

Kawasaki Quantum Summer Camp 2023

量子テレポーテーション

沼田 祈史

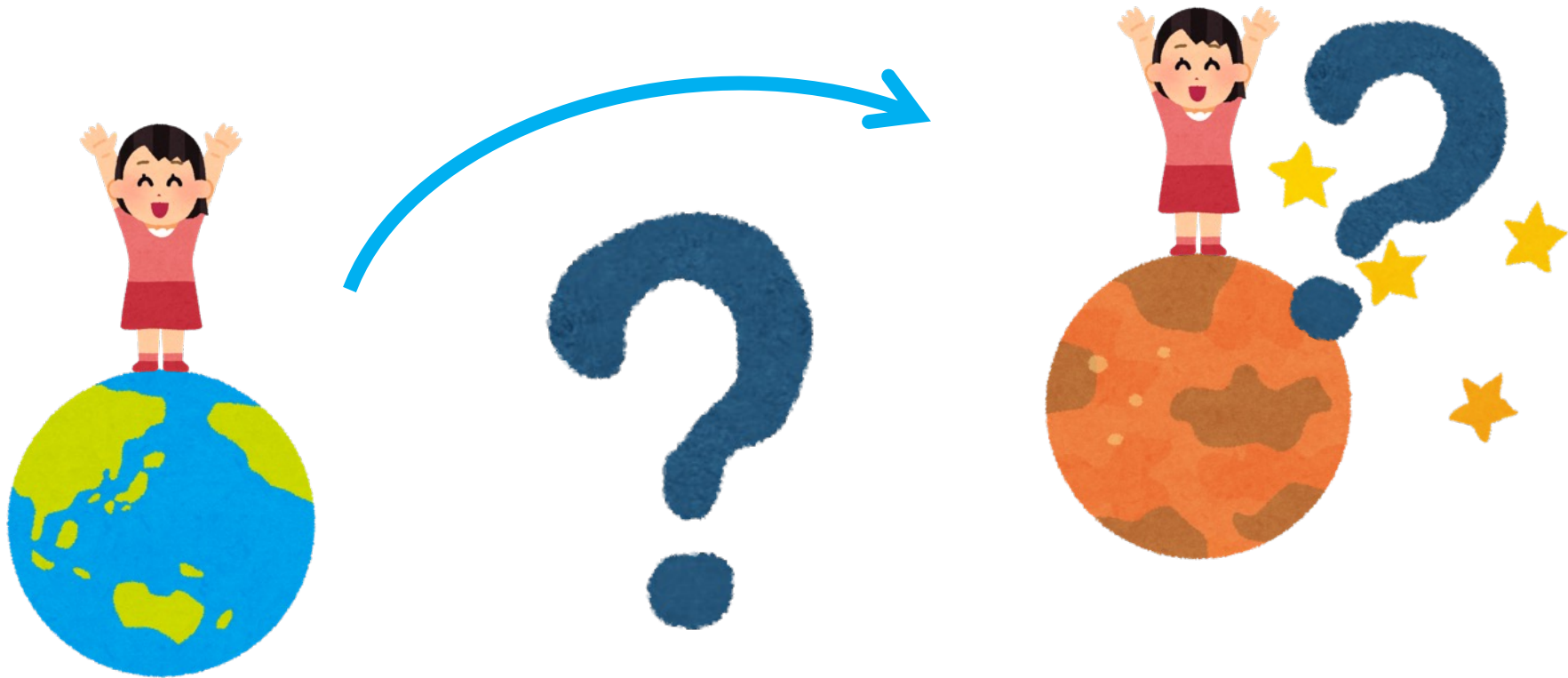
Kifumi Numata

IBM Quantum

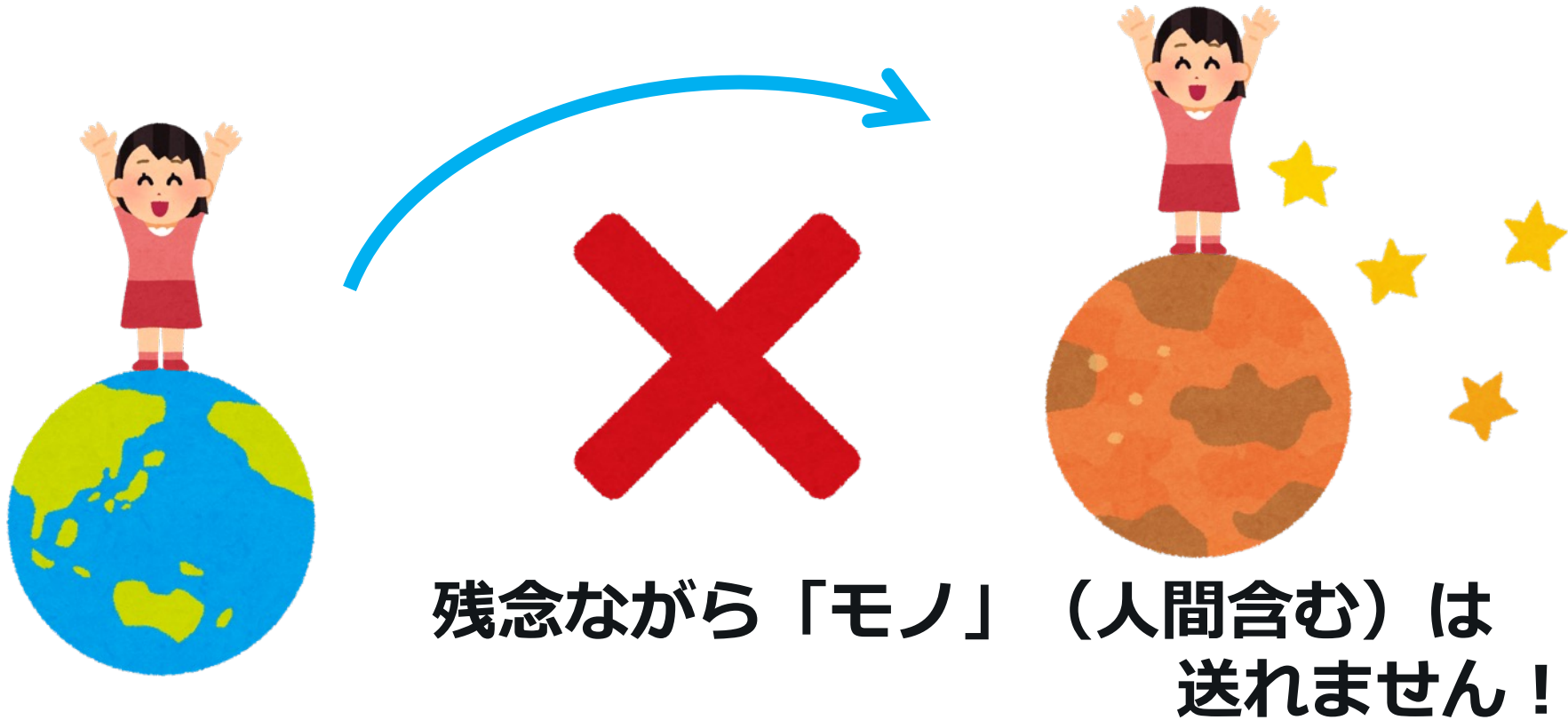


はじめに：
量子テレポーテーションとは何だと思いますか？
(予想)

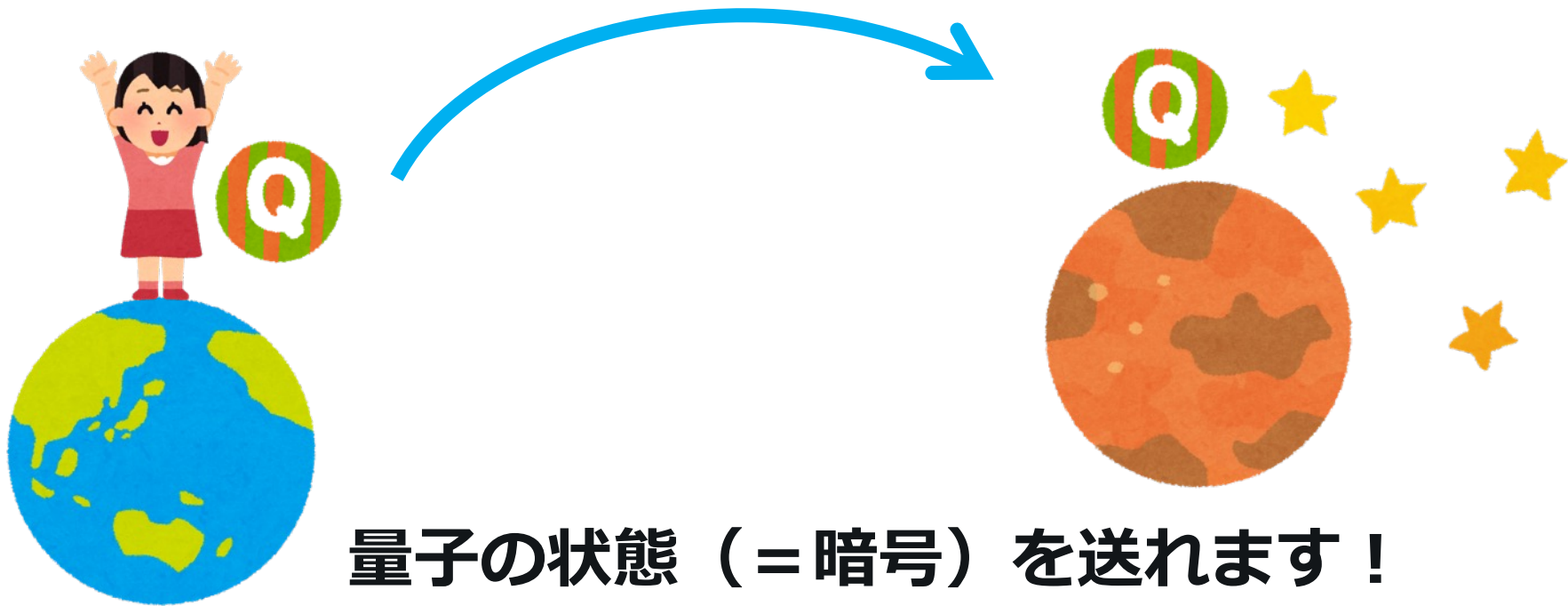
量子テレポーテーションとは？ (予想例)



量子テレポーテーションとは？

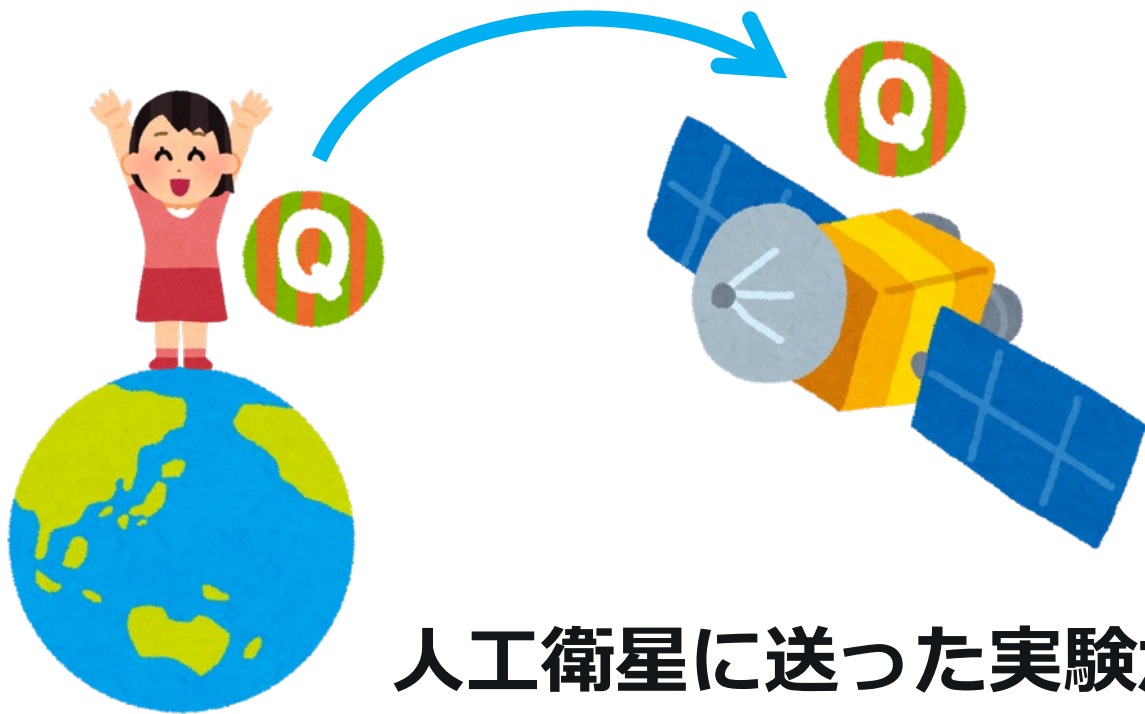


量子テレポーテーションとは？



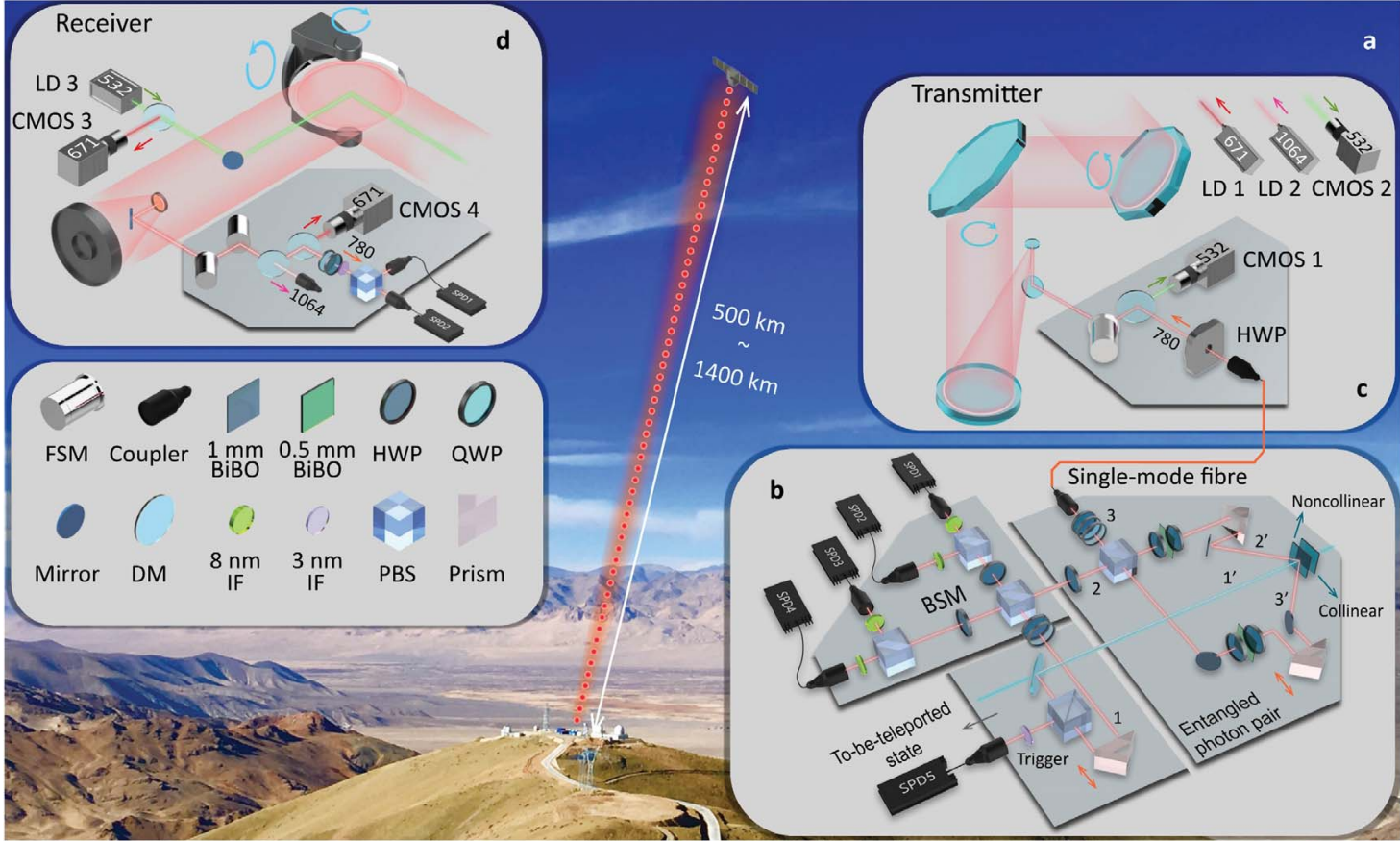
量子の状態（＝暗号）を送れます！

量子テレポーテーションとは？



人工衛星に送った実験があります。

地上と通信衛星間の量子テレポーテーションの例

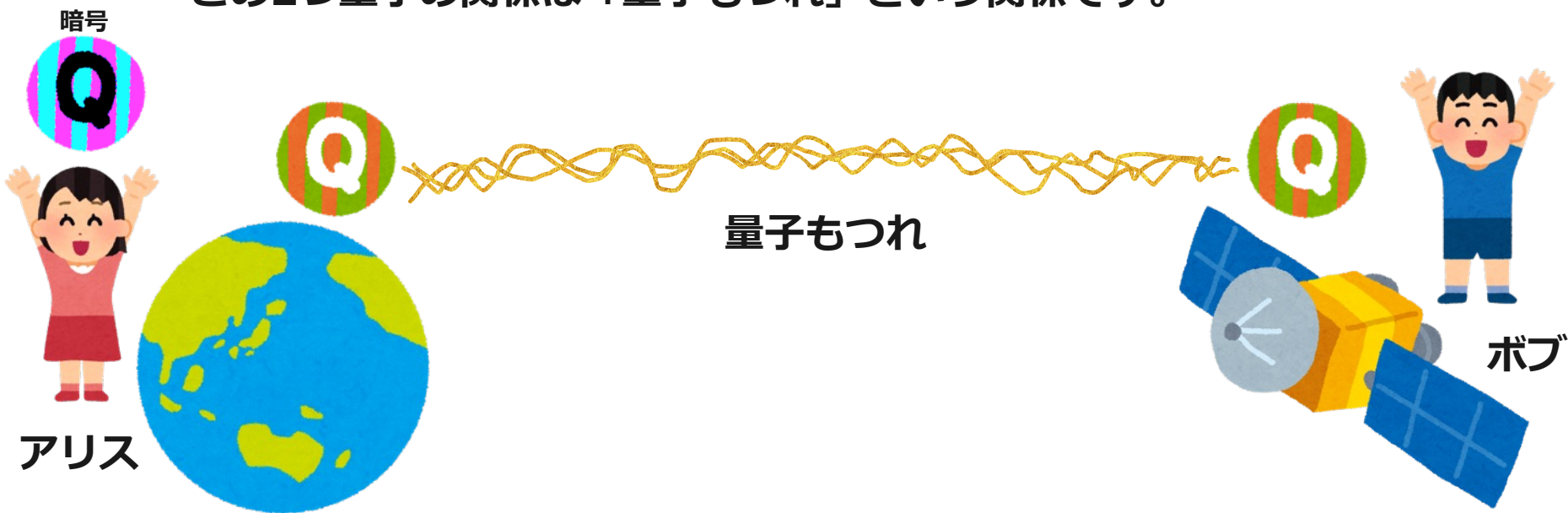


出典 : <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.00934.pdf>

量子テレポーテーションの Protokol

(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。



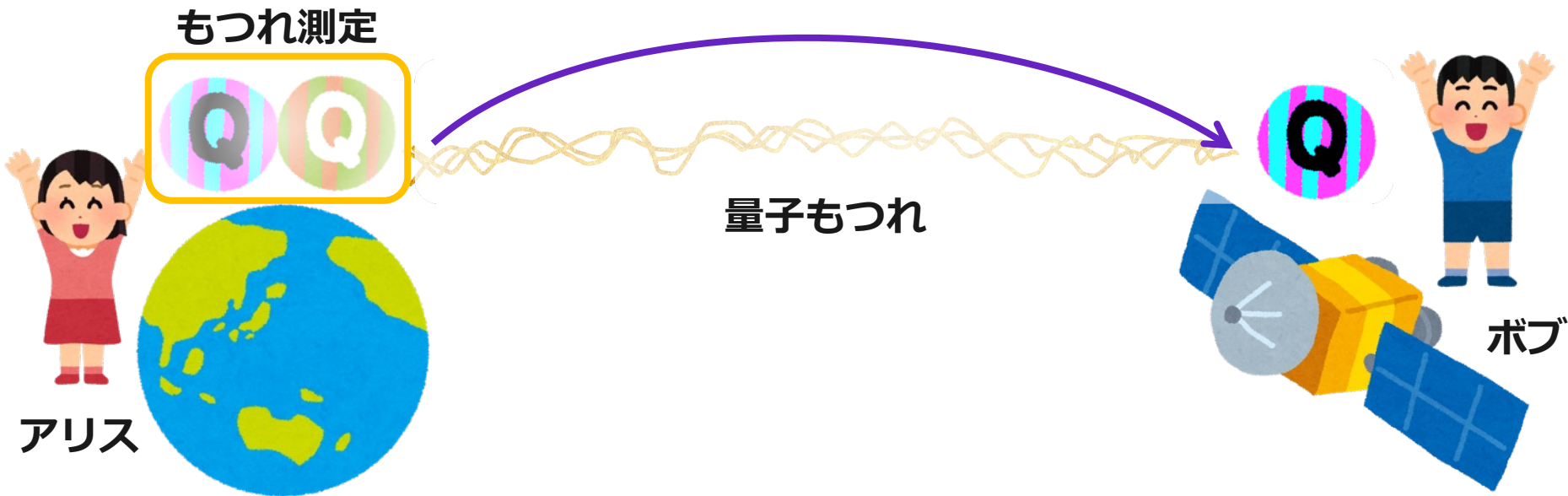
量子テレポーテーションの Protokol

(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。）

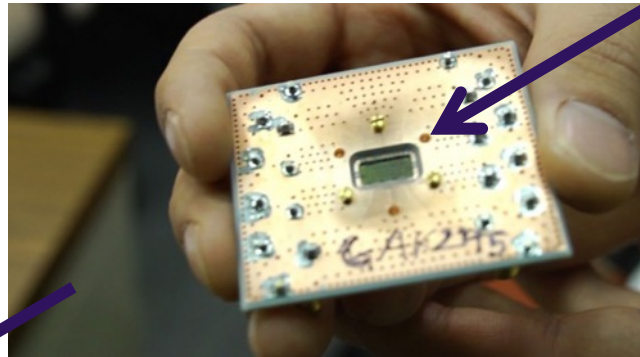
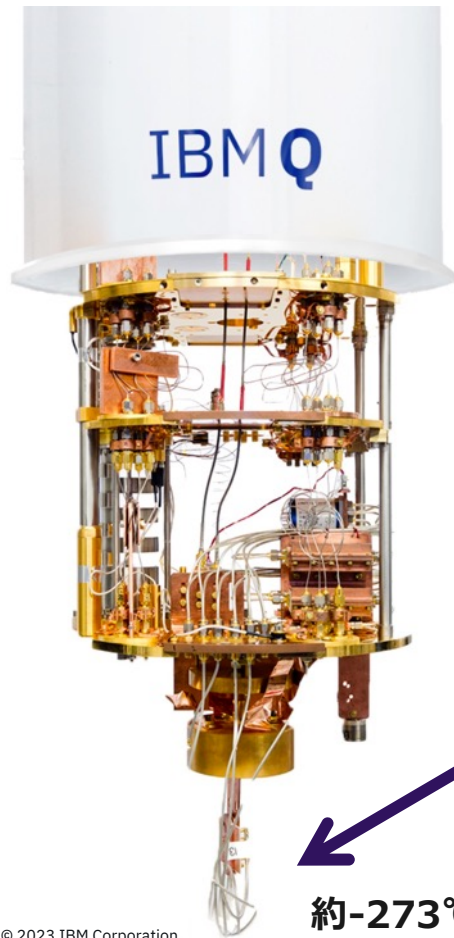


量子テレポーテーションの Protokol

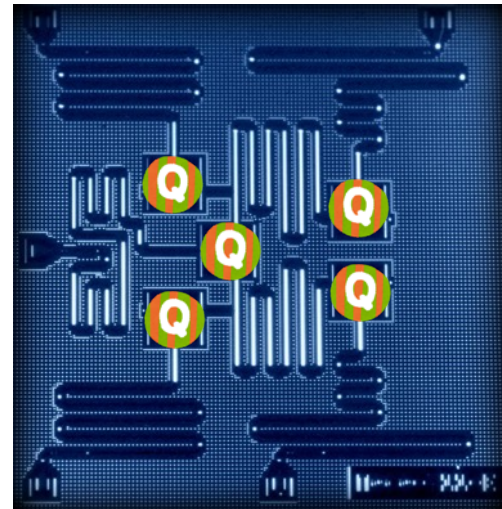
(4) アリスが測定結果をメールや電話でボブに送り、
ボブはもらった結果をもとに自分の量子を補正します。
ボブの量子がアリスの持っていた暗号に変化します！



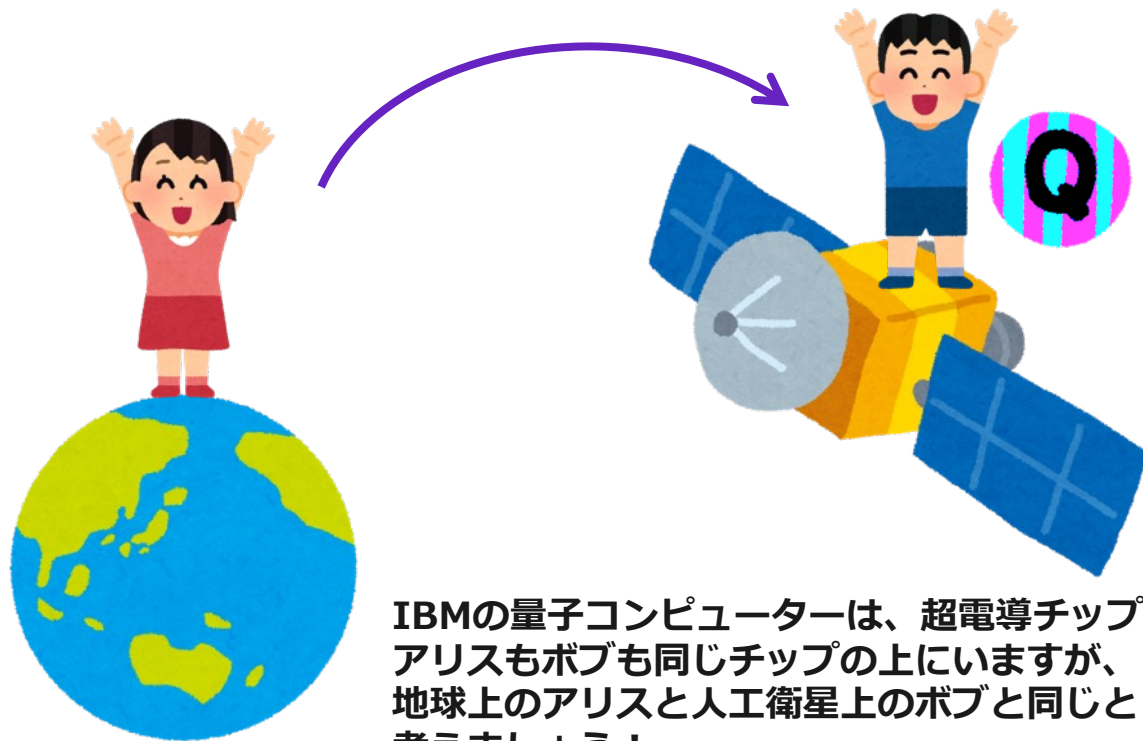
IBMの量子コンピューター



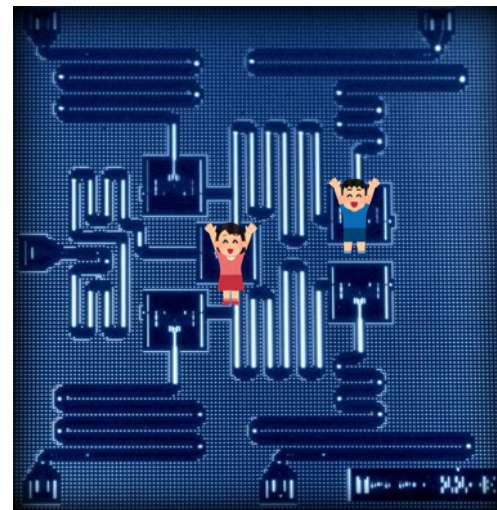
ケルビン
約-273℃ (0.015K)の低温で量子状態を実現



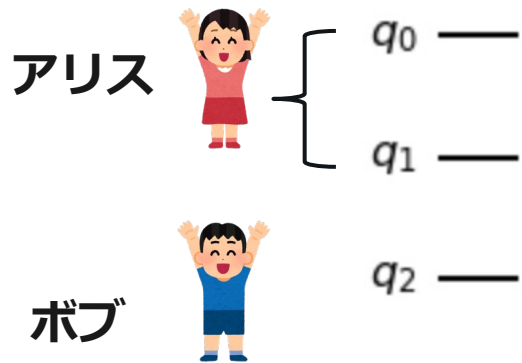
アリスからボブに暗号（量子状態）を送ります



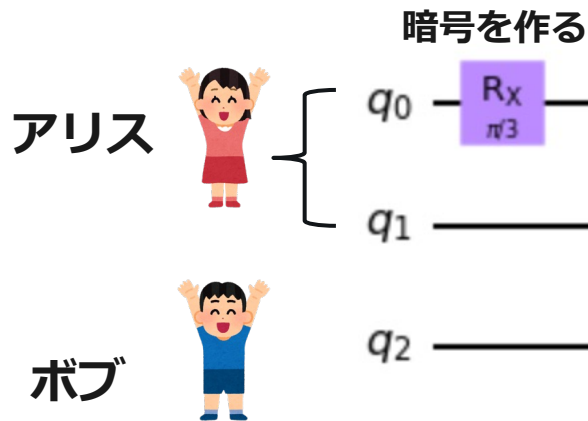
IBMの量子コンピューターは、超電導チップなのでアリスもボブも同じチップの上にはいますが、地球上のアリスと人工衛星上のボブと同じと考えましょう！



テレポーテーションの量子回路

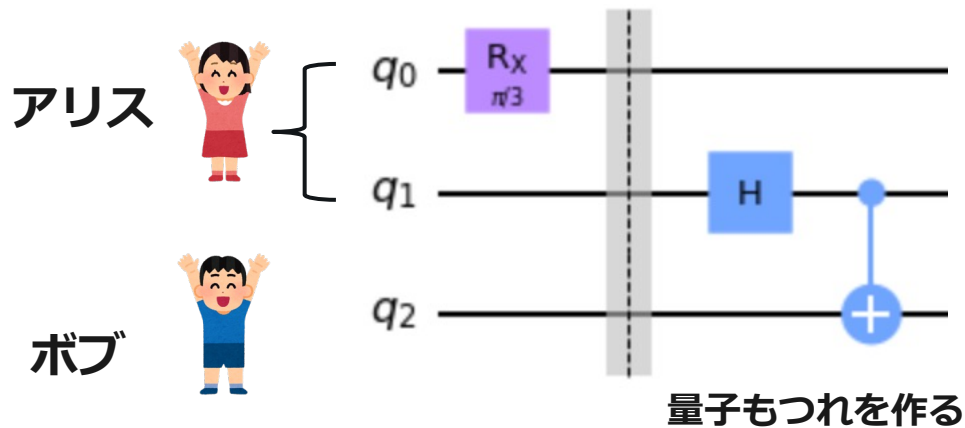


テレポーテーションの量子回路

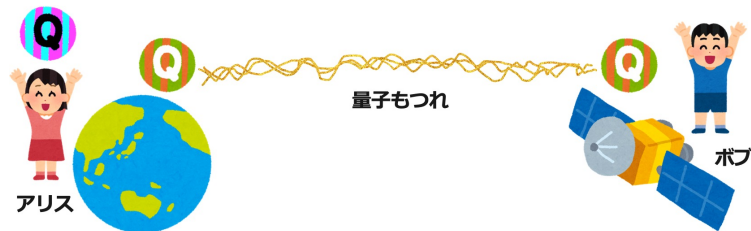


(1) 地球のアリスがある量子 **Q** (暗号) を持っています。

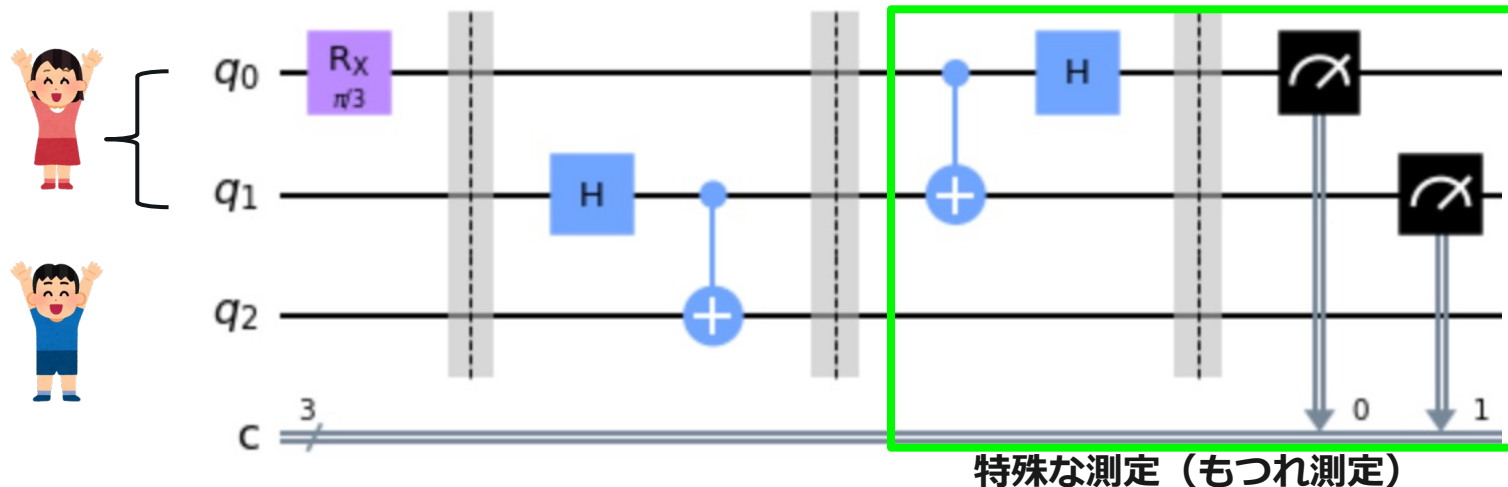
テレポーテーションの量子回路



(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。



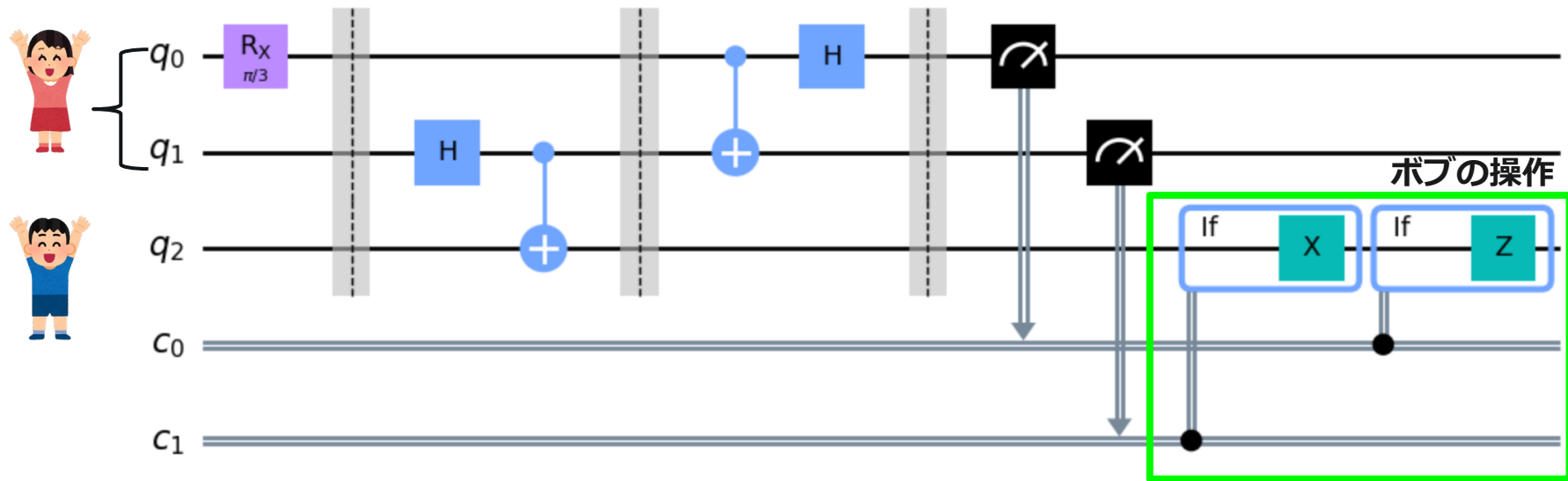
テレポーテーションの量子回路



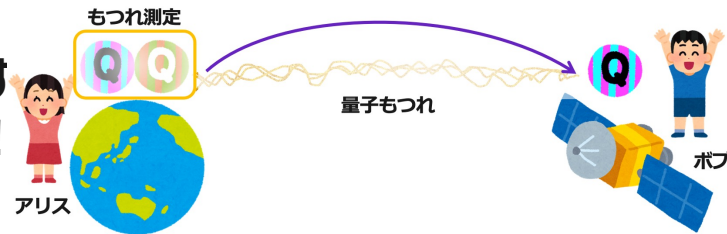
(3) 地球のアリスが地上の2つの量子に特殊な測定（もつれ測定）をします。
(量子もつれ状態にあるボブの量子の状態が瞬時に変わります。)



テレポーテーションの量子回路

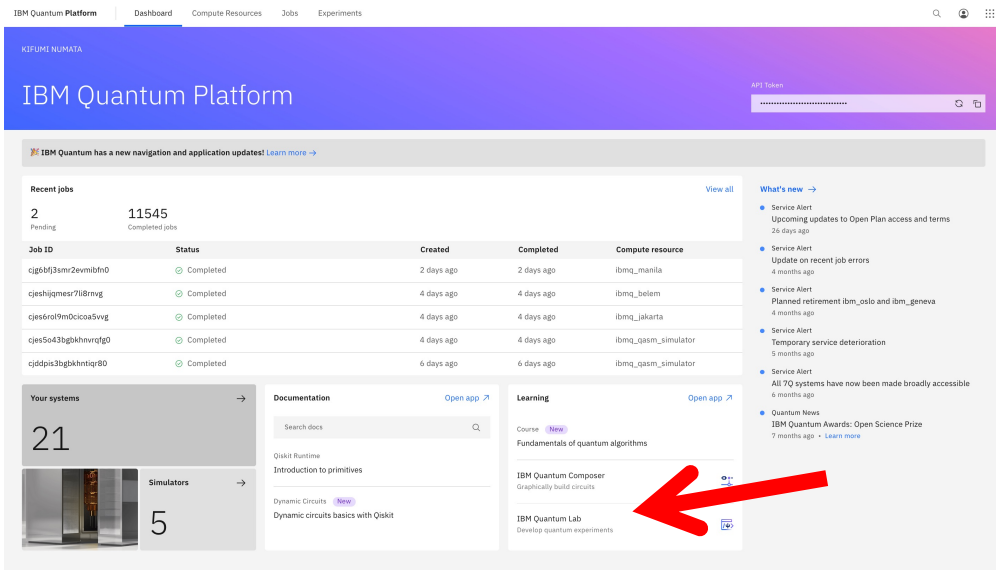


(4) アリスが測定結果をボブに送り、
ボブはもらった結果をもとに自分の量子を補正します
ボブの量子がアリスの持っていた暗号に変化します！



Qiskitハンズオン : IBM Quantum Labで行います

1. IBM Quantum (<https://quantum-computing.ibm.com/>) にログインし、中央下方の「IBM Quantum Lab」をクリック。
2. 左側  の「Upload files」から、ご自分のローカルにあるハンズオンコンテンツ「20230817_teleportation.ipynb」を探して、開きます。



IBM Quantum Platform

Recent jobs

Job ID	Status	Created	Completed	Compute resource
cjg6tj3m2evmbf0	Completed	2 days ago	2 days ago	ibmq_manila
cjesijqmes7l8rnvg	Completed	4 days ago	4 days ago	ibmq_belem
cjesnrl9m0ccoa5vg	Completed	4 days ago	4 days ago	ibmq_jakarta
cjes5o43gkhvndf0	Completed	4 days ago	4 days ago	ibmq_qasm_simulator
cjdpis3hgkhtqy80	Completed	6 days ago	6 days ago	ibmq_qasm_simulator

Your systems

21

Simulators

5

Documentation

Search docs

Qiskit Runtime

Introduction to primitives

Dynamic Circuits

Dynamic circuits basics with Qiskit

Learning

Course

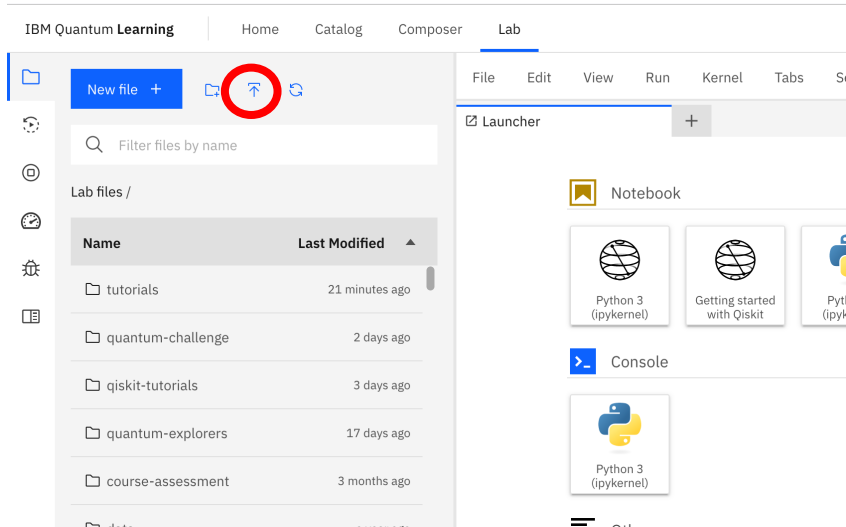
Fundamentals of quantum algorithms

IBM Quantum Composer

Graphically build circuits

IBM Quantum Lab

Develop quantum experiments



IBM Quantum Learning

Home Catalog Composer Lab

New file +

Filter files by name

Lab files /

Name	Last Modified
tutorials	21 minutes ago
quantum-challenge	2 days ago
qiskit-tutorials	3 days ago
quantum-explorers	17 days ago
course-assessment	3 months ago

Notebook

Python 3 (ipykernel)

Getting started with Qiskit

Console

Python 3 (ipykernel)

(補足) 量子テレポーテーションアルゴリズムの詳細

Qiskitではビットの並びが|q2 q1 q0>です

$$|\psi_0\rangle = |00\rangle \otimes (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)$$

Aliceの持っている暗号

$$|\psi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \otimes (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)$$

エンタングルメント

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha|000\rangle + \alpha|110\rangle + \beta|001\rangle + \beta|111\rangle)$$

$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha|000\rangle + \alpha|110\rangle + \beta|011\rangle + \beta|101\rangle)$$

q0が1の時のみq1にXを操作

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha(|00\rangle + |11\rangle)|0\rangle + \beta(|01\rangle + |10\rangle)|1\rangle)$$

αとβでまとめる

$$|\psi_3\rangle = \frac{1}{2}(\alpha(|00\rangle + |11\rangle)(|0\rangle + |1\rangle) + \beta(|01\rangle + |10\rangle)(|0\rangle - |1\rangle))$$

q0にHを操作

$$= \frac{1}{2}((\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)|00\rangle + (\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle)|10\rangle + (\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle)|01\rangle + (\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle)|11\rangle)$$

q2にそのまま暗号が
現れている q1が1の時は
q2にXゲートをかける q0が1の時は
q2にZゲートをかける q0とq1が1の時は
q2にXゲートとZゲートをかける

