

開口結合型ビームフォーミングアンテナアレー

先端総合技術研究所 Shailendra Kaushal¹・山口 佑一郎¹・小林 聖²・官 寧³

An Aperture Coupled Beamforming Antenna Array

S. Kaushal, Y. Yamaguchi, K. Kobayashi, and N. Guan

V-band帯域のスロット結合型のマイクロストリップパッチアンテナを開発した。本アンテナは2層基板のボトム面に給電線部があり、中間のスロット部を通じて、トップ面のパッチアンテナ部へ給電される仕組みとなっている。本アンテナは59～63 GHzで反射が-10 dB以下の整合が取れており、最大利得も単体で14-15 dBi, 16アレイで24 dBi以上の高利得を実現している。ビームフォーミングは水平方向に $\pm 45^\circ$ の範囲を想定し、動作周波数はIEEE 802.11.adのチャンネル2, 3をカバーしている。

An aperture coupled micro-strip patch antenna for V-band is designed in this paper. It consists of two substrates with slot cut ground in between the two substrates with patch at the top and feed line at the bottom of other substrate. Power is coupled from the feed line through the slotted ground to the patch. This antenna gives good matched results for 59 to 63 GHz with reflection below -10 dB and gain of maximum 14-15 dBi for a single antenna and more than 24 dBi for 16 elements beamforming array. The beamforming of $\pm 45^\circ$ is shown for channels 2 and 3 of IEEE 802.11.ad.

1. ま え が き

スロット結合型アンテナは一般的にマイクロストリップアンテナに比べ、低背でかつ広い帯域幅、良好な単一偏波特性を持つ。さらに、携帯電話、GPSナビゲーションシステム、レーダシステム、Wi-FiやWiGigなどのアプリケーションに対し、低コストで実現することができる。近年の機器では、大容量通信に必要な高い利得と広い帯域幅のアンテナが求められており、低損失で高利得な基板を用いた大規模なアレイアンテナに関する研究開発が盛んにおこなわれている^{1), 2), 3), 4)}。さらに、多層基板を使ったスロット結合アンテナによる利得と帯域幅の性能向上が示されている^{1), 2)}。また、アンテナ上部へ積層方法で実現した例や³⁾、スタック構造で実現した例もある⁴⁾。本論文では、多層基板を用いたサブアレイを持つアレイアンテナ構造で、高利得で広い帯域幅を実現したアンテナ構造について述べる。

2. アンテナデザインとシミュレーション結果

アンテナは図1のように、2層の誘電体層と3層の導体層で形成されており、導体層はパッチ層、GND層、給

電層に分かれている。誘電体層はパッチ層下部のアンテナ層と給電層上部の回路層となる。アンテナ基板は200 μm のLCP ($\epsilon_r = 2.9, \tan\delta = 0.005$)、回路層基材には低ロスと細い線幅を実現するため、130 μm のPTFE ($\epsilon_r = 2.2, \tan\delta = 0.0009$)を選択した。

パッチ構造の詳細を図2に示す。正方形のパッチ(1.28 mm \times 1.28 mm)とパッド(1.5 mm \times 1.5 mm)を幅0.13 mmの線で接続している。この形状のアンテナを

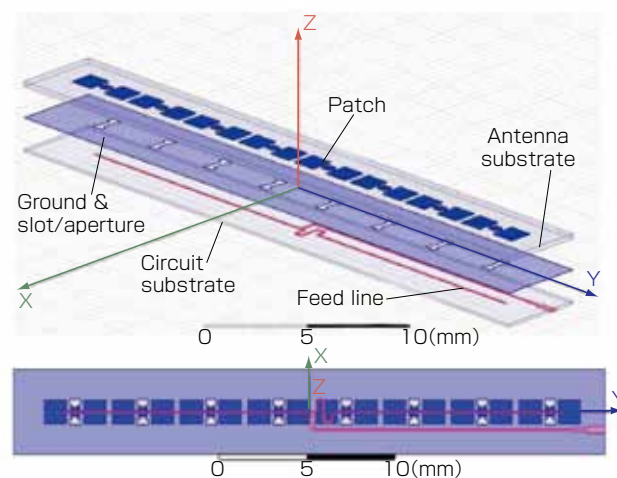


図1 アンテナ構造

Fig. 1. Antenna design isometric view and top view (HFSS model).

1 応用電磁気研究部
2 広帯域無線システム研究部長
3 応用電磁気研究部フェロー・部長

略語・専門用語リスト		
略語・専門用語	正式表記	説明
GPS	Global Positioning System	アメリカ合衆国によって運用されている衛星測位システム。
Wi-Fi		無線LANに関する登録商標である。Wi-Fi Allianceによって、国際規格であるIEEE 802.11規格を使用したデバイス間の相互接続が認められたことを示す名称。
WiGig		60 GHzの電波帯を使用する、最大7 Gbpsの高速デジタル無線伝送規格を表す名称。Wi-Fi Allianceの登録商標である。
LCP	Liquid Crystal Polymer	液晶ポリマー。熱可塑性樹脂に属する合成樹脂の総称。
PTFE	Polytetrafluoroethylene	テトラフルオロエチレンの重合体で、フッ素原子と炭素原子のみからなるフッ素樹脂。
HFSS	High Frequency Electromagnetic Field Simulation	有限要素法を用いた、ANSYS製3次元電磁界解析ソフトウェア。

用いることで、正方形／長方形の組合せからなるパッチと比較し、良好な特性を得ることができる。これは1次元のビームフォーミングアンテナとして、サイズに制約がある場合に非常に有効な手段となる。図2には、パッチ

チ以外の寸法を示しており、 $L=34, W=4.5, P=3.9, L1=14.4, Wd=0.1, W50=0.38$ 、外側の開口は 1.35×0.6 、内側の開口部は 0.75×0.3 となる（単位は全てmm）。また、電力は小さなパッドを通して各パッチ部へ給電され、全体のサイズは、 $34 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm} \times 0.487 \text{ mm}$ となる。

図2に示すように、GND層のスロットは圧縮された長方形であり、給電線は1Dアレイの中央に配置され、中央に配置されたアンテナに最大の電力が供給される。また、両端のパッチでは、サイドローブを抑制するため給電される電力を減少させ、さらに、折り返し線部で位相を調整することで、両側のパッチでは同位相となる。

アンテナのシミュレーション結果を図3に示す。S11は59-63 GHzで実測とシミュレーション値がよく一致しており、最小利得は帯域内で12 dBi、放射効率率は約80%となる。

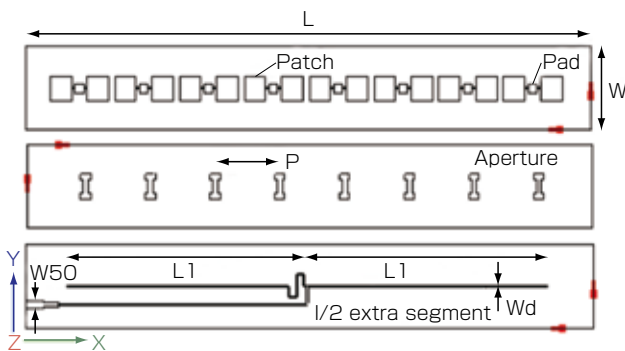


図2 アンテナの各層の構造

Fig. 2. Design of patch, ground aperture, and feed line.

3. フェーズドアレイデザインと結果

図4に示すようなフェーズドアレイパターンは、16本のアンテナを $\lambda/2$ （今回は2.5 mm）の間隔で平行に配置した。その場合、アンテナの全体サイズは $40 \text{ mm} \times 34 \text{ mm}$ で、すべての放射素子は平行に給電されている。2つの隣接するアンテナ間で位相シフトが与えられていな

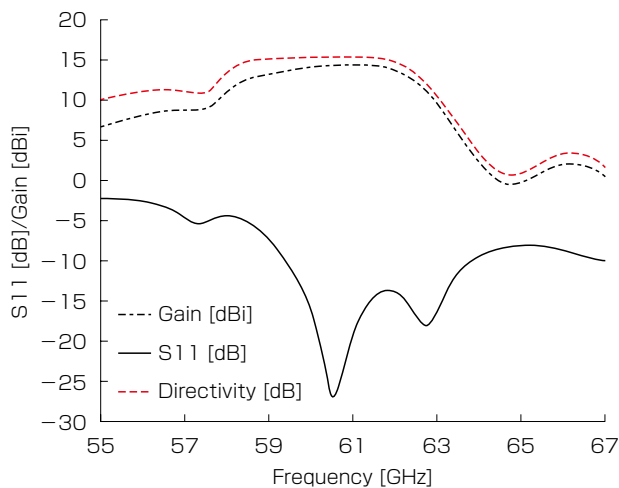


図3 アンテナの利得と入力特性

Fig. 3. Gain and input characteristics for antenna.



図4 フェーズドアレイアンテナの形状

Fig. 4. Phased array antenna pattern.

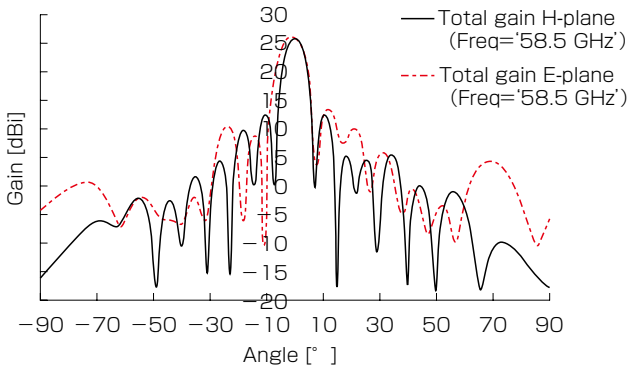


図5 58.5GHzにおける16素子フェーズドアレイアンテナの放射パターン
Fig. 5. Gain for 16 elements phased array at 58.5 GHz.

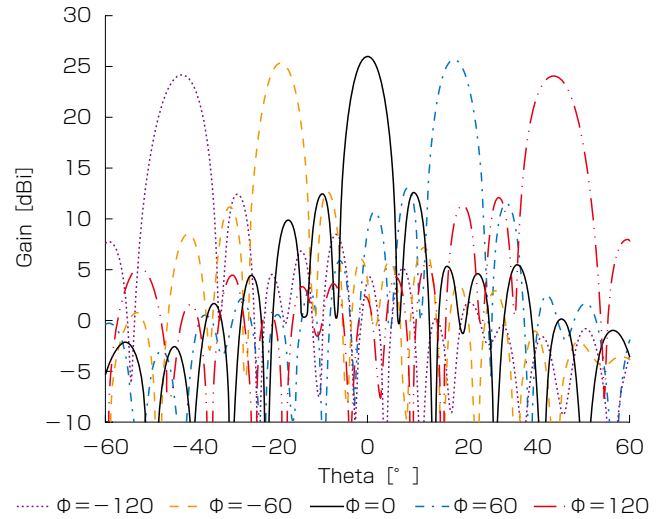


図7 58.5GHzでのビームフォーミング
Fig. 7. Beamforming at 58.5 GHz.

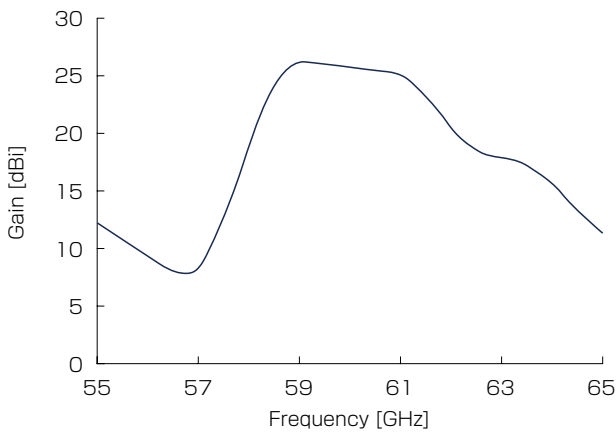


図6 位相シフトを与えない場合の利得の周波数特性
Fig. 6. Frequency-gain plot for no progressive phase shift.

いとき (0°) は、正面方向への放射となる。図 5 に、各入力ポートに同位相で給電された場合の 58.5 GHz における H 面および E 面放射パターンを示す。位相シフトが 0° の場合のピーク利得の周波数特性を図 6 に示す。本アレーアンテナは全てのポートを個別に給電しており、全てのポートに対する反射特性は図 3 で示したものとほぼ同一となる。また、各ポートの位相シフト ϕ を調整した場合、58.5 GHz での θ 方向のビームフォーミングパターンを図 7 に示す。隣接するアンテナ間で位相シフト ϕ が与えられていない場合、正面方向に利得 26 dBi のメインビームが得られ、位相シフト ϕ が $\pm 120^\circ$ の場合メインビームは利得 24 dBi で $\pm 47^\circ$ シフトし、 $\pm 60^\circ$ の場合は利得 25 dBi で $\pm 21^\circ$ の方向のビームとなる。

4. むすび

本アンテナデザインにより、ミリ波の周波数帯域で動作する非常に良好なビームフォーミング効果が得られた。58-63 GHz の帯域で $\pm 45^\circ$ 方向にビームフォーミングした場合でも、正面方向に比した利得減少を 2 dB に抑えることができた。

参考文献

- 1) F. Rostan, E. Heidrich, W. Wlesbeck, "Design of aperture-coupled patch antenna array with multiple dielectric layers," 23rd European Microwave conference, pp.917-919, Sept. 1993.
- 2) T. Seki, N. Honma, K. Nishikawa, and K. Tsunekawa, "Millimeter-wave high efficiency multilayer parasitic microstrip antenna array on teflon substrate," IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol.53, No.6, pp.2101-2106, 2015.
- 3) H. Vettikalladi, L. Le Coq, O. Lafond, and M. Himdi, "High efficient slot-coupled superstrate antenna for 60GHz WLAN application," Proc. of the fourth European conf. on Antenna and propagation (EuCAP), pp.12-16, April 2010.
- 4) F. Croq and D. M. Pozar, "Millimeter wave design of wide band aperture stacked microstrip antennas," IEEE Transaction on Antenna and Propagation, Vol.39, No.12, pp.1770-1776, 1991.