

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18760271

研究課題名（和文） 次世代携帯端末用アンテナによる人体頭部内温度上昇の定量的評価

研究課題名（英文） Temperature elevation in the human head due to handset antennas

研究代表者

平田 晃正 (HIRATA AKIMASA)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00335374

研究成果の概要：

携帯電話などで用いられる電波の生体への影響は、温度上昇によるものが支配的であるとされている。本研究では、携帯電話用アンテナより放射される電波による吸収電力と温度上昇の解析を行った。対象とする周波数は、次世代携帯電話が用いられる周波数である3GHz-4GHzの周波数を含むものとした。本研究目的のために、温度上昇解析手法の効率化手法を開発するとともに、3次元簡易モデル（球状）を用いた基礎検討も行った。その結果、耳翼による影響も無視できないことを明らかにした。また、3GHz以下の周波数では、電波安全基準で用いられている指標である局所10g平均SARと温度上昇の相関は良好であることを確認するとともに、更に高い周波数でも良好な指標となる可能性を示唆するものであった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	180,000	3,580,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 電子デバイス・電子機器

キーワード：(E)マイクロ波・ミリ波

1. 研究開始当初の背景

周波数資源の枯渇および更なる高品質・大容量無線通信への要求に伴い、2010年を目処に第4世代無線通信システムの導入が検討されている。その際、利用される周波数帯はおおよそ4-5GHzとされており、アンテナが小型になるため、携帯端末にアンテナアレイを実装することが検討されている。このような無線通信の急速な発展を背景に、電磁波の人体に与える潜在的な影響が懸念されている。

このため、国際機関ICNIRP（国際非電離放射線防護委員会）をはじめ、様々な公的機関が電波防護指針の策定している。これらの防護指針によると、マイクロ波帯の近傍電磁界に対する安全性の指標としては「1gあるいは10gあたりの局所ピークSAR（比吸収率；単位質量当たりの吸収電力量）」が用いられている。しかしながら、マイクロ波ばく露による直接的な影響は、「電力吸収に伴う温度上昇」が支配的とされている。具体的には、

脳内の温度上昇が 4.5°C 以上上昇すると物理的損傷を起こす、あるいは視床下部周辺の温度が $0.2\text{--}0.3^{\circ}\text{C}$ 以上上昇すると熱調整系に異常をきたす可能性があるなどの報告がなされている。これらのことから、厳密な人体頭部モデルを用いて、携帯電話使用時の局所ピーク SAR 力と温度上昇が調べられるようになった。特に、我々は両者の相関を定量的に評価し、近似的に比例関係が成立するを明らかにするとともに、その不確定性についても言及している。しかしながら、この検討は既存の携帯電話で用いられる周波数である 2GHz 帯を上限としているため、今後の利用が想定されている周波数帯においても同様の検討が必要であろう。防護指針の一部では、10GHz までの周波数帯において指針値を示しているものもあるが、理論的根拠が十分であるとは言い難い。また、従来の研究では、単一のアンテナに対して評価を行うにとどまり、今後想定されるアンテナアレイを携帯端末に実装した場合の局所ピーク SAR および温度上昇を評価したものはないのが実情であった。

2. 研究の目的

1GHz から 10GHz までの周波数帯において、温度上昇との相関を示す指標としての局所ピーク SAR の有用性について検討する。また、対象とする部位は、熱に比較的弱いとされる組織である眼球レンズと脳とし、4 項で述べる二つのばく露条件を考えた。

3. 研究の方法

本申請の研究内容は、大きく 3 個の要素研究に分けることができる：①高解像度人体頭部モデルの構築、②温度上昇計算における ADI-FD (alternate direction implicit finite difference) 法の実装、③解析およびデータの統計処理。最初の 2 項目を準備段階とし、その作業が終了後、実際の計算に移る。

①申請者が従来の研究で用いてきた「厳密な人体頭部モデル」を MRI 画像に基づいており、申請者らと医学者との協議の結果、作成されたものである。モデルの解像度は 2mm であり、眼球、脳（大脳、小脳）など複数の人体組織を考慮に入れている。このモデルの解像度では、2GHz 程度までの電磁界解析には十分であっても、それよりも高い周波数帯では体内における電磁波の波長が短くなるため、十分な精度が保障されるとは言えない。そこで、このモデルを基に、高精度人体頭部モデルの構築を行った。

②本研究では温度上昇解析に、ADI-FD 法を用いることにより、効率的な解析を行うことを試みる。従来、温度解析には、

FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 法あるいは陰解法が多く用いられてきた。本項目で導入する ADI-FD 法は、従来の手法に比べて数倍高速化可能であると期待できる。

③3次元簡易モデル（立方体、球）を用いて SAR と温度上昇の相関に関する基礎検討を行う。これは、人体頭部モデルの不均一性、頭部形状などによる影響を排除した上で、SAR と温度上昇の相関を明らかにすることにある。次に、従来の周波数帯において相関に大きな影響を与えることが指摘されている「耳翼」の影響に限定して評価を行うものとする。更に、構築した厳密な人体頭部モデルを用いて、SAR と温度上昇の相関を検討するものとする。この際、アンテナ給電点の頭部に対する相対位置、偏波、周波数などを変化させることにより、不確定性を厳密に評価するものとする。アンテナ形状の影響を評価するために、ダイポールアンテナに加え、異なるアンテナに対する検討も実施したが、大きな差異がなかったため、本報告書ではダイポールアンテナに対する結果のみを示すこととする。

4. 研究成果

3. ①で述べた詳細な人体頭部モデルの高分解能化を実施した。5GHz までの周波数帯を検討するために 1mm の分解能とした場合の結果を図 1 に示す。なお、図 1 は眼球を含む横断面とした場合の一例である。

図 1 で示した人体頭部モデルの眼球の前方 24mm にダイポールアンテナを配置した際の SAR および温度上昇を解析した。眼球内 SAR の平均値と眼球内温度上昇の比（加熱ポテンシャル）の周波数依存性を図 2 に示す。なお、ここで眼球平均値を選んだ理由は、電波防護指針で定められた平均化質量は 10g であり、成人の眼球質量である 9g とほぼ一致するためである。また、解析には研究の小項目②で述べた ADI-FD 法を用いている。更に、この図には、日本人成人男性および女性モデルの二つを対象とし、性差についても検

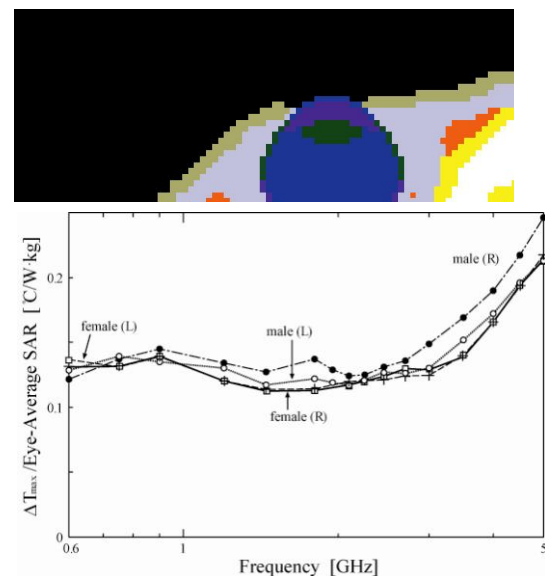


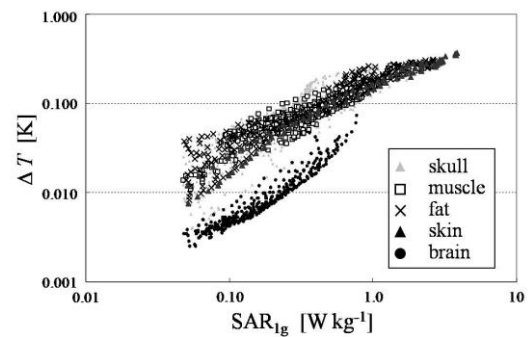
図 2 : 温度上昇と眼球内 SAR の比の周波数依存性

討を行った結果を示している。図 2 より、3GHz までの周波数では、SAR と温度上昇の比はほぼ一定であるものの、それ以上の周波数では両者の比は上昇傾向にある。両者の比が一定であることは、SAR を同定できれば温度上昇を見積もることができることを意味し、電波防護指針の根拠をより明確にするものである。また、3GHz 以上での上昇傾向は、3GHz での電波の浸透深さは 1cm 程度であり、周波数の上昇に伴い浸透深さがより小さくなるため、眼球内 SAR が小さくなったものと考えられる。本課題では対象とする周波数帯を 1-10GHz としていたが、得られた解析結果より、対象とする部位を眼球レンズとした場合には、3GHz 付近が境界となることがわかった。

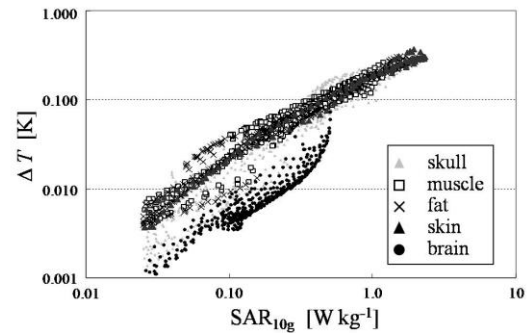
次に、携帯電話の利用を想定し、人体耳翼近傍にダイポールアンテナを配置した場合の SAR と温度上昇を解析し、両者の比を調べた。アンテナと人体モデルの配置を図 3 に示す。アンテナ給電点は耳穴中央を通る直線上にあり、耳翼より 12mm の所に配置した。なお、本報告書では距離を一定とした場合の結果のみを示すが、両者の距離を変化させても結果に大きな影響を与えないことを付記する。

図 4 に SAR の平均化質量を 1g と 10g とした場合の温度上昇との比を、モデル上すべてのボクセル（モデルを構成する微小立方体）に対して計算した結果を示す。対象とする周波数は 800MHz とした。ここで図 2 での検討の 10g に加えて、1g を検討する理由は、米国電気電子協会の以前の電波安全基準では 1g を指標として用いていたため、一部の国ではなお評価指標として用いられているためである。図 4 より、平均化質量を 1g とした場合でも、10g とした場合でも SAR と温度上昇の間には良好な相関が見られる。しかしながら、平均化質量を 10g とした場合の方が、相関がよりよいこともわかる。特に、血流量が大きい脳組織の比は小さく、血流量の小さい骨あるいは脂肪では比は高い。従って、10g の方がより相関がよい理由は、血流量に伴う人体組織内における熱拡散長の相違と推察する。なお、脂肪では熱拡散長は 5-7cm であるのに対して、脳組織では 1cm 程度である。そのため、平均化質量を 1g とした場合には、熱拡散長は平均化領域に比べて小さい。

この理由をより詳細に検討するために、平均化質量による SAR と温度上昇の相関性についての検討を行う。SAR が温度上昇を推定する良い指標とすれば、両者は線形の関係があると仮定し、最小二乗法により相関性につ



(a)



(b)

図 4: ダイポールアンテナによる SAR と温度上昇の比 : SAR の平均化質量(a)1g、(b)10g

いて検討した。評価指標としては、決定係数を用いた。この指標では、得られた値が 1 に近いほど良好な相関となる。図 5 に得られた結果を示す。

図 5 より、周波数が 2GHz 程度までは、20-30g の場合に両者の相関は最大となることがわかる。一方で、3GHz では両者の相関が最大となる平均化質量は 10g 程度まで小さくなることからわかる。この理由は、前述の熱拡散長のため、それよりも電波の浸透の深さが大きい周波数では、両者の相関が最大となる周波数は 20-30g 程度となること、また一定より高い周波数では電波の浸透深さが小さくなるために、相関が最大となる平均化質量も減少傾向にあることを示唆するものである。ただし、両者の相関は平均化質量が変化しても良好であり、図 4 の結果の有用性を再確認するものであった。

以上の結果より、人体組織によって熱拡散長は異なること、また、周波数により浸透深さが異なるため、いかなる条件においても最適となる平均化質量は存在しないことがわかった。但し、現在の防護指針で用いられている平均化質量 10g は、温度上昇を推定するには良好な指標であることが確認できた。今後、3GHz 以上の周波数帯における SAR と温度上昇の相関のより詳細な検討が課題として挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

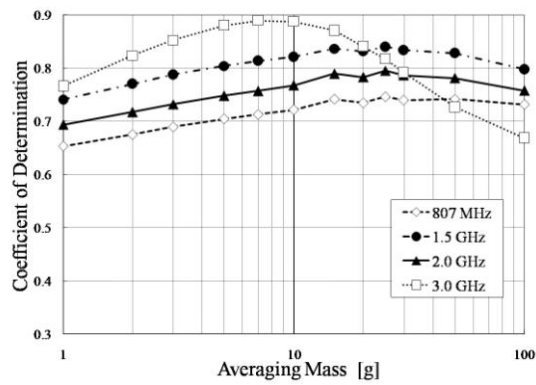


図5：質量平均 SAR と温度上昇の相関関係

M. Fujimoto, A. Hirata, J. Wang, O. Fujiwara, and T. Shiozawa, "FDTD-derived correlation of maximum temperature increase and peak SAR in child and adult head models due to dipole antenna," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol.48, no.1, pp.240-247, 2006.

A. Hirata, O. Fujiwara, and T. Shiozawa, "Correlation between peak spatial-average SAR and temperature increase due to antennas attached to human trunk," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.53, no.8, pp.1658-1664, Aug, 2006.

A. Hirata, S. Watanabe, O. Fujiwara, M. Kojima, K. Sasaki, and T. Shiozawa, "Temperature elevation in the eye of Japanese male and female models for plane wave exposure," *Physics in Medicine and Biology*, vol.52, pp.6389-6399, 2007.

A. Hirata, K. Shirai, and O. Fujiwara, "On averaging mass of SAR correlating with temperature elevation due to a dipole antenna," *Progress in Electromagnetic Research*, vol.84, pp.221-237, 2008.

〔学会発表〕 (計 6 件)

A. Hirata, K. Shirai, and O. Fujiwara, "Relationship between temperature elevation and spatial average SAR in Japanese human head model due to dipole antenna," *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, (Honolulu, Hawaii), TUPM41, 2007.

A. Hirata and O. Fujiwara, "Thermal dosimetry in human for microwave exposures," *Proceedings of URSI General Assembly*, 2008 (Chicago, USA)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平田 晃正 (HIRATA AKIMASA) ・

名古屋工業大学 大学院工学研究科・准教授

00335374

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし