

第21回 スマート設計技術フォーラム

Session Introduction

電気自動車・産業機器等への 電界磁界結合型ワイヤレス給電の 基礎理論・開発設計及び導入事例

チェアパーソン

京都大学 篠原 真毅 教授

電気自動車の充電は電界磁界結合型ワイヤレス給電の応用として最適であると考えられ、現在様々な研究開発と標準化の動きが世界中で活発になっている。本講演では電界磁界結合型ワイヤレス給電の基礎理論から設計手法の講演に加え、実際の電気自動車や産業機器への導入事例を紹介し、総合的に電界磁界結合型ワイヤレス給電の技術を俯瞰する。

セッションの受講に際しては、篠原真毅・監修『電界磁界結合型ワイヤレス給電技術(科学情報出版／2014年)』が必要となりますのでご持参下さい。
※当日受付でも販売いたします。◎事前にご購入希望の方へ：弊社HPより購入できます(送料無料)。URL：<http://www.it-book.co.jp/>
⑤書籍代は受講料に含まれません。

51

10月21日(水)

第1講演

10:00~12:00

産業機器へのワイヤレス給電の
開発設計と導入事例

早稲田大学 高橋 俊輔 氏

第2講演

13:00~15:00

EV向けワイヤレス給電の最新動向と
開発設計における、安全・安心と標準化の側面

京都大学 横井 行雄 氏

54

10月22日(木)

第1講演

10:00~12:00

電界結合と磁界結合から見た
結合共振型無線電力伝送の基礎

名古屋工業大学 平山 裕 准教授

第2講演

13:00~17:00

無線電力伝送システム無線部設計の基本

名古屋工業大学 稲垣 直樹 名誉教授

*特別優待受講料の方は、①月刊EMCの読者、②2015年9月20日までにお申し込みの方、または事前登録者、
③講師からのご紹介者、④前回フォーラムを受講された方となります。

お申込書→FAX029-877-1030

■お問い合わせ／フォーラム事務局 TEL.029-877-0022(代)

フリガナ	御社名 ご所属			
受講者名	様		*特別優待の方へ*	
ご住所	〒		□①・□②・□③・□④ / □へ ✓ をご記入ください	
TEL ()-()-()	E-mail			
受講内容	10/21 □ 産業機器へのワイヤレス給電の開発設計と導入事例 EV向けワイヤレス給電の最新動向と開発設計における、 安全・安心と標準化の側面	特別優待 受講料	□ 1日間 40,000円 □ 2日間 75,000円 □ 3日間 97,000円	一般 受講料
	10/22 □ 電界結合と磁界結合から見た結合共振型無線電力伝送の基礎 無線電力伝送システム無線部設計の基本			□ 1日間 54,000円 □ 2日間 98,000円 □ 3日間 145,000円

■ご希望の受講日及び受講料の□の中に✓をご記入下さい。受講料は1名様の価格(税別・昼食代含む)です。定員30名様。

2015 Solution Forum

第21回

スマート設計技術フォーラム

51

2015年10月21日(水) 10:00~15:00

電気自動車・産業機器等 への電界磁界結合型 ワイヤレス給電の 基礎理論・開発設計 及び導入事例

チェアパーソン：京都大学 篠原 真毅 教授

第1 講演

産業機器へのワイヤレス給電の開発設計と導入事例

早稲田大学 高橋 俊輔 氏

第2 講演

EV向けワイヤレス給電の最新動向と開発設計における、
安全・安心と標準化の側面

京都大学 横井 行雄 氏

2015 スマート設計技術フォーラム運営委員会事務局

〒300-2622 つくば市要 443-14
Tel.029-877-0022 Fax.029-877-1030
e-mail:kagaku-gijyutsu@it-book.co.jp
<http://www.it-book.co.jp/>

第 1 講演

産業機器へのワイヤレス 給電の開発設計と導入事例

早稲田大学

高橋 俊輔 氏

産業機器へのワイヤレス給電の 開発設計および導入事例

早稲田大学
環境総合研究センター
高橋 俊輔

2015年10月21日
第21回ソリューションフォーラム



WASEDA University

目 次



1. ワイヤレス電力伝送とは

- 2. ワイヤレス電力伝送の応用事例
- 3. ワイヤレス電力伝送の課題と取組み
- 4. 今後の方向性と市場規模



ワイヤレス電力伝送の必要性

真のユビキタス社会は全てワイヤレス



ユビキタス社会とは？

場所や時間の制約を超え、
いつでも、どこでも、誰とでも、何とでも
情報を交換できる社会



携帯電話は

場所や時間の制約を超え、
いつでも、どこでも、誰とでも、何とでも
情報を交換できる機器



充電の時は場所や時間の制約がある

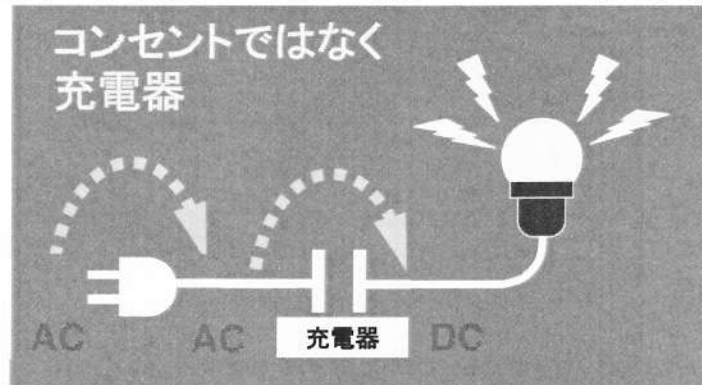


真のユビキタス機器ではない

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



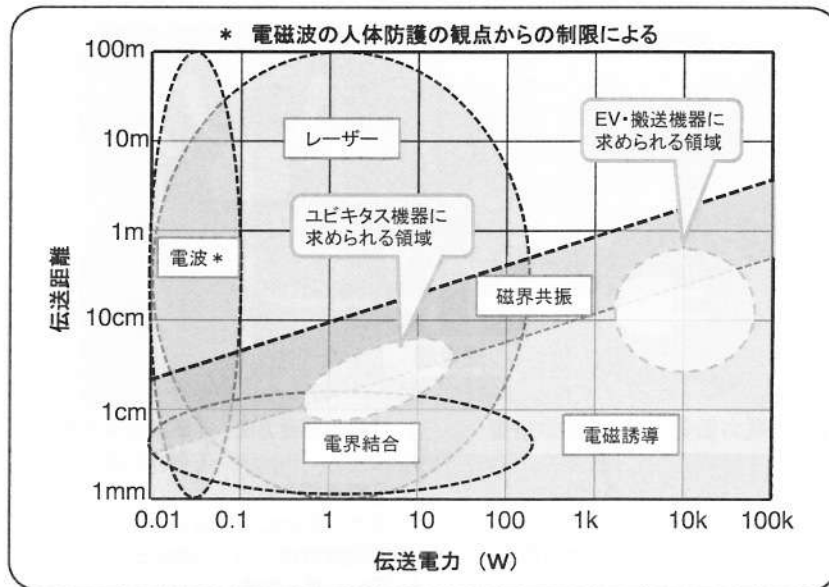
- ワイヤレス電力伝送方式
- 非放射型
 - ①磁界結合方式
 - 電磁誘導方式
 - 磁界共振方式
 - ②電界結合方式
 - ③エバネッセント波方式
 - 放射型
 - ④電波方式(マイクロ波など)
 - ⑤レーザー方式

5



ワイヤレス電力伝送の各方式

各方式の伝送電力と伝送距離



7

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)



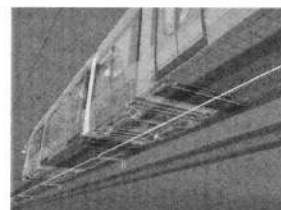
ニコラス・カラン
アイルランドの牧師
誘導コイル発明
(1836年)



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)



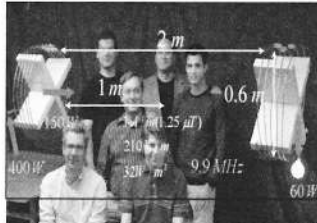
BOMBARDIER社
電車への250kW(2009年)

8

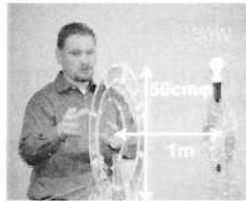
磁界結合方式(磁界共振方式)



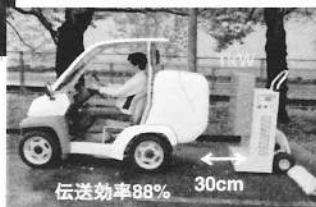
- 2007年6月米MITのMarin Soljacic教授の研究グループが発表
- 共振回路同士の共鳴現象を利用, 2mの距離で60W送電伝送効率は40~45%
- 基本原理は新しくはないものの、給電方式としては新たな方式
- その後多くの会社が発表し、3kW程度のものが出てきた



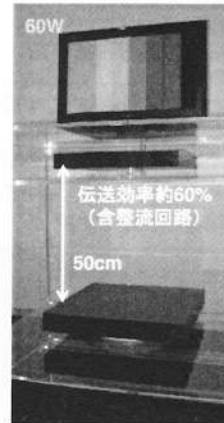
3.3kW
20cm
伝送効率90%
IHI/WiTricity/三菱自動車



インテル



長野日本無線



ソニー
出典: 各社HPの写真より

9

電波(マイクロ波)方式



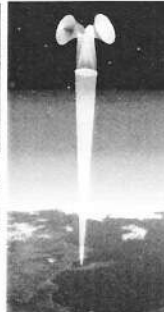
- 19世紀に特斯拉が通信実験を行う
- マイクロ波などの電波をアンテナで受信、整流回路で直流に変換(レクテナ)
- 電波のビームを絞ることで長距離大電力伝送も可能



ウォーデンクリフ・タワー



ニコラ・特斯拉 USA
テスラコイル発明
(1891年)



太陽光発電衛星
(SPS)



無燃料飛行機への給電
(1992年京都大学)

電気自動車への応用

- 2009年2月のENEX2009に三菱重工業が展示
- 現状、出力1kW、効率38%



- 4m以上離れて10kW電力伝送(2012年日本電業工作とVolvoグループ)



出典: NEDOカタログより



京都大学宇治キャンパス電波暗室 10

電界結合方式

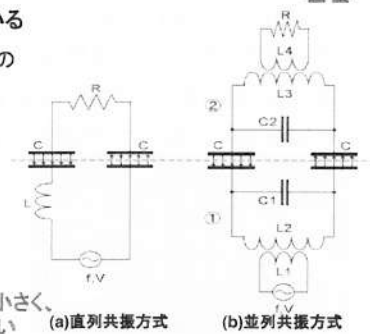
磁界結合だけでなく電界結合(誘電結合)方式も発表されている

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低い
- ・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)



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/>)

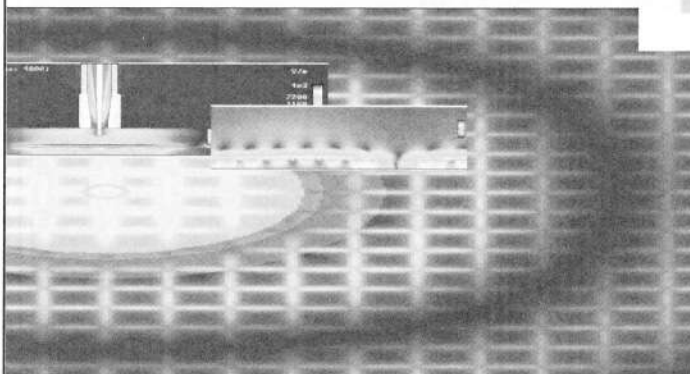
11

エバネッセント波方式

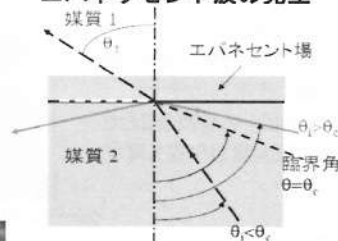
マイクロ波であるが、
伝送空間にはヒトは入り込めない!

基本的にギャップが小さく、出力が小さい

DC 負荷
Min = 0 / Max = 1000



エバネッセント波の発生



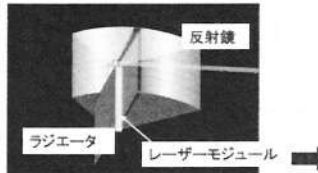
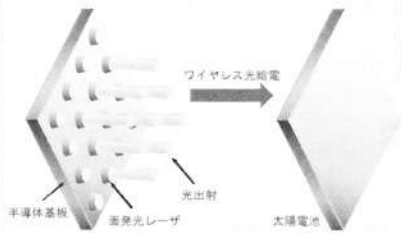
12

出典: 篠田: 計測と制御 第46巻第2号 pp.98-103(2007)

レーザー方式を使ったシステム

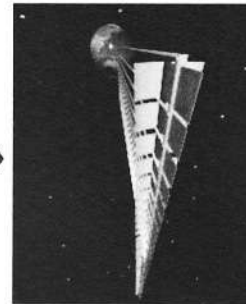


レーザー光を太陽電池で受けると
エネルギー電力伝送が可能である

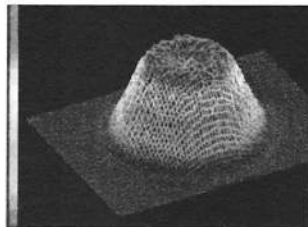


主要寸法

- 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)

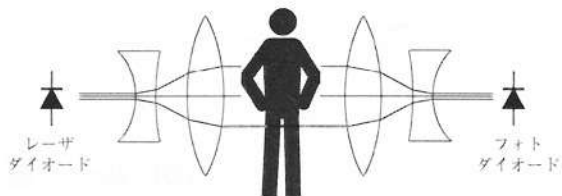


レーザー方式SSPSモデル
(出典: 宇宙航空研究開発機構資料)



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

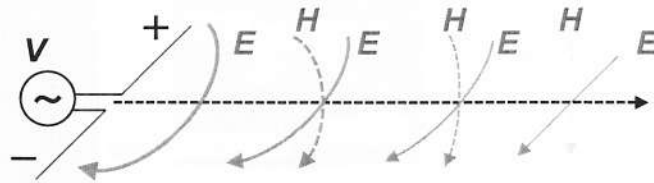


ビームエネルギー密度減少方法

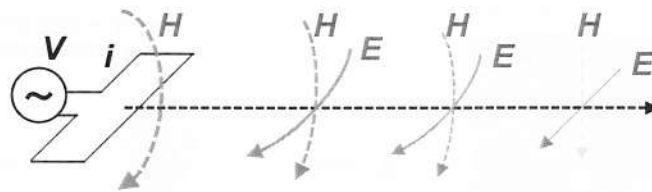
13

電磁誘導式と磁界共鳴式の差は？

電磁界空間分布



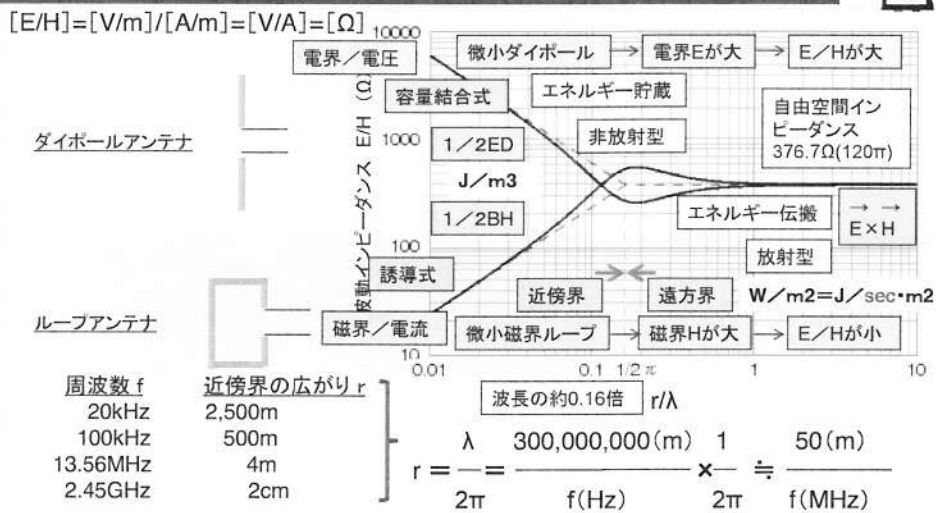
(a) ダイポール型



(b) ループ型

15

近傍界と遠方界の境界



- ・ダイポール・アンテナ(電界放射源)の近傍は電界成分Eが支配的で、その波動のインピーダンスE/Hは高い
- ・ループ・アンテナよ(磁界放射源)の近傍は磁界成分Hが支配的で、その波動のインピーダンスE/Hは低い
- ・どちらも放射源から遠ざかるにつれて、その波動のインピーダンスは自由空間インピーダンスに近づく
- ・放射源の近傍で波動のインピーダンスが自由空間インピーダンスと大きく異なる領域が近傍界
- ・距離が充分に離れて波動のインピーダンスが自由空間インピーダンスに近づく領域が遠方界
- ・その境界は電磁界の波長を λ として $\lambda/(2\pi)$ までを近傍界、それよりも遠くが遠方界

16

電力伝送効率は何で決まるか？



電磁誘導伝送(誘導電磁界)

- 短ギャップ ($L/D < 1$) で結合係数 $k \sim 0.6$ 程度
- 誘導電磁界はコイル(ループアンテナ)の電流と絶えず直接的に結びついている $\Rightarrow$ 電流が0になると同時に電磁界は0

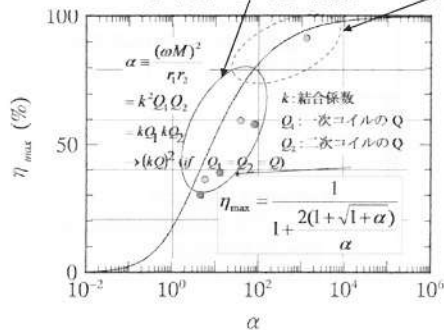
ここで L : 伝送距離
 D : コイル直径

磁界共振伝送(放射電磁界)

- 長ギャップ ($1 < L/D < 10$) のため結合係数 $k \sim 0.01$
- 高いQ値のコイルを利用して高効率を実現(共振周波数帯域が狭い)
- 放射電磁界はコイルから一度放射されると時系列的に以後直接的な関連性を持たない
 $\Rightarrow$ 電流が0になっても一度発生した電磁界は消滅せずに波動となって限りなく伝搬

磁界共振方式で用いられるところ
(例: $k=0.01$, $Q=200 \sim 1000$ で
 $\alpha = (kQ)^2 = 5 \sim 100$ 程度)

電磁誘導方式で一般に用いられるところ
(例: $k=0.7 \sim 0.9$, $Q=10 \sim 100$ で
 $\alpha = (kQ)^2 = 50 \sim 8000$ 程度)



・コイル間伝送効率は kQ 積の2乗値によって決まることが理論的に導かれている

・電磁誘導と磁界共振の試験結果をプロットの結果、理論値と実験値は比較的よく一致

・磁界共振も電磁誘導の一種であるとの結論

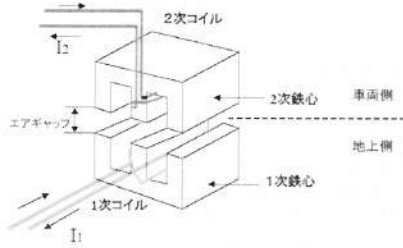
大ギャップ非接触給電で高い電力伝送効率を得ることは、空間の電磁氣的結合とコイルの性能指数である kQ 積を大きく取ることによって可能になる

17

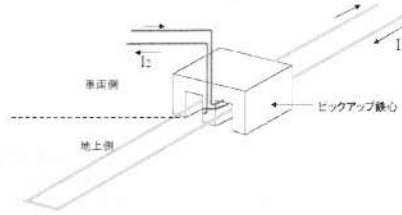
磁界結合式ワイヤレス電力伝送の原理



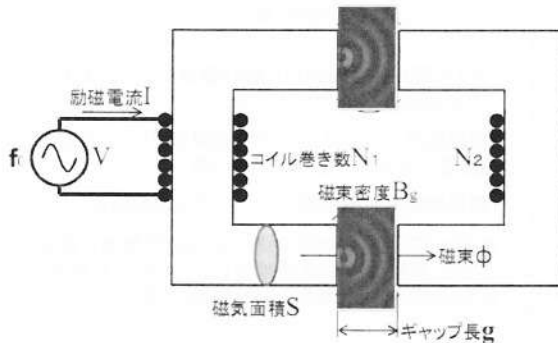
電磁誘導方式の原理



チャージシステム(静止型)の原理



レールシステム(移動型)の原理



◆理想的な変圧器
主磁束のみで、漏れ磁束がない
結合係数 $k = 1$

◆非接触給電システム
ギャップにより磁路が切れる
漏れ磁束がある
結合係数 $k < 1$

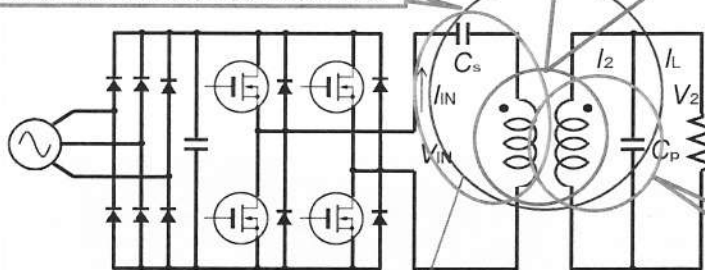
19

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

電源効率を1に近づけ電圧変動率を最小にする



最適負荷ZLは
 $Z_L = R_L + j\omega L_2$
負のリアクタンス
抵抗負荷では2次側に
L2と共振するキャパシ
タンスが必須

2次漏れインピーダ
ンスをZeとして
 $Z_e = Z_L$
で整合する

伝送効率を最大にする

結合係数kが大きい($Z_e > Z_L$)
場合、
Mが大きいので、Le2を補償する
値のコンデンサ
電源側インピーダンスを下げる

(a) 直列方式

結合係数kが小さい($Z_e < Z_L$)
場合、
L2との共振周波数が電源周波
数f0となる値のコンデンサ
電源側インピーダンスを高くする

(b) 並列方式

効率、電圧変動の両
者を満足する回路

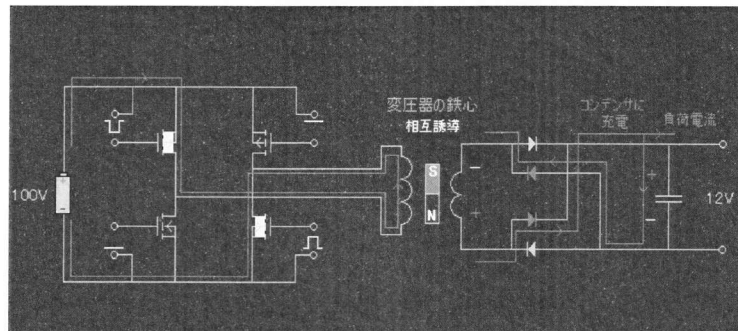
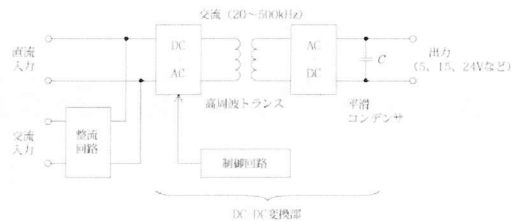
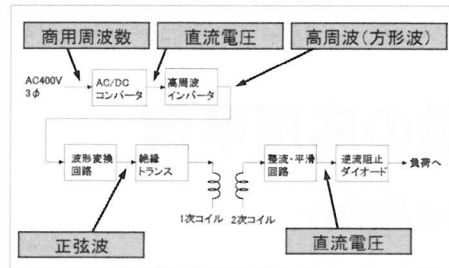
(c) 直列/並列方式

(d) 並列/並列方式

1次コイルからエアギャップに
励磁無効電力を供給する

20

ワイヤレス給電システムは絶縁型コンバータ？



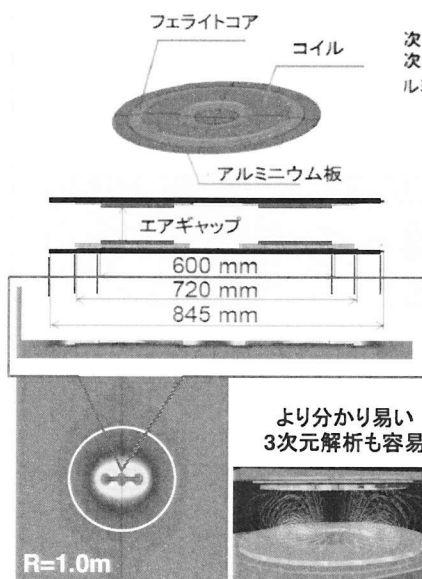
絶縁型フルブリッジ
コンバータ例

21

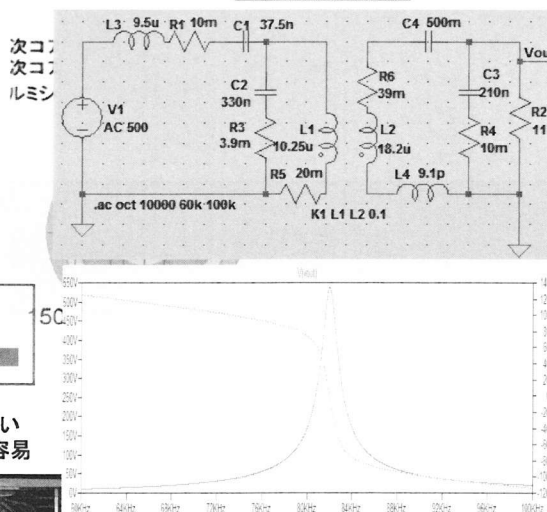
シミュレーションソフトを使っでの設計支援



電磁界解析



共振回路定数設計



高周波電源回路や整流回路、DC/DCコンバータ回路の設計も容易にできるだけでなく、ケーブルの周波数特性など各種設計に使用できる

22



1. ワイヤレス電力伝送とは

2. ワイヤレス電力伝送の応用事例

3. ワイヤレス電力伝送の課題と取組み

4. 今後の方向性と市場規模



家庭・オフィス機器への応用

従来からあった家庭内のワイヤレス充電



水回りで使用したり待ち受け時間の長い電気製品

小型・薄型化でコネクタレスにしたい機器



位置決め用兼
磁束鎖交用コ
ア中央凸極部

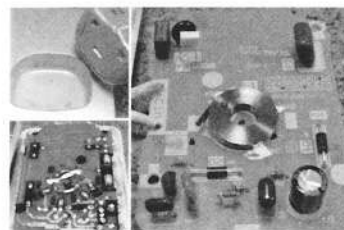
電動歯ブラシや髭剃り



FOMA®端末用



電話子機やインターホン
とその回路例

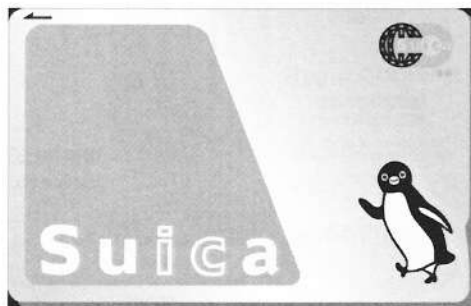


25

SUICAもワイヤレス給電



SUICA内のデータ伝送を行う半導体チップを駆動する電力として無線(電磁波)の高周波エネルギーを整流して使うことでケーブルを繋ぐ端子のない”完全なワイヤレス”を実現



Felica読み書きの仕組み
(出典：ソニーHPより)

26

電池へのワイヤレス充電



Charge Pad
(出典：三洋カタログより)

Charge Pad
(出典：パナソニックカタログより)



置く電池
(出典：AAK社カタログより)



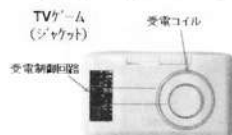
LEDホームライト
(出典：プロト社カタログより)

27

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)

Wiiリモコンジャケットを
つけたまま置くだけ
簡単充電。

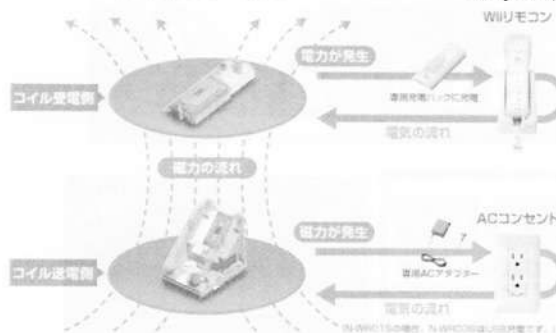
eneloop x Wii

無線点充電セット

くり返し使える「eneloopシリーズ」に
Wiiリモコン専用無線充電セットが搭載。



Wiiリモコン



Wiiリモコン用ワイヤレス充電システムの仕組みと充電状況
(出典：<http://jp.sanyo.com/eneloop/lineup/wii.html>)

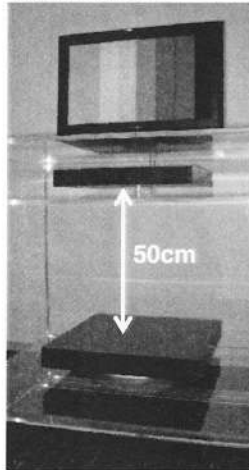
28

TV/PC/タブレットへのワイヤレス給電



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%



デルのワイヤレス給電システム



日立マクセルのiPad2用Air Voltage

約10Wの電力伝送
伝送効率約70%



+



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

29

マウスパッドから給電するワイヤレスマウス



サンワサプライがマウスパッドから給電する電池不要のワイヤレスマウス「MA-WHNB2S」を発売（2007年5月）

USBで接続したマウスパッドに磁界を発生させることで、マウス内部の回路に電力を供給する構造

電池が不要なため既存のワイヤレスマウスと比較して軽量

仕様

ワイヤレス方式 電力 電磁誘導式

データ ASK変調方式(121KHz~128KHz)

センサー 光学式(解像度800dpi)

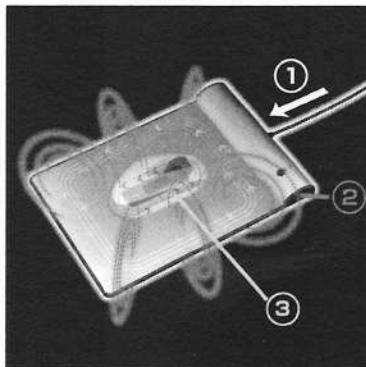
ボタン 左右クリック、ホイール、ダブルクリック

インターフェイス USB 2.0

消費電力 マウス(40mA)

専用マウスパッド(最大280mA)

マウスパッドケーブル長 1.5m



1. USBでマウスパッドに電力供給

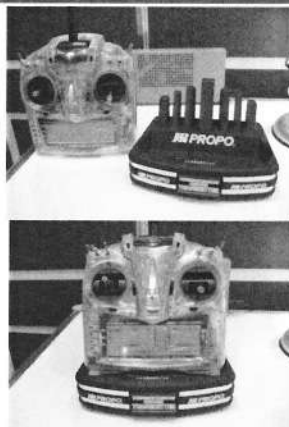
2. マウスパッドに磁界発生

3. マウス内の回路に電気供給

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

30

家庭内でのその他の応用



ラジコン送信機への充電



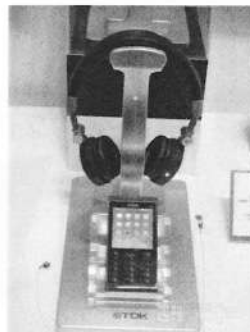
音響機器への充電



デジタルビデオカメラ
「HC-V720M」



腕時計
「W700」



ヘッドフォンへの充電

31

壁面設置機器への応用



壁に張り付ける有機EL照明

電界結合方式非接触給電システムの送電モジュールが壁に、有機EL照明に受電モジュールが組み込まれている
有機EL照明を張り付けることで、壁の任意の場所に照明を配置することができる

ローム社@CEATEC2011



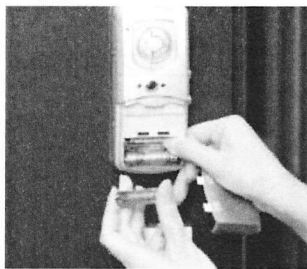
東芝のワイヤレス給電付き有機EL
@ライティング・フェア 2013

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

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

32

電子ロックへのワイヤレス給電



電子ロックの電池交換作業

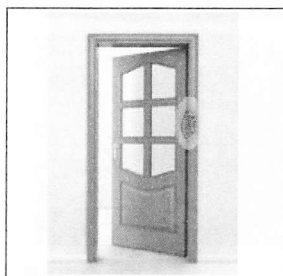
電子ロックの電源は殆どが乾電池

交換作業の手間と資源のロスが大きい

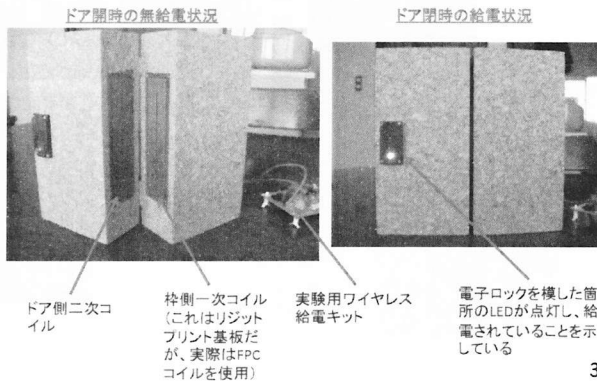
ワイヤレス給電化

薄いFPCコイルの採用により設置が容易になる

電子ロックキーシステムへのワイヤレス給電のデモンストレーション



BWFの論議でも取り上げられている

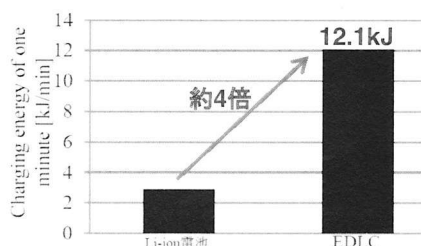
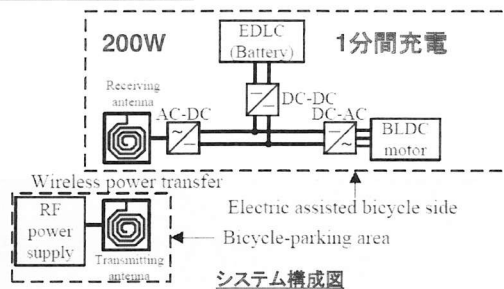
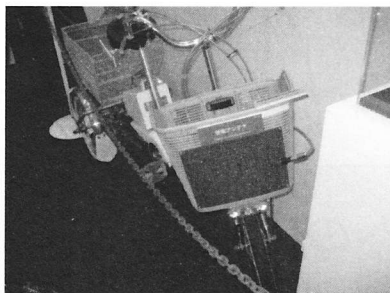


33

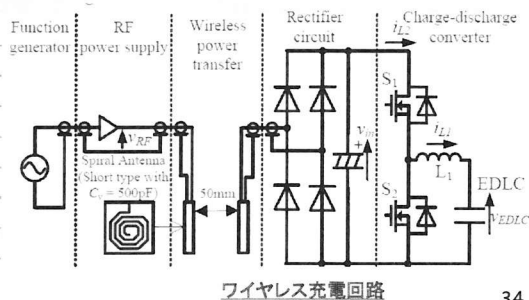
電動アシスト自転車へのワイヤレス給電



長岡技術科学大学と日本ケミコン(二次電池展2014)



LiBとEDLCの1分間の充電エネルギーの比較



34

IPTレールシステム 海外実施例



エレベーター用途

EXPO 2000, ハノーバー市,
HERMES TOWER用エレベーター



ハンブルグ市, ドイツ: オフィスビル
用斜行エレベーター (2005年)

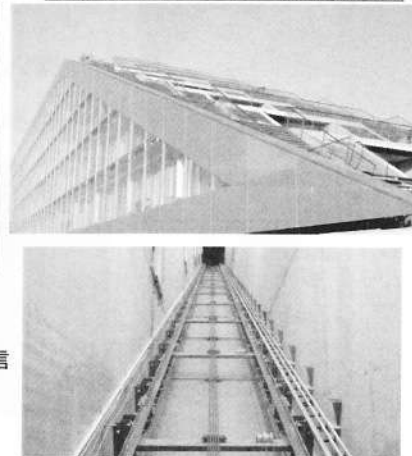


写真: Wampfler社提供

35



モバイル機器への応用

家具へのQiワイヤレス給電導入

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

机上面に表示された「qi」マーク



クライアントとのミーティング中に「テーブル」



同僚との話し合いのひととき「カウンター」



会議を待っているときに「ハイテーブル」



導入用ブースでの作業中に「アクセスデスク」

「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～

出典: 岡村製作所 News Release 2012年6月14日

37

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



38

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



出典: <http://www.wirelesspowerconsortium.com/data/downloadables/1/1/0/4/20130501-jeep-cherokee-and-toyota-prius-with-in-vehicle-qi-wireless-charging.pdf>

39



水中機器・ロボットへの応用

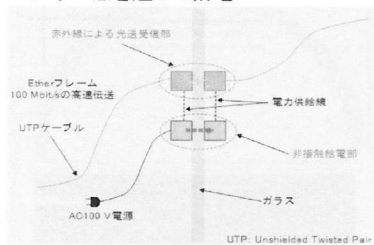
水中／壁を通してワイヤレス充電できる



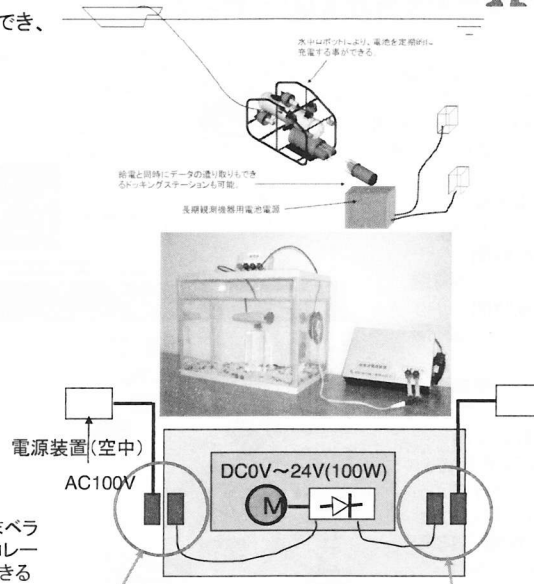
水槽壁の内外に置いたコイル間で給電ができ、水中モーターを駆動する。感電しない。

応用

- ・水中ロボットへの給電
- ・ガラス窓を通して給電



窓を閉めたままペランダのLEDデコレーションに給電できる



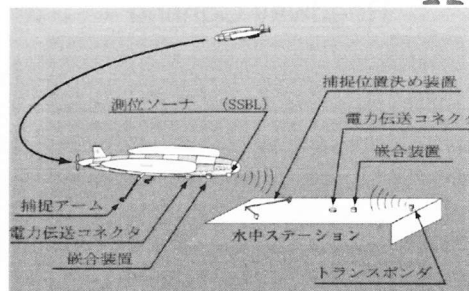
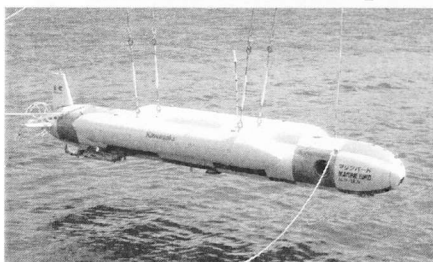
隔壁が樹脂、ガラスなどの非金属であれば隔壁給電式も可能 水中コンセント

41

無索式水中ロボット(AUV)での非接触水中充電

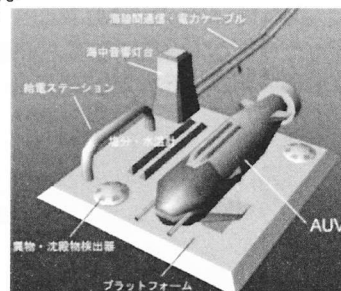


試作AUV「マリンバード」



- 運行システム : 自律制御および光ファイバによる遠隔操縦可能な AUV、ドッキング技術の開発実証のために試作
- 製造所 : 川崎重工株式会社
- 全長 : 6.7m
- 重量 : 1300kg
- 最大潜航深度 : 100m
- 蓄電池 : リチウム・イオン二次電池
- 充電システム : 電磁誘導型非接触水中充電装置 (水中着脱コネクタ)

AUVは電池電圧低下でドッキングのためのプログラムを開始。慣性航法装置とドップラソナーにより、水中ステーションに接近。水中ステーション上面で捕捉アームを出して自動的にドッキングして充電 (ドッキング試験は、2003年に水槽中および大型ドックで実施)



出典 : 川崎重工技報第154号2004年1月

42

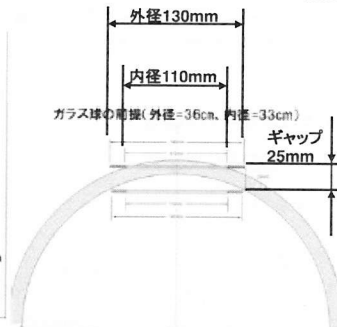
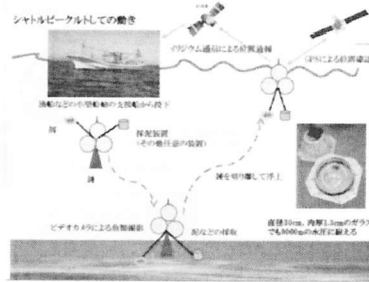
往還型深海探査機でのワイヤレス水中充電



往還型深海探査機「江戸っ子1号」

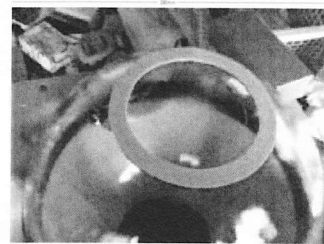
水中8,000mまで潜れるドイツ製の直径36cmの特殊耐圧ガラス球で水中を観測する探査機を開発

全体重量 100kg
観察時間 5~6時間
充電時間 6~8時間



船上で簡単に充電するためにワイヤレス給電を採用

- ・電磁誘導式
- ・PWM方式
- ・周波数25kHz
- ・受電電圧15.5V
- ・電力12W
- ・赤外線通信によるフィードバック制御

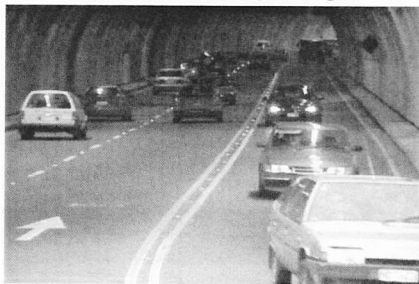


出典：日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会第23回海洋工学シンポジウム2012年8月 43

IPTレールシステム 道路使用例

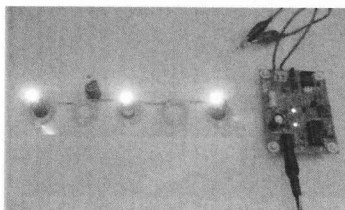


Roadway Lighting

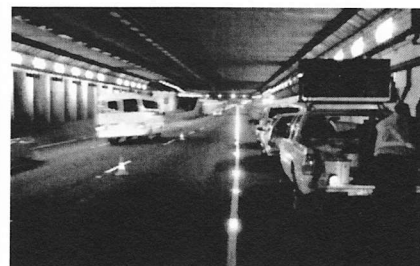


Tunnel (Wellington NZ)

地中に埋め込んだ照明器具と給電線との接続部の耐水性を考慮しなくて良い



LED点灯
実験状況



Tunnel (Sydney Australia)



Double left turn (Illinois USA)

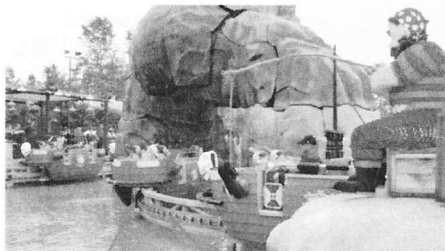
写真：Wampller社提供

IPTレールシステム 水中・スプラッシュ用途例



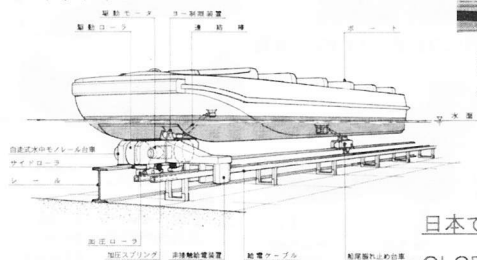
カリフォルニア: LEGOLAND

オランダ: Walibi World(2005)



ピックアップ

ケーブル



ピックアップ : 4kW/台 × 10台
ケーブル長さ : 250m

日本での水中仕様の提案例

OLC向け(ディズニー・シー)

写真: Wampfler社提供 45

ホームロボットへのワイヤレス充電



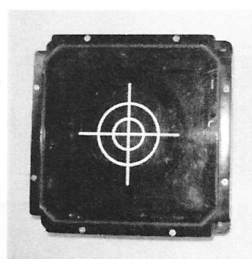
2005年の愛知万博に出展

小型非接触給電システム(600W)が搭載された総合警備保障棟の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

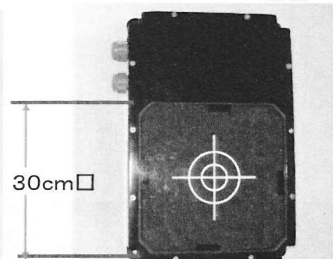
ホンダのアシモは連続では30分しか出演できないが、C4ロボットは朝から晩まで出演できた



従来の充電では壁まで行って充電が終わるまでじっとしている



ロボット側2次コイル



床埋め込み用1次コイル

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

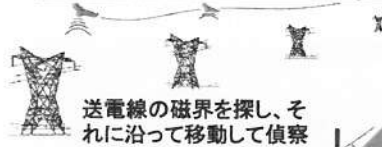


46

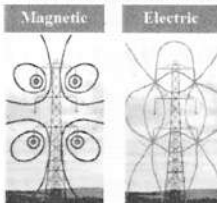
小型無人偵察機「Devil Ray」のワイヤレス給電



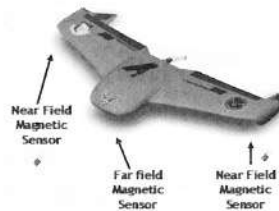
Small Unmanned Aircraft System (SUAS).



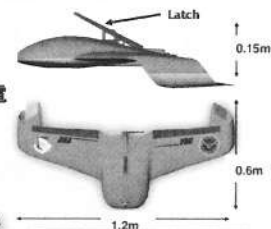
充電中でも偵察を続行



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
- ・プロトタイプの実験中
- ・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

47

出典: https://www.dra-inc.net/index.php?Itemid=80&id=62&option=com_content&view=article



工場内機器等への応用

IPTレールシステム 海外実施例



自動車組立・溶接・塗装ライン用途



(AGV、タイプ)

DAF, オランダ

(モノレール
タイプ)

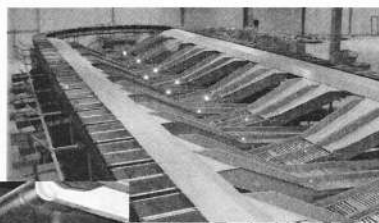
BMW, ドイツ



物流・搬送・クリーンライン用途



搬送台車
システム



ソーティングシステム
(Wal Mart ドイツ)



写真: Wampfler社提供

49

工場内搬送台車(AGV)へのワイヤレス給電

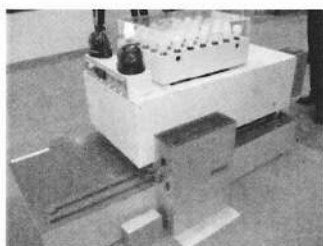


1kW~3kWクラス ワイヤレス充電器

小型大出力でギャップを大きく取るために送電ユニット、受信ユニットともにフェライトコア付きコイルとし、AGVを所定位置に停止させてキャパシタに充電する

電磁結合面が規定距離内を検知したら給電開始、外れたら給電停止の機能付き

最近キャパシタ搭載のAGVが増加している



AGV用1kW、10kHz型(TPH)

周波数を10kHz未満にすることで、電波法第100条による設置許可申請が不要となる

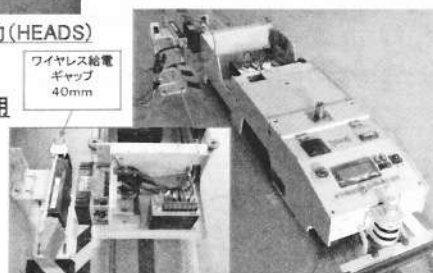


超小型AGV、チビ助(HEADS)

潜り込み式AGV用
1kW共鳴式
(日本テクモ)



AGV向けワイヤレス給電(昭和飛行機)



ワイヤレス給電
ギャップ
40mm

50

大型機器へのワイヤレス給電

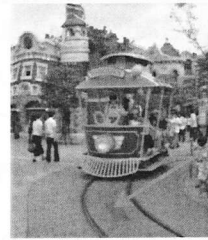


商用周波数式 非接触充電器

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する。

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できる。

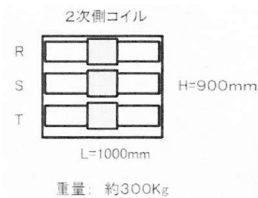
大型になるが耐久性を必要とする応用に使える



地中埋設1次コイル

他の応用

- ・船舶用陸電の供給充電

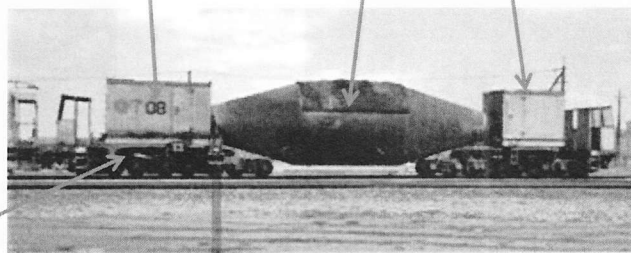


2次側コイルをここに設置して地上の1次側コイルから給電する

モーター車
混鉄車を回転させる

混鉄車
300トンの鉄鉄を運搬する

機関車
混鉄車を移動させる



製鉄会社向け混鉄車

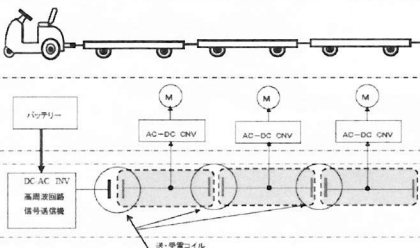
51

連結車両へのワイヤレス給電



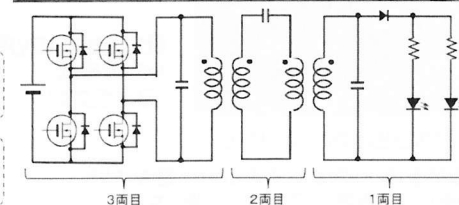
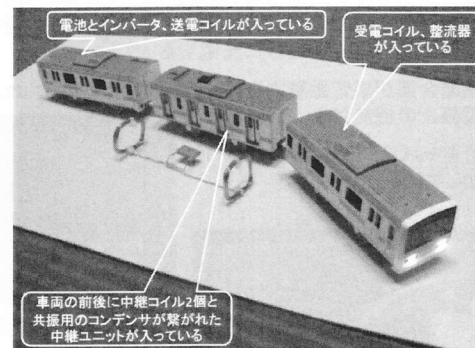
空港用ドーリーへのワイヤレス給電

ドーリーに電源がないため、航空用コンテナの移送は全て人力、またプレーキランプや夜間灯などの安全設備も装備されていない



2重中継コイルによる連結車両への給電

コイルを2つ連成し、コンデンサを直列／並列で共振させる



52

工業機器へのワイヤレス充電



50～120Wクラス ワイヤレス充電器

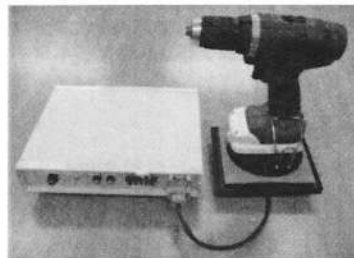
フェライトコア付きコイルとなっている送電ユニットのクレードルにコアレス受電ユニットを入れてキャパシタに充電する

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

2次側を非常に軽量に構成できる

応用

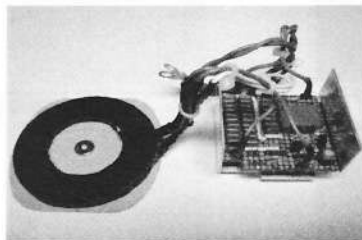
- ・ライン用工具の充電
- ・小型ロボットの充電



システム全景



送電コイル



受電ユニット
(受電コイル+整流器)



使用キャパシタ
(Maxwell殿ご提供)

53

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

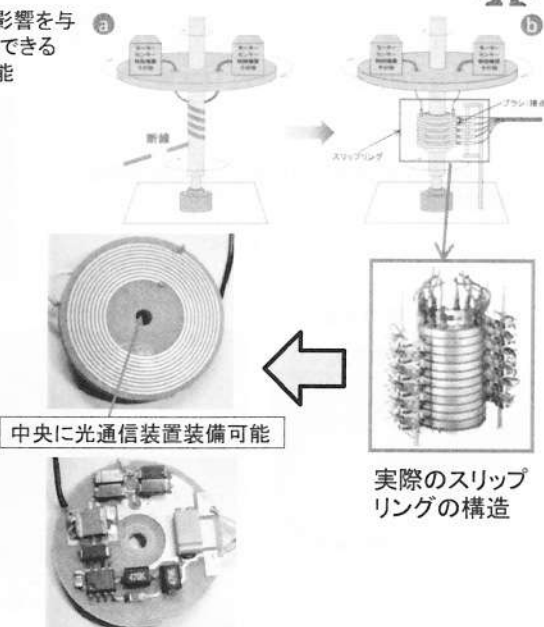
- ・防水型給電ソケット
- ・光-電力複合カプラーに应用可能



平面式代用スリップリング



円周式代用スリップリング

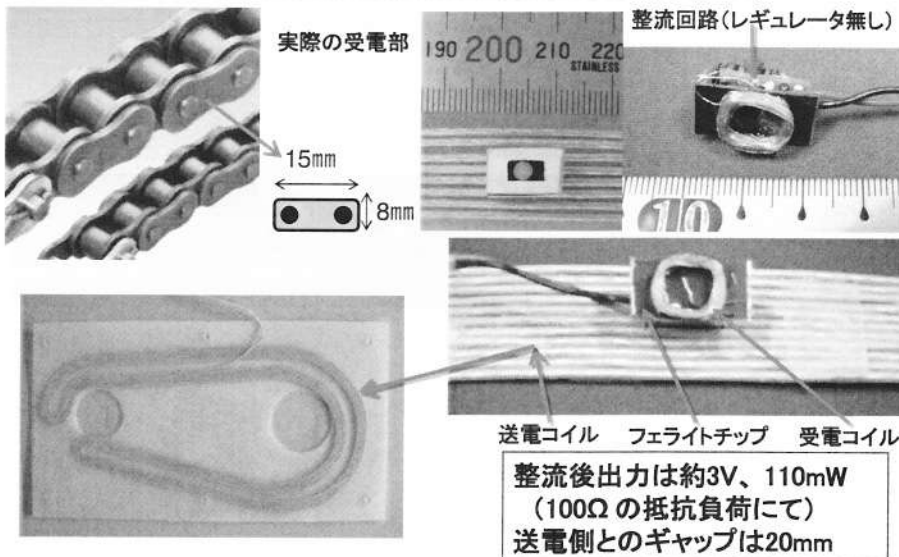


55

回転体へのワイヤレス給電の応用



ループ状不定形の送電コイルから受電する小型コイル



56

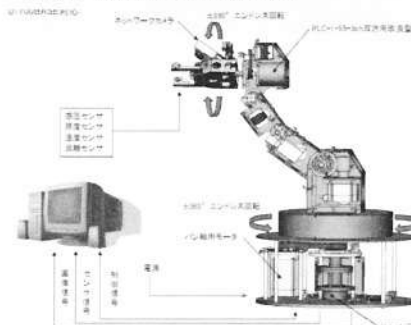
計測機器等の回転部へのワイヤレス給電



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

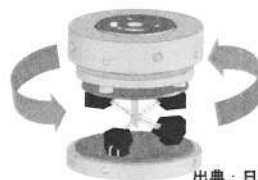


ロボットの腕回転部



アルプス電気(テクノフロンティア2013)

ロータリーリンクコネクタ



- ・センサーはEthernet接続が可能
- ・10/100BASE対応

出典: 日本マルコのカタログより

57

IPTレールシステム 海外実施例



劇場の回り舞台用途



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

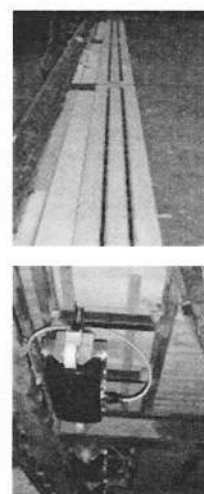


写真: Wampfler社提供

58



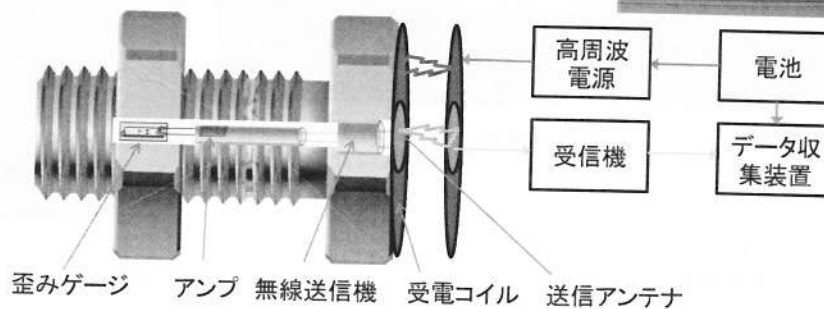
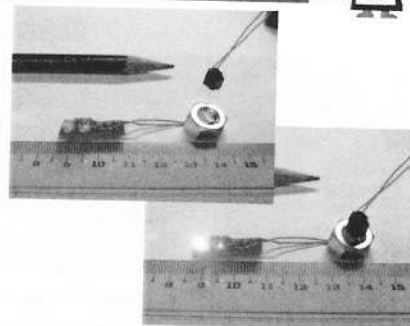
計測システム他への応用

ボルト軸力計測装置へのワイヤレス給電の応用①



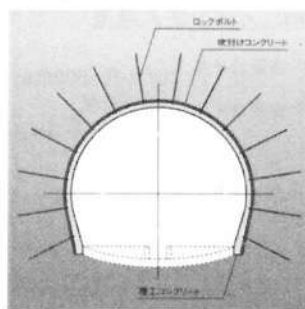
ボルト軸力計測装置

- ・歪みゲージによる軸力計測により下記が検知できる
 - 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



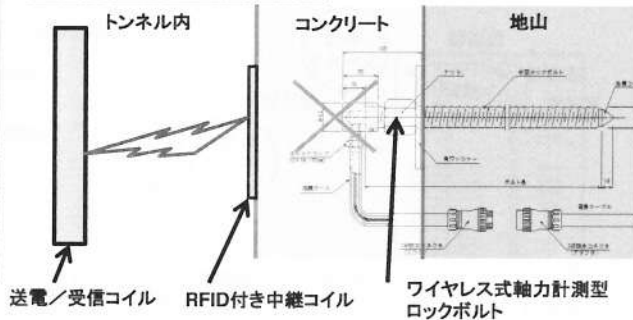
60

ボルト軸力計測装置へのワイヤレス給電の応用②



トンネルの断面構造

ロックボルトの軸力計測装置



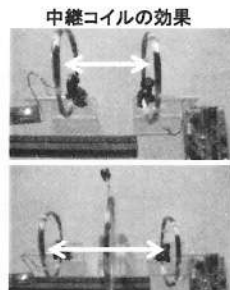
送電/受信コイル

RFID付き中継コイル

ワイヤレス式軸力計測型
ロックボルト



東横エルメスのロックボルト軸力計



中継コイルの効果



斜面の法面崩落防止用途

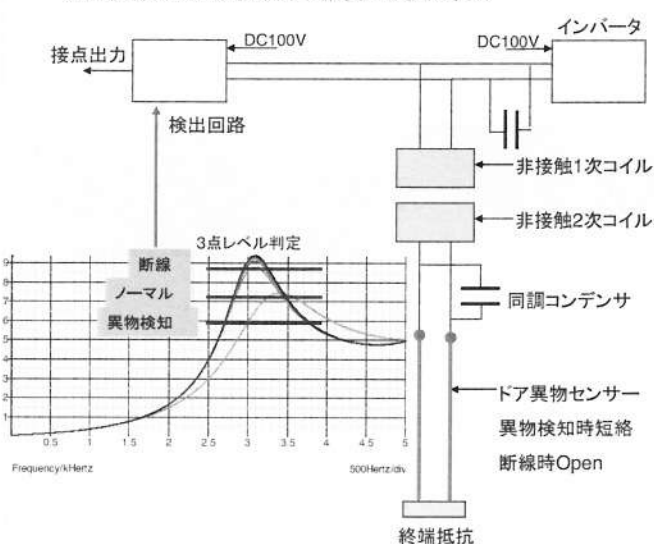
61

その他の計測用ワイヤレス給電システム

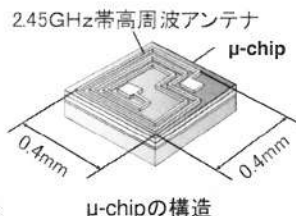


戸検み検知システム

電車のドアに10mmほどの物が挟まったのを異物センサーで検知し、それを非接触で車側にて検出する



μチップ



μ-chipの構造

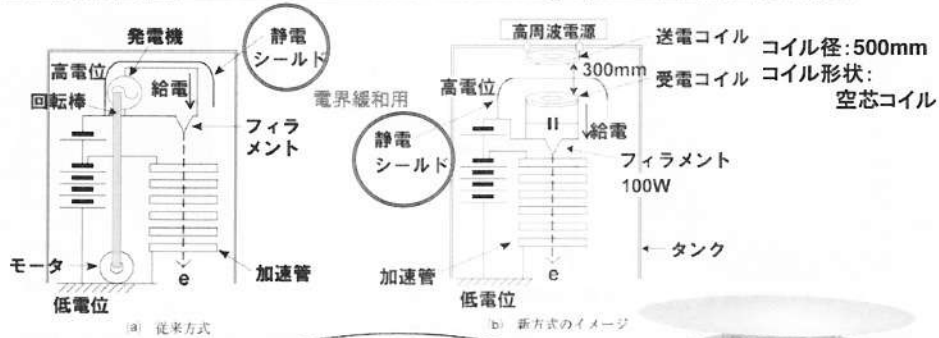
2.45GHz帯RFIDシステム
SUICAと同様に動作電力をワイヤレスで給電させる
単体の通信距離は30cm
紙製専用ラベル62mm × 76mmに貼ると70cm
薄膜アンテナはアルミ製
最大128ビットの固有IDデータのROM機能

出典：日立製作所のプレゼン資料 62

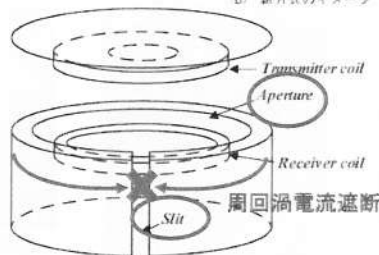
高電位部へのワイヤレス給電システム



電子線照射装置(EPS : Electron beam Processing System)、イオン注入装置



方式 : 電磁誘導式
出力 : 100W
周波数 : 20kHz
ギャップ : 300mm
K値 : 0.0531
効率 : 81.1%
静電シールドに
アパルチャーと
スリットを設けた場合



出典: 日新電機技報Vol.58, No.2(2013.10)

63

医療機器への応用



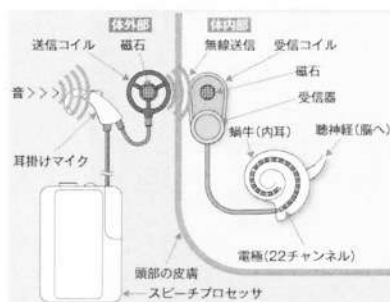


66

ワイヤレス給電式人工内耳

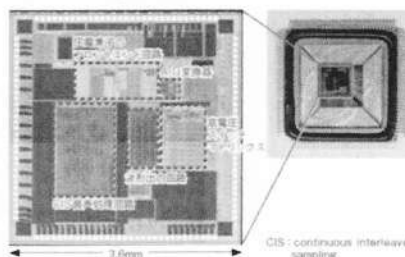


人工内耳の仕組み

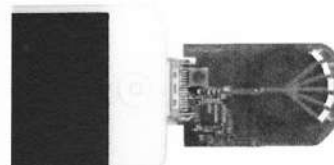
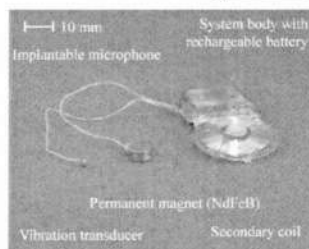
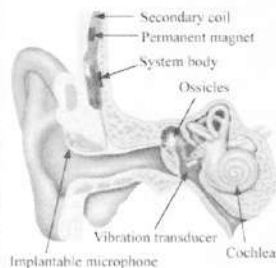


中耳を利用しマイクレスに

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



人工内耳ICチップとそのパッケージ



スマートフォンに装着したワイヤレス充電システム

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

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

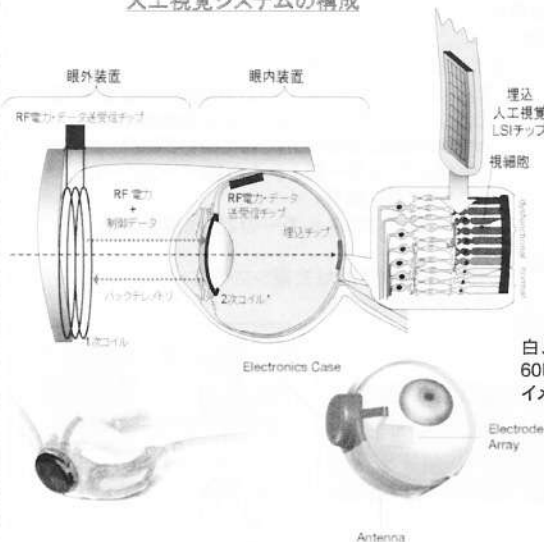
出典: 日経エレクトロニクス, 2014年3月3日号, pp.16-17

67

ワイヤレス給電式人工視覚システム



人工視覚システムの構成



Second Sight Argus II

結婚10年目で「初めて」妻の顔を見る
ミネソタ州のメイヨー・クリニックがTVに



白、黒、グレーによる50～60ピクセルのコントラスト
イメージを患者は見ている



出典: http://www.kevence.co.jp/rd-site/interview/0904_01/02.jsp
<http://www.capitalbay.com>
<http://www.scoopnesl.com>

Second Sight社製装置

68

コンタクトレンズへのワイヤレス給電

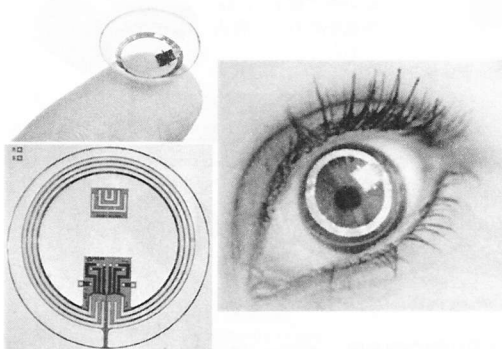


眼圧測定機能付きコンタクト・レンズ

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や送受信用のRFデバイスが集積されている

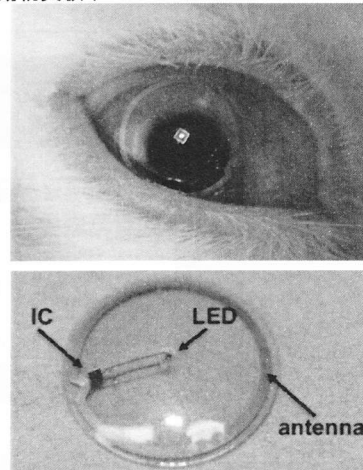
コンタクト・レンズに集積されたデバイスは、電磁波を通して駆動するため電源は搭載していない



出典: SENSIMED Triggerfish公式サイトより

眼圧測定機能付きコンタクト・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



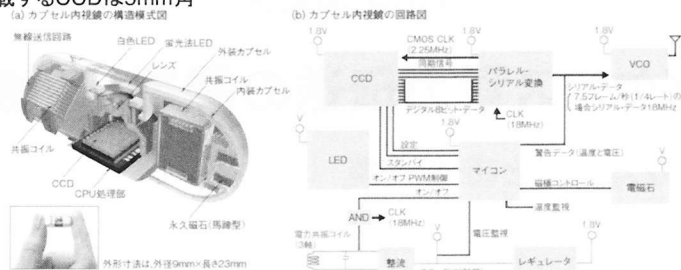
出典: EE Times Europe 2011年11月28日

69

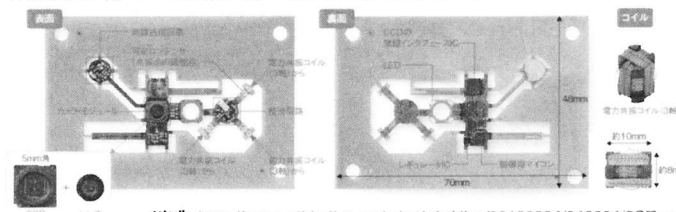
ワイヤレス給電式カプセル内視鏡



アールエフ社の最新型カプセル内視鏡は電池を内蔵せず、外部から無線で電力を供給
患者が検査時に着用するジャケットに数M~数十MHzのコイルを装備
カプセルに共振コイルを備え、得られた交流電流を整流して内部の電源として利用
カプセル内視鏡消費電力35mW程度(1.8Vで20mA前後)
搭載するCCDは5mm角



(c) 主な構成部品の写真 (カプセル内に実装する場合は、周囲のオレンジ色の線は切り取る)



(出典: <http://www.nikkeibp.co.jp/article/dho/20100924/246304/?ST=print&rt=ocnt>)

70

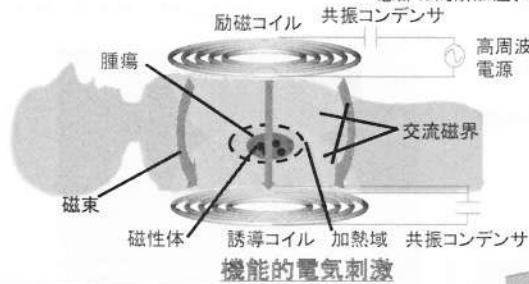
ハイパーサーミア(誘導加温法)と機能的電気刺激



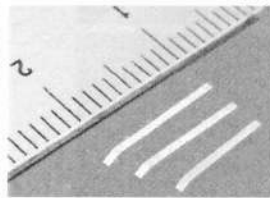
ハイパーサーミア(誘導加温法)

がん細胞が通常細胞よりも熱に弱いことを利用した治療法

患部付近に磁性体を埋め込む
体外から2つのコイルで交流磁界を照射
ヒステリシス損により磁性体が発熱
患部の局所加温、がん細胞を死滅

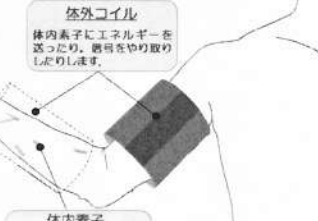
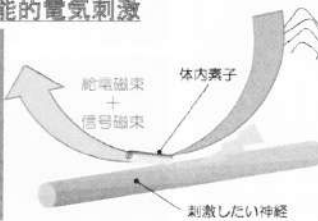


似たような方法として
反復経頭蓋磁気刺激
と言うコイルからの磁
で脳内にわずかな電
流を誘導、無痛で脳
卒中等で弱まった脳
活動を高める治療法
がある



体内素子

出典: magcap.w3.kanazawa-u.ac.jp/pdf/student/studentthesis2011/0tubota.pptx
http://www.ecei.tohoku.ac.jp/matsuki/research/fes.html



体外コイル
体内素子にエネルギーを
送ったり、信号をやり取り
したりします。

体内素子
体外コイルから送られた
信号を元に、刺激パルス
を作り刺激をします。

71

目次



1. ワイヤレス電力伝送とは

2. ワイヤレス電力伝送の応用事例

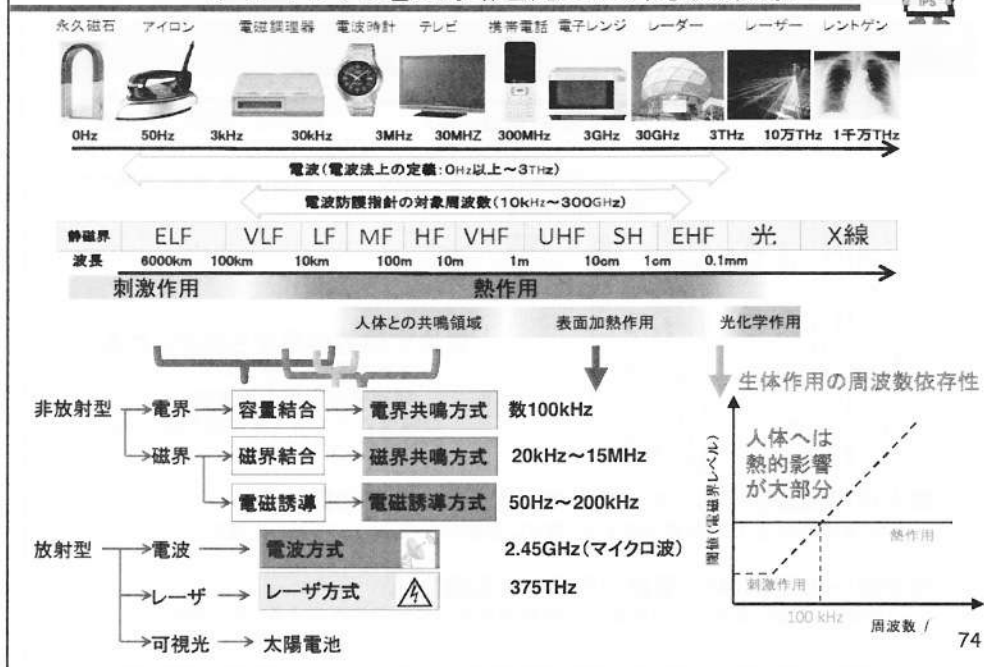
3. ワイヤレス電力伝送の課題と取組み

4. 今後の方向性と市場規模



電磁界強度の課題

ワイヤレス電力伝送方式の周波数帯



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
あびない方がよい

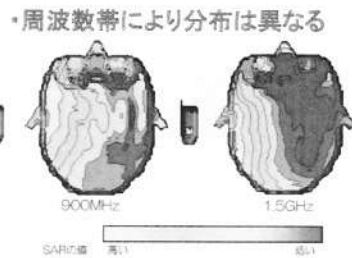
局所曝露

近傍のアンテナ

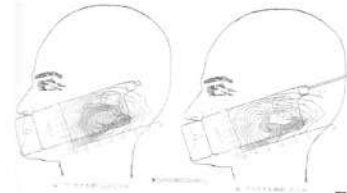


携帯電話からの
電磁波による
脳への影響

20年程度しか
経っていない
もっと影響が
わからない

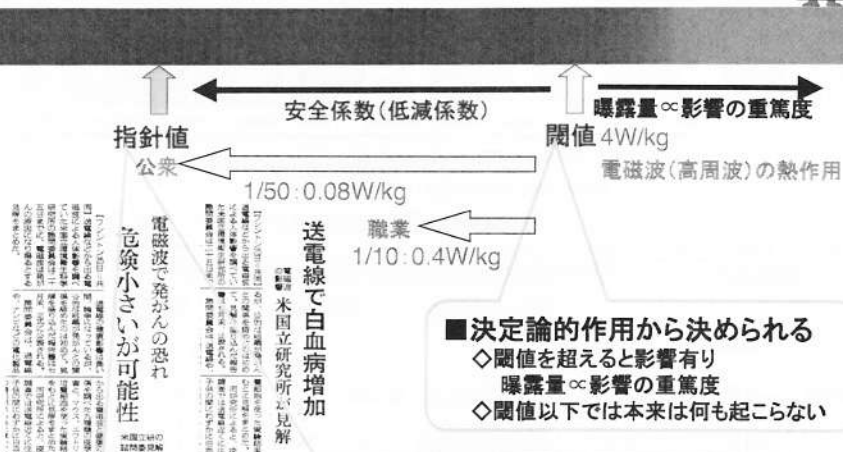


・アンテナの伸縮により分布は異なる



75

人体防護指針の考え方



■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

76

電磁界に対する人体防護



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

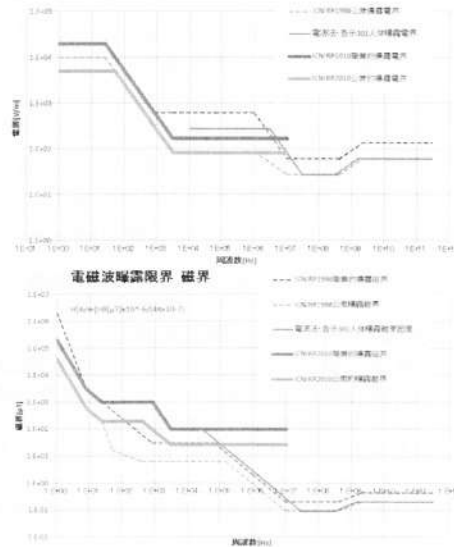
(公衆曝露を対象)

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



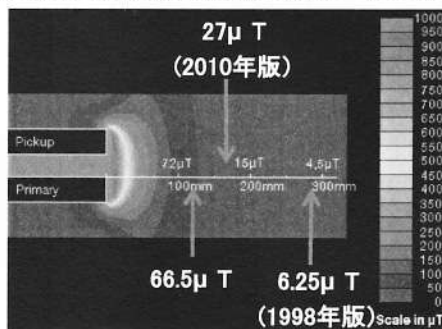
ICNIRPの参考レベル

77

ICNIRPの人体防護ガイドライン



$r \leq 1$ 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 μT
20kHz	66.5 μT

実際の電磁界計測結果

基準値(μT)	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 PHYSICS 99(5): 838-836, 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27μTと約4倍、緩和の方向
に向かっている

78

電波法の課題



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して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

500W以上の場合 30m電界規制値 = $\sqrt{\frac{P}{500}}$ mV/m 以下 (Pは装置の出力W)

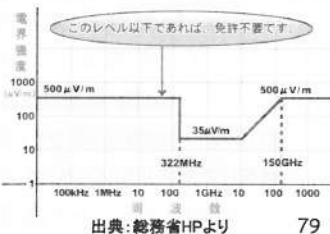
500W以下の場合 30m電界規制値 = 1mV/m 以下

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200μV/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

【図：微弱無線局の3mの距離における電界強度の許容値】



誘導加熱の課題



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: バイオニア資料(WPT2012-24)に筆者がデータを加えて作成

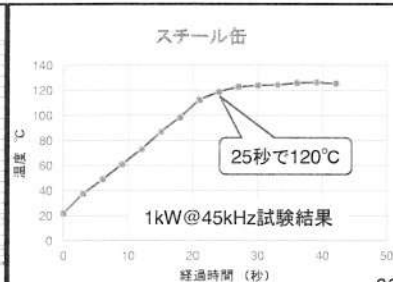
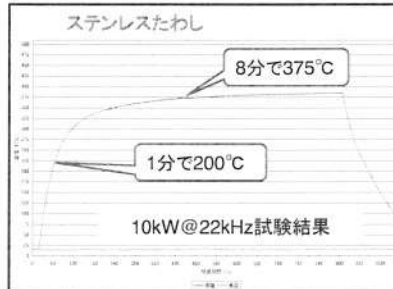
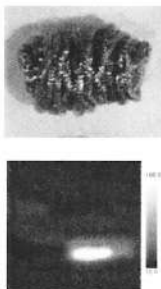
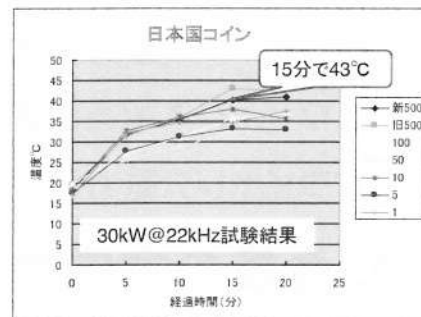
81

平板以外の形状の異物挟み込みによる温度上昇



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℃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



82

異物侵入検知システム



パイオニア(CEATEC2013)



金属を検知すると警報
マークが出て給電停止

Qualcomm Halo



右の箱はコイン
入り、左は空箱

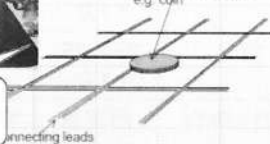
村田製作所のFOD用
サーミスタ
(ITS japan 2013)



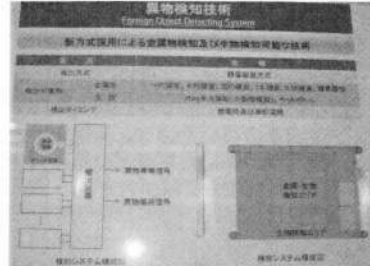
サーミスタチップを
配列したシート

メッシュに微弱な
電流を流して検知

Foreign metal object
e.g. coin



テクノバ(EVTec2014)



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



出典: http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK1103R_R10C13A1000000/

1円玉

小動物を摸した25ml水入り風船 83

目次



1. ワイヤレス電力伝送とは
2. ワイヤレス電力伝送の応用事例
3. ワイヤレス電力伝送の課題と取組み

4. 今後の方向性と市場規模

特許出願から見たワイヤレス給電の技術動向



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やロバスト性向上技術
- 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

出典：特許出願技術動向調査報告書 85



EV・移動体・ロボットへの給電

V2H導入のスマートハウスでのワイヤレス給電

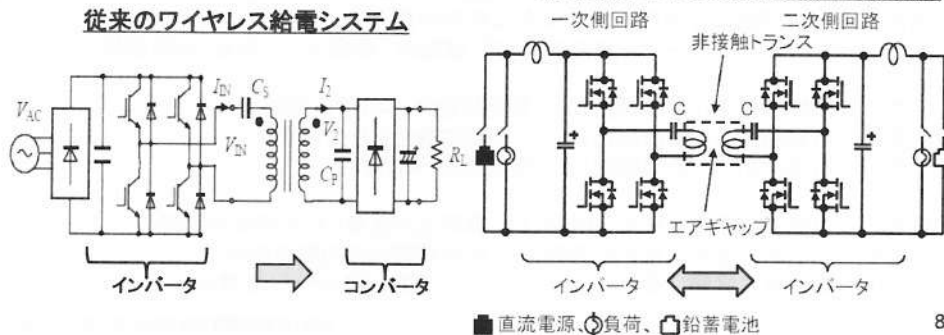


発表されているEV用ワイヤレス給電システム、いずれも電源側からEVへの一方向給電のみ

ダイムラーはベンツV『AクラスE-CELL』を使用して、ワイヤレス給電システムの日常的な実用性を検証

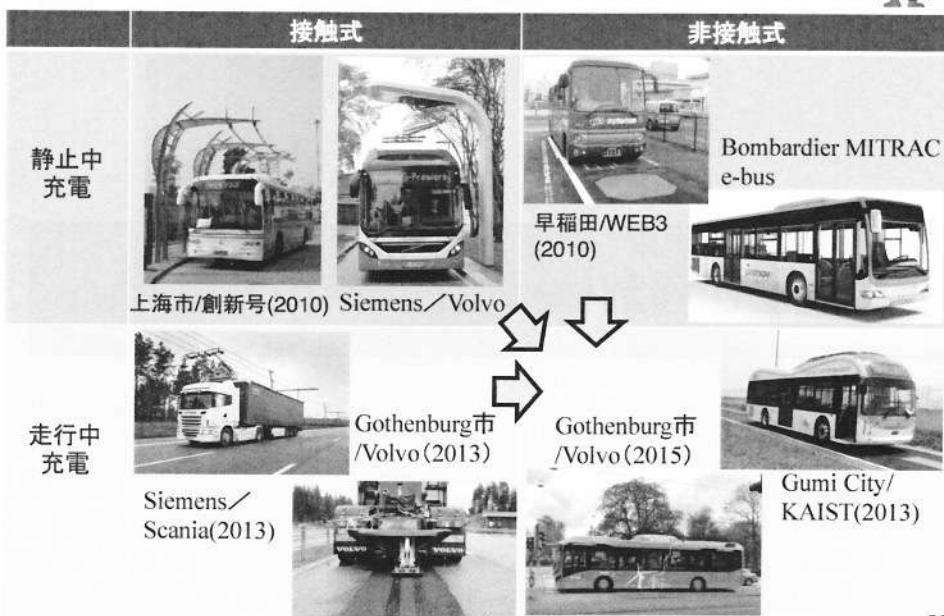
2012年3月から1年3カ月間、ドイツ国内の最新省エネ住宅に4人家族が居住、3台のEV(AクラスE-CELL、スマートフォーツード、スマートeバイク)で、ワイヤレス給電システムを利用して、その実用性を確かめた。(2011年12月7日発表)

双方向ワイヤレス給電システムの概念



87

大型車両への充電の取り組み



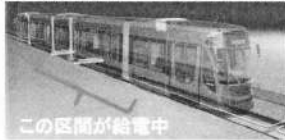
88

走行中給電の課題

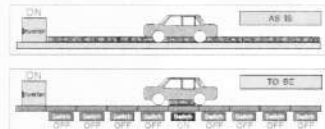


電磁放射への各種対策が必要

・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

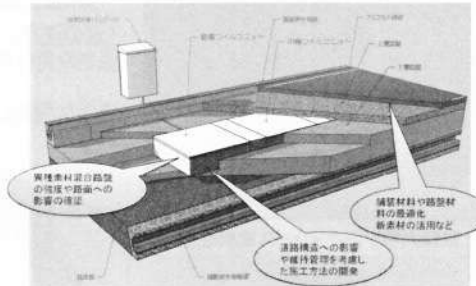
・国土交通省超伝導リニア 10kHz未満



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



道路埋設にあたってはコイルの強度の他に道路そのものの材料や工法の課題解決が必要

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

大ギャップ化が必要

電磁漏洩の増加

コストの増加

89

豊橋技術科学大学の走行中給電



V-WPT(Via Wheel Power Transfer)方式

- ・電界共振結合方式
誘電体であるタイヤやアスファルトを介した誘電結合
- ・路面下の電極板とタイヤ内のスチールベルト間でキャパシタンスを形成
- ・キャパシタンスを通して電極板とスチールベルト間に流れる高周波電流で電力伝送
- ・周波数は7~50MHz
- ・10cmのアスファルトを介して伝送
- ・電極板~タイヤ間の伝送効率70%

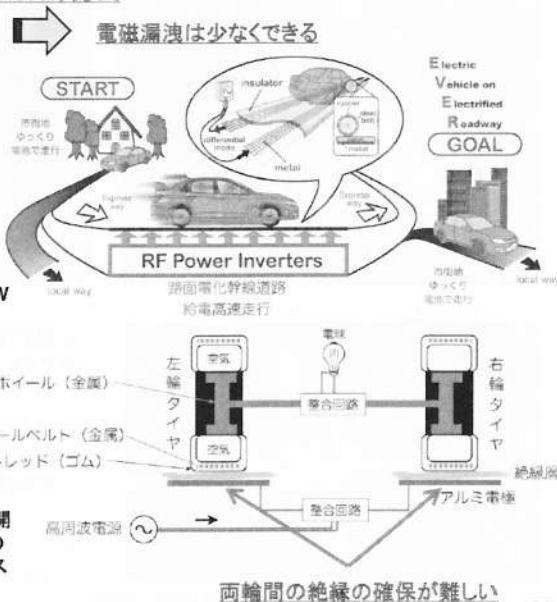


自動車タイヤ50W
電力伝送実験



CEATEC2014
大成建設と共同開発した一人乗りの車に給電するシステムを展示

出典: 豊橋技術科学大学資料より



90

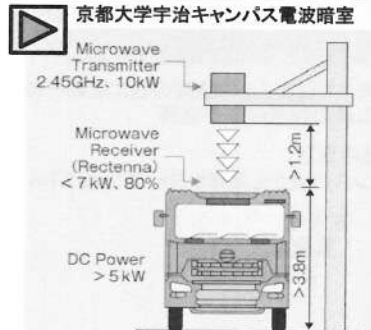
無線方式(マイクロ波)による走行中給電



日本電業工作とVolvoグループ(2012年)



京都大学宇治キャンパス電波暗室



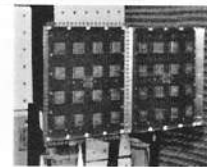
4m以上離れて10kW電力伝送

1台の送電アンテナでかなりの長さの走行距離をカバーできる

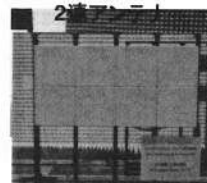
地面に埋設しないのでコスト安



マイクロ波の放射が認められていない



2.45GHz



レクテナ

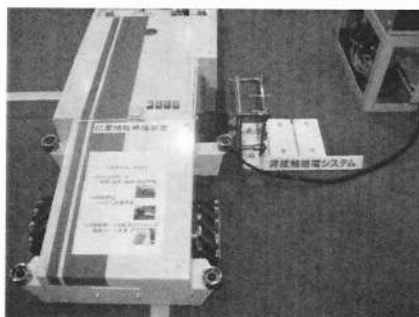


10kW受電状況

出典: 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory, Naoki Shinohara

91

AGVへのワイヤレス給電



走行方向自在なワイヤレス給電式AGV



メカナムホイールで方向自在、給電も横移動で実施



コンテナヤードでのAGV

工場内搬送機器やAGVへの応用は多くのワイヤレス給電メーカーが参入し激戦区

走行方向をフリーにすることで充電位置合わせが容易なものやリチウムイオンキャパシタ搭載のAGVなどが出現している

コンテナヤードの自動化に伴うAGVなどはこれからの分野だが数量は期待できない

92

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

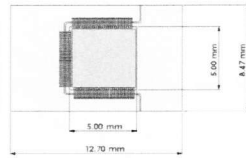
- ・マイクロ波 数10kWの大出力が可能だが、人体防護の課題
- ・レーザー光 数kWの出力だが、総合効率が低い課題

ネブラスカ大学での
ドローンからの給電

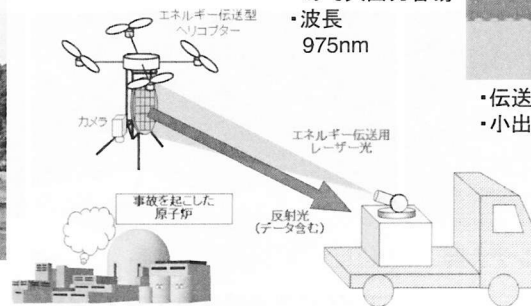
無燃料飛行機への給電 レーザー光による給電
(1992年京都大学)



- ・受電部が軽量
- ・大出力が可能



- ・小さな半導体
アレイモジュール
で出力
- ・出力
100W連続
アンドができる
ので大出力容易
- ・波長
975nm



- ・伝送距離が短い
- ・小出力

- ・受電部が軽量
- ・中出力

93

1 充電航続距離が短いドローンへの給電および充電法



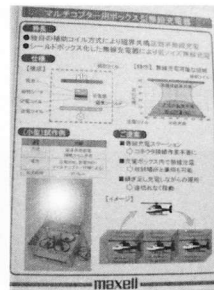
有線給電方式

不自由な飛行

ワイヤレス充電方式

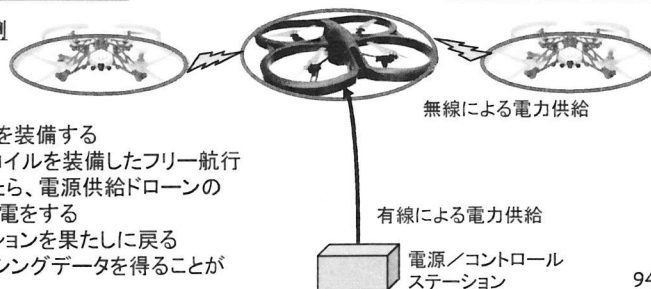
両方式とも現状は地上で箱に収め充電、充電ケーブル接続の手間を無くしただけ

マイクロ波給電方式



有線と無線の組み合わせの一例

- ・有線給電式ドローンは電源供給機としての役目のみ
磁界共振型の電力伝送コイルを装備する
- ・同じく磁界共振型の電力伝送コイルを装備したフリー航行のドローンは電池残量が減ったら、電源供給ドローンの側に行きホバリングしながら充電をする
- ・満充電になったドローンはミッションを果たしに戻る
- ・短時間で連続したリモートセンシングデータを得ることができる

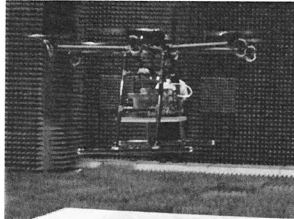


94

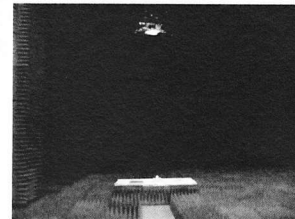
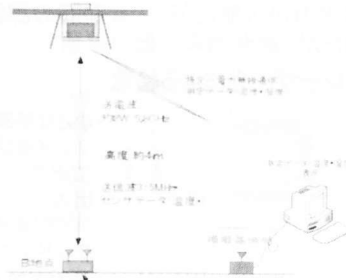
「Multicopter Assisted WBLS」の無線給電デモ



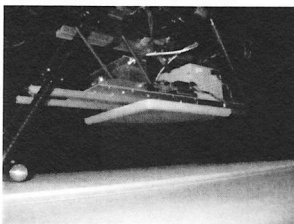
2015-7-16 京都大学生存圏研究所電波暗室



Multicopter全景



B地点での計測状況



マイクロ波アンテナ部



マイクロ波無線給電デモフライト

地点	電圧 (V)	電流 (mA)	電力 (W)
1	1.0	1.0	1.0
2	1.0	1.0	1.0
3	1.0	1.0	1.0
4	1.0	1.0	1.0
5	1.0	1.0	1.0
6	1.0	1.0	1.0
7	1.0	1.0	1.0
8	1.0	1.0	1.0
9	1.0	1.0	1.0
10	1.0	1.0	1.0

2地点での計測データ

95

コイル・コアなどの構成部品とモジュール



ケーブルの高周波特性



導体抵抗

直流 : 使用する導体材料の導電率と断面積によって決まる
交流(とくに高周波) : 表皮効果、近接効果、渦電流損等によって上昇

①表皮効果

導体を通れる電流は周波数が増えるにつれて導体の表面に集まろうとする性質がある
導体内部の高周波電流は表面からの距離が増すと指数関数的に減少、その割合は $1/e$
導体表面の電流振幅に対し、電流振幅が $1/e$ になる距離を表皮の厚さ(深さ) δ とすると

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad \text{ここで } \omega : \text{角周波数}(2\pi f),$$

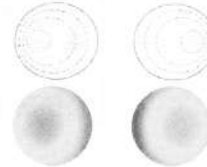
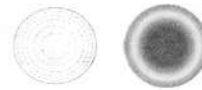
$$\mu : \text{透磁率(真空中では } 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m)}$$

$$\sigma : \text{導体の導電率, } f : \text{周波数(Hz)}$$

銅の場合、 $\sigma = 5.8 \times 10^7 \text{ S/m}$ なので 上式は

$$\delta = \frac{0.066}{\sqrt{f}} \quad \text{即ち } 50\text{Hzでは } \delta = 9\text{mm} \text{ だが } 20\text{kHzでは } \delta = 0.5\text{mm}$$

電流が導体表面に集まって導体の中心部に電流が流れないと、
導体の有効断面積が小さくなって導体抵抗が増加する
表皮効果を減少させるため線を細く本数を増やしたりツツ線で、撚線の
各素線を絶縁(通常ポリウレタン焼付)して導体の表面積を大きくする

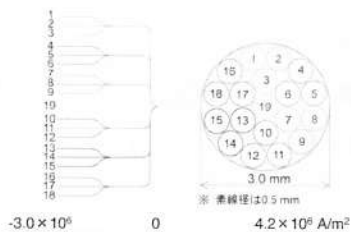


②近接効果

隣り合った導体に流れる電流方向が同一の場合は互いに電流は
離れ、電流方向が逆の場合には互いに近づいて流れる性質がある
このように電流の流れが不均一になると導体抵抗は大きくなる

97

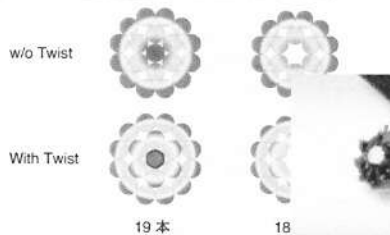
電流密度均一化ケーブルによる対策



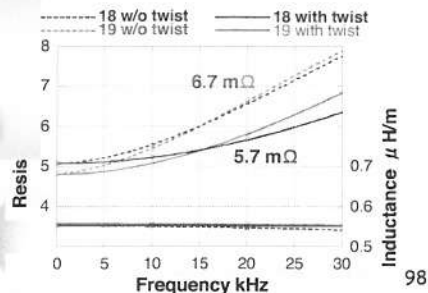
- ・3本ごとに撚りを設けた素線数19の
集合線を模擬し検討
- ・撚りを設けられない中心部のケーブルに
逆位相電流が集中して流れている

- ・撚りを設けることで電流密度均一化が可能
外側⇄内側としっかりローテーションさせる
- ・空芯とすることで逆位相電流軽減可能

樹脂の芯を入れても良い



20 kHzにおいて、撚り&空芯部分を設けた
モデルは全く対策を施さないモデルに対し
約15%抵抗値軽減



98

電線のブレイ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)

銅に変わる電線材料のブレイ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/cm ² で銅の1000倍
	真密度	1.3~1.4g/cm ³ で通常の樹脂並み 嵩密度は0.02~0.15g/cm ³ 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

電線のブレイクスルーが見えてきた

99

電線材変更による対策(参考)

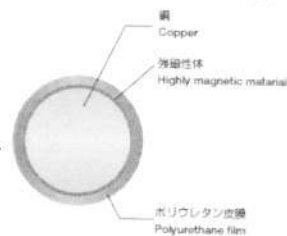


磁性めっき線 (FPW)

銅導体円周上に強磁性薄膜層を被覆、その上にポリウレタン絶縁被膜層を焼付け処理

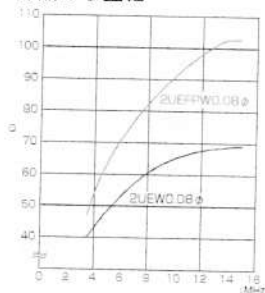
コイルは従来のポリウレタン銅線よりも高周波損失を10%低減させることができる

→ 磁性シールド層により、コイルに生じる近接効果の影響を軽減、導体の電流分布を均一にし、導体の実効抵抗を低減するため

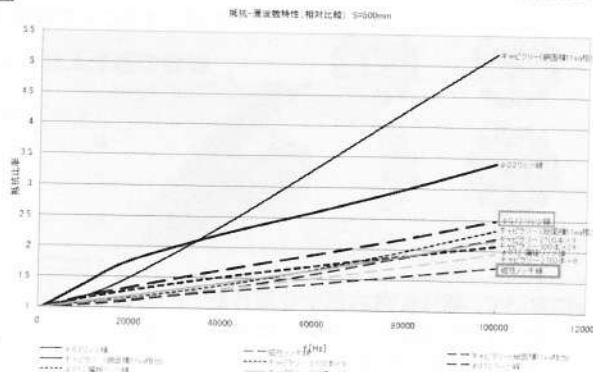


特徴

- ・高周波コイルのQ特性が向上
- ・はんだ付けが可能
- ・部品の小型化



使用コイル: 5.2φ プラスチックボビン
巻き方: 30T 密巻 1/2 リード長: 35mm



出典: <http://www.furukawa.co.jp/mgw/product/fpw.htm>

100

コイルの線材(小電力用)

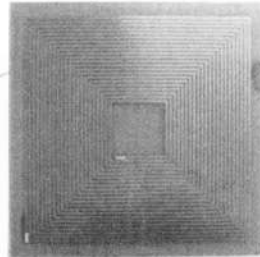


銅線

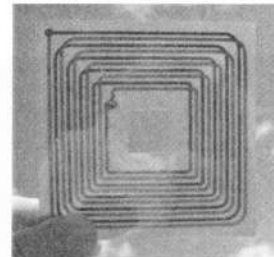
プリント基板



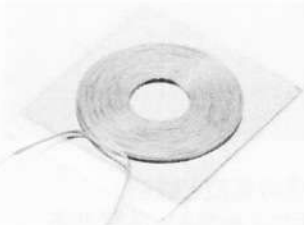
単線



プリント基板コイル



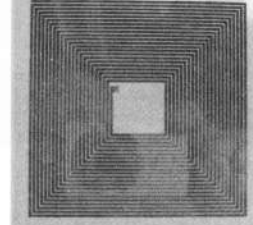
フレキシブル両面プリントコイル



リッツケーブル



回路一体型プリント基板コイル



銀ナノペースト
インクジェット印刷基板 101

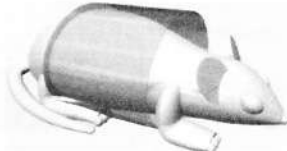
フレキシブル基板コイル



フレキシブル基板銀ナノペースト印刷コイル

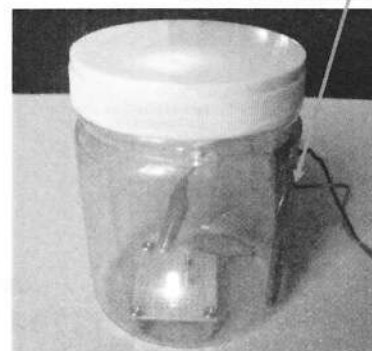
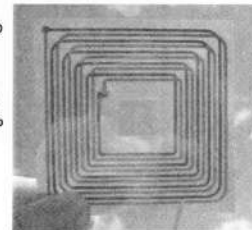
フレキシブル基板銅コイル

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



出典: 東京大学川原研究室資料より引用

円筒容器形状に合わせて容器内外にコイルを配置
密閉円筒容器内にコネクタ無しに外部から給電できる



102

大電力用プリント基板コイル



図27 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

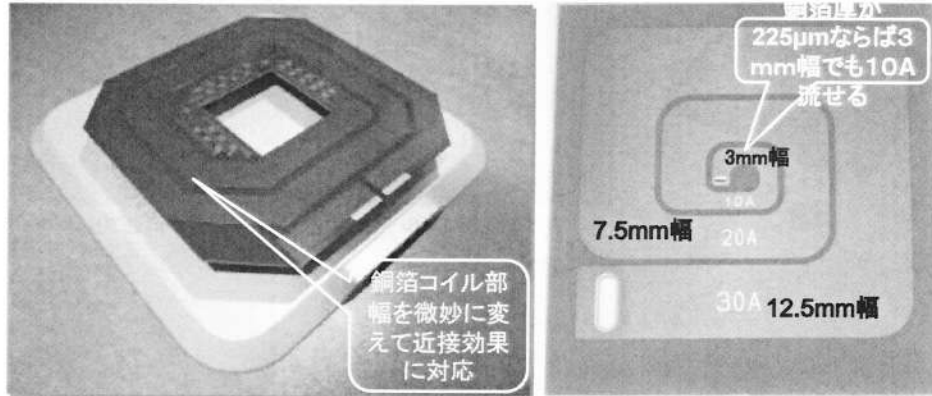


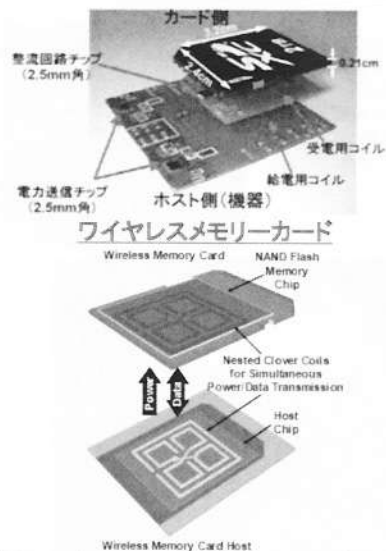
図28 厚銅基板の電流と線幅
3mm幅のプリント基板コイルでも10A流せる

103

部品レベル・実装技術での応用

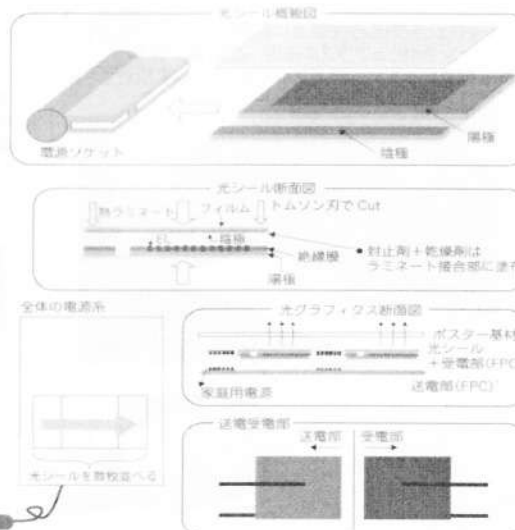


SSDメモリーへのワイヤレス給電



部品レベルへの応用は良いアイデアさえあれば今後の有望分野

フレキシブル有機EL素子へのワイヤレス給電



出典: ワイヤレス・エネルギー伝送の応用技術最前線より 104



新たな応用分野

ワイヤレスキッチン



WPC White paper - April 2013

Cordless kitchen appliances 「A powerful new kitchen concept」



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

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な電力だけ供給
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

血管内極小インプラントへのワイヤレス給電

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

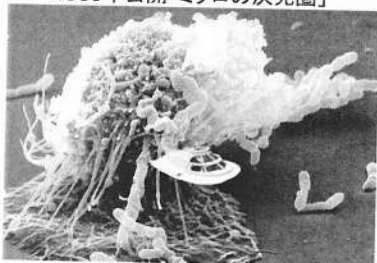
スタンフォード大学のAda Poon氏の研究グループ

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

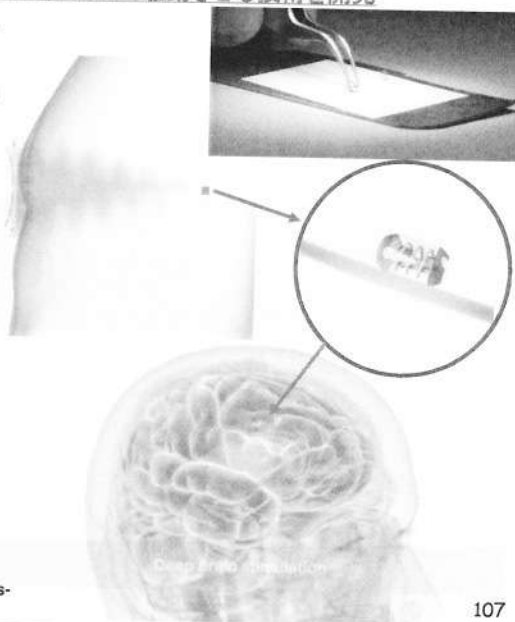
1.6GHzの電波に特殊な変調を加える

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」



出典: <http://ggsoku.com/tech/httpggsoku-comtechwireless-energy-transferred-implants/>

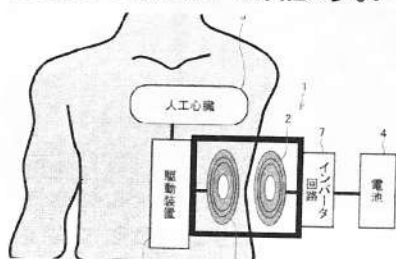


107

ワイヤレス給電式人工心臓

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

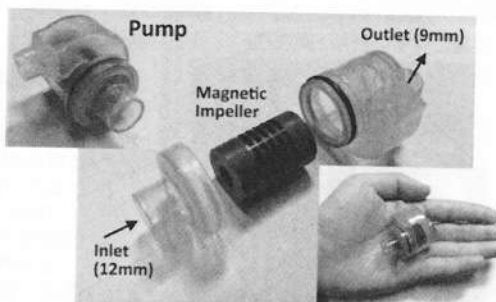
出典: <http://www.nanobme.org/summeries/summeries16.html>

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>

108

回転・計測機器へのワイヤレス給電



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

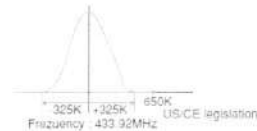
ホイールバランスが必要
ホイール形状により装着できない

共通課題

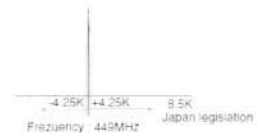
電池寿命 3~5年で交換が必要
送信間隔 約3秒 夜間駐車時でも作動



欧州北米許容範囲



日本国内許容範囲



ワイヤレス給電化

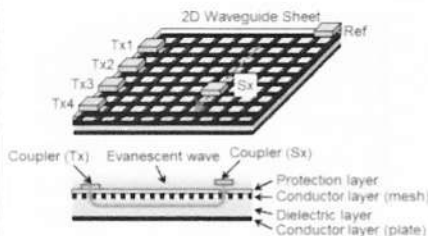
回転する検査機器への給電
車が動いている時のみ給電
電池レスによる軽量化
ホイールバランスが不要

109

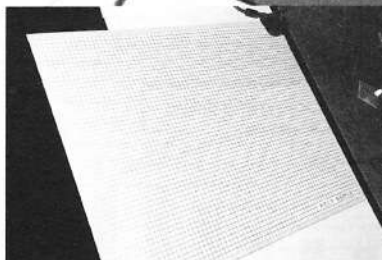
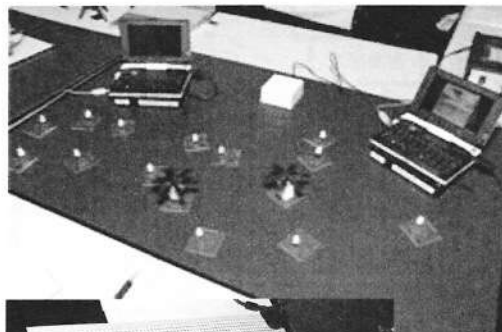
ワイヤレスによる同時電力伝送と信号伝送



Two-Dimensional Communication(2DC)



堅い板状の2DCシートならば机やテーブルの天板のように使う
布状の2DCシートならば曲面に貼り付けたり、服のようにしてウェアブルコンピュータ的な用途にも使える



2DCシート

出典: <http://news.mynavi.jp/articles/2008/09/03/siggraph06/>

110

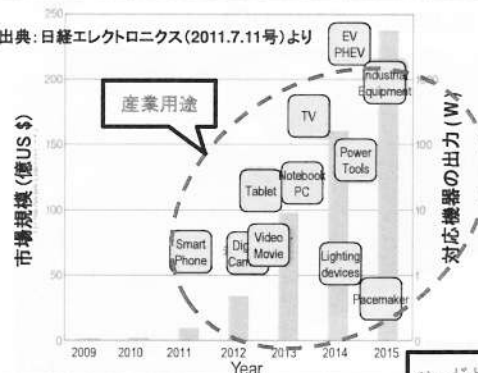


市場規模

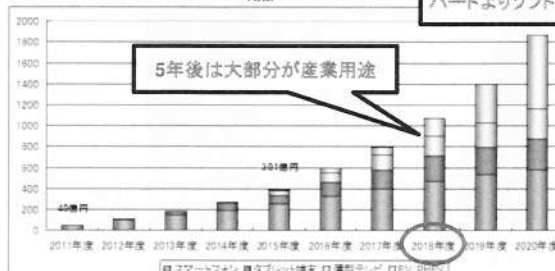
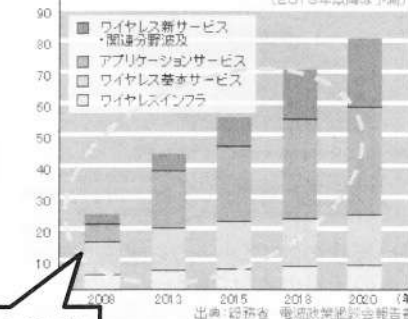
WPT機器およびモバイル機器の市場予測



出典：日経エレクトロニクス(2011.7.11号)より



ワイヤレス関連市場の将来市場規模試算結果 (2013年以降は予測)



市場予測結果は2015年で
シードプランニングの400億円から、
日経の2.2兆円(@93円/\$)、総務
省の7兆円(装置のみ)まで幅が大
いが、いずれも大市場になると予測
している

注目4分野のワイヤレス給電市場予測(単位:億円)

(2011年度:推定、2012~20年度:予測)

出典:シードプランニング

112

2030年のHV／PHV／EVの販売予測



2014年7月、富士経済がHV,PHV,EVと関連部品の2030年までの市場展望を発表

HV	2013年:165万台	2030年予測:643万台(2013年比 3.9倍)
PHV	2013年: 9万台	2030年予測:304万台(2013年比33.8倍)
EV	2013年: 12万台	2030年予測:280万台(2013年比23.3倍)

充電器が必要な車の台数 : 584万台

このうちの10%がワイヤレス給電システム搭載と予測

2030年で約60万台の販売予測

ワイヤレス給電システム1式25万円として1,500億円の市場

113



ご清聴ありがとうございました

早稲田大学環境総合研究センター
高橋俊輔

stak@aoni.waseda.jp