



IBM Community Japan

ナレッジモール研究 最終報告

[2021-B-10b]量子コンピューターの活用研究

機械学習・量子化学計算・組み合わせ最適化への適用

量子コンピュータ普及の為に。「3観点のサブゴール」

メンバー：(五十音順)

川島貴司 城所柊朋 志村功

谷本英史 中村比呂記 中村悠馬

橋本誠 和田直也

アドバイザー：小林有里

2021年 9月30日 (木)



コンテンツⅡ

ユースケース探索
(アンケート／インタビュー含む)



目次

1. ユースケース探索

1. 代表的なユースケース
2. 量子超越性 ※ 本資料では「量子優位性」と同義として扱う
3. 古典と量子コンピュータのハイブリッド
4. 量子機械学習（Quantum Machine Learning）について

2. 最新動向調査

1. ユースケース全般、機械学習×量子、自動車×量子

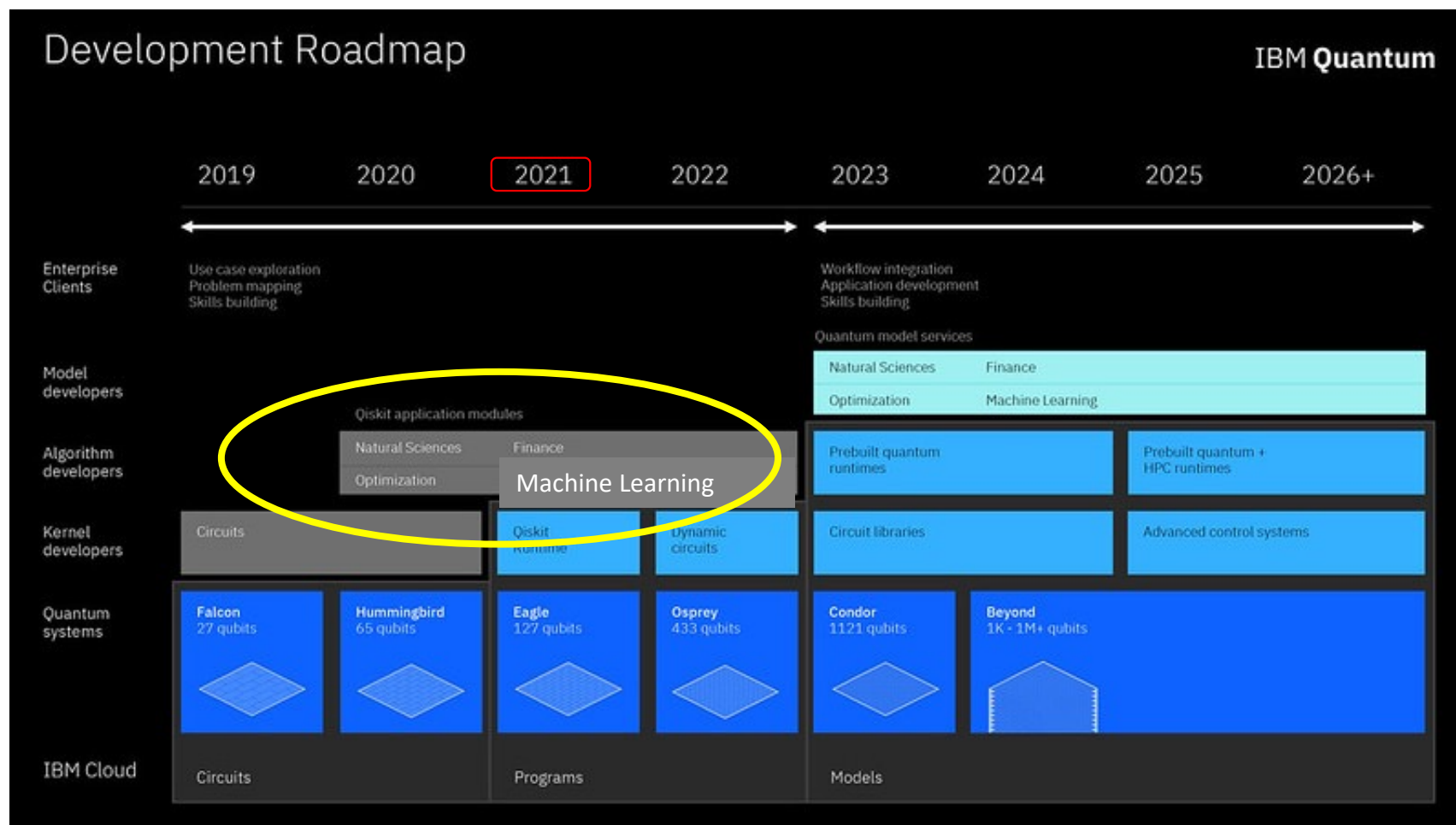
3. アンケート／インタビュー

1. 自社の社員にきいてみた。
2. パートナー企業に聞いてみた。
3. ユーザ企業に聞いてみた。
4. 高校生に聞いてみた。



■ ユースケース探索

- 量子コンピュータのユースケースとして**自然科学、最適化、金融、機械学習分野**での応用が見込まれている。
- 我々は**機械学習分野**で挙げられている将来の想定ユースケースを調査し、2021年時点での技術の立ち位置を探索。
- その中で各メンバーの業界(**卸売業、金融、ヘルスケア、ソフトウェア**)で類似のユースケースないか洗い出しを行う。



量子コンピュータの代表的なユースケース

- **組み合わせ最適化：** 膨大な組み合わせの中から、精度の高い近似解を高速に見つけ出す。
 - ・ 巡回セールスマン問題（営業所を出発して、全ての顧客を訪問して、営業所に戻る最短ルートも求める）
 - ・ 自動車走路の最短ルート検索（カーナビ等に搭載することを想定しており、渋滞解消にも役立つ）
 - ・ 金融商品のポートフォリオ（投資戦略、投資商品の組み合わせ、資産評価、リスク分析等を支援）
- **量子化学計算：** 量子論に基く量子化学計算を、量子コンピュータの中でシミュレーションする。
 - ・ 創薬（原子・分子が結びついた性質や、化学反応の仕組みを解き明かすには、非常に複雑な構造計算が必要）
 - ・ 素材開発（フォトレジスト、液晶、ディスプレイ材料等の開発）
 - ・ エネルギー源・バッテリーの開発(EV用電池、太陽電池等の開発)
- **量子機械学習：** 膨大なサンプリング計算を人工知能や機械学習の技術により拡張して高速化する。
 - ・ ビッグデータのリアルタイム分析（データ駆動科学として、膨大な情報から学習して如何に知見を得るか）
 - ・ 画像認識・音声認識・自然言語処理（人間の意思決定が持つ力を機械・コンピュータに与える）
 - ・ 量子暗号・解読（量子暗号通信による情報漏洩に回避、逆に既存RSA等暗号化技術を破ることも可能に）

量子超越性（Quantum Supremacy）とは？

※本資料では「量子超越性」と「量子優位性」の定義は言及せず、「量子>古典」という同じ意味として扱います。

● 量子超越性：

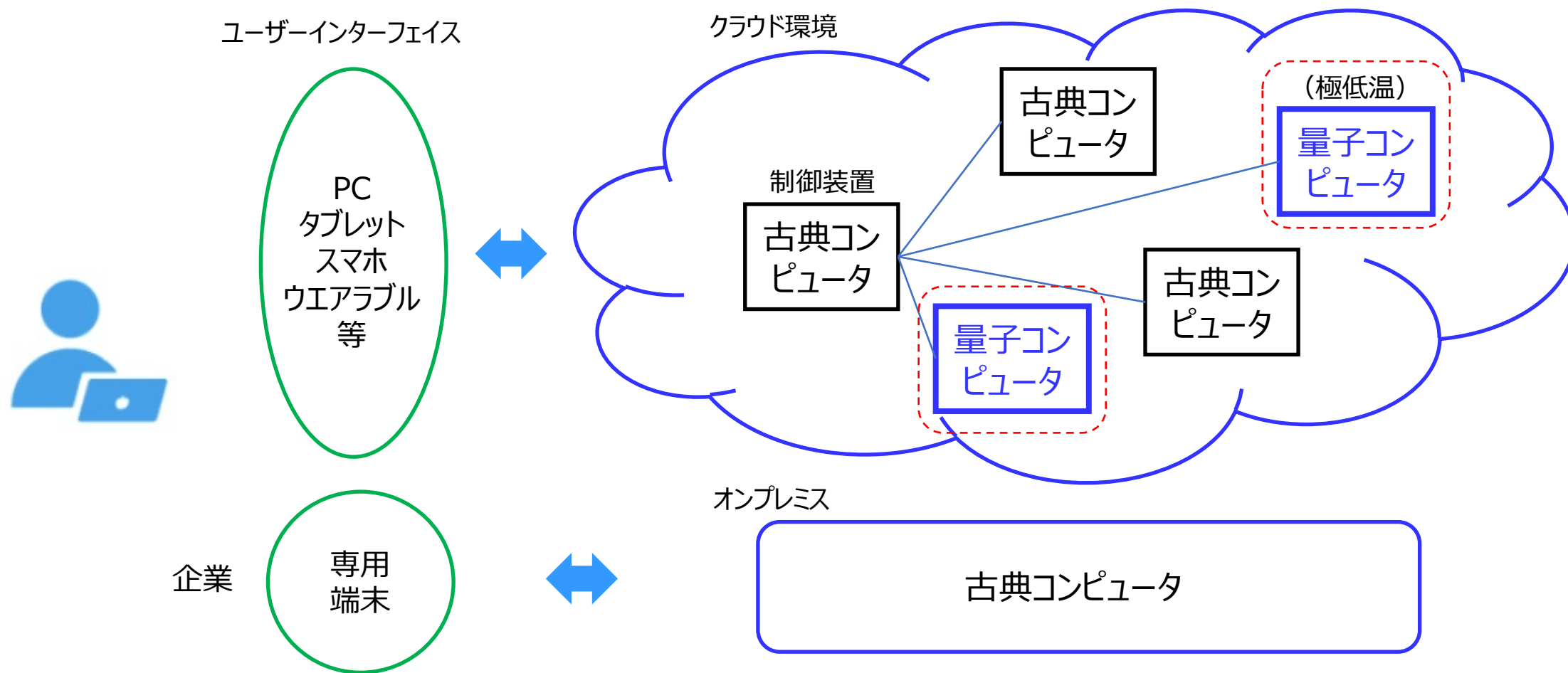
- ・ カリフォルニア工科大学のジョン・プレスキル教授によって定義された概念（2011年）
- ・ 量子コンピュータの計算能力が、従来の古典コンピュータでは実用的な時間では解決できない問題を解決できることを証明すること。
- ・ 並列計算や用途別の量子アルゴリズムによって、計算能力が飛躍的に向上させられる。

● 量子超越性の立証：

- ・ Google: 乱数を生成する「ランダム量子回路サンプリング」の問題で、最先端のスーパーコンピュータ（古典）で計算に要する時間が、約1万年かかる問題に対して、Googleの量子コンピュータ（54量子ビット）では、3分20秒（200秒）で計算（約16億倍の性能比）可能
- ・ 但し、IBMの試算ではスーパーコンピュータでも、2.5日で計算可能と主張している。
- ・ 中国の光量子コンピュータ： 光の粒子を操作するデバイスで、ガウシアンボソン・サンプリングを200秒で実行して、量子超越性を達成（日本のスーパーコンピュータ富岳では、6億年かかるという計算）
- ・ 量子コンピュータによって、指数関数的に高速化できるのは、60個程度（適用・アルゴリズム）と言われている。
- ・ その適用領域で、特に期待されているのが、組み合わせ最適化、量子化学計算、量子機械学習の分野とされている。（参照：IBM Institute for Business Value）

量子コンピュータは専用マシンとして古典と共存へ

量子コンピュータは、古典コンピュータを置き換えるものではなく、当面は**専用コンピュータ**として共存すると考えられる。





古典と量子コンピュータのハイブリッド型

データ処理デバイス

データ生成系

①古典・古典	③古典・量子
②量子・古典	④量子・量子

■ Aimeur, Brassard, Gambsによる類型論 (Typology)

■ 量子・古典ハイブリッド型が実用化に近い

③ 古典・量子アプローチ

- ✓ 古典の機械学習モデルから、量子アルゴリズムへの解釈
- ✓ データマイニングのための量子アルゴリズムの設計が中心的なテーマ
- ✓ 例えばテキストや画像解析、マクロ経済変数の時系列分析（古典系観測値）
- ✓ 教師有り学習：データセットへアクセスし、解を抽出して、新しい問題を解くための性能指標として使用
- 翻訳的アプローチ（ニューラルネットワーク、ガウス過程）
- 探索的アプローチ（機械学習モデルが物理的特性や制約、形式や言語に依存）

④ 量子・量子アプローチ

- ✓ 量子データを扱い、量子コンピュータによって処理される
- ✓ 量子シミュレーション（計算上、扱い難い物理的特性や、科学的特性をモデリング）
- ✓ 量子系の波動関数からの学習で、古典データとは異なる効果が期待される

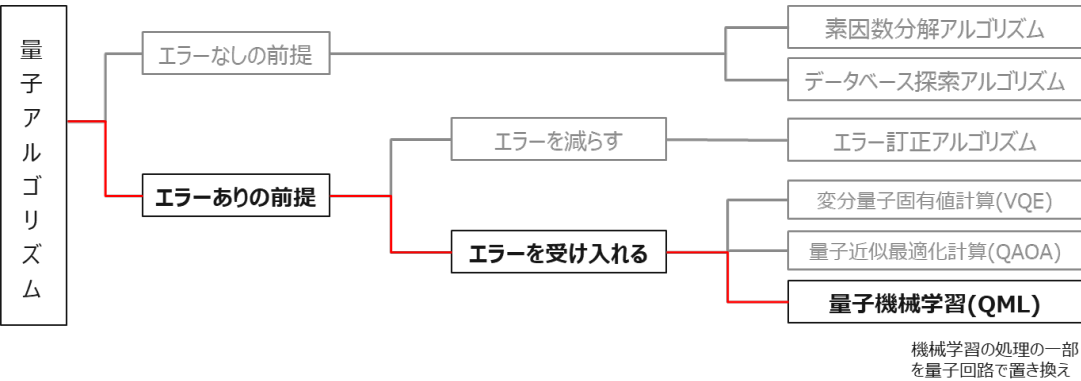


何故、量子機械学習か？

IBMの量子コンピュータのロードマップでは、**量子機械学習**がフォーカス・エリアの一つとなっている。



エラーを前提として受け入れる
NISQ (Noise Intermediate Scale Quantum)
デバイスを活用できる事がその理由のひとつである。



量子機械学習

古典コンピュータでは処理できない能力を備え、AI / MLの熟練度を向上・拡張させる技術領域

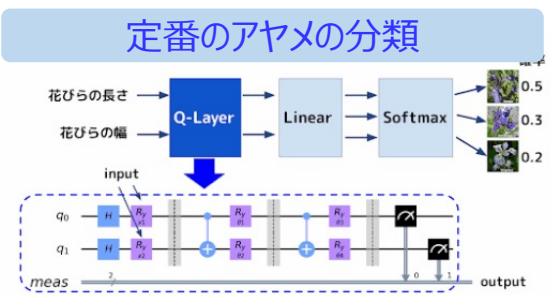
機械学習

明示的にプログラムすることなしに、**データ**を用いてコンピュータに問題解決の方法を**学習**させる技術

量子計算

量子論の法則に基いて動作する**デバイス**を用いた情報処理技術

未知の状況に対して、個々の経験を汎化する一連の処理を自動化 (人間の**学習能力**)





■ ユースケース探索

Quantum Machine Learning (QML)


■ QML（量子機械学習）に注目すべき（より一層注目が集まるであろう）理由

- ①今はまだNISQ
- ②AI/機械学習関連企業の差別化要素
- ③IoT、5G/6G、AI/機械学習時代におけるシステムパフォーマンス確保

- 技術研究視点
- サービス提供企業視点
- 総合的な時代の流れ

ムーンショット目標6、2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる耐り耐性汎用量子コンピュータを実現

誤り耐性汎用量子コンピュータが導く2050年の社会



複数の量子コンピュータをネットワークで連携させることで、大規模な計算を高速で行う

「省エネ」な生物の営みを正確に理解

20世紀初頭に発明されたハーバー・ボッシュ法は窒素肥料の原料となるアンモニアの工業生産を可能にし、人類の繁栄を支えてきた。しかし現在、窒素肥料の生産には人類が消費するエネルギーの約1%が費やされており、地球環境に大きな負荷をかけている。

一方で、菌が行う天然の窒素固定（自然界中に存在する窒素分子を、窒素化合物に変換する反応）は、ハーバー・ボッシュ法に比べてはるかに省エネルギー、省資源で、窒素固定を人工的に再現できれば、エネルギー問題、食料問題、地球温暖化など、私たちが抱える様々な問題の解決につながるだろう。

なぜ、生物は当たり前にこのような複雑な反応を効率よく行うことができるのか。その秘密は反応に関わる物質を構成する量子のふるまいにあると考えられているが、複雑に絡み合う量子状態はスーパーコンピュータを使っても厳密に計算することが難しい。しかし耐り耐性汎用量子コンピュータがあれば、生物が行う反応中の量子状態を厳密に計算（再現）することができる。

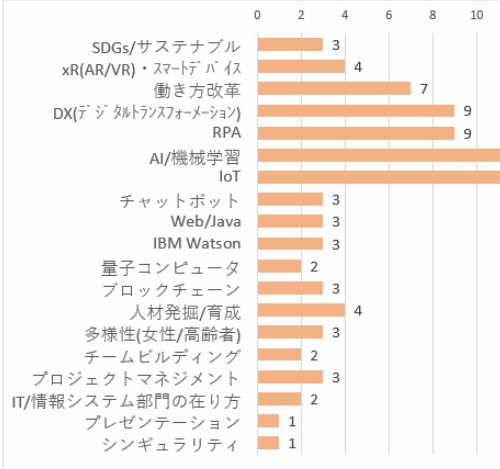
持続可能な安全で豊かな社会



様々な反応の量子状態を厳密に計算し、物質の性質を正確に予測することが可能になるため、創薬や資源配分最適化などの材料開発が飛躍的に加速する。

人工合成の実現。太陽の光と水を使って、地球温暖化の原因となる二酸化炭素を酸素と有機化合物に変える。

人工衛星通信の発展。省エネルギーでありながら、空気の伝達から窒素化合物を効率よく合成できる。



一昨年NEXT2019(福岡)
セッションキーワード分析

高速・大容量
(ピークレート:20Gbps※)



低遅延
(無線区間の伝送遅延:1ms※)

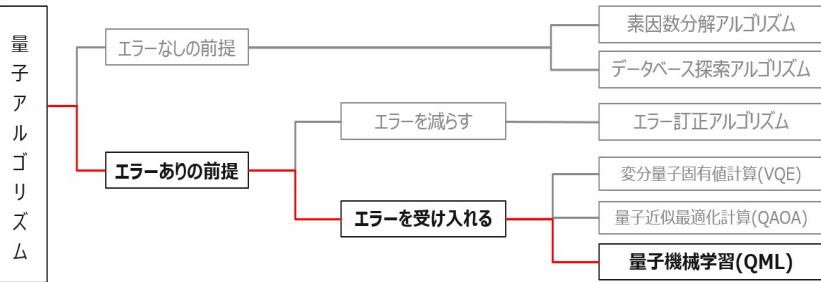


多数端末接続
(同時接続数:10^4デバイス/km^2※)



5G

「エラーのない前提」のアルゴリズムは実現まで遠い
現在の潮流としてはNISQ*(古典と量子のハイブリッド)デバイスでの実応用が期待、特に量子機械学習が注目を集める

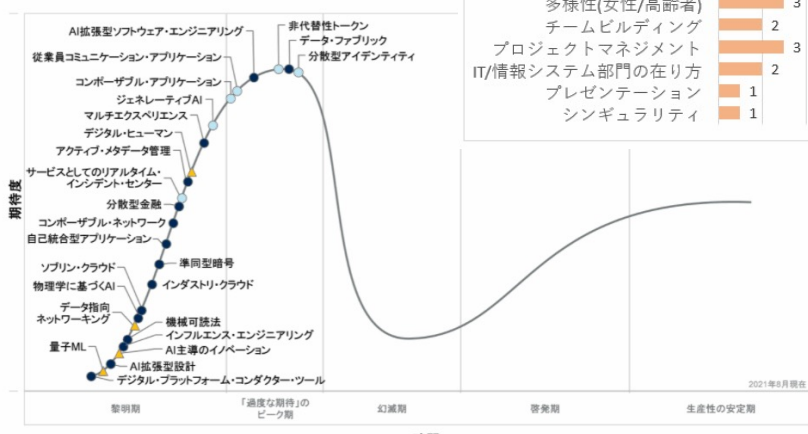


*NISQ(Noise Intermediate Scale Quantum)デバイス

エラーの原因となるノイズを許容
実機の量子ビット数(〜53)の範囲で利用
古典と量子のハイブリッドとして利用

機械学習の処理の一部を量子回路で置き換え

先進テクノロジーのハイブ・サイクル:2021年



主流の採用までに要する年数: ○ 2年未満 ● 2〜5年 ● 5〜10年 ▲ 10年以上 × 安定期に達する前に陳腐化

	4G	5G
高速・大容量	下り最大1.7Gbps 上り最大131.3Mbps	下り最大20Gbps 上り最大10Gbps
超低遅延	端末から基地局まで 10ミリ秒	端末から基地局まで 1ミリ秒
多数端末接続	1基地局あたり 100台	1基地局あたり 10,000台





■ユースケース探索

Quantum Machine Learning (QML)

■QML（量子機械学習）に注目すべき（今後より注目が集まるであろう）理由

①今はまだNISQ

技術研究
視点

ムーンショット目標6にもある通り、誤り耐性型汎用量子コンピュータの研究は着実に進められているが、まだ時間がかかりそう。まずはNISQの実用化が先となる。

ムーンショット目標6。2050年までに、経済・産業・安全保障を戦略的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現

誤り耐性型汎用量子コンピュータが導く2050年の社会

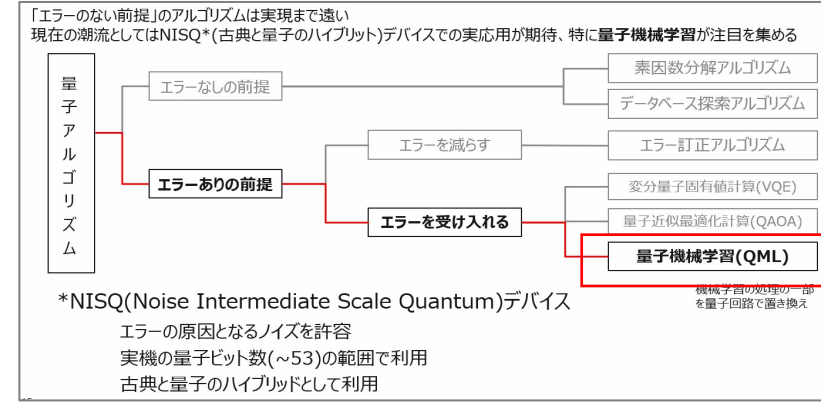
「省エネ」な生物の営みを正確に理解

20世紀以降に開発されたハーバー・ボッシュ法は、窒素固定の原料となるアンモニアの工業生産を可能にし、人間の食生活を支えてきた。しかし、窒素固定の生産には人間が消費するエネルギーの約4%が費やされており、地球温暖化に大きな影響を与えている。

一方で、海洋性浮遊植物の繁殖（藍藻）は、海中に存在する窒素を、生物に供給する役割を担っている。ハーバー・ボッシュ法に匹敵するほどの効率でアンモニアを、生物から生産できれば、エネルギー削減、食料増産、地球温暖化など、私たちの抱える様々な問題の解決に貢献できる。

また、生物が抱えるような複雑な問題を解くことができる。その解法は、従来のコンピュータでは解くことができない。誤り耐性型汎用量子コンピュータは、スーパーコンピュータを凌駕する能力をもち、複雑な問題を解くことができる。誤り耐性型汎用量子コンピュータがあれば、生物が行う反応の量子状態を正確に計算（シミュレーション）することができる。

複数の量子コンピュータをネットワークで連携させることで、大規模な計算を高速で行う

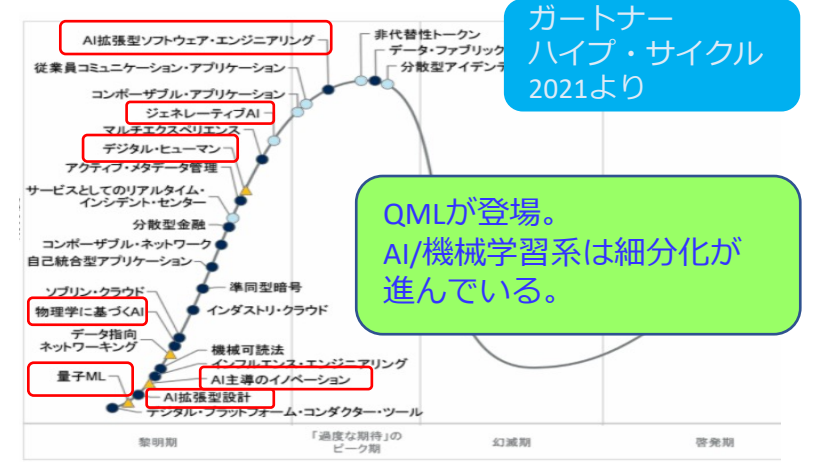


古典版より量子版の機械学習が量子優位性を持つ学習タスクが存在できる、ということが証明されている。

②AI/機械学習関連企業の差別化要素

サービス
提供企業視点

一般社会的にも普及しつつあり、今後はより高度な仕組みで差別化を図ろうとすると思われる。



③IoT、5G/6G、機械学習時代におけるシステムパフォーマンス確保

総合的な
時代の流れ

IoT、5G/6G、機械学習が普及すると、サーバーがボトルネックになるかも知れない。

端末	ネットワーク	サーバー
スマホ タブレット ゲーム機 自動車 その他IoT機器 がどんどん増える。	4Gでは心もとないが、 5Gが普及しつつある。 6Gもそう遠くない。	激増する処理をさばく必要がある。 機械学習処理に量子の仕組みを導入
大量データのリアルタイム処理が必要。 機械学習もその中に含まれる。	超高速／大容量／低遅延／多数接続が可能になりつつある。	量子が得意な部分を活かしてパフォーマンスを維持・向上させる。

	4G	5G
高速・大容量	下り最大1.7Gbps 上り最大131.3Mbps	下り最大20Gbps 上り最大10Gbps
超低遅延	端末から基地局まで10ミリ秒	端末から基地局まで1ミリ秒
多数端末接続	1基地局あたり100台	1基地局あたり10,000台




(まとめ) 量子コンピュータの適用・応用に関する今後の展望

- 実社会の問題の大部分は、従来型の古典コンピュータでも解ける可能性はあるが、苦手な分野がある。



- 対象領域に依っては、従来より桁違いのパフォーマンス向上が実現され、実用化が達成できる可能性がある。(⇒量子超越性：Quantum Supremacy)
- 古典コンピュータが苦手な領域（多項式時間での解法が得られていない問題）は、量子技術によって解決が期待される。



- 量子コンピュータが適する領域として、今のところ、組み合わせ最適化、量子化学計算、量子機械学習の3つの分野に集約される。
- 
- 具体的な研究・適用事例（何処まで、具体的な検討、実証実験が進んでいるか？→添付：参考資料）



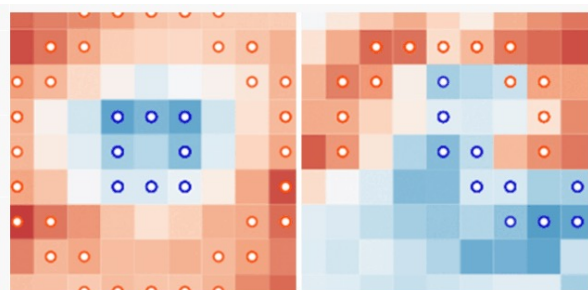
- 今後の展望としては、古典コンピュータ（ノイマン型）、量子コンピュータを組み合わせたハイブリッド型の（ノイズ有り）モデルが、最も実用化が近いとされ研究が活発になっている。
- また、システム全体としても、古典と量子コンピュータが適材適所で共存して行くと考えられる。

■ ユースケース探索 最新動向調査

■ 最新動向(QML) 世界最大規模の量子機械学習を実現

2021/6/8 大阪大学 ResOU (リソウ) より

https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210608_1



世界最大規模の量子機械学習を実現

25個の核スピンを利用した量子カーネル法によって計算量を削減することに成功

2021-6-8 ● 工学系

本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

世界中で量子デバイスの開発や応用アルゴリズム開発が進む中、実際のハードウェアを使った量子機械学習の実証実験は、量子コンピュータのユースケース探索に重要な指針を与えるものと期待されます。

研究成果のポイント

量子コンピュータ向けの機械学習アルゴリズムを最大規模で実証。

通常量子コンピュータはノイズに弱く、実証実験の大規模化が困難だったが、比較的ノイズに強い核磁気共鳴技術を用いることで大規模化に成功。

機械学習の量子コンピュータによる高速化・高度化に向けた第一歩。

概要

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター (QIQB) の准教授の根来誠副センター長（研究当時JSTさきがけ研究者兼任、量子科学技術研究開発機構グループリーダー兼任）、同大学大学院基礎工学研究科の御手洗光祐助教（JSTさきがけ兼任、株式会社QunaSys、QIQB兼任）らの研究グループは、世界最大規模の量子機械学習実験を実現しました。

近年、量子コンピュータによって機械学習を高速化・高度化することを目的とした研究開発が世界中で活発に行われています。多種多様な理論提案がある一方で、現在実現している量子コンピュータは外界からのノイズにとっても脆弱で、実際の量子デバイスを使ったデモンストレーションは数個の量子ビットを使ったものにとどまって来ました。

今回、本研究グループは、比較的外界からのノイズに強い分子中の核スピンを用いることにより、25個の量子ビットを使用したことに相当する量子機械学習の実証実験に成功しました。量子カーネル法によって計算量を削減することに成功し、簡単な回帰及び分類タスクを実行しました。これは、これまでで世界最大規模の量子機械学習であり、今後の量子機械学習実験のさらなる大規模化に向けた礎となることが期待されます。

本研究成果は、ネイチャー・パブリッシング・グループの科学雑誌「npj Quantum Information」に、日本時間6月8日（火）午後6時（英国時間6月8日午前10時）にオンライン公開されました。

なお、本研究成果は同大学大学院基礎工学研究科の楠本武流さん（研究当時博士前期課程）、QIQBの藤井啓祐副センター長（基礎工学研究科教授、理化学研究所量子コンピュータ研究センターチームリーダー兼任）、北川勝浩センター長（基礎工学研究科教授）との共同研究の成果です。



■ ユースケース探索 最新動向調査

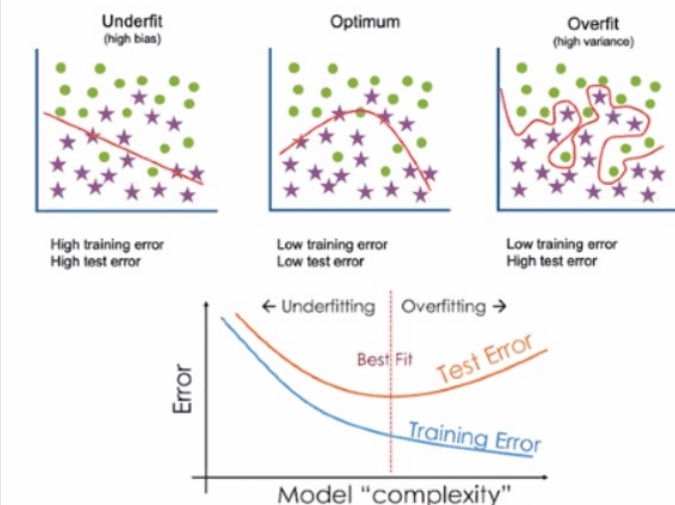
■ 最新動向(QML) 量子コンピュータは「過学習」しにくい

2021/7/26 ロボスタより

量子コンピュータは「過学習」しにくい グリッドが量子AIの研究結果を「ACM」で発表 量子機械学習器のVC次元を初めて確立

株式会社グリッドの量子アルゴリズム研究チームは、量子機械学習器は過学習しにくいという性質を、詳細な数値実験と統計的機械学習の理論を通して示すことに成功した。また、この成果を論文として発表し、世界的に権威ある学術雑誌に掲載されたことを発表した。

古典コンピュータにおける学習理論の歴史



- モデルが複雑すぎると、機械はデータから学習するのではなく、データを記憶してしまう可能性がある。
- 学習されたモデルは、汎用性が低い状態になる。
- このような状況を過学習と呼ぶ。
- 過学習が起こると、学習誤差 E_{in} は小さく、テスト誤差 E_{out} は大きくなる。さらに汎化誤差 $E_{out} - E_{in}$ が大きくなる。
- 学習可能性とは、過学習を回避する方法が必要であるということ。

<https://www.ibm.com/cloud/learn/overfitting>
<https://vitallflux.com/overfitting-underfitting-concepts-interview-questions/>
 Copyright©2021 GRID All Rights Reserved.

<https://robotstart.info/2021/07/26/grid-qcvc.html>

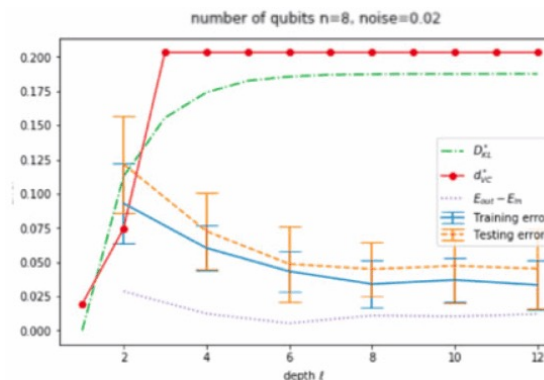
モデルの表現力飽和とVC次元の上限値による過学習の抑制

論文で掲載した量子におけるVC次元境界の計算方法

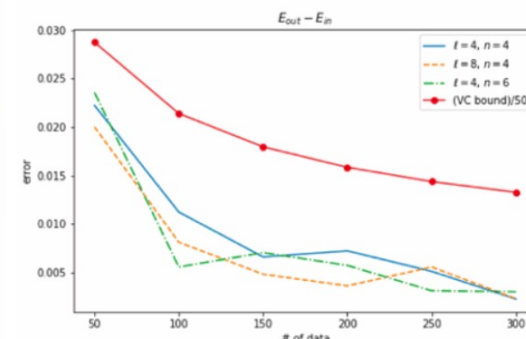
d次元特徴空間の d_{VC} 境界 $n \geq d$, 入力層のエンコード $n \bmod d = 0$	$\vec{x} \in [-1, 1]^d$, $\theta_{i,in} = \arcsin(x_i)$, $ \psi_{in}(\vec{x})\rangle = (\bigotimes_{i=0}^{d-1} R_z(\phi_{i,in}) R_y(\theta_{i,in}) 0\rangle)^{\otimes d}$, $\phi_{i,in} = \arccos(x_i^2)$
一般的な場合	$2 \leq d_{VC} \leq (2 \frac{n}{d} + 1)^{2d}$ I
CZ-HEA PBCの場合	$2 \leq d_{VC} \leq (2 \min(\frac{n}{d}, \lfloor \frac{2L+1}{d} \rfloor + 1) + 1)^{2d}$

GRID

Copyright©2021 GRID All Rights Reserved.



分類問題の場合における量子回路の深さに対する、表現可能性、VC次元、訓練誤差、汎化誤差のスケール



分類問題の場合において量子回路の深さと量子ビット数を变化させた際の、VC次元、訓練誤差、汎化誤差の比較

■ ユースケース探索 最新動向調査

■ 最新動向 2021/6/30 日本経済新聞 朝刊一面より

日本経済新聞

朝刊・夕刊 LIVE Myニュース 日報会員

トップ 速報 オピニオン 経済 政治 ビジネス 金融 マーケット マネーのまなび テック 国際 スポーツ 社会・環境

量子計算機、12社共同利用 トヨタ・三菱ケミが素材開発

【イブニングスクープ】

量子特約 [フォローする](#)

2021年6月30日 18:00 (2021年6月30日 5:30更新) (有料会員限定)

保存 [メール](#) [印刷](#) [Twitter](#) [Facebook](#) [LINE](#)

Think! 多様な観点からニュースを考える [山崎博之さん\(2名\)の投稿](#)



IBMの量子コンピュータ（資料提供）

トヨタ自動車など大手企業12社が次世代の高速計算機、量子コンピュータの実機
の共同利用に乗り出す。米IBMが近く日本で初めて稼働させる「商用機」を使い、産
業用途での実用化へ協力して知見を蓄積する。トヨタや三菱ケミカルは新素材の開発
などでの活用を想定する。超高性能の次世代計算機の活用でリードできるかどうかは
将来の産業競争力や国の安全保障戦略を左右する。

IBMが川崎市の産業育成拠点「かわさき新産業創造センター」に持ち込む新鋭機を利用する。汎用性が高く、主流になると目される「量子ゲート方式」の装置だ。7月中
にも稼働する。米国外への設置はドイツに次ぐ2例目となる見通し。

【関連記事】 [量子コンピュータとは 計算速度、飛躍的に上昇](#)

東京大学が占有権を持ち、同大が中心となってトヨタなどと2020年に設立した「量子イノベーションイニシアティブ協議会」が利用主体となる。一般的に量子コンピューターの導入は数十億円規模がかかるとみられるが、協議会の参加企業が費用を分担して使う。

量子コンピュータの機能を検証すると同時に、既存のコンピュータとは異なる専門知識や使いこなしのノウハウを蓄積する。協議会には日立製作所、東芝、ソニーグループなども名を連ね、慶応義塾大学も参画する。

IBMは量子コンピュータの利用を早期に広げるため、日本企業とも協力・連携しながら活用策の発掘などに取り組む狙いがある。

企業が想定する量子コンピュータの主な応用例	
社名	概要
トヨタ自動車	素材開発や渋滞回避
三菱ケミカル	LEDや太陽電池の開発
JSR	フォトレジストや液晶ディスプレイ材料の開発
みずほFG、MUFG、三井住友信託銀	資産構成の最適化や精緻な信用評価
ボーイング(米)	材料の耐久性などの評価
ダイムラー(独)	EV用電池の開発
エクソンモービル(米)	素材開発や海上輸送の効率化
ゴールドマン・サックス(米)	金融商品のリスク評価、価格予測

産業応用の有力分野の一つは化学だ。シミュレーションを通じ、画期的な素材の創出が期待される。三菱ケミカルは発光ダイオード(LED)や太陽電池を候補に想定。スマートフォンや電気自動車(EV)に使うリチウムイオン電池の数倍の電気を蓄えられるとされる、リチウム空気電池の研究にも取り組む。

量子コンピュータは膨大な組み合わせの中から最適解を見つけるのも得意だ。トヨタは自動運転時代を見据え、車の走行記録のビッグデータを解析して渋滞を回避する走行ルートを探すといった用途も見込む。

米国では金融業界が利用に積極的だ。ゴールドマン・サックスは4月、金融商品のリスク評価や価格予測を高速化する計算手法を、最短5年後に導入できる見通しだと明らかにした。

現在の高速コンピュータの主役はスーパーコンピュータだ。量子コンピュータはまだ開発途上で、実用領域でスパコンを上回る成果を出し始めるには早くて3〜5年、完成の域に達するには10〜20年かかるとの見方もある。

将来はスパコンでも数億年かかるような計算を同時にこなすようになると期待されている。いち早く性能を引き出せば研究開発(R&D)競争で優位に立ち、産業競争力の底上げにつながる。高度に進化すると現在のインターネット通信を支える暗号を解読する能力を獲得できるため、国家の安全保障にも影響を及ぼす。

(AI量子エディター 生川暁、福本裕貴)

【関連記事】

- ・ [量子特約、せめぎ合う米中 Googleは29年に「汎用品」](#)
- ・ [量子技術、国家間で大競争 日立やトヨタなど資本の結束](#)
- ・ [IBMと東大、量子計算機の研究拠点 材料や部品開発](#)
- ・ [スパコン常設、計算速度で3速覇 防災や車設計に活用拡大](#)



■ ユースケース探索 最新動向調査

2021/3/29 日本経済新聞より <https://www.nikkei.com/article/DGXZQODZ2369X0T20C21A3000000/>

量子コンピューターが変革する9領域 金融・農業...

[CBインサイト](#) [+ フォローする](#)

2021年3月29日 2:00

保存

small molecules protein therapeutics

ATTACK CHALLENGING TARGETS
Proteins can target a wider range of binding sites compared to small molecules. We work on difficult targets including GPCRs and intracellular targets.

REDUCE OFF-TARGET
Our therapeutics are engineered Reducing unintended off

(出所:プロテインキア)

Quantum Risk Analysis
Quadratic Speedup over Monte Carlo

Estimation Error

Number of Samples

Monte Carlo

Quantum Algorithm

(出所:IBM)

QUANTUM-RESISTANT ENCRYPTION

Learn more about:

THE QUANTUM THREAT

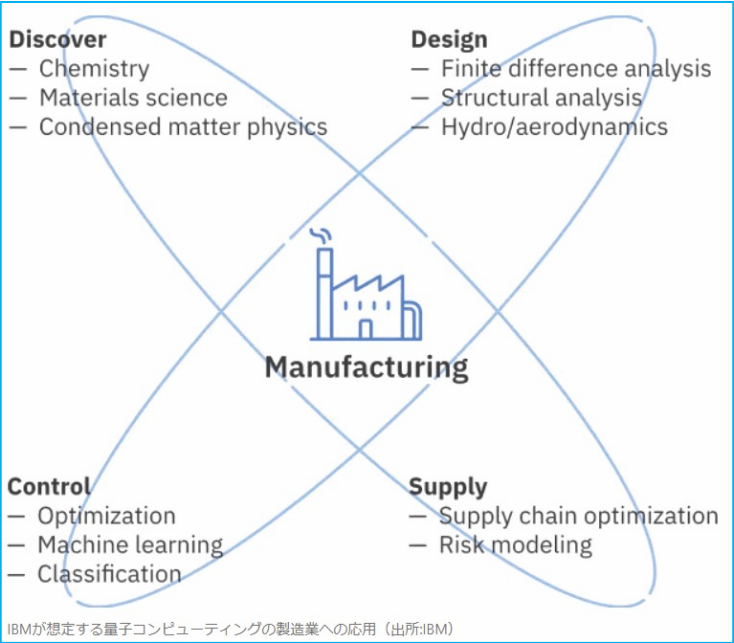
OUR QUANTUM-R

Quantum approvals for data and systems access Cryptographic signing for documents and data Verification and binding of identities to actions Immutable audit trails and accountability

(出所:ポストクオラム)

VOLKSWAGEN QUANTUM ROUTING

(出所:フォルクスワーゲン)



■ ユースケース探索 最新動向調査

https://www.qparc.qunasys.com https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000015.000041464.html	QPARC	世界に先駆けて量子コンピュータのユースケース探索に取り組む「QPARC」参画企業を50社に拡大し、キックオフ
https://www.jst.go.jp/pf/platform/file/r2_kyotengaiyou_2014.pdf	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 政策重点分野/量子技術分野（本格型）量子ソフトウェア研究拠点 拠点ビジョン 量子ソフトウェア共創プラットフォームが拓く持続可能な未来社会の実現
https://special.nikkeibp.co.jp/atclh/ONB/21/nec0114/	日経ビジネス NEC	Special Report from 「NEC Visionary Week」 いよいよ実用化が見えてきた「量子コンピューター」 トップランナーが語る、その効果と可能性
https://www.sumitomocorp.com/ja/jp/news/topics/2021/group/20210611		住友商事 当社の量子コンピューター活用の取り組み ～日加量子技術イノベーションピッチの実施～
https://japan.zdnet.com/article/35159228/?utm_source=yahoonews&utm_medium=news_distribution&utm_campaign=contents_distribution_ynews_related	ZDNet 2020-09-11	量子インターネットとは、その可能性--今知っておきたいこと
https://techtarget.itmedia.co.jp/tt/news/2012/16/news01.html#cxrecs_s	ITmedia 2020-12-16	先進企業の量子コンピューティング活用例 & 実証実験
https://qiskit.slack.com/archives/C01KX9LQU05/p1619239267023400	東北大学	東北大による量子アニーリングによる津波の避難経路予測

■ ユースケース探索 最新動向調査

機械学習×量子コンピュータ

https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210608_1	大阪大学 2021-6-8	世界最大規模の量子機械学習を実現 25個の核スピンを利用した量子カーネル法によって計算量を削減することに成功
https://www.tensorflow.org/quantum/concepts?hl=ja	Google 2021-02-16	量子機械学習の概念
https://recruit.gmo.jp/engineer/jisedai/blog/quantum_machine_learning/	GMO 2020.07.07	量子機械学習～量子古典ハイブリッドによる機械学習の実践～ 量子回路学習 アヤメの分類
https://techtarget.itmedia.co.jp/it/news/2001/20/news07.html	ITmedia 2020-01-20	「量子コンピュータ×機械学習」は何の役に立ち、何の役に立たないのか
https://ainow.ai/2021/04/28/253678/	AINOW 2021-04-28	量子コンピューティングは機械学習にどのような利益をもたらすか
https://robotstart.info/2021/07/26/grid-qcvc.html	ロボスタ 2021-7-26	量子コンピュータは「過学習」しにくい



■ ユースケース探索

最新動向調査

自動車×量子コンピュータ

https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000063.00042403.html	グルーヴノーツ、トヨタ自動車 2021-4-26	グルーヴノーツとトヨタ自動車九州、量子コンピュータを活用した業務改善プロジェクトを開始 量子コンピュータを駆使した補給部品物流の最適化に着手 (アニール型)
https://media.dglab.com/2020/01/28-quantum-computer-01/	デンソー 2020-1-28	量子コンピューターは自動車産業になにをもたらすのか 第12回オートモティブワールド
https://response.jp/article/2021/06/14/346688.html	Lesponse BMW、VW 2021-6-14	BMWやVW、量子コンピューターを産業利用へ...コンソーシアム設立 BMWグループ、フォルクスワーゲングループ、ボッシュ、BASF、シーメンスなど、ドイツ企業10社

■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

※あまりかしこまった聞き方はせず、ざっくばらんに意見してもらいました。
質問内容そのものにも多少バラつきがありますが、ご容赦ください。

自社の社員にきいてみた。

パートナー企業（IT系）にきいてみた。

ユーザ企業にきいてみた。

高校生にきいてみた。



■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

自社の社員にきいてみた。 その1

質問	回答
Q1:量子コンピュータについてどのような見方をされていますか？	量子コンピュータそのものの仕組みや性能よりも、量子コンピュータが提供する計算性能を既存の汎用システムから利用するための仕組みのほうに興味があります。 当面は科学技術計算や大規模な計算を必要とする予測やシミュレーション分野での研究的利用が中心になると思いますが、組み合わせ最適化などNP困難問題に関わる計算を必要とするようなビジネス・アプリケーションのプログラマーが、量子コンピュータの計算能力をツールキットやSDKのような形で利用でき、それにより「汎用量子コンピューティング」がサービス・ビジネスとして成り立つようになるのはいつ頃になるだろうか、という点に興味があります。
Q2: 量子関連のニュースやトピックで、最近特に気になった内容がありましたか？	IBM関連では、NHKニュースなどでも取り上げられた、IBM Quantum System One の新川崎 AIRBIC での稼働開始でしょうか。 最近のニュースではないですが、IBM のQiskit や、Microsoft のQuantum Development Kit (QDK)、Q#、Azure Quantum 等、プログラミング環境の動向に関するニュースは気になっています。
Q3: 量子コンピューティング分野は、今後どのような活用が期待できそうですか？	金融) ポートフォリオのリスク最適化のためのモンテカルロ・シミュレーション 金融取引の不正検知のための組み合わせ最適化問題への応用 セキュリティ) 量子鍵配送 (QKD) 物流) 配送ルート最適化、配送計画最適化、サプライチェーン最適化、荷積み・パッケージング最適化 プレーヤーの多い金融分野への応用は量子コンピューティングの普及につながるのではないかと思います。一方で、医療や気象、天文、自然科学分野で量子コンピュータを必要とするような組織の数は限られ、また、研究プロジェクト中心と考えられるため、量子コンピューティングの「普及」には直接的にはつながらないように思われます。



■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

自社の社員にきいてみた。 その2

質問	回答	
Q1.量子コンピュータを知っていましたか？	知っていた。（全員）	
Q2.知っていた場合、何を見て知りましたか？	テレビ（サイエンス系教育番組）、メルマガ	
Q3.どのような事が期待できそうですか？	金融	■ 株価の変動予測、自動売買 こっちが上げればこっちも上がるなど、業種や他の株式市場を超えた情報も考慮した予測。 （風が吹くと桶屋が儲かる的な）
	気象/天文/自然科学	■ 高精度な天気予報 今は1時間単位で教えてくれるが、精度は微妙。半日も立つと結果が変わってしまっている。 ■ 宇宙の行く末、始まり この先が宇宙がどうなるのか知りたい。宇宙の始まりがどうだったのかも。
	設計/解析	■ 真のデジタルツインの実現 自動車の衝突時の情報をIoTで取得して再現・解析する。 ■ 気軽な解析、最適解の提案 設計屋が材料複数パターン/形状/分厚さ等を気軽に解析して設計に役立てる。さらに目的、品質、コスト等をパラメータとして与えると最適な設計を提案してくれる。



■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

自社の社員にきいてみた。 その3

質問	回答																								
Q1.量子コンピュータという言葉聞いたことがありますか？	<div><div><table><tr><th>回答</th><th>割合</th></tr><tr><td>聞いたことがある</td><td>88.2%</td></tr><tr><td>聞いたことがない</td><td>11.8%</td></tr></table></div><div><p>17名中 Yes : 15名 No : 2名</p><p>9割近くは知っていた。</p></div></div>	回答	割合	聞いたことがある	88.2%	聞いたことがない	11.8%																		
回答	割合																								
聞いたことがある	88.2%																								
聞いたことがない	11.8%																								
Q2.どこで聞きましたか？	<div><div><p>16 件の回答</p><table><tr><th>場所</th><th>件数</th><th>割合</th></tr><tr><td>テレビのニュース</td><td>5</td><td>31.3%</td></tr><tr><td>テレビの番組</td><td>3</td><td>18.8%</td></tr><tr><td>インターネットのニュース</td><td>12</td><td>75%</td></tr><tr><td>新聞</td><td>2</td><td>12.5%</td></tr><tr><td>DI本部内のMTG</td><td>1</td><td>6.3%</td></tr><tr><td>部内での打合せ</td><td>1</td><td>6.3%</td></tr><tr><td>ラウンドテーブル聞きました...</td><td>1</td><td>6.3%</td></tr></table></div></div>	場所	件数	割合	テレビのニュース	5	31.3%	テレビの番組	3	18.8%	インターネットのニュース	12	75%	新聞	2	12.5%	DI本部内のMTG	1	6.3%	部内での打合せ	1	6.3%	ラウンドテーブル聞きました...	1	6.3%
場所	件数	割合																							
テレビのニュース	5	31.3%																							
テレビの番組	3	18.8%																							
インターネットのニュース	12	75%																							
新聞	2	12.5%																							
DI本部内のMTG	1	6.3%																							
部内での打合せ	1	6.3%																							
ラウンドテーブル聞きました...	1	6.3%																							



■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

自社の社員にきいてみた。 その3（続き）

質問	回答
Q3.量子コンピュータに対する印象や期待することは？	<ul style="list-style-type: none">・ 人間のロボット化・ リアルタイムでの様々な予測や分析（天候の変化や交通状況の変化など）・ 人工知能への応用や遺伝子治療・ 社会インフラに関するシミュレーション、リアルタイムでの少し先の予測・ まず、量子力学の概念が理解できません…。光速を超えることができないと定義されているのに、光子には質量があるとか？…。粒であり波であり…。それでも現実的には量子力学を利用した仕組みが現実的に利用されていることに驚きます。今のところ得意分野は限定されていると思います。並列処理解析のみ。汎用コンピューター分野では、“人間が考えること”を実現させるには現行のノイマン型が向くと思います。今後、量子コンピュータを利用する機会があるとすれば、シミュレーションではないでしょうか？”この商品を1円値上げしたときにおこる可能性を全て考えろ”など。以上、思い付きの意見となります・ 医薬品の研究開発スピード向上に期待しています。特に、がんやアルツハイマー病等、現時点で有効な治療法がない病気の薬が早くできたらよいと思います。・ コンピューター自ら考え、適切は判断処理が出来ればと思います。・ 病気の特定、難病等の治療方法の研究・ 多くの選択肢から最適な答えを見つけ出せるとAIの分野で活用できるのではないかと思う・ 宇宙の解明・ 保証審査、代位弁済審査の自動化・ 宇宙の謎や神秘の解明（ブラックホールなど）、医療の進歩（癌や不妊薬の新薬開発など）、人工知能の進歩（人知を超える存在を実現）・ 地震、台風、大雨等の自然現象の完全予測。予測可能により実現される人間社会の質の向上に期待。・ 複数の訪問先への最適ルート表示、コールセンターの最適化（架電先・受電件数の予測や人員配置）・ 分析の最適化 → 広告の最適化（必要な人に最適なタイミングで伝える）など・ 超高速の計算処理・ なんとなくですが処理が速いという認識のため、よりセキュリティや安全性が求められる部分で活躍する気がします。交通量の試算や電車や飛行機のダイヤの処理など。現実はありませんが、人間や動物のモニタリングからの傾向把握などもできそうです。

■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー パートナー企業（IT系）にきいてみた。

質問	回答
Q1:量子コンピュータについてどのような見方をされていますか？	次世代のコンピュータで今まで解けなかった或いは擬似的な回答しか得られなかった問題が解決され色々な課題（特に社会的なもの）を解いていく強力なツールになることを期待しています。 まだまだ完全量子コンピュータには時間がかかりますが、ノイズでハイブリッド型で特定の課題が解ける段階には比較的早期に到達すると期待しています。
Q2: 量子関連のニュースやトピックで、最近特に気になった内容がありましたか？	（書き手の勉強不足または日の丸量子コンピュータへの傾倒のためか）未だにアニーリングとGATEその他と比較している記事が日本に見受けられるのは残念です。 新しい技術の動向（Photonic, Neural atom, Topological）と開発ソフトウェアの発展に興味を持っています。
Q3: 量子コンピューティング分野は、今後どのような活用が期待できそうですか？	<ul style="list-style-type: none">● 環境問題 : より精度の高い気象予測と我々に与える影響の把握。温暖化を防ぐためのアドバイス。変換効率が高く安全な電力源（含むバッテリー）の開発 生産者～運送～消費者まで含めた全体のフードロスの最適化● ヘルスケア : 新薬、ワクチンの創薬。（Covid19、各種のがんなど）

■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

ユーザ企業にきいてみた。 その1

質問	回答
Q1:量子コンピュータについてどのような見方をされていますか？	現在利用しているコンピューターの「アセンブラ」時代という理解であり、高級言語化には至っていない理解です。今後、技術発展し、ビジネスアプリケーションを作るための言語やライブラリ（アルゴリズム）が整備されれば本格活用が進むと理解しています。
Q2: 量子関連のニュースやトピックで、最近特に気になった内容がありましたか？	IBM System Qが2021年に川崎で稼働した事が大変興味深いです。これは、1964年にSystem/360が始めて日本に導入された時と似ていると思っています。
Q3: 量子コンピューティング分野は、今後どのような活用が期待できそうですか？	<ul style="list-style-type: none">● 金融： リスク系分野への適用が期待されます。私の理解では、量子コンピューターは、物事を「確率」で解決するシステムであり、かつ、既存のコンピューター（ノイマン型）で解決できない分野にチャレンジする物と理解しています。



■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

ユーザ企業にきいてみた。 その2

質問	回答	
Q1.量子コンピュータを知っていましたか？	知っていた。（全員）	
Q2.知っていた場合、何を見て知りましたか？	テレビ（ニュース）、ネットニュース、展示会（ビッグデータ関係）	
Q3.どのような事が期待できそうですか？	生産/購買管理	<div>■最適な購買 売値がすべてではない。交通費、人件費、評判、アフターサービスも考慮した最適な物品・サービスを提案してほしい。</div> <div>■生産計画立案 パッケージが持っている生産計画パターンに制約がある。複雑になると計算キャパを超えて使い物にならない。</div> <div>■基幹システムの膨大なデータを保持・活用 データはあっても活用できていない。</div>
	気象/天文/自然科学	<div>■気象/地震予測 大雨洪水、地震などの災害が予測できないか。最近は大雨や地震情報でケータイアラートは鳴るが、精度は高くない。衛星写真なども利用してがけ崩れや土石流を予測/早期発見できないか。</div> <div>■虫の大量発生対策 甚大な被害をもたらす虫の大量発生を予測し、予防もしくは対処策を講じる。</div> <div>■コロナ感染リスク回避 引きこもりは限界。コロナを避けながら行動したい。</div>



■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

ユーザ企業にきいてみた。 その2（続き）

質問	回答	
Q3.どのような事が期待できそうですか？	宇宙開発	<p>■ ISS老朽化</p> <p>自然劣化に加えて、飛来する微小隕石によるダメージも大きいらしい。 接近物を認識・軌道予測して、衝突を回避したり、 バリア（緩衝材）を張ったり、向きを変えてダメージを減らしたりできないか。</p>
	材料化学	<p>■ 材料研究</p> <p>MATLABは遅く、手間がかかり苦勞した。そこが改善されると研究が効率よく進む。</p> <p>■ 精緻なモデル化</p> <p>もしくはむしろモデル自体がなくなり、生の情報からシミュレーションできればいい。</p>
	その他	<p>波、風が大きく影響する競艇は量子と相性よさそうで面白いかも。 選手の組み合わせ、枠順などは当然として、直前まで気温、波、風を計測して予想する。</p> <p>過去データやリアルタイムな状況を活かせるものが向いている。 自分で番号選べないもの、当選番号がランダムなものはたぶん不向き。</p>



■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

高校生にきいてみた。

質問	回答	
Q1.(課題研究をする前から)量子コンピュータのことを知っていましたか？	知っていた。(全員)	
Q2. 何で知りましたか？	テレビ番組、ネットニュース（東大が出ていた。）、ニュートン、先生の話	
Q3.どのような印象ですか	課題研究前	Aさん：なんのことか分からなかったので、研究者の人だけが使っているイメージ Bさん：難しそう、よくわからないけどすごいやつぐらいのイメージ Cさん：量子力学を用いて造られたとても現代的なコンピュータだという印象があります。 Dさん：ニュースで結構聞いていたので、すぐ使えるところにあるのかなと思っていた。ニュース見て好奇心を持った。自分の常識では理解できない分野なのかなと思った。 Eさん：次世代の高性能コンピュータ、まだ社会では使われていない
	課題研究中	Aさん：理解はまだ浅いかもしれないが、量子力学を使っていること、重ね合わせの原理を使っていることが分かって、以前よりも身近に感じてきた。 Bさん：何となくはわかったが、まだまだ知識不足もあってもう少し分からないこともある。私も同じく、以前よりも身近に感じて来ている Cさん：課題研究前と同じになってしまいましたが、とても現代的なコンピュータだという印象です。 Dさん：意外に改善点があったり、課題があるのが分かったので、その点が面白いと思った。 Eさん：量子の特性を生かしたコンピュータ どうして古典コンピュータより高性能なのかわかった

■ ユースケース探索 アンケート／インタビュー

高校生にきいてみた。（続き）

質問	回答
Q4.どのような期待を持っていますか？	<p>Aさん：金融とか宇宙工学だと計算の量が膨大だと思うので、量子コンピュータの組み合わせ最適化のアルゴリズムが助けになりそう。</p> <p>Bさん：軍事的な暗号技術や化学の発展に繋がりそう</p> <p>Cさん：具体的にどのように使うことができるかはわかりませんが、学問的な問題の解決や研究などで使えたら良いなと思います。</p> <p>Dさん：まずは実用化して医学とかに使えるのかな？ いろんな分野に使えそうで、それを考えるのも面白そう。</p> <p>Eさん：計算を速く解けるようになる 様々な分野に応用ができる</p>
Q5.課題研究後も学んでみたいですか？	<p>Aさん：大学で情報理工学で東工大のオープンキャンパスに行った、量子コンピュータについて研究できると西森教授に聞いたので、大学でも研究してみたい。他の高校生の量子暗号技術を学べるか聞いていた人がいたので驚いた。</p> <p>Bさん：今後、大学では化学的な分野に取り組みたいと思っているが、他の分野の知識と融合させることで新たな視点を持つことができそうで、まだまだ興味が尽きないので学んでいきたい</p> <p>Cさん：量子コンピュータを専門に勉強したりする予定はありませんが、将来物理学系の研究をしたいと思っているので、そこで使うことができる機会があれば、勉強して使ってみたいとは思っています。</p> <p>Dさん：量子コンピュータも学びたいが色々な分野を学びたい。その他も学んで新しいインスピレーションを出せれば良いと思う。</p> <p>Eさん：自分は大学で情報工学を学びたいと思っていたが、将来どんな仕事をするのかは決まっていないので量子コンピュータも面白そうだった</p>