

# 石垣島におけるリフレクトアレーの屋外実験

栗原 佑介, 李 建峰, 陳 強, 澤谷 邦男 (東北大学大学院工学研究科)

**概要:** 携帯電話等の小型無線通信機器の普及に伴い, 都市部では高層建築物の影響により通信状況の劣化する場所が存在する。そこで, リフレクトアレーを用いて, 伝搬環境の改善と多重波通信を行うことが期待されている。

本報告では, 石垣島において行なった屋外環境におけるリフレクトアレーの伝送特性の実験結果について報告する。

**キーワード:** リフレクトアレー, 実験

## 1. まえがき

近年, 携帯電話をはじめとする移動体通信が急速に普及し, Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 技術[1],[2] といった高速通信技術が移動体通信に用いられるようになったため, 送受信間の伝搬特性が移動体通信に与える影響がますます大きくなっている。また, 高速通信に必要な広い周波数帯域を確保するため, 移動体通信の周波数は高くなっていく傾向があり, 高い周波数を用いた通信システムの研究と標準化が盛んに行われている[3]。しかし, 電波は周波数が高くなるにつれて反射や回折による伝搬損失が多くなるため, 都市内に乱立する高層ビルの中に, 他のビルの屋上に設置された基地局アンテナからの電波が届かなくなるという問題が発生する。この電波が届かない場所は不感地帯 (Blind spot) と呼ばれる。先に述べたように, 移動体通信は伝搬環境の影響を大きく受け, 不感地帯において通信品質が劣化してしまう。したがって, 高層ビルが数多く存在する都市内での伝搬環境を改善し, 不感地帯を解消することが急務となっている。

そこで, 図 1 のように, リフレクトアレー (Reflectarray, RA) をビルの屋上や壁に設置し, 基地局からの電波を不感地帯の方向に散乱させることで, 伝搬環境を改善するという手法が提案されている[4]。

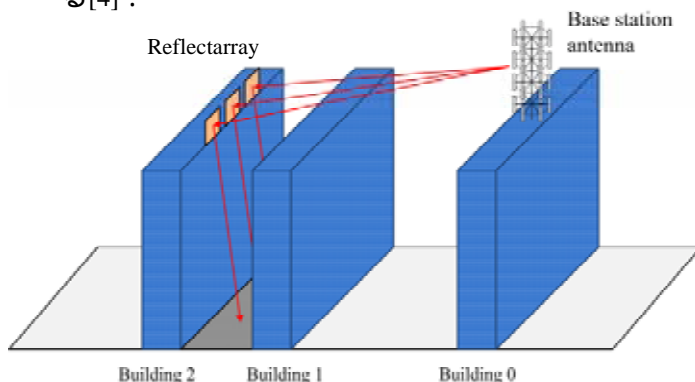


Fig.1. Removal of Blind spots

また, 図 2 のように, リフレクトアレーを用いて多重波環境を作り, MIMO 多重伝送の伝送容量を改善する効果も期待されている。

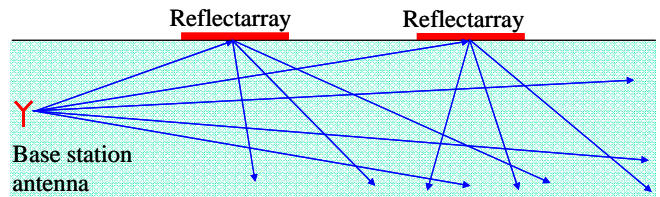


Fig.2. Multipath Fading Environment

ここで, リフレクトアレーは複数の素子から構成される平面状の散乱体であり, 入射波を設計した方向に散乱させることができる散乱体である。リフレクトアレーを正確・効果的に設計するためには, リフレクトアレーの都市への導入効果を評価する必要がある。

これまでのリフレクトアレーを用いた伝搬環境の改善に関する研究では, シミュレーションによる検討や, 屋内環境における実験による検討が行われてきた。しかし, 実用的なリフレクトアレーの評価には電波暗室や屋内環境での評価だけでは不十分であり, 屋外環境におけるリフレクトアレーの伝送特性を把握する必要がある。よって, 本研究の目的は, 屋外環境におけるリフレクトアレーの伝送特性を実験的に検討することとする。

本報告では, 石垣島において行なった屋外環境におけるリフレクトアレーの伝送特性の実験結果について報告する。

## 2. リフレクトアレーの設計と試作 [5]



Fig.3. Reflectarray

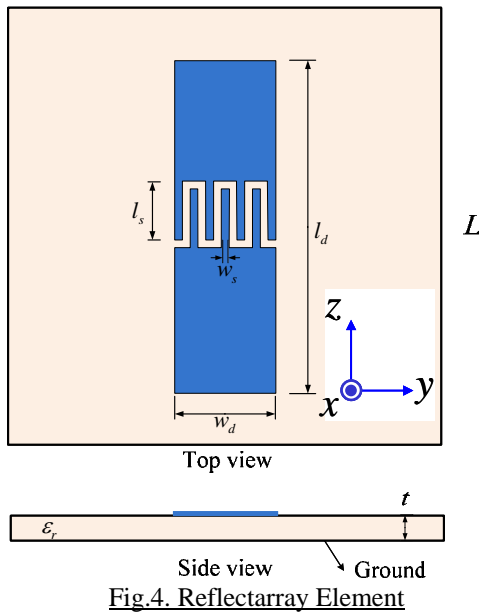


Fig.4. Reflectarray Element

図3に1枚のリフレクタレーの全体写真，図4に1素子の図を示す。

リフレクタレーは各素子の  $l_s$  を変化させ，散乱波の位相を調節することができる。各素子の構造を最適に設計することで，位相のそろう方向に散乱波のビームを向けることができる。

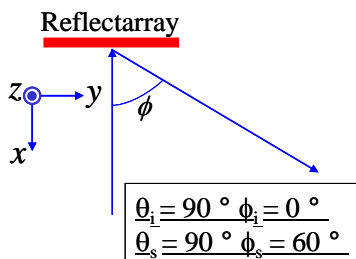


Fig.5. Scattering image

図5にリフレクタレーの散乱の波のイメージ図を示す。図5のように  $60^\circ$  の方向に散乱波がそろうように設計している。

### 3. 実験 1. リフレクタレーの散乱特性の測定

#### 3.1. 実験 1. 実験諸元

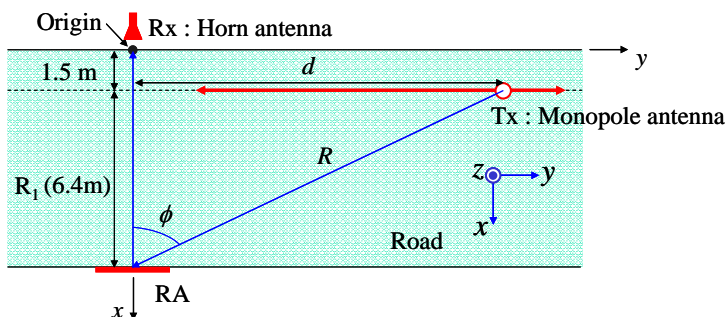


Fig.6. Measurement Environment

図6のような測定環境でリフレクタレーの散乱パターンの測定を行なった。送信アンテナを  $y$  軸に沿って移動させ，ランダムに測定点を決め各点において受信電力を測定した。測定した受信電力の値から散乱パターンを求めるために角度と距離  $R$  の関係を用いて補正を行った。

ここで，測定システムを説明する。



Fig.7. Monopole antenna



Fig.8. Horn antenna

図7に送信側に使用したモノポールアンテナを示す。送信電力は  $30\text{ dBm}$ ，周波数は  $11\text{ GHz}$  とした。図8に受信側で使用したホーンアンテナを示す。ホーンアンテナで受信した電力をアンプ (Agilent 8449B) で増幅し，Spectrum Analyzer (Agilent E4440A PSA) で測定し，GPIB ケーブルを用いて PC にデータ送信し，PC で記録を行う。アンテナの高さは  $1.5\text{ m}$  とした。

今回の実験では，1枚のリフレクタレーを設置した場合 (1RA，図9)，3枚の同じリフレクタレーを横に並べて設置した場合 (3RA，図10)，リフレクタレーを設置しなかった場合 (w/o RA) の3つのパターンを測定した。



Fig.9. 1RA



Fig.10. 3RA

遠方界の条件は, 1RA の場合,  $R = 17 \text{ m}$ , 3RA の場合,  $R = 48 \text{ m}$  である.

測定するデータから散乱パターンを求めるために, 距離  $R$  と角度  $\phi$  の関係を下式により補正した.

$$P \times \left(\frac{R}{R_1}\right)^2$$

P : Received Power  
 $R_1 : 6.4 \text{ m}$

### 3.2. 実験 1. 実験結果

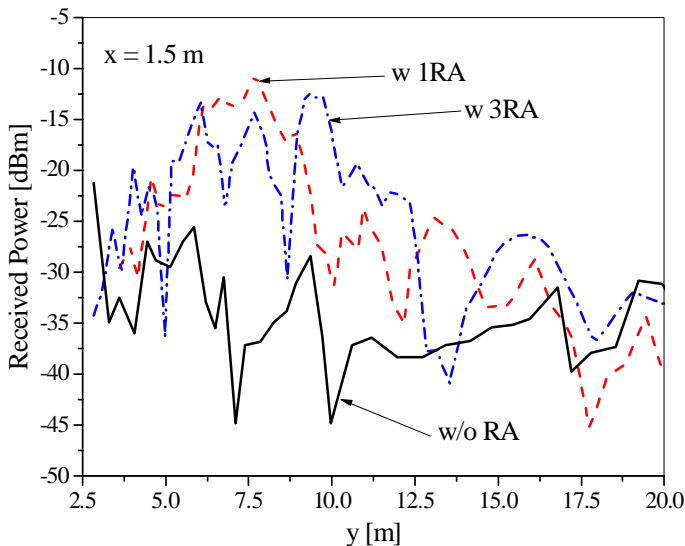


Fig.11. Received Power

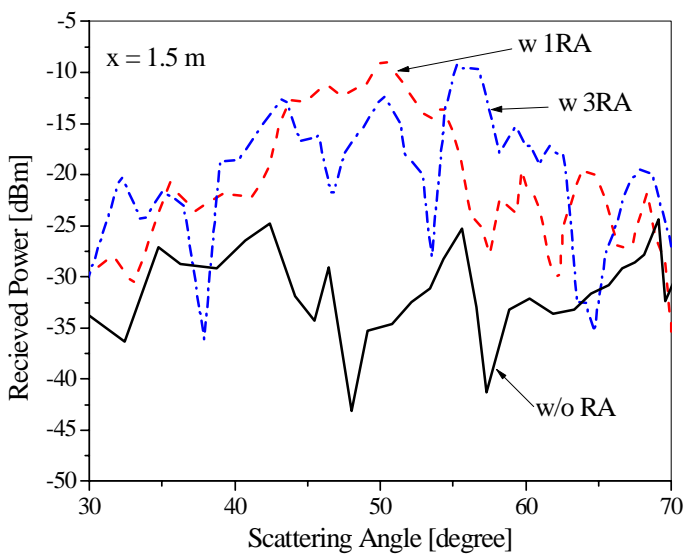


Fig.12. Scattering Pattern

図 11 に測定データ, 図 12 に測定データを補正した散乱パターンをそれぞれ示す. 図 11 より, 1RA では,  $y = 7.6 \text{ m}$  辺りにピークが見られ, 3RA では,  $y = 6.2 \text{ m}$ ,  $7.6 \text{ m}$ ,  $9.1 \text{ m}$  辺りにピークが見られる. 同様に, 図 12 より 1RA では  $50^\circ$  付近にピークが見られ, 3RA では  $43^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $57^\circ$  にピークが見られる.

1 枚のリフレクタレーを設置した場合について考えると, シミュレーションによる最大散乱方向は  $60^\circ$  に設定し設計してあるが, 実験では  $50^\circ$  が最大散乱方向である. これは, シミュレーションは遠方界領域における計算を行っているが, 実験では近傍界での測定になっていることによると考えられ, 単純に比較はできない.

また, 3 枚設置した場合について考えると, それぞれのリフレクタレーの散乱方向が異なるのでピークが 3 つあったと考えられる. 3 枚それぞれに入射する方向が少し異なっているためそれぞれのリフレクタレーの散乱方向が異なり明らかに 3 つのピークが現れていると考えられる. 3 枚それぞれが同じリフレクタレーを用いていることから 3 つのピークが現れている.

### 4. 実験 2. 実環境における測定

#### 4.1. 実験 2. 実験諸元

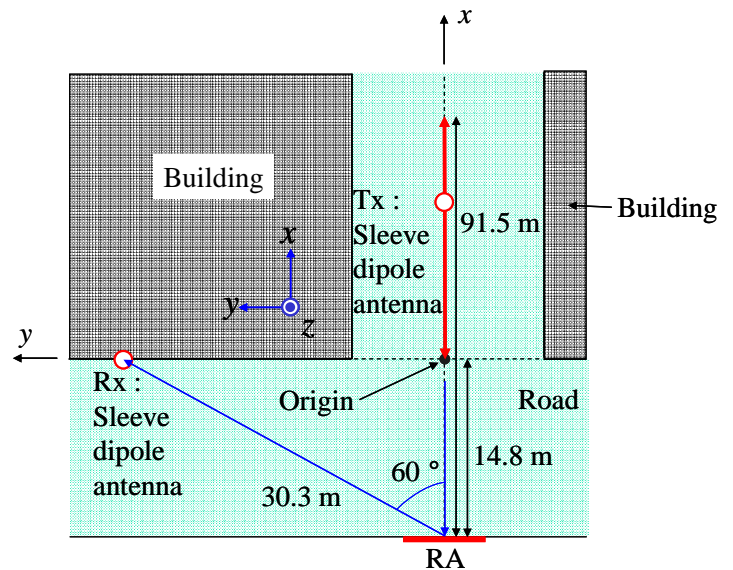


Fig.13. Measurement Environment

図 13 のような測定環境で実環境におけるリフレクタレーによる伝搬環境の改善効果を測定した. 受信アンテナを固定し, 送信アンテナをリフレクタレーの散乱方向を向け移動させ受信電力を測定した. 測定点は測定開始点 ( $x = 0 \text{ m}$ ,  $y = 0 \text{ m}$ ) から測定終了点 ( $x = 76.7 \text{ m}$ ,  $y = 0 \text{ m}$ ) の間を移動している間に 1600 点とした. 測定システムは実験 1 と同じシステムを使用した. 送受信アンテナを図 14 に示す Sleeve dipole antenna に変更し測定を行った.



Fig.14. Sleeve dipole antenna

アンテナの高さは2.1 mとした。

#### 4.2. 実験 2. 実験結果

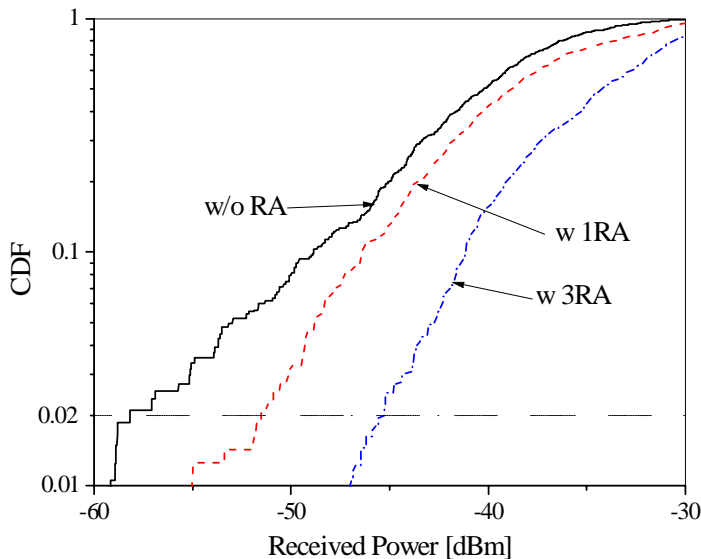


Fig.15. CDF of Received Power

図 15 に測定した 1600 点のデータから CDF (Cumulative Distribution Function) を求めたグラフを示す。これより、自由空間の伝搬ロスにより、送信アンテナがリフレクトアレーから遠ざかると受信電力は下がっている。また、3RA, 1RA は、リフレクトアレーを設置しない場合に比べて改善が見られる。CDF = 0.02 においてリフレクトアレー による受信電力の改善を見ると、

Without RA : -59 dBm  
 With 1RA : -52 dBm (7 dB の改善)  
 With 3RA : -45 dBm (14 dB の改善)  
 となり改善が確認できた。

#### 5. むすび

本報告ではリフレクトアレーの屋外伝搬実験を行った。まず、リフレクトアレーの散乱パターンの測定した。シミュレーション (遠方界領域) と実験結果 (近傍界領域) で最大散乱方向に 10° の差があることを確認した。また、3 枚のリフレクトアレーを設置した場合、3 つの散乱パターンが見られることがわかった。

また、実環境においてリフレクトアレーによる伝搬特性の改善効果を測定した。リフレクトアレーによる CDF = 0.02 において 7~14 dB の受信電力の向上を確認した。

#### 参考文献

- [1] I. E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," AT&T Bell Labs, 1995, Tech. Rep..
- [2] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," Wireless Personal Commun., vol. 6, no.3, pp. 311-335, 1998.
- [3] R. Fisher, "60 GHz WPAN standardization within IEEE 802.15.3c," In Proc. ISSSE '07, pp. 130-105, 2007.
- [4] 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, Aug.2009.
- [5] J. Li, Q. Chen, Q. Yuan, and K. Sawaya, Electronics Letters, vol. 47, no. 2, pp. 83-85, Jan. 2011.