

# Specific Absorption Rate Estimation of Human Implanted with Medical Metal Plates in Head Exposed to 2 GHz-band Radio Waves

Takashi Hikage, Takuma Suzuki, and Toshio Nojima

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University  
Kita-14, Nishi-9, Kita-ku, Sapporo, 060-0814 Japan  
E-mail: hikage@wtemc.ist.hokudai.ac.jp

## **Abstract**

With regard to the electromagnetic field (EMF) emitted from wireless communication devices, radio radiation protection guidelines for human exposure to EMF have been formulated. These guidelines have been established internationally by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) and the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). In Japan, a telecommunications technology council report has been published. These guidelines provide no quantitative discussions about their relevance to humans with metallic objects embedded in their bodies. However, given the progress in biomedical technologies, the number of such users continues to increase, such as active implantable pacemakers and medical metallic plates, upper limb prostheses, and prosthetic legs. It is important to estimate the amount of exposure that users with metallic implants will experience.

This study describes the local SAR calculations for a numerical Japanese male with metallic plates embedded in the mandibular zone; finite-difference time-domain (FDTD) analysis is applied. In this report, the dependency of local SAR values on plate size is evaluated at 2 GHz-band.

# 無線電力伝送周波数帯における 金属プレート埋め込み人体の SAR 評価

日景 隆, 鈴木 琢馬, 野島俊雄

北海道大学大学院情報科学研究科

〒060-0814 北海道 札幌市 北区北 14 条西 9 丁目

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

## はじめに

宇宙太陽発電衛星(Space Solar Satellite (SPS))[1,2]は、次世代を担う核心的なエネルギー技術として、今後の発展が予想される。ただし、それらが実現されるためには電磁環境適合性(EMC)評価に加え、人体防護等の安全性評価が必要不可欠である。

無線通信装置から放射される電磁界による人体への生体影響に関して、その電磁界が人体に影響を及ぼさないように人体防護規格により制限されている。この防護規格は、ICNIRP指針[3]やIEEE規格[4]、我が国においては総務省の電波防護指針[5]がある。本研究では、無線電力伝送周波数帯において骨折治療に用いる金属プレートを埋め込んだ人体について、比吸収率(SAR: Specific Absorption Rate [W/kg])の評価を行う。電波防護指針では、体内に金属を埋め込んだ場合に関して、具体的かつ定量的な指針は示されていない。植込み型心臓ペースメーカーや医療用金属プレートなどの金属材料を用いた植込み型医療機器の装着者が該当し、指針適用性の検討が重要となっている。

体内に金属を埋め込んだ人体に対するばく露量評価の研究例は、MRI画像に基づく高精度数値人体モデルを用いた計算推定[6, 7]や実験[8]がこれまでも報告されているが、安全性への要求を満たす十分な知見が得られているとはいえ、更なる調査研究が必要である。これらの調査研究では、体温上昇もしくは生体の電磁界ばく露により生じる任意質量に吸収される6分間平均電力量であるSARが指標とされる。本稿では、FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法に基づく計算解析により、頭部下顎に金属プレートを埋め込んだ日本人数値人体モデル[9]を対象とした、2 GHz帯平面波ばく露におけるSAR推定を行う。

## 下顎骨骨折治療に基づく金属埋め込み人体モデル

本稿では、骨折治療時に用いられる医療用金属プレートを選択する。治療症例として、下顎骨骨折治療[10, 11]を想定し、埋込部位や金属プレート形状を決定する。下顎骨骨折治療に基づく金属埋め込み人体は、独立行政法人 情報通信研究機構 (NICT) 開発の日本人男性モデル[9]を元に作製される。本モデルは、MRIデータに基づき作製された、空間分解能2 mm, 組織・臓器数51組織を有する身長173.2 cm, 体重65 kgの成人男性モデルである。金属プレートの埋め込み部位は、下顎の正中(前歯部)および隅角の2箇所とし[10]、正中には2枚の金属プレート、隅角には1枚の金属プレートを埋め込む。金属プレートは、人体モデルボクセルデータの骨のインデックス値を基準に、骨に添うよう配置する。

金属プレートサイズや形状の異なる、マイクロプレートやミニプレート、バイコチカルプレートなどのプレートが触知性や保持力の点から適宜選択され、種類によりプレートの厚さ等が異なる。次章において、多層平板モデルに対するSAR推定を実施し、プレート埋め込みにより高いSAR値を示す条件を抽出する。一般に、プレートは、プレート固定用のねじと1セットで用いられるが、ここでは簡単化のため、ねじのモデル化は行っていない。

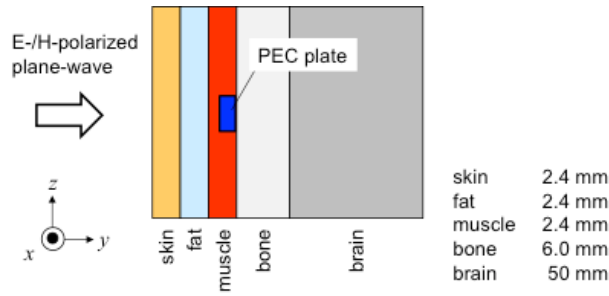


図1 人体頭部を模擬した多層平板モデルの構成

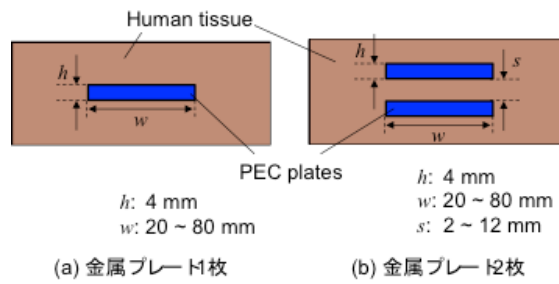


図2 多層平板モデルに設置した金属プレートの枚数と設置条件

表1 被試験 RFID 機器

Problem space	$(x, y, z) = 300 \times 265 \times 300 \text{ mm}^3$
Resolution	1~2 mm (target 1.2 mm)
Frequency	2000 MHz
Absorbing B.C.	U-PML (9 layers)
Material	Tissues: Gabriel parameter Metallic plates: PEC

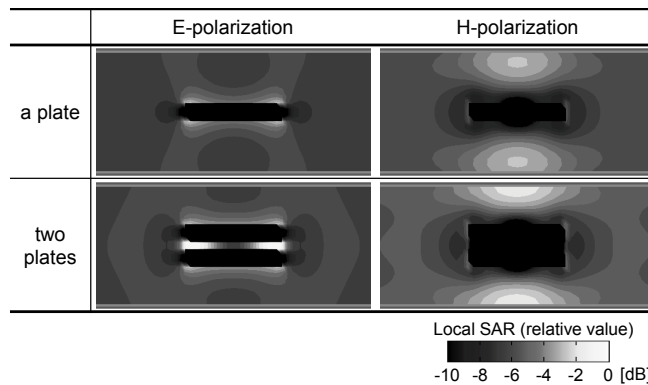


図3 金属プレート周辺の局所 SAR 分布

## 多層平板モデルによる SAR 推定

植え込み金属プレートによりSARが上昇する場合についての基本的な特性を評価するため、図1に示す簡易な多層平板モデルを用いて、プレートの埋め込み条件とSAR値の関係を評価する。多層平板モデルは、皮膚、脂肪、筋肉、骨および脳により構成されており、各組織の厚さは図中に示す通りである。この多層平板モデルの筋肉層下に厚さ2 mmの金属プレートを埋め込む。金属プレートは、図2に示す1枚単体および2枚を平行に並べた場合の2通りとし、プレート長 $w$ およびプレート間間隔 $s$ を変化させる。プレートの幅 $h$ は4 mmで固定とする。

電波ばく露条件におけるFDTD解析諸元を表1に示す。200 mm×200 mm×63.2 mmの多層平板モデルを解析領域の中央に配置し、周囲50 mmの空間に理想的な平面波励振領域を設置した非接地条件を仮定する。平面波励振源は、平板モデル正面から垂直に入射する1 V/m、周波数2 GHzの垂直偏波もしくは水平偏波の平面波とする。ターゲットセルサイズ1.2 mmの不等間隔セルで分割し、9層のU-PML (Uniaxial Perfectly Matched Layer) 吸収境界条件にて終端する。人体組織の電気定数は、Gabrielらによって報告されている値を用いた[12]。

図3にプレート長 $w=35$  mmおよびプレート間間隔 $s=2$  mmとした場合の局所SARの2次元分布を示す。ここでの局所SARは、FDTDセル単位で計算された値であり、垂直偏波の2枚プレート設置時における最大値を0dBとして規格化した。同図より、垂直偏波ばく露において、2枚のプレートを平行に設置することにより、プレート1枚を設置した場合に比べ、高いSAR分布となること、特にプレート間において高SAR値を示すことが確認できる。

次に、プレート長 $w$ を変化させた場合の局所ピークSARを図4に示す。図4(a)において、プレート設置枚数を1枚とした場合、垂直偏波および水平偏波のばく露条件に依らず、プレート長変化によるSAR値の変動幅は小さく、平均値の±10%程度となった。また、局所SARのピークはプレート長35 mmから45 mmにかけて生じた。プレート2枚における局所SAR評価結果を図4(b)に示す。垂直偏波ばく露時のプレート長30 mm以上において、局所SAR値の顕著な増加傾向を示した。プレート長30 mmにおいて、局所ピークSARの最大値をとり、プレート長の変化によって3dB程度のばらつきを持つことを確認した。水平偏波ばく露において、プレート枚数変化による優位な差は確認できなかった。また、プレートを設置しない場合に比べ、局所SARの最大値は二倍以上上昇することを確認した。これらの結果から、次章の人体モデルで検討する金属プレートの枚数、プレート長の範囲を決定した。

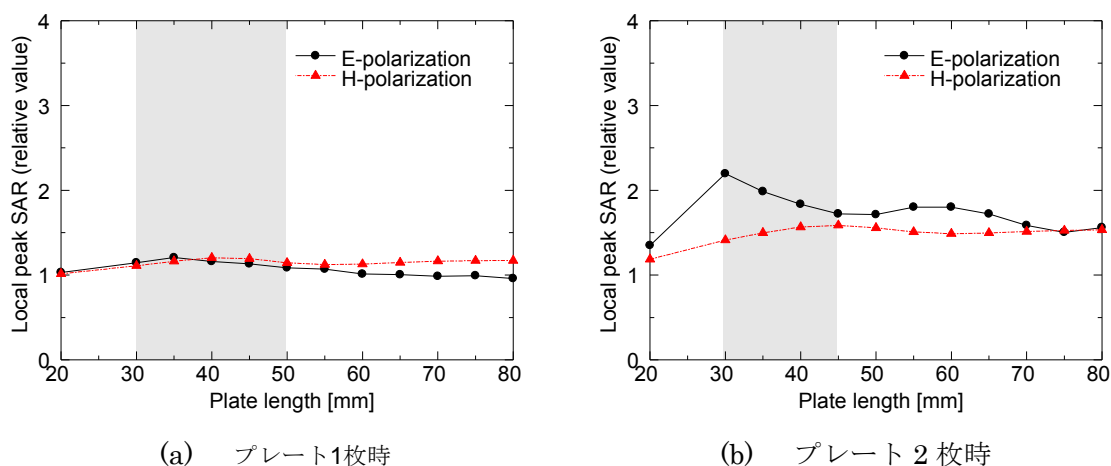


図4 プレート長  $w$  変更時の局所ピーク SAR 値

## 人体モデルを用いた SAR 推定

金属プレートを埋め込んだ日本成人男性モデルに対してSAR評価を行う。本解析では、前章の解析結果に基づき、金属プレートの設置枚数およびプレート長を設定している。人体モデルは解析領域の中央に配置されており、人体の周囲に平面波励振領域を設置した。セルサイズ2 mmの等間隔メッシュにて構成する。励振波源は人体正面から垂直に入射する1 V/m、周波数2 GHzの垂直偏波平面波とし、非接地条件を仮定する。生体組織の電気定数はGabriel Report [13]より定めた。また、人体モデルに埋め込む金属プレートは、正中に2枚（厚さ2 mm、長さ4 cm）、隅角に1枚（厚さ4mm・長さ6 cm）とし、正中部のプレート長を24 mmから54 mmまで変化させる。

図5に正中部金属プレートを含む矢状断面の電界強度分布を示す。金属プレート埋め込み部位表面の電界強度が3dB程度上昇していることが確認できる。図5の電界強度分布を元に、任意組織を10 g当たりで平均化した10 g平均SARを推定した。金属プレート埋め込み時の10 g平均SARのピーク値は、非埋め込み時に比べ1.4dB（37%）の増加を確認した。

次に、正中部に埋め込む金属プレートのプレート長を24 mmから54 mmまで変化させた場合の局所ピークSARおよび10 g平均SARの関係性を図6に示す。局所SARのピーク値はプレート長42 mmにおいて最も高くなり、いずれの場合においてもプレート非埋め込み時に比べて高い値を示した。前章で示した多層平板モデルの局所SAR評価と比較し、数値人体モデルを用いた評価では、より長いプレートを埋め込んだ場合に局所SARのピークが生じることが確認された。また、10 g平均SARに関し、プレート長変更による差は5%以内であり、優位な差はないことを確認した。

ここでは一例を示したが、植込み金属による吸収率の変化は、金属形状、植え込みの位置や深さ等、様々なパラメータに依存する。今後、これら様々な条件を考慮した評価が必要である。

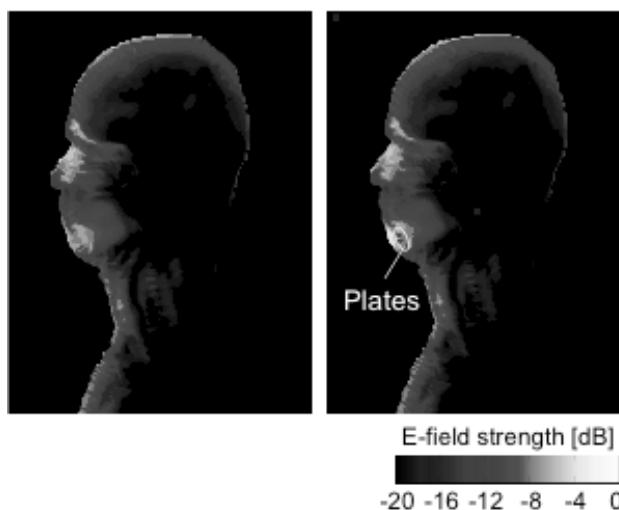


図5 金属プレート周辺の局所 SAR 分布

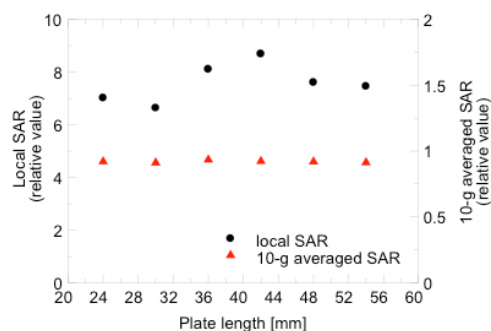


図6 金属プレート周辺の局所 SAR 分布

## まとめ

無線電力伝送に用いられる周波数帯である、2GHz帯の植込み型医療機器装着者に対する生体防護指針適用性評価の一環として、頭部に金属プレートを埋め込んだ人体モデルに対するSAR評価を行った。人体頭部を模擬した多層平板モデルを用いた医療金属プレートの配置に関する検討および医療用金属プレートを埋め込んだ人体モデルのSARを推定した。今後、金属プレートの形状、種類、埋め込み条件を変更した場合の検討、加えて、電波吸収量と人体組織温度の関係についての評価を予定している。

## 参考文献

- [1] P.E. Glazer, “Power from the Sun : Its Future”, Science, vol. 162, no. 3856, Nov. 1968.
- [2] P.E. Glaser, F.P. Davidson and K. I. Csigi, ed., Solar Power Satellites —the emerging energy option, Ellis Horwood, New York, 1993.
- [3] ICNIRP Guidelines, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz),” Health Phys., vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.
- [4] ANSI/IEEE C95.1-1999, “IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz”
- [5] 総務省, 電気通信技術審議会答申 諮問 38 号「電波利用における人体の防護指針」, 1990.
- [6] A. Kyriakou, A. Christ, E. Neufeld, and N. Kuster, “Local Tissue Temperature Increase of a Generic Implant Compared to the Basic Restrictions Defined in Safety Guidelines,” Bioelectromagnetics, vol. 33, no. 5, pp. 366-374, 2012.
- [7] McIntosh RL, Anderson V, McKenzie RJ., “A numerical evaluation of SAR distribution and temperature changes around a metallic plate in the head of a RF exposed worker,” Bioelectromagnetics, vol. 26, no. 5, pp. 377-388, 2005.
- [8] 渡辺 亮平, 齊藤 一幸, 渡辺 聡一, 高橋 応明, 伊藤 公一, “心臓ペースメーカー植込み時における SAR の実験的評価,” 信学ソ大, B-4-10, 2010.
- [9] T. Nagaoka, S. Watanabe, K. Sakurai, E. Kunieda, S Watanabe, M. Taki, Y. Yamanaka, “Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry,” Phys. Med. Biol., vol. 49, no. 1, pp. 1-15, 2004.
- [10] 平野明喜 他, 形成外科診療プラクティス 顔面骨骨折の治療の実際, 文光堂, 2010.
- [11] AO Foundation, AO Surgery Reference (<https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery>)
- [12] C. Gabriel, “Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies,” Brooks Air Force Technical Report AL/OE-TR-1996-0037, 1996.