

## ワイヤレス給電を用いた触覚提示システムの提案

小林 剛史<sup>†</sup> 重宗 宏毅<sup>‡</sup> 澤田 秀之<sup>‡</sup>早稲田大学先進理工学研究科<sup>†</sup> 早稲田大学理工術院<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

近年、様々なアクチュエータを応用した触覚提示システムが提案されている。我々はこれまで、システムの小型化や省電力化を目的として、ワイヤ状に加工した形状記憶合金（Shape-Memory Alloy: SMA）を用いた触覚提示システムを構築してきた[1]。本研究では、触覚提示システムのユーザビリティを向上するために、ワイヤレス電力伝送を新たに取り入れる。ここでは、SMA アクチュエータの駆動に必要な電力を、非接触で給電するためのプロトタイプシステムを提案し、その性能評価並びに送受電特性について報告する。

## 2. SMAを用いた微小振動アクチュエータ

本研究では、触覚提示のアクチュエータとしてSMAワイヤを使用する。SMAワイヤにパルス電流を加えると、通電時に内部抵抗により自己発熱し、非通電時に放熱して冷却する。これによりパルス電流の周波数に同期した伸縮運動が繰り返される。我々はSMAワイヤに金属製のピンを取り付け、SMAの伸縮運動をピンの上下運動として取り出し、触覚提示アクチュエータとして利用する[1]。SMAアクチュエータの駆動電圧は2~3Vであり、アクチュエータつあたりの消費電力は数mWで駆動する。また、最大300Hzまでの微小振動を生起できる。

## 3. 非接触給電システム

SMAアクチュエータの駆動に必要な電力をワイヤレスで送電することを実現するために、送電コイルと受電コイルの相互誘導を利用した磁界共振方式のワイヤレス給電を採用する。磁界共振方式において、受電側の直列共振周波数で送電側を駆動すると、調相結合が生じて効率のよい送電となる[2]。直列共振周波数 $f_s$ は次式で表される。

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{(1-k^2)L_s C_s}} \quad (1)$$

ここで、 $k$ は結合係数を表しており、 $f_s$ が送受電

A Tactile Presentation System using SMA wires by Wireless Power Transfer

Takeshi Kobayashi<sup>†</sup> Hiroki Shigemune<sup>‡</sup> Hideyuki Sawada<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>School of Advanced Science and Engineering, Waseda University

<sup>‡</sup>Faculty of Science and Engineering, Waseda University

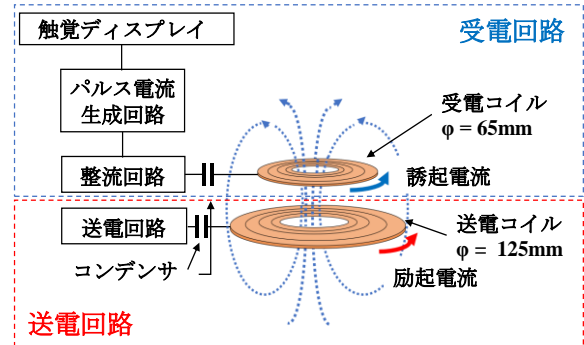


図1 ワイヤレス触覚提示システム

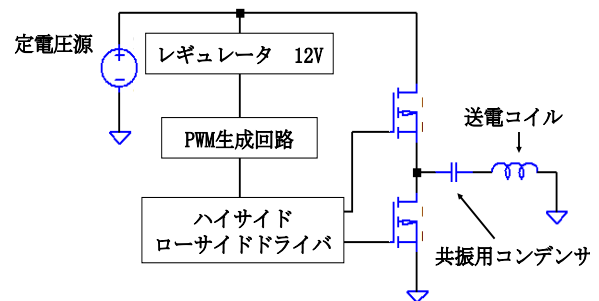


図2 送電回路

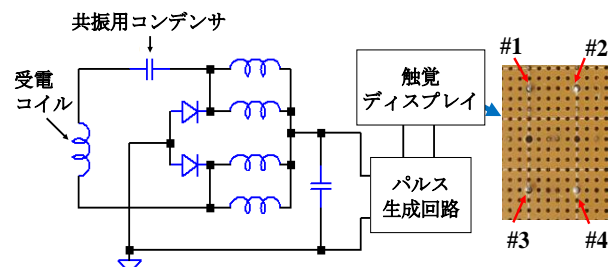


図3 受電回路

コイル間の位置のずれや、伝送距離に依存して変化する。したがって、効率よく電力を送電するためには、受電側の位置に合わせて共振周波数を同調させる必要がある[2],[3]。このためには、必要な回路素子が多くなり、ユーザビリティ向上を目的としたシステムには適さない。SMAアクチュエータは消費電力が小さいため、ある程度給電効率が低下しても駆動できる。そのため、ある程度、共振周波数の近傍値であってもアクチュエータを駆動でき、共振周波数の最適化が不要であることがわかった。そこで我々は、送電効率が最大となる直列共振周波数を、送受電コイルが離れた位置に設定することで、幅広い距離でアクチュエータを駆動できるように設計した。

本研究で提案する触覚提示システムを図1に示す。また送電、受電回路の基本構成図を図2, 3に示す。送電回路では、発信周波数とデッドタイムを変更可能なICを使用したハーフブリッジ回路によって、MOSFETのスイッチングを行う。受電回路は、受電コイルによって得た交流電圧を倍電流整流回路によって直流化するものとした。受電した直流電圧をSMAアクチュエータの駆動条件に合わせてパルス化することによって触覚アクチュエータを駆動する。

#### 4. 触覚ディスプレイ

微小振動アクチュエータを4つ取り付けた触覚ディスプレイを構築した。本触覚ディスプレイは、アクチュエータのピン先が皮膚を直接刺激することで触覚を提示する。駆動回路はタイマICと可変抵抗を使用しており、抵抗値変化によってパルス電流の周波数を変更できるように設計した。

#### 5. 実験と考察

##### 5.1 給電効率実験

作成したコイルの各パラメータを表1に示す。提案システムを用いて、送電コイルに実効値12.01Vの電圧を加えた時、どの程度の効率で送電できるかを検証した。実験では送電コイルと受電コイルの中心位置を合わせ、伝送距離が0-10cmになるように1cmずつ増加させた。この時に受電した電圧を測定し、どの程度の効率で送電できたのか検証した。また、本実験における発振周波数は250kHzとした。

コイル間給電効率の結果を図4に示す。図4からコイル間の距離が2cmでピーク効率になることがわかる。これはコイル間距離が離れた場所において最大効率になるよう回路設計したためである。また、ピーク以降では伝送効率は低下し、8cm以降はほとんど受電できないことがわかる。この要因としては、本研究ではシステムの簡素化のために、共振周波数の最適化を行っていないため、送電効率が減少したからであると考えられる。

表1 磁界共振回路の各パラメータ

項目	記号	値
送電側コイルの直径[mm]	$\varphi_p$	125
受電側コイルの直径[mm]	$\varphi_s$	65
送電側自己インダクタンス[ $\mu\text{H}$ ]	$L_p$	150
受電側自己インダクタンス[ $\mu\text{H}$ ]	$L_s$	338
送電側コイル抵抗[ $\Omega$ ]	$R_p$	2.3
受電側コイル抵抗[ $\Omega$ ]	$R_s$	1.8

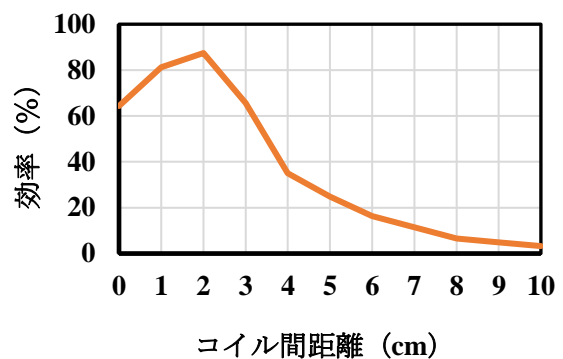


図4 コイル間の給電効率

##### 5.2 触覚知覚可能距離計測

5.1と同様の条件において、触覚ディスプレイを掌に置いた状態で、触覚を提示できる距離を計測した。計測の結果、触覚を知覚できる距離は約0-7cmであった。この時、2cm付近では、他の距離に比べて強い触覚を得ることができた。これは実験5.1の結果から電流値が大きくなり、振動も大きくなったと考えられる。本実験により、ワイヤレス給電を用いた触覚提示が可能であることがわかった。

より長い距離でアクチュエータを駆動させるためには、送電コイルの直径を大きくすることにより磁束を増やすことが考えられる。また、送電コイルと受電コイルの直径の大きさで違うことで、漏れ磁束が増大したことが考えられるので、これを減少させる対策も検討していく。

#### 6. まとめ

SMAアクチュエータの駆動に必要な電力を、非接触で給電するシステムを提案した。本来、磁界伝送方式において伝送効率を最適化するためには、送受電コイルの距離に応じて共振周波数の最適化を行う必要がある。しかし、SMAアクチュエータは駆動に要する電力が少ないことから、距離に応じた共振周波数の最適化を行わなくても、簡易的な回路でワイヤレス給電により触覚提示が可能であることがわかった。今後は、より長距離での触覚提示アクチュエータの駆動や、本システムを用いた触覚提示アプリケーションを開発する。

#### 参考文献

- [1] 水上, 他: 情報処理学会論文誌 49, 12, 3890-3898. (2008)
- [2] Kurs, et al. *science* 317.5834 ,83-86. (2007)
- [3] 牛嶋, 他: グリーンエレクトロニクスキットで体験! CとLと非接触パワー伝送の実験, No.19, pp52-67, CQ出版