

論文審査の結果の要旨

氏名 村松 大陸

本論文は 6 章からなり、第 1 章は序論として研究の背景と目的を述べ、第 2 章は人体の電気的特性を整理するとともに人体通信の伝送特性をいくつかの電磁界解析例に基づき概観し、人体通信の特徴を述べている。第 3 章は人体通信に用いる電極構造を人体の電気的特性を筋肉で代表させたモデルを用いて解析し、第 4 章では電磁解析用の数値解析モデルとして皮膚、脂肪、筋肉の 3 組織で構成される多層構造モデルを提案し、第 5 章では多層構造の電磁ファントムを製作するための材料特性および製作したファントムの電気的特性の評価について述べ、第 6 章では結論として本研究を総括している。

具体的には第 1 章において、人体通信は人体を伝送路の一部として利用する無線通信技術でありウェアラブル機器間の通信手段の 1 つとして期待されていることを述べ、人体通信の研究の歴史および関連する既存研究を概観している。人体通信で用いられる数百 kHz から数十 MHz の搬送波周波数においては機器間の距離が電磁波長に比較して短いため近傍界の寄与が増大し、また人体の存在が電極の入力インピーダンスや伝送特性に影響するため、数値人体モデルを用いた電磁界解析が必要不可欠であることを述べ、人体通信の伝送特性の解析手法を示すとともにその結果を機器設計に応用する方法を示すことを本研究の目的として述べている。第 2 章においては、計算機資源の有効利用やモデル設計加工の容易さという観点から、再現度の異なる三種類の人体モデル（詳細人体モデル、全身均質モデル、均質円柱モデル）を用いてモデル周囲の電界分布を計算し比較し、モデル周囲の電界分布の傾向は各モデルで一致し、基礎的な信号伝送状況や定性的な電界分布の確認については、最も簡略化された均質円柱モデルが適用可能であることを示している。一方で、人体内部に励振される電界は、組織構造に起因して複雑な分布をとることが確認され、電極の入力インピーダンス特性や伝送特性などにも影響が生じる可能性を示し、人体通信機器の設計開発における定量的な評価には人体の組織構造を考慮した簡略化モデルや電磁ファントムの開発が必要である、と述べている。第 3 章においては、人体通信における電極が通常の電波通信システムにおけるアンテナに相当し、電極の構造と寸法はシステムの電磁両立性、入力特性、伝送特性に大きく影響するという考察に基づき、前腕部に装着した送信機と手に持ったスマートフォンとの間の人体通信を想定し、均質円柱モデルを用いて電極の構造寸法と入力インピーダンス特性と伝送特性の定性的な関係について検討している。その結果、1)送信機は二電極接触構造が望ましく、受信機は腕部に垂直に生じる電界を効率よく受信し伝送特性を向上するため、単一の下部電極と上部電極からなる構造が望ましいこと、2)送信機電極の入力インピーダンスを決定する主な要因は電極面積と二電極間の間隔であり、電極面積、電極

間隔，入力インピーダンスの関係を表す実験式が設計に利用できること，3)均質円柱モデルを用いて解析的に求めた電極の入力インピーダンスと伝送特性が筋肉ファントムを用いた実験結果とよく一致することを示した．第4章においては定量的評価の精度を高めるため，均質モデルに代わる多層構造モデルを提案している．詳細モデルの組織を置き換えた改変モデルの評価に基づき，皮膚，脂肪，筋肉が電極間インピーダンス特性の支配的要因であり，その三層のみで構成される多層モデルを用いても詳細モデルとの誤差2dB以内の電界強度分布が得られることを示している．提案した三層モデルは形状の変更が容易であり，人体通信の伝送特性解析に有用であるとしている．第5章では提案した三層モデルに基づき，電磁ファントムの設計と製作および電気的特性の評価について述べている．ファントムに用いる材料の電気的特性は一般に望み通りの特性を得ることが困難なため，実人体の個人差や数値解析結果に基づき，皮膚，脂肪，筋肉層について材料の電気的特性の許容値を示している．試作した電磁ファントムの特性は入力インピーダンス特性に関して詳細腕部モデルによる計算値の1/2～2倍の範囲に収まっており，VSWRの観点から考えて電極設計に必要な誤差範囲に収まっており，また伝送特性は実人体の測定値に比べて5～8 dB程度小さな値となったが，機器設計における定量的な目安を得ることができるとしている．第6章は結論として研究を総括するとともに将来への展望を述べている．

なお，本論文第3章は山本隆彦，越地福朗，越地耕二，佐々木健との共同研究，第4章は越地福朗，越地耕二，佐々木健との共同研究，第5章は越地福朗，越地耕二，佐々木健との共同研究であるが，いずれも論文提出者が主体となって研究を行ったもので，論文提出者の寄与が十分であると判断する．

したがって，博士（環境学）の学位を授与できると認める．

以上 1997 字