

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 3月31日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500420

研究課題名（和文）微弱高周波電界による生体内計測技術

研究課題名（英文）Measurement inside of the human body using weak radio-frequency electric field.

研究代表者

稗田 一郎 (HIEDA ICHIRO)

独立行政法人産業技術研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号：10357832

研究成果の概要（和文）：微弱な高周波電流を用いた、安全で簡便な生体計測技術に関する基礎的研究を行った。水分含有率の高い生体組織に見立てた小型水槽について、測定実験と数値シミュレーションの結果を比較したところよく一致し、本測定技術の基本的な原理が説明できた。また、これまでの高周波電界の電界強度に加えて、位相が測定できるように実験装置の改良を行い、動作が確認できた。位相情報を活用した信号解析手法の開発、および本技術の応用分野について、今後検討していく予定である。

研究成果の概要（英文）：Basic study of measurement of the living human body using weak electric field at radio frequency (RF) was performed that was simple, safe and cost-effective. A small water tank filled with water was measured and numerically simulated that imitated a tissue of the human body containing relatively much moisture. Both of the results matched each other and the basic theory of the method was explained. Moreover, the experimental system was upgraded to have phase measurement capability of the RF electric field intensity. The phase of the electric field was successfully measured. The author plans to develop a new method of signal processing that uses phase information and to consider application field of the proposed method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：人間工学

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：生体情報・計測・高周波電界・SDR・FDTD

1. 研究開始当初の背景

電気・磁気を応用した生体計測技術は、多彩な方式が提案、研究開発され、実用化されているものも多い。そのうち、簡便で安全性が高いものとして、生体インピーダンス計測、磁気インダクショントモグラフィー(MIT)、電界強度トモグラフィー(本提案のもととな

る技術)などが挙げられる。

生体インピーダンス計測は、生体に微弱な電流を流して測定される抵抗値の変化を、生理的現象を反映したものとしてとらえるもので、研究の歴史は古く応用例も多い。今日普及している応用技術として、家庭用の体重計に組み込まれた体脂肪率計測装置が挙げら

れる。
 研究代表者は、生体インピーダンス計測の研究にかつ携わった。生体インピーダンス計測では皮膚に電極を密着させる必要があり、皮膚と電極の接触部の抵抗は不安定で、測定の精度を上げるのが難しく、被験者によっては、胸部や腹部、頭部といった部位に、電極の金属、電解ジェルや粘着テープなどを使用することに不快感を訴えたり、実際にかぶれたりすることもある。

この接触抵抗に起因する測定の不安定性と被験者の不快感を解消するために、非接触で生体の電気的特性を安定して計測しようという試みが、MITや電界強度トモグラフィーなどの技術である。これらの分野の研究の多くは、ファントム（生体を模した単純な材料や液体による模型）を用いた実験、数値モデルによるシミュレーションという基礎的な段階にある。

研究代表者は、その中の、高周波電界による生体計測技術の確立を目指し、プローブ(アンテナ)の試作、測定装置の製作、実験および数値シミュレーションを行ってきた。この技術は、微弱な高周波の電界を発生し、測定場にある生体によって変化した電界を計測して、内部の物質特性(誘電率分布)を計測する技術である。比較的簡便な技術であり、安全性も経済性も高い。非接触で測定するため、被験者の皮膚に電極やプローブを密着させる必要がなく、長時間の計測に適している。特別なシールドルームを必要としないので、日常生活の環境で使用可能である。技術を確立し、家庭内、医療分野への応用を目指している。

基礎的な実験として、内臓など生体の組織とほぼ同じ誘電率を持つ水を樹脂製の水槽に満たして、生体の代わり(ファントム)として用いて測定し、二次元的な外形および内部の空洞について計測、検出することに成功している。

行っている実験で、生体を模した高い誘電率をもつ水の分布が計測されているということを利用して、数値シミュレーション(Finite-Difference Time-Domain Method=FDTD 法)を行い、定性的に実験とよく一致した結果が得られている。

2. 研究の目的

現在(応募時)、ファントム(水槽)を用いた実験と、数値シミュレーションの比較をしている。

前述のように電界強度の変化パターンなど定性的な傾向は、シミュレーションと実験結果は一致しているが、実験では、シミュレーションで得られるレベルの信号の変化と比較可能な信号の変化が得られていない。

そこで、精密な計測が可能なデジタル式受信

機によって計測を行って、シミュレーションとの差異の原因を究明する。この原因の解明により、シミュレーションの条件を修正し、また、測定システムの技術的問題の解決を図るなど改善を行って、実験の結果とシミュレーション結果とが定量的にも一致するようにする。このことで、想定した精度に対応したプローブの設計、測定システムの設計が可能となり、人体による測定対象とした実験装置の開発への目処が立つ。

生体インピーダンス計測から派生したともいえる、MIT、電界強度トモグラフィーなどの技術は、簡便で比較的安全という特徴をもち、しかも非接触で計測するため、皮膚と接触抵抗に起因する不安定性、皮膚への刺激、不快感もない。しかし、いずれもファントムなどによる測定実験や単純な数値モデルによるシミュレーションの段階にある。

また、電界による生体計測を目指す他の研究に対して、研究代表者の技術は、比較的高い周波数の電界を用いたことによって、特別なシールドなどを必要としない。従ってより簡便で、利用する場所・環境の制約が少なく、経済性が高い点が優れている。

本研究により、高周波電界による生体計測技術によって、測定される信号強度の変化が十分に大きくなれば、人体による実証実験へ踏み出すことができ、実用化へ向けて大きな前進となる。

国際学会会議等で研究の内容を発表し、国内外の研究者と討論することにより成果を普及し、今後の国際的な研究協力の可能性を模索する。

3. 研究の方法

実験は、試作した多種のプローブ(アンテナ)を用い、人体や、生体を模した水槽(水の誘電率が内臓や筋肉の誘電率と近いことから)を自動装置で移動させながら連続計測を行う(図1)。

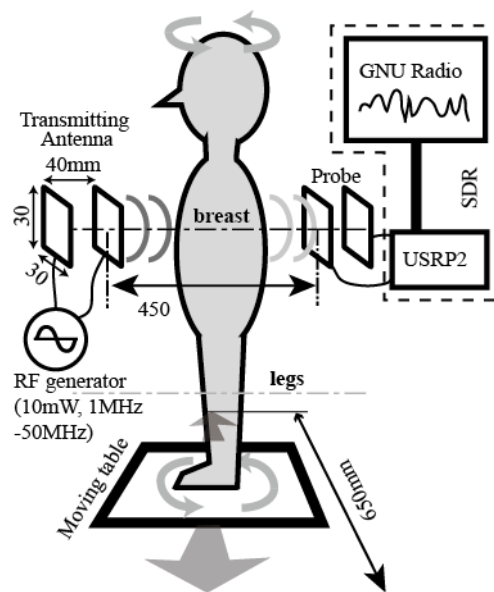


図1. 測定の概要

プローブの形式、形状、水槽の形状などを変えながら、得た測定データを解析し、計測技術の改善に取り組む。また、実験条件を反映したシミュレーションを並行して進め、実験結果と比較検討を行い、改善に結びつける。デジタル式受信機（高周波フロントエンドに高速 A/D コンバータが接続された、いわゆる Software Defined Radio=SDR）を導入して、これまで行ってきた実験と同条件下での精密な測定を行う。

もともと、測定の対象となる生体内の情報（誘電率・抵抗率分布）は、信号強度の変化分として現れるので、変化が十分でないと、二次元画像化等後処理のために十分な精度が得られない。

その上、現在使用しているスペクトルアナライザは、古い仕様のため、精度がさらに損なわれている。精度の低い測定器による、シミュレーションに比較して変化が十分大きく得られない原因の究明やその他の不安定な要因の解明は、限界である。

デジタル式受信機は、信号をデジタル化するまでのアナログ回路が最小限な構成のため、安定度・精度の高い測定が行え、また、演算処理により、アナログ回路では実現できない高度な信号処理が行える。その導入によって、現在の実験システムの原理的、技術的な問題点を探り出すことができると期待される。

実験に用いるプローブ（アンテナ）は、これまで試作してきた、ループ型（電磁界型）と、平面電極型（電界型）のそれぞれ複数のタイプのものとする。また、送受信プローブの間隔は 30cm を標準としてきたが、比較のために 15～50cm など条件を変えて測定を行う。

生体システムに適した、小型で十分な信号強度の変化が測定できるプローブ、計測システムの設計を行い、試作・改良を行っていく。デジタル受信機で計測したデータによって、二次元画像化を試み、従来の測定結果から構

築した二次元画像と比較検討をする。順調にいけば、最終年度には人を測定するための付加装置を現在の実験装置に装着し、実験者自身が被験者となり、四肢など特定の部位について測定を実施し、今後の本格的な画像化のための基礎データを得る。

電気・磁気を応用した生体計測技術である MIT や、マイクロ波 CT についても、調査・比較・検討を行って、利点を取り入れられないか、複合した測定法が可能でないか等、工夫・検討を試みる。

4. 研究成果

(1) シミュレーションと実験値の整合性

実験装置の主要な機能である生体内の組成の影響によって強度が変化した高周波信号の測定に、従前は計測装置であるスペクトルアナライザを用いたが、汎用の測定装置であるため、測定条件や得られる精度等に制約があった。そこで信号処理の大部分を高速処理のできるコンピューターのソフトウェアで実行できる、ソフトウェア受信機(SDR)を導入して、計測に適した測定と信号処理を行うように改良した。このソフトウェア基本部分は、オープンソースの GNURadio 用いた。

また、FDTD 法による数値シミュレーションによって測定条件を数値的に再現して、各種条件による計算を行った。

実験やシミュレーションの結果から、従来のループアンテナよりも電界を直接励起する電界型のループアンテナを使用するほうが、効果的に電解を発生できると判明した。

この SDR と電界型大ポールアンテナを使用して測定を行うことで、従前より精度の高い測定結果が得られるようになった。このシステム改良の過程で、シミュレーションと実験の信号変化が一致するようになった（図 2）。

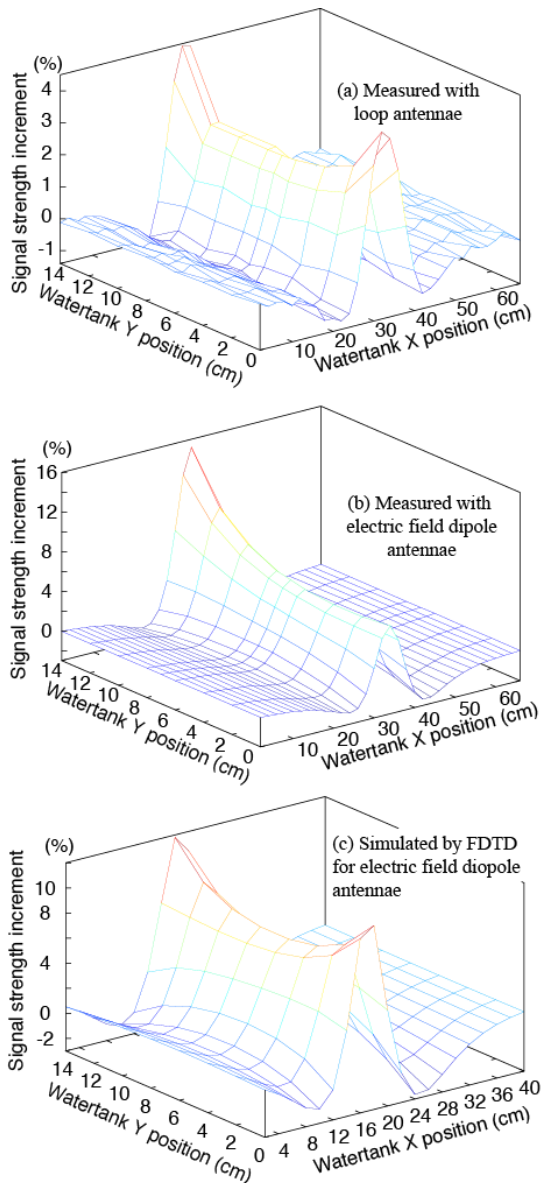


図2. 水槽による電界強度変化の測定 (a)従来のループアンテナを使用、(b)新規のダイポールアンテナを使用、(c)FDTDによるシミュレーション

(2) アンテナの改良

新規に購入したベクトルネットワークアナライザを用い、アンテナ系（主としてアンテナに接続してインピーダンス、平衡不平衡を変換するバラン）に改良を加えた。短波帯の各種周波数に対応するプローブを作成す

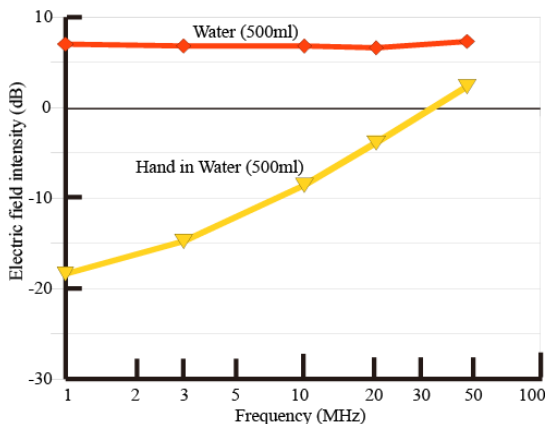


図3. 水槽のみによる電界強度変化(赤)と水槽内に手を浸して体内に電流が流れたときの電界強度変化(黄)

ることができた。各周波数で、水槽による効果と人体を流れる高周波電流による損失との関係を測定した。

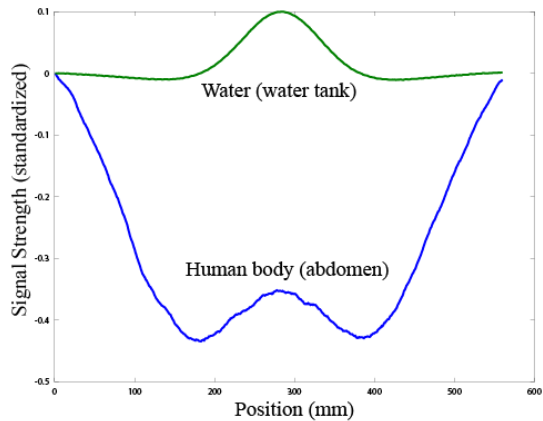
図3に示すように、誘電率による信号強度の増加は周波数による依存は認められないのに対して、人体を流れる電流に起因する損失は、周波数が高くなるほど小さくなることが示唆された。

(3) 位相測定

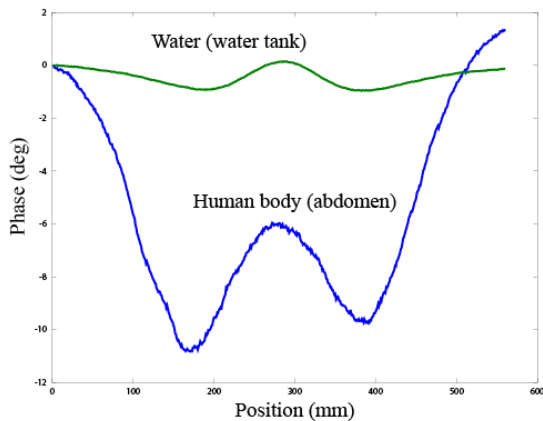
汎用測定器であるスペクトルアナライザを信号処理の大部分を高速処理のできるコンピュータのソフトウェアで実行できる、ソフトウェア受信機(SDR)に置き換えることによって、受信信号の精度、安定性が高まった。さらに SDR を増設して、高周波信号の位相情報を含めた測定ができるように実験システムの改良を行った。

この新たな計測システムで、水分含有量が大きい人の組織と同程度の誘電率を持つ水をアクリル製の槽に入れてファントムとして用いたモデル実験と、実際の人の腹部の測定を行った(3MHzおよび48MHz)。その結果、水槽の測定では水槽を水平方向にスキャンしても、信号の振幅は大きく変化するのに対し、位相には変化は小さかった。一方、人体の腹部を水平にスキャンした際には、信号の振幅の変化と同時に位相にも変化が現れた(図4)。

測定された位相の変化は、測定開始点からの相対的な変化であり、この情報だけでは誘電率によって電解強度が高められる効果と、人体内を高周波電流が流れることによる損失



(a) Signal Strength vs X position



(b) Phase vs X position

図4. 水槽と人体腹部を一次元的にスキャンしたときの (a)電界強度変化および(b)位相変化

分と分離することはできないが、少なくとも損失による影響を測定できたことが確認できた。今後、装置にさらに改良を加え、実験の条件を工夫することで、損失の分離を目指したい。

(4) 成果の普及

研究期間中、1年に一度の割合で国際学術会議での発表を行い、各国の研究者と意見・情報交換を行った。また、この研究の関連する電気・磁気による生体の簡易計測技術の研究の動向を見聞した。いくつかの研究グループが類似の技術の研究を進めて研究成果を上げている。ただ、いずれのグループもファントムの測定や数値シミュレーションの段階で、人体を実際に測定して、有効なデータを得るレベルには達していない。研究代表者の研究はそうしたなかで、先行しているといえるので、さらに研究をすすめ、実用化を目指したい。

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)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Ichiro Hieda, Ki-Chang Nam, Electric Field Measurement for Biomedical Application -Characteristics of raw measurement data-, 2012 International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology、査読有、Vol. 2、2012、789-792
DOI: 10.1109/icBEB.2012.191

[学会発表] (計3件)

- ① Ichiro Hieda, Ki-Chang Nam, Electric Field Measurement for Biomedical Application -Characteristics of raw measurement data-, 2012 International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology、2012年5月28日～30日、Regency Hotel Macau (中国)
- ② Ichiro Hieda, Ki-Chang Nam, Electric Field Measurement for Biomedical Application Using GNU Radio, 5th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering (BIOMED)、2011年6月22日、Berjaya Times Square Hotel (マレーシア)
- ③ Ichiro Hieda, Ki-Chang Nam, The Frequency Dependence of the Effect of the Human Body Conductivity in the Radio Imaging Method for Medical Application, 6th World Congress of Biomechanics、2010年8月2日、Singapore Suntec Convention Centre (シンガポール)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稗田 一郎 (HIEDA ICHIRO)

独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・主任研究員

研究者番号：10357832