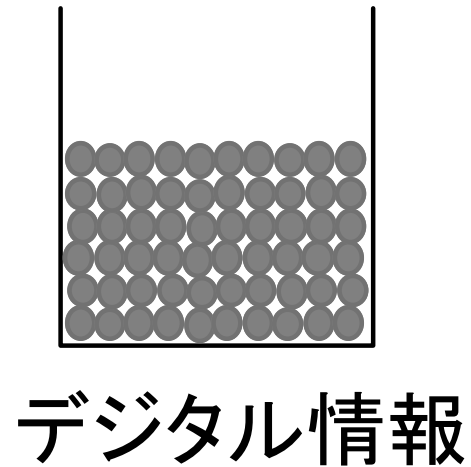
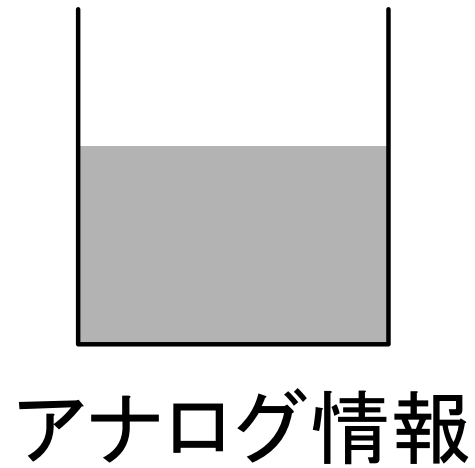
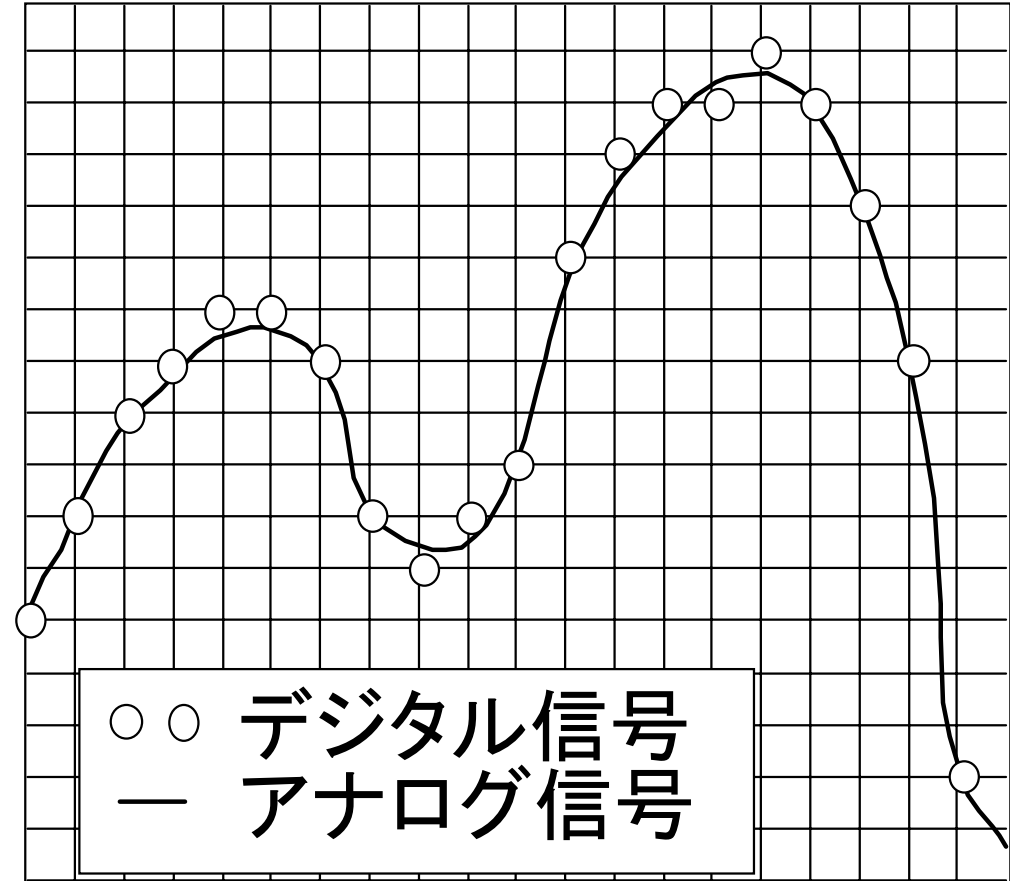


# 9章 CMOSアナログ基本回路

# デジタル情報とアナログ情報



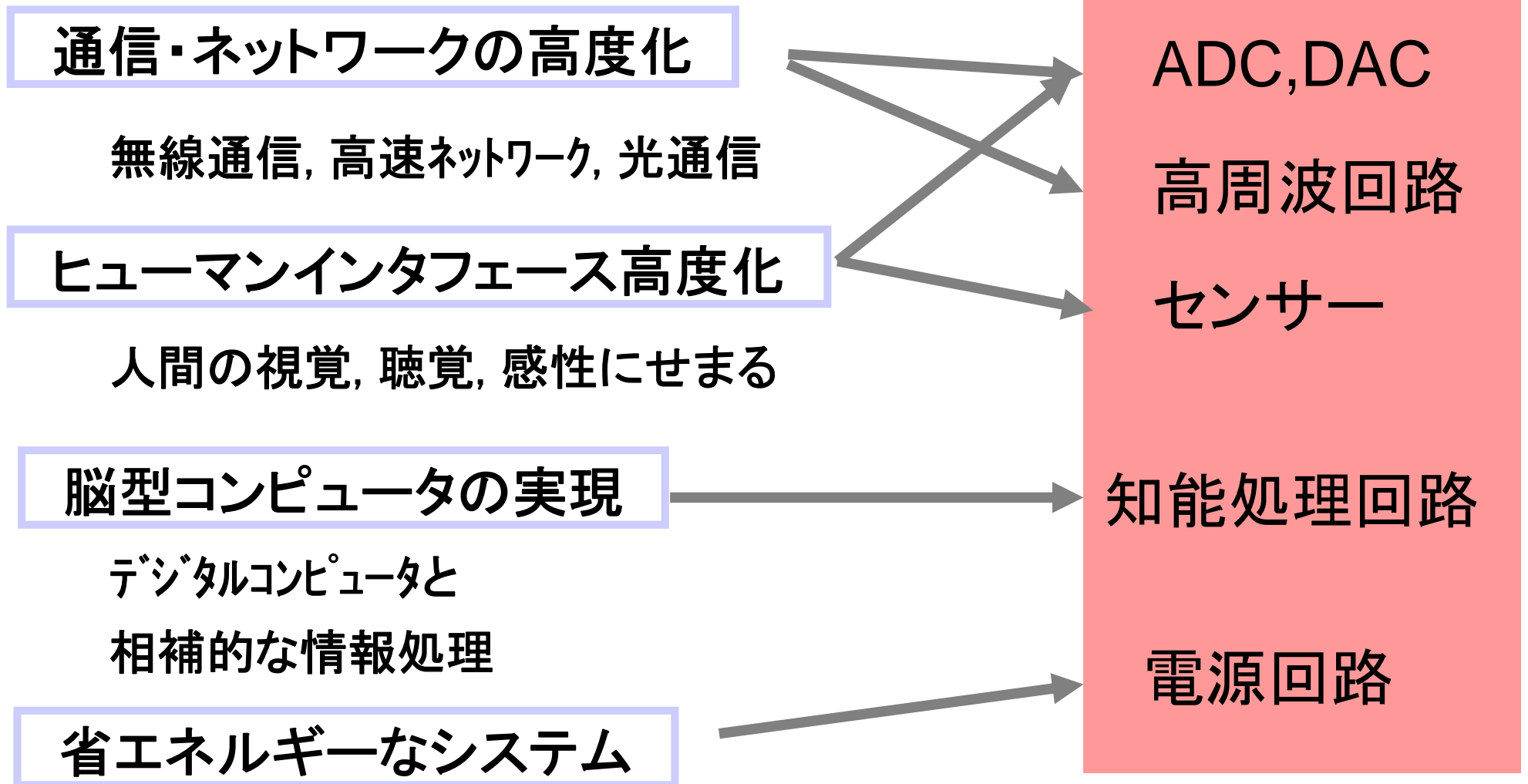
電圧



時間

# 情報処理システムにおけるアナログ技術

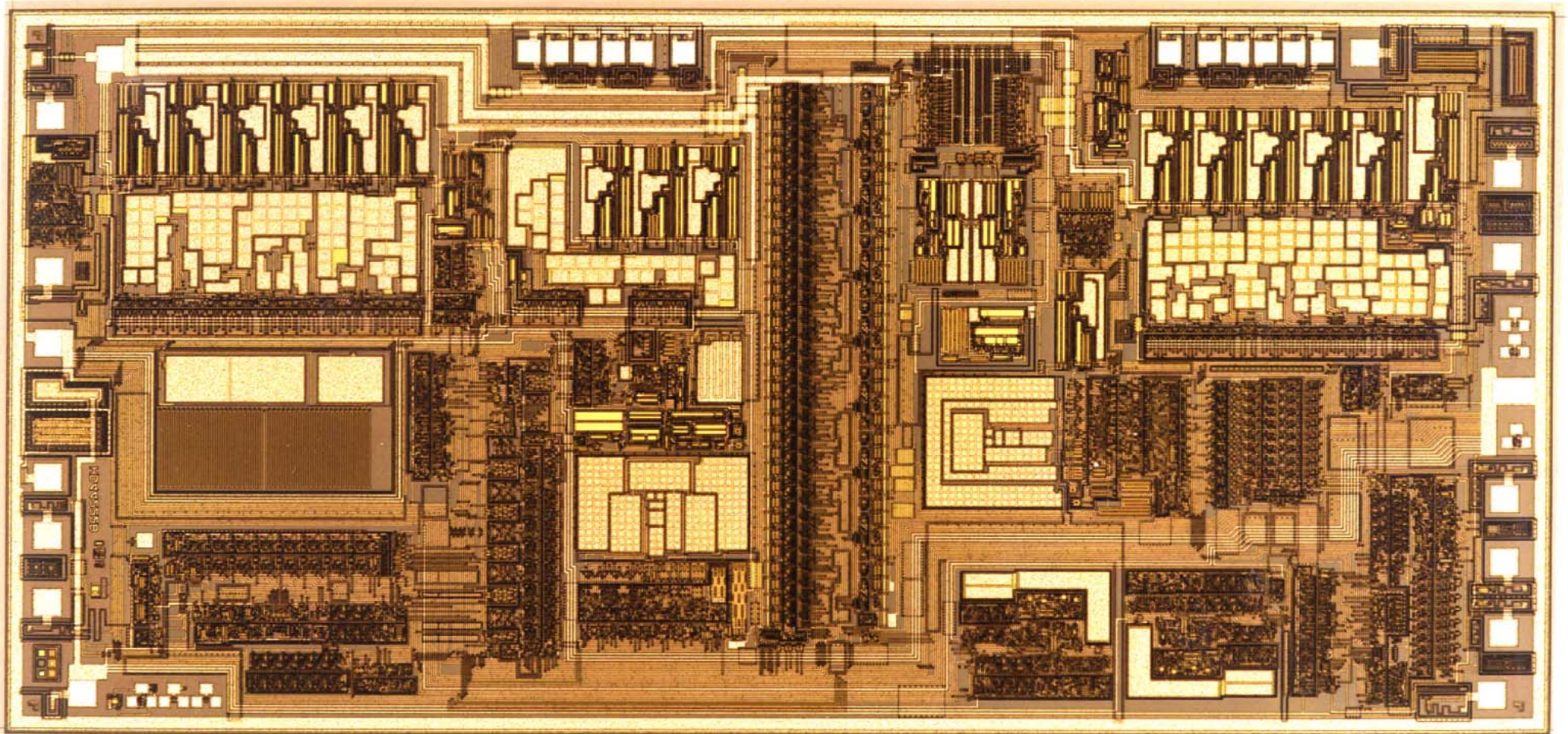
## アナログ回路



# 音声用AD,DA変換LSI

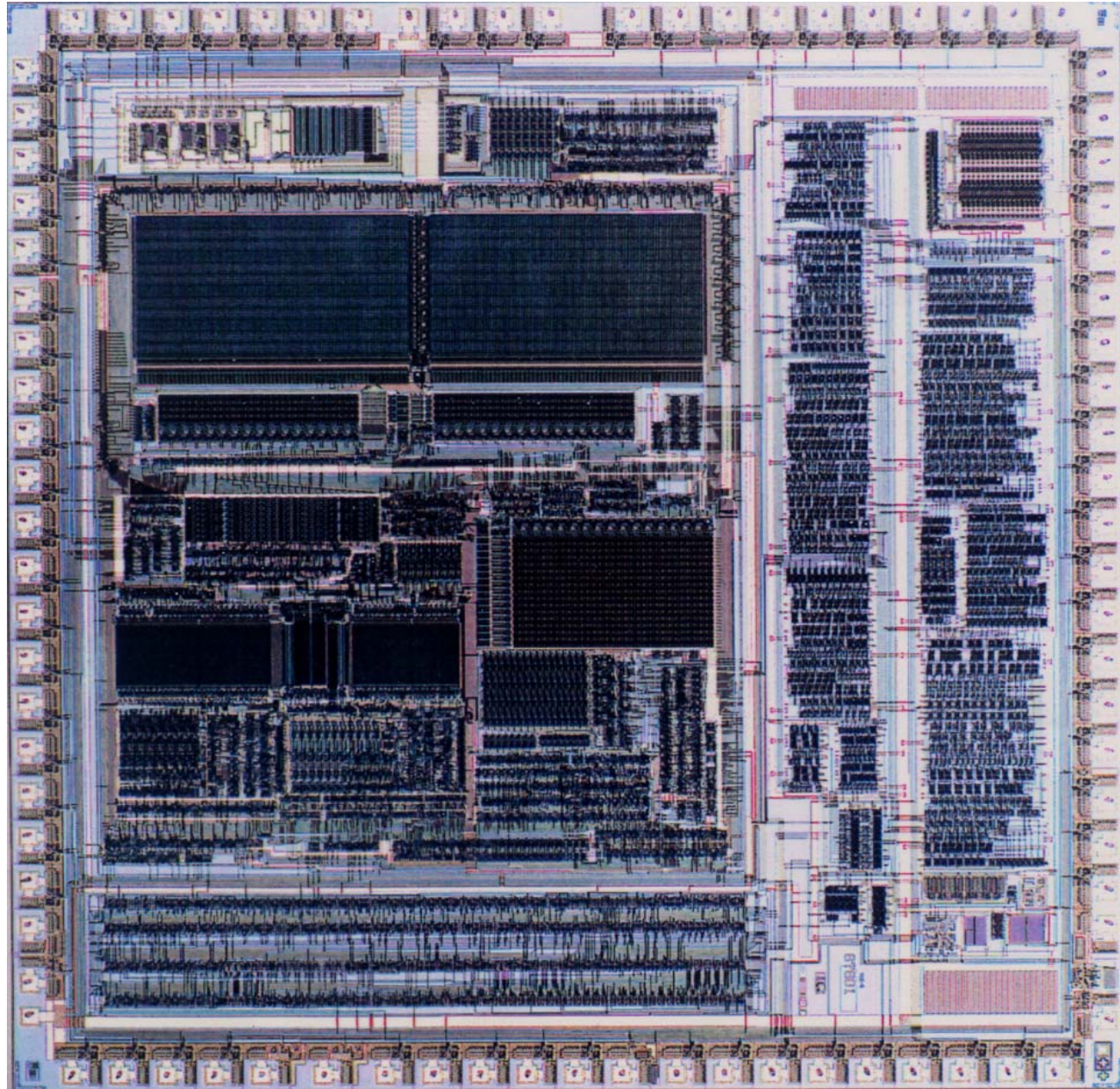
世界発のCMOSアナデジ混載LSI

Cアレイ型AD,DA変換器, スイッチトキャパシタフィルタ, PLL

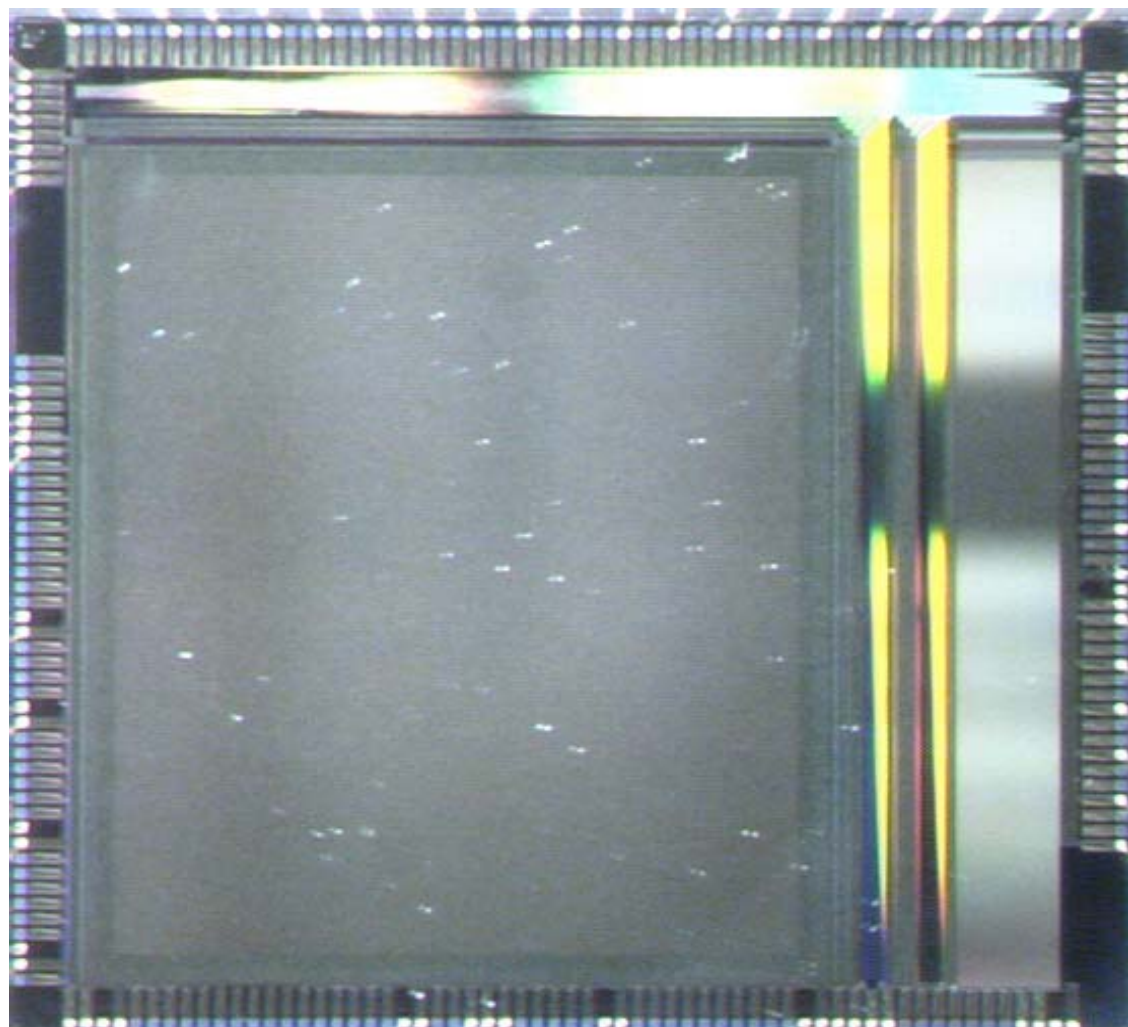


# カムコーダー用制御LSI

## AD,DA,MPU搭載

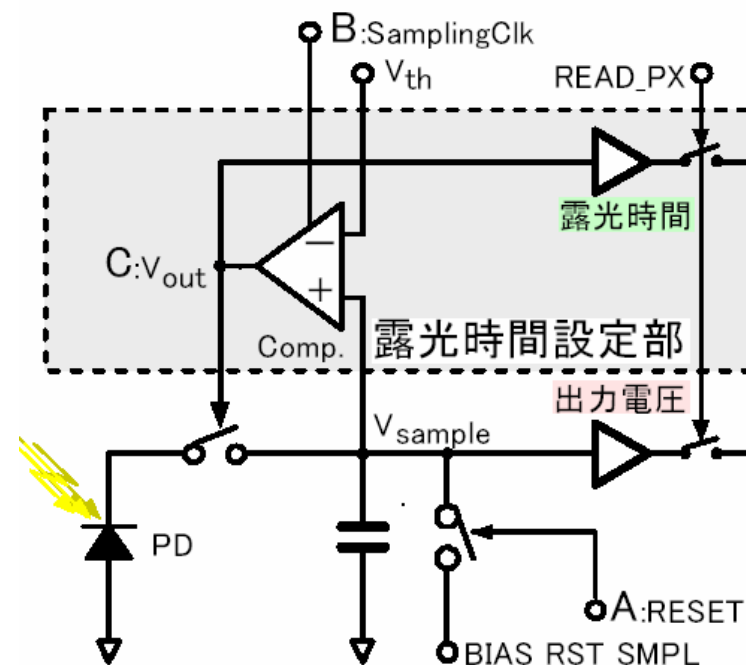


# CMOSイメージセンサー(IIS-V2)



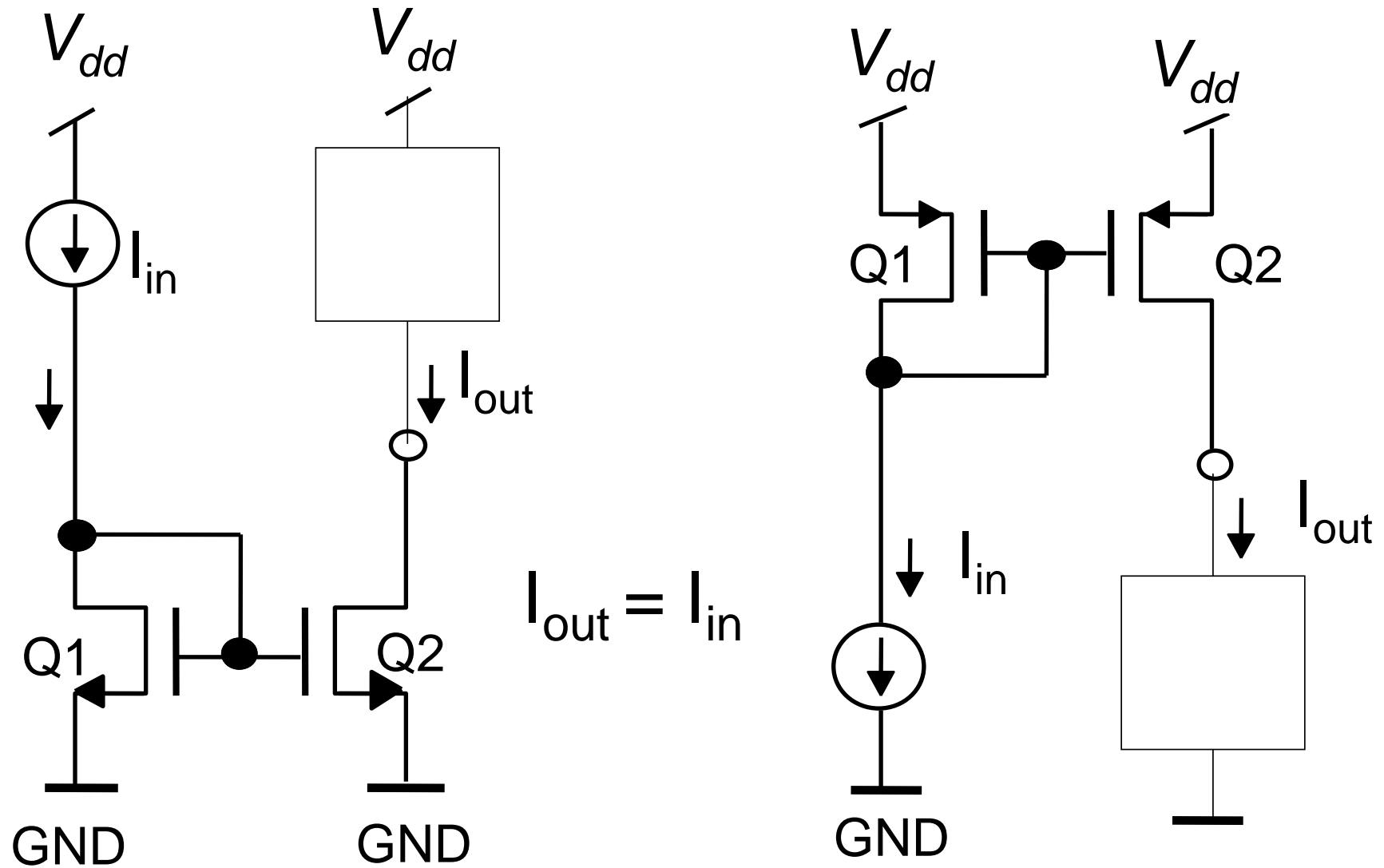
チップ写真

プロセス: 0.35 $\mu$ m CMOS  
チップサイズ: 9.8x9.8mm  
電源電圧: 3.3V

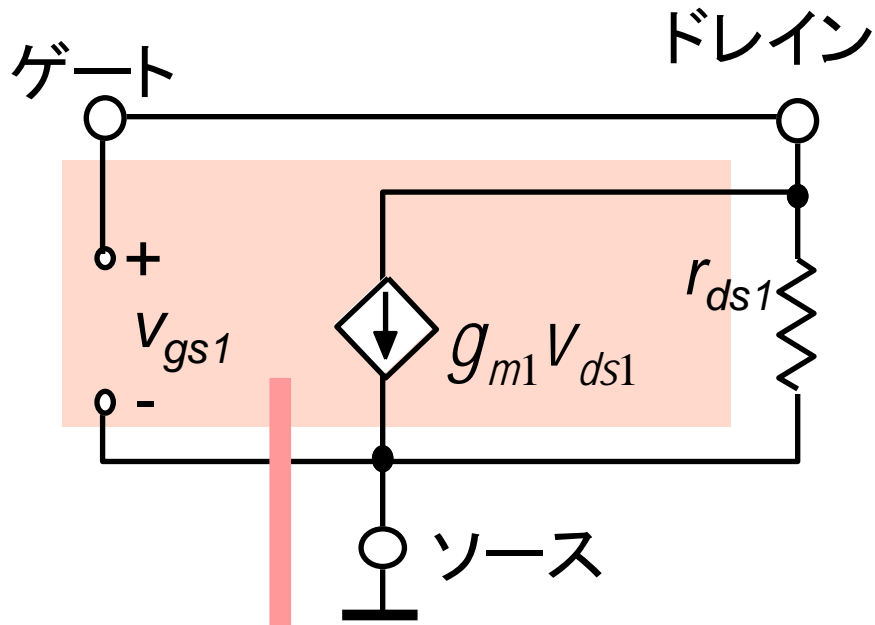


ピクセル回路

## カレントミラー

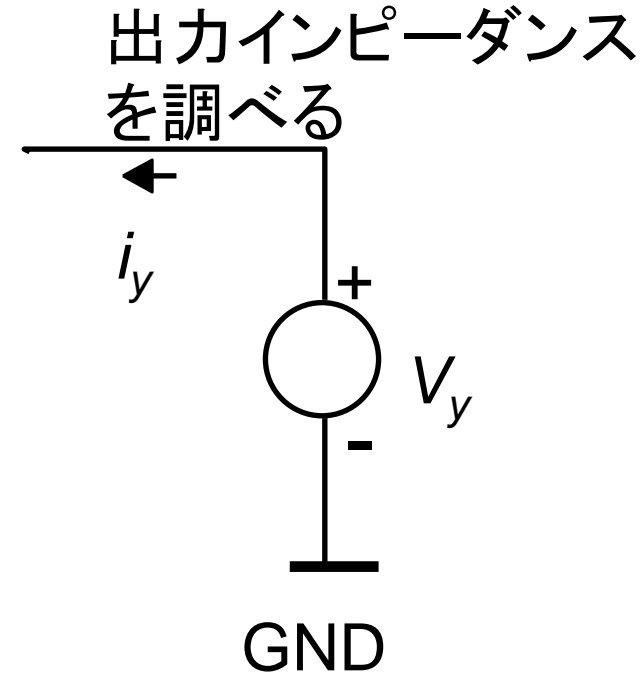


# Q1の等価回路



$$V_y = V_{gs1} = V_{ds1}$$

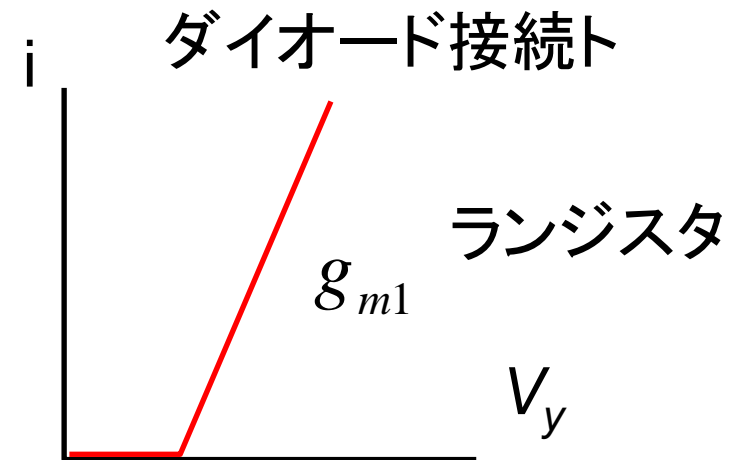
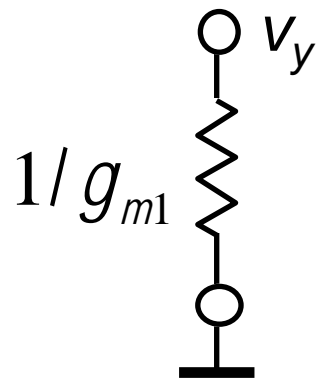
$$i_y = g_{m1} V_{ds1} + \frac{V_{ds1}}{r_{ds1}}$$



飽和領域では

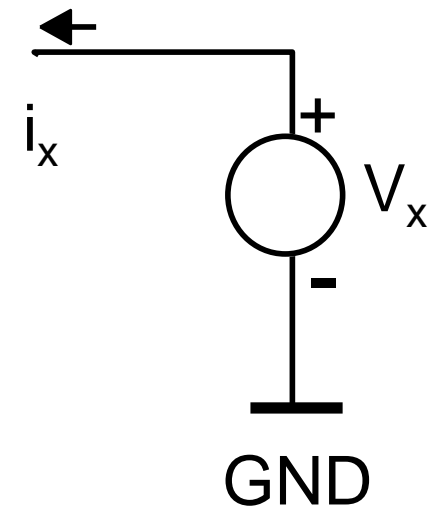
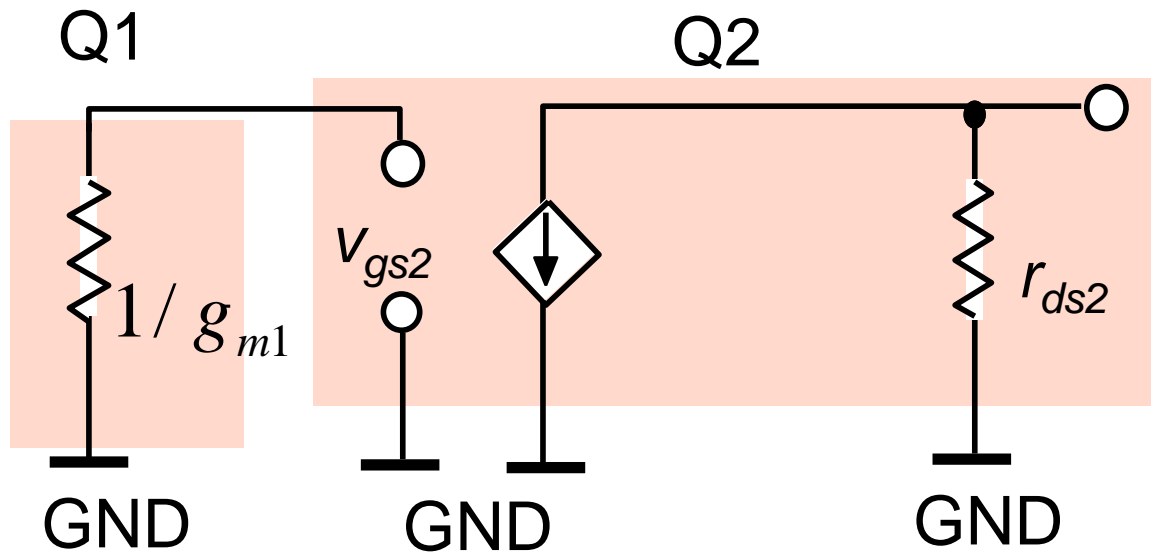
$1/g_{m1} \ll r_{ds1}$  であるので

$$i_y = g_{m1} V_{ds1}$$



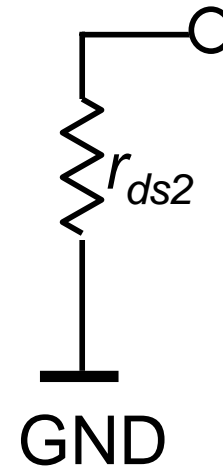


## カレントミラーの等価回路



$$i_x = g_{m2} V_{gs2} + \frac{V_x}{r_{ds2}}$$

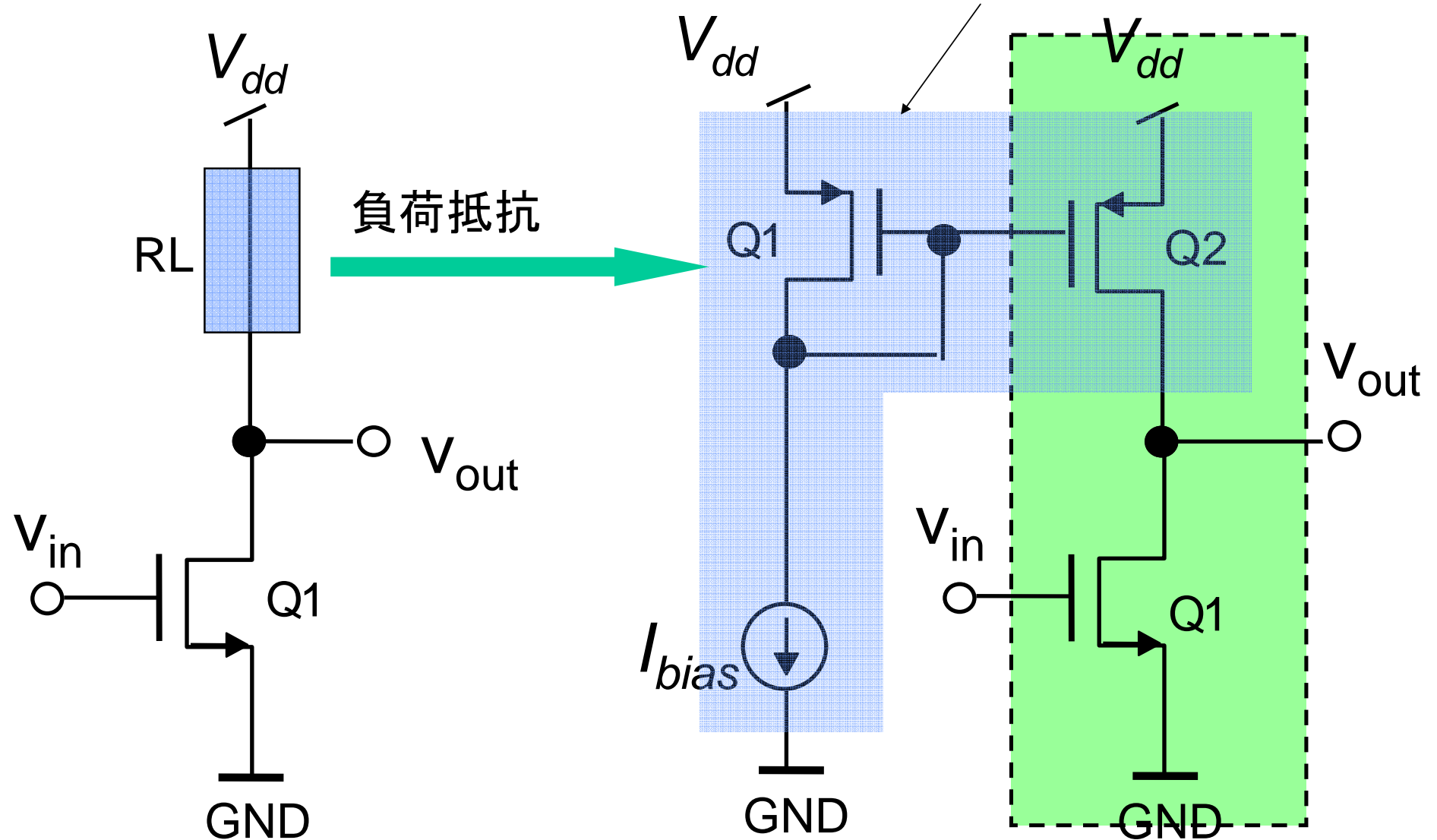
$$i_x = g_{m2} V_{gs2} = \frac{g_{m2}}{g_{m1}} i_y$$



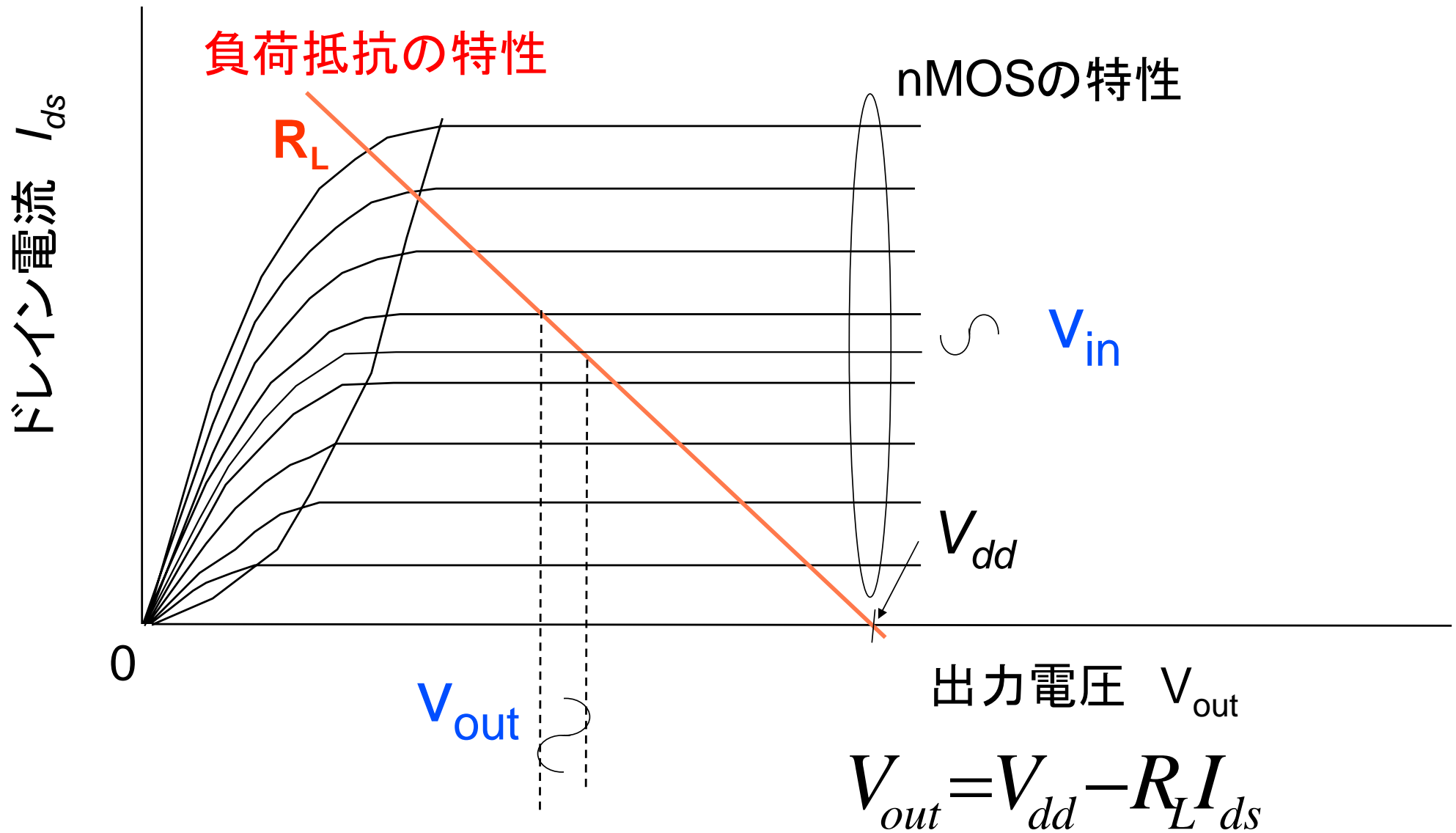
出力抵抗

飽和領域では  
高い出力抵抗 = 定電流源  
電圧によらず一定の電流を流す

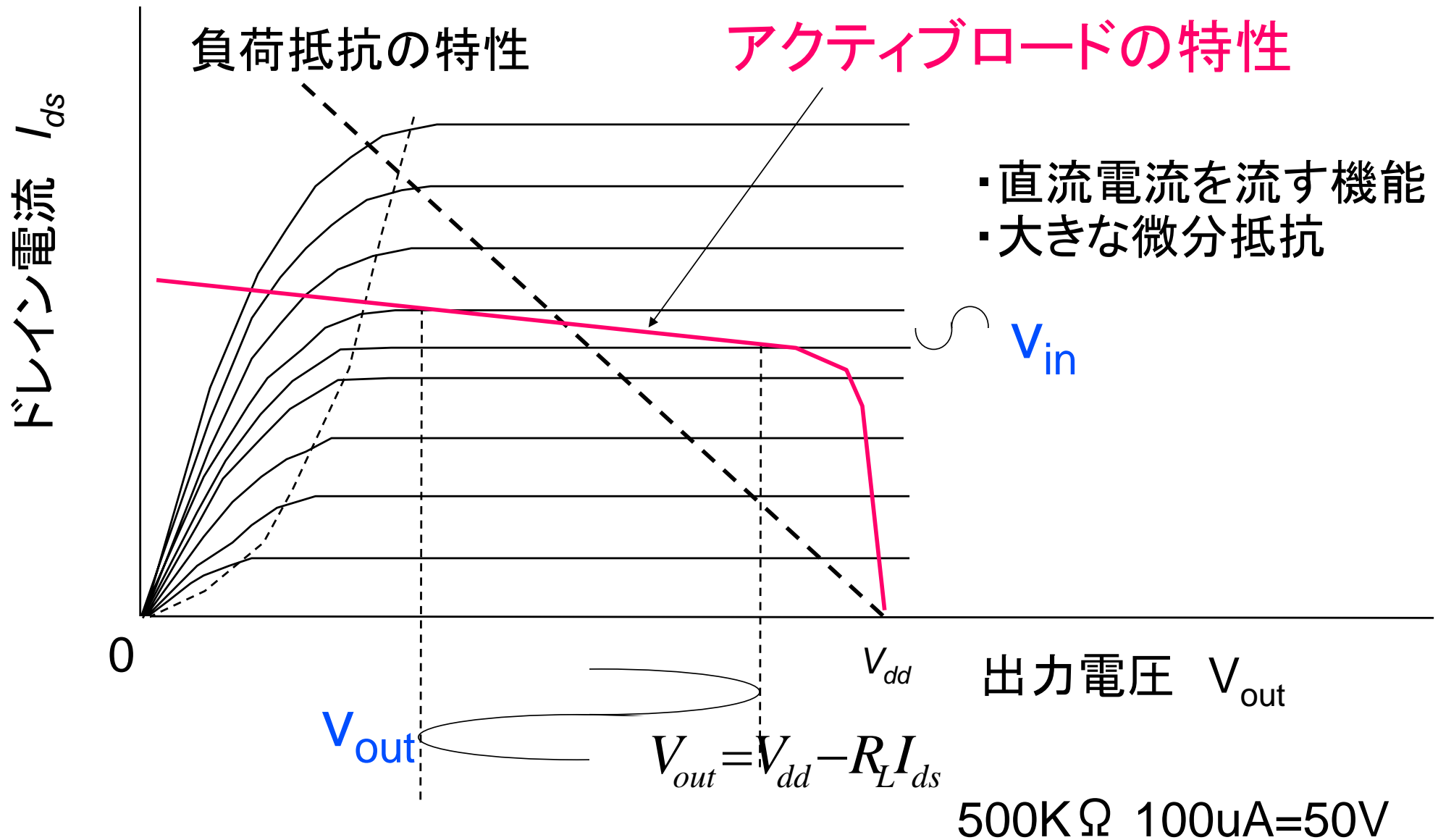
## ソース接地アンプ

カレントミラー型  
アクティブロード

## ソース接地アンプの動作

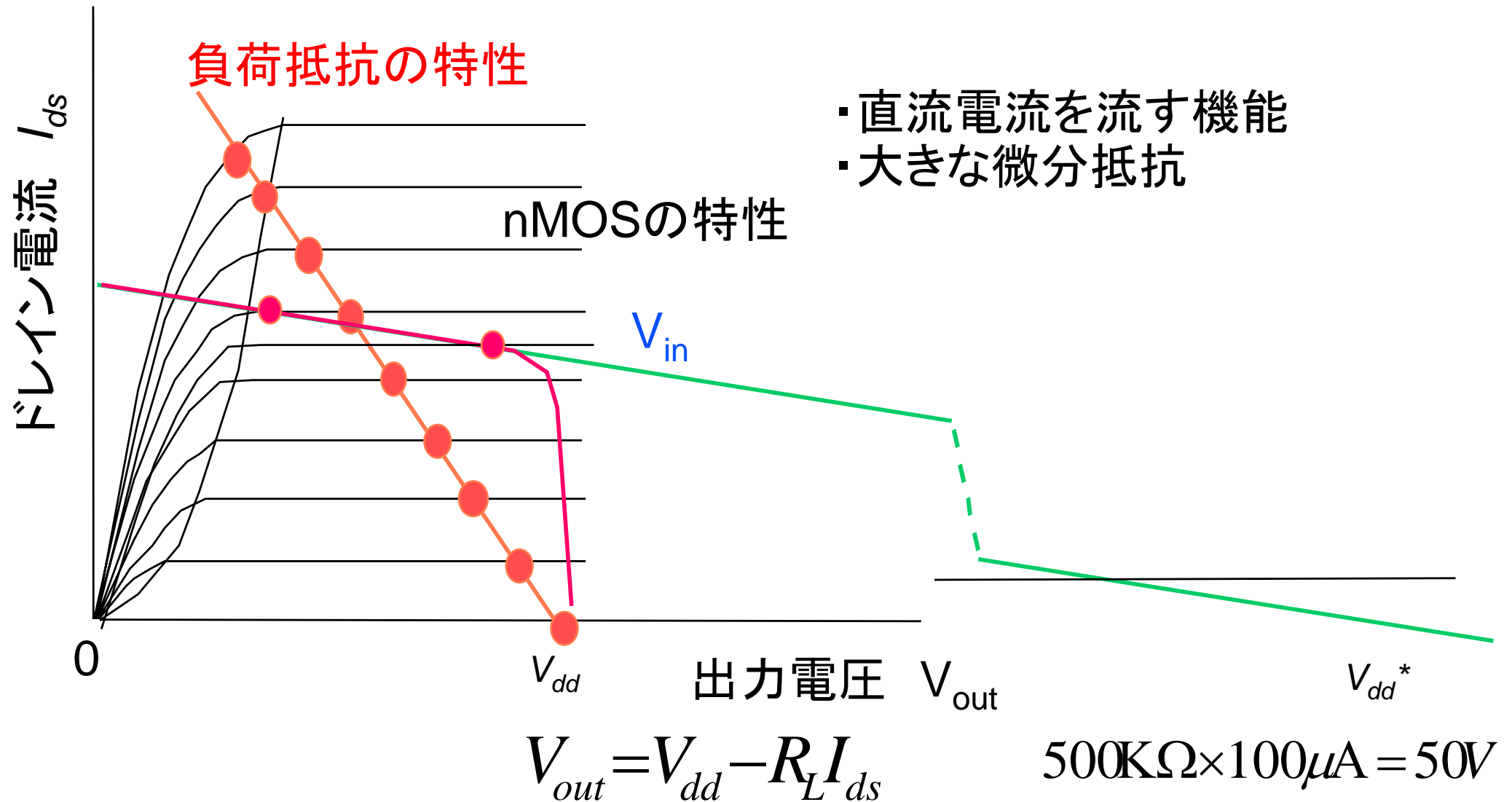


# ソース接地アンプの動作

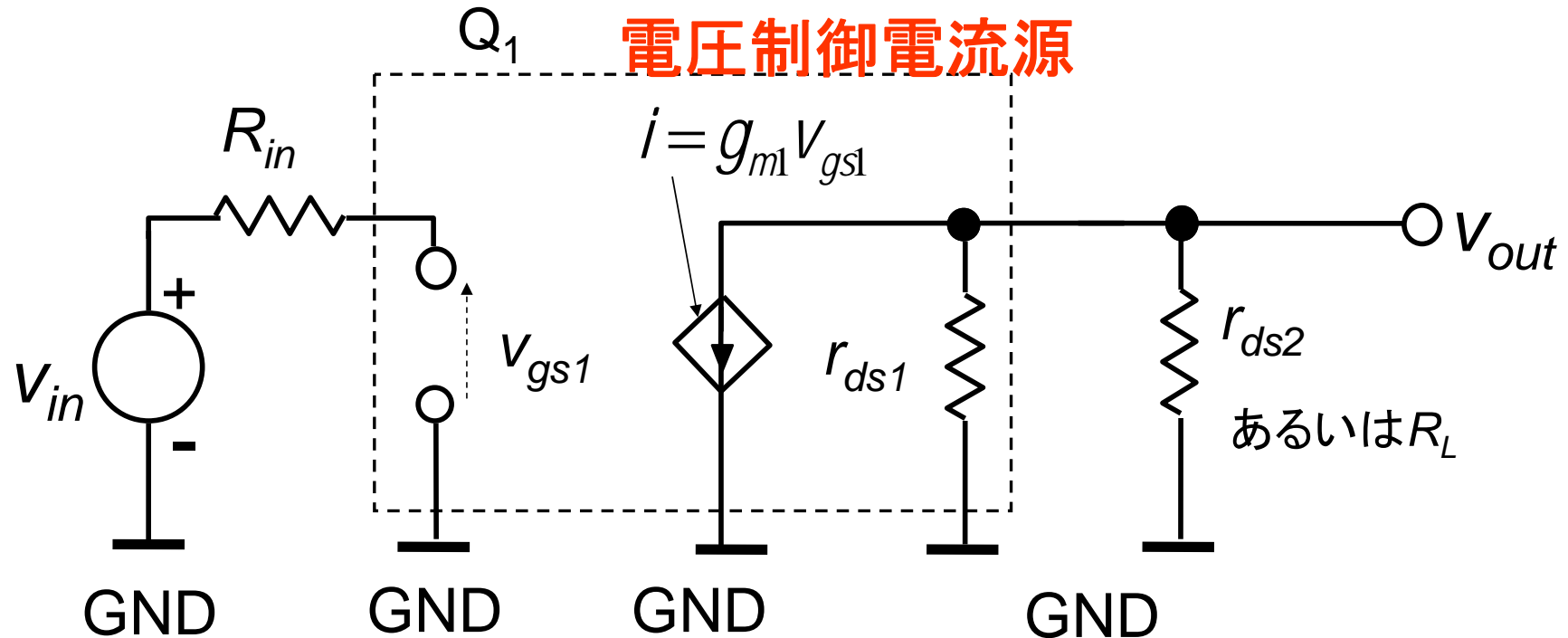


# ソース接地アンプの動作

## 抵抗負荷とアクティブロードの比較



## ソース接地アンプの等価回路と利得



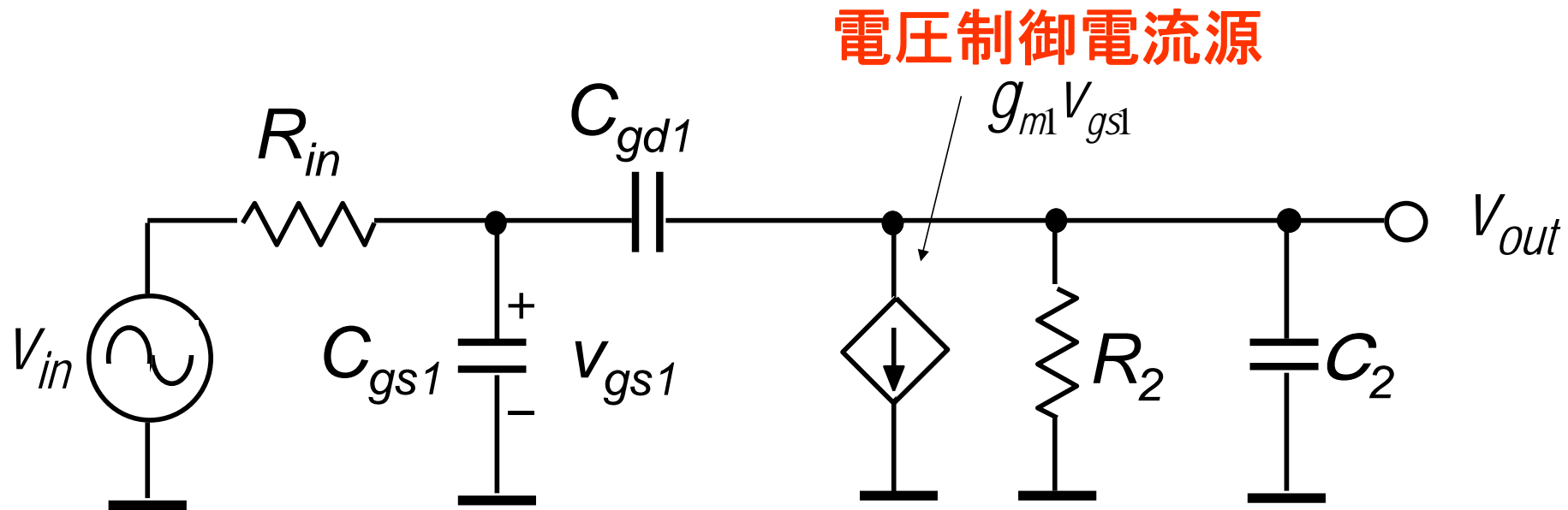
$$\text{電圧利得: } A_v = V_{out} / V_{in}$$

$$R_2 = r_{ds1} // r_{ds2}$$

$$= -g_{m1} R_2 = -g_{m1} (r_{ds1} // r_{ds2}) = -10 \sim -100$$

数値例  $1\text{mA/V} \times 100\text{K}\Omega = 100$

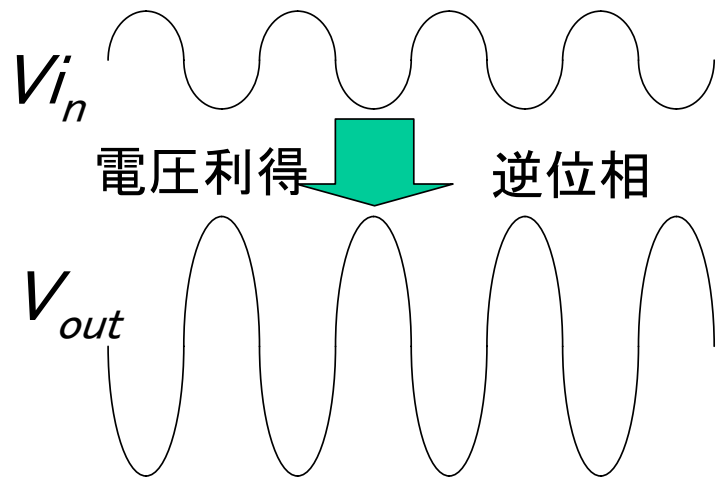
## ソース接地アンプの交流小信号等価回路



$$T(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{-g_{m1}R_2}{1 + s[R_{in}[C_{gs1} + C_{gd1}(1 + g_{m1}R_2)] + R_2(c_{gd1} + C_2)]}$$

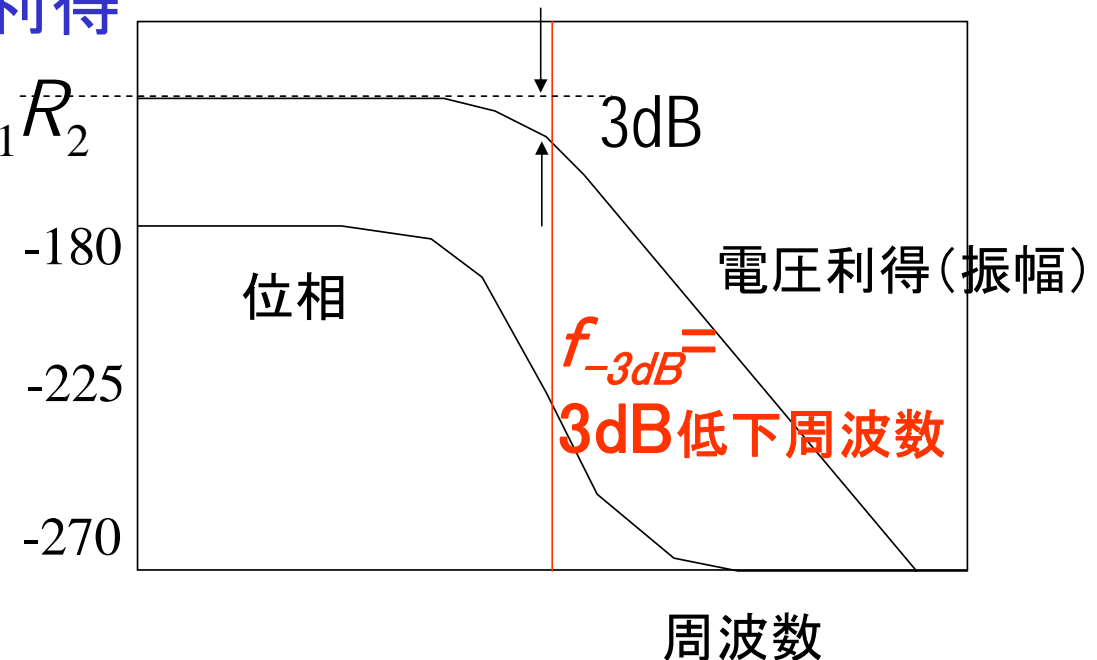
# ソース接地アンプの周波数特性

$$T(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{-g_{m1}R_2}{1 + j\omega \left[ R_{in} \left[ C_{gs1} + C_{gd1}(1 + g_{m1}R_2) \right] + R_2(c_{gd1} + C_2) \right]}$$



DC利得

$$g_{m1}R_2$$

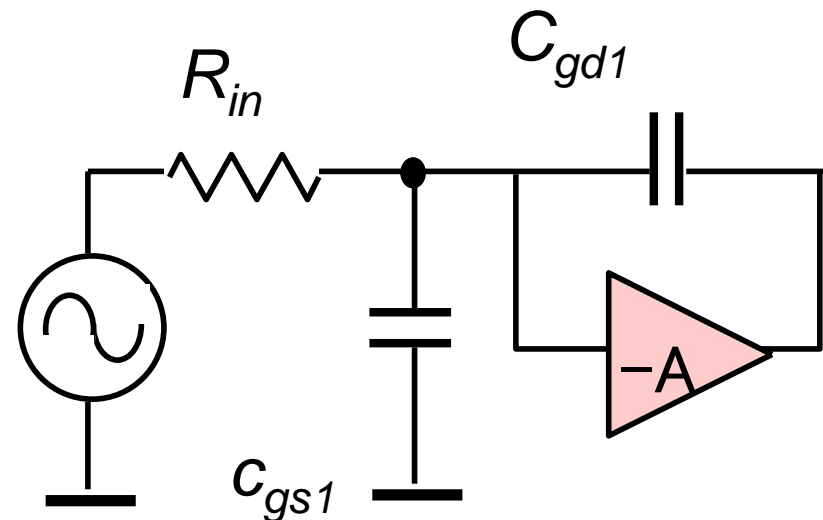
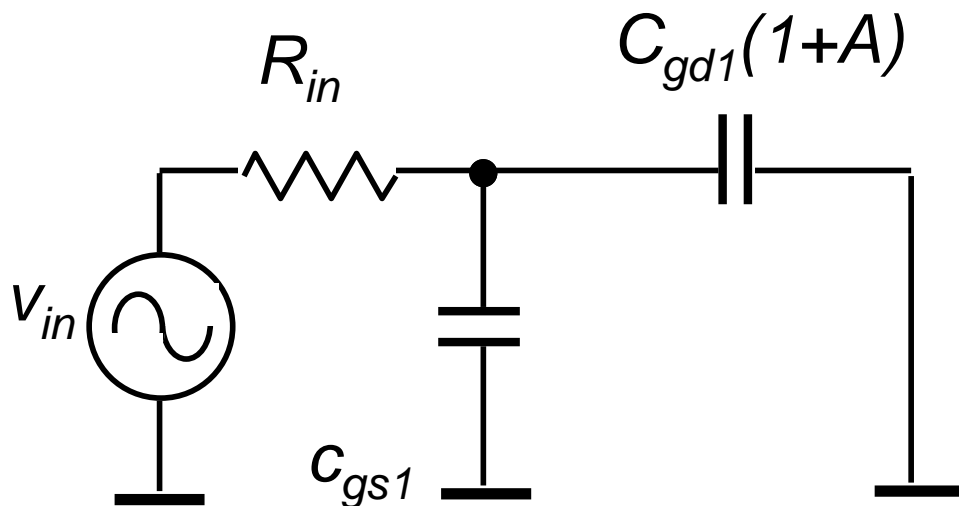




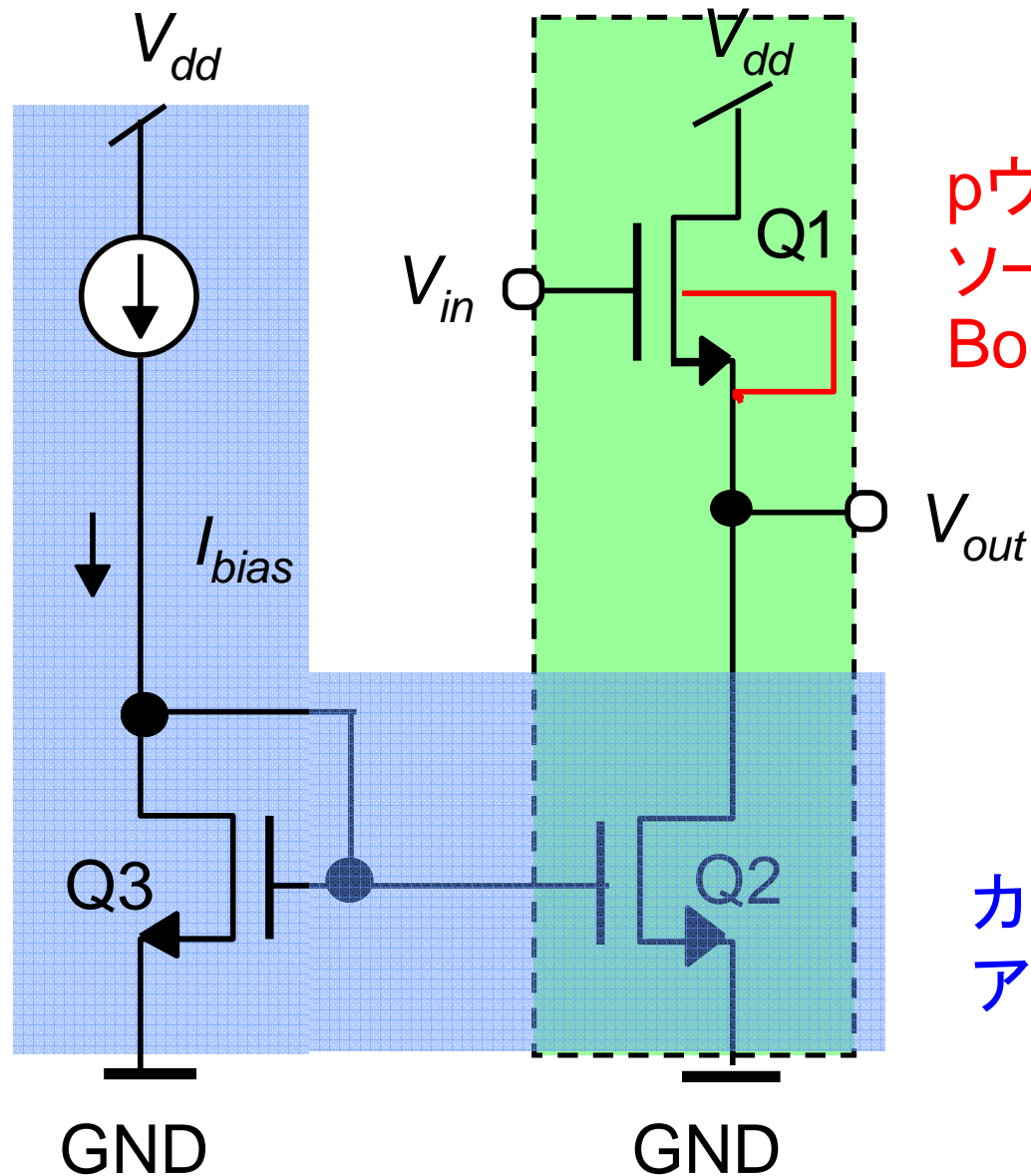
## ソース接地アンプの信号帯域

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R_{in} [C_{gs1} + C_{gd1} (1 + g_{m1} R_2)] + R_2 (C_{gd1} + C_2)}$$

$$= \frac{1}{2\pi R_{in} [C_{gs1} + C_{gd1} (1 + A)]} \quad \text{ミラー容量} \quad A = g_{m1} R_2$$



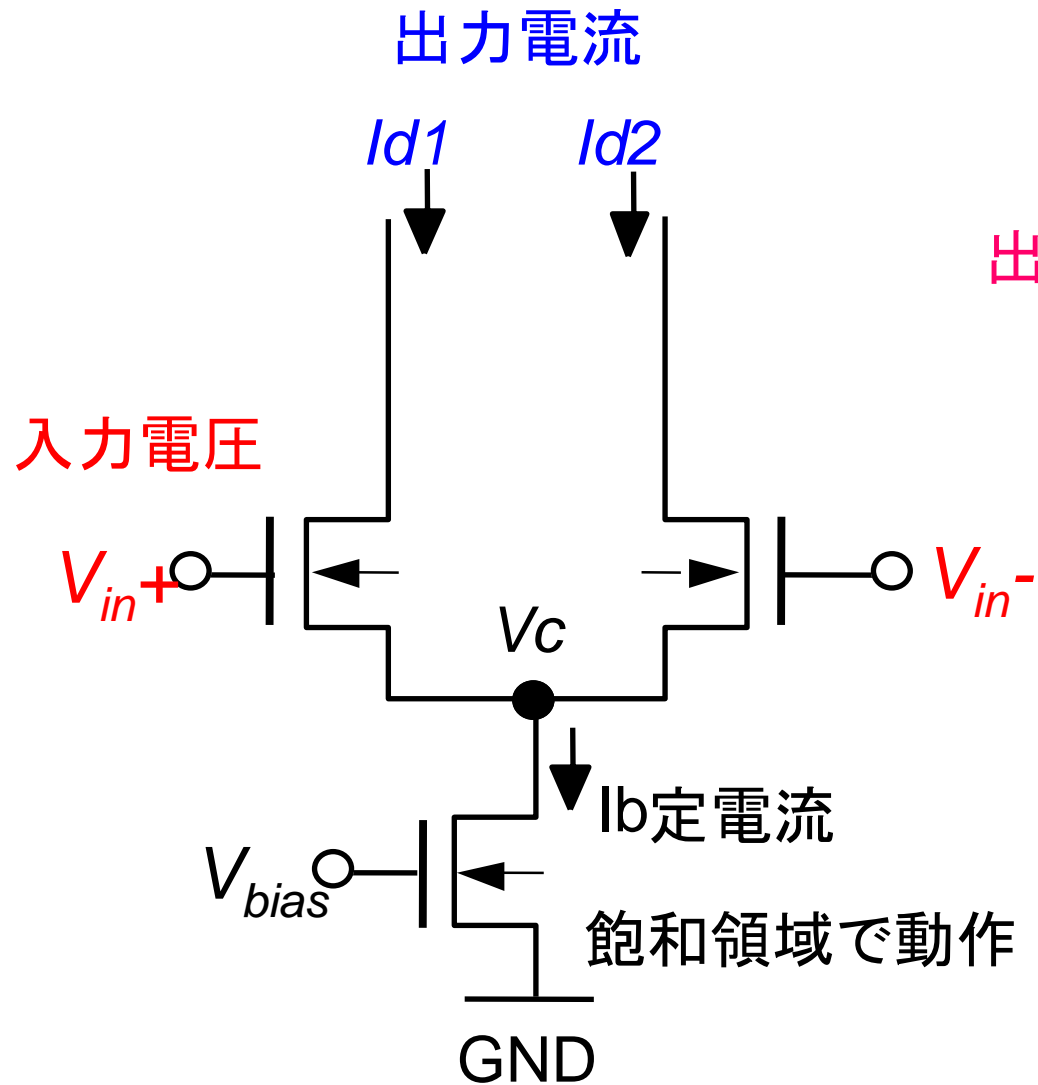
## ソースフォロワ (ドレイン接地アンプ)



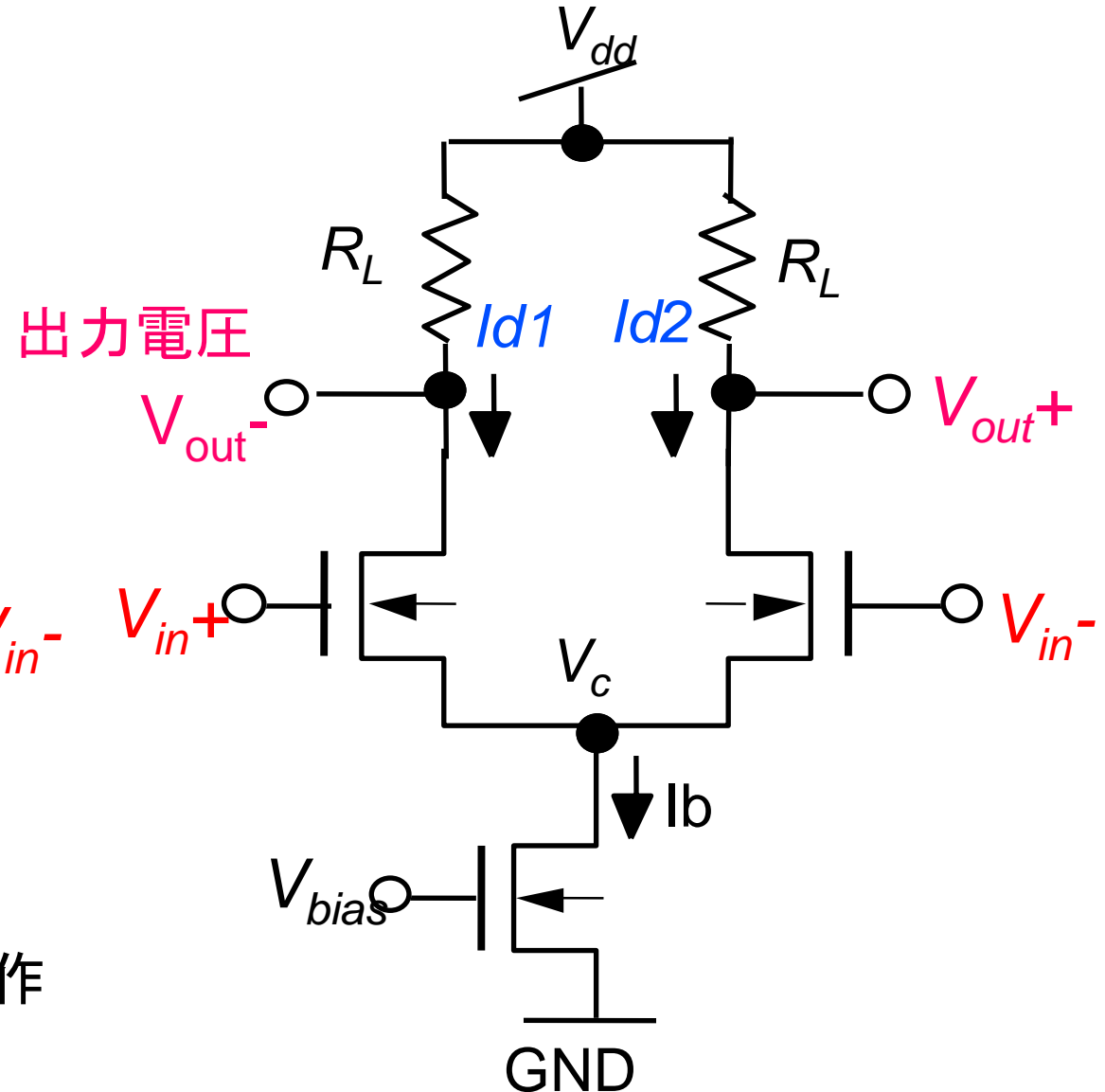
pウェルを使用している場合  
ソースに接続すれば  
Body Effectが起きない

カレントミラー  
アクティブロード

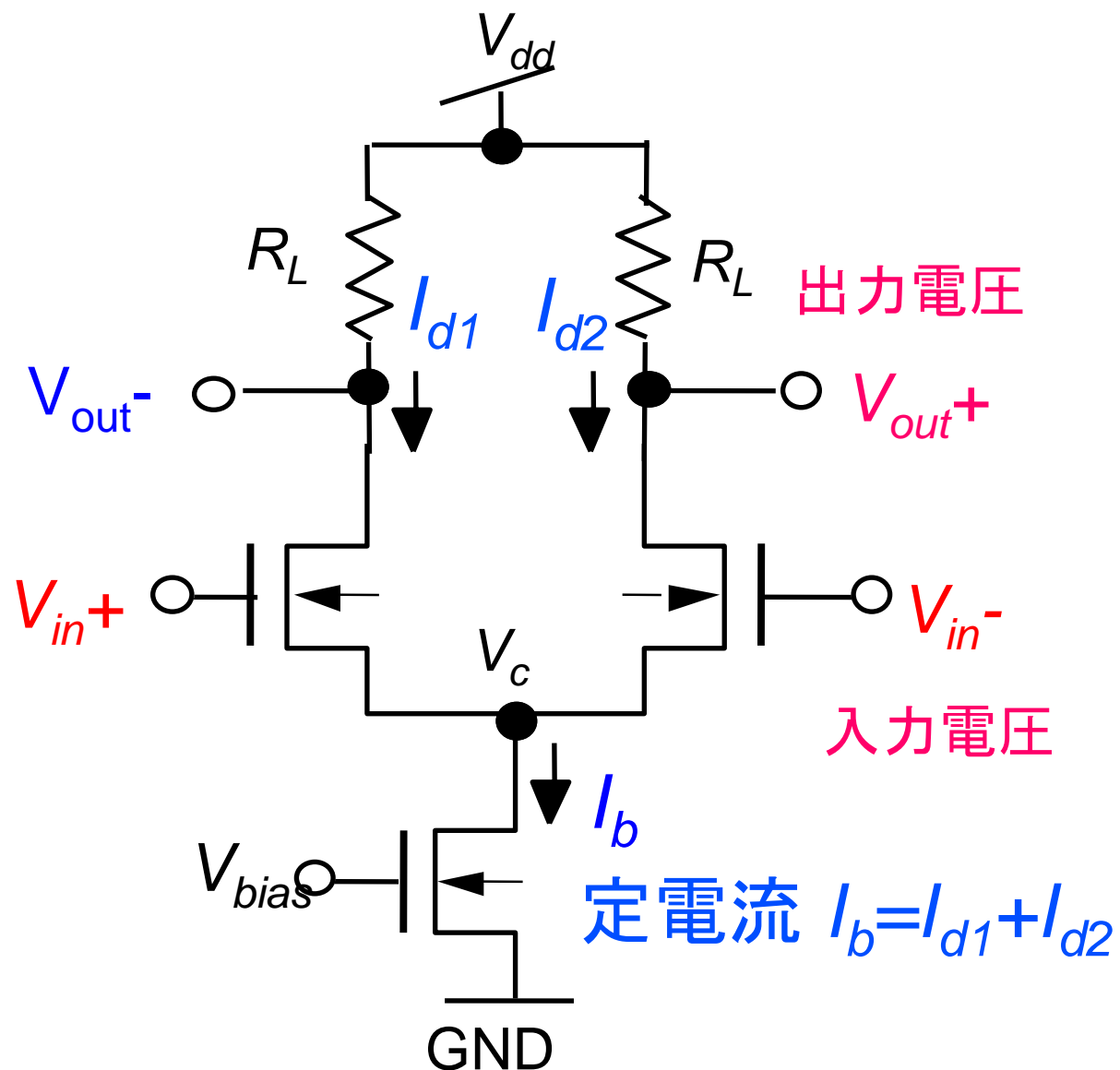
## ソース結合差動対



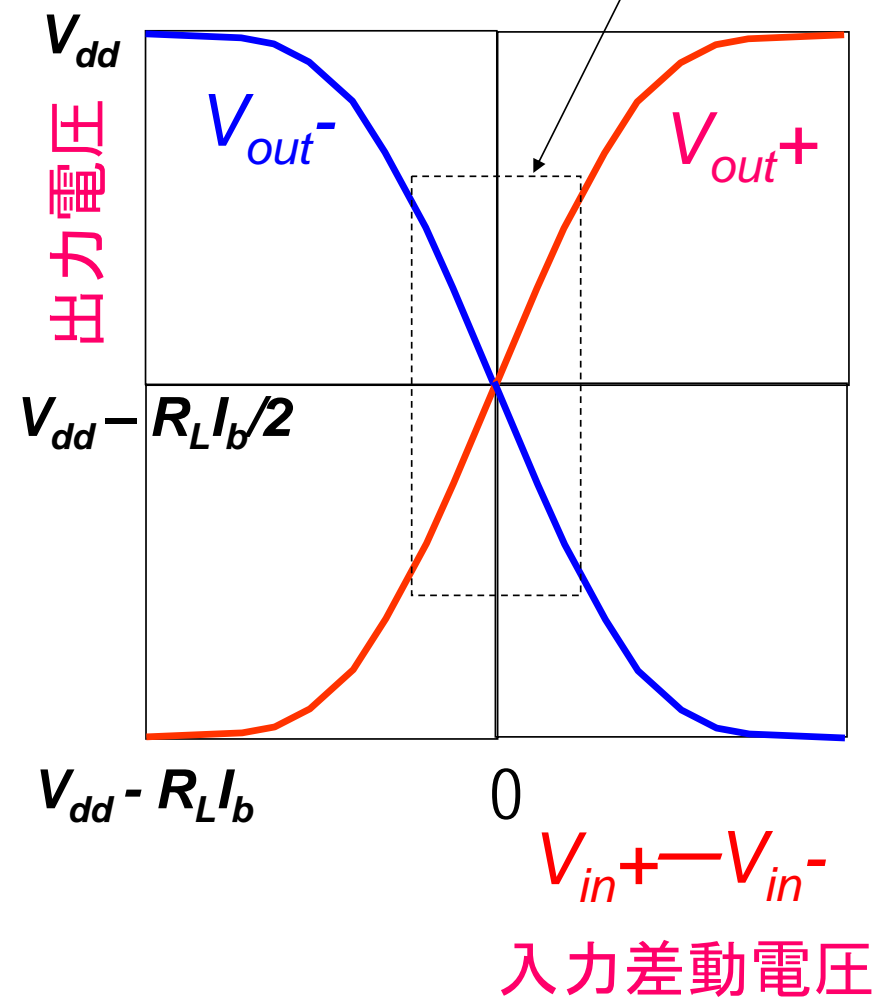
## 差動増幅回路



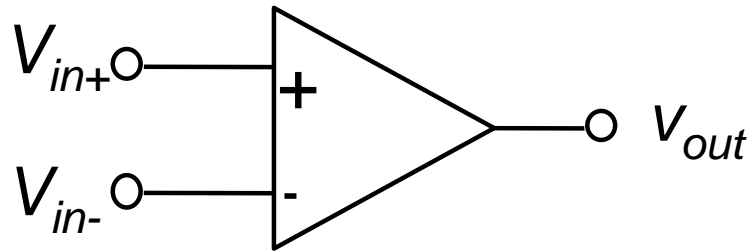
## 差動増幅回路の動作



線形性のある領域



# OPA : Operational Amplifier



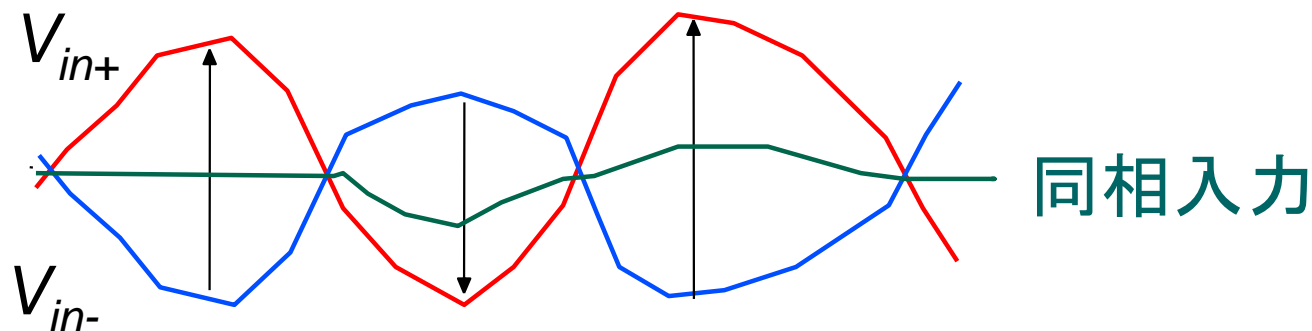
$$V_{out} = A_d (V_{in+} - V_{in-})$$

差動入力  $V_{in+} - V_{in-}$  に対する利得  $A_d = \infty$

出カインピーダンス = 0

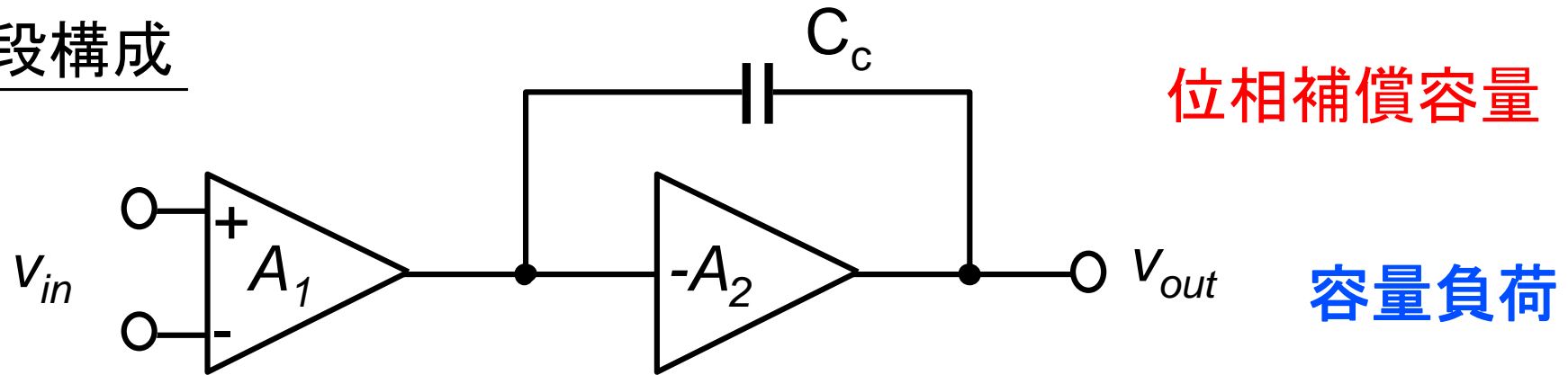
入カインピーダンス =  $\infty$

同相入力  $(V_{in+} + V_{in-}) / 2$  に対する利得  $A_c = 0$



# オペアンプのブロック構成

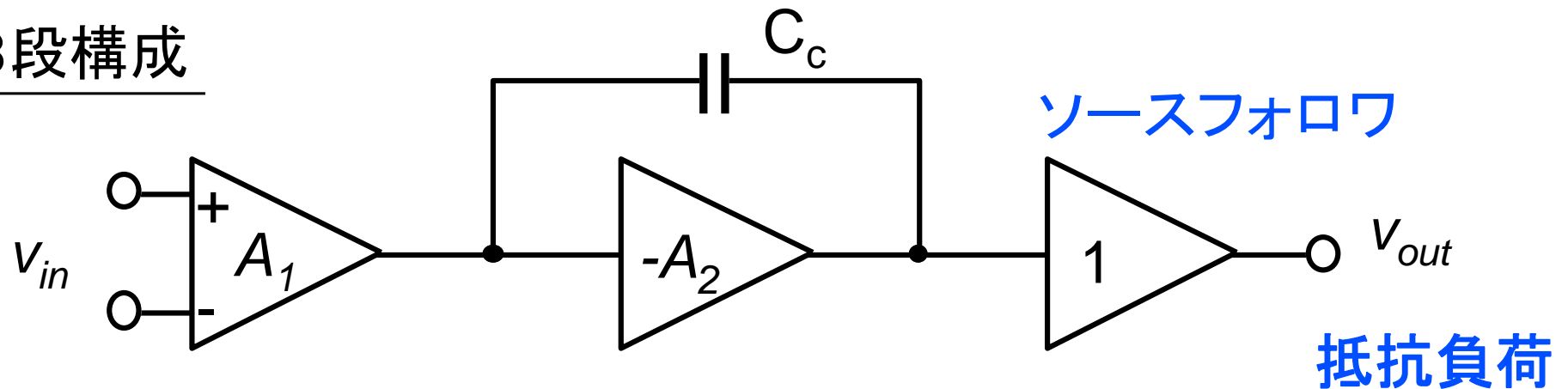
## 2段構成



差動アンプ

ソース接地アンプ

## 3段構成



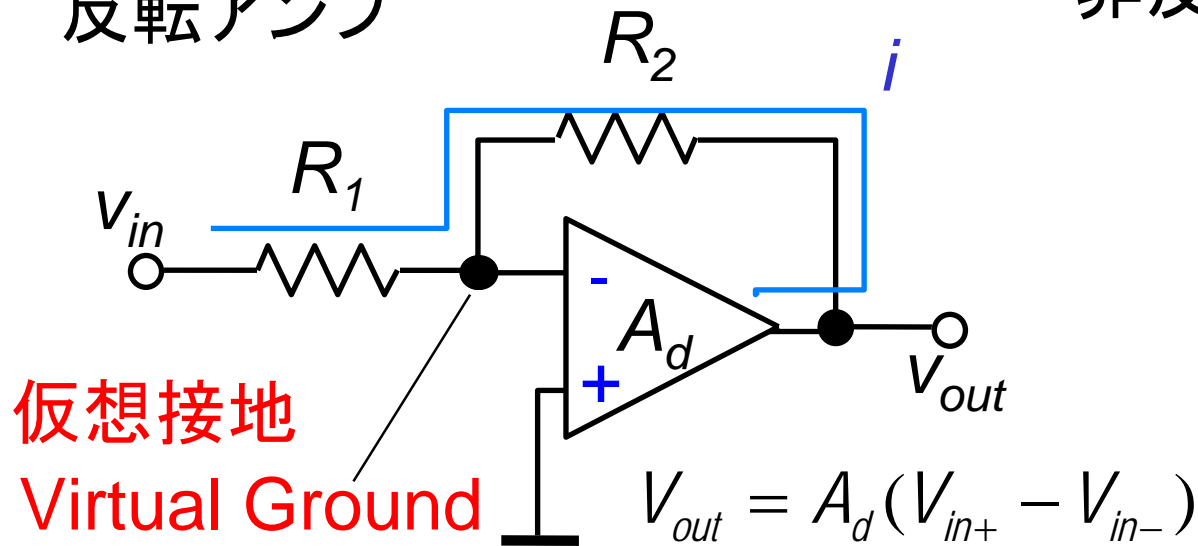
Differential  
input stage

Second  
gain stage

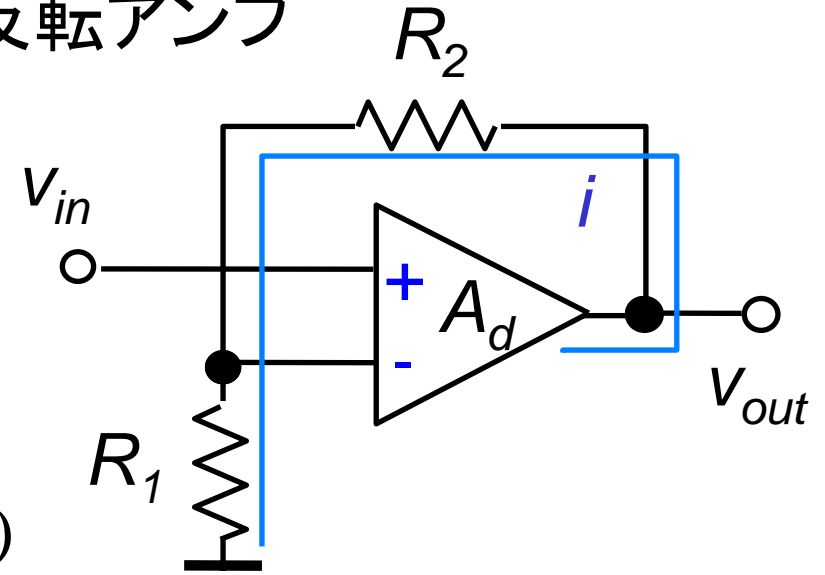
Output  
buffer

## オペアンプを用いた基本回路

反転アンプ



非反転アンプ



$$V_{out} = A_d (R_2 V_{in} + R_1 V_{out} - 0) / (R_1 + R_2)$$

$$V_{out} = A_d (V_{in} - R_1 V_{out} / (R_1 + R_2))$$

$$A_d = \infty$$

$$A_d = \infty \quad V_{out} / V_{in} = 1 + (R_2 / R_1)$$

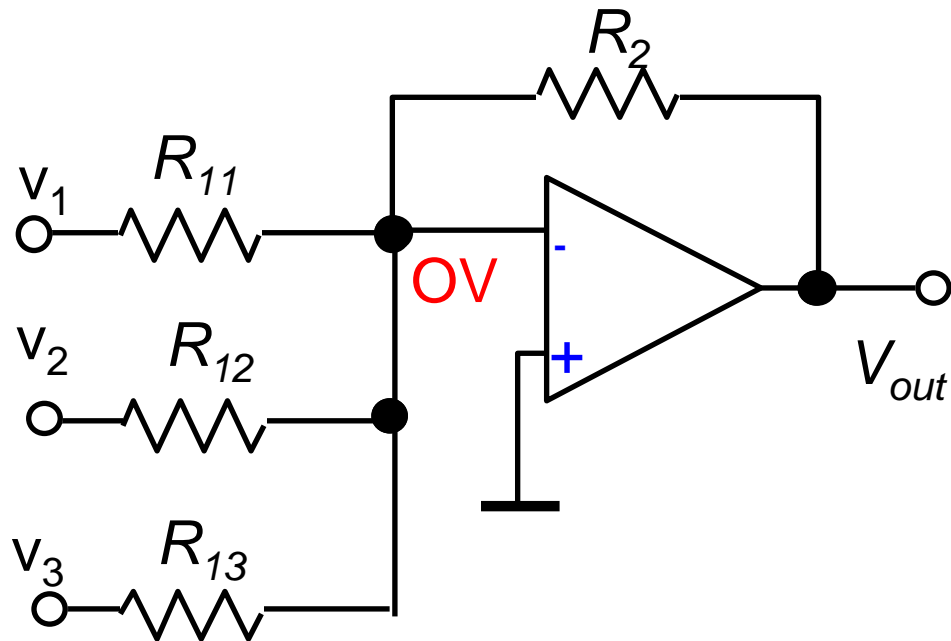
$$V_{out} / V_{in} = -R_2 / R_1$$

$$R_1 = \infty \quad V_{out} / V_{in} = 1$$

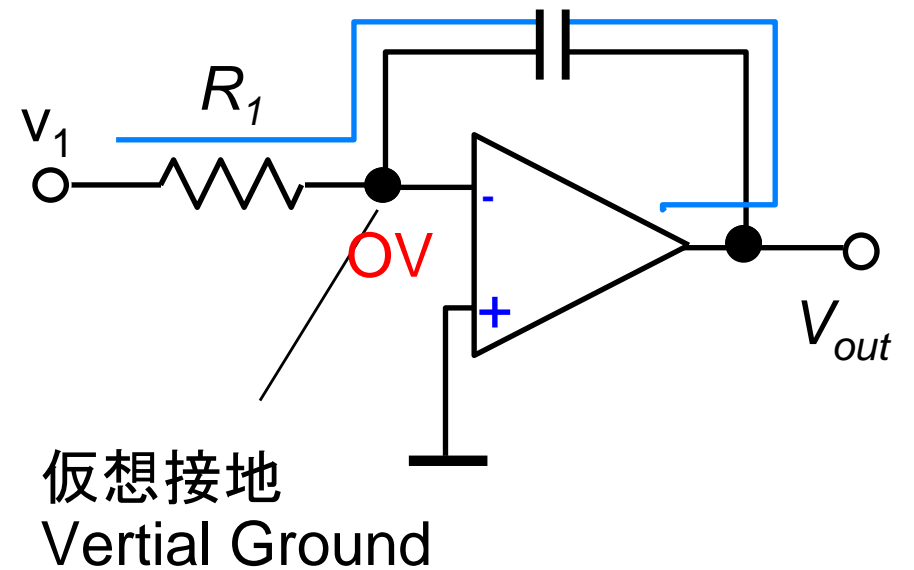
ボルテージフォロワ

## オペアンプを用いた基本回路

加算回路

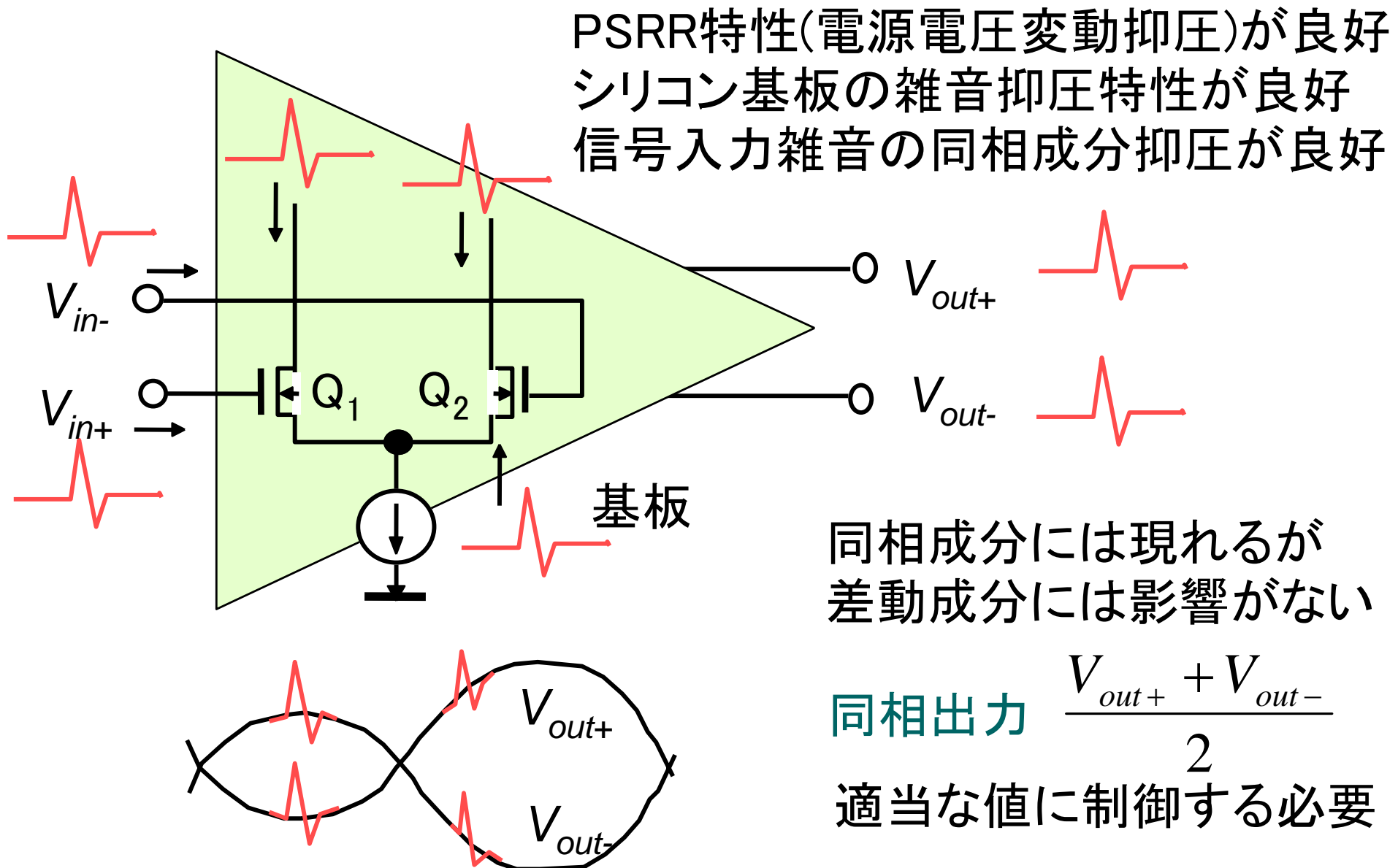


積分回路





# 全差動OPA(差動入力差動出力)



# コンパレータ(電圧比較器)の機能

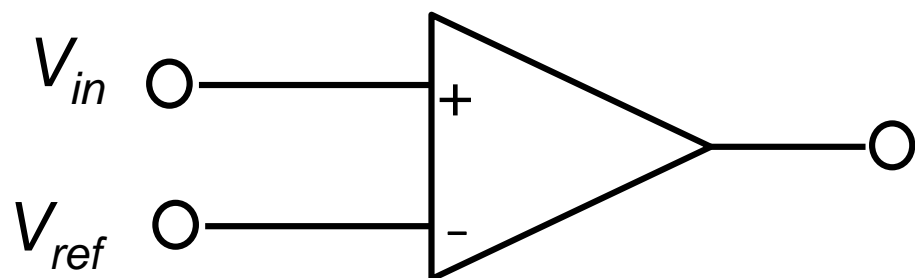
アナログ信号をデジタル化(2値化)する

$$V_{in} > V_{ref} : V_{out} = 1$$

$$V_{in} < V_{ref} : V_{out} = 0$$

# オペアンプを用いたコンパレータ

オープンループのオペアンプはコンパレータになる.

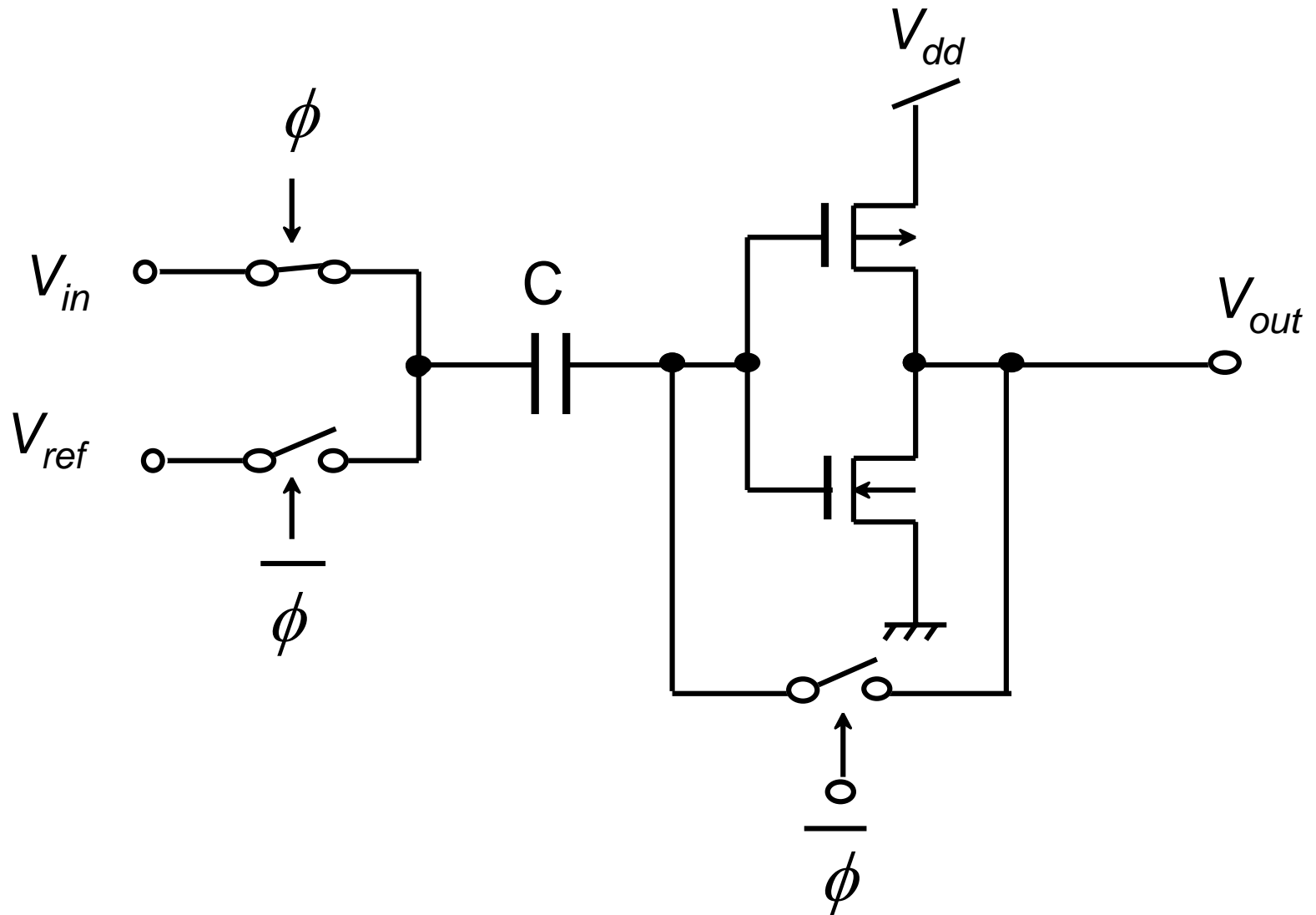


$V_{in} > V_{ref}$  の時出力High

$V_{in} < V_{ref}$  の時出力low

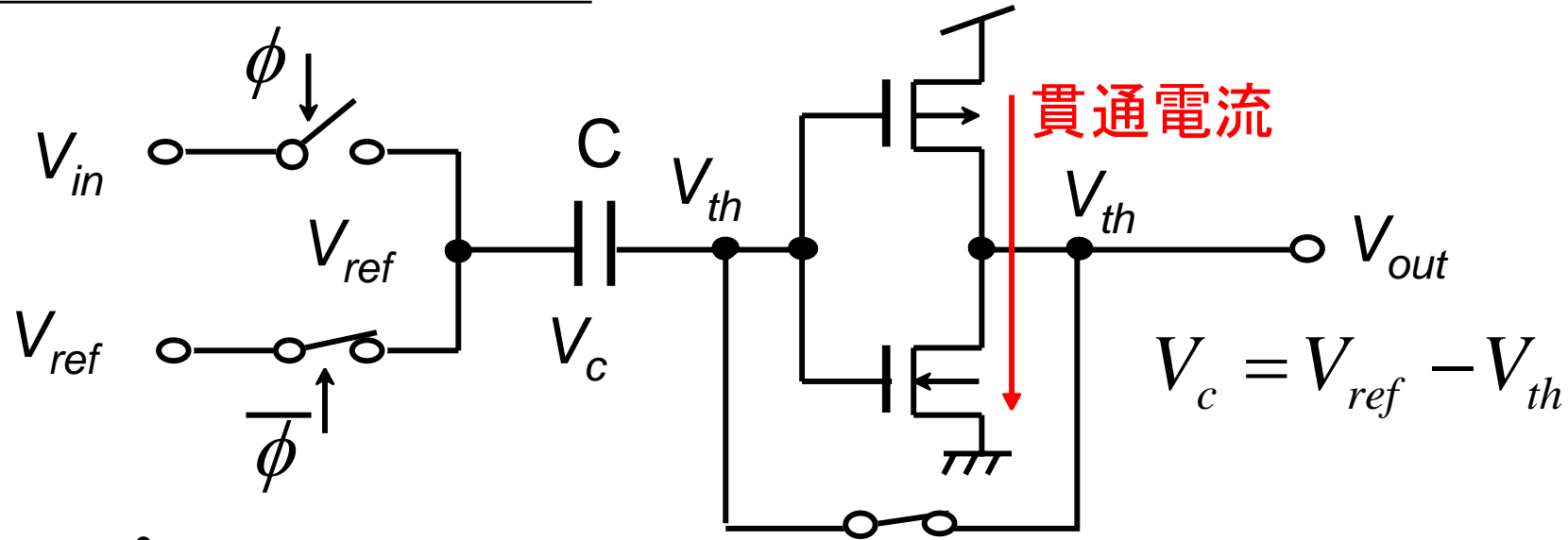
- 感度(精度)は利得で決まり, 高い
- 応答速度は遅い

## インバータチヨツパ型コンパレータ

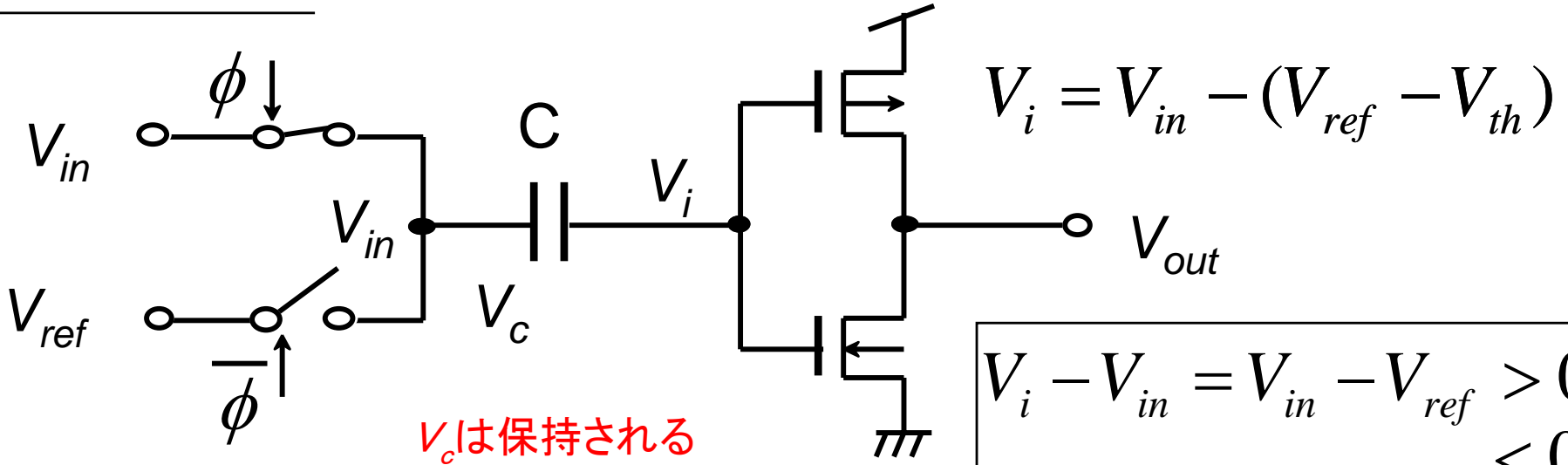


# インバータチョツパ型コンパレータの動作

## リセット(オフセット補償)

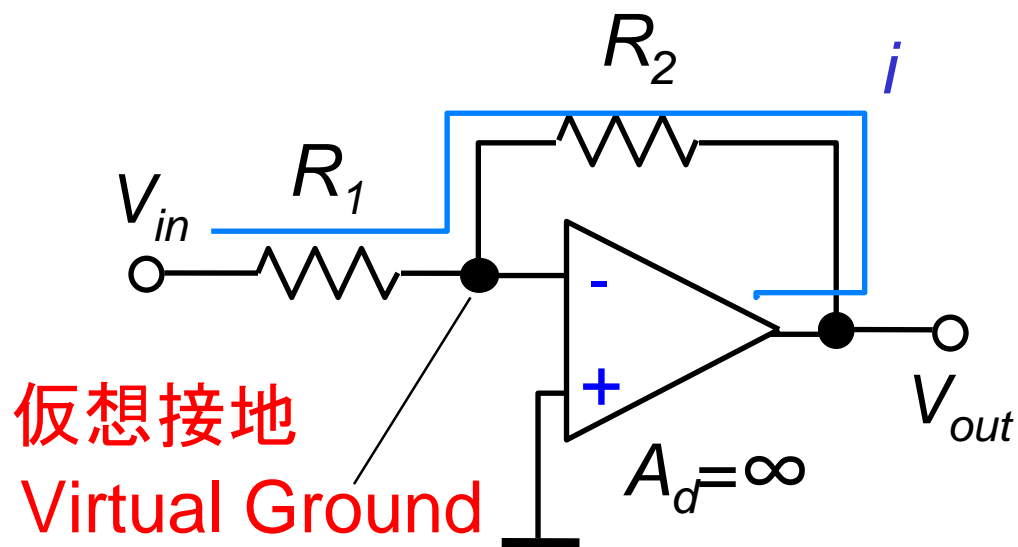


## コンパレート



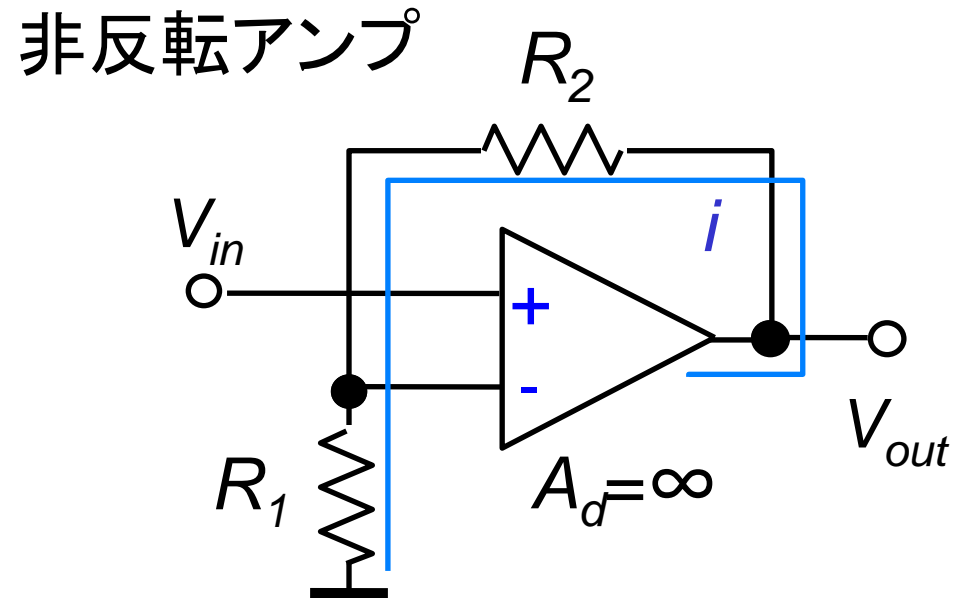
$V_i - V_{in} = V_{in} - V_{ref} > 0 : "1"$ $< 0 : "0"$
---

## 宿題 1月15日 オペアンプを用いた基本回路



図に示す反転アンプでゲインが  
 $V_{out} / V_{in} = -R_2 / R_1$  となることを説明せよ。

オペアンプの差動利得を  $A_d$  として、  
 ゲインの式を求め、 $A_d = \infty$  とせよ。

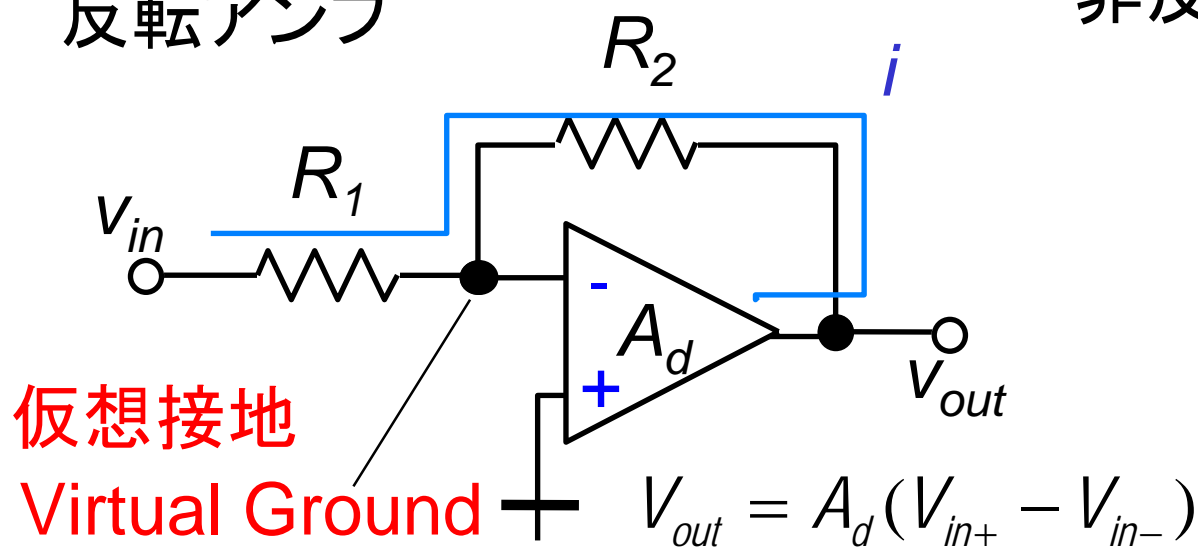


図に示す非反転アンプでゲインが  
 $V_{out} / V_{in} = 1 + (R_2 / R_1)$  となることを説明せよ。

オペアンプの差動利得を  $A_d$  として、  
 ゲインの式を求め、 $A_d = \infty$  とせよ。

## オペアンプを用いた基本回路

反転アンプ



$$V_{out} = A_d(0 - R_2 V_{in} - R_1 V_{out}) / (R_1 + R_2)$$

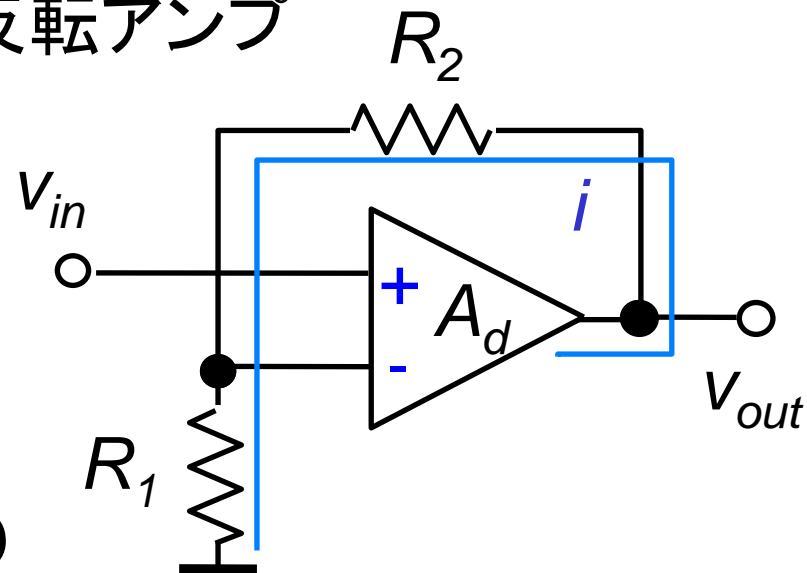
$$(R_1 + R_2 + A_d R_1) V_{out} = -A_d R_2 V_{in}$$

$$V_{out} / V_{in} = -A_d R_2 / (R_1 + R_2 + A_d R_1)$$

$$V_{out} / V_{in} = -R_2 / ((R_1 + R_2) / A_d + R_1)$$

$$A_d = \infty \quad V_{out} / V_{in} = -R_2 / R_1$$

非反転アンプ



$$V_{out} = A_d(V_{in} - R_1 V_{out} / (R_1 + R_2))$$

$$(R_1 + R_2) V_{out} = A_d((R_1 + R_2) V_{in} - R_1 V_{out})$$

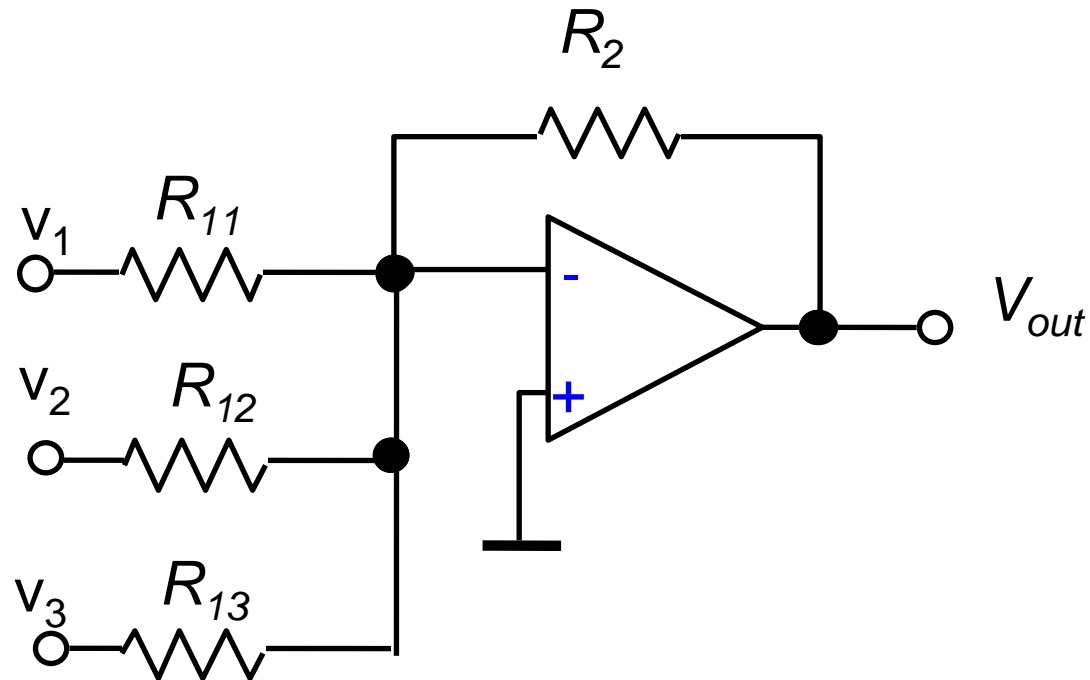
$$((R_1 + R_2) + A_d R_1) V_{out} = A_d (R_1 + R_2) V_{in}$$

$$V_{out} / V_{in} = A_d (R_1 + R_2) / ((R_1 + R_2) + A_d R_1)$$

$$A_d = \infty \quad V_{out} / V_{in} = 1 + (R_2 / R_1)$$

$$R_1 = \infty \quad V_{out} / V_{in} = 1$$

## 宿題 1月15日 オペアンプを用いた加算回路

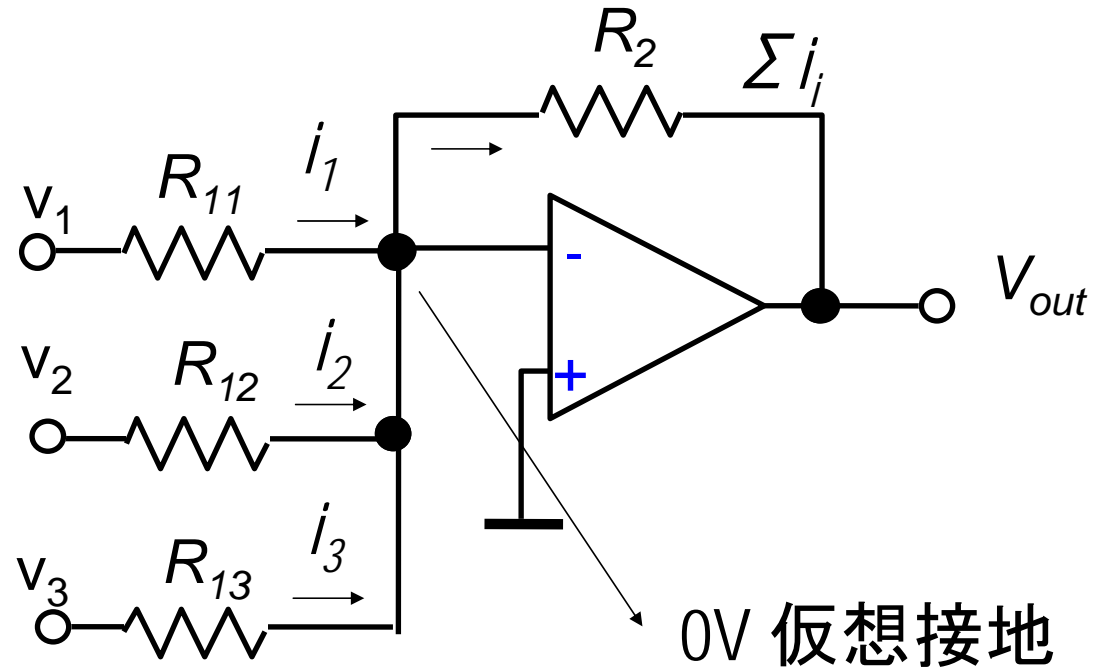


この回路で  $V_{out}$  の式を求めよ。

$V_1, V_2, V_3$  を重み付け加算するのはどうするかを説明せよ。



## 宿題解答 1月15日 オペアンプを用いた加算回路



$R_i$ を流れる電流は  $i_i = V_i / R_{1i}$

$R_2$ を流れる電流は  $\Sigma i_i$

$$V_{out} = -R_2 (V_1 / R_{11} + V_2 / R_{12} + V_3 / R_{13})$$

重み係数は  $R_2 / R_{11}, R_2 / R_{12}, R_2 / R_{13}$