

量子コンピュータ制御装置 QuEL-1

仕様



マイクロ波送信部

- 8ポート
- 分解能: 16bit
- サンプルングレート: 12Gsps
- 帯域: 2.0GHz
- 中心周波数: 7-11GHz(構成変更可)

マイクロ波受信部

- 4ポート
- 分解能: 12bit
- サンプルングレート: 6Gsps
- 帯域: 2.0GHz
- 中心周波数: 7-11GHz(構成変更可)

サイズ

- W 440mm x H 124mm x L 900mm

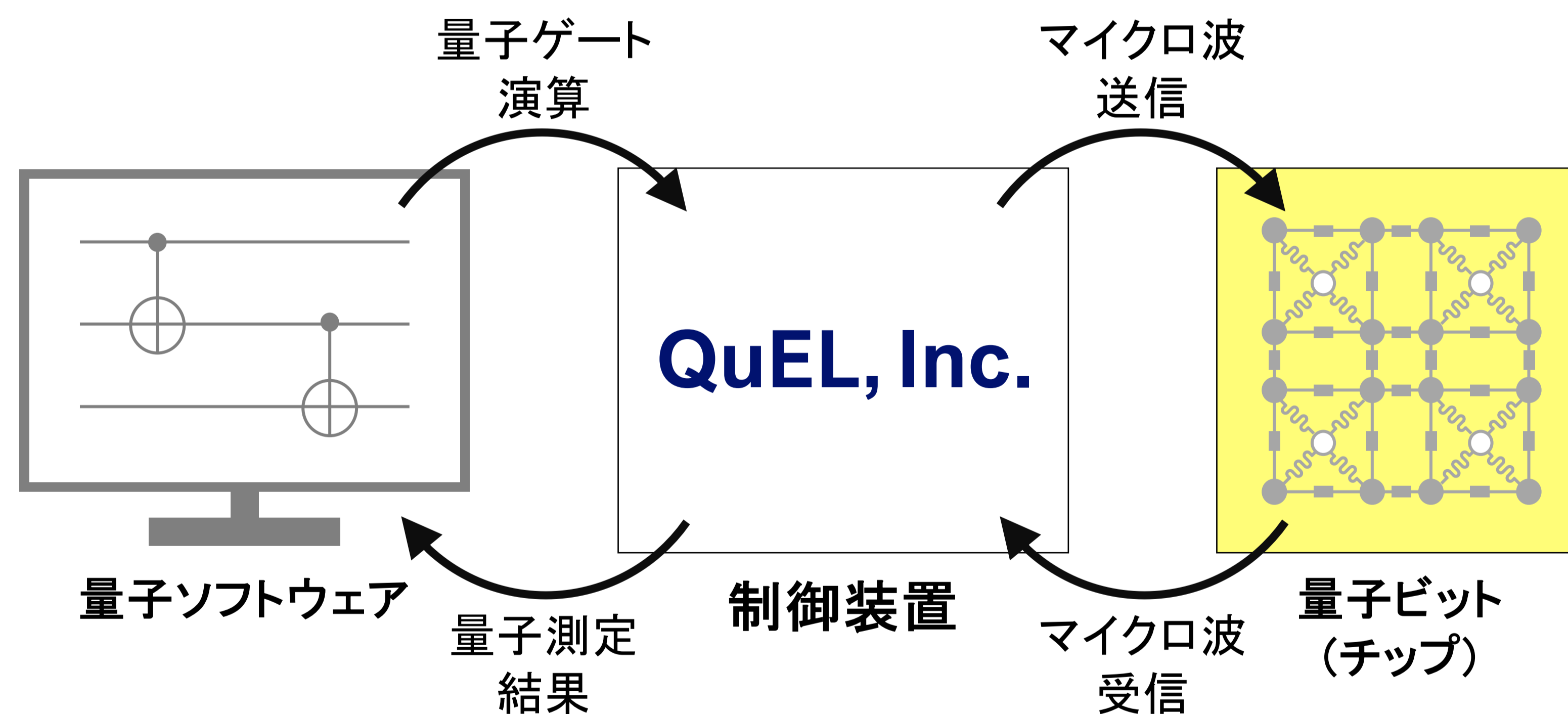
インターフェース

- 10GbE x4 (データ転送ポート)
- GbE x1 (制御ポート)
- 外部クロック入力ポート

機能

量子コンピュータの制御装置は、量子コンピュータのハードウェアの中でも重要な構成要素です。

量子ビット(チップ)と量子ソフトウェアの間に位置し、量子ソフトウェアの情報を元に信号を生成し、量子ビット(チップ)に対して命令を送り、制御するという重要な役割を担います。



特徴

QuEL-1は既存の制御装置に比べて、以下の特徴を持っており、量子コンピュータ研究の加速に貢献できます。

ユーザービリティ

従来、独立したユニットであった各機能を1つのユニットにまとめることで、小型であるとともに、ユーザーが装置の校正などに手間を取られることがありません

スケーラビリティ

各機能がまとまったユニットを複数並べ、それらのユニットを同期させることで、容易に量子ビット数の拡張が可能です

コンフィギュラビリティ

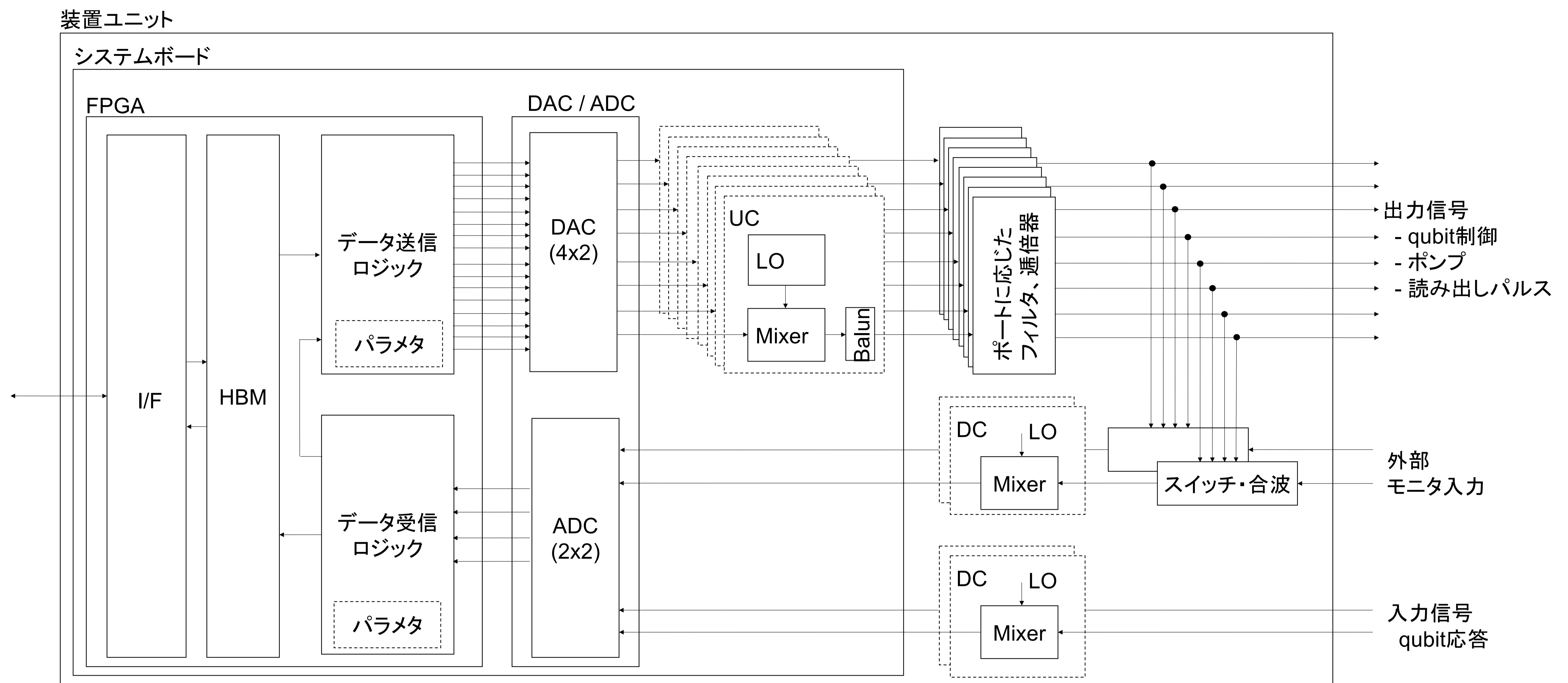
信号入出力に関する設定の多くをソフトウェア上で設定可能であるため、実験における設定変更の手間を最小化できます



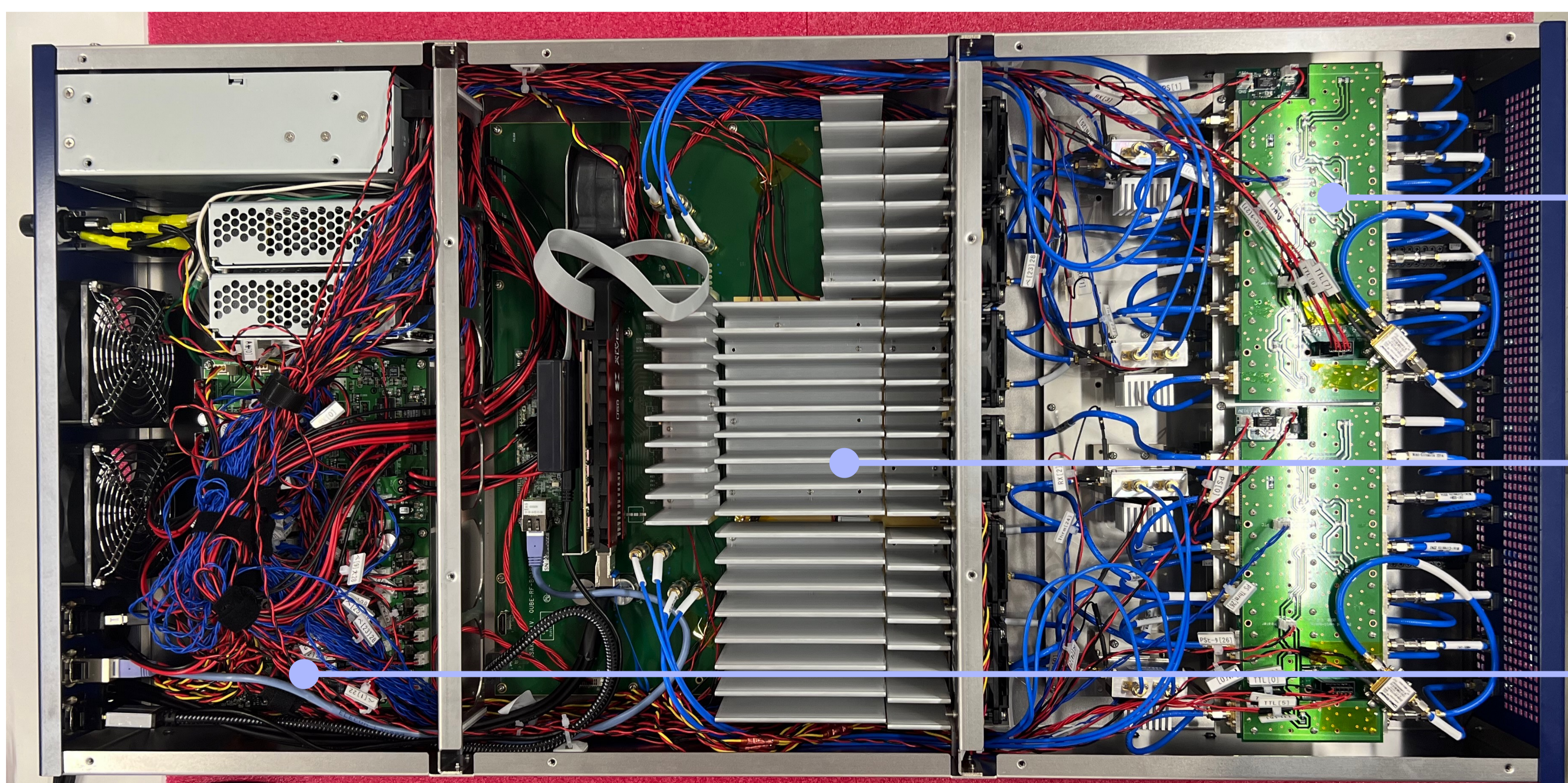
大阪大学での量子コンピュータ制御実験の環境 (複数台の制御装置を量子ビットに接続し、多量子ビットの制御実験を実施中)

量子コンピュータ制御装置 QuEL-1

装置内部の構成



装置内部の様子



アナログ RFコンポーネント
バンドパスフィルタ
逓倍器
コンバイナ など

システムボード
FPGA
ADC/DAC
ミキサ+LO

電源・温度調整ボード

量子コンピュータに求められるスペックの例

高周波送受信システム

- 搬送波; 12.5 GHz / 変復調帯域; 2 GHz
- 出力雑音電力密度; -148 dBm/Hz
- SFDR; 65 dBc
- ゆらぎ; 120秒間 +/- 0.3度以内, 1200秒間 1度以内, 3600秒間 2度以内
- アイソレーション(出力チャネル間); -70 dB
- 相互変調歪み(IMD3); -40 dBc
- 短期位相雑音; -110 dBc/Hz
- 入力ダイナミックレンジ; 60 dBFS

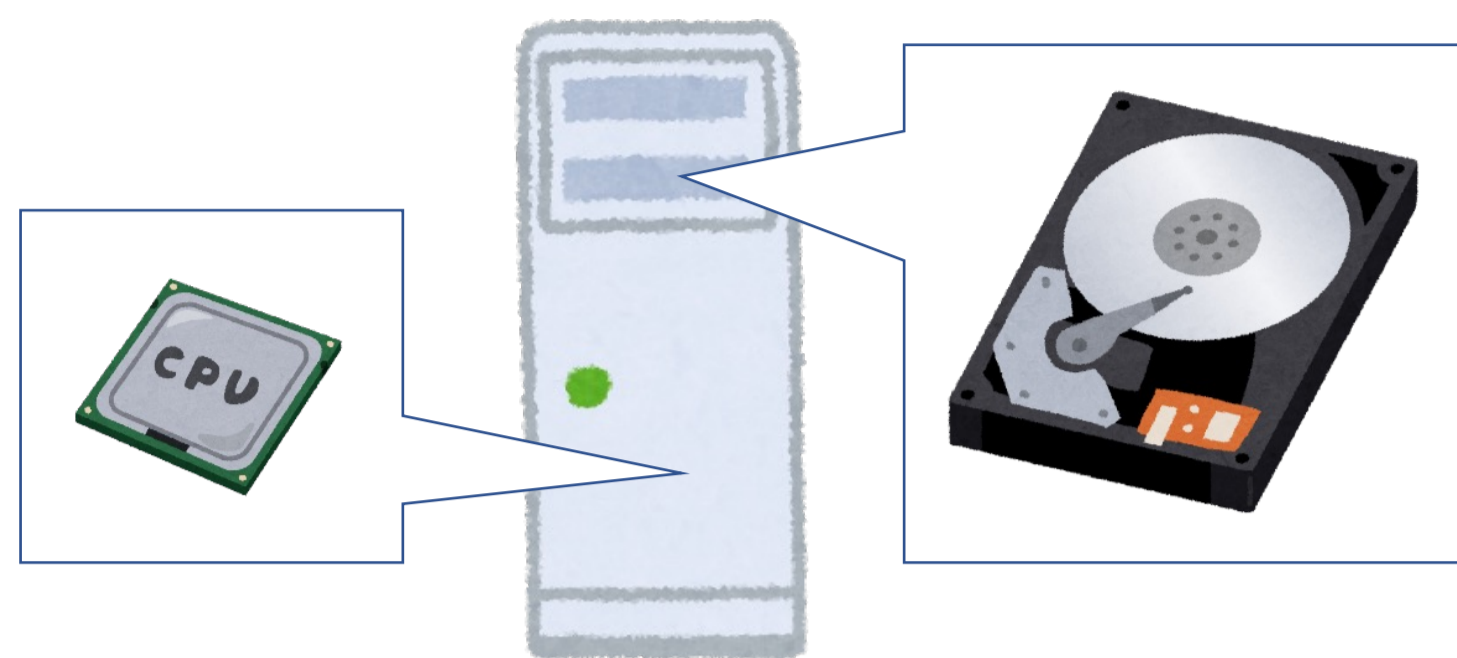
DAC/ADC, 信号処理

- マイクロ波の長さ; 数十us - 数十ms (= 40 MB/ch)
- 桁落ち・誤差ない演算
- 出力分解能 16 bit / 入力分解能 10 bit
- FIR・間引き・総和・積算

量子コンピュータの物理

古典コンピュータと量子コンピュータの違い

古典コンピュータ

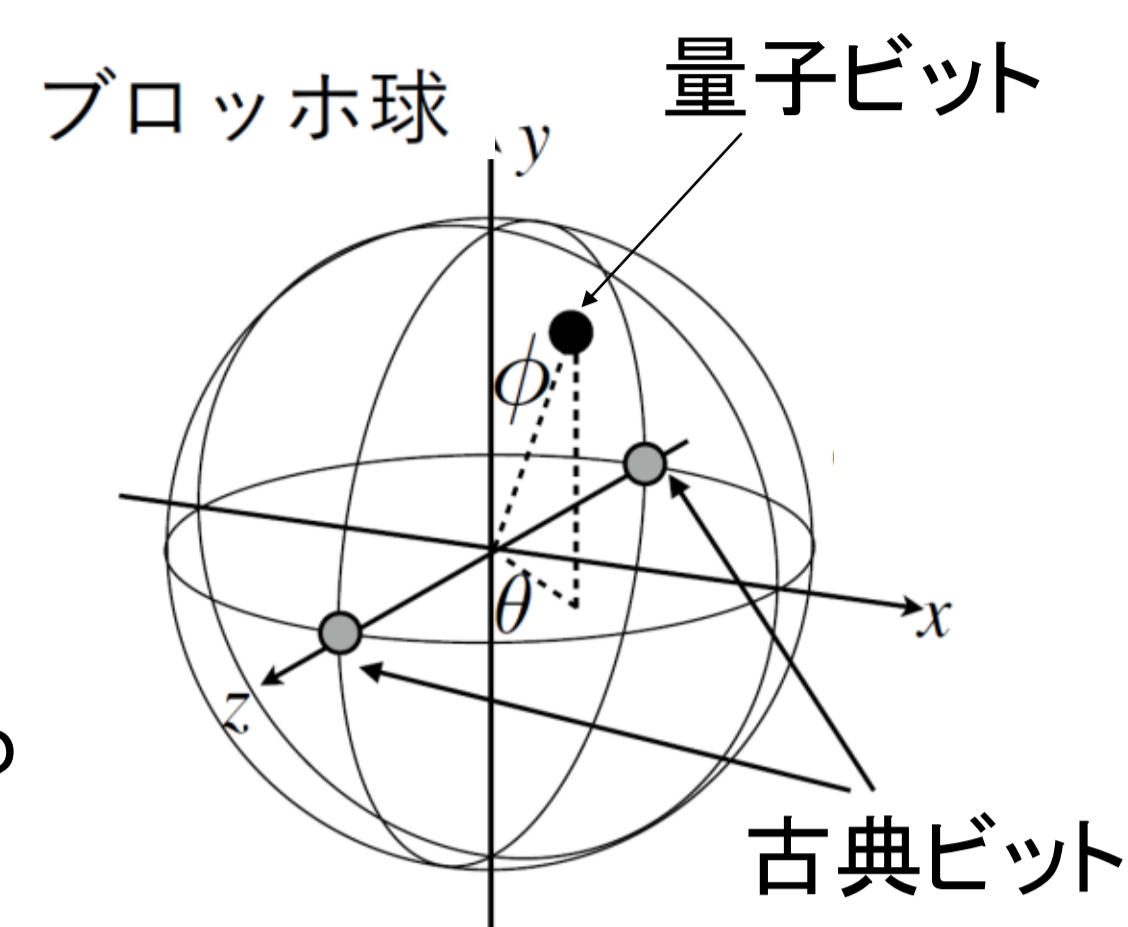


古典ビット
0111000001
0と1の2状態しか表現できない

量子コンピュータ



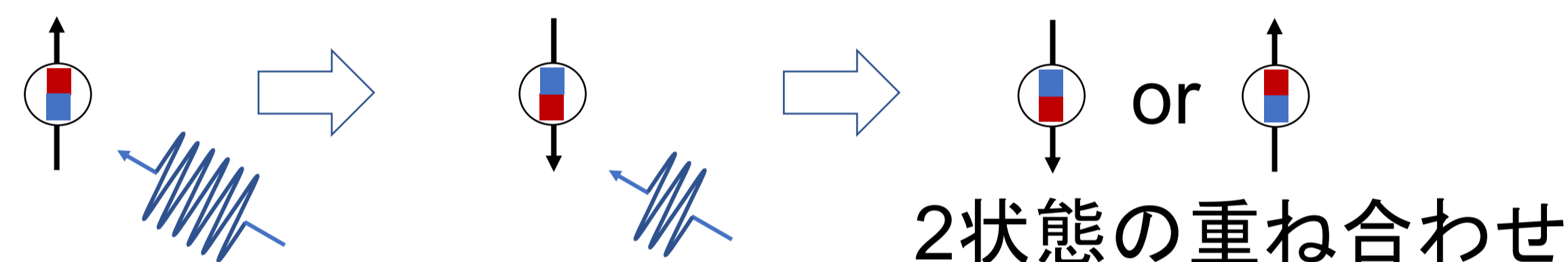
量子ビット
0と1の重ね合わせを許容できる



量子ビット演算と重ね合わせ状態

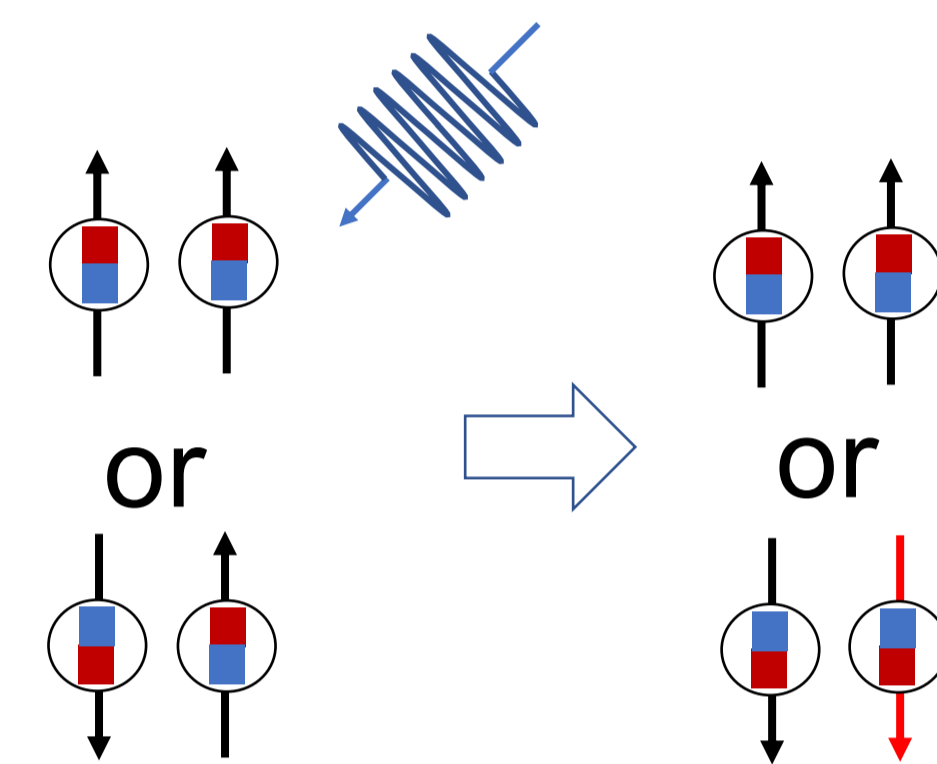
1量子ビット演算と重ね合わせ状態

2つの状態のエネルギー差Eに相当する周波数 ν のパルス電磁波で1量子ビット(NOT)演算(1938年Rabi)

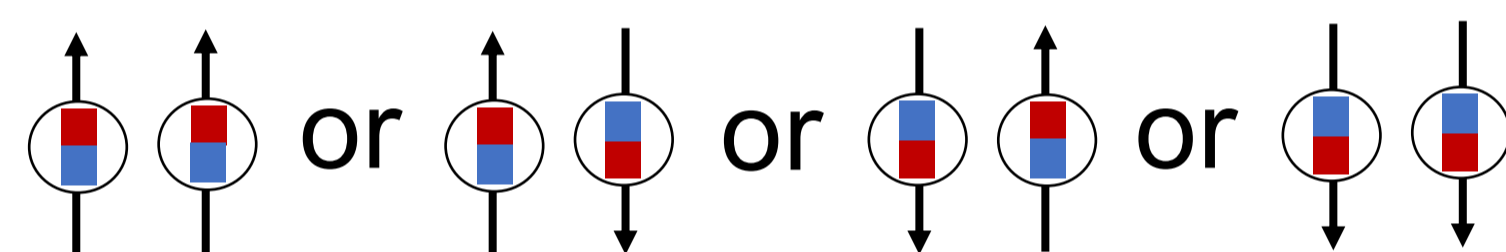


2量子ビット演算

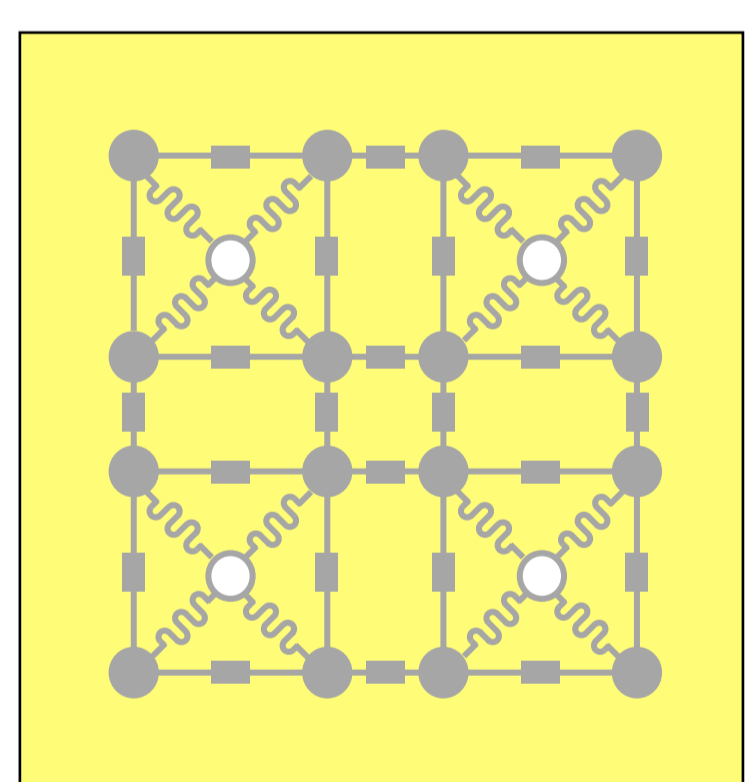
相互作用により状態の違いでエネルギー差が生じるので周波数を変えれば2量子ビット(CNOT)演算



2量子ビット : 4状態の重ね合わせ
3量子ビット : 8状態の重ね合わせ
:
N量子ビット : 2^N 状態の重ね合わせ

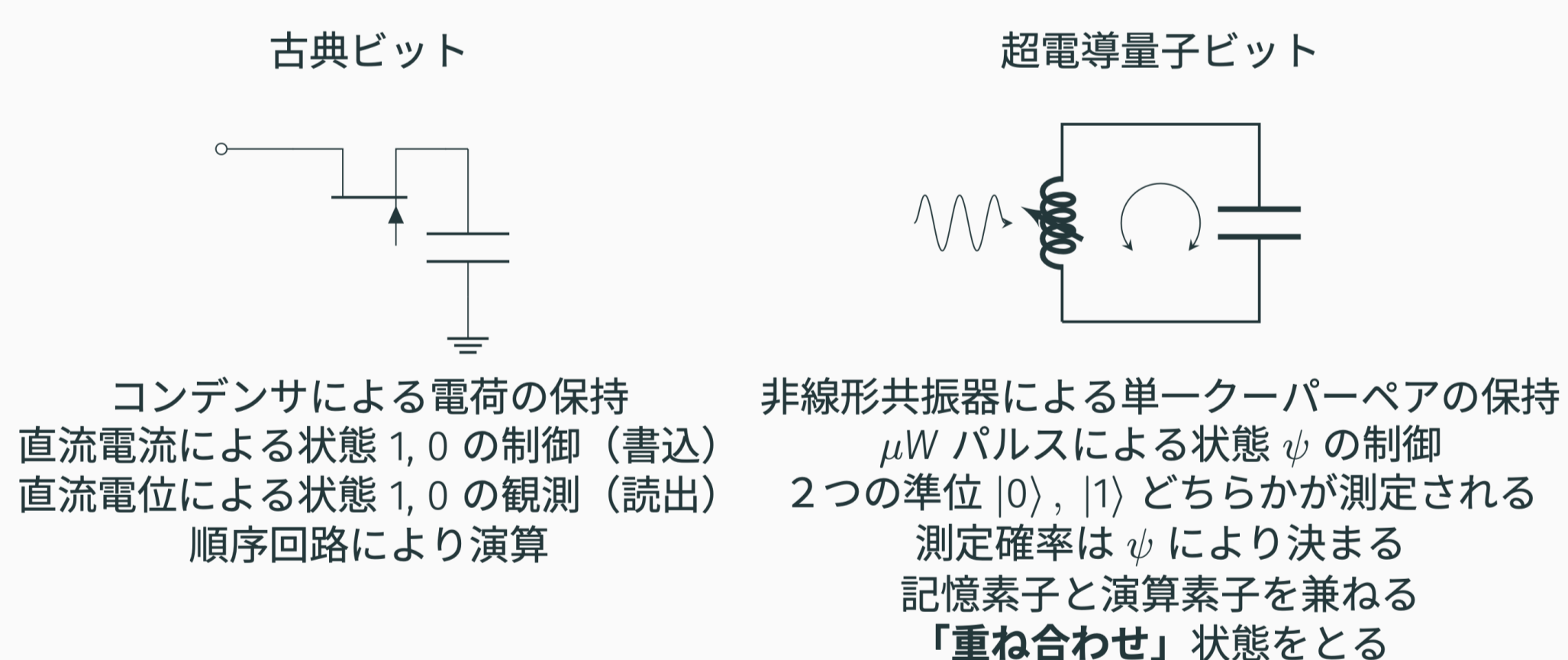


量子ビットのマイクロ波による制御

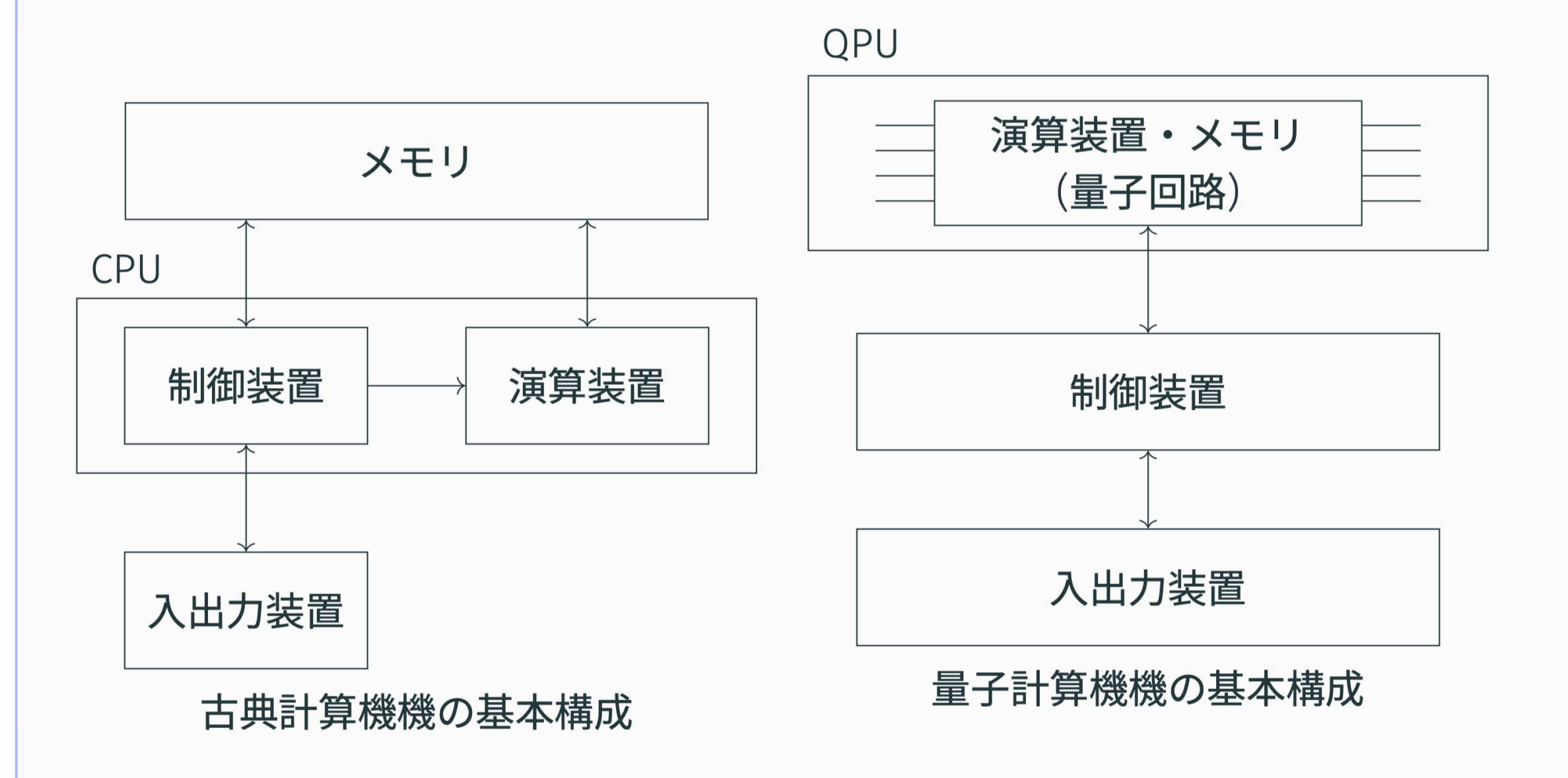


超伝導量子ビット

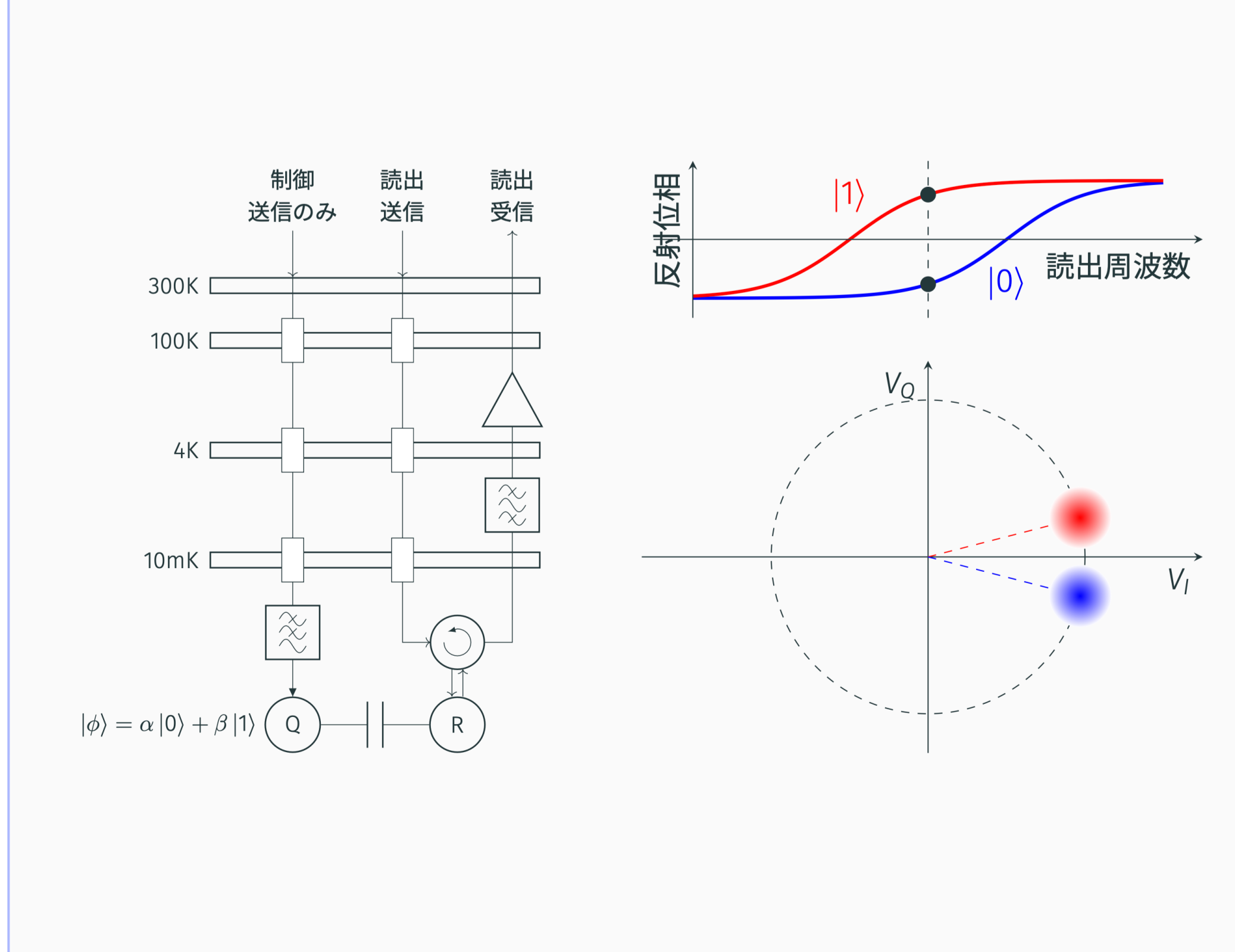
電子回路と量子回路



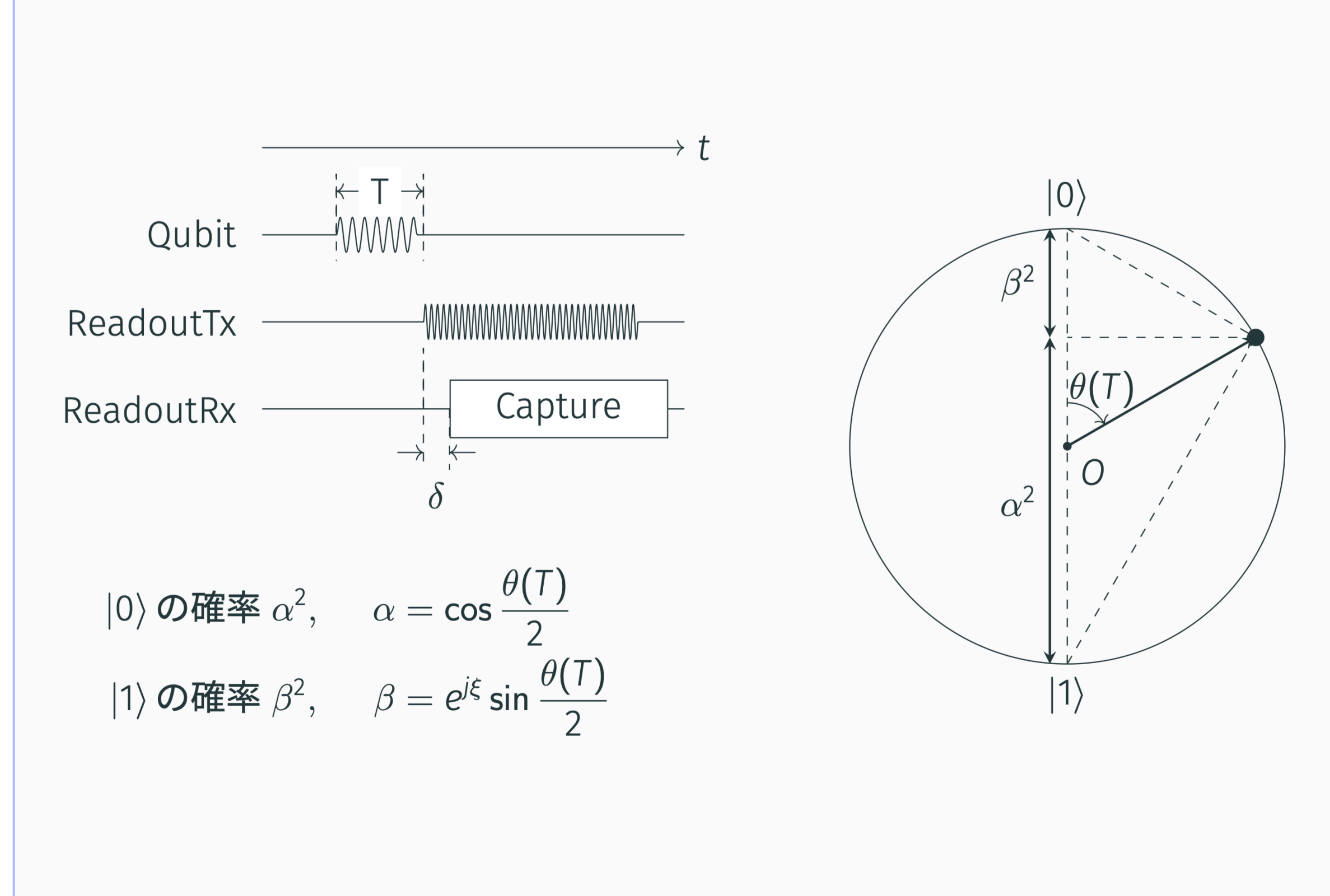
古典計算機と量子計算機



量子ビットの状態の観測









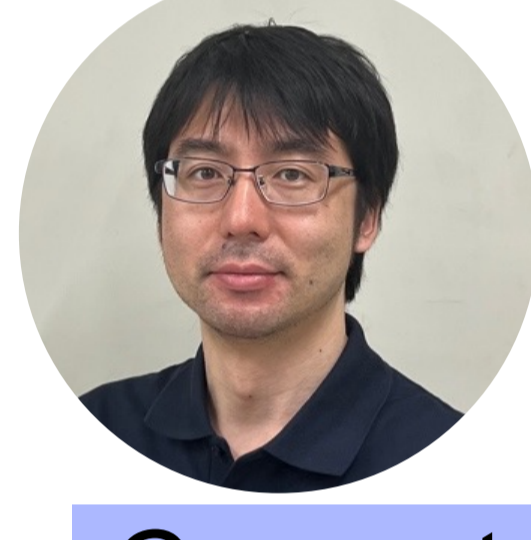


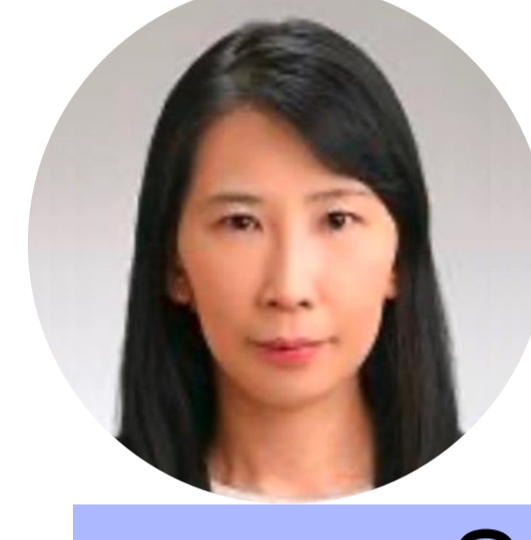


量子ビットの制御と読み出し



大阪大学発スタートアップ キュエル株式会社

キュエル株式会社は、大阪大学を中心とした研究開発成果を活用して、量子コンピューターの制御装置の開発・製造・販売に取り組むスタートアップです。取締役・従業員10名、顧問2名の体制で、量子コンピュータ、コンピュータアーキテクチャ、デジタル回路、アナログ回路、ソフトウェアといった様々な専門性を持ったエンジニア・研究者が集結しています。

 CEO Yosuke Ito Business, Finance	 VPoE Yuuya Sugita, Ph.D. Software	 Research Scientist Ryutaro Ohira, Ph.D. Quantum Information	 Advisor Masahiro Kitagawa, Ph.D. Quantum Information
 CSO Makoto Negoro, Ph.D. Quantum Information	 Engineer Norimitsu Matsushita Electronics	 Engineer Yoshinori Kurimoto, Ph.D. Electronics, Physics	 Advisor Hidehisa Shiomi, Ph.D. Electronics
 CTO Takefumi Miyoshi, Ph.D. Computer Architecture	 Engineer Shinichi Morisaka Electronics	 Research Scientist Toshi Sumida, Ph.D. Software, Physics	 Engineer Tomoko Taketomi Software

過去の実績

キュエル株式会社は、2021年7月の創業以降の2年半で、以下の実績を積み上げてきています。

販売

- 2022年度(2期目)には、理研様を中心に25台の制御装置を販売
- 2023年度(3期目)には、さらに多くの引き合いをいただいております、40台超の制御装置の販売を予定

研究開発 資金

- ムーンショット型研究開発制度 目標6「スケーラブルな高集積量子誤り訂正システムの開発」に参画。研究機関・大学と連携し、10年後を見据えて、誤り耐性量子コンピュータのための開発を実施中
- 内閣府の「研究開発成果の社会実装への橋渡しプログラム(BRIDGE)」にて、大規模な量子コンピュータ向け制御装置の事業化に向けた検討を実施中

連携

- 大阪大学との知財ライセンス契約を締結
- 大阪大学等との共同研究契約を締結し、研究機関と密に連携して、研究開発を進められる体制を構築

今後のチャレンジ

量子ビット数 の向上

- 現在、世界中の研究機関が、急速な量子ビット数の増加に取り組んでおり、それに対応できる制御装置を開発していく
 - テーマ:小型化、装置間の同期精度向上、低消費電力化
 - 量子コンピュータ制御装置に特化した独自ICなども、大学などとの協力を得て開発していく

他の量子 ビット方式 への対応

- 超伝導量子ビットに限らず、イオントラップ、半導体量子ドットなど、他の量子ビットの方式にも順次、適応していく
 - 現在、最も盛んに研究開発されている超伝導量子ビットを、キュエルでは対象としている
 - キュエル株式会社の制御装置のアーキテクチャは、様々な量子ビットの方式に対応可能

誤り訂正

- 将来の誤り耐性量子コンピュータのための先行開発を行っていく
 - デジタル信号処理を活用した信号補正技術の確立
 - SoC化による高集積化
 - スケーラブルな誤り観測とフィードバック処理方式の実装

量子コンピュータの制御装置の開発に あなたの力を求めています！

中途・新卒採用

量子コンピュータ制御装置の開発を一緒に進める仲間を、積極採用中です。
ご興味をお持ちの方は、まずはカジュアルな面談でお話しさせてください。

詳細はこちら



<https://quell-inc.com/ja/recruit-2/>

マイクロ波回路設計 エンジニア

- マイクロ波回路の回路設計、基板設計、シミュレーション
- 電子基板の試作、計測、評価
- マイクロ波関連の電子基板やコンポーネントのベンダーとの協業
- (参考)当社で利用するマイクロ波回路の概要
 - 周波数は、4-22 GHz
 - 時間領域は、数n秒レベルの変調・パルス

ハードウェアエンジニア

- FPGAやマイコンといった組み込み系、デジタル-アナログ変換といった信号処理系の開発

ソフトウェアエンジニア

- 超高性能ハードウェアと連携するホスト側ソフトウェアの開発(Linux・組み込み)
- 量子計算機システムの一部としてユーザが利用しやすいインターフェースの開発(Python)

量子コンピュータの リサーチャ

- 制御装置の上位レイヤとの接続に関する開発
- 超伝導以外の量子ビットへ対応するための開発
- 量子ビット数のスケールアップに対応できるアーキテクチャの開発

プロダクトマネージャー

- 装置の仕様決定、開発の進捗管理、開発上の課題解決

フィールドアプリケーション エンジニア

- 主に研究機関を顧客として、要件定義、装置作製手配、顧客へのデリバリー・サポート

共同研究などの連携

量子コンピュータの制御装置の開発を進めていく上では、様々な技術・知見を集結させる必要があります。高度なマイクロ波技術をお持ちで、量子コンピュータの領域に興味をお持ちの企業・研究機関の方々とは、ぜひ連携の可能性について議論させてください。

連絡先

量子コンピュータの制御装置に関するご相談があれば、キュエル株式会社までご連絡ください。

メール info@quell-inc.com

住所 〒192-0045 東京都八王子市大和田町2-9-2

ウェブサイト <https://quell-inc.com/>

担当 伊藤陽介(キュエル株式会社 代表取締役)

QuEL, Inc.

導入実績

キュエル株式会社の量子コンピュータ制御装置は、量子コンピュータの研究に取り組む、理化学研究所、産業技術総合研究所などの研究機関や企業にすでに利用されています。

その中でも特筆すべきは、理化学研究所では64量子ビットの超伝導量子コンピュータの制御に、キュエル株式会社の制御装置が利用されていることです。右の記事は、2023年3月に、理化学研究所から、日本で初めて、量子コンピュータがクラウドサービスで公開されたことを紹介したのですが、ここにキュエル株式会社の制御装置も載っています。

多くの企業・研究機関では、制御装置はブラックボックス化されており、あまり情報が開示されていません。現時点で、50量子ビット以上の超伝導量子ビット系の制御の実績があるのは、IBM(米国)、Google(米国)、Rigetti Computing(米国)、中国科学技術院(中国)、理化学研究所(日本)のみです。制御装置については、理化学研究所以外には内製しているため、理化学研究所が利用しているキュエル株式会社のものが、50量子ビット以上の大規模な制御の実績があるものの中で、世界で唯一、市販されているものになります。

キュエル株式会社では、その実績をアピールして、海外を含めた、より多くの研究機関・企業に制御装置を利用してもらえようように事業展開をしていく予定です。

2023年3月27日日経新聞夕刊1面



共同研究先

キュエル株式会社は、量子ソフトウェア研究拠点を通じて、大阪大学を始めとする大学や企業との共同研究をしています。

量子ソフトウェア研究拠点は、「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」をビジョンに掲げ、7つの研究開発課題を定め、大阪大学が中心となって、多くの企業・研究機関を巻き込んだ研究開発を行っています。

マイクロウェーブ展2023では、L-02ブースに大阪大学の量子ソフトウェア研究拠点の展示もごさいますので、ご興味がある方はそちらもご覧ください。

