

5Gのためのパッチアンテナアレイの ビームフォーミング解析

概要

本稿では、28GHz帯の5GのためのパッチアンテナアレイのFDTD法を用いた電磁界解析を紹介する。特に、パッチ間の位相差を変化させることでアンテナのビーム方向とその強度を分析する。

アンテナのセットアップ

解析で用いるアンテナの基板として、導体接地ボードに52.5 x 52.5mmの誘電体シート（比誘電率 2.2、誘電正接 0.0009、厚み 0.254mm）を設置した。基板上の8 x 8のグリッドに、64個の等価なパッチアンテナを設置した。使用するパッチアンテナは3.4025mmの正方形でアンテナ同士の間隔は28GHzの半波長（5.36mm）の間隔を持たせた。

アンテナのレイアウトを図1に示す。リターンロスを最適化するために各パッチアンテナの給電点を中心から0.75mmずれた位置に設置している。入力として、各パッチアンテナに位相差が可変な28GHzのsin波パルスを印加し、アンテナ全体のメインビーム方向を位相差で調整する。

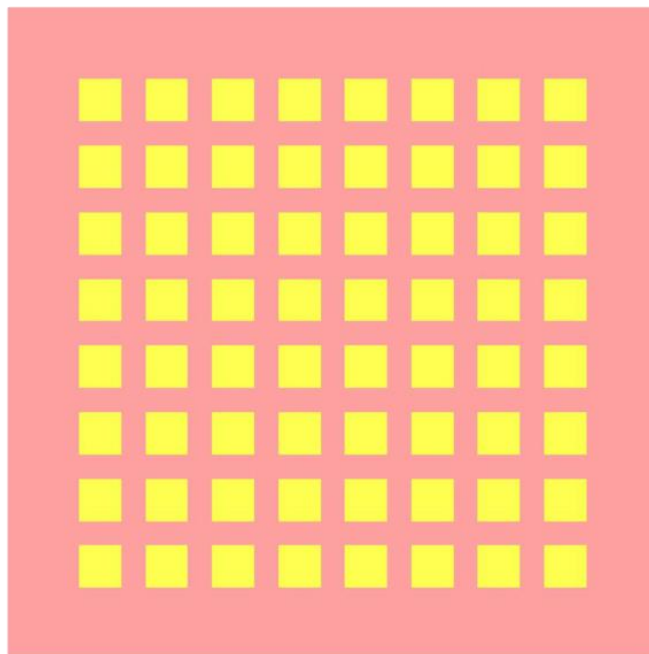


図1：上から見た8x8パッチアンテナアレイのレイアウト

パッチアレイのビームフォーミングで、各エレメントの位相差の計算式、

$$w_n = \exp \left[-j \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \sin(\theta_d) [x_n \cos(\phi_d) + y_n \sin(\phi_d)] \right]$$

はよく使用される。ここで、 θ_d 、 ϕ_d はビーム方向、 x_n と y_n は n 番目のパッチの給電点の位置、 w_n は (x_n, y_n) における位相差である。図2が示すように、今回使用した解析ソフト [XFDTD](#) において、この位相差はパラメーター（ここでは $\text{phase}31^\circ$ ）として設定した。

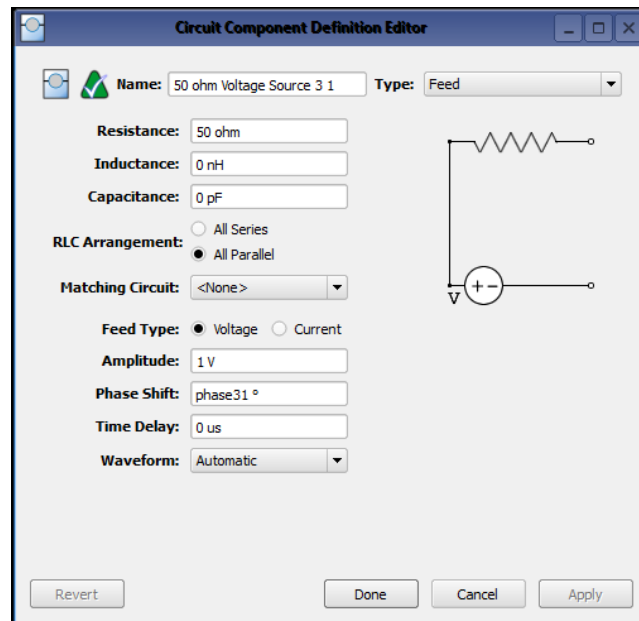


図2：給電点の定義の例。位相差（Phase Shift）はパラメーター（ $\text{phase}31^\circ$ ）として設定されている。ビーム方向を制御するためにこのパラメータを変化させる。

シミュレーション結果

異なる位相における放射パターンを調べるため電磁界解析を行った。まず、初期状態としてすべてのパッチの位相を $(0^\circ, 0^\circ)$ に揃えた。図3にパッチアンテナに垂直な面上の2次元放射パターンを示す。この時の最大利得は 23dBi で、 3dB のビーム幅は 12° であった。図4はこの場合の3次元放射パターンである。

図5に、ビーム方向が $(20^\circ, 90^\circ)$ にあるように位相差を調整した場合の結果を示す。この時の最大利得は 22.9dBi でビーム幅は 13.2° となった。

ビーム方向を $(45^\circ, 40^\circ)$ に変えると、ビーム幅は多少広がりながら最大利得は 21.7dBi となった。この状況を図6に示す。ビーム方向が水平に近づくように位相差を調整するとき、ある方向を超えると元のパッチアンテナのパターンの影響で大きなサイドローブが形成され始める。最後に、図7にビーム方向をパッチアレイに対して 10° 刻みで 0° から 50° に変更させたときの結果を示す。

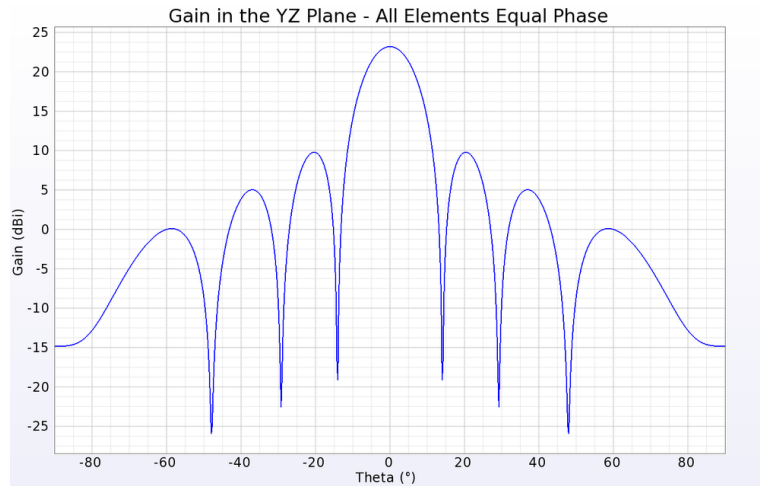


図3：各パッチの位相が揃っているとき、アレイに垂直面における放射パターンの2次元断面図。最大利得は23dBi、3dBビーム幅は12°である。

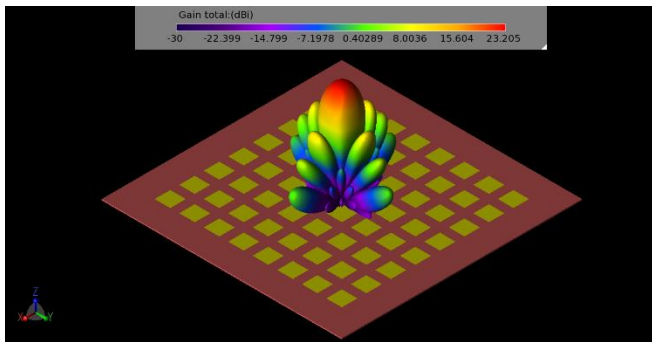


図4：パッチの位相が同じ場合の3次元放射パターン

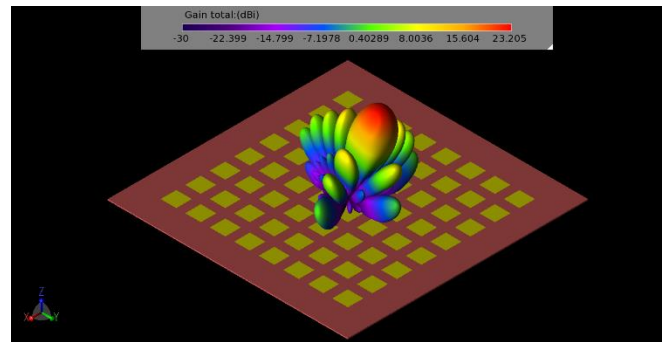


図5：ビーム方向が(20°, 90°)になるように位相差を設定した放射パターン

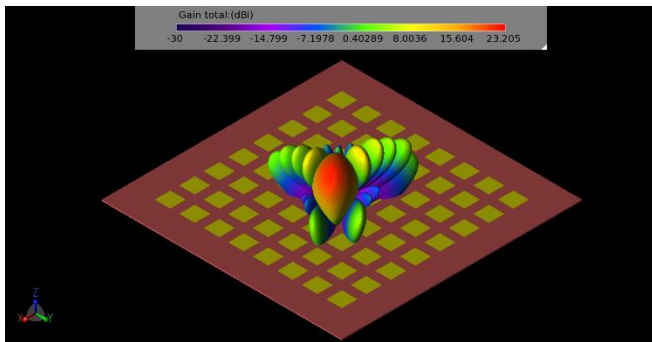


図6：ビーム方向が(40°, 45°)になるように位相差を設定した放射パターン

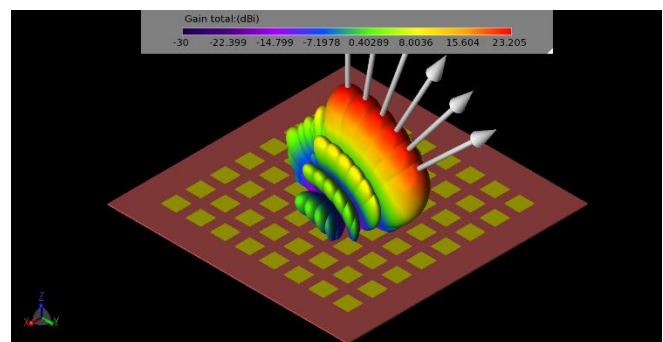


図7：ビーム方向を(0°, 90°)から(50°, 90°)まで10°刻みで変化させたときの放射パターンの変化

各給電点においてリターンロス解析を行った結果、すべての値は-30dB以下となった。放射効率はパッチ間で78%から90%以上の変動しており、アンテナの外枠に近いパッチは高い効率を示していた。

次に、部分アレイのパフォーマンスを調べるために、4x4、2x2と1x2のパッチアレイで解析を実施した。このとき、すべてのシミュレーションでは同じ位相を使用した。図8と9はそれぞれ4x4と2x2の部分アレイの放射パターンである。1x2部分アレイは中心に近い場合とエッジに近い場合の二つの異なる位置で解析をしたが、結果は同様であった。図10には、1x2部分アレイの典型的な放射パターンを示す。

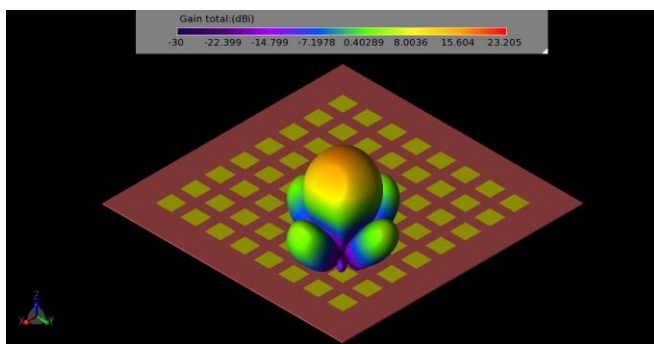


図8：4x4の部分アレイの放射パターン

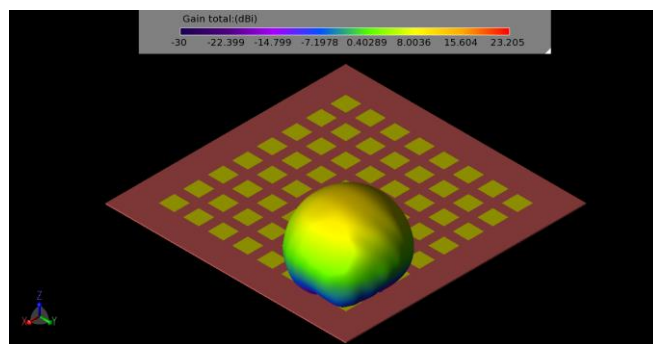


図9：2x2の部分アレイの放射パターン

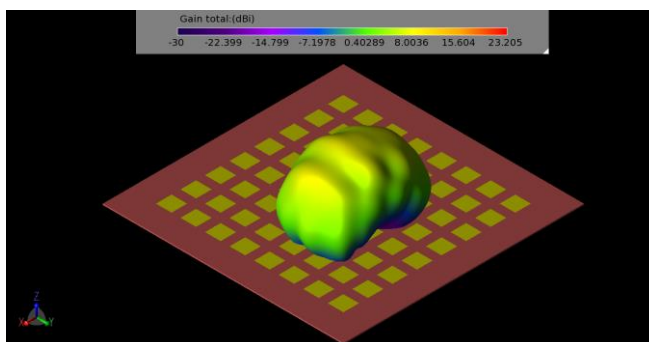


図10：中心に近い1x2の部分アレイの放射パターン

パッチアレイのパフォーマンスを、すべての可能なフェージングの組み合わせでシミュレーションするのは効率的ではない。ここでXFDTDのparameter sweep機能を用いて、各パッチの位相をパラメータとして変えたときのビーム方向と利得の関係を調べた。

最後に、累積分布関数（cumulative distribution function - CDF）を実効輻射電力（effective isotropic radiated power - EIRP）の関数として表した。EIRPはアンテナがある方向に放射できる電力の尺度を与える。この関係を用いればアンテナの放射パターンの0dBi以上の強度を持つ部分の表面積を計算することができる。

一般的なモバイルデバイスでの入力電力は23dBmWである。この値を用いて8x8アレイのCDF（図11）を調べると、23dBmWの面積は0.225となった。すなわち、残りの0.775（77.5%）の領域は正の利得（0dBi以上）として使用可能となる。4x4、2x2及び1x2アレイの場合の面積はそれぞれ64.3%（図12）、50%（図13）と40.2%（図14）となった。

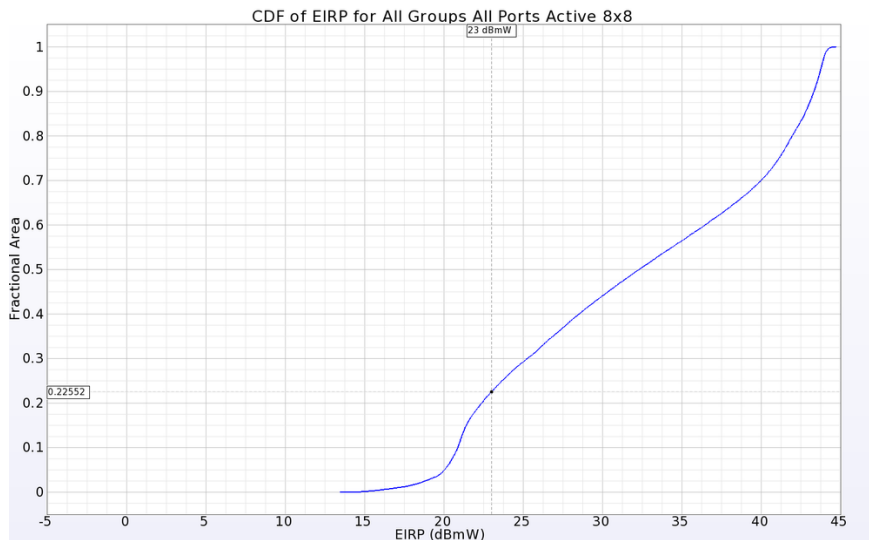


図11：8x8アレイにおけるEIRPのCDF。23dBmWの入力電力に対して放射パターンの77.5%が正の利得となることを示している。

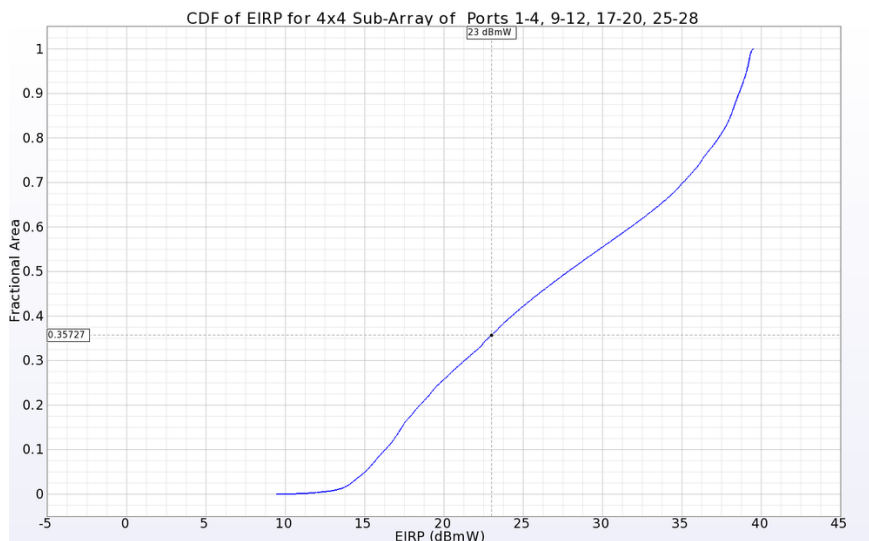


図12：4x4アレイにおけるEIRPのCDF。23dbmWの入力電力に対して放射パターンの64.3%は正の利得となる。

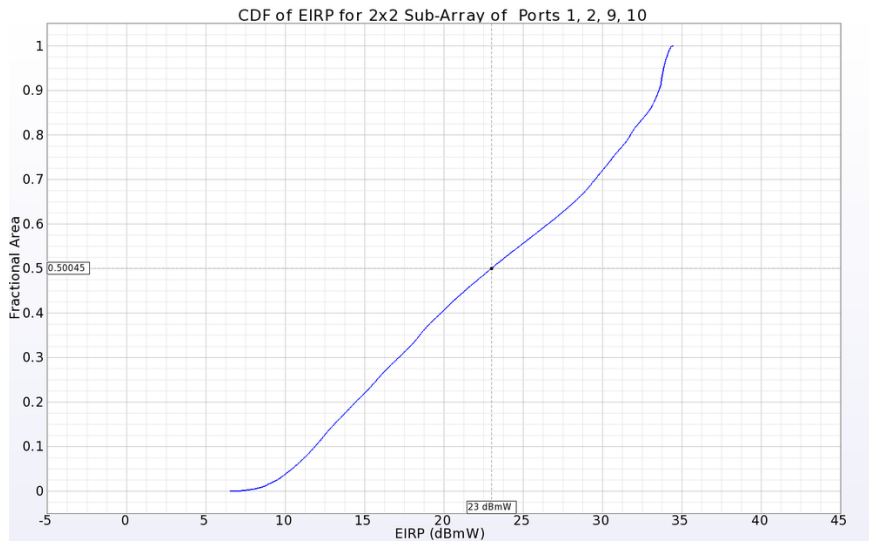


図13：2x2アレイにおけるEIRPのCDF。23dbmWの入力電力に対して放射パターンの50%が正の利得となることを示している。

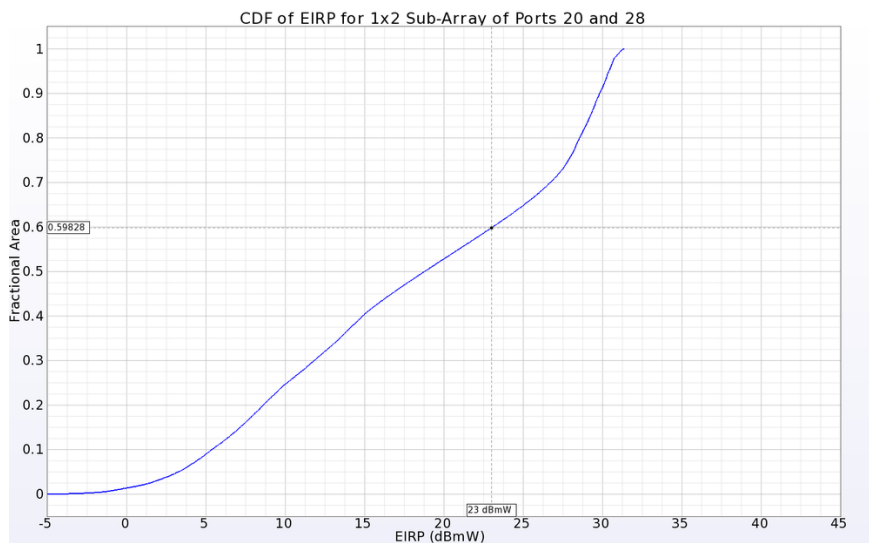


図14：1x2アレイにおけるEIRPのCDF。23dbmWの入力電力に対して放射パターンの40.2%が正の利得となることを示している。

[全ての事例はこちら](#)
[お問合せ等はこちら（製品HP）](#)