



電気通信大学



構造計画研究所

KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

SCOPE 成果報告会
(H20.06.11)

環境適応型MIMO情報伝送システム に関する研究

研究代表者

唐沢好男（電気通信大学）

研究分担者

早川正士・安藤芳晃・谷口哲樹（電気通信大学）

川村雅彦・河合伸一・吉敷由起子・塩見崇峰・梶原飛鳥（構造計画研究所）



研究の目的と内容

新世代ワイヤレス情報通信への適用を目的として、環境適応性に優れたMIMO情報伝送システムの研究開発を行う

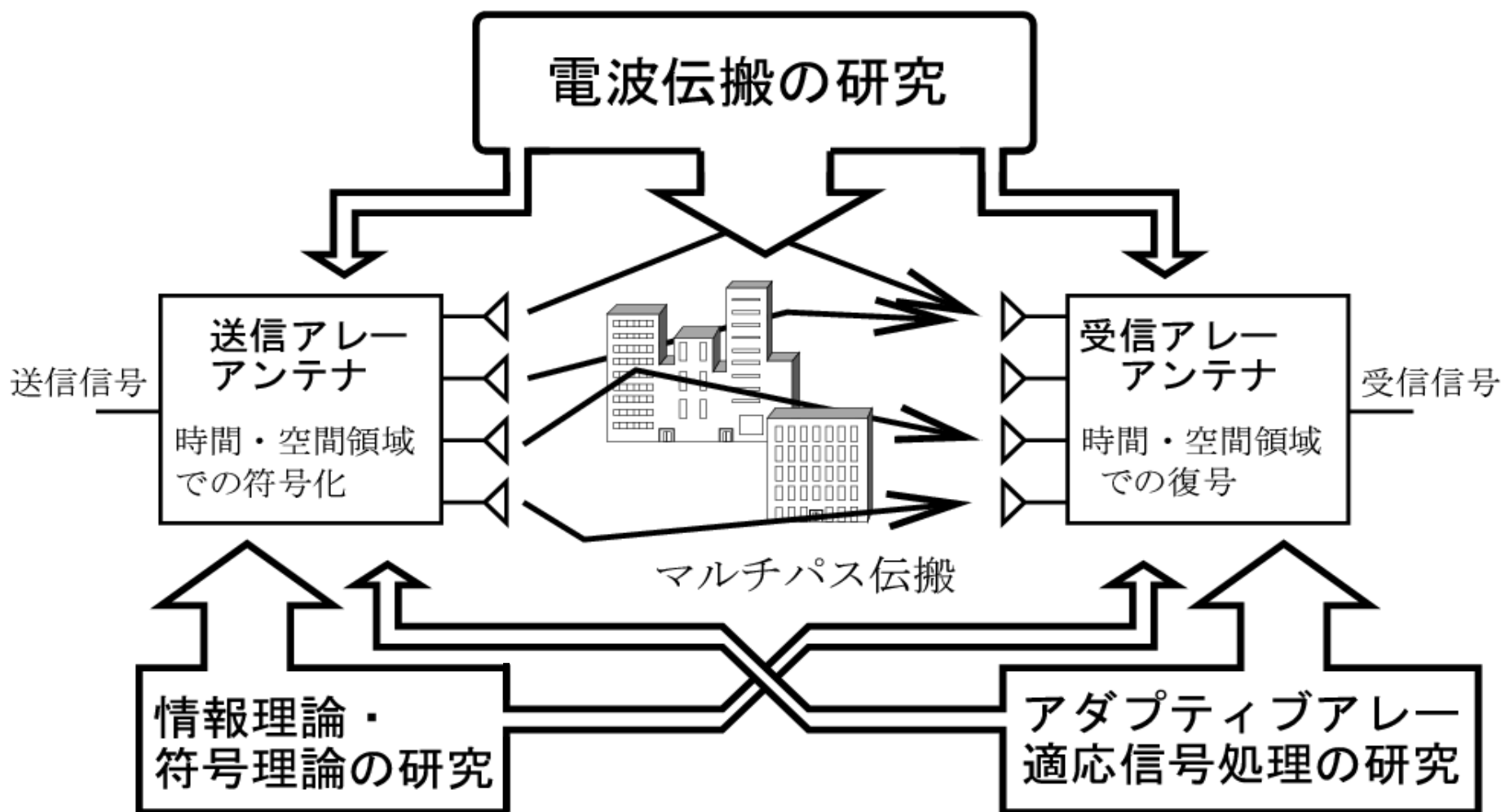
具体的には、

- 1) 多様な伝搬環境の中で、環境の変化に応じて適応変身するMIMO適応伝送システムのコンセプト提案
- 2) 多重波伝搬理論に基づくMIMOチャネルモデルの構築
- 3) MIMO伝送特性評価シミュレータの開発

本研究開発を通じて、オリジナリティの高い日本発の技術を構築する



MIMO 情報伝送技術



無線LAN応用から、新たな展開へ(モバイルシステム, ITS車車間通信など)



研究項目と体制

UEC

環境適応MIMO伝送システム

- 環境適応伝送
- MIMOソフトウェアアンテナ
- 広帯域伝送
- 電波リレーシステム

UEC

MIMOチャネルモデル (電波伝搬・アンテナ)

- チャンネル固有値モデル
- 周波数セレクティブ
- サイトスペシフィックモデル
- 電磁界解析的手法(CIP法)
- アンテナカップリング問題
- MIMOコンパクトアンテナ

KKE

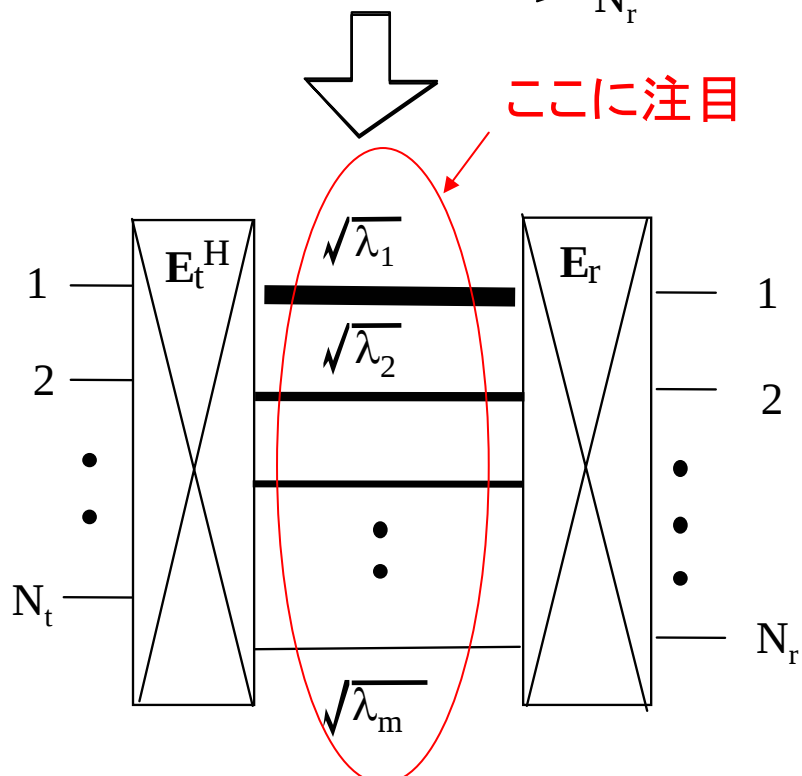
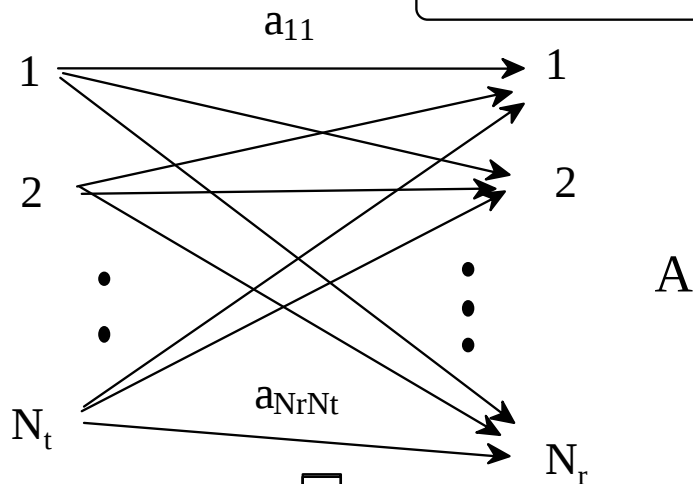
MIMO伝送シミュレータ (設計開発支援ツール)

- レイトレーシングソフト
- 伝送特性評価ソフト

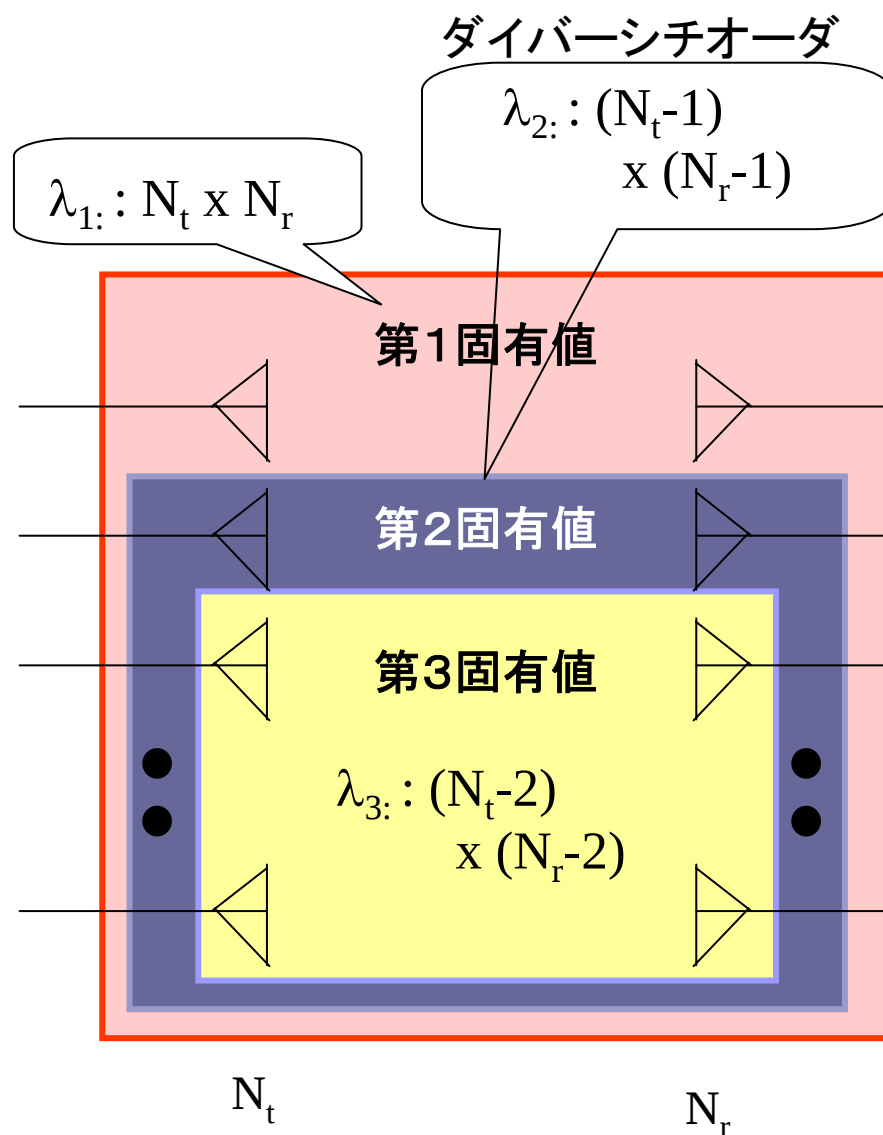
[赤字: 今回報告]



MIMO チャンネルの表現

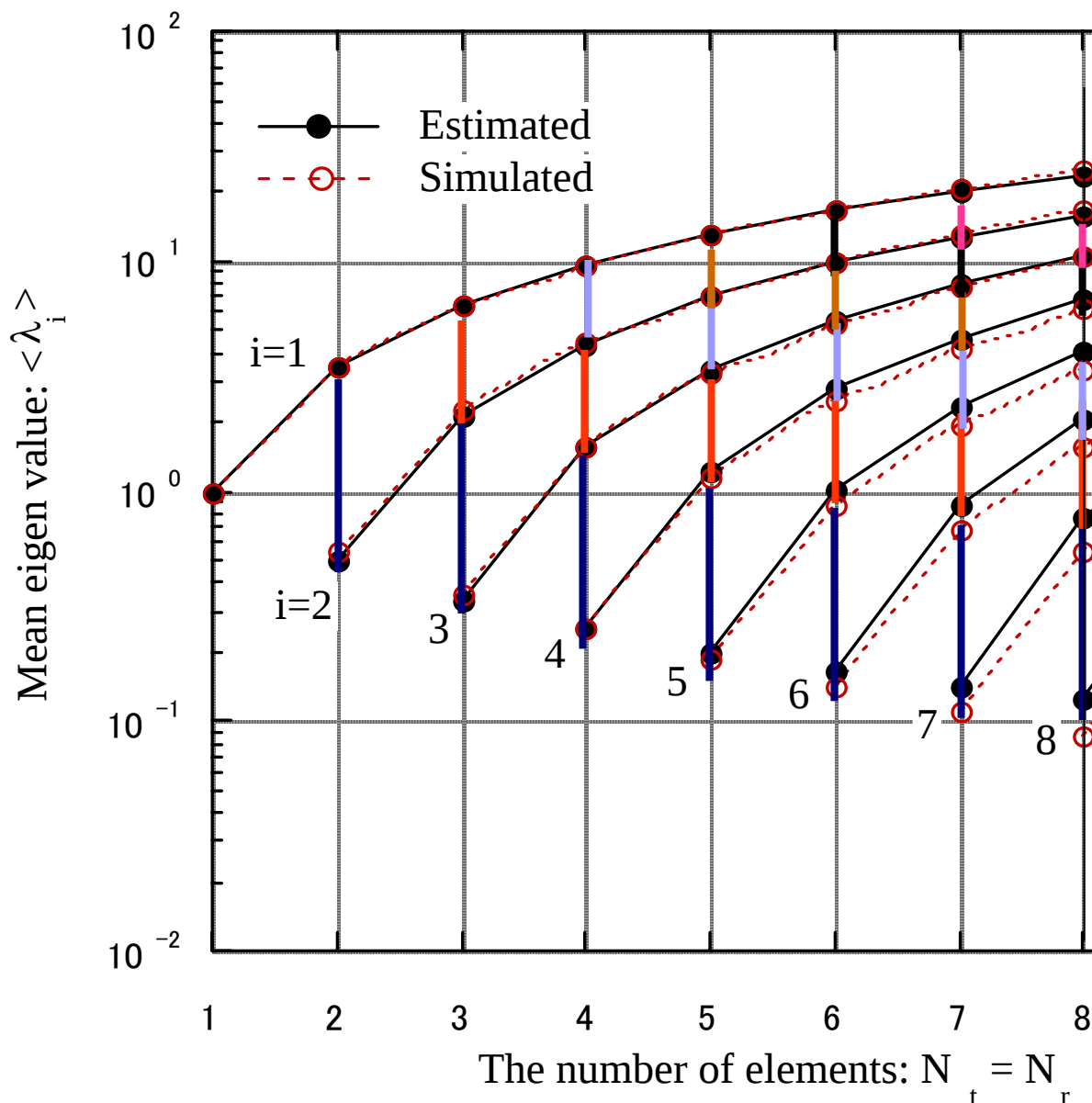


ここに注目





MIMO固有値の平均値に見られる面白い性質と近似理論構築



全固有値の確率分布を完全な数学理論で求めることは難しい問題と認識されている。

クローズドフォームで定式化されているケースは限られていて、かつ、その計算式は非常に複雑

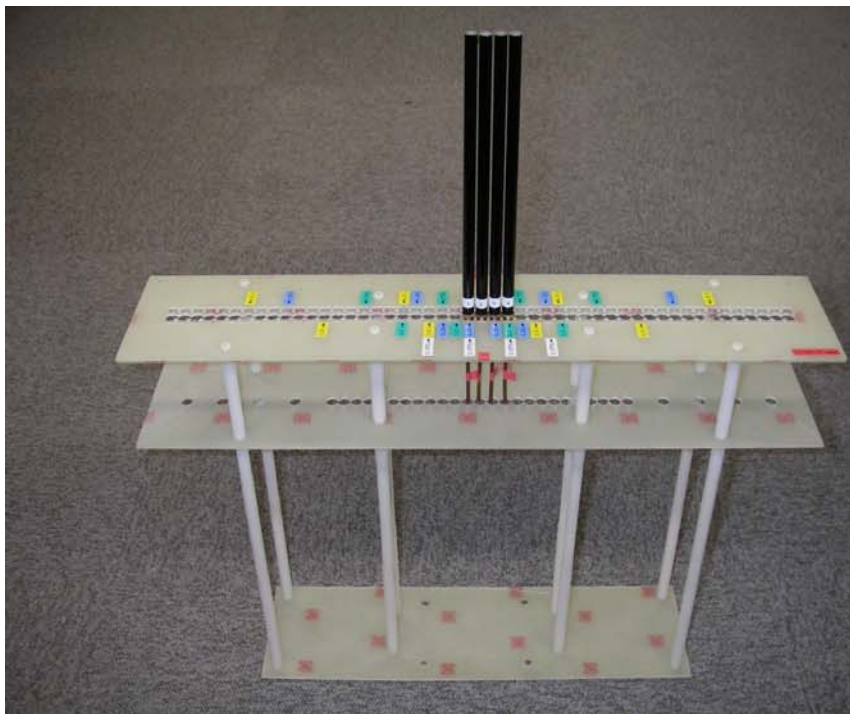
本研究で、固有値の分布見られる面白い性質を見出し、これに基づく近似理論を構築

MIMOの伝送特性(チャネル容量、BER等)が簡易に、精度良く求めることが、初めてできるようになった。

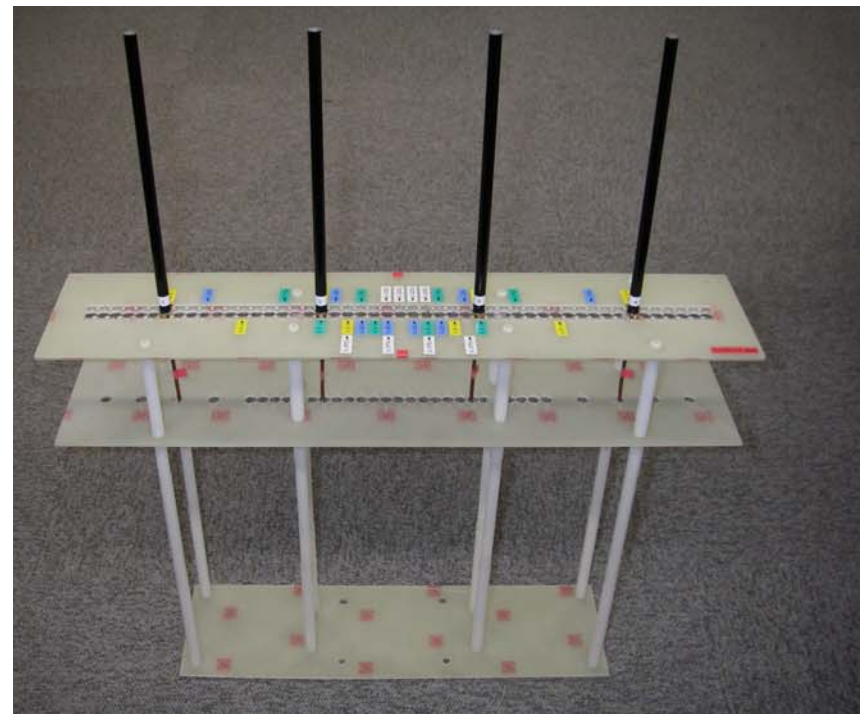
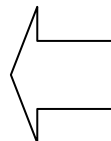


MIMO セルラー応用 アンテナカップリングがMIMO伝送特性に与える影響の定量的評価

(狭い空間にアンテナを密集すると?)

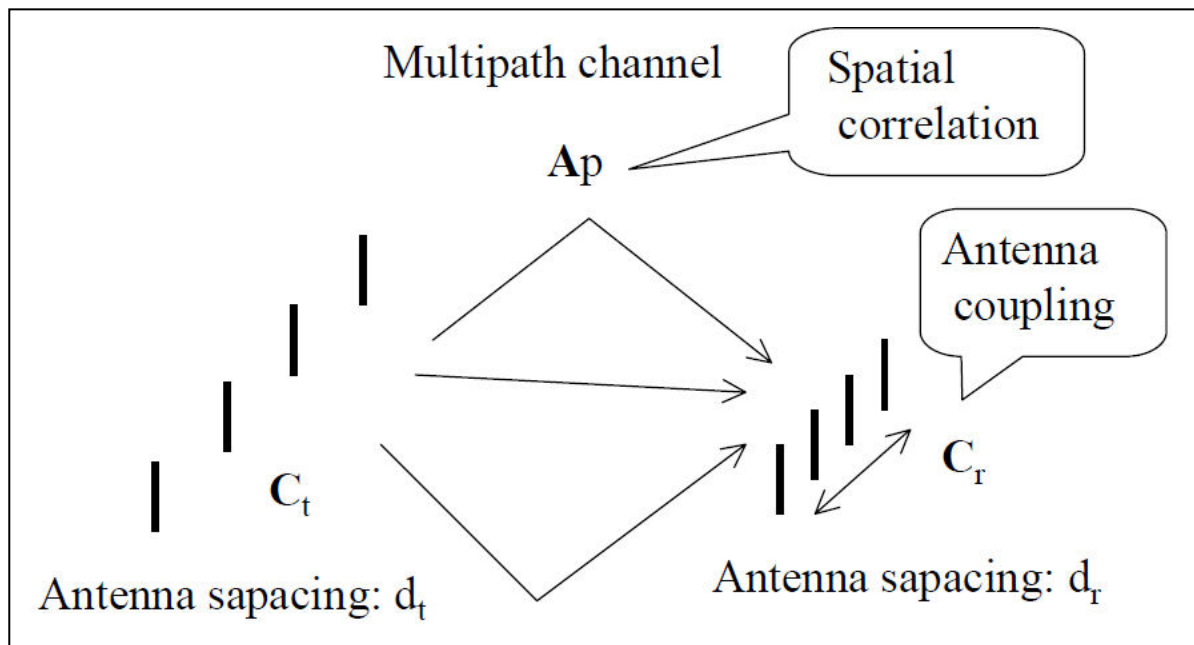


素子間隔: 0.125λ



素子間隔: 1.5λ

アンテナ間隔が狭いことによる影響



$$A_e = C_r A_p C_t$$

A_e : MIMO実行チャネル特性

A_p : 伝搬チャネル特性

C_r : 受信側相互結合行列

C_t : 送信側相互結合行列

MIMOシステムにおいて、アンテナ間隔が狭いと、電波伝搬的にはブランチ間の相関(空間相関)として、アンテナ的には素子間の相互結合として影響が現れる。これらが伝送特性に与える影響は複合現象として現れる。

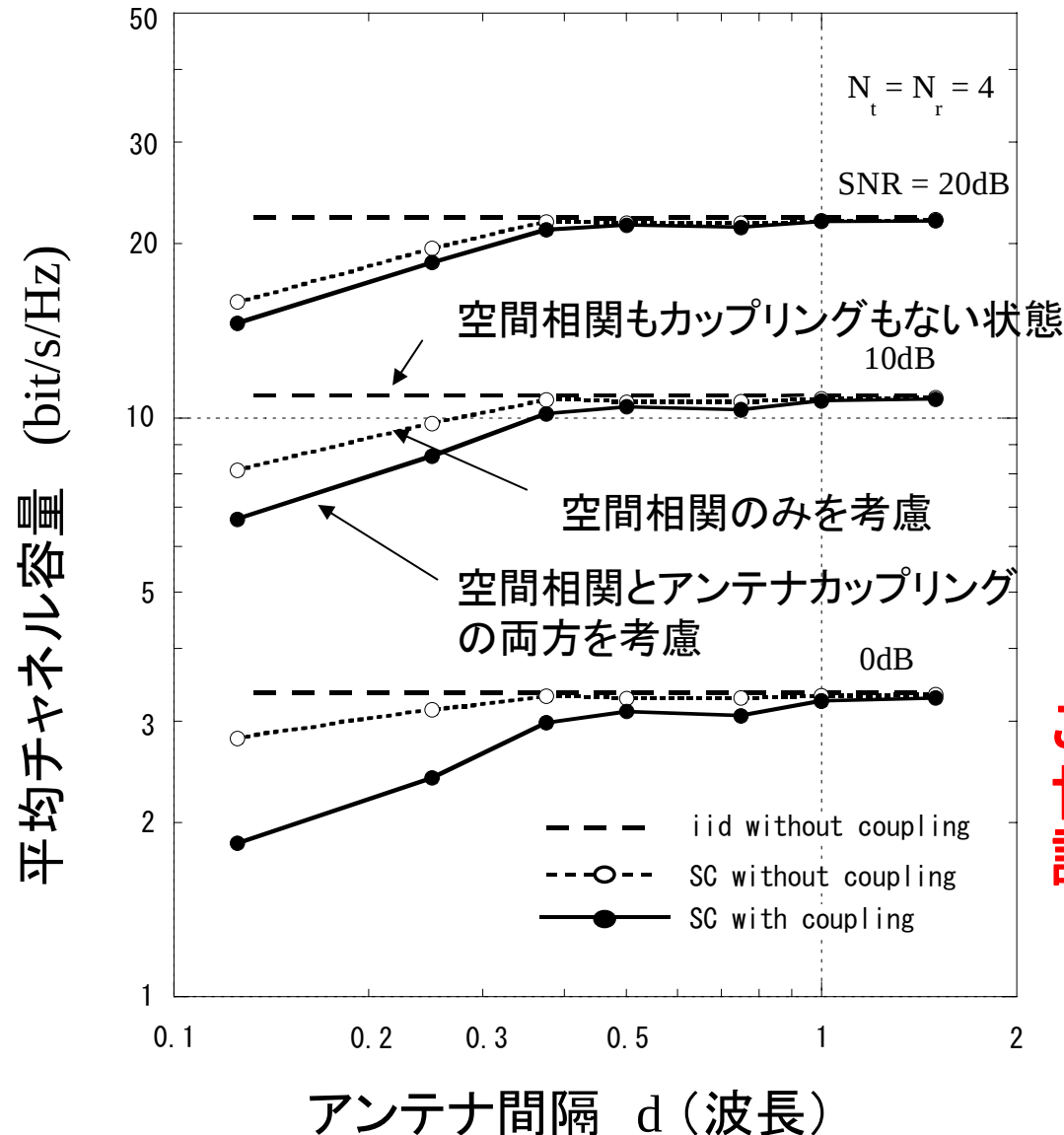
アンテナ間隔と平均チャネル容量の関係

4x4 MIMO

実結合行列を用いた平均チャネル容量のアンテナ間隔依存性

伝搬とアンテナの相互依存性問題

この問題に関して
世界で行われている
議論に決着をつけられそう

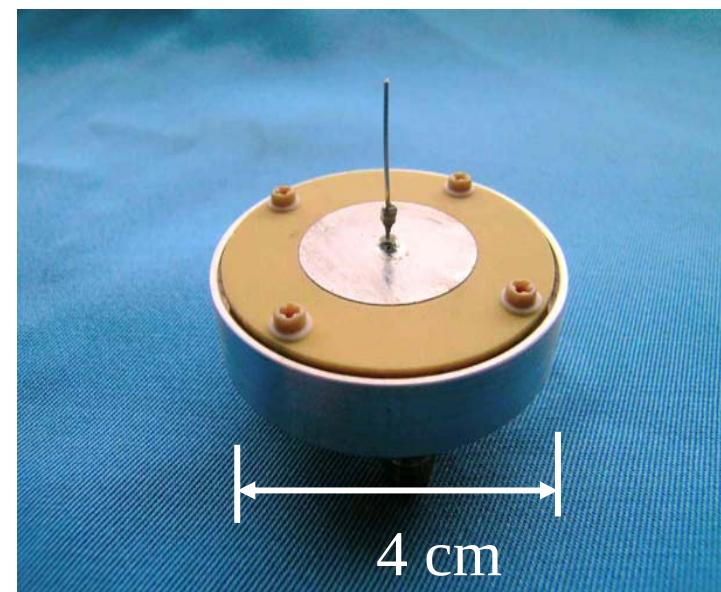
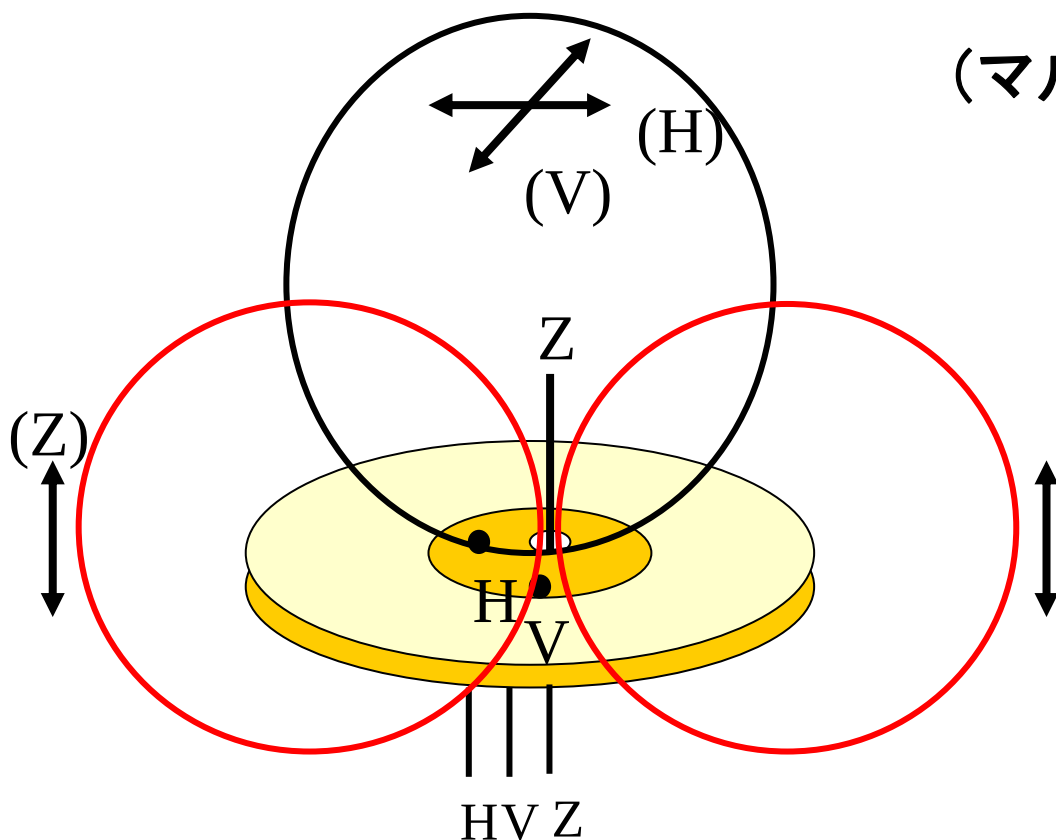




MIMO用コンパクトアンテナ(3偏波アンテナ)

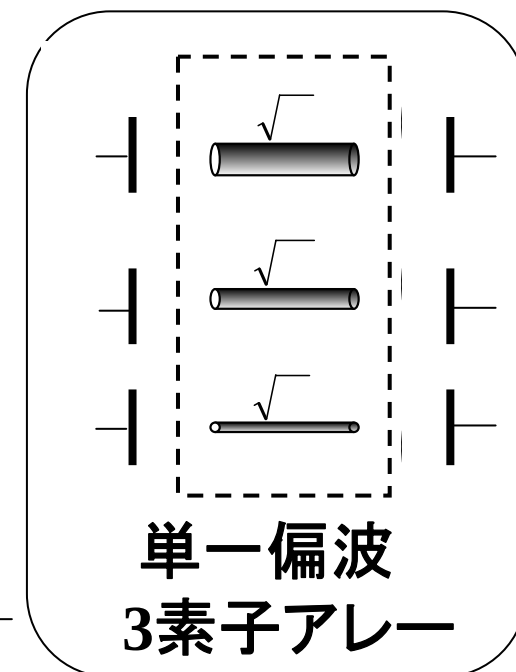
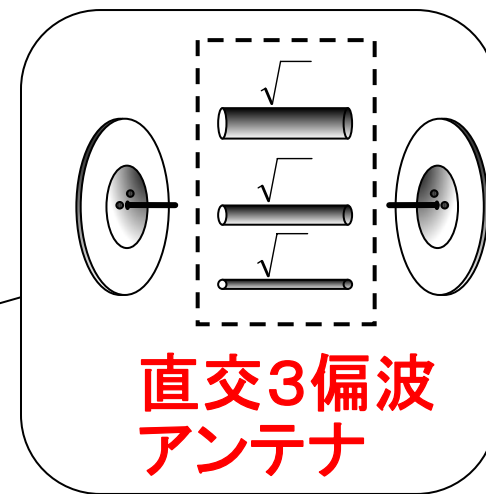
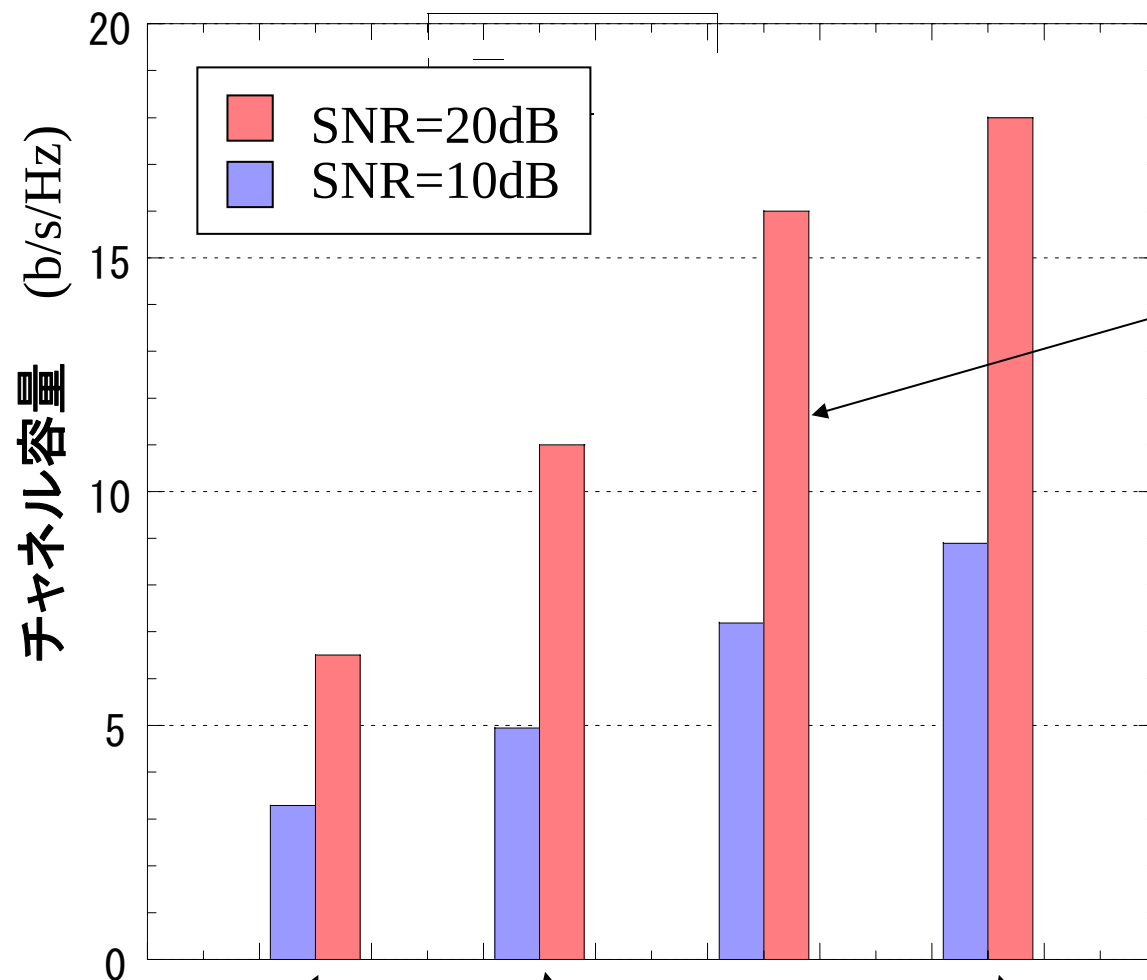
一つのパッチアンテナで
3素子のアンテナの働き

(マルチパス環境で威力を発揮)



5GHz帯での試作

マルチパスリッチ環境でのMIMO伝送特性



単一アンテナ
対向 (SISO) (|)

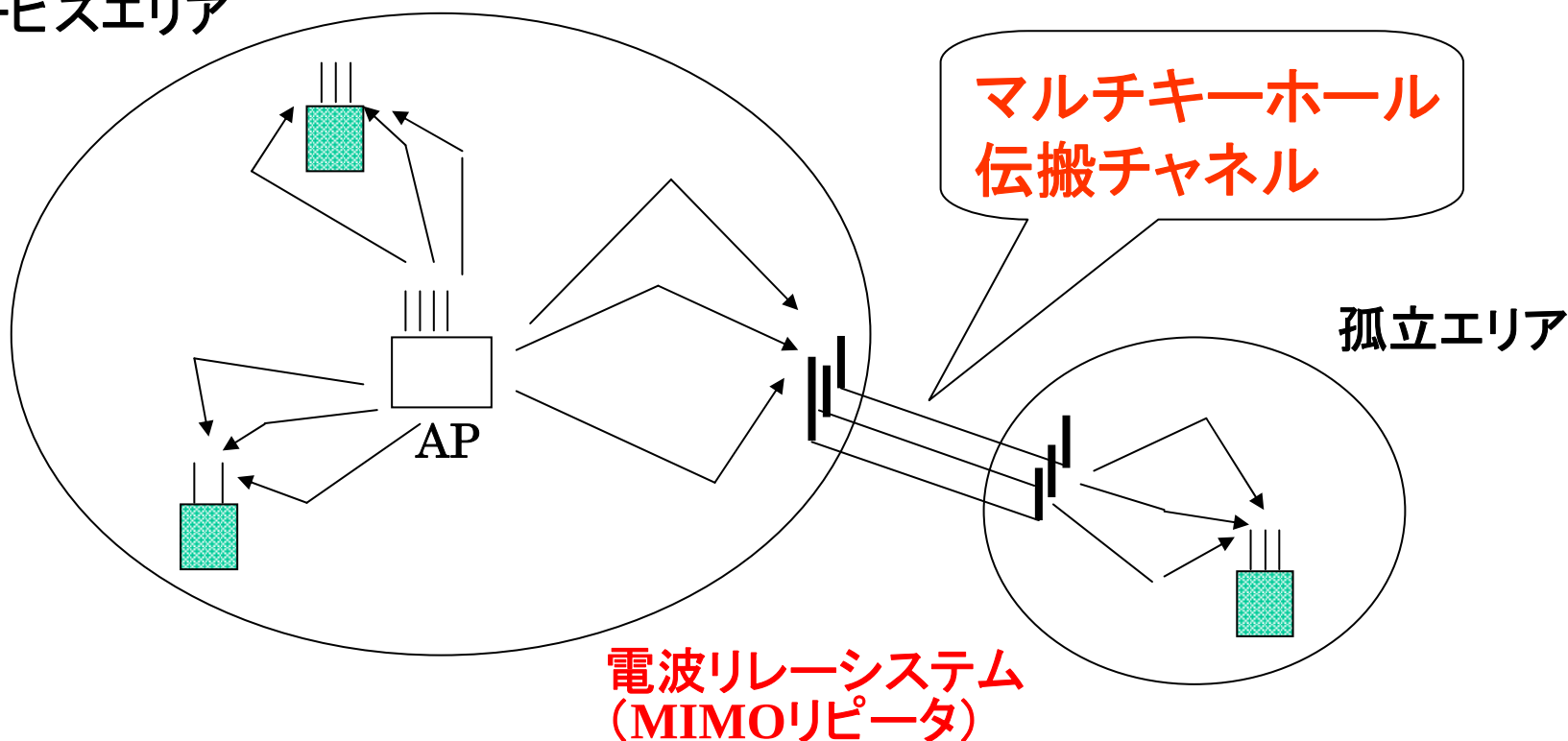
直交2偏波
アンテナ (+)



MIMO電波リレーシステムと 伝搬チャネルモデル

- ビル影、孤立空間など不感地帯へのMIMOサービスの拡張
- MIMOアドホックネットワークへの展開

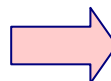
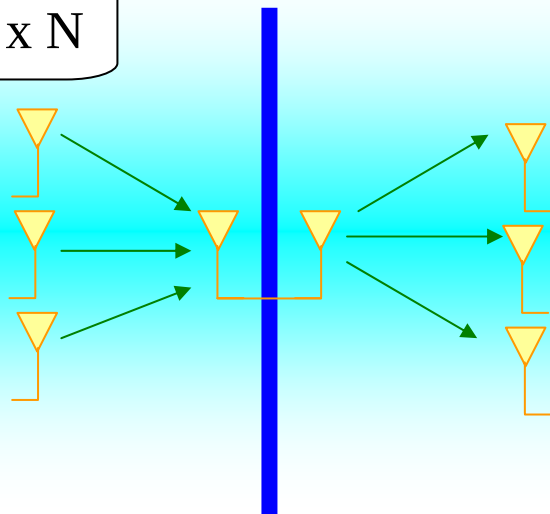
サービスエリア



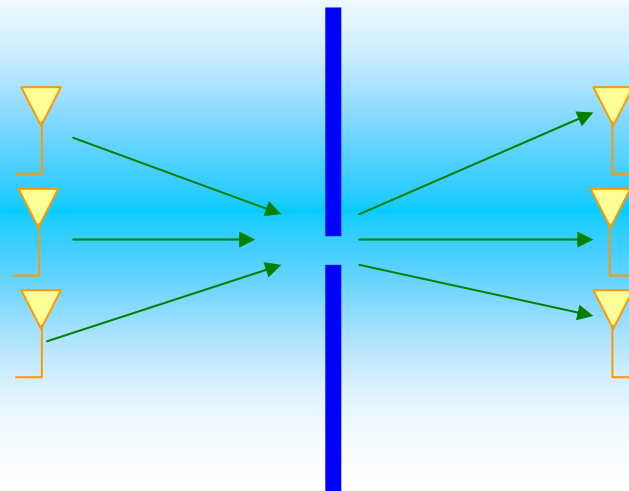


単一アンテナリレーシステム

$M \times 1 \times N$

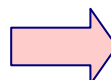
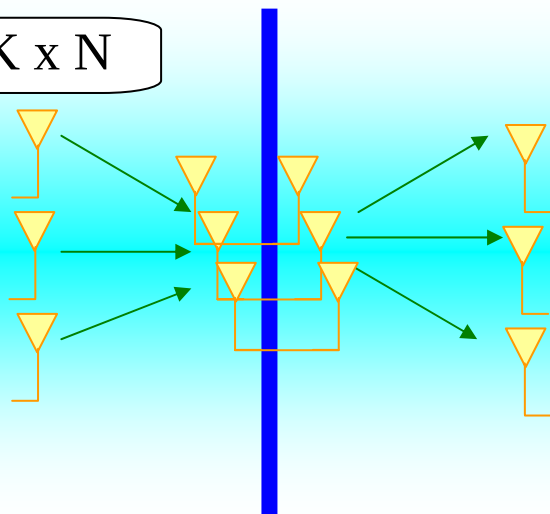


(等価チャネルモデル) 単一キーホールモデル

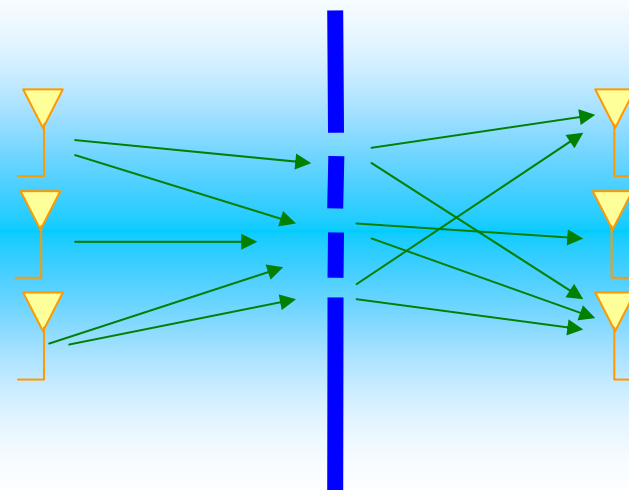


マルチアンテナリレー

$M \times K \times N$

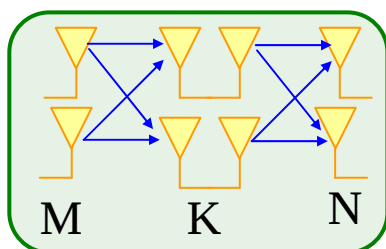


マルチキーホールモデル





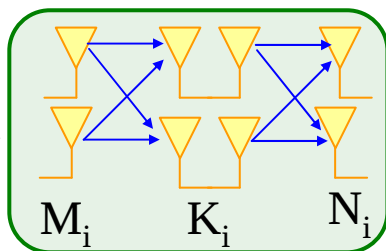
チャネル行列固有値のモデリング（高精度近似理論）



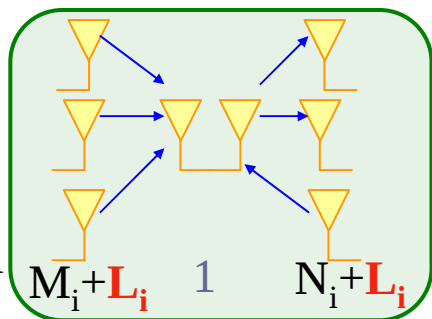
第 i 固有値の等価回路は $M-i+1$, $K-i+1, N-i+1$ の MIMO システム



$$\begin{aligned} M_i &= M-i+1 \\ K_i &= K-i+1 \\ N_i &= N-i+1 \end{aligned}$$



$$L_i = L-i+1$$



最終的な計算式

$$p(\lambda_i) = \frac{2 \left(\frac{\lambda_i}{\Lambda_i} \right)^{\frac{N_i + M_i + 2L_i}{2} - 1}}{\Lambda_i \Gamma(N_i + L_i) \Gamma(M_i + L_i)} K_{M_i - N_i} \left(2 \sqrt{\frac{\lambda_i}{\Lambda_i}} \right)$$

さらに シングルキーホールモデル
に近似等価変換

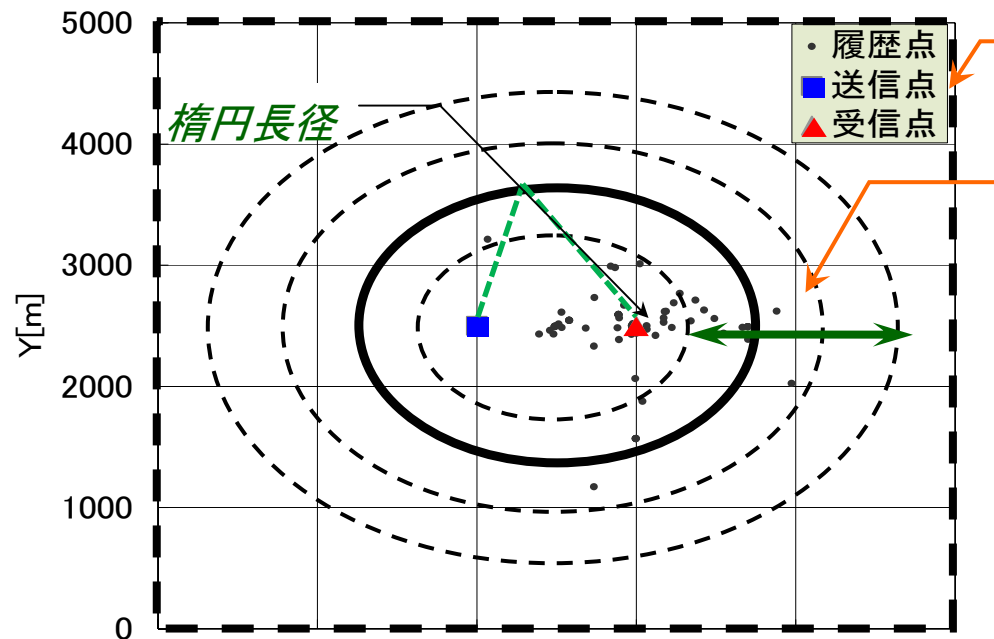
解析手法(伝搬モデル)の確立: 世界初



高速化の検討と精度向上

MIMOの研究のためにあらゆる環境をモデリングするため高速化が必要である

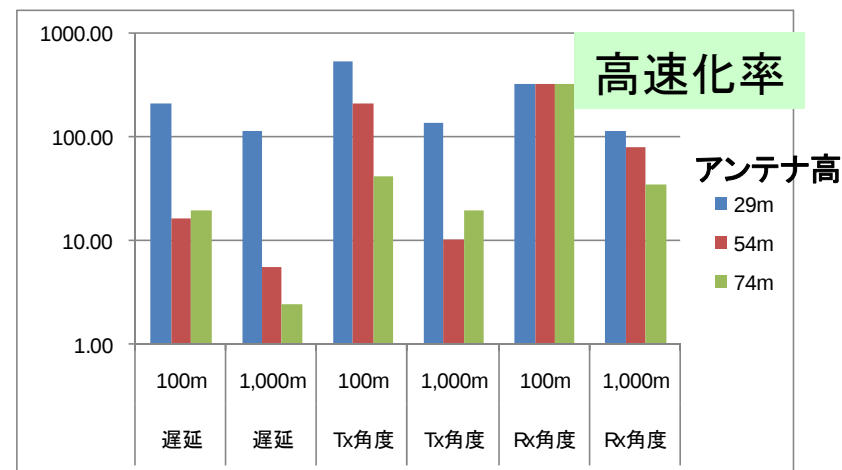
- 背景: レイトレーシング法は建物の数で計算時間が変動。
- 目的: 計算に必要な建物減らすことで高速化を目指す。
- 高速化の手法: 送信点と受信点を焦点とした楕円の範囲の中の建物だけを計算する。
- 研究
 - 楕円の範囲を定式化した。
 - 伝搬損失、遅延スプレッド、角度スプレッドの点から誤差を評価した。



(A) 全領域の建物で計算

比較

(B) 楕円領域の建物で計算





研究成果(H17～H19)

誌上論文発表	31 (招待論文 2)
国際会議発表	34 (招待発表 4)
口頭発表	53
特許申請	3
表彰	5 (信学会論文賞、通ソ論文賞、 テレコムシステム技術賞他)



環境適応通信の夢

3つの無線
の融合

