

量子技術の実用化推進WG 第四回

## 量子ソフトウェア産業の課題や今後の産業振興方策について

---

2022年12月8日

QunaSys CEO 楊天任

# 本日、発表させて頂く内容



1. ソフトウェア開発のための量子コンピュータ利用開発環境の整備について
2. ソフトウェア民間事業者の育成・振興の方策について
3. ユーザ産業の拡大・振興の方策について

# 本日、発表させて頂く内容



- 1. ソフトウェア開発のための量子コンピュータ利用開発環境の整備について**
2. ソフトウェア民間事業者の育成・振興の方策について
3. ユーザ産業の拡大・振興の方策について

## 産業化に向けてアルゴリズム研究は重要



Google AI Quantum and Collaborators.  
Quantum supremacy using a programmable  
superconducting processor.  
*Nature* (2019).

この開発によって（量子超越を示したチップの開発のこと）、量子コンピュータはただの研究トピックの域を越え、不可能であった計算を可能にするテクノロジーの領域に達した。

**価値のあるアプリケーションにたどり着くまでに、1つ足りないものは創造的なアルゴリズムだ。**

As a result of these developments, quantum computing is transitioning from a research topic to a technology that unlocks new computational capabilities.

**We are only one creative algorithm away from valuable near-term applications.**

## 現状は全ての量子コンピュータ実機を 同じ計算コードで実行できない

実機/プラットフォームごとにプログラミング言語や  
ソフトウェアのライブラリが異なる場合がある

※詳細はP19を参照ください



**自分が開発したアルゴリズムが  
どのハードウェアで最も効果的かを検証する際に  
非効率なプロセスが発生してしまう**

## オープンソース量子計算ライブラリを開発・公開

Chemistry	<ul style="list-style-type: none"><li>• Molecule</li><li>• Hamiltonian / other observables</li></ul>	↕
Quantum algorithms	<ul style="list-style-type: none"><li>• VQE</li><li>• Ansatz / Optimizer / ...</li></ul>	↕
State and operators	<ul style="list-style-type: none"><li>• State</li><li>• Operator</li><li>• Expectation value</li></ul>	↕
Circuits	<ul style="list-style-type: none"><li>• Circuit</li><li>• Noise / Error mitigation</li></ul>	↕
Device/ simulators	<ul style="list-style-type: none"><li>• Qiskit / Braket / Qulacs / ...</li></ul>	↕

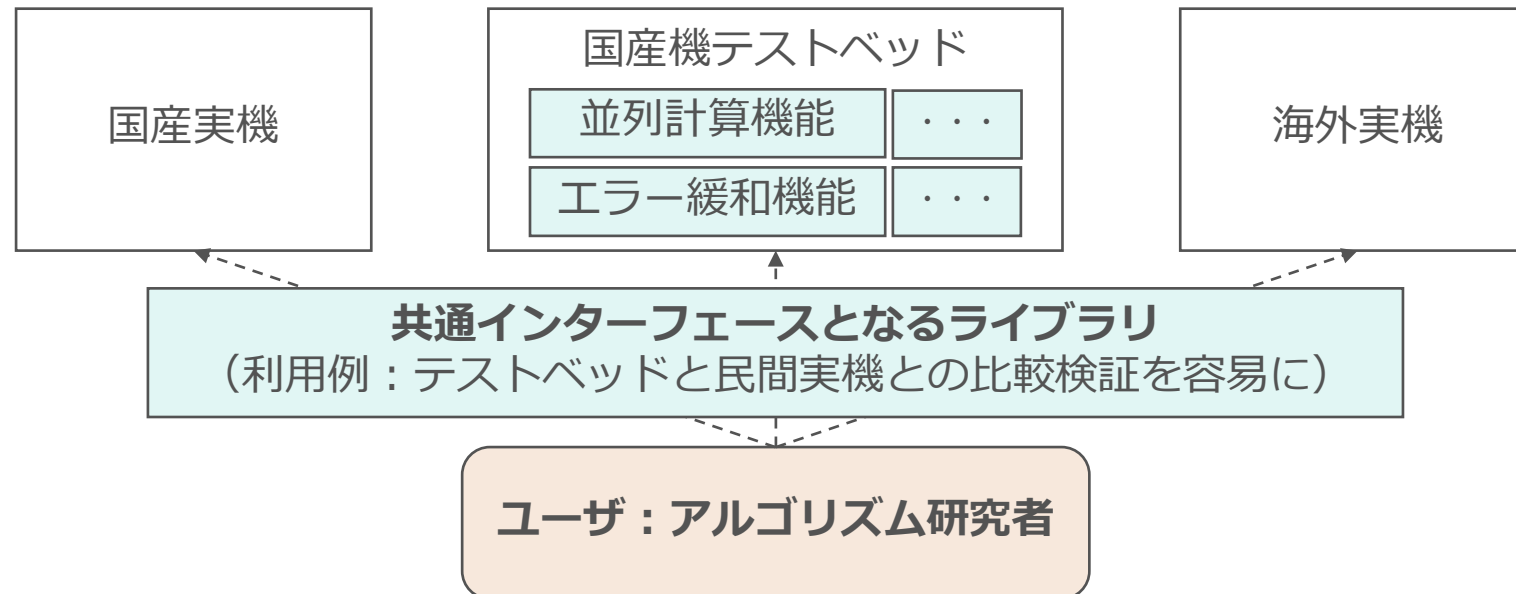
### QURI Parts

- モジュール性と拡張性
- プラットフォーム非依存
- 高パフォーマンス

※詳細はP20を参照ください。あるいは  
<https://qunasys.com/news/posts/quri-parts>

## テストベッドと民間実機を共通のインターフェースで動作させることができる基盤整備が必要では？

民間実機・テストベッドの比較検証を進め、実機全体の利用促進を実現する



方策実行のためスタートアップの公的な活動を国としても支援頂けるとありがたい  
テストベッドとオープンソースの接続・ライブラリ拡充・テストベッドの機能開発など

# 本日、発表させて頂く内容



1. ソフトウェア開発のための量子コンピュータ利用開発環境の整備について
- 2. ソフトウェア民間事業者の育成・振興の方策について**
3. ユーザ産業の拡大・振興の方策について



## 産業化を進めるための人材が不足

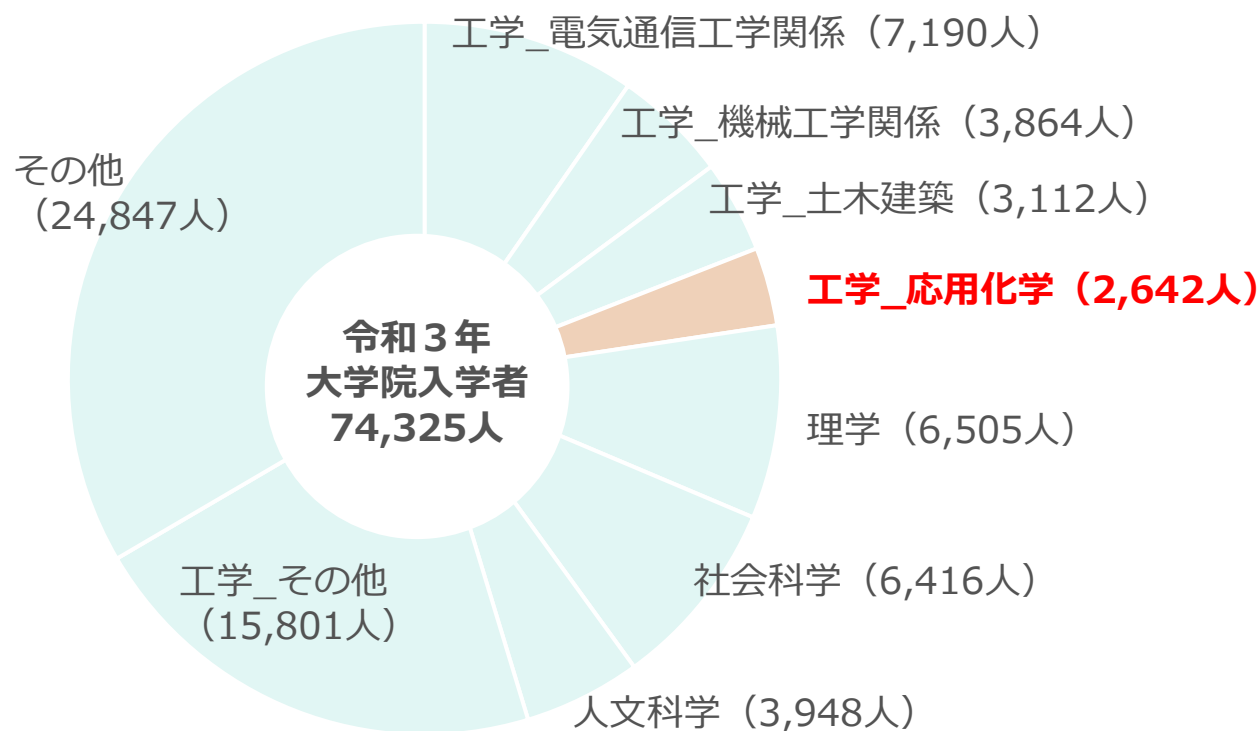
- QunaSysにおいても、量子技術の素養を持ちつつ、アルゴリズムを研究する人材、ソフトウェアを開発運営する人材、事業を支える人材など多様な人材が必要
- さらに、ユーザ企業においても量子コンピュータ研究を行う人材は不足（高い専門性が必要になるため。そもそも計算人材が不足しているという声も多い）



**ソフトウェア事業の立場で産業化を進める人材や  
ユーザの立場で実機やソフトウェアを使いこなす人材を  
教育機関から産業界へ輩出する施策が必要では？**

量子人材育成の課題についてはP22をご参照ください

例えば、応用化学系では年間で2600人の大学院生が入学  
ただし、量子コンピュータ教育は教員の時間やノウハウ・ソフト環境の点で実施しづらい状況も。  
一方、学生は機会があれば活用したいという声も聞かれている



文科省 令和3年度学校基本調査より

## 量子コン教育についてのヒアリング抜粋 (応用化学系)



学生において量子コンピュータはよくわからないけど難しいものという印象がある。そのハードルを下げる必要があると感じる。ただし、忙しすぎて教育に手が回らない。教育のための予算の問題もある。  
(量子計算領域の先生のお声)

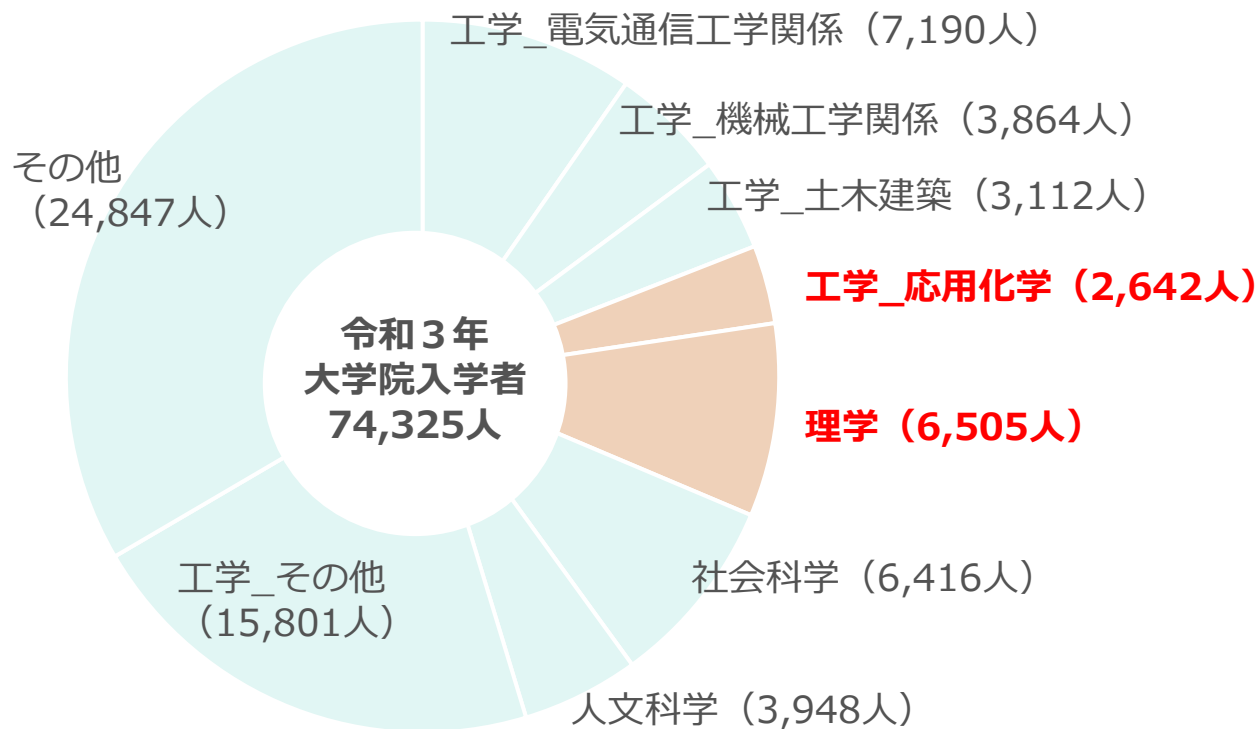


化学系のバックグラウンドから量子コンピュータの活用可能性やその実情を伝えることが難しい。計算化学の一部のような位置づけで演習を行いたいが、そこに環境構築などのリソースを割くことが難しい。  
(化学系バックグラウンドの先生のお声)



所属しているプログラムからは9割が企業に就職する。自分は実験系だが、計算のリテラシーもつけておきたい。量子コンピュータを少し触って心理的なハードルを下げたい学生は多いと感じる。  
(材料系卓越大学院プログラムの学生からのお声)

## 幅広い大学で量子ネイティブを育成するための国費投入が必要では？ (教育機関への量子ソフトウェア補助金の設置)



文科省 令和3年度学校基本調査より

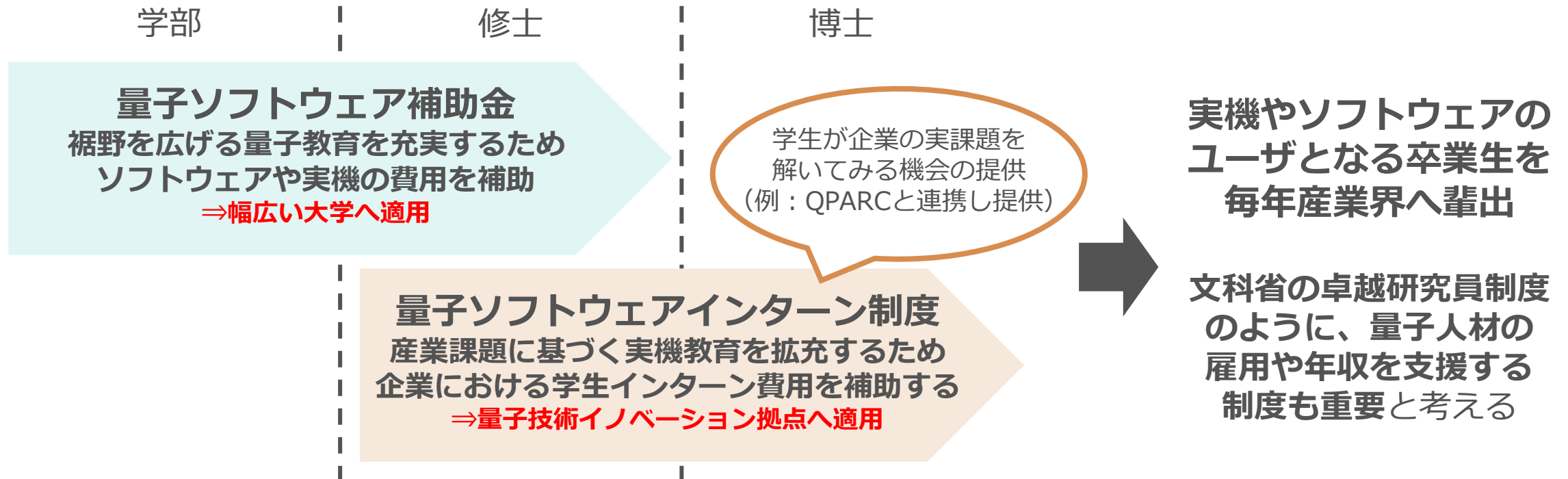
### 量子人材の卵：約9000人

- 全員が量子コンピュータに触れる教育の機会をつくるべきでは？  
⇒ 10年で9万人の量子人材を輩出（理学と応用化学の大学院生だけを対象とした場合でも）

### 量子ソフトウェア補助金

- 教育にかかるソフトウェア費用を国として補助すべきでは？（何を選ぶかは自由）  
（1人1万円としても年間9000万円）
- 例えば、その中からスタートアップが生まれ、数社でも資金調達すれば、国費を投資した以上の経済価値に繋がるのでは？

## 量子拠点において産業課題に基づいた実機教育を拡充するため 産業課題に取り組むインターン機会を支援する制度が有効では？



制度終了後は、ユーザ企業からの寄付講座などで政府援助がなくても自走できる準備を行う（そのために産業コンソーシアムで幅広いユーザ企業の課題に取り組むインターンが有効と考える）。また、本提言の方策の実施期間は中長期的に産業育成にインパクトある目標設定を踏まえて検討が必要と考える（例：10年で9万人のユーザ育成など）。

# 本日、発表させて頂く内容

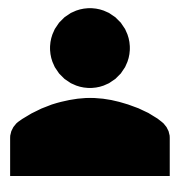


1. ソフトウェア開発のための量子コンピュータ利用開発環境の整備について
2. ソフトウェア民間事業者の育成・振興の方策について
- 3. ユーザ産業の拡大・振興の方策について**

## ユーザ企業にとっては、まだ実用が先の技術であり、 技術適用タイミングを見極める指標や 中長期的に研究を続ける意味付けも検討する必要がある

数年、実機研究を続けてきて、  
今は技術watchのフェーズ

**アルゴリズム研究の進展を評価する  
指標があれば、本格研究開始の判断  
ができるのに！**



海外のエネルギー系ユーザ企業

可能性を感じるが、ユーザ企業の立場  
で研究を続けていくために

**量子コンの研究をしていると、株価  
が上がる仕組みがあればよいのに！**



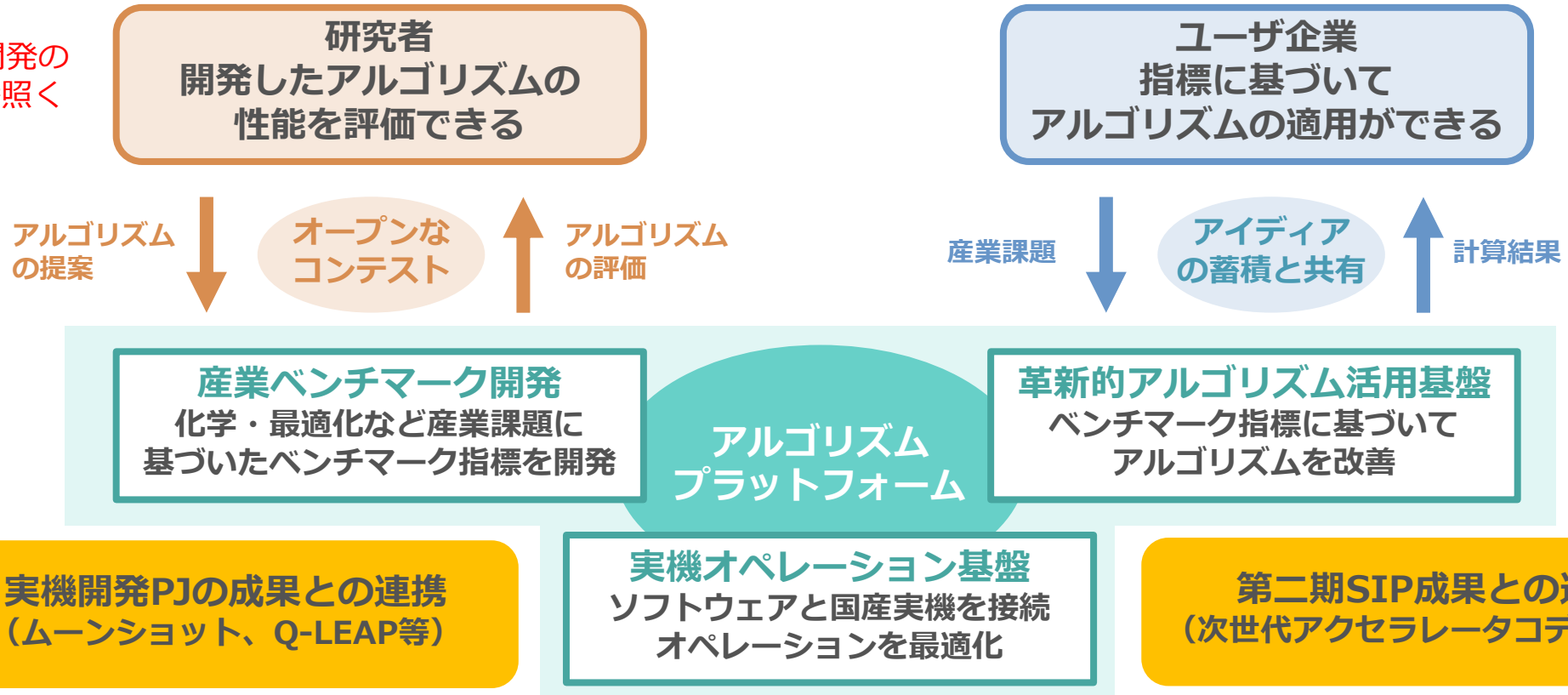
QPARCのパネルディスカッションより

# 【提言 3 - 1】 ユーザ産業の拡大・振興の方策

## ユーザ企業がアルゴリズム進展を評価できる アルゴリズムプラットフォームを官民連携で構築

ベンチマーク開発・アルゴリズム開発・実機との接続・ベンチマーク標準化を進める

ベンチマーク開発の  
意義はP26を参照く  
ださい



# 量子コンピュータの脱炭素化への貢献を整理し 各省庁さまのESG関連の投資枠組みと連携させて頂き ユーザ企業が研究しやすい枠組みを作れないか？



**Sustainable  
Development  
by  
Quantum  
Advantages**

## トランジション・ファイナンス (経産省さま)

脱炭素社会の実現に向けて長期的な戦略に則り、  
着実なGHG削減の取組を行う企業に対し、  
研究開発を支援するファイナンス手法

## チャレンジ・ゼロ (経団連さま・環境省さま)

脱炭素社会に向けたイノベーションを目指す企業  
へのESG投資の呼び込みや、イノベーション創出に  
向けた産学官の連携を進めるイニシアティブ

ユーザ企業の経営層へ  
中長期的な研究の  
必要性と可能性を発信

将来的に  
SDQs研究基金や  
SDQs研究所の設置

産業プレイヤー一体となって量子技術の脱炭素への貢献の指標化とその浸透を進めていくことが重要と考えている。その重要性を周知し後援いただけるとありがたい



## 【提言 1】ソフトウェア開発のための量子コンピュータ利用開発環境の整備

- **テストベッドと民間実機を共通のインターフェースで動作させる基盤整備**を官民プロジェクトで推進すべきでは？（アルゴリズム研究者のコード資産を有効活用するため）

## 【提言 2】ソフトウェア民間事業者の育成・振興の方策

- 幅広い大学に対して、量子人材を育成する**教育機関への量子ソフトウェア補助金**が必要では？（量子ソフトウェアの教育市場を創出するため）
- 量子拠点に対して、産業課題を踏まえた実機教育の場を拡充するため、民間企業が学生を受け入れる費用を補助する**量子ソフトウェアインターン制度**が有効では？（将来の量子ソフトウェアのユーザやエンジニアを産業界へ輩出するため）
- 【提言 2】に関する方策は、**産業育成へのインパクトを見据えた目標を定め補助期間を検討**すべき（例：10年間で9万人の量子ユーザを産業界に輩出など）

## 【提言 3】ユーザ産業の拡大・振興の方策

- **アルゴリズムプラットフォーム**を官民連携で構築すべきでは？（各研究者のアルゴリズム性能を指標化し、ユーザ企業が本格研究を進める判断材料を提供するため）
- **各省庁のESG投資枠組みと連携し、産業界の経営陣にSDQsを発信**する枠組みを構築できないか？（ユーザ企業が中長期的に研究に取り組む目標づくりのため）

# Appendix

# 【提言 1】の補足資料

## 量子ソフトウェアの開発における問題

**コードの再利用性**：量子回路シミュレータや実際の量子コンピュータなど、複数の異なるプラットフォームでアルゴリズムをテストすることがしばしば必要になりますが、プラットフォームごとに対応するSDKが異なるため、SDKごとにアルゴリズムを書き換える必要があります。

補足：それによって、以下のような場合において非効率なプロセスが発生します。

- 一つのハードで実験したけど精度が悪いためより高精度な他の実機を使いたい場合
- 自分が開発したアルゴリズムがどのハードウェアで最も効果的かを検証したい場合
- なんらかの使うはずだった実機が突如利用不可となり別の実機で検証を行いたい場合

**計算パフォーマンス**：高速な量子回路シミュレータを使う場合でも、シミュレーション前後の古典的な計算（オブジェクト変換、データ準備、後処理など）のオーバーヘッドによって、計算全体の速度が遅くなってしまうことがあります。

**多すぎる依存ライブラリ**：メジャーな量子計算用SDKの多くは、多数の外部ライブラリに依存していますが、そのほとんどは限られたユースケースでのみ必要になるものです。このような不要な依存関係は、開発の様々なステップにかかる時間を増加させ、トラブルの原因となる場合があります。

## 【提言 1】 の補足資料

### QURI Parts : モジュールで効率的なオープンソース量子計算ライブラリ

**モジュール性と拡張性** : ライブラリの各コンポーネントは、標準的なインターフェースに沿って設計された小さな部品として提供されており、簡単に入れ替えて使うことができます。また、各コンポーネントは、対象分野ごとにモジュール分けしてパッケージされているので、不要な依存関係なしに必要なものだけをインストールすることができます。標準インターフェースに準拠したコンポーネントを独自に実装し、QURI Partsで提供される他のコンポーネントと組み合わせて使用することも容易です。

**プラットフォーム非依存** : QURI Partsの標準インターフェースは、プラットフォームに依存しないコードを簡単に書けるように考慮して設計されています。メインのアルゴリズムのコードを一度書けば、あとは数行追加するだけで、様々なシミュレーターやプラットフォームに対応できます。また、どのシミュレータやプラットフォームを使用するかを実行時に選択するようなコードを書くことも可能です。

**パフォーマンス** : QURI Partsの設計では、特にシミュレータの計算性能を重視しています。世界最速クラスの量子回路シミュレータであるQulacsをQURI Partsで利用するモジュールでは、Qulacsの性能を損なわないよう、可能な限りオーバーヘッドを減らすことに重点を置いています。回路実行前の回路変換のオーバーヘッドを最小限に抑えているので、他のライブラリやシミュレータよりも高速に動作します。一方で、性能向上の余地はまだ残っており、今後のバージョンアップで対応していく予定です。また、シミュレータのオーバーヘッド以外に、古典的な前処理・後処理（たとえばサンプリング結果からパウリ演算子の期待値を計算するなど）の性能にも注意を払っています。

# 【提言 1】の補足資料

## 実機ユーザ視点で感じる利用環境の改善案

### 実機利用金額を事前に知りたい・上限金額を設定したい

- 量子化学計算に量子コンピュータを用いる場合、通常は何度も繰り返して量子回路を実行する。従って、実機利用にかかる金額は膨大になりがちである。
- また、現在主流の量子アルゴリズムの一つであるVQEは、収束するまで（量子回路実行結果が変化しなくなくなるまで）量子回路実行を繰り返すが、いつ収束するかは事前に分からない。
- 実機利用金額の見積もり機能で予め金額の目安が分かったり、上限金額に達すると自動で計算が終了する機能があればよい。ただし、途中終了した場合に、それまでの計算結果を取得できる機能は必要と感じる。

### エラー緩和（error mitigation）がやりづらい

- エラー緩和は、量子コンピュータ実機のノイズを低減して計算する手法。
- 実機やプラットフォームによっては、仕様上、ユーザーが指定した量子回路が、理論上は等価だが異なる回路に自動で変換されたりする（例：最も品質の高い量子ビットが自動で使われる等）。これにより、ユーザーが意図したものと少し異なる量子回路が実行される場合がある。
- エラー緩和では、ユーザーが意図した量子ビットや量子回路を変換せずにそのまま使いたい。
- 回路の自動変換をオフにしたり、計算に用いる量子ビットをユーザーが直接選択できる機能が必要（Amazon Braketなどは一部これに対応している）
- 究極的には、上記の事情を考慮せずとも自動でエラー緩和が実行されるのが理想。

### 多数の計算を並列的に処理したい

- 量子化学計算を量子コンピュータで行う場合、多数の量子回路実行を必要とするが、それらを1つずつ順番に実行していると膨大な時間がかかる。
- 一方、必ずしも全ての回路を順番に実行する必要はなく、並列実行も原理的には可能である。
- スパコンの並列計算と同様、複数の量子コンピュータに並列に量子回路実行命令を出し、それらを統合する枠組みは必要である。
- なお、（複数ではなく）単一の量子コンピュータ実機を複数の部分に分割し、それぞれで異なる量子回路を同時実行することで実行時間を削減する手法も提案されている。これを簡便に行える機能もあると便利かもしれない。



# 【提言2】の補足資料 量子人材育成の必要性

## 量子コン産学連携における課題

有益な投資のためにも量子技術人材の供給源、キャリアパス問題がボトルネック

- 各セクターにおいて人材不足が世界的に認識（ある種の人材育成競争）。
- 実機の存在や開発環境(qiskit, cirq, pennylane etc)の整備は間口を広げユーザー層(使える人)を増やすのに大きく貢献（例：IBM Quantum Challenge, Xanadu QHACK etc）
- 0から1の(中身の)アイデアを出せる人、そのような人を育てる人を今後増やさないといけない。(大学で教育できる量子技術教員数・研究室数が圧倒的に少ない)  
→自然と増える構造が必要
- 直近では、他分野からの参入、企業における研究開発者のトレーニング(大学は教育機関、人とエフォートをもっと出してもらえばwin-win)

野球にたとえると…

スポンサー

チームオーナー

監督 審判

コーチ

プロ野球選手→MBL

高校球児

ファン

サポーター・健全な批判者

PL、PM、AD

PI・教育者・企業研究開発者

若手研究者・開発者・実践者

インターン(実践)・他分野からの参入

学生(学部教育・研究室)

ビギナー ←

ここが手薄

ここを増やす  
ことが最優先

ここは国際協調できる

大阪大学藤井先生ご発表資料

量子技術イノベーション戦略  
戦略見直し検討ワーキンググループ  
(第3回)より