



# blueqat

量子コンピュータとはなにか

# 湊雄一郎(みなとゆういちろう)

1978年、東京都世田谷区生まれ  
 渋谷区立西原小学校(吉永小百合さんと同じ)  
 私立暁星中学高等学校(北大路欣也さんと同じ)  
 東京大学工学部建築学科卒

隈研吾建築都市設計事務所勤務後独立  
 (青山根津美術館設計、アリババ本社ビルコンペなど)  
 総務省異能vation最終採択  
 内閣府ImPACTプロジェクトPM補佐  
 文科省さきがけ領域アドバイザー  
 SEMI量子コンピューティング協会委員長

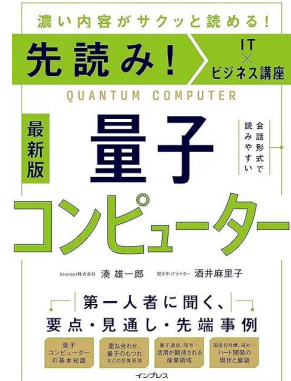
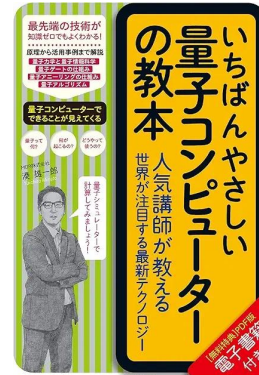
日経Tech Foresight / 量子コンピュータ関連連載  
 Interface - CQ出版 / 画像生成AI関連連載

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



量子アルゴリズムと量子ゲートの操作から  
 量子コンピュータの計算手法を理解する!!  
 秀和システム

みんなの  
 量子  
 コンピュータ



# 会社紹介

企業名	blueqat株式会社(ブルーキャット)
由来	ドラえもん
資本金	全部で3.6億円くらい
所在地	東京都渋谷区渋谷2-24-12 渋谷スクランブルスクエア39F
事業内容	量子AIクラウド + コンサルティング



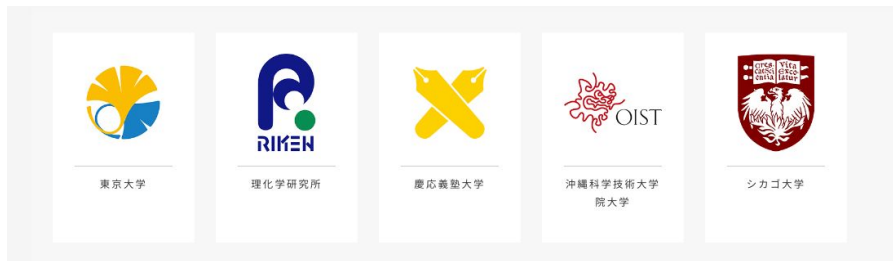
# 国の活動の紹介など

現在日本では量子関連の予算は年間数百億円以上になっており、数え切れなくらい多くのプロジェクトが立ち上がっている。

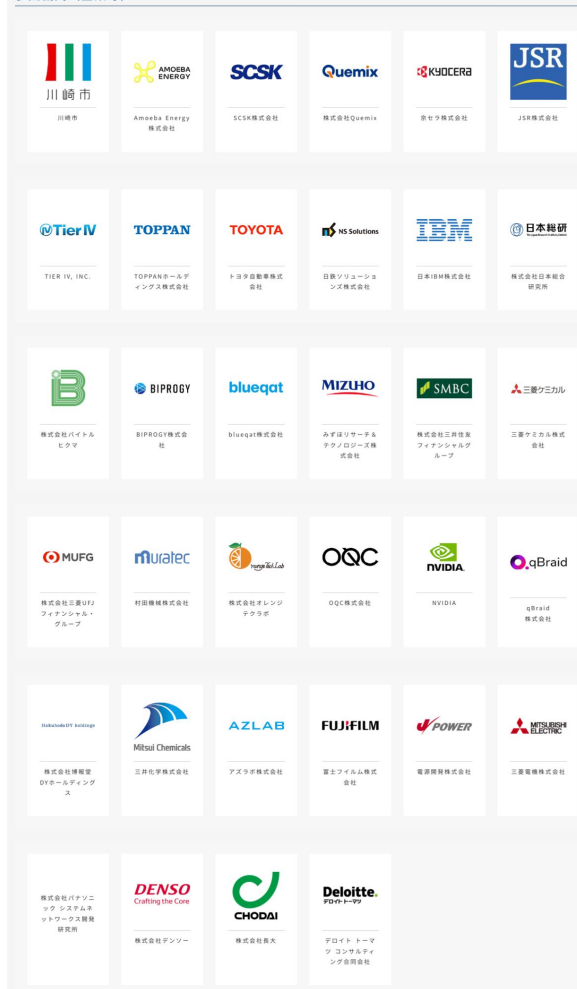
参考：  
IBMとGoogle、日米の大学に約200億円拠出 量子分野  
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGN17DY90X10C23A500000/>

## SQAIプロジェクト(共創の場)

<https://sqai.jp/>



### 参画機関 (企業等)



# NVIDIA GPU量子エコシステム唯一の日本企業

## Framework Integrations

cuQuantum is integrated with leading quantum circuit simulation frameworks.

Download cuQuantum to dramatically accelerate performance using your framework of choice, with zero code changes.



<https://developer.nvidia.com/cuquantum-sdk>

# 量子コンピュータのお仕事？

ビジネス



研究者

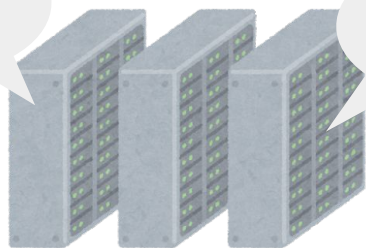


AI向けソフトだよ

量子向けソフトだよ

ソフトウェアライブラリ

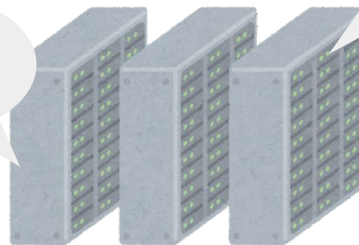
AIだよ



量子だよ

サーバールーム

AIだよ



量子だよ

データセンター

# 量子コンピュータでピタゴラスの定理論文

夏休みのお調べ物として、ピタゴラスの定理を量子コンピュータを使って計算。中学生も執筆に参加！

## Numerical Exploration of the Pythagorean Theorem Using HOBO Algorithm

Shoya Yasuda, Naoaki Mochida, Shunsuke Sotobayashi, Devanshu Garg, Yuichiro Minato

この論文では、ピタゴラスの定理を満たす整数の組を見つけるために、高次バイナリ最適化 (HOBO) 定式化を活用する新しい方法が紹介されています。複雑な数式を表現することが困難な二次非拘束バイナリ最適化 (QUBO) 定式化とは異なり、HOBOはバイナリ変数間の高次の相互作用をモデル化できるため、より複雑で表現力豊かな問題設定に適しているという特徴があります。

<https://arxiv.org/pdf/2408.11076>

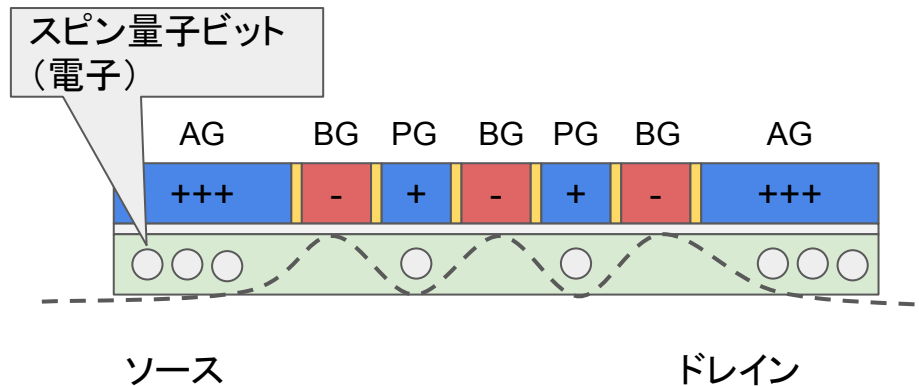
3

<p><b>A. Statement of the Theorem</b></p> <p>The Pythagorean Theorem states that in a right-angled triangle, the square of the length of the hypotenuse (the side opposite the right angle) is equal to the sum of the squares of the lengths of the other two sides. Mathematically, the theorem is expressed as:</p> $z^2 = x^2 + y^2 \quad (3)$ <p>where:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>z</math> is the length of the hypotenuse.</li> <li><math>x</math> and <math>y</math> are the lengths of the other two sides.</li> </ul> <p><b>B. Example</b></p> <p>Consider a right-angled triangle where the lengths of the two shorter sides are 3 and 4. According to the Pythagorean Theorem, the length of the hypotenuse can be calculated as follows:</p> $z^2 = 3^2 + 4^2 = 9 + 16 = 25 \quad (4)$ <p>Taking the square root of both sides:</p> $z = \sqrt{25} = 5 \quad (5)$ <p>Thus, the hypotenuse of the triangle is 5.</p> <p><b>VII. STEPS TO FIND NUMBERS SATISFYING THE PYTHAGOREAN THEOREM USING HOBO</b></p> <p>This section outlines the steps to find numbers that satisfy the Pythagorean theorem using the Higher-Order Binary Optimization (HOBO) framework.</p> <p><b>A. Step 1: Convert Binary HOBO to Integers Using Integer Encoding</b></p> <p>First, to utilize HOBO, we need to encode the integer values into binary form. This encoding process involves representing the integer variables <math>x</math>, <math>y</math>, and <math>z</math> as binary variables.</p> <p>For example, if we represent each variable using 4 bits, the integers <math>x</math>, <math>y</math>, and <math>z</math> can be expressed as:</p> $\begin{aligned} x &= 2^3x_0 + 2^2x_1 + 2^1x_2 + 2^0x_3 \\ y &= 2^3y_0 + 2^2y_1 + 2^1y_2 + 2^0y_3 \\ z &= 2^3z_0 + 2^2z_1 + 2^1z_2 + 2^0z_3 \end{aligned} \quad (6)$ <p>Here, <math>x_i</math>, <math>y_i</math>, and <math>z_i</math> are binary variables, and the integers are derived through integer encoding.</p>	<p><b>B. Step 2: Transform the Pythagorean Theorem into a Minimization Problem</b></p> <p>Next, to find integer values that satisfy the Pythagorean theorem, we construct the following equation:</p> $H = (x^2 + y^2 - z^2)^2 \quad (7)$ <p>This equation is structured to yield a value of zero when the Pythagorean theorem <math>x^2 + y^2 = z^2</math> is satisfied. Minimizing this equation corresponds to finding the integer values <math>x</math>, <math>y</math>, and <math>z</math> that satisfy the Pythagorean theorem.</p> <p><b>C. Step 3: Expand the Equation and Convert to HOBO Form</b></p> <p>The next step involves expanding the equation <math>H</math> and converting it into HOBO form. The HOBO form is a representation that includes higher-order interaction terms among binary variables.</p> <p>The expanded equation takes the following form:</p> $H = (x^2 + y^2 - z^2)^2 = x^4 + 2x^2y^2 + y^4 - 2x^2z^2 - 2y^2z^2 + z^4 \quad (8)$ <p>This equation includes higher-order interaction terms (e.g., <math>x^4</math> and <math>x^2y^2</math>). Converting this expanded equation into HOBO form prepares it for processing by a HOBO solver.</p> <p><b>D. Step 4: Input the Formulation into a HOBO Solver to Find the Solution</b></p> <p>Finally, the equation in HOBO form is input into a HOBO solver. The solver will minimize the equation, thereby finding the integer values <math>x</math>, <math>y</math>, and <math>z</math> that satisfy the Pythagorean theorem.</p> <p>For example, using a solver like TYTAN (HOBOTAN), the solution can be found by sampling for the lowest energy state, which corresponds to the set of integers that satisfy the Pythagorean theorem.</p> <p>By following these steps, the HOBO framework can effectively be used to search for integers that satisfy the Pythagorean theorem.</p> <p><b>VIII. NUMERICAL SOLUTION AND RESULTS</b></p> <p>In this section, we detail the results obtained from solving the Pythagorean theorem problem using the HOBO framework.</p>
---	--



# 半導体量子コンピュータ

既存半導体製造設備を利用した最新型量子コンピュータ。完全国産の小型冷凍機が開発済。



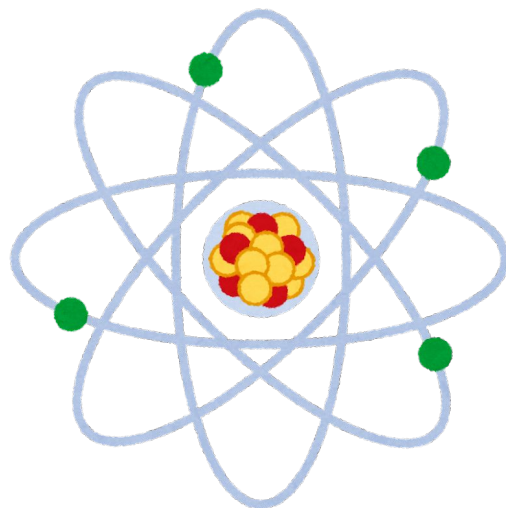
最初は数量子ビットから今後は数千から数百万量子ビットへ拡張。



**量子とは**

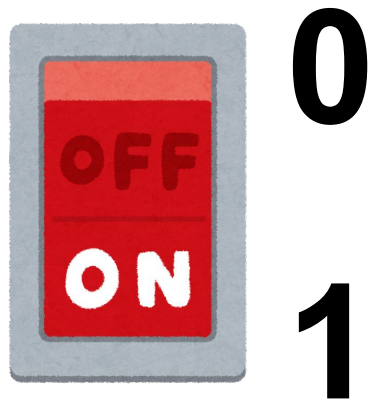
## 量子とは？

ナノサイズのものすごい小さいエネルギーや物質などの総称。  
原子や電子、イオン、光子などがこれに相当。

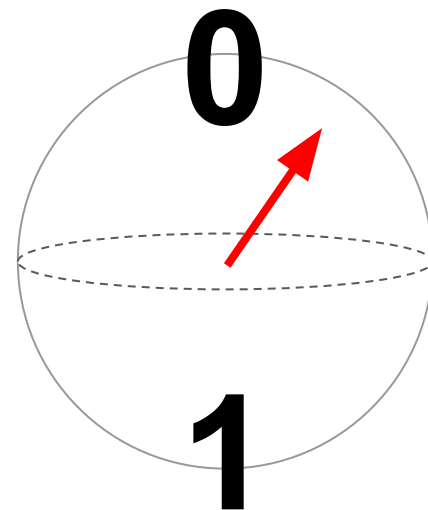


## 量子コンピュータのデータ

これまでの計算機は0と1を切り替えて計算するデジタル。  
量子コンピュータは0と1の間に二次元球面上にデータがある。



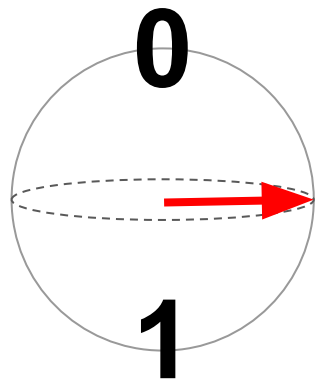
古典ビット  
(古典コンピュータ)



量子ビット  
(量子コンピュータ)

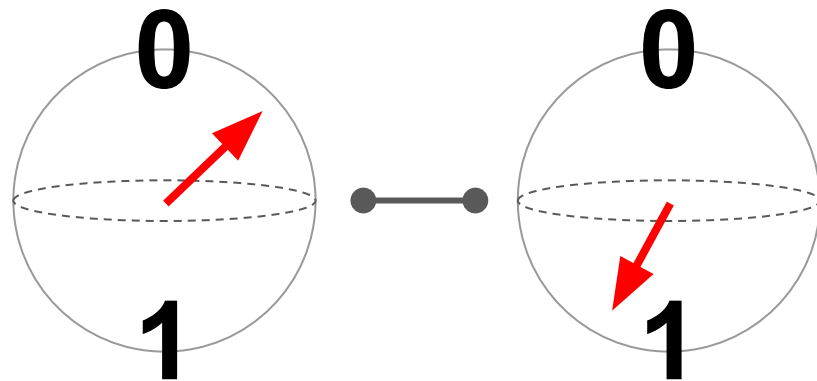
## 量子コンピュータの2つの特徴

量子コンピュータ特有の2つの機能を組み合わせ、今までのコンピュータでできない高速計算ができる可能性がある。



01

**量子重ね合わせ**  
(0か1を決めないで計算ができる)

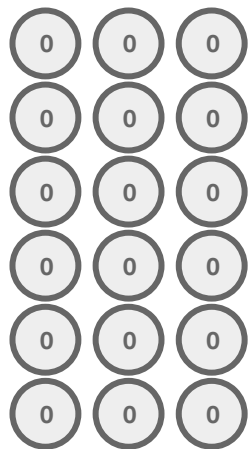


**量子もつれ**  
(複数の量子ビットが離れてても連動)

# 波と粒子を切り替えて計算する

粒としてのビットと波を任意に切り替えて計算のできる新しい計算機。

ビット(粒子)



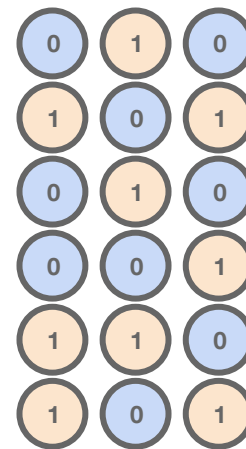
ビット(波)



ビット(波)



ビット(粒子)

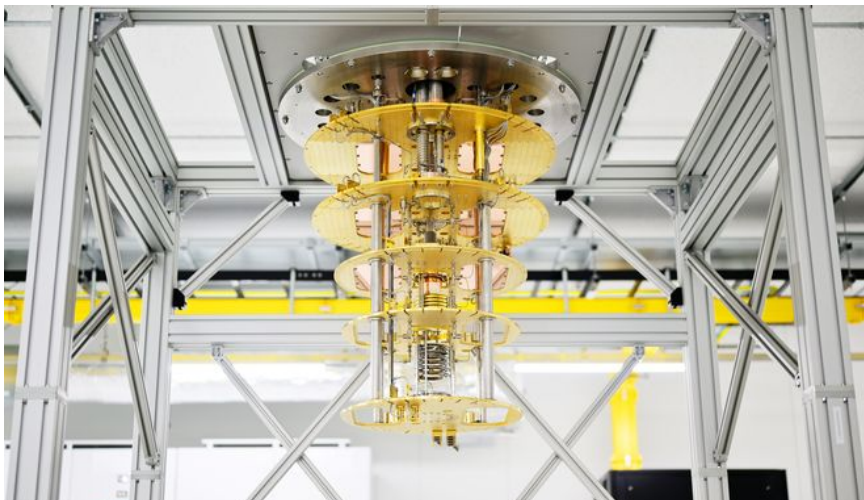


これまでのコンピュータはこういうことはできない

# 5種類の量子コンピュータ

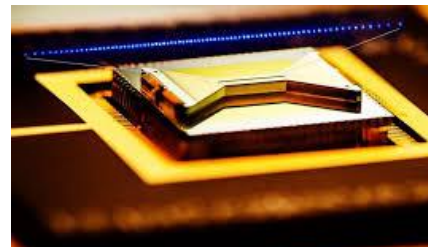
世界には利用する量子の種類によって商用化が期待される

## 超伝導



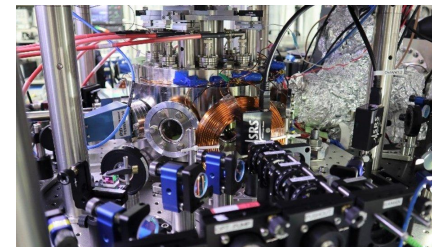
画像:OQC

## イオントラップ



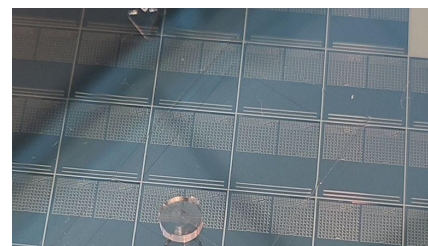
画像:IonQ

## 中性原子



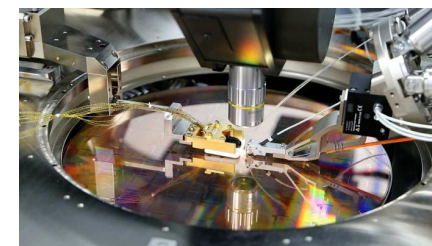
画像:分子研

## シリコン量子



画像:blueqat

## 光子量子

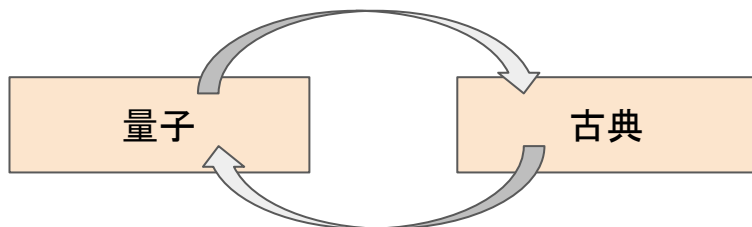


画像:PsiQ

# NISQとFTQC

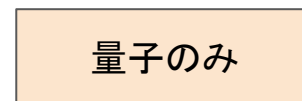
## NISQ(エラーが多い)

エラーが多いので、答えを間違える。現在のコンピュータとのハイブリッドで解決。ただ、あんまり性能が出ない。



## FTQC(エラーが少ない)

エラーが少ない。量子コンピュータ単体で計算したいが、まだ実現まで誤り訂正を含めて数十年かかるという試算。





# マーケットサイズ

段階的な技術発展とともに市場規模が爆発的に増大しており、開発も加速している。

## 1、NISQ時代：量子と既存コンピュータのハイブリッド利用

全世界市場規模：**7500億円程度** / 2015年-

## 2、量子超越時代：量子コンピュータの性能がスパコンを凌駕

全世界市場規模：**7.5兆円程度** / 2021年-

## 3、FTQC時代：量子コンピュータが完成し市場が爆発的に拡大

全世界市場規模：**100兆円程度** / 2040年ごろ？

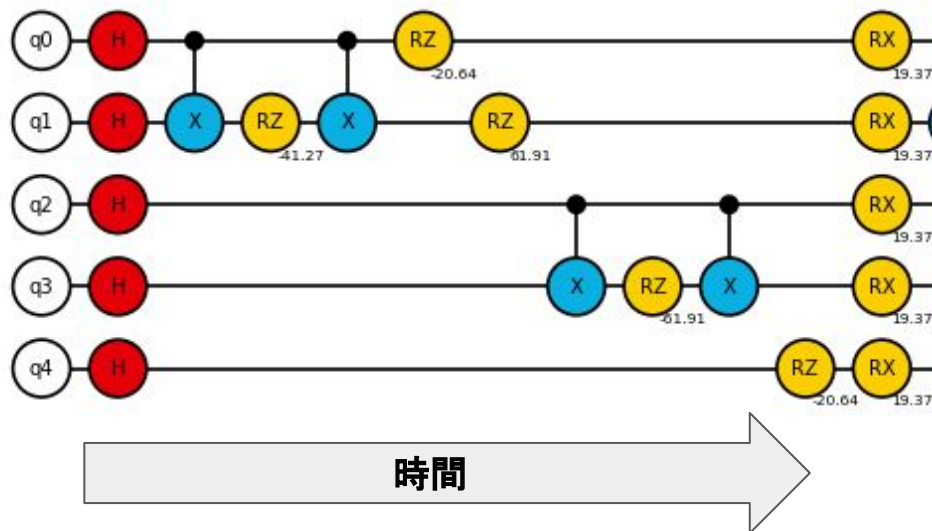
現在位置

Where Will Quantum Computers Create Value—and When? BCG Report

<https://www.bcg.com/publications/2019/quantum-computers-create-value-when.aspx>

## ソフトウェアは全て作り直す必要がある

計算原理が異なることから、現在のアプリケーションはすべて作り直す必要がある。計算は、左から右に計算の操作を記述した「量子回路」を作る。



# 期待されるアプリ4分野

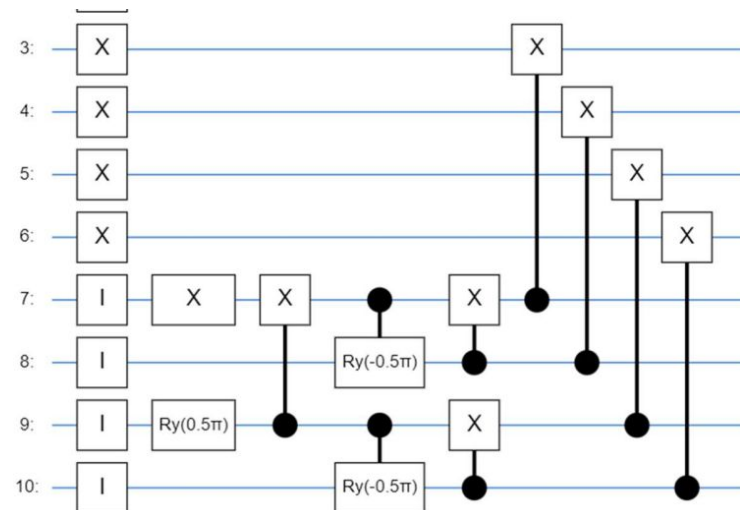
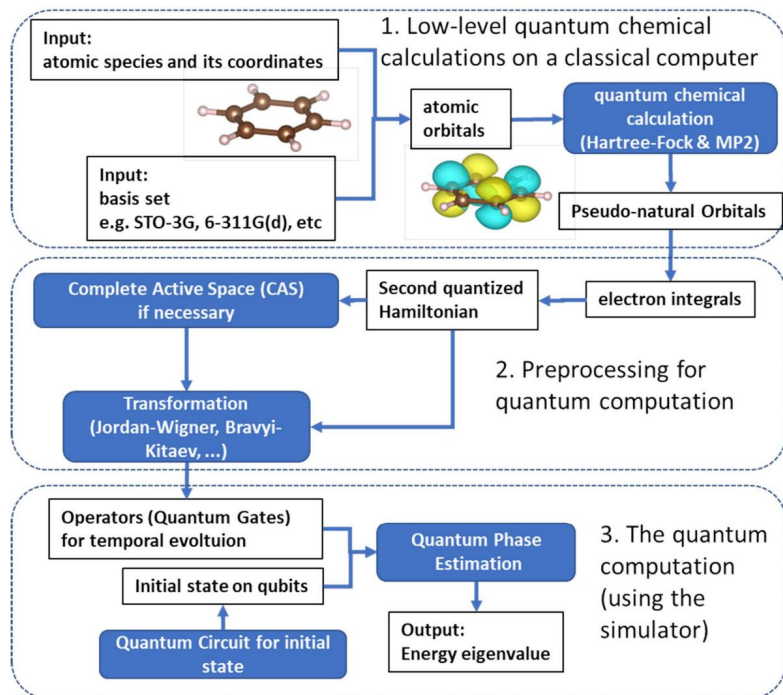
量子コンピュータは汎用型と言ってさまざまなものに利用ができますが、現在のコンピュータよりも優位性がありそうな4分野がまずは先行して研究開発は行われています。

シミュレーション	最適化	AI機械学習	<b>暗号 暗号化・復号化</b>  暗号技術は既存のコンピュータで解けないことが前提となってセキュリティが確保されているので、量子コンピュータが完成すると暗号が解けてしまう懸念がある
創薬	金融最適化	自動運転	
流体計算	物流最適化	金融詐欺対策	
量子化学計算	シフト最適化	検索	
金融シミュレーション	材料探索	その他あらゆる分野	

# 事例 難しめ系

# 富士フイルム株式会社、慶應義塾大学、 blueqat

## FTQC向けアルゴリズムの実装と検証



<https://arxiv.org/abs/2312.16375>

# TOPPANホールディングスと blueqat

## 光を使った量子の暗号技術開発

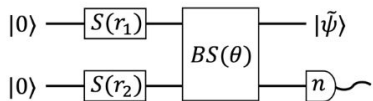


Fig.5. Quantum circuit for cat state generation.

Extendable

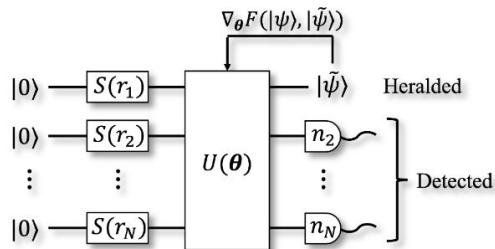


Fig.7. Quantum Circuit for the non-Gaussian state [ref.[1]].

Ref.[1] D. Su, C. R. Myers, and K. K. Sabapathy, Physical Review A 100 (2019): 052301.

CV simulation and optimization with TN representation.

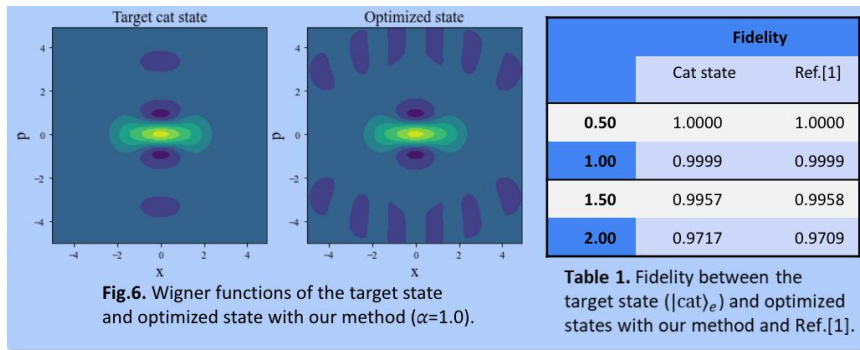


Fig.6. Wigner functions of the target state and optimized state with our method ( $\alpha=1.0$ ).

Table 1. Fidelity between the target state ( $|\text{cat}\rangle_e$ ) and optimized states with our method and Ref.[1].

R.Nagai, T.Tomono: Proc. Int. Conf. on Quantum Comput. and Eng. (QCE) pp.818-819, 2022/9

Design the preparation of arbitrary non-Gaussian state efficiently using TN, which is hard with conventional simulation methods.

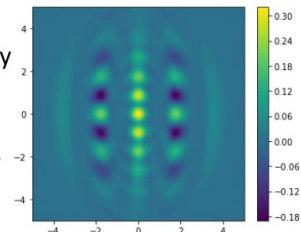
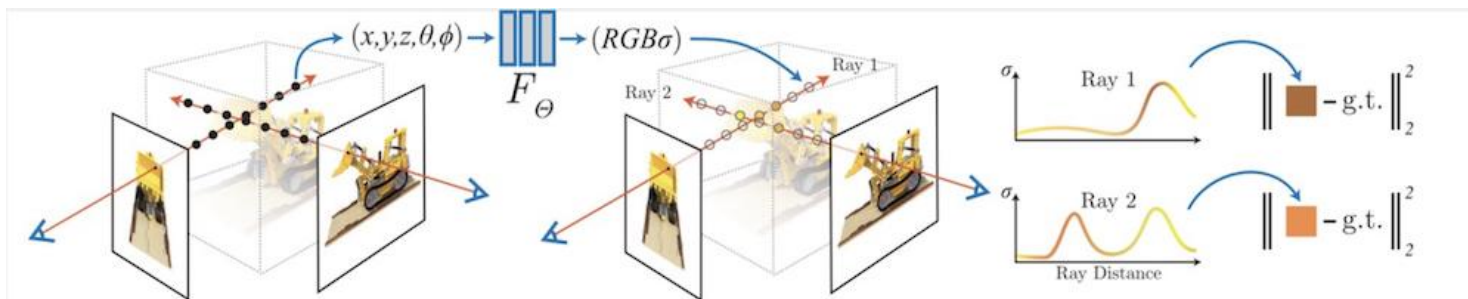


Fig.8. Example: Wigner function of non-Gaussian optical state.

# 博報堂DYホールディングスと blueqat

## 3次元画像の再構築計算



三次元画像を再構築する深層学習モデルを量子計算で利用されるテンソルネットワークで構築することで、軽量高速化を実現。

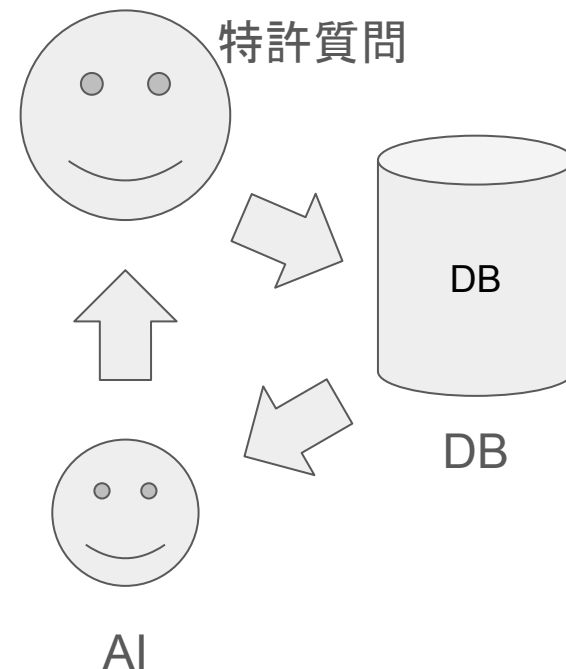


# 三井化学、blueqat

## 自然言語処理と量子、特許データ検索の高度化に向けたベクトル検索アルゴリズムの量子実証

本取り組みでは、Simple Contrastive Learning of Sentence Embeddings(SimCSE)と呼ばれる自然言語処理モデルを活用しています。SimCSEモデルは、文書や文章の意味を捉えたベクトル表現<sup>1</sup>を生成する高性能なモデルで、精度の高い文書間の意味的な類似度を算出します。情報検索や質問応答システムなどへの応用が期待されています。

今回、両社は特許データベースを基にSimCSEモデルの事前学習を実施し、さらに、テンソルネットワーク<sup>2</sup>技術の適用により、SimCSEモデルの情報を効率的に圧縮することに成功しました。このモデルの活用例としては、特許調査や新規用途探索分野への応用が挙げられます。



# コーセー

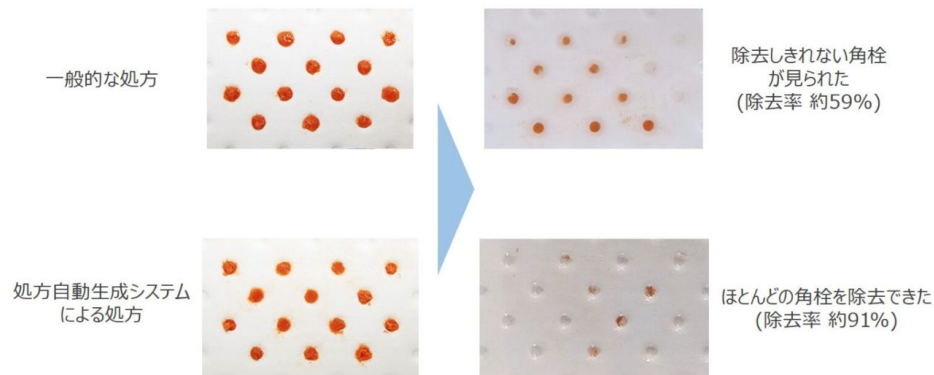
## 量子計算での商品開発に成功

<https://corp.kose.co.jp/ja/news/7839/>

[https://corp.kose.co.jp/ja/media/2023/09/20230908\\_3.pdf](https://corp.kose.co.jp/ja/media/2023/09/20230908_3.pdf)



図1 自動生成したマスカラリムーバーの効果検証



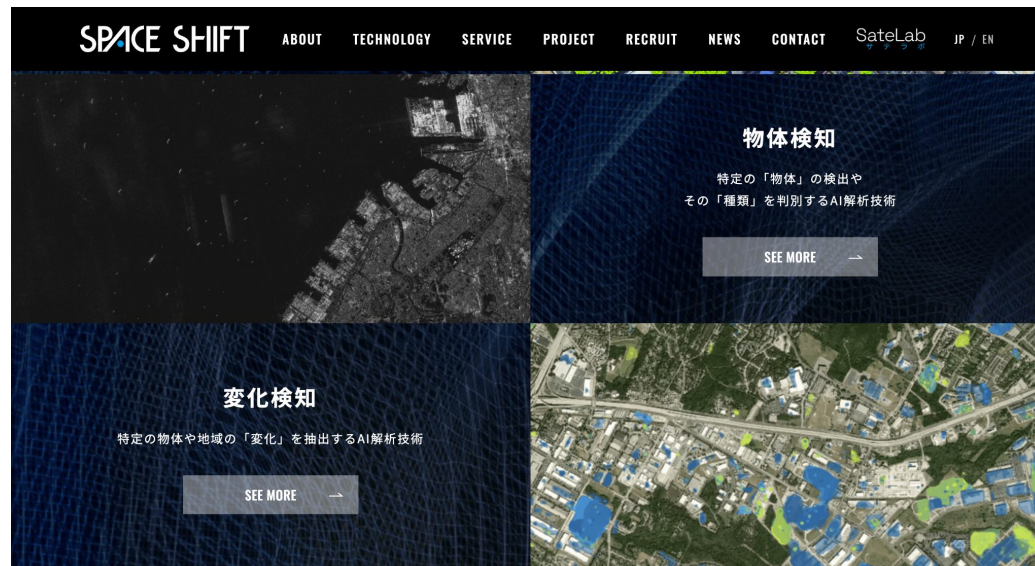
赤い点は着色した人工角栓であり、同じ条件でクレンジングオイルで浸漬して除去率を比較した

図2 自動処方生成システムにより生成したクレンジングオイル処方の効果検証

# 量子・AI を活用した地球観測衛星による災害状況把握・経路最適化アルゴリズムの研究開発

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「NEDO」

2024年度「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」に係る実施体制



<https://www.spcsft.com/>

[https://www.nedo.go.jp/koubo/CD3\\_100362.html](https://www.nedo.go.jp/koubo/CD3_100362.html)

# 事例 お手順

# 飛騨高山観光促進



Hida Takayama  
Official Tourism Site



<https://www.hidatakayama.or.jp/index.html>

高山市では、  
人口8万人  
観光客年60万人

## 飛騨プロジェクト

街としての魅力が十分に行き渡っておらず、隣接する高山市に比べ、賑わい創出という課題を抱えている。



画像  
市のホームページより



# 飛騨観光促進

量子を使って広告を最適化。観光客に刺さる広告を見つけながらコストも下げる！

量子生成モデル



生成AI

自動で広告を生成する



自動でいい広告を見つける



最大で39%の広告費用の節約

# 飛騨観光促進

各素材は3-5程度複数用意する。  
 例) 背景5 テキスト5 バナー色5 バナーテキスト5  
 ボタンテキスト5  
 合計  $5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 = 3125$

ここは固定  
企業だとロゴ

背景は複数用意  
する



テキストは生成 AI  
で複数作って  
もらった

3125通りのうち量子が 20  
程度を提案

テキストは生成 AI  
で作ってもらった

色番号も生成 AIで  
複数作って  
もらった





# 飛騨観光促進

AIが作った広告を人間がチェックして出稿！



5クリック

20クリック

2クリック

実際に  
広告出稿

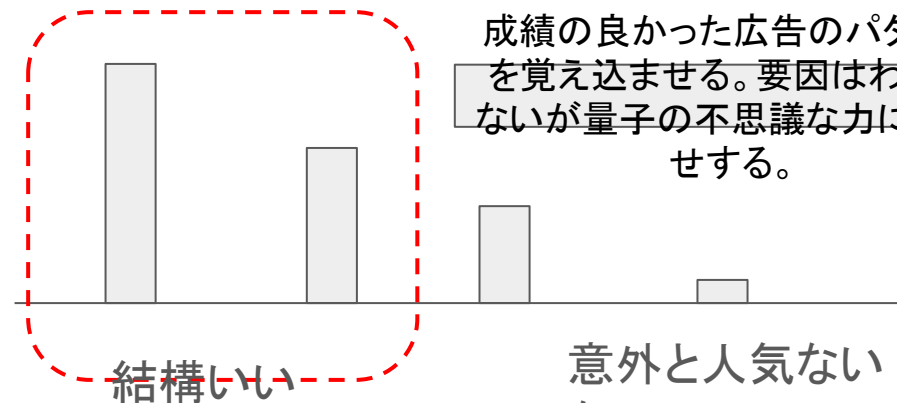
20クリック



なんでこの広告がいいのかわからないな。。。

# 飛騨観光促進

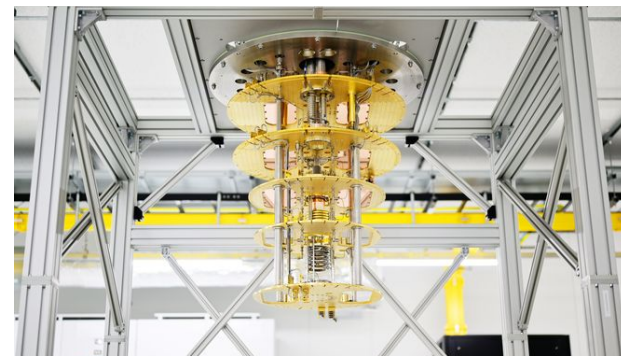
不思議なことに広告にはクリック率にばらつきが出る。ここではクリック率が多かった広告をいい広告とする。(要因は多数あるが考えない)



成績の良かった広告のパターンを覚え込ませる。要因はわからないが量子の不思議な力にお任せする。

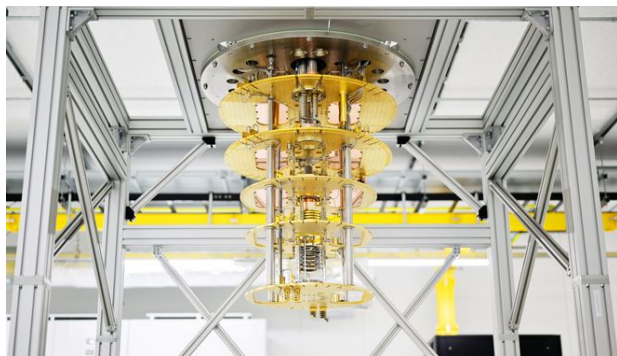
結構いい

意外と人気ないな。。。



# 飛騨観光促進

覚えた量子モデルから広告を生成する



作る

ばらつきを持ったまま広告を生成することができる。一瞬で数千とか数万を作ることができる(そんなにいらないけど)。





# 飛騨観光促進

最終的にはだんだんいい広告におさまってくる。今回のトライアルにかかった広告費は5,000円（もちろん量子コンピュータ利用料込み）。

## 自動で広告を生成する



## 自動でいい広告を見つける



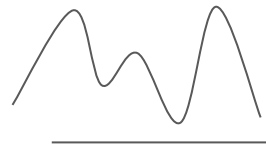
## 最大で39%の広告費用の節約



今回利用した技術は実はかなり昔から開発しているもので、カナダのD-Wave社の公式動画の扉絵にもなっているものです（社名がblueqatに変更する前のMDRになっていますが気にしないでください）。

# メリット

知らない場所や商材でもできる。  
 コストがかからない。  
**ターゲットを指定できる。**



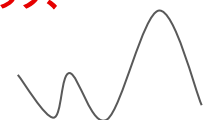
## ターゲットなし最適



## ターゲット 家族最適

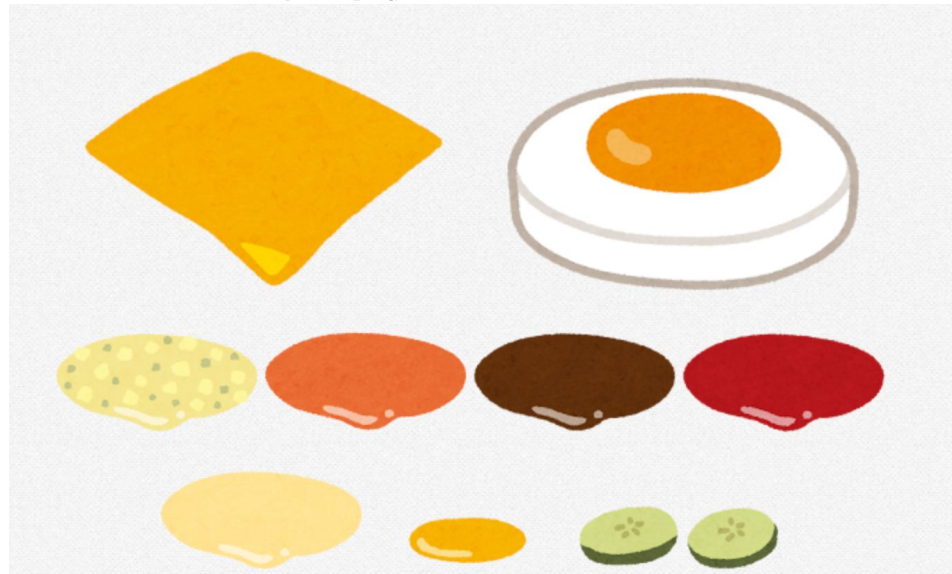


年齢層が25-34歳が50クリック程度、35-44歳が30クリック、18-24歳が20クリック、と若い人が多かったです。  
 性別は男性が100クリック、女性が50クリック  
 子供ありが40クリック、なしが20クリック、その他不明

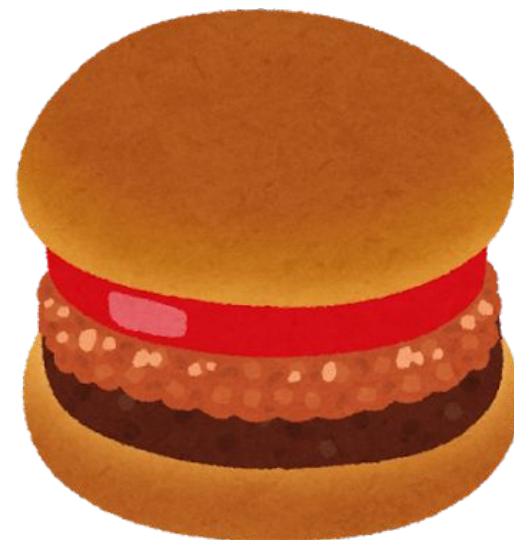
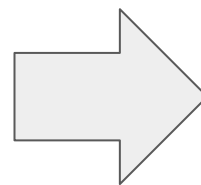


## ご当地バーガー作り

株主がABCクッキングスタジオなので料理からスタート。量子とAIで勝手においしいレシピを作ってくれる。長野県の名産品で野沢菜味噌バーガーを作ってみたけど美味しかった(結局最後はめんどくさくて人間の手で調整してしまいました。。。)



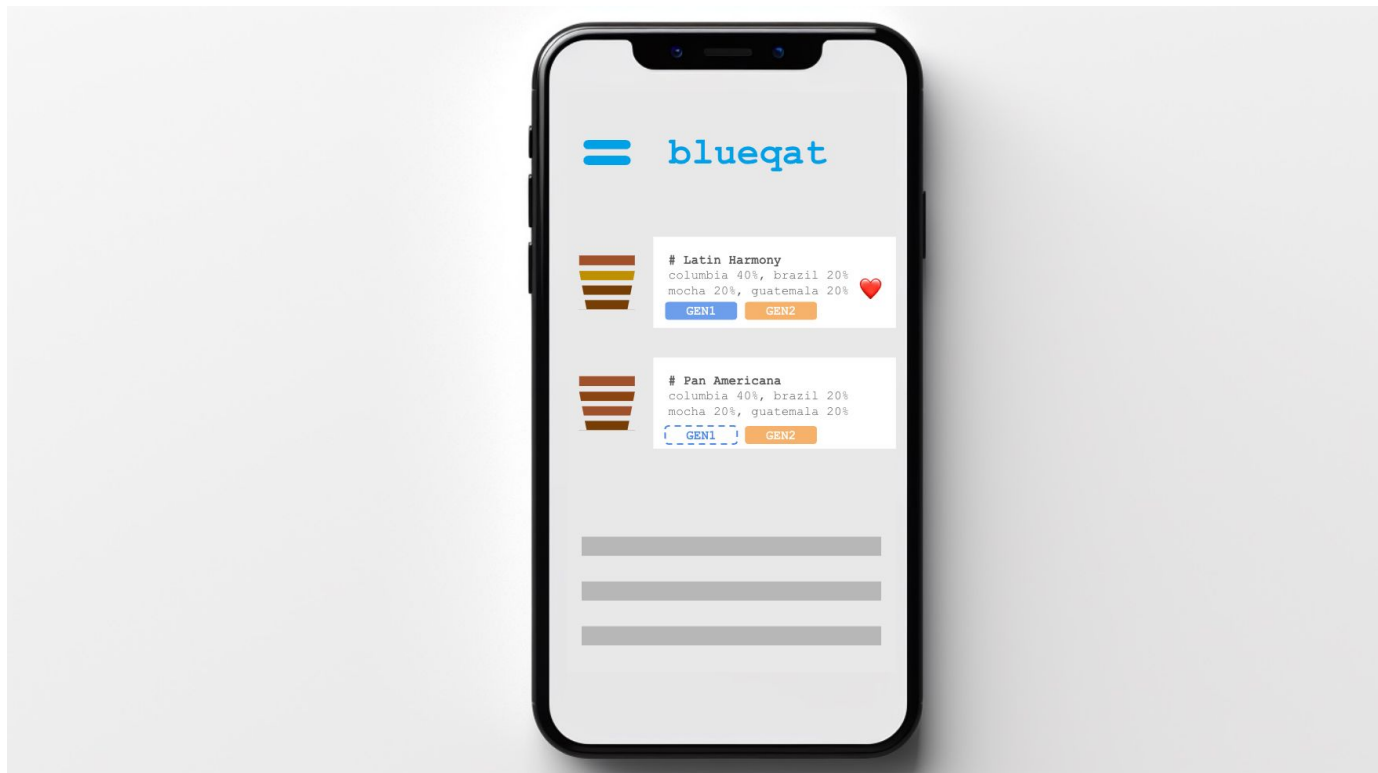
材料の分量のバリエーションを持たせる



とり天カボスバーガー

# パーソナライズコーヒー

コーヒーブレンドにもチャレンジ





**現在大分県をテーマにした量子コンピュータの論文を執筆中！国際会議発表に向けて作業中！**

**大分県内で世界的に活躍できる量子人材を必ず発掘する！地元貢献！**

以上