法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-12

変形した回転対称フォトニックバンドギャップアンテナ

宮本, 凌 / MIYAMOTO, Ryo

(出版者 / Publisher)
法政大学大学院理工学研究科
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学大学院紀要. 理工学研究科編
(巻 / Volume)
63
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
2
(発行年 / Year)
2022-03-24
(URL)
https://doi.org/10.15002/00025352

変形した回転対称フォトニックバンドギャップアンテナ

A MODIFIED CIRCULARLY SYMMETRIC PHOTONIC BANDGAP ANTENNA

宮本凌
Ryo MIYAMOTO
指導教員 山内潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

A circularly symmetric photonic-bandgap antenna is proposed and analyzed using the body-of-revolution finite-difference time-domain method. The frequency characteristics are investigated when the resonance condition of the defect region is slightly shifted. It is found that a gain of 25.8 dBi is obtained with an aperture efficiency of 57.7 %.

Key Words *: Antennas, Leaky wave, Circularly polarized wave, Defect, Photonic bandgap, Resonance condition*

1.　はじめに

共振特性を活用した高利得指向性アンテナが提案されている．文献 [1] では，部分的反射板の利用が高い指向性を生み出すことが明らかにされている．漏れ波アンテナとして検討されてきた部分的反射板を利用したアンテナは，その後，フォトニックバンドギャップ (PBG) アンテナとして知られるようになり [2]，さらなる検討が進められるようになってきた [3].

これに対して，我々は，円形導波管で励振できる回転対称 PBG アンテナを提案し，簡素な構造で 48%の開口面効率が得られることを，BOR-FDTD 法により明らかにした [4]．円形導波管には円偏波変換器を容易に組み込めるので，直線偏波のみならず円偏波放射も容易に実現可能な利点がある [4]．すでに，欠陥部を伝搬する界分布と放射界の関係について議論し，ブロードサイド方向に鋭い指向性が得られることを明示した [5]．他方，PBG アンテナにおいて，共振条件を僅かに崩すと，利得の波長特性を改善できることが報告されている [6]，[7]．この手法を利用するために，筆者らは最外面の誘電体層を変形する手法を検討したが [8]，製造工程が煩雑になる欠点があった．本稿では，地板導体の一部に段差を設ける単純な構造で，利得特性が改善できることを明らかにする．

2.　本論

図 1 に構造全体と $\rho - z$ 断面を示す．給電は円形導波管 (WCI-120) の TE_{11} モードで行う．導波管端に金属接地板を設け, 接地板の端にはリムを設ける．接地板の途中から，段差（摂動部）を設け，PBG 条件を僅かに崩す．摂動部の厚さを t_{PEC} とする．また，t_{PEC} は中心から半径方向に向かって $3\lambda_{11}$ 以上の位置に設ける．

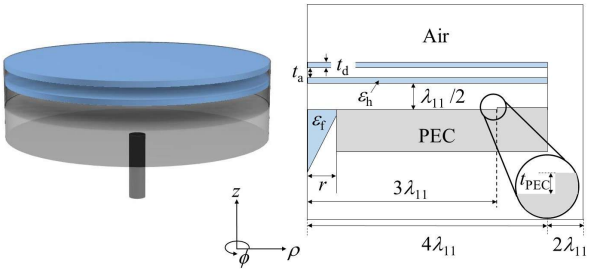


図 1 構造

設計周波数を $f = 11$ GHz ($\lambda_{11} = 27.25$ mm) とする．接地板から $\lambda_{11}/2$ 離して, 誘電体と空気からなる HRC を 2 層設ける．このとき, HRC を構成する誘電体には Al_2O_3 ($\varepsilon_{\mathrm{h}} = 9.8$) を使用する．ここで, HRC は誘電体層の厚さを $t_{\mathrm{d}} = \lambda_{11}/4\sqrt{\varepsilon_{\mathrm{h}}} \approx 2.18$ mm, 空気層の厚さを $t_{\mathrm{a}} = \lambda_{11}/4 \approx 6.81$ mm とする．内径 ($2r = 17.475$ mm) の導波管内部にはテーパ化した Al_2O_3 を挿入する．解析には回転対称構造用差分時間領域（BOR-FDTD）法 [9] を用いる．使用する刻み幅は, $\Delta\rho = r/32 \approx 0.27$ mm, $\Delta z = \lambda_{11}/100 \approx 0.27$ mm に設定する．

図 2 に利得とリターンロスの周波数特性を示す．比較のため，接地板が平面構造 (黒実線) と 45 度のリム構造 (黒破線) の場合を併記している．図より摂動部を設けることで，広い帯域で利得の向上することが確認できる．$f = 11.06$ GHz のとき，最大利得 25.8 dBi が得られる．このときの最小のリターンロスは-27.9 dB と算出される．なお，リム構造を利用しても共振条件がやや崩れるため特性は改善するが，その効果は摂動部を設けた方が顕著である．

利得に基づき算出される開口面効率を図 3 に示す．

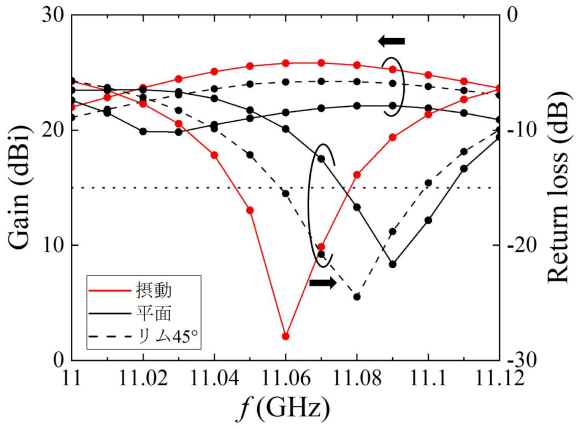


図 2 利得とリターンロスの周波数特性

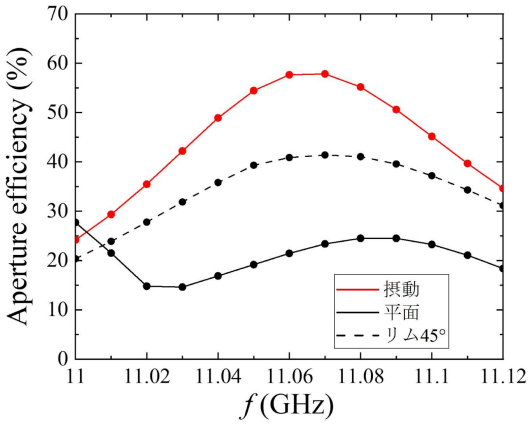


図 3 開口面効率の周波数特性

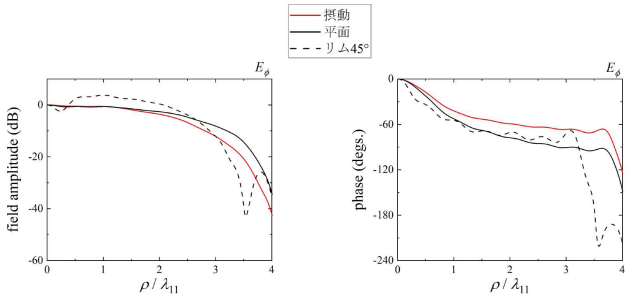
予想されるように，摂動部の利用により，広帯域にわたり開口面効率が改善する．特に，$f = 11.06$ GHz のとき，最大の開口面効率 57.7%が算出される．

図 4 は出力開口部付近での E_ϕ 成分の振幅と位相分布を示している．周波数は図 3 の開口面効率が最大になった場合である．界振幅は平面構造で最も等振幅領域が広いが，位相分布では摂動部を設けた構造が最も等位相と見做せる領域が拡大している．このことから，摂動部の利用により，利得の周波数特性が向上すると理解できる．

最後に円偏波励振時の放射界について補足する．提案したアンテナの半値幅は ±4.8 度，第一サイドローブレベルは-34.9 dB であった．設置板が平面であると，それぞれ，±9.0 度，-23.5 dB と算出され，提案構造の優位性を確認できる．

3. まとめ

共振条件を僅かに崩した回転対称 PBG アンテナを提案した．BOR-FDTD 法により解析し，摂動部を設



(a) 界振幅　　(b) 位相分布

図 4 E_ϕ 成分の比較

けることで利得と開口面効率が向上し，最大利得 25.8 dBi(開口面効率 57.7%) が得られることを明示した．

参考文献

1) G. V. Trentini, ”Partially reflecting sheet arrays,” *IRE Trans, Antennas Propagat.*, vol. AP-4, pp. 666-671, 1956.

2) M. Thèvenot, C. Cheype, A. Reineix, and B. Jecko, ”Directive photonic-bandgap antennas,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, no. 11, pp. 2115-2122, Nov. 1999.

3) 青木 亮併, 佐藤 弘康, 澤谷 邦男, ”高利得 EBG 共振器アンテナの基礎検討,” 信学技報, vol. 104, no. 209, AP2004-113, pp. 103-108, 2004.

4) J. Yamauchi, S. Saito, R. Miyamoto, H. Nakano ”Circularly symmetric photonic bandgap antenna,” *International Symposium on Antennas and Propagation*, Osaka, Japan, pp. 623-624, Jan. 2021.

5) 山内 潤治, 齋藤 星汰, 宮本　凌, 中野 久松, ”回転対称フォトニックバンドギャップアンテナの漏れ波特性,” 信学全大, B-1-24, 2020.

6) A.P. Feresidis, J.C. Vardaxoglou ”High gain planar antenna using optimised partially reflective surfaces,” *IEE Proc-Microw. Antennas Propagag.*, vol. 148, No. 6, pp. 345-350, 2001.

7) 宮本　凌, 山内 潤治, 中野 久松, ”変形した回転対称フォトニックバンドギャップアンテナ,” 信学全大, B-1-65, 2021.

8) 齋藤 星汰, 山内 潤治, 中野 久松, ”レンズ化した回転対称フォトニックバンドギャップアンテナ,” 信学全大, B-1-25, 2020.

9) A. Taflove and S.C. Hagness, *Computational Electrodynamics*. Artech House: Norwood, 2005, chap. 12.