

量子技術イノベーション戦略の策定に向けて



平成31年3月

量子技術に関する現状と課題

量子技術を取り巻く諸外国の動向

近年、「第二次量子革命」が到来。米欧中を中心に海外では、「量子技術」はこれまでの常識を凌駕し、社会に変革をもたらす重要な技術と位置づけ、政府主導で研究開発戦略を策定し、研究開発投資額を増加。各国の大手IT企業も積極的な投資を進めており、ベンチャー企業の実立・資金調達も進んでいる。

政府の取組



2018年9月、国家科学技術会議が「量子情報科学の国家戦略

概要」を策定

- 毎年2億ドル(約218億円)オーダーの投資を現在実施。2018年12月、2019年より5年間で13億ドル(約1,400億円)規模の投資に関する法律が成立



量子技術に関する大型プロジェクトを2014年より総額2.7

億ポンド(約456億円)で実施(5年計画)



「科学技術イノベーション第13次五カ年計画(2016年)」において、量子通信と量子コンピュータを重大科学技術プロジェクトとして位置づけている。

- 「量子情報科学国家実験室」を安徽省合肥市に約70億元(約1,200億円)かけて建設中(2020年完成予定)



2017年6月、欧州委員会の有識者会議が「量子技術フラッグ

シップ最終報告書」をとりまとめ

- 2018年から10年間で、10億ユーロ(約1250億円)規模のプロジェクト「Quantum Technology Flagship」を開始



2018年9月、「量子技術の基本計画」を閣議決定

- 2021年までに、量子技術の研究開発のために6.5億ユーロ(約845億円)を投資

代表的な企業の取組

<大手IT企業>

Google

量子人工知能研究所を設立(2013年~)

IBM

5年間で30億ドルの研究投資(2014年~)

Microsoft

Station Qを設立(2005年~)

阿里巴巴

(アリババ)

中国科学院に量子計算実験室を設立(2015年~、3千万元/年)

<ベンチャー>

D:|:WAVE

The Quantum Computing Company™

世界初の商用量子アニーリングマシンを販売。2億ドルを資金調達。

rigetti

超伝導型量子コンピュータを開発。約1.2億ドルを資金調達。

注) 為替レートは、発表時の当該月の我が国財務大臣が公示する基準外国為替相場及び裁定外国為替相場をもとに算定

世界的な競争が激化する中、量子技術をどのように推進するか岐路に立たされている

我が国の量子技術の取組の現状

量子技術は、第五期科学技術基本計画において、初めて重要な基盤技術として位置づけられた。これを踏まえ、文部科学省では初めて量子技術に関する体系的な取り組み方策を作成し、新事業を開始。各府省も各々の政策目的に沿って研究開発を実施しているが、国全体を俯瞰した量子技術戦略は未策定。

第5期科学技術基本計画(平成28年1月閣議決定)において、「光・量子技術」として初めて位置付けられる

「統合イノベーション戦略」(平成30年6月閣議決定)

光・量子基盤技術分野は、従前の技術では不可能であったことを可能とし、社会に変革をもたらす革新的な技術分野であることから、欧米や中国で積極的に研究開発が進められている。我が国としても、Society 5.0の実現のため、・・・我が国が強みを有する光・量子基盤技術の国際競争力を維持・向上させるべく取り組む。

文部科学省では初めて量子技術に関する体系的な取り組み方策を作成

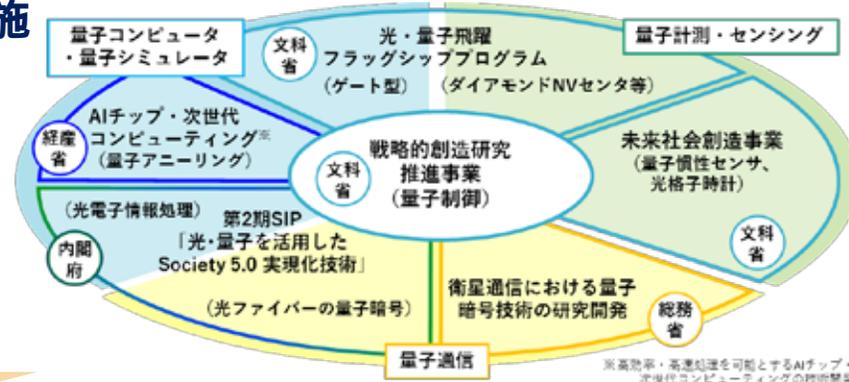
「量子科学技術(光・量子技術)の新たな推進方策」(平成29年8月 科学技術・学術審議会 量子科学技術委員会)

中長期にわたるインパクトが期待される研究・技術領域として、4分野を特定するとともに、トップダウン的アプローチによる研究開発の推進の必要性を指摘。

量子情報処理(主に量子シミュレータ・量子コンピュータ) 量子計測・センシング 極短パルスレーザー 次世代レーザー加工

各府省においても、各々の政策目的に沿って研究開発を実施

- 内閣府 量子暗号(光ファイバー)、光電子情報処理
- 総務省 量子暗号(衛星通信)
- 文科省 量子情報処理(ゲート型)、量子計測・センシング
- 経産省 量子情報処理(量子アニーリング)



我が国では、国全体を俯瞰した量子技術イノベーション戦略は未策定

「量子技術イノベーション戦略(仮称)」の必要性

量子技術は、現代の社会課題を解決し、将来の産業競争力の強化につながる重要な技術。国を挙げて取り組むための戦略として、「量子技術イノベーション戦略(仮称)」を策定すべき

量子技術による社会課題の解決の例

システム最適化による 生産性革命の実現

物流コストの最適化を行い、輸送に係るエネルギー量等を削減するための高速情報処理基盤がない

配送箇所を効率的に回る方法

場所数	スパコンでの計算時間
10	百億分の4秒
20	40分
30	8億年

早期診断発見による 健康長寿社会の実現

既存の検査技術では見逃されていたがんの転移等の早期診断法が必要



高秘匿通信による 安全安心社会の実現

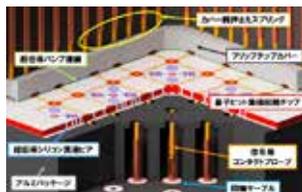
暗号解読技術の進展によるセキュリティの危殆化が課題。



量子技術による破壊的イノベーション

量子コンピュータ

量子状態の高度制御により、大規模データの超高速・超並列処理を実現



量子コンピュータの量子ビット(理研)

(参考)
既存コンピュータで1000万年かかる処理が、量子コンピュータでは数十秒で可能

量子センサ

壊れやすい量子の性質を利用し、室温動作かつ小型の超高感度センサを実現



固体量子センサ
(ダイヤモンドNVセンサ)

- 産業ニーズの高い高感度
(ナノテスラ~数十ピコテスラ)
- 産業ニーズの高い室温利用

量子暗号

絶対に破られない暗号技術により、現在のセキュリティ技術の限界を突破



(参考)
現在の暗号：計算量的安全性
量子暗号：情報理論的安全性

量子技術は、社会課題を解決し、将来の産業競争力につながる基幹技術

「量子技術イノベーション戦略(仮称)」を策定し、国を挙げた取り組みを開始すべき

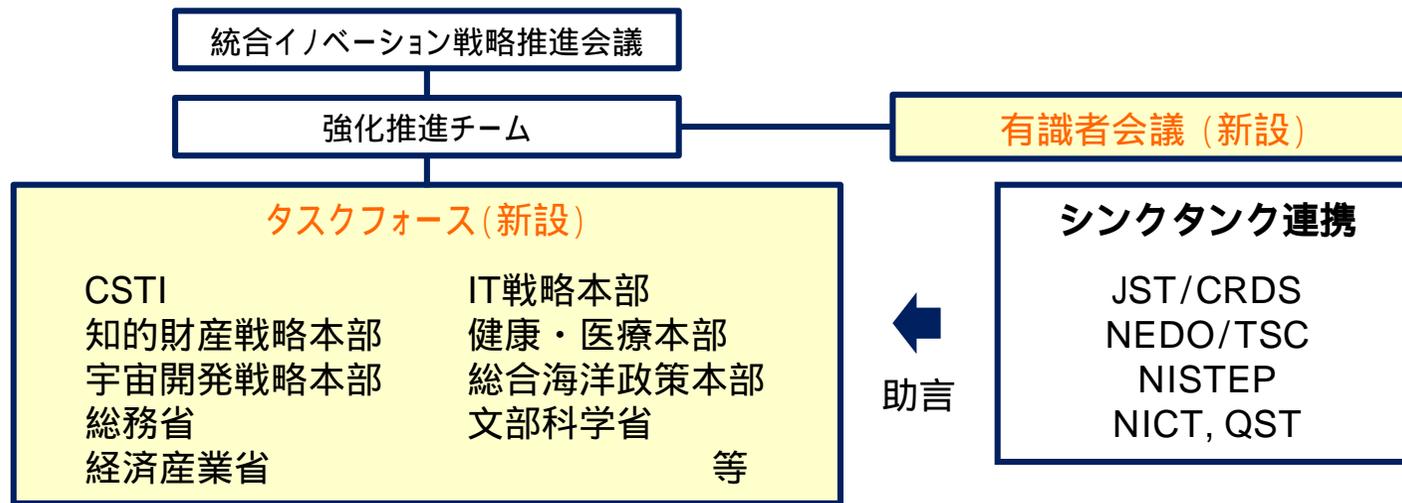
検討体制及びスケジュール

検討体制及びスケジュール案

統合イノベーション戦略推進会議の下に、有識者会議「量子技術イノベーション」及びタスクフォース（TF）を新設
内閣府に量子技術に関するチームを設置し、有識者ヒアリングを実施。本年5～6月頃に中間とりまとめを実施し、
「統合イノベーション戦略」の改訂に反映するとともに、年末に最終とりまとめを実施

検討体制

統合イノベーション戦略推進会議の下に、有識者会議「量子技術イノベーション」及びタスクフォース（TF）を設置



スケジュール

- 12月14日 統合イノベーション戦略推進会議において、官房長官より「光・量子技術」について有識者会議の設置と本格検討の指示
- 1月 内閣府に「量子技術」を担当するチームを設置
- 1月以降 チームを中心に有識者ヒアリングを実施し、国として取り組むべき事柄やその方策を検討
- 3月 有識者会議「量子技術イノベーション」及びTFの第1回を開催（以降、毎月1回程度開催予定）
- 5～6月頃 有識者会議での検討等を踏まえて、中間とりまとめを実施
➡ 「統合イノベーション戦略」の改訂に反映
- 2019年末 最終とりまとめを実施

主な論点

1．量子技術によって我が国が目指すべき社会像

< 論点例 >

「量子技術」に関する国内外の研究開発・社会実装が急速に進展する中、量子技術をとりまく現状をどのように評価しているか。

我が国の将来の産業構造やビジネスモデルをどのように見通しているか。また、我が国が目指すべき将来像・社会像をどのように描くべきか。

上記を踏まえ、国として、量子技術に関する政策をどのように位置付けて、推進すべきか。

2．国として重点を置いて取り組むべき量子技術の領域

< 論点例 >

それぞれの量子技術に関して、我が国の強み・弱み等をどのように評価しているか。

国として、将来の産業・イノベーションを見据えて、特に重点を置くべき技術領域は何か。

3．量子技術を進めるにあたって取り組むべき具体的方策

< 論点例 >

我が国が強みを持つ量子技術を産業やイノベーションに結びつけるためには、具体的にどのような方策が必要か。（例：研究開発拠点の形成、コンソーシアムの創設）

量子技術に携わる研究者・技術者等の層の厚みを増すためには、どのような方策が必要か。

国際的な研究協力や、知財・国際標準化などを、どのように戦略的に進めるべきか。

4．その他

上記以外で、量子技術イノベーション戦略に取り入れるべき事項は何か。

議論のポイント(案)

量子技術を取り巻く状況

(1) 諸外国の動向

米欧中等を中心に諸外国において、「量子技術」を国の重点技術領域として明確に位置づけ、投資を大幅に拡充

(2) 我が国の動向

第5期科学技術基本計画や統合イノベーション戦略で「量子技術」の重要性を指摘しているものの未だ政府全体の将来を見通した中長期戦略は未策定

(3) 今後の戦略的方向性

現状のままでは、量子技術の発展において諸外国に大きな後れを取り、将来の国の成長や国民の安全・安心の基盤が脅かされない

国として将来の産業・ビジネス構造の変化等を見据え、技術開発にとどまらず、産業・イノベーションまで念頭に置いた新たな国家戦略を策定し、我が国の総力を結集して取組を強化・拡充すべき

基本方針

量子技術は、我が国の経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる可能性を持つ重要技術であり、確固たる技術基盤の確立と我が国が抱える課題解決や将来の成長・発展等に結びつけることが不可欠

これを「量子技術イノベーション」として明確に位置づけ、国を挙げて総合的かつ戦略的に推進

量子技術イノベーションが拓く社会像

「量子技術イノベーションを通じて実現する将来の社会像を提示。この実現に向けて鍵となる重要な技術領域や具体的推進方策等を特定

<社会像>

(例：生産性向上、健康長寿社会、・・・等)

量子技術イノベーション実現に向けた戦略的方向性

1. 技術開発戦略

(1) 量子技術と関連技術の融合

将来の社会像を見据え、様々な課題解決に向けて量子技術と関連技術を融合・連携させた新たな技術体系を独自に構築・特定し、イノベーションを実現(例：量子AI、量子生命、・・・等)

議論のポイント(案)

1. 技術開発戦略(続き)

(2) 主要技術領域

量子技術の基盤となる3つの主要技術領域について、国内外の研究開発動向や我が国の強み・弱みや、我が国産業・イノベーションへの寄与等を分析・評価し、重点的に推進すべき技術領域等を特定

<主要技術領域>

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

(3) 量子inspired技術

(4) 基礎基盤的な研究開発

2. 国際戦略

(1) 国際協力の戦略的展開

(2) 安全保障貿易管理の徹底

3. 産業・イノベーション戦略

(1) 国際的連携拠点の創設

我が国の強みを持つ技術領域を中心に、人材・技術等を結集し、基礎研究から技術実証、オープンイノベーション、知財管理等に至るまで一貫通貫で行う国際的連携拠点(国際ハブ)の新規創設

(2) 産業・イノベーションを議論する場の創設

産学官をはじめ多様なステークホルダーが集い、量子技術の産業利活用等を議論する場を新規創設

(3) 創業・投資環境の整備

4. 知財・国際標準化戦略

(1) 知的財産戦略の強化

(2) 国際標準化の戦略的取組の推進

5. 人材戦略

(1) 優れた研究者・技術者の育成・確保

(2) 国際頭脳循環の推進

(3) 量子ネイティブの育成

參考資料

ゲート型量子コンピュータ、量子シミュレーションの実現には多くの解決すべき技術的課題があるものの、実現すれば新奇材料や薬剤開発の効率化による産業競争力の強化やセキュリティ技術の向上による安全安心な社会構築に貢献
一方、量子アニーリングは、実問題の解決に向けた動きが企業も含めて活発。得意とする組合せ最適化問題を解くことにより、交通渋滞の解消、工場生産プロセスの最適化などを通じ、生産性向上に貢献

ゲート型量子コンピュータ

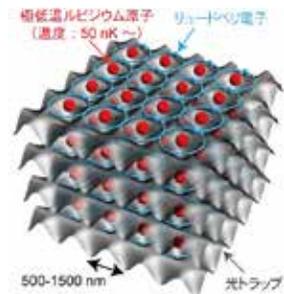
- 量子力学的な状態(0と1の重ね合わせ)を情報処理の単位(量子ビット)として利用。大規模超並列計算により、一部の問題を短時間かつ超低消費電力で計算可能
- 日本は量子ビットの作製を世界に先駆けて成功
- 短中期的には、超伝導量子ビットによる忠実度の高い中規模量子コンピュータの実現が課題
- 長期的には、大規模な量子コンピュータの実現に向け、複数の要素技術の特性を活かした着実な推進が重要



量子ビットの冷却・制御装置

量子シミュレーション

- 多数の電子等のふるまいや相互作用に特化した問題について、人工的に作った多数の粒子の量子状態を制御してシミュレーション実験を行う技術。
- 伝統的に日本は、強相関電子系の理論的研究で世界をリードしているが、実験グループが少ない。
- 多原子(イオン含む)の制御・実証が進んでいるが、複数原子間の長距離相互作用等の実装に関する課題がある。



超高速量子シミュレータの概念

量子ソフトウェア

- 量子コンピュータで計算を行うために必要となるOSやアルゴリズム
- 量子優位性を活かしたアルゴリズムの発見・実装、種々のハードウェアに対する最適なアーキテクチャの設計方針が課題。
- ハードウェアからソフトウェアにつながるミドルウェアなど含め、一体的な開発が必要



量子コンピュータのハード/ソフトウェアの階層

量子アニーリング

- 量子ビットの「重ね合わせ」と量子ビット間の結合を利用し、最適な組合せを導くことに特化したコンピュータ。
- 東工大西森らが理論提唱したが、カナダのベンチャーが商用マシンを開発
- 国内企業によるハード開発が進む一方で、企業を巻き込んだ実問題の解決に向けた動きも活発
- 量子計算による優位性を示すことがサイエンス上の課題の一つ

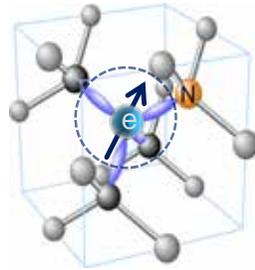


D-Wave社(カナダ)が開発した量子アニーリングマシン

量子計測・センシングは、量子状態のもろさを逆手にとり、従来技術を凌駕する感度・精度を実現する技術。生命・医療技術の向上による健康長寿社会、防災等の安全安心な社会の構築に貢献

固体量子センサ

- 電子スピン状態を利用した**高感度の磁場センサ**。従来の磁場計測法（ホール素子）に比べ、**高感度（10万倍）、高空間分解能（100倍程度）**を室温下で実現
- 日本は**材料作製技術**に強みを有している。基礎からデバイス開発まで一貫通貫な研究開発が必要
- 脳磁・神経磁場**の計測の高度化によりヘルスケア、安全走行、脳疾患の**予防・治療**などへ期待



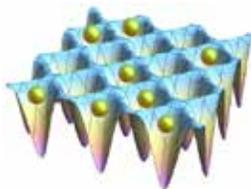
量子慣性センサ

- 原子の波としての性質を利用した**加速度や回転速度を測るセンサ**。現在広く利用されているリングレーザージャイロより**2桁の精度向上**が期待
- 日本は**光技術のレベルが高い**一方で、原理実証に留まっており、**実用に向けた小型化・可搬化**が重要
- GPS信号が無くても自分の位置を確認して目的地に到達できる、例えば、**完全自動運転車、自律型無線潜水機（AUV）**が実現可能



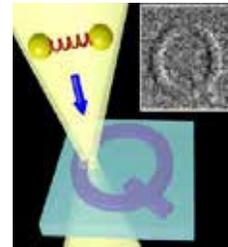
光格子時計

- レーザー光を活用し、**従来の原子時計に比べて、数桁高い精度で時間を測定**できる時計
- 日本の光格子時計の**精度・連続稼働時間は世界をリード**。更なる**小型化・可搬化・耐環境性向上**が重要
- 微弱な重力変化の計測により**地震・火山に関わる防災**に役立つことに期待



もつれ光センサ

- 2つの光子が離れていても**影響を与えるもつれ**を利用したセンサ
- 日本は**高品質なもつれ光子源**を実現実用化に向けた開発が必要
- 例えば、化学プラントでの**薬品製造管理**などに必要な**高感度の小型赤外分光装置**が実現



アト秒レーザー

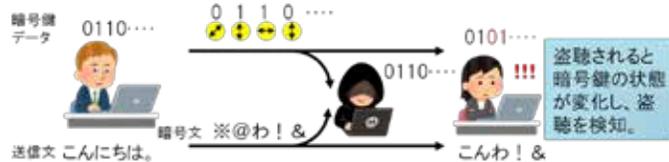
- 紫外線～軟X線の非常に短い時間幅（ 10^{-18} 秒）の光パルス**。素早い電子の動きを捉えることが可能
- 日本は**光源技術に強い**が、実用には**光源の高繰り返し化・高出力化、計測技術開発**が必要
- 化学反応やエレクトロニクス**の電子レベルでの理解**により**生命現象の解明**や**電子デバイスの高効率化**を達成

量子暗号により、絶対に破られない暗号サービスが実現されるため、セキュリティの危殆化の懸念なく高秘匿情報をインターネット上でやり取りすることのできる社会が実現される。

量子情報処理、量子計測・センシング、量子通信・暗号を支える量子光学、量子材料などの量子制御技術は、量子技術の進展を支える不可欠な基盤技術であり長期的な視点から戦略的に取り組む必要がある。

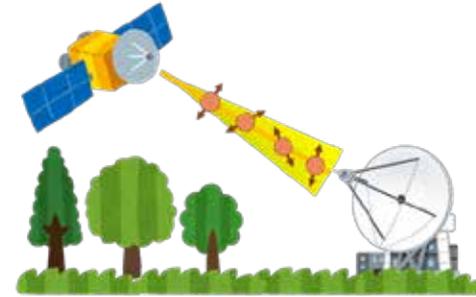
量子暗号|光ファイバー

- 量子暗号鍵データを光子に乗せ、光ファイバーで量子鍵を配送。あらゆる盗聴攻撃を検知し、情報理論的安全性が証明されている唯一の暗号方式
- 日本の強みは、高性能な量子暗号装置。一方で、低価格化やアプリケーションとの融合が課題
- データ保存や秘匿計算を組合わせた我が国独自のシステムを開発し、社会実装につなげることが重要



量子暗号|衛星通信

- 衛星間や衛星-地上局間で量子鍵配送を実施し、大陸間で高秘匿通信を可能とする技術
- 日本でも、光通信分野では世界最小となる超小型衛星を開発し、予備実験を実施
- 本技術の実現に向け、光子伝送の高速化、高精度レーザー捕捉追尾技術等の開発を行うことが重要



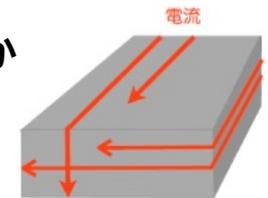
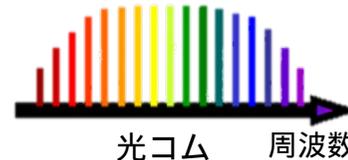
量子中継

- 量子暗号は光の損失により100km程度の通信距離が限界。現在、物理的に盗聴者を侵入させない古典的手法で中継しており、理論上安全な中継技術は未確立
- 日本は、半導体技術やダイヤモンド結晶成長技術など、量子中継デバイスの集積化の強みとなり得る技術がある。
- 一方、実現には伝送速度、誤り訂正などの課題があり、長期的視点から取り組む必要がある



基盤技術

- 量子光学、量子材料に代表される量子制御技術は、量子コンピュータの量子ビットの高忠実度化や量子暗号の伝送速度の向上等、量子技術全体を支えている
- 量子技術を進展するためには不可欠な要素であり、長期的な視点から戦略的に取り組む必要がある



トポロジカル絶縁体 (表面だけ電流が流れ、内部は流れない)

第5期科学技術基本計画（平成28年1月22日 閣議決定）

第2章 未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組

（3）「超スマート社会」における競争力向上と基盤技術の強化

基盤技術の戦略的強化

）新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術

我が国が強みを有する技術を生かしたコンポーネントを各システムの要素に組み込むことで、我が国の優位性を確保し、国内外の経済・社会の多様なニーズに対応する新たな価値を生み出すシステムとすることが可能となる。このように、個別システムにおいて新たな価値創出のコアとなり現実世界で機能する技術として、国は、特に以下の基盤技術について強化を図る。（略）

・革新的な計測技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術など、様々なコンポーネントの高度化によりシステムの差別化につながる「光・量子技術」

統合イノベーション戦略（平成30年6月15日 閣議決定）

第6章 特に取組を強化すべき主要分野 （6）その他の重要な分野

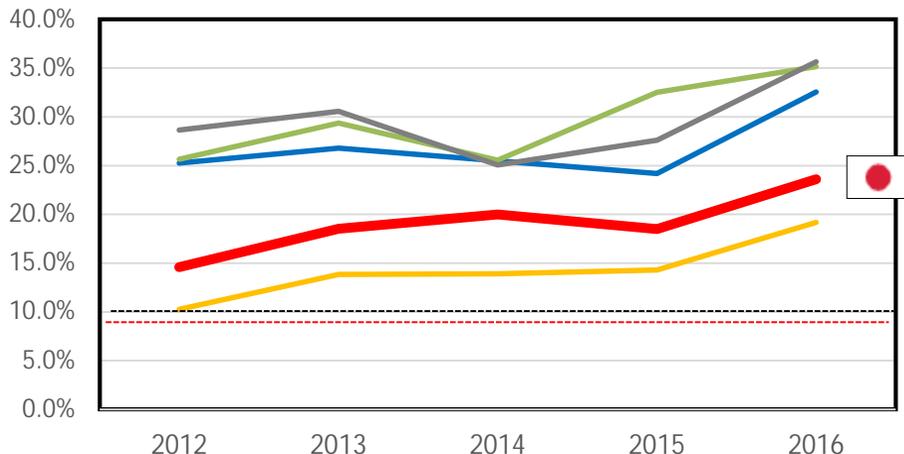
光・量子基盤技術分野

光・量子基盤技術分野は、**従前の技術では不可能であったことを可能とし、社会に変革をもたらす革新的な技術分野**であることから、欧米や中国で積極的に研究開発が進められている。我が国としても、**Society 5.0 の実現**のため、量子等の革新的コンピューティング技術の確立に向けた研究開発、SIP（第2期）の「光・量子技術基盤」も活用した、サイバー空間とフィジカル空間をつなぐデバイスを微細化・高機能化するための「レーザー加工」、爆発的に増加するデータ処理を可能とする「光電子情報処理」、安全・安心な通信を実現する量子暗号を用いた「光・量子通信」の開発等により、**我が国が強みを有する光・量子基盤技術の国際競争力を維持・向上させるべく取り組む。**

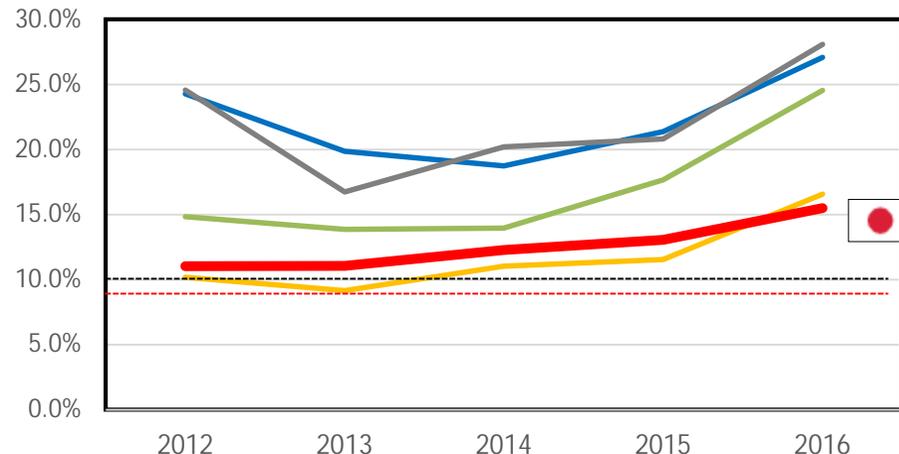
光・量子飛躍フラッグシッププログラムの対象技術領域に関する我が国の研究力

Top10%論文の分析では、米欧中と日本との間に大きな差はまだ生じていない。米欧中が量子科学技術を強力に推進し始めている今、国の政策として、量子科学技術を強力に推進していくことが必要。

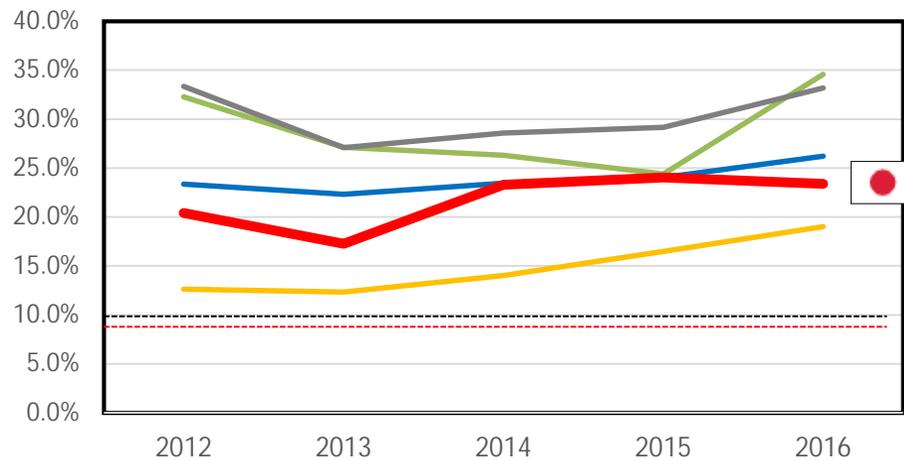
量子シミュレータ・量子コンピュータ



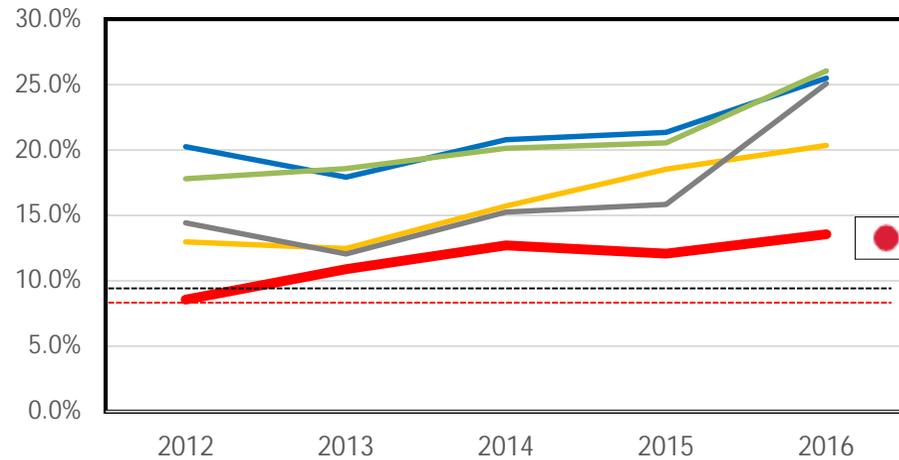
次世代レーザーのうち極短パルスレーザー



量子計測センシング



次世代レーザーのうちレーザー加工



— Top 10%論文の割合
17

(参考) グラフ中の赤い破線は、全分野における日本の総論文数に占めるTop10%論文の割合 8.45%、2013-2015年(平均)NISTEPの科学研究のベンチマーキング2017を基に、文部科学省が算定
 上図は、JSTがエルゼビア社Scopusより入手したデータを基に、文部科学省・JST CRDSが分析、作成。なお、国際共同研究論文は、各国の論文数に重複して計上。

