

量子技術イノベーション戦略の
戦略見直しワーキンググループ（第3回）

資料4

令和3年11月25日（木）17:00-19:00オンライン

量子コンピューターの ソフトウェア開発に関する提言

井元 信之

東京大学 特命教授



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 特任教授

大阪大学 名誉教授



CREST
戦略的創造研究推進事業
Core Research for Evolutionary Science and Technology

量子コンピューター開発・計算応用研究

国プロ

ムンショット
SIP
Q-leap
JST
NEDO
総務省系

国研

理研
産総研
NICT
量研機構

大学

東大
阪大
慶應義塾
東工大
東北大
早稲田

企業

NEC
NTT
東芝
日立
富士通
JSR
SONY
Dic
トヨタ
IBM
みずほ
三井住友
三菱UFJ
MUFG
横河

ベンチャー

QunaSys(Qamuy)
blueqat
Jij

学会・研究会

量子情報技術研究会(QIT)

1998年から続く老舗
ソフトウェア、アプリケーションは少ない

日本物理学会

応用物理学会

電子情報通信学会

量子ソフトウェア研究会

- 量子計算アーキテクチャ
- 量子プログラミング言語
- 量子計算アプリケーション
- 量子ソフトウェア開発環境(シミュレータ、コンパイラ等)
- 量子アルゴリズム
- 分散量子計算
- 量子ネットワークのソフトウェア
- 量子センサーのソフトウェア
- 量子セキュリティ

量子native教育・計算応用コミュニティ・セミナー

Nict Quantum Camp

2020年度初回
公開セミナー
体験型人材育成コース
探索型人材育成コース

Q-leap

(人材育成)

各大学の加キョム

例：東京大学 量子ネイティブ育成センター

QPARK

各種セミナー

マースクール等

協議会的なもの

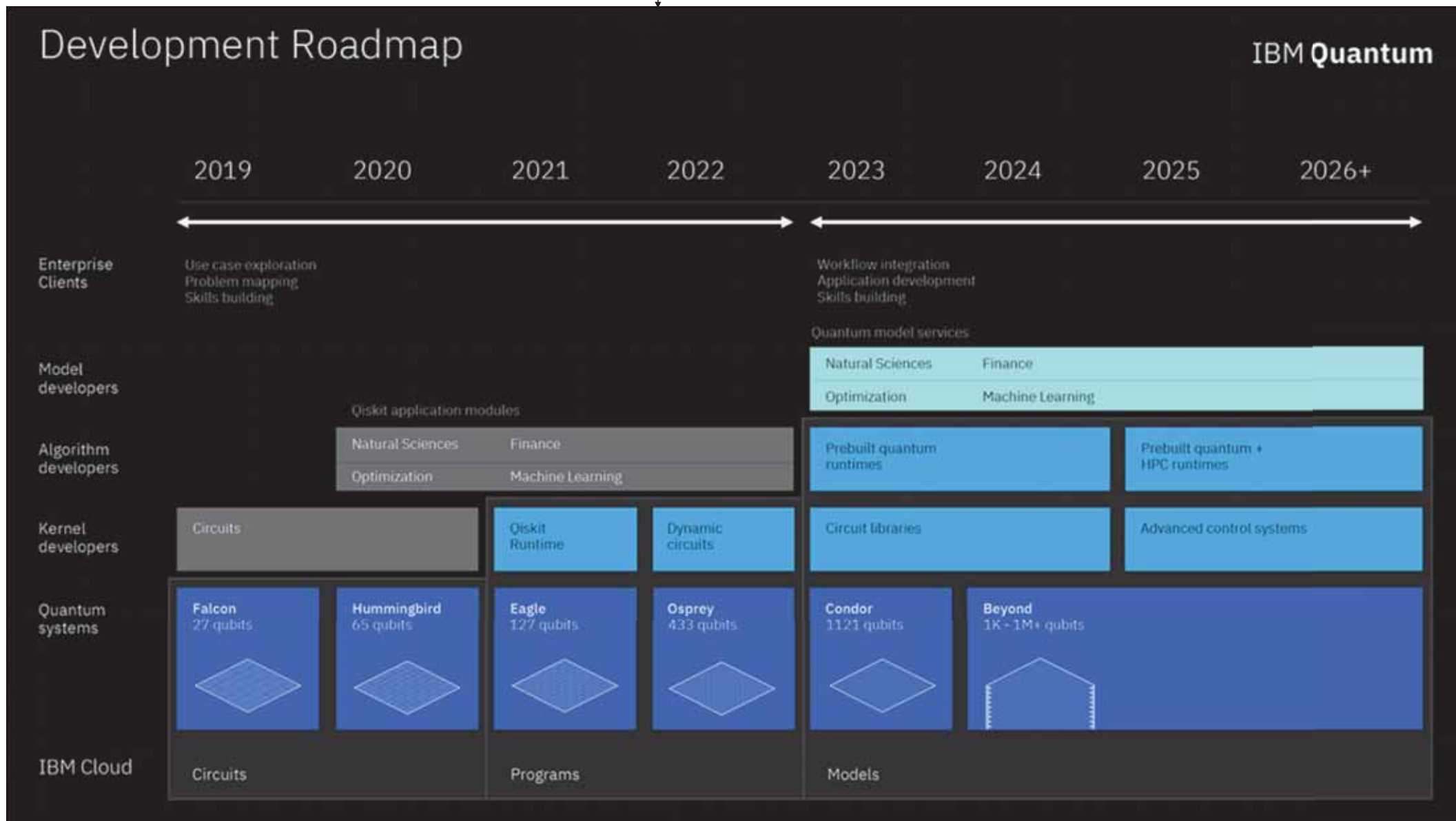
量子技術推進議員連盟

量子ICTフォーラム QII QITF

量子技術による新産業創出協議会

IBMが掲げる開発ロードマップ

現在



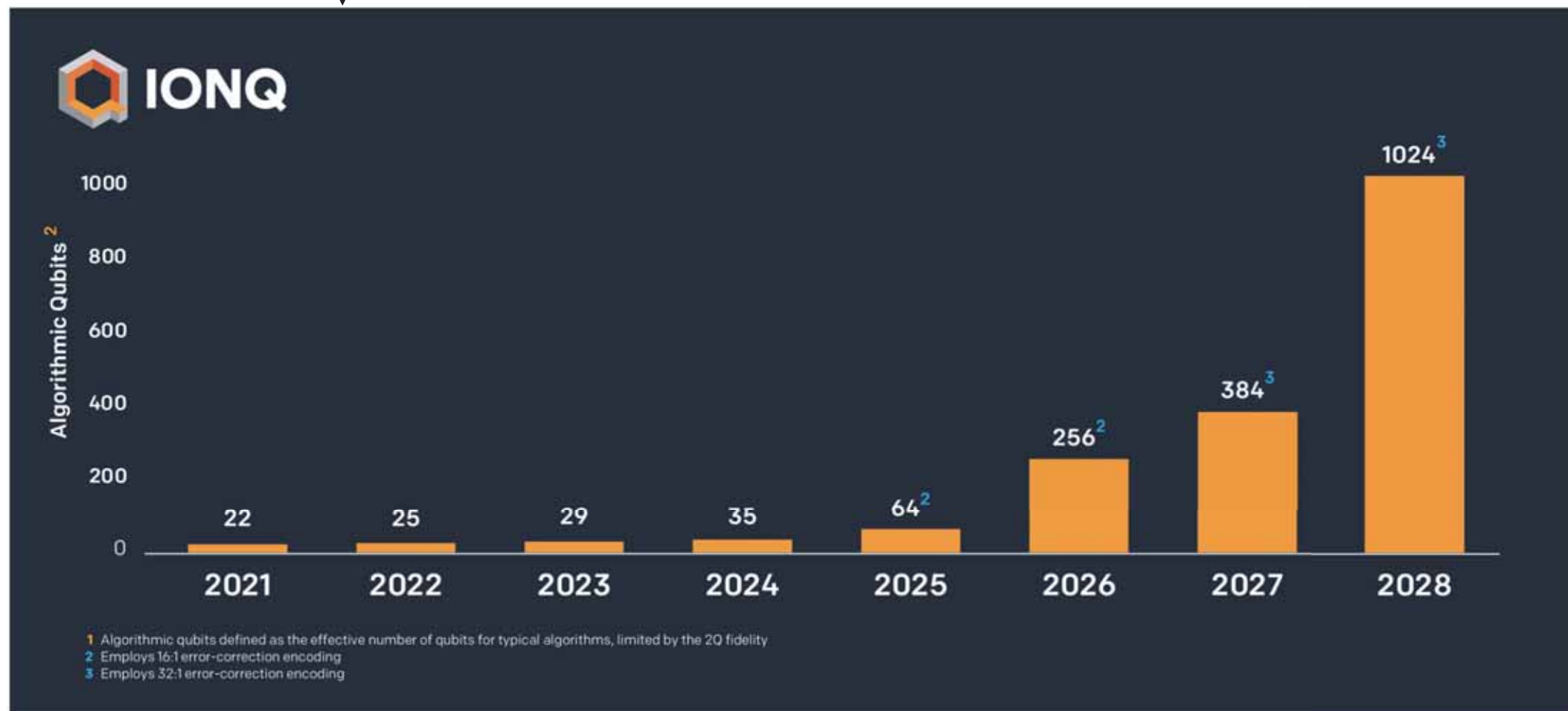
出典 : <<https://newsroom.ibm.com/3-Things-to-Know-About-IBMs-Development-Roadmap-to-Build-an-Open-Quantum-Software-Ecosystem>>

Ion-Qが掲げる開発ロードマップ

December 09, 2020

by Peter Chapman, President and CEO

現在
↓



出典 : <<https://ionq.com/posts/december-09-2020-scaling-quantum-computer-roadmap>>

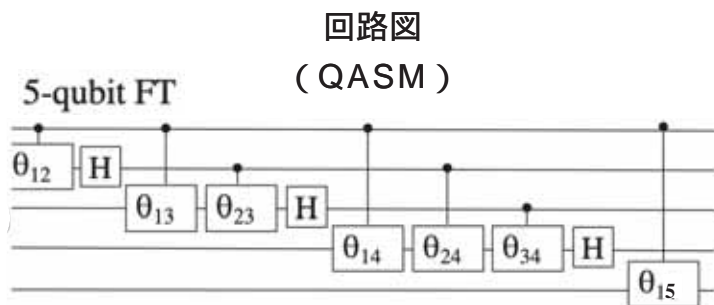
主な量子コンピューターのベンダーとそのハード・ソフト仕様

2021.11.24現在							
企業名	IBM	Google	Riggetti	Ion-Q	Honeywell	Xanadu	D-wave(量子アニーラ)
qubit種類	超伝導(transmon)	超伝導(transmon)	超伝導(transmon)	イオントラップ (Yb)	イオントラップ (Yb)	光パルス	超伝導(transmon)
モデル名	IBM Quantum System One	—	—	—	System Model H1	—	—
フラッグシップ機	Falcon (プロセッサ名)	Sycamore	Aspen-10	—	System Model H1	—	Advantage
qubit数	27	53	31	32	10	12	5600
量子Volume (QV)	64	—	—	約42万	128→512→1024 20.9 > 21.3 > 21.7	—	—
最大搭載qubit数	127	—	31	32	10	12	5600
機種名	Eagle (プロセッサ名)	Sycamore	Aspen-10	—	—	—	Advantage
クラウド開始時期	2016.5	2017.7	—	2021.6	—	—	2012
クラウドプロバイダー	IBM (自社)	Google Cloud(自社)	QCS(自社) AWS Microsoft AZURE	Google Cloud AWS Microsoft AZURE	Honeywell+CQC	自社	・自社 ・AWS ・Fixstars Amplify
プログラム言語 (フレームワーク含む)	(自社) ・Circuit Composer ・Qiskit	Cirq(自社)	Forest(自社)	・量子回路のGUI ・JSON記法 ・Qiskit(今年から)	CQC	Strawberry fields	Ocean

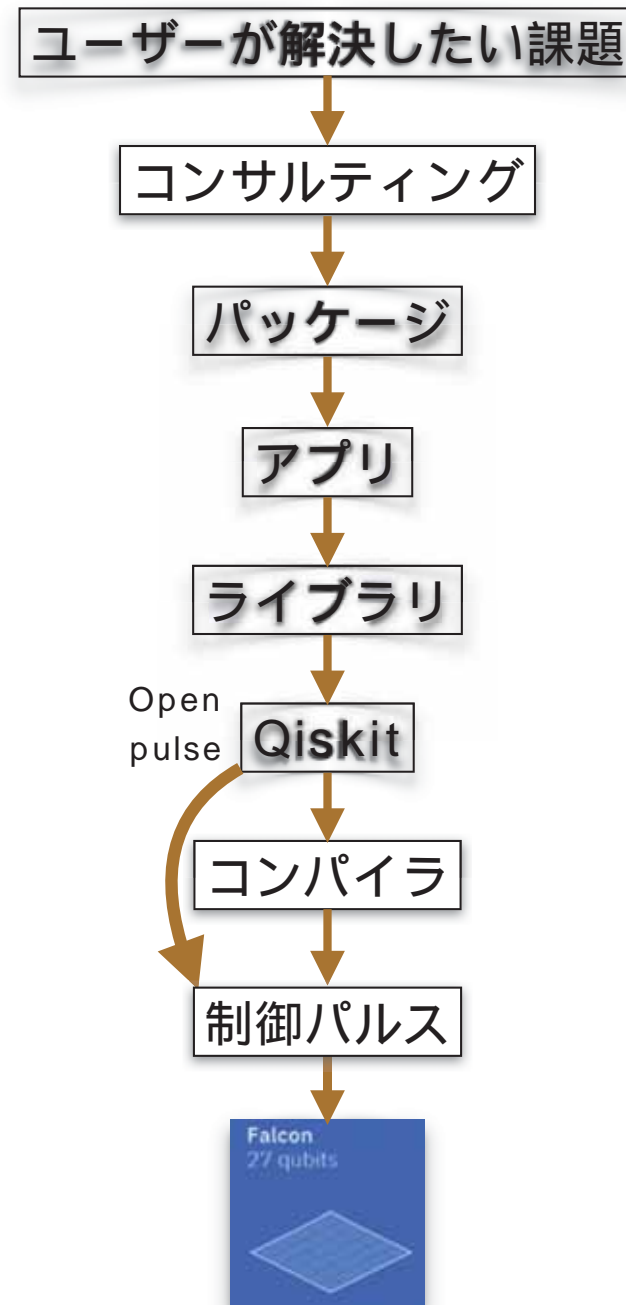
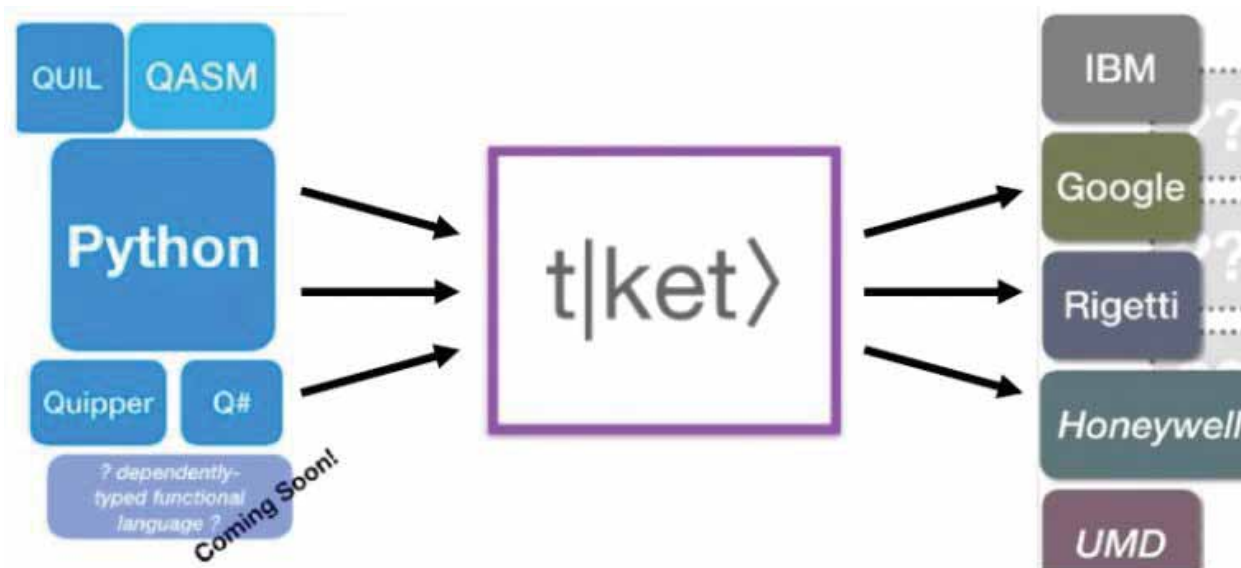
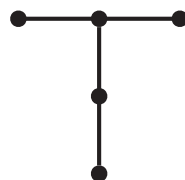
この表で言いたいこと： ハードのベンダーには、下位ソフト（クラウドやプログラム）を自社が提供する企業（特に大手）が多く、他社のものを使うのは比較的小規模企業。

ではもっと下位（コンパイラ）やもっと上位（アプリケーション）はどうか？

IBMはコンパイラより上位のプログラムからハード制御を可能にしている







実際の結線



出典 : <<https://www.hpc.co.jp/tech-blog/2021/04/23/>>世界最速の量子コンピュータ用汎用コンパイラ「tk/>

たとえば、量子ボリュームはハードだけでなく、ソフトも込みの概念
今年3月に出たIBMの「ソフト制御によるQV=64達成」の論文。31名の連名。

Demonstration of quantum volume 64 on a superconducting quantum computing system





Petar Jurcevic¹ , Ali Javadi-Abhari¹, Lev S Bishop¹, Isaac Lauer¹, Daniela F Bogorin¹, Markus Brink¹, Lauren Capelluto¹, Oktay Günlük¹, Toshinari Itoko², Naoki Kanazawa², Abhinav Kandala¹, George A Keefe¹, Kevin Krsulich¹, William Landers¹, Eric P Lewandowski¹, Douglas T McClure¹, Giacomo Nannicini¹, Adinath Narasgond¹, Hasan M Nayfeh¹, Emily Pritchett¹, Mary Beth Rothwell¹, Srikanth Srinivasan¹, Neereja Sundaresan¹, Cindy Wang¹, Ken X Wei¹, Christopher J Wood¹ , Jeng-Bang Yau¹, Eric J Zhang¹ , Oliver E Dial¹, Jerry M Chow¹ and Jay M Gambetta¹  — [Hide full author list](#)

Published 17 March 2021 • © 2021 The Author(s). Published by IOP Publishing Ltd

[Quantum Science and Technology, Volume 6, Number 2](#)

今年3月に出たIBMの「ソフト制御によるQV=64達成」の論文。31名の連名。

Demonstration of quantum volume 64 on a superconducting quantum computing system

Petar Jurcevic¹ , Ali Javadi-Abhari¹, Lev S Bishop¹, Isaac Lauer¹, Daniela F Bogorin¹, Markus Brink¹, Lauren Capelluto¹, Oktay Günlük¹, Toshinari Itoko², Naoki Kanazawa², Abhinav Kandala¹, George A Keefe¹, Kevin Krsulich¹, William Landers¹, Eric P Lewandowski¹, Douglas T McClure¹, Giacomo Nannicini¹, Adinath Narasgond¹, Hasan M Nayfeh¹, Emily Pritchett¹, Mary Beth Rothwell¹, Srikanth Srinivasan¹, Neereja Sundaresan¹, Cindy Wang¹, Ken X Wei¹, Christopher J Wood¹ , Jeng-Bang Yau¹, Eric J Zhang¹ , Oliver E Dial¹, Jerry M Chow¹ and Jay M Gambetta¹  — [Hide full author list](#)

Published 17 March 2021 • © 2021 The Author(s). Published by IOP Publishing Ltd

[Quantum Science and Technology, Volume 6, Number 2](#)

話は変わるが、米中の論文は連名の人数が多い。

2018.1月に出た中国の衛星量子暗号の論文。36名の連名。

PHYSICAL REVIEW LETTERS **120**, 030501 (2018)

Editors' Suggestion

Featured in Physics

Satellite-Relayed Intercontinental Quantum Network

Sheng-Kai Liao,^{1,2} Wen-Qi Cai,^{1,2} Johannes Handsteiner,^{3,4} Bo Liu,^{4,5} Juan Yin,^{1,2} Liang Zhang,^{2,6} Dominik Rauch,^{3,4} Matthias Fink,⁴ Ji-Gang Ren,^{1,2} Wei-Yue Liu,^{1,2} Yang Li,^{1,2} Qi Shen,^{1,2} Yuan Cao,^{1,2} Feng-Zhi Li,^{1,2} Jian-Feng Wang,⁷ Yong-Mei Huang,⁸ Lei Deng,⁹ Tao Xi,¹⁰ Lu Ma,¹¹ Tai Hu,¹² Li Li,^{1,2} Nai-Le Liu,^{1,2} Franz Koidl,¹³ Peiyuan Wang,¹³ Yu-Ao Chen,^{1,2} Xiang-Bin Wang,² Michael Steindorfer,¹³ Georg Kirchner,¹³ Chao-Yang Lu,^{1,2} Rong Shu,^{2,6} Rupert Ursin,^{3,4} Thomas Scheidl,^{3,4} Cheng-Zhi Peng,^{1,2} Jian-Yu Wang,^{2,6} Anton Zeilinger,^{3,4} and Jian-Wei Pan^{1,2}

Googleの量子超越性(2019)も100人規模。

今や量子はソフトもハードも、宇宙や素粒子等のbig science並みの組織的研究でないとなし遂げられない。いつまでも研究室or小数研究室向けの家内工業的競争的研究資金を続けては勝てない。

問題意識

ソフトの研究が少ない。

それ以上に、ソフトとハードのインターフェース（ソフト）にかかわる研究が少ない。

特に、量子コンピュータを作るプロジェクトには不可欠なのに、圧倒的に少ない。

クラウドは米提供サービスに頼り切り。初めはしかたないが、セキュリティは自国で守ることを目指す必要がある。

1ヶ月前のH2A打ち上げはJAXAで当然のごとく成功したが、量子コンピュータ開発も大規模あるべき。しかし競争的研究資金の形態は従来を繰り返している。素粒子や大規模望遠鏡等日本のbig scienceは最先端なので、できるはず。

人材育成における日本の問題点

研究者の待遇が悪い

- ・留学生が来ない
- ・留学したら戻って来ない

ご静聴ありがとうございました