



最近の電波伝搬 (MIMO技術)

— 電波環境を測る・電波環境を作る —

唐沢 好男

電気通信大学
先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター (AWCC)



発表内容


0. AWCCの簡単な紹介

1. 電波環境を測る

- 1) 電波環境のトータルレコーディング (電波の缶詰)
- 2) 200MHz帯以下の全スペクトル測定実験 (仙台)
- 3) トータルレコーディングの応用


2. 電波環境を作る (MIMO測定環境)

- 1) MIMOとは
- 2) MIMO-OTA
- 3) 電波反射箱 (Reverberation Chamber)
- 4) MIMOフェージングエミュレータ

 先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター
Advanced Wireless Communication research Center



The University of
Electro-Communications
AWCC

**電気通信大学
先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター
(AWCC) の紹介**



AWCC Website; <http://www.awcc.uec.ac.jp>

3

 **AWCC** 電気通信大学 


設置の目的

本学建学以来の強みである情報通信分野における
世界最高水準のワイヤレス情報通信研究拠点
を実現する

最先端のワイヤレス情報通信技術をもとに教育を
活性化し、**世界に通用する基礎力・実践力をもつ人材**
を育成する

ワイヤレス分野での**産学連携**を強化する

2005年4月(8年前)に学内組織として発足
2008年5月に建物移転(東地区東10号館)
2009年に自己点検・外部有識者評価を実施

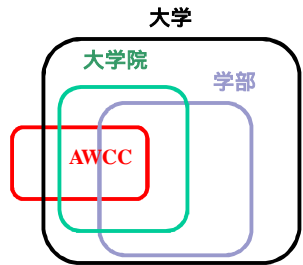


4

AWCCの組織構成 (平成25年度)

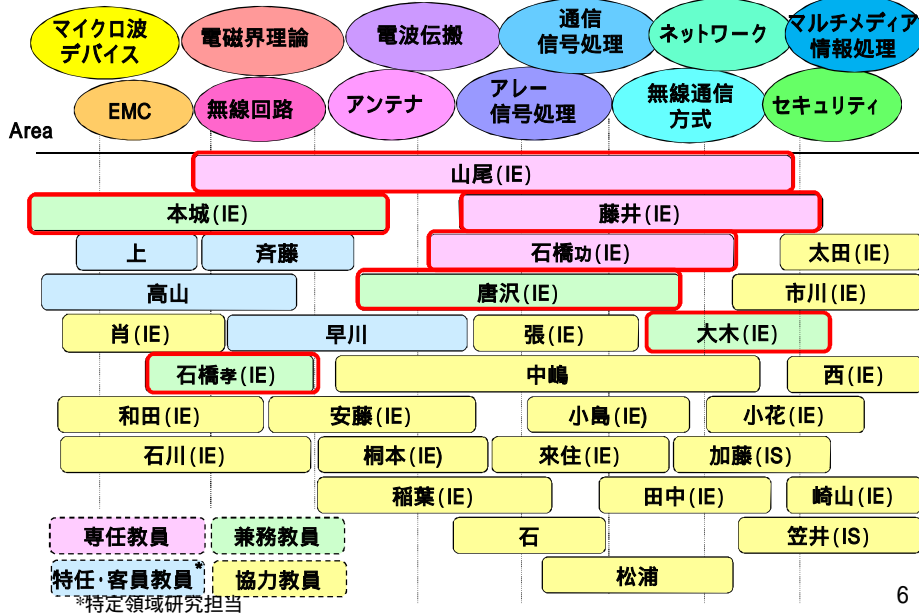
- センター長 山尾 泰 教授
- 専任教員
 - 山尾 泰 教授* 藤井威生 准教授*
 - 石橋 功至 助教**2
- 兼務教員
 - 唐沢好男 教授 本城和彦 教授
 - 石橋孝一郎 教授 大木英司 教授
- 特任・客員教員 (特定領域研究担当) (4名)
- 協力教員 (20名)
- 客員教員 (産学連携担当) (9名)

* 情報・通信工学科/専攻兼務
**2 2012.4.1着任

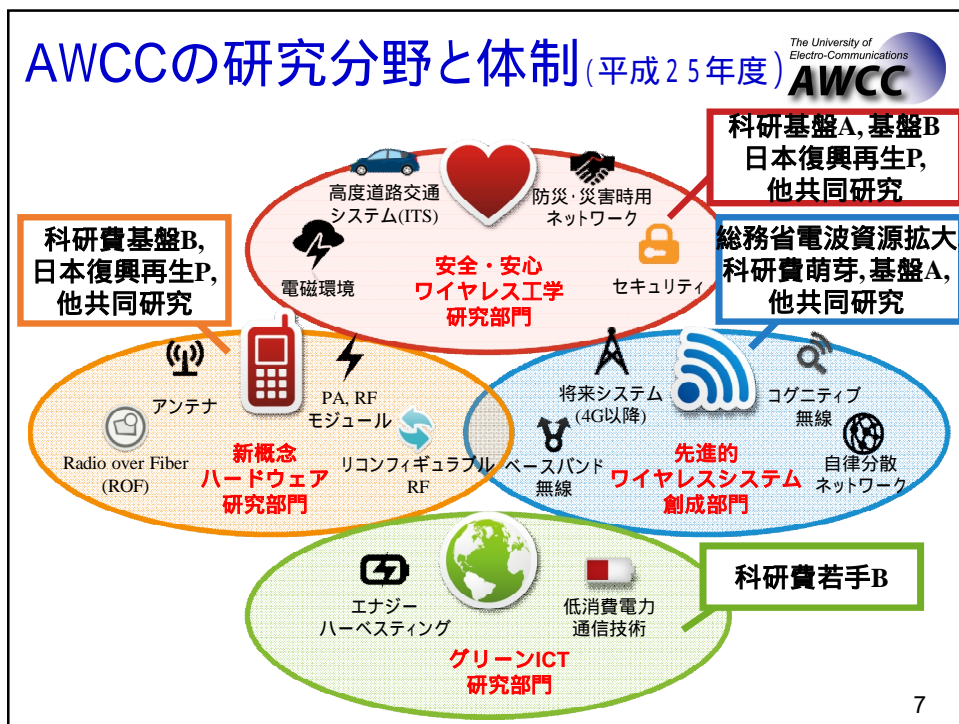


AWCC教員の研究専門分野

ワイヤレスのキー技術分野を広くカバーしています



**特定領域研究担当



- AWCC 電気通信大学
- ## 0. AWCCの簡単な紹介
1. 電波環境を測る
 - 1) 電波環境のトータルレコーディング (電波の缶詰)
 - 2) 200MHz帯以下の全スペクトル測定実験 (仙台)
 - 3) トータルレコーディングの応用
 2. 電波環境を作る (MIMO測定環境)
 - 1) MIMOとは
 - 2) MIMO-OTA
 - 3) 電波反射箱 (Reverberation Chamber)
 - 4) MIMOフェージングエミュレータ
- 8

AWCC 電気通信大学

未来*)に残したいもの

*) 50年～100年後

- ・消えゆく文化
- ・失われつつある自然
- ・時代と共にある文明の利器

・時代と共に変化する電波環境 (テレビ、ラジオ、無線) (コンテンツには、その時々文化が缶詰になっている)

残す形(方法、メディア)

- ・保護(保存、継承)
- ・映像(ビデオ)
- ・写真(カメラ)
- ・音(録音機)
- ・文章(紀行、随筆、小説)

・電波環境記録 (トータルレコーディング)

電波環境のトータルレコーディング(電波の缶詰)

AWCC 電気通信大学

トータルレコーディングのイメージ

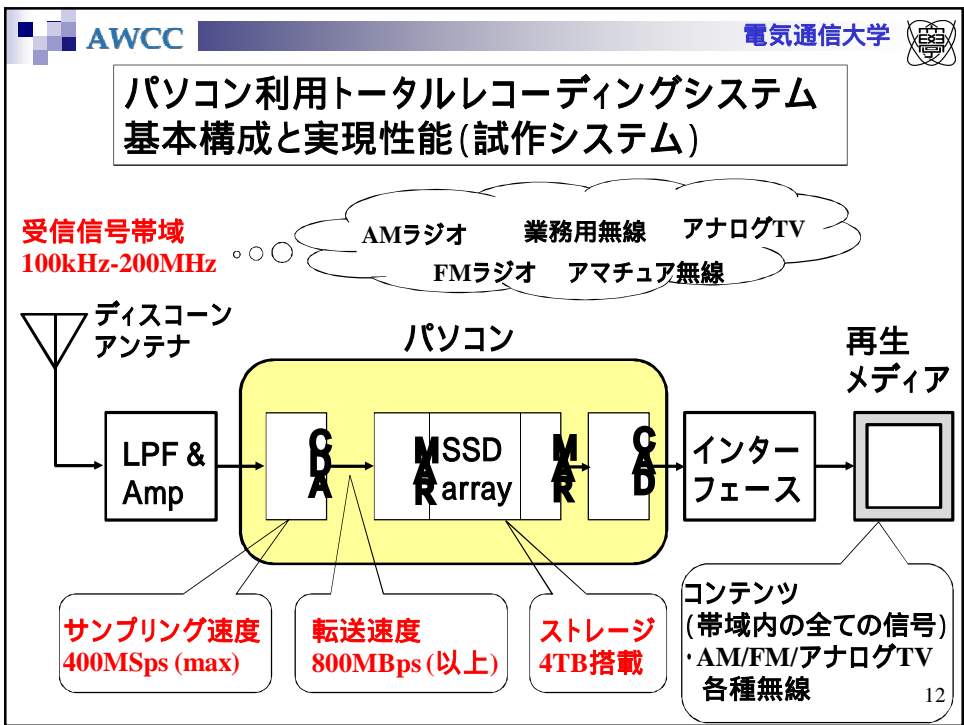
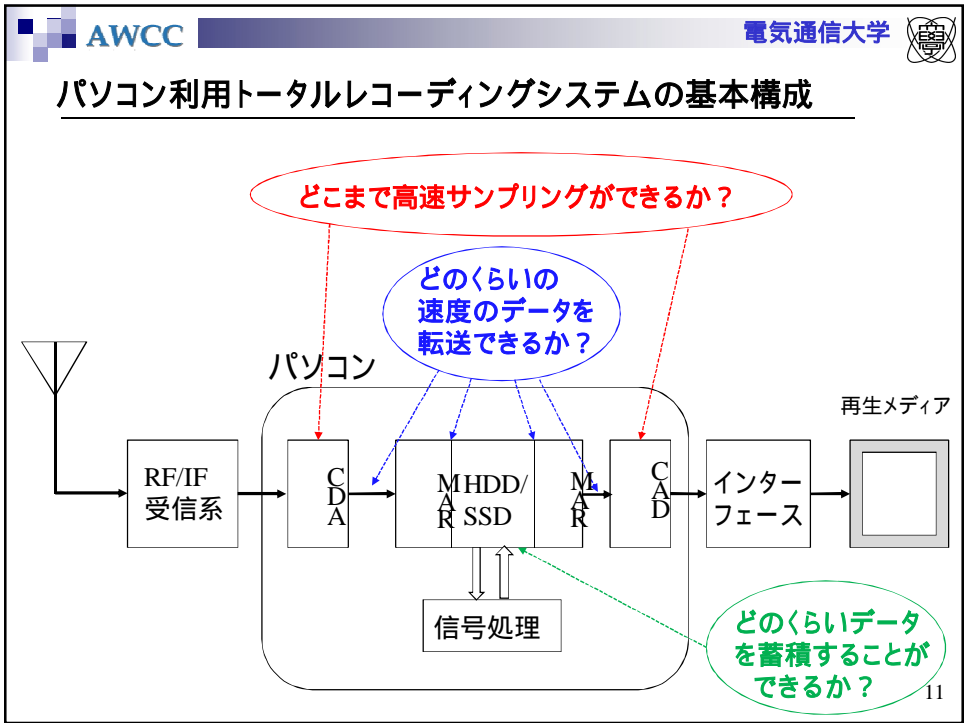
環境を丸ごと記録する

魚釣りの場合

コンテンツレコーディング

トータルレコーディング

10





測定実験

収録日 平成24年3月5日(月)

場所 仙台市(東北大学青葉山キャンパス)(*)

収録周波数帯域: 100kHz ~ 222MHz (**)

*) 収録地点(仙台)では、この周波数帯に、
まだ、アナログTV放送が含まれている
(東北3県はH24.03.31にアナログTV放送終了・停波)

***) サンプリング周波数392MHzのため
帯域の上限付近はアンダーサンプリング

13



測定実験風景

平成24年3月5日

(仙台:大雪の日)



14

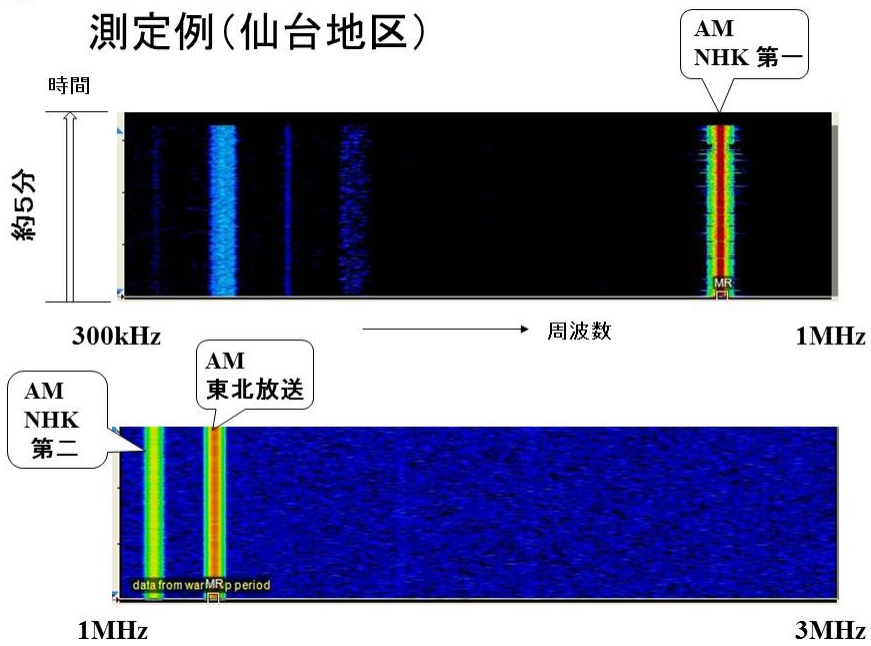


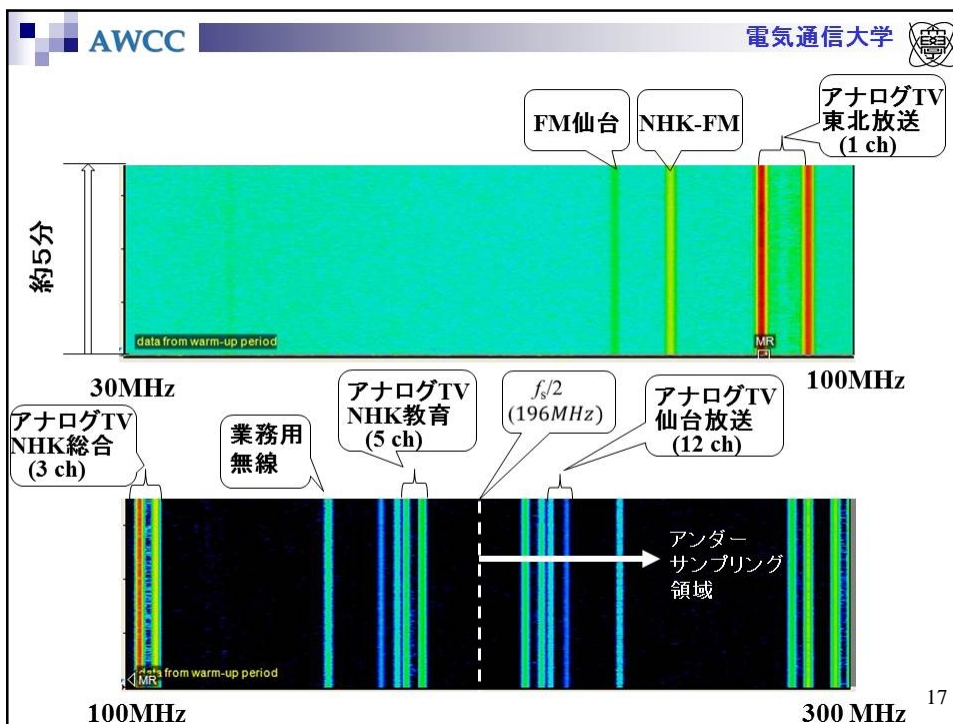
←アンテナ

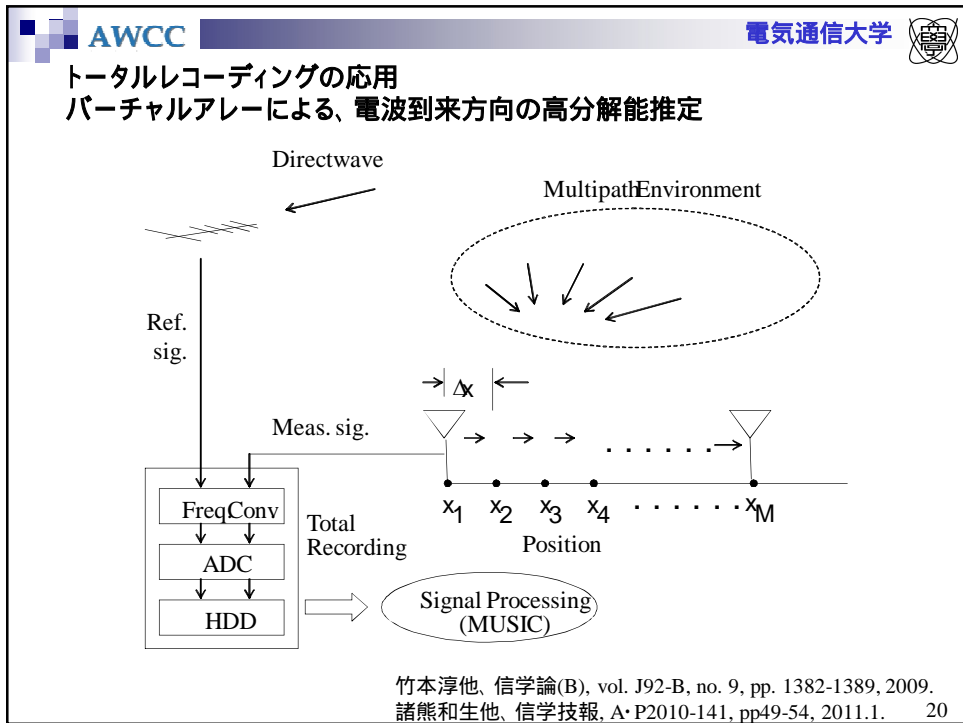
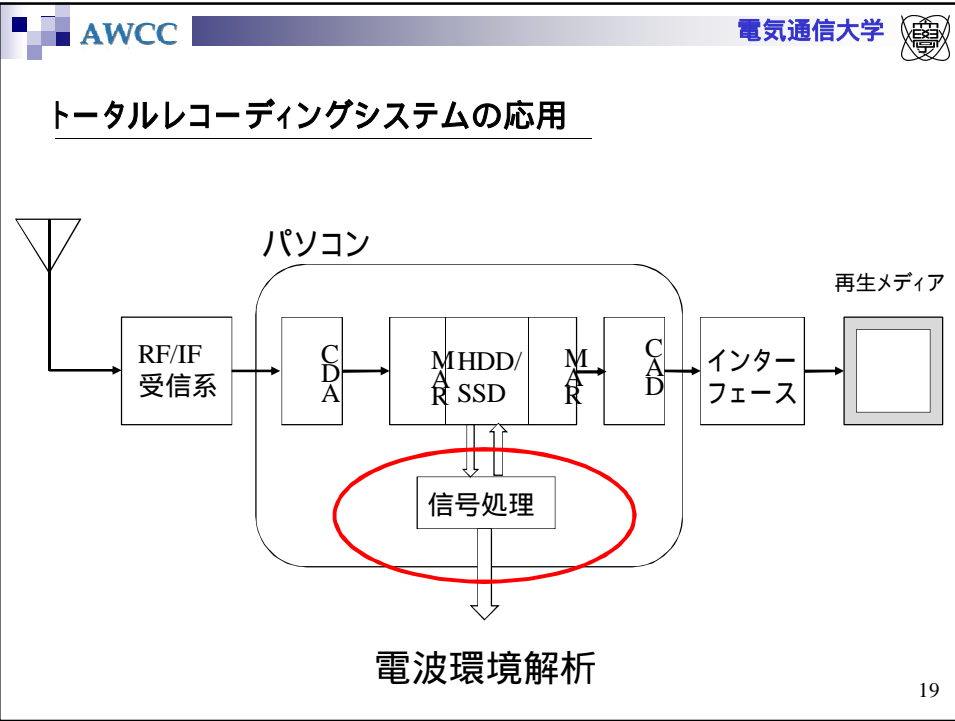
受信系・記録装置

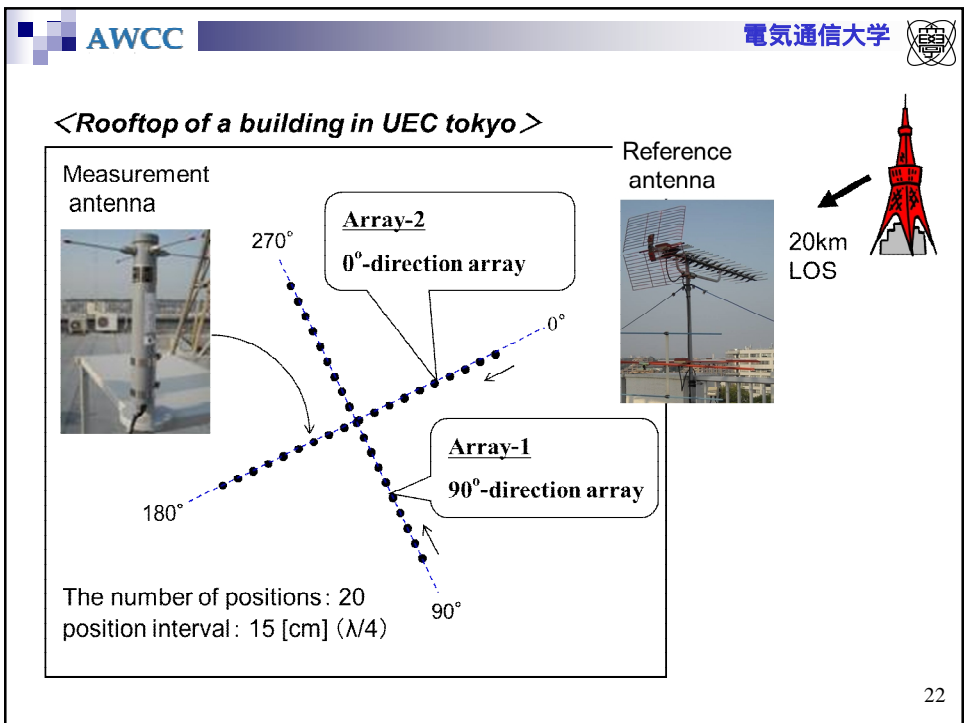
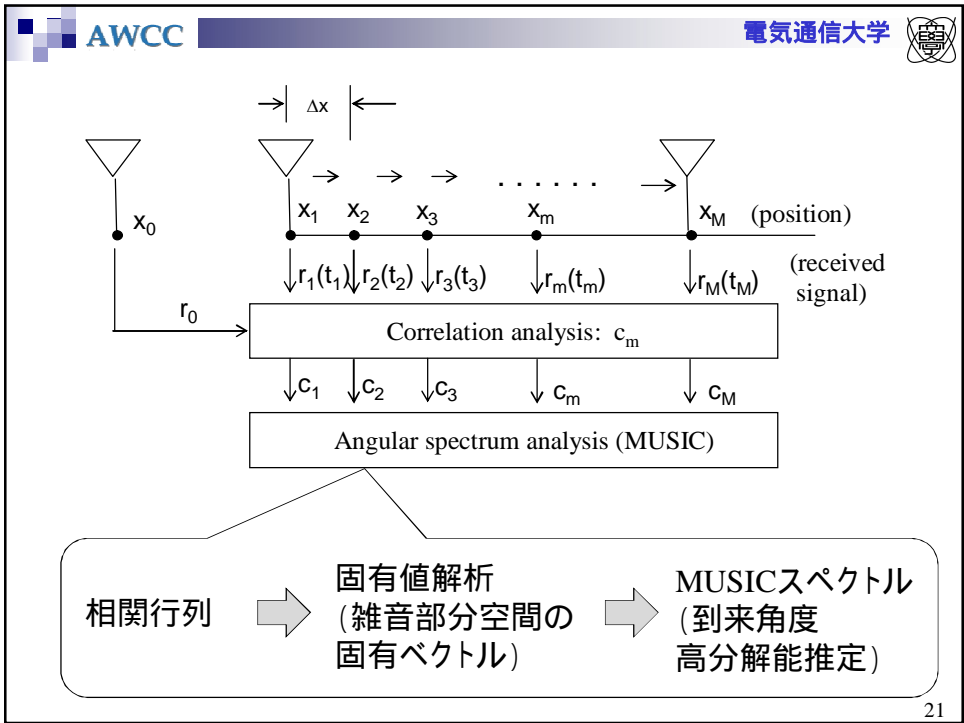


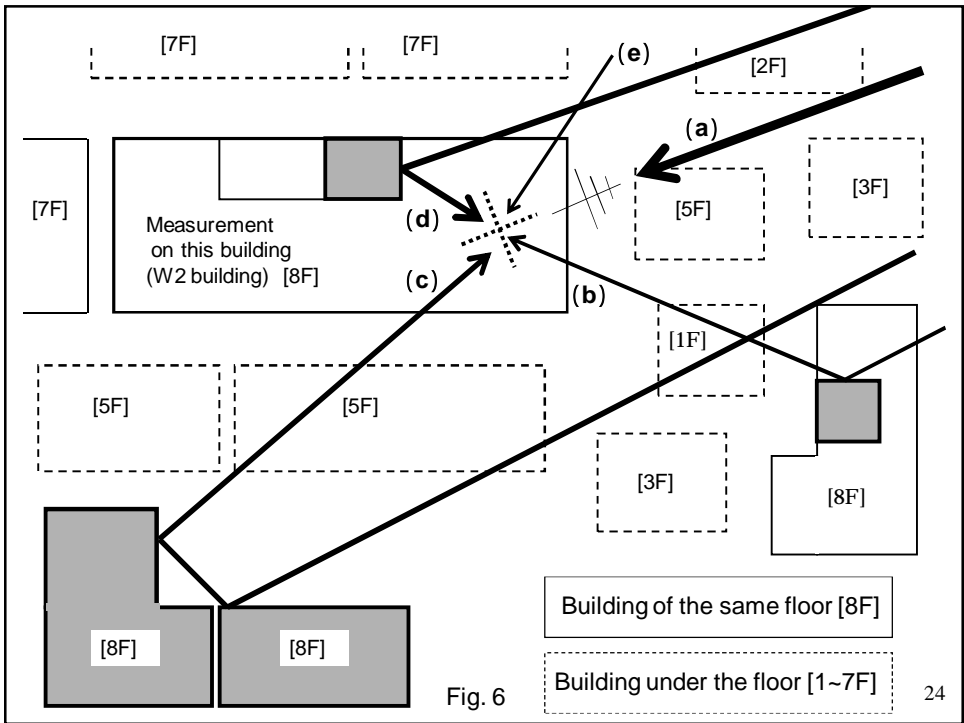
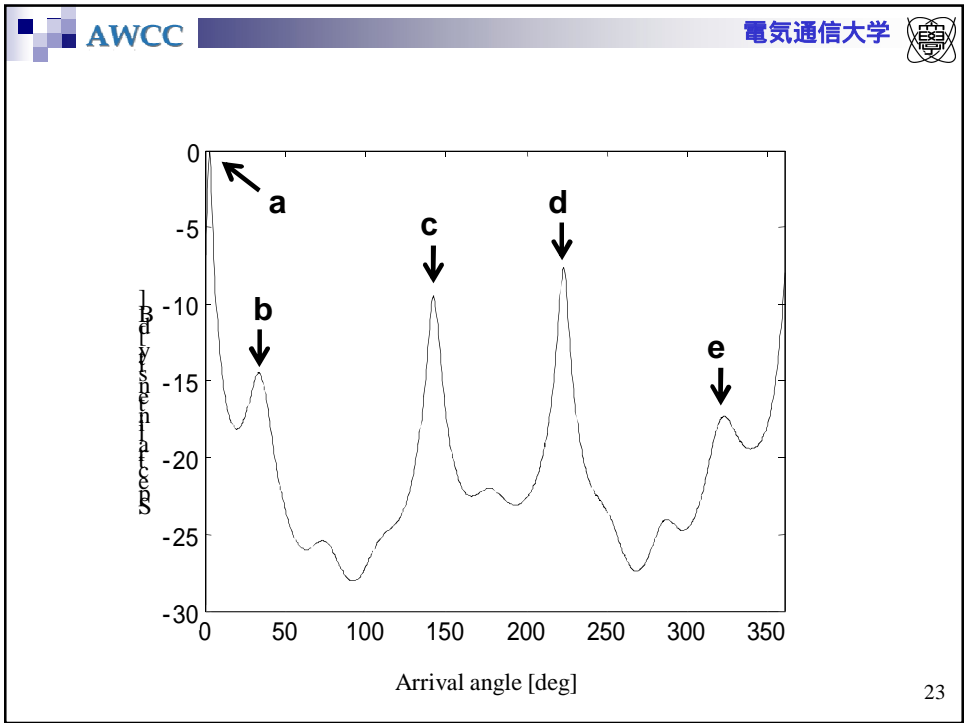
測定例(仙台地区)

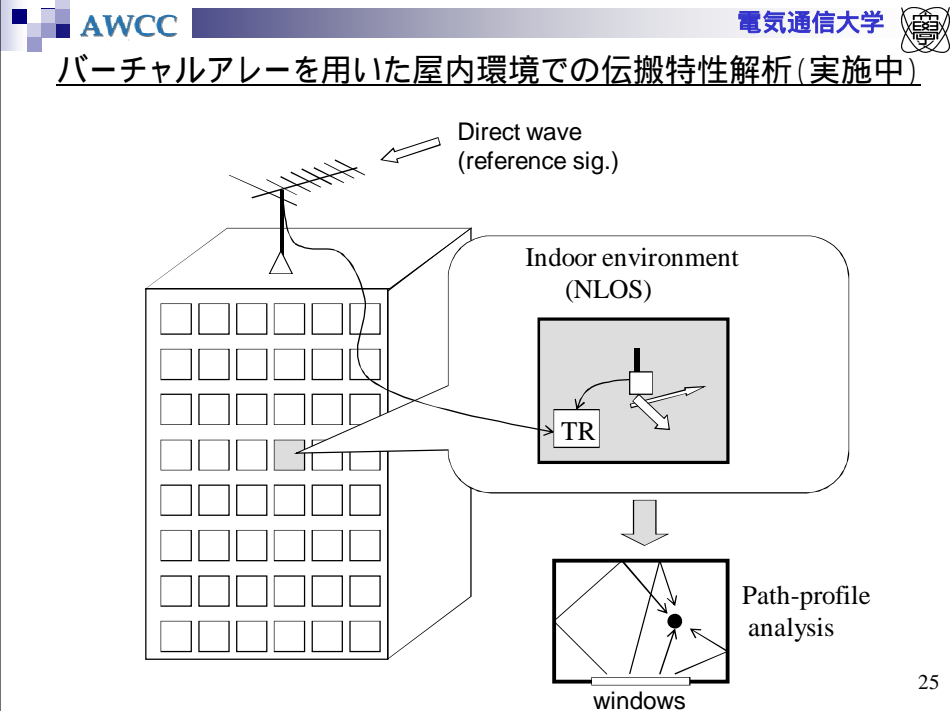












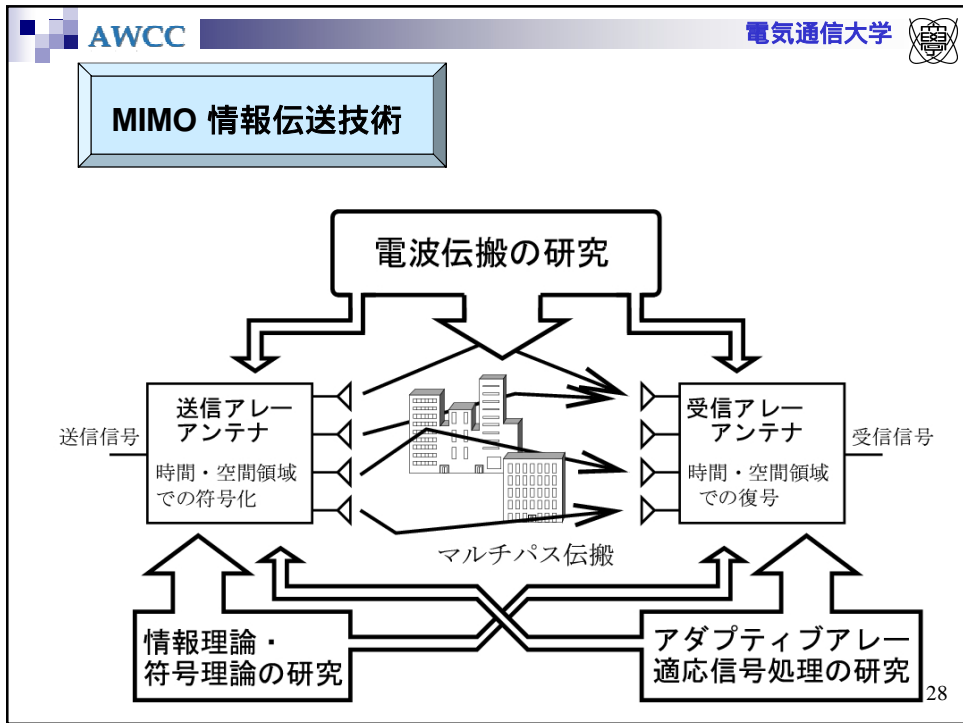
- AWCC 電気通信大学
- 発表内容
1. 電波環境を測る
 - 1) 電波環境のトータルレコーディング(電波の缶詰)
 - 2) 200MHz帯以下の全スペクトル測定実験(仙台)
 - 3) トータルレコーディングの応用
 2. 電波環境を作る(MIMO測定環境)
 - 1) MIMOとは
 - 2) MIMO-OTA
 - 3) 電波反射箱(Reverberation Chamber)
 - 4) MIMOフェージングエミュレータ
- 26

AWCC 電気通信大学

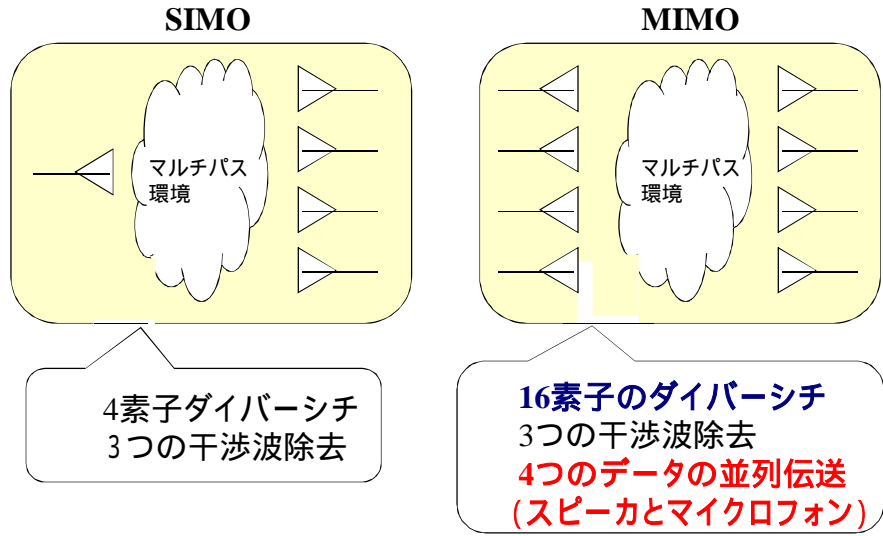
MIMO

Multi-Input Multi-Output (多入力・多出力システム)

27

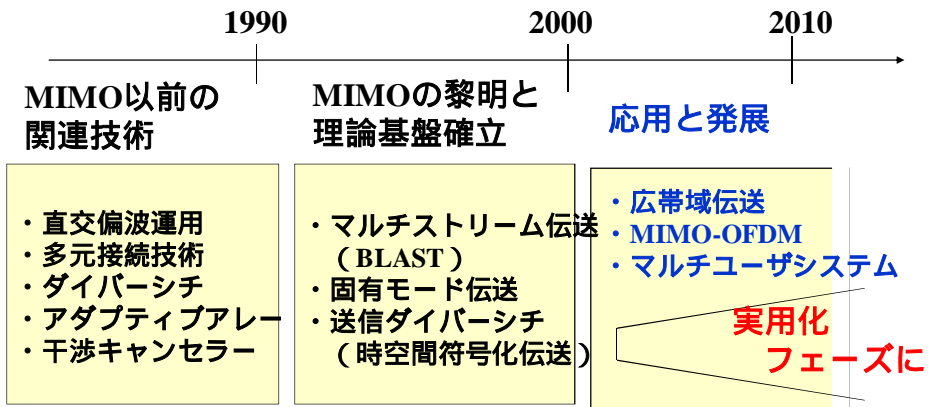


アレーアンテナができること



29

MIMO 技術の歴史と展望



30

MIMO: その二つの顔

(1) **たくさんの情報を伝送する技術**
(高スループット技術：マルチストリーム伝送)

↑ ↓
二者択一 (過剰な期待は禁物)

(2) **切れないリンクを実現する技術**
(高信頼性技術：送受信ダイバーシチ)

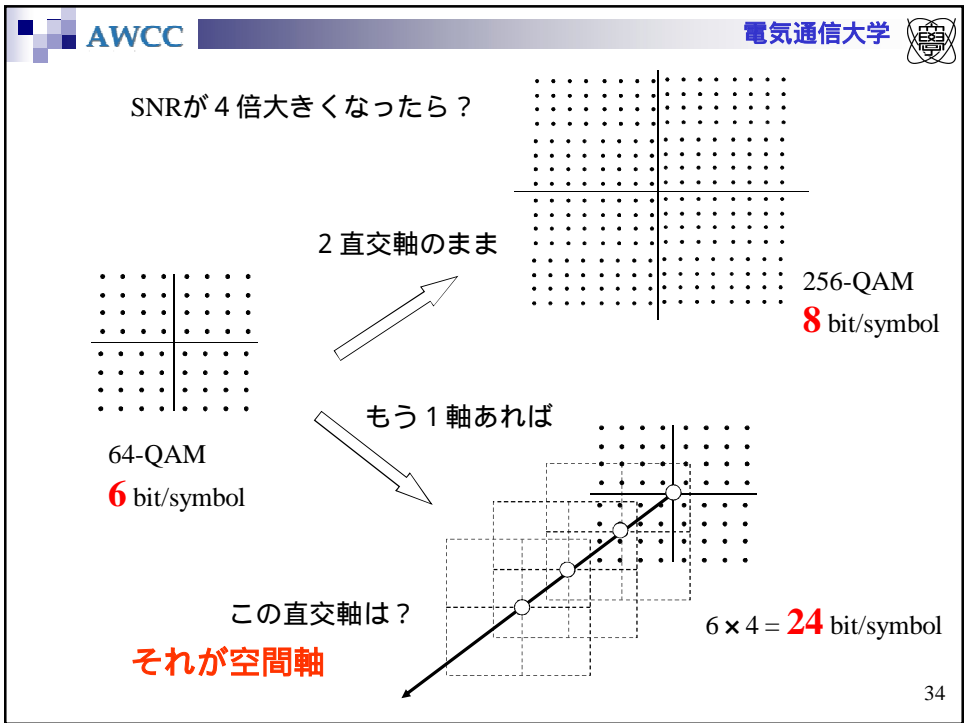
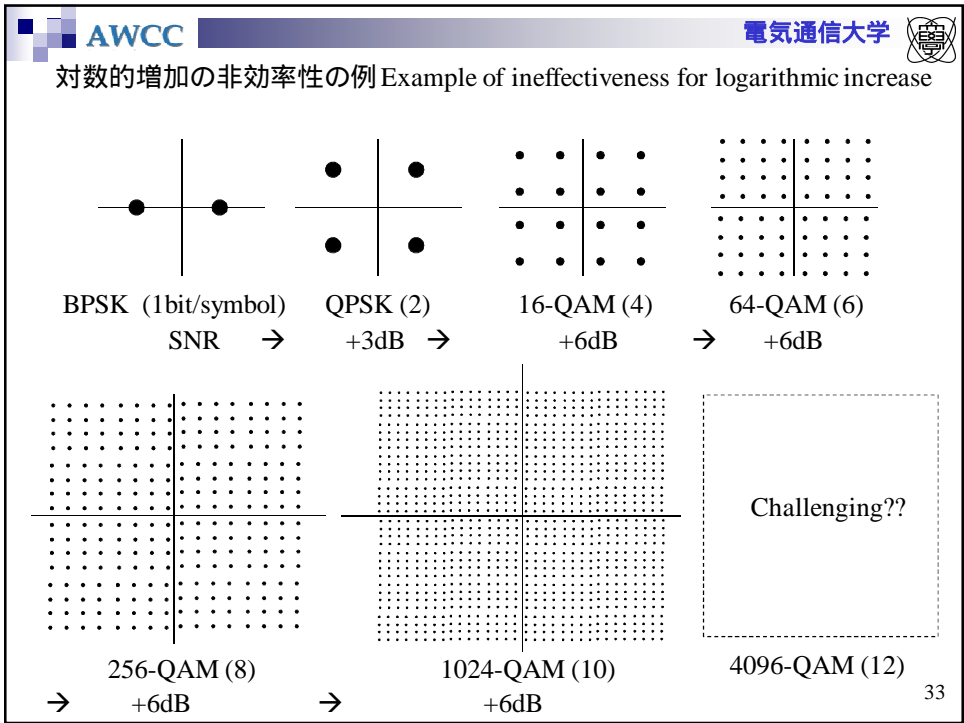
シャノンのチャネル容量定理

報酬 $C_0 = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$ 努力

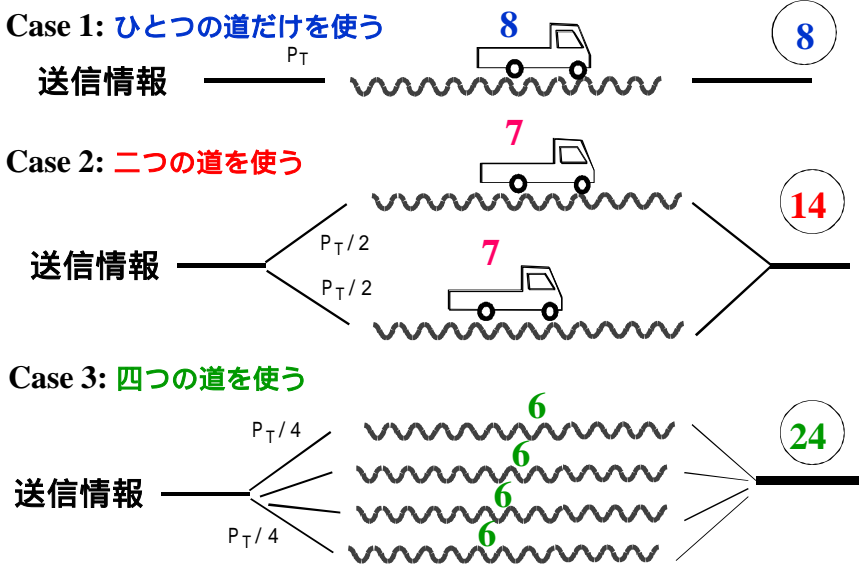
$\approx \log_2 \left(\frac{S}{N} \right)$ for $S \gg N$ (bit / s / Hz)

この式は、電力が有り余っても、容量増加に有効に活かされない構造になっている

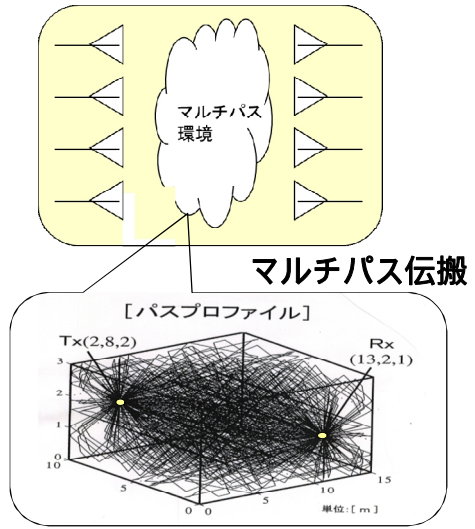
→ 電力を倍にしても、1ビット増えるだけ



高SNRのケースでは 例：8bit/symbol/シングルストリー



MIMOとは？ アレーアンテナ



送受信にアレーアンテナを用いることで、信号の入力(送信側)も、信号の出力(受信側)も、複数の信号を並列に扱うことができる

+

マルチパス伝搬を積極的に利用し、複数のチャネル(電波の通り道)を実現する

通信 =

情報をたくさん送ることができる

AWCC 電気通信大学

MIMO Channel Expression
(SVD: 特異値分解
Singular Value Decomposition)

$$A = E_r D E_t^H = \sum_{i=1}^m \sqrt{\lambda_i} \mathbf{e}_{r,i} \mathbf{e}_{t,i}^H$$

$$D \equiv \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{\lambda_2} & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & 0 & \dots & \sqrt{\lambda_m} \end{bmatrix}$$

$$E_t \equiv [\mathbf{e}_{t,1} \ \mathbf{e}_{t,2} \ \dots \ \mathbf{e}_{t,m}]$$

$$E_r \equiv [\mathbf{e}_{r,1} \ \mathbf{e}_{r,2} \ \dots \ \mathbf{e}_{r,m}]$$

$m \equiv \min(N_t, N_r)$

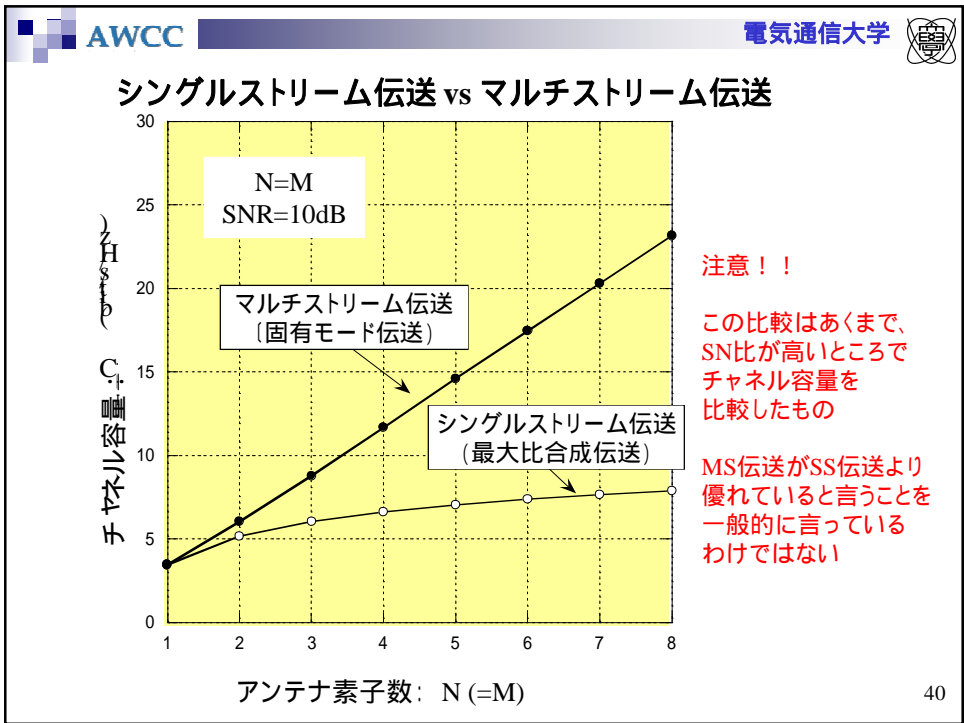
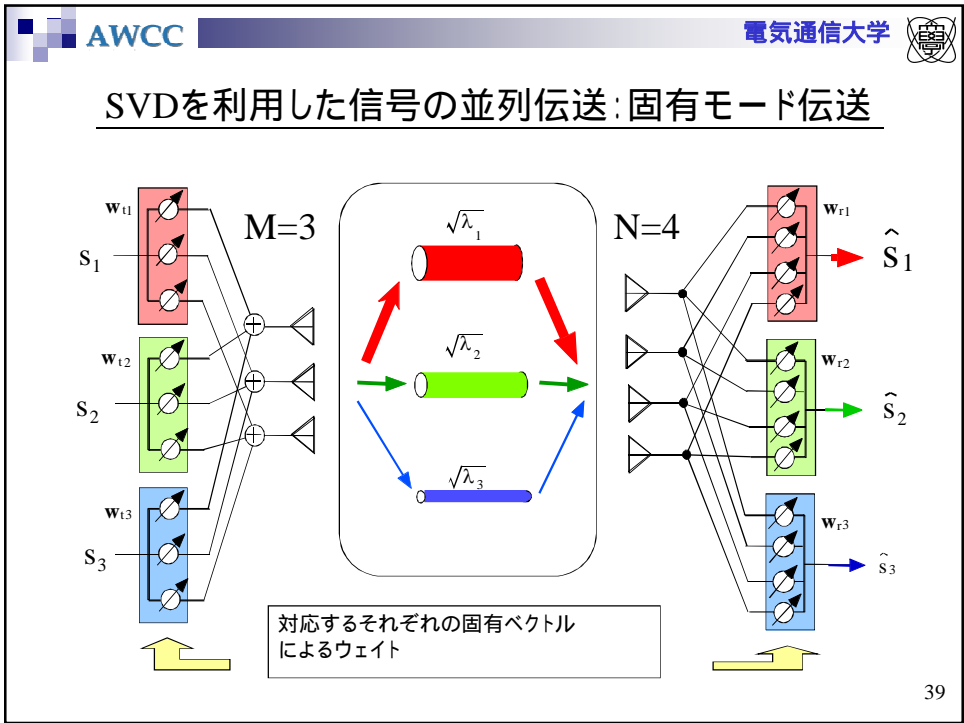
37

AWCC 電気通信大学

固有モード伝送

固有モード伝送

38



MIMOの研究動向

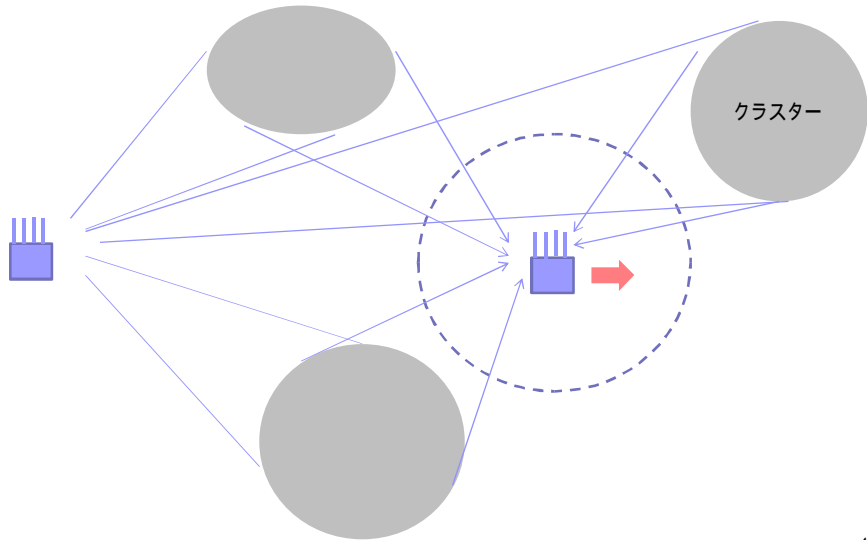
情報伝送方式
システム応用
装置開発(基地局、端末)

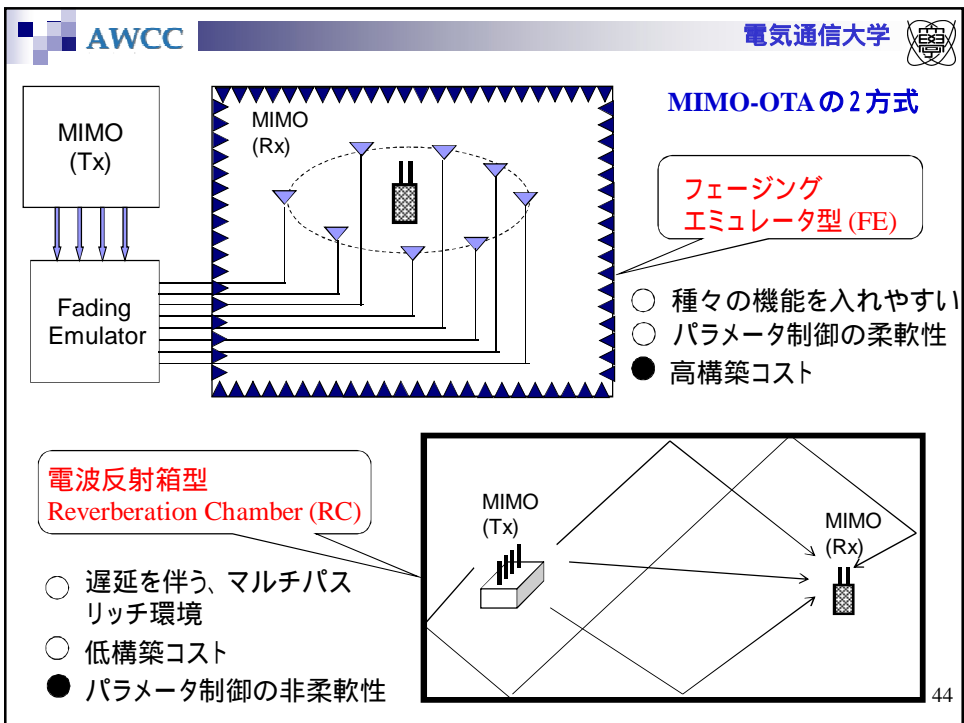
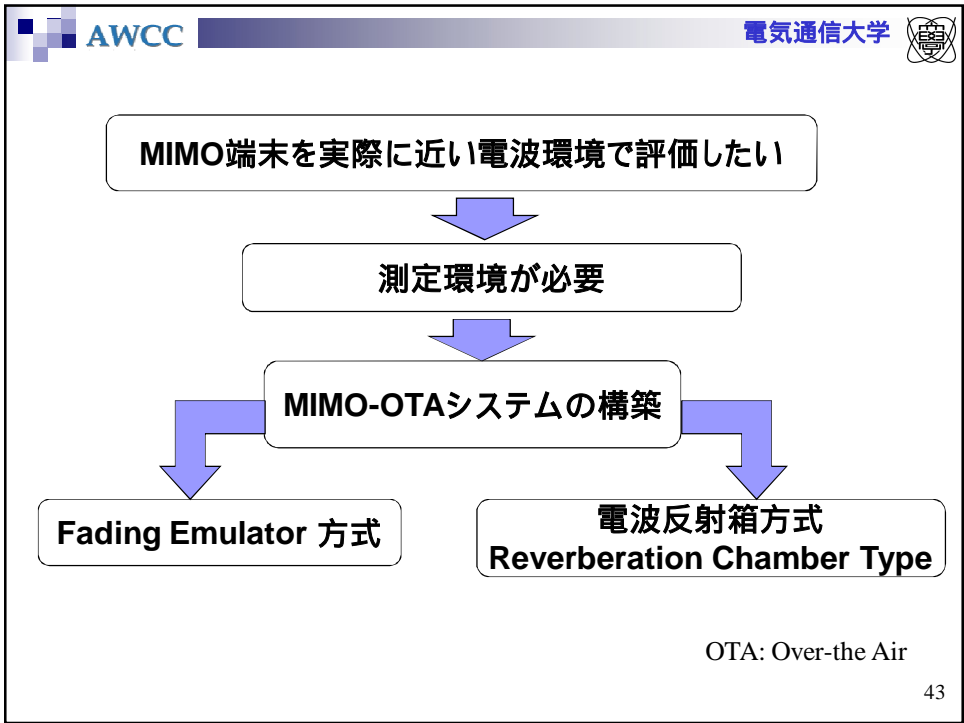
実用面で
かなり、
研究開発が
進んできた

MIMO端末特性評価環境(OTA測定系) 構築と測定法

ニーズが高まってきている
まだ、研究が薄い
標準測定法の必要性

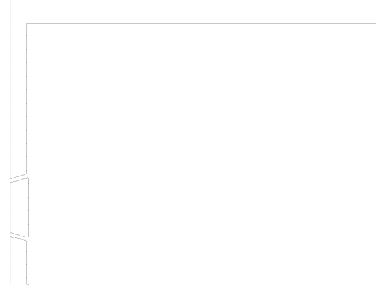
MIMO電波伝搬環境







4mx2mx2mの電波反射箱 (Reverberation Chamber)



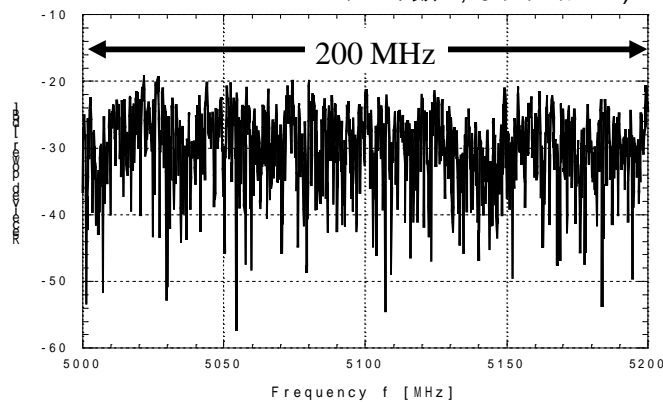
なぜ、4(m) × 2(m) × 2(m)のサイズか？

遅延の大きさが1 μ s以上であるマルチパス環境を作りたい
 人間が入って作業しやすい
 屋内に設置できる
 2(m) × 1(m)の定尺サイズのパネルで組み立てたい



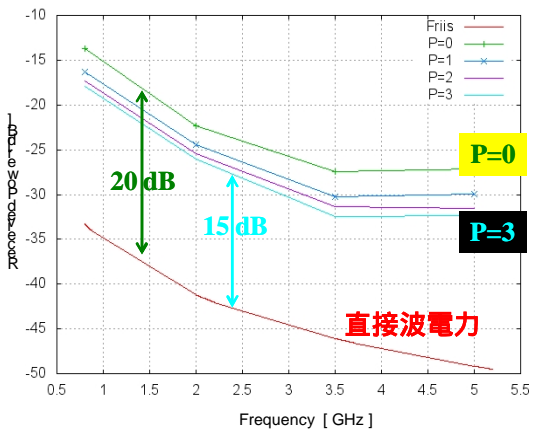
基本ブロックデータ

測定基本データ(生データ)の一例 (周波数 5 GHz, 偏波 V-V, 移動方向 y, シート数 0, ポジション)



- ・周波数軸上に、レイリーフェージングが発生している(1,601ポイント)
- ・空間的に測定位置をずらして、ブロック数を多くし(ブロック数:61)、総合データ数を増やす

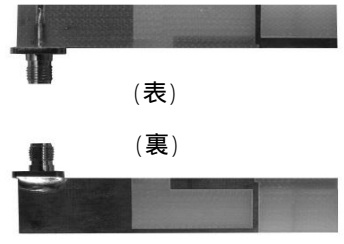
平均受信レベルの周波数依存性 (送信出力を基準とした受信電力)



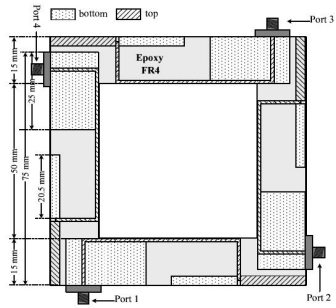
偏波 V-V,
移動方向 y,
ポジション

- ・周波数が小さいほど平均受信レベルは大きくなる (f^2 の特性に近い)
- ・吸収シート無では、直接波のレベル(Friisの公式で計算)より20dB(100倍)以上強い
- ・吸収シート3枚入れても15 dB以上、マルチパス電力が強い

応用例: 超広帯域アンテナの通信路容量特性評価には電波反射箱が適している



超広帯域アンテナの基本構造



4 x 4 MIMOアンテナ構成

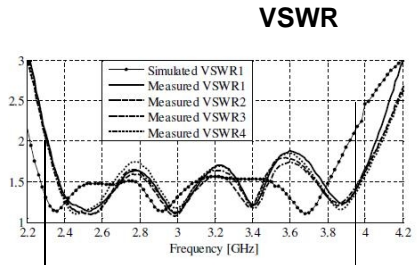


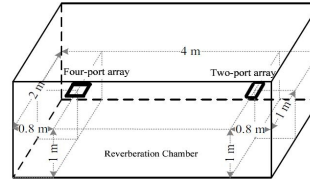
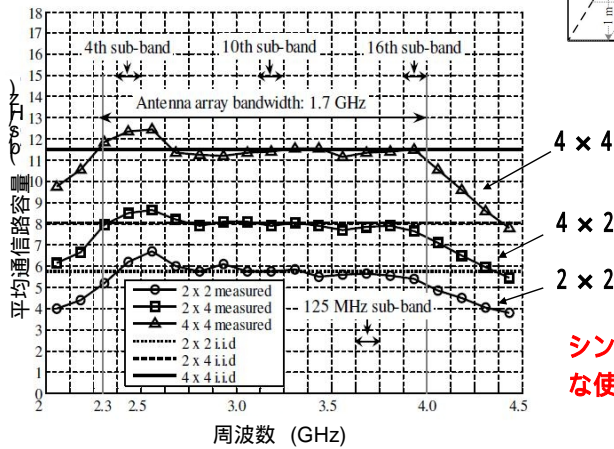
Fig. 13 VSWR characteristics of array ports

1.7 GHz

このアンテナのマルチパス環境での
4x4 MIMO伝送特性(通信路容量)を
広帯域にわたって測定したい

超広帯域アンテナのコグニティブ無線応用:
その特性評価

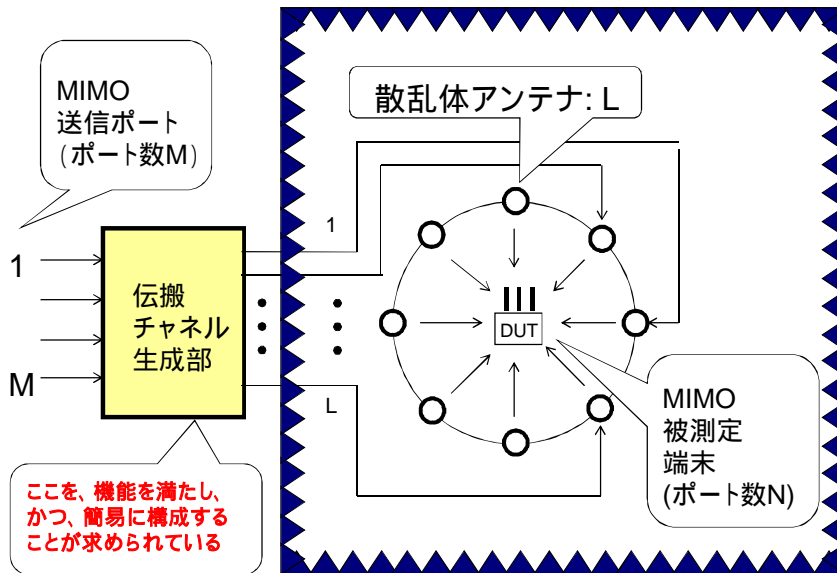
マルチパス環境での通信路容量の周波数特性



電波反射箱は
こういう測定に
有効

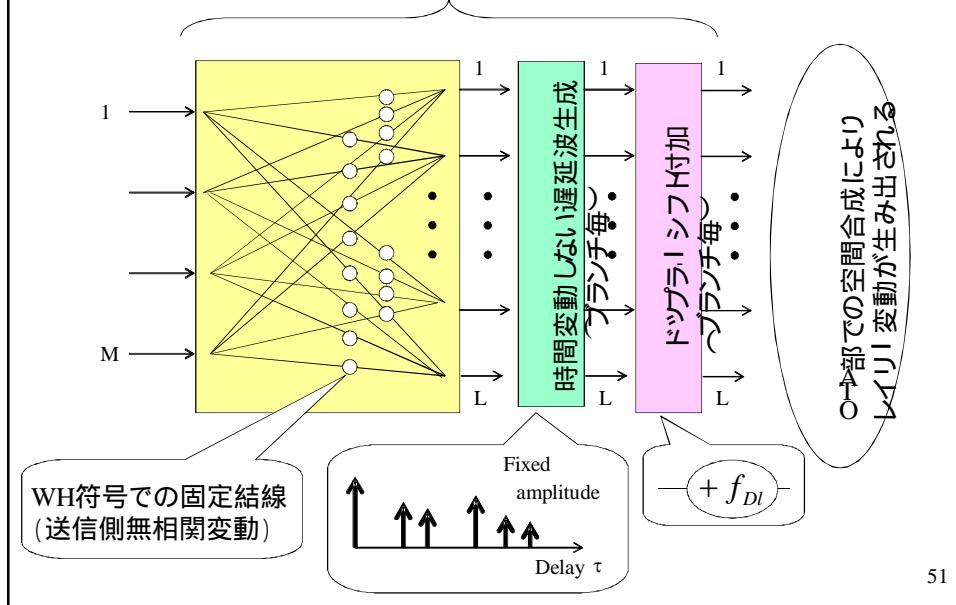
シンプルなものにも、シンプル
な使い方がある!!

フェージングエミュレータ (FE) タイプ OTA: 全体構成

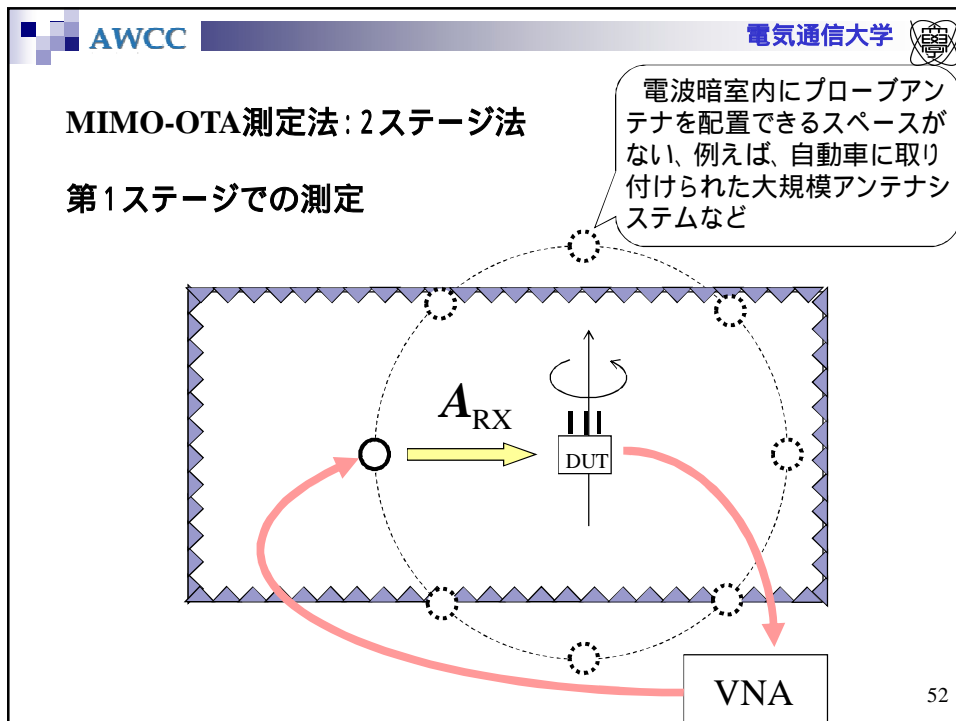


FE-2型 (アンテナブランチ制御型: 提案方式)

特徴: 機能分担し、夫々に時間変動制御をどこにも含まない

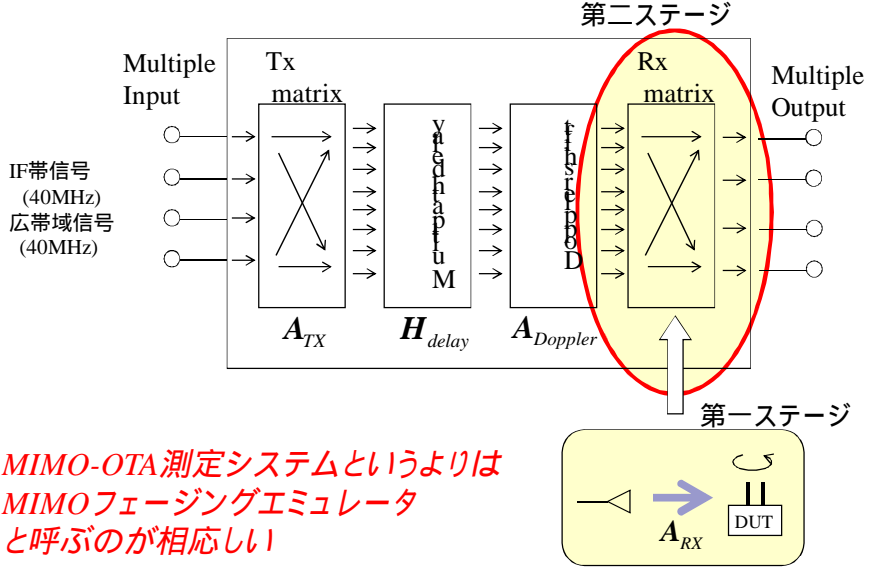


51



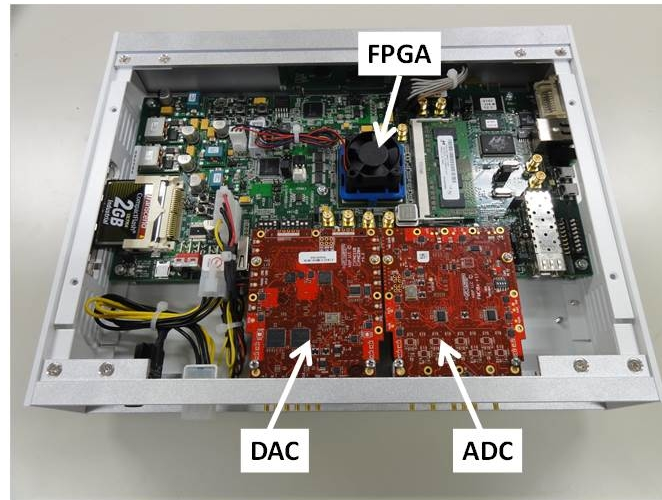
52

2ステージ法を取り入れた提案構成 (FE-2型簡易構成)



試作したMIMOフェージングエミュレータの性能諸元 (FPGA実装)

| | | | |
|-------|-----------------|--|---------------------|
| FPGA | 評価ボード 搭載IC | XILINX ML605 XLINX Virtex-6 LX240T XC6VLX240 | |
| 入出力 | A/D コンバータ | 4DSP FMC104 | |
| | D/A コンバータ | 4DSP FMC204 | |
| | 入力ポート数M | 4 | |
| | 出力ポート数N | 4 | |
| | サンプリング周波数 f_s | 160 MHz | |
| 信号処理 | IF 周波数 | ~ 40MHz | |
| | IF信号帯域 | ~ 40MHz | |
| 遅延 | 遅延波数K | 10 | 6 |
| | 遅延時間 t_k | 6.25ns ~ 50 μ s | 6.25ns ~ 25 μ s |
| ドップラー | ドップラー周波数: f_D | ~ 1MHz | |
| | 分解能 | 0.60Hz | |



試作した信号処理部の外観
(28cm × 22cm × 5cm)

55



道具ができたので、使ってみたい

- 1) 地デジ信号 (ISDB-T) のMRCダイバーシチ受信
- 2) 無線LANの伝送特性評価

56

応用その1

- 4アンテナMRCダイバーシチ受信特性評価への応用

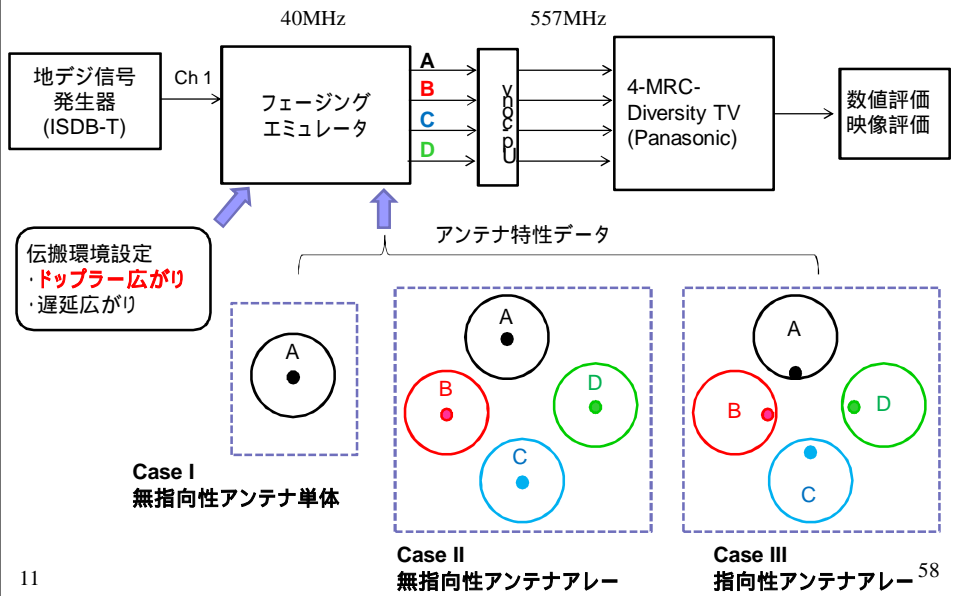


Panasonic TH-L17F1



(裏面)

実験系とダイバーシチアンテナ構成

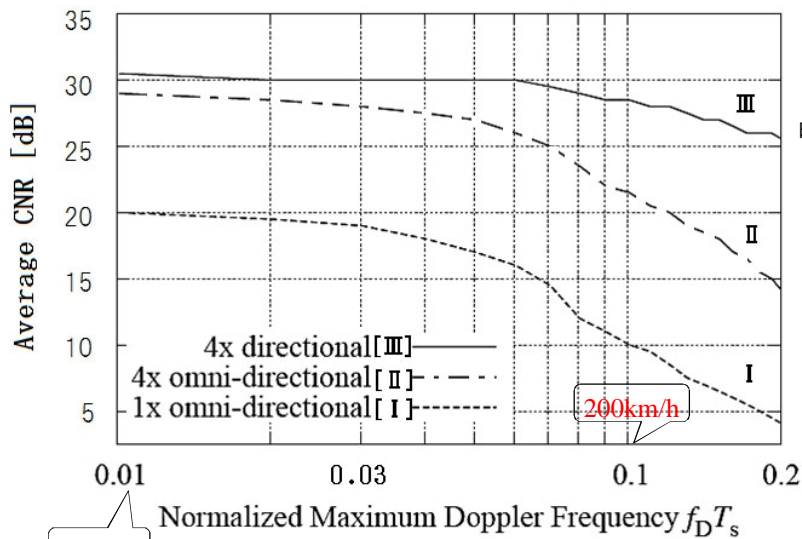




実験装置



評価結果例(ドップラー広がりに対する耐性)



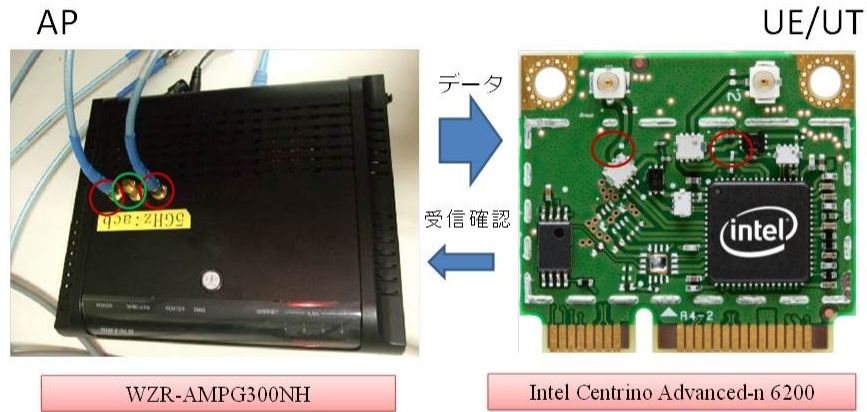
映像良



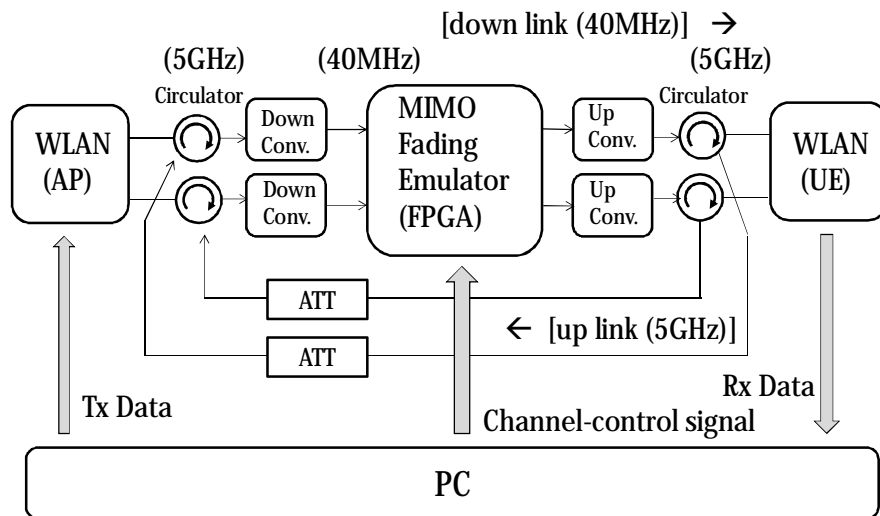
20km/h

200km/h

応用その2:無線LAN(IEEE802.11n)のフェージング耐性評価

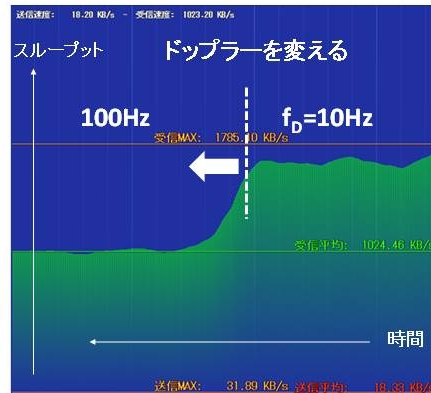


実験構成(フィードバックループを組む)

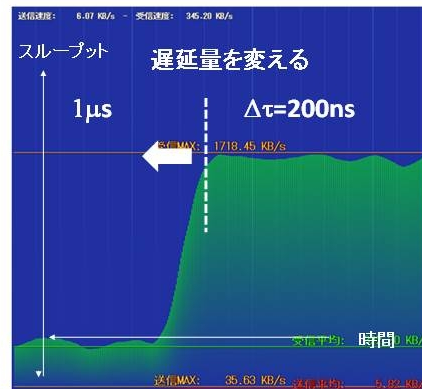




測定結果の例(フェージングに対する耐性)



ドップラ広がりに対する耐性



遅延広がりに対する耐性

63



講演のまとめ

1. 電波環境を測る(トータルレコーディング)

電波環境を丸ごと記録する手段があると、電波伝搬解析・通信障害解析に有用。パソコンレベルで、現時点で、パーツ(DAC, ADC, マザーボード, CPU, SSD or HDD)を選べば、200MHz帯域信号の長時間収録(1時間以上)が可能。(仙台での測定実験を紹介した)

2. 電波環境を作る(MIMO-OTA)

- ・電波反射箱型(Reverberation Chamber)
 - 超広帯域伝送特性の評価が可能
- ・MIMOフェージングエミュレータ
 - リアルタイムのマルチパス環境が構築できる

上記1, 2をプロ(=計測器メーカー)が行うと、高性能であるが超高価格なものとなる。自分たち研究や開発に必要な道具は、自分たちで作ってみよう。

64