

# 3パラメータPADモデルを用いた ミリ波帯高精度モデリング

◎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  
電子物理工学専攻 松澤・岡田研究室

- 研究背景, 目的
- ディエンベディング
- 従来の2パラメータPADモデル
- 3パラメータ PADモデル(提案手法)
- シミュレーションと実測結果比較
- まとめ

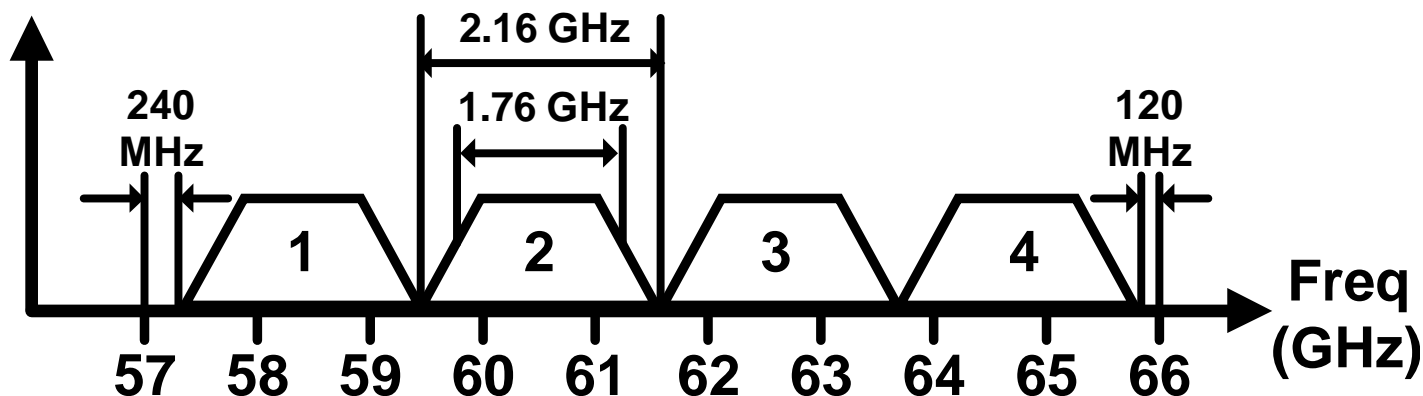
## 60GHz帯を用いたGbps級無線通信

### IEEE 802.11ad specification

- 57.24GHz – 65.88 GHz
- 2.16GHz/ch x 4ch
- **10.56Gbps/ch** in 64QAM

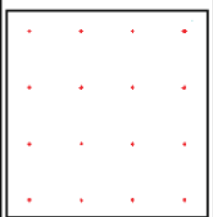
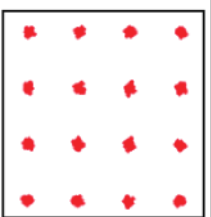
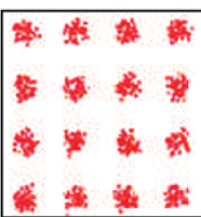


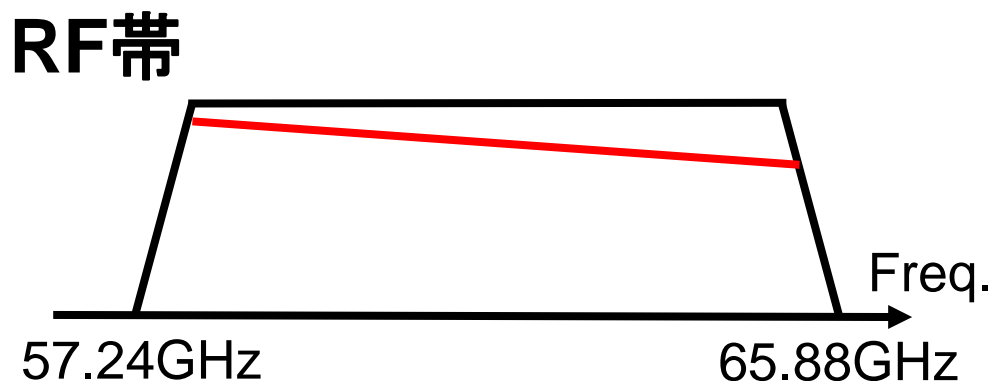
64QAM x 4 channels → **42Gbps**



## 通信精度の劣化要因

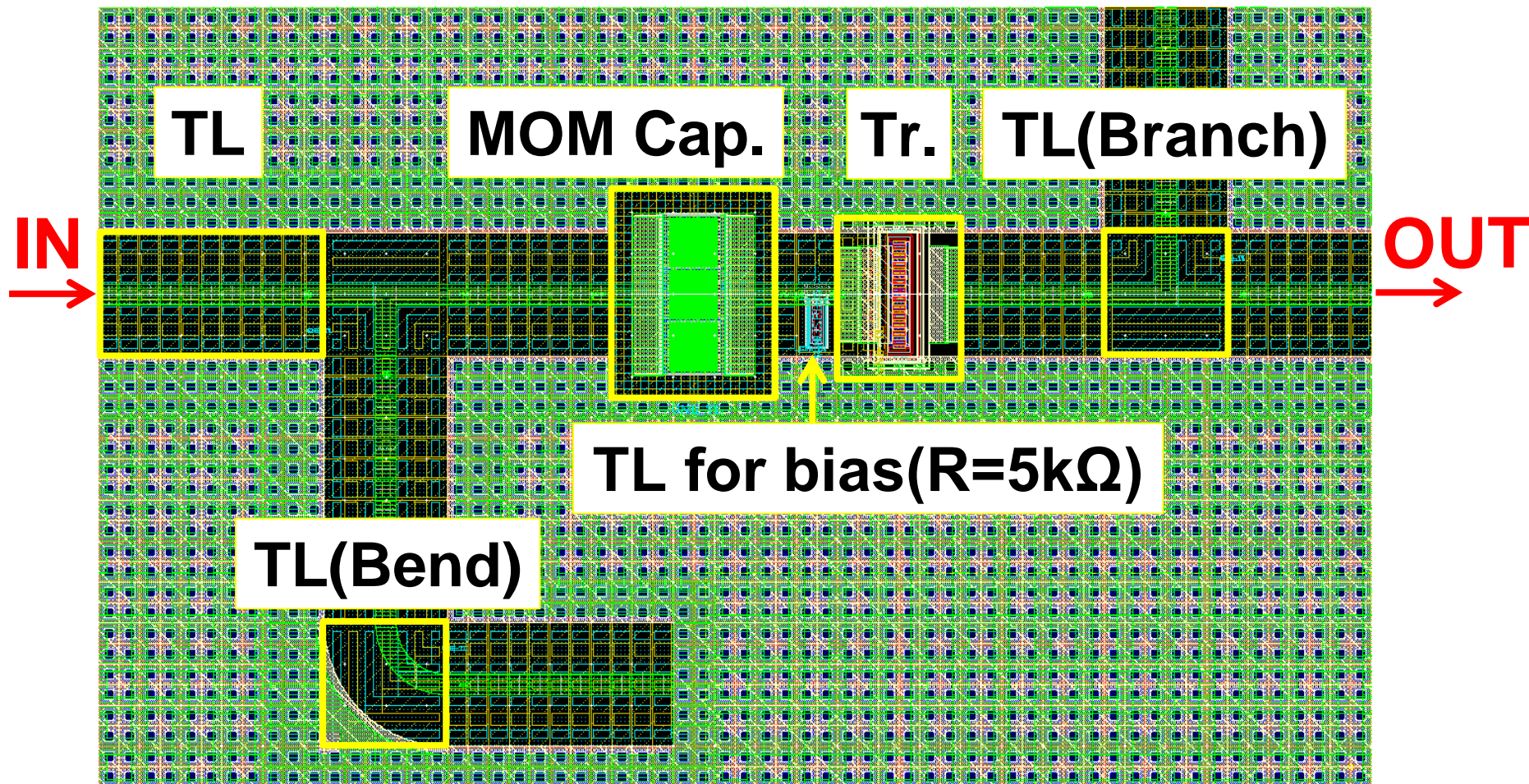
- 位相雑音[1]
- IQミスマッチ[2]
- **利得平坦性**

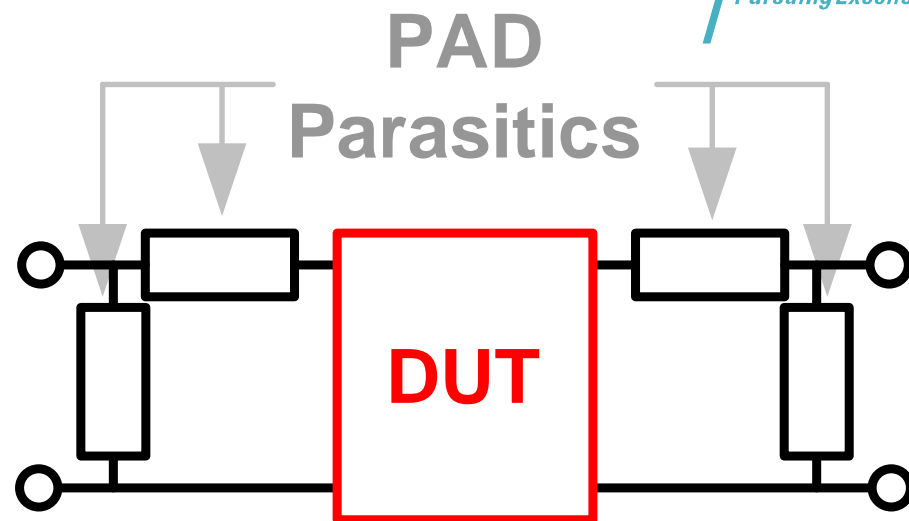
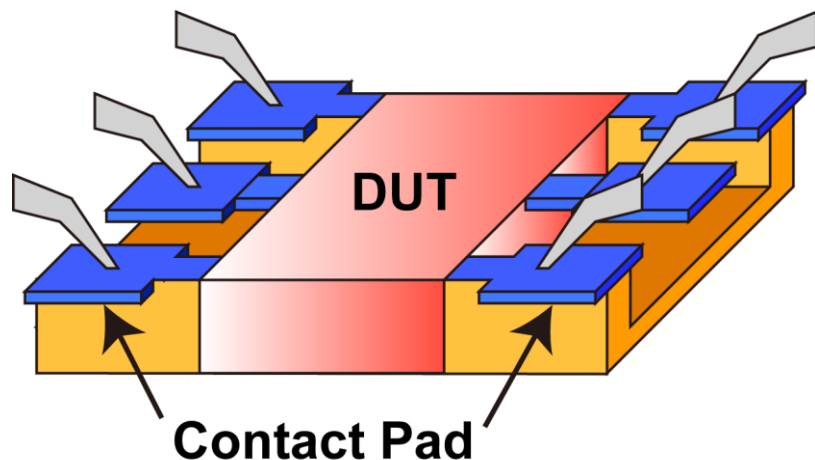
Gain Flatness	0dB	1dB	2dB
EVM	-	-22dB	-18dB
Constellation			



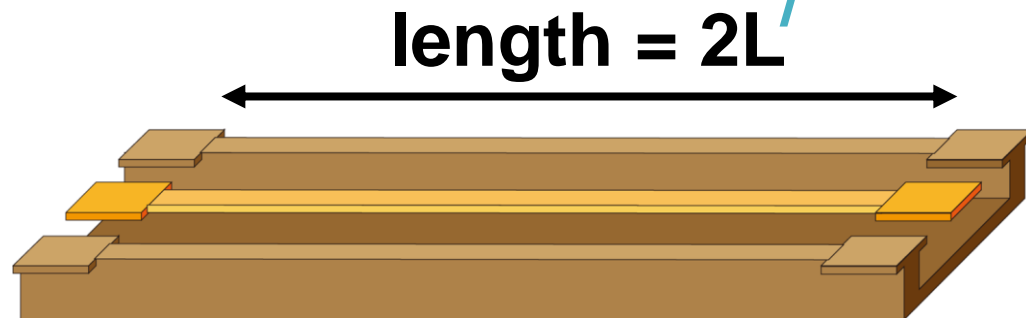
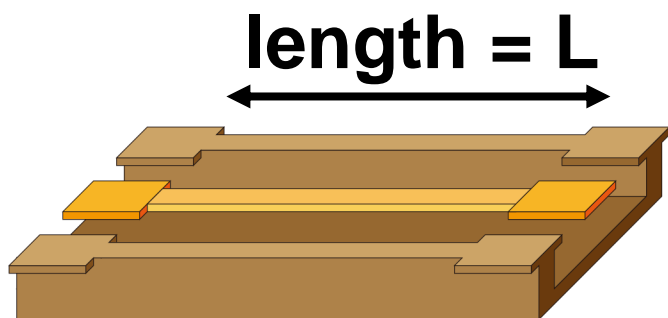
RF帯における広帯域利得平坦性確保のための  
高精度シミュレーションモデルの実現

[1] A. Musa, *et al.*, JSSC2011. [2] S. Kawai, *et al.*, RFIC 2013.





- 実測結果はPAD等の寄生容量を込む  
→ 寄生素子の影響を取り除く必要がある
- ディエンベディングはモデリングの初期段階  
→ **全ての素子のモデリング精度に影響する**

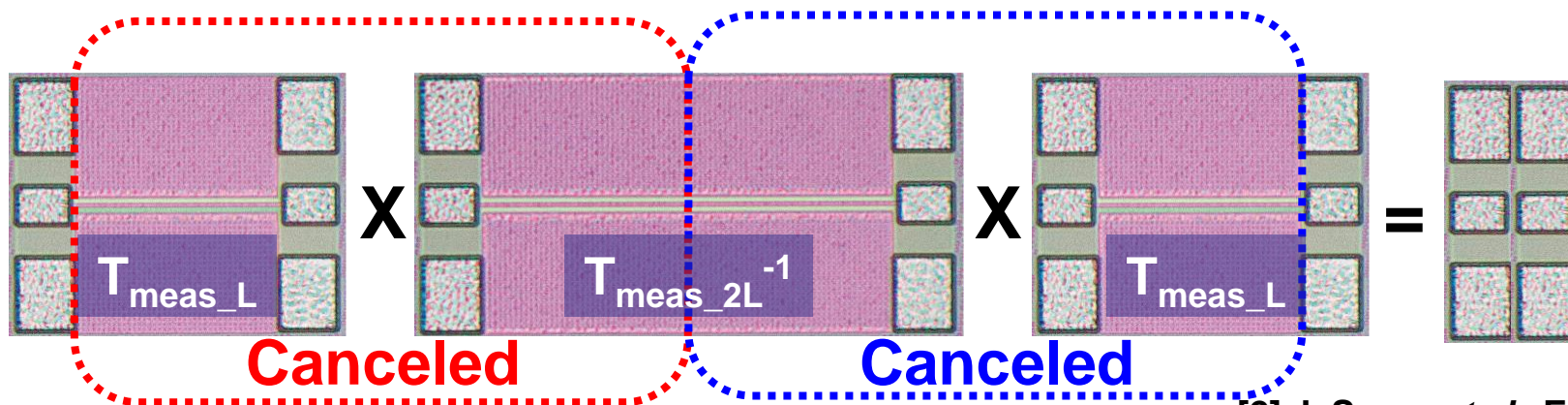


$$T_{\text{meas}_L} = T_{\text{LPAD}} T_L T_{\text{RPAD}}$$

$$T_{\text{meas}_{2L}} = T_{\text{LPAD}} T_{2L} T_{\text{RPAD}}$$

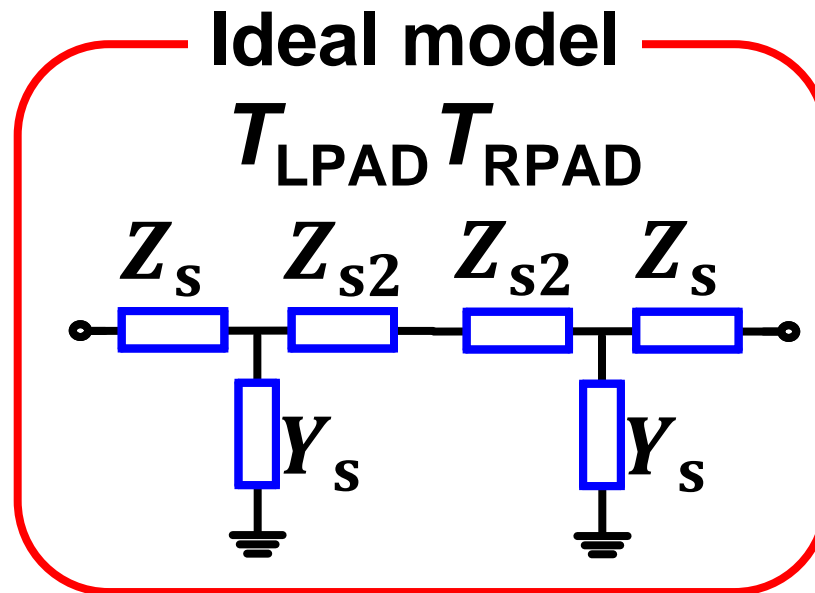
$$(T_{2L} = T_L^2)$$

$$T_{\text{meas}_L} T_{\text{meas}_{2L}}^{-1} T_{\text{meas}_L} = T_{\text{LPAD}} T_{\text{RPAD}}$$



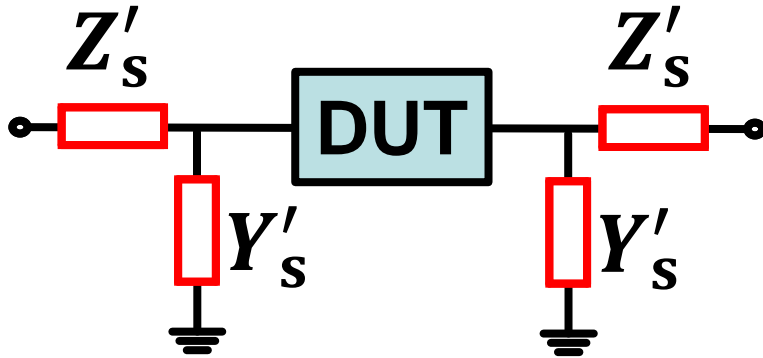
[2] J. Song, et al., EPEP2014

- 伝送線路の測定結果は対称であり、 $T_{LPAD} T_{RPAD}$  も対称
  - $T_{11} = T_{22}$ ,  $T_{12} = T_{21}$
  - 2パラメータのみしか得ることができない
- $T_{LPAD}$ ,  $T_{RPAD}$  は非対称受動素子
- 3パラメータによるモデリングが必要

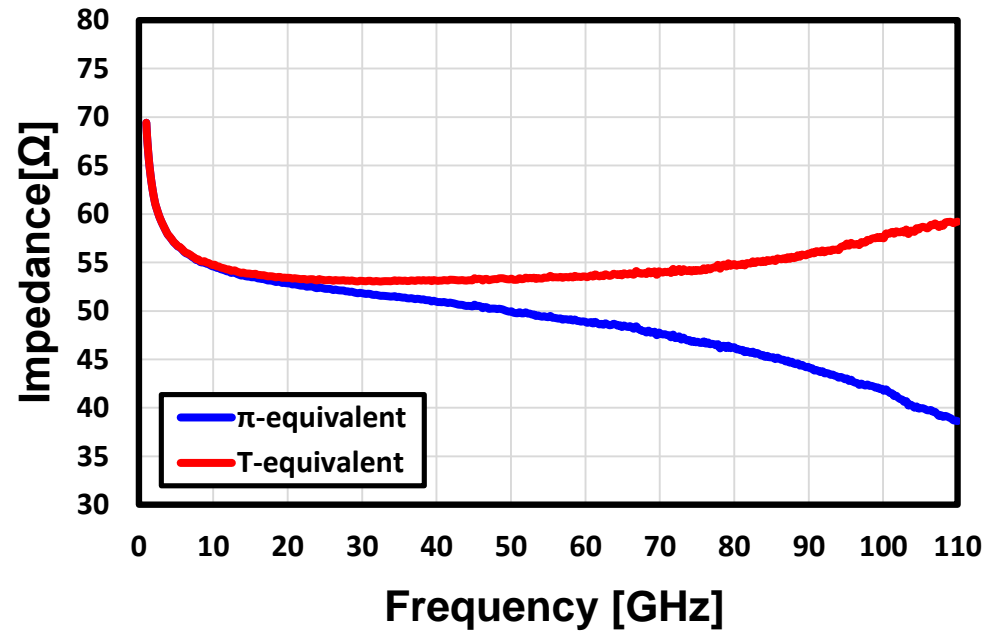
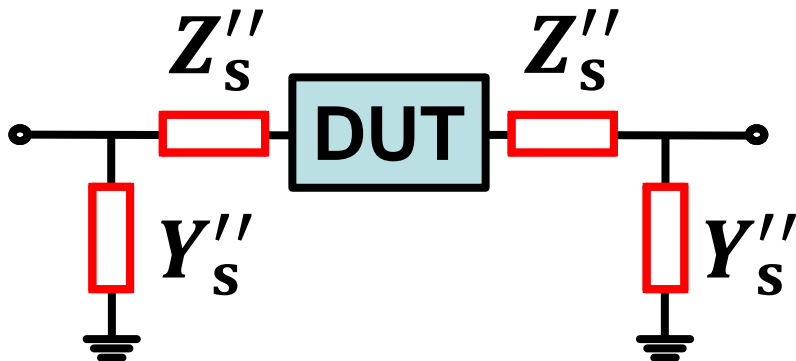




## T-type

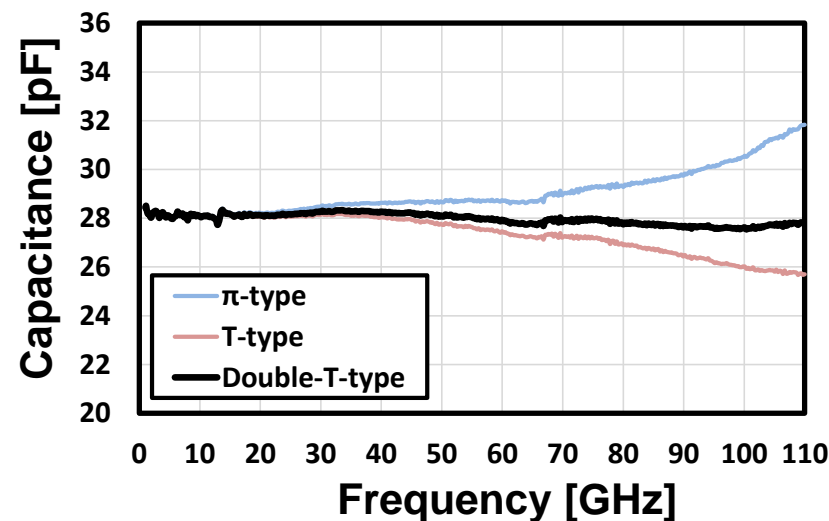
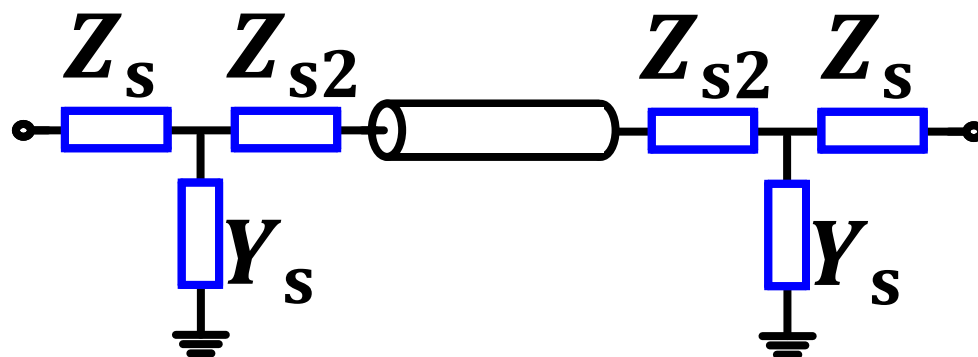


## π-type



$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$(\omega L \gg R, \omega C \gg G)$

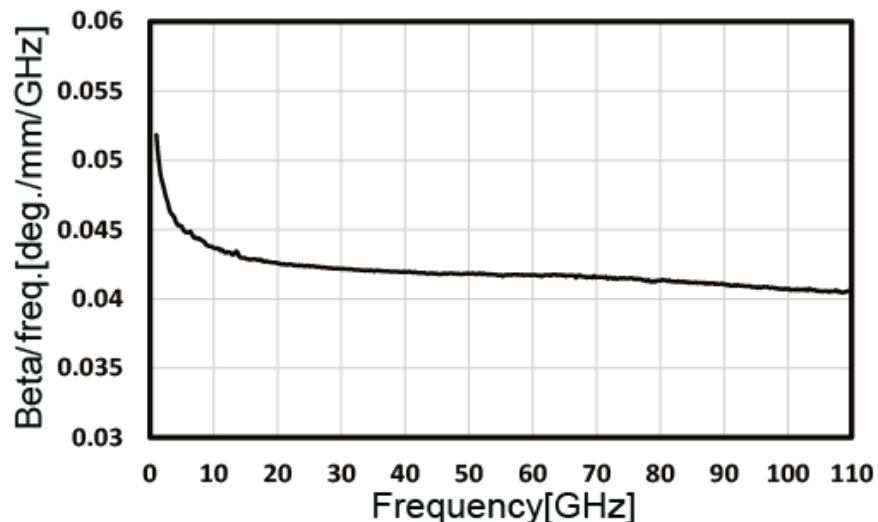
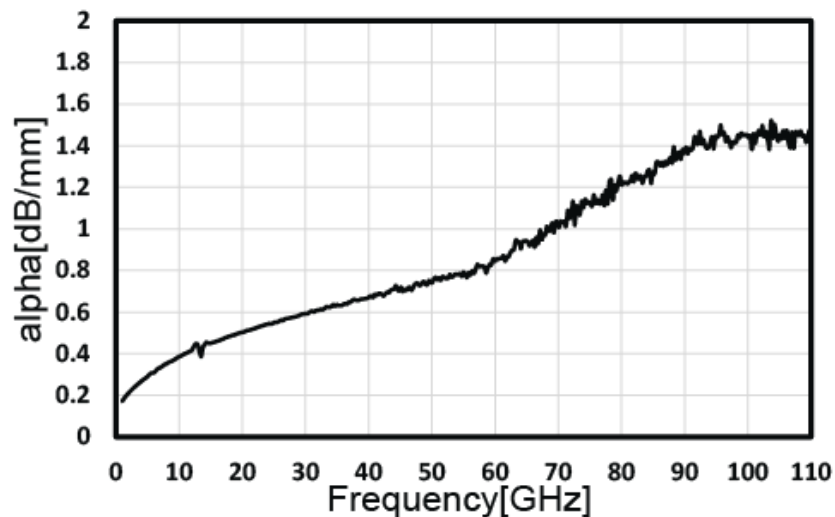
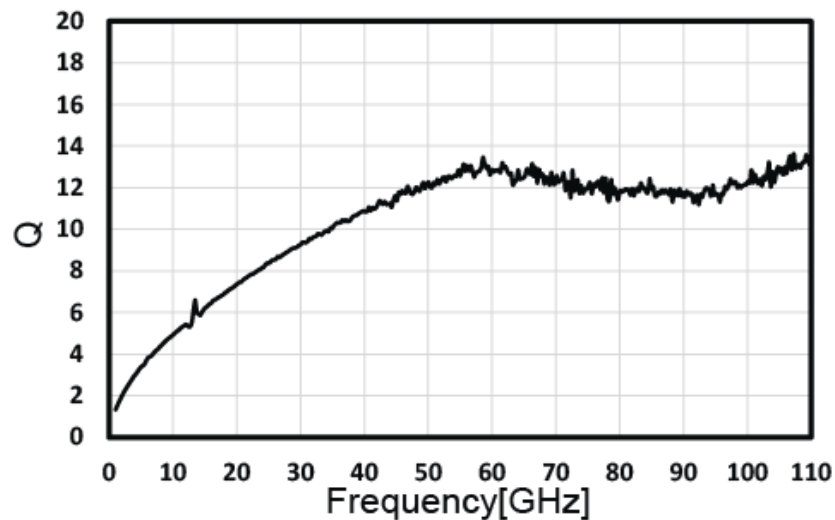
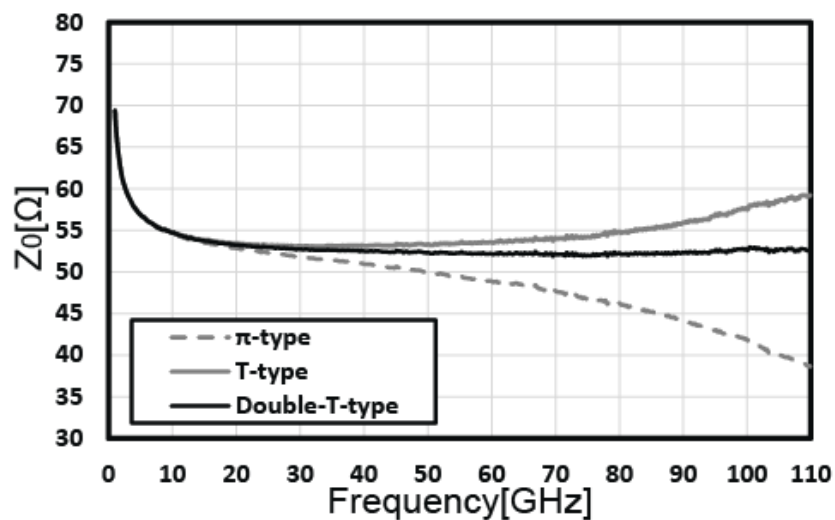


L-2L法から3パラメータを得ることはできない。

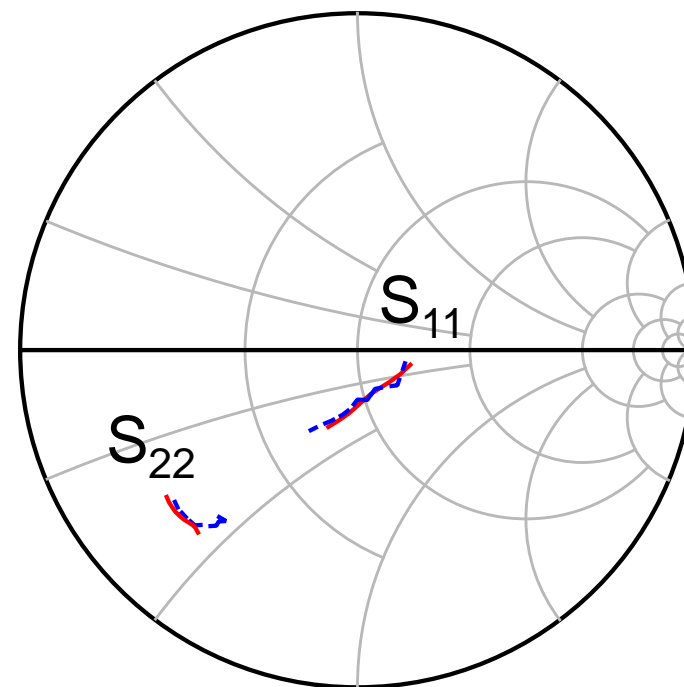
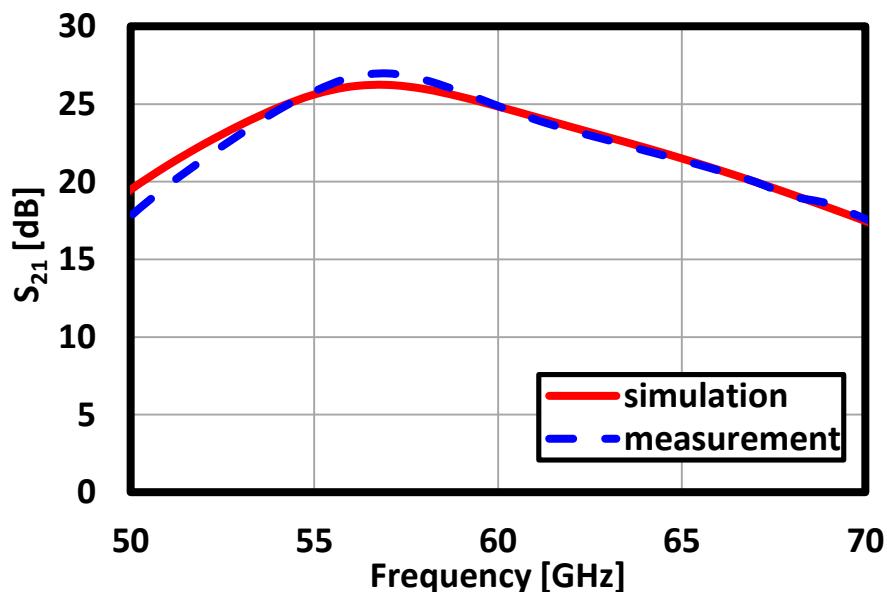
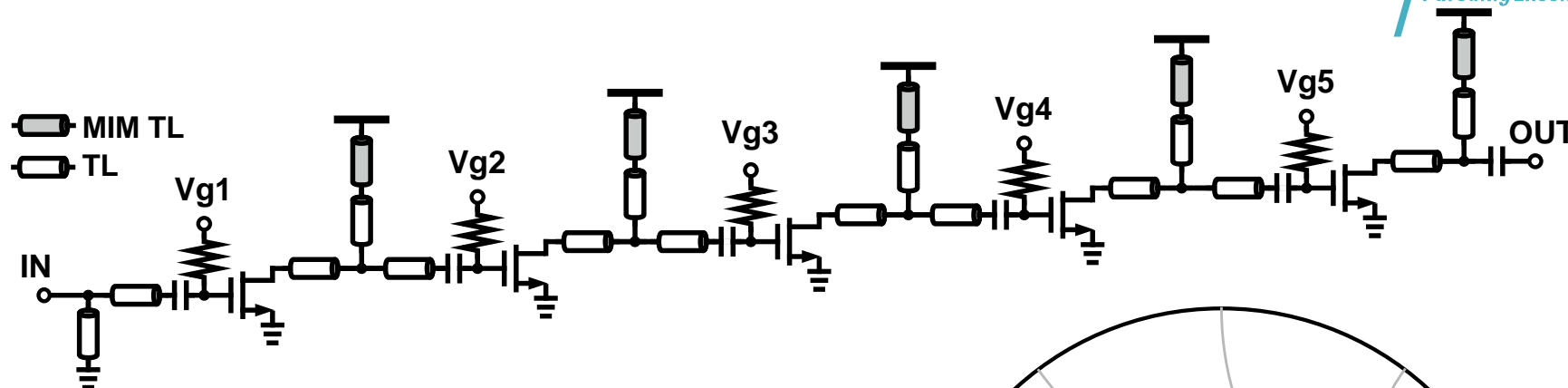
**Assumption:  $Z_{s2} = k \times Z_s (0 \leq k \leq 1)$**

“k”をPAD容量が一定になるよう定める  
(今回は $k=0.4$ )。

# ディエンベディング結果



# 5段低雑音増幅器での評価



利得誤差1dB以内の高精度シミュレーションを実現

- 従来の2パラメータモデルにおける問題点を伝送線路のディエンベディング結果を元に示した。
- 非対称かつレシプロカルな3パラメータによるPADモデルを提案した。
- 5段低雑音増幅器のシミュレーションと実測の比較を行い、高精度なシミュレーションが実現できることを示した。