

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：17301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H05908・19K21080

研究課題名(和文) 予防医療用ウェアラブルフィルテナの開発

研究課題名(英文) Development of wearable antenna for preventive healthcare system

研究代表者

GUAN ChaiEu (GUAN, ChaiEu)

長崎大学・工学研究科・助教

研究者番号：10824584

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、予防医療用の小型・平面構造ウェアラブルアンテナを提案している。提案するアンテナは、人体によるアンテナ特性への影響軽減のため、アンテナ背面に非接地導体板を装荷している。数値シミュレーションにより、提案する電磁結合型給電法とアンテナの広帯域特性との関係、また非接地導体板とアンテナ特性の関係、さらにその動作原理を明らかにした。1/4波長のL形状マイクロストリップ線路に関しては、アンテナを試作・測定し数値シミュレーション結果との比較検討を行った。その結果、提案するアンテナは、入力特性、放射特性共に人体による影響が小さく、予防医療用ウェアラブルアンテナとして有効であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

WBAN用アンテナは人体の近傍または人体上に装着されるため、人体が放射指向性の変化や入力インピーダンスの不整合を引き起こすことが指摘されている。従来型パッチアンテナは誘電体基板の大きさが有限であるため、基板端部での回折現象によりアンテナ背面にも放射され、人体がアンテナに与える影響を完全に取り除くことが難しい。本研究では、人体によるアンテナの影響を軽減させるため、低姿勢な積層構造のアンテナを提案した。また、提案アンテナが電磁結合給電されていることにより、2つの隣接した周波数でインピーダンス整合が取れた。これらの研究成果により、提案するアンテナが、人体近傍の短距離無線通信への利用が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this project, wearable antenna for preventive healthcare system is proposed. To minimize interaction between the antenna and human body, ungrounded conductor plane is stacked at the bottom of the antenna. Numerical analysis was used to investigate the relationship between the proposed electromagnetics (EM) coupled feed technique and bandwidth characteristics of the antenna. Besides, the relationship between the ungrounded conductor plane and the antenna characteristics, and related operational principles were clarified. Antenna fed by 1/4 wavelength L-shape microstrip feed line was fabricated and verification was made by comparing the measurement results with the numerical analysis results. Based on the outcomes of the study, the proposed antenna has input impedance and radiation pattern with a good tolerance towards human body effect, which makes it a prospective candidate for wearable antenna in the preventive healthcare system.

研究分野：通信工学

キーワード：マイクロストリップパッチアンテナ 電磁結合給電 ウェアラブルデバイス 生体・電磁環境

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、医療分野で無線通信の利用が広がっているが、特に人体内部あるいは人体近傍の短距離無線通信である人体通信(WBAN)が注目されている。欧米では医療ヘルスケア向け WBAN 規格策定が進んでいる。医療用途 WBAN では 2.45 GHz 帯周波数を使用し、人体に複数のセンサの装着や近傍に配置された WBAN と共存する仕組みが想定されている。

WBAN 用アンテナは人体の近傍または人体上に装着されるため、人体がアンテナの放射指向性の変化や入力インピーダンスの不整合を引き起こすことが指摘されている。アンテナと人体との間に電磁気的な相互作用が発生するため、アンテナと人体との相互結合に起因する伝搬損失が大きくなる。したがって、従来のアンテナは WBAN にそのまま適用できない。現在は主として、複数の受信アンテナを使用するダイバーシチ受信方法が使用されている。この方式では、変動した受信信号レベルを複数のアンテナを用いることによりある一定レベルに保つことができる。しかし、複数のアンテナを用いるためシステムが大きくなってしまふ。また、アンテナが人体表面上に置かれた場合、入力インピーダンスが大きく変動し、通信が遮断されてしまうことがある。現状では人体とアンテナとの伝搬経路のメカニズムは十分に解明されておらず、人体がアンテナに与える影響を完全に排除することは難しい。

2. 研究の目的

本研究では人体影響低減が可能な、予防医療用の小型・平面構造ウェアラブルアンテナの開発を目的としている。Industry, Science, Medical (ISM) バンドの利用を想定し、人体に装着しても人体からの影響が小さく、良好な放射特性、入力インピーダンス特性を有するアンテナ構造を調査する。人体によるアンテナの影響を軽減させるため、低姿勢なアンテナの積層構造、かつ広帯域化を目指し、特に次の点に着目し研究を遂行する。

- (1) アンテナと人体の間に非接地導体板を装荷することで、人体によるアンテナ放射指向性への影響を低減する効果を調べる。
- (2) 電磁結合による広帯域化手法に着目し、インピーダンス周波数帯の広帯域化を図る。

3. 研究の方法

本研究では、有限差分時間領域法(FDTD法)に基づく電磁界シミュレータにより数値解析を進め、人体によるアンテナの影響が少ないアンテナに重点をおいて研究を遂行する。

(1) 人体通信用アンテナの設計

アンテナの設計は、FDTD法による数値計算で行った。アンテナの後方に接触する腕部表面には、電磁界解析モデルを簡略とした電磁ファントムを設置した。人体組織を模擬する電磁ファントムのモデルを図1に示す。皮膚、脂肪、筋肉といった生体組織の電気特性(比誘電率)を等価的に模擬したものであり、人体通信関連情報技術研究所(IT'IS Foundation)によって定められた電気定数を使用している。これにより、効率の良いアンテナおよび生体を含めたシステム設計手法を確立し、アンテナのシミュレーション解析を行った。自由空間に置かれた場合と人体表面に置いた場合のアンテナの特性を詳細に調査し、アンテナ形状パラメータと反射係数および絶対利得との関係を明らかにした。実験的な検証では、測定結果と数値解析結果とを比較することで、提案するアンテナの有効性、実現性を確認した。

(2) 電磁励振によるアンテナの広帯域化

一般的な直接給電型マイクロストリップパッチアンテナ(MSA)は、厚さ 3.2 mm の誘電体基板を使用した場合、周波数帯域は 2~3% 程度の帯域幅にとどまる。周波数帯域幅拡大のため、アンテナ放射素子側面から電磁結合給電を行うことにより広帯域化を図る。電磁結合給電により、2つの隣接した周波数でインピーダンス整合が取れ(二重共振)周波数帯域幅の広帯域化が達成できる。シミュレーションによりアンテナ形状パラメータと給電線間の結合間隔の関係を詳細に調査し、二重共振が達成できるアンテナ形状を明らかにした。

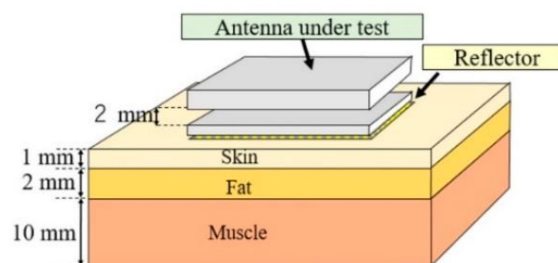


図1 生体等価ファントム

4. 研究成果

(1) 中央を短絡した T 形状マイクロストリップ線路を利用した電磁励振型 MSA

図 2 に提案アンテナの構造を示す。誘電体基板は比誘電率 $\epsilon_r = 3.3$ ，誘電正接 $\tan \delta = 0.002$ ，厚さ 3.2mm である。提案するアンテナは，人体への影響を軽減させるため，方形 MSA の背面に誘電体基板を装荷している。アンテナ背面と非接地導体板の間隔は約 $1/20$ 波長である。また，周波数帯域幅の広帯域化のため，アンテナは方形パッチの側面から，中央を短絡した長方形素子により電磁結合給電されている。図 3 に提案型 MSA の自由空間および人体表面に置いた場合の $|S_{11}|$ 特性（入力反射特性）を示す。提案するアンテナは二重共振により広帯域化されているため，人体の影響により $|S_{11}| \leq -10$ dB となる周波数帯が低周波側へ変化しているものの，人体表面に置いた場合でも ISM バンドを満たしている。

(2) L 形状マイクロストリップ線路を利用した電磁励振型 MSA

L 形状マイクロストリップ線路でパッチ側面から励振を行った MSA (P-fed Rect MSA) の構造を図 4 に示す。アンテナパッチにはスリットが装荷されている。誘電体基板は比誘電率 $\epsilon_r = 3.3$ ，誘電正接 $\tan \delta = 0.002$ ，厚さ 3.2mm である。数値シミュレーションにより，アンテナの切り込みの長さ l_s ，幅，L 形状マイクロストリップ給電線の長さなどの形状パラメータと 2 つの共振周波数との関係を詳細に調査した。図 5 に切り込みの長さ l_s を変えた場合，図 6 に 2 つの素子間隔 g を変化させたときの反射係数を示す。図 5 により， l_s は第 2 共振周波数 ($f > 2.4$ GHz) に影響することがわかる。 l_s を短く調整すると，第 2 共振周波数が低域周波数付近に推移し， $|S_{11}| \leq -10$ dB となる周波数の広帯域化が成し遂げられている。図 6 より，MSA と給電線間の電磁結合の強度が上昇するにつれて，入力インピーダンスの虚数部が低下する。これによって，電磁気結合間隔はインピーダンス整合に有効であることが分かった。

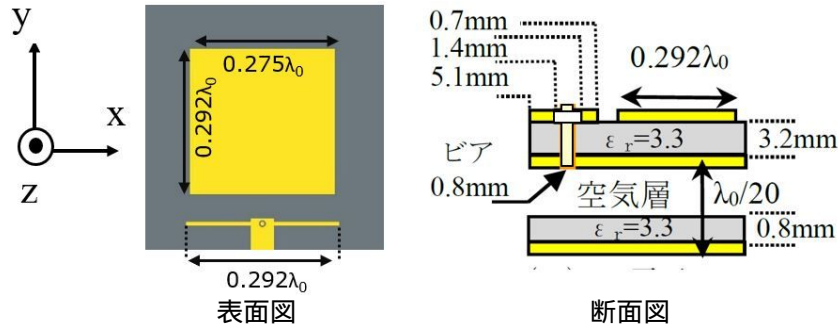


図 2 中央を短絡した長方形素子を利用する電磁励振型 MSA

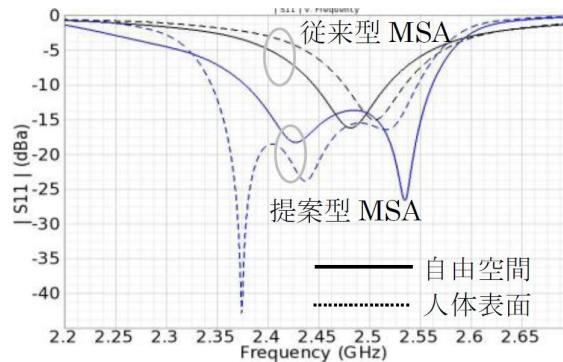


図 3 反射係数（計算結果）

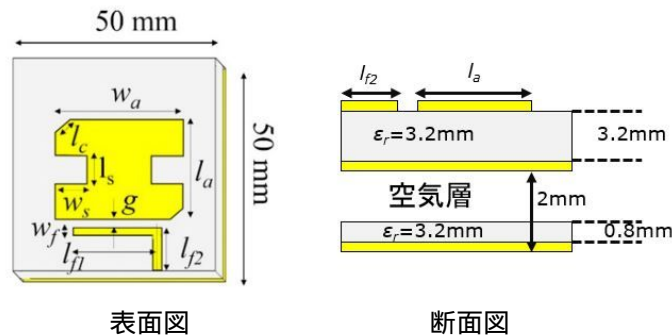


図 4 L 形状マイクロストリップを利用する電磁励振型 MSA (P-fed Rect MSA) ($w_a=31.4$, $l_a=27.0$, $w_s=6.0$, $l_s=5.6$, $w_f=1.0$, $l_f=17.7$, $l_2=6.0$, $g=0.5$, $l_c=2.4$, $st=2.0$; 単位 mm)

(3) 人体によるアンテナへの影響の軽減

人体によるアンテナ特性(リターンロスおよび反射指向性)への影響度を,数値シミュレーションにより明らかにした.従来型 MSA は誘電体基板の大きさが有限であるため,基板端部での回折現象によりアンテナ背面にも放射される.このため,図3に示すように自由空間に置かれた場合に比べ,人体表面に置かれた場合の $|S_{11}| \leq -10$ dBとなる周波数は高周波側へ移動する.人体によるアンテナの影響を軽減させるため,提案アンテナでは誘電体基板の後方に非接地導体板を装荷し積層構造のアンテナを設計した(図2, 図4).通常,MSAの背面地板上には部分的に強い電流集中が起こる.MSAが人体表面に置かれた場合,地板上の電流分布が変わるため,パッチ上の電流分布も大きく変化する.このため,図3に示すように人体表面に置いた場合, $|S_{11}|$ の変動が生じる.

図4に示すL形状マイクロストリップ線路を用いたMSA(P-fed Rect MSA)ではアンテナを試作し,測定結果との比較検討を行った.図7に数値計算結果と測定結果の比較を示す.誘電体基板の背面地板と非接地導体板の間隔とアンテナ特性の関係をシミュレーションにより詳細に調査した.図8(a)に示すように,間隔が1mmの場合,絶対利得は自由空間に置かれた場合に比べ,人体表面に置かれた場合が1.3dB程度低下している.これに対し,間隔が2mm(=0.016波長)の場合, $|S_{11}|$ と絶対利得が自由空間での特性とほぼ同じになる(図7, 図8(b)).図9の測定結果より,P-fed Rect MSAが人体の上肢各部位に置かれた場合,人体によるアンテナの反射係数の影響が小さいことが確認できる.P-fed Rect MSAが手首や胸部などに置かれ,電磁エネルギーの吸収面積が増えるにつれ,2.42GHzにおける $|S_{11}|$ が-10dBに推移している. $|S_{11}| \leq -10$ dBとなる周波数が広いため,胸部に置いた場合でもISMバンドを満たしている.

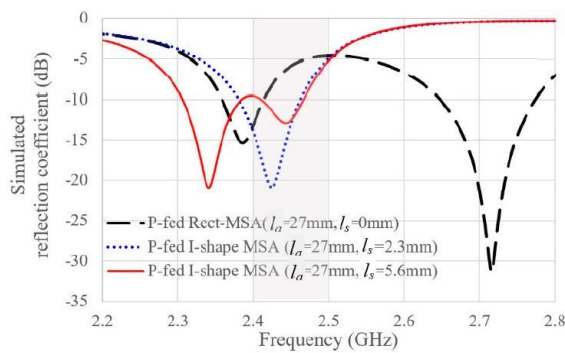


図5 スリット l_s と第2共振周波数の推移

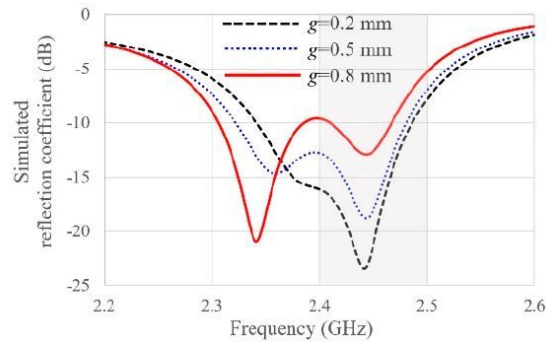


図6 反射係数(結合間隔の調整)

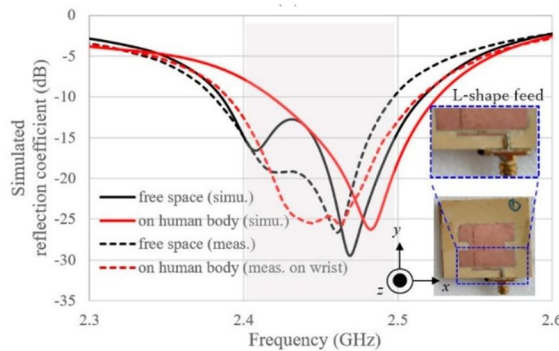
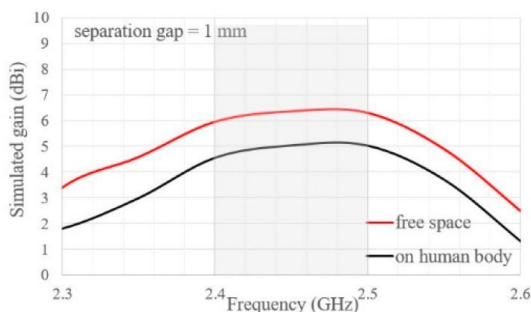
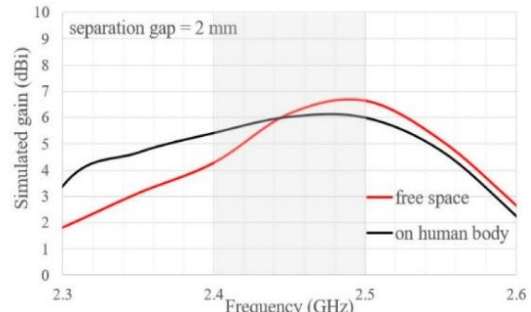


図7 自由空間(黒)と人体表面(赤)に置かれたP-fed Rect MSAの入力インピーダンス.計算結果(実線),測定結果(点線)



(a)間隔が1mm



(b)間隔が2mm

図8 P-fed Rect MSAの後方と非接地導体板の間隔および天頂方向への利得.自由空間(赤),人体表面上(黒)

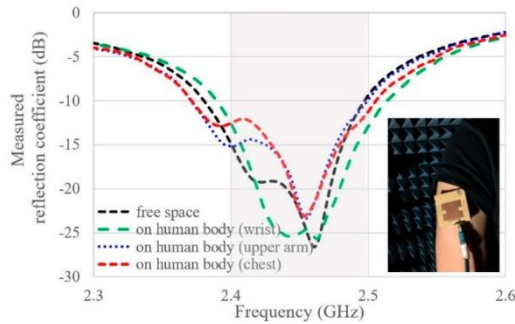


図9 P-fed Rect MSA が人体の上肢各部位に置かれた場合の $|S_{11}|$, 手首(緑), 上腕(緑), 胸部(赤), 自由空間(黒)

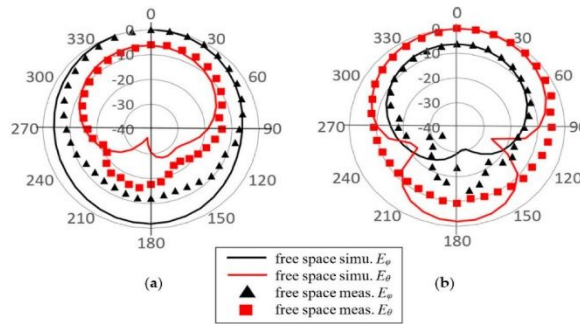


図10 P-fed Rect MSA の放射指向性. 計算結果(実線), 実測結果(と)(a) xz 平面@ 2.45GHz, (b) yz 平面@2.45 GHz

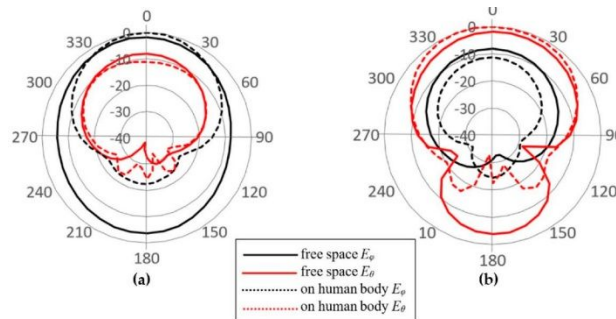


図11 ファントムに置かれた P-fed Rect MSA の放射指向性. 自由空間に置かれた場合(実線), ファントムに置かれた場合(点線), (a) xz 平面@2.45 GHz, (b) yz 平面@ 2.45 GHz.

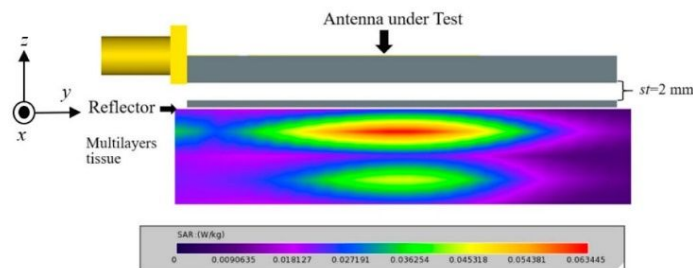


図12 ファントムにおける電磁波吸収率 (yz 平面@2.45 GHz)

図9の測定結果より, P-fed Rect MSA が人体の上肢各部位に置かれた場合, 人体によるアンテナの反射係数の影響が小さいことが確認できる. P-fed Rect MSA が手首や胸部などに置かれ, 電磁エネルギーの吸収面積が増えるにつれ, 2.42 GHz における $|S_{11}|$ が-10 dB に推移している. $|S_{11}| \leq -10$ dB となる周波数が広い為, 胸部に置いた場合でも ISM バンドを満たしている.

図10に P-fed Rect MSA の計算結果と測定結果の放射指向性を示す. 2.45 GHz において, 主放射方向が天頂方向であり, 測定結果と数値計算結果はよく一致している. 図11に, 提案 P-fed Rect MSA の自由空間および人体表面に置いた場合, 放射指向性の人体による影響を示す. P-fed Rect MSA がファントムに置かれた場合, 1g のファントム組織に電磁エネルギーの吸収量を図12に示す. 提案する P-fed Rect MSA は 0.64 W/kg の電磁界比吸収率 (SAR) が得られ, FCC で指定された SAR レベル上限の 1.6 W/kg より低いため, アンテナ後部からの放射電波が弱いことがわかる. 提案するアンテナは, 放射指向性, 反射係数の人体による影響が小さいことを確認した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 C.-E. Guan and T. Fujimoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Design of a Wideband L-Shape Fed Microstrip Patch Antenna Backed by Conductor Plane for Medical Body Area Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MDPI Electronics (Switzerland)	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/electronics9010021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 C.-E. Guan and T. Fujimoto
2. 発表標題 Reflector-backed Microstrip Patch Antenna For Medical Body Area Network
3. 学会等名 8th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation（国際学会）
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 グアン チャイユー，藤本孝文
2. 発表標題 MBAN用マイクロストリップアンテナ
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会，早稲田大学（東京）
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 C.-E. Guan and T. Fujimoto
2. 発表標題 An Enhanced-Bandwidth Antenna For Medical Body Area Network Applications
3. 学会等名 第7回バイオメカニクス研究センター&エレクトロニクス実装学会九州支部合同研究会，九州大学（福岡）
4. 発表年 2018年～2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----