

高誘電率基板を用いた V・UHF 帯超小型アンテナの研究

黒木太司 呉工業高等専門学校電気情報工学科教授

1 あらまし

アンテナの小型化を目的として、比誘電率が 197 からなる高誘電率誘電体小片上にスパイラル、ミアンダ、スロットスパイラルアンテナを構成し、その放射特性を理論的、実験的に検討した。まず高誘電率誘電体小片上に形成したモノポール、およびスロットアンテナの反射特性より高誘電率基板の波長短縮効果を調べた結果、前者では 47.7%程度、後者では 13.5%程度の波長短縮率が得られた。またこの結果をもとに、厚み 2mm、平面寸法 1cm × 1cm の高誘電率誘電体小片に、一対及び二対スパイラル形状のスロットアンテナを試作した結果、それぞれ中心周波数でリターンロス 10dB 以上の特性を得ることができた。

2 はじめに

アンテナの小型化に関する研究は古くから行われ、フェライトなどの特殊材料の使用、リアクタンス負荷の装荷、遅波構造の利用など、多くの報告がある[1], [2], [3]。そこで本論ではこれらのうち、特殊材料による手法と変形短縮による手法に着目し、比誘電率が 197 と極めて高い誘電体基板を使用し、かつアンテナ形状をスパイラル、ミアンダ[4]、スロットスパイラル[5]などによりアンテナの小型化に関する検討を行った。まずアンテナの回路への集積化を目的として、高誘電率誘電体小片に構成したモノポールアンテナ、及びスロットアンテナのリターンロスの特性より高誘電率誘電体小片によるアンテナ長の実効誘電率を計算した。またその結果をもとにスパイラル、ミアンダ、および 2 種のスロットスパイラルアンテナを試作し、理論、実験の両面から各アンテナの特性を評価した。

3 高誘電率誘電体小片の実効誘電率

高誘電率誘電体小片によるアンテナ長の短縮効果を把握するために、まず図 1 に示すように厚み 2mm、長さ及び幅が 30mm 及び 10mm の高誘電率基板上にモノポールアンテナを形成し、これをガラスエポキシ基板上に作成した 50Ωコプレーナ線路で給電し、高誘電率誘電体小片の比誘電率の関数としてアンテナのリターンロスの周波数特性を計算した。

図 2 は比誘電率を 4.4、50、100、197 と変化させて計算したリターンロスの一例であり、小片の比誘電率を大きくしてゆくと、帯域は狭くなるが整合のとれる周波数が下がってゆくことがわかる。因みに小片の比誘電率を 197 に設定した際、1.07GHz の周波数で整合がとれていることから、アンテナ上を流れる電流が $\lambda/4$ で放射すると仮定してモノポールアンテナから見た高誘電率誘電体小片の実効比誘電率を換算し、その結果を図 3 に波線で示すが、小片の比誘電率が 200 の時、その実効比誘電率は 4 程度になる。

次に、図 4 に示すように同様の高誘電率基板上にスロットアンテナを形成し、これを同様のガラスエポキシ基板上に作成した 50Ωコプレーナ線路で給電し、高誘電率誘電体小片の比誘電率の関数としてアンテナの実効比誘電率を計算した。その結果を図 3 に実線で示すが、小片の比誘電率が 200 の時、その実効比誘電率は 55 と大きくなることが分かる。これはモノポールアンテナに比べてスロットアンテナの電界分布が高誘電体小片によく集中していることからこのような結果になったものと考えられる。

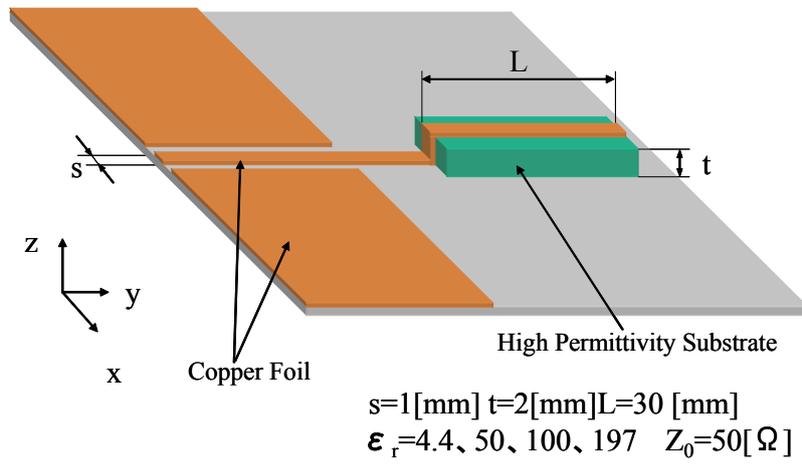


図 1. 高誘電率基板を用いたプリントモノポールアンテナ

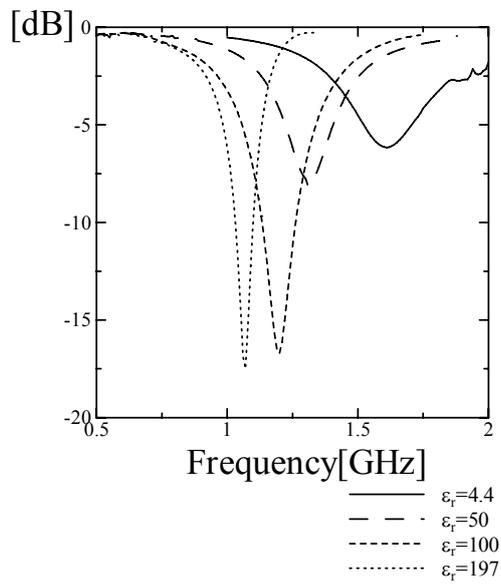


図 2. 高誘電率基板の比誘電率に対するモノポールアンテナのリターンロスの計算値

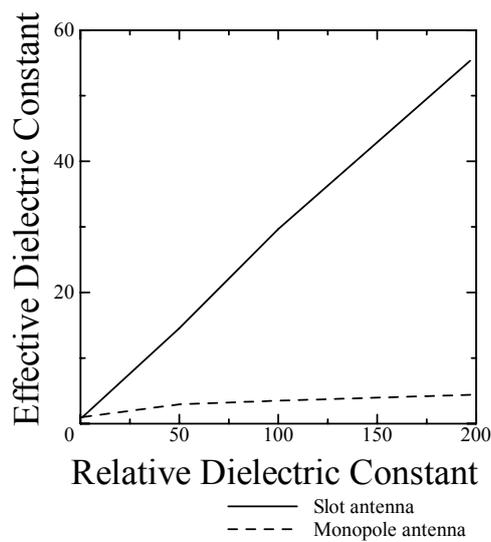


図 3. 基板の比誘電率に対する実効比誘電率の計算値

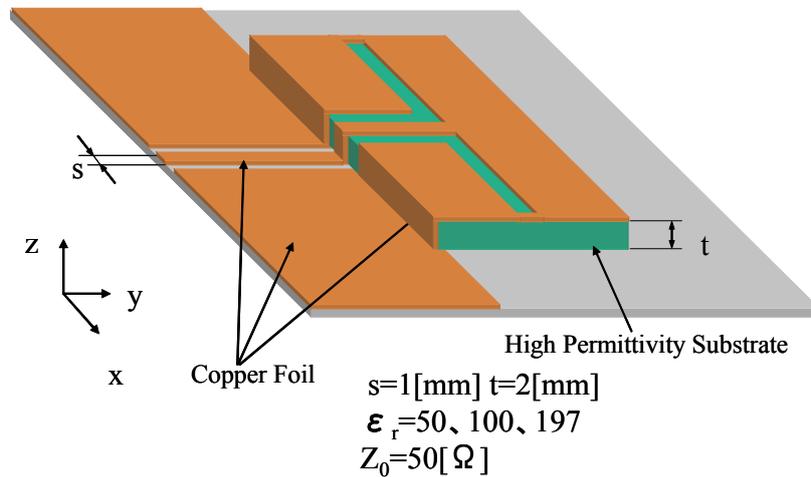


図 4. 高誘電率基板を用いたプリントスロットアンテナ

4 高誘電率基板を用いた進行波型アンテナ

前章の結果を踏まえ、本章では図 5 に示すように、比誘電率 197、厚み 2mm、一片の長さ 10mm の方形高誘電率基板(日本タングスタン製 WG200)上に、導体線幅 $S=0.5\text{mm}$ 、線間スペース $W=0.5\text{mm}$ のスパイラル形状プリント配線を施し、これを図のように、ガラスエポキシ基板上に作成した 50Ω コプレーナ線路で給電した。

図 6 に周波数に対するリターンロスの理論値と実験値を示す。2GHz から 6GHz の帯域内で、多くの共振点が存在するが、この中で 2.1GHz における指向性の計算値を図 7 に示す。x-z 面内における y 方向電界は利得 0dBi であり、無指向性に近い指向性パターンを得ることができた。

スパイラルアンテナと同様、アンテナの小型化が期待できるミアンダアンテナを、図 8 に示すように、比誘電率 197、厚み 2mm、一片の長さ 10mm の方形高誘電率基板上に、導体線幅 $S=0.5\text{mm}$ 、線間スペース $w=0.5\text{mm}$ で配線し、これを同様にガラスエポキシ基板上に作成した 50Ω コプレーナ線路で給電した。

図 9 に周波数に対するリターンロスの理論値と実験値を示す。この場合も 1GHz から 6GHz の帯域内で、多くの共振点が存在するが、この中で 1.5GHz における指向性の計算値を図 10 に示す。x-z 面内における y 方向電界は利得 -2dBi であり、この場合も無指向性に近い指向性パターンを得ることができた。

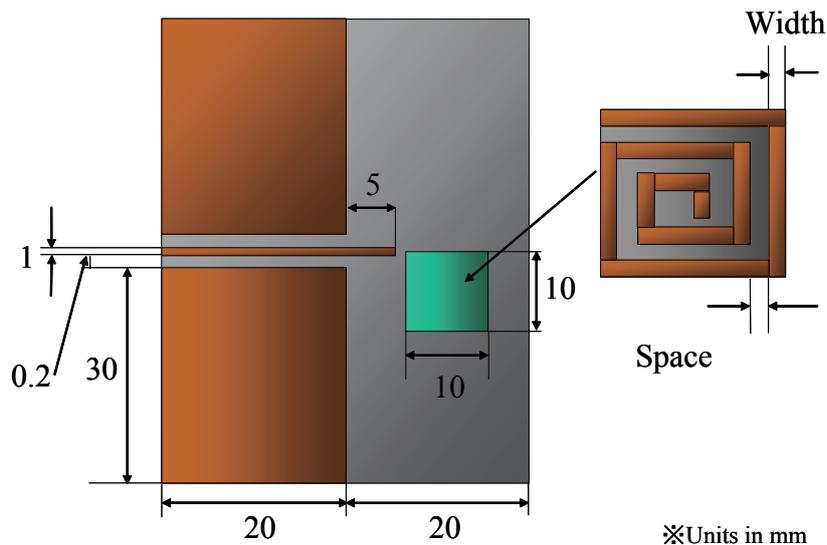


図 5. 高誘電率小片を用いたプリントスパイラルアンテナ

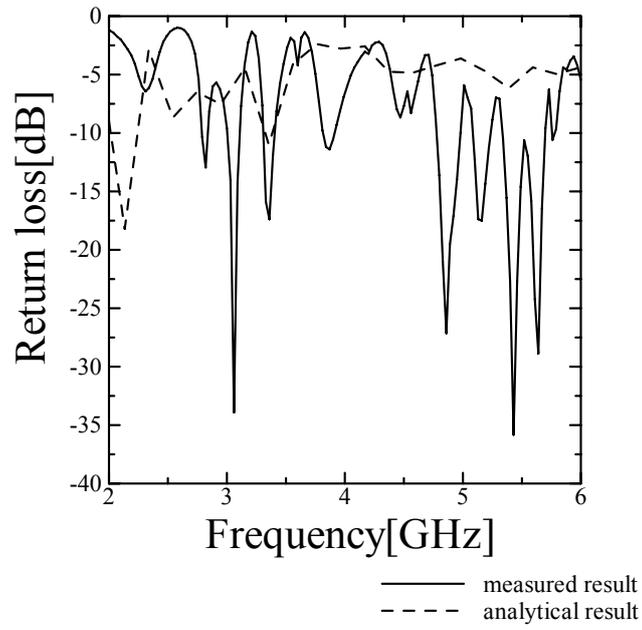


図6. 高誘電率小片を用いたプリントスパイラルアンテナのリターンロスの理論値と実験値

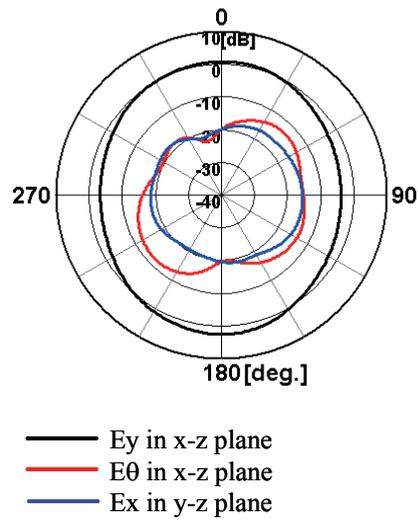


図7. 高誘電率小片を用いたプリントスパイラルアンテナの指向性

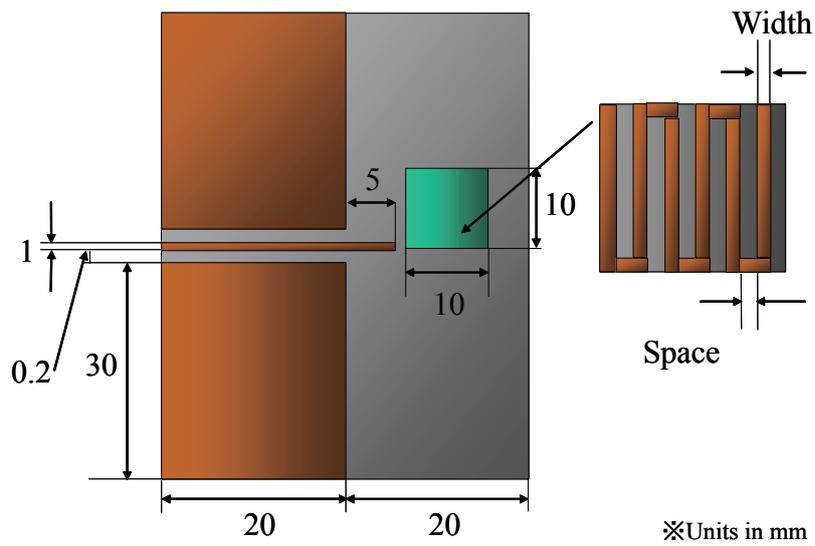


図8. 高誘電率小片を用いたプリントミアンダアンテナ

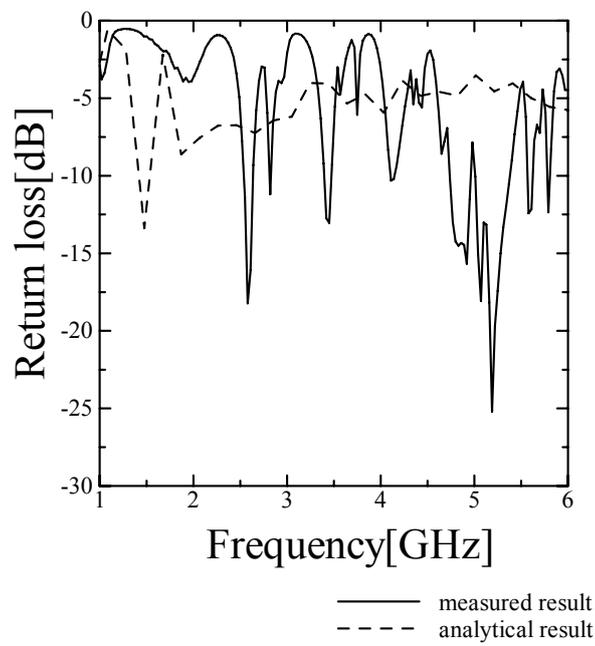


図9. 高誘電率小片を用いたプリントミアンダアンテナのリターンロスの理論値と実験値

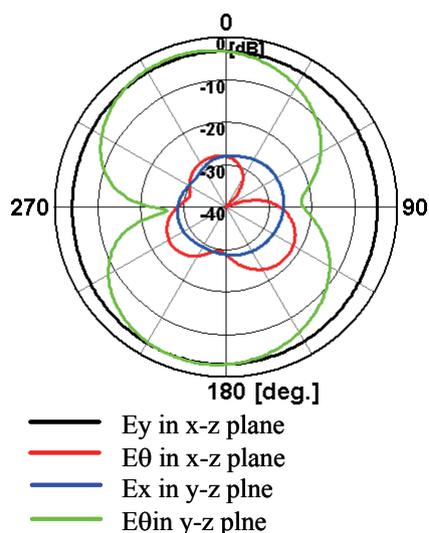


図 10. 高誘電率小片を用いたプリントミアンダアンテナの指向性

5 高誘電率基板を用いたスロットスパイラルアンテナ

前章では高誘電率小片上に形成したスパイラル、およびミアンダアンテナに関して考察したが、モノポール形状の変形短縮であるため実効誘電率が高くとれず、本研究の目的である V・UHF 帯での動作は確認出来なかった。そこで本章では実効誘電率が高くとれるスロットアンテナをもとに、その変形短縮形状であるスロットスパイラルアンテナを考察する。図 11 に試作した 2 種類のスロットスパイラルアンテナの写真を示す。25 セント硬貨と比較して、その形状は小さいことが分かる。

まず図 12 に示すように、比誘電率 197、厚み 2mm、一片の長さ 10mm の方形高誘電率誘電体小片上に、スロット幅 0.2 mm、スロット間スペース 0.2 mm の 2 対スパイラル形状スロットパターンを施しそのリターンロス測定した。図 13 に周波数に対するリターンロスの測定値を実線で示す。参考のため誘電体小片の比誘電率を 2.6 と低く設定した同寸法のスロットスパイラルアンテナのリターンロスの測定値を同図に波線で示す。これより誘電体小片の比誘電率を 2.6 から 197 と高く設定することで、アンテナの動作周波数は 2000MHz から 750MHz に下降し、高誘電率誘電体を用いることの優位性が示された。

図 14 にリターンロスが良好であった 640MHz と 4020MHz におけるアンテナの指向性を示す。UHF 帯である 640MHz においては、利得は小型化したために -35dBi と劣化しているが、x-z 面の y 方向電界、y-z 面の θ 方向電界とも無指向性に近い指向性が得られている。また 4020MHz においては y 方向に配置したダイポールアンテナと等価な指向性が得られ、かつ利得も 0dBi と良好であった。

次に、同寸法の高誘電率誘電体小片をもとに、さらなる動作周波数の低周波化を目的とし、図 15 に示すような 1 対のスパイラルスロットアンテナを試作した。図 16 にそのリターンロスの測定値を実線で示す。参考のため、小片の比誘電率を 2.6 とした、同寸法スロットスパイラルアンテナのリターンロスの測定値も同図に波線で示すが、2 対スロットスパイラルアンテナの時と同様波長短縮効果がみられる。また動作周波数もスロットアンテナの全長を長く設定したために 415MHz と低下した。リターンロス特性が良好であった 415MHz、および 3760MHz における指向性を図 17 に示す。この場合も UHF 帯では利得は低いものの、x-y 面内 y 方向電界が無指向性に近い特性を示した。

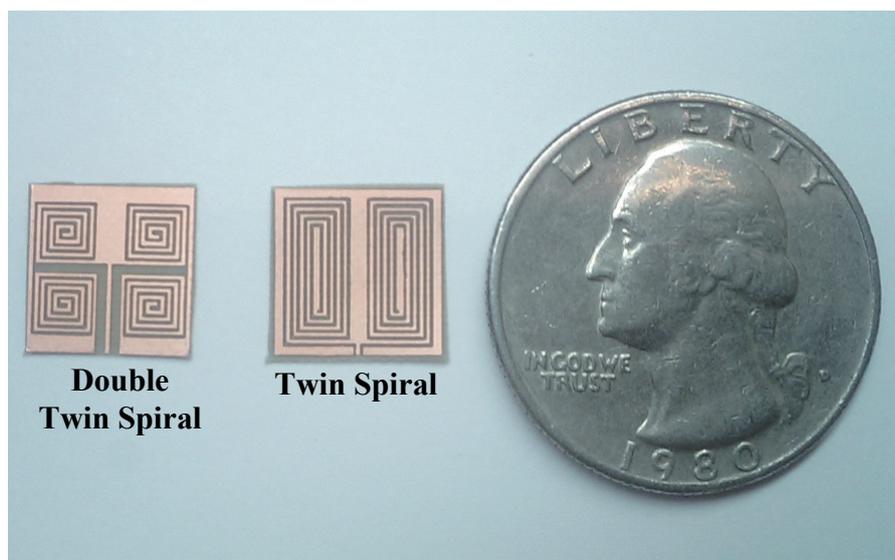


図 11. 試作した高誘電率基板実装プリントスロットスパイラルアンテナ

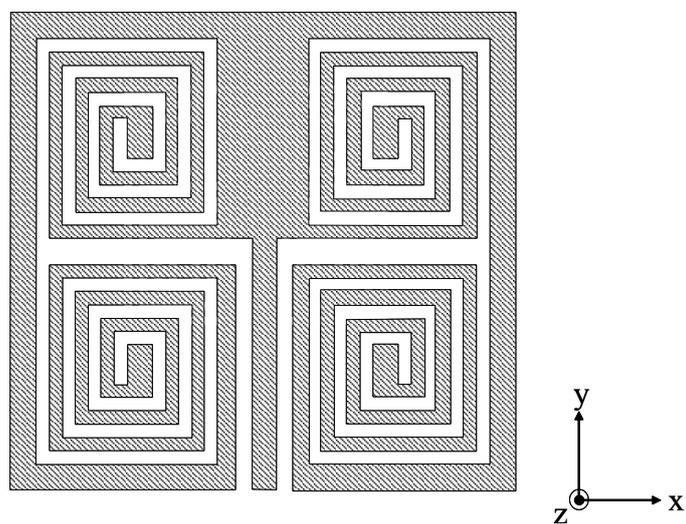


図 12. 2 対スロットスパイラルアンテナの平面図

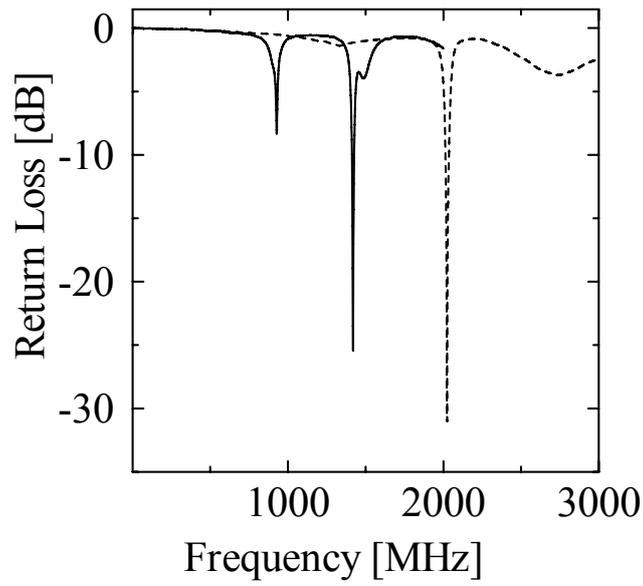
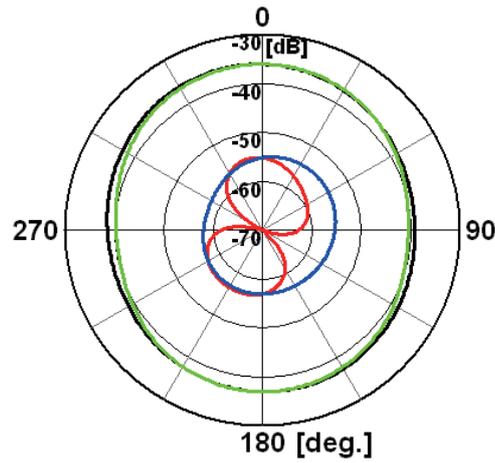
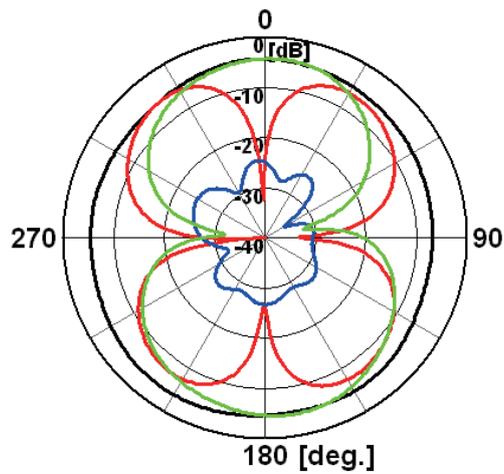


図 13. 1 対スロットスパイラルアンテナのリターンロス測定値: 比誘電率 197 の高誘電率小片に実装(実線)、比誘電率 2.6 の低誘電率基板に実装(波線)



(a) 640 MHz



(b) 4020 MHz

- x-z plane E_y
- x-z plane E_θ
- y-z plane E_x
- y-z plane E_θ

図 14. 2 対スロットスパイラルアンテナの指向性

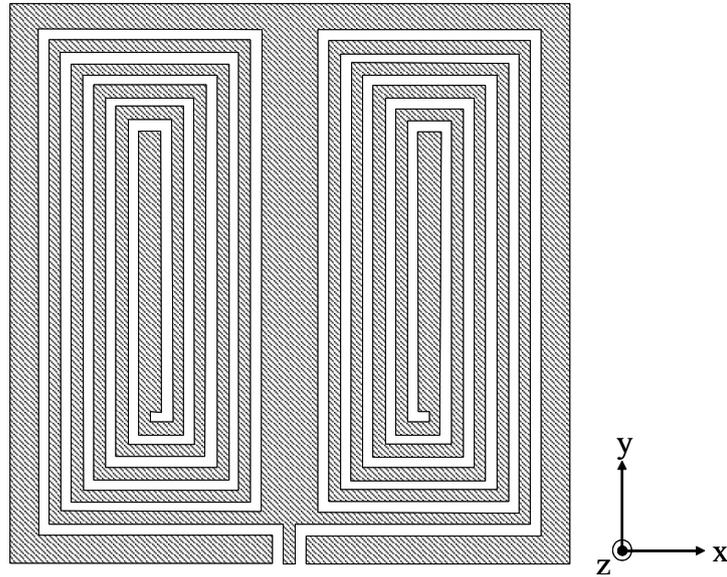


図 15. 1 対スロットスパイラルアンテナの平面図

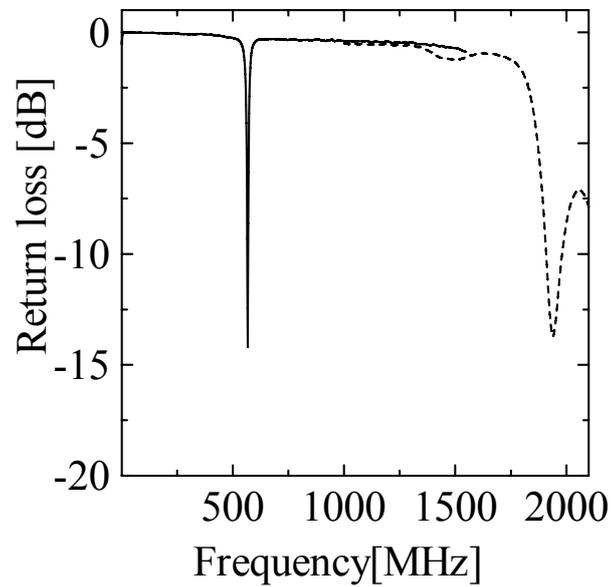
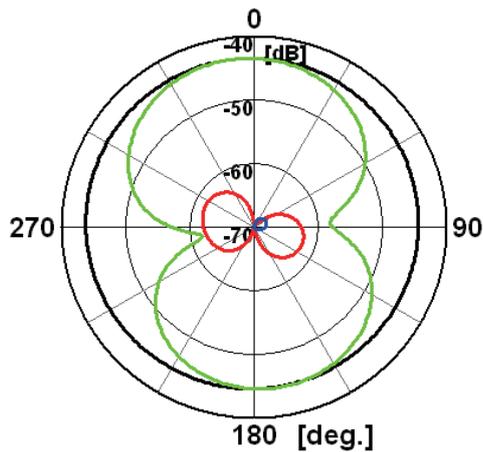
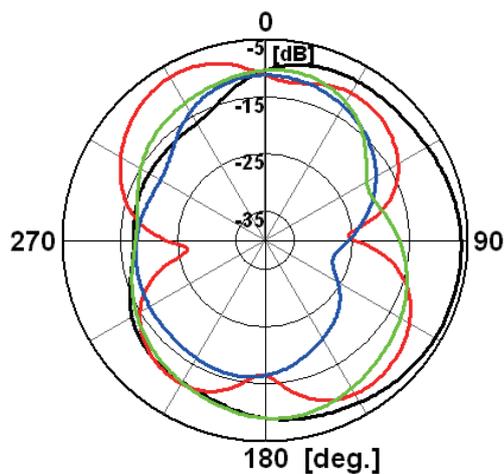


図 16. 2 対スロットスパイラルアンテナのリターンロスの測定値: 比誘電率 197 の高誘電率小片に実装(実線)、比誘電率 2.6 の低誘電率基板に実装(波線)



(a) 415 MHz



(b) 3760 MHz

— x-z plane E_y
 — x-z plane E_θ
 — y-z plane E_x
 — y-z plane E_θ

図 17. 1 対スロットスパイラルアンテナの指向性

5 あとがき

アンテナの小型化を目的として、比誘電率が 197 からなる高誘電率誘電体小片上にスパイラル、ミアンダ、およびスロットスパイラルアンテナを構成し、その放射特性を理論的、実験的に検討した。まず高誘電率誘電体小片上に形成したモノポール、およびスロットアンテナの反射特性より高誘電率基板の波長短縮効果を調べた結果、前者では 47.7%程度、後者では 13.5%程度の波長短縮率が得られた。またこの結果をもとに、厚み 2mm、平面寸法 1cm × 1cm の高誘電率誘電体小片に、一対及び二対スパイラル形状のスロットアンテナを試作した結果、それぞれ中心周波数でリターンロス 10dB 以上の特性を得ることができた。

【参考文献】

- [1] 藤本京平, "小形アンテナ," 信学誌, Vol.55, No.9, pp.1235-1239 (1972)
- [2] 藤本京平, "小形アンテナ," 信学誌, Vol.60, No.4, pp.391-397 (1977)
- [3] 藤本京平, "小形アンテナに関する研究動向," 信学誌, Vol.70, No.8, pp.830-838 (1987)

- [4] F. Kuroki, Y. Takigawa, and S. Kashihara, "A Traveling-Wave Antenna on High Permittivity Substrate", Proceedings of China-Japan Joint Meeting on Microwaves pp.103-106 (August, 2006 in Chengdu, China)
- [5] F. Kuroki, Y. Takigawa, and S. Kashihara, " Radiation Characteristics of Integrated Traveling-Wave Antenna Etched on Heavily-High Permittivity Substrate for Size Reduction", Proceedings of IEEE Radio and Wireless Symposium, pp169-172 (January, 2006 in Long Beach, USA)

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Self-Complementary Spiral Antenna for Indoor Reception of Terrestrial Digital TV Broadcasting	Proceedings of IEEE MTT-S Microwave Symp.	2006年6月
A Small-Sized Meander-Line Type Patch Antenna Fed by Coplanar Waveguide with Finite Ground Plane	Proceedings of IEEE AP-S and URSI Int. Symp.	2006年7月
A Traveling-Wave Antenna on High Permittivity Substrate	Proceedings of China-Japan Joint Meeting on Microwaves	2006年8月
高誘電率誘電体基板を用いた小型スロットスパイラルアンテナ	電子情報通信学会マイクロ波研究会	2006年9月
Miniaturized Cross Meander-Line Antenna Etched on Both Sides of Dielectric Substrate	Proceedings of International Symposium of Antennas and Propagation	2006年11月
Operational Frequency Tuning for Meander Line Antenna Fed by Coplanar Waveguide with Finite Ground Plane	Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference	2006年12月
Radiation Characteristics of Integrated Traveling-Wave Antenna Etched on Heavily-High Permittivity Substrate for Size Reduction	Proceedings of IEEE Radio and Wireless Symposium	2007年1月