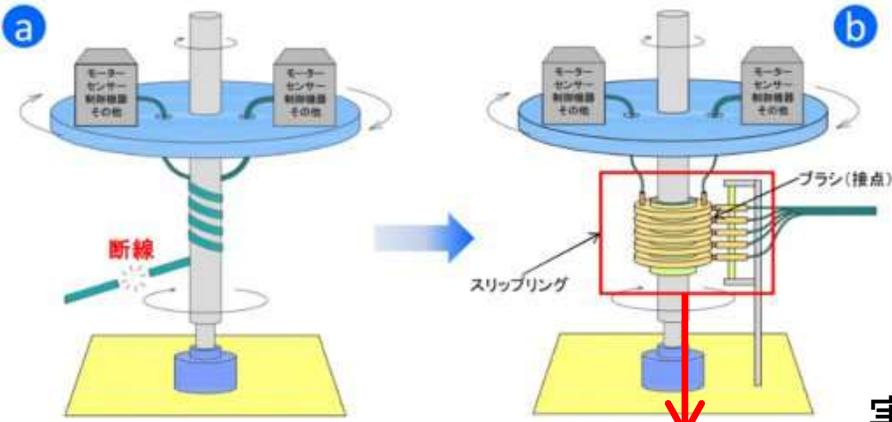


コイル各部における電流密度ベクトルの様子



出典: 小林王義 博士学位論文「バルクコイルを用いたモバイル機器用ワイヤレス給電装置の設計手法に関する研究」(2014年)

回転体へのワイヤレス給電



中央に光通信装置装備可能



実際のスリップ
リングの構造



ワイヤレス給電式
12W型コネクタ



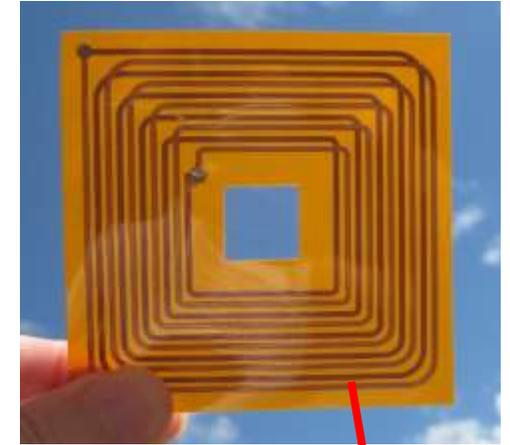
コイルを向かい合わせるだけで、回転体に影響を与えない軽量、
接触抵抗無しで連続的に給電できる
電力だけでなくCCリンク等で信号授受も可能

応用

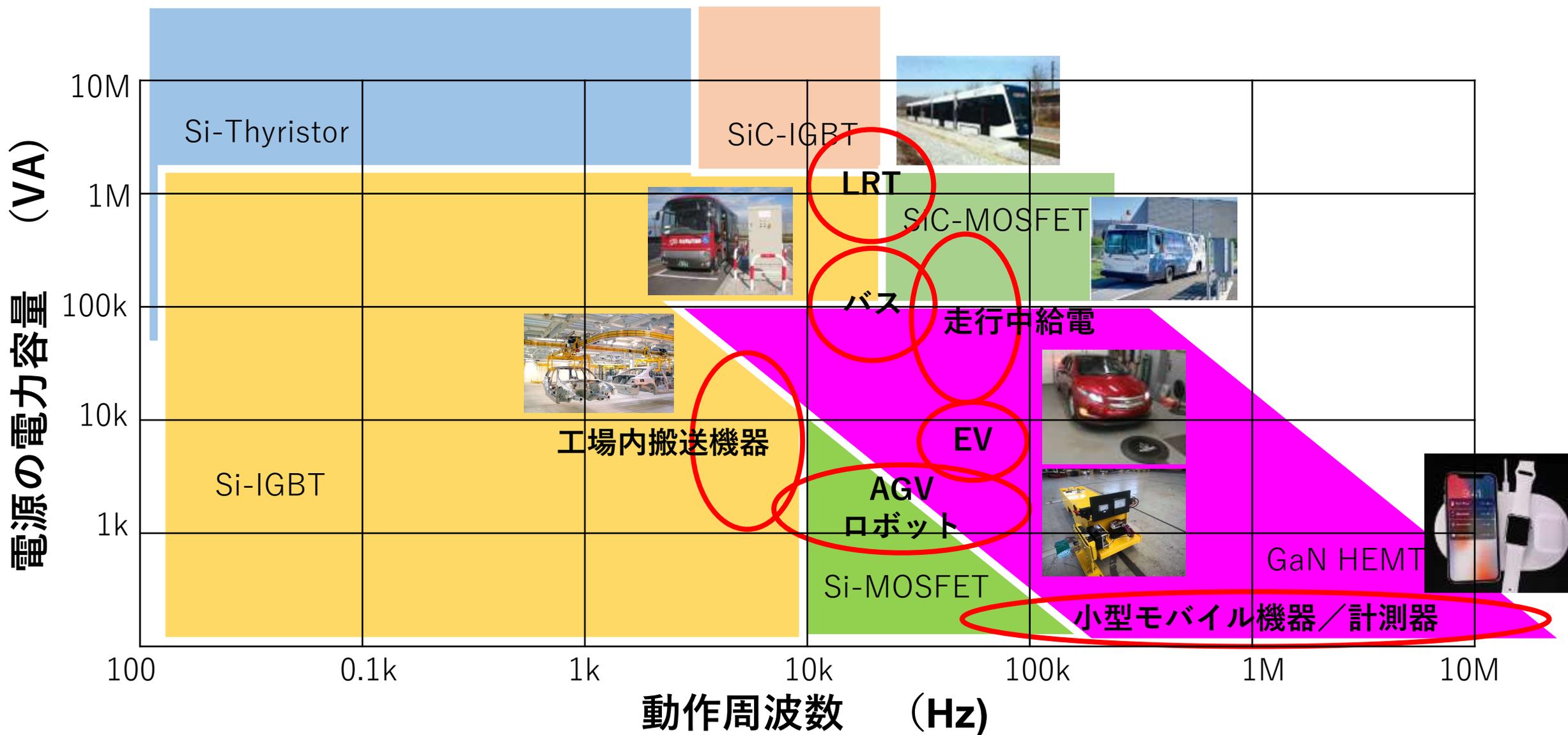
- ・防水型給電ソケット
- ・光-電力複合カプラーに応用可能

フレキシブル基板銅コイル

密閉容器内にコネクタ無しに
外部から給電できる
容器形状に合わせて容器内外
にコイルを配置
薄さを要求される用途でのワ
イヤレス給電用コイル



ワイヤレス給電と使用デバイス



GaNで効率90%、電動アシスト自転車用ワイレス給電



- Transphorm社は2017年4月19～21日に開催された「TECHNO-FRONTIER 2017」で、量産出荷しているGaNを用いたHEMT製品の採用事例としてベルニクス社の電動アシスト自転車用ワイレス給電システムを公開
- ワイヤレス給電システムのPFCユニットにGaN HEMTを採用、理由として、シリコンのパワートランジスタに比べGaNは高速スイッチングが行えるのでPFC回路を小型化できることと、変換効率が高いことの2つ
- PFCユニットの容量は250W（最大出力電流0.7A）で、サイズは100×90×38.5mm、PFCユニットの変換効率はAC200V入力、DC360V出力時で96%



充電ポール（黒色部が送電電源）と電動アシスト自転車



1次コイルに2次コイルを挿抜する様子

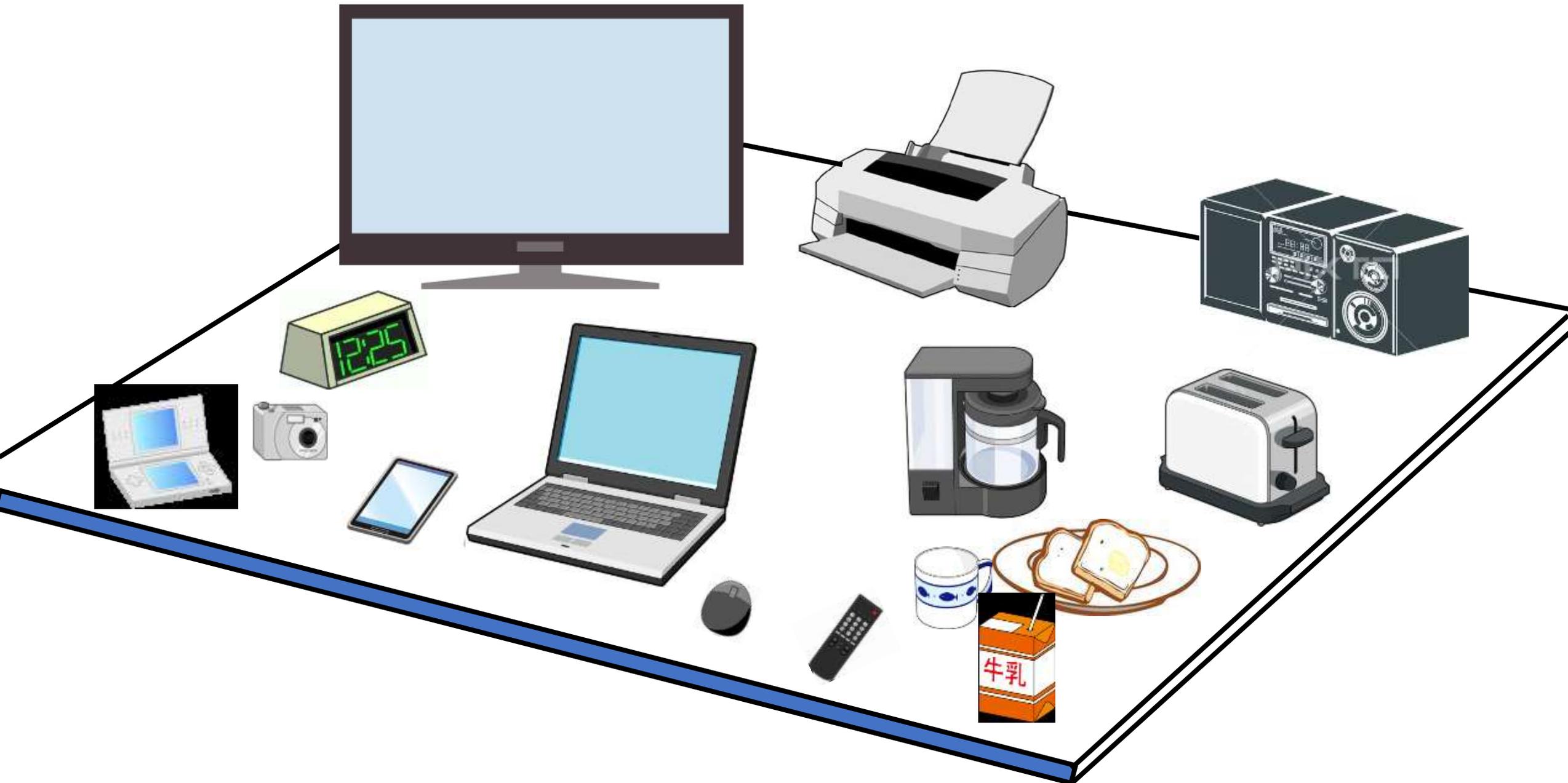


PFCユニット、赤枠で囲まれたところにGaNが使われている



新たな応用分野

未来の机の上は電線のない世界



Cordless kitchen appliances 「A powerful new kitchen concept」

WPC White paper - April 2013



台所調理器具



清掃しやすい台所・調理器



小さな調理スペース



安全に楽しめる食卓



Haierのコードレスブレンダー
@CES2013

http://www.gizmodo.jp/2013/01/post_11461.html



東芝のワイヤレスキッチン展示
@CEATEC2015

コードレスキッチン規格

- ・2013年3月～2016年には完成機能・性能仕様、インターフェイス仕様、試験仕様など
- ・仕様のポイント
 - ①正しい受電デバイスに必要電力だけ供給
検出、認証、確認のプロトコル
 - ②受電デバイスから送電制御
安全性の確保
 - ③高い安全性
異物検出
 - ④低い待機電力

壁に張り付ける有機EL照明

ローム社
@CEATEC2011



東芝ワイヤレス給電
付き有機EL
@ライティング・
フェア 2013



考えられる応用例

- ・ 線状コンセント
- ・ 自動ドア、自動カーテン
- ・ 電力伝送蝶番
- ・ フリーポジション電力伝送テーブル
- ・ フリーポジション電力供給床

出典: http://eetimes.jp/ee/articles/1110/14/news144_3.html

<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20130306/269713/?ST=nedsmart>

鹿島建設のオフィス向けワイヤレス給電

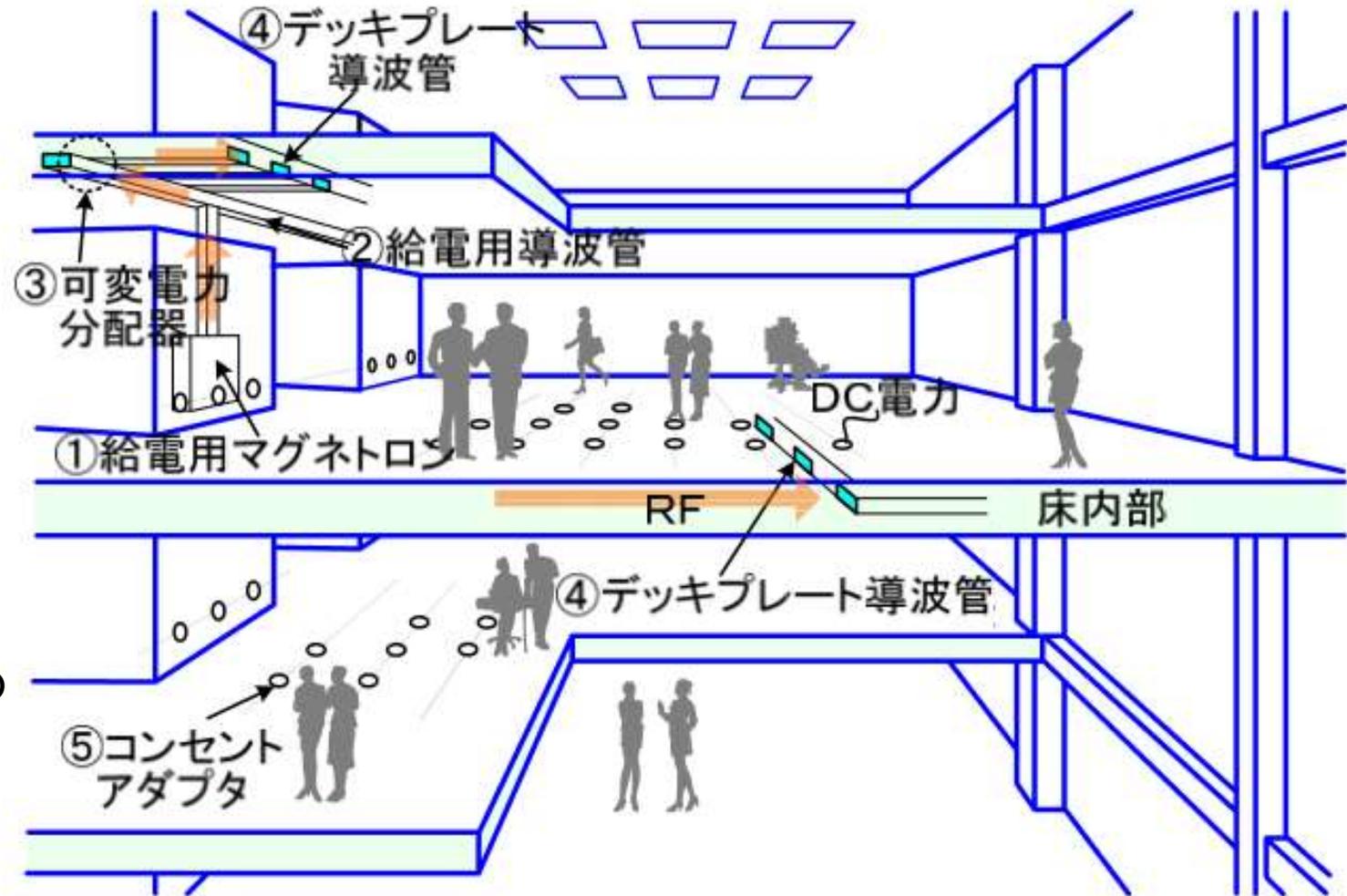
ユビキタス社会に対応した電源インフラ
建物内の 構造体などにより生じる閉空間を利用
2.45GHzマイクロ波による無線電力伝送システム

システム構成

- ①給電用マグネトロン →
- ②給電用導波管 →
- ③可変電力分配器 →
- ④デッキプレートを利用した導波管 →
- ⑤アンテナと整流回路を含むコンセントアダプタ

コンセントアダプタより DC電力を供給

要素技術の開発とそれらを組み上げた実大空間の
試作を行い、システムの実現性は確認済み



空中移動体へのワイヤレス給電

空中移動体へのワイヤレス給電は距離的には放射系を使用

- ・マイクロ波 数10kWの大出力が可能だが、人体防護の課題
- ・レーザー光 数kWの出力だが、総合効率が低い課題



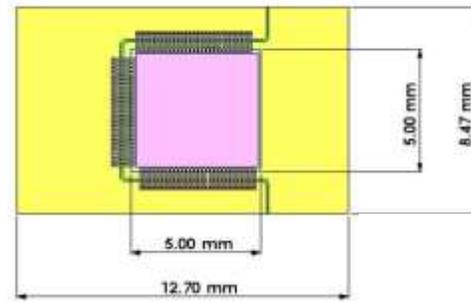
規制の緩和が必要

無燃料飛行機への給電 (1992年京都大学)

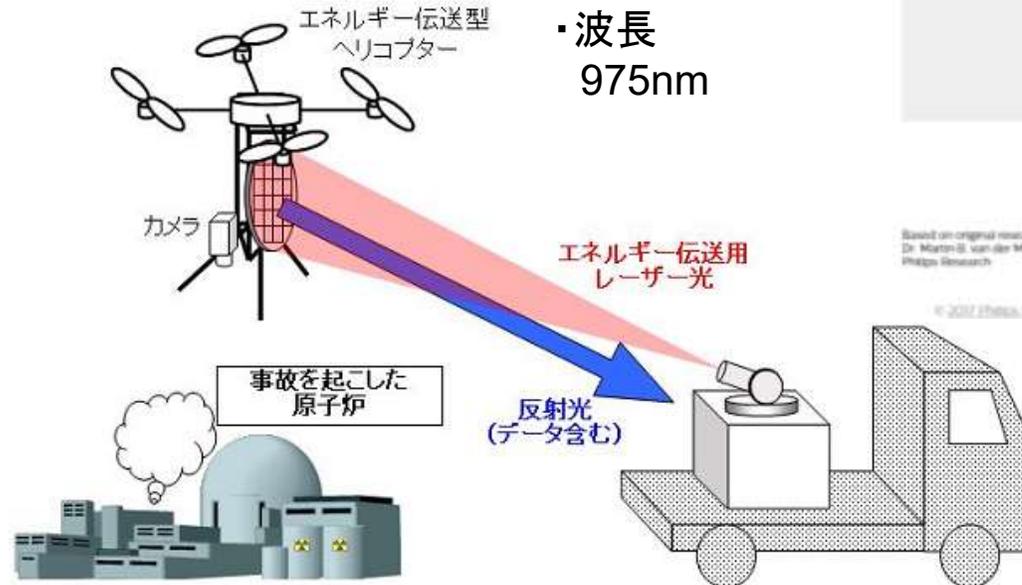


- ・受電部が軽量
- ・大出力が可能

レーザー光による給電

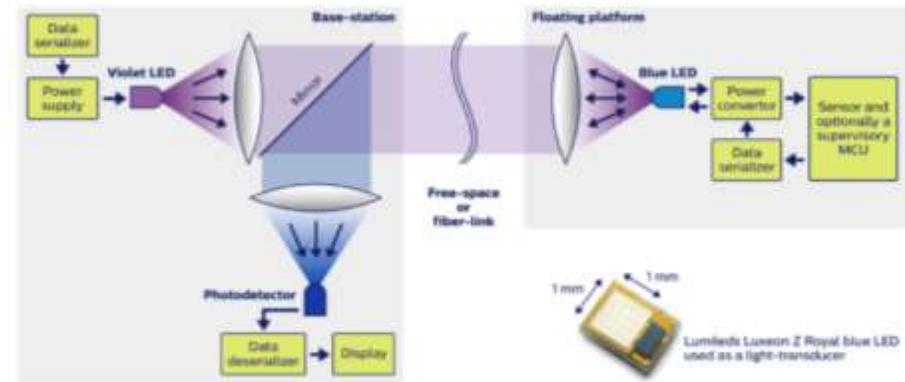


- ・小さな半導体アレイモジュールで出力
- ・出力 100W連続アンプができるので大出力容易
- ・波長 975nm



Power and data over light

Power transfer over a light beam, over a large distance



Based on original research of Dr. Martin G. van der Mark, Philips Research

© 2007 Philips Innovation Services. All rights reserved.

PHILIPS

・電力に信号の重畳も容易

- ・受電部が軽量
- ・中出力

1 充電航続距離が短いドローンへの給電および充電法

有線給電方式

不自由な飛行



ワイヤレス充電方式

両方式とも現状は地上で箱に収め充電、充電ケーブル接続の手間を無くすだけ



マイクロ波給電方式

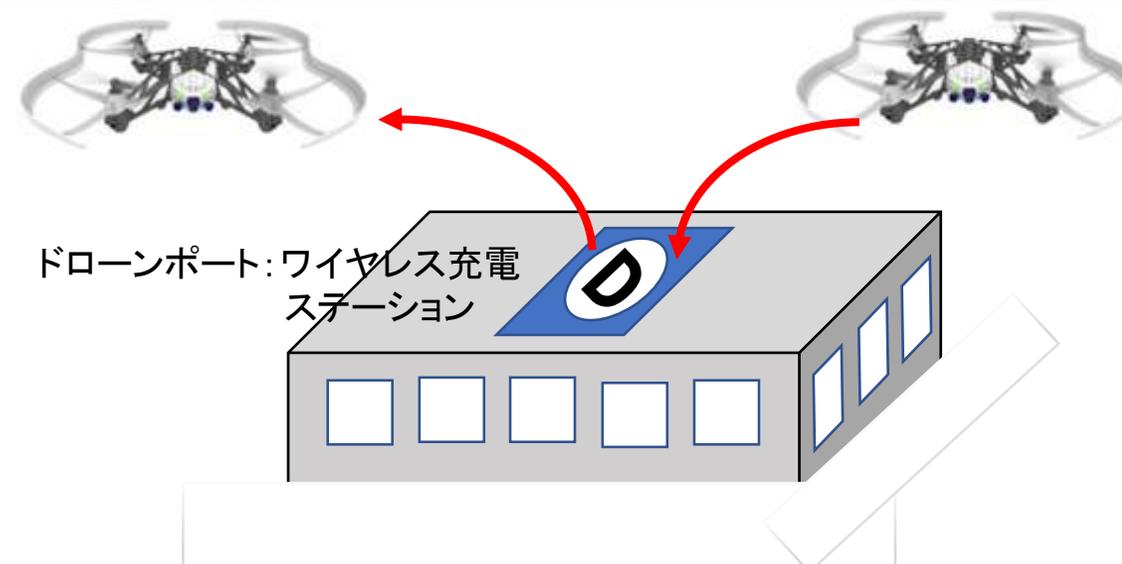


光無線給電でも可能

有線と無線の組み合わせ

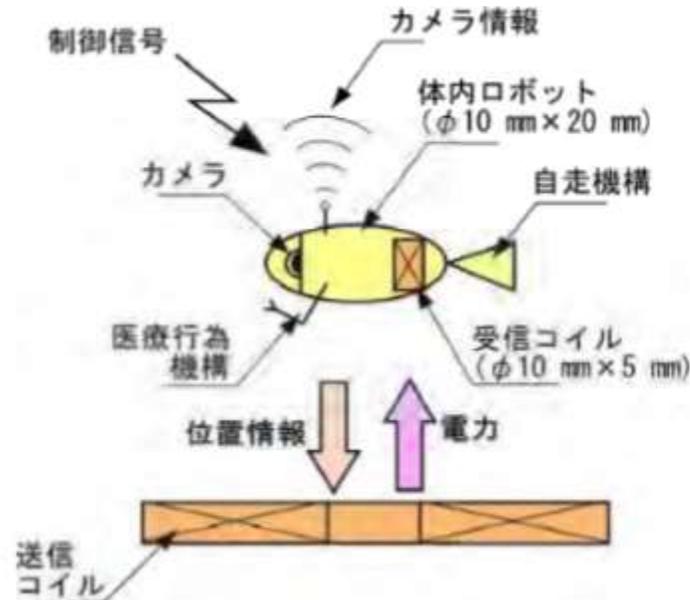


契約高層ビルの上で自動充電を繰り返しながら目的地まで長距離飛行



将来の医療機器へのワイヤレス給電①

体内ロボットへのワイヤレス給電 (信州大学) 体深部の極小インプラントを無線給電によって駆動させる技術を開発



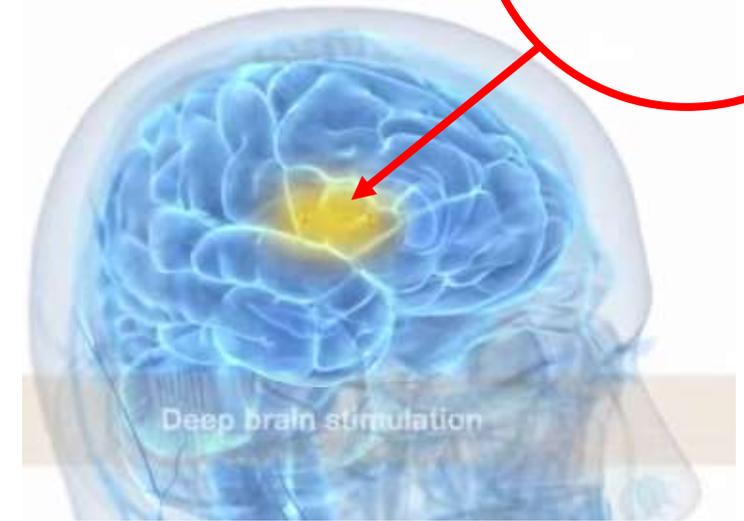
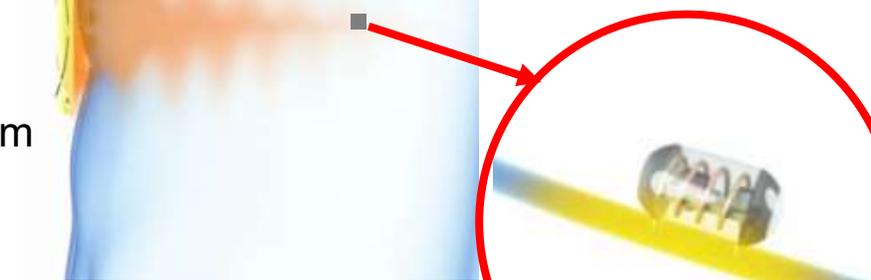
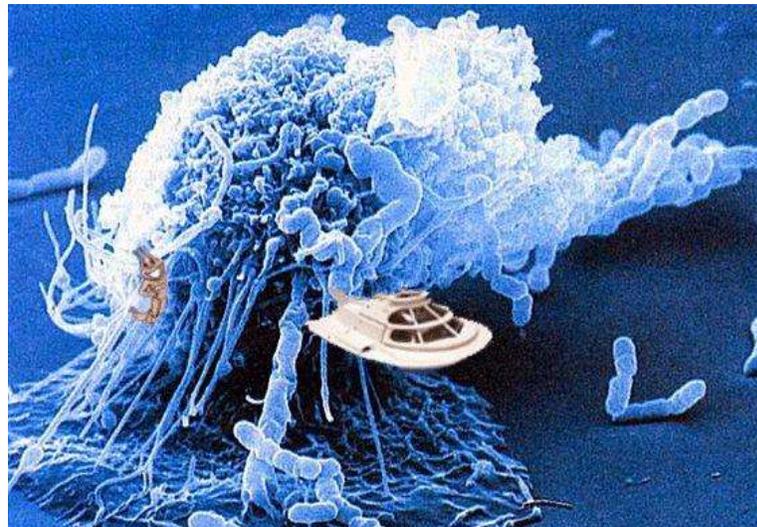
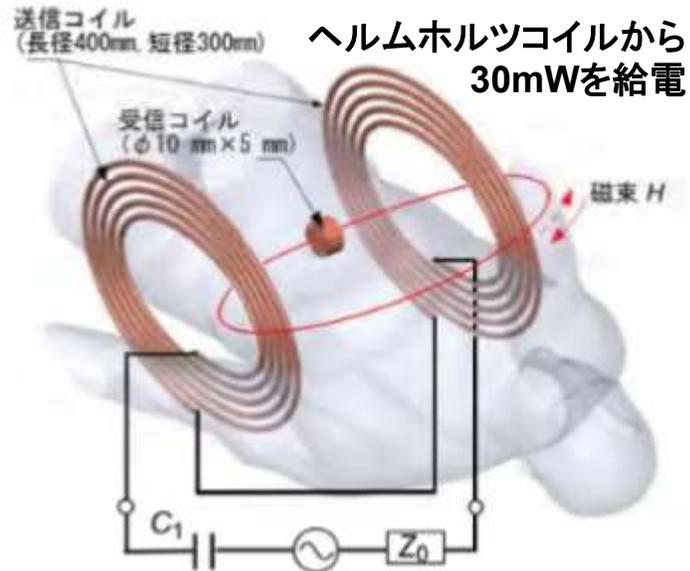
スタンフォード大学のAda Poon氏の研究グループ

体内の血管を自律的に移動し、脳や心臓の神経に取り付けて直接刺激を与える超小型・自律型の極小インプラントを開発中

1.6GHzの電波に特殊な変調を加える

6cm角のアンテナプレートからでも、長さ2mmのデバイスにも高い効率で給電

1966年公開「ミクロの決死圏」



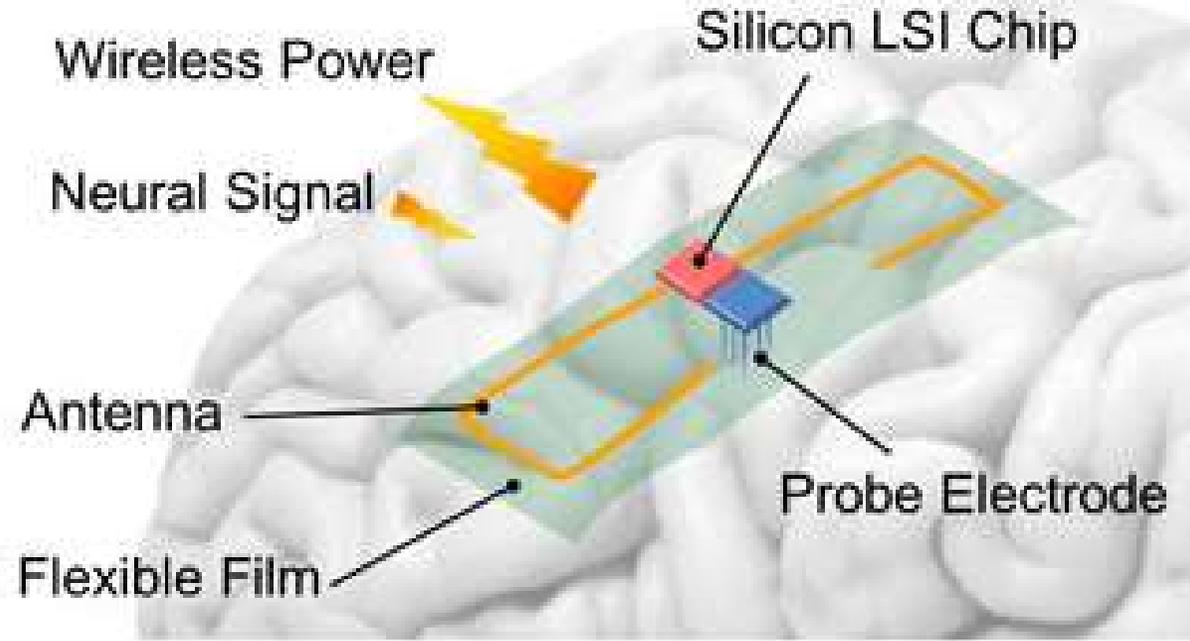
豊橋技術科学大学が脳の表面に貼り付けられる柔らかい無線電力伝送デバイスを実現 2016年2月12日

ブレインマシンインターフェースの課題

- ・動物が手足を動かすと脳の神経細胞から微弱な神経電位が生じる
- ・神経電位の解析は、ヒトとロボットをつなぐブレインマシンインターフェースの実現に向けて盛んに研究されている
- ・現在は主にワイヤを用いて脳表面に埋め込まれた電極から神経電位の計測が行われている
- ・頭蓋骨の開口部から感染症を引き起こす懸念がある
- ・長期間にわたって脳の信号を観測するためには、生体内に完全に埋め込む無線神経インターフェースの開発が求められている

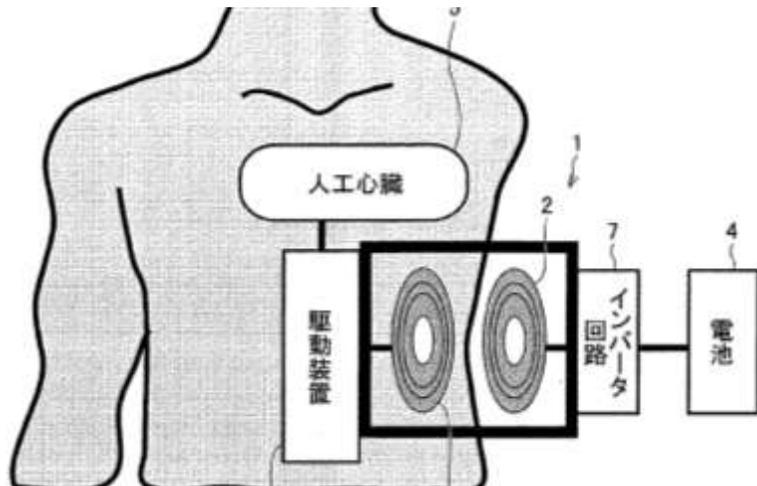
豊橋技科大での開発内容

- ・シリコン基板による高機能かつ小型な回路チップを、厚さ10 μ mのフレキシブルフィルムに実装する手法を開発
 - ・同手法を用いて、整流器チップとフィルムアンテナを一体化した無線電力伝送デバイスを製作
 - ・デバイスは5mm×27mmの面積で、シリコン基板による回路面積が全体の3%を占める
 - ・大部分がフレキシブルフィルムで構成されていて、脳の形状に対して柔軟に密着することが可能
 - ・同デバイスを水槽に浸して、10cmの距離で無線電力を伝送することに成功
-
- ・埋め込みデバイスに無線電力を供給することで、さまざまな回路を駆動することが可能となる
 - ・今後、シリコンチップにさらなる回路機能を搭載することで無線で脳の信号を取り出すことを目指す



経皮型ワイヤレス給電式人工心臓

皮膚を貫通する伝染やパイプが無いので感染の危険性が少なく、患者への負担が少ない



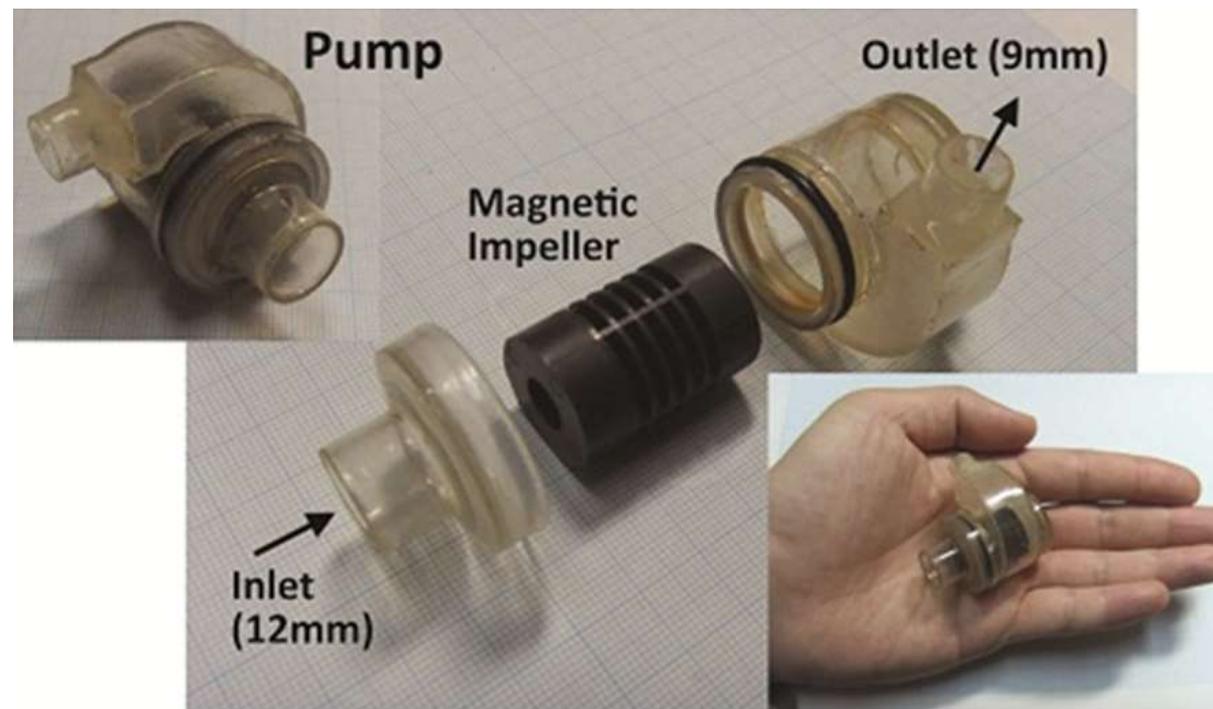
体外1次コイル

体内2次コイル

出典: <http://www.nanobme.org/summeries/summeries16.html>

ワイヤレス駆動の補助人工心臓用ポンプ

- ・経皮型は体内に2次コイル、整流や電源などの駆動装置と人工心臓のポンプを植え込まねばならない
- ・東北大学は、体内に埋め込んだ小型ポンプに、ワイヤレスで外部から磁界を印加して駆動するタイプの補助人工心臓を開発
- ・大きさは単2形乾電池と同程度で、120mmHg以上の圧力で1分当たり5L以上の流量と、人間の心臓と同程度のポンプ能力を備える

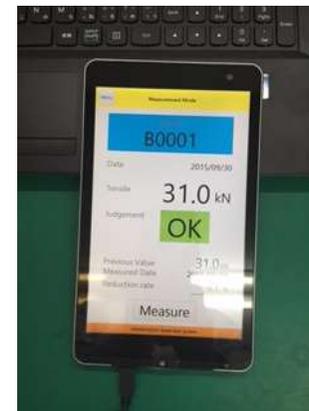
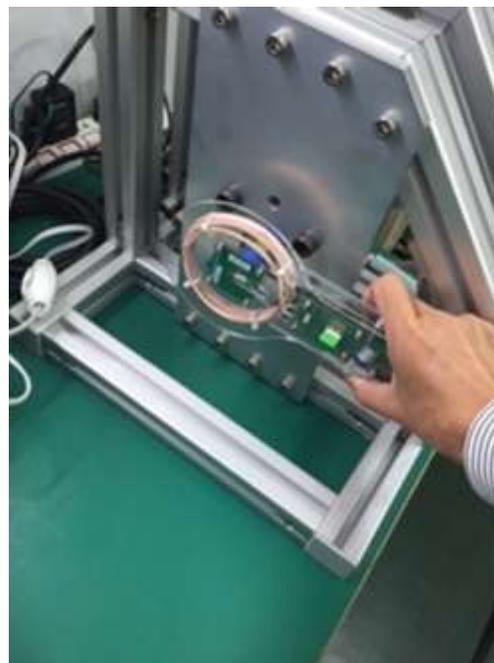


出典: <http://www.riec.tohoku.ac.jp/lab/elecbio/index-j.html>

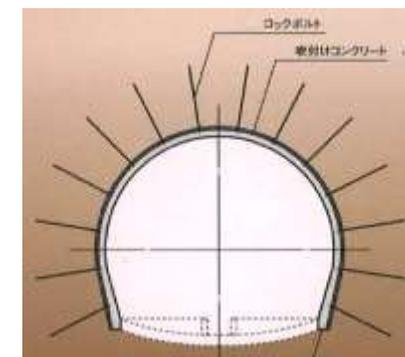
ボルト軸力計測装置へのワイヤレス給電の応用

ボルト軸力計測装置

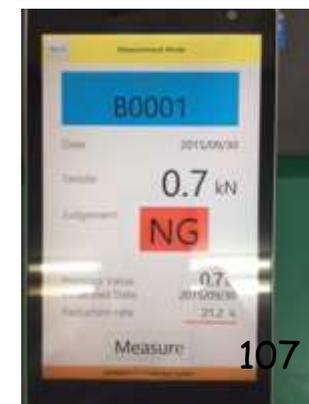
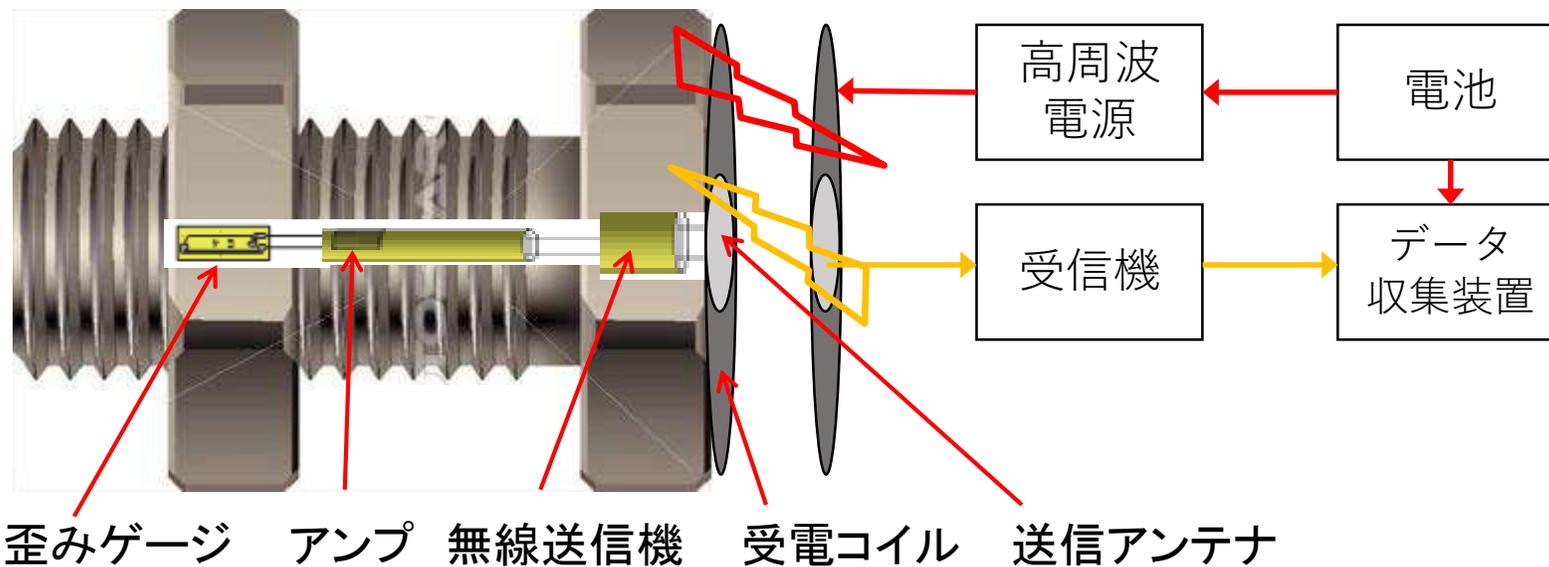
- ・歪みゲージによる軸力計測により下記を検知できる
当初軸力 > 計測軸力 → 当該ボルトの緩み
当初軸力 < 計測軸力 → 他ボルトの緩み
歪みゲージ付きボルトは全数でなく、必要数に絞れる
- ・計測ケーブルの端末処理が大変
- ・ボルトの中心に歪みゲージ／アンプ、無線送信機を埋め込み、ヘッド面に受電コイルを設置し、検査時に給電コイルから給電、その電力で計測したデータを無線で収集するシステム
- ・IDを付加して計測ボルトを特定できる



開発したシステム全景



トンネルの断面構造におけるロックボルト



斜面の法面崩落防止用のアンカーボルト

タイヤ空気圧監視システム(TPMS)

アメリカでは2007年9月から義務化
日本では特定無線設備申請が必要

間接式 ABSセンサーの差を利用
誤差が大きい、エラーが多い

直接式

ベルトタイプ ホイール内部にベルトで固定
電池交換が大変

バルブタイプ

ホイールバランスが必要

ホイール形状により装着できない

共通課題

電池寿命 3~5年で交換が必要

送信間隔 約3秒 夜間駐車時も作動

ワイヤレス給電化

回転する検査機器への給電

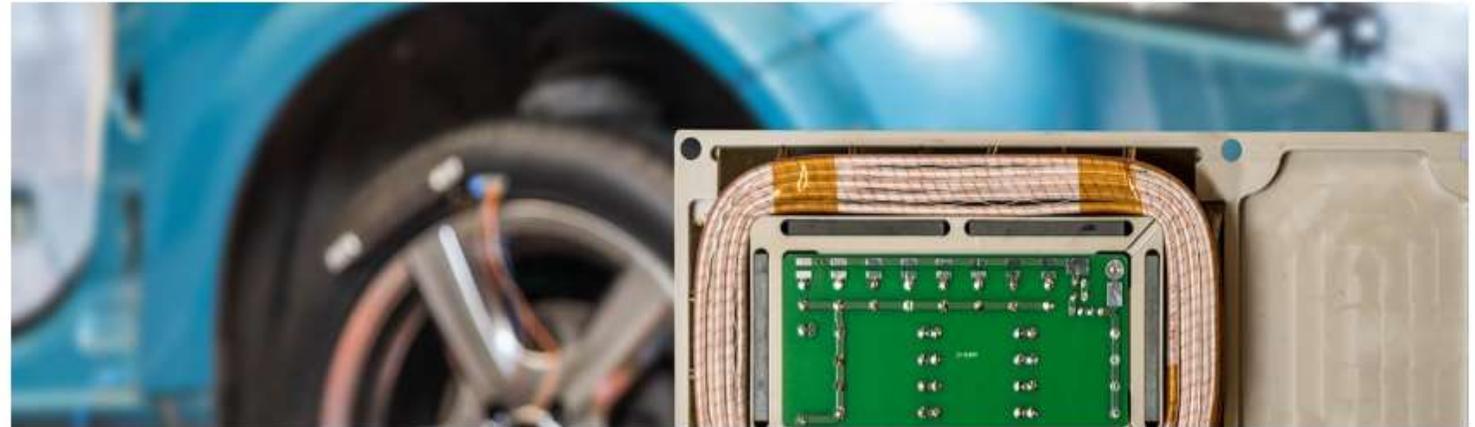
車が動いている時のみ給電

電池レスによる軽量化

ホイールバランスが不要

Wireless power up of a sensor node in a tire

Powering a sensor node across a large distance



Application

This long-range WPT system has been designed for an automotive application: to power a sensor node within a rotating tire.

Innovation

Large-distance power transfer achieved from a stationary part to a rotating system.

- The large transmitter coil is located in the stationary part of the vehicle.
- A compact receiver coil, packaged together with the sensor node, is inserted inside the tire.

Challenge

The unique challenge of this project is to transfer power across large distances (greater than 500 mm).

Key specifications

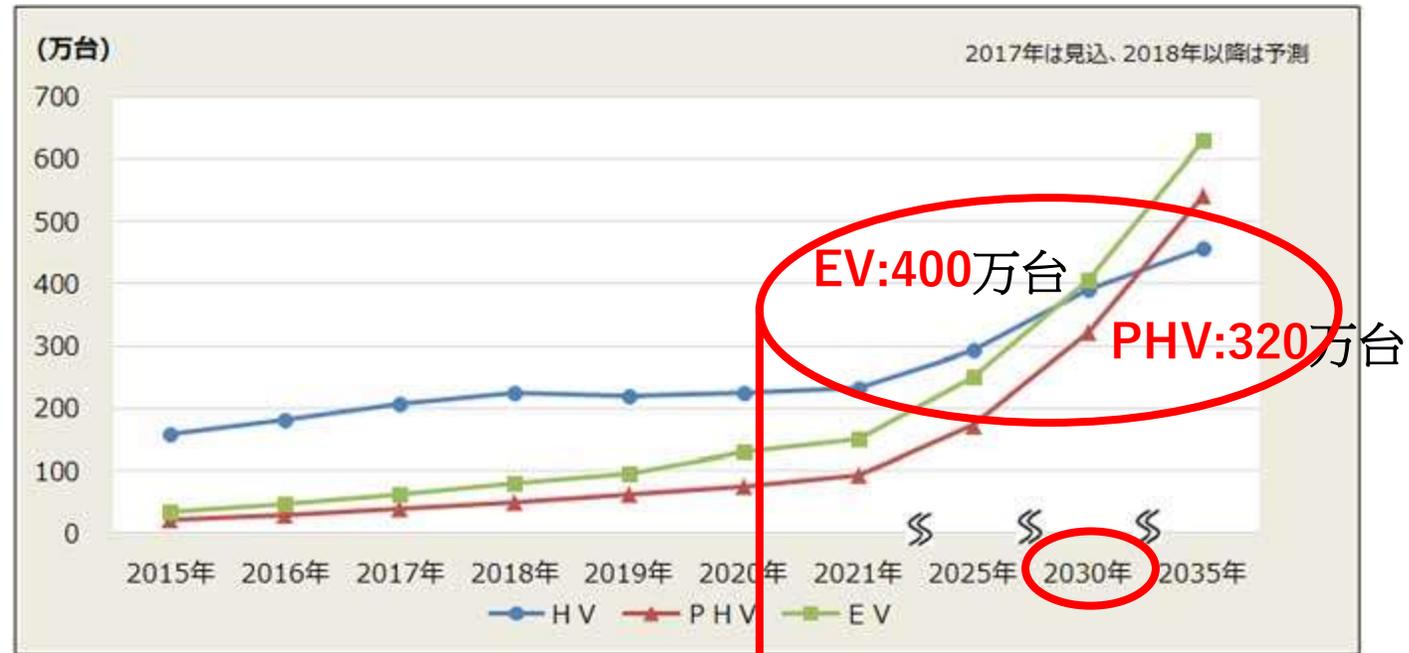
- Power: 5 mW
- Switching frequency: 100 kHz
- Power transfer efficiency: negligible, input power large
- Type: electromagnetic coupling
- Additional technologies: sensor node and receiver coil in a compact package



市場規模

2030年のHV／PHV／EVの販売予測

2017年6月、富士経済がHV,PHV,EVと関連部品の2035年までの世界市場展望を発表



充電器が必要な車の台数 : **720万台**

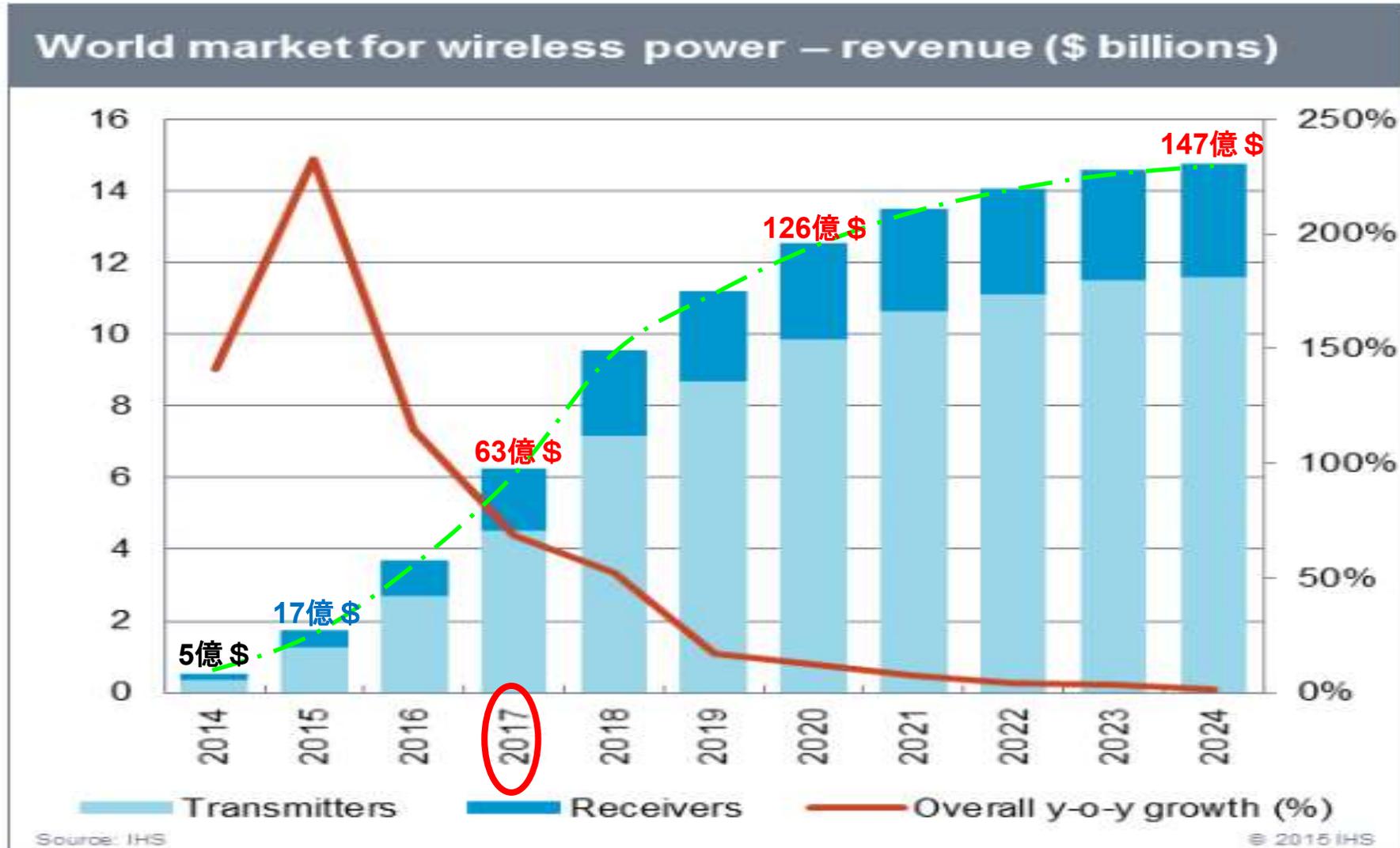
このうちの**20%**がワイヤレス給電システム搭載と予測

2030年で約**144万台**の販売予測

ワイヤレス給電システム1式25万円として**3,600億円**の市場

2030年の汎用ワイヤレス給電市場規模予測

モバイル用ワイヤレス給電モジュール金額の予測 (HIS、2015年3月15日)



モバイル用のみで

傾向から13年後の2030年には155億 \$ (1.75兆円)と想定される(113円/\$ベース)



ご清聴ありがとうございました

早稲田大学 電動車両研究所
高橋俊輔