

山梨研究室紹介

Introduction to Yamanashi Lab.

山梨 裕希

Keywords: 超伝導、集積回路、量子計算、
ニューロモルフィック（生体模倣）計算

研究の大目標

今のものより圧倒的に優れた
コンピュータを作りたい！

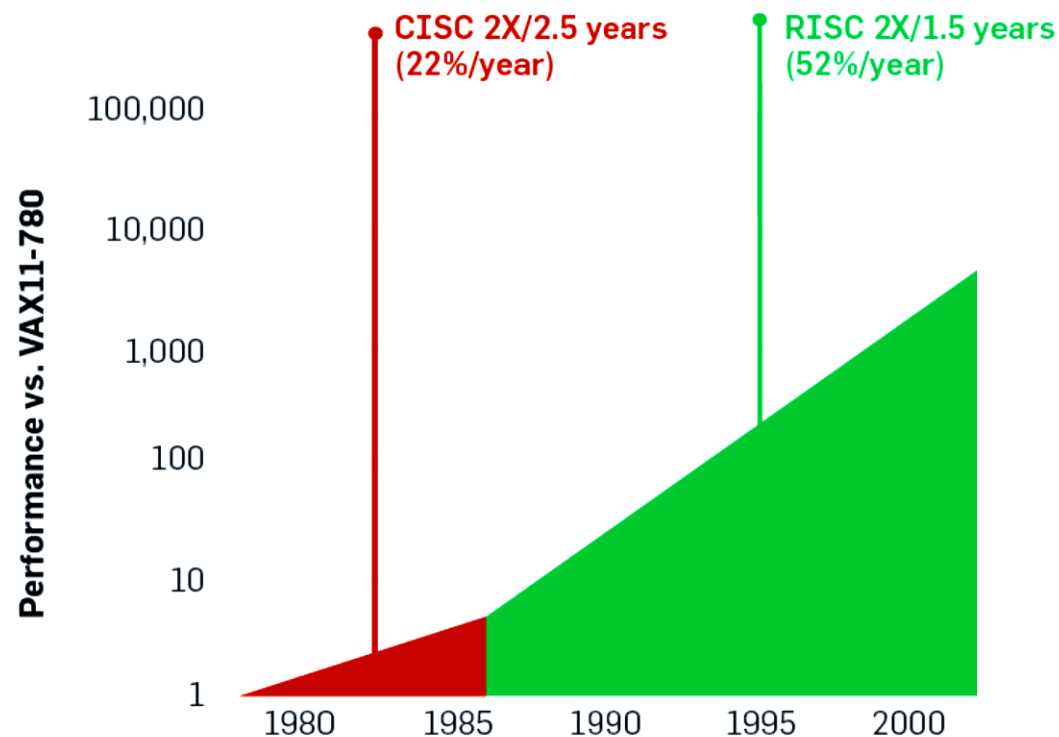
我々のアプローチ：
抵抗ゼロの**超伝導**を使う



研究の背景

2

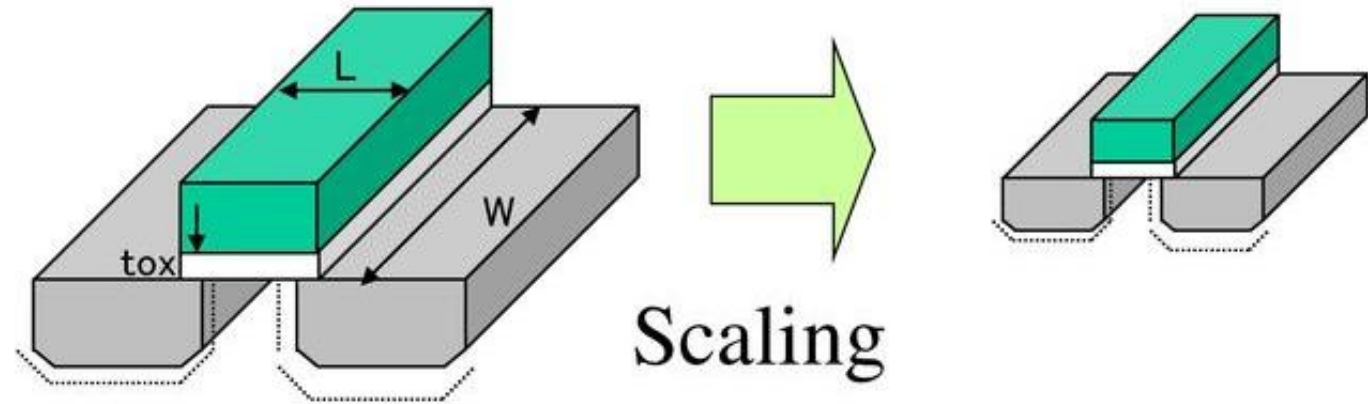
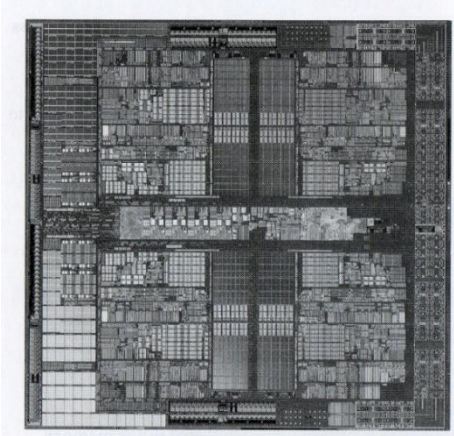
計算機の性能
(1978年比)



[Hennessy and Patterson "A New Golden Age for Computer Architecture"](#)
[Communications of ACM, 2019.](#)

Scaling則とMoore則

3



トランジスタのサイズ (L 、 W 、 t_{ox}) を $1/a$ にすれば
ゲート遅延 $1/a$, 電源電圧 $1/a$, 電力消費 $1/a^2$

Moore則：

トランジスタの密度は3年で4倍のペースで増える
「まだ継続中」と主張する人は多いが・・・

Moore則は本当に続いているのか？

「7nmの半導体」に7nmの箇所はどこにもなかった

半導体のプロセスルールとは一体何か？

2019.9.6 (金) 湯之上 隆, フォロー

シェア 581

ツイート

B!ブックマーク

共有する

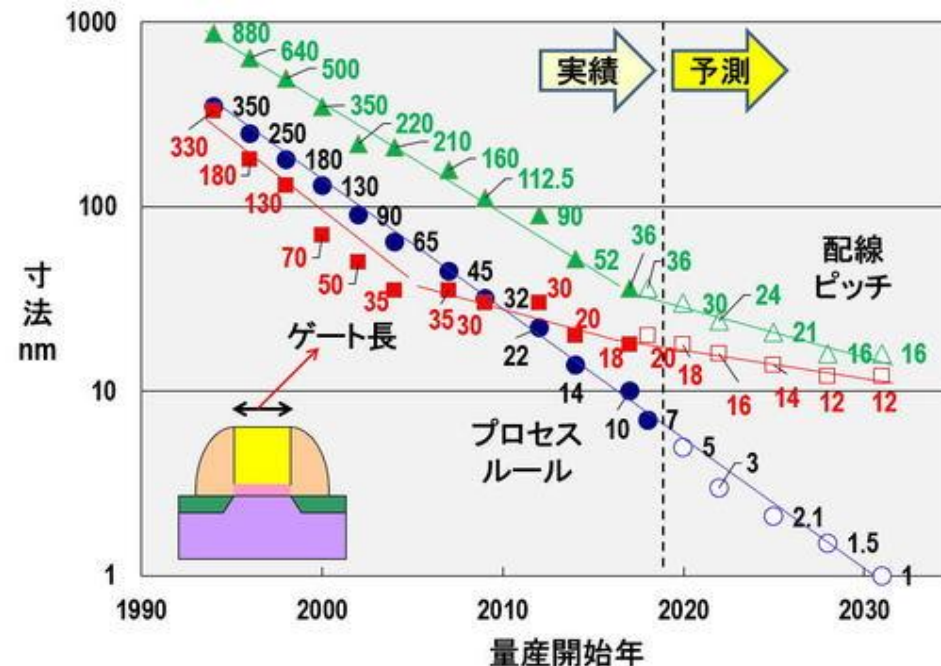
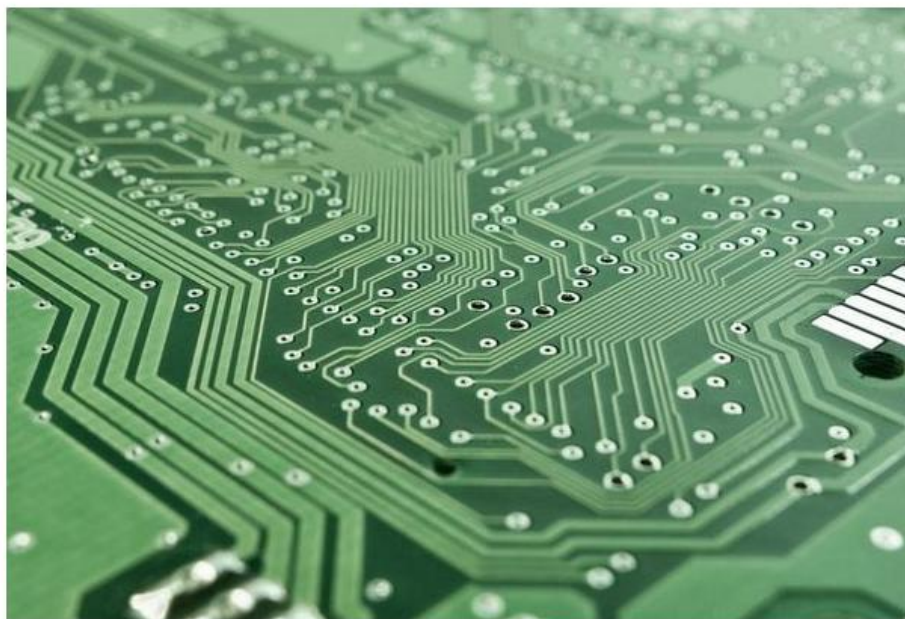
1

2

3

4

5



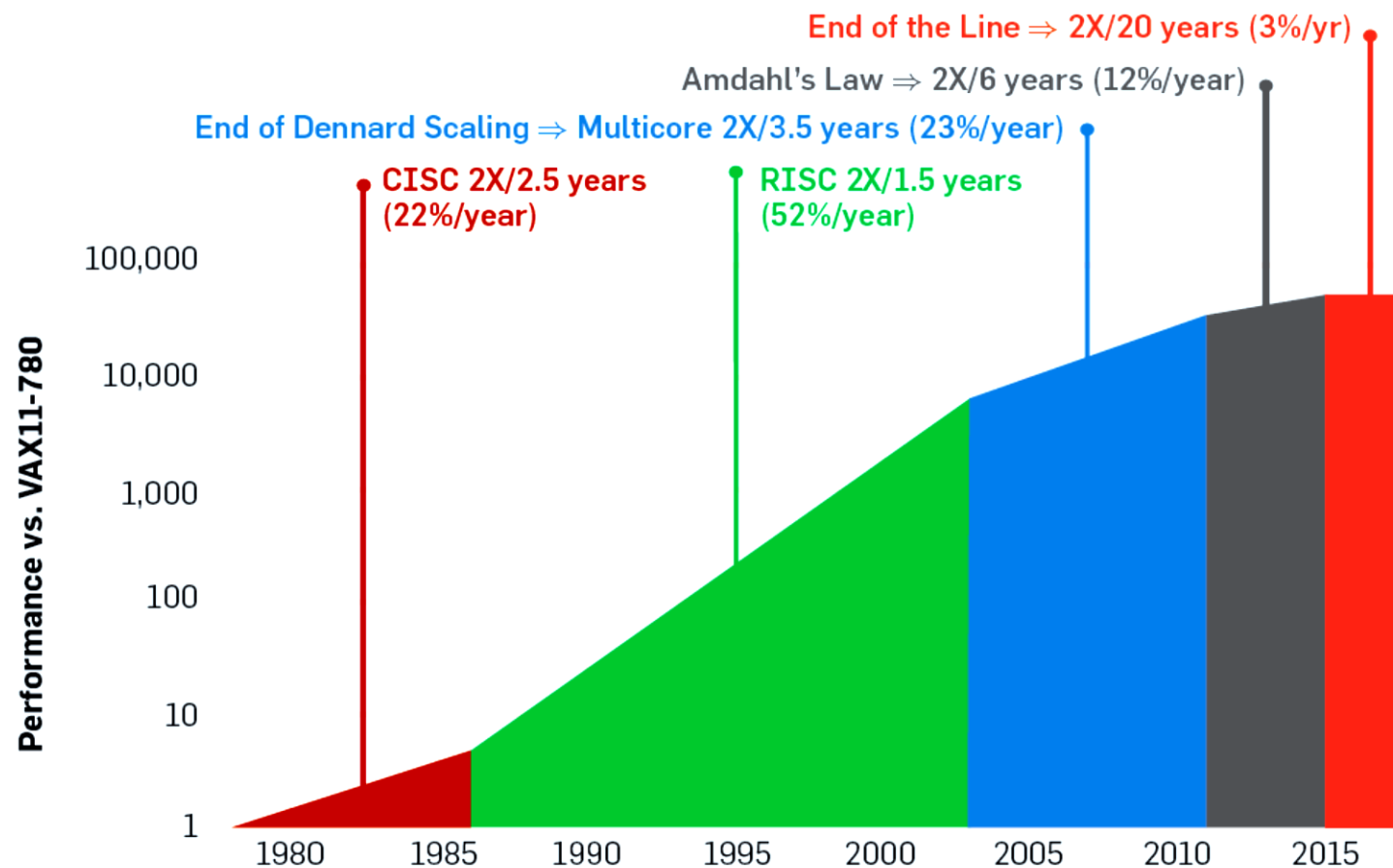
「10nmとか7nmというのは、半導体メーカーが勝手につけた単なる“商品名”」

<https://jbpress.ismedia.jp/articles/-/57517>

研究の背景

5

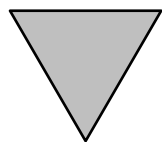
計算機のパフォーマンス
(1978年比)



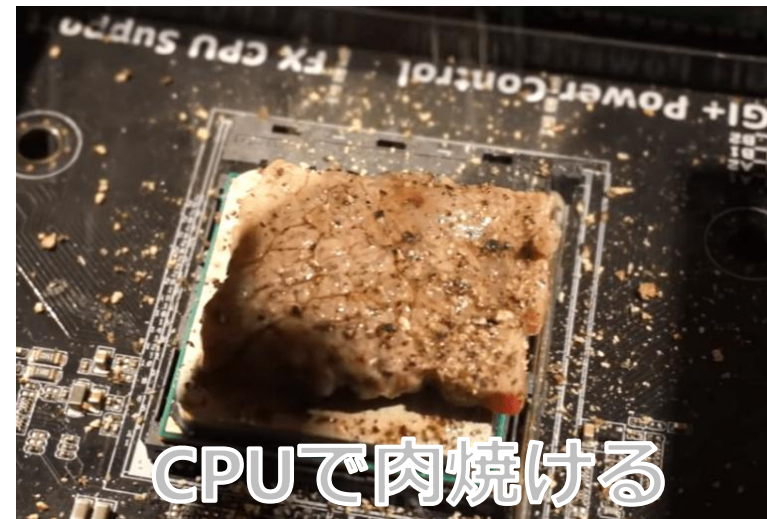
[Hennesy and Patterson "A New Golden Age for Computer Architecture" Communications of ACM, 2019.](#)

現在の計算機は性能向上限界

- トランジスタ微細化の限界
 - ◆ 素子は原子サイズ
- 発熱の問題
 - ◆ 冷却のための電力急増



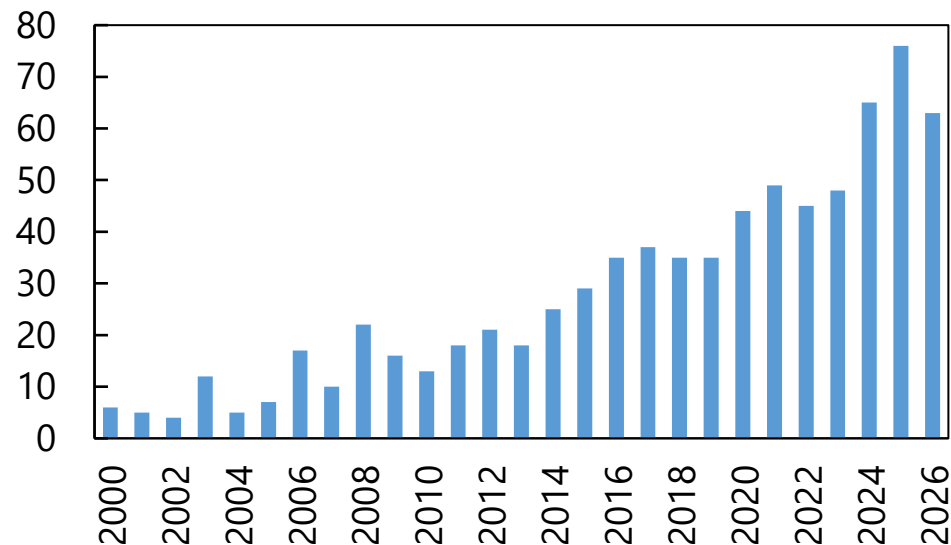
Beyond Mooreアプローチ
半導体素子の微細化に依らない
革新的計算の研究



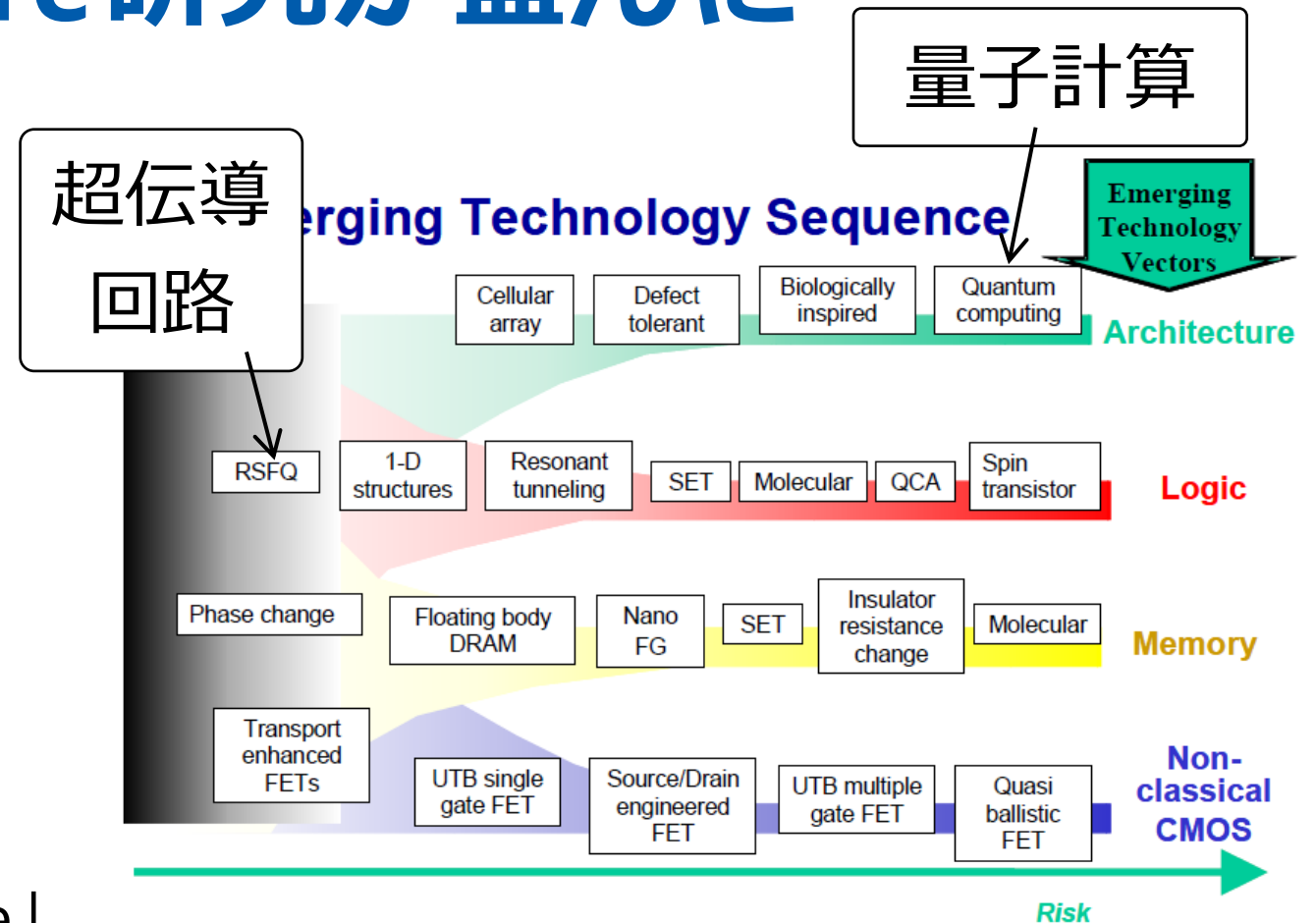
<https://gigazine.net/news/20200305-amd-cpu-kuroge-wagyu-yakiniku/>
<https://maidonanews.jp/article/13212121>

近年Beyond Moore研究が盛んに

7



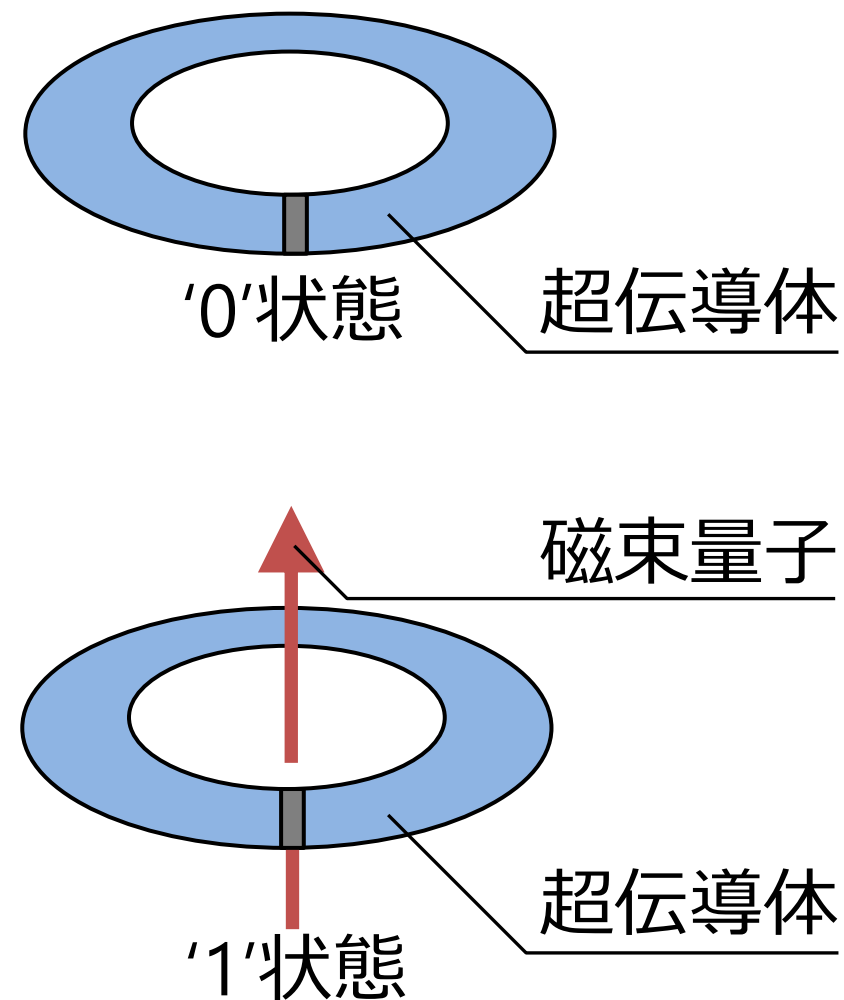
タイトル、概要に「beyond Moore」を含む論文の発表件数



International Technology Roadmap for Semiconductor 2003.

超伝導回路の特徴

- 磁束の有無による'1' '0'表現
- 超高速動作
 - ◆ 光速の信号伝搬
 - ◆ 論理ゲートの770 GHz動作
- 超低電力動作
 - ◆ 配線の充放電が不要
- 巨視的な量子効果の発現
(2025年ノーベル物理学賞)



応用（1）超高速デジタル回路

9

YNU 横浜国立大学
YOKOHAMA National University

Press Release
2026 年 6 月 9 日

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-1

超伝導回路で超小面積な 算術論理演算ユニットを実現

Unary 符号化の導入により従来比約 88%の素子削減、72 GHz 動作を実証

本研究のポイント

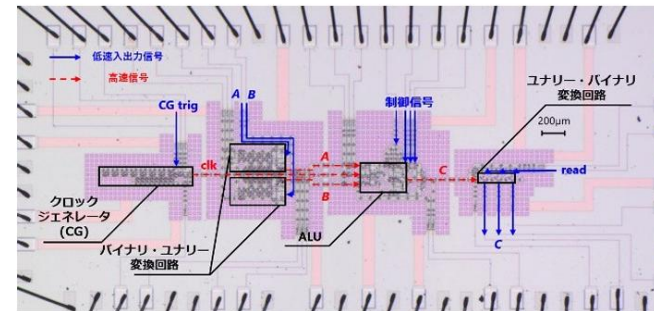
- ・超伝導 SFQ 回路とユナリー計算を組み合わせた新しい演算方式を提案
- ・ALU の回路規模を従来比約 88.2%削減
- ・約 72 GHz の高速動作を実験で確認
- ・消費電力は約 58.9 μ W と低消費電力
- ・AI・画像処理向け低精度計算への応用に期待

【研究概要】

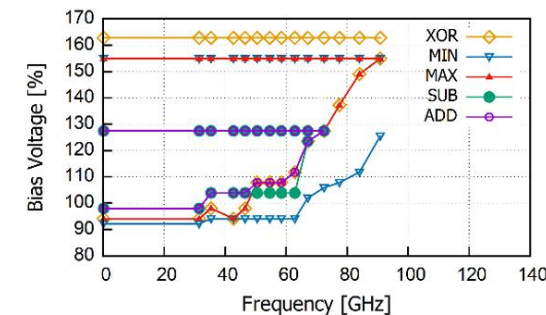
横浜国立大学総合学術高等研究院の韓澤宇助教（研究当時博士課程後期学生）、同大学先端科学高等研究院／総合学術高等研究院の吉川信行教授、同大学大学院工学研究院／先端科学高等研究院／総合学術高等研究院の山梨裕希教授らの研究グループは、超伝導単一磁束量子（SFQ）回路を用いた「ユナリー演算型算術論理演算器（Unary ALU）」を開発し、従来の超伝導 ALU に比べて大幅な小型化に成功しました。研究チームは、わずか 183 個のジョセフソン接合（JJ）で動作する超低ハードウェアコスト ALU を設計・試作し、約 72 GHz で的高速動作を実験的に実証しました。本研究成果は、超伝導コンピュータにおける演算回路の高密度化・低消費電力化に向けた新たな設計手法を示すものであり、AI、画像処理、低精度ニューラルネットワークなどへの応用が期待されます。

本研究成果は、国際論文誌「Superconductor Science and Technology」に掲載されました。

提案したユナリー ALU は、従来のビットシリアル型 SFQ ALU と比較して、SFQ 回路のスイッチング素子であるジョセフソン接合の数を約 88%、回路面積の約 80%削減を達成しました。4 ビット精度条件では、ジョセフソン接合 1 個あたりの演算性能 (Performance Density) が既存 SFQ ALU を上回ることも示されました。半導体 CMOS 回路との比較では、最速の CMOS 回路に比べて約 21.8 倍高速であり、ビット当たりエネルギー消費も約 20 分の 1 となる可能性が示されました。



(a)



(b)

超伝導回路で超小面積な算術論理演算ユニットを実現 - 横浜国立大学

[Han et al, Supercond. Sci. Technol. 39 \(2026\) 075003.](#)

応用 (2) ニューロモルフィック計算

10

NEWS RELEASE 17-OCT-2025

Team develops high-speed, ultra-low-power superconductive neuron device

Applications in neural network circuits

Peer-Reviewed Publication

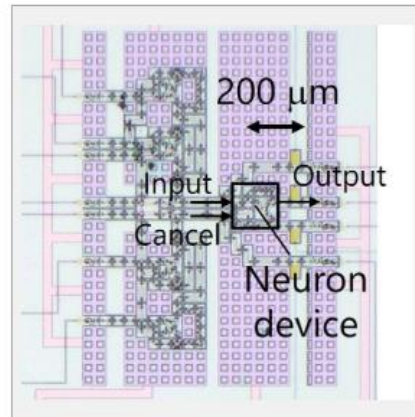
YOKOHAMA NATIONAL UNIVERSITY



A research team has developed a neuron device that holds potential for application in large-scale, high-speed superconductive neural network circuits. The device operates at high speeds with ultra-low-power consumption and is tolerant to parameter fluctuations during circuit fabrication.

Their research is published online in the journal *Neuromorphic Computing and Engineering* on September 24, 2025.

Neuromorphic computing is a computing approach that mimics how the human brain



【プレスリリース】理想的なReLU活性化関数を持つ超低電力ニューロン回路を実現

大規模な高速超低電力ニューラルネット回路の実現に道

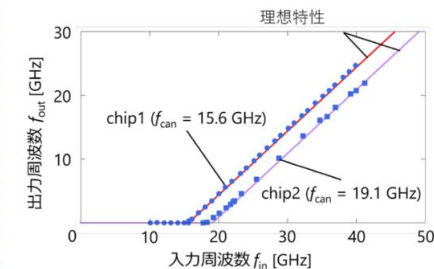
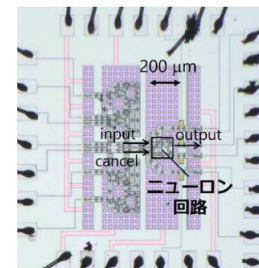
本研究のポイント

- ・超低電力かつ高速動作が可能なReLU活性化関数を持つ超伝導ニューロン回路を作製し、40 GHz以上の速度での動作を実証
- ・超伝導回路の特徴とデジタル回路による処理を組み合わせ、理想的なReLU活性化関数を実現
- ・大規模な超伝導ニューラルネットワークへの応用に期待

研究概要

横浜国立大学の上野佑斗博士課程前期学生、弘中祐樹(AS助教 (研究当時)、吉川教授、山梨教授の研究グループは、超伝導単一磁束量子回路によるReLU活性化関数を持つニューロン回路の実証に成功しました。設計された回路は1ニューロン動作あたり1.4 fJ (1.4×10⁻¹⁵ J) という超低電力動作、かつ高速な処理が可能です。さらに超伝導単一磁束量子回路の特性を用いたデジタル処理を用いることで回路製造時の回路素子パラメータばらつきがあっても理想的な特性が得られるという特徴があります。回路は40 GHzを超える速度での高速動作実証に成功しました。今後は大規模な超伝導ニューラルネットワークへの応用に期待されます。

本研究成果は、2025年9月24日に国際論文誌「Neuromorphic Computing and Engineering」に掲載されました。



[Team develops high-speed, ultra-low-power superconductive neuron device | EurekAlert!](#)

[理想的なReLU活性化関数を持つ超低電力ニューロン回路を実現 - 横浜国立大学](#)

[Ueno et al., Neuromorph. Comput. Eng. 5 \(2025\) 044003.](#)

応用 (3) 量子計算

11

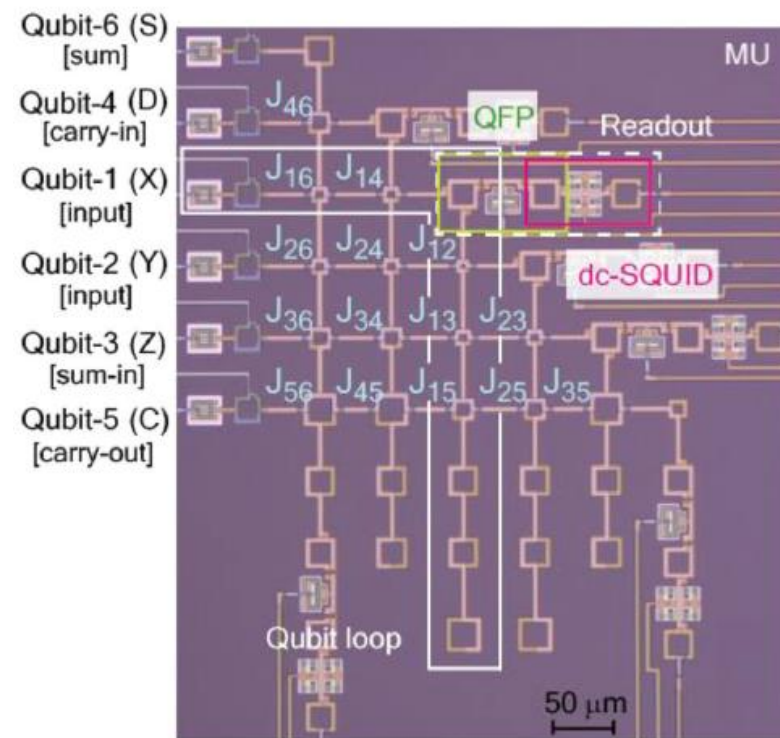
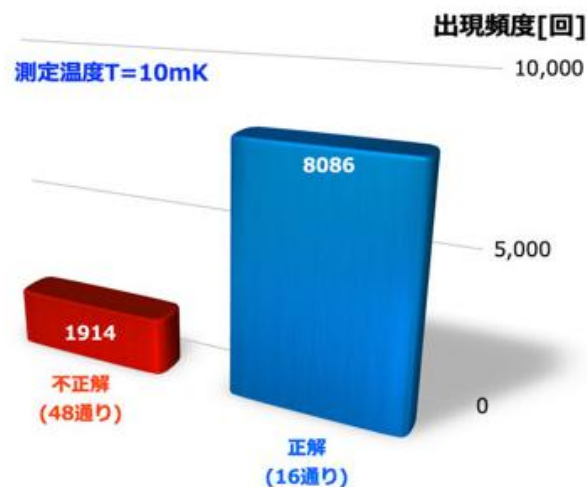
発表・掲載日：2021/07/06

独自のアーキテクチャを用いた超伝導量子アニーリングマシンを実現

ー大規模な組合せ最適化問題の処理や幅広いビジネスへの利用に道筋ー

ポイント

- ・ 超伝導量子アニーリングマシンの開発と動作実証に成功
- ・ 大規模な組合せ最適化問題の処理を可能とする独自アーキテクチャを採用
- ・ 創薬や物流事業など幅広い産業分野での作業の効率化に貢献



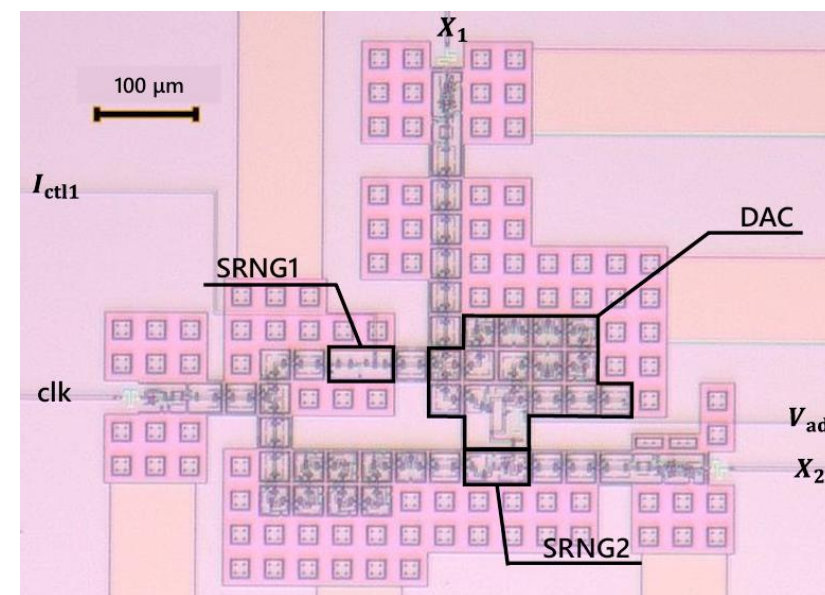
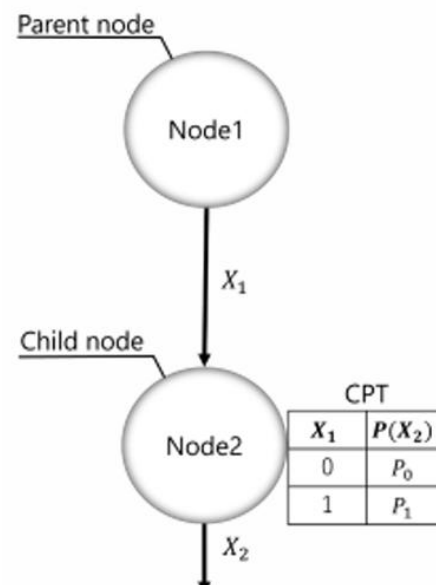
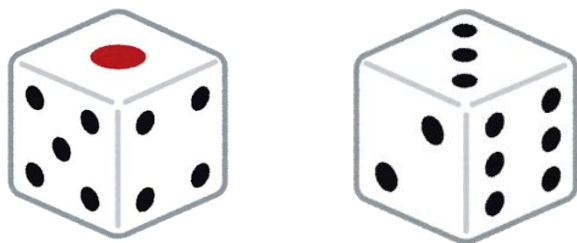
Saida et al., *Sci. Rep.* 12 (2022) 13669.

https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2021/nr20210706/nr20210706.html

応用（４）確率計算（疑似量子計算）

12

超伝導回路による乱数生成
(> 30 GHz) に基づく
確率情報処理回路の創出



[Yamanaka et al., IEEE Access 12 \(2024\) 29081.](#)

サイコロを振って問題を解く！？

最適化問題（経路探索、スケジューリング等々）専用回路

その他

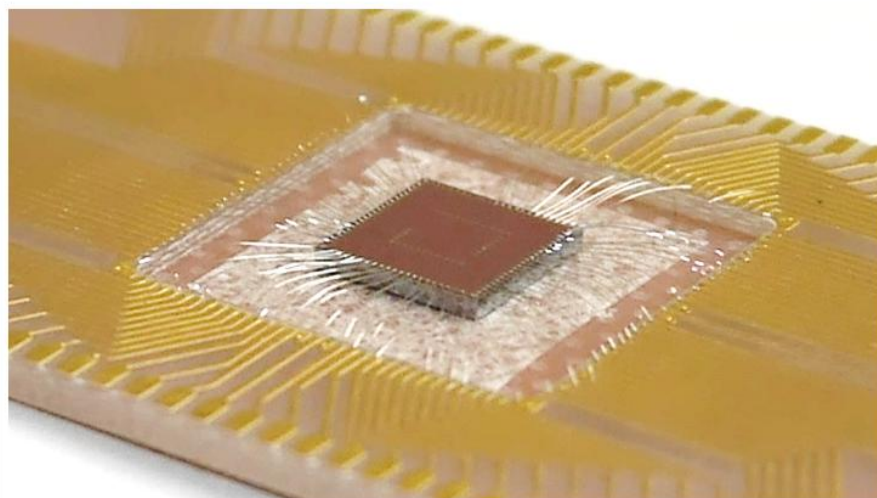
13

研究室紹介サイト、公開中
本資料も期間限定公開中

山梨研



横浜国立大学 山梨研究室
Yamanashi Group,
Yokohama National University



What's New

最終更新：2023年9月11日

・活動紹介更新

研究室紹介

メニュー

ホーム

研究内容

研究室紹介

メンバー

活動紹介

研究発表

リンク

English

まとめ

コンピュータの研究は**歴史的転換点**

Scaling則に基づく性能向上  Beyond Moore素子による
新原理コンピューティング

超伝導回路でコンピュータの歴史を変える

「**テラヘルツエレクトロニクス**」の創生

みなさんの**挑戦**をお待ちしています

オープンラボ

15

◎ 9/16（水） 13：00～、 ◎ 9/24（木） 11：00～（修正）

当初の日程表に誤りがあり、◎は9/17ではなく9/24です
最新の日程表を参照してください

集合写真は削除しています