

# 超音波ワイヤレス給電技術の伝送電力特性

石山 俊彦\*

## Characteristics of Transmitted Electric Power using Ultrasonic Wireless Power Transmission

Toshihiko Ishiyama

**Abstract** - This paper describes characteristics of transmitted electric power by using ultrasonic wireless power transmission. The experimental results showed that wireless power transmission can supply sufficient electric power over a distance for ten minutes. In case transmitted power reduces by changing position of the transducers, a backup battery, which is charged usually, can help to supply electric power. The charged backup battery can compensate decrease in transmitted power.

**Key words** : Wireless, Power transmission, Ubiquitous

### 1. はじめに

センサ、無線通信機能、さらにはマイクロプロセッサを搭載した小型端末(センサノード)が街のあちこちに設置され、周辺環境の情報を収集、伝送することによって、私達の生活を「見えないところから支えてくれる社会(いわゆる「ユビキタス情報化社会」)」が到来しつつある [1]。

「ユビキタス情報化社会」のネットワークシステムを支えるセンサノードは、測定の目的に合わせて、設置、移動、除去が繰り返される [2]。測定の目的によっては、断崖、砂漠など、通信線や電力線などの社会的インフラが無い場所にもセンサノードは設置される [3]。このような場所では、センサノードはバッテリーと無線通信機能を利用して基地局やネットワークとアクセスすることができる [2]。

通信がワイヤレス化され、設置場所などに束縛を受けなくなる一方、電力供給に関しては自立化(ワイヤレス化)されているとは言い難い状況にある。これまで、センサノードを駆動する電力源としては、初期には家庭用電源がケーブルを介して供給されてきた。モバイル利用されるセンサノードの場合、乾電池やボタン電

池などの一次電池や、ニッケル水素電池やリチウムイオン電池などの充電可能な二次電池が利用されてきた。

駆動電力源として電池を用いた場合、電力線の束縛からは解放されるが、電池の交換、充電、廃棄などの作業によって、人の手間がかかることに変わらない。この問題の解決策として、一部のセンサノードには太陽電池が搭載され自立型センサノードとして運用されている [4]。文献 [4] では、主として屋外での環境データ収集の実例が述べられている。太陽電池の特性のため、薄暗い所蔵庫内の物品管理など、屋内に設置されるセンサノード向けの駆動電力源としては使い難い。ケーブルから解放され、人の手間をかけずに自立的に運用できるセンサノード向けの電力源の開発が望まれている。

センサノード向けの自立型電力源として、太陽電池の他に内蔵型発電機構の搭載 [5]、外部からのワイヤレスによる電力供給(ワイヤレス給電)が検討されている。ワイヤレス給電技術はマイクロ波、超音波などを伝送媒体として電力を供給する方法であり、ペースメーカーの駆動や携帯電話の充電など、小型電子機器向けに電力を供給した例が報告されている [6] - [9]。これまでのワイヤレス給電の研究は伝送電力量の増大が主な検討項目であり、伝送された電力の品質や受電側である電子回路の動作への影響や、電子機器が電力源を

\* 釧路高専情報工学科

持たないことの運用形態の変化などについては明確に検討されてこなかった。

本稿では、駆動電力を超音波ワイヤレス給電とした場合に、電子機器が受ける影響を検討した。ワイヤレスで供給された電力の品質や、電池などの安定した電力源を持たないことが電子回路の動作に与える影響についても述べ、対策について言及した。

## 2. ワイヤレス給電とユビキタス情報化社会

### 2-1. ワイヤレス給電の概要

超音波ワイヤレス給電は、超音波を伝送手段としたワイヤレスによる電力伝送システムである。ワイヤレスによるエネルギー伝送であれば、ケーブルを介すことなく電力を受電することができ、マイクロ波によるエネルギー伝送にみられるように、ある一定範囲内にある複数の電子機器に、同時に電力を送ることも可能になる[10]。

伝送手段としての超音波は指向性が強く、受信側にエネルギーを収束させることによって比較的大きな電力を電子機器に伝送することができる。また、生体への影響や家庭内など一般の環境での利用という観点から考えると、レーザー等に比べ取り扱いに規制がかからないことも挙げられる。これまで、超音波によるワイヤレス給電はマイクロ波や電磁結合が適さない生体内電子機器などの至近距離向けアプリケーションをターゲットとして検討が進められてきた [8]。

図1に、超音波を伝送手段とした電力伝送システムのブロック図を示す。超音波による伝送システムは、送電部と受電部から構成される。送電部はパルスジェネレータ - アンプ - 超音波トランスデューサから構成される。パルスジェネレータで、交流電圧パルスが発生させる。発生した交流電圧パルスはアンプにより増幅、超音波トランスデューサに印加され、超音波が発生する。受電部は超音波トランスデューサ - 整流・蓄積回路 - 負荷（電子回路）から構成され、受信した超音波を直流電力に変換、負荷に供給する。

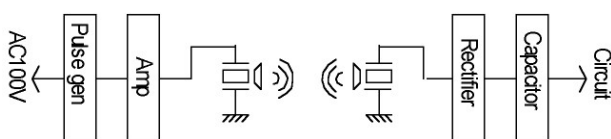


図1. 超音波ワイヤレス給電システム

### 2-2. ユビキタス情報化社会でのワイヤレス給電の適用

ユビキタスコンピューティングが実現した社会では、コンピュータがあらゆる場所に遍在することが要請される。通信や給電といった要素技術も、コンピュータの自立性を支えるもので無ければならない。文献[5]などを参考に、電源のユビキタス化に必要な要件を、以下に示す。

必要な電力を賄うことができる。

設置や移動の自由を妨げない。

長期間の利用に耐える。

これまでの給電技術において、電源のユビキタス化は要請されているものの[5], [11]、野外のノード向けの太陽電池の利用を除き実現しておらず、コンピュータの遍在化を妨げている。

文献[6] - [9]で述べられたワイヤレス給電では、送電線を張らずに、機器の駆動に十分な電力を伝送できることが報告されている[6], [9]。ユビキタス電子機器にとって、設置や移動の自由が確保されていることを意味する。そうしたことから、ワイヤレス給電は将来のユビキタス電子機器に利用される可能性を有した技術ということができる。

## 3. 実験方法

超音波ワイヤレス給電によって、電力を空間上で伝送、伝送特性を評価した。負荷回路に電力を供給した場合の伝送電力の安定性と電子回路への影響も検討した(図1)。

実験では、送電用超音波トランスデューサと受電用超音波トランスデューサ(図2)を同一軸線上で対向させ、超音波を伝送した。電力の伝送特性は、受電側の出力端に負荷抵抗を接続し、電圧値により評価した。送電特性を評価するため、実験の一部で送電、受電トランスデューサにホーンを使用した。



図2. 電力伝送実験で使用したトランスデューサ

送電用超音波トランスデューサは、日本セラミック製の直径：36 mmの防滴型の超音波トランスデューサを使用した。受電用超音波トランスデューサは、開放型の直径16 mmの市販品を使用した。周波数は、28 kHzを使用した。送電側と受電側の同一軸線上において、距離0.3mの位置での測定を標準条件とし、距離や印加電圧を変えて測定した。

電力の送電部はパルスジェネレータ - アンプ - 超音波トランスデューサから構成される。パルスジェネレータでは、交流電圧パルスが発生させ、アンプにより増幅、超音波トランスデューサに印加した。パルスジェネレータとしてNF回路WF1944、アンプとしてNF回路4005を使用し、パルスジェネレータの出力を10～120倍に増幅した。パルスとして、28kHzの矩形波を用いた。

電力の受電部は超音波トランスデューサ - 整流・蓄積回路 - 負荷から構成され、受信した超音波を直流電力に変換し、負荷に供給する。超音波トランスデューサの出力端に倍電圧整流回路を接続した。なお、整流回路を構成するダイオードは $V_f = 0.2\text{ V}$ のショットキー型を使用し、回路の低損失化に努めた。

出力端の負荷として、個々の電子機器の特性の影響を避けるため、抵抗を装着した。抵抗値は整合を確保するため、100 k などの複数種類の抵抗値のものを用いた。

#### 4．結果と考察

図3に、受信側トランスデューサでの出力電圧の印加電圧依存性を示す。受信端での出力電圧は、超音波を全波整流回路により直流変換して測定した。送信側/受信側のホーンを装着/非装着の場合に分けておこなった。Tは送電側、Rは受電側を、Yはホーン装着、Nはホーン非装着の状態である。送電側トランスデューサへの印加電圧の増加にともない、受信側出力電圧が増加したことが示された。

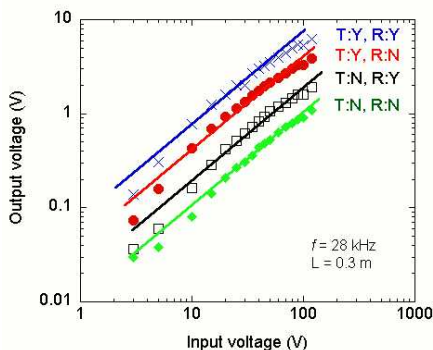


図3．駆動電圧による周波数変化

図4に、距離を変えた時の受信側での電力を示す。負荷として、100 k の抵抗を用いた。図より、電力は距離の増加にともない減少するが、距離1mでは数 $\mu\text{ W}$ 程度(入力電圧40Vpp)のエネルギーを伝送できた。入力電圧を高めることにより、距離として2mまでのエネルギー伝送を確認した。

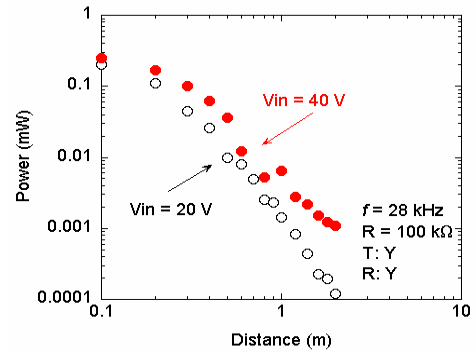


図4．駆動電圧による周波数変化

図3、4より超音波によるワイヤレスのエネルギー伝送では、伝送される電力は送信側トランスデューサの印加電圧や伝送距離によって定まることが示される。

ワイヤレス給電の特徴のひとつに、電池を置き換えられることを既述したが、長時間連続して電力を伝送した場合の電力の伝送特性を検討した。図5に、負荷端での出力電圧特性を示す。電力伝送用の超音波トランスデューサを連続して発振させた。実験結果から、10分間の連続した電力供給後も、一定の電圧で電力供給を続けることができた。比較のため、図6にアルカリ乾電池の放電特性を示す[12]。

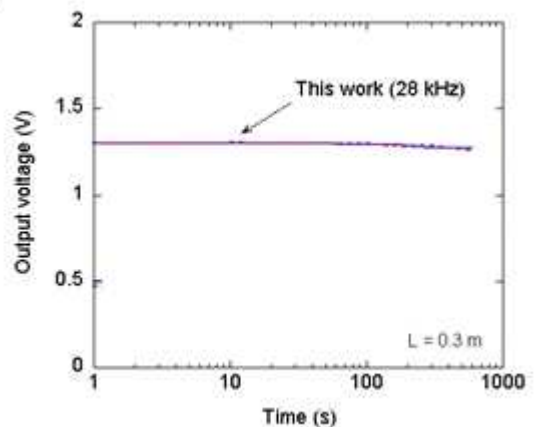


図5．超音波給電による出力電圧の時間特性

ワイヤレス給電においては、送電側と受電側の位置関係などの伝送条件が変わらない限り、一定の電圧で電力を送ることができる。一方、乾電池の放電特性は、長時間の使用にともない電池電圧は1.5Vから0.9V程度まで連続的に降下する。ワイヤレス給電により駆動される電子機器は、乾電池等に見られる電圧降下の影響を受けない。

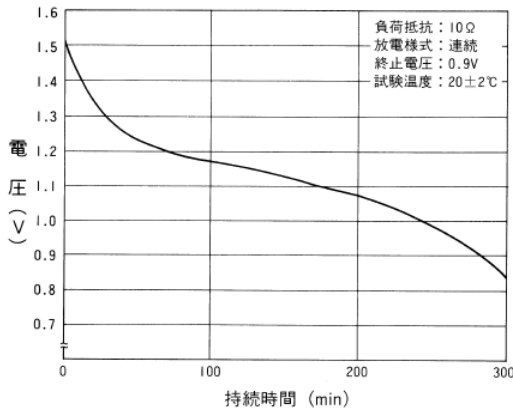


図6 . アルカリ乾電池の長時間放電特性 [12]

図5のグラフより、一定時間の電力伝送特性は安定しているものの、細かな電圧変動が見られた。1分間の比較的短い時間での受電側での出力電圧の変動を評価した。本実験では、定電圧回路を整流回路と負荷回路の間に挿入し、出力電圧の安定化への効果を検討した。定電圧回路の構成には、定電圧ダイオード、コンデンサ、抵抗を使用した。超音波トランスデューサと負荷回路の整合を確保するため、抵抗には可変抵抗を使用した。

図7に、定電圧回路を挿入した場合 / しない場合の電圧の変動を示す。本実験での出力端での電圧は2.5Vとした。

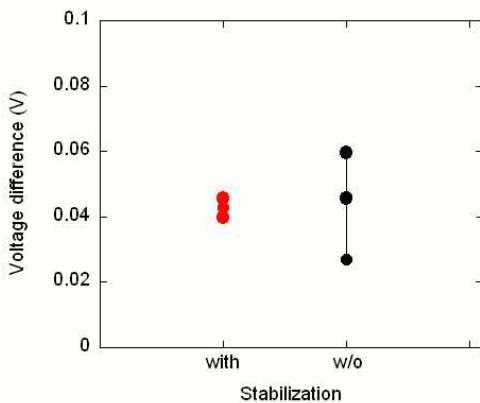


図7 . 出力電圧変動と定電圧回路挿入の効果

定電圧回路を挿入しない場合の電圧変動幅は、0.02 ~ 0.07V程度(最大2.8%)の範囲に収まった。定電圧回路を挿入した場合の電圧変動幅は0.05V程度と、一定の変動幅を示した。本検討では、整合性の確保を優先したため、定電圧回路で使用したコンデンサが0.1μFと小容量のものであった。そのため、電圧安定化の効果は見えにくいものとなった。電子回路の電源電圧が2.5 ~ 3.3Vであることを考慮すると、超音波ワイヤレス給電では、十分に安定した電力を供給することができる。

これまでの検討では、送電側トランスデューサと受電側トランスデューサを中心軸上に配置、正対した状態で実験を行ってきた。しかし、こうした伝送条件は理想的なものであり、実際の電力伝送では必ずしも理想的な状態で送受電がおこなえるとは限らない。

図8に、受電側トランスデューサが中心軸から外れた場合の出力電圧特性を示した。市販トランスデューサによる出力結果である。R:Yは受信側トランスデューサにホーンを装着した場合、R:Nはホーンを非装着した場合を示す。送信側にはホーンを装着し、超音波を集束して伝送した。

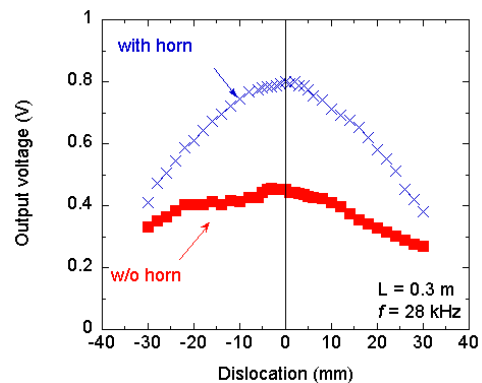


図8 . 中心軸から受電側がずれた出力電圧特性

測定結果は、中心軸から離れることにより出力電圧が減少することを示した。また、ホーンを装着することで、中心軸上での電圧増加が見られるのに対し、中心軸から離れるに従い出力電圧は減少を示した。ホーンを用いることにより、伝送効率の向上が図れるが、対象となる受信側トランスデューサの位置が明確に規定されていない場合は、ホーンを用いずに中心軸上から離れた場合を想定して伝送する利用法もあり得る。

乾電池に替わる電力供給手段としてワイヤレス給電を位置付けた場合、伝送電力の変動を乾電池の電圧降下程度に抑えることが望ましい。図8より、実際の給電環境では、送電 受電側の位置関係の変化によって伝送される電力が変化することが予想される。このよ

うな場合、二次電池または大容量のコンデンサをバックアップ用の電源として使用することにより、伝送電力の変化を抑えることができる。特に、ワイヤレス給電では、連続的に電力を供給することが可能である。この特性を利用すると、通常時には二次電池（大容量コンデンサ）を充電し、送電 受電側の位置関係が変化して伝送電力が急減した場合は、バックアップ用の電源から電力を負荷である電子機器に供給することで、電力の安定な供給を期待することができる。

## 5 . まとめ

ワイヤレス給電を電力源とした場合の電子機器に与える影響を検討するため、超音波ワイヤレス給電により電子回路を駆動、給電特性を検討した。

超音波ワイヤレス給電による電力供給では、負荷である電子機器を駆動するに足る電力を供給することができた。供給される電力も、10分間にわたる伝送でも電圧の低下は起こさず、乾電池を置き換えることのできる給電特性を示した。

超音波ワイヤレス給電では、送電側トランスデューサと受電側トランスデューサの位置関係が変化、伝送電力が低下することが考えられる。こうした場合、二次電池または大容量のコンデンサをバックアップ用の電源として通常時には充電しておき、伝送電力が急減した場合は、バックアップ用の電源から電力を負荷である電子機器に供給することで、ワイヤレス給電であっても電力を安定に供給することができる。

## 参考文献

- [1] M. Weiser: Scientific American, Vol. 265, No. 3, (1991) pp. 66-75.
- [2] 安藤、田村、戸部、南: センサネットワーク技術(東京電機大学出版局), (2005).
- [3] D. E. カラー、H. マルダー: 日経サイエンス, No. 9, (2004) p. 66.
- [4] <http://www.nec.co.jp/press/ja/0311/1701.html>
- [5] 日経エレクトロニクス, No. 2003.6.9, (2003) p. 103.
- [6] 松本、篠原: 電気学会誌, Vol. 123, (2003) p. 164.
- [7] 柴田他: 電子情報通信学会論文誌, J83-B, p. 704, 2000.
- [8] 横山他: 電子情報通信学会論文誌, J84-A, p. 1565, 2001.
- [9] T. Ishiyama et al. , Proc. IEEE Ultrasonics Symp. (2003) 1368.
- [10] 篠原真毅他: 信学技報 SPS-2003-18 ,2004-03 p. 47.
- [11] 日経エレクトロニクス, No. 2007.3.26, (2007) p. 95.
- [12] <http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf2/ACF4000/ACF4000CJ151.pdf>