

デジタル信号処理 (K3)

2023年4月11日

立命館大学 情報理工学部

画像・音メディアコース

櫛田 貴弘 tkushida@fc.ritsumei.ac.jp

この講義で学ぶこと

ディジタル信号処理の基礎

1. 信号の表現

- フーリエ級数, フーリエ変換
* 大学で学ぶ最重要事項の1つ！

2. 帯域制限信号

- ディジタル信号処理の大前提！
 - * 信号の帯域とは何か？
 - * 帯域制限する利点は？

3. 信号の標本化と量子化

- アナログ信号 (=関数) を 0 と 1 の二つの値 (=ディジタル信号) でなぜ表現できるのか？

4. 離散時間システム

- ディジタル信号の処理でアナログ信号の処理を行う.
なぜこのようなことが実現できるのか？

講義スケジュール

- 第1回 (4/11) イン트로ダクション
- 第2回 (4/18) フーリエ級数の実表現
- 第3回 (4/25) フーリエ級数の複素表現
- 第4回 (5/2) フーリエ変換1
- 第5回 (5/9) フーリエ変換2
- 第6回 (5/16) 帯域制限信号
- 第7回 (5/23) **中間試験**
- 第8回 (5/30) 標本化と量子化
- 第9回 (6/6) 離散フーリエ変換 (DFT)
- 第10回 (6/13) 理想ローパスフィルタ
- 第11回 (6/20) 線形時不変システム
- 第12回 (6/27) 周波数応答
- 第13回 (7/4) 線形フィルタ
- 第14回 (7/11) デジタルフィルタの設計法
- 第15回 (7/18) **講義内試験**, 解説

成績評価など

◆評価方法

- 単位付与の条件: 以下の2つをすべて満たすこと.
 - ① 小テスト・レポートの解答（宿題）を13回中 **10回以上提出**すること
 - ② 中間・期末試験および小テストの加重積算点数が**合格点を超えている**こと
※ 配分は未公表。
- テストのない講義にて、宿題を出す（上記①）

◆講義形式

- スライドによる講義.
- 講義中にmanaba+Rで理解度確認の小テストを実施する（パソコンを持参すること）
- 中間・期末テスト以外の回は、簡単な宿題を出すので自宅で行う。

◆心がけ

- 数式を多用するため、大事な数式をノート等に自筆する等、各自で要点を整理すること.
- 難しかった箇所に関して、次回の講義前までに必ず復習すること。不明点を積み重ねないように心がける。

参考書

- ・ 本講義では教科書は用いない。各回, 講義用スライドを配布。
- ・ 参考書として, 下記のものを紹介している。



貴家仁志, デジタル信号処理
のエッセンス, オーム社



有木康雄 編, OHM大学テキスト
デジタル信号処理, オーム社



辻井重男 監修, デジタル信号
処理の基礎, コロナ社

**図書館にも関連書籍が多くあるので,
読みやすいと思うものを探してみるとよい**

第1回の内容

デジタル信号処理

= デジタル + 信号 + 処理

- 信号とは
- 信号処理とは
- 信号処理の **アナログ** と **デジタル** とは
- アナログ信号からデジタル信号への変換方法

注意：一般的には「デジタル」と表記されることが多いが、日本産業規格 (JIS X 0001, JIS X 0005) では「ディジタル」の表記が用いられている。本講義でも両者を適宜、利用する。

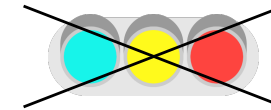
信号とは

デジタル大辞泉より

1. **色・音・光・形・電波**など, 言語に代わる一定の符号を使って, 隔たった二地点間で意思を伝達すること. また, それに用いる符号. 「信号を送る」「危険信号」

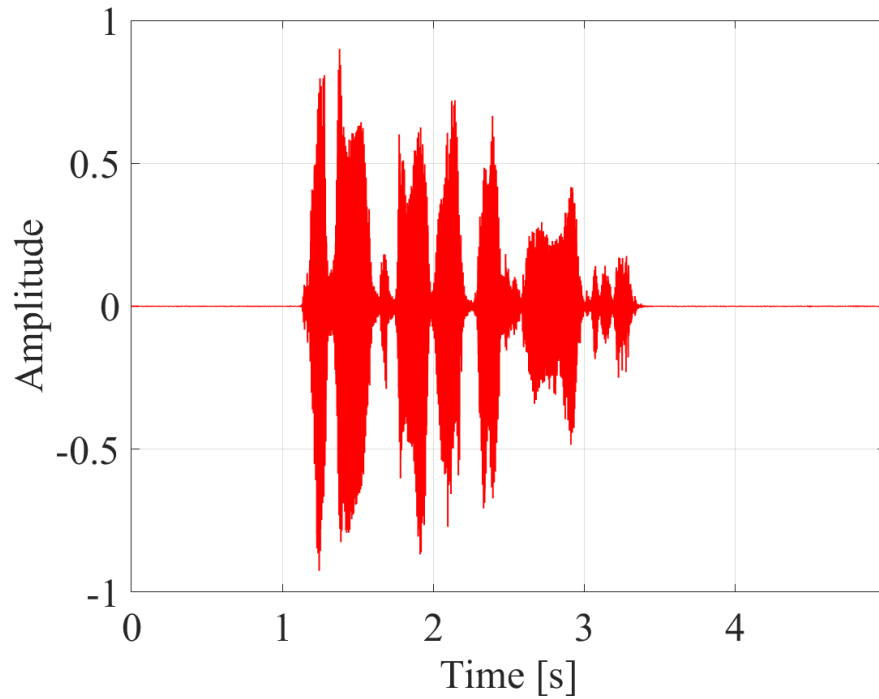


2. 道路・鉄道線路などで進行の可否を知らせる機械. 信号機.
「信号無視」「赤信号」



- ◆ 音：1次元信号, 1変数関数 $f(t)$
 - 空気振動の大きさの時間変化
- ◆ 画像：2次元信号, 2変数関数 $f(x, y)$
 - 光強度の2次元空間内 (縦, 横) での変化
- ◆ 動画：3次元信号, 3変数関数 $f(x, y, t)$
 - 画像の時間軸上での系列
- ◆ 生体信号：1次元信号, 1変数関数 $f(t)$
 - 脳波, 心電, 筋電, 電気信号の時間変化
- ◆ 生体画像：3次元信号, 3変数関数 $f(x, y, z)$
 - X線CT, MRI, 画像の体軸 (z軸) 上での系列

信号の例：音，画像



音声波形

発話内容：「画像・音メディアコースへようこそ」



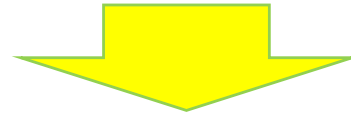
画像データ

信号処理とは・・・

- 前スライドで説明した音や画像などの**信号**を**ユーザー**に「**価値**」のある**状態に変換**すること。
- 音に関係した具体例
 - イコライザーによる低音や高音の強調
 - バンド演奏音からの特定楽器音の抽出
- 画像に関係した具体例
 - 雑音を含む画像からの雑音除去
 - ぼやけた画像から鮮明な画像への変換
 - 解像度の低い画像から高い画像への変換

音の例1) イコライザー

楽器や声などの音



イコライザー

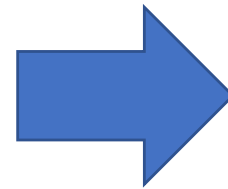


100Hzまでの低音が強調された音
(ユーザの好みに応じて様々な設定が可能)

音の例2) 楽器音抽出



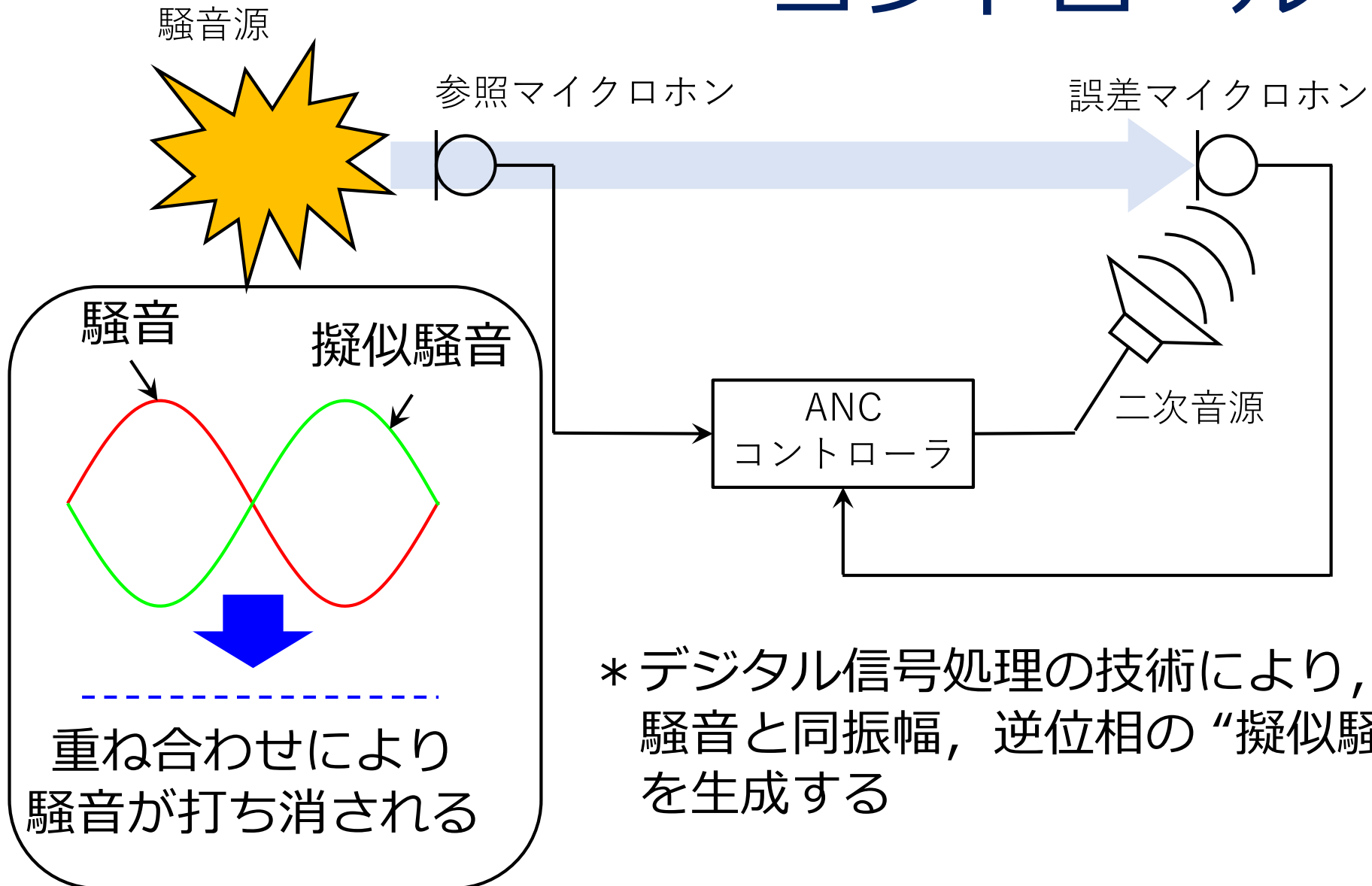
バンド演奏音



ギター演奏音

補足：単一楽器の抽出だけでなく演奏に含まれる全楽器音を分離するという意味で「音源分離」と呼ばれることもある。ボーカルだけを分離し、カラオケ音源を作成することもできる。

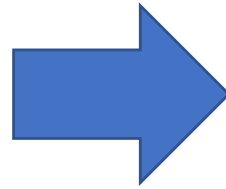
音の例3) アクティブノイズコントロール



* デジタル信号処理の技術により、
騒音と同振幅、逆位相の“擬似騒音”
を生成する

画像の例1) ノイズ除去

ノイズが載った画像

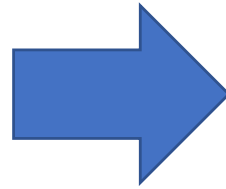
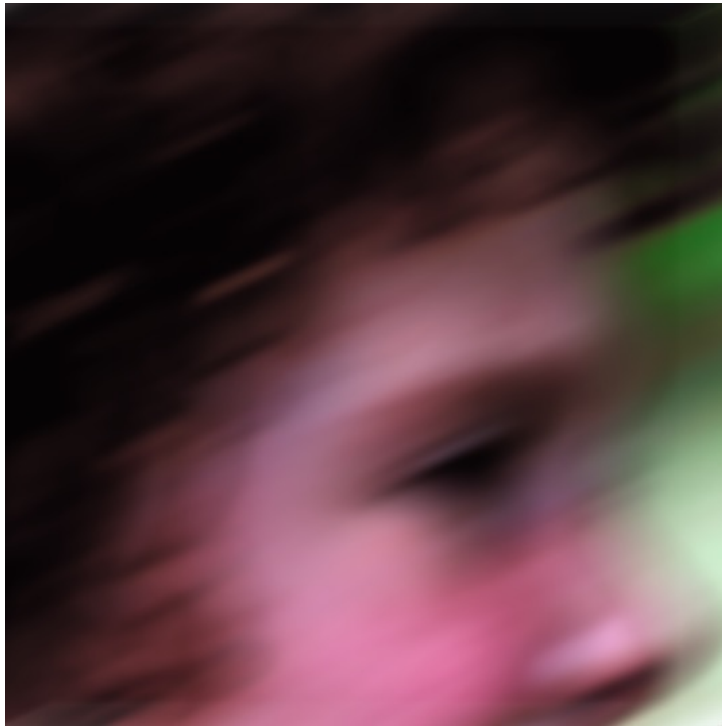


ノイズレス画像



画像の例2) ぼけ除去

ぼけた画像(ピンぼけ・手ブレ)



鮮明な画像

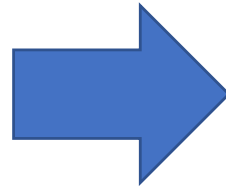


画像の例3) 超解像

低解像度画像



高解像度画像



補足：単に画素数を増やすだけでなく，細部を鮮明にするために高周波成分を復元することが重要である。

画像の例4) 映り込みの分離



ガラスなどに
写りこんだ画像

反射成分を分解

※ 音響・音声分離と基本的には同じ問題である。違いは、1次元 or 2次元。

2 種類の信号処理

簡単のため、音の場合で考える。

• アナログ信号処理

- 電圧の時間変化などの連続的な信号波形を抵抗、コイル、コンデンサ、ダイオード、トランジスタなどで構成される電子回路で変換

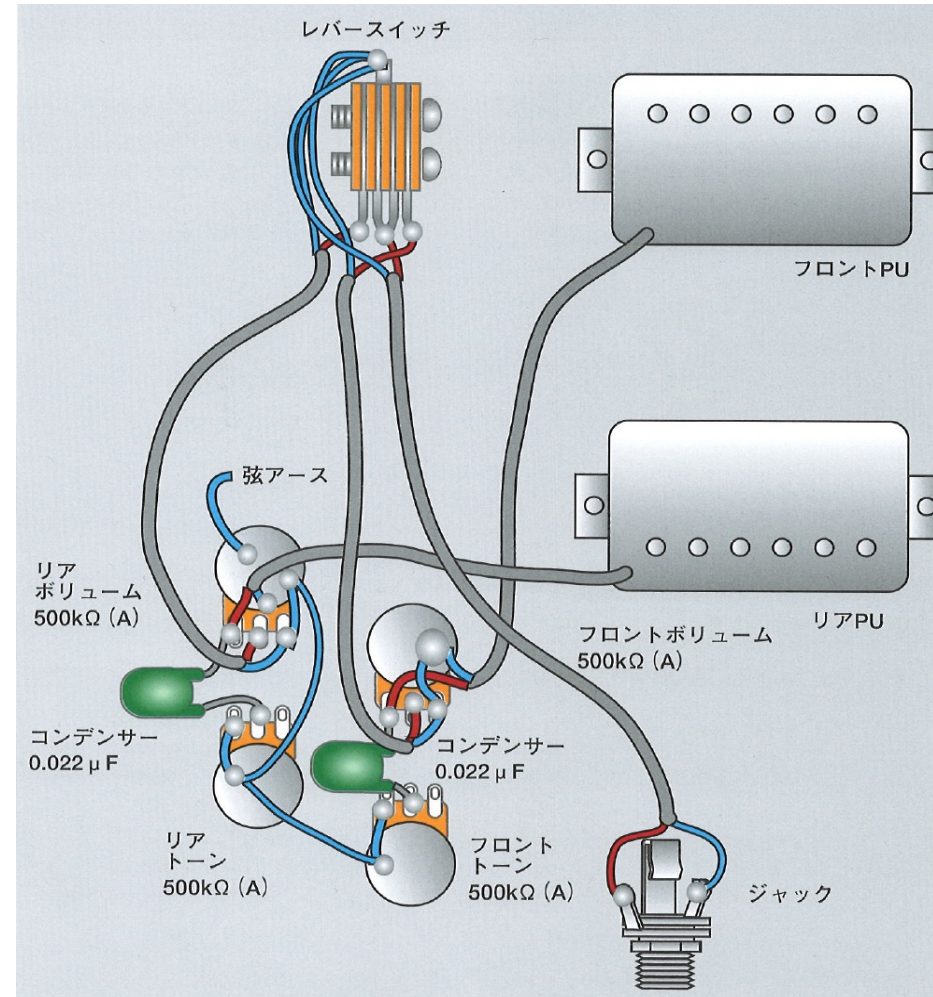
• デジタル信号処理

- 上記連続波形をサンプリングして得られた離散的な数値データをコンピュータやスマートフォンなどのデジタルデバイスで変換

例) エレキギター音を歪ませる場合 (次スライドへ)

エレキギター内部の配線図

出典：エレキギターのメカニズムとメンテナンス

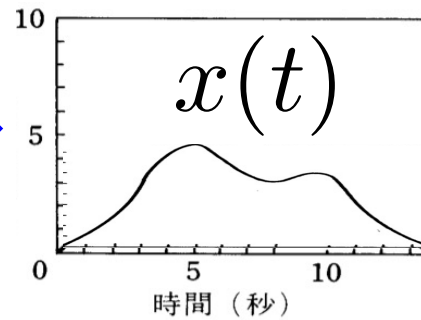


出力：電圧が連続的に変化するアナログ信号

ディジタル信号処理



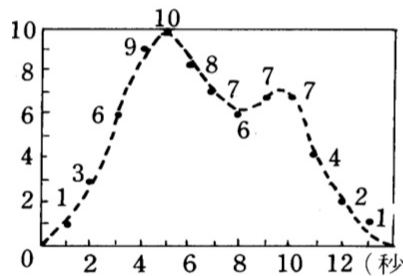
アナログ信号



標本化, 量子化
(アナログ-ディジタル(AD)変換)

44.1 kHz, 16 bit量子化

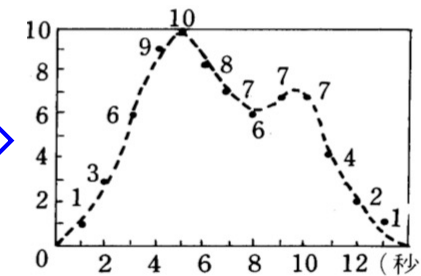
ディジタル信号



$x[0], x[1], x[2], x[3], \dots$

ディジタル
フィルタ

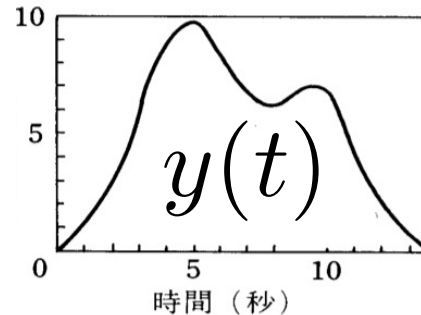
ディジタル信号



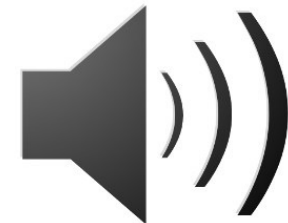
$y[0], y[1], y[2], y[3], \dots$

ディジタル-アナログ(DA)変換

アナログ信号



増幅

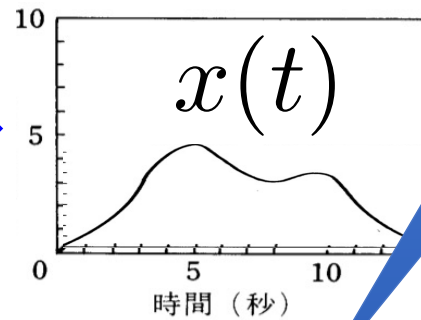


デジタル信号処理

PC, スマホ,
タブレット等



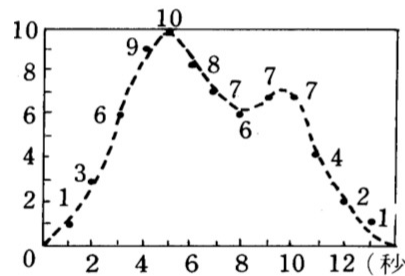
アナログ信号



標本化, 量子化
(アナログ-デジタル(AD)変換)

44.1 kHz, 16 bit量子化

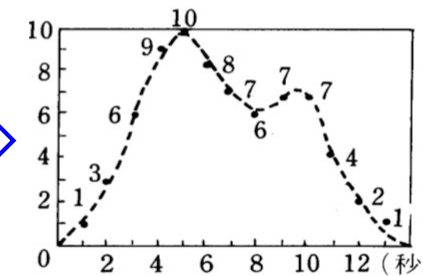
デジタル信号



$x[0], x[1], x[2], x[3], \dots$



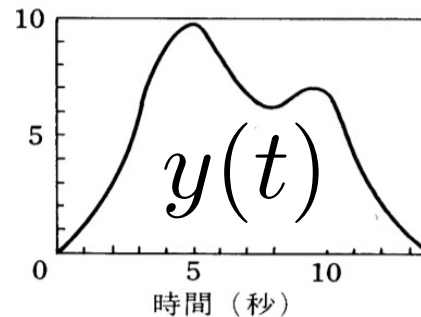
デジタル信号



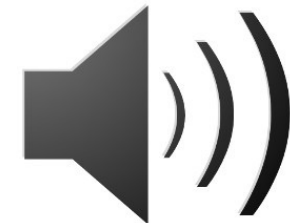
$y[0], y[1], y[2], y[3], \dots$

デジタル-アナログ(DA)変換




アナログ信号



増幅



エレキギター音のサンプル試聴

- 入力音：
 - 歪ませる前の音 
- エフェクターで**アナログ処理**した音：
 - 連続波形をエフェクターでアナログ処理した音 
- コンピュータで**デジタル処理**した音：
 - 離散化したデジタル信号をコンピュータで処理した音 
 - **アナログ処理した音とほぼ同じように聞こえます！**

デジタル信号処理の特徴

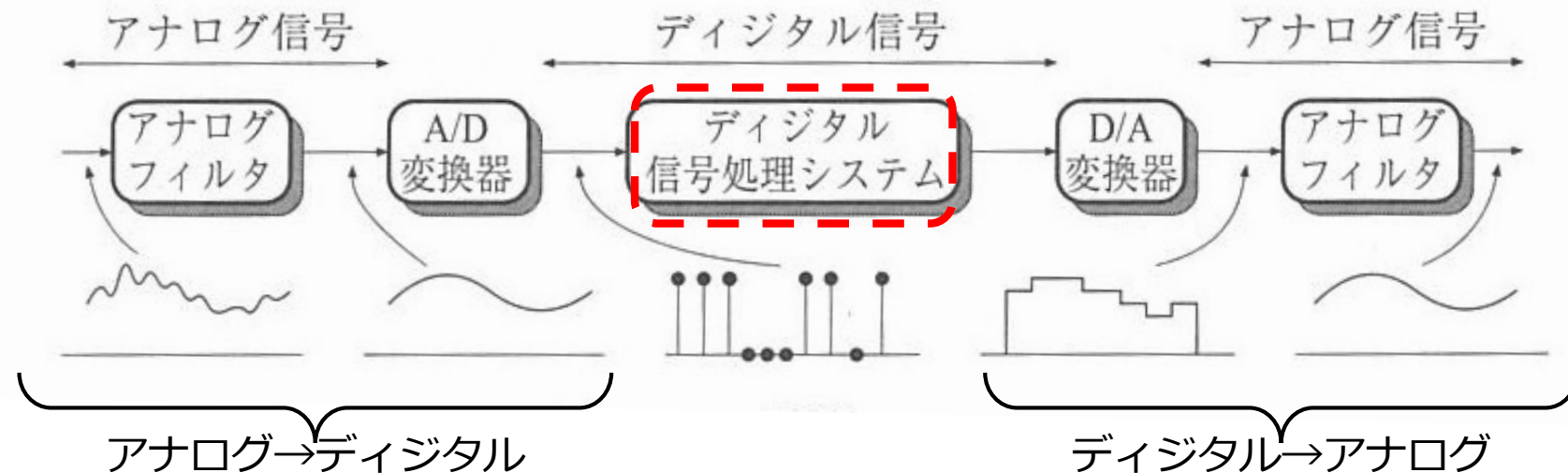
- デジタルデバイスで処理可能😊
 - パソコン, スマホ, タブレット等
- 長期保存に適している😊
 - アナログは劣化が顕著 (レコード, 磁気テープ)
 - デジタルは0と1さえ読み出せば劣化に無関係
- 音質はアナログに劣る😞
 - 標本化と量子化 (AD変換) で情報は必ず欠落する
 - ただし, デジタルデータの容量を気にしなければ, 情報の欠落はいくらでも小さくすることができる.
 - 情報の欠落を減らす手法としてハイレゾオーディオがあるが, 多くの人は20,000Hz以上の音を聞き取れないので, CDの音との違いを感じられない.

アナログとデジタルの関係

- 自然界の信号は基本的にアナログ
 - 音 (=空気の振動), 画像 (=光の強度), 生体信号 (=電気),
- デジタルは処理の方式
 - デジタルデバイスの発展
- 「アナログは劣り, デジタルが優る」
は誤り
- 正しくは「アナログは目的, デジタルはそれを効率的に実現する手段」

アナログ信号からデジタル信号への変換 (概要)

アナログ信号をディジタル化し, ディジタル信号処理によりデータを加工, その後, ディジタルデータをアナログ信号に戻す



ディジタル信号処理の全体像[1]

- * アナログ-ディジタル (A/D) 変換器の前段にアナログフィルタがあるのは何故?
- * ディジタル-アナログ (D/A) 変換器の後段にアナログフィルタがあるのは何故?
- * これらのフィルタの特性は?

→第7～8回講義にて説明します. 本日はこの処理の流れを覚えてください.

理解度確認 小テスト

※ 今回は練習の意味も含めて、かなり簡単な問題にしました。
次回以降は、数式も含んだもう少し難しい問題となるので、
大事な数式などを意識しながら、講義を聞くこと

manaba +R にログインして、第1回小テストを行います。
制限時間は **10分間** です。

スライドを見返しながら、解いてよいです。

宿題

- Manaba+R にて出題。
 - 今回の宿題は、数学の復習です。
 - すべて、デジタル信号処理を理解するために必須の数学です。
- 期限：来週の授業開始時まで。