

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：57101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25350527

研究課題名(和文)日常生活における妊娠女性・胎児へのデジタル電磁波影響の高精度シミュレーション

研究課題名(英文)Precise Numerical Simulation of Electromagnetic Influences toward Fetus and Pregnant Woman from Digital Wave Exposure in Daily Life

研究代表者

ウリン トヤ(烏仁図雅)(Wuren, Tuya)

久留米工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授

研究者番号：80401800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、市販のソフトでは実現困難な、人体の様々な組織の周波数依存性を考慮した妊娠女性や成人頭部での電磁波吸収率および人体内部の電磁波強度の詳細な数値解析を行った。電磁波源として家電製品からの漏洩を含む正弦波および近年の通信システムに使用されるデジタル変調波を考慮した。本解析結果より、特定の周波数における電磁波の人体による吸収率が高いこと、デジタル信号における急峻なパルス状の電磁波では人体内部で正弦波より高い瞬時電界強度となることが示された。これらの結果は今後の通信システム構築において人体への電磁波の影響を考慮する上で参考となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have investigated numerically in detail electromagnetic wave absorption and electromagnetic field strength in a pregnant woman and an adult head by considering the frequency dependency of all tissues in human body, while it is difficult to consider with commercial software. We have analyzed simple sine waves including leak electromagnetic wave from household electrical appliances, and digital modulation waves used for modern telecommunication systems as irradiation waves. The results show that, as the size of the head comes closer to those that may cause an electromagnetic resonance at a certain frequency of our interest, the energy absorption increases, and that the intensity of the electromagnetic field is more intense for steeper transition of digital signals. These results are expected to provide data that are useful for the construction of future telecommunication systems.

研究分野：高周波回路解析設計・電磁波解析

キーワード：電磁波 人体 FDTD法 周波数依存性 周波数分散 デジタル変調波 胎児

1. 研究開始当初の背景

電磁波を利用する電気製品や無線通信機器が普及し、今後ますます増加する傾向にある。電磁波の人体への影響はこれまで詳細に研究されており、がん、脳や眼球への電気刺激、心臓疾患、生殖・発達への影響などが明らかにされている。それらの研究結果は世界保健機構 (WHO)、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) などの報告書に記載されており、電磁波の利用に関する安全基準が提言されている。しかし、人体への電磁波影響は、様々な要因が複合的に作用していることから非常に複雑であり、これまでの研究結果は「安全基準を満たす限り、影響があるとは言えないが、全くないとも断言できない」と結論付けており、その影響は未だ完全には明らかになっていない状況にあると言える。胎児への影響に関してもこれまで様々な研究が実施されていますが、細胞分裂の活発な発達段階における影響は未知の点が多いため、さらに慎重な対応が求められている。特に、パルス波やデジタル変調波では、瞬時的に非常に強い電磁界が生じるため、この影響を正確に評価することが急務となっている。

2. 研究の目的

本研究では、妊娠女性や胎児が日常的に受ける電磁波を、測定および超並列計算によるシミュレーションを用いて定量的に評価する。電磁波による健康被害を防ぐために、身の回りの電気・通信機器からのノイズやデジタル変調波など、広帯域の周波数成分を含む電磁波が複合的に作用して人体に及ぼす影響の調査が急務であり、人体内部の瞬時的な電磁界強度を申請者らの研究成果である超並列計算プログラムを用いて、人体組織の周波数特性を最大 100GHz まで考慮して解析する。

3. 研究の方法

本研究では、各種電気機器、通信機器から放出される電磁波を数値モデル化し、成人、妊娠女性・胎児および小児の体内における瞬時的な最大強度分布とエネルギー吸収量を解析した。日常生活において身の回りの電子レンジなど、家電製品や通信機器の放出する電磁波の強度を文献調査と実際の測定により調査し、数値解析のためのパルスノイズ波やデジタル波の信号源の数値モデル化を行った。

成人男性、成人女性モデル妊娠女性と胎児の数値モデル[1]を FDTD 法の計算プログラムに組み込み、超並列コンピュータ上で実行できるようにした (図 1)。

有限差分時間領域 (FDTD) 法に誘電率の周波数特性[2]を考慮できるような機能を付加したプログラムを作成した (図 2)。

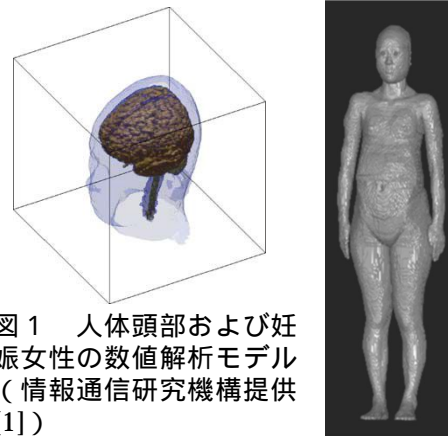


図 1 人体頭部および妊娠女性の数値解析モデル (情報通信研究機構提供 [1])

これに、人体モデルの入力、材料定数の設定をし、さらに、信号源の種類を周期的ノイズ、パルス、デジタル変調波 (BPSK: binary phase shift keying、QPSK: quadrature phase shift keying) が取り扱えるようにした。

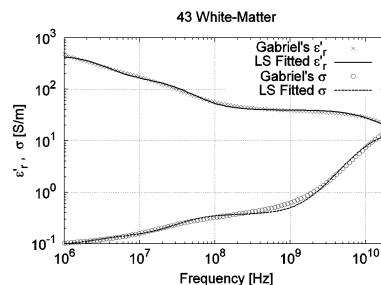


図 2 1MHz から 20GHz までの周波数依存性を考慮した人体組織の電気特性の数値解析モデル化例 (脳の白質の誘電率および導電率)

周波数 400MHz ~ 6GHz でのデジタル通信方式について様々な使用環境を想定し数値解析を行った。人体組織は誘電率が高く、人体内部での波長は自由空間よりもかなり小さくなります。したがって、空間分割を細かくする必要があり、人体の解析は大規模な計算になるため、並列コンピュータ上で実行が必要であった。

4. 研究成果

研究最初段階で行った成人女性モデル頭部の解析では、FDTD 法を三次元に拡張したプログラムを用いて、頭部に BPSK 信号を照射したとき吸収される電磁波を計算した。また、搬送波にのせるデジタル信号の変化を緩やかにしたときの吸収率の変化について解析を行った。BPSK 信号の周波数成分や計算結果のプロットによると、BPSK 信号に傾きがあるほうが人体への電磁波の吸収率は低くなることがわかった (図 3 および図 4)。

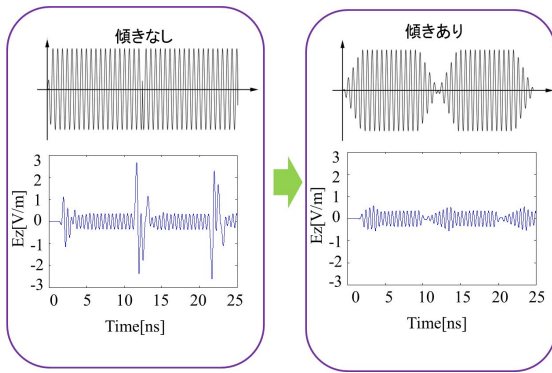


図3 デジタルパルス波の信号切り替わり時のパルス整形の有無に対する過渡応答比較(左:パルス整形なし、右:あり)

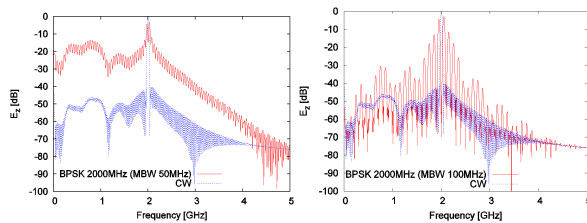


図4 搬送波周波数2000MHzにおける変調周波数の違いによるスペクトルの変化(左:パルス整形なし、右:あり。赤: B P S K信号、青: 正弦波)

H27年度以後の研究では、妊娠女性モデルを取り入れ、また電子レンジの漏洩電磁波をログペリアンテナ及びスペクトラムアナライザを用いて詳細に計測し(図5)、シミュレーションにおける信号源に反映させ、計算を行った。

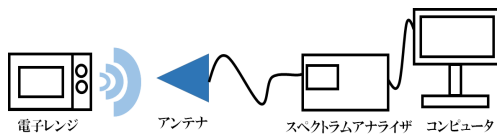


図5 電子レンジからの漏洩電磁波の測定

電子レンジの正面曝露を想定し、入射する電磁波の電界強度を波源から0.1[m]地点で8[V/m]、2.45[GHz]正弦波とし、妊娠女性モデルへ50[ns]の間照射した。妊娠女性モデルデータ領域は582[mm] × 316[mm] × 1610[mm]ですが、本研究では領域最下端から高さ535[mm] ~ 805[mm]の腹部に限定する。空間の刻み幅を2[mm]、球面波の波源を領域最下端から高さ670[mm]かつ体の中心から体正面方向に158[mm]の場所に置き、胎児モデルの脳内での電界の時間変化とエネルギー吸収率(EAR)を計算した。

解析より得た断面でのEARを図6に示す。カラーボックスはEAR[W/m³]を表し、白色が強くなるほど大きいことを示している。

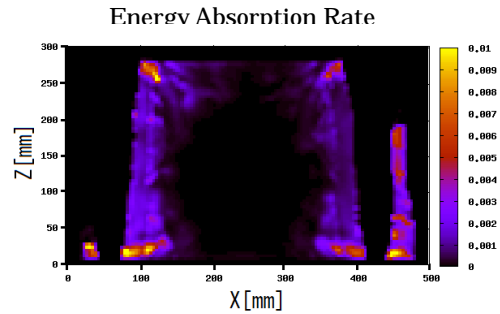


図6 妊娠女性の腹部への電磁波の浸透の様子

これより母体よりも胎児の吸収率は低いことが分かる。吸収率の大きい箇所が表面から50[mm]程度までであることから、胎児に到達するまでに電磁波の大部分が母体に吸収されていることがわかる。

H28年度の研究では、妊娠女性モデルにおける、入力信号として正弦波およびBPSK信号の解析を行った。周波数帯は0.1GHzから0.1刻みで3.0GHzまでとした。計算結果より、胎児脳内の電磁波吸収率に大きな周波数依存性があることが示された(図7)。

胎児のエネルギー吸収率のピークは1.2~1.5GHz付近で、その後周波数が高くなるにしたがって吸収率は小さくなり3.0GHzではほぼ吸収されていない。このように、ある特定の周波数の信号の吸収率が高くなったことの原因として、信号の波長、人体の形や大きさによって、ある周波数で共振現象が起こっていることが考えられる。この結果については、より広い周波数範囲について詳細に解析する必要がある。また、全ての周波数において、パルス信号の立ち上がりで高い吸収率となっている。このことから、デジタルパルス信号は、急な立ち上がりや立下りを繰り返す信号であるため、正弦波のような変化が緩やかな信号より、人体への影響が大きい可能性があることが示唆された。

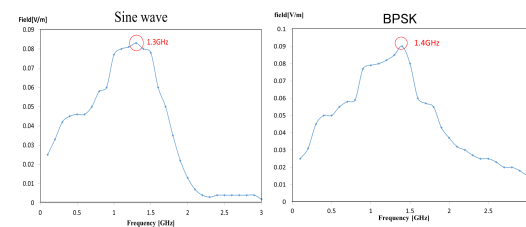


図7 人体内へ浸透した電磁波のスペクトル比較(左:正弦波、右: B P S K)

H29年度の研究では、妊娠女性モデルに対して、入射する電磁波の種類を正弦波、BPSK信号、QPSK信号の三種類とし、周波を1GHzから6GHzまでとし、計算解析を行い、解

析が正常に実施できることを確認した(図8)。今後、BPSK および QPSK 信号に加え、より現実に近い変調方式をモデル化し、詳細な定量的かつ系統的な解析を行うことが重要である。

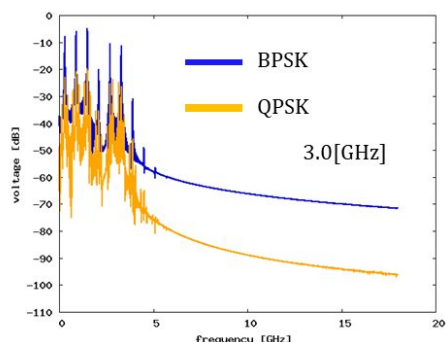


図8 デジタル変調のBPSKおよびQPSKの信号のスペクトル強度

<引用文献>

[1] T. Nagaoka and S. Watanabe et.al., “Development of realistic high resolution whole-body voxel models of Japanese adult male and female of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry”, Physics in Medicine and Biology, vol. 49, pp. 1-15, 2004.

[2] C. Gabriel, “Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies”, Tech. Rep., Brooks Air Force Technical Report AL/OE-TR-1996-0037, 1996.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計3件)

1. T. Wuren, K. Yoshimura, M. Fujii, “Frequency dispersive FDTD analysis of digital pulse radiation toward the fetus in pregnant woman”, Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Singapore, Nov. 19, Session OA8-SC5, Paper No. 7, 2017.

2. 吉村 和真 ウリントヤ “電子レンジ漏洩電磁波曝露を想定した妊娠女性モデルの解析” 電子情報通信学会 2016 年総合大会講演論文集 B-4-2, 2016 年、3 月

3. T. Wuren, Y. Tanaka, M. Fujii, K. Kamiyama, A. Ando, and F. Costen, “FDTD

Analysis of Digitally-Modulated Electromagnetic Wave Propagation in Human Head”, Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Guangzhou, China, Aug. 25-28, Session 3P-14, Paper No. 10, 2014.

6. 研究組織

(1)研究代表者 ウリントヤ (WUREN TUYA)
久留米工業高等専門学校 電気電子工学科 准教授

研究者番号：80401800

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

藤井雅文 (FUJII MASAFUMI)
富山大学 大学院理工学研究部(工学) 准教授
研究者番号：60361945

大平孝(OHIRA TAKASHI)
豊橋技術科学大学 工学(系)研究科(研究院)教授
研究者番号：30395066

(4)研究協力者

()