

衣類上の無線電力伝送における 送受電コイルの形状とサイズの影響評価

宇野 葵[†]奥田 崇礼[‡]宮路 祐一[§]大村 廉[¶]豊橋技術科学大学[†]豊橋技術科学大学[‡]豊橋技術科学大学[§]豊橋技術科学大学[¶]

1. はじめに

近年、様々なウェアラブルデバイスが開発され、様々な場面で使用され、1人のユーザが複数のウェアラブルデバイスを同時に使用する機会も増えてきた。このことは、各デバイスの電源管理の手間の増加という新たな問題を引き起す。これを解決する方法として、電源を一元化し、各ウェアラブルデバイスに電力を供給することが考えられる。電力の供給にはケーブルを用いることが考えられるが、ズボンからシャツといった衣類間や、衣類からデバイスといった部分では、ケーブルがユーザの動きを阻害してしまう問題が発生する。

そこで、本研究では無線電力伝送により、衣類上を介し装着されたデバイスに無線で電力を供給することを考える。無線電力伝送では、二つの磁気結合コイルを使用して磁場共振を使用して電力を伝送する。一般に無線電力伝送で用いられるコイルは円形や正方形が用いられることが多いが、裾や襟といった衣類上でコイルを実装する部位や送電先のデバイス形状の制約によって円形や正方形のコイルが実装し難くなる場合が考えられる。また、形状だけでなく大きさについても様々な可能性が考えられる。さらに、衣類上やデバイス形状に合わせたコイルでは、コイルに曲げが発生する可能性がある。そこで、本研究では、コイルの形状とサイズの組み合わせを変えたときの電力伝送効率を、シミュレーションにより評価し、コイル間の位置ずれやコイルを曲げた際の影響について明らかにする。

2. 関連研究

衣類上での無線電力伝送は近年になって注目されるようになった方法であり、送受電コイルの形状やサイズの組み合わせと同時にコイルに生じる湾曲を考慮した研究はまだ非常に少ない。

Jeongらは、スマートウォッチのストラップと

袖口において、長方形コイルを湾曲させ無線電力伝送を行った[1]。この研究では、手首を想定したコイルの曲げを考慮しているものの、コイルサイズやコイル形状については十分な評価が行なわれていない。

3. 実験方法

3.1 コイルの組み合わせによる伝送効率

シミュレーション評価には電磁界シミュレータ ANSYS HFSS を使用した。

まず、コイルの曲げに対する影響を明らかにするため、コイルに曲げを発生させずに伝送効率のシミュレーションを行い、送受電コイルの大きさや組み合わせによる影響を測定する。送電側の形状を正方形コイルに固定し、受電側には、正方形、円形、正六角形、正三角形、長方形を使用した。各コイルサイズは、一辺が 1, 3, 5, 10 cm の正方形に収まる大きさのコイルを使用した。それぞれのコイルは、巻き数 4 回、線幅 0.2 cm、線の間 0.01 cm、厚さ 0.0035 cm とした。これを満たすことが困難となる小さいサイズのコイルについては、巻き数を減らして対応した。図 1 にシミュレーションで用いたコイルのモデルを示す。コイルの共振周波数は ISM バンドである 13.56 MHz となるようにキャパシタを設定した。ここで、伝送効率はシミュレーションで得られる S パラメータの S_{21} により評価した。コイル間に発生するズレの影響を測定するため、Y 方向に 8.0 cm ~ -8.0 cm、X 方向に 0.0 cm ~ 8.0 cm の範囲で送電コイルの位置を 0.2 cm 刻みで移動させた。

3.2 コイルに曲げを発生させた際の伝送効率

次に、コイルの曲げに対する影響を測定するため、受電側のコイルに曲げを発生させ、3.1 節述べた条件と同じ条件で同様のシミュレーションを行った。曲げ半径は、手首でのコイルの曲げを想定し 3 cm のコイルに対し曲げ半径 4 cm を基準とした。ここでの曲率は 43 度であり、大きさが異なるサイズでも同様の曲率となるよう、コイルの直径を d cm としたときの曲げ半径 R cm を (1) 式により設定した。

Evaluation of Coil Shapes and Sizes for Wireless Power Transmission on Clothes

[†] Mamoru Uno, Toyohashi University of Technology

[‡] Takanori Okuda, Toyohashi University of Technology

[§] Yuichi Miyaji, Toyohashi University of Technology

[¶] Ren Omura, Toyohashi University of Technology

$$R = d * 360 / 2\pi * 43 \quad (1)$$

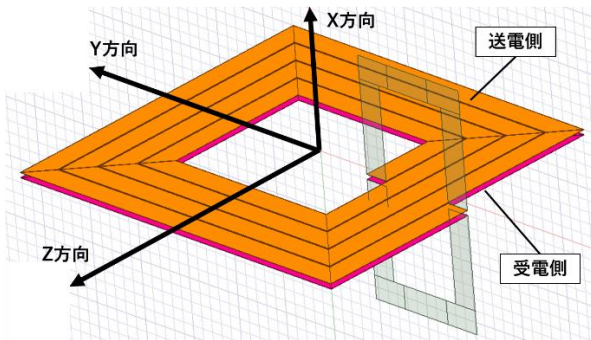


図1 シミュレーションで用いたコイルモデルの一例とズレを発生させた方向

4. 実験結果と考察

4.1 コイルの組み合わせによる評価

実験 3.1 の結果のうち、送電側を正方形の 5 cm、受電側に正方形と正三角形を用いた結果と、受電側を正方形の 3 cm とし受電側を 3, 10 cm としたときの結果を図 2、に示す。凡例の Tx は送電側、Rx は受電側の形状とサイズとする。紙面のスペース上、別の形状の組み合わせについては割愛する。

図 2 より、受電側に正方形を用いた場合では、同じサイズの組み合わせで最大効率が最もよくなった。また、受電側のサイズを大きくすることでズレに対する伝送効率の低下を抑えることができた。これは、円形、正六角形での組み合わせで、同様の傾向がみられた。正三角形を用いた場合では、受電側のサイズを大きくすることで、最大効率が高くなった。長方形での組み合わせでも同様の傾向がみられた。受電側を正方形 3 cm とした場合、送電側を大きくすると、最大効率は低下したが、ズレに対する効率の低下を抑えることができた。

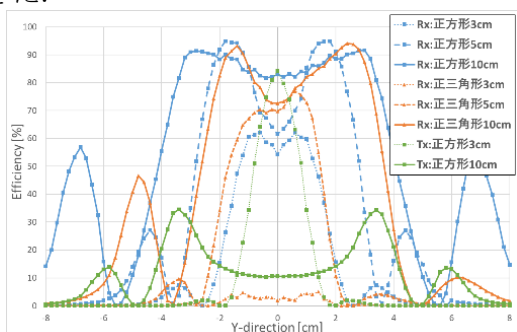


図2 Y方向ずれに対する伝送効率の変化 曲げなしの場合

4.2 コイルに曲げを発生させた場合の評価

実験 3.2 の結果のうち、4.2 節と同様の組み合わせを図 3 に示す。紙面のスペース上、別の形状の組み合わせについては割愛する。

図 3 より、受電側に正方形を用いた場合、図 2 と比較して受電側が 3 cm の時、最大効率が 13 % ほど低下していた。受電側が 5, 10 cm の時、図 2 と比較すると最大効率が 1~2 % 低下していた。また、ズレに対して効率が低下し始める地点が 0.2 ~ 0.8 cm ほど低下した。正三角形を用いた場合でも同様の傾向がみられる。

コイルが 3 cm の場合と 5 cm 以上の場合で曲げに対する影響が大きく差が出た原因について、S パラメータの S_{11} (反射)を確認したところ、今回の実験では、受電側のコイルサイズが 3 cm のコイルの時、曲げを発生させると反射が大きく増加していた。5, 10 cm のコイルでは曲げを発生させても反射が大幅に変化することもなく、ズレの位置によっては反射が抑えられている部分がみられた。このことから 5 cm 以上のコイルではコイルに曲げが発生しても伝送効率に大きな影響がなかったと考えられる。

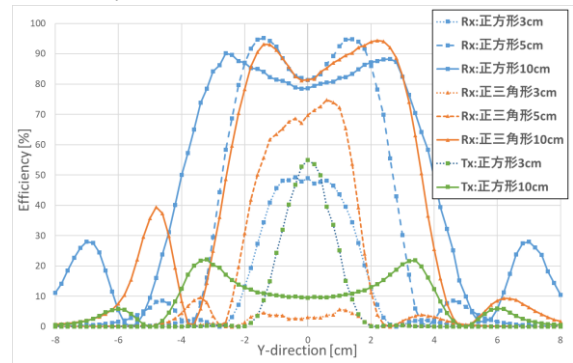


図3 Y方向ずれに対する伝送効率の変化 曲げありの場合

5. 結論

本研究では、無線電力伝送においてコイルの形状とサイズの各組み合わせにおいて、コイルに曲げを発生させたときの伝送効率への影響をシミュレーションにより調査した。

シミュレーションの結果今回使用した形状では、受電コイルのサイズを大きくすることで最大効率が増加し、ズレに対する効率の低下を抑えられることが分かった。コイルに曲げが発生した場合、受電側の形状変化によらず、3 cm のコイルでは伝送効率が大幅に低下したが、5 cm 以上のコイルでは曲げによる影響が小さいことが分かった。

参考文献

- [1] S. Jeong et al., "Smartwatch Strap Wireless Power Transfer System With Flexible PCB Coil and Shielding Material", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, No. 5, Papers 4054-4064, 2019