

# 量子ソフトウェア 研究拠点（大阪大学） の取り組み

北川勝浩

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター長  
基礎工学研究科・教授

Dec. 11, 2023



量子情報・量子生命研究センター



## 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

### ターゲット1

#### 量子ソフトウェアによる 社会課題解決基盤の確立



窒素固定や光合成の解明を可能にする基盤技術の開発

NISQマシンだけでなく誤り耐性量子コンピュータの性能を引き出す基盤ソフトウェアとアルゴリズムを開発

### ターゲット2

#### 量子ソフトウェアの社会実装と普及



近未来のNISQの範囲で量子科学に基づくSDGs9(産業と技術革新の基盤)を目指し、民間企業参入を促す

産業規模の大きい金融・化学等の分野で量子ソフトウェアを社会実装し、これを通して人材を育成

### ターゲット3

#### 量子ソフトウェア開発プラットフォームの構築



自前の開発環境を整備し国際競争力を確保

自前の量子ハードウェア・ミドルウェア・クラウド環境を構築し、シミュレータや外部量子コンピュータ・サービスともシームレスに利用できるプラットフォームの実現

課題1

課題2

課題3

課題4

課題5

課題6

課題7

2018年  
スタートアップ



2021年  
スタートアップ  
QuEL, Inc.

# 研究開発課題

		課題 1. 量子コンピューティング技術の普及と 【2】 量子コンピュータユースケース探索
ソフトウェア	アプリケーション	課題 2. 機械学習、数理データ科学、金融分野の 【1、2】 アプリケーション研究開発
	ユーティリティ	課題 3. 材料、化学、物性分野・科学技術 【1、2】 フロンティアのアプリケーション研究開発
	統合制御環境、API	
ミドルウェア	命令セット アーキテクチャ	課題 4. NISQ基盤技術実装、シミュレーション技術、 【1、2、3】 誤り耐性量子計算アーキテクチャ
	マイクロ アーキテクチャ	課題 5. 量子コンピュータと古典コンピュータを 【3】 統合的に制御するクラウド環境構築
	パルス送受信回路	
ハードウェア	量子ビット周辺 ハードウェア	課題 6. 量子ソフトウェアによって使い方が定義 【3】 できるプラットフォーム実現のための 汎用量子ミドルウェアの開発
	量子ビット	課題 7. プラットフォーム型量子コンピュータ 【3】 テストベッドの開発

# 進捗状況の概要

- 各課題とも、当初計画より前倒し、+aの成果あり
- 企業共同研究の土台作りを実施（Top Journal掲載多数）、今後に向けて共著の特許や論文がではじめている
- 理研実機公開、QuEL創業など実社会や産業に大きなインパクトのある貢献多数

研究開発課題	目標	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
1	1-1 教育コンテンツの提供		✓	ⓐ	参加者200人弱						
	1-2 本格的な研究開発をスタート			ⓐ	勉強会からの共同研究が4件						
	1-3 ユースケースの実証										
2	2-1 機械学習・数理データ科学ライブラリの構築				✓	scikit-quant量子機械学習ライブラリ					
	2-2 金融分野の量子アルゴリズム及びライブラリの構築										
	2-3 実証実験				ⓐ	量子機械学習用のデータセット GitHub公開					
3	3-1 量子化学・物性計算ライブラリの構築			✓							
	3-2 量子化学計算問題分割法構築										
	3-3 触媒機構解明のための量子アルゴリズムの構築										
	3-4 物性物理現象解明アルゴリズムの構築					ⓐ	量子優位性において最も有望と定量的に証明				
4	4-1、4-2 実機制約・ノイズ補償基盤ツール			✓							
	4-3 スパコンとQCの協調				✓						
	4-4 量子シミュレータの高度な並列化					ⓐ	教育ツールQuantAttackの開発				
	4-5 誤り耐性QCツール					ⓐ	early FTQC提案(富士通共同研究) 特許・報道発表				
5	5-1 API開発				✓	← 国産量子コンピューターにおけるクラウド部分					
	5-2 量子マシンプロトコル開発				ⓐ						
6	6-1 ソフトウェア定義定義可能な低コスト高性能かつ高自由度な量子ミドルウェア開発				ⓐ	理研QC「叡」へクラウドシステム提供					
	6-2 汎用量子ミドルウェア開発				✓	64qubit超の超伝導量子ビットの制御システム					
7	7-1 超伝導量子コンピューターの公開：16-qubit(2024)、100-qubit(2029)				✓	64qubit超伝導量子ビットQC公開					
	7-2 イオントラップ量子コンピューターの公開：4-qubit(2024) 拡張可能型(2029)				ⓐ	理研実機公開					

目標達成状況の記号説明

- ✓ : 達成
- ✓ (blue) : 前倒しで達成
- ⓐ (orange) : +aの成果あり
- マークなし : 計画通り

- (white) : 計画
- (red) : 進捗

# 課題1

## 量子コンピューティング技術の普及と 量子コンピュータユースケース探索



課題1リーダー  
**野口裕信**  
大阪大学  
特任准教授  
(常勤)

- 共創の場の入り口となる人材育成と量子ソフトウェア普及を行い、この分野への本格的な参加を促進
- 量子ソフトウェア勉強会を契機に、共同研究や優秀な学生の拠点への受け入れを実現
- 勉強会には大阪大学のみならず、約30の大学から学生が参加

量子ソフトウェア勉強会



社会人リカレント教育を実現  
実機含め教育コンテンツも年々増加  
学生社会人あわせて毎年200名弱が受講

共同研究への発展



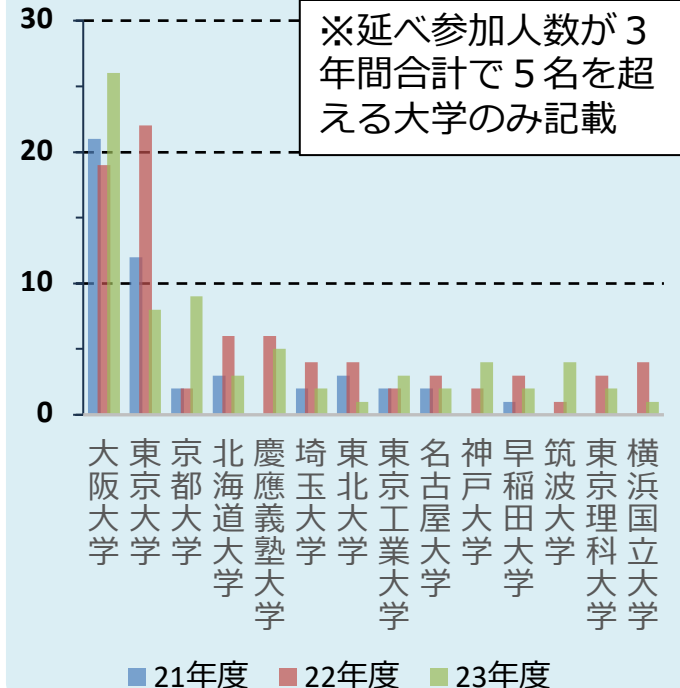
勉強会から始めた企業が4社共同研究を開始（22年度時点）

優秀な学生の確保・輩出

研究費・給与付の将来の量子研究者教育プログラムの実施（QMeGa）  
特別会員企業への就職実績

今後はより学生・社会人の交流を活性化させる

### 量子ソフトウェア勉強会・ 大学別学生参加者数推移※





- AI、モンテカルロシミュレーション、数理データ解析などのイノベーションに資する量子ソフトウェアを開発
- 量子機械学習用のデータセットを整備、GitHubで公開 (+a)
- scikit-qulacs量子機械学習ライブラリを開発 (前倒し)
- 金融量子アルゴリズムの開発 (計画通り)

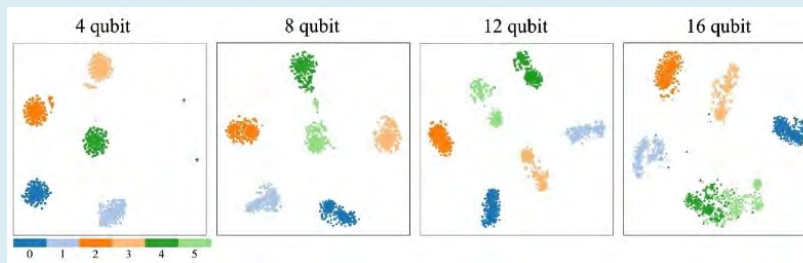


課題2リーダー  
**御手洗 光祐**  
大阪大学 基礎工学  
准教授

## 量子機械学習の基盤となる「量子データセット」の構築・公開



<https://github.com/Qulacs-Osaka/VQE-generated-dataset.git>  
<https://github.com/FujiiLabCollaboration/MNISQ-quantum-circuit-dataset.git>



## ソフトウェアライブラリの開発



```

Prepare an NPOC ansatz
-----
Create circuit from pre-compiled set. scikit-qulacs can load the ansatz called NPOC ansatz in qulacs/npoc.py.

from qulacs import QuantumCircuit
from qulacs.ansatz import NPOCAnsatz

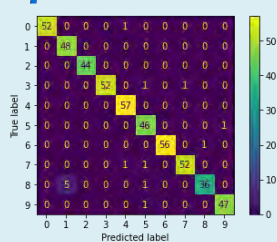
# NPOC 1
npoc = NPOCAnsatz(10)
circuit = QuantumCircuit(10)
circuit.append(npoc)

Kernel SVM using the ansatz
-----
Use the kernel support vector machine and make prediction.

from qulacs import QuantumCircuit
from qulacs.ansatz import NPOCAnsatz
from sklearn import svm

# NPOC 1
npoc = NPOCAnsatz(10)
circuit = QuantumCircuit(10)
circuit.append(npoc)

X = np.random.rand(10, 10)
y = np.random.rand(10, 1)
svm = svm.SVC(kernel='rbf')
svm.fit(X, y)
svm.predict(X)
    
```



## 金融量子アルゴリズムの開発 量子機械学習×金融

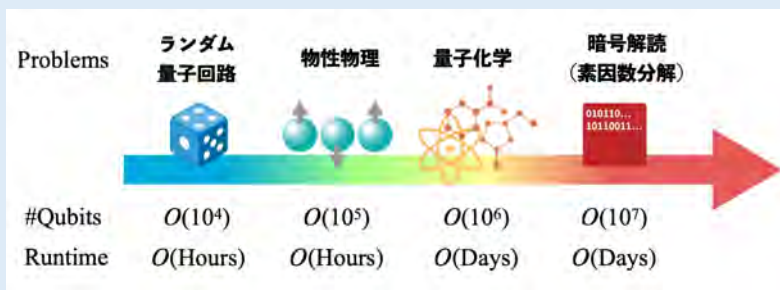




課題3リーダー  
**水上 渉**  
大阪大学 IQiB  
准教授

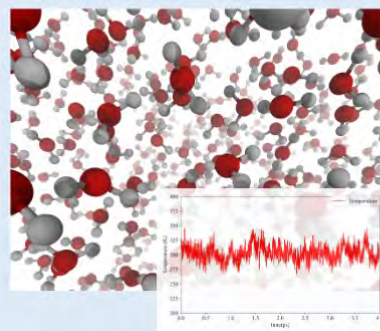
- 窒素固定や光合成に限らず、材料や触媒などのイノベーションに資する量子ソフトウェアを開発
- 量子優位性が早期にあらわれる舞台として、物性物理が最も有望であることを定量的に示した (+a)
- 実用的な化学計算に向けて、量子アルゴリズムと古典アルゴリズムを高度に融合（計画通り）
  - 大規模な系のシミュレーションが実行可能
  - 最も精度が高い古典アルゴリズムと同等の精度を実現

## 物性物理での早期の 量子優位性を立証

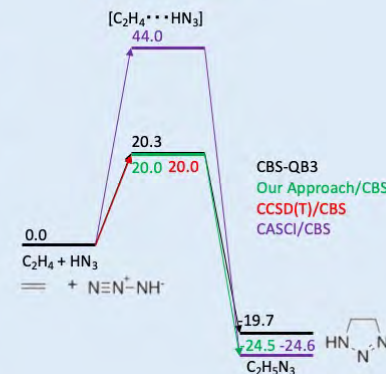


## 量子古典の高度融合による実用的 アルゴリズムの実現

### 大規模化

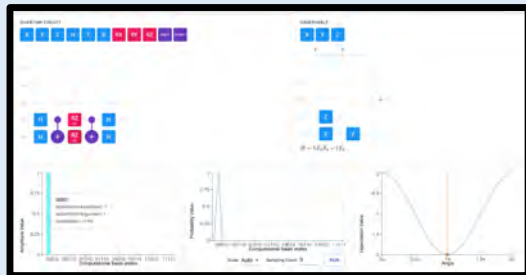


### 高精度化



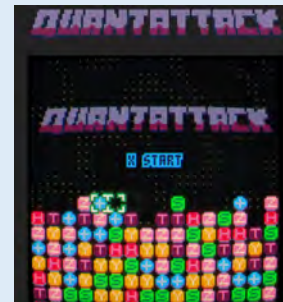
➤ NISQマシンや誤り耐性量子コンピュータの性能を引き出す基盤ソフトウェアを開発

量子コンピュータのGUIの開発と教育プログラム等での活用



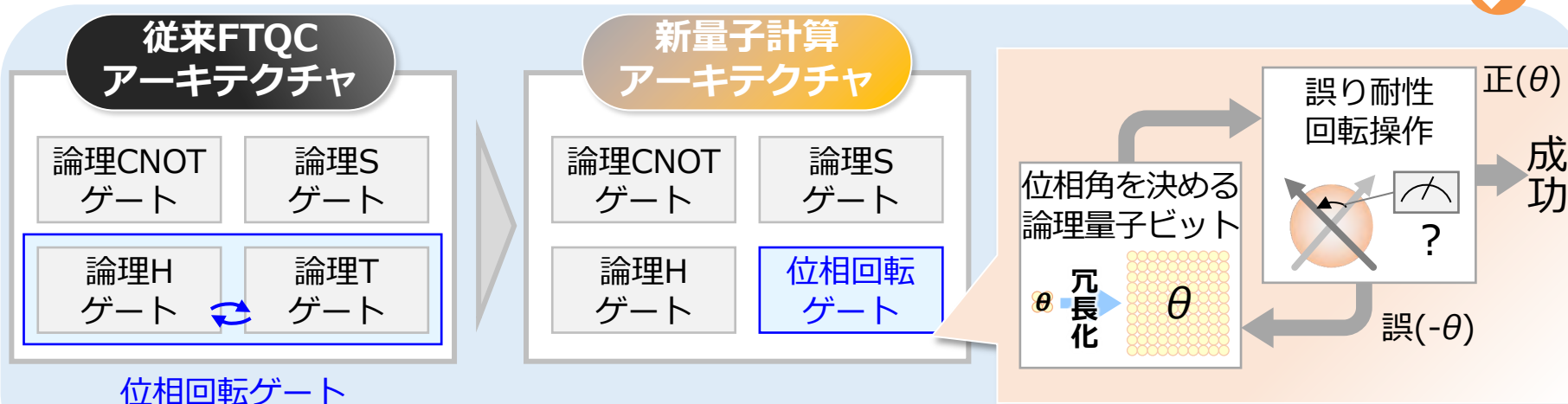
国産量子コンピュータ実機への接続を予定

量子コンピュータの仕組みを学ぶパズルゲームQuantAttackの開発



課題4リーダー  
藤井 啓祐  
大阪大学 基礎工学  
教授

NISQとFTQCのギャップを埋める新概念アーキテクチャを提案(富士通との共同研究)



近未来的に実現が期待される1万量子ビット規模のQCで量子優位性が保証されたアプリケーションを開拓



# 統合制御環境、API 量子コンピュータと古典コンピュータを 課題5 統合的に制御するクラウド環境構築



課題5リーダー  
**猿渡 俊介**  
大阪大学 情報科学  
准教授

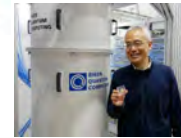
- 量子コンピュータと古典コンピュータを統合的に制御するクラウド環境構築
- 初の国産量子コンピュータにおけるクラウド部分を担当 (+a、前倒し)
  - しっかりと「動くもの」を作る
  - アカデミアならではのオープンな連携（富士通・理研等）
- 課題2と連携して「量子-古典ハイブリッド量子計算」の検討を開始

## 初の国産量子コンピュータ稼働へ クラウド経由で利用—理研など

2023年03月24日18時43分



初の国産量子コンピュータ= 24日午後、埼玉県和光市の理化学研究所



理化学研究所などの研究グループは24日、開発を進める国産初の量子コンピュータについて、27日からクラウドを通じた外部からの利用を開始すると発表した。当初は研究グループ内の大学や企業で進めるが、徐々に対象を拡大したい考え。

量子コンピューター



スーパーコンピューター（スパコン）を上回る計算能力を秘めた量子コンピューターは、研究開発の国際競争が激化している。理研などは実際に使いながら改善点を洗い出すなどして開発を進め、人材育成や関連産業の発展も目指す。

研究グループが開発した量子コンピューターは超電導方式と呼ばれ、超電導素材を使った集積回路を、ほぼ絶対零度まで冷却して使う。情報を扱う基本部品「量子ビット」は64個搭載

	QSRH	IBM	Google	AWS	Microsoft
Cloud経由で利用できる	○	○	○	○	○
量子アルゴリズム・応用に取り組んでいる	○	○	○	○	○
ハードウェアの開発能力を有している	○	○	○	△	△
アカデミアである	○	×	×	×	×

# ミドルウェア 課題6

## 量子ソフトウェアによって使い方が定義できるプラットフォーム実現のための汎用量子ミドルウェアの開発



課題6リーダー  
**三好 健文**  
大阪大学 QIQB  
特任准教授

- ソフトウェア定義可能な低コスト高性能かつ高自由度な量子ミドルウェア開発
- 超伝導量子ビット、半導体量子ドット、イオントラップの各方式に対して、汎用のソフトウェアおよびデジタルロジックと、個別の量子ビット向けアナログ回路からなるミドルウェアスタックを定義
- 2022 年度末に64qubit超の超伝導量子ビットの制御システムの開発を達成（前倒し）
- 汎用のミドルウェアに個別のI/Oを組み合わせて量子ドット・イオントラップの制御を実行
- 理研QC「叡」へクラウドシステム提供（+α）

汎用ソフトウェア・デジタルロジックと、各量子ビット向けアナログ回路からなるスタックを実装



超伝導量子ビット向け制御システム



イオントラップ向け多チャンネルI/Oボード





課題7リーダー  
**根来 誠**  
大阪大学 QIQB  
准教授

- 超伝導型16qubitチップの制御と光パルスでのイオントラップ型qubitの制御を目標に実施
- 超伝導型16qubitチップの性能を測定し、世界と比較で優位性を示せた (+a)
- 超伝導+イオンの両方のテストベッドを実現 (計画通り)
- 阪大実機は、前倒しで64qubit付け替え (前倒し)
- 高校生や一般を対象とした実機見学も複数回実施し、人材育成にも貢献 (+a)

## 64qubit分の極低温エレクトロニクスを実装し、 2023年11月3日に64qubitチップに換装



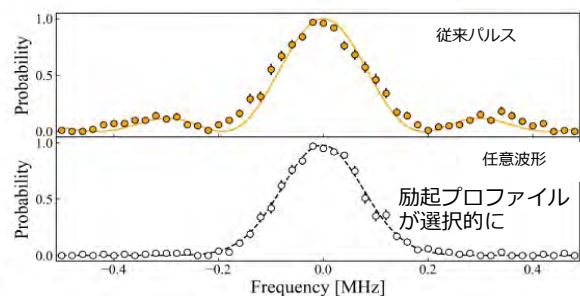
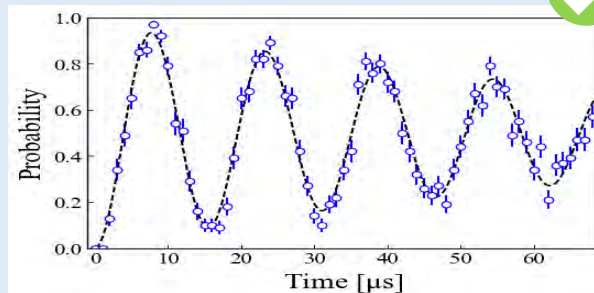
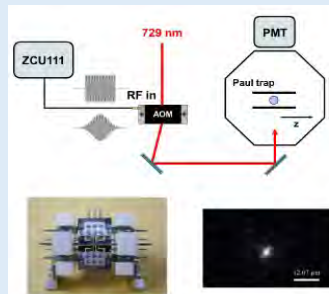
理研よりも国産部品を多く使い、**テストベッド**としての役割を果たしたことが報道される

2023年3月週刊ダイヤモンド：  
「量子コンピューター国産初号機はどこまで国産？貢献した日本企業の実名」

2023年8月日経クロステック：  
「大阪大学の量子戦略、64量子ビットで世界の先頭集団へ」

## 光パルスでのイオン トラップ型qubitの制御

- ・ 課題6装置と接続して**1qubit制御**に成功→
- ・ 超伝導でも用いられる任意波形の効果を確認↓

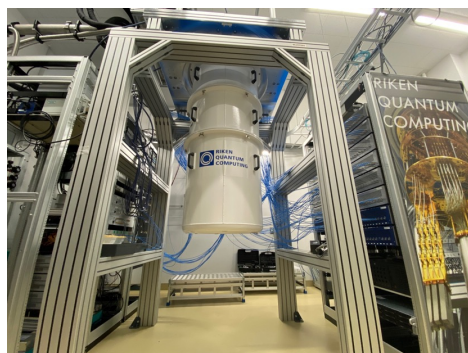




# 課題成果の実機への適用

- 理研(1号機、叡)に、課題4～7の成果が直接的に貢献。阪大(3号機) '24年度公開予定
- 今後は、阪大実機をアプリケーションレイヤの共同研究や人材育成にも活用

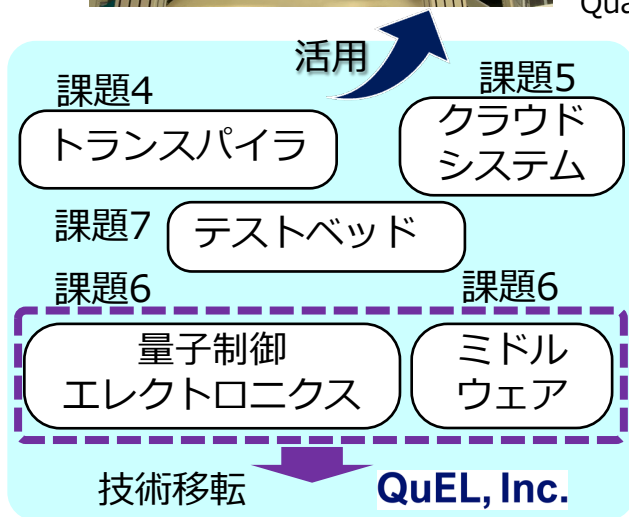
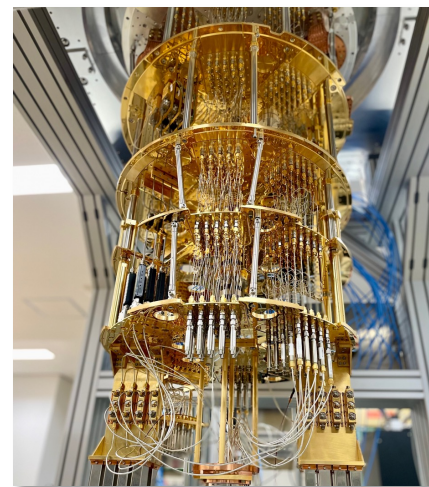
1号機「叡」(理化学研究所) '23.3



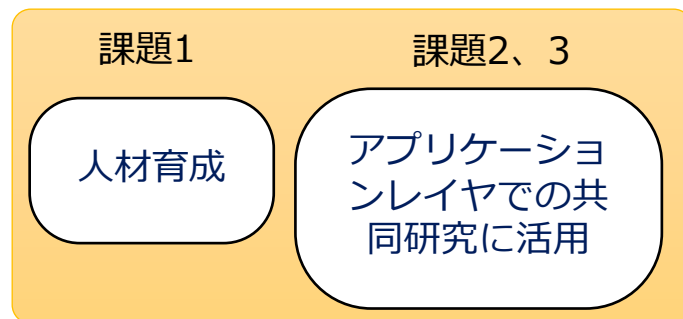
Copyright; RIKEN Center for Quantum Computing

3号機(大阪大学)

'24年度公開予定



今後





# 産学共創システム構築の成果



60機関※1  
の量子ソフトウェア  
アコンソーシアム  
参加実績



464名※2  
がこれまで量子ソフト  
ウェア勉強会を受講



11件  
の特許を国内出願  
内、企業との共同出願2件

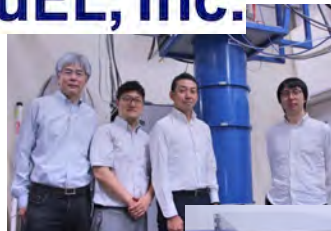


18件  
の共同研究を現在  
実施中



1社  
を創業

QuEL, Inc.



- ※1 退会した参画機関を含む
- ※2 プロジェクト期間中の延べ数

※2023年10月現在

# 研究開発マネジメント体制



PL 北川勝浩 教授



量子情報・量子生命センター  
(QIQB) 拠点企画推進室

副PL



栗島 亨  
産学共創教授



松岡智代  
産学共創准教授

研究開発企画リーダー

PL: 北川勝浩  
研究開発課題の決定、進捗管理、  
国際連携



研究開発基盤リーダー

根来 誠  
研究開発  
基盤管理運用



## 研究開発課題リーダー



課題①  
野口裕信  
特任准教授  
(常勤)

課題②  
御手洗光祐  
准教授

課題③  
水上 涉  
准教授

課題④  
藤井啓祐  
教授

課題⑤  
猿渡俊介  
准教授

課題⑥  
三好健文  
特任准教授

課題⑦  
根来 誠  
准教授

## 産学共創専門人材



プロジェクト外  
管理補佐  
今田美幸  
特任教授  
(常勤)



コンソ対応  
野口裕信  
特任准教授  
(常勤)



知財・契約  
町田尚子  
特任准教授  
(常勤)



リサーチ・  
渉外対応  
小林優輔  
特任准教授



課題補佐  
松尾春彦  
特任准教授  
(常勤)

産学連携  
マネジメントリーダー  
大津留栄佐久 特任教授  
規約管理、知財・出口戦略



課題①  
中村康明  
産学共創  
准教授



課題②  
森 俊夫  
特任研究員  
(常勤)



課題③  
吉田悠一  
郎  
特任研究員  
(常勤)



課題④  
東野仁政  
特任研究員



課題②  
宮本幸一  
特任准教授  
(常勤)



課題③  
山口 兆  
特任教授



課題⑤  
榎本尚之  
特任研究員  
(常勤)



課題⑥  
高橋知宏  
特任研究員



課題⑦  
豊田健二  
教授



課題③  
上田 宏  
准教授



課題③  
井上頌基  
特任助教  
(常勤)



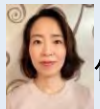
課題⑥  
森榮真一  
特任研究員



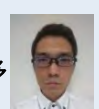
課題⑦  
小川和久  
講師



課題⑦  
長田有登  
准教授



課題③  
竹森那由多  
准教授



課題④  
坂下達哉  
特任研究員  
(常勤)



課題⑥⑦  
塩見英久  
特任准教授  
(常勤)



課題⑦  
土師慎祐  
准教授



課題④⑤⑥⑦  
宮永崇史  
特任研究員  
(常勤)

PJ協力組織  
共創機構、OI機構

量子ソフトウェアコンソーシアム共創会議  
コンソーシアム参加機関の情報共有・意見交換

コンソーシアム 【エントリー会員】 【準会員】 【本会員】 【特別会員】

参画機関: 企業等: 36  
大学等: 4  
協力機関: 2

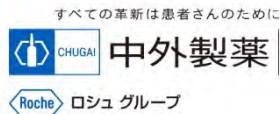
研究開発協力部局:  
基礎工、情報科学、  
工学、理学、産研など

# 量子ソフトウェアコンソーシアム 参画機関

## 企業等：36機関



エヌエフホールディングス



ロシュグループ



住友電気工業株式会社、ソフトバンク株式会社、野村證券株式会社 他1社

## 大学等：4機関



## 協力機関：2機関



※2023年12月現在



# 広報活動

- 官庁、米国大使館、NYC Quantum Summit等、国内外で拠点の紹介
- プロジェクト発足時より継続して量子関連イベントに積極参加・出展
- 他機関の要請に答えて阪大実機の見学会を複数実施

## 【国際活動、官庁訪問】

ニューヨーク大学との  
パートナーシップ協定



4府省の訪問



## 【量子関連イベントへの参加】

量子コンピューティングEXPO春



2023年度は参画機関  
10社も参加

Q2B Tokyo



2023年度は御手洗・水上課題リーダーが講演。QuELがpitch sessionのwinnerに選出

## 【実機見学会】

Q-STAR実機見学会



QunaSys実機イベント





# 量子技術イノベーション拠点 (QIH) への貢献



- QIH1 1 拠点のうちの一つ
- 各分科会に参加
- 会議Quantum Innovation
  - 2021から共催
  - 2023 サテライト開催 (2023.11.20-21大阪)
  - 2025 General Chairとして大阪開催をホスト
- QIHスクール初回2023年度 (2024.3.12-16)@湘南国際村をホスト

<https://qih.riken.jp/>

