

光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP)について

平成30年1月

文部科学省

科学技術・学術政策局

背景・課題

- ✓ 量子科学技術は、近年の技術進展により、**超スマート社会**(Society5.0)実現に向けた社会課題の解決と産業応用を視野に入れた**新しい技術体系**が発展する兆し。
- ✓ 欧米等では「第2次量子革命」とうたい、**世界的に産学官の研究開発競争が激化**※1。我が国の**官民研究開発投資を拡大**し、量子科学技術の研究開発を強化し、他国の追随に対し、**簡単にコモディティ化できない**知識集約度の高い技術体系を構築することが重要。
※1 Google: Quantum AI研究所を設立(2013～)、英国:5年間で£270Mの研究イニシアチブ(2014～) EU: €18規模の「量子技術Flagship」事業を予定(2019～)等
- ✓ 光拠点プログラム※2等で培われた**日本の優れた量子科学技術の基礎研究をいち早くイノベーションにつなげ、「生産性革命」の実現に貢献**することが必要。
※2 最先端の光の創生を目指したネットワーク研究拠点プログラム(2008～2017年度)

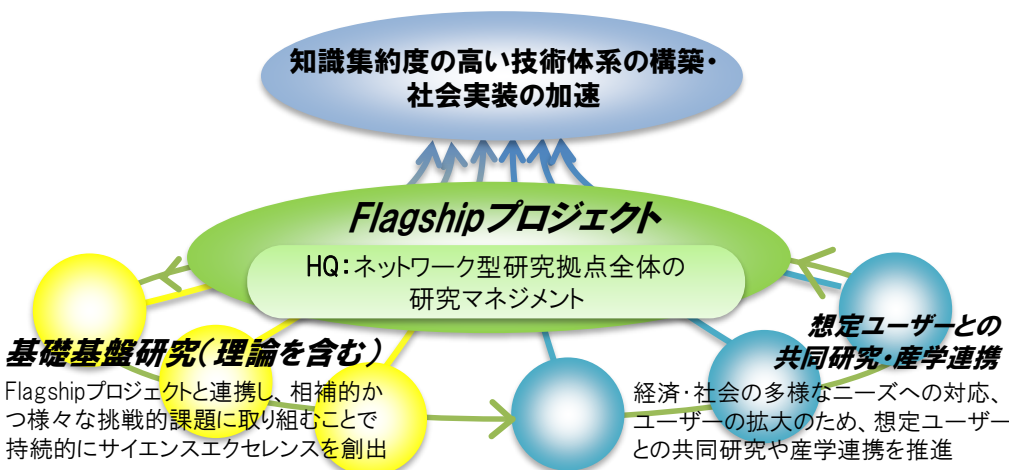
事業概要

【事業の目的】

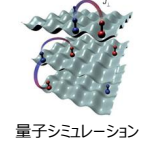
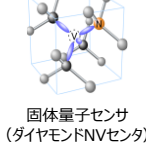
- ✓ **Q-LEAPは、経済・社会的な重要課題に対し、量子科学技術を駆使して、非連続的な解決(Quantum leap)を目指す研究開発プログラム**

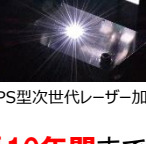
【事業概要・イメージ】

- ✓ 異分野融合、産学連携の**ネットワーク型研究拠点**による研究開発を推進
- ✓ 技術領域毎に**PDを任命**し、**適確なベンチマーク**のもと、実施方針策定、予算配分等、**きめ細かな進捗管理**を実施
- ✓ ネットワーク型研究拠点の中核となる**Flagshipプロジェクト**は、**HQを置き研究拠点全体の研究マネジメント**を行い、事業期間を通じて**TRL6(プロトタイプ機による実証)**まで行い、企業等へ橋渡し
- ✓ **基礎基盤研究**はFlagshipプロジェクトと**相補的かつ挑戦的な研究課題**を選定



【対象技術領域】

- ① 量子情報処理(主に量子シミュレータ・量子コンピュータ)
・**電子の相互作用等のシミュレーション**により、物性や化学反応を支配する電子状態を解明し、超低消費電力デバイス等の開発や創業への応用を実現。
大規模データの高速処理・計算へ発展

量子シミュレーション
- ② 量子計測・センシング
・**従来技術を凌駕する精度・感度**により、自動走行やIoTはもとより、生命・医療、省エネ等の様々な分野でこれまでなかった情報と応用を実現

固体量子センサ(ダイヤモンドNVセンタ)
- ③ 次世代レーザー
・**電子の動きの計測・制御**を実現するアト秒スケールの極短パルスレーザーの開発・活用により、化学反応メカニズム解明や電子状態制御による高性能電子デバイス等を実現
・加工学理や機械学習を活用し、ワンストップで最終形状に仕上げが可能な高精度・低コストの**CPS(サイバー・フィジカル・システム)型次世代レーザー加工技術**を実現

アト秒パルスによる電子状態の観測

CPS型次世代レーザー加工

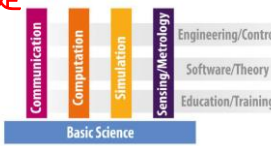
【事業スキーム】

- ✓ 事業規模: 7～9億円程度/ネットワーク型研究拠点・年
- ✓ 事業期間: 原則5年間とし、ステージゲート評価の結果を踏まえ、**最長10年間**まで延長可。
- ✓ 早い段階での民間投資が見込まれる研究開発課題について、**府省連携で推進し、民間研究開発投資を拡大**する。



量子科学技術分野における海外政府の研究開発投資状況

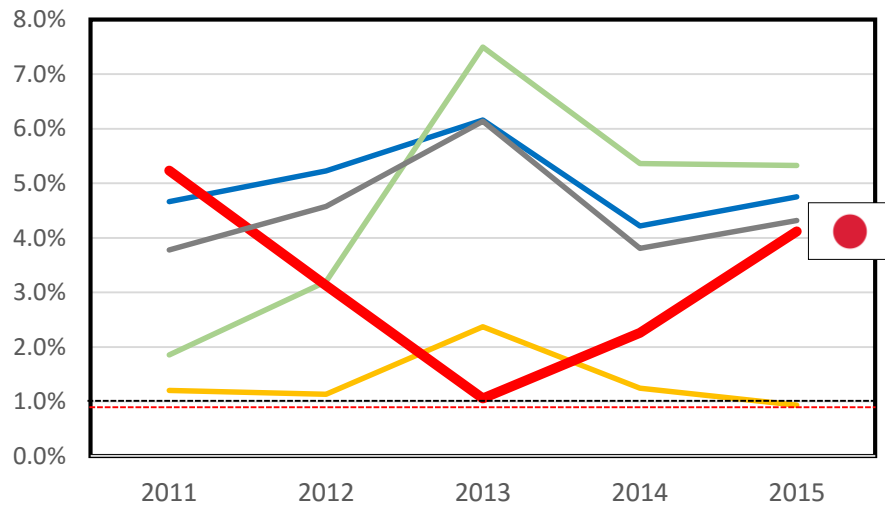
近年、「第二次量子革命」が到来。米欧中を中心に海外では、「量子科学技術」はこれまでの常識を凌駕し、社会に変革をもたらす重要な技術と位置づけ、研究開発投資額を増加させている。

	政府文書等における位置づけ	取り組み状況	技術領域	企業の取り組み
 アメリカ	2016年7月、国家科学技術会議の下に設置された量子科学技術に関する省庁間WGのレポートを公表。 - 量子科学技術は、情報の処理、通信等に質的・量的に莫大な飛躍をもたらす技術であり、アメリカの科学的リーダーシップや国家安全保障、経済的競争性を構成する重要な技術として投資の優先事項として特定	- 近年、国防省やNSF等より毎年200百万ドル(約218億円)オーダーの投資 - DOEにおいても2017年より新たなプロジェクトを開始	- 量子センサー - 量子通信 - 量子シミュレータ - 量子コンピュータを、重視。 	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～)
 EU	2016年5月、欧州委員会の求めに応じて、研究者や産業界、研究機関がとりまとめたロードマップ「Quantum Manifesto」が公表 - 量子科学技術は、長期にわたる富の創出と安全保障に貢献する競争力の高い産業を創出する 	2019年から10億ユーロ(約1250億円)規模プロジェクト「Quantum Technology Flagship」を開始予定(10年計画)  プロジェクトの有識者委員会中間報告書より抜粋	- 量子通信 - 量子コンピュータ - 量子シミュレータ - 量子センサ・計測を、戦略研究課題として検討中	Intel 蘭大学に50百万ドルの支援(2015～2025年) Microsoft 蘭/スイス/デンマーク(/豪)の教授を雇い共同研究を実施
 イギリス	2015年3月、量子技術に関する大型プロジェクトのアドバイザリーボードがレポートを公表。 - 量子科学技術への投資によって、新たに勃興してくる数十億ポンド規模の量子技術市場において、イギリスが世界でリードする	量子技術に関する大型プロジェクト「the UK National Quantum Technologies Programme」を2014年2月より総額270百万ポンド(約456億円)で実施(5年計画) 	- 量子センサー・計測 - 量子イメージング - 量子情報技術 - 量子通信を研究拠点のテーマに設定(約10億円/年・拠点)	
 中国	「科学技術イノベーション第13次五カ年計画(2016年)」の重点分野として、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、量子制御と量子情報を基礎研究の強化に位置づけ。 「国家中長期科学技術発展計画綱要2006～2020年」において、先端技術分野の一つとして、レーザー技術を挙げている。	- 量子通信 - 量子コンピュータ - 量子制御 - 量子情報 - レーザー技術→先端技術分野	量子通信 } 重大科学技術プロジェクト 量子制御 } 基礎研究の強化 量子情報 }	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)

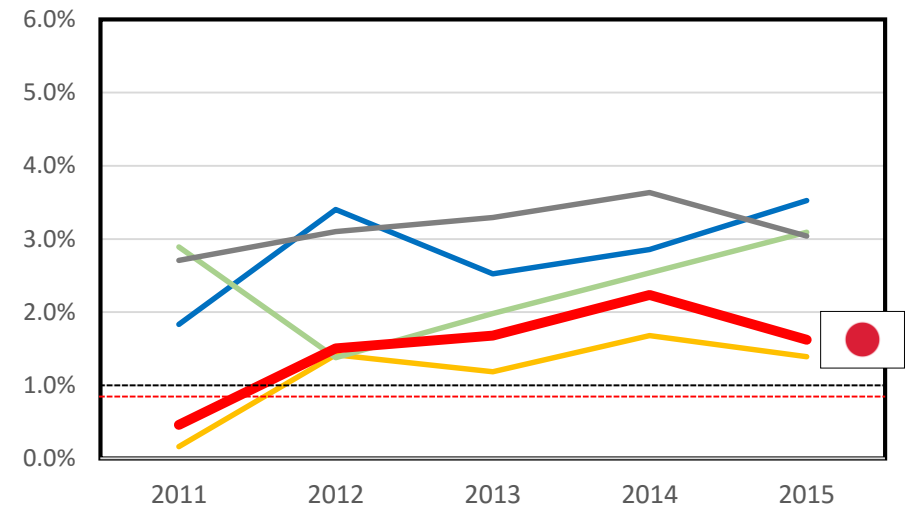
光・量子飛躍フラッグシッププログラムの対象技術領域に関する我が国の研究力

Top1%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か、岐路に立っている。

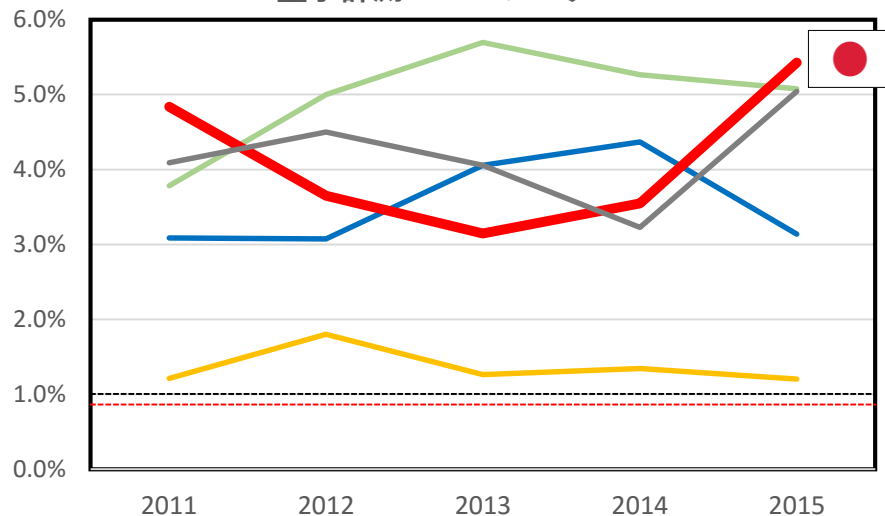
量子シミュレータ・量子コンピュータ



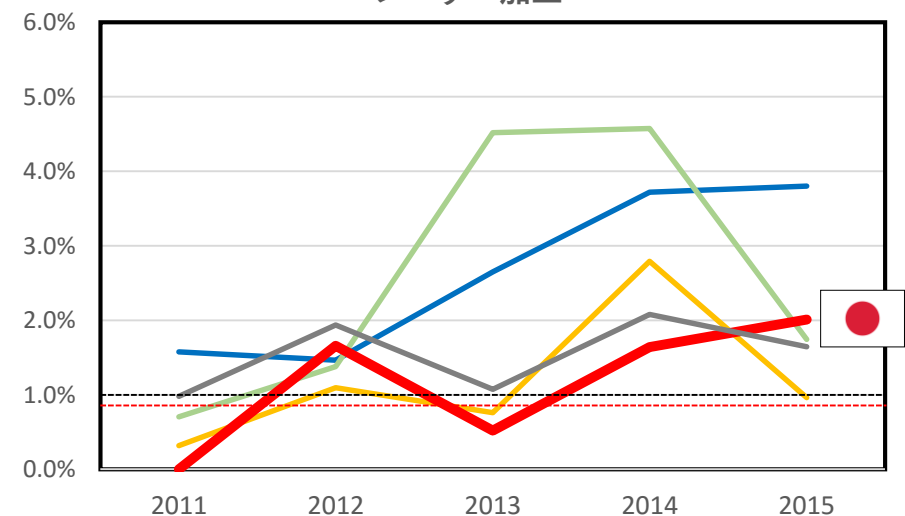
極短パルスレーザー



量子計測・センシング



レーザー加工



— Top 1%論文の割合
— Top 1%論文の割合
— Top 1%論文の割合
— Top 1%論文の割合
— Top 1%論文の割合

(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Top1%論文の割合 0.92%、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4
 (出典) 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

量子科学技術がもたらす非連続な課題解決

これまでの古典的な科学技術手法(シミュレーション、計測、制御)では限界がきており、新たな科学技術手法(量子科学技術)の発展により、電子レベルでの物質の挙動等を明らかにすることで、非連続的な課題解決を図る。

《現在》

既存計算機

- 現実的な計算時間の観点から、限られた数の原子のシミュレーション
⇒ 詳細な電子状態の計算は困難



短パルスレーザー

- フェムト秒パルスレーザーで分子のダイナミクスを観測
⇒ 電子の超高速ダイナミクスの観測は困難

フェムト秒 = 10^{-15} 秒

既存センサ(SQUID)

- 脳磁等の計測に超伝導技術(極低温)を用いた大型の装置が必要



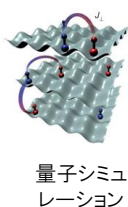
レーザー加工

- 現在のレーザー加工は人の経験と勘に依存
- 難解な加工現象(なぜレーザーで物が切れるか)が未解明

《将来(5~10年)》

量子シミュレータ・量子コンピュータ

- 量子状態の高度制御が実現
⇒ 大規模な電子状態シミュレーションによる高度な物性予測が可能に
⇒ 大規模データの高速処理・計算へ発展



量子シミュレーション

極短パルスレーザー

- アト秒パルスレーザーの開発・利用を通じ、化学反応や物性の理解の鍵となる超高速電子ダイナミクス観測及び制御を実現



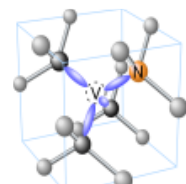
アト秒パルスレーザーによる電子状態の観測

アト秒 = 10^{-18} 秒

量子センサ

- 外乱で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

※ウェアラブル磁気センサ、実動作中デバイスの局所計測、自動走行等への応用が期待



固体量子センサ(ダイヤモンドNVセンサ)

次世代レーザー加工

- 非線形・非平衡の加工学理の解明、機械学習を通じ、加工結果を事前にシミュレーションし、結果通りに加工できるCPS型(サイバーフィジカルシステム型)の次世代レーザー加工が実現



CPS型次世代レーザー加工

《解決される社会課題》

健康長寿

エネルギー

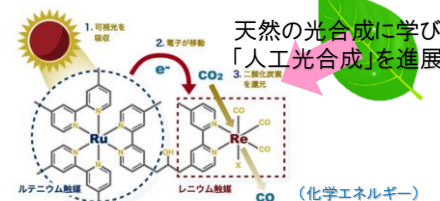
環境・災害対応

ものづくり

交通・物流

(例)

- 超高速電子ダイナミクスの模擬・観測・制御による光合成過程のミクロな理解に基づく高効率人工光合成デバイス開発により、環境・エネルギー課題を解決



- 自覚症状がない初期がんなどの、既存の検査技術では見逃されていた疾病の、早期診断・治療法が確立



新たに同定した、血中にわずかに含まれるがんシグナルや、転移巣を高感度検出

- ワンストップで最終仕上げが可能な高精度・低コストのCPS型次世代レーザー加工によりものづくり生産プロセスを革新

※成長市場である半導体、電子部品、自動車産業へのレーザー加工機の導入が進展。現在約1.46兆円(2016年)の市場規模が年率5~10%で拡大すると見込まれる。

非連続な課題解決

量子科学技術によるフィジカル空間の高度化

古典科学技術

量子科学技術

(粒子と波の二重性、量子重ね合わせ、量子もつれ)

超スマート社会(Society 5.0)

参考資料

- ・各技術領域のロードマップ
(量子情報処理、量子計測・センシング、極短パルスレーザ、レーザ加工)

量子情報処理(主に量子シミュレータ・量子コンピュータ)に係るロードマップ

社 会 的 課 題 の 解 決

量子力学的な効果を情報処理の単位とした計算や物質中の電子等の振る舞いを人工的な別の量子状態で模擬する技術。物性や化学反応を支配する電子状態の解明に基づく、超低消費電力デバイス等の開発や創薬への応用、量子コンピュータへの発展が期待。

物流・交通 ものづくり エネルギー 健康長寿

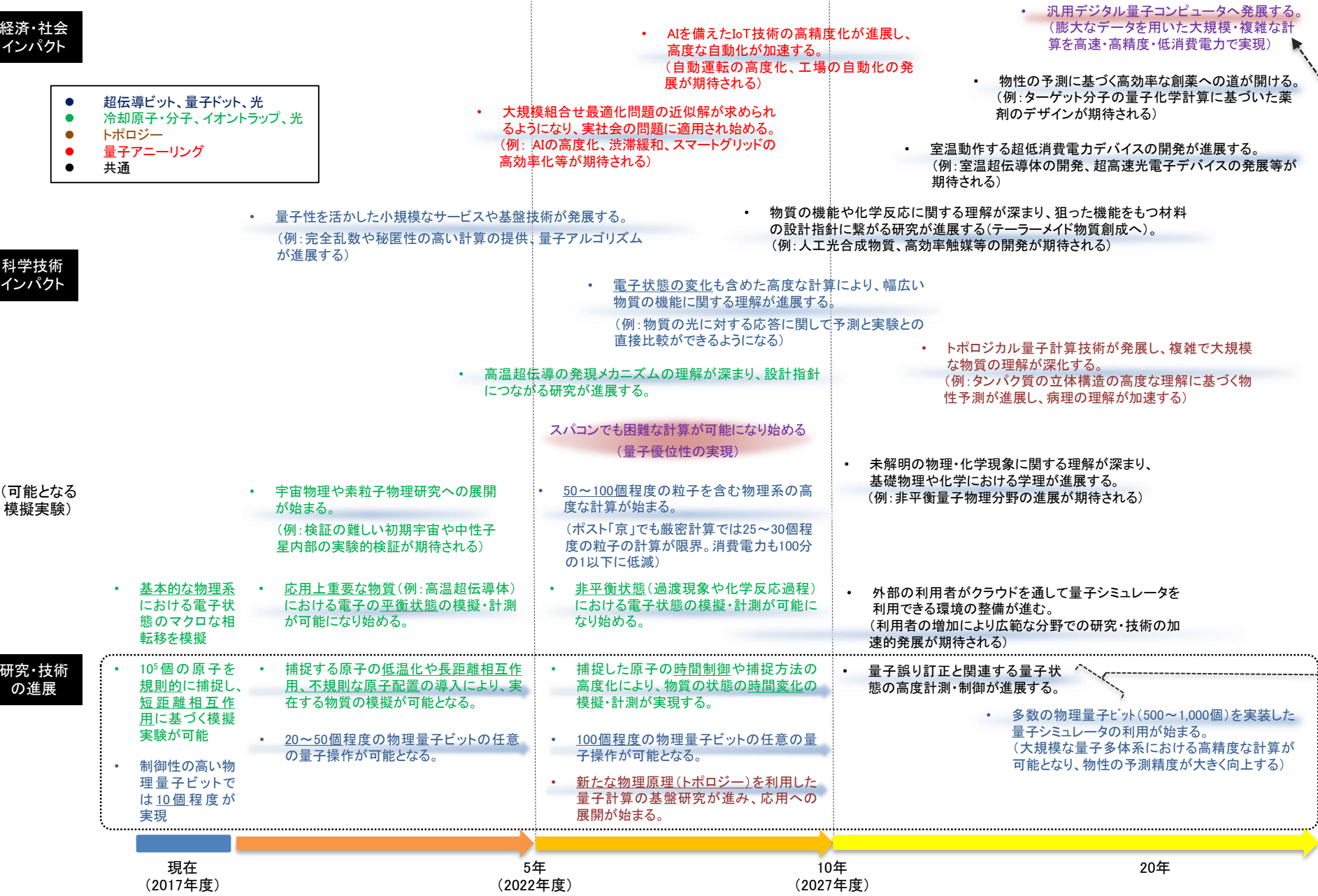
経済・社会
インパクト

- 超伝導ビット、量子ドット、光
- 冷却原子・分子、イオントラップ、光トポロジ
- 量子アニーリング
- 共通

科学技術
インパクト

(可能となる
模擬実験)

研究・技術
の進展



量子計測・センシングに係るロードマップ

電子等が有する量子状態を利用し、古典力学を基本とした従来技術を凌駕する精度・感度等を可能とする計測・センサ技術。自動走行やIoTはもとより、生命・医療、省エネ等の様々な分野でこれまでなかった情報と応用をもたらすと期待。

経済・社会インパクト

- 固体量子センサ
- 量子もつれセンサ
- 量子スピントロニクスセンサ
- 量子慣性センサ
- 量子メカニカルセンサ
- 共通

科学技術インパクト

【可能となる計測・センシング】

研究・技術の進展

固体量子センサ*1,2	・ダイヤモンドNVセンタ(NVC)による局所磁場や電場の室温検出を原理実証	・NVCのスピンの操作技術の高度化等による感度向上や、光集積化や電気的制御によるシステムの小型化(20,000cm ² →5cm ²)が実現する。	・NVCセンサ基板の大型化(直径:数mm→150mm)等による更なる高感度化に加え、半導体や生体解析で優位なSIC等におけるセンサ化技術が実現する。
量子もつれセンサ*1,2	・可視～近赤外のもつれ光を用いた観測を実証	・新型共振器等を用いたもつれ光源の大強度化により、2~3桁の高速化が実現する(1点のデータ取得時間:1秒→~1ミリ秒)。	・高コヒーレンスX線光源と高効率波長変換素子の開発により、X線域のもつれ光が実現する。
量子スピントロニクスセンサ*1	・トンネル磁気抵抗(TMR)比が1,000%/mT	・集積回路技術の活用によりTMR比が1桁向上し、分子磁気タグ等が高感度化する。	・TMR比が100,000%/mTまで向上し、磁気メモリとの融合やアレイ形成技術等により高感度な多機能センサが実現する。
量子慣性センサ*1,3	・現行の慣性航法用ジャイロスコープ(RLG)は、バイアス安定度が~数ミリ度/h	・冷却原子等を用いて、実験室内でバイアス安定度が2~3桁(~数マイクロ度/h)向上する。	・光源や真空系の小型化により、高バイアス安定度を保持したままジャイロスコープを小型にし(10L以下)、船舶・自動車・自律型探査艇等へ実装する ^{3a} 。
量子メカニカルセンサ*1	・超低温で動作する量子メカニカルセンサが先行	・室温動作型の量子ドットや単電子トランジスタ等とのハイブリッド量子メカニカルセンサが実現する。	・室温動作の高感度なハイブリッド量子メカニカルセンサの集積化が実現する。

*:1量子情報処理、2量子通信、3光格子時計、といった他の量子技術分野へも貢献できる。

社会的課題の解決

- 健康長寿
- ものづくり
- 交通・物流
- エネルギー
- 環境・災害対応

・ 機械学習やIoTでのビッグデータ取得等に活用される高感度・小型・省エネルギーセンサとして、超スマート社会(Society5.0)実現の基盤技術として貢献する。

・ 石油や地下水、鉱物などの地下埋蔵資源の探索活動や、火山活動のモニタリング等が始まる。

・ GPSに依存しない、安全な船舶自動運転事業が始まる。

・ Level3以上の完全自動運転車を実現し、物流問題や環境・資源問題の解決に資する。

・ 血液や脳・眼等に関する観測技術が高感度化し、特定の疾病の早期発見が実現し始める。

・ 疾病の原因に関する新知見に基づいた疾病の早期発見が拡大し、治療への展開が期待される。
(例:バイオチップの高度化や、新薬開発等による医療技術が進展する)

・ ナノデバイスやパワーデバイス内での局所電流検知等、これまでの計測限界を超えるセンシングにより、車載センサ等の進展が始まる。

・ 量子技術を適用した新しい分析機器(室温動作NMR、もつれ光分光分析、マルチチャネル質量分析等)により、環境分析や食品分析が進展する。

・ 非侵襲な生体磁場センシングが、室温で実施され始める。
(例:脳磁の室温計測が始まる)

・ もつれ光によるX線イメージングの可能性が開ける。
(例:低侵襲なX線診断を可能とするイメージング機器のプロトタイプ開発に繋がる)

・ 量子もつれ光による高精度イメージングが始まる。
(例:量子光断層撮影プロトタイプの開発に繋がる)

・ 単原子・単分子レベルの並列質量センシングが始まる。
(例:異種原子・分子等の同時測定技術の開発に繋がる)

・ 微量濃度分子を検出する化学センシングが始まる。
(例:大気中微粒子の同定や、血中のzeptomolarオーダーの異物検出に繋がる)

・ もつれ光とメカニカルのハイブリッドによる低雑音な光センシングの道が開ける。
(例:ミリ波を用いた遠距離センシングの高感度化に繋がる)

・ 先端材料におけるナノスケールでの磁場・電場・温度センシングが始まる。
(例:半導体内の非接触・局所的な電界計測が始まる)

・ 小型で高感度な量子ジャイロ・加速度センシングが始まる。
(例:<10⁻⁸gを検知する小型量子センサの利用が始まる)

関連する他の光量子技術や機械学習等の情報技術の進展を、順次取り込む

ライフ・ヘルスケア分野へのインパクト

低被ばく・低侵襲なX線イメージング
(既存手法より放射線被ばくを低減)

血液サンプルでの超微量異物の検出
(既存手法での検出限界を凌駕)

眼科診断へ向けた高解像イメージング
(既存手法より深部方向への精度を向上)

小型装置による室温での非侵襲な脳磁計測
(既存手法に必要な大型の超低温装置が不要)

注:例えばGPSが使えない氷海下で10km潜水した場合、現状では到達地点が5kmずれるところ、数10m以内に改善される。
(バイアス安定度と位置推定誤差は、比例関係にある)



極短パルスレーザーに係るロードマップ

1パルスの時間幅が非常に短いレーザー。これまで難しかった、電子が動く時間(アト(10^{-18} 秒))スケールでの電子の動きの計測・制御を実現するパルスレーザー開発が進んでおり、光合成等の化学反応メカニズム解明、電子状態制御による高性能電子デバイス等の開発が期待。

経済・社会
インパクト

- 高強度型 (強い光で物質の性質を変化)
- 高繰返し型 (短時間で多くの高精度なデータを取得)
- 共通

科学技術
インパクト

- ・ ナノスケール・超高速光電子デバイスへの道が拓ける。(例: スマートフォン型スパコンの開発が期待される)
- ・ 化学反応の制御に基づく高効率な創薬への道が拓ける。
- ・ 極短パルスレーザー加工の原理解明による利用が拡大する。
- ・ 狙った機能をもつ材料を効率的に合成するテーラーメイド物質創成が始まる。(例: 人工光合成物質、高効率触媒等の開発が期待される)
- ・ 超スマート・省エネルギー社会を支える情報処理・通信デバイスや工業製品の開発が加速する。(例: 超高速スイッチ、超高密度メモリ、高性能高温超伝導モータ、トポロジカルデバイス等)
- ・ 生体に対する放射線の影響の微視的メカニズム解明や有機デバイスや高効率触媒、創薬の設計指針につながる研究が加速する。
- ・ 未解明の物理・化学現象の理解が深まり、基礎物理・化学における学理が進展する。(例: 多電子相互作用、化学反応素過程などの解明が期待される)
- ・ テーブルトップのアト秒X線パルス源やアト秒光分光装置が開発・商用化され汎用的に使われ始める。
- ・ テーブルトップのアト秒X線パルスと加速器技術の融合技術が登場する。
- ・ 外部利用者が簡易に操作できる小型装置が整備され始める。

【可能となる研究】

放射光施設や量子シミュレータ等との連携を促進。基盤レーザー技術の国内育成を考慮。

研究・技術
の進展
(光源及び計測)

- ・ 気体分子がイオン化する際の分子振動の位相を計測。
- ・ 水を通り抜ける波長(水の窓)でのアト秒パルスを発生。
- ・ 集光強度約 10^{14} W/cm²、波長30nm、最短パルス幅数百アト秒、のレーザーが発生可能。
- ・ 繰返し数約1kHz、波長3nm、最短パルス幅数十アト秒、のレーザーが発生可能。
- ・ 気体分子の電子と原子核の超高速な動きの計測が可能となり始める。
- ・ アト秒領域の非線形光学が発展し、光と物質の相互作用に関する理解(非常に強い光に対する電子の応答の理解)が進展する。
- ・ 電子・新機能材料※の電子・原子・スピンの超高速な動きの計測が可能となり始める。
- ・ 生体に対する放射線の影響を、より詳細に計測することが可能となり始める。
- ・ 固体表面と分子の間等における電子の超高速な動きの計測が可能となり始める。
- ・ ナノスケール空間分解能での電子の動きの計測や化学反応の制御(電子や原子核の動きの制御)が可能となり始める。
- ・ 集光強度約 10^{16} W/cm²、波長1.5nm~300μm、最短パルス幅数十アト秒、のレーザーを発生。
- ・ 繰返し数約100kHz、波長1.5nm~300μm、最短パルス幅数十アト秒、のレーザーを発生。
- ・ 集光強度約 10^{18} W/cm²、波長0.15nm~300μm、最短パルス幅数十アト秒、のレーザーを発生。
- ・ 繰返し数約1MHz、最短パルス幅数十アト秒、のレーザーを発生。
- ・ レーザーの集光径を10nmに縮小。
- ・ パルス中電場波形の観測・制御の高精度化。

※ 半導体、高温超伝導体、トポロジカル物質、光誘起相転移物質、磁性体等。トポロジカル物質は、例えば内部は電気の流れない絶縁体なのに、表面は金属のように電気が流れる新しい物質。光誘起相転移は、光を照射することで、絶縁体が金属に変化したり、磁性が変化する現象。



次世代レーザー加工に係るロードマップ

社会的課題の解決

ものづくり 交通・物流

加工学理または機械学習からの予測を活用し、ワンストップで最終形状に仕上げが可能な高精度・低コストのCPS(サイバー・フィジカル・システム)型次世代レーザー加工技術。次世代レーザー加工機によりスマート生産体制が構築され、製造・流通の革新が期待。

経済・社会
インパクト

- マクロ加工(切断、付加)
- マイクロ加工
- レーザー援用露光加工
- 改質加工(機能付加、除去、コーティング)
- 共通

科学技術
インパクト

- 1兆円を超える市場へのCPS援用型レーザー加工機の導入が進展
 - 顧客の好みの材料・形状に対して、加工条件を精密に自動生成できるCPS援用型レーザー加工機が市場に導入。
 - 仕上げ機械加工が不要な精密切断加工、仕上げの化学処理が不要なケミカルレス加工、量子効果の出るシングルnmサイズでの半導体任意形状微細加工、高硬度・軽量等の高付加価値化をもたらす改質加工などが実現し、1兆円を超える現行レーザー市場に加え、その他の加工過程においてもCPS援用型レーザー加工機の導入が進む。
- 加工結果を事前にシミュレーションし、その結果どおりに加工できるCPS型の次世代レーザー加工技術が進展する。

- 加工パラメータの一部に機械学習または加工学理からの予測を活用するCPS(サイバー・フィジカル・システム)援用型レーザー加工技術が進展する。
- 金属(銅やアルミ)から複合材(CFRP等)まで、複数材料を組み合わせたマルチマテリアル化加工技術が進展する。

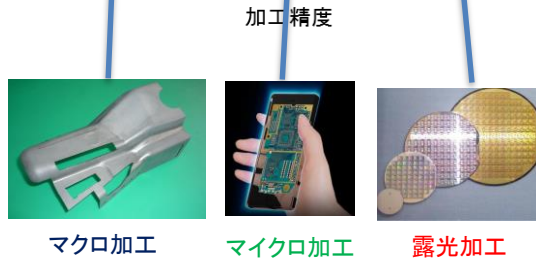
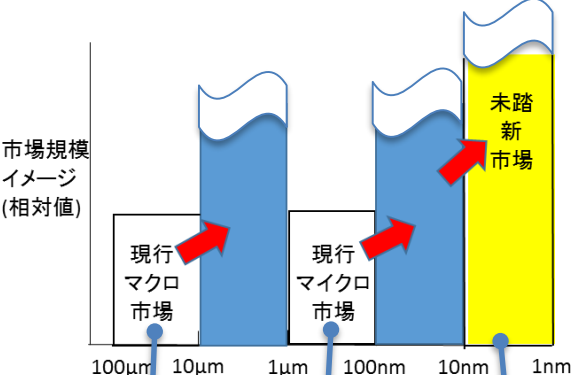
- CFRP等の難加工材料の高精度レーザー加工が可能になる。
- シリコン基板、ガラスなどの電子部品材料分野の高精度レーザー加工が可能になる。
- 半導体微細加工へのレーザー援用露光加工の導入が始まる。
- 熱影響を制御・活用した表層強化やコーティングなどの高精度改質加工が可能になる。
- 加工後に研磨などの仕上げ加工が不要な精密3次元加工が実現する。
- 加工後に化学液処理などのケミカル加工が不要なレーザー加工が実現する。
- 半導体のナノメートルサイズでの任意形状微細加工が実現する。
- 微小面積・任意深部領域のオンデマンド加工が可能になり、微細材料等の機能改質が実現する。

- 加工精度、深さ
 - マクロ加工 ⇒ 5ミクロン精度
 - マイクロ加工 ⇒ 50nm精度
 - レーザー援用露光加工 ⇒ 5nm精度
 - 改質加工 ⇒ 20nm精度(構造改質)
 - 100ミクロン深さ(表層改質)
- 加工パラメータ制御の一部に機械学習または加工学理からの予測を活用することが可能になり始める
- 加工精度、深さ
 - マクロ加工 ⇒ 1ミクロン精度
 - マイクロ加工 ⇒ 10nm精度
 - レーザー援用露光加工 ⇒ 1nm精度
 - 改質加工 ⇒ 2nm精度(構造改質)
 - ミリ深さ(表層改質)
- 現状では職人の経験から導出されている加工パラメータを、機械学習または学理からの予測に置き換えることが可能になる

- CPS型次世代レーザー加工機による製造・流通革新
 - ワンストップで最終形状に仕上げが可能な高精度・低コストのCPS型次世代レーザー加工機が市場に導入。
 - これらがネットワークに接続されることにより、各種製品を最小コストかつ最適地で生産・提供できるスマート生産体制が構築され、製造・流通革新がもたらされる。

- 現在約1.46兆円(2016年)の市場規模※が年率5-10%程度で拡大すると見込まれる。
- 成長市場である半導体産業、電子部品産業、自動車産業(特に電気自動車)へのレーザー加工機の導入が進展。

※OPTech CONSULTINGの市場調査に基づく



(可能となる
技術)

- 加工精度、深さ
 - マクロ加工 ⇒ 10ミクロン精度
 - マイクロ加工 ⇒ 100nm精度
 - レーザー援用露光加工 ⇒ 10nm精度
 - 改質加工 ⇒ 100nm精度(構造改質)
 - 100ミクロン深さ(表層改質)

研究・技術
の進展

- レーザー加工現象が未解明(レーザーで何故切断・接合できるのか等)
- 現状では職人の経験に基づき、加工パラメータ(波長、パルス幅、パワー、繰り返し等)を導出
- 学理に裏付けられたレーザー加工技術
 - 各物理モデルを融合したレーザー加工の学理構築が進み、加工現象の原子レベルのデジタル化が可能になる。
 - 第一原理計算から流体/連続体力学計算を取り込み、さらに機械学習も活用したシミュレーションが可能になる。
 - 加工の学理に基づき、各種加工に必要な光源の設計指針を得ることが可能になる。
- 難解なレーザー加工現象の物理モデル探索
 - 加工現象の観測(最先端研究基盤などを駆使したその場ミクロ観測、超高時間分解観測、マルチスケール観測)、機械学習の活用により、「4相(固相、液相、気相、プラズマ)+開放系」の物理モデルの構築が進む。
 - 物理モデルに基づき、加工過程のミクロ(原子レベル)からマクロの理解(物質の励起過程から励起後までを含めたダイナミクス)が進む。
 - 原子・分子・固体物理に跨り、レーザー物理、材料、情報科学分野等から成る融合研究分野が創生される。
 - 複合量子ビームによる新プロセスの探索が進む。

