

非接地型ウェアラブル機器間の伝送特性の測定方法の確立

2008MI058 井戸 大介
指導教員

2008MI230 杉浦 大輔
奥村 康行

1 はじめに

1.1 研究背景

近年、人体を伝送路として情報のやりとりを行う人体通信が注目されている。人体通信では情報のやり取りを行うために人体に取り付ける送信機、受信機といった通信デバイスが必要となる。この通信デバイスを設計する上で、送信機から送られた信号と、送信機から人体を通して受信機に透過した信号との比率である透過係数 (S_{21}) を測定する必要がある。

先行研究 [1] では実際の人体通信で使用するウェアラブル受信機に測定器を搭載したものとウェアラブル送信機を用い、人体通信を行うときと同条件で透過係数の測定を行った。そして、この測定と同じモデルをシミュレーションソフトで構築しシミュレーションを行った結果と測定器を搭載したウェアラブル受信機による測定結果を比較することでグラフが近似することが確認された。よって、ウェアラブル機器による測定方法は正しいと考えられる。

しかし、誰もがこのようなウェアラブル機器を用意できるわけではなく、容易に人体通信の測定ができない。そこで、先行研究 [2] では S_{21} を測定するために、通信分野の測定では欠かせない network analyzer (NA) を用いた。この測定結果とウェアラブル受信機による測定結果を比較したところ、NA の測定値が異なることが確認され、このことが課題となった。

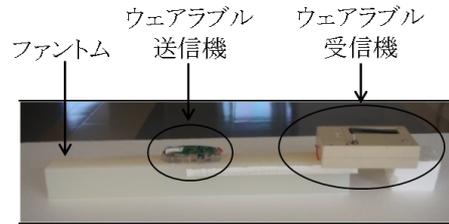
1.2 研究目的

先行研究の結果より、NA による測定方法が誤っていることが考えられる。本研究の目的は、NA による測定方法の構成を見直し、NA を用いてもウェアラブル機器による測定と同様の結果が得られるように、正しい測定方法を確立することである。

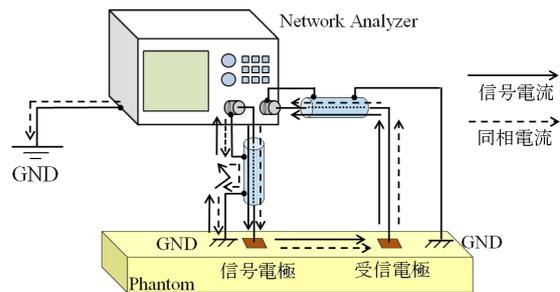
2 課題に対するアプローチ

2.1 課題の原因分析

ウェアラブル受信機による測定構成を図 1(a) に示す。図 1(a) より、送信機と受信機は外部機器 (NA など) に接続されておらず、それぞれの機器本体で 1 つの回路を持つ。そのため、送信機、受信機がそれぞれ独自の GND 電位を持つことで、GND 電位が浮いた状態となり、不安定な通信となる。それに対し、NA による測定構成を図 1(b) に示す。NA に送信機、受信機をそれぞれ同軸ケーブルでつなぐことによって、1 つの回路ができる。そして、回路内の NA 本体が接地しているため、一般的である信号電流とは別に同相電流が発生する。同相電流がアースに落ちることで、回路の GND 電位が 0V と一定となり、安定な通信となる。



(a) ウェアラブル受信機による測定



(b) NA による測定

図 1 測定構成

したがって、NA での測定構成とウェアラブル機器による測定構成は異なっていると考えられる。

2.2 課題の解決方法の提案

NA を用いて正しく測定を行うためには、同相電流をカットし、NA の GND 電位を分離させる必要がある。そのためにバランの特性を用いる。図 2 のように NA に接続した同軸ケーブルと送信機の間にはバランを接続する。本研究ではフロートバランといった種類を用いる。フロートバランはトロイダルコアに同軸ケーブルを巻いたもので、回路の平衡・不平衡のマッチングをとり、同相電流を低減させる。これによって、図 2 のように信号電流は内導体、外導体を往路と帰路とするため、コアに発生する磁束は相殺され信号電流はスムーズに流れる。一方、同相電流は内導体、外導体の同方向に流れるため、コアに発生する磁束を強め合う。そのため、同相電流に対してそれを妨げる向きに起電力が発生し、ブレーキ的作用をもたらす、電流経路を切ることができる。この性質を用いて同相電流をカットし、NA の GND 電位を分離させる。

3 追試実験

NA による測定構成にバランを組み込む前に、先行研究 [1], [2] の追試実験を行い、実際に NA による測定方法が誤っていることを確認する。

3.1 実験系

送信機と受信機は生体組織に等価な人体モデルであるファントムの表面に設置されている。このファントムは腕を想定して作製した。サイズは日本人の男女の平均である $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 45\text{cm}$ とした。またファントムの電気定数は 10MHz における筋肉の値 ($\epsilon_r = 170.73$, $\sigma = 0.62\text{S/m}$) を使用する [3]。このファントムを発泡スチロール上に設置して地面に信号が伝わらないように実験を行う。図 3 のように送信機、受信機を設置する。送信機を図 3 の位置に固定して受信機との距離を 10mm から 200mm まで 10mm 間隔で離していく。そして、送信機から受信機に 3V , 10MHz の電磁波を送り S_{21} を測定する。このとき、表 1 のように送信機、受信機それぞれの GND 電極の有無を組み合わせで 4 通りの測定を行う。ここで、 S_{21} の測定方法として、ウェアラブル受信機に測定器を搭載したものをを用い測定を行う。また、ウェアラブル機器のモックアップ機器を用い、NA の port1, port2 にそれぞれ接続し測定を行う。

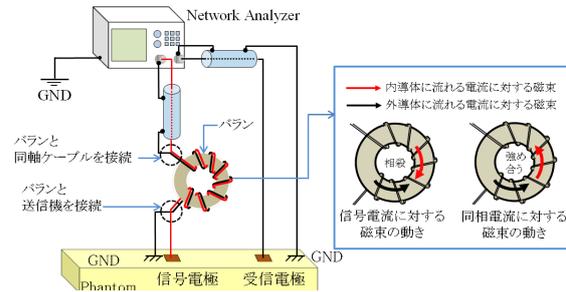


図 2 フロートバランの作用

表 1 実験パラメータ

送信機と受信機の距離	10 ~ 200[mm] (10mm Step)
送信機, 受信機の GND 電極の有無	<ul style="list-style-type: none"> 送信機 GND 電極有; 送信機 GND 電極有 送信機 GND 電極有; 送信機 GND 電極無 送信機 GND 電極無; 送信機 GND 電極有 送信機 GND 電極無; 送信機 GND 電極無
測定方法	<ul style="list-style-type: none"> ウェアラブル受信機による測定 NA による測定

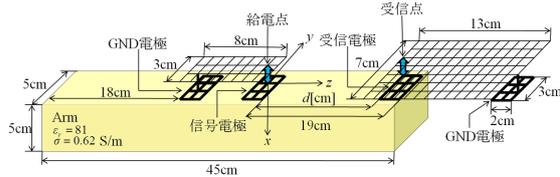


図 3 送信機, 受信機の電極の配置図

3.2 Network Analyzer(NA)

NA とは、回路網の透過電力と反射電力の周波数特性を測定する測定機器である。透過係数、反射係数は S パ

ラメータとして測定される。図 4 に NA に入出力される信号と S パラメータの関係を示す。図 4 の左側は NA に未知の回路を繋げた図で、その回路と S パラメータの関係式を右側に示す。port1, port2 に入力された信号をそれぞれ a_1, a_2 とする。また port1, port2 から出力される信号をそれぞれ b_1, b_2 とする。次に S_{11} と S_{22} を反射係数, S_{21} と S_{12} を透過係数とする。 S パラメータを S_{xy} としたとき, x は出力 port, y は入力 port を表す [4]。本研究では透過係数 S_{21} の値を測定する。

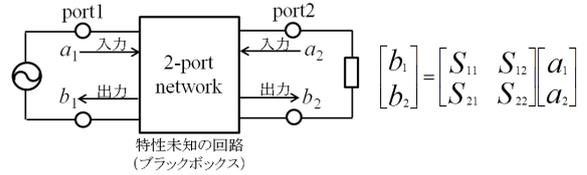


図 4 S パラメータの関係

3.3 実験で用いる送信機, 受信機の構造

本研究で使用するウェアラブル送信機の構造を図 5(a) の左側に示す。これは 2 つの電極をもっており、1 つ目は 10MHz , 3Vp-p の正弦波を送る信号電極である。2 つ目は送信機の回路基板の GND 電位として取り付けられた GND 電極である。

次にウェアラブル受信機の構造を図 5(b) の左側に示す。これも 2 つの電極をもっており、1 つ目は 10MHz , 3Vp-p の正弦波を受ける受信電極である。受信機が信号を受けたとき、信号電圧を数値化したものを LCD に表示させる。2 つ目は受信機の回路基板の GND 電位として取り付けられた GND 電極である。このように、本研究で使用するウェアラブル受信機は外部機器につながず受信した信号電圧を測定することができる。

しかし、このようなウェアラブル機器は NA につないで測定できないという欠点がある。そのため、信号を精密に測定することができない。よって、NA につないで信号を送信する送信機、その信号を受信する受信機のモデルを作成する必要がある。これらのモックアップを図 5(a), (b) の右側に示す。電極と回路基板には銅板を用い、ウェアラブル機器と同じ寸法とする。土台はアクリル板を用い、板に NA の供給ポートをつなげるための SMA コネクターを取り付ける。

4 シミュレーション

4.1 FDTD 法

FDTD 法とは、マクスウェルの微分方程式を差分化し、時間領域で解く手法でシミュレーションを行う。本研究ではこの FDTD 法を採用する [5], [6]。

4.2 実験系のモデル化

人体モデルに設置したウェアラブル機器間の伝送特性を FDTD 法で解析する。ここで、図 3 のようなモデルを作製し、その際、表 2 のパラメータを用いてシミュレーションを行い、受信地点での電界強度を解析する。この

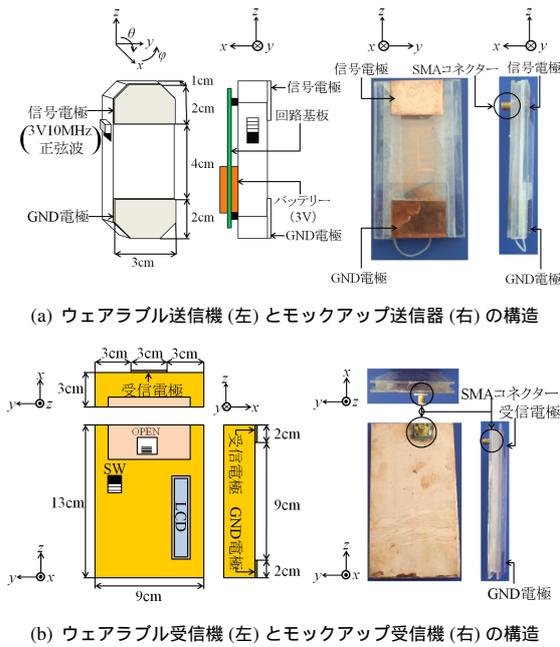


図5 送信機, 受信機の構造

解析結果と追試実験で得られた結果を比較する。

表2 シミュレーションパラメータ

セルサイズ	$\Delta x = \Delta y = \Delta z = 1\text{cm}$
金属パラメータ (Arm)	$\epsilon_r = 170.73, \sigma = 0.62\text{S/m}$
波形	正弦波
周波数	10MHz
タイムステップ数	14000
供給電圧	1.5V

5 実験結果とシミュレーション結果

図6は送信機と受信機の距離 $d[\text{mm}]$ のときの透過係数 S_{21} を NA による測定, ウェアラブル受信機による測定とシミュレーション (FDTD) の3通りで測定し, その3つの結果を比較したグラフである。図6(a), (b), (c), (d)は表1の送信機, 受信機の GND 電極の有無の4通りの測定結果である。

まず, 先行研究 [1] の追試実験であるウェアラブル受信機による測定結果とシミュレーション結果に着目する。図6(a), (c)より, 2つの測定結果はどちらも S_{21} の値が距離 80mm 付近で急上昇しており, 80mm 付近から 190mm まで緩やかに上昇している。80mm 付近で S_{21} の値に大きな変化がみられる原因は, 受信機を送信機から 80mm 離れた時, 受信機の GND 電極がファントムから外れてしまうからである。またウェアラブル受信機による測定結果で, 10mm から 70mm まで S_{21} の値

が一定であるのは, ウェアラブル受信機の測定可能範囲が -49dB 以上となる。そのため, -49dB 以下の数値は全て -49dB としている。次に, 図6(b), (d)の2つの測定結果はどちらも S_{21} が近い値で緩やかに弧を描いている。4通りの測定結果より, ウェアラブル受信機による測定結果とシミュレーション結果が近似することが分かる。よって, ウェアラブル受信機による測定の構成が正しいことが確認できた。

次に, 先行研究 [2] の追試実験である NA による測定結果に着目する。図6(a), (c)より, S_{21} の値が距離 80mm 付近で上昇しており, 90mm から 190mm ではほぼ一定となった。80mm 付近で上昇する原因としては, 前述と同様の原因である。次に, 図6(b), (d)より, S_{21} の値が距離 10mm から 190mm まで一定となり横に直線的なグラフとなった。

最後に, この測定結果と先行研究 [1] の追試実験であるウェアラブル受信機による測定結果を比較する。これより, NA による測定結果とウェアラブル受信機による測定結果のグラフの形が異なることが分かる。よって, ウェアラブル受信機による測定の構成は正しく, NA による測定の構成は誤っていることが確認できた。

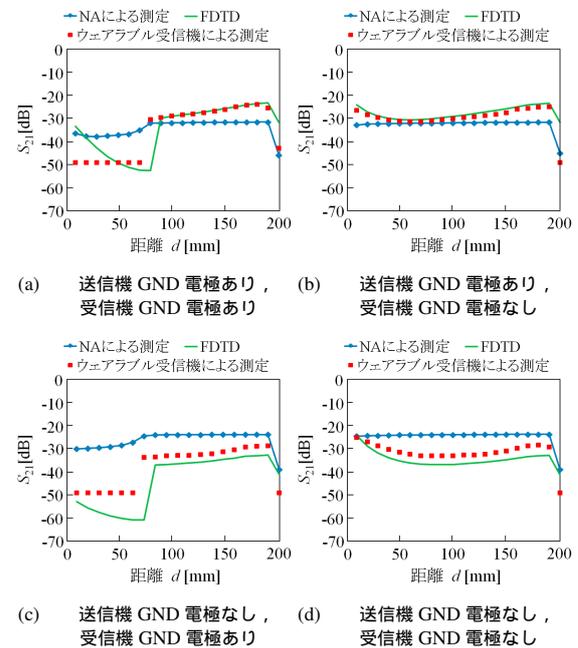


図6 シミュレーションと測定結果との比較

6 バランの設計

追試実験より先行研究で得られた課題を確認できた。よって, NA による測定に組み込むためのバラン製作に取り掛かる。本研究で用いるバランの設計パラメータを表3に示す [7]。

表 3 バランの設計パラメータ

バランの種類	フロートバラン
コア	FT240-43
巻き線	同軸ケーブル (1.5D-2V)
巻き方	W1JR 巻き
巻き数	30 巻き

7 バランを組み込んだ実験

7.1 実験系

追試実験の NA による測定での実験系にバランを組み込む。組み込み方は図 2 のように NA のポート 1 から出る同軸ケーブルにバランを接続する。そして、バランをモックアップ送信機に接続する。

7.2 実験結果

図 7 はウェアラブル受信機による測定、NA による測定 (バラン無)、NA による測定 (バラン有) の 3 通りで透過係数 S_{21} を測定したグラフである。そして、3 つの結果を比較した。

図 7(a), (b), (c), (d) は送信機、受信機の GND 電極の有無による 4 通りの測定結果である。図 7(a), (c) より、NA による測定 (バラン有) の結果と NA による測定 (バラン無) の結果は共に S_{21} の値が 80mm 付近で上昇し、それ以降 190mm まで一定の値をとったグラフとなっている。また図 7(b), (d) より、2 つのグラフは共に 10mm ~ 190mm まで一定の値をとったグラフとなった。次に、図 7(a), (c) より、ウェアラブル受信機による測定結果は 80mm 付近で S_{21} が急上昇し、それ以降 190mm までは緩やかに上昇している。また図 7(b), (d) より S_{21} が弧を描くようなグラフとなっている。

7.3 考察

バランの組み込み測定結果との比較より、NA による測定 (バラン有) と NA による測定 (バラン無) の両グラフの形が近似することが分かる。つまり、バランを組み込むことでグラフの傾向を変化させることはできなかった。ただし、数値的な変化は多少あったため同相電流はカットできたと考えられる。

次に、NA による測定 (バラン有) とウェアラブル受信機による測定の結果を比較する。比較した結果、両グラフの形が異なり、正しい測定構成であるウェアラブル受信機による測定のグラフに近づけることは出来なかった。

8 まとめ

本研究では、正しい測定方法の確立を実現するために、同相電流をカットすることに着目し、NA による測定構成にバランを組み込んで測定を行った。しかし、同相電流による作用が直接、課題の原因につながるのではなく、正しい測定方法の確立をすることができなかった。同相電流が原因でないとするなら、信号電流が原因

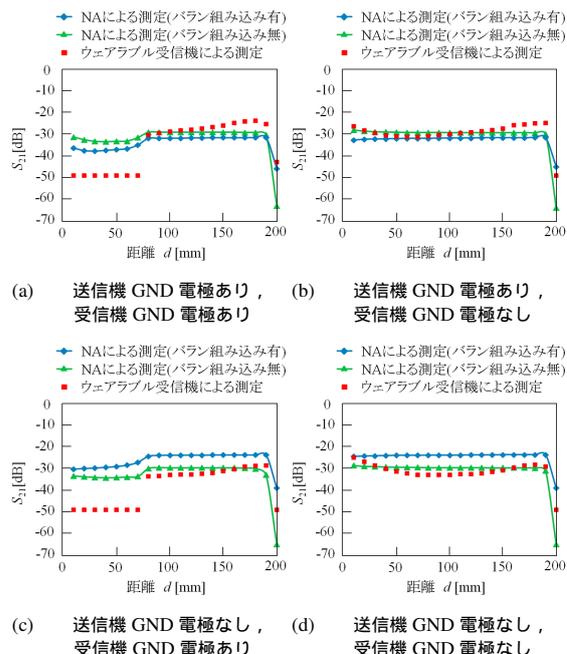


図 7 バランを組み込んだ測定結果との比較

である可能性がある。つまり、同軸ケーブルとファントムを介して、NA と送信機、受信機が 1 つの回路として電気的につながっていることが問題となる。今後の課題は、同軸ケーブルの電気的なつながりを切り離れた状態で NA による測定を行うことである。これを実現するためには、同軸ケーブルの代わりに光ファイバーを用いれば良いと考えられる。これにより、電気信号を光信号に変換することができ、電気的なつながりをカットしつつ信号を送ることができると考えられる。

参考文献

- [1] K.Fujii, M.Takahashi, and K.Ito, "Electric Field Distribution of Wearable Devices Using the Human Baby as a Transmission Channel," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol.55, no.7, July 2007.
- [2] 石出大輔, "簡易人体モデルを用いたウェアラブル機器の伝送特性," 千葉大学大学院自然科学研究 2005 年度 修士論文, 2006.
- [3] IFAC, "Dielectric Properties of Body Tissues," <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/>.
- [4] フライハイ, "ネットワークの基礎," 電気計測コンサルティングのフライハイ, <http://www.flyhigh.co.jp/>, 2004.
- [5] REMCOM, "XFDTD," <http://www.remcom.com/xf7.2012>.
- [6] 宇野亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 東京, 1998.
- [7] 山村英穂, トロイダル・コア活用百科, CQ 出版社, 東京, 2006.