

[招待講演]  
 高速OFDMA通信システム開発における  
 日本最南端での取り組み

ファイヤー和田 知久  
 wada@ie.u-ryukyu.ac.jp  
 琉球大学・工学部・情報工学科 教授  
 総合情報処理センター センター長  
 http://www.ie.u-ryukyu.ac.jp/~wada

マグナデザインネット社チーフサイエンティスト  
 http://www.MagnaDesignNet.com

OUTLINE

- 自己紹介&沖縄の基礎知識
- 沖縄でのシリコン産業関連アクティビティ
  - マグナデザインネット社
- OFDM復習
- OFDMAモデム開発
  - 広帯域ブロードバンドシステム
  - 2つのサービススペック (Mobile WiMAX & XGP)
  - モデムフロントエンドアーキテクチャ
- まとめ

自己紹介



- 1959年12月2日生まれ(49歳)
- 阪大電子工学科卒業後、三菱電機LSI研究所
  - 6種のSRAMを量産化
  - 3種のインテルPentium用パイプラインCache設計リーダー
  - 3次元グラフィックス用描画LSI米国設計チームメンバーなど
- 1991年スタンフォード大学にてコンピュータH/Wの修士
- 1994年阪大からコンピュータCache関連で工学博士
- 1999年三菱電機を退社(39歳)、琉大工学部・助教授
- 2001年3月デジタル通信LSI設計ベンチャー会社設立
  - マグナ・デザイン・ネット社@那覇・沖縄
- 2001年4月琉球大学・工学部・情報工学科教授

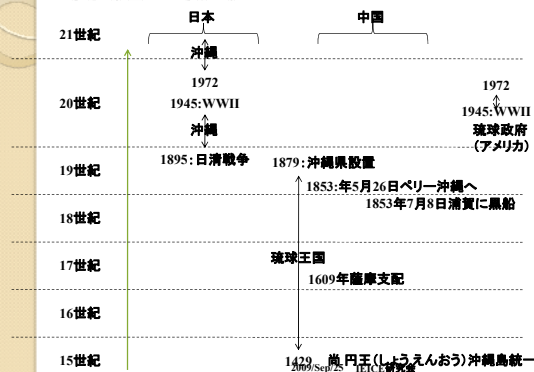
沖縄の基礎知識  
 本島の長さは約150km、一周約400km



アジアの中の沖縄



沖縄のあゆみ



## 沖縄の基礎知識

- 人口 約 137万人
  - 那覇周辺市町村に 100万人
  - 子ども(0~14才)の人口の割合が全国で一番高い  
ちなみに東京が最下位
- 面積 2269Km<sup>2</sup> (本島はその1/2)
  - 東京(2187)よりやや大きい、神奈川県とほぼ同じ
- 人口密度 580人/km<sup>2</sup> で普通の田舎の約2倍
  - 関東・近畿・中京・福岡につぐ人口密度
- 日本一の人口 増加率 0.74%  
(那覇の周りで増加)

2009/Sep/25 IEICE研究会

7

## 沖縄の産業

- 商業や金融、観光など、サービス業の割合が高く、建設業や製造業の割合が低い
  - 商業・金融・観光などサービス業 78%
  - 建設業・製造業 20%
  - 農業・漁業・畜産など 2%
- 560万人の観光客と多いが
  - ラスベガス 人口:140万人 観光客3500万人

2009/Sep/25 IEICE研究会

8

## 沖縄の大学・高専

- 【大学】
    - 那覇市 沖縄大学、芸大、看護大
    - 宜野湾市 沖縄国際大
    - 中頭郡 琉球大学、キリスト短大
    - 名護市 名桜大学
    - 恩納村 大学院大学2011開学予定(国内3校目)
  - 【高専】
    - 名護市 国立沖縄高専
- 工学系は琉大と高専のみ

2009/Sep/25 IEICE研究会

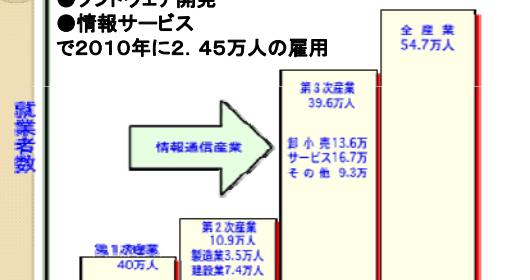
9

## マルチメディアアイランド構想

1998年9月大田知事のリーダーシップのもと策定

- コンテンツ制作
- ソフトウェア開発
- 情報サービス

で2010年に2.45万人の雇用



2009/Sep/25 IEICE研究会

10

## 沖縄のシリコン産業

- 1990年代後半、沖縄にシリコン関連産業はほとんどない
- 一方、台湾は日本を抜き、シリコン製造No1へ
- 1998年、沖縄にシリコン関連産業を創出するための取り組みがスタート
  - シノプシス・デザイン・センターの誘致(成功せず)
  - センサー系半導体製造会社の誘致(アクロラド社)
  - 沖縄唯一の科学技術系をもつ琉大での人材育成
  - LSI設計ベンチャービジネスの企業
- 2011年に国立民営の世界レベルの大学院大学開学

2009/Sep/25 IEICE研究会

11

## ファイザー和田研の研究テーマ

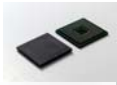
- デジタル大容量無線通信システム
  - デジタル信号処理アルゴリズム(OFDM)
  - エラー訂正アルゴリズム
  - アレイアンテナ信号処理アルゴリズム
  - HDLによる回路システム構築(FPGA)
  - DSPやプロセッサを用いたSWIによるシステム構築
  - LSI設計
- 応用
  - ワンセグ携帯電話
  - 地上デジタル放送のカーナビ用受信器
- 今後
  - 次世代ワイヤレスLAN関連 次世代PHS
  - MIMO, 新方式高性能のエラー訂正

2009/Sep/25 IEICE研究会

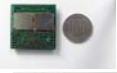
12



## マグナ社 新製品一覧



**ダイバーシティLSI**  
地上デジタルTV放送受信用のダイバーシティLSIです。



**高性能ダイバーシティモジュール**  
地上デジタルTV放送受信用のモジュールです。



**次世代PHS(XGP)用シミュレータ**  
端末モードと基地局モードの双方に対応しています。



**USBワンセグモジュール**  
4号機(ONESEG-USB-4)の量産を開始しました。

2009/Sep/25 IEICE研究会

19

## XGPシミュレータ

- 次世代PHS(XGP)の仕様(XG-PHS)に準拠
- 端末(MS)モードおよび基地局(BS)モードに対応
- 装置サイズ 46.4cm × 25.9cm × 4.5cm
- BSモード時に最大4ボード間で同期運転が可能
- アナログBB接続対応が可能



2009/Sep/25 IEICE研究会

20

## OFDM復習

2009/Sep/25 IEICE研究会

21

## OFDMの歴史

- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- 最初の提案は1950年代
- 1960年代には理論的に完成
- 1970年代にDFTを適用した実装が提案
- 1987年にデジタル音声方法へ採用(欧州)
- 最近では
  - デジタル地上波TV放送(欧州、日本)
  - ADSL
  - WLAN 802.11a/g/n
  - WiMAX
  - XGP (eXtended Global Platform, 次世代PHS)
  - 3.9G LTE

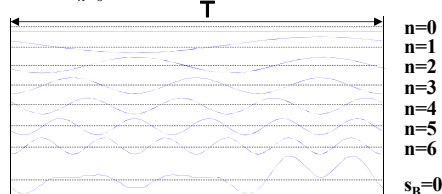
2009/Sep/25 IEICE研究会

22

## ベースバンドOFDM信号

- 基本要素のnの値を変えて、同じタイミングでN個加えたものがベースバンドOFDM信号となる。

$$s_B(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \{a_n \cos(2\pi f_n t) - b_n \sin(2\pi f_n t)\}$$



2009/Sep/25 IEICE研究会

23

## パスバンドOFDM信号

- 実際にOFDMは周波数変換されて搬送波帯域で伝送され、以下のように表される。

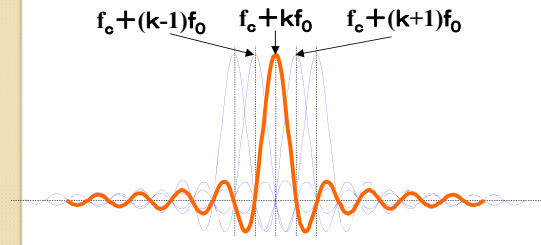
$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [a_n \cos\{2\pi(f_c + nf_0)t\} - b_n \sin\{2\pi(f_c + nf_0)t\}]$$

2009/Sep/25 IEICE研究会

24

## OFDMのスペクトル

- 各キャリアは区間 $T(=1/f_0)$ の周波数 $(f_c+kf_0)$ 正弦波で、スペクトルは間隔 $f_0$ で振動し、他のキャリア周波数で大きさは零となる。

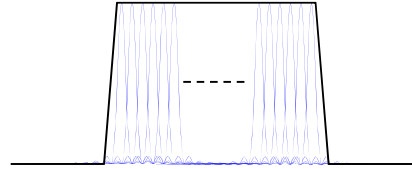


2009/Sep/25 IEICE研究会

25

## OFDMの電カスペクトル

- 実際のOFDM電カスペクトルはすべてのキャリアを並べたものになり、矩形に近く周波数の有効利用が可能。



2009/Sep/25 IEICE研究会

26

## OFDM信号の生成

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [a_n \cos\{2\pi(f_c + nf_0)t\} - b_n \sin\{2\pi(f_c + nf_0)t\}]$$

- 上記信号を直接的に生成するには、  
N個のデジタル変調器と  
N個の正確なキャリア波形成器が必要で  
⇒ 非現実的。
- 1971年に離散フーリエ変換DFTを用いる方法が提案され、現実的になった。

2009/Sep/25 IEICE研究会

27

## OFDM信号の生成(2)

- 以下のように複素等価ベースバンド信号 $u(t)$ を定義する。

$$s_b(t) = \text{Re}[u(t)]$$

$$u(t) = \sum_{n=0}^{N-1} d_n \cdot e^{j2\pi n f_0 t}, \quad d_n = a_n + j b_n$$

- これをシンボル区間 $T$ で $N$ 点のサンプリングを行う。

$$u\left(\frac{k}{Nf_0}\right) = \sum_{n=0}^{N-1} d_n \cdot e^{j2\pi n f_0 \frac{k}{Nf_0}} = \sum_{n=0}^{N-1} d_n \cdot e^{j\frac{2\pi n k}{N}}$$

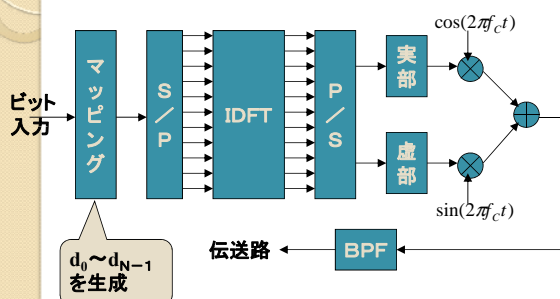
$$= \sum_{n=0}^{N-1} d_n \cdot \left(e^{j\frac{2\pi}{N}}\right)^{nk} \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N-1)$$

N個の複素データシンボル $d_n$ を逆離散フーリエ変換し、連続信号にすれば $u(t)$ を生成できる。

2009/Sep/25 IEICE研究会

28

## OFDM変調器の構成



2009/Sep/25 IEICE研究会

29

## OFDMの復調

- 搬送波帯信号 $s(t)$ に $\cos(2\pi f_c t)$ を掛けて、LPFを通すと、以下のようにOFDMベースバンド信号が得られる。

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [a_n \cos\{2\pi(f_c + nf_0)t\} - b_n \sin\{2\pi(f_c + nf_0)t\}]$$

$$s(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{N-1} \{a_n \cos(2\pi n f_0 t) - b_n \sin(2\pi n f_0 t)\} = \frac{1}{2} s_r(t)$$

- 復調でもDFT処理を行うために、以下のような計算もする。

$$s(t) \cdot \{-\sin(2\pi f_c t)\} = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{N-1} \{a_n \sin(2\pi n f_0 t) + b_n \cos(2\pi n f_0 t)\} = \frac{1}{2} s_o(t)$$

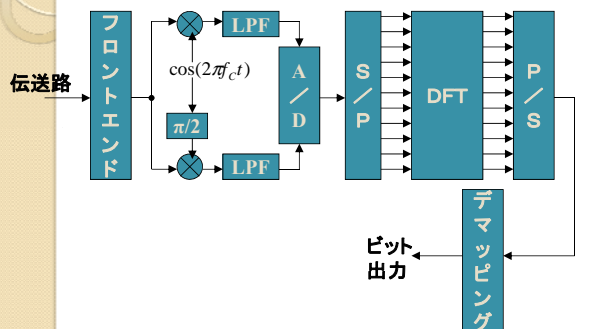
- 以上より $u(t)$ が求まり、サンプリング後DFTで $d_n$ が求まる。

$$u(t) = s_r(t) + j s_o(t) = \sum_{n=0}^{N-1} d_n \cdot e^{j2\pi n f_0 t}$$

2009/Sep/25 IEICE研究会

30

## OFDM復調器の構成

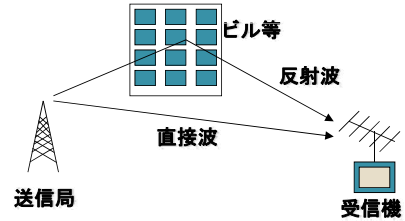


2009/Sep/25 IEICE研究会

31

## マルチパス

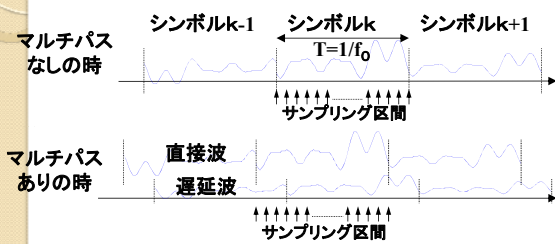
- 現実には無線伝送ではひずみが発生する。その典型的なのがマルチパスひずみである。(アナログTV方法でのゴースト)



2009/Sep/25 IEICE研究会

32

## マルチパスによる悪影響

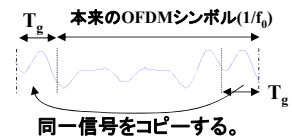


- 遅延波の部分はk-1シンボルの影響を受け、シンボル長で直交するOFDMの条件がくずれる。

2009/Sep/25 IEICE研究会

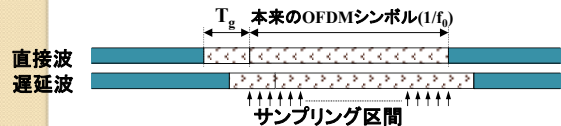
33

## ガードインターバルの付加



同一信号をコピーする。

- $1/f_0$ の何分の一かのガードインターバルを付加することで、 $T_g$ 以下の遅延での直交性を保つ。



2009/Sep/25 IEICE研究会

34

## OFDMAモデム開発

2009/Sep/25 IEICE研究会

35

## 日本の広帯域無線アクセスシステム

- 総務省は第3世代携帯電話のデータ伝送速度を上回る高度な無線ブロードバンドサービスに対するニーズに対応するため、2.5GHz帯を使用する広帯域移動無線アクセスシステムの導入に向けた制度整備を進め、
- H19年12月21日に、UQコミュニケーションズ及び株式会社ウィルコム申請を認めた。
- UQコミュニケーションズが2,595MHz~2,625MHz帯をMobile WiMAXで、
- ウィルコムが2,545MHz~2,575MHz (ただし2,545~2,555MHzは2014年末まで制限あり)を次世代PHS(XGP)で展開していく予定。

2009/Sep/25 IEICE研究会

36

## 無線通信サービス

- 主に屋内
  - WLAN
    - 802.11b (CDMA) → 802.11g/a (OFDM) → 802.11n (MIMO-OFDM)
- 屋外
  - 従来携帯電話の延長
    - PDC, CDMA, CDMA2000, WCDMA → 3.9G LTE (OFDMA, SC-FDMA)
    - PHS → **次世代PHS (OFDMA, SC-FDMA)**
  - 新規格
    - WiMAX (802.16d, OFDMA) → **Mobile WiMAX (802.16e, OFDMA)**

OFDM系の通信にシフトしている

2009/Sep/25 IEICE研究会

37

## UQコミュニケーションズの2.5GHz帯でWiMAXサービス

- Mobile WiMAXによる展開
- スケジュール
  - 2008/8 : 第1号の無線基地局を竣工
  - 2009/2 : 東京23区・横浜市で試験サービス開始
  - 2009/夏 : 東名阪地域で本サービス開始



2009/Sep/25 IEICE研究会

38

## ウィルコム的高速移動通信システム: WILLCOM CORE :次世代PHS(XGPHS)

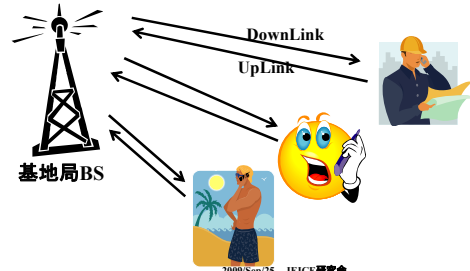
- 2009年4月: エリア限定サービス開始
  - 東京・山手線の内側の地区を中心に、エリア限定でのサービス
- 2009年10月: 本サービス開始
  - 首都圏、中部圏、関西圏の県庁所在地、および近隣
- ~2010年3月:
  - 東京23区及び主要沿線都市、横浜市中心部、川崎市中心部、大阪市中心部、名古屋市中心部他をエリア化予定
- ~2011年3月:
  - 国道16号線内、大阪および名古屋周辺の都市をエリア化予定
- ~2012年3月:
  - 全国政令指定都市、県庁所在地をエリア化予定
- ~2013年3月:
  - 全国の地方都市をエリア化予定

2009/Sep/25 IEICE研究会

39

## 多元接続への拡張

- 携帯電話のような応用では一つの基地局BSに対して各ユーザの間に独立な通信チャネルが必要である。
- OFDMA=Orthogonal Frequency Division Multiple Access (直交周波数分割「多元」接続)



2009/Sep/25 IEICE研究会

40

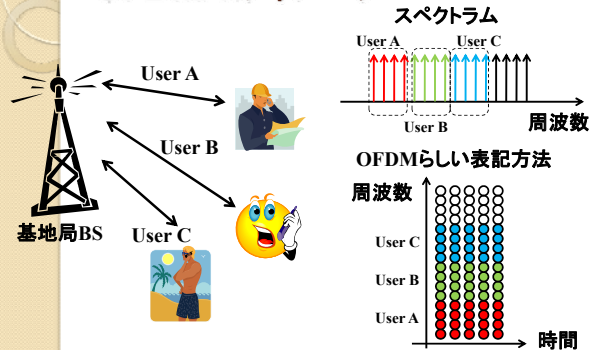
## 多重方式

- DownLink, UpLinkの分離
  - 周波数分割複信 FDD (Frequency Division Duplex)
  - 時分割複信 TDD (Time Division Duplex)
- ユーザごとの分離
  - 周波数分割多重 FDM (Frequency Division Multiplex)
  - 時分割多重 TDM (Time Division Multiplex)
  - 直交周波数分割多重 OFDM
    - OFDMの多数あるサブキャリアをユーザごとにわりあてる。
- 広帯域無線アクセスシステム候補の MobileWiMAX, XGPでは TDD-OFDMで、多元接続を実現

2009/Sep/25 IEICE研究会

41

## OFDMAのイメージ



2009/Sep/25 IEICE研究会

42

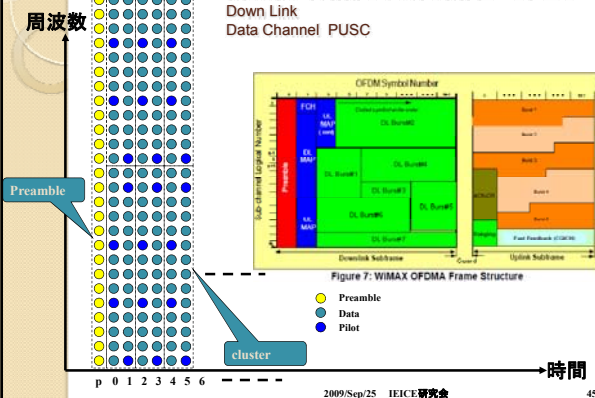
2つのサービススペック  
 1) MOBILE WIMAX  
 2) XGP

Mobile WIMAX 8.75MHz SPEC例

- BW 8.75MHz
- n 8/7
- Sampling Freq 10.000MHz
- FFT size 1024
  - DL Null=184, Pilot=120, Data=720
  - UL Null=184, Pilot=280, Data=560
- # of sub-channels
  - DL (2cluster) 30 channel
  - UL (6 tile) 35 channel
- Sub-carrier space 9.765625KHz
- Useful Symbol Tb 102.4us
- Guard Interval Tg 12.8us
- OFDM symbol Ts 115.2us
- Symbols in Frame 48(5ms frame)
- Modulation
  - QPSK,16/64QAM
- CC
  - DL R=1/2, 2/3, 3/4, 5/6
  - UL R=1/2, 2/3, 5/6
- Repetition x2, x4, x6
- Data Channel
  - DL PUSC only
  - UL PUSC only

Mobile WIMAX 8.75MHz SPEC

Down Link  
 Data Channel PUSC

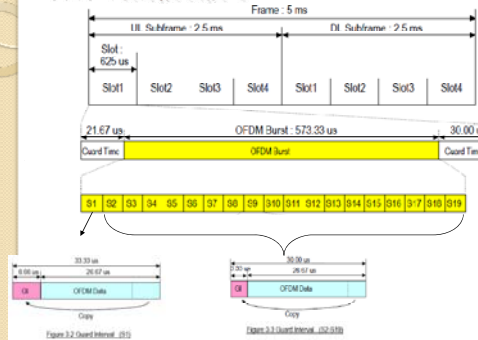


XG-PHS OFDM TYPE4 10MHz Spec例

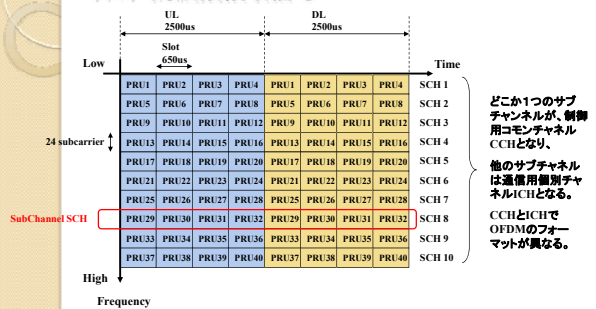
- System BW 10.0MHz
- Effective BW 9.0MHz
- Sampling Freq 19.2MHz
- FFT size 512
  - 24subcarrier/PRU \* 10 PRU
  - 240subcarrier
- 周波数方向のPRU数
  - 10 PRU
- Sub-carrier space 37.5KHz
- Useful Symbol Tb 26.67us
- Guard Interval Tg 1/4(S1)=6.66us  
1/8(他)=3.33us
- OFDM symbol Ts 1/4(S1)=33.33us  
1/8(他)=30.00us
- Frame length 5.000ms
  - 96000 point in 19.2Msps
- UL/DL 2.5ms
  - SLOT 625us
    - Head Guard 21.67us
    - Burst Time 573.33us
    - Tail Guard 30.00us

XGPIには、ULのみSC-FDMAモードがある

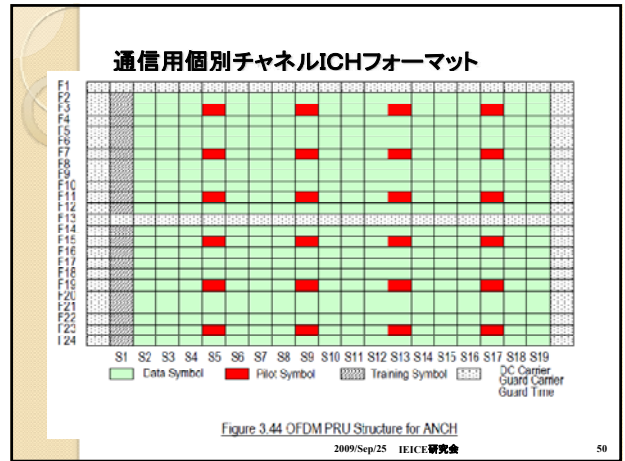
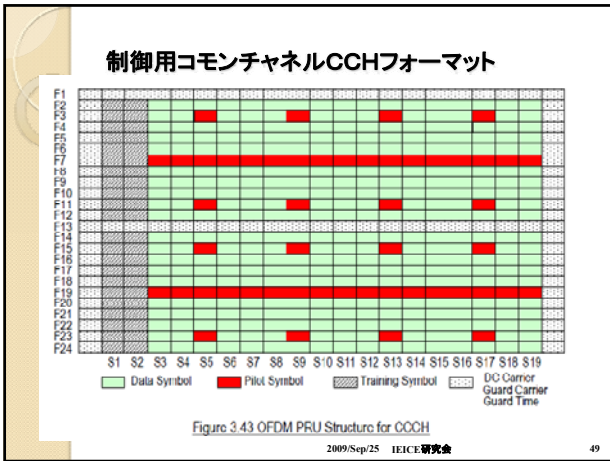
XGP 時間領域信号



XGP 周波数領域信号

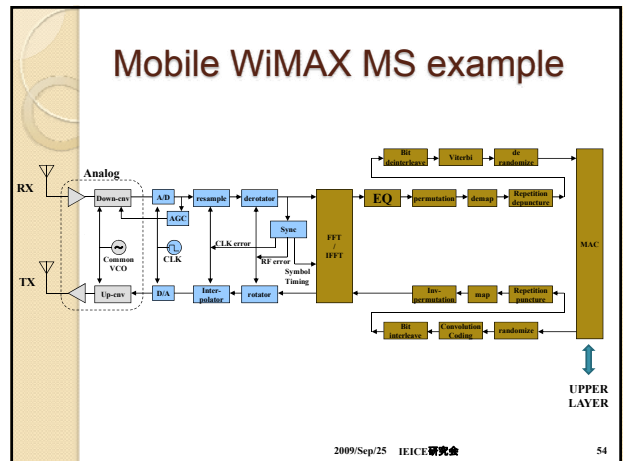
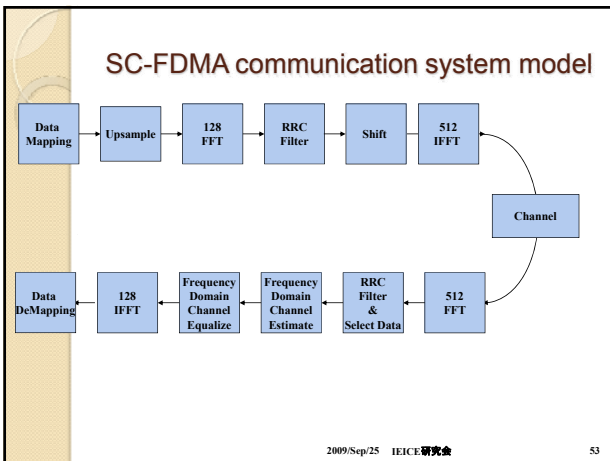
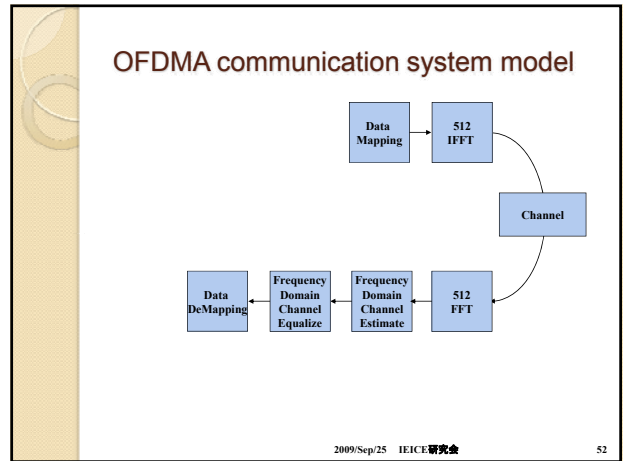


どこか1つのサブチャンネルが、制御用コモンチャンネルCCHとなり、他のサブチャンネルは運用用個別チャンネルCHとなる。CCHはICHでOFDMのフォーマットが異なる。

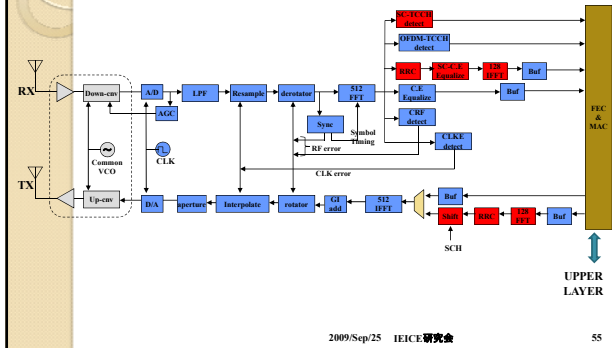


## OFDMAモデムフロントエンド

2009/Sep/25 IEICE 研究会 51



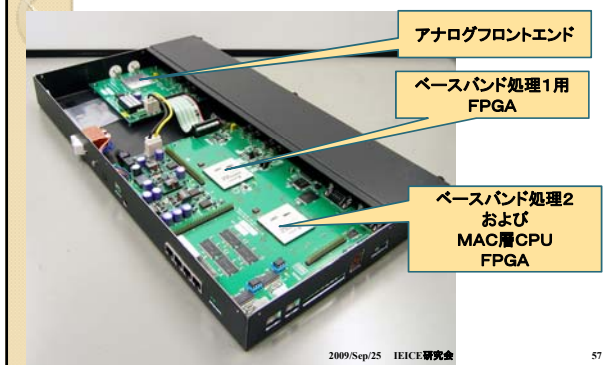
## XGP MS example



## 主な信号処理

- UP/DOWN-conversion 周波数変換 (ベースバンド・パスバンド信号変換)
  - AGC 自動ゲインコントロール
  - Resample サンプリングレート変換
  - Interpolate 補間処理
  - De-rotate/Rotate BBでの周波数補正
  - Sync 同期処理
  - FFT/IFFT 高速フーリエ変換/逆変換
  - Equalizer 等化処理 (チャネルひずみ除去)
  - Permutation 順番入れ替え (インターリーブ)
  - Map/Demap 情報ビット・コンスタレーション変換/逆変換
  - Convolutional Coding 畳み込み符号化
  - Viterbi Decode 畳み込み符号の復号 (ビタビ法)
  - Randomize 乱数処理 (1,0が連続しないように)
  - RRC Root Raised Cosine filter, 2回でRaised Cosine
  - TCCH XGPのTiming Correct Channelで、初期同期用
- 2009/Sep/25 IEICE研究会 56

## System Implementation example



## まとめ

- 独自の歴史・文化を持つ沖縄での通信システム関連のアクティビティをご紹介
  - 1998年、沖縄にシリコン関連産業を創出するための取り組みがスタート以来、教育関連、産業関連アクティビティが着実に進展している
  - 情報通信、S/W産業への政策援助、特区政策、大学院大学の開学などで、着実な進展を推進中
- 2009/Sep/25 IEICE研究会 58