

独立伝送路方式を用いたワイヤレス電力伝送の実用的研究

A Feasibility study of Wireless Power Transmission
by using Two Independent Space-coupled Electricfield

常川 光一 楊 程
Koichi TSUNEKAWA Cheng YANG

電界結合型として、独立伝送路方式を提案し、その特性と原理理論解析、実用化検討を行った。まず、電界結合型として独立伝送形 WPT（ワイヤレス電力伝送）システムを提案し、その基礎特性を検討した。次に、独立伝送形 WPT の等価回路を示し、各回路素子の物理的意味に着目して、実験及びシミュレーションとの比較検討により、独立伝送方式の動作原理解明を行った。最後に小形電子機器（スマートホン、パッド PC など）の充電装置を設計し、その特性を明らかにした。この装置を使った例として、具体的な屋内ユビキタスシステム“人の気持ちがわかる HEMS”を提案した。この屋内部分をデモンストレーションシステムとして試作開発し、学内で実稼働している。

キーワード ワイヤレス電力伝送、電界結合、ユビキタス

1. まえがき

家庭やオフィスの電化製品などの電源コードを無くすワイヤレス電源供給の研究開発が実用化を目指して進められている^{(1) (2)}。特に電磁場共鳴技術による実装置が発表⁽³⁾されて以来、高い関心を集めて活発な研究が進められている⁽⁴⁾。この電磁場共鳴方式には大きく分けて磁界結合型と電界結合型があり、家電など空間自由度の必要な電子機器に適用するには、周辺金属の影響を受けにくい点で磁界結合型に利点がある⁽⁵⁾。しかし、空間限定的な使用や大電力の伝送では、電界結合の利点も大きい⁽⁶⁾。

そこで、本論文では電界結合型として、独立伝送路方式を提案し、その特性と原理理論解析、実用化検討を行った。まず、電界結合型として独立伝送形 WPT（ワイヤレス電力伝送）システムを提案し、その基礎特性を検討した。次に、独立伝送形 WPT の等価回路を示し、各回路素子の物理的意味に着目して、実験及びシミュレーションとの比較検討により、独立伝送方式の動作原理解明を行った。最後に小形電子機器（スマートホン、パッド PC など）の充電装置を設計し、その特性を明らかにした。この装置を使った例として、具体的な屋内ユビキタスシステム“人の気持ちがわかる HEMS”を提案した。

2. 独立伝送形 WPT の提案と特性解析

2.1 概要

磁界結合型において高い効率でかつ伝送距離を伸ばすには、共振器であるアンテナ（コイル）の導電率を上げ、非常に高い Q を実現する必要がある⁽⁷⁾。実アンテナでこの高い Q 値の実現は大変難しく、現状では実装置での伝送距離はアンテナの大きさ程度に限定される⁽⁶⁾。本章では、従来の電磁界による電力の伝送には限界があると考え、金属板同士の静電結合（コンデンサ）を用いて電力を伝送するワイヤレス伝送方式を提案する。本方式は独立な 2 つの経路を用いて電位差（ポテンシャル）を伝送する。この電界結合型の無線（ワイヤレス）電力伝送方式を独立伝送形 WPT システムと呼ぶ。

2.2 伝送線路型の電界結合電力伝送

電磁場共鳴技術では、結合形共振器として表される回路を、実アンテナで実現しようとすることに無理があるように思われる。例えば、アンテナではその電気長以上離れた 2 点の空間電位差（スカラーポテンシャル）を給電点に発生させることは出来ないが、回路では 2 本の線路間にどんな高い電位差も発生させられる。アンテナで給電点に高い電位差を発生させるには受信アンテナ周辺に非常に高

い電界か磁界を形成するしかない。遠方界ではアンテナのアレイ化により特定方向に高い電界を発生させることが出来る。近傍界でも複雑になるが空間の特定の位置に高い電界を発生させることが出来と考える。ただしこの場合は送信アンテナにはある程度の大きさが必要になる。

一方、送信アンテナから受信アンテナに直接電位差（スカラーポテンシャル）を伝送すれば伝送回路と同じ現象を実現できるはずである。これは遠方界では不可能であるが、金属板同士の電界結合を用いれば可能である。つまりアンテナをコンデンサと考えて静電界（アンテナに垂直な電界）を用いるものであり、遠方界、誘導界に次ぐ第三の界である静電界を用いた電力伝送とも考えられる。

2.3 ダイポールによる放射方向電界の検討

極座標の原点にあるZ軸方向の微小ダイポールアンテナ II の全放射電界成分は以下である。

$$E_r(r) = j \frac{120\pi l}{\lambda} e^{-jkr} \left\{ \frac{1}{jkr^2} + \frac{1}{(jk)^2 r^3} \right\} \cos \theta$$

$$E_\theta(r) = j \frac{60\pi l}{\lambda} e^{-jkr} \left\{ \frac{1}{r} + \frac{1}{jkr^2} + \frac{1}{(jk)^2 r^3} \right\} \sin \theta$$

$$E_\phi(r) = 0$$

…(1)

ここで、 $k=2\pi/\lambda$ 、 λ ：波長、 j ：虚数単位である。(1)式で静電界は r^3 に比例する項であるが、本来クーロンの法則に従う電界であり、 E_r 成分のみで r^2 に比例するはずである。しかしダイポールであるため、常に正負の電荷が近傍にあることから E_θ 成分が発生し、 r^3 に比例することになる。ただし、一方の極近傍であれば単独の電荷と同じ特性が現れるはずである。そこで図1に示すように平板金属で電極を形成し、その中央を導線で結んで給電をしたダイポールアンテナの近傍電界をシミュレーションにより調べた。

電界 E_x (式(1) E_r) 成分の近傍分布を図2に、X軸に沿った電界 E_x (式(1) E_r)、 E_y (式(1) E_θ) 成分の距離特性を図3に示した。明らかに極近傍においては高い $E_x(E_r)$ 成分が発生し、ダイポールの中心線上では互いに相殺して0になっ

ている。また距離特性では約0.3mを境に $E_y(E_\theta)$ 成分が $E_x(E_r)$ 成分を上回り、遠方において支配的になっていくことがわかる。

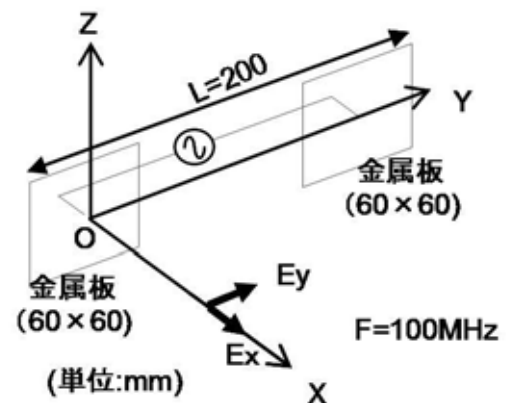


図1 ダイポールアンテナ

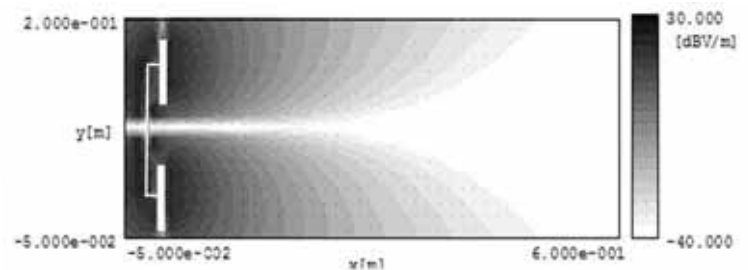


図2 近傍電界(E_x)の分布(1V給電)

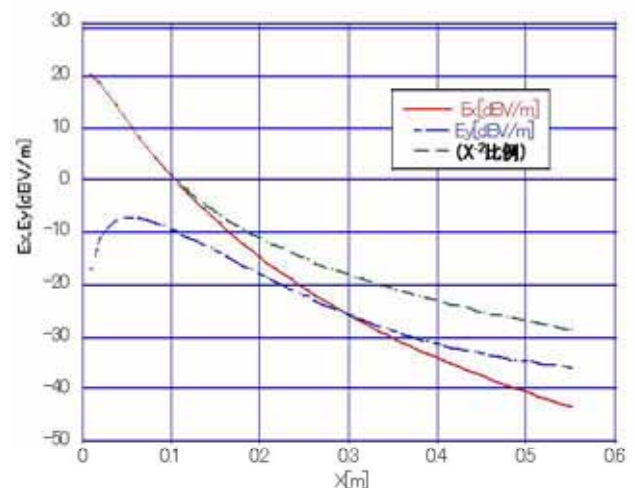


図3 近傍電界(E_x, E_y)の強度

E_x 成分の0.1m点を基準に $1/x^2$ (x ：距離) に比例する線を記入すると、実際の E_x の値より高く推移する。これはダイポール形式であるために、ある程度の距離以降では正負極の E_x 成分が相殺して強度が低下するからである。

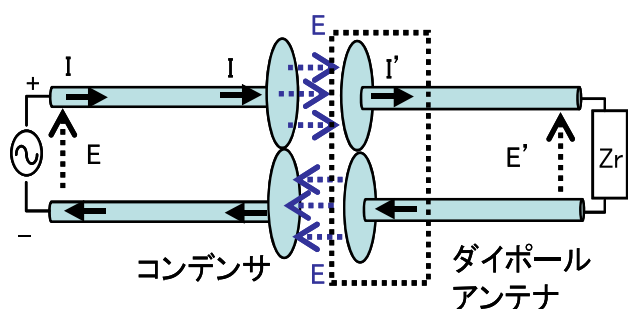


図4 コンデンサを挿入した伝送線路

そこで、図4に示すように途中にコンデンサを入れた伝送線路を考える。高周波においては電力の伝送が可能である。そこでこのコンデンサの片方2枚の電極をダイポールアンテナとし、アンテナから伝送方向の電界 E_x (式(1) E_r) 成分により互いに結合をさせれば、給電側の高い電界を受信側の負荷に伝送できると考えられる。ただし、どこまでコンデンサの間隔を広げる事が出来るかが課題である。

2.4 極小容量コンデンサを用いた伝送回路

回路シミュレータを用いてコンデンサを挿入した伝送路の検討を行った。図5に回路図を示し、図6に電力の伝送状況を示した。

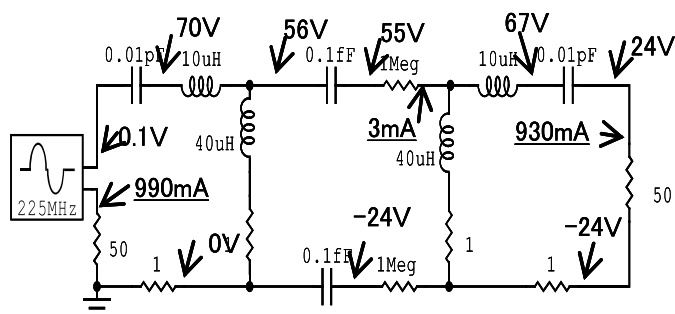
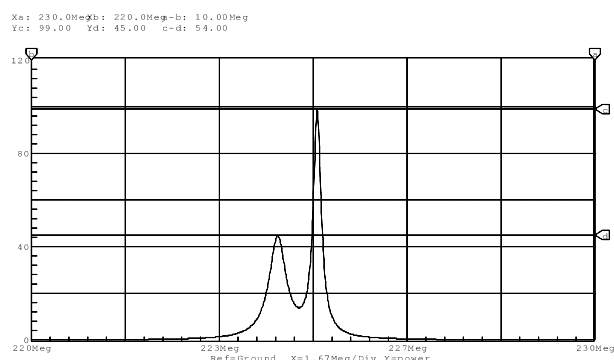


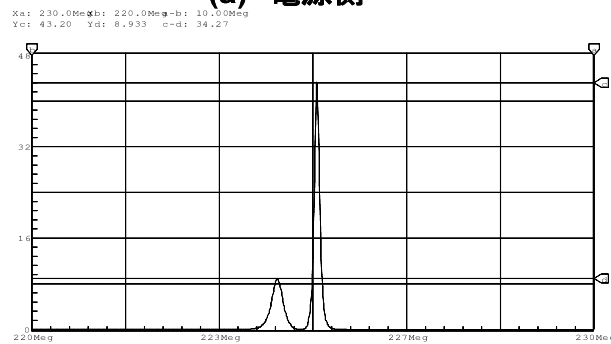
図5 極小容量のコンデンサを用いた伝送回路

図5の回路は十分にパラメータを追い込んではいないがある程度の結果が得られたものである。極小容量のコンデンサ (0.1fF) と高抵抗 (1MΩ) を用いて 225MHz で 43% (43/99W) の効率が得られている。数平方 cm の2枚の電極を 1m 以上離しても 0.1fF 程度のコンデンサにはなる。図4の回路は左右の直列共振回路 (アンテナ) を適当なタップを取ってコンデンサで結合させたものである。図中の電圧電流値から、電源電圧の数百倍の電圧がコンデンサにかかっており、一方電流コンデンサを流れる電流は数百分の一になる。電界結合の回路である

ことがわかる。この回路を空間伝送に適用するためには、アンテナによる共振回路を2つの極小コンデンサを用いた伝送路で接続すればよいということになる。



(a) 電源側



(b) 図6 負荷 (50Ω) 側

図6 電力の周波数特性

2.5 独立な空間伝送路の構築方法

図5の回路を空間で実現するために最も重大な問題は、2つのコンデンサを独立に動作させることである。回路上では各コンデンサを一つの素子として考えているが、空間では互いの電極が 1m 以上離れるので互いの2枚電極 (アンテナ素子) 同士が相互に結合してしまう。これでは空間で独立な2つの伝送路が確保できなくなり、本回路が実現できない。そこで空間の伝送位相を利用して相互結合を相殺することを考える。この回路を図7に示す。

図7では、コンデンサ電極 (アンテナ素子) を結合させないため、電極同士を半波長伝送路をずらすことで相殺し独立な伝送路を実現している。このシミュレーションでは 33% (17/51W) の伝送効率が得られた。本回路の実現には、コンデンサの電極 (アンテナ素子) をかなり離して配置する必要がある。アンテナの構成が問題となる。また本手法の実現方法としては室内において反射電界を利用する MIMO のような構成も考えられる。

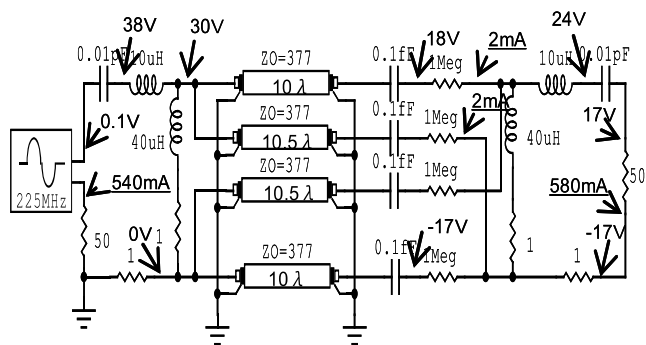


図7 コンデンサ間の相互結合を相殺する伝送回路

2.6 アンテナ構成と伝送効率の検討

これらの検討を基に簡単なアンテナを設計しシミュレーションを行った。アンテナ構成を図8に示す。

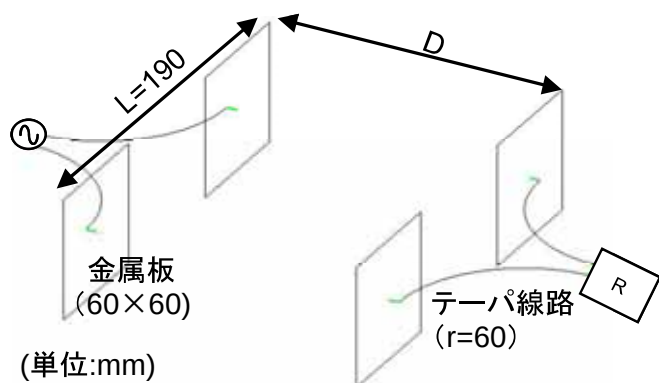


図8 アンテナ構成と電力伝送状況

アンテナは素子（電極）間を出来る限り離す必要があるので、高インピーダンスと 50Ω 給電系との整合をとるためにテーパ線路を用いた。アンテナ素子は遠方界の放射を抑えるために方形金属の中央に給電線を接続し、素子上の電流が相殺するようにした。一方、コンデンサとしての結合を強くするため対向する平板金属でアンテナ素子（電極）を構成した。シミュレーションは電極同士を対向させてS12を計算した。伝送効率の距離特性を図9に示す。

まだ従来の共鳴形に比べて高い効率を得ることは出来ていない。また回路シミュレーションで得られた効率も実現できない。しかし本構成は電界結合形なのでアンテナ素子は金属板を用いるため、導体損失の影響が少なく、シミュレーションに近い値が実装置で実現できると考えられる。ただし、この構成では前節で検討したような電極間の結合が相殺出来ていないこと、及び電極を離すことで、どうしても放

射界が発生して損失になることが本結果となった要因と考えられる。

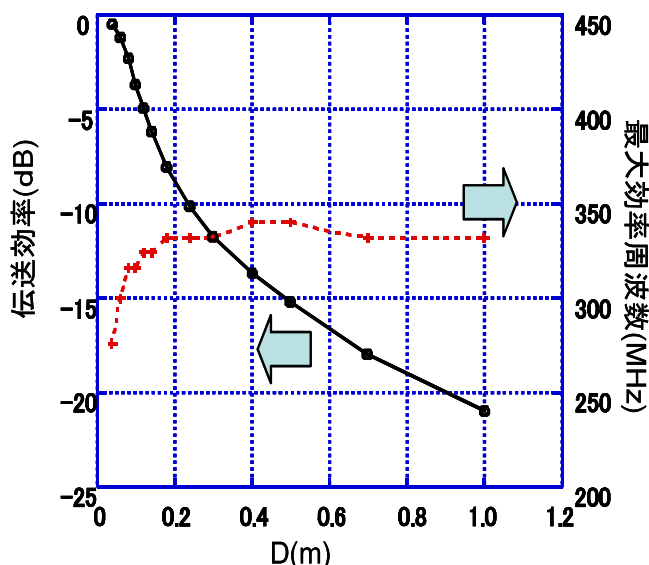


図9 効率の距離特性とその周波数

3. 独立伝送方式の動作原理解明

3.1 概要

前章では平衡伝送線路の概念から拡張して電界結合型の無線電力伝送方式（独立伝送形WPTシステム）を提案した。この提案は静電界も結合に利用しようというものである。シミュレーション及び実測による特性検討は行ったが、構成要素を整理した動作原理解析は出来ていない。

一方近年、無線電力伝送が注目された理由は結合共振による伝送効率の向上が確認された点であり⁽²⁾、両方式ともLCによる共振現象の実現と負荷インピーダンスの適切な設定が重要である⁽⁵⁾。特に伝送効率はLCのQ値に依存し、実用化にはLCともに非常に高いQ値を実現することが必要である⁽⁷⁾。独立伝送形（電界結合型）ではアンテナ（電極）に金属平板型を用いるため、コンデンサとして動作していれば高いQ値が得られる可能性がある。

そこで、本章では電界結合型の無線電力伝送（独立伝送形）方式について、その等価回路解析により動作原理と特性の検討を行った。特に伝送効率に対する各回路素子パラメータの影響について検討した。最近、同様の検討が行われた⁽⁸⁾が、我々は各回路素子の物理的意味に着目して、実験及びシミュレーションとの比較検討により、独立伝送方式の動作原理解明を目指している。

3.2 独立伝送形電界結合方式の等価回路

本方式の着眼点は、図4に示すように伝送路の途中にコンデンサを入れたものである。従って、コンデンサとしては金属板に垂直な電界が主となる。一方、上下の金属板ではダイポールアンテナを形成し、垂直方向電界での結合も介在する。

2つの動作原理を両立するため図10に示すアンテナ構成を提案し、シミュレーション及び実験を行った。ダイポールモードとして動作させるには伝送路にインダクタを挿入してLC共振を起こす必要がある。従って本アンテナは電界結合型である。

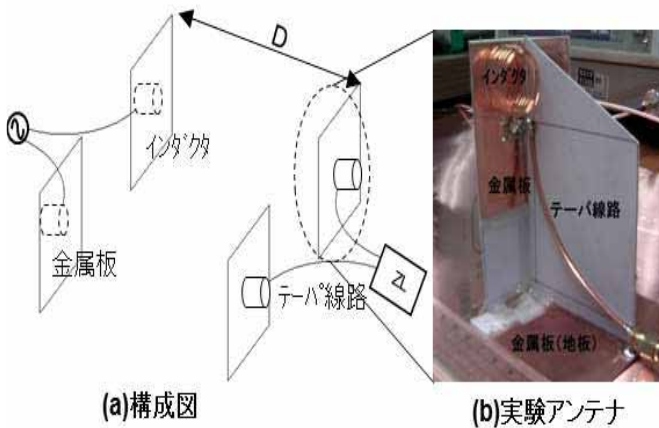


図10 アンテナ構成

そこで、本アンテナの動作原理解明のため、等価回路を作成した。図10(a)に示すように電界共振結合型では各アンテナの自己キャパシタンス C と相互キャパシタンス C_m 、回路に挿入するインダクタ素子 L 、全ての損失抵抗 R と負荷インピーダンス Z_L で構成される。各パラメータ値の導出は難しく、シミュレーション等から決めることになるが、各回路素子の物理的意味はわかりやすい。ここから伝送効率 (S_{12}) と入出力インピーダンス (S_{11} : Z_{in}) を求める。まず、図10(b)に示すように π 形回路に変形し、簡単にキルヒホッフの法則を適用するため T 型回路とする。これらより各パラメータの関係は以下となる。

$$\frac{V_L}{V_S} = \frac{-\frac{Z_L}{j\omega C_S}}{Z_T \left(Z_T + \frac{2}{j\omega C_S} \right)}$$

$$C_e = \frac{C_m(C - C_m)}{C_m + 2(C - C_m)} \quad C_s = \frac{(C - C_m)^2}{C_m + 2(C - C_m)}$$

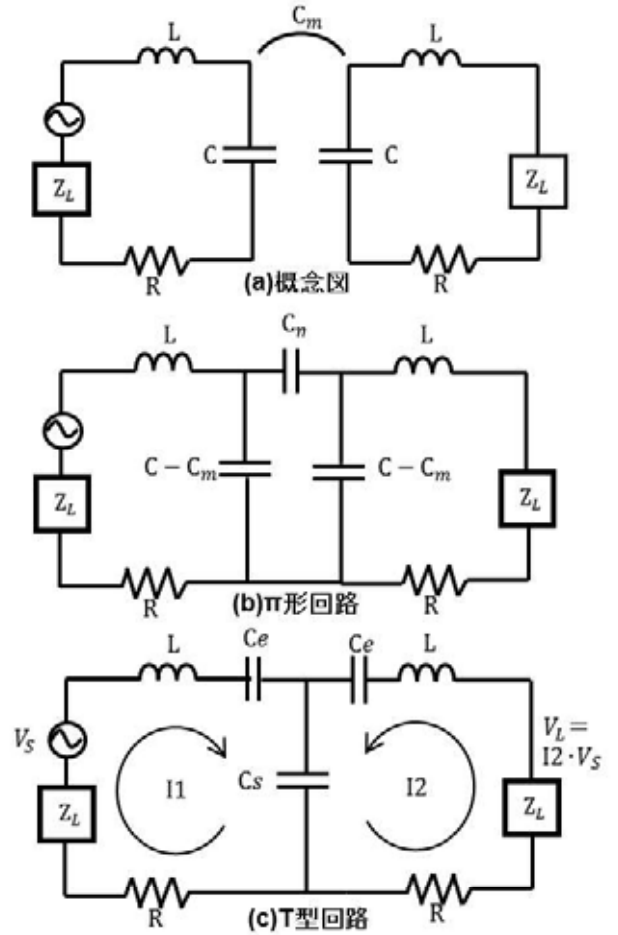


図11 等価回路

これらの式より以下が導出される。

$$Z_{in} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_e} + \frac{\frac{Z_T}{j\omega C_S}}{Z_T + \frac{1}{j\omega C_S}} \quad (2)$$

$$I1 \left(Z_L + R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_e} \right) + (I1 + I2) \frac{1}{j\omega C_S} = V_S$$

$$I2 \left(Z_L + R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_e} \right) + (I1 + I2) \frac{1}{j\omega C_S} = 0 \quad (3)$$

$$Z_T = Z_L + R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_e}$$

ここで $\omega = 2\pi f$ 、 f : 周波数、 $j = \sqrt{-1}$ である。

これらの式から各回路素子の定数と伝送効率 (S_{12}) と入出力インピーダンス (S_{11} : Z_{in}) の関係を求める。

3.3 回路素子定数の決定

構成要素を基本に等価回路を作成したため、各パラメータの値を正確に導出することは容

易ではない。そこで最も定量化が難しい LC の損失を 0（無損失）として、シミュレーションに一致する各定数を導出した。また図 10 のテーパ線路の扱いが等価回路では難しいため、図 12 に示すように各要素がわかりやすいシミュレーションモデルとした。

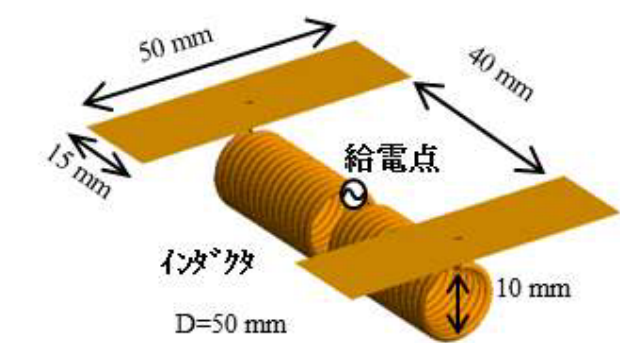


図 12 シミュレーションモデル
このモデルを対向させて算出した S11,S12 を図 13 に示す。また等価回路より計算した結果も示す。

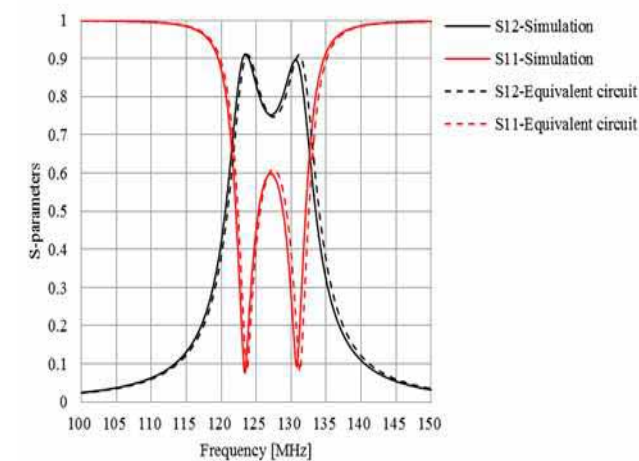


図 13 Sパラメータ特性

表 1 各素子パラメータ値

C_m [F]	C[F]	L[H]
5.4511E-14	8.0654E-13	1.94E-06

この結果、表 1 に示すようにシミュレーションとの結果が正確に一致する各素子の値が明らかになった。なお $Z_L=50\Omega$ とした。
さらに実際の現象を正確に表すため、実験との比較により LC の損失抵抗すなわち Q 値を求めた。実験の様子を図 14 に示す。平衡-不平衡系接続による測定誤差を軽減するためフェ

ライトリングを給電部に付けた。

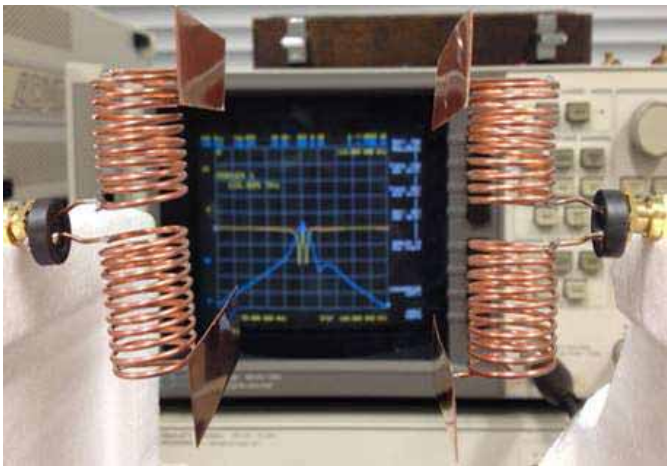


図 14 実験の様子

距離 D に対する伝送効率（S12）の特性を図 15 に示す。

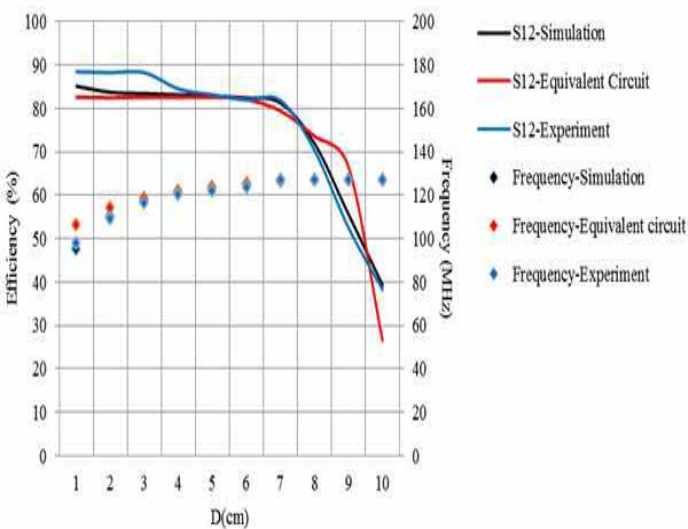


図 15 距離特性の比較

この測定は、アンテナ間距離 D を変えながら最大効率を得られる点を追ったもので、D により周波数が変化している。これらより、明らかにシミュレーション、無損失等価回路とは大きく伝送効率(S12)が違うことがわかる。そこで、図 11 に示す等価回路において LC の Q 値 (QL、QC) をパラメータとして伝送効率(S12)を計算した結果を図 16 に示す。
この結果から、実験値とほぼ一致する Q 値は LC 共に約 100 程度（約 16Ω/127MHz）であることがわかった。さらにこの図から等価回路において伝送効率(S12)への影響は、LC の Q 値は完全に同等の効果であることがわかる。

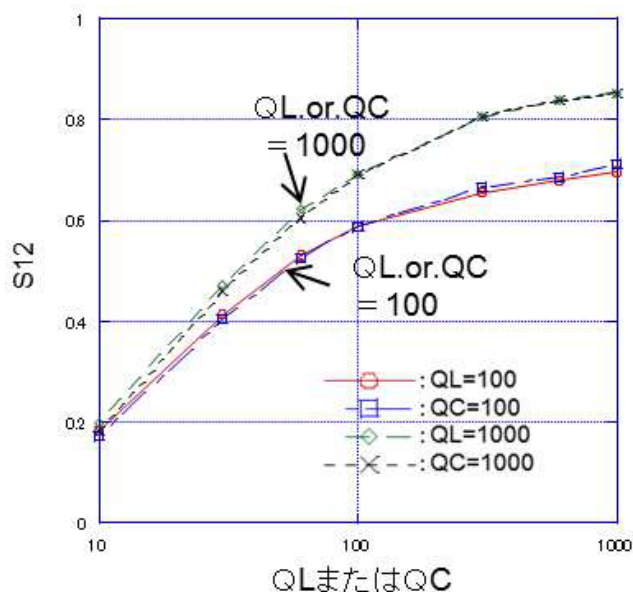


図 16 QL、QCによるS12の変化

3.4 伝送特性の検討

等価回路の各パラメータが決定したので、幾つかを変えて特性を検討する。

・相互キャパシタンス (C_m)

相互キャパシタンス (C_m) は、具体的には伝送距離 D に対応する。伝送距離が変化した場合の最大伝送効率とその時の周波数の関係を図 17 に示す。ここでは LC の損失は 0 としている。

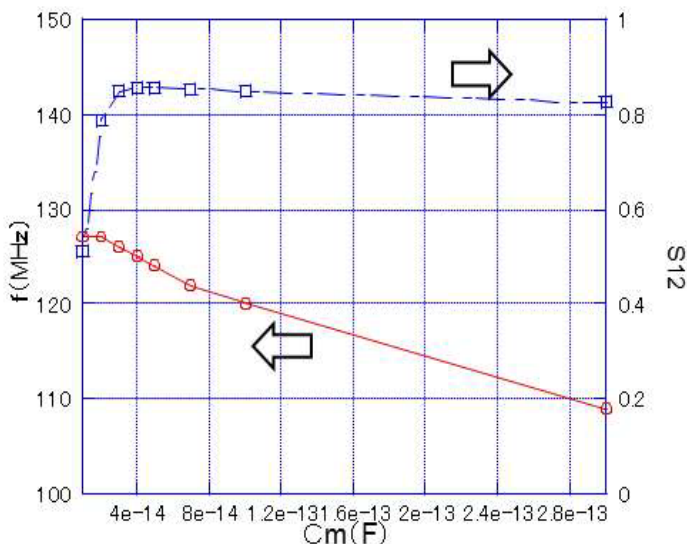


図 17 C_m と最大効率S12及び周波数

この図から言えることは、相互キャパシタンス (C_m) が小さくなくても、最大点を追って周波数を調整すれば高い伝送効率を保持し続けることである。相互キャパシタンス (C_m) が小さくなるということは、アンテナ間の距離が遠

ざかることであり、図 17 に示す結果を実証している。これは周波数を調整すれば伝送距離を伸ばせることを示している。

・自己キャパシタンス (C_0)

自己キャパシタンス (C_0) は、具体的には主にアンテナの金属板間隔などアンテナ構造に対応する。 C_0 による伝送効率の周波数特性変化を図 18 に示す。

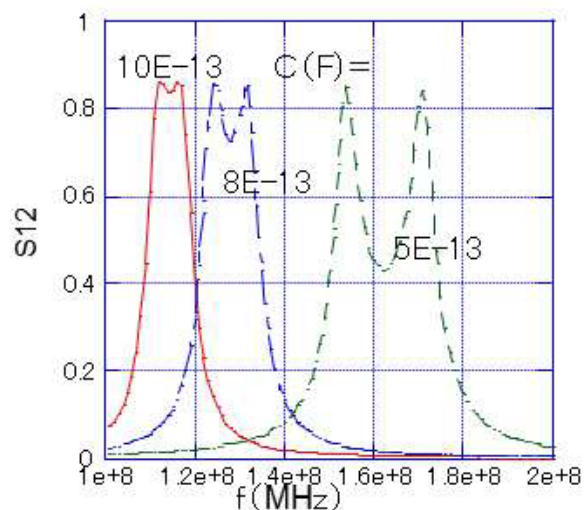


図 18 C_0 によるS12の周波数

この図より最大効率の値はほぼ変わらないが、自己キャパシタンス (C_0) が小さくなると最大効率を得られる周波数が上がり、双峰的な形状となることがわかる。これはアンテナ構造として金属板間隔を離すなどして自己キャパシタンスを小さくすると最大効率周波数が上がることを示しており、通常のダイポールアンテナ間の結合とは傾向が逆になっている。さらに周波数特性が双峰的な形状になる場合は負荷インピーダンスを調整することで伝送効率の向上が期待できる。

・負荷抵抗 (Z_L)

そこで、負荷抵抗 (Z_L) と伝送効率の関係を検討した。 $Q_L=Q_C=100$ として計算した結果を図 19 に示す。 $Z_L=50\Omega$ では $S_{12}=0.59$ であったが、 $Z_L=120\Omega$ とすることで、 $S_{12}=0.72$ まで向上することがわかった。図 19 (a) に示すように、周波数特性が双峰的な形状の場合、適切な負荷を選択することで単峰的となり最大効率を得られる。またその時は図 19 (b) に示すようにインピーダンス整合も取れていることがわかる。

これらから、本構造のアンテナはダイポールアンテナとしての結合と伝送路の中に挿入したコンデンサとしての結合の両方の要素を持

つことがわかる。すなわち共振点で最大効率を得ると共に、伝送路の独立性が高いほど伝送効率が良いという可能性がある。

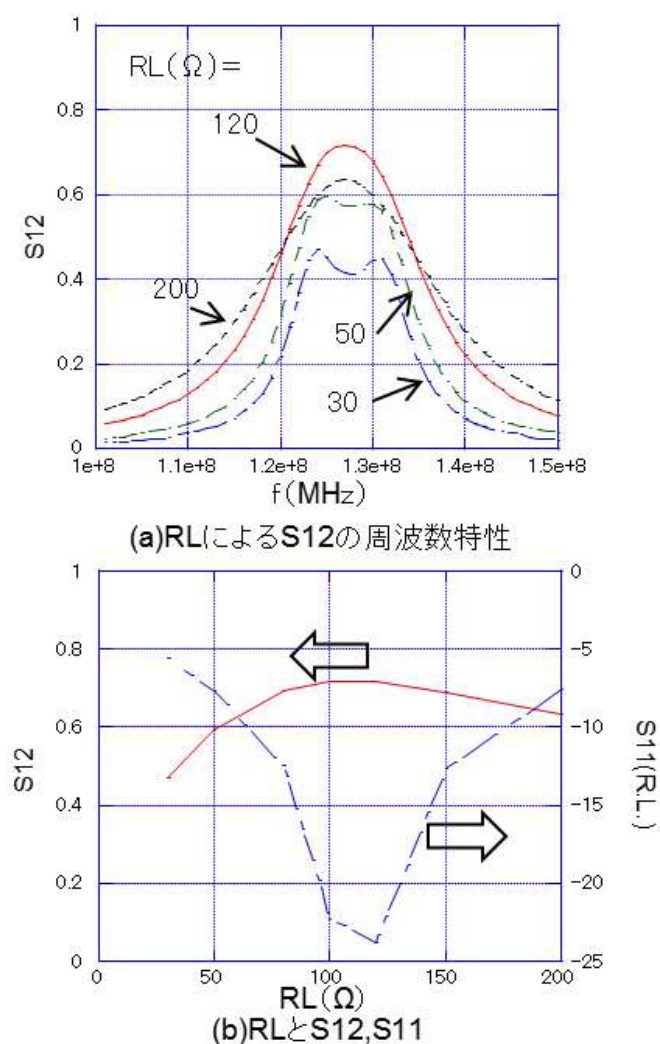


図 19 RL と伝送効率 (S_{12}) の関係

4. 設計例およびシステム応用

4.1 概要

前章では LC による共振現象の実現と負荷インピーダンスの適切な設定が重要であること⁽⁶⁾及び、実用化にはシステムとして共振周波数や回路定数を動的に適応させることが必要となることが示された。このため、実用化の方向性はある程度限定されたシステムへの適用となる。一方、将来において我々の身の周りには電波利用システムが不可欠となり、無線電力伝送も重要な技術として電子ペーパーやペーパータグとしての利用が期待されている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

そこで、本章では電界結合型の無線電力伝送

(独立伝送形) 技術を小形電子機器 (スマートホン、パッド PC など) の充電や電池レス (電子ペーパー) 化に限定しての利用とすることで高い伝送効率とし、実用化を目指す。さらに、具体的な屋内ユビキタスシステム “人の気持ちがわかる HEMS” を提案する。これをデモンストレーションシステムとして試作開発し、学内で実稼働している状況を紹介する。

4.2 携帯電話充電器の提案

図 15 の結果から、距離 D が狭い場合は高い効率を得られるものの、周波数の変化が大きい。一方、ある程度距離 D が大きくなると、効率が急激に低下する。すなわち、高い効率で周波数を固定できる D の範囲 D は固定される。

図 8 に示す電界結合形 WPT 方式について送受素子位置関係を固定して利用する方法として、図 20 に示す携帯電話充電器を提案する。

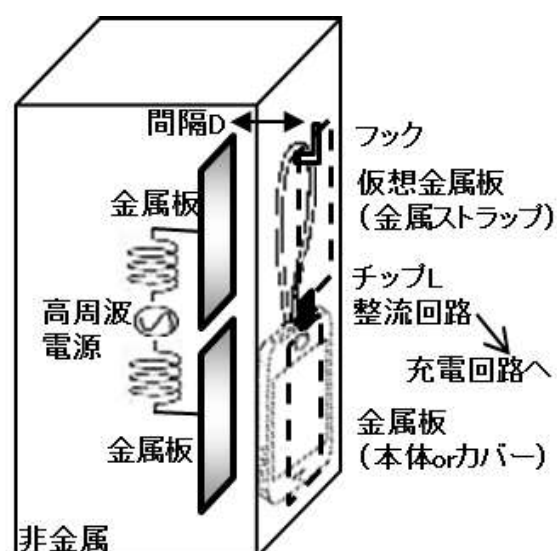


図 20 電界結合 WPT 利用携帯電話充電器

携帯電話にはストラップが着いており、金属線か柔軟な金属板で電極を構成する。本体は薄いカバーに金属板が仕込んである。この 2 つの金属が電極となり小形のチップインダクタによりダイポール素子として共振する。このダイポール (電極) はフックにストラップを掛けることで位置が固定される。一方、フック面の裏側には金属板とコイル型インダクタでダイポール素子を形成する。これにより送受ダイポール素子 (電極) の相対位置がほぼ固定され、かつ間隔も非常に小さくなるので、高い効率を得られる。得られた高周波電流を整流して直流充

電を行う。図 2 1 に示すシミュレーションモデルにより、効率と周波数の検討を行った。送受信ダイポールの形状は非対称となる。

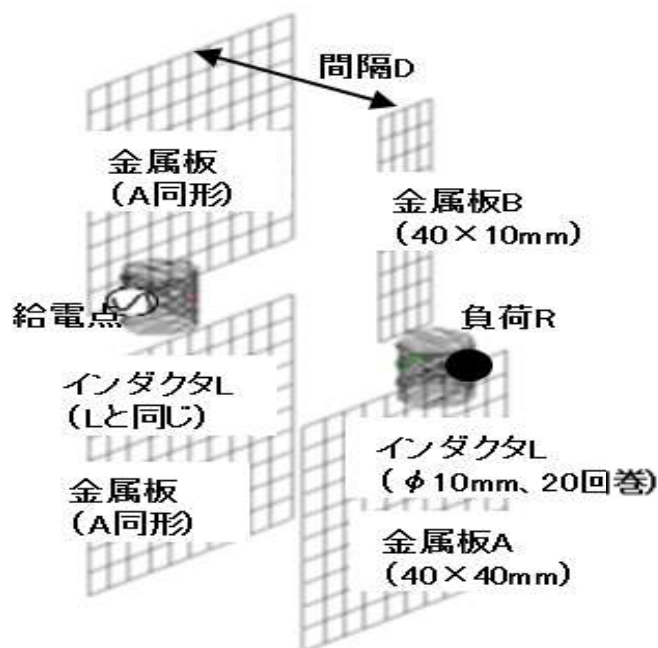


図 2 1 シミュレーションモデル

(負荷) 抵抗 Z_r や高周波電源の動作周波数を調整する必要がある。実際はチップインダクタの損失が大きく Q 値が低下すると共に、整流回路の効率などを含めると数十%効率が低下する可能性が高いが、充電器なので発熱に関して配慮すれば十分実用化可能と考える。

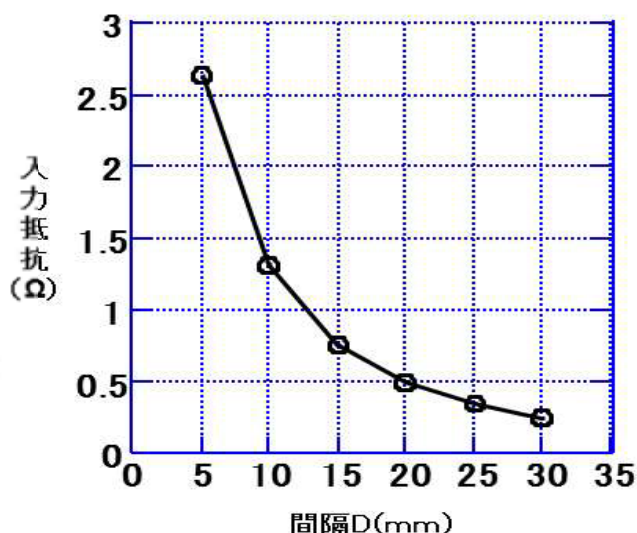
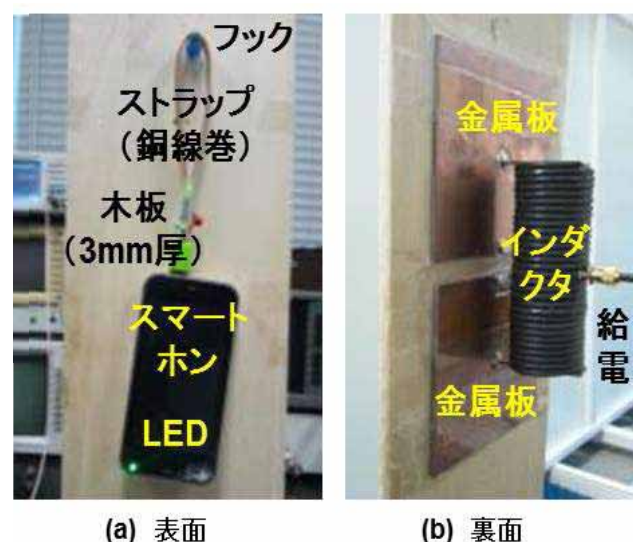


図 2 3 入力抵抗特性

4.3 屋内ユビキタスシステムの提案

まず、図 2 1 に示す携帯電話充電器の試作品を図 2 4 に示す。厚さ 3mm の木製板に非金属フックを付け、ストラップに金属線を巻いて電極として、スマートホンの LED を発光させた。



(a) 表面

(b) 裏面

図 2 4 WPT 充電器の実験試作装置

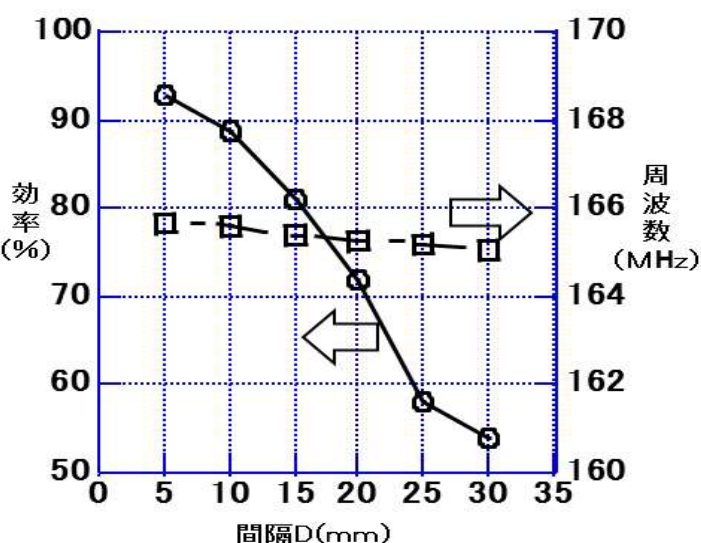


図 2 2 効率 (周波数) 特性

結果を図 2 2 に示す。周波数は 165.1MHz ~ 166.1MHz の範囲に収まり、効率は間隔 10mm 以内では 90%以上を達成している。但し、高周波入力の入力インピーダンスが 50Ω 系であるのに対し、図 2 3 に示すように出力 (負荷) 側から見たポート抵抗は $0.25 \sim 2.6\Omega$ と非常に低く、かつ変化も大きい。従って間隔を 5mm 程度に狭くし、効率最大となるよう整流回路側の入力

そこで、屋内ユビキタスシステム (HEMS/ホームエネルギーマネジメントシステム) を図

25に提案する。

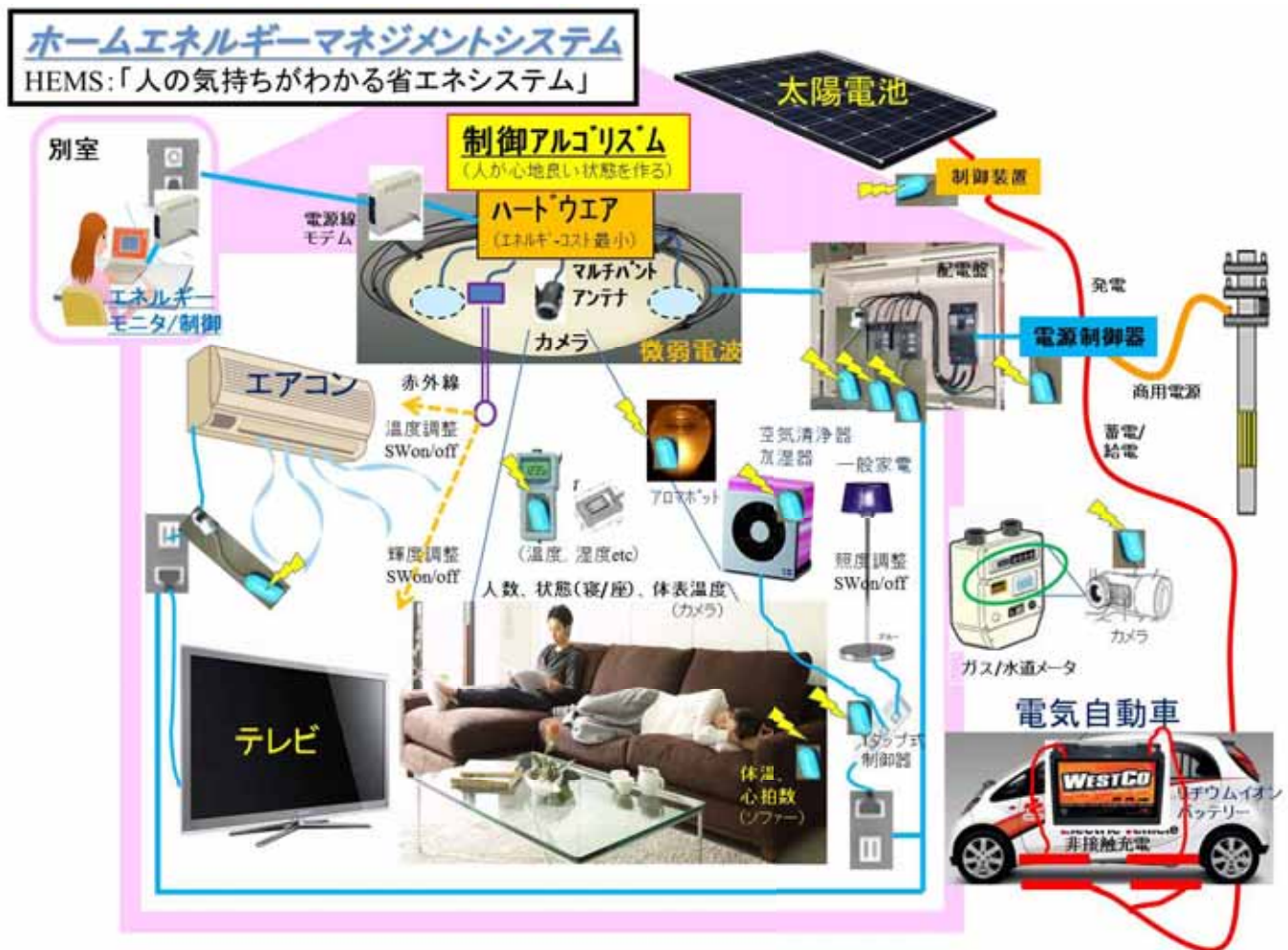


図 2 5 提案システム (HEMS)

図 2 6 のように個人を特定した、その人の嗜好に合わせたプログラムで省エネを行う“人の気持ちがわかる HEMS”である。また外部ともメッシュネットワークで繋がる。さらに図 2 7 に示すようにテーブルに電磁誘導形 WPT を組み入れた。

但し、既存家電や設備を利用し、天井のシーリングライトにサーモグラフィや制御を集中させた後付システムである。この屋内部分をデモンストレーションシステムとして試作開発し、学内で実稼働している。



図 2 6 携帯充電、個人認証システム(玄関)



図 2 7 机上給電システム

地方中小都市向け地域エネルギーマネジメントシステム (自律分散制御かつ自己連結型EMS(エネルギーマネジメントシステム))

「スマートグリッド/コミュニティ構想」が大都市を想定した組織的/統合的エネルギーマネジメントシステムなのに対し、本システムは既存機器を活用し、経済的(商用化)で「柔軟かつ拡張性」を持ち、個人のライフスタイルを尊重した「きめ細かい制御」を可能とする自律/自己増殖システムである。

◎中小都市: 本システム(地域EMS)の全体構成

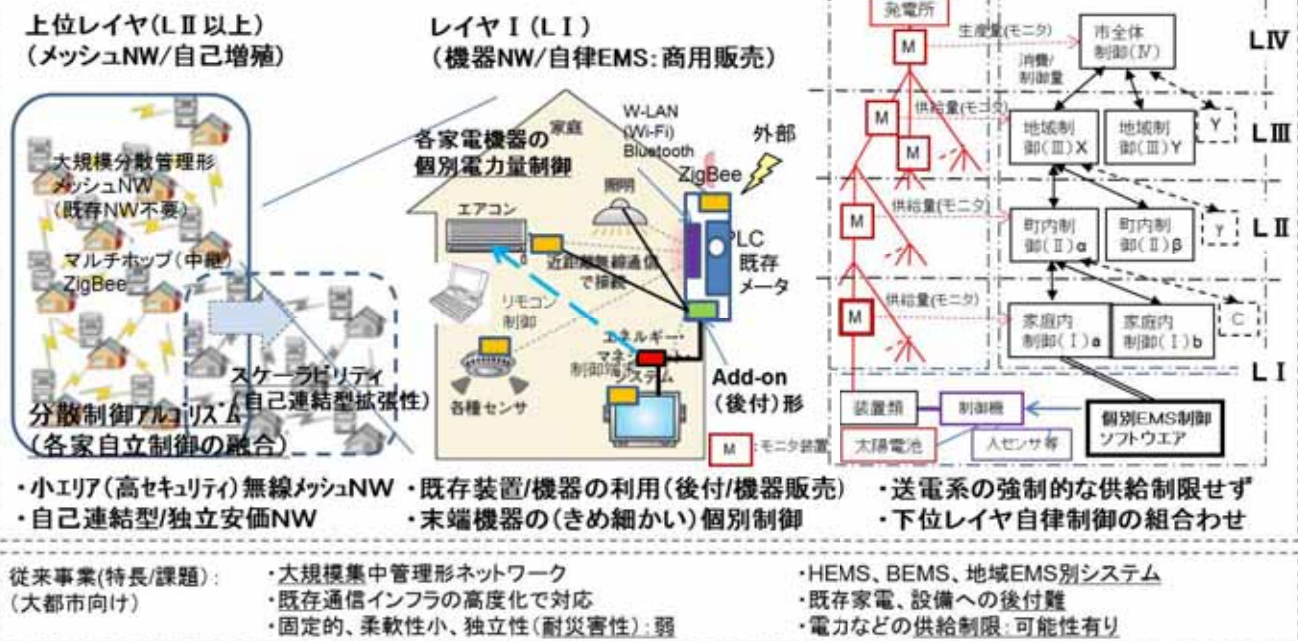


図 28 地域EMS構成

さらに将来は、図 28 に示すように本 HEMS は地域ネットワークのノード機能を持ち、地域のエネルギーマネジメントを自律分散で行うと共に、自己連結的に拡大させる。従って、他 EMS との差別化を図るキー技術として本独立伝送路方式を用いたワイヤレス電力伝送を導入する予定である。

5. まとめ

本論文では電界結合型として、独立伝送路方式を提案し、その特性と原理理論解析、実用化検討を行った。

まず、電界結合型として独立伝送形 WPT (ワイヤレス電力伝送) システムを提案し、その基礎特性を検討した。電磁場共鳴技術による電力の伝送では、高い Q のアンテナ実現が難しく限界があるため、電界結合により空間の局所的な 2 点に電位差を発生させる電力伝送方法を提案した。これは単純に金属板同士の静電結合(コンデンサ) 2 つを用いて電力を伝送するものである。すなわちアンテナ素子を 2 つのコンデン

サの電極と考え、それぞれを独立になるような経路を用いて電位差(ポテンシャル)を伝送しようとするものである。回路的検討により、数平方 cm の電極を 1 m 程度離れた非常に小さなコンデンサでも、伝送位相差を利用して独立な 2 つの経路を実現すれば 30% 程度の伝送効率が得られることがわかった。しかしダイポールアンテナの素子(電極)同士を大きく離す必要があり、アンテナの構成法が問題であること、及び放射電界が発生することによる損失が課題であることがわかった。

次に、独立伝送形 WPT の等価回路を示し、各回路素子の物理的意味に着目して、実験及びシミュレーションとの比較検討により、独立伝送方式の動作原理解明を行った。電界結合型の無線電力伝送(独立伝送形)方式について等価回路を作成し、シミュレーション、実験と比較してその各素子定数を決定した。また伝送効率については、L と C の Q 値が与える影響は同等であること、周波数と負荷抵抗を適宜調整すれば伝送距離を伸ばせることを確認した。一方、同

ーアンテナにおいて金属板間のキャパシタンス（結合容量）を減らせば伝送効率を上げられる可能性がわかった。

最後に電界結合形の無線電力伝送（独立伝送形）方式の特性を明らかにし、電極が薄い特長を生かして小形電子機器（スマートホンなど）の充電器を設計試作した。これは、ストラップを一方の電極として用いることでダイポールを形成するもので、送受信間隔が狭く相対位置が固定される。この形電子機器充電器と顔認識等を併用して個人を特定し、その人の嗜好に合わせたプログラムで省エネを行う“人の気持ちがわかる HEMS”を提案した。この屋内部分をデモンストレーションシステムとして試作開発し、学内で実稼働している。将来はEMSとの差別化を図るキー技術として本独立伝送路方式を用いたワイヤレス電力伝送を導入する予定である。

文 献

- 「9」電波新産業創出戦略電波政策懇談会報告書概要
“http://www.soumu.go.jp/main_content/000
- 「1」電波新産業創出戦略資料など，総務省，
http://www.soumu.go.jp/main_content/000030537.pdf，2009
- 「2」“磁界共鳴型を使った高効率な「ワイヤレス給電システム」を開発，”2009年10月02日ソニー報道資料，2009
- 「3」A.Kurs, A.Karalis, R.Moffatt, J.D.Joannopoulos, P.Fisher, M.Soljacic, “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonance,” Scienc Express, Vol. 317, No. 5834, pp.83-86, 2007
- 「4」居村岳広，堀洋一“電磁界共振結合による伝送技術，”電気学会誌，129巻7号，pp.414-417，2009
- 「5」稲垣直樹他，“近傍界結合アンテナを用いる無線接続の基礎，”信学論，Vol.J94-B, No.3, 2011
- 「6」栗井郁雄，“共鳴型ワイヤレス電力伝送の新しい理論，”電気学会論文誌C, Vol. 130, No. 6, pp.966-971, 2010
- 「7」奥山佑樹，平山裕，菊間信良，榊原久二男，“磁界共鳴型無線電力伝送の導電率を考慮した等価回路，”信学技報，WPT2010-09, pp. 9-14, 2010
- 「8」ワイヤレス電力伝送技術の利用に関するガイドライン
<http://bwf-yrp.net/update/2013/05/20.html>