

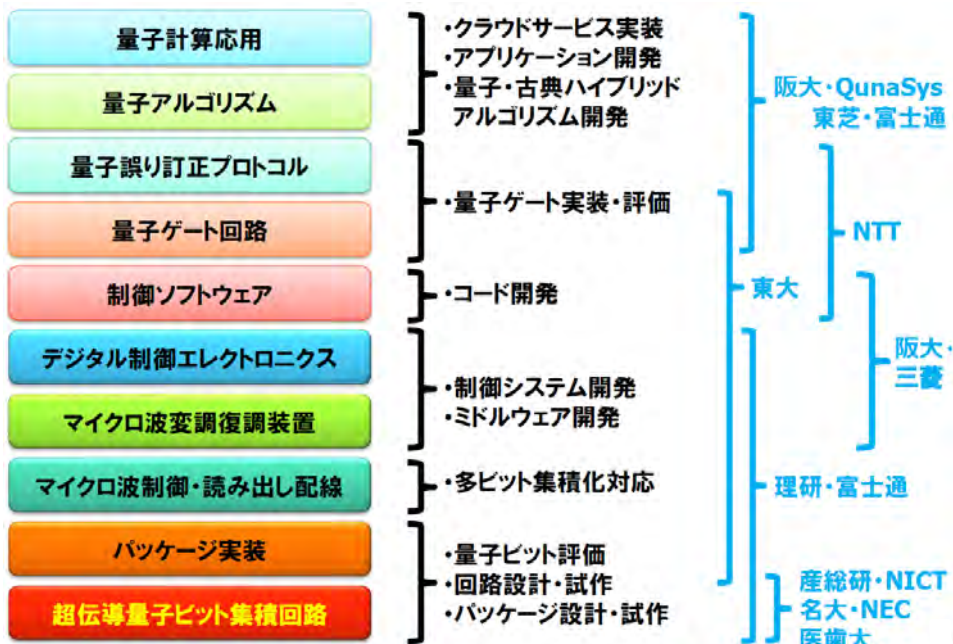
量子コンピュータの論点等

量子技術の実用化推進WG 第三回
令和4年12月6日

量子コンピュータの論点等①（超伝導量子コンピュータ）

- 量子コンピュータの技術開発・事業化支援
 - ✓ 技術方式として先行する超伝導方式について、**産業界の技術開発・事業化の強化・加速、多くの企業の参画・投資喚起を図るための方策、複数企業の連携エコシステム（水平分業・垂直統合等）**はどのようなものがあるか。
- 民間商用機の国際競争力強化・利用促進
 - ✓ 今後、**国内ベンダー企業の勝ち筋となるビジネスモデル、熾烈な国際競争に劣後しないための競争力強化、利用促進等の在り方**はどうか。
 - ✓ **新たな企業の参画に向けた方策**はどうあるべきか。

量子コンピュータ技術レイヤー及び協業状況 (文部科学省Q-LEAP事業の例)



民間企業の動向

富士通	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2023年に実機公開予定（100量子ビット以下） ・ 2026年以降に1,000量子ビット超実機公開予定
IBM	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2022年11月に最新機公開（433量子ビット） ・ 2025年に4,158量子ビット実機公開予定
Google	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2019年に量子超越発表（53量子ビット） ・ 2029年に100万量子ビット実機公開予定
Rigetti	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2021年に80量子ビット実機公開 ・ 2027年に4,000量子ビット超実機公開予定

量子コンピュータの論点等②（超伝導以外の技術方式）

- 産業界の参画促進、連携体制の強化
 - ✓ イオントラップ、光、シリコン、原子等、超伝導以外の技術方式について、産業界の参画・事業化を促進するための取組はどうあるべきか。
- 民間商用機の開発強化
 - ✓ 長期的投資を必要とする先進的な技術方式を進める企業（特にベンチャー企業）の支援の在り方はどうか。

各方式において、我が国の企業では研究開発を推進している一方で、経営判断として事業化を表明している企業が顕在化していないケースが多い。（研究開発はムーンショット型研究開発制度で実施。企業は日立（シリコン）、NTT（光）等が参画）

民間企業の動向（イオントラップ）

IonQ	<ul style="list-style-type: none">• 2020年32量子ビット実機公開• 2028年に1,024論理量子ビット達成予定
Quantinuum	<ul style="list-style-type: none">• 2021年に12量子ビット機を公開• 2023年に16論理量子ビット実機公開予定

民間企業の動向（光）

Xanadu	<ul style="list-style-type: none">• 216量子ビット実機（光連続量方式）公開
PsiQuantum	<ul style="list-style-type: none">• 2020年代後半に100万量子ビット達成予定

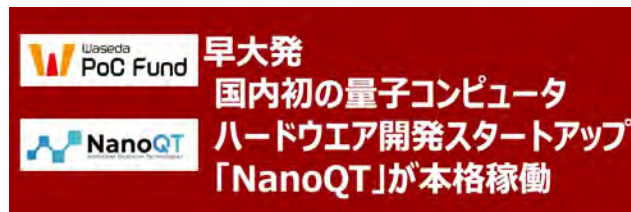
民間企業の動向（シリコン）

Intel	<ul style="list-style-type: none">• 2022年に12量子ビットを達成予定
Silicon Quantum Computing	<ul style="list-style-type: none">• 2023年に10量子ビット実機、2030年までに100量子ビット実機公開予定

民間企業の動向（原子）

Cold Quanta	<ul style="list-style-type: none">• 2021年に100量子ビット実機公開• 2025年に1,000量子ビット実機公開予定
QuEra	<ul style="list-style-type: none">• 2022年に256量子ビット実機（量子シミュレータ）を公開• 2025年に1,024量子ビット実機公開予定

【国内ハード系ベンチャー企業の状況】



出典：早稲田大学プレスリリース（令和4年8月）
<https://www.waseda.jp/top/news/82823>

⇒NanoQTのCSOを務める青木教授（早稲田大学）は、ムーンショット型研究開発制度（目標6）の追加PMとして採択

量子コンピュータの論点等③（量子アニーリングマシン）

- 量子アニーリングマシンの技術開発・事業化支援
 - ✓ 我が国において、長期的な投資が必要となるゲート型と同時並行で、事業化・実用化に近い量子アニーリングマシンも開発していくことは、市場をいち早く開拓する上でも意義がある。
 - ✓ 今後、**産業界の技術開発・事業化の強化・加速を図るための方策**はどのようなものがあるか。
- 民間商用機の国際競争力強化・利用促進
 - ✓ 他国が先行する中で、**我が国ならではの強み発揮や国際競争力強化・利用促進に向けた方策**はどうあるべきか。

量子アニーリング技術研究開発（NEDO事業：<https://nedo-quantum.aist.go.jp>）

次世代コンピュータとして期待されている量子アニーリングやシミュレートドアニーリングなどに関するフルスタックの統合型研究開発を産学官連携に基づいて実施

- ①ユーザーが様々なアニーリングマシンにアクセス可能な共通ソフトウェアプラットフォームの構築
- ②低温エレクトロニクスを用いた量子-古典インタフェース回路の実現
- ③大規模集積可能な高コヒーレント量子アニーリングマシンなどの実現

民間企業の動向:量子アニーリングマシン

D-wave (カナダ)	2011年 128量子ビット(商用化) 2020年 5000量子ビット級 2023-24年 7000量子ビット級予定 ※ D-wave Leapで公開中
NEC (日本)	2024年 100量子ビット級予定 2027年 1000量子ビット級計画

※QILIMANJARO(スペイン)でも開発中

想定されるユースケースの例

※Q-STAR最適化・組合せ部会資料から抜粋

自然災害リスクポートフォリオ

実現想定時期：2025年頃

内容：気候変動による数百年に1度の大きな自然災害発生、それに伴う投融資先リスクの変化の影響を把握して適正なリスク分散

報酬発生型ルート案内システム

実現想定時期：2030年頃

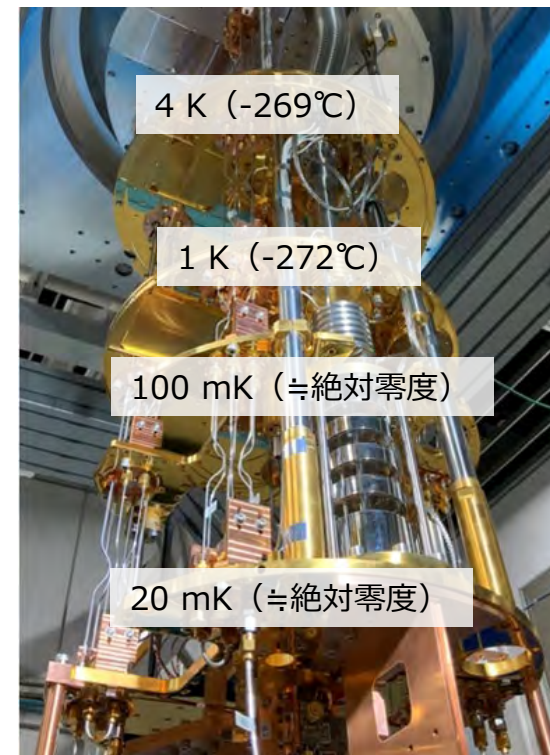
内容：渋滞状況や走行経路を把握し、迂回路の状態や車種に応じたリアルタイムルート案内を実現。エコポイントなどによる運転者の行動変容も促して渋滞を解消し、環境保全地域のCO₂排出量削減に寄与

量子コンピュータの論点等④（部品、サプライチェーン等）

- 商用機実現に向けた量子コンピュータ部品等の高度化とサプライチェーンの強靱化
 - ✓ 様々な量子コンピュータのシステム化に不可欠となる部品、素材、冷凍機などの機械類や制御装置などについて、**日本企業の強い分野でもある部素材などでサプライチェーンのチョークポイントをどう押さえるべきか。**

項目		部品、装置等
量子コンピュータ方式	超伝導	希釈冷凍機、低温・低雑音増幅器、低温高周波部品、制御装置・ソフトウェア、超伝導同軸ケーブルなど
	シリコン（スピン）	同位体濃縮シリコンウェハ(^{28}Si)、冷凍機、超伝導と共通する部素材など
	イオントラップ冷却原子	小型真空装置、レーザー冷却装置、多チャンネル検出器、光変調器など
	光	レーザー、シリコンフォトニクスデバイス製造装置、光子検出器など
設計・製造・計測		設計ツール (ADS)、回路製造装置、電気特性評価装置、低温プローバなど

例) 超電導量子コンピュータシステム



写真：産業技術総合研究所 提供

システムは様々な部品や装置で構成されている。

出典：経済産業省調べ

量子コンピュータに関する有識者ヒアリング

■ 実用化推進ワーキンググループ（第三回） 令和4年12月6日（火）15:30～17:30

(1) 量子コンピュータ産業の課題や今後の産業振興方策について

- 岡田 俊輔 一般社団法人量子技術による新産業創出協議会実行委員長
- 鈴木 教洋 株式会社日立製作所執行役常務CTO兼研究開発グループ長
- 佐藤 信太郎 富士通株式会社富士通研究所量子研究所長
- 近藤 正雄 富士通株式会社富士通研究所量子研究所シニアディレクター
- 西原 基夫 日本電気株式会社取締役 執行役員常務 兼 CTO
- 廣瀬 雅 株式会社Nanofiber Quantum Technologies CEO
- 伊藤 陽介 キュエル株式会社代表取締役

■ 実用化推進ワーキンググループ（第四回） 令和4年12月8日（木）10:00～12:00

(1) 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

- 楊 天任 株式会社QunaSys代表取締役
- 松田 佳希 株式会社Fixstars Amplify取締役CTO
- 山城 悠 株式会社Jij代表取締役社長

(2) ユーザ産業の課題や今後の産業振興方策について

- 田中 智樹 株式会社三菱UFJフィナンシャル・グループシステム企画部調査役
- 高野 秀隆 株式会社長大クオンタム推進部部長
- 樹神 弘也 三菱ケミカル株式会社Science & Innovation Center Materials Design Laboratory所長

■ 実用化推進ワーキンググループ（第五回） 令和5年1月12日（木）10:00～12:00【有識者調整中】

(1) 量子拠点の現状、量子コン利用環境整備、産学官連携体制強化等について

- 中村 泰信 国立研究開発法人理化学研究所 量子コンピュータ研究センターセンター長
- 川畑 史郎 産業技術総合研究所新原理コンピューティング研究センター副研究センター長

(2) 量子拠点の現状、産学官連携体制強化の在り方について

- 藤井 啓祐 大阪大学大学院基礎工学研究科教授
- 藤堂 眞治 東京大学大学院理学系研究科教授
- 大関 真之 東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻教授

(3) 産学連携や地域連携等を通じたユーザ産業振興方策について

- 藤澤 克樹 国立大学法人九州大学マス・フォア・インダストリ研究所教授

量子コンピュータの論点等

量子技術の実用化推進WG 第四回
令和4年12月8日

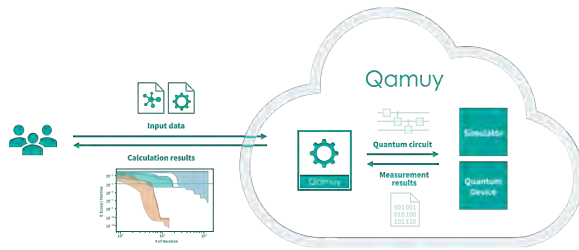
量子コンピュータの論点等（ソフトウェア産業）

- アプリケーション提供／利用支援サービス提供事業者の育成・振興
 - ✓ 量子コンピュータのアプリケーションを提供するベンダー、国内外の量子コンピュータの利用支援サービス（開発環境提供やコンサルティング含む）を提供する民間事業者も活発化している。これら**民間事業者の育成・振興**のためにはどのような取組が必要か。

民間企業による量子コンピュータの利用支援サービスの例

① QunaSys社「Qamuy」

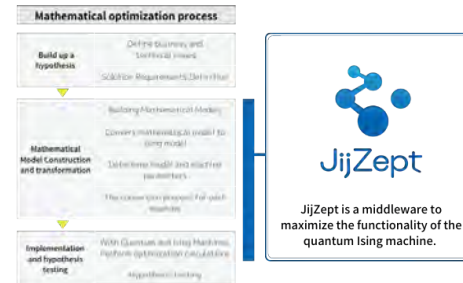
量子化学計算のインプットを量子回路に翻訳し、シミュレータや実機上での計算をシームレスに行うことができる量子化学計算のクラウドサービス
材料開発を行う企業が参画するコミュニティ「QPARC」も運営



出典：
<https://qunasys.com/services/qamuy/>
<https://www.qparc.unasys.com/>

② Jij社「JijZept」

最適化計算のための数値モデル構築からアルゴリズム向けの数式への変換、データの代入・計算機向けの変換等を行うクラウドサービス



出典：
<https://www.jijzept.com/>

③ Fixstars Amplify社「Fixstars Amplify」

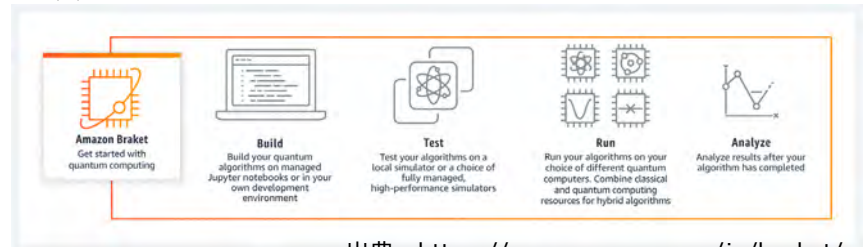


量子アニーリング・イジングマシンや数値最適化ソルバー、ゲート式量子コンピュータの組合せ最適化問題を解くアルゴリズムを実行するためのクラウド基盤

出典：
<https://amplify.fixstars.com/ja/>

④ Amazon社「Amazon Braket」

量子コンピューティングのための科学研究とソフトウェア開発の高速化をサポートするために設計された、フルマネージド量子コンピューティングサービス



出典：
<https://aws.amazon.com/jp/braket/>

量子コンピュータの論点等（ユーザ産業振興）

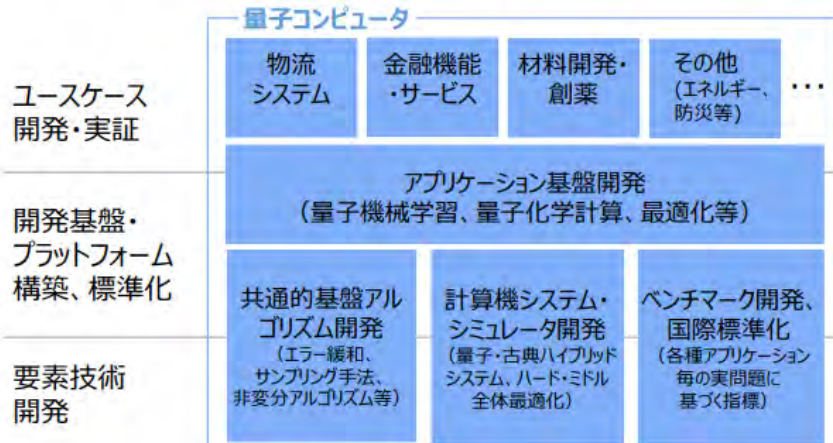
● ユーザー産業の拡大・振興等

- ✓ 量子コンピュータを利用する様々な国内外のユーザ産業の発掘・拡大（参画促進、裾野拡大によるマーケット創造）、産業振興に向けた方策はどうあるべきか。
- ✓ 新たなユーザを訴求するための魅力的なユースケースづくりの在り方はどうか。
- ✓ 市場開拓のためにもRoIや脱炭素などの視点から効果指標の設定や検証は必要ではないか。

第3期戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の検討において実施した情報提供依頼（RFI）の結果

R5年度から開始予定の次期SIP（※）につき、R4年1月～2月に研究開発テーマのRFIを実施。下記は量子ソフトウェア関連のRFIの結果

（※）「府省連携による分野横断的な取組を産学官連携で推進」、「基礎研究から実用化・事業化までを見据えて一気通貫で研究開発を推進」する内閣府の研究開発プログラム



出典：SIP がバニングボード（令和4年9月8日）資料より一部抜粋
<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/220908/siry03.pdf>

Q-STARにおける部会活動

「量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）」において、ユースケース創出等に向けた複数の部会活動が進行中
 R4年秋、新たに「クオンタムシティ推進部会」を設置

量子波動・量子確率論応用部会

量子振幅推定や最適化を用いた新しい産業を、それらと親和性の高い金融業界から具体的に検討する。業界の柱になる産業や複数業界に跨る産業の創出を議論していく。

量子重ね合わせ応用部会

量子コンピュータの最大の特徴である量子重ね合わせの応用により創出されるシステムやサービス、ビジネスと、それによる既存産業や業界構造の変化も広い視野で検討する。ユーザとベンダが協力して次の社会を描くことで、業界の次の柱になるような新産業や、複数業界に跨った新産業の創出を目指す。

最適化・組合せ問題に関する部会

量子現象を使い、また、量子現象に着目した新コンピューティング技術（イジングマシン）を用いて産業分野の様々な課題解決（膨大な組合せの中から最適解を瞬時に算出し、リアルタイム予測、効率化、最適化等の問題を解く）を目指す。

量子暗号・量子通信部会

現在既に利用可能な技術である「量子暗号通信」のビジネス応用を検討する。理論的な安全性が保障された通信が切り拓く未来を議論していく。

クオンタムシティ推進部会

量子技術の社会実装を試みることが可能な社会インフラの整備やまちづくり関連のユースケースを中心に議論していく。

©2022 Q-STAR: Quantum Strategic Industry Alliance for Revolution

出典：量子技術の実用化推進WG（令和4年10月22日）岡田事務局長説明資料より一部抜粋
https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/jitsuyo_wg/0kai/siry02-2.pdf

量子コンピュータに関する有識者ヒアリング

■ 実用化推進ワーキンググループ（第三回） 令和4年12月6日（火）15:30～17:30

(1) 量子コンピュータ産業の課題や今後の産業振興方策について

- 岡田 俊輔 一般社団法人量子技術による新産業創出協議会実行委員長
- 鈴木 教洋 株式会社日立製作所執行役常務CTO兼研究開発グループ長
- 佐藤 信太郎 富士通株式会社富士通研究所量子研究所長
- 近藤 正雄 富士通株式会社富士通研究所量子研究所シニアディレクター
- 西原 基夫 日本電気株式会社取締役 執行役員常務 兼 CTO
- 廣瀬 雅 株式会社Nanofiber Quantum Technologies CEO
- 伊藤 陽介 キュエル株式会社代表取締役

■ 実用化推進ワーキンググループ（第四回） 令和4年12月8日（木）10:00～12:00

(1) 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

- 楊 天任 株式会社QunaSys代表取締役
- 松田 佳希 株式会社Fixstars Amplify取締役CTO
- 山城 悠 株式会社Jij代表取締役社長

(2) ユーザ産業の課題や今後の産業振興方策について

- 田中 智樹 株式会社三菱UFJフィナンシャル・グループシステム企画部調査役
- 高野 秀隆 株式会社長大クオンタム推進部部長
- 樹神 弘也 三菱ケミカル株式会社Science & Innovation Center Materials Design Laboratory所長

■ 実用化推進ワーキンググループ（第五回） 令和5年1月12日（木）10:00～12:00【有識者調整中】

(1) 量子拠点の現状、量子コン利用環境整備、産学官連携体制強化等について

- 中村 泰信 国立研究開発法人理化学研究所 量子コンピュータ研究センターセンター長
- 川畑 史郎 産業技術総合研究所新原理コンピューティング研究センター副研究センター長

(2) 量子拠点の現状、産学官連携体制強化の在り方について

- 藤井 啓祐 大阪大学大学院基礎工学研究科教授
- 藤堂 眞治 東京大学大学院理学系研究科教授
- 大関 真之 東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻教授

(3) 産学連携や地域連携等を通じたユーザ産業振興方策について

- 藤澤 克樹 国立大学法人九州大学マス・フォア・インダストリ研究所教授

量子コンピュータの論点等

量子技術の実用化推進WG 第五回
令和5年1月12日

量子コンピュータの論点等①（公的機関の技術開発・利用環境整備等）

- 理研・産総研における量子コンピュータの技術開発及びテストベッド提供
 - ✓ 量子コンピュータ（ハードウェア）の技術開発について、量子技術イノベーション拠点として**産業界から期待される取組強化・役割分担・連携の在り方**はどうか（例：連携ラボ創設等）。
 - ✓ 公的機関として、量子・古典ハイブリッド計算環境も含めた**最先端の利用環境を、アカデミア・産業界等にどのように提供**していくか（民間実機との関係、官民の役割分担も含めて検討）。

理化学研究所（量子コンピュータ開発拠点）

1. 研究開発

- 量子コンピュータについて**先端的な研究開発を実施**
- **本年度内に、国産量子コンピュータ初号機（64量子ビット）を公開予定**
- **令和5年度以降、次世代機（100量子ビット級）開発を実施**



理化学研究所で開発中の超伝導量子コンピュータ

2. 産学連携

- 令和3年4月に、「理研RQC-富士通連携センター」を開設
- 令和5年度に、**連携センターで開発した実機（100量子ビット以下）を公開予定**



産業技術総合研究所

（量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル拠点(G-QuAT)）

1. ハードウェアの研究開発

（1）ハードウェア開発

- ・量子デバイス製造技術の研究開発
- ・部素材の研究開発
- ・量子コンピュータの研究開発

（2）評価手法確立・国際標準化推進

- ・量子デバイス・部素材・制御装置の評価
- ・量子コンピュータの評価

2. ビジネス開発

（1）ユースケース創出

（2）人材育成・スタートアップ創出

量子・古典ハイブリッド計算基盤 （産総研）



AIコンピュータ
写真：産総研



×
シミュレーテッド
アニーリングマシン
写真：富士通



量子アニーリング
マシン
写真：産総研

量子コンピュータの論点等②（国内外の民間実機の利用環境整備等）

- 国産民間実機
 - ✓ 今後リリースが予定される国内企業の実機（既にデジタルアニーリングは複数ベンダーが実用化・商用化）の利用を促進し、マーケットを確立・拡大していくための方策はどうあるべきか。
- 海外量子コンピュータ
 - ✓ 国産量子コンピュータは黎明期でもあることから、海外量子コンピュータの利用環境も重要であり、（国内ハードベンダーの産業振興や民間ビジネスにも配慮しつつ）、最先端の量子コンピュータの利用環境を整備していくためにはどのような方策があり得るか。

主な国産量子コンピュータ等

1. シミュレーテッドアニーリングマシン

- ・富士通、日立、東芝、NEC、Fixstars Amplify

2. アニーリング型量子コンピュータ

- ・NEC ※開発中



3. ゲート式量子コンピュータ

- ・富士通 ※開発中



主な海外量子コンピュータ等

1. シミュレーテッドアニーリングマシン

- ・Microsoft (米)

2. アニーリング型量子コンピュータ

- ・D-Wave (加)

3. ゲート式量子コンピュータ

- (超伝導回路) ・IBM (米)
- ・Rigetti (米)
- ・AWS (米) ※開発中

- (イオントラップ) ・IonQ (米)
- ・Quantinuum (米)

- (光量子) ・Xanadu (加)

量子コンピュータの論点等③（ソフトウェア産業・ユーザ産業との協業・支援等）

- 量子ソフトウェアに関する拠点等における産学連携等
 - ✓ 量子ソフトウェア研究開発に関する量子技術イノベーション拠点（大阪大学、東京大学－企業連合、東北大学）等の研究機関に対し、**産業界から期待される取組強化・役割分担・連携の在り方**はどうか。
 - ✓ **ユーザ産業の量子コンピュータ利用をサポートする取組**はどうあるべきか。

大阪大学 （量子ソフトウェア研究拠点）

【研究開発・産学連携等の状況】

- 量子コンピュータのミドルウェア・ソフトウェアの研究開発を推進する産学連携拠点を形成
- 理化学研究所と連携し、**国産実機のクラウドシステムや阪大設置用のテストベッド等**を開発
- 「量子ソフトウェアコンソーシアム」の運営、勉強会開催等

コンソーシアムの概要

36機関参画（R4.1月時点）

- イトリ会員：勉強会参加（22万円/[人・年]）
- 準会員：共同研究（発明なし）・学術相談
- 本会員：共同研究（協調領域）
（約2,000万円/年程度）
- 特別会員：共同研究（競争領域）
（約5,000万円/年程度）

東京大学－企業連合 （量子コンピュータ利活用拠点）

【研究開発・産学連携等の状況】

- IBM量子コンピュータの利活用等を推進する「量子イノベーション・イニシアチブ協議会(QII)」を企業と共同運営
- 「量子ソフトウェア寄付講座」を設置
- 「量子ソフトウェアとHPC・シミュレーション技術の共創によるサステナブルAI研究拠点」を発足

QIIの概要

18機関参画（R4.11月時点）

- 準会員①：学術指導等（一口300万円/年）
- 準会員②：教員によるコンサル対応等
（1,000万円から/年）
- 準会員③：共同研究（IBMQアクセス権なし）
（2,000万円から/年）
- 本会員：共同研究（IBMQアクセス権保証）
（5,000万円以上/年）

東北大学 （量子ソリューション拠点（仮称））

【研究開発・産学連携等の状況】

- 量子アニーリングの研究開発を推進する研究センター（T-QARD）や産学連携による共同研究講座（T-STARS）を運営
- 量子アニーリング・量子コンピュータに関する**オンライン授業実施・アプリケーション開発**

T-STARSの概要

11社参画（R4.11月時点）

オンライン授業の概要

- R3年度は量子アニーリング、R4年度は量子コンピュータをテーマにしたオンライン授業を実施
（高校生～社会人まで数百人程度が参加）
- 授業を通じて開発したアプリケーションの一部が事業化する等の成果を創出

量子コンピュータに関する有識者ヒアリング

■ 実用化推進ワーキンググループ（第三回） 令和4年12月6日（火）15:30～17:30

(1) 量子コンピュータ産業の課題や今後の産業振興方策について

- 岡田 俊輔 一般社団法人量子技術による新産業創出協議会実行委員長
- 鈴木 教洋 株式会社日立製作所執行役常務CTO兼研究開発グループ長
- 佐藤 信太郎 富士通株式会社富士通研究所量子研究所長
- 近藤 正雄 富士通株式会社富士通研究所量子研究所シニアディレクター
- 西原 基夫 日本電気株式会社取締役 執行役員常務 兼 CTO
- 廣瀬 雅 株式会社Nanofiber Quantum Technologies CEO
- 伊藤 陽介 キュエル株式会社代表取締役

■ 実用化推進ワーキンググループ（第四回） 令和4年12月8日（木）10:00～12:00

(1) 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

- 楊 天任 株式会社QunaSys代表取締役
- 松田 佳希 株式会社Fixstars Amplify取締役CTO
- 山城 悠 株式会社Jij代表取締役社長

(2) ユーザ産業の課題や今後の産業振興方策について

- 田中 智樹 株式会社三菱UFJフィナンシャル・グループシステム企画部調査役
- 高野 秀隆 株式会社長大クオンタム推進部部長
- 樹神 弘也 三菱ケミカル株式会社Science & Innovation Center Materials Design Laboratory所長

■ 実用化推進ワーキンググループ（第五回） 令和5年1月12日（木）10:00～12:00【有識者調整中】

(1) 量子拠点の現状、量子コン利用環境整備、産学官連携体制強化等について

- 中村 泰信 国立研究開発法人理化学研究所 量子コンピュータ研究センターセンター長
- 川畑 史郎 産業技術総合研究所新原理コンピューティング研究センター副研究センター長

(2) 量子拠点の現状、産学官連携体制強化の在り方について

- 藤井 啓祐 大阪大学大学院基礎工学研究科教授
- 藤堂 眞治 東京大学大学院理学系研究科教授
- 大関 真之 東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻教授

(3) 産学連携や地域連携等を通じたユーザ産業振興方策について

- 藤澤 克樹 国立大学法人九州大学マス・フォア・インダストリ研究所教授