

通信用小形アンテナ技術

西本研悟* 小西善彦†
 深沢 徹**
 宮下裕章***

Small Antenna Technology for Communications

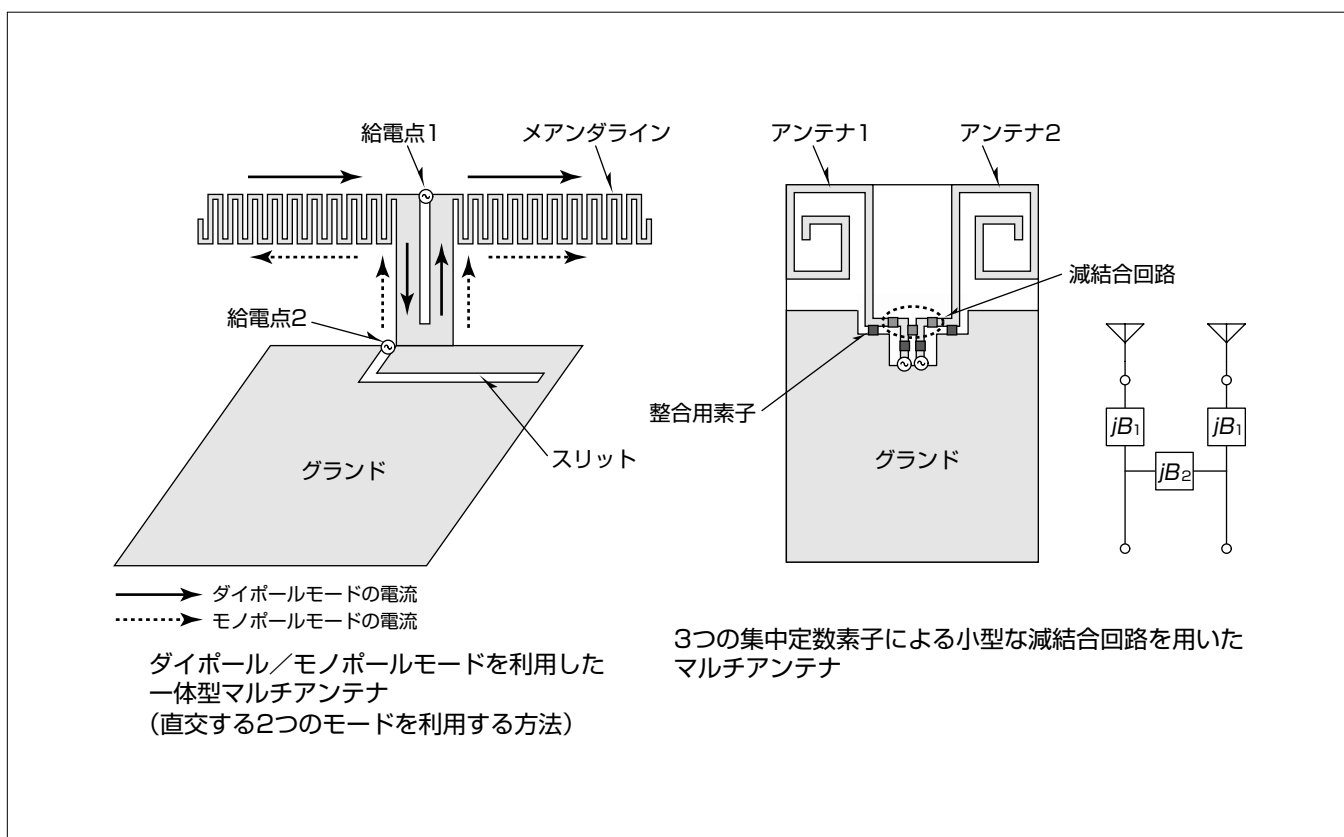
Kengo Nishimoto, Toru Fukasawa, Hiroaki Miyashita, Yoshihiko Konishi

要 旨

近年、無線通信の高速化・高品質化に伴って、ダイバーシチやMIMO (Multiple Input Multiple Output) を適用するために、送受信に複数のアンテナを用いるマルチアンテナ技術への要求が高まっている。マルチアンテナでは、通信装置の小型化のため従来(アンテナ1本)と同程度のサイズが要求されるが、一般に、小さい領域内に複数のアンテナを設置すると、アンテナ間の相互結合が強いため通信性能が劣化するという問題がある。

本稿では、小形マルチアンテナ技術として、直交する2つのモードを使用する方法と、減結合回路を用いる方法について、新たに開発した方法を述べる。直交する2つのモードを使用する方法は、1つのアンテナ上に2つの低相関な

電流分布を実現させることで小形なマルチアンテナを得る方法であり、ここでは、ダイポール/モノポールモードを利用した一体型マルチアンテナについて述べる。小形アンテナはグラウンドや周囲金属物に近づくと特性が劣化するが、このアンテナでは主要放射部をグラウンドから離せるため、帯域が比較的広く、放射効率が高いアンテナが得られる。減結合回路を用いる方法は、アンテナを介した結合を回路を介した結合で打ち消す方法であり、ここでは、少数の集中定数素子だけで構成された簡易な減結合回路について述べる。小形アンテナでは周囲環境によって特性が変化するが、この減結合回路は、集中定数素子だけで構成しているので調整が容易である。



小形マルチアンテナ技術

小形マルチアンテナ技術として、直交する2つのモードを利用する方法と減結合回路を用いる方法を示す。ダイポール/モノポールモードを利用した一体型マルチアンテナでは、1つのアンテナ上に2つの低相関な電流分布を実現することで小形マルチアンテナを得ている。減結合回路は、3つの集中定数素子だけで構成しているため小型で調整が容易である。

1. ま え が き

近年、無線通信の高速化・高品質化に伴って、ダイバーシチやMIMOを適用するために、送受信に複数のアンテナを用いるマルチアンテナ技術への要求が高まっている。マルチアンテナでは、通信装置の小型化のため従来(アンテナ1本)と同程度のサイズが要求されるが、一般に、小さい領域内に複数のアンテナを設置すると、アンテナ間の相互結合が強いため通信性能が劣化するという問題がある。小さい領域内に設置したアンテナ間の結合を低減する方法としては、直交する2つのモードを使用する方法が報告されている⁽¹⁾。文献(1)では、逆Fアンテナとノッチアンテナの一体構造によって、低姿勢で良好なアイソレーション特性を実現しているが、ノッチアンテナの帯域が狭い点が課題である。また、他の方法として、減結合回路を用いる方法がある⁽²⁾。文献(2)では、減結合回路を伝送線路と複数の集中定数素子で構成しているが、通信装置の設置環境が変化し、回路の調整が必要になった場合に、伝送線路長の変更が困難という課題がある。

本稿では、これらの課題を解決するために開発した、ダイポール/モノポールモードを利用した一体型マルチアンテナ⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾と、少数の集中定数素子だけで構成された簡易な減結合回路を用いたマルチアンテナ⁽⁷⁾について述べる。

2. ダイポール/モノポールモードを利用した一体型マルチアンテナ

2.1 アンテナ構成と動作原理

アンテナの構成を図1に示す。 λ_c は、設計の中心周波数 f_c における波長である。グラウンドは、通信端末内の基板を模擬したものである。グラウンドの上端から、給電線路(マイクロストリップ線路)を介して、高さ h のメアンダ状のダイポールを給電する。給電線路のグラウンドにスリットAを空け、不平衡-平衡変換を行う。実際には給電線路とメアンダラインは基板上に作成するが、モデルを簡略化するため、給電線路のグラウンドを導体板でモデル化し、スリッ

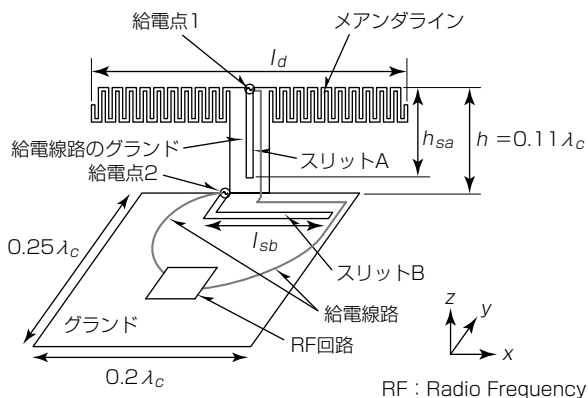


図1. アンテナの構成

トAの端部に給電点1を設置する。また、給電線路のグラウンドとメアンダラインをモノポールとして動作させるため、グラウンドにスリットBを空け、その端部に給電点2を設置する。このダイバーシチアンテナは1枚の基板上に作成でき、この基板を通信基板(グラウンド)にコネクタなどを介して接続することで、簡易な構成で実現できる。

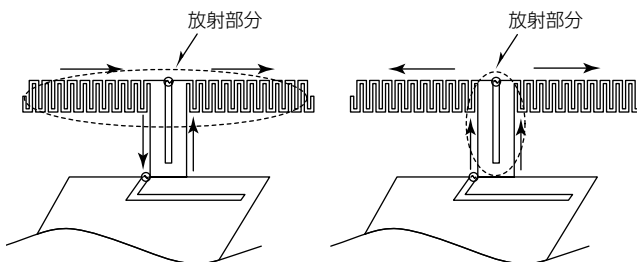
アンテナの動作原理を図2に示す。給電点1を励振した場合には、メアンダラインに同相、給電線路のグラウンドに逆相の電流が流れ、主としてメアンダラインから放射する(ダイポールモード)。一方、給電点2を励振した場合には、メアンダラインに逆相、給電線路のグラウンドに同相の電流が流れ、主として給電線路のグラウンドから放射する(モノポールモード)。提案するアンテナでは、主要放射部をグラウンドから離せるため、帯域が比較的広く、効率が高いアンテナが得られる。

2.2 設計方法

給電点1を励振した場合は、メアンダラインの長さ l_d とスリットAの高さ h_{sa} を調整することでインピーダンス整合を取る。給電点2には、直近に整合回路を設ける。また、図3にスリットBの長さ l_{sb} とアンテナ間結合 $|S_{21}|$ の関係を示す。 l_{sb} を大きくするほどアンテナ間結合を低減できる。

2.3 設計例

例えば、 $l_d = 0.29 \lambda_c$, $h_{sa} = 0.10 \lambda_c$, $l_{sb} = 0.12 \lambda_c$ とした場合の反射特性とアンテナ間結合特性を図4に示す。図4から、アンテナ間結合 $|S_{21}|$ は f_c で-13dBであり、結合量は小さいことが分かる。また、反射は、 $|S_{11}|$, $|S_{22}|$ と



(a) ダイポールモードの電流 (b) モノポールモードの電流

図2. アンテナの動作原理

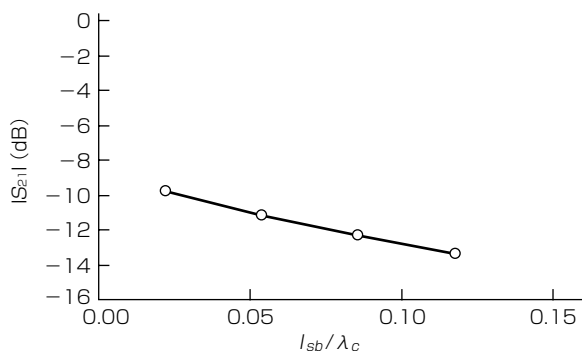


図3. スリットBの長さ l_{sb} とアンテナ間結合 $|S_{21}|$ の関係

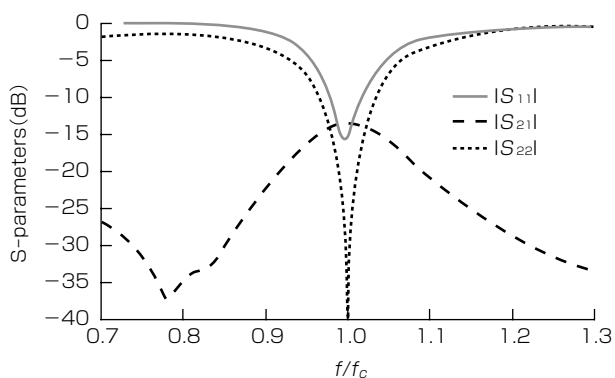


図4. 反射特性とアンテナ間結合特性

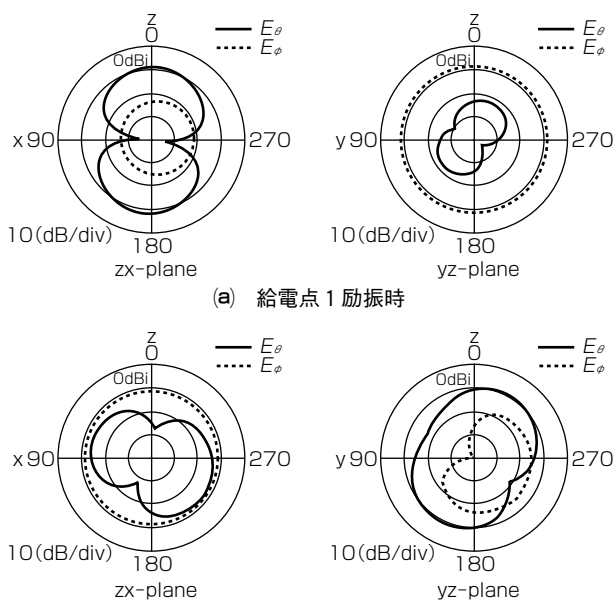


図5. 放射パターン

もに使用周波数 f_c 近傍で低減できていることが確認できる。反射振幅が -10dB 以下となる比帯域は $|S_{11}|$ が 3.9% 、 $|S_{22}|$ が 6.8% である。図5に、 $f=f_c$ の時の放射パターンを示す。給電点1励振時には、半波長ダイポールとほぼ同じ放射パターンが得られている。一方、給電点2励振時には、給電線路グラウンド上の電流からの放射に加えて、グラウンド上を y 方向に流れる電流からの放射が大きいことが確認できる。 zx 面で、 E_θ 成分はグラウンドからの放射、 E_ϕ 成分は主として給電線路グラウンドからの放射である。2モードの放射パターンは、ほぼ直交していることが分かる。到来波が全方向に一樣に分布していると仮定した場合の相関係数は 0.001 であり、非常に小さい。

3. 3つの集中定数素子による減結合回路を用いたマルチアンテナ

3.1 減結合回路の構成と設計式

図6に減結合回路の構成を示す。減結合回路は2つの直列サセプタンス素子 B_1 と1つの並列サセプタンス素子 B_2 の

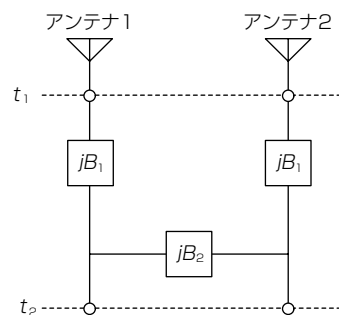


図6. 減結合回路の構成

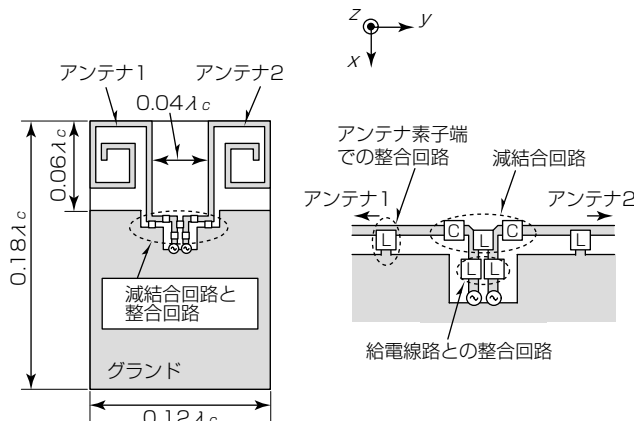


図7. アンテナと減結合回路及び整合回路

3つの集中定数素子によって構成されている。

ここで、図6の参照面 t_i で、アンテナ間結合の振幅を α 、位相を θ とし、各アンテナによる反射を0とする。このとき、サセプタンス素子 B_1 、 B_2 の値は次式によって求められる。

$$B_1 = \frac{Y_0 (\sin \phi \pm 1)}{\cos \phi}, \quad B_2 = -\frac{Y_0 \alpha (\sin \phi \pm 1)}{1 + \alpha^2} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 Y_0 は規格化アドミタンスである。この回路には、2種類の B_1 、 B_2 の選び方があるが、減結合回路の挿入後の反射振幅が小さい方を選ぶことが望ましい。減結合回路挿入後の反射特性を改善するため、減結合回路の後段の各端子には整合回路を設置する。減結合回路によってアンテナ間の結合が0となるため、整合回路は互いに干渉せず、独立に調整できる。小形アンテナでは周囲環境によって特性が変化するが、この減結合回路は、集中定数素子だけで構成しているので調整が容易である。

3.2 設計例

アンテナと減結合回路及び整合回路の模式図を図7に示す。 $0.12\lambda_c \times 0.18\lambda_c$ の小さい基板に2素子のスパイラル状モノポールアンテナを実装している。素子の最近接距離は $0.04\lambda_c$ である。図8に、反射特性とアンテナ間結合特性を示す。 f 付近でアンテナ間結合が -20dB 以下まで低減されており、減結合回路の効果が確認できる。また、整合回路によって反射振幅 -20dB 以下が得られている。図9に f

における zx 面の放射パターンを示す。アンテナ1, 2で放射パターンの振幅はほぼ一致している。一方, 位相については, E_θ はほぼ一致しているが, E_ϕ は約180度異なっている。このため, 両者の相関係数は0.08と小さくなっている。

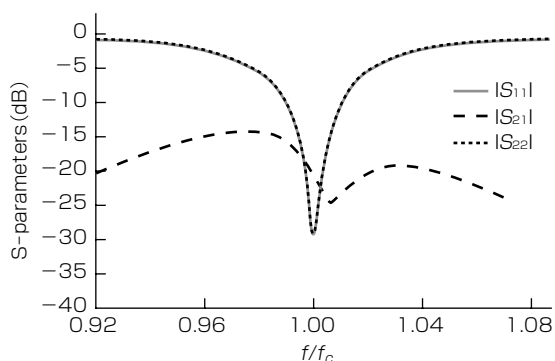


図8. 反射特性とアンテナ間結合特性

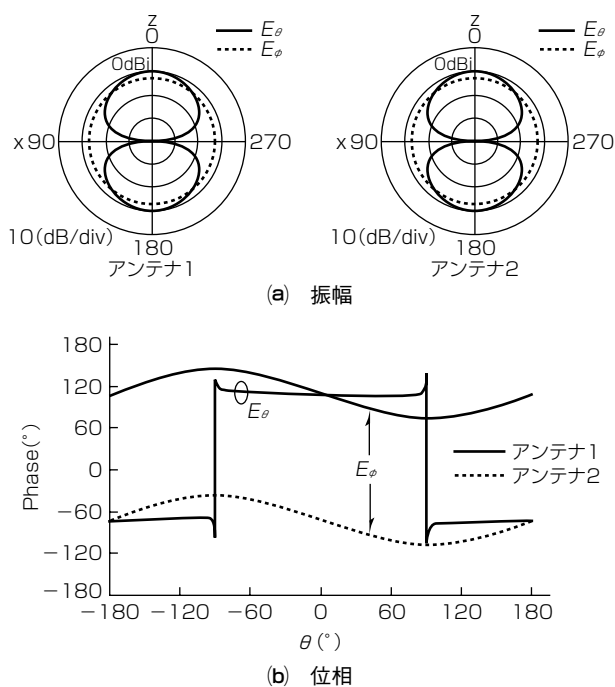


図9. zx 面の放射パターン

4. む す び

小形マルチアンテナ技術として, 直交する2つのモードを使用する方法と, 減結合回路を用いる方法について, 新たに開発した方法を述べた。直交する2つのモードを使用する方法に関しては, ダイポール/モノポールモードを利用した一体型マルチアンテナの動作原理と設計例を示した。アンテナの高さ, 横幅がそれぞれ0.11波長, 0.29波長で, 反射振幅が -10dB 以下となる比帯域3.9%, アンテナ間結合 -13dB を実現できた。減結合回路を用いる方法に関しては, 少数の集中定数素子だけで構成された簡易な減結合回路について, 設計式を示した。また, 間隔0.04波長の2本のモノポールアンテナ間にこの減結合回路を適用し, アンテナ間結合低減の有効性を確認した。

参 考 文 献

- (1) 町田幸一, ほか: 移動体通信基地局用偏波ダイバーシチアンテナ, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-49 (1995)
- (2) Chen, S.C., et al.: A decoupling technique for increasing the port isolation between two strongly coupled antennas, IEEE Trans. Antennas and Propagation, **56**, No.12, 3650~3658 (2008)
- (3) 西本研悟, ほか: ダイポール/モノポールモードを利用したダイバーシチアンテナ, 電子情報通信学会大会講演論文集, B-1-131 (2011)
- (4) 西本研悟, ほか: ダイポール/モノポールモードを利用した一体型ダイバーシチアンテナ, 電子情報通信学会技術研究報告, A・P2011-29, 13~18 (2011)
- (5) 西本研悟, ほか: ダイポール/モノポールモードを利用したダイバーシチアンテナの実験検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, B-1-156 (2011)
- (6) Nishimoto, K., et al.: Compact diversity antenna using dipole and monopole modes, EuCAP, 2012, 2469~2473 (2012)
- (7) 柳 崇, ほか: 少数の集中定数素子による小型デカップリング整合回路, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, B-1-184 (2012)