

Kawasaki Quantum Summer Camp 2025

---

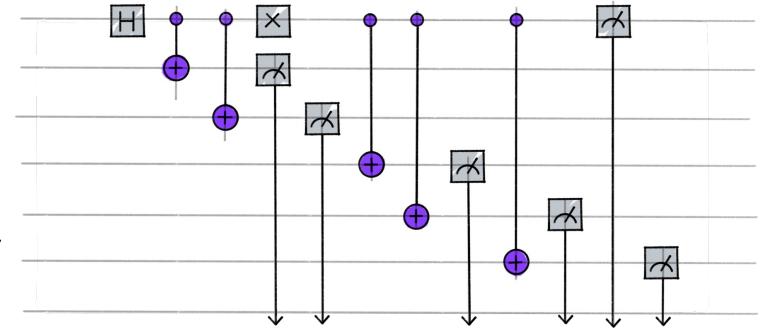
# 量子コンピューター入門

## ～今日からはじめる 量子コンピューティング学習の旅～

IBM Quantum

Yuri Kobayashi | 小林 有里

IBM Quantum / © 2025 IBM Corporation



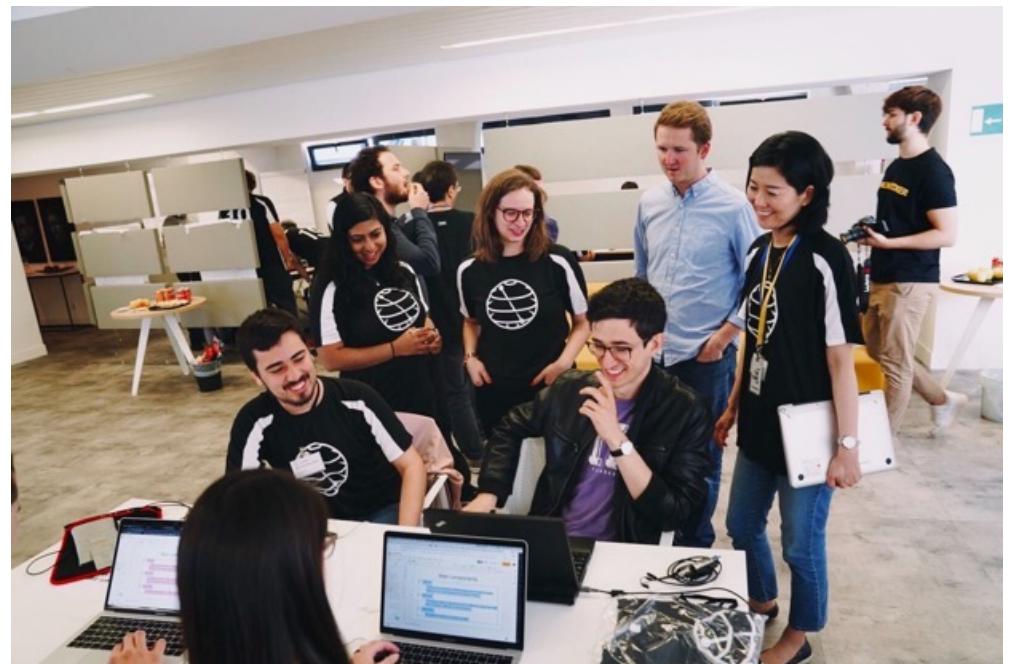
# 自己紹介



## 小林 有里 Yuri Kobayashi

Asia Pacific Lead, Workforce & Education  
IBM Quantum

2019年から量子コンピューターの開発者コミュニティを担当  
Qiskit SDKの教育コンテンツの作成、普及のための教育プログラムの作成ほか、量子コンピューターを使ったプログラミングコンテスト、ハッカソンの主催等を通じて、量子ネイティブと呼ばれる次世代の量子人材の育成に取り組む。





# 今日のゴール

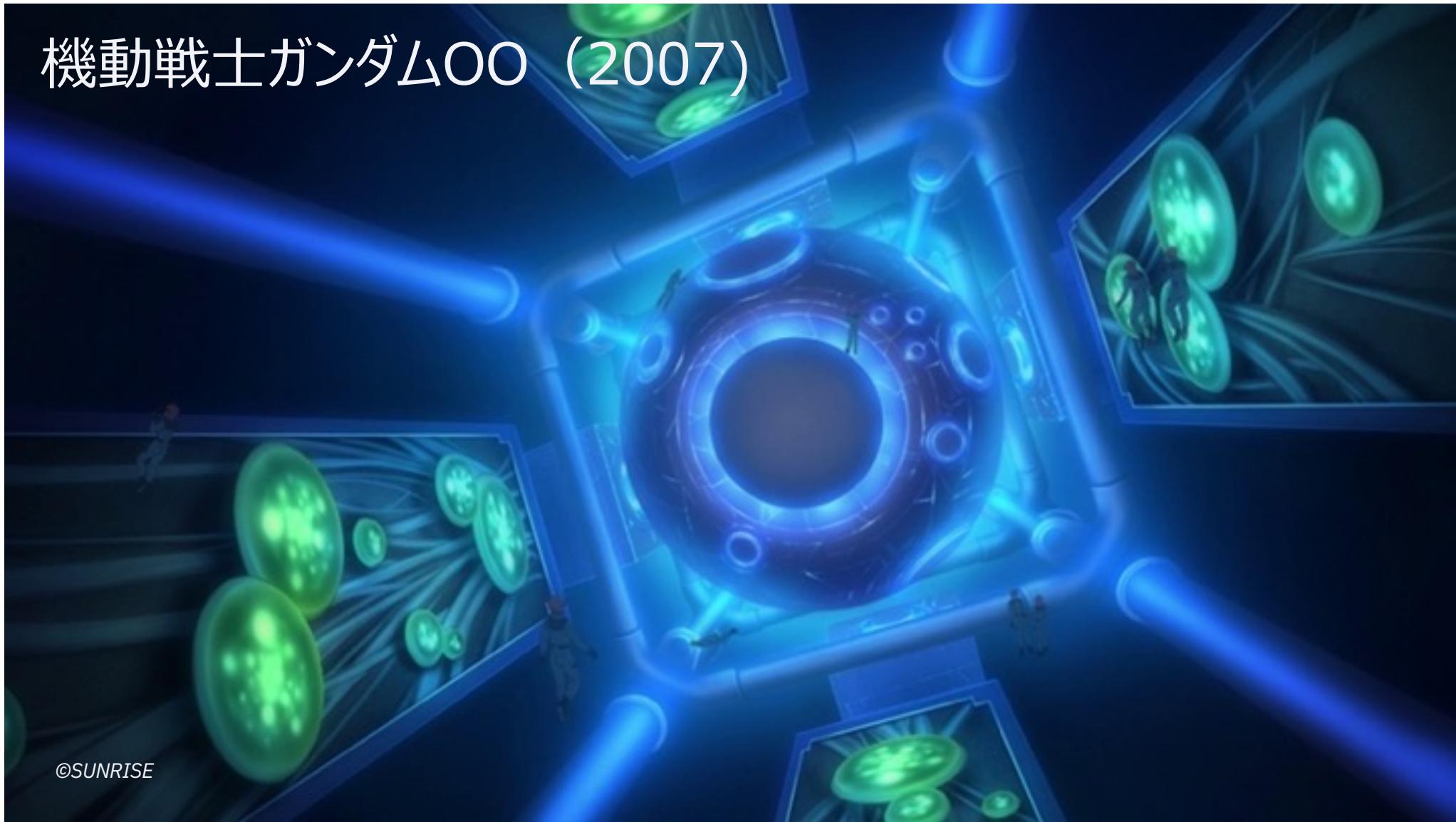


なんとなく、**雰囲気**だけでも量子コンピュータ  
をちょっとなり理解できた気になる。



# 皆さんが生まれる前のお話

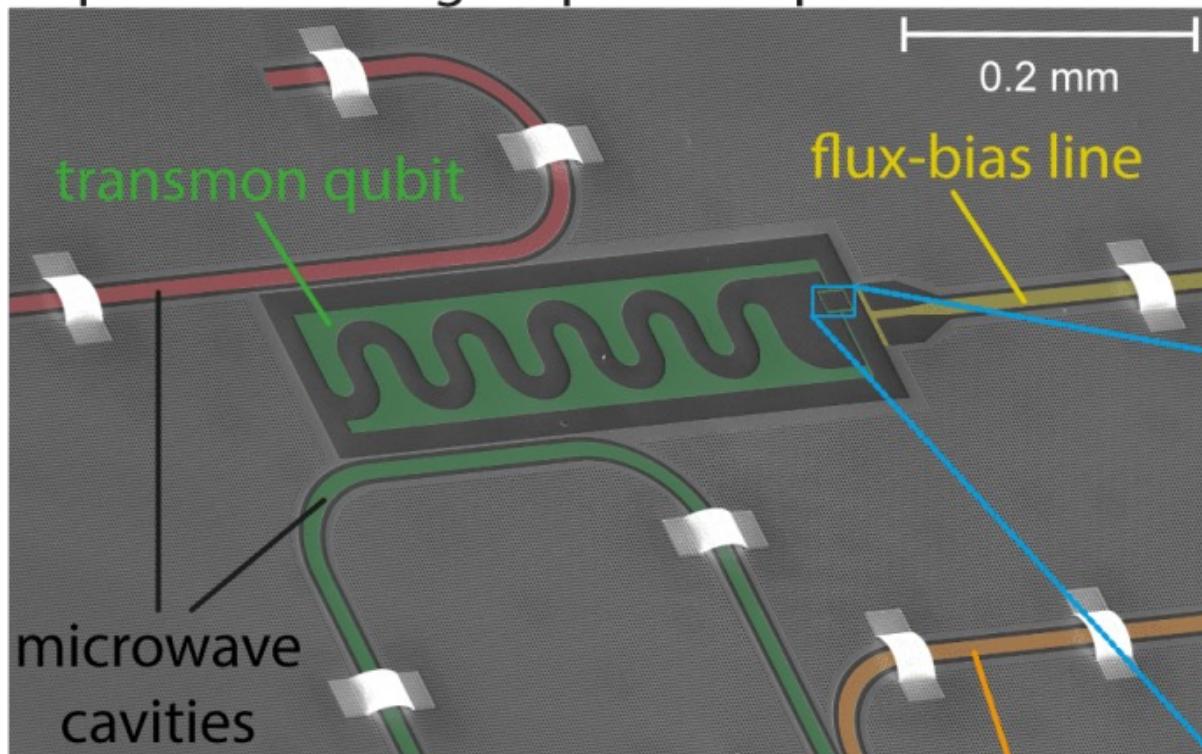
# 機動戦士ガンダムOO (2007)



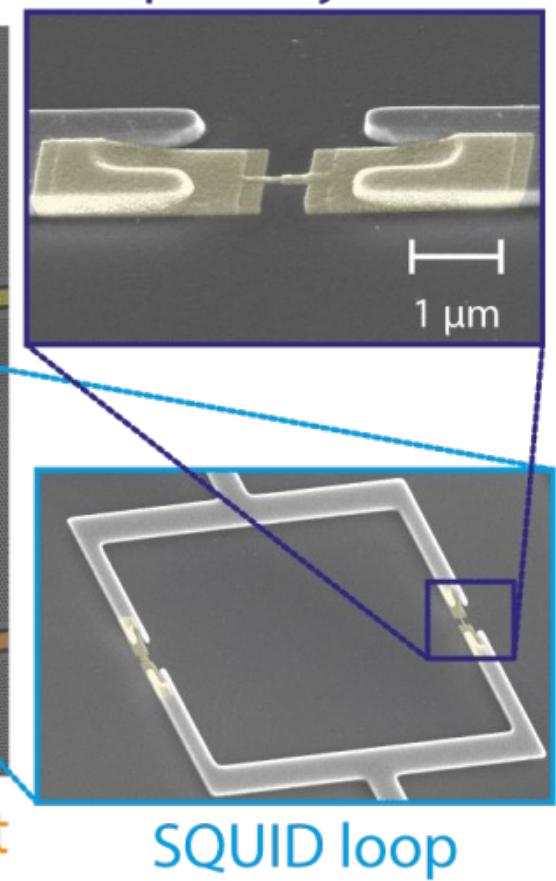
©SUNRISE

# トランズモン型量子ビットの誕生 (2007)

superconducting chip close up:



Josephson junction



(2007)

## Condensed Matter &gt; Mesoscale and Nanoscale Physics

*[Submitted on 28 Feb 2007 (v1), last revised 26 Sep 2007 (this version, v2)]*

## Charge insensitive qubit design derived from the Cooper pair box

**Jens Koch, Terri M. Yu, Jay Gambetta, A. A. Houck, D. I. Schuster, J. Majer, Alexandre Blais, M. H. Devoret, S. M. Girvin, R. J. Schoelkopf**

Short dephasing times pose one of the main challenges in realizing a quantum computer. Different approaches have been devised to cure this problem for superconducting qubits, a prime example being the operation of such devices at optimal working points, so-called "sweet spots." This latter approach led to significant improvement of  $T_2$  times in Cooper pair boxes [1]. Here, we introduce a new type of superconducting qubit called the transmon. Unlike the charge qubit, the transmon benefits from the fact that its energy levels are discrete. As a result, we predict a drastic reduction of the loss rate while maintaining sufficient anharmonicity for selective readout channels.

トランズモン

超伝導型量子ビット

Comments: 21 pages, 12 figures; title change from "Cooper pair box qubits" to "Transmon qubits".

Subjects: Mesoscale and Nanoscale Physics

Cite as: arXiv:cond-mat/0703002 [v2]; doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.0703.002> [v2]

Journal reference: Phys. Rev. A 76, 042319 (2007)

Related DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.76.042319>

### Submission history

From: Jens Koch [[view email](#)]

[v1] Wed, 28 Feb 2007 21:07:58 UTC (752 KB)

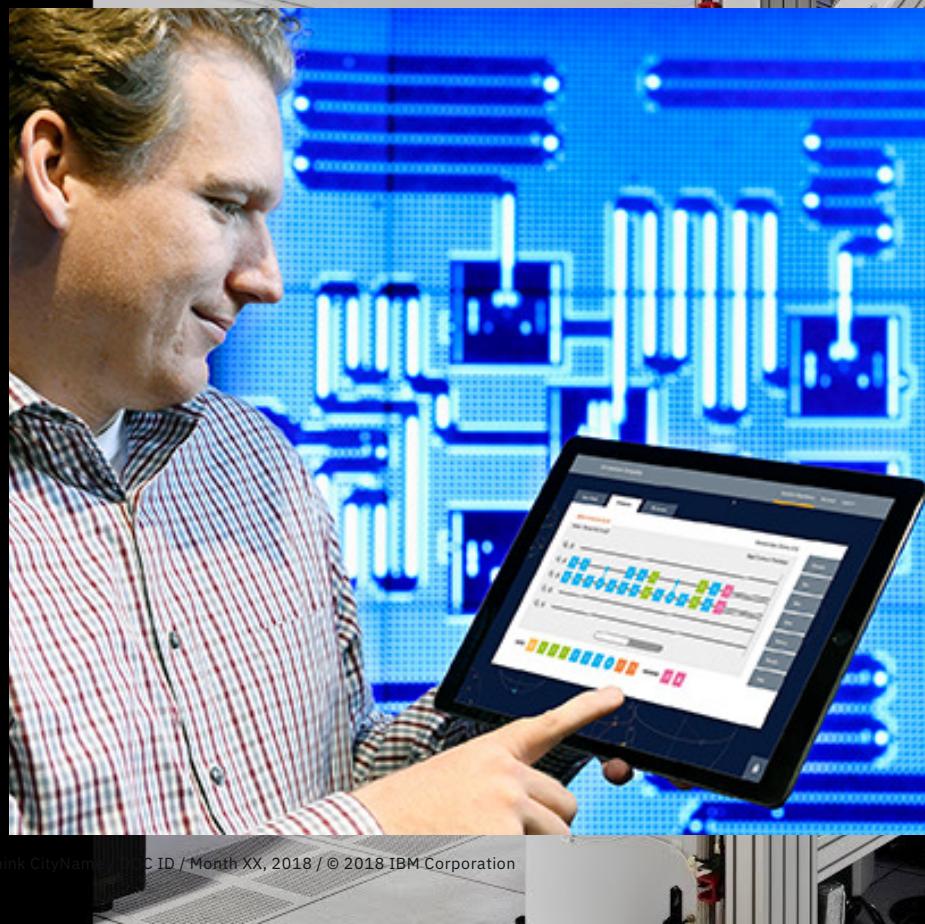
[v2] Wed, 26 Sep 2007 14:14:36 UTC (804 KB)

<https://arxiv.org/abs/cond-mat/0703002>

# IBM Watson研究所(2011)



量子コンピューターを世界に先駆けて  
クラウド経由でアクセス可能に(2016)



- 
- A person is seen from the side, working at a desk with an Apple iMac. The screen displays the IBM Quantum Experience web interface, showing a quantum circuit editor and simulation results. The background is dark with glowing blue and green nodes and lines, representing a quantum network.
- 68万人以上のユーザー
  - 300以上のIBM Quantum Networkのお客様
  - 3870本以上もの論文

2021年 新川崎・創造のもりに

Innovation Starts Here.



AIRBIC

KBIC

慶應義塾大学  
新川崎タウンキャンパス

創造のもりが広がる

画像出典：川崎市公式YouTubeチャンネルより

日本は米国とドイツに次いで3番目に導入



IBM

IBM Quantum  
System One

Kawasaki,  
Japan  
川崎, 日本

Falcon

The University  
of Tokyo  
IBM Quantum



# 量子コンピューターに誰もがアクセスできる時代に



# 量子コンピューターの構造

IBM

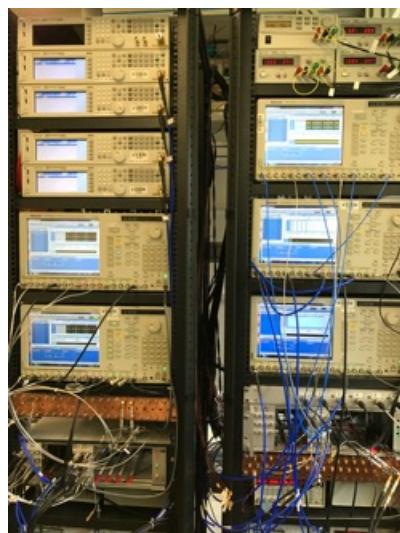
IBM Quantum  
System One

Kawasaki,  
Japan  
川崎, 日本

Falcon

The University  
of Tokyo  
IBM Quantum

# IBMの量子コンピューターの構造



室温

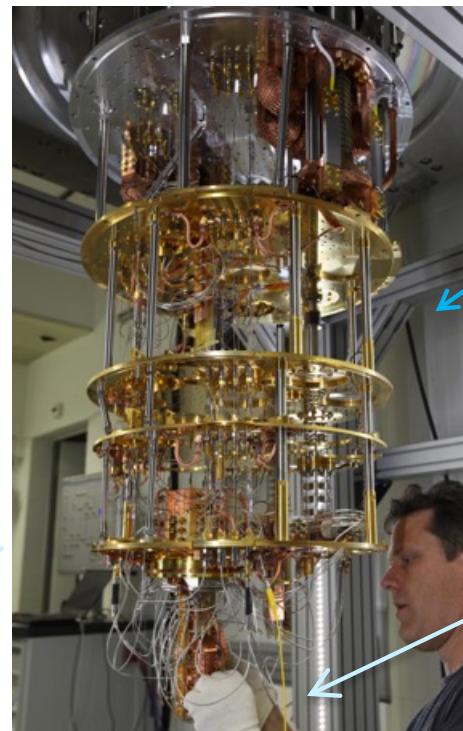
40K

3K

0.9K

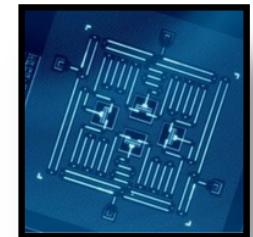
0.1K

0.015K

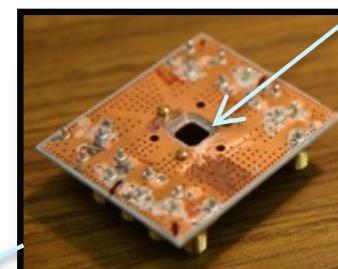


室温電子機器  
任意波形生成装置

## 超伝導量子ビット



宇宙マイクロ波背景放射  
2.7K



超電導量子ビットと  
共振器のチップ

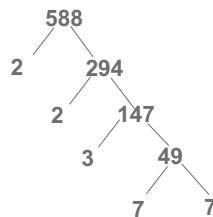
量子ビットチップの搭載さ  
れた基板は15mKの温度で  
複数のシールドによって  
保護されている。

$^3\text{He}$  と  $^4\text{He}$  の混合体によつ  
て量子ビットを15mKまで冷  
却する希釈冷蔵庫

ほぼ絶対零度

# 従来のコンピューターが苦手な分野

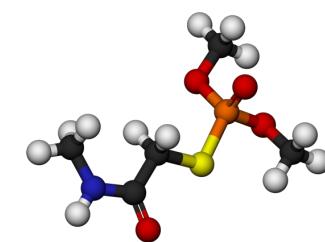
2048ビットの整数(619桁の整数)の  
素因数分解(古典: 47億年<sup>\*1</sup>, 量子: 8時間<sup>\*2</sup>)



素因数分解



新しいセキュリティー技術



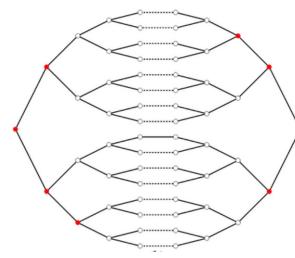
化学シミュレーション



創薬、新しい材料研究



従来のコンピューターでは真の  
乱数生成はできない



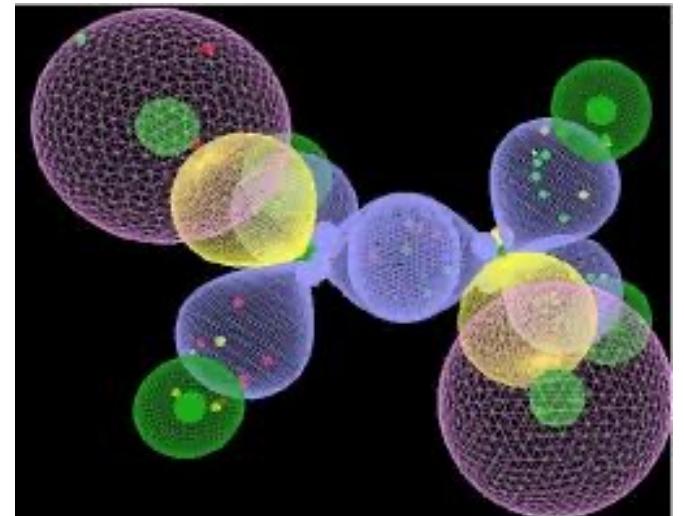
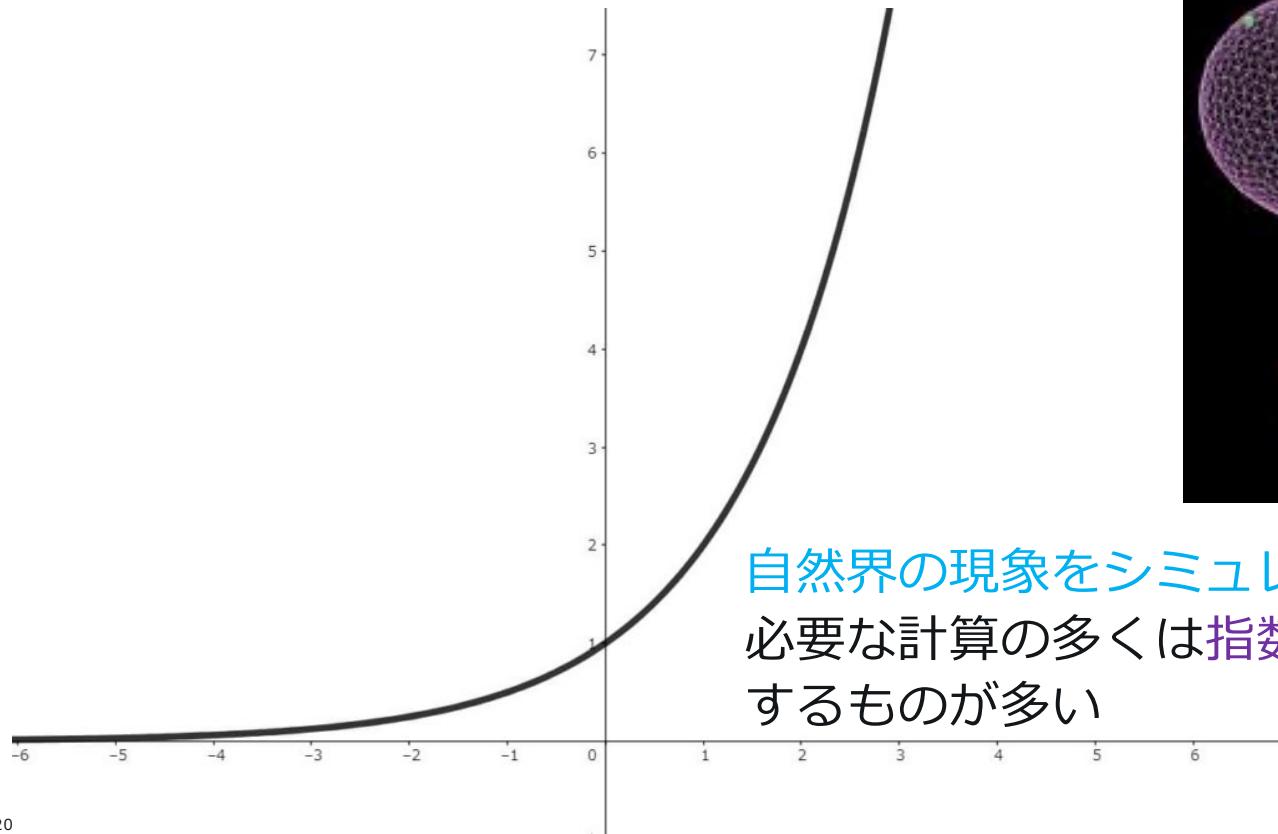
乱択アルゴリズム



探索、決定問題への応用



# 計算量が指数関数的に大きくなる



自然界の現象をシミュレーションするために  
必要な計算の多くは指数関数的にデータが増大  
するものが多い

# 量子コンピューターという着想



自然をシミュレーションしたければ、  
量子力学の原理でコンピューターを作らなくてはならない

*“Nature isn't classical, dammit, and if you want to make a simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical, and by golly it's a wonderful problem, because it doesn't look so easy.”*

1982年 リチャード・ファインマン

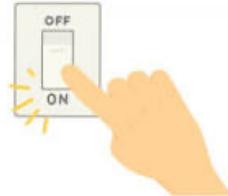




# 量子ビットってなに？

# 通常のビットとの違い

通常のビット  
(bit)



0

1

量子ビット  
(qubit)

量子重ね合わせ



1つの量子ビットが  
0と1を  
重ね合わせで  
もつことができる

# 重ね合わせ



0    0.1    0.2    0.3    0.4    0.5    0.6    0.7    0.8    0.9    1

time (s)



# 重ね合わせのメリット

ビットの数

表現できるデータ

状態の  
くみあわせ

数学表現

	0 1	2通り	$2^1$
	00 01 10 11	4通り	$2^2$
	000 001 010 011 100 101 110 111	8通り	$2^3$
	?		

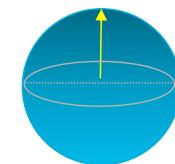
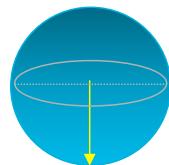
# $2^n$ のパワー



# 量子もつれ



量子もつれ  
Entanglement

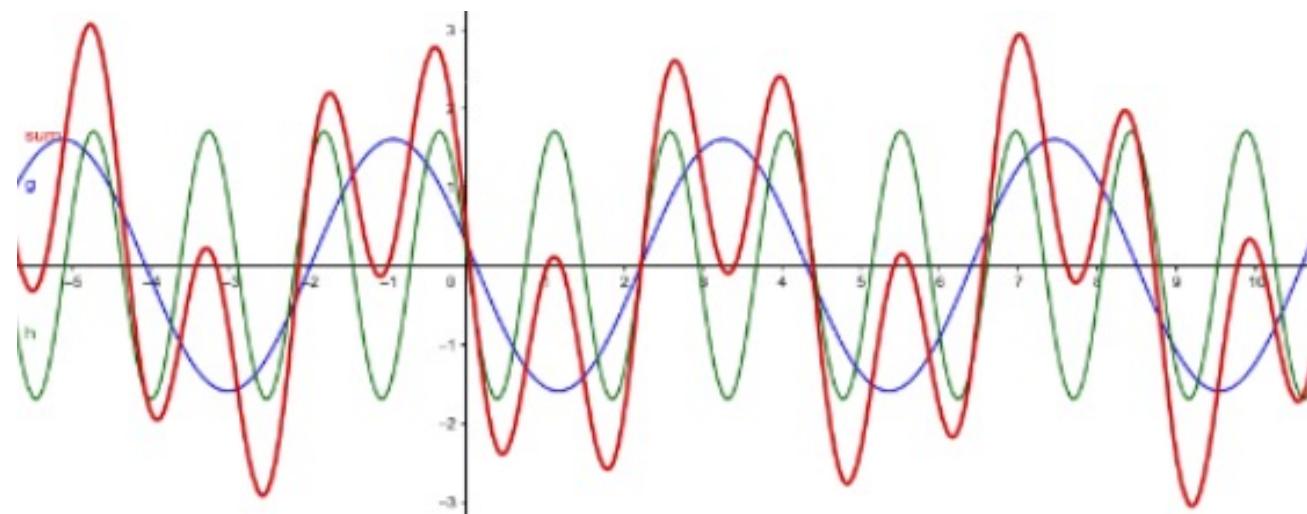


古典の統計では説明できないほど強い相関関係にあること  
一体としてふるまう双子の粒子の状態

# もつれを利用した干渉



重ね合わせ、もつれ、そしてそれらの組合せで起きる干渉を利用して、量子コンピューターは効率良く解を導き出します





量子コンピュータは、  
量子力学の性質（重ね合わせ、もつれ、干渉）  
を利用した新しい計算技術です

# 4ビットで暗号をつくってみましょう



0000 0001 0010 0011

0100 0101 0110 0111

1000 1001 1010 1011

1100 1101 1110 1111

# ふつうのコンピューターで解読する場合



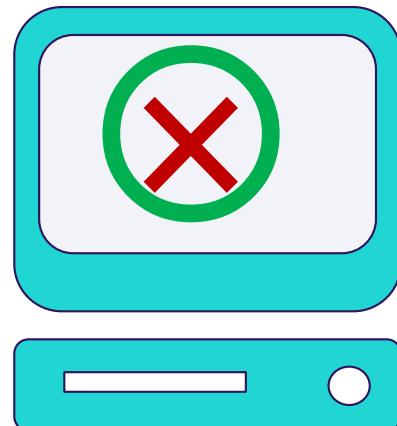
0000  
0100  
1000  
1100

0001  
0101  
1001  
1101

0010  
0110  
1010  
1110

0011  
0111  
1011  
1111

ふつうのコンピューター



# 量子コンピューターで解読する場合



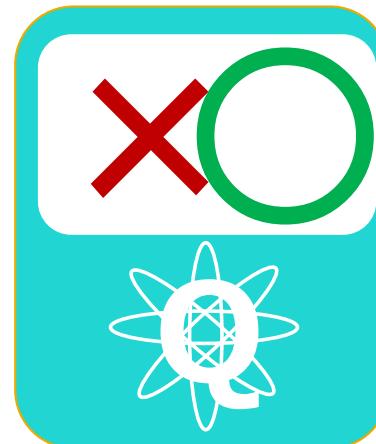
0000  
0100  
1000  
1100

0001  
0101  
1001  
0000

0010  
0110  
1010  
1110

0011  
0111  
1011  
1111

量子コンピューター



もつれを利用した干渉で  
効果的に解を導出

グローバーのアルゴリズム

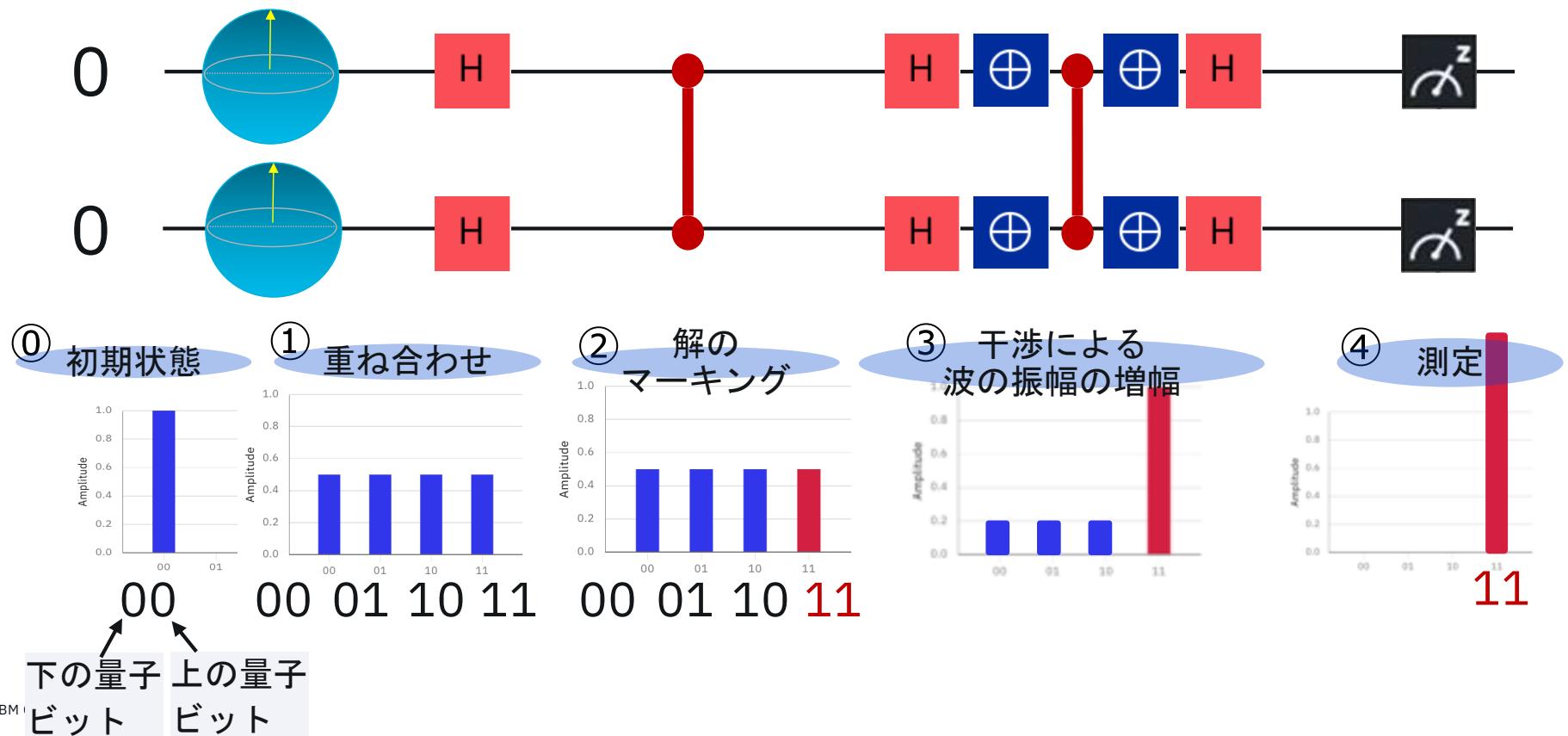
0011



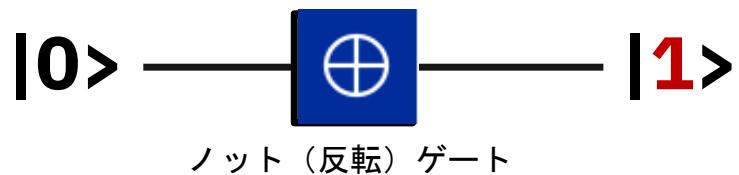
**量子コンピュータは、  
従来のコンピューターよりも速いのではなく、  
異なる原理(量子力学の原理) を活用して、  
効率良く解を導きだします**

# 2つの量子ビットをブロックで操作してみよう ! Qiskit

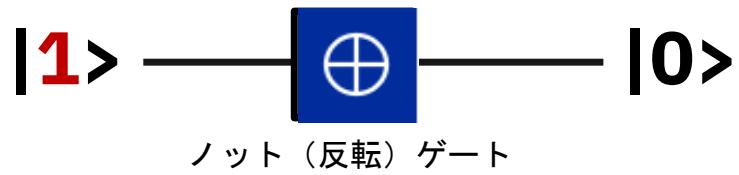
ブロックのことを**量子ゲート**と呼びます



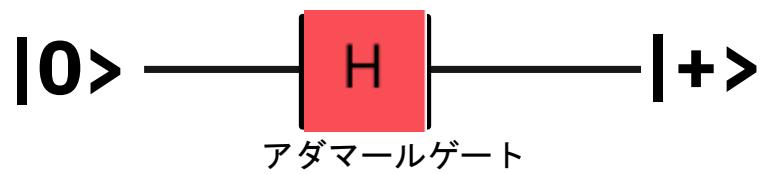
# 量子ゲートとは？



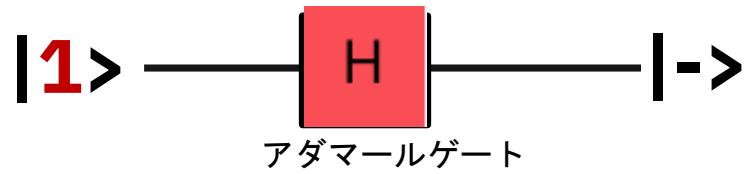
ノット（反転）ゲート



ノット（反転）ゲート



アダマールゲート



アダマールゲート

量子ビットの  
状態を操作して  
くれるもの

# Hゲート

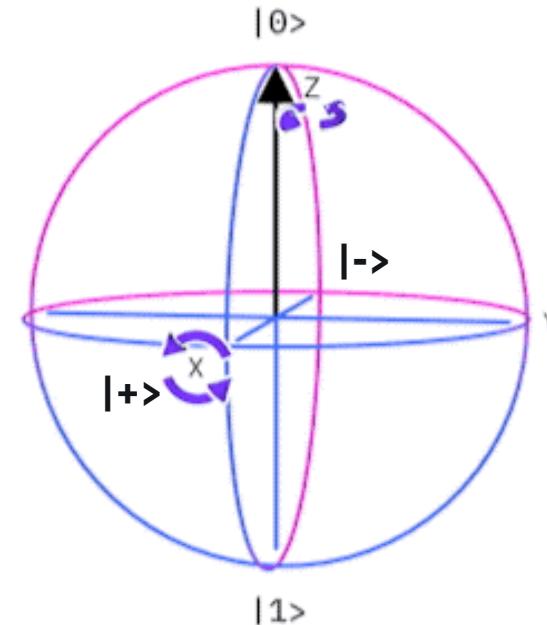
重ね合わせをつくるゲート



アダマールゲート

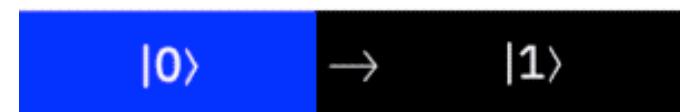
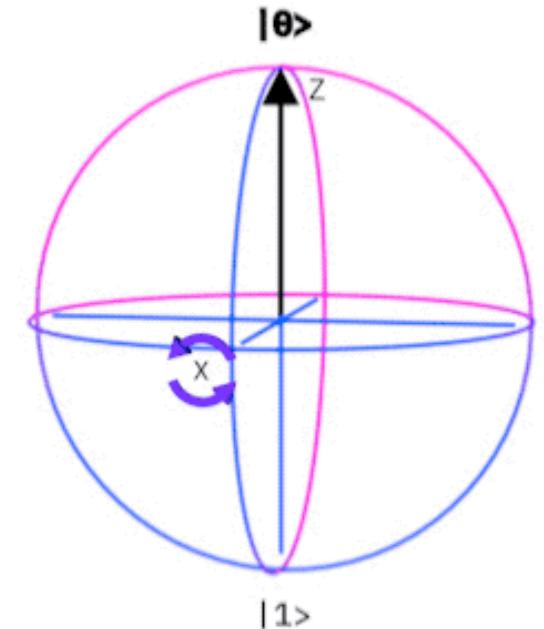
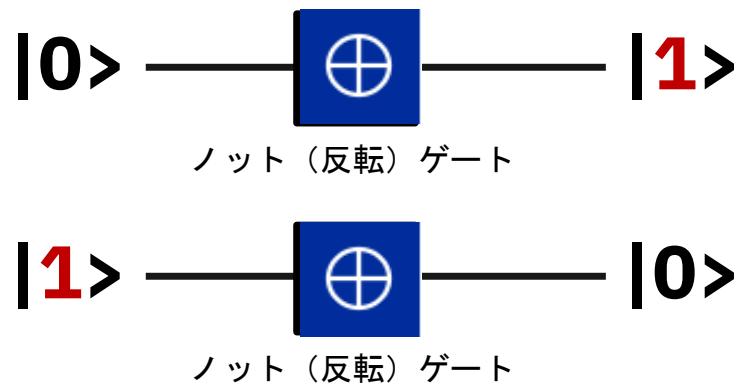


アダマールゲート



# Xゲート

$|0\rangle \leftrightarrow |1\rangle$  に反転するゲート



# Zゲート

$|+\rangle \leftrightarrow |-\rangle$  に反転するゲート

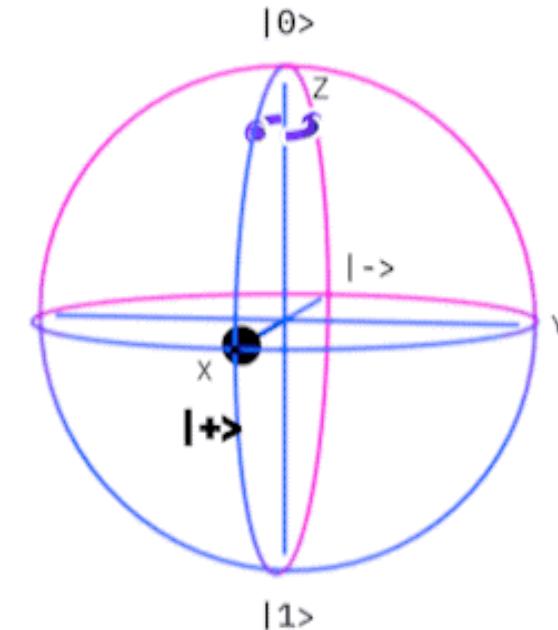


Z(位相反転ゲート)



Z(位相反転ゲート)

パズルのルールだと  
思って覚えておくと  
いろいろ楽しいです！



$|+\rangle \rightarrow |-\rangle$



現在の量子コンピューターはまだまだ完成形ではありません

# 究極のゴール



**Noisy Intermediate-Scale Quantum Computer**  
ノイズのある小中規模の量子コンピューター



**Fault-tolerant Universal Quantum Computer**  
エラー耐性のある万能量子コンピューターへ

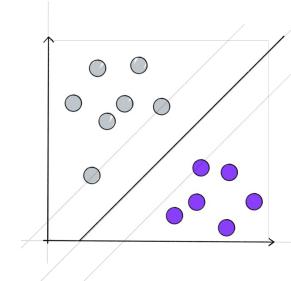
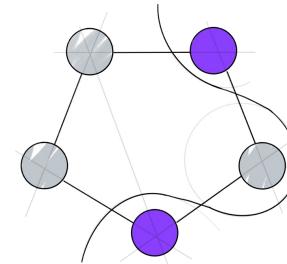
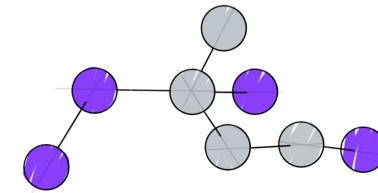
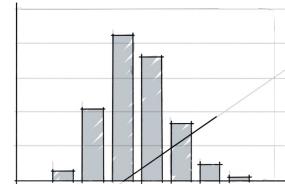


© 2025 IBM Corporation

# 期待される量子コンピューターの応用分野



- ・物理シミュレーション
- ・新しい材料、お薬の研究
- ・最適化問題
- ・AI・機械学習



このキャンプ期間中、これら応用分野についてもっと詳しく学びます！

# 量子を中心としたスーパーコンピューター



77 qubits  
10570 quantum gates  
3590 two-qubit gates



6400 nodes @  
32 GB  
1024 GB/s  
48 cores

# 量子コンピューターに関するまとめ



Qiskit

- ・ 量子力学の性質（重ね合わせ、もつれ、干渉）を利用した新しい計算技術です
- ・ 従来のコンピューターよりも速いのではなく、異なる原理(量子力学の原理) を活用して、効率良く解を導きだします
- ・ 今日現在の量子コンピューターはノイズの影響を受けながらも誤り抑制・訂正技術により古典シミュレーションに引けを取らない結果を出せるようになりました
- ・ 究極のゴールは誤り耐性のある万能量子コンピューター(FTQC)の実現であり、実現まであと少しのところまで来ていました
- ・ 創薬、新しい材料の開発、最適化問題、そしてA Iなどへの応用も期待されます
- ・ 皆さんは量子ネイティブ世代になります。量子コンピューターは面白い！  
ぜひ量子コンピューターの世界に飛び込んでみて、世界に羽ばたいてください！



なんとなく、**雰囲気**だけでも量子コンピュータ  
をちょっとなり理解できた気になる。

# Thank you



# 量子コンピューターに関するおススメの本



子供の科学2021年2月号特集  
超入門の内容



絵で見てわかる量子コンピュータ  
の仕組み



量子コンピュータの頭の中  
計算しながら理解する量子アルゴリズムの世界

