

デジタル回路

ソフトウェア情報学部

担当: 山田 敬三

教員紹介

- 山田 敬三(やまだ けいぞう)
 - 情報システム構築学講座(佐々木研)・講師
- 1. 1972年 兵庫県西宮市 生
- 2. 1991年 私立 三田学園高等学校 卒業
- 3. 1995年 九州工業大学 情報工学部 卒業
- 4. 1997年 九州工業大学 大学院(情報科学専攻) 博士前期課程 修了
- 5. 2000年 九州工業大学 大学院(情報科学専攻) 博士後期課程 修了
 - 「型理論に基づく高次推論処理に関する研究」
- 6. 2000年 九州工業大学 情報工学部 助手
- 7. 2006年9月～ 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部
 - 専門: 自動推論 → 意思決定支援
 - 担当科目: 計算モデル論, アルゴリズム論 など
 - 趣味: 数学(数学検定1級), 合気道(秀心流 三段, 心身統一 1級)

教科書・参考書

- 教科書(準備すること)

1. 島田正治, 穂刈治英, 安川博, 塩田宏明:
「デジタル電子回路」, 朝倉書店

- 参考書

1. 伊原充博, 若海弘夫, 吉沢昌純:
「デジタル回路」, コロナ社
2. 村田正幸, 長谷川剛:
「コンピュータネットワークの構成学」, 共立出版
3. 高橋寛, 関根好文, 作田幸憲:
「デジタル回路」, コロナ社
4. 齊藤忠夫:
「デジタル回路」, コロナ社
5. 浅井秀樹:
「デジタル回路演習ノート」, コロナ社

単位認定

- 出欠について:原則として, 毎回出席すること
 1. 提出物 7 割以上:成績評価を行う
 2. 提出物 7 割未満:演習・試験の得点に関わらず不可

- 成績評価:100点満点中60点以上で合格
 1. 提出物:40点
 2. 期末試験:60点

単位と学修時間

- 大学における単位の定義
 - 大学設置基準(文部科学省令)
 1. 「1単位の授業科目を45時間の学修を必要とする内容をもって構成することを標準とし」
 2. 「講義及び演習については、15時間から30時間までの範囲で大学が定める時間の授業をもって1単位とする」
- 本講義の場合
 - 2単位: 90時間の学修を必要とする内容
 - 講義時間は2時間×15回=30時間
 - 90分の授業を2時間とみなすのが一般的
 - 講義時間外に60時間ほど(講義時間の倍)の予復習が期待されている

心構え

1. 授業前(90分):
 - テキストと動画で予習をし, ノートをとること.
(<http://p-www.iwate-pu.ac.jp/~k-yamada/>)
2. 授業中(90分):
 - 集中して講義を聞き, 友達とよく議論すること.
3. 授業後(90分):
 - 演習問題を含む, 復習すること.
4. 解らないことは, 「**学習支援コーナー**」で相談する(要予約).
<https://www.facebook.com/ipuSLA/>
それでも解決しないときは, 教員に相談する.

第1回 授業概説

講義の目標

1. アナログとデジタルの基本的な違いについて理解する
2. デジタル化の基本について理解する
 - なぜデジタル化するか？
 - どのようにデジタル化するか？
3. デジタル化された情報の量や、必要な通信速度が計算できる

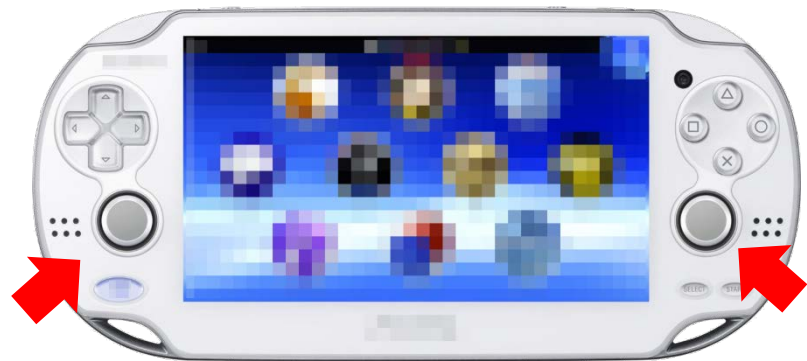
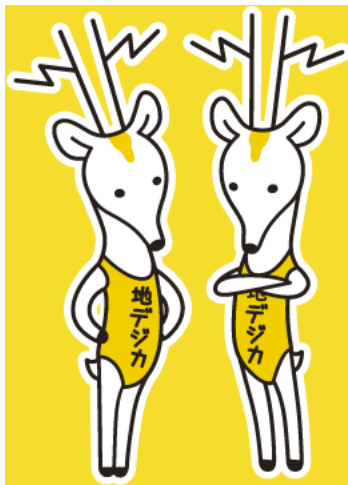
アナログとデジタル (1)



アナログ時計・デジタル時計



アナログ盤(レコードをCDと対比して)



アナログスティック(ゲーム機のコントローラ)
内部はデジタル

アナログ放送の終了・地上デジタル放送

http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/dtv/kihonjoho.html

アナログとデジタルの定義

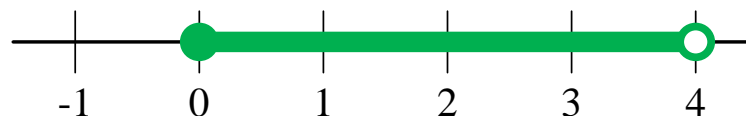
- アナログ (analog)
 - 物質・システムなどの状態を連続的に変化する物理量によって表現すること
- デジタル (digital) 「デジタル」
 - 物質・システムなどの状態を、離散的な数字・文字などの信号によって表現すること

三省堂「大辞林」第2版 より

連続的・離散的

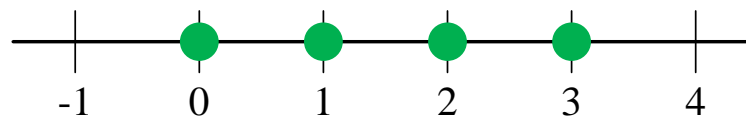
- 連続的な数値の範囲の例

$$0 \leq x < 4$$



- 離散的な数値の範囲の例

$$x \in \{ 0, 1, 2, 3 \}$$



アナログとデジタル (2)

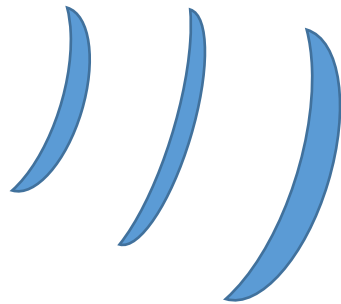


疑問:

1. 何故, 様々な分野でデジタル化が進められているのか?
(メリットは何か?)
2. 本来はアナログである(連続的な)ものを,
離散的な値として扱って問題はないのか?

録音・再生

ピアノ弦の振動: **アナログ**



空気の振動(音): **アナログ**



音の記録: フォトグラフ(1857年)
録音・再生: **蓄音機**(1877年)

蝋に刻んだ凹凸:
アナログ



http://en.wikipedia.org/wiki/Phonograph_cylinder

カセットテープへの録音・再生



PCへの録音・再生

※オーディオインターフェースは、
PCに内蔵されているものもある



アナログによる伝達・記録 (1)

- 長所:

1. 連続的に変化する物理量をそのまま別の物理量に変換することにより、様々な媒体でそのまま伝達・記録することができる
 - 空気の振動(空気の粗密の時間変化)
 - 刻まれた凹凸(溝の深さ)
 - 電気信号(電圧の時間変化)
 - 磁性体の残留磁化(磁場の強弱)

アナログによる伝達・記録 (2)

・短所:

1. 別の物理量が混ざるなど, 物理量が変化することを避けられない
 - ・ 周囲の音・電磁波(雑音に弱い)
 - ・ 記録媒体の変化(劣化する)
2. 変化した物理量から, 元の物理量に戻すことができない
3. 分割やその他の加工が難しい場合がある
 - ・ 長い音楽を短時間しか記録できない媒体に分割して録音した後, 連続して再生したい場合
 - ・ 音楽を録音した後に, 無音部分を取り除きたい場合
4. 扱う機器が高コストになりやすい
 - ・ 現実には, 物理量を「そのまま」変換することは難しい
 - ・ 雑音に弱いため, 対策が必要

デジタルによる伝達・記録

・長所

1. 物理量が変化しても, ある程度は復元できる
2. 連続的な変化を任意の場所で分割することが出来るなど, 加工が容易
 - ・ 電話音声の時分割多重交換
 - ・ 圧縮技術の適用
3. 扱う機器を低コストで作れる場合がある

・短所

1. 離散的な表現であるため, 連続的に変化する物理量を, そのまま伝達・記録することができない
 - ・ 離散的な変化の表現(標本化)
 - ・ 離散的な物理量の表現(量子化)
2. 標本化や量子化の際に, 失われる情報がある

アナログとデジタルの比較

	アナログ	デジタル
雑音	×	○
自然さ	○	×
再生確実さ	×	○
機器の操作性	×	○

最も単純な離散値

- (yes, no), (高, 低), (左, 右), (上, 下), (男, 女), (真, 偽), (暖, 寒), (老, 若), (長, 短), (善, 悪)
- 2値 → 0, 1 で表す
- 離散的なデータの単位 : bit

bitを組み合わせる

- 2つのbitを組み合わせる
(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)
→ 4通りの離散値を表すことができる.
- 3つのbitを組み合わせる
(0, 0, 0), (0, 0, 1), (0, 1, 0), (0, 1, 1),
(1, 0, 0), (1, 0, 1), (1, 1, 0), (1, 1, 1)
→ 8通りの離散値を表すことができる.
- n個のbitを組み合わせる
→ 2^n 通りの離散値を表すことができる.

bit(0 or 1)で表せるもの

1. 数:

- 自然数 (非負整数)
- 整数 (負の数)
- 有理数, 実数 (浮動小数点数)

2. 文字, 文, 文章

3. 絵, 写真 (画像)

4. 動画

5. 音声

6. その他 (匂い, 地震の揺れ, ...)

自然数(非負整数)

- n bit の組 $(b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_1, b_0)$ を $b_{n-1}b_{n-2} \dots b_1b_0$ と, bit の並びで表し, 自然数

$$2^{n-1}b_{n-1} + 2^{n-2}b_{n-2} + \dots + 2^1b_1 + 2^0b_0$$

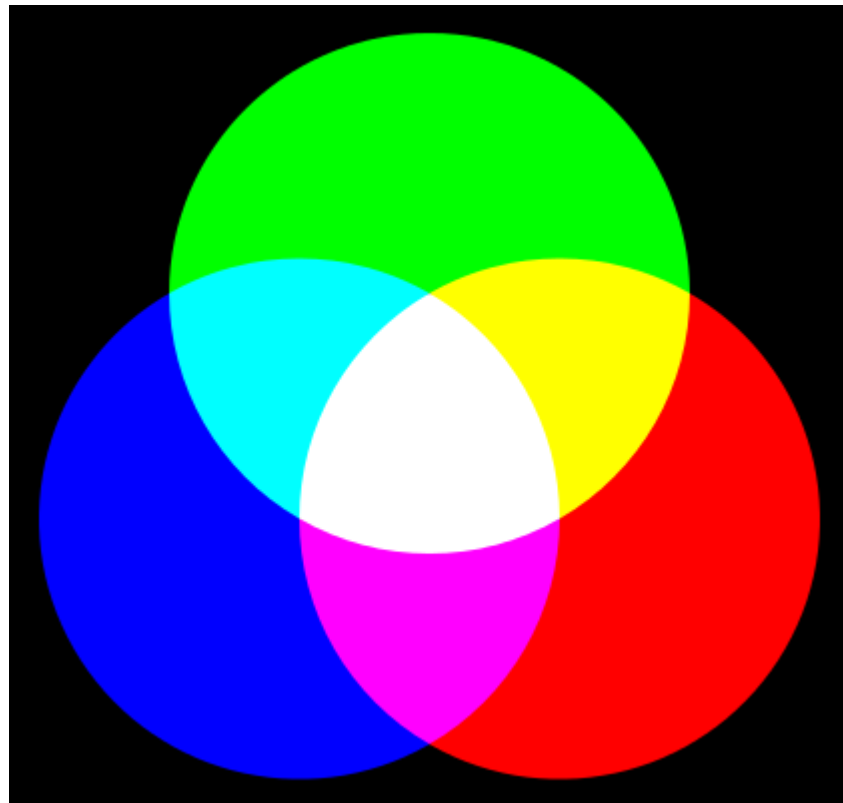
と対応させる (二進数表現).

文字

- 「この文字は何番目の文字」と文字と自然数を対応させることで、文字を bit で表す.
- 例) ASCIIコード, UTF-8
- 文, 文章: 文字の並び(列)として表す.

色

- 光の三原色：
赤(Red),
緑(Green),
青(Blue)
を指す.



- この三つの色の混ぜ方により、
ほぼすべての色が再現できる.
- 色は、自然数の三つ組 (R, B, G) で表すことができる.

絵, 写真 (画像)

- 画素(pixel):
 - 画像の最小単位. 色情報を持つ.
 - ドット(dot)とも呼ばれる.
- 絵や写真などの画像は,
画素の(二次元的な)並びによって表される.

動画

- 動画とは:

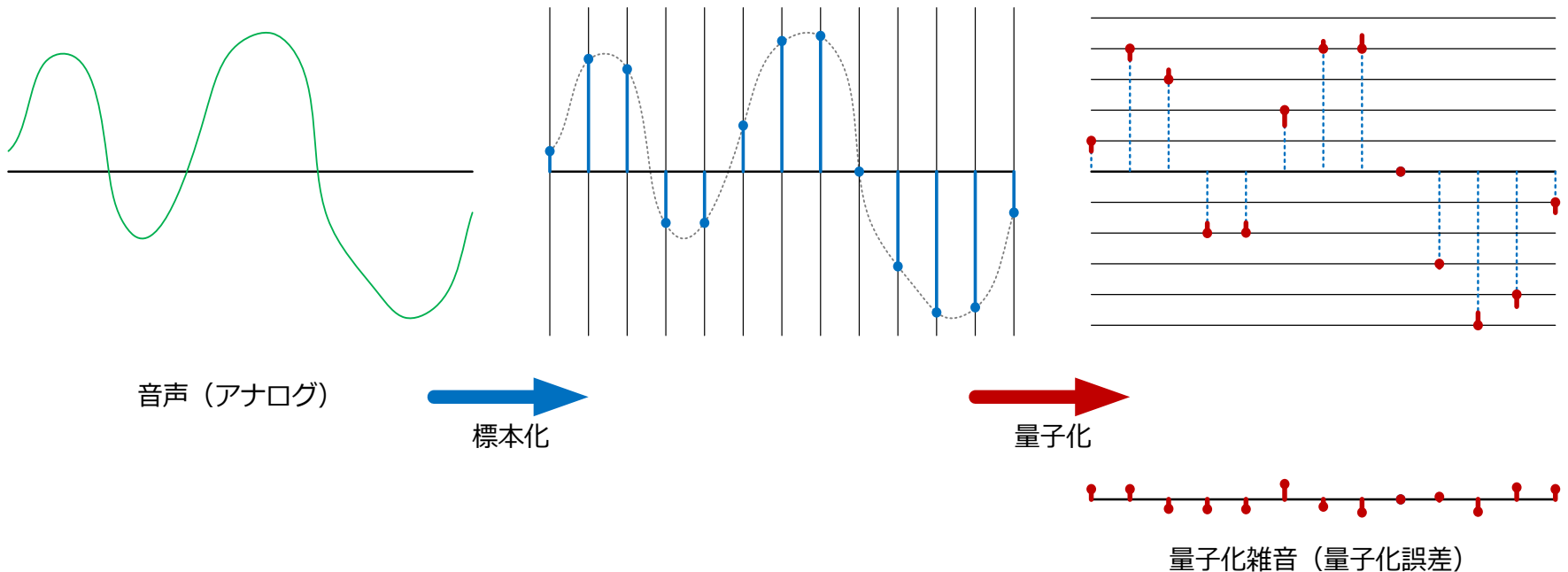
連続して変化する静止画(画像)を高速に切り替え続けることで、画像が動いているように見せる表現形式.

(wikipedia)

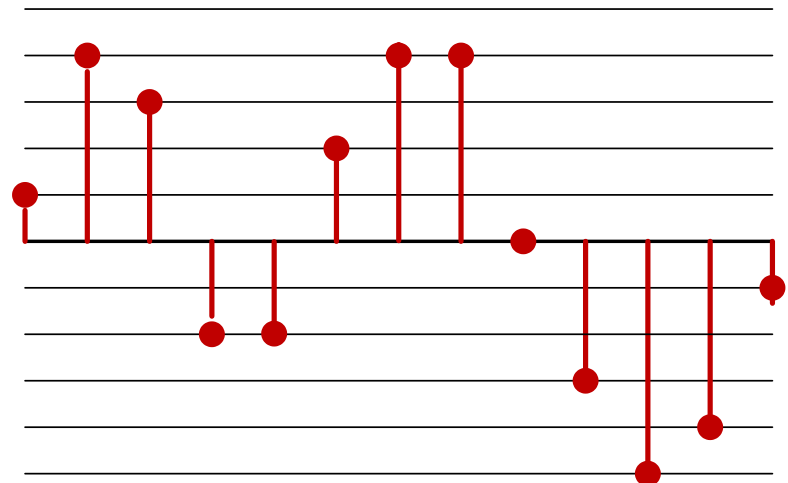
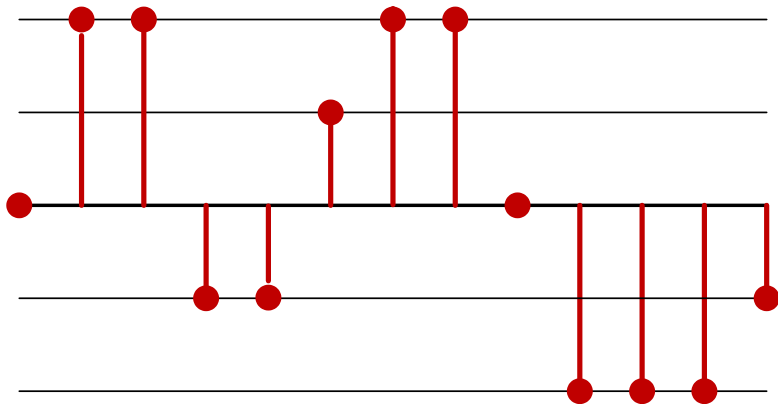
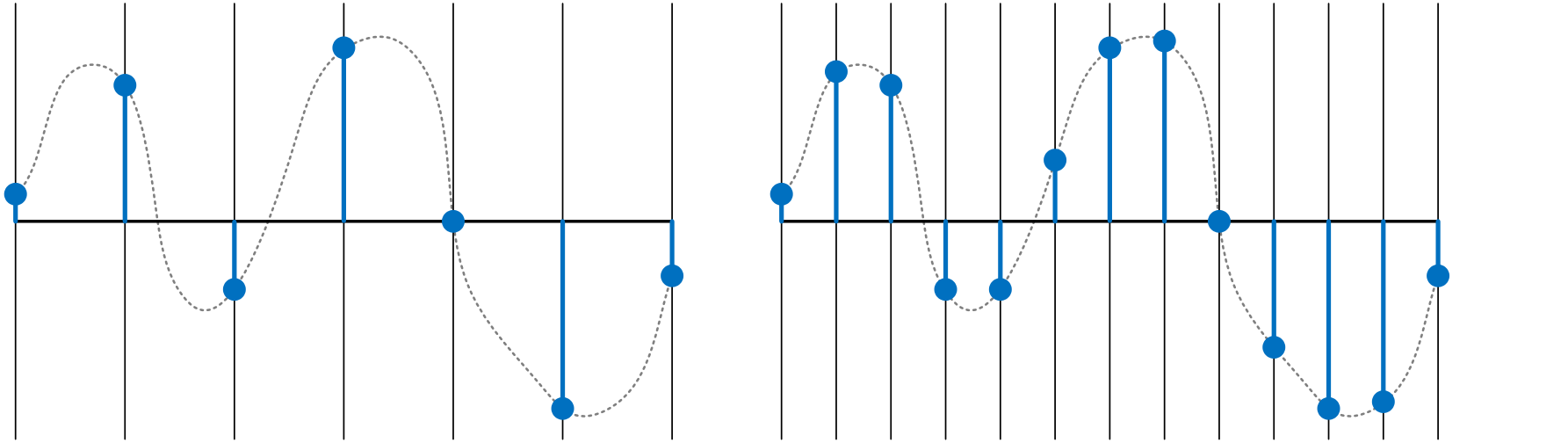
- 動画は、画像の並び (列) で表す.

音声のデジタル化 (PCM方式)

- PCM: pulse code modulation
 1. 標本化・量子化を行う
 2. 量子化した結果を符号化する
 - 二進の数値



標本化と量子化



どれくらい細かく標本化・量子化すれば「充分」と言えるか？

標本化について

- ナイキストの標本化定理
 - どれくらいの間隔で標本化すれば良いかを示した定理
 - 最大周波数の2倍で標本化すればよい
 - 1928年にナイキストが示した
 - 1949年にシャノン, 染谷がそれぞれ証明した
- 標本化周波数の例:
 - 電話音声: 8,000Hz (125マイクロ秒ごと)
 - 音声の上限が約3,600Hzなので
4,000Hzを最大周波数として決定した
 - 音楽CD: 44,100Hz (約22.7マイクロ秒ごと)
 - 人間の最大可聴周波数が20kHz程度なので
22,050Hzを最大周波数として決定した

量子化について

- 量子化の精度

- 精度を高くする(段階数を多くする)と量子化誤差(音の場合, 量子化雑音)が小さくなる
- 2の冪乗(2^n ; n は自然数)の段階数にすると, それぞれの標本を n ビットで表すことができる
- 量子化の精度の例:
 1. 電話音声: 8ビット ($2^8 = 256$ 段階)
 2. 音楽CD: 16ビット ($2^{16} = 65,536$ 段階)

デジタルデータの単位

単位:

- ビット (b, bit, bits; binary digit の略)
 - 2通りの状態 (0, 1) を表現するデータの最小単位
- バイト (B, Byte, Bytes)
 - $1B = 8\text{bit}$

補助単位:

- キロ (k)
 - キロメートル (km), キログラム (kg) などと同じ: $1\text{kB} = 1,000\text{B}$
 - 1,000ではなく1,024 (2の10乗) の場合もある。
 - 区別するためにキビバイト (KiB) と呼ぶ単位系の規格 (※) があるが、あまり普及していない。 $1\text{KiB} = 1,024\text{B}$
- メガ (M)
 - $1\text{MB} = 1,000\text{kB}$, ただし, 同様に $1\text{MB} = 1,024\text{kB}$ の場合もある。
 - メビバイト (MiB): $1\text{MiB} = 1,024\text{KiB} = 1,048,576\text{B}$

※ ISO/IEC 80000-3

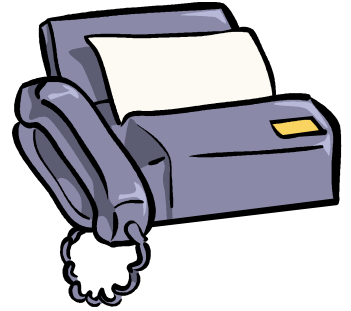
デジタル信号と通信速度

- 電話音声の場合:

- 標本化周波数: 8,000Hz (1秒間に標本が8,000)
- 量子化の精度: 8ビット (標本1あたり8ビット)
- 1秒あたり必要なビット数

$$8,000 \times 8 = 64,000\text{bps (64kbps)}$$

bps: bit per second (ビット毎秒)



FAXのデータ量

条件

- 用紙 : A4サイズ (210 × 297mm)
- 解像度 : 400dpi (1インチ当たり400画素)
- 1インチ = 25.4mm
- 色 : 白黒 (2値) … 1bit

データ量

$$\left(\frac{400}{25.4}\right)^2 \times (210 \times 297) = 15,467,791 \approx 15Mbit$$

電話回線でのFAX送信時間

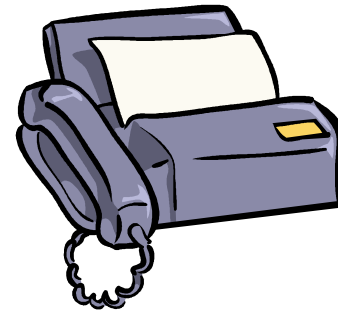
A4-1枚(白黒)の場合
データ量 \doteq 15 Mbit

電話回線速度 = 64Kbps

送信時間 = $15\text{Mbit} \div 64\text{Kbps}$
= 234秒 \doteq 4分

カラーFAXの場合

4分 \times 3色 \times 8bit = 96分



データ圧縮

- 可逆圧縮...文書, プログラム
- 非可逆圧縮...画像, 音声, 動画

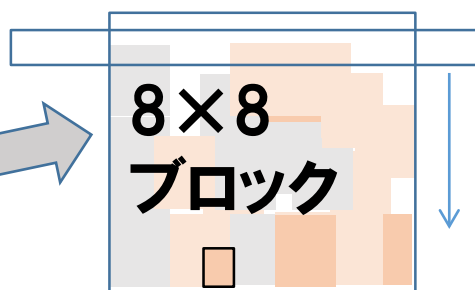
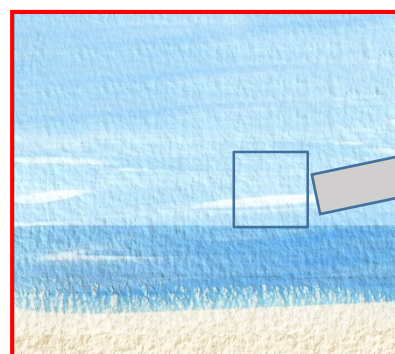
- 圧縮率:

$$\text{圧縮率(\%)} = \frac{\text{圧縮後のデータ量}}{\text{圧縮前のデータ量}} \times 100$$

静止画像の圧縮: JPEG

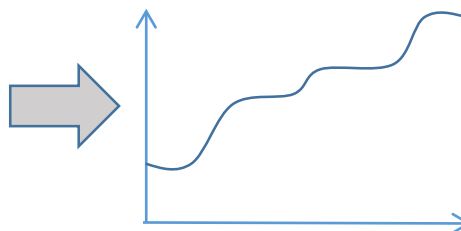
Joint Photographic Coding Experts Group

- 可逆方式
- 非可逆方式 --- **基本方式**、拡張方式
→ 1/10~1/20に圧縮



輝度 Y
色差 I
色差 Q

輝度Y



コサイン波の合成波
DCT演算 → **DCT係数**
Discrete Cosine Transform

→ 量子化 → 差別符号化
→ ハフマン符号化(ジグザグスキャン)

動画像の圧縮：MPEG

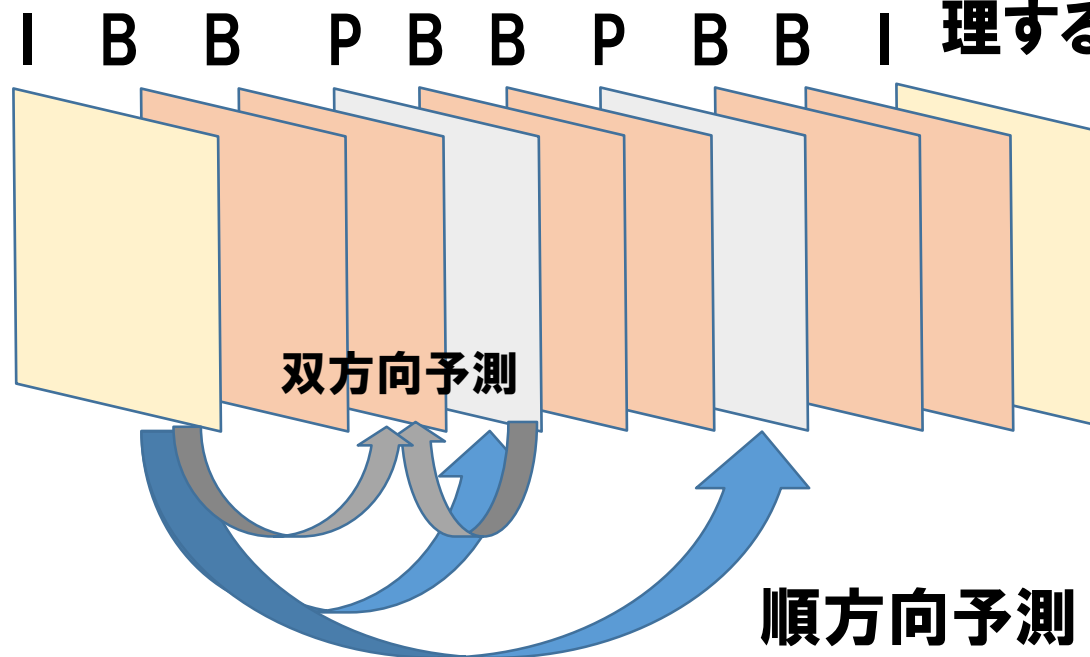
•H.261

•MPEG --- **MPEG1**, MPEG2,MPEG3,MPEG4

→ 1/20~1/50に圧縮

GOP (Group of Pictures)

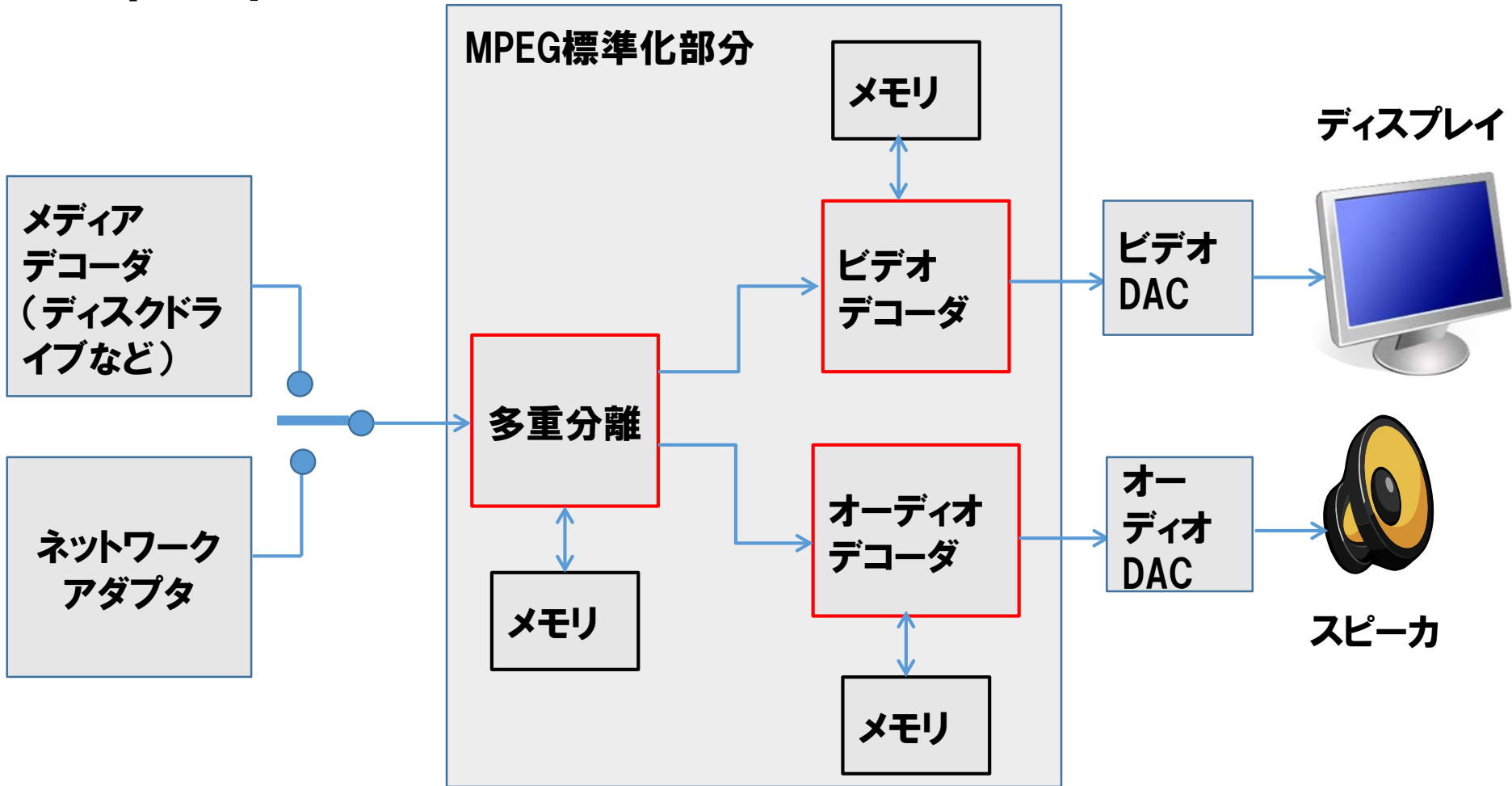
JPEG圧縮をした上で、
画像グループとして処
理する (MPEG1)



MPEGの要求条件

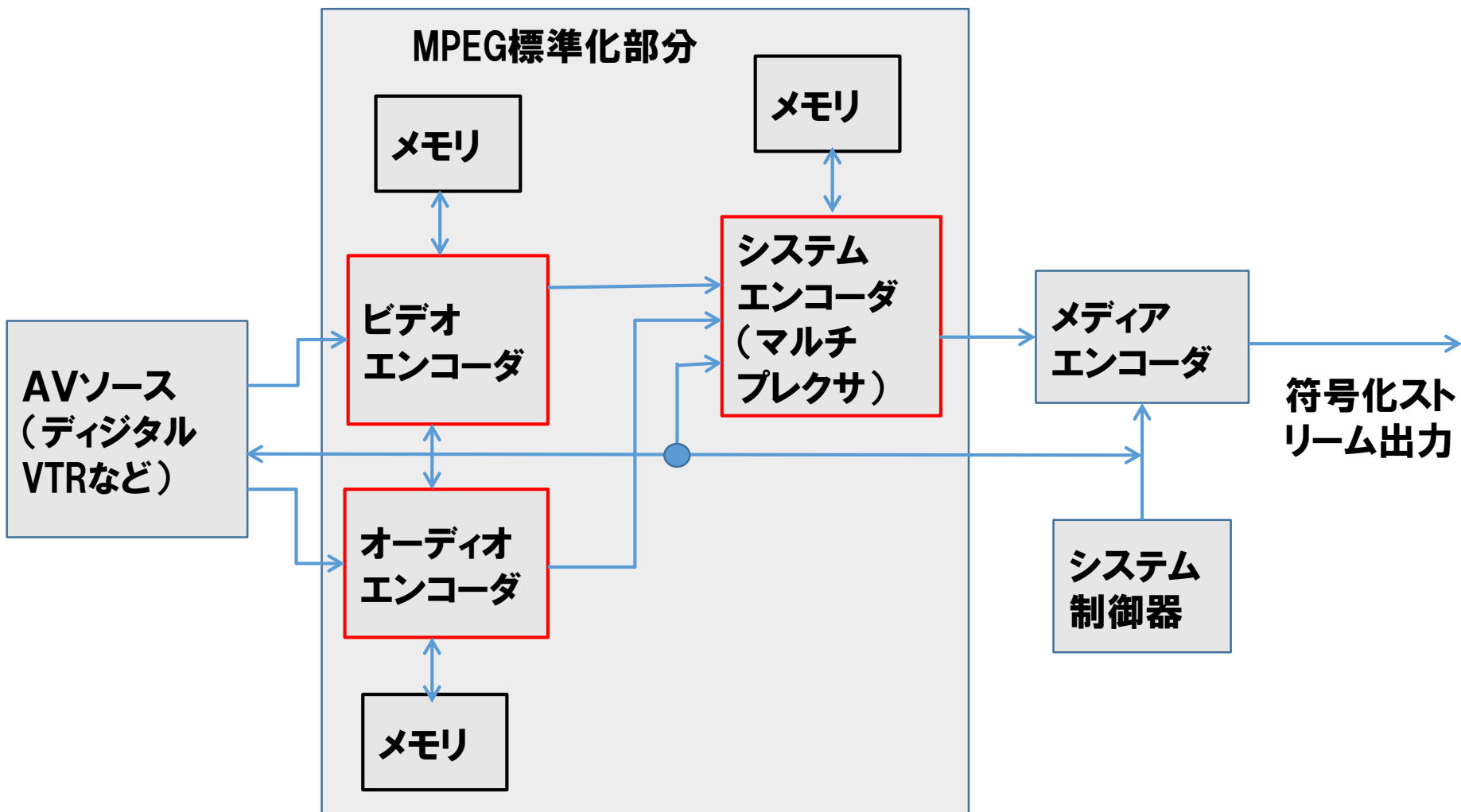
- MPEG-1
 - 1.5Mbps前後で許容限度を上回る品質の動画符号化
- MPEG-2
 - 16Mbps前後で高品質動画符号化
- MPEG-3
 - 50～80 MbpsでHDTV信号符号化
- MPEG-4
 - MPEG-2の1/10の圧縮率にし、無線でも使用可能とする

標準的なAVデコーダシステム



DAC: Digital Analog Converter

標準的なAVエンコーダシステム



DAC: Digital Analog Converter