

# 植込み式ペースメーカーに対する非接触充電方式の検討

嶋翔馬 植田龍矢 白井太一 田野祐樹 林直輝  
大阪ハイテクノロジー専門学校 臨床工学技士学科

## 1.はじめに

現在、植込み式ペースメーカーの新規症例数は年間4万人近くまで上り、交換症例数は年間約2万人である。新規導入患者は年々増加している。ペースメーカーは電池で駆動しており、寿命がある。電池の寿命が切れると、電池交換のための手術が必要となる。その手術は高額な上、身体に侵襲が大きく患者には負担となる。本研究の目的は、体外から電池の充電を可能にすれば電池交換のための手術がなくなり、患者の負担を減らすことができる考えた。植込み式ペースメーカーの電池に人体を介して磁場による非接触電力送信を行う。

## 2.電磁共鳴回路の実験

電池の充電方法は非接触で行うため、本研究ではファラデーの電磁誘導を応用した電磁共鳴回路(図1)を基本に用いて実験を行った。L=16.8 $\mu$ H(自作コイル:巻き数40回巻き幅2cm) C=10nF 共振周波数=380kHz 人体を模擬した厚さ1cmの0.9%濃度食塩含む寒天(以下:模擬人体)を使用。まず初めに、自作コイルで電磁共鳴回路により電磁誘導が行われるかLEDを用いて確認を行った。送信側のコイルと受信側のコイルを離れた状態ではLEDは消灯。コイル同士を近づけた状態ではLEDが点灯した。

よって電磁誘導が行われていることを確認できた。次に電磁共鳴回路における周波数特性・伝送効率の確認を行った。コイルをコンデンサの値によって理論上共振周波数は変わるが、実験の結果からコイル間の距離が大きくなれば伝送効率は低下し、距離が変わることによって共振周波数も変わることが確認できた(図2, 3)。

同じくして、コイル間に遮蔽物がある場合にも、共振周波数と伝送効率も変化することも確認できた。結果からコイル間に遮蔽物を置いて距離をとった場合でも、充電に必要な実用的な電力は得られると考えた。植込み式ペースメーカーは主に胸部の皮下組織に植え込まれるため、人体の皮下組織を介して電磁共鳴を行うことを考慮しコイル間に模擬人体を挟んだ状態で距離を1cmとして実験を行っていく(図2・3の結果で使用したL・C・Fの値は実験方法で記した数値とは別の物である)。以下の実験からL=16.8 $\mu$ H(巻き数40回巻き幅2cm) C=10nF 共振周波数=380kHzで行ったものである。

また、L=16.8 $\mu$ H(巻き数40回巻き幅2cm) C=10nF 共振周波数=380kHzの電磁共鳴回路では、コイル間に模擬人体を挟み、コイル間の距離を1cmとしたとき、入力電圧8.2Vに対し、出力電圧2.39Vで電流値を最大で38.8mAも得ることが確認出来た。この数値は「3.電磁誘導での充電」で記述する、充電で流した電流値よりも大きく上回る数値であるが、この結果からの実験は現在進行中である。

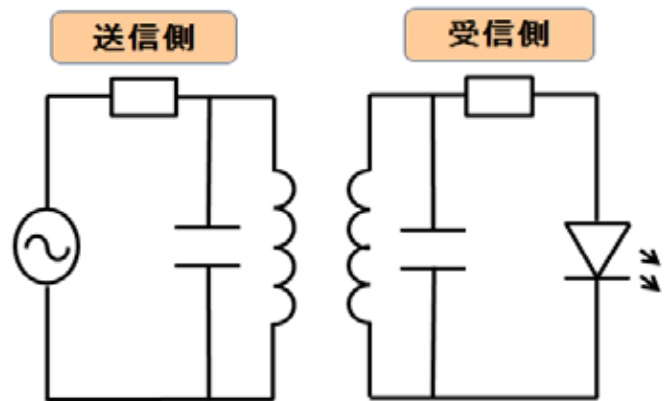


図1 電磁共鳴回路

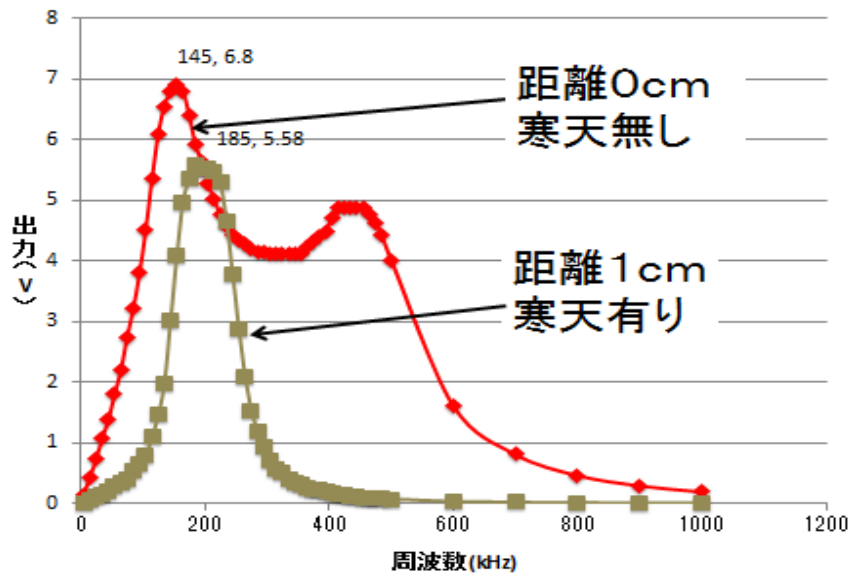


図2 周波数特性グラフ

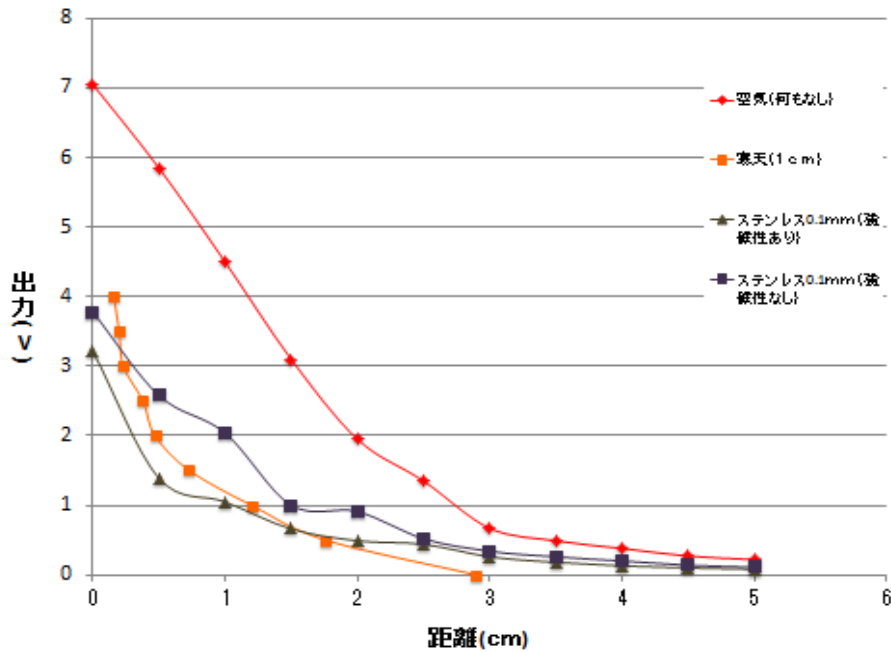


図3 伝送効率グラフ

### 3. 電磁誘導での充電

図1の回路にニッケル水素二次電池を組み込み、約30mAの電流値で一時間の充電を行った(電流値30mAという数値は、本研究の中でおおよそ確保出来る数値で、数時間の充電でペースメーカーの電池寿命を保つのに十分であると考えた数値である)。結果、35.7mAhの充電が出来た(図4)。この数値は、現在しようされているスマートフォンに例えた場合、スマートフォンの電池容量が約1500mAhなので約42時間の充電で満充電となる。現在使用されている植込み式ペースメーカーの電池容量が約1000mAhであるとして、電池の寿命が7年で考えた場合、一時間の充電で約14日間も保つことができ、約28時間の充電で満充電にすることが可能である。

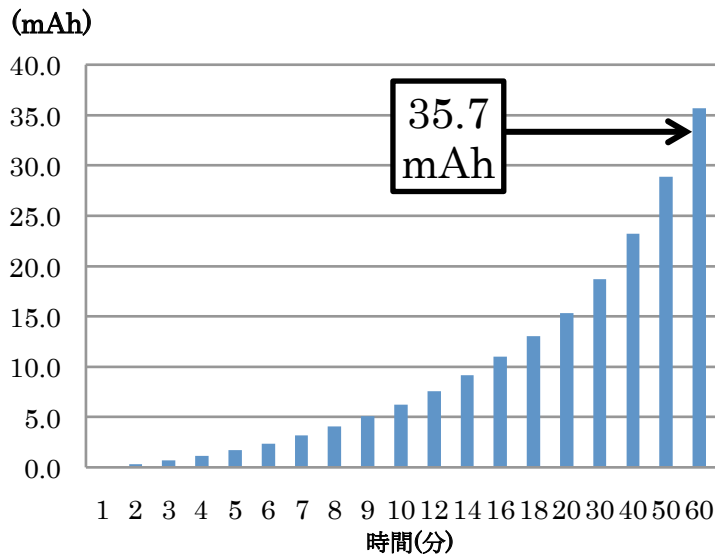


図4 充電経過グラフ

#### 4. 充電時の熱傷

電磁誘導による一時間の充電の測定と同時に、サーミスタを用いて模擬人体の温度変化の測定を行った。模擬人体の初期温度が 21.7°C からで、充電一時間後の変化が 22.3°C まで上昇。0.6°C の温度上昇が確認できた。測定は室温 23.0°C の条件下で行った。低温火傷は 44.0°C のものを 6 時間～10 時間程度接触させて発生するもので、仮に表皮の温度が 36.0°C とした時、一時間の充電で 0.6°C 上昇する場合は 44.0°C になるまで約 7 時間の充電を必要とする。「3. 電磁誘導での充電」で記述した通り一時間の充電で約 14 日間も電池が保つ場合、何時間も連続して充電する必要は無く、充電は一日一時間の間隔で十分に賄えると考えられる。

#### 5. 磁場の影響に対してノイズ除去回路の検討

ペースメーカーに対し、EAS(電子商品監視機器)や携帯電話などが影響を及ぼすのと同様、充電のために与える磁場もペースメーカーに少なからず影響があると考えられる。ペースメーカーは、充電中にも機能を十分に発揮できなければならないため、充電中にも磁場による影響が発生しないように提案としてノッチ回路の検討を行った。ノッチ回路とは、ある周波数を除去する回路である。充電に用いる磁場の周波数は一定である。この周波数が一定であるということを利用し、ノッチ回路をペースメーカーの回路内に組み込むことにより、ペースメーカー本体に対して、ノイズの影響を軽減出来るのではないかと考えた。今回の実験では遮断周波数約 180kHz のノッチ回路を作製し、ノッチ回路の周波数特性を調べた。結果、図5のように 180kHz 付近の周波数帯域で出力信号は最小値を示した。さらにこの回路に、入力信号 10V をノイズとして入力したとき、出力信号が 0.1V まで減衰したことを確認できた。このことから、ペースメーカーにノッチ回路を組み込むことにより、充電に用いる磁場の影響を軽減できると考えられる。

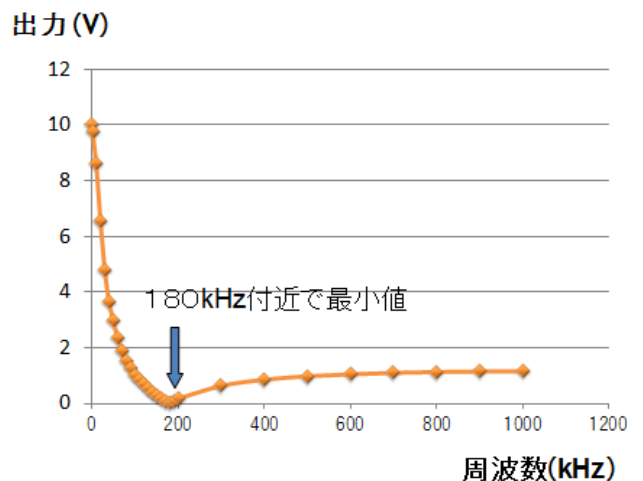


図5 ノッチ回路の周波数特性

## 6. ペースメーカーによる電磁波阻害

実際のペースメーカーを用いて「2. 電磁共鳴回路の実験」と同様の実験を行った。結果、コイル間にペースメーカーを挟んだ時は全く磁場を通さず電磁誘導は行われなかった(磁場がペースメーカー本体に吸収されている)。これは、元々ペースメーカー本体が電磁波の影響を受けないために施された構成によるものだと考えられる。次に、受信側のコイルをペースメーカーの回路に組み込んだと仮定しペースメーカー表面に接触させた状態で、送信側のコイルとの間にペースメーカーを介さずに電磁誘導の確認を行った。結果は上記同様に、電磁誘導は行われなかった。しかし、受信側のコイルをペースメーカーから1 mm 単位で距離を離していくと、ペースメーカー本体による磁場の吸収率が徐々に減少し電磁誘導の確認ができた。これを利用し、どのようにしてペースメーカーに充電回路を組み込むか検討していく。

## 7. 考察

皮下組織を模擬した寒天を介して、電磁誘導による磁場の電力送信で充電に必要な電流を得ることが確認出来たので十分に充電を行うことができると考えられる。また、植込み式ペースメーカーの一日に消費される電力も少ないため、一回の充電を一時間で14日間、二時間で約1ヶ月も電池容量を保つことが出来る。結果から一時間の充電では身体に対する熱的作用も非常に少ないので、熱による危険も無いと考えることができるが、この実験は今後も継続して行っていきたい。充電中のペースメーカーに対する磁場の影響もノッチ回路により最小限に抑えることは可能だと考えられるが、これも充電による熱的作用同様に継続して実験を行っていきたい。今後の主な課題は、ペースメーカー本体による電磁波阻害が課題となる。

## 8. まとめ

植込み式ペースメーカーの新規植込み症例数が年々増加傾向であるが、今後はペースメーカーの電池交換手術も増加すると考えられる。電池の交換による手術も負担となるため、その負担を減らすべく電池の寿命を充電で延ばすことに着目した。患者の負担を減らすため、本研究では磁場による非接触充電の研究を行った。結果から、体内に植え込まれた状態でペースメーカーの充電は可能だと考え、充電に必要な電力も得られている。人体やペースメーカーに対する影響については引き続き実験を行っていくが、目的に対して本研究は有用と考えられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ペースメーカーに関する相談に乗って頂いた、兵庫医科大学病院の先生方に感謝致します。

## 参考文献

- 【1】松尾 正之 他、『臨床工学シリーズ9 改訂医用電子工学』 第6版, コロナ社出版, 2011.
- 【2】中島 将光、『森北工学シリーズ3 マイクロ波工学』 第1版, 森北出版, 1975.
- 【3】平井平八郎 他、『電気材料』 改訂第2版, オーム社出版, 1980.
- 【4】『一般社団法人日本不整脈学会』, <http://www.jadia.or.jp/>, 検索日 2014/1/12.