人工心臓のための空心型経皮エネルギー伝送システム —生体組織に吸収される電力 (SAR) と電流密度の解析—

An Air-core Transcutaneous Energy Transmission System for an Artificial Heart — Analysis of Specific Absorption Rate (SAR) and Current Density in Biological Tissue —

○糠谷 優之*, 柴 建次*, 辻 敏夫*, 越地 耕二**

*広島大学 大学院工学研究科 複雑システム工学専攻

**東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

*Masayuki Nukaya, Kenji Shiba, Toshio Tsuji, Graduate school of Engineering, Hiroshima University

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

1. はじめに

人工心臓へのエネルギー供給方法の一つに、体内と体外に置かれた一組の空心型コイル間の電磁誘導作用を利用し、無線でエネルギーを送るものがある¹⁾。しかしながら、この方法では、エネルギー伝送時に大きな電磁界が発生するため、これらが生体組織に及ぼす影響を考慮する必要がある。

一方、電磁界が生体に及ぼす影響としては、主に電磁エネルギー吸収による生体組織の発熱(熱作用)と誘導電流による刺激作用がある。それぞれ指標として SAR (Specific Absorption Rate: W/kg) と電流密度 (A/m^2) が用いられる。そこで柴らは、体外結合型経皮トランス近傍の生体組織における SAR の解析を行った²⁾。しかしながら、空心型経皮トランスを用いた場合の評価は今までに行われていない。

そこで本稿では、SAR と電流密度を用い、空心型経皮トランス近傍の生体組織における安全性の評価・検討を行った。

2. 方法

SAR, 電流密度を求めるための解析には、TLM 法 (Transmission-Line Modeling Method)³⁾を用いた電磁界解析ソフト (Micro-Stripes, KCC 日本支店) を用いる。本ソフトにより、電界、磁界、SAR の導出を行い、その後、求めた磁界 H を式(1)に代入し、電流密度 J を導出する。

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

ここで、 R は誘導電流ループの半径 [m], f は周波数 [Hz], H は磁界 [A/m], μ は透磁率 [H/m], σ は導電率 [S/m] である。導出された SAR と電流密度を ICNIRP の基本制限 (職業的曝露と公衆の曝露) と比較・評価した。

Fig. 1 に解析モデルを示す。これは、胴体を楕円柱でモデル化したものであり、生体組織は皮膚、脂肪、筋の3層としている。空心型経皮トランスの体外コイルは、高効率伝送が可能な外直径 90 mm (35 回巻), 内直径 20 mm とし、胴から 5 mm 離れた場所に配置した。解析は、出力電力を 20 W 一定とし、周波数を 200 kHz~1000 kHz まで 200 kHz ごと、出力電圧を 12 V, 24 V に変化した場合について行った。

3. 結果

1) SAR: 各伝送周波数に対する局所 SAR の最大値を Fig. 2(a) に示す。破線が出力電圧 24 V の場合、点線が 12 V の場合、記号が解析点を示している。この結果より、周波数、出力電圧が高い方が SAR は大きい、最大でも 14 mW/kg であり、基本制限 (公衆の曝露: 2 W/kg) 以下であることがわかる。

Fig. 1: Analysis model

Fig. 2: (a) SAR and (b) Current density as a function of the frequency

2) 電流密度: 各伝送周波数に対する最大電流密度の解析結果を Fig. 2 (b) に示す。破線が出力電圧 24 V, 点線が 12 V, 実線が基本制限を示している。解析結果より、電流密度は周波数が 600 kHz 以下の場合筋肉層で、800 kHz 以上の場合皮膚層において最大となることが分かった。また、基本制限 (職業的曝露: $f/100 [A/m^2]$, $f [kHz]$) を考慮すると、周波数が高く、出力電力が低い方が安全であり、出力電圧 24 V かつ周波数 200 kHz 以外は安全であることも確認した。

4. まとめ

本稿では、人工心臓用空心型経皮エネルギー伝送システムのコイル近傍の SAR, 及び電流密度の解析を行い、生体に影響の少ない伝送周波数、出力電圧の検討を行った。

今後、安全性と伝送特性を考慮したコイルを用い、ファントムを用いた実験や動物実験などを行っていく予定である。

参考文献

- 1) J.C.Schuder, Powering an Artificial Heart: Birth of the Inductively Coupled-Radio Frequency System in 1960, Artificial Organs, 26(11), pp. 909-915, 2002.
- 2) K.Shiba *et al.*, Analysis of specific absorption rate in biological tissue surrounding transcutaneous transformer for an artificial heart, J Artif Organs, 5, pp.91-96, 2002.
- 3) C. Christos, TLM 伝達線路行列法入門, 培風館, 1999.