

ワイヤレス電力伝送を用いた近赤外線免疫療法における 受電側コイルの特性改善による照射時間短縮の一提案

Proposal of Shortening Irradiation Time by Characteristics of Receiving Coil in Near-Infrared Photoimmunotherapy Using Wireless Power Transfer

○太田敦也¹ 居村岳広¹

1. 東京理科大学

○Atsuya Ota¹ and Takehiro Imura¹

1. Tokyo University of Science

1. はじめに

現在、切除術などに代わる新しい癌治療法が考案されており、中でも 2011 年に発表された、近赤外線免疫療法(NIR-PIT: Near-infrared photoimmunotherapy)が注目されている[1]。この治療法は、癌細胞にのみ結合する Pan-IR700 (IR700)という薬品を投与し、薬品と結びついた腫瘍に近赤外線光を照射することで薬品が励起し、選択的に癌細胞のみを死滅させる手法である。この治療法では一度で投薬を行い照射する場合より、投薬と照射のサイクルを繰り返して行う方が、効果的な治療を行えると考えられている。その際にワイヤレス電力伝送を用いて体内に埋め込んだ LED カプセルに給電することで、切開の回数が少ない低侵襲な治療が可能となる。本稿では、ワイヤレス電力伝送を用いた NIR-PIT における受電側コイルの特性改善について述べる。

2. 研究の目標

患者の QOL 向上のためには、治療時間の短縮は不可欠である。現状、マウスを使った実験では腫瘍の治療に 5 日間の日数を要しており[2]、実際の治療で患者に 5 日間ベッドに横になってもらい続けることは、望ましい状況とは言えない。一般的に、IR700 を用いた NIR-PIT では腫瘍に対して波長が 690 nm 前後の近赤外線光を、放射エネルギーにして 50 J/cm² 与える必要があるといわれているが、これを達成するために、LED に対してより大きな電力を供給できるコイルと周波数を検討する。

3. 結合係数の測定とシミュレーションによる回路決定

LED カプセルは体内に埋め込むことを想定しているため、できるだけ小さなサイズが望ましい。しかし、極小サイズのコイルへの給電はコイル間の結合係数が小さくなるため送電効率は低くなる。本稿で作成した線径 0.16 mm のエナメル線をピッチ 0.24 mm でフェライトに 11 回巻いた縦 1.5 mm × 横 1.5 mm × 高さ 5 mm の受電コイルでは、線径 1.8 mm の単線のエナメル線をピッチ 3.9 mm で 10 回巻いた外径 300 mm、内径 190 mm の送電コイルに対して結合係数が最大でも 0.015 となった。この受電コイルは文献[2]より小さいサイズである。上記の受電コイルを Q 値が最も高くなる共振周波数 3.57 MHz で用いたとして、結合係数 0.015 以下で最も電力を送電できる回路方式を Simulink でシミュレーションを行った結果、Fig.1 のようになった。この結果から低い結合係数下では、共振コンデンサを直列と並列に挿入する S-P 方式以外はほとんど送電できなかったため S-P 方式を選択する[3]。

4. 実験結果

上記の条件で Fig.2 のように入力電圧 15 V、周波数 3.57 MHz で伝送実験を行った結果、送受電コイル間 10 cm で、放射照度が 1.27 mW/cm² を達成した。この放射照度を維持すれば、前述の治療目安である 50 J/cm² を 10.9 時間で達成でき、大幅な治療時間の短縮が見込める。

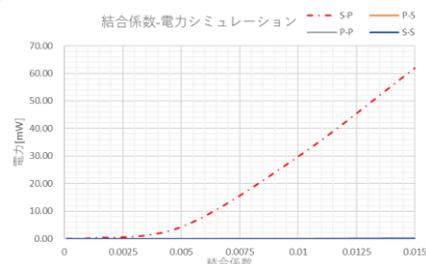


Fig.1 低結合係数での回路シミュレーション結果

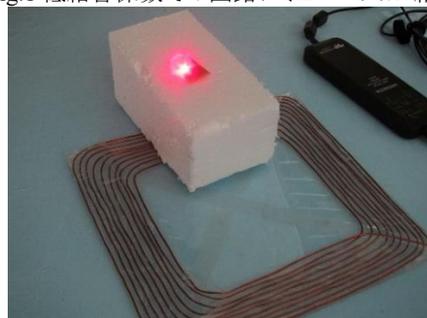


Fig.2 近赤外線光 LED のワイヤレス電力伝送実験

5. まとめ

本稿では実際に作成した受電コイルに対して、 Q 値が最大となる共振周波数を選択し回路を構成することで、低い結合係数でより大きな電力を送ることができた。これにより 5 日間から 10 時間へと、治療時間の大幅な短縮が見込める。

今後の展望としては患者が治療中も動けるように、送電側の小型化や、コイルのずれに伴う結合係数の変動に対して、ロバストなコイルの検討を行う必要がある。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 17H04915 の助成を受けたものです。また、本研究で用いた近赤外線 LED などをご提供頂いた、株式会社セイバーの木村俊広様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Makoto Mitsunaga, *et al.*, “Cancer Cell-Selective In Vivo Near Infrared Photoimmunotherapy Targeting Specific Membrane Molecules”. *Nat Med* 2012, June ; 17(12) : 1685-1691
- 2) Kohei Nakajima, *et al.*, “Implantable wireless powered light emitting diode (LED) for near-infrared photoimmunotherapy: device development and experimental assessment in vitro and in vivo”. *Oncotarget* 2018 ; Vol.9(No.28) : 20048-20057
- 3) 居村岳広, “磁界共鳴によるワイヤレス電力伝送”. 第 1 版. 東京: 森北出版, 2017