

# ミリ波帯受信機における I/Qミスマッチ校正手法の検討

○眞木 翔太郎, 河合 誠太郎,  
岡田 健一, 松澤 昭

東京工業大学大学院 理工学研究科

- 研究背景
- ミリ波帯受信機における課題、研究目的
- I/Qミスマッチ検出回路
  - 従来回路、提案回路
- 測定結果
- 結論

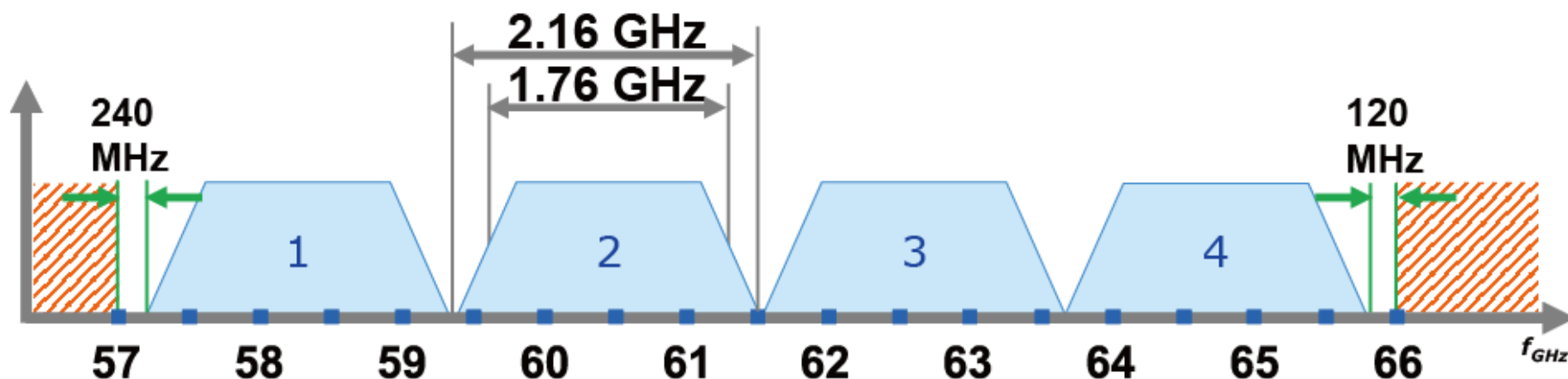
## 60 GHz帯の特徴

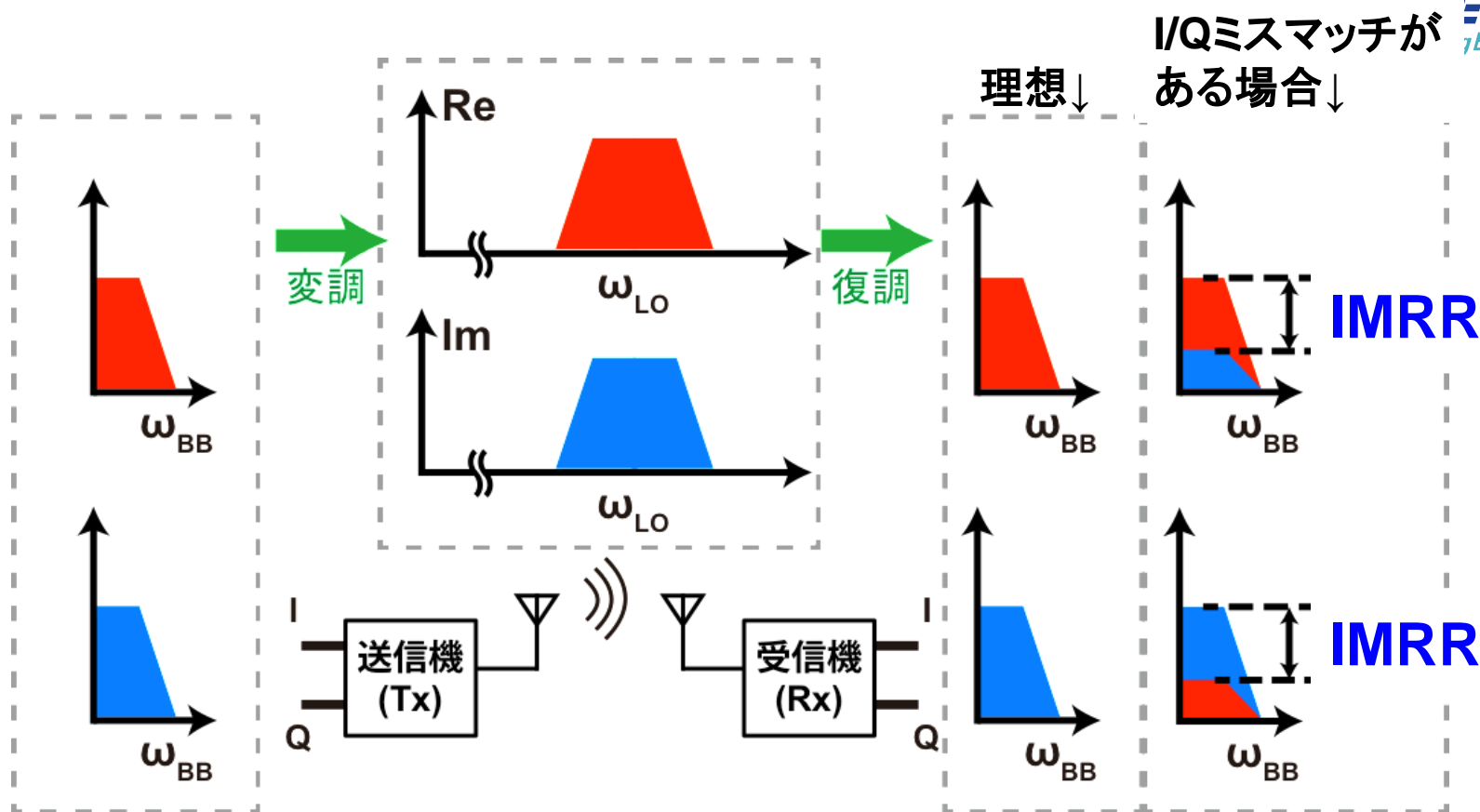
😊 幅広い帯域が無免許で開放されている



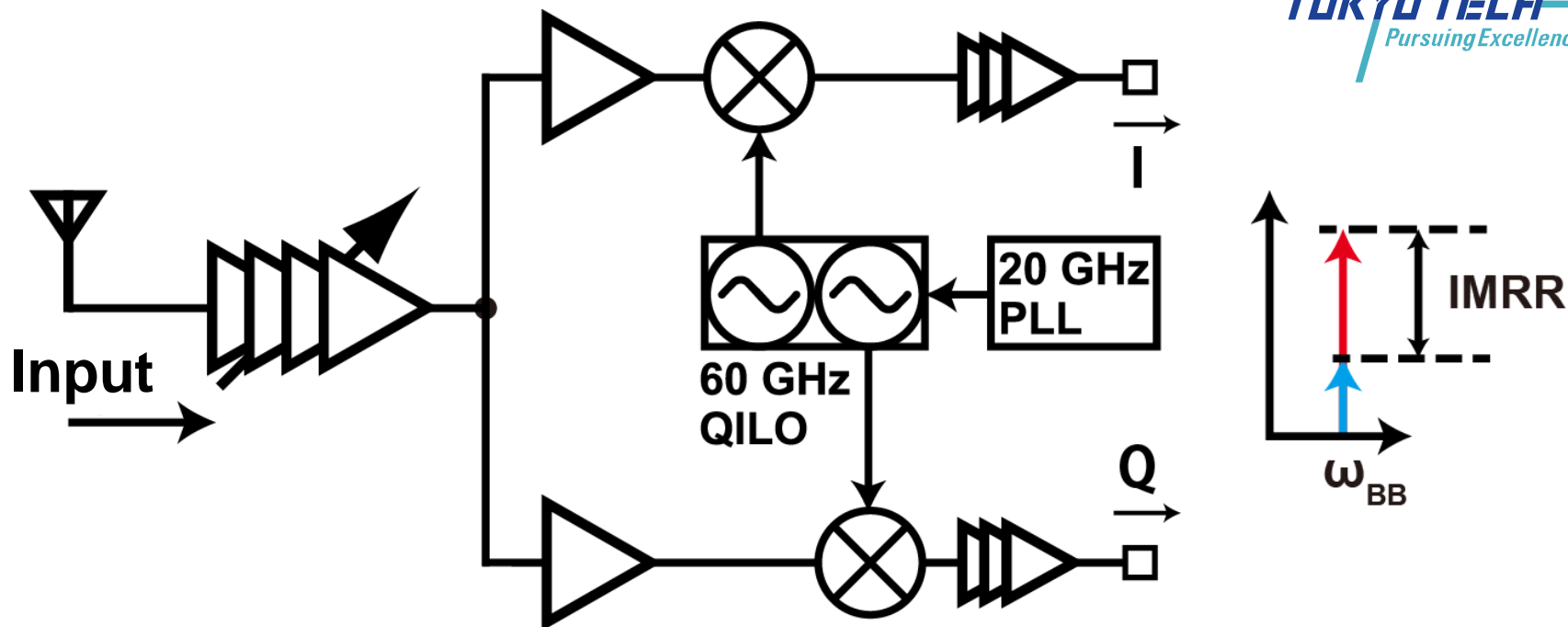
近距離高速無線通信への利用が期待される

- IEEE 802.11ad
  - 57.24GHz – 65.88GHz
  - 2.16GHz/ch x 4ch
  - QPSK ⇒ 3.52Gbps/ch
  - 16QAM ⇒ 7.04Gbps/ch
  - 64QAM ⇒ 10.56Gbps/ch





- 受信機でI/Qのベースバンド信号に分離する
- I/Qミスマッチがあると信号を分離できずイメージ信号が発生
- **|IMRR(イメージ除去比)| > 40 dBc が必要**



受信回路の大まかな構成

## 目的

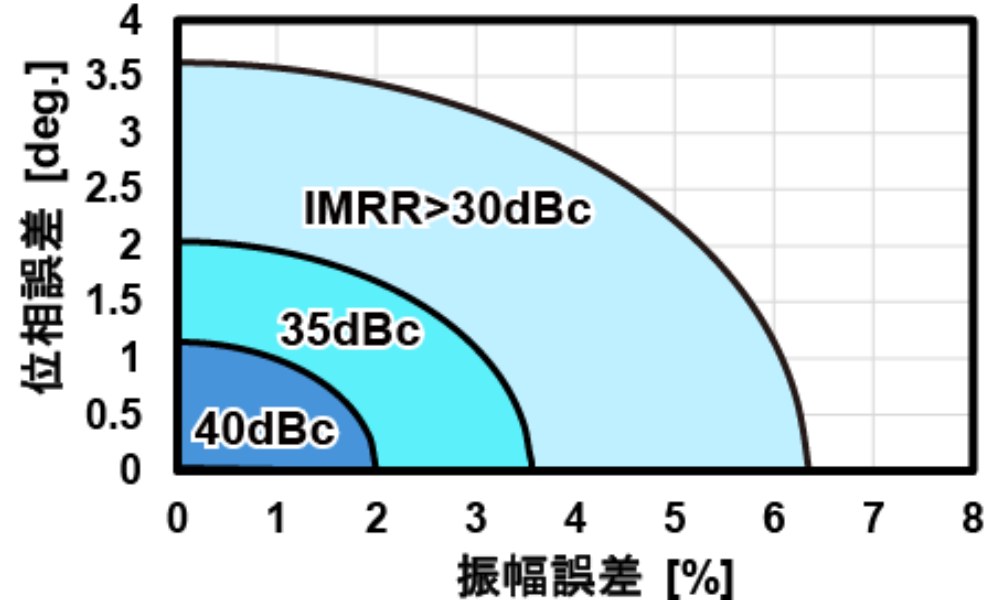
- I/Qミスマッチが大きいとIMRRが劣化
- I/Qミスマッチを校正する機能が必要

- 受信回路のI/Qミスマッチを高精度に検出する

$$|IMRR| \approx \left| \frac{\Delta_A^2 + \Delta_P^2}{4} \right|$$

$\Delta_A$ : I/Qの振幅誤差比率

$\Delta_P$ : I/Qの位相誤差[rad]



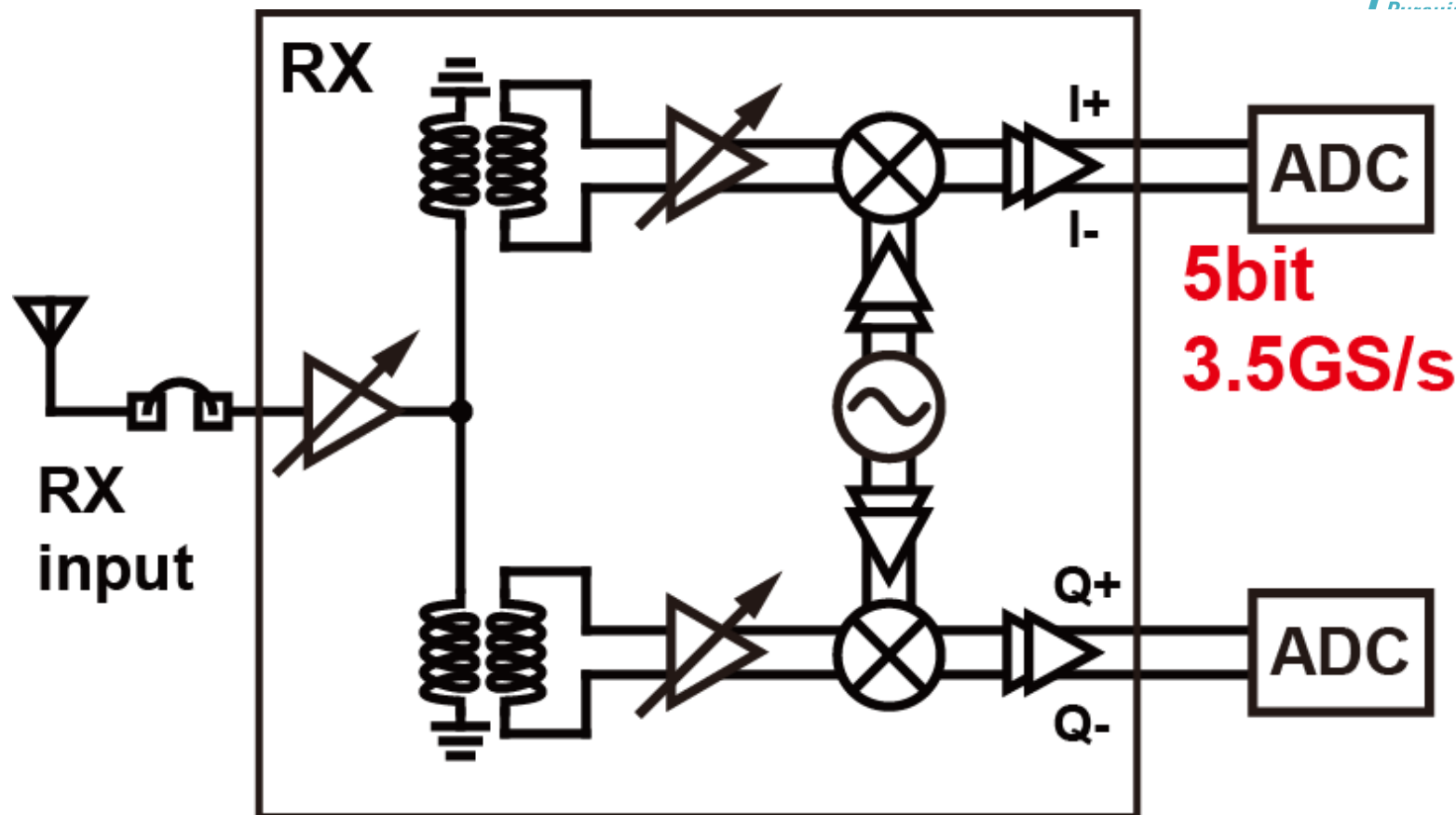
- 40 dBc IMRRを達成するには、以下の条件が必要[1]

$$\Delta_A < 2 \%, \Delta_P < 1 \text{ deg.}$$

- 100 mV振幅の信号の1 deg.の誤差平均  $\Rightarrow$  1.11 mV

**➡ 検出に10 bitのA/D変換器が必要**

[1] B. Razavi, et al., IEEE Transactions on Circuits and Systems, Jun. 1997.



- ⊖ ミリ波通信はBB帯が広く(0~1GHz)、高速A/D変換器が必要
- ⊖ 分解能が低く、高精度な検出ができない

[2] T. Tsukizawa, *et al.*, ISSCC, Feb. 2013.

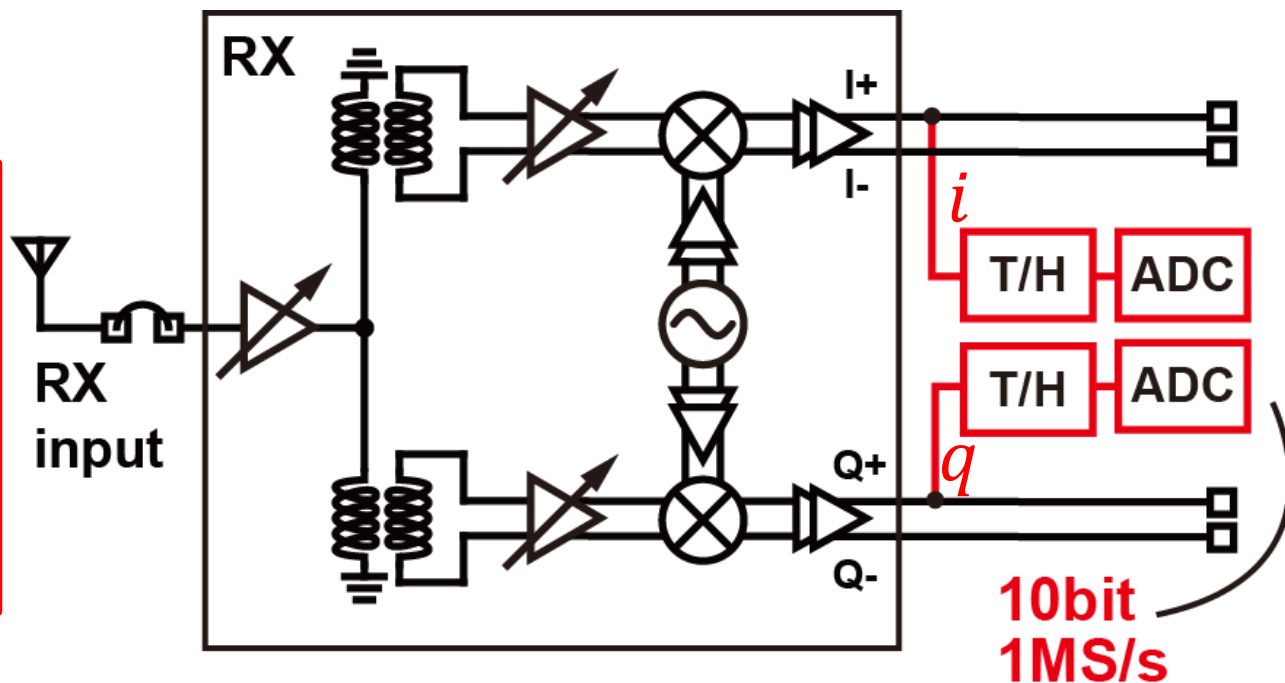
I/Qミスマッチを  
瞬時電圧から計算[3]↓

$$\alpha \approx |\text{LPF}(i^2 - q^2)|$$
$$\theta \approx |2 * \text{LPF}(iq)|$$

$\alpha$ : 振幅誤差

$\theta$ : 位相誤差

LPF(x): 平均化

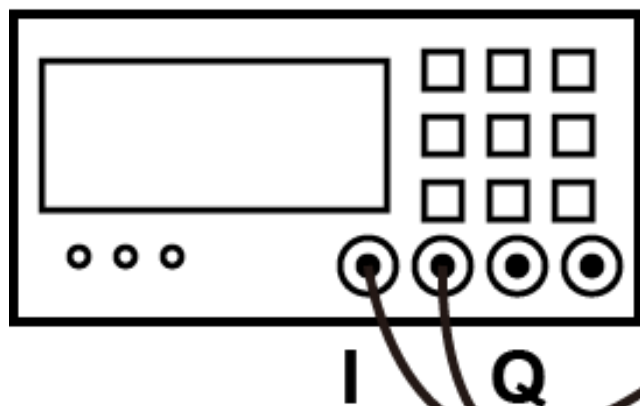


- ☺ 瞬時電圧のみを取得⇒低速・高分解能ADCを利用可能
- ☺ 高速T/Hを使うことでアパーチャ効果を回避

[3] S. Lerstaveesin, et al., JSSC, Dec. 2006.



信号発生器  
(受信回路の出力)



マイコン

ADC

10bit, 1MS/s

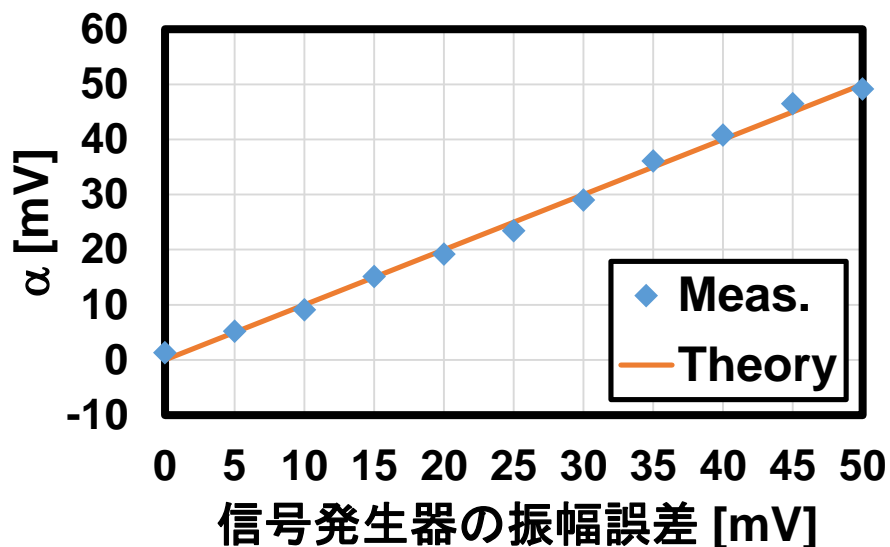


PC

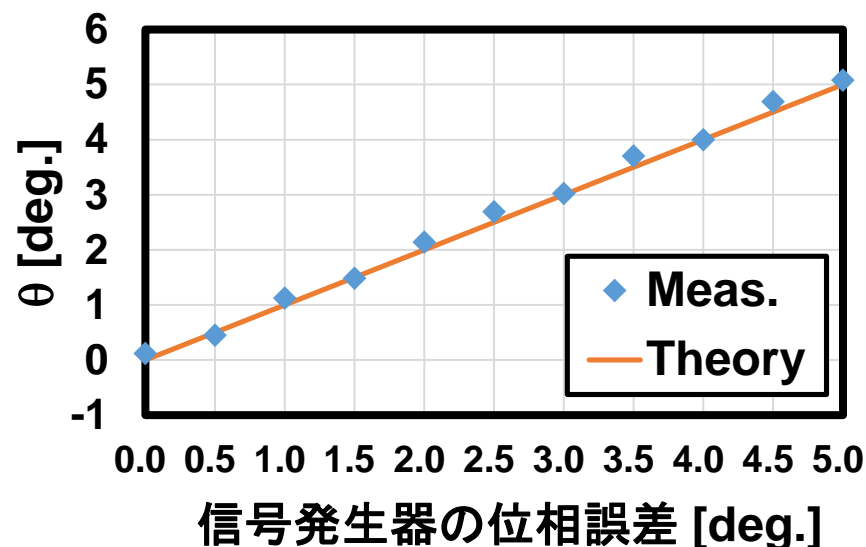


- **信号発生器**でI/Qミスマッチを故意に発生
- 信号周波数: 10 kHz
  - ADCの速度が十分に速いため、アパーチャ効果は無視

## 振幅誤差



## 位相誤差



- 信号振幅: 1 V、周波数: 10 kHz
- 2%の振幅誤差、1deg. の位相誤差を検出
- I/Qミスマッチを高精度に検出することができた

- **まとめ**

- ミリ波帯受信機におけるI/Qミスマッチの検出方法について検討した
- トラックアンドホールド回路および瞬時電圧を用いた高精度な検出手法を提案した
- 提案手法によって正しく検出が行えるかどうか、測定によって確かめた

- **今後の課題**

- 実際の受信機のI/Qミスマッチを検出できるか検証する
- 検出した情報をもとにどのようなアルゴリズムで自動校正できるか検討する
- チップを試作し、検証する

ご清聴ありがとうございました