

液晶ポリマー基板を用いたミリ波用コムラインアレーアンテナ

光電子技術研究所 細野 亮平¹・上道 雄介¹・官 寧²
プリント回路事業部 中谷 祐介³

A Millimeter-Wave Comb-Line Antenna on Liquid-Crystal-Polymer Substrate

R. Hosono, Y. Uemichi, N. Guan, and Y. Nakatani

近年、高速大容量無線通信への期待が高まっており、従来のマイクロ波帯（～30 GHz）使用の限界もあり、次期無線通信周波数帯としてミリ波帯（30～300 GHz）が注目を集めている。ミリ波帯で使用するアンテナには高利得、低損失、広帯域動作が必要である。また、アプリケーションを考慮すると低コストな構成も重要である。本稿では低損失で高周波用途に適した液晶ポリマー（LCP）基板を用いて60 GHz帯で動作するマイクロストリップコムラインアレーアンテナの開発を行ったので報告する。本アンテナはFPCの製造技術であるロールツーロールプロセスで製作が可能であり、大幅な低コスト化が期待される。

In recent years, there is a strong demand for high speed and large capacity wireless network. To realize the demand, wider frequency bandwidth is needed but it is limited in microwave region (～30 GHz). Millimeter-wave frequency band (30～300 GHz) is now focused on as one of candidates for constructing the high speed and large capacity wireless network. Millimeter-wave antennas are required to operate with low loss, high gain and broadband operation. They are also required to be low cost from a practical viewpoint. In this paper, a microstrip comb-line antenna operating at 60 GHz band is developed. The antenna is fabricated on Liquid Crystal Polymer (LCP) substrate which is suitable for high frequency operation due to its low dielectric loss. This antenna can be fabricated by a roll-to-roll process which is popularly applied in FPC mass production so that it can be made with very low cost.

1. ま え が き

近年、スマートフォンやタブレット等の端末間での大容量映像伝送など従来に無い高速大容量無線通信の実現への期待が高まっている。従来のマイクロ波帯（3～30 GHz）では帯域確保に限界があるため、ミリ波帯（30～300 GHz）が有力な候補となっている。とりわけ、60 GHz帯は9 GHzにもわたる広帯域な免許不要帯域があるため、この帯域を利用した無線通信が期待されている。60 GHz帯で動作するアンテナには高利得、低損失、広帯域動作が必要である。また、端末に内蔵するアプリケーションを考慮すると低コスト化も必須となる。本稿では低誘電率な基板材料である液晶ポリマー（LCP）基板を用いて60 GHz帯で動作するマイクロストリップコムラインアレーアンテナの開発を行ったので報告する。

2. コムラインアンテナの構造

図1にアンテナの構造を示す。アンテナはマイクロストリップ線路の両側にパッチ型アンテナをくし型に配置す

ることにより構成されており、素子数が10個で寸法が21×4.5 mm²となっている。末端素子は整合を取るため、他の素子と形状が若干異なる。LCP基板の厚さは0.175 mmとなっており、ロールツーロールプロセスで製作可能な厚さとなっている。アンテナにはGNDの面に開口部が設けられており、開口部と矩形導波管とを直接接続することで

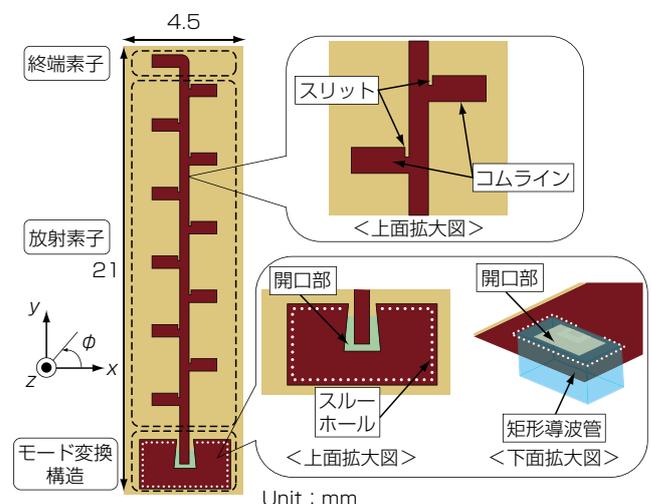


図1 コムラインアンテナの構造
Fig. 1. Structure of comb-line antenna.

1 応用電磁気研究室
2 応用電磁気研究室室長フェロー（学術博士）
3 プリント回路開発部

略語・専門用語	正式表記	説明
LCP	Liquid Crystal Polymer	液晶ポリマー。低誘電率、低誘電損失で高周波用途に適したFPCの基材。従来のポリイミドに比べ吸湿性が低く、高い寸法精度が得られる。
ロールツーロールプロセス	Roll-to-roll process	ロール状に巻いた基板を搬送し連続的に加工し、加工後の製品を巻き取る手法。自動化や製品の省スペース化が可能。
アンテナ効率	Antenna efficiency	アンテナの放射部の面積の利用効率。反射、材料固有の損失、放射効率等により決まる。
サブトラクティブ法	Subtractive method	必要な導体パターンレジストを形成し、エッチングによる導体除去、レジスト剥離により回路パターンを形成する方法。

給電される。導波管からマイクロストリップ線路へのモード変換構造は従来文献¹⁾のようにスルーホールが設けられているが、上面のパターンは従来のような直線状ではなく逆テーパ形状を有している。このような形状を採用することにより所望帯域での低反射化、高利得化が実現できる。更に、放射素子の給電線との接続部に矩形のスリットを設けることにより更にインピーダンス整合を改善出来る²⁾。

図2にLCP基板に試作したコムラインアンテナを示

す。試作デバイスはフォトリソグラフィーやサブトラクティブ法など、近年、高精度が要求されているFPCの微細加工技術を使用した。また、図3は測定に用いた治具を示しており、試作したコムラインアンテナは同軸・導波管変換アダプタと樹脂ねじにより固定されている。図4、5は試作したコムラインアンテナの入力特性と60GHzにおける放射特性をシミュレーションの結果と比較して示している。シミュレーションには有限要素法シミュレータ

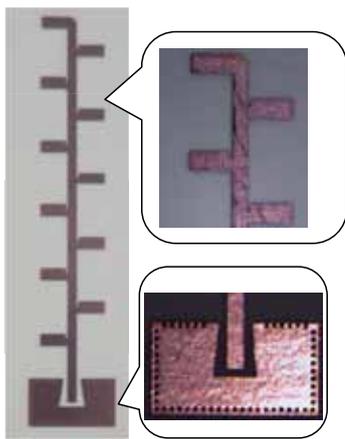


図2 試作したコムラインアンテナ
Fig. 2. Fabricated comb-line antenna.

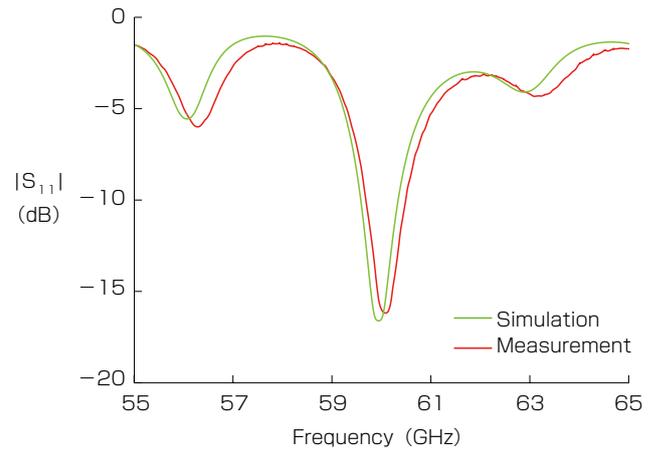


図4 コムラインアンテナの入力特性
Fig. 4. Simulated and measured input characteristics for antenna.

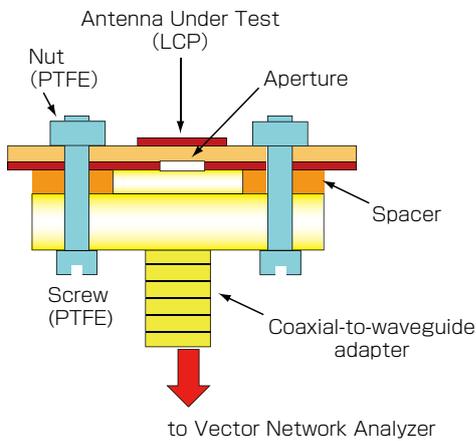


図3 測定治具
Fig. 3. Test-jig for measurement.

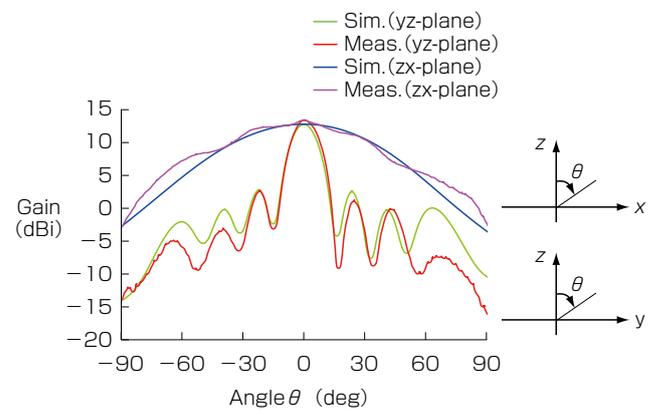


図5 コムラインアンテナの60GHzにおける放射特性
Fig. 5. Simulated and measured radiation characteristics.

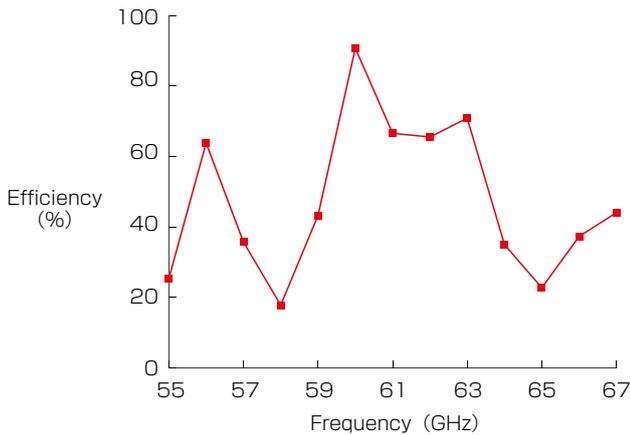
HFSSTMを用いた。図 4 より、60 GHzにおいて反射係数 $|S_{11}|$ の振幅は -15 dB となっていることがわかる。また、シミュレーションとも良好に一致している。また、図 5 より、最大利得は 13.7 dBi が z 軸方向において得られていること、シミュレーションとも yz , zx 面において良好に一致していることが確認できる。また、測定結果より算出されたアンテナ効率³⁾と最大利得の周波数特性は図 6 のようになり、アンテナ効率 60 % 以上の帯域幅が 4 GHz、また、最大利得 10 dBi 以上の帯域幅が 5 GHz となっていることがわかる。

3. 広帯域化検討

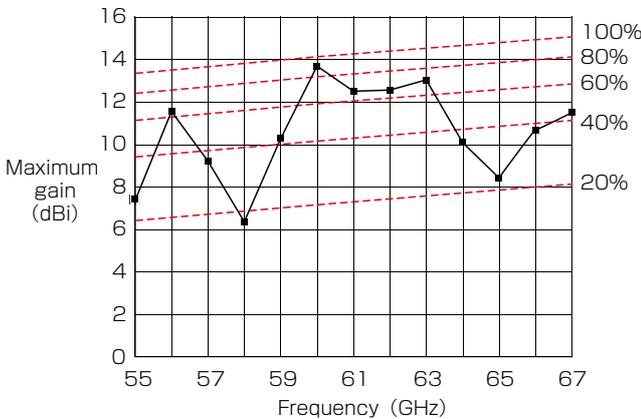
各放射素子が図 2 に示されるような単純な形状となる場合、 $|S_{11}| < -10$ dB となる帯域幅が 0.5 GHz と狭かったため、入力特性の広帯域化を検討する。広帯域化を図るため、放射素子近傍に無給電素子を配置する。図 7 に広帯域化検討を行ったコムラインアンテナの構造を示す。各放射素子の周辺に側部結合される 2 個の無給電素子と端部で結合される 1 個の無給電素子を配置してい

る。終端素子では側部結合する 2 個無給電素子を配置している。放射素子及び終端素子上下部に配置している無給電素子は同一形状で且つ同一寸法となっている。これに対し放射素子にスリットが形成されているため長手方向の軸に対して非対称な形状となり、無給電素子への励振が非対称となる。これにより異なる周波数で共振し広帯域化が実現できる。また、放射素子及び終端素子と無給電素子との間に極めて狭いギャップを与えることにより素子間に強い結合を生じることにより広帯域が実現している。

図 8 は各種無給電素子構成のコムラインアンテナにおける入力特性の比較を示している。ここでは、端部と側部素子を全て配置した場合、無給電素子が無いそのまま



(a) アンテナ効率



(b) 最大利得

図 6 コムラインアンテナのアンテナ効率と最大利得の周波数特性

Fig. 6. Measured antenna efficiency and maximum gain for comb-line antenna.

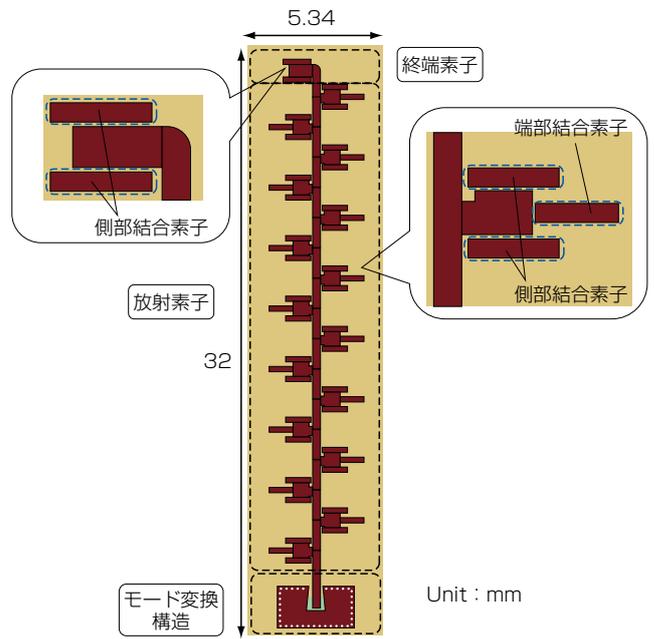


図 7 広帯域化したコムラインアンテナの構造

Fig. 7. Configuration of bandwidth-enhanced comb-line antenna.

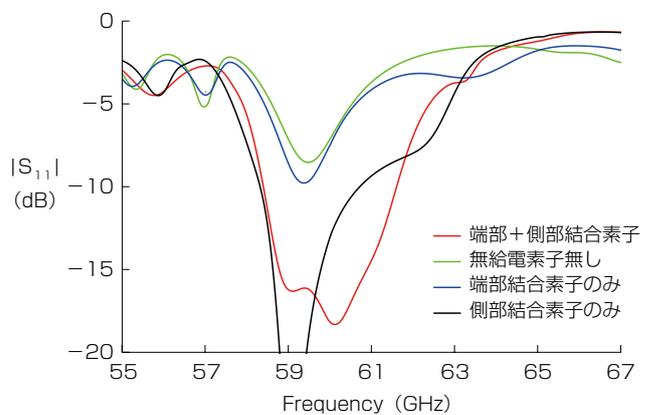


図 8 各種無給電素子構成のコムラインアンテナにおける入力特性の比較

Fig. 8. Comparison of simulated input characteristics for comb-line antennas with different parasitic elements.

の場合、側部結合素子、端部結合素子のみを配置した場合で比較を行っている。この比較により、無給電素子を全て配置した場合、 $|S_{11}| < -10$ dBとなる帯域幅が3.3 GHzとなり最も広いことが確認できる。また、端部結合素子に比べ、側部結合の無給電素子が広帯域化に大きく寄与していることが確認出来る。図9、10は試作したコムラインアンテナの入力特性と60 GHzにおける放射特性をシミュレーションの結果と比較して示しており、シミュレーションと測定結果は良好に一致している。また、 $|S_{11}| < -10$ dBの帯域幅は測定結果より3.3 GHzとなっており、最大利得は測定結果より13.4 dBiとなっている。本検討より広帯域化されたことが確認された。図11はアンテナ効率と最大利得の周波数特性を示してい

る。図11の(a)よりアンテナ効率40%以上の帯域幅が5 GHz、また、(b)より最大利得10 dBi以上の帯域幅が6 GHzとなっていることがわかり、利得の広帯域化が確認された。

最後にコムラインアンテナ自体の損失の推定を行った結果について述べる。マイクロストリップ線路の損失等コムラインアンテナ各部の損失を評価するため、図12に示す異なる長さを持つ評価基板を製作した、これによりディエンベド⁴⁾を用いたコムラインアンテナ及び図12(a)のモード変換構造の損失評価が出来る。表1は60.5 GHzにおけるコムラインアンテナの各部での損失を示している。評価基板を用いて各部の損失を評価し、アンテナ自体の損失は1.2 dBと推定され、良好な結果が裏付けられた。

4. むすび

本報告では液晶ポリマー基板を用いた60 GHz帯マイクロストリップコムラインアンテナの設計検討結果について報告した。基板厚さ0.175 mmのLCP基板で21×45 mm²のコムラインアンテナを設計したところ、 $|S_{11}| < -10$ dBとなる帯域幅が0.5 GHz、60 GHzにおける最大

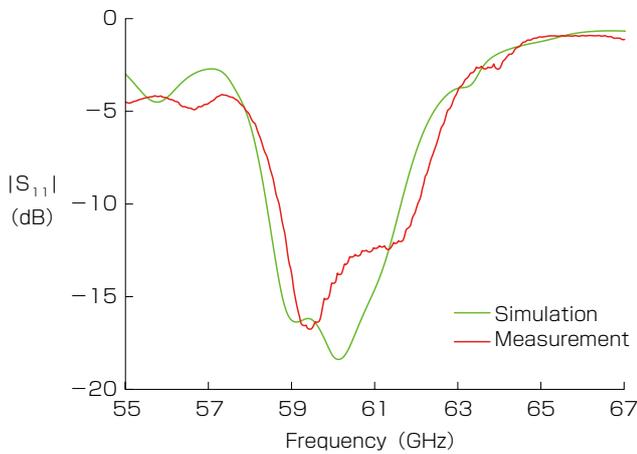


図9 広帯域化したコムラインアンテナの入力特性
Fig. 9. Input characteristics of bandwidth-enhanced comb-line antenna.

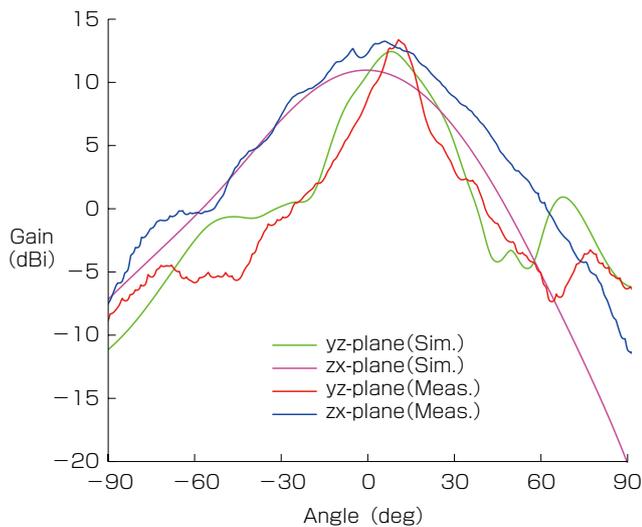
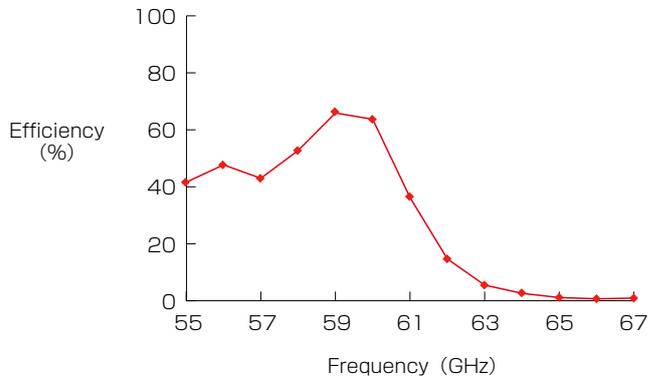
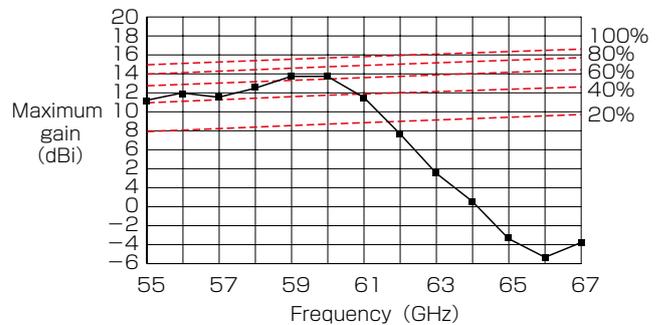


図10 広帯域化検討を行った60 GHzにおけるコムラインアンテナの放射特性
Fig. 10. Radiation characteristics of bandwidth-enhanced comb-line antenna.

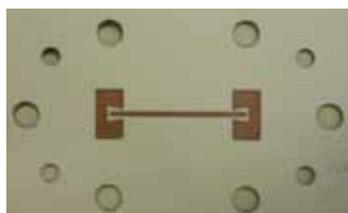


(a) アンテナ効率

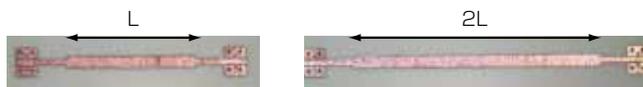


(b) 最大利得

図11 広帯域化検討を行ったコムラインアンテナのアンテナ効率と最大利得の周波数特性
Fig. 11. Measured antenna efficiency and maximum gain of bandwidth-enhanced comb-line antenna.



(a) モード変換構造



(b) マイクロストリップ路線

図12 コムラインアンテナ損失推定用評価基板
Fig. 12. Evaluation boards for loss estimation of comb-line antenna.

利得が 13.7 dBi となった。また、無給電素子装荷により入力特性及び放射特性の広帯域検討を行ったところ、 $|S_{11}| < -10$ dB となる帯域幅が 3.3 GHz、60 GHz における最大利得が 13.4 dBi となった。また、最大利得 10 dBi 以上となる帯域幅が 5 GHz から 6 GHz へ拡大した。最後にアンテナ自体の損失の推定を行ったところ、60.5 GHz で 1.2 dB となった。本構造はロールツーロールの製法を用いて低コストに量産が可能となる。

表1 60.5 GHzにおけるコムラインアンテナの各部の損失
Table 1. Losses of proposed antenna at 60.5 GHz.

損失の種類	損失 [dB]
モード変換部	1.79
マイクロストリップ線路	0.01
アンテナ効率	3.00
アンテナ自体の損失	1.20

参考文献

- 1) Y. Hayashi, Y. Kashino, K. Sakakibara, N. Kikuma, and H. Hirayama, "Millimeter-wave microstrip comb-line antenna using reflection-canceling slit structure," *IEEE Trans. Ant. and Propagat.*, vol. 59, no. 2, pp. 398-406, Feb. 2011.
- 2) R. Hosono, Y. Uemichi, X. Han, N. Guan, Y. Nakatani, and M. Iwamura, "Microstrip comb-line antenna with inversely tapered mode transition and slotted stubs on liquid crystal polymer substrates," *Proc. Int. Symp. Ant. and Propag.* 2013, pp. 930-933, Oct. 2013.
- 3) J. L. Volakis, *Antenna Engineering Handbook*, 4-th Edition, McGraw-Hill, New York, pp. 1-10, 2007.
- 4) A. M. Mangan, S. P. Voinigescu, M. T. Yang, and M. Tazlauanu, "De-embedding transmission line measurements for accurate modeling of IC designs," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 53, no. 2, pp. 235-241, Feb. 2006.