

量子技術の実用化推進WG 準備会合

量子技術の研究開発の動向

2022年10月21日

JST 研究開発戦略センター

システム情報科学技術ユニット

嶋田 義皓



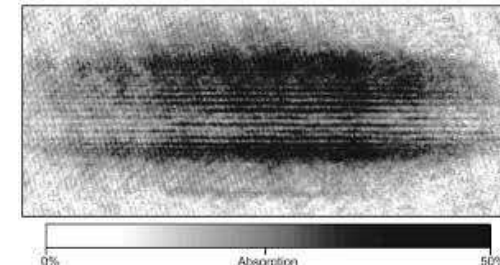
量子力学の歴史とノーベル賞

回折・干渉 1932, 33, 37, 54, 97, 2001

電子線回折 (デイヴィソン, ジャマー, 1927)

2重スリット実験 (外村, 1989)

冷却原子団の多粒子系干渉 (ケタレ, 1997)



不確定性原理 1932, 33

ガンマ線顕微鏡の思考実験 (ハイゼンベルク, 1927)

小澤の不等式 (小澤, 2003)

中性子スピン測定実験 (長谷川, 2012)



トンネル効果 1973, 86

トンネルダイオード (江崎, 1957)

走査型トンネル顕微鏡 (ビーニツヒ, ローラー, 1982)



量子もつれ 2022

EPRパラドックス (アインシュタイン, ポドルスキー, ローゼン, 1935)

実験によるベル不等式の破れの検証 (アスペ, 1982)

量子テレポーテーション実験 (ツァイリンガー, 1997)

第2次量子革命

次なる“半導体級”イノベーションへの期待

2nd 量子革命

量子力学による
情報の制御

1st 量子革命

量子力学による
物質・エネルギー
の制御

トンネル効果

エネルギー準位

不確定性原理

バンド構造

量子もつれ

EPR相関

量子干渉

半導体技術

光通信

量子ICT社会

量子テレポーテーション
ホログラフィー原理

複製不可能定理

ベル不等式

マクロ量子現象

猫状態

相補性 量子コンピューター

量子暗号・量子通信

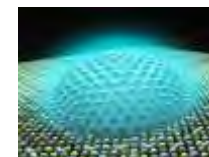
量子センサー

量子マテリアル

トポロジカル物質

量子相制御

ICT



量子技術の現状

短期・長期目標の技術ギャップ

	2030		2050
量子 コンピュータ	NISQ 量子コンピュータ	誤り緩和 量子コンピュータ?	誤り耐性 量子コンピュータ
量子通信	QKD ネットワーク	量子もつれ利用 QKDネットワーク?	量子 インターネット
量子 センシング	古典情報の センシング	NISQとのSoC?	量子情報の センシング

量子未来社会ビジョン (2022)

従来技術システムとの融合 (ハイブリッド)

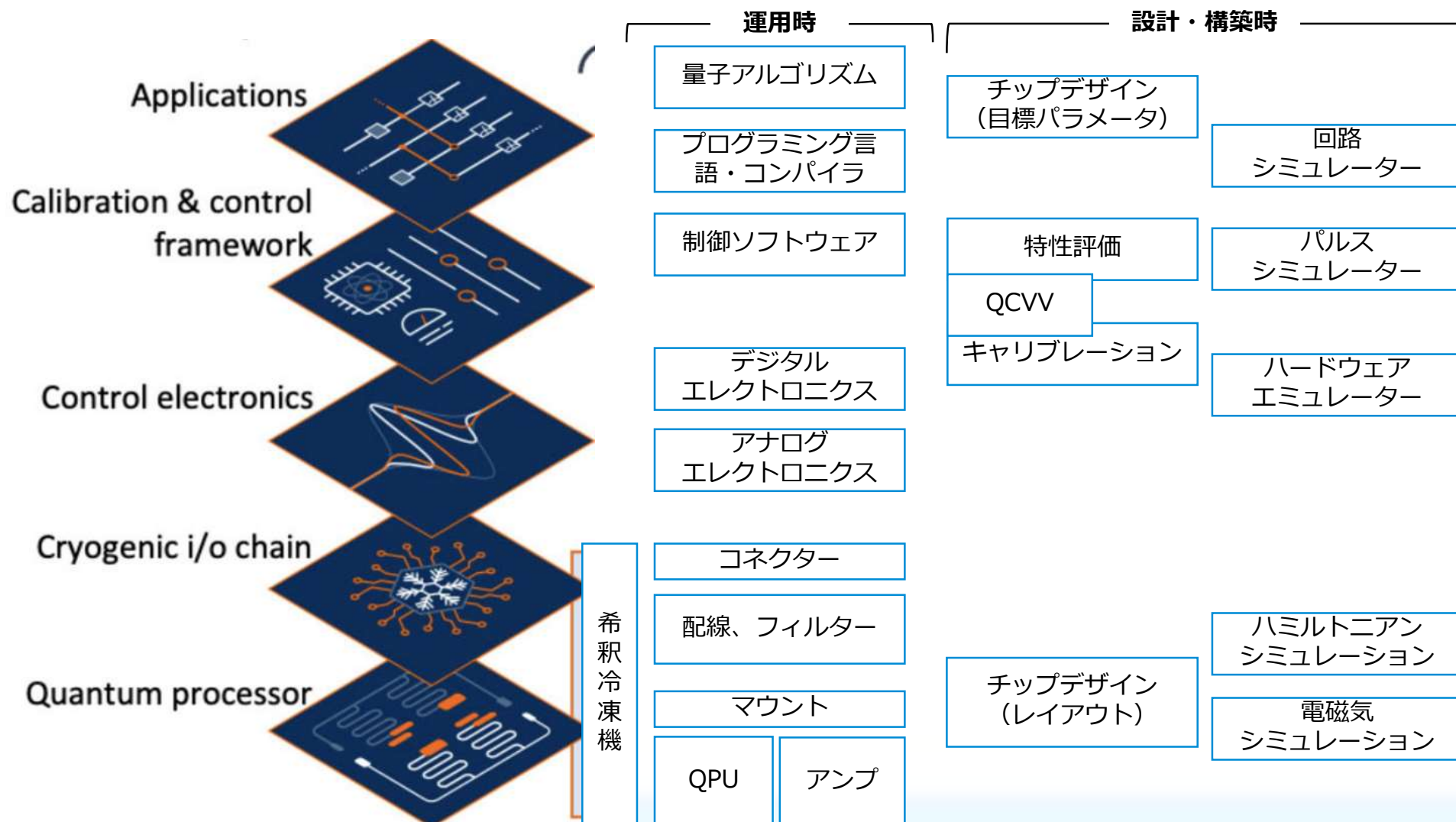
量子は量子のみで成立するのではない。制御・運用・材料・設計など様々な技術が必須



内閣府「量子未来社会ビジョン」(2022/4/22)

量子コンピュータ = 量子状態の精密コントロール

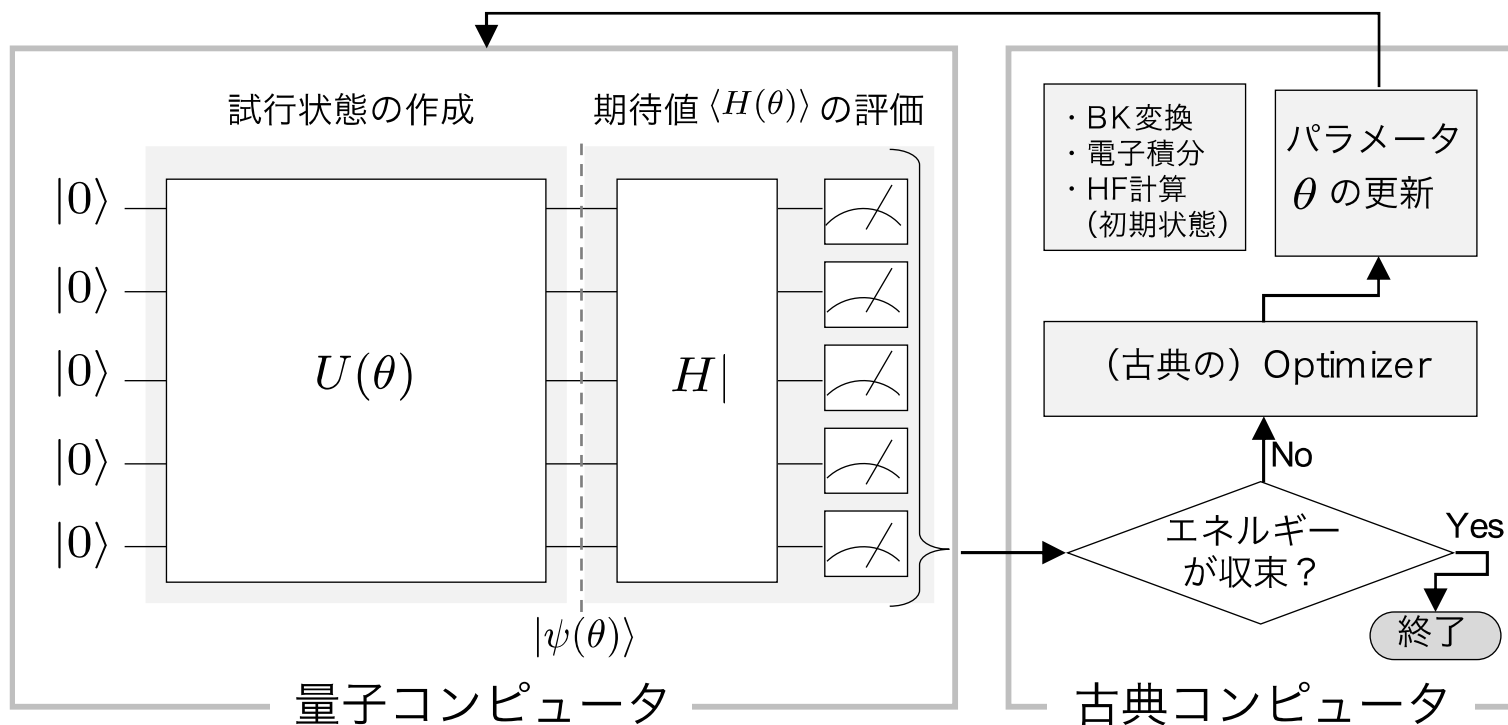
量子を量子たらしめる最先端の“古典”制御技術が必須



変分量子アルゴリズム

量子と古典のハイブリッド計算

パラメータつき量子回路を古典非線形最適化



レビュー論文:

M. Cerezo et al., "Variational Quantum Algorithms", Nature Reviews Physics 3, 625-644 (2021)

キラーアプリ候補

量子化学・量子多体系

問題がそもそも**量子力学で定式化**されているので、量子計算のほうが効率的なはず。

(例)

- 高精度の物性予測、分子・材料設計
- 反応・ダイナミクスのシミュレーション

機械学習・最適化

問題は**量子と無関係**だが、線形代数の構造や高次元の表現能力を上手に利用できそう。

(例)

- 巨大な行列の固有値・特異値
- サンプルング
- 主成分分析、クラスタリング、分類、SVM etc...

量子コンピューターの優位性？

タスク (データ)	モデル	計算	例
量子	量子	古典	量子化学、量子多体系、強相関、スピン系などの 数値シミュレーション
量子	古典	古典	基底状態のNNを用いた表現 二次元イジングモデルのNN基底状態
古典	古典	量子	量子カーネルトリック (QPUで内積計算)
古典	量子	量子	量子コンピュータで二値分類 量子ニューラルネットでMNIST
量子	量子	量子	量子コンピュータ上の量子化学 トポ量子状態の相分類、量子センサデータの分類

Y. Liu et. al. "A rigorous and robust quantum speed-up in supervised machine learning", arXiv:2010.02174.
H.-Y. Huang, et al. "Power of data in quantum machine learning", Nature communications 12, 1-9 (2021).

QKD = 古典の暗号鍵共有を量子で守る

金融取引



データ暗号化方式
OTP:情報理論的安全性あり
AES:情報理論的安全性なし
→短時間で交換



量子技術の実用化促進策（研究開発の視点から）

「つくる」「つかう」の両面での研究開発が必須

技術課題

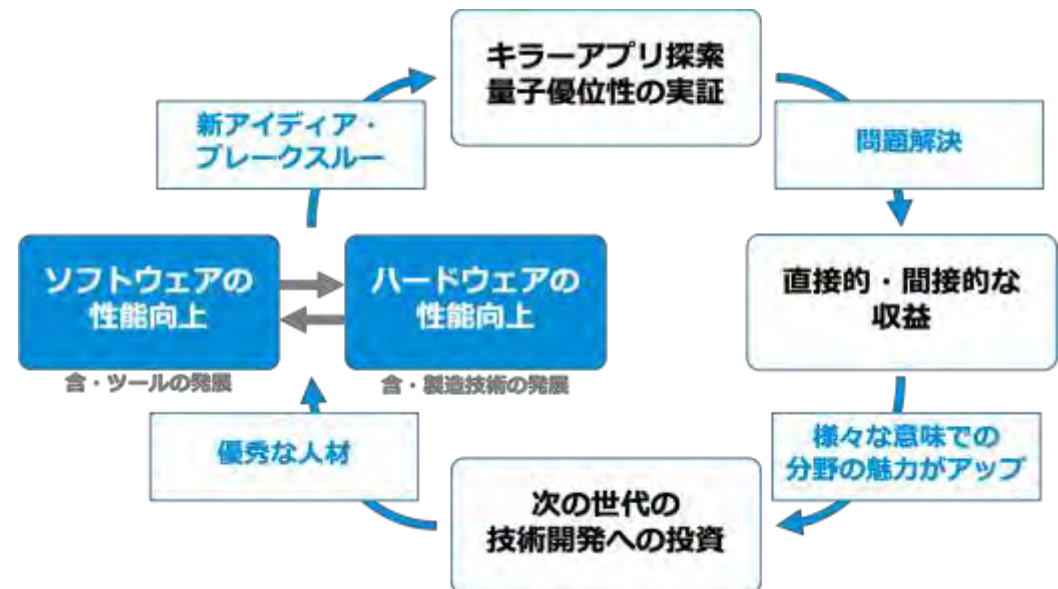
基盤技術、周辺技術、設計・作製技術、エラー率維持集積化、量子誤り訂正の実装、ミドル～ソフトウェア充実、アルゴリズム開発…

推進課題

キラーアプリ探索、PoC、量子技術の優位性、市場開拓、人材、投資…

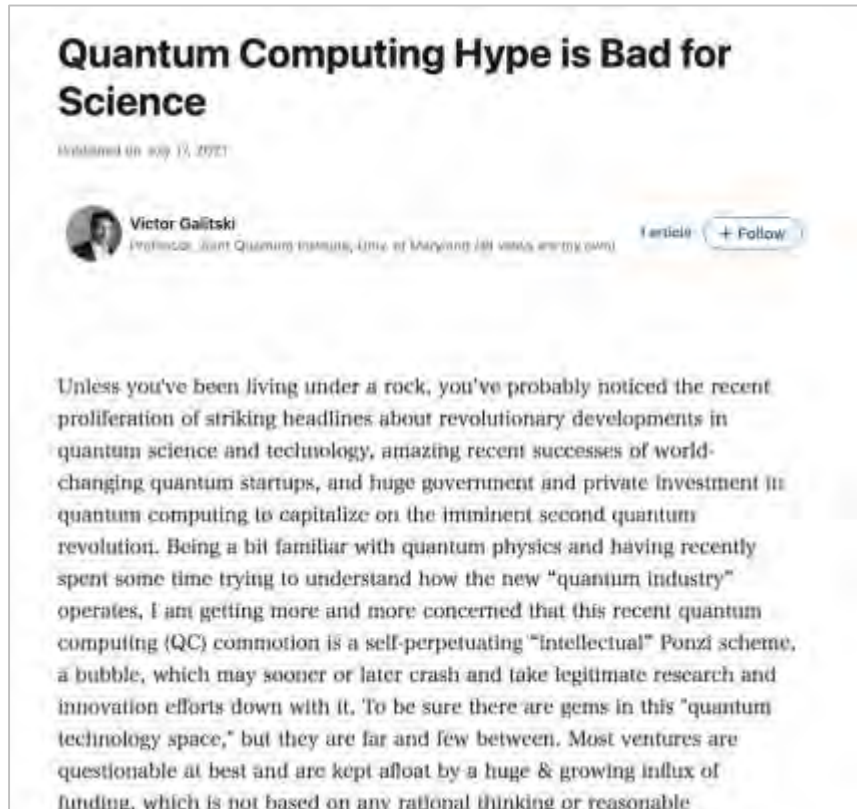
国としての取り組み

- ・ 研究開発投資
- ・ 利用促進策
- ・ 人材育成・訓練
- ・ 企業参画促進策
- ・ スタートアップ支援 など



量子ハイブの光と影

科学研究への悪影響、必要悪？



Quantum Computing Hype is Bad for Science
Published on July 13, 2021

Victor Galitski
Professor, Joint Quantum Institute, Univ. of Maryland (all views are my own)

Article + Follow

Unless you've been living under a rock, you've probably noticed the recent proliferation of striking headlines about revolutionary developments in quantum science and technology, amazing recent successes of world-changing quantum startups, and huge government and private investment in quantum computing to capitalize on the imminent second quantum revolution. Being a bit familiar with quantum physics and having recently spent some time trying to understand how the new "quantum industry" operates, I am getting more and more concerned that this recent quantum computing (QC) commotion is a self-perpetuating "intellectual" Ponzi scheme, a bubble, which may sooner or later crash and take legitimate research and innovation efforts down with it. To be sure there are gems in this "quantum technology space," but they are far and few between. Most ventures are questionable at best and are kept afloat by a huge & growing influx of funding, which is not based on any rational thinking or reasonable

<https://www.linkedin.com/pulse/quantum-computing-hype-bad-science-victor-galitski-1c/>

国家量子戦略は公共財に資するか？



IOPscience Journals Books Publishing Support Login

Quantum Science and Technology

PAPER

Talking about public good for the second quantum revolution: analysing quantum technology narratives in the context of national strategies

1079 Total downloads

Tara Roberson^{1,2}, Josh Leach² and Sujatha Ramani²

Published 5 January 2021 • © 2021 IOP Publishing Ltd

Quantum Science and Technology, Volume 6, Number 2

Citation: Tara Roberson et al 2021 Quantum Sci. Technol. 6 025001

Tara Roberson et al 2021 *Quantum Sci. Technol.* **6** 025001

<https://openresearch-repository.anu.edu.au/handle/1885/202193>

Open Quantum Initiative



gesda

Geneva Science and Diplomacy Anticipation Summit (12-14 October 2022)

GESDA Foundation proposes the creation of an Open Quantum Institute at Geneva within 5 years

(Wednesday 12 October 2022, Geneva) Peter Brabeck-Letmathe, President of the Geneva Science and Diplomacy Anticipation (GESDA), opened the second annual GESDA Summit on Science and Diplomacy Anticipation in Geneva on Wednesday with a proposal to create an Open Quantum Institute (OQI) within the next three to five years. The goal is to accelerate the availability of this emerging technology to project developers around the world, including those interested in using it to achieve the UN

https://gesda.global/wp-content/uploads/2022/10/Press-release-appendices_12Oct.2022_ENG_final.pdf