

フレネル領域におけるリフレクトアレー設計法の構築

本多 出[†] 今野 佳祐[†] 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: † izuru.honda.q4@dc.tohoku.ac.jp, keisuke.konno.b5@tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

あらまし フレネル領域におけるリフレクトアレー設計法を提案する。提案法では、リフレクトアレーの焦点 (Focal point, FP) の位置を変えることで、リフレクトアレーによって電界強度が向上するエリアサイズを変えることができる。数値シミュレーションを行い、提案法で設計したリフレクトアレーによって様々な大きさのエリアの電界強度が向上することを明らかにする。

キーワード リフレクトアレー, フレネル領域

Development of Design Method of Reflectarray Working in Fresnel Region

Izuru HONDA[†] Keisuke KONNO[†] Qiang CHEN[†]

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

E-mail: † izuru.honda.q4@dc.tohoku.ac.jp, keisuke.konno.b5@tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

Abstract A design method for reflectarrays working in Fresnel region is proposed. According to the proposed method, a size of area where electric field strength is enhanced by the reflectarrays can be designed once position of a focal point (FP) changes. Numerical simulation is performed and it is demonstrated that the electric field strength inside various size of areas can be enhanced using the reflectarrays designed by the proposed method.

Keywords Reflectarray, Fresnel region

1. まえがき

送受信アンテナ間に障害物がある場合、電波が届かずに無線通信が困難になるエリアができることがある。このような電波の届きにくいエリアは不感地帯あるいはカバレッジホールなどと呼ばれる。

このような不感地帯における無線通信を実現する手段として、リフレクトアレー (Reflectarray, RA) が挙げられる [1][2]。RA は、複数の素子からの散乱波の位相を所望の方向で同相になるように設計された散乱体のことであり、不感地帯における電界強度の改善に応用できることが明らかにされている [3][4]。

その一方で、5G などの近年の無線通信システムではミリ波等の高周波の電磁波が利用される。このような高周波帯では、電磁波の減衰量が多い。その結果、高周波における不感地帯を解消するための RA は高利得である必要があり、結果的に大規模化する。大規模な RA では、その近傍界領域 (フレネル領域) が大きいので、RA と送受信アンテナの距離は必ずしも遠方界条件を満たさない。従来では、RA の指向性は遠方界領

域で設計されることが大半であったが、ミリ波帯以上の高周波で動作する RA では近傍界領域とりわけフレネル領域での指向性の設計が重要になってくる。

本研究の目的はフレネル領域における RA 設計法を提案し、その有効性を明らかにすることである。焦点の位置を変えることで所望のサイズのエリア内における電界強度を向上させられるようなリフレクトアレーの設計法を示し、数値シミュレーションでその有効性を明らかにする。

2. フレネル領域におけるリフレクトアレーのエリア設計

2.1 提案法

提案法を用いてリフレクトアレーを設計し、フレネル領域内にあるエリアの電界強度を向上させる方法について説明する。なお、提案法では送信アンテナである一次放射器と受信アンテナがいずれもフレネル領域内にあるとみなす。RA 素子は、フレネル領域内にある

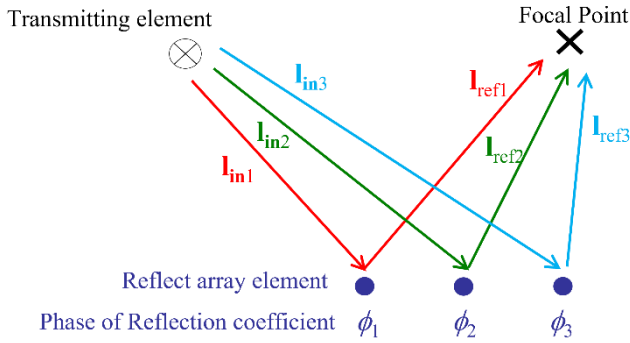


図 1: フレネル領域における RA 設計法

焦点(Focal point, FP)でその散乱電界が同相になるように設計する。したがって、提案設計法では、FP の位置の決め方と、FP における RA 素子の散乱電界を同相にする方法が重要になる。

まず、FP の位置は以下のようにして決定する。まず、焦点位置とエリアサイズとの関係を図 2 に示す。ここで、 A は RA のサイズ、 D はエリアサイズ、 F は原点から FP までの距離、 F' は原点からエリアまでの距離である。 A および D 、 F' が既知であるとする、所望のエリアサイズにおける電界強度の向上を実現するような FP の位置 F は、幾何学的に以下の式で与えられる。

$$F = \frac{A}{A-D} F' \text{ where } F > F'$$

$$F = \frac{A}{A+D} F' \text{ where } F < F'$$

次に、FP における RA 素子の散乱電界は以下のようにして同相にする。図 1 に示すように、各 RA 素子における一次放射器と RA 素子、RA 素子と FP 間の空間位相遅延はそれぞれ異なる。したがって、FP において RA 素子の散乱電界が同相になるためには、散乱電界の位相は以下の式を満たす必要がある。

$$\phi_2 = k_0 \{ (l_{in2} - l_{in1}) + (l_{ref2} - l_{ref1}) \} \quad (2.1)$$

$$\phi_3 = k_0 \{ (l_{in3} - l_{in2}) + (l_{ref3} - l_{ref2}) \} \quad (2.2)$$

このとき一次放射器から N 番目の RA 素子までの距離は l_{inN} 、 N 番目の RA 素子から FP までの距離は l_{refN} である。(2.1)式および(2.2)式で表される位相が FP で同相となるように素子の反射係数の位相 ϕ_1 と ϕ_2 を与えればよい。

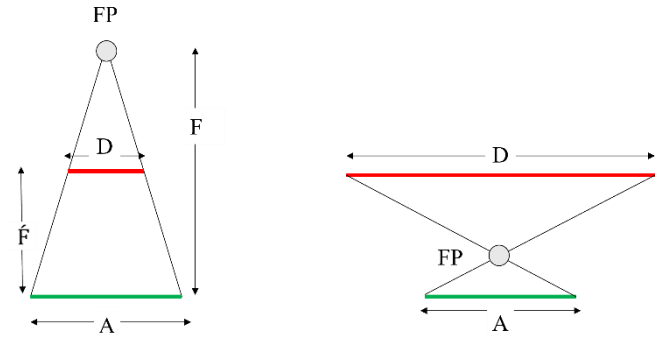


図 2: 焦点位置とエリアサイズとの関係

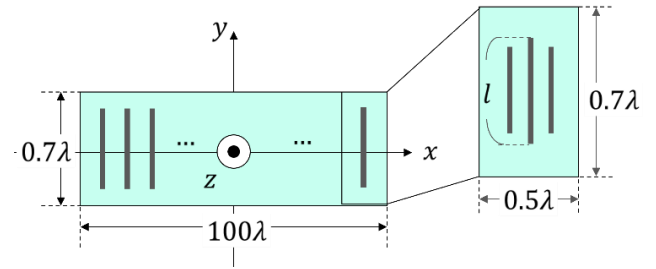


図 3: リフレクタレーの
数値シミュレーションモデル

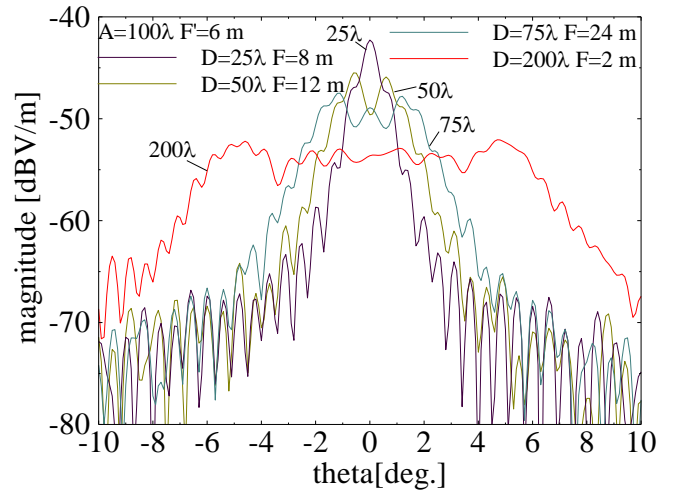


図 4: 焦点位置の変化による
エリア内の電界強度分布

3. 数値シミュレーション

3.1 数値シミュレーションモデル

本提案で用いる数値シミュレーションモデルは図 3 に示す通りである。数値解析にはモーメント法を利用しており、素子長 l は無限周期構造中にある素子の反射係数の位相を数値解析した結果をもとに決定している。

3.2 数値シミュレーション結果

提案法を用いて異なるサイズのエリアにおける電界強度分布を改善するリフレクタレーを設計した。

数値シミュレーションによって得られた電界強度分布は図4の通りである。

エリアサイズを変化させシミュレーションをしたときに 10dB の電界強度の低下を許容することで所望のエリア幅を実現できていることを確認できた。

アンテナ物理長を超えるエリア幅を実現する際、均一な電界強度で所望のエリアサイズを実現できていない理由として FP の位置が近傍界領域にあるからである。

4. まとめ

フレネル領域におけるリフレクトアレーアンテナの設計法を用いて、1元配列のリフレクトアレーアンテナではフレネル領域にエリアを設計できることを明らかにした。

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] D.G. Berry, R.G. Malech, and W.A. Kennedy, "The Reflectarray Antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.11, no.6, pp.645-651, Nov. 1963.
- [2] J. Huang and J.A. Encinar, Reflectarray Antennas, John Wiley and Sons, 2008.
- [3] L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno, and S. Uebayashi, "Novel Broadband Planar Reflectarray With Parasitic Dipoles For Wireless Communication Applications," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 8, pp. 881-885, 2009.
- [4] L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno, and S. Uebayashi, "Frequency Selective Reflectarray Using Crossed Dipole Elements With Square Loops for Wireless Communication Applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 59, no. 1, pp. 89-99, Jan. 2011