

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

2023年4月3日（月）

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

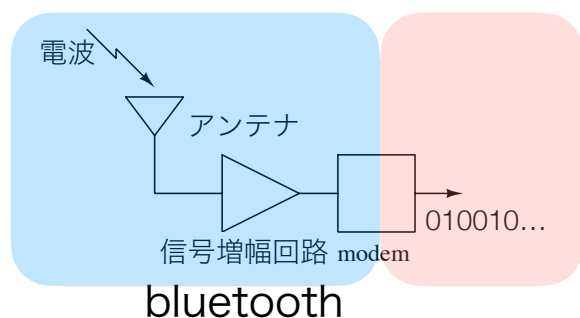
円の面積や円周の求め方を考えるのは理学

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)

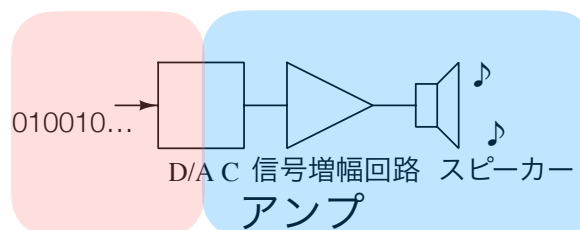
アナログ集積回路設計

アナログ信号って何？ 回路設計って？

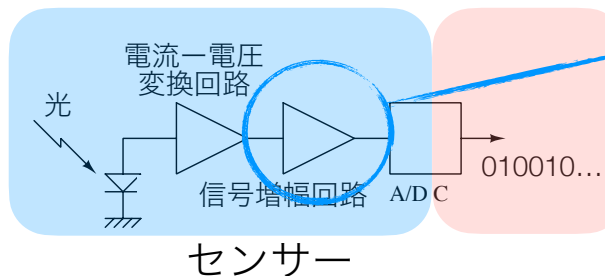


アナログ信号：連続に変化する信号
我々の身の回りにある信号

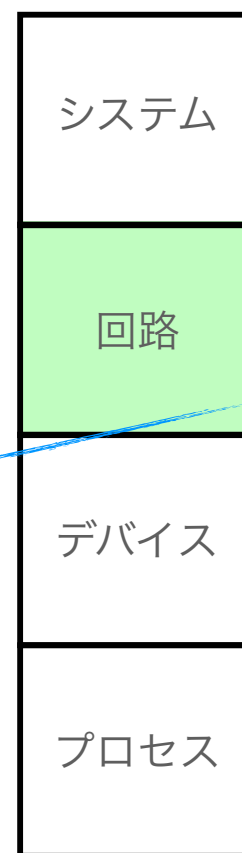
デジタル信号：0と1で表現された信号
計算機で処理可能な信号



増幅回路：信号処理回路の基本回路

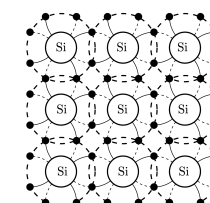
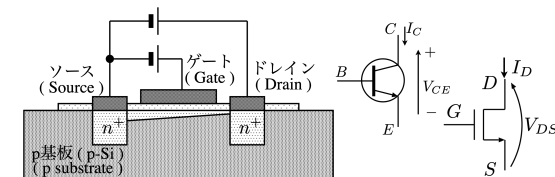
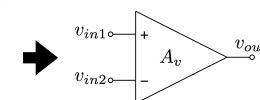
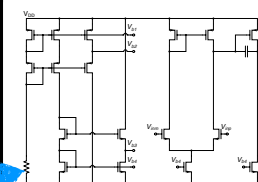


人工知能で計算機にアナログ集積回路を自動で設計させる！



PC, iPhone などなど

ADC, DAC, PLL など



人工知能を用いた回路設計の現状



AIが半導体の「設計者」に Google、回路配置100倍早く

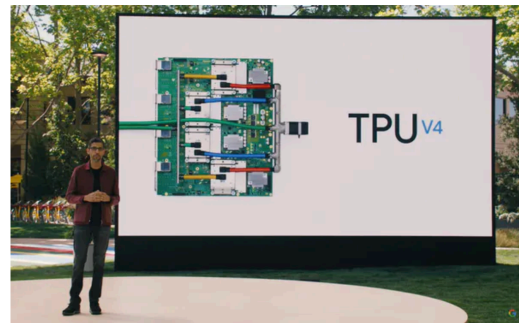
AI + フォローする

2021年12月9日 2:00 [有料会員限定]

保存



人工知能（AI）が半導体設計に革新をもたらした。米グーグルは中核の回路配置工程にかかる時間を従来より100倍早くし、膨らむ開発費の抑制につなげる。カギを握るのは、AI自身が試行錯誤して「職人」を圧倒する技を身につける「強化学習」と呼ぶ技術だ。物流などの分野でも導入が広がっており、生産性の大幅向上が期待される。



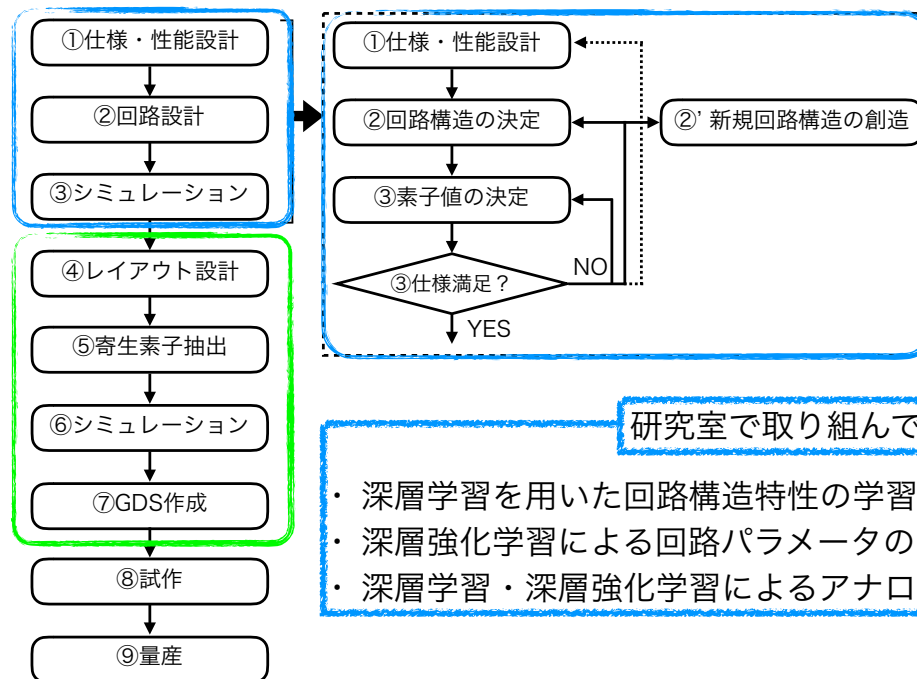
グーグルは半導体の自社設計に力を入れている（同社が5月に開催したイベント）

設計者の労力を何千時間も節約できる可能性がある——。グーグルの研究グループは6月、AIを用いた半導体回路の設計手法を英科学誌ネイチャーに発表した。演算性能や消費電力、チップの大きさなどについて、人間の設計者が数カ月かけたものと同等以上の回路配置を6時間以内に生成できるといふ。

半導体の設計は高度で複雑だ。指先のサイズのチップ上に大量の論理回路を集積し、配置パターンは10の2500乗以上、つまり1の後に0が2500個以上並ぶほどになる。天文的な数の組み合わせの中から最適な設計を導く必要がある。

そこで威力を発揮するのが、AIが成功と失敗を重ねて性能を高めていく強化学習だ。AIはすでに「教師あり学習」と呼ぶ手法を中心に業務効率化などに役立っているが、膨大な選択肢から最適解を導く計算は難易度が高い。強化学習はそうした複雑な課題の克服に道を開くと期待を集めている。

アナログ回路設計フローの概略



研究室で取り組んでいる研究

- ・ 深層学習を用いた回路構造特性の学習（①→②）
- ・ 深層強化学習による回路パラメータの自動設計（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'）

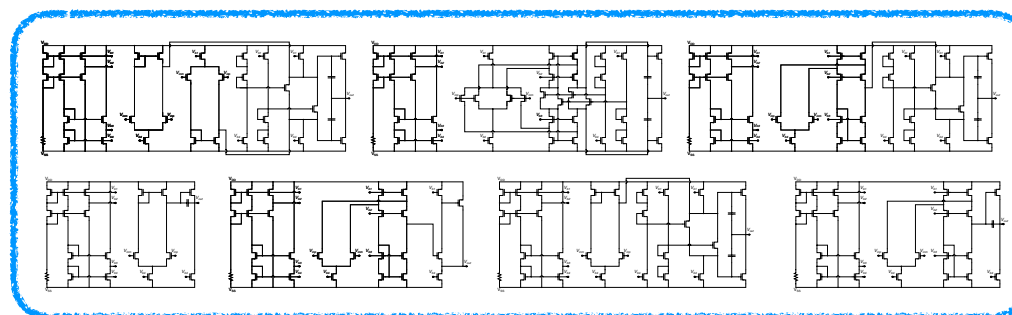
設計者の労力を何千時間も節約できる可能性がある——。グーグルの研究グループは6月、AIを用いた半導体回路の設計手法を英科学誌ネイチャーに発表した。演算性能や消費電力、チップの大きさなどについて、人間の設計者が数カ月かけたものと同等以上の回路配置を6時間以内に生成できるといふ。

アナログ集積回路の自動設計 (①→②)

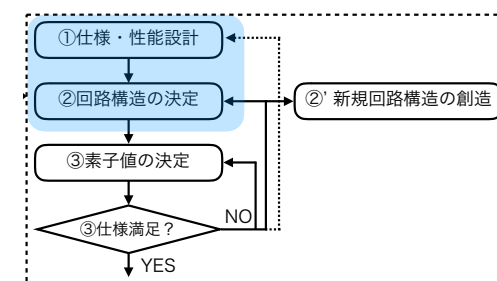
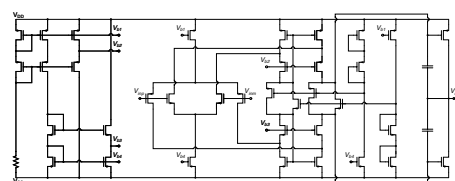
知識・経験・勘を駆使して最高の回路を作る

演算増幅器の仕様

特性	最低要件
消費電力 (PC) [W]	100mW以下
直流利得 (DC Gain) [dB]	45dB以上
位相余裕 (PM) [°]	45°以上
利得帯域幅積 (GBW) [Hz]	1MHz以上
スルーレート (SR) [V/s]	0.1V/s以上
全高調波歪 (THD) [%]	1%以下
同相除去比 (CMRR) [dB]	40dB以上
電源電圧変動除去比 (PSRR) [dB]	40dB以上
出力電圧範囲 (OVR) [%]	5%以上
同相入力範囲 (CMIR) [%]	5%以上
占有面積 (Area) [mm ²]	1mm ² 以下
出力抵抗 (OR) [Ω]	要件無し
入力換算雑音 (IRN) [V/Hz]	要件無し



↓ 熟練の設計者は過去の経験・知識から適切な回路を選択



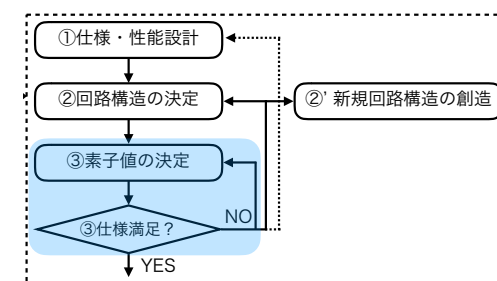
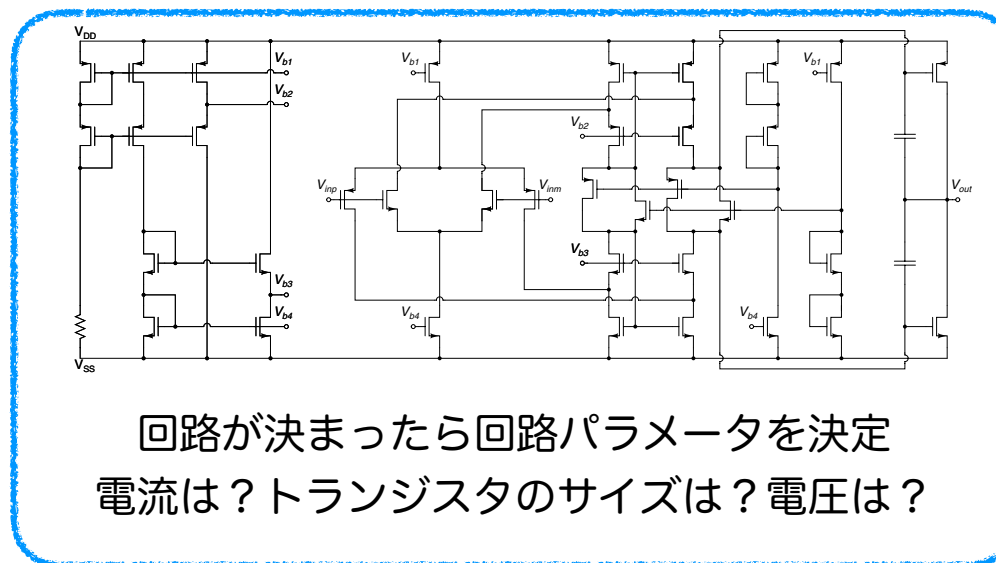
人工知能で学習し計算機が適切な回路選択を可能に！ (特許出願中)

アナログ集積回路の自動設計 (③)

決定した回路パラメータの自動設計

演算増幅器の仕様

特性	最低要件
消費電力 (PC) [W]	100mW以下
直流利得 (DC Gain) [dB]	45dB以上
位相余裕 (PM) [°]	45°以上
利得帯域幅積 (GBW) [Hz]	1MHz以上
スルーレート (SR) [V/s]	0.1V/s以上
全高調波歪 (THD) [%]	1%以下
同相除去比 (CMRR) [dB]	40dB以上
電源電圧変動除去比 (PSRR) [dB]	40dB以上
出力電圧範囲 (OVR) [%]	5%以上
同相入力範囲 (CMIR) [%]	5%以上
占有面積 (Area) [mm ²]	1mm ² 以下
出力抵抗 (OR) [Ω]	要件無し
入力換算雑音 (IRN) [V/Hz]	要件無し



深層強化学習で計算機が適切なパラメータを自動設計！（特許出願中）

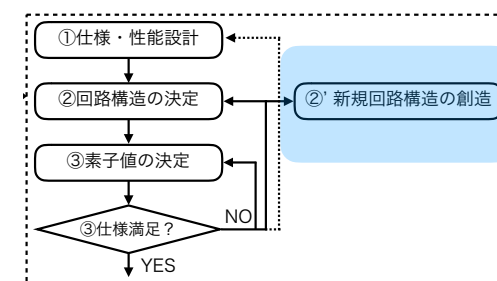
アナログ集積回路の自動合成

誰も思いつかない回路を計算機で自動合成

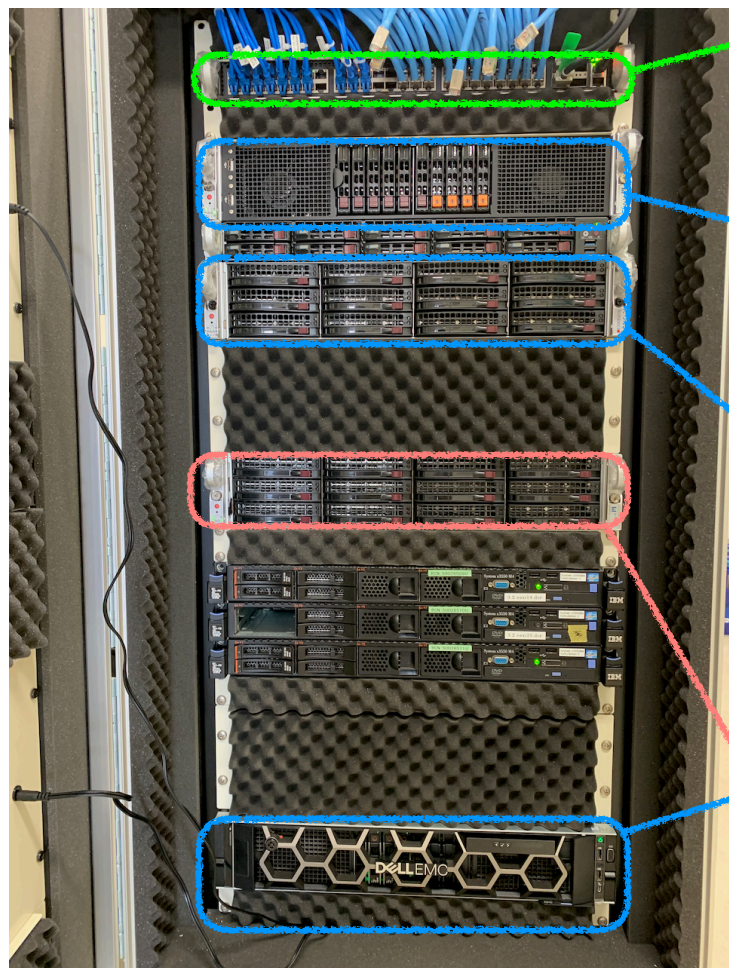
演算増幅器の仕様

特性	最低要件
消費電力 (PC) [W]	100mW以下
直流利得 (DC Gain) [dB]	45dB以上
位相余裕 (PM) [°]	45°以上
利得帯域幅積 (GBW) [Hz]	1MHz以上
スルーレート (SR) [V/s]	0.1V/s以上
全高調波歪 (THD) [%]	1%以下
同相除去比 (CMRR) [dB]	40dB以上
電源電圧変動除去比 (PSRR) [dB]	40dB以上
出力電圧範囲 (OVR) [%]	5%以上
同相入力範囲 (CMIR) [%]	5%以上
占有面積 (Area) [mm ²]	1mm ² 以下
出力抵抗 (OR) [Ω]	要件無し
入力換算雑音 (IRN) [V/Hz]	要件無し

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
企業と共同で研究に取り組み
3年後の完成、5年後の商品化を目指す



研究設備



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 x5本 (RAID6)
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

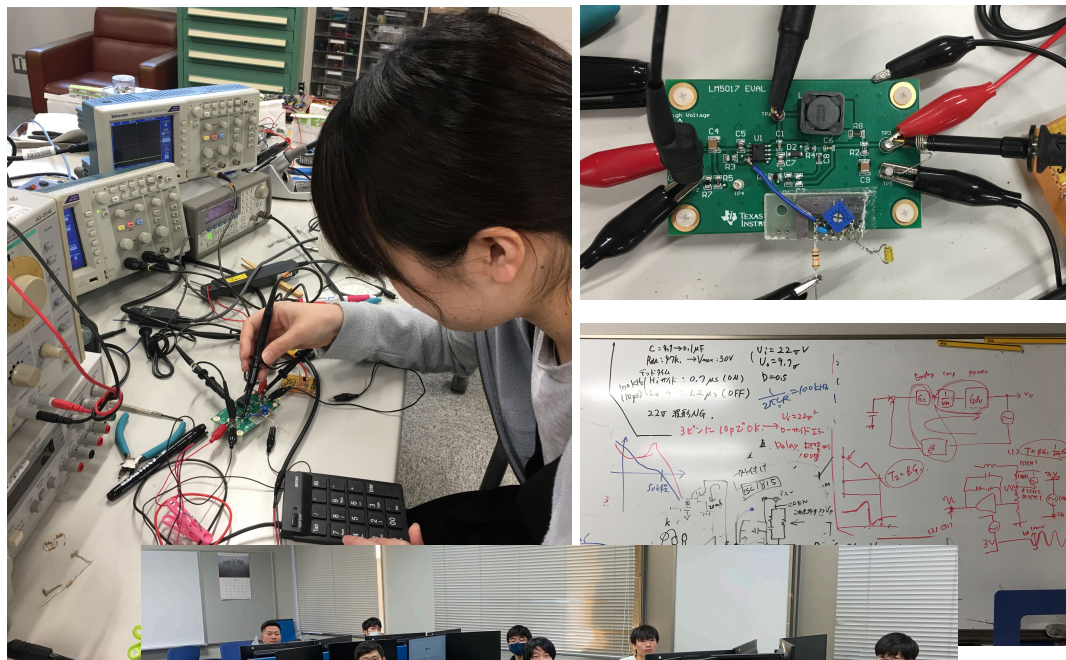
演算増幅器設計コンテスト

ホーム	応募部門詳細	参加登録	審査結果
			平成30年 審査結果
			試作の部
			評価回路1
			1位 小高 孔嶺 (東京理科大学)
			2位 藤原 嵩 (東京理科大学)
			3位 三代 太郎 (東京理科大学)
			4位 田中 勇輝 (東京理科大学)
			評価回路2
			1位 久保 友助 (群馬大学)
			2位 松場 輝樹 (群馬大学)
			シミュレーションの部
			部門1
			1位 吉田浩志 (東京理科大学)
			2位 福田雅史 (群馬大学)
			3位 猿田将大 (群馬大学)
			4位 伊藤裕也 (愛知工業大学)
			5位 金川創治郎 (東京理科大学)
			6位 花澤蒼瑛 (愛知工業大学)
			7位 河野裕次 (東京理科大学)
			部門2
			1位 吉田浩志 (東京理科大学)
			2位 伊藤裕也 (愛知工業大学)
			3位 須知将康 (東京理科大学)
			4位 小山大智 (防衛大学校)
			5位 花澤蒼瑛 (愛知工業大学)
			6位 金川創治郎 (東京理科大学)
			7位 松井拓人 (東京理科大学)
			部門3
			1位 松場輝樹 (群馬大学)
			2位 伊藤裕也 (愛知工業大学)
			3位 金川創治郎 (東京理科大学)
			4位 吉田浩志 (東京理科大学)
			5位 松井拓人 (東京理科大学)
			6位 花澤蒼瑛 (愛知工業大学)
			7位 小山大智 (防衛大学校)

ホーム	応募部門詳細	参加登録	審査結果
			2020年 審査結果
			最優秀賞
			齋藤彰寛 (群馬大学)
			シミュレーションの部
			部門1
			1位 齋藤滉生 (東京理科大学)
			2位 福岡慶祐 (芝浦工業大学)
			3位 加藤博己 (群馬大学)
			4位 酒向諒 (群馬大学)
			5位 猿田将大 (群馬大学)
			6位 日比彪斗 (愛知工業大学)
			7位 岡本憲典 (有明高専)
			部門2
			1位 猿田将大 (群馬大学)
			2位 齋藤彰寛 (群馬大学)
			3位 今野哲史 (群馬大学)
			4位 加藤博己 (群馬大学)
			5位 川原啓輔 (東京理科大学)
			6位 岡本憲典 (有明高専)
			7位 金堀凌佑 (東京工業大学)
			部門3
			1位 齋藤彰寛 (群馬大学)
			2位 日比彪斗 (愛知工業大学)
			3位 猿田将大 (群馬大学)
			4位 今野哲史 (群馬大学)
			5位 川原啓輔 (東京理科大学)
			6位 伊藤剛 (防衛大学校)
			7位 新井信吾 (群馬大学)

ホーム	応募部門詳細	参加登録	審査結果
			2021年 審査結果
			最優秀賞
			福岡慶祐 (芝浦工業大学)
			試作の部
			1位 齋藤滉生 (東京理科大学)
			2位 川原啓輔 (東京理科大学)
			3位 加藤博己 (群馬大学)
			4位 佐藤俊祐 (東京理科大学)
			5位 鈴木敦也 (東京理科大学)
			6位 土屋勇人 (東京理科大学)
			7位 若木田康輝 (有明工業高等専門学校)
			シミュレーションの部
			部門1
			1位 酒向諒 (群馬大学)
			2位 福岡慶祐 (芝浦工業大学)
			3位 赤星駿介 (防衛大学校)
			4位 佐藤滉也 (群馬大学)
			5位 加藤博己 (群馬大学)
			6位 佐藤充 (群馬大学)
			7位 関井菜乃 (群馬大学)
			部門2
			1位 福岡慶祐 (芝浦工業大学)
			2位 佐藤充 (群馬大学)
			3位 佐藤滉也 (群馬大学)
			4位 酒向諒 (群馬大学)
			5位 加藤博己 (群馬大学)
			6位 日比彪斗 (愛知工業大学)
			7位 岩切秀文 (東京工業大学)
			部門3
			1位 日比彪斗 (愛知工業大学)
			2位 緒方征則 (防衛大学校)
			3位 佐藤充 (群馬大学)
			4位 赤星駿介 (防衛大学校)
			5位 福岡慶祐 (芝浦工業大学)
			6位 酒向諒 (群馬大学)
			7位 佐藤滉也 (群馬大学)

研究室の様子と研究室の1年



- * 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



SKK in 草津温泉

まとめ

来れ！新しい研究室の立ち上げを楽しめる学生

* 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