

5-2 電波防護指針の適合性評価技術

5-2 Studies on Evaluation Methods of Compliance to Radiofrequency Radiation Protection Guidelines

渡辺聡一 浜田リラ 和氣加奈子 福永 香 山中幸雄 鈴木 晃
杉山 功 佐藤賢一 御代田至弘 麻生博之 黒川英男

WATANABE Soichi, HAMADA Lira, WAKE Kanako, FUKUNAGA Kaori,
YAMANAKA Yukio, SUZUKI Akira, SUGIYAMA Tsutomu, SATO Kenichi,
MIYOTA Yukihiro, ASOU Hiroyuki, and KUROKAWA Hideo

要旨

携帯電話等の人体に近接して利用する携帯無線端末に対して、電波防護指針の適合性を確認することが求められている。この場合、人体内部に生じる局所 SAR を評価する必要がある。本稿では、人体側頭部で使用される携帯無線端末に対する SAR 測定法と SAR 測定に使用する等方性微小電界プローブの較正システムに関する研究を概説する。これらの研究を通じて、国際標準化された SAR 測定法を日本人に適用することが妥当であることを示し、さらに適合性評価試験の再現性と信頼性向上を図ることができた。

Portable wireless terminals such as cellular phones are required to demonstrate their compliance to radiofrequency radiation protection guidelines in terms of local specific absorption ratio (SAR). In this report, we show studies on international SAR measurement methods used for compliance tests of cellular phones and on calibration methods of small isotropic E-field probes which used for the SAR measurement. These studies demonstrated that the international standard of the SAR measurement can appropriately be applicable to Japanese people and improved the repeatability and reliability of the compliance tests in Japan.

[キーワード]

電波防護指針, 局所 SAR, 携帯電話, 頭部ファントム, SAR 較正, 不確かさ
Radiofrequency radiation protection guidelines, Local SAR, Cellular phone, Head phantom, SAR calibration, Uncertainty

1 まえがき

高周波電磁界に曝露した人体における過度の温度上昇による健康影響を防ぐために電波防護指針が示されている [1]。電波防護指針は 1997 年に改訂され、携帯電話等の人体に近接して利用する無線機器を対象とした局所吸収指針が新たに追加されている [2]。この局所吸収指針では四肢を除く任意の組織 10 g 当たりで平均された局所 SAR が 2 W/kg を超えてはならないと規定している。

2000 年に携帯電話端末等の側頭部の側で使用される携帯無線端末が局所吸収指針を満足してい

ることを確認するための方法が定められ [3]、2002 年 6 月から携帯電話等に対して局所吸収指針の適合性評価が義務付けられている。また、2005 年に頭部 SAR 測定法の国際標準化が行われたため [4]、国内の標準測定方法も改訂されている [5]。図 1 に標準化された SAR 測定法の概念図を示す。人体頭部形状を模擬した無損失誘電体の外殻内部に人体頭部と等価な電気的特性を有する液剤を満たし、液剤中を等方性微小電界プローブで走査することにより、頭部内の局所最大 SAR 値を測定する。

NICT では、これらの国内及び国際標準化に必

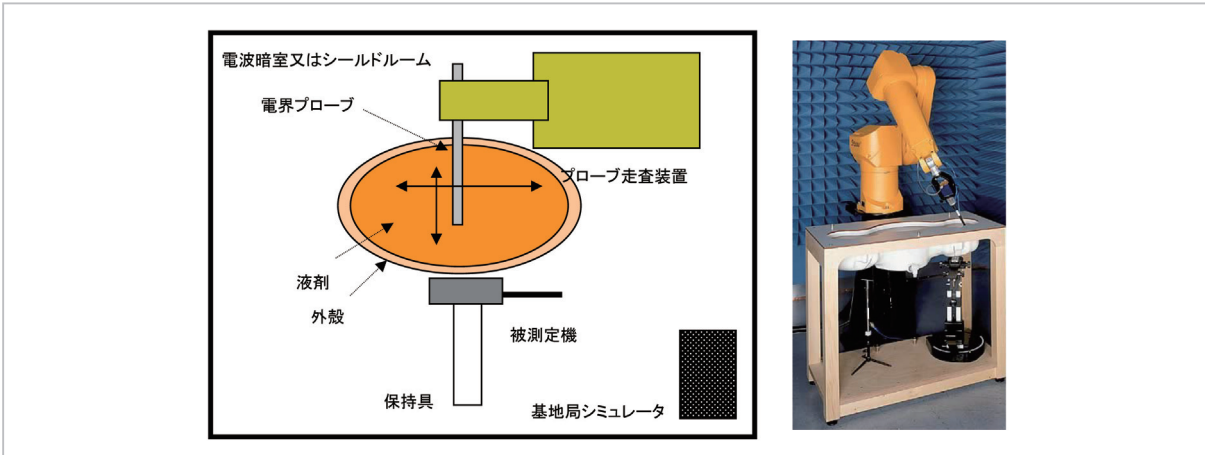


図1 標準 SAR 測定法の概念図

要な測定方法の研究を進めるとともに、国内での適合性試験のための較正システムの開発も行ってきた。本稿ではこれらの研究開発の概要について述べる。

2 SAR 標準測定法

2.1 頭部ファントム形状に関する研究

電波に曝露された人体内部の SAR を測定する場合、人体と等価な電気的特性を持った代替モデルを用いる。この代替モデルのことをファントム

と呼ぶことが多い。携帯電話等の局所吸収指針の適合性試験では、頭部ファントムとしては国際的に同一の形状のものが使用されている。この標準頭部ファントムは欧米人の頭部寸法の 90 パーセント値を有しており、SAM (Specific Anthropomorphic Mannequin) と呼ばれている (図 2)。我が国でもこの SAM モデルが標準頭部モデルとして用いられているが、日本人頭部の平均的サイズよりもかなり大きいため、その妥当性について実験的に検証した [6]。

また、携帯電話のアンテナ給電点に最も近接す

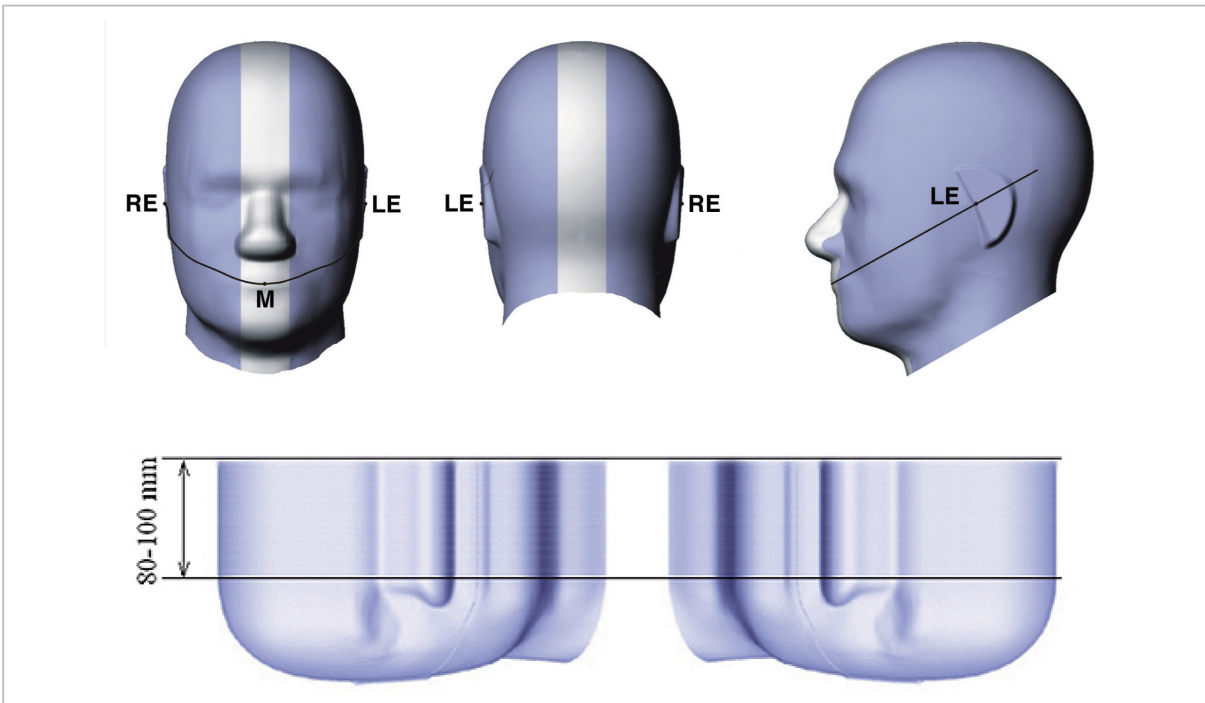


図2 国際標準頭部モデル (SAM)



図3 頭部ファントム(耳翼付きと耳翼無し)

表1 ファントム液剤の電気定数の目標値

周波数		電気定数		周波数		電気定数	
MHz	比誘電率	導電率[s/m]	MHz	比誘電率	導電率[s/m]	MHz	導電率[s/m]
30	55.00	0.75	2000	40.00	1.40		
150	52.30	0.76	2450	39.20	1.80		
300	45.30	0.87	3000	38.50	2.40		
450	43.50	0.87	4000	38.00	3.50		
835	41.50	0.90	5000	36.20	4.40		
900	41.50	0.97	5200	36.00	4.70		
1450	40.50	1.20	5400	35.80	4.90		
1800	40.00	1.40	6000	35.30	5.30		

る頭部耳翼の形状が頭部 SAR に及ぼす影響についても検討を行った。その結果、携帯電話端末の保持角度の違いによる影響ほどは大きくないものの、耳翼形状により頭部 SAR が相当に変動することを明かにしている [7]。この研究成果は IEEE 規格 [8] において引用されている。しかし、IEEE 及び IEC 規格では耳翼を損失媒質で満たすことによる測定手順の煩雑さと、耳翼の存在により頭部とアンテナが遠く離れてしまい頭部 SAR を過小に評価する可能性を考慮して、無損失の薄いスペーサを耳翼とすることとしている。

これらの研究では、欧米人の頭部寸法の 90 パーセントイル値を有する頭部ファントムに加え、日本人の平均寸法を有する頭部ファントム(耳翼付きと耳翼無し)を開発して用いている(図 3)。

これらの研究を通じて、国際標準頭部ファントム(SAM)を日本人に対する適合性評価試験に使用することの妥当性を明かにすることができた。現在は、頭部以外の場所で使用される携帯無線端末用の評価ファントム形状についての研究を進めている。

2.2 ファントム液剤に関する研究

頭部ファントムには頭部と等価な電気定数を有

する液剤が満たされる。この液剤の電気的特性は、電気的特性が異なる複数の組織から構成されている実際の頭部に対して、より過大な SAR となるように電気定数が定められている [9]。表 1 にファントム液剤の電気定数の目標値を示す。

表 1 のファントム液剤の電気定数の目標値を実現するための液剤の組成についての研究開発も進められているが、所望の周波数で比誘電率と導電率を同時に満足することは容易ではない。特に 1 GHz 以上の周波数での電気定数の目標値を実現する液剤としては、これまでは有害なアルコールを用いた液剤が使用されてきた。そこで NICT では、英国の NPL 研究所とブリストール大学と共同で環境への負荷が小さい材料を用いた液剤組成を開発している [10]。

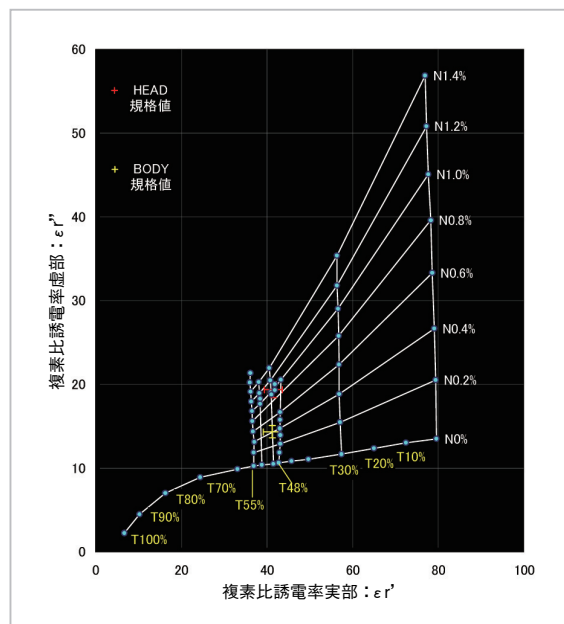


図4 ファントム液剤の組成比マトリックスの例

ファントム液剤は長期間使用をしていると水分蒸発等で組成比が変化し、電気定数が変化する。また、温度が変化することによっても電気定数が変化する。このため、NICT では様々なファントム液剤の組成比変化による電気定数の変動チャートと温度特性の評価を行っている [11]。

ファントム液剤の電気定数はこれまで市販の同軸開口プローブにより測定されることがほとんどであった。しかし、測定システムの不確かさやトレーサビリティが明確でない等の問題が指摘されているため、NICT では英国 NPL 研究所で開発された電気定数測定システムを整備し、複数の測定システムによる相互比較を実施している。さらに、国内外の複数の研究機関において、様々な液体サンプルのラウンドロビン電気定数測定を実施し、測定システムの妥当性評価のための標準試料の確立に向けた研究を進めている。

これらの研究を通じて、液剤の作成と管理をより簡便に行い、常に液剤の電気定数を目標値付近に保つことが可能となり、適合性試験時の測定の再現性向上が期待できる。現在、単一の組成で複数の周波数の電気定数目標値を実現するものや温度特性を改善したもの等、より高機能なファントム液剤の開発を進めている。

2.3 Type A 不確かさ評価に関する研究

2005 年に国際標準化された SAR 測定法では、詳細な不確かさ評価を義務付けている。特に、測定オペレータが携帯電話等を頭部ファントム直下の規定された位置に設置する際の誤差や、様々な携帯電話を保持する低損失誘電体支持具の影響等は、複数回の試行による統計的な誤差により評価

することとされている。このような不確かさは Type A と呼ばれる。NICT はテレコムエンジニアリングセンターや NTT ドコモと共同で、我が国における携帯電話端末を対象とした、これらの Type A 不確かさ評価を実施している [12]。

3 SAR プローブ較正方法

3.1 導波管型 SAR プローブ較正システムの構築と不確かさ評価

SAR 測定に使用する等方性微小電界プローブ（以下、「SAR プローブ」と略記する。）は図 5 に示すように、直交 3 軸に配置された微小ダイポールの受信電圧をダイオード検波した直流信号を高抵抗線を通じて出力する。ダイオード検波となるため、出力される直流信号は受信電界強度の実効値に比例したものとなる。また、高抵抗線は高周波電磁界との結合が小さいため、プローブ周辺の電磁界分布の変動を最小限にした状態での電界強度測定を可能としている。

SAR プローブで測定を行う場合、測定電界強度と出力直流電圧とを関係付ける感度比（較正係数）を求める必要がある。通常、アンテナ等の較正ではオープンサイトや電波暗室内等で較正を行うが、SAR プローブの較正係数はプローブ周囲の電気的特性に応じて変化するため、実際に SAR 測定に使用するファントム液剤中で較正を行う必要がある。

これまでに幾つかの SAR プローブ較正方法が提案されてきたが、NICT では国際標準測定法で推奨されている導波管を用いた SAR プローブ較正システムを整備してきた（図 6）。このシステム

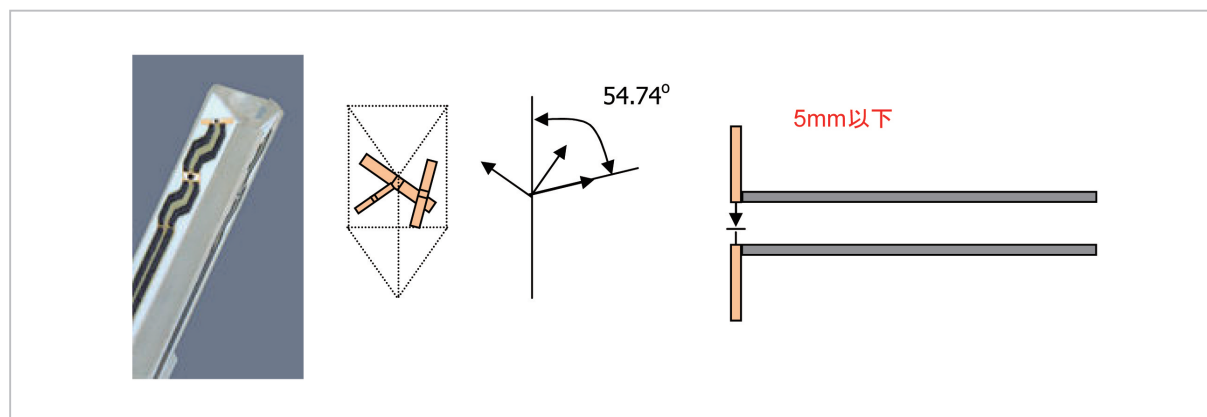


図5 SAR 測定に使用する等方性微小電界プローブの概念図

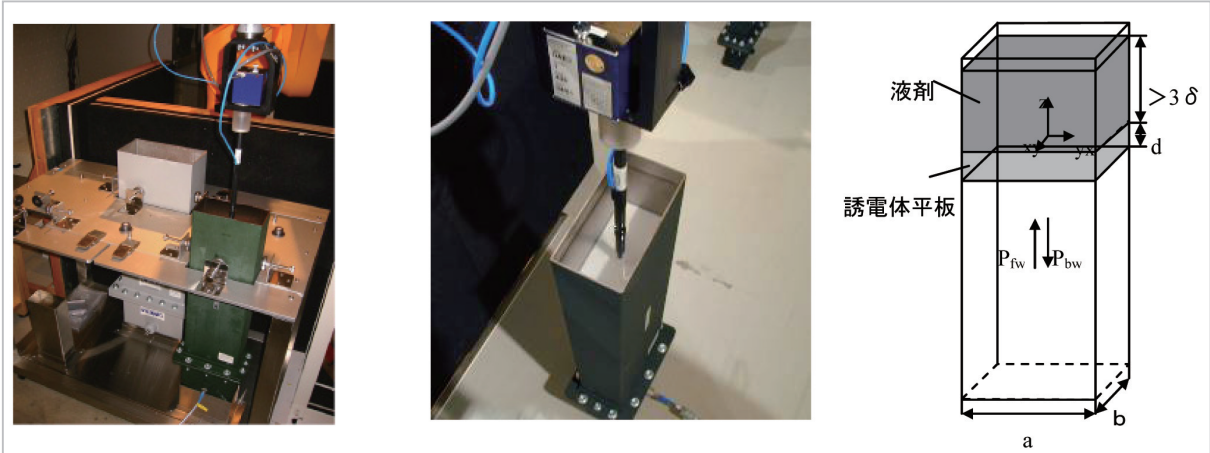


図6 NICTにおけるSARプローブ較正システム

では導波管を直立させ、ファントム液剤と整合するように設計された $\lambda/4$ 誘電体整合板の上部にファントム液剤を満たしている。この場合、導波管に入力する電力から液剤中に発生する電界強度分布を理論的に算出することができるため、液剤中に被較正 SAR プローブを挿入し、出力電圧と理論電界値を比較することにより、SAR プローブの較正を行うことができる。

導波管を用いた SAR プローブ較正システムでは、様々な不確かさ要因が存在している。NICTでは現在、英国 NPL 研究所及び韓国電波研究所と共同で、SAR プローブ較正の不確かさ評価に関する研究を進めている。これらの研究を通じて、我が国における SAR プローブ較正をより高精度かつ信頼性の高いものを目指すとしている。

3.2 SAR 較正システムの周波数拡張に関する研究

現在、国際電気標準会議 (IEC) では SAR 測定法の改訂に向けた作業を進めている。そのなかで、次世代の携帯電話や業務用無線端末で使用されている周波数帯を新たな対象とするべく、現在 300 MHz から 3 GHz の対象周波数を 30 MHz から 6 GHz に拡張することを目指している。特に 3 GHz 以上の周波数領域では導波管のサイズが非常に小さくなるため、SAR プローブの影響を無視できなくなる。そのため、NICT では新潟大学と共同で、新しい原理に基づく SAR プローブ較正方法についての研究を進めている (図 7) [13]。また、

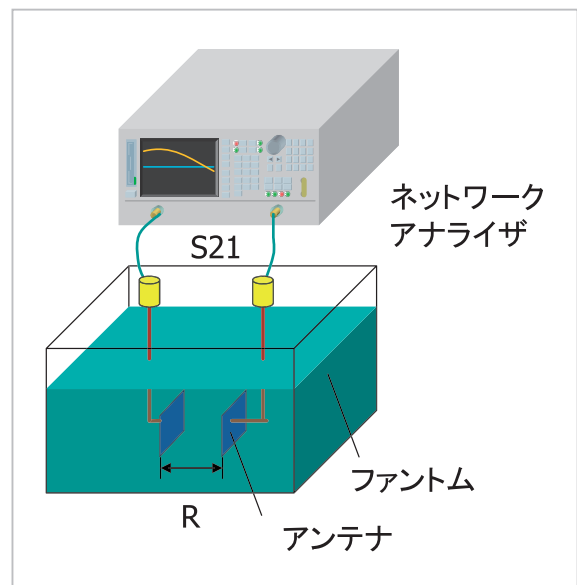


図7 SAR プローブ較正用液剤中小型アンテナの利得較正測定概念図

800 MHz 未満の周波数帯でも導波管のサイズが大きくなり過ぎるため、従来の SAR プローブ較正方法を適用することは難しい。そこで、温度測定により求めた SAR 値と比較することによる SAR 較正方法についての研究も進めている (図 8) [14]。

4 むすび

本稿では電波防護指針のうち、特に携帯電話等を対象とした局所吸収指針値の適合性確認のための試験方法に関する研究を紹介した。近い将来に実現するユビキタスネットワーク社会では、様々な携帯無線端末が人体の様々な部位に装着して利

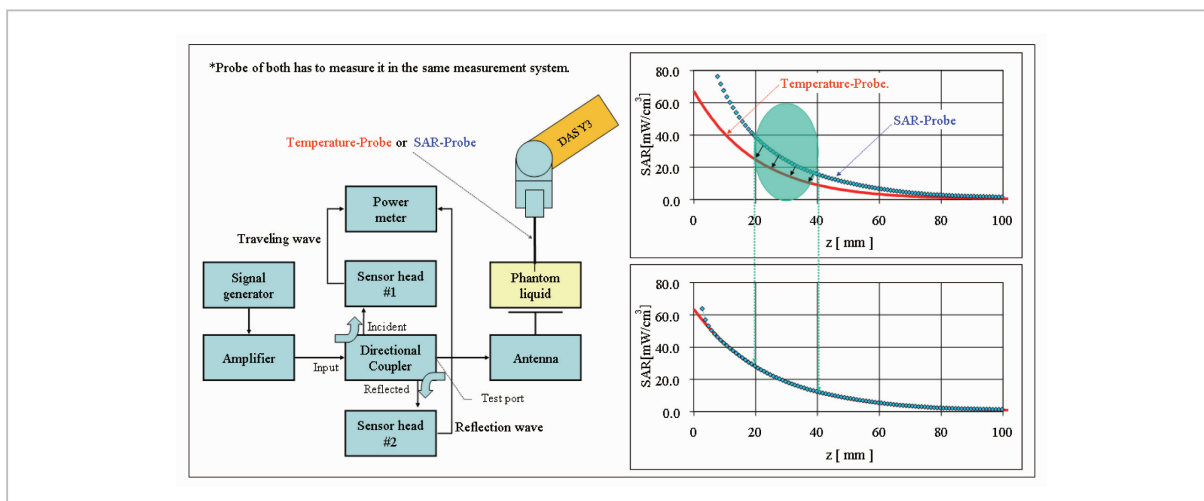


図8 温度測定によるSARプローブ較正実験例

用されると考えられる。このような無線端末を安全かつ安心して利用するために、SAR 測定法の拡張と改良が急務となっている。NICT では、SAR 測定法やその不確かさ評価及び較正方法等について様々な研究を進めている。特に、国内外の研究機関と積極的に連携して研究を進めており、測定法国際標準化作業への影響力を保つとともに、国内への導入も円滑に行えるものと考えられる。

また、本稿では紹介しなかったが、携帯無線端末以外にも VHF 帯における足首誘導電流の防護指針値の適合性確認法に関する研究^[15]や IH 機器等からの中間周波数磁界強度の測定方法に関する研究^[16]も進めている。これらの研究を通じて、電波防護指針を適切に運用することで、様々な環境で電波を安全かつ安心して利用できる環境の構築を目指している。

参考文献

- 1 電気通信技術審議会答申 諮問第 38 号, “電波利用における人体の防護指針”, 平成 2 年 6 月.
- 2 電気通信技術審議会答申 諮問第 89 号, “電波利用における人体防護の在り方”, 平成 9 年 4 月.
- 3 比吸収率 (SAR) 測定方法に関する電気通信技術審議会一部答申, 平成 12 年 11 月.
- 4 IEC international standard 62209-1: Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - Human models, instrumentation, and procedures - Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz), Feb. 2004.
- 5 人体頭部での電波吸収量の測定方法に関する情報通信審議会からの一部答申, 平成 18 年 1 月.
- 6 望月章志, 渡辺聡一, 多氣昌生, 山中幸雄, 白井 宏, “携帯電話の頭部 SAR 測定法で用いる頭部ファントムのサイズに関する検討”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-B, No.5 pp.640-648, 2002.
- 7 S.Watanabe, H.Wakayanagi, T.Hamada, M.Taki, Y.Yamanaka, and H.Shirai, "An experimental study on the dependence of local SARs on a human ear during exposure to MW from a cellular telephone", International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Tokyo, Japan, pp.341-344, 1999.

- 8 IEEE Standard 1528-2003, IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices, Measurement Techniques, Dec. 2003.
- 9 A.Drossos, V.Santomaa, and N.Kuster, "The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3,000 MHz", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.48, No.11, pp.1988-1995, 2000.
- 10 K.Fukunaga, S.Watanabe, H.Asou, and K.Sato, "Dielectric Properties of Non-Toxic Tissue-Equivalent Liquids for Radiowave Safety Tests", Proc. 2005 IEEE International Conference on Dielectric Liquids, ISBN 0-7803-8954-9, pp.425-428.
- 11 渡辺聡一, 麻生博之, 福永 香, 山中幸雄, 佐藤賢一, "SAR 評価用無公害ファントム液剤の開発", 2004 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-4-37, p.307, 2004.
- 12 市野ほか, "携帯電話のSAR測定における不確かさの評価", 信学技報 EMCJ2004-125, pp.49-54, 2005.
- 13 赤川拓平, 石井 望, 佐藤賢一, 浜田リラ, 渡辺聡一, "液剤中アンテナを用いた SAR プロブ較正(2)", 2005年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-4-60, p.384, 2005. 9.
- 14 S.Watanabe, H.Asou, K.Sato, L.Hamada, and T.Iwasaki, "Development of a SAR-probe calibration system based on temperature measurement", Bioelectromagnetics 2005, Dublin, Ireland, p.489, 2005.6.
- 15 高橋良英, 荒井克明, 渡辺聡一, 有馬卓司, 宇野 亨, "足首誘導電流評価用人体等価アンテナの開発", 平成 17 年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, B-4, p.66, 2006.3.
- 16 鈴木ほか, "日本人男女モデルを用いた IH 調理器周辺磁界の曝露評価", 信学総大, B-4-27, p.388, 2005.



わたなべ そういち
渡辺 聡一
無線通信部門生体 EMC グループリー
ダー 博士 (工学)
生体電磁環境

はまだ りら
浜田 リラ
無線通信部門生体 EMC グループ専攻
研究員 博士 (工学)
比吸収率測定及びプローブ較正



わげか なこ
和氣加奈子
無線通信部門生体 EMC グループ主任
研究員 博士 (工学)
生体電磁環境



ふくなが かおり
福永 香
無線通信部門 EMC 推進室主任研究員
博士 (工学)
誘電絶縁材料



やまなか ゆきお
山中幸雄
無線通信部門 EMC 計測グループリー
ダー
EMC 測定



すずき けんじ
鈴木 晃
無線通信部門 EMC 計測グループ主任
研究員
較正



すぎやま つとむ
杉山 功
無線通信部門 EMC 計測グループ研究
員
EMC 測定



さとうけんいち
佐藤賢一
NTT アドバンステクノロジー株式会社
電磁環境両立性



みよた しろう
御代田 至弘
NTT アドバンステクノロジー株式会社
電磁環境両立性



あそ ひろし
麻生博之
無線通信部門生体 EMC グループ
電磁両立性 (EMC)



くろかわ ひでお
黒川英男
NTT アドバンステクノロジー株式会社