

# サービスアップデート Quantum 編: Amazon Braket の基礎

Shoko Utsunomiya

Machine Learning / Quantum Senior Specialist SA  
Amazon Web Services Japan G.K.



# 宇都宮聖子, Ph.D.

アマゾン ウェブ サービス ジャパン合同会社  
技術統括本部  
シニア機械学習・量子ソリューションアーキテクト

2018年よりAWSにジョイン  
AWS 機械学習・量子コンピュータを担当

前職は、自動車 OEM にて機械学習を用いた自動運転開発  
前々職は、国立情報学研究所にて量子コンピュータの研究者

好きな AWS サービス: Amazon SageMaker, Amazon Braket



Twitter: [shokout](#)

# 本セッションでお話すること

- 量子コンピューティングの背景
- AWS Center for Quantum Computing
- Amazon Braket
  - QPU
    - Rigetti / IonQ / D-Wave
  - Amazon Braket Python SDK
  - 量子コンピューティングシミュレータ
- お客様の量子プロジェクトご支援体制
  - 量子アプリケーション構築のための AWS パートナー
  - お客様事例

本セッションでは  
「Amazon Braket の基礎と  
AWS における 量子コンピューティングの取り組みについて」  
をお話します

Hybrid Jobs サービスアップデートの詳細は  
サービスアップデート [Quantum 編: Amazon Braket Hybrid Jobs](#)  
を御覧ください



# はじめに ～ 昨今の量子コンピューティング現状 ～

- 量子力学の物理法則を用いた新しい計算手法を模索する分野
  - 新しい計算のパラダイム:  
10Xのパフォーマンス改善ではなく 10<sup>X</sup> (指数加速) を狙う
- ビジネス応用・実用化にはだかる科学的・工学的に大きな挑戦
  - スケーラブルなハードウェアの構築
  - ビジネス応用につながるアルゴリズムの発見
  - 量子ソフトウェア開発者の育成と開発環境
- 量子コンピュータの実現にあるノイズの壁
  - “Noisy Intermediate-Scale Quantum” (NISQ) と呼ばれる量子古典ハイブリッドアプローチによる量子機械学習などのアプリケーション探索

# 量子コンピュータ どんな分野に応用できる？

## - 期待されている量子コンピュータのユースケース



- 量子化学計算、創薬、材料化学

- 量子機械学習

- 金融（ポートフォリオ最適化、リスク計算、オプション価格決定）



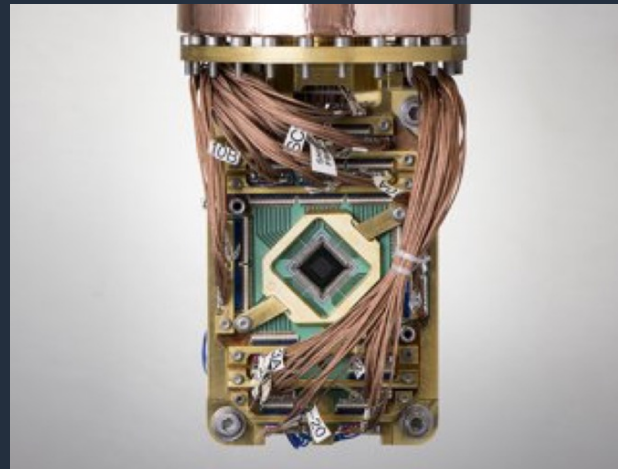
- 交通系（配送計画最適化、交通経路探索）

- 最適化（レコメンデーション、人材配置）

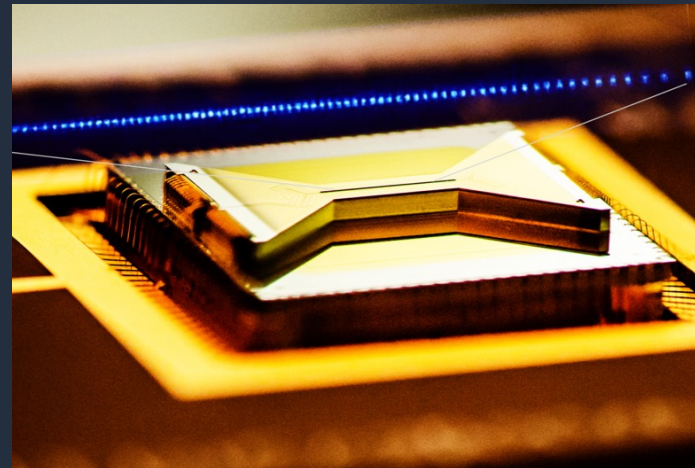


利用できるハードウェアは限られた量子ビット数  
アルゴリズム・アプリケーションも研究段階

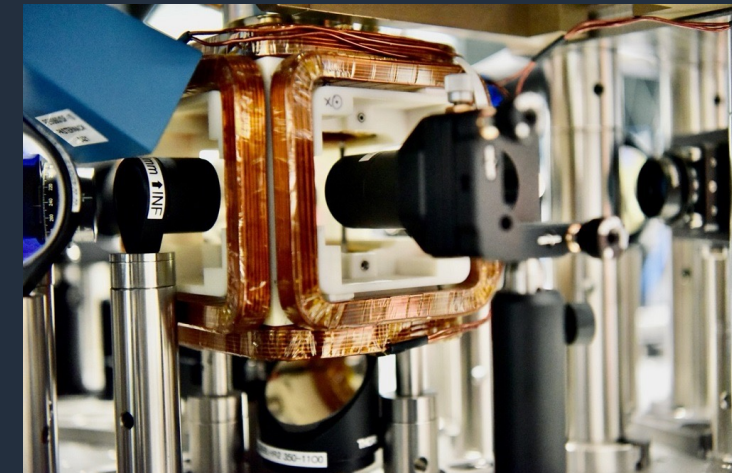
# 様々なデバイスで量子コンピュータの大規模化を目指す



Superconducting qubits  
超伝導量子ビット



Trapped ions  
イオントラップ




Neutral Atom  
中性原子

商用デバイスで利用可能な量子ビット数は数～100量子ビットオーダー

re:Invent 2019 (CMP213-R) から一部抜粋  
<https://www.youtube.com/watch?v=BV9TZWuAwyk>  
<https://www.nature.com/articles/s41566-018-0236-y>

# 量子コンピュータの大規模化が難しい理由

- 量子ビットの操作が完全ではない
  - 有限のエラーを含むゲート操作
  - 量子ゲートの欠陥
  - 量子ビット・量子ゲートにばらつきがある
- 量子ビットの寿命時間（コヒーレンス時間）が有限（計算時間に比べて十分長い必要がある）  
 誤り訂正が必要
- 誤り訂正可能でスケーラブルかつ実装可能なアーキテクチャ

# NISQ : Noisy Intermediate-Scale Quantum Technology

- ノイズあり中規模量子デバイス -



- 1: 古典計算機でシミュレーション可能
- 2: Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ)
- 3: エラー訂正を前提としたコンピュータ

①  $< 50$  量子ビット:

古典計算機でシミュレーション可能

② NISQ

有望なアプリケーション実現が期待される

いますぐ量子コンピュータを使って開発はじめよう!

③  $> 100k$  量子ビット:

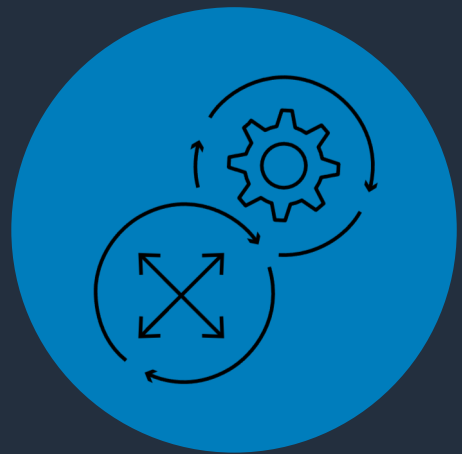
誤り訂正前提で量子コンピューティング

しかし大規模化開発には時間がかかる

re:Invent 2019 (CMP213-R) から抜粋

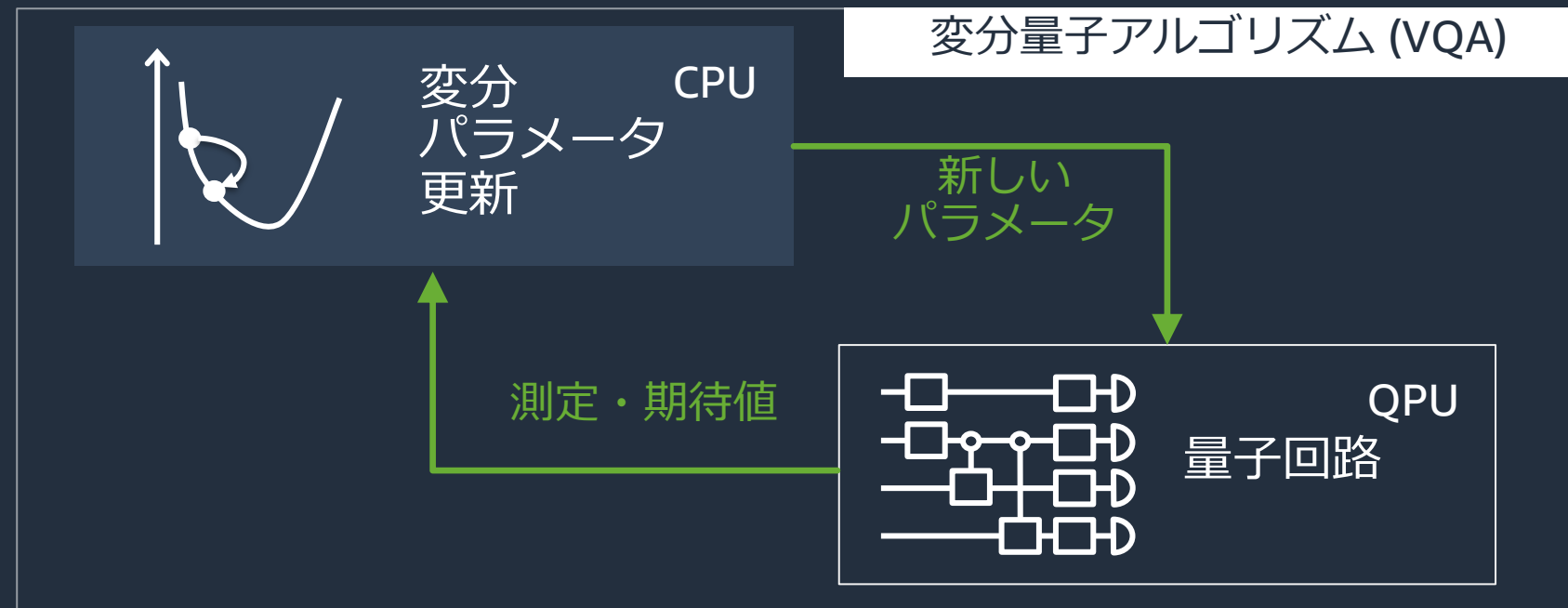
<https://www.youtube.com/watch?v=BV9TZWuAwyk>

# NISQ デバイスでの量子・古典ハイブリッド計算



Hybrid algorithms

- Noisy Intermediate Scale Quantum (NISQ)
- 限られた量子ビットを用いて現実的な問題を解く
- 量子コンピュータをコプロセッサとして利用する量子・古典ハイブリッド計算
  - 変分量子固有値法 (Variational Quantum Eigensolver: VQE)
  - 量子機械学習 (Quantum Machine Learning)



# AWS Center for Quantum Computing



# AWS Center for Quantum Computing

- カリフォルニア工科大学（Caltech）に隣接する **AWS の量子研究センター**
- 世界をリードする量子コンピューティングの研究者とエンジニアを集めて、量子コンピューティングの**ハードウェア**と**ソフトウェア**の開発を加速



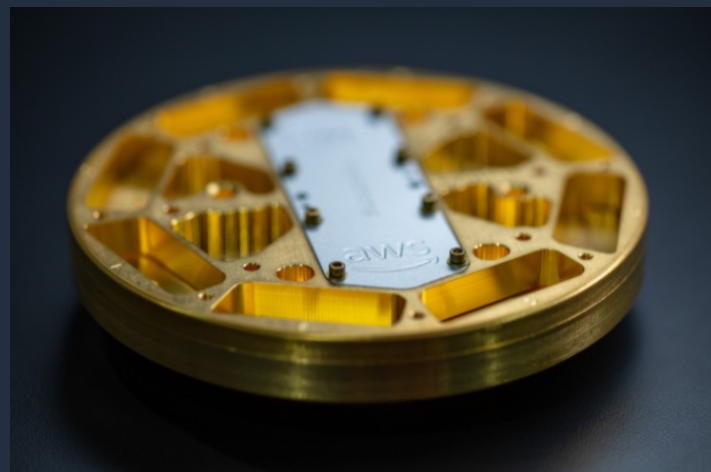
Pasadena の  
Caltech キャンパスに隣接

<https://aws.amazon.com/jp/blogs/quantum-computing/announcing-the-opening-of-the-aws-center-for-quantum-computing/>



# AWS Center for Quantum Computing

- Oskar Painter, Fernando G.S.L. Brandão, John Preskill ら、世界をリードする量子コンピューティングの研究者とエンジニアを集めて、量子コンピューティングのハードウェアとソフトウェアの開発を加速



マイクロ波パッケージの  
AWS量子プロセッサ



超伝導量子ビット

## Quantum Computing in the NISQ era and beyond

John Preskill

Institute for Quantum Information and Matter and Walter Burke Institute for Theoretical Physics,  
California Institute of Technology, Pasadena CA 91125, USA  
30 July 2018

Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) technology will be available in the near future. Quantum computers with 50-100 qubits may be able to perform tasks which surpass the capabilities of today's classical digital computers, but noise in quantum gates will limit the size of quantum circuits that can be executed reliably. NISQ devices will be useful tools for exploring many-body quantum physics, and may have other useful applications, but the 100-qubit quantum computer will not change the world right away — we should regard it as a significant step toward the more powerful quantum technologies of the future. Quantum technologists should continue to strive for more accurate quantum gates and, eventually, fully fault-tolerant quantum computing.

<https://arxiv.org/pdf/1801.00862.pdf>

# AWS Center for Quantum Computing

- Oskar Painter, Fernando G.S.L. Brandão, John Preskill ら、世界をリードする量子コンピューティングの研究者とエンジニアを集めて、量子コンピューティングのハードウェアとソフトウェアの開発を加速

## Quantum Computing in the NISQ era and beyond

John Preskill

Institute for Quantum Information and Matter and Walter Burke Institute for Theoretical Physics,  
California Institute of Technology, Pasadena CA 91125, USA  
30 July 2018

Noisy Intermediate-Scale Quantum (NISQ) technology will be available in the near future. Quantum computers with 50-100 qubits may be able to perform tasks which surpass the capabilities of today's classical digital computers, but noise in quantum gates will limit the size of quantum circuits that can be executed reliably. NISQ devices will be useful tools for exploring many-body quantum physics, and may have other useful applications, but the 100-qubit quantum computer will not change the world right away — we should regard it as a significant step toward the more powerful quantum technologies of the future. Quantum technologists should continue to strive for more accurate quantum gates and, eventually, fully fault-tolerant quantum computing.

<https://arxiv.org/pdf/1801.00862.pdf>

## Building a fault-tolerant quantum computer using concatenated cat codes

Christopher Chamberland,<sup>1,2</sup> Kyungjoo Noh,<sup>1</sup> Patricio Arrangoiz-Arriola,<sup>1,\*</sup> Earl T. Campbell,<sup>1,\*</sup> Connor T. Hann,<sup>1,3,\*</sup> Joseph Iverson,<sup>1,\*</sup> Harald Putterman,<sup>1,\*</sup> Thomas C. Bohdanowicz,<sup>1,2</sup> Steven T. Flammia,<sup>1</sup> Andrew Keller,<sup>1</sup> Gil Refael,<sup>1,2</sup> John Preskill,<sup>1,2</sup> Liang Jiang,<sup>1,4</sup> Amir H. Safavi-Naeini,<sup>1,5</sup> Oskar Painter,<sup>1,2</sup> and Fernando G.S.L. Brandão<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>AWS Center for Quantum Computing, Pasadena, CA 91125, USA

<sup>2</sup>IQIM, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA

<sup>3</sup>Department of Physics, Yale University, New Haven, CT 06511, USA

<sup>4</sup>Pritzker School of Molecular Engineering, The University of Chicago, Illinois 60637, USA

<sup>5</sup>Department of Applied Physics and Ginzton Laboratory, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA

We present a comprehensive architectural analysis for a fault-tolerant quantum computer based on cat codes concatenated with outer quantum error-correcting codes. For the physical hardware, we propose a system of acoustic resonators coupled to superconducting circuits with a two-dimensional layout. Using estimated near-term physical parameters for electro-acoustic systems, we perform a detailed error analysis of measurements and gates, including CNOT and Toffoli gates. Having built a realistic noise model, we numerically simulate quantum error correction when the outer code is either a repetition code or a thin rectangular surface code. Our next step toward universal fault-tolerant quantum computation is a protocol for fault-tolerant Toffoli magic state preparation that significantly improves upon the fidelity of physical Toffoli gates at very low qubit cost. To achieve even lower overheads, we devise a new magic-state distillation protocol for Toffoli states. Combining these results together, we obtain realistic full-resource estimates of the physical error rates and overheads needed to run useful fault-tolerant quantum algorithms. We find that with around 1,000 superconducting circuit components, one could construct a fault-tolerant quantum computer that can run circuits which are intractable for classical supercomputers. Hardware with 32,000 superconducting circuit components, in turn, could simulate the Hubbard model in a regime beyond the reach of classical computing.

ant-ph] 7 Dec 2020

<https://arxiv.org/pdf/2012.04108.pdf>

# Amazon Braket

フルマネージド型の量子コンピューティングサービス



# Amazon Braket は異なる計算技術への安全かつオンデマンドなアクセスを提供

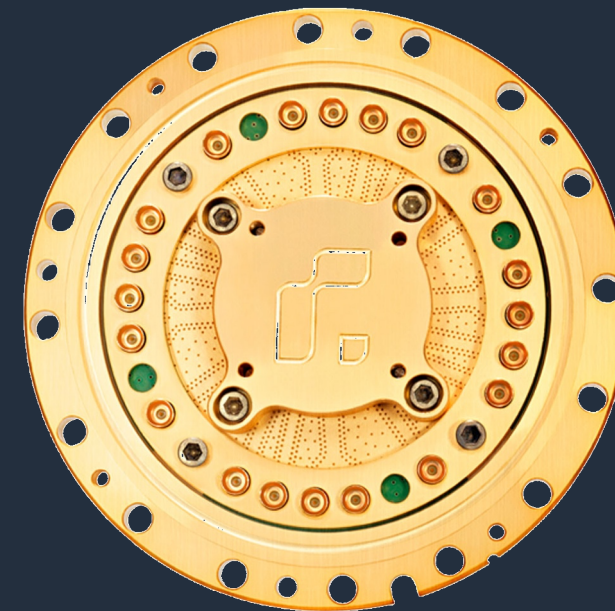
D:wave



IONQ

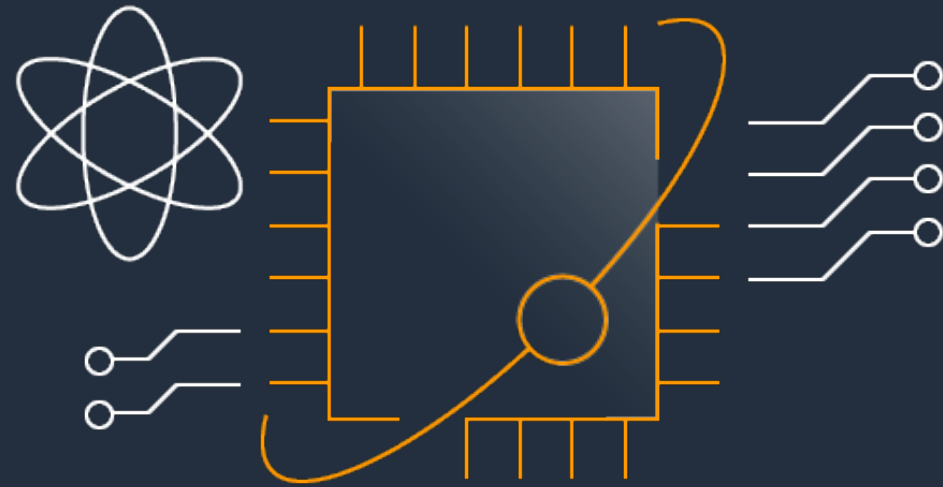


rigetti



# 量子コンピュータの敷居の高さ

量子コンピュータごとに  
断片化した開発者ツール



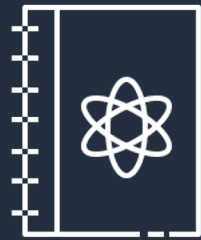
量子ハードウェアは  
貴重な計算資源

ハードごとに個別契約が必要  
アクセスが難しい

量子コンピュータのシミュレーションは  
専門知識を有する上に  
計算リソースが必要

# Amazon Braket

- 全ての開発者・科学者の手に量子コンピューティングを



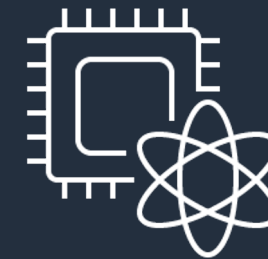
設計

マネージド開発環境



テスト

ハイパフォーマンスな  
回路シミュレータ



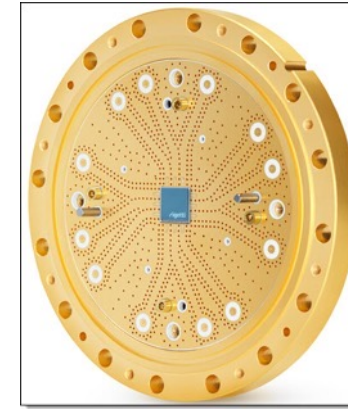
実行

セキュア・オンデマンドな  
量子ハードウェアで  
ハイブリッド計算

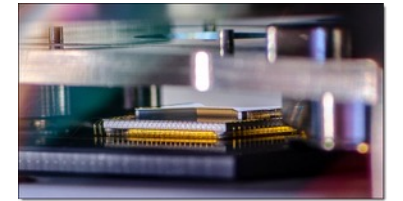
# 量子デバイス (QPU)

- ゲートベース量子コンピュータ
  - Rigetti : 超伝導量子ビット (The Rigetti Aspen-11)
    - 38量子ビット、結合は部分的
  - IonQ : イオントラップ量子ビット (IonQ linear trap)
    - 11量子ビット、全結合が特徴
- 量子アニーリング
  - D-Wave : 超伝導量子ビット
    - DW\_2000Q\_6 (2048量子ビット)
    - DW\_Advantage 4.1 (5760量子ビット)

デバイスの開発・構築実行は非常に高度な技術を必要とする上、運用も高コスト。クラウドベースのオンデマンドに適している。



rigetti



IONQ



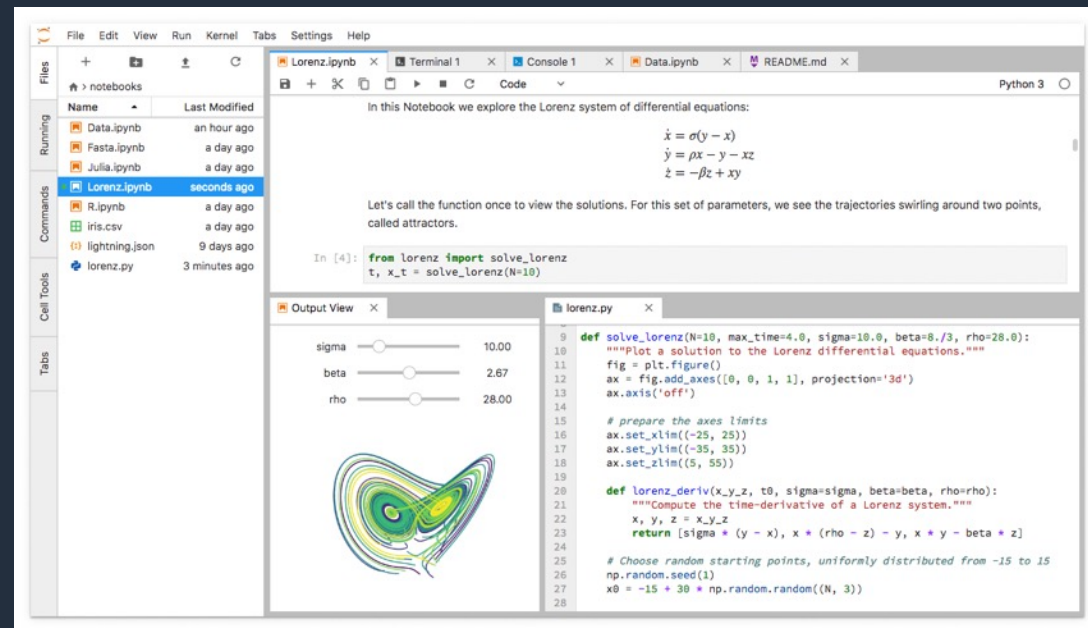
D:WAVE  
The Quantum Computing Company™

<https://aws.amazon.com/braket/hardware-providers/>



# 開発はマネージド Jupyter Lab 環境 を提供

## 設計 ~ テスト ~ 本番環境実行



- マネージドな開発環境
- アルゴリズムの構築とテスト ~ 本番環境実行
- 事前構築された開発環境 (サンプルノートブック)
- シミュレーション用に 計算リソースを自動割り当て
- 量子回路計算とハイブリッドジョブ



# Amazon Braket Python SDK

- Amazon Braket SDK を通じてデバイスに依存しない回路設計
  - 量子回路計算 (Rigetti, IonQ)
  - 量子アニーリング(D-Wave)
- タスクの実行、読み出し
- デバイスタイプの選択
  - QPU (IonQ, Rigetti, D-Wave)
  - 量子回路シミュレータ (local simulator, state vector simulator, density matrix simulator, tensor network simulator)

```
'ZZ']

In [3]: bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
print(bell)
print(f"\nserialized_circuit: {bell.to_ir().json()}")

T : |0|1|

q0 : -H-C-
      |
q1 : ---X-


T : |0|1|

serialized_circuit: {"instructions": [{"target": 0, "type": "h"}, {"control": 0, "target": 1, "type": "cnot"}]}
```

```
In [4]: result = simulator.run(bell, s3_destination_folder).result()
print(f"measurement_counts: {result.measurement_counts}")
print(f"measurement_probabilities: {result.measurement_probabilities}")

data = ["".join([str(bit) for bit in shot]) for shot in result.measurements]
plot = plt.hist(data)

measurement_counts: Counter({'00': 50, '11': 50})
measurement_probabilities: {'00': 0.5, '11': 0.5}
```



Measurement Outcome	Count
00	50
11	50

```
In [5]: # QFT example. Encode a circuit with phase frequency of 2. Run QFT and get back
```

<https://aws.amazon.com/braket/hardware-providers/>

# デバイスタイプ切り替えで簡単にQPUにアクセスできる

```
import boto3
from braket.circuits import Circuit
from braket.aws import AwsDevice

aws_account_id = boto3.client("sts").get_caller_identity()["Account"]

device = AwsDevice("arn:aws:braket:::device/qpu/rigetti/Aspen-8")
s3_folder = (f"amazon-braket-output-{aws_account_id}", "RIGETTI")

bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
task = device.run(bell, s3_folder)
print(task.result().measurement_counts)
```

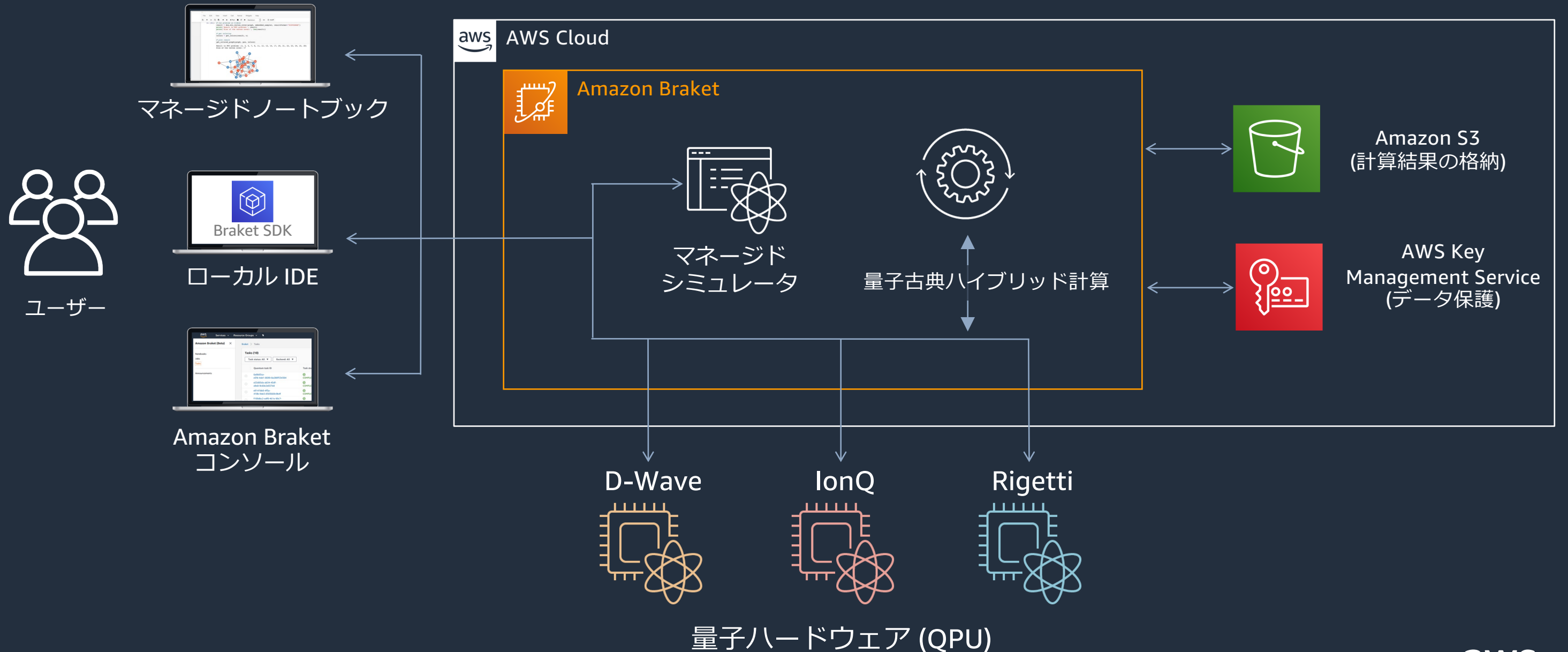
IonQ "arn:aws:braket:::device/qpu/ionq/ionQdevice"

Rigetti "arn:aws:braket:::device/qpu/rigetti/Aspen-8"

D-Wave (See the next section in this document for more information about using D-Wave.)

- D-Wave 2000Q\_6 "arn:aws:braket:::device/qpu/d-wave/DW\_2000Q\_6"
- D-Wave Advantage\_system1 "arn:aws:braket:::device/qpu/d-wave/Advantage\_system1"

# Amazon Braket アーキテクチャ




# Amazon Braket からアクセス可能な QPU とシミュレータ

Amazon Braket > Devices

## Quantum Processing Units (QPUs)


Hide retired devices

### D-Wave — Advantage\_system4.1

Quantum Annealer based on superconducting qubits 


Qubits	Status
5760	✔ ONLINE
Region	Next available
us-west-2	✔ AVAILABLE NOW

### D-Wave — DW\_2000Q\_6

Quantum Annealer based on superconducting qubits 


Qubits	Status
2048	✔ ONLINE
Region	Next available
us-west-2	✔ AVAILABLE NOW

### IonQ

Universal gate-model QPU based on trapped ions 

Qubits	Status
11	✔ ONLINE
Region	Next available
us-east-1	07:21:17


### Rigetti — Aspen-11

Universal gate-model QPU based on superconducting qubits 

Qubits	Status
38	✔ ONLINE
Region	Next available
us-west-1	09:21:08


## Simulators

### Amazon Web Services — SV1

Amazon Braket state vector simulator 


Qubits	Status
34	✔ ONLINE
Region	Next available
us-east-1, us-west-1, us-west-2	✔ AVAILABLE NOW

### Amazon Web Services — TN1

Amazon Braket tensor network simulator 

Qubits	Status
50	✔ ONLINE
Region	Next available
us-east-1, us-west-2	✔ AVAILABLE NOW

### Amazon Web Services — DM1

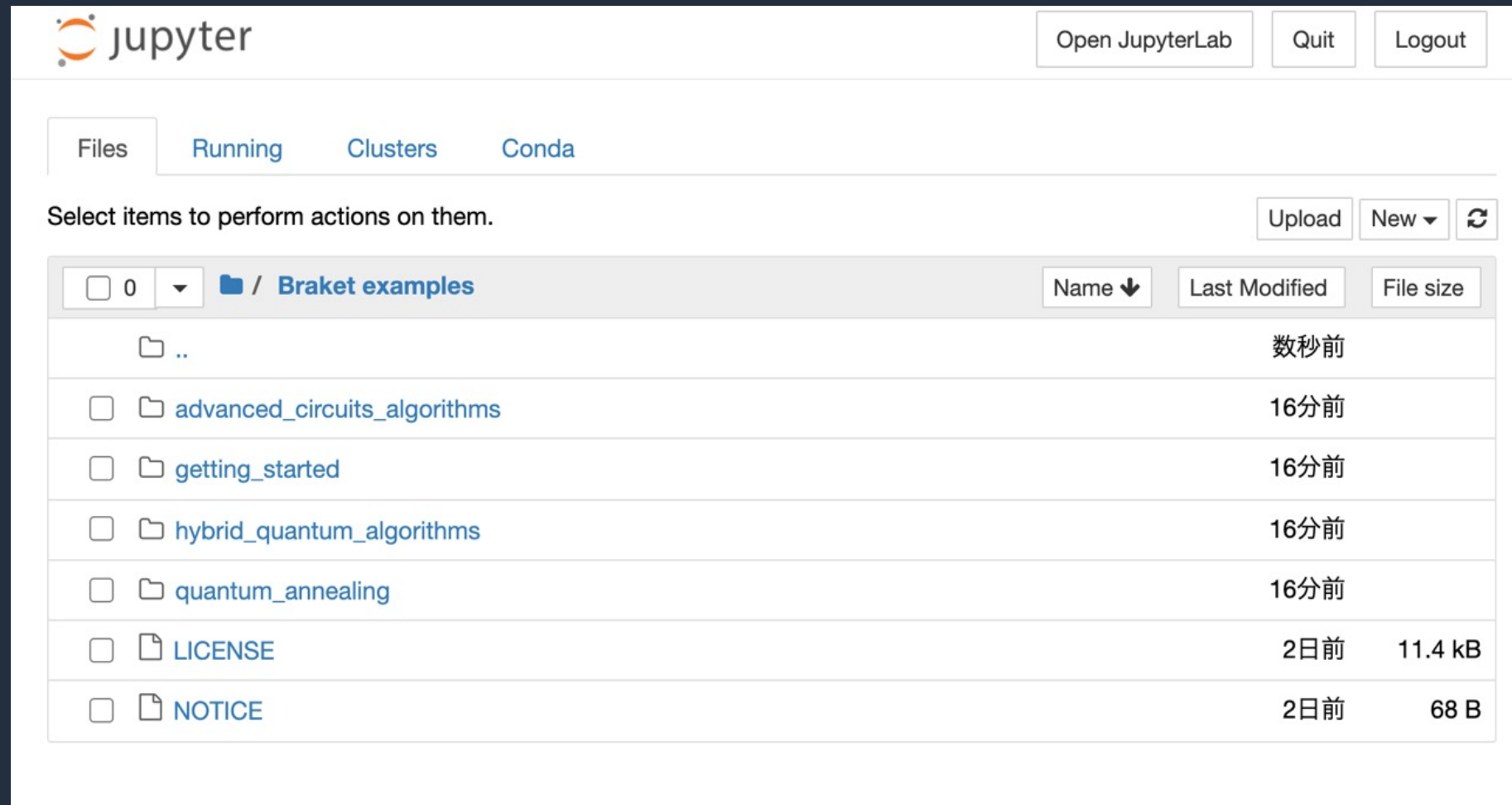
Amazon Braket density matrix simulator 

Qubits	Status
17	✔ ONLINE
Region	Next available
us-east-1, us-west-1, us-west-2	✔ AVAILABLE NOW

QPU: IonQ: 11 Qubits, Universal gate model, イオントラップ  
Rigetti: 38 Qubits, Universal gate model, 超伝導  
D-Wave: 5760 & 2048 Qubits, 量子アニーリング

シミュレータ  
SV1: 34 量子ビット, DM1: 17 量子ビット  
TN1: 50 量子ビット

# Braket examples: サンプルノートブック



The screenshot shows the JupyterLab interface. At the top, there's a 'jupyter' logo and buttons for 'Open JupyterLab', 'Quit', and 'Logout'. Below that, there are tabs for 'Files', 'Running', 'Clusters', and 'Conda'. The 'Files' tab is active, showing a file browser for the directory '/ Braket examples'. The browser contains a table of files and folders:

<input type="checkbox"/> 0	Name	Last Modified	File size
<input type="checkbox"/>	..	数秒前	
<input type="checkbox"/>	advanced_circuits_algorithms	16分前	
<input type="checkbox"/>	getting_started	16分前	
<input type="checkbox"/>	hybrid_quantum_algorithms	16分前	
<input type="checkbox"/>	quantum_annealing	16分前	
<input type="checkbox"/>	LICENSE	2日前	11.4 kB
<input type="checkbox"/>	NOTICE	2日前	68 B

Amazon Braket ではすぐに QPU を試すことができる、  
サンプルノートブックを提供しています

# re:Invent 2021 アップデート

# Quantum 関連の re:Invent 2021 アップデート

- Amazon Braket Hybrid Jobs を発表
- Amazon Braket QPU の追加をアナウンス
  - Oxford Quantum Circuits
  - QuEra Computing
- AWS Center for Quantum Computing での誤り耐性量子コンピュータに関する最新の研究成果

報告ブログも公開されています

[AWS Quantum Computing Blog] Updates from re:Invent 2021

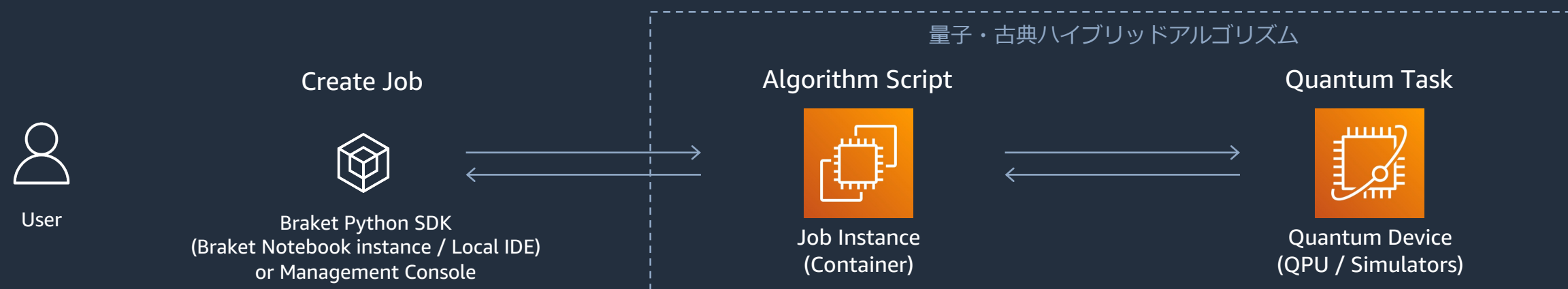
<https://aws.amazon.com/blogs/quantum-computing/postreinvent2021/>



# Amazon Braket Hybrid Jobs を発表

## フルマネージドな量子・古典ハイブリッドアルゴリズムの実行

- Variational Quantum Eigensolver (VQE, 固有値計算) や Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA, 組合せ最適化) などの量子・古典ハイブリッドアルゴリズムを簡単に実行。
- 使い方は、アルゴリズムスクリプトを用意し、ターゲットデバイス (QPU またはシミュレーター) を選択。アルゴリズムは Python (Amazon Braket SDK または PennyLane) で記述しビルド済みコンテナを利用、または BYOC も可能。
- ターゲットデバイスが利用可能になると古典リソースが起動し、アルゴリズムの実行が終わるとインスタンスを解放するよう設計、従量課金制。実験期間中は選択された QPU に優先的なアクセスが可能のため、より速く、予測可能な時間でハイブリッドアルゴリズムを実行。



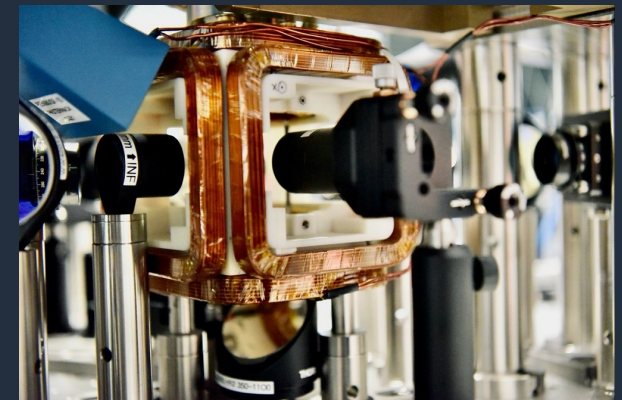


詳細は

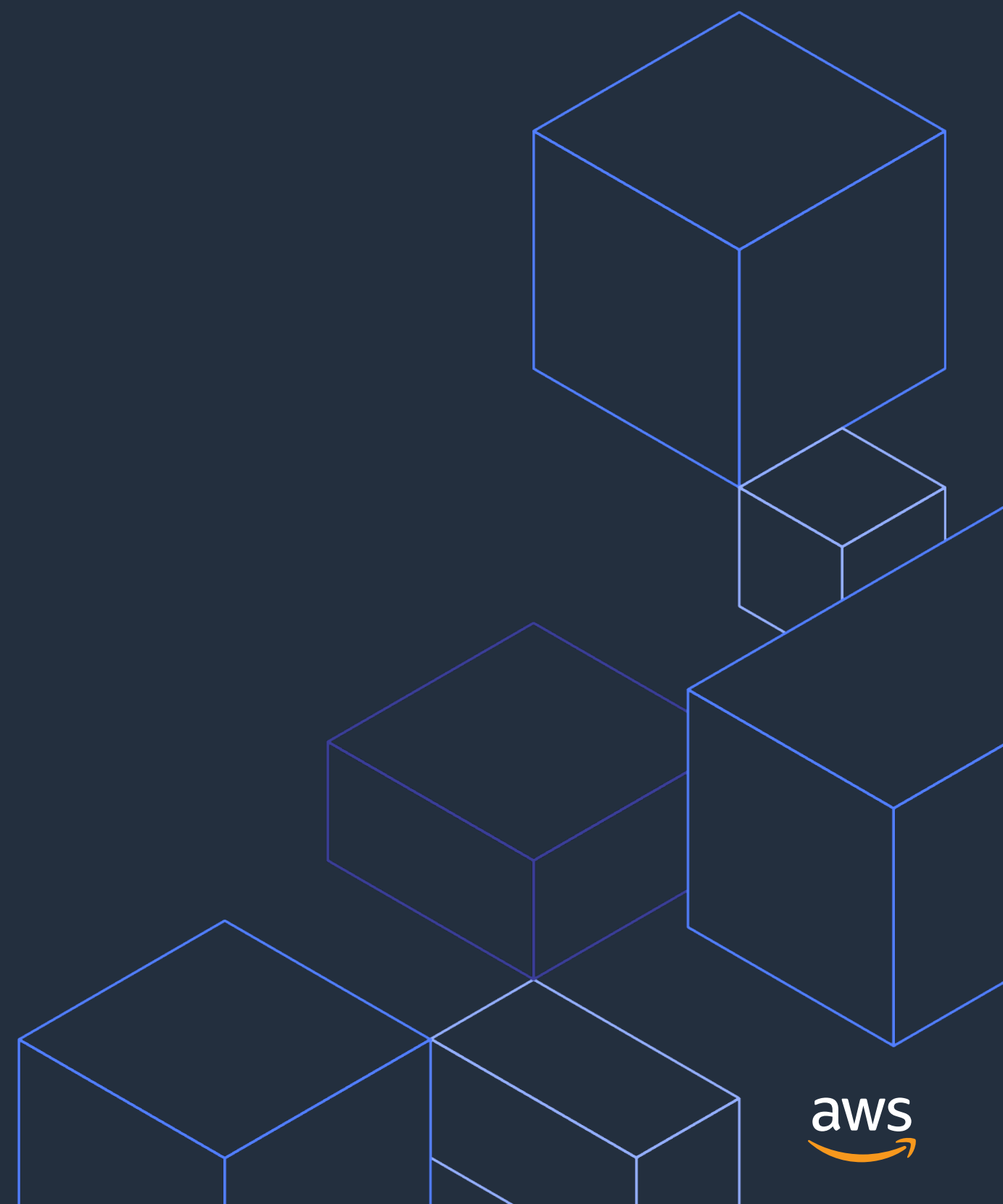
サービスアップデート Quantum 編: Amazon Braket Hybrid Jobs  
を御覧ください

# Amazon Braket QPU の追加をアナウンス

- Oxford Quantum Circuits (OQC)
  - Lucy: 超伝導量子ビット Coaxmon の8量子ビット QPU (ゲート型)
    - <https://oxfordquantumcircuits.com/oqc-on-aws>
  - London リージョン (eu-west-2) で Braket 初のヨーロッパ展開、Q1 2022 予定
- QuEra Computing
  - Rydberg (リュードベリ) 原子によるアナログハミルトニアンシミュレーション (AHS)
  - プログラマブルな量子デバイス (カゴメ格子に配置した Rydberg 原子) を用いて、興味のある量子系 (量子スピン液体) を実験的に模擬し、そのふるまいを調べる [[Semeghini, et al., Science \(2021\), arXiv:2104.04119](#)]
  - <https://aws.amazon.com/jp/blogs/quantum-computing/realizing-quantum-spin-liquid-phase-on-an-analog-hamiltonian-rydberg-simulator/>



# QPUの特徴



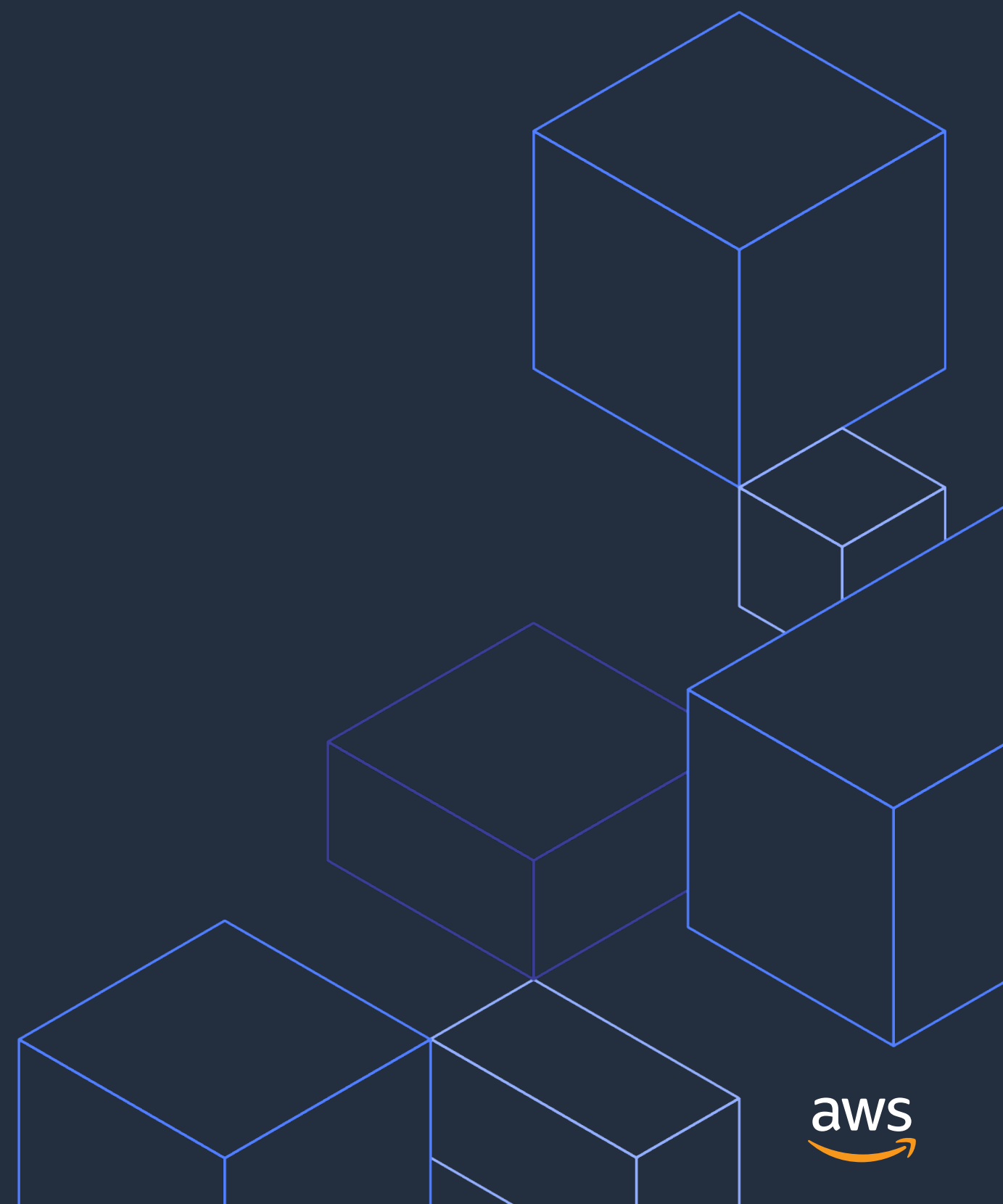
# QPU 利用可能な量子マシンの時間に注意

Amazon Braket > Devices

## Quantum Processing Units (QPUs)

QPU Name	Qubits	Status	Region	Next available
<b>D-Wave — Advantage_system4.1</b> Quantum Annealer based on superconducting qubits	5760	ONLINE	us-west-2	AVAILABLE NOW
<b>D-Wave — Advantage_system1.1</b> Quantum Annealer based on superconducting qubits	5760	RETIRED	us-west-2	UNAVAILABLE
<b>D-Wave — DW_2000Q_6</b> Quantum Annealer based on superconducting qubits	2048	ONLINE	us-west-2	AVAILABLE NOW
<b>IonQ</b> Universal gate-model QPU based on trapped ions	11	ONLINE	us-east-1	03:48:30
<b>Rigetti — Aspen-9</b> Universal gate-model QPU based on superconducting qubits	32	OFFLINE	us-west-1	UNAVAILABLE
<b>Rigetti — Aspen-11</b> Universal gate-model QPU based on superconducting qubits	38	ONLINE	us-west-1	09:22:42

# Rigetti



# Rigetti Computing 汎用ゲート型超伝導量子ビット

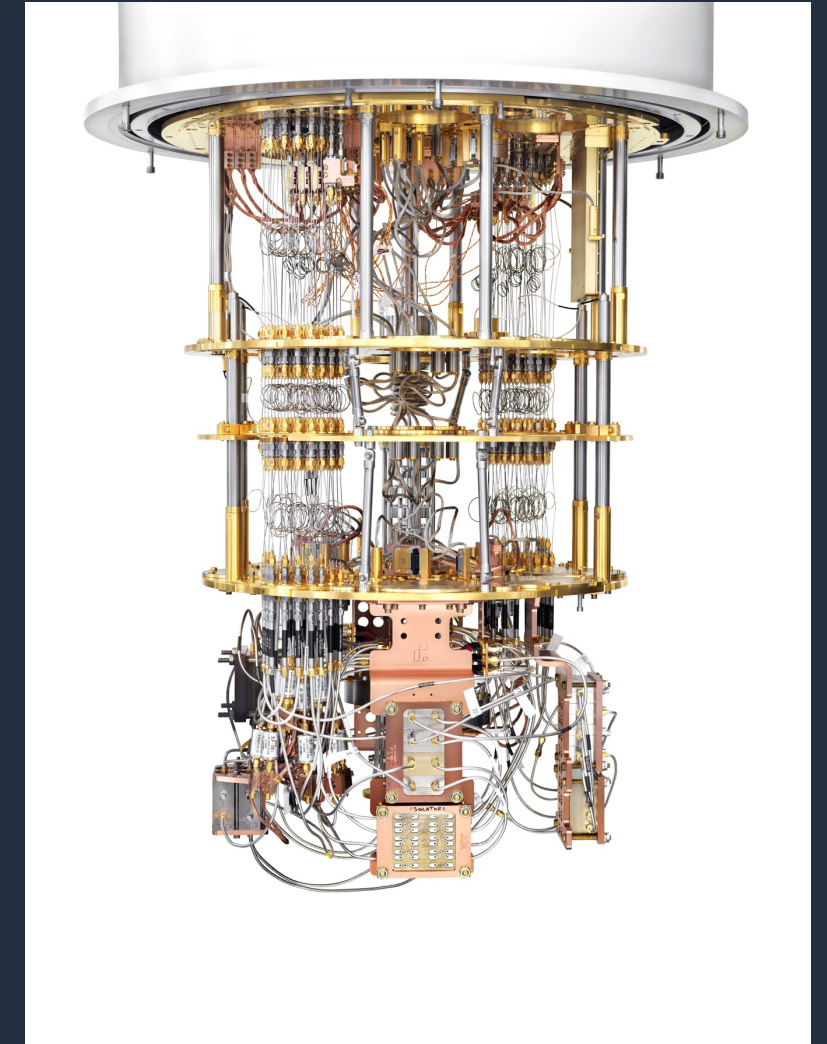
- 超伝導量子ビットに基づく汎用ゲートモデルの量子マシン
- Aspenシリーズチップ:
  - 固定量子周波数と可変超伝導量子ビットによる構成による精度、スケール、速度の強力な組み合わせ
  - 8角形グラフ接続で量子ビット接続性は3倍
  - 最近傍でない隣接量子ビットを自動的にリンク



The Rigetti 16Q Aspen-4



Rigetti Aspen シリーズチップ:  
スケーラブルな回路トポロジ。base-8でラベル付けされた  
グラフ構造の量子ビット間接続

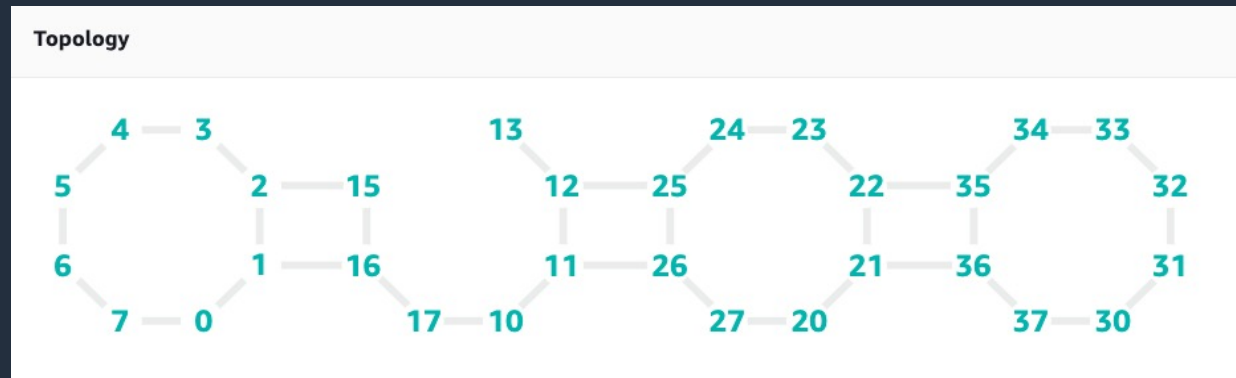


<https://aws.amazon.com/braket/hardware-providers/rigetti>

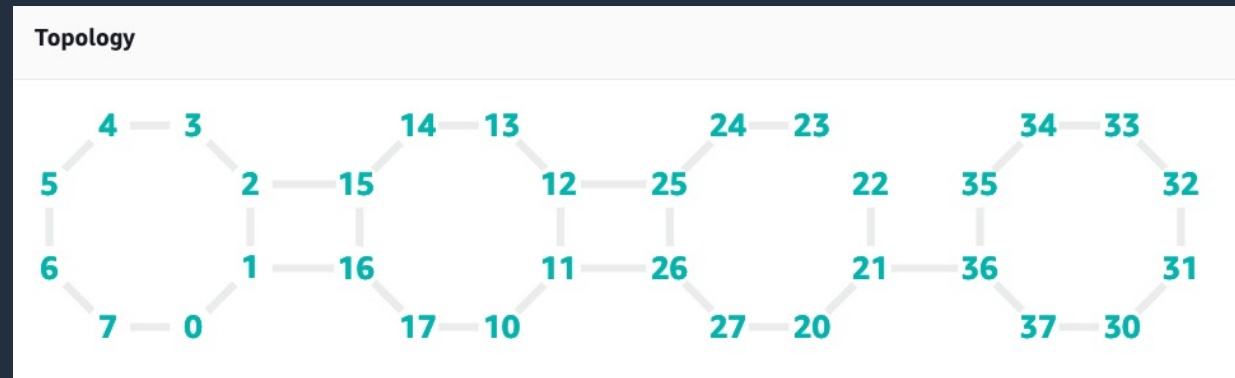


# Rigetti チップ構成

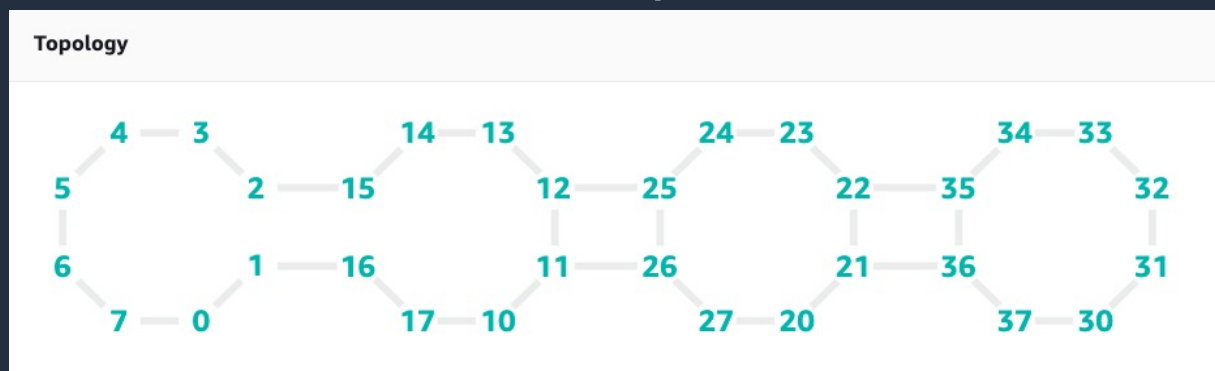
## Aspen-8



## Aspen-10



## Aspen-9



## Aspen-11



# Rigetti Chip Calibration

**Calibration** Qubit specs Edge specs JSON

Last updated: Sep 21, 2021 04:28 (UTC)

Qubit

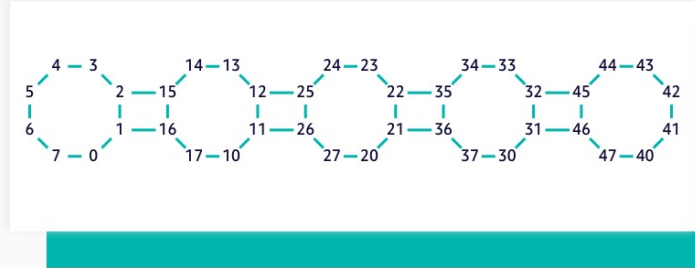
Qubit	T1 (μs) <a href="#">Info</a>	T2 (μs) <a href="#">Info</a>	Fidelity (RB) (%) <a href="#">Info</a>	Fidelity (simultaneous RB) (%) <a href="#">Info</a>	Readout fidelity (%) <a href="#">Info</a>	Active reset fidelity (%) <a href="#">Info</a>
0	27.661	12.521	99.900 ± 0.009	99.556 ± 0.034	96.800	99.850
1	35.419	10.563	97.817 ± 0.120	97.338 ± 0.349	89.600	98.450
2	24.699	4.462	99.759 ± 0.021	99.641 ± 0.020	94.800	99.750
3	35.644	35.104	99.944 ± 0.006	98.936 ± 0.226	95.300	99.350

**Calibration** Qubit specs Edge specs JSON

Last updated: Sep 21, 2021 04:28 (UTC)

Qubit

Edge (Qubit pair)	C-Phase gate fidelity (%) <a href="#">Info</a>	XY gate fidelity (%) <a href="#">Info</a>	CZ gate fidelity (%) <a href="#">Info</a>
0-1	1.000 ± 99.000	81.771 ± 1.416	87.471 ± 0.789
0-7	87.255 ± 0.790	89.446 ± 0.584	95.549 ± 0.634
1-16	87.940 ± 0.854	67.320 ± 2.466	81.128 ± 1.339
10-11	95.691 ± 0.862	88.401 ± 0.516	90.099 ± 0.580
10-17	98.026 ± 0.440	94.946 ± 0.660	97.585 ± 0.485



**System**

Architecture	Aspen
Qubits on device	48
Rep rate	50 kHz
Date deployed	November 11, 2021

**Performance Snapshot**

Median T1	24.5 μs
Median T2	10.7 μs
Median Sim 1Q Fidelity	99.5%
Median 2Q XY Fidelity	95.7%
Median 2Q CZ Fidelity	93.4%
Median RO Fidelity	97.3%
Median Active Reset Fidelity	99.3%

<https://qcs.rigetti.com/qpus/>



# 量子ビットのマニュアル割当



Rigetti Aspen-11 のトポロジー

- Rigetti Aspen シリーズで、量子ビットを指定したゲート操作が可能に
- より高精度な量子操作を明示的にコントロール

```
# create a random state with neighboring qubits
circuit = Circuit()
circuit.rz(0,np.pi/2).cnot(1,2).x(3)
print(circuit)
rigetti_task = device.run(circuit, s3_folder, shots=100, disable_qubit_rewiring=True)
```

← タスク実行時に引数で指定

[https://github.com/aws/amazon-braket-examples/blob/main/braket\\_features/Allocating\\_Qubits\\_on\\_QPU\\_Devices.ipynb](https://github.com/aws/amazon-braket-examples/blob/main/braket_features/Allocating_Qubits_on_QPU_Devices.ipynb)

<https://aws.amazon.com/jp/about-aws/whats-new/2020/11/amazon-braket-supports-manual-qubit-allocation/>

# Set Verbatim Compilation

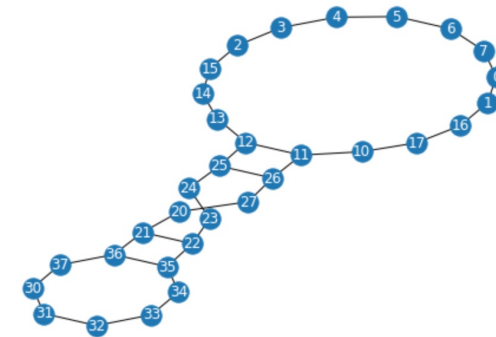
Rigetti QPU 利用時に、  
指定した量子回路を勝手に  
(効率的なものに) 変換せず  
Error mitigation やベンチマーク  
が可能

## Programming verbatim circuits onto the device topology

As we have mentioned above, to build circuits with multi-qubit gates, you need to take into consideration the connectivity graph of the device. When a circuit contains a verbatim box, automatic qubit rewiring has to be disabled, and you have manually allocate the qubits on the device that you want to use for your circuit. You can access the connectivity graph on the [device detail page](#) in the Amazon Braket Console, or by using the code below.

```
In [10]: # access and visualize the device topology
print(rigetti.properties.paradigm.connectivity.connectivityGraph)
nx.draw_kamada_kawai(rigetti.topology_graph, with_labels=True, font_color="white")

{'0': ['1', '7'], '1': ['0', '16'], '10': ['11', '17'], '11': ['10', '12', '26'], '12': ['11', '13', '25'], '13': ['12', '14', '15'], '14': ['13', '15'], '15': ['14', '2'], '16': ['1', '17'], '17': ['10', '16'], '2': ['15', '3'], '20': ['2', '27'], '21': ['20', '22', '36'], '22': ['21', '23', '35'], '23': ['22', '24'], '24': ['23', '25'], '25': ['12', '24', '26'], '26': ['11', '25', '27'], '27': ['20', '26'], '3': ['2', '4'], '30': ['31', '37'], '31': ['30', '32'], '32': ['31', '33'], '33': ['32', '34'], '34': ['33', '35'], '35': ['22', '34', '36'], '36': ['21', '35', '37'], '37': ['30', '36'], '4': ['3', '5'], '5': ['4', '6'], '6': ['5', '7'], '7': ['0', '6']}
```



From the connectivity graph, you can see that qubits 11, 10, and 17 are connected in a line, and with the code in the next cell you can access their respective 2-qubit gate fidelities to make sure you have selected a high-quality qubit subset.

```
In [11]: print(rigetti.properties.provider.specs["2Q"]["10-11"])
print(rigetti.properties.provider.specs["2Q"]["10-17"])

{'fCPHASE': 0.9370584109675574, 'fCPHASE_std_err': 0.00795074764345174, 'fCZ': 0.9299243089381443, 'fCZ_std_err': 0.014825613277350928, 'fXY': 0.9745254923082562, 'fXY_std_err': 0.008192514619096408}
{'fCPHASE': 0.9814191643655765, 'fCPHASE_std_err': 0.003640156618078282, 'fCZ': 0.9901793460716128, 'fCZ_std_err': 0.002845237063339863, 'fXY': 0.9619550297476629, 'fXY_std_err': 0.005187344784704715}
```

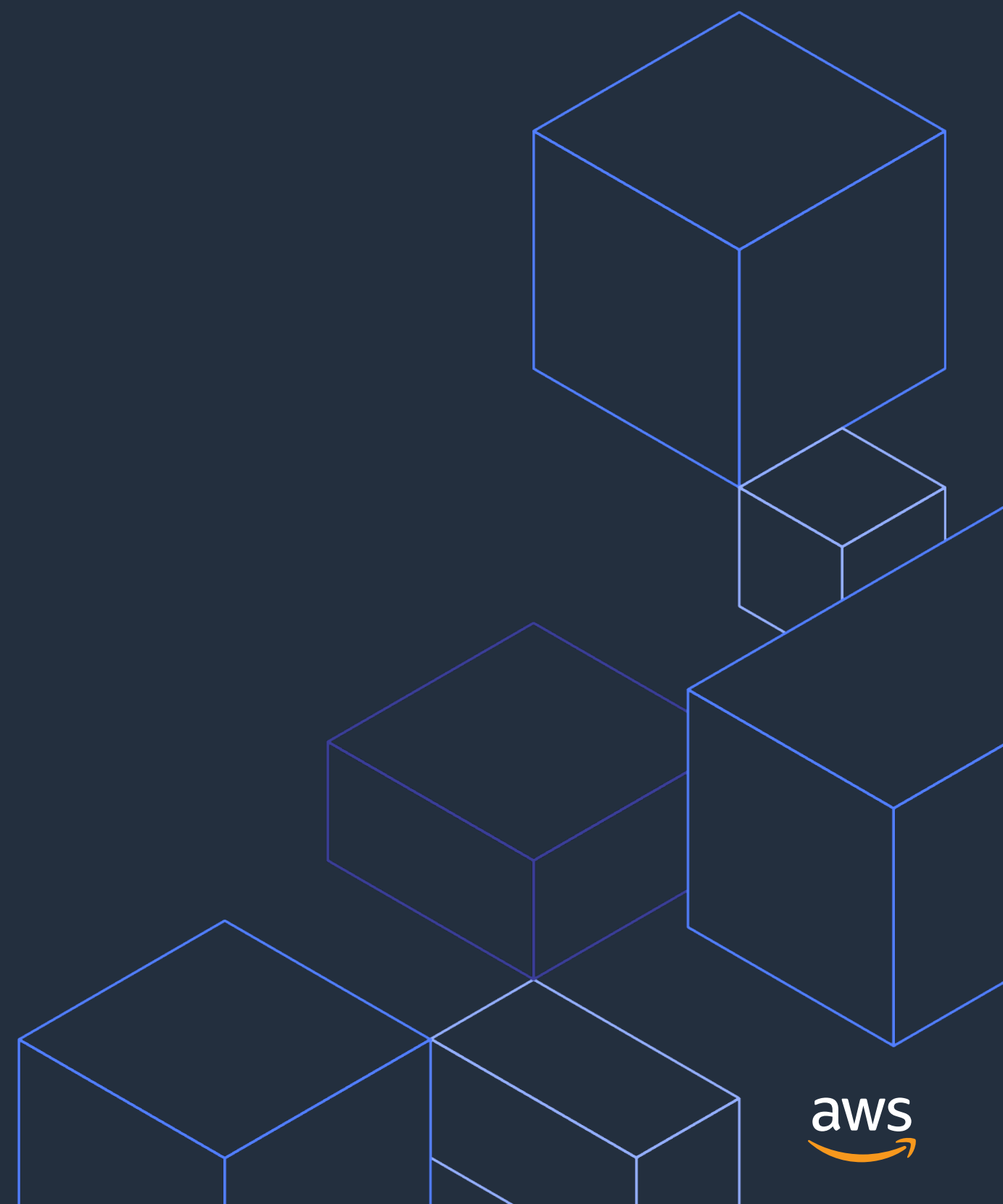
**Note:** At the time when you run this notebook the fidelity numbers may be different as QPU devices are periodically recalibrated

After selecting the qubits and validating their gate fidelities, you can now construct a circuit and run it.

```
In [12]: circ = Circuit().xy(10,11,pi/4).xy(10,17,pi/2).rx(10,pi).xy(10,11,pi/4)
verbatim_circ = Circuit().add_verbatim_box(circ)
print(verbatim_circ)

T : | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
q10 : -StartVerbatim-XY(0.785)-XY(1.57)-Rx(3.14)-XY(0.785)-EndVerbatim-
q11 : |-----XY(0.785)-----XY(0.785)-----|
q17 : -*****-XY(1.57)-*****-
T : | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
```

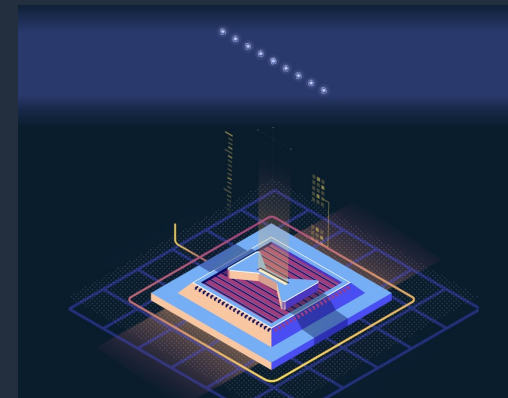
# IonQ



# イオントラップを用いた IonQ の特徴

## Ion Trap

- 量子ビット：イオン化された Yb+ (イッテルビウム) 原子
- 100本程度の電極により正確にデザインされた、*linear Ion Trap* (線形イオントラップ) 技術を使い、イオンを捕獲する
- 電磁場によって3次元空間にトラップすることにより、環境ノイズや緩和に強くなる
- $10^{-11}$  Torr の真空チャンバで動作



## Gate Configuration

- レーザー照射による**オンデマンドな結合** (物理的な結合を伴わない) を形成することによって全結合が可能に
- 同一チップに量子ビットトラップを再構成可能
  - 最大79量子ビットイオンチェーン、任意の全結合は11量子ビットまで
- 共鳴光の照射により状態を読み出し

# IonQ は日本時間の 10pm – 11am まで利用可能

06/10/2021

## IonQ extends availability window to 02:00 AM UTC - June 10, 2021

IonQ is extending its availability window on Amazon Braket effective immediately. IonQ will now be generally available from 13:00 - 02:00 UTC instead of its current availability of 13:00 - 21:00 UTC, affording Amazon Braket customers around the globe more flexibility on when they can access the device. Refer to the [IonQ device page](#) for more information.

Hardware provider

IonQ

Region

us-east-1

Location

Maryland, USA

Availability **22:00 – 11:00 JST**

Weekdays, 13:00:00 - 02:00:00 UTC

Next available

05:42:29

Cost

\$0.30 / task + \$0.01 / shot

Device ARN

arn:aws:braket:::device/qpu/ionq/ionQdevice

Status

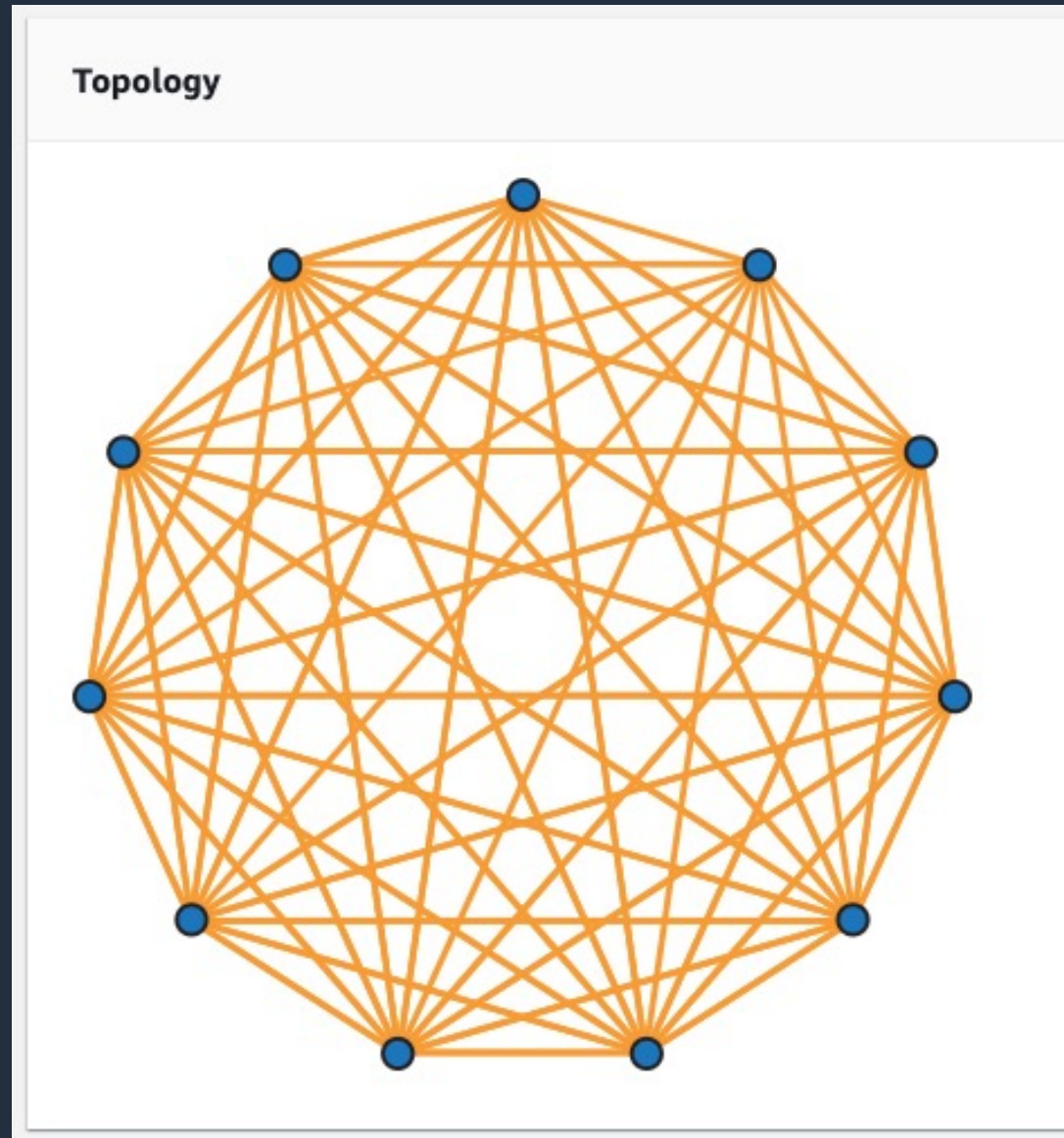
 ONLINE

Qubits

11



# IonQ トポロジとキャリブレーション



**Calibration**

Last updated: Aug 07, 2020 12:47 (UTC)

```
1 {  
2   "braketSchemaHeader": {  
3     "name": "braket.device_schema.ionq.ionq_provider_properties",  
4     "version": "1"  
5   },  
6   "fidelity": {  
7     "1Q": {  
8       "mean": 0.99717  
9     },  
10    "2Q": {  
11      "mean": 0.9696  
12    },  
13    "spam": {  
14      "mean": 0.9961  
15    }  
16  },  
17  "timing": {  
18    "T1": 10000,  
19    "T2": 0.2,  
20    "1Q": 0.000011,  
21    "2Q": 0.00021,  
22    "readout": 0.000175,  
23    "reset": 0.000035  
24  }  
25 }
```

11 量子ビット 全結合（レーザー光によるオンデマンドな結合）

# 量子回路シミュレータについて



# フルマネージドなゲート量子計算シミュレータ

```
import boto3
from braket.aws import AwsDevice
from braket.circuits import Circuit

aws_account_id = boto3.client("sts").get_caller_identity()["Account"]

device = AwsDevice("arn:aws:braket:::device/quantum-simulator/amazon/sv1")
s3_folder = (f"amazon-braket-output-{aws_account_id}", "folder-name")

bell = Circuit().h(0).cnot(0, 1)
task = device.run(bell, s3_folder, shots=100)
print(task.result().measurement_counts)
```

## Universal Quantum gate based computing simulator:

- Local simulator:
  - 25量子ビットまでのクイックなプロトタイピングに最適
- SV1: 量子計算の状態ベクトルシミュレータ
- TN1: テンソルネットワークシミュレータ
- DM1: 密度行列シミュレータ

# 量子ゲートモデルのマネージドシミュレータ



Simulator

- **SV1 (状態ベクトルシミュレータ)**
  - 最大34量子ビット、最大100並列まで実行可能
  - 高密度など任意の回路をシミュレート可能
  - Square Circuit (深さ34)の場合 1~2 時間の計算時間
- **TN1 (テンソルネットワークシミュレータ)**
  - 最大50量子ビット、デフォルト並列10タスクまで
  - 回路の深さ100以下
  - スパース回路、ローカルゲートを備えた回路、QFT回路などに最適
  - 最大実行時間は6時間
- **DM1 (密度演算シミュレータ)**
  - ノイズコントロール可能
  - 最大17量子ビット、最大100並列まで実行可能
  - 最大実行時間は6時間

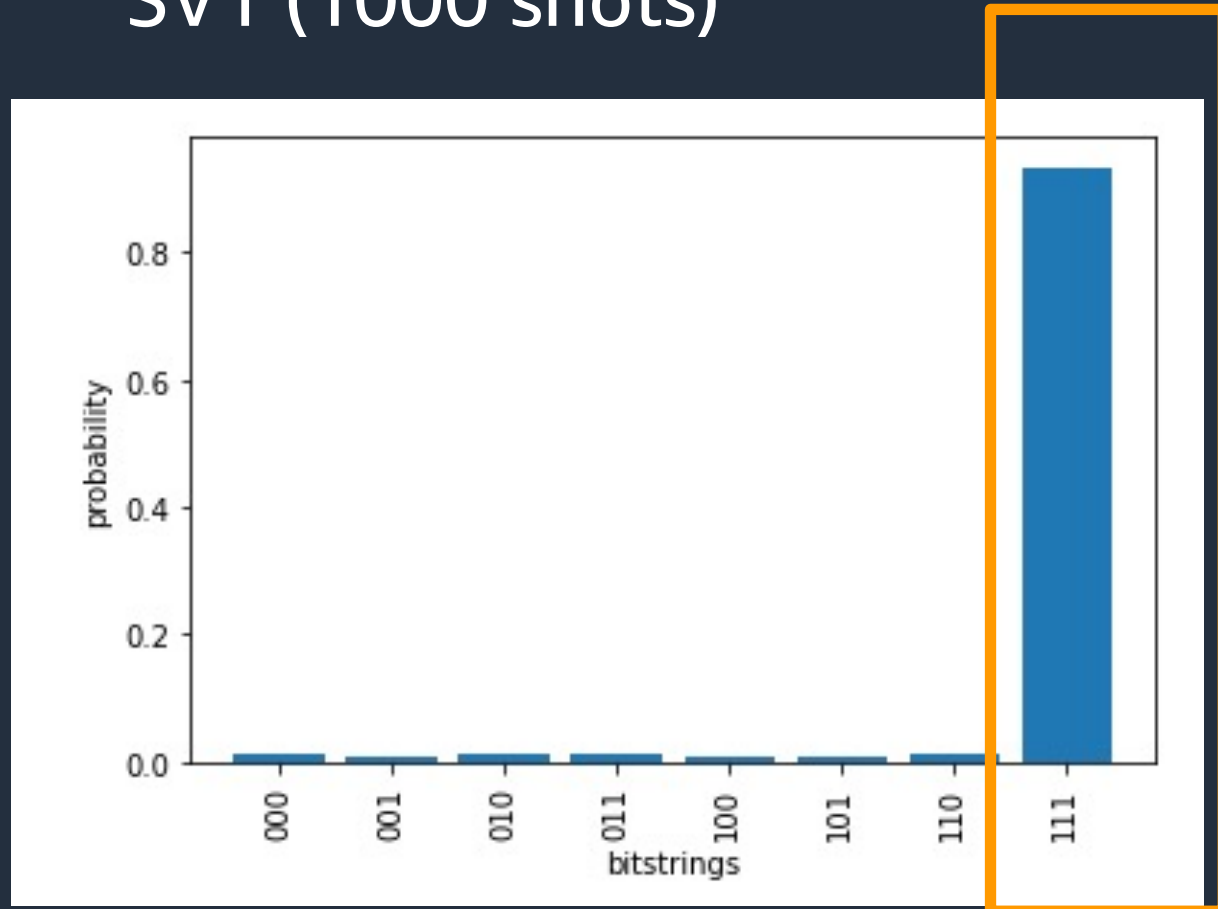
<https://docs.aws.amazon.com/braket/latest/developerguide/braket-devices.html>

<https://docs.aws.amazon.com/braket/latest/developerguide/braket-result-types.html>

# Grover Algorithm with IonQ (1000 shots) on Amazon Braket

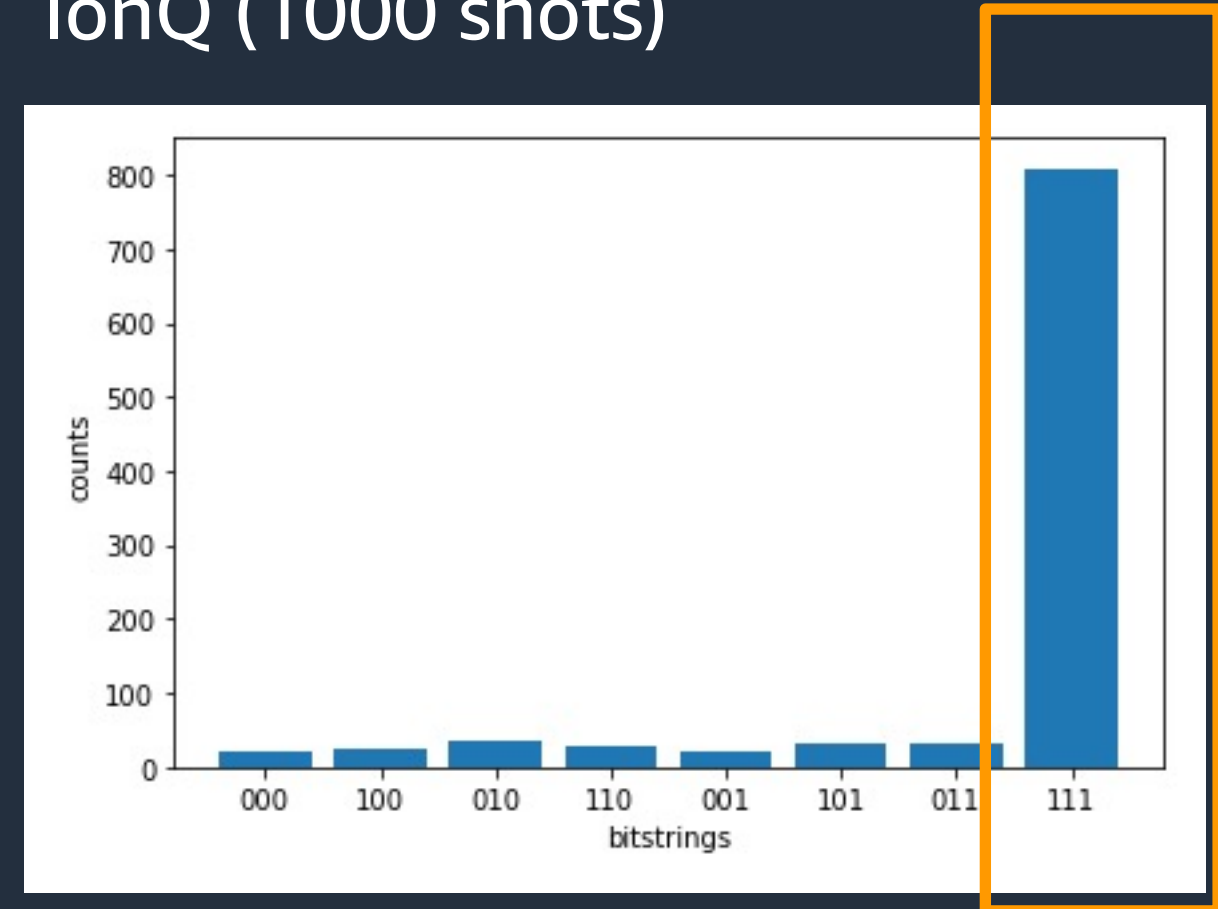
- QPU 実機 IonQで3量子ビットの探索問題を解く n\_rep 2

SV1 (1000 shots)



93.4%

IonQ (1000 shots)



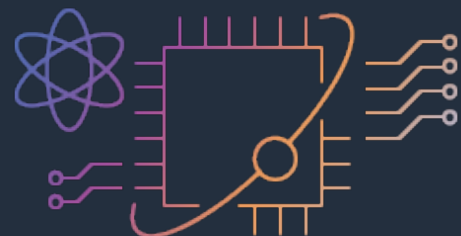
80.9%

大規模サイズの問題実装の場合、エラーの影響が大きく正確な計算ができなくなる

# PennyLane が Amazon Braket で利用可能に

ニューラルネットワークのように  
量子回路を学習

P E N N Y  
L A N E



## 機械学習ツールを量子コンピューティングに

- › 量子微分プログラミングが利用可能に
- › ML で親しみのある PyTorch や TensorFlow が利用可能
- › 量子古典ハイブリッド計算を実装

## ハイパフォーマンスな計算の実装が簡単に

- › Amazon Braket で事前に定義されたノートブックやチュートリアルでいますぐに始められる
- › 化学、最適化、機械学習等のアプリケーションライブラリにアクセス
- › Amazon Braket を使って10倍も高速な学習

<https://aws.amazon.com/jp/about-aws/whats-new/2020/12/amazon-braket-now-supports-pennylane/>

# PennyLane on Amazon Braket

**Combining PennyLane with Amazon Braket**

Diagram illustrating the integration of PennyLane (represented by a laptop) and Amazon Braket (represented by a chip icon).

**Setup**

```
In [1]: import pennylane as qml
        from pennylane import numpy as np
```

```
In [2]: wires = 2 # Number of qubits
        dev = qml.device("braket.local.qubit", wires=wires)
```

**Defining a circuit**

```
In [3]: @qml.qnode(dev)
        def circuit(params):
            qml.RX(params[0], wires=0)
            qml.RY(params[1], wires=1)
            qml.CNOT(wires=[0, 1])
            return qml.expval(qml.PauliZ(1))
```

The `qml.qnode(dev)` decorator binds the circuit to the local Braket device. Now, every time that `circuit()` is called, the quantum computation defined in the function above will be executed with Braket.

`qml.RX(params[0], wires=0)`

パラメータ付け  
された量子回路を定義

勾配を計算し、  
パラメータ更新

以上を簡単に  
実装することが可能

# 10000 ノード以上のイジングモデルをAWS上で扱うには ~ AWS marketplace

The screenshot shows the AWS Marketplace page for the QUBO Solver. The header includes the AWS Marketplace logo, a search bar, and navigation links. The main content area features a product card for QUBO Solver, version 1, by Meta-Analytics. Below the card are tabs for Overview, Pricing, Usage, Support, and Reviews. The Overview section includes a product overview, a metadata table, and a pricing information section.

Version	1
By	Meta-Analytics
Categories	High Performance Computing
Operating System	Linux
Delivery Methods	Container
Supported Amazon Services	Amazon ECS

QUBO Solver	Cost/unit
Per Solver API second	\$0.015

## QUBO Solver (Meta-Analytics)

The screenshot shows the AWS Marketplace page for the Simulated Bifurcation Machine (SBM) by Toshiba Digital Solutions Corporation. The header includes the AWS Marketplace logo, a search bar, and navigation links. The main content area features a product card for SBM, version 1.2.2, by Toshiba Digital Solutions Corporation. Below the card are tabs for Overview, Pricing, Usage, Support, and Reviews. The Overview section includes a product overview, a metadata table, and a pricing information section.

Version	1.2.2
By	Toshiba Digital Solutions Corporation
Categories	High Performance Computing
Operating System	Linux/Unix, Amazon Linux Amazon Linux release 2 (Karoo)
Delivery Methods	Amazon Machine Image

## Simulated Bifurcation Machine (Toshiba Digital Solutions Corporation)



# AWS が提供する 量子コンピュータの範囲

## Quantum Computing

## Amazon Braket

### ユニバーサルゲートモデル

- Rigetti (超伝導) - 38 量子ビット
- IonQ (イオントラップ) - 11 量子ビット
  - Fully-connected

### 古典シミュレータ

- Local Simulator - 25 量子ビット
- SV1 - 34 量子ビット, DM1 - 17 量子ビット, TN1 - 50 量子ビット

### 量子アニーリング

- D-Wave 2000 (超伝導) 2048 量子ビット
- D-Wave Advantage (超伝導) 5760 量子ビット

### イジングシミュレータ

- QUBO solver (Meta-Analytics) - 30,000 ノード
- SBM (Toshiba) - 10,000 ノード

# 料金

## 量子コンピュータ (QPU)

Hardware Provider	QPU family	Per-task price	Per-shot price
D-Wave	2000Q, Advantage	\$0.30000	\$0.00019
IonQ	IonQ device	\$0.30000	\$0.01000
Rigetti	Aspen-8	\$0.30000	\$0.00035

## 量子回路シミュレータ

- Amazon Braket simulator :
  - SV1 simulator \$ 0.075 / min (\$ 4.5 / hr)
  - DM1 simulator \$ 0.075 / min (\$ 4.5 / hr)
  - TN1 simulator \$ 0.275 / min (\$ 16.5 / hr)
- Braket SDK 実行のための Amazon SageMaker notebook 実行は別途課金

※ 1000ショットオーダーでのQPUの繰り返し計算を実行する場合は料金に注意、シミュレータでテスト～本番実行

# 料金について

## 料金例 1 : Amazon Braket マネージドシミュレーターSV1 を利用して回路をシミュレートする場合

- 30量子ビットを使用する量子回路を設計し、シミュレーションの実行には69分（1.15時間）かかった場合。  
5.175ドル = 1時間あたり4.50ドル x 1.15  
(SV1の実行にかかる時間単位、最小15秒単位の秒課金となります)

## 料金例 2 : D-Wave2000Q 量子コンピューターで量子アニーリング問題を実行する場合

- アニーリング問題の2,000の結果サンプルが含まれていた場合のタスクの実行コスト  
0.68ドル = タスクあたりの料金 0.30ドル + (ショットあたりの価格は0.00019ドル x 2000ショット)

## 料金例 3 : Rigetti Aspen-8 量子コンピューターで量子アルゴリズムを実行する場合

- 回路設計の10,000回の繰り返しショットが含まれている場合のタスクの実行コスト  
3.80ドル = タスクあたりの料金 0.30ドル + (ショットあたりの価格は0.00035ドル x 10,000ショット)

マネージドシミュレーターとRigettiデバイスに許可されるショットの最大数は100,000。DwaveおよびIonQデバイスの場合は10,000。

# 參考資料

- Amazon Braket documentation
  - <https://docs.aws.amazon.com/braket/latest/developerguide/what-is-braket.html>
- Amazon Braket Python SDK - Read the Docs
  - <https://amazon-braket-sdk-python.readthedocs.io/en/latest/>
- Boto3 SDK
  - <https://boto3.amazonaws.com/v1/documentation/api/latest/reference/services/braket.html>
- GitHub – Python Braket SDK
  - <https://github.com/aws/amazon-braket-sdk-python>
- GitHub – Amazon Braket Examples
  - <https://github.com/aws/amazon-braket-examples>

# Amazon Braket Hybrid Jobs の関連資料

- What's New
  - <https://aws.amazon.com/about-aws/whats-new/2021/11/amazon-braket-hybrid-jobs-quantum-classical-workloads/>
- AWS Blog
  - (英語) <https://aws.amazon.com/blogs/aws/introducing-amazon-braket-hybrid-jobs-set-up-monitor-and-efficiently-run-hybrid-quantum-classical-workloads/>
  - (日本語) <https://aws.amazon.com/jp/blogs/news/introducing-amazon-braket-hybrid-jobs-set-up-monitor-and-efficiently-run-hybrid-quantum-classical-workloads/>
- Documentation
  - <https://docs.aws.amazon.com/braket/latest/developerguide/braket-jobs.html>
- Amazon Braket Examples (サンプルノートブック)
  - [https://github.com/aws/amazon-braket-examples/tree/main/examples/hybrid\\_jobs](https://github.com/aws/amazon-braket-examples/tree/main/examples/hybrid_jobs)

## Aioi Nissay Dowa USA:

あいおいニッセイ同和損害保険株式会社の子会社、フルサービスの保険会社

MS & AD インシュアランスは、世界で5番目に大きな保険会社であり、28か国でトヨタの保険商品を提供

リスク評価のための新しく革新的な製品の開発に注力しており、保険業界向けの量子コンピューティングアプリケーションの調査を開始しました。量子コンピューティングの長期的な使用の可能性を認識している分野の1つは、自動車のテレマティクスによって生成された膨大な量のデータの処理です。

「自動運転車のテレマティクスからのデータ量は、自動運転技術が普及するにつれて指数関数的に増加すると予想されます。Amazon Braket でシミュレーターを利用開始後、量子コンピュータにアクセスするのは簡単だったため、テレマティクス分析のための PoC を進めました。最初にドライバースコアを計算する量子ニューラルネットワークを作成し、次に IonQ 量子コンピュータを使用して Amazon Braket で実行しました。テストが成功するたびに、キュービットの数を増やしてさらに実験しました。Amazon Braket で学んだこれらの方法と概念は継続して適用可能であり、予想される車両データの増加に備えてビジネスを準備するのに役立ちます。」

イノベーション責任者 Michael Fischer氏

量子機械学習のテレマティクス応用に関する Aioi Insurance Services USA 様の事例ブログ

<https://aws.amazon.com/blogs/quantum-computing/aioi-using-quantum-machine-learning-with-amazon-braket-to-create-a-binary-classifier/>



# Using Quantum Machine Learning with Amazon Braket to Create a Binary Classifier

<https://aws.amazon.com/blogs/quantum-computing/aioi-using-quantum-machine-learning-with-amazon-braket-to-create-a-binary-classifier/>

Aioi Insurance Services USA は Amazon Braket を利用し、Quantum Neural Network (QNN) [[E. Farhi and H. Neven \(2018\)](#)] の二値 (safe/fail) 分類モデルを実装して自動車テレマティクスに活用。



## Volkswagen Group :

乗用車の世界最大の生産者の1つでありヨーロッパ最大の自動車メーカー

「フォルクスワーゲンでは、企業環境における量子コンピューティングの有意義な使用法について深く理解したいと考えています。重要なのは、さまざまな量子コンピューターでのアルゴリズムのテストと継続的な開発です。」

「Amazon Braket は、標準化されたプログラミングインターフェイスを介して、さまざまなサービスプロバイダーの量子コンピューターに対応して使用できます。これにより開発作業を加速し、量子アルゴリズムを改善が可能になります。Amazon Braket は、量子コンピューティングのメリットを社会や業界にさらに迅速に提供できると確信しています。」

フォルクスワーゲングループ

先端技術およびIT戦略担当ディレクター Florian Neukart 氏

## フィデリティ応用技術センター (FCAT):

「Amazon Braket ではハードウェアに依存しないソフトウェアを開発できるため、新しい量子システムが Amazon Braket で利用可能になった際に、簡単に新しいデバイス開発に着手できます。」

「FCAT は AWS の Quantum Solutions Lab と協力して、金融業界向けのクラウドベースの量子コンピュータの概念実証を作成しました。これは、革新的なソリューションを迅速に提供できるようにするための幅広い取り組みの一環です。急速に進化するお客様のニーズを満たすのに役立っています。」

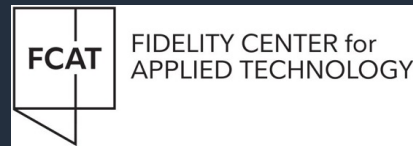
フィデリティ応用技術センター (FCAT)  
エマージング・テクノロジーの責任者 Adam Schouela 氏

# 企業・大学における Amazon Braket の活用事例

**VOLKSWAGEN**  
GROUP

*“For the first time, Amazon Braket makes it possible to address and use quantum computers of different service providers via a standardized programming interface.”*

- Florian Neukart, Director of Advanced Technologies and IT Strategy, Volkswagen Group of America



*“(With Amazon Braket) we’re able to research the strengths of different quantum backends, build hybrid classical-to-quantum, and quantum-to-quantum workflows.”*

- Adam Schouela, Head of Emerging Technology at the Fidelity Center for Applied Technology



*“A quantum computing service, like Amazon Braket, that offers ready access to multiple hardware devices enables quantum readiness and agility.”*

- Michele Mosca, Full Professor at the University of Waterloo

# お客様の量子プロジェクト ご支援体制

# AWS Quantum Solutions Labs

- AWS の Professional Service による有料コンサルティング
- お客様のニーズに合わせて、量子コンピューティングの専門家が、顧客のビジネスにとって最も有望な近い将来の量子コンピューティングソリューションを調査、発見します



専門家のガイダンスを提供する  
実用的で学際的なサポートと  
コラボレーション



# Amazon Quantum Solutions Lab (QSL)

Amazon の量子コンピューティング専門家と  
お客様をつなぐコラボレーションおよび研究プログラム



Collaboration



Education



Solutions

# “Combinatorial Optimization with Physics-Inspired Graph Neural Networks”

## Combinatorial Optimization with Physics-Inspired Graph Neural Networks

Martin J. A. Schuetz,<sup>1,2,3</sup> J. Kyle Brubaker,<sup>2</sup> and Helmut G. Katzgraber<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>*Amazon Quantum Solutions Lab, Seattle, Washington 98170, USA*

<sup>2</sup>*AWS Intelligent and Advanced Compute Technologies,  
Professional Services, Seattle, Washington 98170, USA*

<sup>3</sup>*AWS Center for Quantum Computing, Pasadena, CA 91125, USA*

(Dated: July 5, 2021)

We demonstrate how graph neural networks can be used to solve combinatorial optimization problems. Our approach is broadly applicable to canonical NP-hard problems in the form of quadratic unconstrained binary optimization problems, such as maximum cut, minimum vertex cover, maximum independent set, as well as Ising spin glasses and higher-order generalizations thereof in the form of polynomial unconstrained binary optimization problems. We apply a relaxation strategy to the problem Hamiltonian to generate a differentiable loss function with which we train the graph neural network and apply a simple projection to integer variables once the unsupervised training process has completed. We showcase our approach with numerical results for the canonical maximum cut and maximum independent set problems. We find that the graph neural network optimizer performs on par or outperforms existing solvers, with the ability to scale beyond the state of the art to problems with millions of variables.

[arXiv:2107.01188](https://arxiv.org/abs/2107.01188) [cs.LG]

グラフニューラルネットワークを利用した  
組合せ最適化問題ソルバー

- › 問題のハミルトニアンを緩和することで微分可能なロス定義、グラフニューラルネットワークを学習
- › 数百万変数に対応し、既存手法と同等かそれ以上の性能

# 量子アプリケーション開発の AWS パートナー

Amazon Braket 上でお客様のアプリケーション開発を支援する  
非常に厳選されたテクノロジーコンサルティングパートナー



- 計算化学、機械学習、最適化など、さまざまな専門分野を持つ企業と提携

# 共創の場形成支援プログラム政策重点分野（量子技術分野） 「量子ソフトウェア研究拠点」に参画

ニュース&トピックス すべての方

共創の場形成支援プログラム政策重点分野（量子技術分野）「量子ソフトウェア研究拠点」に採択されました

2020年12月24日(木)

このたび、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の共創の場形成支援プログラム（COI-NEXT）本格型・政策重点分野（量子技術分野）に、大阪大学を代表機関として16参画機関と共同で応募していた「量子ソフトウェア研究拠点」が採択されました。

プロジェクトリーダー：  
北川 勝浩（大阪大学先導的学際研究機構 量子情報・量子生命研究センター センター長）

副プロジェクトリーダー：  
栗島 亨（同センター 産学共創教授 着任予定、豊田通商株式会社）  
松岡 智代（同センター 産学共創准教授 着任予定、株式会社QunaSys COO）

参画機関：  
豊田通商株式会社、株式会社 QunaSys、**Amazon Web Services**、株式会社イーツリーズ・ジャパン、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社、AGC株式会社、株式会社エヌエフホールディングス、JX石油開発株式会社、ソニー株式会社、DIC株式会社、東ソー株式会社、株式会社日立製作所、株式会社富士通研究所、株式会社プリヂストーン、他

<https://www.osaka-u.ac.jp/ja/news/topics/2020/12/83dsz6>

## 量子ソフトウェア勉強会前半 勉強会メニュー 基礎編（座学中心）

#	タイトル	カテゴリ	講師（敬称略）
1	量子コンピュータの現状と展望 (6/4 (金))	講義	藤井啓祐・野口裕信
		懇親会	野口裕信
2	量子計算の基礎 (6/25 (金))	講義	藤井啓祐
		ハンズオン	
3	量子アルゴリズムの基礎 (7/9 (金))	講義	御手洗光祐
		ハンズオン	
4	量子コンピュータの物理的実現方式 (7/30 (金))	講義	小川和久・大平龍太郎・藤田高史、松浦孝弥（東大）
5	量子機械学習の基礎 (8/6 (金))	講義	御手洗光祐
		ハンズオン	
6	量子コンピュータとビジネス (8月後半を予定)	講義	町田尚子・藤田維明
		イベント	TBA
7	量子コンピュータと量子化学計算の基礎 (9/3 (金))	講義	水上渉
		ハンズオン	水上渉・吉田悠一郎
8	Amazon Braket を用いた実機・シミュレータでの開発 (9/21 (火))	講義	宇都宮聖子・針原佳貴 (アマゾン ウェブ サービス ジャパン)
		ハンズオン	
9	量子アルゴリズム各論 (10/7 (木))	講義	藤井啓祐・高比良宗一
10	量子コンピュータと金融実務計算 (10/15 (金))	講義	宮本幸一
		ハンズオン	

いずれも14:00 - 18:00開催。後半のグループワークもまもなく決定。

<http://qiqb.osaka-u.ac.jp/news20210601/>



# Thank you!

Shoko Utsunomiya



Twitter: shokout

