

イノベーションジャパン2020 CRDSセミナー

世界が注目！最先端の研究開発動向



# 量子2.0

量子科学技術が切り拓く新たな地平

2020年9月28日～11月30日

システム・情報科学技術ユニット 嶋田義皓



国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

# 量子革命

100年続く緩やかなイノベーション

## 量子ICT社会

### 量子2.0

量子情報&量子物性

### 量子1.0

不確定性原理

エネルギー準位

バンド構造

トンネル効果

半導体技術

ICT

光通信

量子干渉

EPR関連

マクロ量子現象

トポロジカル物質

量子もつれ

ベル不等式

量子相制御

量子マテリアル

複製不可能定理

ホログラフィー原理

量子シミュレーション

量子テレポーテーション

量子コンピューター

猫状態

量子暗号・量子通信

相補性

量子計測・量子センシング

# 各国の量子戦略・科学技術政策

## 政府R&D投資競争が過熱

	イギリス	欧州	中国	アメリカ	ドイツ	日本
						
政府R&D投資 (億円/年)	～90 (5年)	～125 (10年)	> 240円 (5年)	> 280 (5年)	～215 (4年)	～300 (10年?)
政策目標	<ul style="list-style-type: none"><li>量子技術分野での主導的地位の確立</li><li>通信、医療、安全保障などの世界市場の形成</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>長期の富の創出</li><li>安全保障</li><li>産業創出</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>国家の科学技術力の強化</li><li>産業競争力の確保</li><li>国家安全保障</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>米国の科学的リーダーシップ</li><li>国家安全保障</li><li>経済的競争性の確保</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>量子技術開発の促進</li><li>応用・市場化で第二の量子革命</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>経済・社会の飛躍的・非連続的な発展</li><li>生産性革命、健康・長寿社会の実現、安全・安心の確保</li></ul>
関連文書	<ul style="list-style-type: none"><li>国家量子技術プログラム (2014.12)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>量子マニフェスト (2016.5)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>科学技術イノベーション第13次五カ年計画 (2016)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>量子情報科学の国家戦略概要 (2018.9)</li><li>国家量子イニシアティブ法 (2018.12)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>量子技術の基本計画</li><li>量子技術—基本から市場へ (2018.9)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>量子技術イノベーション戦略 (2020.1)</li></ul>

# 量子産業の創出にむけて

## 量子コンピュータ関連で大きな動き

### スタートアップ

- 北米を中心に起業・投資が拡大している  
(2017-18で約4800億円\*)
- Google, Microsoft, IBM, Amazon, Alibaba, Intel, Honeywellなど大手各社とともにエコシステム形成

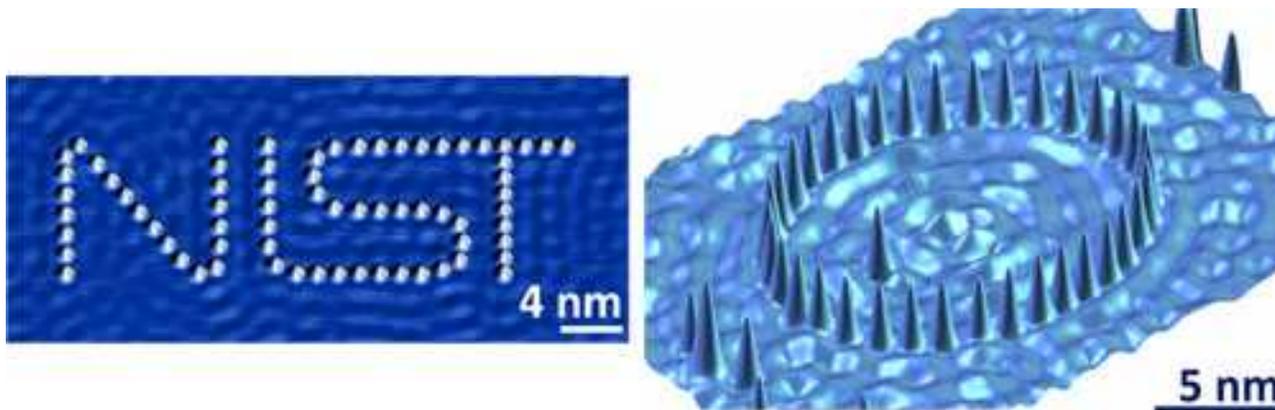
### コンソーシアム

- 米国・QED-C (Quantum Economic Development Consortium)
- 欧州・QuIC (Quantum Industry Consortium)
- 日本・量子ICTフォーラム



\*E. Gibney, "Quantum gold rush: the private funding pouring into quantum start-ups", *Nature* 574, 22-24 (2019).

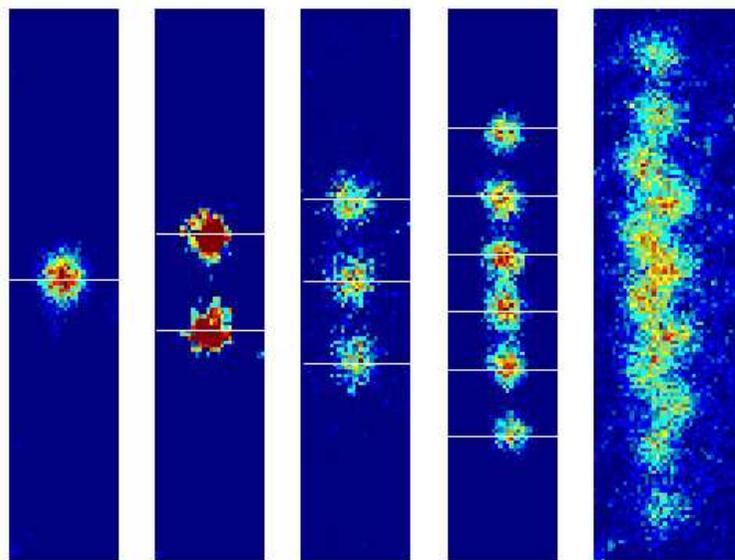
# いろいろな“量子”



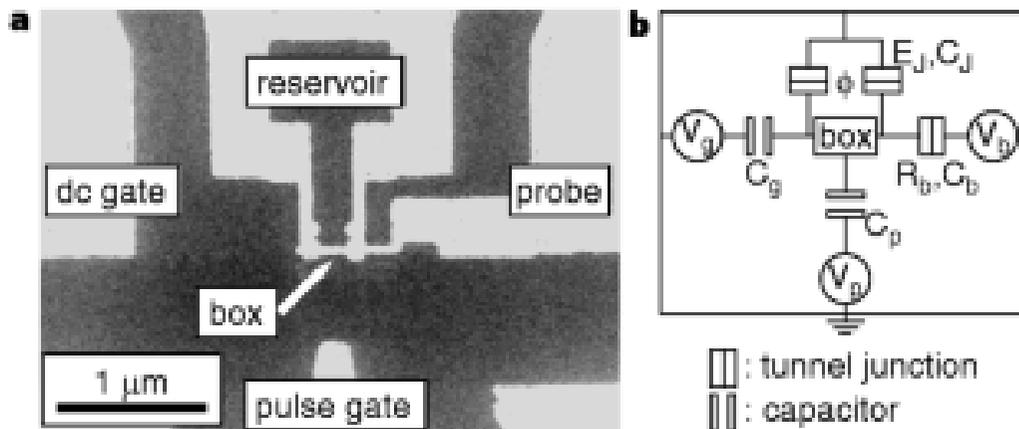
Credit: Joseph A. Stroscio Robert J. Celotta Steven R. Blankenship Frank M. Hess



Credit: Brida, INRIM



Credit: Signe Seidelin and John Chiaverini/NIST

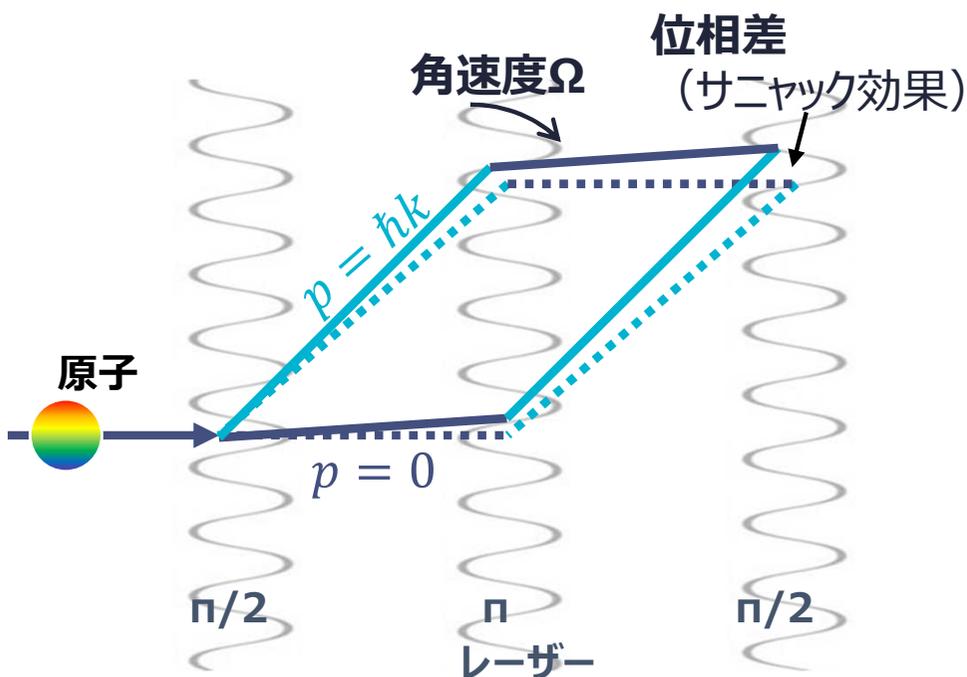


Y. Nakamura, Yu. A. Pashkin & J. S. Tsai, "Coherent control of macroscopic quantum states in a single-Cooper-pair box", Nature 398, 786-788 (1999).

# 量子計測・量子センシング

## 原子干渉計

物質波の干渉縞を利用



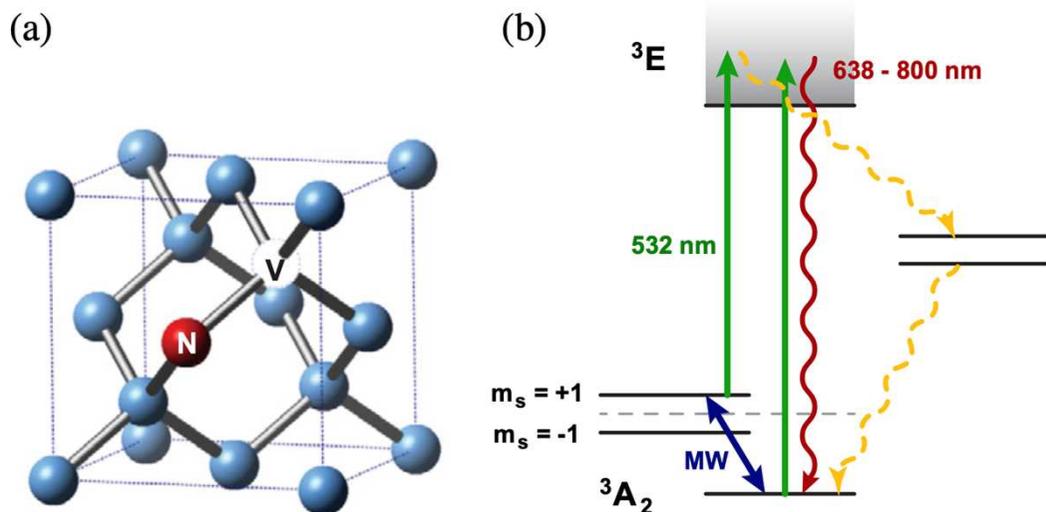
レーザー干渉計より10桁高感度 (理論値)

$$\frac{\lambda\nu \text{ (物質波)}}{\lambda\nu \text{ (光)}} \propto \frac{\hbar\omega}{Mc^2} \sim 10^{-10}$$

盛永篤郎, 原子干渉計による超高感度・高精度  
物理計測, 光学 37, Vol 7, 376 (2008).

## ダイヤモンド量子センサ

NV中心の量子状態を利用



磁場、電場、温度、圧力などの  
高感度センサ応用が可能

L. M. Pham et. al., "Magnetic field imaging with nitrogen-vacancy ensembles", New J. Phys. 13, 045021 (2011).

# 量子暗号鍵配送

不確定性原理を利用して盗聴を検知し、離れた2者間で暗号鍵を安全に共有

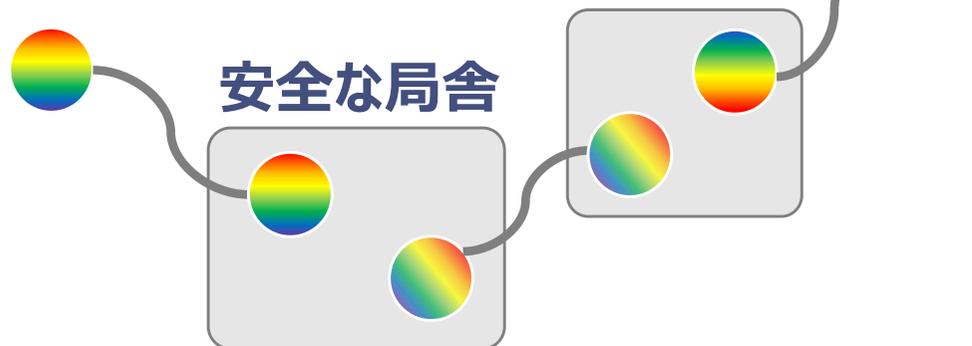


**物理法則**が通信システムの安全性を担保。

# 量子通信・量子インターネット

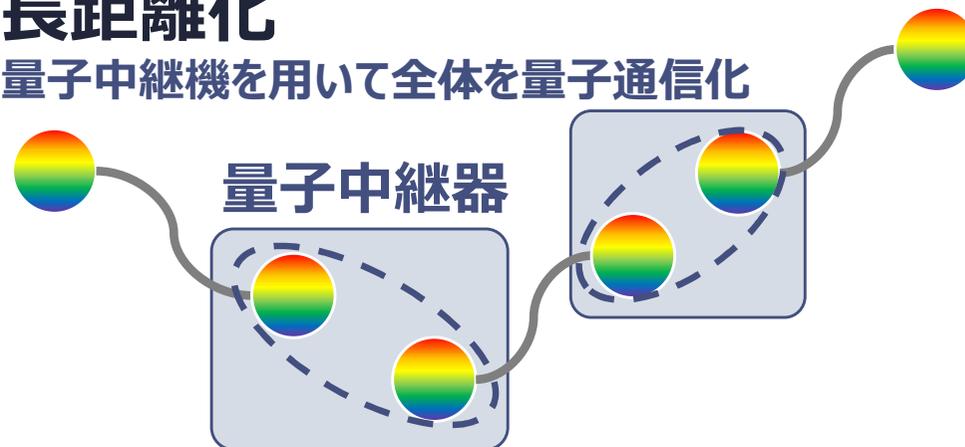
## 現状

安全な局舎を介してリレー



## 長距離化

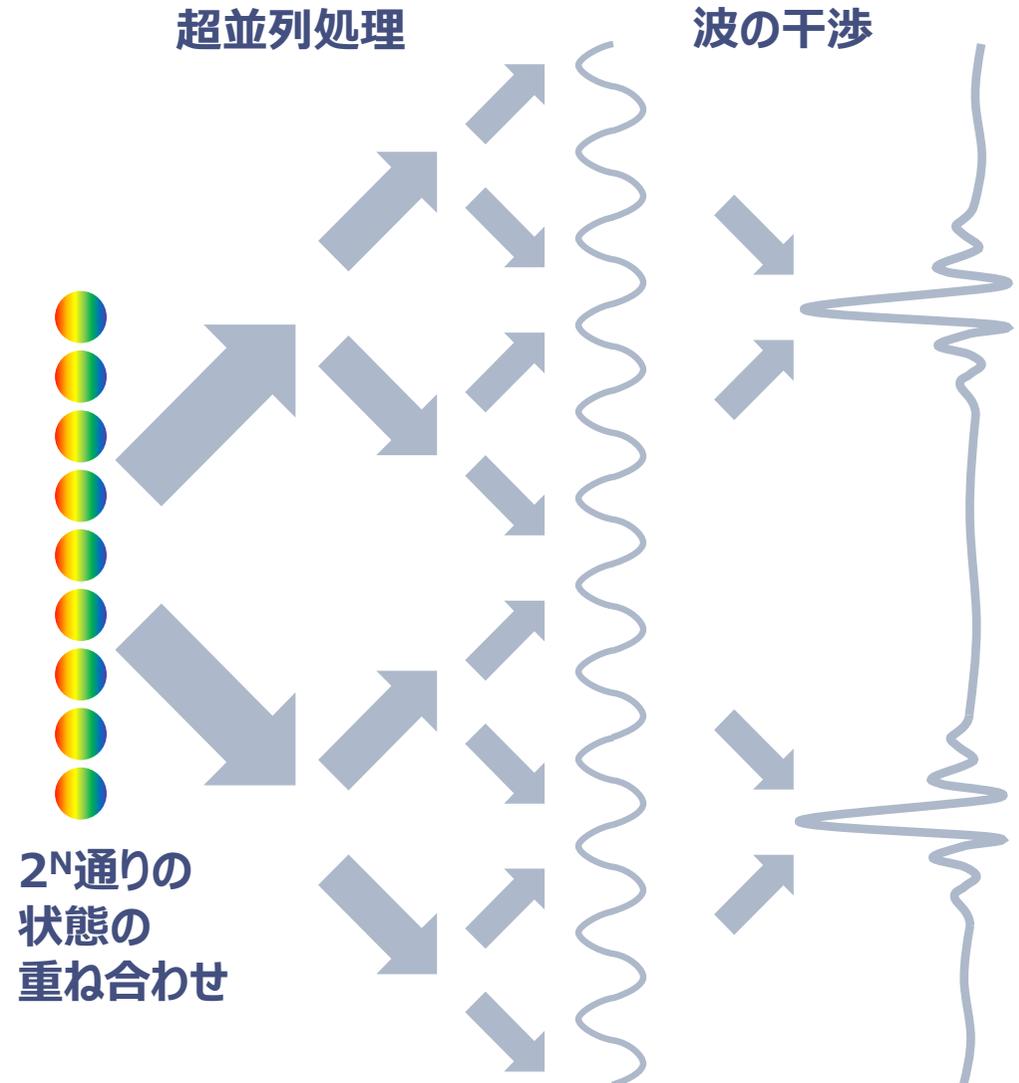
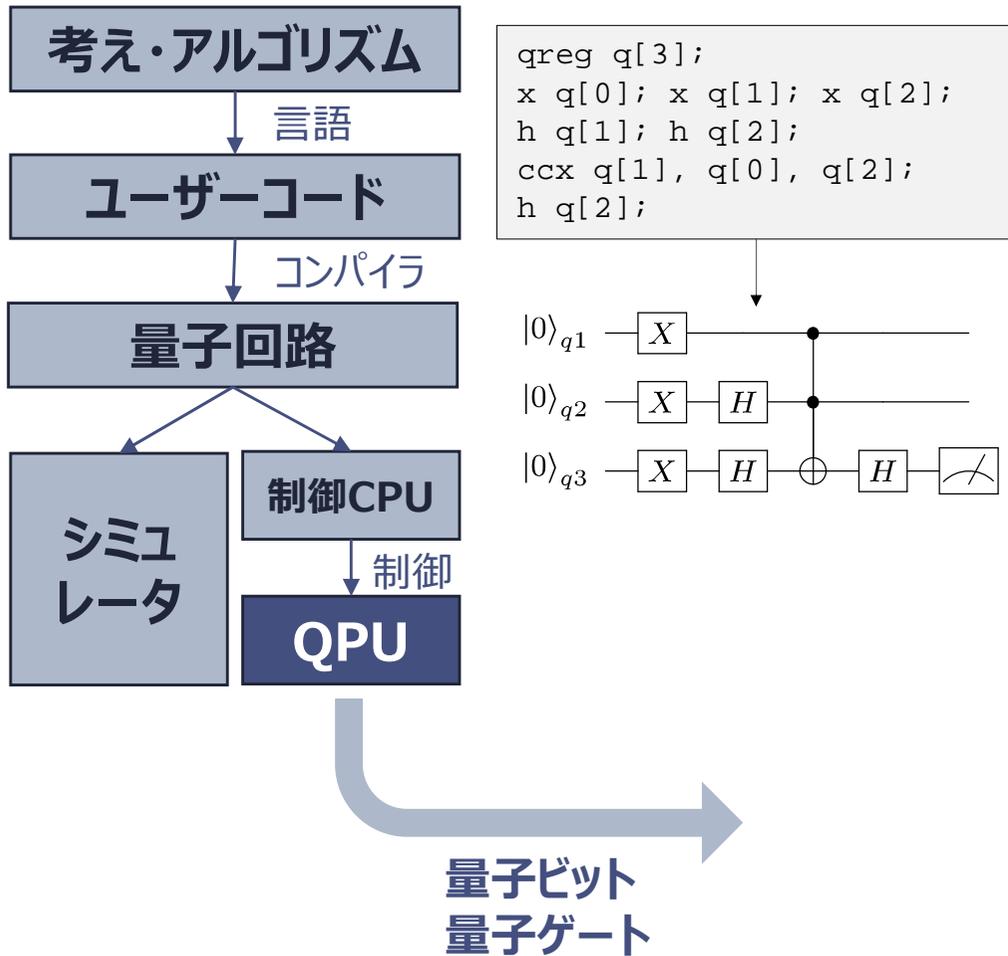
量子中継機を用いて全体を量子通信化



		データ	
		古典	量子
通信	古典	インターネット	-
	量子	量子暗号鍵配送 (QKD)	量子インターネット

# 量子コンピュータ

重ね合わせ状態を利用した超並列処理と、確率振幅の波の干渉による解の増幅



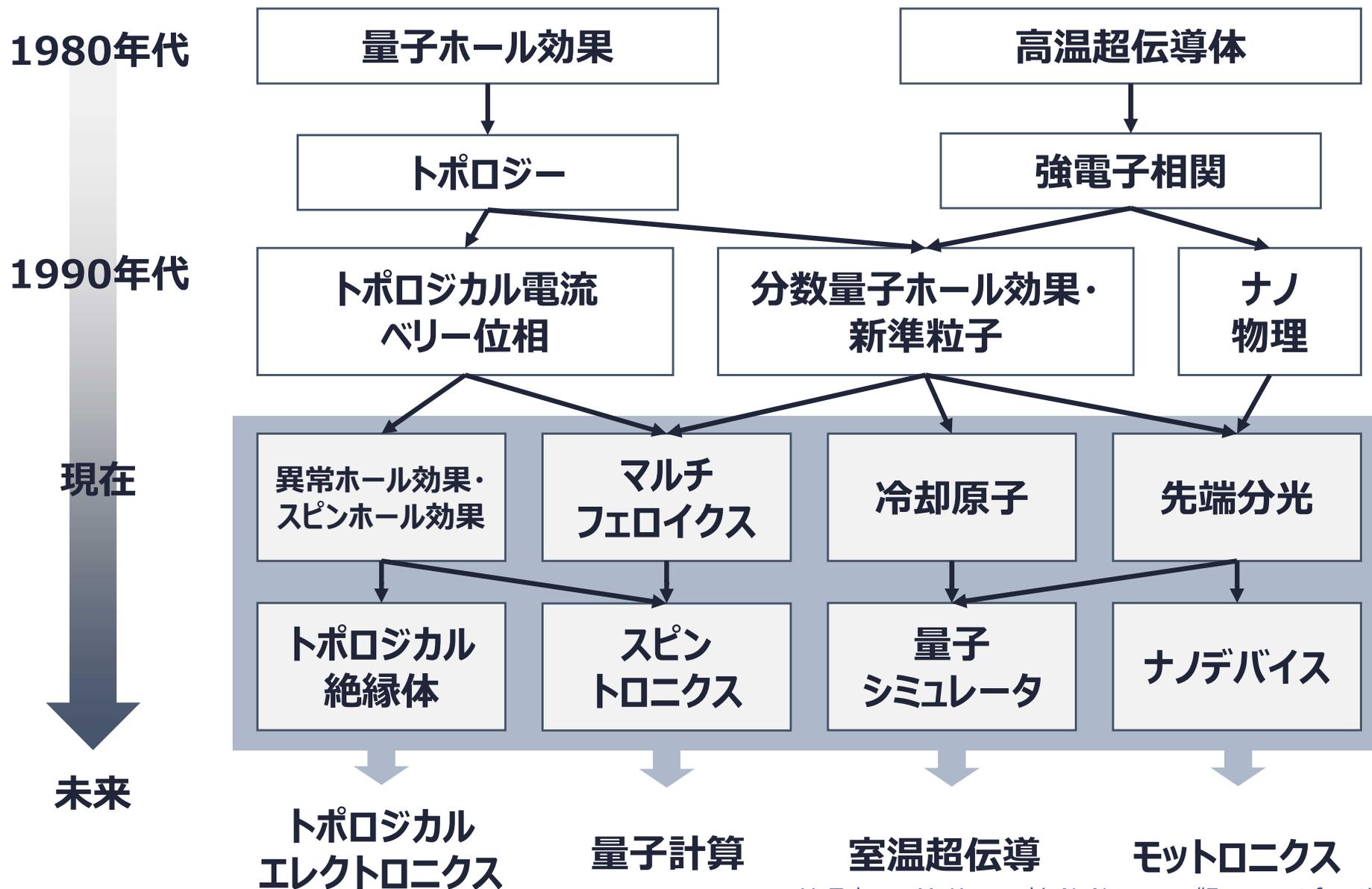
# (参考) 耐量子コンピュータ暗号

## 量子暗号 (鍵配送) とは異なることに注意

	代表例	量子アルゴリズム	対策
共通鍵暗号	AES	Grover検索 (共通鍵を総当たり で探索)	鍵長を2～3倍 に長くする
公開鍵暗号	RSA暗号 楕円曲線暗号	Shorのアルゴリズム (素因数分解・離散 対数問題が容易に解 ける)	耐量子コンピュータ 暗号への移行

# 量子マテリアル

新量子系・新量子現象の宝庫。次のエレクトロニクスを支える可能性大。



Y. Tokura, M. Kawasaki, N. Nagaosa, "Emergent functions of quantum materials", Nature Physics 13, 1056 (2017).

# 具体的な研究開発課題

## 量子計測・量子センシング

**産業応用の出口明確化、実用化指向の研究開発が必要。**

ダイヤモンドNV中心作製技術、量子センサの医療・診断応用、原子干渉計・光格子時計の実用性探索

## 量子暗号・量子通信

**(短期) QKDの市場投入。(中長期) 長距離化技術の開発。**

QKD技術の社会実装・普及、標準化活動への積極的寄与、高速化・長距離化に向けた量子中継技術・ネットワーク技術

## 量子コンピュータ

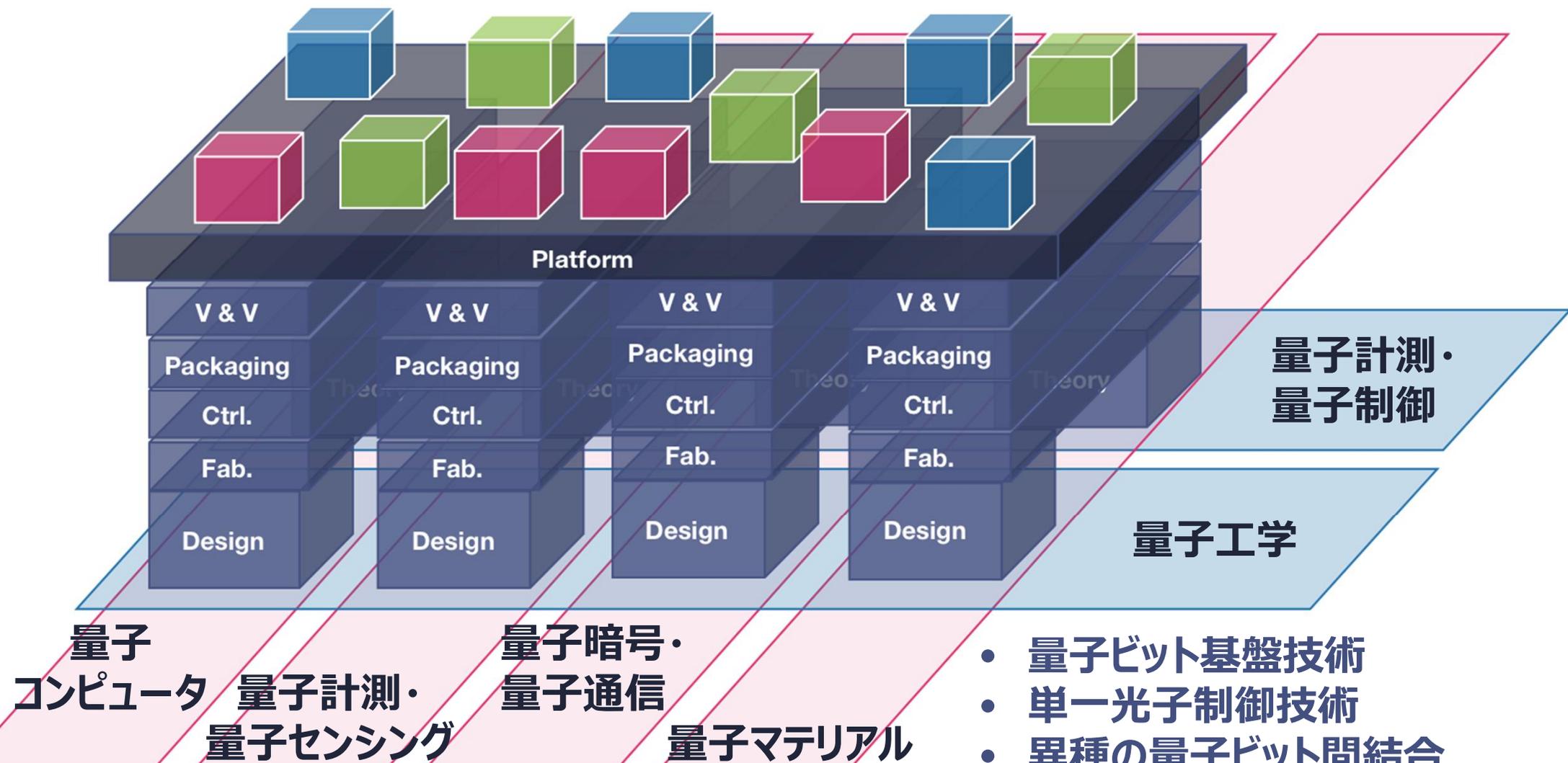
**NISQのキラーアプリ探索から大規模化まで多数の取り組みが必要。**NISQマシンのキラーアプリ探索、ゲート型量子コンピュータ実機の試作、エラー耐性量子コンピュータ基盤技術、量子シミュレータ開発

## 量子マテリアル

**量子技術2.0への貢献に加え、新概念・新物質の創出が求められる。**

トポロジカル量子物質、スピントロニクス材料、エネルギー変換材料、フォトニクス材料

# 共通量子技術基盤（量子技術プラットフォーム）



- 量子ビット基盤技術
- 単一光子制御技術
- 異種の量子ビット間結合
- 材料設計・製造、計測技術

# 今後の展望



# CRDS量子2.0関連プロポーザル・報告書

CRDSのWebサイトから無料でダウンロード可能です。

量子技術全般については…

## 量子2.0 ～量子科学技術 が切り拓く新たな地平～

<https://www.jst.go.jp/crds/report/report01/CRDS-FY2019-SP-03.html>



量子コンピュータについては…

## みんなの量子コンピューター ～情報・数理・電子工学と 拓く新しい量子アプリ～

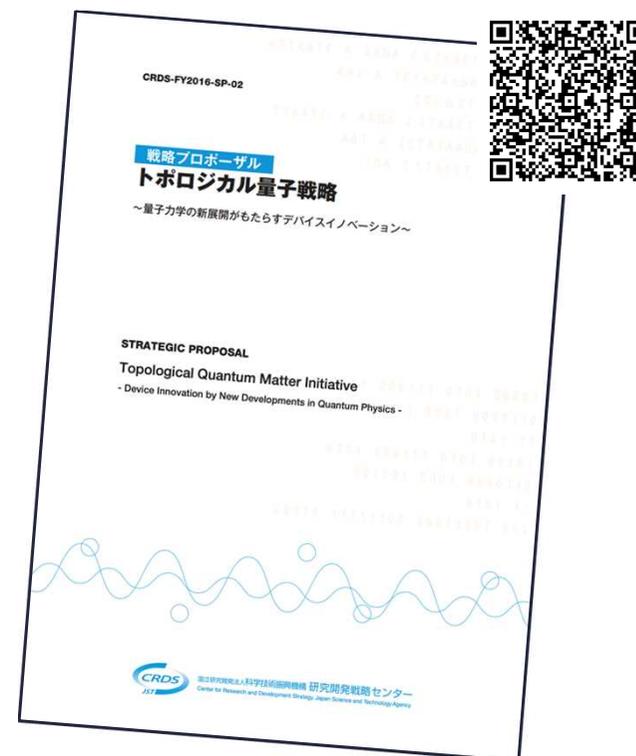
<https://www.jst.go.jp/crds/report/report01/CRDS-FY2018-SP-04.html>



量子マテリアルについては…

## トポロジカル量子戦略～量 子力学の新展開をもたらす デバイスイノベーション～

<https://www.jst.go.jp/crds/report/report01/CRDS-FY2016-SP-02.html>



# 最後までご覧頂きありがとうございました。

## ■ CRDSの活動・成果・コラムはウェブサイトでご覧いただけます



<https://www.jst.go.jp/crds/>



各種報告書・コラム無料公開中

## ■ 最新情報はメールマガジン、Facebookでも配信中



<https://www.jst.go.jp/melmaga.html>



<https://fb.com/170314426446196/>

## ■ その他 お問い合わせはこちらまで



[crds@jst.go.jp](mailto:crds@jst.go.jp)