完全埋込型人工心臓用経皮エネルギー伝送システムの 放射電磁ノイズの測定・評価

学生員 柴 建次 (東京理科大学)
非会員 周 英明 (東京理科大学)
正会員 越地耕二 (東京理科大学)

Evaluation of radiated emission from transcutaneous energy transmission system
for a totally implantable artificial heart
Kenji Shiba, Eimei Shu and Kohji Koshiji (Science University of Tokyo)

This paper reports on evaluation of radiated emission from transcutaneous energy transmission system for a totally implantable artificial heart. The radiated emission from the coreless type (transformer A) and the externally-coupled type (transformer B) of the transcutaneous transformers are measured, respectively, and compared with German regulation of VDE-0871 for medical electric equipment. From the measurement, the radiated electric field intensities at 100kHz from the transformers A and B are 67.7dB μ V/m and 38.7dB μ V/m, respectively. As a result, it is found that the radiated emission from the transformer B is sufficiently small compared with the level regulated in VDE-0871.

キーワード：人工心臓，電磁誘導，トランス，結合度，VDE

1. まえがき

人工心臓に駆動エネルギーを供給する方法の一つに、電磁誘導によって伝送する方法 (Transcutaneous Energy Transmission; TET) がある。電線が皮膚を貫くことがないので感染症の危険が少ないことや、患者の Quality of life の観点から今日最も有用な方法として知られており、本方式の 1 日も早い実用化が、本分野の医・工学者や患者から強く求められている¹⁾。

現在までに、TET システムの試作機による動物実験が各施設で行われており、動作の安定性や体内埋込部の損失による発熱については、問題ない程度に抑制されつつあると報告²⁾されている。

しかし、実用化においては、周囲に設置された人工心臓制御用コンピュータや他の医用電気機器の誤動作³⁾を引き起こす可能性を考慮する必要がある、したがって伝導性及び放射電磁ノイズを評価し安全なレベルに抑制することは重要である。伝導性電磁ノイズは、ノイズフィルタを挿入することで比較的容易に抑制することができる。しかし、放射電磁ノイズは、生体に接する部分においてノイズ発生源を完全にシールドすることが難しく、発生後の抑制よりむしろ、発生そのものを抑制する方が効果的であると考えられる。ここでは、TET システムの中で電磁ノイズが最も大きく放射すると考えられる経皮エネルギー伝送用トランス (以下、経皮トランスと呼ぶ) に注目し、従来から研究されている空心型経皮トランスと我々が提案している体外結合型経皮トランスの放射電磁ノイズを測定し、評価した。

また、TET システムを電磁ノイズという観点から論じた文献は、過去に 1 つあるが⁴⁾、電波暗室等の施設におい

て絶対的なレベルを測定し、規格と比較することで安全性を確認できたのはこれが初めてである。

2. システム構成と経皮トランスの種類

TET のブロックダイアグラムを図 1 に示す。スイッチング回路により変換された交流電力は、経皮トランスを経て体内に伝送される。体内に伝送された交流電力は体内整流回路により直流電力に変換され、人工心臓アクチュエータに供給される。

空心型経皮トランス (トランス A) 及び体外結合型経皮トランス (トランス B) を、それぞれ図 2 及び図 3 に示す。トランス A は、笠型形状に巻かれた 1 組の空心コイルが皮膚を介して対向して置かれる。磁路途中に非磁性の皮膚 (厚さ 5mm 程度) が存在するためコイル間の結合度が小さく漏れ磁束が大きい。そこで、この方式では、効率よく大きなエネルギーを伝送するために①コイルの直径を大きくする、②直列にコンデンサを挿入して共振させる、等の工夫をしている。直径 10mm 程度の一次コイル (体外用) と二次コイル (体内用) を皮膚の厚さ分程度離れた状態において、結合度は 0.55 程度であり、DC-DC エネルギー伝送効率は 75~80% のものが得られている。

一方、トランス B は、二次コイル (体内用) の一部を皮膚で覆ったままアーチ状に体外に突き出させ、アーチ中央の穴に、一次コイル (体外用) を密着巻きしたトロイダルフェライトコアをクランプするものである。ほとんどの

図 1 TET のブロックダイアグラム
Fig.1. Block diagram of TET

図2 トランス A
Fig.2. Transformer A

図3 トランス B
Fig.3. Transformer B

磁束が閉じた磁性体の中を通過するので、漏れ磁束がほとんど無く、結合度は、0.95～0.98 に達する。DC-DC エネルギー伝送効率率は 80～87% のものが得られている。

3. 測定方法

図4 測定配置図
Fig.4. The arrangement for measurement

TET の経皮トランスをサイトアッテネーション±4dB 以内の電波暗室中央部に配置した。また、直流安定化電源、スイッチング回路、経皮トランス、体内整流回路、負荷は、それぞれ 1～2m 以上離れた位置に配置し、20W の電力伝送を行った。図 4 に測定配置図を示す。測定用アンテナには、近磁界プローブ (HP 11941A) を用い、10k～1GHz の範囲で、スイッチング回路、経皮トランス、体内整流回路から発生する磁界強度をそれぞれ測定した。近磁界プローブは、被測定物より 0.3m 離れた球面上で磁界強度が最大になる位置に固定され、スペクトラムアナライザに接続された。一般に医用電気機器の放射電磁界ノイズの規格では、スイッチング周波数の 100kHz 以下では規制されていないが、ドイツの VDE 規格は 10k～1GHz で規制されているため、ここでは、VDE-0871 を電界強度の評価用規格値として用いた。

4. 磁界強度から電界強度への変換

VDE 規格と比較するために、測定距離 0.3m の磁界強度を測定距離 3m の電界強度に換算した。3m は測定周波数の波長に比べ十分短い距離であるため、近傍界として取り扱う必要がある。ここでは、ノイズ発生源を微小ダイポ

ールとして考え、はじめに、測定された磁界強度から微小ダイポールに流れる電流を求め、これを基に 3m 離れた点の電界強度を算出した。

5. 結果

スイッチング回路及び体内整流回路から放射される電界強度は、経皮トランスから放射される電界強度と比較すると 8～45dB μ V/m 程度低く、十分規格範囲内であったため、ここでは経皮トランスによるもののみを示した。また、電界強度は、3MHz 以上において周波数の増加とともに減少し、フロアノイズと同程度となったため、ここでは 10k～3MHz の測定結果を示した。トランス A 及び B から放射される電界強度 (測定距離 3m に換算) を、それぞれ図 5 及び 6 に示す。スイッチング周波数の 100kHz における電界強度は、トランス A 及び B において、それぞれ 67.7dB μ V/m 及び 38.7 dB μ V/m であった。VDE 規格では、100kHz の上限を 71.5dB μ V/m と定めている。トランス A は規格上限に近く安全とは言い難いが、トランス B は規格の上限に対し 32.8 dB μ V/m 抑制することができた。

図5 トランス A の電界強度 (測定距離 3m)
Fig.5. Electric field intensity from Transformer A

図6 トランス B の電界強度 (測定距離 3m)
Fig.6. Electric field intensity from Transformer B

6. まとめ

トランス B はトランス A に比べ、放射電磁ノイズを大きく抑制できる構造であることが確認された。また、医用電気機器に関する放射性電磁ノイズの規格 (VDE-0871) と比較したところトランス B は十分に許容範囲内であることが確認された。

なお、本研究の一部は、文部省科学研究費補助金によって行われた。(平成 11 年 4 月 26 日受付、平成 11 年 6 月 25 日再受付)

文 献

- (1) 朝日新聞社:「移植医療のゆくえ」,サイアス,5 月号,22-24 (1999)
 - (2) 柴建次,周英明,越地耕二,藤原修,中村恭之,増澤徹,巽英介,妙中義之,高野久輝:人工臓器, Vol. 28, 49-54 (1999)
 - (3) 日経技術図書:電磁波の吸収と遮蔽, 7-30 (1989)
 - (4) 越地耕二,野村徹,小森義広,湯沢安宏,増澤俊也,周英明,宇都宮敏男,増澤徹,妙中義之,高野久輝:電気学会研究会資料, MAG-91-239, 19-26 (1991)
- 本論文の筆頭筆者は、日本学術振興会特別研究員である。