カプセル型内視鏡における非接触エネルギー伝送時の SAR と電流密度の解析 Analysis of specific absorption rate and current density in energy transmission for a wireless capsule endoscope

○柴 建次, 長門 智大, 辻 敏夫, 越地 耕二*

広島大学大学院工学研究科, *東京理科大学理工学部

Kenji Shiba, Tomohiro Nagato, Toshio Tsuji, Graduate School of Engineering, Hiroshima University.

*Kohji Koshiji, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science.

1. はじめに

近年, 長時間動作可能なカプセル型内視鏡を実現するため, 体外と体内に配置されたコイル間での電磁誘導によりエネルギーを伝送する方法が提案されている¹⁾. しかしながら, 伝送時にコイルから発生する電磁界による生体への影響についての詳細な検討は行われていない.

電磁界が生体に及ぼす影響としては, 主に電磁界エネルギー吸収による生体組織の発熱(熱作用)と誘導電流により神経細胞や筋を刺激する作用(刺激作用)がある. 一般に, 熱作用の指標には単位質量当たり吸収される電力(Specific Absorption Rate: SAR [W/kg])が用いられ, 刺激作用には電流密度 [A/m²]が用いられる. 国際非電離放射線防護委員会²⁾(ICNIRP)のガイドラインによると, 100k~1MHzの範囲では SAR と電流密度の両者に対して制限が設けられている.

本稿では, TLM 法³⁾(Transmission-Line Modeling Method)を用いた電磁界シミュレータにより, 送電用コイル近傍の生体組織における局所 SAR と電流密度の解析を行い, 生体に対して安全な周波数や伝送電力等の伝送条件を導出する.

2. 方法

解析には, TLM 法を用いた電磁界シミュレータ(Micro-Stripes, KCC 日本支店)を用いる. 電磁界シミュレータにより, 電界, 磁界, 及び SAR を解析し, 得られた磁界から式(1)により電流密度 J を算出する.

$$J = \pi R f \sigma \mu H \quad (1)$$

ここで, R は誘導電流ループの半径[m], σ は生体組織の導電率[S/m], μ は生体組織の透磁率[H/m], H は誘導電流ループ内の磁界の平均値[A/m]を示している.

次に, 解析に用いた人体モデルを Fig.1 に示す. モデルは人の胴を模擬した円柱体と, 胴から 5mm 離れたところに配置された送電用コイルから成る. 胴は皮膚(5mm), 脂肪(10mm), 及び筋から成り立っており, 送電用コイルは 200mm×200mm, 14 回巻とした¹⁾.

3. 結果及び考察

周波数 200kHz, 出力電力 0.9W 時の SAR 分布を Fig.2 に, 出力電力変化時の, 周波数に対する最大局所 SAR の解析結果を Fig.3(a)に示す. Fig.3(a)において, 点線は公衆の曝露の基本制限である. 結果から, 周波数が高く, 出力電力が大きくなるほど SAR は大きくなることが確認できる. また, 周波数 600kHz 以下においては, 1W 程度のエネルギーを安全に伝送

Fig.1 Analytical model

Fig.2 SAR distribution

Fig.3 Analytical results

できることが確認できる.

次に, 出力電力変化時の, 周波数に対する最大電流密度の解析結果を Fig.3(b)に示す. 点線は職業的曝露の基本制限である. SAR と同様に, 周波数が高く, 出力電力が大きくなるほど電流密度は大きくなることが確認できる. また, 基本制限と比較すると, 周波数 200k-400kHz において最も生体への影響が少なくなることが確認でき, この時, 最大で 100mW 程度まで安全にエネルギー伝送が行えることが確認できた.

4. まとめ

本稿では, カプセル型内視鏡用エネルギー伝送システムのコイル近傍の SAR と電流密度の解析を行い, 生体に対して安全な伝送条件の導出を行った. 今後, 実際に飲み込めるサイズのシステムを試作し, 動物実験を行いたいと考えている.

参考文献

- [1] 森政 瑛, 他: カプセル型内視鏡用エネルギー伝送システムー伝送能力の向上に関する検討ー, 第 21 回ライフサポート学会大会講演予稿集, p.50, 2005.
- [2] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)", Health Phys., Vol.74, No.4, pp.494-522, 1998.
- [3] Christos C.: TLM 伝達線路行列法入門, 倍風館, 1999.