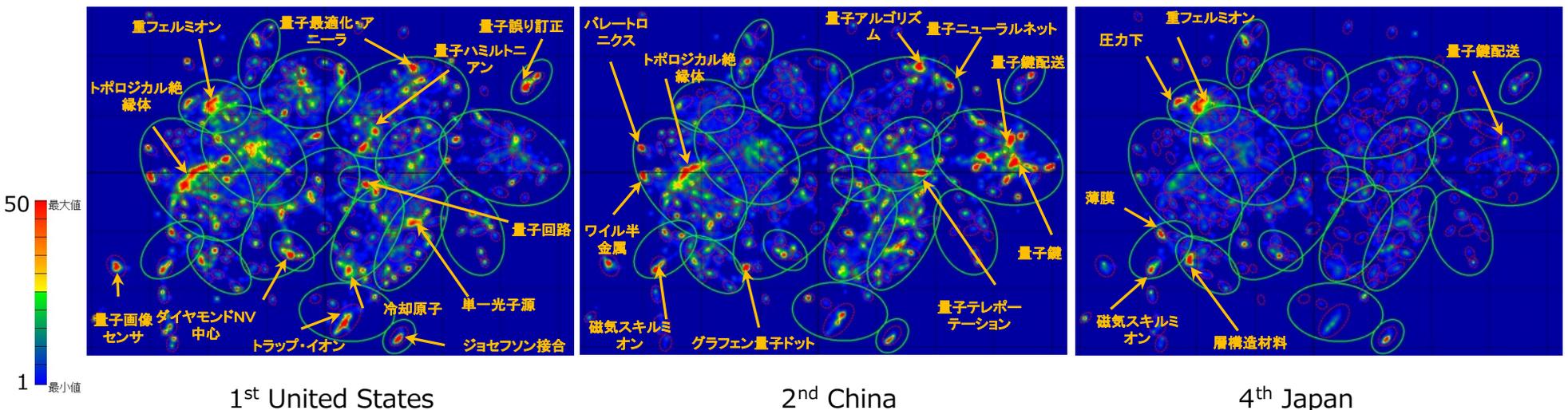


量子技術の論文・特許（国別比較）

- 米国はほぼ全領域を網羅しているが、量子暗号・通信が少ない。
- 2位の中国は反対に量子暗号・通信で強い。また重い電子、量子物性も米国と比較して弱い量子材料ではバレートロンクスなどで一部米国を上回っている。
- 量子コンピューティング関連ではハード側が米国が強く、一部ソフト側が中国が優勢である。



量子技術の現状 (TRL: Technology Readiness Levels)

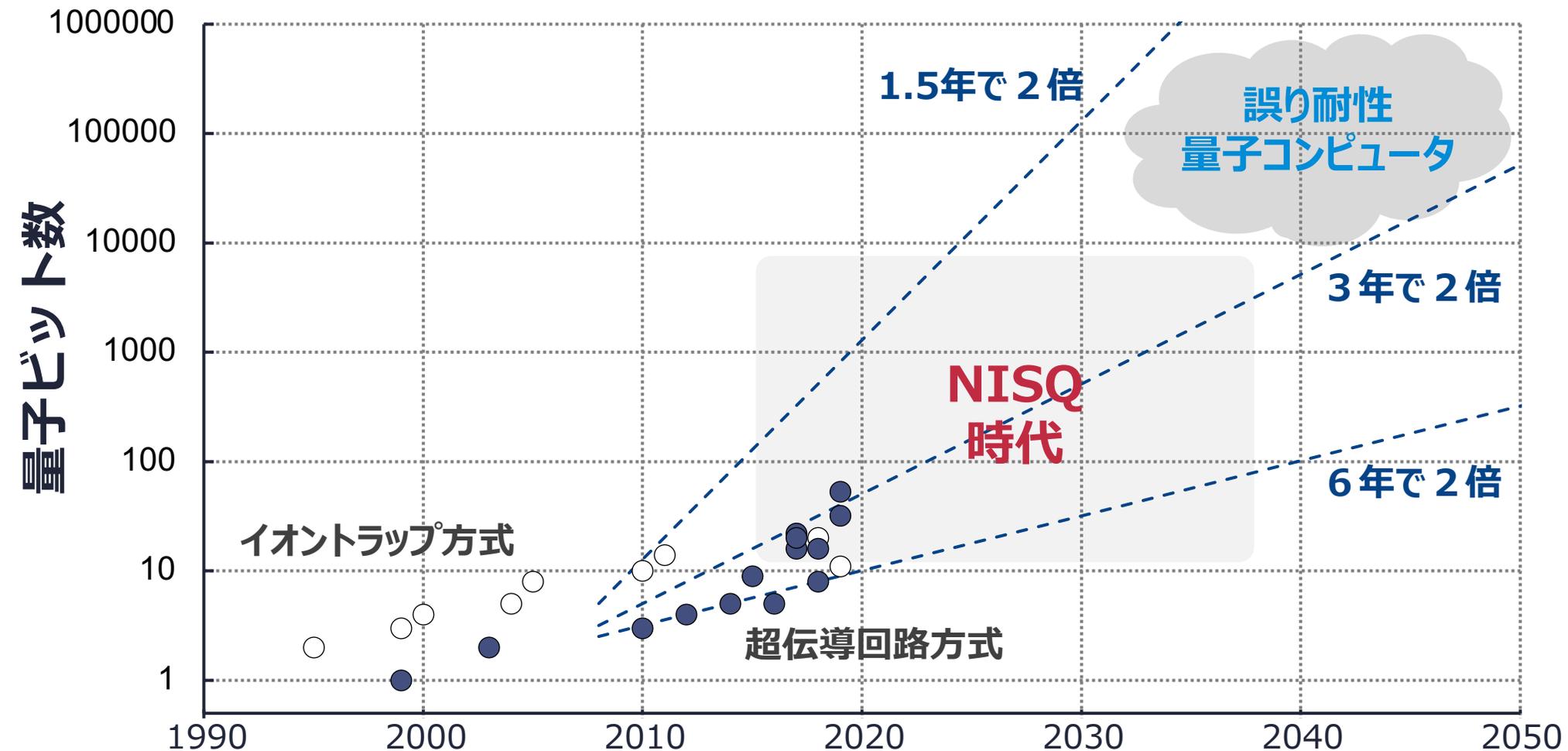
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	基礎理論の着想	技術コンセプト策定	PoC実験	実験室での技術検証	関連環境での技術検証	関連環境でのデモ	実環境でのプロトタイプ	システム運用テスト・認証	最終段階、実運用
量子コンピュータ (誤り耐性)		■	■	■					
量子コンピュータ (NISQ)					■	■			
量子アニーラ						■	■		
QKDネットワーク							■	■	
QKD (衛星利用)						■	■		
耐量子計算機暗号							■	■	
量子通信・量子インターネット		■	■	■					
光格子時計					■	■	■		
量子慣性航法				■	■	■			
量子磁気センサ			■	■	■				
量子イメージング			■	■	■				

M. Krelina, "Quantum technology for military applications", EPJ Quantum Technology 8, 24 (2021). を参考にCRDS作成

EU Horizon 2020のTRL定義 :

https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

量子版ムーアの法則



NISQ時代

フルの量子コンピュータは当分手に入らない。しかし…

Noisy

ノイズあり

誤り訂正（論理化）なし。高エラー率。

Intermediate-Scale

中規模スケールの

50～100量子ビット程度

Quantum device

量子デバイス

量子効果を使うデバイス

シミュレーションが**難しい**

複素数の係数が 2^N 個必要

(50Qの状態ベクトル=メモリ16PB)



表裏一体

何かには使えそう

限られたHW資源を活かす

知恵・ソフトウェアが重要

NISQ量子コンピュータのキラアプリ探索

量子化学・量子多体系

問題設定が量子力学で定式化されている

(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

問題設定は非量子だが、線形代数構造。

(例) 巨大な行列の固有値・特異値、
PCA、クラスタリング、分類、SVM

優位性のあるタスクや高効率の計算方法などは今まさに研究萌芽期

量子多体系を機械学習で分析

- G. Carleo, M. Troyer, "Solving the quantum many-body problem with artificial neural networks", Science 355, 602 (2017).
- M. Broughton et al., "TensorFlow Quantum: A Software Framework for Quantum Machine Learning", arXiv:2003.02989.
- K. Osaki, K. Mitarai, K. Fujii, "Classically Optimized Variational Quantum Eigensolver for Topological Ordered Systems", AQIS 2020.

変分アルゴリズム／量子機械学習の優位性

- M. Cerezo et al., "Variational Quantum Algorithms", arXiv:2012.09265.
- 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).

クラウド利用が進むNISQ量子コンピュータ

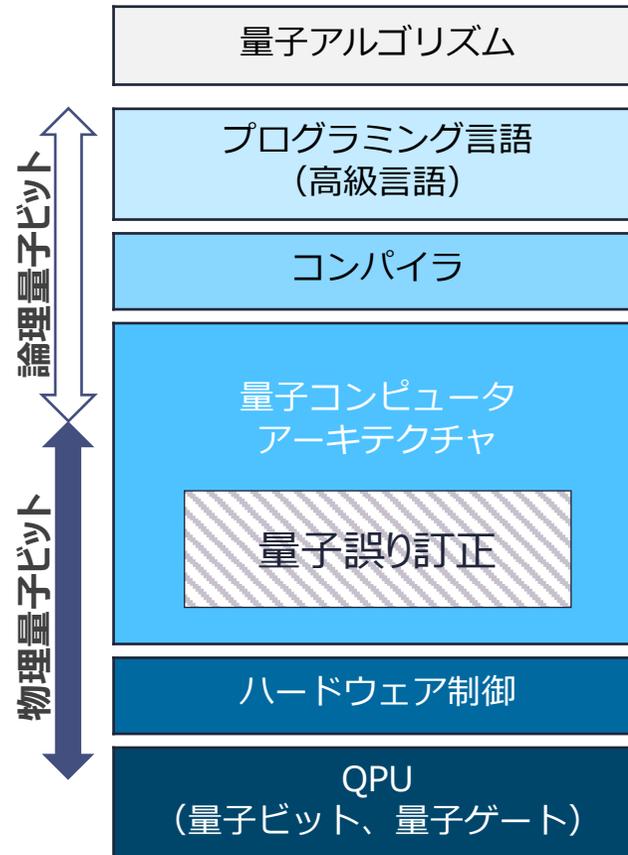
		IBM	GCP	Azure	AWS	
ソフトウェア 開発プラット フォーム (SDK)	Qiskit (by IBM)	●	●			
	Cirq+TFQ (by Google)		●			
	Braket (by Amazon)				●	
	PennyLane (by Xanadu)		●			
	Tket (by CQC)		●			
	Q# (by Microsoft)			●		
ハードウェア (QPU)	超伝導	IBM	●			
		Google		●		
		Rigetti				●
		qci			●	
	イオン トラップ	IonQ	●	●	●	●
		Honeywell			●	
	QAマシン	D-wave				●

誤り耐性量子コンピュータにむけて

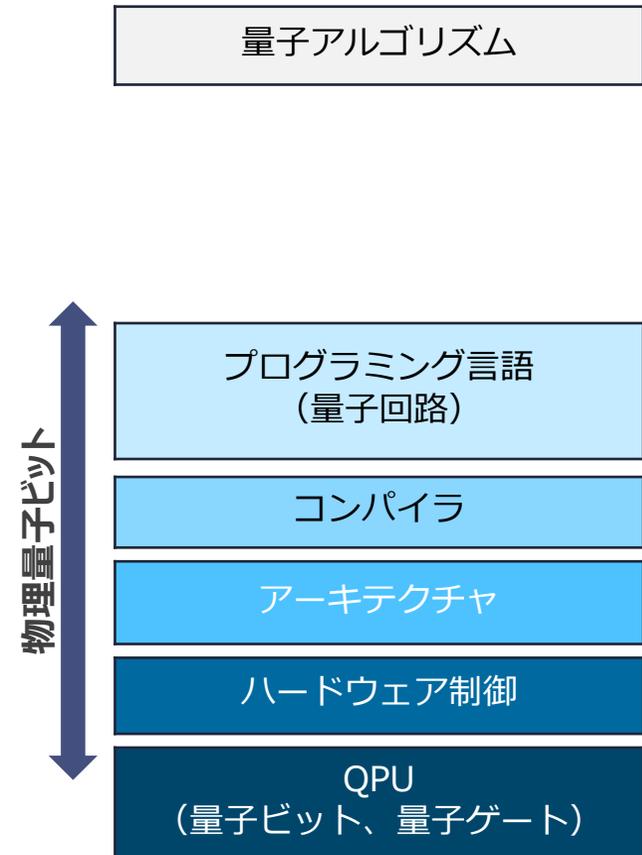
今のコンピュータ



誤り耐性量子コンピュータ



NISQ量子コンピュータ



(参考) F. T. Chong et. al, "Programming language and compiler design for realistic quantum hardware, Nature 549, 180 (2017).

量子暗号・通信研究動向

日本

- グローバル量子暗号通信ネットワーク

中国

- National quantum secure communication backbone network (京滬幹線)

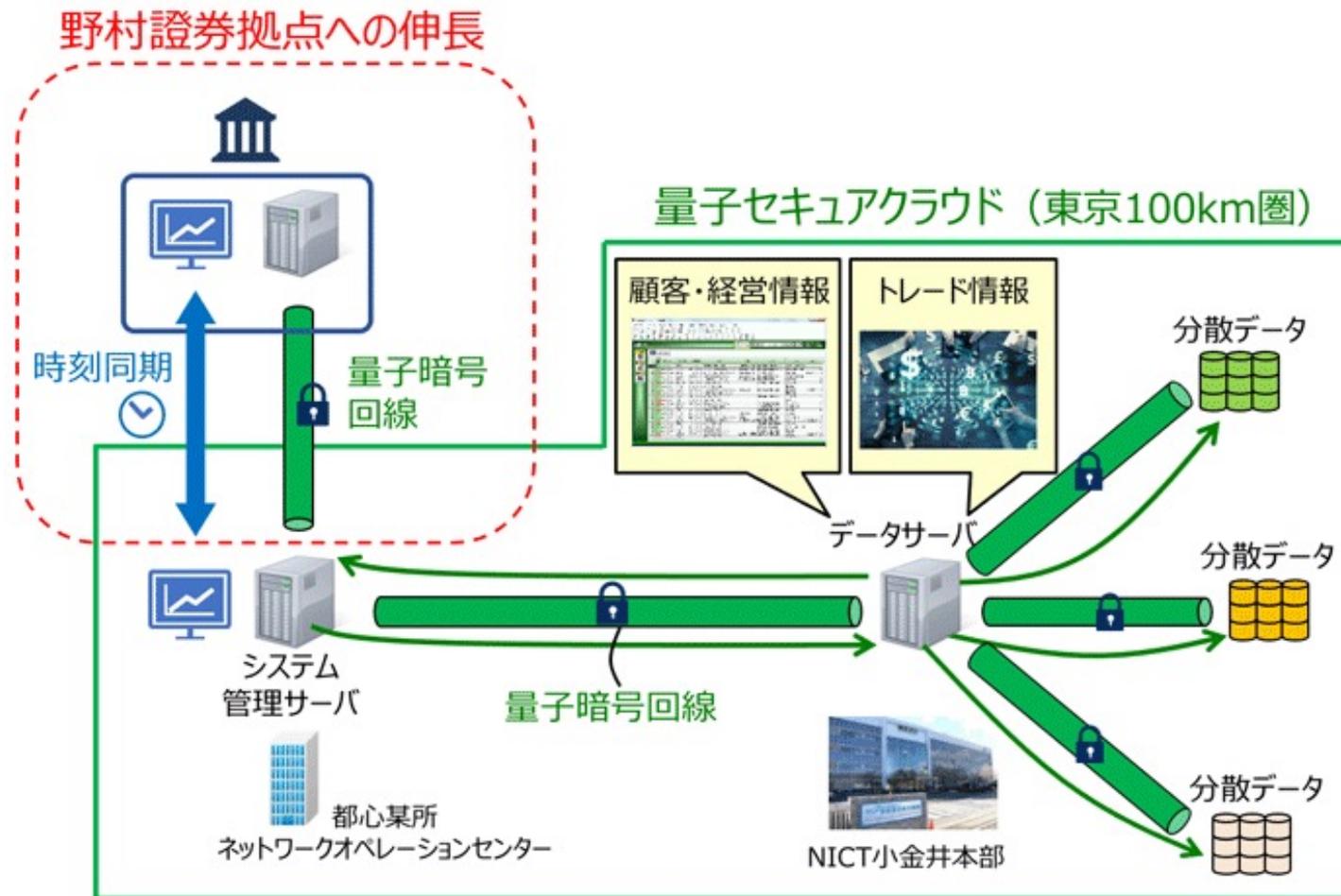
米国

- Center for Quantum Networks (NSF)
- Long Island Quantum Repeater Network
- Chicago Quantum Network

欧州

- Quantum Internet Alliance (オランダ)
- Q.Link.X (ドイツ)
- OpenQKD (スペイン)

量子セキュアクラウド動作検証



「金融分野のサイバーセキュリティ強化に向けた量子暗号技術活用の共同検証を開始」 (NICTプレスリリース, 2020年12月21日)

QKDユースケース例@中国

中国工商银行

- ネットバンキングのデータの北京・上海間量子暗号通信に成功。
- 量子乱数発生器を利用して、ユーザー管理・認証のセキュリティ向上。

<http://finance.people.com.cn/n1/2021/0512/c1004-32101145.html>

徽商银行（HQ：安徽省・合肥）

- 主データセンターとバックアップセンターの間でのQKD利用。
- 支店と中国金融認証局（CFCA）の間でのデジタル証明書の発行・送信。

<https://www.cfca.com.cn/20171106/100002298.html>

海南省

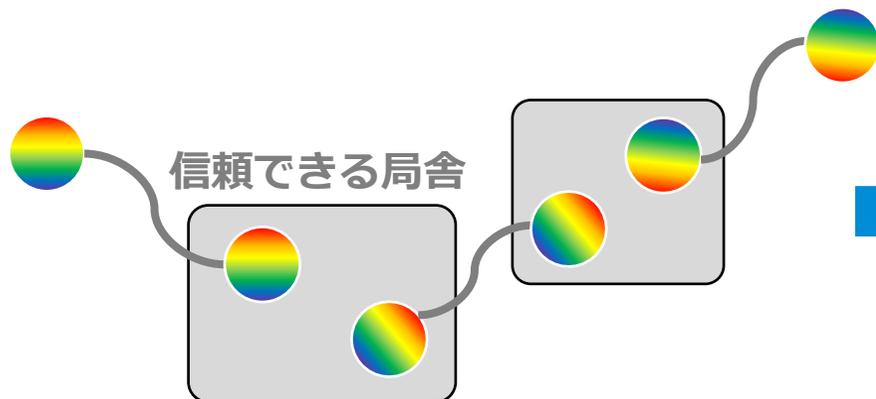
- 衛星利用で政府データセンタ、産業商業管理局の科学技術部門、地域の人的資源社会保障局間で量子通信実証PJ。

<https://www.yicaiglobal.com/news/hainan-enters-quantum-communications-era-with-demonstration-project>

量子中継技術

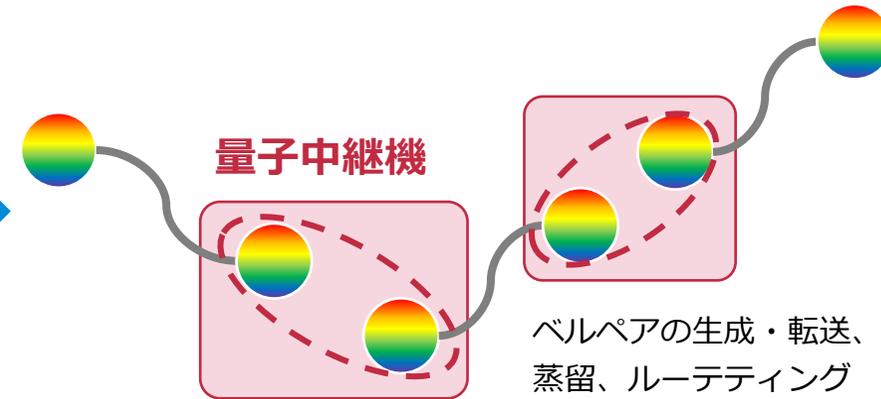
量子暗号鍵配送 (QKD)

「信頼できる局舎」によるリレー



量子インターネット

量子中継機による量子情報ネットワーク



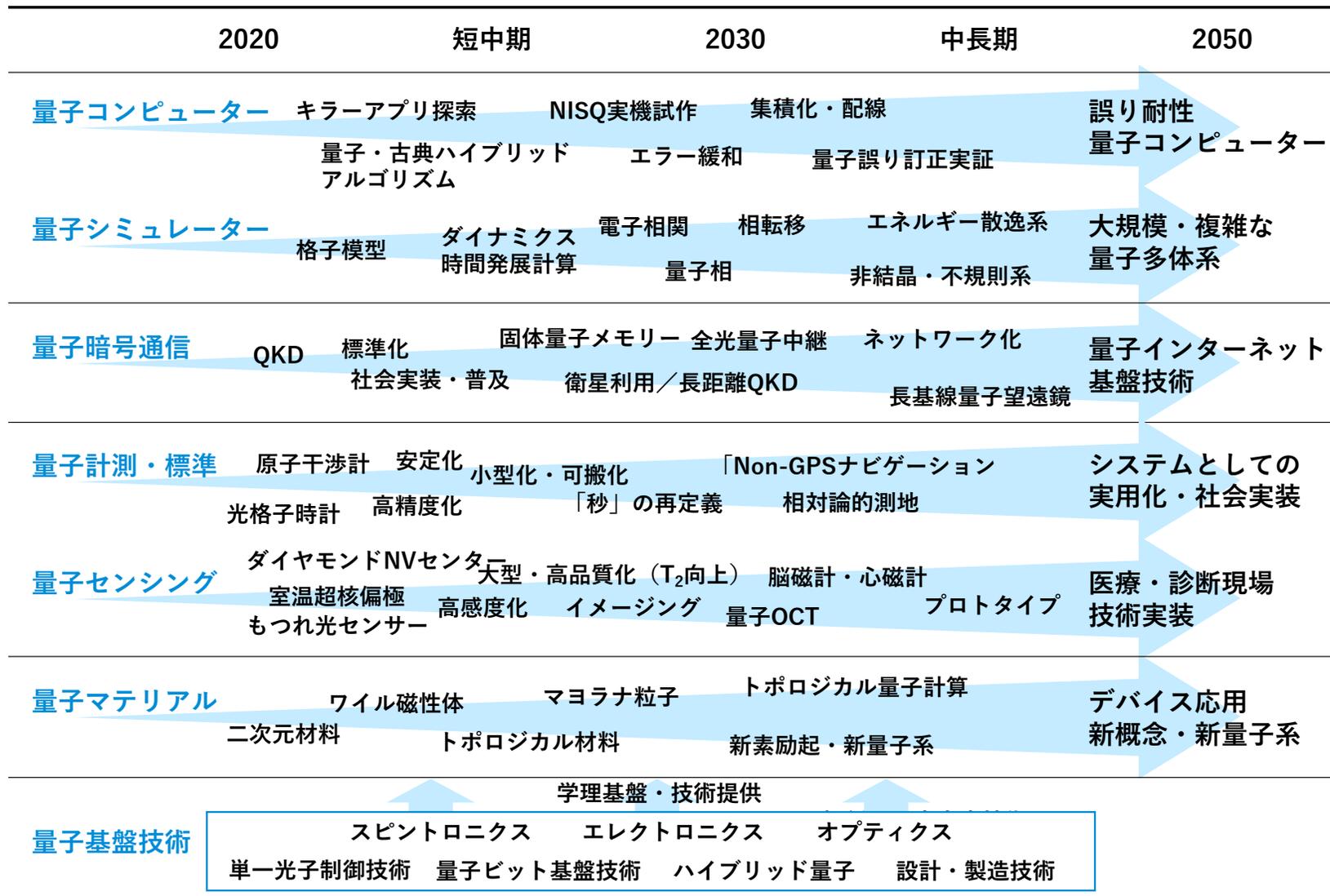
		共有されるデータ	
		デジタルデータ (非量子)	量子データ (量子状態)
通信	ビット (非量子)	インターネット	
	量子 ビット	量子暗号通信 (QKD)	量子インターネット

量子計測・センシング技術の分類

*主流の方式における
サンプル作成時の環境

	ダイヤモンド NV中心	量子慣性センサ	光格子時計	量子もつれ光	超偏極MRI
計測物 性	温度、磁場など	加速度、角加速度	時間	(3次元)空間位置	(3次元)空間位置
量子系	ダイヤモンドNV中 心	冷却原子	冷却原子	もつれ光子対	偏極核スピン
環境	常温/常圧	極低温/超高真空	極低温/超高真空	常温/常圧	極低温/超高真空*
主な応 用先	医療、バイオ、デ バイスマニタ	測位、計測標準、 資源探査、地震計 測	時間標準	化学分析、バイオ、 医療	医療
海外	Nvision Imaging(独), Quantum Diamond Tech(米), SQUTECH(独), QNAM I(スイス), QZabre(スイス), Quantum Flagship(EU)	Muquans(仏), AOSense(米)	Muquans(仏), Quantum Flagship(EU)	Rochester大(米), Auckland大(ニュー ジーランド), Monterrey工科大(メ キシコ), イスラエル 工科大など多数	GE(米), Nvision Imaging(独), Quantum Flagship(EU)
国内	Q-LEAP(東工大, 東, NIMS, 産総研, QST, 生理研, 京大), CREST[量子技術] (NTT)(筑波大)	Q-LEAP(電通大), JST未来・大(東工大)	ERATO(理研, 東大), 未来・大(理研, 東大)	Q-LEAP(京大, 電通 大), CREST[量子技 術](京大)	Q-LEAP(阪大, QST), CREST[量子技術] (阪大), AMED(北大, 日本レドックス)

量子技術 現状と展望



量子技術イノベーション戦略（推進方策）

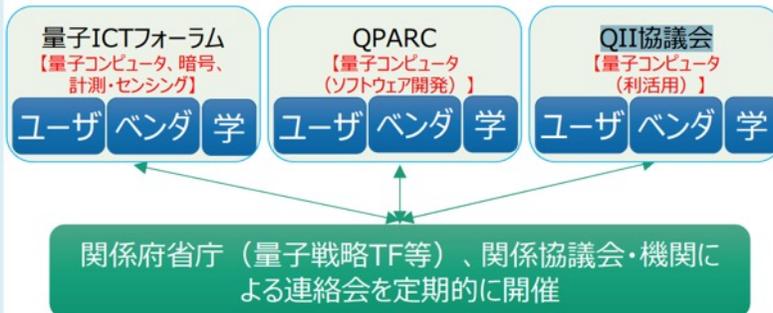
量子技術イノベーション戦略に基づき重点的に取り組む事項

参考：統合イノベーション戦略推進会議資料4-5

量子技術イノベーション会議を中心に、「量子技術イノベーション戦略」（令和2年1月決定）に基づく以下の取組を強力に推進する。

量子技術イノベーション協議会

- 量子ICTフォーラム・QPARC・QII（量子イノベーションイニシアティブ）協議会など、民間団体が主導する個別の協議会における活動等を通じて、量子技術の社会実装に向けた協調領域でのオープンイノベーションやエコシステムの形成を促進する。
- 個別協議会の活動に加え、関係省庁・機関も参加する形で定期的に連絡会を開催し、各協議会の連携を支援、社会実装に向けた戦略的な取組を推進する。



量子技術イノベーション拠点

- 基礎研究から技術実証、知財管理、人材育成に至るまで、産学官で一気通貫で取り組む拠点として「量子技術イノベーション拠点」を整備する。
- 国内8拠点における各分野での研究開発の取組に加え、Head Quarterを設け、拠点横断的な取組を強化する。



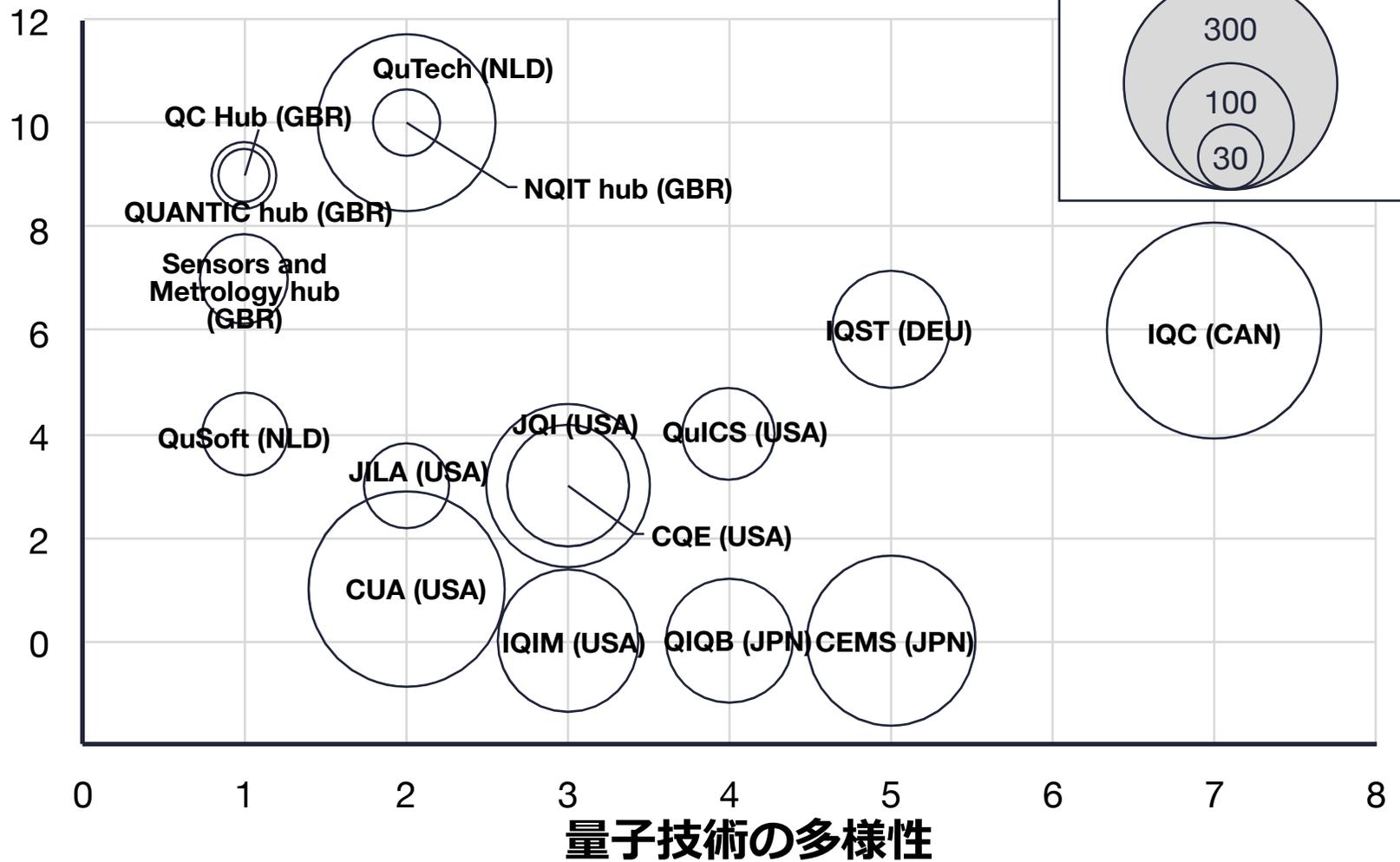
- 我が国経済が再び成長し、世界をリードしていくために、関係機関が総力を結集して基礎研究から人材育成に至る幅広い取組を進めるとともに、協議会および拠点に集う産学官が一体となって研究開発や量子技術の社会実装を加速する。

6

量子研究拠点

産学連携活動の多様性

(スタートアップ企業、スピノフ企業、インキュベーション施設、共同研究の支援プログラム)



(量子基盤、量子コンピューティング、量子シミュレーション、量子センサー、量子通信、量子マテリアル、量子教育)

量子技術イノベーションをドライブするには…

2つの好循環（量子版ムーア則を目指して）

(1) 技術：性能向上→収益→投資→性能向上→…

(2) 人材：魅力的な環境→優秀な人材→問題解決→魅力アップ→…

