

基礎電子情報理工学I

- 「工学」とは何かを考えよう
- デジタル信号処理チップ

小林春夫

群馬大学 理工学府 電子情報部門

koba@gunma-u.ac.jp

<http://www.el.gunma-u.ac.jp/~kobaweb/>



基礎電子情報理工学I

- 「工学」とは何かを考えよう
- デジタル信号処理チップ



「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



円周率の工学設計での使用桁数

$\pi = 3.14159\ 26535\ 89793\ 23846\ 26433\ 83279\ 50288\ \dots$

小惑星探査機「はやぶさ」 16桁

指輪の制作工房 3桁

砲丸の工場 10桁

陸上競技場のトラック 5桁

タイヤメーカー 企業秘密

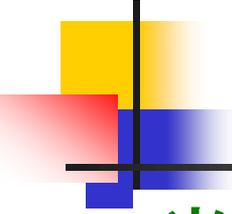
モノづくりにおいて精度が重要

(桜井進氏)



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」

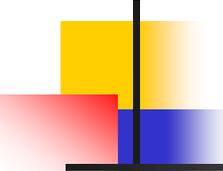


社会の変化、時代の流れを見よ

「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)

「お客さんの言うとおりのものを作るのは
Custom Made である。

Customer Oriented とは お客さんが口には
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)

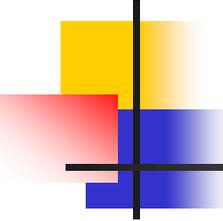
➡ 理工系で世界でトップ

(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)¹⁷



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。

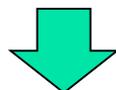
「産業の匂い」を知る

UCLAからの起業

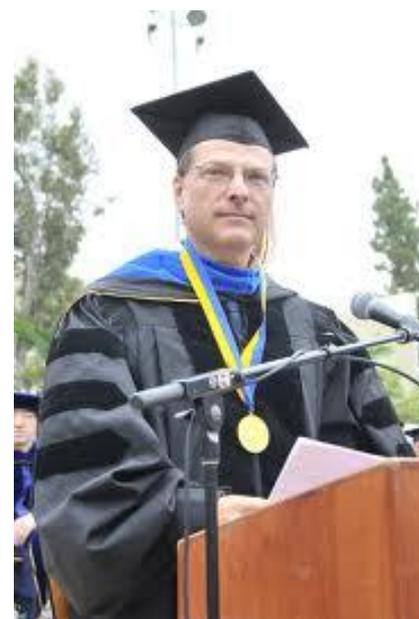
Prof. Henry Samueli

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





基礎電子情報理工学I

- 「工学」とは何かを考えよう
- デジタル信号処理チップ



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)

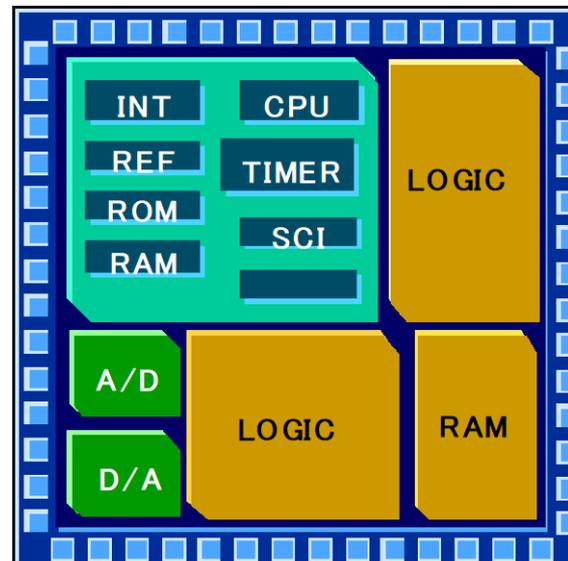
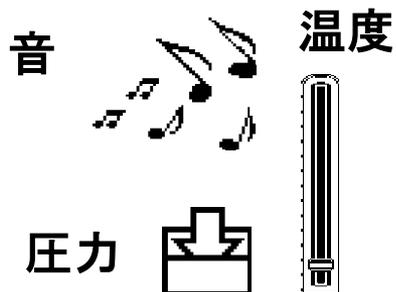
DA変換器: デジタル・アナログ変換器

(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

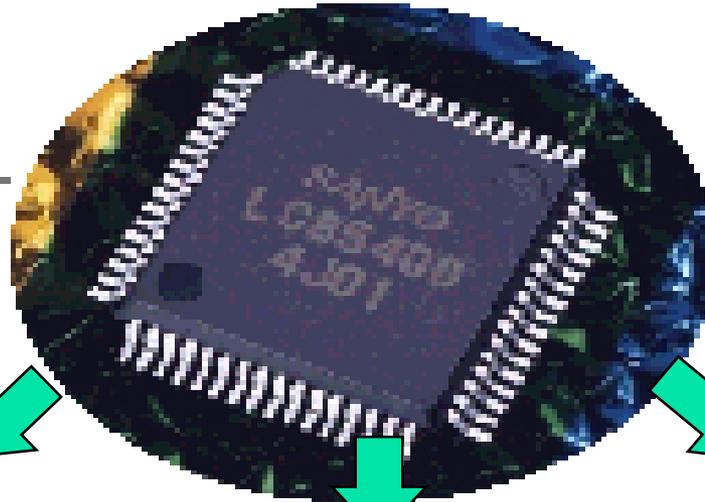
コードレス留守番電話



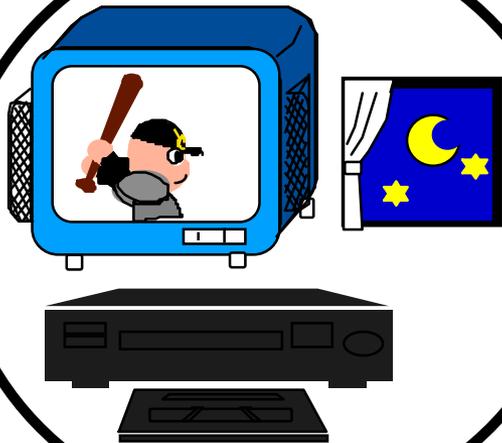
―― 特長 ――

- ・ 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。

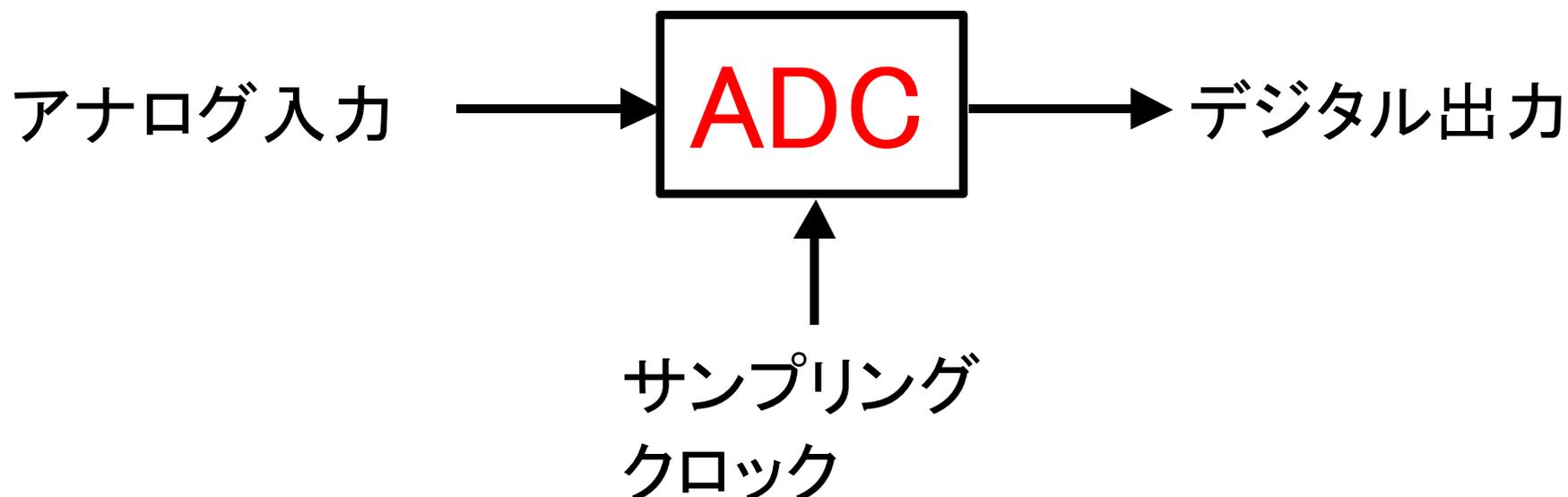
DSPで実行するアルゴリズムは専用のコンピュータを使うことが多い。

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」

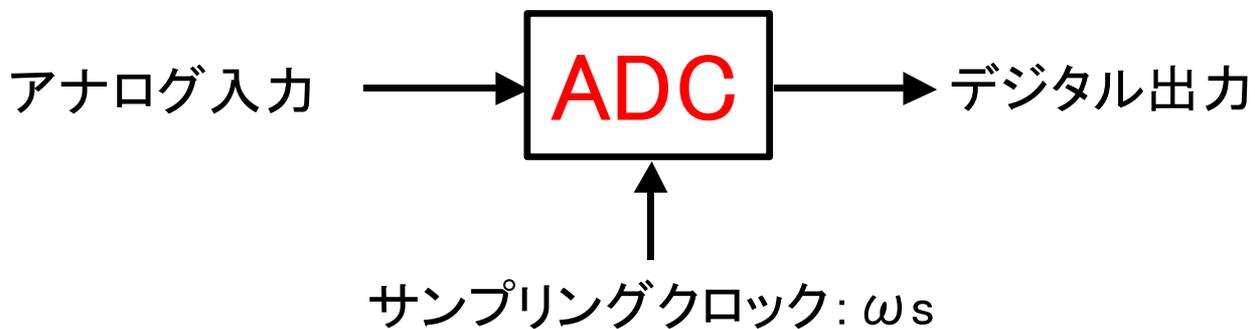
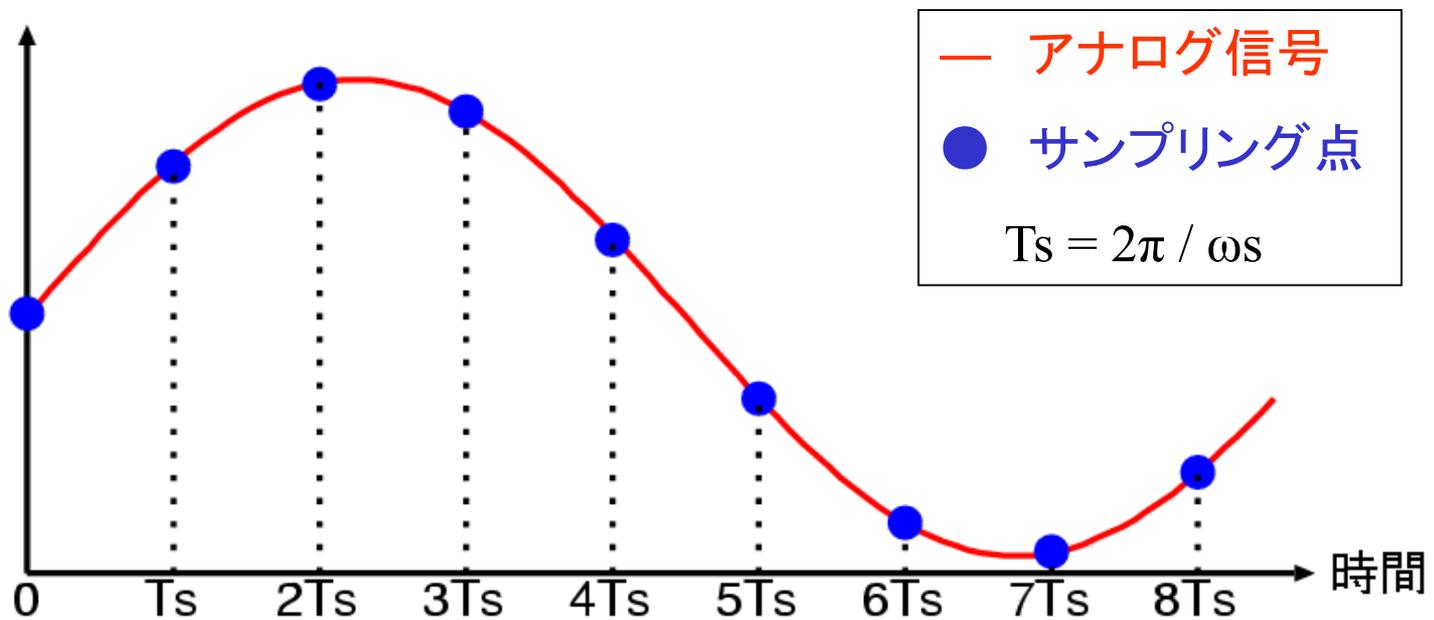
デジタル信号

離散的・数値で表現された信号

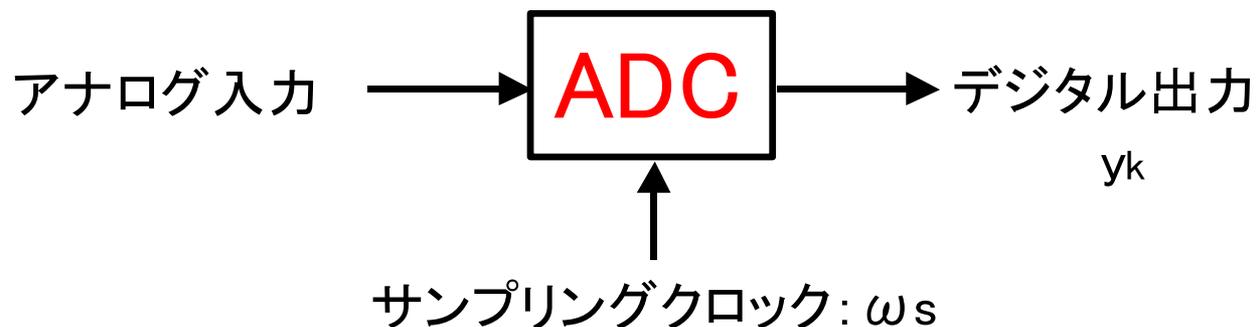
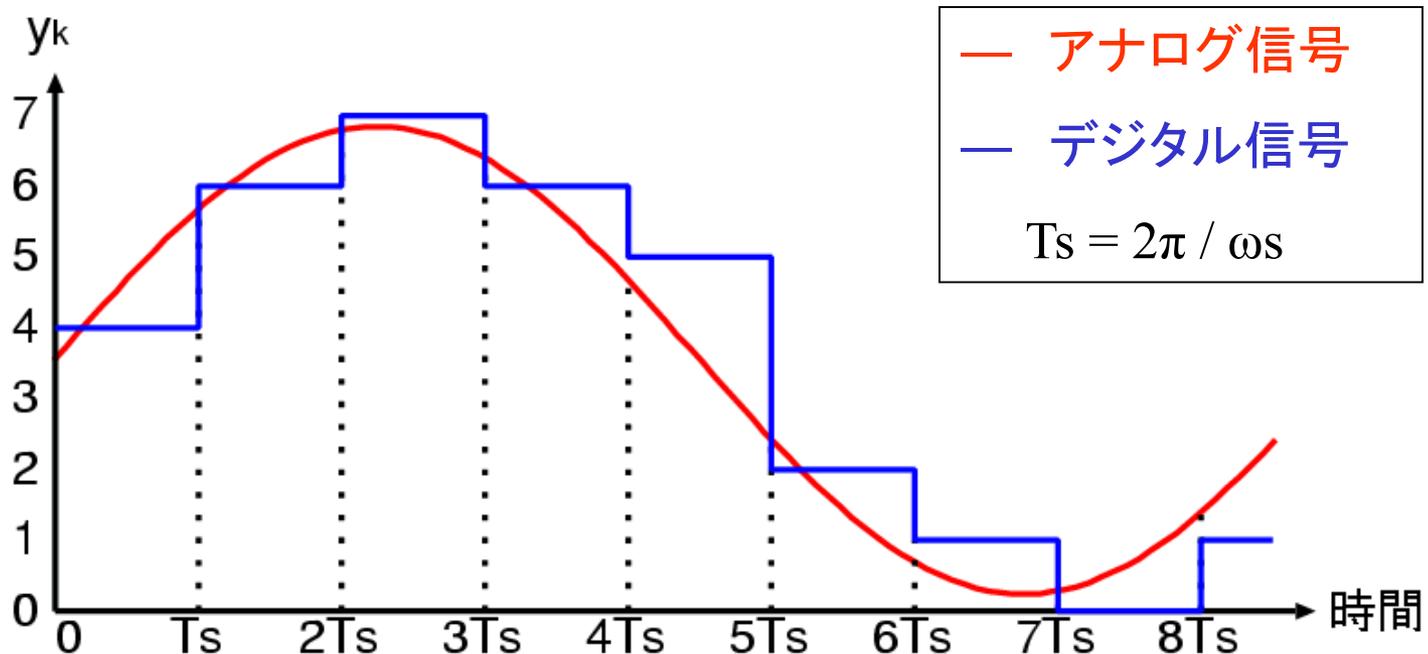
例：コンピュータ内での2進数で表現された信号
デジタル時計（精度がよい）

「階段」

時間の量子化 (サンプリング)

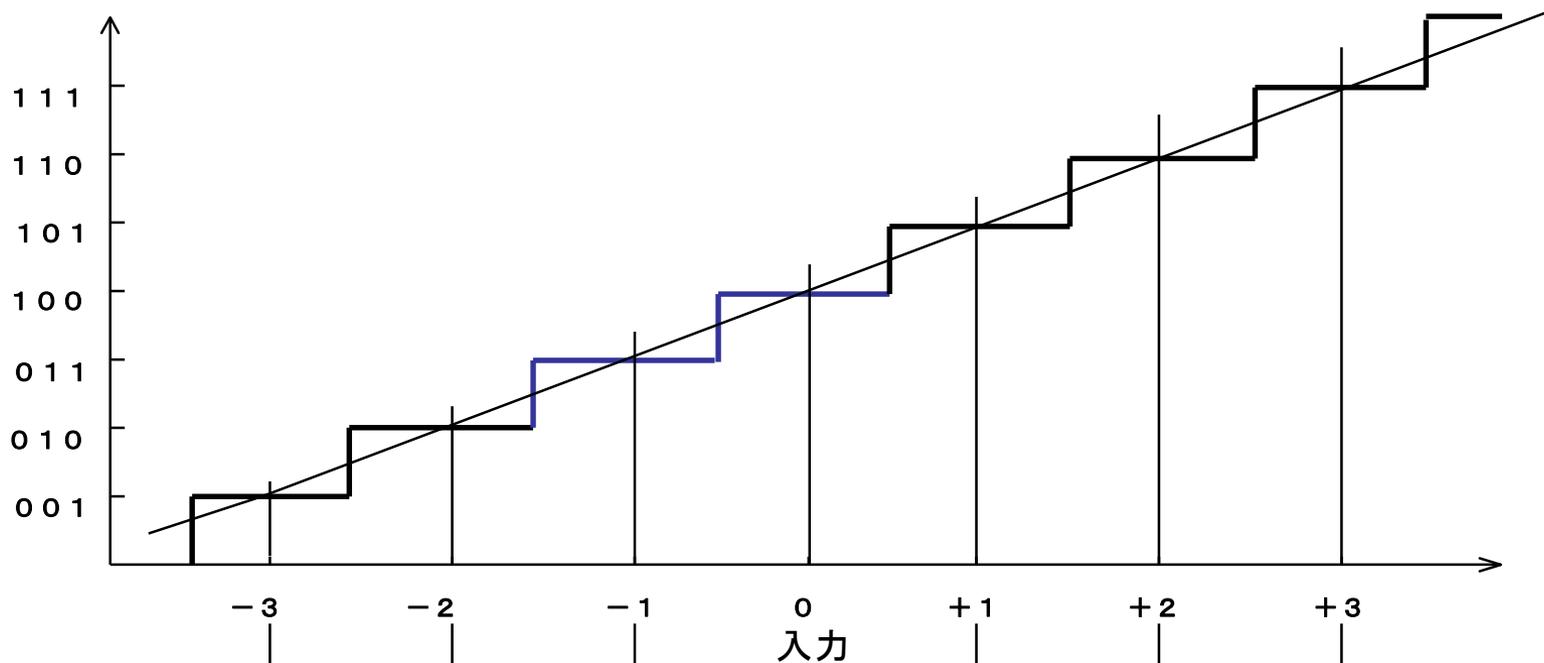


空間の量子化 (信号レベルの数値化)

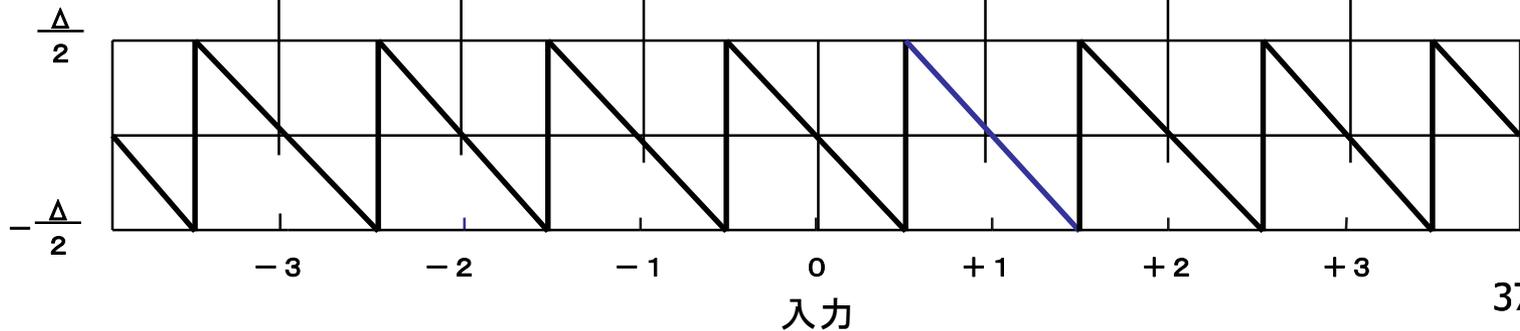


理想 A/D 変換器の量子化誤差

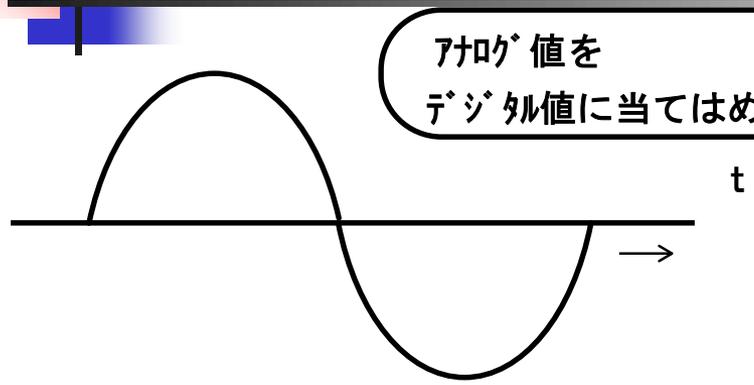
出力コード(3ビット)



量子化誤差

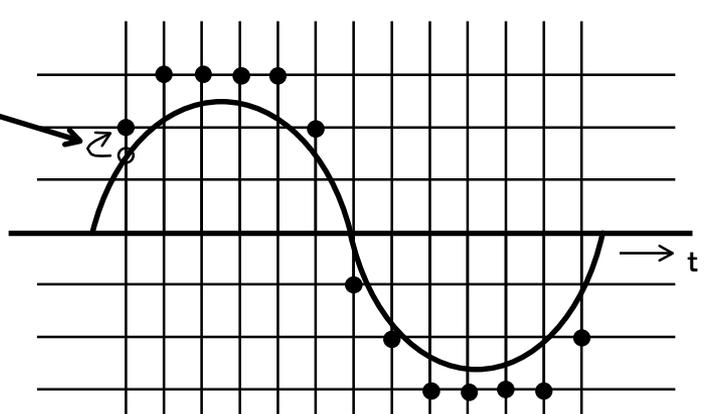


アナログ -> デジタル 変換波形



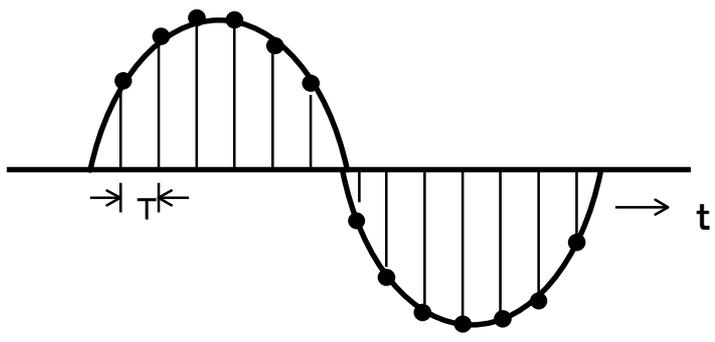
(a) アナログ入力

アナログ値を
デジタル値に当てはめる

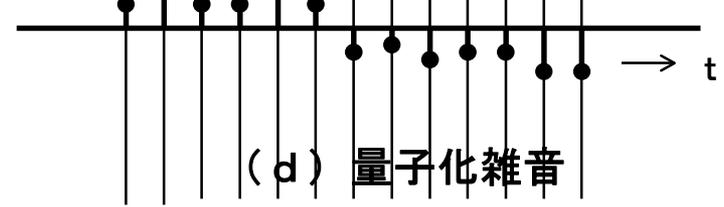


(c) 量子化

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



(b) 標本化



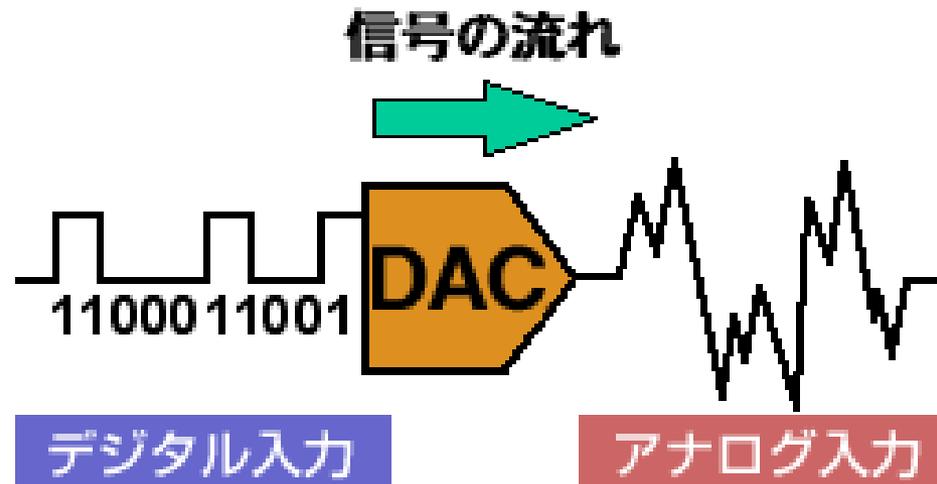
(d) 量子化雑音

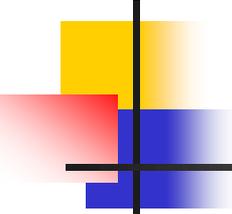
MSB	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
LSB	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0

(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





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。

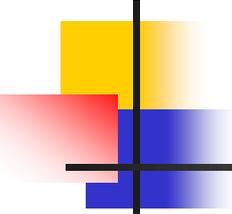
アナログ信号処理は

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

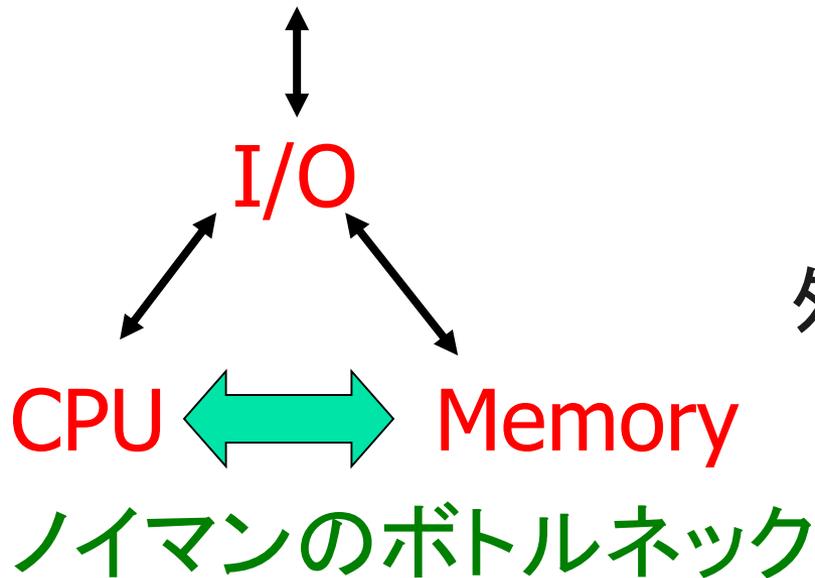
+ add

− 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



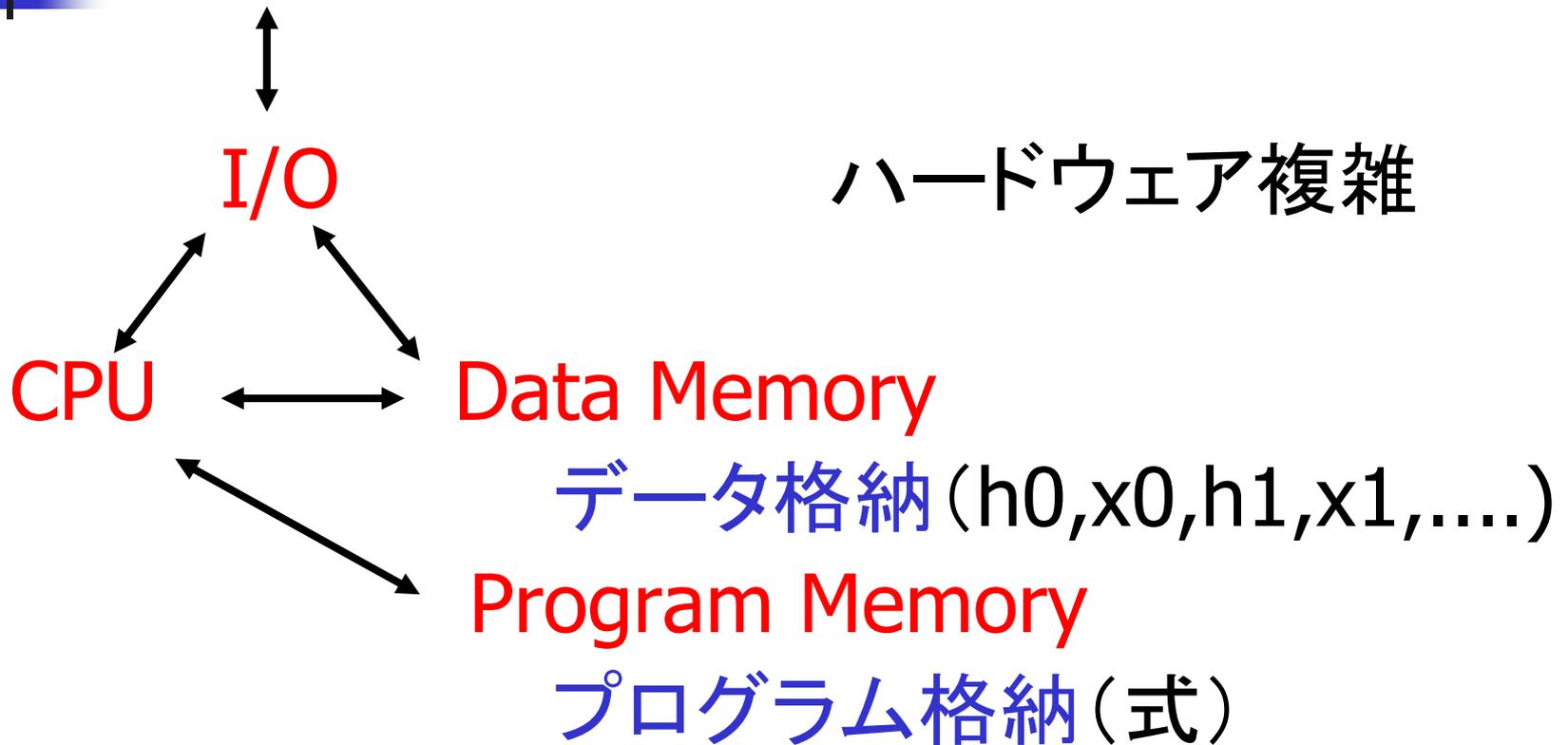
I/O: Input/Output
外部とのデータの入出力

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

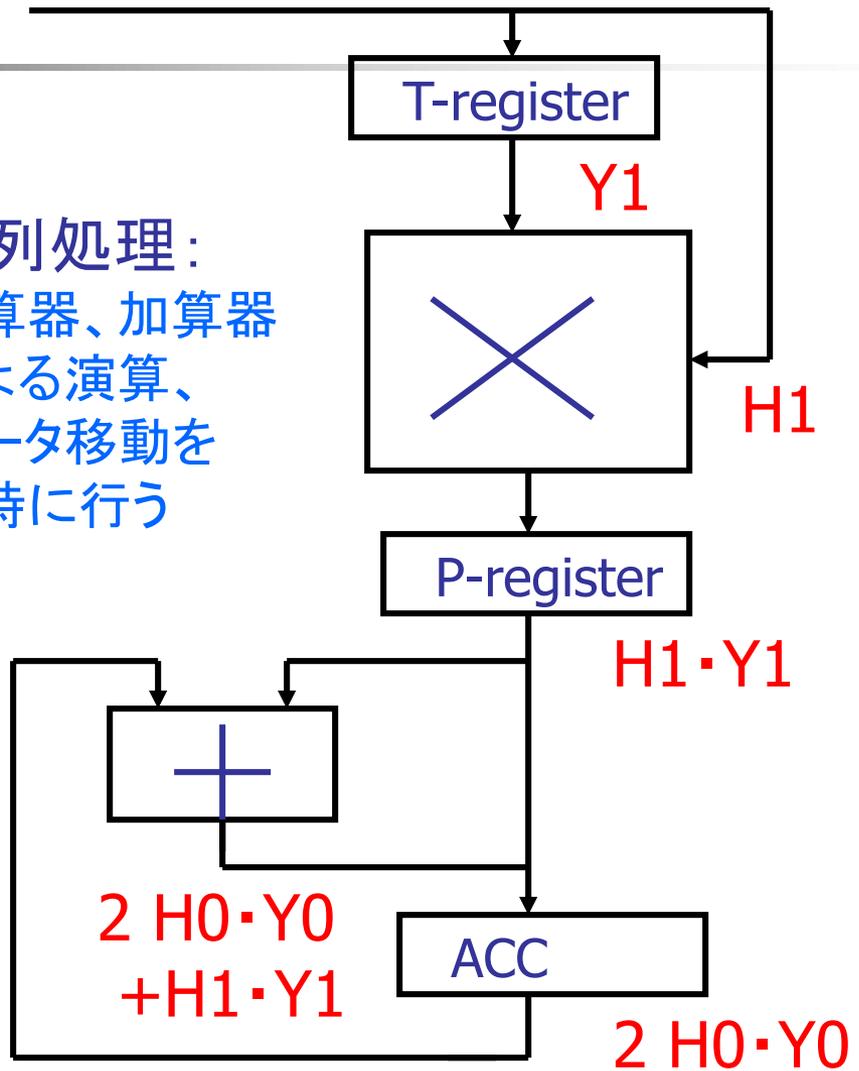
アドレス

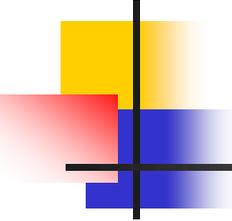
0000

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？

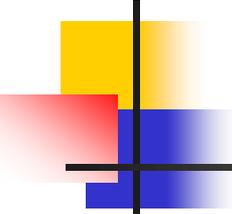
2つの状態は電子回路で実現しやすい。

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

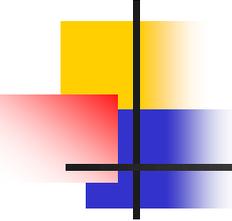
例 16進で3桁

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

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)

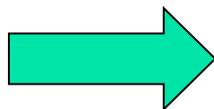
- 理工系大学院生の問題を解くのは得意

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

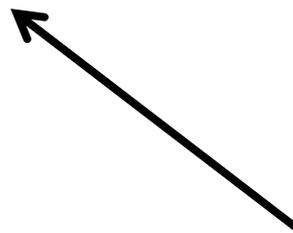
機械語(0,1)

東京標準語

コンパイラ
(通訳)



アセンブラ
(通訳?)



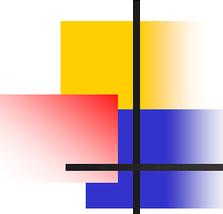
プログラマ
(人間)

高級言語
(C言語等)
英語

アセンブラ言語
大阪弁

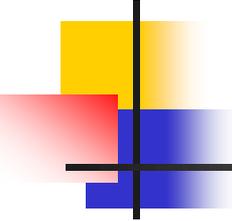
高級言語、アセンブラ言語、 機械語 (2)

- 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)がかけられる。
- 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

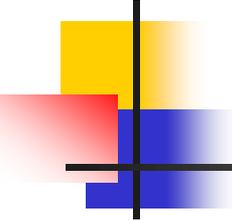


プログラミングと水泳

「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。

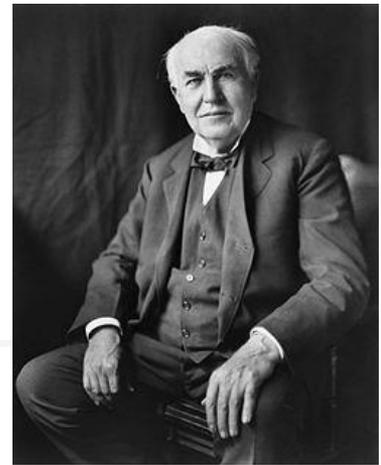


まとめ

- 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。

トーマス・アルバ・エジソン

Thomas Alva Edison 1847-1931



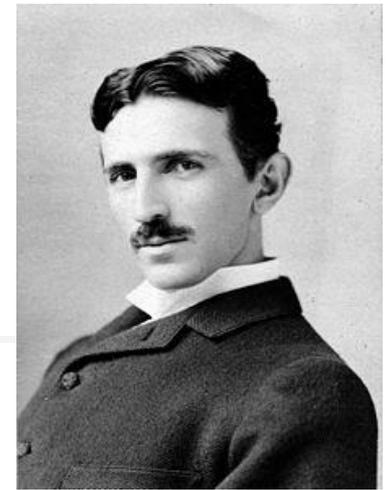
- アメリカ合衆国の発明家、起業家
- 約1,300もの発明
- 人々の生活を一変させる重要な発明を多数
蓄音器、白熱電球、活動写真等
- 発電から送電までを含む電力システムの事業化に成功
- Edison General Electric Company（現在のGE社）の
設立者

Genius is one percent inspiration, 99 percent perspiration.

(天才は1%のひらめきと99%の汗)

ニコラ・テスラ

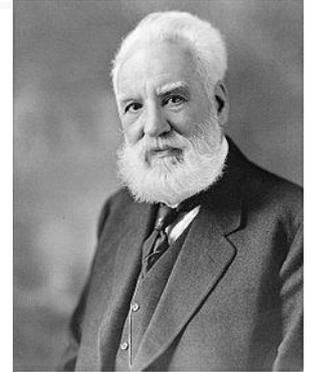
Nikola Tesla 1856-1943



- オーストリア帝国(現 クロアチア)の電気技師、発明家。
- 交流電流、ラジオ、無線トランスミッター、蛍光灯
空中放電実験で有名なテスラコイルなど多数の発明
- 世界無線送電システムを提唱
- エジソンと直流送電、交流送電で確執
- 磁束密度の単位「テスラ」にその名を残す
- スイッチング電源回路、電気自動車関係でもその名にちなんで命名されているものもある

アレクサンダー・グラハム・ベル

Alexander Graham Bell 1847-1922



- スコットランド(エジンバラ) 生まれ
- 科学者、発明家、工学者
- 実用的電話の発明
- 光無線通信、水中翼船、航空工学等の分野で業績
- 1877年 ベル電話会社を設立

「ベルが電話を発明したとき、市場調査などしたか。」
(Steve Jobs, Apple社)

グリエルモ・マルコーニ

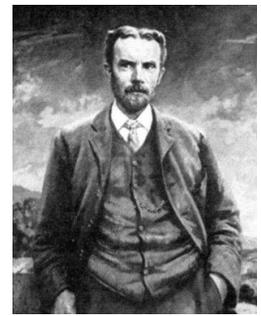
Guglielmo Marconi 1874-1937



- 伊の無線研究家、無線電信の開発で知られる。
- マルコーニ無線電信会社を創立。
- ノーベル物理学受賞（無線通信発展に貢献）
- 無線電信システム開発で革新的原理を発見したわけではなく、個々の部品を改良・組み合わせてシステムを構築・長距離無線中心を成功 との評価
- 太平洋横断無線通信への寄与
- タイタニック号遭難時に同社社員が救難信号送信

オリヴァー・ヘヴィサイド

Oliver Heaviside 1850 - 1925



- イギリスの電気技師、物理学者、数学者
- 電気回路での複素数の導入
インピーダンスの概念の導入、
「ヘヴィサイドの演算子法」の開発
- インダクタンスやコンダクタンスなど、
回路理論用語のいくつかを提唱
- ベクトル解析とベクトル演算を発明
- マクスウェル方程式： 当時は20の式から構成
現在の4つのベクトル形式の式に直す

ジェームズ・クラーク・ マクスウェル

James Clerk Maxwell 1831 -1879



- イギリスの理論物理学者
- マイケル・ファラデーの電磁場理論をもとに
1864年 マクスウェルの方程式を導出
→ 古典電磁気学を確立。
- 電磁波の存在を理論的に予想。
伝播速度が光速と同じ、横波であることを示す。
- 土星の環、気体分子運動論、熱力学、統計力学
などの研究

「マクスウェルの悪魔」

→ 熱力学、統計力学、情報科学の根本問題