170　生体内機器を駆動させるワイヤレス給電システムの開発	木村　光一

【目的】本研究の目的は、「サンドイッチング送電方式を用いた生体内インプラント機器を駆動させるワイヤレス給電システムの開発」である。これまでに我々が開発したサンドイッチング送電方式を応用し、手術に利用されている電気メスなどの標準出力をジェネレータとして、100 mW 程度の電力を受電することができる回路を開発する。受信した電力を用いて圧力センサ及び温度センサの駆動電力、及び無線データ転送用電力とする。得られた生体方法のデータは 2.4 GHz 帯無線通信規格である Bluetooth 回路（送信出力 30 mW）により人体外部へ転送する。生体外に情報が取り出せれば、既存の技術を用いて、データの復調、及びストレージを行う。

【方法】1. 体内に留置されたバイタルセンサに電源を供給する技術の確立：低周波治療機器の両極のパッドによるサンドイッチ給電から受信されるエネルギーは交流で微弱であるため、デバイスを駆動させるために昇圧・整流が必要であり直列共振回路を導入した。直流出力部に電気二重層型スーパーキャパシタを接続し、圧力センサ及び温度センサの駆動電力、および無線データ転送用の電力として 100 mW を蓄えた。高周波治療機器等の標準出力を受電し、圧力センサ及び温度センサの駆動電力、および無線データ転送用のとして、電圧 3.3 V、100 mW の受電を実現した。2. 体内におけるバイタルデータを外部へワイヤレスで送信する技術の確立：2.4 GHz 帯無線通信規格である Bluetooth 回路（送信出力 30 mW）により人体外部のデータ転送を行った。3. センサ及び給電・通信用アンテナを一体化設計する技術の確立：上記で実現した、電源、センサ、及び給電・通信用アンテナを一体化設計した。また、得られたセンサプラットホームを用いて動物実験により実証実験を行った。

【結果】トリの体内に留置した LED が体外からのサンドイッチング送電方式による出力に比例して、発光することを確認した。

直列共振回路を用いてトリの体内に留置した LED の発光出力増強



170. 生体内機器を駆動させるワイヤレス給電システムの開発

木村　光一

*福岡歯科大学 総合医学講座 内視鏡センター

Key words：生体内インプラント，サンドイッチング送電，バイオセンシング，人工臓器，センシングデバイス

緒　言

IT、ICT や IoT 技術の普及により、様々な機器がインターネットにつながるようになり、これらは医療分野にも着実に普及しつつある。その中でもバイオセンシングは高い優位性をもたらす可能性があると近年注目されている［1］。現在、グルコースや眼圧の測定が可能なコンタクトレンズの開発が進められており、それらの報告が散見される［2］。しかし、それらは生体外からの電力供給やデータ交換が困難であり、小型化に限界がある。本研究開発（特許申請済）は、バイオセンシングコンタクトレンズに対し、生体を通して必要な時だけ給電とセンシングデータ取得を行うことが可能となる。特筆すべきは、その方法として従来技術が流用しやすく構成もシンプルなことから、実用化に近い技術ということである［3］。従来の方式では皮膚の表面からおよそ数 cm の距離でのみワイヤレス給電が可能であり、生体深部への伝送は出来ない。本研究開発は、バイオセンシングコンタクトレンズに対し生体を通して必要な時だけ給電とセンシングデータ取得を行うことが可能となる。

本研究の目的は、「サンドイッチング送電方式を用いた生体内インプラント機器を駆動させるワイヤレス給電システムの開発」である。これまでに我々が開発したサンドイッチング送電方式を応用し、手術に利用されている電気メスなどの標準出力をジェネレータとして、100 mW 程度の電力を受電することができる回路を開発する。受信した電力を用いて圧力センサ及び温度センサの駆動電力、及び無線データ転送用電力とする。得られた生体方法のデータは 2.4 GHz 帯無線通信規格である Bluetooth 回路（送信出力 30 mW）により人体外部へ転送する。生体外に情報が取り出せれば、既存の技術を用いて、データの復調、及びストレージを行う。

方　法

1.　サンドイッチング送電法の有用性の検討

Sandwich 法、One side 法、Ground 法の 3 通り方法で LED クリップに流れる電流やかかる電圧をオシロスコープで測定し、消費電力を比較した（図 1～4）。

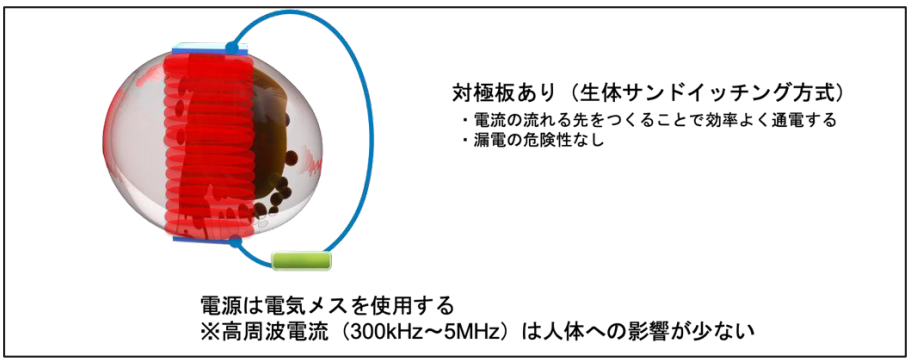


図 1.　sandwich 法の概念図

*現在の所属：公立学校共済組合 九州中央病院 外科

本研究では対極板を用いた生体サンドイッチング方式による効率化を図る。サンドイッチング方式は閉鎖回路により漏電を防ぐため、安全性向上の効果もある。

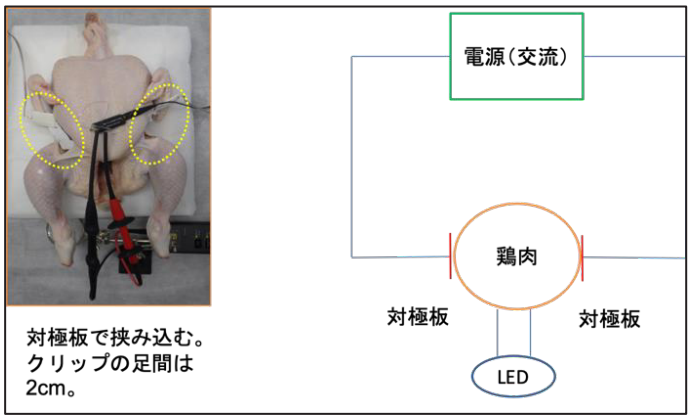


図 2.　sandwich 法の実際

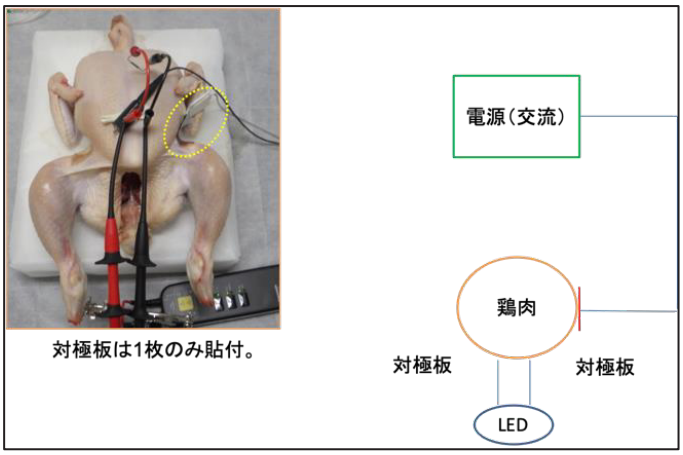


図 3.　one side 法の実際

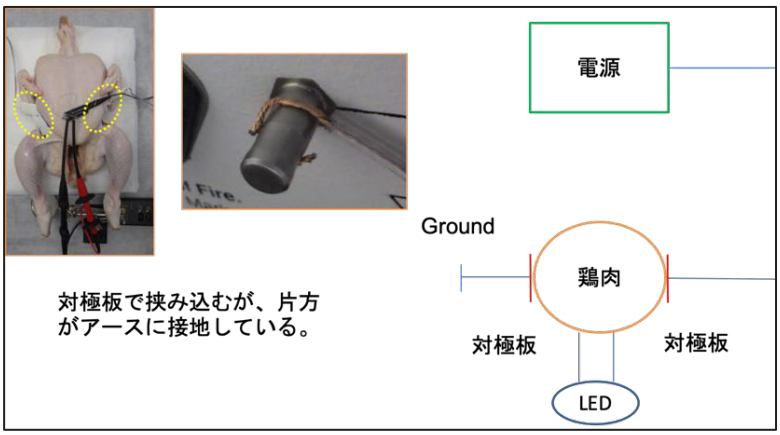


図 4.　Ground を用いた回路の実際

2. 深部への通電効果の検討

深部の通電効果を確認するために、鶏肉では内部が空洞であるため、豚足を用いて実験を行った（図 5）。

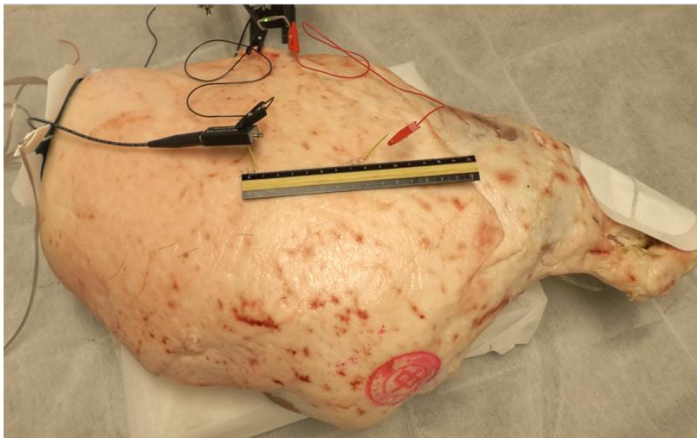


図 5. 豚足を用いた深部通電の実験

1) 動線部分が 5 mm 露出したワイヤーを使用し、刺入部から 10 mm、30 mm、70 mm にマーキングを行った。
2) メスで豚足に切り込みを入れて電極を留置した後にナイロン糸にて固定した。
3) オシロスコープを用いて電流と電圧を測定した。
4) 厚さ 15 cm の豚足の中枢、末梢に対極板を設置し電力を送電し、表面から 5 mm、10 mm、30 mm、75mm の深さまで電極を垂直に留置し比較検討した。

結果および考察

1. サッドイッチング送電法の有用性

Sandwich 法、One side 法、Ground 法の 3 通り方法で LED クリップに流れる電力をオシロスコープで測定し、電気メスの出力を変更することで消費電力がどのように変化するかについて検討を行った。その結果、新たな回路でも sandwich 法は one side 法や Ground 法より効率よく通電することができた。また、電流が体表を伝導している可能性があり、深部での通電効果を検討する必要があると考えられた（図 6）。

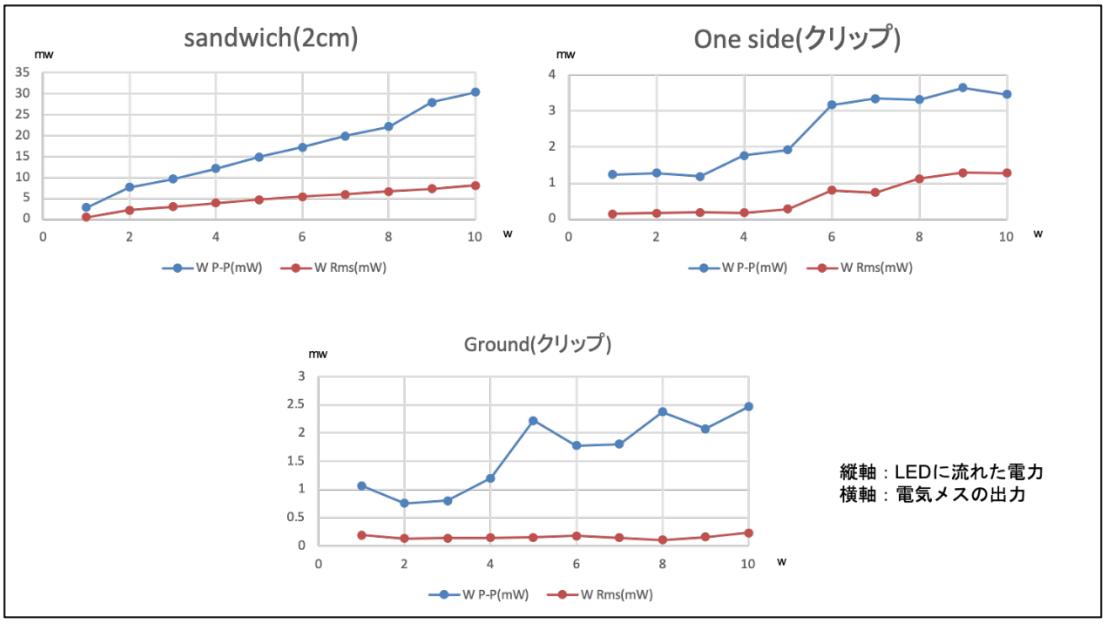


図 6. 各送電法による供給電力の比較

2. 深部への通電効果

本研究によって sandwich 法が従来の送電方法と比較してより効率よく通電するということが明らかになった。また、深部への送電の検討では深度が増すほど通電効率が上昇したことが明らかになった。今後は周波数を変更して通電効果が変化するかを検討すべきであるが、高周波であるほど表皮効果が大きくなり、深部への電気到達が難渋するのではないかと考える（図 7）。

また、今回の実験を生体へ応用し、体外からの電力供給が生体内でどのように変化するかを検討すべきと考えられた。

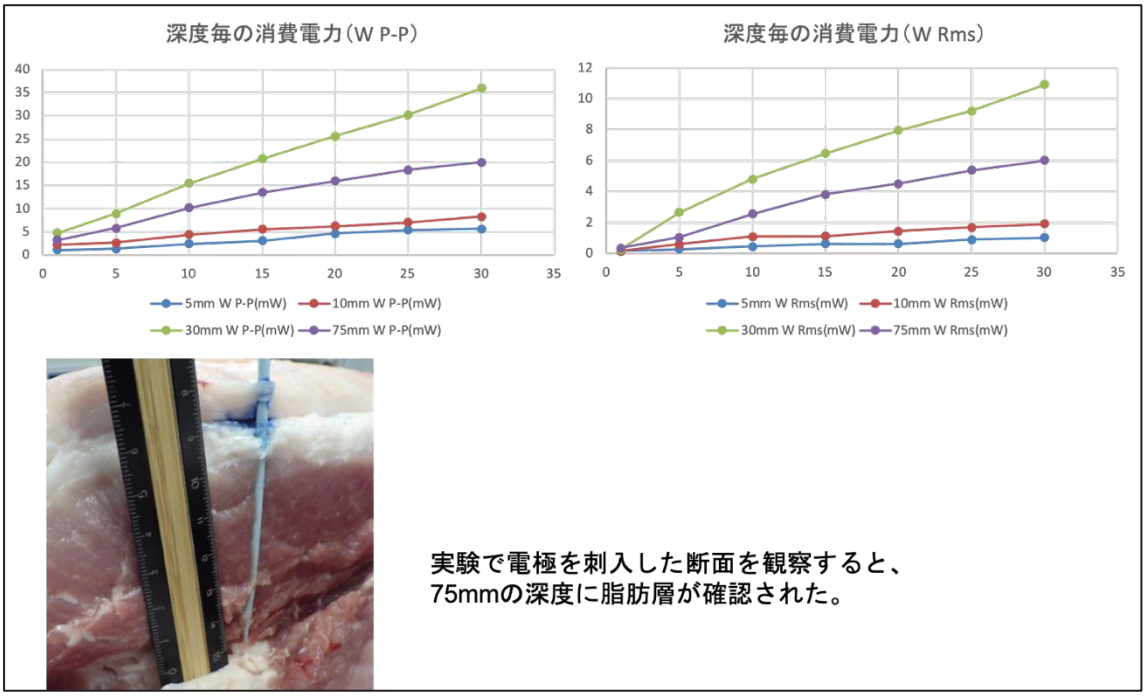


図 7. 深度毎の消費電力の変化と深部への通電効果の実際
豚足を用いて深部への通電効果を検討した結果、30 mm までは深度が増すほど通電効果が上昇していたが、75 mm の深度では脂肪層が存在していたため通電効果が低下していた。

共同研究者・謝辞

本研究の共同研究者は、福岡歯科大学内視鏡センターの池田哲夫教授、九州大学医学系学府医学研究院消化器・総合外科の春田泰宏氏であり、研究を進めるにあたり多大な助言を賜りました。厚く御礼を申し上げ、感謝する次第です。

文　献

1) Kanaya H, Tsukamaoto S, Hirabaru T, Kanemoto D, Pokharel RK, Yoshida K. IEEE Microwave and Wireless Components Letters 23 (3), 164-166. DOI: 10.1109/LMWC.2013.2246779
2) Dunbar GE, Shen BY, Aref AA. The Sensimed Triggerfish contact lens sensor: efficacy, safety, and patient perspectives. Clin Ophthalmol. 2017 May 8;11:875-882. doi: 10.2147/OPTH.S109708. eCollection 2017.
3) Abouei J, Brown JD, Plataniotis KN, Pasupathy S. Energy efficiency and reliability in wireless biomedical implant systems. IEEE Trans Inf Technol Biomed. 2011 May;15(3):456-66. doi: 10.1109/TITB.2011.2105497. Epub 2011 Jan 13.