

フラクタル構造を有するマイクロストリップアンテナの放射特性

多田 真也[†] 羽石 操^{†a)} 木村 雄一[†]

Radiation Properties of Fractal Microstrip Antennas

Shinya TADA[†], Misao HANEISHI^{†a)}, and Yuichi KIMURA[†]

あらまし 本論文では、シルピンスキー形フラクタル構造を有する三角形のマイクロストリップアンテナ（以後、MSA）を放射系として用いる新しいタイプのマルチバンド平面アンテナの基本構成法と放射特性について述べる。また、本アンテナ系の性能を検証するため C-バンド及び X-バンドにおいてマルチバンド特性を有するシルピンスキー形の三角形マイクロストリップアンテナが試作された。実験によると本供試アンテナにおいては、良好なマルチバンド特性を示すことが明らかにされた。また、放射パターンの実測値は電磁界シミュレータにより得られた計算値とよい一致を見た。これらのことより、本アンテナ系がロープロファイル形のマルチバンド平面アンテナとして有用な一形式となり得ることが明らかにされた。

キーワード マイクロストリップアンテナ、フラクタル、シルピンスキー、高次モード、マルチバンド

1. ま え が き

近年、無線通信機器のマルチバンド化や広帯域化に伴い、マルチバンド特性を示すフラクタルアンテナに関する研究が盛んに行われている [1] ~ [12]。しかし、この種のアンテナ系は、主として立体構造を有するモノポールアンテナの放射素子部などに供され、そのマルチバンド化などの特性を実現してきた [3],[5],[7]。一方、平面構造を有する三角形形状のフラクタル平面アンテナの研究例としては、①2種類のシルピンスキーガasket (Sierpinski Gasket) 構造の三角形 MSA 素子（以後、SG-MSA）をスタック化し、広帯域化を達成するもの [1] や、②SG-MSA 上の適切な位置にショートピンを装荷することによりマルチバンド特性を実現させるもの [2] などが挙げられる。しかし、これらすべての周波数領域において、単向性の放射パターンを実現することは容易ではなく、しかも、素子形状が複雑になるといった難点を有していた。一方、非フラクタル構造を有する通常の三角形 MSA 素子を

用いて、マルチバンド化を達成する場合には、図 1 にその放射パターン（E 面）についての模式図を示すように、主モードでは単向性となるが、高次モードにおいては単向性化が実現できない。そこで、本研究ではフラクタル構造の一つであるシルピンスキーガasket 構造を有する、一層構造の正三角形 SG-MSA 素子に着目し、このアンテナ系に生ずる高次モードの放射パターンの単向性化を図り、かつ、マルチバンド特性を実現する際、必須となる構成法などについてシミュレーション（IE3D）及び実験両面より各種検討を加え、その設計基礎資料を得た。すなわち、本研究ではこの種のアンテナ系に着目し、①まず、第 2 高次モードの放射パターンの単向性化を可能とする図 2 に示す重心部アーム給電型 SG-MSA に着目し、その構成法と放射特性について検討を加え、その設計基礎資料を得た。次いで、②第 1 及び第 2 高次モードの放射パターンの単向性化を可能とする内部素子装荷型 SG-MSA（図 6 及び図 9）についても検討を加え、マルチバンド特性を実現するとともに、その設計基礎資料を得た。これらのことより、本アンテナ系がマルチバンド型の平面アンテナとして有用な一形式となり得ることが明らかにされた。なお、供試基板としては比誘電率 $\epsilon_r = 2.6$, $\tan \delta = 1.8 \times 10^{-3}$, 厚さ $t = 1.2 \text{ mm}$ のテフロンガラスファイバ基板（PTFE 基板）が供され、

[†] 埼玉大学工学部電気電子システム工学科, さいたま市
Dept. of Electrical and Electronic Systems, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, 338-8570 Japan

a) E-mail: haneishi@ees.saitama-u.ac.jp

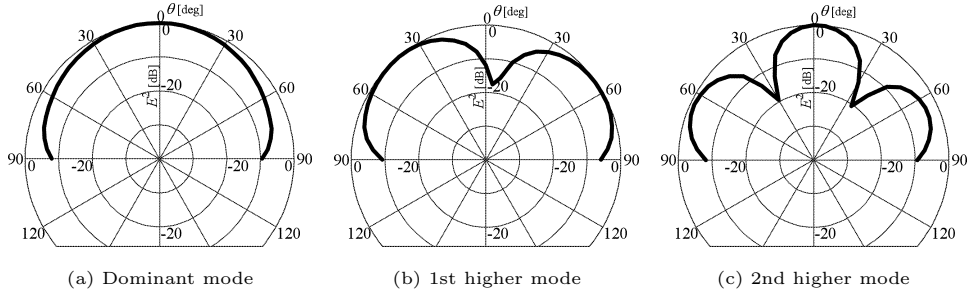


図1 通常の正三角形 MSA の放射パターンの模式図

Fig. 1 Radiation patterns of an equilateral triangle MSA excited with dominant and higher modes.

各種測定は主として C-バンド及び X-バンドにてなされた．また，本研究においては，単向性の放射パターンを実現させることが主要な課題であるため，シミュレーションは無限地板の仮定のもとに行われた．なお，本研究でなされたマルチバンド化が要求される例としては，GSM，DCS 及び PCS 方式を受信するためのセルラ電話用 3 周波共用マルチバンドアンテナなどが挙げられる．また，ETC 車載用（5.8 GHz 帯），GPS 用（1.5 GHz 帯），無線 LAN 用（5.0 GHz 帯）及び VICS 用（2.4 GHz 帯）アンテナを一つのマルチバンドアンテナにより統合受信するアンテナ系への応用なども期待されるところである．

2. 重心部アーム給電型 SG-MSA とその特性

本章では，第 2 高次モードの放射パターンの単向性化が可能となる，重心部アーム給電型 SG-MSA 素子に着目し，その構成法と基本放射特性について検討を加え，設計基礎資料を得たので，それらの結果について述べる．

2.1 基本構成

供試アンテナの基本構成を図 2 に示す．これは，フラクタル構造の一つであるシルピンスキーガスケット構造の正三角形 MSA 素子よりなる [11]．この正三角形フラクタル素子を基本構成要素とする SG-MSA の素子寸法 h_1 は，通常の正三角形 MSA 素子が 5.0 GHz で共振する場合の素子寸法と等しい値（ $h_1 = 20.4 \text{ mm}$ ）に設定されている．また，素子寸法 h_2 及び h_3 の値は各々，通常のシルピンスキーガスケット構造のステージ-2 における大・小の正三角形切抜素子の高さに対応する値に設定されている．なお，これらの正三角形構造の切抜領域における重心の位置は，通常の正三角形

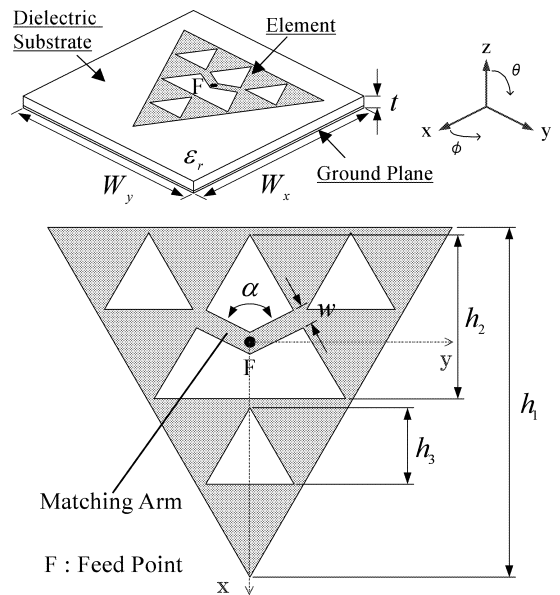


図2 重心部アーム給電型 SG-MSA の基本構成

Fig. 2 Basic configuration of a SG-MSA with matching arms fed at the barycenter ($h_1 = 20.4$, $w = 0.8$, $t = 1.2$, $W_x = W_y = 60$, unit: [mm], $\epsilon_r = 2.6$).

シルピンスキー構造における重心の位置と一致するように設定されている．

また，素子寸法が h_1 に設定されている主給電正三角形 SG-MSA 素子への給電は，その重心の位置において，セミリジットケーブルにより行われた．次いで，その給電点 F におけるインピーダンス整合は，図 2 に示す整合用 V 字型線路のアームの開き角（V 字角 α ）及び V 字型線路の線路幅 w を制御することにより達成された．

2.2 入力インピーダンス及び放射特性

図 3 に重心部アーム給電型 SG-MSA の入力インピー

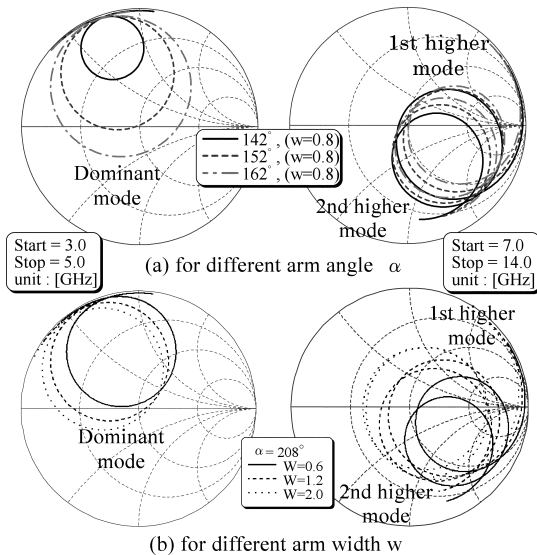
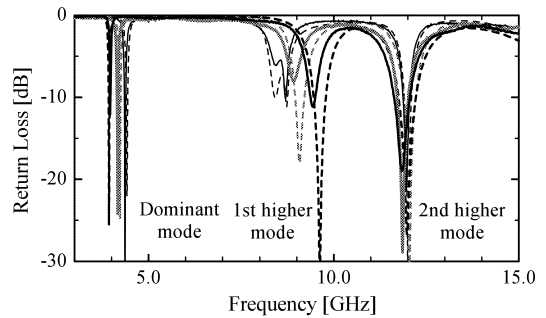


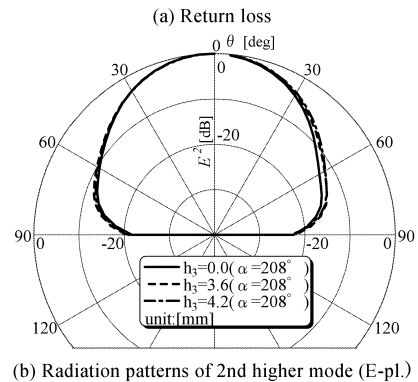
図3 重心部アーム給電型 SG-MSA に関する入力インピーダンス特性 (Sim.)

Fig.3 Input impedance characteristics of a SG-MSA with matching arms (Sim.) ($h_2=9.6$, $h_3=0.0$, unit:[mm]).

ダンス特性の一例を示す．まず，図3(a)にV字角 α をパラメータとした場合の主モード領域及び高次モード領域におけるインピーダンス特性の一例を示す．ここに，線路幅 w については， $w=0.8$ mmと設定した．図のように，主モードにおいては， α を変えたと入力インピーダンスに顕著な変化が見られたが，第1及び第2高次モードにおいては，そのインピーダンス特性において顕著な差異は見られなかった．次いで，V字線路幅 w をパラメータとした場合の主モード領域及び高次モード領域のインピーダンス特性の一例を図3(b)に示す．ここでは，主モードの整合がとれるように，アーム開き角 α は $\alpha=208^\circ$ なる一定値に設定されている．なお， α を $\alpha=208^\circ$ 近傍の値，すなわち， $\alpha=206^\circ$ 及び 210° に設定し，主モード及び高次モードのインピーダンス特性を算定したところ，この α の微小な変化に対する主モード及び高次モードのインピーダンス特性については，顕著な差異は見られなかった．図3(b)の結果を見ると，図3(a)の結果とは逆に，主モードにおいては線路幅 w を変えても入力インピーダンス特性に顕著な差異は見られず，第1及び第2高次モードにおいて顕著な変化が見られた．したがって，本供試アンテナにおいてはV字角 α を主モード，V字線路幅 w を高次モード領域における入力インピーダンス制御用要



$h_2=7.2, h_3=4.2$, unit:[mm], $\alpha=142^\circ$ Exp., --- Sim.
 $h_2=8.4, h_3=3.0$, unit:[mm], $\alpha=184^\circ$ Exp., --- Sim.
 $h_2=9.6, h_3=0.0$, unit:[mm], $\alpha=208^\circ$ Exp., --- Sim.



(b) Radiation patterns of 2nd higher mode (E-pl.)

図4 リターンロス特性と放射パターンの一例 (E-面)

Fig.4 Typical return-loss and radiation pattern characteristics of a SG-MSA with matching arms.

素として用いた．

次いで，正三角形切抜素子の素子寸法 h_2 及び h_3 が，供試アンテナのインピーダンス特性，共振周波数特性及び放射パターンなどに与える効果について検討を加える．そこで，図4(a)に供試SG-MSAのリターンロス特性を求めた結果の一例を示す．ここでは，素子中央の大きな切抜素子の寸法 h_2 を $h_2=7.2, 8.4, 9.6$ mmとし，その周囲に配置された小さな切抜素子の寸法 h_3 については，第2高次モードが効率良く励振されるようにそれぞれ $h_3=4.2, 3.0, 0.0$ mmと決定した．また，V線路の開き角 α は主モードの整合をとるように図中の値に設定し，V字線路幅 w はいずれの場合も0.8 mmとしてある．図4(a)より， h_2 を大きくするに伴い，主モードにおいては共振周波数が低下し，第1高次モードにおいては共振周波数が上昇する傾向を示した．一方，第2高次モードにおいては共振周波数に顕著な変化は見られず，その帯域幅が増加する傾向が見られた．以上のことから，この正三角形切抜素子の

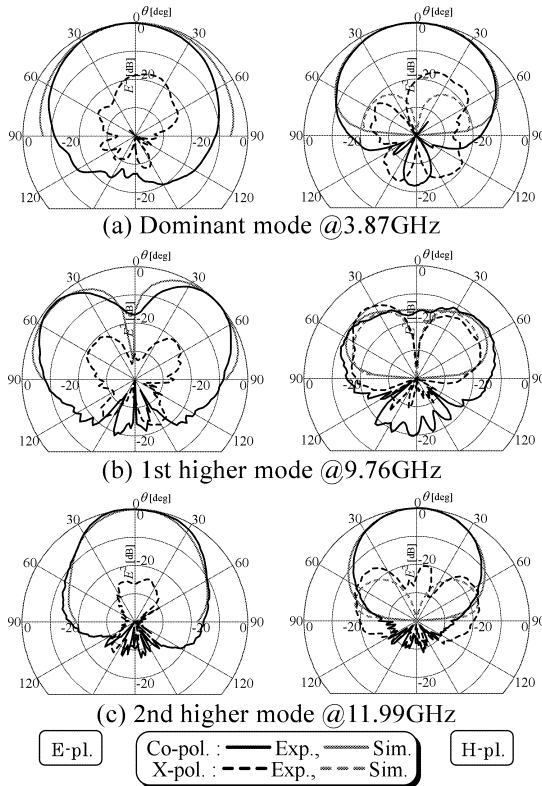


図5 放射パターンの一例

Fig.5 Typical radiation patterns of a SG-MSA with matching arms ($h_2=9.6$, $h_3=0.0$, unit:[mm], $\alpha=208^\circ$).

基本素子寸法 h_2 及び h_3 の値を適切に制御すれば、主モードと高次モードの周波数比を適当な値に設定可能であることが明らかにされた。

次いで、 α を $\alpha=208^\circ$ に固定し、 h_3 をパラメータにとり、第2高次モードのパターンを求め、それらの結果を図4(b)に示す。この図より、着目しているアンテナ系のパラメータの範囲内においては、 h_3 を変えてもパターンに顕著な差異を与えないことが明示された。したがって、供試 SG-MSA 素子の構成上のシンプルさに着目し、以後、 $h_3=0.0$ と設定し、各種検討を加える。これらのことを考慮に入れ、正三角形切抜素子の素子寸法を $h_2=9.6$ mm 及び $h_3=0.0$ mm としたときの放射パターンの一例を図5に示す。主モードにおいては、図5(a)に示されるように主偏波成分については単向性を示し、交差偏波成分も正面方向で約 -20 dB 以下まで抑制された。また、 h_2 , h_3 の値を寸法可変範囲内 ($h_2=7.2\sim 9.6$ mm, $h_3=4.2\sim$

0.0 mm) において種々変化させた場合も、主モードの放射パターンについては顕著な差異は見られなかった。また、利得についてはこれらの素子寸法の変換範囲内において、 $5.0\sim 6.2$ dBi 程度の値が実験により得られた。一方、図5(b)に示すように、第1高次モードについては、完全な単向性パターンが実現されなかった。また、図5(c)に示される第2高次モードの放射パターンについては単向特性が実現された。これは切抜素子により第2高次モードが変形され、このモードの逆相成分の放射への寄与が減少したためと考えられる。なお、 h_2 を $7.2\sim 9.6$ mm まで大きくするにつれ単向性パターンのビームが絞られる傾向を示し、それに伴い利得は $8.1\sim 9.3$ dBi (実測値) 程度まで上昇した [11]。

3. 内部素子装荷型 SG-MSA とその特性

2. に提示した重心部アーム給電型 SG-MSA を用いると、図5に示すように、主モードと第2高次モードの単向性化は実現できるが、第1高次モードの単向性化は実現されなかった。そこで、図6または図9に示される内部素子装荷型 SG-MSA を新たに提示し、主モード、第1高次モード及び第2高次モードの単向性化を実現することを試行する。すなわち、本章では、SG-MSA の内部領域に通常の正三角形 MSA 素子を1個挿入するアンテナ系 (ステージ-1) と4個挿入するアンテナ系 (ステージ-2) に着目し、その構成法と放射特性について検討を加える。

3.1 正三角形 MSA 素子装荷 SG-MSA (ステージ-1) とその特性

供試アンテナの基本構成を図6に示す。これは、ステージ-1のシルピンスキーガスケット構造の正三角形 SG-MSA 素子の切抜領域に、通常の正三角形 MSA 素子を装荷し、第1高次モードの単向性化を図るものである。ここに、素子寸法 h_1 は、前述の重心部アーム給電型 SG-MSA の場合と同様に、通常の正三角形 MSA が 5.0 GHz で共振する素子寸法と等しい値 ($h_1=20.4$ mm) に設定されている。また、素子寸法が h_2 の切抜素子と ih_2 の正三角形 MSA 素子は、各々の重心の位置が通常の正三角形シルピンスキーガスケット構造の重心の位置と一致するように設定されている。なお、本供試素子におけるこの正三角形切抜素子 h_2 の大きさは、内部素子 #2 (素子寸法 ih_2) が設定可能となる最大素子寸法近傍の値、すなわち $h_2=9.9$ mm なる値に設定されている。また、素子寸法として ih_2 なる値を有する内部素子 #2 における主モードの共振周

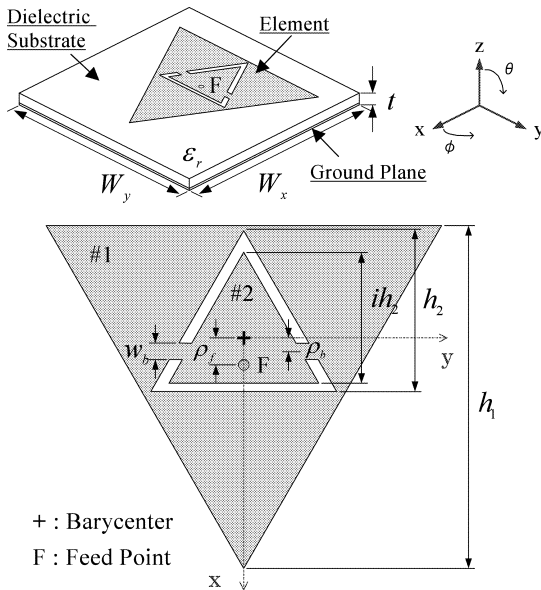


図6 正三角形 MSA 素子装荷 SG-MSA (ステージ-1) の基本構成

Fig. 6 Basic configuration of a SG-MSA with an inner triangle MSA ($h_1=20.4$, $h_2=9.9$, $ih_2=9.0$, $w_b=0.4$, $\rho_b=0.9$, $\rho_f=2.0$, $t=1.2$, $W_x=W_y=60$, unit:[mm], $\epsilon_r=2.6$).

波数は、外部素子#1における第1高次モードの共振周波数と可能な限り近接するようにシミュレーションを行い、 $ih_2 = 9.0$ mm なる値に設定されている。なお、この素子寸法における通常の正三角形 MSA の場合には、主モードにおいて 10.8 GHz の共振周波数を有している。また、給電はセミリジッドケーブルにより給電点 F において基板背面よりなされ、インピーダンス整合は、内部素子と外部素子を接続する金属ブリッジのブリッジ幅 w_b とそのオフセット量 ρ_b 、及び給電点 F のオフセット量 ρ_f を調整することで実現された。

図6に示す寸法諸元を有するアンテナ系を用いて、そのリターンロス特性を測定した結果の一例を図7に示す。4 GHz 及び 11 GHz 近傍の周波数領域において強い共振特性が現れることが確認された。また、14 GHz 付近においても共振が確認された。これらの各共振点における放射パターンの一例を図8に示す。主モードにおいては通常の三角形 MSA 素子の場合と同様に単向性の放射パターンが得られた。また、第1高次モードにおいても単向性が達成された。これは、内部素子#2における主モードからの寄与が、本供試アンテナの放射界においては支配的となり単向性が実現されたものと考えている。なお、第2高次モードにおい

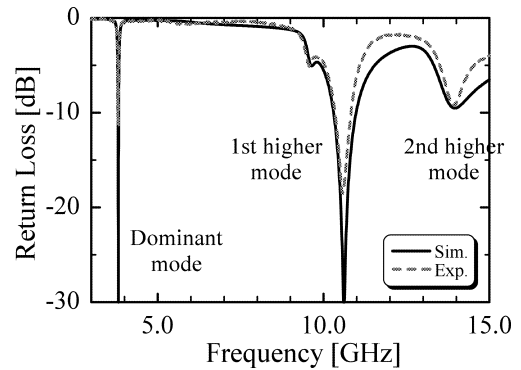


図7 リターンロス特性の一例

Fig. 7 Typical return-loss characteristics of a SG-MSA with an inner triangle MSA.

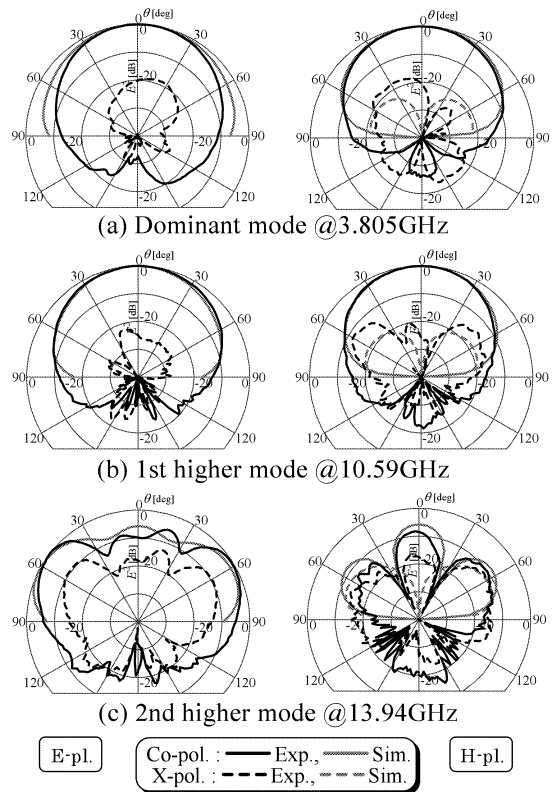


図8 放射パターンの一例

Fig. 8 Typical radiation patterns of a SG-MSA with an inner triangle MSA.

ては通常 $\pm 30^\circ$ 方向に現れるヌル点に対する改善は見られたが、単向性の放射パターンは得られなかった。また、各モードにおける最大放射方向における利得は、実験によると各々 6.9, 8.0, 8.4 dBi 程度の値が得られた。

3.2 正三角形 MSA 素子装荷 SG-SMA (ステージ-2) とその特性

供試アンテナの基本構成を図9に示す．これは、ステージ-2のシルピンスキーガスケット構造の正三角形MSA素子を基本構成要素とするものであり、かつ、そのすべての切抜領域に通常の正三角形MSA素子を装荷したものである．すなわち、この構造の素子を用いて、第1及び第2高次モードの単方向性を達成しようとするものである．なお、正三角形切抜領域の素子寸法 h_3 は、装荷された内部素子#3の寸法パラメータ ih_3 が最大となる素子寸法近傍の値、すなわち $h_3 = 4.8\text{ mm}$ に設定されている．また ih_3 の値はシミュレーション結果を考慮に入れ $ih_3 = 3.6\text{ mm}$ なる値に設定されている．なお、この素子寸法における通常の正三角形MSA素子の共振周波数は、主モードにおいて 26.6 GHz なる値を示した．また、 h_1 、 h_2 、 ih_2 の各寸法については、ステージ-1の場合と同一寸法に設定されている．したがって、素子#1と#2及び素子#1と#3との間のスロット間げきは各々 0.3 、 0.4 mm に設定されている．

また、入力インピーダンスの整合に必要とされる各種寸法はシミュレータを駆使し決定され、それらの諸

元は、図9に示されている。この際、主モードについてはブリッジのオフセット量 ρ_b 、高次モードについてはブリッジ幅 w_b と給電点Fのオフセット量 ρ_f を調整することにより整合をとった。

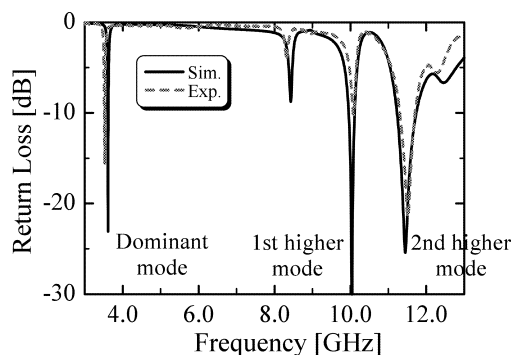


Fig. 10 Typical return-loss characteristics of a SG-MSA with multiple inner triangle MSAs.

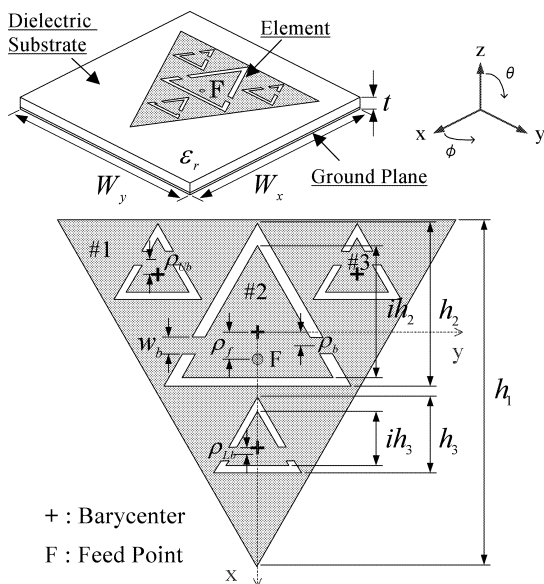


図9 正三角形 MSA 素子装荷 SG-MSA (ステージ-2) の基本構成

Fig. 9 Basic configuration of a SG-MSA with multiple inner triangle MSAs ($h_1=20.4$, $h_2=9.9$, $ih_2=9.0$, $h_3=4.8$, $ih_3=3.6$, $w_b=0.4$, $\rho_{v_1}=1.7$, $\rho_{v_b}=0.8$, $\rho_b=0.2$, $\rho_f=2.3$, $t=1.2$, $W_x=W_y=60$, unit:[mm], $\varepsilon_r=2.6$).

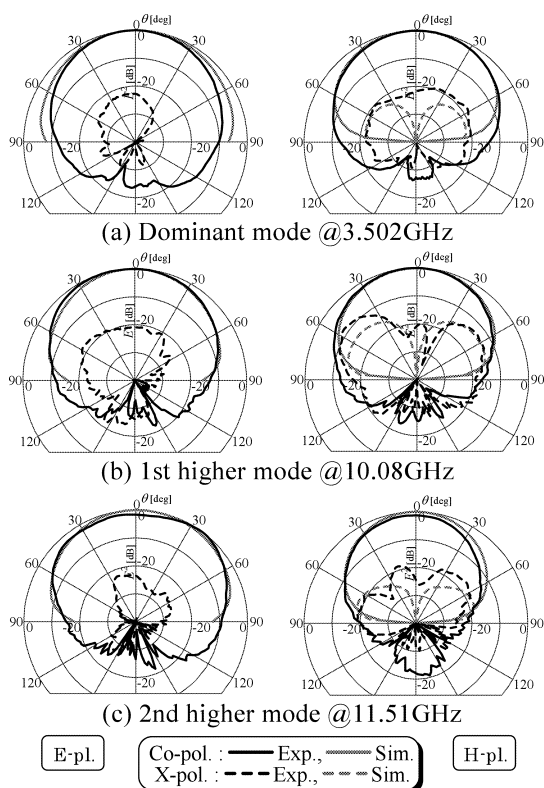


図 11 放射パターンの一例

Fig.11 Typical radiation patterns of a SG-MSA with multiple inner triangle MSAs.

次いで、このときのリターンロス特性及び放射パターンの一例を図10及び図11に示す。リターンロス特性及び放射パターンは、図に示すように良好なマルチバンド特性を示し、しかも実測値はシミュレーション値と設計上有意な範囲でよい一致を見た。なお、放射パターンと電流分布の関係については付録に提示してある。すなわち、主モードでは通常の正三角形MSAの場合と同様に単向性の放射パターンが得られ、第1高次モードにおいては内部素子#2の主モードによる放射が支配的となり単向性が達成された。また、第2高次モードにおいては、内部素子#3の主モードによる放射ではなく、前述の重心部アーム給電型SG-MSAと同様に、外部素子#1の高次モードにより単向性の放射パターンが達成された。ここで、第1及び第2高次モードの識別は、各共振点における外部素子#1の電流分布を考察することにより行われた。なお、8 GHz近傍に見られる共振特性は、第1及び第2高次モードの電流分布とは異なっている。このモードは、本供試アンテナの構造に起因して発生する特別なモードと考えられる。ただし、その放射パターンもほぼ単向特性を示すので、このモードもマルチバンド化には利用可能と考えている。また、利得は実験によると放射正面方向において、主モードでは5.5 dBi、第1高次モードでは6.6 dBi、第2高次モードでは7.0 dBi程度の値が得られた。

3.3 周波数制御に関する検討

本節では、内部素子装荷型SG-MSAの主モードとその高次モードの周波数を微調整する方法について考えてみる。供試SG-MSAの基本構成を図12に示す。これは、図6または図9に示す内部素子装荷型SG-MSA素子を、図2に示す重心部アーム給電型SG-MSA素子の給電法を用いて給電したアンテナ系である。すなわち、摂動素子としてはスリット素子を、給電方法としてはアーム給電法を用いて構成されるアンテナ系である。ここでは、この種のアンテナ系の周波数制御法に着目し、その検討結果の一例について述べる。図12に第1高次モード領域において周波数制御を行うことを目的とし、その際に用いた内部素子#2の基本構成図を示す。これは、図9において正三角形MSAを有する内部素子#2の代わりに、重心部アーム給電型SG-MSAを用い、新たに内部素子#2として構成したものである。なお、#1及び#3の素子に関しては図9と同様の構成である。図12に示す内部素子#2の切抜領域 ih_{21} の寸法を0.0 mm (通常の正三角形MSA) か

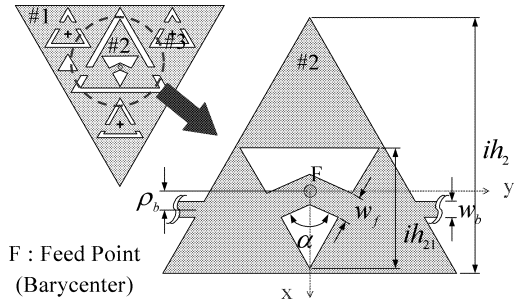


図12 第1高次モードの周波数制御における内部素子装荷SG-MSA (ステージ-2) の基本構成

Fig. 12 Basic configuration of a SG-MSA with multiple inner MSAs for resonant frequency control for 1st higher mode ($h_1=20.4$, $h_2=9.9$, $ih_2=9.0$, $h_3=4.8$, $ih_3=3.6$, $w_b=0.4$, $\rho_{vb}=1.7$, $\rho_{rb}=0.8$, $\rho_b=0.2$, $\rho_f=2.3$, $t=1.2$, $W_x=W_y=60$, unit:[mm], $\epsilon_r=2.6$).

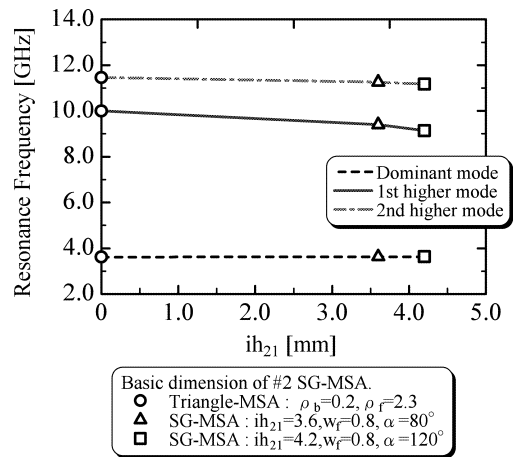


図13 第1高次モードの周波数制御の一例

Fig. 13 Resonant frequency control of a SG-MSA with multiple inner MSAs for 1st higher mode.

ら3.6 mmを経由して4.2 mm (SG-MSA)まで変化させると、図13に示すように、第1高次モードの共振周波数を10.00~9.14 GHzまで制御することが可能であった。その際、各モードの放射パターンは単向性を示すことが確認された。なお、このアンテナ系においては、図13に示すように主モード及び第2高次モードの共振周波数には顕著な差異は見られなかった。

次いで、図14に第2高次モード領域における周波数制御可能範囲を示す。なお、この際のアンテナ系の基本構造は、図9に示す正三角形MSA素子装荷SG-MSA素子を供試アンテナとして用い、その構成パラメータである上部及び下部内部素子のブリッジオフセット量

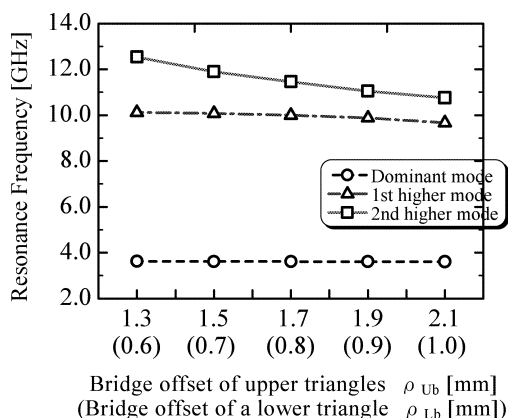


図 14 第 2 高次モードの周波数制御の一例

Fig. 14 Resonant frequency control of a SG-MSA with multiple inner MSAs for 2nd higher mode ($h_1=20.4$, $h_2=9.9$, $ih_2=9.0$, $h_3=4.8$, $ih_3=3.6$, $w_b=0.4$, $\rho_b=0.3$, $\rho_f=2.3$, $t=1.2$, $W_x=W_y=60$, unit:[mm], $\epsilon_r=2.6$).

ρ_{Ub} , ρ_{Lb} を制御することにより周波数制御を行った．図 14 に示すように， ρ_{Ub} の値を，1.3 から 2.1 mm まで変化させると，その共振周波数を 12.54 ~ 10.76 GHz まで制御することが可能であった．その際，主モード及び第 1 高次モードにおいては単向性の放射パターンを示すことが確認された．なお，第 2 高次モードの共振周波数特性を変化させても，主モード及び第 1 高次モードにおける共振周波数には顕著な差異は見られなかった．なお，図 5，図 8 及び図 11 において，主モードの共振周波数が異なっている．これは，正三角形 MSA 素子（原形）に対する摂動素子の与え方（切抜素子とスリット素子）の相違によるものである．したがって，図 5，図 8 及び図 11 に提示されている SG-MSA の主モードの共振周波数を同一の値に設定するためには，正三角形素子（原形）の素子寸法 h_1 を微調整することが必要とされる．また，第 1 及び第 2 高次モードの共振周波数については，それぞれ，内部素子 #2 の切抜領域の大きさ ih_2 ，並びに上部及び下部内部素子のブリッジのオフセット量 ρ_{Ub} ， ρ_{Lb} などを調整することが必要とされる．

4. む す び

本論文では，フラクタル構造の一つであるシルピンスキーガスケット構造を有する正三角形 MSA に着目し，そのマルチバンド化に必須となる高次モードの放射パターンの単向性化についてシミュレーション及び実験両面より検討を加え，その設計基礎資料を得た．す

なわち，本研究では，①重心部アーム給電型 SG-MSA 素子に着目し，その構成法と放射特性について検討を加え，この種のアンテナ系においては，第 2 高次モードの放射パターンが単向性化されることを明らかにした．次いで，②内部素子装荷型 SG-MSA 素子に着目し，その構成法と放射特性について検討を加え，このアンテナ系においては，第 1 及び第 2 高次モードともに，放射パターンの単向性化が実現されることを明らかにした．これらのことより，この種の SG-MSA 素子が平面構造のマルチバンドアンテナとして有用な一形式になり得ることが明らかにされた．なお，今後の課題としては，周波数可変範囲に関する多様で，かつ，より厳密な検討が必要とされる．

文 献

- [1] J. Anguera, C. Puente, C. Borja, and J. Romeu, "Miniature wideband stacked microstrip patch antenna based on the Sierpinski fractal geometry," IEEE APS. Int. Symp., vol.3, pp.1700-1703, July 2000.
- [2] J. Yeo, R. Mittra, Y. Lee, and S. Ganguly, "A novel modified Sierpinski patch antenna using shorting pins and switches for multiband applications," IEEE APS. Int. Symp., vol.4, pp.90-93, June 2002.
- [3] C. Puente, J. Romeu, R. Pous, and A. Cardama, "On the behavior of the Sierpinski multiband fractal antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.46, no.4, pp.517-524, April 1998.
- [4] J. Yeo and R. Mittra, "Modified Sierpinski gasket patch antenna for multiband applications," IEEE APS. Int. Symp., vol.3, pp.134-137, July 2001.
- [5] J. Romeu and J. Soler, "Generalized Sierpinski fractal multiband antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.49, no.8, pp.1237-1239, Aug. 2001.
- [6] D.H. Werner, P.L. Werner, and K.H. Church, "Genetically engineered multiband fractal antennas," Electron. Lett., vol.37, no.19, pp.1150-1151, Sept. 2001.
- [7] J.P. Gianvittorio and Y. Rahmat-Samii, "Fractal geometry in antenna system design: Miniaturized-multiband element, phased array and frequency selective surface design," Proc. 2002 3rd ICMMT, B6.6, pp.528-531, Aug. 2002.
- [8] S.R. Best, "The Sierpinski gasket: Modified non-fractal gap structures exhibiting multi-band behavior," IEEE APS. Int. Symp., vol.4, pp.538-541, June 2002.
- [9] G. Montesinos, J. Anguera, C. Puente, and C. Borja, "The Sierpinski fractal bowtie patch: A multifractal-mode antenna," IEEE APS. Int. Symp., vol.4, pp.542-545, June 2002.
- [10] D.H. Werner and S. Ganguly, "An overview of fractal antenna engineering research," IEEE Antennas Propag. Mag., vol.45, no.1, pp.40-57, Feb. 2003.
- [11] 多田真也, 木村雄一, 羽石 操, "シルピンスキー形マイクロストリップアンテナの放射特性に関する一検討," 2003

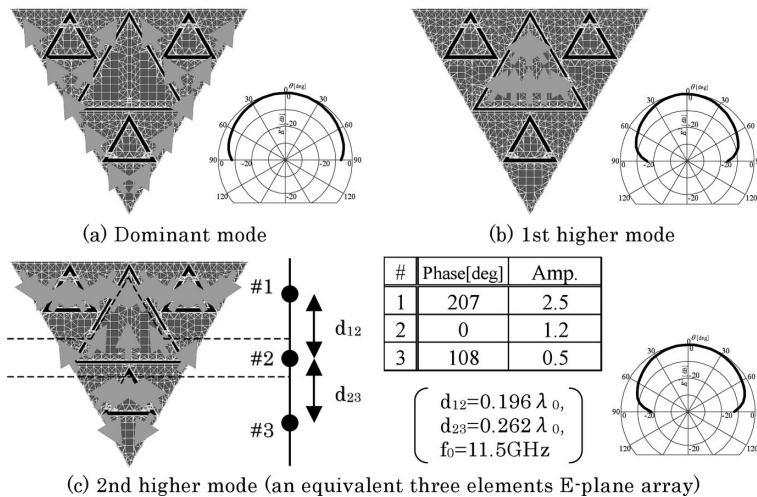


図 A・1 正三角形 MSA 素子装荷 SG-MSA の電流分布
 Fig. A・1 Current distributions on a SG-MSA with multiple inner MSAs ($h_1=20.4$, $h_2=9.9$, $ih_2=9.0$, $h_3=4.8$, $ih_3=3.6$, $w_b=0.4$, $\rho_f=2.3$, $\rho_b=0.3$, $\rho_{Ub}=1.7$, $\rho_{Lb}=0.8$, $t=1.2$, unit:[mm], $\epsilon_r=2.6$).

信学総大, B-1-254, March 2003.

- [12] 多田真也, 木村雄一, 羽石 操, “変形シルピンスキー形マイクロストリップアンテナの放射特性に関する一検討,” 2003 信学ソ大 (通信), B-1-162, Sept. 2003.

付 録

正三角形 MSA 素子装荷 SG-MSA (ステージ-2) の電流分布について

正三角形 MSA 素子装荷 SG-MSA (ステージ-2) のアンテナ上の電流分布を図 A・1 に示す。主モードと第 1 高次モードの電流分布については図のように、同一方向の電流が流れているため、単向性のパターンを示す。一方、第 2 高次モードにおいては、図 A・1(c) に示すように、#2 領域において逆方向の電流が流れている。そこで、第 2 高次モードについては、#1、#2 及び #3 の各領域における電流分布の振幅分布 (Amp.) 及び #2 領域の電流位相を基準位相とした場合の各領域における位相分布 (Phase) をシミュレータにより求め、図 A・1(c) の結果を得た。これらの結果を見ると、#2 領域における逆方向の電流分布の振幅分布は相対的に小さく、これらの電流分布からの放射パターンへの寄与は #1 と #3 領域における電流分布の寄与より少なく、結果として、#2 領域からの寄与は相殺され、図に示すような単向性のパターンが得られる。

(平成 16 年 3 月 29 日受付, 7 月 12 日再受付)

多田 真也 (学生員)

平 14 埼玉大・工・電気電子卒。同年同大大学院修士課程入学。現在、平面アンテナに関する研究に従事。



羽石 操 (正員)

昭 42 埼玉大・理工・電気卒。昭 44 都立大大学院修士課程了。工博。埼玉大助手、助教授を経て、平 2 同教授。専門は電磁波工学、特に平面アンテナに関する一連の研究。昭 52 本会学術奨励賞受賞。



木村 雄一 (正員)

平 8 東工大・工・電気電子卒。同年同大大学院修士課程入学。平 13 同大学院博士課程了。博士 (工学)。同年埼玉大助手。現在、ミリ波平面アンテナに関する研究に従事。

