



# アナログ回路技術者育成に必要な 大学教育とは

— 東京理科大学での事例を含めて —

東京理科大学 理工学部

電気電子情報工学科

兵庫 明



# このポジショニングトークでの大前提

---

- アナログ回路技術者の人材不足
- アナログ人口を増やす必要あり
  - 社会人向けアナログ教育の効率的な方法は？
  - 初心者を(そこそこの)アナログ技術者に育てるためには、大学として何ができるか？



# 現在の一般的な大学生は

- 小、中、高校時代から教科書のための勉強が中心
- 実際のことを知らない学生が多い  
(大学に入るまでトランジスタを見たことがない)
- キーボードは打てるが半田ごては持ったことがない

# 電子回路関係のカリキュラム (東京理科大学 理工学部での例)

- 1年次: **電気回路I**、電磁気学I、数学、微分積分学  
物理学実験
- 2年次: **電子回路I**、**電気回路II**、電磁気学II、電子物性、  
電磁気計測、電子計測  
電気工学実験I(基礎的なもの)
- 3年次: **電子回路II**、**デジタル電子回路**、制御、固体電子  
電気工学実験II
- 4年次: **集積回路工学**  
卒業研究

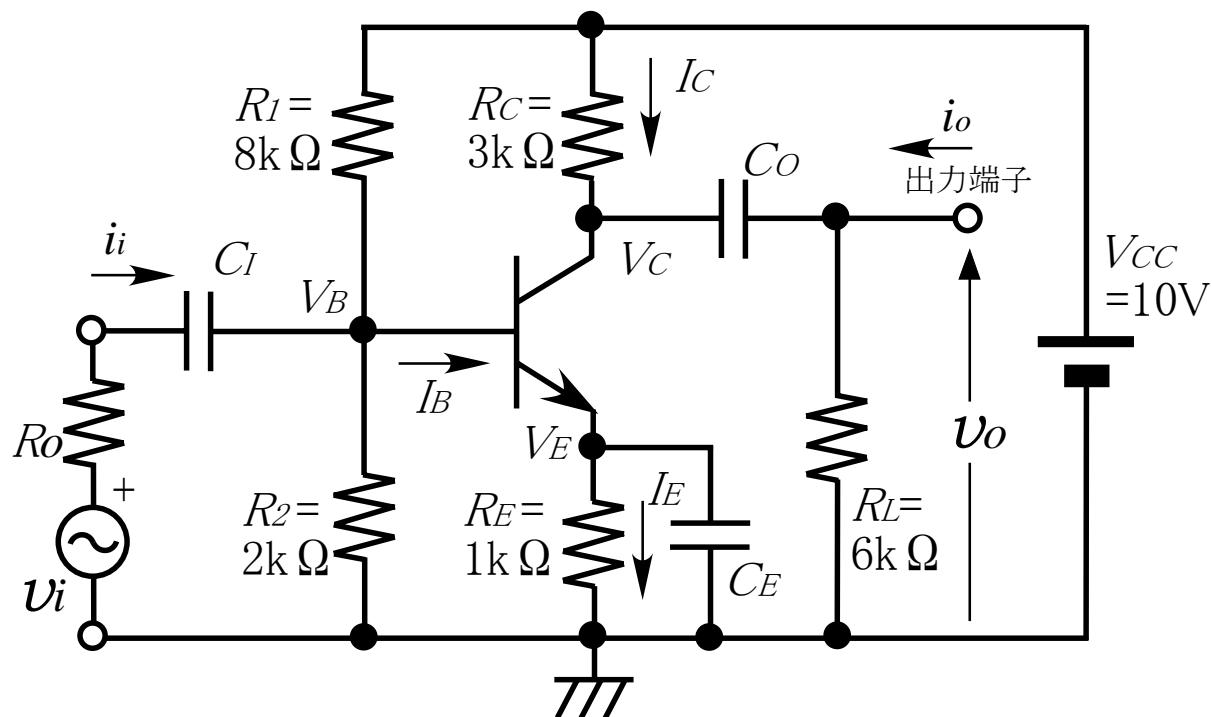
# 一般的な学生にとって 電磁気と電気回路と電子回路は

- 電磁気
  - ・あまりにも基礎的なため、実際との関わりが分かり  
難い
- 電気回路
  - ・理論体系がしっかりしており取り組みやすい
  - ・基礎科目であるがために知識が島に
- 電子回路
  - ・非線形を線形化するため理解が困難
  - ・近似が前提にあり

# アナログ回路のキーポイントは

基本増幅回路の理解がすべて！！

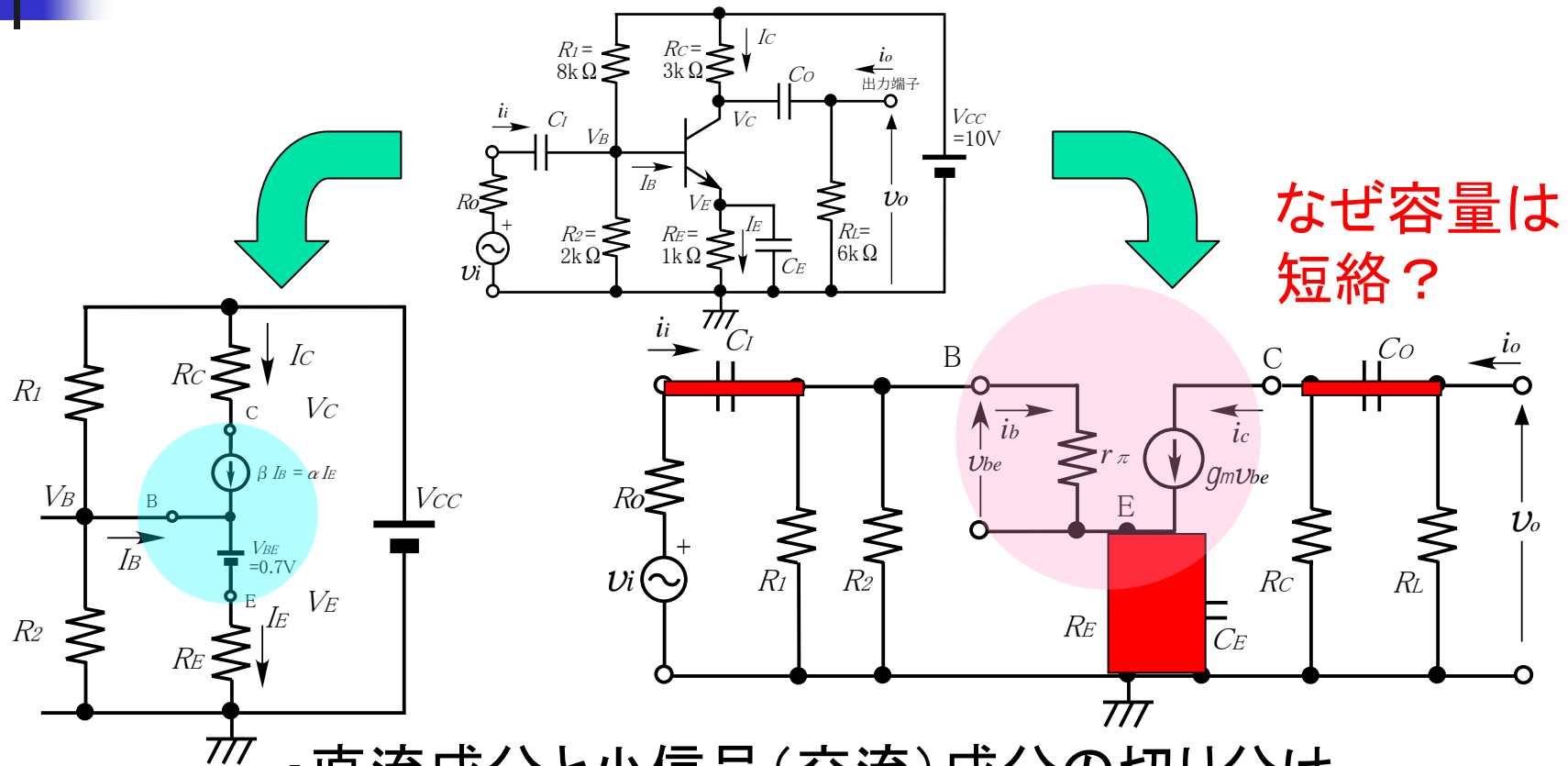
題材は**トランジスタ1石の増幅器**で十分



バイポーラか  
MOSかは  
問題ではない

しかし、これをきちんと理解している学生がどの程度いるかが問題

# トランジスタ1石増幅器は難しい?!



なぜ容量は短絡？

- ・直流成分と小信号(交流)成分の切り分け
- ・トランジスタのモデルは？
- ・容量はどうする??



# アナログ電子回路がなぜ難しいか

---

- 近似を多用する学問である
- 無理矢理式を解こうとすると膨大な計算が必要したがって、周波数、素子値などにより如何に回路を簡略化するかのセンスを磨くことが重要
- 回路図に描いてない部分まで考慮が必要
- 場合によっては電磁気的な知識が必要





# 電子回路教育の問題点

- 電子回路が不得意な人は、、、
  - ・ 直流等価回路と交流等価回路は全くの別ものとして暗記  
直流・交流という2つの島に関係はない
  - ・ 大は小を兼ねる  
ただ何となくすべての素子を含んだ式を立て自滅
  - ・ 答えの現実イメージがわからない  
1 pFと100  $\mu$ Fは、ただ数字が異なるのみ

# アナログ回路技術者不足の原因

- 非常に多くの知識が必要とされる
  - 非常に多くの面から考える必要がある
  - 泥臭い問題が山積み
  - 数式に乗せるのが困難
  - 面白みが感じられない
  - どこから手を付けていいか分からない
  - やっても(日本では)実入りが少ない
- 
- このようなことから、アナログ回路離れが進んでいるのではないか。

# モチベーションの向上

- まずは、**成功**体験から
  - 簡単な回路(音、光など動作が分かる回路)の試作
  - 回路の理解 => ただそこにある物から理解へと
- **失敗**もまた楽し
  - (失敗無くして成功無し)
  - お仕着せ(定石)の回路を変更・改良(改悪?)
  - “なぜ心” を養う
  - シミュレータの活用

# 手取り足取り教育は.....

- 詰め込み教育では、アナログ技術者は育たない  
==> **自主的に行うのは○**
- 基礎は十分に教育する(ある程度の詰め込みは必要であるが、“何のために”が無いと苦痛)
- 課題を与えて設計・実測経験を積む
  - 例えば、OPampの設計。回路は基本的なものでよい。
  - 十分な考慮とシミュレータの活用で多くの経験を積む
  - 試作(集積回路でなくても良い)し**実測する**
  - 最終的には、測定データ以外での評価を入れる。たとえば、音を出すなど。他人と比べることは非常に有効

# 問題解決の鍵は実験にあり

- 本学科での学生実験の例  
座学と実際の感覚差を埋めるために

## －電子回路のシミュレーションと製作－

### ・目的

回路シミュレータを用いた電子回路の解析手法の修得、  
ならびに解析した回路を実際に製作し検証を行なう。

### (1) 回路シミュレーション

各学生は、エディタで回路のネットリストを記述し、SPICE  
にてシミュレーションを行なう。

### (2) 回路製作

トランジスタ(2SC1815)による1 石増幅回路の製作  
(一人1個、バイアスや利得が班のなかで異なる)  
LF356 によるウィーンブリッジ発振回路の製作

# 電子回路教育に望まれること

- 習ったところをすぐに実験して学習するのがベストだが、どのように運用するかが鍵となる  
(測定器は原理のわかる一番原始的なものがよい  
ボタン一つで測定できる高級品は教育には向かない)
- SPICE(過渡解析は必要)、手計算、実験で実感を持たせる
- 習熟度目標を変えた松・竹・梅コースで種々の学生に対応  
(学生全員がエキスパートになる必要はない)
- 何か目標を与えて試作させる(ラジオ、アンプなど)  
興味を引くには、音か光か動くものがよい

# 兵庫研究室における モチベーション向上の一例

- 4年生：卒業研究以外として  
研究室配属と同時に3名程度を  
1グループとして**1チップAMラジオ**の  
設計・試作(VDEC)・測定  
教員のサポートはほとんど無し、院生のサポートはあり
- **演算増幅器設計コンテスト**に参画
  - 「計算機設計の部」と「集積化実現の部」がある主催：東京工業大学アナログ回路グループ  
協賛：アイコム(株)、旭化成マイクロシステム(株)、アジレント・テクノロジー(株)、  
アナログ・デバイセズ(株)、NECマイクロシステム(株)、(株)エルムテクノロジー、  
ザインエレクトロニクス(株)、(株)ジーダット、新日本無線(株)、セイコーインスツル  
(株)、ソニー(株)、(株)東芝、(株)トッパン・テクニカル・デザインセンター、富士電  
機アドバンステクノロジー(株)、横河電機(株)、(株)山武、(株)ルネサステクノロ  
ジ (平成18年7月20日現在、順不同) <http://www.ec.ss.titech.ac.jp/opamp>



# 大学と企業で育てる

---

- 共同研究・受託研究
  - 学生が現場を知る良い機会
  - 社会の要求に対する自分の学習・知識レベルが明確になる
  
- 大学内の授業を利用して社会人教育を行う方法
  - 科目等履修生
  - 受託研究員
  - 社会人博士



# まとめ

- 大学(3年生以下)では徹底的に基礎を教育する
- 応用例を最初に紹介し、各科目がどのように関連するかをイメージさせる
- 電子回路では、増幅機能を理想OPampなどで最初に教えてからトランジスタのモデルなどに入っていくことも有効
- 授業と実験を融合させる
- 的確な課題を与え、多くの成功と失敗を学生自身に体験させる
- 初心者が夢をもてるよう、社会のニーズをさりげなく流し、モチベーションを上げる