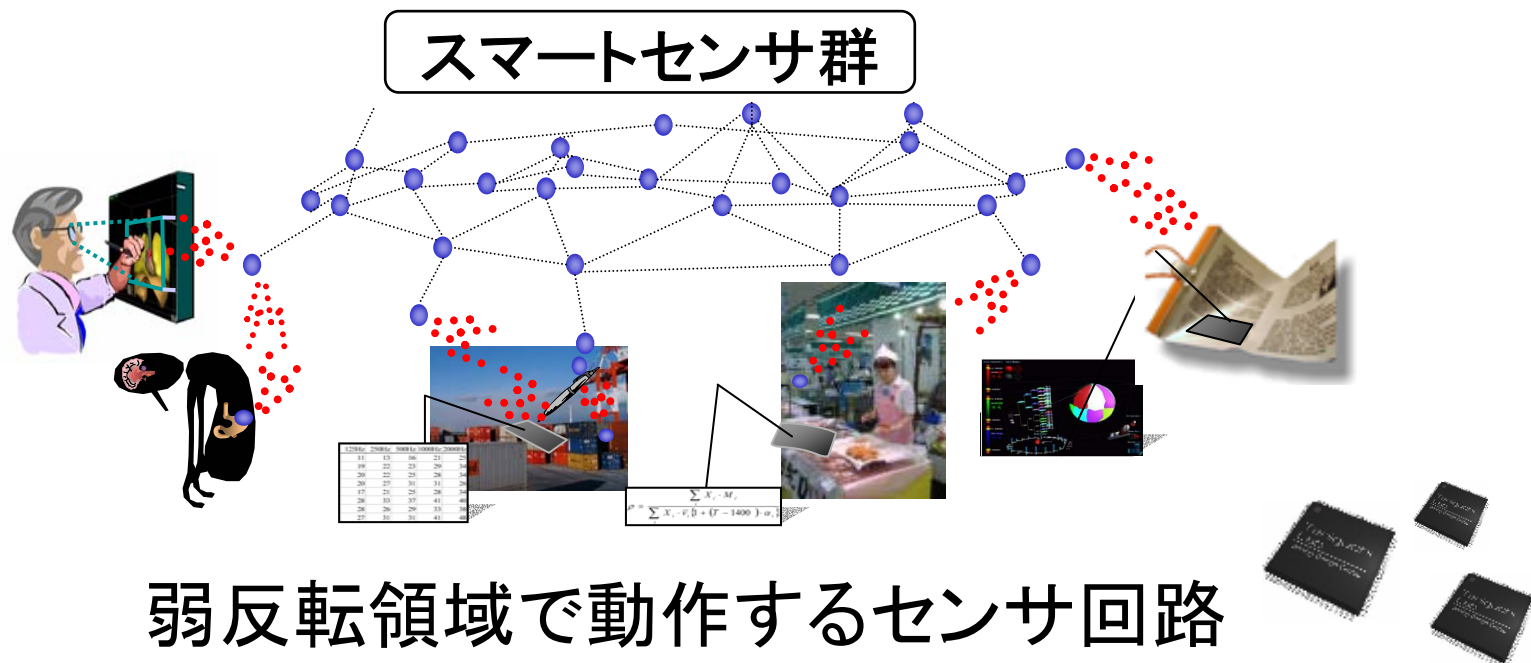
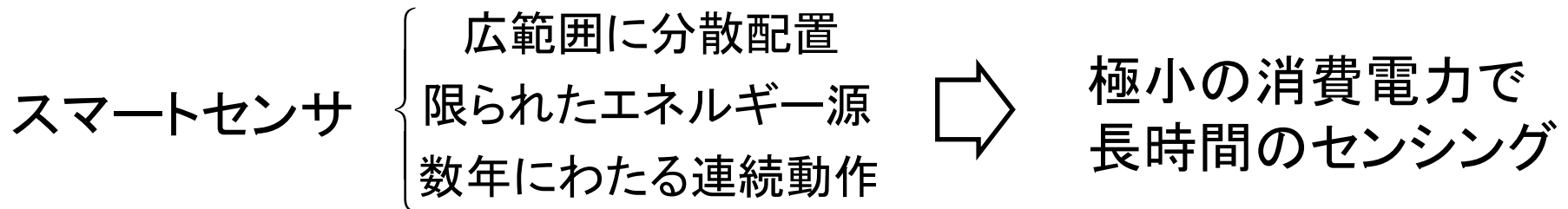


概要

CMOS弱反転領域で動作する電源回路の設計に関する研究

廣瀬哲也、松岡俊匡、谷口研二、浅井哲也、雨宮好仁 hirose@sapiens-ei.eng.hokudai.ac.jp

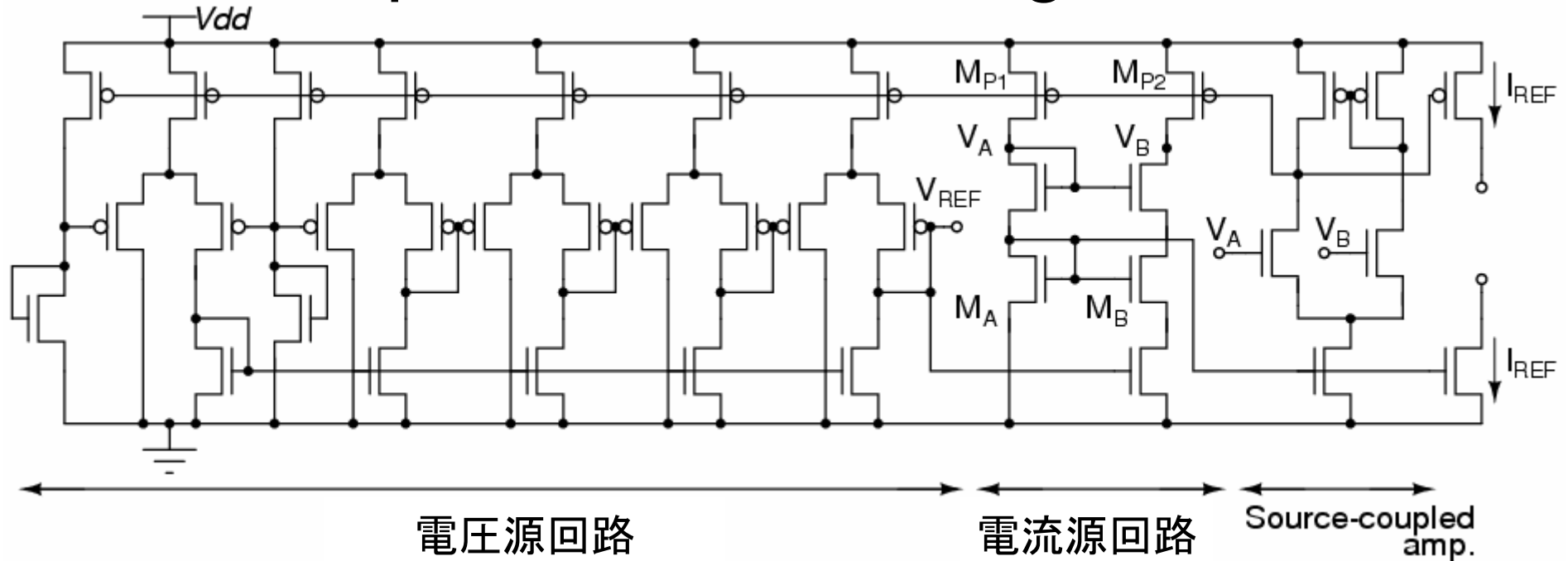
スマートセンサによるユビキタス情報環境の実現



弱反転領域で動作するセンサ回路

⇒ 弱反転領域動作を保証する電源回路の設計

Proposed circuit configuration



Performance summary

| | |
|-------------------------|--|
| Technology | 0.25 μm , CMOS |
| V_{dd} | 1.5 V |
| Power | 1.1 μW ($T=25\text{ }^\circ\text{C}$) |
| ΔI_{REF} | $\pm 4\%$ ($T= -20\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$) |
| ΔV_{REF} | $\pm 1\%$ ($T= -20\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$) |

抵抗(R)を用いないCMOS
弱反転領域動作電源
(電流源/電圧源)回路を提案

詳細な動作原理は
ポスター会場にて...

詳細

CMOS弱反転領域で動作する 電源回路の設計に関する研究

廣瀬哲也^{1,2}、松岡俊匡²、谷口研二²、
浅井哲也¹、雨宮好仁¹

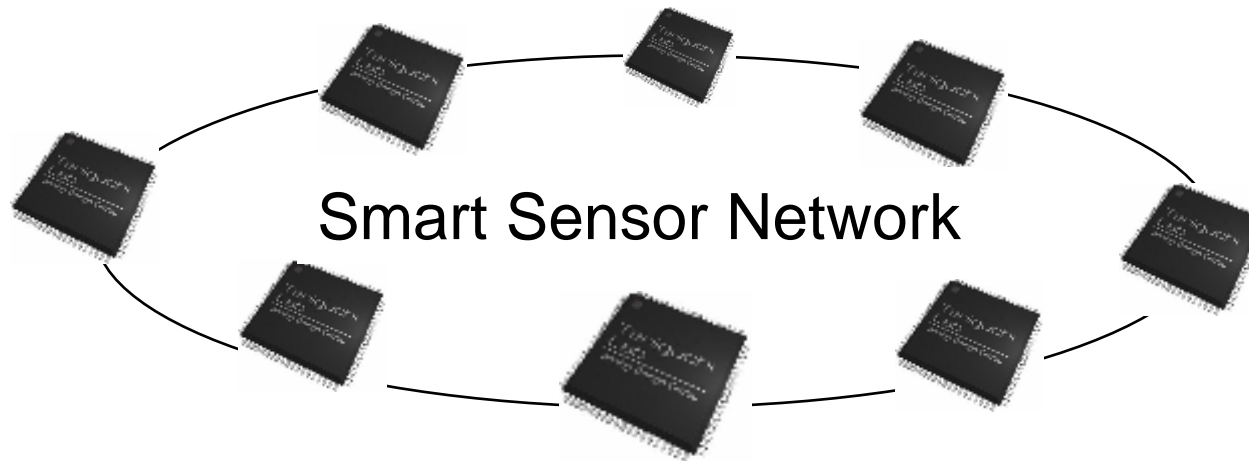
¹北海道大学情報科学研究科情報エレクトロニクス専攻

²大阪大学工学研究科電子情報エネルギー工学専攻

E-mail: hirose@sapiens-ei.eng.hokudai.ac.jp

背景

スマートセンサネットワークによるユビキタス情報社会の到来

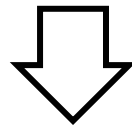


新たな機能をLSIに付加するには
回路の極低消費電力構成が必須

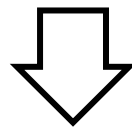
サブスレッショルドMOSFETを用いた新機能LSIの開発
⇒ 極低消費電力な回路システムの構成が可能

本研究の目的

回路全体をサブスレッシュホールド領域で動作させることが必要



安定にサブスレッシュホールド電流を供給することの出来る電源回路の開発が必要不可欠

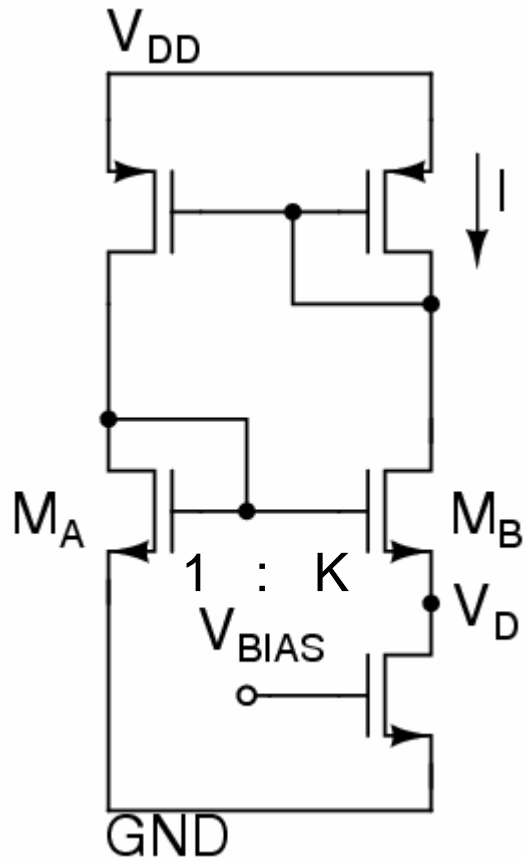


本研究の目的:

温度依存性(T)、電源電圧依存性(V_{DD})の小さなサブスレッシュホールド電流を供給する電源回路の開発

電流源回路

Beta-multiplier Reference Circuit を用いた電流源回路



電流源回路図

サブスレッショルド領域動作



抵抗(R)に替えて強反転線形MOS抵抗を使用

線形MOS抵抗の V_D , R_{MOS} :

$$V_D = \eta V_T \ln(K), \quad R_{MOS} = \frac{1}{\beta(V_{BIAS} - V_{TH})}$$

$$\eta = (C_{ox} + C_{dep}) / C_{ox}, \quad V_T = k_B T / q,$$

V_{TH} : しきい値電圧, K : MOSFET(M_A, M_B)のサイズ比

参照電流値

$$I = \frac{V_D}{R_{MOS}} = \eta V_T \ln(K) \beta (V_{BIAS} - V_{TH})$$

参照電流値の温度依存性①

参照電流値の温度係数 (T.C.)

$$\begin{aligned} T.C. &= \frac{1}{I} \frac{\partial I}{\partial T} = \frac{1}{I} \frac{\partial}{\partial T} [\eta V_T \ln(K) \beta (V_{BIAS} - V_{TH})] \\ &= \frac{1}{V_T} \frac{\partial V_T}{\partial T} + \frac{1}{\beta} \frac{\partial \beta}{\partial T} + \frac{1}{V_{BIAS} - V_{TH}} \frac{\partial}{\partial T} (V_{BIAS} - V_{TH}) \end{aligned}$$

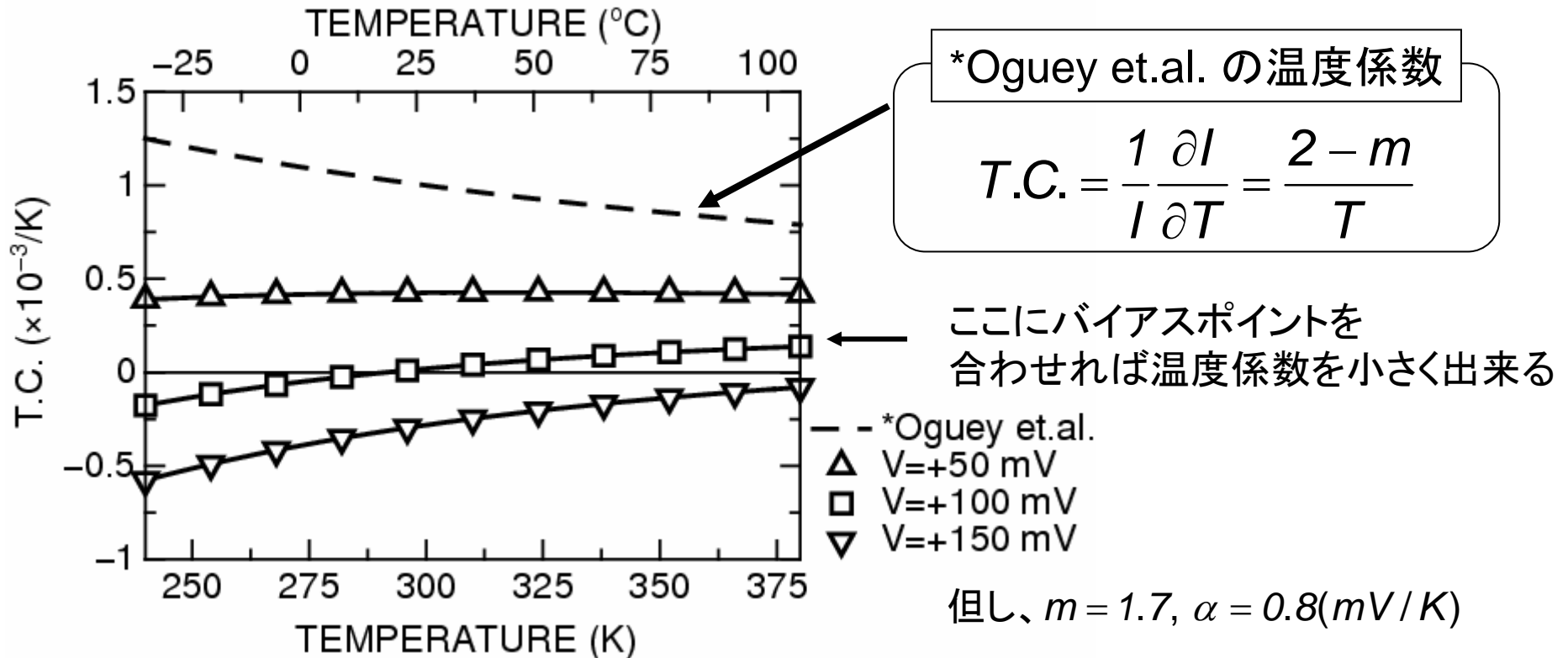
V_{BIAS} が温度に対して一定電圧であるとする...

$$T.C. = \frac{1}{I} \frac{\partial I}{\partial T} = \frac{1}{T} - \frac{m}{T} + \frac{\alpha}{V_{BIAS} - V_{TH0} + \alpha T}$$

$$\text{但し, } V_{TH} = V_{TH0} - \alpha T, \beta = \beta_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-m}$$

参照電流値の温度依存性②

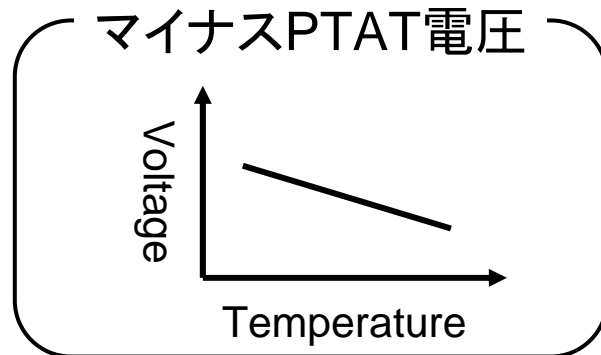
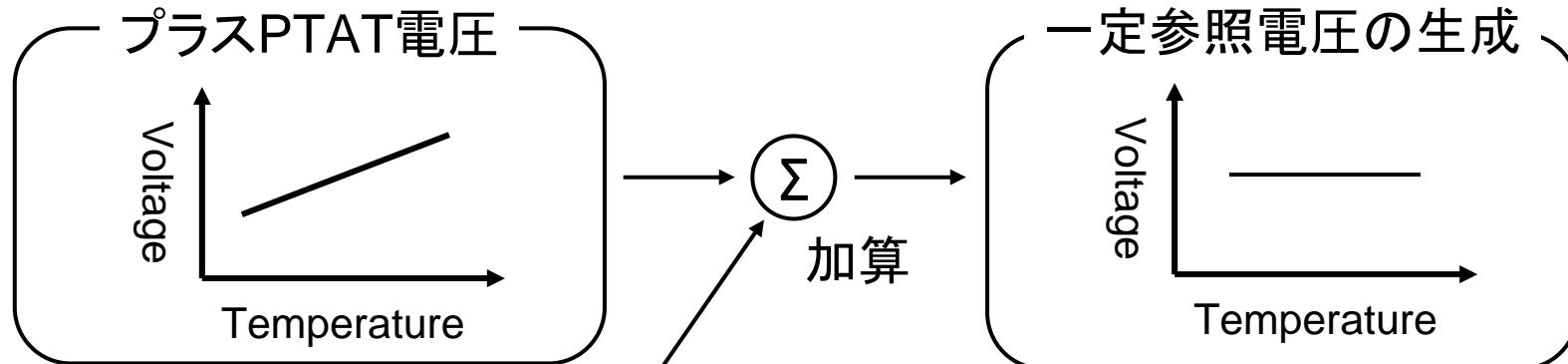
$$T.C. = \frac{1}{I} \frac{\partial I}{\partial T} = \frac{1-m}{T} + \frac{\alpha}{V + \alpha T} \quad \text{の数値計算結果}$$



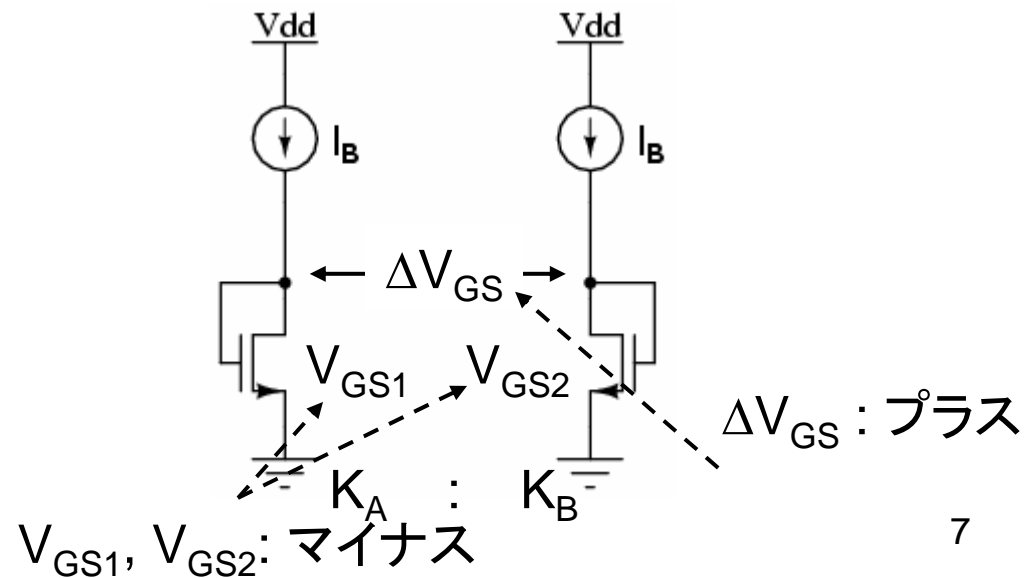
*Oguey H.J., Aebischer D., "CMOS current reference without resistance",
 IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.32, No.7, pp.1132-1135, Jul. 1997

電圧源回路

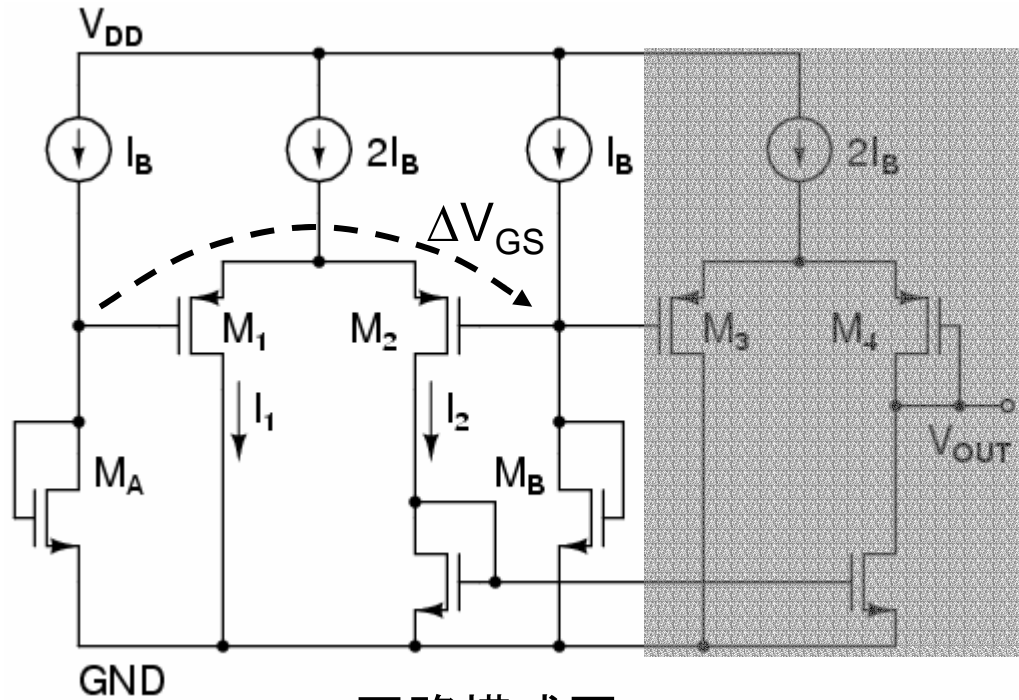
温度に対して一定の電圧生成方式 (サブスレッショルド領域動作)



定電流とダイオード接続MOS



動作原理①



回路構成図

ダイオード接続 M_A, M_B の $V_{GS}(=V_{DS})$

$$\begin{cases} V_{GS,A} = V_{TH} + \eta V_T \ln\left(\frac{I_B}{K_A I_0}\right) \\ V_{GS,B} = V_{TH} + \eta V_T \ln\left(\frac{I_B}{K_B I_0}\right) \end{cases}$$

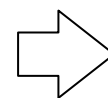
$V_{GS,A}, V_{GS,B}$ の差電圧

$$\Delta V_{GS} = \eta V_T \ln\left(\frac{K_A}{K_B}\right)$$

差動対を流れる電流 I_1, I_2

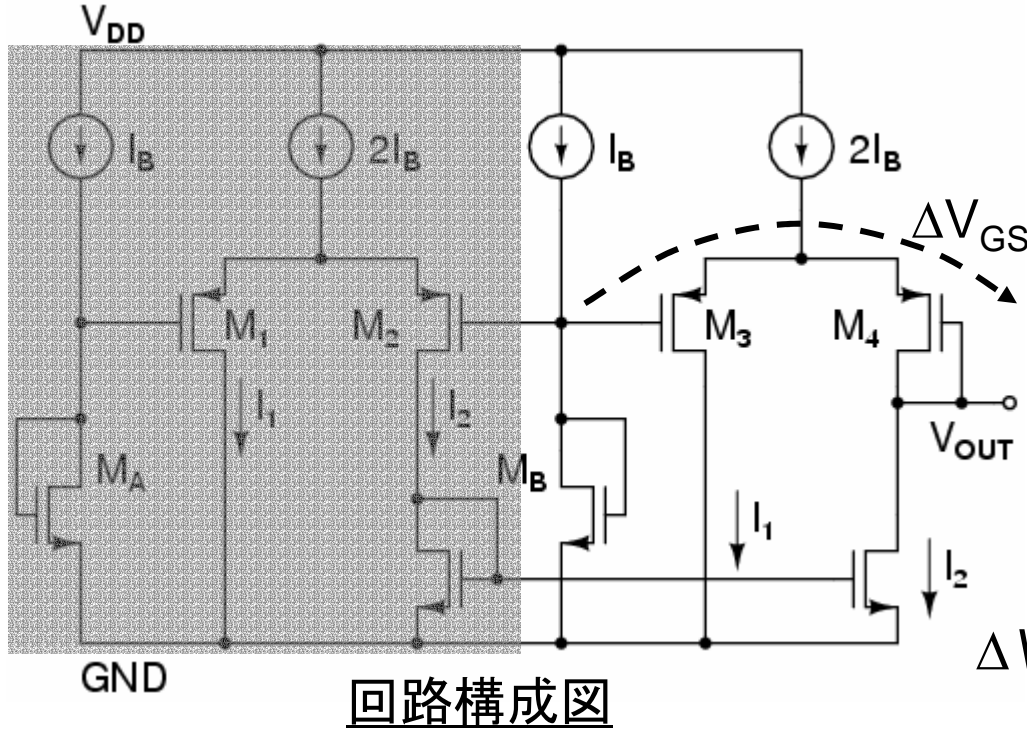
$$I_1 = \frac{2K_1 K_B}{K_1 K_B + K_2 K_A} I_B$$

$$I_2 = \frac{2K_2 K_A}{K_1 K_B + K_2 K_A} I_B$$



I_2 を次段の差動対へ
カレントミラーによりコピー

動作原理②



M_3, M_4 を流れる電流

前段の差動対を流れる電流 I_1, I_2
 $\Rightarrow M_3, M_4$ の V_{GS} が決まる

$$V_{GS3} = V_{TH} + \eta V_T \ln\left(\frac{I_1}{K_3 I_0}\right)$$

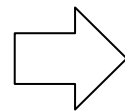
$$V_{GS4} = V_{TH} + \eta V_T \ln\left(\frac{I_2}{K_4 I_0}\right)$$

$$\Delta V_{GS}' = V_{GS3} - V_{GS4}$$

$$= \eta V_T \ln\left(\frac{K_4 I_1}{K_3 I_2}\right) = \eta V_T \ln\left(\frac{K_4 K_1 K_B}{K_3 K_2 K_A}\right)$$

出力電圧

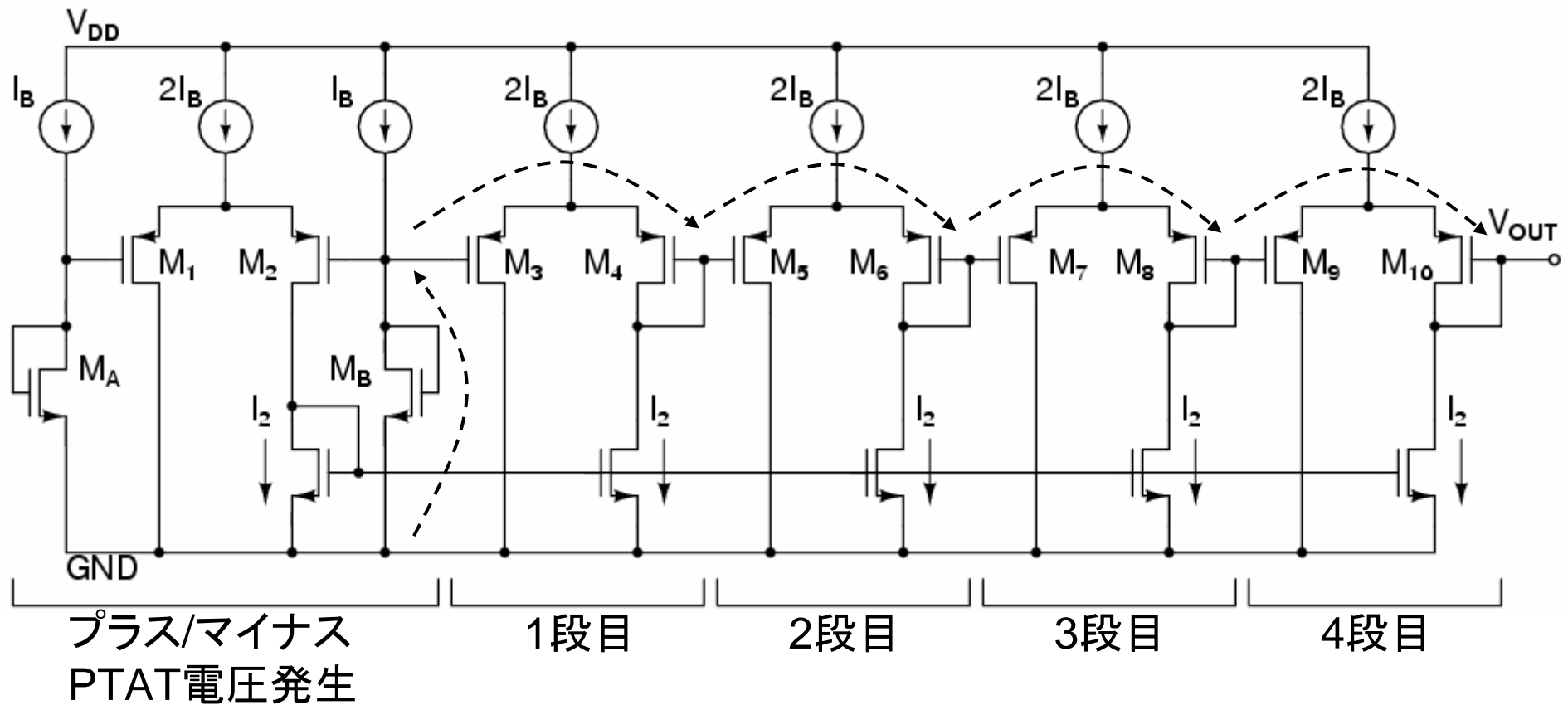
$$V_{OUT} = V_{GS3} + \Delta V_{GS}'$$



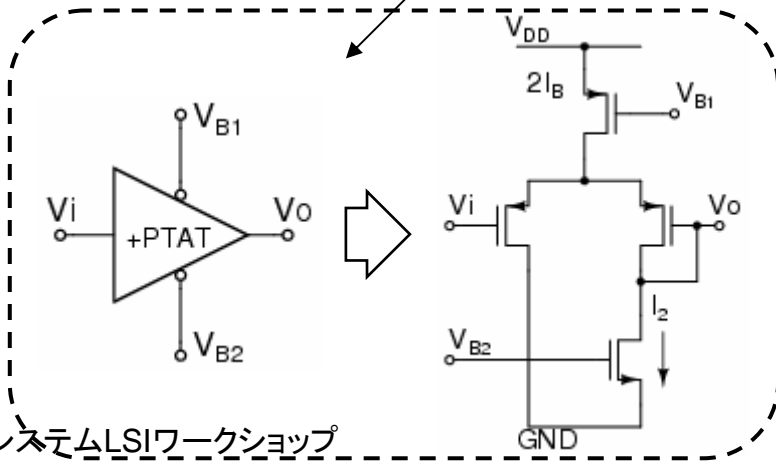
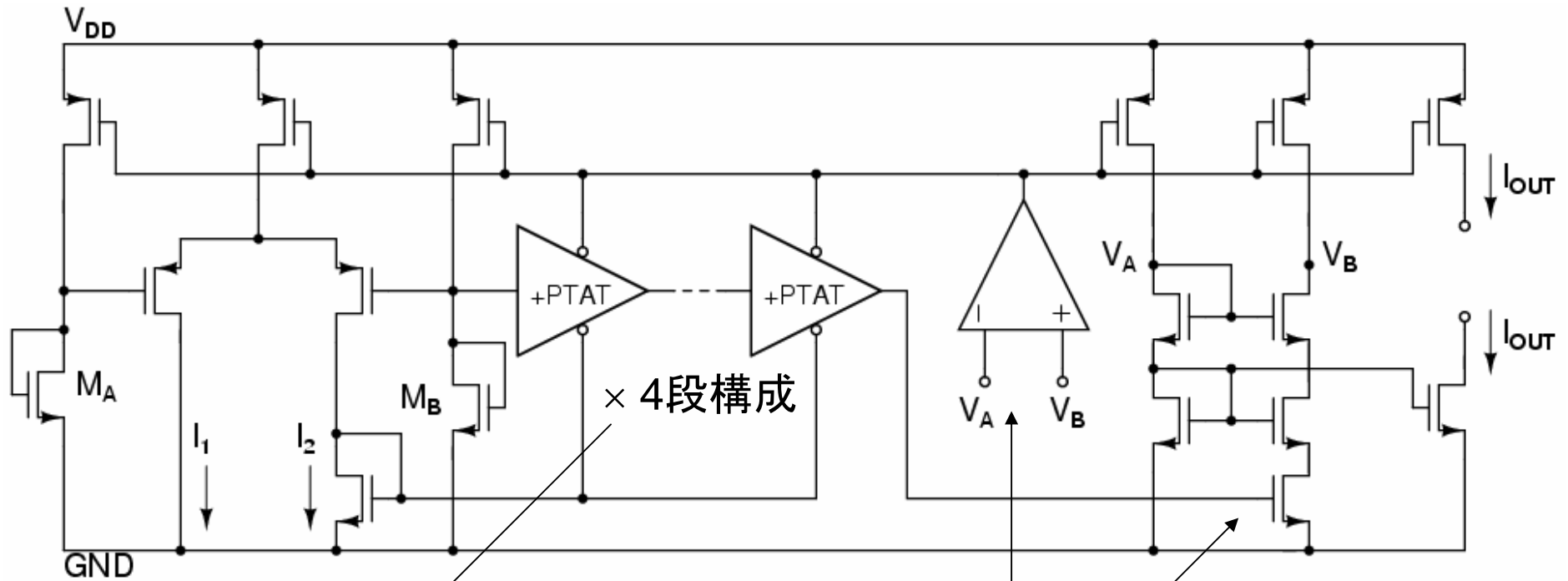
サイズ調整により出力電圧の
 温度依存性をゼロにすることが可能

電圧源回路構成

微小電流(~pAオーダー)を避けるためPTAT回路を4段で構成



全回路構成



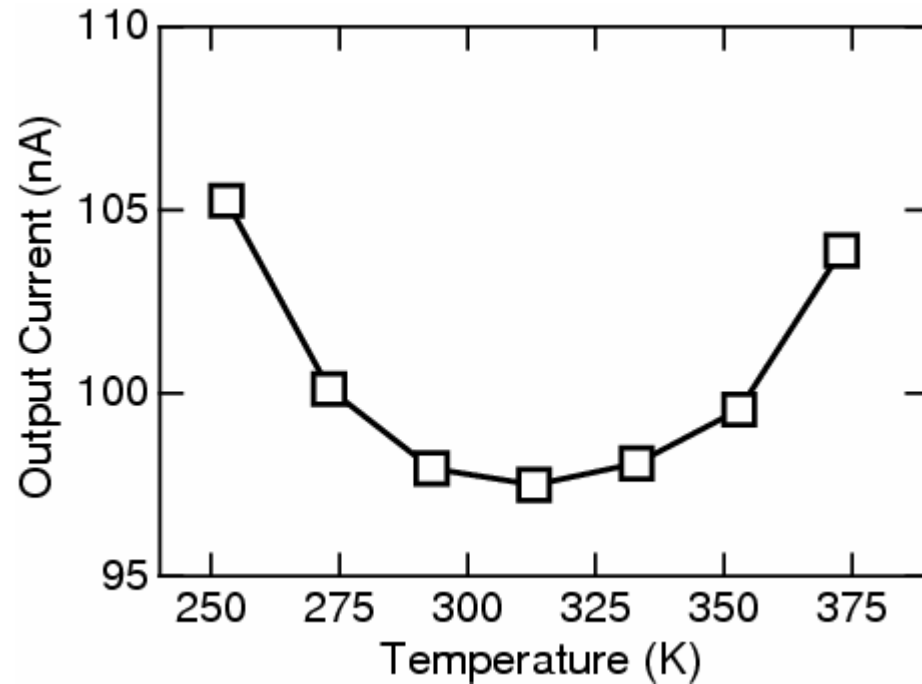
温度依存の小さな参照電圧を印加

電源電圧依存性の改善のためOPAを使用

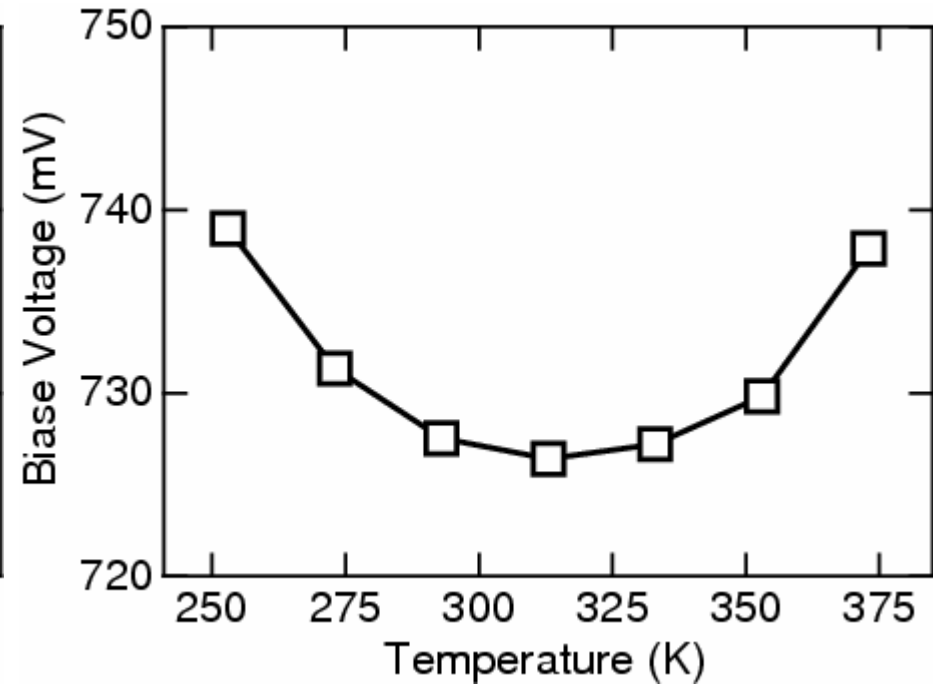
シミュレーション結果①

温度依存性シミュレーション結果

参照電流値



参照電圧値



Supply Voltage @ 1.5 V

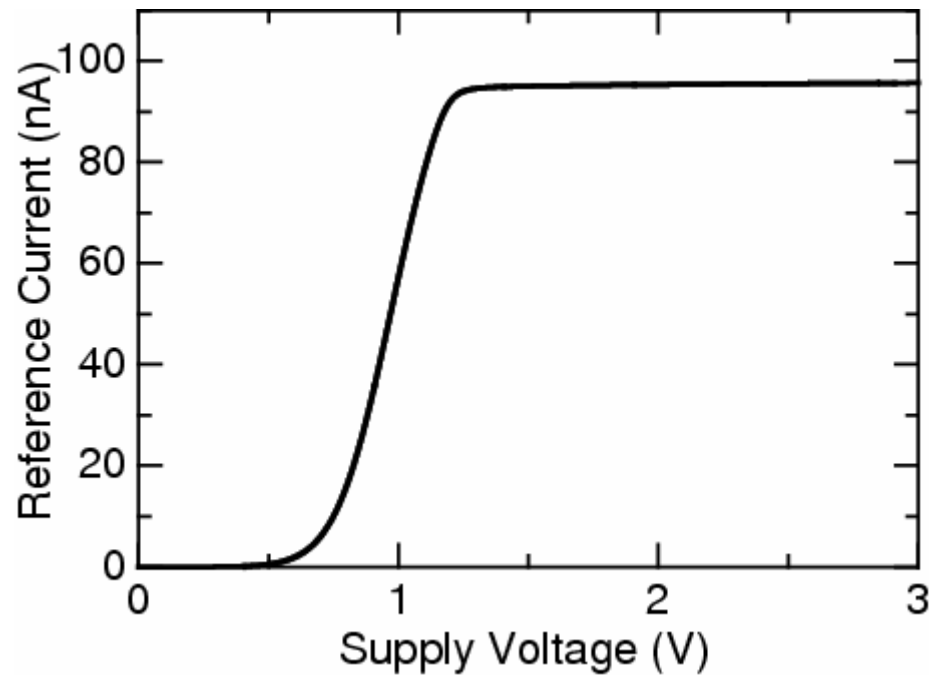
参照電流値の温度変動を±4%以内に抑制

消費電力 ⇒ 1.10 μ W (@100 °C)

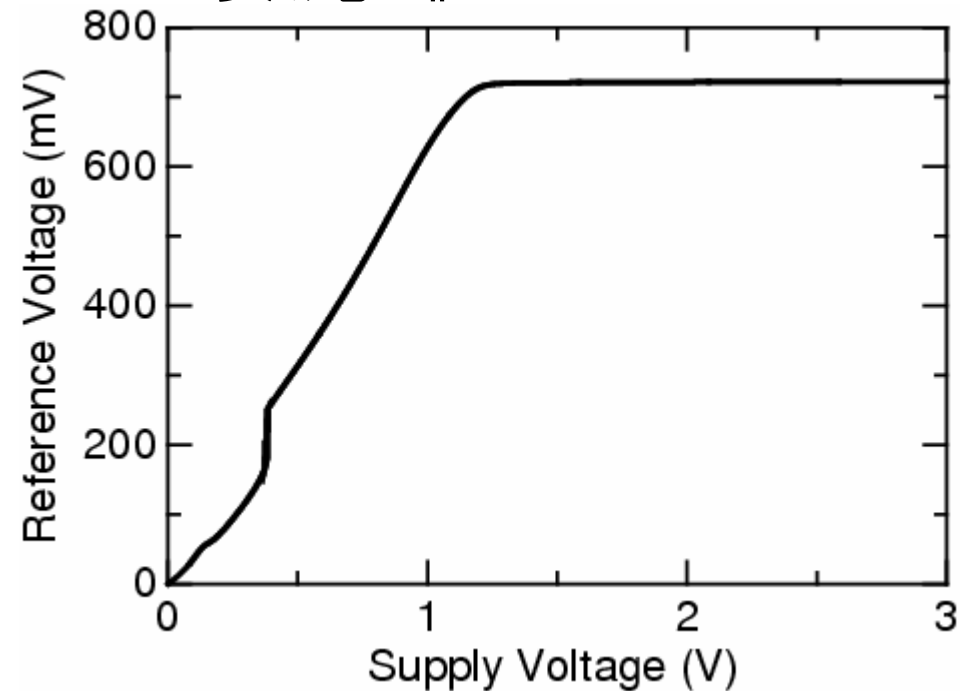
シミュレーション結果②

電源電圧依存性シミュレーション結果

参照電流値



参照電圧値



動作温度 @ 25 °C

約1.2V以上の動作電圧で、一定電流、一定電圧を供給可能

まとめ

CMOS弱反転領域で動作する定電源回路の開発

- ✓ 抵抗を用いないCMOS電源回路を開発
- ✓ 熱起電力(V_T)、移動度(μ)、しきい値電圧(V_{TH})の温度依存性を利用し、安定な電流源、電圧源回路を構築
- ✓ 理論計算、SPICEシミュレーションにより動作を確認
 - ✓ 電源電圧 $V_{DD} = 1.2 \text{ V}$ 以上で動作
 - ✓ 電流値の温度変動 ($-20 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$)を $\pm 4 \%$ 以内に抑制
 - ✓ Power = $1.10 \text{ } \mu\text{W}$ の低消費電力を実現