

Kawasaki Quantum Summer Camp 2025

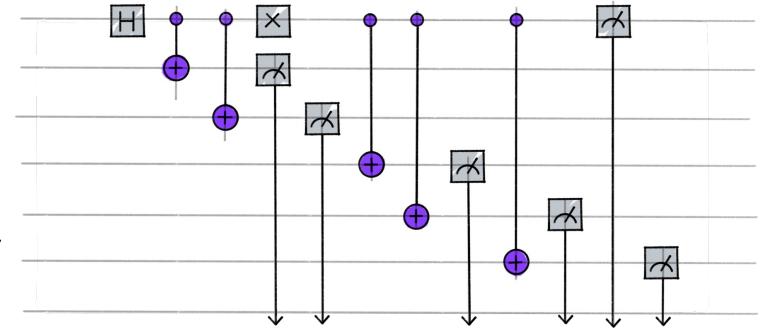
量子コンピューター入門

～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 / © 2022 IBM Corporation



自己紹介



小林 有里 Yuri Kobayashi

Global Lead, Workforce & Community
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

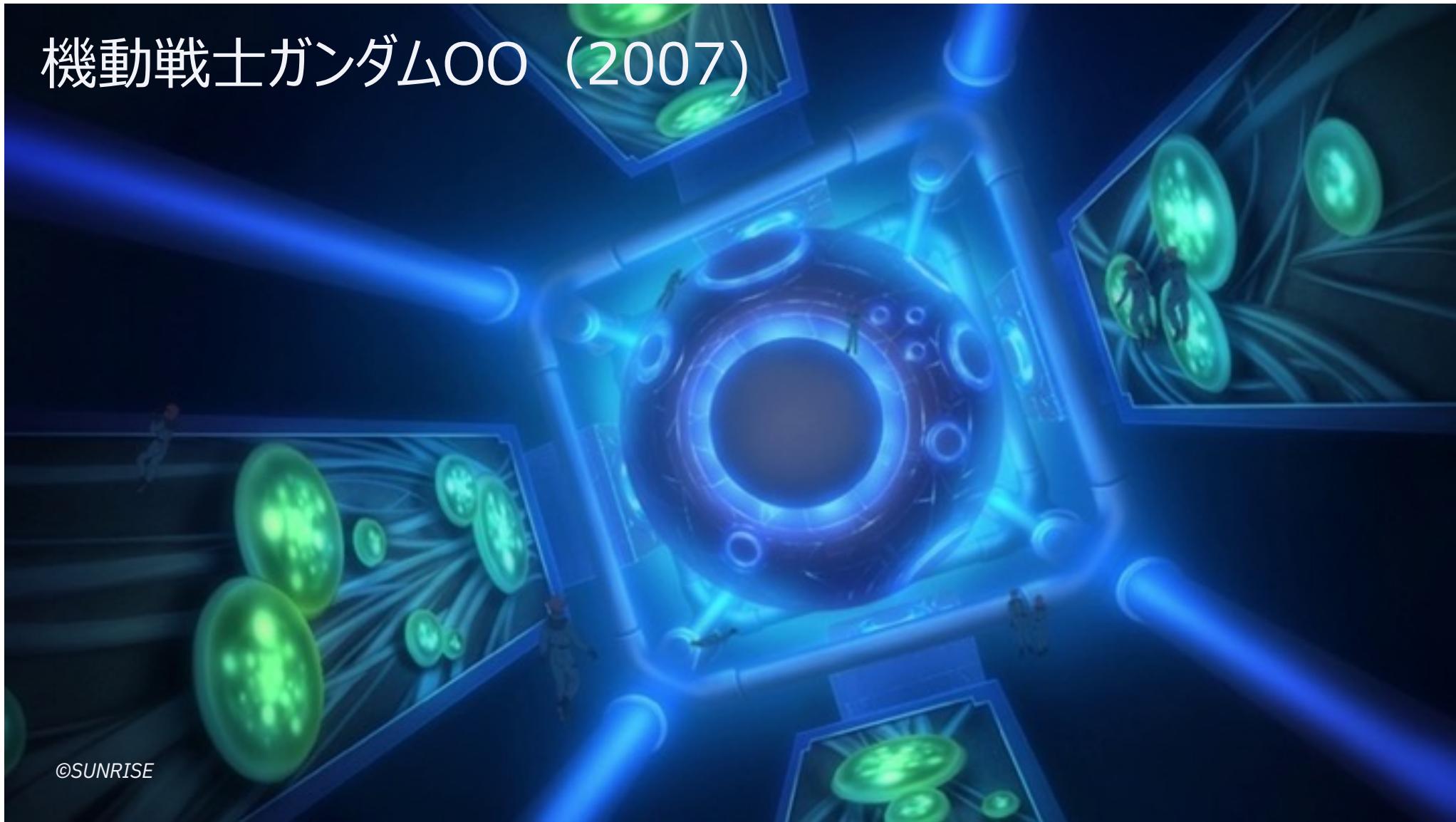


なんとなく、**雰囲気**だけでも量子コンピュータ
をちょっとなり理解できた気になる。



皆さんが生まれる前のお話

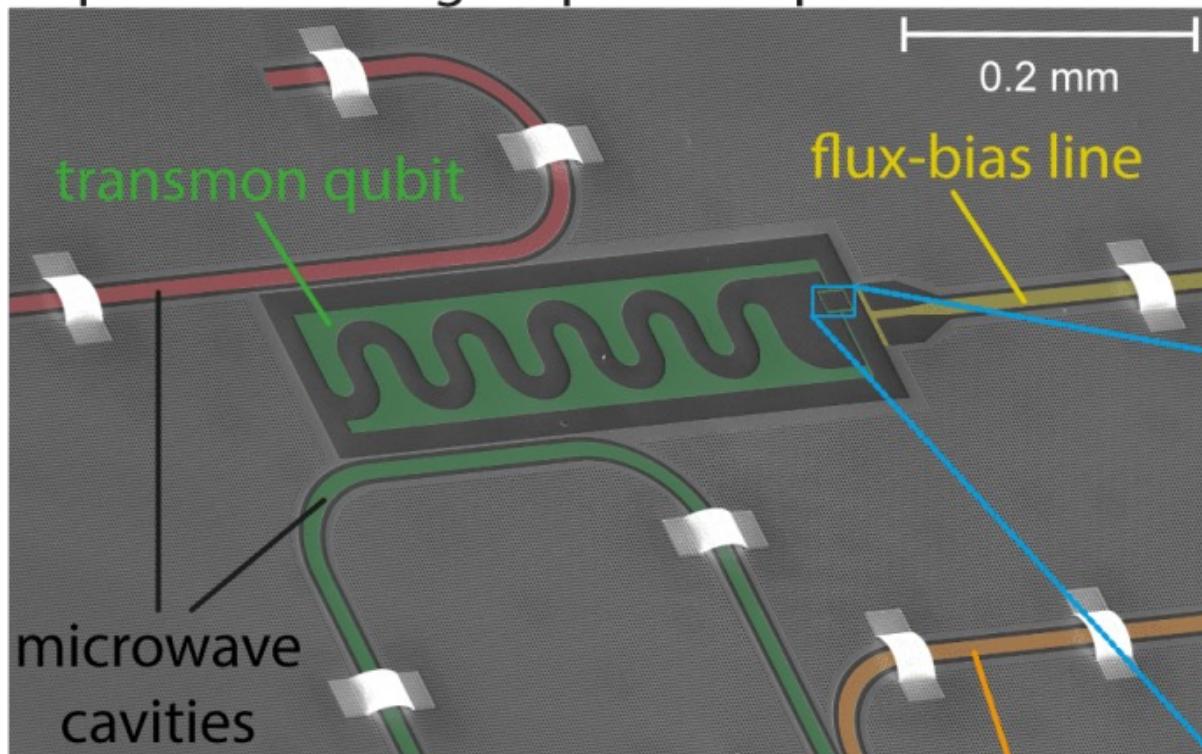
機動戦士ガンダムOO (2007)



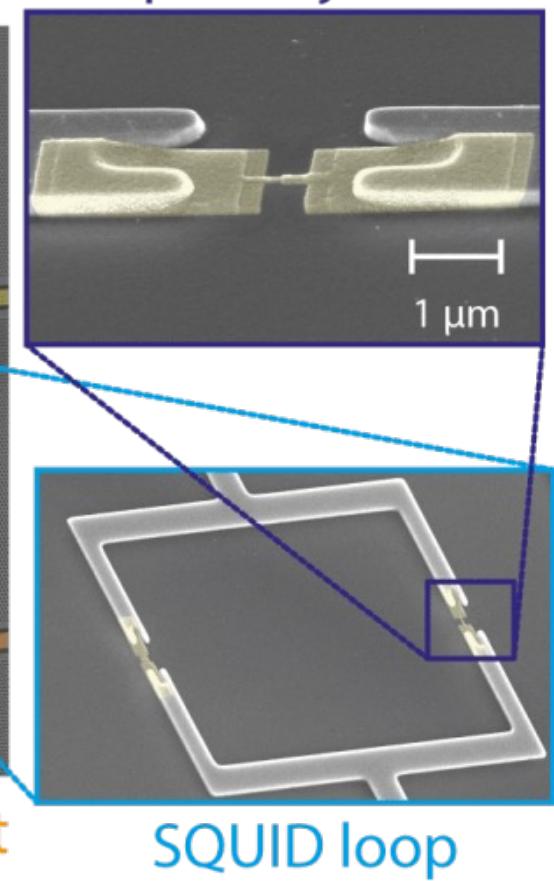
©SUNRISE

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 > 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.0703002> [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)

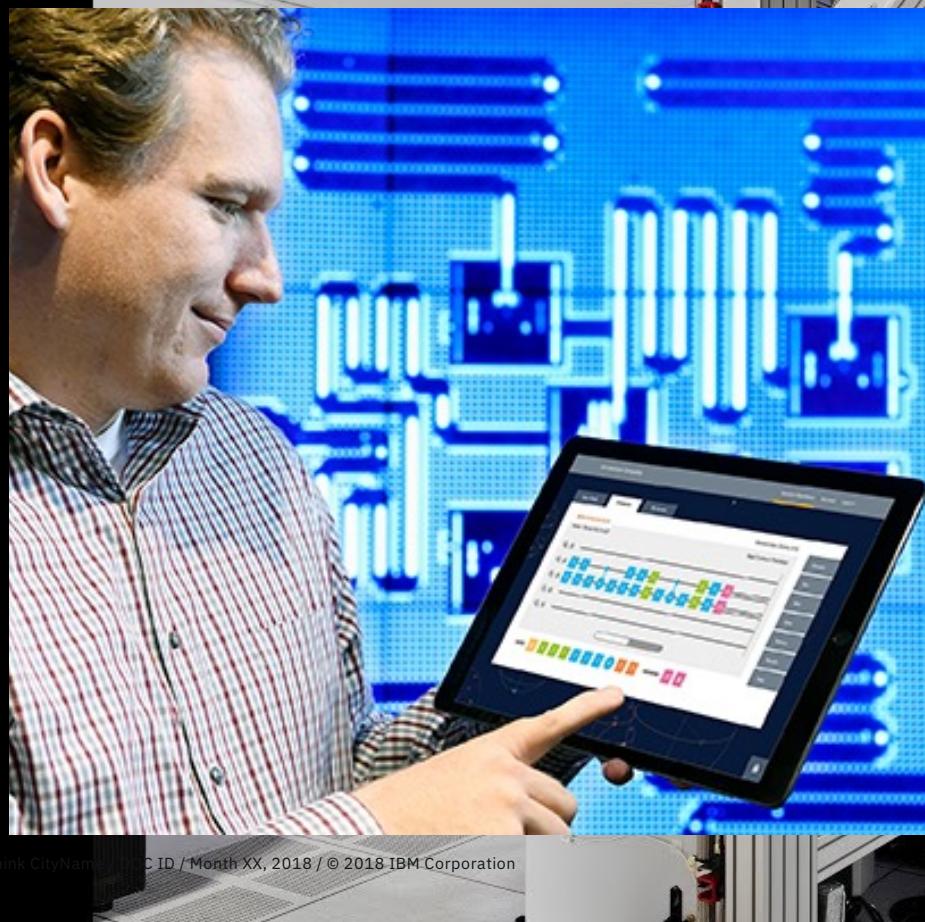
[v2] Wed, 26 Sep 2007 14:14:36 UTC (804 KB)

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

IBMワトソン研究所(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 a quantum computing interface with various panels showing circuit diagrams and data tables. The background is dark, with several glowing blue spheres representing quantum states floating around the monitor.
- 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

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

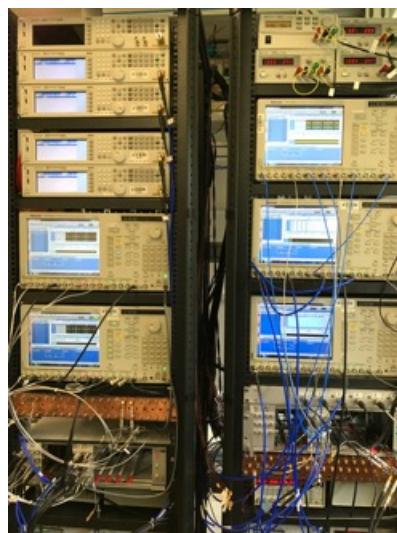
IBM Quantum
System One

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

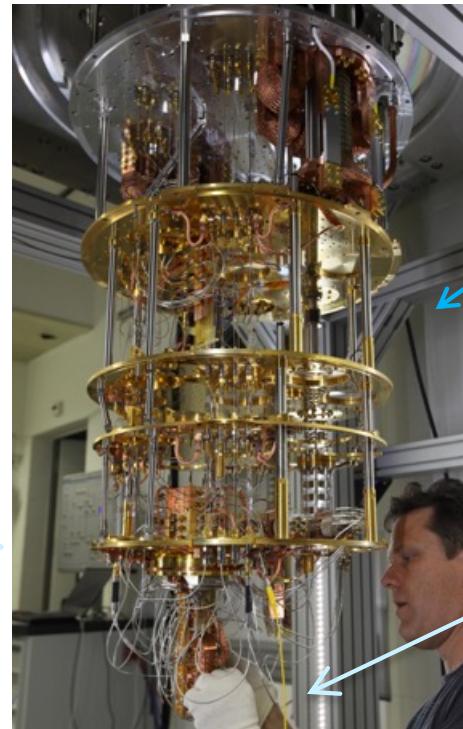
40K

3K

0.9K

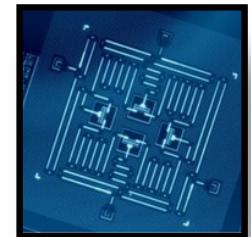
0.1K

0.015K

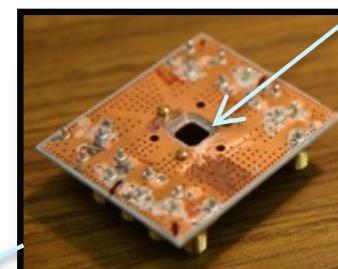


室温電子機器
任意波形生成装置

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

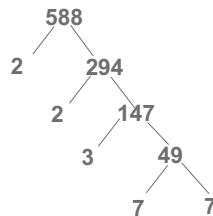
量子ビットチップの搭載さ
れた基板は15mKの温度で
複数のシールドによって
保護されている。

^3He と ^4He 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

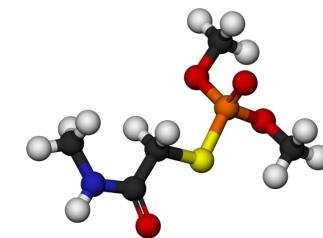
2048ビットの整数(619桁の整数)の
素因数分解(古典: 47億年^{*1}, 量子: 8時間^{*2})



素因数分解



新しいセキュリティー技術



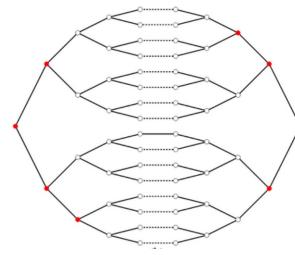
化学シミュレーション



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



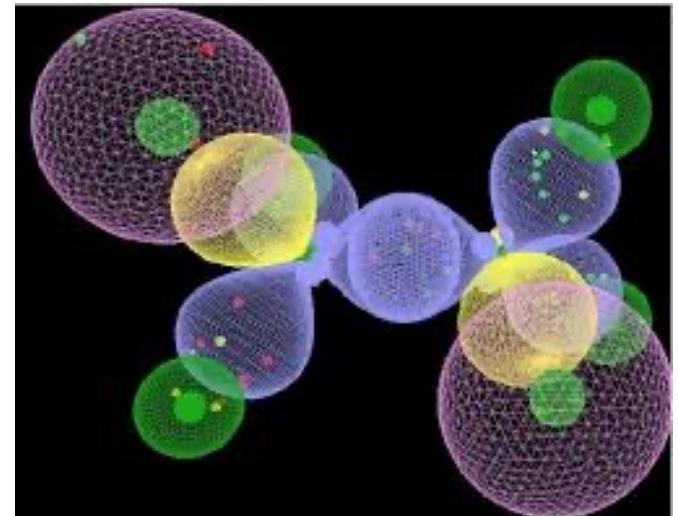
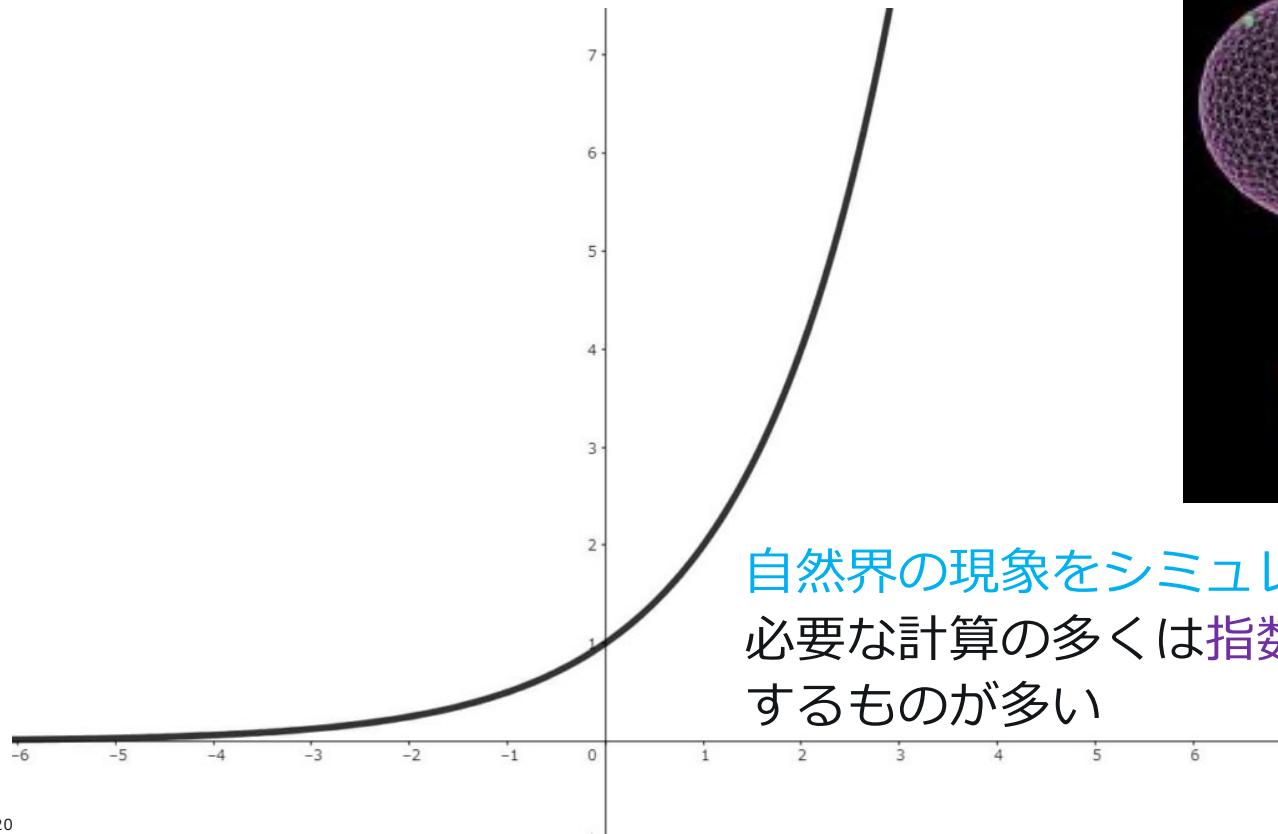
乱択アルゴリズム



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

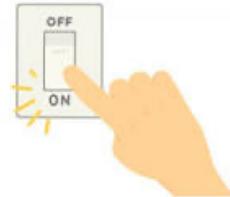




量子ビットってなに？

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
	?		

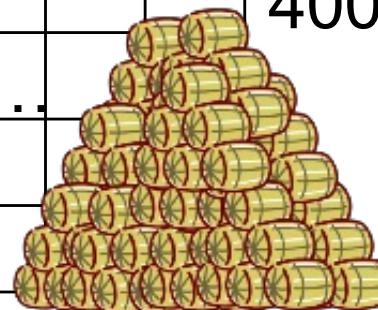
2^n のパワー



①	00	00	00		a

一ヶ月後...

400俵！



「一日目に米粒を一粒。」

「二日目にはその倍の二粒。」

「三日目にその倍の四粒。」

「それをひと月間いただきたく...。」

他の褒美は
あらわせ
くれ！

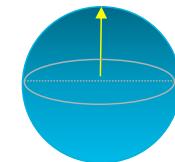
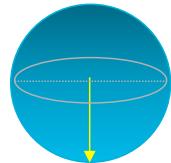


スマホで 2^{30} を検索してみましょう。
その値を1俵（2,666,666粒）で割ってみてください。

量子もつれ



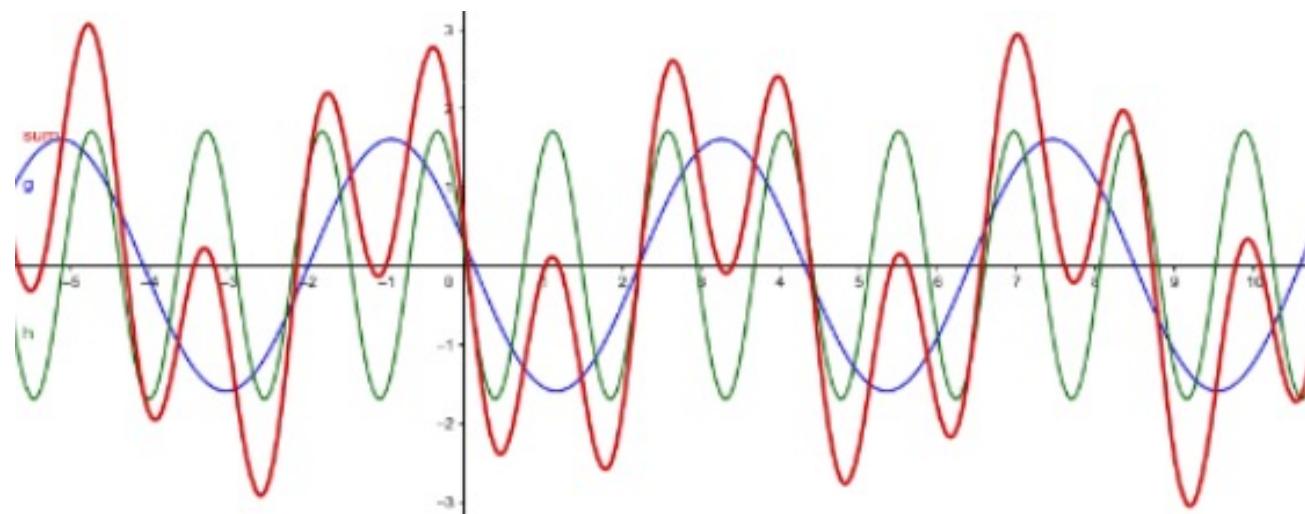
量子もつれ
Entanglement



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



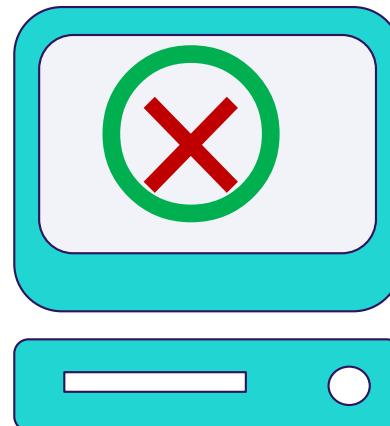
0000
0100
1000
1100

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



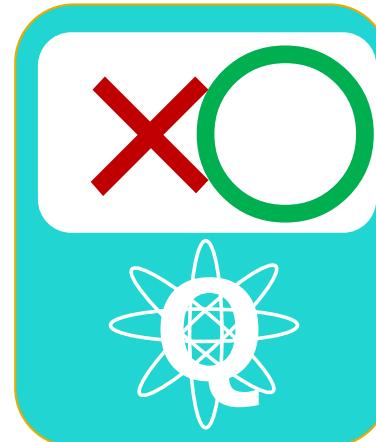
0000
0100
1000
1100

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

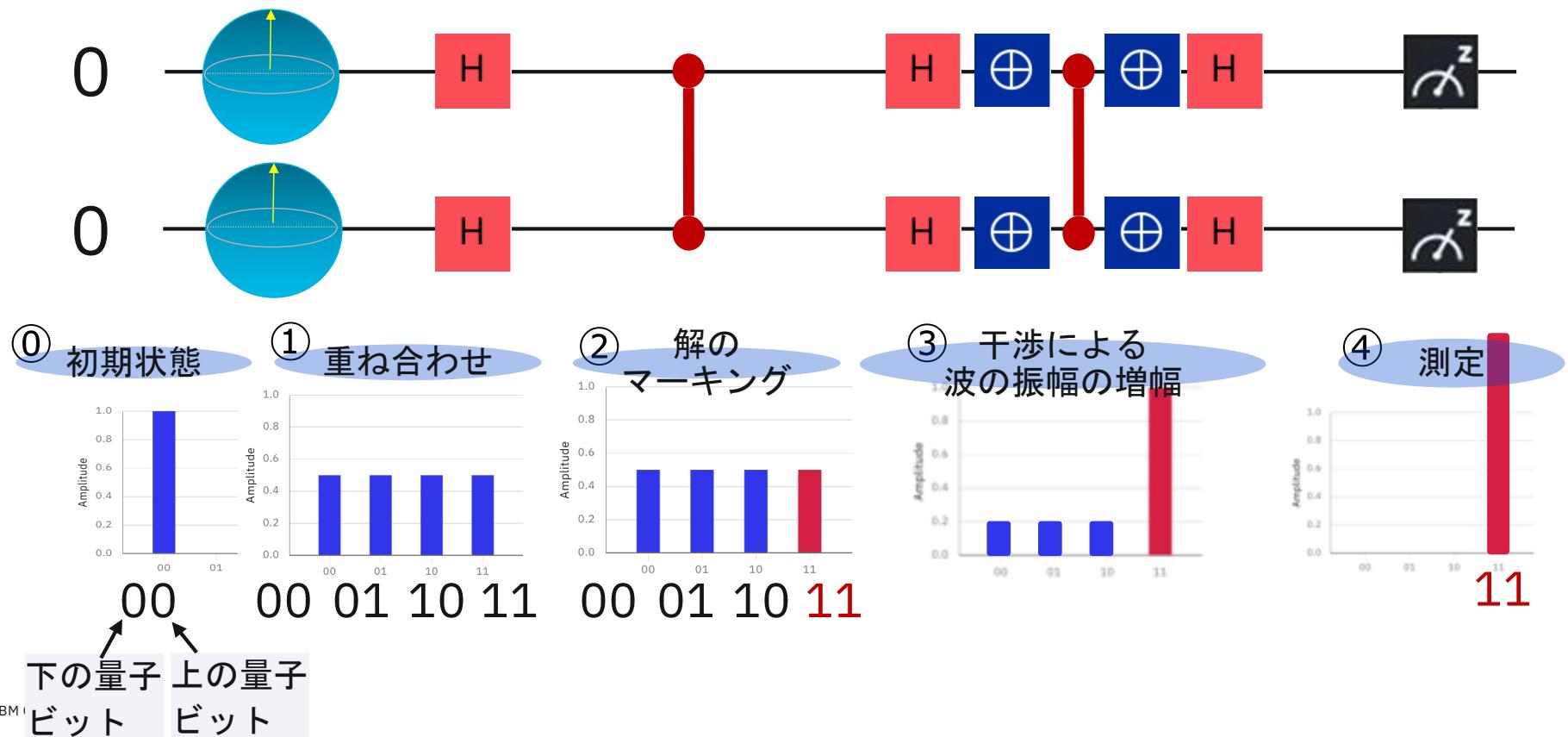
0011



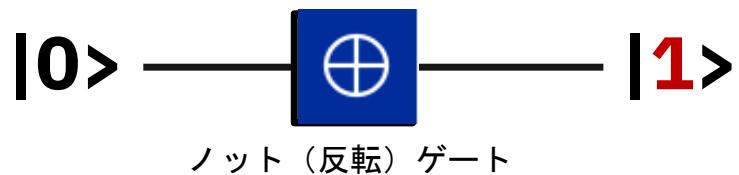
**量子コンピュータは、
従来のコンピューターよりも速いのではなく、
異なる原理(量子力学の原理) を活用して、
効率良く解を導きだします**

2つの量子ビットをブロックで操作してみよう ! Qiskit

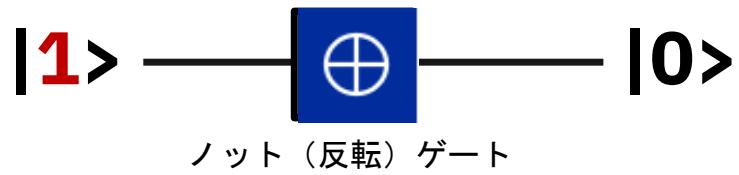
ブロックのことを**量子ゲート**と呼びます



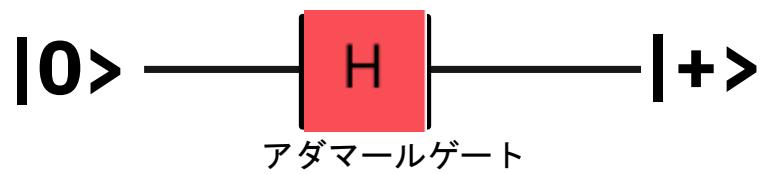
量子ゲートとは？



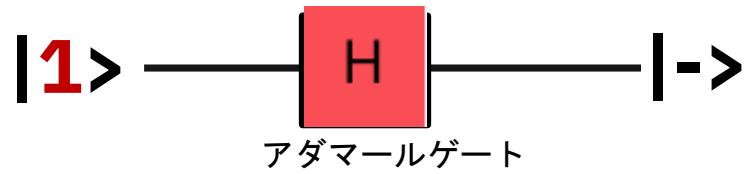
ノット（反転）ゲート



ノット（反転）ゲート



アダマールゲート

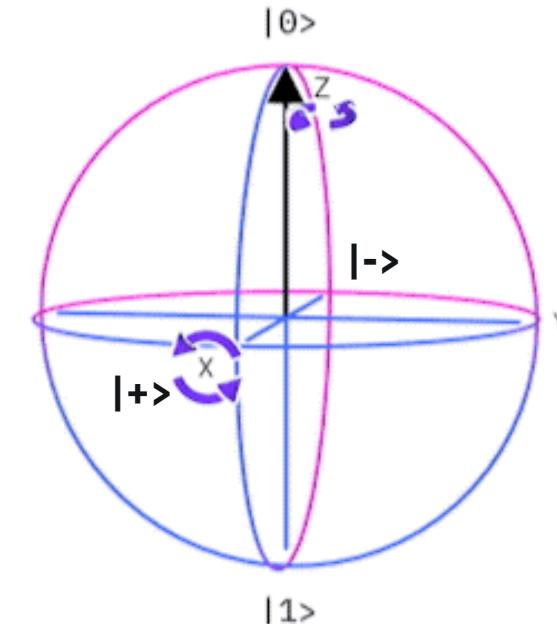
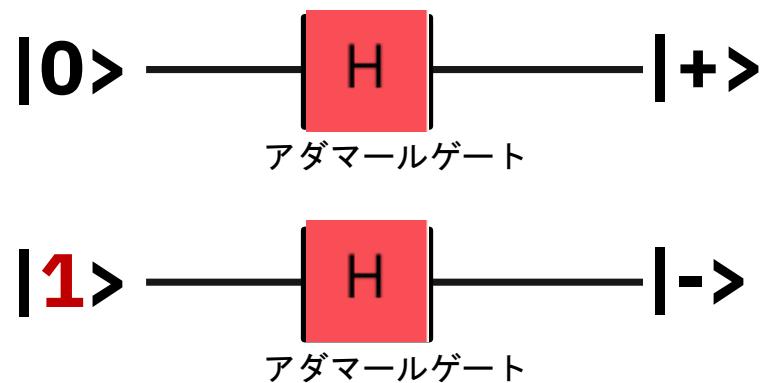


アダマールゲート

量子ビットの
状態を操作して
くれるもの

Hゲート

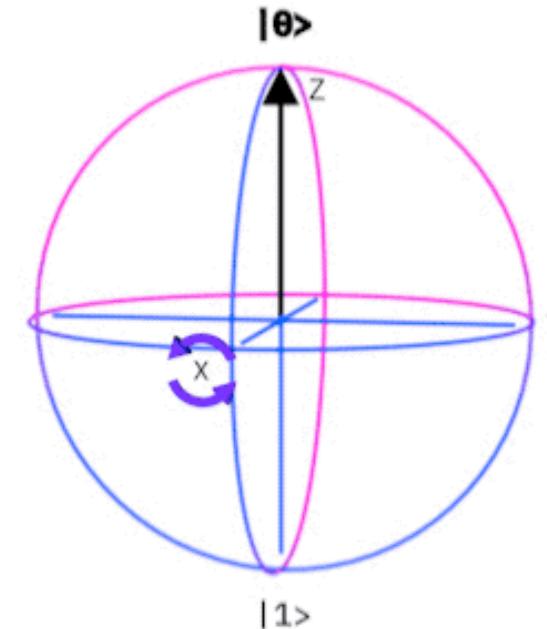
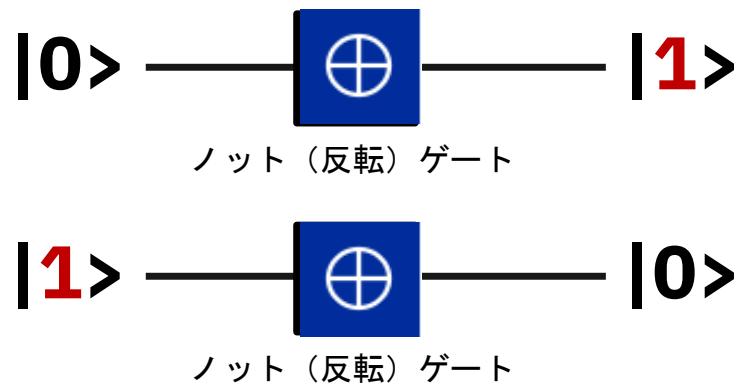
重ね合わせをつくるゲート



$$|0\rangle \rightarrow |+\rangle$$

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

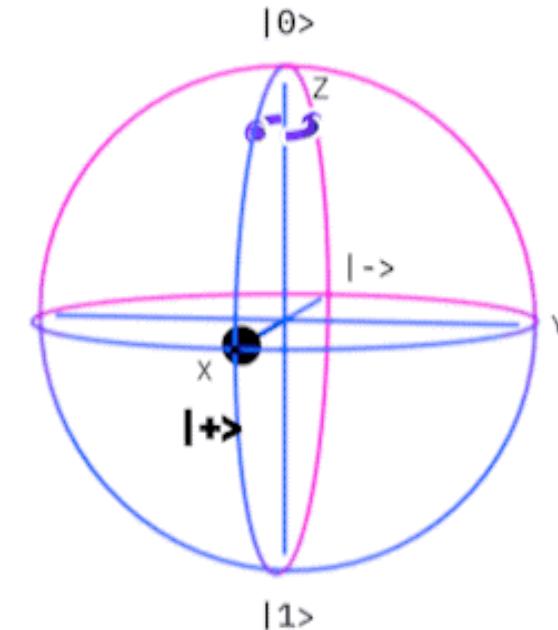


Z(位相反転ゲート)



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！



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



このあと沼田さんがQiskitBlocksというゲームを通じて
量子ゲート操作について教えてくださいます！



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



現在の量子コンピューターはまだノイズ
の影響を受けやすい

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

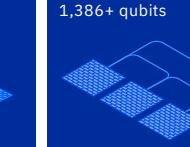
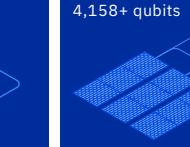


Fault-tolerant Universal Quantum Computer
エラー耐性のある万能量子コンピューターへ

開発ロードマップ

IBMが実装済み ✓
オンターゲットで進行中 ⏳

IBM Quantum

2019 ✓	2023 ✓	2021 ✓	2022 ✓	2023	2024	2025	Beyond 2026	
IBMのクラウド上で量子回路を実行	量子アルゴリズムとアプリケーションの実証とプロトタイプ化	Qiskit Runtimeで量子プログラムを100倍高速に実行	Qiskit Runtimeに動的回路を導入し、より多くの計算手法の実行を可能に	エラスティック・コンピューティングとQiskit Runtime並列化によるアプリケーションの拡張	スケーラブルな誤り抑制手法でQiskit Runtimeの精度を向上	Qiskit Runtimeを制御する回路編みツールボックスで量子アプリケーションを拡張	Qiskit Runtimeに誤り訂正を統合し、量子ワークフローの精度と速度を向上	
モデル開発者								
量子ソフトウェア アプリケーションのプロトタイプ → 量子ソフトウェアアプリケーション 機械学習 自然科学 最適化								
アルゴリズム開発者	量子アルゴリズムとアプリケーション・モジュール 機械学習 自然科学 最適化	✓	量子サーバーレス インテリジェントオーケストレーション 回路編みツールボックス 量子回路ライブラリ	量子回路ライブラリ	量子回路ライブラリ	量子回路ライブラリ	量子回路ライブラリ	
カーネル開発者	Circuits ✓	Qiskit Runtime ✓	動的回路 マルチスレッドプリミティブ 誤り抑制と軽減 誤り訂正	動的回路 マルチスレッドプリミティブ 誤り抑制と軽減 誤り訂正	動的回路 マルチスレッドプリミティブ 誤り抑制と軽減 誤り訂正	動的回路 マルチスレッドプリミティブ 誤り抑制と軽減 誤り訂正	動的回路 マルチスレッドプリミティブ 誤り抑制と軽減 誤り訂正	
システムモジュール性	Falcon 27 qubits 	Hummingbird 65 qubits 	Eagle 127 qubits 	Osprey 433 qubits 	Condor 1,121 qubits 	Flamingo 1,386+ qubits 	Kookaburra 4,158+ qubits 	古典通信と量子通信で10K-100K qubitsに拡張
				Heron 133 qubits x p 		Crossbill 408 qubits 		



2019
Falcon
27 Qubits



2020
Hummingbird
65 Qubits



2021
Eagle
127 Qubits



2022
Osprey
433 Qubits



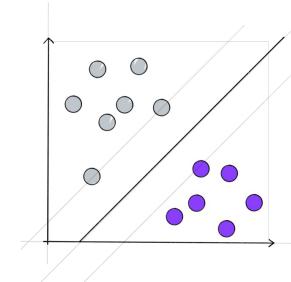
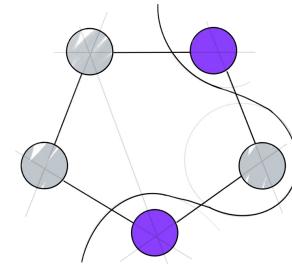
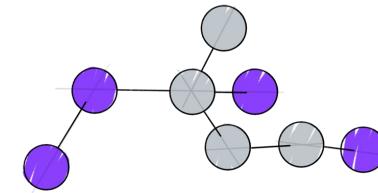
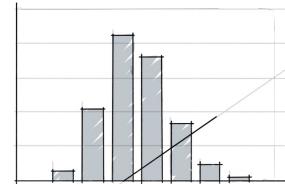
量子コンピュータは、
黎明期(れいめいき) のテクノロジーであり、
実用化に向けて、今後も量子システムの性能を
全体的に高めていくことが必要です



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！

まとめ



量子コンピューターは

- ・ 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
- ・ 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
- ・ 黎明期(れいめいき) のテクノロジーであり、実用化に向けて今後、量子システムの性能を全体的に高めていくことが必要です
- ・ 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

