
屋内伝搬実験に基づく
RF適応アンテナの特性評価

Performance Evaluation of RF Adaptive Array
Antennas Based on Indoor Propagation
Measurement

田中 宏哉 クリアンサック シワソンディワット 高田 潤一
東京工業大学 大学院理工学研究科
本田 敦 ソルワル ホセイン 井田 一郎 大石 泰之
富士通株式会社



目次

- 背景および目的
- 伝搬実験環境および推定結果
- アンテナ構成およびアンテナ特性
- 適応制御法
- シミュレーション方法および条件
- シミュレーション結果
- まとめ

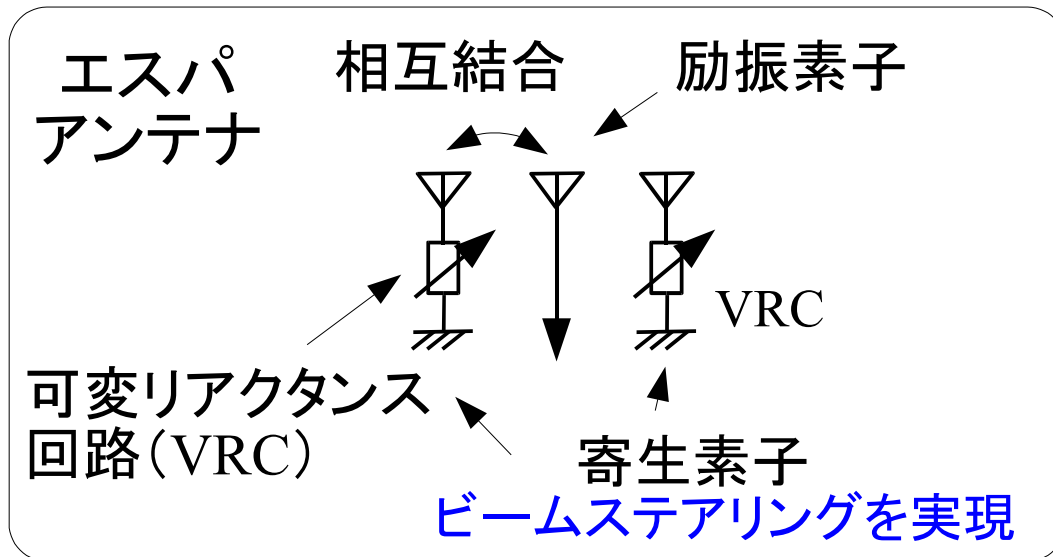


背景 (RF適応アンテナ)

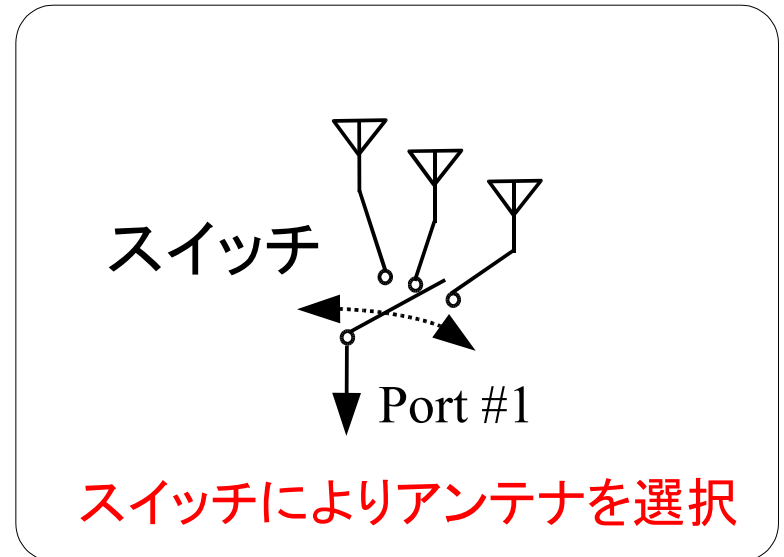
- RF適応アンテナ
 - ビームステアリング型
 - アンテナ選択型

どちらが適しているのか？

ビームステアリング型

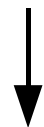


アンテナ選択型



背景(目的)

- チャンネルモデルを用いたMIMO伝送での評価
 - ソサイエティ大会で発表
 - B-1-211 “RF適応アンテナによるアンテナ選択・ビームステアリング型MIMOアレーアンテナシステムの性能比較”
 - IEEE 802.11n チャンネルモデルを用いた評価
 - 問題点
 - 伝搬環境における交差偏波比(XPR)を含まない。
 - 垂直方向の到来波はモデル化されていない。



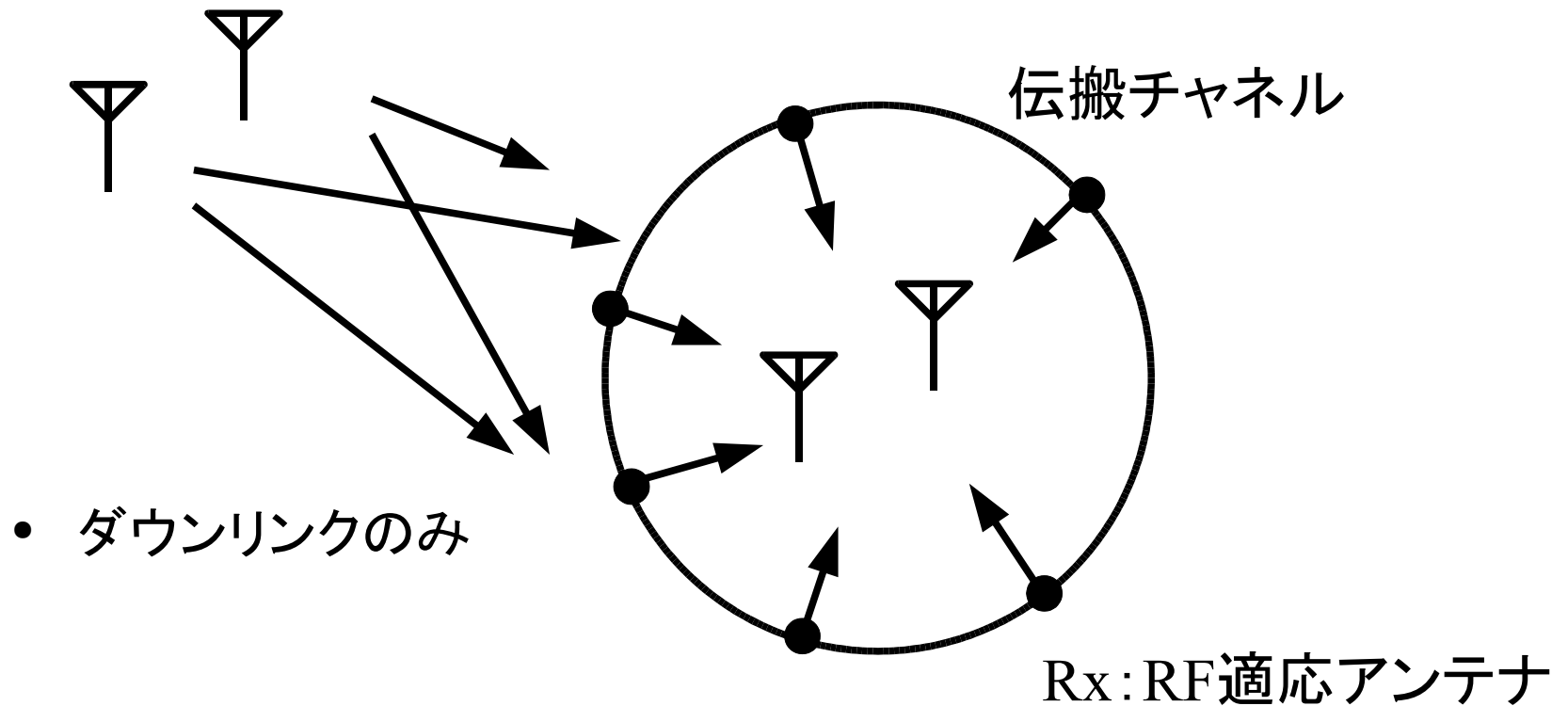
十分とはいえない。

実際の環境で測定されたデータより得られた伝搬モデルを用いたアンテナ評価



背景(解析モデル)

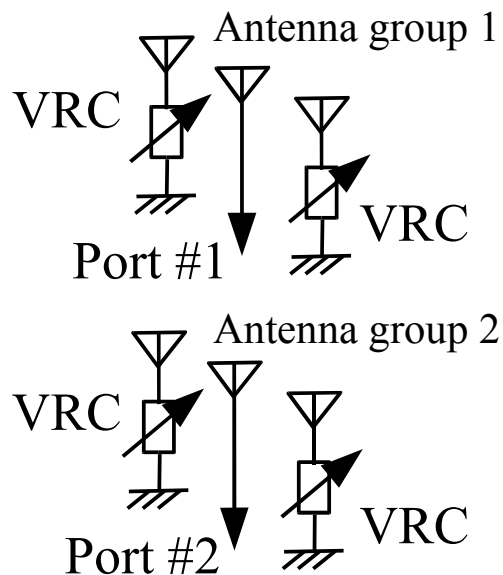
Tx: 垂直偏波無指向性アンテナ



目的(検討する構成)

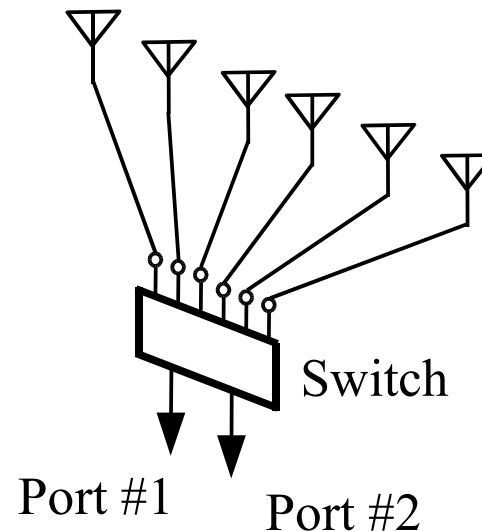
- 2×2MIMO伝送(アンテナ:6素子、RFポート:2)
- 送信側:垂直偏波無指向性アンテナ
- 受信側:RF適応アンテナ

エスパンテナによる
ビームステアリング
(RF-AAA-BS)



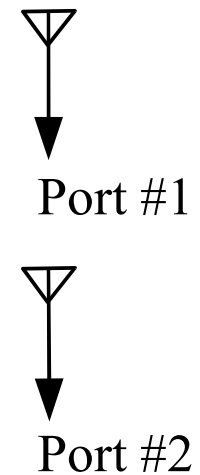
VS

スイッチによる
アンテナ選択
(RF-AAA-AS)



VS

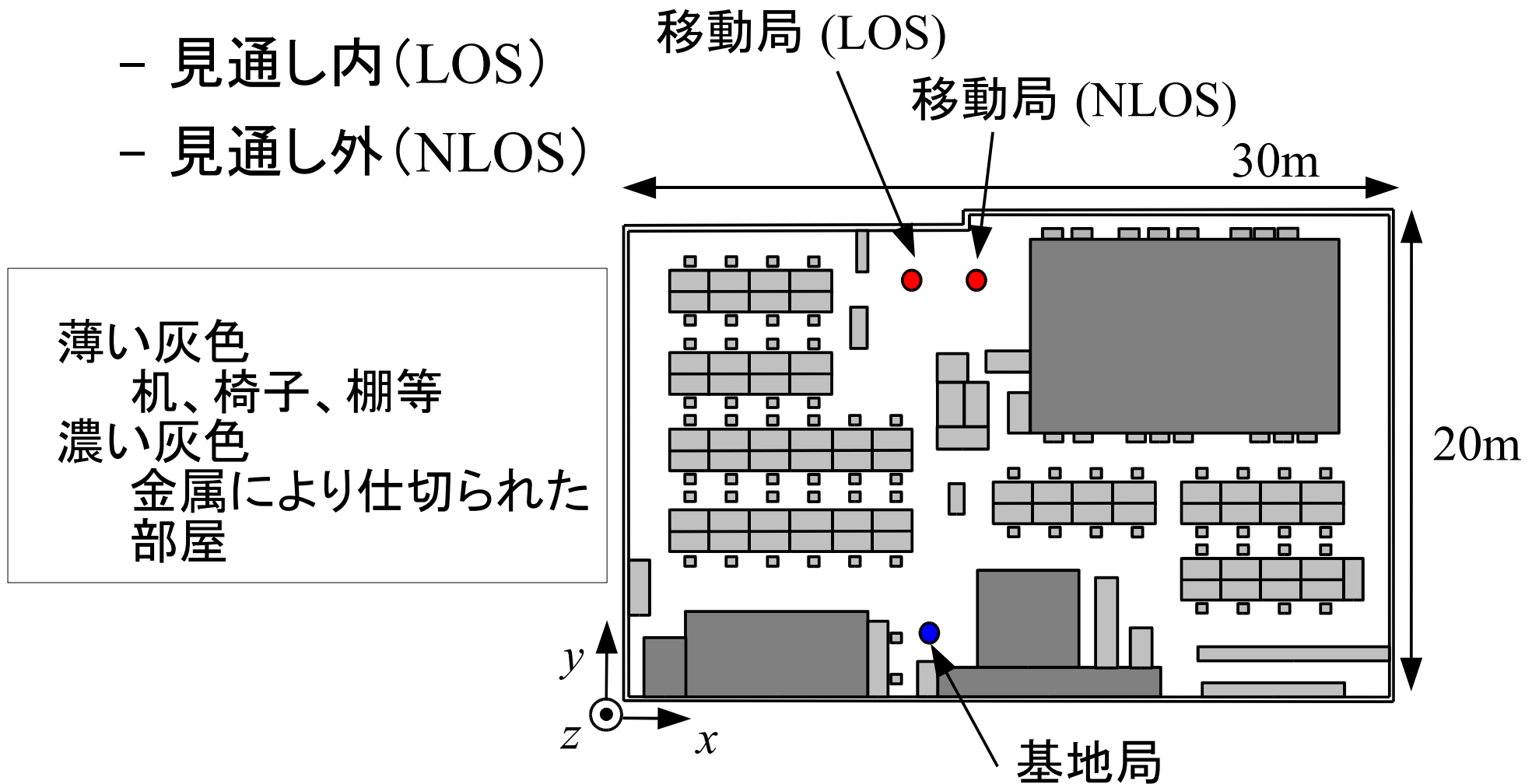
適応制御無し
(SE)



実験環境

- 屋内オフィス環境

- 見通し内 (LOS)
- 見通し外 (NLOS)



測定システム

- Medav RUSK Fujitsu Sounder

- 中心周波数4.5GHz

- 帯域120MHz

- 基地局側

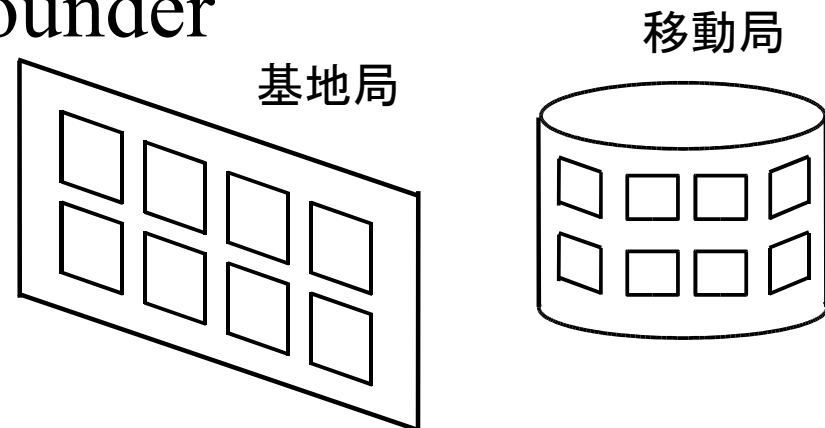
- パッチアンテナにより構成された2×4平面アレー

- 移動局側

- パッチアンテナにより構成された24素子リングアレー ×2

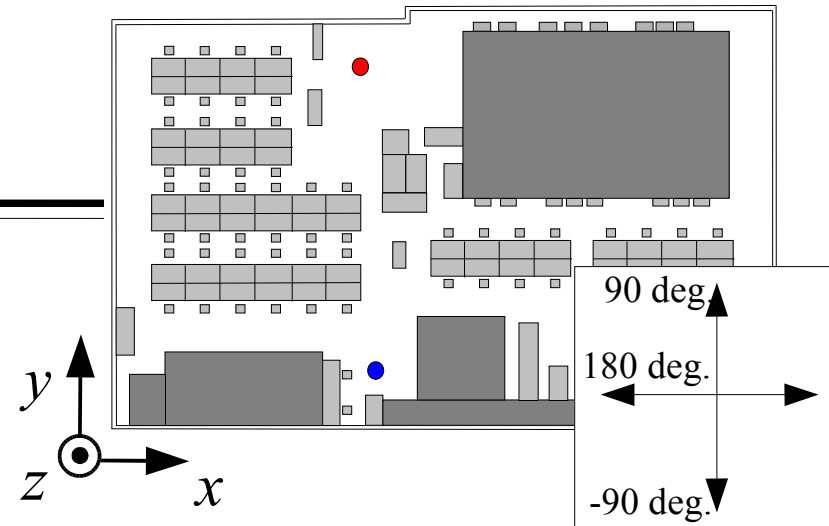
- 最尤推定により測定データからチャンネルパラメタを抽出

- AOD, AOA, 遅延, パスウエイト

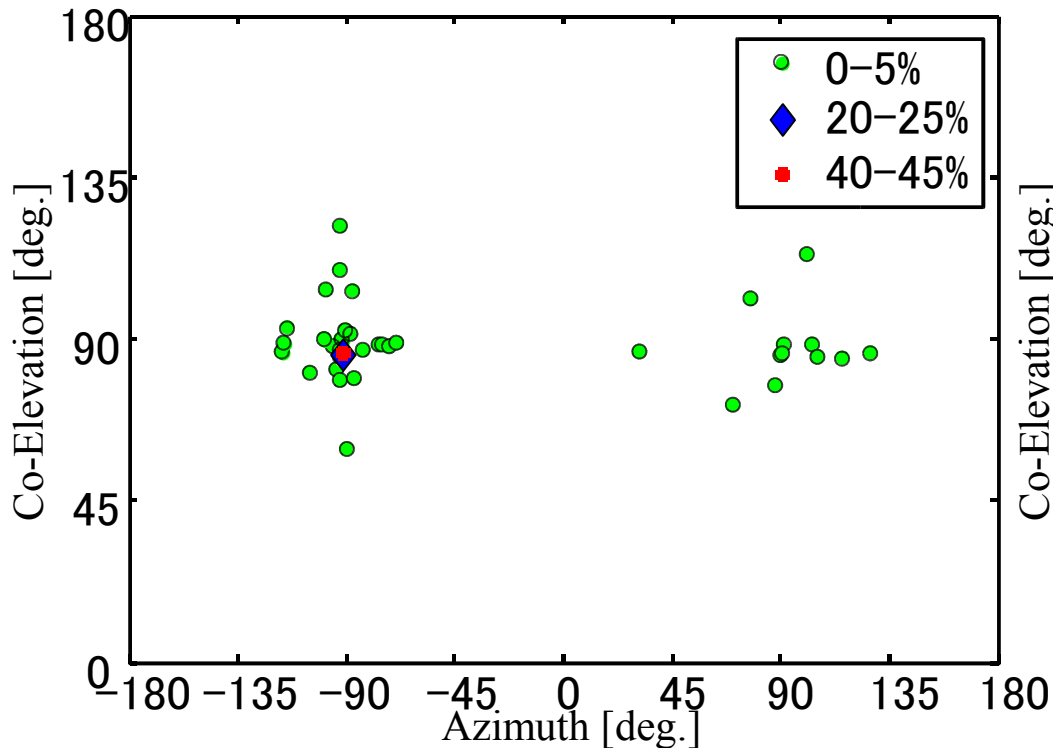


推定結果 -1-

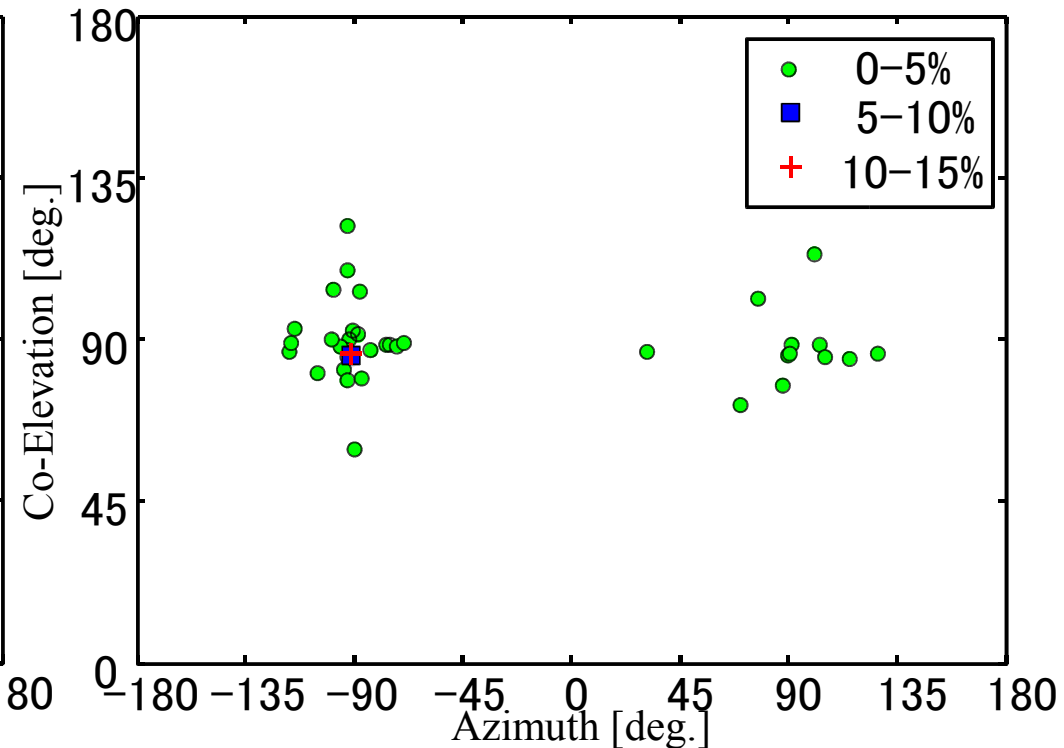
- 抽出されたパスの角度分布 (LOS) (XPR : 4.8dB)



VV(from V to V)



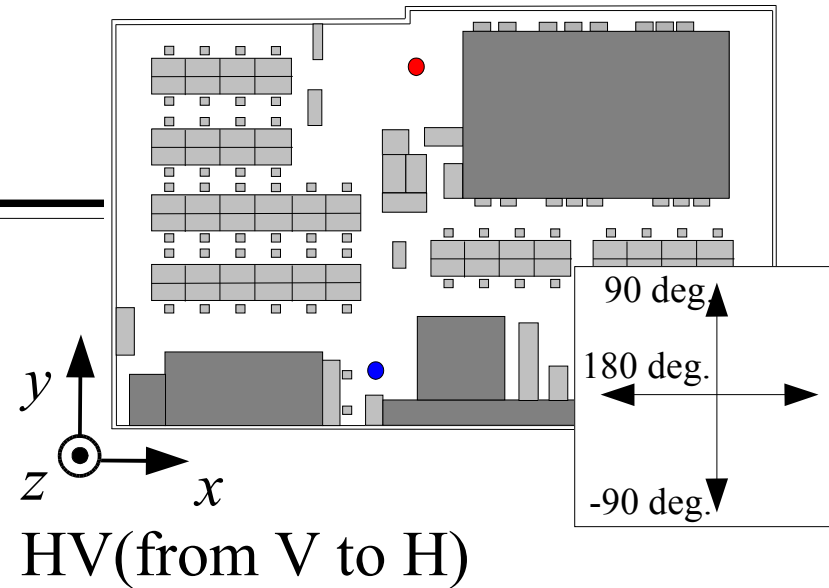
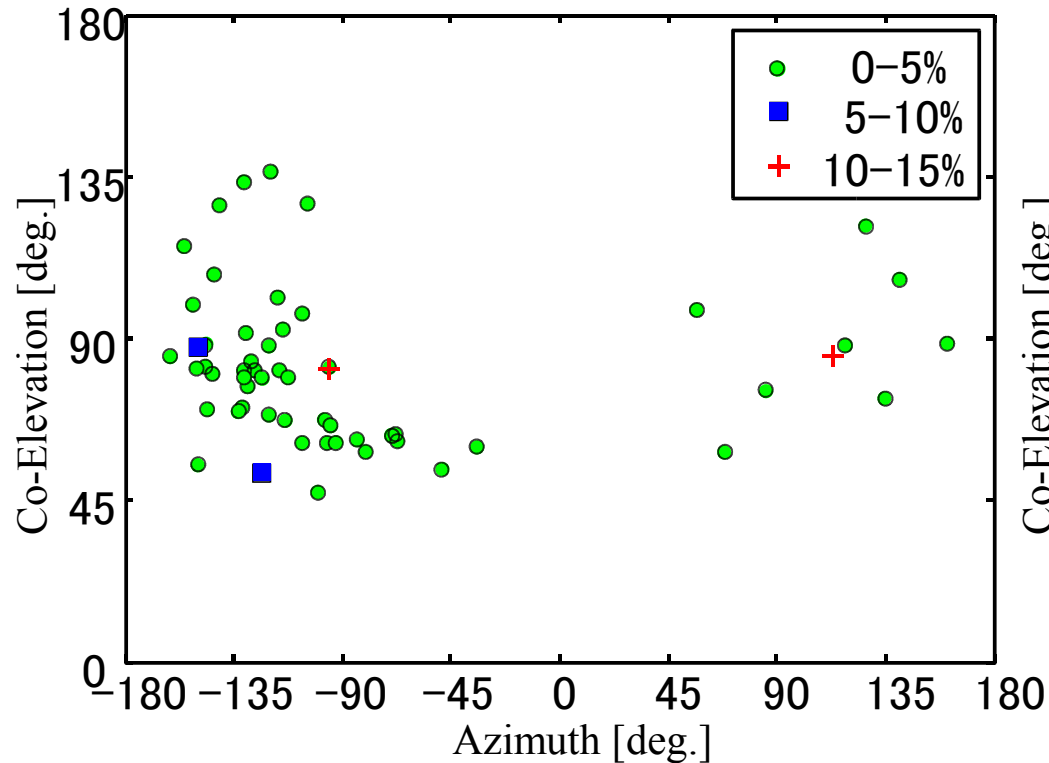
HV(from V to H)



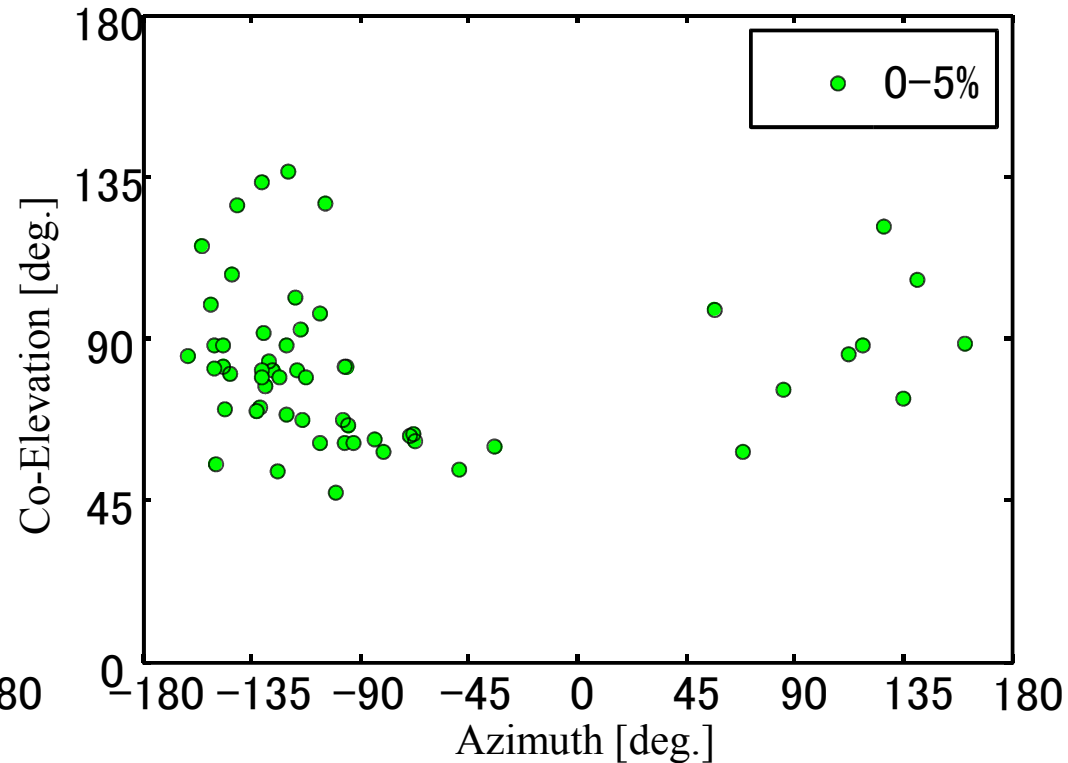
推定結果 - 2 -

- 抽出されたパスの角度分布 (NLOS) XPR : 5.3dB

VV(from V to V)

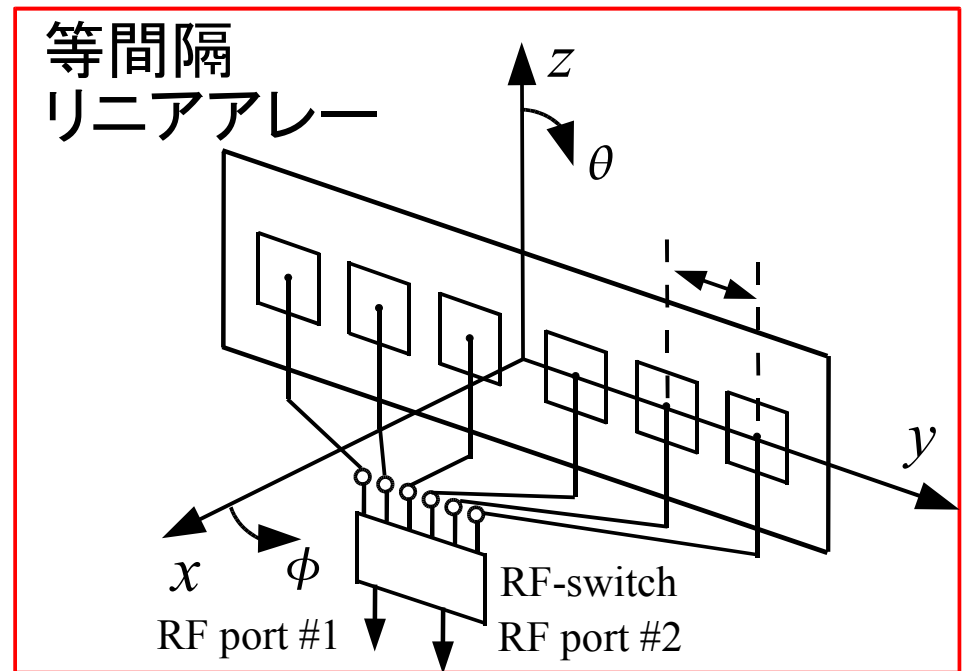
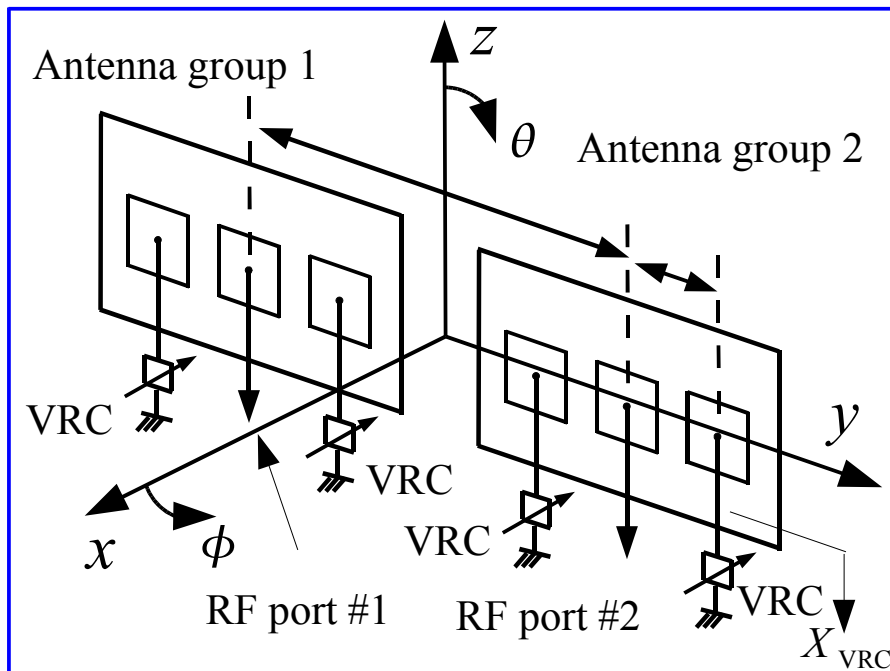


HV(from V to H)



検討するアンテナ構成

- アンテナ素子としてパッチアンテナを使用
- アンテナ: 6素子、RFポート: 2
- 評価指標として伝送容量を用いる
 - ビームステアリング型
 - アンテナ選択型



アンテナ配置の決定指標

- アンテナ構成

- 素子を配置し得るリニアアレーの全長を 6λ とする。
(6λ におさまるようにアンテナを配置する)
- それぞれのRF適応アンテナが効果を発揮し得るアンテナ配置を決定する必要有。

では、どのようにアンテナ配置を決定するか？

- 空間相関

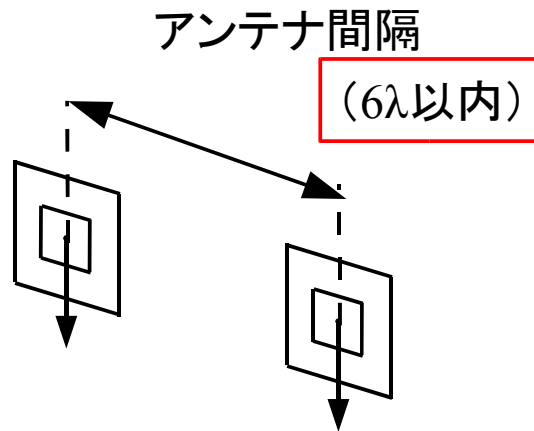
- 適応アンテナの評価する1指標
- 相関係数が小さくなるようにアンテナ配置を決定

$$\tilde{\rho}_{ij,pq} = \frac{1}{K} \sum_k \frac{\langle [\tilde{\mathbf{H}}(k)]_{ij}^* [\tilde{\mathbf{H}}(k)]_{pq} \rangle}{\sqrt{\langle |[\tilde{\mathbf{H}}(k)]_{ij}|^2 \rangle} \sqrt{\langle |[\tilde{\mathbf{H}}(k)]_{pq}|^2 \rangle}}$$

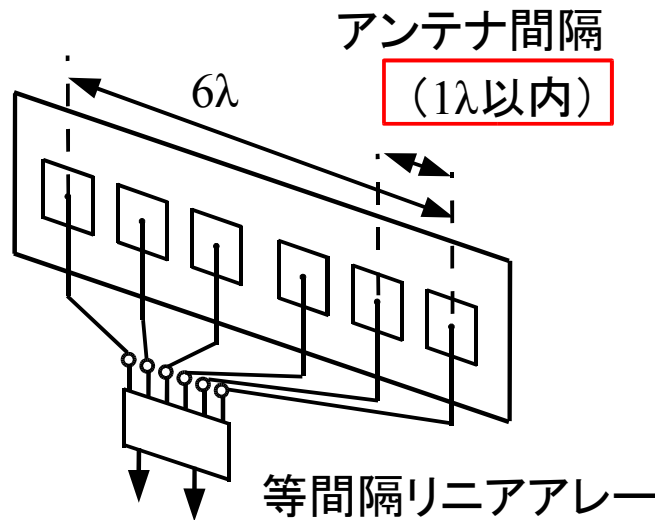


アンテナ配置の設計(単一素子)

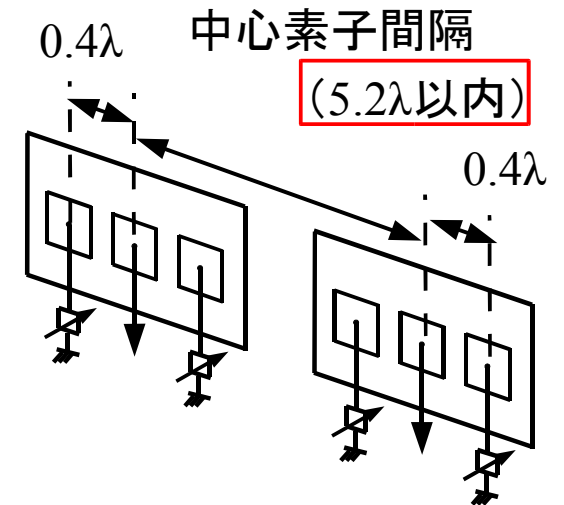
単一素子



アンテナ選択型



ビームステアリング型



全長 6λ 以下で最も相関が低くなるように素子間隔を設計。

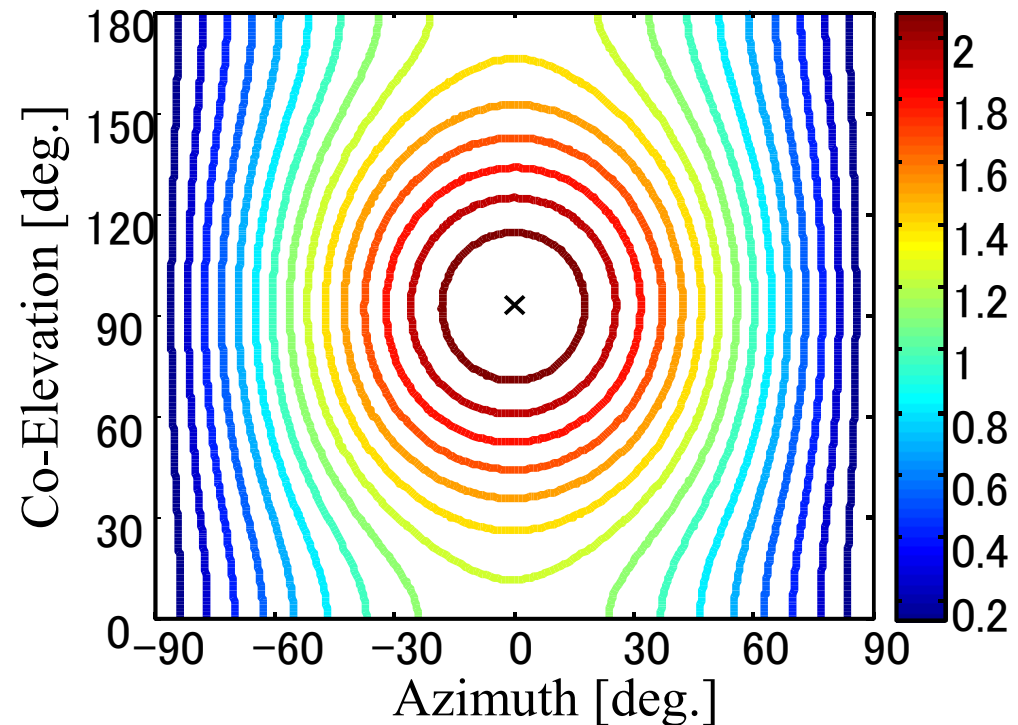
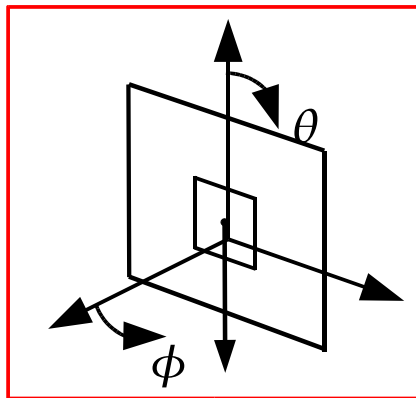
	単一素子	アンテナ選択	ビームステアリング	エスパンテナの素子間
LOS	6.0λ	1.0λ	5.0λ	0.4λ
NLOS	1.0λ	1.0λ	4.5λ	0.4λ



振幅電界放射パターン - 1 -

- 単一パッチアンテナの電界利得

単一素子のみ
及び
アンテナ選択型



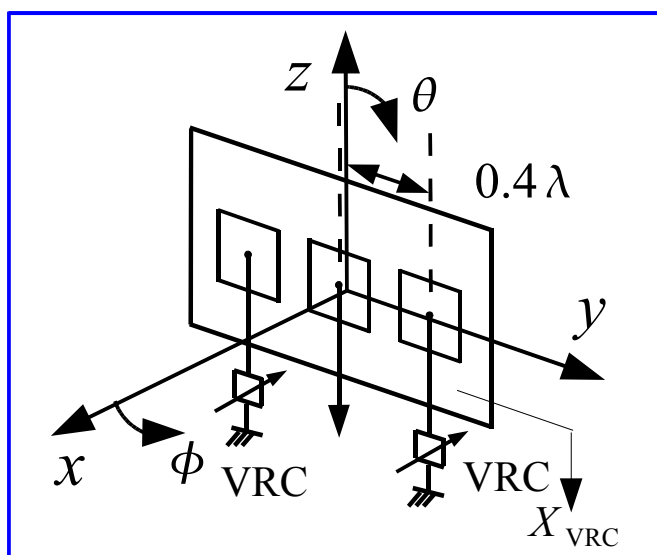
- アンテナ選択型では各素子で同一の放射パターンとした。
- 無限導体地板を仮定
- HFSSにより計算



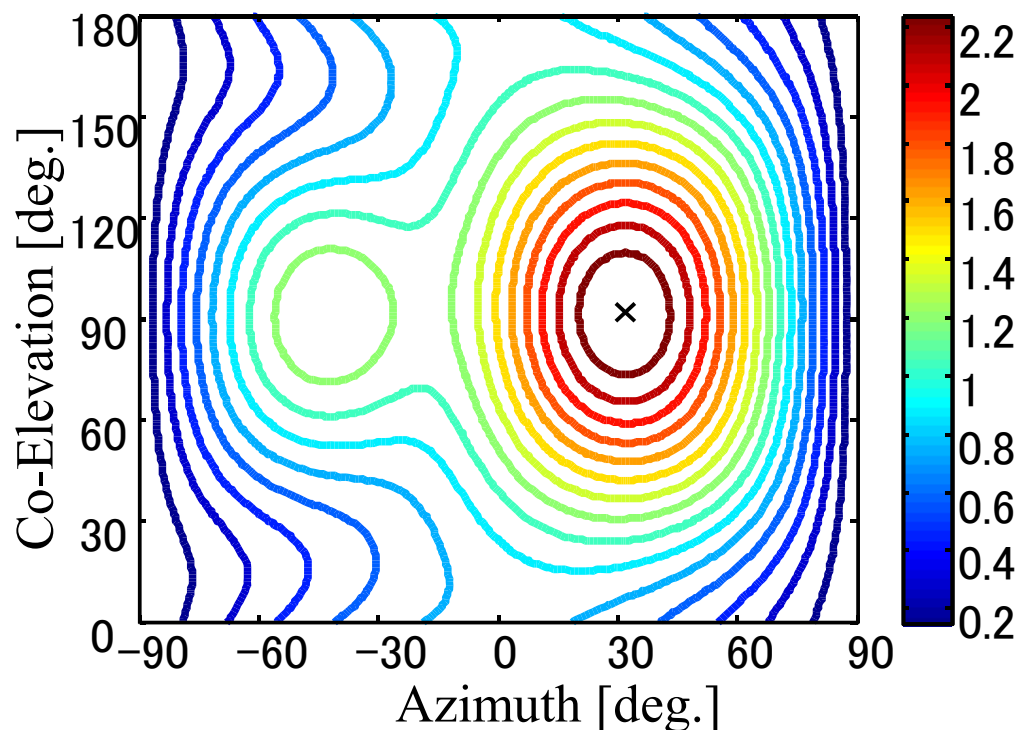
振幅電界放射パターン - 2 -

- 単一エスパアンテナの電界利得

ビームステアリング型



条件 $(X_{VRC1}, X_{VRC2}) = (-2.0, 1.5)$



- 無限導体地板を仮定.
- X_{VRC} の可変範囲は-2.0から1.5とする

=> ±30度のビーム可変範囲



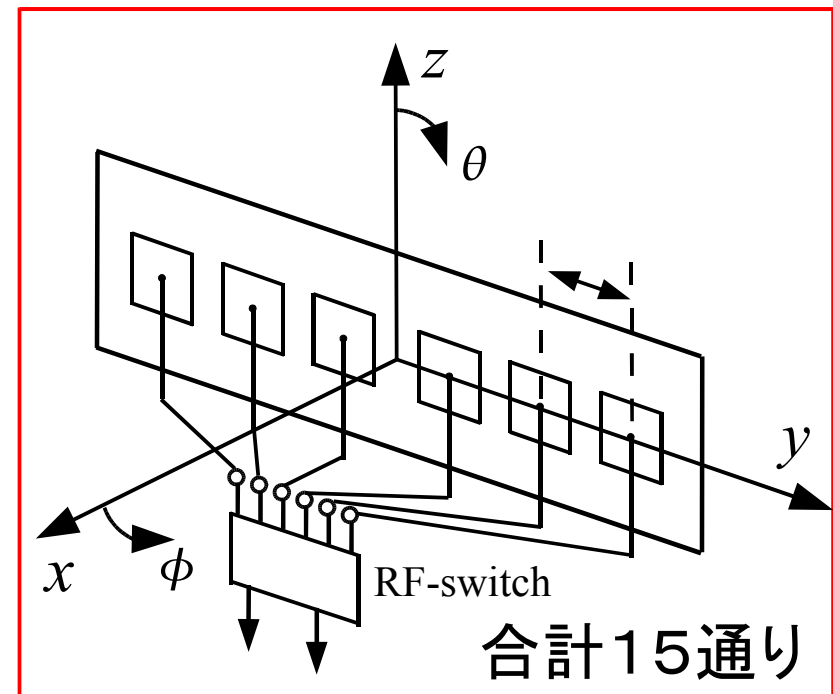
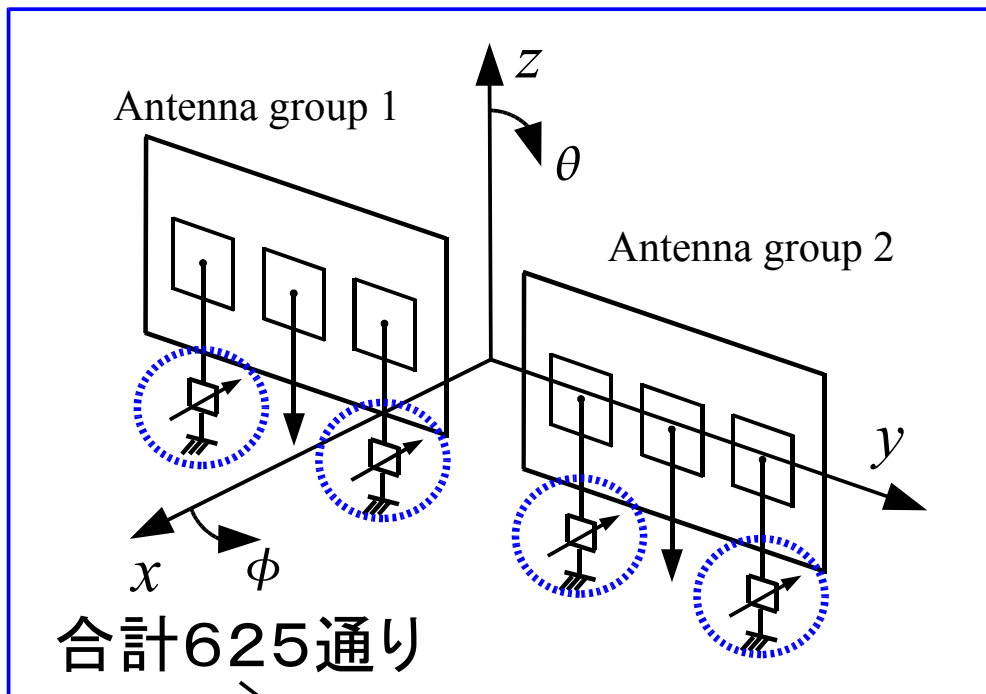
適応制御方法

ビームステアリング型

VRCの取り得る値を以下の5値に固定
(-2.0, -1.125, -0.25, 0.625, 1.5)

アンテナ選択型

取りうる状態数は、



取り得る状態のすべての組合せから
最も良い場合を選ぶ



シミュレーション方法

- 推定された各パスのパスウエイト、AOA、遅延を用いて、ランダム位相法によりモンテカルロシミュレーションを行う。

$$[\mathbf{H}]_{l_{\text{Rx}} l_{\text{Tx}}} = \sum_u \left(\underbrace{h_{\text{Vu}, l_{\text{Rx}} l_{\text{Tx}}}}_{\text{アンテナ指向性}} E_{\text{V}, l_{\text{Rx}}}(\theta_u, \phi_u) + \underbrace{h_{\text{Hu}, l_{\text{Rx}} l_{\text{Tx}}}}_{\text{アンテナ指向性}} E_{\text{H}, l_{\text{Rx}}}(\theta_u, \phi_u) \right)$$

$$h_{\text{Vu}, l_{\text{Rx}} l_{\text{Tx}}} = \eta_{\text{V}, u} \exp(j \varphi_{u, l_{\text{Tx}}}) a_{u, l_{\text{Rx}}}$$

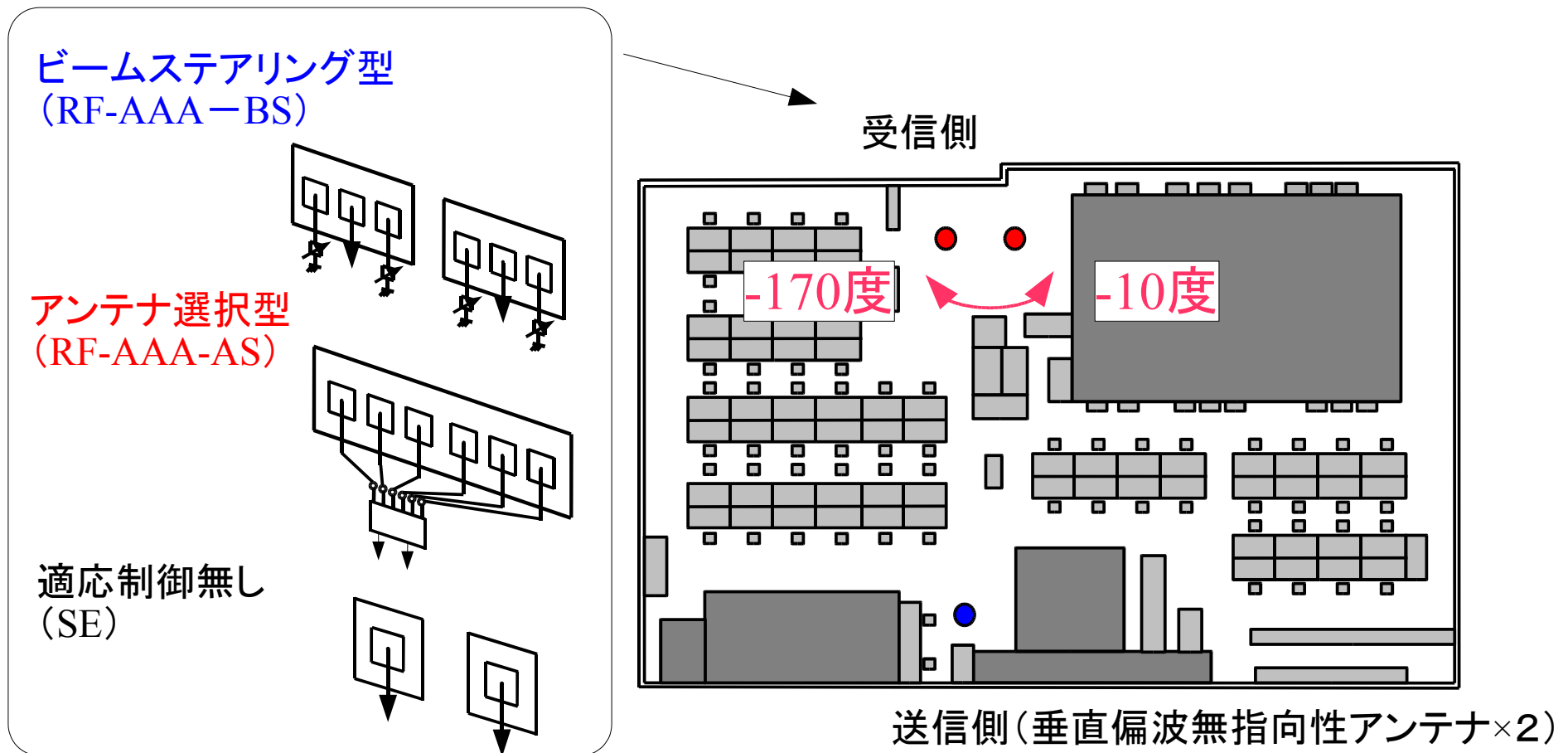
$$h_{\text{Hu}, l_{\text{Rx}} l_{\text{Tx}}} = \eta_{\text{H}, u} \exp(j \varphi_{u, l_{\text{Tx}}}) a_{u, l_{\text{Rx}}}$$

↑
ランダムで発生



シミュレーション方法

- アンテナを-170度から-10度まで回転させて、それぞれの角度でモンテカルロシミュレーション。



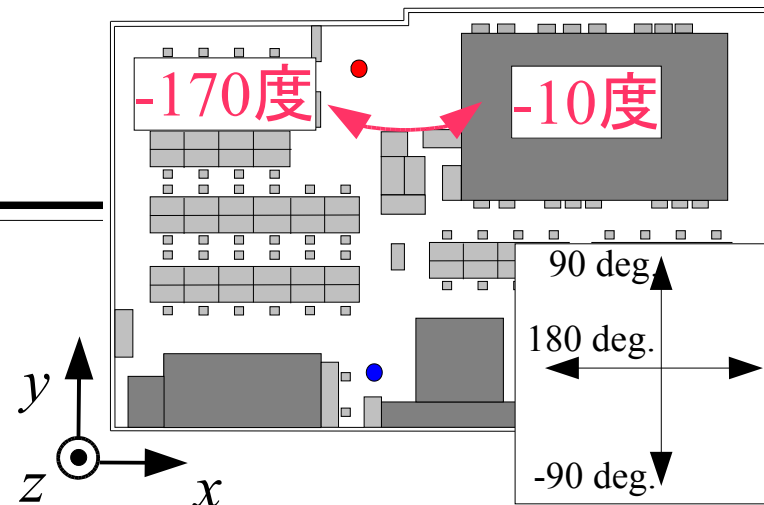
シミュレーション条件

中心周波数	4.5GHz
変調方式	OFDM(IEEE802.11a 準拠)
送信アンテナ数 (垂直偏波無指向性アンテナ)	2
受信アンテナ数 (Rf適応アンテナ)	2
スナップショット数	10000
サブキャリア数	48
受信アンテナとして無指向性アンテナ を用いた場合の受信SNR	10dB

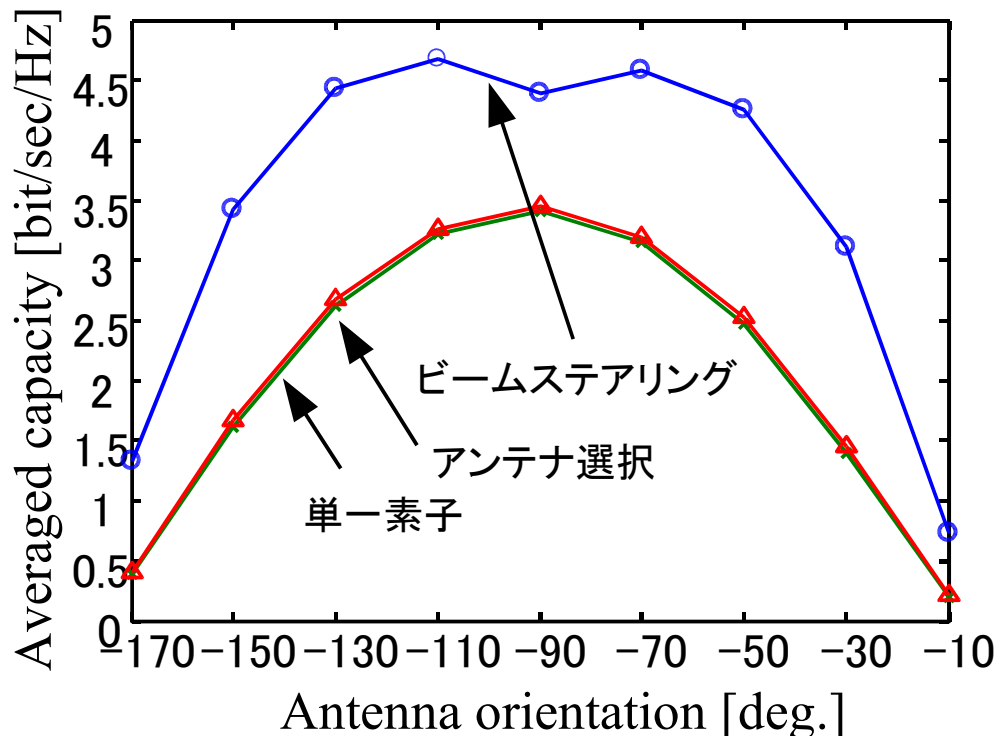


シミュレーション結果 (LOS)

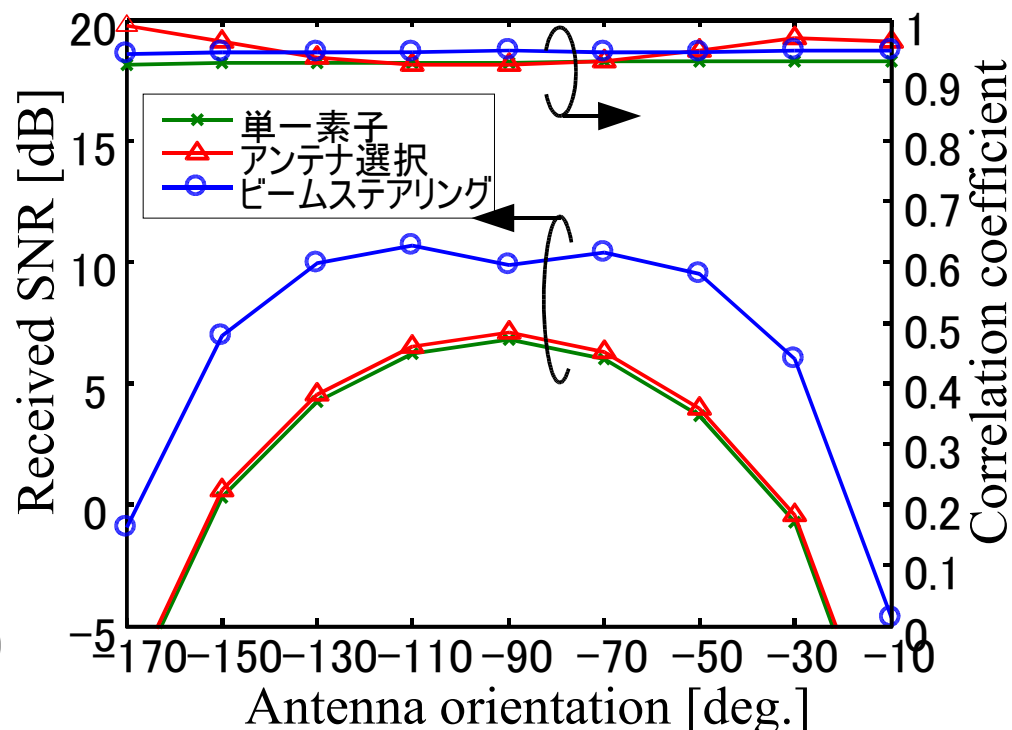
- ビームステアリング型はアンテナ選択型よりも高い効果が得られる。
- 2ポート間の相関が高くMIMOが効果的に働いていない。



平均伝送容量

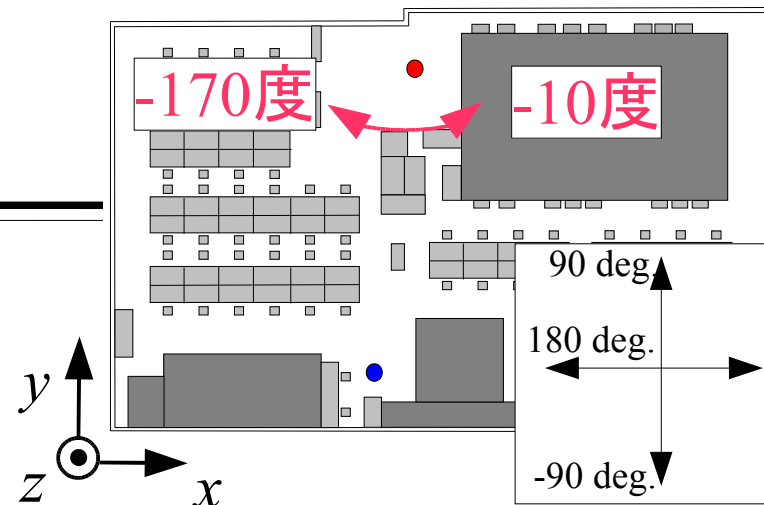


平均受信SNR及び相関係数

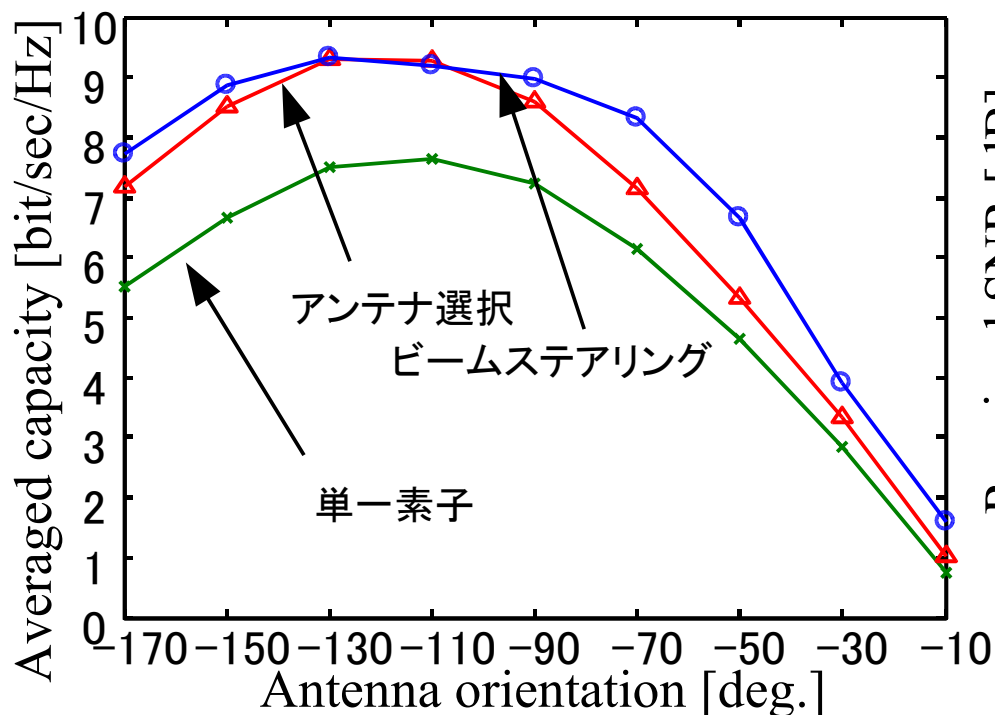


シミュレーション結果 (NLOS)

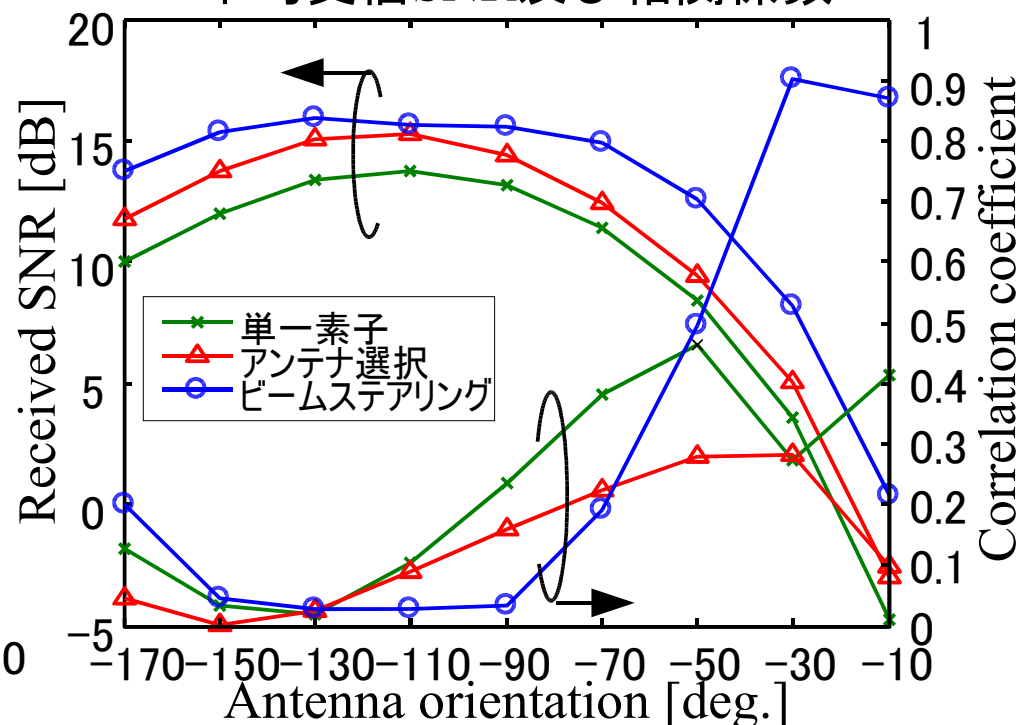
- 双方の適応アンテナが効果的に働いている。
- 到来波AOAとアンテナ指向性の mismatch により特性の劣化。



平均伝送容量



平均受信SNR及び相関係数



まとめ

- 実測したデータより推定された屋内伝搬モデルを用いてRF適応アンテナの特性評価を行った。
 - LOS
 - 極めて強いパスが1波のみの場合、アンテナ選択が有効に働かない。
 - ビームステアリングではアンテナ利得の分だけ性能向上が見込める。
 - NLOS
 - ビームステアリング、アンテナ選択共に有効である。
 - クラスタの方向とアンテナのメインビームの方向の整合が取れないと特性劣化が生じる。しかしながら、ビームステアリングでは、特性を改善効果が見られた。

