

マイクロ波薄型アプリーケータを用いた人体情報取得に関する研究

Study on Detecting Living Body Information by Microwave Thin Applicator

○番場一輝 九鬼孝夫 二川佳央（国士舘大学）

Kazuki BAMBA Takao KUKI Yoshio NIKAWA, Kokushikan University

Abstract: For detecting livingbody information, experiments have been performed using thin wideband applicator to apply phantom modeling material. To examin microwave transmission up to 6GHz, the thin wide band applicator is desinged based on Antipodal Vivaldi Antenna. The applicator is not required any balun and is very easy for handling.

Key Words: Microwave, Living Body Information, Complex Permittivity, Transmission Coefficient, Applicator

1. 目的

近年，医療分野において新たな診断方法や治療方法のための新技術のみならず，患者の QOL 向上に関する工学技術の応用に関する研究開発に注目が集まっている．医療機器同士を無線でつなぐ⁽¹⁾のみならず，直接的な生体への応用により，患者の情報を非侵襲で取得する技術の開発が期待されており，それらを可能にするマイクロ波応用技術の医療分野への進出が急速にすすんでいる．ドップラーレーダ技術を用いたヘルスケアモニタリング⁽²⁾や，UWB レーダ技術を用いたマイクロ波マンモグラフィ⁽³⁾は既に実機での実験や臨床試験の段階にある．しかしながら，人体はマイクロ波領域において非常に損失が大きい組織で構成されているため人体情報のモニタリングといった分野では反射波を利用したものが中心である．人体内部の情報を取得できる透過波を利用したマイクロ波生体計測技術がマンモグラフィなどの診断以外の用途にも利用できれば，医療における非侵襲計測の幅がより広がり，患者の負担軽減が期待できる．そこで本研究では，手掌部において 6 GHz 以下の周波数のマイクロ波を用い，差分による内部情報取得⁽⁴⁾を行うことを目的とした．人工透析患者の透析前後の血液の複素誘電率は，血中の水分量及びアルブミン量の変化により，6 GHz 以下の周波数において数パーセント程度変化することが明らかになっている⁽⁵⁾．本研究では，人工透析患者の血液特性モニタリングへの実用を想定したマイクロ波透過計測に関する検討を行った．

2. 方法

本研究には電磁界解析ソフトウェア「CST STUDIO SUITE2015」を使用しアプリーケータの設計及び特性検討を行った．アプリーケータは Tapared Slot Antenna に分類される Antipodal Vivaldi Antenna⁽⁶⁾を基に設計を行った．テーパ形状により特定の周波数で共振が起きないため広帯域な特性を有し，Antipodal 構造であるためマイクロストリップラインから給電が可能である．Vivaldi Antenna はテーパアンテナにおいてテーパ形状が指数関数で表記できるもの⁽⁷⁾のことを指す．本研究で用いた指数関数パラメータを式(1)及び(2)に，寸法及び形状を Fig.1 に示す．基板は厚さ 1.6mm の FR-4，アプリーケータエレメントは厚さ 0.1mm の銅として解析を行った．

Inner curve

$$y = e^{0.003x^2} - 1 \dots\dots\dots(1)$$

Outer curve

$$y = e^{0.002x^3} + 2 \dots\dots\dots(2)$$

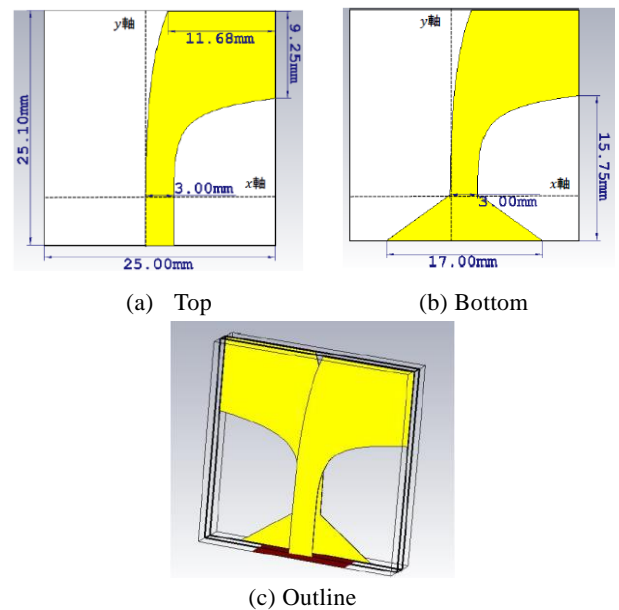


Fig. 1 Thin Applicator

Fig.1 に示したアプリーケータを対向に配置し，その間に手掌部を想定した皮膚層 2mm 及び筋肉層 3mm からなる，3 層人体モデルを配置したシミュレーションモデルを Fig.2 に示す．人体組織の複素誘電率特性には，実測値に基づいた 2 次のデバイ緩和モデル⁽⁷⁾を適応した．

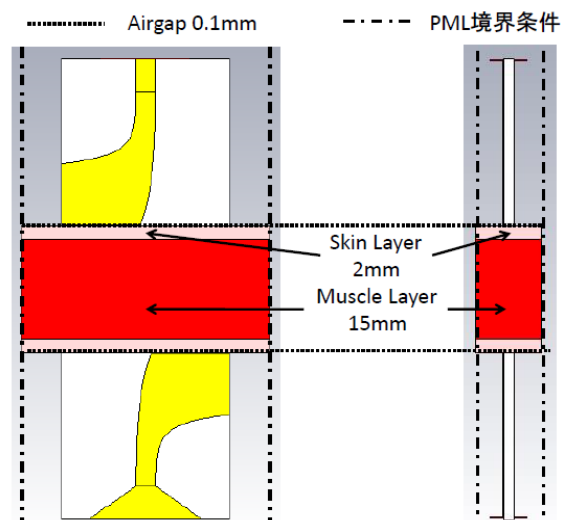


Fig. 2 Simulation Model

アプリケータエレメントと人体組織モデルには、0.1mmの絶縁層を想定した空間を設けた。人体モデルの境界にはPML境界条件を適応し回折を考慮しない条件でシミュレーションを行った。Fig. 2 に示したモデルにおける、アプリケータの反射係数および透過係数を Fig. 3 に示す。

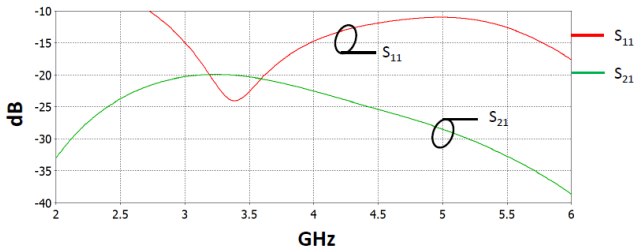


Fig. 3 Simulated Results

Fig. 3 に示す結果より、反射係数は周波数 3~6 GHz において -10dB を下回ることがわかった。

3. 実験

差分によるマイクロ波透過人体情報取得の可能性について検討を行うために、アプリケータを試作し、模擬人体を用い厚みが増した際の透過係数を測定した。透過量を測定する際には、半径 4cm の円を模擬人体満たすように配置した。模擬人体は TX 151, 水, ポリエチレンパウダー, 塩化ナトリウムで構成されている。周波数 2.45 GHz において比誘電率 49.5, 誘電損率 16.5 となり筋肉に近い特性を示す⁽⁸⁾。試作したアプリケータの反射係数を Fig. 4 に示し、実験結果を Fig. 5 および 6 に示す。

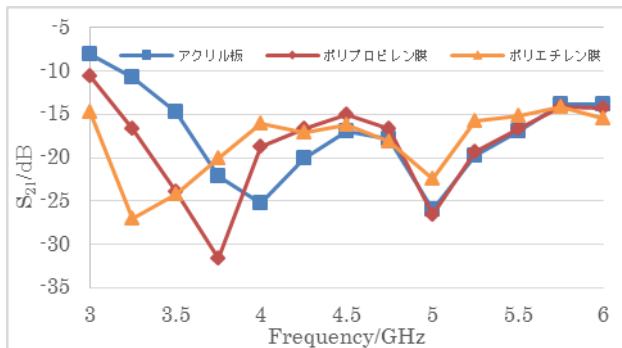


Fig. 4 Reflection Coefficient of Designed Applicator

アプリケータと模擬人体の間にアクリル板、ポリプロピレン膜、ポリエチレン膜を配置した際の反射係数は、周波数 3~4 GHz において大きく異なることがわかる。模擬人体とアプリケータの接触条件ができるだけ変化しないような工夫が実用化には不可欠であると考えられる。模擬人体は、柔軟性が高いためある程度の保持力が必要である。

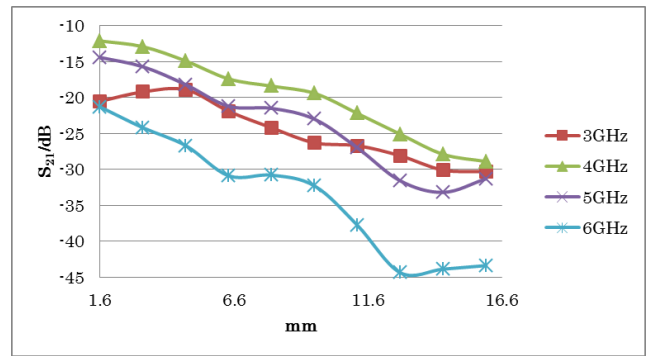


Fig. 5 Transmission Coefficient of Simulated human body as a Parameter of Thickness

実験結果より模擬人体の厚みが増すに従って、透過量は減少することがわかる。差分計測においては透過量が組織の厚みにしたがって変化することが前提条件である。本研究で提案を行ったアプリケータを用いての計測が、その条件を満たしていることがわかった。

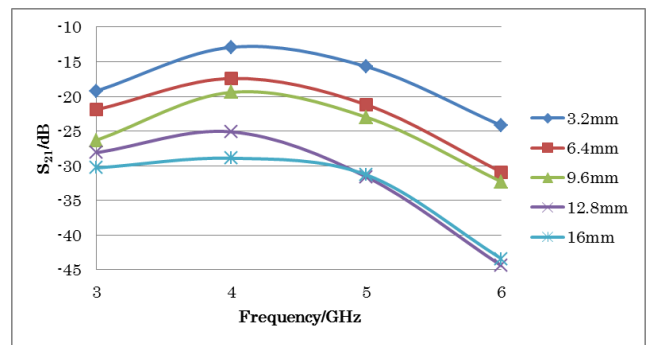


Fig. 6 Transmission Coefficient vs. Frequency

各周波数における透過量は、厚みの変化にしたがって増減する。これらの実験結果より 6 GHz の周波数範囲で 45dB 以下の減衰で、模擬人体内をマイクロ波が透過していることが明らかになった。

アプリケータと模擬人体との間に 0.3mm のアクリルを配置したモデルを作成し、実験条件を想定した解析を行った。Fig. 7 に実験モデルを用いた解析結果と、模擬人体の厚さが 3.2mm のときの解析値と測定値の差を用い、基準化を行った測定値をプロットしたグラフを示す。

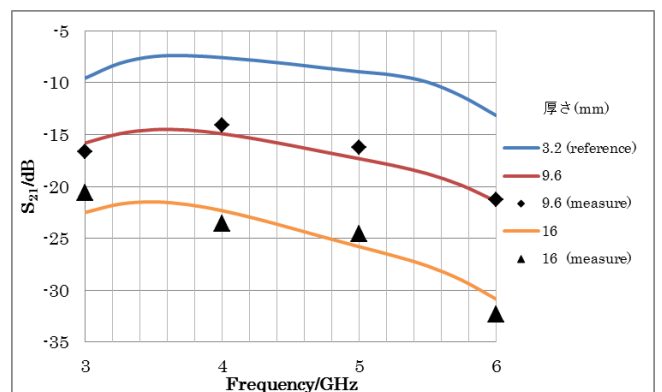


Fig. 7 Relative Transmission Coefficient vs. Frequency

Fig. 7 より基準化を行った測定値と解析結果は近似していることがわかる。これらのことより、実験と解析の双方が

ら模擬人体の厚さ変化に従い透過量が増減することが分かり、マイクロ波透過計測の可能性が示された。

4. 考察

電磁界解析ソフトウェアを用い設計をした人体用アプリケーションを試作し、実験を行った結果、解析結果と近似的な特性を示すことが明らかになった。模擬人体の厚みに応じて透過量が増減していることから、人体の組織厚が薄い部分でのマイクロ波透過計測の可能性が実験的に示された。今後の課題として、アプリケーションの位置ずれや、絶縁を確保しつつ人体組織にアプリケーションを密着させる工夫が必要である。

参考文献

- (1) 大石 和明, 神田 浩一, 榊井 昇一, Kathleen, Philips Harmke de Groot, “医療用超低電力無線トランシーバ”, MWE2015 Microwave Workshop Digest, pp.163-168, 2015.
- (2) 藤原 康平, 小林 丈士, 松井 岳巳, 香川 正幸, “呼吸・心拍の非接触モニタリングシステムの開発”, 東京都立産業技術研究センター研究報告, 第9号, pp.6-9, 2014
- (3) 鈴木 健太, 堀江 弘彦, 羽多野 裕之, 桑原 義彦, “マイクロ波マンモグラフィの設計”, IEICE Technical Report A・P2009-103, pp.1-6, 2009
- (4) 二川 佳央, “ミリ波を用いた血糖値計測法”, 光学, Vol. 33, No.7, pp.401-403, 2004.
- (5) 武田 明, “ヒト血液の複素誘電率を用いた透析効率の評価に関する研究”, 名古屋工業大学学術機関リポジトリ, 2015
- (6) F. Jolani, G. Dadashzadeh, M. Naser-Monghadasi and A. Dadgarpour “DESIGN AND OPTIMIZATION OF COMPACT BALANCED ANTIPODAL VIVALDI ANTENNA”, Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 9, 183-192, 2009
- (7) William D Hurt, Armstrong Laboratory, Brooks AFB, Tech. Report AL/OE-SR-1996-0003.
- (8) 二川 佳央, 菊池 真, 岩本 正伸, 森 新作, “マイクロ波アプリケーションを用いた局所的なハイパーサーミアのための収束導波管アプリケーション”, 電子通信学会論文誌, Vol.J 66-B No.8, pp.1035-1042, 1983.