

高周波電流による体内埋込型医療機器への無線電力伝送

—受電電力と SAR, 電流密度の解析—

Wireless energy transmission for implantable medical devices using high frequency current

-Analysis of receiving power, SAR and current -

○ 柴 建次 (東京理科大学基礎工学部) 丸山 大海 (広島大学)

Kenji SHIBA, Tokyo University of Science
Hiromi MARUYAMA, Hiroshima University

Key Words: Capacitive coupling, SAR, Current density, Energy

1. はじめに

近年, カプセル内視鏡や血管内マイクロマシンなど体内に入れる様々な小型医療機器が研究・開発されている. これらの医療機器は今後さらなる小型化が進むと考えられるが, 体内で長時間稼動するためには, 何らかの方法で駆動電力を確保する必要がある. そこで, 体外から電力供給可能な方法を検討している.

その中でも我々は, 体表面と小型医療機器にそれぞれ2枚1組の送電用電極及び受電用電極を配置し, 高周波電流を流すことで電力伝送する方法(容量結合型電力伝送)を提案し検討している¹⁾. 本稿では17種類の臓器を含む人体モデルを用いて, 電力伝送した場合の受電電力を電磁界解析により求めたので報告する.

2. 解析モデル

Fig. 1 に人体モデル, 送電電極, 受電電極を示す. 本研究ではNICTの数値人体モデルを元にして, 17臓器(膀胱, 血液, 骨, 胆嚢, 心臓, 肝臓, 腎臓, 肺, 膵臓, 胃, 脾臓, 精嚢, 皮膚, 脂肪, 筋, 小腸, 大腸)からなる人体モデル(胴体部のみ)を作成した.

送電電極は, 181 cm², 受電電極は1.2 cm²をそれぞれ2枚ずつ用いた. 2枚の受電電極の間には, 空気層を設け, 受電電極に負荷抵抗 R_L に接続した. また, 受電電極は, 小腸内に配置し, 向きは送電電極と平行な向きとした. なお, 受電電極間隔は最短 5.1 cm, 最大 10.9 cm である.

3. 解析方法

本方式は, 送電電極間に高周波電流を流し, その間に置いた2枚の受電電極に起電力を発生させ, 負荷抵抗 R_L に電流を流すことで電力伝送をする. 高周波電流による生体への影響は, 100kHz 付近においては熱作用と刺激作用によるものが, 10MHz 以上では熱作用によるものが主になることが知られている. 今回, 対象とする伝送周波数を 10MHz 近傍としているため, 熱作用と刺激作用の両方を考慮した. 熱作用と刺激作用の指針値には, それぞれ単位質量当たりの吸収電力 SAR (Specific Absorption Rate) と, 電流密度を用いた. ここでは, ICNIRP²⁾ の SAR と電流密度(職業的暴露条件)を満たす条件下において, 伝送効率, 最大受電電力, 電流密度分布を求めた. なお, 算出方法としては, FDTD 法 (Semcad X, Schmid & Partner Engineering AG) を使用した.

4. 結果

13.5MHz 時の伝送結果 ($R_L=38\Omega$) を次に示す. 負荷抵抗及び周波数は, 従来研究の最大電力供給条件³⁾を用いた. 送電電力への入力電流 1.0A 時において, 全身平均 SAR, 局所 SAR, 電流密度は, それぞれ 0.34W/kg, 9W/kg, 55A/m² で ICNIRP の指針値に収まっていた. 伝送効率(受電電力/送電電力×100)は 0.01%, 受電電力は 1.1mW であった.

電流密度分布を Fig. 2 に示す. 電流密度は, 受電電極と皮膚が接する部分(x)や, 2種類の臓器が小さい面積で触れ合っている部分(y: 腎臓と大腸, z: 筋と大腸)において高い値を示した.

5. まとめ

伝送効率は低いものの, 生体に影響を及ぼさない範囲において, 1.1mW の受電が可能であることがわかった. 消費電力が小さい体内埋込用モニタリング機器等であれば, 受電した電力で動作させることも可能と考えられる. 今後, 埋め込み位置や電極面積を変えた場合についても検討していく.

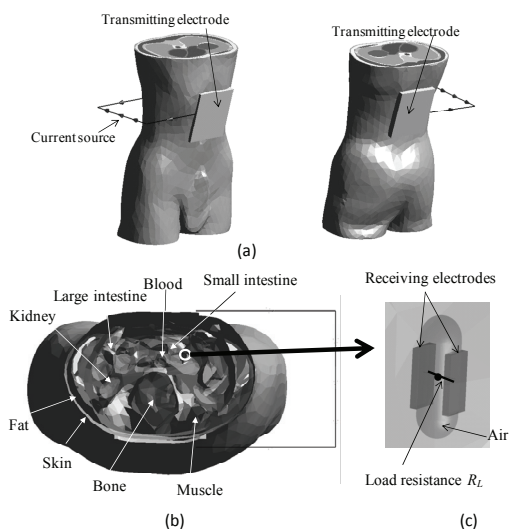


Fig. 1 (a) Simulation model, (b) cross-sectional view of the human model and (c) the receiving electrodes.

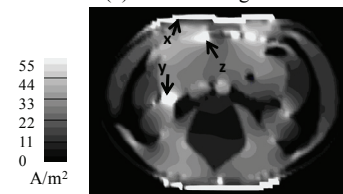


Fig. 2 Result of the current density (13.5MHz)

参考文献

- (1)丸山, 平野, 檜垣, 柴: 容量結合を利用した体内埋込型小型医療機器用非接触電力伝送 —最適な伝送周波数の検討—, 第7回生活支援工学系学会連合大会, p.151, 高知, 2009年9月
- (2)International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)," Health Phys, vol. 74, pp. 494-522, 1998.
- (3)柴, 丸山, Energy Transmission for Implantable Medical Devices Using Capacitive Coupling, 生体医工学, 48, S1, p. 143, 2010.