

修士学位論文要約（平成29年 3月）

低いレーダ散乱断面積を有するアンテナアレーの研究

塚田 隆平

指導教員：陳 強， 研究指導教員：佐藤 弘康

The Study of Antenna Array With Low Radar Cross Section

Ryuhei Tsukada

Supervisor: Quian Chen, Research Advisor: Hiroyasu Sato

Phased array antenna has important property to conceal. It is significant to protect the property for radar and satellite communication. Therefore, low Radar Cross Section(RCS) is desired. Reflectarray is one of the method for control RCS. Reflectarray consists variable size of antenna elements. Such variable elements change phase of electric wave in desired direction and control the RCS level of scattered wave. However there is no research for reflectarray shared functions of radiation and scattering, moreover previous reflectarray does not consist feeding mechanism. The system combined reflectarray and phased array antenna will be expected for low RCS radar which military defense or security, and expected the other multifunctional antennas. We proposed reflectarray structure with feeding mechanism and feeding method, 50 ohm impedance finite looks feed mechanism..

1. はじめに

衛星通信やレーダに用いられるフェーズドアレーアンテナは、外部から秘匿すべき情報を多く有している。従って、衛星通信やレーダの安全な利用のために低いレーダ散乱断面積 Radar Cross Section(RCS)を有するアンテナアレーが求められる。低い RCS を実現する手法の一つにリフレクタアレーが存在する。リフレクタアレーとは平面構造の反射板に散乱波の位相を制御する素子を周期的に配置した散乱体である。リフレクタアレーの従来研究は現在、高周波域での電波不感地帯の解消に研究がされている[1]が、リフレクタアレーに給電構造を共有させる試みはされていない。本研究ではリフレクタアレーに給電構造を付与することによって散乱波を制御し、低い後方散乱(BSCS)を有し、放射と散乱の機能を共有したアンテナアレーの設計を行う。また、リフレクタアレーは構造上、電気的な素子長の異なる素子を配列するため、通常フェーズドアレーアンテナのように均一素子で構成されていない。従って、不均一素子によるアレー素子パターンや相互結合を考慮した給電を行う必要があるため、給電方法を考案することも本研究の目的とする。

2. リフレクタアレーの設計

提案アンテナは図1の2層構造を持つ方形パッチアンテナに直結給電方式を用いた H 面 1 次元アレーである。散乱特性の評価は RCS の式(1)で評価される。

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E_s|^2}{|E_i|^2} \quad (1)$$

E_i は入射電界であり、 E_s は散乱電界を表す。RCS の値が小さいと散乱電界が小さくなり、正面方向、すなわち $\theta = 0\text{deg}$ における RCS の値が低くなることが求められる。このとき図 2,3 に給電部の装荷位置を変更した場合、及び散乱所望方向 θ_s を $10 \sim 40\text{deg}$ まで 10deg ずつ変更した場合の RCS を示す。図 2 より給電部の装荷位置は正面方向の RCS に影響を与えることが分かる。これは給電部が励振し、再放射をすることで後述の放射特性と同様の特性を有していることが原因と考えられる。また図 3 より $\theta_s = 10\text{deg}$ のときメインビーム幅が正面方向を含むため、 $\theta_s = 20, 40\text{deg}$ のときは発生したサイドローブが正面方向に出現したため正面方向の低い RCS にはサイドローブの出現する角度について考慮する必要がある。よって所望散乱角度を 30deg に設計することが最も適当であることが分かる。

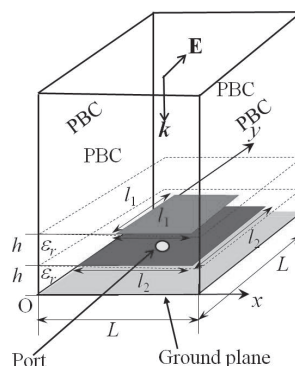


図 1. リフレクタアレーのモデル

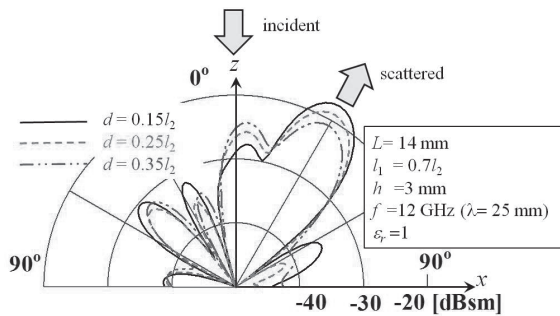


図2 リフレクタレーの散乱特性

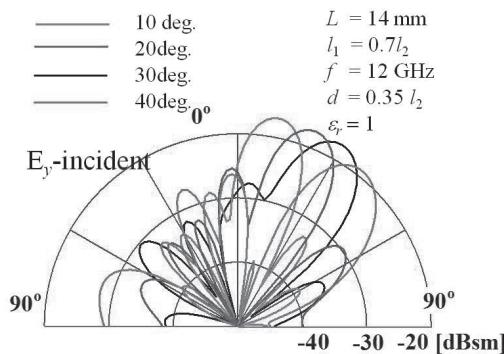


図3 散乱角度とRCSの関係

3. リフレクタレー構造における給電方法

通常フェーズドアレーアンテナは均一な素子で構成されている。そのため、ビームの指向性の計算はアレー素子パターンから計算できるが、不均一素子である場合は素子間相互結合やアレー素子パターンがそれぞれ異なるため、給電方法について考慮しなければならない。まず、目標とするビーム方向を θ_0 とすると、素子間に必要な給電の位相差 ψ は一次元アレーで式(2)に表され、またそれぞれの素子に給電される電流は式(3)に表される。

$$\psi = (n-1)kL \cos \theta_0 \quad (2)$$

$$I = I_0 e^{-j(n-1)kL \cos \theta_0} \quad (3)$$

k は波数, n は配列された素子の番号(整数)であり, L は素子間距離を表す。

この給電方法を用いた時の給電電圧を V_1 とする。この給電電圧 V_1 は素子間相互結合を考慮したものではない。そのため、素子間相互結合を考慮しビームの指向性を求めるにはインピーダンス行列から相互結合を考慮した電圧値を導出しなければならない。

補正前の電圧値 V_1 (黒線)と補正後の電圧値 V_2 (青線)によるビームの比較を行った結果を図4に示す。図4からビームには大きな変化が見られなかった。これは提案アンテナがH面アレーであることから相互結合が小さく補正効果が小さかったためと考えられる。しかしながらビームは所望方向を向いていたためビーム走査は可能である。

また、放射特性及び、リフレクタレーの散乱特性を給電部の装荷位置で比較した結果を図5に示す。図5から給電部が中心位置に近づくことによって散乱特性は改善するものの動作利得は低下することがわかる。これは素子長に対して給電位置、及びインピーダンスの値が不整合であるためだと考えられる。従ってそれぞれの素子長に応じたインピーダンスの整合について今後考慮する必要がある。

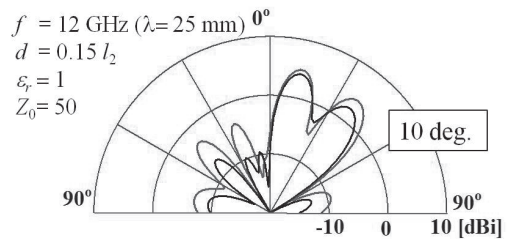


図4 リフレクタレー構造に給電時の放射特性

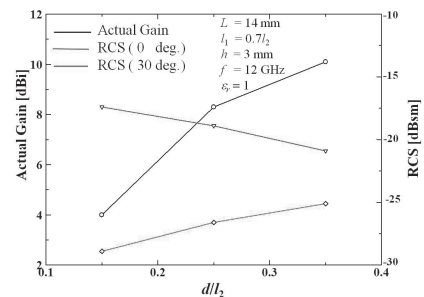


図5 放射特性と散乱特性の比較

4. まとめ

本研究では給電構造を有する低RCSアンテナアレーとしてリフレクタレーを用いることを提案し、その設計を行った。数値的な解析からリフレクタレーとしての動作に最適な設計を明らかにし、そのリフレクタレーに給電方法を考案した。しかしながら、放射特性と散乱特性の性能がトレードオフの関係にあることから今後は放射特性を低下させずに散乱特性を維持する方法についての検討が望まれる。

文献

- 1) Payam Nayeri, et.al. "3D Printed Dielectric reflectarrays: Low-Cost High-Gain Antennas at Sub-Millimeter Waves", IEEE Trans, Antennas and Propag., vol. 62, no.4, April 2014.