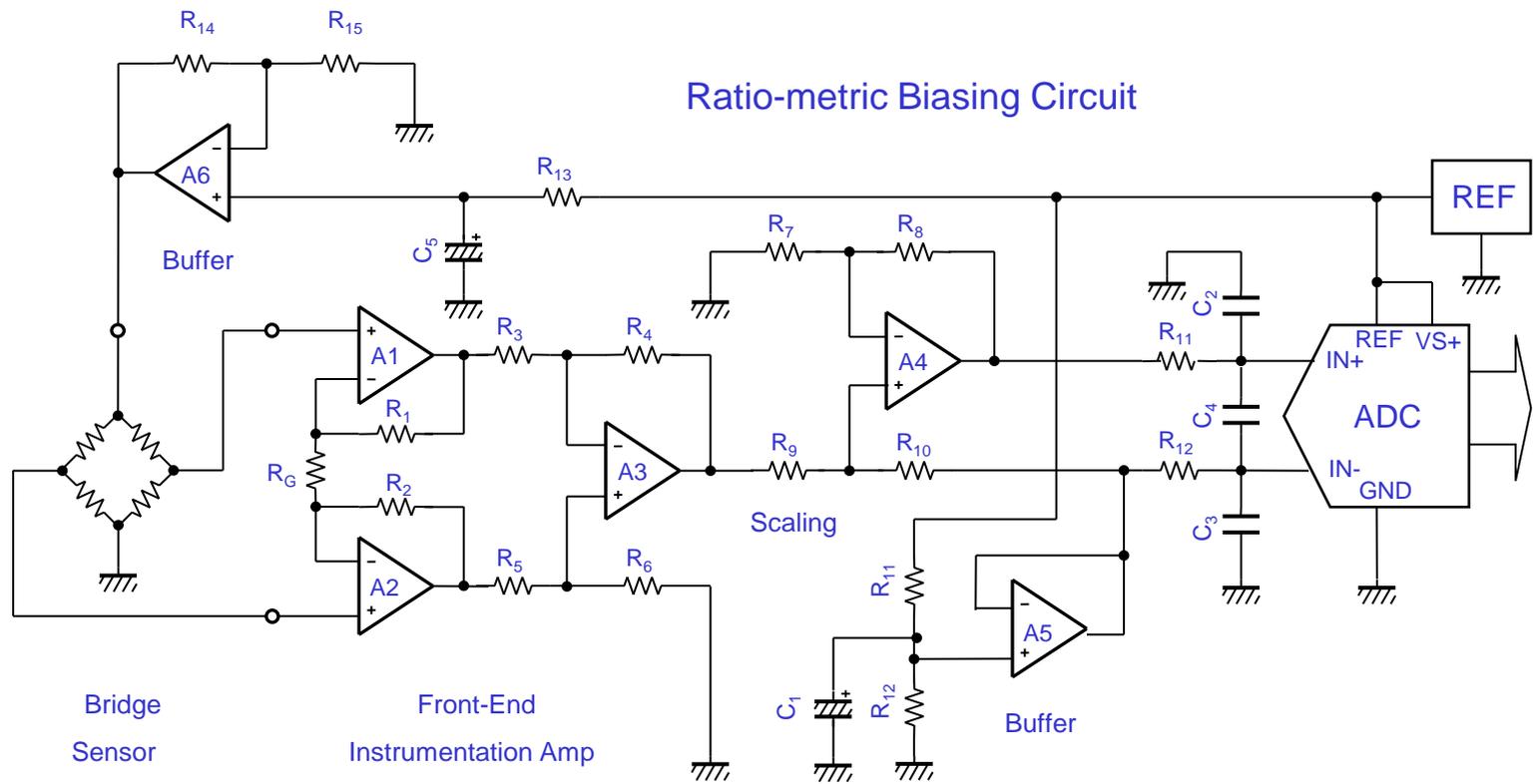




Signal Chain Training Text for Level 1

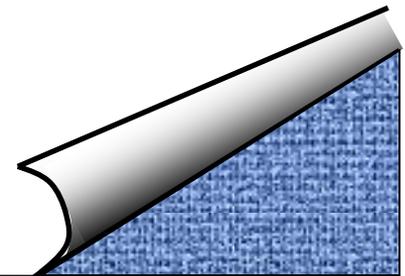
データ・コンバータ





セッション・インデックス

- ✦ データ・コンバータの変換について
- ✦ 標本化と量子化
- ✦ 2ビットA/Dコンバータ
- ✦ ビット数と電圧
- ✦ 変換速度
- ✦ 量子化誤差と分解能
- ✦ データ・コンバータの誤差
- ✦ SN比と有効分解能





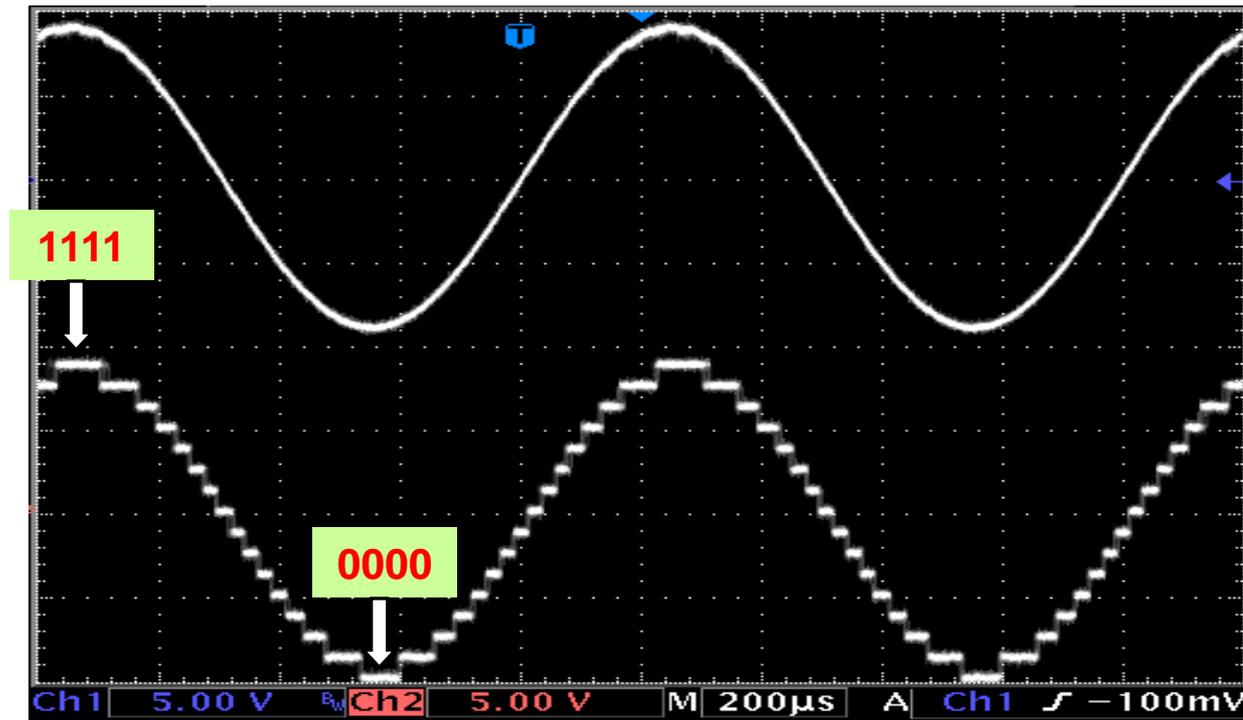
アナログ to デジタル・コンバータ(ADC)

アナログ値



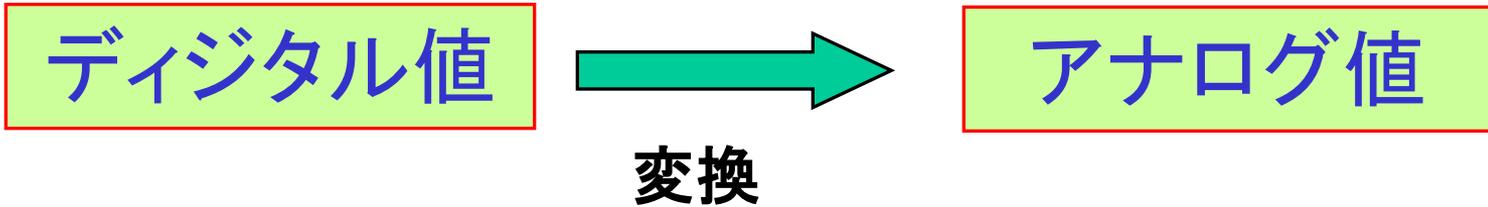
デジタル値

変換

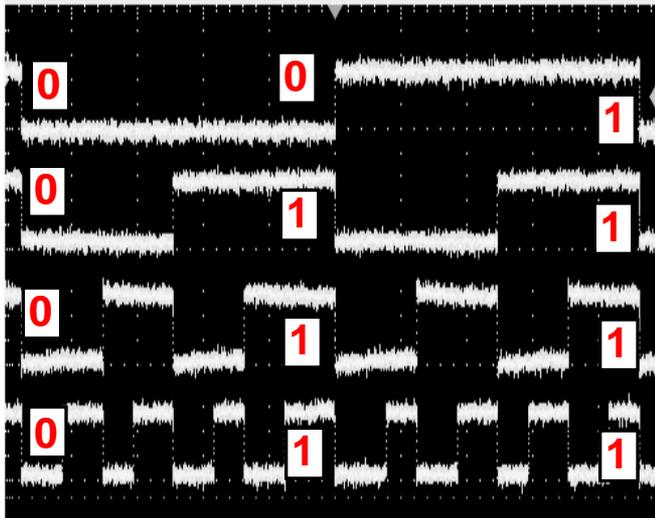




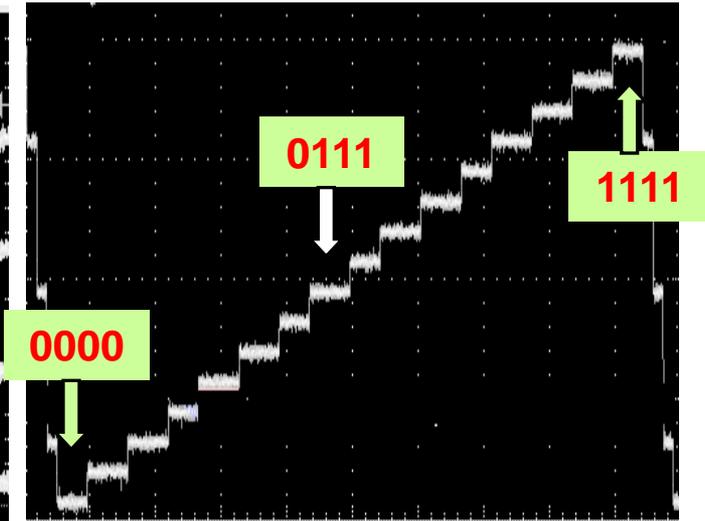
デジタル to アナログ・コンバータ(DAC)



4bitデジタル・コード

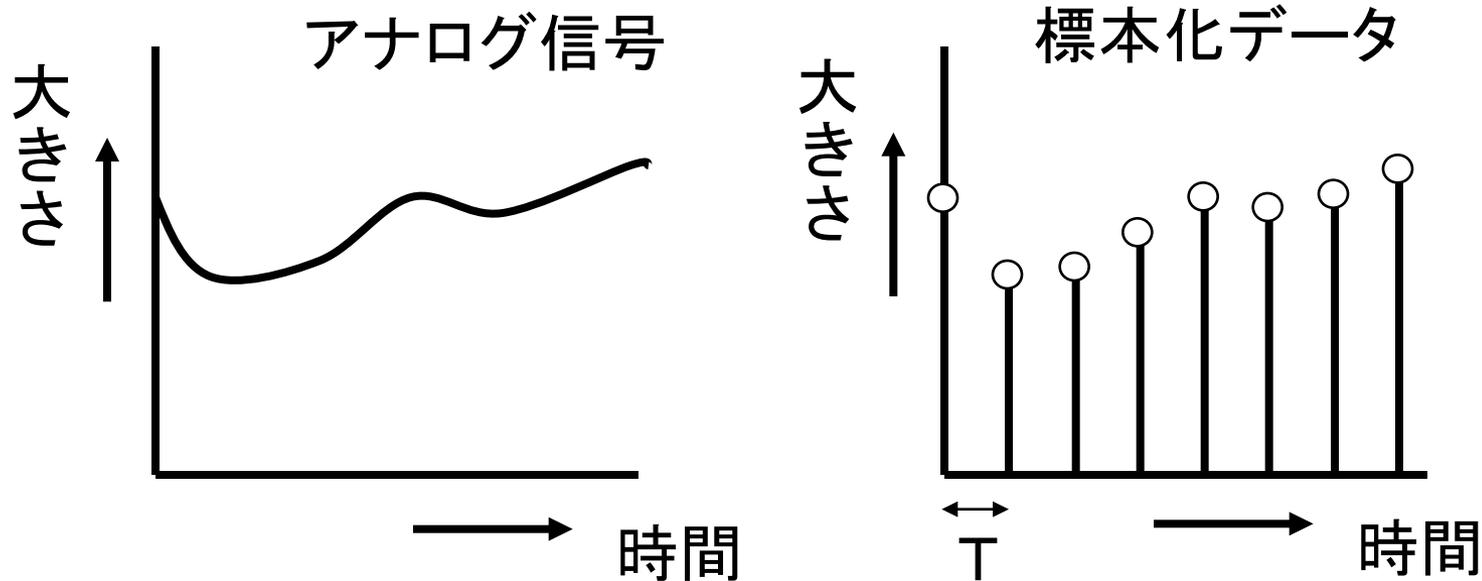


アナログ出力 (4bit近似)





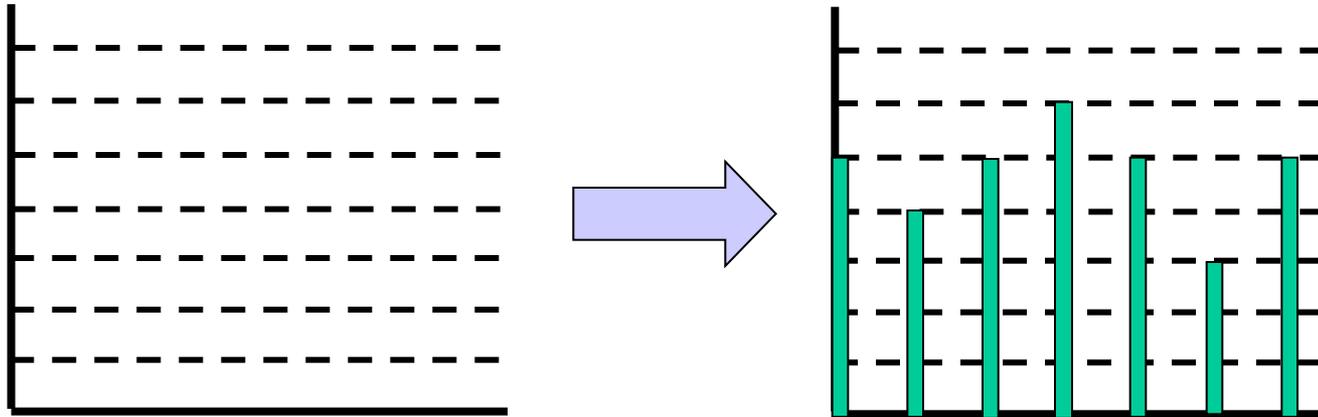
標本化(サンプリング)



連続しているアナログ信号を周期 T で、アナログ値を切り出していく事。



量子化

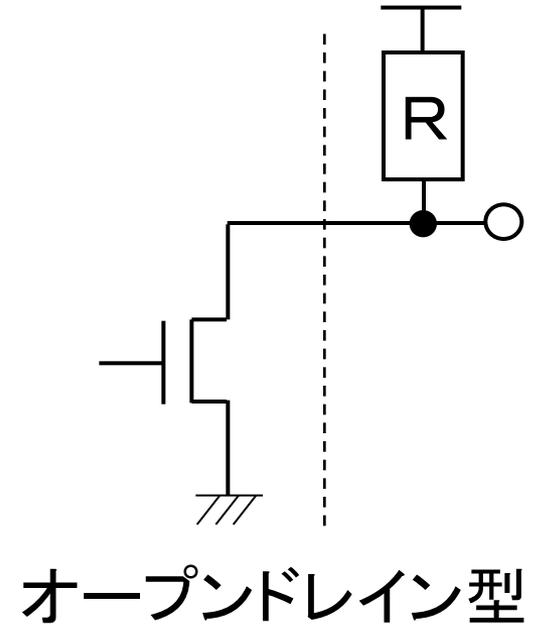
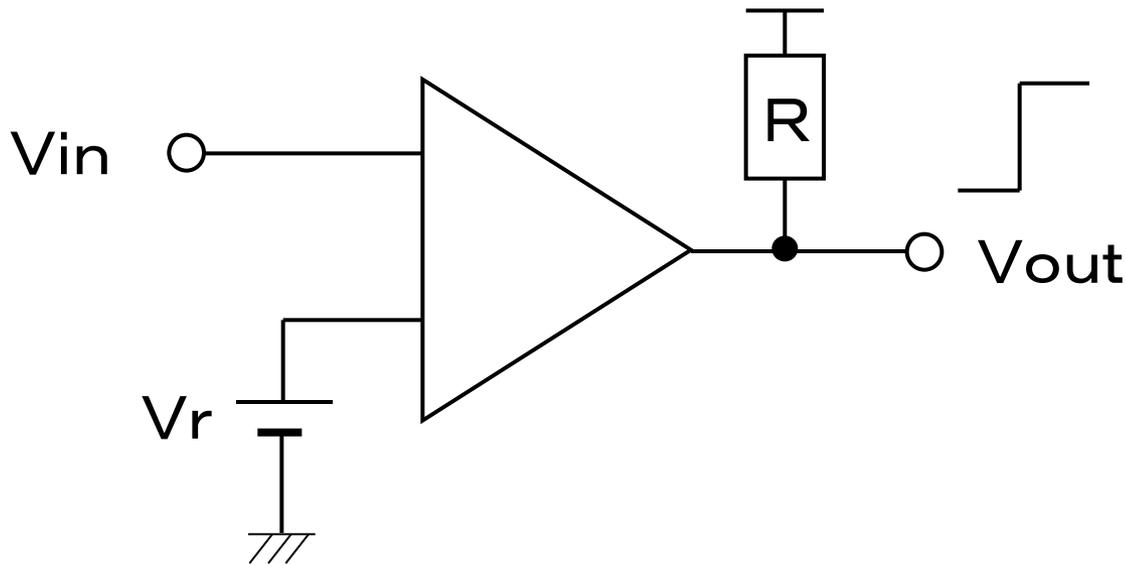


標本化されたデータを決めた大きさの単位に変換
します。これを量子化と言います。



コンパレータ

コンパレータ = 比較器



コンパレータの入力 V_{in} と V_r を比較して、出力が出ます。
出力はHiとLoの2つしかありません。



2進数

2進数は0と1で表す数字。

10進数と2進数を示すと、

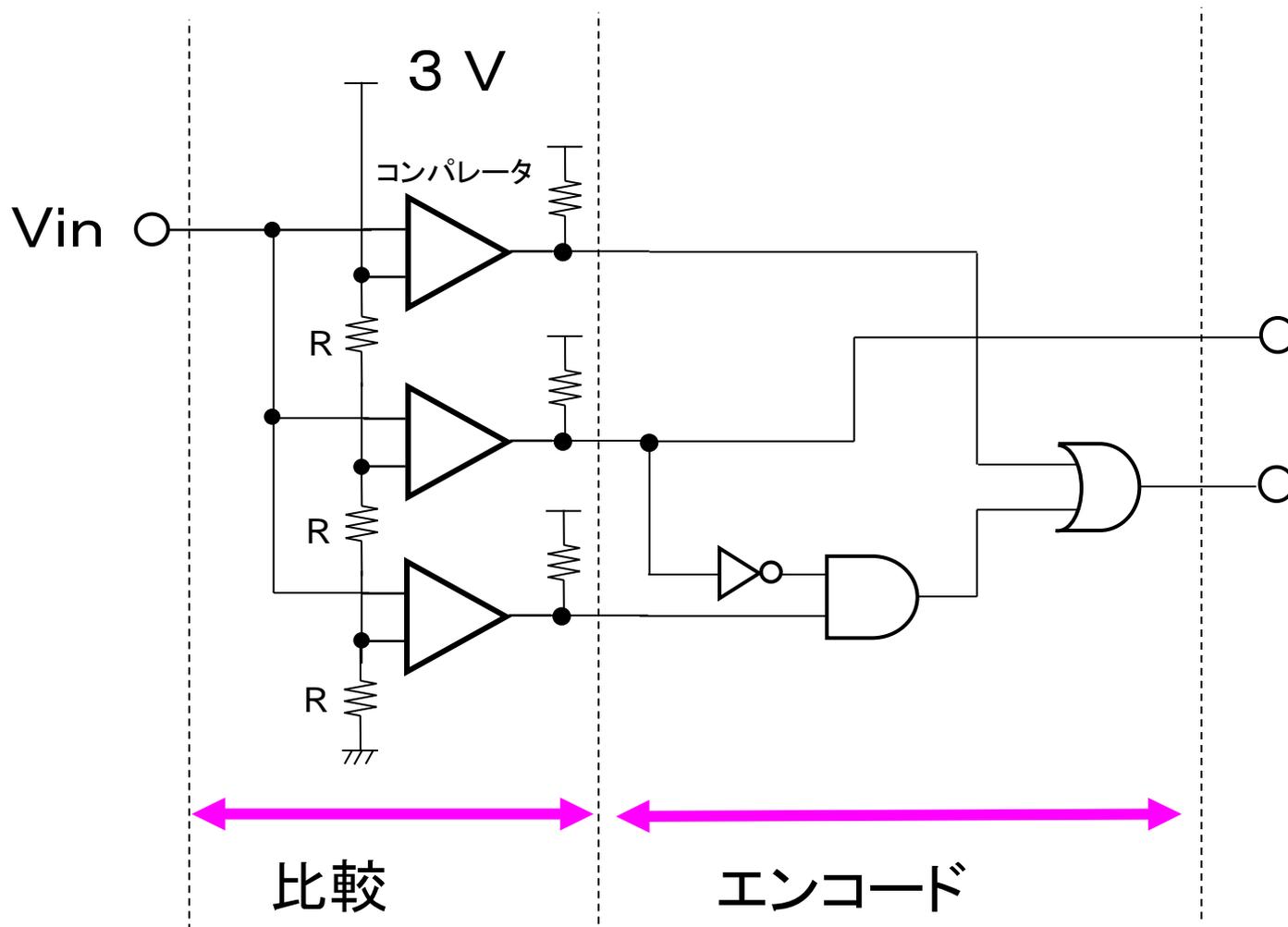
0	0 0 0	4	1 0 0
1	0 0 1	5	1 0 1
2	0 1 0	6	1 1 0
3	0 1 1	7	1 1 1

となります。

2進数の1ケタ目をデジタル回路などでは1ビットと言います。2ケタ目は2ビット...

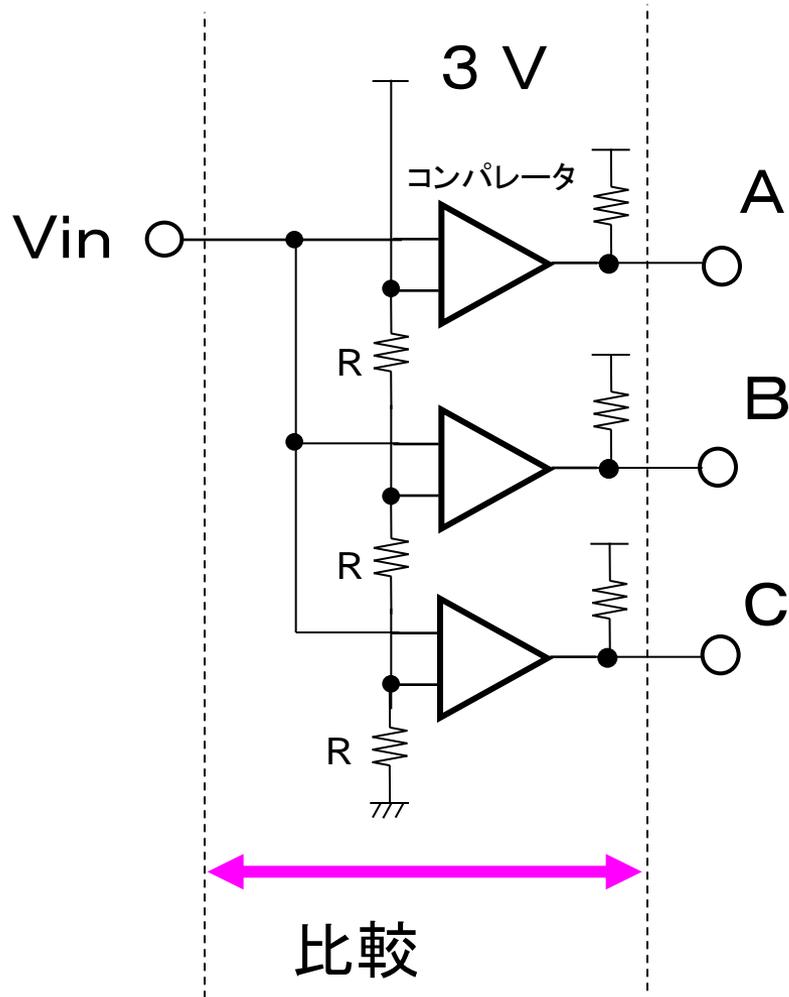


2ビット・A/Dコンバータ(1)





2ビット・A/Dコンバータ(2)



出力 A, B, C

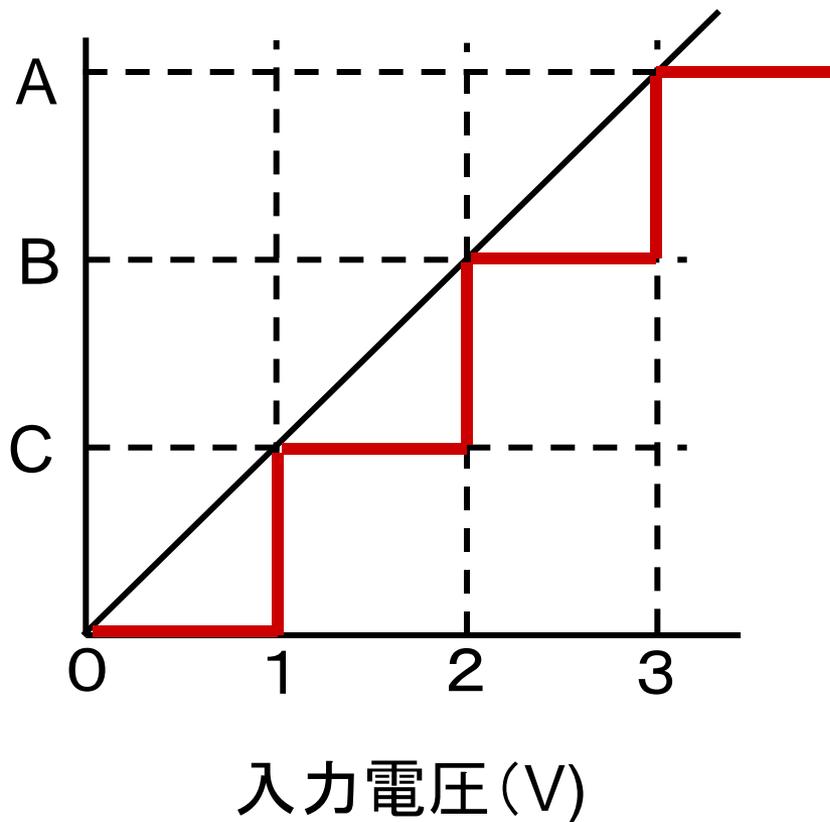
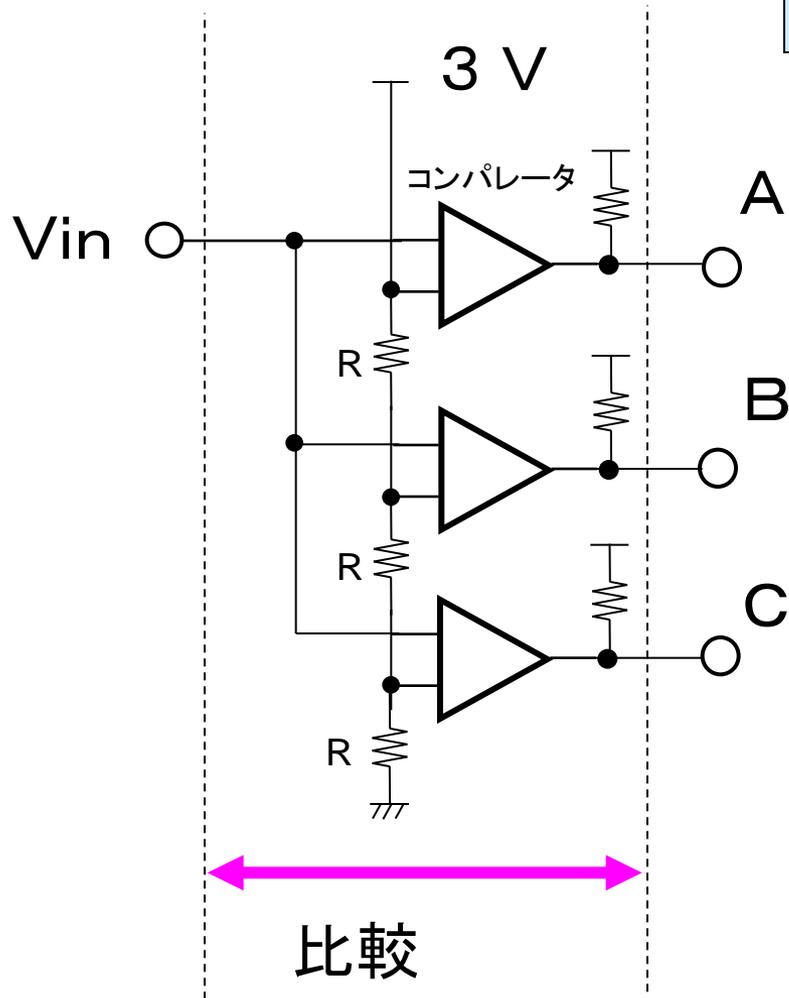
電圧	0	1	2	3	[V]
A	0	0	0	1	
B	0	0	1	1	
C	0	1	1	1	

1.5、2.3、3.8Vではどうなりますか？



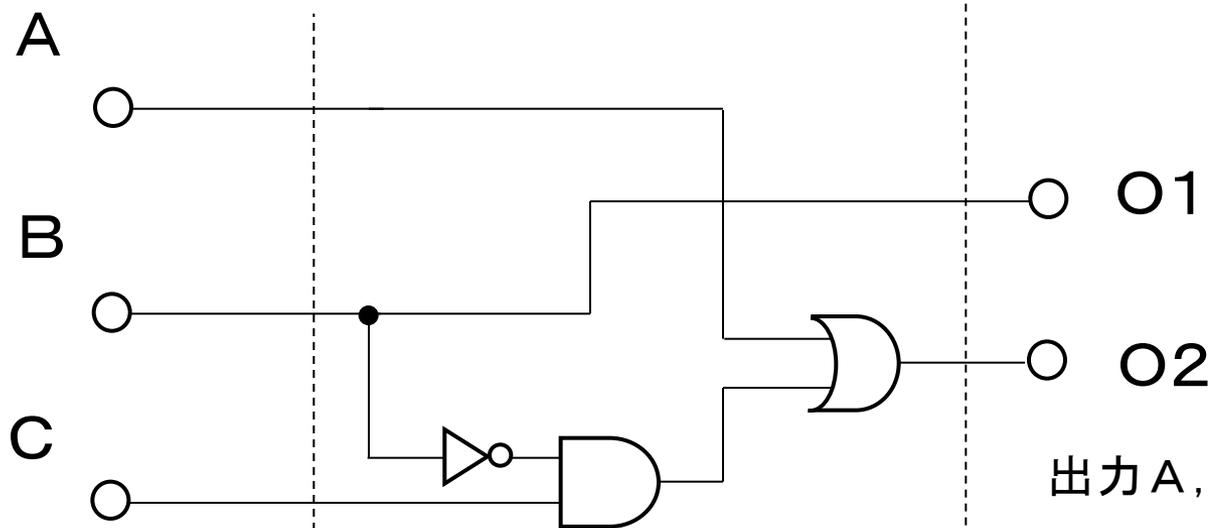
2ビット・A/Dコンバータ(3)

1.5、2.3、2.8Vではどうなりますか？





2ビット・A/Dコンバータ(4)



出力 A, B, C

電圧	0	1	2	3	[V]
A	0	0	0	1	
B	0	0	1	1	
C	0	1	1	1	

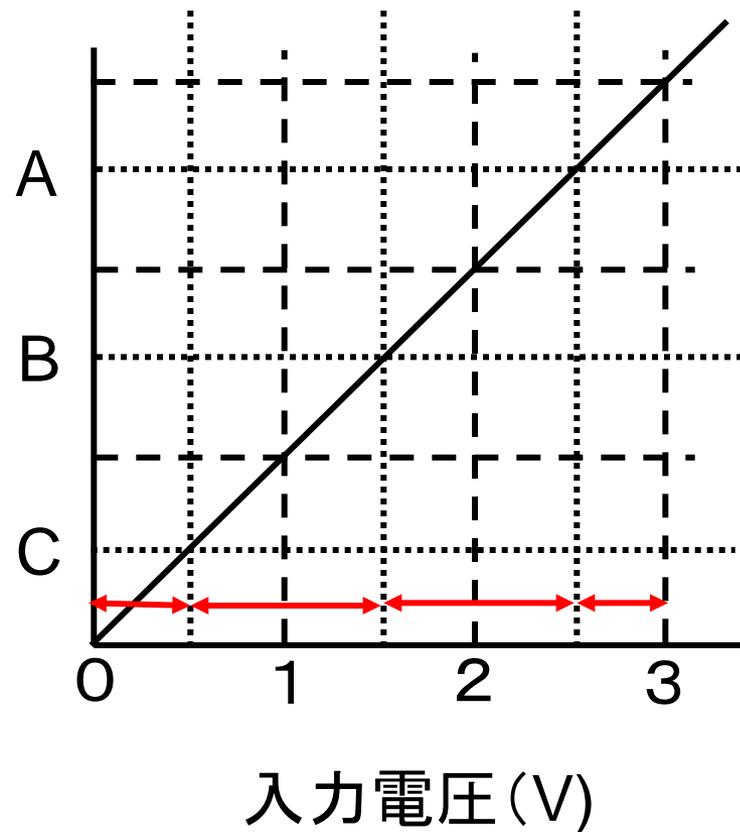
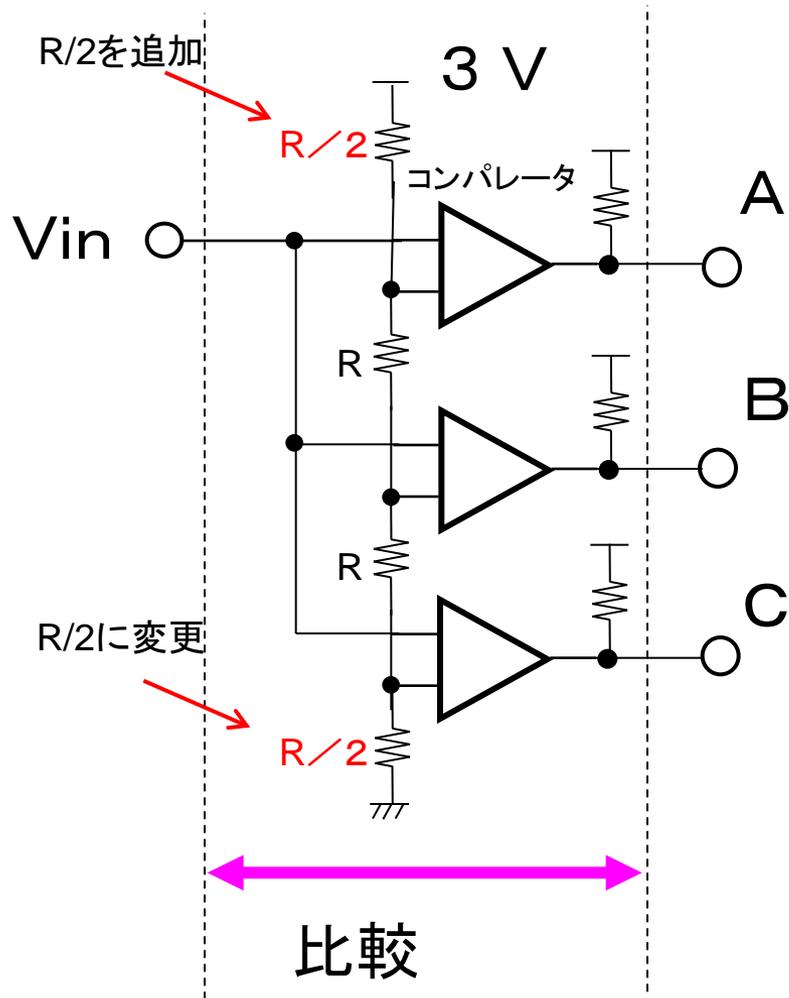
出力 A, B, C

電圧	0	1	2	3	[V]
O1	0	0	1	1	
O2	0	1	0	1	

← エンコード →

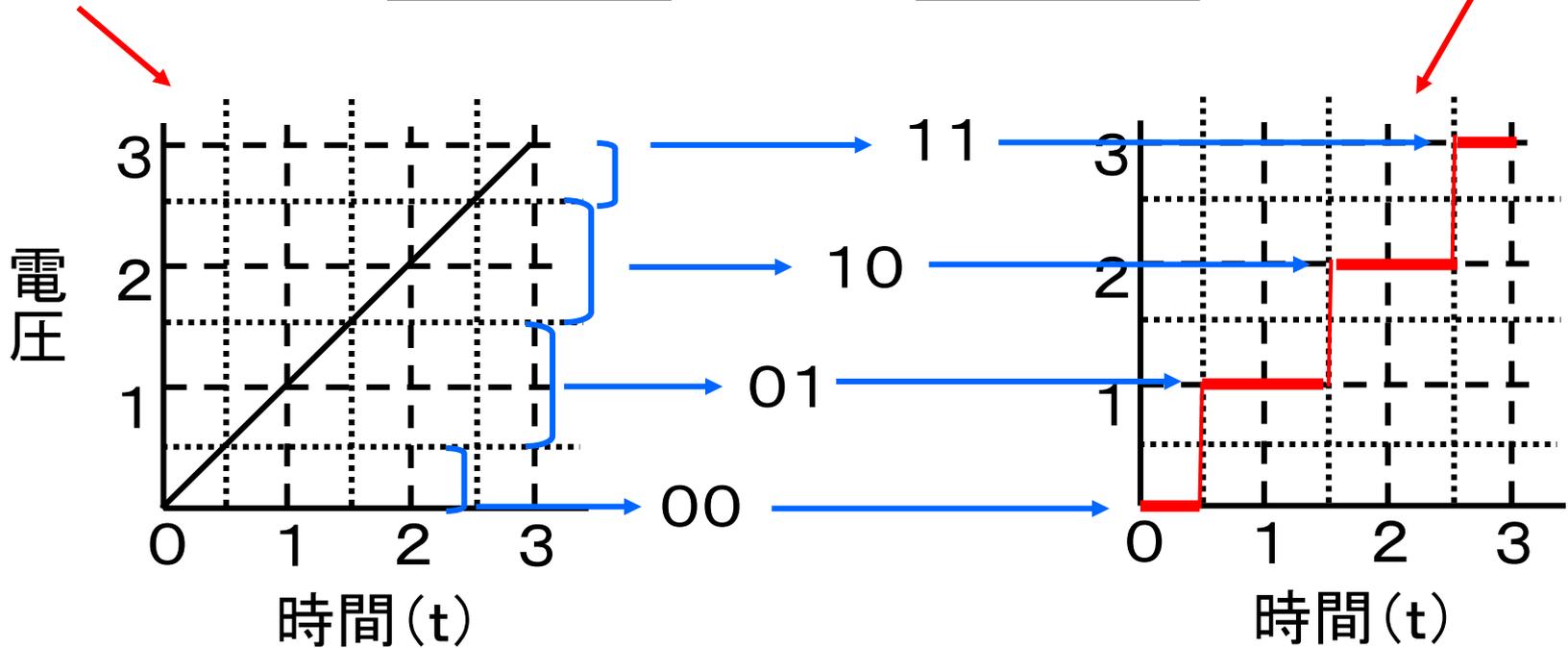
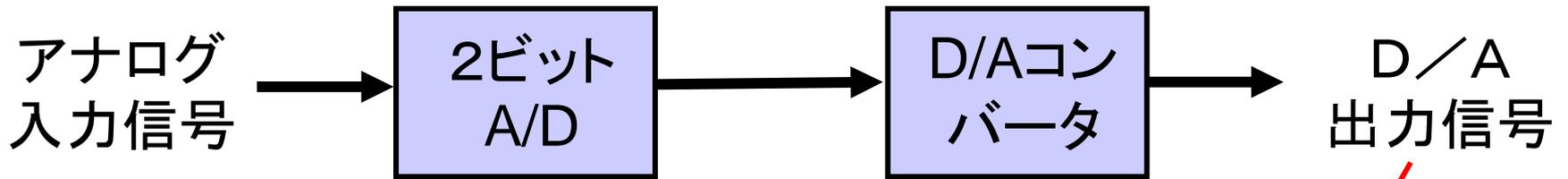


2ビット・A/Dコンバータ(5)





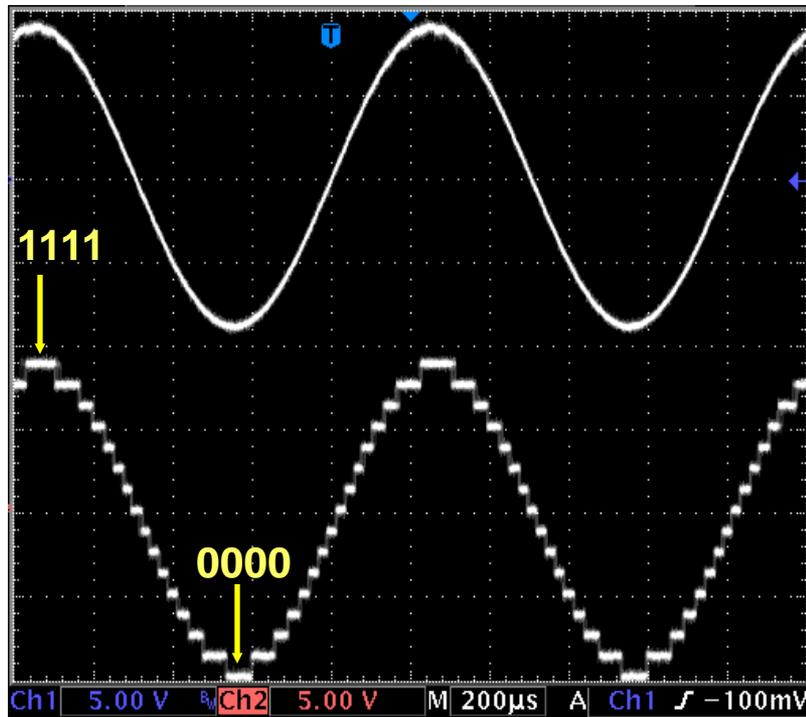
2ビット・A/Dコンバータ(6)



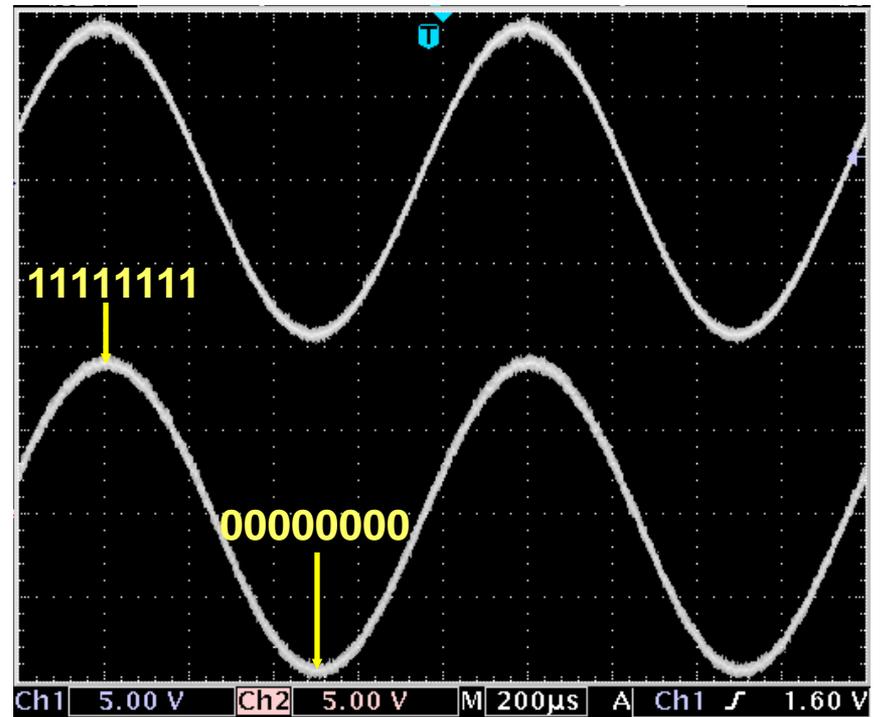


有限なbit数で再生したサイン波形

4bitで再生



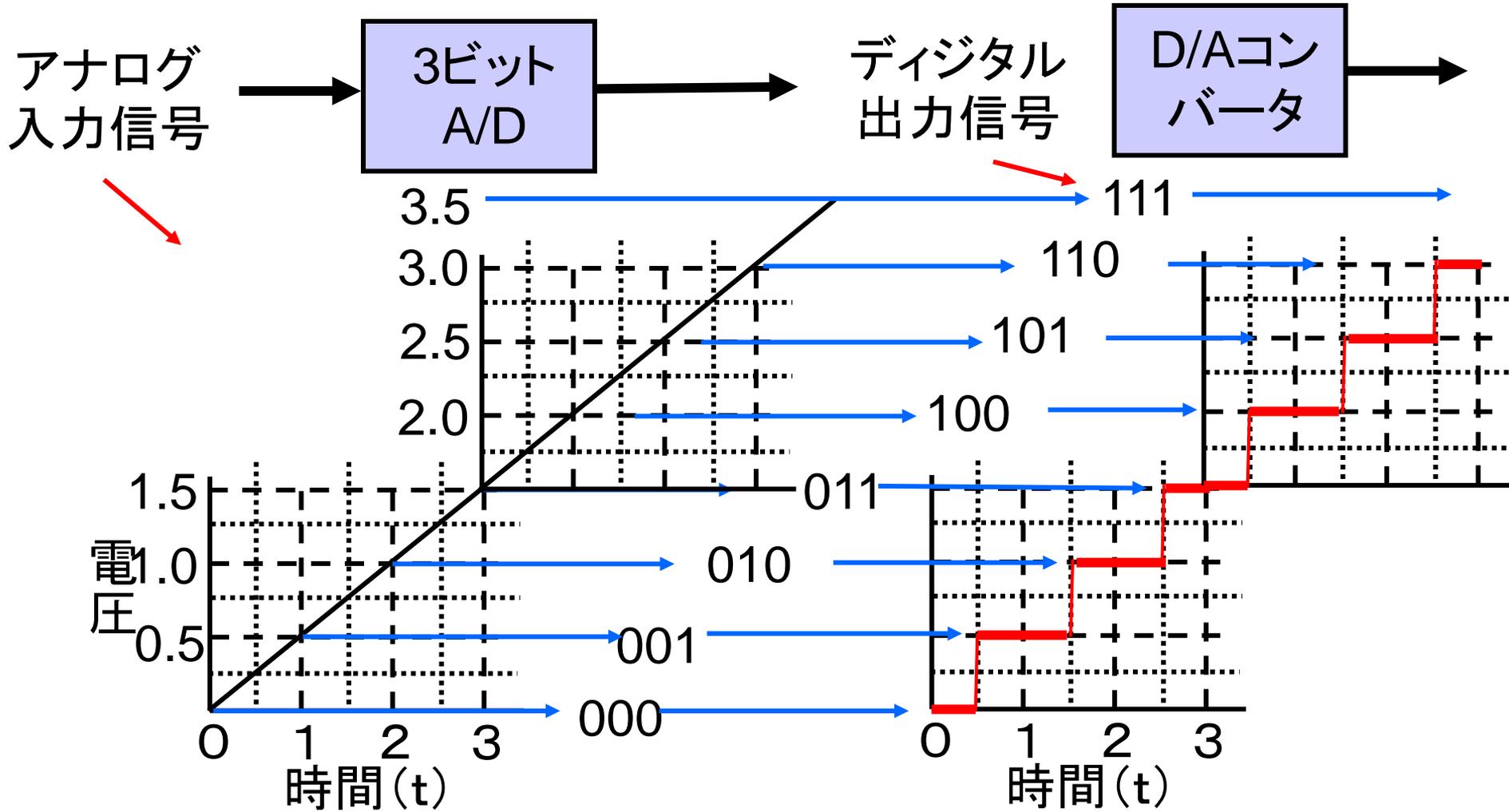
8bitで再生



4bitと8bitは**4bitの差**ですが、きめの細かさは**16倍**。



3ビット・A/Dコンバータ





ビット数と電圧の関係(1)

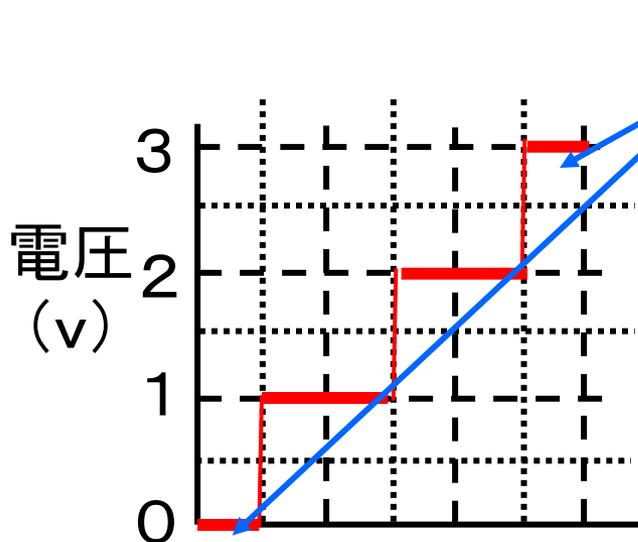
ビット数	分割数	最小ビット(1LSB)の電圧(3VMax)
1	2 通り	1.5 (v)
2	4	0.75
3	8	0.375
4	16	0.1875
5	32	0.09375
6	64	0.046875



ビット数と電圧の関係(2)

ビット数	分割数	最小ビット(1LSB)の電圧(3VMax)
2	4 通り	0.75 (v)

以下のように、最小(0V)と最大(3V)の幅が1/2LSBとなる場合について。



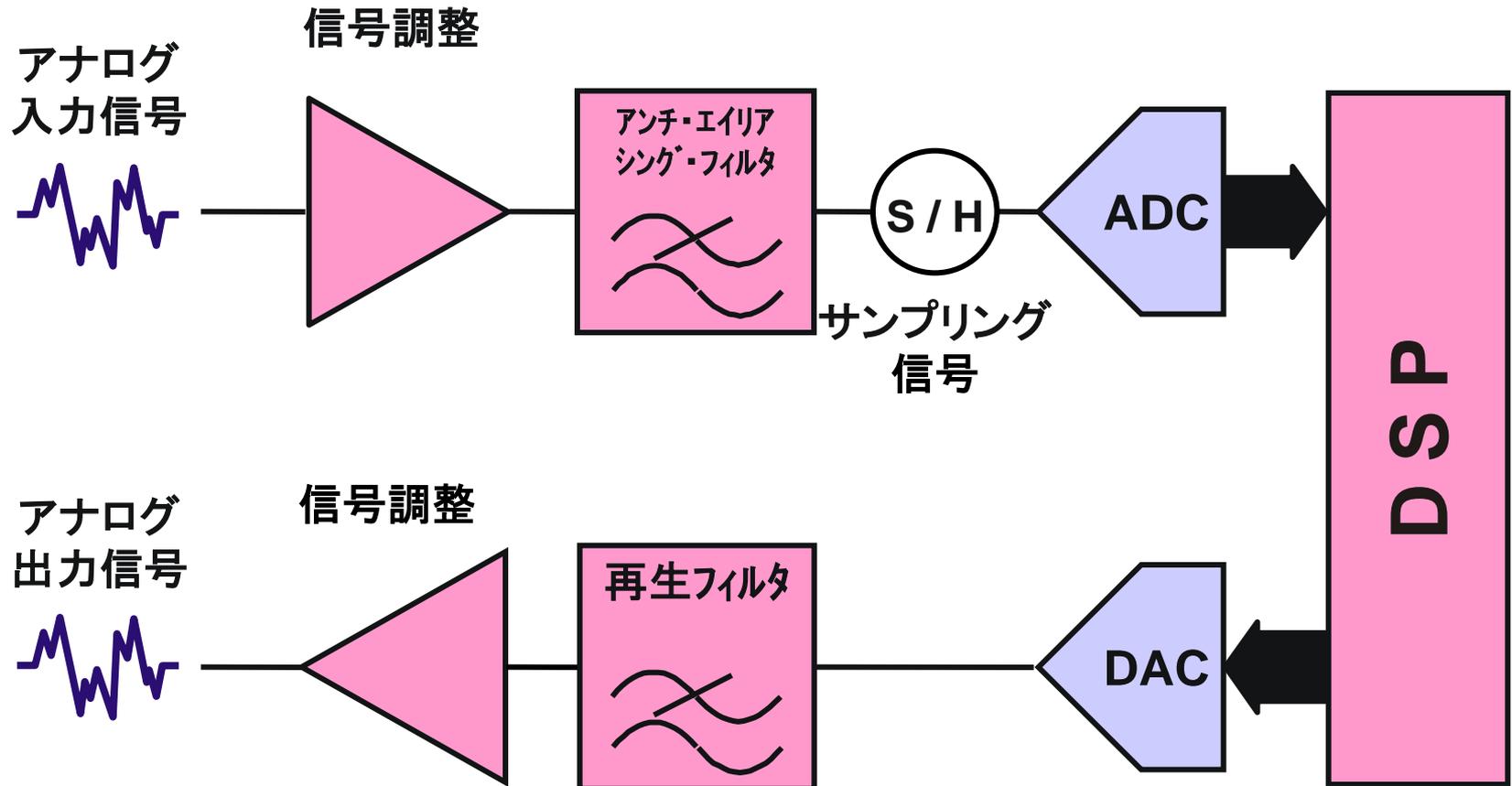
0Vと3Vの幅
が1/2LSB

この場合、

$$\begin{aligned} 1\text{LSBの電圧} &= \frac{\text{最大電圧}}{(\text{分割数}) - 1} \\ &= \frac{3\text{V}}{4 - 1} = 1\text{V} \end{aligned}$$

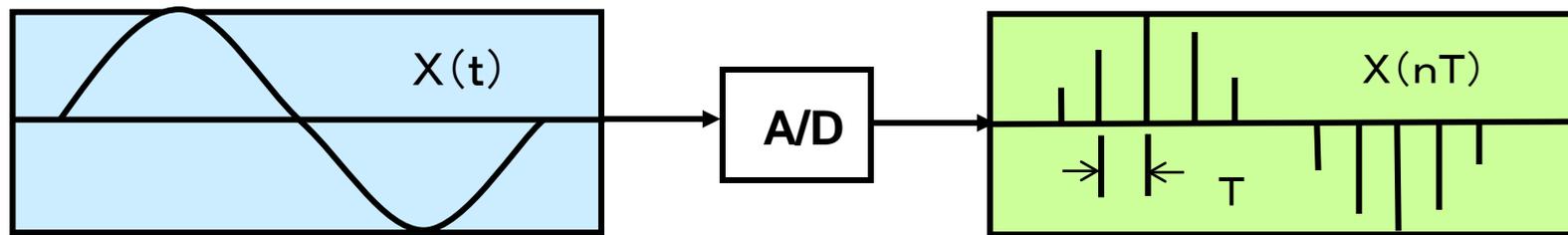


一般的なデータ・コンバータのシステム

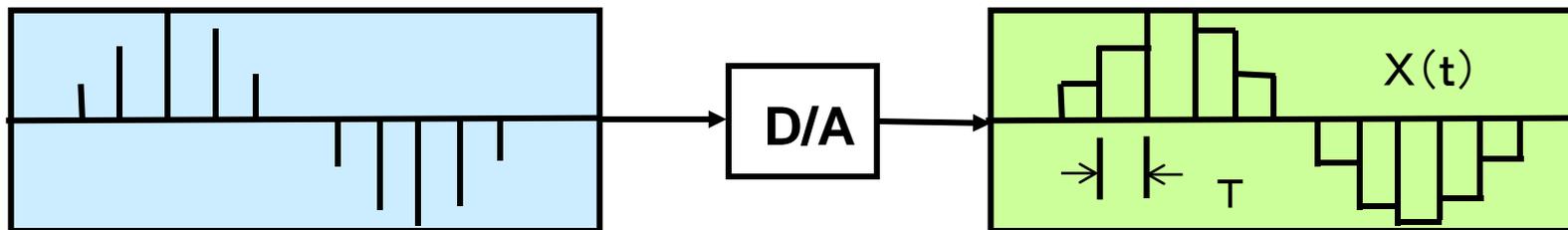




変換速度: サンプルング・レート(標本化速度)



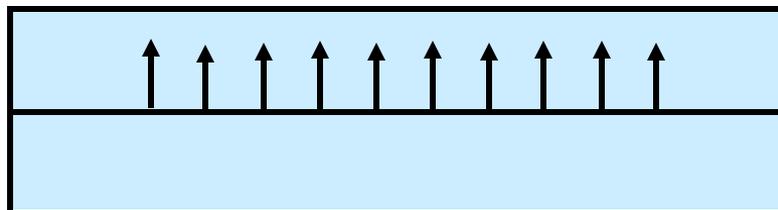
$X(t)$	アナログ信号
$X(nT)$	標本化信号
T	標本化間隔
$1/T$	標本化周波数



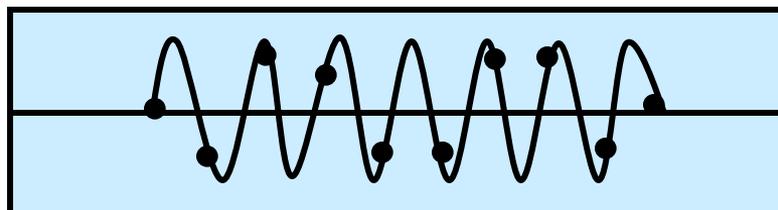


変換速度:エイリアシング

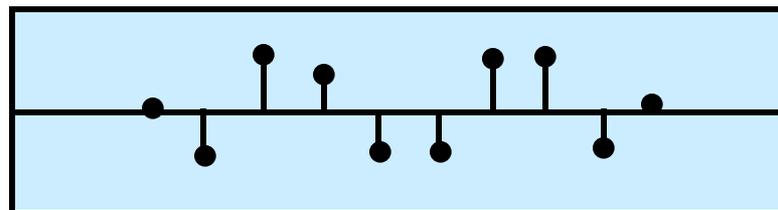
一定周期の標本化



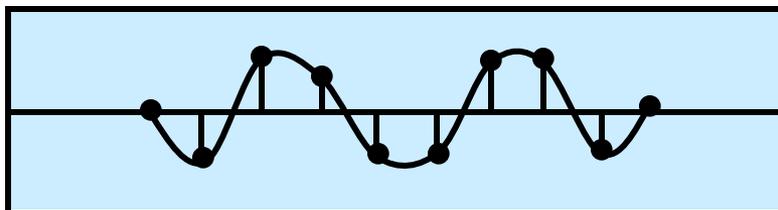
入力信号の標本化



離散的信号



再生信号(エイリアシング)





変換速度: ナイキストの標本化定理

ナイキストの標本化定理

エイリアシングを防ぐためには、変換したい信号の最高周波数より2倍以上高い周波数で標本化する必要がある。



量子化とA/D変換

アナログ入力の入力電圧範囲を決めて、分割する数で割る。



量子化

分割した最小単位

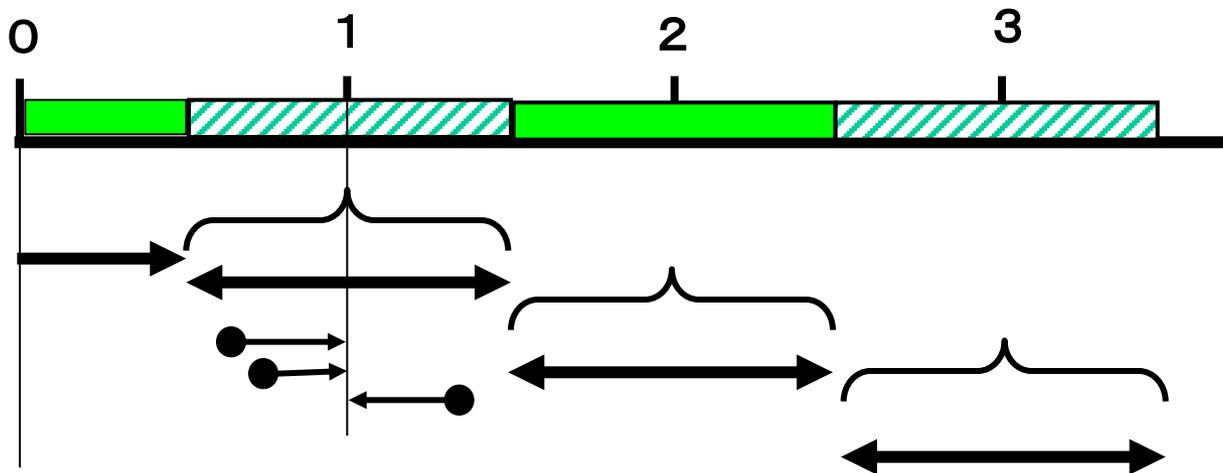


量子分解能

連続したアナログ量を不連続なデジタル量にする。



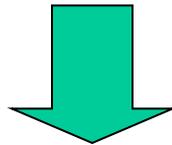
A/D変換





分解能

アナログ入力電圧範囲 (FSR: フル・スケール・レンジ) を 2^n 等分で分割し、デジタル量に変換する。



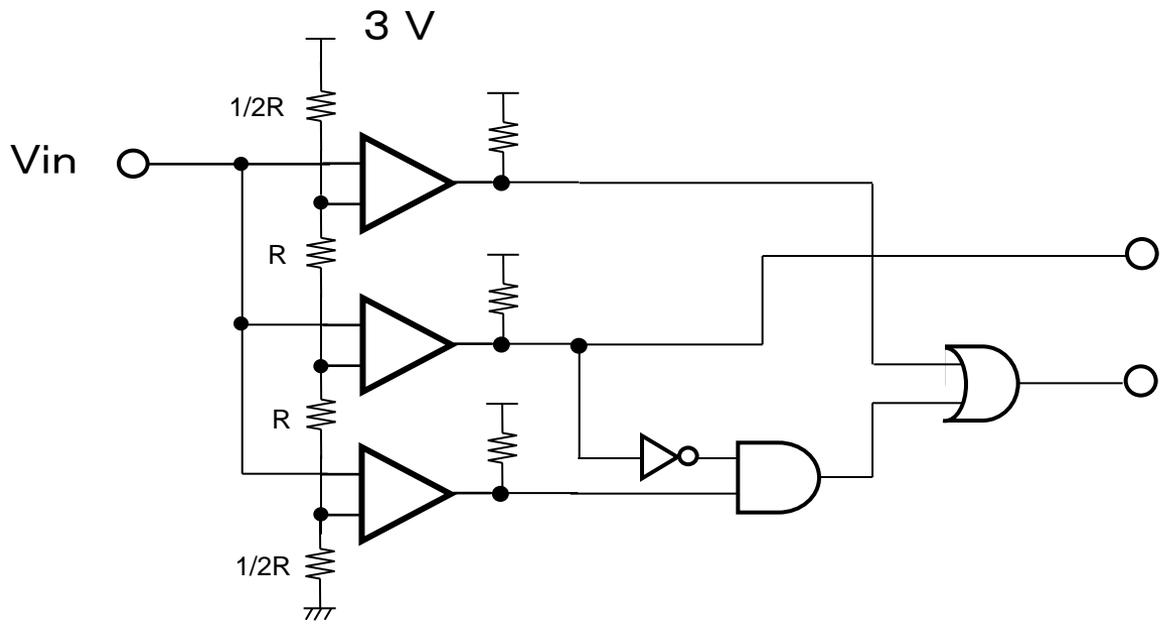
その時の最小デジタル量 = 分解能

$$\frac{\text{アナログ入力電圧範囲}}{\text{分割数}} = \frac{\text{FSR}}{2^n - 1} = 1 \text{ LSB}$$

注: 高分解能の場合 $\frac{\text{FSR}}{2^n}$ と表記することもある。



分解能の計算



2ビットA/Dコンバータ

分解数 = 2^2

FSR = 3V

$$\frac{3}{2^2 - 1} = 1$$

上記の回路の分解能は1LSB = 1Vとなる。



1LSBの大きさはどの位？

$$1 \text{ LSB} = \frac{V_{\text{フル・スケール(nom.)}}}{2^N} \quad N = \text{A/Dコンバータの分解能(ビット数)}$$

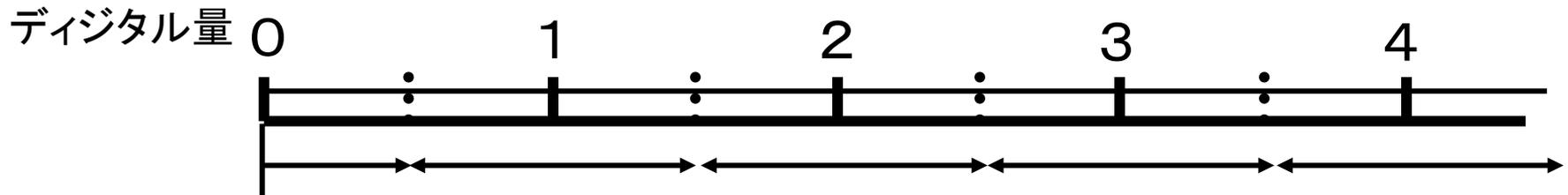
N =	8	10	12	14	16	20
1 LSB ± 5 V入力電圧範囲	39.06 mV	9.77 mV	2.44 mV	610 μV	153 μV	9.53 μV
1 LSB + 5 V入力電圧範囲	19.53 mV	4.88 mV	1.22 mV	305 μV	76.3 μV	4.77 μV
1 LSB + 3 V入力電圧範囲	11.72 mV	2.93 mV	732 μV	183 μV	45.8 μV	2.86 μV



1ビットの範囲

FSR = +5Vで10ビット分解能のADC

1 LSB = 4.88 mV (1/2 LSB = 2.44 mV)

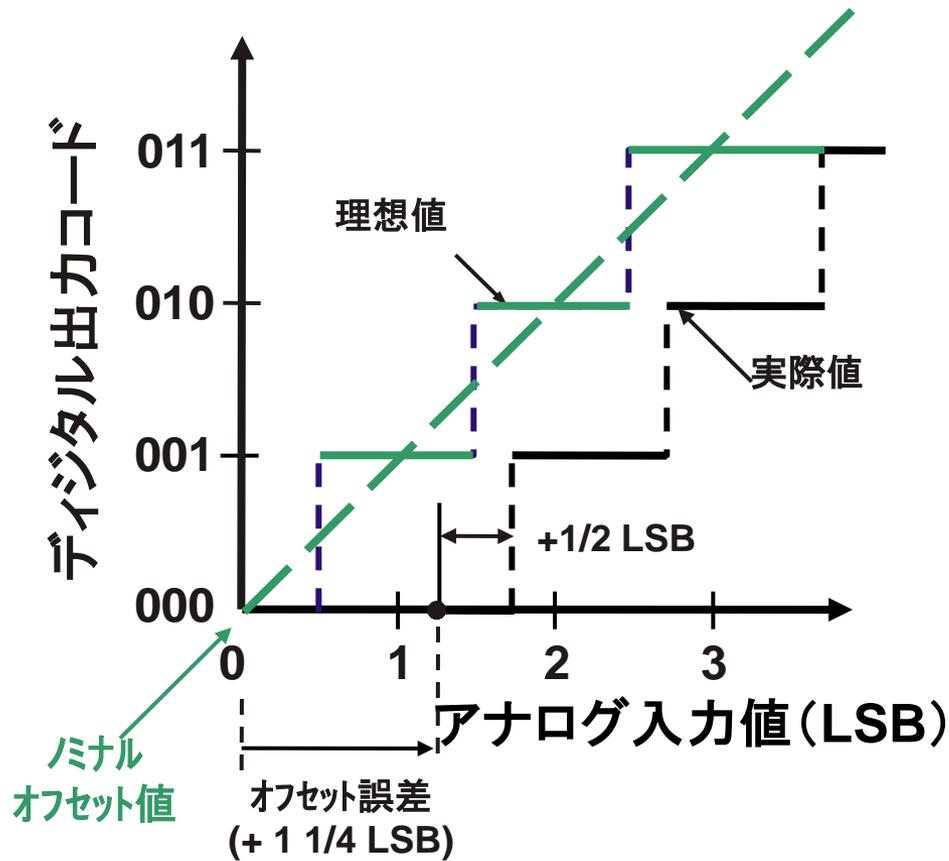


実際のコンバータは0は1/2 LSBまでで、その他はデジタル量を中心に±1/2 LSBが1ビットの範囲。

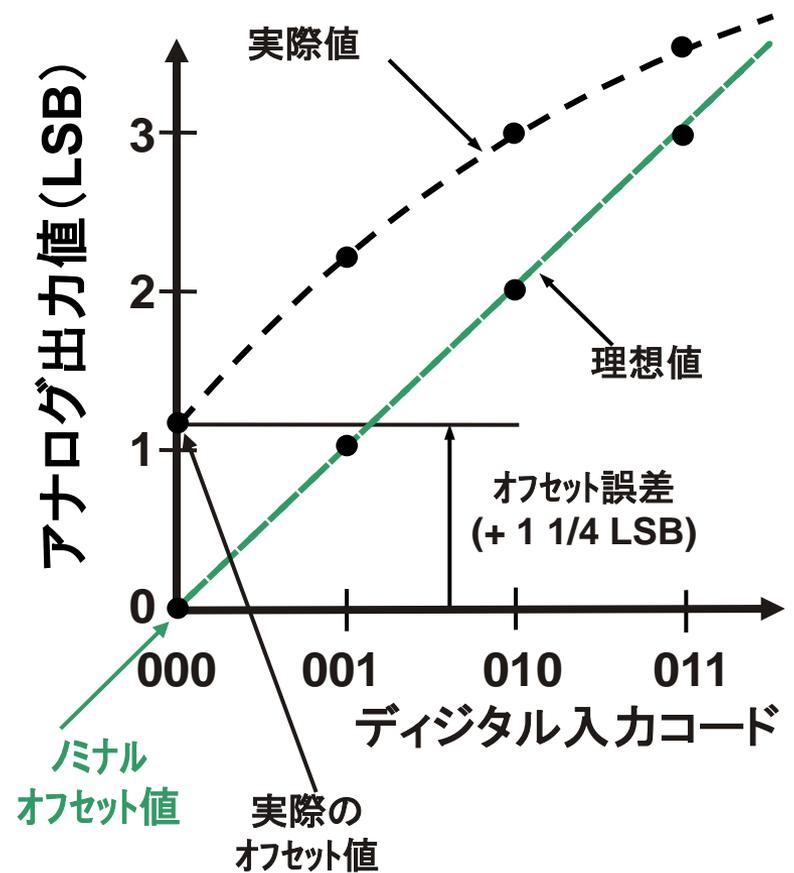


オフセット誤差

ADC



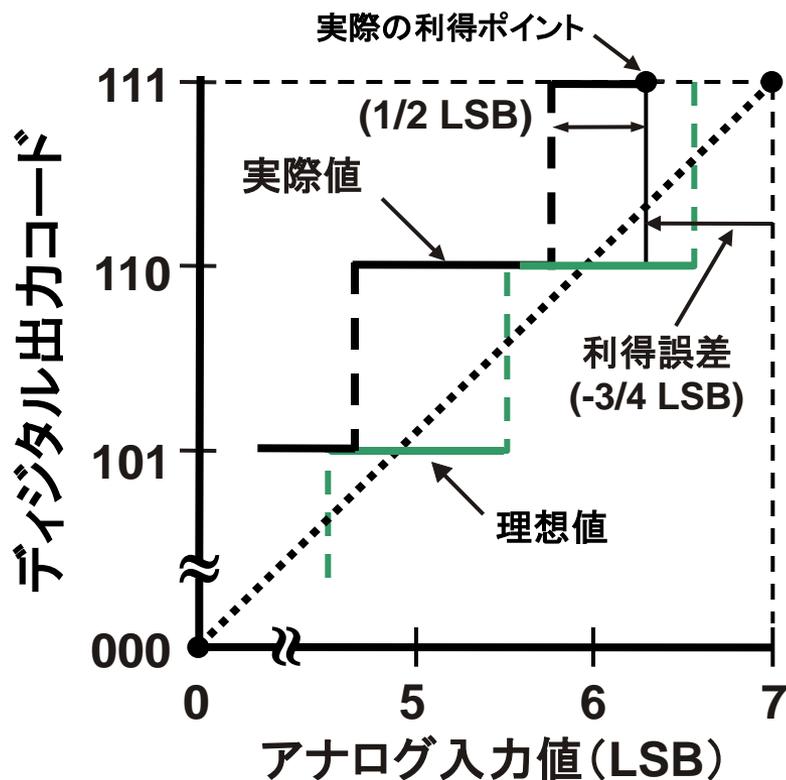
DAC



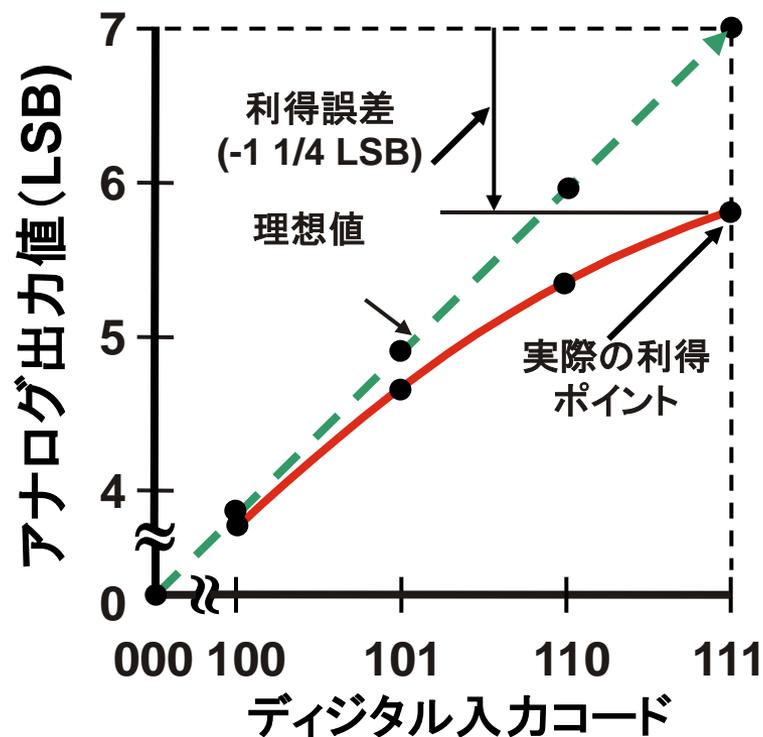


フルスケール誤差 (ゲイン誤差)

ADC



DAC

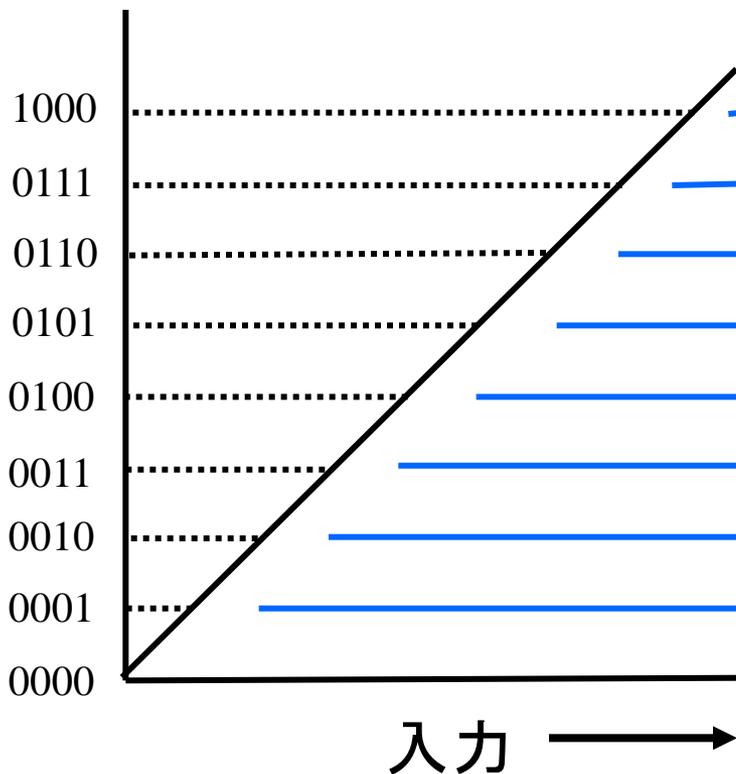




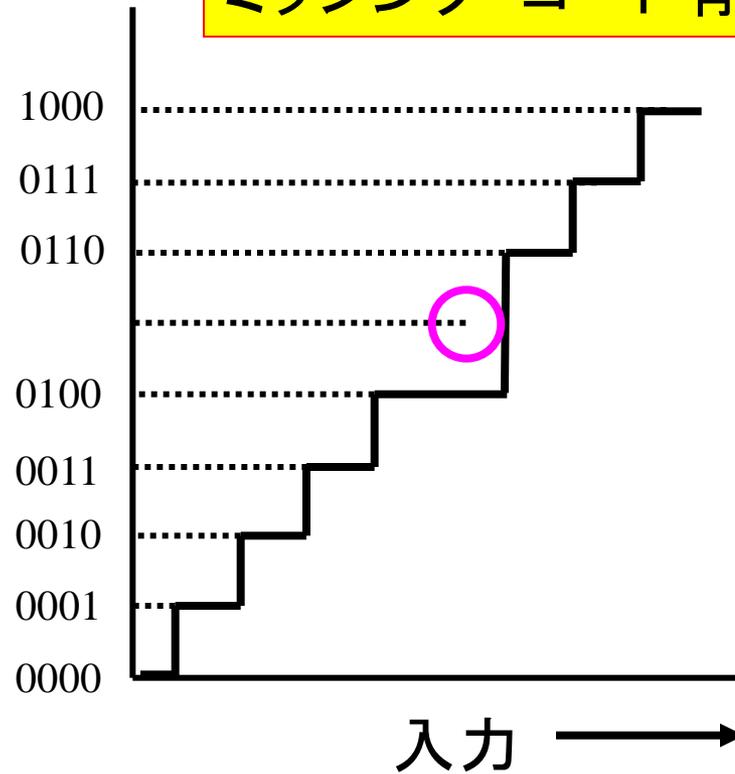
ミッシング・コード

ミッシング・コード = ビット飛び

出力コード

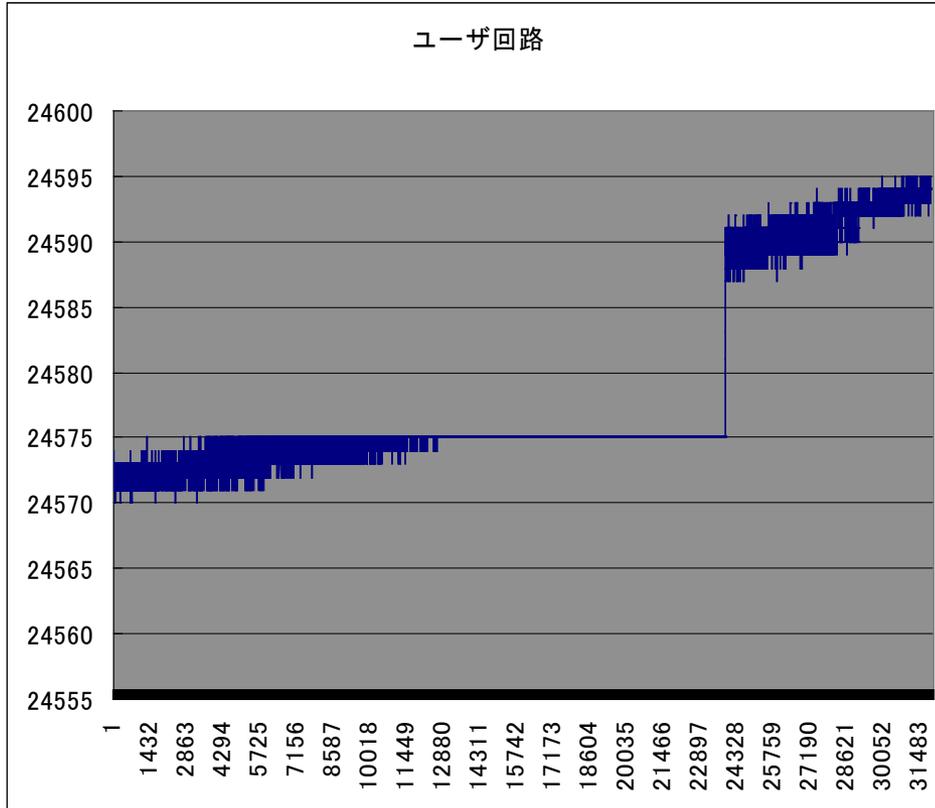


ミッシング・コード有り





ミッシング・コード発生例

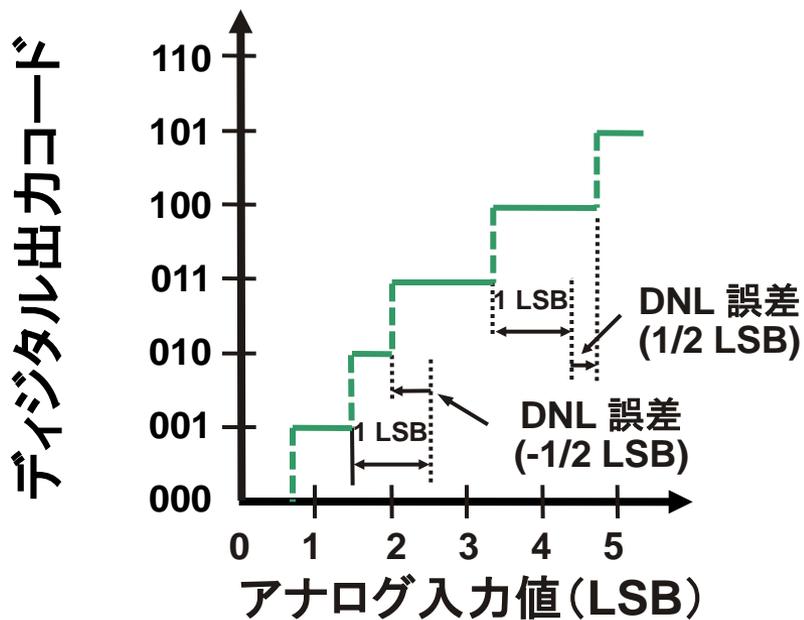


	データ区間	頻度
5FFA	24570	7
5FFB	24571	598
5FFC	24572	1053
5FFD	24573	4596
5FFE	24574	2285
5FFF	24575	15343
6000	24576	0
6001	24577	0
6002	24578	0
6003	24579	0
6004	24580	0
6005	24581	1
6007	24583	1
6009	24585	1
600A	24586	0
600B	24587	15
600C	24588	142
600D	24589	1397
600E	24590	1316
600F	24591	995
6010	24592	1216
6011	24593	2108
6012	24594	735
6013	24595	57
TTL		31866

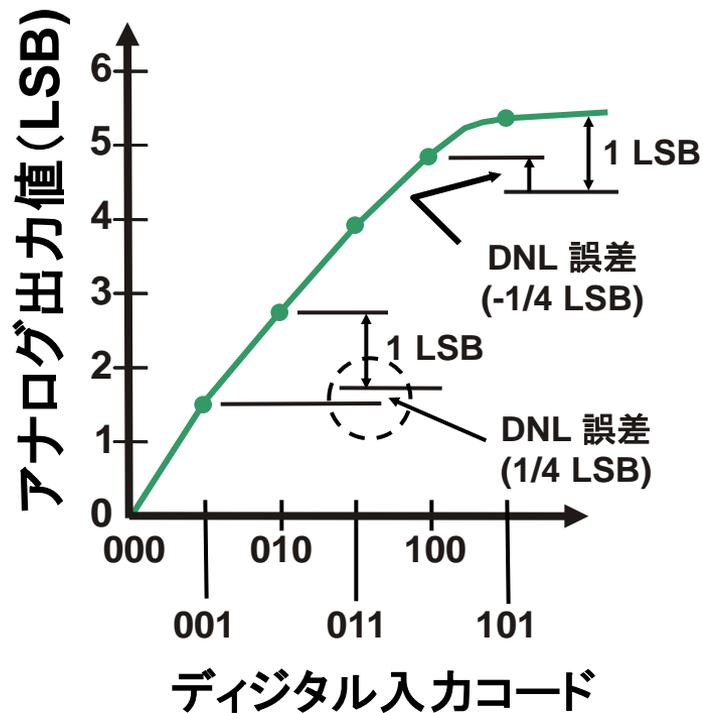


微分非直線性誤差 (DNL)

ADC



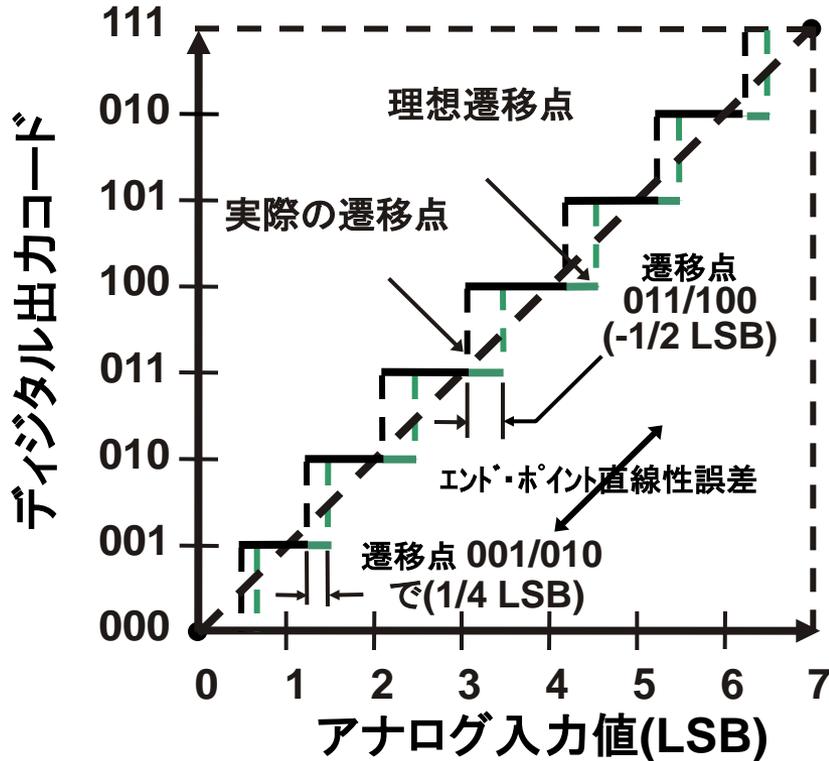
DAC



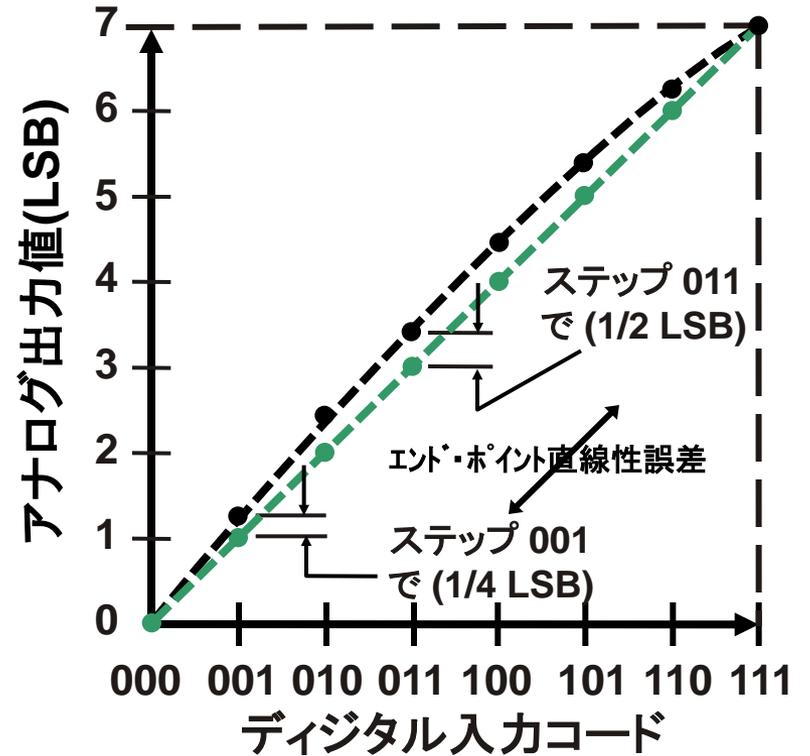


積分非直線性誤差 (INL)

ADC

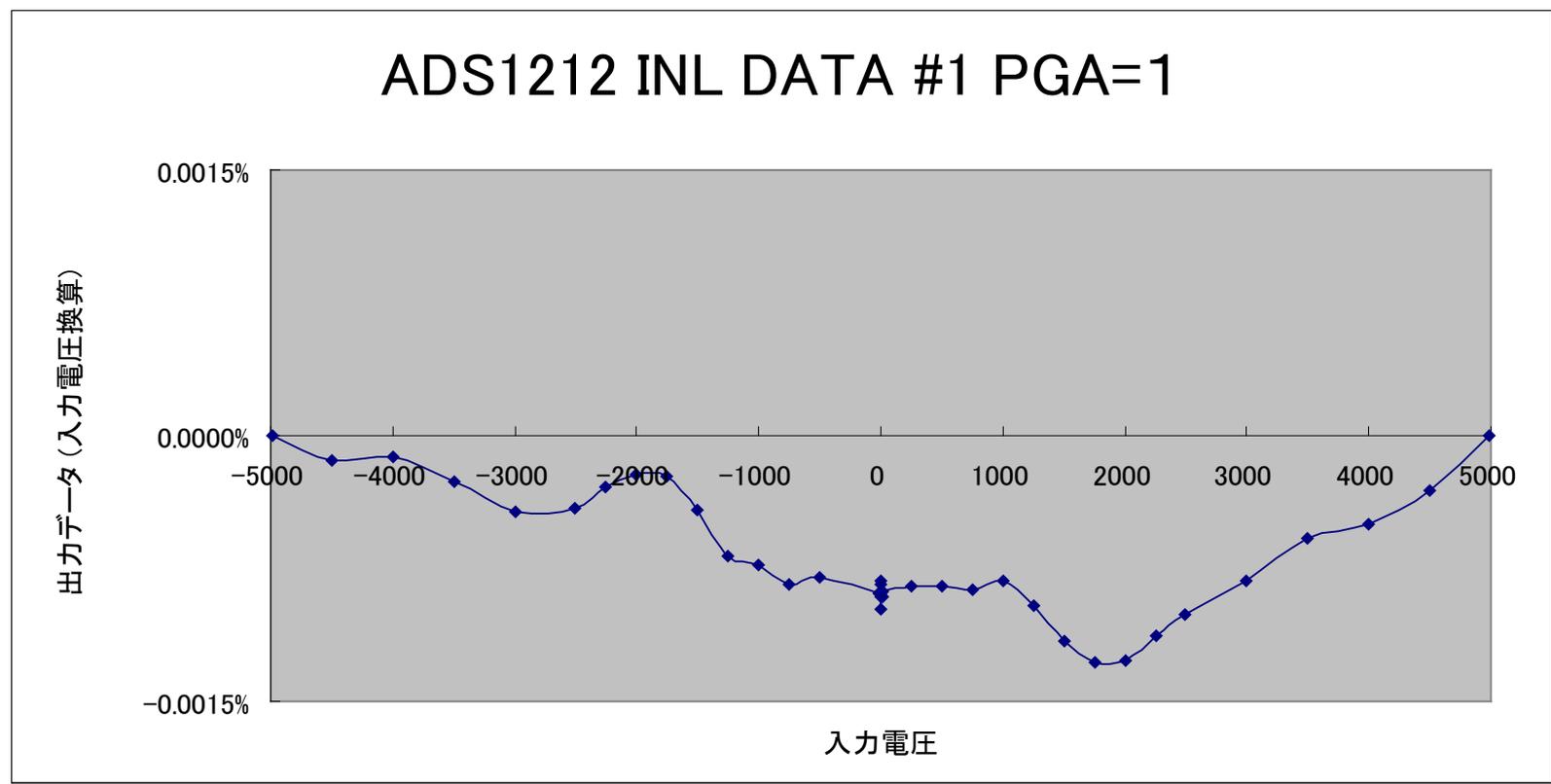


DAC





INLデータ例(1)



分解能: 22ビット

$0.0015\% = 0.000015$
 $\doteq 1/67000 \doteq 1/2^{16}$

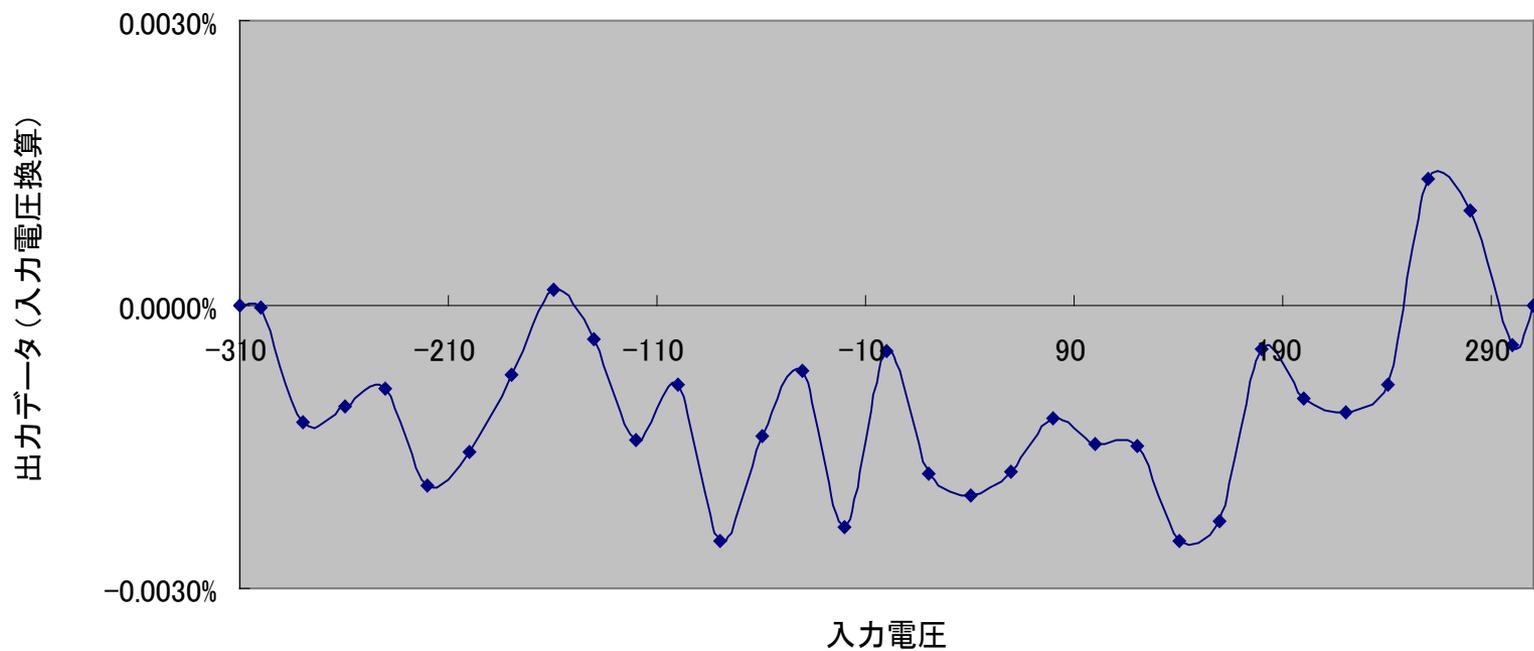
有効分解能: 16ビット

補正すれば精度は上がる。



INLデータ例(2)

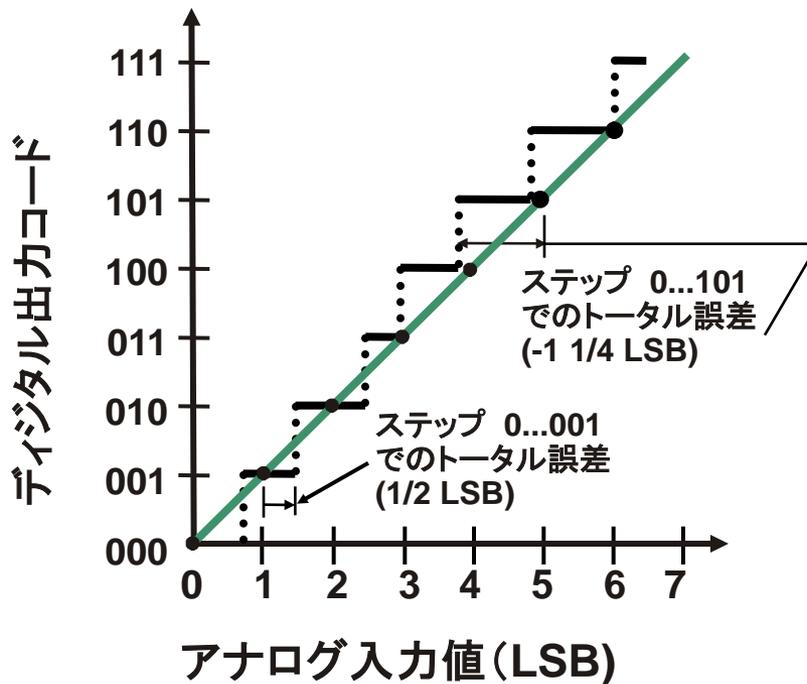
ADS1212 INL DATA #1 PGA=16



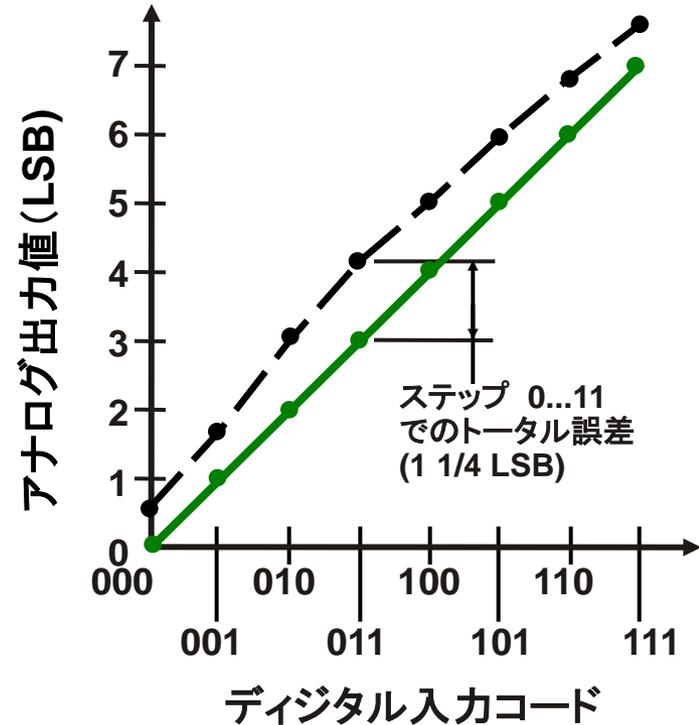


絶対精度 (トータル誤差)

ADC

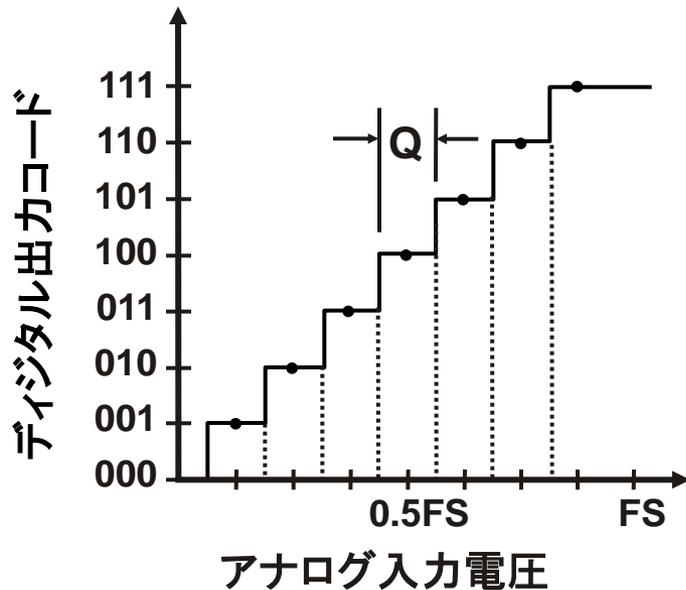


DAC





データ・コンバータのSNR (S/N比)



SNR : Signal to Noise Ratio

SNRの定義

$$SNR = \frac{V_{\text{Signal}}}{V_{\text{Noise}}}$$

データ・コンバータのSNR

$$SNR(\text{dB}) = 6.02 N + 1.76$$

N は分解能のビット数

分解能を1ビット増加することによりSNRが約 6 dB改善できます！

SNR(dB) = 6.02N + 1.76 の算出過程は難しくなりますが、次ページ以降を参照してください。



量子化雑音

理想ADC(4ビット)に、フルスケールのサイン波を入力したときの量子化雑音波形を図1に示す。入力信号が短時間でランダムに変化する場合、量子化雑音の波形は $\pm q/2$ 内に収まる任意の傾斜 m を持つ線分 e_q の集まりとみなされる。

$$e_q = mt \left(-\frac{q}{2m} < t < \frac{q}{2m} \right) \quad \dots (1) \quad \text{ここで、} q \text{は量子化ステップ幅である。}$$

上式より、量子化誤差の平均自乗雑音電力 \bar{e}_q^2 は次式で表される。

$$\begin{aligned} \bar{e}_q^2 &= \frac{1}{\frac{q}{m}} \int_{-\frac{q}{2m}}^{\frac{q}{2m}} (mt)^2 dt = \frac{m}{q} \left[m^2 \frac{t^3}{3} \right]_{-\frac{q}{2m}}^{\frac{q}{2m}} = \frac{m}{q} \left(m^2 \times \frac{q^3}{8m^3} \times \frac{1}{3} + m^2 \times \frac{q^3}{8m^3} \times \frac{1}{3} \right) = \frac{m}{q} \times \frac{q^3}{12m} \\ &= \frac{q^2}{12} \quad \dots (2) \end{aligned}$$

また、*rms* (root mean square) 値 $e_{q\text{rms}}$ は、次式で表される。

$$e_{q\text{rms}} = \sqrt{\frac{q^2}{12}} = \frac{q}{2\sqrt{3}} \quad \dots (3)$$

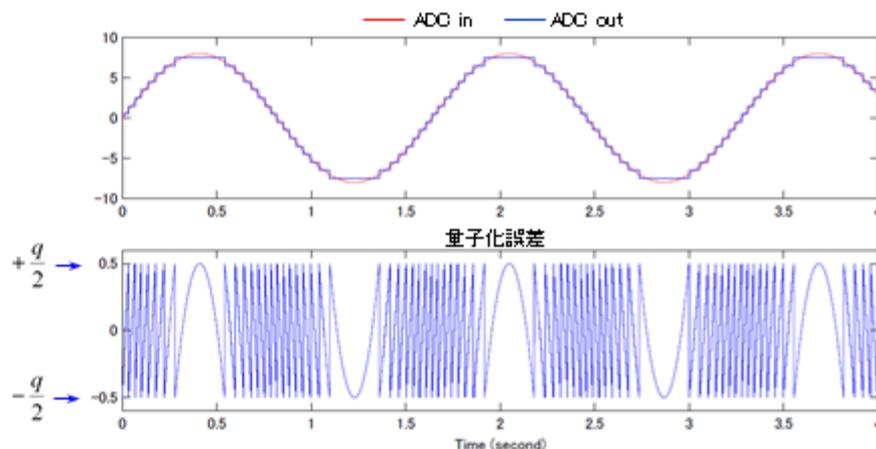


図1. 理想ADC(4ビット)の量子化雑音



信号量子化雑音比 SQNR

サイン波 $e_s(t) = A \sin(t)$ の平均自乗電力 $\bar{e}_s^2(t)$ は次式で表される。

$$\bar{e}_s^2 = \frac{A^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(t) dt = \frac{A^2}{2\pi} \left[\frac{t - \cos(t)\sin(t)}{2} \right]_0^{2\pi} = \frac{A^2}{4\pi} [t - \cos(t)\sin(t)]_0^{2\pi} = \frac{A^2}{4\pi} [2\pi - 0 + 0 + 0] = \frac{A^2}{2} \quad \dots (4)$$

式(3)、式(4)より、理想ADCの信号量子化雑音比 $SQNR$ は次式で表される。

$$SQNR = \frac{\bar{e}_s^2}{e_q^2} = \frac{\frac{A^2}{2}}{\frac{q^2}{12}} = \frac{\frac{A^2}{2}}{\frac{A^2}{3 \times 2^{2n}}} = \frac{3 \times 2^{2n}}{2}$$

$$\therefore q = \frac{2A}{2^n} = \frac{A}{2^{n-1}} \quad \dots (5)$$

$$\begin{aligned} \therefore SQNR(dB) &= 10 \log \left(\frac{3 \times 2^{2n}}{2} \right) \\ &= 6.02n + 1.76 (dB) \quad \dots (6) \end{aligned}$$