

# FDTD法によるビーム走査 のシミュレーション事例

## 概要

本稿では、[XFDTD](#)を使用して、横方向にスロットがあるSIW(substrate integrated waveguide)アンテナの性能を解析する。モデルのデザインは論文 [1] を参考にしている。アンテナは、横方向スロットの付いた矩形導波管のように動作するが、コストとサイズを削減し、平面回路との統合を容易にするためにSIWで設計されている。ここでは、Sパラメータ性能、アンテナ利得、および効率を計算する。

## デザインとシミュレーション

アンテナ全体を図1に示す。ここで、緑色の素材は銅、赤色の素材は誘電体（比誘電率= 2.25、損失正接= 0.001）を表している。全体の長さは約310 mm、幅は40 mm、厚さは1 mmである。デバイス上部の銅製マイクロストリップ層には、一定の間隔で横方向のスロットが配置され、端部では先細（テーパ）になっている。装置の各端部において、ノード導波路ポートは、SIW部分に接続するテーパ付きのマイクロストリップラインに接続されている。横方向のスロットの拡大図を図2に示す。上部のマイクロストリップ層の端部はビアで終端されている。これらの各層を、図3, 4および図5にそれぞれ示す。なお、全ての層が設置された状態は図3で確認できる。特に、基板は図4で確認でき、ビアは図5で確認できる。



図1：アンテナの3D CADモデルの上面図。

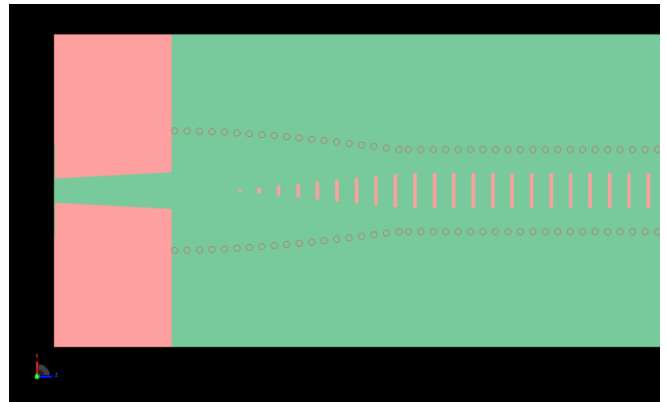


図2：アンテナの一端の詳細図。マイクロストリップラインの下にあるテーパスロットと湾曲したビア経路を示している。

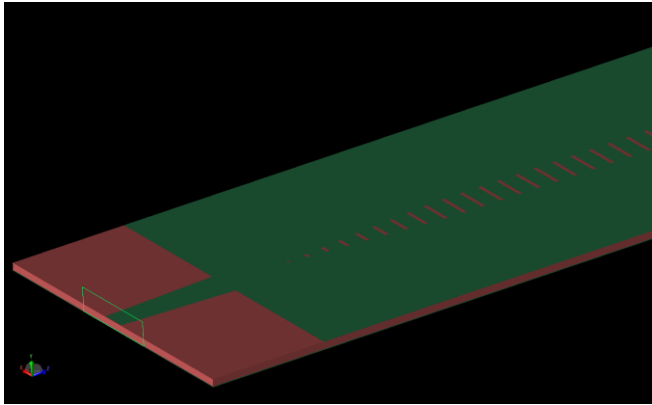


図3：ポートを表示したアンテナの斜視図。テーパラインに接続されたノード導波路ポート、基板層の厚さ、およびスロット付き最上層の一部が示されている。

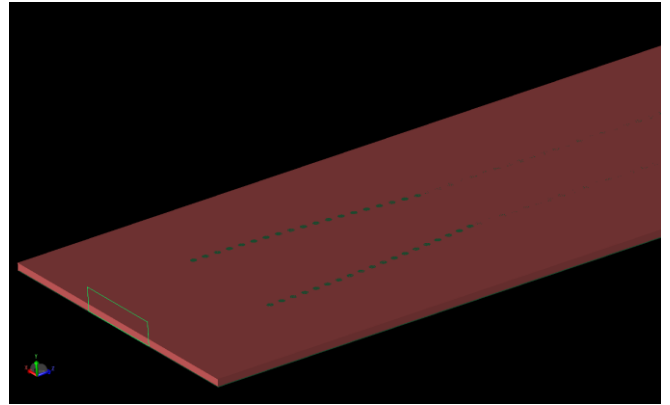


図4：上部のマイクロストリップ層を非表示にすると、アンテナ構造の内側に基板とビアの一部が見える。

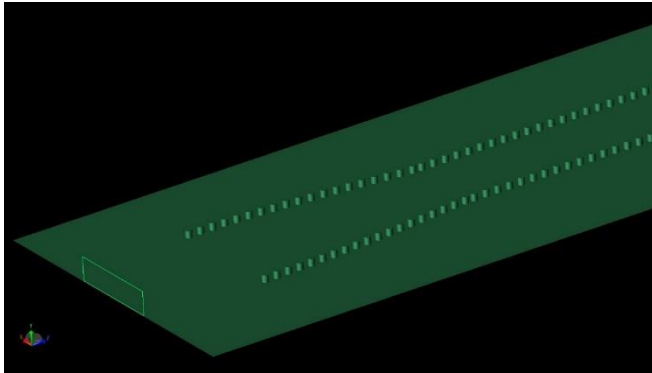


図5：この図では、基板層が取り除かれており、グランドプレーンとビアが見えている。

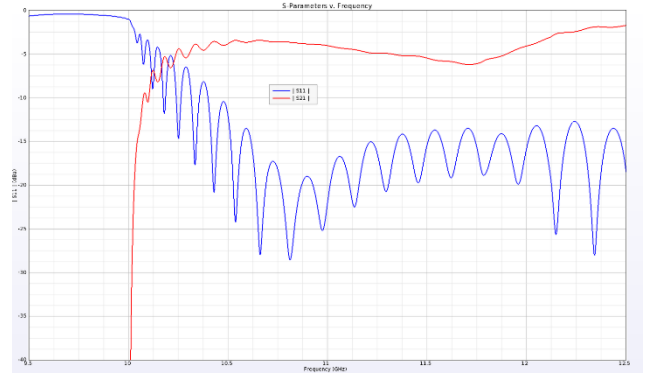


図6：Sパラメータは10.4 GHzから12.5 GHzで良好な反射減衰量を示す。S-21は同じ領域で-6から-2 dBの損失を示す。

Sパラメータの結果を図6に示す。図6から、10.4～12.5 GHzと10.4 GHz未満のいくつかの小さい周波数帯域との間で良好な動作性能を有することが分かる。10 GHzより下では、応答はカットオフされる。

アンテナは、周波数に応じてブロードサイド付近からエンドファイア付近までの範囲のビームをいくつか生成する。これらのビームは狭く扇形をしている。10.2 GHzではビームは非常に狭くなり、極座標プロットで図7に示すように、YZ平面の $\theta=70$ 度で約8.6 dBiのピークに達する。

図8に、10.2 GHzのパターンを3次元プロットで示す。このプロットは、図7の極座標プロットと同じ角度からの表示となっている。図9は、10.2 GHzの3次元パターンを別の視点から見ている。10.8 GHzでは、ピークのゲインは11.1 dBiに増加し、図10、11および図12に示すように、ビームはYZ平面の $\theta = 49$ 度のピークにシフトしている。

11.5 GHzでは、メインローブの方向は $\theta = 28$ 度となり、図13、14および図15に示すように最大ゲインは12.7 dBiとなる。

11.7 GHzでは、メインローブの方向は $\theta = 19$ 度となり、図16、17および図18に示すように、最大ゲインは14 dBiとなる。

12 GHzでは、メインローブの方向は $\theta = 13$ 度となり、図19、20および図21に示すように、最大ゲインは14.2 dBiとなった。

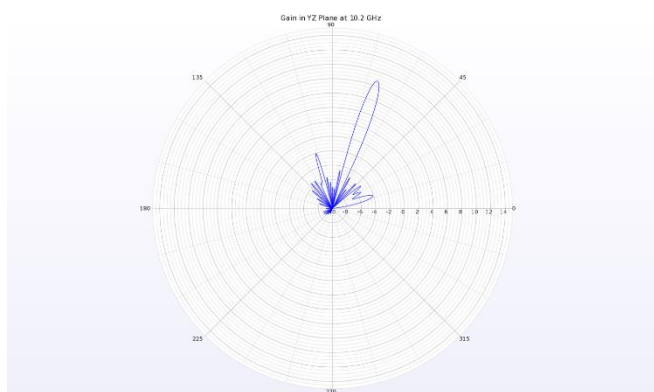


図7：YZ平面（アンテナの長さ方向に平行な面）の10.2 GHzの2次元パターン。 $\theta = 70$ 度で約8.6 dBiの利得であり、狭いビームとなっている。

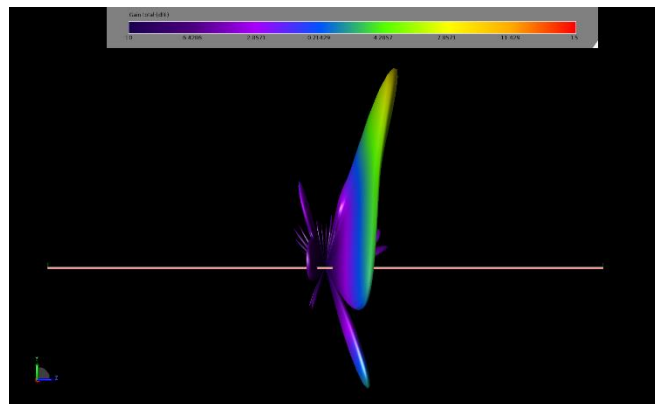


図8：10.2 GHzの3次元パターン。モデルに重ね合わせて表示。

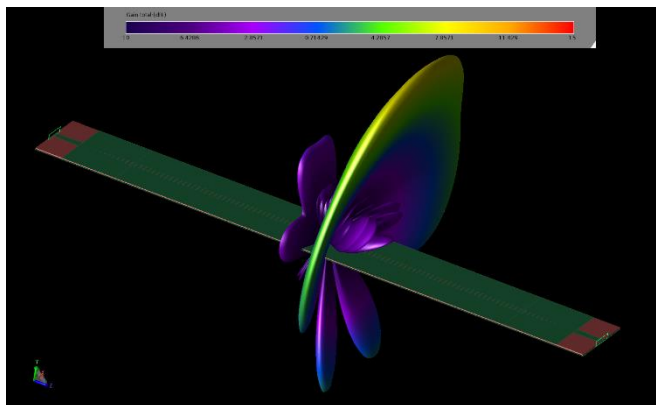


図9：10.2 GHzの3次元パターンの鳥瞰図

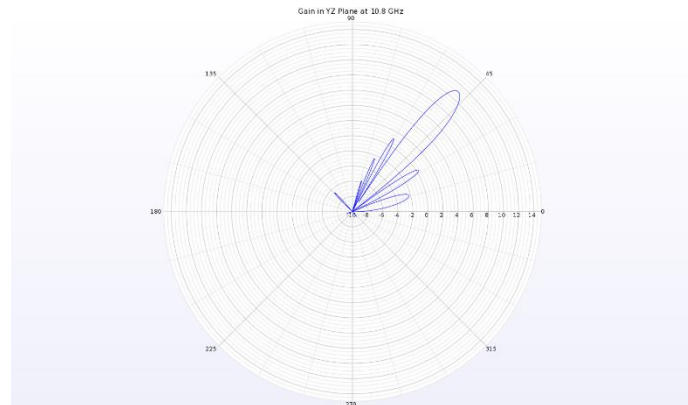


図10：YZ平面における10.8 GHzのパターンの極座標プロット。ピークゲインは $\theta = 49$ 度で11.1 dBi

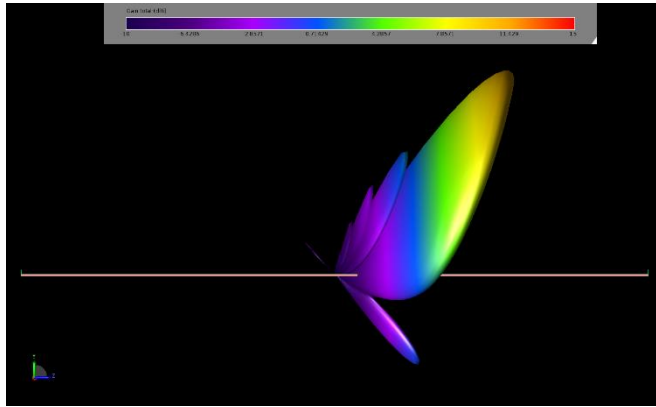


図11 : 10.8 GHz の3次元パターン

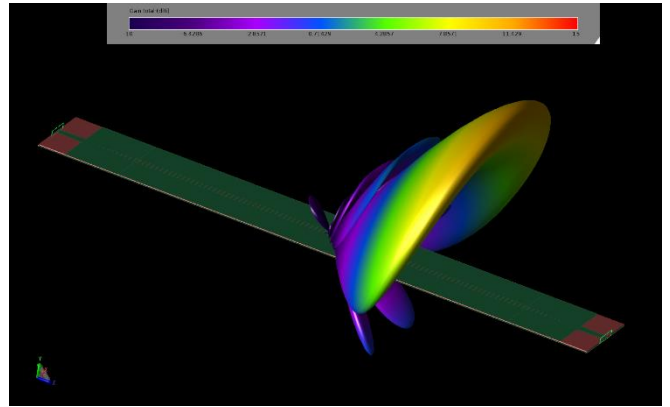


図12 : 10.8 GHzの3次元パターンの鳥瞰図

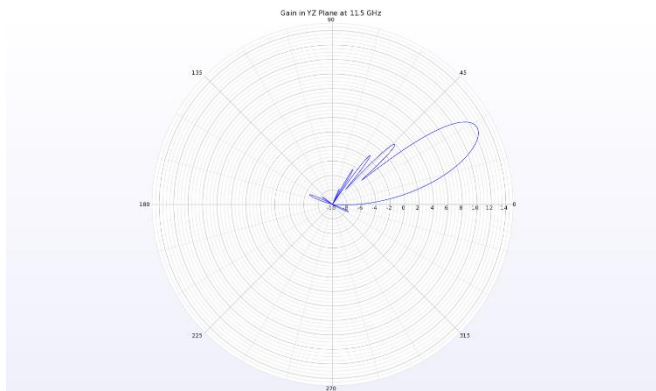


図13 : アンテナのYZ平面における11.5 GHzのパターンの極座標プロット。ピークゲインは $\theta = 28$ 度で12.7 dBiとなった。

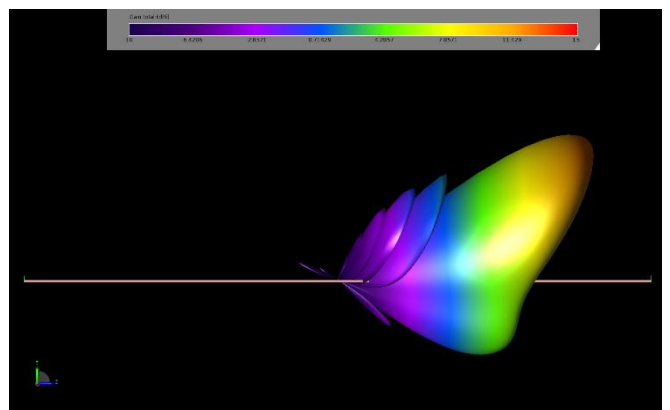


図14 : 11.5 GHzの3次元パターン

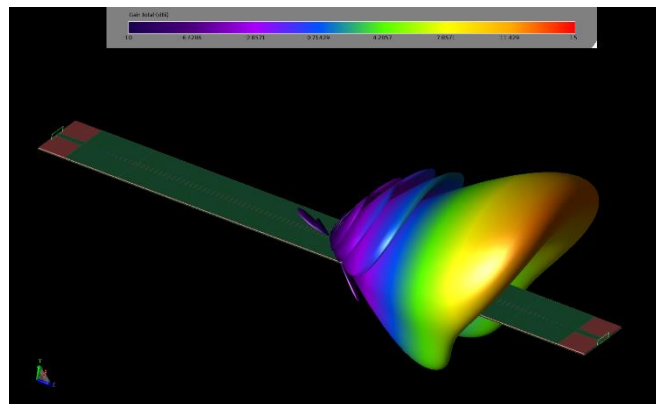


図15 : 11.5 GHzのパターンの鳥瞰図

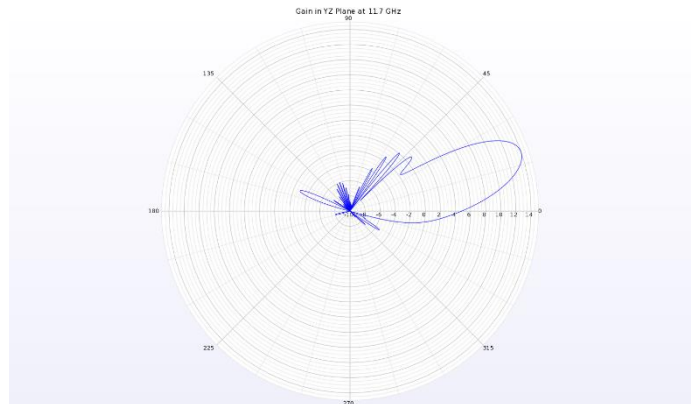


図16 : アンテナのYZ平面における11.7 GHzのパターンの極座標プロット。ピークゲインは $\theta = 19$ 度で14 dBiとなった。

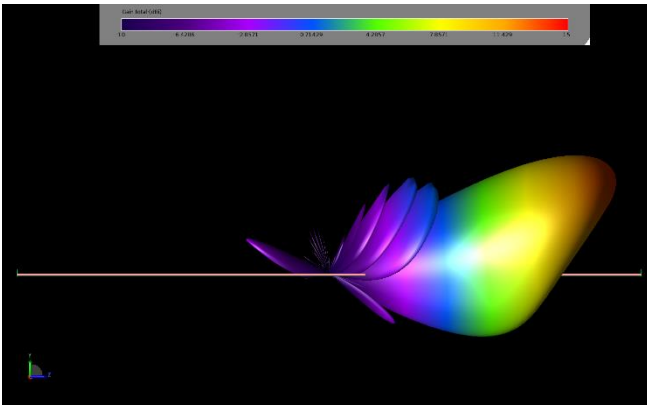


図17：11.7 GHzの3次元パターン

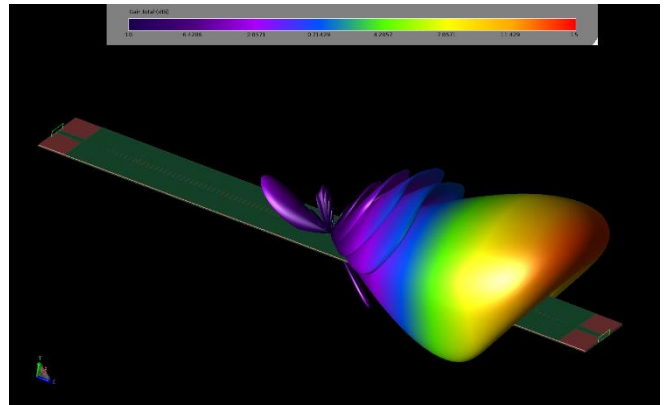


図18：11.7 GHzの3次元パターンの鳥瞰図

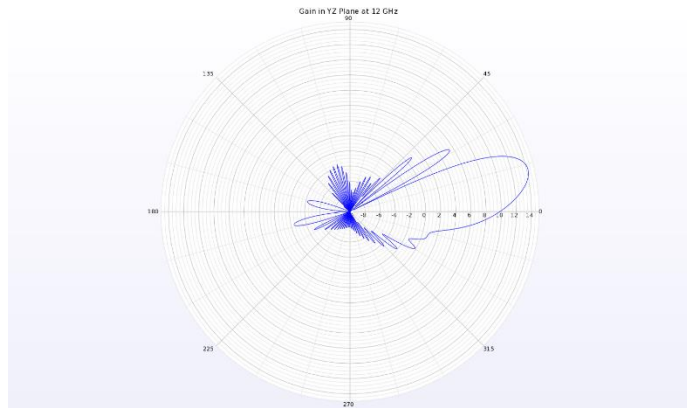


図19：アンテナのYZ平面における12 GHzのパターンの極座標プロット。ピークゲインは $\theta = 13$ 度で14.2 dBiとなった。



図20：12 GHzの3次元パターン

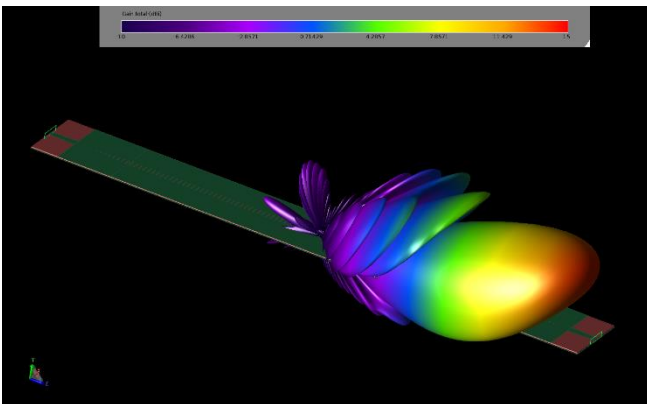


図21：12 GHzの3次元パターンの鳥瞰図

論文中での放射効率は、システムの不整合や他ポートでの電力損失を考慮していないスロット付き方形導波管の理論的アプローチを使って計算されている。この理論値に匹敵する値はXFDTDでも計算され、standaloneの放射効率と呼ばれる。この論文の理論的な放射効率を、XFDTDのstandalone放射効率とシステム効率（2つの導波管ポートでのミスマッチ損失と電力損失の両方を含む）と共に図22にプロットした。

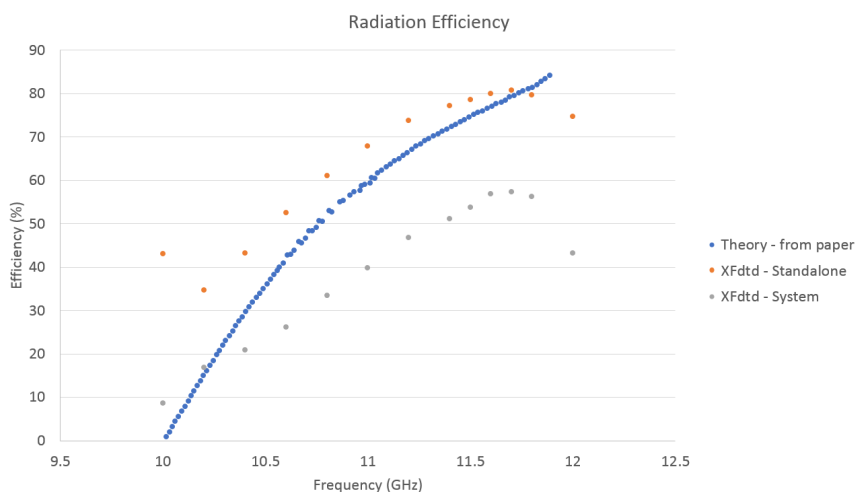


図22：アンテナの放射効率. 論文[1]の結果は、スロット付き方形導波管に対するものである。XFDTDの結果は、ミスマッチ損失と他のポートでの損失を含むシステム全体の効率となっている。また、XFDTDでは、他の損失を除外することによって論文と同様の放射効率も計算される。

[全ての事例はこちら](#)

[お問い合わせ等はこちら（製品HP）](#)

[1] J. Liu, D. R. Jackson, and Y. Long, “Substrate Integrated Waveguide (SIW) Leaky-Wave Antenna With Transverse Slots,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 1, pp. 20-29, Jan 2012.