

ユビキタス電源の改良

橋本弘藏[†] 石川峻樹 三谷友彦 篠原真毅

京都大学生存圏研究所 〒611-0011 宇治市五ヶ庄
†現、京都大学名誉教授

E-mail: † kozo@a00.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

あらまし IT 機器などに、ある空間のいたるところで無線給電できるユビキタス電源が提案されている。この概念をより実用化に近づけるために、必要なところだけに効率よく送電する送電方式、ならびに送電すべき方向の検出法の検討を行ったので報告する。

キーワード 無線電力伝送、ユビキタス電源、超音波、到来方向検出

Improvement of Ubiquitous Power Source

Kozo Hashimoto[†] Takaki Ishikawa Tomohiko Mitani and Naoki Shinohara

Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011

† Now, Professor Emeritus, Kyoto University

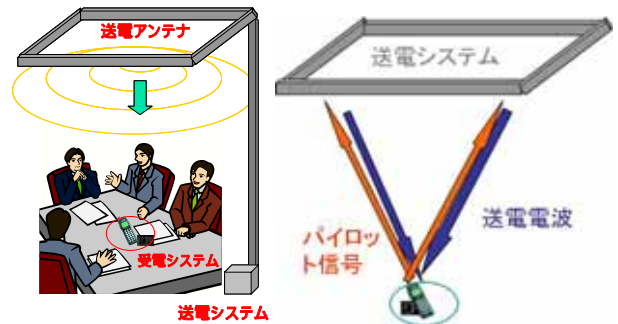
E-mail: † kozo@a00.mbox.media.kyoto-u.ac.jp ‡ {taro, jiro}@jouhou.co.jp

Abstract Ubiquitous power source which can wirelessly transmit power anywhere in a space. In order to realize this system, we have examined an efficient power transmission system and a system to measure direction of arrival.

Keyword Wireless power transmission, Ubiquitous power transmission, ultrasound, direction-of-arrival measurement.

1. はじめに

IT 機器への給電に関しては、現状では、バッテリーによる給電が主流であるが、充電器の待機電力、使い捨てとなるバッテリーによる環境負荷の増大、充電器が機器ごとに異なり必要以上に生産されるといった問題を抱えている。そこで、無線により給電するシステム、いわゆる「ユビキタス電源」が提案された。「ユビキタス電源」とは、安全基準内の強度の電磁波を用いて、ある空間の至るところで IT 機器をバッテリーレスで駆動、コードレスで充電することのできるシステムである。図 1(a)のように、ある部屋を「無線電力空間」と呼び、基礎実験が行われた[1]。この実験では、空間を電磁波で満たしたために、多くの電力を必要とした。そこで、図 1(b)のように、必要とする機器に電力を供給するための必要最小限のシステムとなるように改良し、実用化に向けた改良を行ったので報告する。



(a) 無線電力空間の概念図[1] (b) その改良
図 1 ユビキタス電源とその改良

2. 無線電力空間の概要[1]

無線電力空間は、主として以下の方針で設計された。

- ・ 周波数は ISM バンド (2.45GHz or 5.8GHz)
- ・ 人が近寄れる範囲では $1\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下でなるべく均一強度 (電波防護指針)
- ・ 部屋のサイズ 3.8m × 4.5m × 3m (京都大学 SPSLAB 1F 会議室, 30dB シールド)

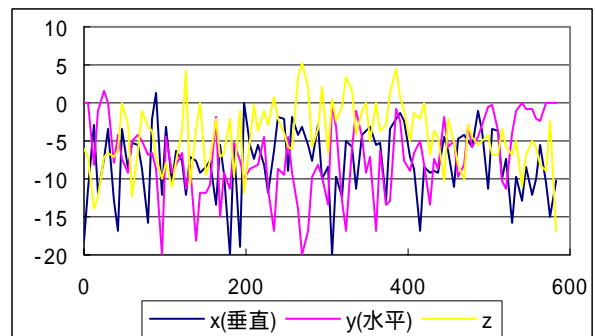


図 2 150W 入力時の地上より 1m、扉より 2m の直線上での電力分布 (縦軸 電力密度 (dBm/cm²)、横軸 距離(cm))[1]

この基礎実験として、定格 800W CW の 2.45GHz 民生用マグネトロンと導波管スロットアンテナが送電システムとして使用された。

マグネトロンを用いて 150W の電力を送電し、特性評価実験を行ったところ、図 2 に示すとおり、部屋の各場所において一様な電力密度分布が得られていることが確かめられた。人体の占める面積で平均したところピーク値で $1.35\text{mW}/\text{cm}^2$ の電力密度となった。実際上はこのようなポイントでの強度は、問題は少ないと思われる。

3. 改良システム

本研究で新たに提案するシステムは、天井に多数のアンテナを配置し、送電を必要としている場所に近いアンテナのみを選択し、送電を行うシステムである。これにより送電される電力を一つの場所へと集中することが可能となり、不要な部分への送電を行わないため、システムの使用電力を削減できる。この送電システムでは受電アンテナの位置が変化することで、使用する送電アンテナも変化していくため、空間のいたるところで同様に電力を受け取ることが可能である。また複数の場所へ送電を行う際にも、それぞれの位置に近いアンテナから送電を行うことで対応ができる。そのためこの送電システムにより、無線電力空間システムよりも格段に消費電力の少ない新たなユビキタス電源システムが実現できる。

4. 送電シミュレーション（同相励振）

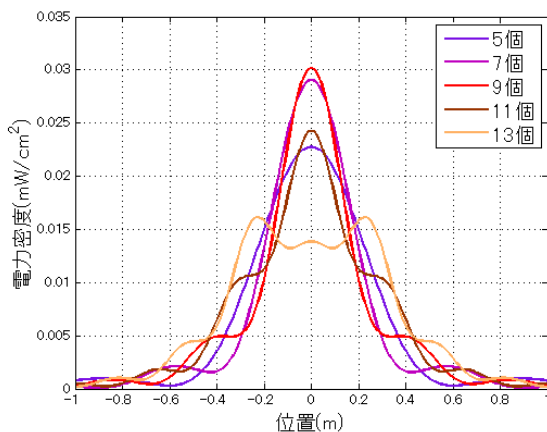


図 3 総電力が 1W の時の送電アンテナ数と電力密度分布

パッチアンテナの放射指向性を仮定して計算を行っていく。送電に用いるマイクロ波の周波数は 2.45GHz とし、各アンテナを 0.7 波長(約 8.6cm)間隔で配置し同相で送電する。送電アンテナから 2m 離れた場所での電力密度の分布について計算を行った。

省電力化の方法として、受電アンテナに近い位置からのみ送電を行う。A4 サイズのアンテナで受電するものとし、30cm の幅での電力密度で考え、評価を行った。アンテナから放射される電力の合計を 1W とし、送電を行っているアンテナの数の変化による電力密度分布の変化についてシミュレーションを行ったところ、結果は図 3 となった。アンテナ数が増えるにしたがって、送電された電力が中央に集中する様子が確認できる。送電アンテナ数 7 個または 9 個のときに最も電力密度が大きくなる。一方で、送電アンテナの数が 11 個となると、電力密度のピークの値が増えなくなった。これは、送電アンテナ数が 9 個を超えたとき、中心のアンテナと端のアンテナからの放射の送受電間の距離による位相差が $\pi/2$ を超え、電界が打ち消しあう向きに働くようになるためである。また、このときの 30cm の幅での電力密度の平均を $1\text{mW}/\text{cm}^2$ とするためには、アンテナから放射される電力の合計が 40W となるように送電を行えばよい。

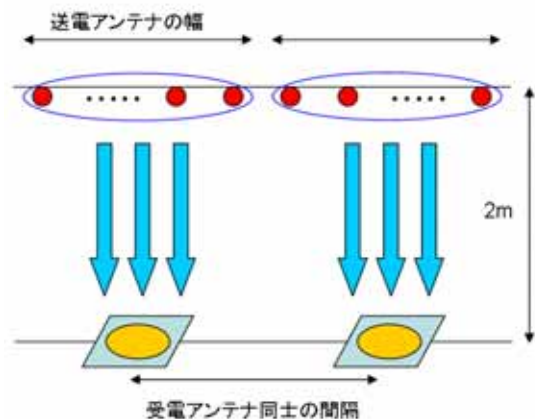


図 4 複数対象への送電モデル

このシステムをユビキタス電源として使用するためには、複数の対象への送電を行うことができる必要がある。図 4 の状況で、複数対象への送電についてのシミュレーションを行った。複数の対象へ送電を行う場合、受電アンテナ同士の間隔は 1 つの対象への送電に使用する送電アンテナの占める幅以上の間隔をあげる必要がある。そこで 1 つの対象への送電に使用するアンテナの占める幅を、受電アンテナ同士の間隔の最短の値として、計算を行った。アンテナが 9 個の場合の結果は図 5 となった。図の実線は同時に送電を行ったときの電力密度の分布で、点線は片方にだけ送電を行った場合の電力密度の分布を表している。受電アンテナの間隔を最短であるとした場合のものであり、7 個の場合は約 60cm、9 個の場合で約 80cm となっている。例えば、隣り合うノート PC の間隔が、これ以上

であればよい。受電アンテナを最短の間隔で配置した場合、30cm の幅での電力密度の平均の値を考えると、1つの対象へ送電を行っている場合と比較して7個で96%、9個で85%となり、電力密度の平均値はやや低くなる程度で送電が行えていることがわかる。また2つのアンテナが干渉するため7個の場合はピークが高く、9個の場合はピークが低くなる。これらのことから送電アンテナからの放射を移相器を用いた制御を行わなくても、同相で出力することで複数の対象への送電は可能であり、十分にユビキタス電源として機能することが確認できた。

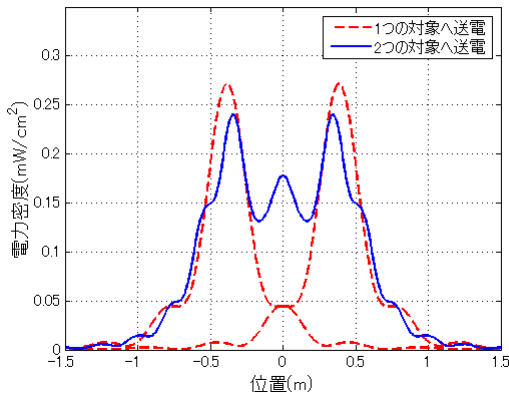


図5 複数方向へ9素子間隔80cmで送電

5. 送電シミュレーション(位相制御)

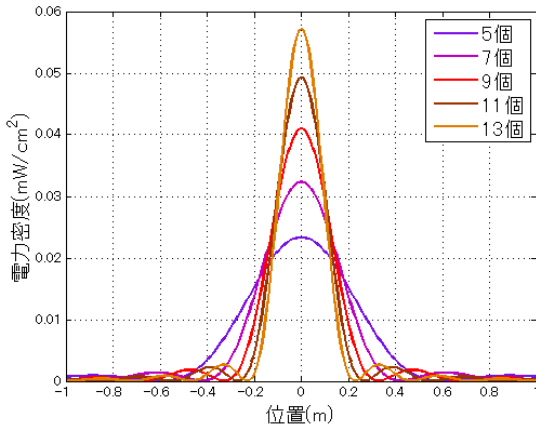


図6 位相制御時の総電力が1Wの時の送電アンテナ数と電力密度分布

受電アンテナに電力を集中させるために、アンテナの中央で放射による電界の位相がそろうように位相制御の効果を評価した。アンテナから放射される電力の合計を1Wとした場合の結果は図6となった。アンテナ数が増えるにつれ電力が受電アンテナの中央に集中する様子が確認できる。アンテナから同相で出力した場合と比較して、電力密度の値が大きくなっており、

またアンテナが11個以上の場合でも、電力密度の値のピークが下がることはなくなっている。一方で、送電アンテナの数が増えるにつれ、電力密度分布の幅が狭くなるため、30cmの受電アンテナを考えた場合、アンテナ数が13個を超えると受電アンテナの中央での電力密度の値が端での電力密度の値の3倍以上の値をとる。送電アンテナ数は13個より少なくするべきである。アンテナ数が9個の場合、位相制御の有無による比較を図8に示す。30cmの幅での電力密度の平均を1mW/cm²とするためには、アンテナから同相で出力した場合は41W、位相制御を行った場合には31Wの電力が必要となり、位相制御を行うことで75%程度に消費電力の削減が可能となる。

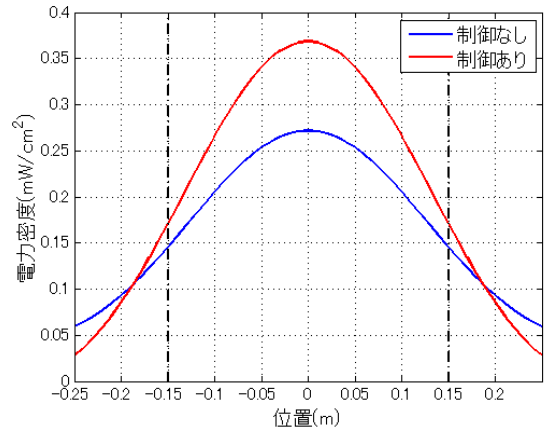
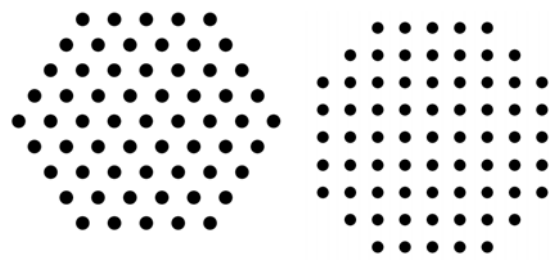


図7 位相制御の有無による電力密度の比較(9素子)

6. 平面アンテナによる送電シミュレーション



(a) 六角配置 (b) 八角配置

図8 送電アンテナの配置

2次元配置の平面アレイアンテナでの送電について、シミュレーションを行った。直線アレイにおいては位相制御を行わなかった場合、送電を行うアンテナを9個程度にすると効率が良かった。そのため4角配列の場合、一辺の送電アンテナ数が9個となるような正方形形状に81素子の送電アンテナを配置した。A4サイズを受電面を考え、その範囲における電力密度の値の平均が1mW/cm²となるように送電するとき、送電アン

テナから放射されるエネルギーの合計は 6.9W、送電アンテナ素子 1 個あたりの出力は 85mW となった。図 10(a)、(b)のように6、8 角形に配置したとき、同じ電力密度を得るのに、それぞれ 61 素子、69 素子で、総送電電力 5.6W、6.1W、1 素子あたりでは 92mW、88mW となった。図 9 に 8 角配置時の電力分布を示す。図 9(a) 中央の矩形は A4 サイズの受電面を示す。以上のことから 4 角配列のアレイアンテナにおいては使用するアンテナの配置が 8 角形となるようにアンテナの選択をすると良く、また 3 角配列の場合は 6 角形となるようにアンテナを選択すると良い。いずれの配置でも送電に使用する電力は 6W、各アンテナ素子の出力も 90mW 程度となる。また無線電力空間システムでは、3.8m × 4.5m × 3m の部屋で送電を行う場合、アンテナからの放射される電力の合計が約 150W であった。一方で平面アレイアンテナからの送電を行った場合、6W 前後の電力で送電が行えるため、96% の省電力化が可能となる。

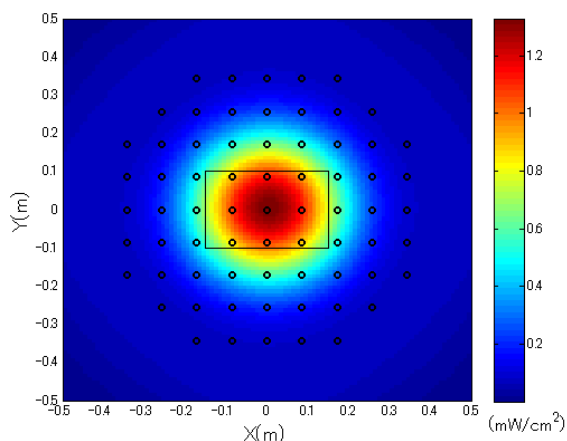


図 9(a) 8 角配置時の二次元電力密度分布

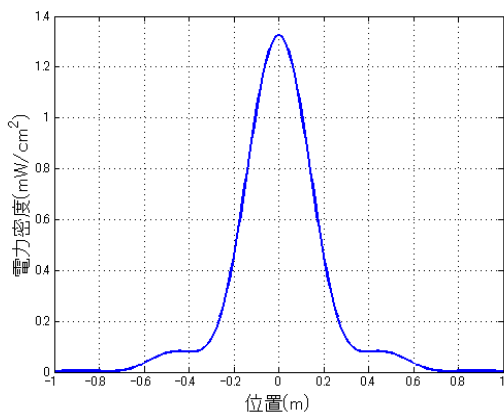


図 9(b) 8 角配置時の Y=0 上の電力密度分布

7. 受電対象の位置推定

パイロット信号として超音波を用いた位置推定システムを製作し、評価を行った。基準の温度は 20 とし、到来方向推定を行う 2 つの場所の間隔は 60cm として、気温による音速の変化を評価した。結果は図 10 となった。基準の温度と実際の温度に差がある場合でも位置推定の誤差は非常に小さな値となることがわかる。パイロット信号発信器は、4.8mW の電力で発振が可能であった。到来方向推定では 1 度程度の誤差があったが、位置推定の誤差は 1cm 以下となった。誤差の値が送電アンテナの半分の以下の長さとなったため、使用する送電アンテナの選択をするうえで十分に許容できる誤差の範囲内に収まった。

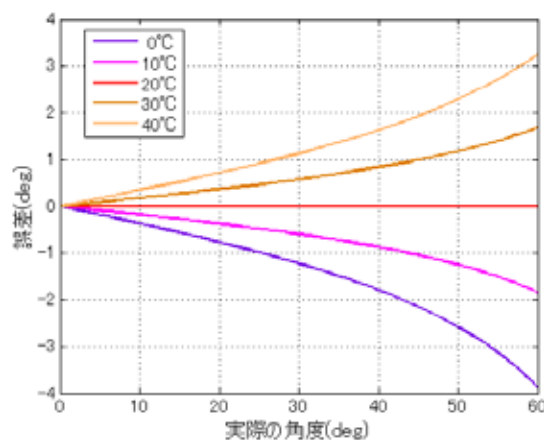


図 10 気温による到来方向の推定誤差

8. むすび

送電についてのシミュレーションを行い、具体的な送電システムについての検討及び、省電力化の効果について検証した。位相制御を用いることにより送電を行うために必要な電力を 75% まで削減が可能であるが、移相器の導入の必要性を考慮すると位相制御を行う必要性はないと考える。次に 2 次元アレイアンテナにおいて、アンテナからの出力を同相とした場合のシミュレーションを行った結果、アンテナから放射される電力を 6W まで削減でき、各アンテナ素子からの放射も 90mW 程度となることがわかった。これにより従来の無線電力空間システムと比較して 95% の電力削減が可能であった。受電対象の位置推定も、4.8mW という低電力で可能であることが明らかになった。

文 献

- [1] 篠原真毅、松本紘、三谷友彦、芝田裕紀、安達龍彦、岡田寛、富田和宏、篠田健司、無線電力空間の基礎研究、信学技報 SPS2003-18、2004 .
- [2] 羽石操，平澤一紘，鈴木康夫，“小型・平面アンテナ”，(社) 電子情報通信学会，1996.