

資料1
科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会
量子科学技術委員会（第34回）
令和7年2月14日

量子技術に関する最新の研究開発動向の紹介

2025年2月14日

JST研究開発戦略センター（CRDS）
ナノテクノロジー・材料ユニット

鈴木伸郎



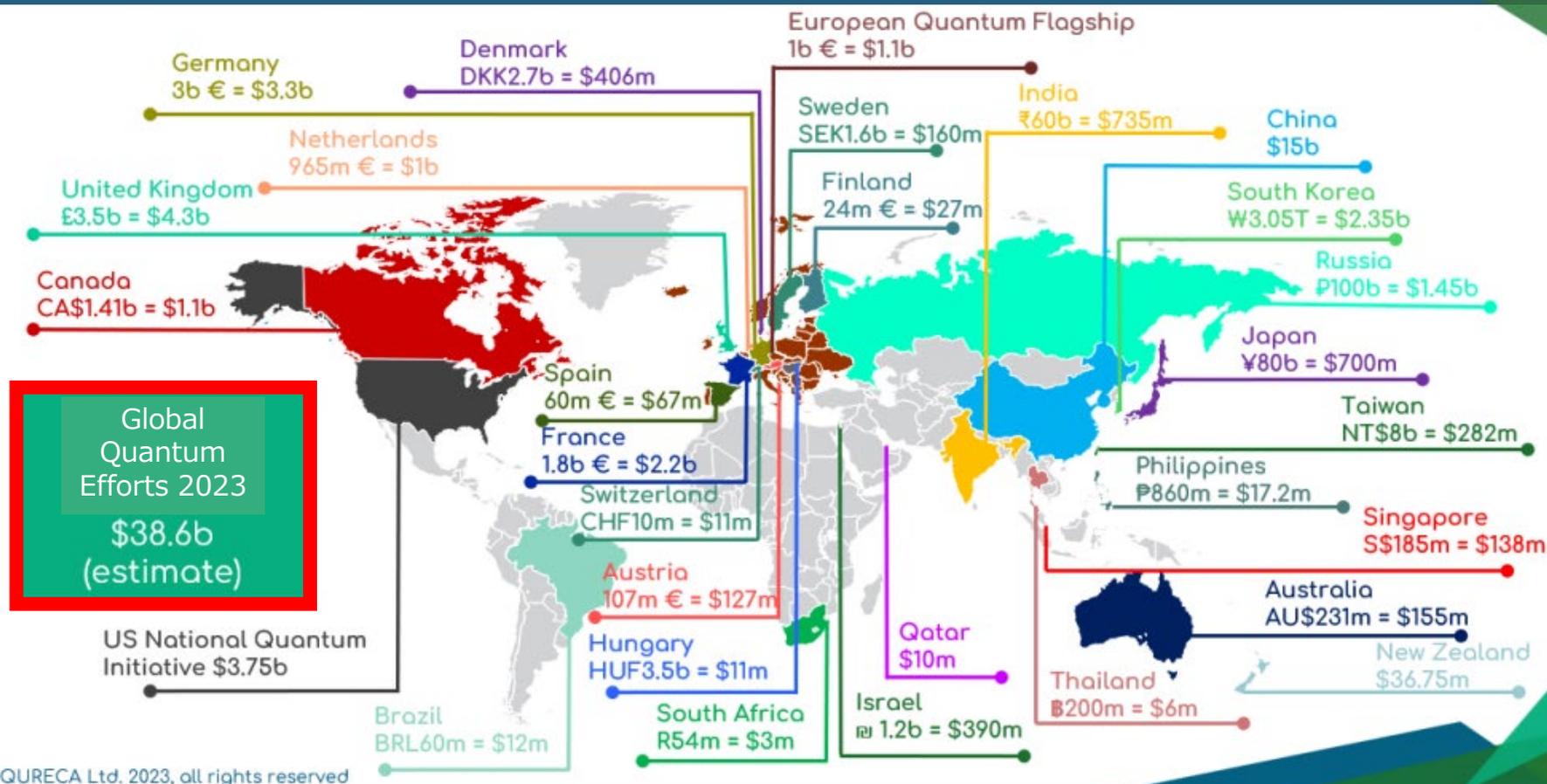
本日の内容

1. 各国政策等の動向
2. 研究開発・技術の現状
 - 量子情報処理
 - 量子計測・センシング
 - 量子マテリアル
 - JST-CRDS科学技術未来戦略ワークショップ「量子マテリアル活用基盤技術の創出」（2024年9月開催）の紹介
3. 論文動向
4. まとめ

1. 各国政策等の動向

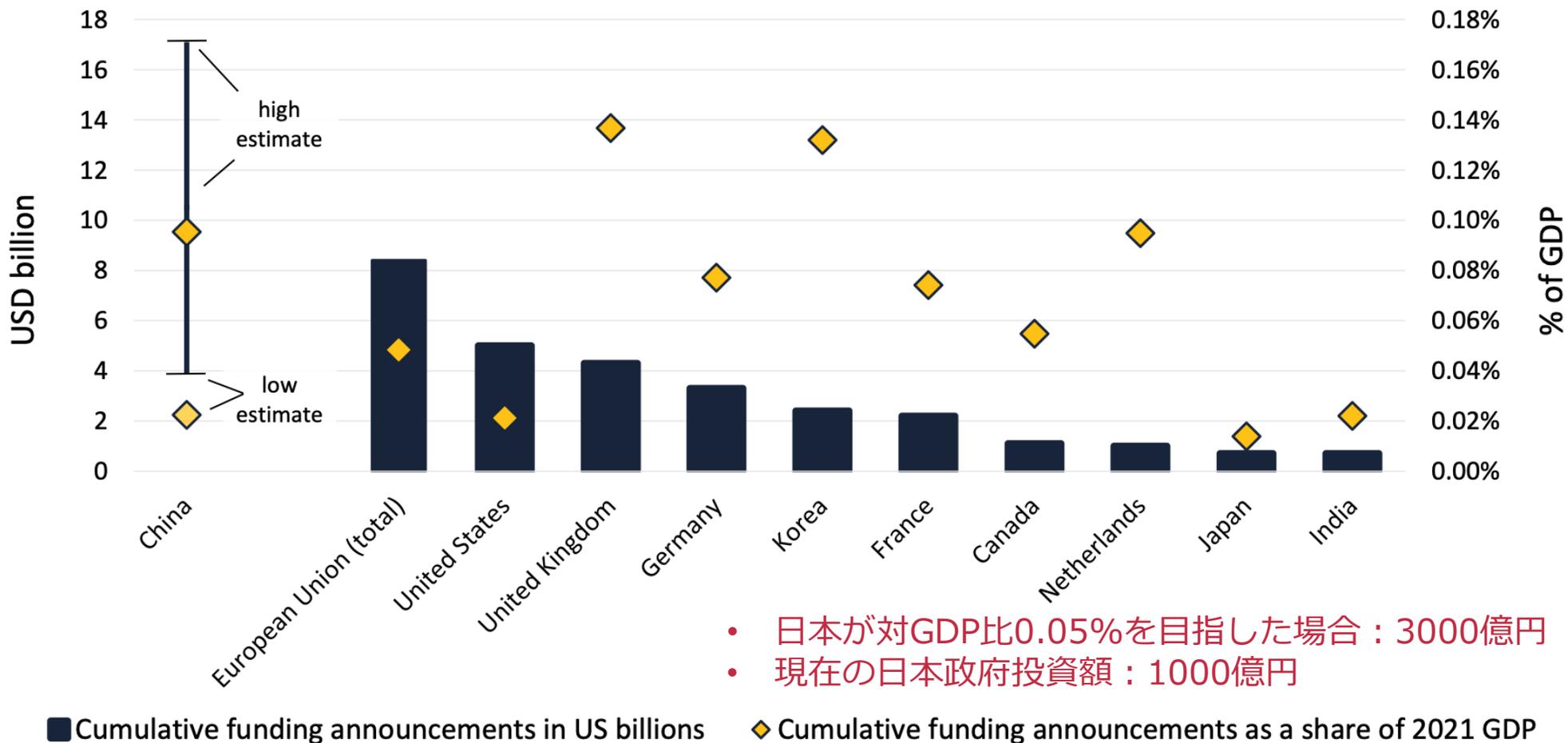
各国政府の量子技術への投資額

Quantum effort worldwide



<https://qureca.com/overview-of-quantum-initiatives-worldwide-2023/>

各国政府の量子技術への投資額（対GDP比）



OECD (2025), "A quantum technologies policy primer", OECD Digital Economy Papers, No. 371, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/fd1153c3-en>.

国内の主な動き

➤ 2020年1月 「量子技術イノベーション戦略」

主要技術領域として、「量子コンピュータ・量子シミュレーション」、「量子計測・センシング」、「量子通信・暗号」、「量子マテリアル（量子物性・材料）」があげられ、それぞれの技術の特性に応じて、研究開発等の重点化、実用化等の実現に向けた取組を検討・推進するとされた。

➤ 2021年10月 「量子技術イノベーション戦略の戦略見直し検討」

- 急激に変化する社会環境に対する量子技術の役割が増大
- 経済安全保障上でも極めて重要な技術

➤ 2022年4月 「量子未来社会ビジョン」

量子技術を通して、経済成長(Innovation)、人と環境の調和(Sustainability)、心豊かな暮らし(Well-being)を実現

➤ 2023年4月 「量子未来産業創出戦略」

- 量子技術の実用化・産業化に向けた方針と実行計画。
- Collaboration、Accessibility、Incubationの3つの視点での実用化・産業化を行う。

➤ 2024年4月 「量子産業の創出・発展に向けた推進方策」

- 2030年目標に向けて3戦略を強化し補完する推進方策



https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshi_gaiyo_print.pdf



https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/230414_mirai_gaiyo.pdf

米政府の動向

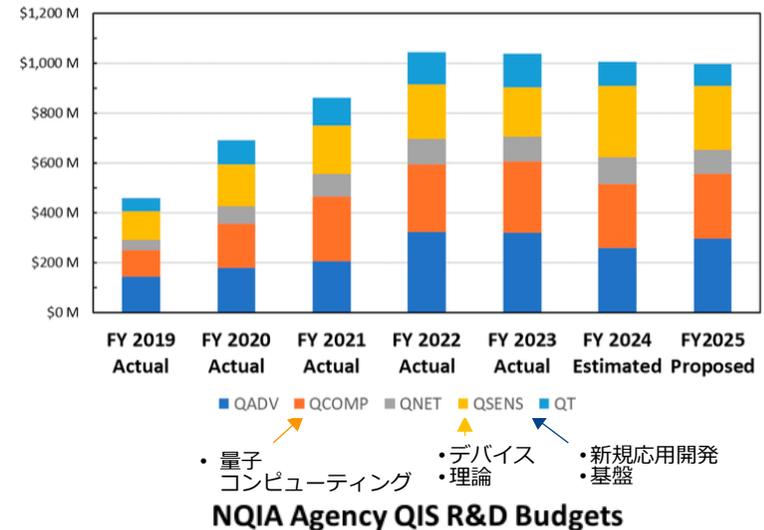
「National Quantum Initiative Acts」の FY2025予算に関する年次報告書 (2024年12月)

- 横断的なQIS政策トピックの進展に加え、国立標準技術研究所 (NIST)、国立科学財団 (NSF)、エネルギー省 (DOE)、国防省 (DOD)、情報コミュニティ (IC)、米国航空宇宙局 (NASA) が資金提供する量子情報科学 (QIS) 研究開発事業の取り組みの概要を報告。
- NQI センターの設立, 量子経済開発コンソーシアムの設立, **QIS 研究開発活動の新設など**, **NQI プログラムへの持続的な投資**を受けている。
- 2024年度のQIS研究開発予算は10億600万ドル (概算)、**2025年度は9億9800万ドル (要求予算)** である。

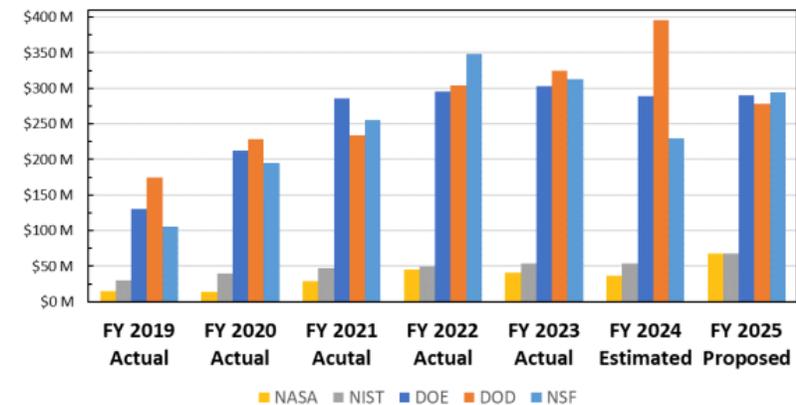
トランプ米大統領、大統領科学技術諮問委員会 (PCAST) 設立を発表 (2025年1月)

*"Today, a new frontier of scientific discovery lies before us, defined by transformative technologies such as artificial intelligence, **quantum computing**, and advanced biotechnology."*

U.S. QIS R&D Breakout By PCA



NQIA Agency QIS R&D Budgets



<https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/12/NQI-Annual-Report-FY2025.pdf>

中国政府の動向

中国国民経済・社会発展第14次五カ年計画（2021～2025年）

- テクノロジーフロンティア分野における研究
 - 新世代人工知能（AI）、**量子情報**、集積回路、脳科学と脳様研究、遺伝子とバイオテクノロジー、臨床医学と健康、深宇宙・深地層・深海と極地探査等に注目。
- 国防・軍の近代化・強化
 - 軍民科学技術協力において、第13次五カ年計画では触れられていなかった生物学、新エネルギー、AI、**量子技術**といった特定の科学技術分野に言及。

量子技術への財政的支援

- Kania and Costello（2018）は**数B米ドル**、Brennen et al.,（2021）も**1B米ドル規模**、Kung a Fancy（2021）は国家研究所の建設も含めた予算として**5年間で15.3B米ドル**、Parker et al.,（2022）らは**年間84M米ドルから3B米ドル近く**と推測。いずれも中国政府が発表している数字とは大きく異なっている。

アジア・太平洋主要国・地域の量子技術動向 https://spap.jst.go.jp/investigation/report_2022.html

産業界の動向

◆ QuEra社からユーザーや研究者を対象に行った調査結果を発表（2024年8月）

- ハードウェアの安定性やスケーラビリティへの期待が高い一方、プログラミング環境の整備を求める声が多く寄せられた。

<https://www.quera.com/blog-posts/current-and-future-state-of-quantum-computing>

◆ Microsoft社の Quantum Ready プログラム（2025年1月）

- 企業や開発者を対象とした「Quantum Ready」プログラムを発表し、量子時代に向けたスキルやソリューションの提供を開始

<https://quantum.microsoft.com/en-us/quantum-ready/get-started>

◆ NVIDIA社の ジェンスン・フアン CEO の発言（2025年1月）

- CESでの講演において、「量子コンピューターが非常に有用となるまでに20年程度かかる可能性がある」と言及

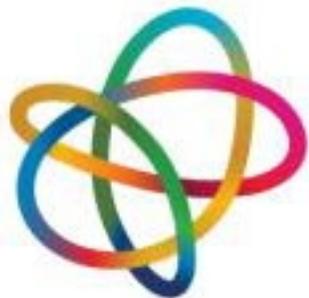
◆ Google社の スンダー・ピチャイ CEOの発言（2025年2月13日）

- ドバイの世界政府サミットにおいて、「量子コンピューターの実用化は5-10年先になる」との見通しを提示

アウトリーチ関連

2025年は「国際量子科学技術年」

- ユネスコでOpening Ceremonyが開催（2025年2月4,5日）



INTERNATIONAL YEAR OF
Quantum Science
and Technology

<https://quantum2025.org/iyq-event/iyq-2025-opening-ceremony/>

- 日本で「量子フェス」が開催予定（2025年6月14,15日）

- 主催：日本物理学会
- 共催：応用物理学会
- 会場：日本科学未来館

- 量子に関する専門家の講演会
- サイエンスコミュニケーターによる量子や物理に関する展示ツアー
- 量子と音楽が融合した演奏会

国際量子科学技術年（2025年）記念イベント

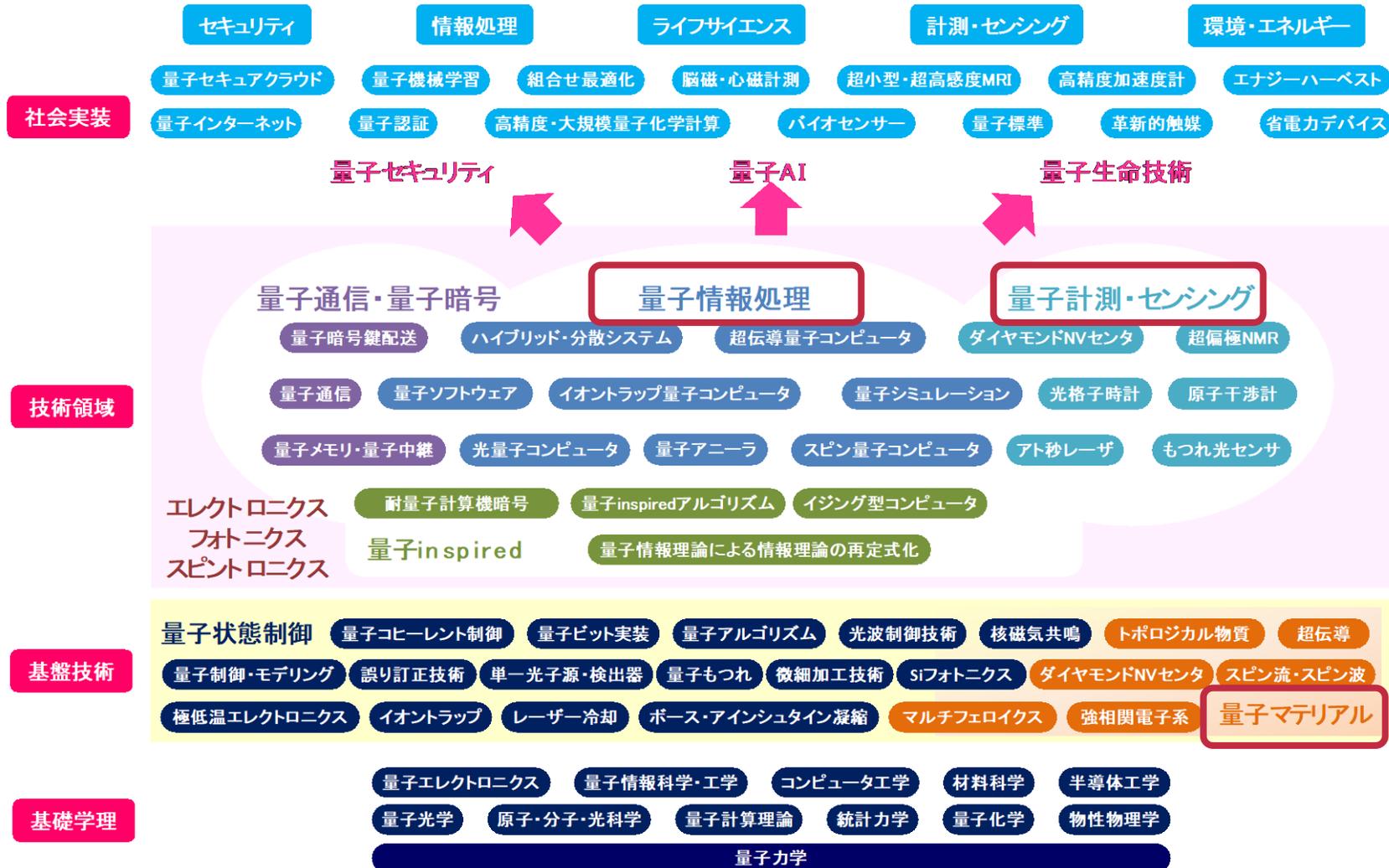
量子フェス

2025年6月14日（土）・15日（日）
各日 14:00-21:00（予定）
会場：日本科学未来館（東京・お台場）
参加費：無料

<https://qfes.academist-cf.com>

2. 研究開発・技術の現状

「量子技術イノベーション戦略」が対象とする技術の範囲



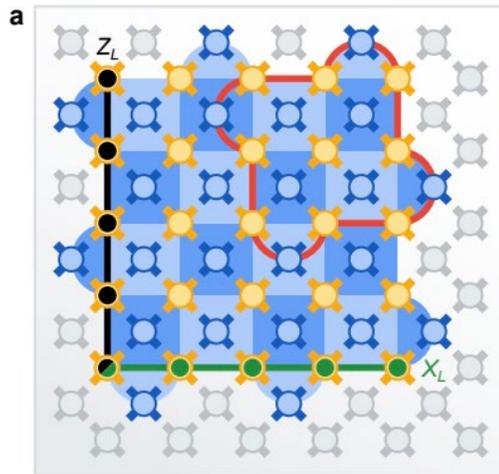
<https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshigijutsu.html>

ホットトピック：量子情報処理

量子誤り訂正 (QEC) の実証実験の増加

Google

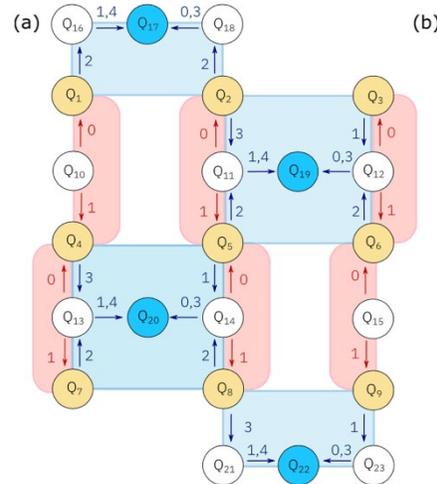
Surface code



Google Quantum AI, Suppressing quantum errors by scaling a surface code logical qubit, Nature 614, 676-681 (2023).

IBM

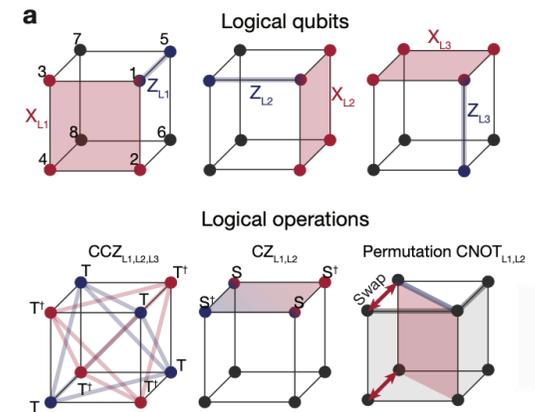
Heavy-Hex code



N. Sundaresan et al., Demonstrating multi-round subsystem quantum error correction using matching and maximum likelihood decoders, Nature Communications 14, 2852 (2023).

Harvard, MIT et al.

Block code

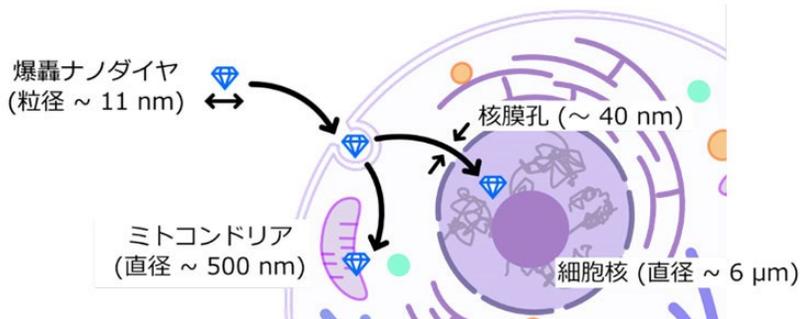
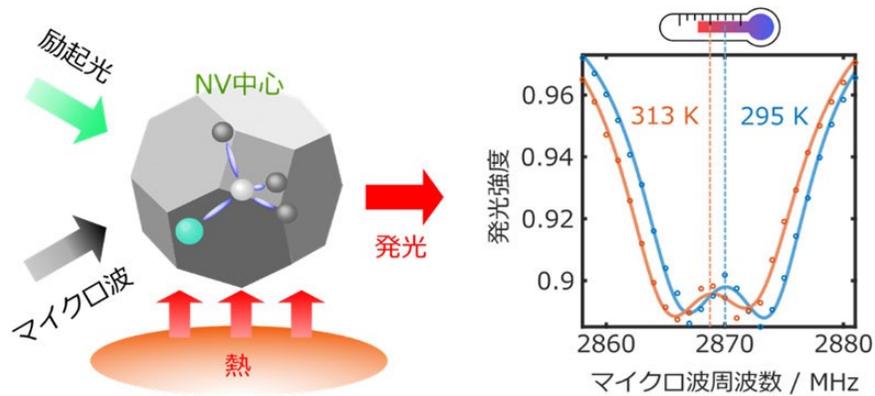


D. Bluvstein et al., Logical quantum processor based on reconfigurable atom arrays, Nature (unedited, arXiv:2312.03982) (2023).

ホットトピック：量子計測・センシング

微小ナノダイヤモンド量子センサで安定的に温度計測実現

爆轟（ばくごう）ナノダイヤモンドの粒径は約11 nm
温度感度を計測したダイヤモンドセンサとして世界最小径

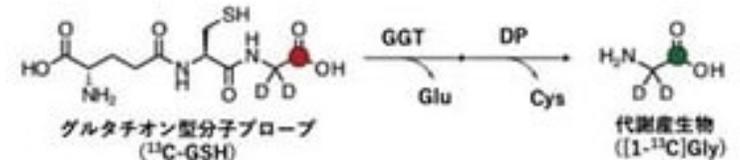


APL Materials (2024)
<https://doi.org/10.1063/5.0201154>
<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2024-05-16-0>

超核偏極MRI分子プローブを用いた生体内における代謝反応の直接計測

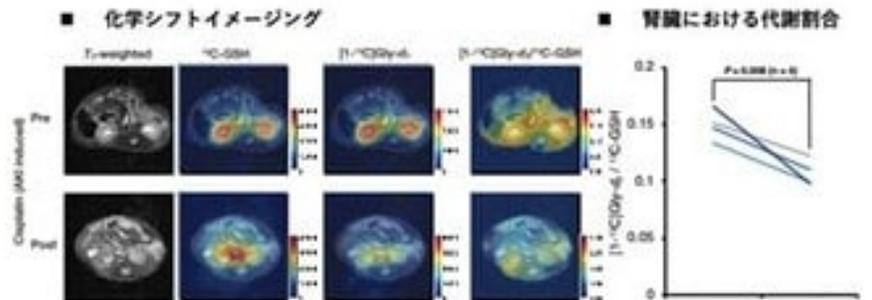
グルタチオン型分子プローブを用いて、抗がん剤副作用の1つである急性腎障害のモデルマウスにおける腎臓での代謝反応の可視化

1. グルタチオン型分子プローブの代謝経路



二段階の代謝反応によって、検出可能な代謝産物を与える。

2. 急性腎障害モデルにおける応用



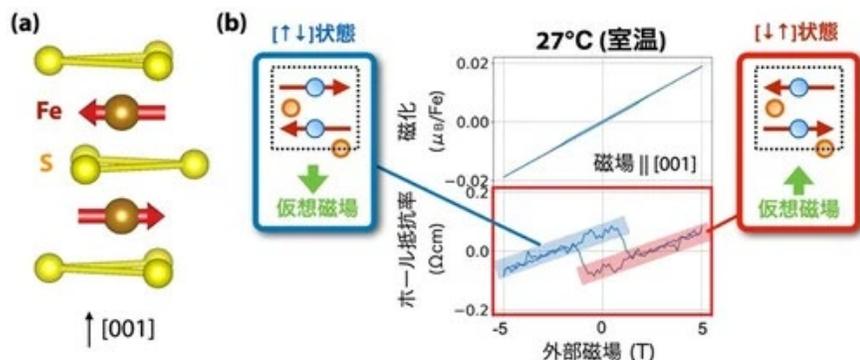
急性腎障害モデルでは、分子プローブの局在と代謝が変化。

Science Advances (2024)
<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adp2533>
<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2024-10-17-002>

ホットトピック：量子マテリアル

室温で情報の読み書きが可能な交代磁性体（「第三の磁性体」）を発見

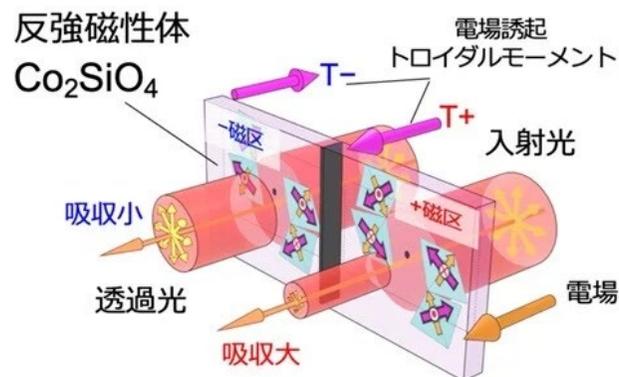
- 交代磁性体では $\uparrow\downarrow$ と $\downarrow\uparrow$ のスピン状態で情報を記憶し、かつ強磁性体と同等の手法で情報の読み書きを行うことが可能
- ①ビット間干渉の原因となる漏れ磁場が存在しないため素子の集積化に有利、②応答速度が100倍以上高速、③磁気的な外乱に対する耐性が高い、といった特徴を持ち、次世代の超高密度・超高速な情報媒体としての活用が期待



Nature Materials (2025)
<https://doi.org/10.1038/s41563-024-02058-w>
<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2024-12-13-002>

反強磁性体における新たな光学現象を観測

- 時間反転対称性の破れた反強磁性体における新たな非相反光学現象「電場誘起方向二色性」の観測に成功
- 電場誘起方向二色性を利用することで、従来難しいとされてきた反強磁性体の磁区構造を簡便な光学的手法により可視化する方法を開発
- 反強磁性体の新たな機能性を開拓し、反強磁性体の応用に向けたスピントロニクス分野などの研究発展にも貢献することが期待



Advanced Materials (2025)
<https://doi.org/10.1002/adma.202414876>
<https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2025-01-17-002>

JST-CRDS 科学技術未来戦略ワークショップ 「量子マテリアル活用基盤技術の創出」 (2024年9月開催) の紹介

<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2024-WR-06.html>

量子技術全体像における量子マテリアル

- JST-CRDS戦略プロポーザル「量子2.0」では、「量子マテリアル」は量子技術の4本柱の一つとして提案

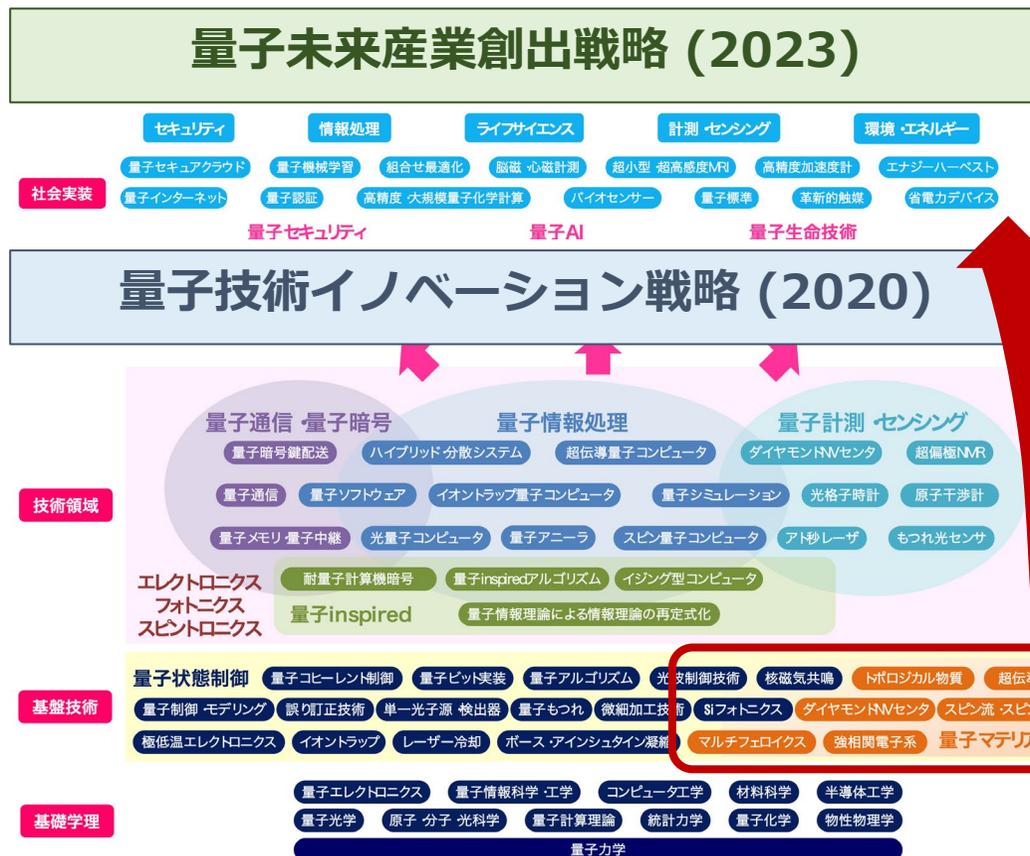
JST-CRDS戦略プロポーザル「量子2.0」(2020)



JST-CRDS戦略プロポーザル「量子2.0 ~量子科学技術が切り拓く新たな地平~」

量子政策における量子マテリアル

- 量子技術イノベーション戦略では、「量子通信・量子暗号」「量子情報処理」「量子計測・センシング」の**3本柱を支える基盤技術**として位置付け



この流れが必要

広い分野に革新を起こすような新規の材料・概念が出始めているため、**量子3本柱の基盤技術に留まらない、応用へ向けた研究開発が必要**

量子マテリアル研究の俯瞰図

量子マテリアル

量子状態を制御することで
新たな量子力学的機能を発現する物質・材料・構造体

応用研究

ギャップ

基礎研究

基盤技術

エネルギー変換材料

- スピン-ゼーベック効果
- 量子位相
- エレクトロニクス
- シフト電流

エレクトロニクス応用

- STT-MRAM
- SOT-MRAM
- スピンMOSFET
- テラヘルツデバイス

量子コンピューティング・通信応用

- 超伝導量子ビット
- 光量子ビット
- トポロジカル量子ビット
- スピン量子ビット
- 固体量子ビット

量子計測応用

- 生体環境計測
- 生体分子イメージング
- デバイス計測

トポロジカル量子物質

- ツイル半金属
- トポロジカル絶縁体
- マヨラナ
- 磁気スキルミオン
- トポロジカルメタマテリアル

フォトニクス材料

- シリコン/ナノフォトニクス
- メタマテリアル
- 励起子ポラリトン

固体量子光源・スピン欠陥

- ダイヤモンドNVC
- ナノダイヤモンド
- SiC-V_{Si}
- hBN-V_B

スピントロニクス材料

- 半導体スピントロニクス
- スピン流
- スピントルク
- 反強磁性材料

二次元層状材料

- ツイスト積層
- ヘテロ積層
- グラフェン
- hBN
- TMDC

強相関電子系

- 高T_c超伝導材料
- 近藤効果
- 量子スピン液体

材料合成技術

計算科学・シミュレーション

計測・分析技術

量子マテリアルの社会実装

応用
研究

生体等高ノイズ環境の高
空間分解・高感度測定

超高速・大容量・低遅延
の光通信

ICTデバイスの低消費電力
化・バッテリーフリー化

大容量&低ロスのエネル
ギー伝送・変換

応用に向
けた
研究課題

電子スピンとフォトン
間の量子状態の計測・
制御

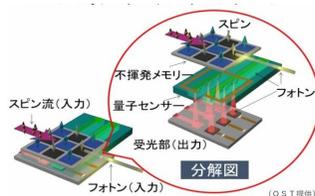
ナノレベルの微細構造
を用いた量子状態の計
測・制御

絶縁状態、磁性状態、
超伝導状態などの状態
を乱さない計測・制御

0と1の情報に対応する
状態の計測・制御

スピノフォニクス

光子による電子スピンの
制御



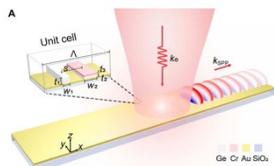
<https://www.qst.go.jp/site/qubs/spinpho-to-rensai-22.html>

スピントロニクス材料

電子が持つ電荷とスピンの
両方の活用

非エルミート系

実効的にエルミート性を
破りエネルギーの流入
がある系



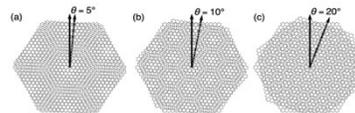
Y. Xu *et al.*, *Sci. Adv.*, vol. 9, no. 19, p. eadf3510, May 2023

フォニクス材料

周期的な微細構造等で発現
する特異な光学特性の活用

モアレ超格子

重ね合わせでできるモアレ
に由来するエネルギー
準位



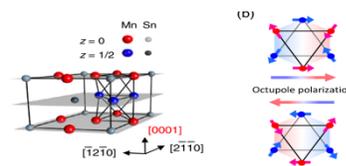
https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv_press1025_01_web_mote.pdf

二次元層状材料

幅や長さで決まる特異な電
子状態の活用

トポロジカル反強磁性体

磁化が無いが複数スピン
の向きが異なる (スピンカイ
リティ)



S. Miwa *et al.*, *Small Science*, vol. 1, no. 5, p. 2000062, 2021.

トポロジカル量子物質

位相幾何学に由来する電子
バンドの特異点の活用

基礎
研究

電荷

スピン

軌道

格子

乱れ

トポロジー

メソ構造

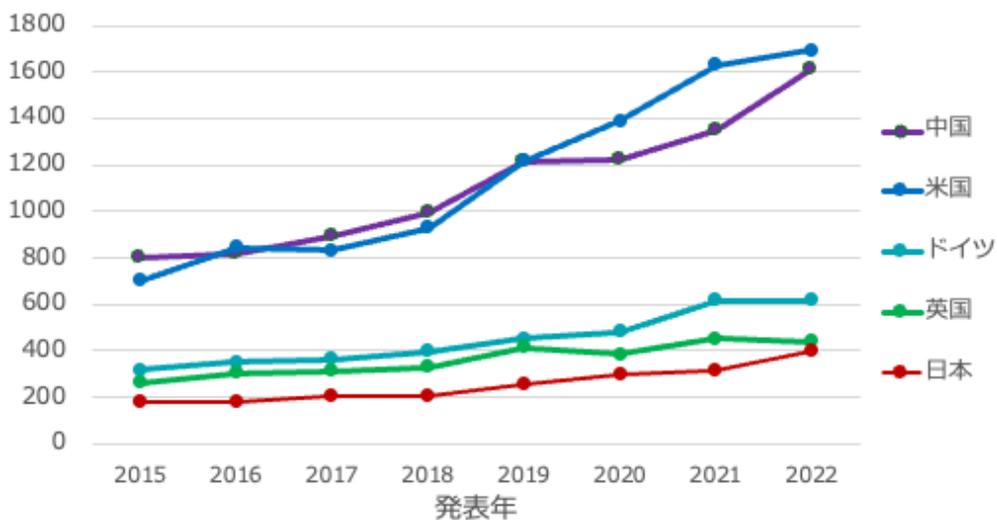
2024年9月開催 JST-CRDS科学技術未来戦略ワークショップ「量子マテリアル活用基盤技術の創出」

©2025 CRDS

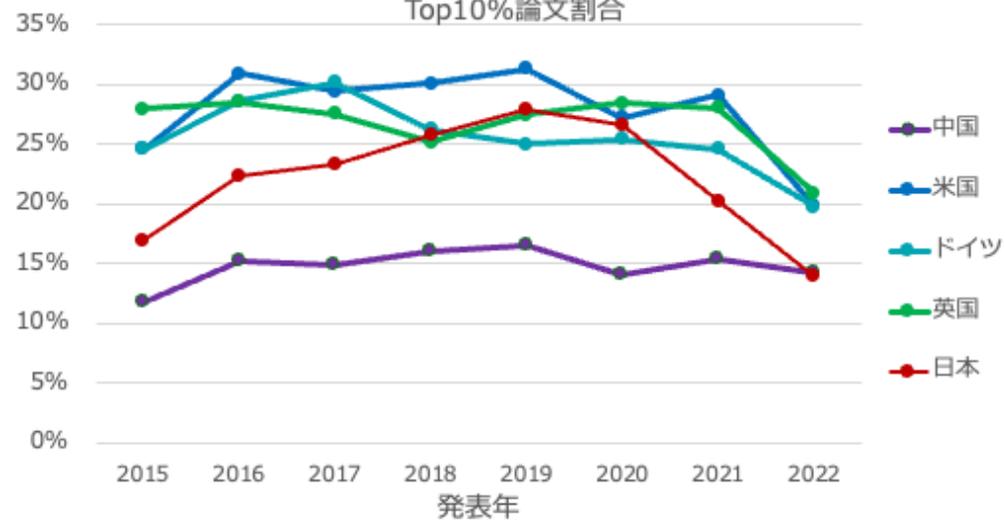
3. 論文動向

量子情報処理

量子コンピューティング・量子シミュレーション 総論文数



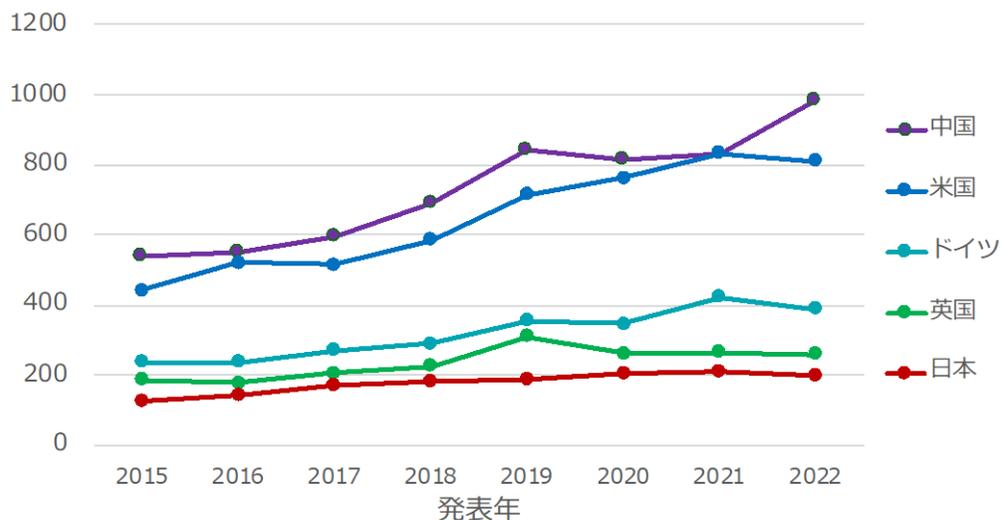
量子コンピューティング・量子シミュレーション
Top10%論文割合



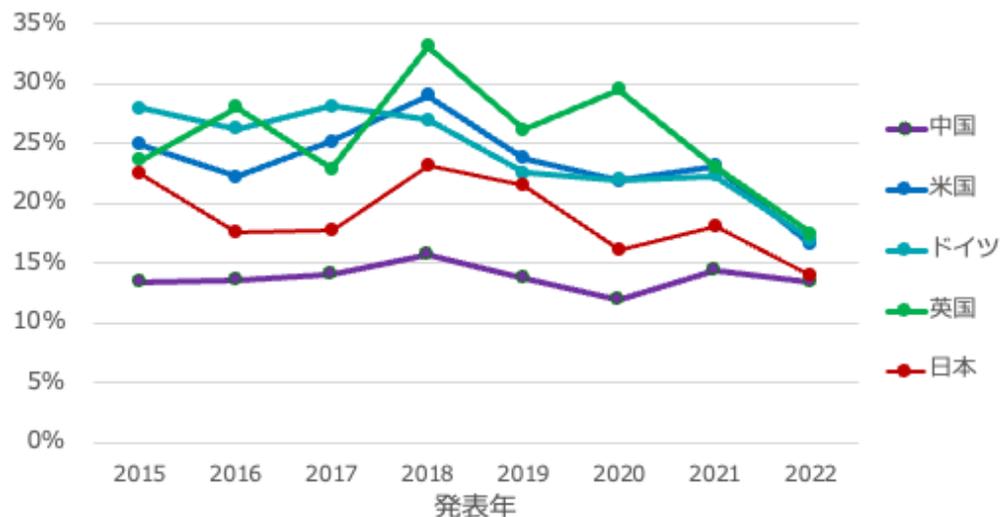
エルゼビア Scopusカスタムデータを基に、JSTが集計、作成

量子計測・センシング

量子計測・センシング 総論文数



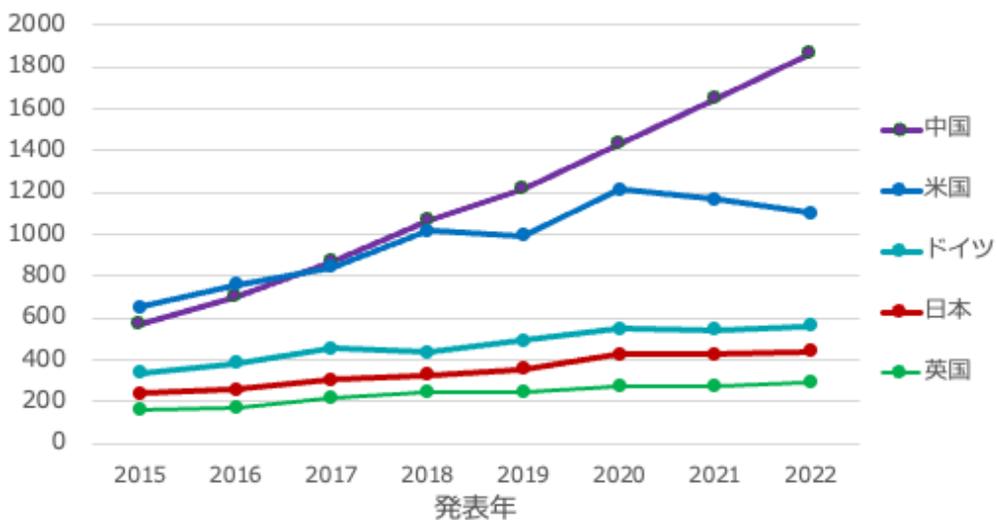
量子計測・センシング Top10%論文割合



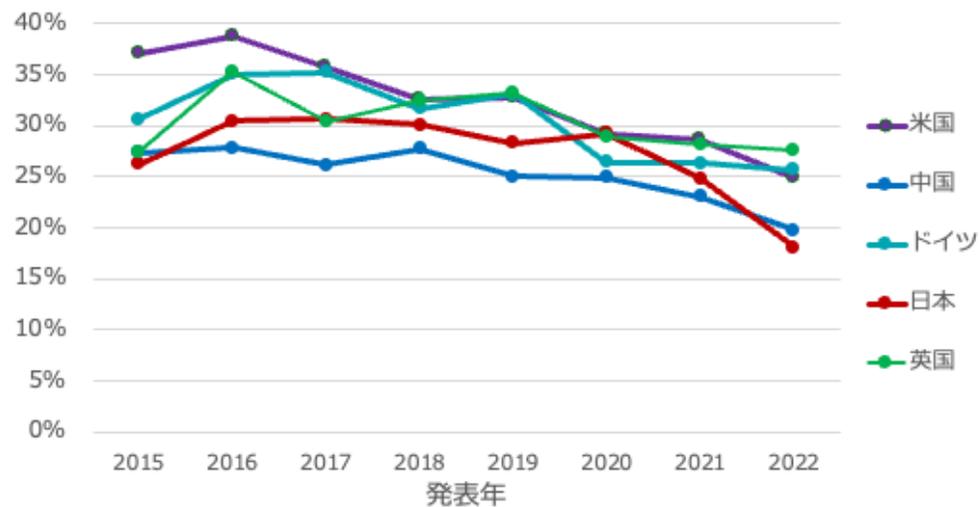
エルゼビア Scopusカスタムデータを基に、JSTが集計、作成

量子マテリアル

量子マテリアル 総論文数



量子マテリアル Top10%論文割合



エルゼビア Scopusカスタムデータを基に、JSTが集計、作成

5. まとめ

- 各国政府は量子科学技術に対して多額の研究開発投資を継続しているが、日本の投資額の対GDP比は他国と比較して低い。
- 量子情報処理の分野では、FTQCに向けた量子誤り訂正（QEC）の実証実験が進展している。
- 量子計測・センシングの分野では、社会実装に向けた計測技術の高度化が進んでいる。
- 量子マテリアルの分野では、新たな材料系が次々と発表されている。
- 総論文数では米国と中国が圧倒的に多いが、Top10%論文の割合では日本も健闘している。

ご静聴ありがとうございました