

# 20Gb/s 60GHz帯CMOS ダイレクトコンバージョン型送受信機

○河合 誠太郎, 近藤 智史, 南 亮, 津久井 裕基, 竹内 康揚,  
浅田 大樹, Ahmed Musa, 村上 墨, 佐藤 高洋, 卜 慶紅, 李 寧,  
宮原 正也, 岡田 健一, 松澤 昭

東京工業大学 大学院理工学研究科  
電子物理工学専攻 松澤・岡田研究室

- 研究背景
- 研究目的
- 従来のカリブレーション手法
- 提案するカリブレーション手法
  - QILOカリブレーション
  - IQミスマッチカリブレーション
- 測定結果
- 結論

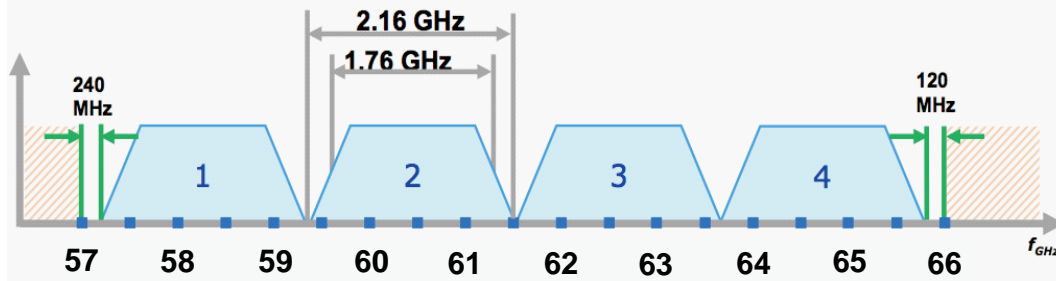
- 60GHz CMOSトランシーバは数Gb/s以上の高速無線通信が可能

IEEE 802.11ad specification

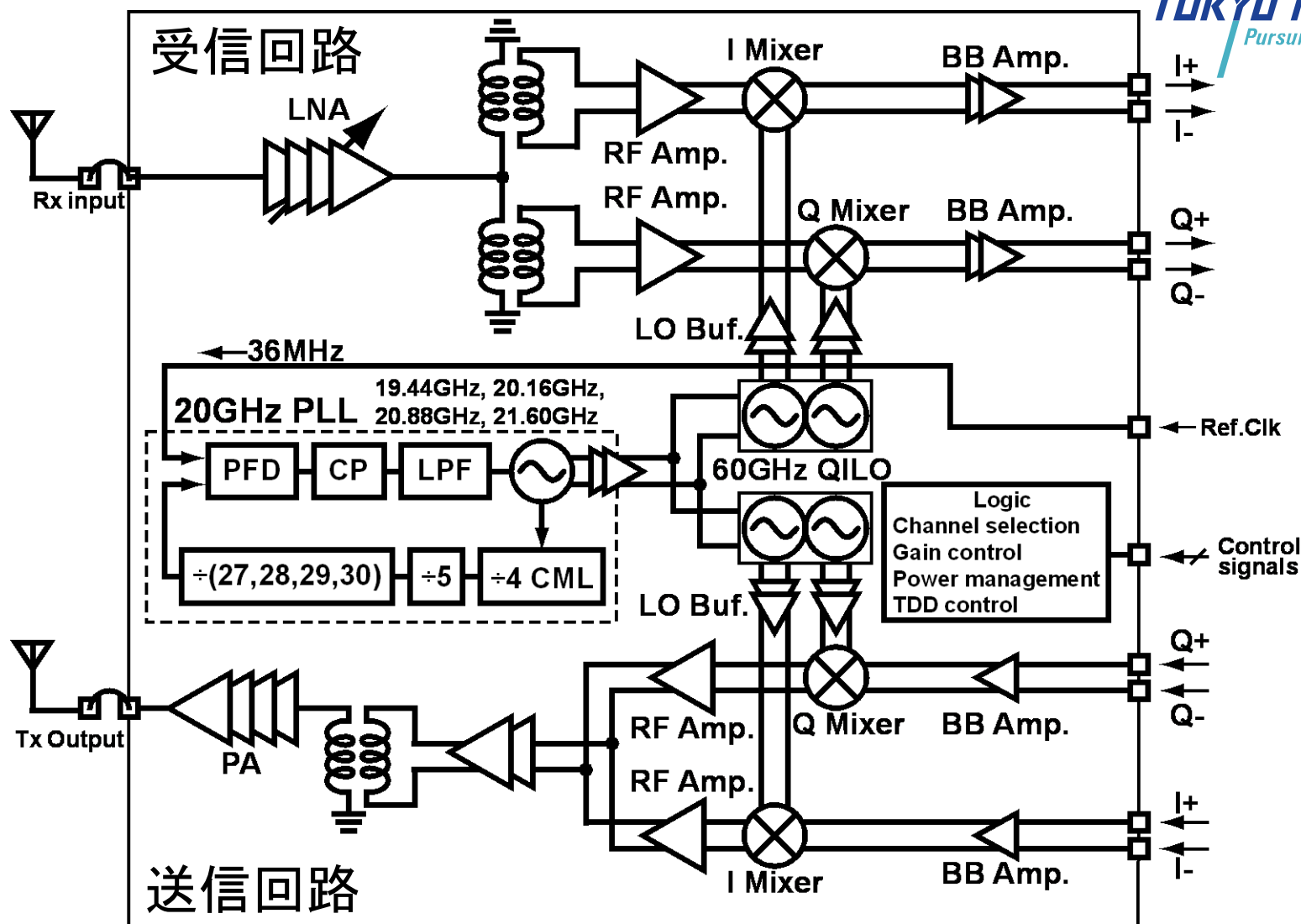
- 57.24 GHz - 65.88 GHz
- 2.16 GHz/ch x 4channels
- QPSK → 3.5 Gbps/ch
- **16QAM → 7 Gbps/ch**



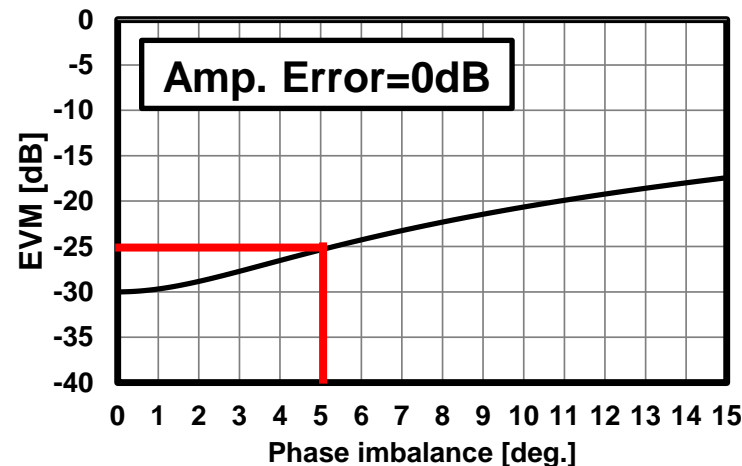
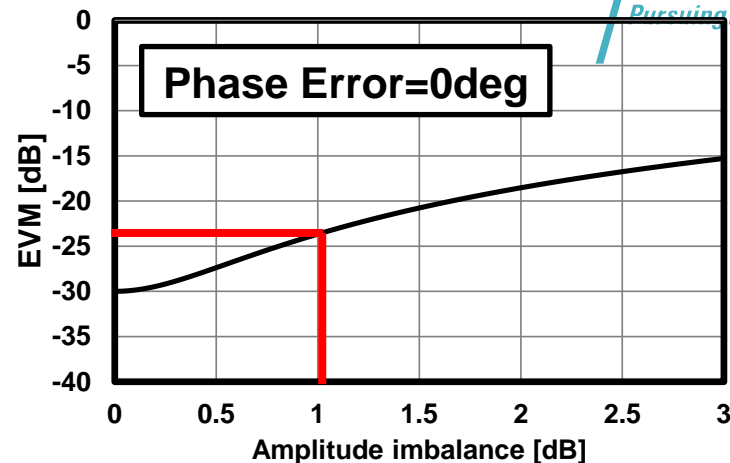
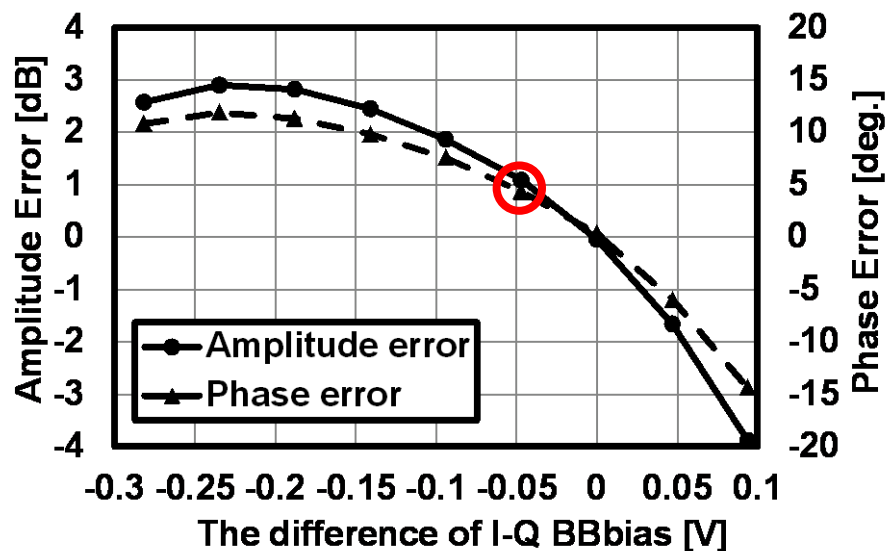
Channel Number	Low Freq. (GHz)	Center Freq. (GHz)	High Freq. (GHz)	Nyquist BW (GHz)	Roll-Off Factor
A1	57.24	58.32	59.40	1.76	0.25
A2	59.40	60.48	61.56	1.76	0.25
A3	61.56	62.64	63.72	1.76	0.25
A4	63.72	64.80	65.88	1.76	0.25



# ブロックダイアグラム



チップ面積と消費電力を低減させるため、**ダイレクトコンバージョン方式**を採用<sup>[1][2]</sup>

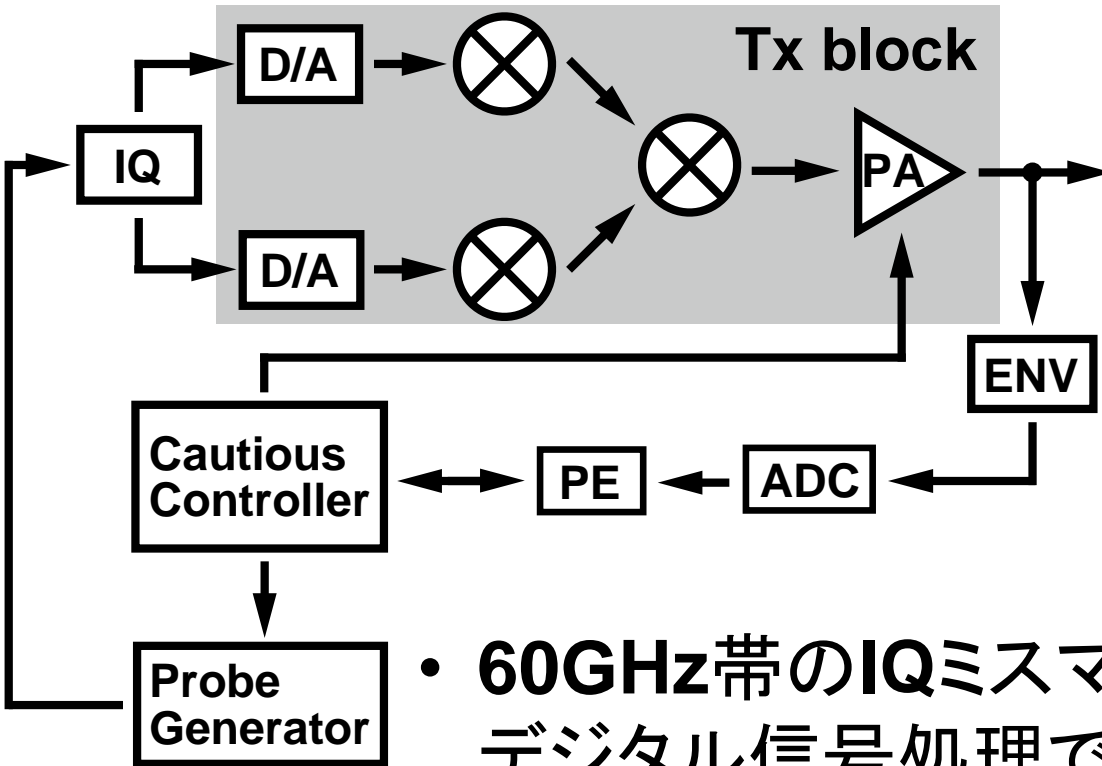


しきい値ばらつきにより容易にEVMが劣化する。

⇒ IQミスマッチのキャリブレーションが必要となる。

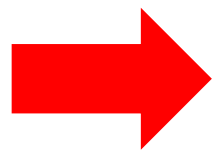
キャリブレーション手順を提案し、IQミスマッチとLOリークを改善する。

# 従来手法とその問題点 [3]



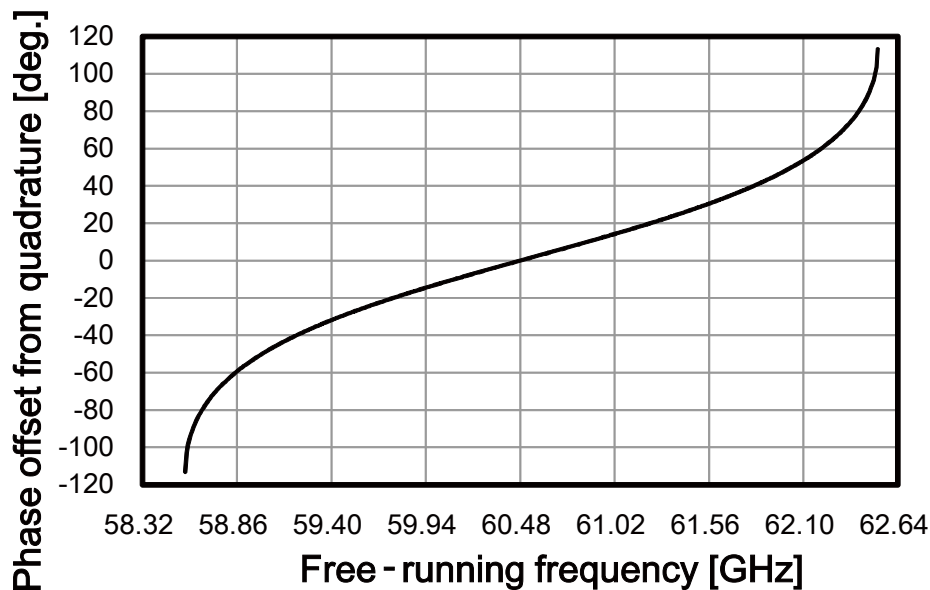
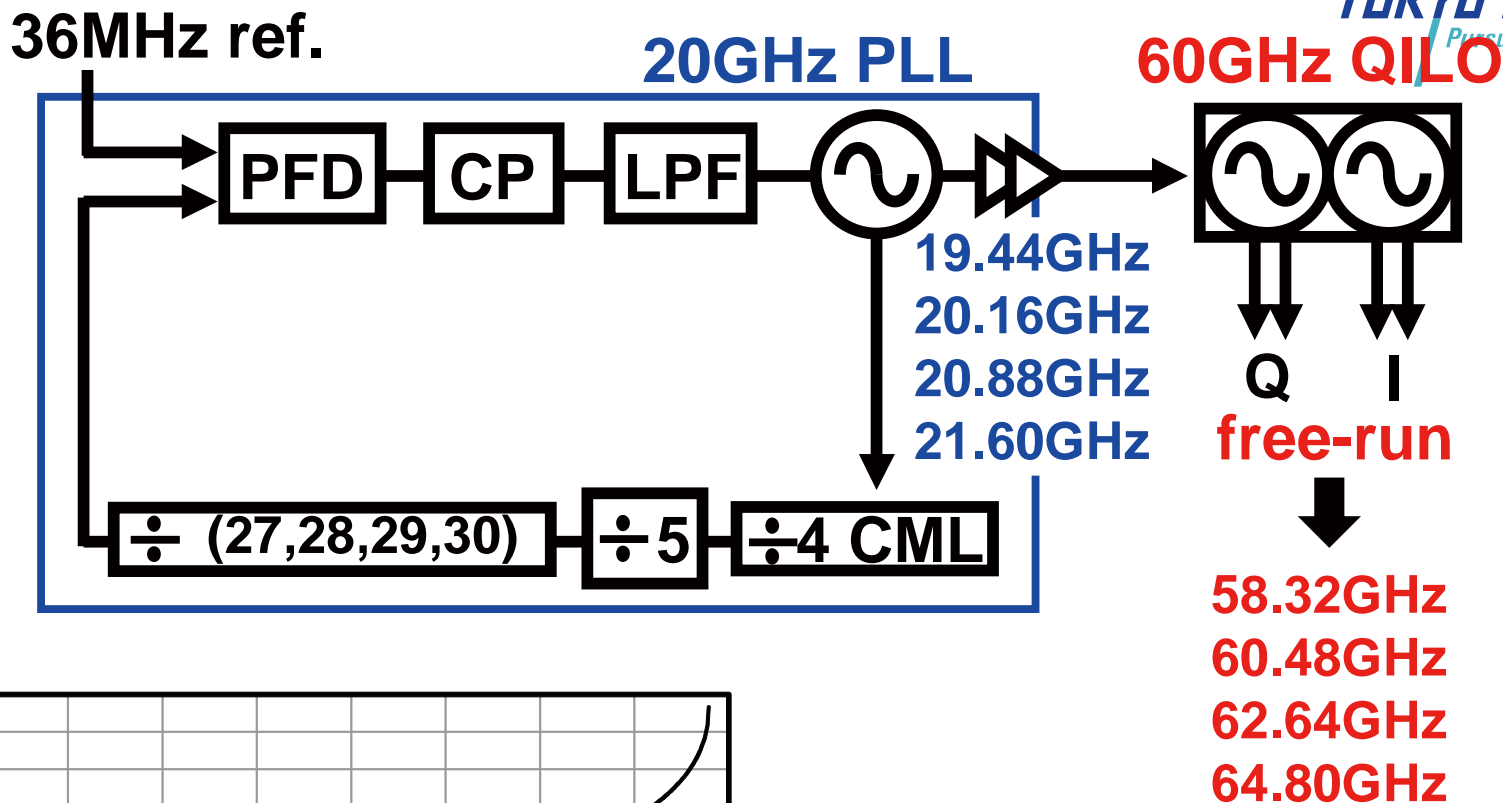
	IQ cal.	消費電力
UCLA [3]	Yes	203 mW (BB回路のみ)
東工大 [2]	NO	220 mW (Rx)

- 60GHz帯のIQミスマッチ補正はBBにおけるデジタル信号処理で行われていた
- 補正回路のみでRF帯と同程度の消費電力を使用する



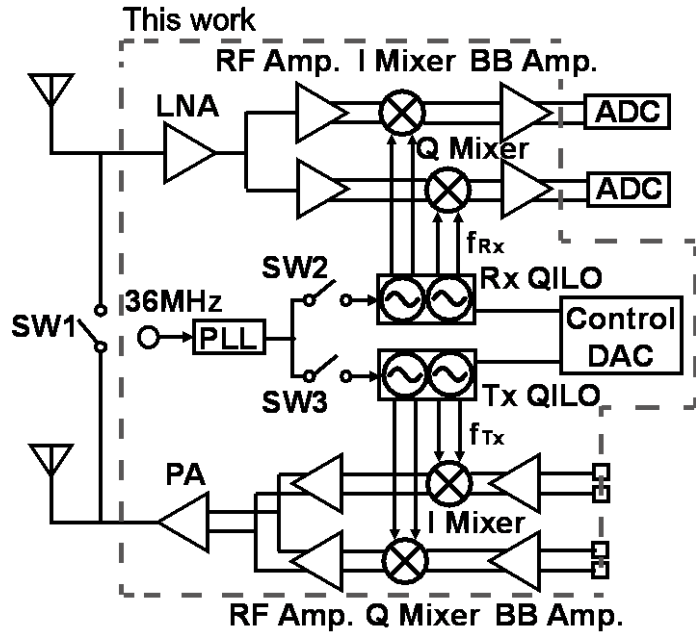
RFコンポーネントでIQミスマッチを補正し、消費電力を抑える

# 位相ミスマッチ補正方法

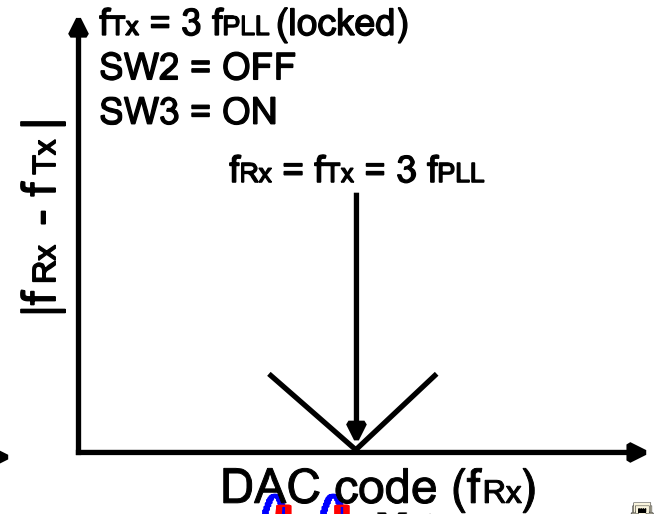
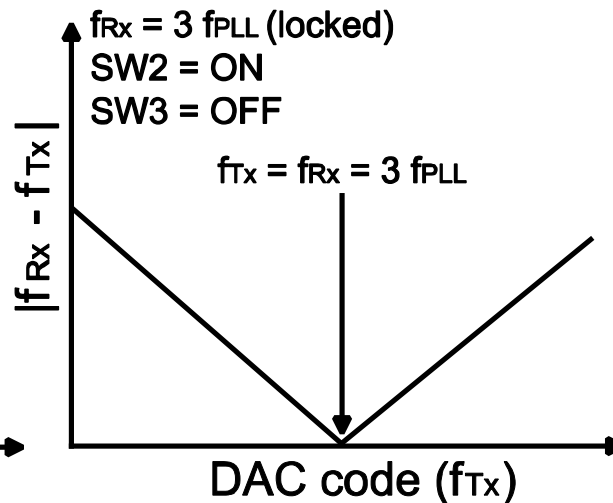
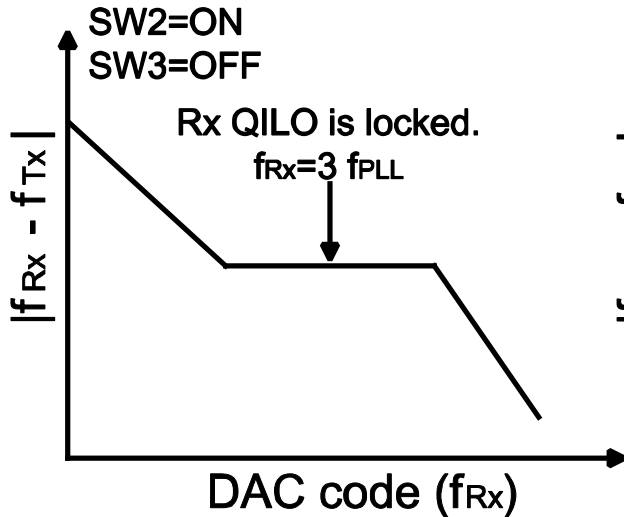


free-run周波数をキャリア周波数からずらすことでIQ位相誤差が生じる

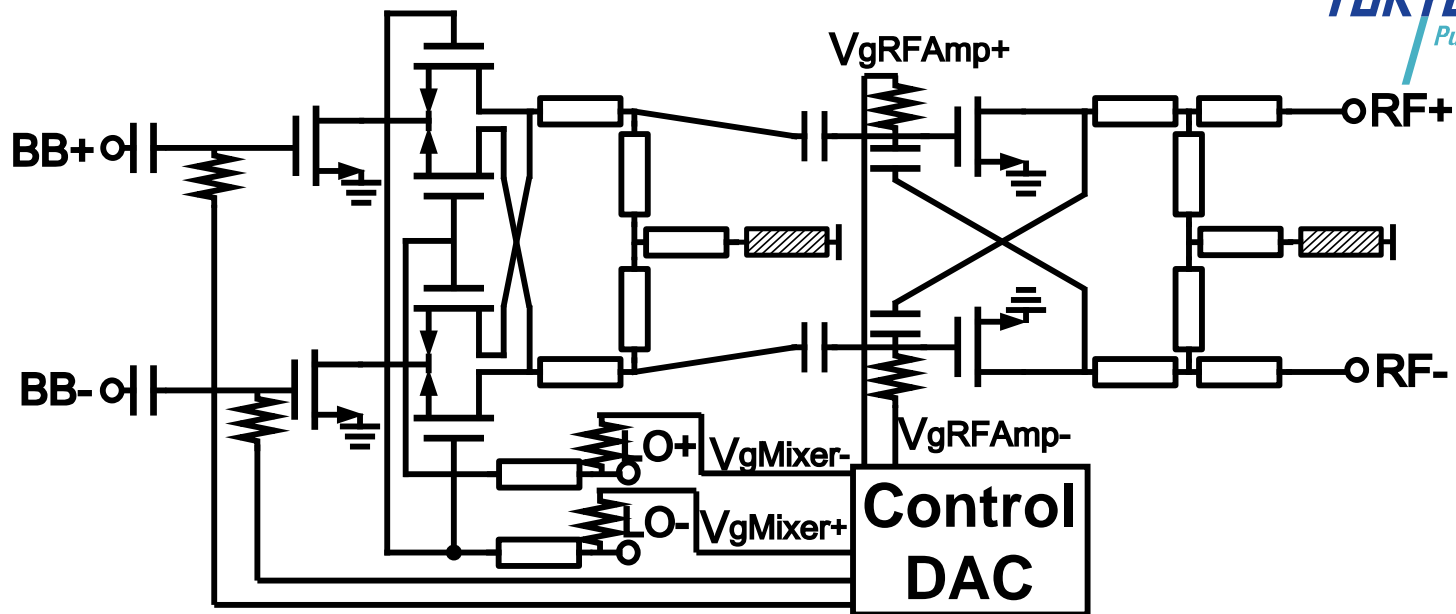
➡ 意図的に誤差を発生させ位相誤差を補正する



- (1) 受信側 (Rx) QILOをロックさせる
- (2) 送信側 (Tx) 入力信号をRxで見ること  
でTx側QILOのフリーラン周波数を調整 (Tx側PLLはOFF)
- (3) Rx側PLLをOFFにし、Rx側QILOのフリーランを調整





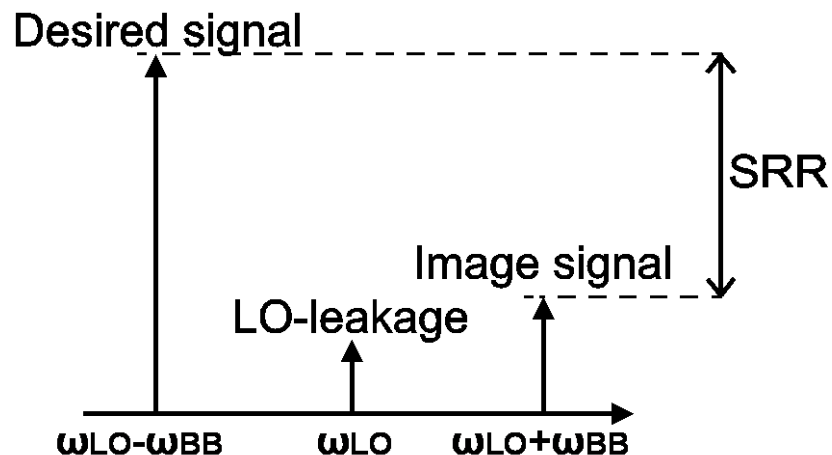


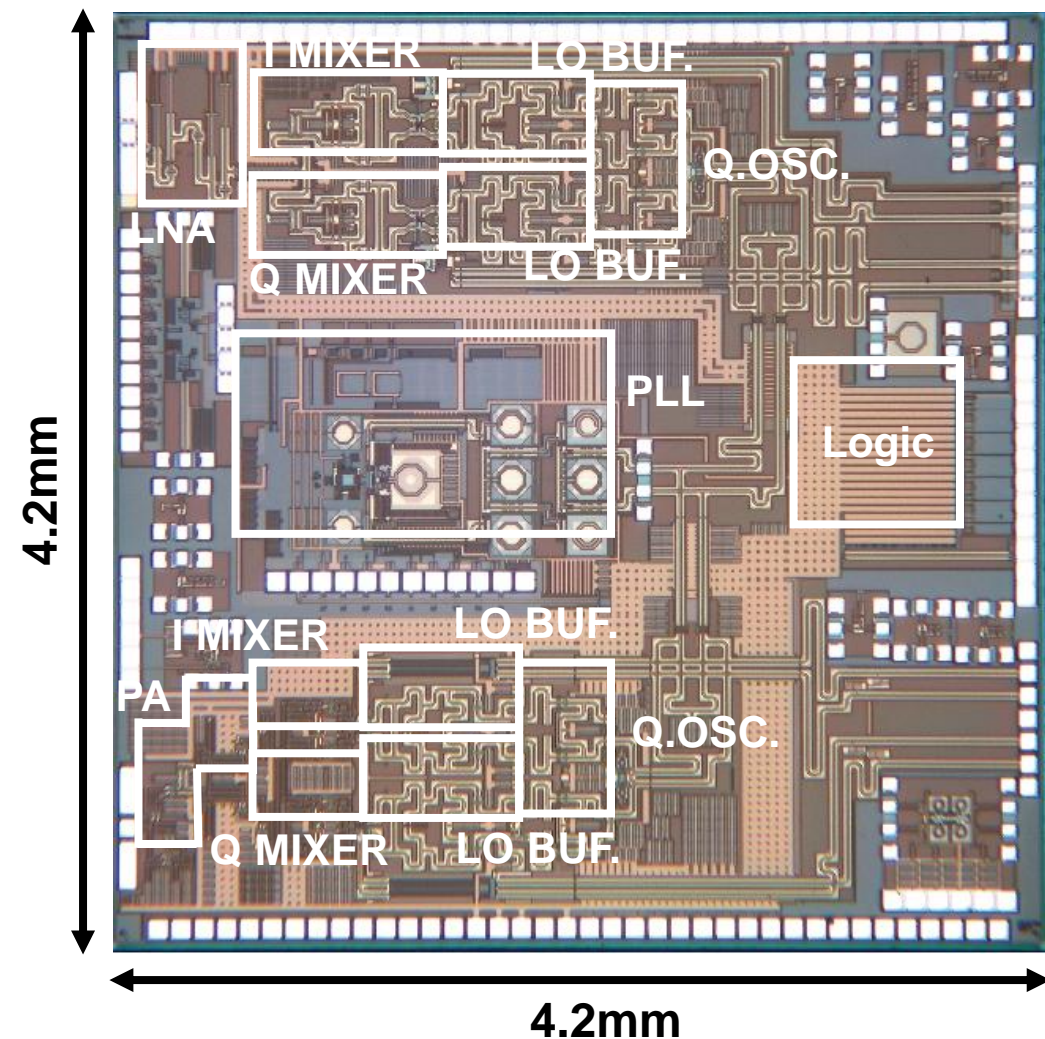
(4) MixerのBB側バイアスを調整することでLOリークを抑制

(5) TxのRF AmpバイアスでI/Qの振幅誤差を調整

(6) TxのQILOのフリーラン周波数で位相誤差を調整

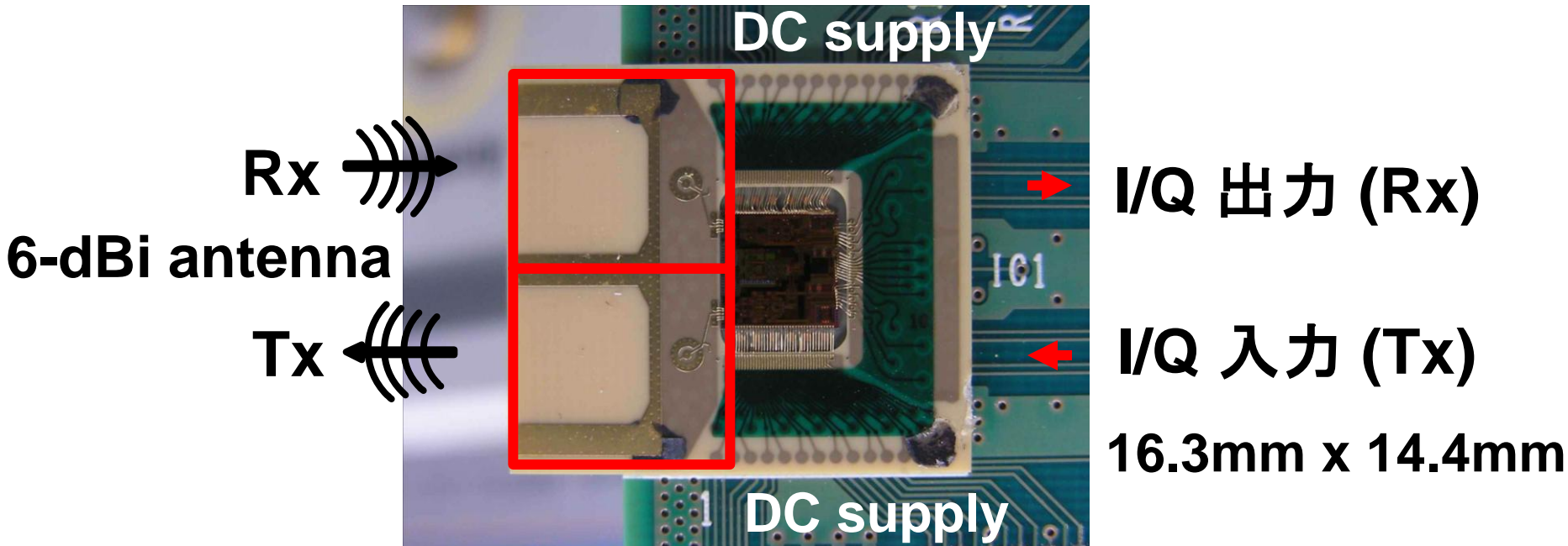
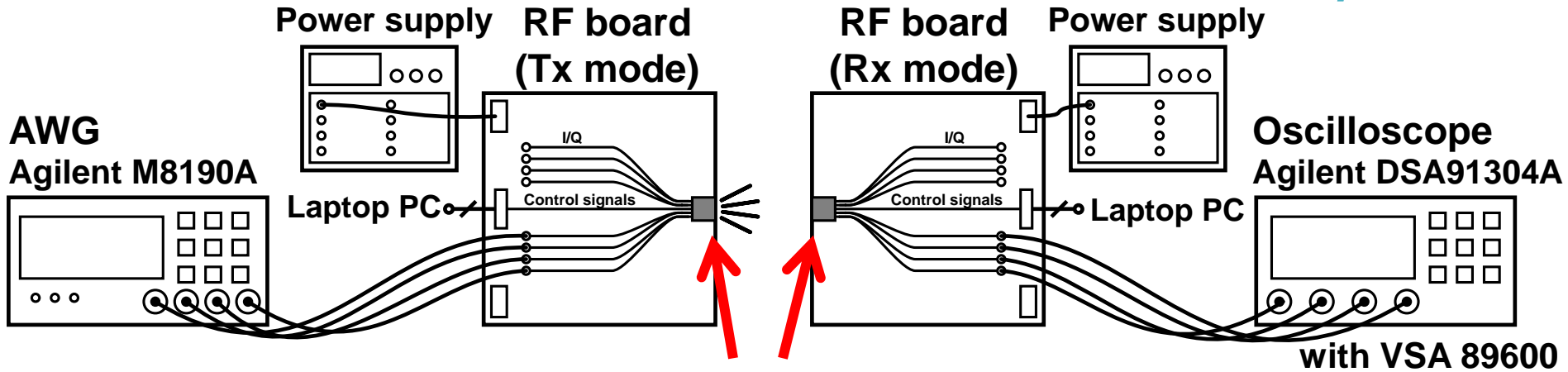
(7) Rxにも同様の調整を行う

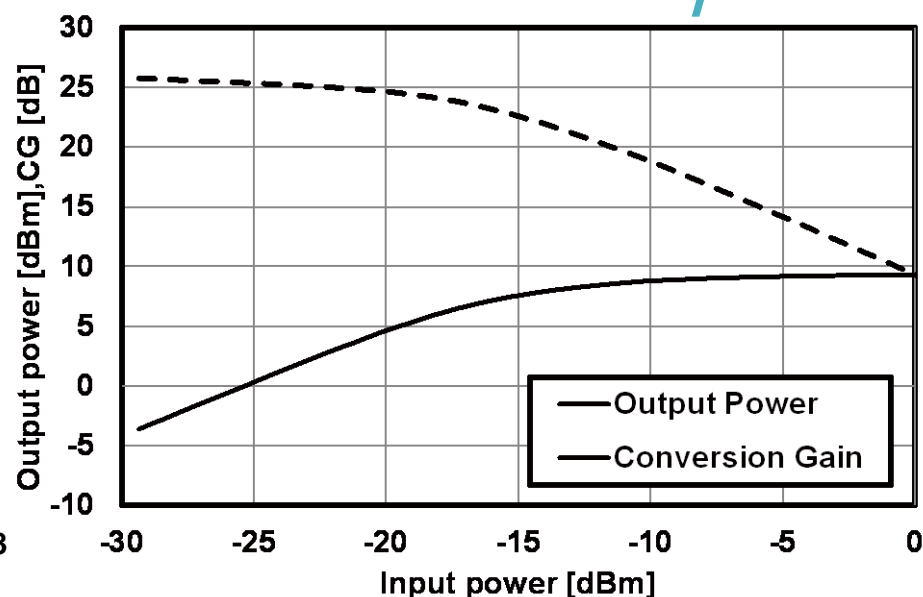
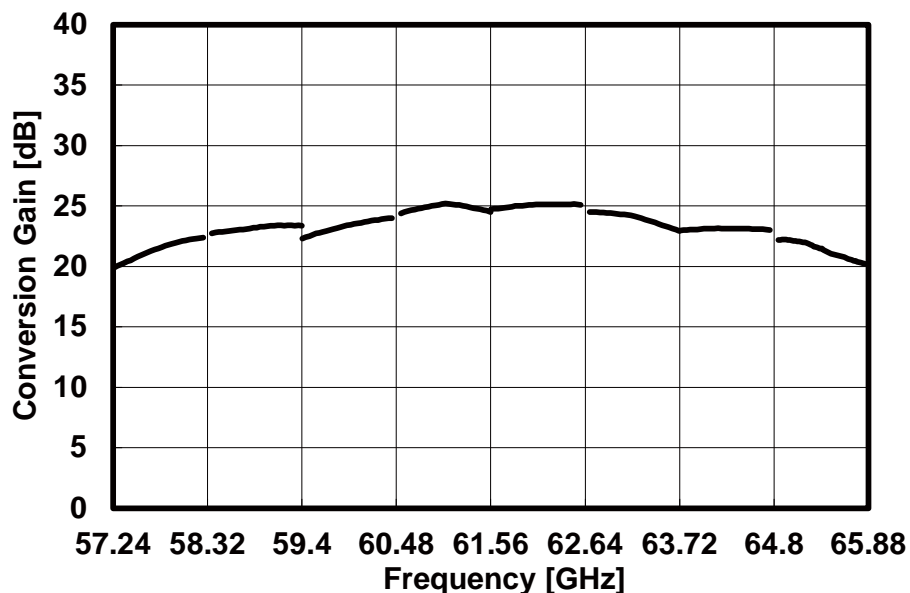




RFチップ	65nm CMOSプロセス	
	面積	消費電力
送信回路	1.52mm <sup>2</sup>	285mW
受信回路	1.63mm <sup>2</sup>	172mW
PLL	1.30mm <sup>2</sup>	66mW
制御回路	0.38mm <sup>2</sup>	0.4mW

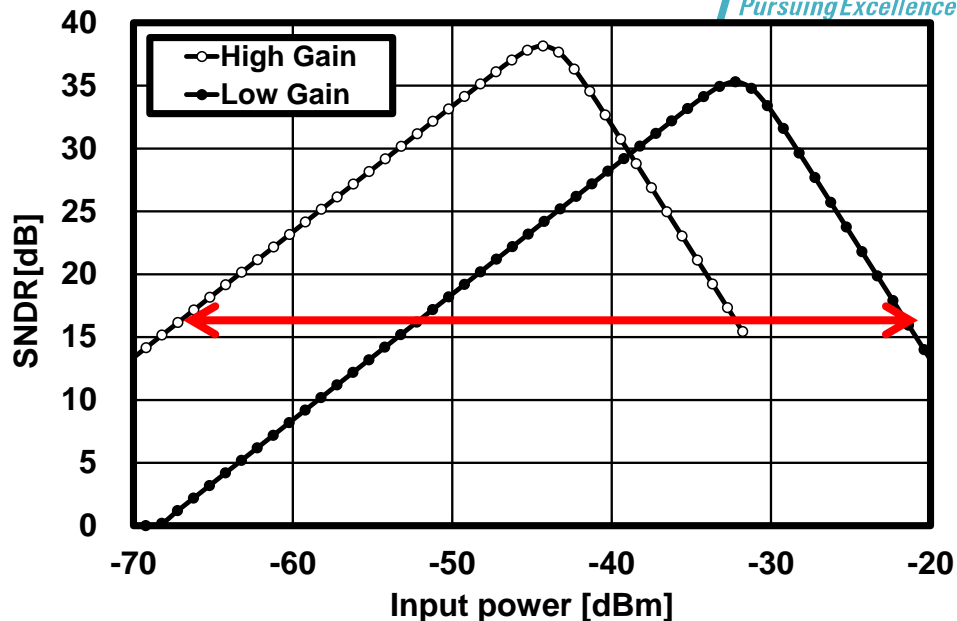
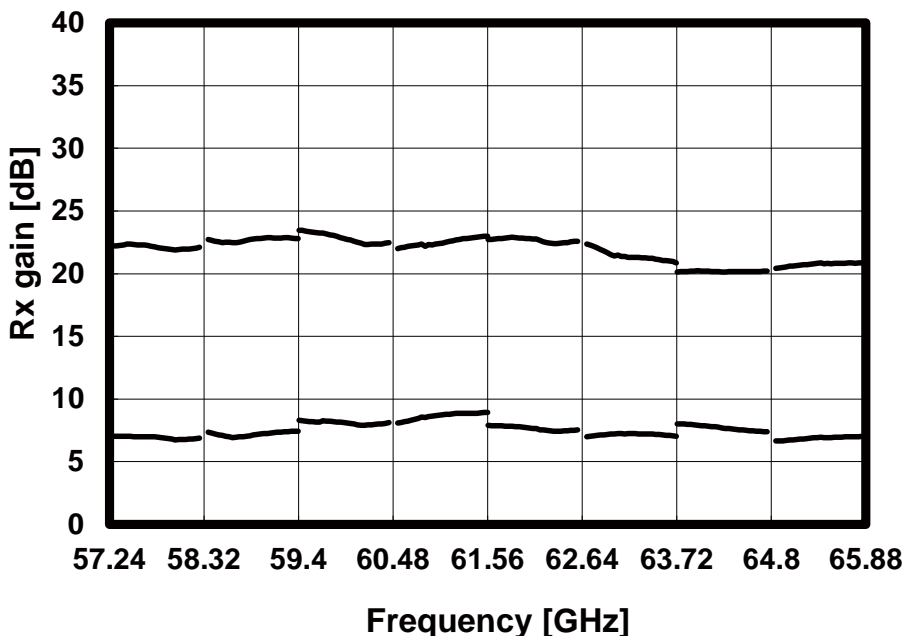
- 全コンポーネントを1枚のチップに集積





- 変換利得: 25 dB
- 1dB利得圧縮出力電力: 4.5 dBm
- 飽和出力電力: 9.6 dBm
- 消費電力: 238 mW

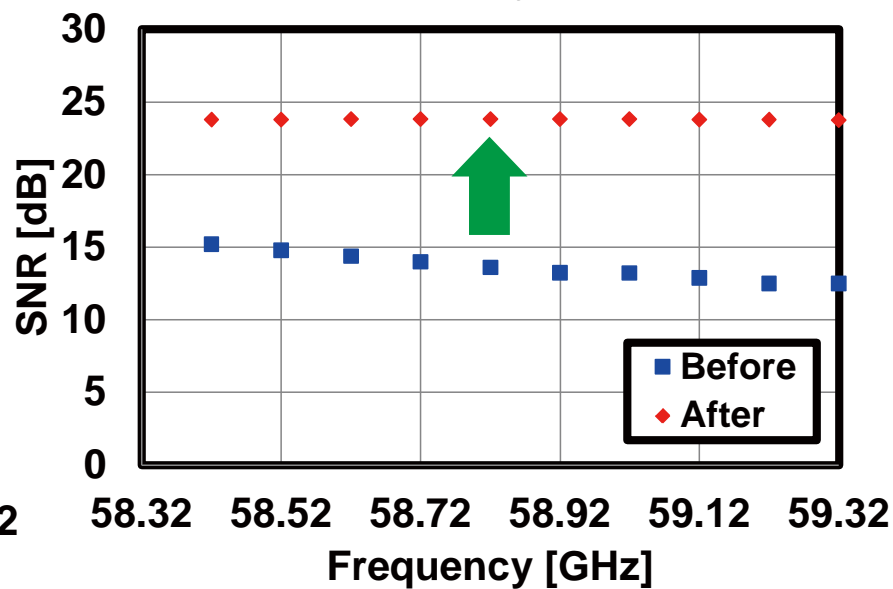
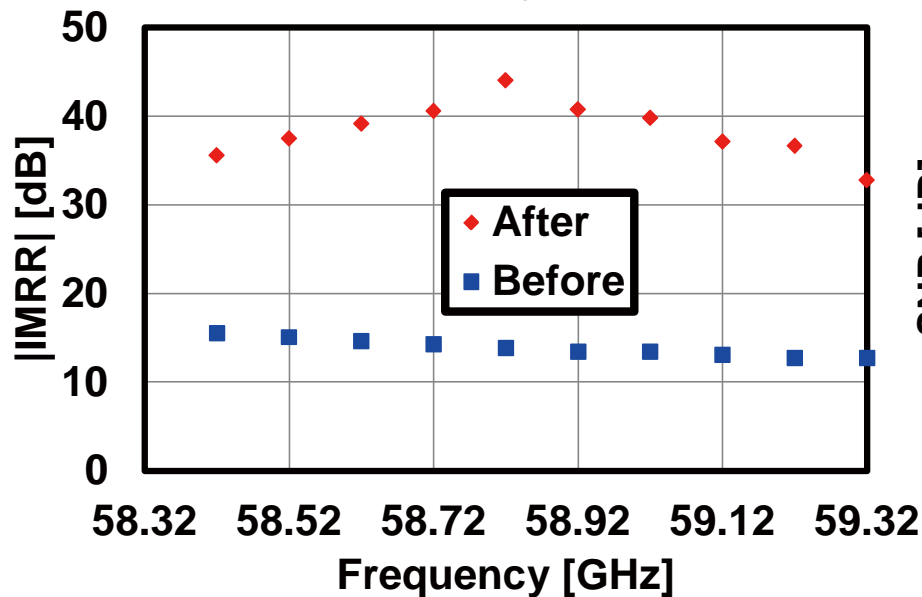
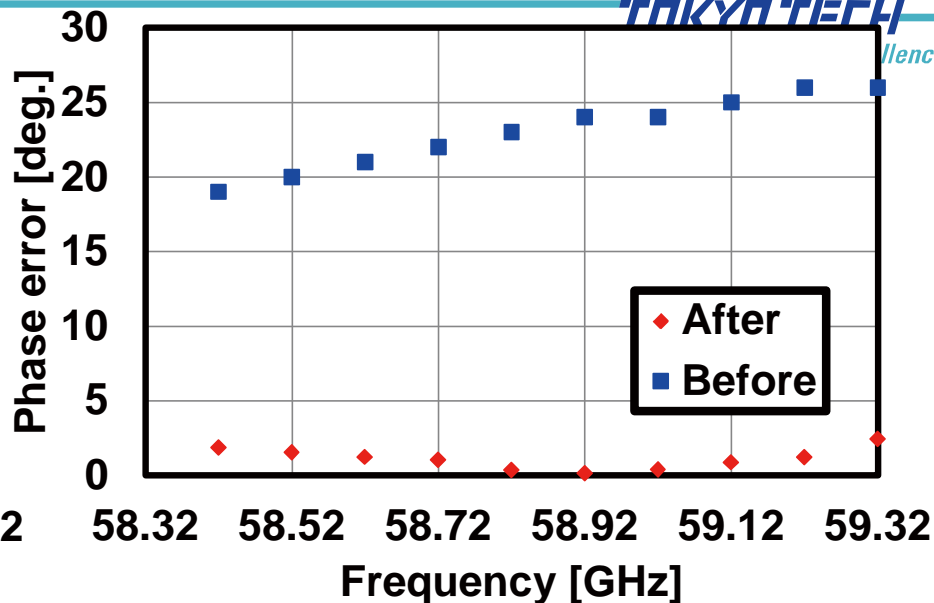
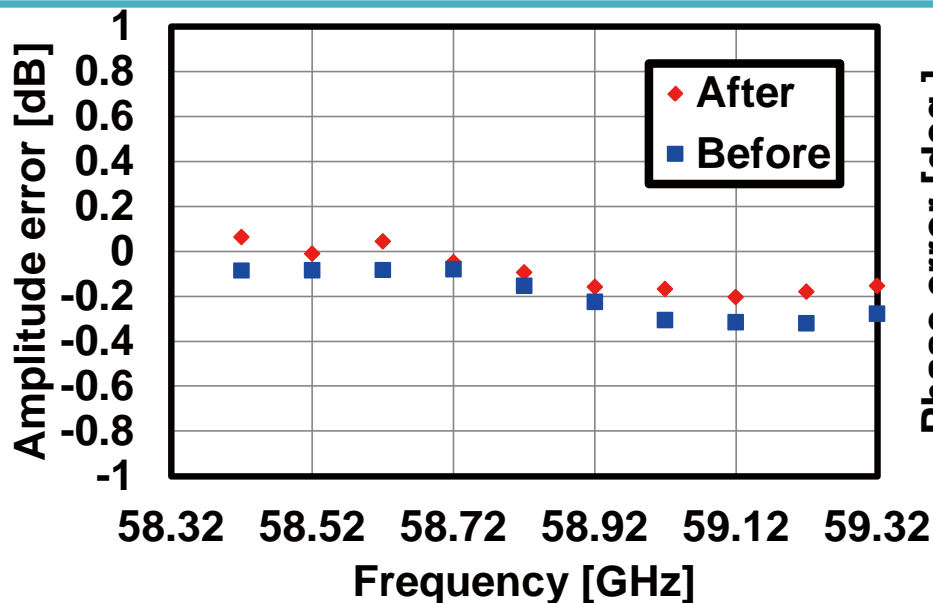
# 受信回路の測定結果



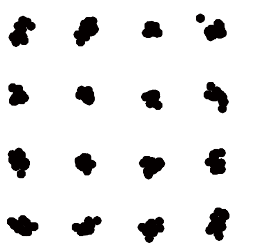
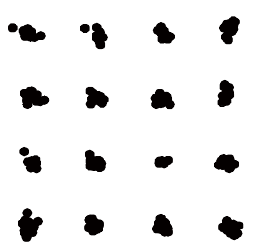
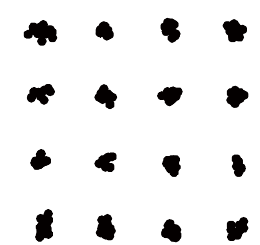
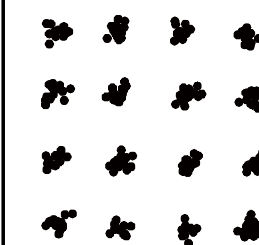
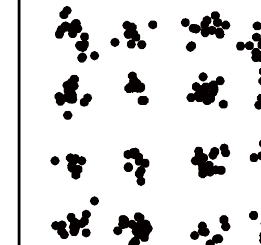
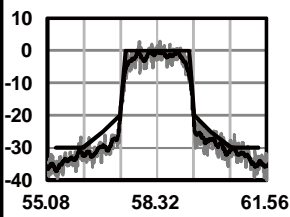
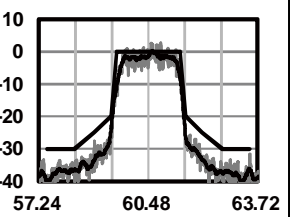
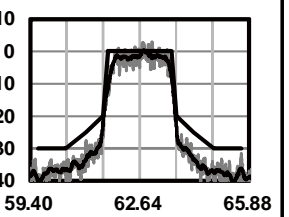
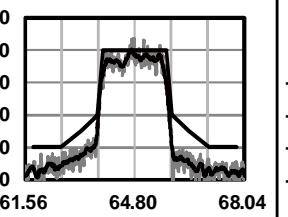
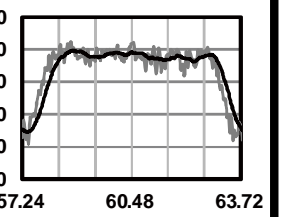
受信回路	測定結果
入力範囲	-56~-25dBm
変換利得	7~23dB
雑音指数	4dB(Ch.1)
IIP3	-14dBm(Ch.1)
消費電力	171mW(16QAM) 120mW(QPSK)

- **-67~-22dBmの範囲で16.2dB以上のSNDRを達成**
- **低消費電力化**

# IQミスマッチ測定結果



10dB以上のSNRの改善

Channel	Ch.1	Ch.2	Ch.3	Ch.4	Max rate (Ch.2)
Constellation					
Spectrum					
Back-off	10 dB	8.4 dB	8.3 dB	5.7 dB	4.2 dB
Date rate	7.0Gb/s	7.0Gb/s	7.0Gb/s	7.0Gb/s	20.0Gb/s
SNR	23.7 dB	22.6 dB	22.5 dB	20.7 dB	17.6 dB
EVM	-26.2 dB	-25.2 dB	-25.2 dB	-23.4 dB	-20.2 dB

\* ロールオフ率0.25。左4列は帯域幅2.16GHz

\*\* BER<math>10^{-3}</math>の条件下での通信距離。6dBiのアンテナを使用



	RF data rate (modulation)	EVM (channels)	Integration	Digital cal.	Power consumption
Tokyo Tech[1]	11Gbps (16QAM) 16Gbps (16QAM)[6]	EVM < -17dB (Ch. 1-2)	Tx, Rx, LO, BGA package with antennas	N/A	252mW (Tx) 172mW (Rx)
Tokyo Tech[2]	11 Gbps (16QAM)	EVM < -23dB (Ch. 1-4)	Tx, Rx, LO, BGA package with antenna	N/A	319mW (Tx) 223mW (Rx)
Toshiba[3]	2.62 Gbps (QPSK)	N/A (Ch. 2 only)	Tx, Rx, LO, BGA package with antenna	N/A	160mW (Tx mode) 233mW (Rx mode)
SiBeam[4]	7.14 Gbps (16QAM)	EVM < -19dB (Ch. 2-3)	Tx, Rx, LO for 32 antennas	N/A	1820mW (Tx) 1250mW (Rx)
IMEC[5]	7 Gbps(16QAM)	EVM < -17dB (Ch. 1-4)	Tx, Rx, w/o PLL	N/A	167mW (Tx) 112mW (Rx)
Panasonic[6]	1.8 Gbps( $\pi/2$ -QPSK)	EVM < -22dB (Ch. N/A)	Tx, Rx, LO, BB	Yes	347+441mW(TxRF+TxBB) 274+710mW(RxRF+RxBB)
This work	<b>20 Gbps (16QAM)</b>	EVM < -25dB (Ch. 1-4)	Tx, Rx, LO, BGA package with antenna	Yes	351mW (Tx) 238mW (Rx)

- [1] K. Okada, et al., ISSCC2011, pp. 160-161 [2] K. Okada, et al., ISSCC2012, pp. 218-219  
 [3] T. Mitomo, et al., ISSCC2012, pp. 266-267 [4] S. Emami, et al., ISSCC2011, pp. 164-165  
 [5] V. Vidojkovic, et al., ISSCC2012, pp. 268-269 [6] T. Tsukizawa, et al., ISSCC2013, pp. 230-231



- 振幅ミスマッチと位相ミスマッチを別々に調整するキャリブレーション手順を提案した
- IEEE802.11adに定められた全4chでの貫通を確認した(EVMは最小で**-26.2dB**)
- 提案したキャリブレーション方法を用い、SNRが**10dB以上**改善することを確認した
- 帯域を広げて通信を行うことで世界最速である**20Gb/s**の無線通信を実現した