

# 座学・実験一体型講義のすすめ

古橋 武

1

## 目次

1. [座学・実験一体型講義のイメージ](#)
  - 1.1 [座学・実験一体型講義とは](#)
  - 1.2 [実験例 \(その 1\)](#)
  - 1.3 [効能](#)
  
2. [ボードコンピュータ少年・少女が大学に入学してくる！](#)
  - 2.1 [ボードコンピュータとは](#)
  - 2.2 [ラズベリーパイの「楽しさ」の特徴](#)
  - 2.3 [モノづくりを楽しむ子供たちの出現](#)
  - 2.4 [プログラミング教育の必修化](#)
  - 2.5 [ラズベリーパイから AI, IoT へ](#)
  - 2.6 [AI, IoT のための基礎学問 \(電気電子情報工学\)](#)

3. [製作演習付き講義の実施例](#) (筆者の試み)
  - 3.1 [製作演習付き講義とは](#)
  - 3.2 [初年度のアンケート結果](#) (パワーエレクトロニクス)
  - 3.3 [改善策](#)
  - 3.4 [製作課題例](#) (パワーエレクトロニクス)
  - 3.5 [改善後のアンケート結果](#) (パワーエレクトロニクス)
  - 3.6 [製作課題例](#) (電気工学通論 I, II)
  - 3.7 [アンケート結果](#) (電気工学通論 I, II)
  
4. [座学・実験一体型講義のすすめ](#)
  - 4.1 [座学・実験一体型講義のまとめ](#)
  - 4.2 [学生実験との違い](#)
  - 4.3 [製作演習付き講義との違い](#)
  - 4.4 [効能](#) (再掲)
  - 4.5 [ノートパソコンの必携化](#)
  - 4.6 [科目の候補](#)

## 講義概要

1. 座学・実験一体型講義のイメージ
2. ボードコンピュータ少年・少女が大学に入学してくる！
3. 製作演習付き講義の実施例  
(私の取り組み)
4. 座学・実験一体型講義のすすめ

2

講演概要です。

まず、座学・実験一体型講義のイメージについて私見を述べます。

次に、近い将来、大学にボードコンピュータ少年・少女達が入学してくる予想を述べます。

その次に、筆者が過去 16 年間模索してきた製作演習付き講義について紹介します。

最後に、ボードコンピュータ少年・少女達の興味を喚起し、座学の理解を容易にする座学・実験一体型講義のすすめを述べて、まとめとします。

## 現状の多くの大学における電気電子系科目の講義

1. 学生実験は2年生後期もしくは3年生に開講される.
2. 学部前半は座学中心. その間, 学生には回路を触る機会がほとんどない.

### 1.1 座学・実験一体型講義とは

まず, 現状の多くの大学における電気電子系科目の講義形態です.

学生実験は2年生後期もしくは3年生に開講されます.

学部前半は座学中心の講義です. その間, 学生には回路を触る機会がほとんどありません.

## 座学・実験一体型講義とは

### 1. 学生一人一人が計測器と実験キットを保有する.

計測器：ノートパソコン+USB計測器

実験キット：電子部品キット

### 2. 学生一人一人に座学直後に実験が課される.

5

本講義では、学生一人一人が計測器と実験キットを保有し、座学の直後に実験を行う講義形態を座学・実験一体型講義と呼びます。

筆者のイメージする具体的な座学・実験一体型講義では、学生一人一人がノートパソコンとUSB計測器と電子部品キットを保有します。電子機器の発達により、手のひらサイズで1万円台のUSB計測器の性能が飛躍的に向上しました。USB計測器をノートパソコンにつなぐことでポータブル計測器を構成できます。これにより電気電子情報系基礎科目の実験が可能です。

そして、学生一人一人に座学直後に実験が課されます。ノートパソコン、USB計測器と電子部品キットを持っていれば、学生は座学と同じ席で回路の製作・実験ができます。実験で具体例を体験すれば、座学の抽象的な内容の理解は容易になります。グループ実験ではないので、学生全員が回路を触ります。

工学部においてノートパソコンが必携化されている大学が増えています。名古屋大学内でも必携化が提案されています。電子部品キットは2千円台で調達できます。学生に対して、入学時にUSB計測器と電子部品キットの購入を義務づけることができれば、座学・実験一体型講義を実現できます。

## 座学・実験一体型講義の実施手順

前半の約45分：座学

後半の約45分：実験

座学の内容を実験課題とする。  
各自が課題回路を設計・製作する。  
TAが各自の回路動作をチェック  
→ OKなら名簿に記す。  
各自が実験データを録る。

レポート：実験結果のまとめと考察

6

筆者の考える、座学・実験一体型講義の実施手順です。

90分の授業を前後半でおよそ半分ずつに分けます。

前半の45分は座学です。従来の90分の講義を半分に圧縮します。

後半の45分を実験に充てます。座学の内容を実験課題とします。学生全員が各自課題回路を設計・製作します。そして、TAが学生の作った回路の動作をチェックして、OKであれば名簿に記します。その後、学生は自分の製作した回路で実験データを収録します。

レポート課題は実験結果のまとめと考察です。圧縮した座学の補完として、座学の内容を深く考えさせる課題とします。

課題回路を制作中 (パワーエレクトロニクス)



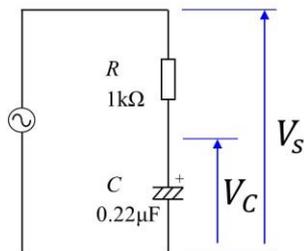
パワーエレクトロニクスの講義にて筆者が実際に実施してきた、製作演習付き講義における製作演習中の様子です。約 90 名の学生が各自課題製作に取り組んでいます。座学・実験一体型講義の実験では、同様の課題製作の様子に加えて、学生がノートパソコンを開いて、USB 機器で測定をしています。

## TAによるチェック (パワーエレクトロニクス)



学生が各自の製作した回路を TA に提出し、4 人の TA が手分けして回路動作をチェックしています。座学・実験一体型講義では、逆に TA が学生の間を廻って、製作回路とノートパソコン画面をチェックするやり方が良さそうです。

## 座学（交流回路論）



$$V_C = \frac{-jX_C(R + jX_C)}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} V_s$$
$$|V_C| = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} |V_s| \angle \theta$$
$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_C}{R} - 90^\circ$$

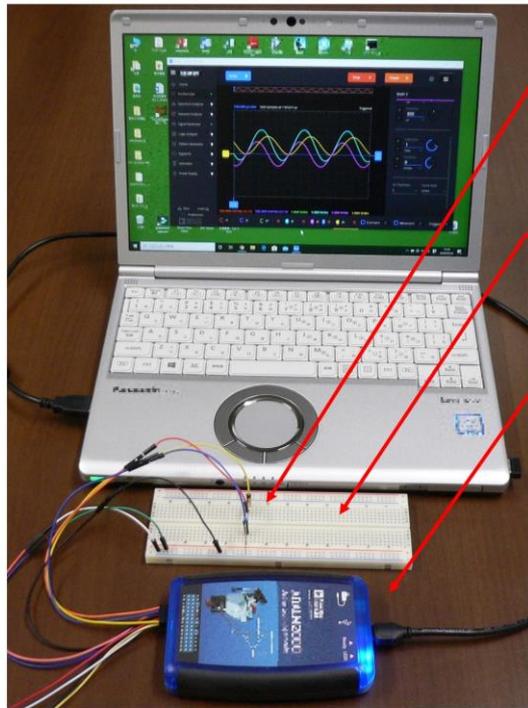
$$R = 1\text{ [k}\Omega\text{]}, C = 0.22\text{ [}\mu\text{F]}, f = 1\text{ [kHz] のとき}$$
$$\theta = -54^\circ$$

### 1.2 座学・実験一体型講義の実験例（その1）

交流回路論における，座学の抜粋です．

前半 45 分の座学で学生は，従来通りの複素数を使った理論を学びます．図は RC 直列回路における，コンデンサ両端電圧  $v_c$  と電源電圧  $v_s$  の関係を示す式です．抵抗  $R = 1\text{ [k}\Omega\text{]}$ ，コンデンサ  $C = 0.22\text{ [}\mu\text{F]}$ ，電源周波数  $f = 1\text{ [kHz]}$  のとき， $v_c$  は  $v_s$  より  $54^\circ$  位相が遅れます．

## 実験



RC直列回路

ブレッドボード

USB計測器

関数発生器  
オシロスコープ  
スペクトラムアナライザ  
ネットワークアナライザ  
パターングジェネレータ  
ロジックアナライザ  
...

実験の様子

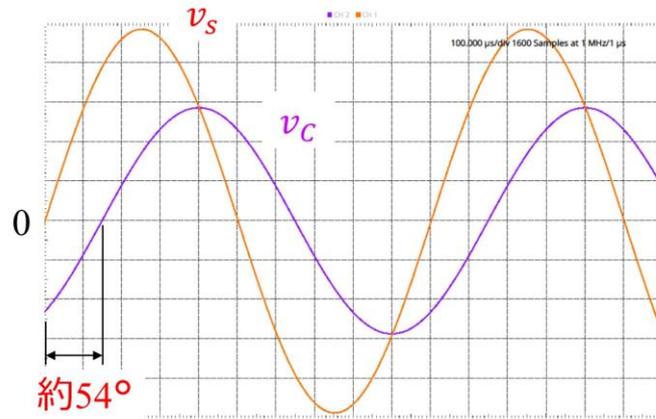
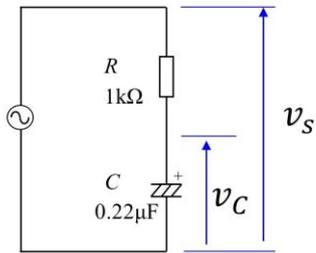
10

USB 計測器により，実験をしている様子です。

RC 直列回路はブレッドボード上に作ります。ブレッドボードは抵抗やコンデンサの電子部品を差し込むだけで配線ができます。

USB 計測器とノートパソコンは USB ケーブルでつないであります。写真の USB 計測器はアナログデバイセス社の ADALM2000 です。この USB 計測器は，手のひらサイズで価格は1万円台ですが，関数発生器，オシロスコープ，スペクトラムアナライザ，ネットワークアナライザ，パターングジェネレータ，ロジックアナライザなどの機能を持ちます。前ページの回路の場合，ユーザはノートパソコンの画面にて関数発生器の出力信号を周波数 1 [kHz] の正弦波に設定します。そして，オシロスコープ画面に電源電圧 $v_s$ とコンデンサ両端電圧 $v_C$ の波形を得ます。

## 実験結果

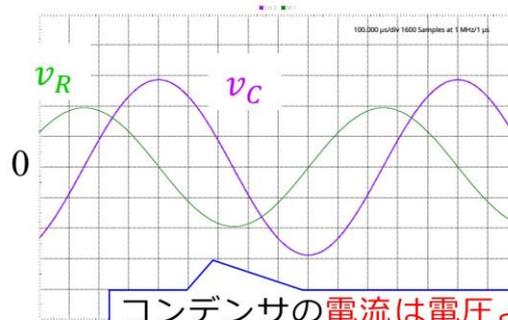
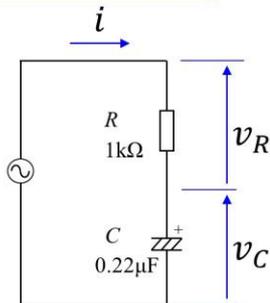


理論の確認

オシロスコープから得た電源電圧 $v_s$ とコンデンサ両端電圧 $v_c$ 波形のプリントアウトです。理論より得られた  $v_c$  の位相遅れを実験により定量的に確認できます。

## USB計測器により様々な実験ができる！

### 基本事項の確認



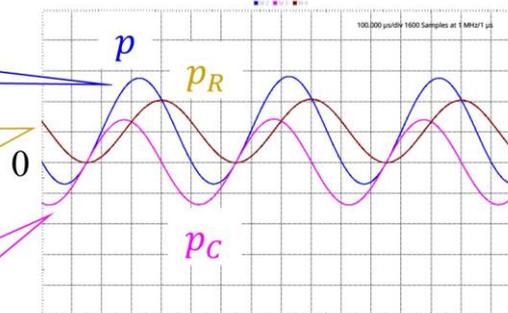
コンデンサの電流は電圧より  
90°位相が進む。

### 瞬時電力の確認

電源からの瞬時電力

抵抗で消費される瞬時  
電力

コンデンサに入る瞬時  
電力

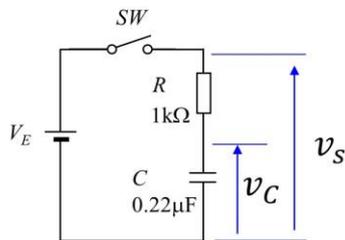


12

USB 計測器の機能を活用すると、電気回路論の多くの内容を実験により確認できます。例えば、電気回路論の最初に、コンデンサに流れ込む電流  $i$  はコンデンサの両端電圧  $v_C$  より 90°位相が進むことを学びます。このことは、前ページと同じ実験回路から確認できます。右上の波形は抵抗の両端電圧  $v_R$  とコンデンサ両端電圧  $v_C$  の波形です。  $v_R$  は  $v_C$  より 90°位相が進んでいます。抵抗に流れ込む電流  $i$  は  $v_R$  と同相ですから、  $i$  が  $v_C$  より 90°位相が進んでいることを確認できます。

さらには、電気回路論では 3 種類の瞬時電力を学びます。電源からの瞬時電力  $p$  ，抵抗で消費される瞬時電力  $p_R$  ，そして、コンデンサ（もしくはコイル）に入る瞬時電力  $p_C$  ( $p_L$ ) です。これら瞬時電力の波形も USB 計測器の機能を活用することで、前ページの実験回路から、このページのスライド右下の波形のように得られます。  $p_R$  は常に正の有効電力であること、  $p_C$  は正負対称で、コンデンサを出入りするだけの無効電力であることを実験により確認できます。

## (座学) 過渡現象論



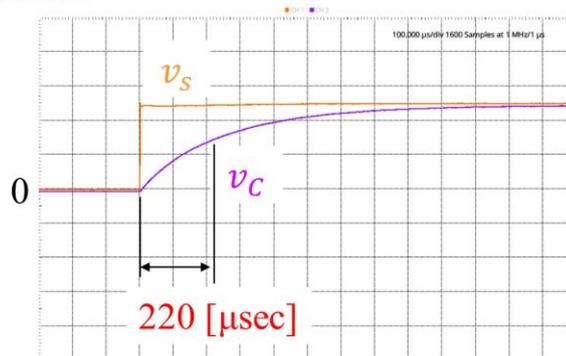
$R = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}, C = 0.22 \text{ [}\mu\text{F]}$   
のとき  
 $\tau = 220 \text{ [}\mu\text{sec]}$

コンデンサの両端電圧は

$$v_C = V_E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$\tau = RC$  : 時定数

(実験)



13

過渡現象論も座学で学んだ直後に実験で確認することができます。座学では、例えば、RC直列回路に直流電圧 $V_E$ を印加したときの、コンデンサ電圧 $v_C$ の挙動と回路の時定数 $\tau$ の定義を学びます。右下図はUSB計測器のオシロスコープにより得られた、RC直列回路の電圧 $v_s$ とコンデンサ電圧 $v_C$ の実験波形です。回路の時定数は $v_C$ の波形より約 $220 \text{ [}\mu\text{sec]}$ であり、計算値と一致することを確認できます。

USB計測器を学生一人一人が持っていれば、座学の直後に実験を実施して、学生は電気回路論の多くの基礎事項を具体例で確認できます。

## 座学・実験一体型講義の効能

1. 学生が座学を集中して聞くようになる。  
座学を聴けば直後の実験課題が解ける。  
座学は45分と短い。
2. 学生が実験を楽しむようになる。  
作った回路が動くと楽しい。  
失敗する、壊す体験も達成感につながる。
3. 学生が座学の内容を理解し易くなる。  
実験は具体例の最たるもの。  
座学直後の具体例により法則・理論を理解し易くなる。
4. 学生が電気系の科目全般に興味を抱くようになる。

14

### 1.3 座学・実験一体型講義の効能

筆者が考える座学・実験一体型講義の効能です。

1. 学生が座学を集中して聞くようになります。なぜならば、座学を聴けば直後の実験課題が解けるからです。さらに、座学は45分と短いので学生にとって集中しやすいです。
2. 学生が実験を楽しむようになります。自分で作った回路が動くとそれだけでも楽しいです。配線に失敗する、部品を壊す体験も、乗り越えたときには大きな達成感につながります。学生にとって貴重な体験となるでしょう。
3. 学生が座学の内容を理解し易くなります。実験は具体例の最たるものです。座学直後の具体例により、学生は法則・理論を理解し易くなります。
4. 学生が電気系の科目全般に興味を抱くようになります。電気系基礎科目の多くで座学・実験一体型講義を実施することで、学生が電気を学ぶことの楽しさを知り、基礎科目を理解すれば、電気系のその他多くの科目に対しても興味を持つと期待できます。

## 講義概要

1. 座学・実験一体型講義のイメージ
2. ボードコンピュータ少年・少女が大学に入学してくる！
3. 製作演習付き講義の実施例  
(私の取り組み)
4. 座学・実験一体型講義のすすめ

15

電気電子情報工学教育の周辺環境の変化について述べます。本章の主題は、「近い将来ボードコンピュータ少年・少女が大学に入学してくる。」です。

## ボードコンピュータとは

Arduino(2006～)



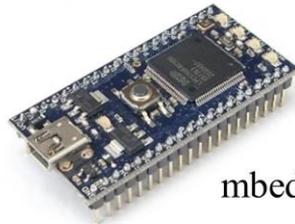
Arduino Uno



Arduino Nano

<https://www.arduino.cc/>

mbed(2009～)



mbed NXP LPC1768評価キット

<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-03596/>

Raspberry Pi(2012～) ➡ ボードコンピュータの普及に貢献

16

### 2.1 ボードコンピュータとは

ボードコンピュータが世界中で普及しつつあります。代表的なものに Arduino, mbed そして Raspberry Pi があります。Arduino は 2005 年に開発され, 2006 年から生産, 販売が始まったようです。また, mbed は 2009 年に販売が始まりました。ボードコンピュータが爆発的に普及するようになったきっかけは 2012 年の Raspberry Pi の発売とのことです。そこで, Raspberry Pi を代表例としてボードコンピュータとはどのようなものかを見ていきましょう。

## ラズベリーパイとは

2012年初頭 発売 35ドル

2020年現在 Raspberry Pi 4 Model B  
4GB RAM 64GB SDカード  
13,800円 (スタータキット)

Raspberry Pi Zero v1.3  
660円 (本体のみ)

創始者 : **Eben Upton** (国籍 : イギリス)

出典 : <https://wired.jp/2012/08/16/eben-upton/> 17

ラズベリーパイ(Raspberry Pi)は 2012 年初等に発売されました。最初のボードは 35 ドルとのことでした。2020 年の現時点では、アマゾンにて Raspberry Pi 4 Model B (4GB RAM, 64GB SD カード)のスタータキットが 13,800 円で販売されています。スタータキットとは SD カード, HDMI ケーブル, 電源アダプター, ケースが同梱されていて, 別売のディスプレイ, キーボード, マウスなどをつなげばすぐに使えるキットです。

本体のみの機能限定版 Raspberry Pi Zero v1.3 は 660 円です。

ラズベリーパイの創始者はイギリス人の Eben Upton 氏です。

## ラズベリーパイの外観



Raspberry Pi 3 Model B



専用ケースに納められたラズベリーパイ



ラズベリーパイ

ディスプレイ、キーボード、マウス、スピーカ、マイク等周辺機器をつないだラズベリーパイ

18

Raspberry Pi 3 Model B です。2年前ではこれが最新版でした。上右の写真が専用ケースに収められたラズベリーパイです。下の写真は、ラズベリーパイに HDMI 端子付きのディスプレイ、USB キーボード、USB マウス、USB マイク、USB カメラ、スピーカをつないだ様子です。キーボード、マウスのサイズからラズベリーパイの大体の大きさが分ります。

## ラズベリーパイの理念

Eben Upton氏談

「年々、コンピュータサイエンスを志望する学生が減ってきています。

いまの学生たちは趣味としてコンピュータを楽しんできたという感じがありません。

**子どもたちがコンピュータに夢中になる機会がなかった**  
という事実は、学問の世界を蝕みつつあるのです。」

出典：<https://wired.jp/2012/08/16/eben-upton/> 19

ラズベリーパイの理念について Eben Upton 氏が wired という雑誌のインタビューで語っています。

上記の通り、同氏はケンブリッジ大学での体験から、

「子どもたちがコンピュータに夢中になる機会がなかった」

という問題意識を持ちました。

## ラズベリーパイの理念（つづき）

### Eben Upton氏談

「私自身（Eben Upton氏）も少年時代、自分の部屋にプログラミングができるコンピュータがあって、そこでコンピュータスキルを身に付けた。

Raspberry Piには、「**そういった環境をもう一度取り戻してあげたい**」「誰でもそういった環境が持てるようにしてあげたい」という思いが込められている。」

出典：<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1306/13/news008.html>

20

Eben Upton氏は続けて、少年時代にコンピュータを趣味として楽しんで来たことを語った後に、今の子供達に自分の部屋でプログラミングを楽しめる環境を取り戻してあげたいという思いをラズベリーパイに込めたと述べています。

## ラズベリーパイの理念（つづき）

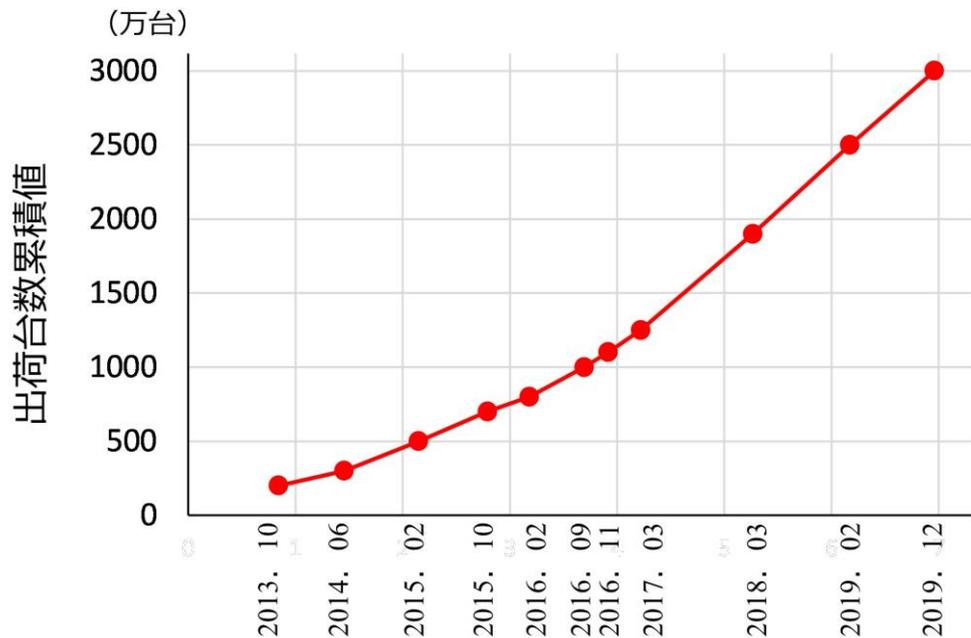
- 1) **プログラミングできる**デバイスでなければならない。  
いろいろなプログラミング言語が使える。
- 2) 「**楽しい**」ということが大切。  
グラフィックスやビデオなどへの対応は必須。
- 3) **小型・堅牢**でなければならない。  
毎日持ち運び、いつでもいじれる。
- 4) **廉価**  
**数百円～数千円**

出典：<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1306/13/news008.html>

21

子供達がプログラミングを楽しめる環境作りのために、コンピュータのあるべき姿として上記の4つを挙げています。

## ラズベリーパイの出荷台数累積値



[https://ja.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://ja.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)

<https://raspida.com/raspberry-pi-30million>

22

図はラズベリーパイの出荷台数累積値です。横軸は年月です。

2012年初頭に発売されたラズベリーパイは、Eben Upton氏らの予想を遙かに上回って、2013年10月末の時点で200万台が売れたとのこと。その後、順調に売れ行きを伸ばして、2019年12月中旬には3000万台に達したとの報道がありました。ラズベリーパイは教育用を念頭に開発されましたが、約半数は産業界で売れているそうです。

## ラズベリーパイの「たのしさ」の特徴（その1）

電子回路をつなげられる。



電子部品の初心者用キット



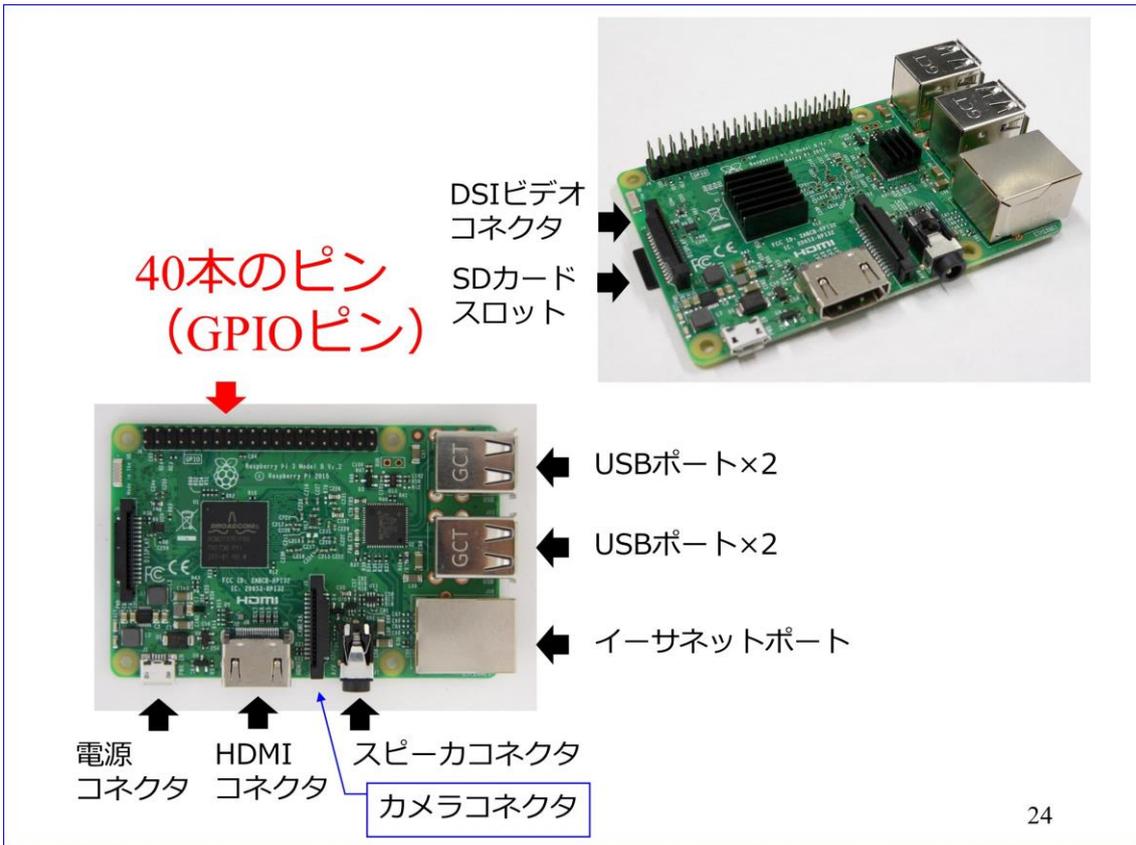
ネット通販で  
購入できる。

<https://www.amazon.co.jp> 初心者演習用パーツセット...

## 2.2 ラズベリーパイの「楽しさ」の特徴

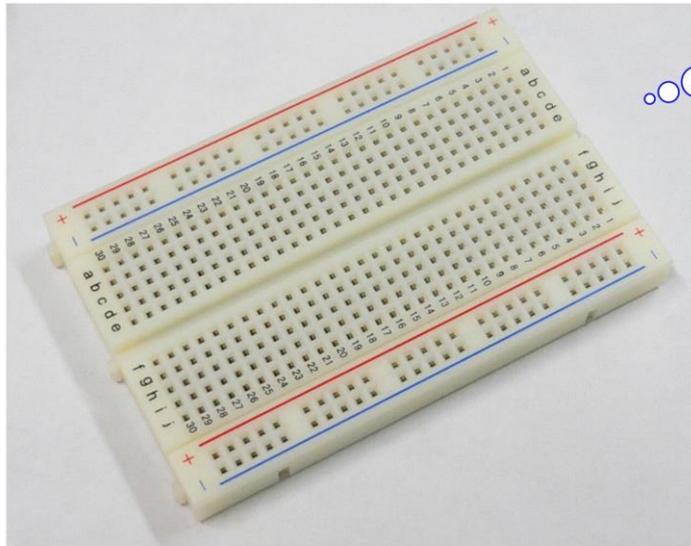
ラズベリーパイの「楽しさ」の特徴を紹介して行きます。

ラズベリーパイは電子回路をつなげられます。ラズベリーパイの初心者用に電子部品のキットが売られています。



写真は Raspberry Pi 3 Model B です。このボードには、ビデオコネクタ、SD カードスロット、USB ポート、イーサネットポート、スピーカコネクタ、カメラコネクタ、ディスプレイ用 HDMI コネクタ、そして、40 本の GPIO (General Purpose Input/Output)ピンが設けられています。

## ブレッドボード：電子回路を組む簡単な手段

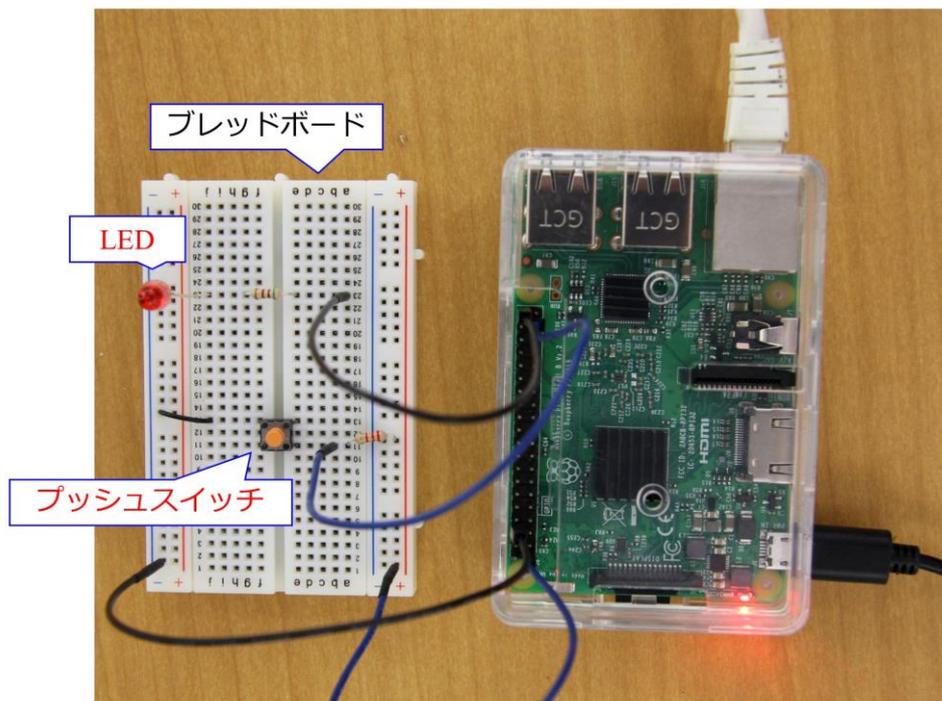


半田付け無し  
で電子回路が  
組める。

ブレッドボード

電子回路を組む簡単な手段にブレッドボードがあります。半田付け無しで電子回路を組むことができます。初心者用の電子部品キットにもブレッドボードが含まれています。

## LEDの点灯／消灯をブッシュスイッチで制御する回路



26

LED の点灯／消灯をスイッチで制御する回路です。ラズベリーパイの GPIO ピンとブッシュスイッチ、LED をジャンパ線をつないであります。ブッシュスイッチ、LED、ジャンパ線はどれもキットに含まれています。動作の様子を [ビデオ](#) に収めました。ラズベリーパイは、ブッシュスイッチのオン／オフ状態を読み取って、LED 回路に印加する電圧を制御します。

## LEDの点灯／消灯をプッシュスイッチで制御するスクリプト (言語：Python)

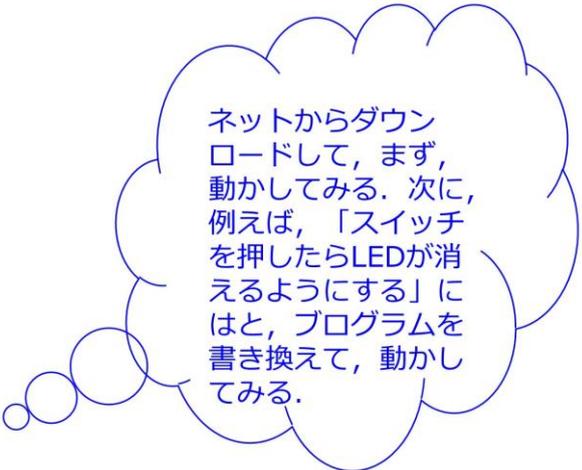
```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

Switch_Pin = 26
LED_Pin = 21

GPIO.cleanup()

GPIO.setmode( GPIO.BCM )
GPIO.setup( Switch_Pin, GPIO.IN)
GPIO.setup(LED_Pin, GPIO.OUT)

while True:
    GPIO.output(LED_Pin, 1-
GPIO.input(Switch_Pin))
```



ネットからダウンロードして、まず、動かしてみる。次に、例えば、「スイッチを押したらLEDが消えるようにする」にはと、プログラムを書き換えて、動かしてみる。

28

LED の点灯／消灯をプッシュスイッチで制御するスクリプトです。言語は Python です。

Upton 氏が子供向けラズベリーパイ教室で子供達を指導する様子は概略次の通りです。

まず、小学生の子供達にこのスクリプトと前述のできあがった回路を与えます。そして、スイッチを押したら LED が点くことを確認させます。次に、例えば「スイッチを押したら LED が消えるようにスクリプトを書き換えてごらん」と子供達に指示を出します。その際、スクリプトについては何も説明しません。

イギリス人の子供達ですから、なんとなくスクリプトが読めます。子供達はあーでもない、こーでもないとやっているうちに、やがて正解にたどり着きます。こうなると子供達は目をキラキラと輝かせて、次の課題に興味を示します。

いくつかの課題を終える頃には、子供達はラズベリーパイが大好きになっていて、教室終了後にはラズベリーパイを鞆に入れて、続きをやるためにいそいそと家路を急ぐとのことです。

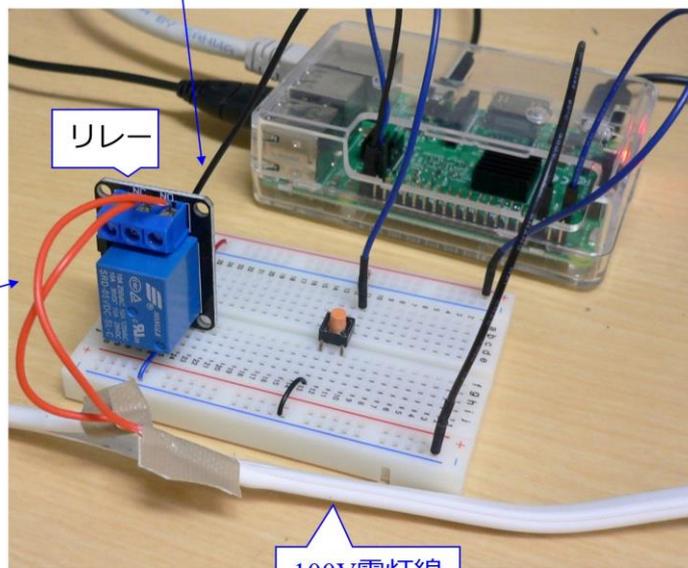
## ライトの点灯／消灯をプッシュスイッチで制御する回路



リレーの外観

電灯線

ラズパイからの信号



リレー

100V電灯線

29

電子部品キットにはリレーが入っています。写真はリレーを前述の LED 回路と置き換えています。ラズベリーパイの LED 点灯／消灯信号をリレーの制御信号とすることで、小さなプッシュスイッチで家電品などの電源をオン／オフできます。写真では 100 [V]電灯線を途中で切断して、それぞれの切断線に橙色の電線を半田づけして、橙色電線のもう一端をリレースイッチにつないであります。この回路の動作の様子を [ビデオ](#) に示します。

## ラズベリーパイの「楽しさ」の特徴（その2）

電子機器をつなげられる.

マイク, スピーカ

音声認識, 音声合成ができる.



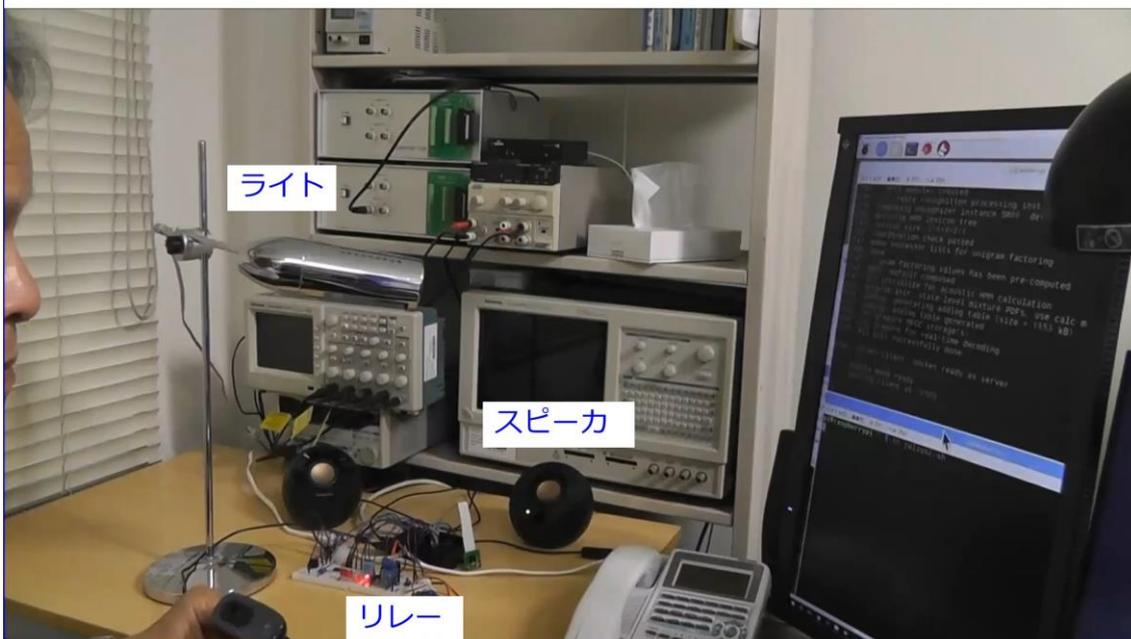
31

ラズベリーパイの「楽しさ」の特徴に電子機器をつなげられることが挙げられます.

写真は, USB マイク, USB カメラとスピーカをつないだ様子です.

## デモビデオ：AIスピーカもどき

ラズベリーパイに音声認識・合成プログラムを入れて、ライトの点灯／消灯を音声で指示



参照Webページ <https://iot-plus.net/make/raspi/rpi3-julius-speech-recognition/>  
[http://deviceplus.jp/hobby/entry\\_y04/](http://deviceplus.jp/hobby/entry_y04/)

32

前述のリレー制御を音声指示により行う「AI スピーカもどき」を作ることができます。音声認識、音声合成の SCRIPT はネットから無料版をダウンロードできます。私はその SCRIPT を少し書き換えてみました。その動作の様子を [ビデオ](#) でご覧下さい。

### ラズベリーパイの「楽しさ」の特徴（その3）

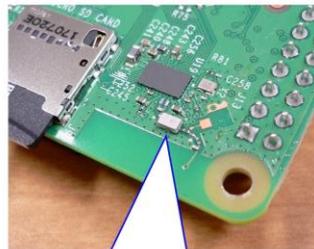
ネットにつなげられる.

イーサネット：有線接続

Wi-Fi: 無線接続



イーサネットコネクタ

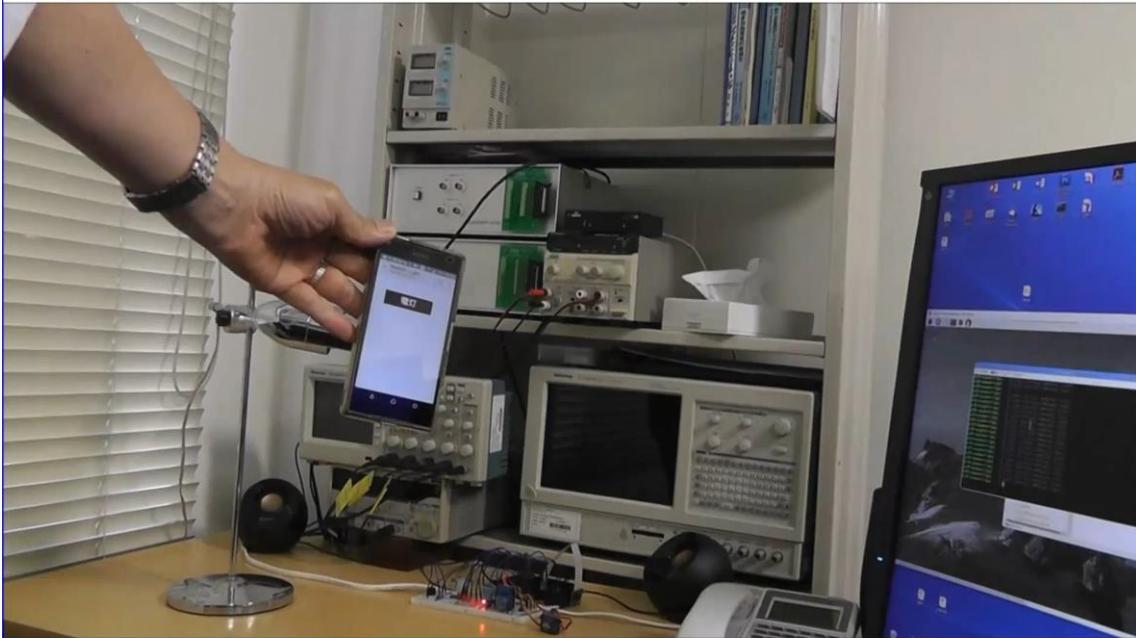


Wi-Fi, Bluetooth用アンテナ

ラズベリーパイの「楽しさ」の特徴にはインターネットにつなげられることも挙げられます。ボードにはイーサネットコネクタと Wi-Fi, Bluetooth 用のアンテナが設けられています。

## デモビデオ：スマートハウスもどき

Wi-Fiによりネットにつないで、ライトの点灯／消灯をスマホで制御

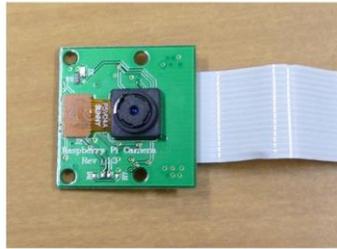


参考文献：金丸隆志「実例で学ぶRaspberry Pi電子工作, 9.3節」講談社ブルーバックス, 2015 34

Wi-Fi を利用して、「スマートハウスもどき」を作れます。前述のリレーによりライトをオン／オフするスクリプトのブッシュスイッチの箇所を、スマートフォンにより遠隔操作ができるように書き換えることができます。動作の様子は[ビデオ](#)をご覧ください。

## ラズベリーパイの「楽しさ」の特徴（その4）

カメラをつなげられる。



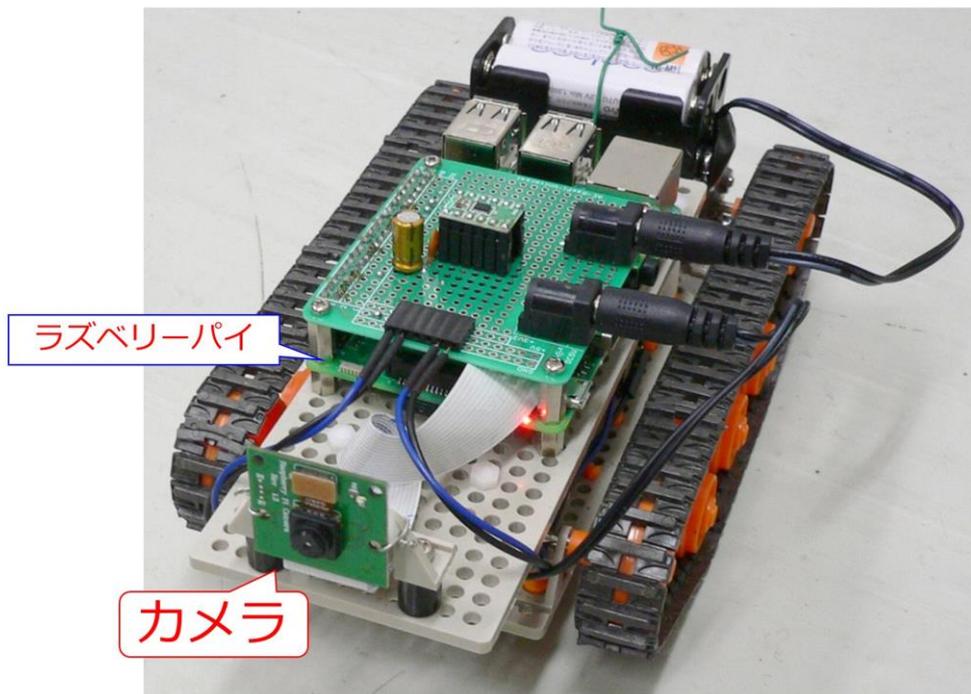
カメラ



ラズベリーパイにカメラを装着

ラズベリーパイにはカメラ専用のスロットが設けられています。ここにカメラをつなげれば、「楽しさ」はさらに広がります。

## 遠隔操縦ロボットもどき : Wi-Fi + カメラ でリモートコントロール



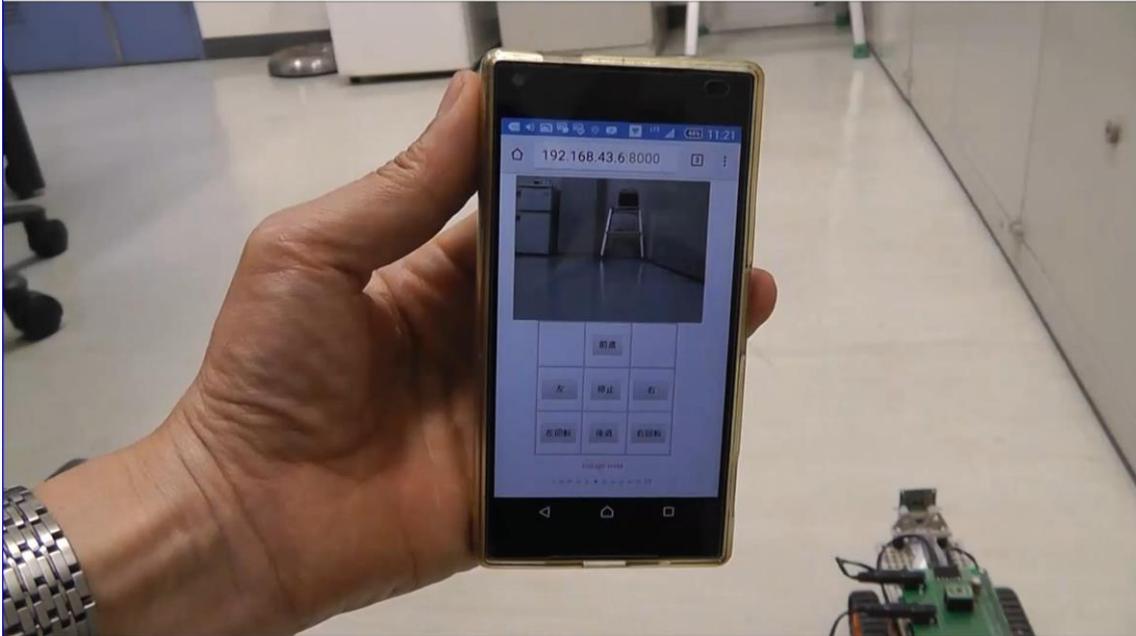
参照Webページ [http://www.hiramine.com/physicalcomputing/rctank\\_raspi3\\_wifi/index.html](http://www.hiramine.com/physicalcomputing/rctank_raspi3_wifi/index.html)

36

「遠隔操縦ロボットもどき」を作ることができます。ラズベリーパイにカメラを接続し, Wi-Fiによりタンクをリモートコントロールします。

## デモビデオ：タンクのリモートコントロール

ネットを通して得られるカメラ映像を基に、スマホでリモートコントロール



参照Webページ [http://www.hiramine.com/physicalcomputing/rctank\\_raspi3\\_wifi/index.html](http://www.hiramine.com/physicalcomputing/rctank_raspi3_wifi/index.html)

37

スマートフォンでカメラ画像をモニタしながら、タッチパネルの操作ボタンによりタンクをリモートコントロールしています。動作の様子を [ビデオ](#) に示します。慣れればモニタ画面だけを頼りにタンクを制御できます。

## モノづくりを楽しむ人たちの出現

Makerムーブメントという個人によるモノづくりの流行と結びついて、ラズベリーパイの人気の高まっている。



<https://www.youtube.com/watch?v=P0rlawgUR8U>

初回は2007年。2019年の第12回目では  
出展者：350組  
来場者：22,000人



<https://www.youtube.com/watch?v=CjFwHhB8JeU>

初回は2005年。2017年の第12回目では  
出展者：1,200組  
来場者：125,000人

38

### 2.3 モノづくりを楽しむ子供たちの出現

今、世界中でモノづくりを楽しむ人たちが出現しています。モノを作る人(Maker)によるモノづくりの流行 (Maker ムーブメント) です。Maker 達が自作の製作物を持ち寄る祭典 (Maker Faire)が世界中で毎年 200 回以上開かれています。Maker Faire Tokyo は 2007 年に始められて、2019 年の第 12 回目では 2 日間で出展者 350 組、来場者 22,000 人でした。Maker Faire Bay Area (米国カリフォルニア) は 2017 年の第 12 回目では 3 日間で出展者 1,200 組、来場者 125,000 人の巨大イベントでした。Maker Faire では電子工作だけではなく、手芸品、工芸品から 3D プリンタによるモノづくりなど、さまざまなものが出展されます。筆者が覗いた Maker Faire Tokyo 2018, 2019 ではほとんどが電子工作の出展でした。(電子工作にしか私の目が行っていなかった可能性があります。) Arduino が電子工作に対するハードルを下げたことが、Maker ムーブメントの拡大に大きく貢献したとのことです。ラズベリーパイは 2012 年の出現なので、Maker ムーブメントの開始よりも後発なのですが、Arduino と同様に Maker Fair Tokyo 2018, 2019 の多くの製作物に使われていました。

次に会場の雰囲気を紹介します。Maker Faire Tokyo 2018, 2019 の様子です。筆者が撮影しました。ほんの一角の様子ですが、子供達が電子回路+プログラミングで遊んでいる様子が印象的でした。



Maker Faire  
Tokyo 2018.8



子供達が電子回路+プログラミングで遊んでいる！



Maker Faire  
Tokyo 2019.8



Maker Faire Tokyo 2019.8



子供達が  
電子回路+プログラミング  
で遊んでいる！



## プログラミング教育の必修化

2020年度 小学5年生

2021年度 中学生（学年を問わず実施）

2022年度 高校1年生

「学校教育の中で扱う題材にプログラミングが入ってくる。」

### 2.4 プログラミング教育の必修化

さて、日本では2020年4月から小学5年生向けにプログラミング教育が必修化されます。2021年4月からは中学生全学年で必修化され、2022年度からは高校1年生から順次必修化されます。これは、新たにプログラミングという科目が設けられるわけではなく、学校教育の中で扱う題材にプログラミングが入ってくる、とのことです。実際にどのような教育が行われるのかは各学校の裁量に任されています。「小学校プログラミング教育の手引き」文部科学省、H30には、プログラムによりモノを制御する事例が14例中6例紹介されています。

総務省「プログラミング人材育成のあり方に関する調査研究報告書（抜粋）」  
H27.6

4.2 プログラミングに関する教育に用いられる主なハードウェア  
プログラミングに関する教育ではPCやタブレット端末以外のハードウェアが用いられることも多い。

表 4-2 プログラミング教室等で利用されるハードウェア（抜粋）

| ハードウェア                    | 概要   |
|---------------------------|--|
| シングル<br>ボードコ<br>ンピュー<br>タ | <b>ラズベ<br/>リーパイ</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・小型のボードコンピュータ</li><li>・若年層向け教育用コンピュータとして英国ラズベリーパイ財団が開発</li><li>・USB ポート、HDMI ポート、LAN ポート、GPIO（汎用入出力）ポートといった入出力を備える</li></ul> |
|                           | <b>イチゴ<br/>ジャム</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・Basic のみを搭載したボードコンピュータ</li><li>・子どもの教育用パソコンとして開発されており、LAN ポートがないためインターネットには接続できない</li></ul>                                  |
|                           | <b>Arduino</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・入出力ピンを備えた小型のボードコンピュータ</li><li>・Arduino 言語による統合開発環境（IDE）がセットで提供されている</li><li>・オープンソースハードウェアであり、ハードウェア設計情報が公開されている</li></ul>       |

**ボードコンピュータ少年・少女が増える！！？**

44

平成 17 年 6 月に総務省から「プログラミング人材育成のあり方に関する調査研究報告書」が出されています。全国の教育関係団体（NPO 法人・民間教育事業者・教育関係機関）に対してアンケート調査を行った結果を基にしています。報告書の表 4-2 の抜粋によると、プログラミングに関する教育で用いられる主なハードウェアとして、ラズベリーパイや Arduino などが挙げられています。

本講義では、コンピュータで電子回路を動かすことの面白さを知っている子供達を、「**ボードコンピュータ少年・少女**」と呼びます。近い将来、ボードコンピュータ少年・少女が増えると、私は予想します。

## 遊びから本格的AI, IoTへ

遊びだけではない

ディープラーニングによるきゅうりの仕分け

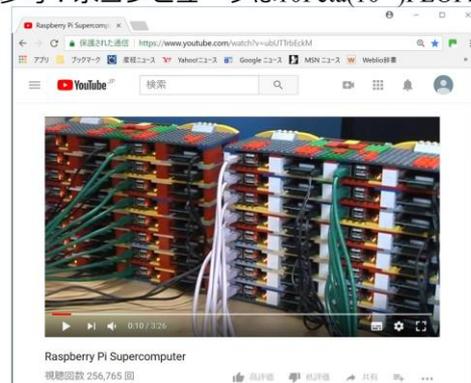


<https://www.youtube.com/watch?v=ubUTTrbEckM>

アルファ碁もどきが  
作れそう!

スーパーコンピュータもどき  
(ラズベリーパイ64台)

$24\text{GFLOPS} \times 64\text{台} = 1.5\text{T}(1.5 \times 10^{12})\text{FLOPS}!??$   
参考: 京コンピュータは $10\text{Peta}(10^{16})\text{FLOPS}$



<http://workpiles.com/2016/02/tensorflow-cnn-cucumber/>

<http://www.cenav.org/raspi2/>

45

## 2.5 ラズベリーパイから AI, IoT へ

ラズベリーパイは遊びだけに使われているわけではありません。本格的な AI へのラズベリーパイの利用例が報告されています。左の Web ページではきゅうりの仕分け機の試作にラズベリーパイが使用されています。開発者達はディープラーニングによりキュウリの等級をニューラルネットワークに学習させ、学習後のニューラルネットワークをラズベリーパイに搭載してキュウリの等級判定をさせています。

右の Web ページではラズベリーパイ 64 台の組み合わせで「スーパーコンピュータもどき」が作られています。ラズベリーパイ 1 台の計算速度が  $24\text{GFLOPS}$  です。仮にこの 64 倍の性能が実現できたとすれば、 $1.5\text{T}(1.5 \times 10^{12})\text{FLOPS}$  です。京コンピュータの計算速度  $10\text{Peta}(10^{16})\text{FLOPS}$  には 4 桁及びませんが、スーパーコンピュータの教育用として使われているとのこと。アルファ碁もどきもできそうです。

## ラズベリーパイを使ったIoT機器の事例

### 産業用ラズベリーパイ



<https://www.harting.com/JP/ja/raspberrypi>

### ラズベリーパイ搭載ゲートウェイ



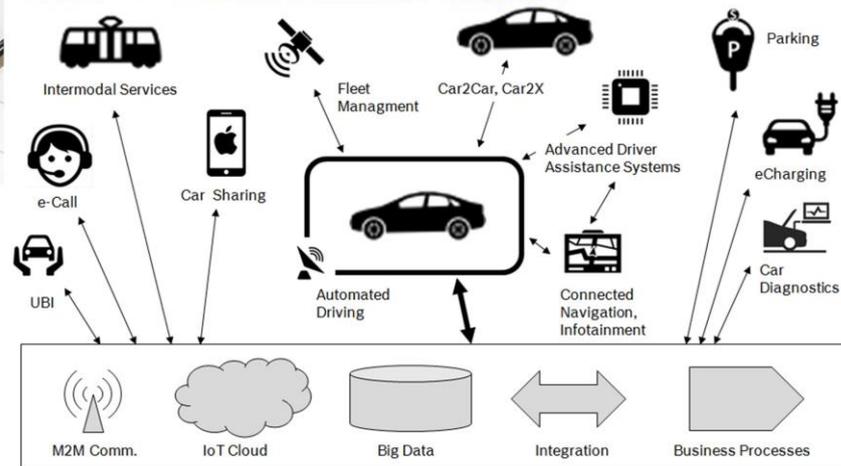
<https://qiita.com/nonbiri15/items/6f1d6d1eb438e635d111>

ラズベリーパイは産業用途にも使われています。左の写真は産業用のラズベリーパイです。製造現場をコストパフォーマンス良くIoT化できると謳われています。右のWebページはラズベリーパイが搭載されたゲートウェイです。

## IoTの近未来：Connected vehicle



<http://www.vizocom.com/blog/top-5-ideas-iot-change-life/>

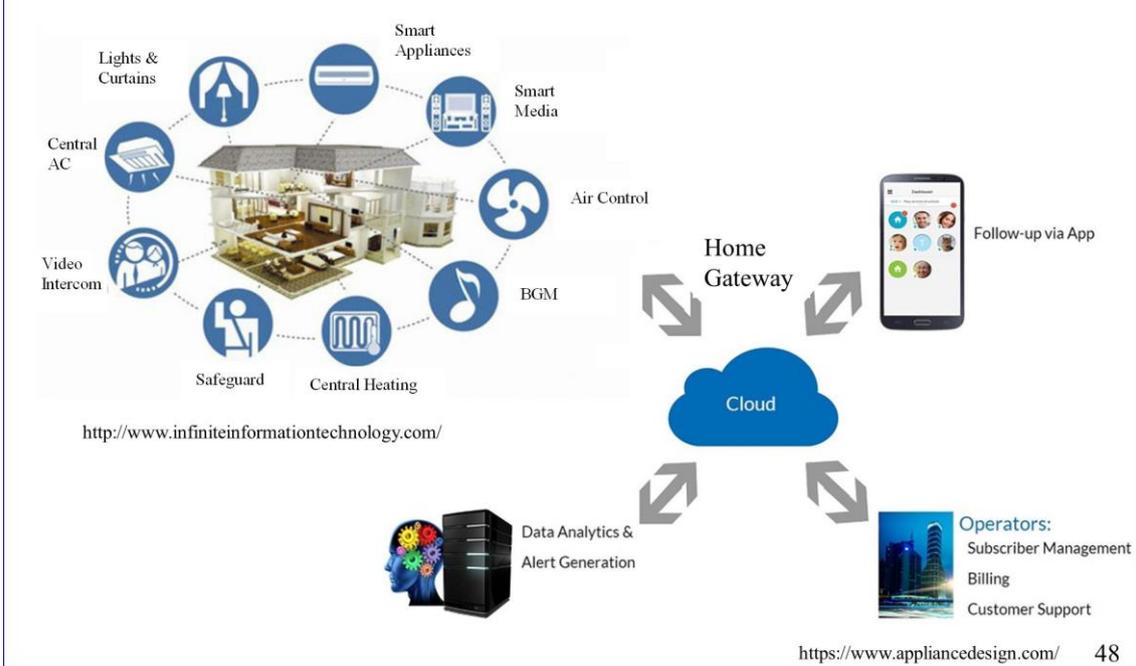


47

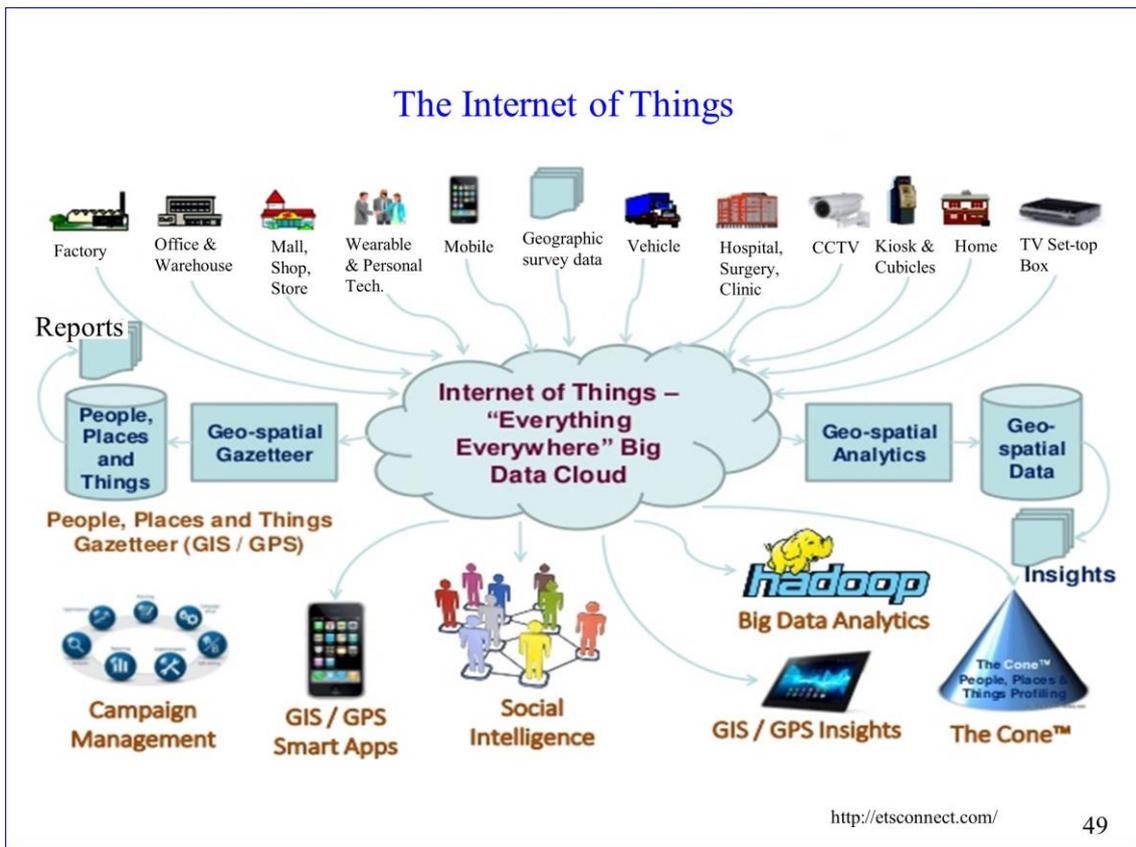
ラズベリーパイを使った遊びは IoT の世界へとつながっています。

図は IoT の近未来像の一例です。Connected vehicle のイメージが描かれています。Automated Driving（自動運転）、Connected Navigation（コネクティッドナビ）、Fleet Management（車列運行）など、運転時の利便性を向上させる車載サービスの革新や Intermodal Services（交通システム間サービス）、Car Sharing（カーシェアリング）など人々の交通システム利用の仕方そのものを変える交通サービスの革新などが起きつつあります。

## IoTの近未来：Smart House

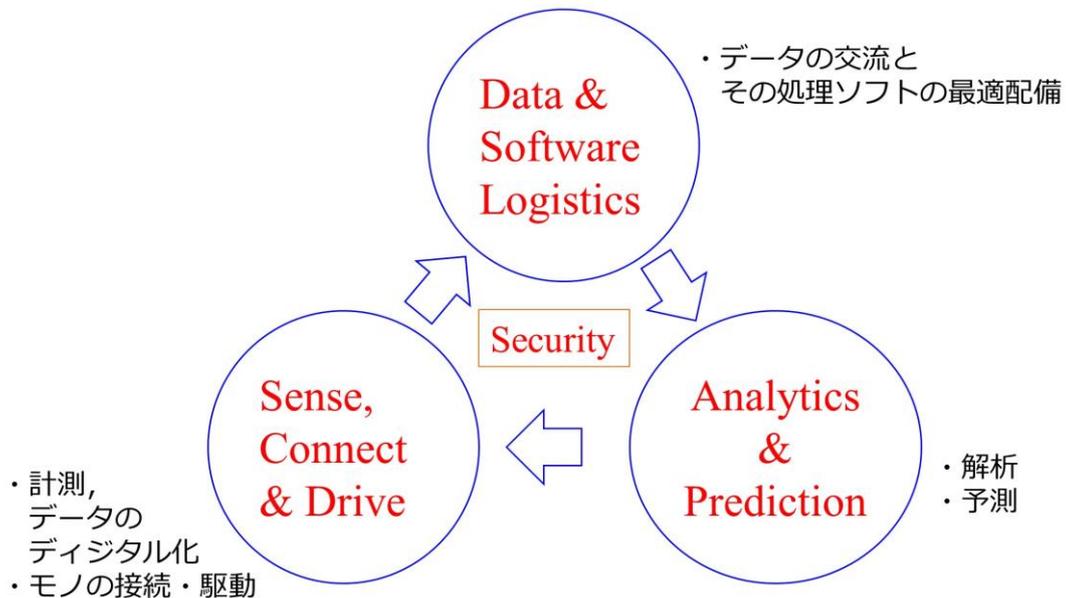


Smart House のイメージです。エアコン，調光器具，メディアなどがインターネットにより接続されることで，快適性向上，エネルギー利用効率の最適化，セキュリティ確保などの家・家電が提供するサービス（家屋サービス（？））の革新も起きつつあります。



そして、工場、オフィス、から家庭まで、あらゆるモノがインターネットでつながることで、新サービス・アプリケーションが創出され、ユーザの利便性や省エネ・業務効率の改善などにより生活が向上するとともに、産業構造の変革が起きる時代が来ようとしています。

## IoTにおける4つの技術



川村, 吉野「NTT技術ジャーナル」2017.7

図はIoTにおける4つの技術とそれらの関係を示します。まず、計測とデータのデジタル化、モノの接続・駆動です。次に、得られたデータを処理に適した場所に運ぶこととデータ処理ソフトの最適配備です。そして、データの解析、モデルの同定と予測です。その結果は計測、モノの駆動に反映されます。これら3つの技術を守るのがセキュリティです。

## AI, IoTのための基礎学問 (電気電子情報工学科のカリキュラム)

### ・数学

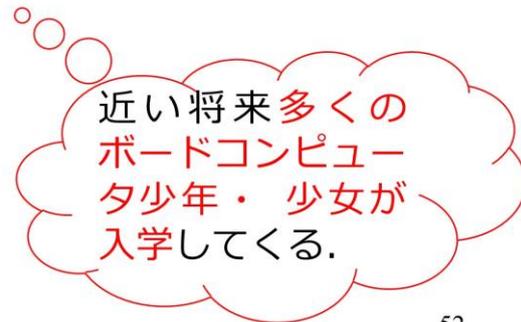
微分積分学  
線形代数学  
関数解析学  
統計学  
多変量解析  
機械学習  
・

### ・電気電子工学

電気磁気学  
電気回路論  
電子回路論  
アナログ回路  
デジタル回路  
パワーエレクトロニクス  
信号処理  
制御工学  
通信工学  
・  
・

### ・情報工学

離散数学  
情報理論  
アルゴリズムとデータ構造  
OS  
コンピュータセキュリティ  
データベース  
コンピュータネットワーク  
人工知能  
・  
・



## 2.6 AI, IoTのための基礎学問 (電気電子情報工学)

AIの基礎学問, そして, 前ページのIoT技術の基礎学問として, 数学, 電気電子工学, 情報工学を挙げることができます. これらは電気電子情報工学科のカリキュラムに含まれています.

近い将来多くのボードコンピュータ少年・少女が大学に入学してくると, 私は予想します. 彼・彼女らの進学先として電気電子情報工学科が重要な選択肢の一つになることでしょう.

ボードコンピュータ少年・少女（コンピュータで電子回路を動かすことの面白さを知っている子供達）を迎える大学の電気系科目の講義が座学中心のままで良い？

回路を触る機会のない電気系科目の講義が2年近くも続くことが、彼・彼女らにとって楽しい？

コンピュータを活用して電子回路を動かしながら法則・理論を学べる講義は、学生の興味を強く喚起する。

53

ボードコンピュータ少年・少女（コンピュータで電子回路を動かすことの面白さを知っている子供達）を迎える大学の電気系科目の講義が座学中心のままで良いのでしょうか？

回路を触る機会のない電気系科目の講義が2年近くも続くことが、彼・彼女らにとって楽しいのでしょうか？

コンピュータを活用して電子回路を動かしながら法則・理論を学べる講義は学生の興味を強く喚起することでしょう。

## 講義概要

1. 座学・実験一体型講義のイメージ
2. ボードコンピュータ少年・少女が大学に入学してくる！
3. 製作演習付き講義の実施例  
(私の取り組み)
4. 座学・実験一体型講義のすすめ

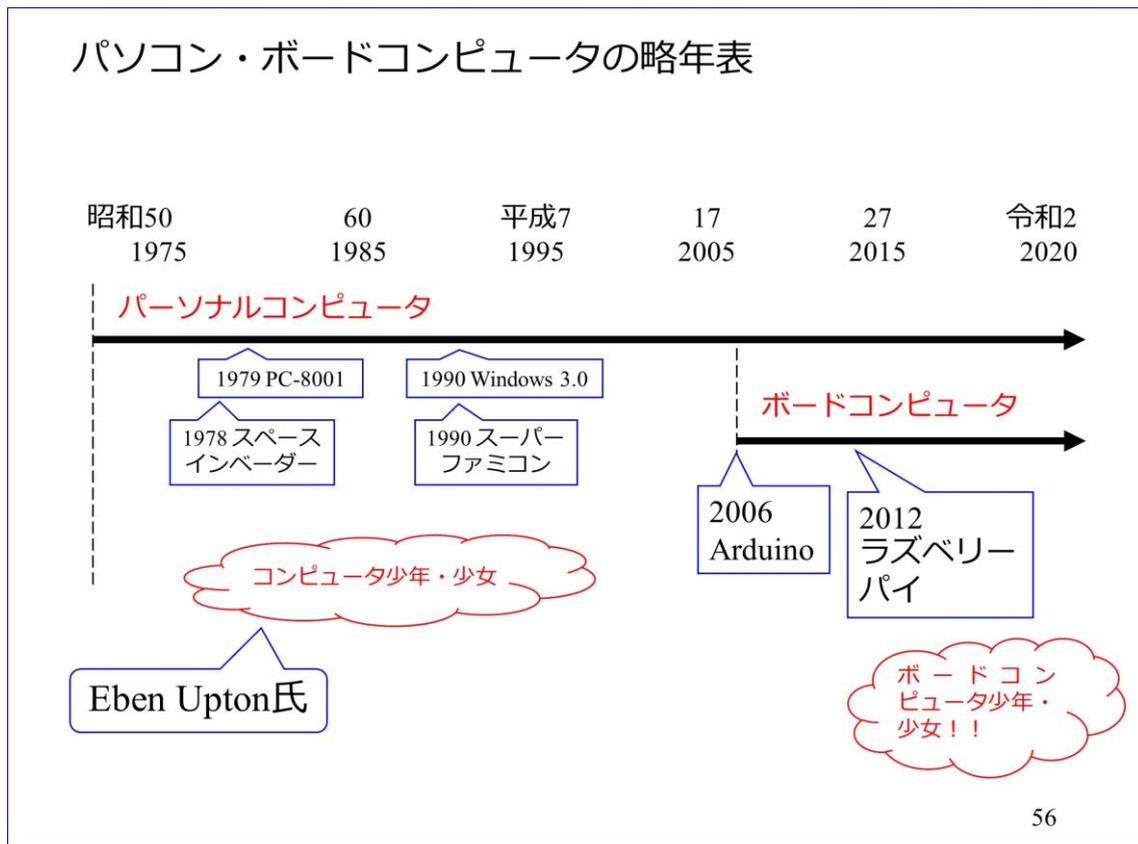
54

本講義資料の読者は、USB 計測器とノートパソコンがあるだけで座学の直後に実験を行う講義ができるのかと、疑問に思っておられるのではないのでしょうか？

ここからは、筆者が実践してきた製作演習付き講義を紹介します。座学の直後に回路製作課題を課した点では、製作演習付き講義は座学・実験一体型講義と同じです。異なるのは、製作演習付き講義では学生が計測器を持っていなかった点です。回路動作は光らせて／音を出して／動かして分かるようにしました。回路動作の定量的評価が困難であるため、実験とは呼ばずに製作演習と呼んできました。



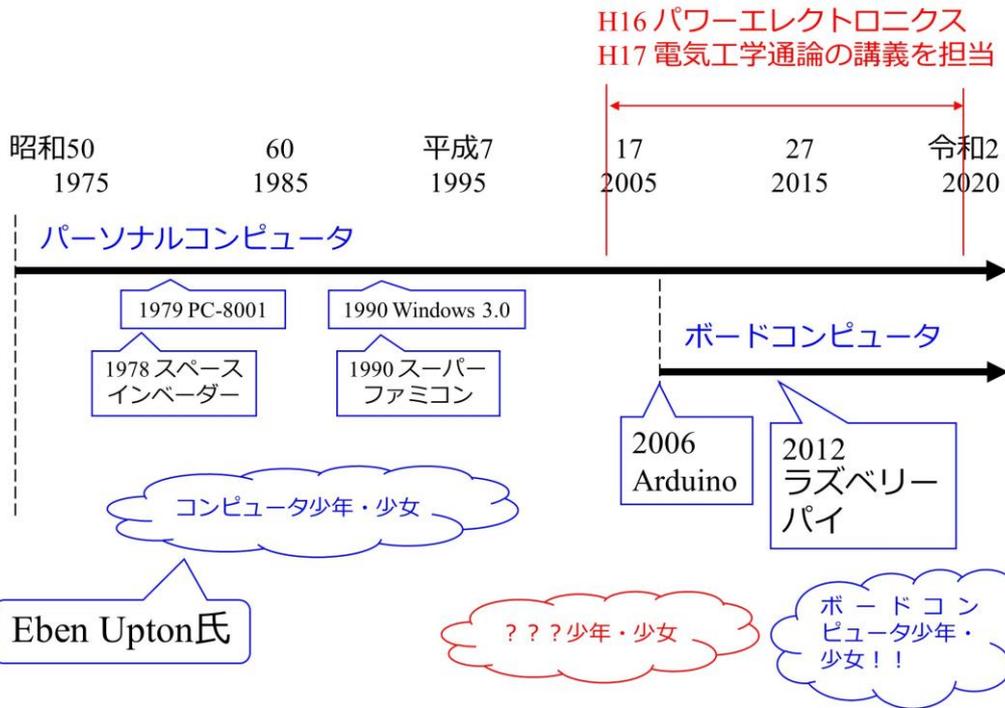
## パソコン・ボードコンピュータの略年表



図はパーソナルコンピュータとボードコンピュータの略年表です。1970年代にパーソナルコンピュータが市販されました。エポックとしては、1979年にヒット商品となったPC-8001の発売、1990年にオペレーティング環境Windows3.0の発売が挙げられます。同じ時期にスペースインベーダーゲーム、スーパーファミコンがそれぞれ発売されています。70、80年代のパーソナルコンピュータがまだそれほど成熟していなかった頃には、Eben Upton氏談にある「趣味としてコンピュータを楽しむ子供達」が居ました。ここでは、この子供達を「コンピュータ少年・少女」と呼びます。Eben Upton氏はコンピュータ少年の一人です。

ボードコンピュータは、エポックとして2006年のArduino、2012年のラズベリーパイが挙げられます。2020年の現在、世界中で「ボードコンピュータ少年・少女」が出現しています。

# パソコン・ボードコンピュータの略年表



筆者は平成16年度から令和元年度までパワーエレクトロニクスと電気電子工学通論を担当しました。私が担当した学生達は、Eben Upton氏が担当した学生達と同世代です。すなわち、コンピュータ少年・少女とボードコンピュータ少年・少女の狭間の世代です。

## 問題意識

- 電気系学科の学生は電気電子回路作りの経験を持たない世代
- パワーエレクトロニクス受講生には、電気電子回路作りをする機会はほとんどなかった。

筆者が平成 16 年にパワーエレクトロニクスの講義を担当したときに持った問題意識は「電気系学科の学生は電気電子回路作りの経験を持っていない。」でした。座学だけの講義では回路を作る面白さは分らないだろうと想像しました。

電気系学科の 3 年生ですが、1, 2 年生の間に回路作りをする機会は、デジタル回路の製作演習を除き、ほとんどありませんでした。

平成18年 座学  
 (製作回路例紹介と実演の実施)

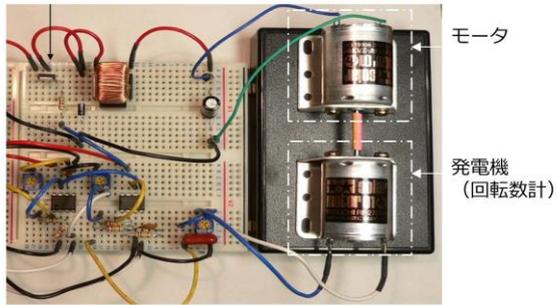


図5.4 降圧チョッパ回路によるモータの回転数制御

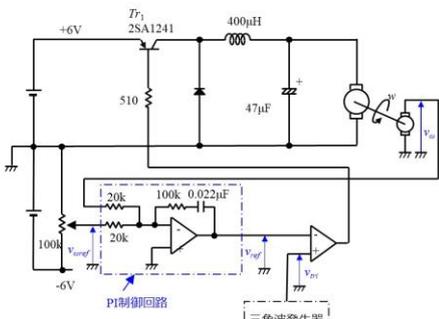


図5.5 降圧チョッパによる直流モータの回転数制御回路

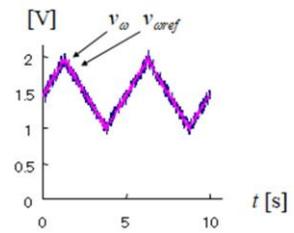
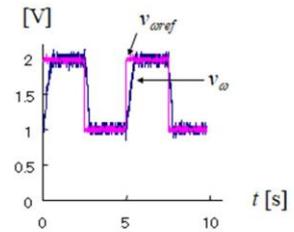
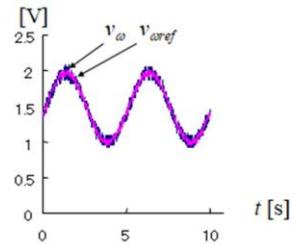
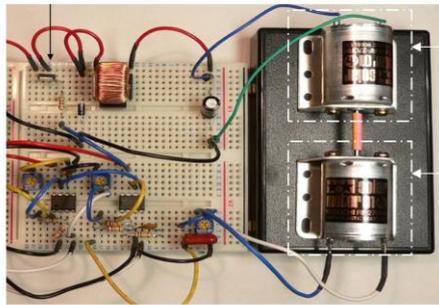


図5.6 直流モータの回転数制御例

そこで、平成18年に、筆者手製の回路を学生に紹介し、オシロスコープ画面をスクリーンに投影して回路動作を実演しました。写真が製作したモータ回転数のPI制御回路です。波形は回転数指令値 $v_{\omega ref}$ と回転数検出値 $v_{\omega}$ です。指令値に検出値が追従している様子をリアルタイムで学生に示しました。

平成18年 座学  
 (製作回路例紹介と実演の実施)



モータ  
 発電機  
 (回転数計)

図5.4 降圧チョッパ回路によるモータの回転数制御

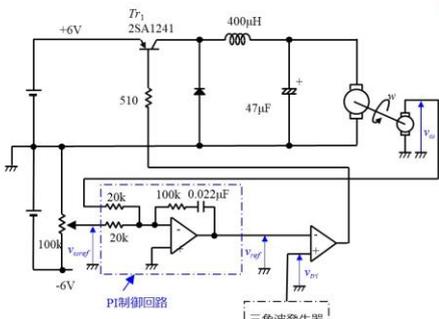
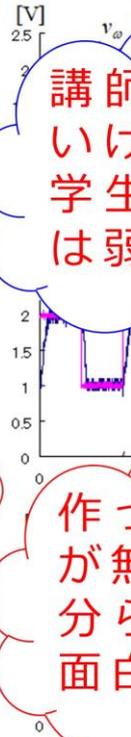


図5.5 降圧チョッパによる直流モータの回転数制御回路



講師は楽しいけれども、  
 学生の反応は弱かった。

作った経験が無ければ、  
 分らない。  
 面白くない。

図5.6 直流モータの回転数制御例 61

しかし、楽しいのは講師ばかりなり、でした。作った経験が無ければ、実物を見せられてもどれが何かもよく分らず、学生には面白くありません。

## 平成19年 製作演習付きの講義を開始

目的：学生が回路作りの**楽しさを体験**すること。  
**座学の理解**を深めること。

対象：電気系学科の3年生 **約100名**

回路製作の背景にある考え：

作った回路が**動けば楽しい**。  
回路動作は**具体例の最たるもの**。座学の直後に作ること  
で、**法則・理論を具体例により理解し易くなる**。

63

そこで、翌年から製作演習付きの講義を開始しました。

目的を「回路作りの楽しさを体験すること。座学の理解を深めること」としました。

対象は電気系学科の3年生約100名でした。

回路製作をさせることの背景にある考えは、「作った回路が動けば楽しい。そして、回路動作は具体例の最たるもの。座学の直後に作ること、法則・理論を具体例により理解し易くなる。」でした。

## 講義の実施手順

前半の約45分：**座学**

学生全員に計測器を持たせることが困難なため、実験ではなく、製作演習を課す。

後半の約45分：**製作演習**

**毎週製作課題を出題する。**

**学生一人一人が課題回路を設計・製作する。**

**TAが各自の製作回路の動作をチェック**

**→ OKなら名簿に記す。**

**課題提出の締め切りを学期末とする。**

配点：期末試験 60点

製作・レポート 40点

65

講義の実施手順です。

前半の45分が座学です。90分の講義を45分に圧縮し、スライドにより解説のポイントを絞ります。

後半の45分が製作演習です。座学の内容に関する製作課題を毎週出題します。そして学生一人一人が課題回路を設計・製作します。製作した回路はTAに提出して、OKならTAは名簿に記入します。学生全員に計測器を持たせることが困難であるため、実験ではなく製作演習を課します。課題提出の締め切りを学期末とし、回路製作に手間取る学生が焦らないようにします。また、講義開始時点に先週までの課題回路を提出すれば、座学中にTAがチェックして、次の課題回路製作に滞りなく取り組めるようにします。学生実験では数人で1グループが構成され、グループに対して1課題/週が課されます。これでは回路に触らない学生が出ます。製作演習では一人一人に製作課題を課すことで、全員が回路を触ります。

配点は期末の筆記試験が60点、製作課題とレポートを全て提出して40点です。この比率が、7:3では学生の製作課題に取り組む意欲が下がり、5:5では筆記試験に備える意欲が下がると予想しました。

## 製作課題作成の方針

- (1) 前半の座学を聴けば作れる課題とする.
- (2) 回路動作は、オシロスコープがないので、**光らせて／音を出して／動かして分かる**ようにする.
- (3) 回路は全て**ブレッドボード**上で製作可能とする．半田づけを極力不要とする.
- (4) 部品代は**2000円程度**を目指す．極力安価にする.
- (5) 部品を**壊した場合は、代りの部品を提供**する.

66

製作課題作成に当たって以下の方針を立てました.

1. 前半の座学を聴けば作れる課題とする.  
前半の座学を聴けば後半の課題回路を作れるので、学生は座学に集中します.
2. 回路動作は光らせて／音を出して／動かして分るようにする.  
100人全員にオシロスコープを用意できないので、LED、スピーカ、モータを駆使して回路動作を見て、聞いて、触って分る課題とします.
3. 回路は全てブレッドボード上で製作可能とする.  
ブレッドボードは、ボード上の穴に部品やジャンパ線を差し込むだけで配線ができる基板です．スピーカやイヤホンプラグなど半田づけが必要なものは初回の講義で済ましてしまい、2回目の講義からは半田づけ無しで回路製作に取り組めるようにします.
4. 部品代は2000円程度を目指す．極力安価にする.  
部品代は学生負担とします．学生の負担をできるだけ軽くするために、市販のキットに頼らずに、筆者自身がネット通販、大須のアメ横などの電子部品店で調達します.

5. 部品を壊した場合は、代りの部品を提供する.

配線に失敗すること、部品を壊すことから学生は多くのことを学ぶことができます. そこで、学生が部品を壊しても代りの部品を筆者が提供することにします. これにより、学生は安心して回路製作に取り組めます.

## 製作課題例

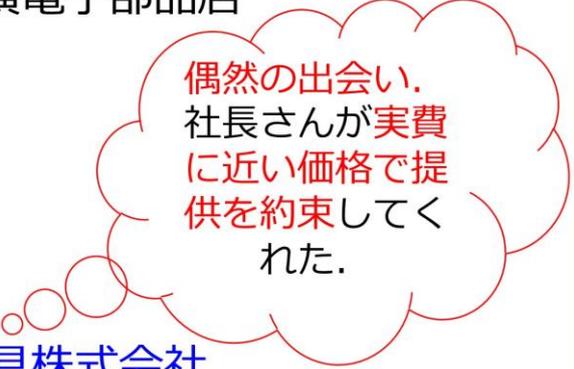
- ・ 整流回路 整流動作を光りで見える
- ・ チョッパ回路 **PWM制御を光りで見える.**  
昇降圧の効果を光りで見える.
- ・ チョッパ回路によるDCモータ駆動 **PI制御効果を体感する.**
- ・ ハーフブリッジインバータによるD級アンプ **音楽を聴く.**
- ・ フルブリッジインバータによるDCモータ駆動  
正転・逆転のPI制御効果を体感する.

製作課題例です。パワーエレクトロニクスの基本項目毎に LED の光りで動作を見る，モータの回転力を体感する。音楽を再生して聴くなどの工夫をしました。

## 部品の調達

H19, 20 私が自力で調達

大須のアメ横電子部品店  
ネット通販  
ダイソー



偶然の出会い。  
社長さんが実費  
に近い価格で提  
供を約束してく  
れた。

H21以降 名古屋理研電具株式会社

tel: 052-833-1248

fax: 052-833-2640

<http://www.nagoya-riken.co.jp>

69

部品の調達先です。

初年度と次年度は筆者が自力で調達しました。電子部品は大須のアメ横電子部品店とネット通販で購入し、部品ケースはダイソーで購入しました。

平成 21 年度以降は名古屋理研電具株式会社が部品を調達、販売してくれるようになりました。偶然の出会いから、同社の社長さんが実費に近い価格で部品の提供を約束してくれました。交換条件は同社の社名の入ったシールを部品ケースに貼ることでした。予備の部品を確保するために、いつも多めに発注しました。

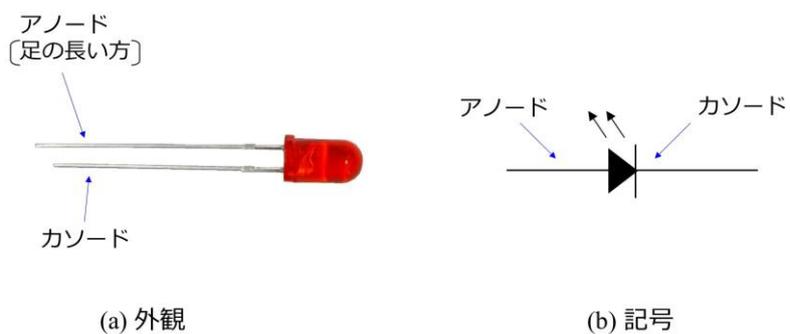
## 部品リスト (R1.10時点)

| 部品             |                  | 個数 | 単価  | 部品別合計金額 | 部品        |                | 個数  | 単価   | 部品別合計金額 |
|----------------|------------------|----|-----|---------|-----------|----------------|-----|------|---------|
| DCモータ          | FA-130 (マブチモーター) | 2  | 150 | 300     | 電解コンデンサ   | 10 $\mu$ F     | 1   | 3    | 3       |
| LED            | 赤                | 7  | 3   | 21      |           | 47 $\mu$ F     | 1   | 3    | 3       |
| イヤフォンプラグ       |                  | 1  | 50  | 50      |           | 470 $\mu$ F    | 2   | 10   | 20      |
| オペアンプ          | LM358N           | 1  | 20  | 20      | 電池ボックス    | (単三×2)         | 2   | 90   | 180     |
| 可変抵抗器          | 2k $\Omega$      | 1  | 25  | 25      |           | (単三×4)         | 1   | 120  | 120     |
|                | 100k $\Omega$    | 1  | 25  | 25      | トランジスタ    | 2SA950         | 2   | 5    | 10      |
| コンデンサ          | 0.001 $\mu$ F    | 1  | 10  | 10      |           | 2SC2120        | 2   | 5    | 10      |
|                | 0.0047 $\mu$ F   | 1  | 10  | 10      | ブレッドボード   | 1              | 270 | 270  |         |
|                | 0.01 $\mu$ F     | 1  | 10  | 10      | マイナスインプ   | 1              | 40  | 40   |         |
|                | 0.047 $\mu$ F    | 1  | 10  | 10      | マイコン      | PIC16F1825-I/P | 1   | 150  | 150     |
|                | 0.1 $\mu$ F      | 1  | 15  | 15      | アルカリ単3乾電池 | 8              | 15  | 120  |         |
|                | 0.47 $\mu$ F     | 1  | 15  | 15      |           | 部品ケース          | 1   | 60   | 60      |
|                | 1 $\mu$ F        | 2  | 15  | 30      | キャリングケース  | 1              | 110 | 110  |         |
|                | 4.7 $\mu$ F      | 1  | 15  | 15      |           |                |     |      |         |
| ジャンパ線          | 50mm×30本         | 2  | 120 | 240     |           |                |     |      |         |
|                | 長短各種一式(60本以上)    | 1  | 220 | 220     |           |                |     |      |         |
| ショットキーバリアダイオード | 30V, 1A          | 4  | 20  | 80      |           |                |     |      |         |
| スピーカ           |                  | 1  | 110 | 110     |           |                |     |      |         |
| スイッチ           | トグルスイッチ          | 1  | 30  | 30      |           |                |     |      |         |
|                | プッシュスイッチ         | 1  | 25  | 25      |           |                |     |      |         |
| チョークコイル        | 1mH              | 1  | 1   | 1       |           |                |     |      |         |
| 抵抗             | 51 $\Omega$      | 3  | 1   | 3       |           |                |     |      |         |
|                | 100 $\Omega$     | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
|                | 510 $\Omega$     | 7  | 1   | 7       |           |                |     |      |         |
|                | 1k $\Omega$      | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
|                | 2.2k $\Omega$    | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
|                | 5.1k $\Omega$    | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
|                | 10k $\Omega$     | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
|                | 20k $\Omega$     | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
|                | 51k $\Omega$     | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
|                | 100k $\Omega$    | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
|                | 200k $\Omega$    | 2  | 1   | 2       |           |                |     |      |         |
| 合計             |                  |    |     |         |           |                |     | 2386 |         |

70

部品リストです。これは私の最終年度の講義で学生に配布したリストです。

初回の講義で、**部品の説明資料**を配布.



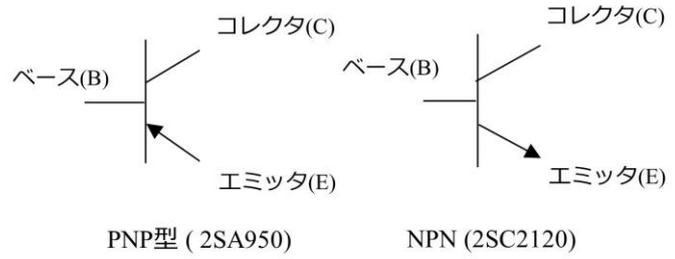
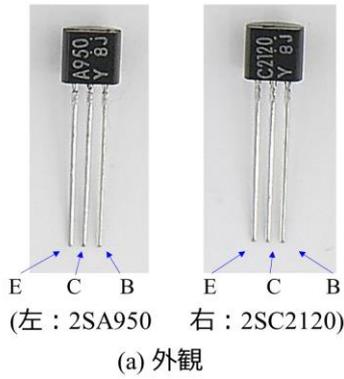
(a) 外観

(b) 記号

LED (発光ダイオード)

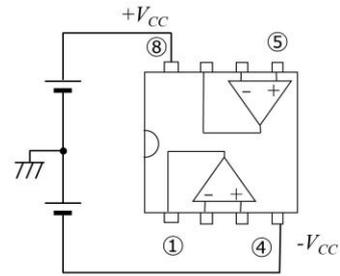
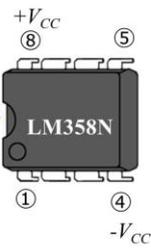
初回の講義では、講義内容の概要説明と学生各自による半田づけ作業です.

初回の配付資料には部品リストと各部品の説明, 半田づけ要領を記しておきます. 部品の説明では, 以降の製作に必要な全ての情報を載せておきます. 学生にはいつもこの資料を持参するように周知します.

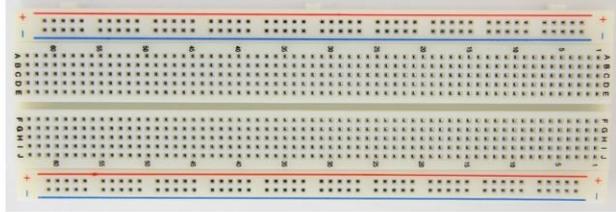


(b) 記号

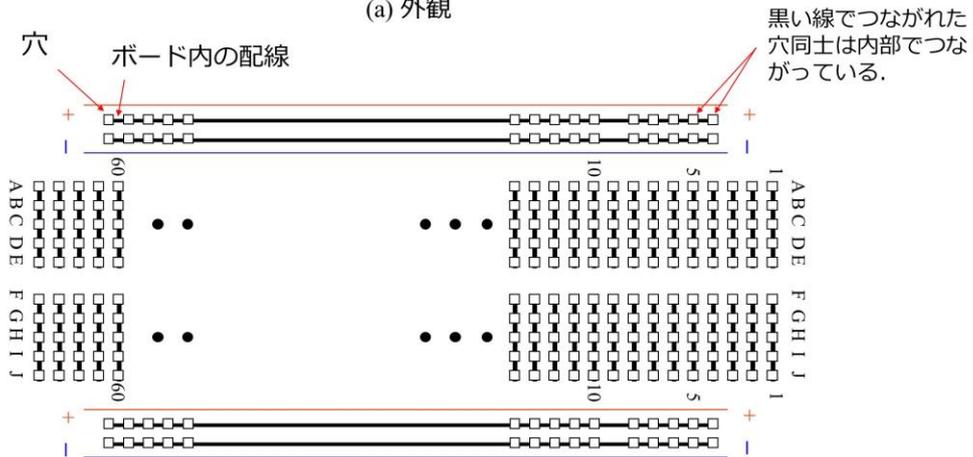
トランジスタ



オペアンプ(LM358N)



(a) 外観



(b) ブレッドボードの穴のつながりの様子

ブレッドボード

# 講義資料 (抜粋)

# 製作課題

## 座学

### 4. 降圧チョッパ回路

出力電圧 $v_o$ の平均値 $\bar{v}_o$ は

$$\begin{aligned} \bar{v}_o &= \frac{1}{T_{SW}} \int_0^{T_{on}} V_E dt \\ &= \frac{T_{on}}{T_{SW}} V_E \end{aligned} \quad (4.3)$$

となる。ここで、 $T_{SW}$ を**スイッチング周期**という。スイッチング周期 $T_{SW}$ に対するスイッチのオン期間 $T_{on}$ の比を変えることで、出力電圧を制御できる。電力変換に伴う**損失は理想的にはゼロ**である。

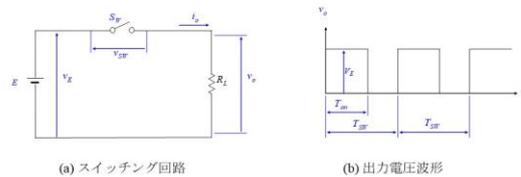
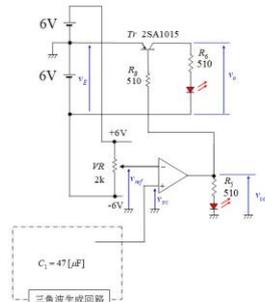
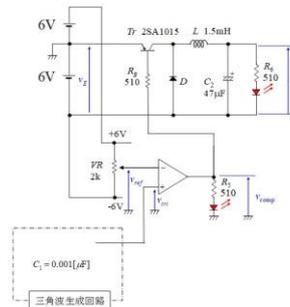


図4.2 スwitchング電源

### STEP9 降圧チョッパ回路



### STEP10 降圧チョッパ回路(チョークコイルによる平滑化)



初年度の講義資料と製作課題の抜粋です。

課題回路を制作中 (パワーエレクトロニクス)



パワーエレクトロニクスの講義において、課題回路を制作中の様子です。約 90 名の学生が回路製作に取り組んでいます。

課題回路を制作中  
(パワーエレクトロニクス)



TAによるチェック (パワーエレクトロニクス)



### 期末のアンケート結果

H19年学期末，自由記述，記名式

回答者数 92名

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| TAにチェックを受ける行列が長かった.           | 33 |
| 理解していなくても作ることができた.            | 21 |
| 正解動作が分り難かった.                  | 6  |
| 回路作りに気を取られて，講義をしっかりと聞いていなかった. | 5  |
| 回路作りに夢中になりすぎて，課題の理解が不足した.     | 3  |

79

### 3.2 初年度のアンケート結果（パワーエレクトロニクス）

初年度学期末のアンケート集計結果の抜粋です。回答指示は「自由記述欄に製作演習に対する建設的意見を記せ。」でした。記名式としました。無記名式では有益な意見を得られなかった経験から，記名式としました。回答者数は92名でした。

製作課題が2課題/週するとき，および課題が簡単すぎたときにはTAの前に大行列ができてしまいました。そのため，「TAにチェックを受ける行列が長かった。（33名）」の回答がありました。

大きな反省点は，「課題を理解していなくても作ることができた。（21名）」，「回路作りに気を取られて，講義をしっかりと聞いていなかった。（5名）」「回路作りに夢中になりすぎて，課題の理解が不足した。（3名）」の回答があったことです。回路図通りに組み立てるだけでTAからOKの出る課題が多かったことが大きな要因でした。

また，「正解動作が分り難かった。（6名）」の回答からは，製作課題の説明時に正解動作をスライドで見せるだけでは足りないことが判りました。

## 期末のアンケート結果

H19年学期末，自由記述，記名式  
回答者数 92名

製作演習つき講  
義を続けること  
を決意

|   |    |
|---|----|
| 回路製作は楽しかった。                                   | 43 |
| できたときは感動した。達成感があった。                           | 7  |
| 新鮮だった。  | 3  |
| 座学の内容がより理解できた。                                | 50 |
| 講義へのやる気が増した。                                  | 8  |
| パワエレへの興味が増した。                                 | 6  |
| 1週間で最も楽しめる講義だった。                              | 1  |
| 実習があることで楽しい授業だった。毎週月曜3限を待ち望んでいました。            | 1  |
| 座学だけの講義に比べて勉強しているという実感があつた。                   | 1  |
| 今まで電気回路などにほとんど興味が無かったが、この授業によって少し興味を持つことができた。 | 1  |

初年度の製作演習付き講義では多くの反省点がありましたが、一方で、「回路製作は楽しかった。(43名)」、「座学の内容がより理解できた。(50名)」の回答があり、次年度以降も製作演習付き講義を続けることを決意しました。

その他、「できたときは感動した。達成感があった。(7名)」、「新鮮だった。(3名)」、「講義へのやる気が増した。(8名)」、「パワエレへの興味が増した。(6名)」など肯定的な回答が見られました。

さらに、それぞれ1名だけの回答ですが、「1週間で最も楽しめる講義だった。」、「実習があることで楽しい授業だった。毎週月曜3限を待ち望んでいました。」、「座学だけの講義に比べて勉強しているという実感があつた。」、「今まで電気回路などにほとんど興味が無かったが、この授業によって少し興味を持つことができた。」などの回答がありました。

## 期末のアンケート結果

H19年学期末, 自由記述, 記名式

回答者数 92名

|  |   |
|--|---|
| 高校生のときからダイオードやコンデンサについて勉強してきたが, 実物を見たのは初めてだった.                 | 1 |
| ダイオードが逆向きだったり, トランジスタの配線を少し間違えただけでも動かなかったり, 回路製作の難しさを学ぶことができた. | 1 |
| オペアンプに電源をつながなければいけないなど回路作りの注意点を体験できた.                          | 1 |

82

パワーエレクトロニクスの講義は, 学部 3 年生前期の開講でした. 学生実験も 3 年生前期から始まります. 上記の回答から判ることは, 学部 1, 2 年生の電気回路, 電子回路などの講義では回路を組む機会がほとんど無かったことです.

| 改善策                           |   |
|-------------------------------|---|
| TAにチェックを受ける行列が長かった。           | ⇒ 1週1課題とする。<br>製作課題の難易度を調整する。   |
| 理解していなくても作ることにはできた。           | ⇒ 製作課題の回路を穴あきとし、設計させる。前半の座学で要点を聞けば設計できるようにする。                                     |
| 正解動作が分り難かった。                  | ⇒ 正解ビデオを作成する。演習中に繰り返し上映する。<br>NUCTにアップする。   |
| 回路作りに気を取られて、講義をしっかりと聞いていなかった。 | ⇒ 座学の資料の要点を空欄にし、座学中に穴埋めさせる。<br>製作課題は座学終了時に提示する<br>製作課題の回路動作を考えさせる<br>レポート課題を出題する。 |
| 回路作りに夢中になりすぎて、課題の理解が不足した。     |   |

### 3.3 改善策

次年度には上記のような改善策を立てました。

「TAにチェックを受ける行列が長かった。」に対しては、1週1課題とし、さらに製作課題の難易度を調整しました。難易度調整は次年度以降も試行錯誤が続きました。

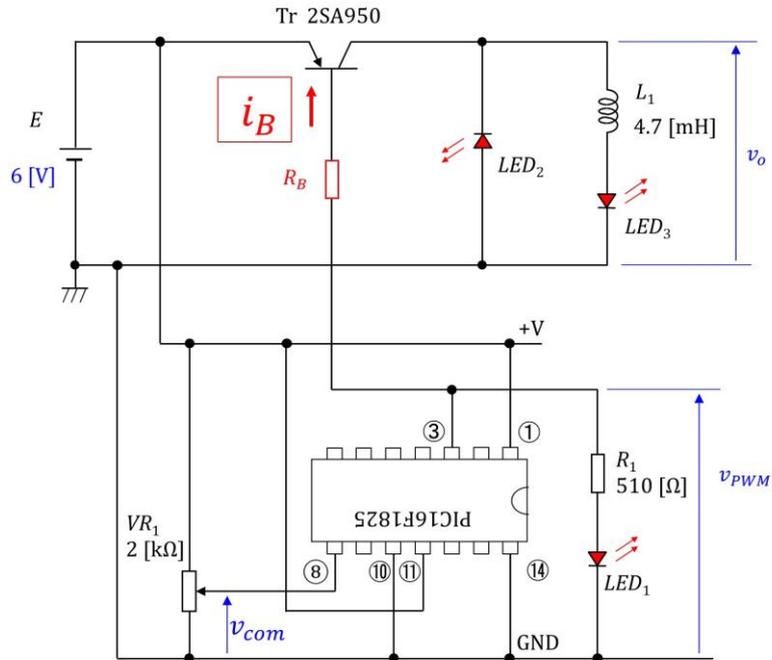
「理解していなくても作ることにはできた。」に対しては、製作課題の回路を穴あきとし、次第に穴を大きくして行き、最後は言葉のみの指示として、学生に回路を設計させることとしました。また、前半の座学で要点を聞けば設計できるようにしました。

「正解動作が分り難かった。」に対しては、正解ビデオを作成し、演習中に繰り返し上映することとしました。また、NUCTにアップして、ネットを通して閲覧できるようにしました。

「回路作りに気を取られる・・・」に対しては、座学の資料の要点を空欄にし、座学中に穴埋めさせ、さらに、製作課題は座学開始時点ではなく、座学終了時に提示することにして、座学に集中させることとしました。また、課題回路の動作に関するレポート課題を出題することで、回路動作を考えさせるようにしました。

### 製作課題資料 (抜粋)

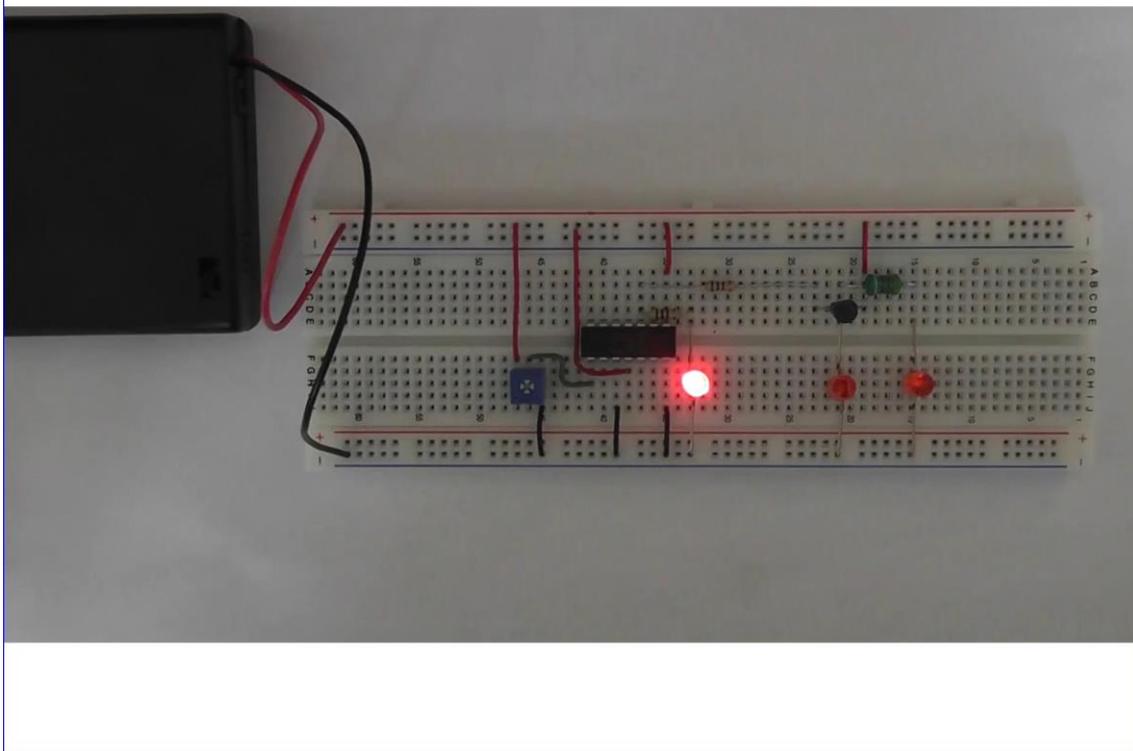
製作課題 STEP3 以下の降圧チョッパ回路を製作せよ。ベース抵抗 $R_B$ の値を、Trオンのときにベース電流 $i_B < -6$  [mA]となるように設計せよ。設計根拠をTAに説明せよ。



#### 3.4 製作課題例 (パワーエレクトロニクス)

図は降圧チョッパ回路の製作課題です。トランジスタのベース抵抗値の決定を設計課題に含めています。

## 正解例のビデオ



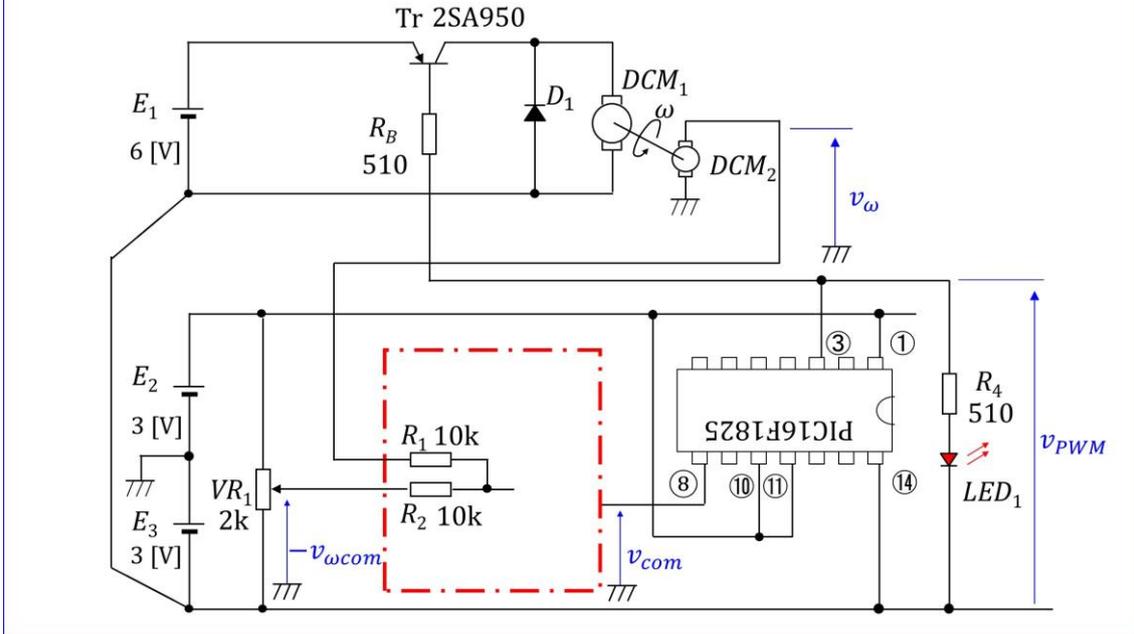
正解例の ビデオ です。まず、製作課題の説明時にビデオ映像をスクリーンに投影して説明し、その後、製作演習の間中、再生を繰り返しておきました。

レポート課題では LED3 が消える直後に LED2 が一瞬点灯する理由を考察させました。

## 製作課題資料 (抜粋)

製作課題 STEP7 以下の回路 (DCモータの回転数制御回路) を製作せよ。

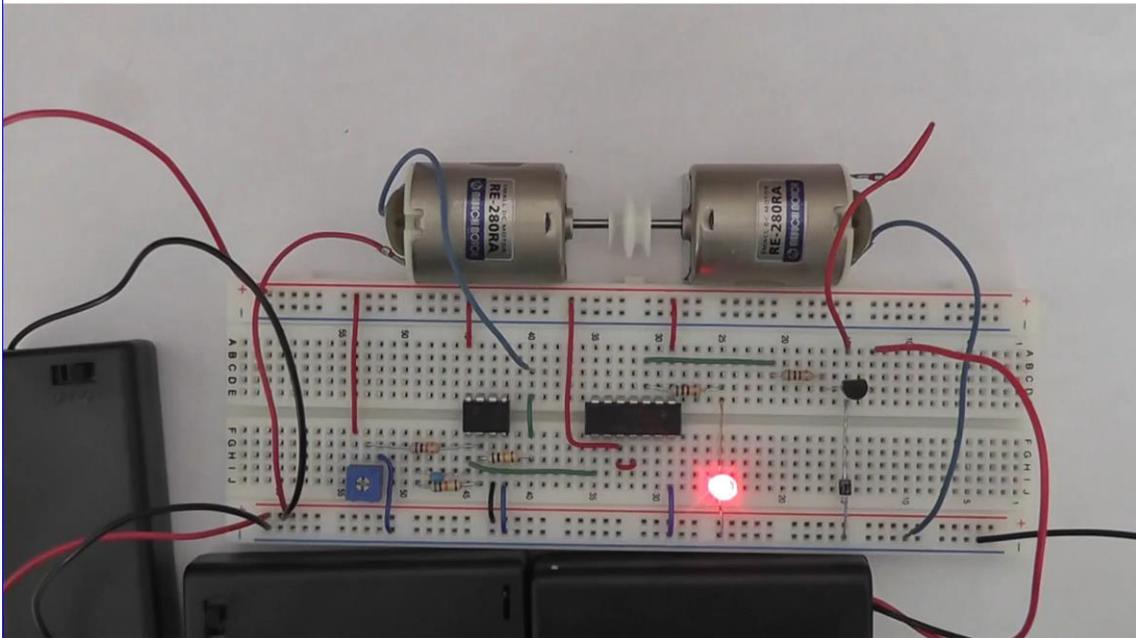
一点鎖線で囲まれた部分にオペアンプによるPI制御回路を設計せよ。ただし、比例ゲイン  $K_p = 5$ , 積分ゲイン  $K_I = 1000$  の回路構成とせよ。



DC モータの回転数制御回路を設計・製作させる課題です。オペアンプによる PI 制御回路を空欄にして、さらに比例ゲインと積分ゲインを指定の値とするように、回路内の抵抗値とコンデンサの静電容量を決めさせました。

レポート課題は PI 制御では回転数指令値  $v_{\omega com}$  と検出値  $v_\omega$  が一致するのに対して、P 制御では一致しない理由を考察させました。また、PI 制御回路出力電圧  $v_{com}$  と回路内のコンデンサの電荷との関係を考察させました。

## 正解例のビデオ



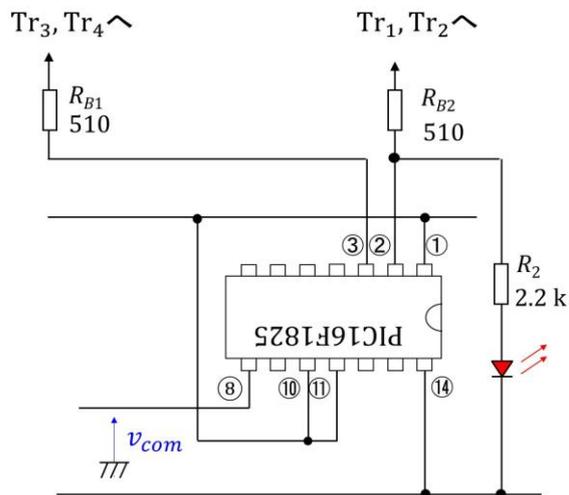
87

PI 制御回路による DC モータの回転数制御回路課題の正解例の [ビデオ](#)です。

## 製作課題資料 (抜粋)

### 製作課題 STEP10

フルブリッジインバータを用いてD級アンプ回路を設計・製作せよ。



88

期末に近い頃の製作課題例です。フルブリッジインバータを用いたD級アンプを設計・製作させる課題です。マイコンによるPWM波形生成回路のみ記載してあります。

D級アンプで増幅してスピーカから聞こえてきた音を筆者がICレコーダで録音しました。学生には正解例としてこの音を聴かせました。

ライセンスフリーのサイト (<http://classical-sound.seesaa.net/article/177279346.html>) にあるモーツァルト：アイネ・クライネ・ナハトムジーク ト長調 K.525 第1楽章です。元音源と聞き比べてみて下さい。

## パワーエレクトロニクス アンケート結果

令和元年度末, 自由記述, 記名式

回答者数 70名

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 設計, 製作が楽しい. 動く楽しい, 面白い, 嬉しい, 達成感がある. | 41 |
| 回路製作は新鮮, 貴重な機会, よい経験.                | 15 |
| 後期の授業全体を通してパワエレが面白いと思えた.             | 1  |
| エラーによる部品の破壊は貴重な体験.                   | 4  |
| 設計・製作, 動作の確認により理解が深まった. 記憶を定着できた.    | 30 |
| エラーにより理解が深まった.                       | 3  |
| レポートにより座学/製作課題を深く理解できた.              | 54 |

一言も  
記さな  
かった  
回答者  
は3名  
のみ

92

### 3.5 改善後のアンケート結果

令和元年度末に実施したアンケート結果です。座学、製作演習、レポート課題についてそれぞれよかった点、悪かった点の記述、および感想を求めました。自由記述、記名式としました。回答者数は70名でした。

楽しい、面白い、うれしい、達成感がある、新鮮、貴重な機会、よい経験など、肯定的回答が多くありました(計61名)。また、理解が深まった。記憶を定着できた等と記した回答も多くありました(計33名)。これらの言葉を一言も記さなかった回答者は3名のみでした。

レポートにより座学/製作課題を深く理解できたとの回答は54名が記していました。レポート提出締め切りを翌週の講義開始時点とし、講義開始時にレポートの解答を解説したことが高評価につながりました。

課題回路を制作中 パワーエレクトロニクス  
留学生 (G30, NUPACE)向けの講義

帰国するときに  
私にメールをく  
れた。



92

パワーエレクトロニクスの講義は外国人留学生向けプログラム(G30, NUPACE)でも開講してきました。G30は講義がすべて英語で組まれたプログラムです。NUPACEは、半期のプログラムで、留学生が名古屋大学内で開講されている英語の講義を選択受講します。毎年、両プログラムを合わせて約10名の学生が私の製作演習付き講義を受講しました。

写真は平成30年秋学期での製作演習時の様子です。ドイツの大学からNUPACEに参加していた学生が帰国時に私にメールをくれました。

## NUPACE参加学生からのメール

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 移動(G) メッセージ(M) 予定とToDo(N) ツール(T) ヘルプ(H) ×

📁 パワーエレクトロニクス Power Electronics le × 📅 📖

📥 受信 | 📝 作成 | 👤 アドレス帳 | 🏷️ タグ

🔄 返信 | 📧 全員に返信 | ➡️ 転送 | 🗳️ アーカイブ | 🔥 迷惑マークを付ける | 🗑️ 削除 | その他

差出人 Michael <@gmail.com> ★  
件名 Power Electronics lecture 2018/02/27 0:50  
宛先 furuhashi@cse.nagoya-u.ac.jp ★

Hello Professor Furuhashi,

my stay in Japan gets to an end now and I almost forgot to thank you for the Power Electronics lecture. It was definitely the best lecture I had in Japan. I learned a lot and it was really interesting, even fun! So thank you 😊

Best Wishes  
Michael

96

メールには、「私が日本滞在中に受講した講義の中でまさしく最良の講義でした。ほんとうに興味深く、また、楽しかったです。」と記されていました。

## 電気・電子工学通論 I, II

対象学生：物理工学科3年生 約50名

### 問題意識

- 学生は電気電子回路を全く触ったことがない。

### 3.6 製作課題例（電気工学通論 I, II）

電気電子工学通論 I, II でも製作演習付き講義を実施しました。対象学生は物理工学科の3年生約 50 名です。私の問題意識は、「対象学生は電気電子回路を全く触ったことがない。」でした。

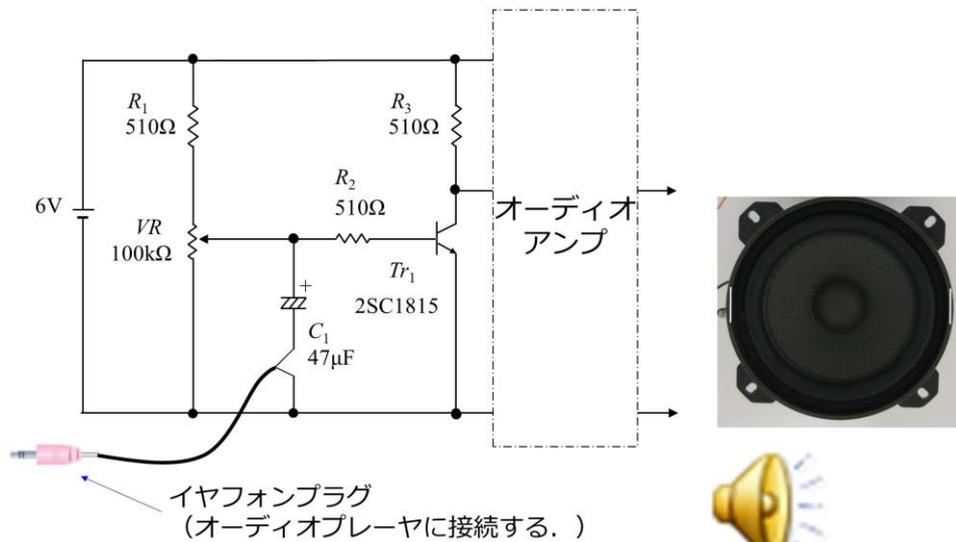
## 電気工学通論I 製作演習課題例

- |               |             |
|---------------|-------------|
| ・ RC直列回路      | 位相差を光で見る    |
| ・ LC共振回路      | 共振現象を音で聞く   |
| ・ ハイパスフィルタ    | フィルタ効果を光で見る |
| ・ 過渡現象回路      | 一次遅れ系を光で見る  |
| ・ ひずみ波        | ひずみ音を音で聞く   |
| ・ ダイオード       | 特性を光で見る     |
| ・ トランジスタ      | 特性を光で見る     |
| ・ 増幅回路        | 音楽を聴く       |
| ・ オペアンプ       | 基本動作を光で見る   |
| ・ オペアンプフィルタ回路 | フィルタ効果を音で聞く |
| ・ オペアンプ増幅回路   | 音楽を聴く       |

98

電気工学通論 I の製作演習の課題例です。講義内容は電気回路論，電子回路論の基礎です。製作課題は，いずれも光で見る／音で聞く／音楽を聴くことで回路動作の具体例を体験できるようにしました。

## 製作課題 STEP8 トランジスタによる音声信号増幅



104

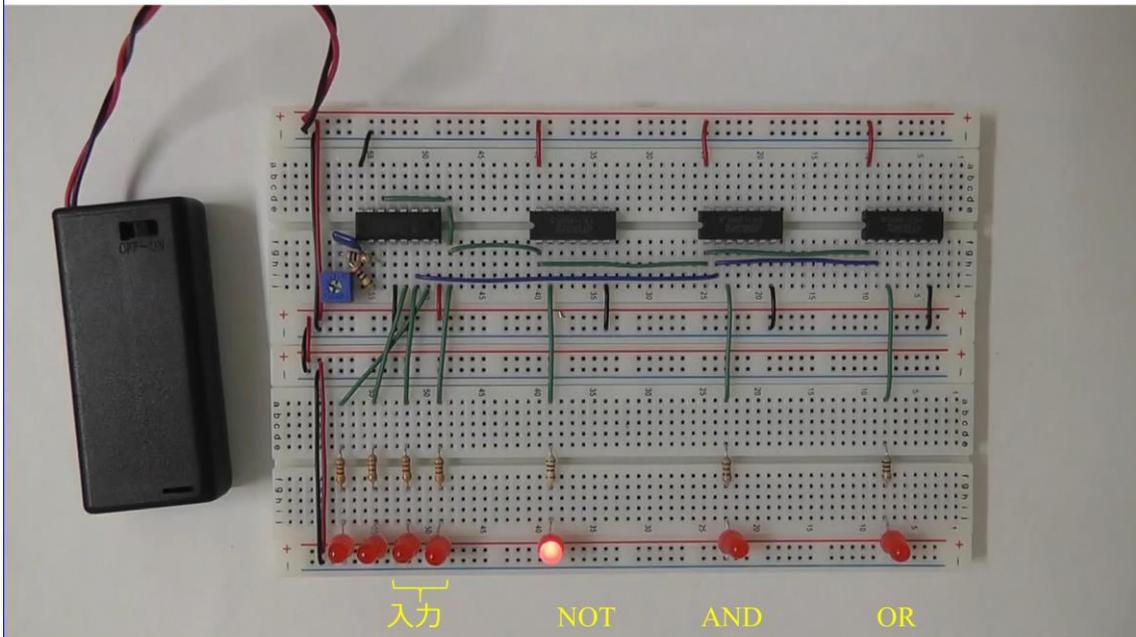
製作課題の 1 例です。トランジスタの音声信号増幅の原理を解説した後、実際にスマートフォンなどの音響機器にイヤホンプラグを差し込むことで音楽を聴くことのできる回路の製作課題を課しました。

## 電気工学通論II 製作演習課題例

- AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR回路
- 組み合わせ論理回路
- 7セグメント表示回路
- カルノー図
- フリップフロップ回路
- 非同期式カウンタ
- 同期式カウンタ
- 順序回路
- 選択課題（電子ルーレット, 電子サイコロ, 加算器等）

電気工学通論 II の製作演習の課題例です。講義内容はデジタル回路です。製作課題は、いずれも LED の点滅により動作を確認できるようにしました。

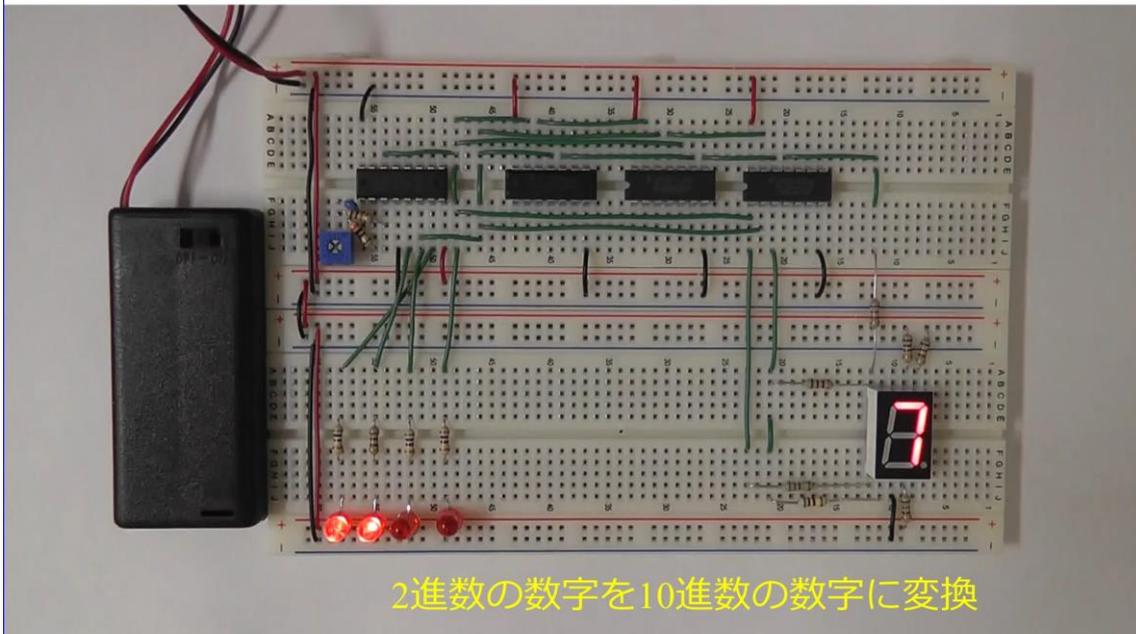
## 正解例のビデオ AND, OR, NOT回路



107

AND, OR, NOT 回路の動作を確認する課題です。 [ビデオ](#)をご覧ください。

## 正解例のビデオ



109

2進数 00, 01, 10, 11 と 10進数の数字 7, 8, 9, 0 を

00 → 7

01 → 8

10 → 9

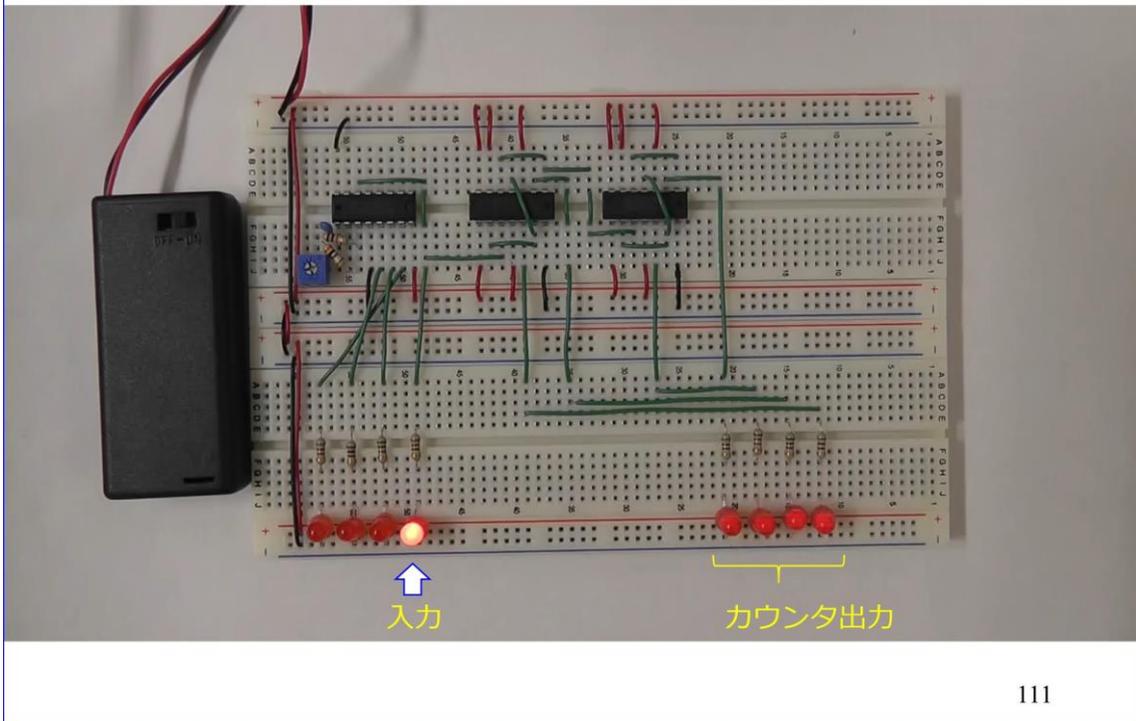
11 → 0

と対応づけて、7セグメントLEDに表示する論理回路の設計課題です。

[ビデオ](#)をご覧ください。

左に横1列に並んでいる4個のLEDの右側2個により2進数を表現しています。消灯時が0、点灯時が1です。なお、左側2個のLEDはこの課題では関係ありません。

## 正解例のビデオ



16進カウンタの製作課題です。左側横1列に並んでいる4個のLEDの右端の点灯回数を数えます。右側横1列の4個のLEDにより4桁の2進数を表しています。

[ビデオ](#)をご覧ください。

## 電気工学通論II アンケート結果

令和元年度末，自由記述，記名式

回答者数 36名

|   |    |      |
|---|----|------|
| 楽しかった，面白かった，新鮮だった，達成感があった   | 21 | 重複無し |
| 座学の内容を良く理解できた．実感した．   | 11 |      |
| レポートにより，理解が深まった．座学の内容を定着できた   | 28 |      |
| どうやったら課題の回路を作ることができるかを考えるのがとても楽しかった．毎回，今日は何をするんだろうと思って楽しみにして講義に出た．                              | 1  |      |
| 今まで大学の授業が楽しいと感じたことは入学以来一度も無かったが，この講義は楽しく感じた．  | 1  |      |
| 製作課題で劣等感を与えられつつも，自宅に持ち帰り，自身の力で落ち着いて課題を製作し，それを達成できたことは，学問の修得だけでなく，今の自分にもっと大事な何かを得られたような気がしてならない． | 1  |      |

### 3.7 アンケート結果（電気工学通論 II）

令和元年度秋学期末に実施した電気工学通論 II のアンケート結果（抜粋）です．座学，製作演習，レポート課題についてそれぞれよかった点，悪かった点の記述，および感想を求めました．自由記述，記名式としました．回答者数は 36 名でした．

楽しかった，面白かった，新鮮だった，達成感があったな（21 名）．座学の内容を良く理解できた．実感した（11 名）と肯定的な回答が多くありました．これらの言葉を一言も記さなかった回答者は 4 名のみでした．

レポートにより，理解が深まった．座学の内容を定着できた（28 名）と，レポートの評価も高かったです．

## 講義概要

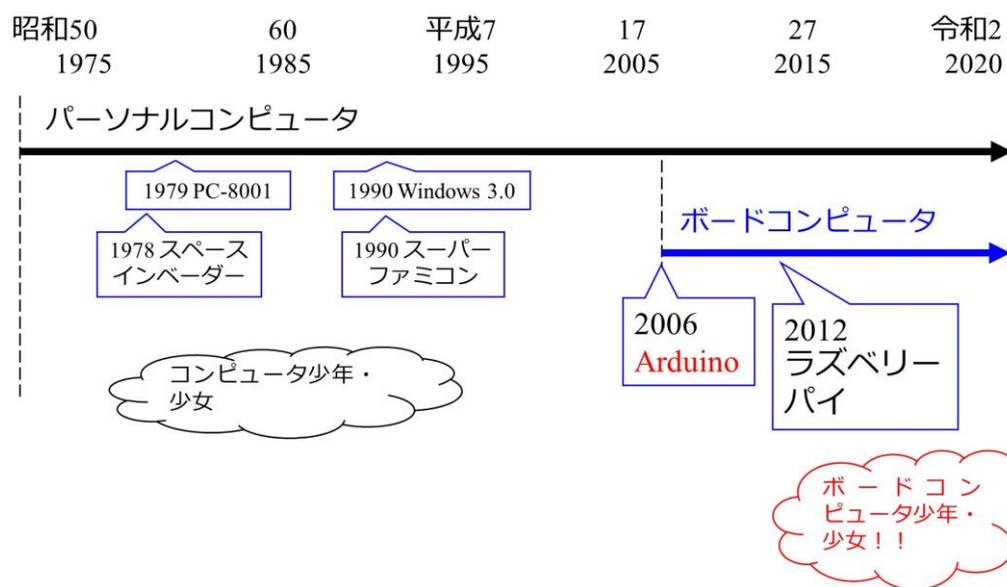
1. 座学・実験一体型講義のイメージ
2. ボードコンピュータ少年・少女が大学に入学してくる！
3. 製作演習付き講義の実施例  
(私の取り組み)
4. **座学・実験一体型講義のすすめ**

116

### 4.1 座学・実験一体型講義のまとめ

座学・実験一体型講義のまとめです。

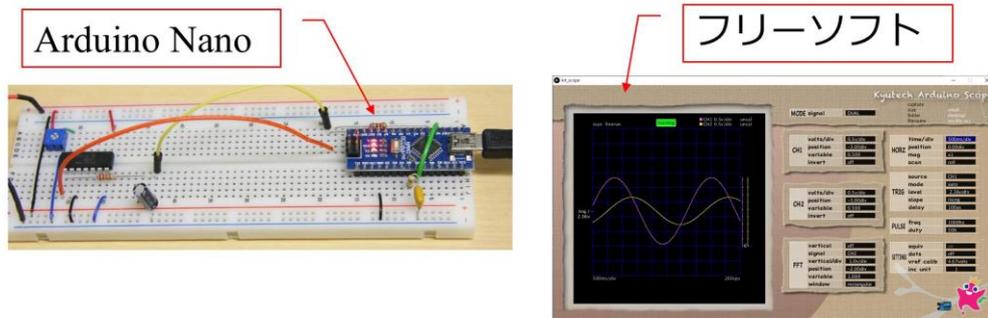
## パソコン・ボードコンピュータの略歴



2012年のラズベリーパイの発売から、ボードコンピュータが急速に世界中に普及してきました。この頃から現れ始めたのが、ボードコンピュータ少年・少女です。

ボードコンピュータ少年が受講生の中に居た。

G30パワーエレクトロニクス（令和元年秋学期）にてベトナム人の留学生が Arduino Nano + ノートパソコンによるオシロスコープを用いて波形観測を行っていた！！



九工大Arduino オシロスコープ

[https://www.iizuka.kyutech.ac.jp/faculty/physicalcomputing/pc\\_kitscope](https://www.iizuka.kyutech.ac.jp/faculty/physicalcomputing/pc_kitscope)

ボードコンピュータ少年が受講生の中に居ました。令和元年秋学期の G30 パワーエレクトロニクスにて、ベトナム人留学生が Arduino Nano とノートパソコンからなるオシロスコープを持参して、製作演習中に自分の作ったチョッパ、インバータなどの電圧波形を観測していました。回路動作の的確な把握と定量的評価ができていることに、筆者は座学・実験一体型講義の原型を見ることができました。

写真はボードコンピュータ上の Arduino Nano です。ネットでは 400 円／個の驚異的な安値で販売されています。また、ベトナム人留学生のものとは異なりますが、例えば、ネットから九工大 Arduino オシロスコープのようなフリーソフトをダウンロードできます。上右図は Arduino オシロスコープ画面のスナップショットです。このソフトは 2 チャネルでそれぞれ 500ksps のサンプリング速度を実現しています。

ボードコンピュータの普及  
プログラミング教育の必修化



ボードコンピュータ少年・少女（コンピュータで電子回路を動かすことの面白さを知っている子供達）を迎える大学の電気系科目の講義が**座学中心のままで良い？**

回路を触る機会のない電気系科目の講義が2年近くも続くことが、彼・彼女らにとって楽しい？



**座学・実験一体型講義**

119

ボードコンピュータの普及とプログラミング教育の必修化により、近い将来、ボードコンピュータ少年・少女（コンピュータで電子回路を動かすことの面白さを知っている子供達）が数多く大学に入学してくると予想します。

ボードコンピュータ少年・少女を迎える大学の電気系科目の講義が座学中心のままで良いでしょうか？回路を触る機会のない電気系科目の講義が2年近くも続くことが、彼・彼女らにとって楽しいでしょうか？

私の提案は座学・実験一体型講義です。

## 座学・実験一体型講義とは

1. 学生一人一人が計測器と実験キットを保有する.

計測器：ノートパソコン+USB計測器

実験キット：電子部品キット

2. 学生一人一人に座学直後に実験が課される.



コンピュータを活用して回路を動かしながら法則・理論を学べる講義は、学生の興味を強く喚起する。座学の直後に回路を触ることで、学生の法則・理論に対する理解が容易になる。

120

筆者のイメージする座学・実験一体型講義では、学生一人一人が計測器（ノートパソコン+USB計測器）と実験（電子部品）キットを保有します。

そして、学生一人一人に座学直後に実験が課されます。

ノートパソコン、USB計測器と電子部品キットを持っていれば、学生は座学と同じ席で回路の製作・実験ができます。

コンピュータを活用して回路を動かしながら法則・理論を学べる講義は、学生の興味を強く喚起することでしょう。座学の直後に回路を触ることで、学生の法則・理論に対する理解が容易になります。

## 座学・実験一体型講義の実施手順

前半の約45分：座学

法則・理論を聴く。

後半の約45分：実験

座学の内容を実験課題とする。

各自が課題回路を製作する。

TAが各自の回路動作をチェック

→ OKなら名簿に記す。

各自が実験データを録る。

具体例を体験する。

レポート：実験結果のまとめと考察

具体例から法則・理論の理解を深める。

122

最初に述べた、座学・実験一体型講義の実施手順の再掲です。

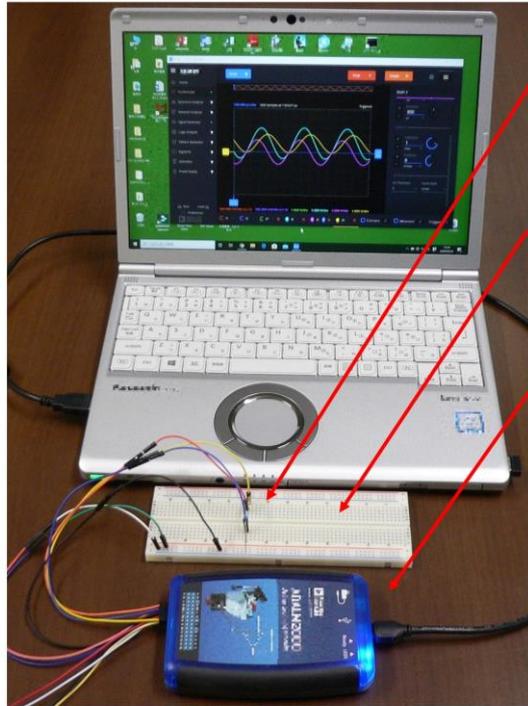
90分の授業を前後半でおよそ半分ずつに分けます。

前半の45分は座学です。学生は法則・理論を聴きます。

後半の45分が実験です。学生は法則・理論の具体例を体験します。

レポート課題は実験結果のまとめと考察です。具体例から法則・理論の理解を深めます。

## 実験



RC直列回路

ブレッドボード

USB計測器

関数発生器  
オシロスコープ  
スペクトラムアナライザ  
ネットワークアナライザ  
パターンジェネレータ  
ロジックアナライザ  
...

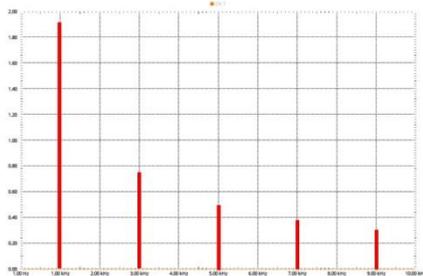
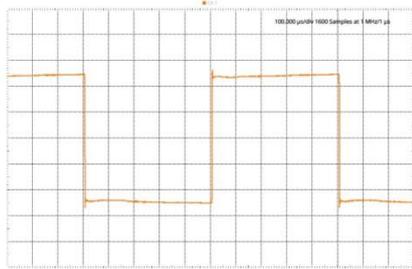
実験の様子

123

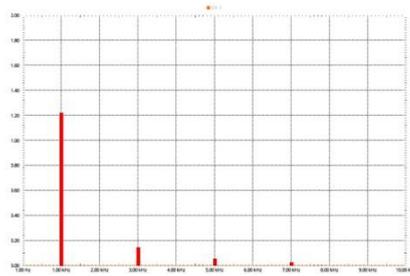
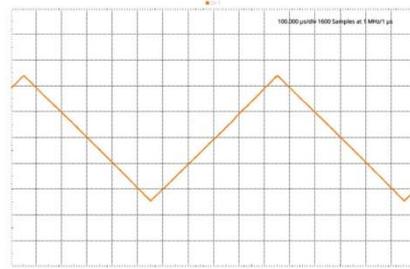
ノートパソコンと USB 計測器による実験の様子の再掲です。

USB 計測器による電気回路論，電子回路論，パワーエレクトロニクスの実験例を 4 つ紹介  
します。

## スペクトラムアナライザによるひずみ波解析



矩形波のスペクトル



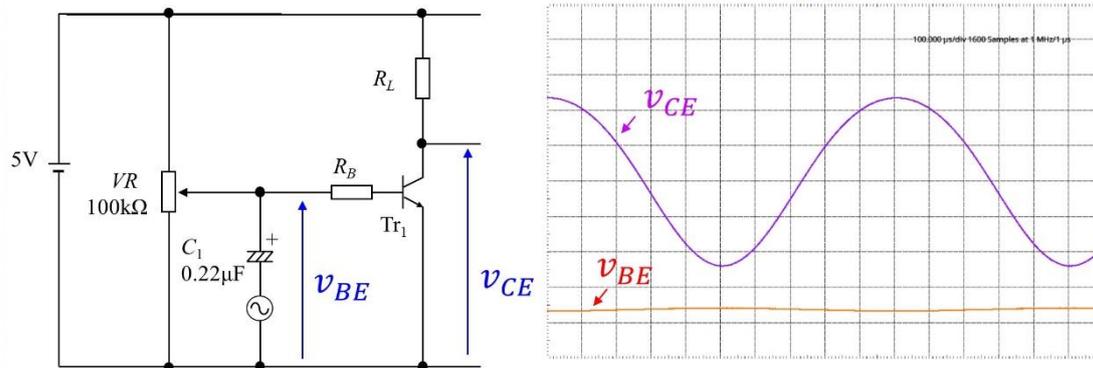
三角波のスペクトル

126

USB 計測器(adalm2000)のスペクトラムアナライザによるひずみ波解析の例です。矩形波や三角波の高調波解析は電気回路論の基礎事項です。

USB 計測器は任意波形を発生できます。様々な波形を作らせて、その高調波成分を測定させ、併せて理論解析結果と対応させれば、学生が理解を深めるのによい課題となるでしょう。

## 電子回路論：トランジスタの増幅



トランジスタ増幅回路

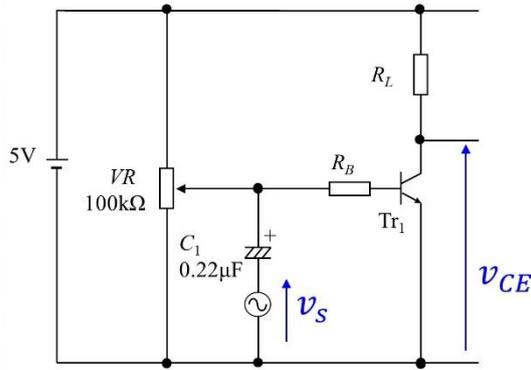
→ スピーカをつなげば  
音の再生ができる。

127

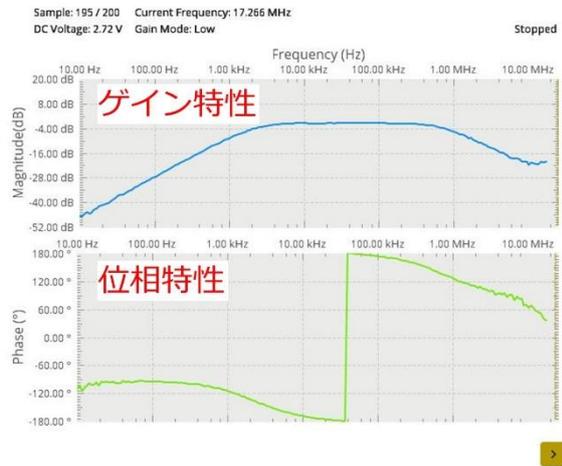
トランジスタ増幅回路の実験結果です。ベース回路の印加電圧 $v_{BE}$ とコレクターエミッタ間電圧 $v_{CE}$ の波形例です。回路の増幅度を測ることができます。また、 $v_{BE}$ のバイアス電圧の役割と効果も理解し易くなります。

この増幅回路は、スピーカをつなげば音を再生できます。スマートフォンなどをこの回路の信号源とすることで、学生は普段イヤフォンで聴いている音楽などをスピーカから聴くことができます。学生にとって楽しい実験となることでしょう。

## ネットワークアナライザによる増幅回路の周波数特性

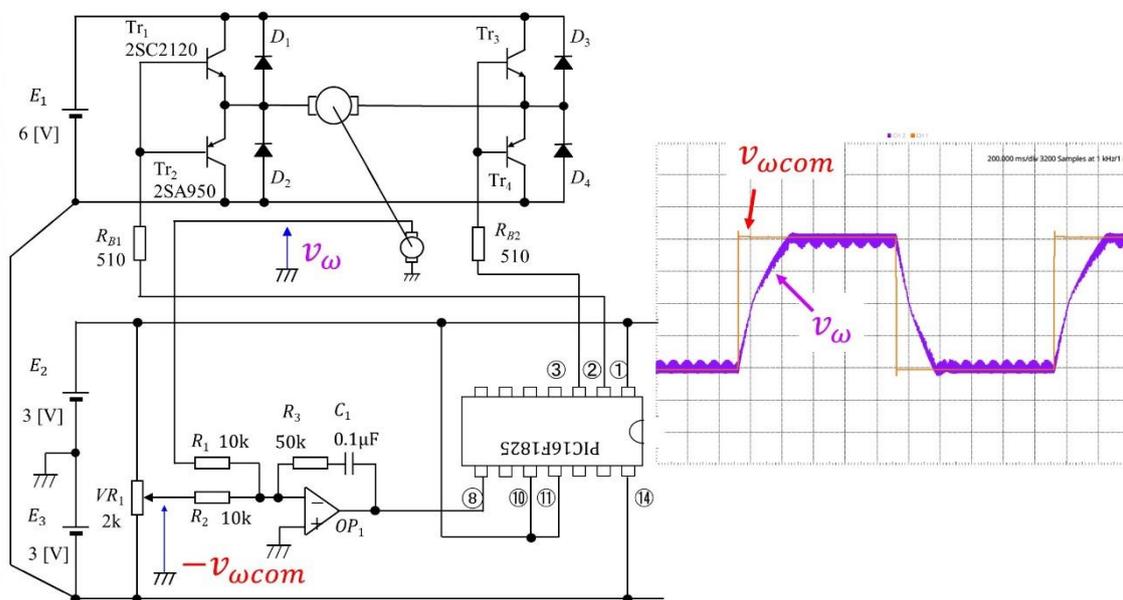


トランジスタ増幅回路



USB 計測器(adalm2000)のネットワークアナライザによるトランジスタ増幅回路の周波数特性の計測結果例です。ゲイン特性、位相特性を測ることができます。エミッタ接地増幅回路、コレクタ接地増幅回路、ベース接地増幅回路、コンデンサ結合増幅回路、負帰還回路などの周波数特性は、電子回路論の基礎項目ですが、これまでは多くの学生にとって難解でした。USB 計測器により具体例を体験することで、学生の理解は容易になります。

## パワーエレクトロニクス：DCモータの回転数制御



DCモータの回転数制御回路

129

パワーエレクトロニクスにおける DC モータの回転数制御回路の実験結果です。回転数指令値  $v_{\omega com}$  と回転数検出値  $v_\omega$  の波形例です。  $v_{\omega com}$  のステップ変化に対して、  $v_\omega$  が追従している様子と、定常状態では両者が一致していることが判ります。PI 制御と P 制御による効果の違いを定量的に解析することも可能になります。

## 座学・実験一体型講義と学生実験との違い

- ・座学・実験一体型講義

学生一人一人がポータブル計測器（ノートパソコン+USB計測器）を保有している。

座学の直後に同じ講義室内で実験を実施できる。

- ・学生実験

計測器は1グループに対して1台／種類が割り当てられる。

複数の実験テーマに対して複数のグループでローテーションを組むため、座学と実験の実施時期が離れている。

123

### 4.2 学生実験との違い

座学・実験一体型講義と学生実験との違いのまとめです。

座学・実験一体型講義では学生一人一人がノートパソコンと USB 計測器からなるポータブル計測器を保有しています。これにより座学の直後に同じ講義室内で実験を実施できます。

学生実験では計測器は1グループに対して1台／種類が割り当てられます。全員が計測器に触れるとは限りません。複数の実験テーマに対して複数のグループでローテーションを組むため、座学と実験の多くは実施時期が離れています。

## 座学・実験一体型講義と製作演習付き講義の違い

- ・座学・実験一体型講義  
学生一人一人が計測器を保有している。  
各自で回路データを取得し，定量的評価ができる。
- ・製作演習付き講義  
学生が計測器を持っていない。  
回路動作の定量化が困難。

### 4.3 製作演習付き講義との違い

座学・実験一体型講義と製作演習付き講義の違いのまとめです。

両者の違いは学生が計測器を持っているかいないかです。

計測器があることで，回路動作の定量的評価ができます。無ければ定量化は困難です。

## 座学・実験一体型講義の効能

1. 学生が座学を集中して聞くようになる。  
座学を聴けば直後の実験課題が解ける。  
座学は45分と短い。
2. 学生が実験を楽しむようになる。  
作った回路が動く楽しい。  
失敗する、壊す体験も達成感につながる。
3. 学生が座学の内容を理解し易くなる。  
実験は具体例の最たるもの。  
座学直後の具体例により法則・理論を理解し易くなる。
4. 学生が電気系の科目全般に興味を抱くようになる。

130

### 4.4 座学・実験一体型講義の効能（再掲）

本講義の最初に述べた、座学・実験一体型講義の効能を再掲します。

それぞれの項目を納得していただけますでしょうか？

一言付け加えます。演習レポートでは、学生の間で解答のコピーが出回ることが教員にとって頭の痛い問題となります。紙のレポートと製作課題では違いがあります。他の人の演習レポートを書き写した場合、学生にとって面白くはありません。製作課題においては、他の人の回路を見よう見まねで作った場合でも、自分で作った回路が動けば面白いです。

名大では入学時に工学部学生に対して

### ノートパソコンを必携化

することが検討されている。（既に多くの大学で必携化されている。）



学生全員に、**USB計測器と電子部品キット**を保有させる。



座学・実験一体型講義を実施できる。

#### 4.5 ノートパソコンの必携化

座学・実験一体型講義を実現するためには、学生各自がノートパソコンを保有する必要があります。名古屋大学では入学時に工学部の学生に対してノートパソコンを必携化することが検討されています。むしろ名古屋大学は遅い方で、既に多くの大学で必携化されています。

ノートパソコンの必携化が実現でき、さらにもう一歩進めて、学生全員に **USB 計測器と電子部品キット**を保有させることができれば、座学・実験一体型講義を実施できます。

従来の座学・演習中心の講義を座学・実験一体型講義へと  
改変できる。

交流回路論  
電子回路論  
デジタル回路論  
電気磁気学  
電気エネルギー基礎論  
センシングシステム工学  
制御工学  
デジタル信号処理  
パワーエレクトロニクス  
・・・

多くの学生が電気電子情報工学を大好きになる！

131

#### 4.6 座学・実験一体型講義科目の候補

筆者は、従来の座学・演習の講義を座学・実験一体型講義へと改変できると考えています。例えば

交流回路論  
電子回路論  
デジタル回路論  
電気磁気学  
電気エネルギー基礎論  
センサ工学  
制御工学  
デジタル信号処理  
パワーエレクトロニクス

などの科目です。多くの科目で USB 計測器が利用できれば、学生にその真価が分ることでしょう。そして、なにより多くの学生が電気電子工学を大好きになることでしょう！