

計測工学 第2回講義

- 「工学」とは何かを考えよう
- 計測工学とデジタル信号処理
- 計測工学とAD/DA変換器

小林春夫

群馬大学大学院工学研究科 電気電子工学専攻

k_haruo@el.gunma-u.ac.jp

<http://www.el.gunma-u.ac.jp/~kobaweb/> 「講義資料」から
講義使用 pdfファイルをダウンロードしてください。



計測工学 第2回講義

- 「工学」とは何かを考えよう
- 計測工学とデジタル信号処理
- 計測工学とAD/DA変換器



「科学」と「技術」は似て非なるもの

- 「科学（理学、Science）」と「技術（工学、Technology）」は似ているが異なる。
- 「理学」が真理を追究するのを目的
- 「工学」は役に立つこと（「ものづくり」だけでなく「環境問題」等も含めて）を目的とした実学。
- 「工学」は社会性をもった学問。



科学のアプローチ

「美しいものは真理。真理は美しい。」

（数学者 藤原正彦先生）

「宇宙は神が数学の言葉で書いた聖書だ。

神が書いたのだから美しくないはずがない。」

（Isaac Newton）



工学のアプローチ

机上の空論ではなく、実際に“**現場**”で
“**現物**”を観察し、“**現実**”を認識した上で
問題解決を図る。(三現主義)

「現場、そこに発想の原点がある。
facts こそが よりどころである。」

(東大名誉教授 北森俊行先生)

工学は

トレードオフの考え方が重要

Trade-Off ↔ 妥協

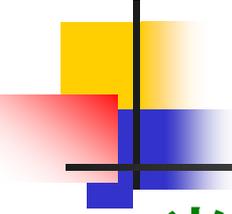
「時間が足りない、マンパワーが足りない、
予算が足りない、情報が足りない、.....」

全てが満ち足りているわけではない環境下で
(100%でなくても)かなりのことをやってしまう、
かなりのものを開発してしまうのが
エンジニアリング、工学的センス



技術者は総合力で勝負

- 技術力、基礎学力
- 問題発見能力、問題解決能力
- 語学力
- 雑学
- コミュニケーション能力
プレゼンテーション能力
- 人脈
- 体力



市場に対して敏感であれ

半導体メーカーのマネージャー

「良いものが売れるのではない。

売れるものが良いものである」

「製品ではなく商品を開発せよ」

半導体試験装置メーカーのマーケティング

「我々のお客さん(半導体メーカー)の

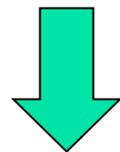
お客さん(セットメーカー、最終製品メーカー)

を見て次世代半導体試験装置を開発せよ」

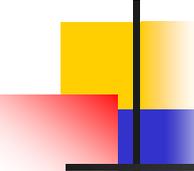


社会の変化、時代の流れを見よ

「会社は変化するので、それに応じて
技術者も変わらなければならない。」



社会、時代が変わるので会社も変わる



どのように(How)作るかだけでなく 何(What)を作るかが重要

半導体メーカー マネージャー

「企画に経験ある優秀な人をもってくる」

中堅メーカー 経営者

「プロの製品企画者は

お客さんへのアンケート結果だけに基づいて
次の製品を企画するわけではない。

お客さんのまだ気が付いていない

新しいコンセプトのものを企画することが重要」

何を開発すべきか

「新製品は不況下でも売れる。

継続して新製品を開発してほしい。」

(メーカー営業関係者)

「お客様の言うとおりのものを作るのは
Custom Made である。

Customer Oriented とは お客様が口には
表現できないがその意を汲み取り
満足するものを作ることである。」

(ソニー 盛田昭夫氏)



photo by Kazumi Kurigami

盛田昭夫氏



「スピード」と「コスト」も重要

- 「先んずれば人を制す」
（史記、漢楚の戦い）
- 台湾のエレクトロニクス分野の大学教授
「技術が面白いだけでなく
安く(cheaply) 作れることが重要」



「低コスト」「低価格」が世界を変えた

- かつては コンピュータは世界で数台あるだけであった。
- エレクトロニクス・半導体の技術進歩、**低コスト化**により、現在は Ubiquitous Computer の時代
- **Ubiquitous**
ラテン語の宗教用語。
神はあまねく存在する の意味。

「工学部」「製造業」は 地方が向いている 側面あり

大都市、都会 → 第3次業（サービス業）

地方 → 第2次産業（製造業）
第1次産業（農林水産業）

都会では

工学部は貴族化（第3次産業化）する。

群馬は板東武者のふるさと



「技術」を最重要視する

マサチューセッツ工科大学(MIT)

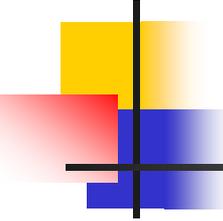
➡ 理工系で世界でトップ

(米 ボストンにはMITとHarvard大学)

「研究資金は比較的容易に集まる。

最も重要なのは新しい技術、アイデア。

教授達はノーベル賞級研究成果を上げるため
これらを求めて世界中を飛びまわっている。」



新しいアイデアを育てる

メーカーの特許関係者

「千三つの法則あり。

千個アイデアをだしてモノになるのは三つ。
どんどん新しいアイデアをだそう。」

ある大学教授

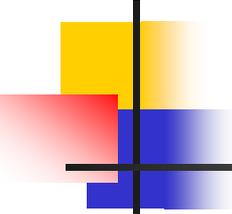
「大学で学生が新しいアイデアをだしたら、
従来法に比べての利点を厳しく問うな
欠点を厳しく指摘するな
新規性を厳しく問うな
スケジュールを厳しく管理するな」

(ただし 企業では「厳しく。。。」されること多し)¹⁶



テクノロジー開発はどうあるべきか

- マイクロプロセッサのインテル社：
No Science is in Intel.
- かつてのベル研究所：
基礎科学研究により多大な社会貢献
- 戦略的基礎研究
- 「工学」は「科学の応用」というのは
一側面にすぎない



工学は新しい社会を創造できる

「もの作り」だけではない。

「新しい社会作り」ができる。

イノベーション:

新しい技術もとに,

社会的意義のある新たな価値を創造し、

社会的に大きな変化をもたらす変革。

蒸気機関の発明: 馬車から**鉄道**へ

→ 社会を大きく変える



工学は創造である

「私たちは自分たちの食べ物の
ほとんどを作ってはいません。
私たちは他人の作った服を着て、
他人のつくった言葉をしゃべり、
他人が創造した数学を使っています。
私たちは常に何かを受け取っています。
その人間の経験と知識の泉に
何かをお返しができるものを作るのは、
すばらしい気分です。」 (Steve Jobs, Apple社)



イノベーションを考える

「イノベーションは、研究開発費の額とは関係がない。大事なものは金ではない。抱えている人材、いかに導いていくか、どれだけ目標を理解しているかが重要だ。」

「イノベーションは誰がリーダーで、誰が追隨者かをはっきりとさせる。」

(Steve Jobs, Apple社)



工学における考え方の研究

東大名誉教授 北森俊行先生

思考力・創造力の向上のために

- 数学の定理を教え、証明してみせるよりも、
定理を発見する気持ちを教える。
- 物理法則を教えるよりも、
物理法則を見つけ出そうという気持ちを教える。
- 出来上がった理論を教えるよりも、
理論を創る気持ちを教える。



工学は産業と密接にかかわる

- 産業界との共同研究による
技術導入、教育支援、資金援助
- 特許を取得しライセンス
- 自ら起業する



もう一步踏み込む

学生「講義内容が実際にどのように
役立つかを理解したい。」

教員「理科に関心を持たせる。
ものづくりの面白さを教える。」



その研究・技術で どんな産業が起こせるか、
産業界で活用してもらえるか、特許が取れるか。

「産業の匂い」を知る

UCLAからの起業

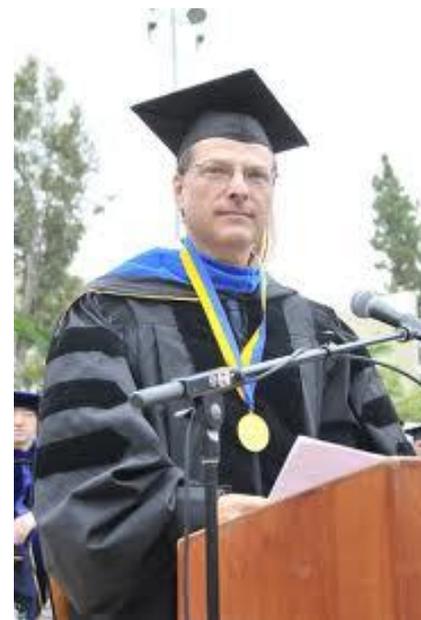
Prof. Henry Samueli

1987-89 UCLA留学当時のDSP分野

- MIT Prof. A. Oppenheim
DSPの神様
- Georgia Institute of Tech.
多数のDSP 研究者
- UCLA Prof. Samueli グループ
DSPアルゴリズムだけでなく それを
フルカスタムLSIで実現できる技術をもつ



Broadcom社が創設される





起業における大学教員の強み その「立場」にある

研究室の研究成果の有効性のみが
強調されているが、別の観点からは。。。

- 給与・地位が保障
- 大学教員として、人脈、情報網の活用
- 図書館等 大学のインフラを活用
- 学生との協力 等の
大学教員としての立場にある

産学連携のありかた

- 渋沢栄一氏の言葉から学ぶ -

「要するに 交際の要素は**至誠**である」

「相当なる**信用、智識、実験(経験)**等があれば
人の資力を運用して、事業はいくらでもできる」

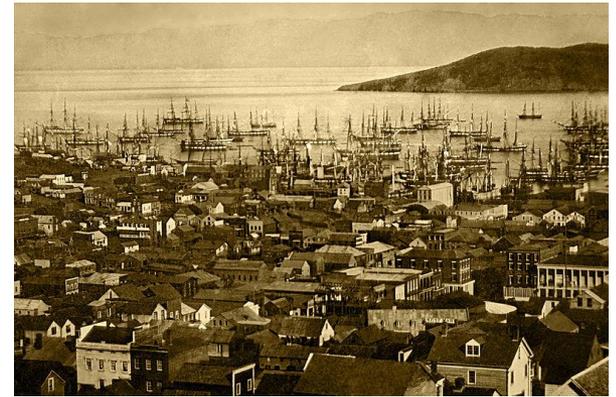
「事業に対する時は **利に諭らず義に諭る**ことに
しておる。多数の人より資本を寄せ集むるには
事業より利益のあがるようにせねばならぬ。

利益を度外におくことを許さぬはもちろんである
」

19世紀中ごろ

米カルフォルニアでのゴールドラッシュ California Gold Rush

- 発端は、1848年1月24日
アメリカン川での砂金の発見。
- これと前後して
カリフォルニアを始めとした
西部領土がメキシコから
アメリカに割譲。
- 文字通り新天地となったカリフォルニアには
金鉱脈目当ての山師や開拓者が殺到。



サンフランシスコ港を
埋める商船群
(1850年頃)

ゴールドラッシュでの

金探鉱技術の発展

- 当初、採掘者達が選鉱なべのような単純な技術で小川や川床の砂金を探した。
- 後に金探鉱のためのより洗練された技術が開発された。

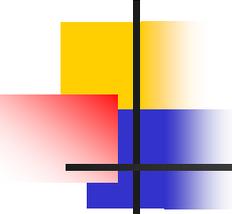


選鉱なべを使用しての
砂金とり

エレクトロニクスメーカーと 電子計測器メーカーの役割

- 小室貴紀先生 -

- エレクトロニクスメーカー
エレクトロニクス製品を開発し市場に提供
金の採掘を担当
- 電子計測器メーカー
エレクトロニクス製品を開発するためのツールを
開発し、エレクトロニクスメーカーに提供
金を採掘するための道具・技術を担当
(選鉱なべ、スコップ、金探鉱の技術)



電子計測技術の面白さ

電子計測器は

「今日の技術で

明日の(高性能な)デバイスを計測する」

というジレンマが常に存在し

それを克服するための革新的技術が必要

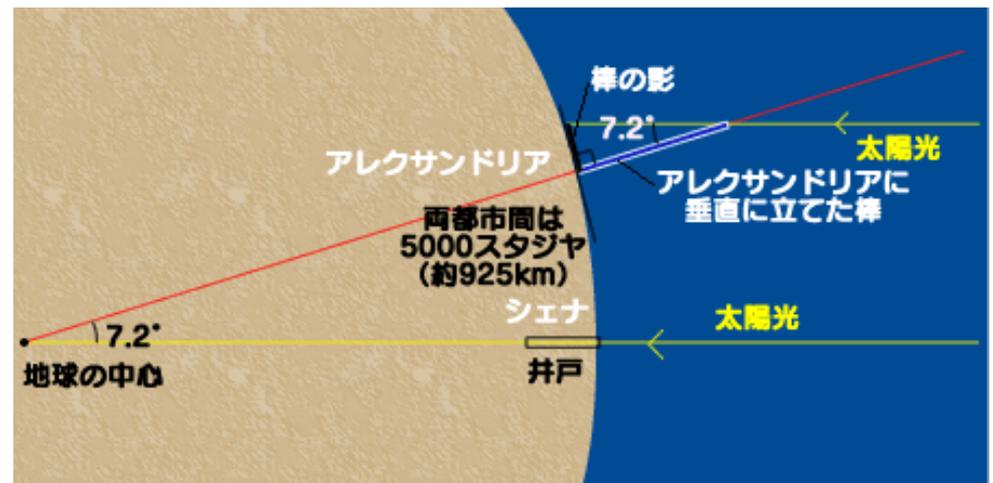
地球の大きさを測る

エラステネス(紀元前275 - 194年)

- ① シェナ(Syene: 現在のアスワン)の町では夏至の日の正午に深井戸に太陽の光がまっすぐ差し込み、井戸の底に太陽が映る。
- ② アレクサンドリアでは夏至の日の正午、太陽は真上(天頂)から7.2度傾いている。
- ③ シェナとアレクサンドリアの距離は約925km。

① ② ③ より
地球の大きさが
計算できる。

高度な計測器がなくても
地球が丸いというモデルと
工夫で計測が可能



余談

米国で人気のスポーツ

「アメフト」「バスケットボール」「ベースボール」

ゴールドラッシュで 特に1849年に採掘者達が急増したことから 彼らは"forty-niner" (49er) と呼ばれた。

サンフランシスコ地区の
プロ・アメリカンフットボール
チーム名

San Francisco Forty-niners





計測工学 第2回講義

- 「工学」とは何かを考えよう
- 計測工学とデジタル信号処理
- 計測工学とAD/DA変換器



DSPとは何か

Digital Signal Processor

デジタル信号処理チップ

Digital Signal Processing

デジタル信号処理

自然界の信号は全てアナログ

ex. 音声、電波、電圧、電流、

デジタル信号処理システム



アナログ

デジタル

デジタル

アナログ

AD変換器: アナログ・デジタル変換器

(Analog-to-Digital Converter: ADC)

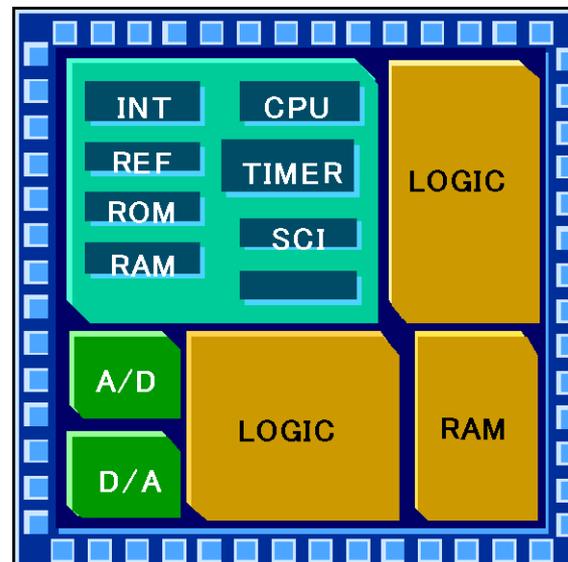
DA変換器: デジタル・アナログ変換器

(Digital-to-Analog Converter: DAC)

自然界の信号はアナログ

自然界の信号は
アナログ

LSIでの信号処理は
デジタル



例：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

田中紘資先生
作成資料

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。

音声録音再生LSI応用商品

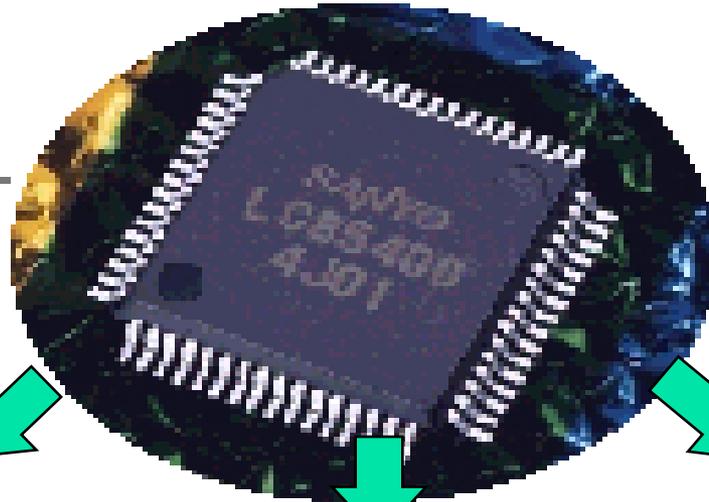
コードレス留守番電話



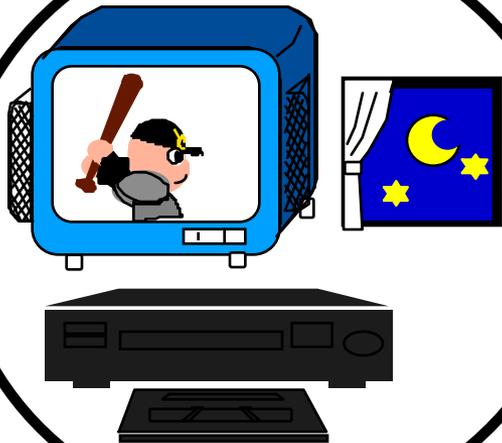
―― 特長 ――

- ・ DSPデジタル録音方式
(用件応答メッセージ録音)
- ・ 遅聞き・早聞き再生機能
- ・ 通話録音機能
- ・ ひとこと伝言機能
- ・ 固定応答メッセージ
- ・ 操作ガイダンス

話速変換LSIの事例



「短時間」で見れる



短時間で聞ける



「ゆっくり」聞ける

早口
ペラペラ



Hello Do you understand ?

デジタル信号処理

Digital Signal Processing

DSPとは

デジタル表現された信号とその処理方法に関する研究分野。

音響信号処理、画像処理、音声処理の三つの領域。

目標は実世界の連続的なアナログ信号を計測し、選別すること。

第一段階でアナログ-デジタル変換回路を使って信号をアナログからデジタルに変換。

最終的な出力は別のアナログ信号であることが多く、そこではデジタル-アナログ変換回路が使用。

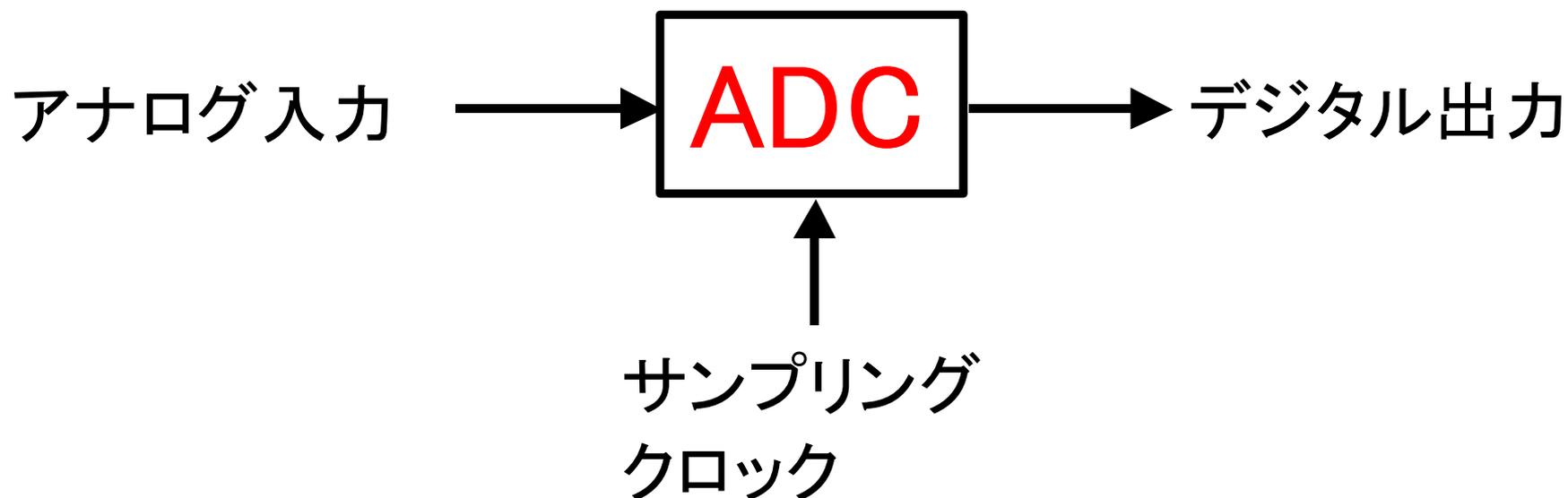
DSPで実行するアルゴリズムは専用のコンピュータを使うことが多い。

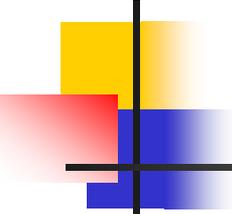
デジタルシグナルプロセッサという特殊なマイクロプロセッサが使われ、こちらも**DSP**と略記される。

DSP向けに最適化されており、リアルタイムで信号を処理する。

AD変換器の動作

アナログ信号（電波、音声、電圧、電流等を
デジタル信号（0, 1, 1, 0, ...）に変換する。





アナログ信号とデジタル信号

アナログ信号

連続的な信号

例：自然界の信号（音声、電波）、
アナログ時計（直観的にすぐ時間がわかる）

「坂道」

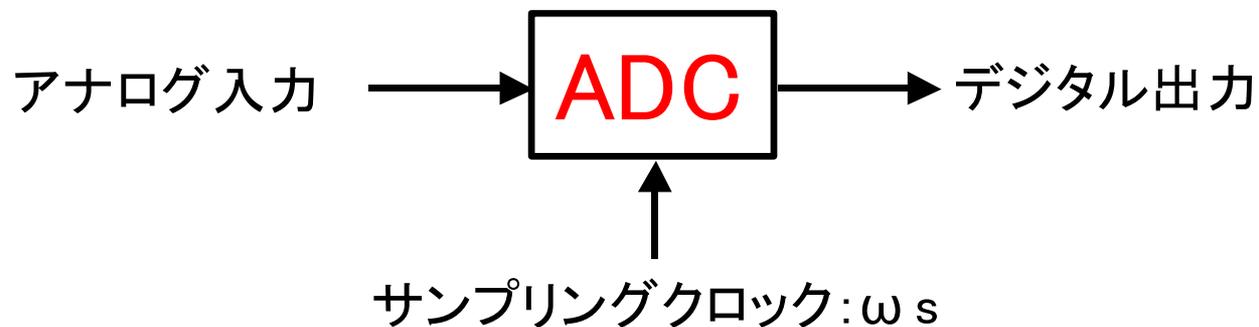
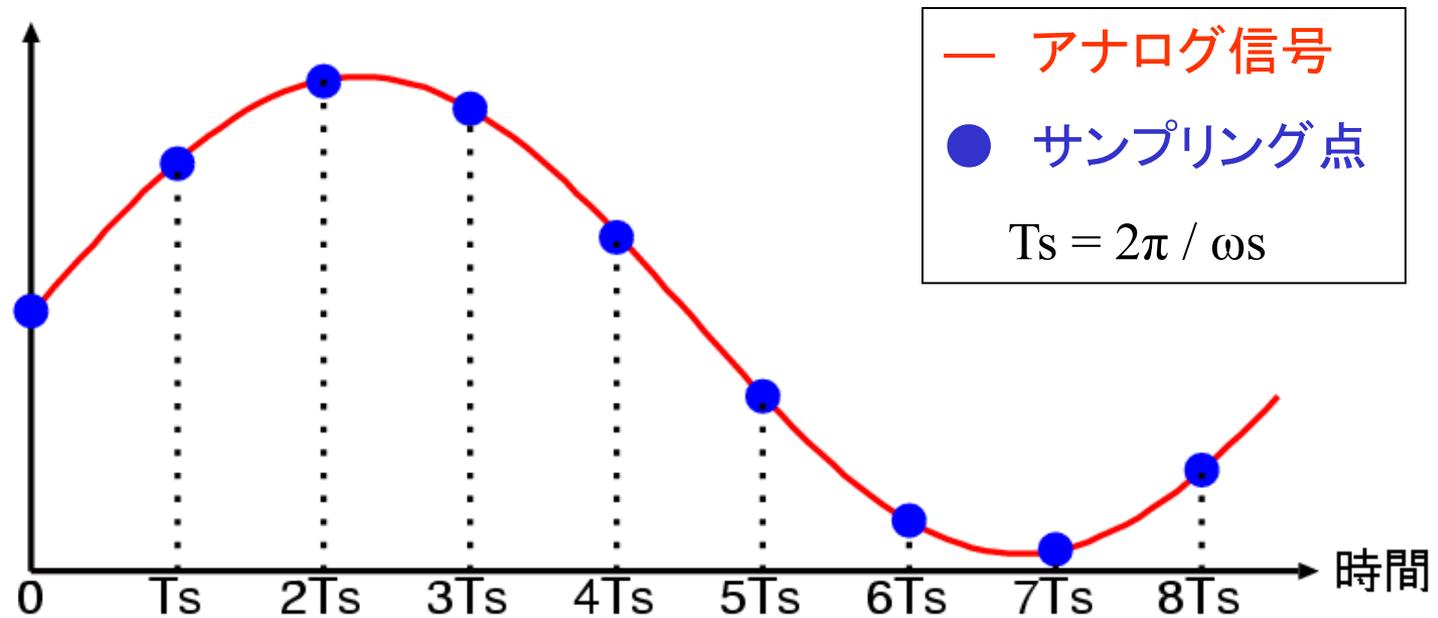
デジタル信号

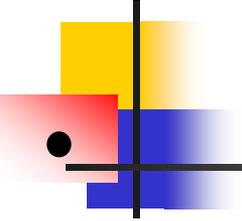
離散的・数値で表現された信号

例：コンピュータ内での2進数で表現された信号
デジタル時計（精度がよい）

「階段」

時間の量子化 (サンプリング)





サンプリング定理

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。

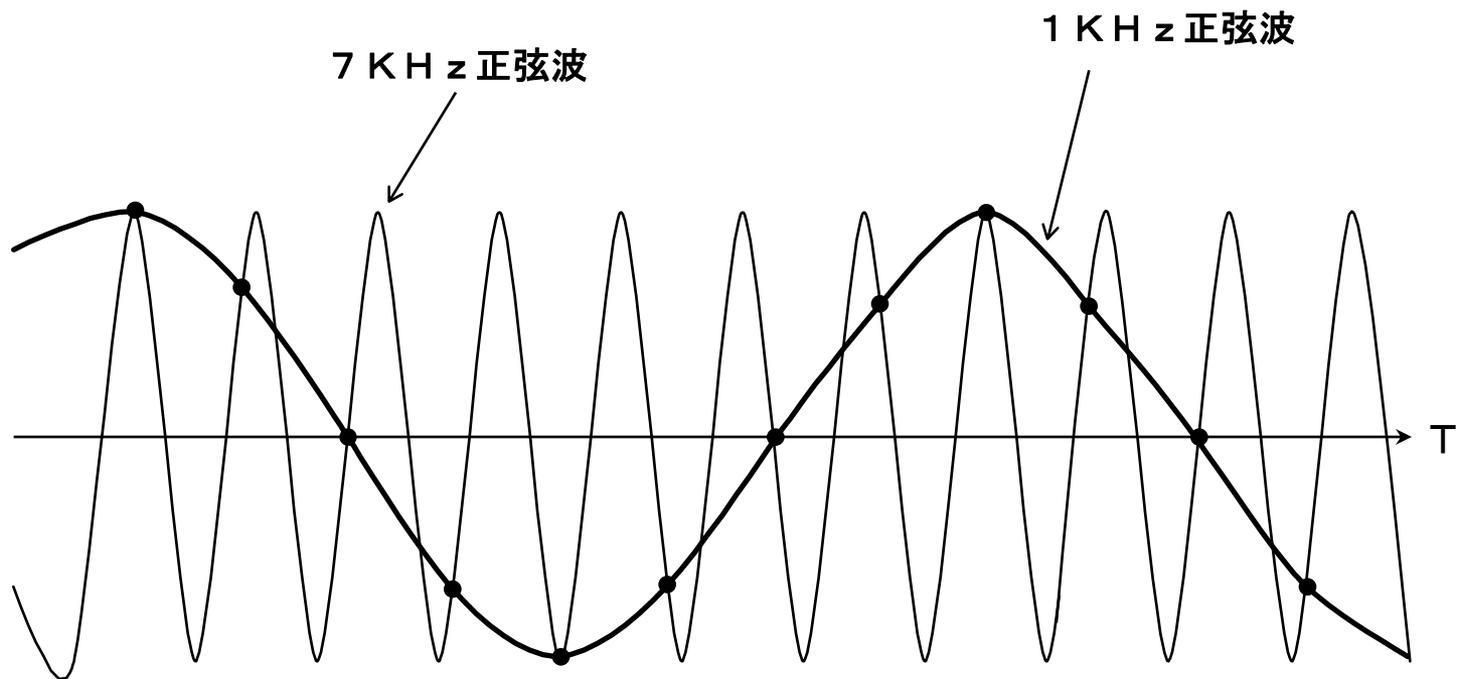
$$X(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(n/2W) \cdot \frac{\text{Sin} \{2\pi W(t - n/2W)\}}{2\pi W(t - n/2W)}$$

$T = 1/2W$: 標本化周期

$X_n = X(nT)$: 標本値

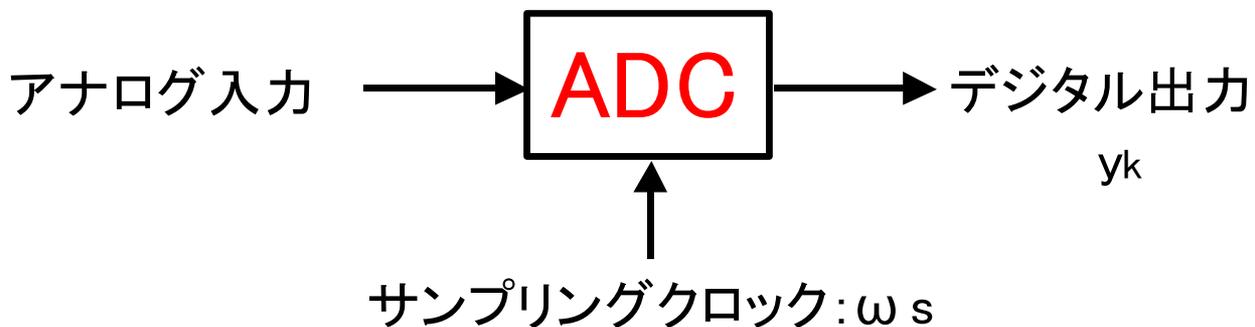
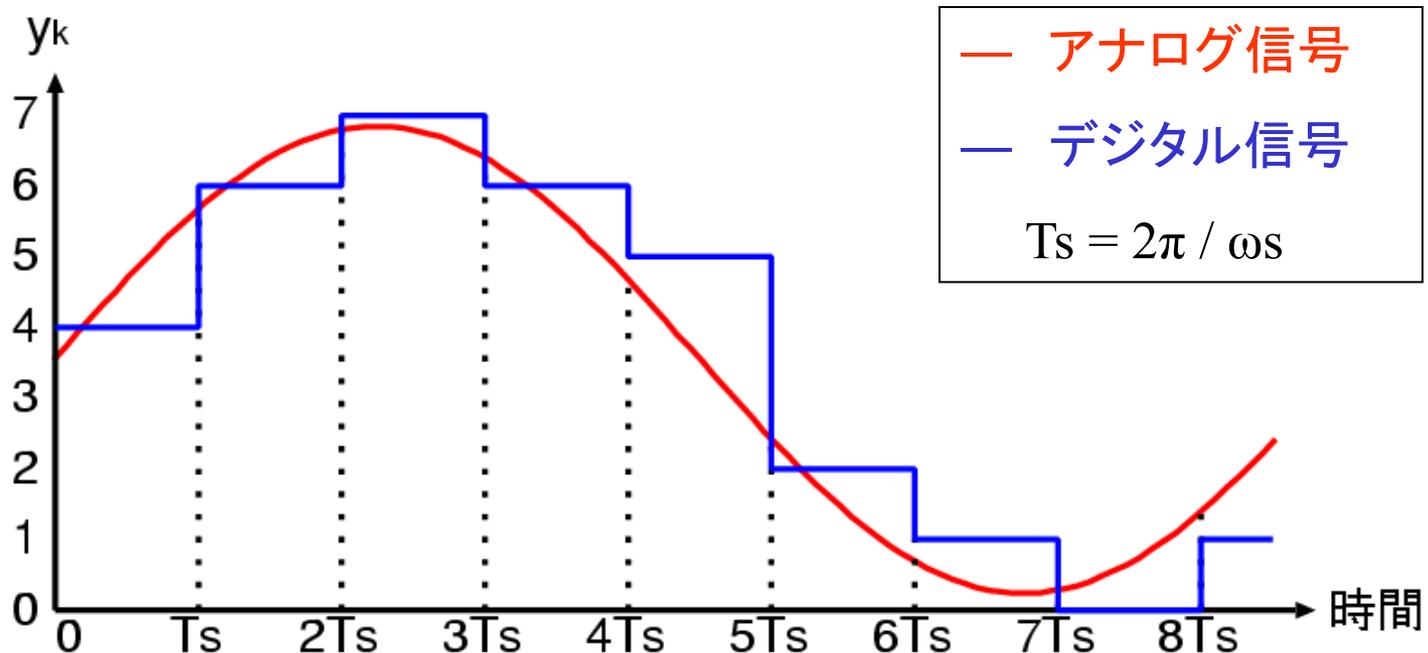
サンプリングと折り返し (aliasing)

- 8 KHz サンプリングを行うと、1 KHz と 7 KHz は区別できない。

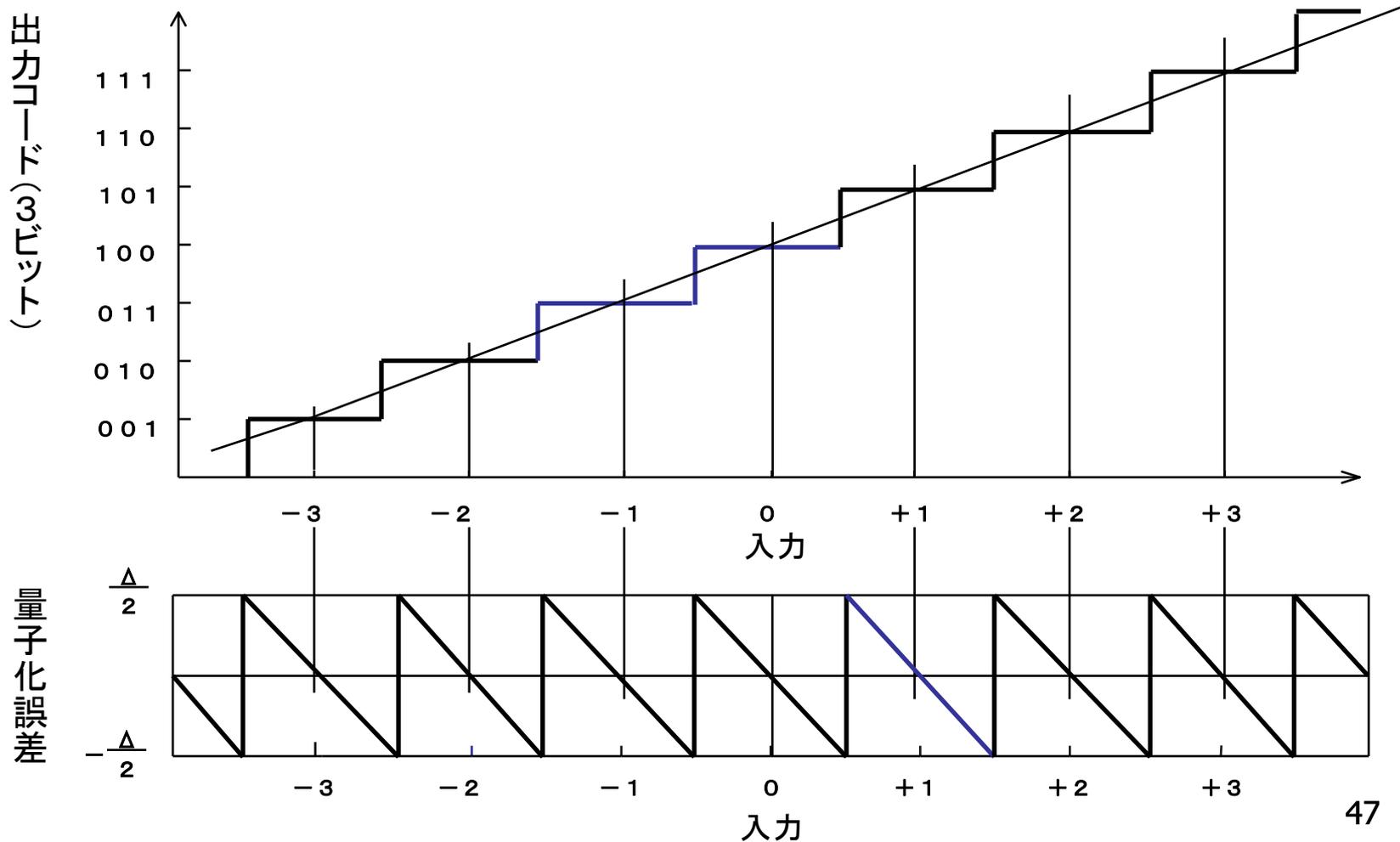


- は 8 KHz サンプリング値を表す。

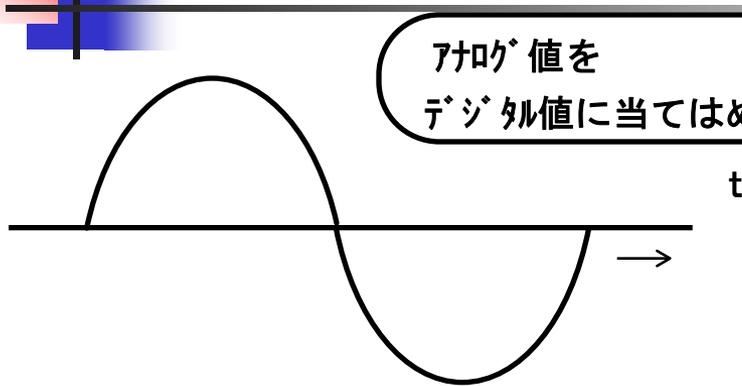
空間の量子化 (信号レベルの数値化)



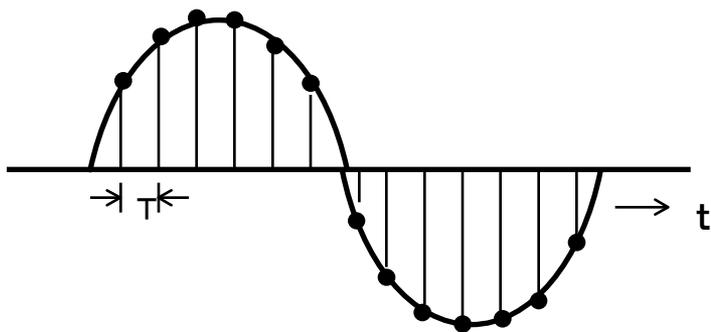
理想 A/D 変換器の量子化誤差



アナログ -> デジタル 変換波形

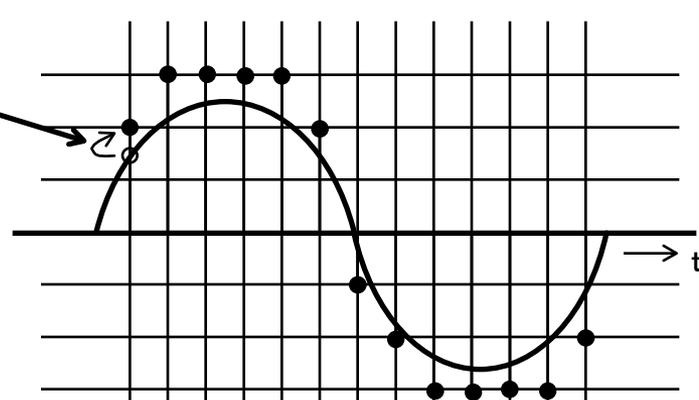


(a) アナログ入力



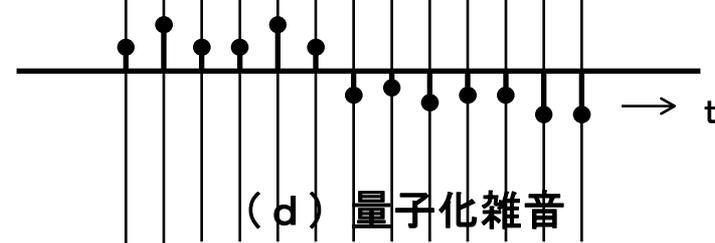
(b) 標本化

アナログ値を
デジタル値に当てはめる



(c) 量子化

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



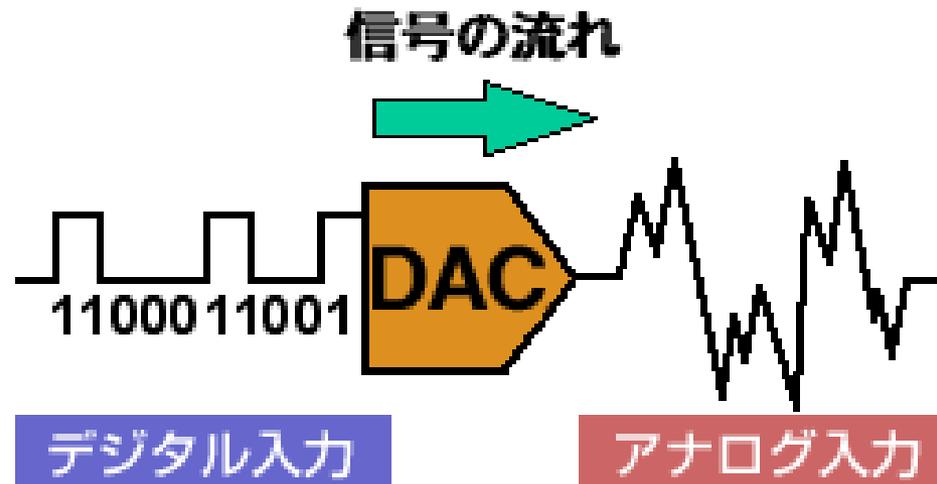
(d) 量子化雑音

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

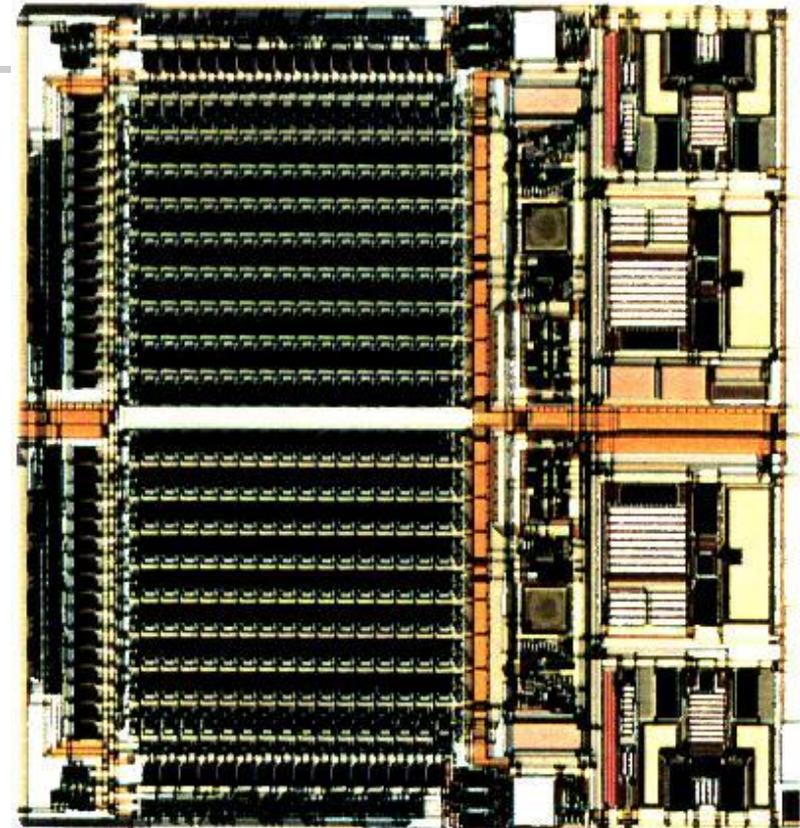
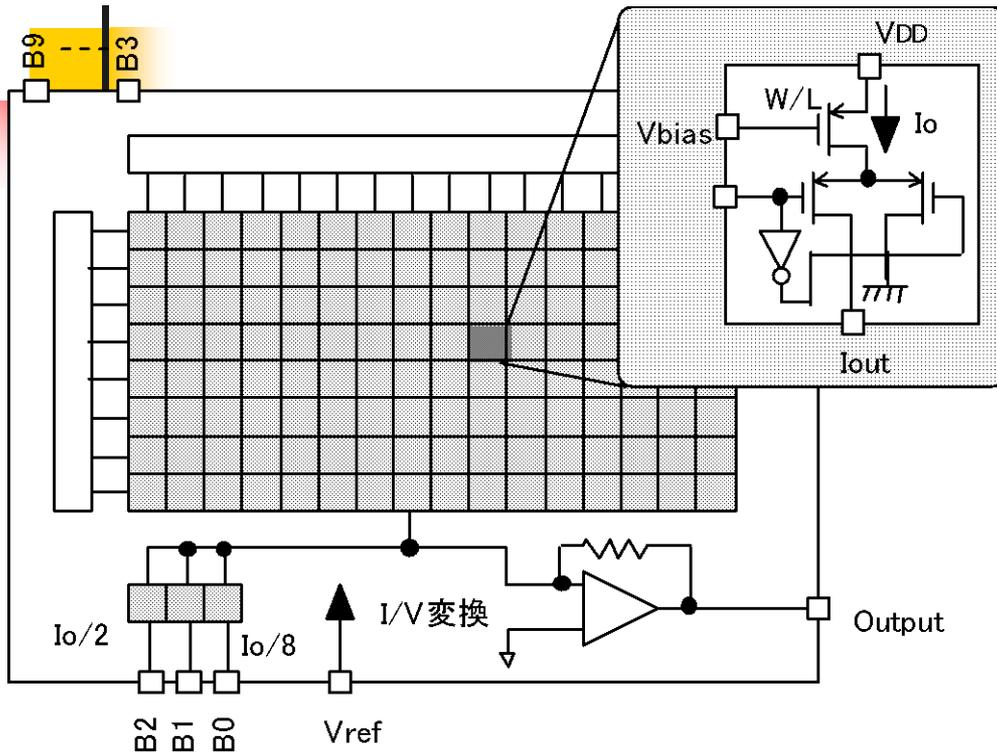
(e) 符号化

DA変換器 (Digital to Analog Converter)

離散的なデジタル値を連続的なアナログ信号に変換する回路



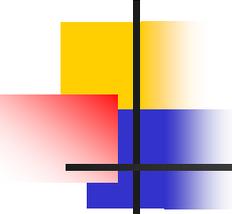
サーボ用10ビット電流型DA変換器



0.8 um CMOS 1.31 mm²

DA変換器の性能

分解能	10 bit
積分直線性誤差	+0.11/-0.07 LSB
微分直線性誤差	+0.35/-0.47 LSB
消費電力	0.9 us (@5V)
整定時間	9.7 mW (@3V)
	21 mW (@5V)



アナログ信号処理と デジタル信号処理

「アナログ信号処理は 無限の精度がでる」
というのは大きな誤り。

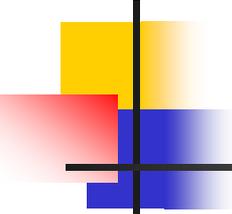
アナログ信号処理は

素子のノイズ、非線形性等のため精度はでない。

アナログ信号処理がデジタル信号処理と競合して
負けるのは精度がでないことが大きな理由。

実務経験を積みればすぐわかる。

アナログ信号処理は(デジタルではまだできない)
高速・高周波信号処理の部分等に用いられる。



DSPチップの特徴(1)

デジタル信号処理アルゴリズム

例: FFT, デジタル・フィルタ

積和演算 $x_0 \cdot h_0 + x_1 \cdot h_1 + x_2 \cdot h_2 + \dots + x_n \cdot h_n$

DSPチップ: 積和演算が得意

(はさみ) (紙をきる)

マイクロ・プロセッサ: 汎用的なデジタル処理

(包丁)

DSPチップの特徴(2)

- デジタル乗算器(掛け算器)内蔵

積和演算 $x_0 \cdot h_0 + x_1 \cdot h_1 + x_2 \cdot h_2 + \dots + x_n \cdot h_n$

の積を高速に実行。

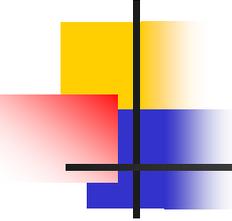
High-end のDSP チップは複数の掛け算器をもつ

- ハーバード・アーキテクチャ

フォン・ノイマンのボトルネックを解消。

- 並列処理 (Parallel Processing)

→ 皆で一緒(同時)に仕事をすれば 早く済む。



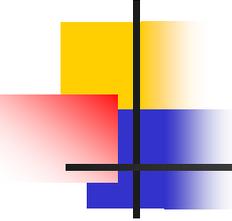
デジタル乗算

2進数の乗算

$$\begin{array}{r} 0101 \quad (5) \\ x) 1011 \quad (11) \\ \hline 0101 \\ 0101 \\ 0000 \\ 0101 \\ \hline 0110111 \quad (55) \end{array}$$

加算器だけで
乗算を行うと
何サイクルも要する。

乗算器なら
1サイクルでできる。



四則演算の英語での表現

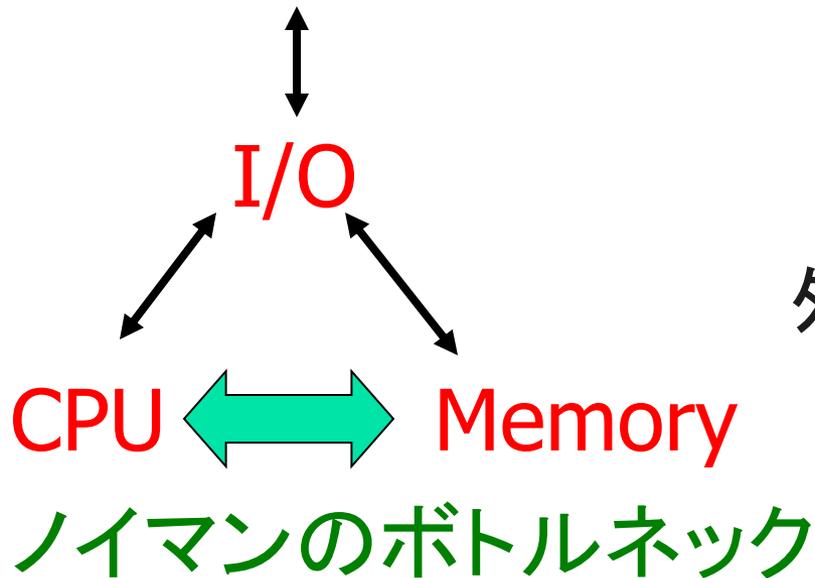
+ add

− subtract

X multiply

÷ divide

デジタル・コンピュータ ノイマン型アーキテクチャ



I/O: Input/Output

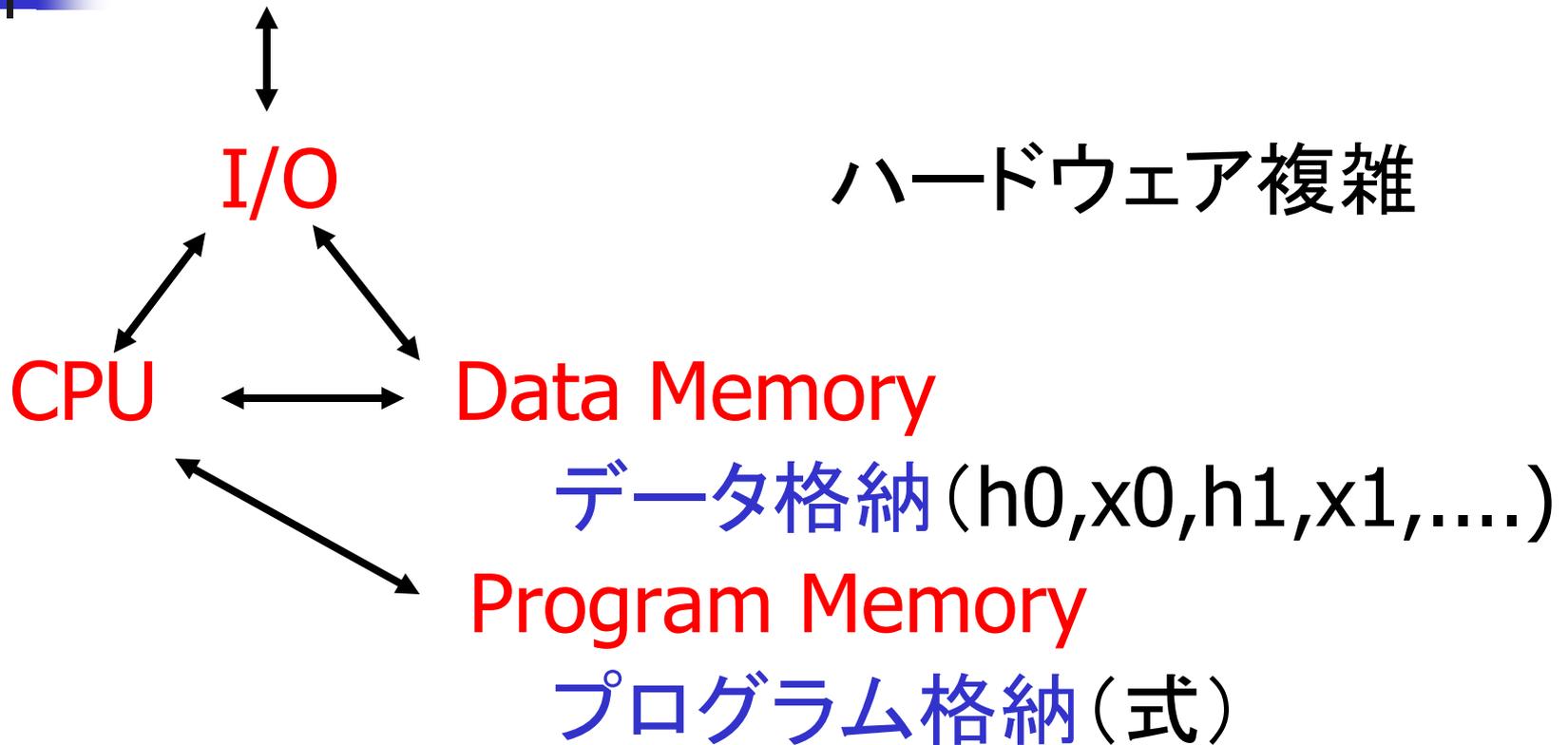
外部とのデータの入出力

CPU: 演算

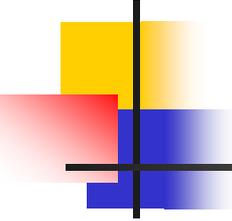
Memory: データ、
プログラムの格納

- 大部分のデジタル・コンピュータの構成

デジタル・コンピュータ ハーバード型アーキテクチャ



- ノイマンのボトルネック解消



ハーバード・アーキテクチャ

- 命令(プログラム)用とデータ用に物理的に分割されたメモリ(記憶装置)と信号通路を用いる。
- DSPに加えて、汎用マイクロコントローラの多くもハーバード・アーキテクチャをベース。
- 最新のマイクロプロセッサも

ハーバードとフォンノイマン両方のアーキテクチャを取り入れている。

Data Memory

16 bit

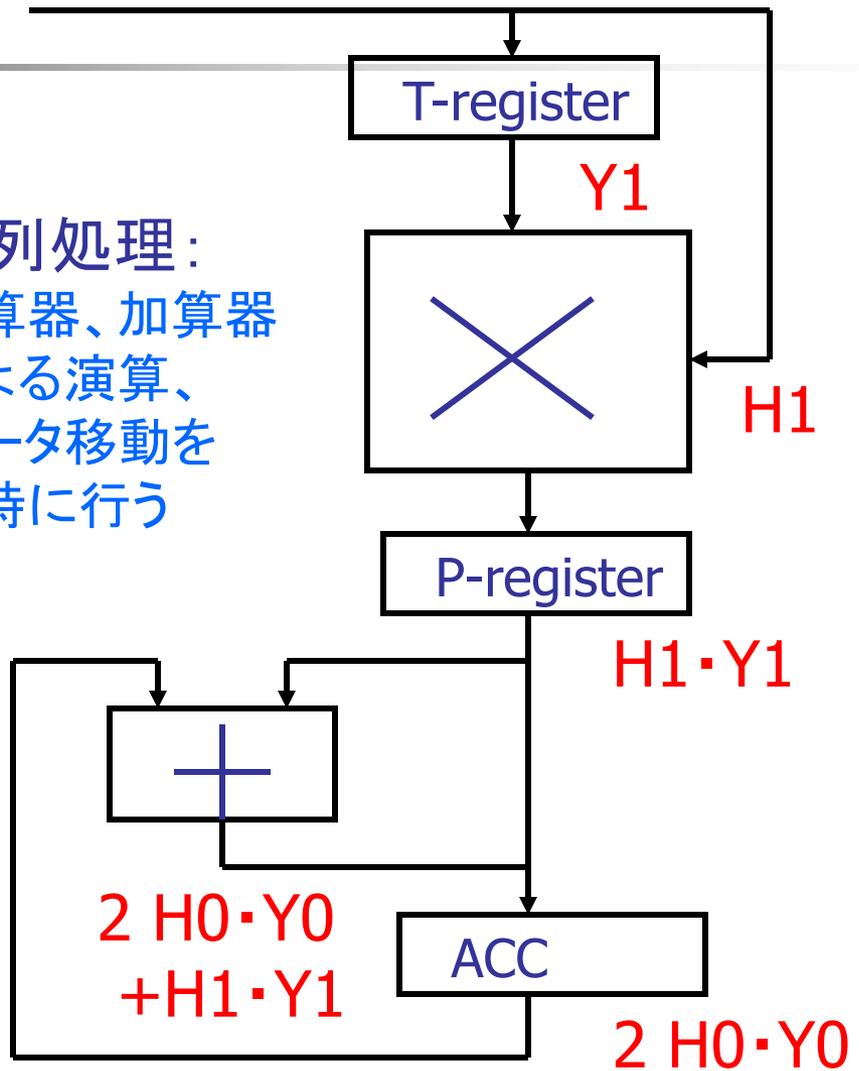
アドレス

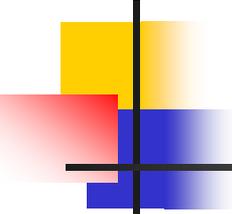
0000

0F00	Y0	0.000
0F01	Y1	0.140
0F02	H0	0.9875
0F03	H1	-1.000
	output	0.000
FFFE		
FFFF		

$$Y = H0 \cdot Y0 + H0 \cdot Y0 + H1 \cdot Y1$$

並列処理:
乗算器、加算器
による演算、
データ移動を
同時に行う





2進数とデジタル

デジタルコンピュータは

なぜ2進数を用いるのか？

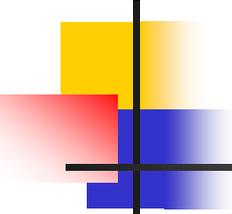
2つの状態は電子回路で実現しやすい。

例： 電圧の“高い”と“低い”

電流の“流れている”と“流れていない”

パルスの“ある”と“なし”

一方を“1” 他方を“0”と割り当てる



16進数、8進数とデジタル

10進	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
8進	0	1	2	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24
16進	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10	11	12	13	14

- 人間はなぜ10進数を使うか？



手の指が10本あるから。

- デジタルコンピュータは2進数が基本。

ではなぜ16進数、8進数を使うか？



2進数と16進数、8進数は相性がよいから。

8進数と2進数の変換

8進 2進

4 2 1

0 0 0 0

1 0 0 1

2 0 1 0

3 0 1 1

4 1 0 0

5 1 0 1

6 1 1 0

7 1 1 1

例 8進4桁 3724

● 10進に変換

$$3 \times 8 \times 8 \times 8 + 7 \times 8 \times 8 + 2 \times 8 + 4$$

計算が必要。

● 2進に変換

011 111 010 100

右表から機械的に得られる。

16進数と2進数の変換

16進	2進	16進	2進
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	A	1010
3	0011	B	1011
4	0100	C	1100
5	0101	D	1101
6	0110	E	1110
7	0111	F	1111

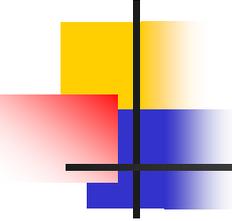
例 16進で3桁

A46

2進数に変換

1010 1000 0110

左表から機械的に得られる。



2進、8進、16進、10進の明確化

例： 1001

2進、8進、16進、10進の区別がつかない

2進 最後に **b** をつける 1001**b** binary

8進 **o** 1001**o** octal

16進 **h** 1001**h** hex

(h の代わりに x を用いることもある)

10進 **d** 1001**d** decimal

なぜ10月がOctober

12月がDecember ?

Oct は8の意味

Dec は10の意味

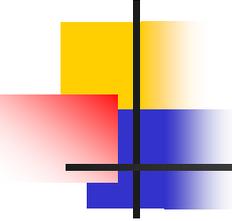
July (7月)

ローマの英雄 ジュリアス・シーザ

August (8月)

ローマ初代皇帝 アウグスチヌス

が割り込んだため



今から320年前、1692年のパリ

哲学者、数学者、科学者 **ライプニッツ**

(**Gottfried Wilhelm Leibniz**)

「**全ての数を1と0によって表す驚くべき表記法**」

を提案。

王立科学アカデミーに理解されず

学会誌にも掲載されなかった。

「誰も予想しなかった卓越した用途がありはずだ」

と語る。(慶応義塾大学 青山先生資料)

デジタル・コンピュータと プログラミング

デジタル・コンピュータで仕事をさせうるには
全てを指示してやらなければならない(プログラミング)

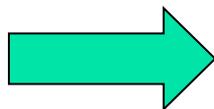
- 理工系大学院生の問題を解くのは得意

例: 連立3次元偏微分方程式を

境界条件のもとに数値計算で解く

- 人間の赤ちゃんの問題を解くのは苦手

例: お母さんの顔を認識する

 プログラミングが大変

高級言語、アセンブラ言語、 機械語

DSPチップ

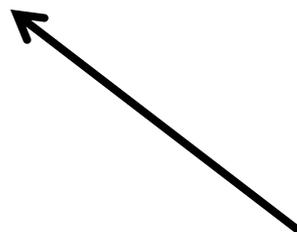
機械語(0,1)

東京標準語

コンパイラ
(通訳)



アセンブラ
(通訳?)



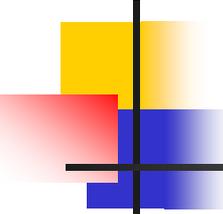
プログラマ
(人間)

高級言語
(C言語等)
英語

アセンブラ言語
大阪弁

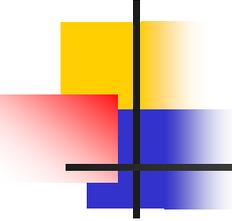
高級言語、アセンブラ言語、 機械語 (2)

- アセンブラ言語のほうが高級言語よりよいプログラム(高速、小容量)がかける。
- 大阪弁を東京標準語に通訳(?)する方が英語を ” ” より容易。
- 現実のプログラム開発
大部分は高級言語で記述。
どうしても高速化・小容量化したい部分はアセンブラ言語で記述。



C言語とアセンブラ言語

- **C言語**は一種類(“方言”少ない)。
どのコンピュータでも動作する。
コンピュータ内部の構成と動作を知らなくてもプログラミングできる。
- **アセンブラ言語**はプロセッサ毎に異なる。
コンピュータ内部の構成と動作を知らないとプログラミングできない。
アセンブラ言語によるプログラミングは
「**組み込みソフトウェア**」に関連しても重要な技術

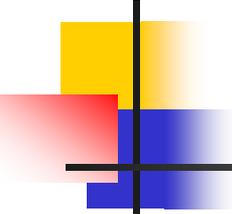


プログラミングと水泳

「プログラミング」はやってみないとわからない。
本を読み講義を聴いただけではわからない。

本を読み 話をきいただけでは
泳げるようにならないと同じ。

プログラミングは特にその色彩がよい。



DSPの研究者、研究開発拠点

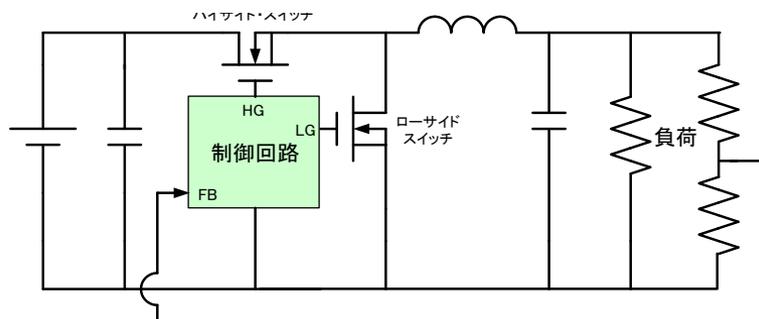
- MIT Prof. A. Oppenheim
DSP の神様、テキストはベストセラー
- UCLA Prof. H. Samueli (Broadcom 創業者)
アルゴリズムに加えて“IC化”の技術
- Georgia Institute of Technology (米 アトランタ)
多くのDSP研究者
- ベルギー ルーベン市
DSP Valley, IMEC, KUL, Target Compiler Technologies
- テキサスインスツルメンツ社、アナログデバイセズ社
DSPとアナログ

最近の話題： 電源もDSPで制御

デジタル制御電源

コスト・電力の課題はあるがデジタル化の流れ

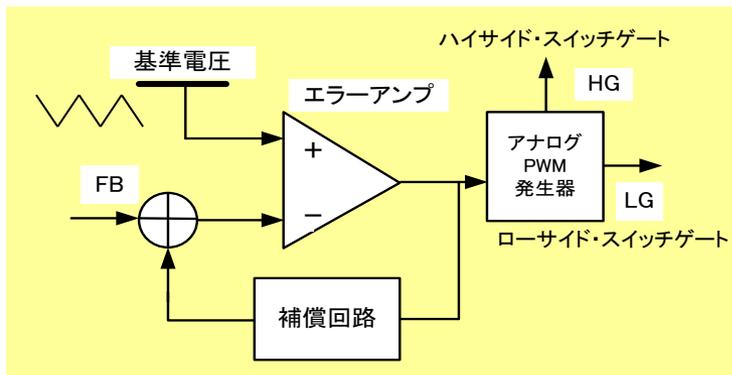
■ スイッチング電源回路



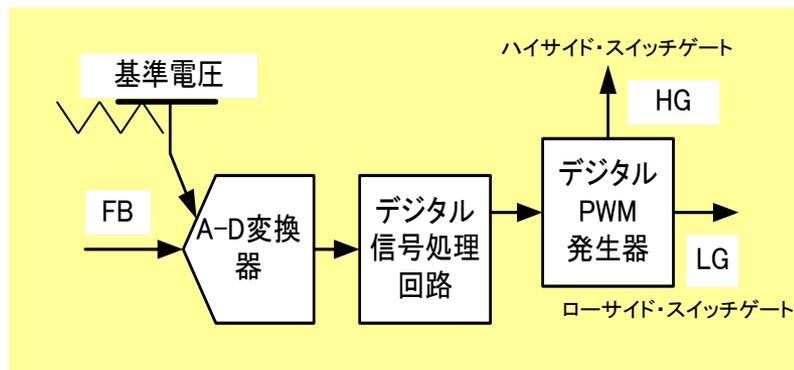
- 外資系半導体メーカー
パワーマネジメント製品に注力
- 微細CMOSでデジタル制御
- デジタルの新アイデアで高性能化
- 通信機能の取り込み

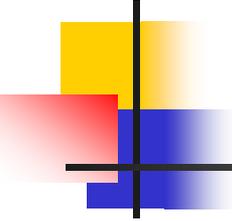
■ 制御回路部

■ アナログ方式



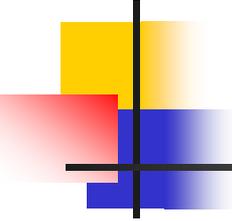
■ デジタル方式





まとめ

- DSPは今後ますます重要な技術。
- DSPシステムは **DSPチップ**と **アナログとのインターフェースの回路**から構成される。
- 幅広いエレクトロニクス技術開発には **デジタル、アナログ** 両方の知識・技術が必要。



計測工学 第2回講義

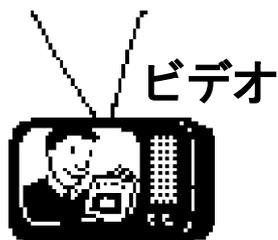
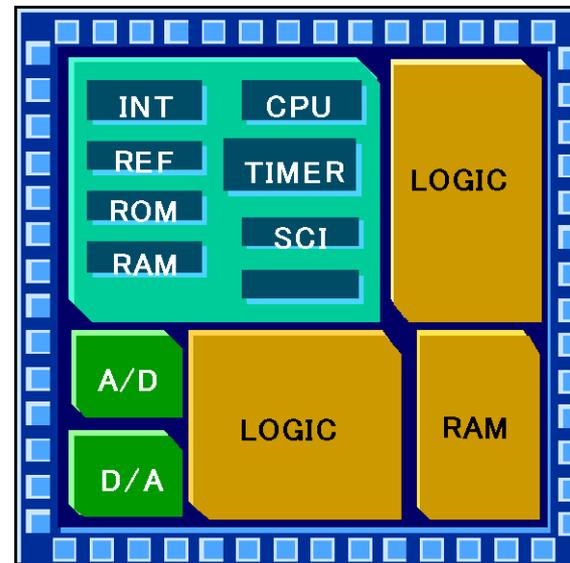
- 「工学」とは何かを考えよう
- 計測工学とデジタル信号処理
- 計測工学とAD/DA変換器

デジタル技術をささえる AD/DA変換器

自然界の信号は
アナログ



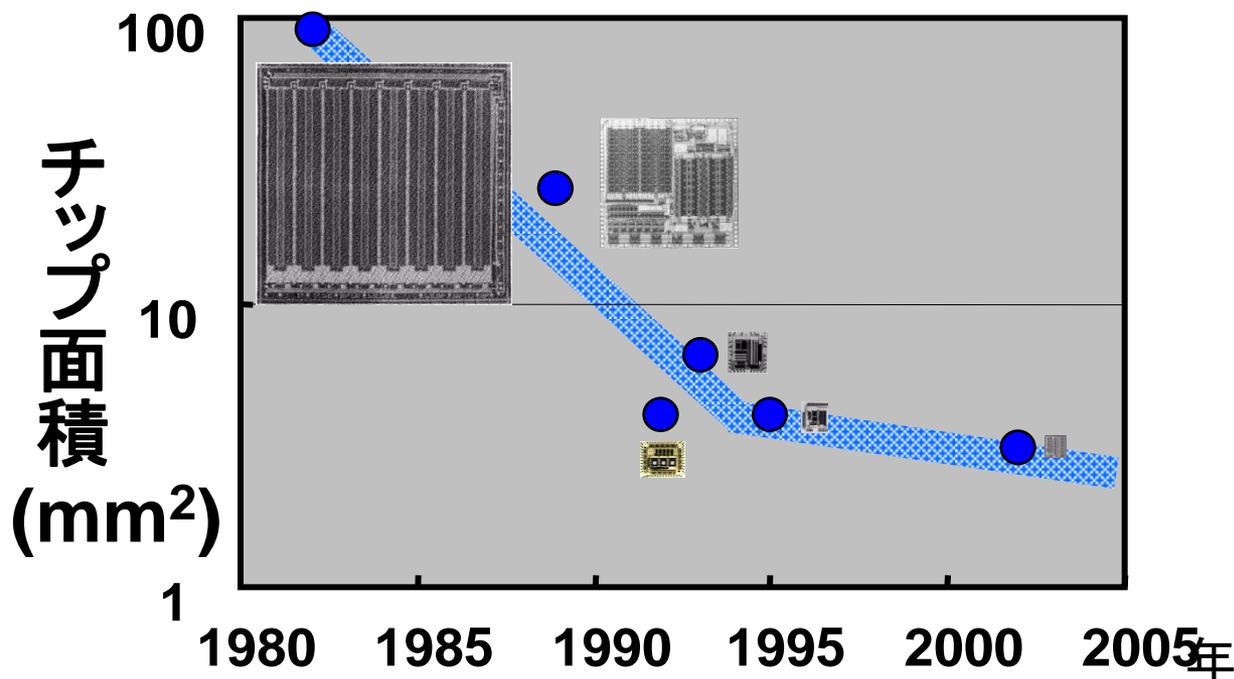
LSIでの信号処理は
デジタル



SOC:
System On a Chip

AD変換器の熾烈な研究開発競争

半導体プロセス、アーキテクチャ、回路構成の進歩により性能向上スピードがデジタルLSI以上。

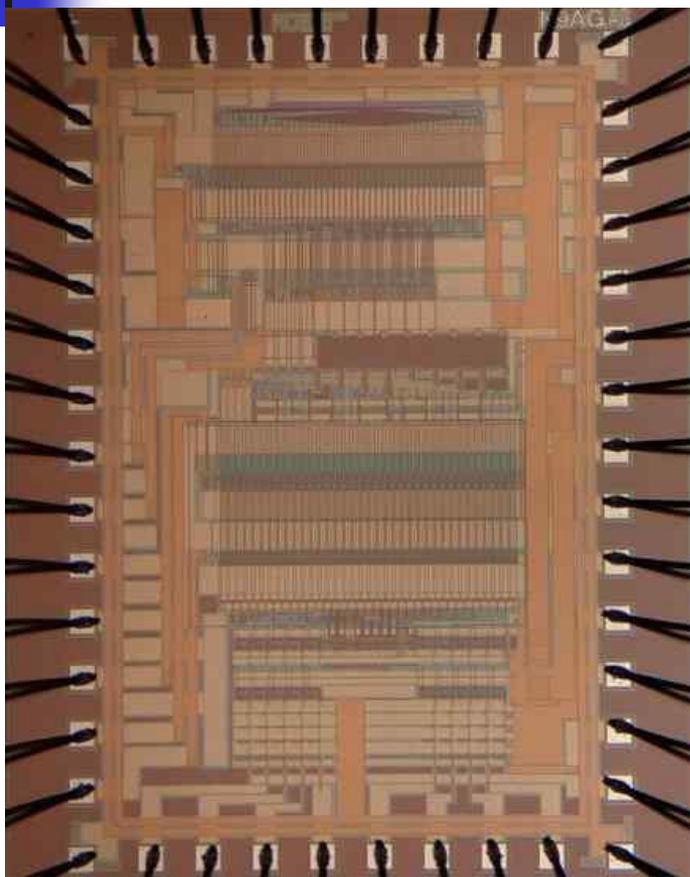


東京都市大学
堀田先生
作成資料

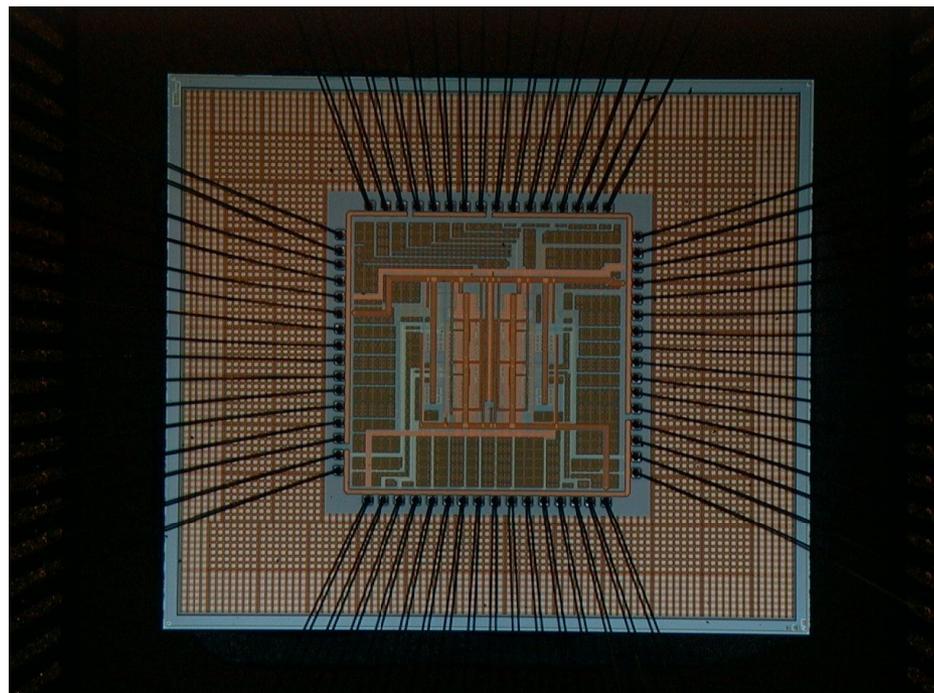
10ビットビデオ用AD変換器のチップ面積推移

群馬大と半導体メーカーの共同研究開発

CMOS A/D変換器

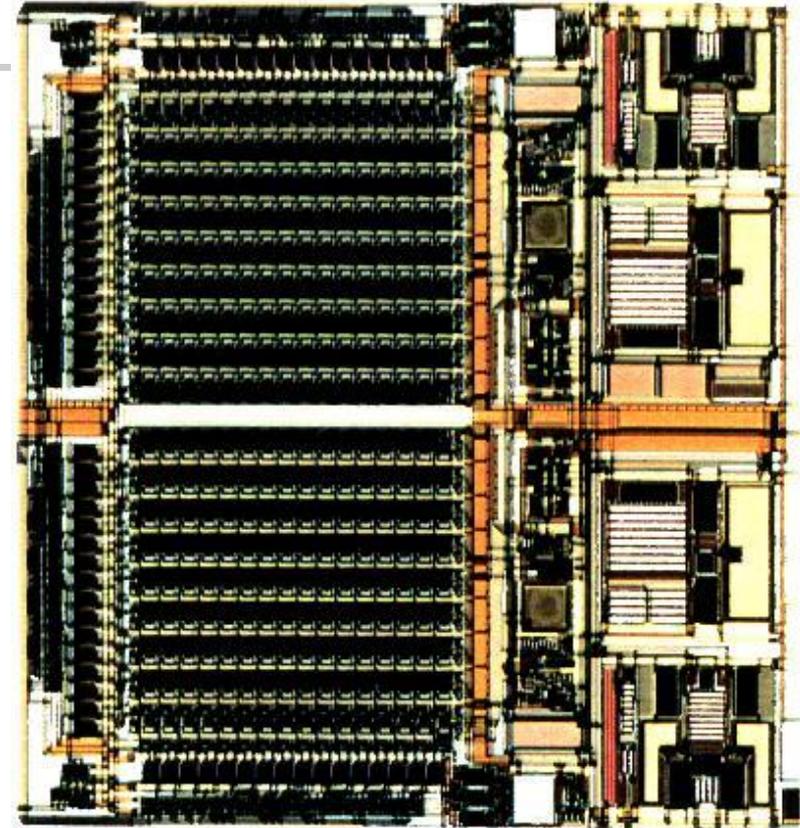
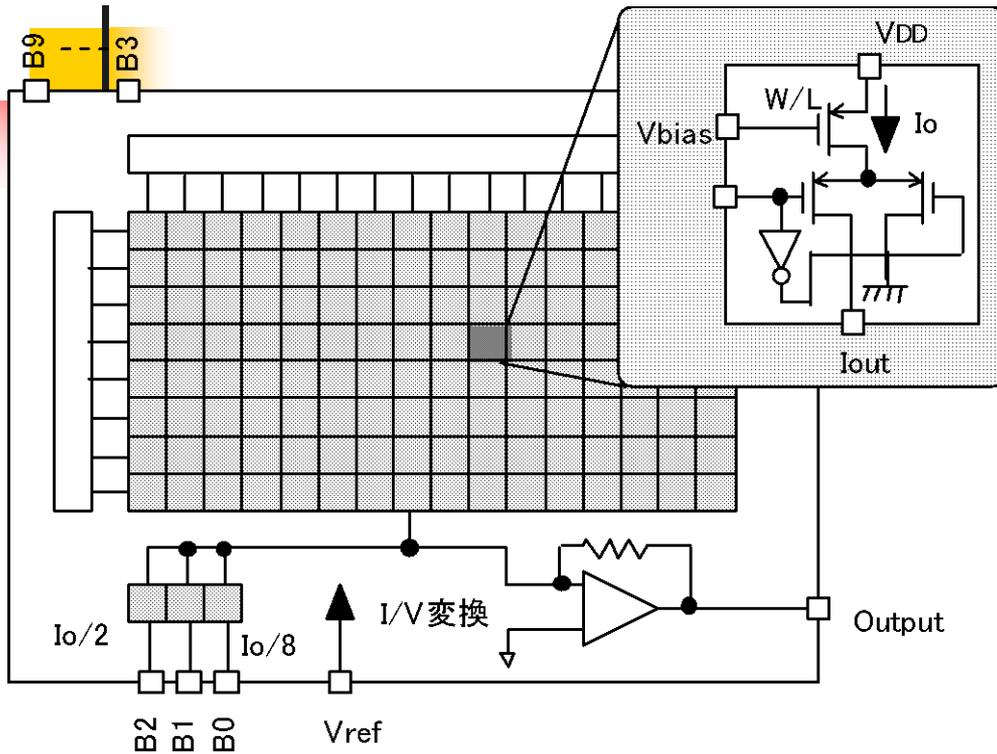


三洋電機との共同開発



ルネサステクノロジ社との
共同開発

サーボ用10ビット電流型DA変換器



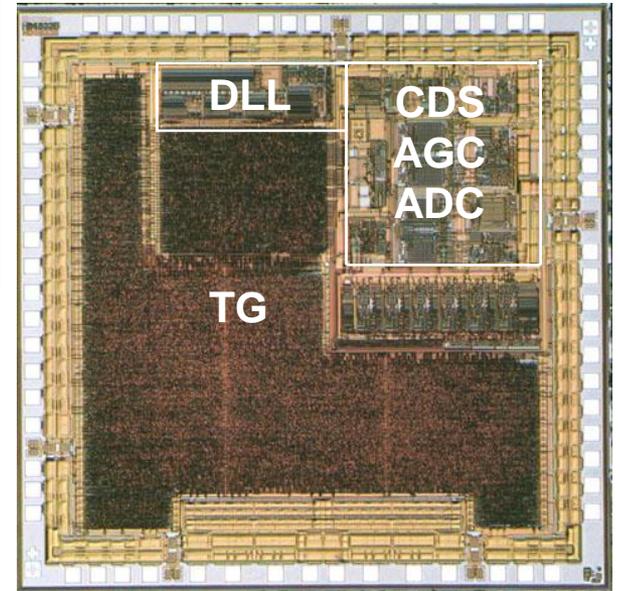
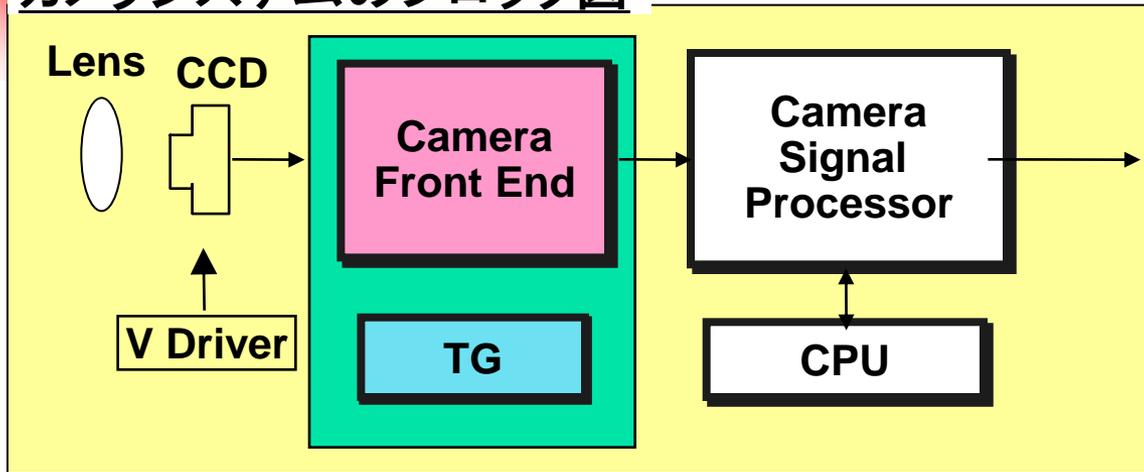
0.8 um CMOS 1.31 mm²

DA変換器の性能

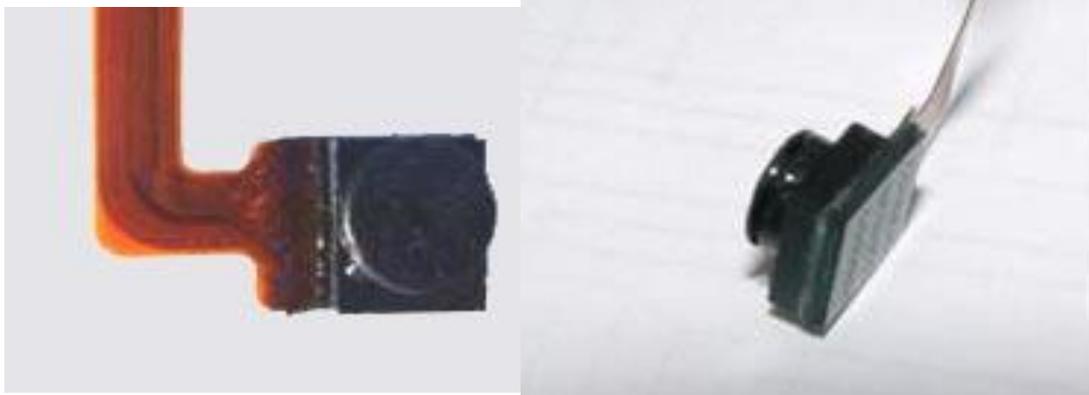
分解能	10 bit
積分直線性誤差	+0.11/-0.07 LSB
微分直線性誤差	+0.35/-0.47 LSB
消費電力	0.9 us (@5V)
整定時間	9.7 mW (@3V)
	21 mW (@5V)

カメラフロントエンドLSI

カメラシステムのブロック図



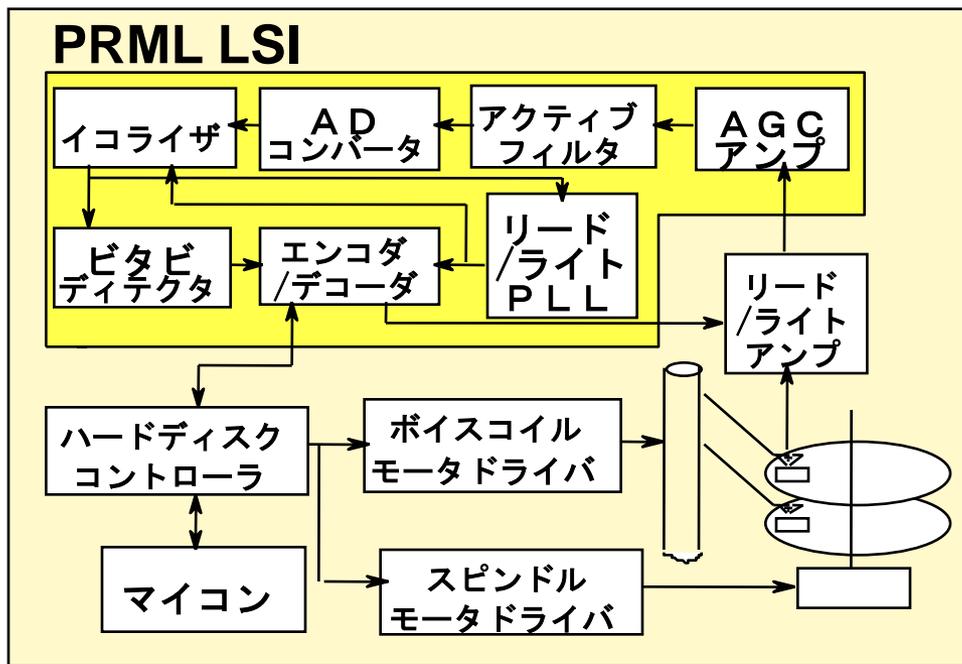
カメラフロントエンドLSI



携帯電話用カメラシステム

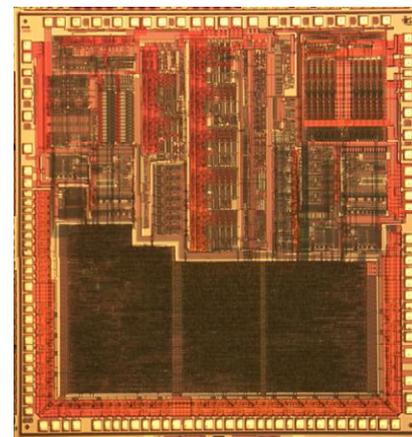
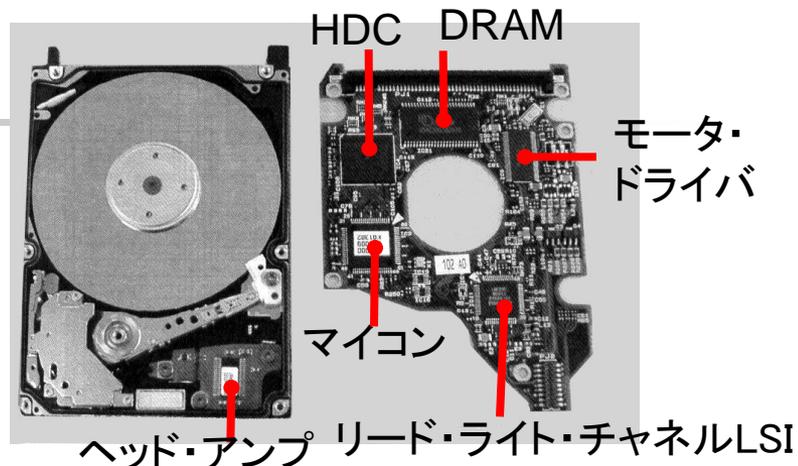
システムLSI内にAD/DA変換器が内蔵

HDD(ハードディスク・ドライブ)用信号処理LSI



HDDブロック図

システムLSI内にAD/DA変換器が内蔵
SoC (system-on-chip)



(200Msps, 0.35umCMOS)

HD153072(PRML)

計測制御機器とAD変換器

計測器(電子計測器)

制御システム(ファクトリーオートメーション):

➡ アナログ回路は重要

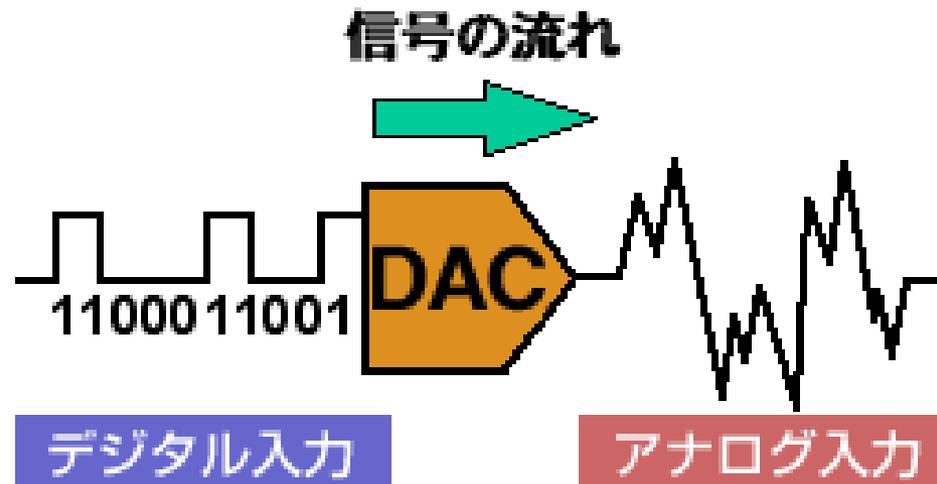
例:



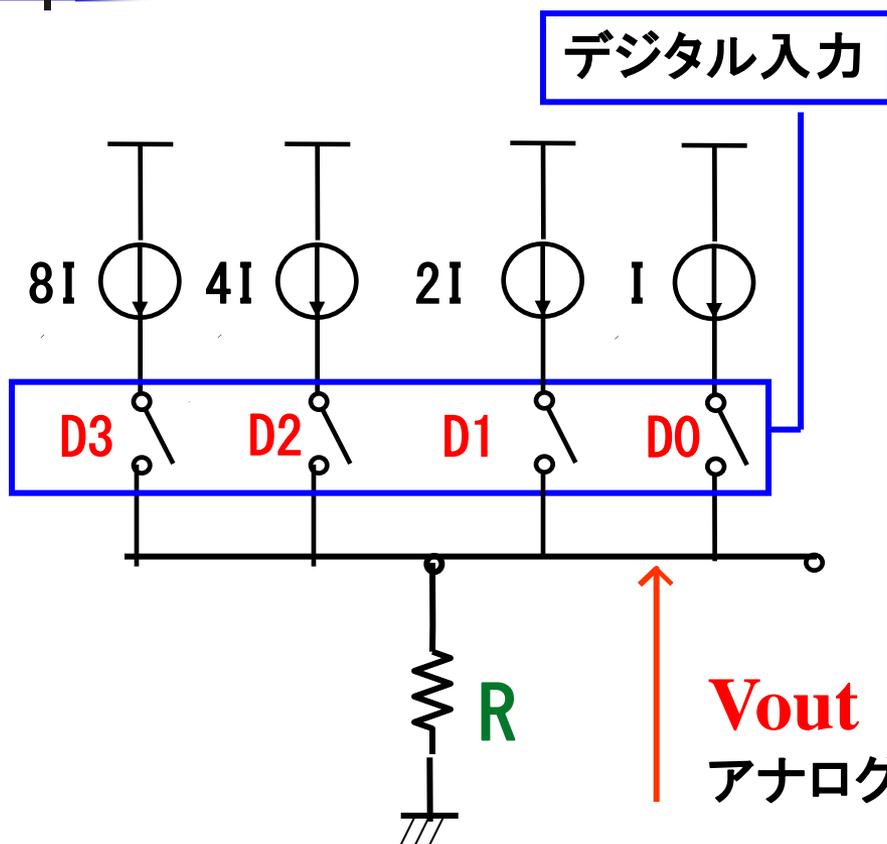
デジタルオシロスコープ内のAD変換器

DA変換器 (Digital to Analog Converter)

離散的なデジタル値を連続的なアナログ信号に変換する回路



電流型2進重み付け DA変換回路（回路）



● メリット

- ・回路規模が小さい
- ・サンプリング速度が速い

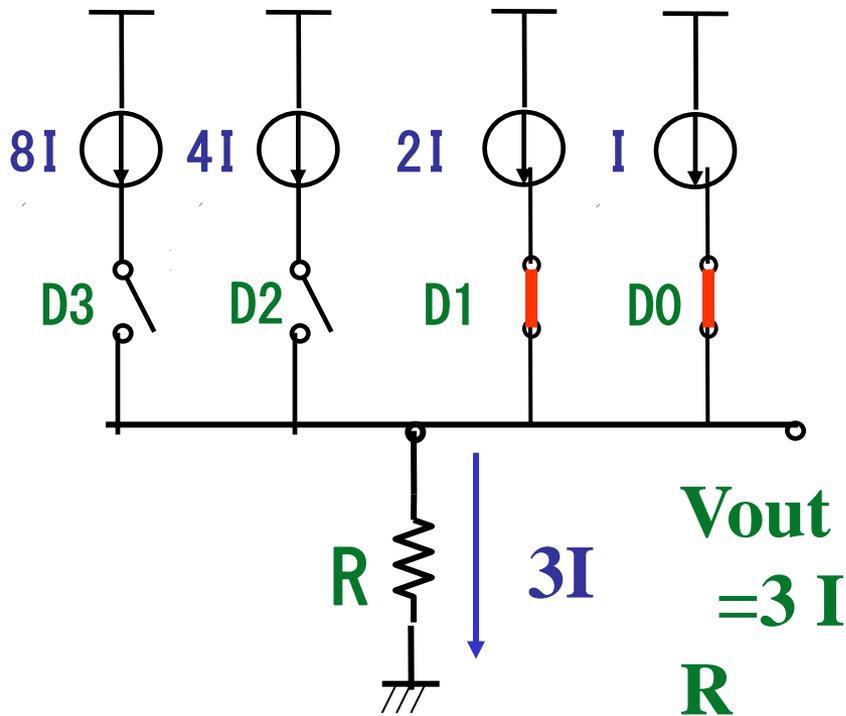
● デメリット

- ・グリッチが大きい
- ・入出力間の単調性が

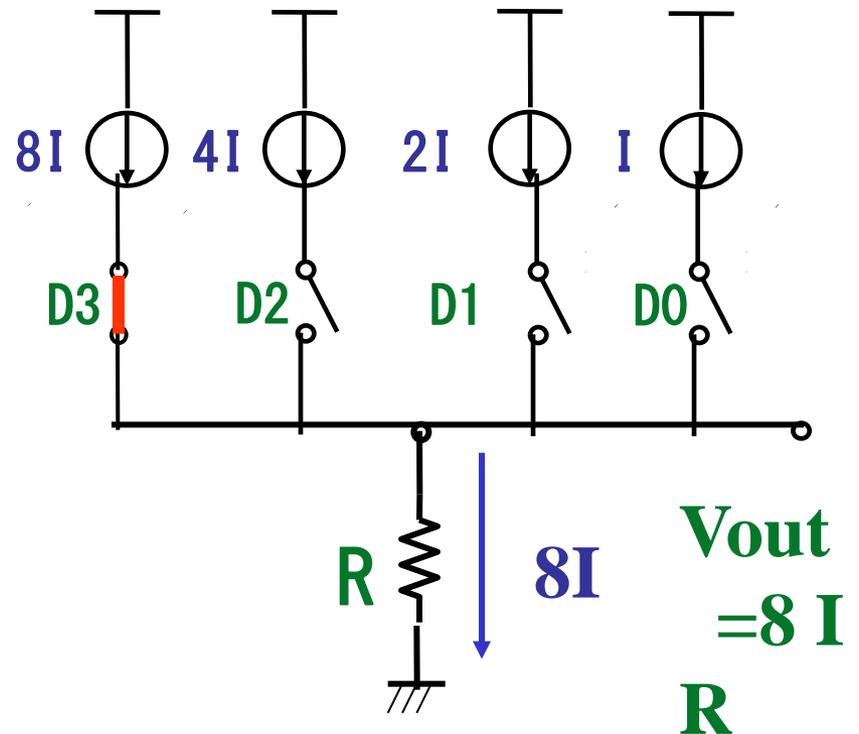
確保出来ない

電流型2進重み付け DA変換回路（動作）

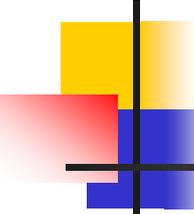
例：入力データが3のとき



例：入力データが8のとき



2進重み付けDA変換回路 (原理)

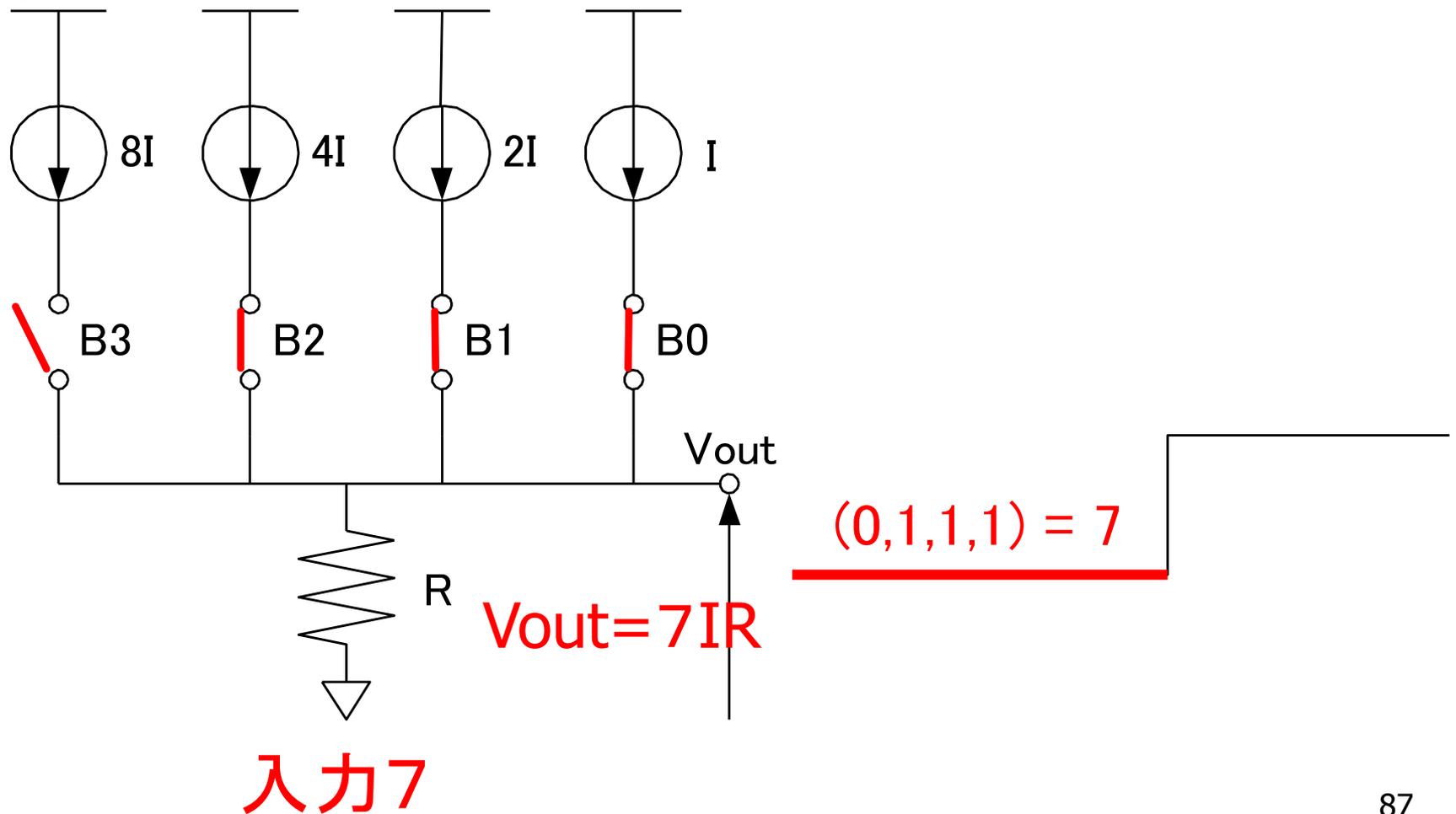


デジタル	スイッチ				出力
入力データ	D3	D2	D1	D0	Vout
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1R
2	0	0	1	0	2R
3	0	0	1	1	3R
4	0	1	0	0	4R
5	0	1	0	1	5R
6	0	1	1	0	6R
7	0	1	1	1	7R
8	1	0	0	0	8R
⋮			⋮		⋮
15	1	1	1	1	15R

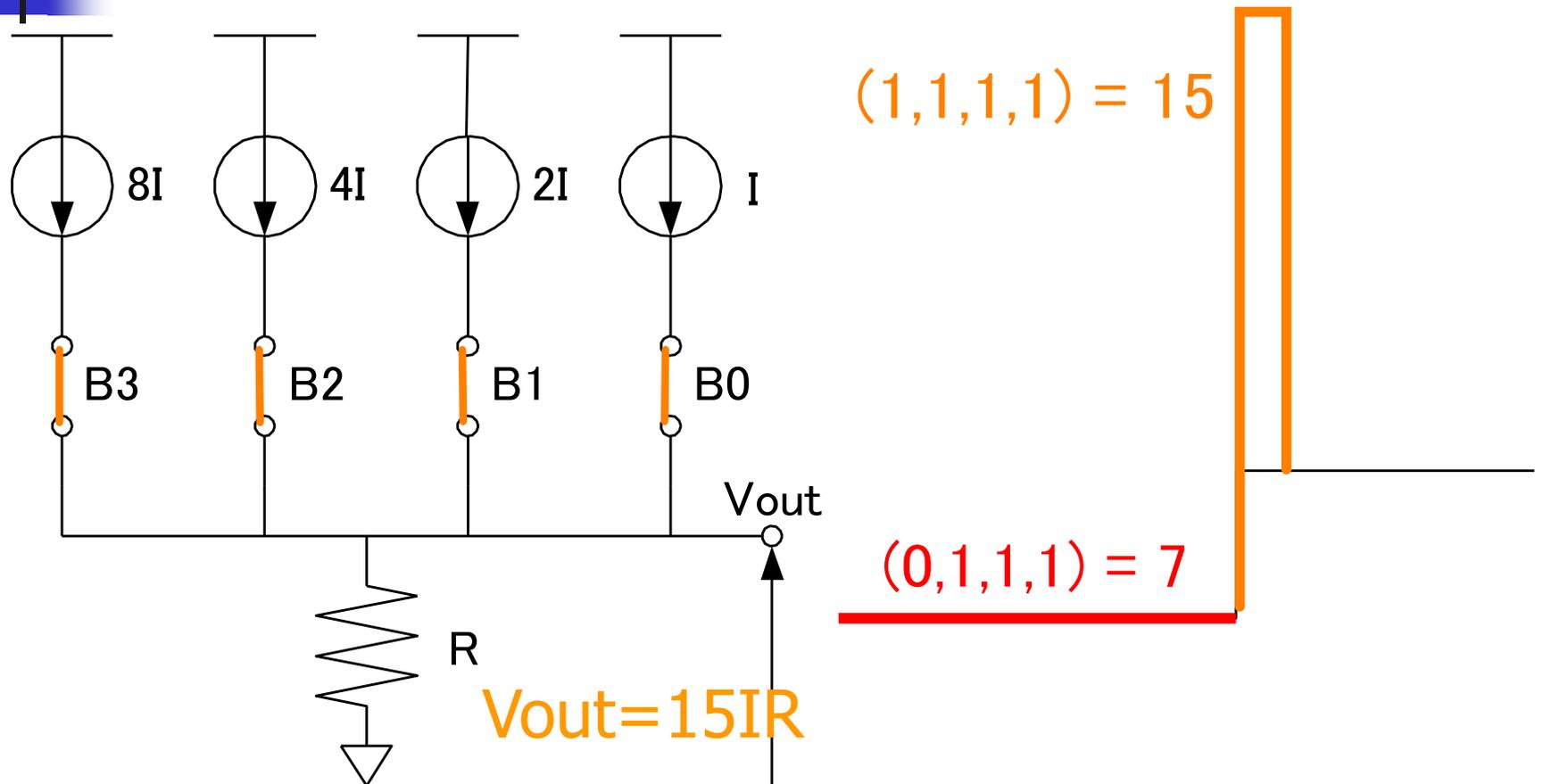
スイッチ 1のとき ON
0のとき OFF

デジタル入力データに
比例したアナログ出力
Vout が生成される。

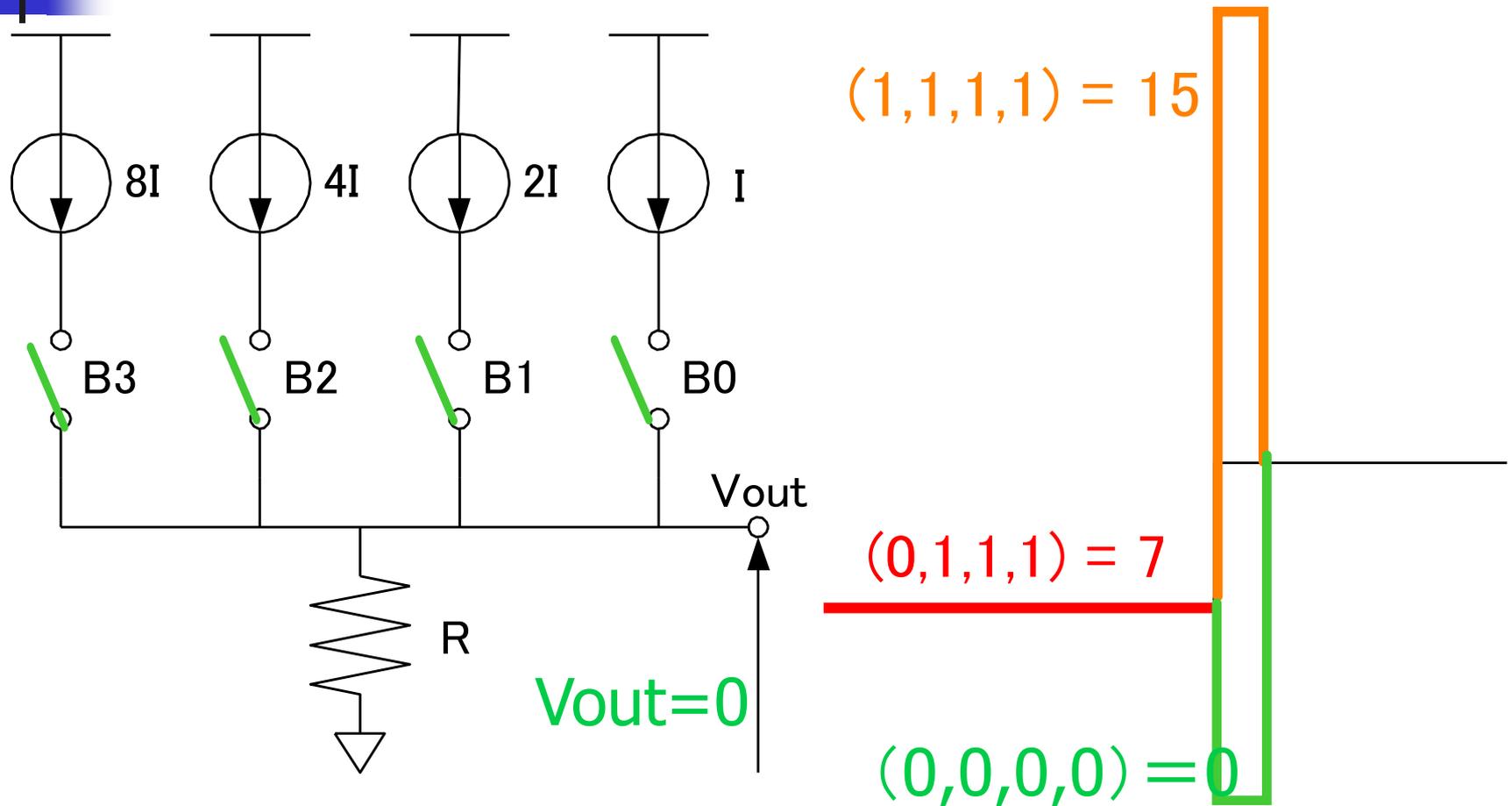
スイッチ切り替えタイミング スキューが有る場合



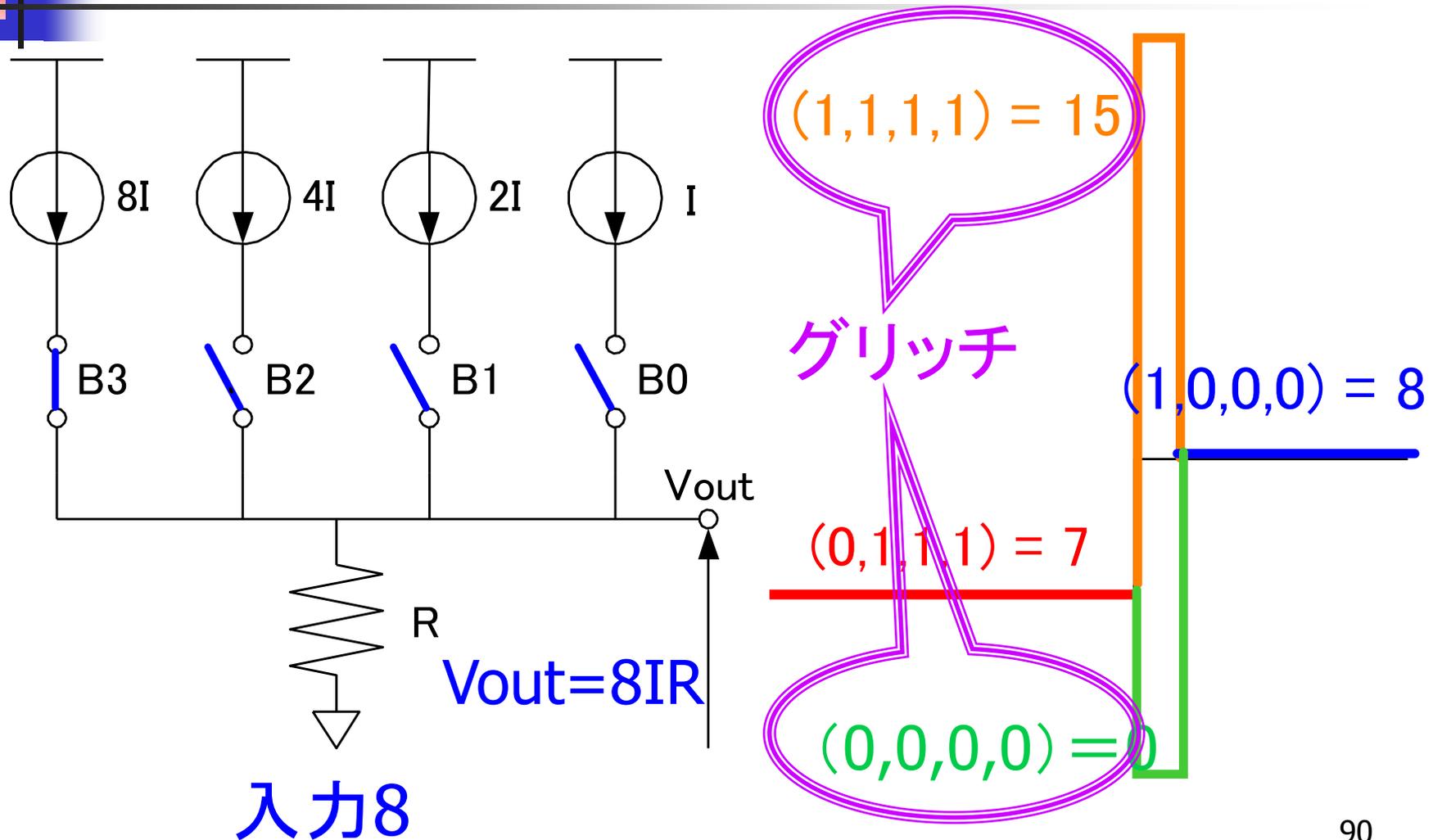
スイッチ切り替えタイミング スキューが有る場合



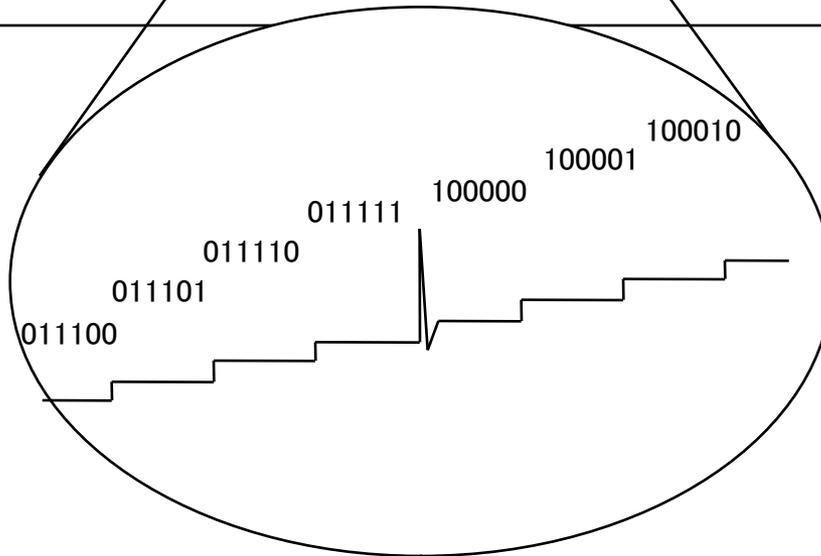
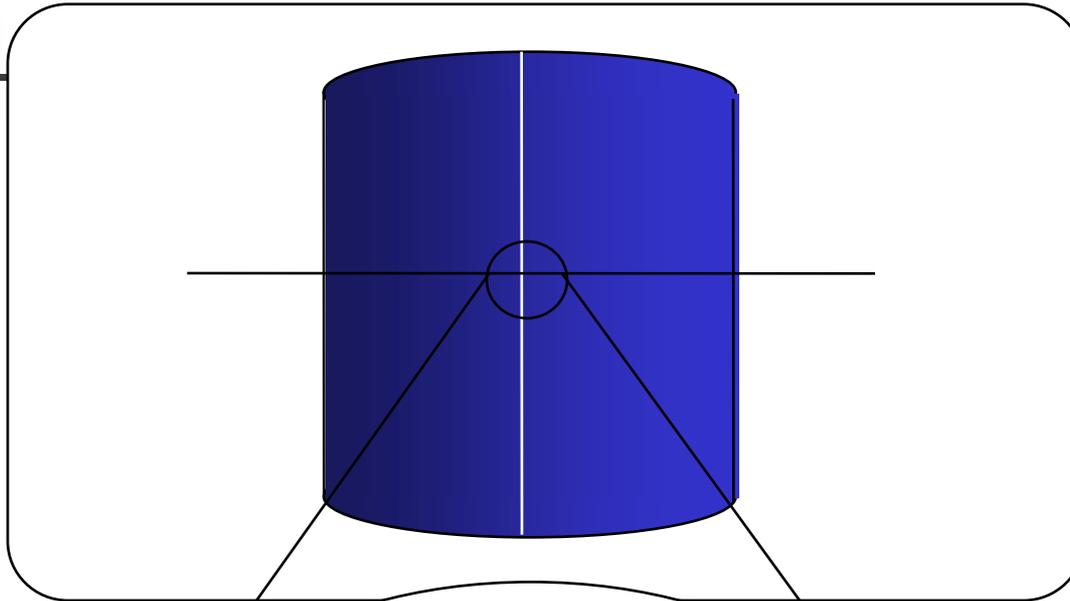
スイッチ切り替えタイミング スキューが有る場合



スイッチ切り替えタイミング スキューが有る場合

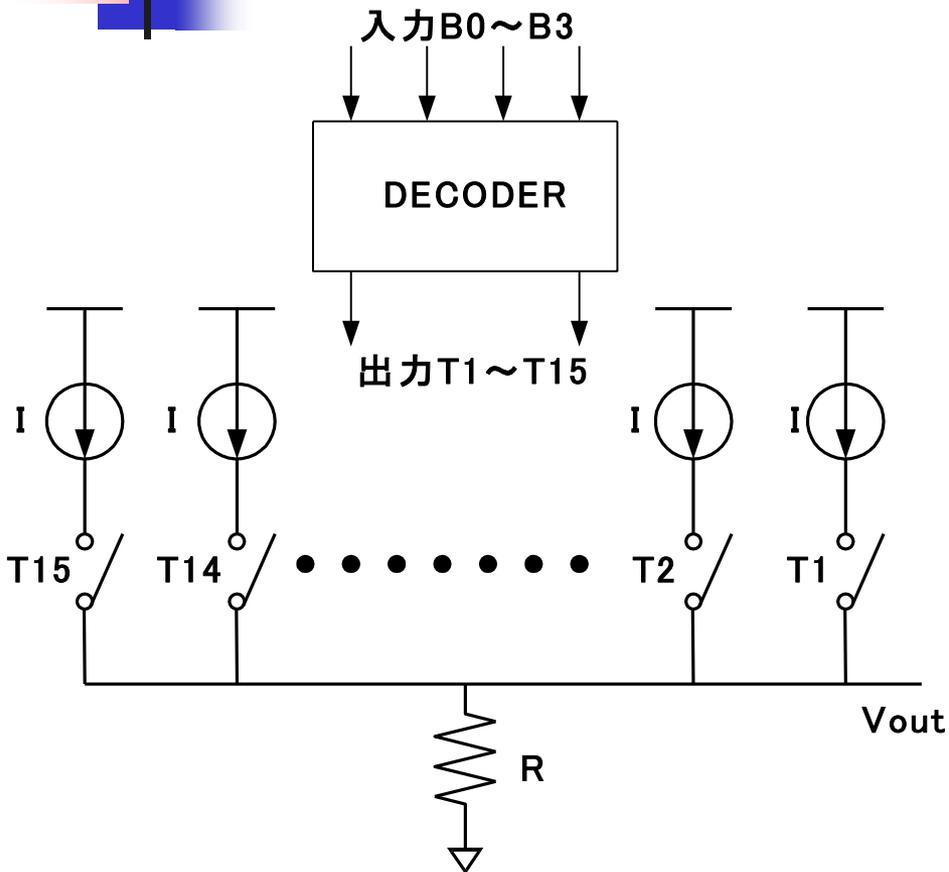


グラフィックディスプレイ用 DA変換器におけるグリッチの影響



全ての
アプリケーションで
グリッチが問題に
なるわけではない。

セグメント型DA変換器



4bitセグメント型DA変換器

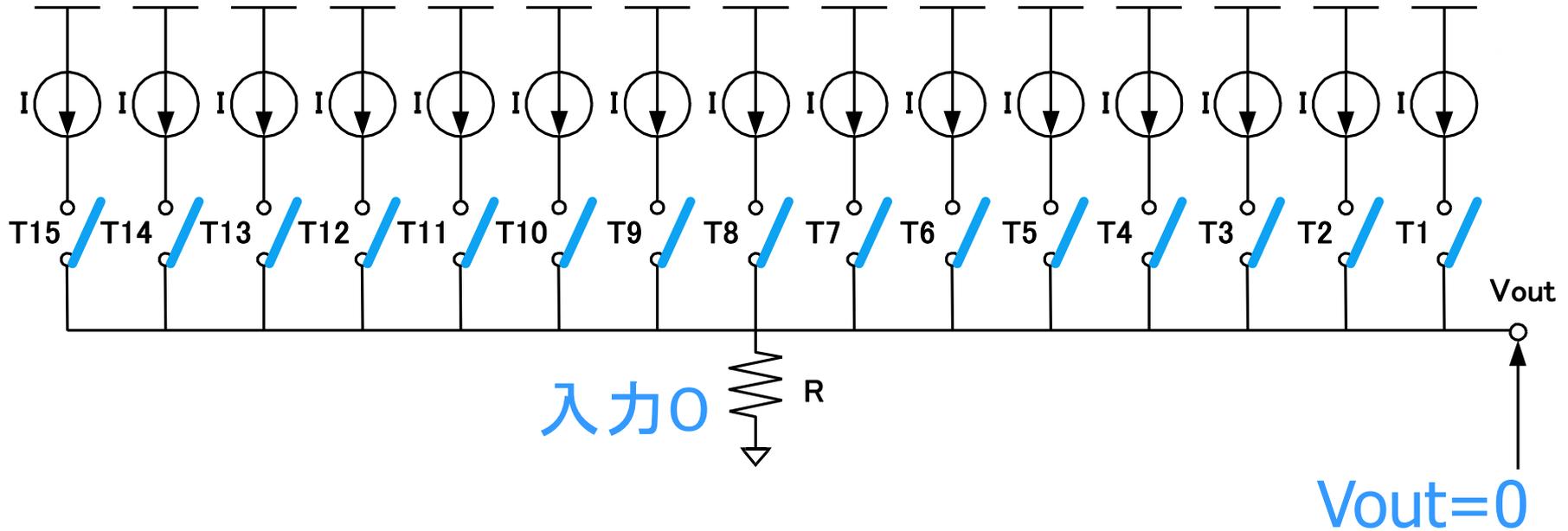
● メリット

- ・グリッチが小さい
- ・入出力間の単調性が確保できる

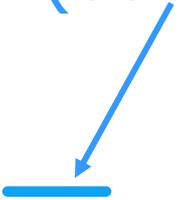
● デメリット

- ・回路規模が大きい
- ・サンプリング速度がやや低下する

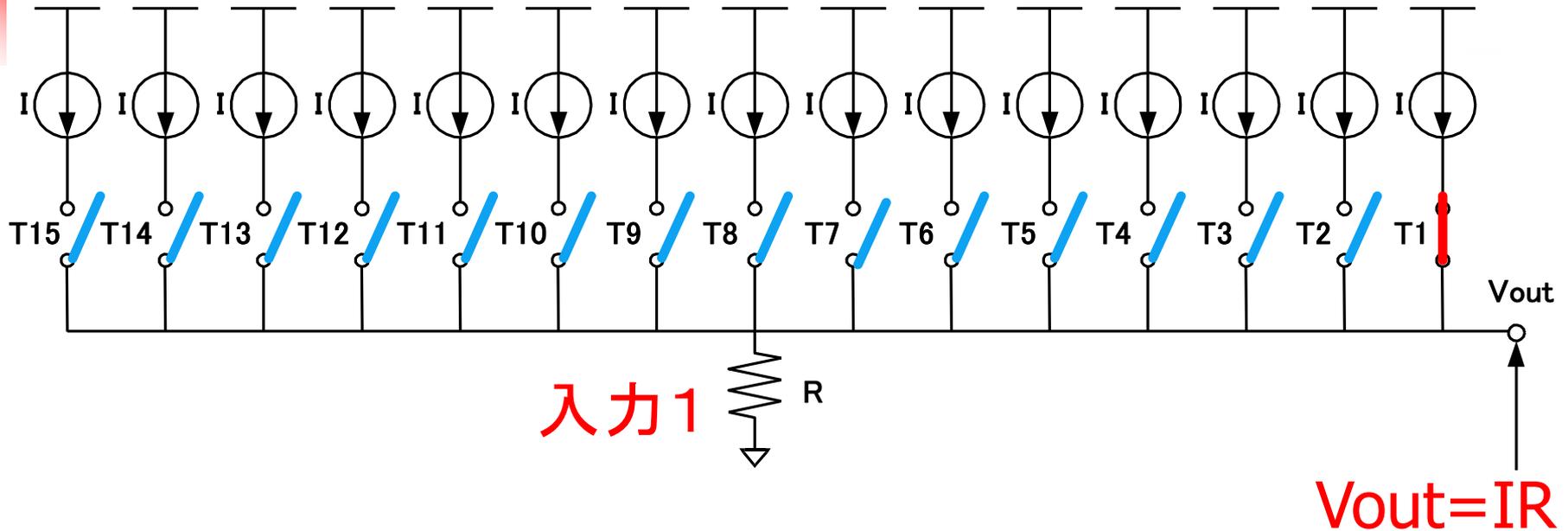
セグメント型DA変換器の動作



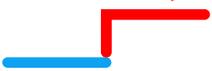
(0000000000000000)



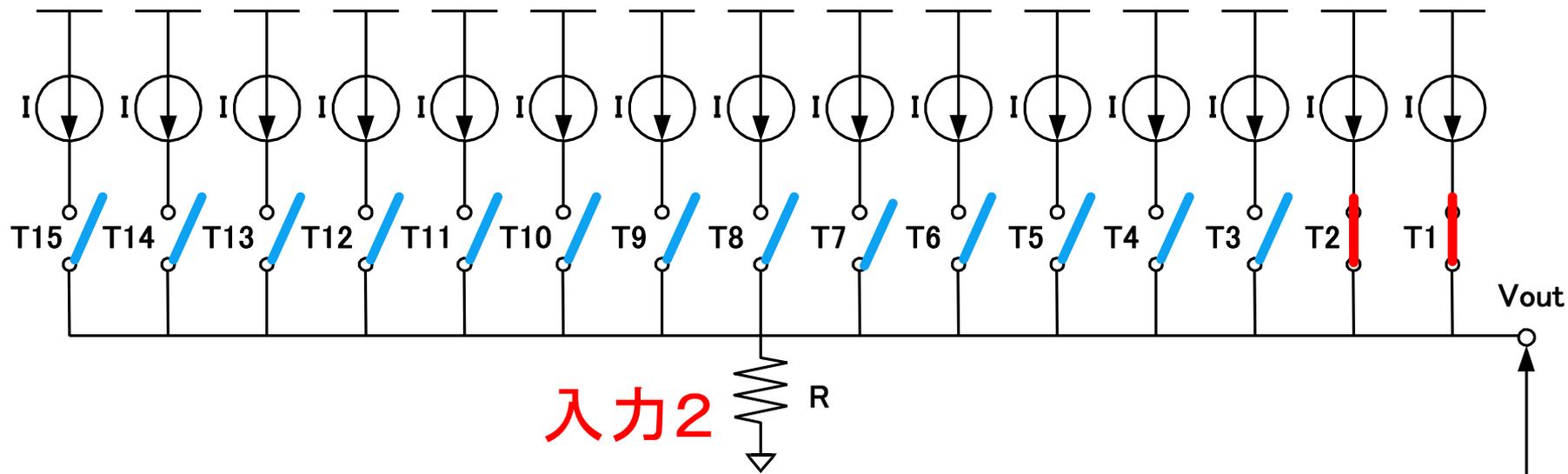
セグメント型DA変換器の動作



(0000000000000001)

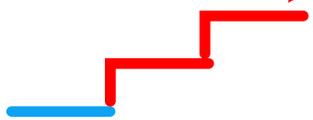


セグメント型DA変換器の動作

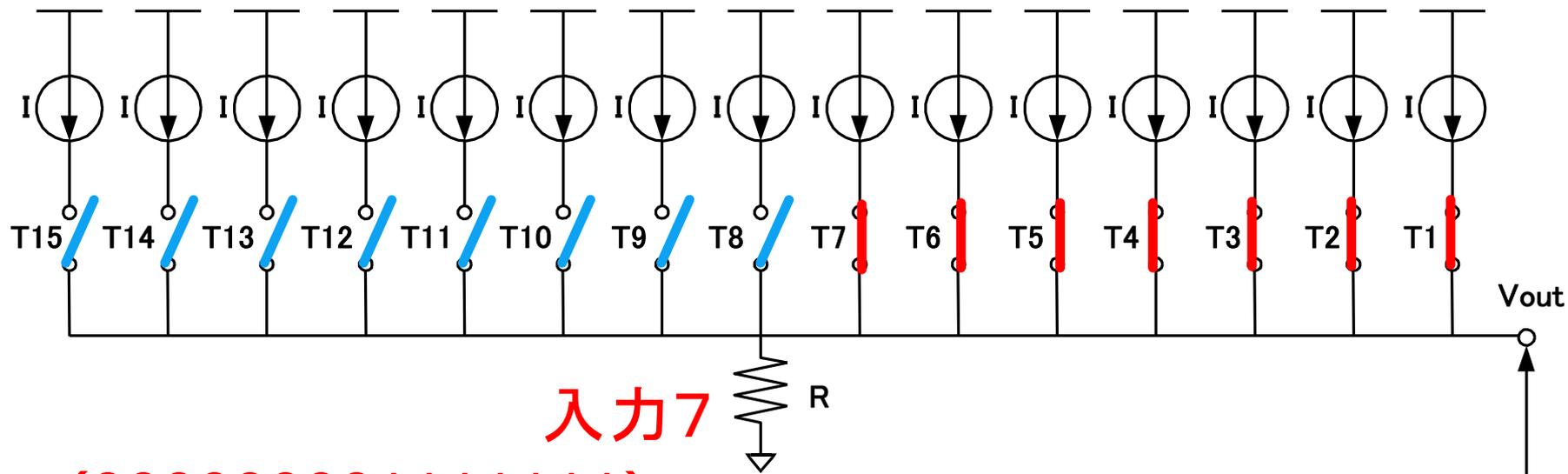


$$V_{out} = 2I R$$

(0000000000000011)



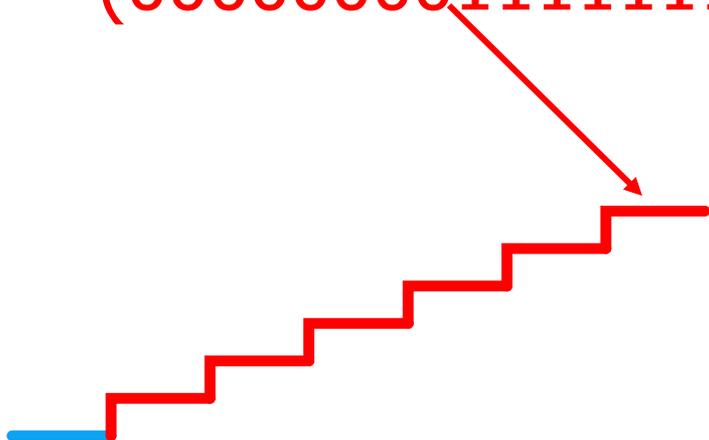
セグメント型DA変換器の動作



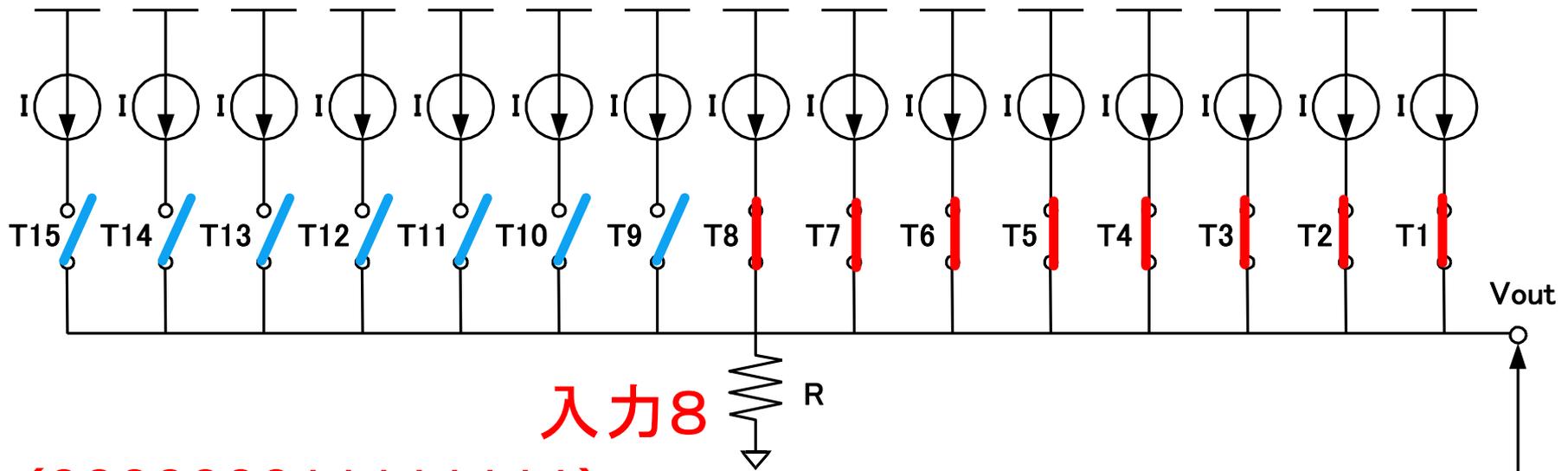
入力7

(000000001111111)

$V_{out} = 7I R$



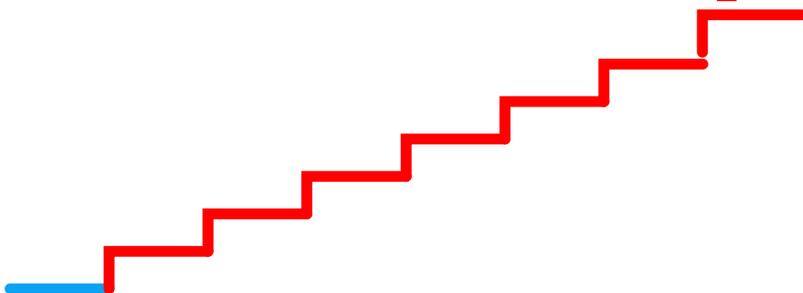
セグメント型DA変換器の動作



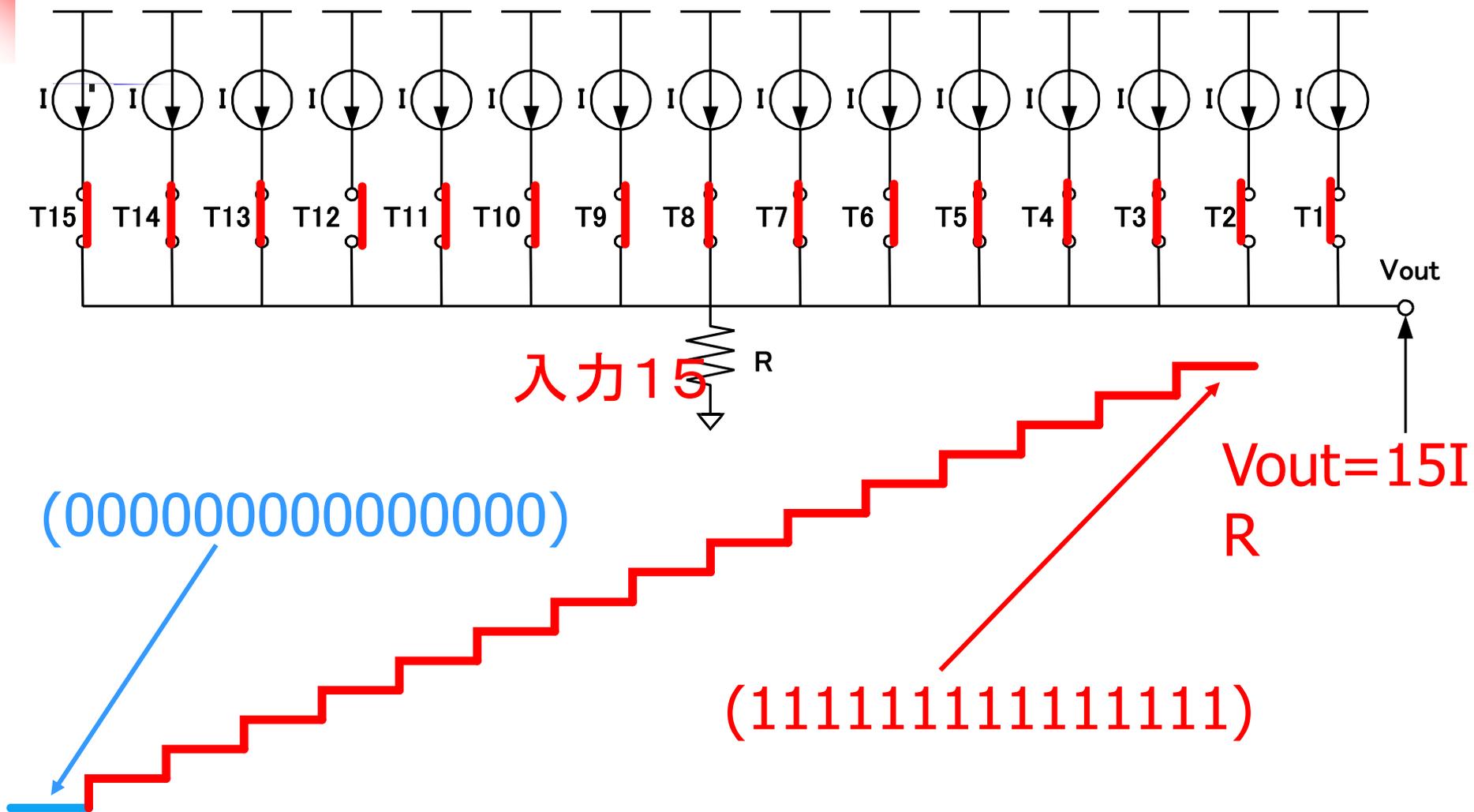
入力8

(000000011111111)

$V_{out} = 8I R$

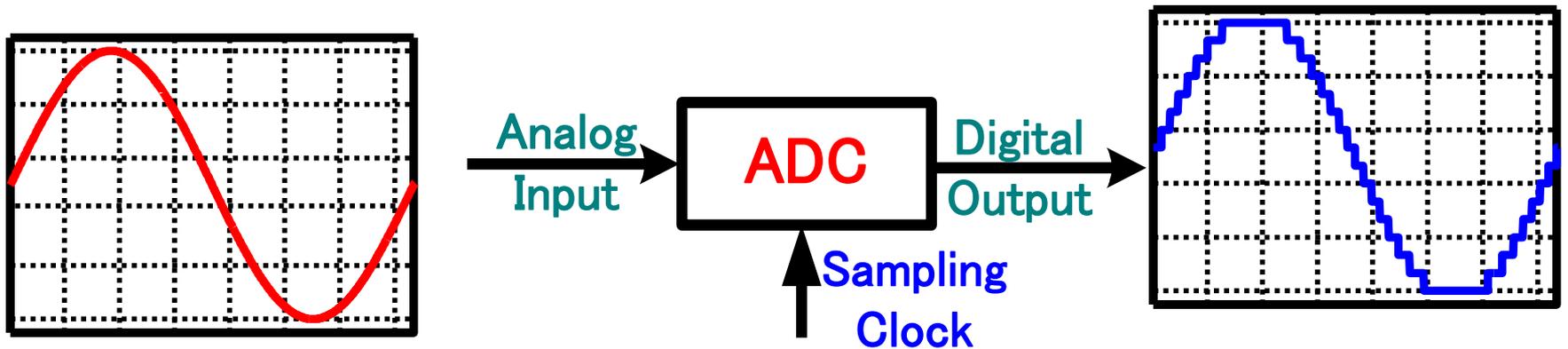


セグメント型DA変換器の動作



AD変換器

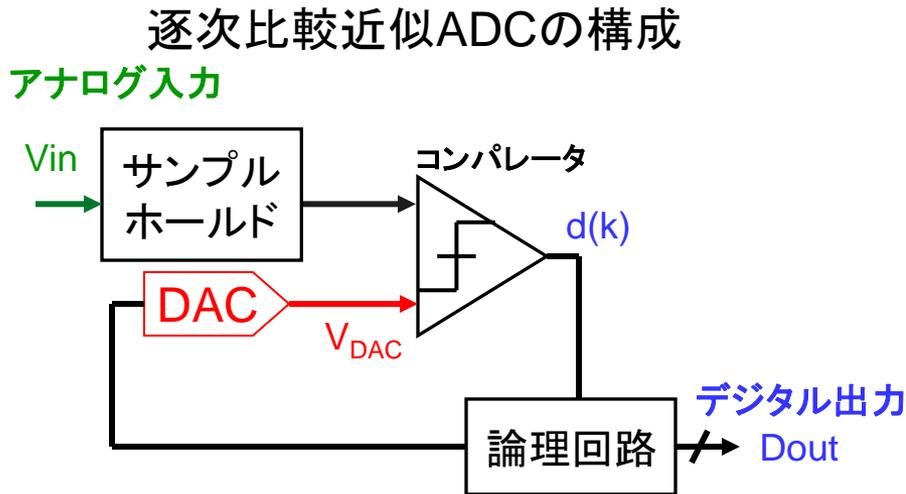
n アナログ信号（電波、音声、電圧、電流等）をデジタル信号（0, 1, 1, 0, ...）に変換する回路。



- 連続信号 → 離散信号
⇒ デジタル信号処理が可能

逐次比較近似ADC

逐次比較近似ADCの動作

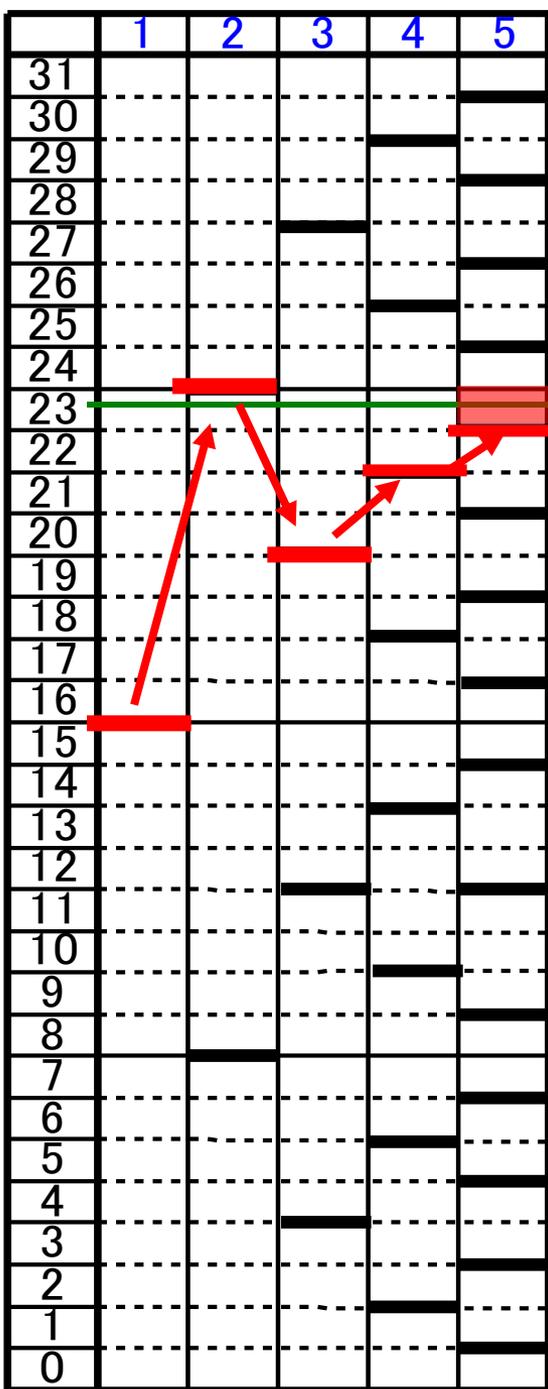


$$\begin{aligned}
 \text{Dout} &= 4d(1) + 2d(2) + 1d(3) \\
 &= 4 + 1 \\
 &= 5
 \end{aligned}$$

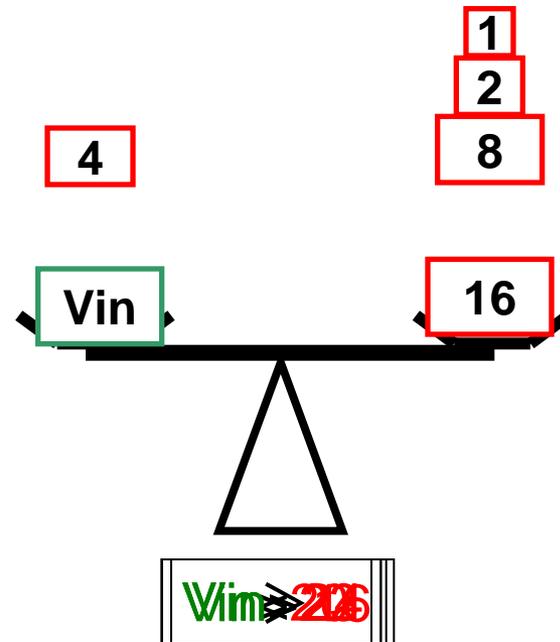
入力5.3

比較サイクル レベル	1	2	3	出力コード Dout
7				111
6				110
5		0	1	101
4	1			100
3				011
2				010
1				001
0				000

2進探索アルゴリズム動作 5ビット



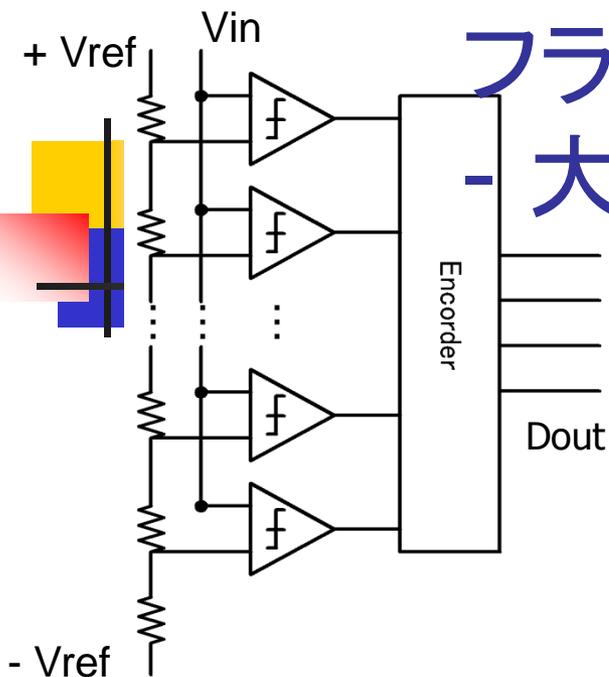
動作例: アナログ入力 23.5
のとき



$$\boxed{\text{Vin}} = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 8 \\ 16 \end{matrix} - \boxed{4} = \boxed{23}$$

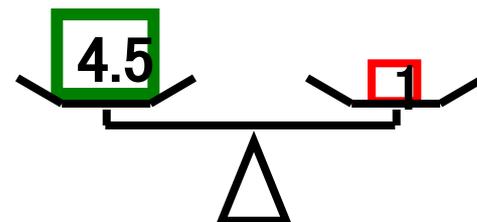
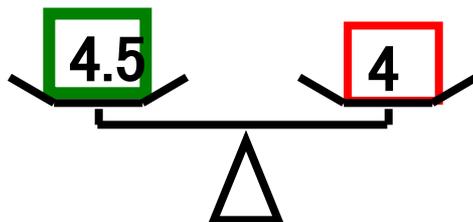
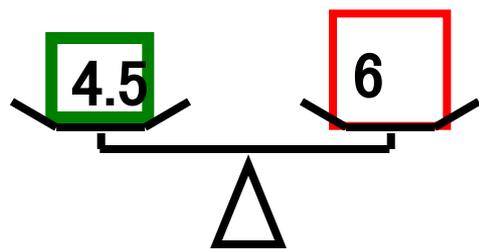
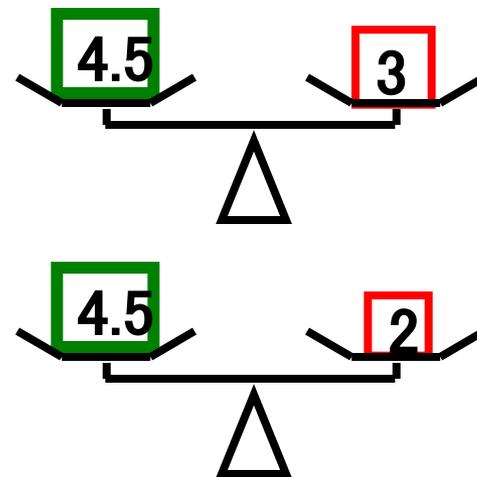
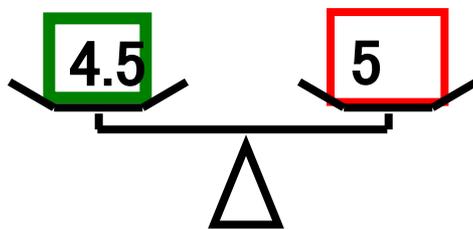
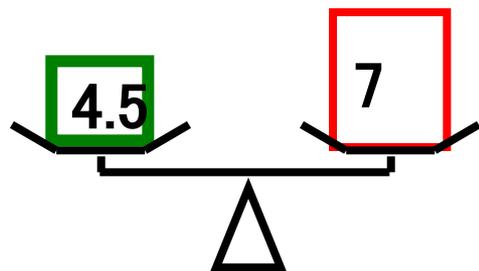
フラッシュ型ADC

- 大きな冗長性の回路 -



全ての重さの分銅と
それを載せる天秤を用意

入力Vin 4.5



フラッシュ型ADCへの見方

「フラッシュ型ADCは無駄な回路が多く賢い構成ではない」
「6bit フラッシュADC など目をつぶっても実現できる」



「フラッシュ型ADCは偉大な構成」

- 低分解能・超高速ADCのアーキテクチャとしてフラッシュ型を超えようとして、(公表されてないが、まわりで) いくつかの研究が失敗している (UCLA Abidi 先生)
- 産業界で フラッシュ型は生き残っている。

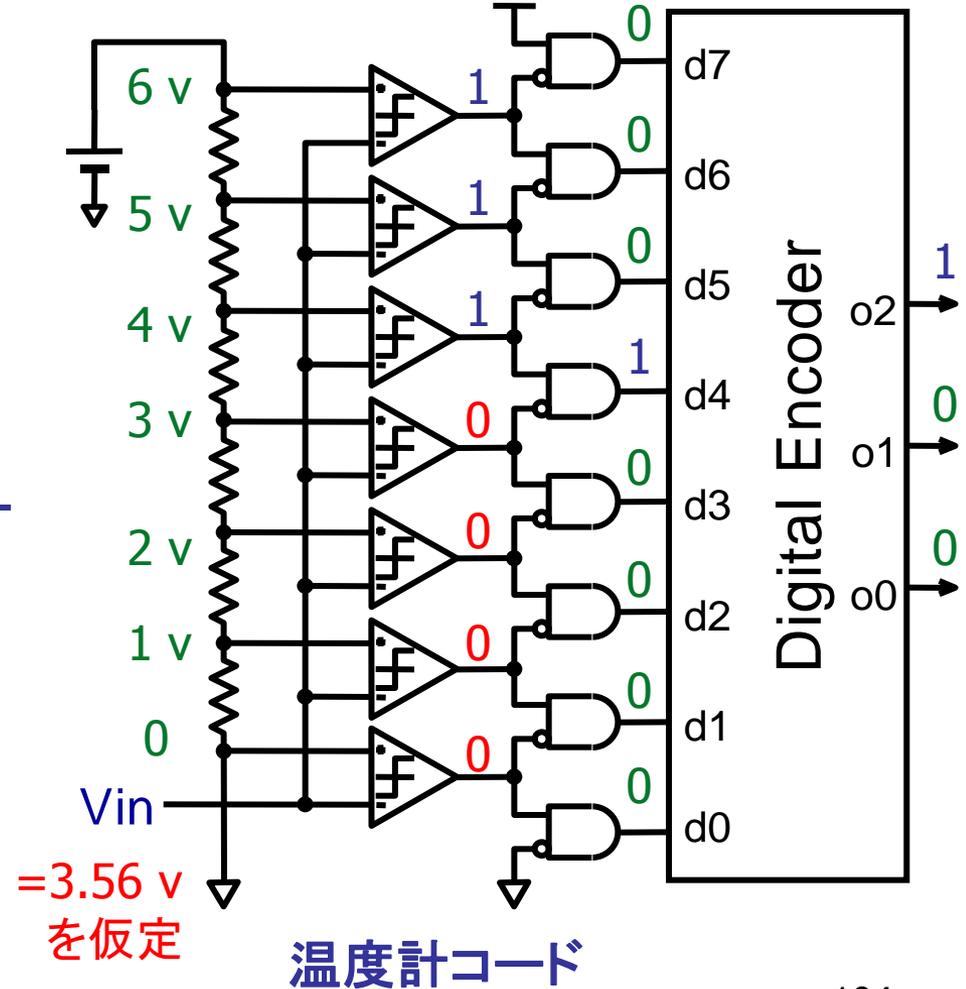
フラッシュADC

長所 : 高速

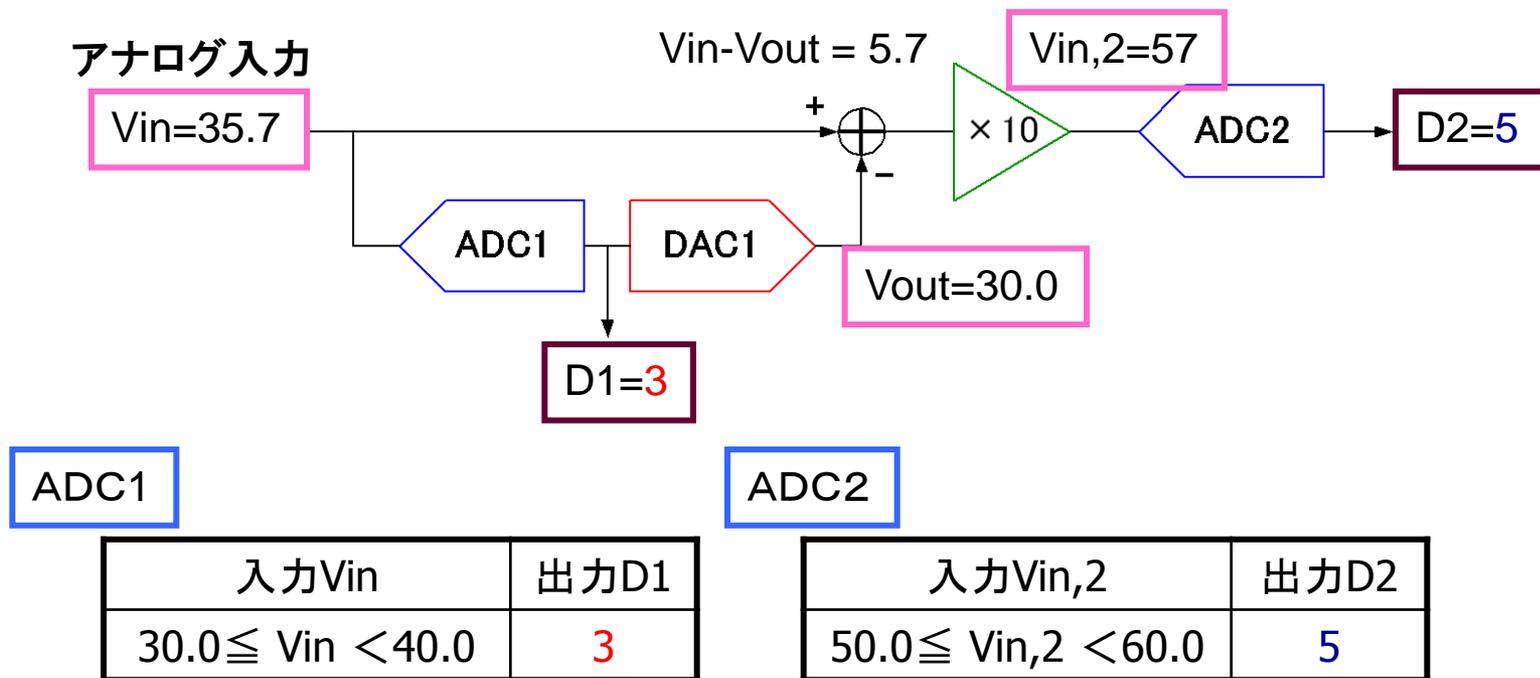
短所 : 回路量 大
消費電力 大
入力容量 大

Encoder 真理値表

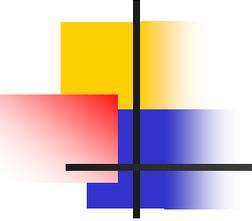
d7	d6	d5	d4	d3	d2	d1	d0	o2	o1	o0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1



パイプラインADC



出力 $D_{out}=3 \times 10+5=35$



レポート課題

この講義で学んだことをベースに
DSP, AD/DA変換器について調べ、
その内容をA4レポート用紙に
DSPについて1枚
AD/DA変換器について1枚
にまとめよ。

提出は次回の小林の講義(2012年1月31日(火))