

# 量子コンピューティングの実用化に備える — 先行企業に学ぶ自社導入の方法

---

2020年12月19日

独立行政法人情報処理推進機構

鷺見 拓哉

- 2019年10月、Googleが、古典コンピュータでは実行できない計算を、量子コンピュータの実機を用いて成し遂げ、その「量子超越性」を実証したことで、量子コンピュータがもつ高速計算性能への期待や関心が高まっています。
- 本日は、技術を活用するユーザ企業は、量子コンピューティングの自社導入をどのように進めていけば良いのかを、先行企業の事例を踏まえながら紹介します。
- この内容は、ゲート方式、アニーリング方式のどちらにも適用可能です。

## <目次>

1. ユーザ企業の注目ポイント
2. 自社ビジネスの問題を量子コンピューティングと結び付ける方法
  - 自社人材に活用技術や専門知識を獲得させる
  - 外部専門家とのコラボレーション
3. 将来の量子人材の獲得

本資料で使用するロゴは、それぞれを表示するためだけに引用しており、各社の登録商標又は出願中の商標である場合があります。ロゴを除く引用資料については、各ページ又は最終ページに出所を明示しました。

- 誤り耐性量子コンピュータの実用化は、まだ当面先（数十年後？ by John Preskill氏）
- 短期的には「現在利用可能な量子コンピュータ」や「近い将来実現する量子コンピュータ」とどう向き合うかが重要
- 特に、比較的小規模な量子コンピュータでも実行可能な量子アルゴリズムが存在する産業分野（化学、材料開発等）の企業は、**自社ビジネスへの影響調査や活用方法の検討**が必要
- 現時点で自社ビジネスに影響の無い企業であっても、実用的な量子コンピュータが登場するまでの期間を**準備期間**と捉え、将来に向けた専門知識の獲得が重要

「ビジネス上の実問題はまだ解けないが、それを想定した小規模な実験や研究は可能。自社ビジネスで何ができそうで、何ができそうにないかの検討は可能」と理解した企業は、「Winner takes all」を念頭に動き出している。



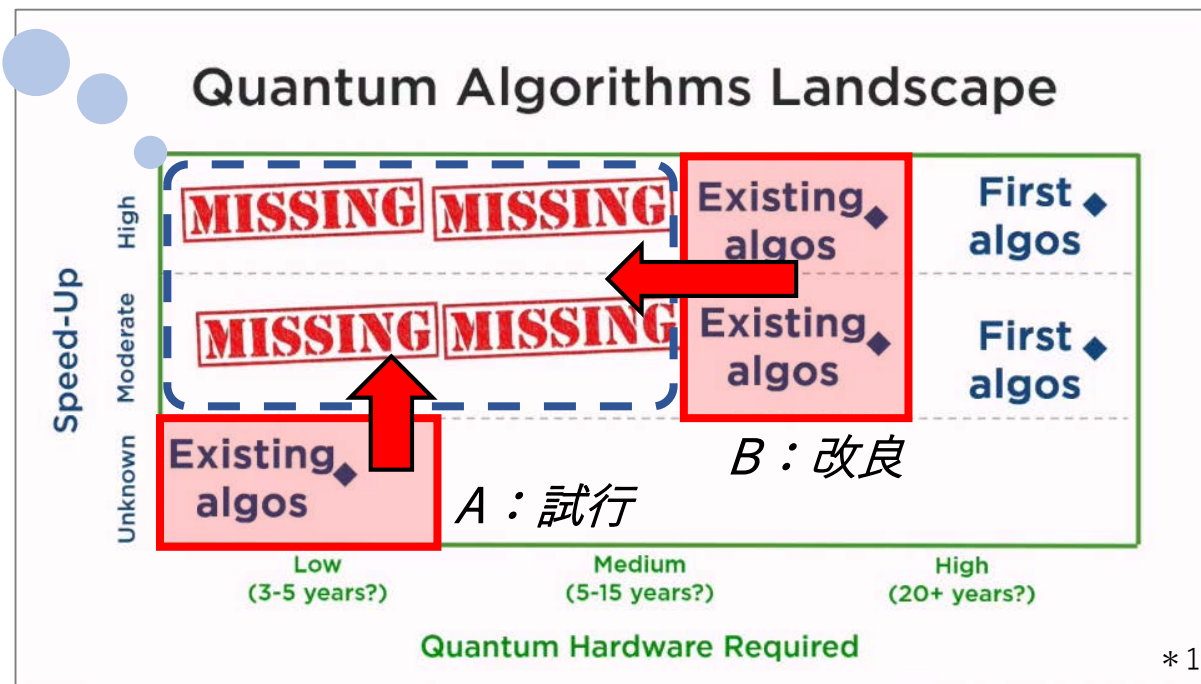
- 自社ビジネスにおける適用領域の検討
- 量子アルゴリズムの検討

現在利用可能な量子コンピュータや、近い将来実現する量子コンピュータで動作するような、高速性が保証された量子アルゴリズムは見つかっていない。

**MISSINGな量子アルゴリズム=ビジネス上インパクトのある量子アルゴリズム**を最初に見つけた企業が競争優位性を獲得 ⇒ だからこそ、先行企業が存在

- 自社ビジネスに適用可能な新しい量子アルゴリズムの開発
- 既に存在するものの高速性の保証の無い量子アルゴリズムを用いて、実際にどの程度高速化されるか試行 (Aの箇所)
- 高速性は保証されるもののハードウェア要求水準が高い量子アルゴリズムの改良 (Bの箇所)

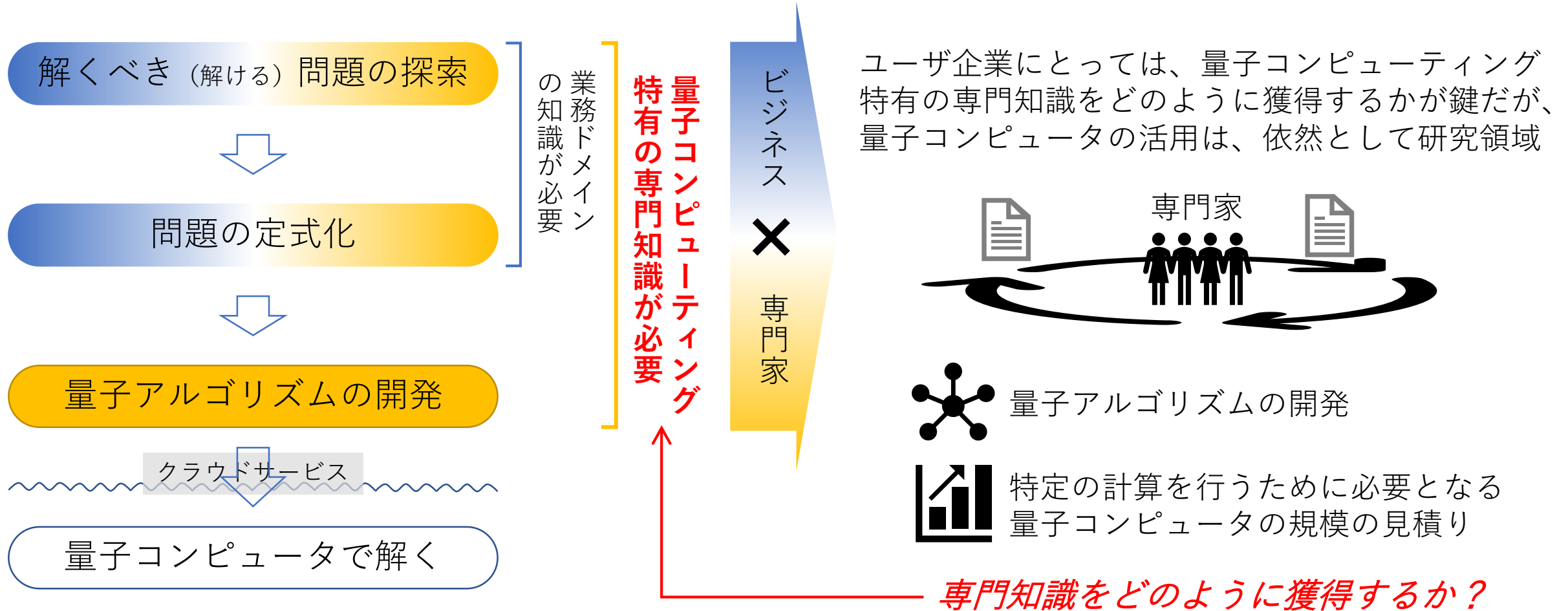
**いずれも高度な専門知識が必要**



注：図はデジタル量子コンピュータの場合であり、アナログ量子コンピュータ（アニーラ等）は含まれない。

# 自社ビジネスの問題を量子コンピューティングと結び付けるには？

- 量子コンピュータで問題を解くには、量子アルゴリズムの開発が必要
- 量子コンピューティング特有の専門知識をどのように獲得するかが鍵



- 大きく分けて2通りの方法。自社の状況や目的に合わせて選択

## ①自社人材に量子コンピューティングの活用技術や専門知識を獲得させる（内製）

- 量子コンピューティングの活用や実践、特に、自社ビジネスに直結する量子アルゴリズムを開発できる人材を自社内に確保する方法
- 自社の関心事項に応じて集中的かつ日常的に取り組むことができる点で優れるが、人材の教育や採用、雇用維持には大きな投資が必要

## ②外部専門家とのコラボレーション（知識の外部活用）

- 教育や採用に大きな投資が難しい企業に有効
- 専門家に直接リーチして共同研究として行う形もあれば、量子ソフトウェア企業とのコラボレーションとして実現する形もある。
- 量子ソフトウェア企業は、社内に量子専門家や個別産業事情を理解したドメインエキスパートを擁する。ユーザ企業は量子ソフトウェア企業を介して量子コンピューティングの専門知識を活用可能



- ユーザ企業が参画可能なコミュニティが既に存在。技術や知識を効率的に獲得可能

## IBM Q Network



\*2

- IBM社によるツール、トレーニング、技術的サポート等の提供
- 100社を超える参画企業間の知見共有、コラボレーション
- 量子コンピューティングの手法を身に付けたユーザ企業同士による成果が共著論文としてまとめられるなど、知識の獲得が進む。

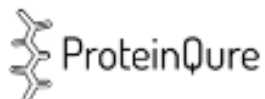
## Creative Destruction Lab



- 量子コンピューティングの利活用支援プログラム（無料）
- 各種量子コンピュータへのクラウドアクセス
- 技術的、学術的サポート

著名な量子スタートアップを多数輩出

OTI Lumionics

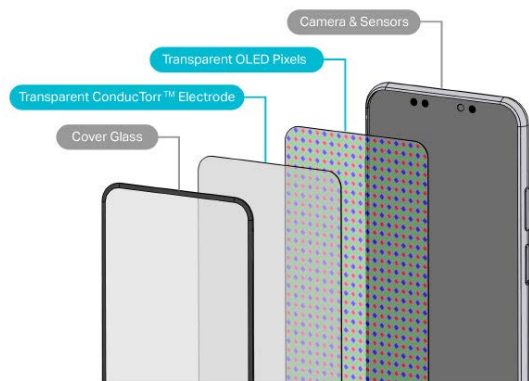


agnostiq

CogniFrame<sup>®</sup>  
The Hybrid Machine Learning Company

## Creative Destruction Labでの知識獲得 & 自社導入

### OTI Lumionics社



\* 3

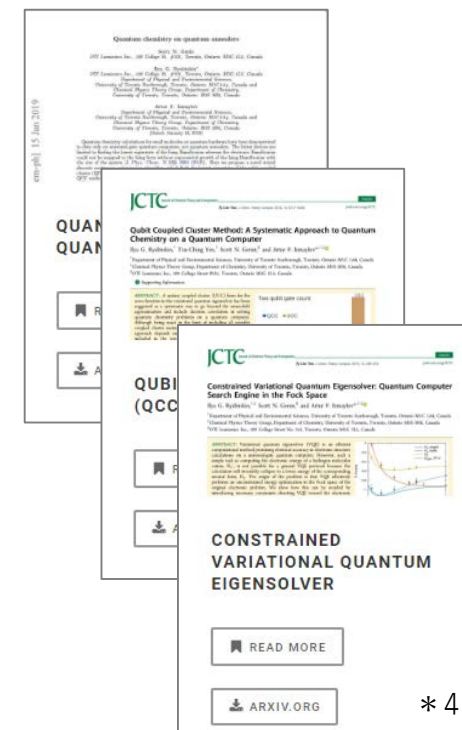
透明ディスプレイを開発するカナダ企業



自社の化学研究者（材料開発のエキスパート）をCDLプログラムに参加させ、材料開発分野への量子コンピューティング活用技術を獲得



- 活用技術や専門知識を獲得した化学研究者が自身で量子アルゴリズムを開発するまでに
- 同社が提供する材料開発計算プラットフォームに量子コンピューティングを導入



同社の化学研究者が発表した量子コンピューティングの論文



- 量子ソフトウェア企業による業務分析を通じて、自社における量子コンピューティングの適用可能性を探り、具体的な量子アルゴリズムを開発
  - 量子ソフトウェア企業にもメリットあり：企業の抱える課題の理解、アルゴリズム開発の加速

## ユーザ企業

## 量子ソフトウェア企業

創薬



量子コンピューティングや機械学習を活用した創薬計算プラットフォームを提供

自動車  
部品設計



量子アルゴリズムを複数の量子コンピュータ上で実行できるクラウドサービスを提供

金融



ノヴァ・スコシア銀行  
モントリオール銀行 (カナダ)



量子機械学習ソフトウェアを提供。量子コンピュータ自体（ハードウェア）の開発も行う。

コ  
ラ  
ボ  
レ  
ー  
シ  
ョ  
ン

2019年8月、3社による実証実験開始  
2020年9月、Xanadu社の実機利用開始

- 量子コンピューティング自体に学術的な不明部分が多いことも事実で、個社だけでは限界（リスク）がある可能性。より広い発想と投資が必要であり、単独よりもコラボレーションが有効と感じる企業たちがコンソーシアムを結成し、共同して専門家の有する知識の活用を進める動きも活発化

誤り耐性量子コンピュータの  
実用化を2035年前後に見据えるEU



\*5

## NISQコンピュータ適用領域共同探索コンソーシアム

- 4年間、467万ユーロ（約5.6億円）のEUプロジェクト（2020年9月発足）
- ユーザ企業と専門家を繋ぎ、9産業分野での適用領域を共同探索
- 見出だした適用領域の量子アルゴリズムを開発し、分野毎にオープンソースライブラリとして公開

ユーザ企業



専門家



コーディネータ（仏）

出所：NEASQC (<https://neasqc.eu>) を参考にIPA作成

- エアバス社は5つの課題を自ら設定し、専門家を対象としたコンペティションを主催。ユーザ企業として積極的に接点形成を図り、優秀な専門家を探索している。

<エアバス社のビジネス課題の一つ>

## 燃料消費量の少ない機体の製造

⇒ 燃費の良い飛行を実現するための5つの課題を具体的に設定し、量子コンピューティングでどのように解決できそうか投げかけた。

① 離陸軌道の最適制御

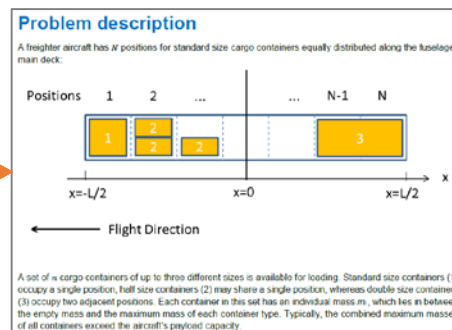
② 数値流体解析への適用

③ 偏微分方程式の求解

④ 主翼構造の最適化 (軽量化)

⑤ 貨物積載の最適化

## コンペティション「Airbus Quantum Computing Challenge」



\*6

## コンペティションとしてウェブで参加者を募集



\*7

- 問題設定 (計算対象や条件の定義)
- KPI設定 (量子アルゴリズムの性能評価)
- 業務ドメインの関連情報

...などを課題ごとに整理し、提示

- 各課題を解く量子アルゴリズムの開発は各参加者が実施
- エアバス社は、自社エンジニア、外部専門家らによる審査体制を構築

- 量子コンピューティングの実力把握
- 有用な計算を行うために必要な計算規模の把握
- 優秀な専門家の探索

⇒ 人材の採用や共同研究に発展可能

- 早期（学部生のうち）に量子コンピューティングを知ってもらい、職業選択に繋げる。

## Microsoft社によるワシントン大学での講義

- 2019年、情報工学部の3～4年生を対象とする10週間の講義（1コマ90分間、週2コマ）を実施
- 受講生35名。座学20%、プログラミング演習30%、修了プロジェクト50%
- 4週間の修了プロジェクトでは2～3名のチームで、実践的な量子アルゴリズムを開発（量子化学、Bitcoinマイニング等）

どんな成果が？

- 受講生4名が量子コンピューティング分野のインターンシップ参加
- うち1名は、卒業後そのままMicrosoft社の量子チームに就職
- 受講生の反応を反映した教材は、他所でも再利用可能なものに

出所：国際会議IEEE QCE20におけるMicrosoft社講演「Quantum Curriculum Development with Microsoft」

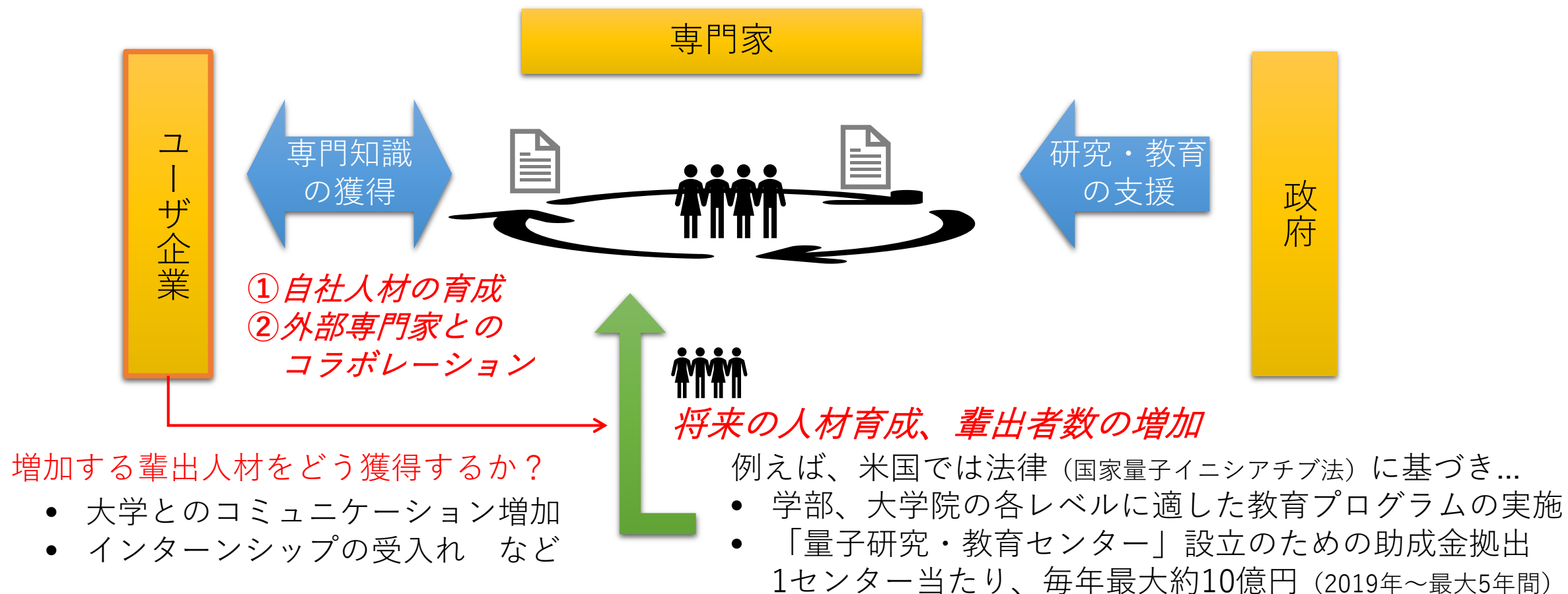
## ユーザ企業にとって重要な量子アルゴリズム開発に長けた人材の育成が始まる

- 量子プログラミング言語の登場による、ハードウェア非依存開発の実現
- 統合開発環境やライブラリを用いたプログラミングの実現による、初学者ハードルの低下
- クラウドサービスや量子シミュレータの登場による、座学&ハンズオン（実践）の実現
- 学習用コンテンツ（教材）の充実

## Microsoft社の教材「Quantum Katas」

- 現在、32のKata（型。演習課題）
- Kataを一つこなすごとに量子プログラミングに必要な知識や技法を習得可能
- オープンソース（無料）

- ユーザ企業は、前述①②の方法による専門知識の内製、外部活用が重要
- 今後取組が進められる量子人材の育成を見据え、より多く輩出されるであろう将来の人材をどのように獲得するかは、ユーザ企業にとって新しい検討テーマ





- 量子コンピュータの実用化には、学術的、技術的な課題が存在し、誤り耐性量子コンピュータの実現は当面先
- 短期的には「現在利用可能な量子コンピュータ」や「近い将来実現する量子コンピュータ」を対象とした自社ビジネスへの影響調査や活用方法の検討、実用的な量子コンピュータ登場に向けた準備が重要
- ユーザ企業がまず行うべき適用領域の検討、量子アルゴリズムの検討には、高度な専門知識が必要。先行企業は、内製と外部活用の2通りの方法で準備を進めている。
- 早期から量子コンピューティングに着目していた企業と、導入準備を疎かにしていた企業との間で格差が一気に広がるおそれ
- 量子コンピューティングの活用には準備が必要。今から準備を始めるか否かで他社との差別化要因が決まる。各企業が、当事者意識を持って量子コンピューティングの活用検討を行うことが重要



1. A. Bouland, "What You Need to Know About Quantum Algorithms", Q2B 2020
2. A. Annunziata, "IBM's Hardware-focused Collaborative Quantum Network", Q2B 2019
3. OTI Lumionics, "Advanced Materials for OLED Displays", <https://otilumionics.com>
4. OTI Lumionics, "Enabling Quantum Computing for Materials Discovery", <https://otilumionics.com/quantum-computing/>
5. A. de Touzalin, C. Marcus, F. Heijman, I. Cirac, R. Murray, T. Calarco, "Quantum Manifesto: A New Era of Technology", 2016, p.8, <http://qurope.eu/manifesto>
6. Airbus, "Airbus Quantum Computing Challenge - Problem Statement 5: Aircraft Loading Optimisation", p.2, <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/innovation/quantum-computing-challenge/Airbus-Quantum-Computing-Challenge-PS5.pdf>
7. Airbus, "Airbus Quantum Computing Challenge", <https://www.airbus.com/innovation/industry-4-0/quantum-technologies/airbus-quantum-computing-challenge.html>

**【本資料に関する問合せ先】**

独立行政法人情報処理推進機構  
社会基盤センター イノベーション推進部  
先端リサーチグループ  
E-mail : [ikc-ar-info@ipa.go.jp](mailto:ikc-ar-info@ipa.go.jp)  
電 話 : 03-5978-7522