

# 高井研究室の紹介

～誰も思いつかない回路の自動設計～

電気電子工学系 教授 高井伸和

2024年4月2日 (火)

# 工学とは？

---

人類は無知であることを認めたことが科学の始まり

真理を突き止めるのが理学

それをエンジニアリングで社会に還元し、人々の生活を豊かにするのが工学

工学では様々な道具を利用する

道具とは？ → 「数学」「物理」「化学」「アルゴリズム」など

例

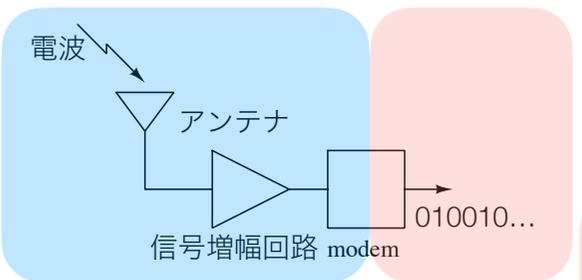
円の面積や円周の求め方を考えるのは理学

その考え方を使得って車輪を作るのが工学

(車輪があればものが楽に運べる。そのためには円の面積や円周の求め方が必要)

# アナログ集積回路設計

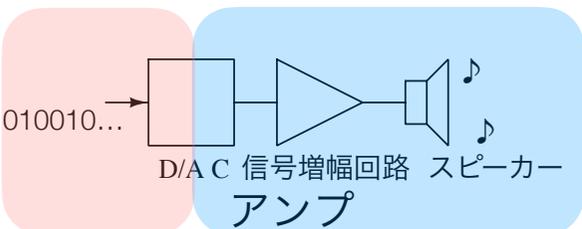
## アナログ信号って何？ 回路設計って？



bluetooth

アナログ信号：連続に変化する信号  
我々の身の回りにある信号

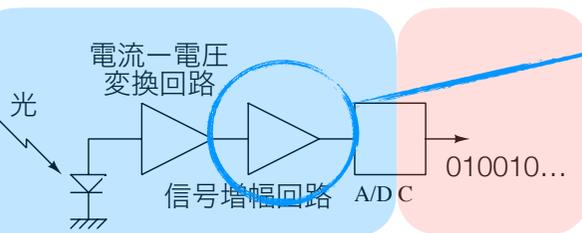
デジタル信号：0と1で表現された信号  
計算機で処理可能な信号



アンプ

増幅回路：信号処理回路の基本回路

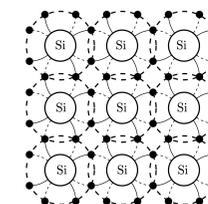
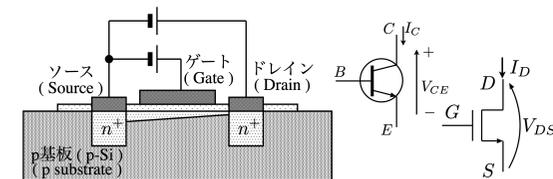
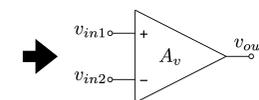
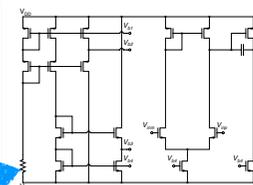
人工知能で計算機にアナログ集積回路を自動で設計させる！



センサー

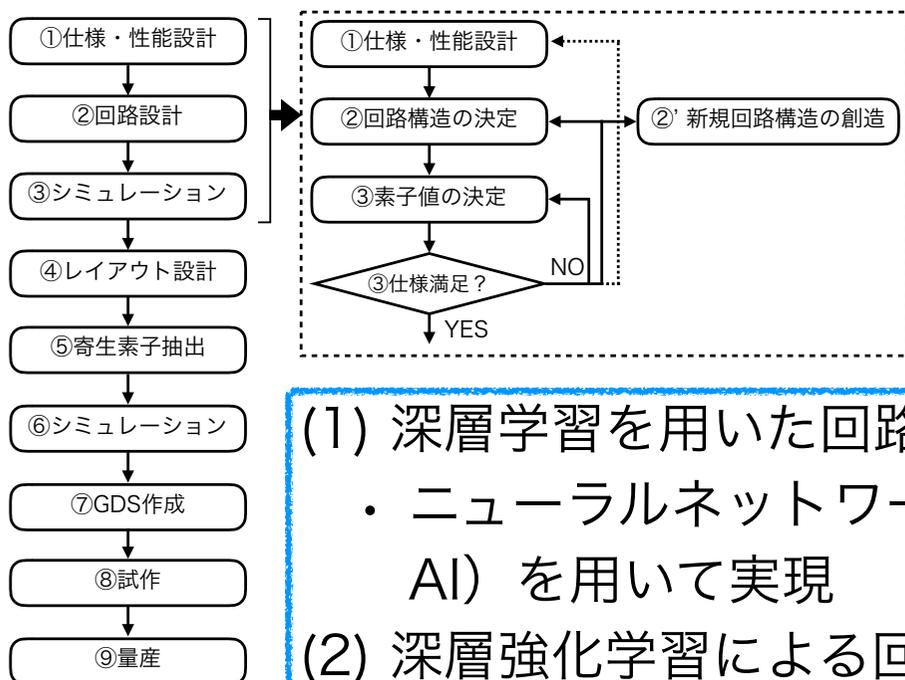


PC, iPhone などなど  
ADC, DAC, PLL など



# アナログ集積回路設計の自動設計・合成

## 回路設計フロー



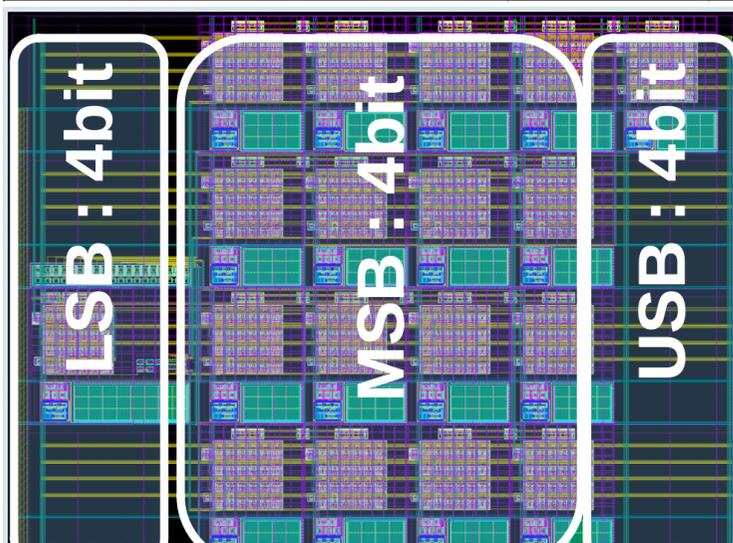
- (1) 深層学習を用いた回路構造特性の学習 (①→②)
  - ・ ニューラルネットワーク、決定木 (XGBoost)、XAI (説明可能 AI) を用いて実現
- (2) 深層強化学習による回路パラメータの自動設計 (③)
  - ・ 回路設計に特化した新たな深層強化学習を提案 (GNN-Opt)
- (3) 深層学習・深層強化学習によるアナログ回路構造の自動合成 (②')
  - ・ GA、マルチラベル分類 (NN) を用いた合成

計算機に新たな回路構造を自動で設計させるチャレンジングな研究  
JST A-STEP (国からの大型予算)のもと企業と共同で研究

# DACの自動設計

## 4Kで動作する量子コンピュータ用DACの設計

|               | 温度  | サンプリングレート | 定常状態消費電力 | 平均消費電力 | INL     | ENOB@DC |
|---------------|-----|-----------|----------|--------|---------|---------|
| 目標仕様          | 4K  | 500Msps   |          | 5mW    |         |         |
| ポストシミュレーション結果 | 70K | 500Msps   | 1.51mW   | 1.9mW  | 0.31bit | 11.7bit |



電流セル型DACの理論的な最小消費電力

$$\begin{aligned} &\rightarrow 2^N * I_{\text{LSB}} * (V_{\text{DD}} - V_{\text{SS}}) \\ &= 2^{12} * 400\text{nA} * 2.5 = 1.3\text{mW} \end{aligned}$$

参考にした文献[2]の消費電力 (299mW) をはるかに下回っており、理論値限界に限りなく近い

[2]X. Li, Q. Wei, Z. Xu, J. Liu, H. Wang and H. Yang, "A 14 Bit 500 MS/s CMOS DAC Using Complementary Switched Current Sources and Time-Relaxed Interleaving DRRZ," in IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 61, no. 8, pp. 2337-2347, Aug. 2014, doi: 10.1109/TCSI.2014.2332248.

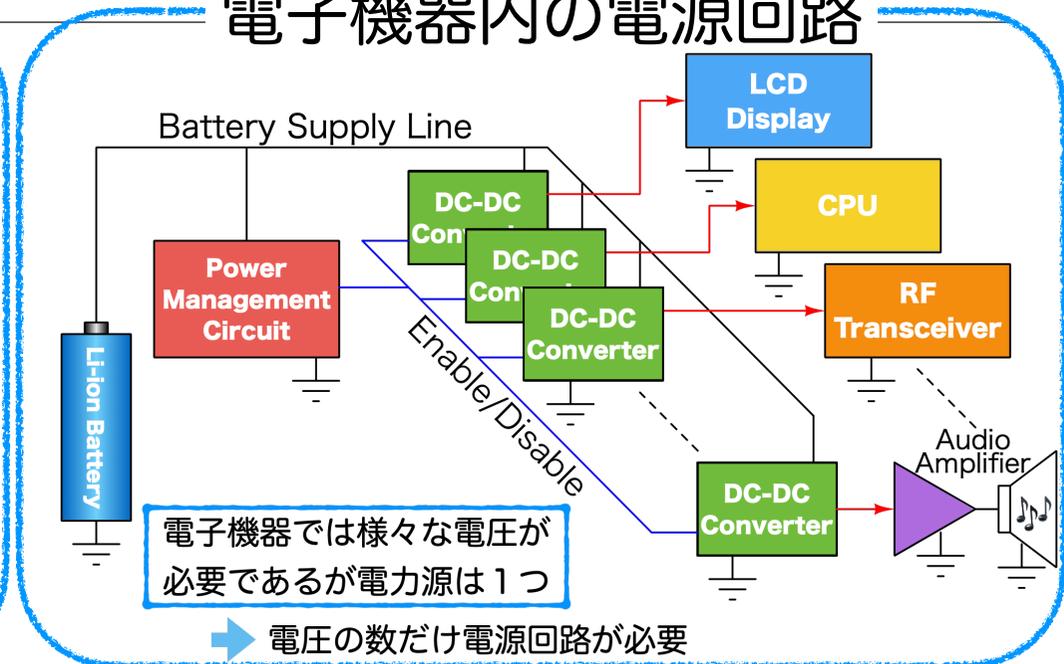
JST Moonshot (国からの大型予算)のもと研究に取り組み  
2030年の国産誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現を目指す

# DC-DC Converter の自動設計

## 電源回路とは？



## 電子機器内の電源回路



安定的な出力電圧の実現

制御方式：古典制御理論

現代制御理論

→ 制御回路が必須

→ 現在の電源回路に要求される複雑な制御に不向き

→ 複雑な制御は可能だが、設計が難しい

→ 計算機による自動設計の実現！（企業との共同研究）

# 研究設備



Supermicro X3348T  
48 port 10GBase-T  
Layer 2 / 3 / 4 Prioritization

ネットワークスイッチ

CPU: Xeon Gold 6326 (16Core 2.9GHz) x 2 [計:32コア]  
Memory: 1TB  
SSD1: SATA 480GB x2本  
SSD2: SATA 1.92TB 6本 (RAID10)  
GPU: NVIDIA A100 (80GB) x1基

CPU: EPYC 7313 (16Core 3.0GHz) x 2 [計:32コア]  
Memory: 1TB  
SSD1: SATA 480GB x 2本  
SSD2: SATA 1.92TB x 5本 (RAID6)  
GPU: NVIDIA RTX A6000 (48GB) x 1基

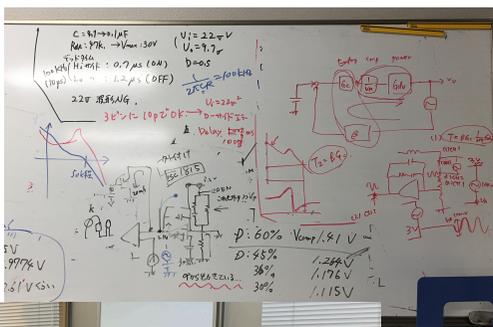
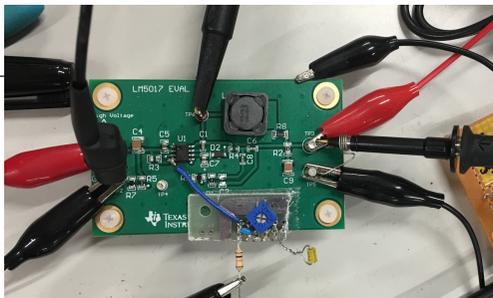
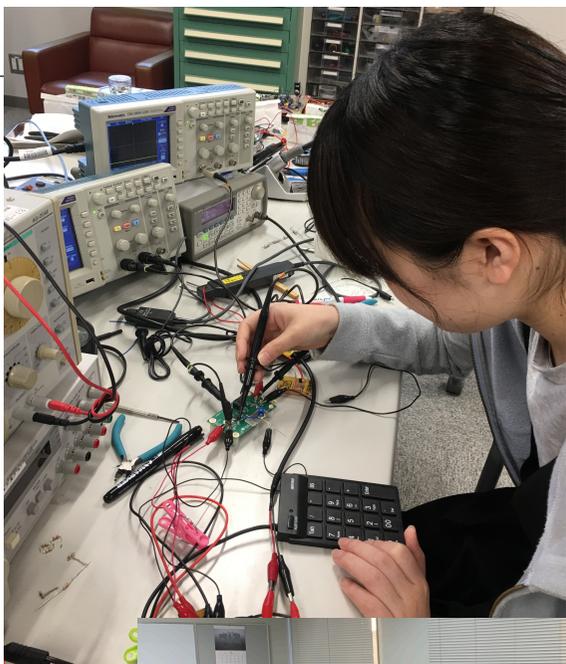
計算ノード

CPU:Xeon Platinum 8270 (26Core, 2.7GHz) x 4 [計:108コア]  
Memory:1TB  
SSD1:SATA 240GB x2本

CPU:Xeon Bronze 320R (8Core, 1.9GHz)  
Memory:64GB  
SSD1:SATA 2TB x8本

ファイルサーバ

# 研究室の様子と年間行事



- \* 4月～7月：新人ゼミ
- \* 8～9月：オペアンプコンテスト参加
- \* 9月：SKK（4大学合同勉強合宿）
- \* 2月：卒業研究発表会
- \* 不定期：飲み会、タコ焼きパーティ、麻雀



SKK in 草津温泉

# まとめ

---

- アナログ回路設計の知識を習得
  - 就職活動の幅が広がります
  - オペアンプコンテスト入賞者多数
- 人工知能アルゴリズムを道具として習得
  - これからの時代に必要不可欠な人材
- 就職活動も安心！
  - 企業はアナログ回路設計者を求めています
  - システム系の会社にも就職可能