

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560476

研究課題名(和文)モード理論を用いた小形アンテナの特性改善に関する研究

研究課題名(英文)Study on the modal theory applied to small antennas

研究代表者

野口 啓介(Noguchi, Keisuke)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：10278103

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：携帯電話やタブレットPCなどに用いる小形アンテナの特性改善をねらいとし、モード理論を用いたアンテナ設計について研究を行った。モード理論とは、モーメント法に基づく特性モードと、多導体分布定数回路に適用される固有値論を拡張したモード理論であり、それらの理論を用いることによりアンテナの設計が容易となり、アンテナの広帯域化、マルチバンド化を行うことができる。研究の成果として、代表的な小形アンテナである逆L形アンテナを取り上げ、その広帯域化、2周波共用化について、モード理論を用いた設計を試み、設計理論の確立を行った。本研究成果をまとめたものを国際学会で発表した。

研究成果の概要(英文)：In order to improve characteristics of small antennas applied to mobile terminals such as mobile phone and tablet PC, we have studied antenna designs with the characteristic modes and the multi-conductor transmission line mode theory (the modal theory). The modal theory can be applied to analyze small antennas consisting of several conductors, and the theory contributes to design small antennas with wideband or multiband characteristics. As results, we investigated an inverted-L antenna (ILA) consisting of two conductors, and designed wideband/dual-band ILA with the modal theory. Design process for small antennas using the modal theory can be cleared. Finally we have presented the results in international conferences.

研究分野：アンテナ工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：移動通信 小形アンテナ 広帯域化 マルチバンド化 モード理論 特性モード

1. 研究開始当初の背景

携帯電話などに代表される陸上の移動通信システムは世界的規模で急速に発展しており、日本や欧米諸国の先進国だけでなく、これまで開発途上国とされてきた国々でも普及が目覚ましい。そのような移動通信用の無線端末に必要となる小形アンテナには、幅広い周波数帯域で動作する広帯域特性、あるいは複数の周波数帯で動作するマルチバンドの特性が必要とされている。これらの特性は、一つの無線端末に複数の機能を盛り込み、より付加価値の高いサービスをユーザに提供するために今後益々必要となってくる。これまでも地上デジタルテレビ放送、GPS、インターネット接続などのサービスが一つの無線端末で実現され、機能の集積、融合が進み、付加価値の高い通信システムがユーザに提供されてきた。

小形アンテナの広帯域化、マルチバンド化については、従来多くの研究がなされ、国内外において小形化技術、広帯域・マルチバンド化技術が提案されてきた。しかし多くの研究例に見られるように、数値解析を主体としたパラメトリック・スタディによるアンテナ設計が普及し、物理的現象を重視した理論的な研究とそれをベースにした小形アンテナの設計については不十分であり、多様化が進む移動通信システムに適用する理論的背景を有する小形アンテナの設計手法確立が強く望まれる。

研究代表者はこれまで小形アンテナの研究に取り組み、折返しダイポールアンテナの理論を応用した2線式ヘリカルアンテナや2線式メアングララインアンテナなどの成果をあげてきた。本研究課題の取り組み以前には、伝送線路モードをパッチアンテナに応用した例としてE形パッチアンテナの特性解析を行い、広帯域化、デュアルバンド化に取り組み、図1にあるような理論的考察と等価回路の導出を行った。伝送線路モードの理論を応用したE形パッチアンテナの研究を進める中で、その理論は回路特性の解析には有効であるが、一方で放射に関する解析については不十分であることが予想された。伝送線路モードの理論と同様に固有値を用い、放射に関してのモードを扱うことができる特性モードが近年着目され、その研究論文から特性モードの有用性を認識するに至り、本研究課題の取り組みに至った。

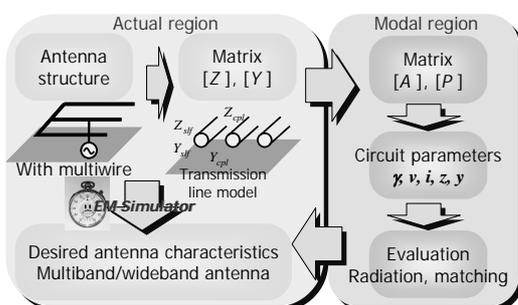


図1 モード理論を用いたアンテナ設計

2. 研究の目的

移動通信用の携帯端末に必要となる小形アンテナの特性改善をねらいとして、モード理論、すなわち特性モードおよび伝送線路モードの理論による小形アンテナの解析と設計手法について明らかにすることを目的とした。研究期間内の3年間に明らかにする内容は以下の事項であった。

- (1) 方形や円形パッチアンテナ、板状モノポールアンテナで生じる特性モード、
- (2) 多層または多導体でアンテナを構成した場合に生じる特性モードと伝送線路モード、
- (3) 特性モードおよび伝送線路モードを用いた放射特性および回路特性ともに広帯域、マルチバンドの特性を有する小形アンテナの実現、
- (4) 既存システムに適用可能な広帯域、マルチバンド小形アンテナの実現。

上記(1)については、小形・平面アンテナの代表的なアンテナである1層で構成したパッチアンテナと板状モノポールアンテナを取り上げ、その特性モードの解析を行った。(2)については、多層あるいは寄生素子などの多導体で構成された小形アンテナを扱い、その特性モードおよび伝送線路モードの解析を行った。二つのモード理論を用いた解析を踏まえて、(3)において放射特性、回路特性ともに広帯域、マルチバンドの特性を持たすことが可能な小形アンテナの研究を行った。(4)では、既存システムで用いられている周波数帯に合わせた設計を試み、そのシステムで提案可能な広帯域、マルチバンド小形アンテナについて研究を進めた。

3. 研究の方法

特性モードと伝送線路モードについて理論検証を行うとともに、基礎的な小形アンテナの解析を行うことをねらいとし、申請設備のモーメント法をベースとした電磁界シミュレータを用い、特性モードの解析を試み、方形や円形の導体からなる小形アンテナの特性モードおよび放射特性を求めようとした。また複数の導体からなる折返しモノポールアンテナなどの基礎的な小形アンテナについて伝送線路モードの理論により解析を行い、特性モードとの関係について考究した。現在保有するモーメント法以外のシミュレータでも同じモデルについてアンテナ特性を求め、さらには試作実験を行い、結果について比較検討することも視野に入れた。平成24年から3年間にわたり、購入設備を有効活用するとともに、交付いただいた研究費を効率的に使い、計画的かつ効果的に研究を進めた。

4. 研究成果

(1) モード理論

研究期間において扱った理論としてモード理論があり、二つのモード理論、すなわち

特性モードと伝送線路モードについて研究を行った．特性モードについては，購入設備のシミュレータを用いることにより解析でき，アンテナ上に生じる電流モードとそれによる放射の解析を行った．特性モードにより，固有値の大きさによってその寄与が分かり，アンテナ上の電流モードと放射との関係が明らかになった．しかしながら，特性モードによる解析では基本モード以外の電流モードの活用が不明確であり，その点についての今後の研究が必要であることが分かった．

伝送線路モードについては，従来から行っていた解析を拡張し，逆L形アンテナへの適用を試み，十分な結果を得ることができた．伝送線路モードの解析を，図2に示す折返し構造を持つ逆L形アンテナ（以下，FILA）に適用し，その理論解析，シミュレーション，試作実験により，下記に示す広帯域化と2周波共用化を実現した．

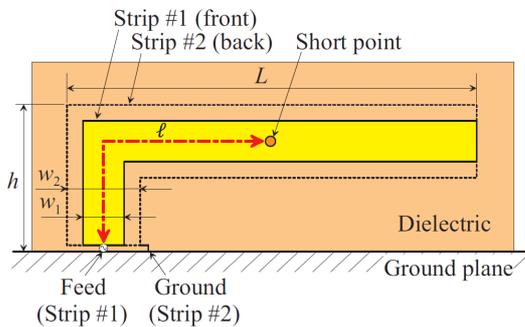


図2 折返し逆L形アンテナ (FILA)

(2) 広帯域化

図3に示す等価回路により，理論検討を行い，得られる最大比帯域幅と，その実現を試みた．理論検討により，許容 VSWR  $\rho$ ，アンテナの Q 値との関係式を導出し，最大比帯域幅が次の式で決まることを明らかにした．

$$BW = \frac{\sqrt{\rho^2 - 1}}{Q} \quad (1)$$

上式をもとに図4に示す最大比帯域幅を求め，この方式によるアンテナ設計に資するデータ(放射抵抗，共振周波数，Q 値)を準備し，具体的な設計を行った．結果の一例として，広帯域化を実現したアンテナのインピーダンス特性を図5に示す．

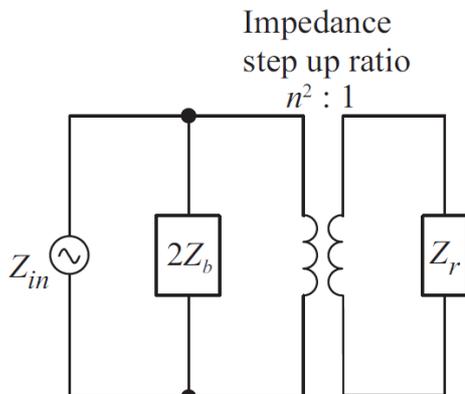


図3 FILA の等価回路

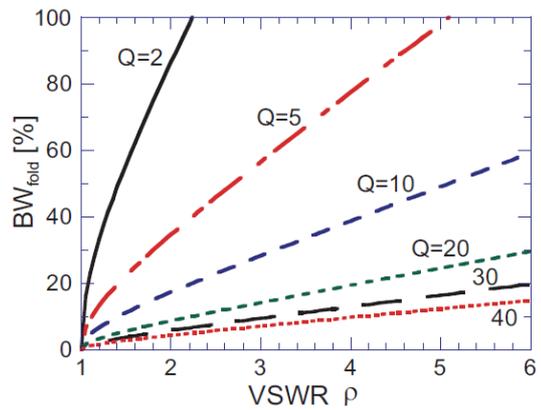


図4 許容 VSWR と最大比帯域幅

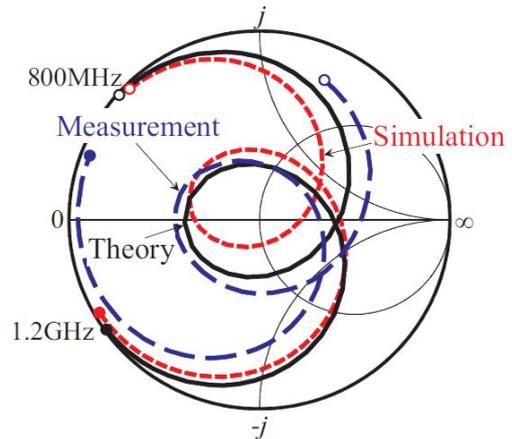


図5 設計後のインピーダンス特性

(3) 2周波共用化

理論検討を進めることにより，FILA の2周波共用化を実現した．共用化が可能となる周波数  $f^+$  および  $f^-$  ( $f^+ > f^-$ ) が以下の式で決まることを明らかにした．

$$f^+, f^- = \left( 1 \pm \frac{\sqrt{\rho - 1}}{2Q} \right) f_0 \quad (2)$$

ここで  $\rho$  は最大とする VSWR の値， $f_0$  は中心周波数である．さらにモード理論を用いてインピーダンスステップアップ比  $n^2$  を求め，図6に示すように，従来の折返しアンテナから求められるステップアップ比と，モード理

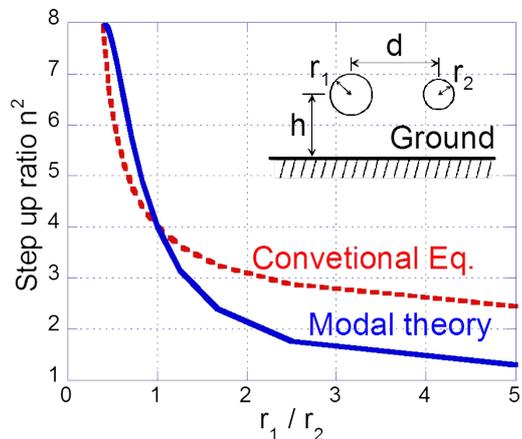


図6 インピーダンスステップアップ比

論からのものを比較し、モード理論からのものが有用であることを示した。なお、図6中の半径  $r_1, r_2$  は図1のFILAの導体の等価半径を表している。これらの設計のもとに、最終的にアンテナパラメータを決定し、図7に示す2周波共用化したFILAが得られた。

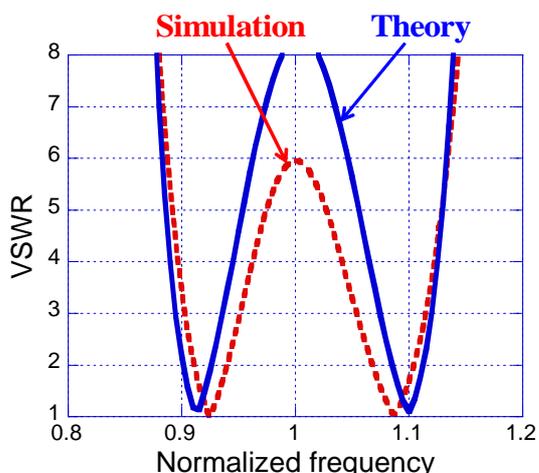


図7 2周波共用化FILAのVSWR

今後、本研究課題で購入した設備を有効活用し、さらに特性モードと伝送線路モードとの関連について調べるとともに、実用アンテナの提案も行っていく。

#### 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2件)

K.Noguchi, S.Betsudan, S.Makino, T.Hirota and K.Itoh, "Transmission line mode analysis of wideband/multiband antennas consisting of coupled conductors," Proc. IEEE-APS Topical Conf. on Antennas and Propag. in Wireless Communications (APWC), pp. 272-275, Torino, Italy, Sep. 2013. (査読有り)

K.Noguchi, S.Makino, T.Hirota, K.Itoh and S.Betsudan, "Theoretical bandwidth of folded small antennas," Proc. IEEE Int. Symp. on Antennas and Propag., pp. 766-767, Orlando, Florida, July 2013. (査読有り)

[学会発表](計6件)

野口啓介, 別段信一, 牧野滋, 廣田哲夫, 伊東健治, "2周波共用折返し逆L形アンテナ," 信学ソ大, 福岡工大, B-1-61, p. 61, 2013年9月17日.

野口啓介, 別段信一, 牧野滋, 廣田哲夫, 伊東健治, "折返し逆L形アンテナの最大比帯域幅," 信学技報, AP2013-17, pp.11-16, 大分県別府国際コンベンションセンター, 2013年5月16日.

野口啓介, 京村治孝, 小林亮介, 人見健三郎, 小柳奈緒美, 稲毛章雄, "直列共振特性を持つアンテナのQ値と放射効率," 信学総大, 岐阜大, B-1-194, p. 194, 2013年3月21日.

京村治孝 野口啓介, "Radiation Efficiency of an RFID Antenna by Using Q-factor," IEEE Nagoya Chapter Midland Student Express 2012 Autumn, 金沢工大, 2012年11月9日.

渡邊拓也, 野口啓介, 別段信一, 牧野滋, 伊東健治, 廣田哲夫, "積層パッチアンテナの等価回路に関する一検討," 信学総大, 岡山大, B-1-135, p. 135, 2012年3月23日.

渡邊拓也, 野口啓介, 別段信一, 牧野滋, 伊東健治, 廣田哲夫, "円偏波用積層方形MSAの非励振パッチ回転による広帯域化," H23電気学会電子・情報・システム部門大会, MC6-1, 富山大(五福キャンパス), 2011年9月8日.

[産業財産権]

出願状況(計1件)

名称: 円偏波特性を有するマイクロストリップアンテナ

発明者: 野口啓介, 別段信一, 牧野滋, 伊東健治, 廣田哲夫, 渡邊拓也

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 2012-47449号

出願年月日: 2012年3月7日

国内外の別: 国内

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

野口 啓介 (NOGUCHI KEISUKE)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号: 10278103