

誘電体レンズを用いた CATR の設計

松田 吏生[†] 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: [†] rio.matsuda.q6@dc.tohoku.ac.jp, sahiro@ecei.tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

あらまし 電波の散乱特性を示す指標としてレーダ散乱断面積 (Radar Cross-Section: RCS) が用いられ、特にリフレクタレーの性能評価において重要となる。RCS の評価には遠方からの照射と受信を考慮する必要があり、比較的近距离でアンテナの遠方界を評価する方法としてコンパクトアンテナテストレンジ (Compact Antenna Test Range: CATR) が良く利用される。CATR には反射鏡が良く用いられるが、誘電体レンズを使用した CATR は少ない。本報告では、レンズを用いた CATR を設計、実験的に評価した結果を述べる。

キーワード レンズアンテナ, コンパクトアンテナテストレンジ, CATR

Design of Compact Antenna Test Range Using Dielectric Lens

Rio Matsuda[†] Hiroyasu SATO[†] Qiang CHEN[†]

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

E-mail: [†] rio.matsuda.q6@dc.tohoku.ac.jp, sahiro@ecei.tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

Abstract Radar Cross-Section (RCS) is used as an indicator of the scattering characteristics of radio waves, and is especially important in the performance evaluation of reflector arrays. CATR (Compact Antenna Test Range) is often used to evaluate the far field of antennas at relatively short distances. This paper describes the design and experimental evaluation of a lens-based CATR.

Keywords Lens antenna, Compact Antenna Test Range, CATR

1. まえがき

近年、第五世代通信 (5G) が普及しており、5G の大きな特徴である高速・大容量通信の実現には、ミリ波帯の高周波アンテナの利用が見込まれている。しかし、高周波の電波では回折が起こりにくく、遮蔽物によるブロッキングの影響を大きく受けてしまう。これによって生じる電波の影領域を小さくするための技術として、リフレクタレーのような電波を非対称に散乱させることが可能なアンテナの開発が進められている [1]。このようなアンテナを設計する際、多くの場合で遠方からの照射と受信を考慮するため、アンテナ特性の評価を行うために広大な空間が必要となる。しかし、十分な広さの電波暗室を準備するのは困難である。そのため、この課題を解決するために、比較的近距离で平面波を励振させる測定系が研究されている [2]。このような測定系はコンパクトアンテナテストレンジ (Compact Antenna Test Range: CATR) と呼ばれており、多くの場合、オフセットパラボラ反射鏡を用いて実現されている [2]~[4]。しかし、このような反射鏡を用

いた測定系は、一次放射器の照射角度などを考慮する必要があり、前方散乱特性を評価する際、回転系にパラボラアンテナを取り付けることが困難である。そのため、平面波を照射し、近傍において測定した散乱界に近傍界遠方界変換を行うことで、アンテナ特性を評価する場合はほとんどである。一方、誘電体レンズは直線配置が可能のため、回転系への設置が比較的容易であり、直接的に遠方界での測定を実現することができる。しかし、後方付近の散乱測定においては、レンズのブロッキングの影響が生じると考えられる。

本論文では、測定系の構築が比較的簡単なレンズアンテナを送受信ともに使用することで、近傍界遠方界変換を行わずに前方散乱を測定するコンパクトアンテナテストレンジの実現を目的とする。

2. レンズ CATR を用いたリフレクタレーの評価

2.1 概説

従来のオフセット反射鏡を用いた CATR では測定後に近傍界遠方界変換を施すことが多い。近傍界遠方界変換では 2 次元フーリエ変換を用いて、近傍分布から遠方界に変換するが、開口分布の観測範囲によって遠方界が変化すること、およびあくまで推定値であること等の問題がある。本手法では、送受信ともに平面波を励振することで変換処理を経ず、直接的に遠方界分布を測定できると考えられる。本報告では、設計したレンズ CATR による散乱特性評価の妥当性を確認するため、レンズ CATR によって得られた散乱特性と、① 比較的遠方での測定によって得られた散乱特性、② HFSS によるシミュレーション結果を比較した。

2.2 遠方ファクタ p の定義

一般に、遠方界条件は、波源から被測定物までの最長距離と最短距離の距離差が $\lambda/16$ 以下、最大位相差が 22.5 deg. 以下となるように定義されている。遠方界条件を満たす距離 d_{far} は、自由空間における波長 λ と DUT の寸法 D を用いて、式(1)で表される。

$$d_{\text{far}} = \frac{2D^2}{\lambda_0} \quad (1)$$

本報告では、寸法の異なる DUT を測定した際の比較を容易にするため、実際の使用距離 d と遠方界条件を満たす距離 d_{far} との比率として、遠方ファクタ p を式(2)として定義する。

$$p = \frac{d}{d_{\text{far}}} \quad (2)$$

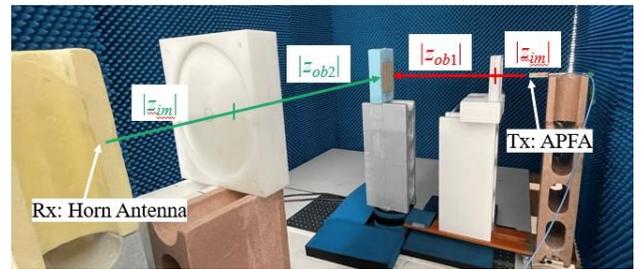
遠方ファクタ p が $p \geq 1$ のとき、遠方界条件を満たす距離となる。本報告では、測定距離による影響を評価する際、遠方ファクタ p を用いる。

2.3 実験系

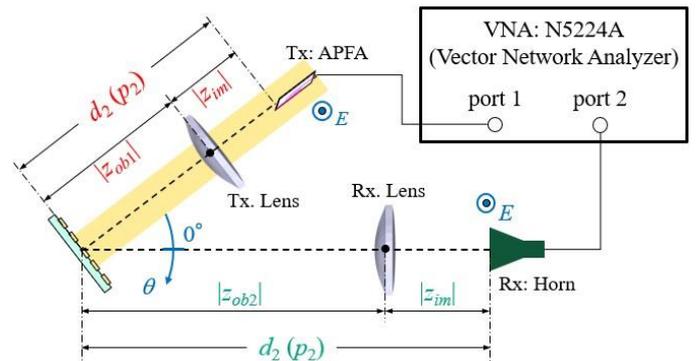
図 1 に測定系の構造を示す。Port 1 には一次照射源として APFA [5]、Port 2 には受信アンテナとしてホーンアンテナ (20 dBi) を接続した。本論文ではリフレクタレーの正面入射の散乱特性の評価を行うため、APFA と被測定物 (DUT) が常に向かい合った状態で同時に回転させ、固定されたホーンアンテナで受信するという形を採用した。使用したネットワークアナライザは Keysight N5224A である。DUT として、45 度方向にビームを散乱させるようなパッチ素子を用いたリフレクタレーを設計し、寸法 $D_R = 100 \text{ mm}$ 、 22×22 素子のアレーを試作した。遠方界条件を満たす距離は d_{far}

$= 2500 \text{ mm}$ である。図 1(b) に示すように、APFA の先端からリフレクタレー表面までの距離を d_1 、遠方ファクタを p_1 とする。同様に、ホーンアンテナからリフレクタレー表面までの距離を d_2 、遠方ファクタを p_2 とする。

誘電体レンズは、口径 $D_L = 200 \text{ mm}$ 、 $F^\# = 1.1$ の高密度ポリエチレン製非球面レンズを使用した。アンテナ-レンズ中心間の距離は、平面波の励振が可能となる $|z_{\text{im}}| = 200 \text{ mm}$ を採用した。また、レンズ中心-DUT 間の距離は、照射側を $|z_{\text{ob1}}|$ 、受信側を $|z_{\text{ob2}}|$ とした。このとき、 $d_1 = |z_{\text{im}}| + |z_{\text{ob1}}|$ 、 $d_2 = |z_{\text{im}}| + |z_{\text{ob2}}|$ である。



(a) 測定系画像



(b) Top view

図 1: レンズ CATR による散乱特性測定系

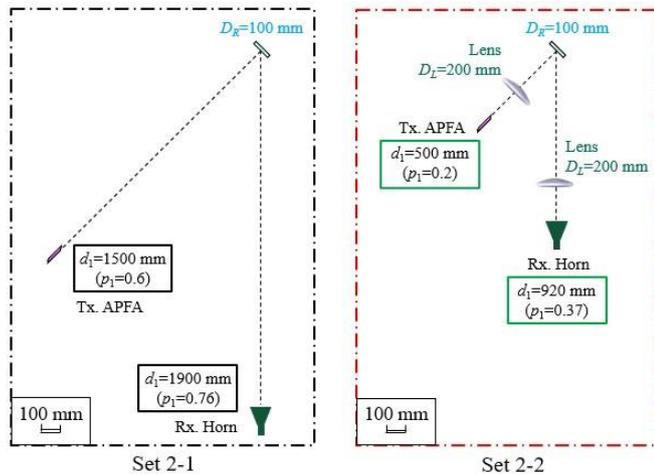
2.4 測定結果

レンズなしで比較的遠方 (Set 1)、送受ともにレンズ使用で近距離 (Set 2) の 2 つの条件で測定を行った。また、測定条件は表 1 の通りである。実験場所の都合上、十分に遠方界条件を満たすような距離を確保するのが困難であったため、Set 1 の結果はあくまで比較的遠方 ($p_1 = 0.6$, $p_2 = 0.76$) での測定結果であるが、メインローブにおける測定距離による影響は非常に小さいと考えられるので、今回はこの結果を比較対象とする。

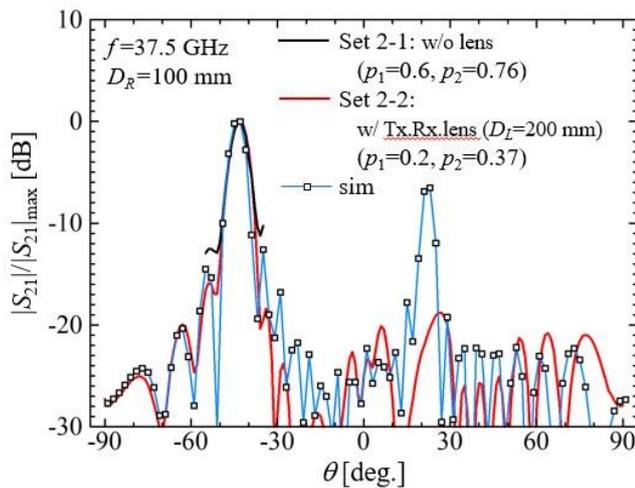
表 1: 比較的遠方とレンズ CATR の測定条件

	d_1 [mm] (p_1)		d_2 [mm] (p_2)	
	$ z_{\text{im}} $	$ z_{\text{ob1}} $	$ z_{\text{im}} $	$ z_{\text{ob2}} $
Set 1 (w/o Lens)	1500 (0.6)		1900 (0.76)	
Set 2 (w/ Lens)	200	300	200	720

図7に最大値で正規化した測定結果と HFSS (有限要素法) による数値解析結果を示す。



(a) 模式図



(b) 測定結果

図7: レンズ CATR の妥当性評価

図7から、設計したレンズ CATR を使用することで近距離測定 (赤実線) においても、比較的遠方における測定結果 (黒実線) と数値解析結果 (青実線) をある程度再現可能であることが確認できた。ただし、 $-30 < \theta < 30$ deg. 付近でレンズ CATR の測定結果と数値解析結果が一致しないが、これは照射側レンズ (Tx. Lens) によるブロッキングが原因であると考えられる。これは、照射アンテナまたは受信アンテナの高さをオフセットすることで改善できると考えられる。

3. まとめ

本報告では、リフレクタレー等の散乱特性を評価する際に使用される CATR について、誘電体レンズを用いて近傍界遠方界変換を必要としない測定系を実現し、その有効性について実験的に検討を行った。試作したリフレクタレーの前方散乱特性を測定し、レン

ズを使用した場合と使用しない場合で比較してレンズ CATR の有効性の検討を行った。実験の結果、近距離でレンズを使用した場合の測定結果は、メインローブにおいて、比較的遠方から測定した場合の測定結果とほとんど一致した。さらに、サイドローブにおいても数値解析結果と概ね一致しており、レンズ CATR の妥当性を確認できた。ただし、後方散乱断面積まで正確に評価するためには、送受信アンテナのオフセットが必要となる。

謝 辞

本研究開発の一部は総務省の「電波資源拡大のための研究開発 (JPJ000254)」によって実施された。

文 献

- [1] D. M. Pozar, S. D. Targonski and H. D. Syrigos, "Design of millimeter wave microstrip reflectarrays," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 45, no. 2, pp. 287-296, Feb. 1997,
- [2] R. Johnson, H. Ecker and R. Moore, "Compact range techniques and measurements," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 17, no. 5, pp. 568-576, September 1969.
- [3] Dau-Chyrh Chang, Chao-Hsiang Liao and Chih-Chun Wu, "Compact antenna test range without reflector edge treatment and RF anechoic chamber," in IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 46, no. 4, pp. 27-37, Aug. 2004.
- [4] H. Yamazaki and K. Miyata, "Application of Boundary-Element Method to Off-set Gregorian Antenna Near-Field Computation for Compact-Range Environment Evaluation," 2015 9th Asia Modelling Symposium (AMS), 2015, pp. 72-74
- [5] H. Sato, Y. Takagi, and K. Sawaya, "High Gain Antipodal Fermi Antenna with Low Cross Polarization," IEICE Transactions on Communications., vol. E94-B, no.8, pp. 2292-2297, Aug. 2011.