

# 量子技術イノベーション戦略 最終報告（概要）

---

令和2年1月23日  
内閣府特命担当大臣  
（科学技術政策）



# 量子技術をめぐる国内外の動き

## ○海外の状況

- 米欧中を中心に諸外国では、「量子技術」を国家戦略上の重要技術と位置づけ、戦略策定、研究開発投資の拡充、拠点の形成等を急速に展開

### アメリカ

- ✓ トランプ政権下、研究開発戦略及び関連法を制定
- ✓ 5年間で約1,400億円の投資 (DOD、CIAを除く)
- ✓ 10か所程度、拠点を形成 (DOE、NSF)
- ✓ Google、IBM、ベンチャーが量子コンピュータを開発中



### E U

- ✓ 2017年、研究開発戦略を策定
- ✓ 10年間、約1,250億円の Flagshipプロジェクトを開始
- ✓ 加えて、各国が独自予算で研究開発を実施
- ✓ 特に、蘭・英等は、国際的な拠点を形成。Intel等の民間投資を呼び込んでいる



### 中国

- ✓ 官民ともに研究開発を積極的に展開
- ✓ 量子関係の研究所を約1,200億円かけて建設中
- ✓ 安全保障の観点から、量子暗号への取組を拡大
- ✓ アリババ、Huawei等が、自社内に量子コンピュータのチームを立ち上げ



## ○我が国の状況

- 長年にわたる研究の蓄積により、我が国は基礎理論や基盤技術（材料技術）等に優位性を有するため、研究協力に対する米欧からの関心は高い
- しかし、国を挙げた戦略的な方向性や世界に顔の見える研究開発拠点等が存在しない。そうしたこともあり、諸外国と比べ、我が国の研究開発投資は見劣り

このままでは量子技術で諸外国に致命的な後れをとるおそれ

# 量子技術イノベーション戦略 最終報告(ポイント)

- 量子技術は、将来の経済・社会に変革をもたらす、また、安全保障の観点からも重要な基盤技術であり、米欧中では、本分野の研究開発を戦略的かつ積極的に展開
- 我が国においても「量子技術イノベーション」を明確に位置づけ、日本の強みを活かし、重点的な研究開発や産業化・事業化を促進。量子コンピュータのソフトウェア開発や量子暗号などで、世界トップを目指す

## <量子技術イノベーション創出に向けた重点推進項目>

### I 重点領域の設定

- ✓ 世界に先駆けて「量子技術イノベーションを実現」



- ✓ 「主要技術領域」、「量子融合イノベーション領域」を設定
- ✓ 研究開発支援を大幅に強化し、企業等からの投資を呼び込み
- ✓ 「技術ロードマップ」、「融合領域ロードマップ」を策定

### II 量子拠点の形成

- ✓ 国内外から人や投資を呼び込む「顔の見える」拠点が不可欠



- ✓ 「量子技術イノベーション拠点(国際ハブ)」を形成  
〔例：量子ソフトウェア研究拠点、量子慣性センサ研究拠点〕
- ✓ 基礎研究から技術実証、人材育成まで一貫通貫で実施

### III 国際協力の推進

- ✓ 産業・安全保障の観点から、欧米との国際連携が極めて重要



- ✓ 量子技術に関する多国籍・二国間の協力枠組みを早期に整備  
〔12月に日米欧3極による政府間シンポジウムを日本で初開催〕
- ✓ 特定の国を念頭に安全保障貿易管理を徹底・強化

上記の取組を含め、量子技術イノベーションの実現に向けて、5つの戦略を提示

技術開発戦略

国際戦略

産業・イノベーション戦略

知財・国際標準化戦略

人材戦略

# 量子技術イノベーション実現に向けた5つの戦略①

別添1

## 戦略の方向性

## 具体的方策

### 1. 技術開発戦略

#### (1) 主要技術領域

- 「量子技術イノベーション」を通じて、Society 5.0や、「生産性革命の実現」・「健康・長寿社会の実現」・「国及び国民の安全・安心の確保」という将来の社会像を達成するための基盤技術を特定
- それぞれの技術の特性に応じ、研究開発等の重点化や実用化等に向けた戦略的取組を展開

- 「主要技術領域」について、「重点技術課題」と「基礎基盤技術課題」を特定
- 技術ロードマップを策定し、重点的な支援を推進等

#### < 主要技術領域 >

- i) 量子コンピュータ・量子シミュレーション
- ii) 量子計測・センシング
- iii) 量子通信・暗号
- iv) 量子マテリアル（量子物性・材料）

#### (2) 量子融合イノベーション領域

- 世界に先駆け量子イノベーションを創出、社会実装を実現するため、量子融合イノベーション領域を設定
- 実用化等を実現するための戦略的な取組を展開

- 量子技術と関連技術とを融合・連携させた「量子融合イノベーション領域」を設定
- 「融合領域ロードマップ」を策定し、民間から投資を呼び込み、国直轄の大規模なプロジェクトや大型の研究開発ファンディング等を実施等

#### < 量子融合イノベーション領域 >

- ①量子AI ②量子生命 ③量子セキュリティ

### 2. 国際戦略

#### (1) 国際協力の戦略的展開

- 量子技術に関する高い研究・技術水準等を有する国・地域との間で協力を推進

- 欧米を中心に、政府レベルでの多国間・二国間の協力枠組みを整備・構築等

#### (2) 安全保障貿易管理

- 量子技術を含む先進技術を対象とした安全保障貿易管理を推進

- 外国為替及び外国貿易法に基づく安全保障貿易管理規程等の整備と運用体制の強化等

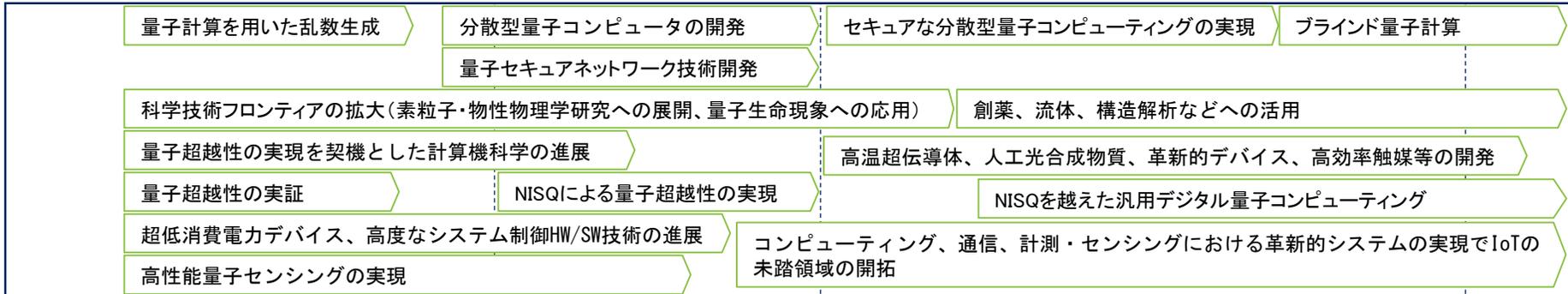
# 量子技術イノベーション実現に向けた5つの戦略②

戦略の方向性		具体的方策
<b>3. 産業・イノベーション戦略</b>		
(1)国際研究拠点の形成	○国内外から優れた研究者を惹きつける研究拠点を形成し、国内外の優れた研究者や企業等から積極的な投資を呼び込む	○基礎研究から技術実証まで一気通貫で行う「量子技術イノベーション拠点（国際ハブ）」を形成 等  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                     &lt;拠点（例）&gt;                      超伝導量子コンピュータ拠点、量子ソフトウェア拠点、量子慣性センサ拠点、量子セキュリティ拠点 等                 </div>
(2)産学官による協議会の創設	○量子技術分野のエコ・システムの構築・形成によるオープンイノベーションの促進	○産学官等による量子技術の産業・社会での利活用等を検討・議論する場である「量子技術イノベーション協議会」の創設や活動等を支援 等
(3)創業・投資環境の整備	○量子技術を基にしたベンチャー創出を促進する環境整備	○量子技術を基にしたベンチャー創出拡大に向けたスタートアップ支援等の拡大を検討 等
<b>4. 知的財産・国際標準化戦略</b>		
(1)知的財産戦略	○将来的な産業展開を見越した戦略的な知的財産マネジメントの推進	○オープン・クローズド戦略に基づく、柔軟な権利化・利活用等を推進
(2)国際標準化戦略	○量子技術に関する国際的な競争力強化・市場獲得のための国際標準化戦略を推進	○我が国の強みを考慮しつつ、研究開発段階からの一体的な国際標準獲得の支援 等
<b>5. 人材戦略</b>		
(1)研究者・技術者の育成	○優れた若手研究者・技術者等の戦略的な育成・確保	○量子技術に関する体系的・共通的な教育プログラムの開発とその活用・実施 等
(2)量子ネイティブの育成	○量子技術に対する興味関心を喚起する	○中等教育段階における理数系教育の充実 ○量子技術の科学コミュニケーション活動を展開 等

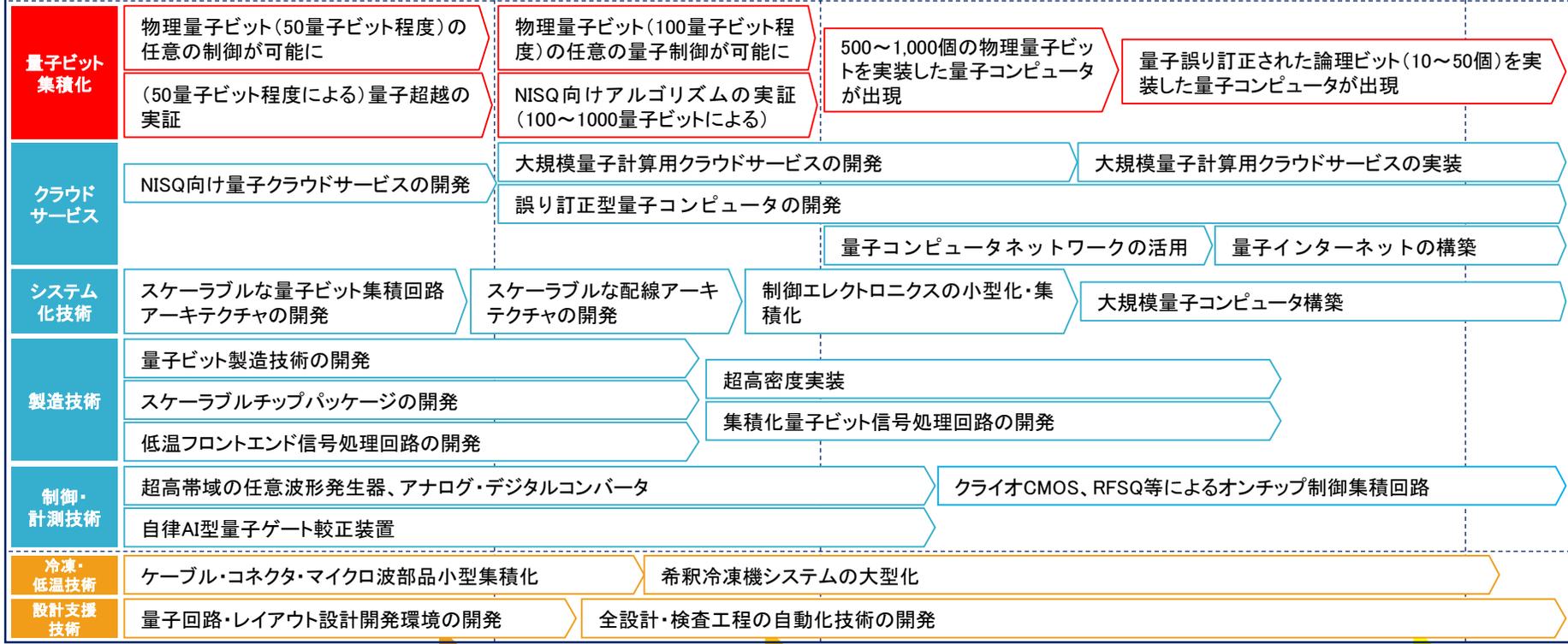
# 技術ロードマップ例 ①ゲート型量子コンピュータ(超伝導量子ビット)

- 大規模で複雑な計算を高速・高精度・低消費電力で実行可能な汎用デジタル量子コンピュータを実現
- 10年後以降、1,000個程度の物理量子ビットを実装。さらに、量子誤り訂正された50個程度の量子ビットを実装
- 大規模化に向けた設計支援技術や冷凍・低温技術開発により、大規模化を進める

## 経済・社会インパクト



## 技術の進展



## 本技術を支える周辺技術の進展



# 技術ロードマップ例 ② 固体量子センサ(ダイヤモンドNV中心等)

- 小型でロバストな超高感度の固体センサの実現により、脳磁計測(医療・ヘルスケア)や極限環境、生命分野等での利用が期待
- 5年後に $10^{-12}$ T(テスラ)、10年後に $10^{-14}$ Tの室温下の微弱磁場の観測を達成。さらに温度や電流の同時計測技術等を確立
- センサの高感度化のため、高度な量子状態の制御技術の開発やセンサ材料の高品質化を進める

経済・社会  
インパクト

### 省エネ、安心安全等への貢献

- ・ パワエレ・バッテリーの高精度制御による省エネ、温度モニタによる安全性向上
- ・ 食品・薬品・電池材料中などの微量異物検知

### 小型・ウェアラブル脳磁・神経計測によるヘルスケア・医療・BMIへ貢献

- ・ 脳の構造・機能、神経系の免疫メカニズム、認知症・うつ病等が解明
- ・ 脳磁計測システム普及による心療内科、健康用途、創薬への利用
- ・ 電極フリーのブレインマシーンインターフェースが実現

### インフラ、宇宙、資源探査、ロバストな超高感度センサによる極限環境での探索

- ・ 電力等インフラのモニタリングによる故障予測
- ・ 石油等の資源探査、宇宙状況監視・探査への利用

量子暗号通信・量子計算・量子ネットワークへの展開:量子もつれ接続した分散及び秘匿量子計算機の実現

量子生命科学分野への展開:生体ナノ量子センサを用いた細胞のスクリーニングや超偏極MRI等への展開による医療への貢献

固体量子  
センサ  
(磁気)

- ・ 温度/電流同時計測技術を確立
- ・ 耐環境(高温下・放射線下)センサ
- ・ 生体親和型(非冷却・非毒性)センサ
- ・ 細胞計測用センサの実現

- ・ 単一分子レベル生体動的計測
- ・ 室温・高空間分解NMRの実現
- ・ 量子メモリの実現

- ・ 小型・ウェアラブル生体磁気計測システムを実現
- ・ 室温・高空間分解・小型MRIを実現
- ・ 極限環境下 ロバスト超高感度磁気センサを実現
- ・ 生体ナノ量子センサ、ナノ量子プローブによる標準計測
- ・ 細胞・生体計測による細胞の効率的スクリーニング等への貢献

磁場感度サブpTを達成

10fTを達成

aT領域の超高感度化を実現

量子計測

環境スピンノイズデカップリングの実現

広視野高精度同期量子位相検出、アンサンブル核スピン転写の実現

ショットノイズ限界を超える量子光学計測との融合・深化

デバイス

電氣的検出技術の開発

電流/スピン注入技術の開発

スピン波などによる量子操作の実現

材料

高配向・高密度・高コヒーレンス時間化技術の開発

大面積化、高速成長化の実現

高効率・高制御電子/イオンビーム照射技術の開発

単一光子源、量子もつれ光源への展開

量子中継・量子ネットワーク・量子計算へ展開

高機能・高速成長化の実現、NV中心以外の発光中心の研究

量子物理  
・理論

量子もつれ等の高度な量子状態制御、核スピン超偏極技術、フォノン操作等の実現

量子メモリによる高感度化技術の開発

量子メモリを用いた量子中継・量子ネットワーク・量子計算との融合

雑音の機構解明、低雑音化信号検出方式、高効率スピン制御方式の実証

システム

3次元計測逆問題解析技術の開発(細胞-神経組織-脳機能など)

AI・深層学習等の適用(低雑音化処理、画像認識、異常予兆検出、内部推測等)

実装・  
集積化

マイクロ波アンテナ技術・集積回路技術の開発

アクティブシールド技術の開発

シールドレス技術の開発

オンチップ化の実現

チップアレイ化の実現

ナノフォトニクス集積化技術の開発

光学技術の高度化(緑色VCSEL、高機能・高感度イメージセンサ高感度化等)

現在  
(2019年度)

5年後  
(2024年度)

10年後  
(2029年度)

20年後  
(2039年度)

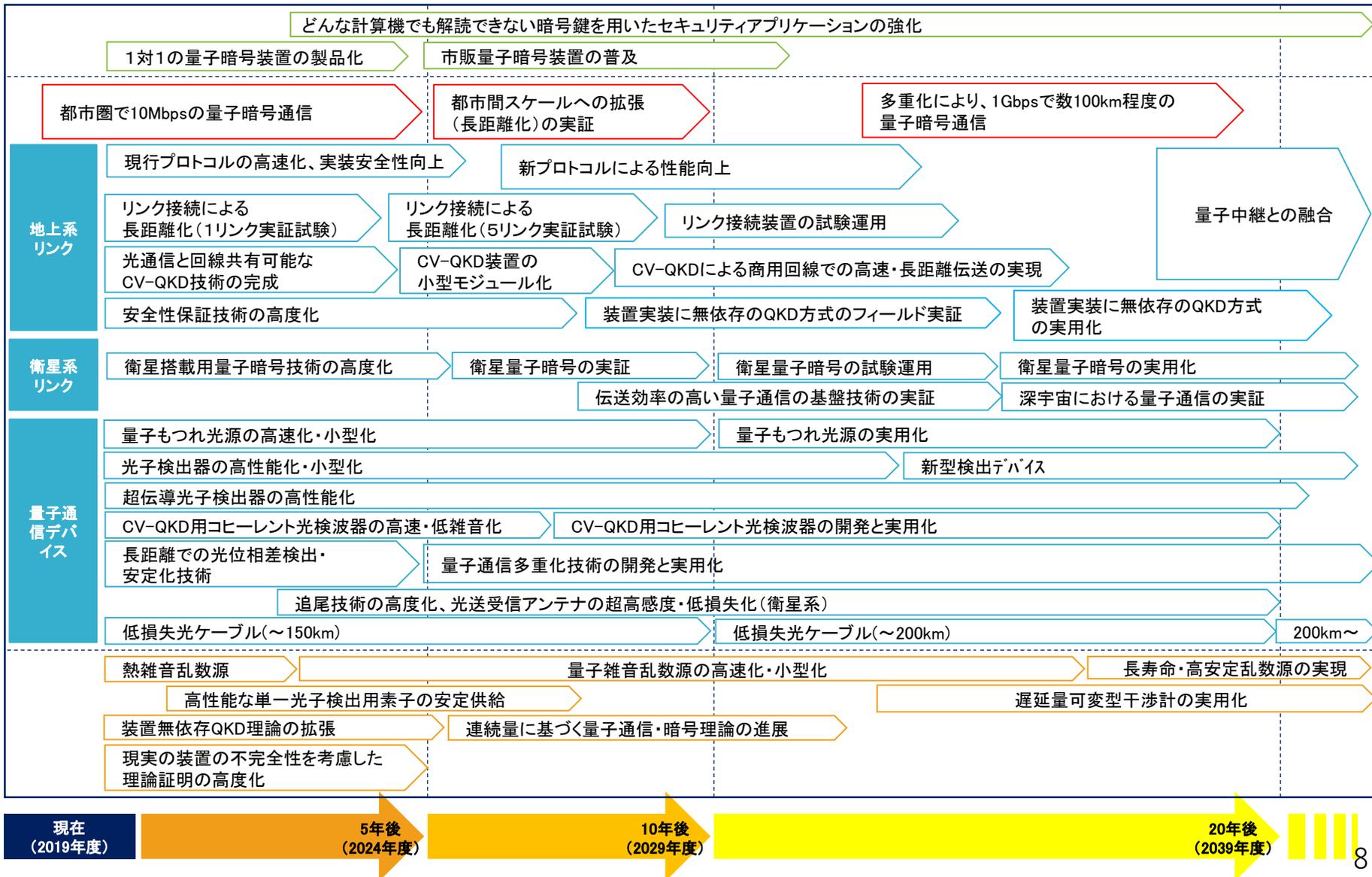
# 技術ロードマップ例 ③量子通信・暗号リンク技術

- 量子暗号装置の製品化によって、様々なセキュリティアプリケーションの安全性を強化
- 5年後までに都市圏で10Mbpsの量子暗号通信、10年後までに都市間スケールへの拡張（長距離化）の実証
- 高性能な単一光子検出器や量子もつれ光源、乱数源等の研究開発。加えて、QKDの新方式の研究開発

## 経済・社会インパクト

## 技術の進展

## 本技術を支える周辺技術の進展



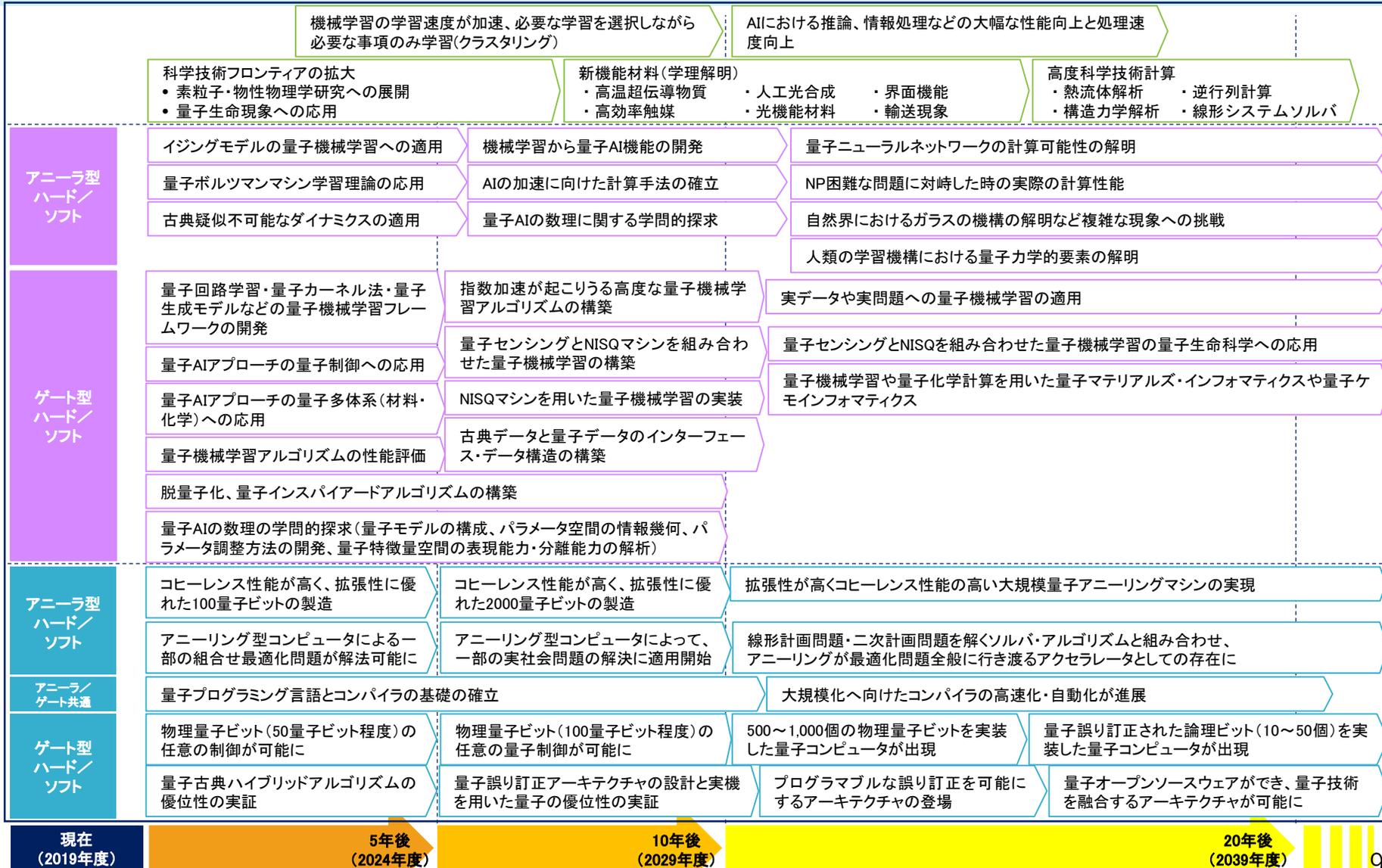
# 融合領域ロードマップ例 量子AI技術

- 将来的なニューラルネットや人間の学習メカニズムにおける量子力学的要素の解明、実証など、AIの可能性を最大化
- 量子インフラ(量子通信・インターネット、量子センサ、量子コンピュータ)を組み合わせた量子AIシステムの創出
- 機械学習(AI)と量子情報処理の融合による、量子機械学習の基礎学理の構築やマテリアルズ・インフォマティクスなど化学・材料・物性計算、量子シミュレーション、量子系の制御に量子AIの方法論を応用

## 経済・社会インパクト

## 領域の進展

## 本領域を支える技術の進展



# 量子技術が拓く可能性

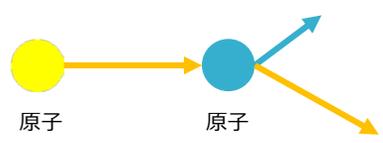
## 量子技術とは

量子(原子、電子、光子など)の持つ特異な性質や振る舞いを活かした科学技術。従来技術を凌駕する性能を引き出す

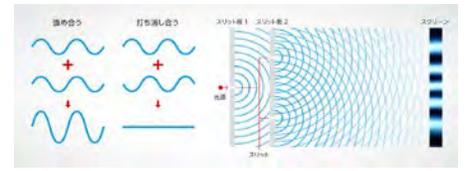
- ①二重性：粒子と波の二つの性質を併せ持つ
- ②重ね合わせ：1つの量子で複数の状態を同時に表現することができる
- ③もつれ：複数の量子がたとえどれだけ空間的に離れていても互いに影響を及ぼし合う

### <二重性の例>

①原子の粒子としての性質



②原子の波としての性質

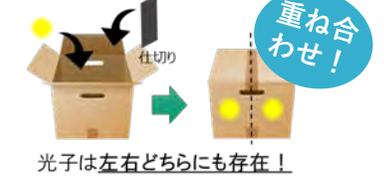


### <重ね合わせの例>

○りんご(非量子)の場合



○光子(量子)の場合



## 量子技術は、将来の産業競争力・国家安全保障上、極めて重要な「コア技術」

### 量子慣性センサ

見えないものが見える!

✓ 原子の粒子と波の両方の性質を活用 (二重性)

ジャイロ (慣性センサ) は、使用する量子の「速度×波長」が小さいほど精度が向上

→ 原子は、光子より「速度×波長」が桁違いに小さく、かつ、速度 (波長) の制御が可能

✓ GPSが使えない水中等で、自己位置を正確に推定



例：自律型潜水艦  
 → 現行の慣性航法(光ジャイロ)に比べ誤差を2桁低減  
 現行装置は10時間で~10kmの誤差を発生

### 量子コンピュータ

計算できないものが計算できる!

✓ 通常のビット (0 か 1) ではなく、量子ビットは (0 と 1 の) 重ね合わせ状態を活用

2量子ビットの場合、4通り (00,01,10,11) を同時に表現 = 計算可能

→ ビットが増えると、指数関数的に計算能力が向上 (30量子ビット：10億通り)

✓ スパコンでも非現実的な時間を要する問題を高速処理



例：AI高度化、暗号解読(因数分解)  
 → スパコンでは300万年かかる現在の暗号を30時間で解読