

# 広帯域Gm-Cフィルタに用いる 高線形Gmセルに関する研究

○横溝 真也, 金子 徹, 宮原 正也, 松澤 昭

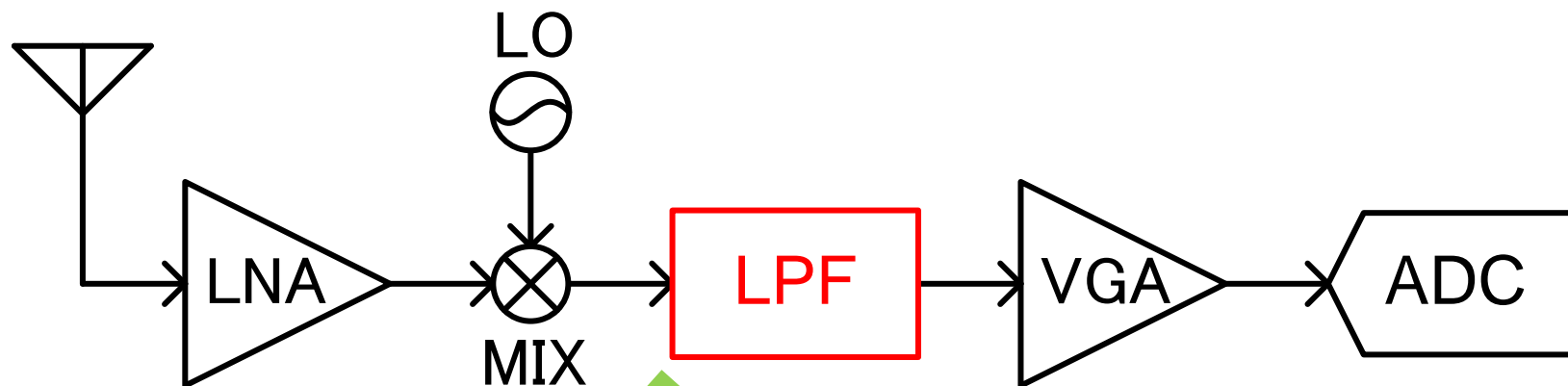
東京工業大学大学院理工学研究科  
電子物理工学専攻

## ミリ波帯の特徴

- ☹️ 空気中の減衰が大きい
- 😊 広帯域の信号を扱える



近距離における  
高速無線通信に適している



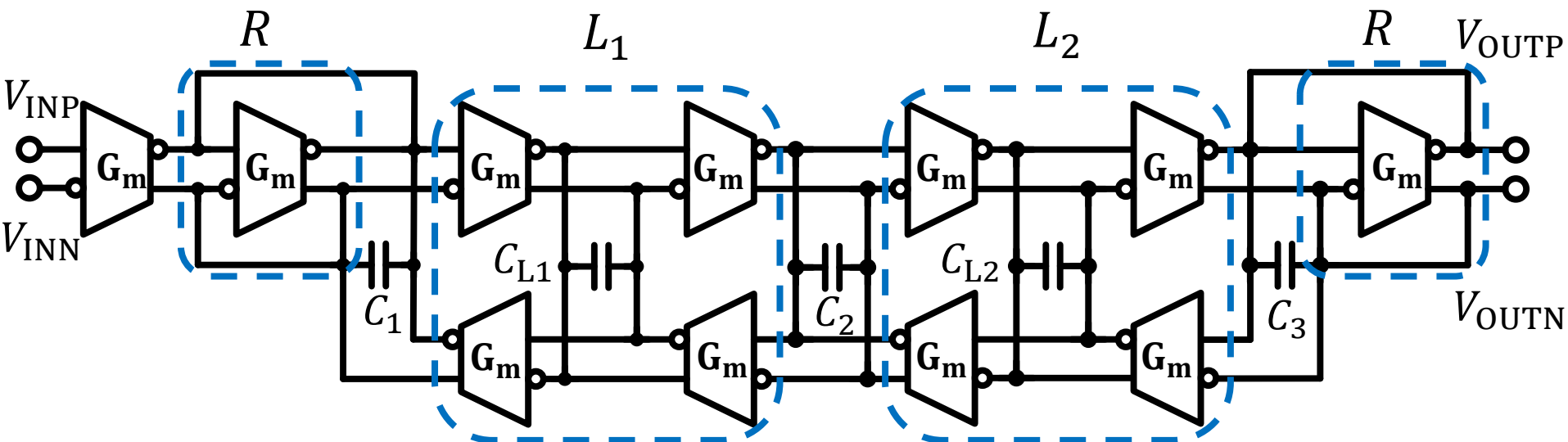
求められる性能  
帯域：1GHz  
高線形性

主な役割

- ・ADCの要求分解能の緩和

# 高線形Gmセルを用いたフィルタ

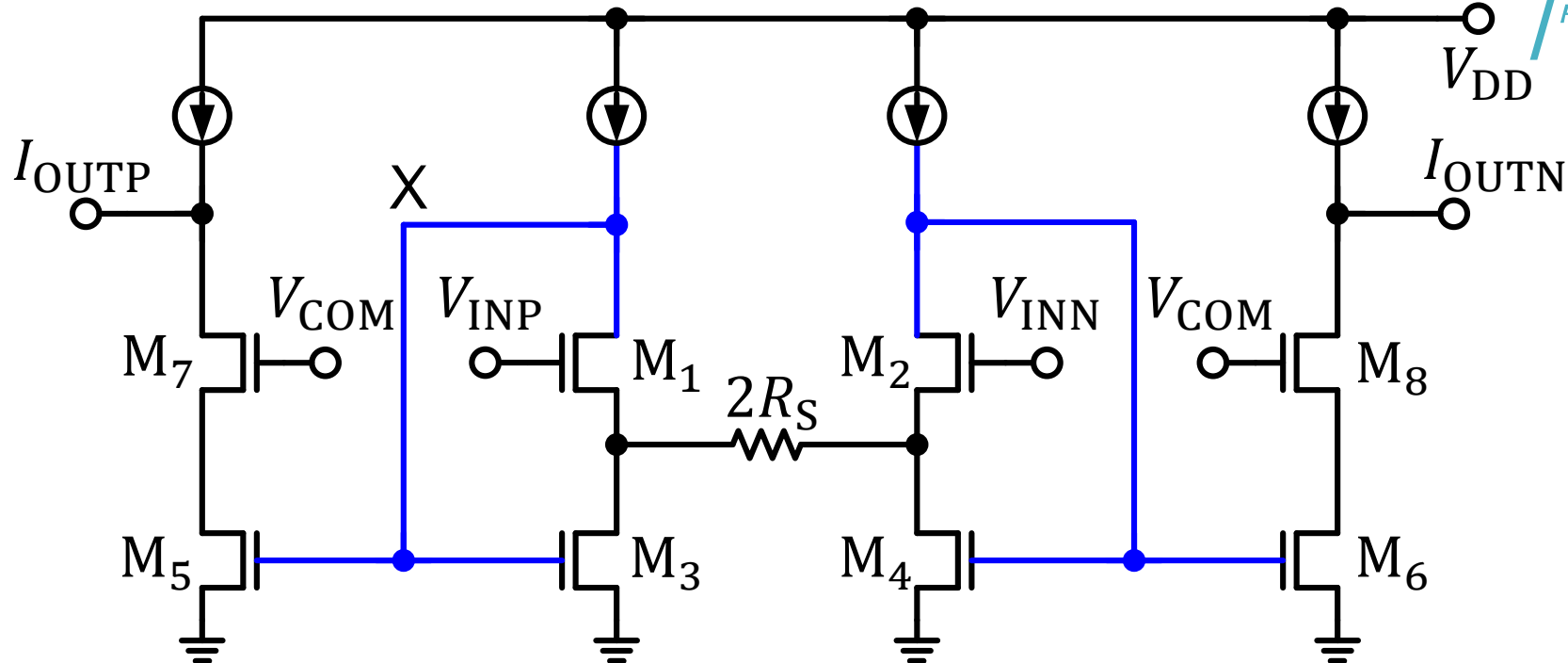
広帯域フィルタに適したGm-Cフィルタを採用



Gmセルの線形性 ➡ フィルタの線形性

高線形Gmセルが適している

# 高線形Gmセル[1]の問題点



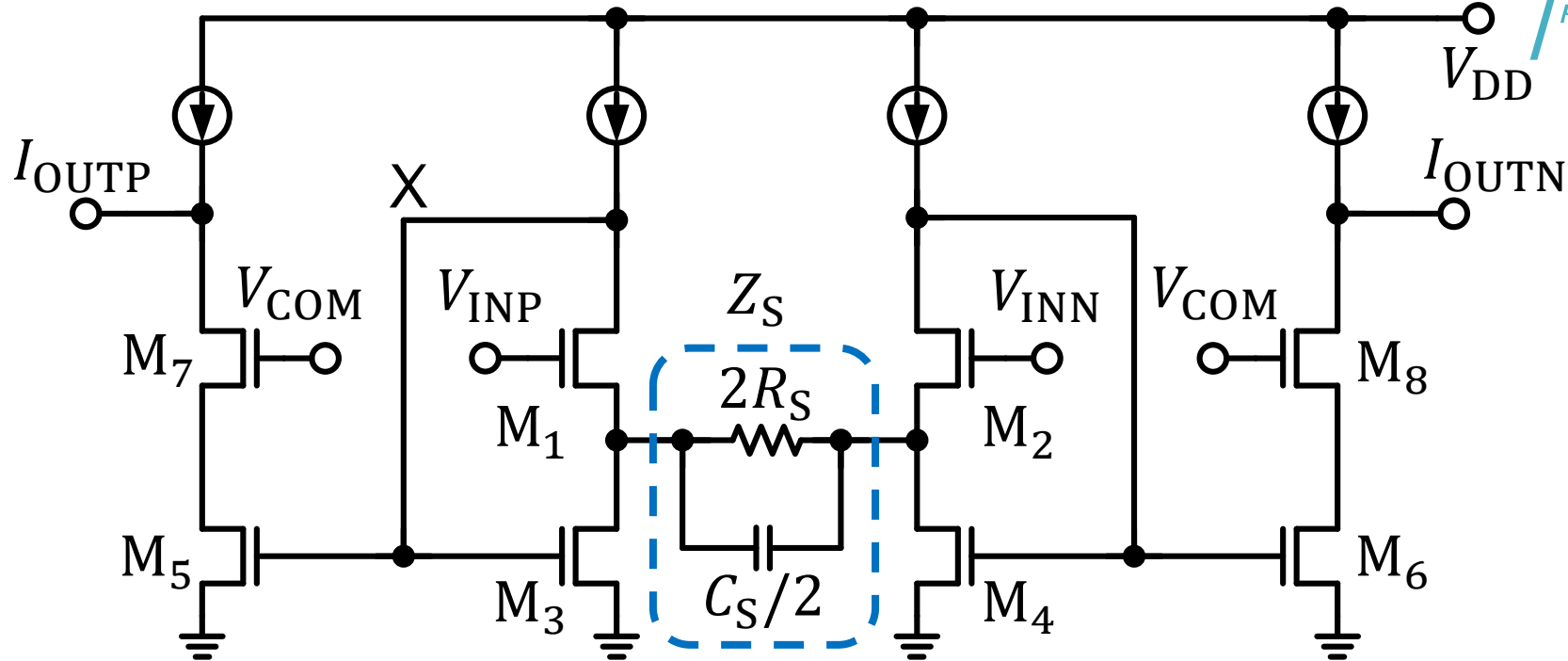
$$G_m = \frac{i_{out}}{v_{in}} \approx \frac{M}{R_S}$$

$$\left( \text{ミラー比: } M = \frac{g_{m5}}{g_{m3}} \right)$$

ループ部の帯域が狭い → フィルタの性能劣化

カットオフ周波数より十分に広い帯域が必要

[1] Tien-Yu Lo, Chung-Chin Hung, "1V CMOS Gm-C Filters," Springer, 2009.



容量  $C_S$  を抵抗  $R_S$  と並列に挿入  $\rightarrow$  ゼロ点挿入

$$G_m = \frac{i_{out}}{v_{in}} \approx \frac{M}{Z_S} \quad \left( Z_S = \frac{1}{\frac{1}{R_S} + sC_S} \right)$$

低周波:  $Z_S \approx R_S$

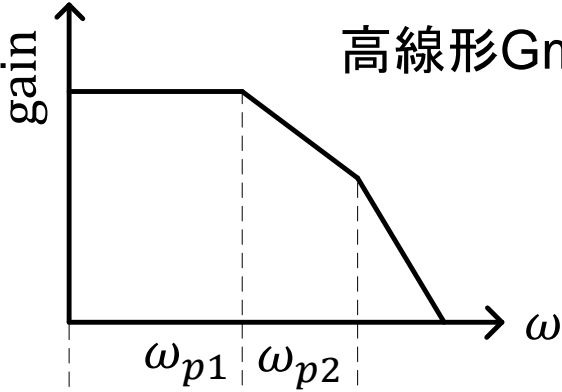
高周波:  $Z_S < R_S$

ゼロ点挿入で帯域を改善

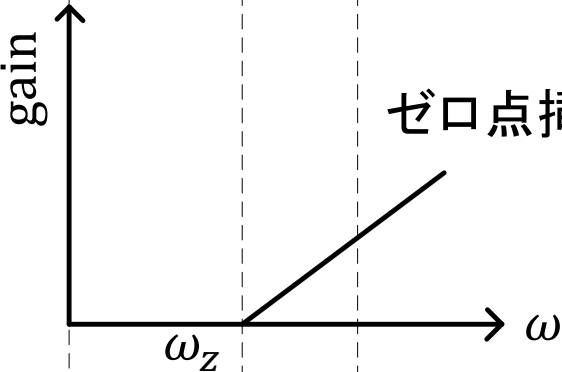
[2] K.Okada, et al., ISSCC 2014

# 従来手法の解析

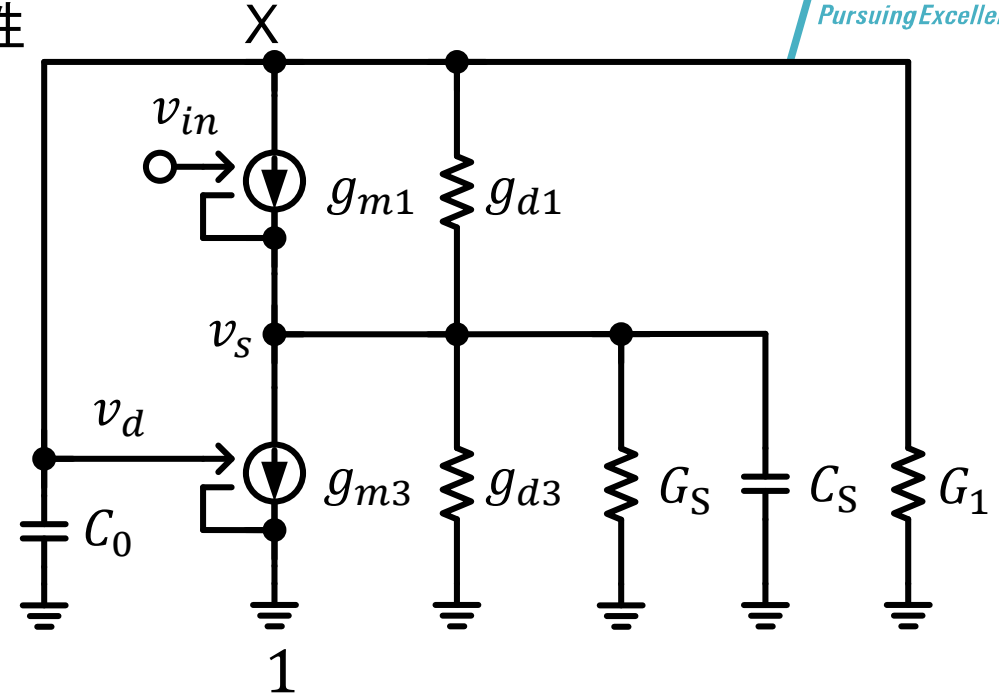
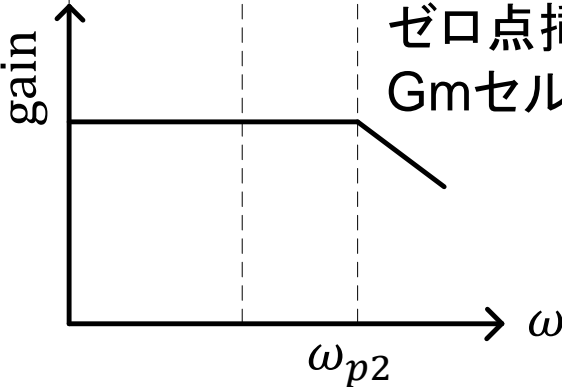
高線形Gmセルの特性



ゼロ点挿入の特性



ゼロ点挿入後のGmセルの特性



$$\omega_z C_S = \frac{1}{C_S R_S}$$

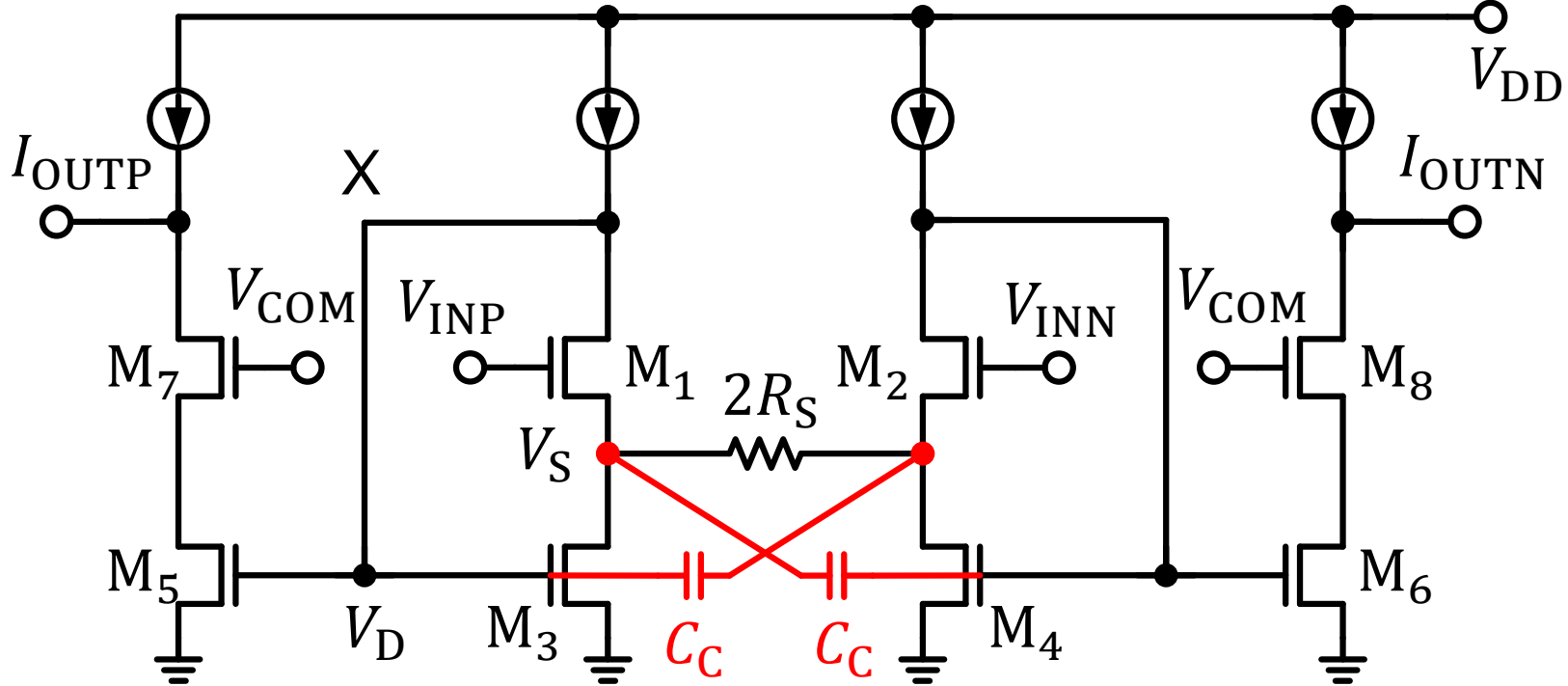
$$\omega_{p1} C_S, \omega_{p2} C_S = \frac{K \mp \sqrt{K^2 - 4g_m^2 / C_S C_0}}{2}$$

$$\omega_z C_S = \omega_{p1} C_S$$

$$C_S \approx \frac{C_0}{g_m R_S}$$

$$K = \frac{1}{C_0 r_{d1}} + \frac{1}{C_S R_S} (g_m R_S + 1)$$

ノードXの寄生容量:  $C_0$

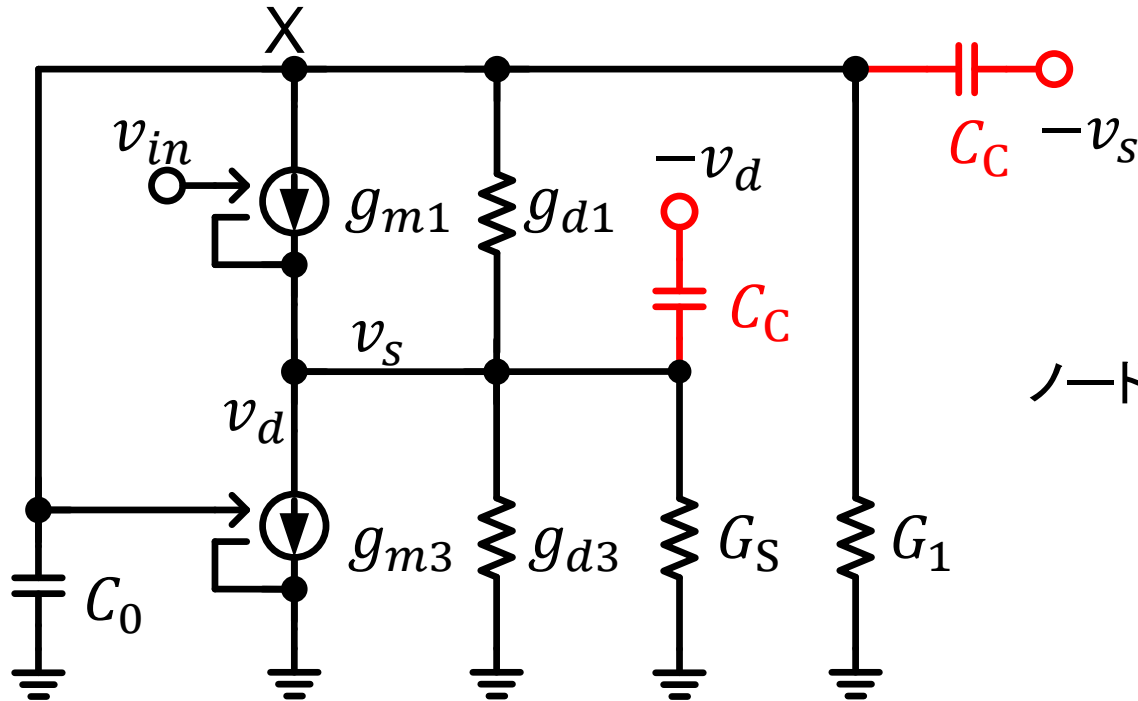


$$\frac{v_s}{v_d} \approx g_{m3} R_S > 1$$

→ 容量 $C_C$ はクロスカップルキャパシタとして機能

$C_C$ を介して高周波でノードXに信号を供給 → 第2ポールを高周波側へ

ゼロ点挿入 + 第2ポールを高周波側へ移動



ノードXの寄生容量:  $C_0$

$$\omega_{p1C_C}, \omega_{p2C_C} = \frac{K' \mp \sqrt{K'^2 - 4g_m^2/C_C C_0}}{2}$$

$$\omega_{zC_C} = \frac{1}{2C_C R_S}$$

$$K' = \frac{1}{R_S} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_C} \right) (g_m R_S + 1)$$

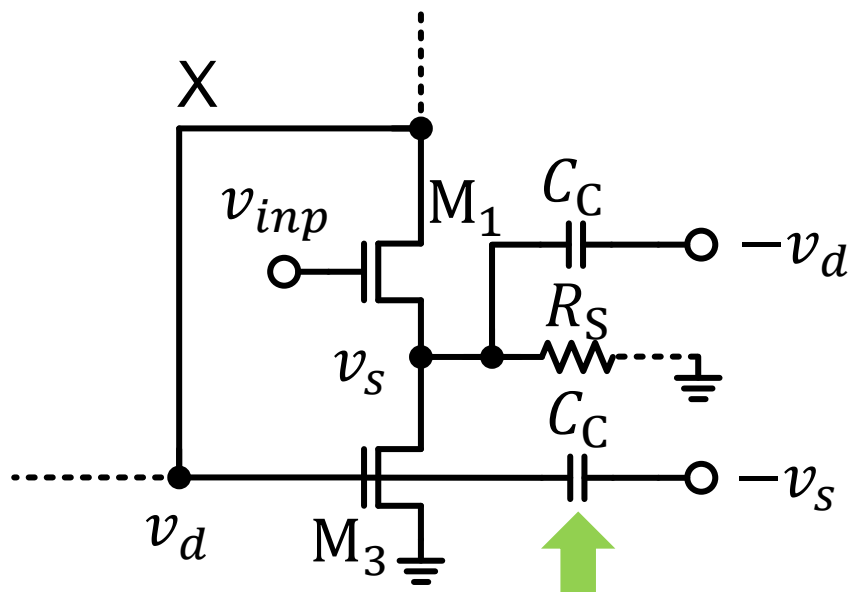
S.Yokomizo, Tokyo Tech.

$$\omega_{zC_C} = \omega_{p1C_C}$$



$$C_C \approx \frac{C_0}{2(g_m R_S - 1)}$$





ゼロ点挿入

+

第2ポールを高周波側へ移動

高周波でノードXに信号を供給

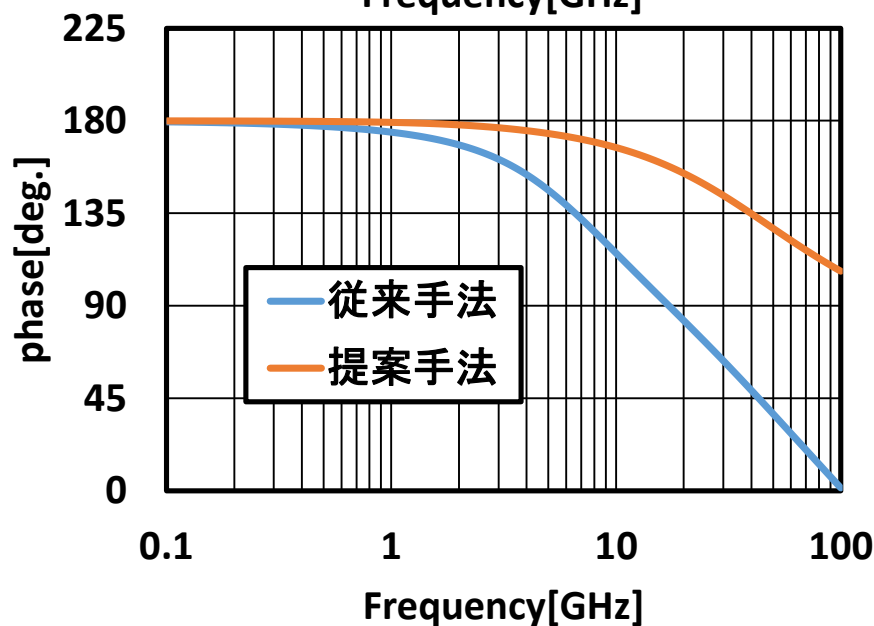
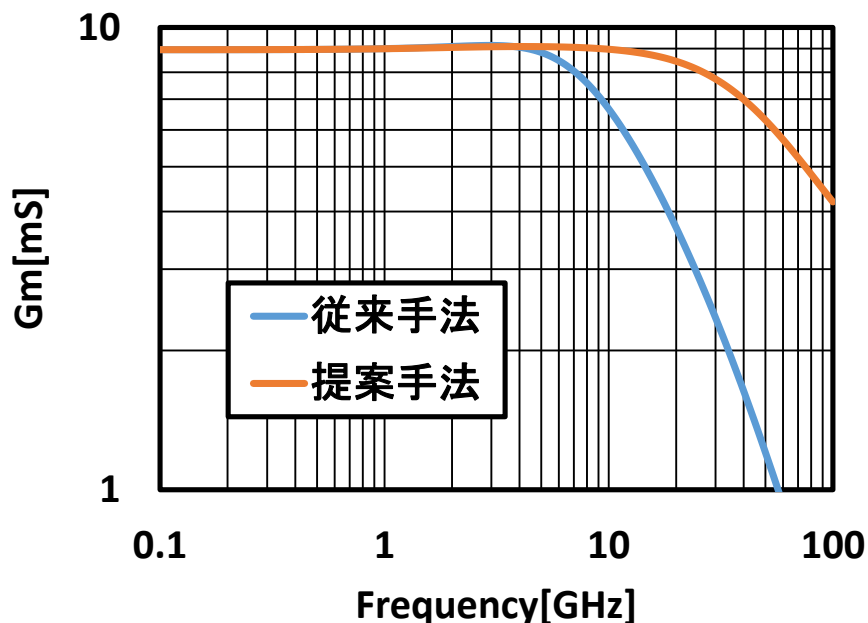
$$\frac{\omega_{p2C_C}}{\omega_{p2C_S}} = \frac{K'}{K} \frac{1 + \sqrt{1 - 4g_m^2/C_C C_0}}{1 + \sqrt{1 - 4g_m^2/C_S C_0}} > 1$$

$$K = \frac{1}{C_0 r_{d1}} + \frac{1}{C_S R_S} (g_m R_S + 1)$$

$$K' = \frac{1}{R_S} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_C} \right) (g_m R_S + 1)$$

$$\omega_{p2C_C} > \omega_{p2C_S}$$

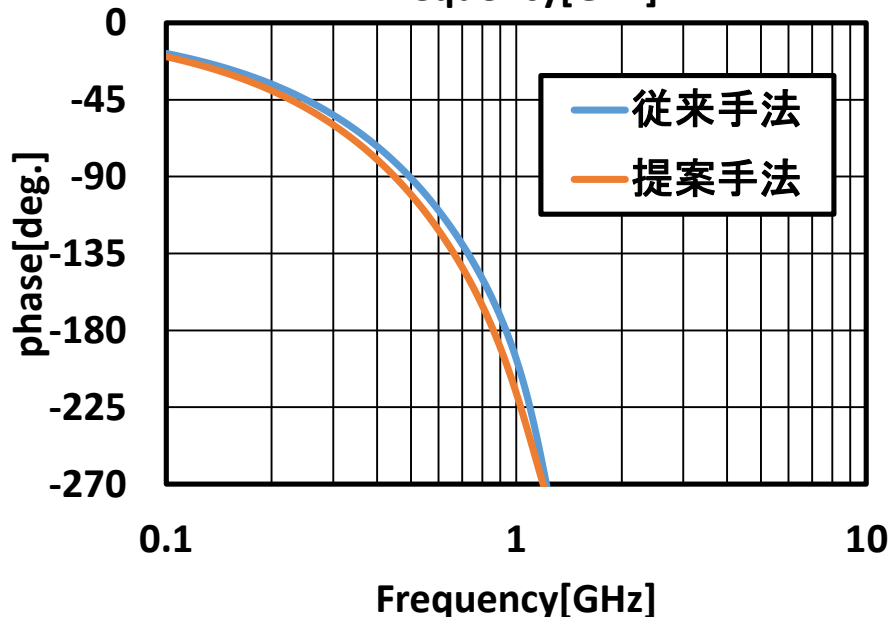
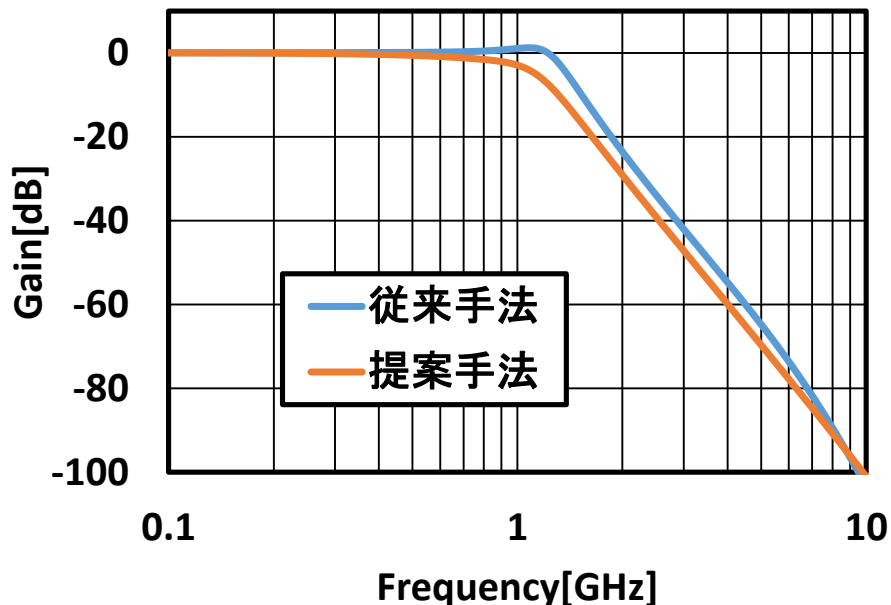
# Gmセルのシミュレーション結果



## シミュレーション条件

- 65nm CMOS プロセス
- 消費電力: 5.4 mW
- $L = 80$  nm (電流源のみ 160 nm)
- $M = 4$
- $R_S = 400 \Omega$
- $g_{m3} = 8$  mS
- $C_S = 90$  fF
- $C_C = 140$  fF

位相が $45^\circ$  回転する点で  
帯域を約6倍に改善



## シミュレーション条件

- 65nmCMOSプロセス
- 消費電力: 70.6 mW
- $C_1 = C_3 = 660$  fF
- $C_{L1} = C_{L2} = 1.7$  pF
- $C_2 = 1.9$  pF

カットオフ周波数: 1 GHz  
減衰特性: 100 dB/dec  
を満たすバタワース特性の  
Gm-Cラダーフィルタを実現

## 結論

- クロスカップルキャパシタを用いて高線形Gmセルの帯域を改善する手法を提案した。
- 従来手法と比較してクロスカップルキャパシタにより帯域は約6倍に改善した。
- 提案手法を用いて、ピーキングなく5次, 1 GHz, バタワース特性のGm-Cフィルタをシミュレーション上で実現した。

## 今後の課題

- Gm-Cフィルタの最適化
- 容量ミスマッチを補正する機構の付加
- Gm値自動調整回路の付加

ご清聴ありがとうございました