

2021年9月13日

## R3年度 群馬大学電気電子工学特別講義II（集積電子回路工学）

担当：源代裕治先生（サインエレクトロニクス） **電子回路**  
飯野俊雄先生（工業所有権協力センター） **センサ技術**  
崔通先生（東京工芸大学） **電源回路**

後期授業 火曜日、16:00-17:30

**講義は全て Zoom 配信で行います**

	月	日	担当
2021年	10月	5日	源代
		12日	源代
		19日	源代
		26日	源代
	11月	2日	源代
		9日	源代
		16日	源代
	12月	30日	飯野
		7日	飯野
		14日	飯野
2022年	1月	21日	飯野
		11日	飯野
		18日	崔
	25日	崔	

連絡先 電気電子 小林春夫 [koba@gunma-u.ac.jp](mailto:koba@gunma-u.ac.jp)

講義資料：<https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/lecture/lecture.html>

次も参照：<https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/analog-web/analogworkshop.html>

## I. 源代裕治先生 講義概要

私は日々回路と格闘している現役の回路設計者です。小学生の頃から数えて、足掛け 50 年も回路と付き合っています。担当する 7 回分の講義を最大限に活用させて頂き、私が長年考え、また経験してきた回路論を、後進達に紹介したいと思います。

回路も奥が深く、50 年経っても学び切りません。難しい内容は説明も難しいものですが、初歩な疑問、たとえば『電流ってどのくらいの速さで流れるのですか』なども答えるのが難しいものです。今回の講義は回路を既に通り返った方に、別の視点から眺めると違った景色に見えるよ、という話になります。

大まかなストーリーとしては下記のように考えています。

手始めに、電気の歴史(回路の歴史)を眺め直します。歴史は偉大な先人たちの苦闘を偲ぶだけのものではなく、我々が今立ち向かっている問題に対する知恵と勇気を得るものです。

その後で、私の現在の理解に基づいて回路理論を再構築します。出発点から異質なので、じっくり説明します。まず、回路は部品接続であること、電圧と電流は回路を構成する配線と部品の属性であることを認識します。その立場から、回路の公理である Kirchhoff の法則の定式化に若干の修正を加えます。その上で、Ohm の法則や Norton の法則が、我々の回路論にしっかりと収まって来る様子を眺めて行きたいと思います。

回路の主演となるアクティブ素子は、講義の後半で登場します。我々の回路論では、アクティブ素子は他所の電圧や電流で特性が決まる不思議な部品(他動素子)です。歴史に登場するアクティブ素子には、真空管・バイポーラトランジスタ・MOS トランジスタなどがあります。それぞれの素子に適した回路が多数工夫されてきましたが、多様性の観測を通じて、それらが統一的に理解できる様子を鑑賞することを心がけて行きましょう。現在主演の CMOS 時代も、いつか終わりが来るかもしれませんが、回路の本質は変わりません。

もとより非正規カリキュラムなので、予定にはあまりとらわれなくて、折々の話題で気ままに寄り道をしましょう。興味がある回だけ聴講しようという人には申し訳ありませんが、下記とは進捗が多少ずれてしまうかも知れません。ただ、全体を通じて回路の話題を展開して行きますので、できるだけ通して聴講していただきたいと思います。学生さんには、ほぼ出席点だけで成績を付けますが、毎回の簡単なレポートと全体で一つのレポートをお願いするつもりです。

本講義では回路方程式は殆ど使いません。式を解いて現象を理解することの重要性は強調しすぎることはありませんが、式を使わない方が良く分かることを話します。私にとって日々の設計は、回路と対話することです。専門家になってからも対話が尽きるところがないのです。

今年度の講義では LTSpice というシミュレータを使います。

オープンソースの回路やデバイスモデルなども紹介して行きます。楽しんでください。

第 1 回 2021 年 10 月 5 日 (火) 回路の歴史 1

～ 先人たちの苦勞、今に残る混乱 ～

第 2 回 2021 年 10 月 12 日 (火) 回路の歴史 2

～ 後を追う者も楽じゃない ～

第 3 回 2021 年 10 月 19 日 (火) 回路の理論 1 (枠組み)

～ 回路とは部品(=枝)の接点(=節)に電流・電位の属性を付与したものだ ～

第 4 回 2021 年 10 月 26 日 (火) 回路の理論 2 (他動素子)

～ 他所の状態でも IV 特性が変わってくる素子たち ～

第 5 回 2021 年 11 月 2 日 (火) アクティブ素子 1 (歴史的展望)

～ 真空管、バイポーラ、MOS ～

～ 真空管時代は 50 年、では CMOS 時代は ～

第 6 回 2021 年 11 月 9 日 (火) アクティブ素子 2 (動作点設定)

～ 動作点、ノードインピーダンス、ダイナミックレンジ ～

第 7 回 2021 年 11 月 16 日 (火) 基本回路

～ 差動対+カレントミラー⇐IC ～

## II 飯野俊雄先生担当分

本講座の5回の概要をご説明します。最初の「センサから見たI o T」回では、導入として近年話題になっているI o Tとセンサの密接な関わりについて講義をします。次回以降はI o Tとの関連を考慮しながら各種センサの動作原理を中心にして講義を行い、主要なセンサについて理解を深めていただきたいと思います。

「磁気センサの基礎」では、センサの悩ましさ(=様々なセンサに共通している理想と現実のギャップ)から出発して、その具体例として各種磁気センサの解説をしていきます。そして現在の磁気センサの到達点とこれからの方向性についてお話をします。

「光センサの基礎」では、基本となる量子型光センサの動作原理から出発して、コロナウイルス対策で光センサがどのように役立っているのか、自動運転で 사용되는LiDAR、スマホのカメラを通じて日常生活に不可欠となっている画像センサについてお話をしていきます。

「位置センサの基礎」、「流量センサの基礎」では、センサの解説とともに、講師の実体験に基づいたセンサ開発の方法論とその課題、センサとI o Tとの関係についてお話をします。

### 第8回

題目：センサから見たI o T

講師：飯野俊雄先生(工業所有権協力センター)

日時：2021年11月30日(火) 16:00~17:30

内容：

1. センサとは何なのか?
  - センサの定義と分類
  - 「J E I T Aセンサ・グローバル状況調査」
2. I o Tと切離せないセンサ
  - I o Tデバイスとしてのセンサ
  - I o T以前の世界
3. I o Tとセンサの向かう方向---国のP J Tより
  - グリーンセンサネットワークP J T
  - 水田水管理I C T活用コンソーシアム
  - インフラのセンシング例
4. I o Tでセンサはどのように使われているか
  - I o T向けセンサの実例
  - スマートメータ
  - I o Tの事例紹介

## 第9回

題目：磁気センサの基礎

講師：飯野俊雄先生（工業所有権協力センター）

日時：2021年12月7日（火）16:00～17:30

内容：

1. 磁気センサの概論
  - 1.1 センサの定義の復習
  - 1.2 センサに要求される性能と現実のギャップ
  - 1.3 磁気センサはどこでつかわれているか
2. さまざまな磁気センサとその特徴
  - 2.1 ホール素子
    - 3軸電子コンパスへの展開
  - 2.2 MR（磁気抵抗）センサ
  - 2.3 GMR（巨大磁気抵抗効果）センサ
  - 2.4 TMR（トンネル磁気抵抗効果）センサ
    - スピントロニクスの世界
    - 磁気ヘッドとメモリーへの展開
  - 2.5 MI（磁気インピーダンス効果）センサ
    - 自動運転
    - 3軸電子コンパス
  - 2.6 フラックスゲートセンサ
  - 2.7 4方式の電子コンパス
  - 2.8 生体磁気計測への挑戦

[https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2019/20190818\\_Lisbon\\_iino-sensei.pdf](https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2019/20190818_Lisbon_iino-sensei.pdf)

## 第10回

題目：光センサの基礎

講師：飯野俊雄先生（工業所有権協力センター）

日時：2021年12月14日（火）16:00～17:30

内容：

1. 量子型光センサ
  - 光伝導効果
  - 焦電効果
  - 光起電力効果
  - 光電子放出効果

- センサのアレイ化
- 2. コロナウイルス対策で威力を発揮する光センサ
  - 放射温度計
  - 赤外線サーモグラフィ
  - パルスオキシメータ
  - リアルタイムPCR装置
- 3. 最近話題のLiDAR
  - 自動運転用LiDAR
  - iPad ProのLiDAR
- 4. 撮像素子とカメラの基礎
  - CCDセンサ
  - CMOSセンサ
  - 民生用CCD/CMOSセンサ
  - センサの感度向上
- 5. テクノロジードライバとしての科学計測用カメラ
  - EMCCDカメラ
  - HARPカメラ
  - 高速度カメラ

## 第11回

題目：位置センサの基礎

講師：飯野俊雄先生（工業所有権協力センター）

日時：2021年12月21日（火）16:00～17:30

内容：

1. ロータリエンコーダとは？
2. 角度の国家標準とは？
3. 光学式エンコーダ
  - (ア) インクリメンタル方式
    - 回転方向判別
    - 高分解能化
  - (イ) アブソリュート方式
    - 絶対角度の検出
    - 簡単なようで実は難しい回転数検出
  - (ウ) 通信機能とIOT
  - (エ) エンコーダ開発の実際
  - (オ) M系列信号の応用

4. 磁気式エンコーダ
  - (ア) インクリメンタル方式
  - (イ) アブソリュート方式
    - レゾルバ
    - 磁気式アブソリュート方式

## 第12回

題目：流量センサの基礎

講師：飯野俊雄先生（工業所有権協力センター）

日時：2022年1月11日（火）16:00～17:30

内容：

1. 体積流量計
  - 電磁流量計
  - 渦流量計
  - 差圧式流量計
2. 質量流量計
  - コリオリ流量計
  - 熱線式流量計
3. 身近な流量センサ
  - 水道メータ
  - ガスメータ

## IV 崔通先生担当分

第13回の講義は、デジタルゲートドライバの話をしてします。

パワーエレクトロニクスの世界で使用されている、ゲートドライバとはどの部分を指すのか、その役割を述べます。従来のドライバとデジタルゲートドライバの違いについて説明した後、最近のデジタルゲートドライバに関する研究内容を紹介します。

第14回の講義は、集積電源回路の話をしてします。電源回路の必要性、基本的な電源回路の種類と特徴を述べた後、フィードバック制御について解説します。その後、高密度集積電源の課題とこれを解決するための研究開発動向について説明します。最後に、最近の集積電源に関する研究内容を紹介します。

## 第13回

題目：デジタルゲートドライバ

日時：2022年1月18日（火）16:00～17:30

1) パワーエレクトロニクスにおける、ゲートドライバの役割

- ・IGBTとは？
- ・ゲートドライバとは？

2) 従来のドライバとデジタルゲートドライバの違い

- ・従来のゲートドライバの課題
- ・デジタルゲートドライバ

3) 最近の研究内容

- ・デジタルゲート駆動ICを用いた、IGBTのスイッチング時における、損失とオーバーシュートの自動最適化
- ・デジタルゲートドライバにおける、負荷電流と温度依存の最適化
- ・デジタルゲートドライバの負荷電流と温度変動に対する、ロバストなゲート駆動ベクトル

## 第14回

題目：集積電源回路

日時：2022年1月25日(火) 16:00～17:30

1) 電源回路の基礎

- ・電源回路の必要性
- ・電源回路の種類
- ・フィードバック制御

2) 集積化電源

- ・インダクティブパワーコンバータ
- ・スイッチトキャパシタパワーコンバータ
- ・ハイブリッド構成

3) 最近の研究内容

- ・スイッチトキャパシタ集積電源回路の高電力密度化