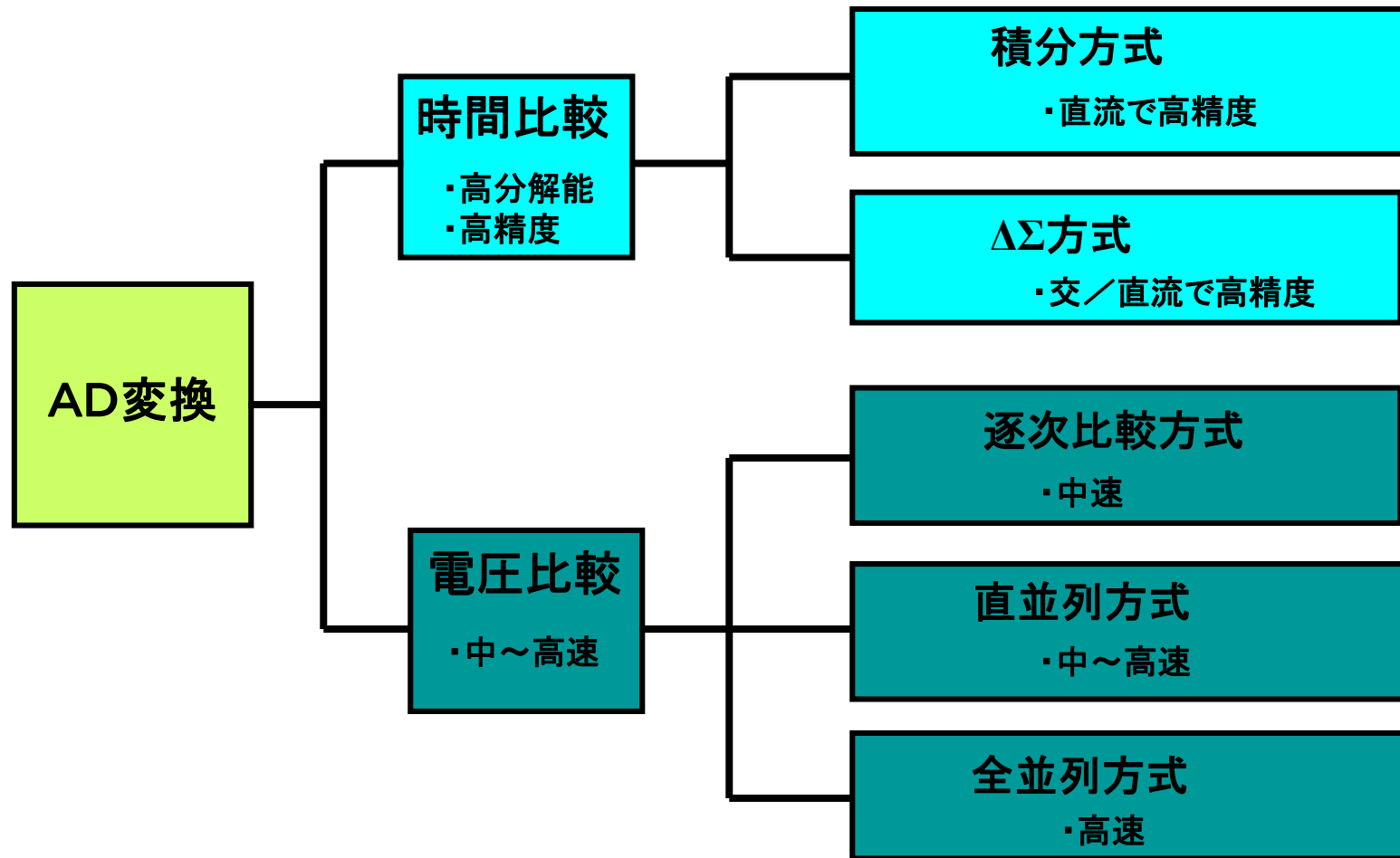


AD変換の基礎

2005年12月
群馬大学非常勤講師
田中 紘資

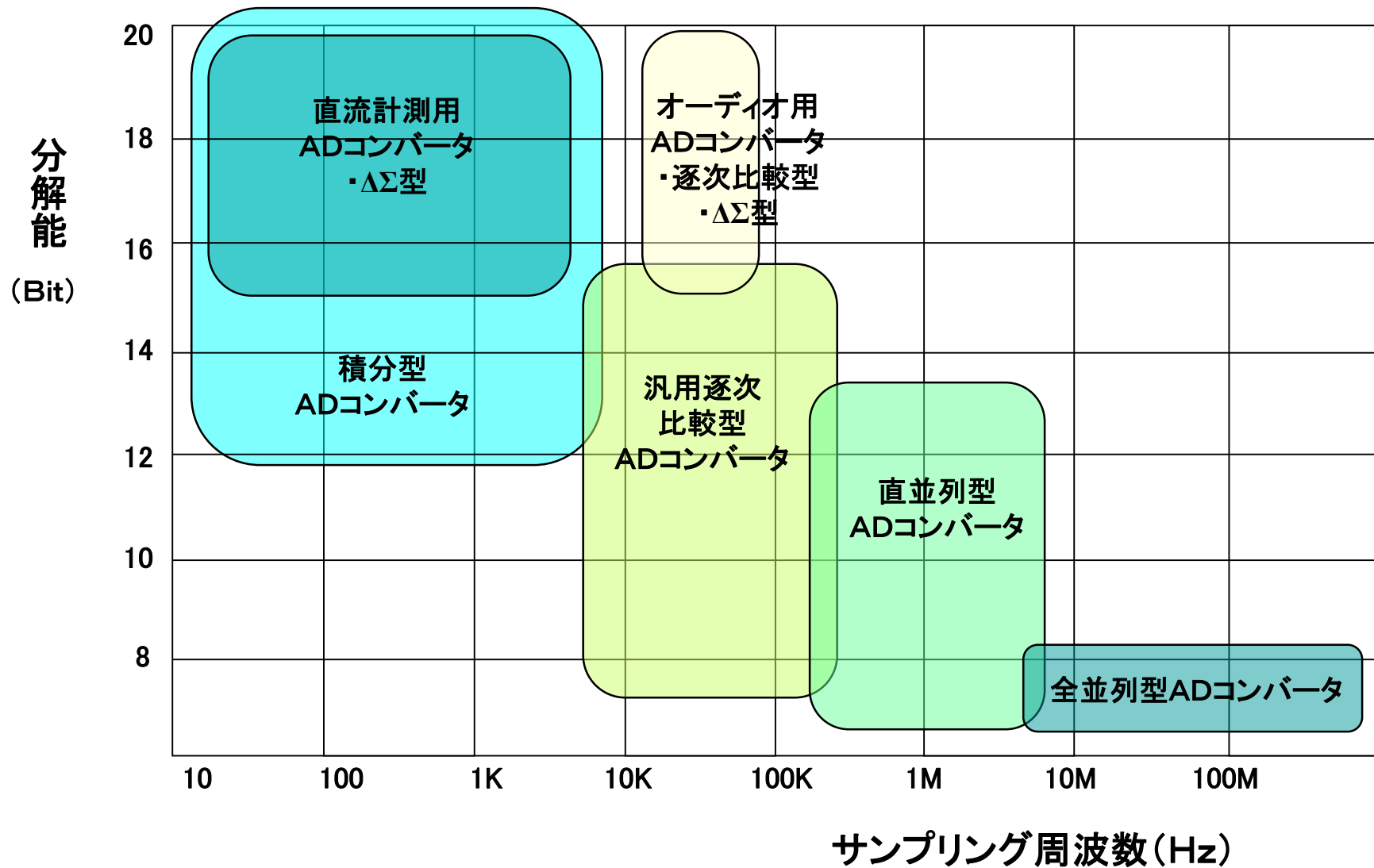
(ア)ADCのアプリケーション

A D 変換方式の分類と特徴



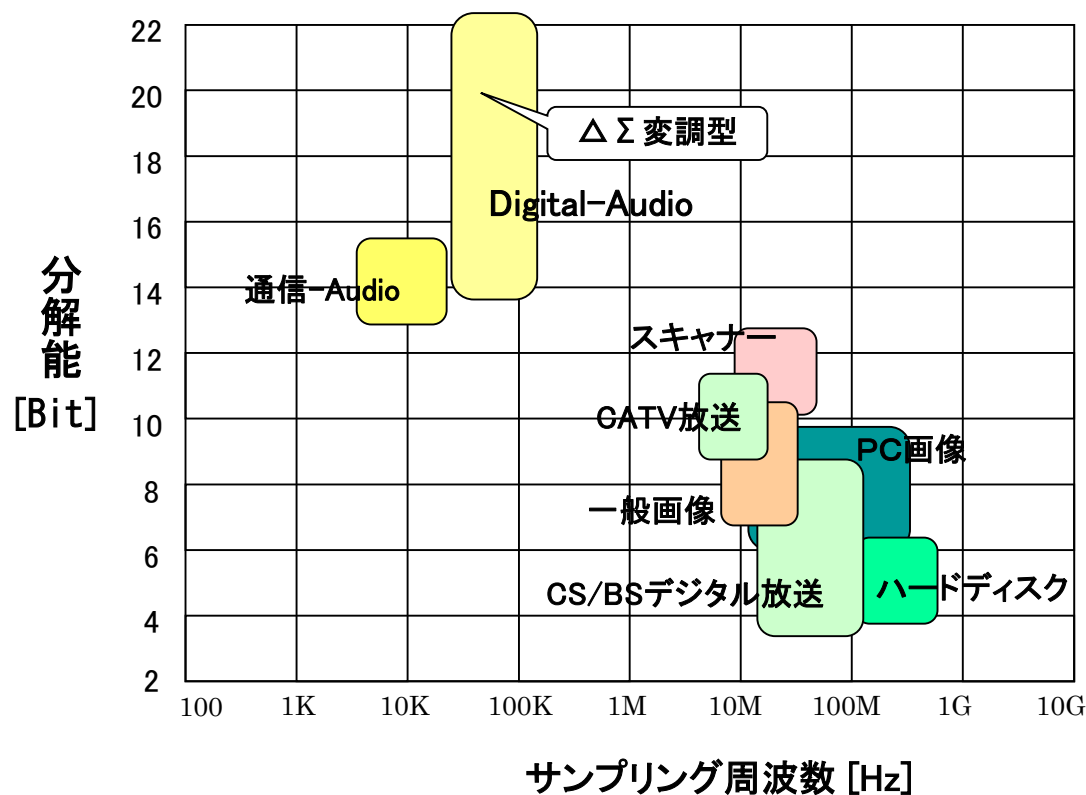
(ア)ADCのアプリケーション

A D 変換方式の性能と特徴



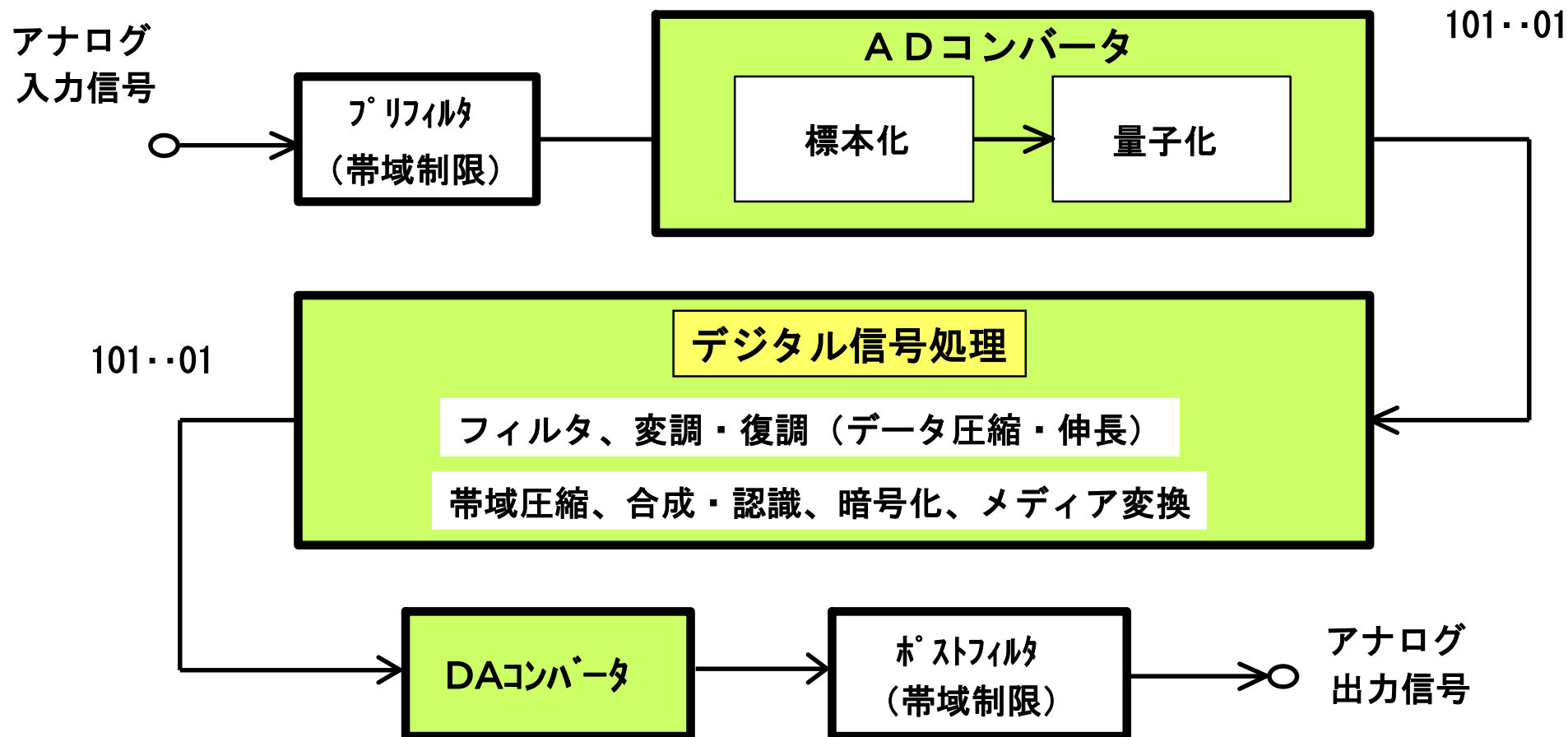
(ア)ADCのアプリケーション

ADC／DAC変換方式の分野別要求仕様



(ア)ADCのアプリケーション

デジタル信号処理の基本ブロック構成



(ア)ADCのアプリケーション

音声信号をなぜデジタル処理するのか

●デジタル処理の長所

高機能の実現

- 多様性 → 任意の計算処理が可能で複雑な処理が容易。
- 融通性 → 適応処理や時間処理など、処理形態が豊富。
- 発展性 → 誤り訂正付加や暗号化など、処理形態が豊富。

高性能の実現

- 高精度 → 高S／Nが容易で、高品質な記録・再生が容易。
- 安定性 → 温度・経時変化による劣化が無く、保守が容易。
- 小型化 → 高集積LSI化容易で、システムの小型化が可能。

高生産性の実現

- 設計容易性 → CAD設計自動化による開発効率向上が容易。
- 製造容易性 → ばらつきが少なく、無調整化が可能。

(ア)ADCのアプリケーション

音声信号をなぜデジタル処理するのか

●デジタル処理の短所

動作速度

信号帯域 → 処理可能な信号帯域に限界がある。
(クロック周波数の限界)

回路の規模

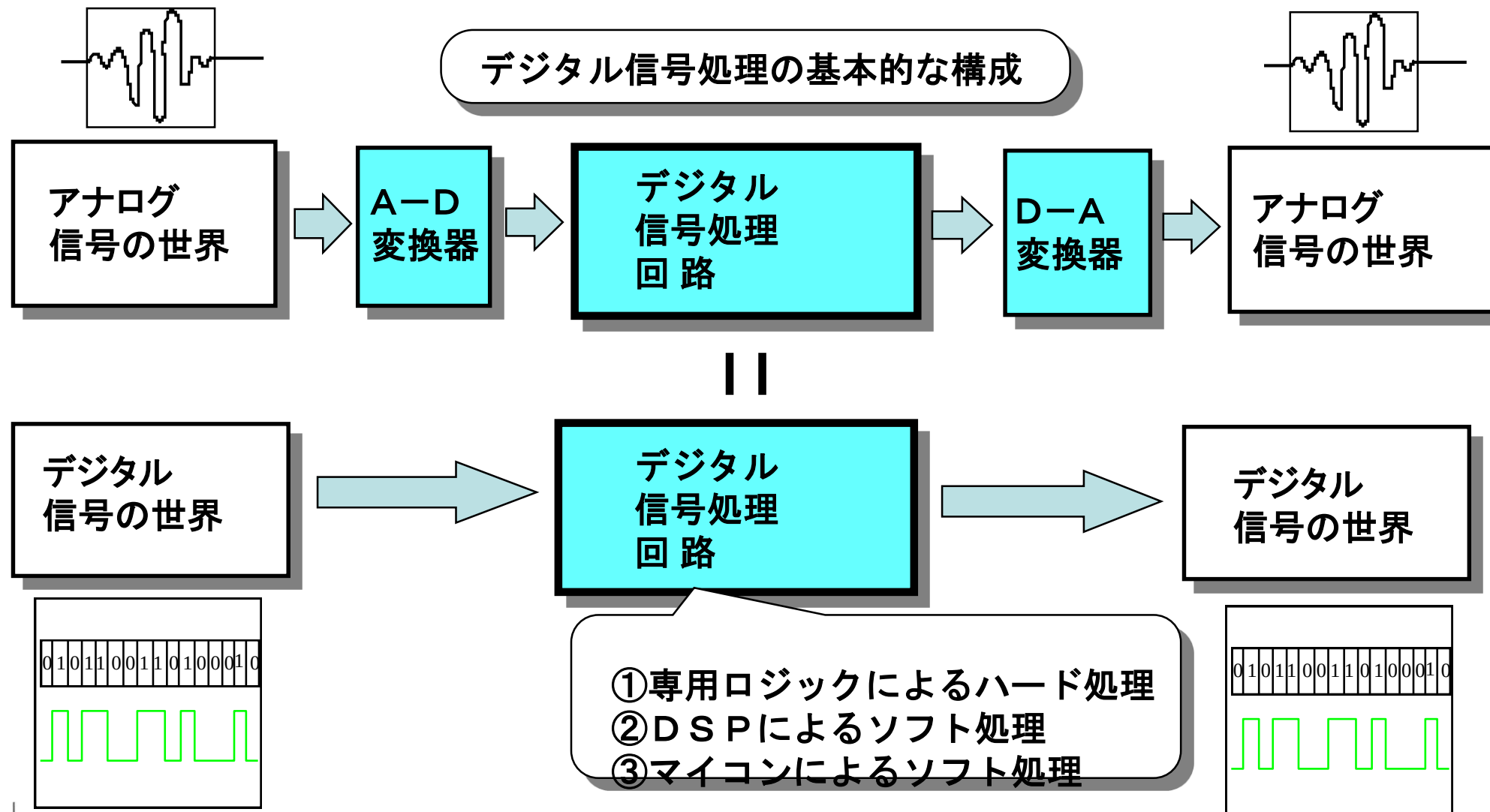
大規模論理回路 → 高精度の実現に大規模演算回路が必要。

雑音発生

デジタル雑音 → 量子化雑音、演算誤差（有限語長）、
スイッチング雑音。

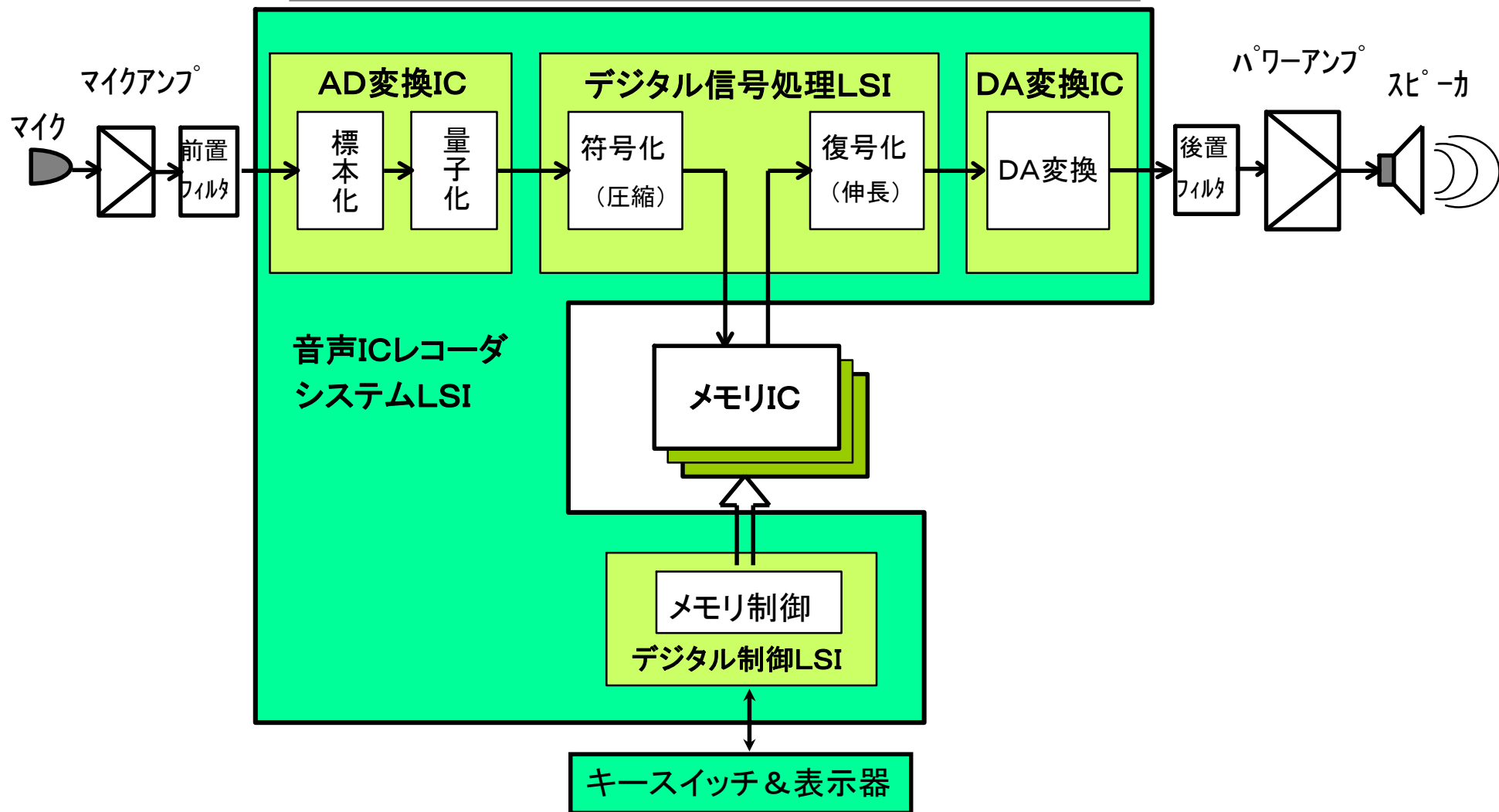
(ア)ADCのアプリケーション

音声信号のデジタル処理はどのように実現されるか



(ア)ADCのアプリケーション

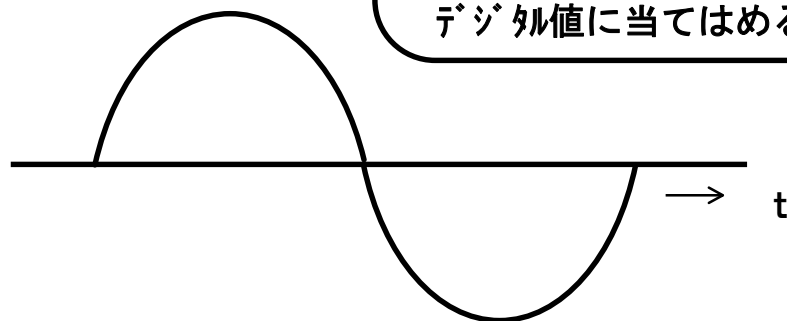
デジタル I C レコーダ システム



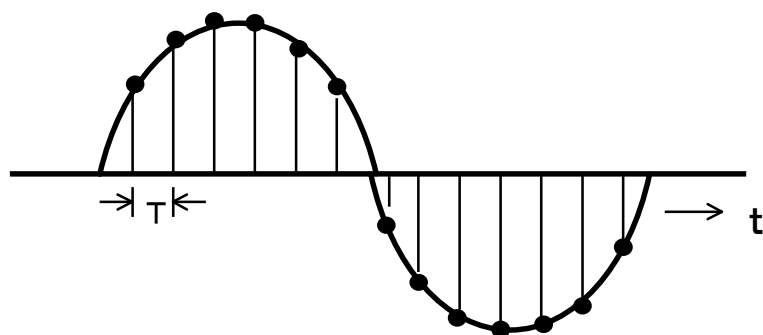
(イ) 量子化、量子化誤差、SNR

アナログ → デジタル 変換波形

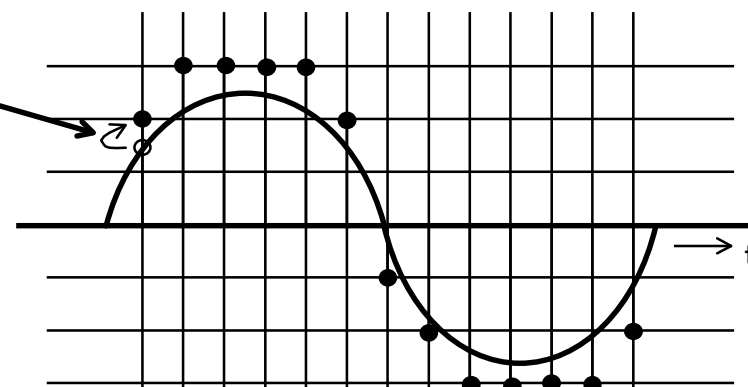
アナログ値を
デジタル値に当てはめる



(a) アナログ入力

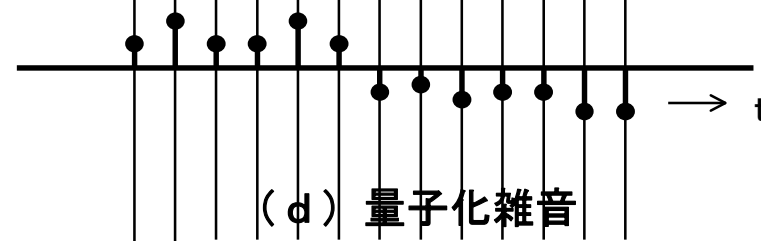


(b) 標本化



(c) 量子化

MSB	LSB
1	1 1
1	1 0
1	0 1
1	0 0
0	1 1
0	1 0
0	0 1
0	0 0



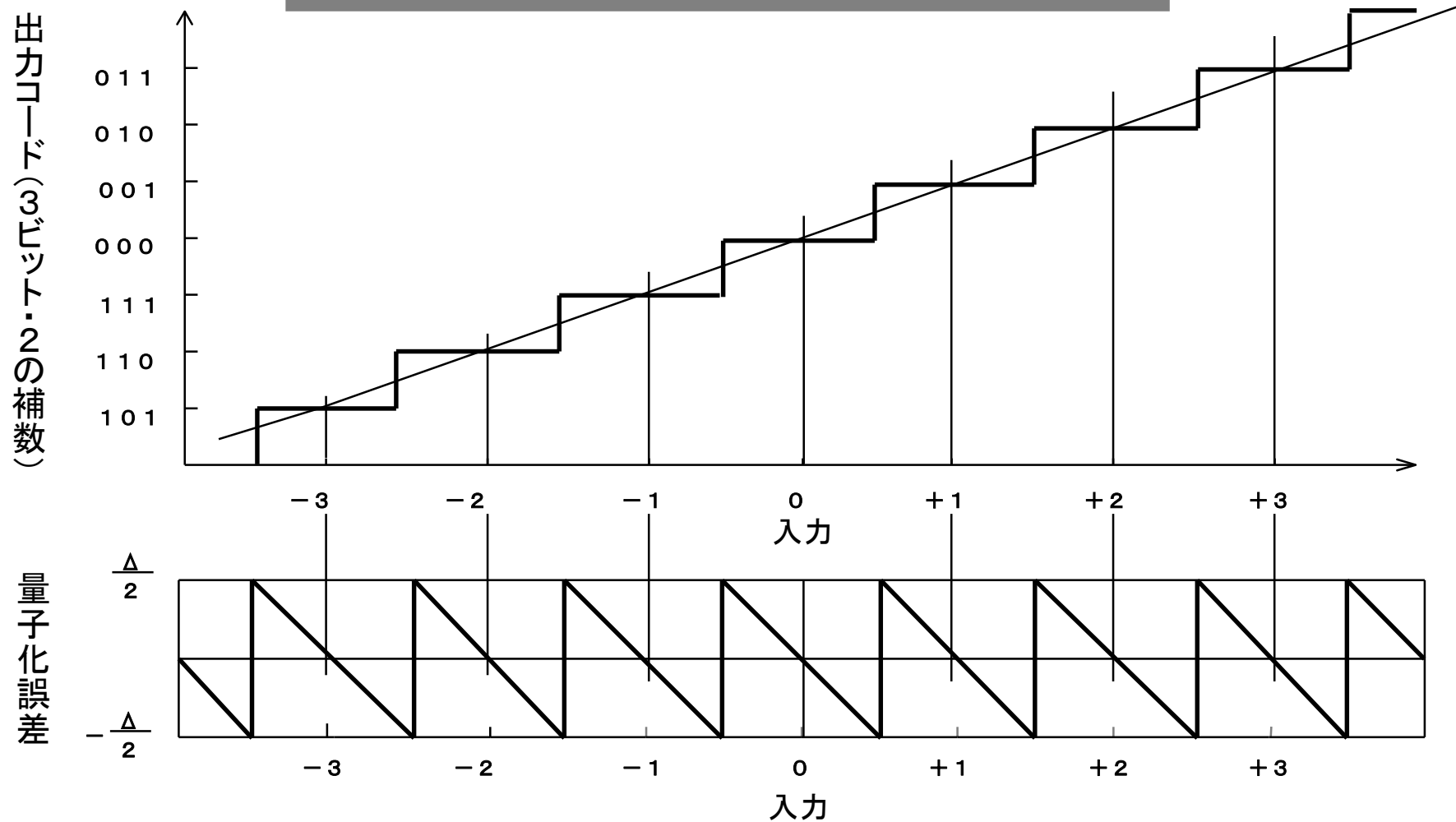
(d) 量子化雑音

MSB	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
LSB	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0

(e) 符号化

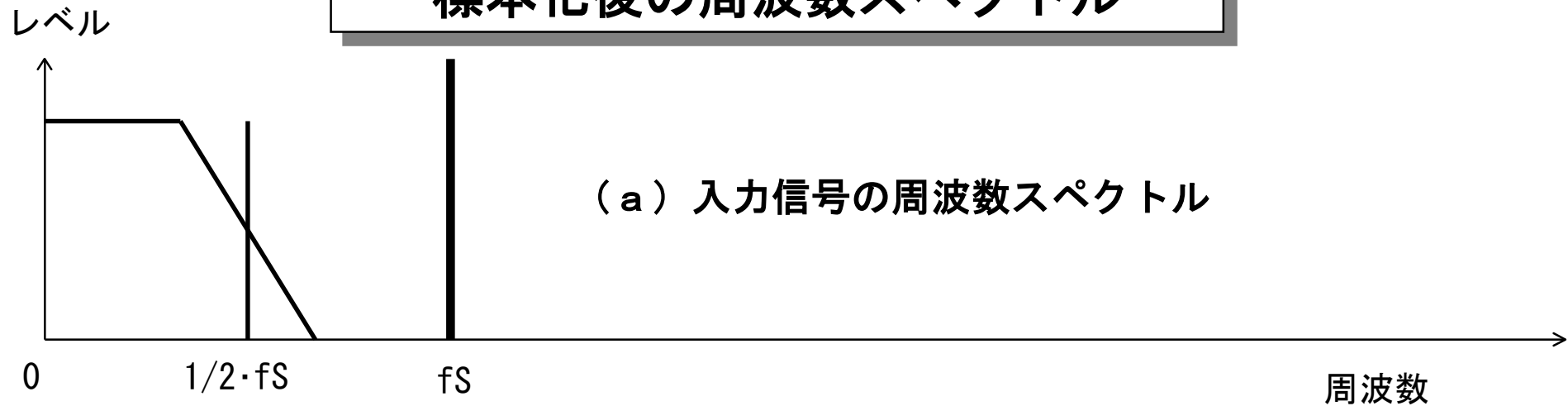
(イ) 量子化、量子化誤差、SNR

理想 A/D 変換器の量子化誤差

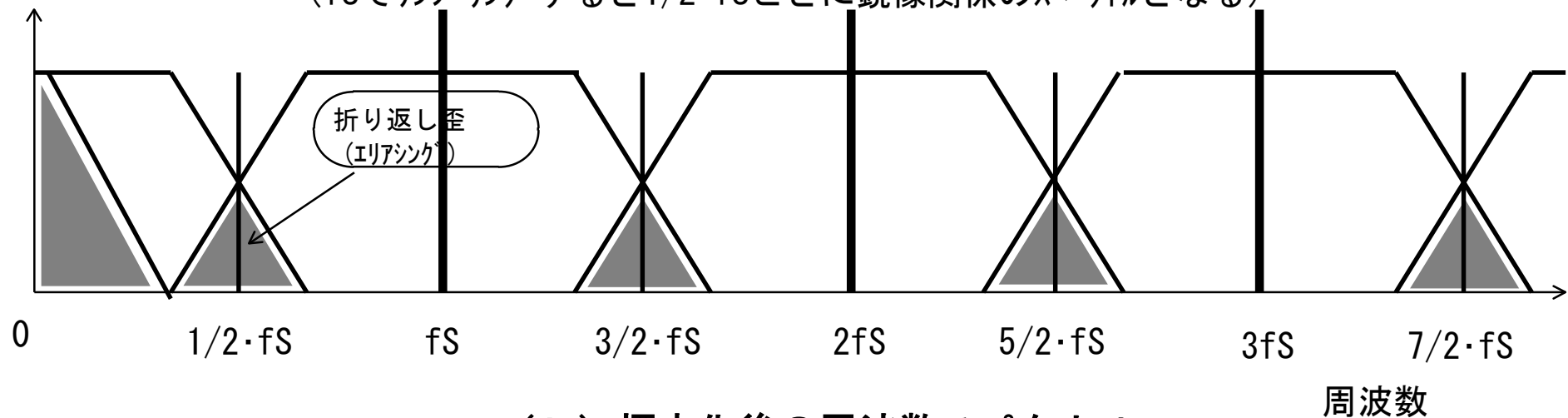


(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

標本化後の周波数スペクトル



(f_S でサンプリングすると $1/2 \cdot f_S$ ごとに鏡像関係のスペクトルとなる)



(b) 標本化後の周波数スペクトル

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

標本化定理 (Sampling Theorem)

- アナログ信号波形 $X(t)$ が、 $0 \sim W$ [Hz] の間に帯域制限されているとき、 $X(t)$ を $T = 1/2W$ [Sec] ごとに標本化すれば、標本値系列から次式のように、元の波形が完全に再現できる。

$$X(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(n/2W) \cdot \frac{\sin\{2\pi W(t - n/2W)\}}{2\pi W(t - n/2W)}$$

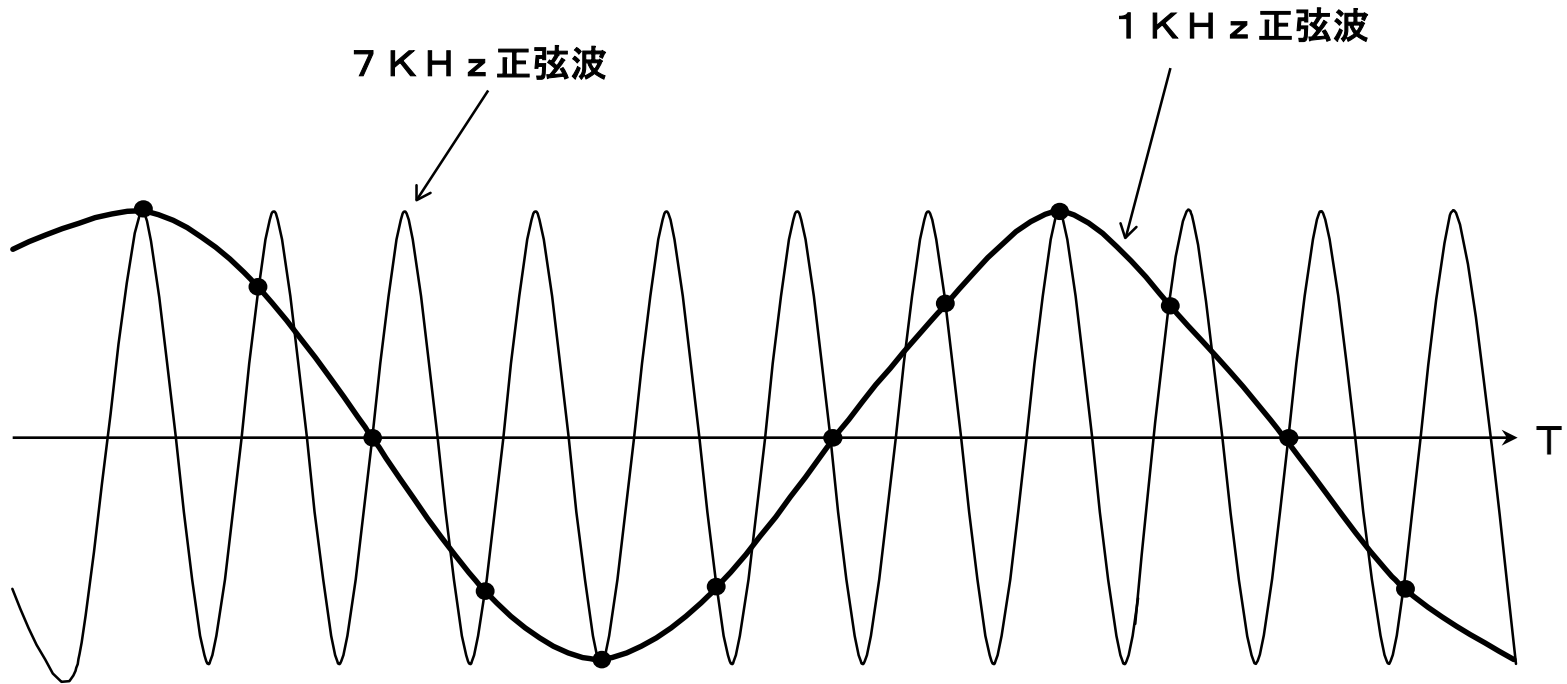
$T = 1/2W$: 標本化周期

$X_n = X(nT)$: 標本値

(ウ) オーバースampling ADCの基礎

標本化における折り返し現象

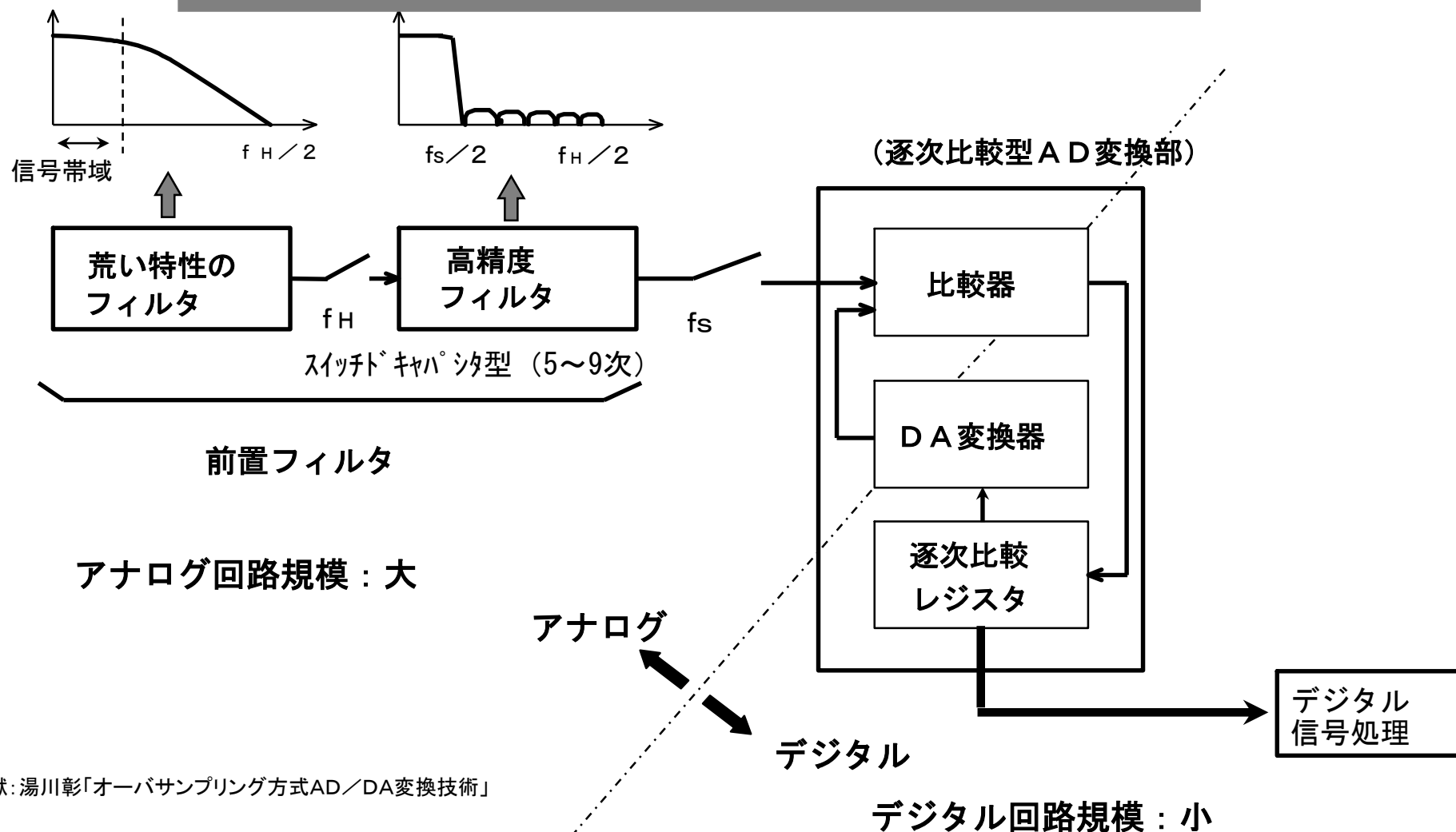
- 8 K H z 標本化を行うと、1 K H z と 7 K H z は区別できない。



- は 8 K H z 標本値を表す。

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

従来型 A D 変換器（逐次比較型）原理図

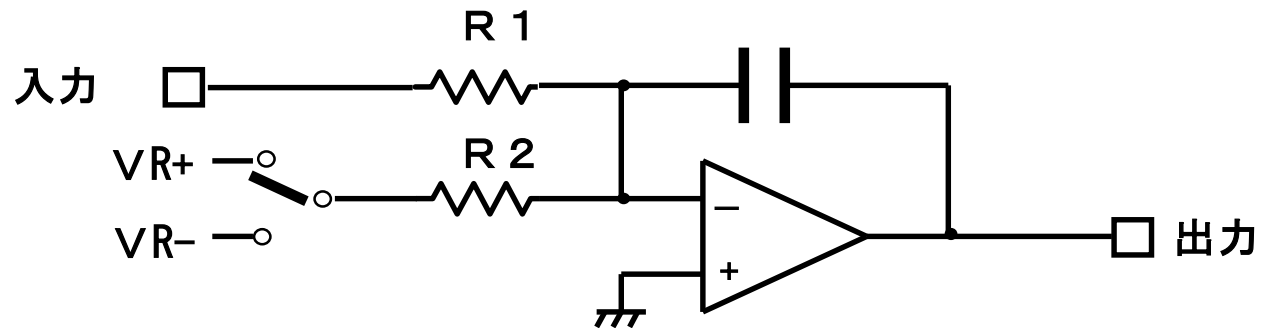


参考文献: 湯川彰「オーバサンプリング方式AD/DA変換技術」

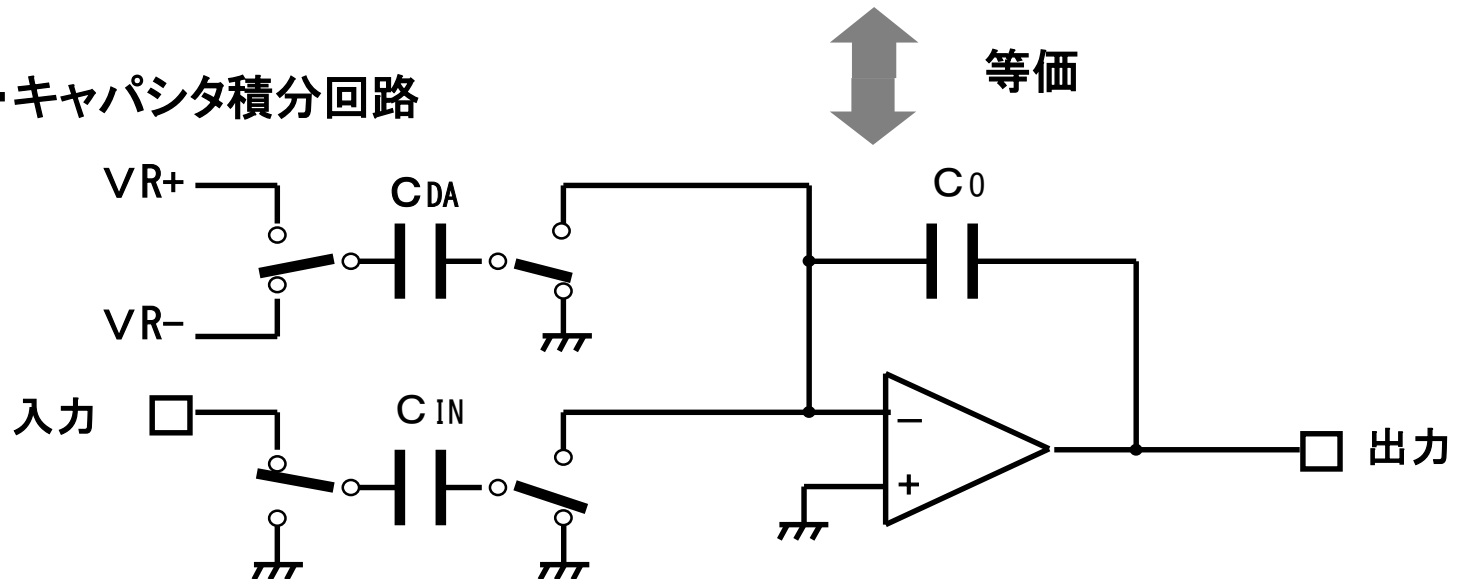
(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

スイッチド・キャパシタ積分回路

●ミラー積分回路



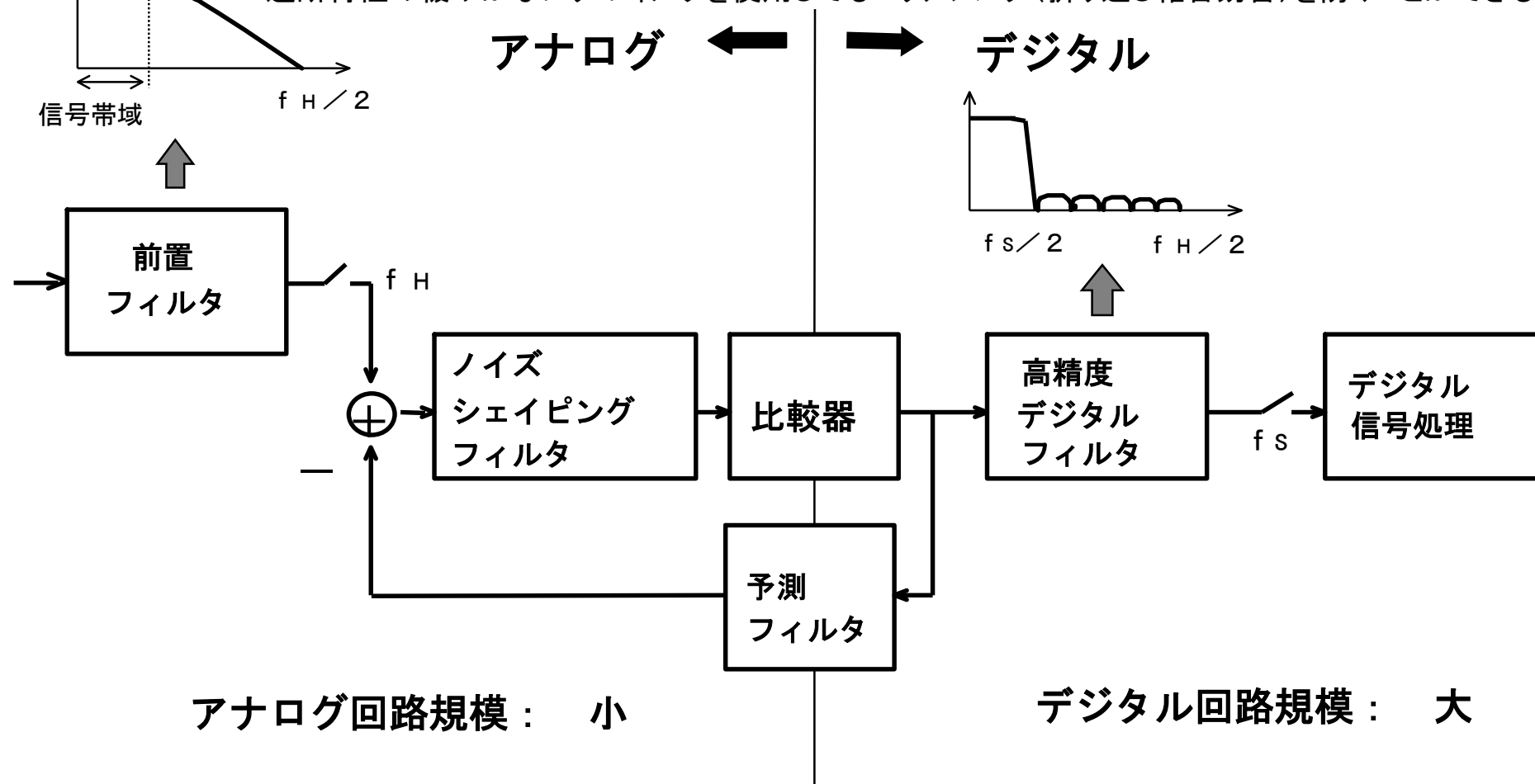
●スイッチド・キャパシタ積分回路



(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

オーバーサンプリング型 A/D 変換器原理図

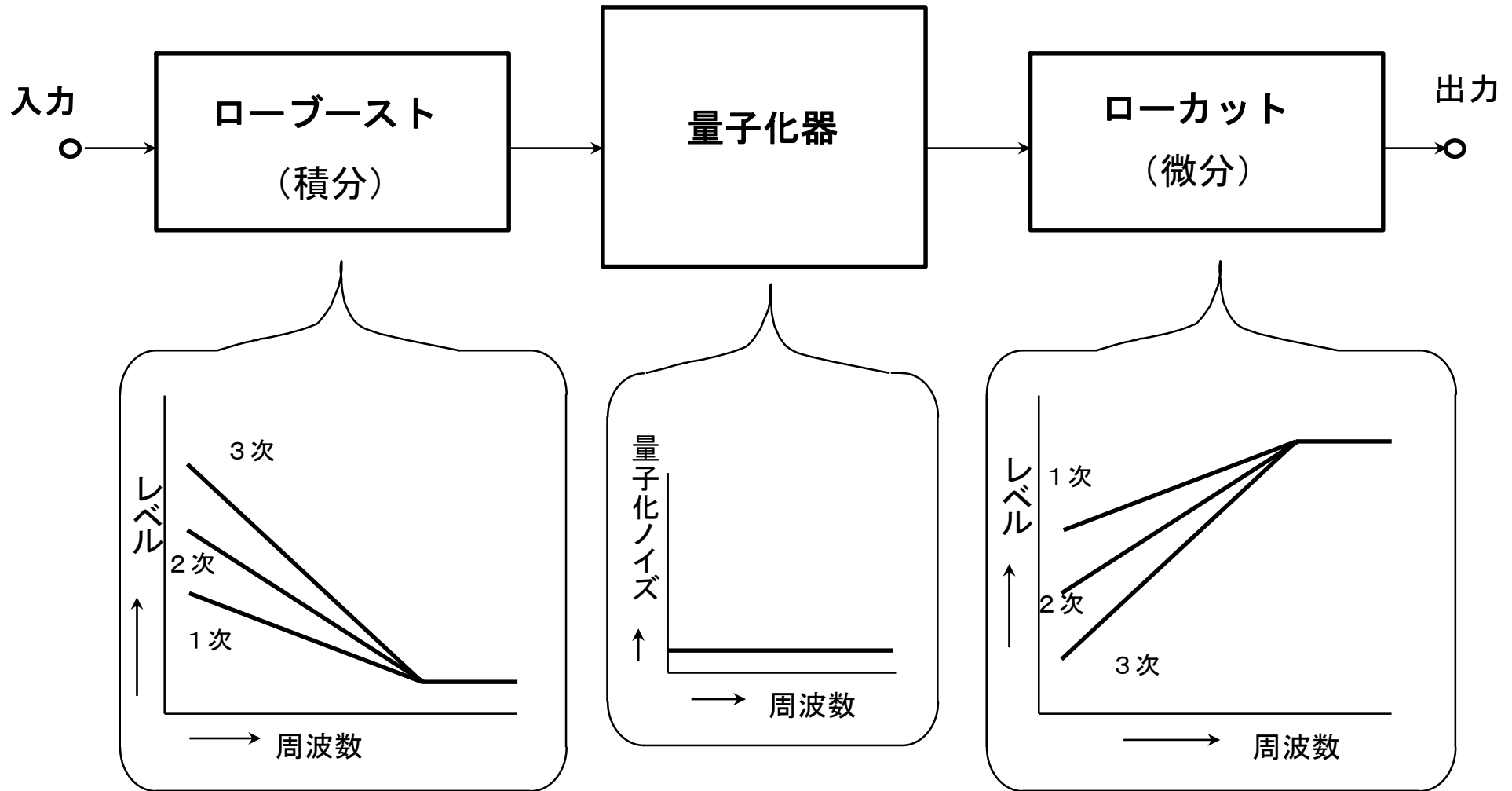
標本化周波数を上げてデシメーション・フィルタを使用することにより、遮断特性の緩やかなプリ・フィルタを使用してもエリアシング（折り返し雑音妨害）を防ぐことができる。



参考文献: 湯川彰「オーバーサンプリング方式AD/DA変換技術」

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

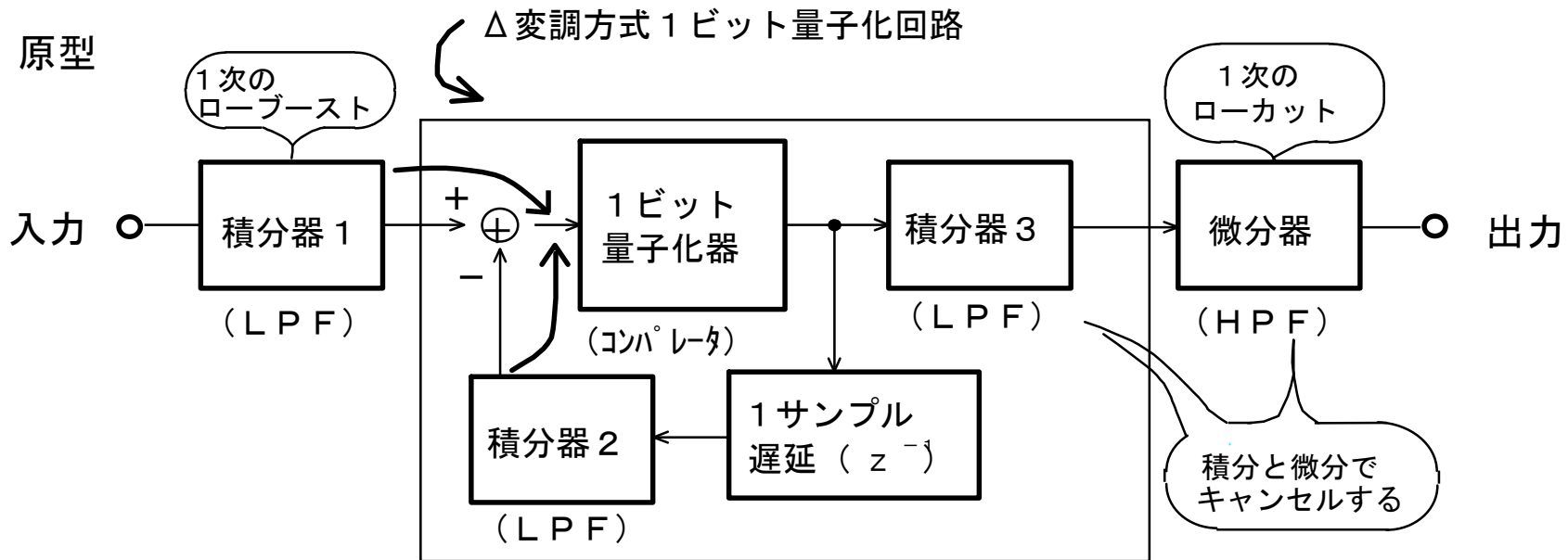
ノイズシェープの概念図



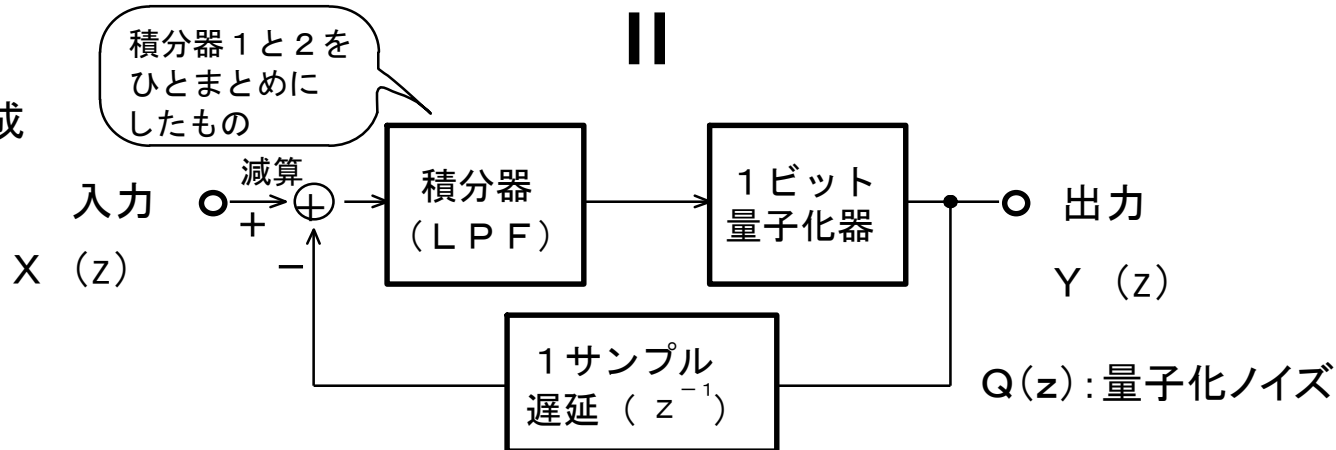
(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

1次 $\Delta\Sigma$ 変調器 (ノイズシェープ回路)

(a) 原型

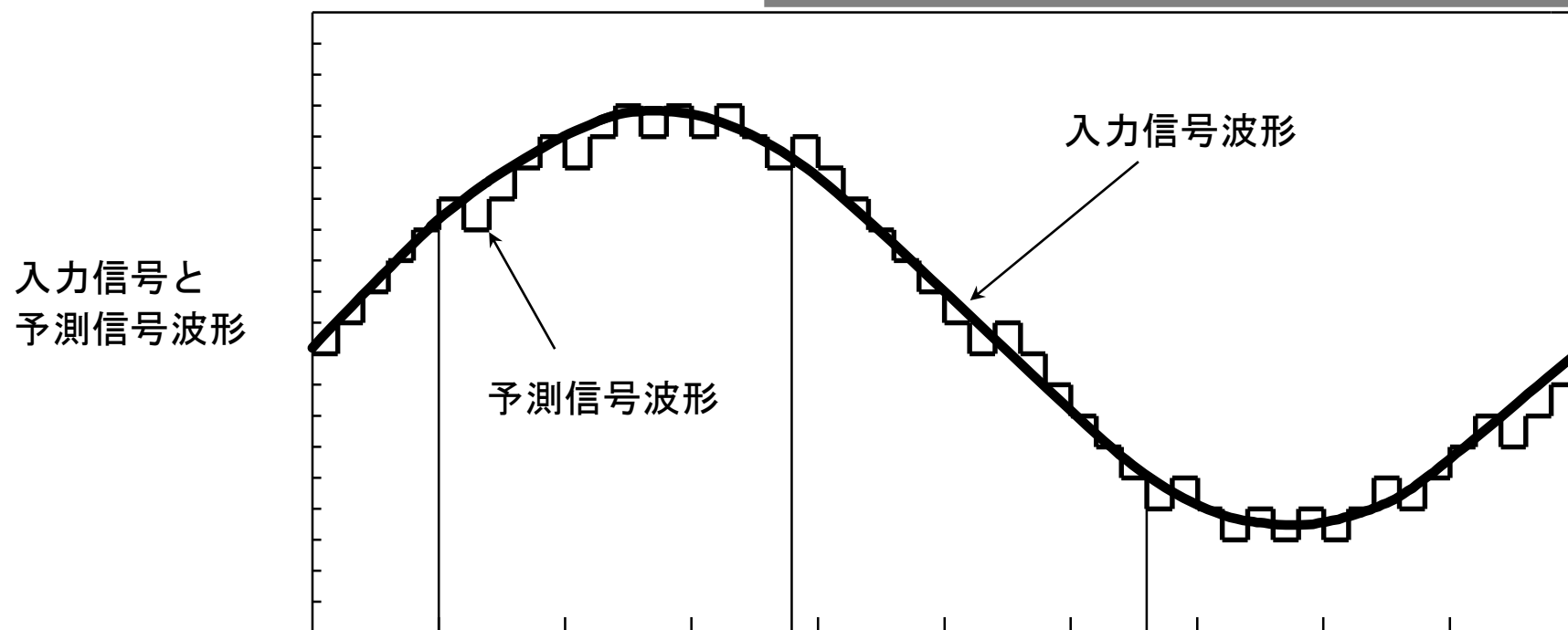


(b) 実際の構成

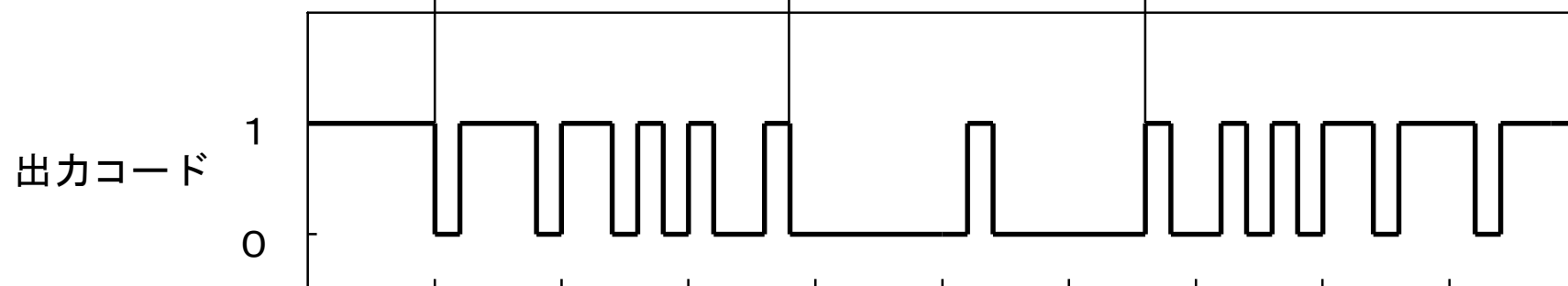


$$\text{伝達関数: } Y(z) = X(z) + (1 - z^{-1}) \cdot Q(z)$$

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

1 次予測 Δ 変調器の内部波形

(a) 入力信号と予測信号波形



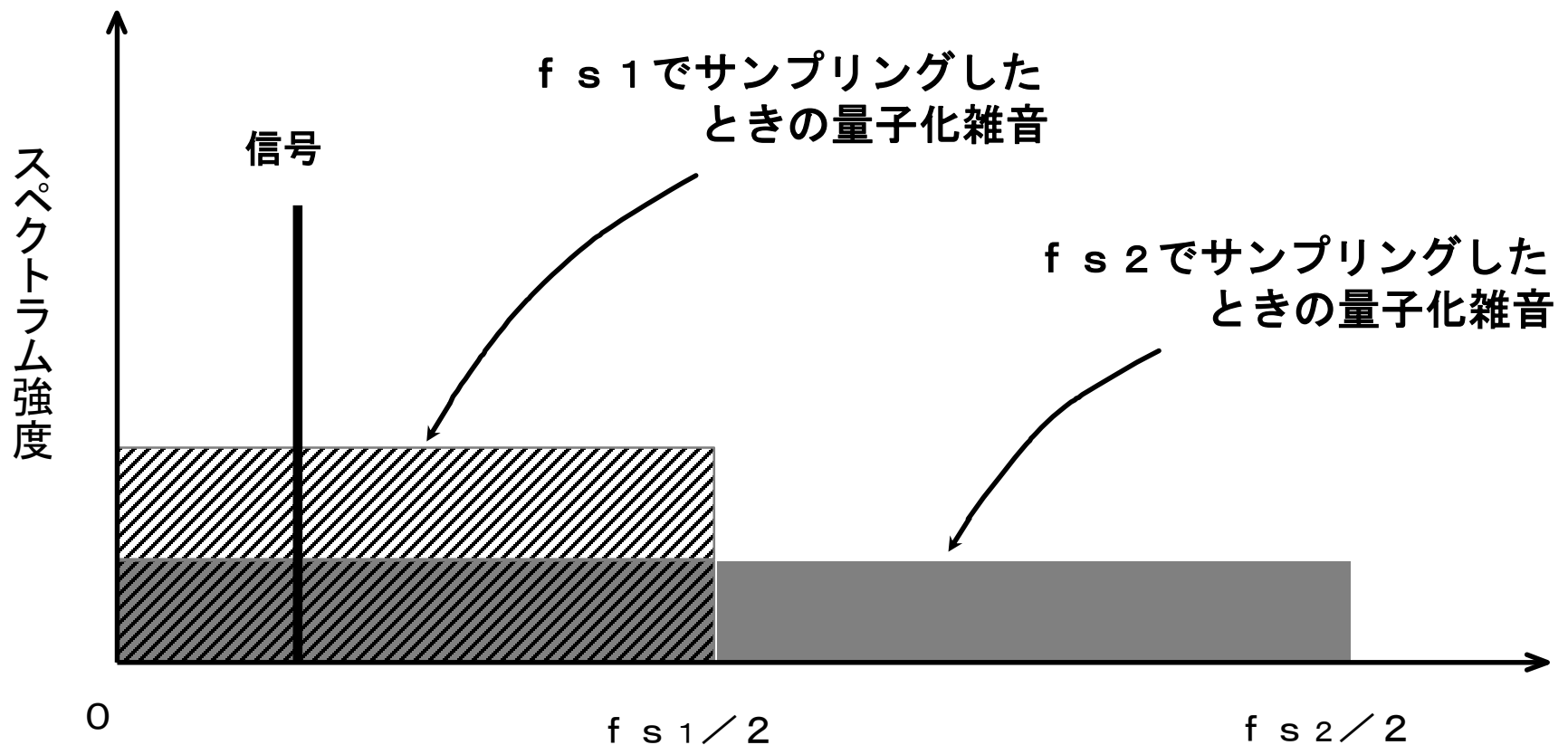
(b) 比較器出力符号パルス列

参考文献: 湯川彰「オーバサンプリング方式AD/DA変換技術」

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

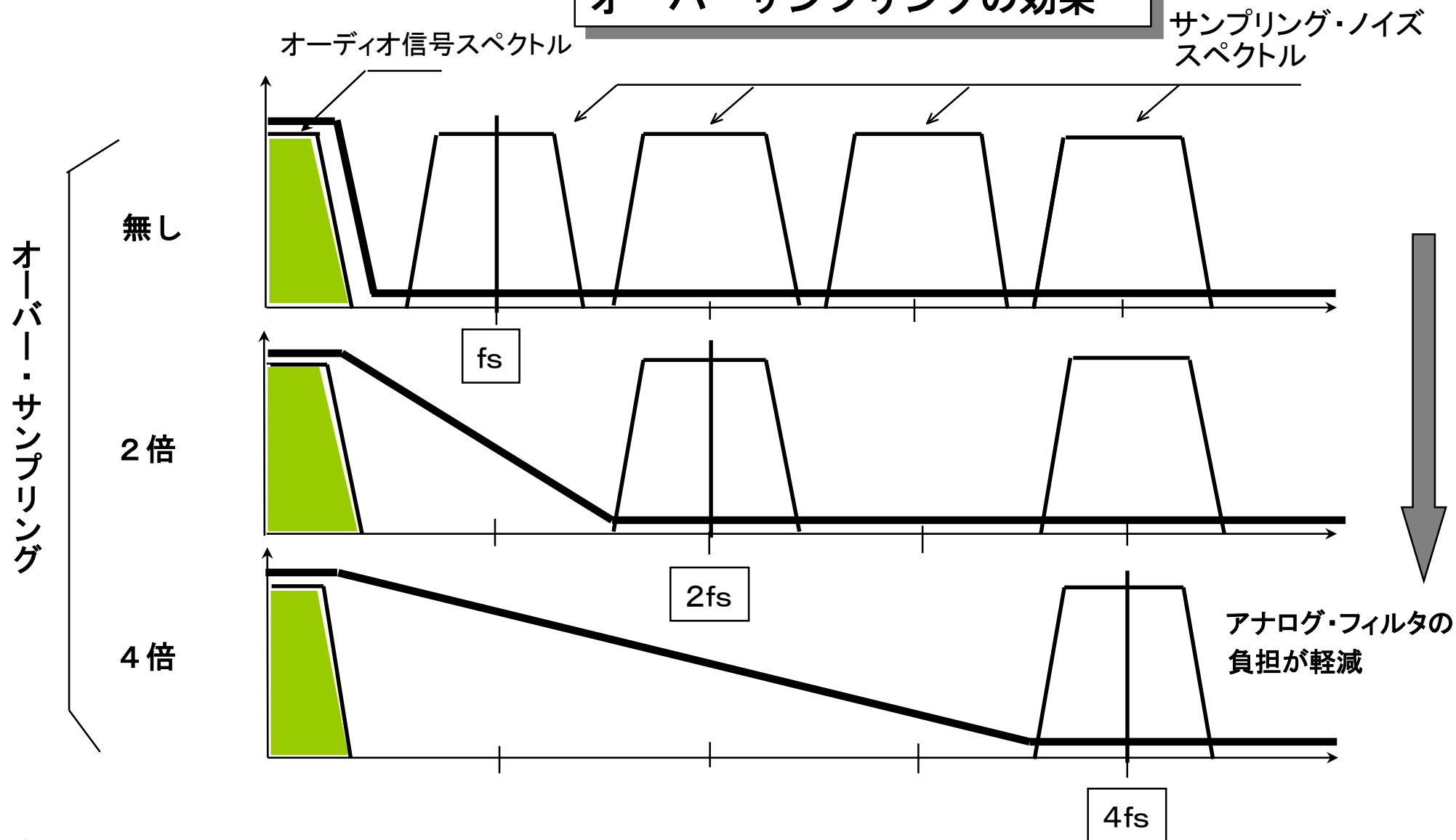
量子化雑音の分布

(直流からナイキスト周波数の間に均一に分布)



(ウ) オーバースAMPLING ADCの基礎

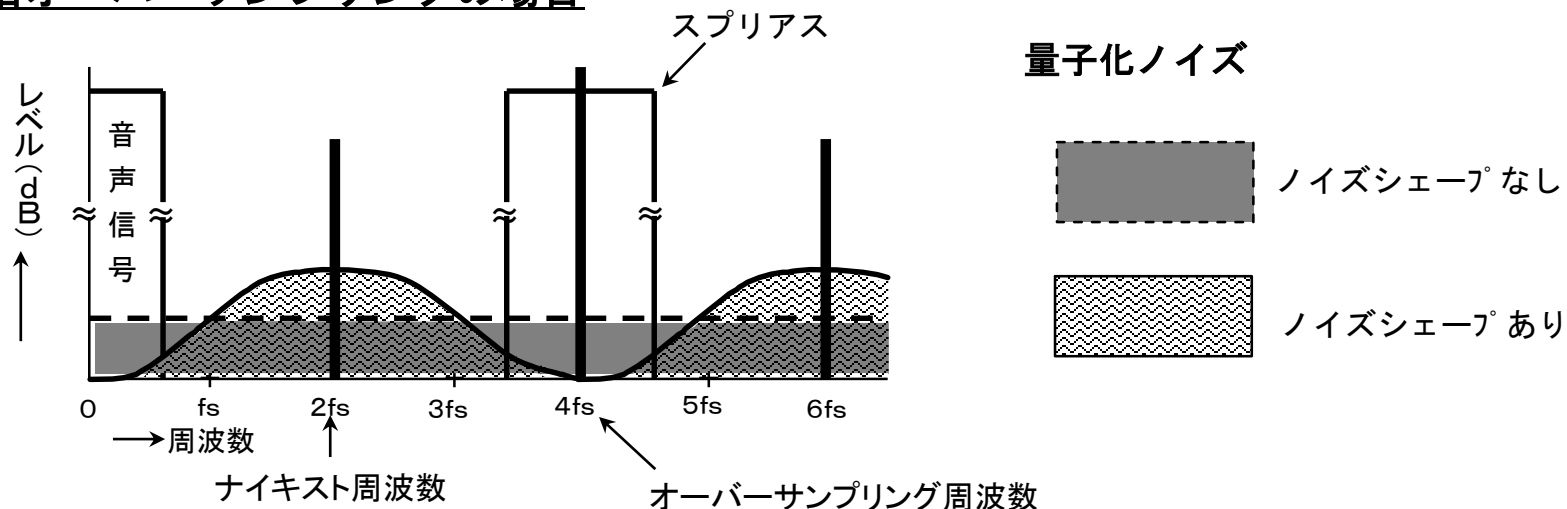
オーバーサンプリングの効果



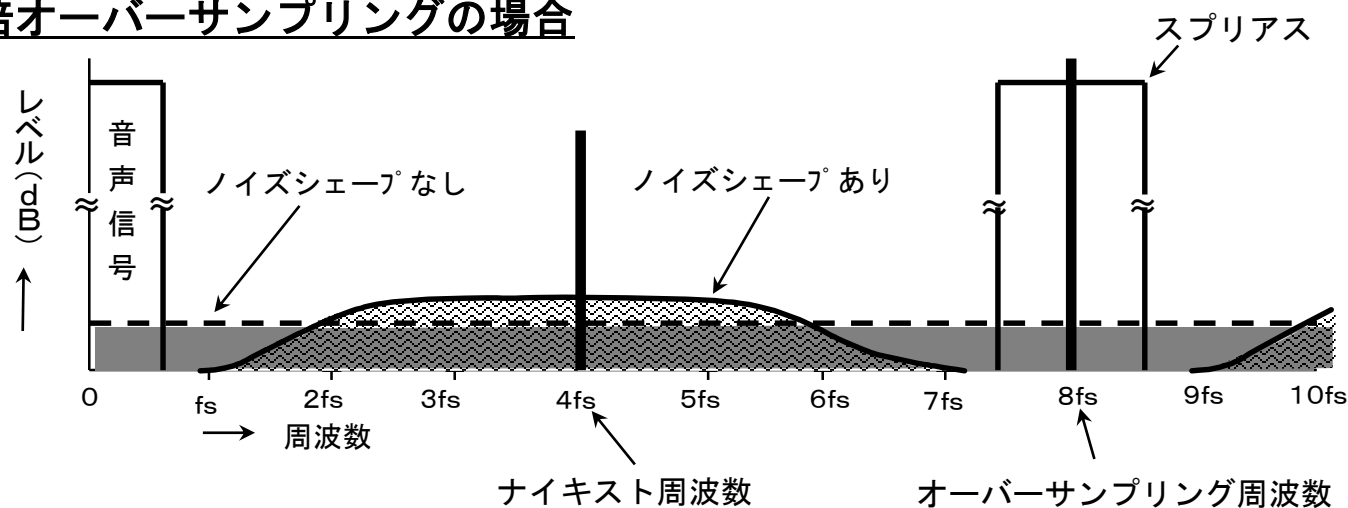
(ウ) オーバースampling ADCの基礎

オーバースampling とノイズシェープ効果

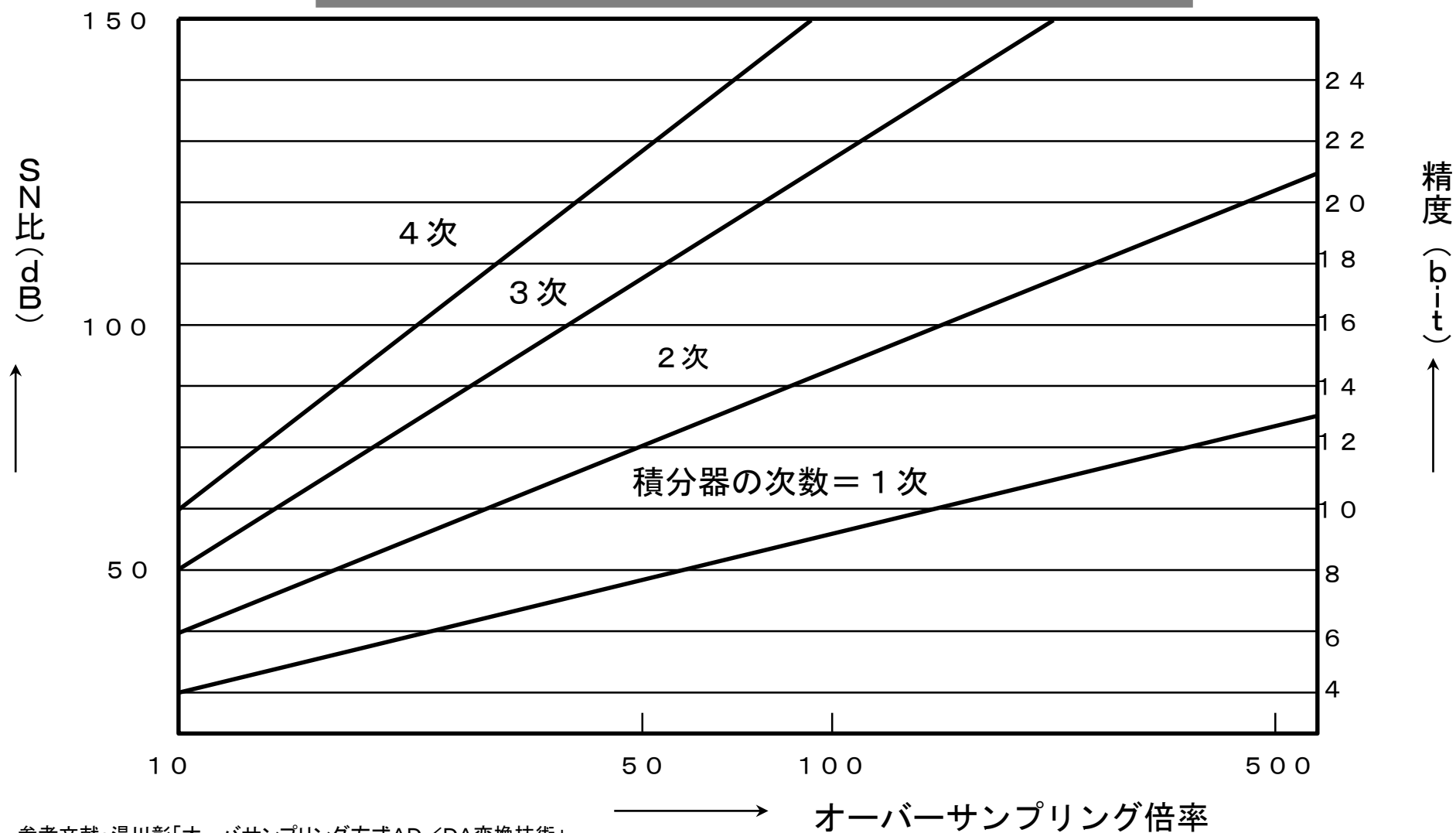
● 4倍オーバーサンプリングの場合



● 8倍オーバーサンプリングの場合



(ウ) オーバースampling ADCの基礎

1ビット $\Delta\Sigma$ 変調器の最大SN比

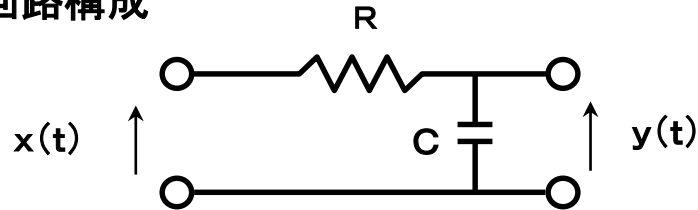
参考文献: 湯川彰「オーバーサンプリング方式AD/DA変換技術」

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

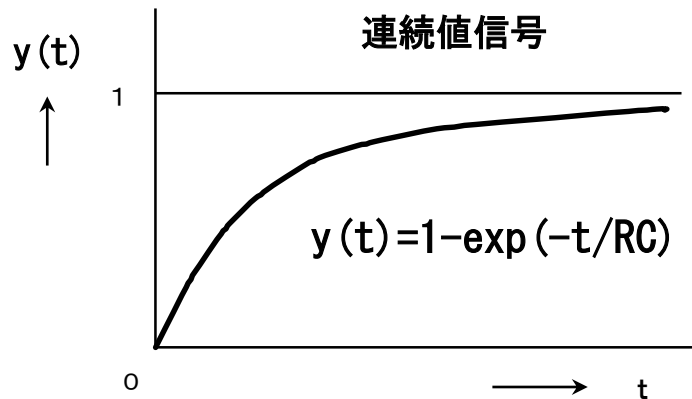
デジタルフィルタとは？

【アナログ】

●回路構成



●ステップ応答

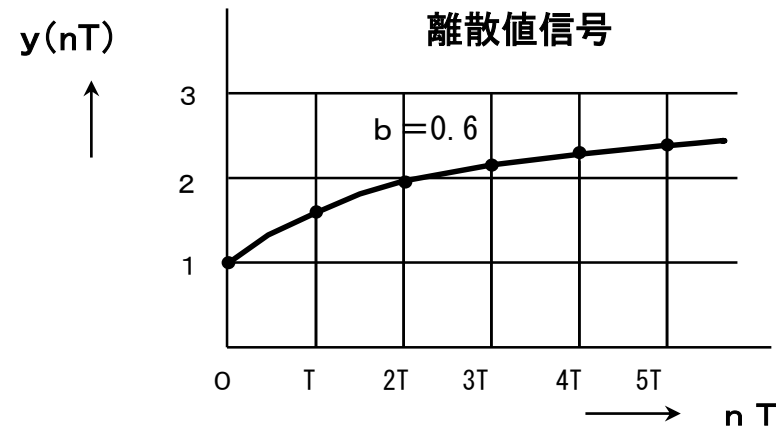
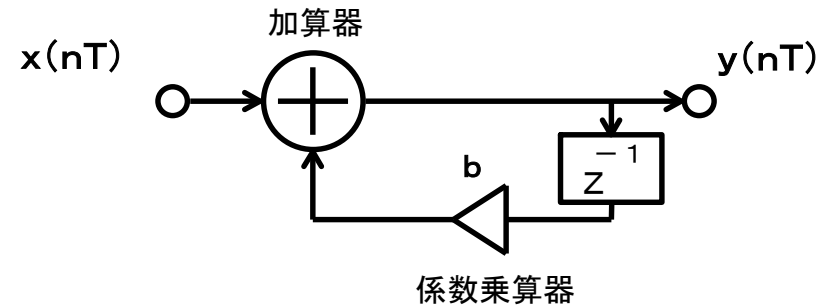


●理論式

$$RC \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$$

(線形微分方程式)

【デジタル】



デジタル演算によりフィルタ特性を実現

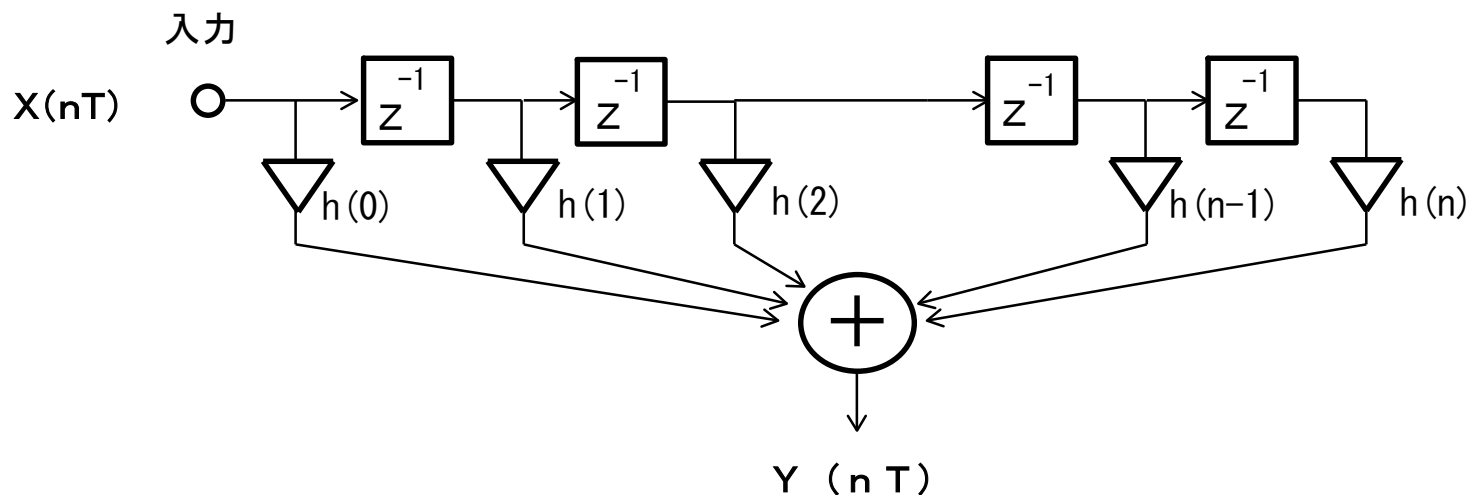
$$y(nT) = b \cdot y(nT - T) + x(nT)$$

(線形差分方程式)

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

FIRフィルタとは？

- FIR : Finite Impulse Response (有限インパルス応答フィルター)
- 入力信号の重みつき平均によって、出力を次々に計算していくアルゴリズム



$$Y(nT) = \sum_{p=0}^N h(pT) \cdot X(nT - pT) \quad : \text{線形差分方程式}$$

↓ Z変換

$$Y(Z) = (h_0 + h_1 Z^{-1} + \cdots + h_N Z^{-N}) \cdot X(Z)$$

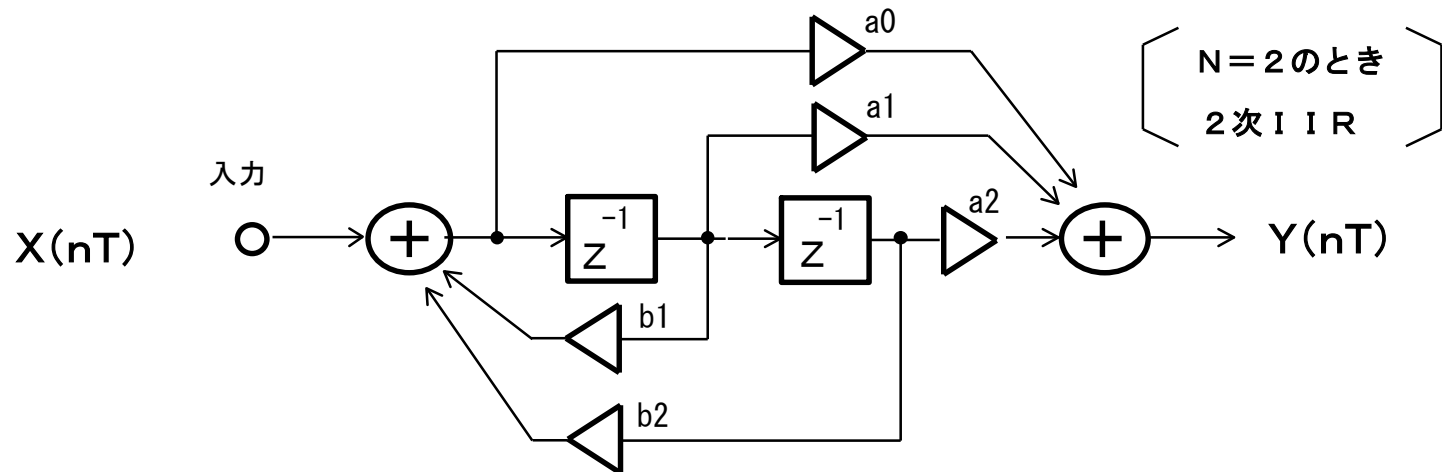
$$= H(Z) \cdot X(Z)$$

[H(Z) : 伝達関数]

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

IIRフィルタとは？

- IIR: Infinite Impulse Response (無限インパルス応答フィルタ)
- nT 時刻の出力 $y(nT)$ を求めるために、入力と既に計算されている出力との重みつき平均をとるアルゴリズム。



$$Y(nT) = \sum_{i=1}^N b_i \cdot Y(nT - iT) + \sum_{i=0}^N a_i \cdot X(nT - iT)$$

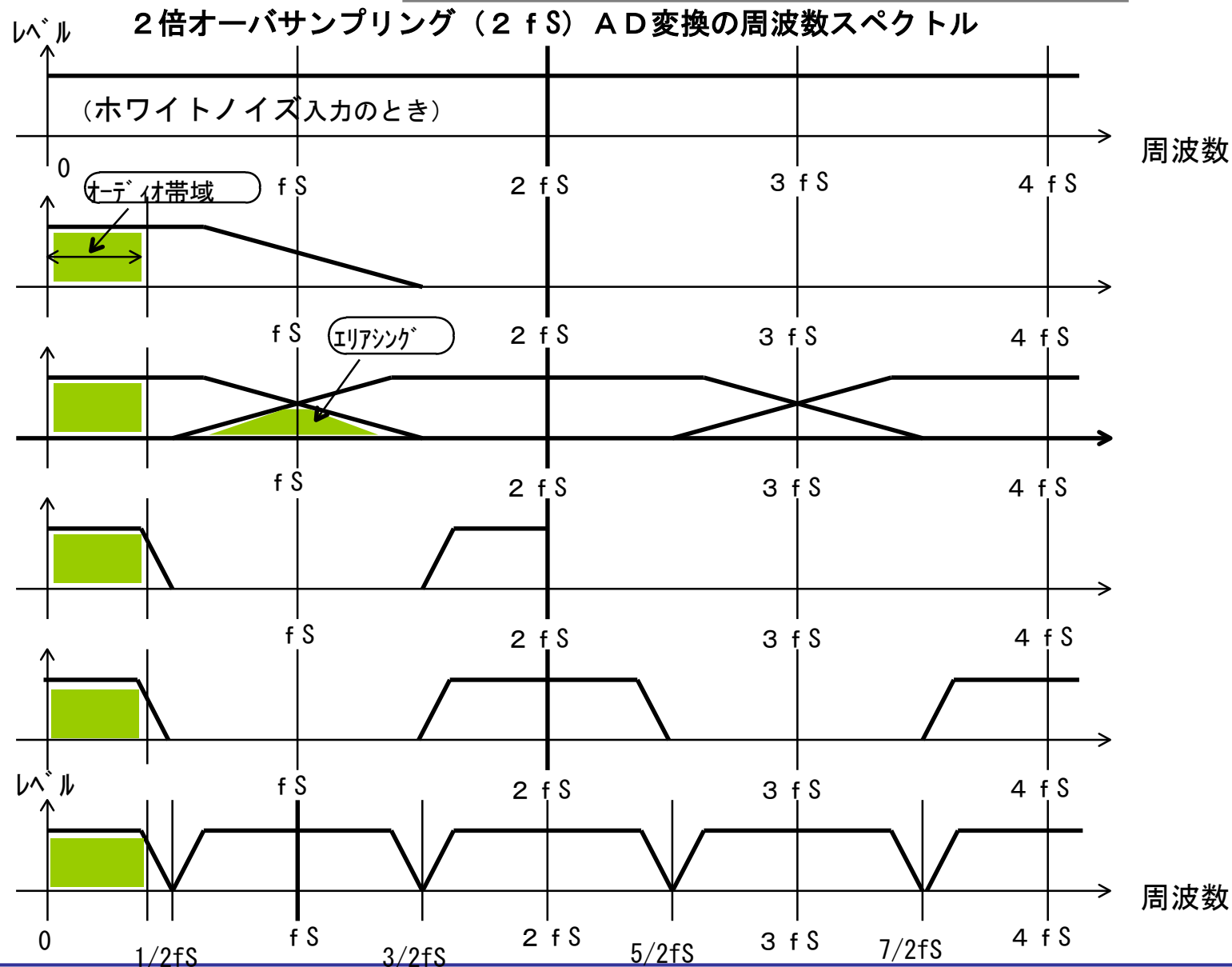
$$Y(Z) = \frac{\sum_{i=0}^N a_i \cdot Z^{-i}}{1 - \sum_{i=1}^N b_i \cdot Z^{-i}} \cdot X(Z) = H(Z) \cdot X(Z)$$

Z変換

[H(Z) : 伝達関数]

(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

デシメーション・フィルタ



入力信号

プリフィルタ

 $2f_S$ 標本化ローパス
フィルタデータ
間引き

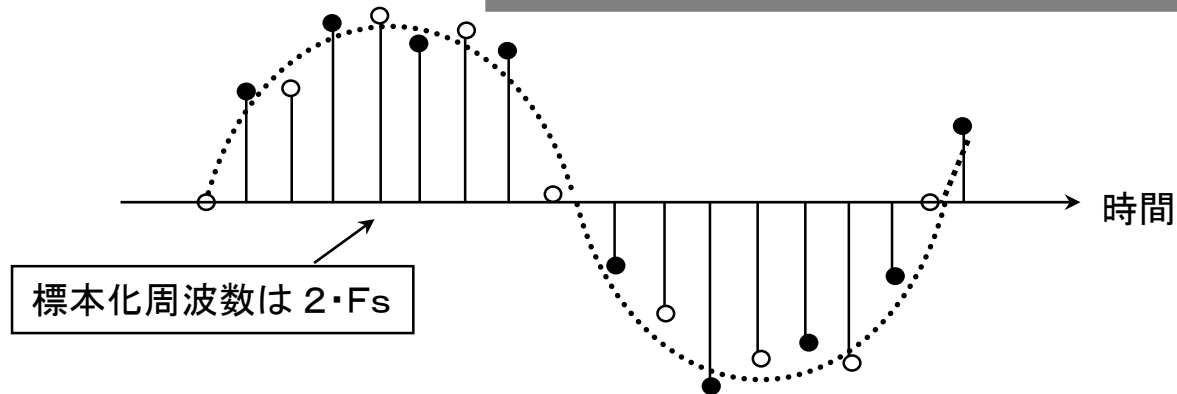
出力

信号処理回路へ

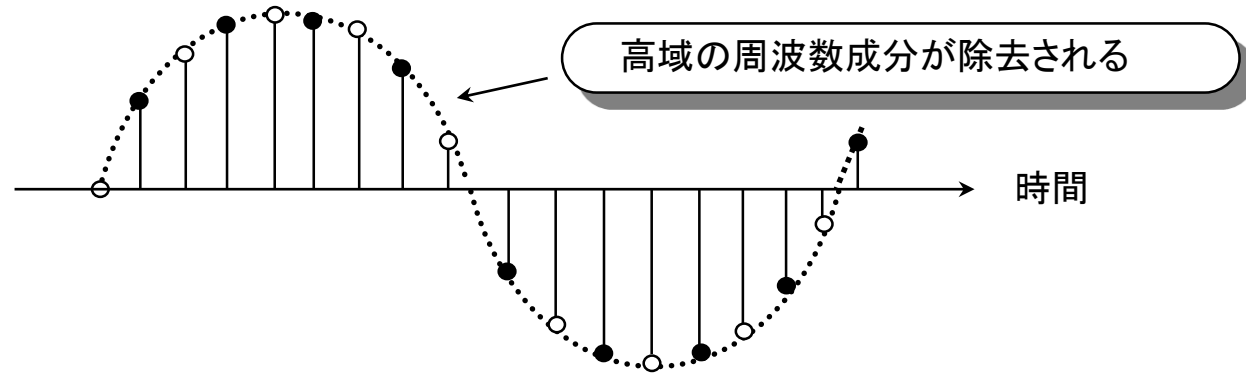
(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

デシメーション・フィルタの動作波形

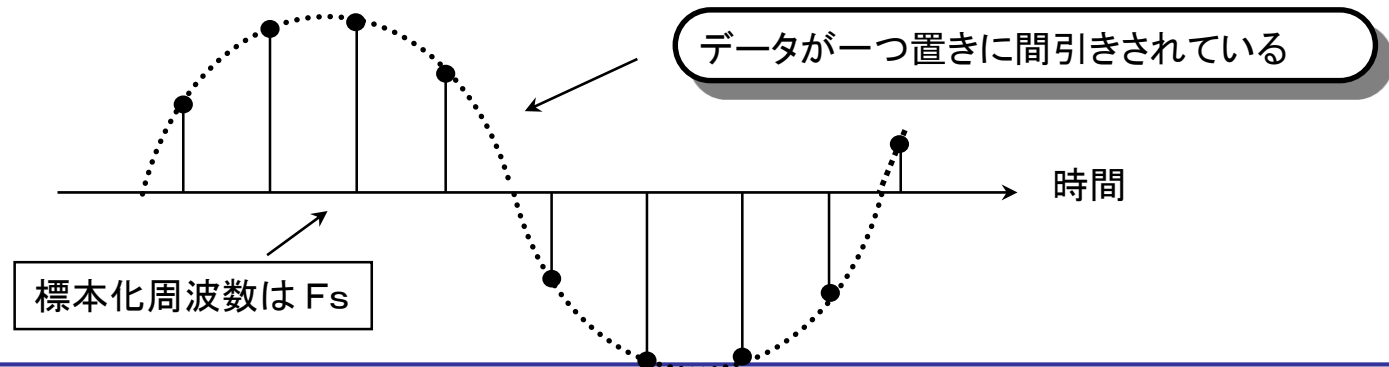
(a) 入力データ



(b) ローパス・フィルタ演算後のデータ



(c) 間引き後のデータ



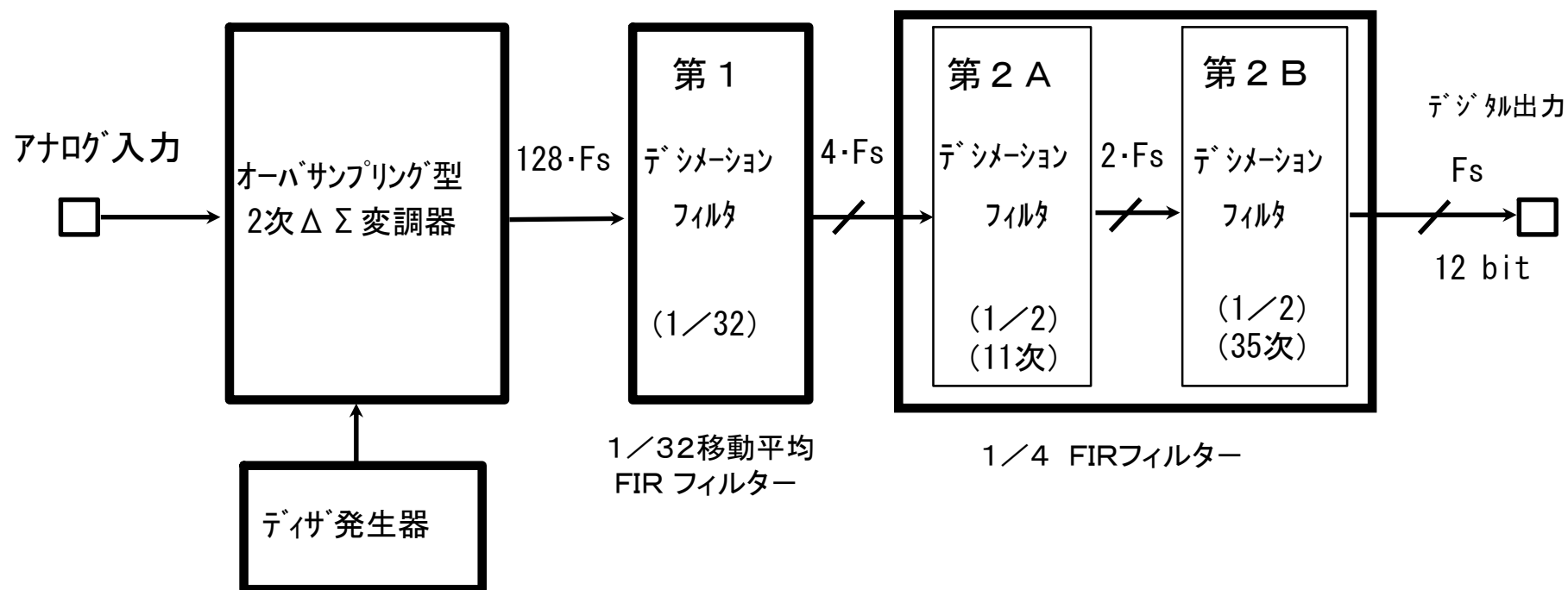
(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

A Dコンバータのブロック構成事例

●変換方式：128倍オーバーサンプル2次 $\Delta\Sigma$ 変調

●分解能：12ビット

Fs: 標本化周波数



(ウ) オーバサンプリングADCの基礎

A/Dコンバータの信号線図

