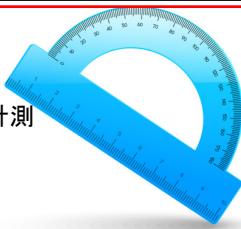


### 前回の復習: 位置の計測:

ある場所からの変位を位置として計測

#### 1. 回転的変位を利用

- ロータリエンコーダ
- ポテンショメータ
- 回転可変・差動トランス  
(Rotary Variable Differential Transformer: RVDT)



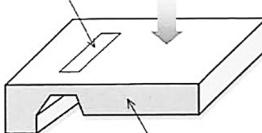
#### 2. 直線的変位を利用

- リニアエンコーダ
- リニアモーション・ポテンショメータ
- 直線可変・差動トランス  
(Linear Variable Differential Transformer: LVDT)

### 前回の復習: 加速度の計測: ピエゾ抵抗形加速度センサ

ピエゾ抵抗形  $F = m\alpha$

ひずみゲージ



### 容量変化形加速度センサ

電極1(下地基板に固定されている)

固定部

鍵

鍵を吊っているバネ

電極2(下地基板に固定されている)

コンデンサ 1

コンデンサ 2

固定部(電極3)

鍵

鍵

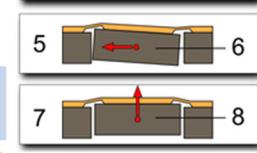
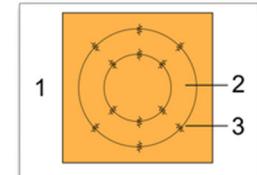
電極4

電極5

電極6

電極7

電極8



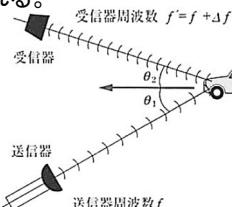
2

### 前回の復習: 速度の計測(1): ドップラー効果形センサ

左下図のように速度 $v$ で移動する物体に対して、角度 $\theta_1$ で周波数 $f$ 、波長 $\lambda$ の電磁波を入射して、物体から $\theta_2$ の角度で反射波を受信する。このとき受信される周波数のオフセットを $\Delta f$ とすると、物体の速度 $v$ は、

$$v \cong \frac{\Delta f \cdot \lambda}{\cos \theta_1 + \cos \theta_2}$$

で与えられる。自動車の速度計測や気象観測などに用いられる。

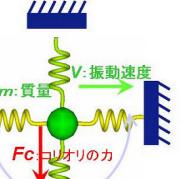


### 前回の復習: 角速度の計測:

ジャイロスコープ(回転型)



### ジャイロスコープ(振動型)



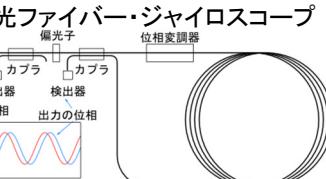
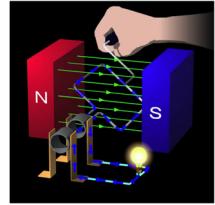
$m$ : 質量

$V$ : 振動速度

$F_C$ : コリオリの力

$\Omega$ : 角速度

### タコジェネレータ



光ファイバー・ジャイロスコープ

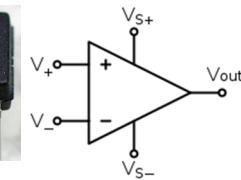
位相変調器

### アナログ信号処理: 演算増幅器(オペアンプ)

- アナログ信号処理のコアデバイスの一つ。
- 入力信号の $n$ 倍、加算、微分、積分といった処理が係数のコントロールも含めて正確にできる。
- $V_+$ と $V_-$ の差分が増幅されて出力される。

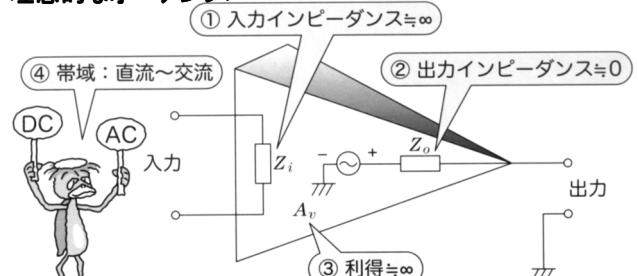
### オペアンプの用途:

- 加算・減算回路
- 微分・積分回路
- 発振回路
- フィルター回路
- コンバーティング回路
- センサ回路
- 制御回路
- 変換回路 (電流-電圧変換)



参考書: オペアンプの基礎マスター  
(電気書院) ISBN: 9784485610015

### 理想的なオペアンプ:

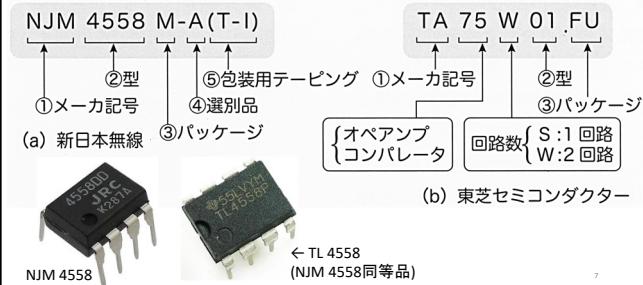


### 現実のオペアンプ:

- 入力インピーダンスは $\infty \Omega$ ではなく、 $10^6 \sim 10^{14} \Omega$ 程度。
- 出力インピーダンスは $0 \Omega$ ではなく、 $100 \Omega$ 以下。
- 利得は無限大ではなく、 $10^5 \sim 10^7$ 程度。
- 周波数帯域は無制限ではなく、直流～数十MHz程度。

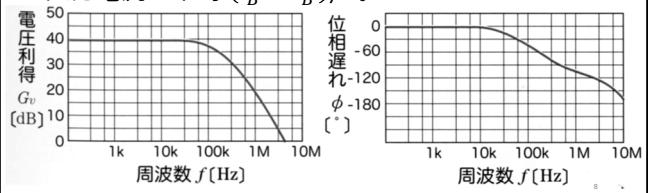
### オペアンプの命名法:

メーカ名は、TL, OPA: テキサスインスツルメンツ、AD: アナログデバイス、BD, BA: ローム、LT: リニアテクノロジー、NJM, NJU: 新日本無線、TA, TC: 東芝、HA(旧日立)、 $\mu$ PC(旧NEC): ルネサス等がある。また、メーカー名が違つても左下図②の型番号が同じならほぼ同等品である。

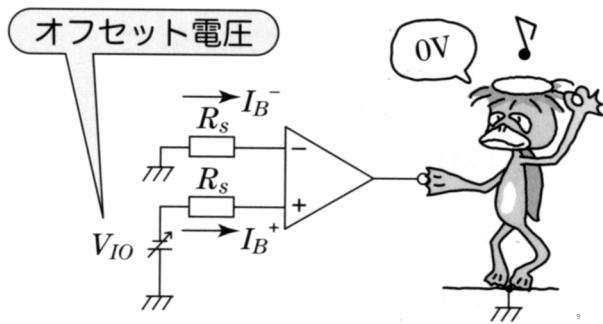


### オペアンプの特性:

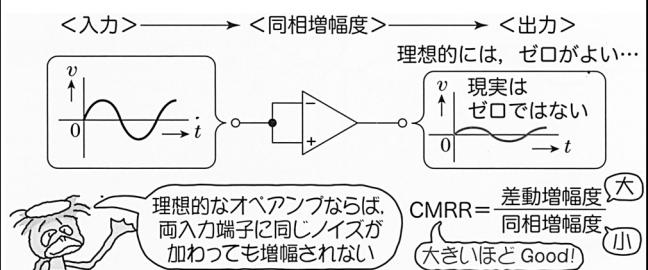
- 周波数特性(利得と位相): 高周波になると利得が減って位相が遅れる。
- スルーレート: 出力電圧の最大変化速度。大きい程良い。通常は数V/ $\mu$ s程度。
- 雑音: 一般的に増幅する信号の周波数が低い程、雑音の影響が大きくなる。
- 入力バイアス電流: 出力が0V時の2つの入力端子の入力電流の平均  $(I_B^+ + I_B^-)/2$ 。



- 入力オフセット電圧: 出力が0V時の2つの入力端子間の電位差。
- 入力オフセット電流: 出力が0V時の2つの入力端子の入力電流の差  $|I_B^+ - I_B^-|$ 。



- CMRR (Common Mode Rejection Ratio): 同相信号除去比ともいう。大きい程良い。一般のオペアンプでは80dB程度。



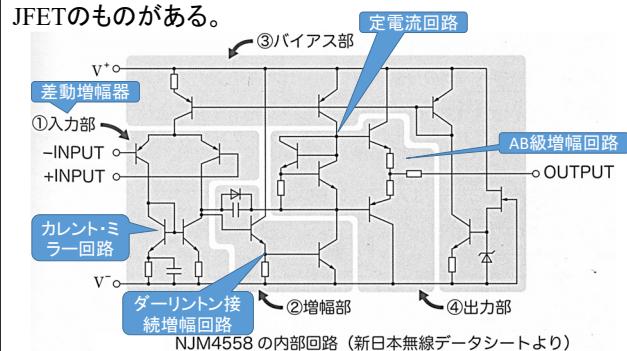
### オペアンプの分類:

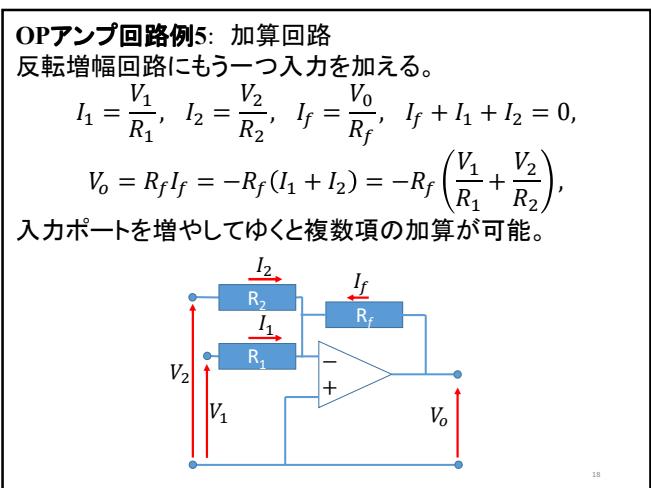
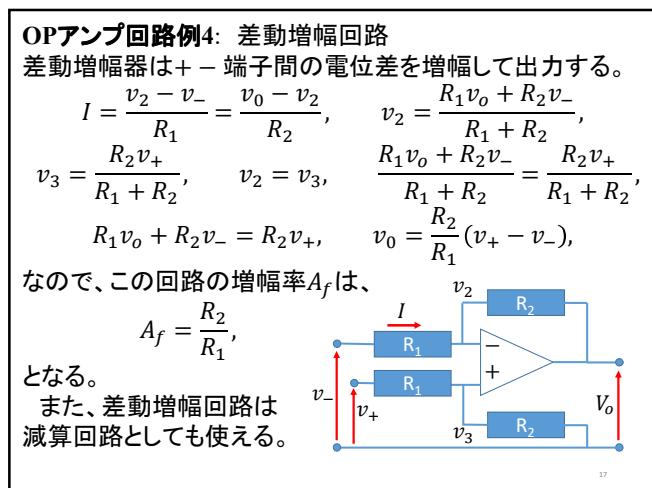
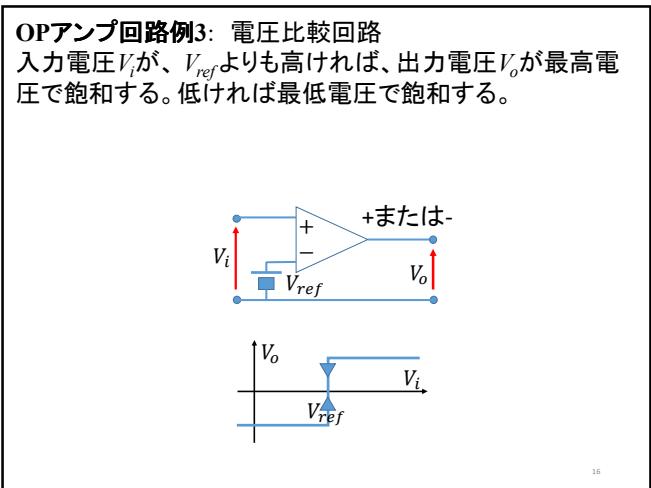
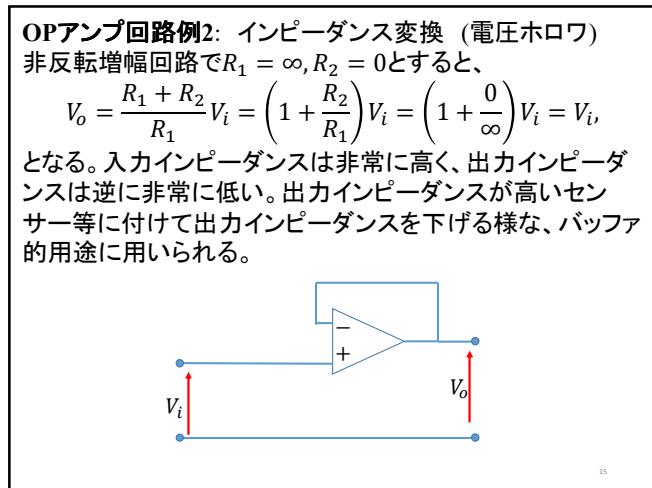
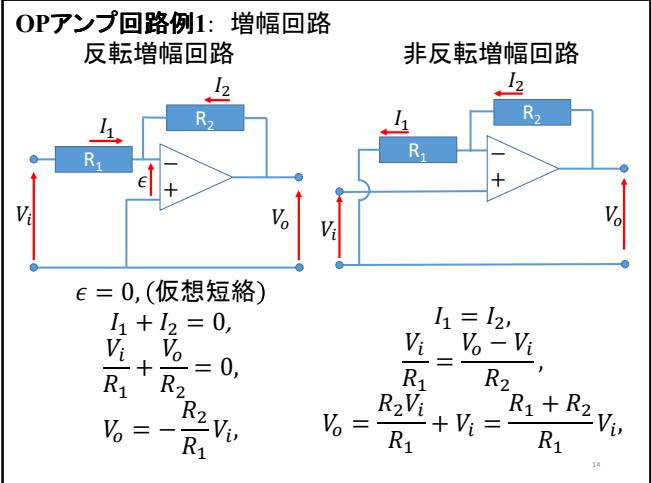
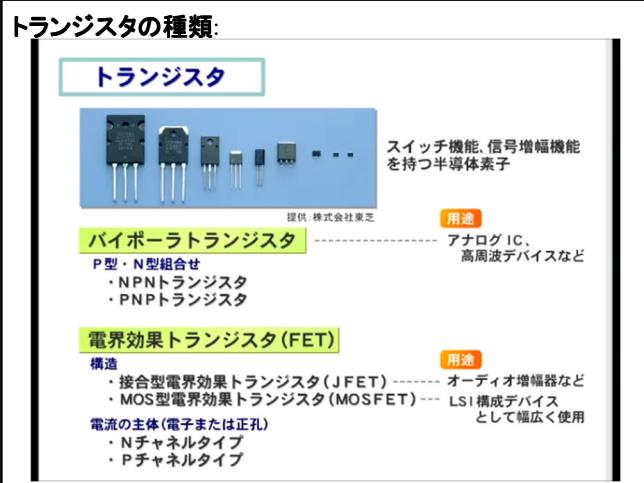
- 高精度用: オフセット電圧や入力バイアス電流や温度ドリフト等が小さい。測定器など高精度の用途に使う。
- 高速・広帯域用: 高いスルーレートと広い周波数帯域を持つ。画像機器や高速デジタル通信等に使う。
- 低消費電力用: 低消費電流、低電圧で動作する。携帯製品等に使う。
- 低雑音用: 小型電子機器のマイクのアンプ等に使う。
- 高出力用: 大出力電流が得られる。スピーカーアンプ等で使う。
- 汎用: なんにでも使える。 $\mu$ A741、NJM4558、TL071等が定番。



### 汎用オペアンプの内部構造の例:

$\pm$ INPUTの電圧差に比例する電流が増幅部で増幅されて、出力される。入力部のトランジスタがバイポーラのものとJFETのものがある。





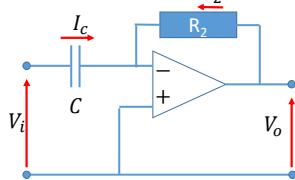
### OPアンプ回路例6: 微分・積分回路

#### 微分回路

反転増幅回路で  $R_1$  を  $C$  に置換する。

$$C \frac{dV_i}{dt} + \frac{V_o}{R_2} = 0,$$

$$\therefore V_o = -CR_2 \frac{dV_i}{dt}$$

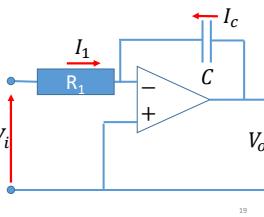


#### 積分回路

反転増幅回路で  $R_2$  を  $C$  に置換する。

$$\frac{V_i}{R_1} + C \frac{dV_o}{dt} = 0,$$

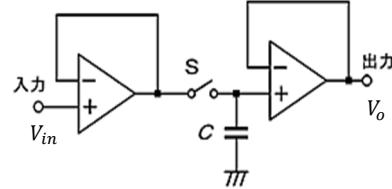
$$\therefore V_o = -\frac{1}{CR_1} \int V_i dt$$



19

### OPアンプ回路例7: サンプリング回路

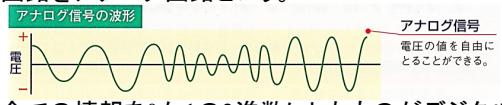
- スイッチ  $S$  が閉じている間は、出力  $V_o = \text{入力 } V_{in}$  となる。
- スイッチ  $S$  が開くと、そのときにコンデンサ  $C$  に蓄積された電荷が保持され、 $V_{in}$  とは無関係にスイッチが開く直前の電位  $V$  をキープする。
- この間に output 値  $V_o$  より A/D 変換して必要な数値を取得。
- 再びスイッチ  $S$  が閉じられると出力  $V_o = \text{入力 } V_{in}$  となる。



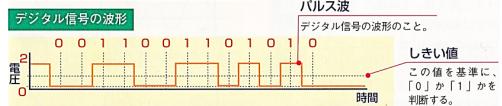
20

### アナログ信号とデジタル信号(Analogue and Digital signal):

- エレクトロニクスが扱う信号にはアナログ信号とデジタル信号がある。
- 自然界の音・光・温度など連続的に変化する情報を電気信号に変換したものがアナログ信号で、それを扱う電子回路をアナログ回路という。



- 全ての情報を0か1の2進数にしたもののがデジタル信号で、それを扱う電子回路をデジタル回路といふ。コンピュータなどの信号はデジタル信号である。



### デジタル信号処理: 現代の計測の主流

- 利点
  - 表現精度がビット数でスケーラブル。
  - 同じ特性を実現可能。
  - Central Processing Unit: CPU, Digital Signal Processor: DSP, Field-Programmable Gate Array: FPGA などの電子デバイスにより多彩な処理が可能。
  - 集積化・システム化が容易。
  - デジタル通信・ストレージとの相性が良い。
- 欠点(注意点)
  - 量子化誤差に注意。
  - サンプリング周波数に注意。
  - 過大負荷になると処理速度が間に合わない可能性。

### アナログ/デジタル間信号処理: 整数

- A/D(Analog  $\Rightarrow$  Digital)変換、D/A変換
- 符号無し整数  $N$  ( $0 \sim 2^n - 1$ ) の  $n$  ビットデジタル量 ( $b_{n-1}, \dots, b_0$ ) での表現 ( $b$  は 0 または 1)  

$$N = b_{n-1}2^{n-1} + \dots + b_12^1 + b_02^0 \equiv (b_{n-1}, \dots, b_0)$$
 4ビット例:  $0=(0000)$ ,  $7=(0111)$ ,  $8=(1000)$ ,  $15=(1111)$
- 符号付き整数  $M$  ( $-2^{n-1} \sim 2^{n-1} - 1$ ) の  $n$  ビットデジタル量 ( $b_{n-1}, \dots, b_0$ ) での表現  

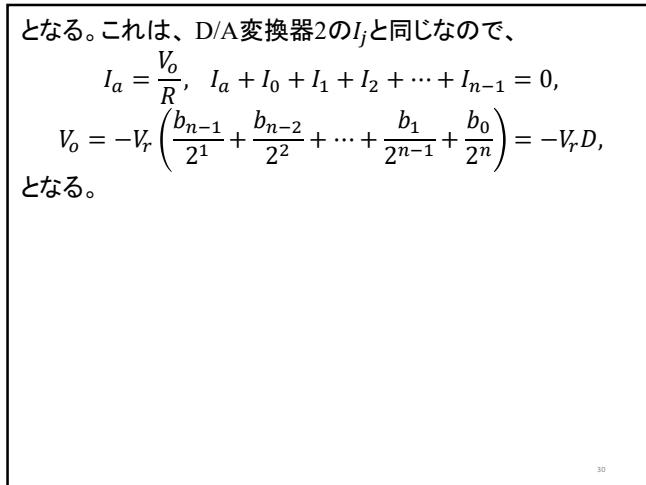
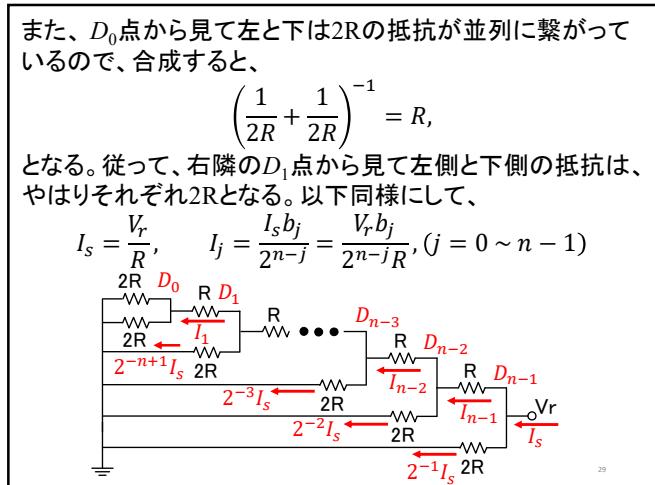
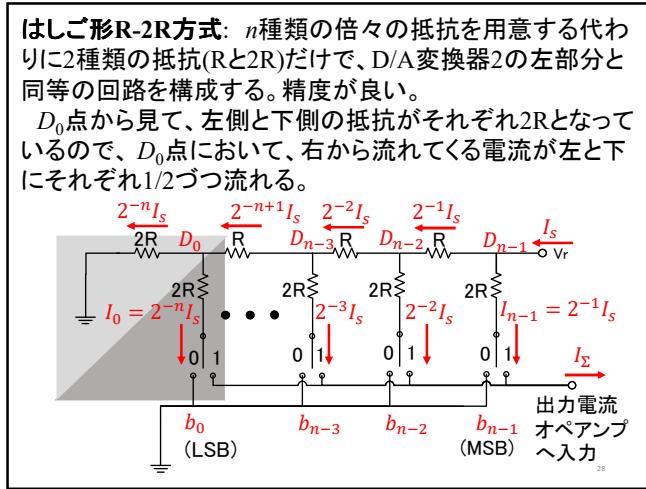
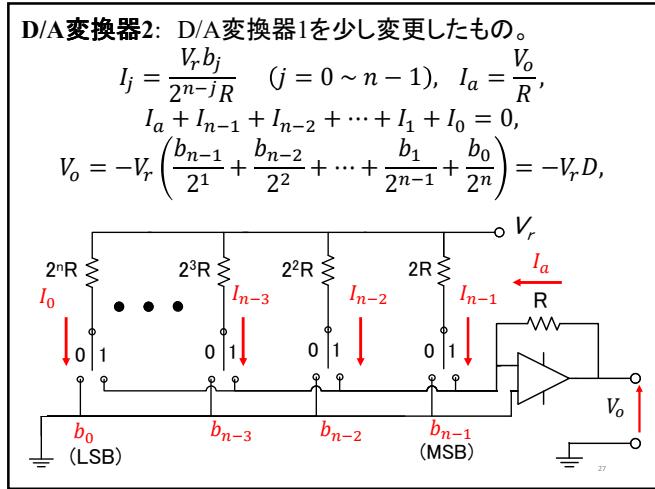
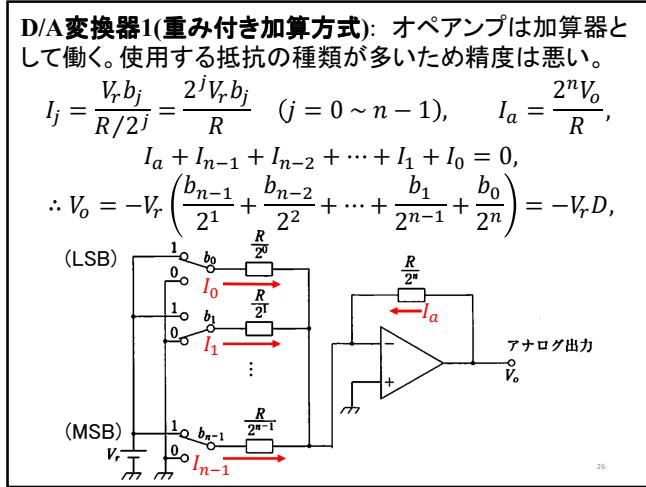
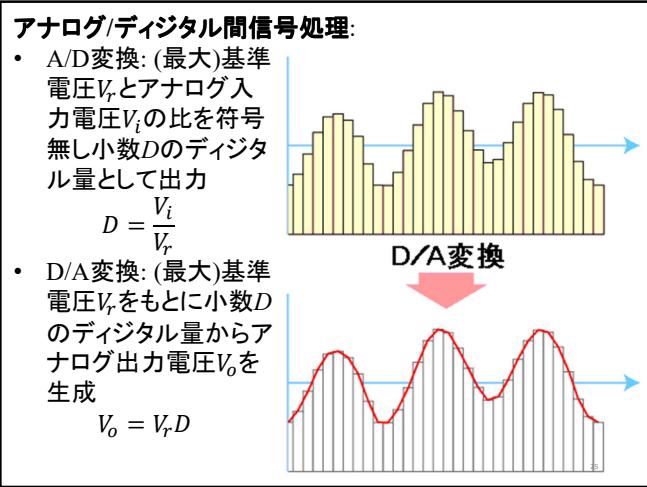
$$M = -b_{n-1}2^{n-1} + b_{n-2}2^{n-2} + \dots + b_12^1 + b_02^0$$
 4ビット例:  $0=(0000)$ ,  $7=(0111)$ ,  $-8=(1000)$ ,  $-1=(1111)$

23

### アナログ/デジタル間信号処理: 小数

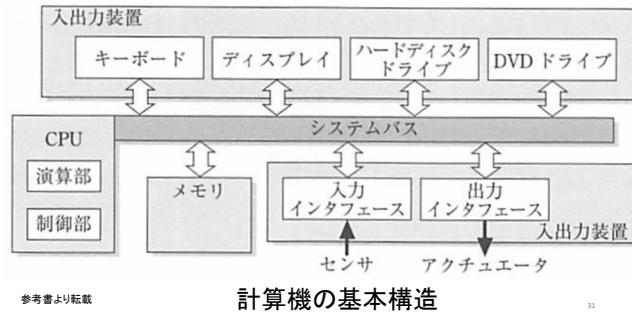
- 符号無し小数  $D$  ( $1 > D \geq 0$ ) の  $n$  ビットデジタル量での表現
- $$D = \frac{b_{n-1}}{2^1} + \dots + \frac{b_1}{2^{n-1}} + \frac{b_0}{2^n} = \frac{N}{2^n}$$
 4ビット例:  $0=(0000)$ ,  $\frac{7}{16}=(0111)$ ,  $\frac{1}{2}=(1000)$ ,  $\frac{15}{16}=(1111)$
- 符号付き小数  $C$  ( $1 > C \geq -1$ ) の  $n$  ビットデジタル量での表現
- $$C = -b_{n-1} + \frac{b_{n-2}}{2^1} + \dots + \frac{b_1}{2^{n-2}} + \frac{b_0}{2^{n-1}} = \frac{M}{2^{n-1}}$$
 4ビット例:  $0=(0000)$ ,  $\frac{7}{8}=(0111)$ ,  $-1=(1000)$ ,  $-\frac{1}{8}=(1111)$

24



**次回の予告: ディジタル計測制御システムの基礎**

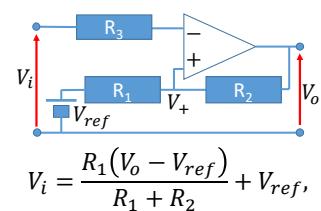
- ・ 中央処理装置(CPU: Central Processing Unit)
- ・ 主記憶装置(メモリ)
- ・ 入出力装置(I/O)
- ・ バス



(参考) OPアンプ回路例3: 電圧比較回路

改良形は、 $V_{ref}$  の近傍で激しく出力が変わるので防ぐため、ヒステリシス特性を持たせている。

改良形



$$V_i = \frac{R_1(V_o - V_{ref})}{R_1 + R_2} + V_{ref},$$

