



# ソフトウェア無線 ソリューション 「RadioVerse™」

アナログ・デバイセズ株式会社  
峰野 太喜





# RF設計の現場が抱える課題

- ▶ 突然ですが、RF回路設計者の方々、次のような悩みを抱えておりませんか？
  - 仕向け地・無線規格毎にRF回路仕様を変えなければならない…
  - 大事なRF部品 (フィルタ・トランジスタ)の相次ぐEOL…
  - 海外の競合メーカーに比べて開発期間が長い…
  - 古いRF設計のノウハウが次の世代に継承できていない…
  
- ▶ これらの悩み、ADIのSDRソリューション “RadioVerse™” を用いて解決しましょう



# 本セミナーの流れ

SDR (Software Defined Radio)のコンセプトとアーキテクチャの説明から始まり

アナログ・デバイスズが提供するSDRソリューションを用いていかに無線機設計が容易となるかを体感していただきます

## ▶ 内容

- アナログ・デバイスズが提供するSDRプラットフォーム RadioVerse™ について
- SDRのコンセプトとアーキテクチャの基礎
- アナログ・デバイスズのトランシーバー製品の紹介
- SDRを用いた無線機の仕様検討の勘所



# ADIが提供するSDRソリューション RadioVerse™

- ▶ RadioVerse™ とは、  
ADIが提供するソフトウェア無線 (SDR) のトランシーバーICを中心とした  
お客様のRF設計の生産性向上を実現する総合ソリューションです

- ▶ RadioVerse™ の3つの特長

- 高性能、広帯域のSDR製品 (SDRトランシーバー)
- リファレンスデザイン、設計支援ツール、各種技術資料
- ソリューション提案、技術サポート、アライアンスパートナー



# SDR (Software Defined Radio)とは

▶ 任意の周波数の任意の信号に対して、ソフトウェアの設定変更のみで送受信を行える無線機

## ▶ 歴史

### ■ 軍用時代

- E-System (Raytheon) - Radio Lab (1984)
- Air Force Rome Labs - ICNIA (1987)

### ■ 汎用化

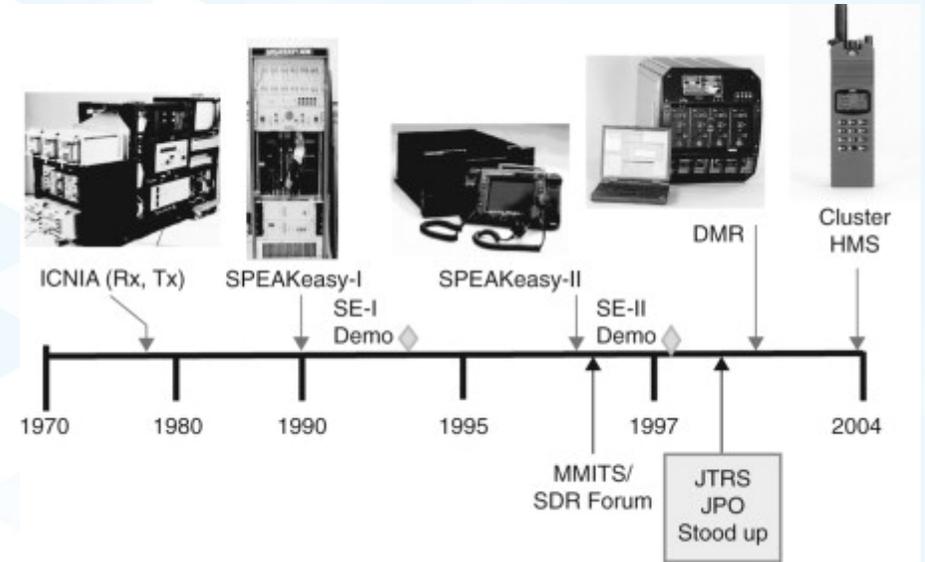
- DARPA - SPEAKeasy program (1990s)

### ■ 集積化

- AD9361 (2010), 10 mm x 10 mm

### ■ 普及

- 移動体通信基地局 (2014 ~)



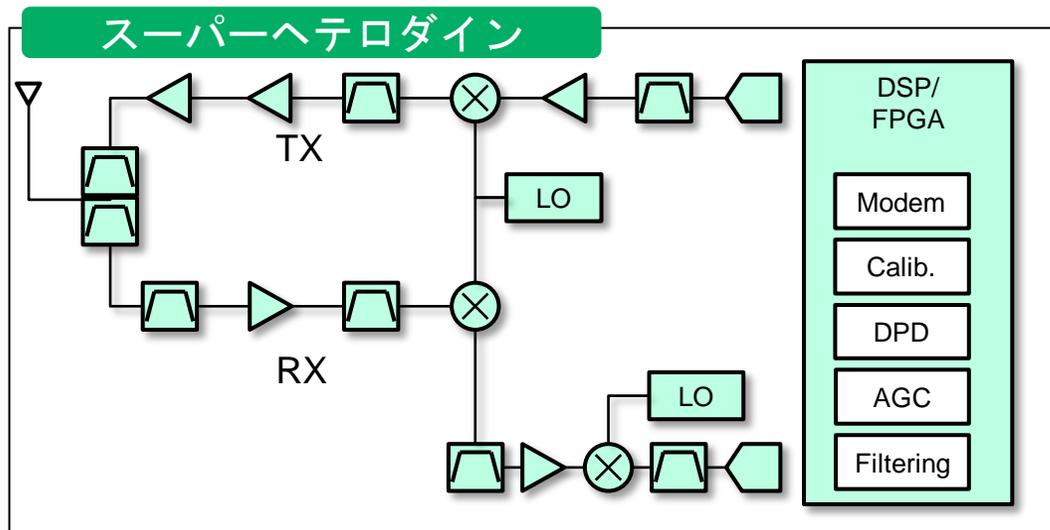
History and Background of Cognitive Radio Technology (2009)

## SDRのコンセプトは昔から変わらない

- RF設計を共通化して設計工数を下げる
- 製造時の歩留まりを改善し大量生産に備える
- 運用中の仕様変更を容易にする
- 複数のプロトコルに対応する

# SDRのアーキテクチャ

アナログ・デバイス製のSDRトランシーバーは  
ダイレクトコンバージョンを採用

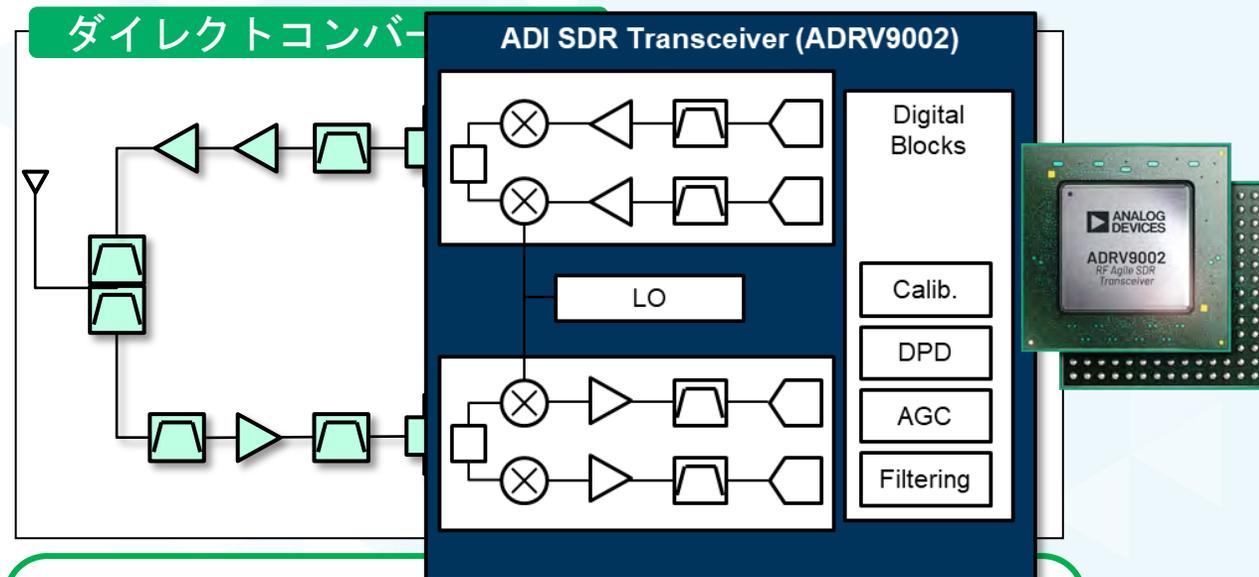


## スーパーヘテロダインの利点

- IF(中間周波数)フィルタによる高い干渉波耐性
- スプリアス、LO漏洩が低い

## スーパーヘテロダインの難点

- フィルタが多く実装面積・部品点数が大きい
- 広帯域化が困難
- 帯域当たりの電力効率が悪い



## ダイレクトコンバージョンの利点

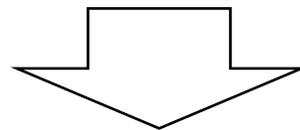
- 広帯域化が容易
- 部品点数・面積の削減
- フィルタの数が少なく、フィルタ性能も緩和可能

## ダイレクトコンバージョンの難点

- I/Q変復調器のGain/Phase補正が必須
- 妨害耐性・選択度がフィルタによって調整できない
- LO漏洩、DC offset

## RF回路設計が抱える課題

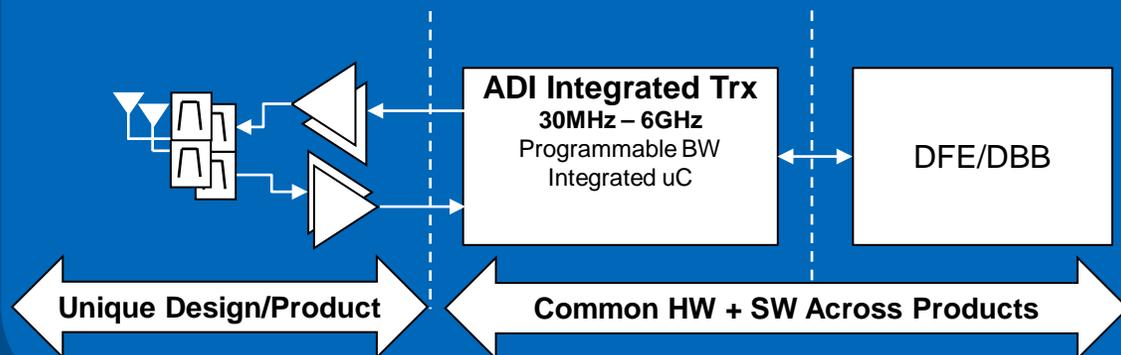
- 仕向け地毎のRF仕様の変更による工数の増大
- RF回路を構成するディスクリート素子の供給性の悪化
- 開発期間短縮の要求
- 設計の難易度低減の要求



## RadioVerse™ による課題の解決

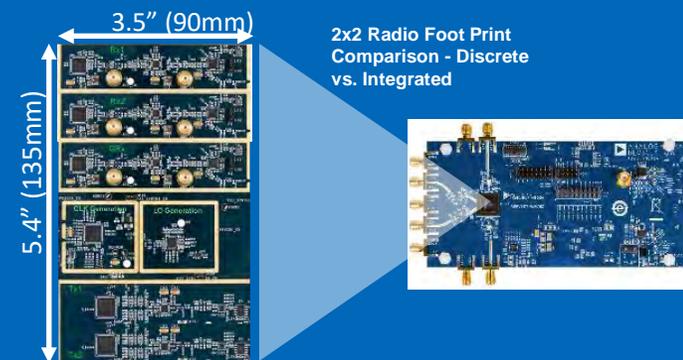
### 設計統一化

SDR化によりRF仕様がプログラマブルに変更可能  
ソフトウェア/ハードウェア設計の統一化による開発期間の短縮

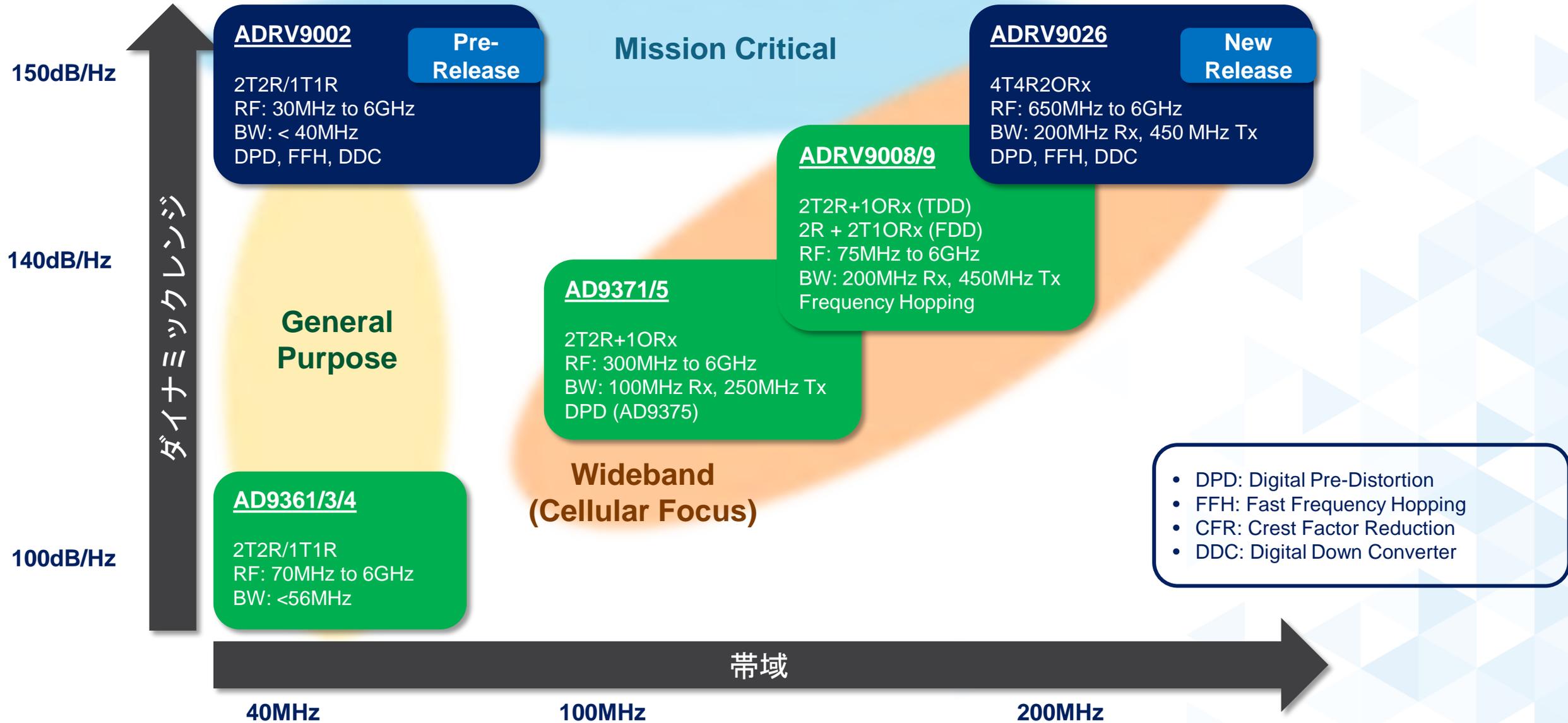


### 集積化

RFフロントエンドの集積化によりディスクリート素子点数を削減、設計を簡素化。RF回路の多並列化、高密度化も容易



# RadioVerse™ SDR トランシーバー製品





# RadioVerse™ SDRソリューションの特長

## Direct Conversion Transceiver

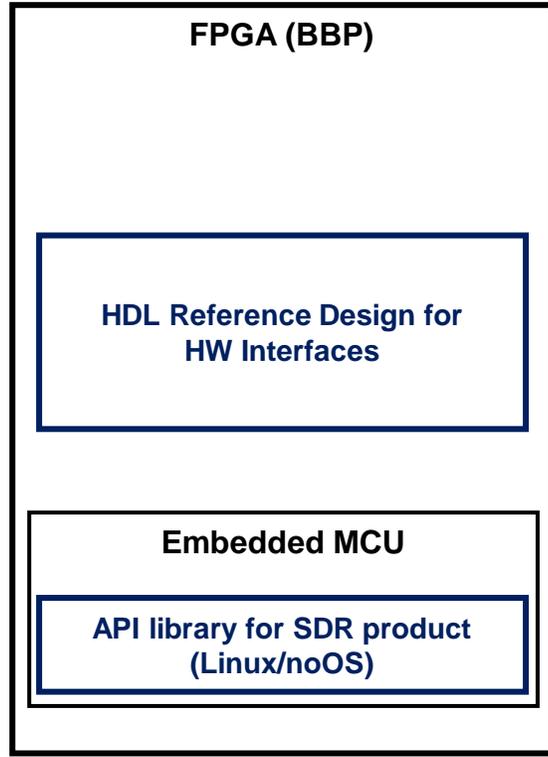
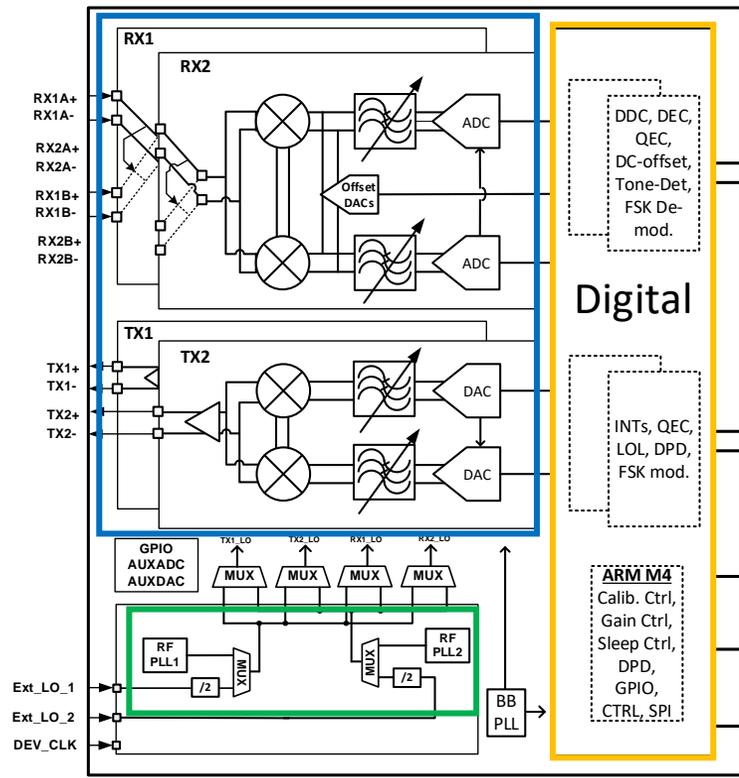
## Software Reference Design

広帯域/高ダイナミックレンジのRF フロントエンド回路

広帯域な内蔵LO Synthesizer (VCO/PLL)

Programmableで豊富なデジタル機能 (AGC/DDC/pFIR)

RF性能を補正するデジタルキャリブレーション機能 (LOL/QEC/DC offset/DPD)



TransceiverとのInterfaceのHDL Reference Design

SDR制御用SW設計/実装を簡略化する Open SourceのAPI Library



# リファレンスデザイン・設計支援ツール

## リファレンスデザイン

### ハードウェア

#### 評価ボード

- ADI製のSDR ICが搭載されたボード
- 市販のFPGAカードへFMCコネクタで接続



#### サードパーティ製

- アライアンスパートナーによるリファレンスデザイン
- 基地局やIIoT用などアプリケーション特有のものが用意



### API

- SDR ICを制御するためのシーケンスが実装されたC99言語で書かれたSDKライブラリ

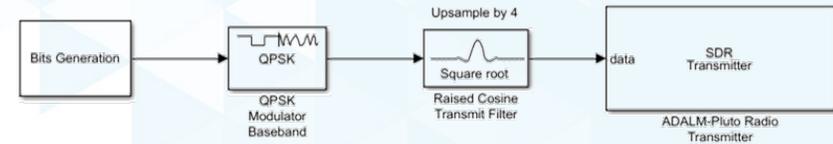
### HDL

- SDR ICとFPGAとのdigital interfaceを実装可能なHDLライブラリ

## 設計支援ツール

### Transceiver Toolbox for MATLAB

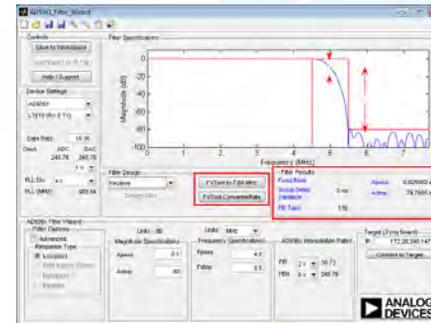
- MATLAB/Simulinkで評価ボードを制御、データを入出力するためのライブラリ
- 信号処理～RF入出力まで一気通貫でMATLABで実装可能



Copyright 2017 The MathWorks, Inc.

### MATLAB Filter Design Wizard

- FIR フィルタの設計支援ツール
- アナログフロントエンドの周波数特性も自動補正



詳細はこちら



- ▶ 長野県上田市を拠点とする設計開発会社
- ▶ アナログ・デバイセズがSDRに取り組み始めた初期からSDRトランシーバを用いた装置を設計・開発
- ▶ ハードウェアだけでなく、FPGAでの信号処理も得意
- ▶ Simulinkモデルを用いたModel Based Designによって信号処理を効率的に設計・実装

SDRセミナー講演資料, マリモ電子工業, 2019

### MBD SDR応用事例①: AD9361 スペクトラム・アナライザ

- RadioVerse製品を使った当社初のデモ機



マリモ製 汎用Zynqボード

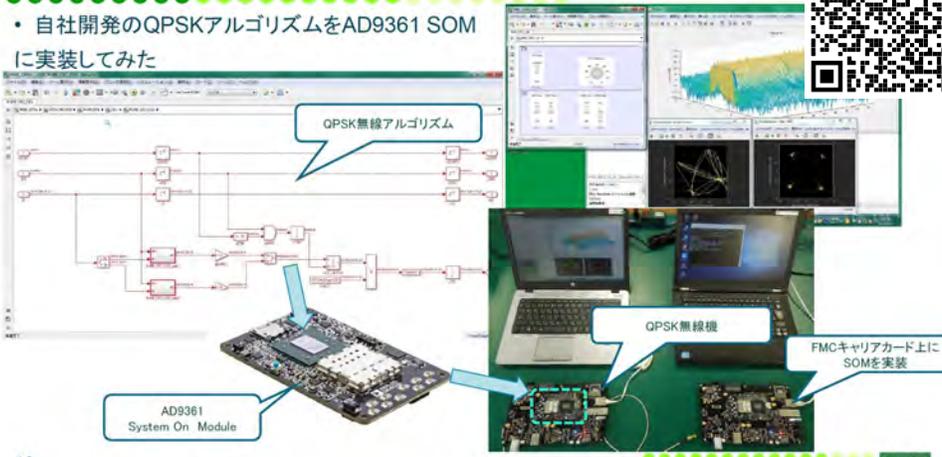
RadioVerse AD9361の受信パスを使って50MHz帯域スペアナに

- 2015年のMATLAB EXPOIにデモ出展
- アナログ・デバイセズ社のアライアンスパートナーとなる契機になったデモ機

9

### MBD SDR応用事例②: AD9361 SOM QPSKソフトウェア無線機

- 自社開発のQPSKアルゴリズムをAD9361 SOMに実装してみた



QPSK無線アルゴリズム

QPSK無線機

AD9361 System On Module

FMCキャリアカード上にSOMを実装

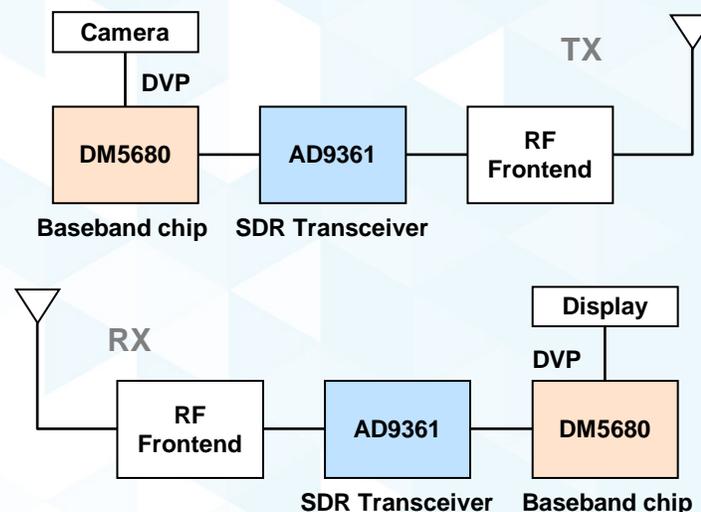
13

# モジュールソリューション - Divimath

- ▶ 中国深圳を拠点とするファブレスのICメーカー
- ▶ AD9361と組み合わせて使える信号処理用のASIC (動画Codec + OFDM)を開発
- ▶ ドローンの操縦用の超低遅延動画伝送モジュールを開発
- ▶ 独自の拡散・同期技術で低SNR時にも動画をブラックアウトさせない動画伝送を実現

本セミナーにて(株)マクニカ様による  
デモ展示開催中

SDRを用いたFPV用動画伝送モジュール “HD-Zero”



劣悪な電波環境でも動画がブラックアウトせず、  
動画記録を継続可能な機能を搭載



# 各マーケットでのRadioVerse™ 活用事例

## データ通信 (基地局)

- 複数の周波数、無線方式への対応
- 多アンテナ化・高密度化を実現
- デジタル処理(DPD, CFR, DUC/DDCや各種フィルタ)を内蔵することでFPGAの規模を削減



## 業務用無線機

- 複数の周波数、無線方式への対応
- DirectConv.でも高い選択性を実現
- 部品点数の削減、小型化が可能



## データ通信 (特殊用途)

- 監視カメラ・ドローン用の低遅延  
動画伝送・IIoT・SatCom
- Robust・低遅延な通信を実現



## レーダー

- IF回路の集積化
- 高密度化・多チャンネル化
- Digital beam forming



## 測定器

- 複数の周波数、無線方式への対応
- 部品点数の削減、小型化が可能



- DPD: Digital Pre-Distortion
- CFR: Crest Factor Reduction
- DDC: Digital Down Converter
- DUC: Digital Up Converter



# SDR トランシーバー IC を用いた 無線機仕様の検討方法

ターゲットの無線装置の仕様の決定 (無線規格・法規制)

対象のRF周波数でのSDR ICの仕様の整理

追加のフロントエンド回路 (LNA/PA/BPF)の要求仕様を決定

各無線機特性の計算、要求仕様とのマージンの確認

部品選定

詳細設計へ

# (ワンポイント) ADIsimRFを使おう

- ▶ ADIsimRFを用いることでSignal ChainのRF特性/Level Diagramの計算、感度点の見積りが簡単に行えます
- ▶ End-to-Endのシミュレーションは不可能。MATLAB等を使うべし。

レベルダイヤの確認や定数変換なども可能

The screenshot shows the ADIsimRF software interface. At the top, there's a menu bar (File, Stage, Reference Data, Help) and a toolbar with icons for simulation, analysis, and settings. Below that, a signal chain is visualized with five stages: Stage 1 (BPF), Stage 2 (LNA), Stage 3 (BPF), Stage 4 (DSA), and Stage 5 (ADC). A table below the stages lists parameters for each component. A green box highlights the simulation and analysis icons in the toolbar. A blue box highlights the component selection and parameter input area. A green box highlights the results table at the bottom right.

Receive	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
Temp Part	BPF	LNA	BPF	DSA	ADC
Input Freq (MHz)	920	920	920	920	920
Zin (Ohms)	50	50	50	50	50
Zout (Ohms)	50	50	50	50	50
Power Gain (dB)	-1	18	-1	0	23
Voltage Gain (dB)	-1	18	-1	0	23
IIP3 (dBm)	100	3	100	100	26
IP1dB (dBm)	91	-5	91	91	-10
Pin (dBm)	-50	-51	-33	-34	-34
Pin Backoff (dB)	141	46	124	125	24
Peak Backoff (dB)	138	43	121	122	21
Noise Figure (dB)	1	1.3	1	0	11
Voltage (V)	0	0	0	0	0
Current (mA)	0	0	0	0	0

Input			Analysis		
Number of Stages	5		Output Power (rms)	-11	dBm
Input Power	-50	dBm	Output Voltage (rms)	63.02	mVrms
Analysis Bandwidth	0.125	MHz	Output Voltage (pp)	251.49	mVpp
PEP-to-RMS Ratio	3	dB	OP1dB	11.97	dBm
P1dB Backoff Warning	3	dB	IP1dB	-26	dBm
Peak Backoff Warning	3	dB	Power Gain	39	dB
Min S/N for Demod	5	dB	Voltage Gain	39	dB
			Noise Figure	3	dB
			Output NSD	-132	dBm/Hz
			Output NSD	56.2	nV/rtHz
			Output Noise Floor	-81	dBm
			SNR	70	dB
			Input Rx Sensitivity	-115	dBm
			OIP3	42.03	dBm
			IIP3	3	dBm
			IMD3 ((Pin-3dB) per tone)	-112.1	dBc
			SFDR	81.9	dB
			ACLR (est.)	-70	dB
			Pwr Consumption	0	W

構成部品のRF仕様を入力  
モデルがない部品でも手動で  
入力可能

入力信号条件を入力  
(電力、Sig BW、PAPR、  
Min. SNR等)

計算結果

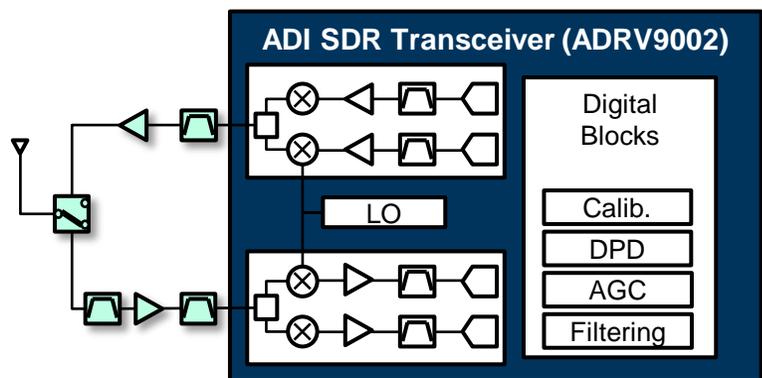
<https://www.analog.com/en/design-center/adisimrf.html>



# 想定する無線仕様とトランシーバーICの特性

仕様	目標値
キャリア周波数	920 MHz
信号帯域幅	125 kHz
変調方式	GFSK
データレート	50 kbps
送信電力	20mW (13dBm)
感度点 SNR	8 dB (BER 0.01%*) 6 dB (BER 0.1%)

(\*) 802.15.4g PER 1%相当

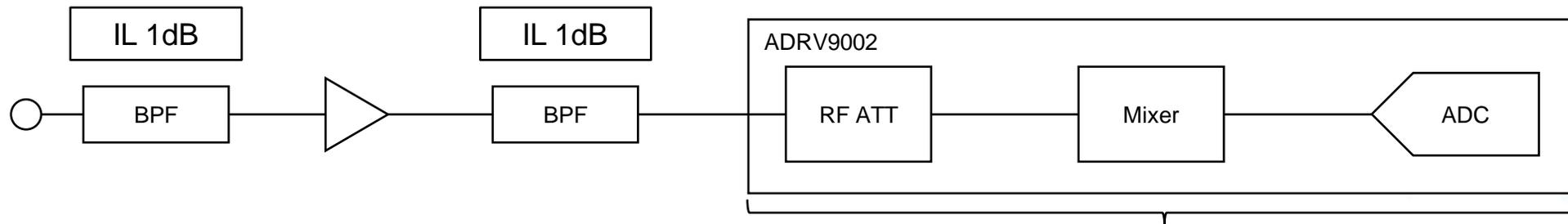


仕様 (ADRV9002 Rx)	Typical
Gain	20 dB
NF (max Gain)	11 dB
IIP3 (max Gain)	26 dBm

仕様 (ADRV9002 Tx)	Typical
Full Scale Output	7 dBm
OIP3 (max Gain)	30 dBm
In-band NSD	-154 dBFS/Hz

Offset [Hz]	ADRV9002 LO PN [dBc/Hz] (@ 900MHz)
100k	-112
200k	-121
500k	-129
1M	-137

# 受信系の検討



仕様 (LNA)	Typical Spec
Gain	18 dB
NF	1.3 dB
IIP3	3 dBm
IP1dB	-5 dBm

仕様 (ADRV9002 Rx)	Typical Spec
Gain	23 dB
NF (max Gain)	11 dB
IIP3 (max Gain)	26 dBm
IP1dB	-10 dBm

Spec	Calculation Result
Gain	39 dB
NF	3 dB
IIP3	3 dBm
Input Sensitivity	-112 dBm (BER 0.01%) -115 dBm (BER 0.1%)
Blocking (400kHz) Psig = 3dB + sensitivity	67 dB (BER 0.01%) 68 dB (BER 0.1%)
Blocking (2MHz) Psig = 3dB + sensitivity	75 dB (BER 0.01%) 75 dB (BER 0.1%)

Table 15. 902 MHz to 928 MHz Specifications

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions/Comments
2GFSK SENSITIVITY, PER					
Configuration 915 MHz/50 kbps		-109.2		dBm	At PER = 5%, FEC disabled, AFC enabled, RF frequency error range = ±40 ppm
Configuration 915 MHz/150 kbps		-100.7		dBm	At PER = 5%, FEC disabled, AFC enabled, RF frequency error range = ±40 ppm
Configuration 915 MHz/300 kbps		-98.8		dBm	At PER = 5%, AFC disabled, RF frequency error range = ±11.5 ppm
CHANNEL SELECTIVITY AND BLOCKING— BER-BASED TEST METHOD					
Desired signal 3 dB above the input sensitivity level (BER = 0.1%), carrier wave interferer power level increased until BER = 0.1%, AFC disabled					
Configuration 915 MHz/150 kbps					
Adjacent Channel (±400 kHz)		49		dB	
Alternate Channel (±800 kHz)		56		dB	
±2 MHz		66		dB	
±10 MHz		75		dB	
±20 MHz		80		dB	

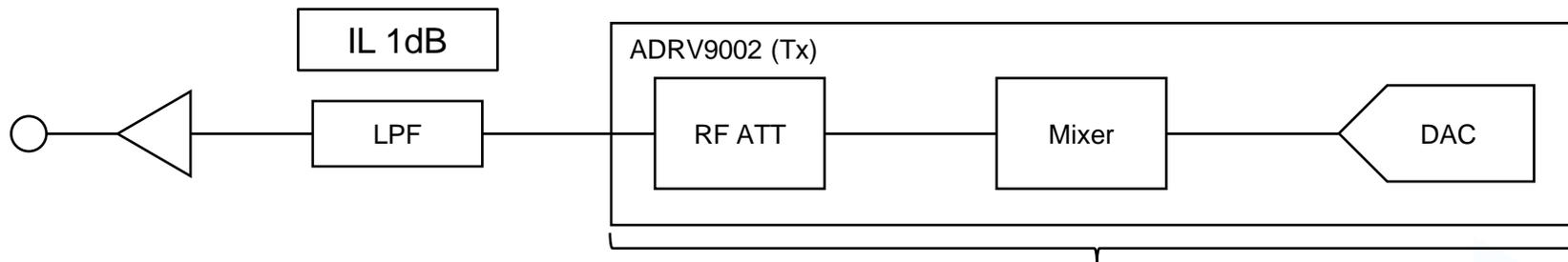
ADF7030-1

- BPF: Band Pass Filter
- ATT: Attenuator
- IL: Insertion Loss

ADIsimRFで算出

手計算

# 送信系の検討



仕様 (PA)	Typical Spec
Gain	13 dB
OIP3	23 dBm
NF	1.3 dB

仕様 (ADRV9002 Tx)	Typical Spec
Full Scale Output	7 dBm
OIP3 (max Gain)	30 dBm
In-band NSD	-154 dBFS/Hz
RF Attenuation	5 dB

Spec	Calculation Result
Gain (Frontend)	<b>12 dB</b>
OIP3	<b>22.8 dBm</b>
Output Power	<b>12.5 dBm</b>
ACPR (+/- 200kHz)	<b>-66 dBc</b>

ADRF7030-1		
ACP		
Configuration 915 MHz/50 kbps		
Adjacent Channel ( $\pm 200$ kHz)	-54	dBc
Alternate Channel ( $\pm 400$ kHz)	-61	dBc

ADIsimRFで算出  
シミュレーション  
または測定

# 最終的な無線特性と仕様

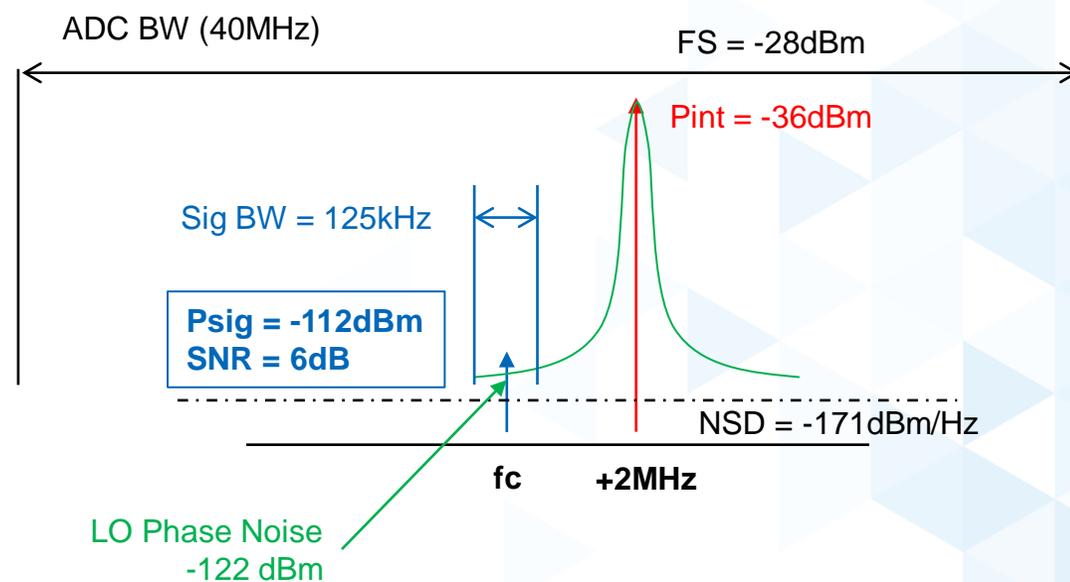
Spec (Rx)	Calculation Result	802.15.4g baseline	ADF7030-1
Input Sensitivity	-112 dBm (BER 0.01%) -115 dBm (BER 0.1%)	-91 dBm (PER 1%)	-109.2 dBm (PER 5%)
Blocking (400kHz) Psig = 3dB + sensitivity	67 dB (BER 0.01%) 68 dB (BER 0.1%)	> 0 dB (PER 1%)	49 dB (BER 0.1%)
Blocking (2MHz) Psig = 3dB + sensitivity	75 dB (BER 0.01%) 75 dB (BER 0.1%)	> 30 dB (PER 1%)	66 dB (BER 0.1%)

Spec (Tx)	Calculation Result	802.15.4g baseline	ADF7030-1
Output Power	12.5 dBm	N/A	13dBm
ACPR (+/- 200kHz)	-66 dBc	-25dBc	-54dBc

- 複雑なシグナルチェーンの検討をしなくとも無線機特性を見積もることができる
- 特に最適化せずに高い性能を達成

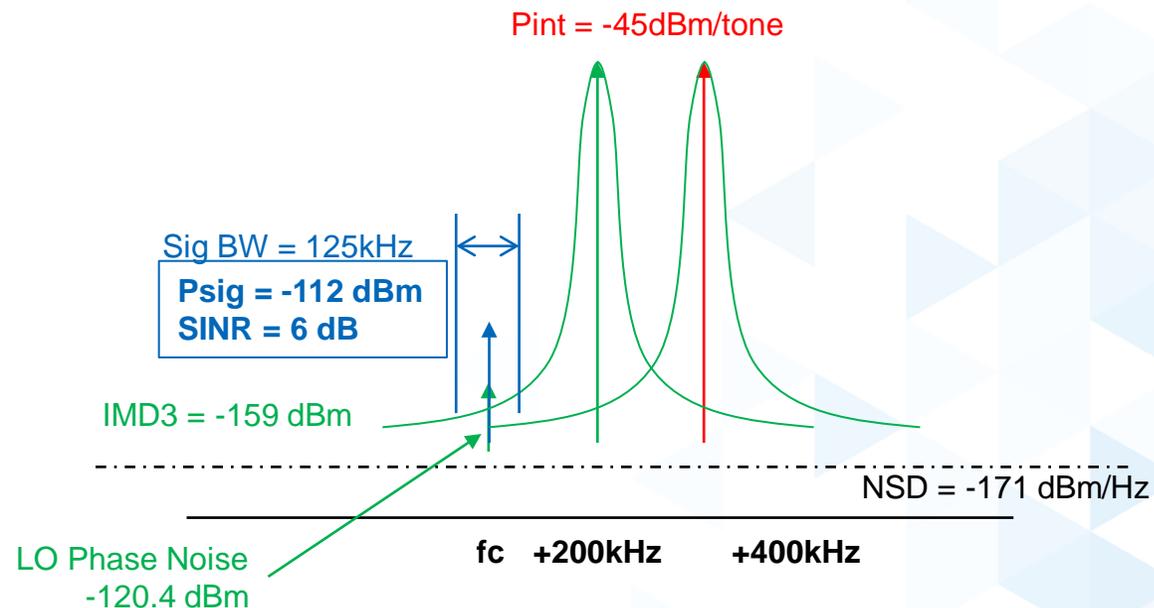
# (補足) 高DR受信系のBlocking

- ▶ Dynamic Rangeが高い受信系の場合、Blockingを含めてA/D変換することが可能
- ▶ RF前段のFilterの性能を緩和できる (SAW/XTAL Filterの削減)
- ▶ LO Phase Noiseの寄与に注意
- ▶ より性能を求める場合は外部でPNの低いLOを生成し用いることも可能



# (補足) 高IP3受信系のIMD (相互変調歪み)

- ▶ ADIのSDR トランシーバーは直線性が非常に高い(e.g. IIP3 = 26dBm)
- ▶ 受信系のIIP3が高い場合、かつ、Narrow-band (<1MHzBW)のアプリケーションの場合
- ▶ IMDへのLO Phase Noiseの寄与が無視できなくなる
- ▶ いくらIP3が高いデバイスを使っているも、Phase Noiseをケアできていなければ性能は出ない







- ▶ SDRによってRF回路設計上の様々な課題を解決できる
- ▶ RadioVerse™はトランシーバーICだけでなく、リファレンスデザインやアライアンスパートナーの支援といったSDRの総合的なソリューション
- ▶ トランシーバーICを用いて無線機の特性を簡易に検討でき、かつ高い性能を達成できる

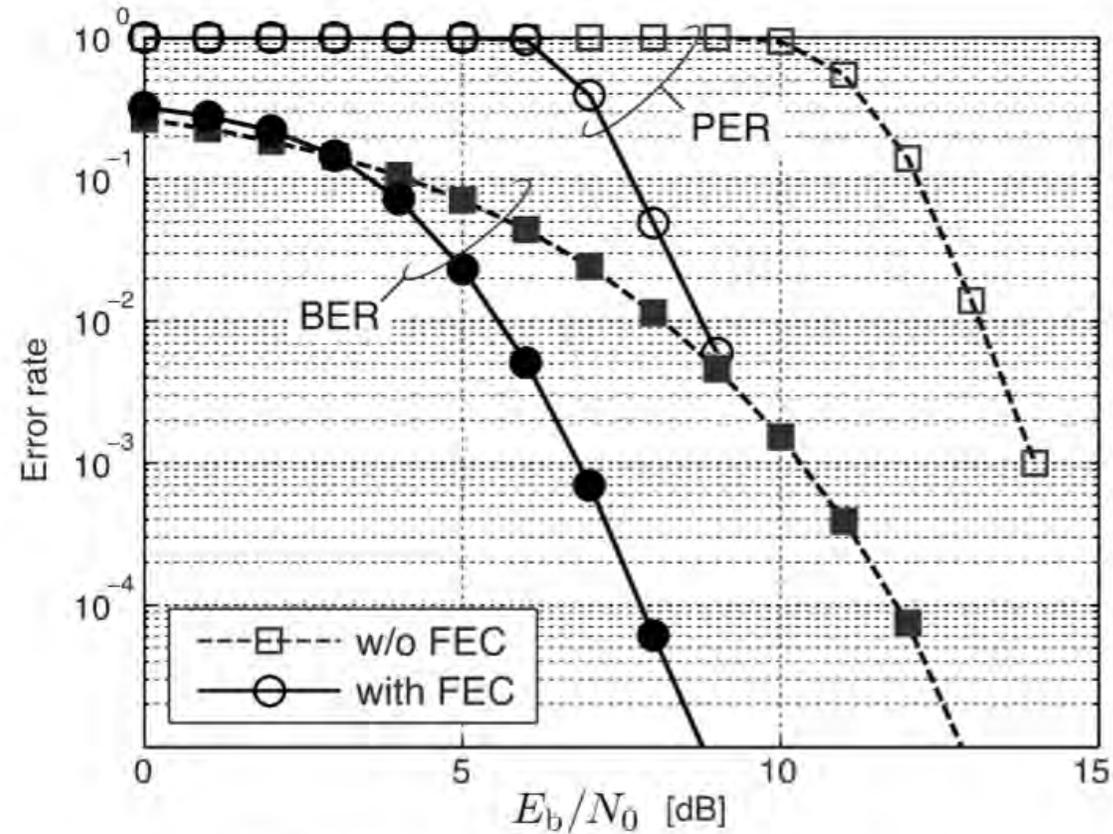
オンラインデモにてSDRを用いたドローン用動画  
伝送デモを展示中

(株) マクニカ

“高画質・低遅延の無線動画伝送ソリューション”

# Backup

# PER vs BER in 802.15.4g



**Fig. 14** BER and PER performances in AWGN.

H. Harada et. al., IEEE 802.15.4g Based Wi-SUN Communication Systems, 2017

# Reference

- ▶ History and Background of Cognitive Radio Technology (2009)
- ▶ Design Issues for Direct-Conversion Wireless Radios (2004)
- ▶ Direct Conversion: No Pain, No Gain (2002)