

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(仮称)

産業技術総合研究所

川畑史郎

これまで：量子デバイス開発拠点

拠点長：安田哲二

研究開発



研究テーマ

超伝導量子アニーリングマシン
超伝導量子コンピュータ
シリコン量子コンピュータ
クライオエレクトロニクス
ダイヤモンド量子デバイス (センシング・中継器)
量子アニーリング
量子情報理論・量子アルゴリズム
超伝導光子検出器
量子電気標準
光格子時計

設計・試作プラットフォーム



産学連携

NEC-産総研量子活用テクノロジー連携研究ラボ

国プロ

- 【NEDO】高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発「量子計算及びビジング計算システムの統合型研究開発」
- 【文科省】Q-LEAP 量子情報処理領域「超伝導量子コンピュータの研究開発」
- 【文科省】Q-LEAP 量子情報処理領域「シリコン量子ビットによる量子計算機向け大規模集積回路の実現」
- 【文科省】Q-LEAP 量子計測・センシング領域「固体量子センサの高度制御による革新的センサシステムの創出」
- 【文科省】Q-LEAP 量子計測・センシング領域「光子数識別量子ナノフォトニクス」の創成」
- 【内閣府】ムーンショット型研究開発事業 目標6「超伝導量子回路の集積化技術の開発」
- 【内閣府】ムーンショット型研究開発事業 目標6「誤り耐性型量子コンピュータにおける理論・ソフトウェアの研究開発」
- 【内閣府】ムーンショット型研究開発事業 目標6「量子計算網構築のための量子インターフェース開発」
- 【内閣府】ムーンショット型研究開発事業 目標6「スケーラブルで強靱な統合的量子通信システム」
- 【総務省】「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発」

概要

- 「量子技術イノベーション戦略」に基づき、**基礎研究から技術実証、オープンイノベーション、知的財産管理、人材育成等に至るまで産学官で一気通貫で取り組む拠点**として、令和3年2月に8つの「量子技術イノベーション拠点」を整備
※全ての拠点のヘッドクォーター：理化学研究所
- 「量子未来社会ビジョン」を踏まえ、産業競争力強化、経済安全保障、量子技術利活用、国際競争力強化等のため、**新たな拠点形成（2拠点）及び機能強化等、拠点の体制を強化**

量子技術イノベーション戦略に基づき整備 (8拠点)

量子ソフトウェア
大阪大学



量子ソフトウェア研究拠点

量子コンピュータ
ヘッドクォーター
理化学研究所



機能強化

量子コンピュータ
利活用
東京大学
企業連合



量子デバイス
産業技術総合研究所



機能強化

量子セキュリティ
情報通信
研究機構



量子生命
量子科学
技術研究
開発機構



機能強化

量子材料
物質・材料
研究機構



量子センサ
東京工業
大学



拠点
追加

量子未来社会ビジョンを踏まえた体制強化 (機能強化、2拠点追加 (計10拠点))

ヘッドクォーター機能の抜本的な強化

- ✓ 世界に伍する最先端研究を推進する環境を整備・強化
- ✓ 国際連携、情報発信、複数拠点の連携・調整等の機能強化等

産業界への総合的な支援を担う拠点形成

- ✓ 新たな市場の開拓と事業化等を支援する環境整備
- ✓ 標準化支援 等


量子デバイス
↓ 拠点名変更
グローバル産業支援 (仮称)

量子材料の研究開発・供給を担う拠点形成

- ✓ 高性能な量子機能を発揮する量子材料の研究開発
- ✓ 量子材料の供給基盤整備

量子生命
+
量子機能創製 (仮称)

量子ソリューション (仮称)



東北大学
産業界にとって価値
のあるソリューション
研究開発支援

国際教育研究 (仮称)










沖縄科学技術大学院大学
国際的な研究
開発・教育

なぜ産総研が「グローバル産業化支援」を担うのか

- ソフトウェアやハードウェアを専門とする研究者のみならず、ユースケース創出に欠かせない多様な分野に多数の研究者が在籍。
- 計算基盤や、デバイス試作・量子計算結果を実証するための各種試作・実証設備等を保有。
- 評価技術開発や標準開発に強み。

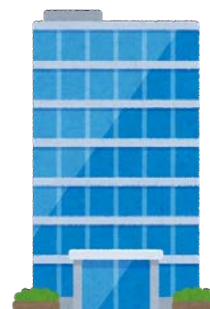
研究領域

 エネルギー・環境領域	ユースケース創出 製造技術開発
 生命工学領域	ユースケース創出
 情報・人間工学領域	ソフトウェア開発 (コンピュータ基盤ソフト開発含む)
 材料・化学領域	ユースケース創出
 エレクトロニクス・製造領域	ユースケース創出 製造・評価技術開発 コンピュータ開発
 地質調査総合センター	ユースケース創出
 計量標準総合センター	ユースケース創出 評価技術開発・標準化

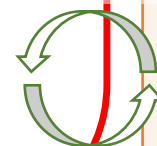
量子・AI融合技術 ビジネス開発グローバル拠点(仮)

量子AI融合計算基盤		ABCI
超伝導量子・ 制御回路製造		Qufab
シリコン量子・ クライオCMOS製造		COLOMODE
大規模シリコン量子製造		SCR

研究施設



連携



その他の研究開発
プラットフォーム(フィジカルな実証)

- ・ マテリアル・プロセス・イノベーションプラットフォーム(材料)
- ・ FREA(エネルギー)
- ・ スマートファクトリー(工場)
- ・ 6G対応評価設備(通信)など

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・連携の在り方かどうか（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）。

①量子・AIクラウド

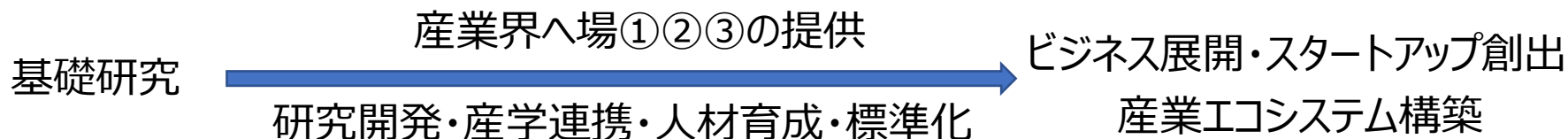
②量子ハードウェアテストベッド

③量子デバイス試作プラットフォーム

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（量子コンピュータ、量子アニーリングマシン等）
 - ✓ 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。

①量子・AIクラウド



量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル拠点(仮称)

産総研が持つ多様な産業分野のアセット(人材、設備、データ等)に、量子・AI技術を組合せるとともに、中長期的な量子コンピュータの発展を想定したデバイス作製・評価・計算基盤技術の多階層の技術を統合する事で、基礎研究を事業化へと展開。

産総研の場を通じて、**ベンダー・ユーザー・中小企業・ベンチャー等**の共創による**産業化**を支援→**グローバルビジネスエコシステムの構築**

① 量子・AIハイブリッドクラウドの開発とユースケース創出(量子・AIクラウド)

- ・企業： AI、エネルギー、材料、金融、バイオ、通信などの様々な分野でユースケース創出、リアルな環境による実証、ビジネス展開
- ・産総研： 量子・古典(ABCI)計算基盤構築。量子・AIクラウド× フィジカルな実証の場 × 出口産業分野の専門家による支援(サイバー・フィジカル研究開発)によるユースケース創出

② 量子ハードウェアのシステム化および部品・素材の開発と評価テストベッド提供(量子ハードウェアテストベッド)

- ・企業： 産総研設備による量子コンピュータハードウェアのシステム化技術開発・製品化。試作量子コンピュータ等のビジネス利用
- ・産総研： 量子コンピュータ(ゲート・アニーリング)チップの開発。低温評価テストベッド設置及び評価支援
- ・企業： 低温動作保証された部品・素材の開発と事業化(サプライチェーン強靱化)
- ・産総研： 冷凍機システムを用いた構成部品・部材の開発。低温評価テストベッド設置及び評価サービス提供

③ 量子デバイス・集積回路の開発と試作・装置利用サービス提供(量子デバイス試作プラットフォーム)

- ・企業： 量子チップ・制御回路の試作施設を活用し、研究開発や製品化を推進
- ・産総研： 超伝導・シリコン量子ビット・量子回路の研究開発。試作のための共用施設を2022年に公開、サービス提供中
ダイヤモンドの量子材料・デバイスの試作サービスと計測支援

まとめ：量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル拠点(仮称)

- ・産総研は量子技術の産学連携・社会実装のための場を産業界へ提供
 - ①量子・AIクラウド
 - ②量子ハードウェアテストベッド
 - ③量子デバイス試作プラットフォーム
 - ・基礎研究を事業化へ橋渡しするための場
 - ・理研等の量子技術イノベーション拠点との強固な連携
 - ・産学官が結集し、**グローバルビジネスエコシステム**を構築
- 産総研新拠点を機能させるには。。。

産総研の場を活用した多様なステイクホルダーによる課題解決と価値の創出の取組を推進
(具体例：共同研究、施設利用、施設共同運営・管理、国際標準化活動)
→ 企業における量子技術研究開発と社会実装の加速

課題：技術・産業分野が多岐にわたり、産総研の研究者だけでは実現は困難。国内のみならず有志国の産業界・大学からの参画が必要

- ・企業へのお願い：産総研へのニーズの提供と、連携強化(取組への人・資金の投入)
- ・国へのお願い：政策・政府戦略に基づく基礎研究・応用研究開発からビジネス創出環境の整備・支援
→ 持続可能な拠点運営と中長期的なビジョンに基づくビジネス戦略を推進

補足説明資料1

量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル拠点（仮称）のプラットフォーム・施設詳細

拠点の活動内容（要約）

ビジネス開発

①量子・AIクラウド

ユースケース創出

世界に先駆けて量子・AI融合コンピュータをクラウドに接続し、世界中からアクセス可能な環境を整備。国内外の企業と連携し、多種多様な分野でソフトウェアを開発し、迅速に多くのユースケースを創出。弊所の既存設備も活用し、量子コンピュータ・イジングマシン出力の検証機能も提供。

人材育成・スタートアップ創出

量子関連技術の産業人材育成の支援や、スタートアップの創出・育成を行う。

ハードウェアの研究開発

②量子ハードウェアテストベッド

③量子デバイス試作プラットフォーム

ハードウェア開発

量子デバイス製造技術の研究開発

→超伝導・シリコン量子ビット、クライオ制御回路、ダイヤモンド量子デバイスの製造・集積化技術等

量子コンピュータ・量子アニーリングマシンの研究開発

→量子コンピュータ・量子アニーリングマシンのインテグレーション・評価等

評価手法確立・国際標準化推進

部素材の評価

→極低温下での耐久性評価等

部素材・制御装置の評価

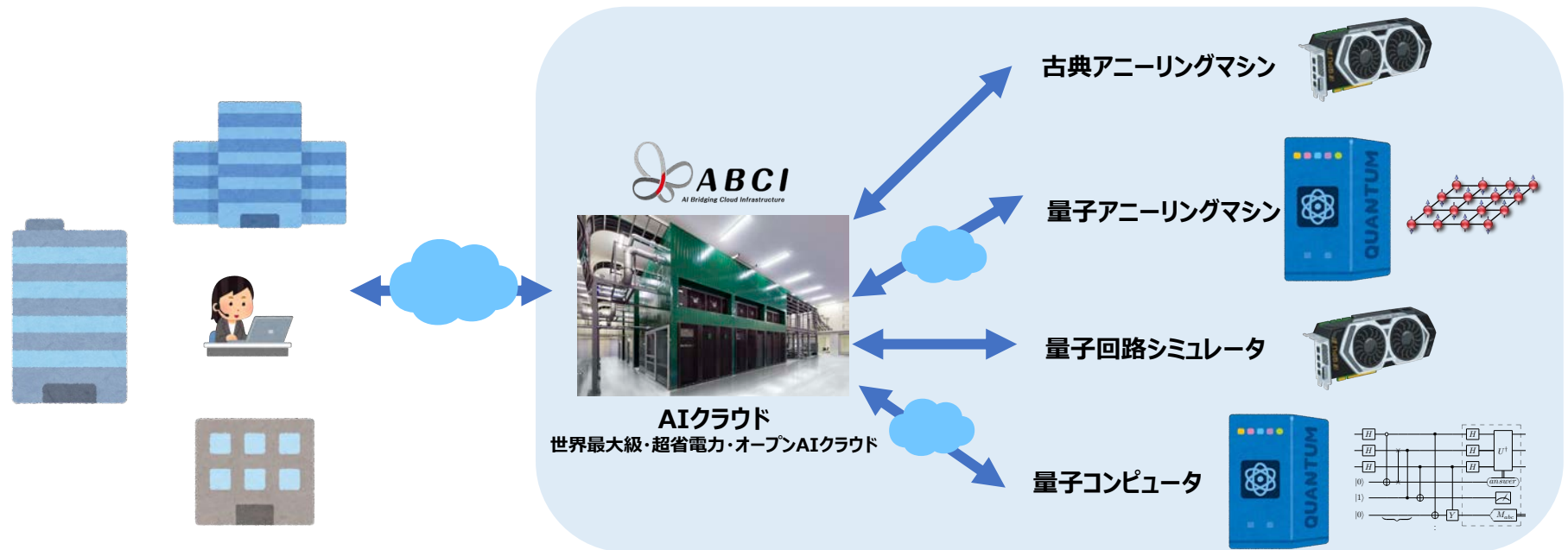
→極低温下での性能評価

量子ビットの評価

→量子ビットの性能評価・スクリーニング

①量子・AIクラウド

- 産総研AI橋渡しクラウドABCIIの構築・運用ノウハウを活かし、量子・古典アニーリングマシン・量子コンピュータを融合した量子・AIクラウドを構築・運用
- 量子コンピューティング技術を誰でも試せる場として、広く提供



量子・AIクラウドを企業等に提供し、AI、エネルギー、材料、金融、バイオなどの様々なユースケースを創出→事業化支援・スタートアップ創出



想定利用者：ユーザー企業・ベンチャー・アカデミア

②量子ハードウェアテストベッド

- ・大規模量子ハードウェアの評価及びインテグレーションを実施するテストベッド
- ・部品・素材の低温性能評価テストベッド→評価・認証の有償サービス



A社製量子コンピュータ

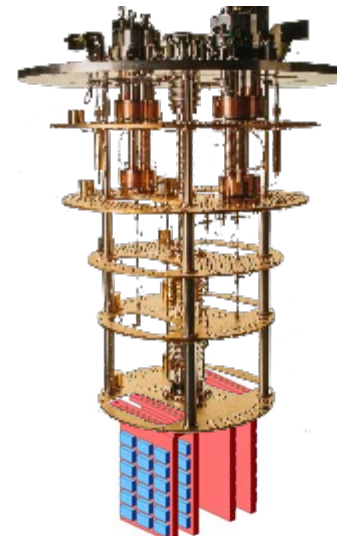
B社製量子アニーリングマシン

量子ハードウェア(量子アニーリングマシン・量子コンピュータ)の低温評価テストベッドを設置
→企業によるインテグレーション・動作評価→事業化支援へ

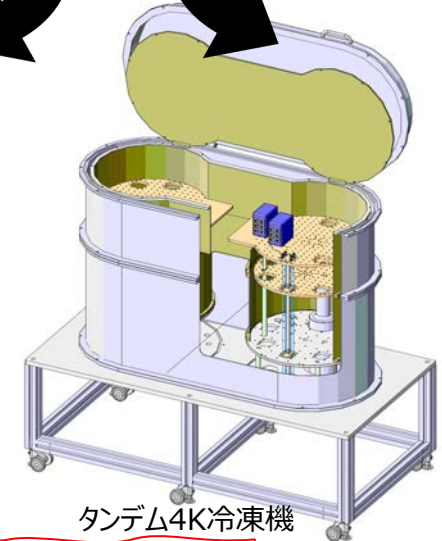
量子チップ・パッケージ基板・ケーブル・コネクタ・サーキュレータ・アンプ・フィルタ・アッテネーターなど

10 mK—60 K

4 K—300 K



希釈冷凍機



タンデム4K冷凍機

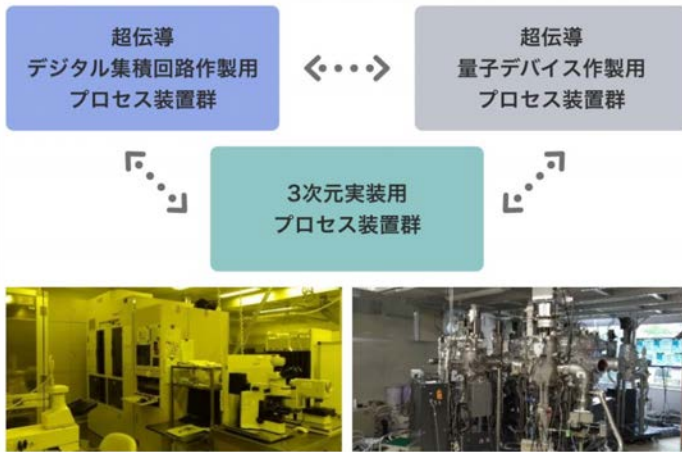
低温性能・動作保証

低温(10mK)から室温において、部品・素材の評価を可能とする設備を設置
→企業が開発した部品・素材の動作評価・認証と標準化を産総研と連携して実施→企業による製品化支援・サプライチェーン強靱化

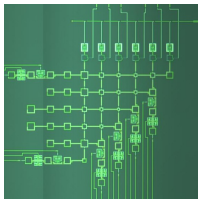
想定利用者：ベンダー・中小企業・ベンチャー・アカデミア

③量子デバイス試作プラットフォーム

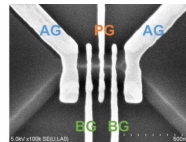
超伝導体・半導体・ダイヤモンド量子デバイスの試作を可能とする共用試作プラットフォーム
PoC及び事業化のための試作・装置利用サービスを2022年より有償で提供



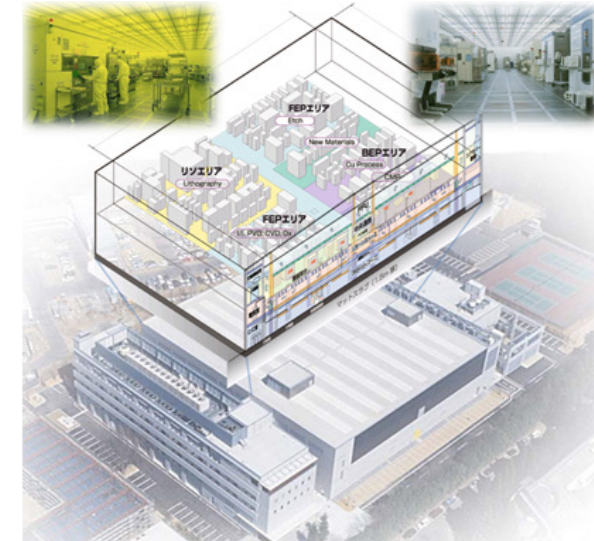
● 超伝導量子回路試作施設



超伝導量子アニーリングマシン
超伝導量子コンピュータ
超伝導制御回路
超伝導光子検出器など



シリコン量子コンピュータ
クライオCMOS制御回路



ダイヤモンドNV中心を用いた量子センサー・量子インターフェースに資する材料およびデバイスも開発

想定利用者：ハードベンダー・ベンチャー・中小企業・アカデミア

補足説明資料2

量子デバイス開発拠点の代表的研究成果

研究開発：超伝導量子アニーリングマシン

6量子ビット超伝導量子アニーリングマシンの実現（日本初・集積度世界2位）



産総研

エネルギー・環境
生命工学
情報・人間工学
材料・化学
エレクトロニクス・製造
地質調査
計測

研究開発 > 研究成果記事一覧 > 2021年 > 独自のアーキテクチャを用いた超伝導量子アニーリングマシンを実現

1表 - 掲載日：2021/07/06

独自のアーキテクチャを用いた超伝導量子アニーリングマシンを実現

～大規模な組合せ最適化問題の処理や幅広いビジネスへの利用に道筋～

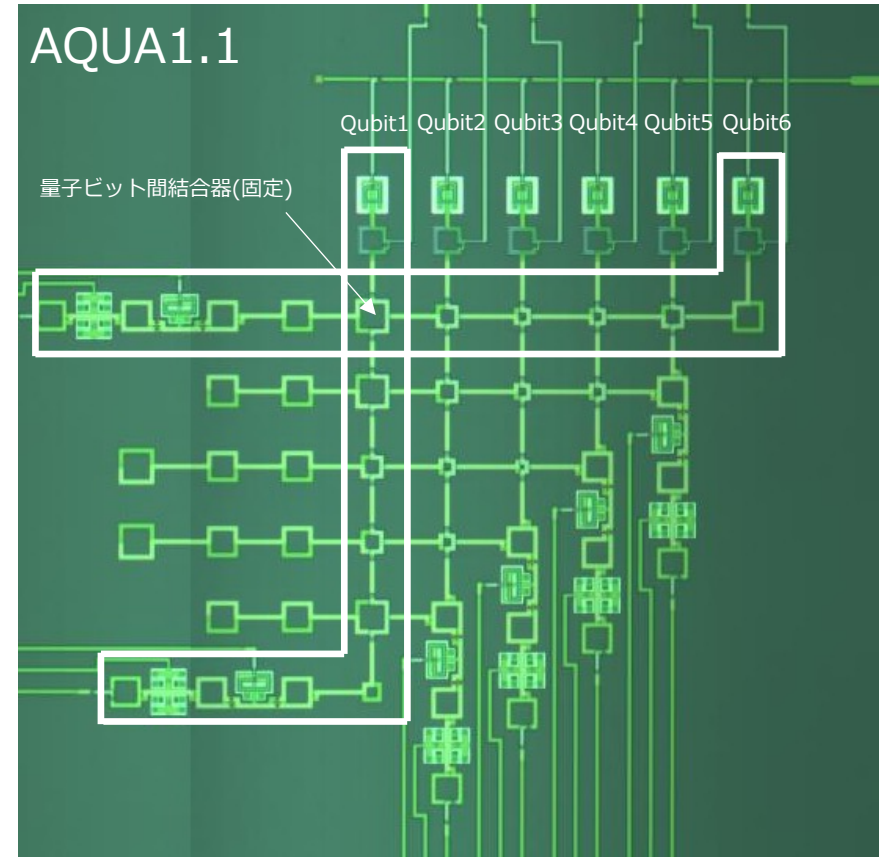
ポイント

- 超伝導量子アニーリングマシンの開発と動作実証に成功
- 大規模な組合せ最適化問題の処理を可能とする独自アーキテクチャを採用
- 創薬や物流事業など幅広い産業分野での作業の効率化に貢献

概要

1立研究開発法人 産総研技術総合研究所【理事長 石村 和彦】（以下「産総研」という）新原理コンピューティング研究センター【研究センター長 湯浅 新治】川越 謙 総括研究主幹らは、デバイス技術研究部門【研究部門長 中野 隆志】らと共同で、超伝導量子ビットから構成される量子アニーリングマシンの開発と動作実証に日本で初めて成功した。

2産総研は、特定組合せ最適化問題専用のアーキテクチャ（ASAC）を世界で初めて提唱した。これに基づいて、6量子ビットの量子アニーリングマシンの製造を行い、絶対温度10 mKにおいてその動作実証に成功した。ASACを用いることで、従来方式に比べて1桁程度少ない量子ビット数で、組合せ最適化問題を解くことが可能となる。これにより、問題の大規模化に伴って、計算に必要な量子ビット数が増大するという実用上の課題が軽減される。超伝導量子アニーリングマシンの社会実装は、創薬、運輸などの幅広い産業分野における効率化につながるであろう。なお、この技術の詳細は、2021年6月22～25日にオンライン開催された新熱量子国際会議AQ2021で発表された。



Saida, Yamanashi, Hidaka, Hirayama, Imafuku, Nagasawa, Kawabata, IEEE Transactions on Quantum Engineering 2 (2021) 3103508, Saida, Hidaka, Imafuku, Yamanashi, Sci. Rep. 12 (2022) 13669, Sci. Rep. 12 (2022) 15894

https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2021/nr20210706/nr20210706.html

研究開発：超伝導量子コンピュータ

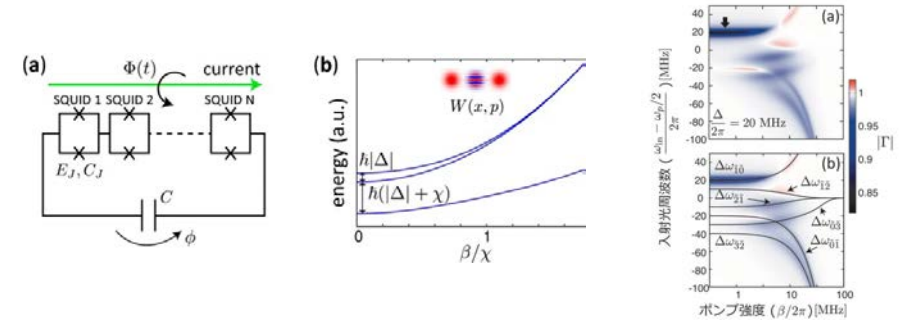
従来方式を越える超伝導量子コンピュータを目指して

目標：ボソニック量子ビット(Kerr猫量子ビット)を利用した超伝導量子コンピュータ(NISQ&FTQC)の開発

	トランズモン(従来型)	Kerr猫量子ビット(本研究)
量子ビット	共振回路の単一光子状態 	共振回路の巨視的な振動状態 
集積度	433量子ビット (IBM) 😊	2量子ビット 😞
制御技術	確立 😊	未確立 😞
コヒーレンス	位相エラー&ビット反転エラー 😞	位相エラーのみ 😊
量子エラー訂正のための冗長な量子ビット数	多い 😞	少ない 😊
開発企業	IBM, Intel, Google, Baidu, Alibaba, Rigetti, IQM, OQC, Delft circuits, 他多数	Amazon, Alice&Bob

成果

- エネルギー分光の理論 Masuda他, New J. Phys. 23 (2021)093023
- 精度1量子ビットゲートの理論 Masuda他, Sci. Rep. 11 (2021)11459
- 高精度2量子ビットゲートの理論 Kanao他, Phys. Rev. Applied 18 (2022) 014019
- 2量子ビットゲートの制御理論 Masuda他, Phys. Rev. Applied 18 (2022) 034076
- 初期状態準備の理論 Suzuki他, arXiv:2208.04524
- 量子状態トモグラフィの理論 Suzuki他, arXiv: 2212.14627 (NECとの連携)
- 2量子ビットの結合実験 arXiv:2212.13682 (NECの実験)
- 「超伝導量子パラメトロン:測定と制御の理論」 増田他, 日本物理学会誌 77 (2022) 373



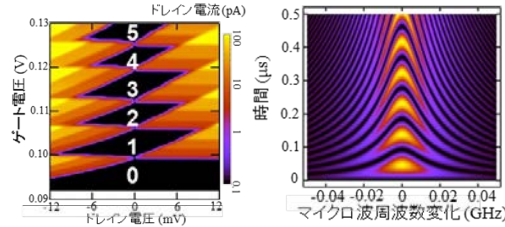
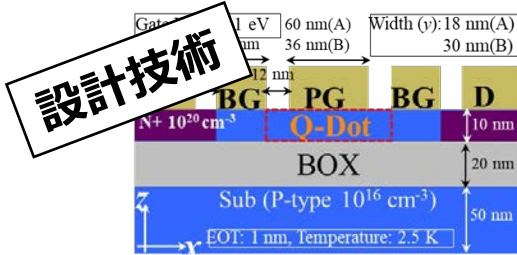
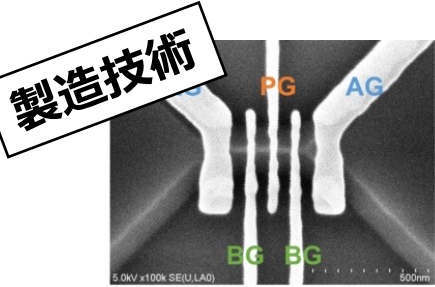
【NEDO】高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発「量子計算及びイジング計算システムの統合型研究開発」

研究開発：シリコン量子技術

シリコン量子コンピュータ

1万量子ビット超時代を見据え、半導体技術による大規模集積可能なシリコンスピン量子ビット技術を開発

半導体量子集積デバイス工学の世界トップランナー

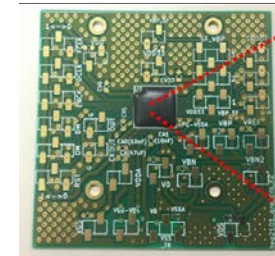


- LSI向けトランジスタ技術で培った集積化ノウハウと世界随一の設計技術を活用し研究展開
- 基本特許5件、トップ国際会議ハイライト発表、報道多数（日経クロステック他）、SEMICON2022出展

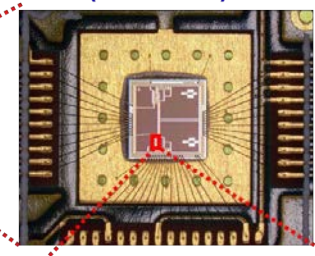
クライオCMOS制御回路

超伝導型含む量子ビット制御に必要な極低温で動作する集積回路技術を開発

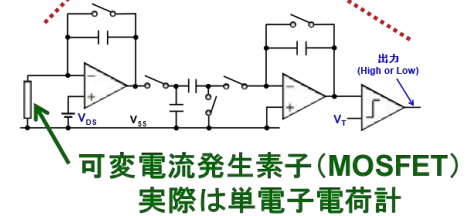
4Kで測定可能な
評価ボード



試作チップ
(2.5mm角)



微小電流測定回路
(400μm x 200μm)



- トランジスタ動作原理から解き起こすボトムアップアプローチ
- トップ国際会議発表複数、報道多数（マイナビニュース他）

【文科省】Q-LEAP 量子情報処理領域「シリコン量子ビットによる量子計算機向け大規模集積回路の実現」

【NEDO】高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発「量子計算及びイジング計算システムの統合型研究開発」

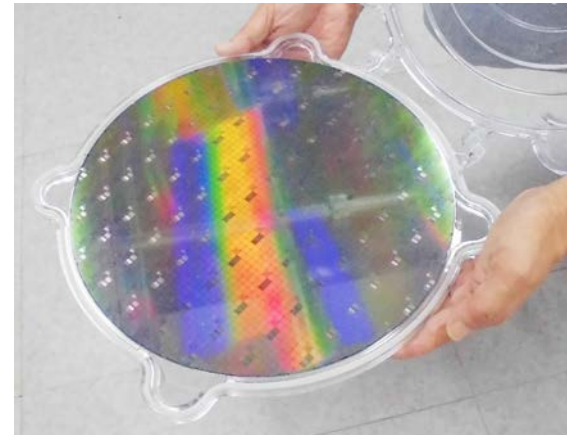
装置：300mm低温自動ウエハプローバー

半導体インタフェース（クライオCMOS集積回路）の検査



販売：Bluefors & AFORE

300mmウエハをそのまま冷却し特性を自動で検査



産総研が世界で4台目(アジア初)を導入

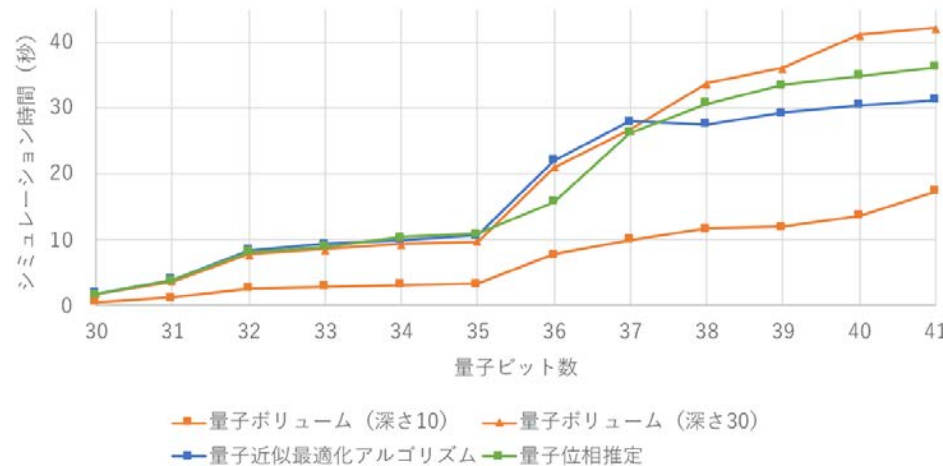
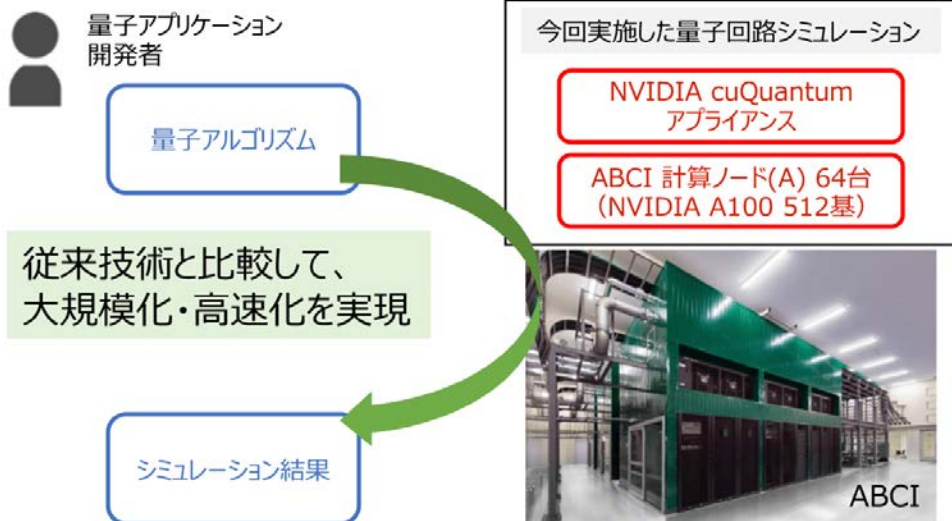
クライオCMOS集積回路とは？

量子コンピュータ及び量子アニーリングマシンのインターフェースの有力候補は**半導体CMOS集積回路**。しかし、**低温下**で動作させる必要があるため、室温で動作する通常の集積回路とは設計が異なる。低温下で動作する集積回路は、**クライオCMOS集積回路**と呼ばれる。（クライオは低温の意味）クライオCMOS集積回路設計には、**低温下でのトランジスタの動作特性**を正しく知ることが重要。

研究開発： ABCIを用いた量子回路シミュレーション

- ABCI上で、GPUを用いた**世界最速の41量子ビットの量子回路シミュレーション**を実施
- NVIDIA合同会社と産総研の共同グループによるABCIグランドチャレンジの成果

大規模な量子計算を試すことができるオープンなクラウド型計算システム



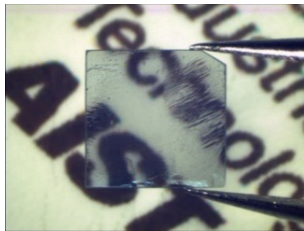
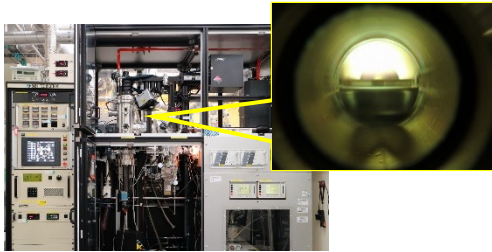
代表的な3種類のベンチマークプログラムで高い性能

開発された量子回路シミュレータはNVIDIAより公開、ABCI上で誰でも利用可能
→ 量子・AIクラウド設置に先行した、量子技術のユースケース開拓に貢献

研究開発：ダイヤモンド量子技術

ダイヤモンドNV中心を用いた量子材料・デバイス開発

量子センサ材料開発

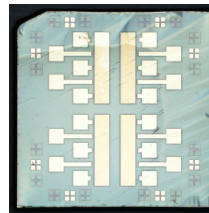


単一NV中心で世界最高感度を樹立
~9.1 nT/VHz @室温 ($T_2 = 2.4\text{ms}$)

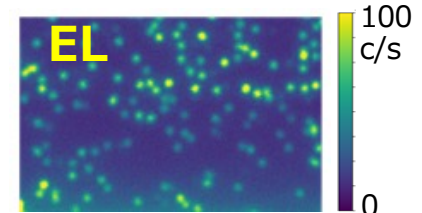
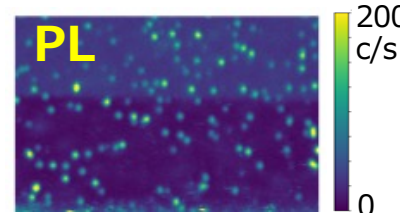
Nature Communication 10 3766 (2019)

量子デバイス開発

PIN接合技術を用いたダイヤモンドデバイス

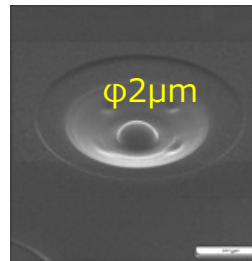


ダイヤモンドPIN接合ダイオード

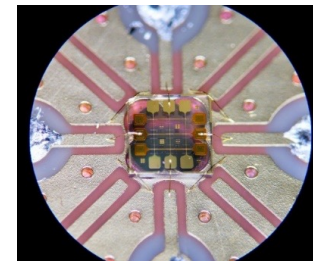


NVの電氣的励起に世界で初めて成功

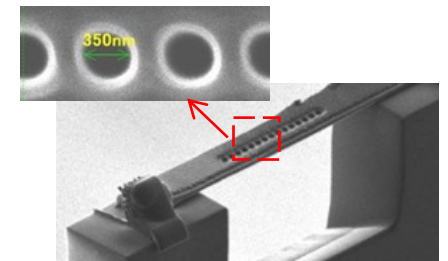
高度な量子操作に向けたダイヤモンド光学構造体



ダイヤモンドレンズ構造



多層配線技術



フォトニック結晶構造

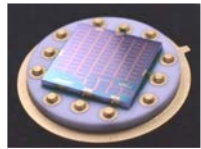
【文科省】Q-LEAP 量子計測・センシング領域 「固体量子センサの高度制御による革新的センサシステムの創出」

【総務省】グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発 量子中継技術 「量子メモリの光リンク技術」

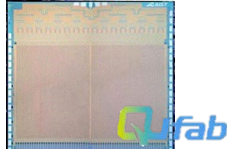
【内閣府】ムーンショット目標 6 「量子計算網構築のための量子インターフェース開発」

研究開発：量子標準技術

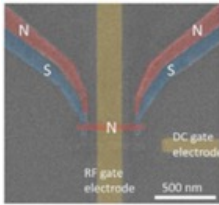
量子電気標準



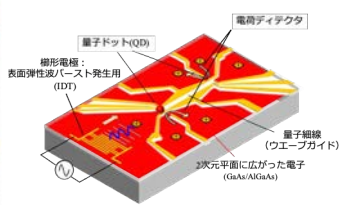
1 MΩ 量子化ホール抵抗素子



10 V ジョセフソン量子電圧素子



単一電子移送素子

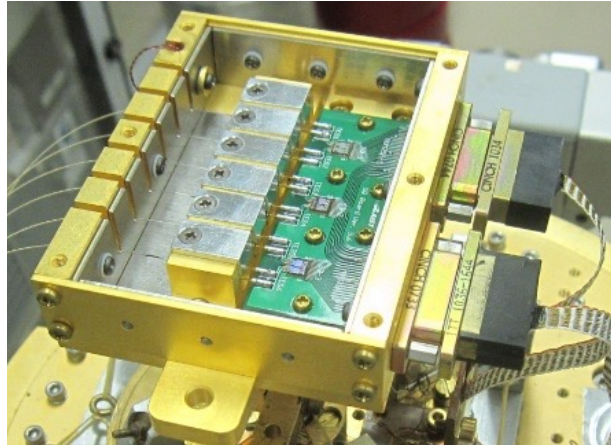


量子電子光学素子

図：産総研の量子電気標準（電圧・抵抗）および単一電子量子移送・操作や量子電子光学のデバイス

- ・ Qufab製量子素子などによる世界最高精度の量子電気標準の確立と維持
- ・ 飛行量子ビットによる量子電子光学の研究：*Phys. Rev. X* 12, 031035 (2022)他
- ・ 基礎・応用研究・産業への橋渡し：*IEEE Trans. Inst. Meas.*, Vol. 71, pp.1-8, *Nat. Phys.* 18, 25-29 (2022), *Commun. Phys.* 4, 267 (2021)プレスリリース (2022/9/7, 2021/12/16, 2021/12/14,)、他アウトリーチ活動

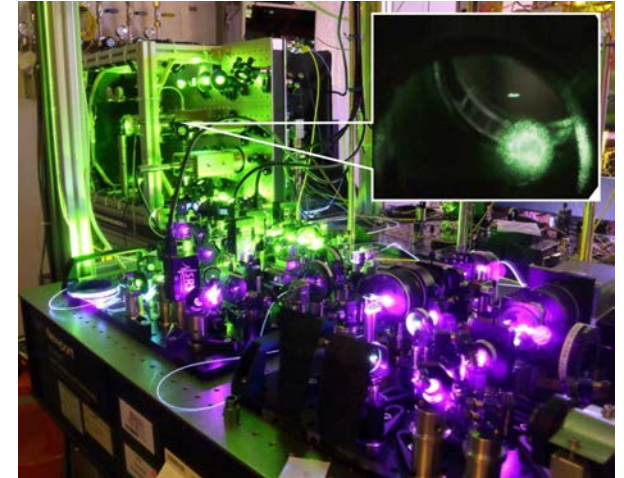
超伝導単一光子検出器



図：産総研の超伝導単一光子検出器/光子数識別器

- ・ 光量子コンピュータの実現に必須な通信波長帯での量子状態の生成に初めて成功 *Nature Photon* 4, 655-660 (2010)
- ・ 単一光子分光計測による低侵襲バイオイメージングに成功 *Front. Bioeng. Biotechnol.* 9, 789709 (2021).
- ・ プレスリリース (2017/4/5) 光子一つが見える「光子顕微鏡」を世界で初めて開発

光格子時計



図：産総研のイッテルビウム光格子時計

- ・ プレスリリース① (2018/9/21) 長期間運転可能なイッテルビウム光格子時計の開発
- ・ プレスリリース② (2020/11/3) 光格子時計の半年間にわたる高稼働率運転を世界で初めて達成
- ・ プレスリリース③ (2022/12/8) 光格子時計とセシウム原子泉時計で暗黒物質の探索に挑む