

## サーモグラフィ法による SAR 測定における熱移動の補正

齊藤 一幸<sup>†a)</sup> 滝本 拓也<sup>††</sup> 大西 輝夫<sup>††b)</sup> 高橋 応明<sup>†</sup>  
伊藤 公一<sup>†</sup>

Compensation Techniques for Thermal Diffusion in the SAR Measurement  
by the Thermographic Method

Kazuyuki SAITO<sup>†a)</sup>, Takuya TAKIMOTO<sup>††</sup>, Teruo ONISHI<sup>††b)</sup>,  
Masaharu TAKAHASHI<sup>†</sup>, and Koichi ITO<sup>†</sup>

あらまし 筆者らはこれまで、3 GHz 以上の周波数帯において、固体ファントムを用いたサーモグラフィ法による SAR 測定の検討を行ってきた。その結果、3.8 GHz や 5.2 GHz では電磁波照射時間の経過に伴い熱移動の影響が大きくなることを確認した。また、電磁波照射時間の経過とともに温度上昇の測定誤差は小さくなることも確認している。そこで本論文では、電磁波照射によるある観測点での温度上昇の時間推移より算出した補正係数で、熱移動の影響を含む温度上昇分布に補正を行う提案をし、その有効性について確認を行った。その結果、照射電力が小さく熱移動の影響が大きな場合でも、この方法で補正することにより、測定誤差が十数%程度に抑えられることがわかった。

キーワード 固体ファントム, サーモグラフィ法, SAR 測定, 熱移動, 補正法

## 1. ま え が き

今日の多様化した情報化社会において、従来、携帯電話システムで使用されてきた周波数帯より高い周波数を利用した無線 Local Area Network (LAN) システムの普及や、Ultra Wide Band (UWB) 技術を用いた超広帯域無線システムなどの検討が進められている [1]。更に、次世代移動通信システム用に 3 GHz を超える周波数の割り当てが検討されている [2]。そのため、従来使用されてきた周波数より高い周波数帯においても、通信機器の特性評価の観点から電磁波と人体の関係を定量的に評価することが必要不可欠であると考えられる。人体への電磁波吸収の指標として、式 (1) で定義される比吸収率 (Specific Absorption Rate: SAR) が用いられている。

$$\text{SAR} = \frac{\sigma E^2}{\rho} \text{ [W/kg]} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma$ : 生体組織の導電率 [S/m],  $\rho$ : 生体組織の密度 [kg/m<sup>3</sup>],  $E$ : 電界の振幅 (実効値) [V/m] である。

これまで筆者らは、一つの組成比で広い周波数範囲において人体の電気定数を模擬することができる生体等価固体ファントムを開発し、この固体ファントムを用いて、SAR の実験的評価手法の一つであるサーモグラフィ法 [3], [4] による SAR 測定の検討を行ってきた [5]。その結果、例えば、波源の周波数が数 100 MHz から 2 GHz 程度までであれば、測定の諸条件を適切に選ぶことにより、比較的高精度に SAR 測定ができることがわかった。ところが、それよりも高い周波数帯においては、電磁波照射時間の経過に伴い SAR 測定精度を低下させる熱移動の影響が大きくなることを確認した。また、周波数 3~6 GHz の中の一つ、5 GHz 帯に注目して検討したところ、電磁波照射時間の経過とともに温度上昇の測定誤差は小さくなることを確認した [6], [7]。

そこで本論文では、5 GHz 帯において、ある観測点における電磁波照射による温度上昇時間曲線から算出した補正係数で、測定誤差の小さな温度上昇分布全体

<sup>†</sup> 千葉大学フロンティア医工学センター, 千葉市  
Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University,  
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8522 Japan

<sup>††</sup> (株) NTT ドコモ, 横須賀市  
NTT DOCOMO INC., 3-6 Hikarinooka, Yokosuka-shi, 239-  
8536 Japan

a) E-mail: kazuyuki.saito@faculty.chiba-u.jp

b) E-mail: teruo.onishi@m.ieice.org

に補正を行う手法を提案し、その有効性を確認した。

## 2. サーモグラフィ法による SAR 測定

### 2.1 熱移動を考慮した検討

サーモグラフィ法を用いた SAR 測定は、人体の電気定数を模擬したファントムに短時間電磁波を照射し、それによって生じるファントム表面、または内部の温度上昇を赤外線カメラ等で観測して SAR に換算する方法で、周波数に直接依存せず測定することが可能である。このとき、電磁波照射時間が十分短く、ファントム内部での熱伝導が無視できる場合には、以下の式(2)に示す近似式が成立する [4]。

$$\text{SAR} = c \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad [\text{W/kg}] \quad (2)$$

ここで、 $c$ :ファントムの比熱 [J/kg/K],  $\Delta T$ :観測点の温度上昇 [K],  $\Delta t$ :電磁波照射時間 [s] である。

ただし、文献 [5] で報告されているように、周波数が高くなると SAR が局所に集中して、局所的に温度上昇が生じるため、ファントム内での熱伝導及びファントム表面から外気への熱伝達の影響が無視できないと考えられる。そのため、ファントムにおける熱移動の影響に関する検討が必要である。そこで、電磁波照射によるファントム表面、または内部に生じる熱の発生及び移動をほぼ正確に評価するために、熱輸送方程式 (3) 式と、ファントム表面には境界条件 (4) 式を適用した。これらの式を差分化し、温度上昇値  $\Delta T$  に関する時間推移を計算することで、解析領域内の温度分布の時間推移を求めることができる [8]。なお、式 (3) の右辺第 2 項の SAR は本検討では Finite-Difference Time-Domain (FD-TD) 法による電磁界解析により求めた値を用いる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \nabla^2 T + \rho \cdot \text{SAR} \quad (3)$$

$$h(T_s - T_e) = -\kappa \frac{\partial T}{\partial n} \quad (4)$$

ここで、 $\kappa$ :熱伝導率 [W/m/K],  $h$ :熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>/K],  $T_s$ :ファントム表面の温度 [K],  $T_e$ :外気の温度 [K] である。

### 2.2 検討モデル

図 1 に、検討に用いたモデルを示す。電磁波放射源として周波数 5.2 GHz の半波長ダイポールアンテナ (素子長 27 mm) を使い、ファントム表面から 10 mm の距離に配置した。ファントムの大きさは  $200 \times 200 \times 100\text{mm}^3$  とし、ファントムの電気定数は

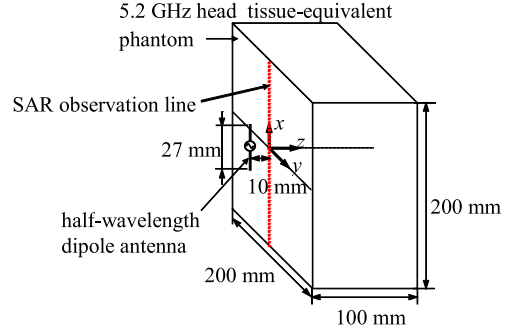


図 1 検討モデル  
Fig. 1 Experimental model.

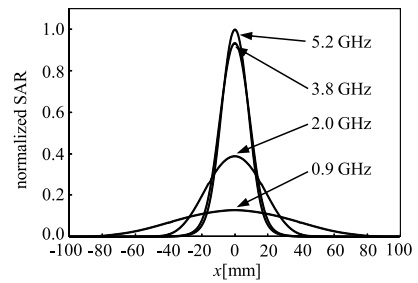


図 2 SAR 観測線上での分布  
Fig. 2 SAR distributions along the observation line.

比誘電率  $\epsilon_r = 36.0$ , 導電率  $\sigma = 4.66\text{S/m}$  である [9]。なお、座標原点はアンテナ給電点と対向するファントム表面とした。

### 2.3 SAR 分布

図 2 に、FD-TD 法により計算した SAR 分布 (SAR 観測線上) を示す。なお比較として、0.9 GHz, 2 GHz, 3.8 GHz のそれぞれの周波数における SAR 分布を併せて示す。この SAR 計算では、ファントムの電気定数の周波数依存性を考慮して、周波数ごとに対応する電気定数を用いた。また、全ての周波数においてアンテナ入力電力を等しくして SAR を計算し、その上で、5.2 GHz の最大 SAR で規格化して表示した。

図 2 より、0.9 GHz から 5.2 GHz と周波数が高くなるにつれて分布が局所に集中していることがわかる。このため、温度上昇値から SAR を評価するサーモグラフィ法では、熱輸送方程式 (3) 式の右辺第 1 項からも予想できるように、周波数が高くなるほど局所的に温度上昇が起こり熱移動の影響が大きくなると考えられる。

### 2.4 電磁波照射による温度上昇と温度上昇分布

図 3 に、座標原点における電磁波照射の時間経過

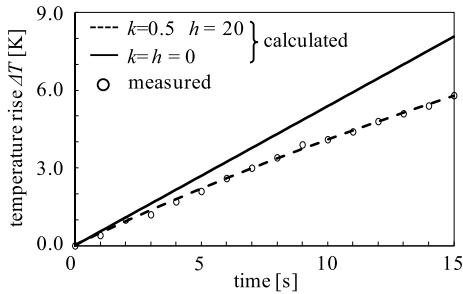


図3 座標原点における温度上昇  
Fig. 3 Temperature rise at the origin.

に伴う温度上昇に関して、赤外線カメラによる測定値と熱輸送方程式 (SAR は、FD-TD 法による) により求めた計算値を示す。ここで、アンテナへの正味入力電力は 9.68 W である。計算条件は、熱伝達率  $h = 20\text{W/m}^2/\text{K}$ 、熱伝導率  $\kappa = 0.5\text{W/m/K}$ 、比熱  $c = 3,700\text{J/kg/K}$ 、密度  $\rho = 870\text{kg/m}^3$  とした。なお、熱伝導率  $\kappa$  及び、比熱  $c$  は、(株) アグネ技術センターに依頼し測定したものである。また、熱伝達率  $h$  は文献 [10] により実験的に得られた値を用いた。ここで文献 [10] では、熱伝達率  $h$  を電波無響室内で同定している。このパラメータは、測定系の周囲環境に依存すると考えられる。一方、本研究でも電波無響室内で測定を行ったことから、文献 [10] での測定値を本研究に適用することは妥当であると考えられる。

更に図 3 では、ファントム表面、または内部における熱移動の影響の評価を行うため、熱伝導率  $\kappa$ 、熱伝達率  $h$  をともに 0 にした場合の計算結果も併せて示す。

図 3 より、測定値と  $\kappa = 0.5\text{W/m/K}$ 、 $h = 20\text{W/m}^2/\text{K}$  としたときの計算値は良く一致しており、熱移動の影響により、電磁波照射の経過とともに温度上昇値の傾きが鈍くなっていることがわかる。その原因としては、ファントム内部での熱伝導の影響によるものが大きい [5]。したがって、熱移動の影響が少ない 1~2 秒程度、すなわち  $h = \kappa = 0$  としたときの計算値が測定値とほぼ一致している短時間内に SAR 推定が必要であることがわかる。

次に、観測線上での温度上昇分布の測定値と計算値を図 4 に示す。なお、計算値は、熱移動を考慮しない温度上昇分布 ( $h = \kappa = 0$ ) と、熱輸送方程式により求めた照射開始 2 秒後、15 秒後の温度上昇分布の結果である。また、測定値は、同様に照射開始 2 秒後と 15 秒後の分布である。なお、温度分布は熱移動を考慮し

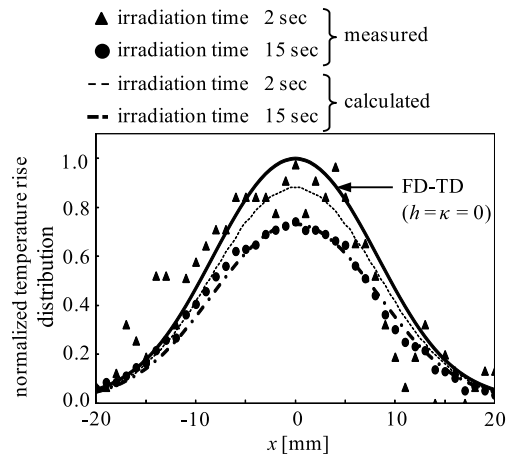


図4 観測線上における SAR 分布 [5]  
Fig. 4 SAR distributions along the observation line [5].

ない温度上昇の最大値で規格化した。

図 4 より、照射時間が長くなるにつれて、計算値、測定値ともに温度上昇値は全体的に低下している。また、電磁波照射開始 2 秒後のように照射時間が短い場合には、測定値のばらつきが大きいことも確認できる。一方、照射時間の経過とともに分布のばらつきは小さくなる。

この原因として、ファントム表面の温度上昇を観測するために使用した赤外線カメラの分解能 (最小検知温度差:  $0.08^\circ\text{C}$ ) が関係していると考えられる。つまり、最小検知温度差に比べて照射時間 2 秒程度では、温度上昇が大きくないため、値のばらつきが大きくなってしまったといえる。

以上の結果より、本論文では温度上昇値のばらつきが比較的小さい電磁波照射時間 15 秒における測定結果について補正の検討を行う。

### 3. SAR 測定における熱移動の補正

本節では、サーモグラフィ法を用いた SAR 測定において、ファントム表面及び内部での熱移動による影響を取り除くために、電磁波照射の時間経過による温度上昇値を用いて補正を行う。以下では、図 5 を用いて提案する補正法を説明する。

- 1) 温度上昇値の時間分布  $\Delta T_m(t)$  を測定する。
- 2) 近似曲線  $f(t)$  を温度上昇曲線  $\Delta T_m(t)$  にフィッティングする。
- 3) フィッティングした近似曲線を 1 階微分して、熱移動による影響が含まれない  $t = 0$  のときの傾

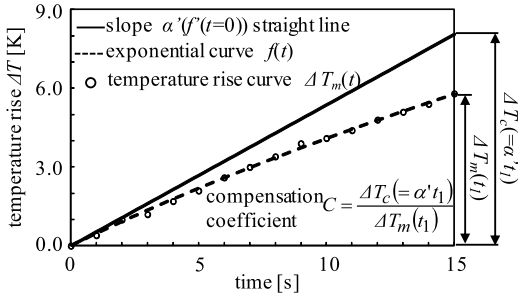


図 5 温度上昇曲線をフィッティングした結果例  
Fig. 5 Example of fitting result for temperature rise.

表 1 フィッティングの結果と補正に用いる値  
Table 1 Fitting parameters and compensation coefficients.

	測定値	計算値 ( $h = 20, \kappa = 0.5$ )
$a$	18.0	17.1
$b$	0.0258	0.0275
$\alpha' (= ab)$	0.465	0.470
$\Delta T_c$	6.97	7.05
$\Delta T_m(t_1)$	5.80	5.72
$C$	1.20	1.23

き  $\alpha'(f'(t = 0))$  を求める。

- 4)  $t = t_1$  (電磁波照射時間) において、測定した温度上昇値  $\Delta T_m(t = t_1)$  と、3) より求まる温度上昇値  $\Delta T_c (= \alpha' t_1)$  との比をとり、補正係数  $C (= \Delta T_c / \Delta T_m(t_1))$  を求める。
- 5) 測定した温度上昇分布に補正係数  $C$  をかけて補正を行う。

なお、近似曲線には、電磁波照射によるファントム表面での温度上昇の過渡的な状態を表現するために、式 (5) に示す指数関数をもとにした関数を選択した。

$$\Delta T = a - ae^{-bt} \tag{5}$$

ここで、 $\Delta T$ : 温度上昇 [K],  $t$ : 時間 [s] で、 $a, b$  は定数である。

上述の手順により、式 (5) の関数を用いて、図 3 の結果にフィッティングした結果を表 1 に示す。

表 1 より、算出した補正係数  $C$  を用いて、図 4 に示す電磁波照射 15 秒後の測定値と計算値、それぞれの温度上昇分布を補正した結果を図 6 に示す。なお、図 6 の温度上昇分布は熱移動を考慮しない温度上昇の最大値で規格化した。

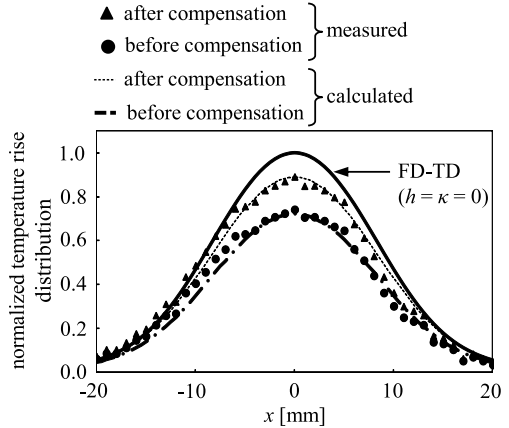


図 6 指数近似曲線による温度上昇分布の補正結果  
Fig. 6 Compensated result of temperature rise distribution with an exponential approximation curve.

図 6 より、測定値、計算値ともに、熱移動の影響を無視した場合の温度上昇分布と比較して、最大差約 10% まで補正されていることを確認した。

このように、ある観測点 (本検討では座標原点) での温度上昇曲線から算出した一つの補正係数により、温度上昇分布全体に亘り補正をかけることで、熱移動の影響を低減することができた。なお、現時点では、補正係数を算出するための最適な温度観測点を特定するところまでは至っていない。そこで本論文では、温度上昇が大きな点の方が、測定値のばらつきが小さく精度よく補正係数を算出できると考え、温度上昇が最も大きな座標原点のみから求めた補正係数を用いた。複数観測点の温度上昇曲線から複数の補正係数を算出して分布の補正をかける等の高精度な補正法については、今後検討を行う予定である。

ところで、ここでは、補正手法の妥当性確認のため、測定値、計算値の双方を検討対象とした。しかしながら、本補正手法は、最終的には市販の通信機器のようなアンテナ構造が複雑 (若しくは未知) な波源に対して適用することを目的としているため、こういった場合には、測定値のみから補正係数を導出し、適用する。したがって、通常の場合において、必ずしも計算値が必要ではないことを付け加える。

#### 4. 入力電力・電磁波照射時間と補正結果の関係

前節では、SAR 測定における熱移動の補正法につ

表 2 電磁波照射条件  
Table 2 Irradiating conditions.

照射電力[W]	電磁波照射時間[s]
30	5
15	10
10	15
7.5	20
5	30

表 3 仕事量が同一の条件下での補正結果  
Table 3 Compensated results under the same equivalent of heat.

照射条件	補正前	補正後
30W5 秒	18.1%	9.9%
15W10 秒	23.7%	11.5%
10W15 秒	28.0%	12.6%
7.5W20 秒	31.6%	13.6%
5W30 秒	37.3%	15.6%

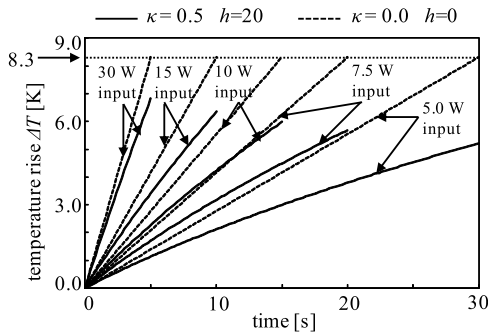


図 7 仕事量が同一の電磁波照射による温度上昇値の比較

Fig. 7 Comparisons of temperature rise with and without thermal diffusion for the same equivalent of heat.

いて提案し、ある条件下でその有効性について検討を行った。そこで、アンテナからファントムに照射される電磁波エネルギーの熱の仕事当量を一定にして、アンテナへの入力電力と電磁波照射時間を変化させた場合に、提案した補正法の効果がどのように変化するか検討した。

なお、入力電力と電磁波照射時間の積、すなわち熱の仕事当量 [J] は、前節までの検討とほぼ等しい仕事当量の 150 J として、入力電力と照射時間それぞれの値を表 2 のように変化させた。なお、検討には図 1 と同様のモデルを用い、2. と同じ手順で SAR 及び温度上昇をそれぞれの条件ごとに計算し、その結果より、各入力電力における補正係数を算出する。

図 7 に、仕事当量を一定とした場合の、電磁波照射によるファントム表面の座標原点における温度上昇値の比較を示す。なお、図 7 の計算条件は、前節までと同様であり、熱移動の影響がある場合と、ない場合それぞれにおいて比較を行った。

図 7 より、熱の仕事当量を 150 J とした場合には、熱移動の影響がない温度上昇の結果は、検討条件にか

かわらず一定な温度上昇値 (8.3 K) を示すことがわかる。また、熱移動の影響がある場合においては、入力電力が低いほど、また電磁波照射の時間が長くなるほど温度上昇値の傾きが鈍くなっていることがわかる。

次に、図 7 の温度上昇曲線において、式 (5) の指数関数を用いたフィッティングにより、それぞれの条件で SAR 分布の補正を行った。その計算結果を表 3 に示す。ここで、表 3 では、補正効果を確認するために、補正前と補正後の温度上昇分布において、熱移動がない ( $\kappa = h = 0$ ) 温度上昇分布との最大差を明らかにすることで評価を行った。

表 3 より、補正前では、電磁波照射が短時間高出力であるほど、熱移動による影響が明らかに小さくなっていることがわかる。一方、補正後の結果では、アンテナへの入力電力と照射時間を変化させた場合に、補正を行うことで、いずれの条件においても熱移動がない分布との最大差が 10% 前後まで、大幅に改善されることがわかった。

以上のことより、提案した補正法は、熱の仕事当量 [J] を一定にして入力電力と電磁波照射時間を変化させた場合にも、有効に適用可能であることが明らかになった。

## 5. む す び

本論文では、SAR 測定法の一つであるサーモグラフィ法において、5 GHz 帯のように SAR 分布が局所に集中して熱移動の影響が無視できない場合に、その熱移動の補正を行うための検討を行った。

その結果、指数近似式を用いて、電磁波照射によるある観測点での温度上昇の時間推移より算出した補正係数で、熱移動の影響がない場合との最大差が約 10% 程度まで補正可能であることを確認した。

また、この補正法は、熱の仕事当量 [J] を一定にし

て入力電力と電磁波照射時間を変化させた場合にも有効に適用できることを明らかにした。

一方、上記に対して、波源の周波数が低く、SAR が広範囲に分布するような場合には相対的な温度上昇値が小さく、こういった場合も SAR の測定精度が低下することがわかっている。文献[11]は、128 MHz で動作する magnetic resonance imaging (MRI: 磁気共鳴画像法) 用 radio frequency (RF) コイルが発生させる SAR を、本論文で提案する手法により高精度に測定した例である。

このように、本論文で提案する SAR 測定手法は、“高周波の波源により SAR が局在する場合”と“波源の周波数が低く、相対的に低い SAR が広範囲に分布するような場合”の双方に適用できると考えられる。

**謝辞** 本論文の執筆にあたり、ご協力頂きました千葉大学大学院博士前期課程 2 年の津崎翔伍氏にお礼申し上げます。

## 文 献

- [1] IEEE Std. 802.15.6-2012, “IEEE standard for local and metropolitan area networks – Part 15.6: Wireless body area networks,” Feb. 2012.
- [2] 情報通信審議会通信技術分科会 (第 55 回), “国際電気通信連合 (ITU) 2007 年世界無線通信会議 (WRC-07) の結果について,” Dec. 2007.
- [3] A.W. Guy and C.K. Chou, “Specific absorption rates of energy in man models exposed to cellular UHF mobile-antenna fields,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.34, no.6, pp.671–680, June 1986.
- [4] T. Kobayashi, T. Nojima, K. Yamada, and S. Uebayashi, “Dry phantom of ceramics and its application to SAR estimation,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.41, no.1, pp.136–140, Jan. 1993.
- [5] T. Onishi, R. Ishido, T. Takimoto, K. Saito, S. Uebayashi, M. Takahashi, and K. Ito, “Biological tissue-equivalent agar-based solid phantoms and SAR estimation using the thermographic method in the range of 3-6 GHz,” IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.9, pp.3733–3741, Sept. 2005.
- [6] 滝本拓也, 大西輝夫, 齊藤一幸, 高橋応明, 上林真司, 伊藤公一, “5.2 GHz 帯におけるサーモグラフィ法を用いた SAR 測定の熱解析手法に関する検討,” 2004 信学ソ大 (通信), B-4-44, Sept. 2004.
- [7] 滝本拓也, 大西輝夫, 齊藤一幸, 高橋応明, 上林真司, 伊藤公一, “サーモグラフィ法による SAR 測定における熱移動の補正,” 信学技報, EMCJ2004-105, Dec. 2004.
- [8] J. Wang and O. Fujiwara, “FDTD computation of temperature rise in the human head for portable telephony phantom of ceramics and its application,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.47, no.8, pp.1528–1534, Aug. 1999.

- [9] IEEE Std. 1528-2013, “IEEE Recommended practice for determining the peak spatial-average specific absorption rate (SAR) in the human head from wireless communication devices: measurement techniques,” Sept. 2013.
- [10] 小柳芳雄, 河井寛記, 小川晃一, 伊藤公一, “人体等価ファントムと 150 MHz 帯小形アンテナを用いた腹部内局所 SAR の検討,” 信学論 (B), vol.J86-B, no.7, pp.1207–1218, July 2003.
- [11] T. Kawamura, K. Saito, S. Kikuchi, M. Takahashi, and K. Ito, “Specific absorption rate measurement of birdcage coil for 3.0-T magnetic resonance imaging system employing thermographic method,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.57, no.10, pp.2508–2514, Oct. 2009.

(平成 25 年 6 月 7 日受付, 10 月 2 日再受付)



齊藤 一幸 (正員)

平 13 千葉大・大学院・博士後期課程了。博士 (工学)。現在、千葉大・フロンティア医工学センター・准教授。マイクロ波の医療応用及び人体と電磁波との相互作用評価に関する研究に従事。平 12 IEEE AP-S Japan Chapter Young Engineer Award, 平 16 本会学術奨励賞等受賞。平 12 日本学術振興会特別研究員。IEEE, 映像情報メディア学会, 日本ハイパーサーミア学会会員。



滝本 拓也

平 18 千葉大・大学院自然科学研究科博士前期課程了。現在 (株) NTT ドコモ移動機開発部に勤務。大学在学中に人体と電磁波の相互作用評価に関する研究に従事。



大西 輝夫 (正員: シニア会員)

昭 62 東京理科大・理工・物理卒。同年東洋通信機 (株) 入社。日本エリクソン (株) を経て, 現在 (株) NTT ドコモ先進技術研究所アンテナ・デバイス研究 G 主任研究員。平 17 千葉大大学院・博士後期課程了。主に, SAR 測定法, 人体と電磁波の相互影響の研究に従事。平成 22 年日本 ITU 協会賞 (国際活動奨励賞), 工業標準化事業表彰 (産業技術環境局長賞) 各受賞, 博士 (工学), IEC TC106 MT1, PT62704 各エキスパート, IEEE, Bioelectromagnetic Society 各会員。



高橋 応明 (正員：シニア会員)

平元東北大・工・電気卒。平 6 東工大・大学院博士課程了。同年武蔵工大・工・電気・助手。同大講師を経て、平 12 東京農工大・工・電気電子・助教授。平 16 千葉大・フロンティアメディカル工学研究開発センター (現フロンティア医工学センター)・准教授。衛星放送受信アンテナ、平面アンテナ、小型アンテナ、RLSA、環境電磁工学、人体と電磁波との相互作用の研究に従事。工博。IEEE シニア会員。



伊藤 公一 (正員：フェロー)

昭 49 千葉大・工・電子卒。昭 51 同大大学院修士課程了。同年東工大・工・助手。昭 54 千葉大・工・助手、平 1 同助教授、平 9 同教授、平 15 同大フロンティアメディカル工学研究開発センター教授、平 18 同大・工・教授、平 19 同大・院・教授、平 25 同大・フロンティア医工学センター教授となり、現在に至る。平 21 より同大フロンティアメディカル工学研究開発センター (現フロンティア医工学センター) 長併任。主として、がん治療用マイクロ波アンテナ等の医療応用、移動通信用小形アンテナ、人体通信、ファントムを用いた人体と電磁波との相互影響評価の研究に従事。工博。著書「Handbook of Microstrip Antennas」(UK, 共著)、「Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications」(Artech House, 共著) など。IEEE AP-S 論文誌編集委員及び Distinguished Lecturer, ISAP2012 委員長等を歴任。現在, European Association on Antennas and Propagation (EurAAP) アジア代表。IEEE Fellow 及び AAAS, BEMS, 映像情報メディア学会, 日本ハイパーサーミア学会等各会員。