

電子回路及び演習 講義案内

SMeRL (Sensor-Microelectronics Research Lab.)

<https://smerl.jp>

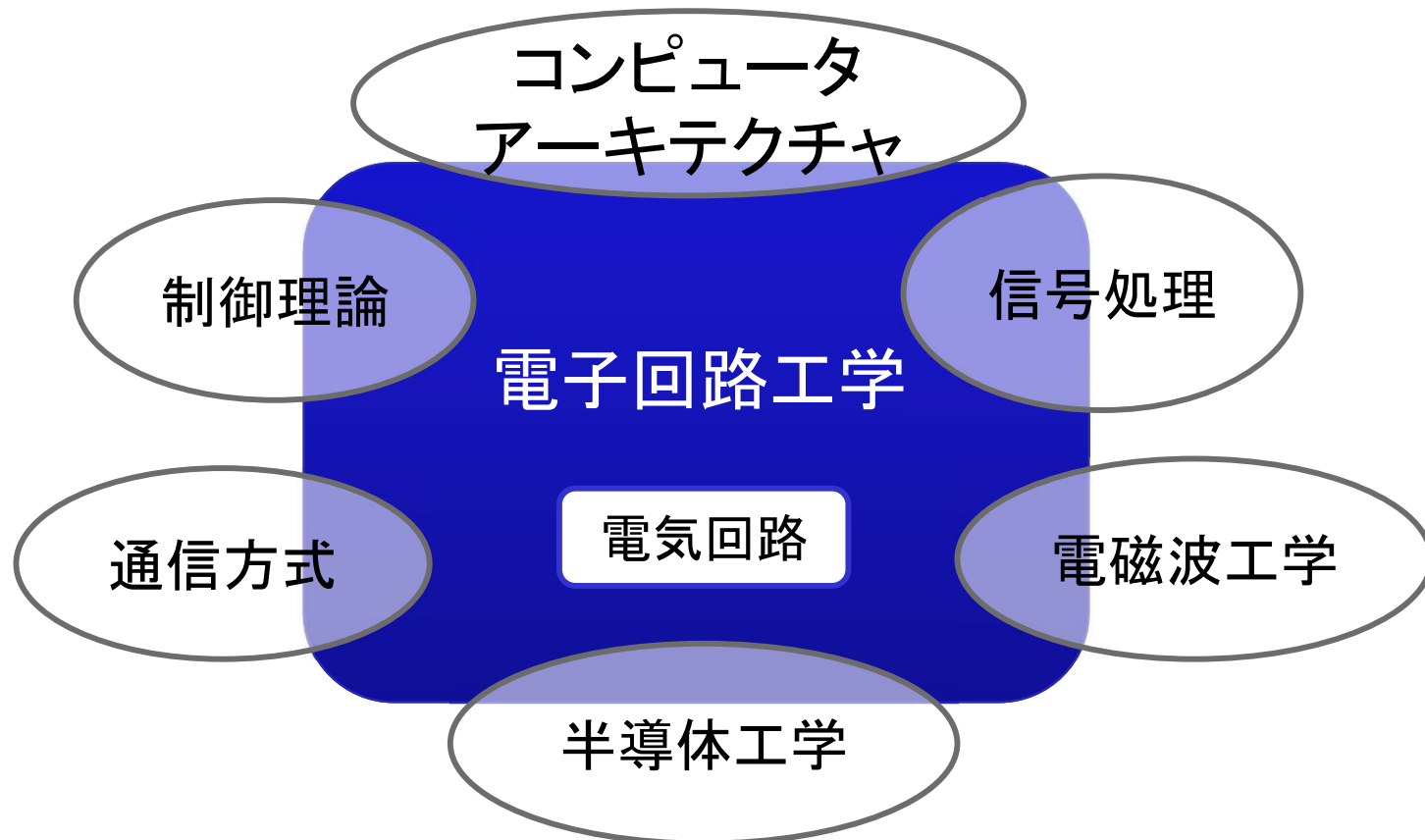
北川章夫

電子回路を学ぶ理由

- 電子・情報・通信技術全体の基礎知識
 - 電子回路(アナログ、デジタル)は電子情報通信技術全体の基礎概念を含んでいるので最初に学ぶ必要がある
 - 新技術や新理論の意義をいち早く察知し実用化するために有効
 - 回路図やブロック線図の読み書きができると特許出願や特許利用に有利
- 電子・情報・通信システム研究開発の基本スキル
 - 試作やシミュレーションによるアイデアの実証が自分でできる
 - 電子機器の仕様書の作成に必要(設計や製造の外注が可能になる)
 - 電子回路の設計者は他の専門分野から頼りにされる(多くの開発プロジェクトに参画できる)

電子回路工学の位置づけ

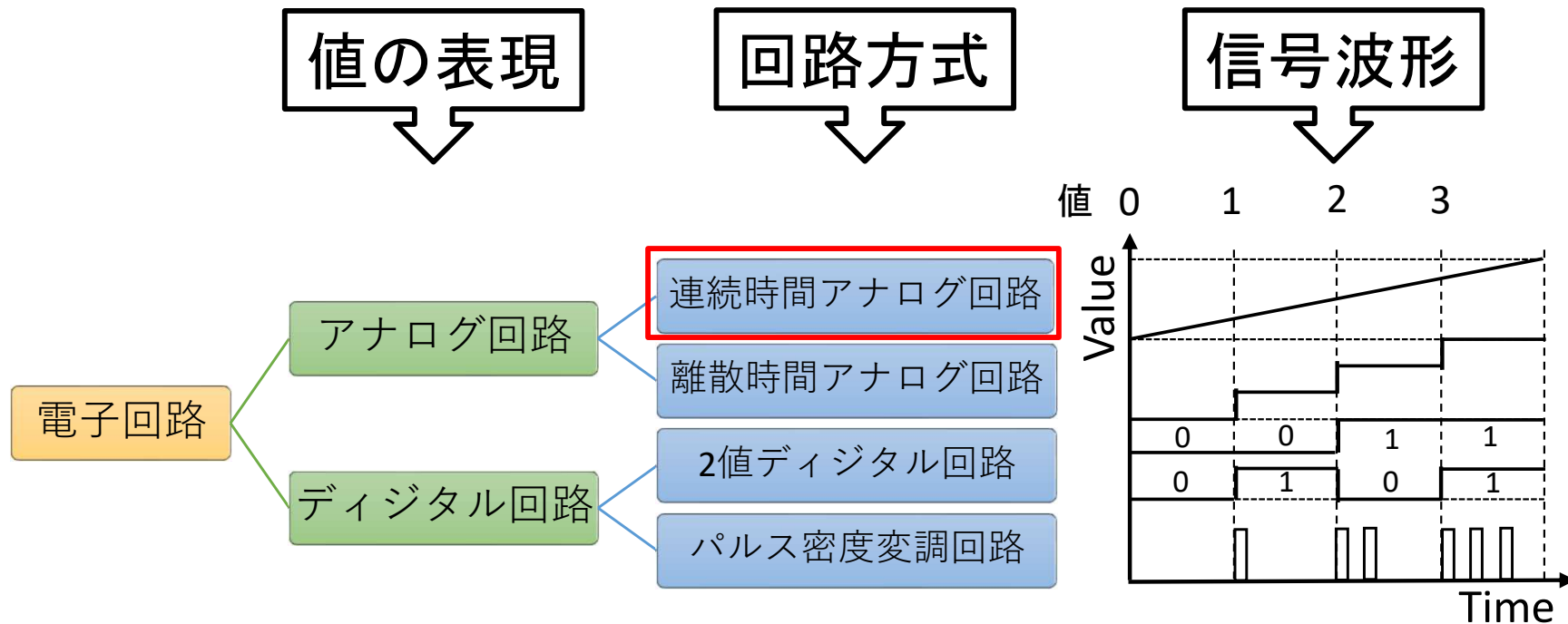
電子回路工学は、多くの分野の共通基盤となっているため、他科目と関連付けて学ぶ必要がある。また、電気回路（線形回路網）の知識を前提としている。



電子回路及び演習AB目標

- A) ブロックダイアグラムによるシステムの記述方法を身につける。
- B) MOSFET(トランジスタ)を基本とする現代的な回路設計と回路解析の手法を身につける。
- C) ブロックダイアグラムとトランジスタ回路の関係を把握する。

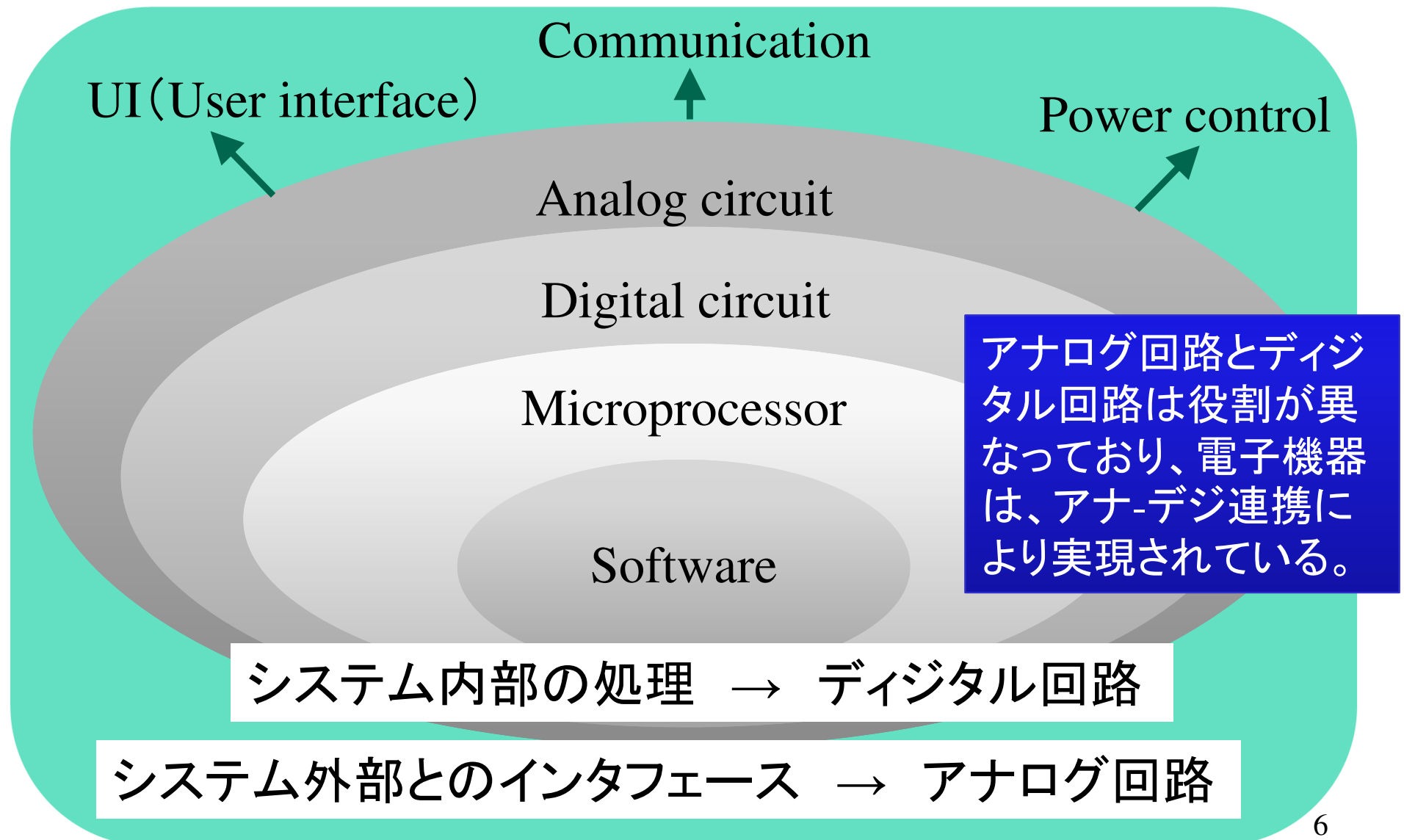
電子回路回路の分類



本講義では、**連続時間アナログ回路**を扱う。

その他の回路方式を理解するためには、連続時間アナログ回路を理解している必要がある。

アナログとデジタルの役割分担



アナ-デジ連携から生まれる新技術



フィルム太陽電池による無線センサネットワーク(Innovation Japan)



活性酸素センサ (Sensor Expo Japan)

IoTシステム構築に必要な知識

無線センサネットワーク(前スライド左図)の例



- センサ回路の設計
- 電源回路の設計
- MCUのプログラミング
- 無線センサの受信ソフト開発
- インターネットへの送信ソフト開発
- サーバ構築
- データベース構築

優れた個別技術を活かすシステムやサービスを構想するためにはアナログ信号処理、デジタル信号処理、情報通信、ソフトウェアを総合的に理解している必要がある。

電子回路開発に必要な知識

半導体デバイスの動作原理と特性

基本回路の動作原理

回路シミュレータの利用法

理論の理解と応用
(本科目の守備範囲)

PCB (Printed Circuit Board)



電子工作などの実践
により身につける



CC:photo by cowjuice

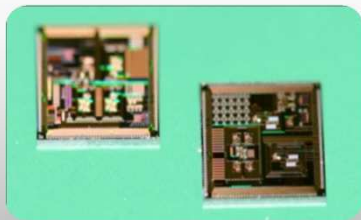
CADソフトによるプリント基板
またはLSIの設計

実装技術(部品選定、半田付け)

計測器と計測技術の知識

主な電子回路実装技術

1990年代までは、半導体メーカーが販売する汎用半導体部品を組み合わせることでPCBを製作していたが、2000年以降は、カスタムLSI+ソフトウェアによる実装が一般的



カスタムLSI

写真は金沢大学で開発したRF-ID

- CADソフトウェアを使用して**ユーザがLSIを設計**
- 半導体メーカーの製造サービスを利用して外注製造



プログラマブルLSI

写真はインテル社のFPGA

- HDL(Hardware Description Language)を用いて**ユーザがLSIをプログラム**
- プログラマブルLSIに回路の配線情報と制御プログラムを書き込む



モジュール基板

写真はLeafony Systems社のIoT無線センサ

- 必要な市販機能モジュール基板を組み合わせることで**ユーザがシステムを構築**
- モジュールに搭載されたMCUに**組み込みソフト**を書き込む

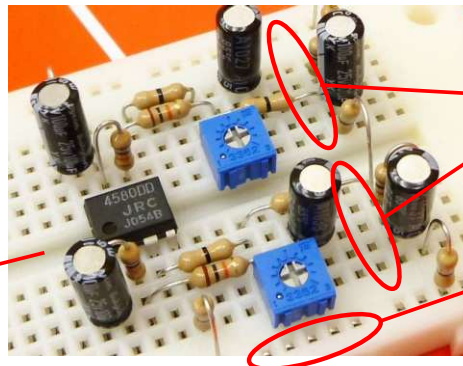
専門用語解説

PCB:	Printed Circuit Board, プリント基板(ガラスエポキシ等の板に貼った銅箔により配線する方式の回路基板。通常はCADソフトで配線パターンを設計して外注製造する)
CAD software:	Computer Aided Design software/tool, 設計支援/自動化ソフトウェア(回路シミュレータ、自動配線ツール、論理(回路)合成ツールなど)
LSI:	Large Scale Integration, 大規模集積回路
Custom LSI:	カスタムLSI(特定用途向けにユーザが設計したLSI)
RF-ID:	Radio Frequency Identifier (電磁波を電源として動作する無線通信LSI)
HDL:	Hardware Description Language, ハードウェア記述言語(回路の機能を記述するC言語に似た言語。HDLのソースコードから論理回路が自動合成される)
FPGA:	Field Programmable Gate Array (書き換えが可能なデジタルLSI。近年のFPGAはマイクロプロセッサをいくつも書き込める)
IoT:	Internet of Things, モノのインターネット(様々なものをインターネットに接続し情報を交換、収集、分析して活用するシステム)

(参考) ブレッドボード

- Solder-less breadboard : 日本語では単にブレッドボード
 - 部品をはんだ付けしないで、**回路を手軽に試作し部品を差し替えられる**ボード
 - Solderは、日本語では「はんだ」(電子部品などを接続するための錫合金・・・はんだは信じられないくらい歴史が古いので調べてみよう)
- ブレッドボードの欠点
 - 実験には、ブレッドボードが便利。ただし、**表面実装部品(ピンやリード線がない部品)**はそのままでは使用できない。
 - **数MHz以上の高い周波数、数100mA以上の大きな電流には使用できない**

DIP(Dual Inline Package)形状の部品を挿すライン。



横の配線(この穴が内部で結線されている。)

縦の配線(電源ラインとして使用することが多い。)

電子回路を学ぶ上での注意事項

電子回路を学ぶためには、基礎として電気回路を完全に理解している必要があるが、電子回路は、電気回路の発展形ではなく、本質的に異なる**学問として捉える**必要がある。

- 電気回路

- 回路の数学的取り扱い方法(計算法)を学ぶために作られた**教育科目**なので、高校までの科目と同様、**問題演習により身につける**ことができる(守備範囲が確定している)

- 電子回路

- 現在も発展している**学問体系**なので、演習問題からの類推で理解することはできない(守備範囲が規定されず、他科目との繋がりを理解する必要がある)
- 習得には、抽象的概念から具体的実装を創造するための体系化された**工学的思想**としての理解が必要→**合理的思考力とセンスを磨く**必要がある

電気回路と電子回路の数学的な違い

	電気回路	電子回路
使用するデバイス	R, L, C	半導体素子 + R, L, C
電流-電圧の関係	1次関数(線形)	複雑な関数(非線形)
回路方程式の形	線形微分方程式	非線形微分方程式
回路方程式の解き方	複素ベクトル ラプラス変換	数値解析 小信号近似※による線形回路解析

※ 非線形関数を局所的に線形近似して電気回路(線型回路)の解析手法を適用する手法→詳細は講義で説明する

線形微分方程式: 数学的に解くことができる

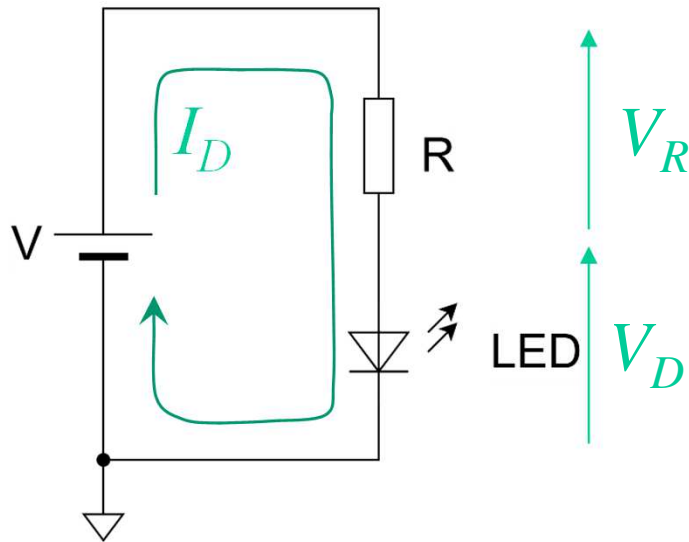
非線形微分方程式: 殆どの場合数学的に解けない



電子回路シミュレーションを用いた数値解析が必須

非線形回路方程式の例

問: I_D を求めよ。



$$\begin{cases} V = V_R + V_D \\ V_R = RI_D \\ I_D = I_S(e^{\frac{q}{n k T} V_D} - 1) \end{cases}$$

$$I_D = I_S(e^{\frac{q}{n k T} (V - V_R)} - 1) = I_S(e^{\frac{q}{n k T} (V - R I_D)} - 1)$$

この方程式は、 I_D が解けない。従って V_D , V_R も解けない。

電子回路及び演習ABの達成目標

1. 電子回路シミュレータ
 - － 電子回路シミュレータを使って回路解析ができる
2. ブロックダイアグラムと伝達関数
 - － 信号処理、制御理論との繋がりを把握している
3. 電子回路の3大基本機能
 - － 信号処理回路の動作原理と解析方法を理解している
 - － 発振回路の動作原理と解析方法を理解している
 - － 電源回路の動作原理と解析方法を理解している
4. トランジスタの特性とモデル式
 - － 半導体工学との繋がりを把握している
5. バイアス回路と小信号等価回路
 - － 半導体を用いた基本回路(増幅回路など)の設計ができる

電子回路学習のポイント

1. 専門用語の意味の把握(英語と日本語の両方覚えること)
 - ✓ 例: インピーダンス
 - ✓ 例: バイアス
2. 基礎概念の理解
 - ✓ 例: 伝達関数
 - ✓ 例: 小信号等価回路
3. 解析、証明などの結果(定理、法則)の理解
 - ✓ 例: テブナンの定理
 - ✓ 例: 仮想ショート
4. 定理、法則の応用
 - ✓ 例: 特性の安定化
 - ✓ 例: フィードバックによる利得制御

演習問題を解くことは理解の助けになるが、演習問題が解けても、回路の設計はできない。動作原理の理解と解析結果に対する考察が重要。

教科書・参考書

- 参考書

- 松澤昭著「はじめてのアナログ電子回路(基本回路編)」, 講談社, 2015, ISBN978-4-06-156535-7
 - 演習問題が豊富なので、理解度の確認に利用するとよい
- 谷口研二著「CMOSアナログ回路入門」, CQ出版, 2005, ISBN978-4-78-983037-9
 - 電子回路全体を網羅していませんが、考え方を丁寧に説明した名著
- 北川章夫著「LTspice電子回路シミュレータ」, 工学社, 2016, ISBN 978-4-7775-1936-1
 - 絶版となったため生協では販売していない。代替として、次の解説ページを参考に見ること
 - <https://smerl.jp/lab/ltspice/>

- 配付資料

- 講義は、配付資料に基づいて行う
 - <https://smerl.jp/ec1/> (ダウンロードページ)
 - 印刷物は配布しないので、事前にダウンロードしておくか講義中にノートPC等で参照すること
 - ノートを取らないと、講義資料だけで復習することは難しい

成績評価

- 成績評価法

- 課題レポート(50%)、期末テスト(50%)の配点比率とし、合計点数が60%以上で合格とする
 - 期末テストは、紙の資料、書籍の持ち込みを可とする
- 宿題レポートを期限に遅れて提出した場合は0点とする
 - 公式課外活動、病気など、本人の責任でないことを第三者が証明できる場合は、提出が遅れても正規の提出として扱う

- 再試、追試、保留評価

- 成績評価の公平性のため原則として再試は行わない
- 避けられない事情で試験が受けられなかった場合は追試を行う
- 当該学期に成績判定ができない事情がある場合は保留が適用される(長期入院、心理カウンセリングを受けているなど)

質問方法

- なるべく講義時間中に質問してください
 - 込み入った質問は、講義後に受け付けます
- メールでも質問を受け付けます
 - メールアドレス: kitagawa@smerl.jp
- 質問をしないで理解できないのは自分の責任です
 - 理解の仕方や背景知識のレベルは人によって大きく違うので、全員が解るような説明はできません。解らないところは遠慮せずに質問しましょう

課題0. 1

- ノートPCに回路シミュレータLTspiceをインストール
 - ダウンロード先: <https://www.analog.com/jp/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>
 - Windows用とmacOS用が無料配付されていますが、Windows以外のOS(x86系)にもインストールできます
 - Windows版で説明します。Windows版とmacOS版は、操作方法が違うので、macOSでもWindows版のインストールを推奨(別途、仮想環境等のインストールが必要)
- マウスの用意(任意)
 - タッチパッドで回路図を入力するのは難しいので、実習を行うときは、持ち歩ける小形のマウスがあれば便利