

資料 3



ムーンショット型研究開発制度の 今後の方向性について

2021年11月22日（水） 10:00-12:00

量子技術イノベーション会議

量子技術イノベーション戦略の戦略見直し検討WG

第5回

ムーンショット目標6 構想ディレクター

北川 勝浩

(大阪大学 教授)

目指す社会像(1)

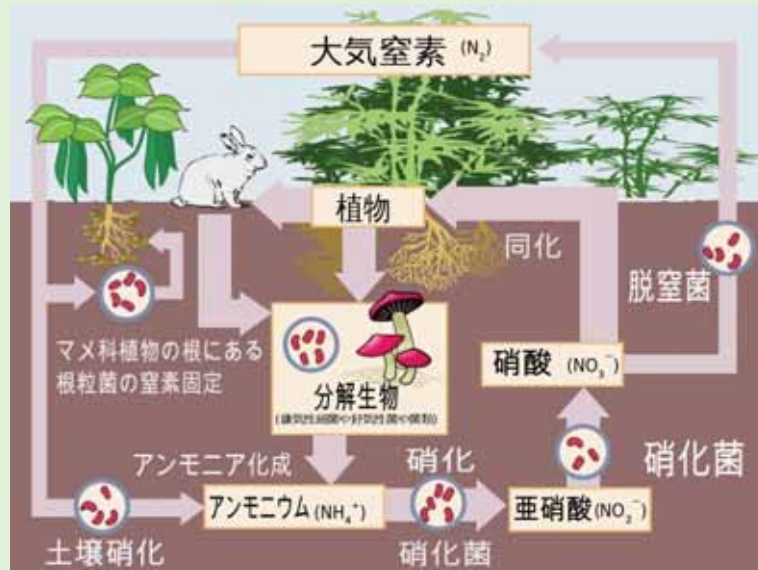


<https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/index.html>

目指す社会像(2)

窒素固定

- 化学肥料：アンモニア合成の工業化
百年前～ハーバー・ボッシュ法
高温400～600℃、高圧200～1000気圧
- 人類の全エネルギー消費の数%占める

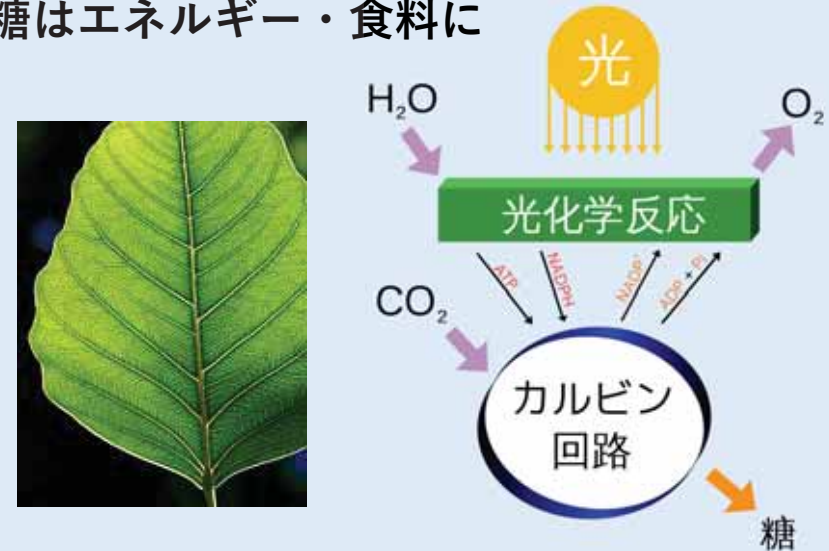


- 菌の生物窒素固定
- 量子コンピュータによる解明に期待
- 人工的に模倣して省エネルギー化

食料・エネルギー・環境問題の解決

- 太陽光をエネルギー源として二酸化炭素と水から酸素と糖を生産
- 二酸化炭素（温室効果ガス）を減らして地球温暖化を緩和
- 糖はエネルギー・食料に

光合成



- 天然光合成の高効率の鍵は量子性
- 量子コンピュータによる解明に期待
- 模倣してありふれた元素で人工光合成

本格的な量子化学計算に必要な量子コンピュータ

例えば、根粒菌のニトロゲナーゼによる窒素固定の量子化学計算に必要な量子コンピュータのリソースを見積もった論文

Elucidating reaction mechanisms on quantum computers

Markus Reiher, Nathan Wiebe, Krysta M. Svore, Dave Wecker, and Matthias Troyer
PNAS July 18, 2017 114 (29) 7555-7560

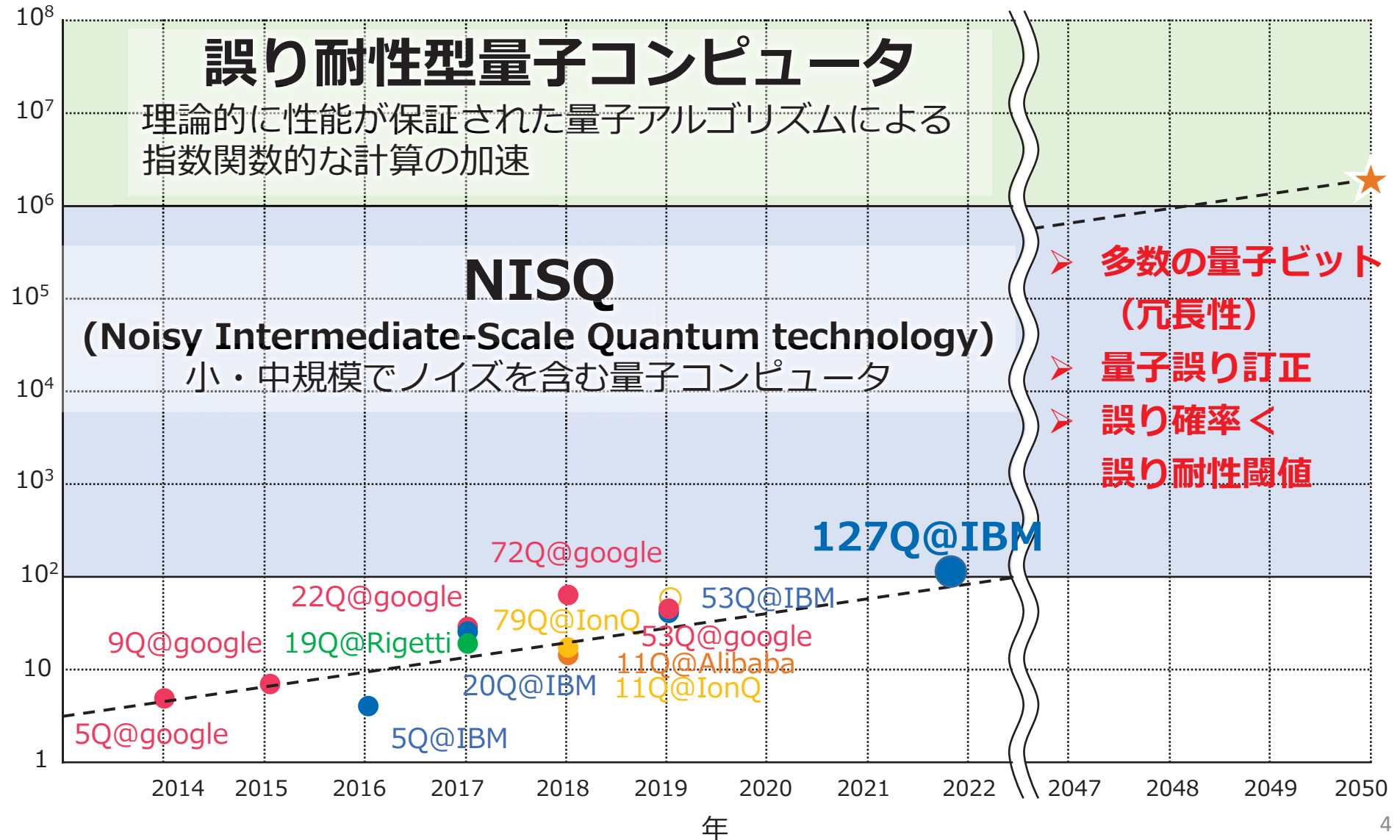
(ETH ZurichとMicrosoft Researchの共同研究)

<https://www.pnas.org/content/114/29/7555>

2000論理量子ビットの誤り耐性型量子コンピュータが必要

シナリオ及び克服すべき課題

量子ビット数



主要国の量子技術政策（量子コンも含む）



	政策動向	内容・予算規模
米	「量子情報科学の国家戦略概要」 発表（2018.9） 「国家量子イニシアティブ法」 成立（2018.12）	～1,400億円（\$1.28B） / （2019- 5年間） 「国家量子イニシアティブプログラム」 DOE：140億円（\$125M）/年 量子情報研究センター（最大数5） NSF：56億円（\$50M）/年 量子研究・教育センター（最大数5） NIST：89億円（\$80M）/年 量子情報研究・計量標準、ワークショップ
	「科学技術イノベーション第13次 5ヶ年計画」	1,200億円 / （2016- 5年間） 「国家重点研究計画」 「量子情報科学国家実験室」（合肥市）第1研究棟完成（2020年）
EU	「Quantum Manifesto」 （2016.5） 「ハイテク戦略2025」（2018）	～1300億円（€1B） / （2018- 10年間） 「Quantum Flagship」24課題が採択 ～840億円（€650M） / （2018- 3年間） 量子コンピューティング、量子コミュニケーション、計測、量子分野の技術移転と産業の参画推進
独	連邦教育研究省（BMBF） 「量子技術」（2018.9） 「未来パッケージ」（2021.1）	～2,600億円（€2B） / （2021- 5年間） 量子通信、量子コンピューティング、量子センサおよび周辺技術（電子機器、光源、光学部品、材料、インターフェースなど）の研究開発
英	工学・物理科学研究評議会 「National Strategy for Quantum Technologies」（2014.12）	第2フェーズ：～600億円（～£400M） / （2015- 5年間） 「UK National Quantum Technologies Programme」 量子イメージング、量子センシング、量子通信、量子コンピューティング&シミュレーションの4つのhubs構築など
仏	高等教育・研究・イノベーション省(MESRI) 「国家量子戦略」公表（2021.1）	～2,300億円（€1.8B） / （2021- 5年間？） 量子戦略の7本の柱（量子コンピュータ、量子センサ、量子暗号通信など）を中心に、産業のバリューチェーン、人材育成・科学研究・技術実験を大幅に強化

海外企業の野心的ロードマップ

2023年 IBM, Google 1000物理量子ビット

<https://research.ibm.com/blog/ibm-quantum-roadmap>

2028年 IonQ 1024論理量子ビット(32:1 error-correcting encoding)
(IonQはAlgorithmic qubitという言葉を使っている)

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

2029年 Google 1000論理量子ビット(100万物理量子ビット) ↑

<https://blog.google/technology/ai/unveiling-our-new-quantum-ai-campus/>

Within the decade, Google aims to build a useful,
error-corrected quantum computer.

Googleは10年以内に誤り訂正された有用な量子コンピューターを
作ることを目指している。

1000論理量子ビット：願望、科学的根拠？いくつかのブレークスルーが必要
Quantum Innovation 2021 <https://quantum-innovation.riken.jp>
でのIonQ, Honeywell, IBM, Google, PsiQuantum
の発表とQ&Aからの感触

海外のコンサルティングファームはどう見ているか

例えば、ボストンコンサルティンググループ

What Happens When 'If' Turns to 'When' in Quantum Computing?

2021-07-21

Jean-François Bobier, Matt Langione, Edward Tao, and Antoine Gourévitch

<https://www.bcg.com/publications/2021/building-quantum-advantage>

進んでいるハードウェアの現状 (上記URLのExhibit 6. 参照)

超伝導、イオントラップ、光量子、量子ドット、冷却原子の現状比較
どの技術が勝ち残るかは決着がついていない。

量子ビットの品質、接続性、ビット数の競争が続いている。

量子コンピュータの3つの開発ステージによる価値の推移 (Exhibit 8. 参照)

2030年まではNISQ

2030年以降は誤り訂正による量子優位性

2040年以降は誤り耐性

創造される経済的価値はステージを上がるとともに飛躍的に増大

世界の量子コンピュータ開発状況



- ✓ 国益と情報セキュリティを念頭にした政府系資金の研究開発
- ✓ 先行者利益確保を狙う民間投資による開発競争
- ✓ 有望な4方式で量子ゲートが実現、半導体・中性原子以外は量子回路まで実現
- ✓ ただし誤り耐性なし

ハード方式	超伝導	イオントラップ	光量子	半導体	中性原子
特徴	回路構成 マイクロ波帯域	単一原子 理想的な光制御	ノイズ耐性 常温動作	回路構成 高集積性	高集積性 接続性
海外の状況					
波及効果、 スピ アウト	超高感度磁気センサ、 光子検出器	超高精度時計、 ジャイロセンサ	量子ネットワーク、 量子セキュリティ	量子ドットアレイ センサー	量子メモリ、量子シ ミュレータ
日本の強み	世界初の実現 (1999年;蔡,中村)	光結合技術 光格子時計など周辺	光量子計算創始者 (1998年;古澤)	量子ドット制御、 集積回路技術	量子シミュレータ、 光格子時計

NISQの範囲でさえ

- 世界的にWinning方式が決まっていない
- 世界が、どの方式でも、しのぎを削っている

現状の課題

- **ムーンショット目標 6 (2020.2)**
 - 2050年までに誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現
 - 2030年までに量子誤り訂正の有効性（量子優位性）実証
- **海外企業の野心的目標 (2020.12-2021.5)**
 - 2028～2029年に1000論理量子ビットを目指す
- **誤り耐性型量子コンピュータへの社会的ニーズ**
 - 地球温暖化対策として脱炭素化のニーズが顕在化
 - 2040年～量子誤り耐性への期待
- **世界的競争の中で量子誤り訂正による量子優位性と誤り耐性をいち早く達成する加速が必要**
 - 量子ハードウェアの強化（半導体系、原子系）
 - 大規模誤り訂正システムの同時並行的開発
 - 大規模分散量子コンピュータに必要な大規模量子通信ネットワーク（量子インターネット）技術の開発

シナリオ及び克服すべき課題



量子技術全体を底上げしつつ、目標に向かってオールジャパン体制で研究開発

2050 大規模化を達成し、誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現

2040 分散処理型NISQ量子コンピュータの実証 量子誤り訂正下での有用タスク計算

2030 一定規模のNISQ量子コンピュータの開発と量子誤り訂正の有効性実証

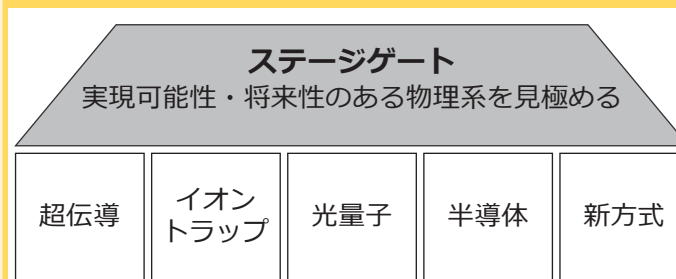
<通信ネットワーク>

量子メモリの開発、光子と量子メモリ間の量子インターフェイス技術の確立や量子中継器・量子通信システム・テストベッド構築など

- 光源や検出器
- 量子メモリ
- 量子インターフェイス技術
- 量子中継器
- 量子通信システム
- テストベッド構築

<ハードウェア>

量子誤り訂正システムの設計・実装、量子ビット・量子ゲート基盤の確立など



<誤り耐性>

- 理論・ソフトウェア
- 誤り訂正システム

低オーバーヘッド量子誤り訂正符号や量子アルゴリズム、誤り訂正システムの開発など

- 量子誤り訂正理論
- ミドルウェア、コンパイラ
- アルゴリズム、アプリケーション
- 誤り訂正システム