

シンポジウム(口頭講演) | シンポジウム：量子技術の最前線と社会実装の潮流

■ 2023年9月21日(木) 9:00 ~ 11:35 | 会場 A301 (熊本城ホール)

■ [21a-A301-1~5] 量子技術の最前線と社会実装の潮流

岩本 敏(東大)、大岩 顕(阪大)

9:00 ~ 9:40

[21a-A301-1] 量子技術の社会実装に向けた政府戦略およびQ-STARの取り組み

○寒川 哲臣¹ (1.NTT 先端総研)

9:40 ~ 10:10

[21a-A301-2] Path to Quantum Advantage

○小野寺 民也¹ (1.IBM)

◆ 英語発表

10:25 ~ 11:05

[21a-A301-3] Quantum Networking: AWS perspective and initiatives

○Mihir Bhaskar¹, Bartholomeus Machielse¹, David Levonian¹, Denis Sukachev¹, Antia Lamas-Linares¹
(1.Amazon Web Services)

11:05 ~ 11:20

[21a-A301-4] トランズモン型量子ビットにおける分散読み出しの誤り解析

○田淵 豊¹、玉手 修平¹ (1.理研)

11:20 ~ 11:35

[21a-A301-5] 電磁界解析とジョセフソン回路シミュレーションを利用した
クロストークを回避するための量子ビット設計に関する検討○才田 大輔¹、廣瀬 真一¹、川野 浩康¹、阿部 徹¹、高馬 悟覚¹、近藤 大雄¹、土肥 義康¹、佐藤 信太郎¹ (1.富士通量子研)

量子技術の社会実装に向けた政府戦略および Q-STAR の取り組み

Government strategy for the social implementation of quantum technology

and activities of Q-STAR

NTT 先端技術総合研究所

NTT Science and Core Technology Laboratory Group, ^oTetsuomi Sogawa

E-mail: tetsuomi.sogawa@ntt.com

令和2年1月に、量子技術の研究開発や周辺環境整備の推進に関する「量子技術イノベーション戦略」が策定され、欧米各国に遅れながらも政府としての量子技術の強化方針を明らかにするとともに、政府投資の拡充と量子技術イノベーション拠点（QIH）の整備等を開始した。また、産業界もこの戦略に呼応して、令和3年9月に「量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）」を設立し、組織的に量子技術の研究開発・産業化を推進するための新たな体制整備を進め、海外の量子関連の団体との連携も含めた積極的な取り組みを行っている。政府は、令和4年4月、これまでの量子技術の研究開発戦略に加えて、量子技術により目指すべき未来社会ビジョンやその実現に向けた戦略として、「量子未来社会ビジョン」を策定した。ここでは、「経済成長 Innovation」、「人と環境の調和 Sustainability」、「心豊かな暮らし Well-being」を価値観として、経済・環境・社会が調和する未来社会像に向けて、産学官が一体となって取り組むべき方策を示している。2030年に目指すべき状況として、（i）国内の量子技術の利用者を1,000万人に、（ii）量子技術による生産額を50兆円規模に、（iii）未来市場を切り拓く量子ユニコーンベンチャー企業を創出、の3つを掲げている。これらの目標を実現するため、量子技術の実用化・産業化に向けて目指すべき方針や取組を示した「量子未来産業創出戦略」が今年4月に策定され、それらの考え方をベースにして、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期課題『先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進』もスタートしている。本講演では、これらの政府戦略と関連した取り組み、ならびにQ-STARの活動状況について報告する。

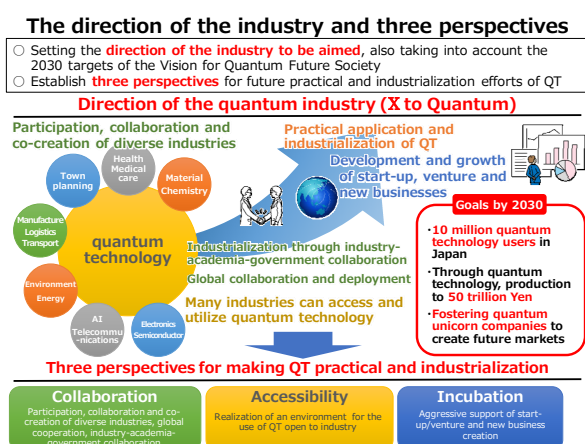


FIG.1: Summary of “Strategy of Quantum Future Industry Development”
https://www8.cao.go.jp/cstp/english/strategy_r08.pdf

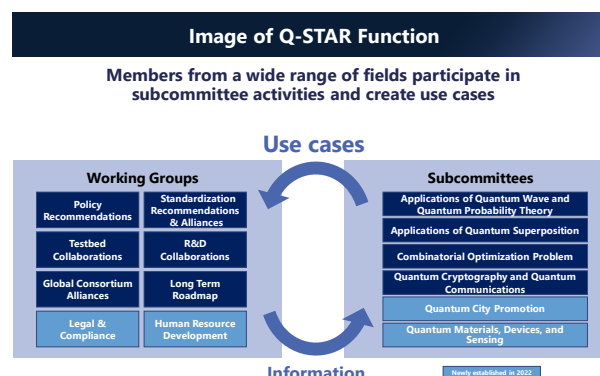


FIG.2: Activities of Q-STAR, i.e., working groups and subcommittees

シンポジウム(口頭講演) | シンポジウム：量子技術の最前線と社会実装の潮流

2023年9月21日(木) 9:00 ~ 11:35 | A301 (熊本城ホール)

[21a-A301-1~5] 量子技術の最前線と社会実装の潮流

岩本 敏(東大)、大岩 顕(阪大)

9:40 ~ 10:10

[21a-A301-2] Path to Quantum Advantage

○小野寺 民也¹ (1.IBM)

キーワード：量子コンピュータ

量子コンピュータは現在のコンピュータとは異なる次元の性能を有することが理論的に示されており、主要国は国家戦略としてこれに投資し、巨大IT企業を中心に開発競争も熾烈を極めていいる。本講演では、IBMの取り組みについて、ハードウェア、ソフトウェア、アプリケーションの3つの観点から紹介し、ハードウェアの着実な性能向上と、エラー逓減等の理論とソフトウェアの進化により、誤り耐性量子コンピュータの実現を待たずに、量子アドバンテージが達成される可能性があることを論じる。

シンポジウム(口頭講演) | シンポジウム：量子技術の最前線と社会実装の潮流

2023年9月21日(木) 9:00 ~ 11:35 | A301 (熊本城ホール)

[21a-A301-1~5] 量子技術の最前線と社会実装の潮流

岩本 敏(東大)、大岩 顕(阪大)

◆ 英語発表

10:25 ~ 11:05

[21a-A301-3] Quantum Networking: AWS perspective and initiatives

○Mihir Bhaskar¹, Bartholomeus Machielse¹, David Levonian¹, Denis Sukachev¹, Antia Lamas-Linares¹
(1.Amazon Web Services)

キーワード：quantum、optics、networking

Quantum technologies have the potential to transform the way we process and communicate information. While quantum computing continues to be a major area of investment and progress for academic and industry researchers alike, it is only one component of a broader class of quantum technologies. To unlock the full potential of quantum devices, they need to be connected together into a *quantum network*, similar to the way today's devices are connected via the internet. In this talk, I will give an overview of AWS's perspectives and initiatives in quantum networking. I will also discuss our research progress towards realization of fully-integrated quantum repeater systems that will be required to implement quantum networks at scale.

トランズモン型量子ビットにおける分散読み出しの誤り解析

Error analysis of the dispersive readout on superconducting transmon qubits

理研 RQC, ○ 田淵 豊, 玉手 修平

RIKEN RQC, ○ Yutaka Tabuchi, Shuhei Tamate

E-mail: yutaka.tabuchi@riken.jp

誤り訂正符号の実装を見据えた 超伝導量子コンピュータの研究開発が進んでいる. Noisy Intermediate-Scale Quantum 計算と異なり, 量子誤り訂正符号の実装には多様な誤り Mitigation 法 [1] を使うことが許されず, 誤り率を物理的に小さくする必要がある. 測定を用いて誤りを検出し訂正を行いながら計算を進めることから, 量子誤り訂正符号の実装にはゲート精度同様に測定精度が要求される. 本講演では測定誤りの原因を解析することによって最適な素子パラメータの条件と, 素子や環境への雑音要求を明らかにする.

トランズモン型超伝導量子ビットはその寿命の長さや設計性の良さから広く用いられている超伝導量子ビットの一つである. 線形共振器との線形な結合を用いた分散読み出しによる超伝導量子ビットの読み出し誤り率 ε_{ro} は, S/N に由来する量子状態の判定誤り率 ε_o , 測定中の量子ビットの緩和による誤り率 ε_{T1} , 測定後の量子ビット状態の変化 (バックアクション) ε_b の線形和とモデル化される. これまで ε_o , ε_{T1} は動作を記述する良いモデルが考えられていたものの, バックアクションの影響と回路のパラメータを関係モデルが欠如していたことより回路の全体最適化が行われていなかった. 我々は数値計算を用いてバックアクション誤り率 ε_b の誤りモデルを構成し, バックアクションが測定性能のトレードオフ関係を与えることが分かった (図 1 青色部). 誤り率が最小となるように $\varepsilon_o = \varepsilon_{T1} = \varepsilon_b$ として図中の中間変数を拘束し, 独立パラメータ

として回路定数 (二重丸) を最適化することにより, 読み出し誤り率が外部雑音パラメータ (5 角形) の関数として記述される. 本講演では要求精度に対する外部雑音要求と最適な回路定数について議論する.

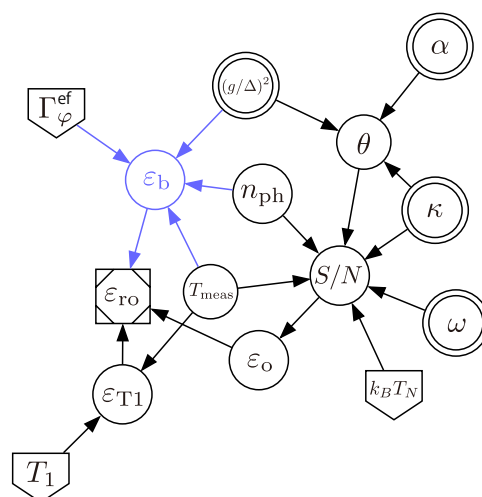


図 1 トランズモン型量子ビットの読み出し誤りを決定するパラメータの相関グラフ. ここで ε_{ro} は読み出しの誤り率, ε_o は信号雑音比 (S/N) による判別誤り率, ε_b はバックアクションによる誤り率, ε_{T1} は測定中の緩和による誤り率, Γ_φ^{ef} は第一・第二励起状態間の位相緩和率, T_1 は量子ビットの縦緩和率, $k_B T_N$ は読み出しにかかる等価雑音密度, α はトランズモン量子ビットの非調和性, κ は読み出し共振器の外部結合率, ω は読み出し共振器の共振角周波数, θ は読み出し信号の変調位相差, n_{ph} は読み出し中の読み出し共振器の平均光子数, T_{meas} は読み出し時間.

参考文献

- [1] T. Kim, *et al.*, *Nature* 618, 500 – 505 (2023).

電磁界解析とジョセフソン回路シミュレーションを利用したクロストークを回避するための量子ビット設計に関する検討

Design of superconducting qubit utilizing both electro-magnetic field analysis and Josephson circuit simulation toward crosstalk elimination

富士通(株)量子研¹ ○才田 大輔¹, 廣瀬 真一¹, 川野 浩康¹, 阿部 徹¹,

高馬 悟覚¹, 近藤 大雄¹, 土肥 義康¹, 佐藤 信太郎¹

FUJITSU¹, °Daisuke Saida¹, Shinichi Hirose¹, Hiroyasu Kawano¹, Toru Abe¹,

Norinao Kouma¹, Daiyu Kondo¹, Yoshiyasu Doi¹ and Shintaro Sato¹

E-mail: saida.daisuke@fujitsu.com

ゲート型超伝導量子回路では、回路規模の拡張性を有し、電荷揺らぎの影響を受けにくい構造として、Transmon 型量子ビット(Qubit)が広く用いられている[1]。量子ビットの状態は、容量結合された共振器(Resonator)を介して読み出される。我々は、回路の拡張性を容易にすることを念頭に、量子ビットと共振器が接続された構造を4つ組み合わせて単位格子を構成している。単位格子を2次元平面上に並べ、量子ビット間を容量結合することで回路を拡張する。例えば、64量子ビットを実装する超伝導量子回路では、16個の単位格子が2次元平面上に配置される。この時、量子ビット間は容量を介して接続されているため、隣り合う量子ビットの間だけでなく、遠方にある量子ビットの影響も受け得る(クロストーク)。クロストークは、量子ビットの状態操作における正確さ(fidelity)に影響するため、原因を同定し、対策を検討できるようにすることが重要である。クロストークの原因を同定するための施策として、従来の電磁界解析(COMSOL[2])を行うと共に、我々はジョセフソン回路シミュレータ(JSIM[3])を併用する方法を検討した。JSIMでは、ジョセフソン接合を非線形インダクタンスとして取り扱う。ゼロ点振動状態が維持されるような電流信号を与えた時に、基底状態にある量子ビットと共振器にそれぞれ流れる内部電流を計算した。

図1(a)は量子ビットと共振器のレイアウト構造の一例である。各共鳴周波数が4.8 GHzと7.2 GHzとなるように、形状や構成を調整した[4]。図1(b)はCOMSOLで計算した固有周波数のモード解析結果である。量子ビットと共振器の共鳴周波数に対応するモードが確認できる。図1(c)は、JSIMの計算で得られた共振器の内部電流をフーリエ解析したものである。2つのピークは4.8 GHzと7.2 GHzに一致した。この例は1量子ビットの系であるが、量子ビット間を容量結合させたモデルに対して同様の方法を適用することで、クロストークの存在に対して、電磁界計算による固有周波数のモード解析以外に内部電流という視点でも考察できるようになり得ると考えている。今回設計したレイアウト構造に対して、素子試作と10 mKでの特性評価を行う予定である。

参考文献 [1] J. Koch et al., *Phys. Rev. A* **76** (2007) 042319., [2] <https://kesco.co.jp/comsol/>, [3] E. Fang and T. Duzer, *Proc. Ext. Abstr. 2nd Int. Supercond. Electron. Conf.*, (1989) 407. [4] J. Hertberg et al., *npj | Quant. Inf.*, **7** (2021) 129.

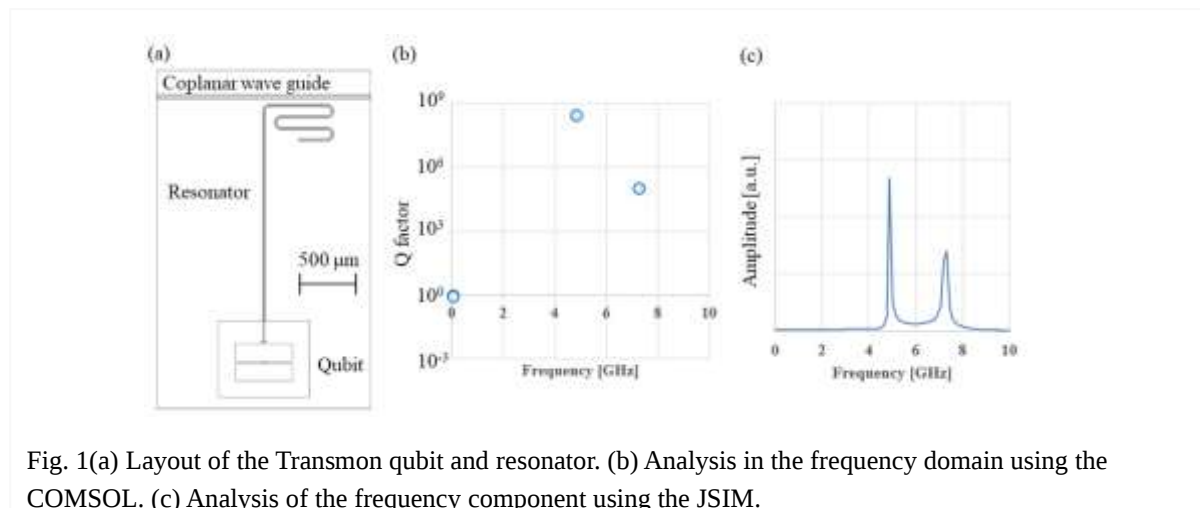


Fig. 1(a) Layout of the Transmon qubit and resonator. (b) Analysis in the frequency domain using the COMSOL. (c) Analysis of the frequency component using the JSIM.