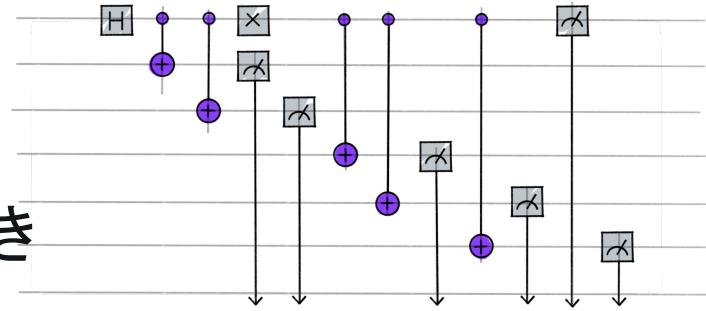


量子コンピューター入門 ～今日からはじめる 量子コンピューティング学習の手引き



小林 有里
Yuri Kobayashi
IBM Quantum

Day 1 (Aug 1, 2022)

13:00-13:30 Welcome

13:30-14:25 量子コンピューティング入門

14:25-15:35 Break

14:35-15:20 量子ゲーム - QiskitBlocks

15:20-16:00 量子ゲート - IBM Quantum Composer

16:00-16:10 Break

16:10-16:50 量子テレポーテーション

もくじ

自己紹介

量子コンピューターは誰もがアクセスできる時代に

IBMの量子コンピューターの構造

なぜ量子コンピューターは注目されているのか？

古典計算との違い

量子計算を試してみよう

万能量子コンピューター実現への挑戦

まとめ

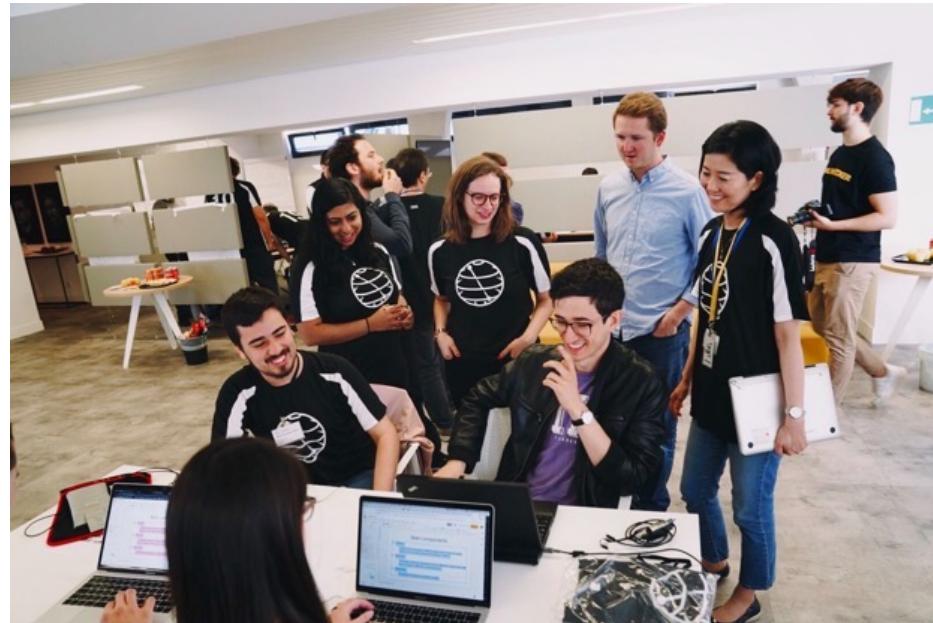
自己紹介

小林有里 Yuri Kobayashi

Qiskit 開発者コミュニティー Asia Pacific 担当

2019年から量子コンピューターの開発者コミュニティー・アジア担当

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従事。

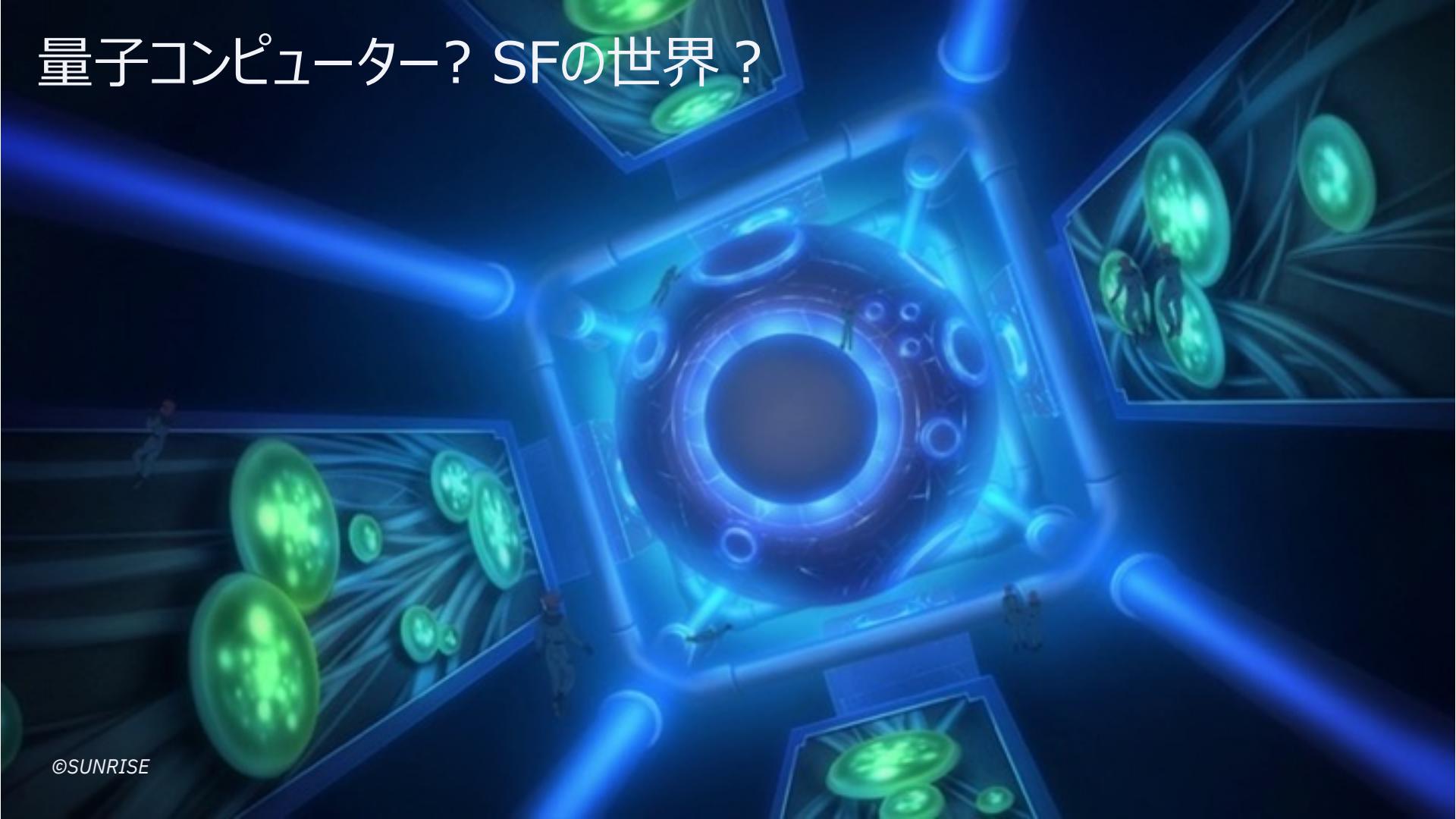




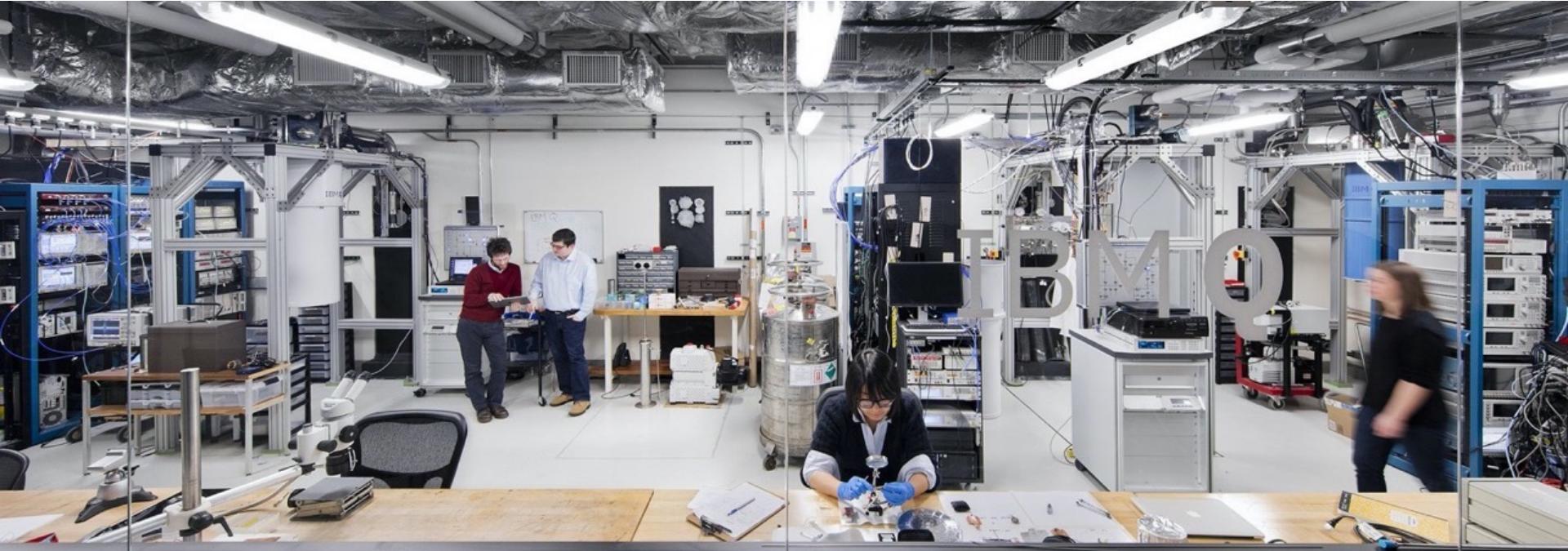
量子コンピューターに誰もがアクセスできる時代に

量子コンピューターに誰もが
アクセスできる時代に

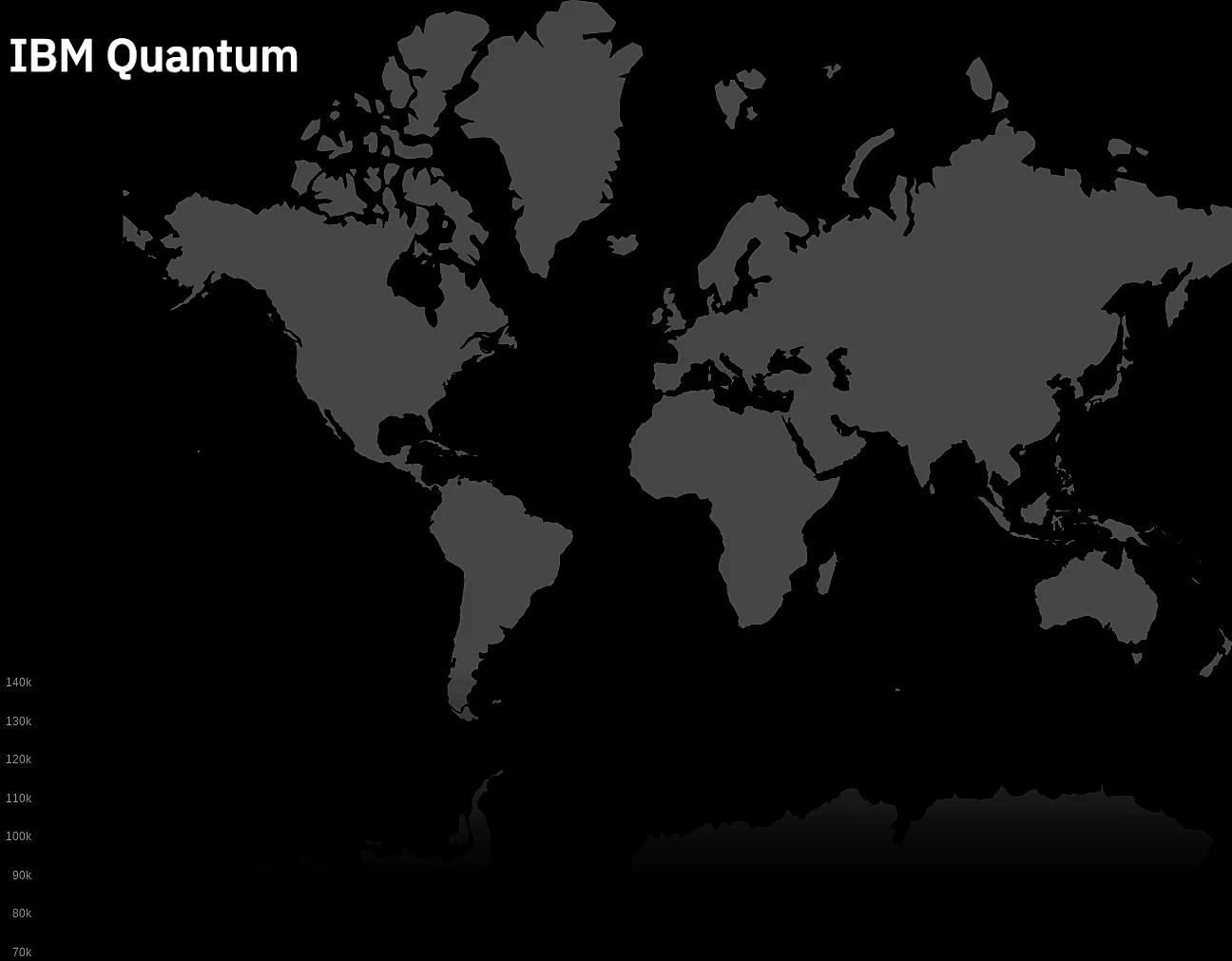
量子コンピューター？SFの世界？



IBMは量子コンピューターを世界に先駆けて
世に送り出しました。



IBM Quantum



Quantum Chips

130k

Quantum Simulators

72k

Users

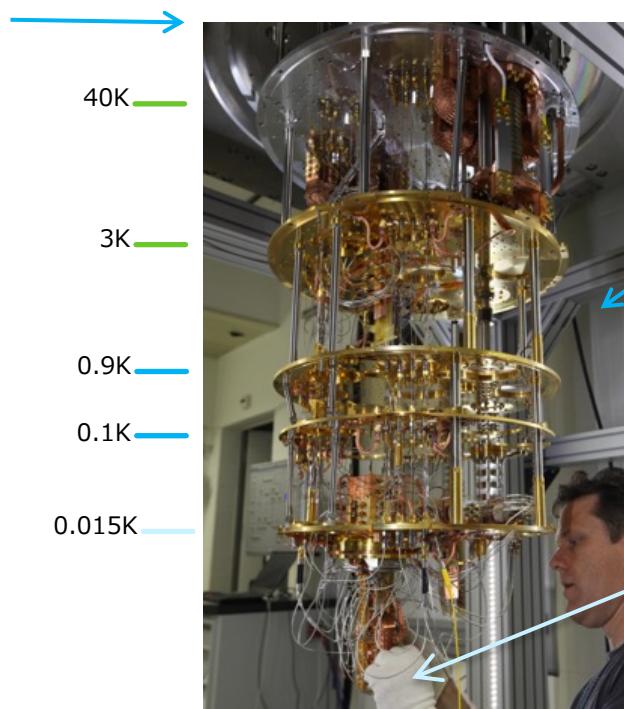
400k

Top countries

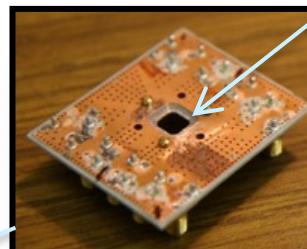
New countries

量子コンピューターの構造

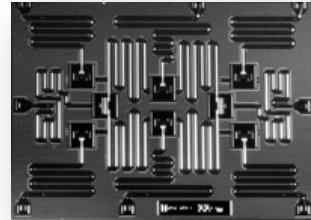
IBMの量子コンピューターの構造



宇宙マイクロ波背景放射
2.7K



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。



超電導量子ビットと共振器のチップ

^3He と ^4He の混合体によって量子ビットを15mKまで冷却する希釈冷蔵庫



2021年 新川崎・創造のもりに



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

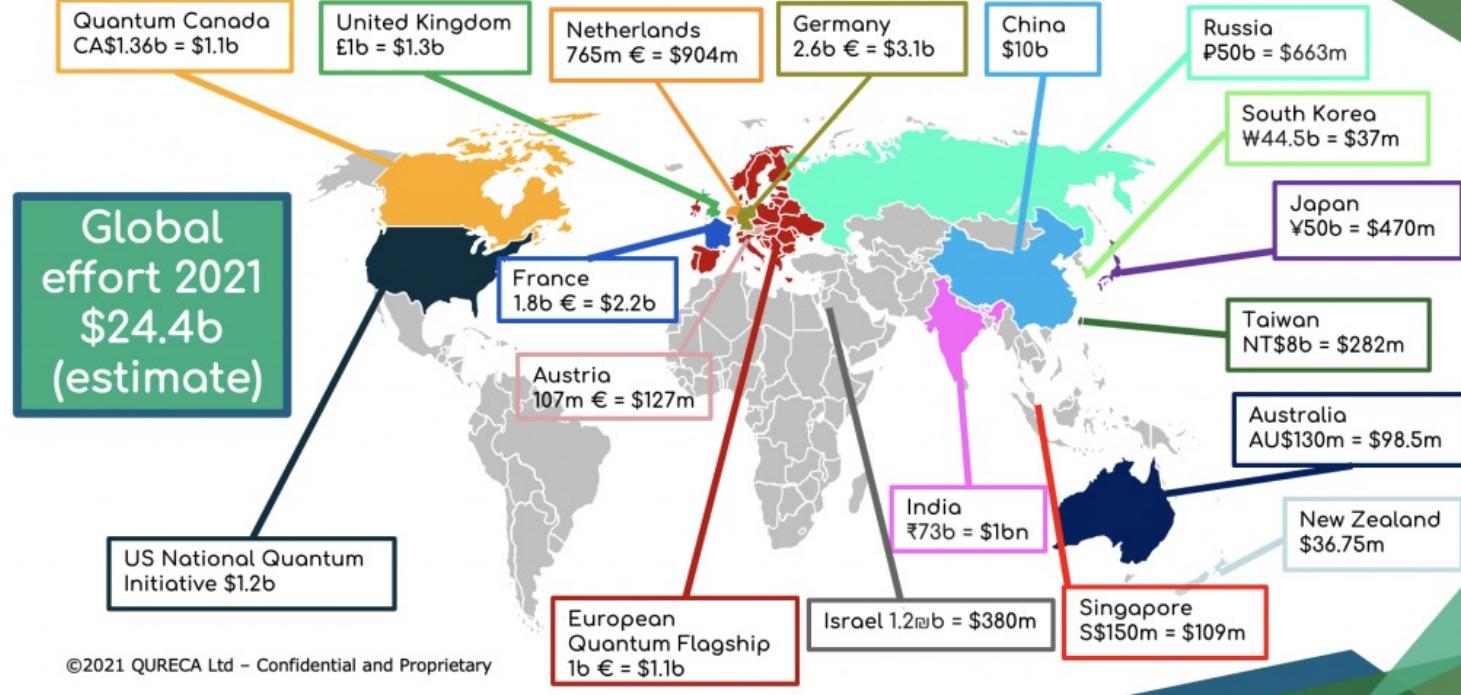


皆さんも、明日実機見学できる予定です！

世界の量子コンピューター研究開発への投資



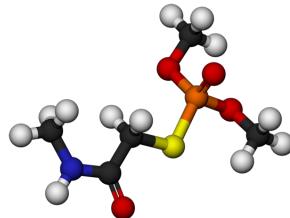
Quantum effort worldwide



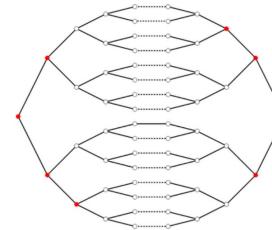
なぜここまで注目されているのか？

従来のコンピューターが苦手な分野

小さな分子のシミュレーションは
スーパーコンピューターでも困難



従来のコンピューターでは真の
乱数生成はできない



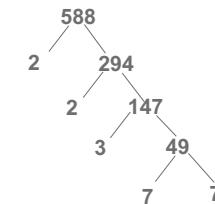
化学シミュレーション



創薬、新しい材料研究



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技術

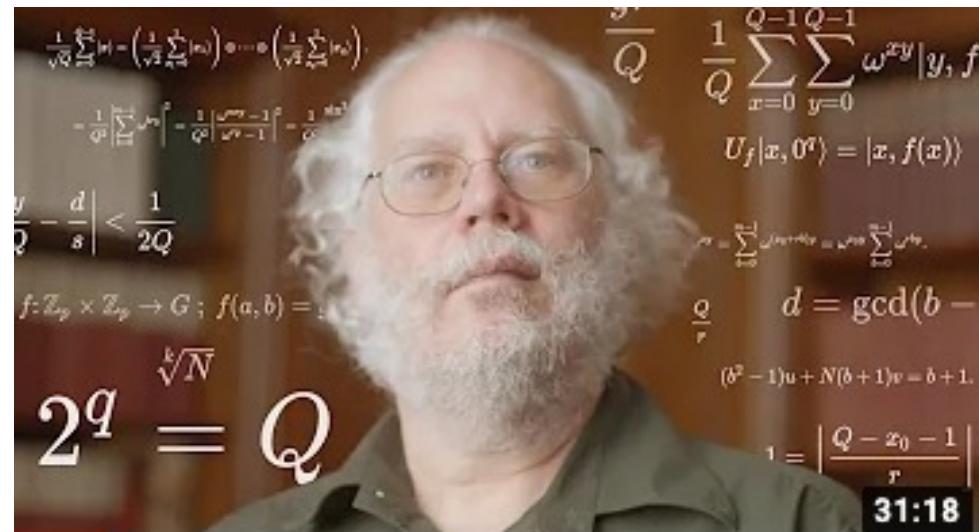


量子コンピューターが 強固なセキュリティを突破する可能性

現在のネットワークの安全性を確保するために使われている暗号のほとんどは、1970年代につくられた暗号の基本要素にさかのぼる。大きな数の因数分解は順方向には非常に簡単に実行できるが、逆方向には極めて困難な計算。

1994年、数学者のピーター・ショアは、大きな素数を古典より速く因数分解するアルゴリズムを開発した。

現在の量子コンピュータでは、ショアのアルゴリズムを使って、現在の暗号システムで使われている数字を因数分解する能力はまだない。しかし、将来より大規模な量子システムが出来たときに備えておく必要があるだろう。



新しい暗号方式の標準化に貢献

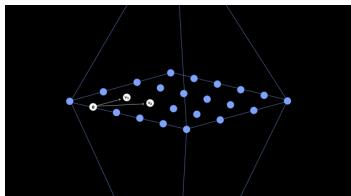
NIST Announces First Four Quantum-Resistant Cryptographic Algorithms

Federal agency reveals the first group of winners from its six-year competition.

July 05, 2022

IBM scientists help develop NIST's quantum-safe standards

The US National Institute of Standards and Technology announced the first quantum-safe cryptography protocol standards for cybersecurity in the quantum computing era.



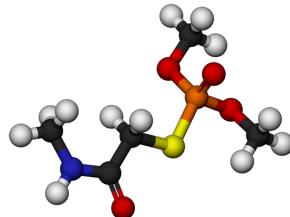
4つの暗号化アルゴリズムをアメリカ国立標準技術研究所が採択

既存の強固なセキュリティを突破する可能性がある量子コンピュータの登場に備え、アメリカ国立標準技術研究所(NIST)が4つの暗号化アルゴリズムを採択し、安全性を強化したアルゴリズム「ポスト量子暗号」として標準化に向けて調整を図っていくことを明らかにしました。

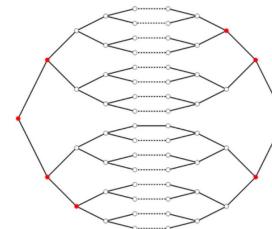
4つの暗号化アルゴリズムのうち3つはIBMが提案した標準

従来のコンピューターが苦手な分野

小さな分子のシミュレーションは
スーパーコンピューターでも困難



従来のコンピューターでは真の
乱数生成はできない



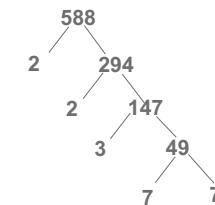
化学シミュレーション



創薬、新しい材料研究



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技術



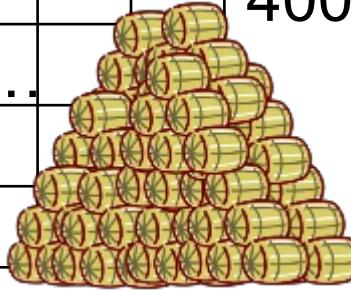
ふつうのコンピューターが
苦手な問題に共通な特徴
「倍々ゲーム」

歴史トリビア～秀吉の倍々ゲーム

0	00	000			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
やめさせて
くれ！



スマホで2の30乗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。



倍々ゲーム問題で強さを発揮する 量子コンピューター

倍々で増えていくことを数学的に表現すると....

2ⁿ

倍々で膨れあがる = 指数関数的に増加
量子コンピューターは今のコンピューターよりも
効率良くこれらの問題を解ける可能性をもっている

自然界のシミュレーションの多くは、ひとつ
変数が増えるごとに指数関数的に計算量が増大

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.”

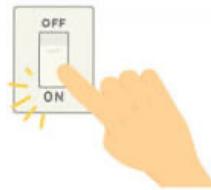
1982年 リチャード・ファインマン



倍々ゲームに対応する量子ビット

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)

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



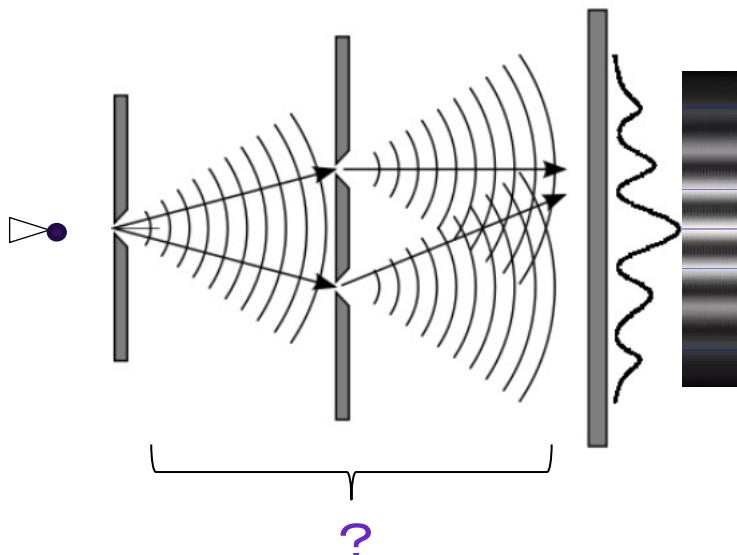
量子重ね合わせ

||

倍々ゲームに適したビット

光は粒子か波か？

光には「粒子」でも「波」でもあるという二重の性質があり、そのような性質をもつミクロの物質（素粒子、電子、原子、分子など）のことを「量子」と呼びます。



粒子の位置は観測するまでは確定せず、重ね合わせ状態を取る。
粒子を観測するとスクリーンに干渉じまがあらわれる

こうした粒子の状態を専門の数学で表現すると

$$|\text{water wave}\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \quad \text{とかける}$$

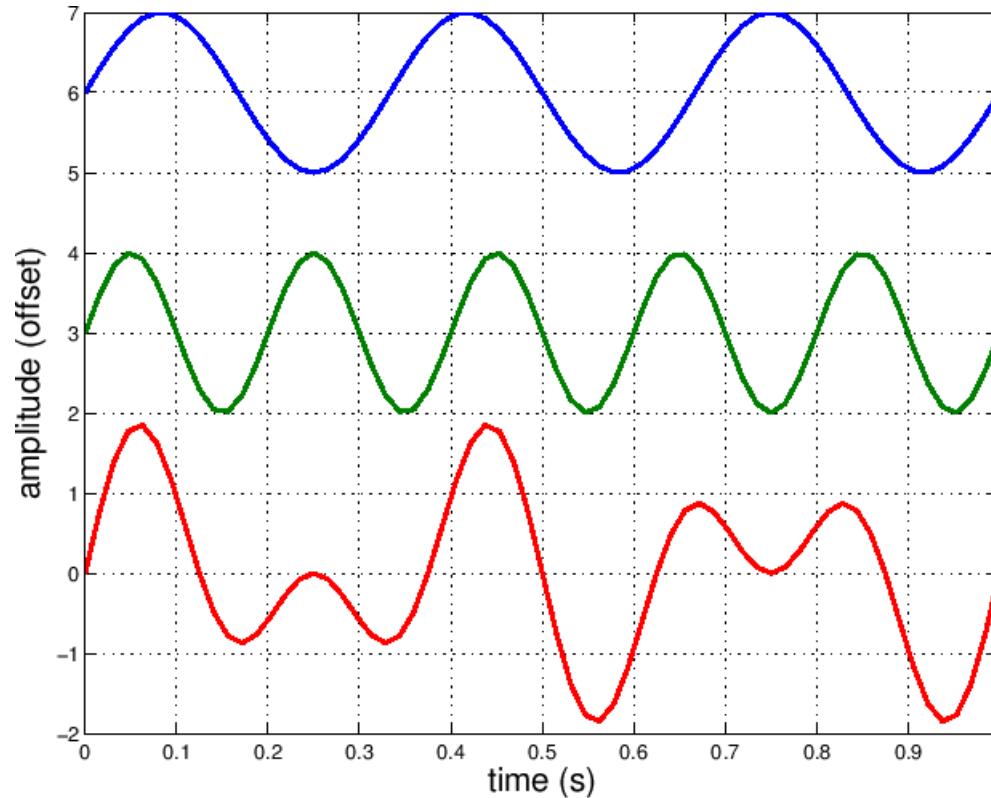
粒子がどこに存在しているかという**重み**を表現している
量子は $\alpha\%$ で0、 $\beta\%$ で1を重ね合わせで持っている
確率100%は統計学では $1.0 \Rightarrow |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.0$

例)

$$|\text{water wave}\rangle = \sqrt{0.5} |0\rangle + \sqrt{0.5} |1\rangle \rightarrow 50\% \text{ずつの確率で } |0\rangle \text{ または } |1\rangle \text{ 観測}$$

$$|\text{water wave}\rangle = \sqrt{0.7} |0\rangle + \sqrt{0.3} |1\rangle \rightarrow 70\% \text{の確率で } |0\rangle \text{ 30\% の確率で } |1\rangle \text{ 観測}$$

重ね合わせ

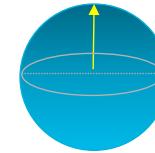
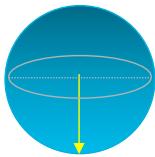


重ね合わせのメリット

量子ビットの数	状態の組合せ	扱えるデータ数	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
   	0000 0001 0010 0011 0100 0101 0110 0111 1000 1001 1010 1011 1100 1101 1110 1111	16通り	2^4

量子もつれ

量子もつれ
Entanglement

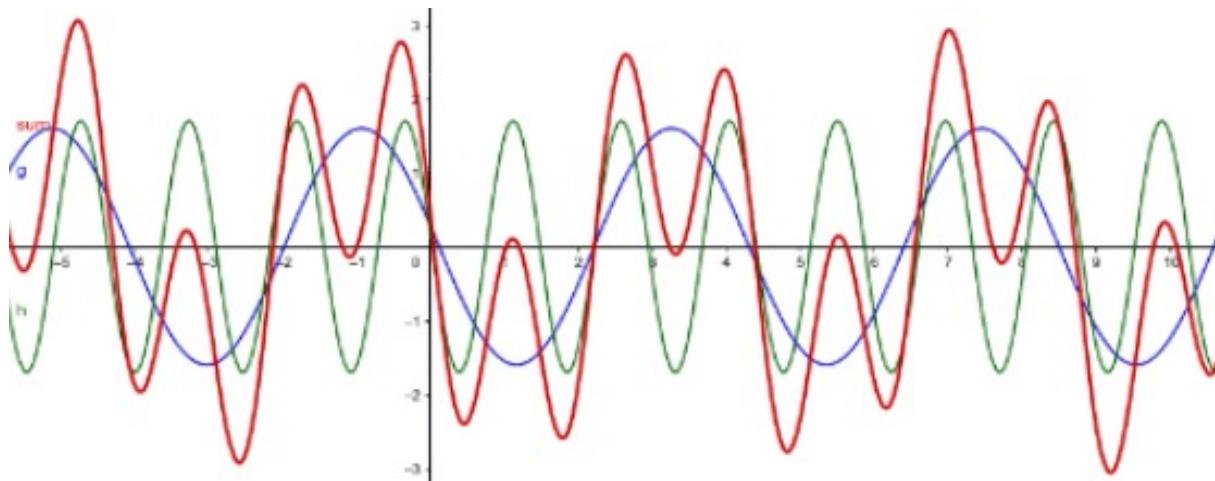


もつれ状態にある粒子は、古典の統計では説明できないほど強い相関関係にある。

一体としてふつ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



「重ね合わせ」「もつれ」「干渉」
を利用した量子計算の例
グローバーのアルゴリズム

例) 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

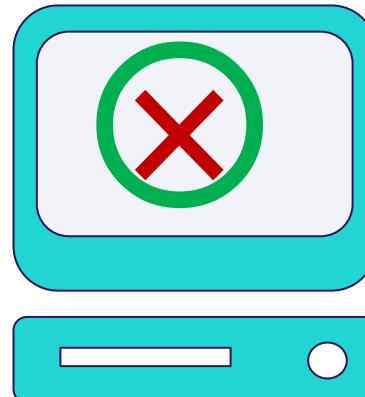
0000
0100
1000
1100

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

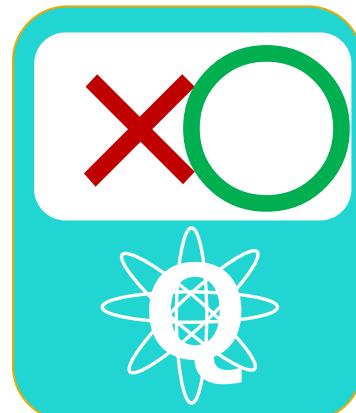
0000
0100
1000
1100

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

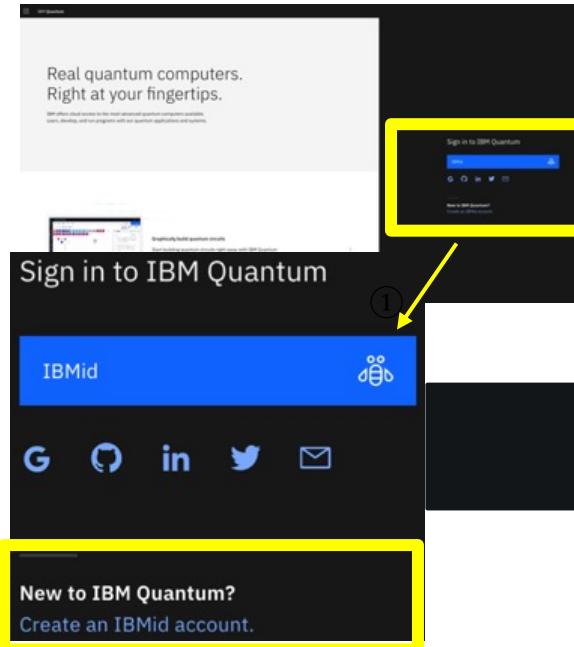
0011

グローバーのアルゴリズムをつかって
2ビットの暗号解読のプログラミングを体験
してみましょう！

IBM Quantumサイトへのアクセス方法

<https://quantum-computing.ibm.com/>

①IBM Quantumのサイトへ



②アカウント(IBMid) の作成

Already have an IBM account? [Log in](#)

Sign up for an IBMid

Access to trials, demos, starter kits, services and APIs

1. Account information

E-mail

Your email address will become your IBMid, which you'll use to log into IBM.com.

First name

Last name

Password

8 characters minimum
One lowercase character
One uppercase character
One number

Country or region of residence Japan

③ログイン後Composerを立ち上げて量子計算を試行

Welcome, YURI KOBAYASHI

IBMid linked with IBM Quantum Lab

Run quantum experiments in IBM Quantum Lab

Run on quantum systems & simulators IBM Quantum services

Recent jobs

0 Pending 195 Completed

Reservations

0

IBMid

G O in Twitter Email

New to IBM Quantum?
Create an IBMid account.

Composer docs & tutorials

Getting started

Create your first circuit walkthrough

Explore the latest updates

Quantum Composer user guide

Learn quantum computing: a field guide

Try out some circuit examples

IBM Quantum System services

IBM Quantum simulators

Glossaries

Untitled circuit

OpenQASM 2.0

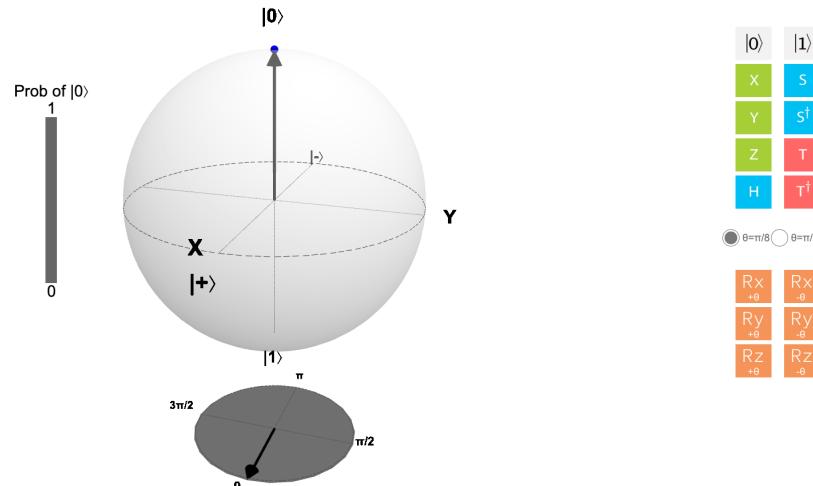
IBMid: "yuri.kobayashi"

qreg q[1];
qreg q[2];
qreg q[3];
qreg q[4];
qreg q[5];
qreg q[6];
qreg q[7];
qreg q[8];
qreg q[9];
qreg q[10];
qreg q[11];
qreg q[12];
qreg q[13];
qreg q[14];
qreg q[15];
qreg q[16];
qreg q[17];
qreg q[18];
qreg q[19];
qreg q[20];
qreg q[21];
qreg q[22];
qreg q[23];
qreg q[24];
qreg q[25];
qreg q[26];
qreg q[27];
qreg q[28];
qreg q[29];
qreg q[30];
qreg q[31];
qreg q[32];
qreg q[33];
qreg q[34];
qreg q[35];
qreg q[36];
qreg q[37];
qreg q[38];
qreg q[39];
qreg q[40];
qreg q[41];
qreg q[42];
qreg q[43];
qreg q[44];
qreg q[45];
qreg q[46];
qreg q[47];
qreg q[48];
qreg q[49];
qreg q[50];
qreg q[51];
qreg q[52];
qreg q[53];
qreg q[54];
qreg q[55];
qreg q[56];
qreg q[57];
qreg q[58];
qreg q[59];
qreg q[60];
qreg q[61];
qreg q[62];
qreg q[63];
qreg q[64];
qreg q[65];
qreg q[66];
qreg q[67];
qreg q[68];
qreg q[69];
qreg q[70];
qreg q[71];
qreg q[72];
qreg q[73];
qreg q[74];
qreg q[75];
qreg q[76];
qreg q[77];
qreg q[78];
qreg q[79];
qreg q[80];
qreg q[81];
qreg q[82];
qreg q[83];
qreg q[84];
qreg q[85];
qreg q[86];
qreg q[87];
qreg q[88];
qreg q[89];
qreg q[90];
qreg q[91];
qreg q[92];
qreg q[93];
qreg q[94];
qreg q[95];
qreg q[96];
qreg q[97];
qreg q[98];
qreg q[99];
qreg q[100];
qreg q[101];
qreg q[102];
qreg q[103];
qreg q[104];
qreg q[105];
qreg q[106];
qreg q[107];
qreg q[108];
qreg q[109];
qreg q[110];
qreg q[111];
qreg q[112];
qreg q[113];
qreg q[114];
qreg q[115];
qreg q[116];
qreg q[117];
qreg q[118];
qreg q[119];
qreg q[120];
qreg q[121];
qreg q[122];
qreg q[123];
qreg q[124];
qreg q[125];
qreg q[126];
qreg q[127];
qreg q[128];
qreg q[129];
qreg q[130];
qreg q[131];
qreg q[132];
qreg q[133];
qreg q[134];
qreg q[135];
qreg q[136];
qreg q[137];
qreg q[138];
qreg q[139];
qreg q[140];
qreg q[141];
qreg q[142];
qreg q[143];
qreg q[144];
qreg q[145];
qreg q[146];
qreg q[147];
qreg q[148];
qreg q[149];
qreg q[150];
qreg q[151];
qreg q[152];
qreg q[153];
qreg q[154];
qreg q[155];
qreg q[156];
qreg q[157];
qreg q[158];
qreg q[159];
qreg q[160];
qreg q[161];
qreg q[162];
qreg q[163];
qreg q[164];
qreg q[165];
qreg q[166];
qreg q[167];
qreg q[168];
qreg q[169];
qreg q[170];
qreg q[171];
qreg q[172];
qreg q[173];
qreg q[174];
qreg q[175];
qreg q[176];
qreg q[177];
qreg q[178];
qreg q[179];
qreg q[180];
qreg q[181];
qreg q[182];
qreg q[183];
qreg q[184];
qreg q[185];
qreg q[186];
qreg q[187];
qreg q[188];
qreg q[189];
qreg q[190];
qreg q[191];
qreg q[192];
qreg q[193];
qreg q[194];
qreg q[195];
qreg q[196];
qreg q[197];
qreg q[198];
qreg q[199];
qreg q[200];
qreg q[201];
qreg q[202];
qreg q[203];
qreg q[204];
qreg q[205];
qreg q[206];
qreg q[207];
qreg q[208];
qreg q[209];
qreg q[210];
qreg q[211];
qreg q[212];
qreg q[213];
qreg q[214];
qreg q[215];
qreg q[216];
qreg q[217];
qreg q[218];
qreg q[219];
qreg q[220];
qreg q[221];
qreg q[222];
qreg q[223];
qreg q[224];
qreg q[225];
qreg q[226];
qreg q[227];
qreg q[228];
qreg q[229];
qreg q[230];
qreg q[231];
qreg q[232];
qreg q[233];
qreg q[234];
qreg q[235];
qreg q[236];
qreg q[237];
qreg q[238];
qreg q[239];
qreg q[240];
qreg q[241];
qreg q[242];
qreg q[243];
qreg q[244];
qreg q[245];
qreg q[246];
qreg q[247];
qreg q[248];
qreg q[249];
qreg q[250];
qreg q[251];
qreg q[252];
qreg q[253];
qreg q[254];
qreg q[255];
qreg q[256];
qreg q[257];
qreg q[258];
qreg q[259];
qreg q[260];
qreg q[261];
qreg q[262];
qreg q[263];
qreg q[264];
qreg q[265];
qreg q[266];
qreg q[267];
qreg q[268];
qreg q[269];
qreg q[270];
qreg q[271];
qreg q[272];
qreg q[273];
qreg q[274];
qreg q[275];
qreg q[276];
qreg q[277];
qreg q[278];
qreg q[279];
qreg q[280];
qreg q[281];
qreg q[282];
qreg q[283];
qreg q[284];
qreg q[285];
qreg q[286];
qreg q[287];
qreg q[288];
qreg q[289];
qreg q[290];
qreg q[291];
qreg q[292];
qreg q[293];
qreg q[294];
qreg q[295];
qreg q[296];
qreg q[297];
qreg q[298];
qreg q[299];
qreg q[300];
qreg q[301];
qreg q[302];
qreg q[303];
qreg q[304];
qreg q[305];
qreg q[306];
qreg q[307];
qreg q[308];
qreg q[309];
qreg q[310];
qreg q[311];
qreg q[312];
qreg q[313];
qreg q[314];
qreg q[315];
qreg q[316];
qreg q[317];
qreg q[318];
qreg q[319];
qreg q[320];
qreg q[321];
qreg q[322];
qreg q[323];
qreg q[324];
qreg q[325];
qreg q[326];
qreg q[327];
qreg q[328];
qreg q[329];
qreg q[330];
qreg q[331];
qreg q[332];
qreg q[333];
qreg q[334];
qreg q[335];
qreg q[336];
qreg q[337];
qreg q[338];
qreg q[339];
qreg q[340];
qreg q[341];
qreg q[342];
qreg q[343];
qreg q[344];
qreg q[345];
qreg q[346];
qreg q[347];
qreg q[348];
qreg q[349];
qreg q[350];
qreg q[351];
qreg q[352];
qreg q[353];
qreg q[354];
qreg q[355];
qreg q[356];
qreg q[357];
qreg q[358];
qreg q[359];
qreg q[360];
qreg q[361];
qreg q[362];
qreg q[363];
qreg q[364];
qreg q[365];
qreg q[366];
qreg q[367];
qreg q[368];
qreg q[369];
qreg q[370];
qreg q[371];
qreg q[372];
qreg q[373];
qreg q[374];
qreg q[375];
qreg q[376];
qreg q[377];
qreg q[378];
qreg q[379];
qreg q[380];
qreg q[381];
qreg q[382];
qreg q[383];
qreg q[384];
qreg q[385];
qreg q[386];
qreg q[387];
qreg q[388];
qreg q[389];
qreg q[390];
qreg q[391];
qreg q[392];
qreg q[393];
qreg q[394];
qreg q[395];
qreg q[396];
qreg q[397];
qreg q[398];
qreg q[399];
qreg q[400];
qreg q[401];
qreg q[402];
qreg q[403];
qreg q[404];
qreg q[405];
qreg q[406];
qreg q[407];
qreg q[408];
qreg q[409];
qreg q[410];
qreg q[411];
qreg q[412];
qreg q[413];
qreg q[414];
qreg q[415];
qreg q[416];
qreg q[417];
qreg q[418];
qreg q[419];
qreg q[420];
qreg q[421];
qreg q[422];
qreg q[423];
qreg q[424];
qreg q[425];
qreg q[426];
qreg q[427];
qreg q[428];
qreg q[429];
qreg q[430];
qreg q[431];
qreg q[432];
qreg q[433];
qreg q[434];
qreg q[435];
qreg q[436];
qreg q[437];
qreg q[438];
qreg q[439];
qreg q[440];
qreg q[441];
qreg q[442];
qreg q[443];
qreg q[444];
qreg q[445];
qreg q[446];
qreg q[447];
qreg q[448];
qreg q[449];
qreg q[450];
qreg q[451];
qreg q[452];
qreg q[453];
qreg q[454];
qreg q[455];
qreg q[456];
qreg q[457];
qreg q[458];
qreg q[459];
qreg q[460];
qreg q[461];
qreg q[462];
qreg q[463];
qreg q[464];
qreg q[465];
qreg q[466];
qreg q[467];
qreg q[468];
qreg q[469];
qreg q[470];
qreg q[471];
qreg q[472];
qreg q[473];
qreg q[474];
qreg q[475];
qreg q[476];
qreg q[477];
qreg q[478];
qreg q[479];
qreg q[480];
qreg q[481];
qreg q[482];
qreg q[483];
qreg q[484];
qreg q[485];
qreg q[486];
qreg q[487];
qreg q[488];
qreg q[489];
qreg q[490];
qreg q[491];
qreg q[492];
qreg q[493];
qreg q[494];
qreg q[495];
qreg q[496];
qreg q[497];
qreg q[498];
qreg q[499];
qreg q[500];
qreg q[501];
qreg q[502];
qreg q[503];
qreg q[504];
qreg q[505];
qreg q[506];
qreg q[507];
qreg q[508];
qreg q[509];
qreg q[510];
qreg q[511];
qreg q[512];
qreg q[513];
qreg q[514];
qreg q[515];
qreg q[516];
qreg q[517];
qreg q[518];
qreg q[519];
qreg q[520];
qreg q[521];
qreg q[522];
qreg q[523];
qreg q[524];
qreg q[525];
qreg q[526];
qreg q[527];
qreg q[528];
qreg q[529];
qreg q[530];
qreg q[531];
qreg q[532];
qreg q[533];
qreg q[534];
qreg q[535];
qreg q[536];
qreg q[537];
qreg q[538];
qreg q[539];
qreg q[540];
qreg q[541];
qreg q[542];
qreg q[543];
qreg q[544];
qreg q[545];
qreg q[546];
qreg q[547];
qreg q[548];
qreg q[549];
qreg q[550];
qreg q[551];
qreg q[552];
qreg q[553];
qreg q[554];
qreg q[555];
qreg q[556];
qreg q[557];
qreg q[558];
qreg q[559];
qreg q[560];
qreg q[561];
qreg q[562];
qreg q[563];
qreg q[564];
qreg q[565];
qreg q[566];
qreg q[567];
qreg q[568];
qreg q[569];
qreg q[570];
qreg q[571];
qreg q[572];
qreg q[573];
qreg q[574];
qreg q[575];
qreg q[576];
qreg q[577];
qreg q[578];
qreg q[579];
qreg q[580];
qreg q[581];
qreg q[582];
qreg q[583];
qreg q[584];
qreg q[585];
qreg q[586];
qreg q[587];
qreg q[588];
qreg q[589];
qreg q[590];
qreg q[591];
qreg q[592];
qreg q[593];
qreg q[594];
qreg q[595];
qreg q[596];
qreg q[597];
qreg q[598];
qreg q[599];
qreg q[600];
qreg q[601];
qreg q[602];
qreg q[603];
qreg q[604];
qreg q[605];
qreg q[606];
qreg q[607];
qreg q[608];
qreg q[609];
qreg q[610];
qreg q[611];
qreg q[612];
qreg q[613];
qreg q[614];
qreg q[615];
qreg q[616];
qreg q[617];
qreg q[618];
qreg q[619];
qreg q[620];
qreg q[621];
qreg q[622];
qreg q[623];
qreg q[624];
qreg q[625];
qreg q[626];
qreg q[627];
qreg q[628];
qreg q[629];
qreg q[630];
qreg q[631];
qreg q[632];
qreg q[633];
qreg q[634];
qreg q[635];
qreg q[636];
qreg q[637];
qreg q[638];
qreg q[639];
qreg q[640];
qreg q[641];
qreg q[642];
qreg q[643];
qreg q[644];
qreg q[645];
qreg q[646];
qreg q[647];
qreg q[648];
qreg q[649];
qreg q[650];
qreg q[651];
qreg q[652];
qreg q[653];
qreg q[654];
qreg q[655];
qreg q[656];
qreg q[657];
qreg q[658];
qreg q[659];
qreg q[660];
qreg q[661];
qreg q[662];
qreg q[663];
qreg q[664];
qreg q[665];
qreg q[666];
qreg q[667];
qreg q[668];
qreg q[669];
qreg q[670];
qreg q[671];
qreg q[672];
qreg q[673];
qreg q[674];
qreg q[675];
qreg q[676];
qreg q[677];
qreg q[678];
qreg q[679];
qreg q[680];
qreg q[681];
qreg q[682];
qreg q[683];
qreg q[684];
qreg q[685];
qreg q[686];
qreg q[687];
qreg q[688];
qreg q[689];
qreg q[690];
qreg q[691];
qreg q[692];
qreg q[693];
qreg q[694];
qreg q[695];
qreg q[696];
qreg q[697];
qreg q[698];
qreg q[699];
qreg q[700];
qreg q[701];
qreg q[702];
qreg q[703];
qreg q[704];
qreg q[705];
qreg q[706];
qreg q[707];
qreg q[708];
qreg q[709];
qreg q[710];
qreg q[711];
qreg q[712];
qreg q[713];
qreg q[714];
qreg q[715];
qreg q[716];
qreg q[717];
qreg q[718];
qreg q[719];
qreg q[720];
qreg q[721];
qreg q[722];
qreg q[723];
qreg q[724];
qreg q[725];
qreg q[726];
qreg q[727];
qreg q[728];
qreg q[729];
qreg q[730];
qreg q[731];
qreg q[732];
qreg q[733];
qreg q[734];
qreg q[735];
qreg q[736];
qreg q[737];
qreg q[738];
qreg q[739];
qreg q[740];
qreg q[741];
qreg q[742];
qreg q[743];
qreg q[744];
qreg q[745];
qreg q[746];
qreg q[747];
qreg q[748];
qreg q[749];
qreg q[750];
qreg q[751];
qreg q[752];
qreg q[753];
qreg q[754];
qreg q[755];
qreg q[756];
qreg q[757];
qreg q[758];
qreg q[759];
qreg q[760];
qreg q[761];
qreg q[762];
qreg q[763];
qreg q[764];
qreg q[765];
qreg q[766];
qreg q[767];
qreg q[768];
qreg q[769];
qreg q[770];
qreg q[771];
qreg q[772];
qreg q[773];
qreg q[774];
qreg q[775];
qreg q[776];
qreg q[777];
qreg q[778];
qreg q[779];
qreg q[780];
qreg q[781];
qreg q[782];
qreg q[783];
qreg q[784];
qreg q[785];
qreg q[786];
qreg q[787];
qreg q[788];
qreg q[789];
qreg q[790];
qreg q[791];
qreg q[792];
qreg q[793];
qreg q[794];
qreg q[795];
qreg q[796];
qreg q[797];
qreg q[798];
qreg q[799];
qreg q[800];
qreg q[801];
qreg q[802];
qreg q[803];
qreg q[804];
qreg q[805];
qreg q[806];
qreg q[807];
qreg q[808];
qreg q[809];
qreg q[810];
qreg q[811];
qreg q[812];
qreg q[813];
qreg q[814];
qreg q[815];
qreg q[816];
qreg q[817];
qreg q[818];
qreg q[819];
qreg q[820];
qreg q[821];
qreg q[822];
qreg q[823];
qreg q[824];
qreg q[825];
qreg q[826];
qreg q[827];
qreg q[828];
qreg q[829];
qreg q[830];
qreg q[831];
qreg q[832];
qreg q[833];
qreg q[834];
qreg q[835];
qreg q[836];
qreg q[837];
qreg q[838];
qreg q[839];
qreg q[840];
qreg q[841];
qreg q[842];
qreg q[843];
qreg q[844];
qreg q[845];
qreg q[846];
qreg q[847];
qreg q[848];
qreg q[849];
qreg q[850];
qreg q[851];
qreg q[852];
qreg q[853];
qreg q[854];
qreg q[855];
qreg q[856];
qreg q[857];
qreg q[858];
qreg q[859];
qreg q[860];
qreg q[861];
qreg q[862];
qreg q[863];
qreg q[864];
qreg q[865];
qreg q[866];
qreg q[867];
qreg q[868];
qreg q[869];
qreg q[870];
qreg q[871];
qreg q[872];
qreg q[873];
qreg q[874];
qreg q[875];
qreg q[876];
qreg q[877];
qreg q[878];
qreg q[879];
qreg q[880];
qreg q[881];
qreg q[882];
qreg q[883];
qreg q[884];
qreg q[885];
qreg q[886];
qreg q[887];
qreg q[888];
qreg q[889];
qreg q[890];
qreg q[891];
qreg q[892];
qreg q[893];
qreg q[894];
qreg q[895];
qreg q[896];
qreg q[897];
qreg q[898];
qreg q[899];
qreg q[900];
qreg q[901];
qreg q[902];
qreg q[903];
qreg q[904];
qreg q[905];
qreg q[906];
qreg q[907];
qreg q[908];
qreg q[909];
qreg q[910];
qreg q[911];
qreg q[912];
qreg q[913];
qreg q[914];
qreg q[915];
qreg q[916];
qreg q[917];
qreg q[918];
qreg q[919];
qreg q[920];
qreg q[921];
qreg q[922];
qreg q[923];
qreg q[924];
qreg q[925];
qreg q[926];
qreg q[927];
qreg q[928];
qreg q[929];
qreg q[930];
qreg q[931];
qreg q[932];
qreg q[933];
qreg q[934];
qreg q[935];
qreg q[936];
qreg q[937];
qreg q[938];
qreg q[939];
qreg q[940];
qreg q[941];
qreg q[942];
qreg q[943];
qreg q[944];
qreg q[945];
qreg q[946];
qreg q[947];
qreg q[948];
qreg q[949];
qreg q[950];
qreg q[951];
qreg q[952];
qreg q[953];
qreg q[954];
qreg q[955];
qreg q[956];
qreg q[957];
qreg q[958];
qreg q[959];
qreg q[960];
qreg q[961];
qreg q[962];
qreg q[963];
qreg q[964];
qreg q[965];
qreg q[966];
qreg q[967];
qreg q[968];
qreg q[969];
qreg q[970];
qreg q[971];
qreg q[972];
qreg q[973];
qreg q[974];
qreg q[975];
qreg q[976];
qreg q[977];
qreg q[978];
qreg q[979];
qreg q[980];
qreg q[981];
qreg q[982];
qreg q[983];
qreg q[984];
qreg q[985];
qreg q[986];
qreg q[987];
qreg q[988];
qreg q[989];
qreg q[990];
qreg q[991];
qreg q[992];
qreg q[993];
qreg q[994];
qreg q[995];
qreg q[996];
qreg q[997];
qreg q[998];
qreg q[999];
qreg q[1000];
qreg q[1001];
qreg q[1002];
qreg q[1003];
qreg q[1004];
qreg q[1005];
qreg q[1006];
qreg q[1007];
qreg q[1008];
qreg q[1009];
qreg q[1010];
qreg q[1011];
qreg q[1012];
qreg q[1013];
qreg q[1014];
qreg q[1015];
qreg q[1016];
qreg q[1017];
qreg q[1018];
qreg q[1019];
qreg q[1020];
qreg q[1021];
qreg q[1022];
qreg q[1023];
qreg q[1024];
qreg q[1025];
qreg q[1026];
qreg q[1027];
qreg q[1028];
qreg q[1029];
qreg q[1030];
qreg q[1031];
qreg q[1032];
qreg q[1033];
qreg q[1034];
qreg q[1035];
qreg q[1036];
qreg q[1037];
qreg q[1038];
qreg q[1039];
qreg q[1040];
qreg q[1041];
qreg q[1042];
qreg q[1043];
qreg q[1044];
qreg q

量子状態はベクトルとして表現できる

プロッホ球・・・量子状態を視覚的に理解するための球体モデル

$$|\psi\rangle = \sqrt{1.00} |0\rangle + (\sqrt{0.00}) e^{i\theta} |1\rangle$$

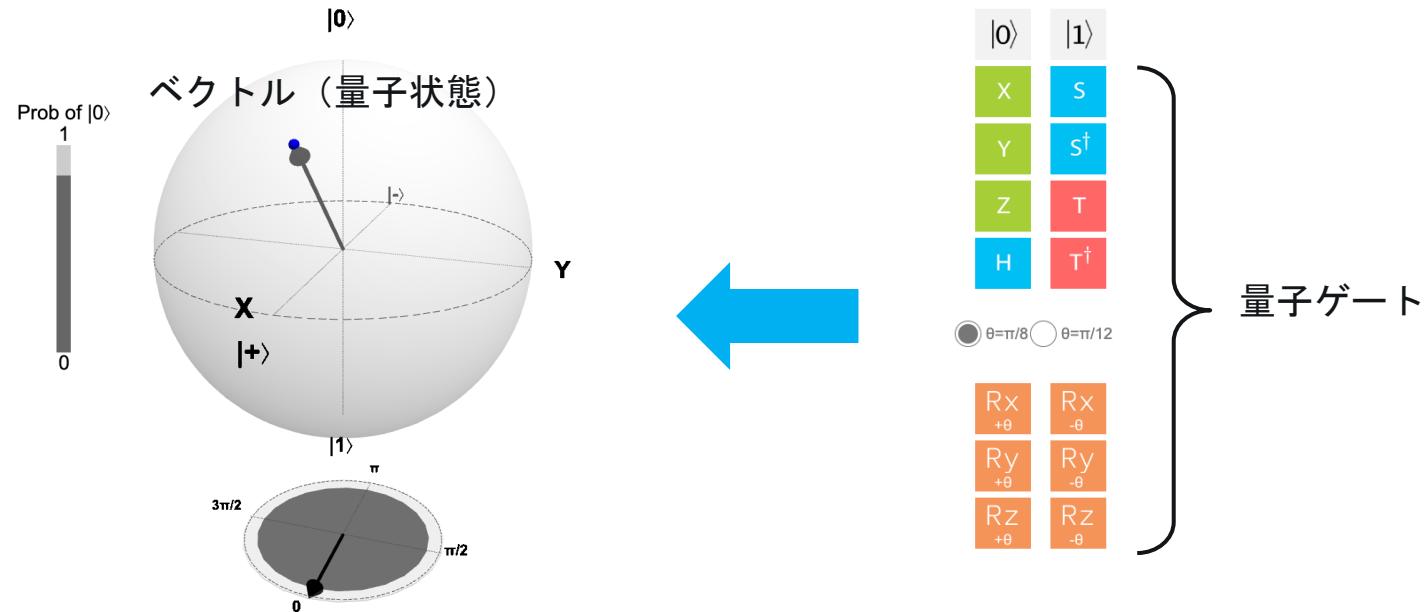


ジム・ウィーバーさんが
つくりました！

<https://javafxpert.github.io/grok-bloch/>

量子ゲートとは？

プロッホ球上のベクトル（量子状態）を操作してくれるもの



<https://javafxpert.github.io/grok-bloch/>

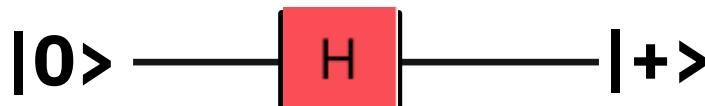
量子ゲートとは？



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

パズルのルールだと
思って覚えて
しまいましょう！

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + |1\rangle)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle - |1\rangle)$$

$$|\Psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \quad \text{とかける}$$

Hゲート

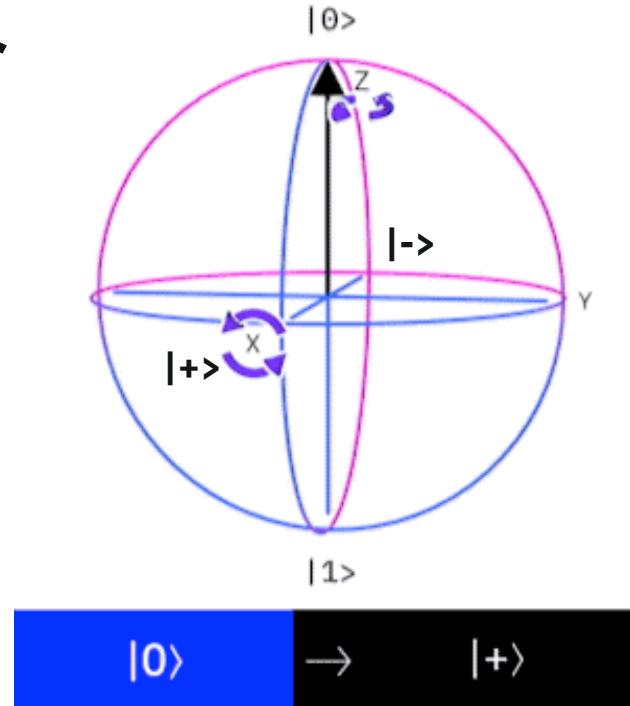
重ね合わせをつくるゲート



アダマールゲート



アダマールゲート



Xゲート

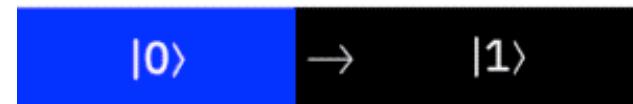
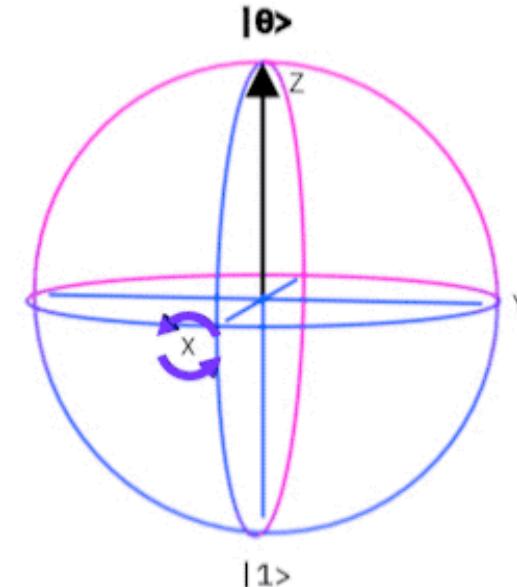
$|0\rangle \leftrightarrow |1\rangle$ に反転するゲート



ノット（反転）ゲート



ノット（反転）ゲート



Zゲート

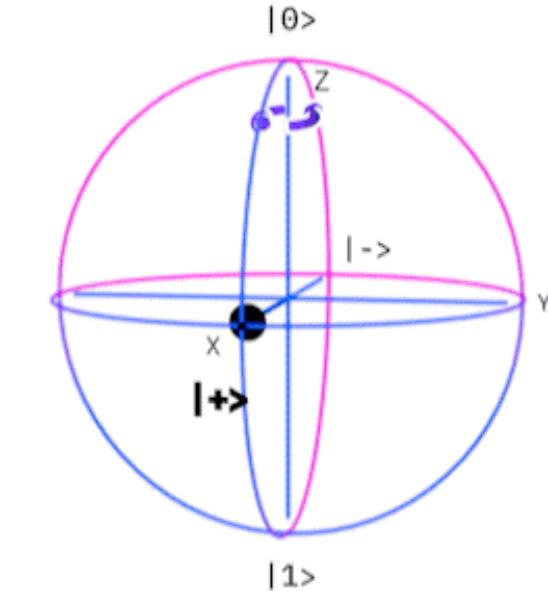
$|+\rangle \leftrightarrow |-\rangle$ に反転するゲート



Z(位相反転ゲート)



Z(位相反転ゲート)



グロバーのアルゴリズム

①

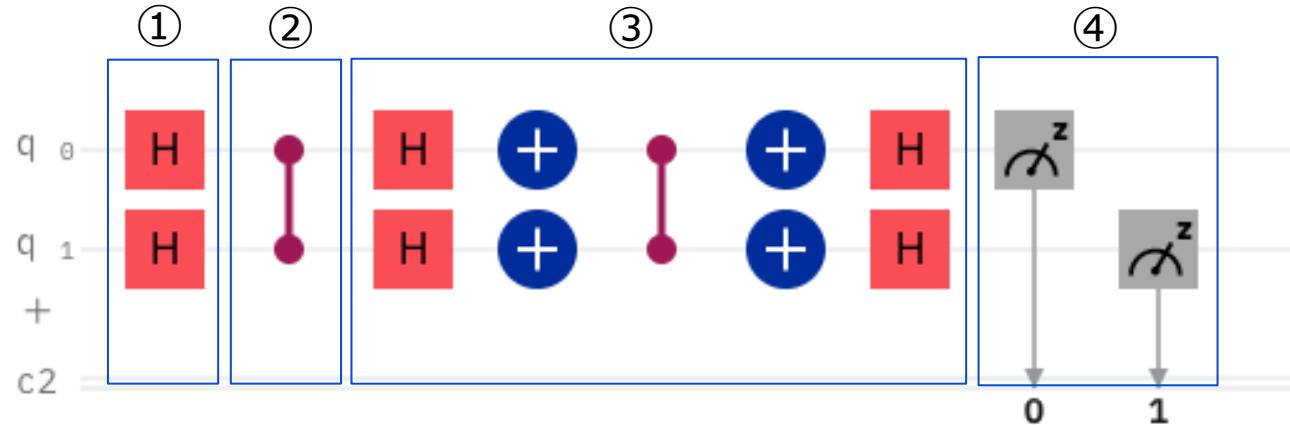
量子ビットは
 $|0\rangle$ に初期化
されています

②

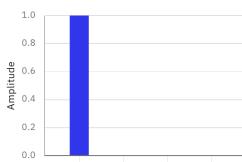
③

④

④

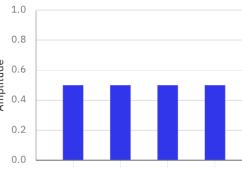


① 初期状態

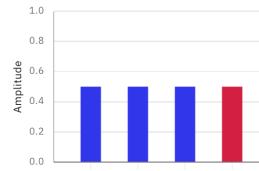


初期状態
00の状態が1.0
を表すヒストグラム

② 重ね合わせ



③ 位相反転



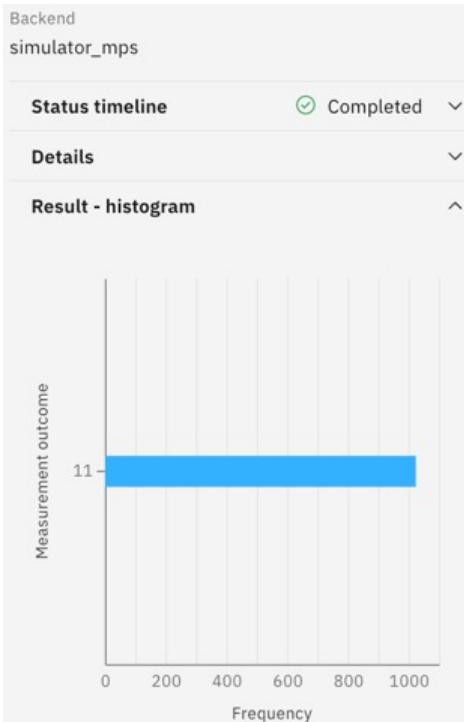
④ 干渉による
波の振幅の増幅



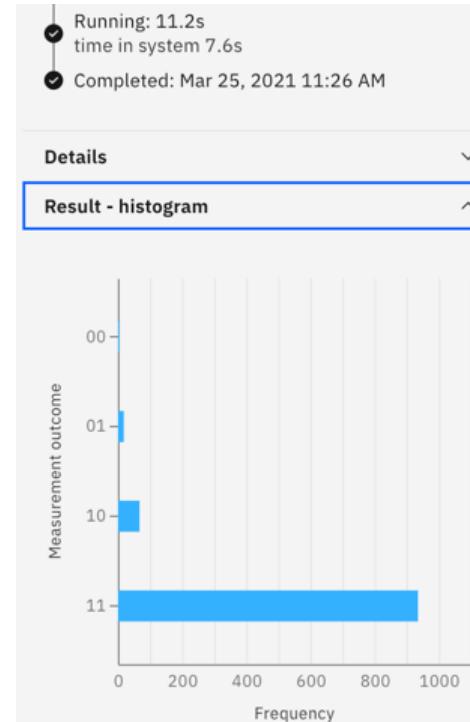
④ 測定

測定して結果
を読み出す

量子コンピューターで計算して結果



量子シミュレーターの結果(simulator_mps)



実機の結果(ibmq_santiago)

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

NISQ:

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 ✓	2020 ✓	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

量子サーバーレス

機械学習 | 自然科学 | 最適化

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

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

システムモジュール性

Falcon
27 qubits

Hummingbird
65 qubits

Eagle
127 qubits

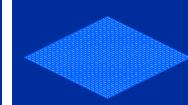
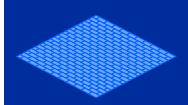
Osprey
433 qubits

Condor
1,121 qubits

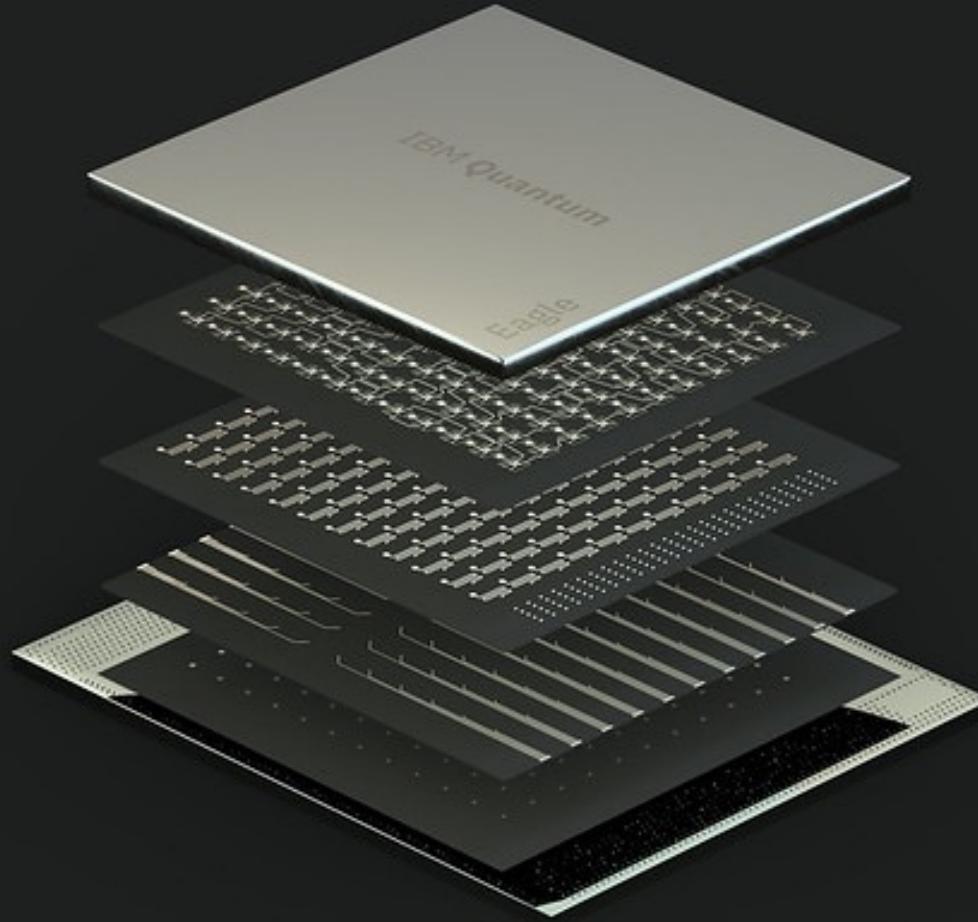
Flamingo
1,386+ qubits

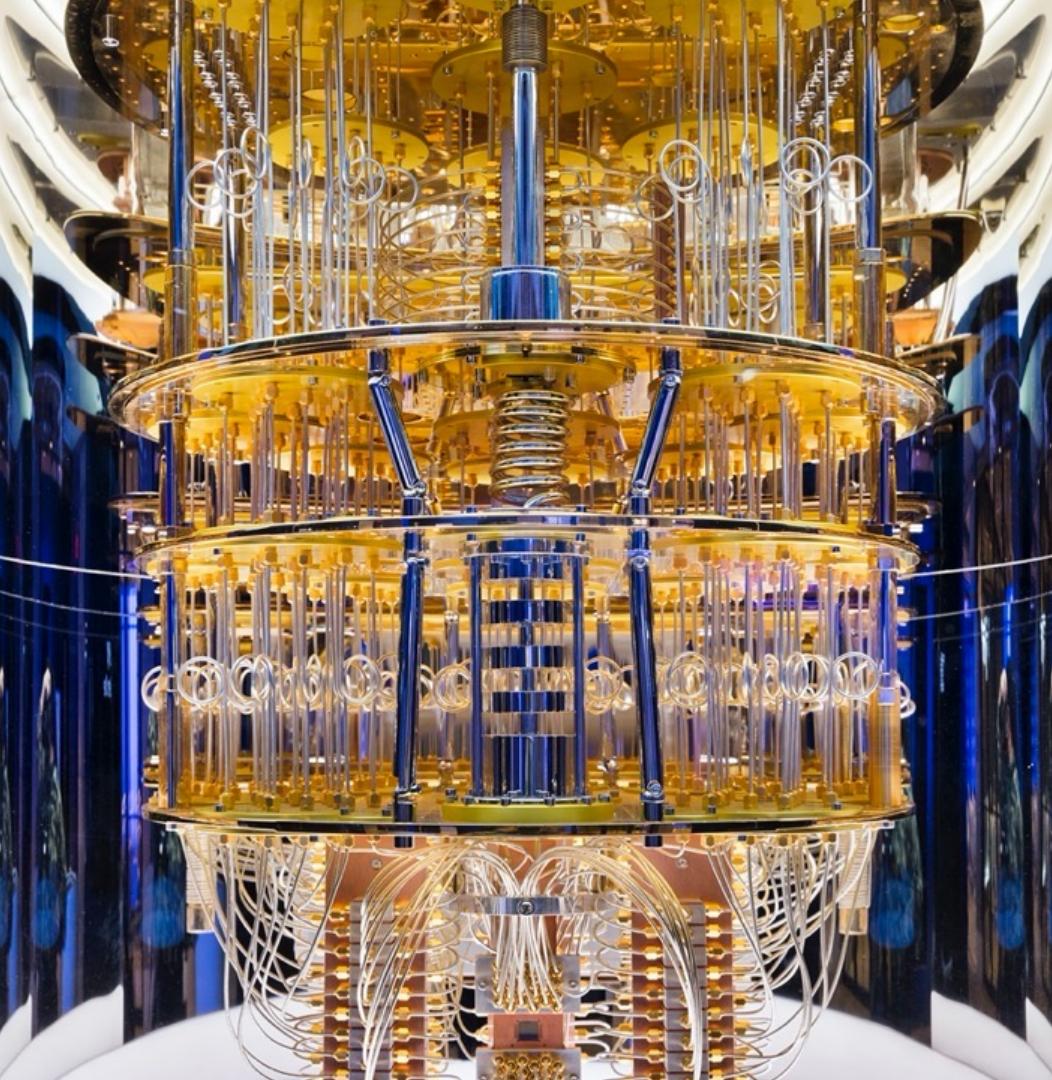
Kookaburra
4,158+ qubits

古典通信と量子通信で10K-100K qubitsに拡張



Eagle 127 qubits

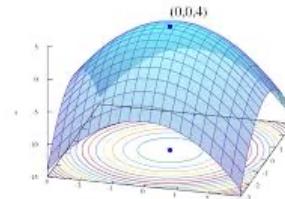






期待される量子コンピューターの応用分野

- ・新しい材料、創薬の開発
- ・金融計算
- ・最適化問題
- ・AI・機械学習



明日の午後と3日目にこれら応用分野についてもっと詳しく学びます！



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、効率良く解を導出します
- 黎明期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**、金融、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！

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



IBM Quantumで学ぶ量子コンピュータ
PythonとQiskitでプログラミング



Thank you

Quantum Tokyo

<https://www.youtube.com/c/QuantumTokyoo>

Qiskit Textbook 日本語訳

<https://qiskit.org/textbook/ja/preface.html>

Qiskit.org

<https://qiskit.org/>

IBM Quantum

<https://quantum-computing.ibm.com/>