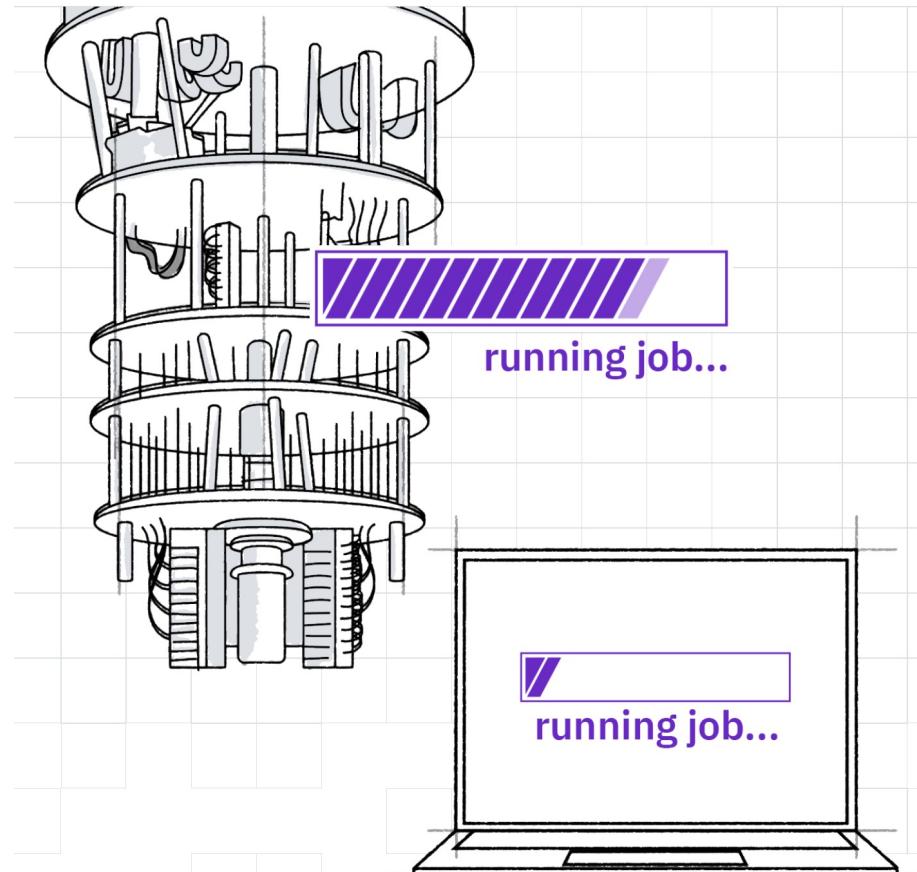


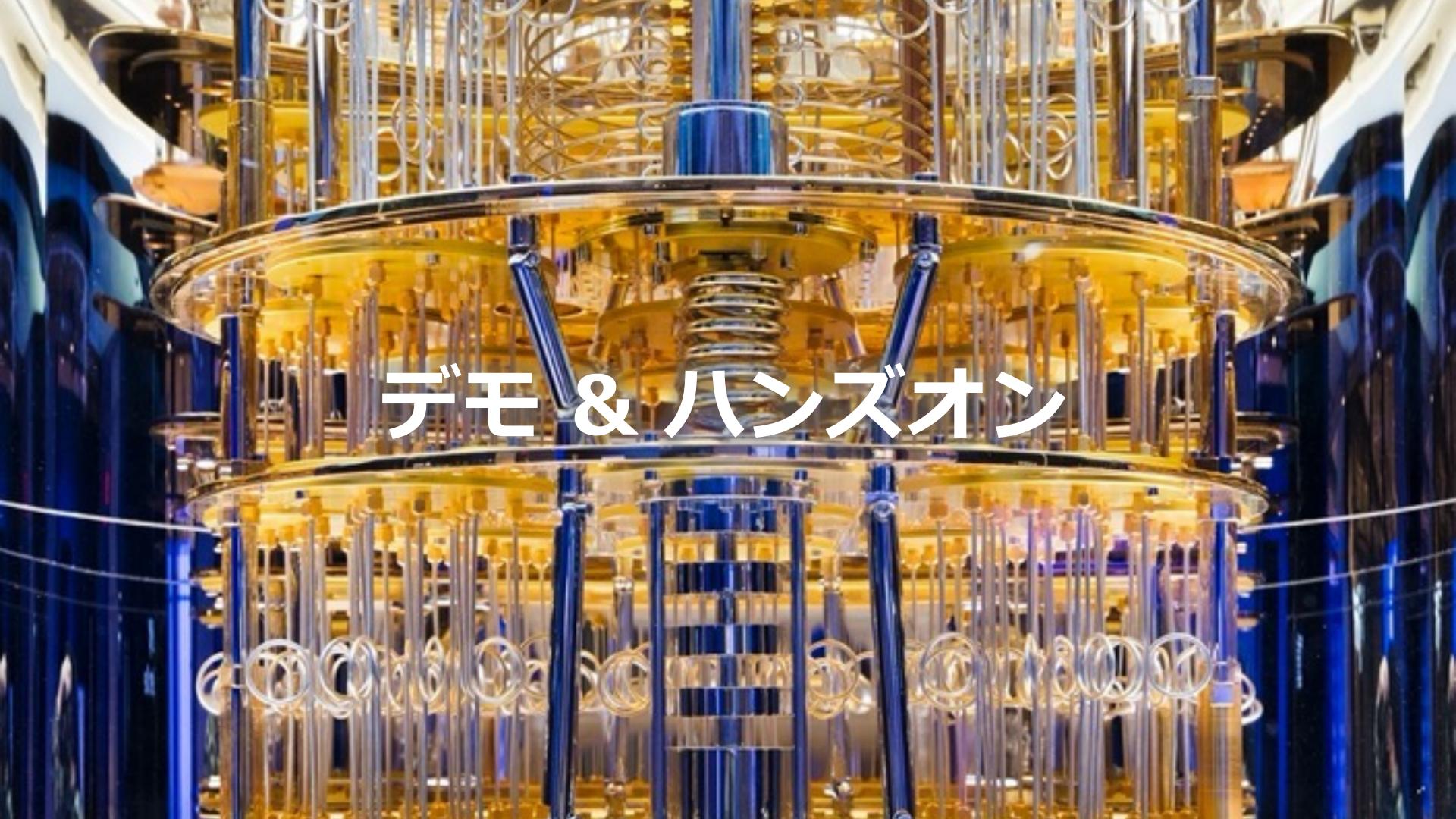
始めてみよう！ 量子コンピューター

沼田 祐史(Kifumi Numata)
Aug 04, 2023



@kifuminumata



A close-up photograph of a quantum computing prototype. It features a dense arrangement of optical fibers, blue cylindrical components, and clear glass tubes forming a complex lattice structure. The lighting highlights the metallic surfaces and the intricate optical paths.

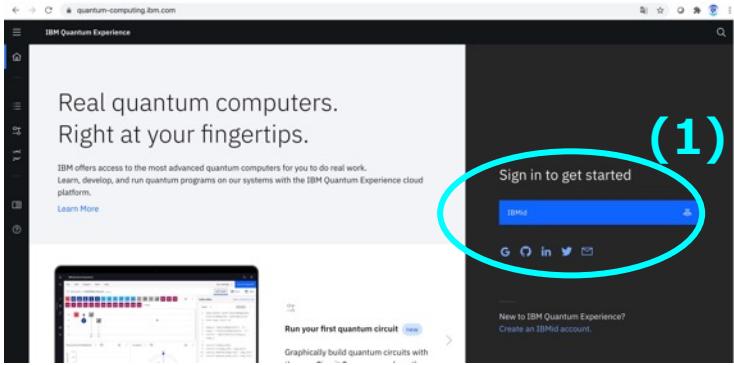
デモ & ハンズオン

ハンズオン: IBM Quantum Composer

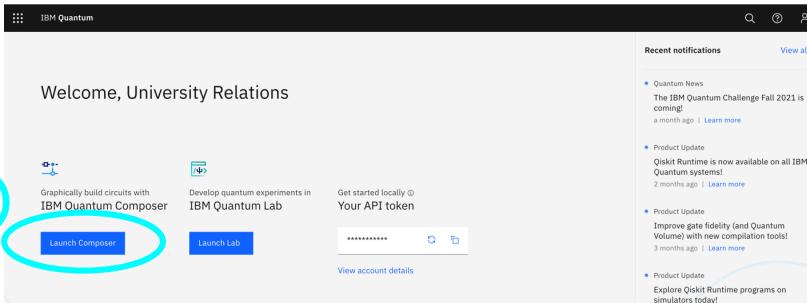
サインインの方法: [『IBM Quantum Composerの登録（くわしいバージョン）』](#)

(1) IBM Quantum にログインします。URL:

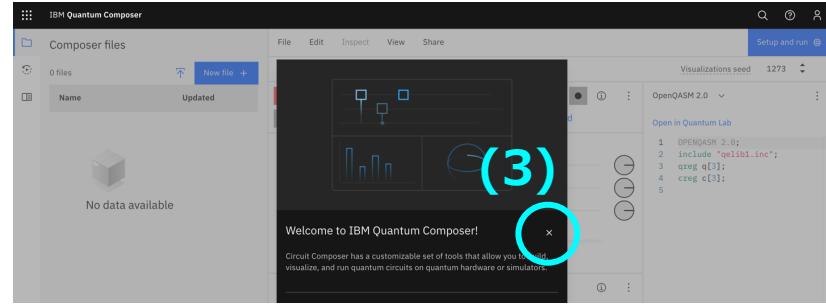
<https://quantum-computing.ibm.com/>



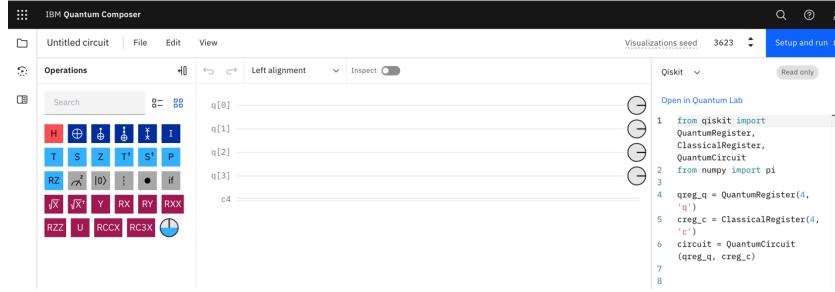
(2) 左の青アイコン「Launch Composer」をクリック。



(3) ポップアップウィンドウは「x」をクリックして、閉じます。



(4) この画面になつたら準備完了です。



量子テレポーテーション

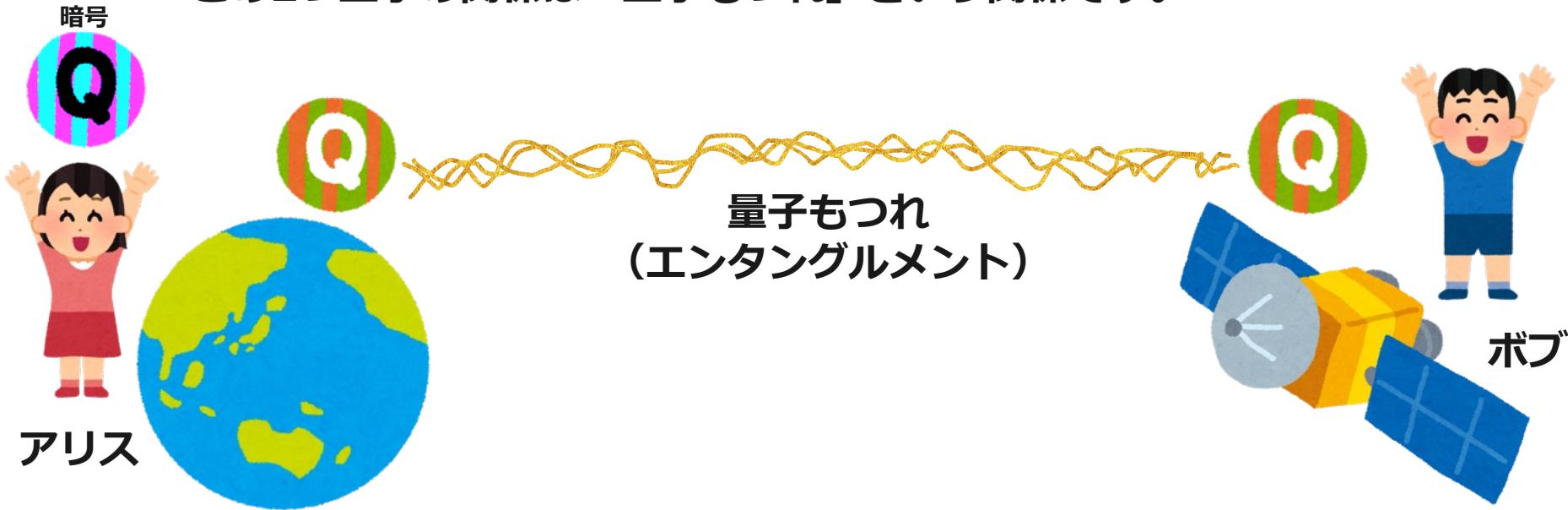
遠く離れた場所に量子の暗号を送る実験です。

エンタングルメント（量子もつれ）を使い、3量子ビットで実現できる
量子アルゴリズムです。



量子テレポーテーションのプロトコル

- (1) 地球のアリスがある量子  (暗号) を持っています。
- (2) 特別な関係にあるふたごの量子  が地球と人工衛星の上にあります。この2つ量子の関係は「量子もつれ」という関係です。



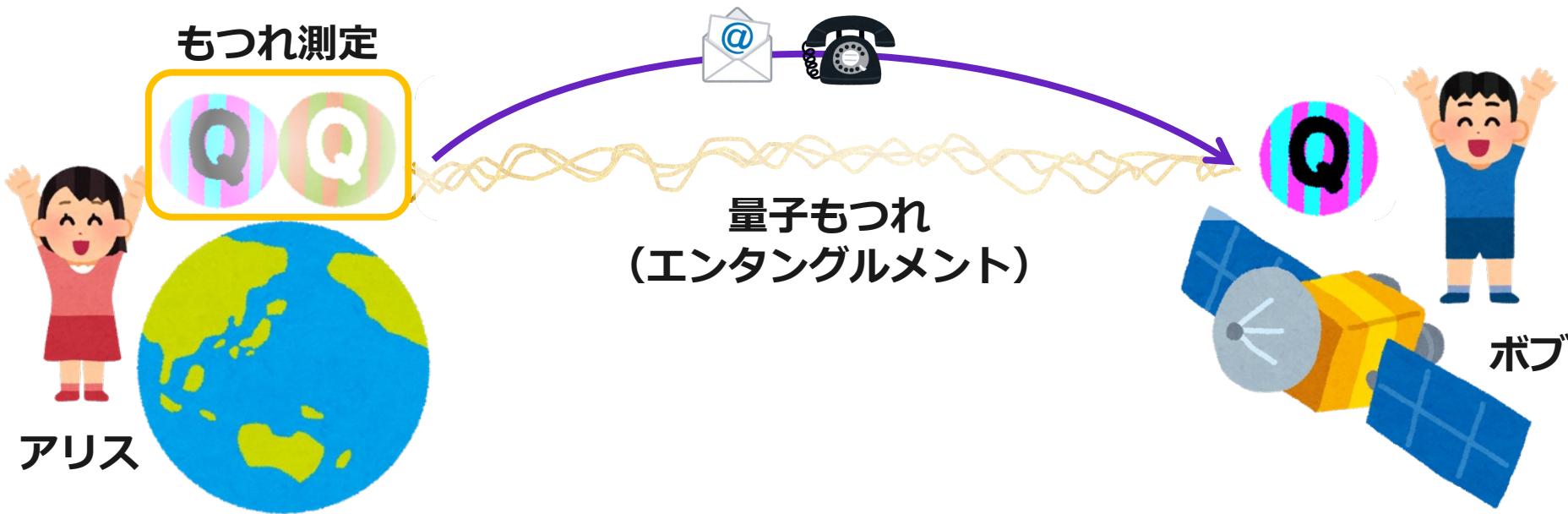
量子テレポーテーションのプロトコル

(3) 地球のアリスが地上の2つの量子に特殊な測定（もつれ測定）をします。
(量子もつれ状態にあるボブの量子の状態が瞬時に変わります。)

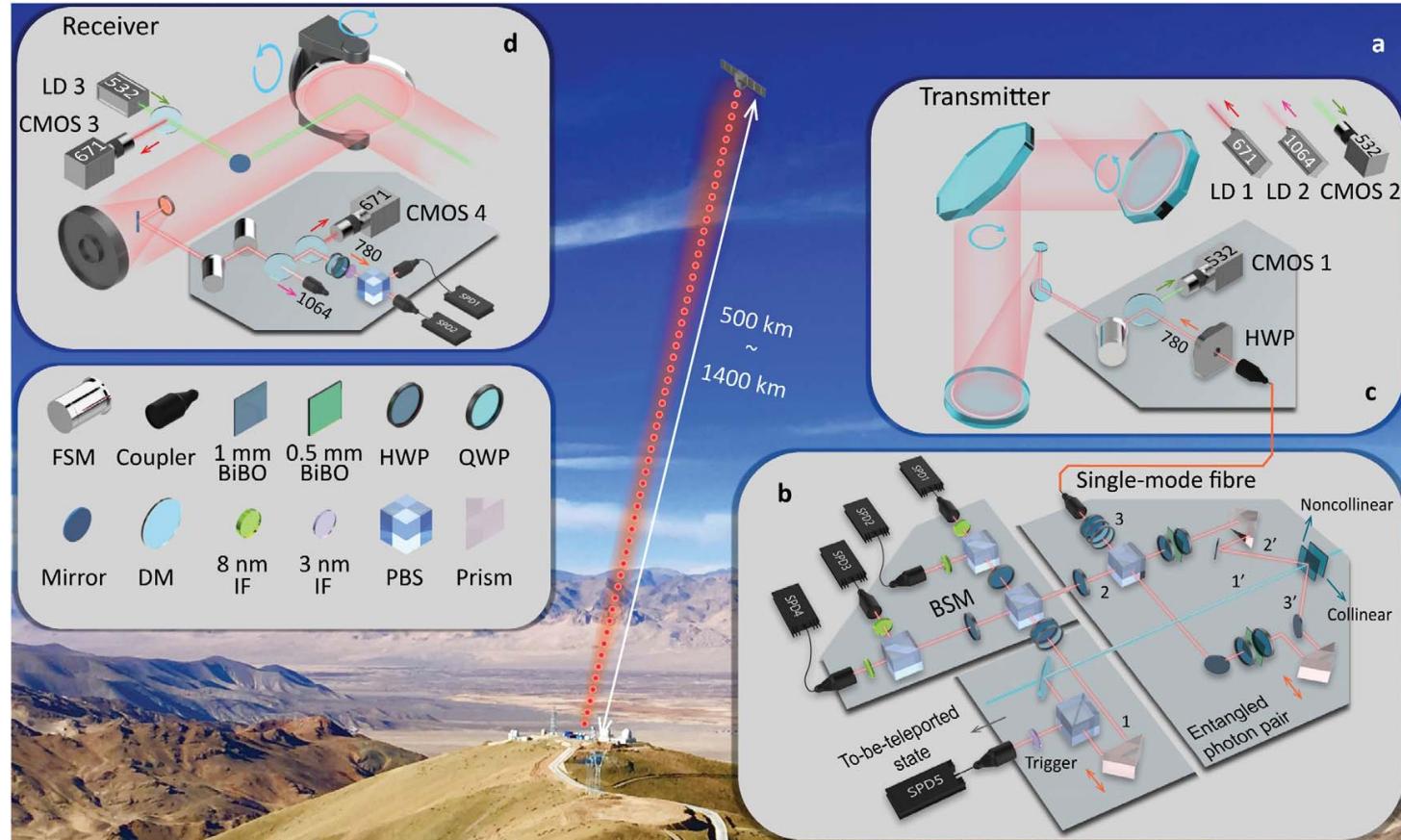


量子テレポーテーションのプロトコル

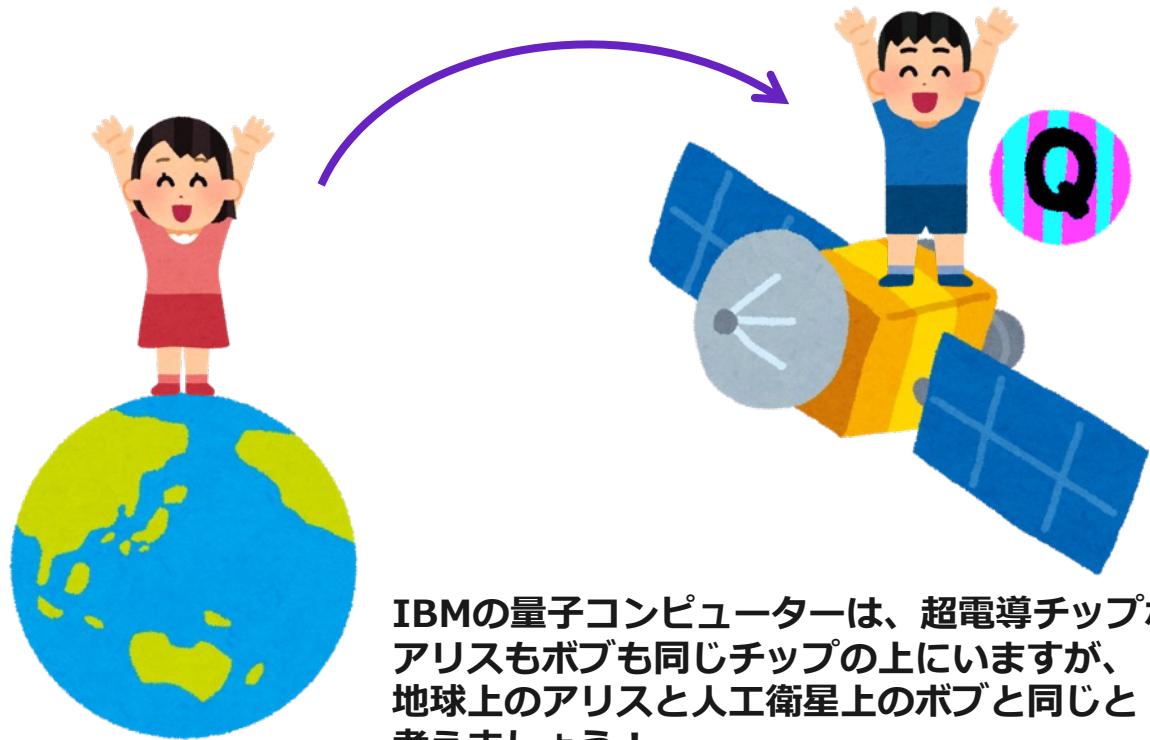
(4) アリスが測定結果をメールや電話でボブに送り、
ボブはもらった結果をもとに自分の量子を補正します。
ボブの量子がアリスの持っていた暗号に変化します！



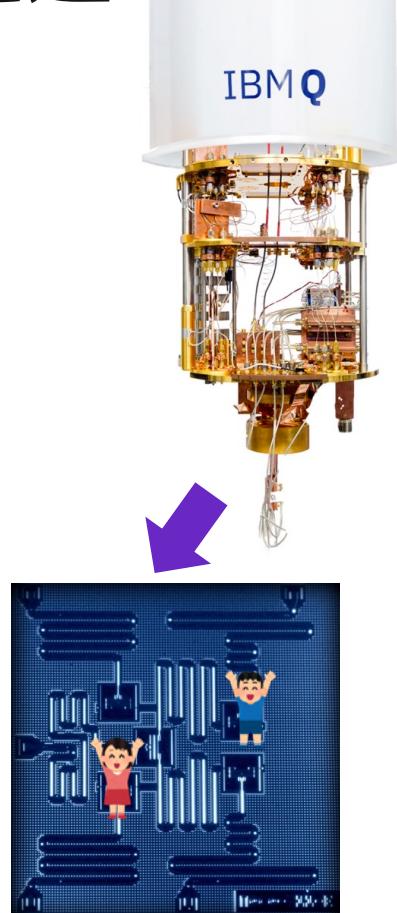
地上と通信衛星間の量子テレポーテーションの例



アリスからボブに暗号（量子状態）を送ります



IBMの量子コンピューターは、超電導チップなので
アリスもボブも同じチップの上にいますが、
地球上のアリスと人工衛星上のボブと同じと
考えましょう！

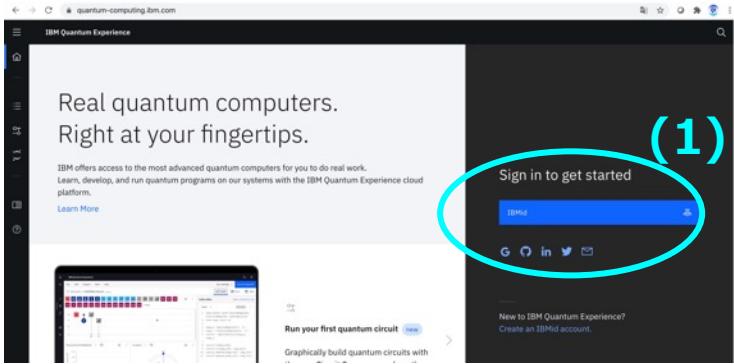


ハンズオン: IBM Quantum Composer

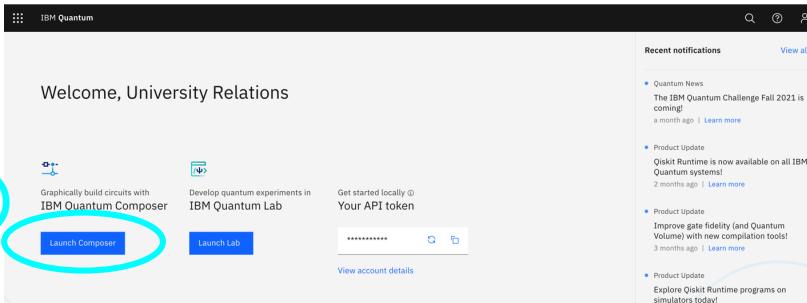
サインインの方法: [『IBM Quantum Composerの登録（くわしいバージョン）』](#)

(1) IBM Quantum にログインします。URL:

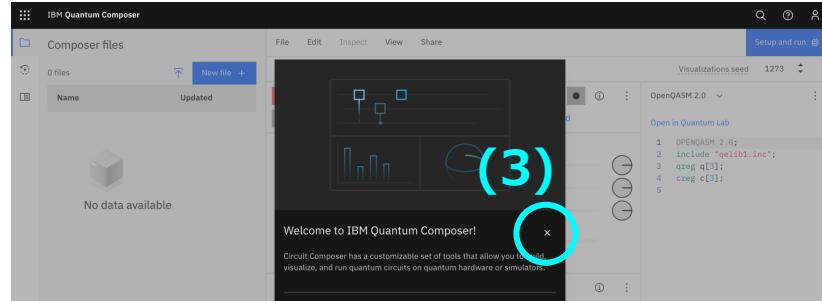
<https://quantum-computing.ibm.com/>



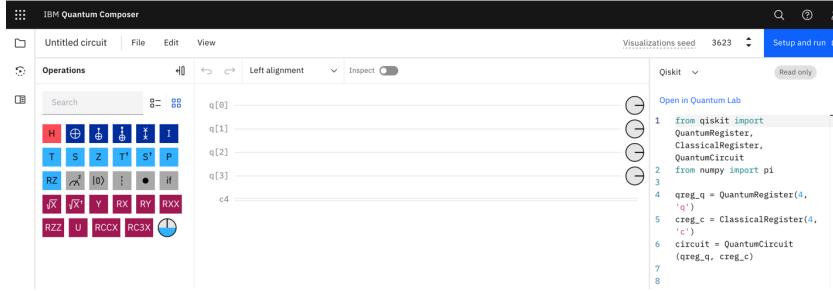
(2) 左の青アイコン「Launch Composer」をクリック。



(3) ポップアップウィンドウは「x」をクリックして、閉じます。



(4) この画面になつたら準備完了です。



量子回路の準備(1)

IBM Quantum Composer

Untitled circuit File Edit View Visualizations seed 3623 Setups

Operations Left alignment Inspect

Search

q[0] q[1] q[2] q[3] ...

Open in Quantum Lab

```
1 from qiskit import QuantumRegister, ClassicalRegister, QuantumCircuit
2 from numpy import pi
3
4 qreg_q = QuantumRegister(4, 'q')
5 creg_c = ClassicalRegister(4, 'c')
6 circuit = QuantumCircuit(qreg_q, creg_c)
7
8
```

マウスでq[3]をクリックするとゴミ箱マークが出てくるので、
クリックして消して、
q[0], q[1], q[2]の3量子ビット回路の準備をします。

量子回路の準備(2)

IBM Quantum Composer

Untitled circuit *Saved* | File Edit View Visualizations seed 3623 ▾ Setup

Operations

Search

q[0] q[1] q[2] c4

- - -

H \oplus $\dot{\oplus}$ T S Z T^\dagger S^\dagger P RZ \sqrt{X} \sqrt{X}^\dagger Y RX RY RXX RZZ U RCCX RC3X Delete bit

+ - ...

OpenQASM 2.0

Open in Quantum Lab

```
1 OPENQASM 2.0;
2 include "qelib1.inc";
3
4 qreg q[3];
5 creg c[4];
```

マウスでc4をクリック
→「-」を選択してc3にします。

量子回路の作り方



量子ゲートをマウスでドラッグ&ドロップして、
量子回路を作ります。

(右側には、量子プログラミングQiskitのコードが自動生成されます。)

テレポーテーションの量子回路

アリス



{

$q[0]$

$q[1]$

ボブ



$q[2]$

テレポーテーションの量子回路



(1) 地球のアリスがある量子 **Q**(暗号) を持っています。
(今回は「1」を暗号とします。 **⊕** を使います。)

テレポーテーションの量子回路

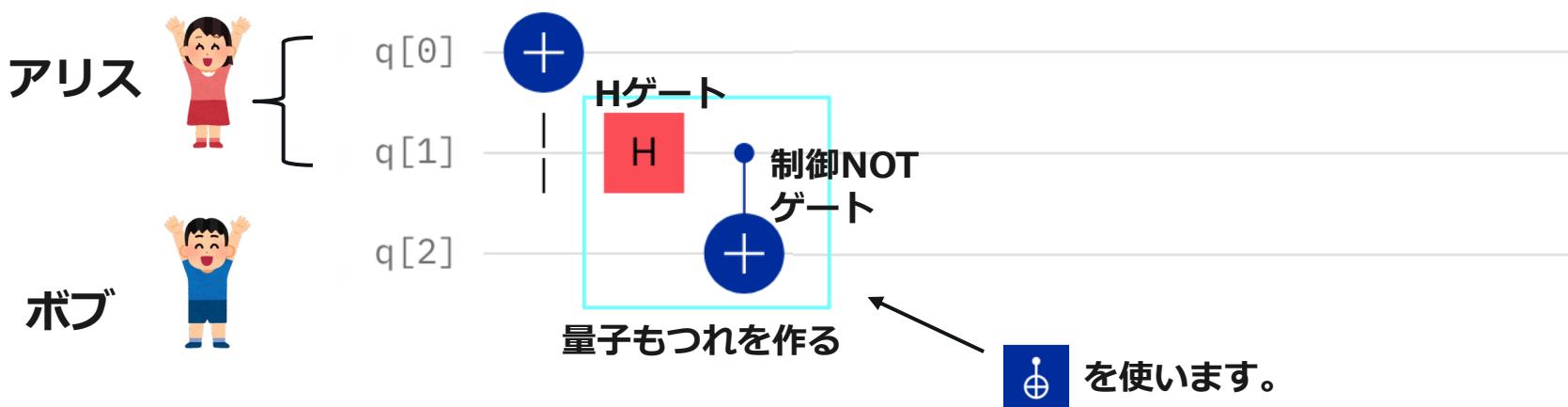


(1) 地球のアリスがある量子 **Q**(暗号) を持っています。
(今回は「1」を暗号とします。 **⊕** を使います。)

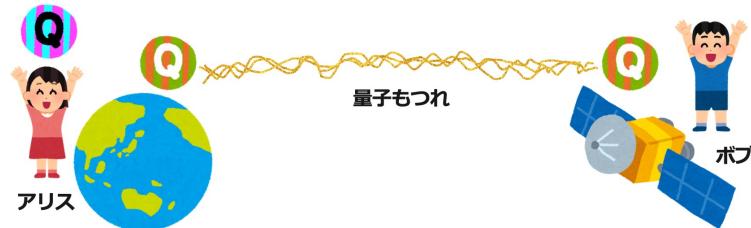


: 回路を見やすくするためのゲート **|** です。

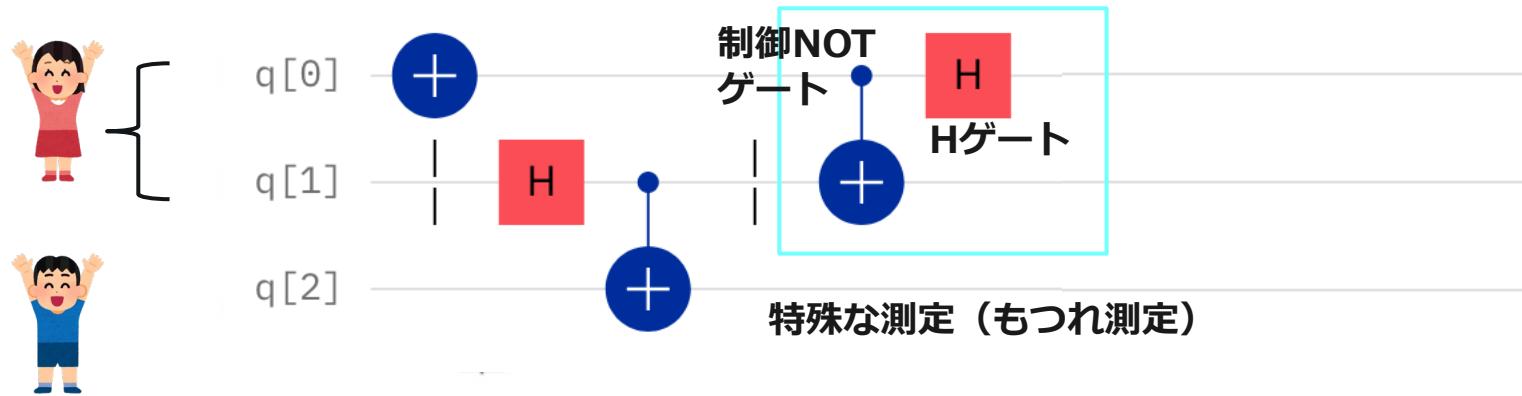
テレポーテーションの量子回路



(2) 特別な関係にあるふたごの量子 Q が地球と人工衛星の上にあります。この2つ量子の関係は「量子もつれ」という関係です。



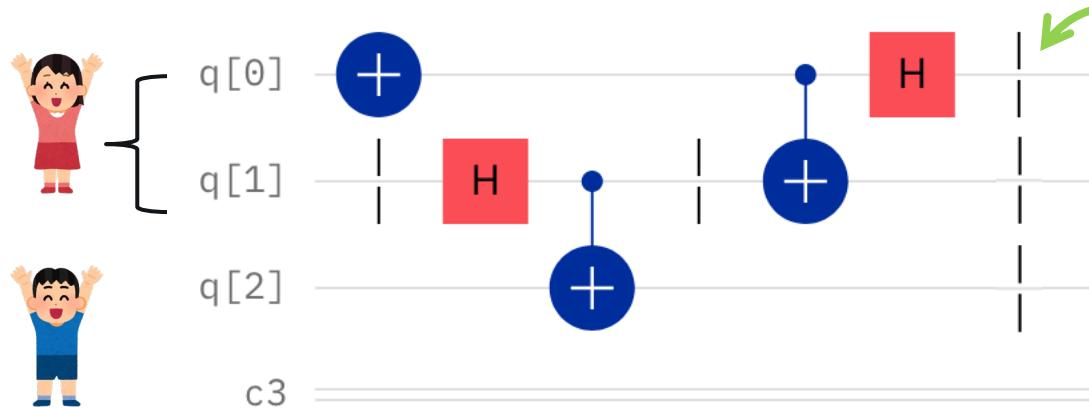
テレポーテーションの量子回路



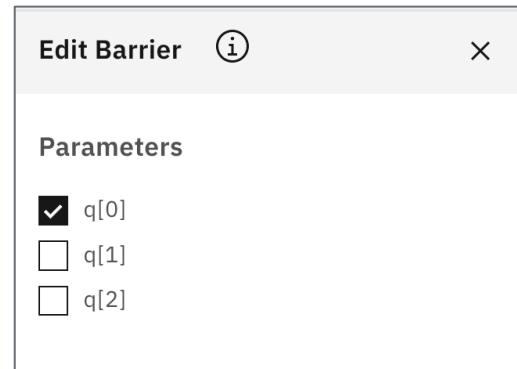
(3) 地球のアリスが地上の2つの量子に特殊な測定（もつれ測定）をします。
（量子もつれ状態にあるボブの量子の状態が瞬時に変わります。）
今回は、測定自体は最後に行います。



テレポーテーションの量子回路

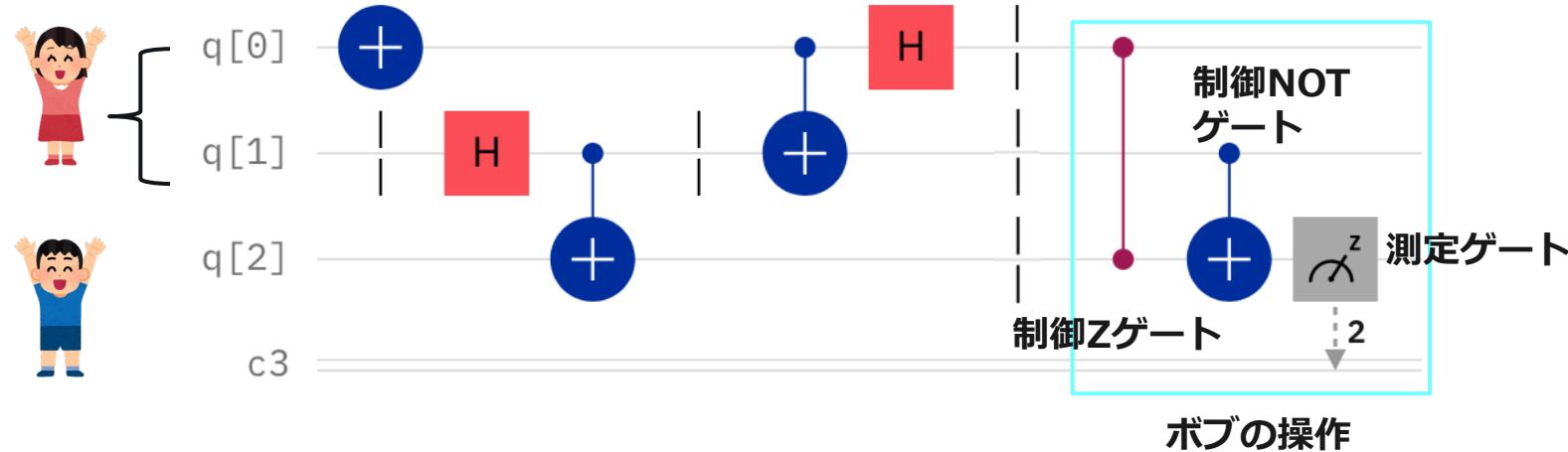


：回路を見やすくするためのゲートです。
1つおいたら、ダブルクリックします。

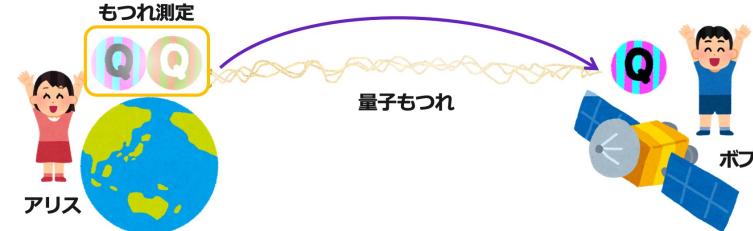


q[1]とq[2]も選択します。

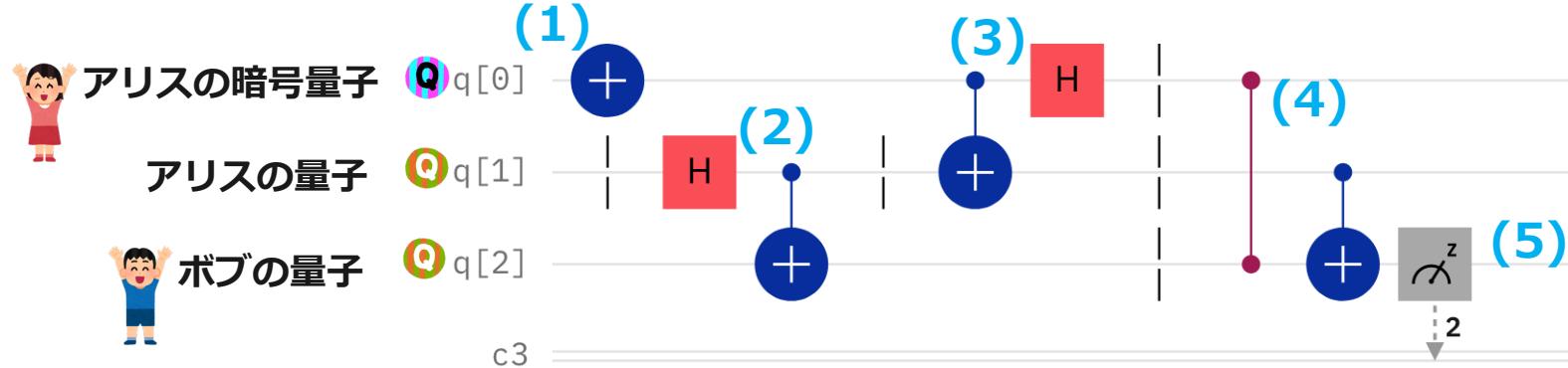
テレポーテーションの量子回路



(4) アリスが測定結果をボブに送り、
ボブはもらった結果をもとに自分の量子を補正します。
ボブの量子がアリスの持っていた暗号に変化します！



量子テレポーテーションの回路



\oplus : (1) アリスは暗号を作ります。
(今回は「1」を暗号とします。)

: 回路を見やすくするためのゲート ctrl です。

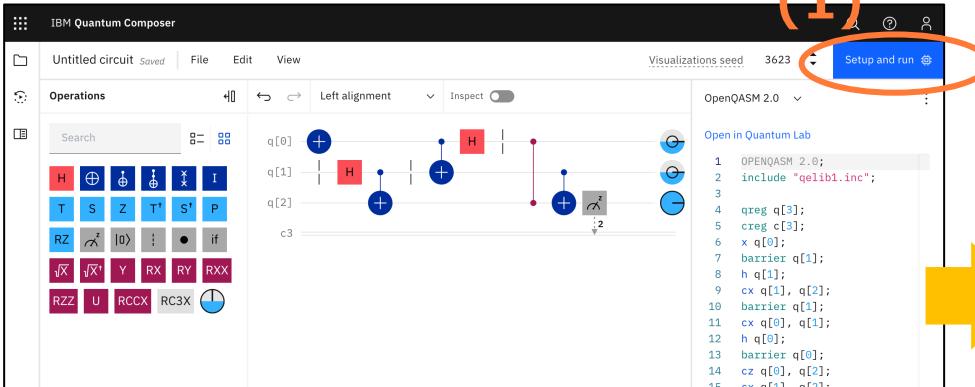
H : (2) 量子もつれを作ります。
 \oplus を使います。

H : (3) アリスはもつれ測定をします。

: (4) アリスの測定結果をボブに送り、
ボブは自分の量子を補正します。
の作り方：
 z を $q[2]$ に置き、 \bullet を重ねる。
位置はあとから調整します。

rz_2 : (5) ボブの量子を測定します。

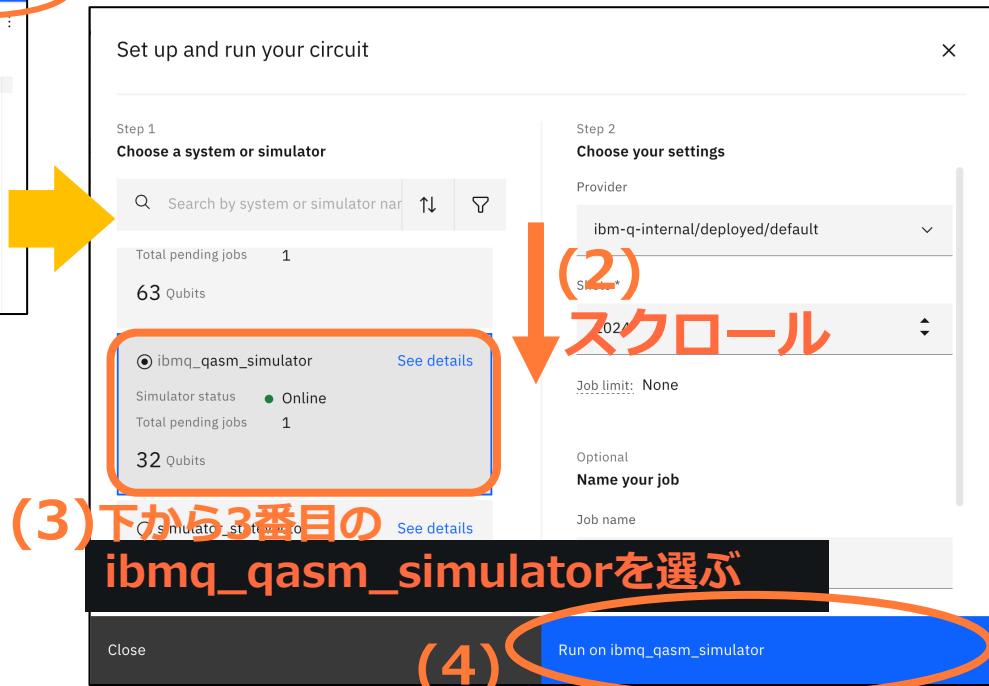
実験します：量子シミュレーター



(1)

「Setup and run」をクリック。

- (1) 右上の青の「Setup and run」をクリック。
- (2) スクロール。
- (3) 「ibmq_qasm_simulator」を選ぶ。
- (4) 青の「Run on ibmq_qasm_simulator」をクリックして実行。



(4)

結果を見ます

IBM Quantum Composer

Untitled circuit (5) Saved

File Edit View

Composer jobs

Search

Left alignment I

(5)

ジョブの確認

q[0] +
q[1] H
q[2] +
c3 +

Gate palette:

- H, \oplus , \oplus , \oplus , \otimes , I
- T, S, Z, T^\dagger , S^\dagger , P
- RZ, α^z , $|0\rangle$, $|1\rangle$, ●, if
- \sqrt{X} , \sqrt{X}^\dagger , Y, RX, RY, RXX
- RZZ, U, RCCX, RC3X

IBM Quantum Composer

View all jobs →

Composer jobs

Search jobs

current-file x

Completed: Aug 06, 2022 5:02 PM
ID: 62ee200e4f71a38... | ibmq_qasm_simulator

(6)

Gate palette:

- H
- T
- RZ
- \sqrt{X}
- RZZ

Jobs /
62ee200e4f71a388ff0db960

See more details ↗

Completed
Aug 06, 2022 5:02 PM (in 4.3s)

Backend
ibmq_qasm_simulator

Status timeline Completed ▾

Details ▾

Result - histogram ▾

Measurement outcome

Frequency

100

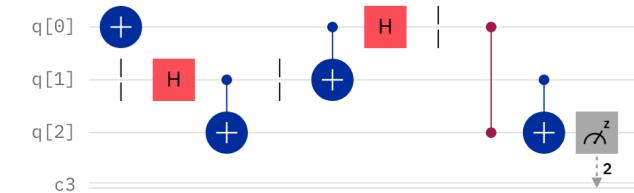
結果と考察：量子シミュレーターの場合

結果：

「100」のみになりましたか？

1024回の実験を行なった結果、すべて「100」だったということです。

「100」は、q[2] q[1] q[0]の順に並んでるので、測定したq[2]の値は「1」だったという意味です。



考察：アリスの暗号「1」がボブに100%テレポートされたことが分かります！
シミュレーションは、理想的な量子計算をするので、理論的に予想される結果が観測されました。

本物で実験

クラウド上の量子コンピューターに実験をリクエストします。

The screenshot shows the IBM Quantum Composer interface. On the left, there's a sidebar with 'Jobs /' and a specific job ID. Below it are sections for 'Completed' (Aug 06, 2022 5:02 PM), 'Backend' (ibmq_qasm_simulator), 'Status timeline' (Completed), 'Details', and 'Result - histogram'. The main area shows an 'Untitled circuit' with three qubits (q[0], q[1], q[2]) and one classical register (c3). A circuit diagram is displayed with various operations like H, T, RZ, CNOT, and MEASURE. To the right of the circuit is its corresponding QASM code.

(1) A large orange circle highlights the 'Setup and run' button at the top right of the circuit editor.

(2) A large orange arrow points from the circuit editor to the 'Set up and run your circuit' dialog. The dialog has two steps: Step 1 'Choose a system or simulator' and Step 2 'Choose your settings'. In Step 1, 'ibm_nairobi' is selected. In Step 2, the shots are set to 1024. The text 'スクロール' (scroll) is written next to the scroll bar.

(3) A large orange circle highlights the 'ibm_nairobi' entry in the system selection list. The text '7Qubitsか5Qubitsのものです。' (It's 7Qubits or 5Qubits) is overlaid on the dialog.

(4) A large orange circle highlights the 'Run on ibm_nairobi' button at the bottom right of the dialog.

結果を待ちます：本物の量子コンピューター

The screenshot shows two views of the IBM Quantum Composer interface. The top view displays a completed job with the ID 62d93e52914ea335bfa91772, which was completed on Jul 21, 2022, at 8:55 PM (in 1m 8s) using the ibmq_qasm_simulator backend. The bottom view shows a pending job with the ID 62ee25770be8be49515a49ab, created on Aug 06, 2022, at 5:25 PM, currently in queue on the ibm_nairobi backend. A large yellow arrow points from the completed job's status timeline to the pending job's status timeline.

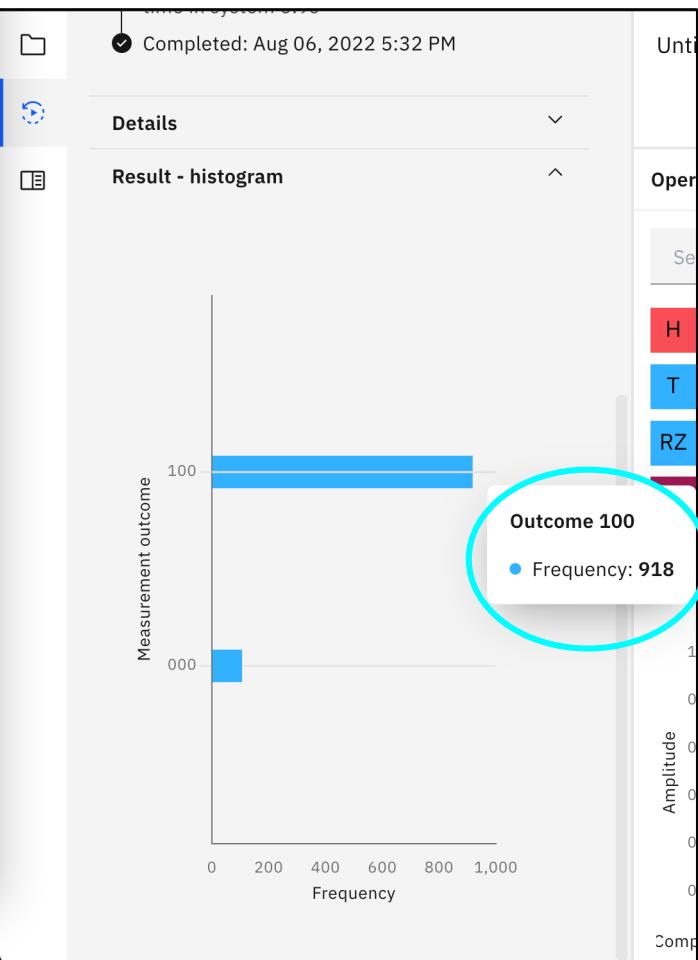
This screenshot shows the details of the pending job with ID 62ee25770be8be49515a49ab. It indicates an estimated time to completion of 4 minutes and shows the job's progress through the pipeline: Created, Transpiling, Validating, In queue, and currently Running, expected to run in 4 minutes. A large orange circle highlights the "Estimated time to completion in 4 minutes" message, with the text "待ち時間" (Waiting time) overlaid in red. Another orange circle highlights the "Pending" status in the status timeline.

世界中の人がクラウド経由でIBMの量子コンピューターを使っているため順番がくるまで時間がかかります。

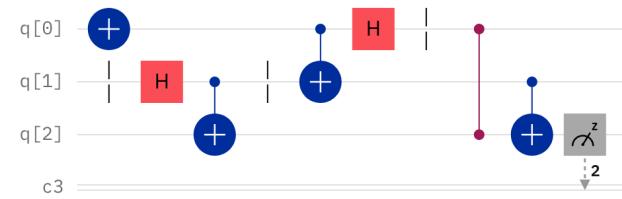
「COMPLETED(完了)」になったら、クリックして結果を見ます。

結果と考察：本物の場合

(結果がまだの場合は後で確認してください)



参考結果：「100」が918回観測されました。 $q[2]$ $q[1]$ $q[0]$ の順に並んでいるので、 $q[2]$ の値は、1024回の実験を行なった結果、918回は「1」、106回は「0」が観測されたということです。



考察：アリスの暗号「1」は約90%の確率でボブにテレポーテーションが成功したことが分かります。

量子コンピューターには、まだ誤差があります。エラー訂正の開発とともに、エラー緩和（ソフトウェアでエラーに対処）の研究開発も行われています。

詳しい説明はぜひQiskitテキストブックで！

<https://ja.learn.qiskit.org/course/ch-algorithms/quantum-teleportation>

The screenshot shows a web browser window displaying the Qiskit Textbook at the URL <https://ja.learn.qiskit.org/course/ch-algorithms/quantum-teleportation>. The page title is "量子テレポーテーション". The left sidebar lists various quantum algorithms, with "量子テレポーテーション" selected. The main content area contains an introduction to quantum teleportation, mentioning the no-cloning theorem and the process of sending quantum information from one location to another. A Python Scratchpad is available for testing code. The footer includes links to "Back to textbook home" and "Cookieの設定".

量子テレポーテーション

量子プロトコルと量子アルゴリズム

- 量子回路
- ディチ-ジョサのアルゴリズム
- ベルンシュタイン・ヴァジラニ アルゴリズム
- サイモンのアルゴリズム
- 量子フーリエ変換
- 量子位相推定
- ショアのアルゴリズム
- グローバーのアルゴリズム
- 量子数え上げ
- 量子テレポーテーション**

読み時間: ~25 min

量子テレポーテーション

このノートでは量子テレポーテーションについて説明します。まず始めに、作成した量子回路を Qiskit に組み込んでいるシミュレーターを使ってテストします。その後、その回路を実際の量子コンピューターで動かしてみます。

1. 概要

アリスがボブに量子情報を送りたいとしましょう。これを具体的に、アリスがボブに状態 $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ を送りたい、と仮定します。その為にはまず、 α と β の情報をボブに渡す必要があります。

量子力学には、未知の量子状態の単純な複製を正確に作ることは出来ない、という定理が存在します。量子複製不可能定理 (no-cloning theorem) として知られています。この定理ゆえ、アリスが単純に $|\psi\rangle$ の複製を生成してそれをボブに渡す、という事は出来ません。状態の複製は古典的な計算でのみ可能なのです（重ね合わせはコピーできません）。

しかし、2つの古典的ビットとエンタングルメントを利用することで、アリスは状態 $|\psi\rangle$ をボブに転送できます。その結果、最終的にボブが $|\psi\rangle$ を持つ、アリスがもはや何も持っていない事から、我々はこれをテレポーテーションと呼んでいます。

2. 量子テレポーテーション・プロトコル

Overview Learn Community Documentation

Scratchpad Hide details

This is your Python Scratchpad. Use this however you like while you work or copy the code over from the chapter.

Note: Code in the scratchpad will not be saved.

Run

Feedback

Japanese

Cookieの設定

まとめ

量子コンピューターは、量子重ね合わせ、エンタングルメントなどの量子現象を使った新しいコンピューター。

クラウド上で433量子ビットコンピューターが動き、日本では今年127量子ビットコンピューターが稼働予定。

10年後の10万量子ビット実現にむけ、大学、研究機関、企業が一丸となって取り組んでいる。

量子テレポーテーションといった基本的で重要なアルゴリズムを誰でも実験ができる環境がある。

自分のペースで学習できる 『Quantum Explorers 2023』

IBM Quantum

量子コンピューターの自習用プログラムで、入門的な内容から応用まで幅広いトピックを扱っています。

それぞれのトピックのモジュールの最後のクイズを完了することでバッヂがもらえるゲーム要素もあります。

期間：2023年7月から2024年2月



<https://ibm.biz/qexp23ja>

