

次世代6G無線通信向け140GHzアンテナアレイの 電磁界解析

概要

この例では、6Gアプリケーションなど、140GHzの無線通信を目的としたアンテナアレイの性能を示しています。ベースとなる素子は、低温同時焼成セラミック（LTCC）製のTE340モードSIC（基板内キャビティ）励振2×2スロットアンテナサブアレイで構成されています。そのベースエレメントを組み合わせることで8x8アレイを構成し、130～145GHzの広い帯域幅、20.5dBiのピーク利得、周波数範囲での安定した放射パターン、約60%の効率、小型化、構造の簡素化を実現しています。シミュレーションはXFDTDで行われており、[1]で紹介されているオリジナルの設計に基づいています。

モデルとシミュレーション

このアンテナアレイは、2種類のH型分配器基板を用いた一体型パワーデバイダで接続された8×8素子で構成されています。ベース素子単体（図1）は、4層の金属層が、誘電率5.9、誘電正接0.002のFerro A6MのLTCC基板層で隔てられています。3層ある基板層のトップには2部屋のTE 210モード基板内キャビティ（SIC）があり、図1と図2の基板層内に見える金属層を繋ぐビア群で定義されています。図2には、4つのスロットアンテナを持つ第2金属層も示されています。図3の第3金属層は、図2の4つのスロットに給電するためのSICを構成するビア群と、キャビティの中心にある2本のマッチングポストが示されています。第3金属層の中央には、最下層の給電層からのスロットがあります。最下層は、図4に示すように、給電のためのビア群が基板内導波路（SIW）を構成しています。また、SIW開口部にはXFDTDの導波管ポート（緑色の枠）と、SIW内の一本のマッチングポストも見えています。

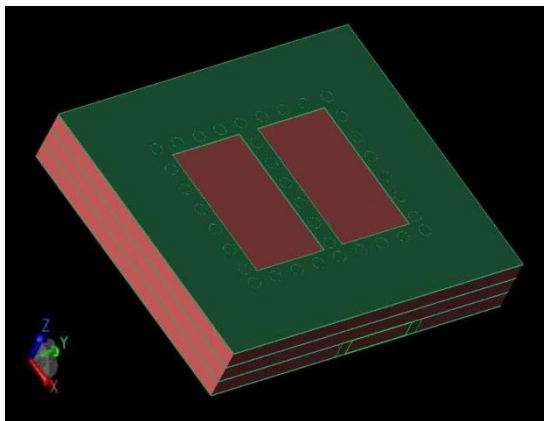


図1：ベース素子の3次元全体図
 第1金属層が見えていて、金属層は緑、LTCC層は赤で示されている

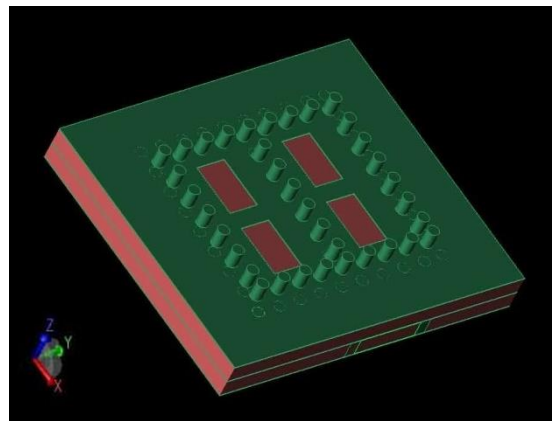


図2：素子の最上層キャビティ（第2金属層）
 第2金属層に空いた4つのスロットアンテナがTE210モードの2部屋の基板内キャビティを励起している

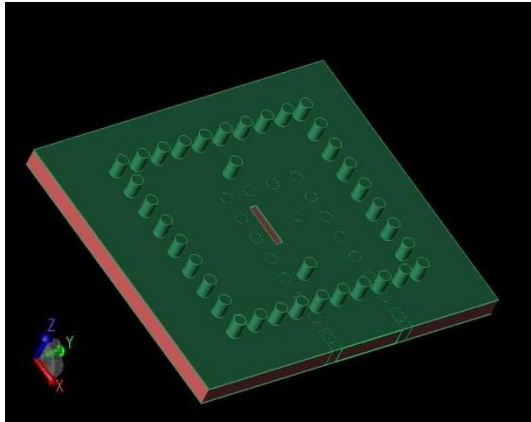


図3：第3金属層上のTE340モードSIC
中央に給電スロット、その上下に2本のマッチングポストが配置されている

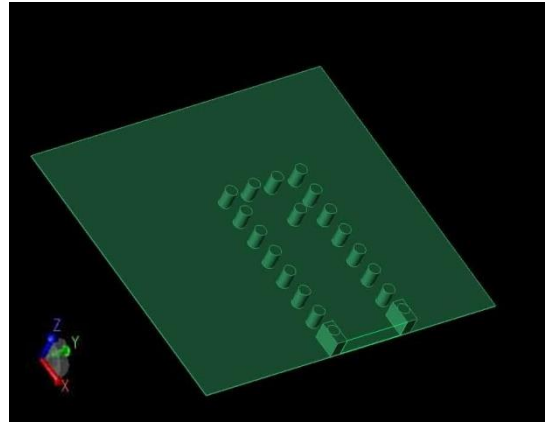


図4：最下金属層の給電SIW
最下層は、SIW（基板内導波路）と、第3金属層に空いた給電スロットの下にあるマッチングポスト、XFDTDの導波管ポート（緑枠）で構成される



図5：ベース素子の2X2スロットアンテナのリターンロス
2X2アンテナ素子のリターンロスは、約132GHzから146GHzにかけて-10dB以下の良好な性能を示している

シミュレーションの結果、図5に示したベース素子のリターンロスは、131.63GHzから146.45GHzまでの-10dB帯域幅を示しています。図6は、素子上部の利得を周波数に対してプロットしたもので、アンテナの帯域幅にわたって9~11.5dBiの値を示しています。図7は、131GHzでの2つの主平面における利得パターンを示したもので、広いビーム幅を持っています。同様の利得パターンの結果が、図8の135GHz、図9の140GHz、図10の147GHzにも示されています。これらのプロットは、広い周波数範囲での利得パターンの安定性を示しています。

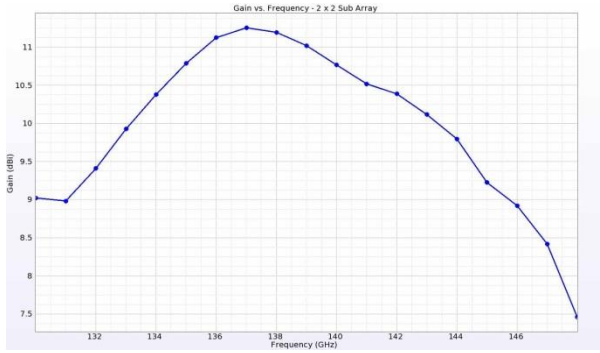


図6：アンテナ直上の観測点における利得対周波数
周波数左端部の9dBから周波数帯中央の11.5dBのピークまでの利得を示している

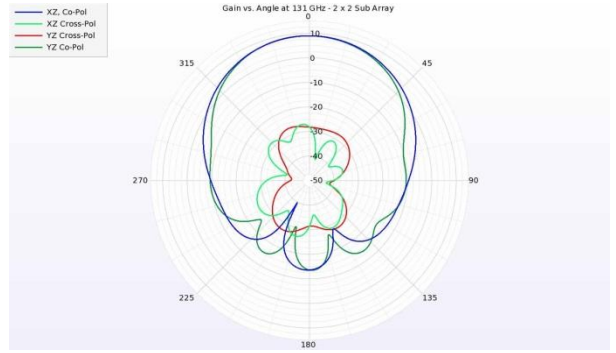


図7：131GHzにおける2つの主平面での利得パターン
131GHzにおいて、このアンテナ素子は2つの主平面で同様の直交偏波利得を得ている。交差偏波の放射は大幅に減少している

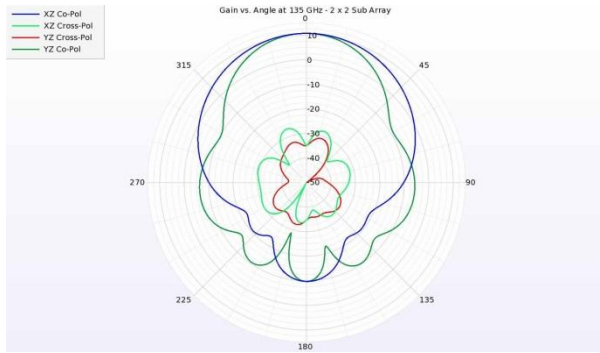


図8：135GHzにおける主平面での利得パターン
XZ平面に比べてYZ平面でわずかに狭くなるものの、同様の性能を示している

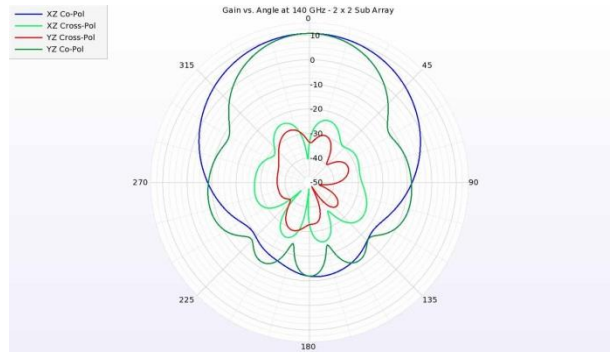


図9：140GHzにおける主平面での利得パターン
140GHzでは、2つの主平面で同様の性能を示しているが、XZ平面でビーム幅がわずかに広がっている

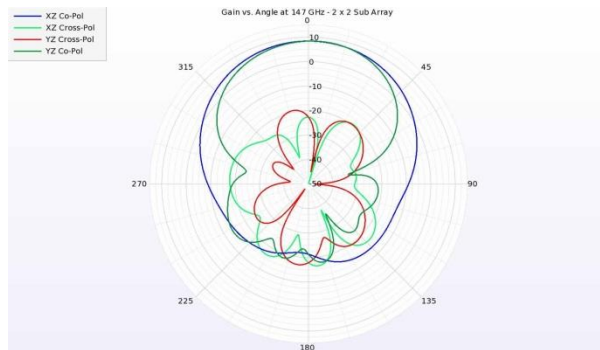


図10：147GHzにおける主平面での利得パターン
147GHzでは、利得パターンは依然として他の周波数と同様の利得を示しているが、YZ平面の利得はXZ平面ほど広がらず、交差偏波の利得はより高いレベルまで伸びている

アレイ構成にするために、1次側と2次側の2つのH型分配器を設計します。H型分配器は、中央に入力ポートと、H型に分配された4つの出力ポートを備えています。1次側分配器の出力ポートにはそれぞれ2次側分配器が接続され、2次側分配器の出力ポートにはアンテナ素子が接続されます。1次側のH型分配器を図11に示します。入出力それぞれに導波管ポートを設けてシミュレーションを行ったところ、図12に示すように、120～150GHzの周波数範囲でリターンロスが-10dB以下になることが分かりました。図13に示す2次側分配器の4つの出力ポートはそれぞれ図1に示すベース素子（アンテナ素子）に取り付けられます。図14に示すように、2次側H分配器のリターンロスも、120～150GHzの全周波数範囲で-10dB以下となっています。

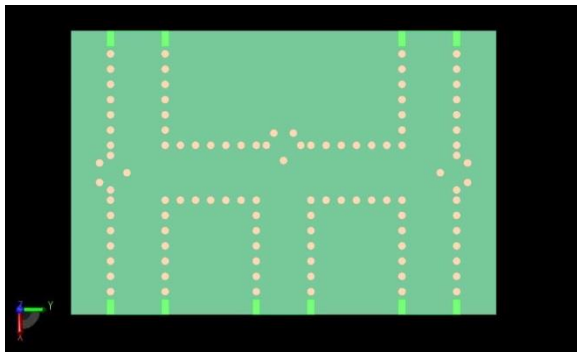


図11：1次側H分配器モデル
中央の入力ポートから、2次側分配器に接続する4つの出力ポートを備える

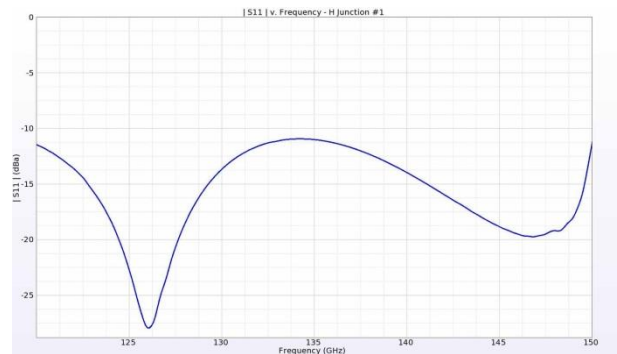


図12：1次側H分配器のリターンロスは、対象となる全周波数範囲で良好な性能を示している。

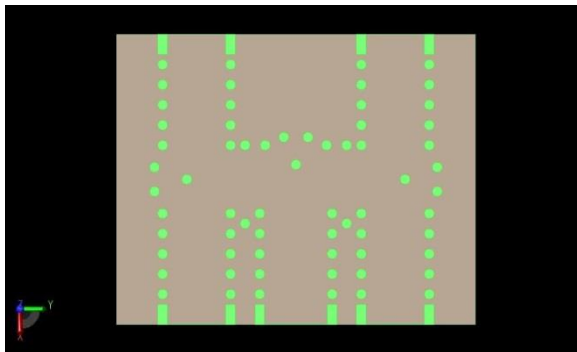


図13：2次側H分配器モデル
1次側H分配器からの入力信号を分割して4つのアンテナ素子に分配する

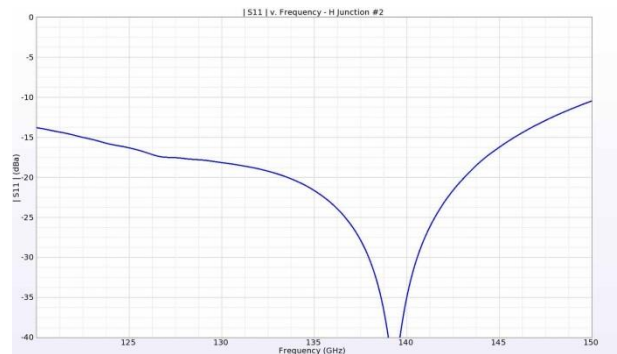


図14：2次側H分配器のリターンロスも、1次側H分配器と同様に、対象となる全周波数範囲で良好な性能を示している。

最終的な8x8アレイは、図15に示すように、4つの2次側H分配器を1次側H分配器の出力ポートに接続して組み立てられます。各2次側H分配器の4つの出力ポートには、それぞれアンテナ素子が接続されます。最終的な構造は、25×10×0.616 mmの大きめのグラウンドプレーン上に配置し、図16に示すように、アレイをグラウンドプレーン-x端に配置し、1次側H分配器の入力ポートから延長されるSIWライン端にXFDTD導波管ポートを接続します。結果として得られた構造を図16に、アレイ部分の拡大上面図を図17に示します。

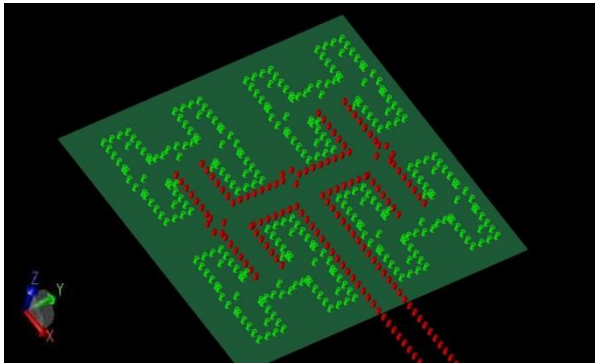


図15：1次側2次側分配器の全層を示している
入力信号は赤いビアのSIWラインで下（+x側）から来て、1次側H分配器に供給され、4つの2次側H分配器は、薄緑色のビアで表示されている
2次側H分配器の出力ポートは、それぞれアンテナ素子に接続される

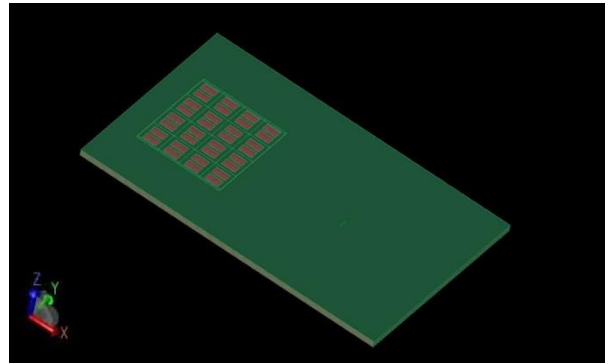


図16：アレイデバイス全体図
25x10mmの積層基板の上部に8x8の素子が見える

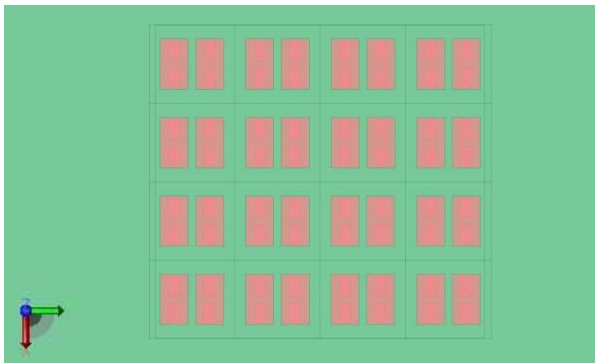


図17：8x8アレイ構成部分の拡大図



図18：アレイデバイス全体でのリターンロス
130GHzから146GHzにかけてほとんどが-10dB以下である

図18のプロットに示されているように、グラウンドを含むアレイデバイス全体のリターンロス
 は、130GHzから146GHzの帯域幅で約-10dBとなっています。アレイ直上部の利得は、帯域端の
 130GHzと146GHzで約19.5dBiから、140GHzでのピーク約21dBiまで変化することが分かりました。
 主平面での利得パターンは、0度にピークがあり、ピークから少なくとも10dB下にサイドロー
 プがあることが分かりました。131GHz、135GHz、140GHz、144GHzの利得パターンのプロット
 を、それぞれ図20、図21、図22、図23に示します。同じ周波数での利得パターンの三次元図
 を図24、図25、図26、図27に示しますが、パターン形状と利得レベルはかなり似ており、周波
 数によるアレイ性能の変化はほとんど見られません。図28は、アレイの効率をプロットした
 もので、全周波数範囲で60%前後の値を示しています。

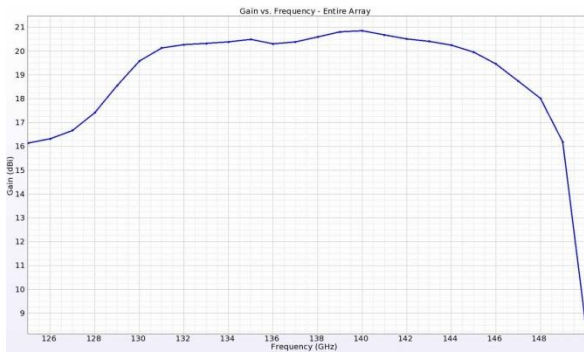


図19：アレイ直上観測点における利得対周波数
 帯域端の19.5 dBiから21 dBiのピークまで滑らかに変化
 している

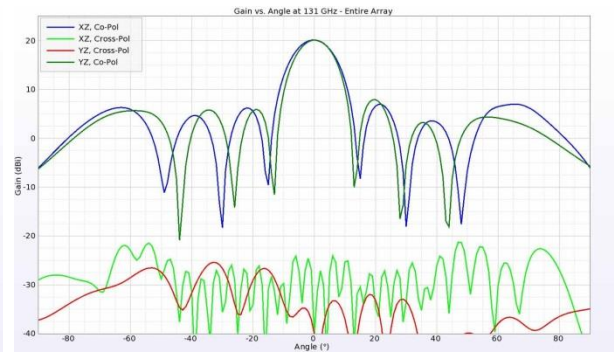


図20：131GHzにおける主平面の利得パターン
 ピークから10dB以下のサイドローブを持ち、交差偏波
 のゲインが低いという類似した形状を示している

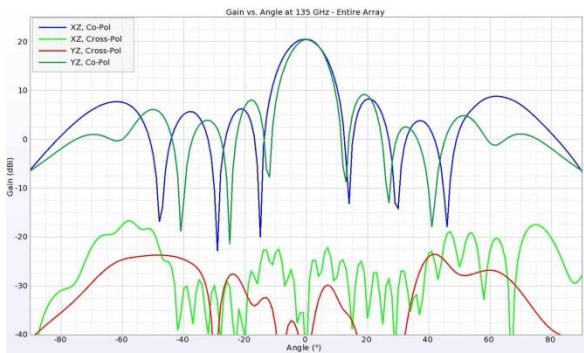


図21：135GHzにおける利得パターン
 131GHzの場合と同様の動作を示している

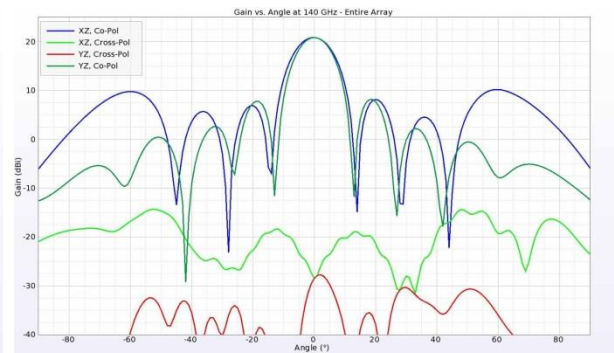


図22：140GHzにおける利得パターン
 サイドローブがわずかに大きくなっているが、ピークか
 ら少なくとも10dBダウンしていることに変わりはない

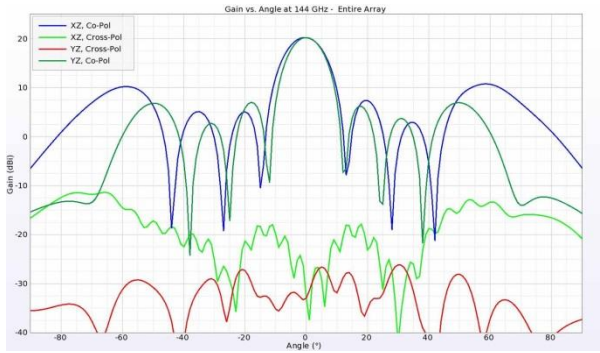


図23：144GHzにおける利得パターン
周波数範囲の上限である144 GHzでは、利得パターンは他の周波数でのパターンと非常によく似ている

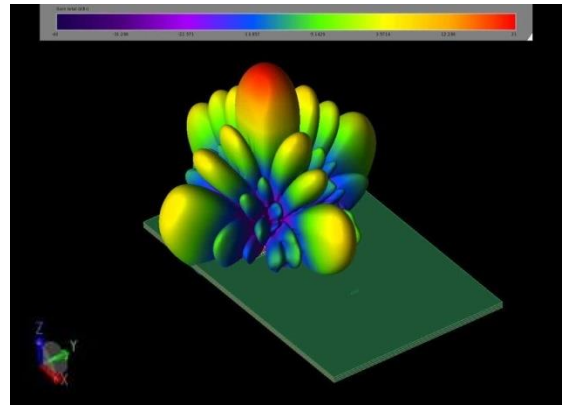


図24：131GHzにおける3次元利得パターン
各周波数での利得パターンはかなり似ている

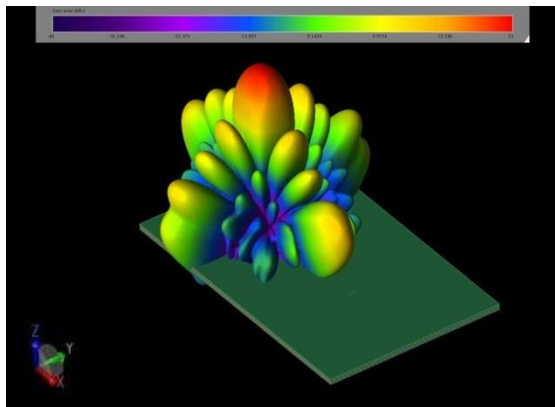


図25. 135GHzにおける3次元利得パターン
各周波数でのゲインパターンはかなり似ている

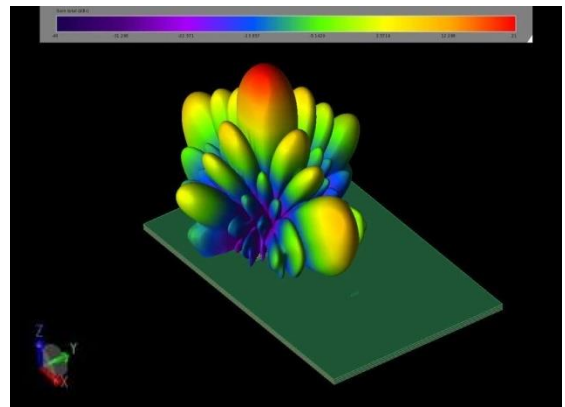


図26. 140GHz における3次元利得パターン
各周波数でのゲインパターンはかなり似ている

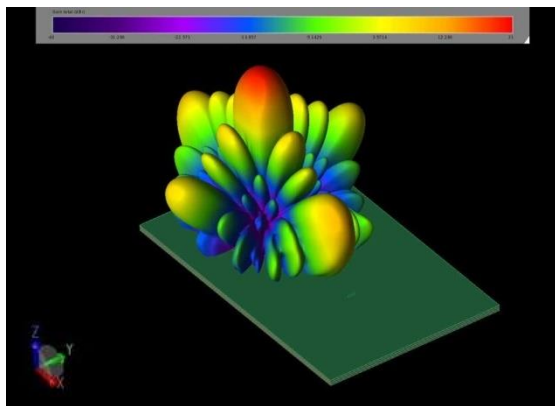


図 27：144GHz における3次元利得パターン
各周波数でのゲインパターンはかなり似ている



図28. アレイデバイスの効率
このアンテナアレイの効率は、対象となる全周波数範囲で約60%

結論

この例では、複数層のSIC（基板内キャビティ）を用いて構成した8×8アンテナアレイの140GHzにおける性能を示しています。このアンテナアレイは、広い周波数範囲で利得パターンの形状とレベルにほとんど変化がありません。このアンテナアレイは、将来の6Gアプリケーションにおける無線通信に役立つ可能性があります。

[1]

J. Xiao, X. Li, Z. Qi and H. Zhu, "140-GHz TE₃₄₀ -Mode Substrate Integrated Cavities-Fed Slot Antenna Array in LTCC," in IEEE Access, vol. 7, pp. 26307-26313, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2900989.

[全ての事例はこちら](#)
[お問合せ等はこちら（製品HP）](#)