

電気光変換器を用いた植込み型医療機器 EMI 評価のための 干渉誘起電圧測定系構築

日景 隆[†] 田中 尚樹[†] 野島 俊雄[†]
井山 隆弘[‡] 東山 潤司[‡] 大西 輝夫[‡]

[†]北海道大学 大学院情報科学研究科 〒060-0814 札幌市北区北 14 条西 9 丁目

[‡]株式会社 NTT ドコモ 〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-6

E-mail: hikage@wtemc.ist.hokudai.ac.jp

あらまし 植込み型医療機器（植込み型心臓ペースメーカー／植込み型除細動器）の電磁干渉影響（EMI）特性の評価を目的とし、小型化した直接変調電気/光（EO; Electrical to Optical）変換器を模擬的なペースメーカーの筐体内部に挿入しリードを接続した干渉誘起電圧の測定系を新たに開発した。同測定系を用いて携帯電話周波数帯における干渉誘起電圧測定を行った。

キーワード 植込み型医療機器 EMI, 干渉誘起電圧, 電気/光変換

Measurement Set-up Using an Electro-Optic Converter for Interference Voltage of Active Implantable Medical Devices EMI Assessment

Takashi HIKAGE[†] Naoki TANAKA[†] Toshio NOJIMA[†]
Takahiro IYAMA[‡] Junji HIAGASHIYAMA[‡] and Teruo ONISHI[‡]

[†]Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

Kita14, Nishi9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0814 Japan

[‡]NTT DOCOMO, INC.

3-6 Hikarinooka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-8536 Japan

E-mail: hikage@wtemc.ist.hokudai.ac.jp

Abstract In order to estimate electromagnetic interference (EMI) characteristics on active implantable medical device (AIMD: implantable cardiac pacemaker / implantable cardioverter defibrillator), we developed novel measurement set-up for interference voltage of AIMD using a direct modulated Electrical to Optical (EO) converter embedded in a pacemaker mock-up that had connected actual pacemaker leads. Then interference voltage measurements at mobile radio frequency band were conducted using the measurement set-up.

Keyword Active Implantable Medical Device EMI, Interference voltage, Electro to Optic conversion

1. まえがき

電波利用機器が植込み型心臓ペースメーカーおよび植込み型除細動器（ICD）等に代表される植込み型医療機器に及ぼす電磁干渉影響（EMI）について調査・研究が進められており[1]-[3]、また、それら調査結果に基づき影響防止のための指針が運用されている。著者らはこれまでに、携帯電話や RFID 機器等が植込み型医療機器に与える電磁干渉影響について、心臓ペースメーカーおよび ICD 実機を用いた実験調査結果を報告するとともに、数値解析に基づく影響評価手法の提案

を実施している[4]-[6]。

植込み型医療機器 EMI の影響調査においては、市場投入されている機種の中から網羅性を考慮し選定された複数の心臓ペースメーカーおよび ICD（以降、ペースメーカー）について、人体を模擬した生体ファントム中に配置し、ファントムと被試験機器である電波利用機器間の干渉距離および臨床的影響度合いが評価される。ペースメーカーの EMI は、内部のセンシング回路の入力に心電位と類似した信号あるいは明らかに閾値レベルを超える振幅の信号が誘起された場合に引き起こされ

るが、ペースメーカー筐体の内部回路に生じる干渉信号（以降、干渉誘起電圧）について実機を用いて取得することは困難である。従前、ペースメーカーを含むファントムあるいは人体の数値モデルを用いて、外部からばく露される電磁界に起因して生じる干渉誘起電圧について、FDTD 法や有限要素法等に基づくシミュレーションにより評価した報告例はあるものの、測定結果についての報告は多くない[6]-[8]。

著者らの研究グループでは光ファイバおよび電気-光(EO/OE)変換器を用いた植込み型医療機器の干渉電圧測定系について検討してきている[9]-[11]。本稿では、小型化した直接変調 EO 変換器を模擬的なペースメーカーの筐体内部に挿入し、ペースメーカー実機に接続されるものと同じリードを接続した測定装置を開発する。さらに、開発した測定装置を用いて行った携帯電話周波数帯における干渉誘起電圧測定例を示す。

2. 電気光変換器を組込んだ干渉誘起電圧評価疑似ペースメーカーモデル

従来、ペースメーカー筐体の内部回路に励起される干渉誘起電圧の測定評価において、例えば同軸ケーブル等金属製のケーブルを用いた場合には、ばく露電磁界との直接結合あるいは擾乱を生じることに起因した測定精度の低下が課題となっていた。本研究で用いた光給電型 EO 変換器[12]の外観を図 1 に示す。同変換器は、小型で消費電力が少ない面発光レーザー（VCSEL; Vertical Cavity Surface Emitting Laser）を用いており、かつ光給電により駆動されるためバッテリーも内蔵されない。すなわち、信号伝送および給電のいずれも光ファイバケーブルを介して行われるため、電磁界の擾乱がほとんど生じない安定した測定が可能となる。同変換器の入力インピーダンスは 50Ω 、使用可能周波数帯は 100 kHz から 6 GHz であり、検出感度や安定性等、性能の詳細については文献[12]に詳しい。

図 2 に EO 変換器を組込んだ疑似ペースメーカーモデルのブロック図を示す。疑似ペースメーカーの筐体（CAN）はチタン製で、内部に EO 変換器を組込み、コネクタブロックと呼ばれる接続部を介してリードに接続する構造とした。リードは実際に干渉試験で用いられているメーカー製のものを接続可能である。本稿では、ペースメーカー動作モードにおける単極モードを模擬するように EO 変換器をコネクタブロック端子に接続した。単極モードとは、ペースメーカー CAN とリード先端の金属端子を電極として心電感知および及び刺激を行う動作モードである。EO 変換器はペースメーカー実機と同様にフィードスルーフィルタ通過後の信号を検出する。

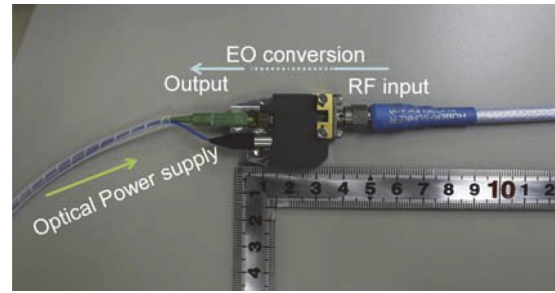


図 1 光給電型 EO 変換器外観^[12]

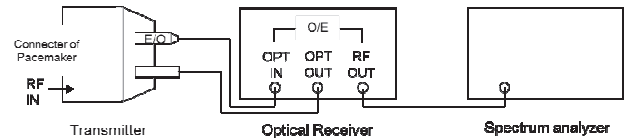


図 2 EO 変換器を組込んだ疑似ペースメーカーモデル

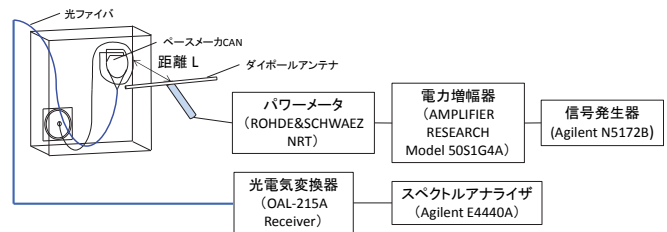


図 3 干渉誘起電圧測定系ブロック図

表 1 干渉誘起電圧測定条件

ばく露周波数	880 MHz	2.14 GHz
アンテナ	アンリツ社製 MA5612A1	アンリツ社製 MA5612B3
偏波特性	水平 垂直	水平 垂直

3. 干渉誘起電圧測定系と実測例

開発した疑似ペースメーカーを人体を模擬した生体ファントム中に配置し、干渉誘起電圧の測定系を構築した。本稿では一例として、標準ダイポールアンテナを用いて携帯電話周波数帯の電波をばく露した場合の干渉誘起電圧を評価する。測定系のブロック図を図 3 に示す。周波数を 880 MHz 帯と 2.14 GHz 帯とし、標準ダイポールアンテナとファントム間の距離 $L[\text{cm}]$ を変化させ、疑似ペースメーカーに生じる干渉誘起電圧の距離特性を評価する。偏波特性は水平および垂直の 2 種類について測定を行った(表 1)。測定に用いた疑似ペースメーカーを含む縦型トルソーファントムの構造を図 4 に示す。同ファントムはアクリル製で、内部は従前ペースメーカー EMI の評価試験に用いられるものと同様 $1.8\text{g}/\text{l}$ 濃度の塩水で満たされている。寸法は $185 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 、疑似ペースメーカーには心室リードを接続し、心房用ターミナルにはダミーリードを接続

した。心室リードで構成されるループの面積はおよそ 120 cm² となる。880 MHz 帯および 2.14 GHz 帯について、それぞれ水平および垂直偏波とした場合の干渉誘起電圧測定結果例を図 5 および図 6 に示す。これら周波数帯において干渉誘起電圧は、リードコネクタ部の構造に依存して偏波による違いが生じることが知られており、送信周波数、偏波および距離に依存した特性が正しく得られることを確認した。

4. まとめ

EO 変換器を用いた植込み型心臓ペースメーカ干渉誘起電圧測定装置の開発を行った。開発した装置を塩水で満たされたトルソーファントム内に設置し、携帯電話周波数帯電波を対象とした測定実験を実施した。試作した装置により干渉電圧測定が精度よく推定できることを確認した。今後、周波数、出力電力、方式等が異なる電波利用機器の評価に適用する予定である。

文 献

- [1] W. Irnich, L. Bats, R. Muller, and R. Tobisch, "Electromagnetic interference of pacemaker by mobile phones", PACE, vol. 19, pp. 1431-1446, Nov. 1996.
- [2] 不要電波問題対策協議会, "～医用電気機器への電波の影響を防止するために～携帯電話端末等の使用に関する調査報告書", 1997.
- [3] 総務省, "電波の医用機器等への影響に関する調査研究報告書,"2001-2006, "電波の医療機器等への影響に関する調査研究報告書,"2007-2014.
- [4] S. Futatsumori, Y. Kawamura, T. Hikage, T. Nojima, B. Koike, H. Fujimoto, T. Toyoshima, "In vitro Assessment of Electromagnetic Interference Due to Low-Band RFID reader/writers on Active Implantable Medical Devices", Journal of Arrhythmia, Vol.25, No. 3, pp. 142-152, Jan. 2010.
- [5] T. Hikage, Y. Kawamura, T. Nojima, B. Koike, H. Fujimoto, nd T. Toyoshima, "Active Implantable Medical Device EMI Assessments for Electromagnetic Emitters Operating at various RF Bands,"Proc. 2011 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission, pp.109-112, Kyoto, Japan, May. 2011.
- [6] 小野泰伴, 日景 隆, 野島俊雄, "有限要素法による磁界共振型ワイヤレス電力伝送コイル近傍の植込み型心臓ペースメーカ干渉誘起電圧推定," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 114, no. 246, WPT2014-39, pp. 19-22, Oct. 2014.
- [7] Q. Wang, T. Sanpei, J. Wang, and D. Plettmeier, "EMI modeling for cardiac pacemaker in human body communication," Proc. EMC'09/Kyoto, 22S3-2, pp.469-472, Jul. 2009.
- [8] 芳野裕樹, 多氣昌生, "人体近傍電界通信機器による植え込み医療機器への誘導電圧の検討," 信学技報, EMCJ2010-74, Nov. 2010.
- [9] Y. Tarusawa, K. Ohshita, Y. Suzuki, T. Nojima, and T. Toyoshima, "Experimental estimation of EMI from cellular base-station antennas on implantable cardiac pacemakers," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 47, no. 4, pp.938-950, Nov. 2005.
- [10] 石原 哲, 井山隆弘, 大西輝夫, "EO/OE 変換器を用い

た Body area network 時における植込み型医療機器への励起電圧測定," 電子情報通信学会総合大会, B-4-13, p.326, Mar. 2011.

- [11] 日景 隆, 小野泰伴, 野島俊雄, 井山隆弘, 東山潤司, 大西輝夫, "電気光変換器を用いた植込み型医療機器 EMI 評価のための干渉誘起電圧測定系", 電子情報通信学会総合大会, B-4-22, p.312, Mar. 2015.
- [12] 大西輝夫, 石原 哲, 東山潤司, "直接変調電気/光(EO)変換器を用いた電磁界測定," 電子情報通信学会光応用電磁界計測時限研究専門委員会, PEM2014-15, Feb. 2015.

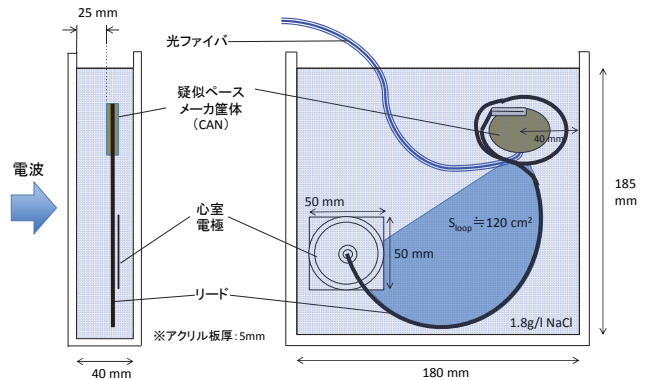


図 4 疑似ペースメーカモデルを含む測定用縦型トルソーファントムの構成

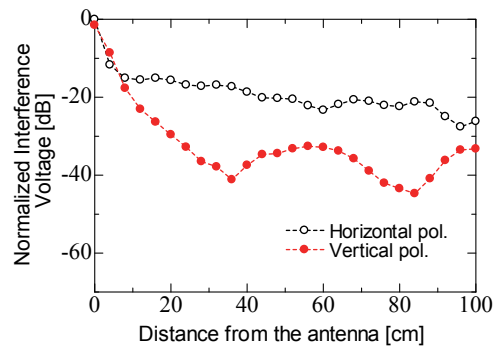


図 5 干渉誘起電圧の距離特性 (880 MHz 帯)

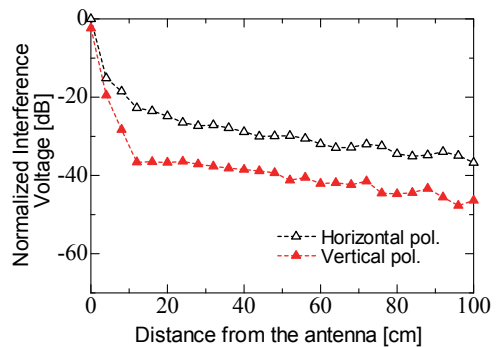


図 6 干渉誘起電圧の距離特性 (2.14 GHz 帯)