SNIA日本支部主催「2021年度第2回最新技術動向講演会」

量子コンピュータの最新動向

2022年3月1日

- 日本アイ・ビー・エム株式会社
- 技術理事 東京基礎研究所 副所長 量子コンピューティング担当部長
- 小野寺 民也

IBM Quantum / © 2021 IBM Corporation

IBM **Quantum**

小野寺 民也
日本アイ・ビー・エム株式会社
東京基礎研究所副所長 技術理事
博士(理学)

1988年東京大学大学院理学系研究科情報科学専門課程博士課程修了
同年日本アイ・ビー・エム（株）入社
以来，同社東京基礎研究所にて，
　　オブジェクト指向言語
　　分散システム
　　AI基盤ソフトウェア
　　量子計算ソフトウェアスタック
等の研究開発に従事

Association for Computing Machinery
Distinguished Scientist

日本ソフトウェア科学会フェロー

情報処理学会長期戦略担当理事

情報処理学会第41回(平成2年後期)全国大会学術奨励賞
情報処理学会平成7年度山下記念研究賞
情報処理学会平成16年度論文賞
情報処理学会平成16年度業績賞、各受賞

© 2018 IBM Corporation

感謝状
2018
Outstanding Contributor Award
小野寺　民也　殿
あなたは多年にわたりSNIA日本支部の活動に
多大なる貢献をされました。
ここにその功績を讃え感謝の意を表します。
令和元年6月26日　SNIA日本支部

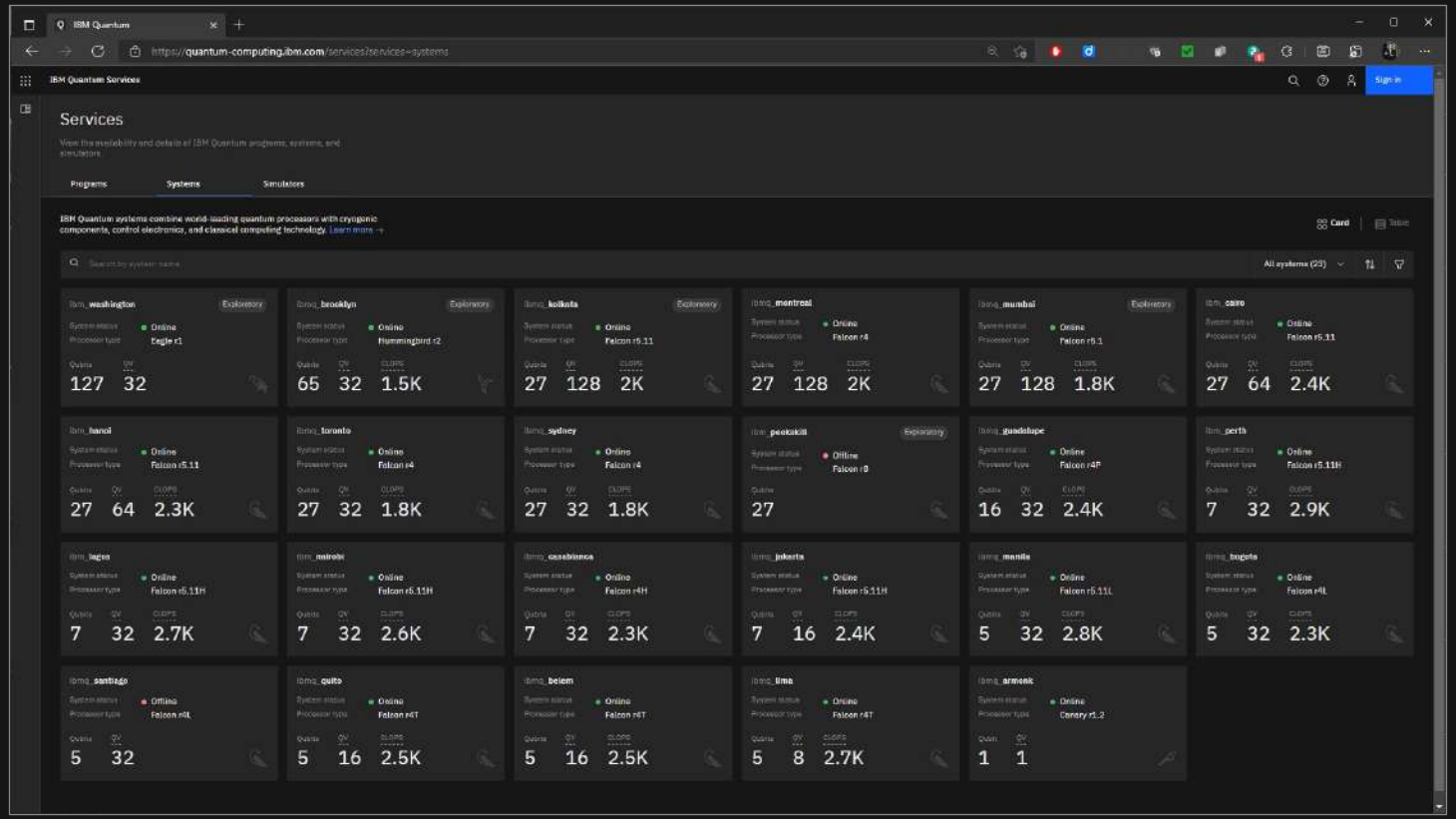
In May of 1981, IBM and MIT hosted the Physics of Computation Conference

The IBM Q Experience
May 2016

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

IBM Cloud quantum services

IBM **Quantum**



https://quantum-computing.ibm.com/services

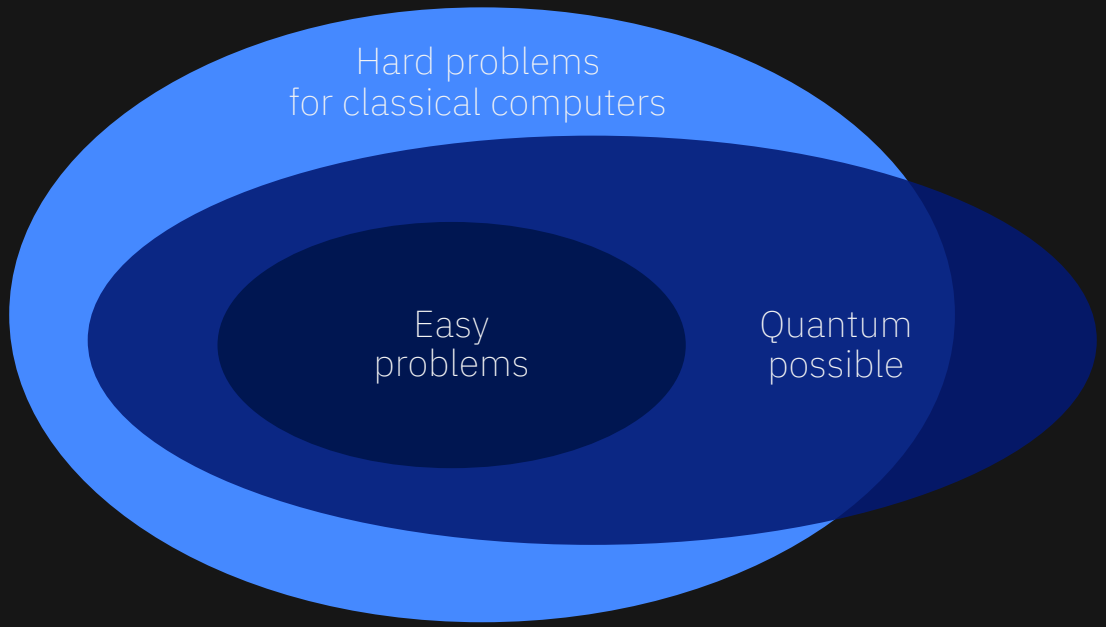
How powerful?

 © 2021 IBM Corporation Client Internal Use Only IBM CONFIDENTIAL

Exponential growth (指数的增大)

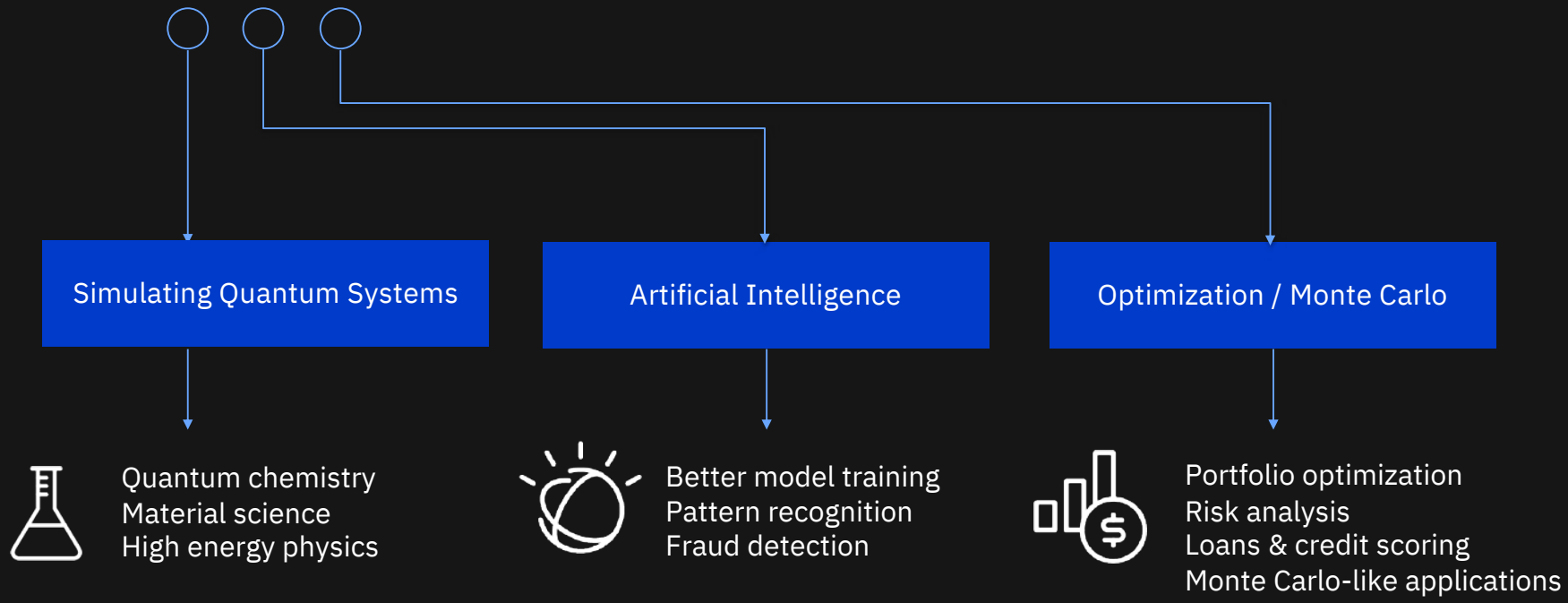
$$2^n$$

Hard Problems



Quantum applications span three general areas

IBM **Quantum**



Where are we now?

 © 2021 IBM Corporation Client Internal Use Only IBM CONFIDENTIAL

Universal Quantum Computer
万能量子コンピュータ

Small Scale (小規模)

Noisy (ノイズあり)

ibm_hanoi

Details

27 Qubits	Status:	Online	Avg. CNOT Error:	9.114e-3
	Total pending jobs:	472 jobs	Avg. Readout Error:	1.318e-2
64 QV	Processor type:	Falcon r5.11	Avg. T1:	158.8 us
	Version:	1.0.20	Avg. T2:	147.98 us
2.3K CLOPS	Basis gates:	CX, ID, RZ, SX, X	Providers with access:	1 Providers
	Your usage:	0 jobs	Supports Qiskit Runtime:	Yes

Your upcoming reservations 0

Calibration data

Last calibrated: an hour ago

Map view | Graph view | Table view

Qubit:

Single-qubit Pauli-X error

Avg 2.293e-4

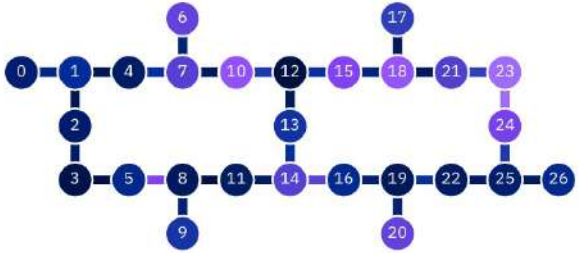
min 8.621e-5 max 4.639e-4

Connection:

CNOT error

Avg 9.114e-3

min 3.433e-3 max 2.724e-2



Your access providers

Universal Quantum Computer
万能量子コンピュータ

Noisy Small-Scale

2016

Quantum Advantage

2021

Fault-Tolerant Large-Scale

????

Development Roadmap

IBM **Quantum**

Executed by IBM | On target

2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026+
Run quantum circuits on the IBM cloud	Demonstrate and prototype quantum applications	Run quantum applications 100x faster on the IBM Cloud	Dynamic circuits for increased circuit variety, algorithmic complexity	Frictionless development with quantum workflows built in the cloud	Call 1K+ qubit services from Cloud API and investigate error correction	Enhance quantum workflows through HPC and quantum resources	

Model developers

- Quantum application services
  - Optimization | Natural Science | Finance | Machine Learning ....

Algorithm developers

- Quantum application modules (2020–2022)
  - Optimization | Natural Science | Finance | Machine Learning ....
- Prebuilt Qiskit Runtime and Classical integration (2023–2026+)
  - Error mitigation | Circuit knitting | Circuit Embedding | ....
  - Error correction

Kernel developers

- Circuits (2019–2022)
- Qiskit Runtime (2021–2022)
- Dynamic circuits (2022–2026+)
- Circuit libraries (2023–2026+)
  - Circuits for sampling | Circuits for time evolution | Circuits for ...

Quantum systems

- Falcon 27 qubits (2019–2020)
- Hummingbird 65 qubits (2020–2021)
- Eagle 127 qubits (2021–2022)
- Osprey 433 qubits (2022–2023)
- Condor 1121 qubits (2023–2024)
- Beyond 1K - 1M+ qubits (2024–2026+)

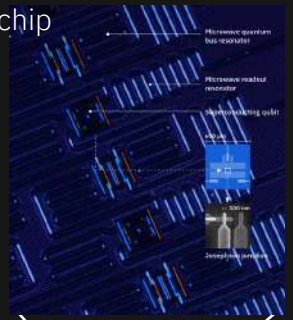
IBM Cloud

- Circuits
- Programs
- Applications

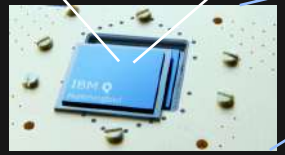
量子コンピューターの内部

超電導量子ビットと
共振器のチップ

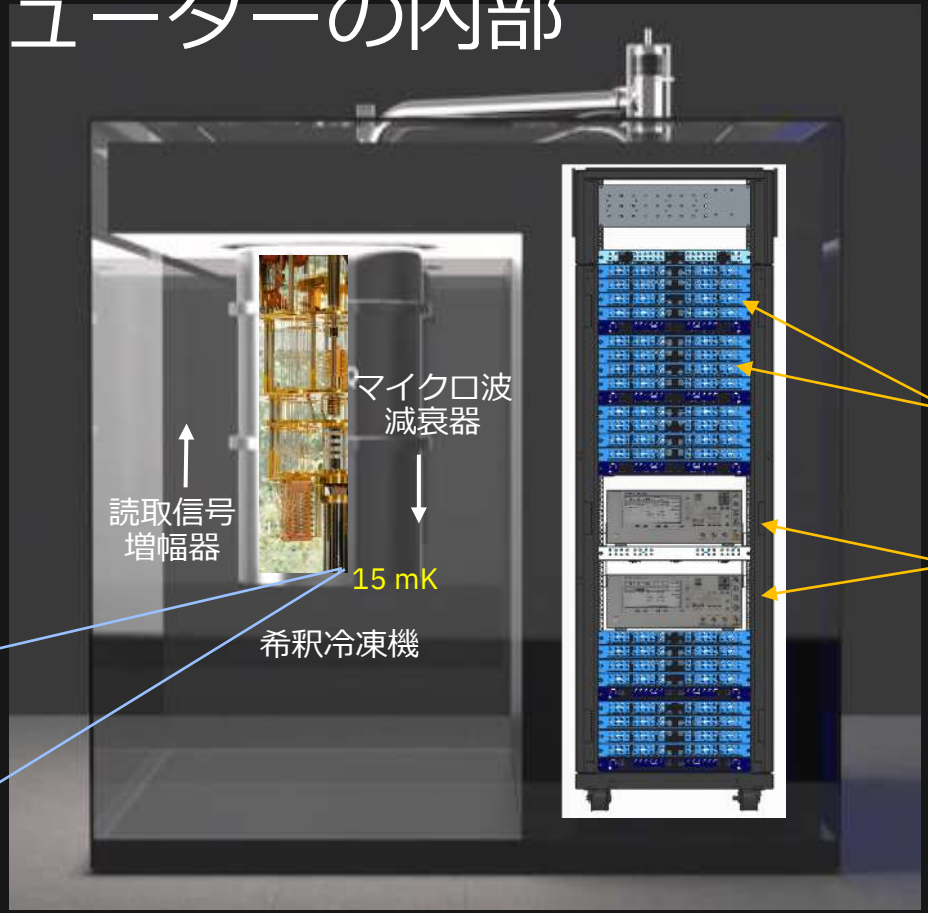
Qubits on chip



Circuit board



量子ビットチップの
搭載された基板



© 2021 IBM Corporation

<Projection only, Do not copy>

IBM

IBM **Newsroom**

Home | Latest News | Press Releases | Media Contacts | Media Center | Leadership | Global Newsrooms

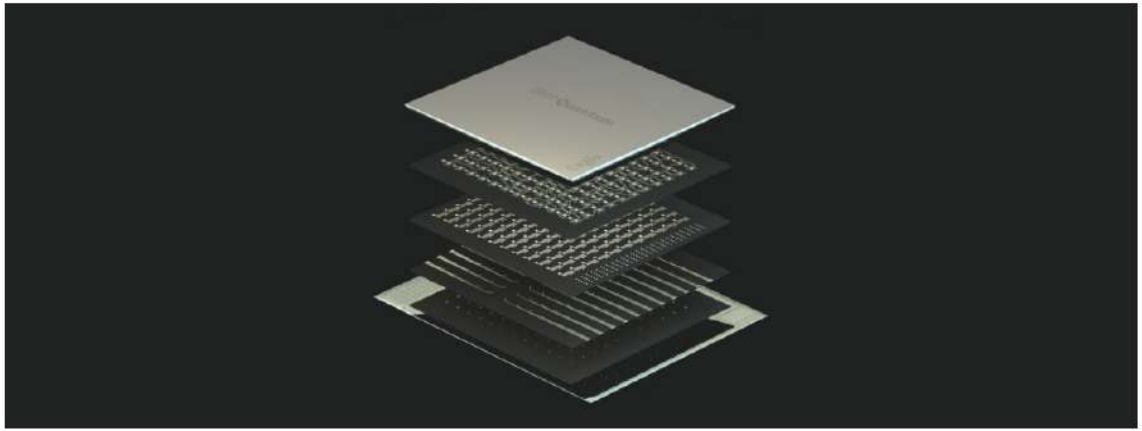
IBM Unveils Breakthrough 127-Qubit Quantum Processor

- Delivers 127 qubits on a single IBM quantum processor for the first time with breakthrough packaging technology

- New processor furthers IBM's industry-leading roadmaps for advancing the performance of its quantum systems

- Previews design for IBM Quantum System Two, a next generation quantum system to house future quantum processors

Nov 16, 2021

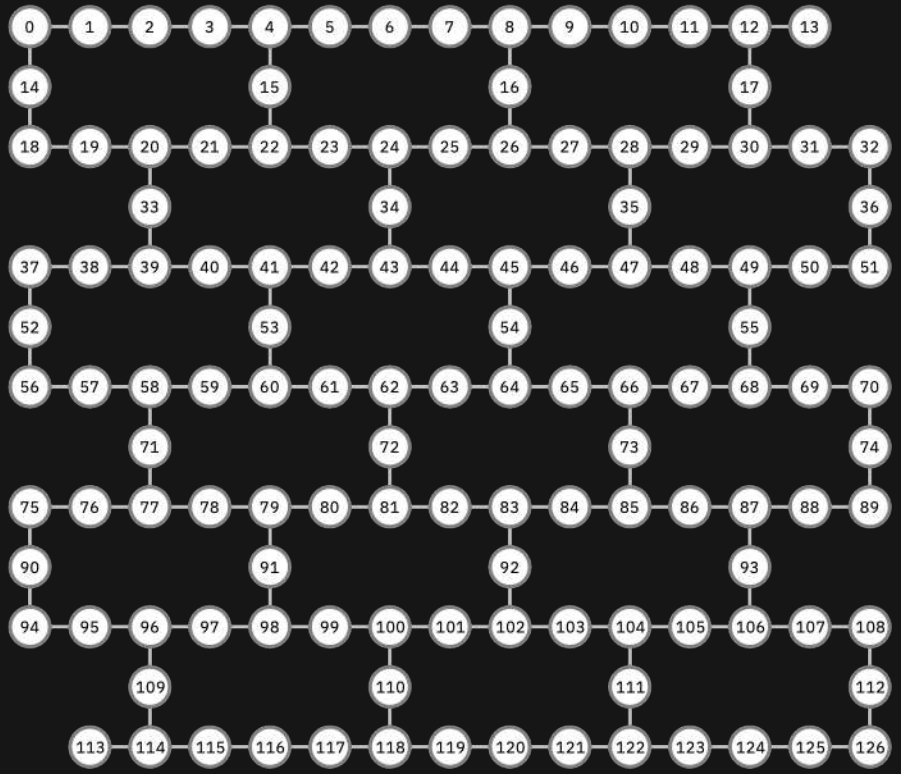


https://newsroom.ibm.com/2021-11-16-IBM-Unveils-Breakthrough-127-Qubit-Quantum-Processor

The Eagle has landed

IBM **Quantum**

IBM **Quantum** Eagle Processor
with 127 qubits



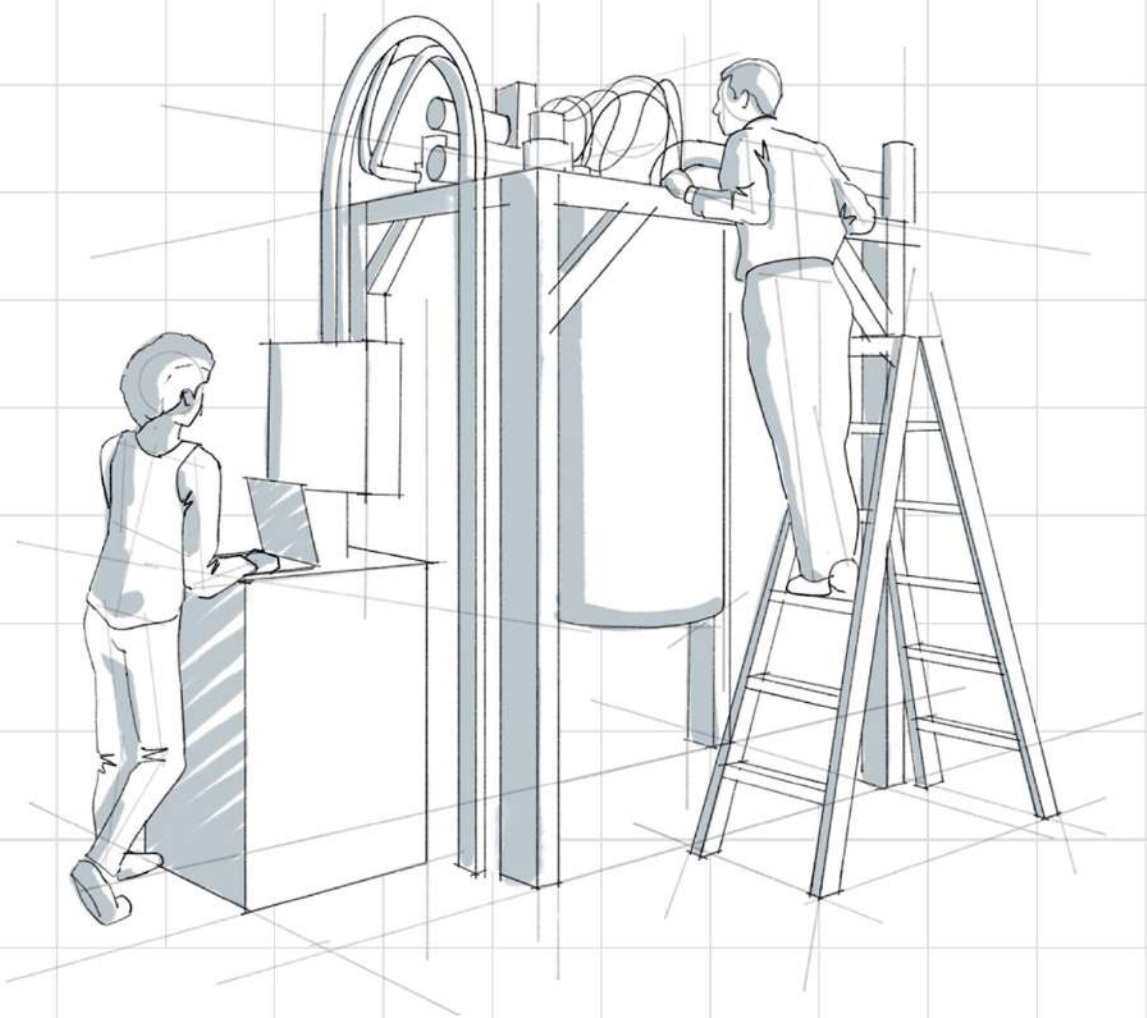
qiskit 0.22.0

see release notes

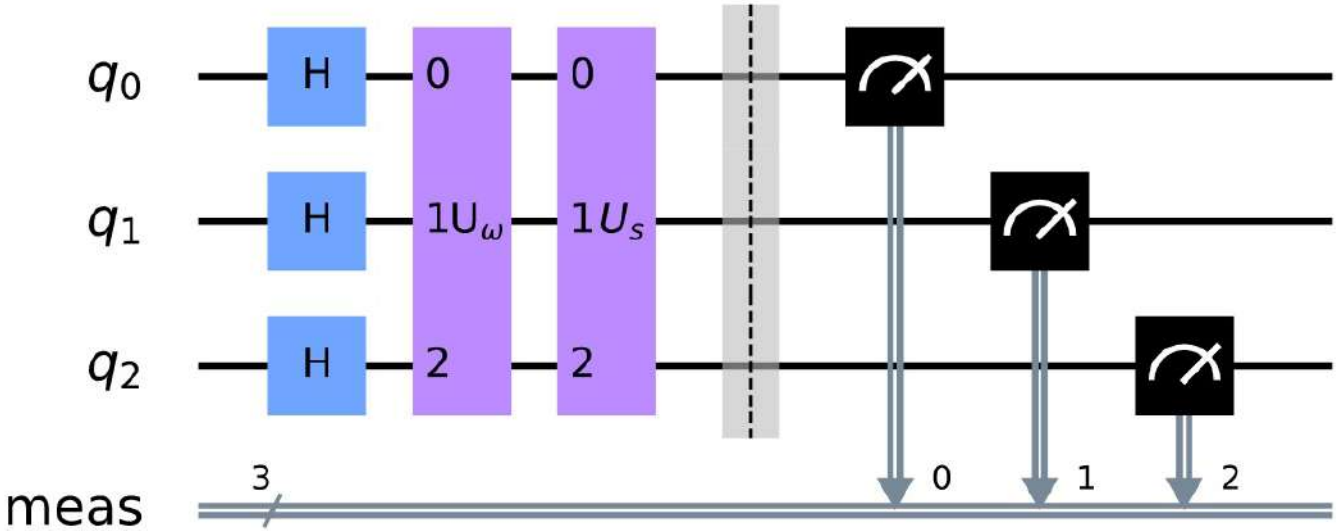
Open-Source Quantum Development

Qiskit [kiss-kit] is an open source SDK for working with quantum computers at the level of pulses, circuits and algorithms.

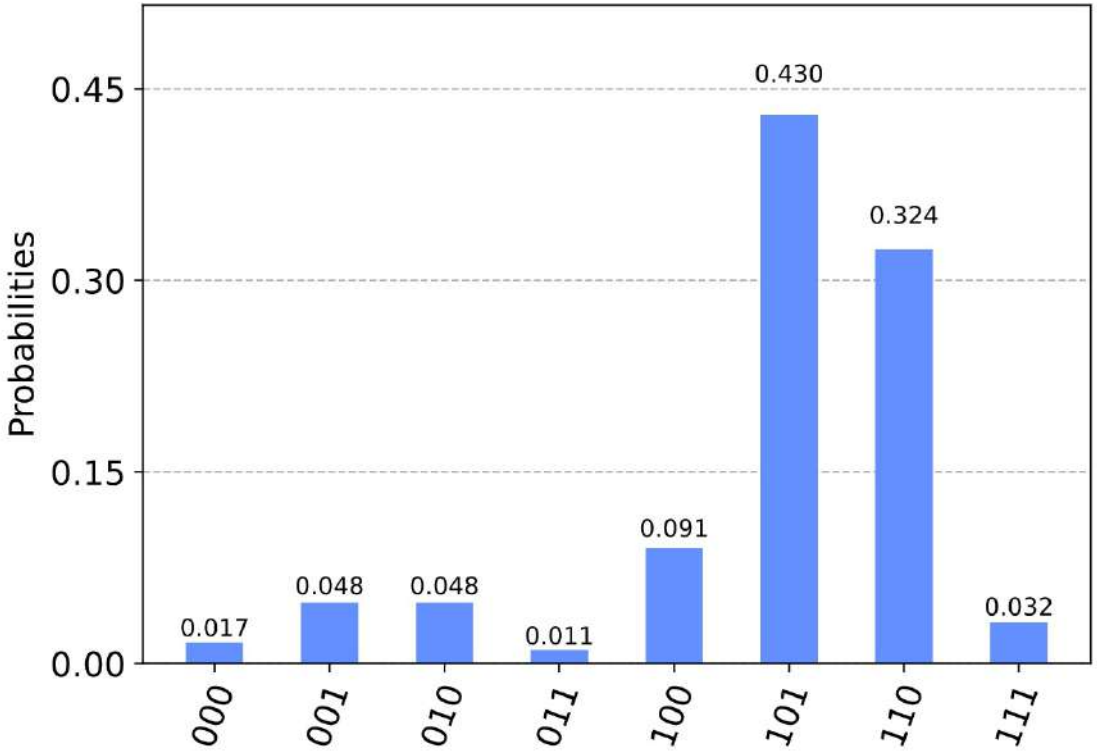
Get started →



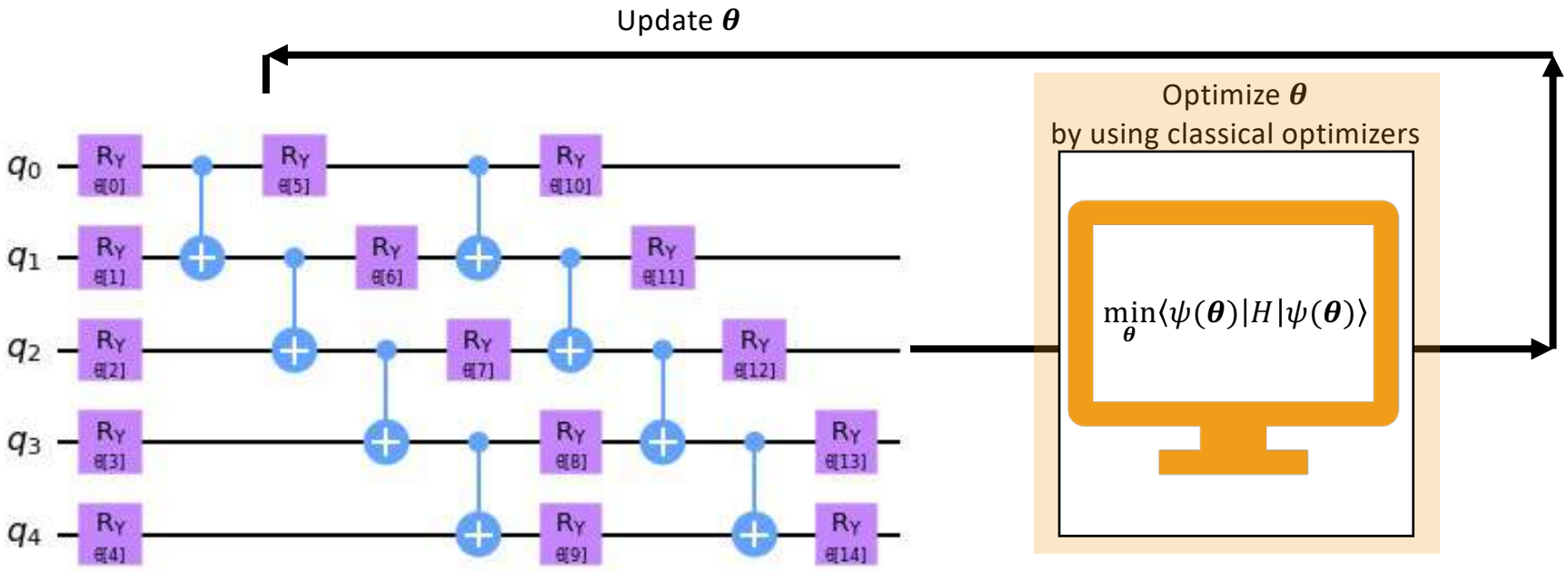
量子回路



実行結果の例


Probabilities
0.45
0.30
0.15
0.00
0.017
0.048
0.048
0.011
0.091
0.430
0.324
0.032
000
001
010
011
100
101
110
111

パラメータ付き量子回路



Date
11 May 2021

Authors

Ismael Faro

Blake Johnson

Tags

Hybrid Cloud HPC

Quantum

Quantum Circuits and Software

Quantum Hardware

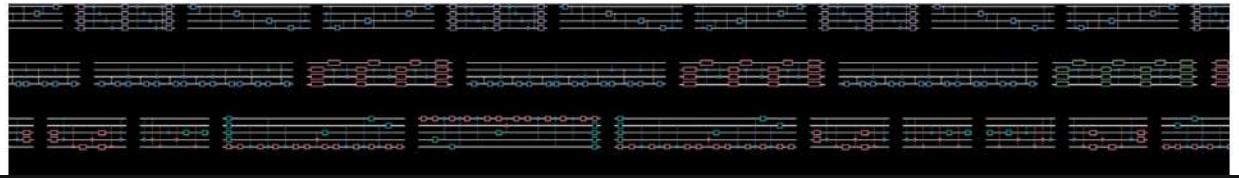
Share

News

5 minute read

IBM Quantum delivers 120x speedup of quantum workloads with Qiskit Runtime

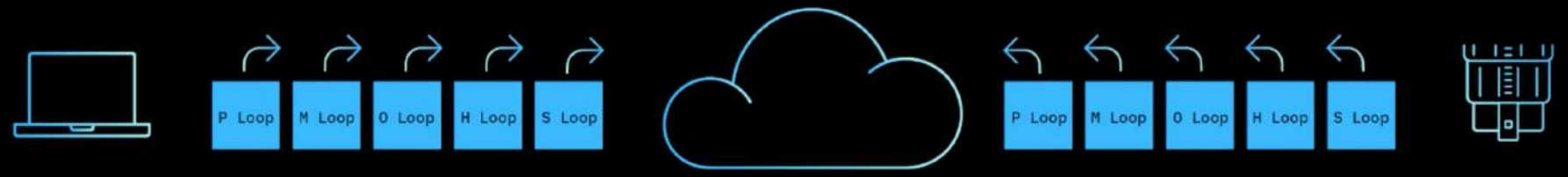
We're pleased to announce that the team demonstrated a 120x speedup in simulating molecules thanks to a host of improvements, including the ability to run quantum programs entirely on the cloud with Qiskit Runtime.



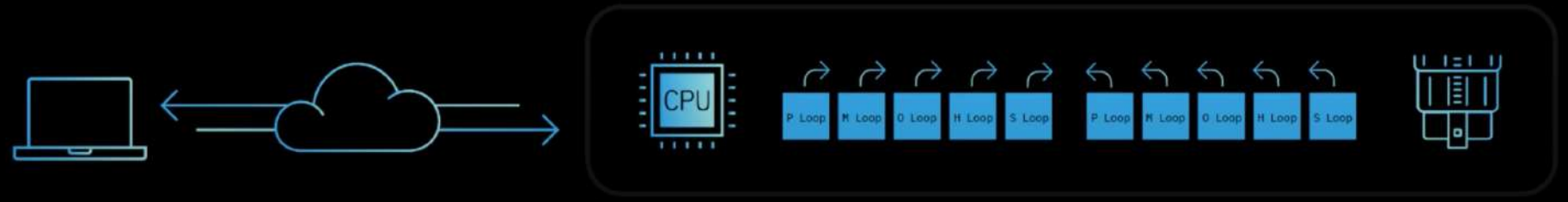
Qiskit Runtime

IBM **Quantum**

Quantum programs use nested loops that run back and forth across the cloud



Qiskit Runtime will increase performance up to 100X using hybrid cloud technology on the IBM Cloud

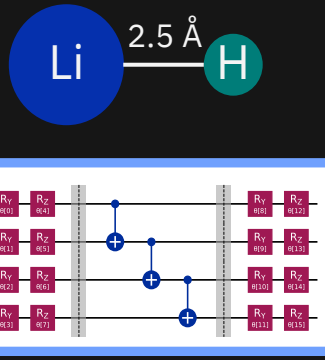


Qiskit Runtime: Demonstration

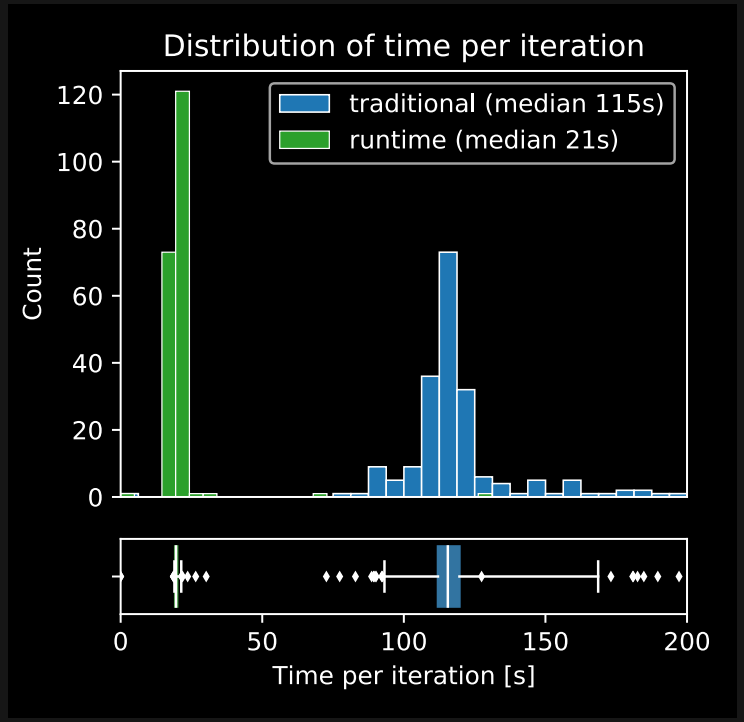
IBM **Quantum**

First beta: May 15th, Think 2021 Conference

With Qiskit Runtime improvement of 4.0x, we demonstrated a **combined improvement of 120x** on a chemistry simulation



1,000,000,000s of circuits to run useful workload



Algorithm 1.8X | Qiskit Runtime 4.0X | System Software 1.5X | Control Systems 4.2X | Device Fidelities 2.8X

Development Roadmap

IBM **Quantum**

Executed by IBM | On target

2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026+
Run quantum circuits on the IBM cloud	Demonstrate and prototype quantum applications	Run quantum applications 100x faster on the IBM Cloud	Dynamic circuits for increased circuit variety, algorithmic complexity	Frictionless development with quantum workflows built in the cloud	Call 1K+ qubit services from Cloud API and investigate error correction	Enhance quantum workflows through HPC and quantum resources	

Model developers

- Quantum application services
  - Optimization | Natural Science | Finance | Machine Learning ....

Algorithm developers

- Quantum application modules
  - Optimization | Natural Science | Finance | Machine Learning ....
- Prebuilt Qiskit Runtime and Classical integration
  - Error mitigation | Circuit knitting | Circuit Embedding | ....
  - Error correction

Kernel developers

- Circuits
- Qiskit Runtime
- Dynamic circuits
- Circuit libraries
  - Circuits for sampling | Circuits for time evolution | Circuits for ...

Quantum systems

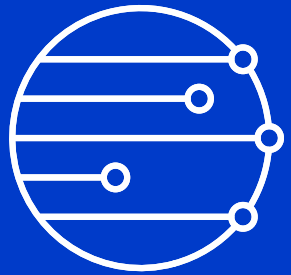
- Falcon 27 qubits
- Hummingbird 65 qubits
- Eagle 127 qubits
- Osprey 433 qubits
- Condor 1121 qubits
- Beyond 1K - 1M+ qubits

IBM Cloud

- Circuits
- Programs
- Applications

IBM Q Network mission

研究の加速
Accelerate quantum research



商用アプリケーションの開発
Develop commercial applications

教育の促進と準備
Promote education and prepare

IBM Quantum Network
By country

175	**total**
13	industry partners
20	hubs
50	members
41	startups
51	academic members and partners

United States	63
Japan	17
Canada	13
Germany	10
South Korea	10
UK	8
Australia	6
Spain	5
Switzerland	5
Israel	3
France	3
Singapore	3
Taiwan	3
Italy	2
Finland	2
Portugal	2
Sweden	1
Austria	1
South Africa	1
Netherlands	1
Poland	1
Ireland	1
Norway	1

IBM Quantum © 2022 IBM Corporation
Current as of 2022-02-11 10:07:42

ニュースルーム > ニュースリリース >

東京大学とIBM、「Japan–IBM Quantum Partnership」の設立に向け検討を開始

Select a topic or year

ニュースリリース　　関連する XML feeds

TOKYO - 19 12 2019:
2019年12月19日

国立大学法人東京大学
IBM Corporation

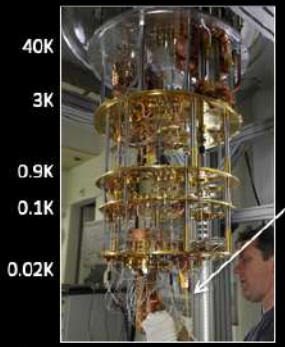
このパートナーシップでは、日本の量子コンピューティング・コミュニティを拡大するとともに、新たな経済的機会を育成することを目的として、大学、公的研究機関、産業界が参加する研究および教育の枠組みを構築します。

[東京 - 2019年12月19日（現地時間）発]国立大学法人東京大学（以下、東京大学）とIBM（NYSE：IBM）は本日、量子コンピューティングの技術革新ならびに実用化に向けたパートナーシップ構築を推進するための覚書を締結しました。

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO
IBM

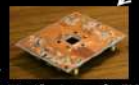
IBM Q System One™ in Japan

Technology Development Center



^{3}He と ^{4}Heの混合体によって量子ビットを15 mKまで冷却（希釈冷蔵器）

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。

Collaboration Center

2018年5月に開設したIBM Q Hub@Keioの協業スペース（コモンルーム）

東京大学本郷キャンパスに量子コンピューターのコラボレーション・センターを開設予定（2020年）

IBMと東京大学、量子イノベーションイニシアティブ協議会設立に向け連携
日本の量子研究開発のリーダーシップを加速し、日本の新たな量子ビジネスを創出

慶應義塾大学、東芝、日立製作所、みずほフィナンシャルグループ、
三菱UFJフィナンシャル・グループ、JSR、DIC、トヨタ自動車、三菱ケミカル、日本IBMが設立の検討を開始

2020年7月30日

IBMは、東京大学が創設する「量子イノベーションイニシアティブ協議会（以下、QII協議会）」への参画の検討を開始し、日本の量子コンピューティング研究開発の加速や、日本の量子ビジネスの機会創出で協業していきます。QII協議会のメンバーは、IBM® Q Networkのメンバーとなる予定で、2019年12月に発表したJapan–IBM Quantum Partnershipに基づき、IBM Q Networkを主要拠点として日本が量子コンピューターの社会実装を世界に先駆けて実現するため、産官学の協力を促進していきます。

QII

参加メンバー

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

慶應義塾

JSR株式会社

SONY

DIC Color & Comfort

TOSHIBA

TOYOTA

IBM

HITACHI Inspire the Next

MIZUHO みずほフィナンシャルグループ

SuMi TRUST SUMITOMO MITSUI TRUST GROUP

MITSUBISHI CHEMICAL

MUFG

YOKOGAWA

五十音順

東京大学とIBM、日本初のゲート型商用量子コンピューターを始動

本部協創課

いいね！ 375 ツイート

掲載日：2021年7月27日

国立大学法人東京大学（以下 東京大学）とIBMは、日本初のゲート型商用量子コンピューティング・システム「IBM® Quantum System One（以下、本システム）」の「新川崎・創造のもり かわさき新産業創造センター（KBIC）」における稼働開始を、本日発表しました。

詳しい内容はこちらをご覧ください。
東京大学とIBM、日本初のゲート型商用量子コンピューターを始動

2021.7.27 IBM **Quantum** Building the future together かわさき新産業創造センターにて

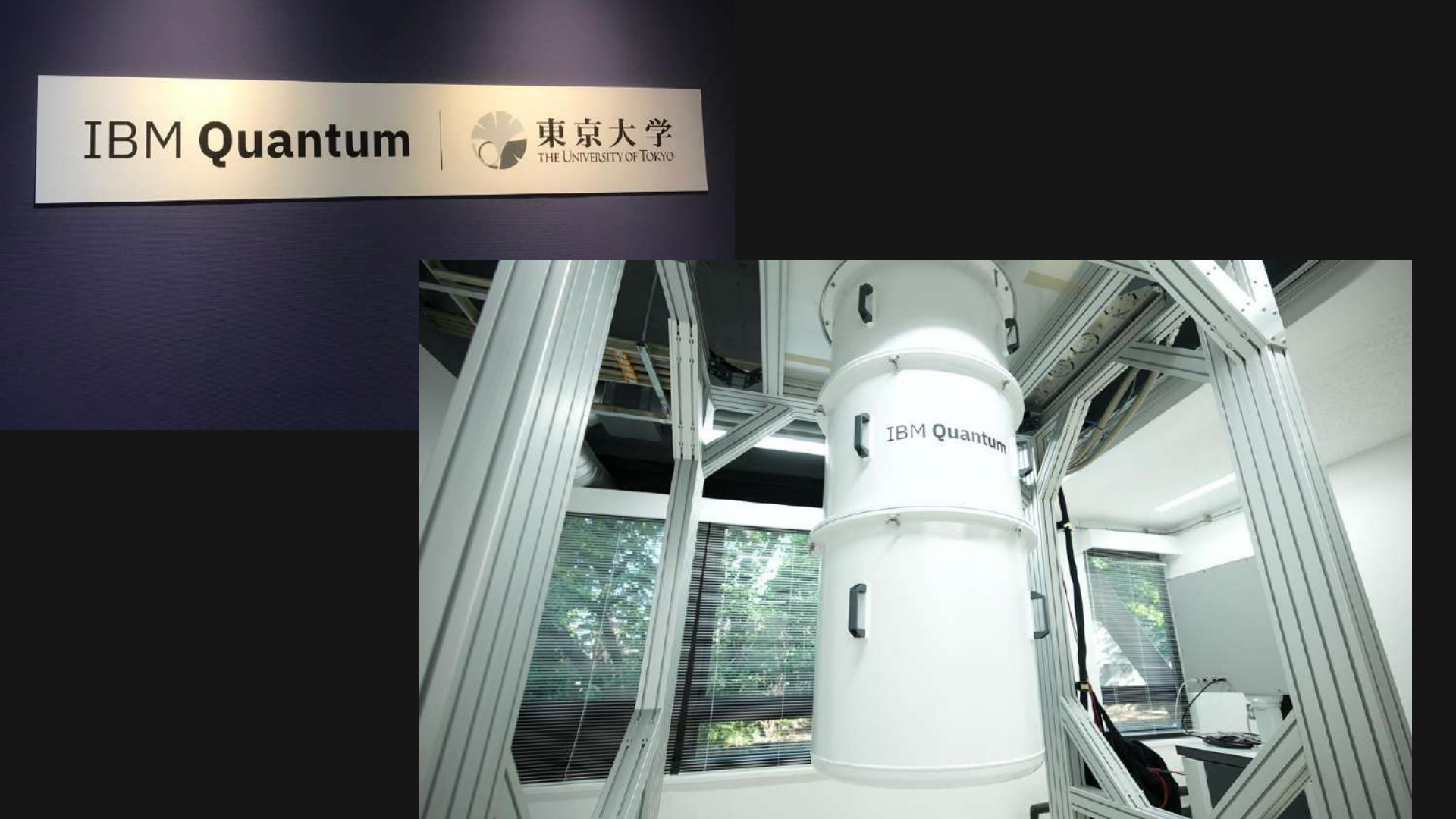
IBM
IBM Quantum
System One
Kawasaki,
Japan
川崎, 日本

IBMとして日本で初めての量子システム・テストベッドを東京大学に設置し、日本における産学連携による将来の量子コンピューター開発の加速をめざす

2021年6月7日
国立大学法人東京大学
日本アイ・ビー・エム株式会社

国立大学法人東京大学（以下 東京大学）とIBMは、将来の量子コンピューター技術の研究・開発を行うハードウェア・テストセンター「The University of Tokyo – IBM Quantum Hardware Test Center」を東京大学 浅野キャンパス内に開設し、同センターに量子コンピューターのコンポーネントの試験用に構築した、より大規模な量子コンピューターの動作環境を再現するプラットフォームである量子システム・テストベッドを設置したことを発表します。

東京大学とIBMは、本テストセンターを通じて日本の参加企業や団体に量子システム・テストベッドへのアクセスを提供し、量子コンピューターの将来のアプリケーション活用に不可欠な、高度な極低温マイクロ波コンポーネントとサブシステムおよび制御エレクトロニクスや、超伝導量子ビットを安定的に動作させるために必要な材料、高品質な信号伝送に必要な高周波部品や配線といった技術の研究開発を行います。また極低温を実現するために必要な冷凍機やコンプレッサー、それらの制御技術も研究していきます。なお、6月1日付で仙場浩一氏が東京大学大学院理学系研究科に特任教授として着任し、東京大学のみならず材料・部材・機器メーカーとも協業して、将来の量子コンピューターに必要な研究開発を実施・牽引します。


IBM Quantum
東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO
IBM Quantum

最近の発表論文 (抄)

IBM **Quantum**

PHYSICAL REVIEW A **103**, 062609 (2021)

PHYSICAL REVIEW A **104**, 052409 (2021)

PHYSICAL REVIEW A **105**, 012411 (2022)

Noisy quantum amplitude estimation without noise estimation

Tomoki Tanaka,[1,2,3] Shumpei Uno,[1,4] Tamiya Onodera,[1,5] Naoki Yamamoto,[1,6] and Yohichi Suzuki[1]

[1]*Quantum Computing Center, Keio University, Hiyoshi 3-14-1, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan*

[2]*Mitsubishi UFJ Financial Group, Inc., and MUFG Bank, Ltd., 2-7-1 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8388, Japan*

[3]*Graduate School of Science and Technology, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan*

[4]*Mizuho Research & Technologies, Ltd., 2-3 Kanda-Nishikicho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8443, Japan*

[5]*IBM Quantum, IBM Research-Tokyo, 19-21 Nihonbashi Hakozaki-cho, Chuo-ku, Tokyo 103-8510, Japan*

[6]*Department of Applied Physics and Physico-Informatics, Keio University, Hiyoshi 3-14-1, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan*

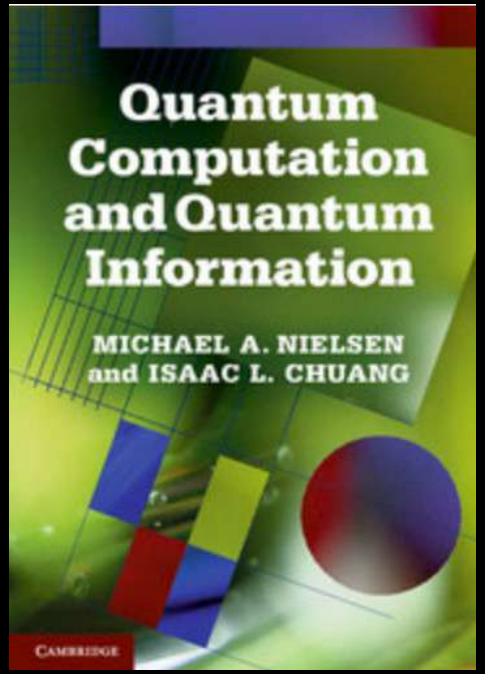
(Received 11 October 2021; accepted 8 December 2021; published 6 January 2022)

IBM Quantum / © 2021

Quantum Computation and Quantum Information
10th Anniversary Edition (2010)

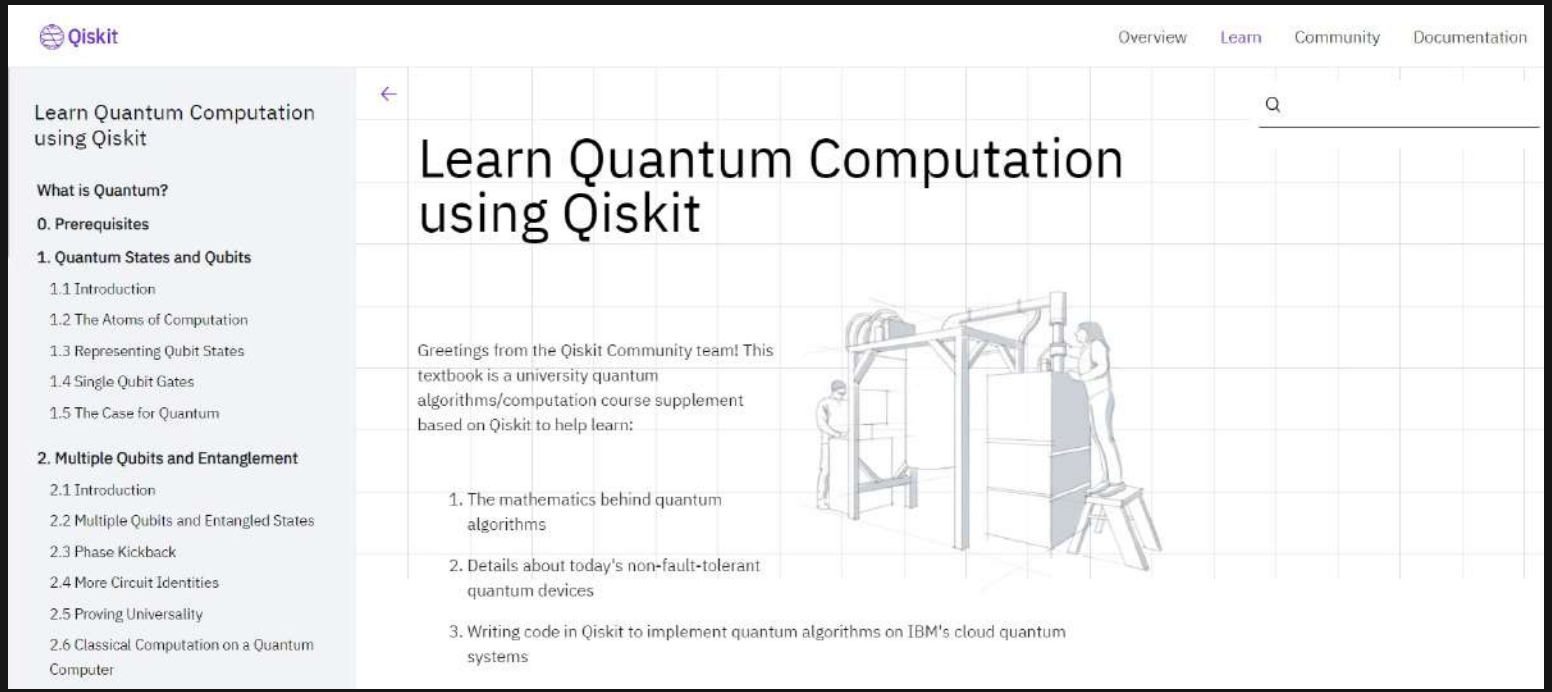
Michael A. Nielsen and Issac L. Chuang

Cambridge University Press



The Qiskit Textbook

IBM **Quantum**



https://qiskit.org/textbook/preface.html

The Qiskit Textbook

IBM **Quantum**

Run the Code Inline

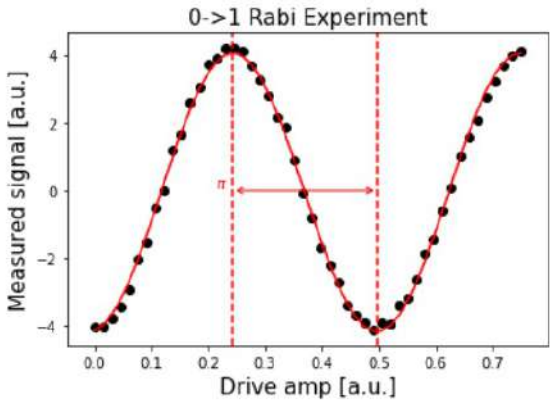
This textbook is built on a jupyter notebook framework that allows for easy reading, but it also allows readers to edit and run the code right in the textbook. The chapters can also be opened as Jupyter notebooks in the IBM Quantum Experience, no installs required!

```
# Click 'try', then 'run' to see the output,
# you can change the code and run it again.
print("This code works!")
from qiskit import QuantumCircuit
qc = QuantumCircuit(2) # Create circuit with 2 qubits
qc.h(0)     # Do H-gate on q0
qc.cx(0,1) # Do CNOT on q1 controlled by q0
qc.measure_all()
qc.draw()
```

try

Learn with Real Quantum Systems

The best way to learn is by doing. Qiskit allows users to run experiments on state-of-the-art quantum devices from the comfort of their homes. The textbook teaches not only theoretical quantum computing but the experimental quantum physics that realises it.



https://qiskit.org/textbook/preface.html

The Qiskit Textbook

IBM **Quantum**

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

IBM