

機関番号： 33302
 研究種目： 基盤研究（C）
 研究期間： 2008 ～ 2010
 課題番号： 20560376
 研究課題名（和文） 多線条導体からなる多周波共用小形アンテナに関する研究
 研究課題名（英文） Study on Multi-Band Small Antennas Consisting of Multi-Conductor

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

研究成果の概要（和文）：多線条導体からなる多周波共用小形アンテナについて研究を行い，動作原理と設計手法を明らかにすることを目的として，多導体系分布定数回路のモード理論の応用を試みた．例として E 形パッチアンテナにモード理論を適用することによりその動作原理について説明を行い，2周波共用化，広帯域化の最適設計を行った．結果として設計周波数に対する共用周波数と，最大の比帯域幅について理論的に求められ，その数値例を示した．

研究成果の概要（英文）：Multi-band small antennas consisting of multi-conductor have been studied and the multi-conductor transmission line mode theory has been applied for design of the antennas. Dual-band and wideband E-shaped patch antennas were analyzed with the mode theory as analysis examples. After the theoretical analysis, optimized dual frequency and maximized bandwidth were obtained, and numerical examples were shown.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：移動体通信，多線条，小形アンテナ，多周波共用，マルチバンド，広帯域化

1. 研究開始当初の背景

世界に普及しつつある移動通信システムの携帯端末には，多くの機能を盛り込み，より付加価値の高い移動通信機器をユーザに提供することが望まれている．多機能化するための技術的課題として，

- (1) 複数の移動通信システムへの対応，
- (2) 融合した機能への対応

が挙げられる．これらの課題に対しては異なる周波数帯への取り組み，特に高周波回路の一部であるアンテナの広帯域化，多周波共用化が必要であった．アンテナの広帯域化およ

び多周波共用化については従来多くの研究がなされ，最近までは UWB（超広帯域通信）に向けたアンテナの研究やメタマテリアルの応用などが盛んであった．アンテナの多周波共用化については，寄生素子を用いる方法，アンテナ素子にスロットを設ける方法，フラクタル構造を用いる方法，メタマテリアルや EBG の応用などが提案され，プリント基板を用いた平面形のものも研究が行われている．多周波共用化の手法，動作原理については，寄生素子の結合容量，電流のパスによってある程度説明がなされているが，個々の形

状、寸法に依存した研究が多く、多様な設計ニーズに応じることができる普遍的かつ実用的な多周波共用化の設計手法などについては必ずしも十分な研究がなされていなかった。

2. 研究の目的

携帯端末で用いられるアンテナは小形化が必要とされ、さらに広帯域化、多周波共用化が必要である。これらに対し、本研究の目的は、

(1) 多線条導体で構成したアンテナによる多周波共用化の設計方法、動作原理について明らかにすること、

(2) 移動通信用多周波共用小形アンテナを実現すること

である。(1)の目的に対しては、主としてモード理論を用いて動作原理、設計方法、設計手順を明らかにしていく。(2)については具体的な小形アンテナに(1)を適用し、現在および将来に向けた移動通信システムへの適用を試みる。

3. 研究の方法

多線条導体からなるアンテナの動作原理を解明するためのモード理論の適用を行い、その理論に基づいたアンテナの解析が必要である。研究当初(平成20年度)、モード理論の検討を中心に研究を進めた。その後(平成21, 22年度)、多線条または多ストリップ導体で構成した平面形の小形アンテナの研究を行い、その数値解析、試作実験に取り組んだ。

研究の具体的な方法は、モード理論を適用したアンテナのモデル化と解析、有限要素法によるシミュレータを用いた数値解析、および試作実験である。これらの方法により3年間にわたり計画的かつ効果的に研究を行った。

4. 研究成果

(1) モード理論とその適用

多線条導体でアンテナを構成した場合、複数の電圧、電流のモードあるいは電磁界モード(波の強弱の形、定在波分布)が同時に発生し、そのモードによりアンテナの回路特性、放射特性が異なってくる。モード理論は、基本的には多導体系分布定数回路の理論であり、図1に示すような複数の伝送線路からなる回路に適用される理論である。モード理論によれば、伝送線路上に生じる実領域での電圧、電流を、固有値に基づく解析によってモード領域での電圧、電流として扱うことが可能となる。モード理論をアンテナに適用することにより、アンテナ上に生じる複雑な電圧、電流分布を各モードに分離して扱うことが可能となり、図2に示すように放射に寄与す

るモードと伝送線路として働くモードに分けて扱うことができる。

(2) E形パッチアンテナ

多線条導体で構成したアンテナへのモード理論の適用例として、図3に示すE形パッチアンテナを取り上げ、その理論的解析を行い、広帯域化およびマルチバンド化(2周波共用化)の設計を行った。

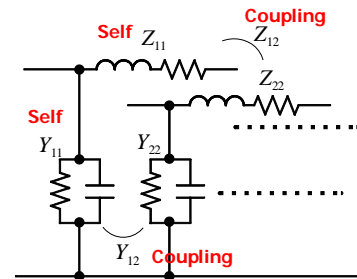


図1. 多導体系分布定数回路

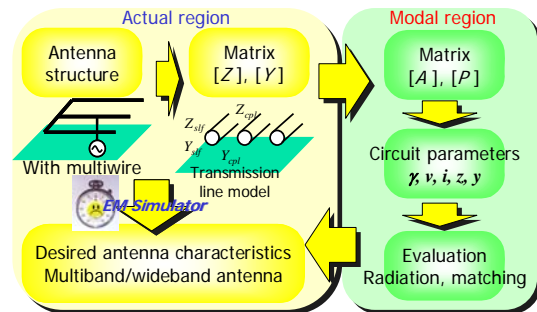


図2. モード理論の概念図

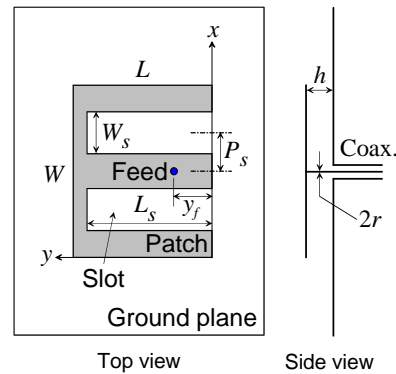


図3. E形パッチアンテナ

E形パッチアンテナは地板上にE形のパッチ導体を設置し、地板の裏面より同軸線路を経て給電したアンテナであり、従来より広帯域化、2周波共用化が可能なアンテナとして着目されていた。しかしその動作原理を含む理論的考察は不十分であり、設計も数値シミュレーションを用いたパラメトリックスタディによるものが主で、必ずしも最適化されているとは言えなかった。また、特性改善においても動作原理の解明が必要であった。

モード理論を用いた解析をE形パッチアンテナに適用することで、パッチ導体に生じる

いくつかのモードを分離して扱うことを試みた。E形パッチで生じるモードは3つあり、図4に示すようにモード1からモード3が同時に発生する。これらのモードのうち、モード1はパッチ上と地板上に電流が流れ、パッチと地板との間で電圧が加わるためにそれによって生じる電磁界から、電波の放射が起こる。これは通常のパッチアンテナの動作と同じ扱いができ、放射モードとして扱える。一方、モード2および3は図4に示すようにパッチ上に生じる伝送線路のモードであり、その電磁界はパッチ上で相殺されて放射は起こらず、単に分布定数回路として働くために、アンテナの特性に対しては入力インピーダンスに対して寄与する。

E形パッチアンテナでは給電点の位置がE形パッチ導体の中心導体にあるので、モード1および3のみアンテナの特性に影響を及ぼし、アンテナの等価回路としては図5に示すようなものと考えることができる。この等価回路は、モード1による放射インピーダンス、モード3による伝送線路のインピーダンス、給電プローブのリアクタンスから成り、それらは直列に接続されている。モード1の放射インピーダンスは、等価半径を考慮した通常のパッチアンテナのインピーダンスとして扱い、理論計算が可能である。モード3の伝送線路のインピーダンスは、図6に示すように給電点から見て短絡および開放線路として扱うことによって分布定数回路の理論式を適用でき、等価回路の計算に用いることができる。さらに給電プローブのリアクタンスは、プローブのインダクタンスを求め、計算に考慮する。このような手続きにより、最終的に入力インピーダンスを計算する。

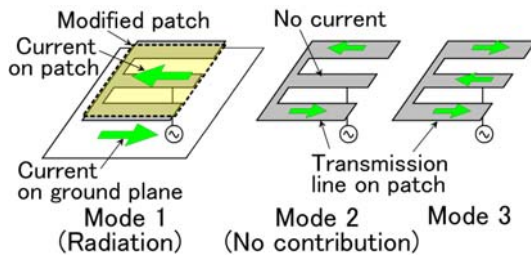


図4. E形パッチアンテナのモード

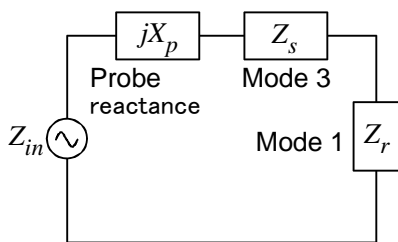


図5. E形パッチアンテナの等価回路

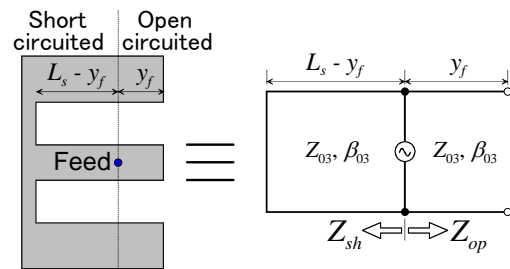


図6. モード3の扱い

(3) 2周波共用E形パッチアンテナ

前述したE形パッチアンテナの等価回路を用い、2周波共用化の設計が可能となる。2周波共用化とは、1つのアンテナが2つの周波数帯において動作するように設計することである。E形パッチアンテナは従来より2周波共用化が可能であったが、その2つの周波数間隔の調整法やアンテナ設計法が確立されていなかった。等価回路を用いれば、理論式を立てることにより容易に周波数の間隔を割り出すことができ、実現可能性の検討も行うことができる。具体的には、周波数比 x_0 が次の関係、

$$x_0 = \pm \frac{\sqrt{S_m - 1}}{2Q} \quad (1)$$

を持ち、2つの周波数 f_{01} , f_{02} が次式で表される。

$$f_{01} = f_0(1 - x_0), \quad f_{02} = f_0(1 + x_0) \quad (2)$$

式(1)において、 S_m は中心周波数 f_0 でのVSWR値、 Q はアンテナの Q 値である。この関係を用い、設計したE形パッチアンテナの反射特性を図7に示す。図において、理論値、実験値、シミュレーション値いずれも2周波数で反射係数が小さくなり、2つの帯域を持つことが分かる。理論値では2つの周波数で-30dB以下までの小さな反射係数となっているが、実験値、シミュレーション値では-20dB以下程度となった。理論値と実験値、シミュレーション値とのずれは、アンテナの Q 値が異なることが主な理由と考えられる。

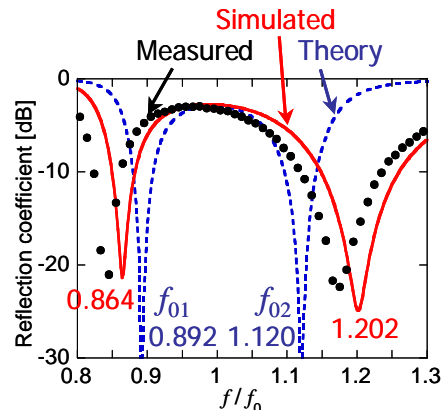


図7. 2周波共用E形パッチアンテナの反射特性

(4) 広帯域 E 形パッチアンテナ

2 周波共用の場合と同様に、等価回路を用いることで広帯域化の設計も行うことが可能となった。この場合には最適化を図ることができ、理論的に最大の比帯域幅を求めることが可能となる。

広帯域となる条件を理論式で解析し、結果として以下の比帯域幅が E 形パッチアンテナでは得られることを明らかにした。

$$BW(E\text{-shaped}) = \frac{\sqrt{S^2 - 1}}{Q} \quad (3)$$

ここで、 S はシステムによって定められる VSWR の上限値、 Q はアンテナの Q 値である。従来のパッチアンテナと比較すると、

$$\xi = \frac{BW(E\text{-shaped})}{BW(normal)} = \sqrt{\frac{S(S+1)}{S-1}} \quad (4)$$

で表される値分だけ E 形パッチアンテナの帯域幅が広く、 S が 2 の場合には、従来のパッチアンテナに比べ約 2.4 倍となること。

理論を元にアンテナのパラメータを決定し、インピーダンス特性を求めた。その結果を図 8 に示す。図中には理論値、実験値、シミュレーション値を示しており、いずれの値も反射係数面（スミスチャート）上で広帯域な特性が得られている。さらに、周波数比に対する VSWR について図 9 に示す。これより、理論値では VSWR が 2 以下において約 23% の比帯域幅が得られ、実験、シミュレーションにおいては約 28% の比帯域幅が得られた。これらの差異については、理論値で用いた Q 値が実際よりも大きな値となっていることが考えられる。パッチアンテナの Q 値は、アンテナの高さが低い場合には実際と良く一致するが、今回取り上げた E 形パッチアンテナのように高い場合には実際に合わないことが他の論文などでも示されており、理論値導出の際に補正を行う必要がある。

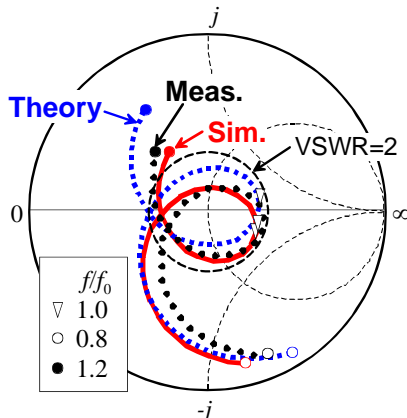


図 8. 広帯域 E 形パッチアンテナのインピーダンス特性

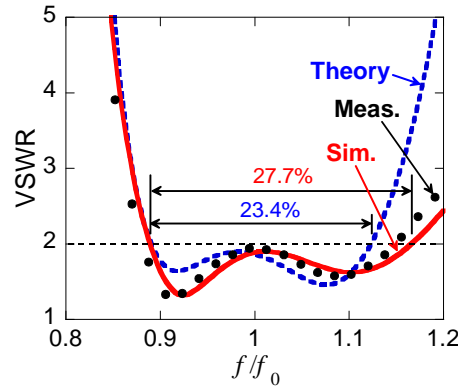


図 9. 広帯域 E 形パッチアンテナの VSWR

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 3 件)

- ① K. Noguchi, H. Rajagopalan, Y. Rahmat-Samii, “Design of E-shaped Patch Antennas by Using the Multi-Conductor Transmission Line Mode Theory,” Digest of 2010 APMC, 査読有, 2010, (CD-ROM).
- ② K. Noguchi, H. Rajagopalan, Y. Rahmat-Samii, “Design of Dual-Band E-shaped Patch Antennas by Using the Multi-Conductor Transmission Line Mode Theory,” Digest of 2010 ISAP, 査読有, 2010, (CD-ROM).
- ③ K. Noguchi, T. Moroya, M. Mizusawa, S. Betsudan, S. Makino, T. Sasaki, “A Card-type RFID Antenna with a T-type Matching Circuit for Bandwidth Enhancement,” Digest of 2010 ISAP, 査読有, 2010, (CD-ROM).

[学会発表] (計 5 件)

- ① K. Noguchi, et al., “Application of Matrix Method with Orthogonal Modes for Simple Design of Multiband/Wideband Small Antennas,” USNC-URSI National Radio Science Meeting 2010, University of Colorado, USA (Boulder), Jan. 6, 2010.
- ② K. Noguchi, T. Moroya, M. Mizusawa, S. Betsudan, S. Makino, T. Sasaki, “Broadband Matching of a RFID Antenna by Using a T-type Circuit,” IEEE International Workshop on Antenna Technology, Doubletree Guest Suites, USA (Santa Monica), March 4, 2009.
- ③ 野口啓介, 諸谷徹郎, 水澤丕雄, 別段信二, 牧野滋, 佐々木拓郎, “カード形 RFID アンテナの T 形回路による広帯域整合,”

電子情報通信学会技術研究報告（アンテナ・伝播），Vol.108，No.304，金沢工業大学，2008年11月19日発表。

- ④ 諸谷徹郎，野口啓介，水澤丕雄，別段信一，牧野滋，“2素子同時給電メアンダラインアンテナのインピーダンス特性，”電気関係学会北陸支部連合大会，C-22，富山大学，2008年9月13日発表。
- ⑤ 野口啓介，諸谷徹郎，水澤丕雄，別段信一，牧野滋，佐々木拓郎，“カード形RFIDアンテナのT形回路による広帯域整合，”電気関係学会北陸支部連合大会，C-24，富山大学，2008年9月13日発表。

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

(2) 研究分担者

別段 信一 (BETSUDAN SHIN-ICHI)
金沢工業大学・工学部・教授
研究者番号：10298317
牧野 滋 (MAKINO SHIGERU)
金沢工業大学・工学部・教授
研究者番号：40393524

(3) 連携研究者

(該当者なし)