

軽量かつ小型な金属プレートレンズアンテナの実現とその設計法の開発

代表研究者	須賀 良介	青山学院大学 理工学部 助教
共同研究者	橋本 修	青山学院大学 理工学部 教授
共同研究者	荒木 純道	東京工業大学 理工学研究科 教授

1 はじめに

金属プレートレンズアンテナは低周波数帯においても軽量かつ鋭い指向性を実現できることで知られている[1]. 図1に金属プレートレンズアンテナの構造を示す. 同図に示すように, 金属プレートレンズアンテナは, 電界面に平行かつ間隔 b を空けて金属板を複数枚配置した構成となっている. そして, 金属板はレンズ透過後の電磁波が平面波となるようにその片方の面が凹状に加工されている. 一般的に, このようなレンズは幾何光学(Geometrical Optics: GO)に基づいて設計されるため, 以降このレンズを GO レンズと称する. GO レンズを構成する各金属板の形状は各入射角 θ の関数である曲率半径 $R(\theta)$ によって決定され, この $R(\theta)$ は同図(b)の光学距離 OPP' と OQQ' が一致するように設計される. すなわち焦点距離 F_{GO} 及び $R(\theta)$ は式(1)及び(2)によって与えられる[2].

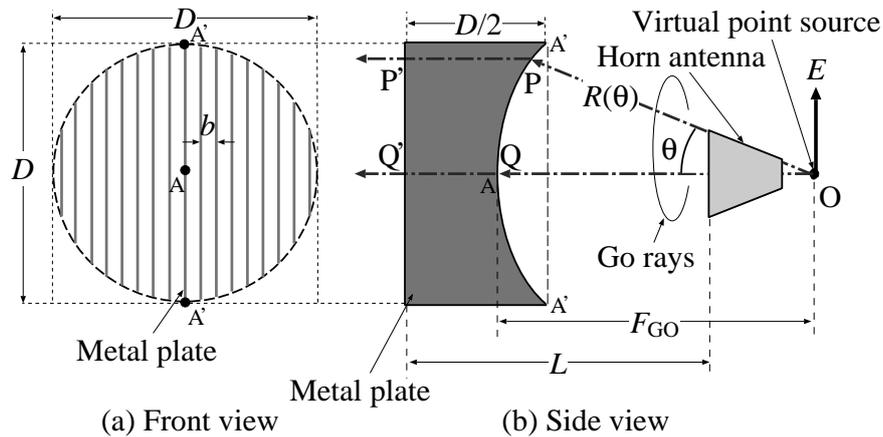


図1 金属プレートレンズアンテナの構造

$$F_{GO} = \frac{D}{2 \tan(W/2)} \quad (1)$$

$$R(\theta) = \frac{(1-n)F_{GO}}{1-n \cos(\theta)} \quad (2)$$

ここで D はレンズの直径, W は一次放射器であるホーンアンテナの E 面半値ビーム幅, そして n は(3)式で求められるレンズの屈折率であり, λ_0 及び λ_g はそれぞれ自由空間波長と金属板間の管内波長である.

$$n = \frac{\lambda_0}{\lambda_g} = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2b}\right)^2} \quad (3)$$

金属板間隔 b は, レンズのカットオフ周波数を考慮してアンテナの動作周波数における半波長よりも大きくする必要がある. そして金属板の数は D を b で除することで決定する. すなわち, レンズ端部(A'点)に入射した電波は位相速度の速いレンズ内を長く伝搬するため, レンズ透過後には平面波を実現できる. これまでの研究において, WR159 導波管を用いた矩形ホーンアンテナを GO レンズアンテナの一次放射器として用いており[3][4], その GO レンズの焦点距離 F_{GO} 及びホーンアンテナの開口からレンズ先端までの距離 L は 5.8GHz においてそれぞれ 129cm, 119cm と求められる. L に対する GO レンズアンテナの放射特性を市販の

電磁界シミュレータ HFSS を用いて解析したところ $70 < L < 119\text{cm}$ の範囲において利得は 1dB 程度の変化にとどまった[3]. $L=70\text{cm}$ の場合におけるホーンアンテナを含めた全長はまだ 95cm と大きく、更なる小型化が望まれている。

そこで本研究では、短い焦点距離を実現するための新しい金属プレートレンズを提案する。まず、HFSS を用いて一次放射器であるホーンアンテナの放射電界分布を評価する。この分布を踏まえて新しいレンズを提案し、さらに提案レンズアンテナの放射特性を解析する。最後に試作実験により提案レンズの実現性を示す。

2 ホーンアンテナからの放射界評価

本研究における一次放射器として、これまで同様ホーンアンテナ(キーコム社製 RH159S, 11.8 x 15.9 x 17.0 cm)を用いる。図 2 にホーンアンテナからの (a)E 面及び(b)H 面における放射電界分布を示す。なお、本解析は電磁界の対称性を考慮して 1/4 モデルとし、5.8GHz において実施した。また同図には GO レンズの形状も併せて示しており、放射電界の波面と $L=70\text{cm}$ の GO レンズ表面(A-A'面)の形状を比較する。この結果から、アンテナの開口近傍における波面は球状となっており、更にレンズ表面端部(A')の位相が中央(A)と比較して位相が進んでいることが確認できることから、前述した平面波の実現条件に合致していないことが分かる。

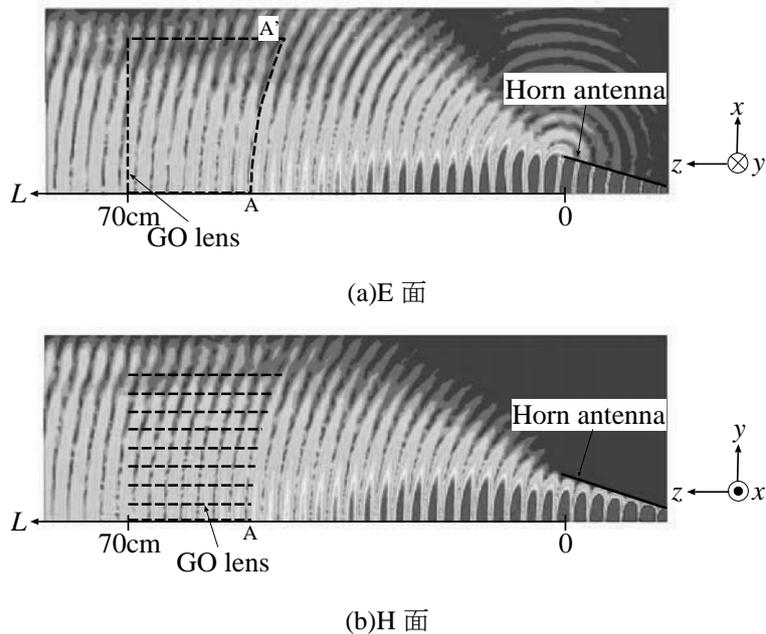


図 2 ホーンアンテナからの放射電界の波面と GO レンズの入射面形状の比較(5.8GHz)

図 3 にアンテナ近傍における球状の波面を考慮した提案する金属プレートレンズアンテナの構造を示す。GO レンズと比較してレンズの中央部分の凹みを深くした構造であり、具体的には間隔 b で配列した金属板をレンズ半径 $D/2$ で削り取った構造とした。

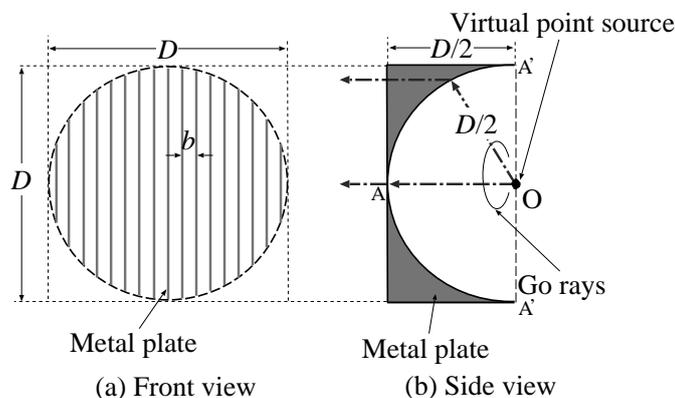


図 3 提案する金属プレートレンズの構造

3 提案する金属プレートレンズの放射特性評価

図 4 に提案するレンズアンテナの解析モデルを示す. 本レンズアンテナの寸法は GO レンズと同様であり, $D=50\text{cm}$, $b=3\text{cm}$ として金属板の数は 17 枚とした. 本モデルは, 電磁界の対称性を考慮して電気壁及び磁気壁を境界に適用することで 1/4 モデルとしている. またホーンアンテナからは x 軸方向の電界が放射されるため, xz 面が E 面であり yz 面が H 面となる. また, 図 5 に試作したレンズアンテナを示す. 同レンズは発泡スチロールとアルミテープによって構成され, アンテナを含んだ総重量は 4.5kg と軽量である.

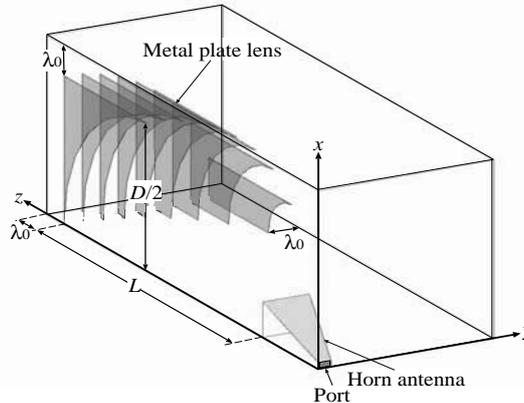
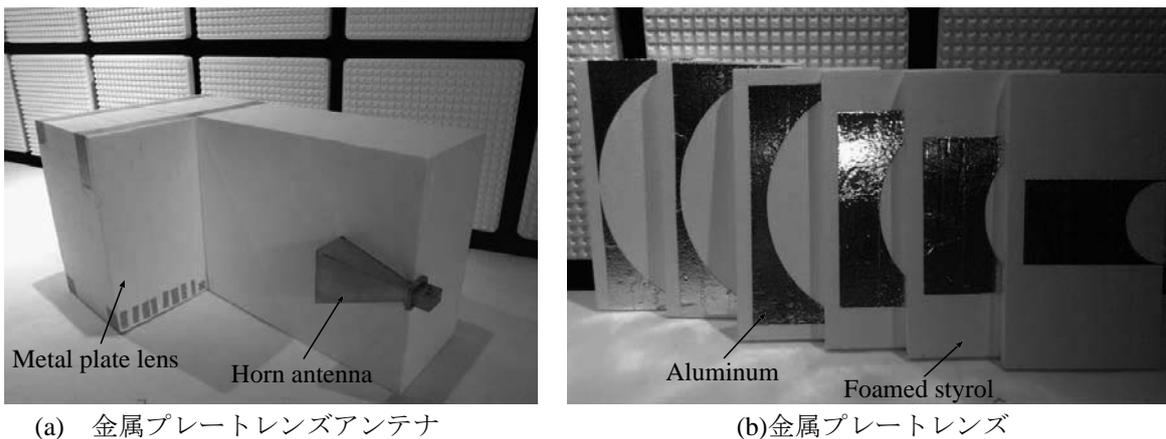


図 4 提案するレンズアンテナの解析モデル



(a) 金属プレートレンズアンテナ

(b) 金属プレートレンズ

図 5 試作した金属プレートレンズアンテナ

図 6 に 5.8GHz における GO レンズ及び提案レンズアンテナの L に対する利得の変化をそれぞれ示す. 同図から, 提案レンズアンテナでは $35\text{cm} < L < 50\text{cm}$ の間で $25 \pm 1\text{dBi}$ の利得が得られており, GO レンズと同等の性能が得られていることが分かる. この結果から, GO レンズと比較して提案レンズはホーンアンテナを 35cm(約 7 波長)程度近接して配置できることが分かった.

図 7 に $L=35\text{cm}$ の提案レンズと $L=70\text{cm}$ の GO レンズの(a)E 面及び(b)H 面放射パターンをそれぞれ示す. これらの結果から, 提案レンズは利得 25.5dBi, E 面及び H 面ともに 9 度の半値ビーム幅が得られた. 一方 GO レンズでは 25.8dBi の利得と 7 度の半値ビーム幅となった. 従って両者のメインローブは大よそ同等の性能を有していることが確認でき, 更に提案レンズでは H 面のサイドローブレベルが抑制できていることが確認できた. 図 8 に提案レンズ($L=35\text{cm}$)の(a)E 面及び(b)H 面における放射パターンの測定結果を示す. 同図より, 25.2dBi の利得と E 面 9 度, H 面 11 度のビーム幅が得られた. 測定値は解析値と良好に一致しており, 提案レンズアンテナの有効性を示すことができた.

図 9 に利得の周波数特性の解析値を示す. 同図から 5.8GHz 以下の周波数においてはレンズのカットオフ周波数のため利得は低下していることが分かる. また, 5.8GHz 以上の周波数では, レンズ無しの場合 (ホーンアンテナのみ) では周波数の増加に伴い利得も向上していることが確認できる. 8GHz 以上の周波数にお

けるホーンアンテナの利得は GO レンズアンテナの利得を上回ることが分かった。一方で、提案レンズアンテナは 10GHz まで 20dBi を維持しており、広帯域特性を有していることを示した。

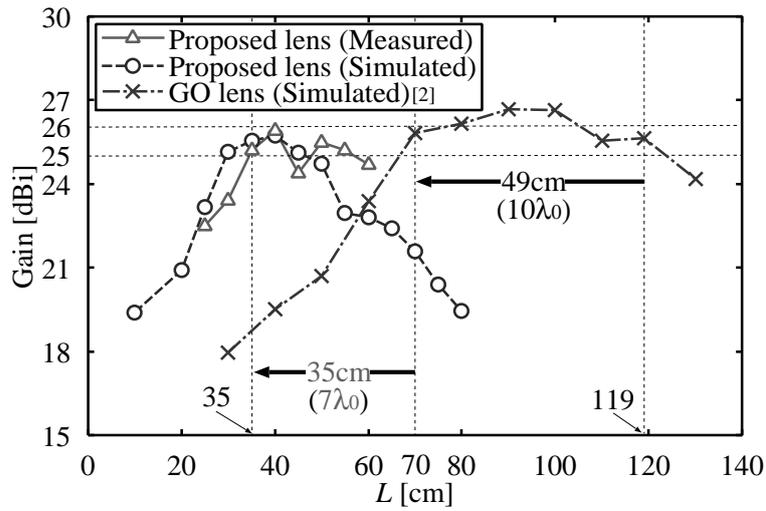


図 6 L に対する利得の変化

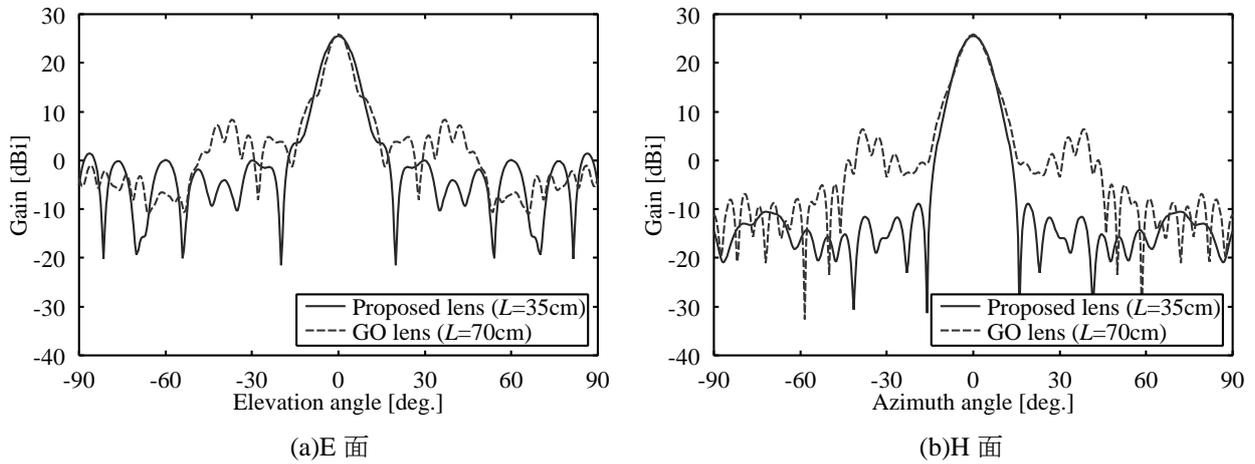


図 7 提案レンズ($L=35\text{mm}$)と GO レンズ($L=70\text{mm}$)の放射パターンの比較

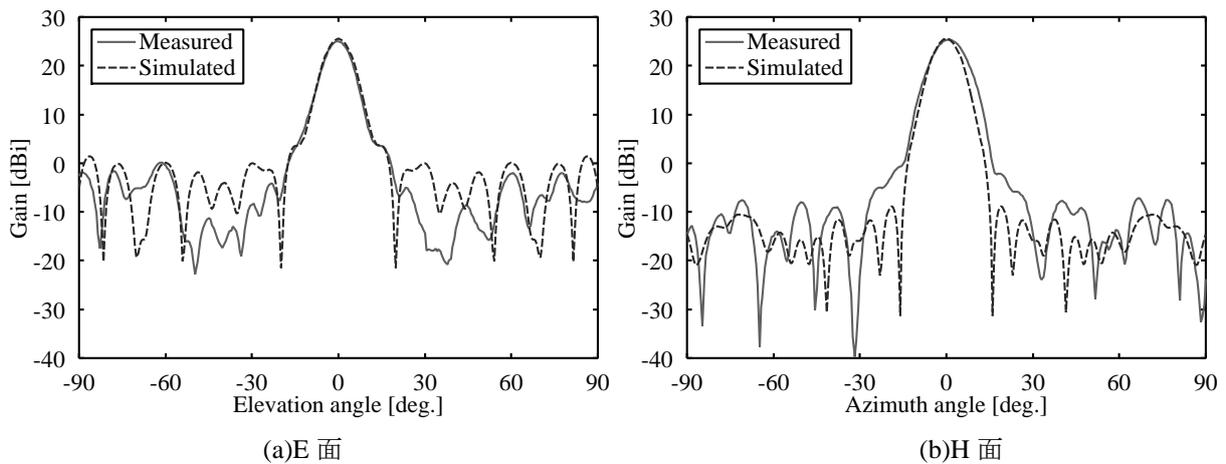


図 8 提案レンズ($L=35\text{mm}$)の放射パターンの測定値

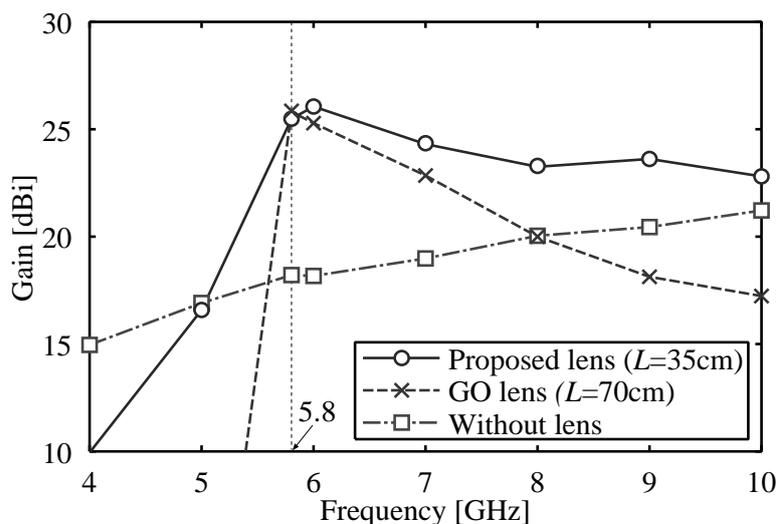


図 9 利得の周波数特性(解析値)

4 まとめ

本研究では、焦点距離の短い金属プレートレンズを提案し、その実現性について検討した。その結果、従来の GO レンズと比較して 35cm (7 波長) 程度の小型化を実現した。更に提案レンズアンテナはサイドローブが抑制されること及び広帯域に亘り動作可能であることを示した。

【参考文献】

- [1] Merrill I. Skolnik, "Radar Hand Book," McGraw-Hill book company, pp. 10_22-10_23, 1970.
- [2] P. Wade, "Metal-plate lens antennas," <http://www.qsl.net/n1bwt/chap3.pdf>.
- [3] T. Yasuzumi, N. Kamiya, R. Suga, O. Hashimoto, Y. Matsushita, and Y. Matsuda, "Miniaturization of parallel-plate lens antenna for evaluation of wave absorber placed on ceiling of ETC gate," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E95-B, no. 10, pp. 3225-3231, Oct. 2012.
- [4] N. Kamiya, T. Yasuzumi, R. Suga, O. Hashimoto, Y. Matsushita, and Y. Matsuda, "Positional dependence on primary radiator of metal plate lens antenna," in *Proc. Asia-Pacific Microw. Conf. 2012*, pp. 1010-1012.
- [5] Keycom Corporation, "Rectangle horn antennas," <http://www.keycom.co.jp/jproducts/ant/ant01/page.htm>.

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Broadband metal-plate lens with short focal length	Proc of the 43 rd European microwave conference, EuMC/EuRAD06-3, pp. 1675-1678.	2013年10月
材料定数測定用の集光型金属プレートレンズアンテナの設計	電子情報通信学会 ソサイエティ大会, C-15-14, p. 277	2013年9月