

有孔誘電体を用いたリフレクトレンズの設計

工藤 陸[†] 佐藤 弘康[‡] 陳 強[‡]

東北大学大学院工学研究科 通信工学専攻 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: [†] riku.kudo.s2@dc.tohoku.ac.jp, sahiro@ecei.tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

あらまし 有孔誘電体を用いて実効誘電率を変化させ位相補正を行う高利得フレネルレンズが報告されている。フレネルレンズは薄型・軽量の特徴があり 5G 通信, ミリ波イメージングへの応用が期待されている。本報告では, フレネルゾーンを偏心させることでビーム方向をチルトさせ, レンズ構造をオーバーラップさせることでマルチビーム化を図った有孔誘電体フレネルレンズを提案し, 実験により評価した結果を述べる。

キーワード リフレクトレンズ, 有孔誘電体

Reflective lens design using perforated dielectrics

Riku KUDO[†] Hiroyasu SATO[‡] and Qiang CHEN[‡]

[†] Graduate School of Engineering, Tohoku University Aoba 6-6-05, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579
Japan

E-mail: [†] riku.kudo.s2@dc.tohoku.ac.jp, sahiro@ecei.tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

Abstract A high-gain Fresnel lens with phase correction by changing the effective dielectric constant using a perforated dielectric has been reported. Fresnel lenses are thin and lightweight and are expected to be applied to 5G communications and millimeter-wave imaging. In this report, a perforated dielectric Fresnel lens with a tilted beam direction by decentering the Fresnel zone and an overlapping lens structure to achieve multi-beam capability were developed and was evaluated by experiments.

Keywords reflective lens, perforated dielectrics

1. まえがき

近年, 第五世代移動通信システム(5G)の普及が進み, 高速大容量, 多数同時接続, 高信頼低遅延といった特徴により産業・社会の基盤となることが期待されている。一方で, これらの高周波帯では電波の直進性が高く, 空間減衰が大きいという問題があるため, 1つの基地局でカバーできる範囲は従来の周波数帯よりも小さくなる。

そのため, 人口密集地であり高層ビルなど電波にとって遮蔽物の多い都市部では, 建物の屋上を中心に街中の至る所に基地局を設置することが望ましいが, 物理的スペースは制限され, その用地不足は大きな課題となっている。よって, 基地局アンテナとして, 例えば既存のビルの壁に装着して使用可能なスモールセル基地局用アンテナのような, 設置の自由度が高いアンテナが期待されている。

他方, 高利得なビームを得るための方法として, 有孔誘電体を用いたフレネルレンズ(Perforated Dielectric Fresnel Lens, PDFL)が報告されている

[1]. 誘電体に穴をあけて充填率を変化させ, 実効誘電率を調節することで位相補正を行っている。平面的かつ簡単な構造のため, 前述の設置自由度が高いレンズアンテナとしての利用が可能である(図 1)。

本報告では, フレネルゾーンを偏心させることでビーム方向をチルトさせ, レンズ構造をオーバーラップさせてマルチビーム化を図った有孔誘電体フレネルレンズを提案し, 実験により評価した結果を述べる。

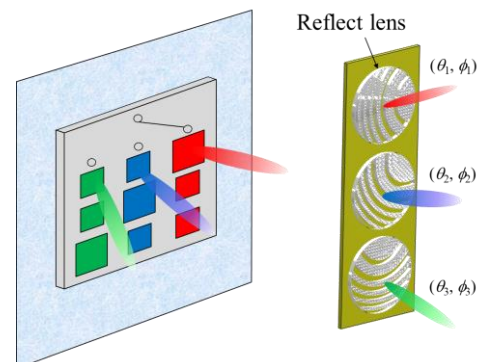


図 1 : 壁に貼り付けたリフレクトレンズ

2. PDFL の設計

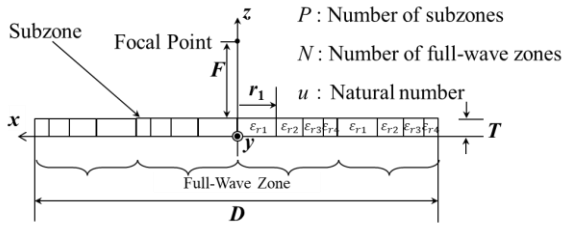


図 2:PDFL の基本構造

PDFL の基本構造を図 2 に示す. PDFL は位相が 2π 変化するフルウェーブゾーンと, 位相差 2π 当りの位相補正ゾーン数で分割するサブゾーンにより構成されている. フルウェーブゾーンの数 N , フルウェーブゾーン 1 つ当たりのサブゾーン数を P とすると, サブゾーンの位相差は $2\pi/P$ となり, またサブゾーンの総数は NP となる. P , 波長 λ , 口径 D , 焦点距離 F , 所望方向 θ_p , 自然数 u を設定後, 中心から n 番目のサブゾーンの各点の座標 (r'_n, ϕ') , サブゾーンの比誘電率 ϵ_{rn} , レンズの厚み T を(1)式, (2)式, (3)式より求めることで, レンズ構造を決定する[2][3].

$$\left(\sqrt{F^2 + r'_n{}^2}\right) - (F + r'_n \cos \phi' \sin \theta_p) = \frac{n\lambda_0}{P} \dots (1)$$

$$\epsilon_{rn} = \epsilon_{r1} \left[1 + \frac{2}{u} \left(1 - \frac{n-1}{P}\right)\right]^2 \dots (2)$$

$$T = \frac{u\lambda_0}{2} \dots (3)$$

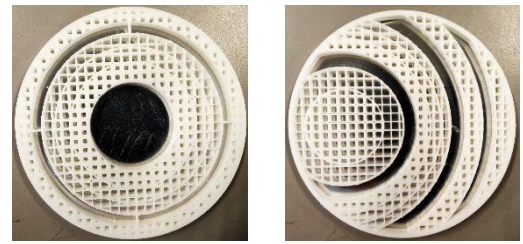
反射型 PDFL の作成には, 式(3)で求められる, レンズの厚み T を半分にし, 導体版を背後に設置する必要がある.

表 1 のパラメータで 3D プリンタを用いて作成した反射型 PDFL を図 3 に示す.

図 3(a)-(c) は所望方向 $\theta_p = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ として設計したものであり, 図 2(b) は $\theta_p = 30^\circ, -30^\circ$ の PDFL の構造を中心から 5mm 毎に交互に変化させ, マルチビーム型の PDFL である.

表 1:PDFL のパラメータ

波長 λ	8 mm
焦点距離 F	100 mm
口径 D	100 mm
自然数 u	3
厚さ T	6 mm
サブゾーン数 P	2,4



(a) $\theta_p = 0^\circ$

(b) $\theta_p = 15^\circ$



(c) $\theta_p = 30^\circ$



(d) $\theta_p = 30^\circ, -30^\circ$

図 3 : 作成した反射型 PDFL

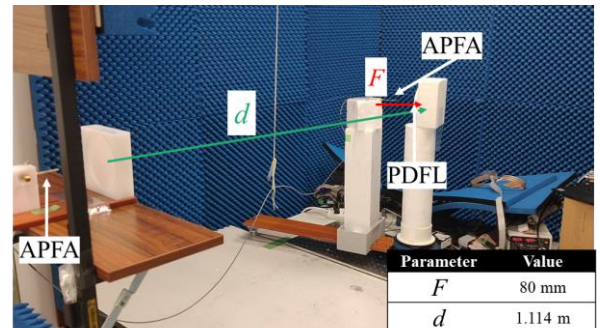
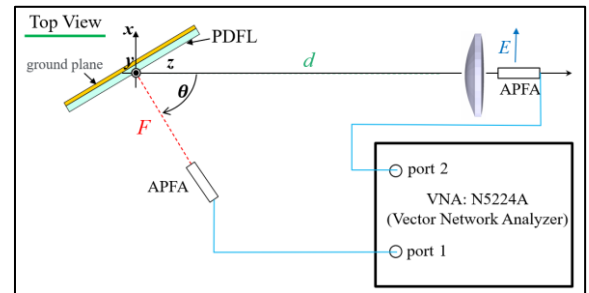


図 4:実験環境

3. 実験結果

図 4 に利得パターンの測定系の構造を示す. PDFL と APFA(Antipodal Fermi Antenna)が常に向かい合った状態で同時に回転させて利得を測定した.

各 PDFL の動作利得パターンを図 5 に示す. まず $\theta_p = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ の PDFL において, おおよそ所望方向にビームが得られていることがわかり, レンズの偏心によるビーム方向のチルトを確認できた.

$\theta_p = 30^\circ, -30^\circ$ のマルチビーム型の PDFL についても同様に, 所望の 2 方向にビームが得られた. ただし, 1 方向型の PDFL よりも利得が低下している. これは

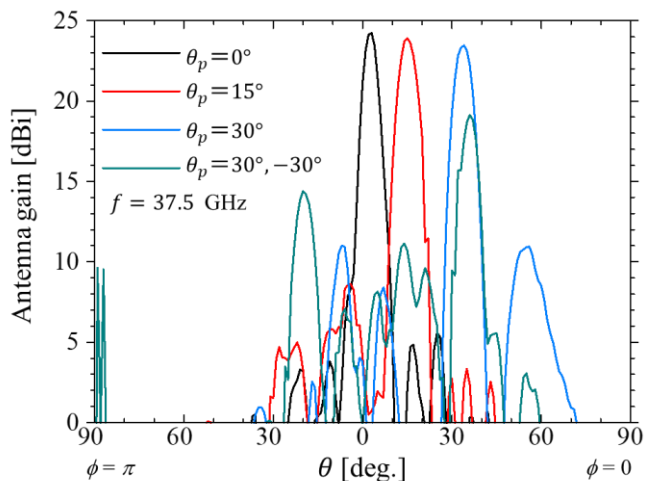


図 5:PDFL の利得パターン

レンズ内に占める面積がより大きい所望方向の利得が高いためである。

4. まとめ

有孔誘電体を用いたフレネルレンズにおいて、フレネルゾーンを偏心させた2つのレンズ構造をオーバーラップさせたレンズを提案し、マルチビームを実現可能であることを示した。

謝 辞

本研究開発は総務省の電波資源拡大のための研究開発 (JPJ000254) によって実施した結果を含む。

文 献

- [1] S. Zhang, P. Liu and W. Whittow, "Design and Fabrication of 3-D-Printed High-Gain Broadband Fresnel Zone Lens Using Hybrid Groove-Perforation Method for Millimeter-Wave Applications," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 21, no. 1, pp. 34-38, Jan. 2022
- [2] M. Hajian, G. A. de Vree and L. P. Ligthart, "Electromagnetic analysis of beam-scanning antenna at millimeter-wave band based on photoconductivity using Fresnel-zone-plate technique," in IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 45, no. 5, pp. 13-25, Oct. 2003
- [3] H. D. Hristov and J. M. Rodriguez, "Design Equation for Multidielectric Fresnel Zone Plate Lens," in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 22, no. 11, pp. 574-576, Nov. 2012