

ギガビットWiFi (IEEE802.11ad/11aj) の最新動向

～測定課題と測定技術～

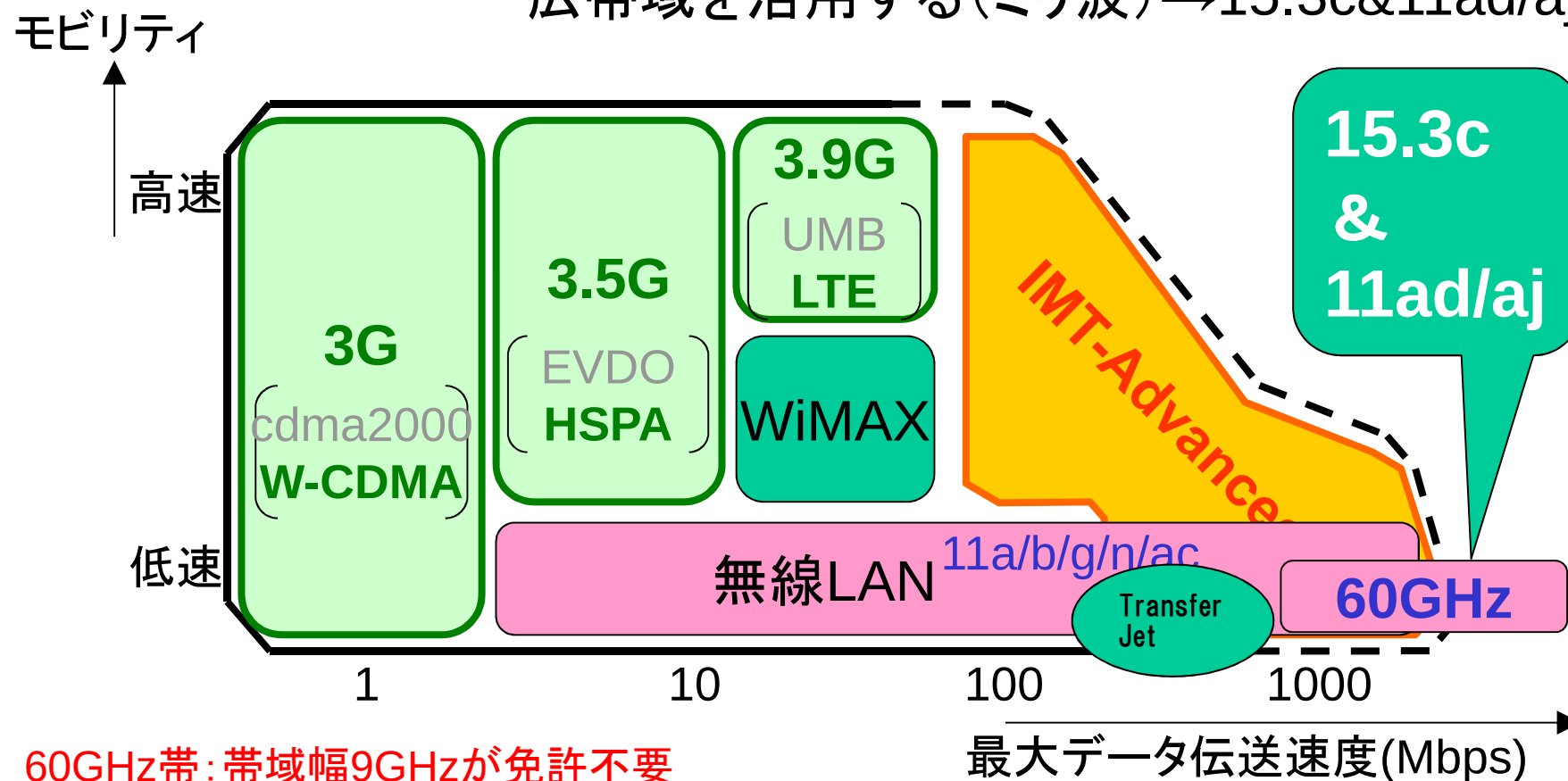
(株) 日立製作所
柴垣 信彦

nobuhiko.shibagaki.qr@hitachi.com

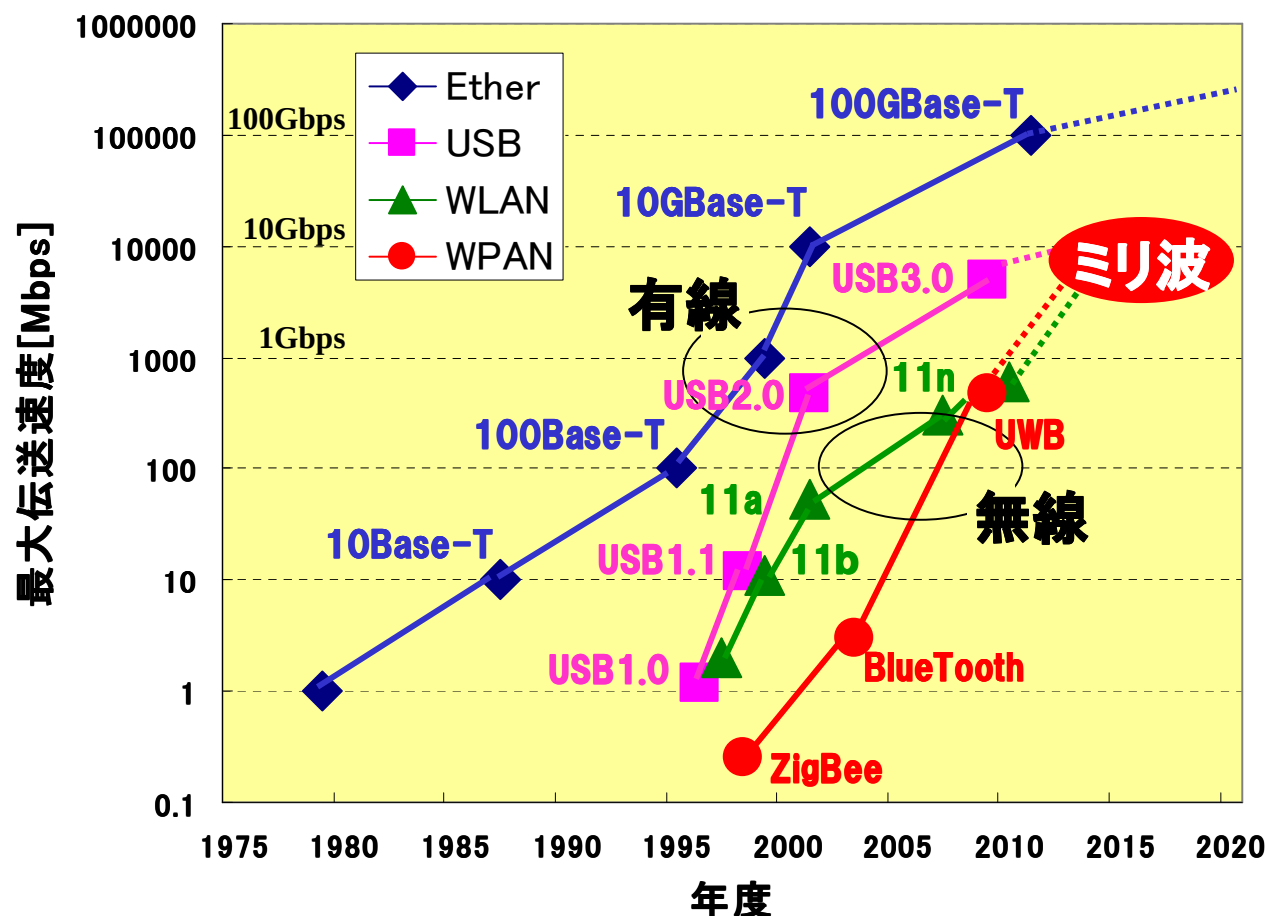
© Hitachi, Ltd. 2013. All rights reserved.

- ミリ波を利用した無線通信の現状
- 60GHz帯の標準規格(15.3cと11ad/11aj)
- PHY/RFの高精度評価
 - 現状の問題点
 - デジタル補正
 - 基準面の移動
 - EVM評価
 - Direct IQ型ミリ波チップの振幅・位相評価
 - 標準準拠の信号生成・解析
- デモ内容の紹介
- まとめ

Gb/s超の無線通信： 未利用周波数帯域の有効利用
広帯域を活用する(ミリ波)→15.3c&11ad/aj

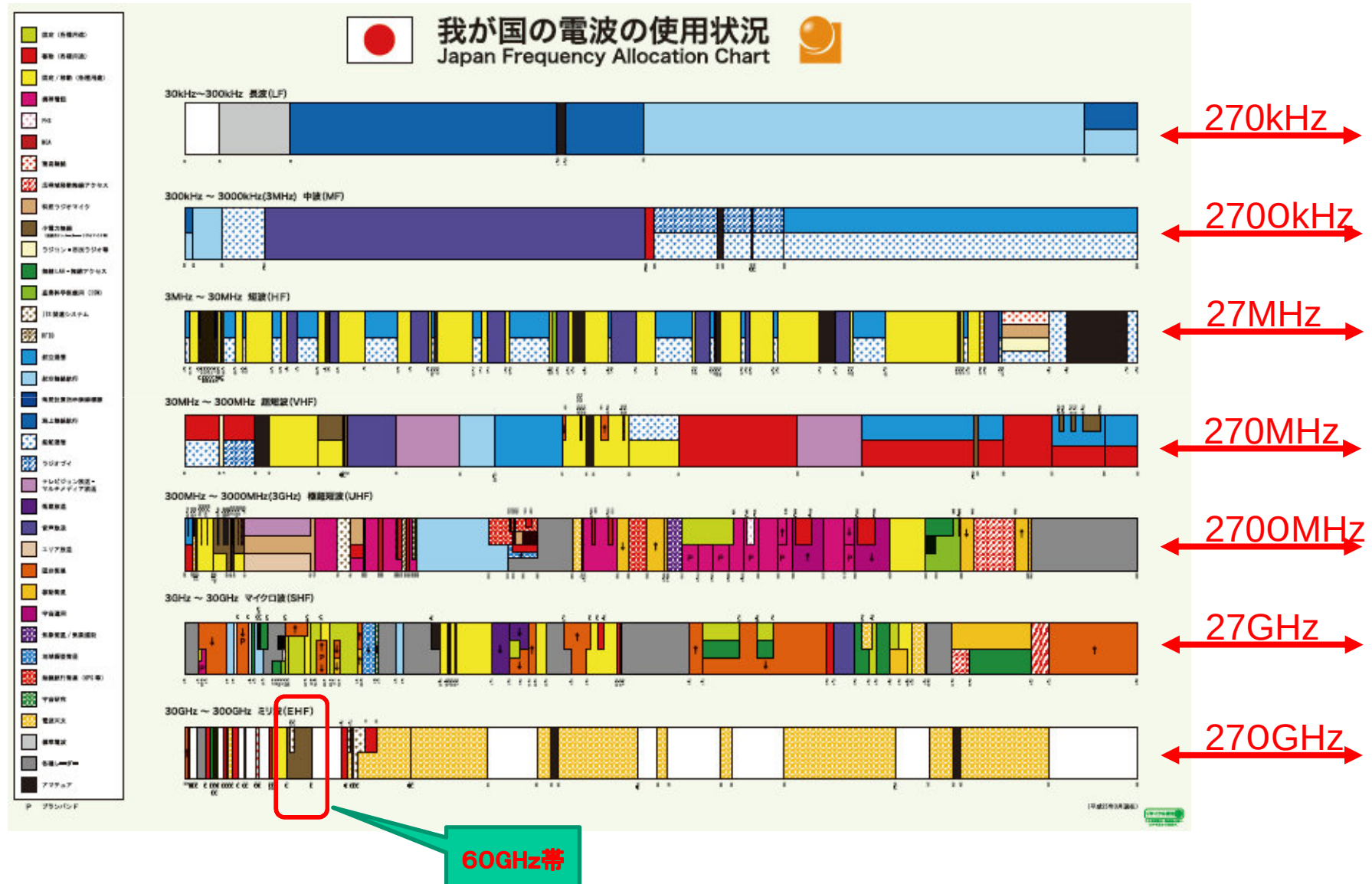


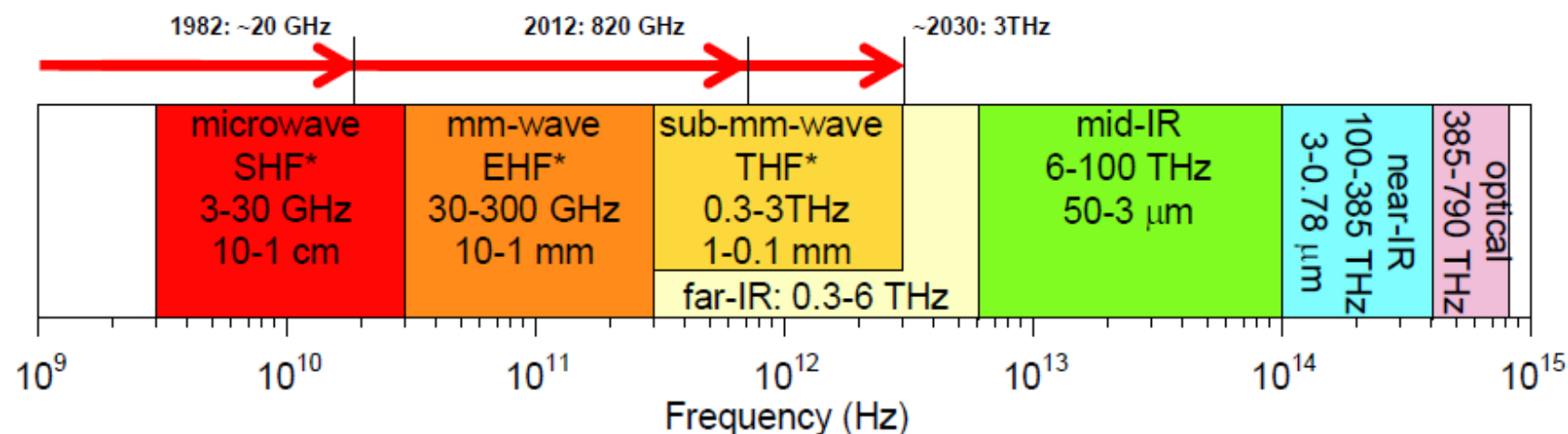
- 無線LANは11nの実用化、11acの標準化完了
- 60GHzミリ波通信も実用化: ~7Gb/s
- 有線と無線の時間差は~10年程度



電波利用 BELLOW 60GHz

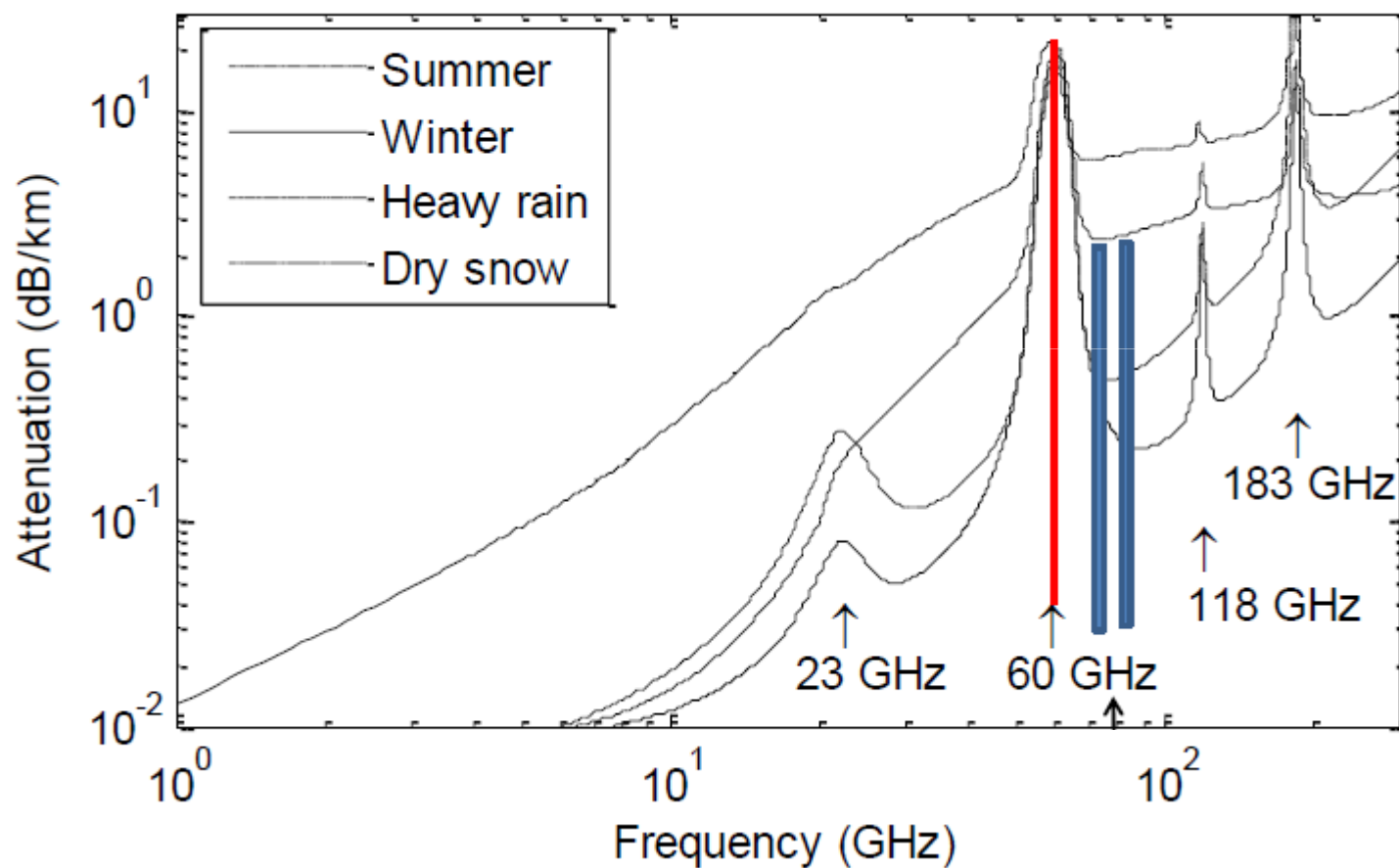
HITACHI
Inspire the Next



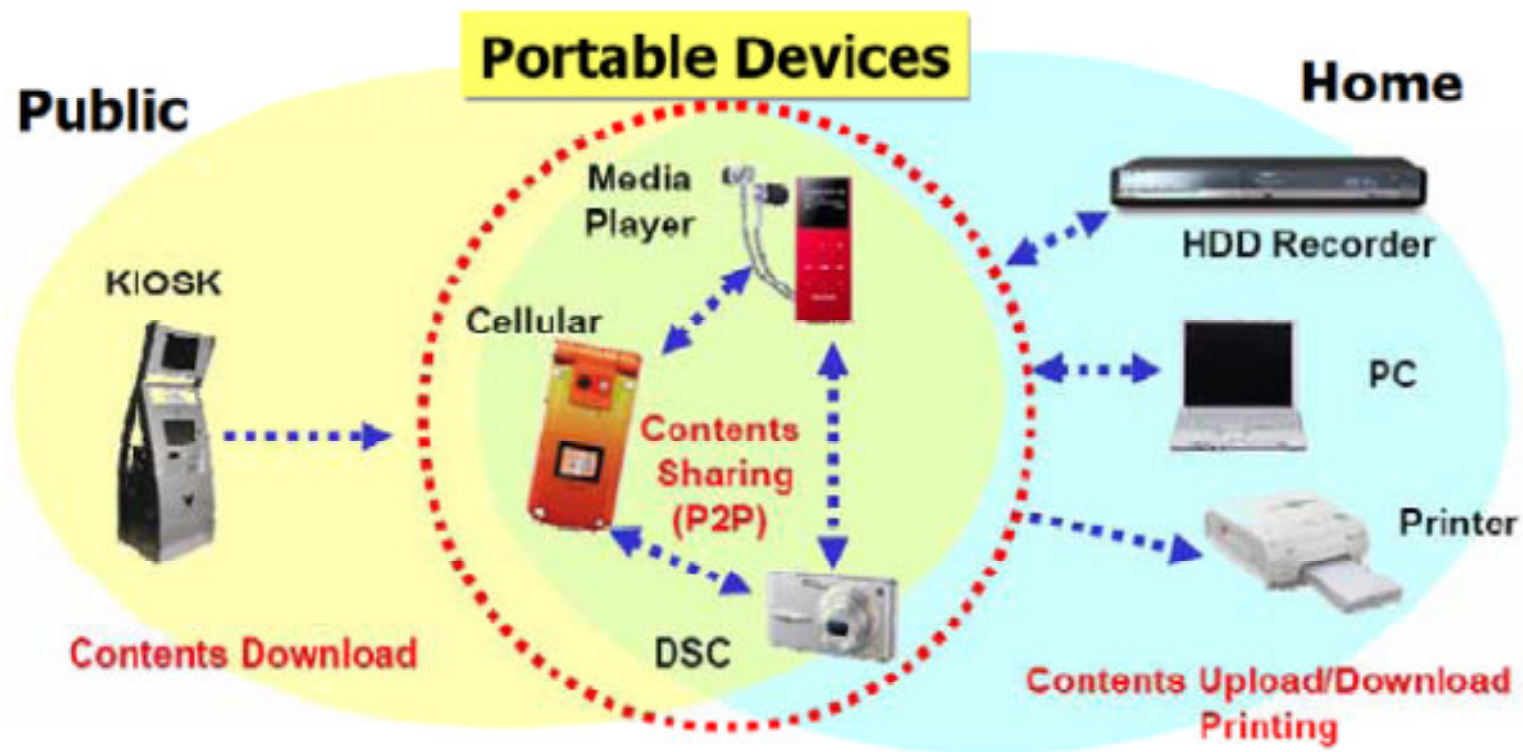


- 未利用周波数帯の開発進む
- 275GHzからは電波割り当てが無い帯域
- 未利用周波数帯域は広帯域利用が可能
- 広帯域 & 超高周波の無線システム実現には。。。

60GHz帯は吸収減衰が大きい⇒免許不要帯域



- 近距離限定(～10m)
- 広帯域利用(60GHz帯に7～9GHz幅のUnlicensed band)
- 数Gb/sの超高速伝送を実現



- 変調方式: デジタル多値変調(BPSK, QPSK, QAM etc.)
- 信号生成: 任意信号発生器(DAC)
- 信号解析: リアルタイムオシロ(ADC)

- BB信号: ex. 11adでは最大6.7Gb/s
- 任意信号発生器(DAC): 生成可能
- リアルタイムオシロ(ADC): 解析可能

キャリア周波数
オーバーサンプリング

- RF信号: ex. 11adで60GHz帯で最大6.7Gb/s
- 任意信号発生器(DAC): 生成不能
- リアルタイムオシロ(ADC): 解析不能

ADC・DAC性能
とのトレンド
ギャップ

高性能・広帯域
アナログコンバータ

- ミリ波を利用した無線通信の現状
- 60GHz帯の標準規格(15.3cと11ad/11aj)
- PHY/RFの高精度評価
 - 現状の問題点
 - デジタル補正
 - 基準面の移動
 - EVM評価
 - Direct IQ型ミリ波チップの振幅・位相評価
 - 標準準拠の信号生成・解析
- デモ内容の紹介
- まとめ

802.1 Bridging and Architecture

– generally the top of the link layer

802.3 CSMA/CD – Carrier sense multiple access/collision detect – wired Ethernet

802.11 WLAN – wireless LAN

802.15 WPAN – wireless personal area network

802.16 BWA – broadband wireless access

802.17 ResPackRing – resilient packet ring

802.18 Radio Regulatory TAG

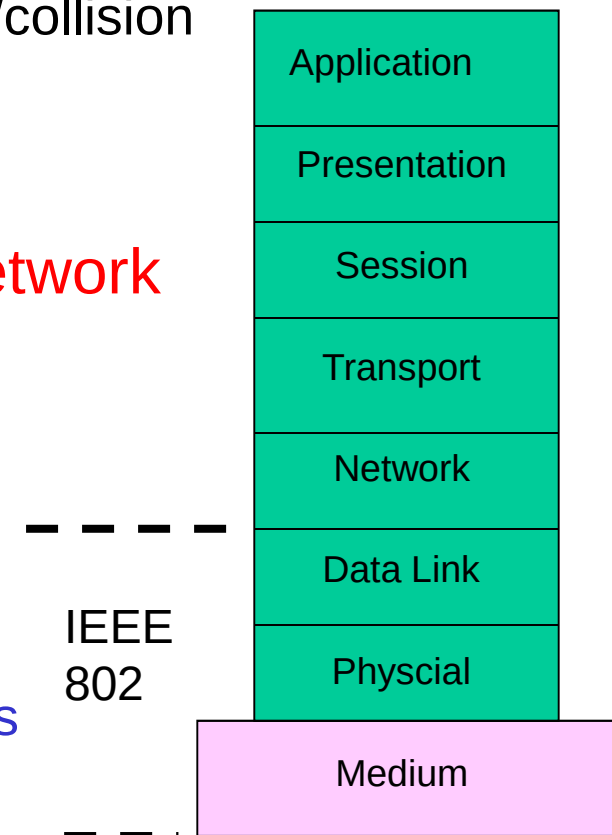
802.19 Coexistence TAG

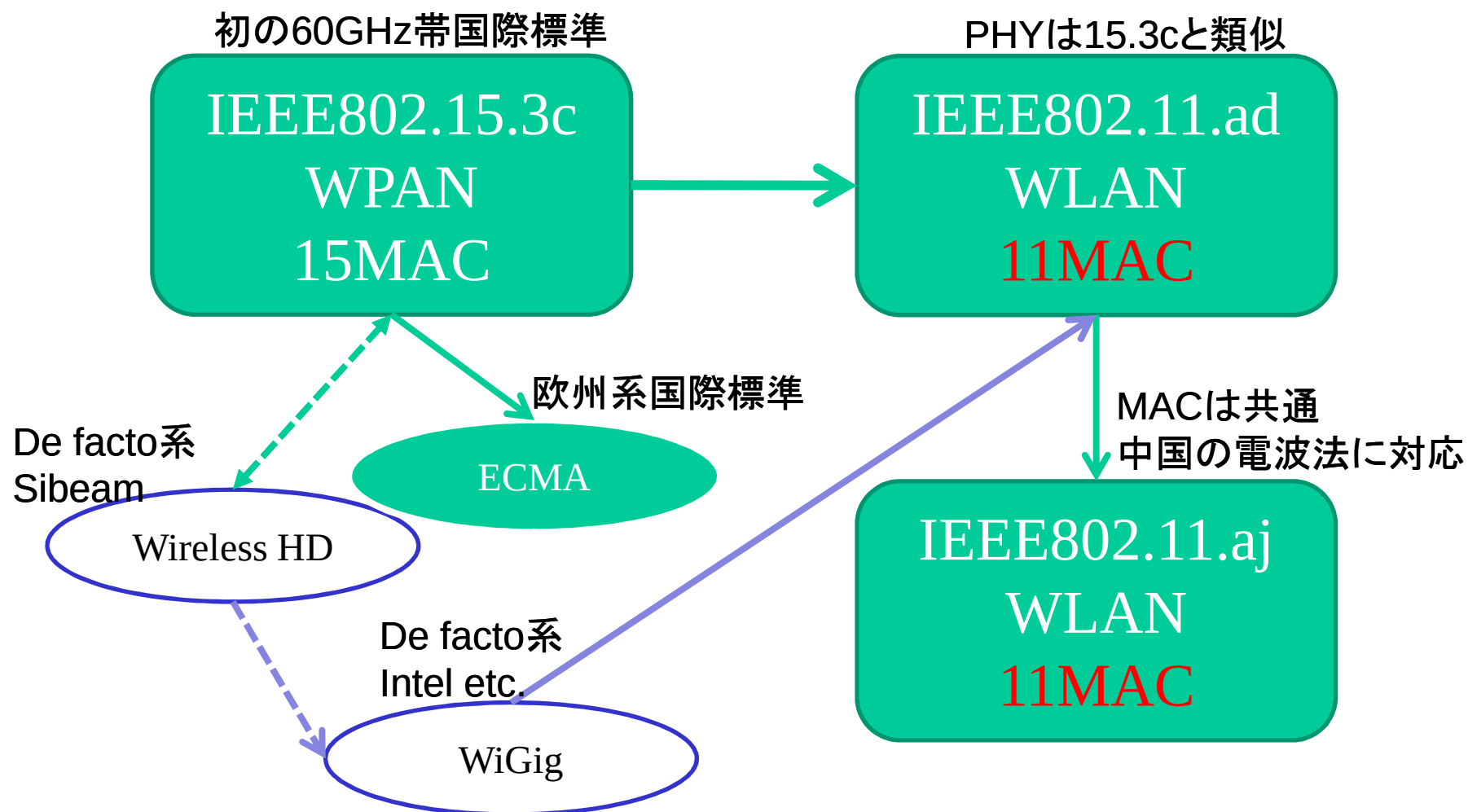
802.20 MBWA – mobile broadband wireless access

802.21 Media Independent Handoff

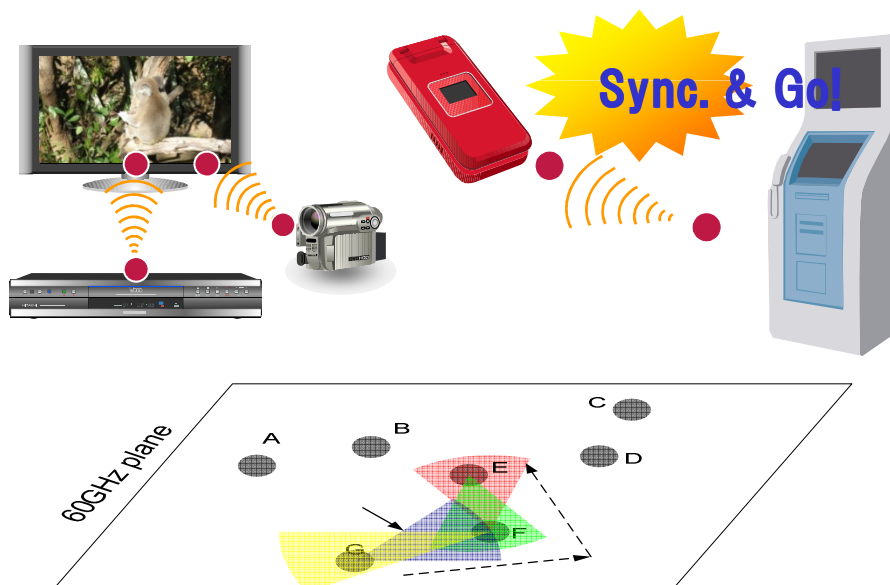
802.22 WRAN - wireless regional area networks

OSI Reference
Model

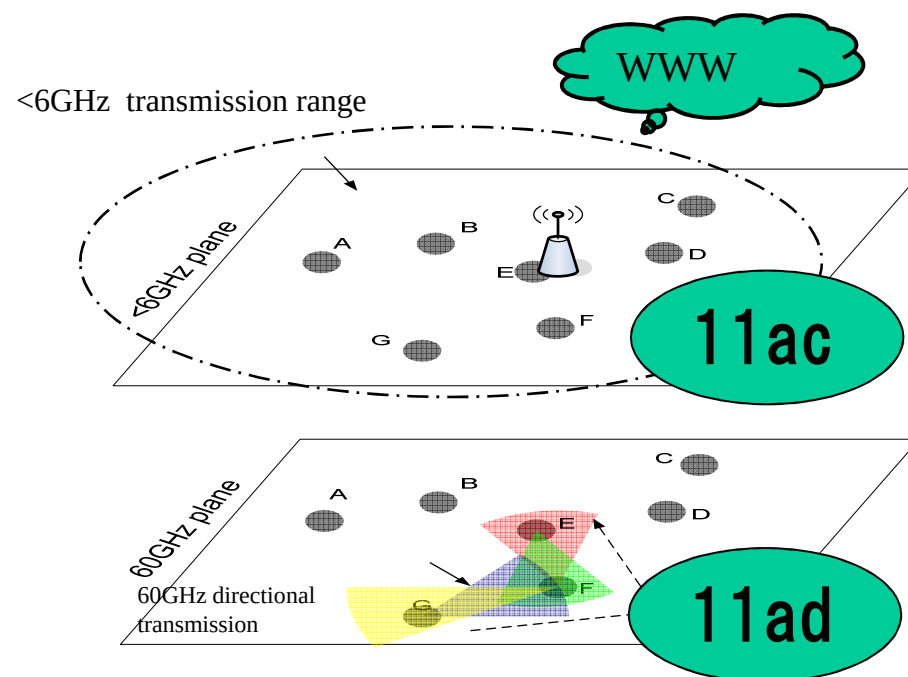


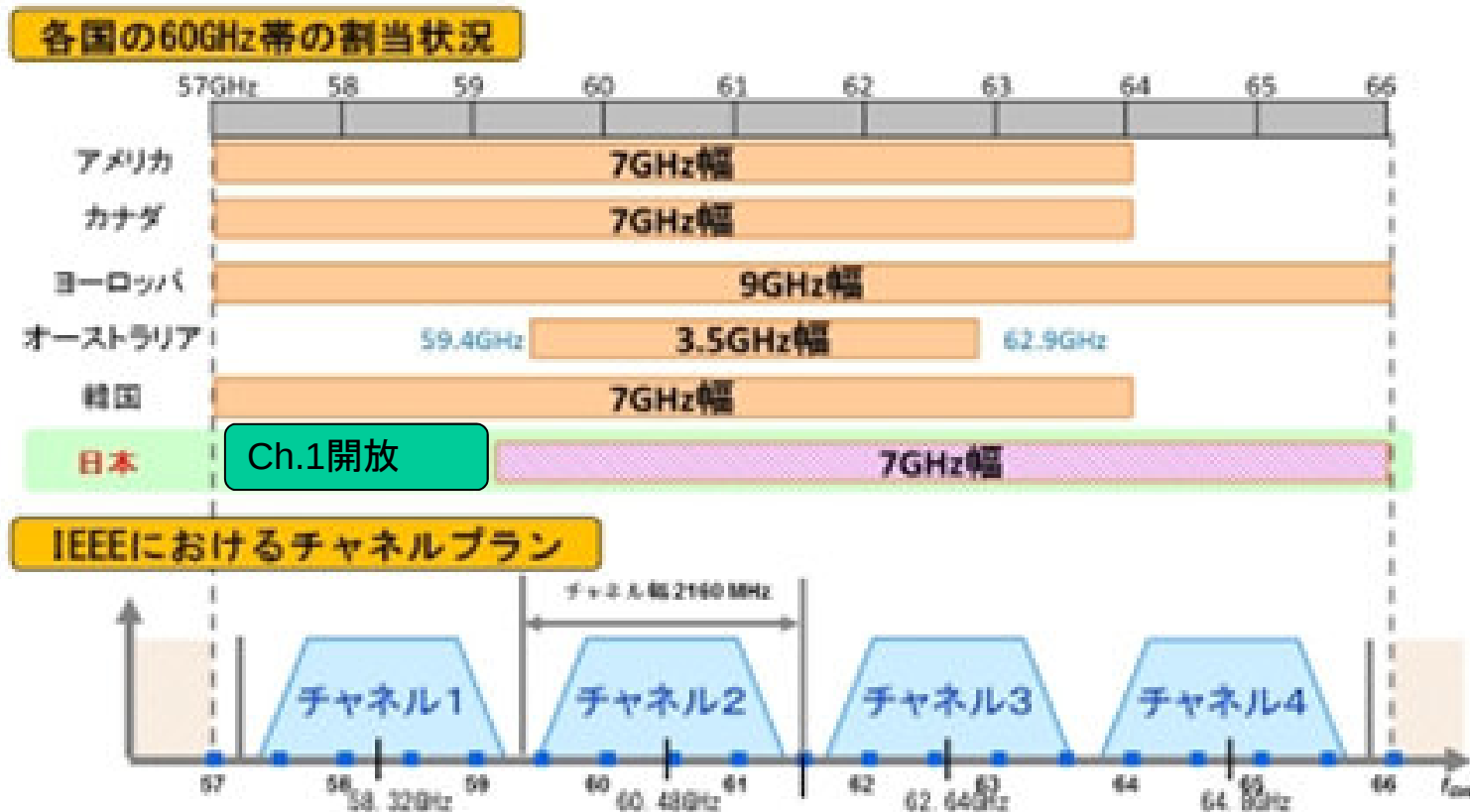


15.3c WPAN

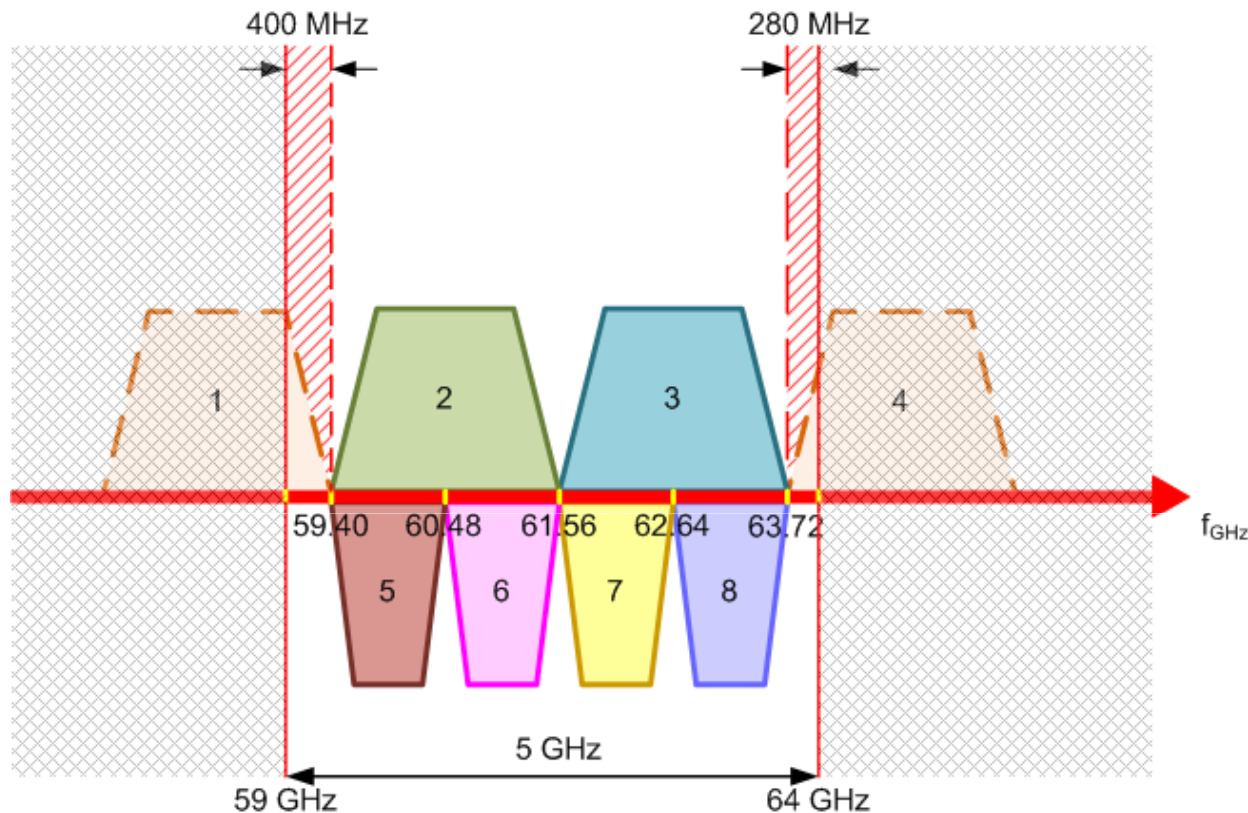


11ad WLAN





15.3c、11ad、WiHD、ECMAなどで共通化
国内でもCh.1が開放



Channelization for 60GHz bands in China

11adをベースにハーフバンド化を基本
adデバイスとajデバイスの共存を議論中

TG3c MCS dependent parameters

SCのみ紹介

MCS class	MCS identifier	Data rate (Mb/s) with pilot word length = 0	Data rate (Mb/s) with pilot word length = 64	Modulation	Spreading factor, <i>LSF</i>	FEC type
Class 1	0	25.8 (CMS)	--	$\pi/2$ BPSK/(G)MSKa	64	RS(255,239)
	1	412	361		4	
	2	825	722		2	
	3	1650 (MPR)	1440		1	
	4	1320	1160	$\pi/2$ BPSK/(G)MSK	1	LDPC(672,504)
	5	440	385	$\pi/2$ BPSK/(G)MSK	2	LDPC(672,336)
	6	880	770		1	
Class 2	7	1760	1540	$\pi/2$ QPSK	1	LDPC(672,336)
	8	2640	2310	$\pi/2$ QPSK	1	LDPC(672,504)
	9	3080	2700	$\pi/2$ QPSK	1	LDPC(672,588)
	10	3290	2780	$\pi/2$ QPSK	1	LDPC(1440,1344)
	11	3300	2890	$\pi/2$ QPSK	1	RS(255,239)
Class 3	12	3960	3470	$\pi/2$ 8-PSK	1	LDPC(672,504)
	13	5280	4620	$\pi/2$ 16-QAM	1	LDPC(672,504)

11ad Modulation and Coding Scheme for SC

SCのみ紹介

MCS Index	Modulation	NCBPS	Repetition	Code Rate	Data Rate (Mbps)
1	$\pi/2$ -BPSK	1	2	1/2	385
2	$\pi/2$ -BPSK	1	1	1/2	770
3	$\pi/2$ -BPSK	1	1	5/8	962.5
4	$\pi/2$ -BPSK	1	1	3/4	1155
5	$\pi/2$ -BPSK	1	1	13/16	1251.25
6	$\pi/2$ -QPSK	2	1	1/2	1540
7	$\pi/2$ -QPSK	2	1	5/8	1925
8	$\pi/2$ -QPSK	2	1	3/4	2310
9	$\pi/2$ -QPSK	2	1	13/16	2502.5
10	$\pi/2$ -16QAM	4	1	1/2	3080
11	$\pi/2$ -16QAM	4	1	5/8	3850
12	$\pi/2$ -16QAM	4	1	3/4	4620

11ad Low power SC Modulation and Coding Schemes

MC S	Modulation	Effective Code Rate	Coding Scheme	NC PB	Rate (Mbps)
25	p/2-BPSK	13/28	RS(224,208)+Block-Code(16,8)	392	626
26	p/2-BPSK	13/21	RS(224,208)+Block-Code(12,8)	392	834
27	p/2-BPSK	52/63	RS(224,208)+SPC(9,8)	392	1112
28	p/2-QPSK	13/28	RS(224,208)+Block-Code(16,8)	392	1251
29	p/2-QPSK	13/21	RS(224,208)+Block-Code(12,8)	392	1668
30	p/2-QPSK	52/63	RS(224,208)+SPC(9,8)	392	2224
31	p/2-QPSK	13/14	RS(224,208)+Block-Code(8,8)	392	2503

- Single Carrier & OFDM のDualモード
- 両モードをブリッジするコモンモード (Ctrl PHY)
- $\pi/2$ (BPSK, QPSK, 16QAM)
- 15.3cはRSが実装必須, LDPCがオプション
- 11adはLDPCが実装必須, RSがオプション
- 11adではRSを誤り訂正に用いたLowPowerSC

IEEE802.15.3cのデータフレーム構造

- Preamble, Header ,Payload
- Golay Sequence

CMS PHY MCS = 0

Preamble (6144 + 896 + 1280 = 8320 bit)			CMS frame header			Payload 0 – 1048575 octet
48 repetition of b128	CTAP: (+1,-1,+1,+1,-1,-1,-1) by b128 CAP: (+1,+1,+1,-1,-1,+1,-1) by b128	b128, b256, a256, b256, a256, a128	PHY header 40 bit	MAC header 80 bit	Others 144 bit	
SYNC	SFD	CES	264 bit			
128 x 48 = 6144 bit	128 x 7 = 896 bit	(128x2)+(256x4) = 1280bit	a128, b128, a256, b256: Golay codes specified in the standard SYNC: Frame synchronization SFD: Start frame delimiter CES: Channel estimation sequence			

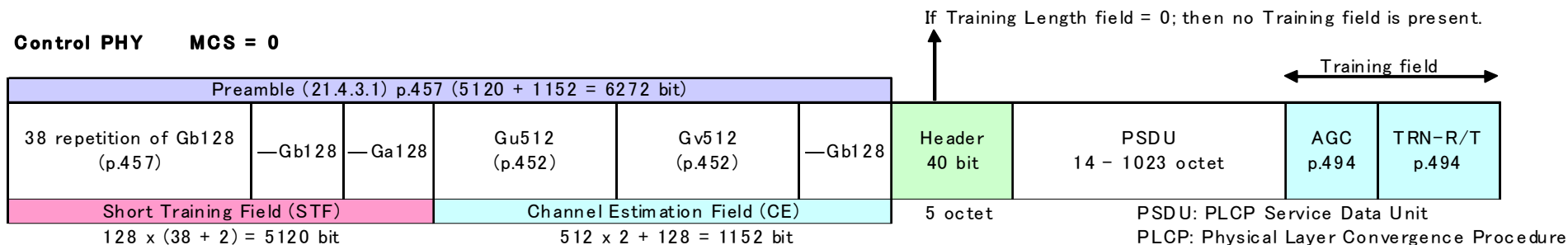
SC PHY regular frame format

(Aggregation field = 0, Security filed = 0), other aggregation frames are omitted.

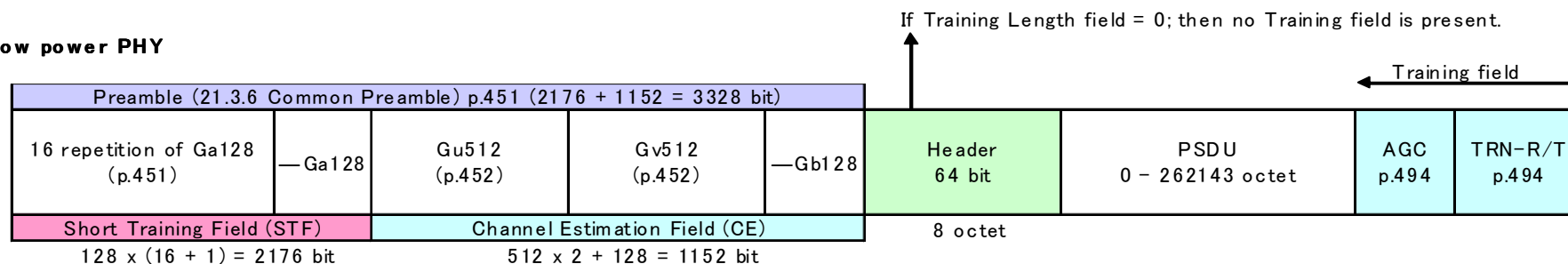
Preamble (1792 + 512 + 1152 = 3456 bit)			Base frame header			Payload 0 – 1048575 octet
14 repetition of a128	HR (+1,+1,-1,-1) by a128 MR (+1,-1,+1,-1) by a128	b128, b256, a256, b256, a256	PHY header 40 bit	MAC header 80 bit	Others 144+x bit	
SYNC	SFD	CES	264 + x bit			
128 x 14 = 1792 bit	128 x 4 = 512 bit	128+(256x4) = 1152 bit	x: Stuff bit			

IEEE802.11ad のデータフレーム構造

- Preamble, Header ,Payload
- Golay Sequence



SC & Low power PHY



	MCS Index
SC PHY	1 to 12
Low power PHY	25 to 31

- Preamble, Header ,Payload
- Golay Sequence
- MCS、FEC同様に類似点が多い

しかしながら

- お互いには干渉信号として認識される
- 異種のミリ波標準間の干渉回避が課題

- ミリ波を利用した無線通信の現状
- 60GHz帯の標準規格(15.3cと11ad/11aj)
- PHY/RFの高精度評価
 - 現状の問題点
 - デジタル補正
 - 基準面の移動
 - EVM評価
 - Direct IQ型ミリ波チップの振幅・位相評価
 - 標準準拠の信号生成・解析
- デモ内容の紹介
- まとめ

- 変調方式: デジタル多値変調(BPSK, QPSK, QAM etc.)
- 信号生成: 任意信号発生器(DAC)
- 信号解析: リアルタイムオシロ(ADC)

- BB信号: ex. 11adでは最大.7Gb/s
- 任意信号発生器(DAC): 生成可能
- リアルタイムオシロ(ADC): 解析可能

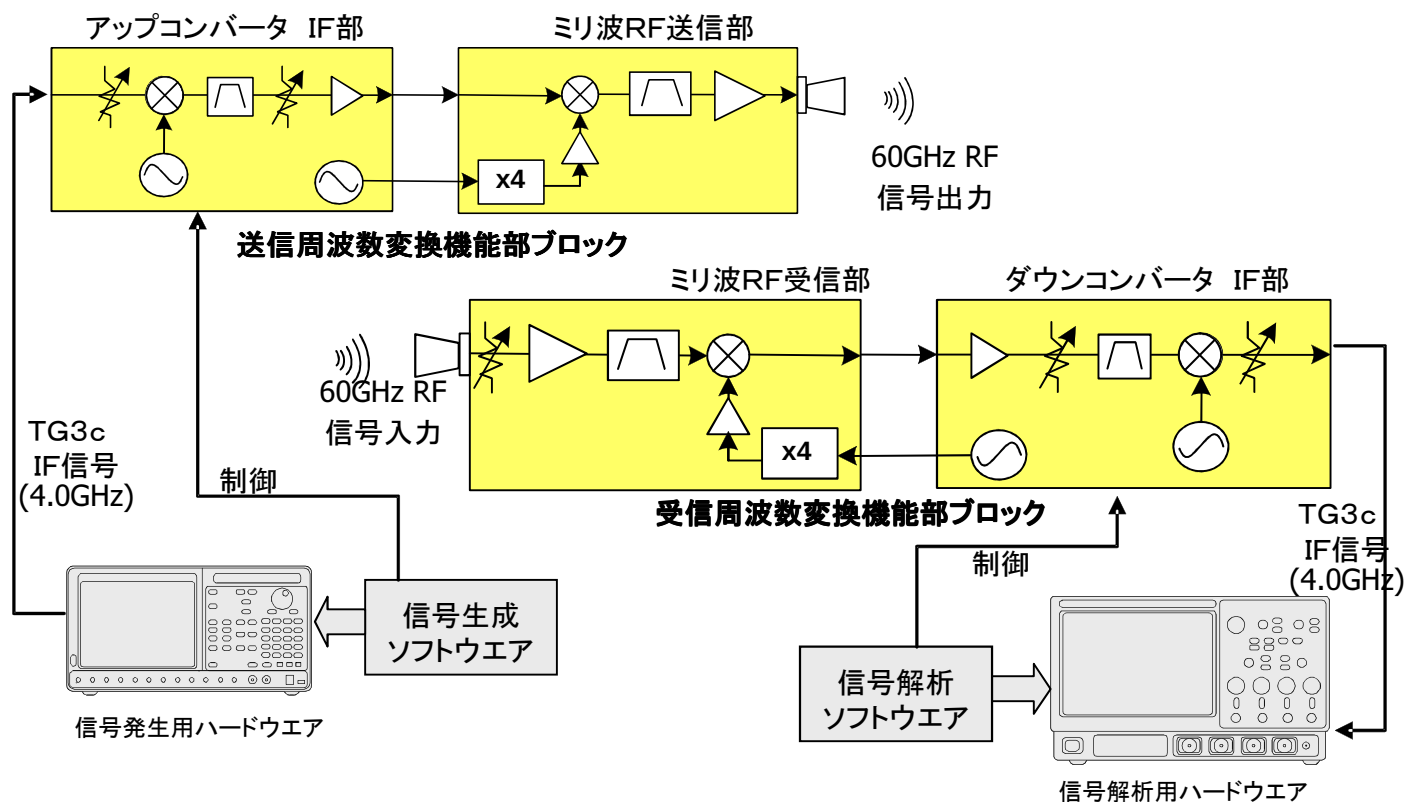
キャリア周波数
オーバーサンプリング

- RF信号: ex. 11adで60GHz帯で最大.7Gb/s
- 任意信号発生器(DAC): 生成不能
- リアルタイムオシロ(ADC): 解析不能

ADC・DAC性能
とのトレンド
ギャップ

高性能・広帯域
アナログコンバータ

試験信号生成・解析用 ミリ波RFシステムの開発



- ・任意波形発生装置(AWG)からの高品質な広帯域変調信号を利用可能なダブルIF方式を選択
- ・新規デバイスやコンポーネントのキャラクタライゼーションのみでなくコンフォーマンステスト用標準機として開発

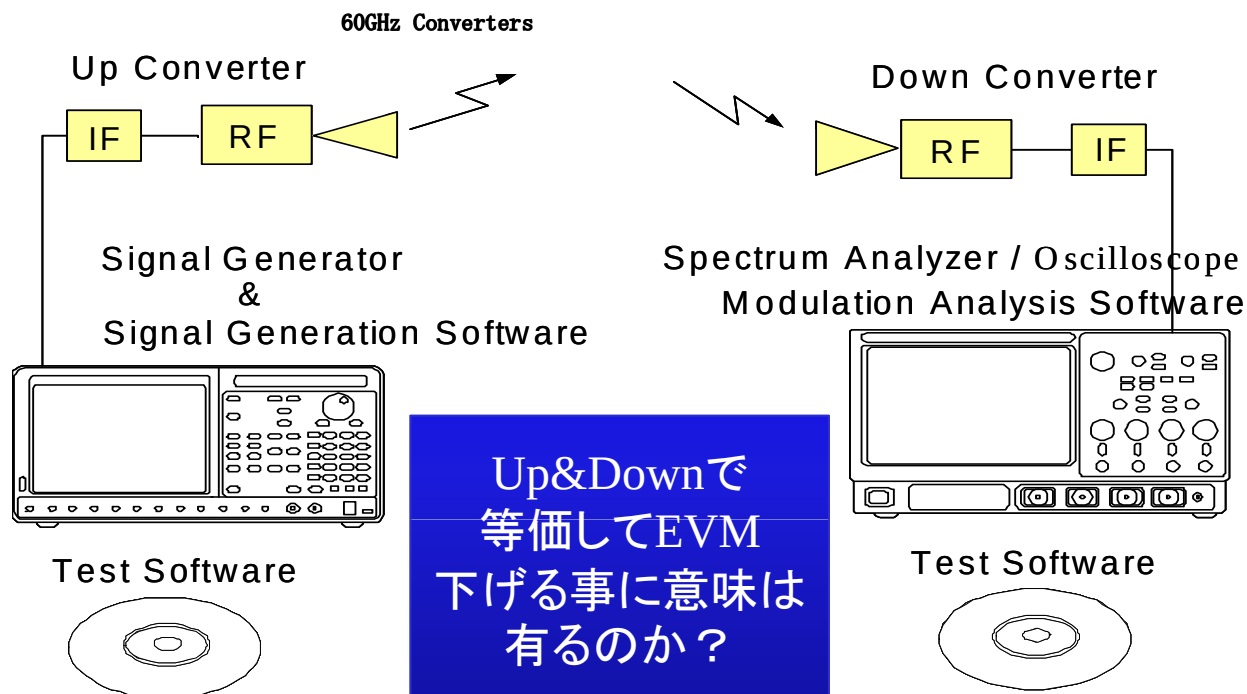
- 広帯域アナログコンバータ
 - 周波数変換は可能
 - 広帯域(ch.1～4+ch.0,5)対応も可能
 - アナログコンバータゆえにコンバータ自体の
振幅平坦性、群遅延特性は理想的なものが実現不能

- ミリ波帯の変調精度(EVM)測定に基準面の概念は??
- 60GHzのアンテナ端に基準面を設定できないのか??
(VNA測定のように)

- 最近のDirect IQ型の60GHzチップでIQ $\leftrightarrow$ RFの間で
振幅・位相の変換特性を測定できないか?

デジタル補正
でコンバータ
特性を補償

RF/PHY評価装置の構成



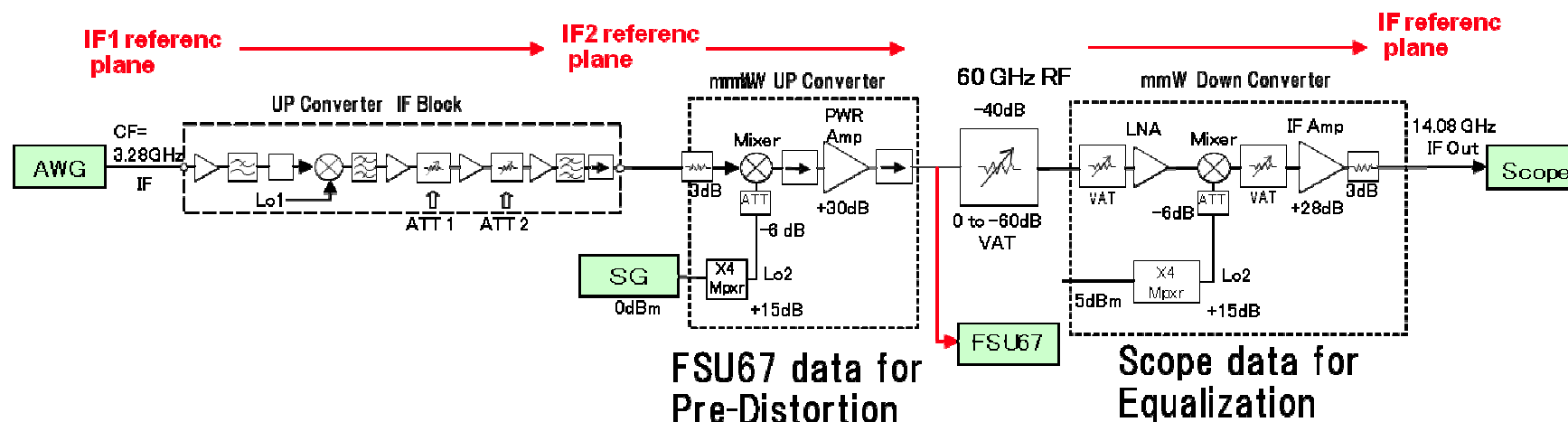
測定器は60GHz信号を生成・観測不能

コンバータ必須

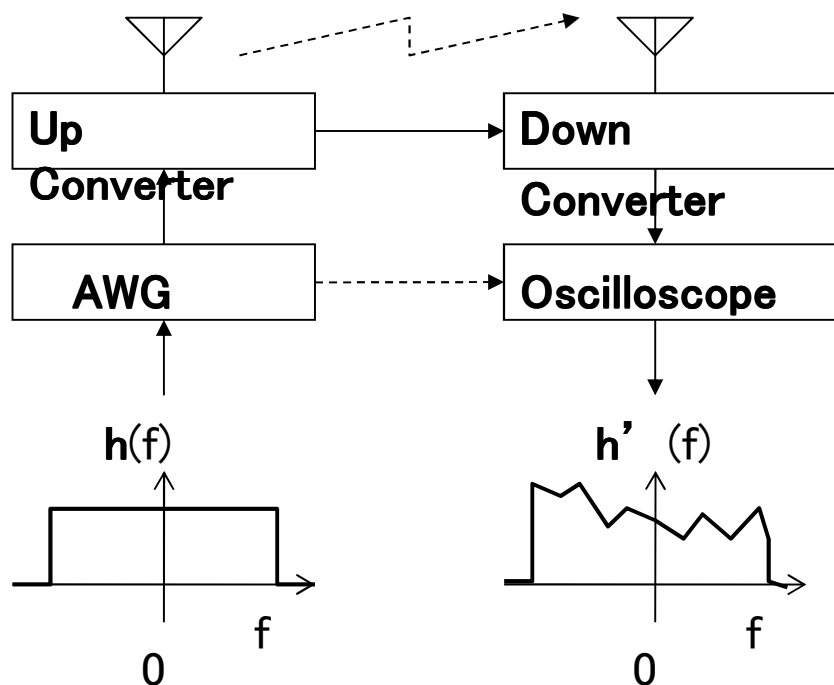
コンバータの周波数特性

EVM劣化

参照面は？



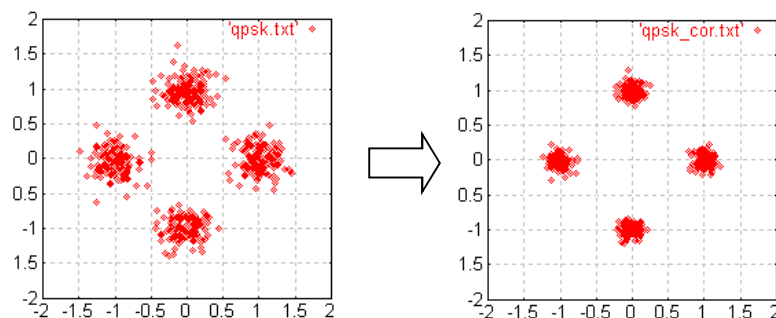
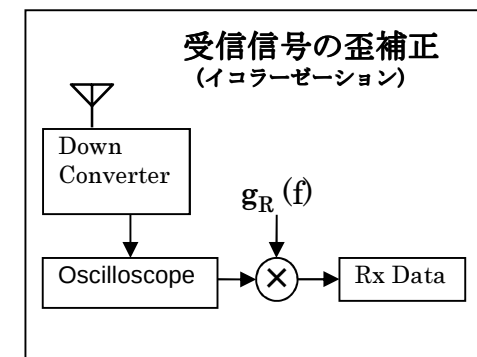
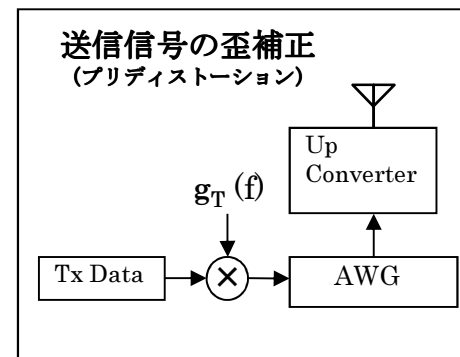
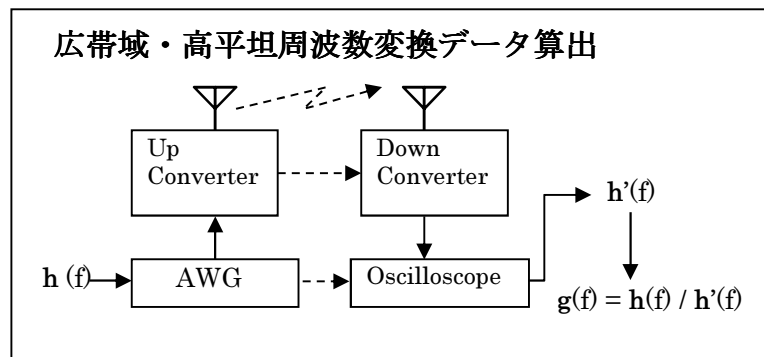
- 送信側は1チャネル帯域内に既知信号を送出
- 受信側は信号を復調して伝達関数を求める
- 求めた伝達関数の逆特性をAWGにFeed Back



$$\text{Transfer Function: } g(f) = h'(f) / h(f)$$

■ 広帯域のデジタル変調信号のEVM評価

■ 信号源もコンバーターもアナログ起因の劣化要因(振幅・位相の非平坦性)

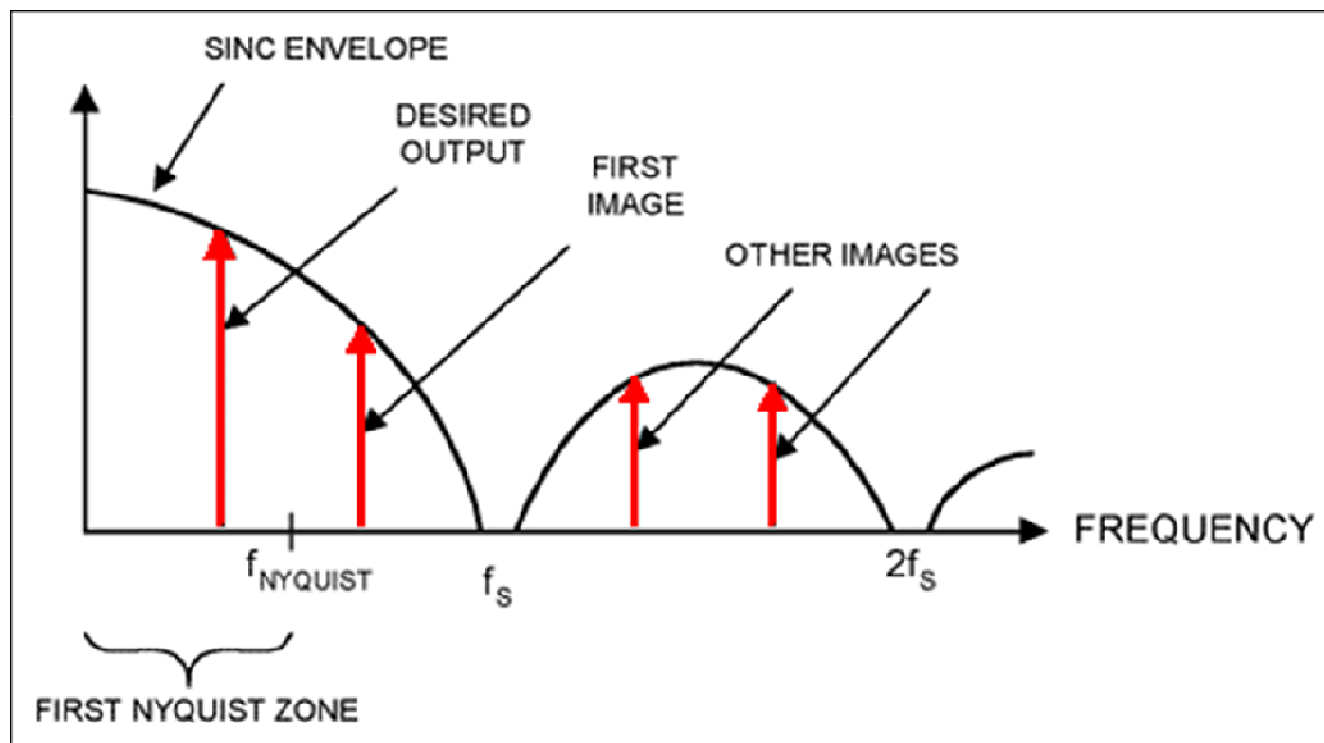
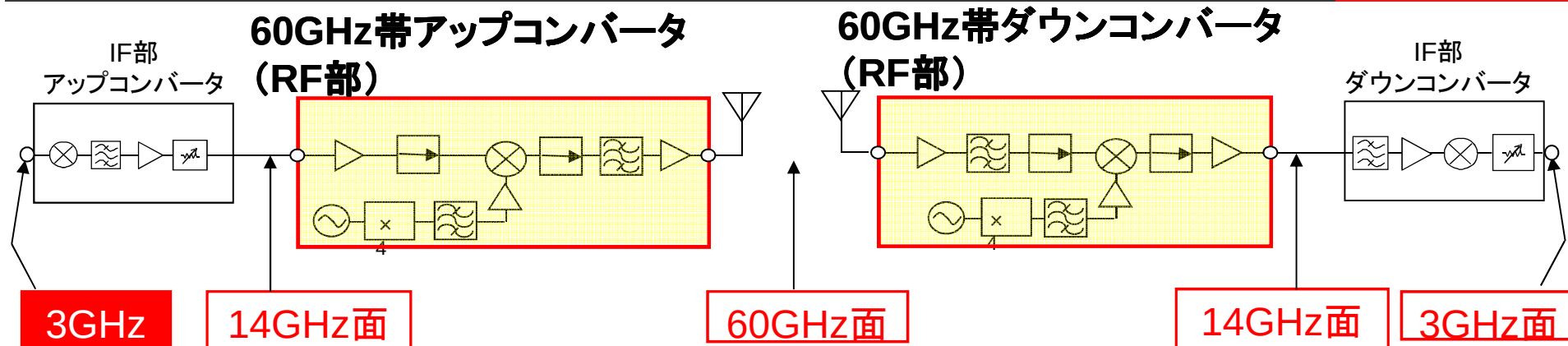


$\pi/2$ BPSK

- ・TG3c 信号と同帯域幅のマルチトーンで評価
- ・BB, IF, RFループバック(補正項の抽出)
- ・周波数コンバータ S_{21} パラメータの収容
- ・デバイス(DUT) S_{21} パラメータの出力

RF/PHY評価装置(3GHz参照面)

HITACHI
Inspire the Next

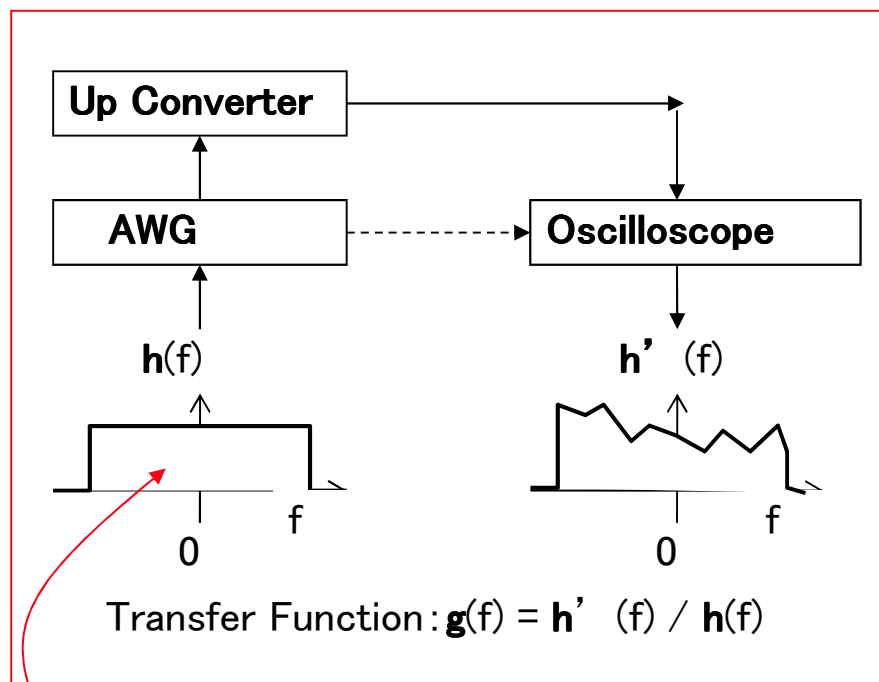
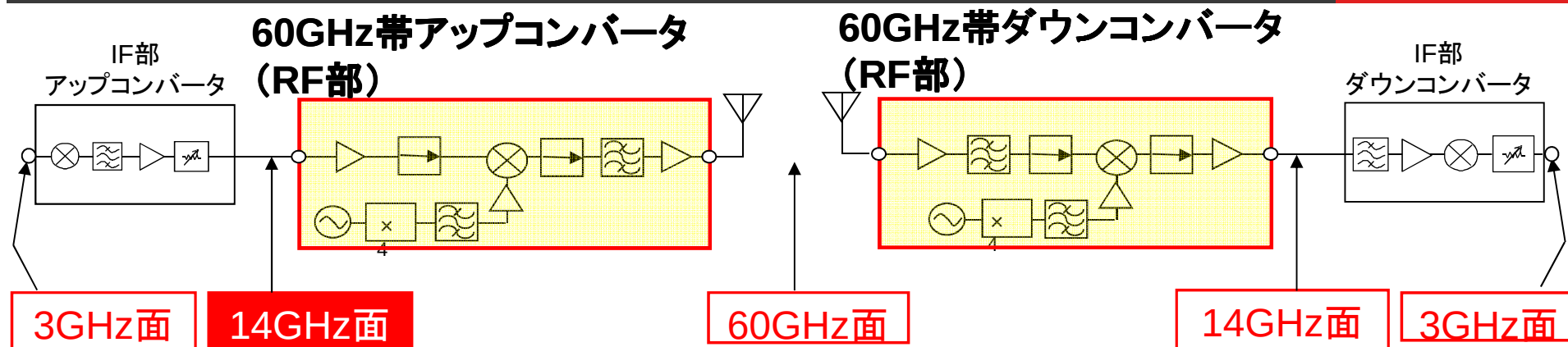


AWG出力は広帯域
変調信号に対して理想的
ではない

オシロを直結して
補正可能

参照面
↓
3GHz面

RF/PHY評価装置(14GHz参照面)



Dedicated custom OFDM signal for calibration

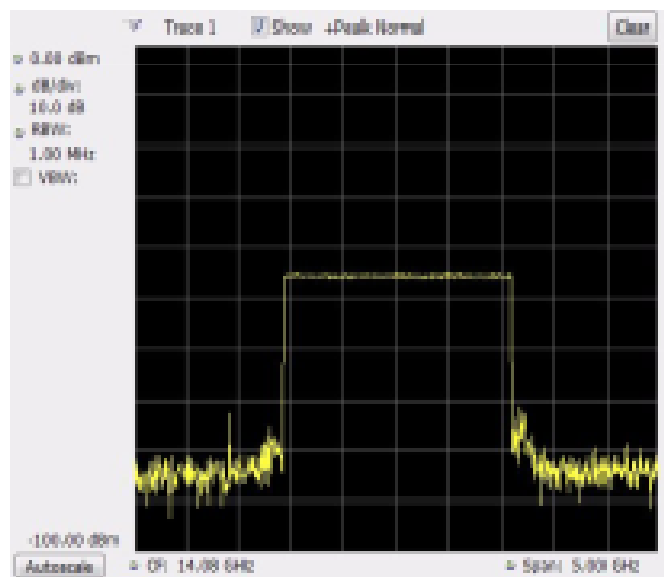
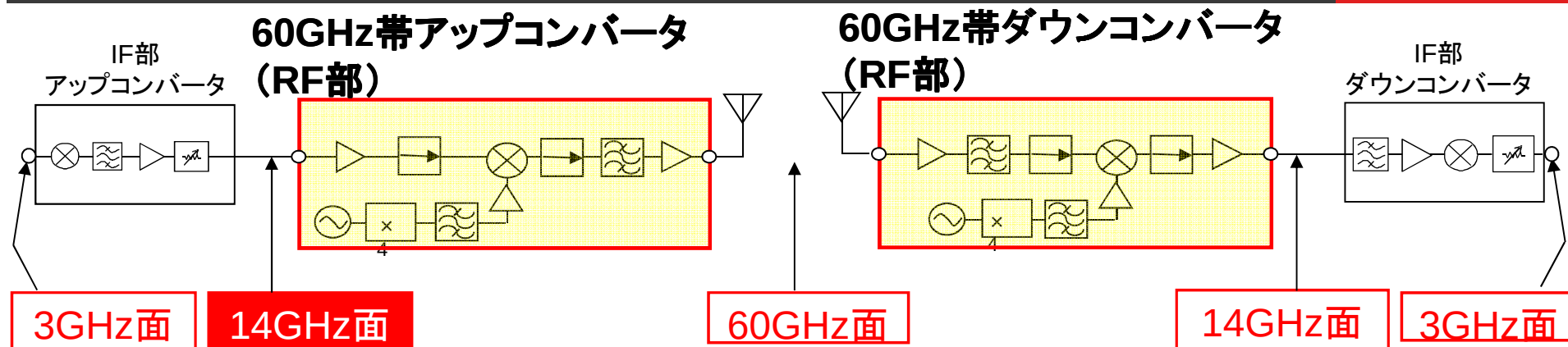
14GHz帯の変調信号は
オシロで観測可能

オシロを直結して補正可能

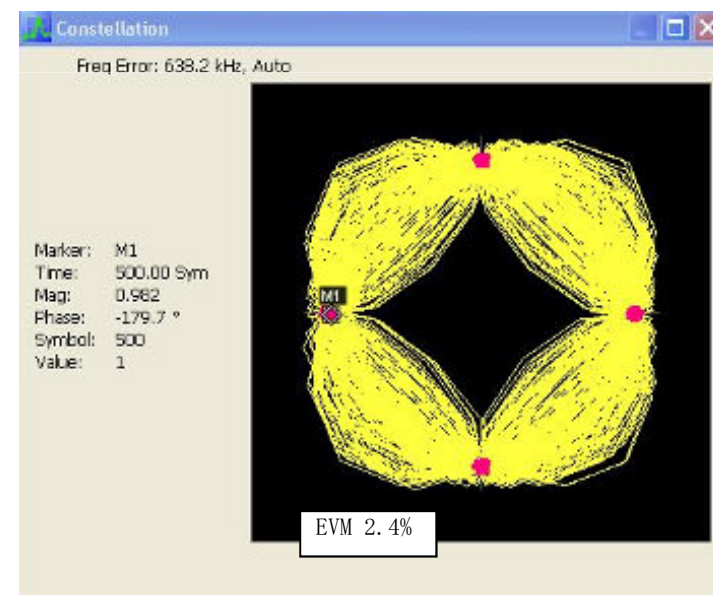
参照面
↓
14GHz面

RF/PHY評価装置(14GHz参照面)

HITACHI
Inspire the Next

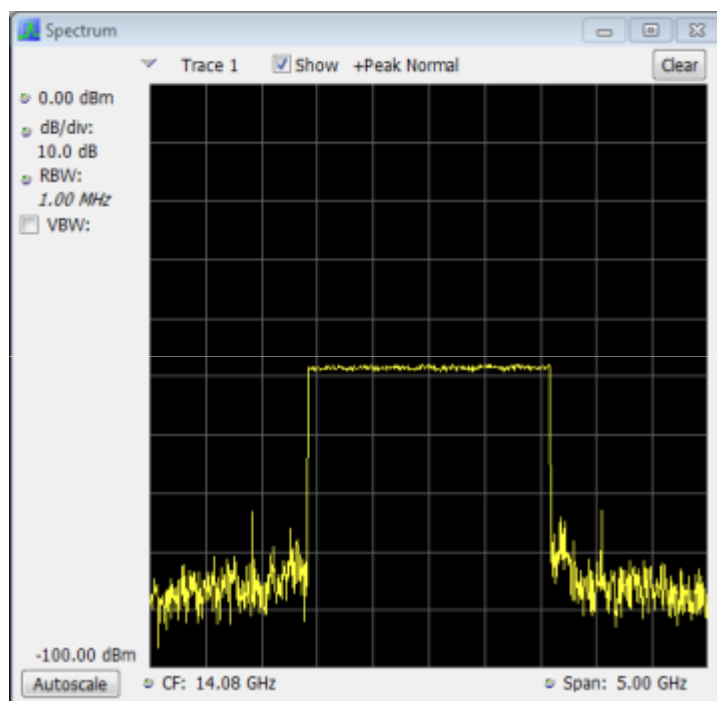


校正信号入力時の14GHz面スペクトラム

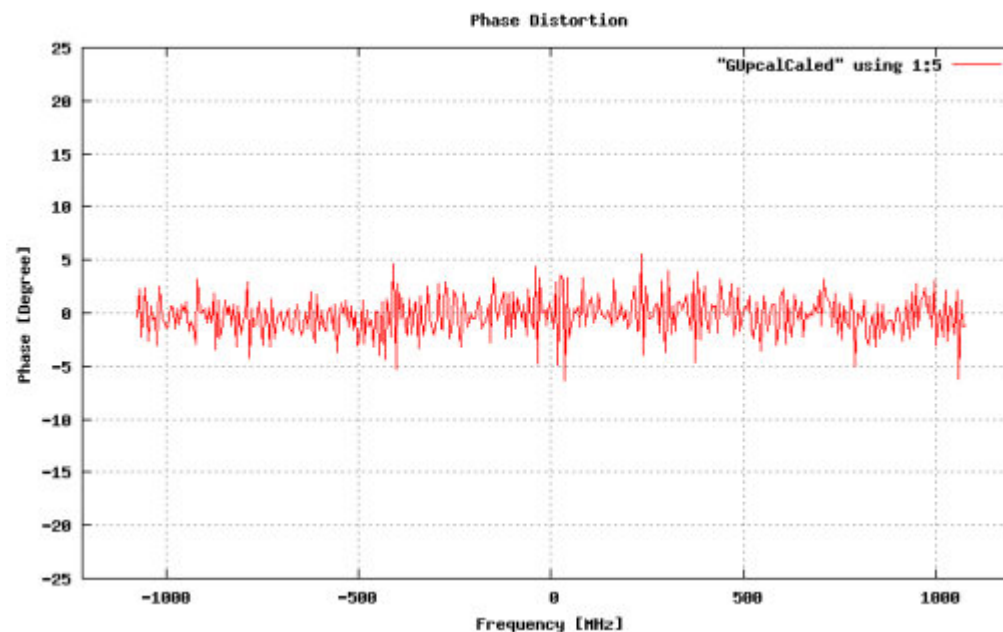
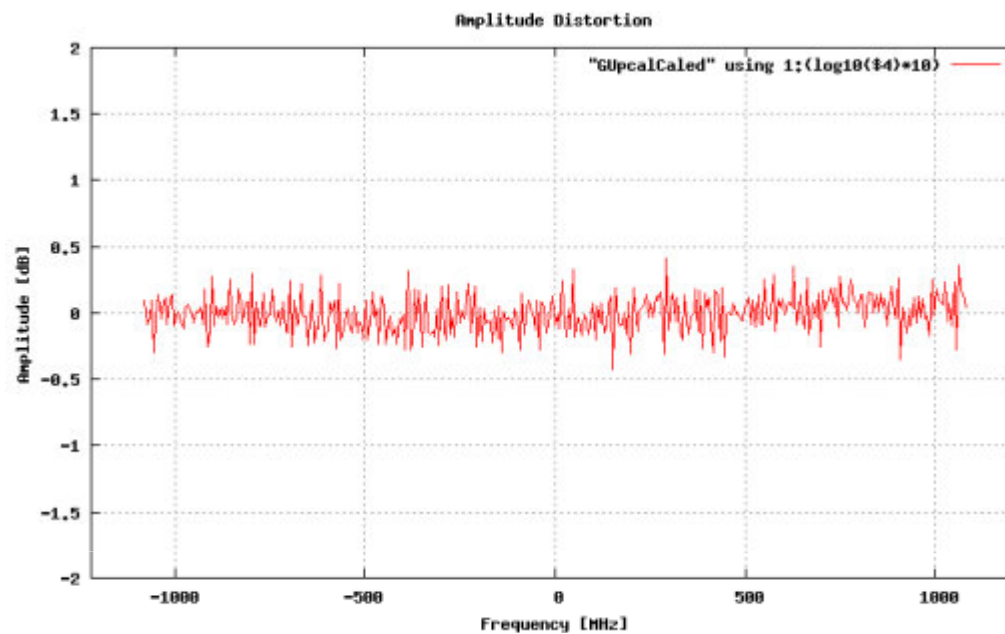


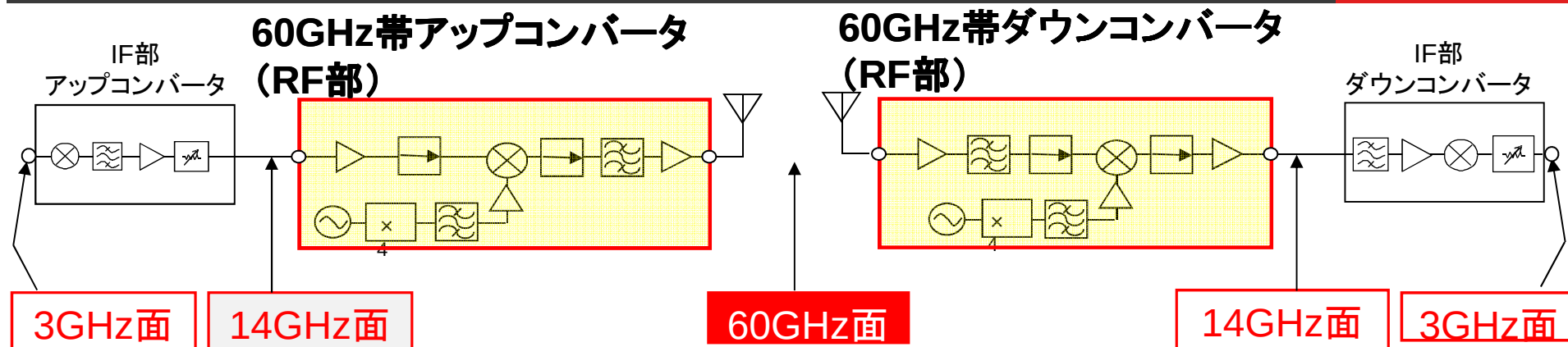
変調信号入力時の14GHz面コンスタレーション

EVM残留誤差@14GHz参照面



IF=14.08GHz
(Low Crest Factor OFDM for Calibration)





□60GHz変調信号の観測→不可能

- 変調信号の振幅のみ
→スペアナで可能
- 無変調信号の振幅・位相
→VNAのS2P測定で可能

60GHz帯の変調信号
はオシロで観測不可能



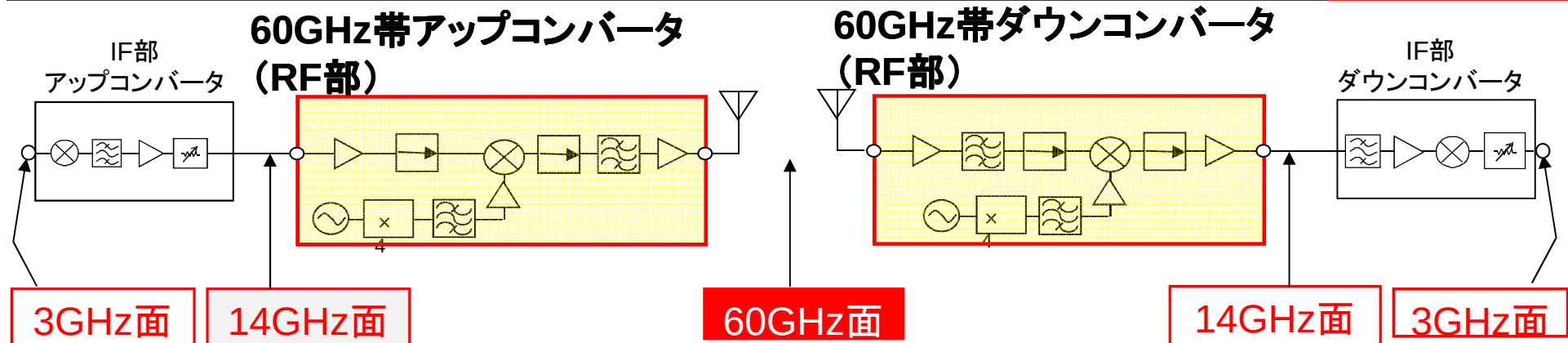
オシロを直結して
補正不可能



参照面
↓??
60GHz面

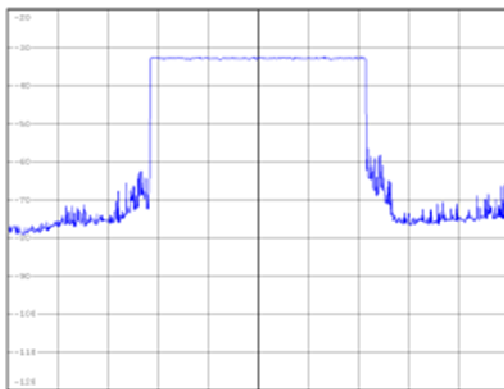
RF/PHY評価装置(60GHz参照面←スペアナ)

HITACHI
Inspire the Next

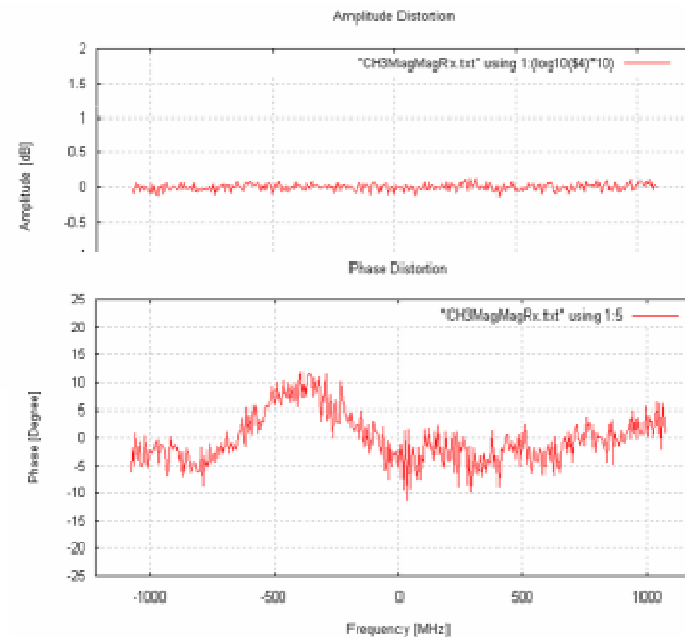


60GHz帯のスペクトラム
(振幅情報)を取得

逆特性をAWGにFeed Back



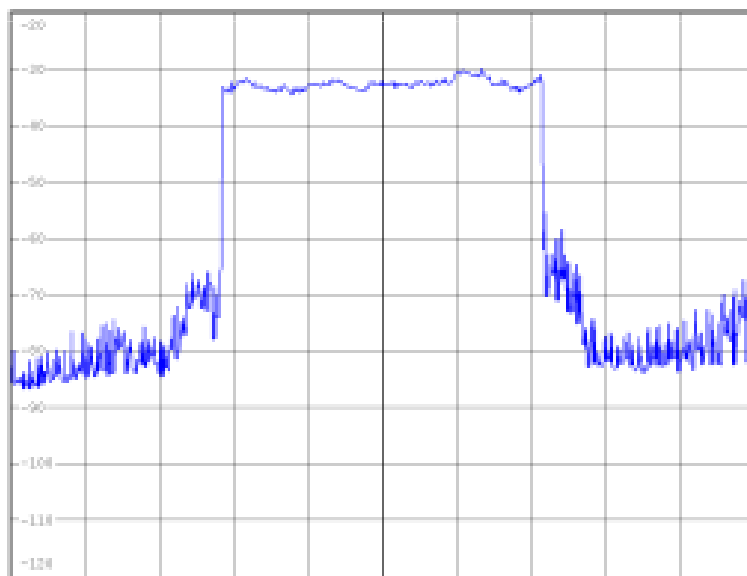
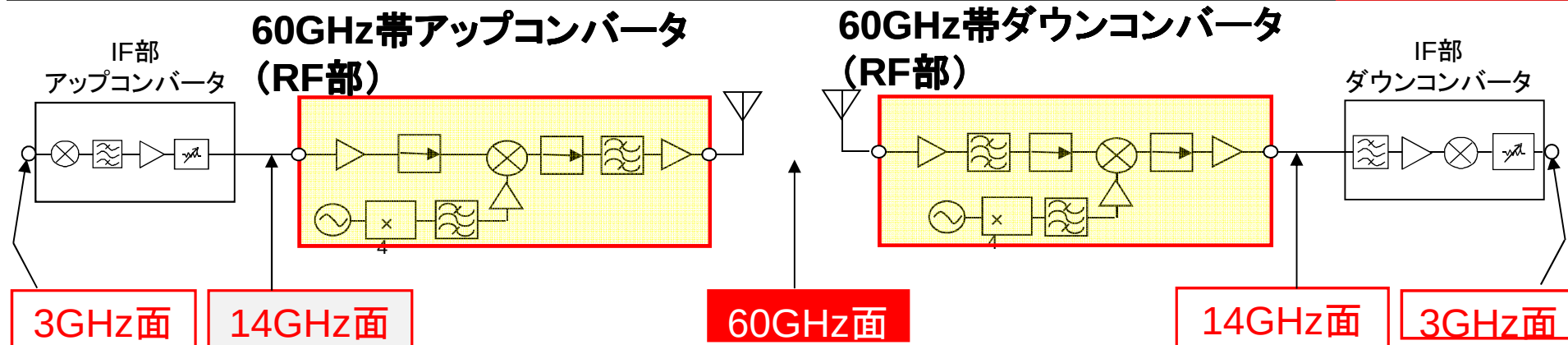
校正信号入力時の60GHz面スペクトラム



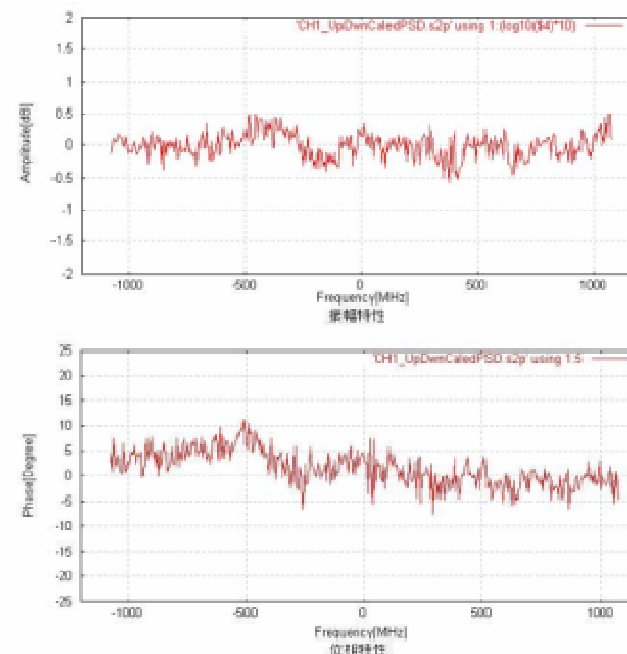
EVMの残留誤差

RF/PHY評価装置(60GHz参照面←VNA)

HITACHI
Inspire the Next



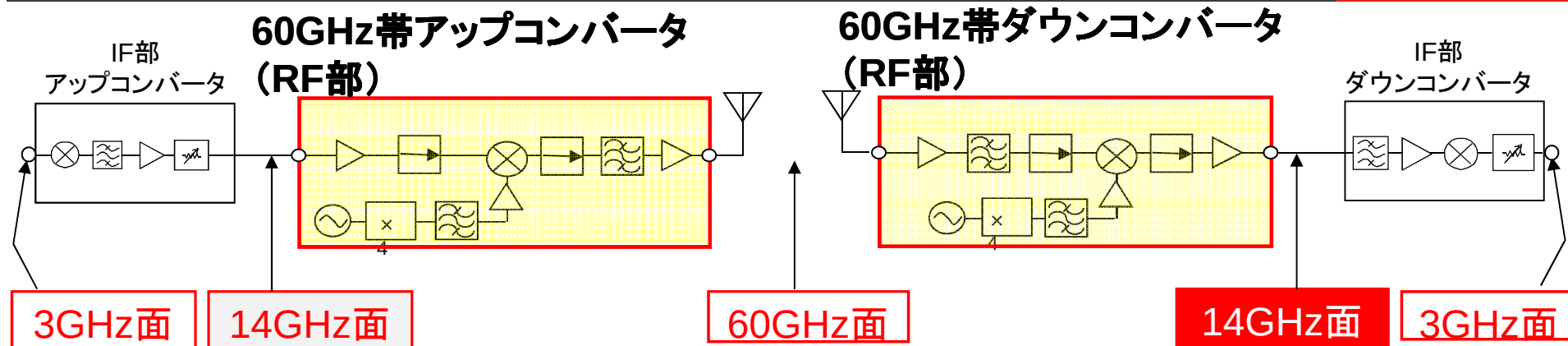
校正信号入力時の60GHzスペクトラム



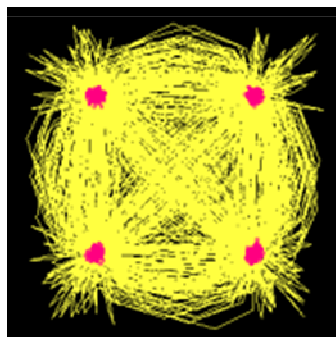
EVMの残留誤差

RF/PHY評価装置(下り14GHz面)

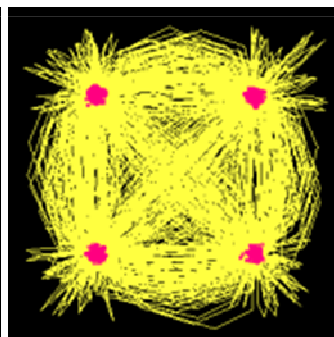
HITACHI
Inspire the Next



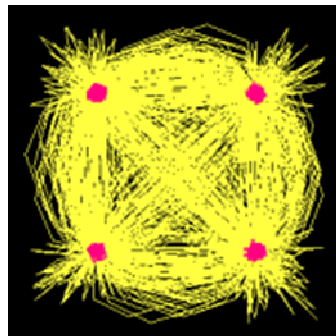
CH1
EVM=4.3%



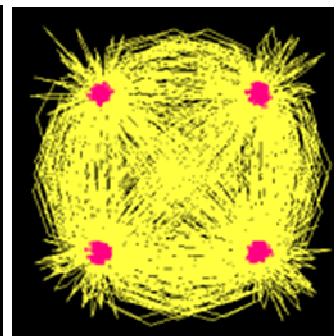
CH2
EVM=4.2%



CH3
EVM=3.7%



CH4
EVM=5.0%



14GHz帯の変調信号は
オシロで観測可能



オシロを直結して
補正可能



参照面



14GHz面

各チャンネルのEVM補正結果

Method of Compensation	No-Compensation	by R&S FSU67	by Agilent PNA-X	by Agilent PNA-X
		Mag-Mag only Up & Down (Phase: No Care)	Mag/Phase Up only (Down: No Care)	Mag/Phase Up & Down
CH1 CF=58.32 [GHz]	16.7 [%]	9.8 [%]	7.7 [%]	4.3 [%]
CH2 CF=60.48 [GHz]	13.0 [%]	7.7 [%]	8.3 [%]	4.2 [%]
CH3 CF=62.64 [GHz]	11.0 [%]	7.7 [%]	7.6 [%]	3.7 [%]
CH4 CF=64.80 [GHz]	9.6 [%]	7.5 [%]	6.3 [%]	5.0 [%]

Modulation: TG3c Single Carrier, PI/2DBPSK, 1.76Gsymb/s, Alpha=0.25, CF=14.08GHz

- 高性能・広帯域コンバータを開発
- デジタル補正技術とコンバータの協調により
変調精度測定においても基準面の概念を導入
- 60GHzでの基準面定義により送信機、受信機
別々の評価を実現
- 11ad準拠の基準変調信号を使用して測定系
として全ChでEVM5%以下を実証

- ミリ波を利用した無線通信の現状
- 60GHz帯の標準規格(15.3cと11ad/11aj)
- PHY/RFの高精度評価
 - 現状の問題点
 - デジタル補正
 - 基準面の移動
 - EVM評価
 - Direct IQ型ミリ波チップの振幅・位相評価
 - 標準準拠の信号生成・解析
- デモ内容の紹介
- まとめ

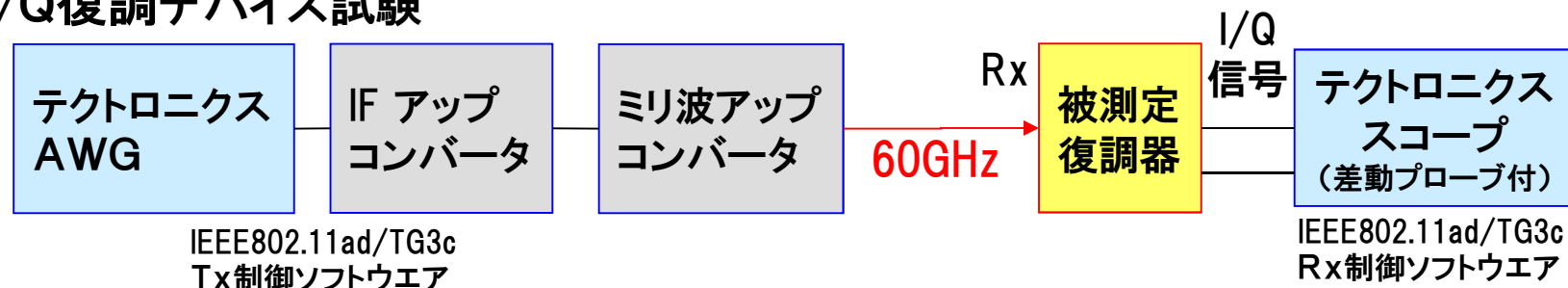
- 広帯域アナログコンバータ
 - 周波数変換は可能
 - 広帯域(ch.1~4+ch.0,5)対応も可能
 - アナログコンバータゆえにコンバータ自体の
振幅平坦性、群遅延特性は理想的なものが実現不能

- ミリ波帯の変調精度(EVM)測定に基準面の概念は??
- 60GHzのアンテナ端に基準面を設定できないのか??
(VNA測定のように)

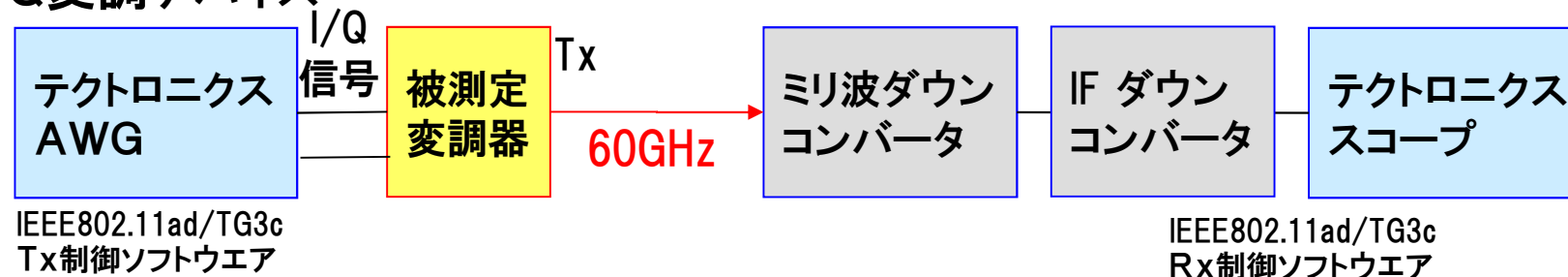
デジタル補正
でコンバータ
特性を補償

- 最近のDirect IQ型の60GHzチップでIQ $\leftrightarrow$ RFの間で
振幅・位相の変換特性を測定できないか?

I/Q復調デバイス試験

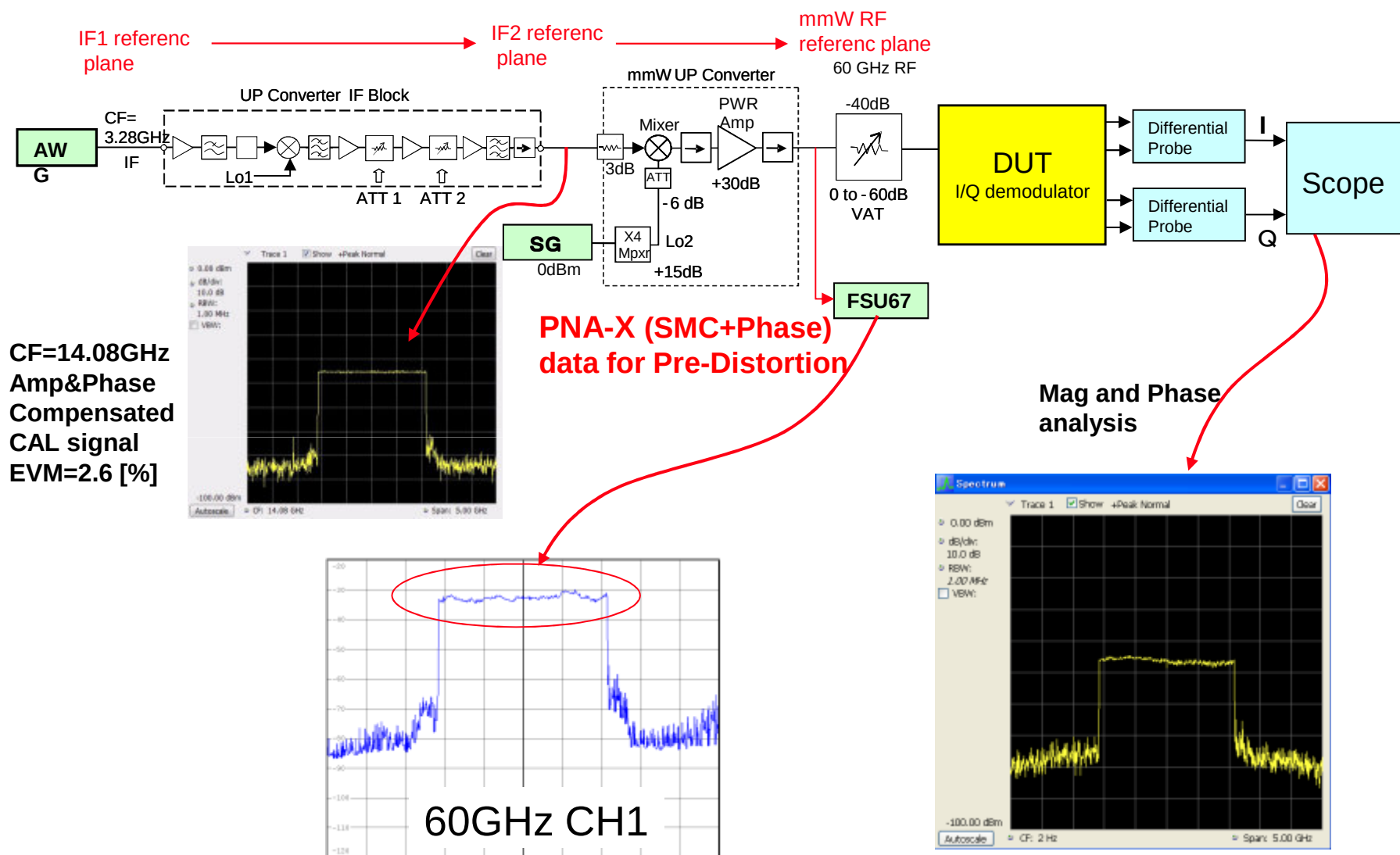


I/Q変調デバイス



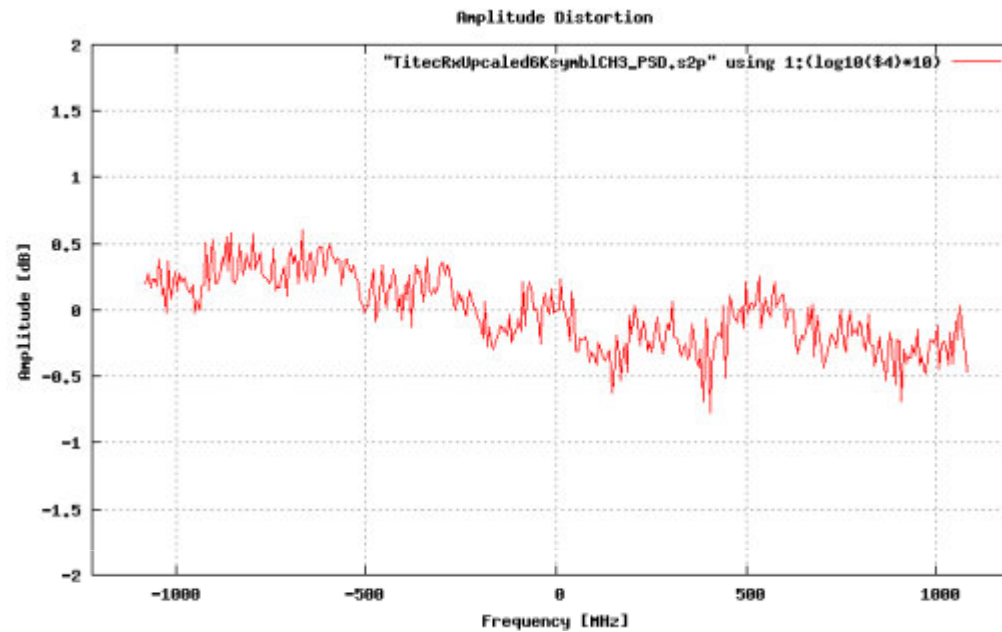
- ・ シングルトーンのネットワークアナライザでは、IQ変復調器の変換特性評価が現実的には困難、且つ、広帯域の動態測定は不可能
- ・ 上記システムを用いれば簡単なセットアップと操作で特性評価を行える

60GHzダイレクトI/Q変復調器の評価構成図



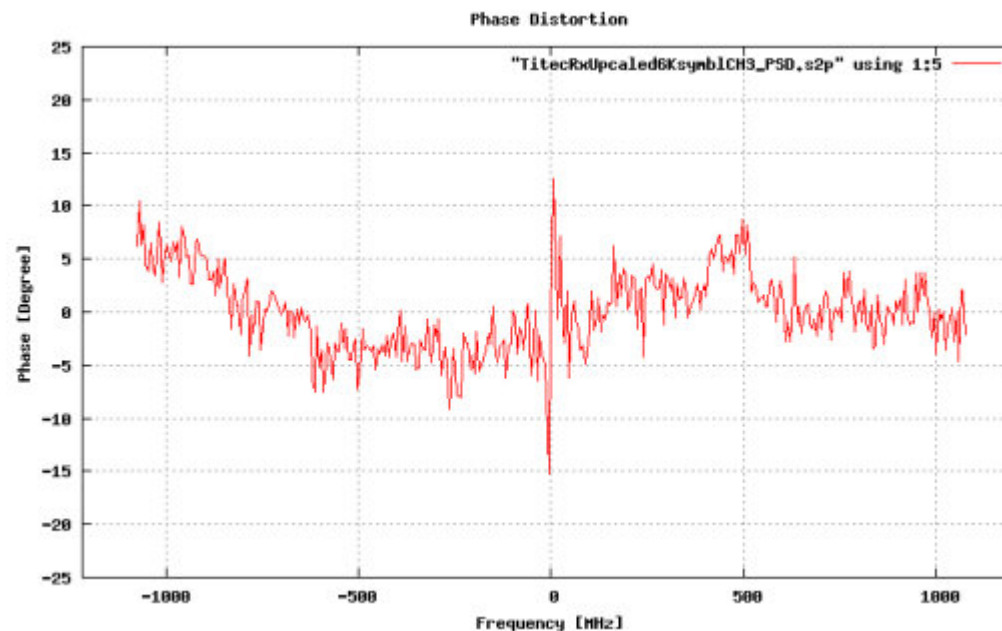
Even FSU67 doesn't say it is not full flat,
the EVM seems extremely improved.

I/Q 復調器の評価例 (サンプル1)



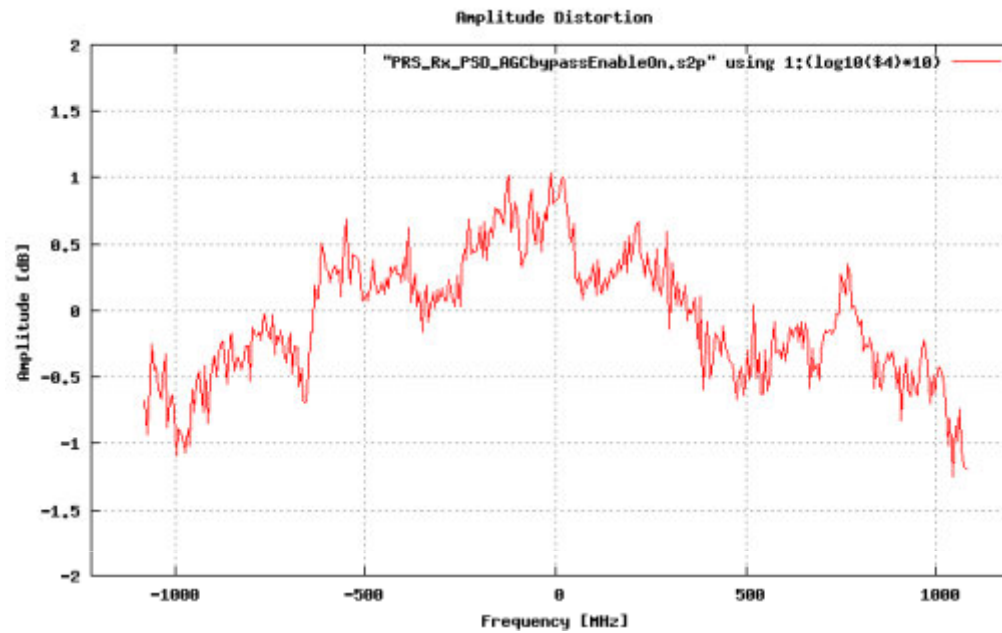
振幅特性

デバイス測定例 1



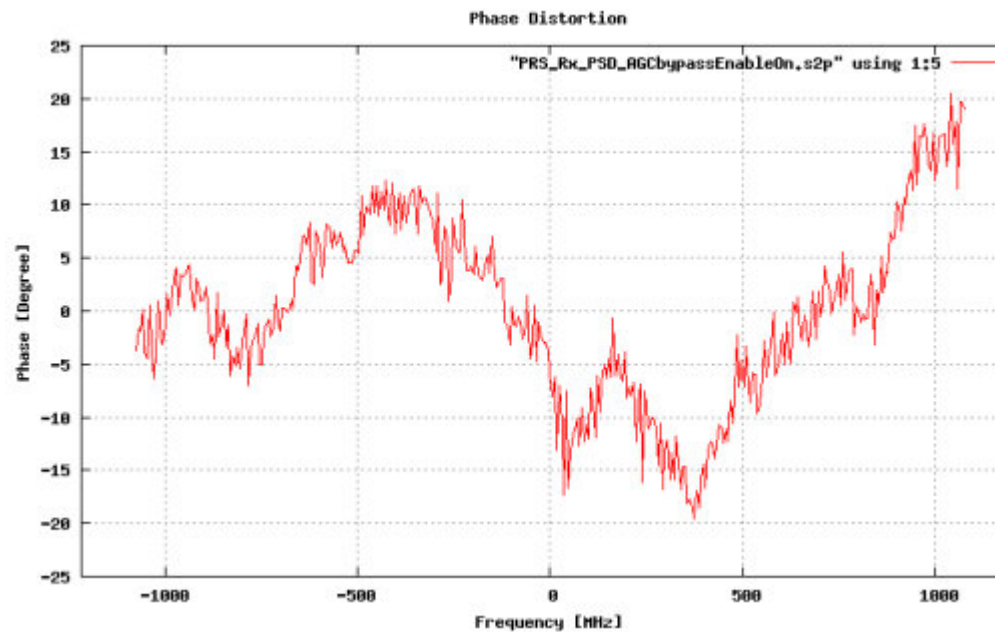
位相特性

I/Q 復調器の評価例 (サンプル2)



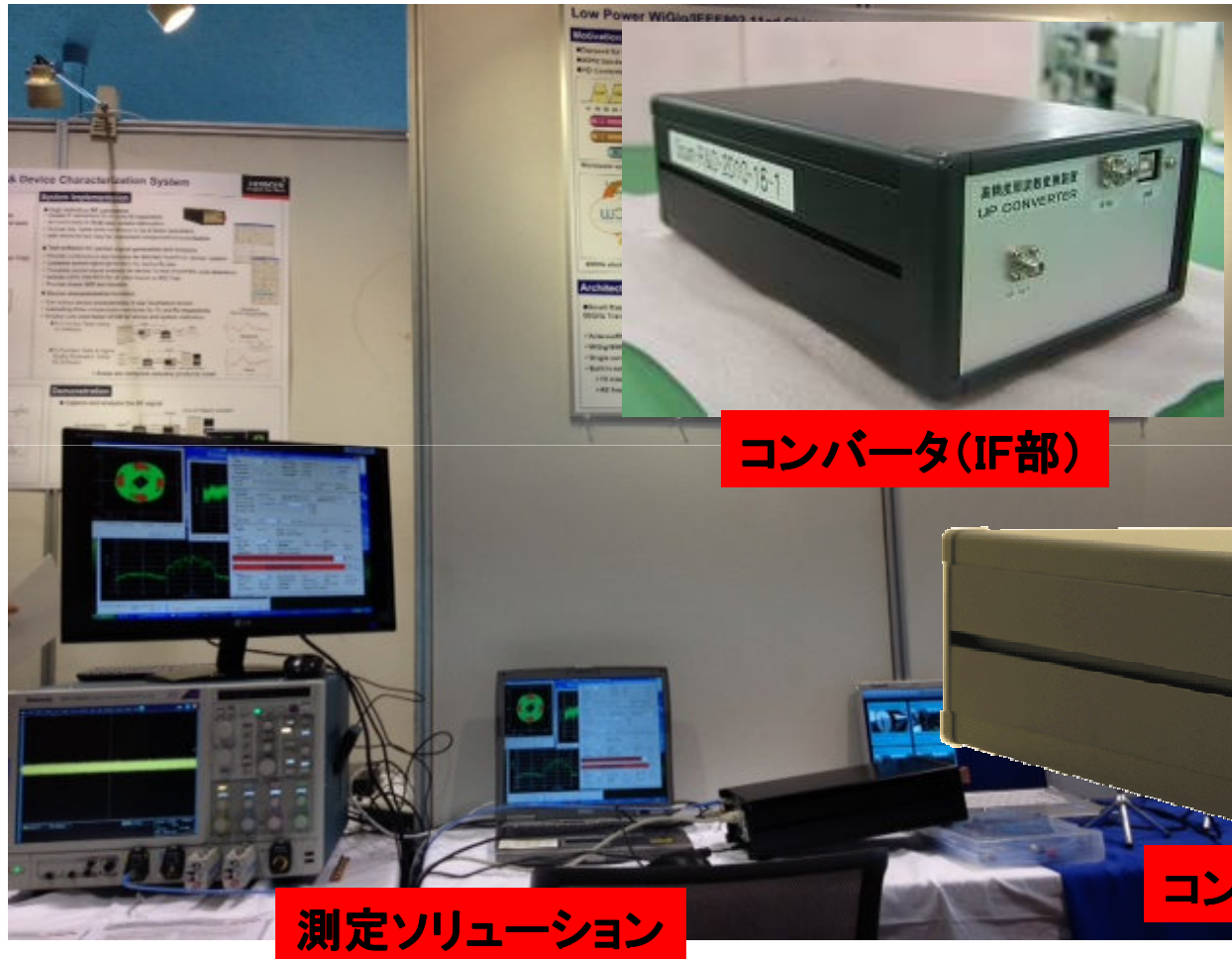
振幅特性

デバイス測定例 2

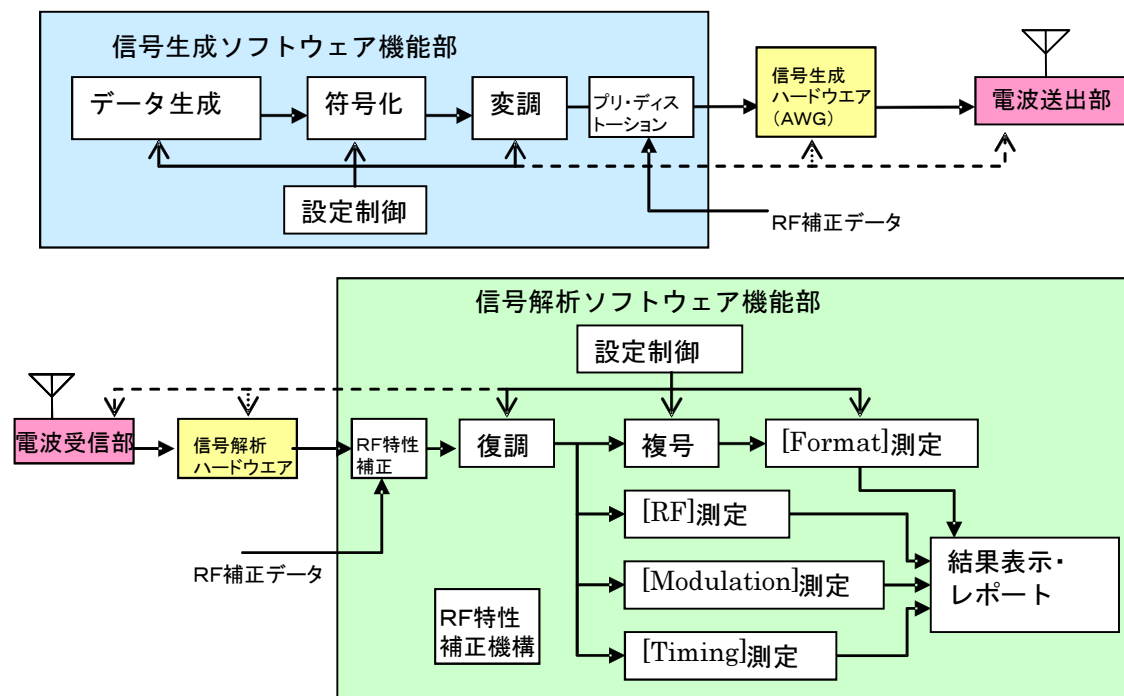


位相特性

デモ内容の御紹介



試験信号生成・解析ソフトウェア



- ・TG3c・11ad仕様のRF／PHYの、ほぼ全項目の試験・測定機能を実現
- ・実時間信号生成・解析は行えないが信号精度を確保できる機器構成
- ・デバイス評価と共にコンFORMANCE・テスト機能を確保

CTS Test Specs (part of list)

No.	Section number	Description	Test Requirement	M/O	Parameter Value	Testability
16	21	DBand PHY specification		M		NA
17	21.1	DBand PHY Introduction		M		NA
18	21.1.1	Scope		M		NA
19	21.1.2	DBand PHY functions		M		NA
20	21.1.2.1	DBand PLCP sublayer		M		NA
21	21.1.2.2	DBand PMD sublayer		M		NA
22	21.1.2.3	PHY management entity (PLME)		M		NA
23	21.1.2.4	Service specification method		M		NA
24	21.2	DBand PHY service interface		M		NA
25	21.2.1	Introduction		M		NA
26	21.2.2	TXVECTOR and RXVECTOR parameters		M		NA
27	21.2.3	TXSTATUS Parameters		M		NA
28	21.3	Common parameters		M		NA
29	21.3.1	Channelization		M		Tx, Rx*
30	21.3.2	Transmit Mask	Spectrum Mask Test	M		Tx
31	21.3.3	Common requirements		M		–
32	21.3.3.1	Introduction		M		NA
33	21.3.3.2	Tx RF Delay		M		–
34	21.3.3.3	Center Frequency Tolerance		M		NA
35	21.3.3.3.1	General	Freq Error Measurement	M	±20ppm	Tx
36	21.3.3.3.2	Center Frequency Convergence		M	< 1ppm, < 0.9us	–
37	21.3.3.4	Symbol Clock Tolerance	Chip Rate measurement	M	±20ppm	Tx
38	21.3.3.5	Tx Center Frequency Leakage	ACPR & PSD measurement	M	< -23dB(SC PHY)	Tx
39	21.3.3.6	Transmit Ramp up and Ramp Down	Rise/Fall time meas	M	< 10ns	Tx
40	21.3.3.7	Antenna Setting	Antenna/Propagation	M		Tx, Rx*

Tools for the Conformance Test

RxTG3cPHY Ver. 1.00.579

File(F) Settings(S) Measure(M) View(V) About(A)

Input
Mode: IF
DownConverter: RF Channel: 1.5832 GHz, Attenuation: -20 dB

Oscilloscope
Sample Rate: 25.000000 GHz, Input Level: 1.00 Vpp, Trigger Mode: FORCE, DataLength: 100 μ sec

IQ Data Memory
IF File: , IQ File:

Demodulation
Chip Rate: 1.760000 Gcps, Chip Rate Search: ☒ ON, Burst Threshold: -20 dBm, Frequency Search: ☒ ON

Data
Payload Data: PRBS23, Data File:

Record
Length: 10 μ sec, Number of Frames: 2, Number of NG Frames: 0

Frame
Frame No.: 1, Start Time: 0.01 μ sec, Length: 3.51 μ sec, Power(Mean): -10.67 dBm, Spectrum Mask: Pass, EVM(RMS): 3.52 %, Preamble Correlation: 0, Number of Segments: 1

Segment
Segment No.: 1, Start Time: 4.01 μ sec, Length: 5.98 μ sec, Power(Mean): -10.67 dBm, Spectrum Mask: Pass, Frequency Error: 0.27 kHz, EVM(RMS): 3.52 %, Chip Rate: 1.760000 Gcps (+0.0000 %)

Acquire/Analyze Succeeded!

TxTG3cPHY Ver. 1.00.579

File(F) Settings(S) Signal(S) View(V) About(A)

Output
Mode: IF
UpConverter: RF Channel: 1.5832 GHz, Attenuation: -20 dB

AWG
Instrument Name: TCP/IP:192.168.0.102-INSTR, Sample Rate: 24.000000 GHz, Output Level: 1.00 Vpp

File
IF File: , IQ File:

Transferred IQ Data Point
Length: 0 Samples, 0 Chips, ☐ Confirm IQ Data Clear

Modulation
Filter Type: RRC, Coefficient: 0.25, Chip Rate: 1.760000 Gcps, IF Carrier Freq: 4.000000 GHz

Data
Payload Data: PRBS23, Data File:

Generate/Transfer

CMS SC Cont CAL Load File

IFS: 0.50 μ sec

PHY payload: Data, Frame header: PHY preamble: CMS-CTAP

PRBS23(Agg:ON/Sec:Bit:OFF)

Optional frame header
Stuff bits, RS parity bits, HCS, MAC subheader: Data, PRBS23

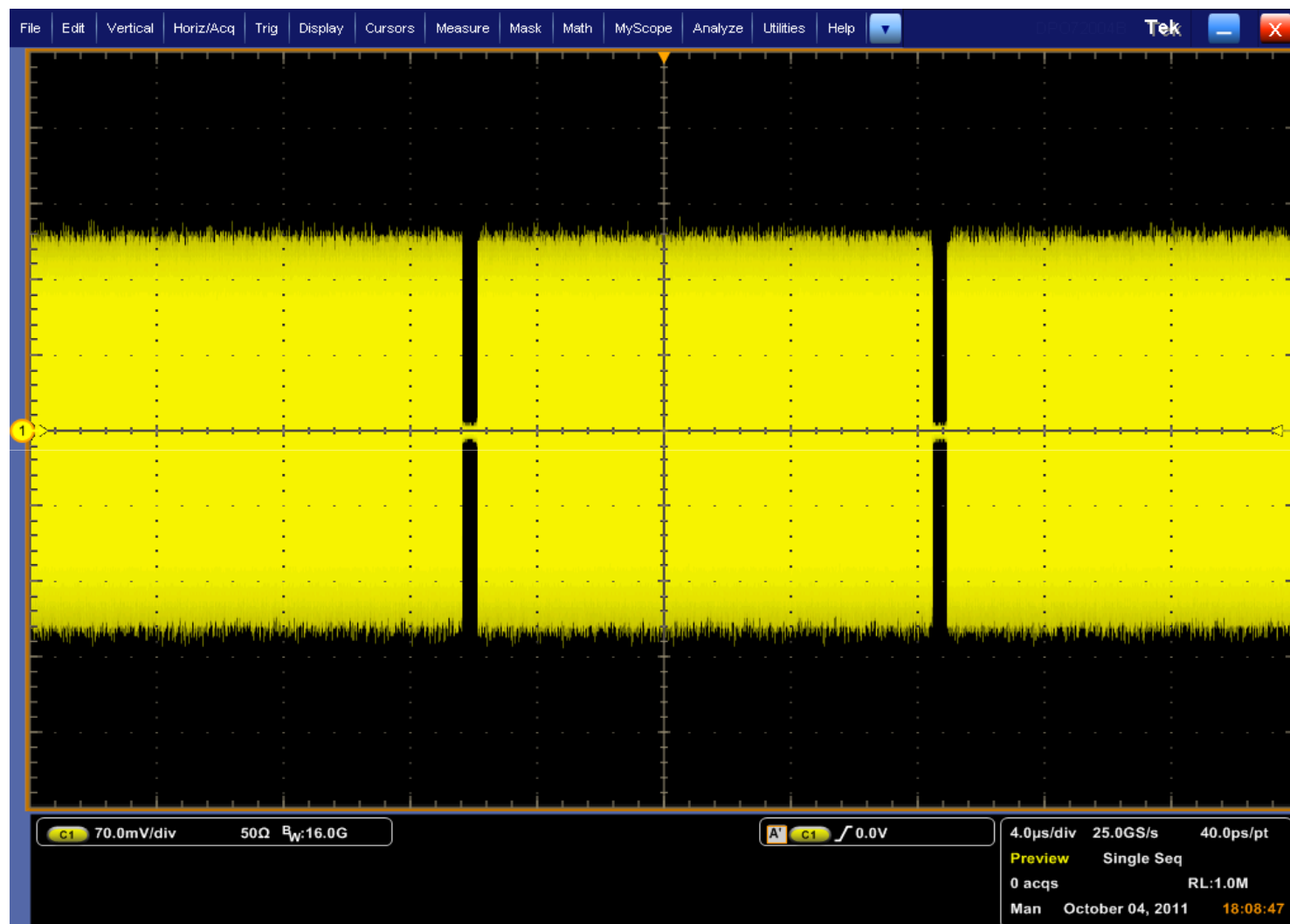
Base frame header
Stuff bits, RS parity bits, HCS, MAC header: Data, PHY header, PRBS23(Agg:ON)

Reserved: 00, PCES: 0, Pilot word length: 10, Low latency mode: 0, Beam tracking: 0, Preamble type: 00, Frame length: 0000000, MCS: 00000, UEP: 0, Aggregation: 1, Scrambler seed ID: 0000

Rx signal analysis tool

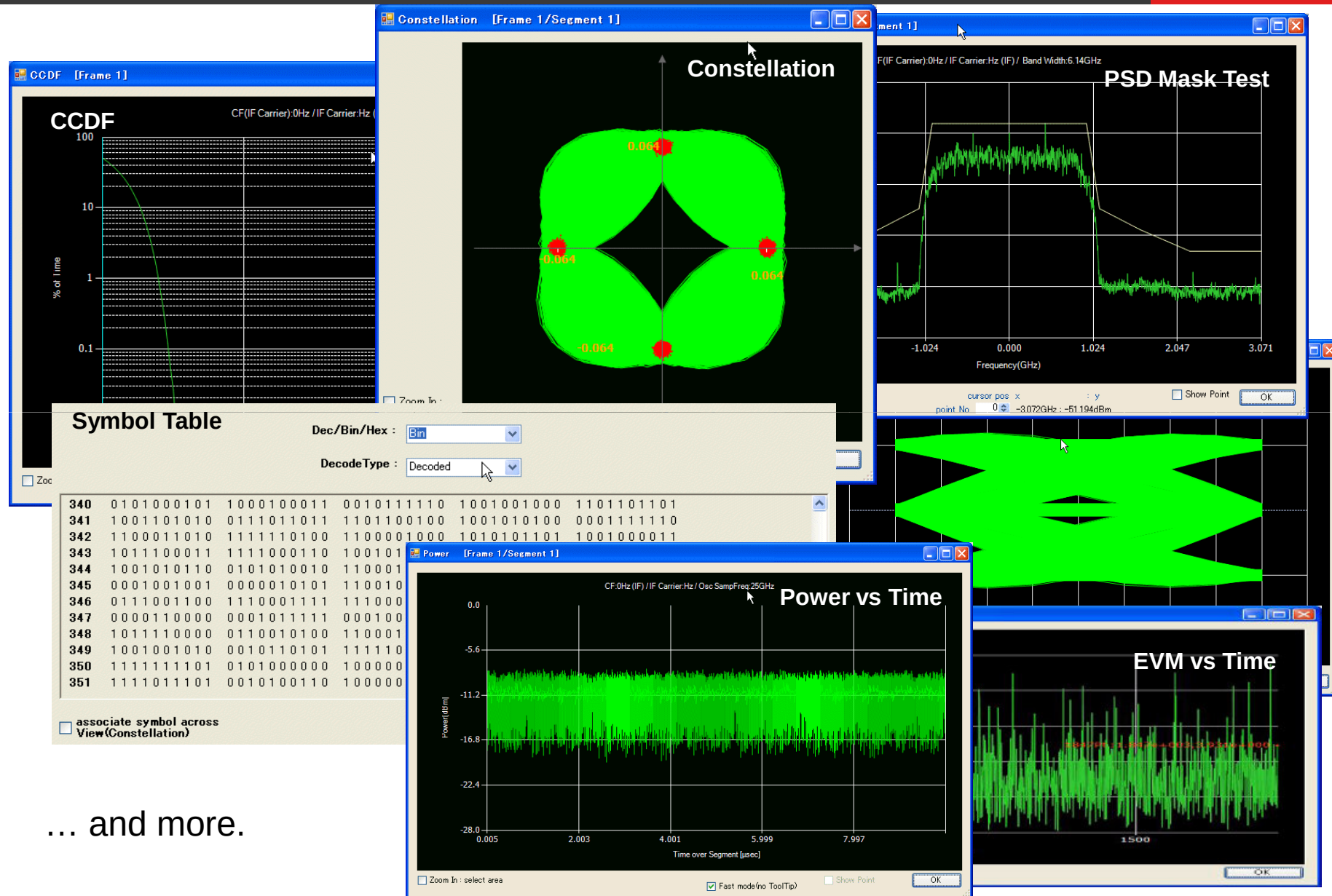
Tx Packet signal generation tool

RF packet signal

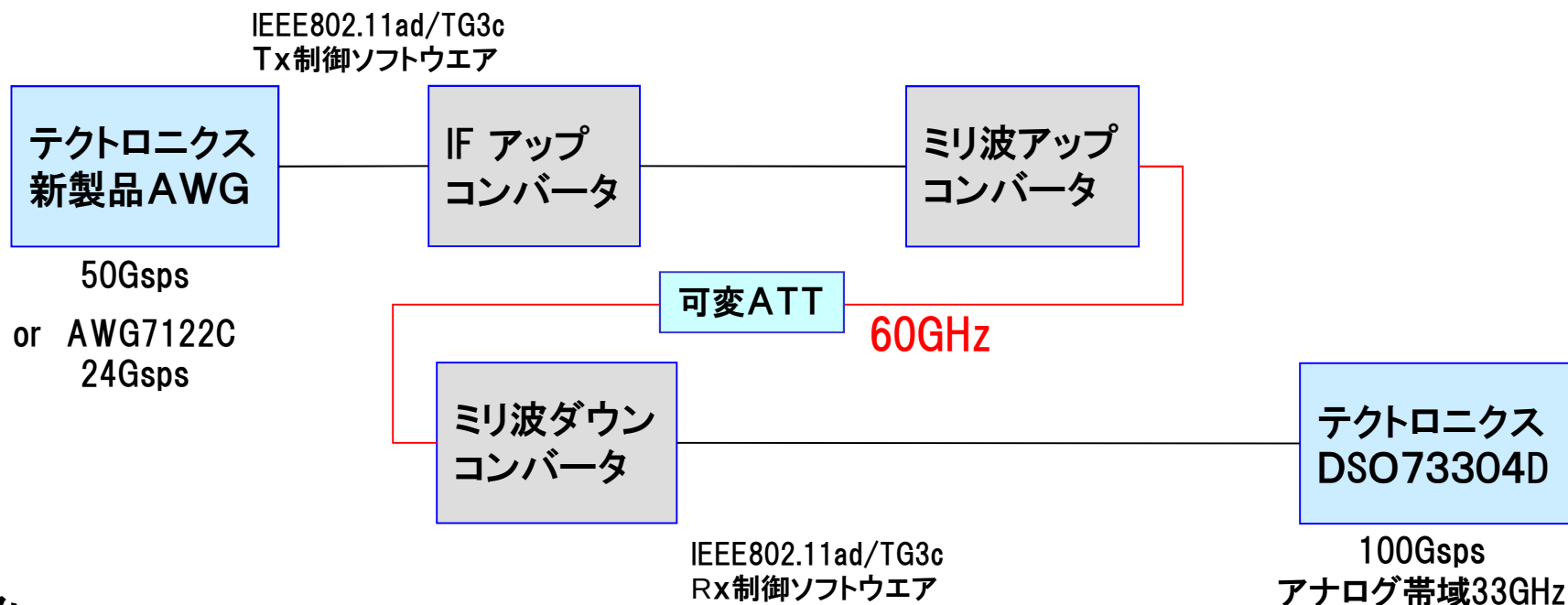


Actual TG3c RF/IF packet signal (waveform observed by scope)

Results of Analysis



... and more.

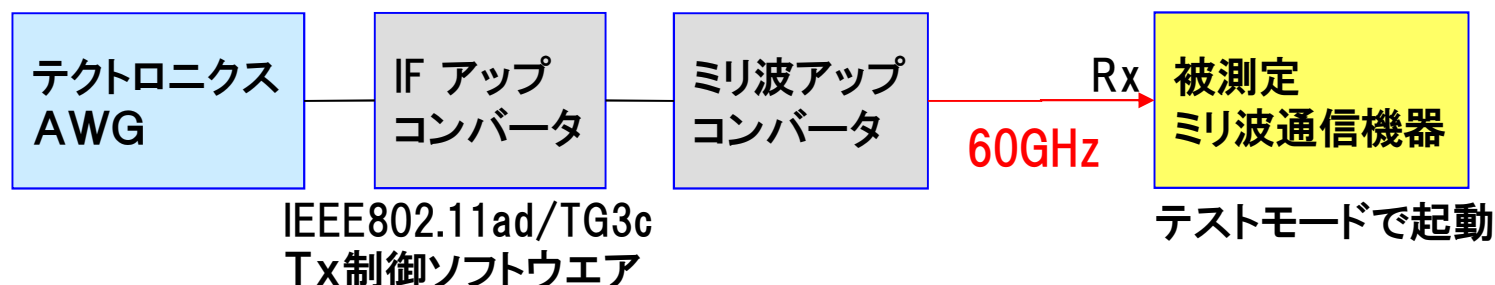


強み

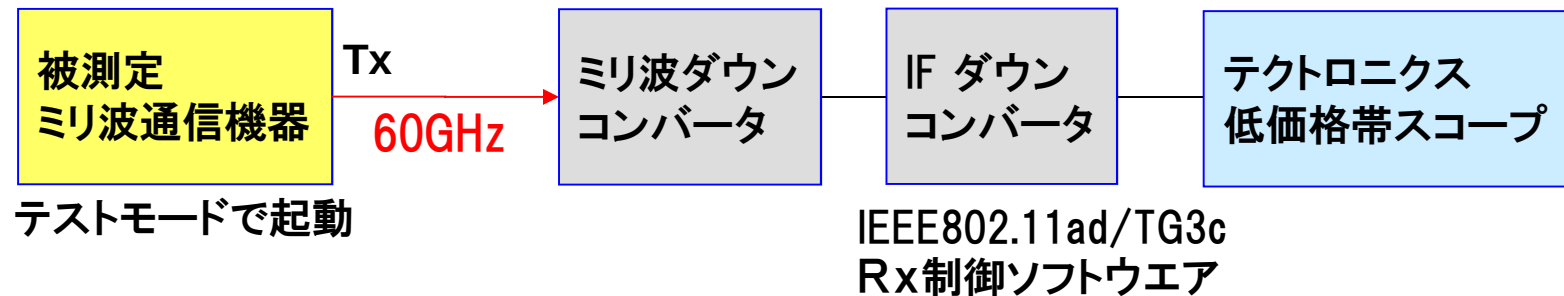
- 測定系を最高水準機器で揃えて発生信号純度を向上させ、解析精度を高精度に維持できる
 - IFアップコンバータの直接校正をオシロで行える為、IF基準面の維持がきわめて容易
 - RFダウンコンバータの出力を直接オシロで解析できるためIFダウンコンが不要
- 結果的に性能維持のメンテナンスはRF部のみに限定できる。供給側・顧客側ともにメリット大
- AWGに RFXpress、オシロに SignalVu を搭載すると、デバイス開発時の可用性が格段に向上

弱み

- システム価格は最も高額となる
- オシロで解析するIF周波数が高くなるのでトリガー感度調整が少し微妙となる



- ・ AWGおよびアップコンバータをTx制御ソフトウェアで駆動する
- ・ 規格で定められている受信性能のテストは次の3種類である
 - － 受信最小感度の測定
 - － 受信入力レベル最大値の測定
 - － パケット／フレームの受信能力
- ・ 上記の最小感度と受信最大入力レベルの測定は、規格に定められたBER (或いはPER/FER、規格により異なる) 値を満足する範囲を測定する。弊社 11ad/TG3c信号制御ソフトウェアは、**簡易型ではあるがBER測定機能 (PRBS発生) を提供可能** ← 受信機のテストモードでの協力が必要
- ・ アップコンバータに付属するステップ・アッテネータは、電力校正後は 1dB ステップで最大 50dB まで定量的に可変できる



- ・ ダウンコンバータおよびオシロスコープをRx制御ソフトウェアで駆動する
- ・ 規格で定められる受信性能のテストは次の2種類であるが項目は多数
 - 規格で定められた PSD mask, EVM値, タイミング関連の確認
 - パケットフォーマット／シンタックスの規格適合性の確認
- ・ 簡易型ではあるが**BER測定機能 (PRBS誤謬率解析)を提供可能** ← 送信機のテストモードでの協力が必要
- ・ IFダウンコンバータに付属するステップ・アッテネータは 1dB ステップで最大 50dB まで定量的に可変できる (オシロ入力の感度調整用)
- ・ **送受とも、アジレント、パナソニック、NiCTなど複数機関の開発システムとの相互検証済み(総務省プロジェクトでの研究連携)**

- ミリ波通信の現状と測定課題
- ミリ波標準規格の概要
 - IEEE802.15.3c
 - IEEE802.11ad/aj
 - 共通点と相違点を紹介
- 広帯域変調信号の評価(RF/PHY)
 - デジタル補正技術による高精度評価
 - 変調精度解析における基準面定義
 - 基準面定義による評価精度向上
 - Direct IQ型ミリ波チップの振幅・位相評価の実現
 - 標準準拠の信号生成・解析

本研究成果は、総務省の委託研究
「電波資源拡大のための研究開発」の一環として実施されました。

END

**ギガビットWiFi(IEEE802.11ad/11aj)
の最新動向～測定課題と測定技術～**

2013/7/2

株式会社 日立製作所 柴垣信彦

nobuhiko.shibagaki.qr@hitachi.com

HITACHI
Inspire the Next[^]