

## 携帯情報端末で心臓ペースメーカに誘導される電磁妨害の しゃへい材による低減評価

王 建青<sup>†</sup> 大島 健史<sup>†</sup> 藤原 修<sup>†</sup>

Effectiveness Evaluation of Shielding Material in Reducing Electromagnetic Interference of Cardiac Pacemaker Induced by Portable Information Terminals

Jianqing WANG<sup>†</sup>, Takeshi OHSHIMA<sup>†</sup>, and Osamu FUJIWARA<sup>†</sup>

あらまし 携帯情報端末の電波から心臓ペースメーカ装着者を常時防護するには、装着者自身をしゃへい材で電磁的にしゃへいする手法が有用であるとされるものの、しゃへい材装着による効果の程度には不明の部分が多い。本論文では、ペースメーカを受信アンテナとした電磁妨害 (EMI: ElectroMagnetic Interference) の筆者らの提案になる予測モデルを、しゃへい材装着による EMI 低減効果の定量評価に適用した。本評価法とペースメーカが存在しない胴体内での電磁界低減量による従来の評価法と比較した結果、後者はペースメーカの EMI 低減量を真に反映するものとはいえないが、ペースメーカでの EMI レベル低減効果の事前評価には有効であることがわかった。更に、皮膚、脂肪、筋肉の 3 層組織からなる楕円筒胴体モデルに対してペースメーカで生ずる EMI レベルの導電性シートまたは磁性シートによる低減効果を本手法で評価した結果、アンテナを胴体から 1 cm の距離に配置した場合にはシート装着の EMI 低減効果でアンテナを磁性材料では 7 cm、導電性材料では 20 数 cm 離れたときと同程度の EMI レベルに達することがわかった。後者の結果は、アンテナを胴体へ 1 cm まで近づけたとしても、導電性シートの装着で日本ペースメーカー協議会のガイドライン (22 cm) を実質的に満たす離隔距離の実現が可能であることを示す。

キーワード 携帯情報端末、ペースメーカ、電磁妨害、しゃへい、FDTD 解析。

### 1. ま え が き

携帯情報端末はその利便性のゆえに爆発的に普及し、2000 年末には日本での加入者総数は 6000 万台を超え、その普及率は世界一の水準に達しようとしている。一方、不整脈などの心臓疾患をもち心臓ペースメーカを装着する患者は、現時点の日本では 30 万人にも及ぶという。ペースメーカ装着者の近くで携帯情報端末を使用すると、その発する電波がペースメーカの電子回路に侵入して電磁妨害 (EMI: ElectroMagnetic Interference) を起こし、ペースメーカを誤動作させるおそれがある。このために日本ペースメーカー協議会は、日本で販売中の数百種類にもなるペースメーカに対して電磁妨害試験を実施し、その結果から 1 W 以下の携帯情報端末機はペースメーカ植込み者から

22 cm 以上の距離をとって使用するよう勧告している [1], [2]。これを受けて、日本の代表的な鉄道会社 JR は、2000 年 4 月から通勤電車内での携帯情報端末の使用を禁止するに至った。しかしながら、デパートや劇場など通勤電車以外で人の込み合う公共場所においても携帯情報端末の利用者は激増しており、ペースメーカ装着者にとっては携帯情報端末が 22 cm 以上離れて使用される保証は必ずしもない。それゆえに、携帯情報端末の電波からペースメーカ装着者を常時防護する方策が強く望まれ、装着者自身をしゃへい材で電磁的にしゃへいする手法が上述防護法の有力手段の一つとして注目されている [3] ~ [5]。

しかしながら、ペースメーカに対する電磁しゃへい効果の評価法は未だ確立されておらず、現状では、例えばペースメーカの存在しない生体内での電磁界低減量をもってしゃへい効果を評価してはいるが、ペースメーカの誤動作を引き起こす実際の電磁妨害レベルがしゃへい材で真に低減できるかどうかについては不明

<sup>†</sup> 名古屋工業大学工学部, 名古屋市  
Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology,  
Nagoya-shi, 466-8555 Japan

の部分が多い。

一方、携帯情報端末によるペースメーカーへの電磁妨害は、ペースメーカーの電極やリード線が受信アンテナとして働いたために生ずると推定されている [2]。この知見に基づき筆者らはさきに、ペースメーカーを受信アンテナとみなし、電極リード線と内部回路間のコネクタに誘起される開放電圧を電磁妨害電圧の評価指標とした EMI 予測モデルを提案した [6]。

本論文では、この EMI 予測モデルをしゃへい材の有効性評価に適用し、まず、本モデルによる EMI 低減量の予測結果とペースメーカーが存在しない生体内での電磁界低減量との相違を明らかにすることで電磁界低減量を用いる従来方法が事前評価には有効であることを示す。次に、半波長ダイポールアンテナで胴体内のペースメーカーに生ずる EMI レベルの導電性及び磁性シート材による低減効果を、筆者らの提案になる上述モデルで数値評価した結果を示す。

## 2. EMI 予測モデル

筆者らの提案になる EMI 予測モデル [6] は、携帯情報端末がペースメーカー本体と電極とのコネクタ近辺に存在する場合に EMI が最も生じやすいとのペースメーカー協議会の実験的知見に基づく。図 1 は人体胴体にペースメーカーが装着されるとき EMI に対する等価回路を示す。同図において、ペースメーカーを受信アンテナ、すなわち、コネクタからみたペースメーカーの内部インピーダンスを受信アンテナの負荷、本体と電極リード線を受信アンテナの両エレメントとみなすことができる。図の  $V_0$  はペースメーカー本体とリード線との間に誘起される開放電圧、 $Z_R$  はペースメーカーの放射インピーダンス、 $Z_I$  はコネクタからみたペースメーカーの内部インピーダンスである。 $V_I$  はコネク

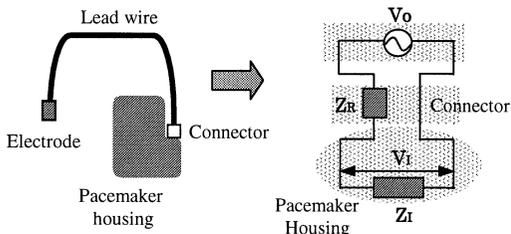


図 1 ペースメーカーを受信アンテナとみなしたときの等価回路

Fig. 1 Equivalent circuit for a cardiac pacemaker as a receiving antenna.

タを通してペースメーカーに侵入する妨害電圧であり、これがペースメーカー回路に誤動作を引き起こす。図の等価回路から妨害電圧は、

$$V_I = \frac{Z_I}{Z_R + Z_I} \times V_0 \quad (1)$$

と与えられる。ここで、 $Z_R$  は、ペースメーカーが高損失の胴体組織内に装着されているため、人体外に置かれた携帯情報端末アンテナの配置には無関係にほぼ一定値となることが筆者らの計算 [6] で明らかにされている。そのとき、上式から妨害電圧  $V_I$  はペースメーカーのコネクタ部分における開放電圧  $V_0$  に直接比例するので、 $V_0$  はペースメーカーの EMI レベルを決定づける評価指標として用いることができる。

開放電圧  $V_0$  は、ペースメーカー、胴体及び携帯端末の三者からなる電磁結合系で決まり、ペースメーカーを受信アンテナでモデル化すれば、FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法 [7] を用いて計算することが可能である。

なお、本 EMI 予測モデルの妥当性については、開放電圧  $V_0$  から予測されるアンテナ出力電力対最大妨害距離 (ペースメーカーが誤動作を生じ得る最大距離) の関係曲線が、日本ペースメーカー協議会の実測結果を大略説明できることを示した筆者らの前論文 [6] で既に検証されている。

## 3. しゃへい材シート装着による EMI 低減評価

本章では、前章の EMI 予測モデルに基づき、しゃへい材の有無によるペースメーカーコネクタ部での開放電圧  $V_0$  を比較することで EMI レベルに対するしゃへい材の低減効果を評価する。

### 3.1 数値モデルと計算法

図 2 はしゃへい材シートで防護したペースメーカー装着胴体の数値モデルを示す。胴体としては、長軸半径 15 cm、短軸半径 8 cm、高さ 40 cm の楕円筒で、胴体表面から厚さ 0.25 cm の皮膚 (比誘電率  $\epsilon_r = 41.41$ 、導電率  $\sigma = 0.87$ )、厚さ 0.5 cm の脂肪 ( $\epsilon_r = 11.33$ 、 $\sigma = 0.11$ ) 及び筋肉 ( $\epsilon_r = 55.96$ 、 $\sigma = 0.97$ ) の 3 種類の組織層から構成した。ペースメーカーは、サイズが 4 cm × 3 cm × 0.75 cm の本体部分と、胴体表面から 1.5 cm の位置に配置した直径 0.25 cm のリード線 (長さ: 22.5 cm) とから構成し、これらはすべて完全導体でモデル化した。携帯端末は、半波長ダイポールアンテナ (周波数: 900 MHz, アンテナ出力: 1 W) で模擬

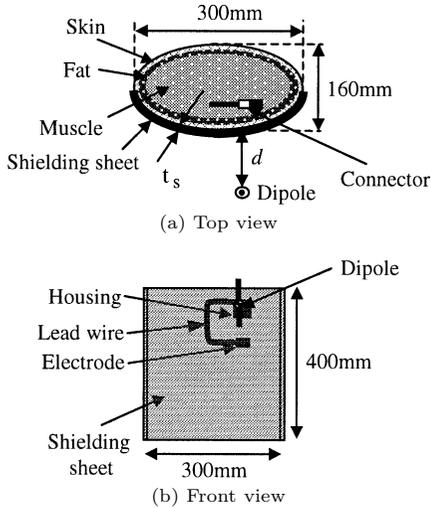


図2 シャへいシートで防護したペースメーカ装着胴体の計算モデル  
Fig. 2 Configuration of a shielded human torso model with an implanted cardiac pacemaker.

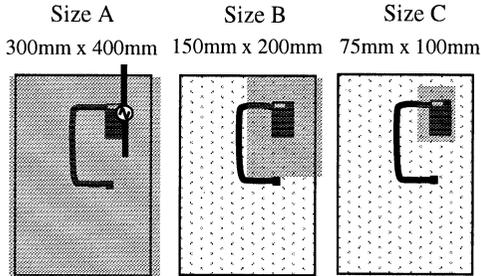


図3 シャへいシートのサイズと胴体への装着位置  
Fig. 3 Size and attachment location of shielding sheet.

し、胴体表面と  $d$  の離隔距離をとり、 $x-z$  平面においては給電点がコネクタ部と一致するように配置した。ペースメーカに誘起される EMI レベルを抑圧するためのしゃへい材としては、導電性タイプと磁性タイプの柔軟性をもつ薄いシート型市販品を対象とした。図3は導電性シートまたは磁性シートのサイズと胴体への装着位置を示す。対象としたしゃへい材は、胴体表面の全体を覆うサイズ(サイズAと呼ぶことにする)、胴体表面のサイズに対して縦横を1/2倍したサイズ(サイズB)、胴体表面のサイズに対して縦横を1/4倍したサイズ(サイズC)の3種類であり、サイズB~Cについてはペースメーカのコネクタ部分を中心に覆うように配置した。なお、導電性シートの表面抵抗は  $R_s = 0.1\Omega/\square$  であり、磁性シートの複素比

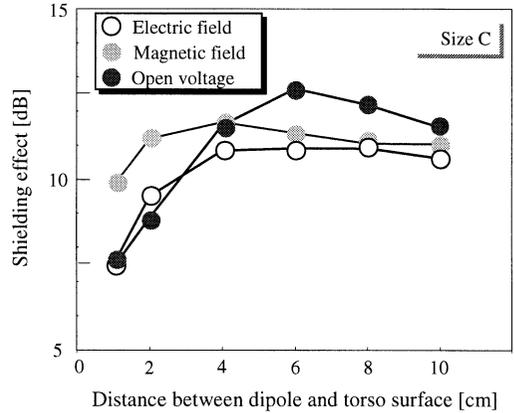


図4 半波長ダイポールでペースメーカ想定装着位置に生ずる電界、磁界、及びペースメーカコネクタ部に生ずる開放電圧の導電性シート装着によるしゃへい効果  
Fig. 4 Shielding effectiveness of resistive film for the electric field, magnetic field at the assumed pacemaker location, as well as the EMI level induced at the pacemaker connector location for a half-wavelength dipole antenna.

誘電率と複素比透磁率はそれぞれ  $\epsilon_r = 15.0 - j23.0$ 、 $\mu_r = 12.0 - j10.0$  である。

これらのモデルを FDTD 法で解析するために、胴体と携帯端末を含めた全空間を1辺2.5mmの立方体セルに分割した。また、ペースメーカ本体と電極リード線間のコネクタ部は1MΩの抵抗で1セル内でモデル化した。導電性シートのモデル化に際しては、文献[8]の抵抗皮膜のモデリング法にならって、セルの1表面にのみ導電率  $\sigma = 1/R_s\delta$  ( $\delta = 2.5\text{mm}$ ) を与えることで表現し、磁性シートについては、1セル分の厚さで表し、磁性シートと空気、磁性シートと胴体との境界面においては両媒質の電気定数の平均値を用いた。解析空間の境界面には、吸収境界条件として12層のPML (Perfectly-Matched-Layers) を適用した。

### 3.2 シャへい効果の比較

本節では、ペースメーカのしゃへい材シート装着によるしゃへい効果に対して、開放電圧  $V_0$  からシート装着による EMI レベルの低減量を直接評価する本手法と、ペースメーカの存在しない胴体内での電磁界の低減量を用いた従来の評価法との相違を検討する。図4は、半波長ダイポールで心臓ペースメーカに生ずる EMI レベルの導電性シート(サイズC)による低減効果を示す。ここで、横軸は半波長ダイポールと胴体表面との離隔距離  $d$  としている。また、同図にはペースメーカが存在しないときの胴体内コネクタ部に相当す

る位置での電界及び磁界の低減量も示している．図から， $V_0$  で評価されたペースメカカの EMI レベルの低減量は，電界または磁界の低減量とは異なる距離依存性を示すことがわかる．開放電圧による EMI レベルの低減量は，アンテナと胴体表面との距離  $d$  が 4 cm 以下では電界のそれにほぼ等しく，磁界の低減量よりは数 dB 程度低いこと， $d$  が 6 cm 以上では両者の低減量よりも 1~2 dB 逆に高くなること，などがわかる．なお，筆者らの計算によれば，EMI 低減量と電磁界低減量の距離特性の相違は，しゃへい材のサイズに依存し，しゃへい材寸法がペースメカカに比べて小さいほど顕著に現れることが判明している．

以上によって，ペースメカカが存在しない胴体内電磁界の導電性シート装着による低減量はペースメカカの EMI 低減量を正確には反映しないが，両者の相違はたかだか数 dB であることから，胴体内電磁界の低減量を用いたしゃへい材の評価法は，ペースメカカでの EMI 低減効果の事前評価としては有効であると考える．

### 3.3 EMI 低減効果の比較

本節では，各種寸法の導電性及び磁性シートの有無によるペースメカカコネクタ部での開放電圧  $V_0$  を比較することで，それらの EMI 低減効果を比較評価する．なお，ペースメカカ装着胴体をしゃへいすることによって EMI レベルは低減するので，結果として，しゃへい材の装着はアンテナを無装着の胴体から離隔することと等価になる．それゆえに，ここではしゃへい材装着と同じ EMI レベルに達するアンテナの無装着胴体からの離隔距離  $d_e$  でしゃへい材の EMI 低減効果を評価する．

図 5 は，半波長ダイポールでペースメカカに生ずる EMI レベルの導電性シート及び磁性シートによる低減効果を示す．ここで，横軸は半波長ダイポールと胴体表面との離隔距離  $d$ ，縦軸は導電性シートまたは磁性シートを取り付けた場合に誘起された  $V_0$  と同じ開放電圧となるしゃへい材のない場合の横軸（等価離隔距離  $d_e$ ）を示す．なお，図中の破線は横軸と縦軸とが等しい直線であり，この直線上では EMI 低減効果はない．図から，磁性シートでは，アンテナ距離が 1 cm の場合にはサイズ A の装着で約 7 cm の離隔距離が等価的に実現できること，また，この効果はサイズを半減（サイズ B）にしてもほとんど変化は見られないが，それ以下の縮小サイズでは EMI 低減効果が低下していること，などがわかる．一方，導電性シートについ

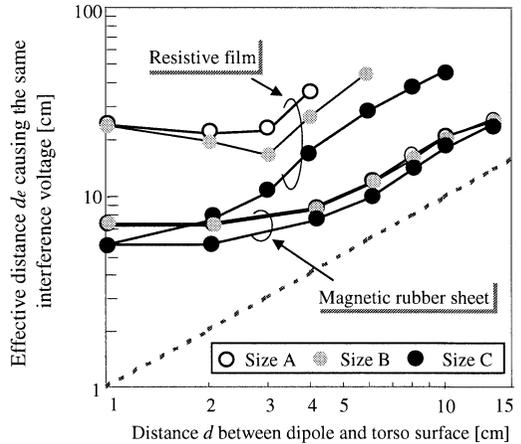


図 5 ペースメカカに生ずる EMI レベルのしゃへいシートによる低減効果  
Fig. 5 Relationship between the distance  $d$  and the effective distance  $d_e$  for shielding sheets which cause the same EMI level as that at  $d$  without shielding.

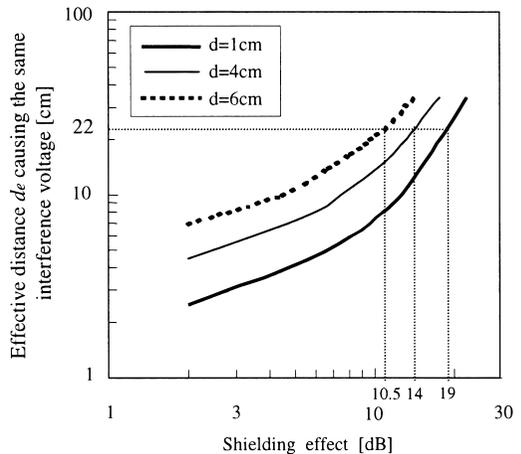


図 6 しゃへい効果と離隔距離  $d_e$  との関係  
Fig. 6 Relationship between the shielding effect and the effective distance  $d_e$  for a 900 MHz half-wavelength dipole antenna.

ては，サイズ A の装着で優れた低減効果を発揮し，例えばアンテナを胴体表面の 1 cm まで近づけたとしても導電性シートの装着で 20 数 cm の離隔距離が確保できることがわかる．また，この EMI 低減効果はサイズを半減（サイズ B）にしてはほとんど低下しないが，サイズを 1/4 倍（サイズ C）にすると著しく低下していることがわかる．

図 6 はしゃへい効果と離隔距離との関係を示す．横軸は，ペースメカカコネクタ部での開放電圧  $V_0$  に対

するしゃへい効果であり、縦軸は同じ  $V_0$  に達するアンテナの離隔距離である。図は、所定の離隔距離  $d_e$  を確保するために必要なしゃへい材のしゃへい効果を表している。図から、例えば、900 MHz 半波長ダイポールアンテナと胴体との離隔距離  $d$  が 6 cm 以下のとき、日本ペースメーカー協議会のガイドライン (22 cm) を満たすのに必要なしゃへい材のしゃへい効果は 10 ~ 20 dB であることがわかる。

#### 4. む す び

携帯情報端末でペースメーカーに生ずる EMI レベルの筆者らの提案になる予測モデルを、しゃへい材装着による EMI 低減効果の評価に適用した。本評価法と従来のペースメーカーが存在しない胴体内での電磁界低減量を用いた評価法と比較した結果、後者はペースメーカーの EMI 低減量を真に反映するものとはいえないが、ペースメーカーでの EMI レベル低減効果の事前評価として有効であることがわかった。更に、本方法で皮膚、脂肪、筋肉の 3 層組織からなる楕円筒胴体モデルに対してペースメーカーに生ずる EMI レベルの導電性シート及び磁性シートによる低減効果の評価した結果、アンテナを胴体から 1 cm の距離に配置した場合には磁性シート装着でアンテナを 7 cm 程度に離れたときと同じ EMI レベルに減少するが、導電性シートの装着は 20 数 cm 離れたときと同じ効果を発揮することがわかった。このことは、例えばアンテナを胴体へ 1 cm まで近づけたとしても導電性シートの装着で日本ペースメーカー協議会のガイドライン (22 cm) を満たす離隔距離の確保が可能となることを意味する。

なお、本論文では、ペースメーカーの存在しない条件で測定した電磁界の低減量が EMI 低減効果の事前評価として有効であるとの結論を得たが、この知見は、携帯情報端末の近傍電磁界に対するペースメーカーのしゃへい材料評価を対象とした計算機シミュレーションだけで見出したものであり、その適用限界については実験的検証が必要である。

#### 文 献

- [1] ペースメーカー協議会、ペースメーカー利用者の携帯電話使用上の注意 (報道関係者配布資料), March 1996.
- [2] 豊島 健, 津村雅彦, 野島俊雄, 垂澤芳明, “携帯電話等のペースメーカーに及ぼす影響”, 心臓ペースメーカー, vol.12, no.5, pp.488-497, 1996.
- [3] 垂澤芳明, 鈴木恭宜, 野島俊雄, “マイクロ波近傍 EMI に対する電磁シールド繊維織物の減衰特性”, 1996 信学ソ大, B-296, Sept. 1996.
- [4] 西沢振一郎, 橋本 修, “損失誘電材および損失磁性材

を用いた楕円筒人体モデルの近傍シールド”, 信学技報, EMCJ99-14, June 1999.

- [5] 黒川 悟, 佐藤 亨, 堀 克弘, 石原 謙, “被覆形状による生体内携帯電話電磁界強度の低減に関する研究”, 1999 信学ソ大, B-4-27, Sept. 1999.
- [6] J. Wang, O. Fujiwara, and T. Nojima, “A model for predicting electromagnetic interference of implanted cardiac pacemakers by mobile telephones,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.48, no.11, pp.2121-2125, Nov. 2000.
- [7] A. Taflov, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, Norwood, MA, Artech House, 1995.
- [8] 江原英利, 橋本 修, “FDTD 法における抵抗皮膜近似式を用いた抵抗皮膜表現に関する検討”, 信学論 (B), vol.J83-B, no.5, pp.748-751, May 2000.

(平成 13 年 3 月 19 日受付)



王 建青 (正員)

昭 59 北京理工大・電子卒。平 3 東北大大学院博士課程了。東北大・工・助手, (株) ソフィアシステムズを経て, 平 9 名工大・工・助手, 現在, 同電気情報講師。環境電磁工学, 無線通信工学に関する研究に従事。工博。



大島 健史

平 12 名工大電気情報卒。現在, 同大学院博士前期課程在学中。環境電磁工学に関する研究に従事。



藤原 修 (正員)

昭 46 名工大・工・電子卒。昭 48 名大学院修士課程了。同年 (株) 日立製作所中央研究所入所。昭 51 同所退職。昭 55 名大学院博士後期課程了。名大工学部助手, 講師を経て, 昭 60 名工大工学部助教授, 現在, 同電気情報教授。平 3~4 スイス連邦工科大客員教授。放電雑音, 生体電磁環境, 環境電磁工学に関する研究に従事。工博。電気学会, IEEE 各会員。