

ITS 用小型広帯域 3 周波共用マイクロストリップアンテナの開発

藤 本 孝 文 長崎大学大学院生産科学研究科助教

1 まえがき

高度道路交通システム (ITS ; Intelligent Transport System) は、人 (歩行者および運転手) の安全と環境保護のために大きく貢献するシステムとして注目を集めており、現在、数多くの ITS 用アプリケーションが提案されている。ITS 用車載アンテナには薄型、軽量、低コストの面から、マイクロストリップアンテナ (MSA ; Microstrip Antenna) が使用されている。今後、利用可能な ITS 用アプリケーションが増加することを考えると、アンテナを含む無線通信端末の効率的な構築を検討する必要がある。特に、多くのアンテナを自動車に実装した場合、アンテナ間の相互干渉がアンテナの誤動作を生じさせ、運転手の安全性が損なわれる可能性がでてくる。

ITS において、現在は 1 つのアプリケーションに対して 1 つのアンテナが使用されているが、上記の問題に対する有効な解決策として、1 つのアンテナでいくつかのアプリケーションを使用する多周波共用アンテナを利用する方法がある。多周波共用アンテナは、異なったアプリケーション間の相互干渉を考慮して設計でき、安定した通信が可能となる。また、多周波共用アンテナのそれぞれの周波数帯の帯域幅を広帯域化し通信品質の向上を図ることにより、より高い安全性を保つことができる。自動車の設計者およびユーザーにとっては、アンテナはできるだけ小さいものが望ましい。このように、今後の ITS の発展において、小型広帯域多周波共用アンテナの設計が望まれている。

これまでに、多くの ITS 用または無線 LAN 用の 2 周波共用アンテナは提案されているが[1][2]、3 周波共用アンテナになるとその数は非常に少ない。ITS においては、GPS (Global Positioning System)、ETC (Electric Toll Collection System)、SDARS (Satellite Digital Audio Radio Service) など、円偏波を利用したアプリケーションが多い。このような円偏波を含めた 3 周波共用アンテナの設計は難しく、これまでに、小型、広帯域化などの特性改善が施された ITS 用 3 周波共用アンテナは提案されていない。

本プロジェクトでは、小型広帯域 3 周波共用 MSA を提案し、GPS、VICS (Vehicle Information and Communication System)、ETC 共用アンテナとして設計を行い、数値計算によりアンテナの諸特性、および動作原理を明らかにしている。解析手順として、最初に、GPS 用アンテナおよび、VICS・ETC 共用アンテナを別々に設計し、次に、この 2 つのアンテナを組み合わせて、3 周波共用アンテナの設計を行っている。数値計算には、有限差分時間領域法 (FDTD 法; Finite-Difference Time-Domain Method) に基づく電磁界シミュレータ Fidelity5.2 [3]を用いて行っている。

2 GPS、VICS、ETC の仕様とアンテナに要求される特性

表 1 に GPS、VICS、ETC の仕様を示す。中心周波数はそれぞれ 1.575GHz、2.5GHz、5.8 GHz である。周波数帯域幅は VICS では $VSWR \leq 2$ となる帯域が 40MHz (1.6%)、GPS、ETC では、 $VSWR \leq 2$ および円偏波軸比 $\leq 3\text{dB}$ となる帯域が 50MHz、100MHz である。GPS と ETC では右旋円偏波が使用されており、天頂方向に主放射方向を持つ必要がある。GPS では、人工衛星との通信となるため、軸比 3dB ビーム幅はできるだけ広角であることが望ましい。しかし、ETC では、位置が固定された料金所アンテナとの通信であり、その通信エリアは 4m 程度と非常に狭い。したがって、さほど広角な軸比 3dB ビーム幅は要求されない。VICS では、直線偏波が使用されており、路肩に設置された電波ビーコンアンテナとの通信となる。通信エリアは電波ビーコンアンテナから車線に沿って前後 35m であり、このエリアで一様な受信レベルを保つためには、低仰角方向に主放射方向を持つ必要がある[4]。

表 1 GPS、VICS、ETC の仕様

	GPS	VICS	ETC
中心周波数	1.575GHz	2.5GHz	5.8GHz
周波数帯域幅	24MHz (1.52%)	40MHz (1.6%)	100MHz (1.72%)
偏波	右旋円偏波	直線偏波	右旋円偏波

3 提案するアンテナの形状

図 1 に提案する ITS 用 3 周波 (GPS・VICS・ETC) 共用アンテナの形状を示す。提案するアンテナは、VICS・ETC 共用のショートピン付きスタック化方形 MSA と GPS 用のスロット付き方形 MSA の 2 つのアンテナで構成されている。

VICS・ETC 共用アンテナでは、アンテナの小型化を行うため、方形パッチ導体の各辺にスリットを設けており、その縦方向と横方向のスリット長の比 s_b/s_a により ETC 帯で円偏波を放射することが可能となる。また、方形パッチ導体の角付近 (x_s, y_s) で、上下方形パッチ導体を半径 d_p の円柱導体により短絡している。このことにより、上下パッチ導体の対角線の長さとしてショートピンの長さの和で VICS 帯では共振し、方形パッチ導体の 1 辺が約 1/6 波長以下に設計することができ、アンテナの大幅な小型化が可能となる。また VICS 帯では、ショートピン部での電流が最大となるため低仰角方向への放射が強くなる。

GPS 用アンテナでは、アンテナ内部に上記の VICS・ETC 共用アンテナを装荷するため、方形パッチ導体の中心部に方形スロットを設けている。方形パッチ導体は、VICS・ETC 用アンテナの上部パッチと同じ位置に設置する。また、アンテナを小型化するため、方形パッチの各辺の中心にスリットを設け、縦方向と横方向のスリット幅の大きさを換え、その比 t_l/t_w により円偏波放射の調整を行っている。

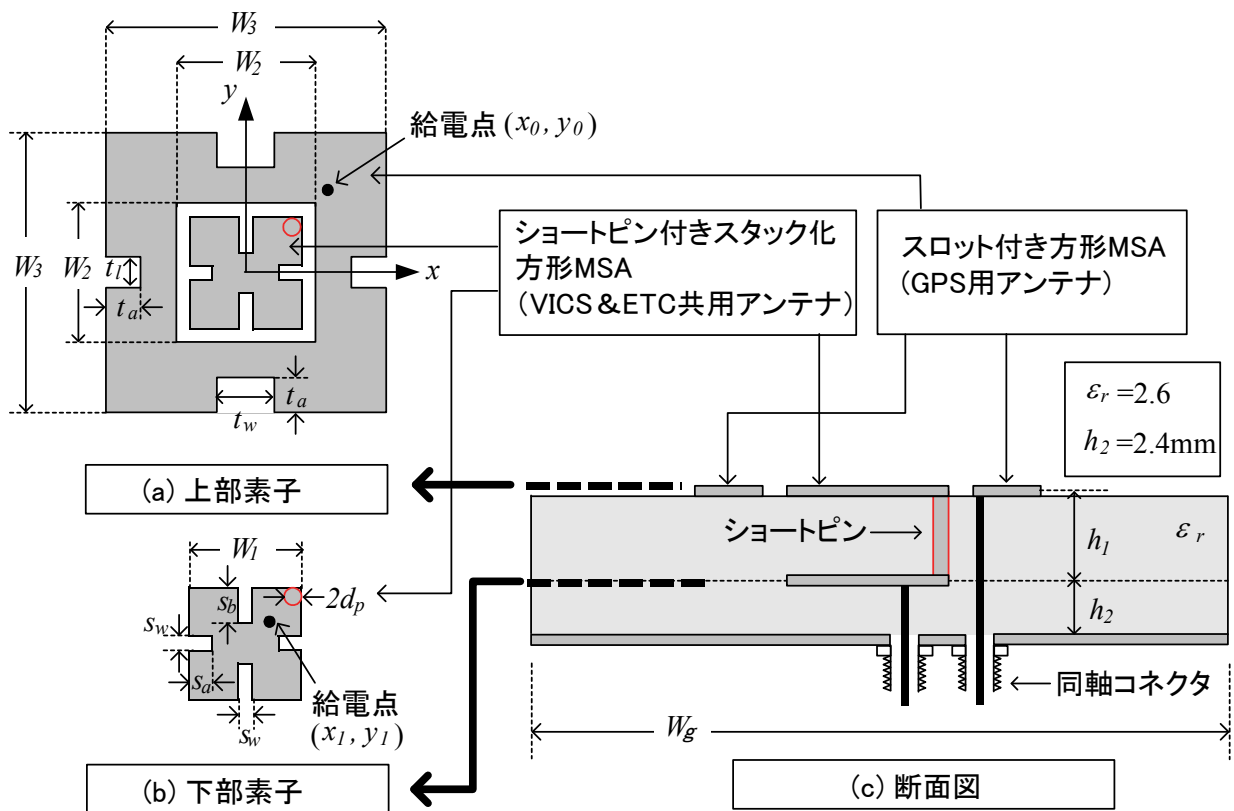


図 1 アンテナの構成図

誘電体基板の比誘電率は $\epsilon_r=2.6$ 、下部パッチの位置は $h_2=2.4\text{mm}$ 、誘電体基板の大きさ w_g は $700\text{mm}\times 700\text{mm}$ と固定している。

給電法については、誘電体基板背面より、GPS用アンテナとVICS・ETC共用アンテナの両方に給電した場合（2点給電タイプ）とGPS用アンテナのみに給電した場合（1点給電タイプ）の2つのタイプについて検討を行っている。給電点の位置はGPS用アンテナの場合 (x_0, y_0) 、VICS・ETC共用アンテナの場合 (x_1, y_1) と表記している。

4 数値解析結果

4-1 VICS・ETC 共用アンテナ

VICS・ETC共用アンテナの設計を行うため、図1のGPS用アンテナを取除いた、VICS・ETC共用アンテナ単体の数値解析を行った。著者はこれまでに、VICS・ETC共用アンテナとして、上下パッチ導体間を誘電体ではなく自由空間（ $\epsilon_r=1.0$ ）とし、上下パッチ導体を細い導体板により短絡したアンテナを提案し解析を行ってきた[5]。また文献5のアンテナでは、パッチ導体にはスリットを設けず、長方形にすることによりETC帯での円偏波発生を実現している。文献5の解析結果を参考にし、本研究で提案するVICS・ETC共用アンテナを数値解析したところ、次のVICS・ETC共用アンテナの設計手順を得た。

- （手順1）最初に、ETC帯（高周波帯）において、パッチの形状、特にスリットの長さの比 S_b/S_a により円偏波軸比および中心周波数の調整を行う。
- （手順2）ショートピンの接続位置 (x_s, y_s) および半径 d_p は、ETC帯の周波数特性、軸比特性にはほとんど影響しない。したがって、手順2として、ショートピンの接続位置および半径の大きさにより、VICS帯（低周波帯）での中心周波数の調整を行う。
- （手順3）上部パッチ導体の位置 h_1+h_2 を高くすることにより、パッチ導体と接地導体板の Q （Quality factor）が小さくなり、周波数帯域は広がる。したがって、手順1、2により設計したアンテナの周波数帯域幅が仕様を満たさないときは、上部パッチ導体の位置を高くし、再度手順1、2によりアンテナの設計を行う。

上記の設定手順によりVICS・ETC共用アンテナの設計を行った。

図2にVICSおよびETC帯のVSWR、およびETC帯の円偏波軸比特性を示す。VICS、ETC帯の周波数帯域幅はそれぞれ61MHz（2.44%）、360MHz（6.28%）となり、VICSでは仕様の約1.5倍、ETC帯では約3.6倍程度の帯域幅を得た。

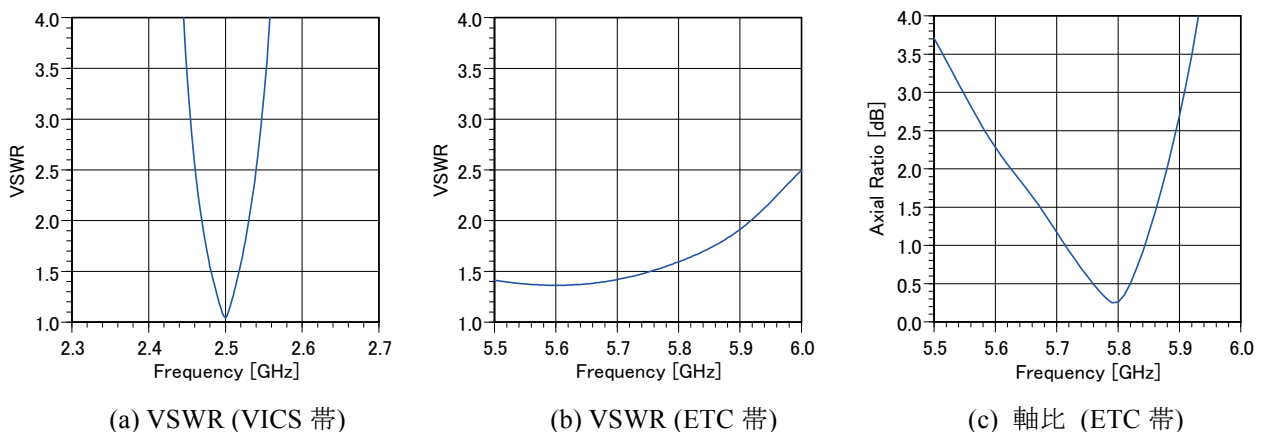


図2 VICS・ETC共用アンテナのVSWRおよび円偏波軸比特性

$$(W_1 = 10\text{mm}, s_b/s_a = 0.242, s_a = 4.14\text{mm}, s_w = 1\text{mm}, d_p = 0.7\text{mm}, x_s = y_s = 4.2\text{mm}, x_1 = y_1 = 3.0\text{mm})$$

図3に VICS、ETC 帯の中心周波数 2.5GHz および 5.8GHz での放射指向性パターンを示す。VICS では低仰角方向に、ETC では天頂方向に主放射方向を持ち、VICS・ETC 共用アンテナとして適していることがわかる。

ここで設計した VICS・ETC 共用アンテナのパッチの大きさは、VICS 帯で 0.08λ 、ETC 帯で 0.19λ と現行のアンテナに比べ非常に小さい。

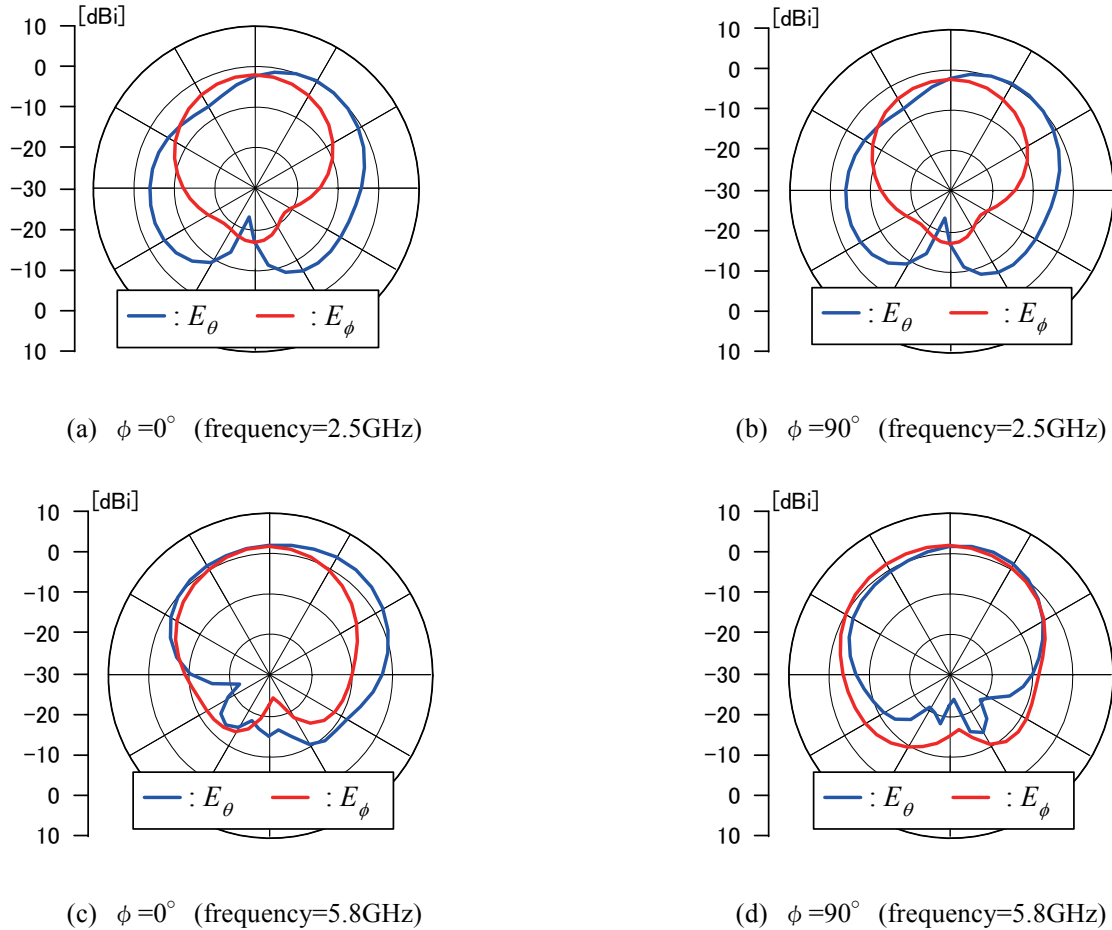


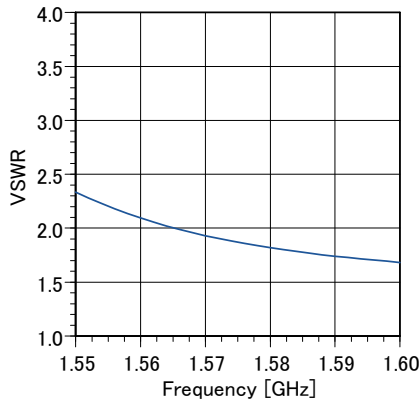
図3 VICS・ETC 共用アンテナの放射指向性

$$(W_1 = 10\text{mm}, s_b / s_a = 0.242, s_a = 4.14\text{mm}, s_w = 1\text{mm}, d_p = 0.7\text{mm}, x_s = y_s = 4.2\text{mm}, x_1 = y_1 = 3.0\text{mm})$$

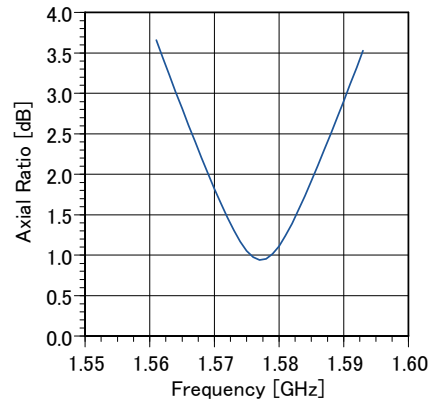
4-2 GPS 用アンテナ

次に GPS 用アンテナの設計を行うため、図1の VICS・ETC 共用アンテナを取除いた、GPS 用アンテナ単体の数値解析を行った。ここで、内部スロットの大きさは、前節の VICS・ETC 共用アンテナをスロット内に装荷するため、 $W_2=14\text{mm}$ とした。また、誘電体基板の厚さは VICS・ETC 共用アンテナの上部パッチ導体の位置と同じ $h_1+h_2=6.4\text{mm}$ とした。 x 軸、 y 軸に平行なスリットの幅の比 t_w / t_l を調整することにより、円偏波軸比の調整を行っている。

図4に GPS 帯の VSWR および円偏波軸比特性を示す。図より $\text{VSWR} \leq 2$ 、軸比 $\leq 3\text{dB}$ となる周波数帯域幅は 26MHz (1.65%) となり、GPS の仕様を満たしている。図5は中心周波数 1.575GHz での放射指向性パターンである。天頂方向に主放射方向を持ち、 E_θ 、 E_ϕ 成分は広角な範囲で等しい。このため軸比 3dB ビーム幅が非常に広く、利得 2dBi 以上の軸比 3dB ビーム幅は約 100° となった。また、GPS の通信周波数領域内でも 60° を保持している。VSWR 特性、放射指向性共に提案するアンテナは GPS 用アンテナとして適している。また、アンテナパッチの大きさは 0.25λ と小さい。



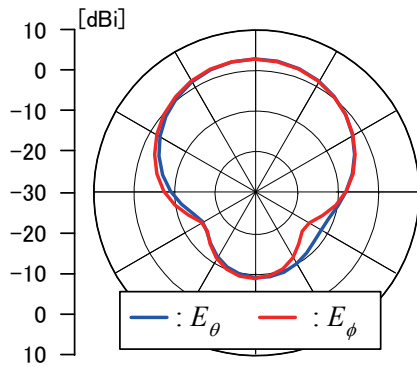
(a) VSWR (GPS 帯)



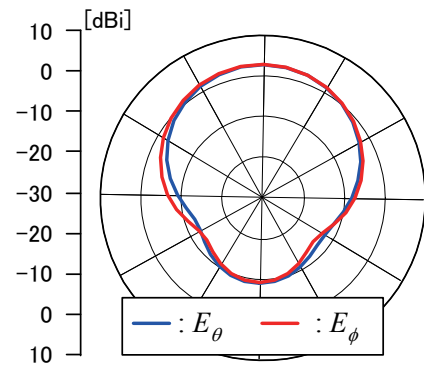
(b) 軸比 (GPS 帯)

図 4 GPS 用アンテナの VSWR および円偏波軸比特性

$$(W_3 = 48\text{mm}, t_w/t_l = 0.25, t_l = 8\text{mm}, t_a = 7\text{mm}, x_0 = y_0 = 7.5\text{mm})$$



(a) $\phi = 0^\circ$ (frequency=1.575GHz)



(b) $\phi = 90^\circ$ (frequency=1.575GHz)

図 5 GPS 用アンテナの放射指向性

$$(W_3 = 48\text{mm}, t_w/t_l = 0.25, t_l = 8\text{mm}, t_a = 7\text{mm}, x_0 = y_0 = 7.5\text{mm})$$

4-3 GPS・VICS・ETC 共用アンテナ

本節では、前節で設計した VICS・ETC 共用アンテナと GPS 用アンテナを組み合わせた 3 周波共用アンテナの数値解析を行う。最初にそれぞれのアンテナに給電した 2 点給電タイプ、次に GPS 用アンテナのみに給電した 1 点給電タイプの場合についてアンテナ特性を明らかにする。

(1) 2 点給電タイプ

図 6 に 2 点給電型アンテナの VSWR を示す。VICS・ETC 共用アンテナおよび GPS 用アンテナのサイズは、前節で設計したサイズを使用している。GPS 用アンテナの給電ポート (port-G) において、GPS 帯で良好な VSWR 特性が得られている。VICS・ETC 共用アンテナの給電ポート (port-VE) では、ETC では $VSWR \leq 2$ の特性が得られているが、VICS 帯で VSWR が 5.5 程度となり劣化している。これは、GPS 用アンテナの第 2 共振モードの影響であると考えられる。

図 7 に 2 つの給電ポートのアイソレーション特性を示す。2 つ以上の給電ポートを持つアンテナでは、その給電ポート間のアイソレーションを低く (-30dB 以下) 抑える必要がある。しかし、提案するアンテナは GPS、VICS、ETC 帯付近で、-10dB 程度と非常に大きい。

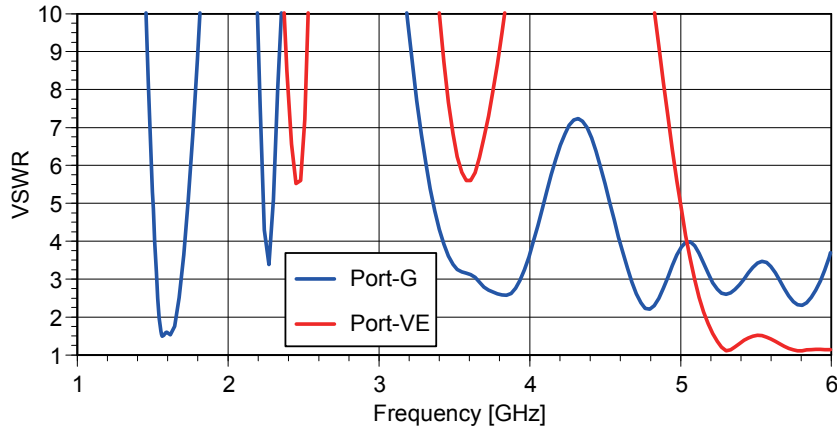


図6 2点給電型3周波共用アンテナのVSWR特性

$$\left(\begin{array}{l} W_1 = 10\text{mm}, s_b/s_a = 0.242, s_a = 4.14\text{mm}, s_w = 1\text{mm}, d_p = 0.7\text{mm}, x_s = y_s = 4.2\text{mm}, x_1 = y_1 = 3.0\text{mm}, \\ W_3 = 48\text{mm}, t_w/t_l = 0.25, t_l = 8\text{mm}, t_a = 7\text{mm}, x_0 = y_0 = 7.5\text{mm} \end{array} \right)$$

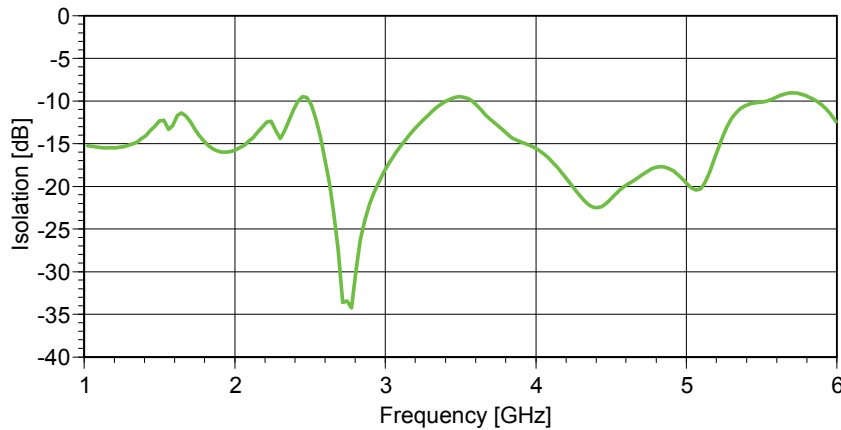


図7 2点給電型3周波共用アンテナのアイソレーション特性

$$\left(\begin{array}{l} W_1 = 10\text{mm}, s_b/s_a = 0.242, s_a = 4.14\text{mm}, s_w = 1\text{mm}, d_p = 0.7\text{mm}, x_s = y_s = 4.2\text{mm}, x_1 = y_1 = 3.0\text{mm}, \\ W_3 = 48\text{mm}, t_w/t_l = 0.25, t_l = 8\text{mm}, t_a = 7\text{mm}, x_0 = y_0 = 7.5\text{mm} \end{array} \right)$$

図8にGPS帯とETC帯の円偏波軸比特性を示す。GPS帯では、GPS用アンテナ単体の特性(図4(b))とほとんど変化がなく、VSWR特性と共に、VICS・ETC共用アンテナの影響を受けないことがわかる。しかし、ETC帯の円偏波軸比特性はVICS・ETC共用アンテナ単体の特性(図2(c))に比べ劣化している。これはGPS用アンテナの高次モードによる影響と考えられる。図8にはVICS・ETC共用アンテナのスリット長比 s_b/s_a を変化させた場合の軸比特性も示している。図からわかるように、 s_b/s_a によりETC帯の軸比特性の改善が可能であり、またこのとき、GPS帯の軸比特性に影響を与えないことがわかる。

以上より、2点給電タイプの解析結果まとめると、次のことが言える。

- GPS帯でのVSWR特性、軸比特性共にVICS・ETC共用アンテナの影響を受けないが、VICS帯でのVSWR特性およびETC帯での軸比特性はGPS用アンテナの高次モードの影響を受ける。
- ETC帯での軸比特性は、VICS・ETC共用アンテナのスリット長比により改善可能である。
- 2つの給電ポート間のアイソレーションは-10dB程度と悪く、なんらかのアンテナ形状の工夫が必要である。

VISWR 特性の改善については、それぞれのアンテナに給電をしているため、別々にインピーダンス整合をとることができ、VISWR 特性の改善を行うことができると予想される。文献 6 では、2 点給電型の DCS (Digital Communication System) ・ GPS 共用アンテナの研究が行われ、接地導体板に放射線状のスリットを装荷することにより、そのアイソレーション抑制の検討が行われている。本研究で提案する 2 点給電タイプのアンテナに関しても、同様の検討を行う必要がある。

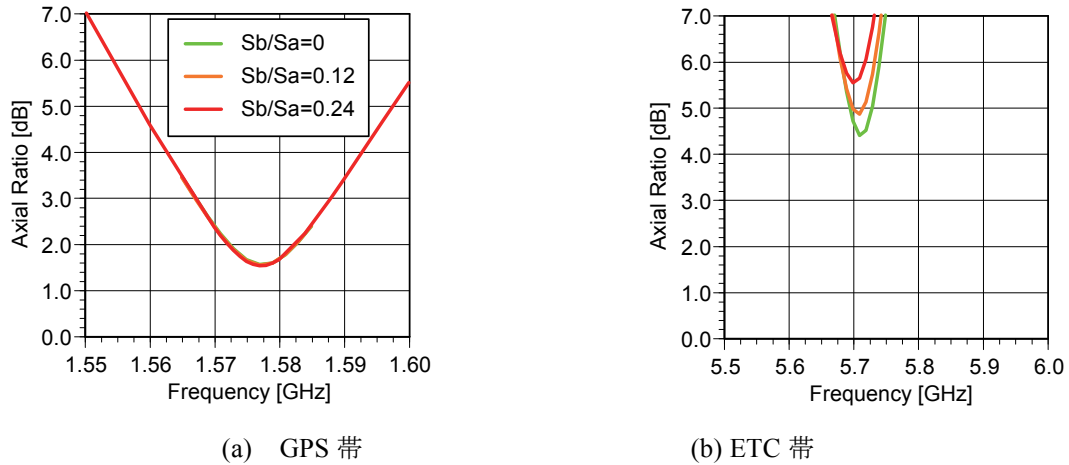


図 8 2 点給電型 3 周波共用アンテナの円偏波軸比特性

$$\left(\begin{array}{l} W_1 = 10\text{mm}, s_a = 4.14\text{mm}, s_w = 1\text{mm}, d_p = 0.7\text{mm}, x_s = y_s = 4.2\text{mm}, x_1 = y_1 = 3.0\text{mm}, \\ W_3 = 48\text{mm}, t_w / t_l = 0.25, t_l = 8\text{mm}, t_a = 7\text{mm}, x_0 = y_0 = 7.5\text{mm} \end{array} \right)$$

(2) 1 点給電タイプ

2 点給電タイプの解析結果より、ETC 帯では VICS ・ ETC 共用アンテナに給電しなくても、GPS 用アンテナのパッチに励振される高次モードにより、励振が可能であることが予想される。また、GPS 用アンテナの給電を、内部に装荷された VICS ・ ETC アンテナのショートピンの近くで行うことにより、VICS 帯での励振も可能であると予想される。そこで次に、GPS 用アンテナのみに給電したアンテナについて数値解析を行った。アンテナのサイズは 2 点給電型と同様に、アンテナ個々を設計したときの大きさとしている。

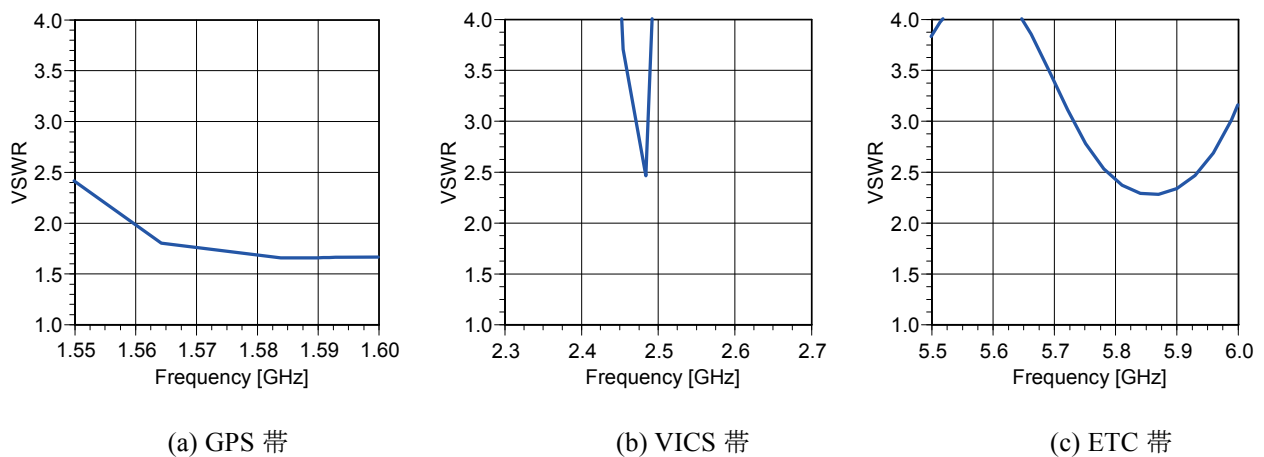


図 9 1 点給電型 3 周波共用アンテナの VSWR 特性

$$\left(\begin{array}{l} W_1 = 10\text{mm}, s_b / s_a = 0.242, s_a = 4.14\text{mm}, s_w = 1\text{mm}, d_p = 0.7\text{mm}, x_s = y_s = 4.2\text{mm}, x_1 = y_1 = 3.0\text{mm}, \\ W_3 = 48\text{mm}, t_w / t_l = 0.25, t_l = 8\text{mm}, t_a = 7\text{mm}, x_0 = y_0 = 7.5\text{mm} \end{array} \right)$$

図 9 に VSWR を示す。GPS 帯では、2 点給電タイプと同様に GPS 用アンテナ単体の特性とほぼ変化がない。VICS、ETC 帯においては、若干の劣化が生じているが、共に VSWR=2.5 付近と 2 点給電タイプに比べ良好な結果が得られている。

図 10 に GPS 帯および ETC 帯の円偏波軸比特性を示す。VSWR と同様に、GPS 帯においては VICS・ETC 共用アンテナの影響は受けていないことがわかる。ETC 帯においても、若干悪くなっているものの、2 点給電タイプほどの劣化はなかった。予想されたように、GPS 用アンテナのみの給電でも、VICS・ETC 共用アンテナへの励振が可能であり、その特性は 2 点給電タイプに比べ良好であった。また、1 点給電タイプの場合、アイソレーションを考慮する必要がなく設計上有利である。

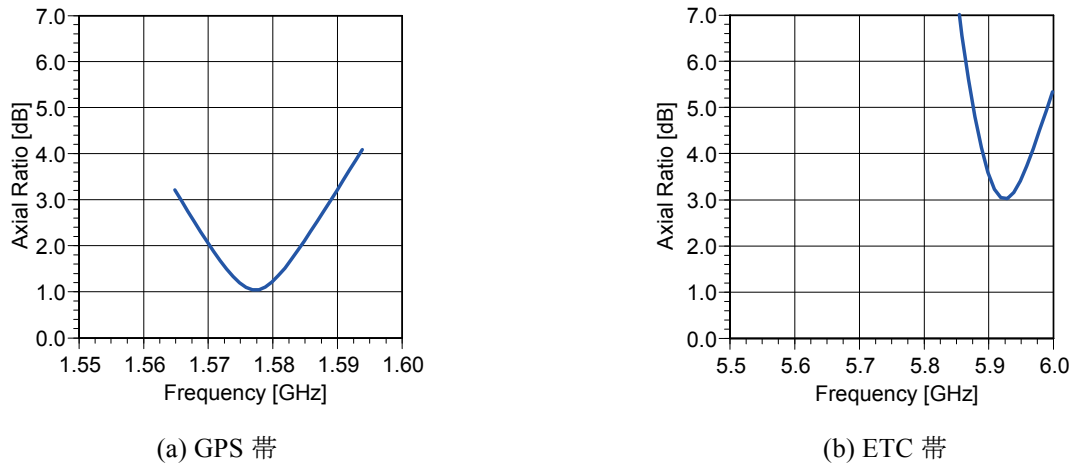


図 10 1 点給電型 3 周波共用アンテナの円偏波軸比特性

$$\left(\begin{array}{l} W_1 = 10\text{mm}, s_b/s_a = 0.242, s_a = 4.14\text{mm}, s_w = 1\text{mm}, d_p = 0.7\text{mm}, x_s = y_s = 4.2\text{mm}, x_1 = y_1 = 3.0\text{mm}, \\ W_3 = 48\text{mm}, t_w/t_l = 0.25, t_l = 8\text{mm}, t_a = 7\text{mm}, x_0 = y_0 = 7.5\text{mm} \end{array} \right)$$

5 まとめ

本研究では、ITS 用ための、GPS、VICS、ETC 共用アンテナの基礎的研究を行った。提案するアンテナは GPS 用のスロット付き方形 MSA と VICS、ETC 用のショートピン付きスタック化方形 MSA を組み合わせた構造をしており、最初にそれぞれのアンテナを設計し、その特性を明らかにした。それぞれのアンテナは小型であり、また、仕様に対し十分な帯域幅を有している。

次にこれらのアンテナを組み合わせ、3 周波共用アンテナの特性を調べた。このとき、2 つのアンテナ共に給電を行った場合、GPS 用アンテナのみに給電を行った場合について比較、検討した結果、アンテナ特性、構造上の点で、1 点給電型アンテナが、アンテナ特性および設計上有利であることが明らかになった。

今後は、1 点給電型 3 周波共用アンテナについて、動作原理およびアンテナ特性を詳細に解析し、小型・広帯域 3 周波共用アンテナの設計を行う予定である。また、アンテナの試作、測定を行い、提案するアンテナの実現性についても検討を行う予定である。

【参考文献】

- [1] K. L. Wong, "Compact dual-frequency and dual-polarized microstrip antennas", in Compact and Broadband Microstrip Antennas, ed. K. Chang, pp. 87-161, John Wiley & Sons, New York, 2002.

- [2] K. L. Wong, "Compact dual-frequency and dual-polarized microstrip antennas", in Compact and Broadband Microstrip Antennas, ed. K. Chang, pp. 279-293, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [3] Zeland Software, Fidelity User's Manual, April 2000.
- [4] T. Fujimoto, S. Noguchi, K. Tanaka, and M. Taguchi, "Stacked square microstrip antenna with a shorting post for road vehicle communication", RF and Microwave Computer-Aided Engineering, vol. 14, no. 3, pp. 244-252, May 2004.
- [5] T. Fujimoto and K. Tanaka, "Stacked rectangular microstrip antenna with a shorting plate for dual band (VICS/ETC) operation in ITS", IEICE Transactions on Communications, vol. E-90-B, no. 11, pp. 3307-3310, Nov. 2007.
- [6] S. Y. Lin and K. C. Huang, "A Compact microstrip antenna for GPS and DCS application", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 3, pp. 1227-1229, March 2005.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月