

財団法人テレコムエンジニアリングセンター

公益的調査研究助成

成果報告書

調査研究テーマ

全身に吸収されるSARの測定法に関する研究

助成期間

平成 21年 4月 ~ 平成 24年 3月

提出期日

平成 24年 4月

研究代表者氏名

有馬 卓司

所属機関・職名

東京農工大学・講師

1. 調査研究の概要

調査研究テーマ	全身に吸収される SAR の測定法に関する研究	
助成期間	平成 21 年 4 月 ~ 平成 24 年 3 月	
報告者 (助成対象者)	有馬 卓司	印
勤務先	機関名	東京農工大学
	住所	東京都小金井市中町2-24-16
	TEL	
	E-mail	
助成金額		
本報告書作成日	平成 24 年 4 月 27 日	

調査研究概要

携帯電話や無線 LAN に使用される、マイクロ波帯において電磁波の一部は人体へと吸収される。人体に吸収される電磁波量の評価指標としては SAR[W/kg] (Specific Absorption Ratio: 単位質量あたりの電磁波吸収量) が使用される。SAR について、動物実験などを通して指針値が定められており、この指針値以下になるように、電波事業者は各システムの設計を行っている。すなわち、この SAR を測定することは、我々の安全性を守る上でも非常に重要である。動物実験等で用いられる小動物に、吸収される SAR の総量: 全身平均 SAR を簡易に測定する手法はこれまで開発されていない。本研究では、簡易に全身平均 SAR を測定する手法として Wheeler 法およびその改良法を用いることを提案した。Wheeler 法とは、測定対象にシールドを施すのみでアンテナ効率を測定する手法である。図にその測定装置を示す。その結果、簡易かつ高精度に測定できることを実験およびシミュレーションを通して示すことができた。また、本研究では小動物の全身 SAR 測定を目指していたが、より大きな人体頭部サイズでも測定可能であることをシミュレーションを通して示すことができた。

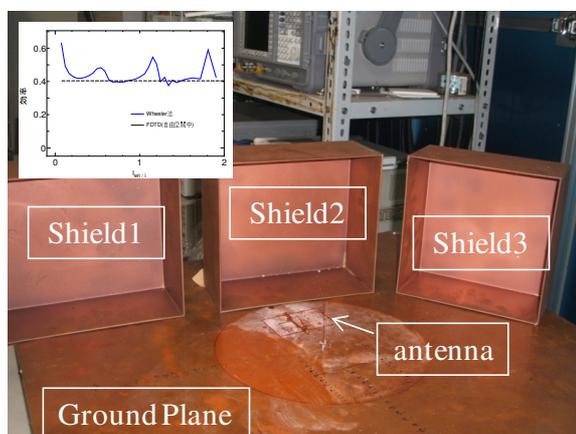


図 開発した wheeler 法による測定装置

2. 調査研究の詳細

2.1 課題名:

全身に吸収される SAR の測定法に関する研究

2.2 調査研究の背景

現在、携帯電話をはじめとする、ワイヤレス通信の発達により、電磁波にさらされる機会がふえたことにより、電磁波曝露による、人体への健康影響が懸念されている。携帯電話や無線LANに使用される、マイクロ波帯において、人体への影響は熱的影響が主であることが知られている。人体に吸収される電磁波量の評価指標としては SAR[W/kg] (Specific Absorption Ratio: 単位質量あたりの電磁波吸収量) が使用される。SAR は国や国際機関より指針値が定められており、この指針値以下になるように、電波事業者は各システムの設計を行っている。すなわち、この SAR を測定することは、我々の安全性を守る上でも非常に重要である。一方、SAR の測定は一般的に、温度を測定し、これをエネルギー量に変換することで実現している。具体的には、光ファイバー型温度計を電磁波が曝露される対象物に埋め込み、電磁波曝露前と後の温度差を測定する、点での測定法と、サーモグラフィカメラを用いて、曝露前の温度分布と、後の温度分布を測定する、面での測定法がある。これら手法の有効性は、シミュレーションと比較する事により、有効性が確認されている。一方、全身にどれだけの電磁波が吸収されたかと言う、全身 SAR の測定方法は確立されていない。

研究代表者らは、これまで小動物を用いた電磁波の生体影響について議論してきた。動物実験においては定量的に電磁波の吸収量を調べるためにファントムと呼ばれる、誘電体を用いられる。このファントムは電気定数および形状を動物と合わせてあり、動物に電磁波がどれくらい吸収されたかを知るには、このファントムを用いて実験を行う事がしばしばある。動物実験においても全身にどれくらい電磁波が吸収されたかを知るとは非常に重要である。しかし、前述したように効率的に全身 SAR を測定する手法は無く、電磁界シミュレーションを用いるのが一般的であった。

2.3 調査研究の目的:

本研究では、効率的に全身 SAR を測定する手法の開発を目的とする。これまで、全身吸収 SAR を測定する手法としては

- 1) 電界プローブを走査する方法
- 2) 全放射電力 (TRP) を測定し入力電力と比較する手法
- 3) TEM セルを用いる手法

がある。1)の手法は対象が液体でない限り用いることはできない。通常の実験において液体ファントムを用いることはあるが、研究代表者が考えている動物モデルのファントムにおいて、液体ファントムを用いることはできない。そのためこの手法を用いることはできない。2)の手法は、アンテナ分野において、アンテナの放射効率を測定する際に用いる手法として知られている。全放射電力を求めるには、アンテナを囲む仮想閉局面を考え、その局面上の放射電界を積分する。閉局面上の電界をすべて積分するにはアンテナを3次元的に走査する必要があり、大規模な装置が必要になる。これは研究代表者が考えている簡易な手法とは程遠い。3)の手法は、TEM セルと呼ばれ、金属で囲まれた閉空間に平面波を発生させ、閉空間通過後の電磁波を測定できる装置の中に、人体モデル等を配置することにより電力の吸収量を測定する手法である。しかしこの手法も大規模な測定装置が必要になる。以上より全身に吸収される SAR を簡易に測定する手法は無いのが現状である。

以上より本研究では、簡易な全身 SAR の測定手法開発に関する実験およびシミュレーション一連の研究を行う。

2.4 調査研究の意義:

この全身 SAR の測定は、携帯電話使用時の状況および、携帯電話基地局の近隣で生活する人の安全性を評価するためにも非常に重要な要素となる。携帯電話事業者においても、安全性に対する関心は日に日に高まっている。また、全身 SAR の重要性については、世界保健機関(WHO)の声明においてもその重要性が指摘されている。

本研究を通して、電磁波の安全性が容易に確かめられるようになれば電磁波の応用範囲が広がると考えられる。

2.5 調査研究の方法:

本研究では下記の 1)~5)について研究を行った

1)既存全身 SAR 測定手法の開発

既存の全身 SAR 測定法に

- ・カロリメトリー法
- ・携帯電話近傍の磁界分布より補外して簡易的に全身 SAR を測定する手法
- ・散乱電磁界を積分する手法

について調査をおこなった。

2)シミュレーションによる解析手法の開発

簡易全身 SAR の測定法として、足首誘導電流と全身平均 SAR の関係を調べた。

3)シミュレーションによる新しい測定手法の開発

アンテナの放射効率を測定する手法として知られている、Wheeler 法を SAR 測定に応用することを提案しその開発を、シミュレーションを用いて行う。シミュレーション手法は複雑な媒質を容易に解析できる FDTD 法を用いた。放射効率はアンテナの入力電力から放射されずに損失となる電力を引くことで求まる。この理論を応用し、媒質に吸収され発生する SAR を損失と考え、アンテナ効率より SAR を見積もることができると考えた。効率よく実験を行うようにシミュレーションを十分に行った。

3)実験による新しい測定手法の開発

提案する手法の有効性を実際に実験により確かめた。実験において、Wheeler キャップは異なる大きさ(6種類)の金属製調理用ボールおよび方形銅製キャップを用いた。アンテナは有限地板上のモノポールアンテナとした。実験条件はアンテナからの距離をパラメータとして行ったその有効性を実験を通して確認する。

4) 実験およびシミュレーションによる新しい測定手法の有効性の検討

3)により、提案する手法は非常に高精度に求まることが分かった。研究の最初は小動物サイズのファントムを主目的としていたが、それよりも大きなモデル、たとえば人体頭部などに対して提案した手法が有効であるか検討する。

2.6 調査研究の特色

世界的に見て、全身 SAR の測定は研究段階であり、まだ一般化されていないことは明らかである。また国内は特に、全身 SAR 測定に関する研究は行われておらず、非常に独創的であるといえる。本研究では、全身 SAR の測定法として、wheeler 法に注目している。wheeler 法とは、対象物から電磁波を照射した状態と、金属シールドで囲い放射を制限した状態、それぞれでアンテナの反射係数を測定する。それぞれの状態における反射係数を測定することにより、簡易にアンテナの放射効率を測定する手法である。本研究では、人体に吸収される電力を損失と考え、損失を求めることにより SAR を求めるという画期的な手法である。また、研究代表者は、FDTD法を用いた SAR のシミュレーションを用いた評価については、いくつか実績を上げている。このシミュレーションと実測を組み合わせ、効果的な全身 SAR の測定方法を確立する。

3. 年度ごとの調査研究内容

初年度分 平成 21.4～平成 22.3

本研究では、SARの簡易測定法の調査研究を行った。特に本研究では、厳密な測定が困難な全身に吸収される SAR(全身 SAR)の簡易測定法について検討を行ったものである。

まず既存の全身 SAR 測定法について調査を行いその特徴を抽出した。調査を行った方法は

- ・カロリメトリー法
- ・携帯電話近傍の磁界分布より補外して簡易的に全身 SAR を測定する手法
- ・散乱電磁界を積分する手法

である。

それぞれの結果の要旨は

・カロリメトリー法:

概念を下図に示す。大電力の曝露でないと正確に全身 SAR が求まらない。さらに水槽の大きさに制限があり大規模モデルは難しい。

・携帯電話近傍の磁界分布より補外して簡易的に全身 SAR を測定する手法:

市販の i-SAR について調査を行ったが、非常に高速で SAR を見積もれることが分かった。この手法を元に全身 SAR の測定を行えば非常に高速になると考えられる。

・散乱電磁界を積分する手法:

高精度で制約条件も少ないが、大掛かりな装置が必要であり、測定時間も既存のシステムでは 24 時間と簡易測定とは程遠い。

調査した手法の中では、総合的に「携帯電話近傍の磁界分布より補外して簡易的に全身 SAR を測定する手法」は簡易な測定に向いていることが分かった。

次に、簡易全身 SAR の測定法として、足首誘導電流と全身平均 SAR の関係を調べた。その結果アンテナ分野でよく知られている等価アンテナ高の考え方を使う手法を提案した。しかしこの手法も大型のクランプ型電流計が必要であり開発が必要という事が分かった。

以上より、簡易に全身 SAR を測定するにはこれまでにない手法を用いる必要があることが分かった。そこで研究者は、SAR を損失と考え、アンテナ効率の測定法を SAR 測定に応用することを次年度以降検討する。具体的には wheeler 法や楕円鏡カプラーなどの手法である。

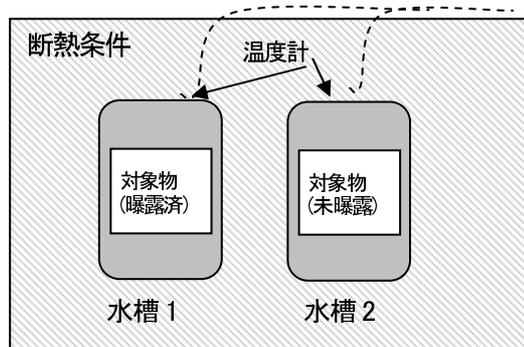


図 カロリメトリー法の概念

平成 22.4～平成 23.3

成果を下記 1～3 にまとめる

1. 簡易な全身平均 SAR の測定手法として wheeler 法を用いることを提案した。

アンテナの放射効率を測定する手法として知られている, Wheeler 法を SAR 測定に応用することを提案した。放射効率はアンテナの入力電力から放射されずに損失となる電力を引くことで求まる。この理論を応用し, 媒質に吸収され発生する SAR を損失と考え, アンテナ効率より SAR を見積もることができると考えた。後述するように FDTD 法を用いたシミュレーションおよび実験により, 提案する手法は有効である事を示した。

2. FDTD 法を用いたシミュレーションを通してその有効性を理論的に示した。

提案する手法の有効性を FDTD 法を用いたシミュレーションによって明らかにした。シミュレーションモデルは, 図1に示すものである。このモデルに対し, 自由空間中の条件でシミュレーションした結果と, FDTD 空間中に Wheeler キャップを設置したモデルのシミュレーションを行い Wheeler 法により, 効率を測定した。その結果提案手法は約5%の差異で求めることができることが分かった。この効率より, 1W 入力に対する SAR を見積もることが可能である。

3. 実験を通し有効性を実験的に示した。

提案する手法の有効性を実際に実験により確かめた。実験において, Wheeler キャップは異なる大きさ(6種類)の金属製調理用ボールを用いた。アンテナは有限地板上のモノポールアンテナとした。実験条件はアンテナからの距離をパラメータとして行ったが, 約 6%の差異で求まることが分かった。

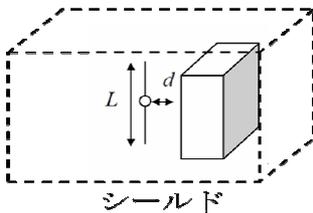


図. FDTD 解析モデル

	改良型Wheeler法 (FDTD法)	FDTD (自由空間中)
効率[%]	53.9%	48.3%
全身平均 SAR[W/kg] (1Wあたり)	1.17W/kg	1.31W/kg

図. FDTD 法結果

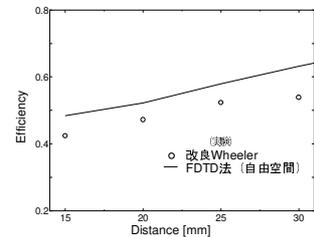


図. 実験値とシミュレーション結果

最終年度である平成 23 年度は提案した wheeler 法を用いた全身 SAR 測定法の応用範囲について下記 3 点検討した

1. **Wheeler 法に用いるシールドの形状についてその特性を明らかにした**

Wheeler 法は図 1 に示すように、測定対象をシールドで覆った条件と覆わない条件双方で測定し、比較することにより損失電力(=全身に吸収される SAR)を測定する手法である。このシールドの形状について、比較的容易に手に入れることのできる球形と数値的に解析しやすい方形について比較し方形のほうが安定した結果が得られることを解析および実験双方で確認した。

2. **Wheeler 法に用いるシールドのサイズについてその特性を明らかにした**

Wheeler 法はシールドの大きさによって正しく測定できるときとできないときがある。これは、シールドが共振器として働いてしまうためであり、実用上問題であった。そこで、図2に示すように、方形のシールドの長さ方向を変化させ正しく測定できる条件とできない条件を明らかにした。その結果図 3 に示すように、0.6・ごとに正しく測定できないことが分かった。このことより、0.6・シールドの大きさを変化させればその中に正しい測定結果があることが分かった。

3. **人体頭部サイズに対して提案した手法が有効か検討した**

提案してきた全身 SAR 測定手法は主に小動物を用いた動物実験などを想定していた。そのため被測定物は長辺で 10cm 程度だった。提案する手法のさらなる応用を考え人体頭部サイズのファントムを用いたシミュレーションを行った。その結果、提案する手法は人体頭部サイズの測定にも応用可能であることが数値的に確認された。

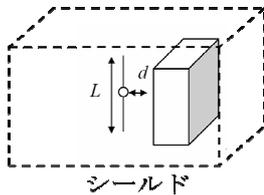


図. FDTD 解析モデル1

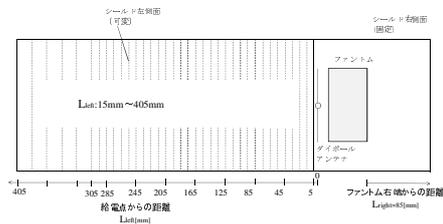


図. モデル 2

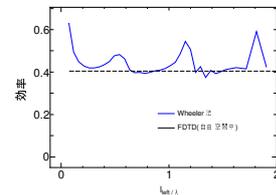


図. 実験値とシミュレーション結果

4. 調査研究成果の説明

得られた成果に対する自己評価

これまでになかった簡易な全身 SAR の測定手法について提案できその有効性をシミュレーションおよび実験を通して示すことができた。また、国際的な雑誌である IEEE transaction on EMC に投稿するなど(実験等が遅れた関係で、投稿自体が遅れてしまい現在条件付き採録で修正原稿作成中である)十分な成果が示せたと考える。また、有効性について未解明な部分も多く、今後解明されれば様々な分野で実用化されたいと考える。

主な成果リスト

- [1]有馬 卓司, 宇野 亨, " FDTD 法を用いた大地上人体モデルの全身 SAR 解析", 電子情報通信学会技術研究報告, ABR2009-4, pp.17-20, 2009.11
- [2]有馬卓司, 今村崇志, 宇野亨「Wheeler 法を用いた全身に吸収される SAR の測定」電子情報通信学会次世代無線設備試験認証技術研究会技術報告 ACT2010-15, pp.49-52, 2010.12
- [3]今村崇志, 有馬卓司, 宇野 亨, " Wheeler 法を用いた全身に吸収される SAR 測定法", 2011 年電子情報通信学会通信総合大会論文集, B-4-20, p.333 2011.3
- [4]Takuji Arima, Takashi Imamura and Toru Uno, "New measurement method of whole body sar by using wheeler cap method" Proc. XXX URSI General Assembly and Scientific symposium of International Union of radio Science, KP1.11, Istanbul Turkey, Aug. 2011
- [5] Takuji Arima and Toru Uno, " A New Whole Body SAR Measurement Technique by Using Wheeler Cap Method", Proc. 2011 International Symposium on Antennas and Propagations, Cheju, Korea, 2011.10
- [6]有馬 卓司, 宇野 亨, "Wheeler 法を用いた全身に吸収される SAR 測定法の有効性に関する検討", 電子情報通信学会技術報告, ACT2011-10, 20011.12, 沖縄県立博物館, 那覇市
- [7] Takuji Arima and Toru Uno, " Measurement of Whole Body SAR by using Wheeler Method and its FDTD Simulation", 電子情報通信学会技術報告, AP2011-135, pp. 19-19, 2012 年 1 月.

参考

Takuji Arima, Takashi Imamura and Toru Uno, " Whole Body SAR (WB-SAR) measurement technique for small phantom by using Wheeler Cap method", submitted to IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility (conditional acceptance, 2012.4)