

デジタル回路入門 Part 1

2010年7月28日

内田智久 (e-sys, IPNS, KEK)

本日のスケジュール
9:30 – 11:30
13:15 – 14:45
15:00 – 16:30

先端エレクトロニクスDAQセミナー'10

お願い

□ 質問について

- 途中で質問してください

□ アンケートについて

- 名前は書かなくてよいですが、身分は書いてください
- 今後のセミナーの為に率直な意見感想を教えてください

この講義の目標

デジタル回路設計に必要な

最低限の知識習得

この講義をきっかけに先へ進んで欲しい

内容

- デジタル回路の特徴
- デジタル回路の基礎知識
- 回路設計
- FPGA
- 今後の学習方法(まとめ)

デジタル回路の特徴

目的: デジタル回路の長所と短所を理解する

- 一般的な話
- 検出システムの何処がデジタル？
- 何故デジタル化は進むのか？
- デジタル回路の長所と短所
- 符号の復習

デジタル回路の特徴

デジタル回路の特徴を見てみましょう

- 何故進むデジタル化
- デジタル信号とは
- デジタル回路の特徴

何故デジタル化は進むのか？

- デジタル技術が流行っていますが何故でしょうか？
 - アナログだったものがデジタル化されています。
 - レコード→CD
 - 測定器
 - テレビ放送

デジタル回路は何故広く使用されるようになったのか？

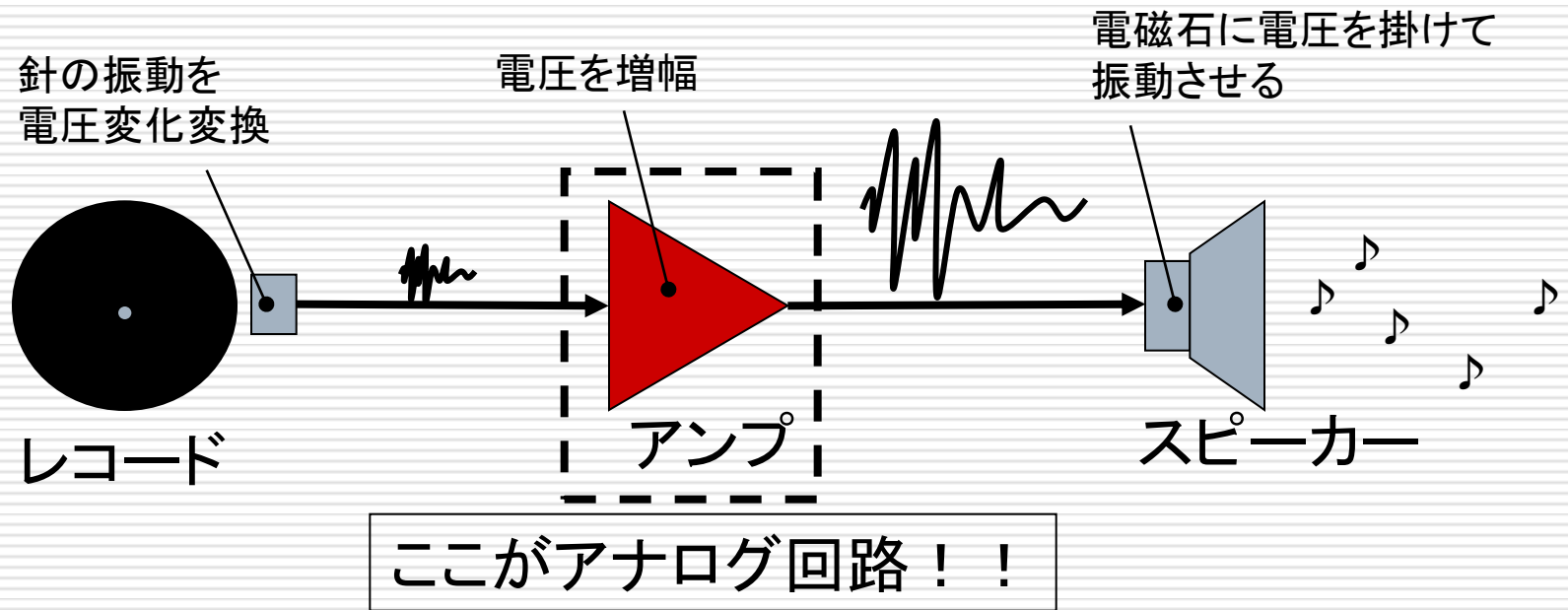
アナログ回路とデジタル回路

最近、地デジなどデジタル化が流行っています。

アナログ回路とデジタル回路は
何が違うのでしょうか？

オーディオ装置を例に見てみます

アナログ回路



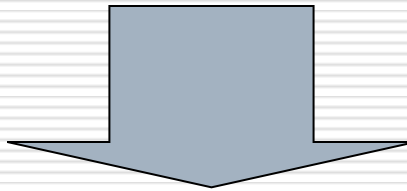
連続量(電圧)を連続量のまま処理する
(連続量を扱っている)

デジタル回路



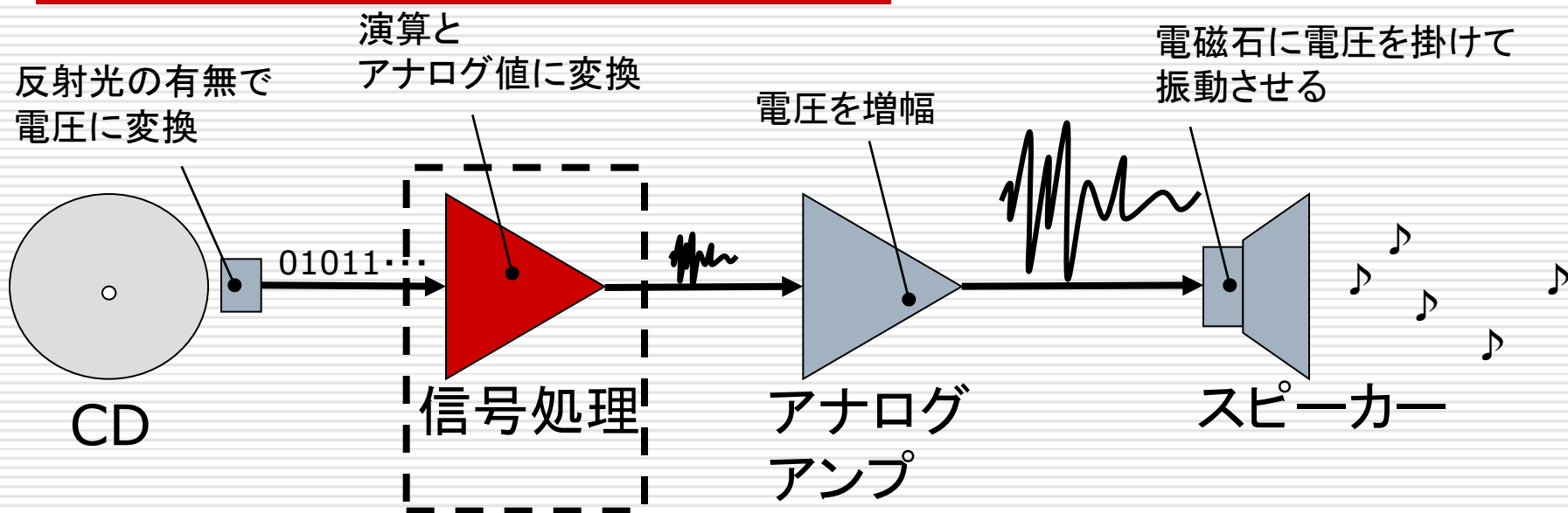
デジタル回路とは？

- 2値で動作する回路
- 2進演算する回路
- 電圧が高い時を“1”、低い時を“0”などとする



しかし、疑問が残る

素朴な疑問



単に信号処理が増えただけ？
物事を複雑にしているだけでは？

何が嬉しいのか？

何故、デジタル技術が多用されるのか？

世間ではデジタル技術が流行っています

しかし、例で見たように・・・

- デジタル回路の方が箱が増えている！
- 何故、わざわざ処理を増やすのか？

物事を単に複雑にしているように見える

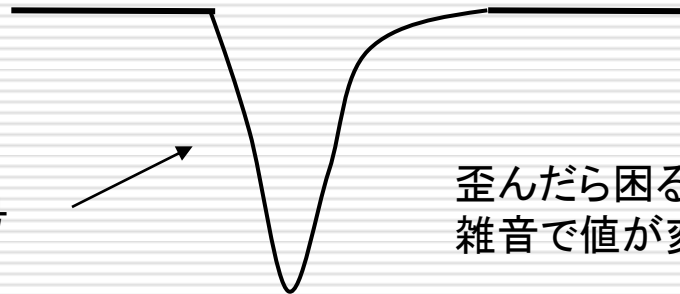
何故、デジタル技術が多用されるのでしょうか？

放射線検出器でも同じです。
デジタル化されています。

アナログ信号は繊細

波形に全ての情報が入っている

例えばGEM検出器の信号



歪んだら困る！
雑音で値が変わったら大変だ！

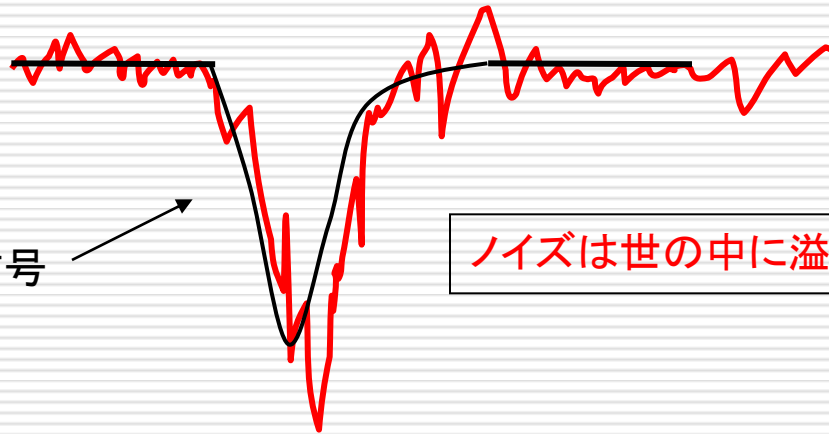
このような綺麗な形のまま信号を処理するのは難しい！！

長距離伝送するだけでも難しい！

アナログ信号は繊細

波形に全ての情報が入っている

例えば、検出器の信号



ノイズは世の中に溢れている！！

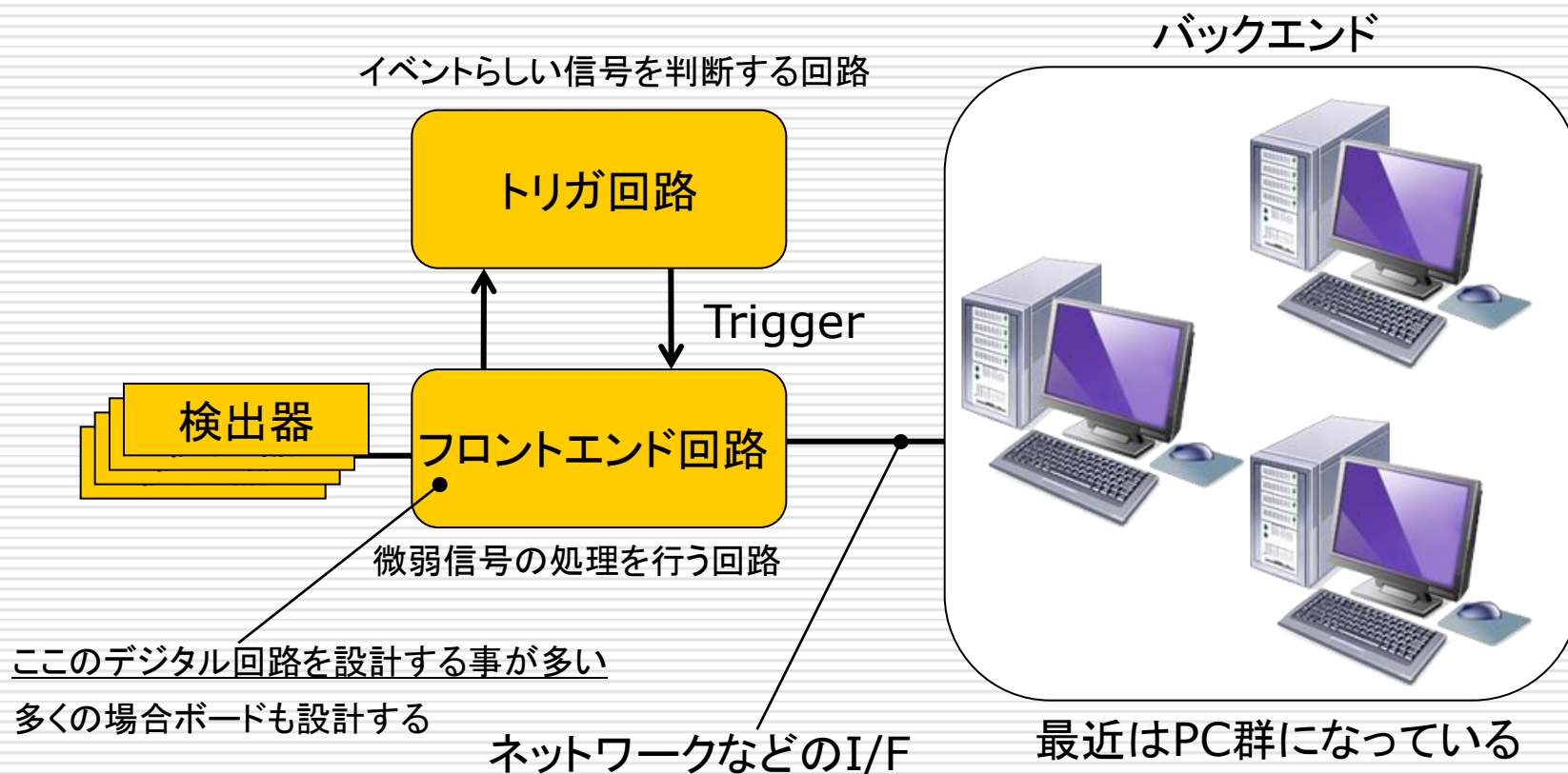
この様な綺麗な形のまま信号を処理するのは難しい！！

長距離伝送するだけでも難しい！

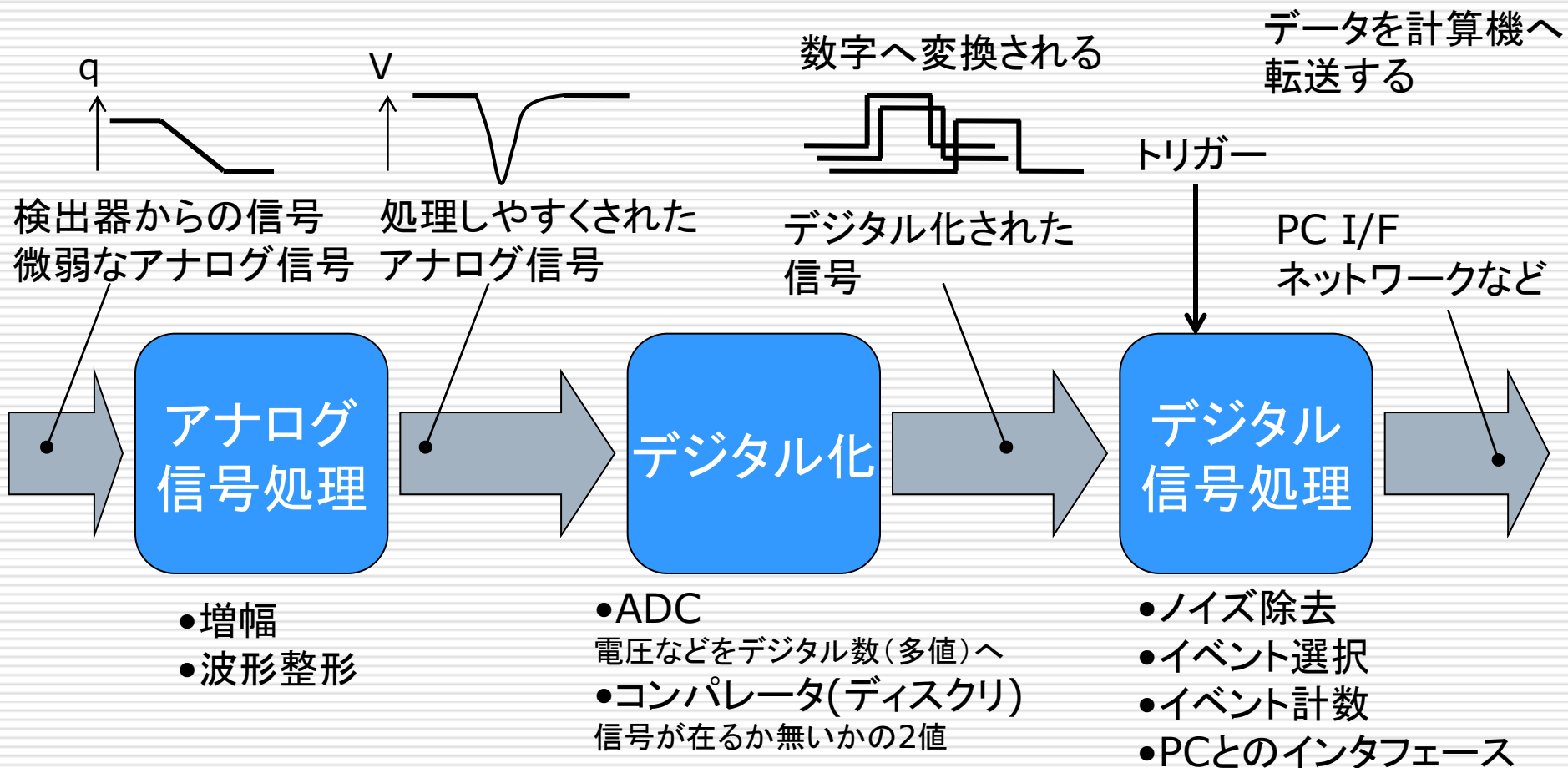
もちろん、伝送する事はできる。しかし様々な工夫が必要、
システム内の全ての信号に配慮するのは非常に大変、出来るかどうか怪しい

検出器システム

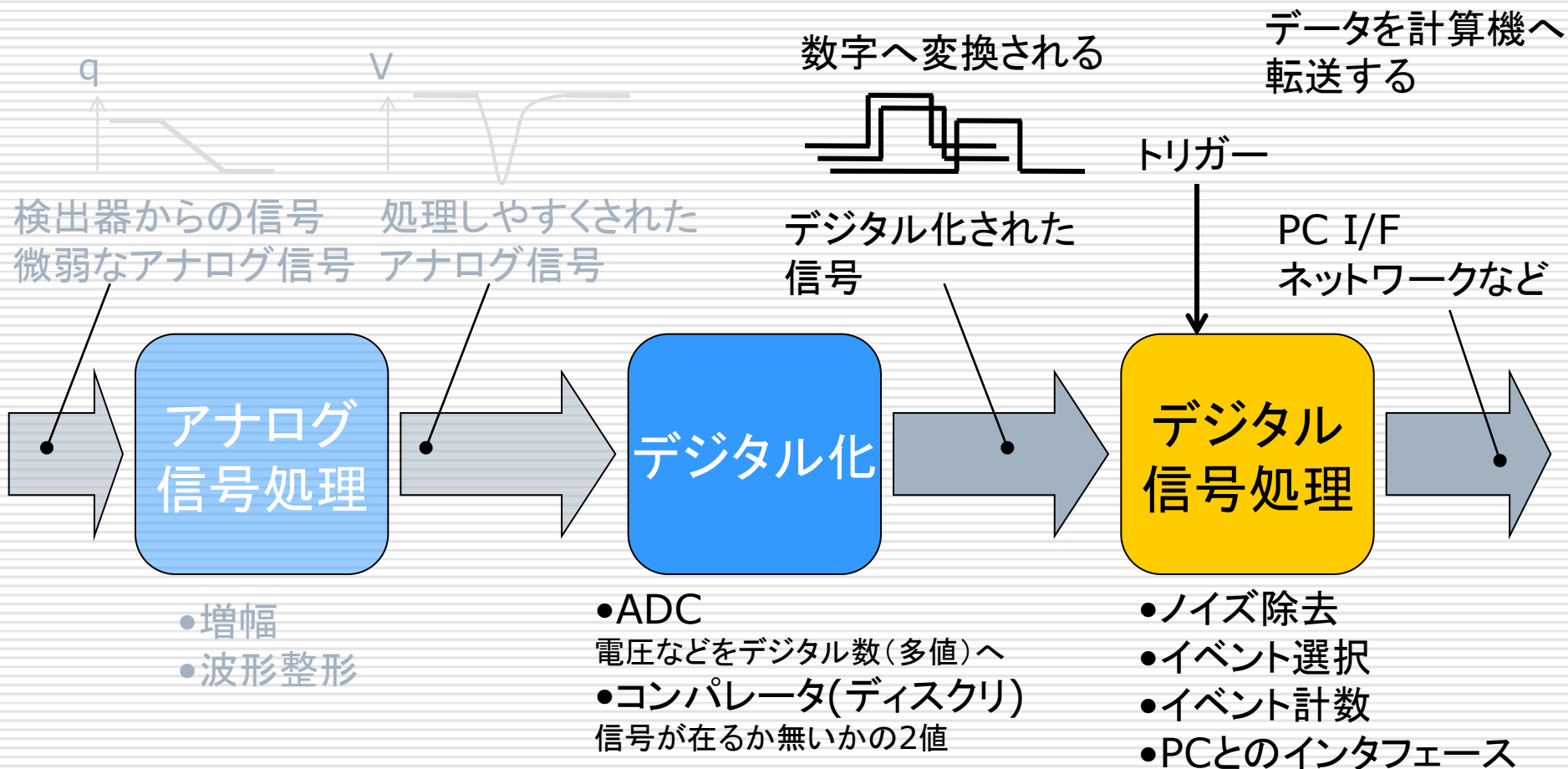
実験からの要求(入力と出力)は決まっている



フロントエンド回路

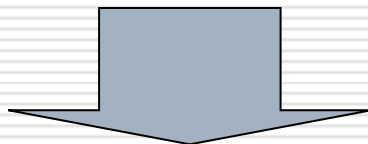


設計する部分



デジタル化する場所

検出器の近くでデジタル化の方が良い

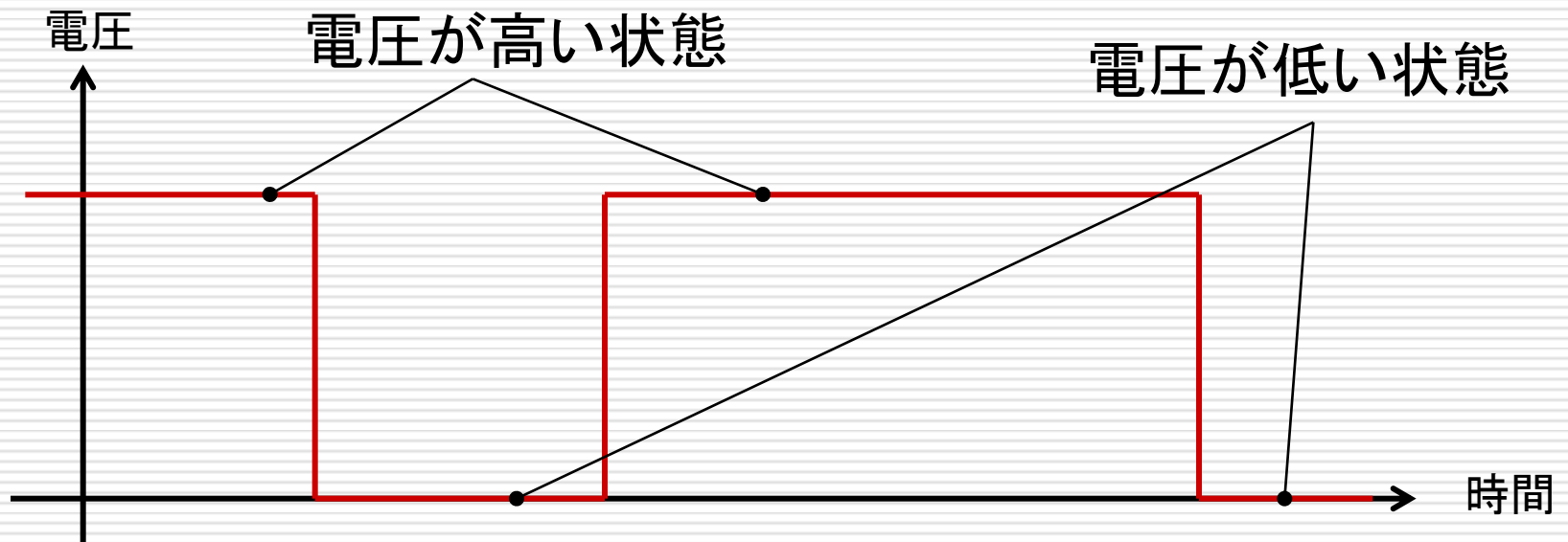


フロントエンドでデジタル化

何故このような構成になるのでしょうか？

この事を気にしながら聞いてください

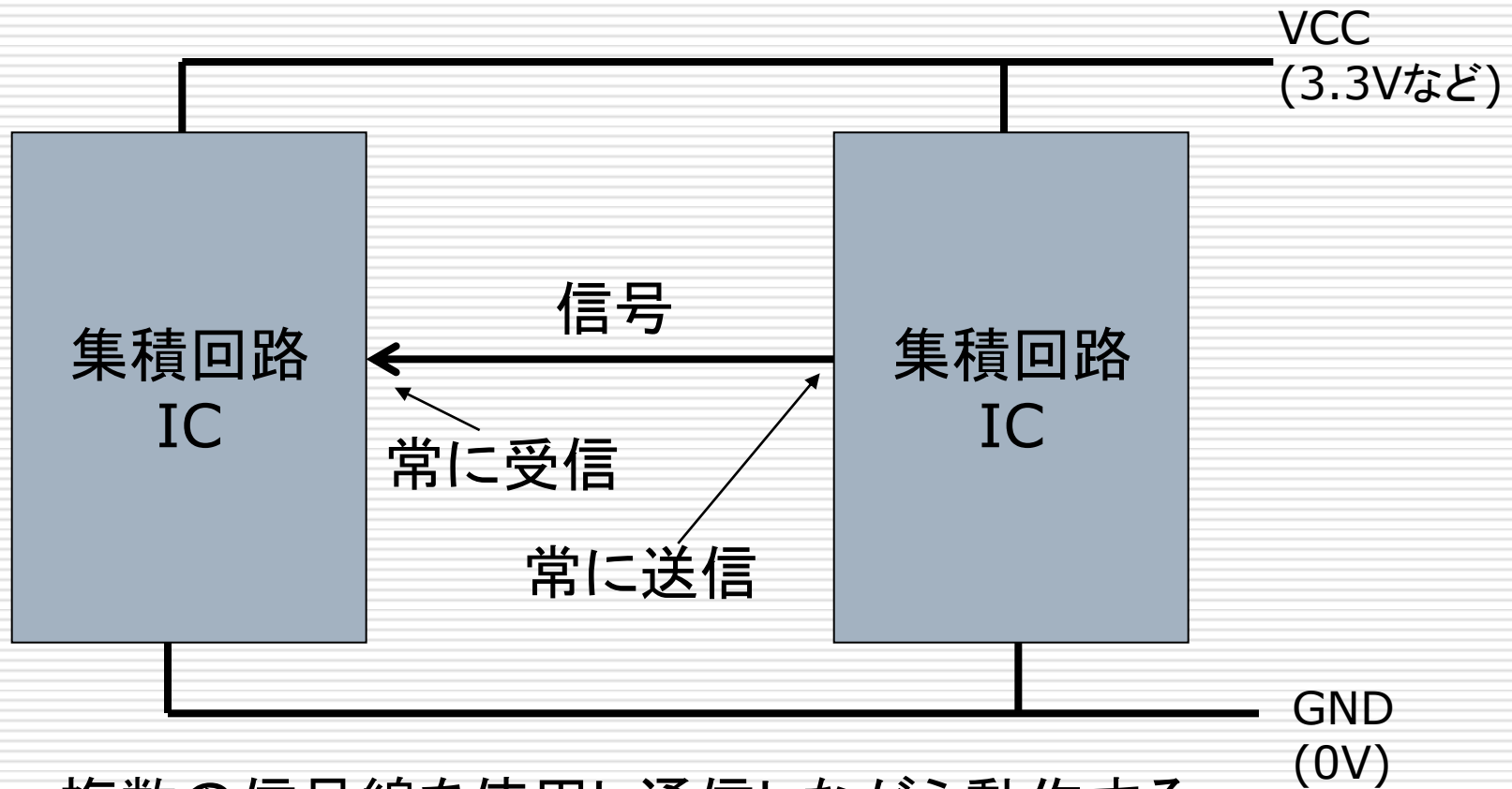
デジタル信号とは？



1つの信号線で0か1の2値を転送する事ができる

時間軸方向に展開できる事に注意！！！！

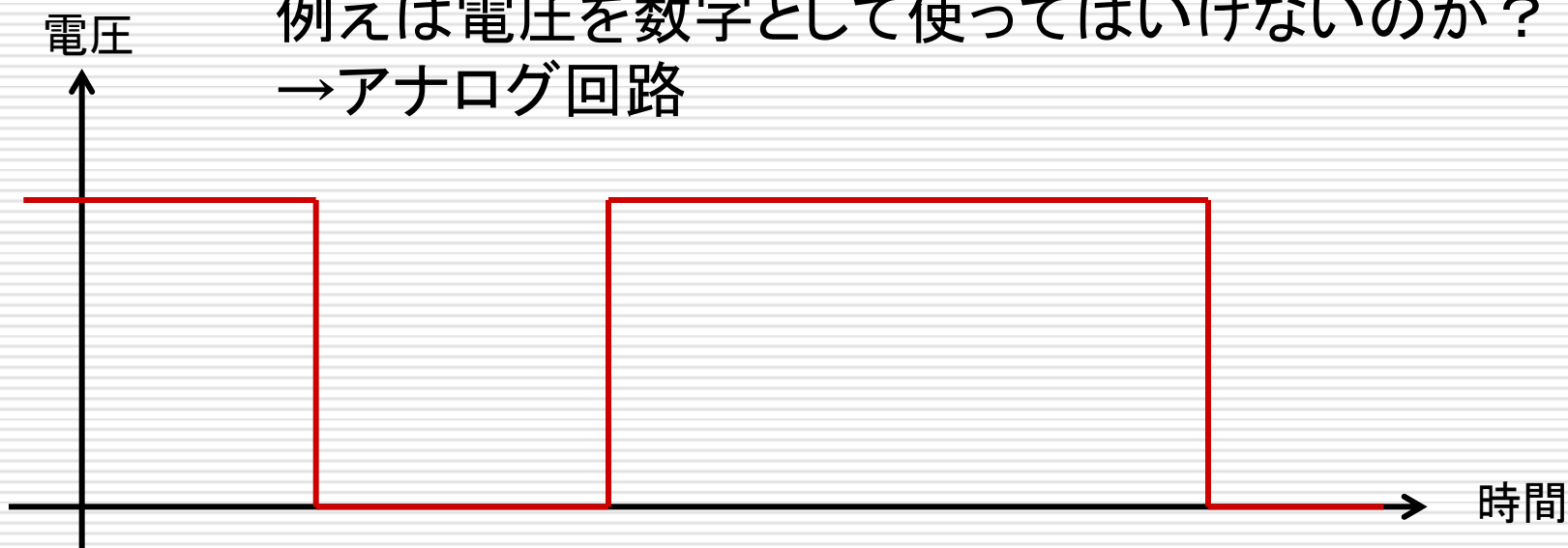
デジタル回路とは？



複数の信号線を使用し通信しながら動作する

何故2値として使うのか？

例えば電圧を数字として使ってはいけないのか？
→アナログ回路



何故、2値を使うのか？

実際の信号

矩形波を維持して信号を伝播させる事は難しい！！

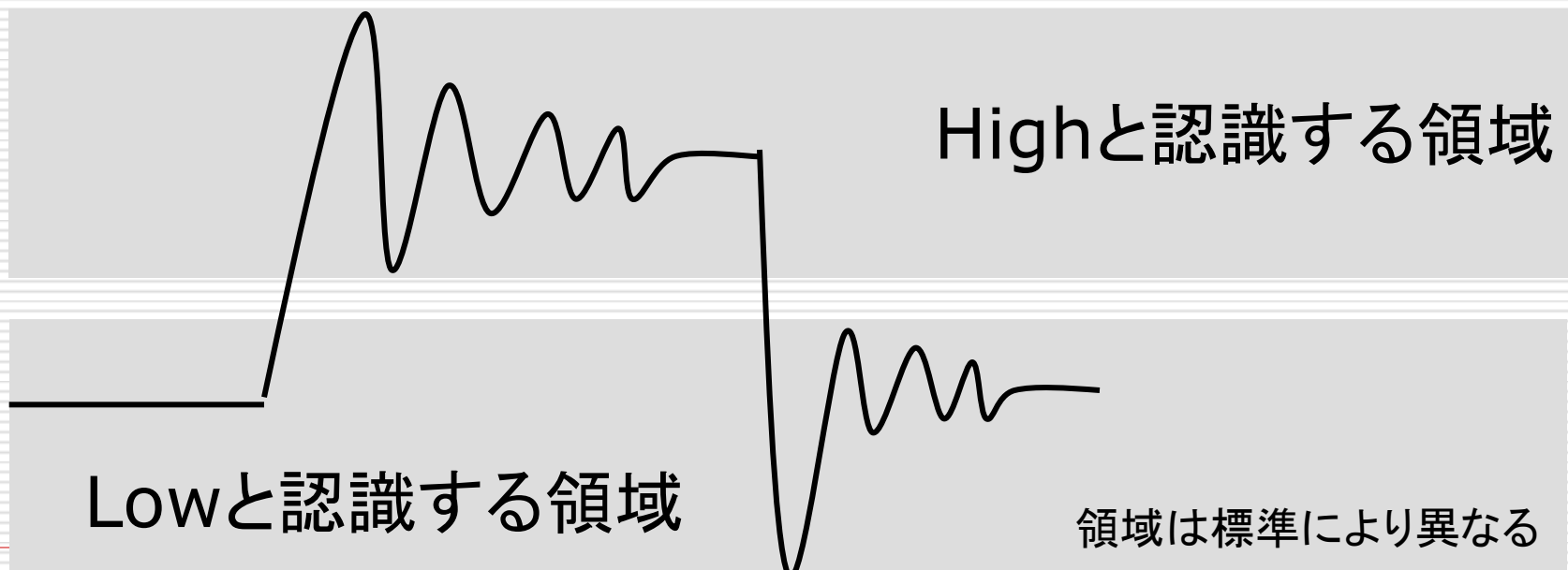
特に高速動作時に難しくなる



デジタル回路の長所

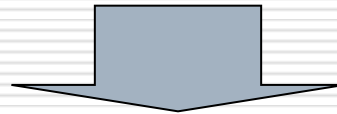
一つだけ挙げるなら
ノイズに強い！

この様なひどい信号でもOK



デジタル回路の長所

ノイズに強い



- 誤った処理をしない
- 高速動作が可能
- 記録が簡単

デジタル回路の短所

□ 信号数が多くなる

- 1本で2値(0と1)しか伝送できない
- 複数本で数字として意味をなす
 - この本数がbit数
 - 8bitなら0から255まで表現できます

□ 回路が大きくなる

- アナログ回路と比較すると圧倒的にトランジスタの数が多くなる

近年の微細化技術で問題にならなくなった

デジタル回路の特長を生かしたシステム

- ノイズの影響を最小限に抑えて、出来るだけ早くデジタル化(数字化)する
 - ノイズによるエラーを小さく出来る
 - システムを柔軟にできる
 - 一度デジタル値になればハードで計算したり、ソフトで計算する事ができる
- 計算テクニック(数学)を使ってアナログ回路ではできない処理ができる
 - デジタルフィルタやエラー訂正など
- ただし、離散化するので数字の丸め誤差に注意する

このセクションのまとめ

デジタル回路は・・・

□ 長所

- ノイズに強い
- データをコンピュータで処理しやすい

□ 短所

- 回路が大きい
- 信号の数が多い
- しかし、最近の微細化技術により問題にならない

デジタル回路と実装技術

- Application Specific IC (ASIC)
 - 集積回路をトランジスタレベルから設計できる
 - どの回路レベルから設計するかで呼称が変わるGate arrayもASICの一つ

- Programmable Logic Device (PLD)
 - ソフトウェアの様に回路情報をダウンロードして動作
 - 様々な種類がある
 - Field Programmable Gate Array (FPGA)など

- ディスクリート
 - 汎用ゲートICを使用して実装

ASIC実装

□ 長所

- 大量生産時に安価にできる
- 技術的に高度な事が出来る
 - アナデジ混載など

□ 短所

- 開発期間が長い
 - 回路が複雑になるとバグも出やすい。
 - 費用、開発効率の面で問題
- 試作費用が高い

PLD実装

□ 長所

- 簡単にICを作れる
- 回路修正が容易

□ 短所

- デジタルのみ
- 比較的高価

デジタルのみを考えるとASICと比較しても
価格性能とも見劣りしなくなっている

FPGAとは？

- Field Programmable Gate Array
- 集積回路
 - 主にデジタル回路
 - 2×2 cm程度の大きさ
- ユーザーが回路をダウンロードして使用
 - ソフトウェアの様に使用できる
 - ソフトウェアではないので注意！



FPGA最近の傾向

- 様々な専用機能が搭載されている
- 組み込みCPU
 - Linuxを動かしたりできる
- Digital Signal Processing (DSP)
 - 積和演算ユニットの事
- 高速シリアル通信
 - ~10Gbps
- メモリコントローラ
 - DDR2/3 SDRAM

デジタル回路の基礎知識

目的: デジタル回路に関わる基礎知識の習得

- 信号規格
- 符号化

回路の表現方法

□ ブロック図

- 回路動作の理解を助ける為に使用
 - 機能設計でも使用する
- 複数の箱で表現
 - 一つの機能を一つの箱で表す
- 重要な通信を線で表す

□ 回路図

- 実装可能な詳細内容を記述したもの

信号規格

デジタル信号

デジタル信号は2値の状態を持つ

2値状態を持つなら何でも良いとも言える

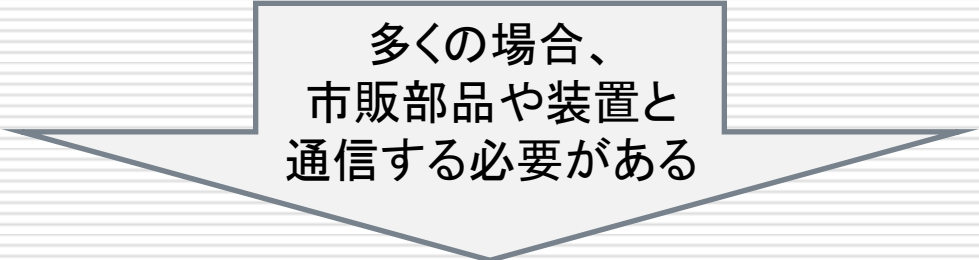
実際は？

デジタル信号の疑問

- 0と1状態を勝手に決めて良いのか？
- どうなると1なのか？
- もし電圧で表現すなら何Vなら1なのか？
- 中間状態は考えなくて良いのか？
- 電圧が高い方が必ず1なのか？

信号規格 (Signaling standard)

完結した回路なら自由に決めてOK



多くの場合、
市販部品や装置と
通信する必要がある

用途に合わせて多種多様な信号規格がある

規格に従わないと通信できなくなる

決められている事

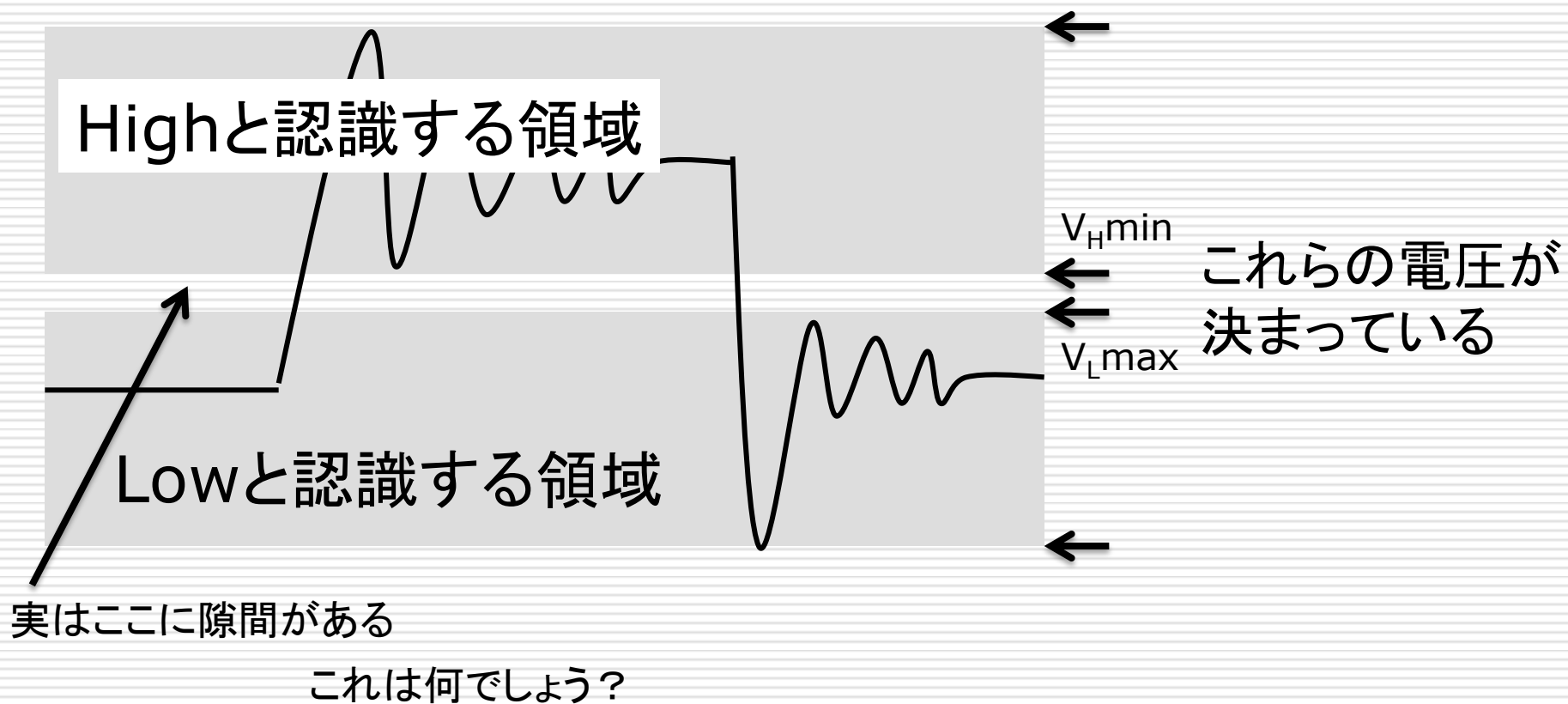
□ 伝送方法

- 差動(2信号)またはシングルエンド(1信号)
- 終端方法、インピーダンスなど

□ H level範囲

□ L level範囲

何が決められているのか



正論理、負論理

□ 正論理

- 電圧が高い(電流が正極から負極へ流れる)時を1 (Active)と定義

□ 負論理

- 電圧が低い(電流が負極から正極へ流れる)時を0 (Inactive)と定義
- 信号名先頭に/をつけたり上にバーを付けたり最後にBやnを付けたりする

現在は大部分が正論理

このセクションのまとめ

- デジタル信号には複数の規格がある
- 部品を接続する時は同じ規格を使用しなければいけない！
- デジタル波形はエッジと振動に注意する！
 - HとLの領域は定義されている
 - しかし、HでもLでも無い領域も存在する

符号の復習

デジタル信号1つで2値しか表現できません

値を表現する為には複数の信号線を使う必要があります

デジタル回路は基本的に2進演算回路ですので符号は重要です

BitとByte

□ Bitとは2進数の一桁

- 信号線なら1本

□ Byteとは8bit

- 信号線なら8本

□ Wordはその時々で定義が異なるので注意！

2進数

□ 2をベースに表現した数字

- $a \times 2^0 + b \times 2^1 + \dots, a, b, \dots = \{0, 1\}$

□ 複数のデジタル信号を2進数の符号と見なすと2進数の計算ができる

- ということ

- 2^n 乗と $1/2^n$ 乗は簡単に計算できる

- 具体的には左シフト、右シフト

- 例題、b0010を2倍、1/2倍する

16進数

- 2進数を読みやすくする為に使用
 - 桁が多すぎるので適当に切らないと読みにくい
 - 4bitをまとめて表現する為に使用する
 - 信号線なら4本をまとめて表現
- 16をベースに表現した数字
 - 0, 1, 2, ..., A, B, C, D, E, F
 - $a \times 16^0 + b \times 16^1 + \dots$, $a, b, \dots = \{0, \dots, F\}$
 - ということで、
 - 16^n 乗と $1/16^n$ 乗は簡単に計算できる

このセクションのまとめ

- デジタル信号一つでは2値しか表現できない
- 値を表現する為には複数信号を使用する
- 2進表現は重要
 - デジタル回路は信号変化を考えながら設計する
- 16進表現が便利
 - 2進表現では桁が多すぎる