

量子技術分野の研究動向について

2019年3月29日

JST 研究開発戦略センター
曾根純一



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

量子技術分野の俯瞰図

社会実装

セキュリティ
量子インターネット

超高速計算
量子AI

超高感度センシング
量子IoT

エネルギー・物質変換
エレクトロニクス革新

量子技術
応用

量子
暗号・通信

- ・暗号鍵配送
- ・量子インターネット
- ・量子もつれ中継器
- ・量子テレポーテーション

量子
コンピュータ

- 「QEC量子ゲート」
- 「NISQ」
- 「アニーリングマシン」
- ・超伝導Qubit
- ・イオントラップQubit
- ・光Qubit

量子
センシング

- ・ダイヤモンドNV中心
- ・光格子時計
- ・原子干渉計
- ・もつれ光センサー

量子
マテリアル

- ・トポロジカル量子物質 (マヨラナ, ワイル, ...)
- ・スピン流
- ・冷却原子集団
- ・室温超伝導 など

(量子現象)

応用領域

技術基盤
(主にナノテ)

基礎
学理

量子もつれ トンネリング 量子ヒールズ 量子閉込め 重ね合わせ

フォトンクス

エレクトロニクス

スピントロニクス

超高速エレクトロニクス

材料シミュレーション

量子ビーム技術

デバイス物理

低温工学

電子・光スペクトロスコピー

磁気工学

レーザー光学

マイクロ波工学

材料科学

物性物理学

生命科学

量子化学

量子光学

情報科学

数理科学

量子力学

主要国の量子技術政策

政策動向

内容・予算規模

米

「量子情報科学の国家戦略概要」
発表（2018.9）
「国家量子イニシアティブ法」
成立（2018.12）

1,400億円/5年
「国家量子イニシアティブプログラム」
DOE：140億円/年 量子情報研究センター（最大数5）
NSF：56億円/年 量子研究・教育センター（最大数5）
NIST：89億円/年 量子情報研究・計量標準、ワーク
ショップ

中

「科学技術イノベーション第13次
5ヶ年計画」（2016-20）

1,200億円/5年
「国家重点研究計画」
「量子情報科学国家実験室」（合肥市）建設中。
2020年完成予定（～1兆円）

EU

「Quantum Manifesto」
（2016.5）

>1,250億円/10年
「Quantum Technology Flagship」 20課題が
採択（2019-28）

独

「ハイテク戦略2025」（2018）
連邦教育研究省「量子技術」公表
（2018.9）

>860億円/4年（2018-22）
量子コンピューティング、量子コミュニケーション、計
測、量子分野の技術移転と産業の参画推進

英

工学・物理科学研究評議会「National
Strategy for Quantum
Technologies」（2014.12）

>390億円/5年
「UK National Quantum Technologies
Programme」（2014-19）

世界の代表的な量子拠点

- 米**
 - **Joint Quantum Institute (JQI)** メリーランド大と国立標準技術研究所により2006年に設立。「量子多体物理学」「量子制御・計測・センシング」「量子コンピューティングと情報科学」の3分野
 - **Chicago Quantum Exchange** シカゴ大分子工学研究所内に設置。アルゴンヌ国立研究所、イリノイ大など共同。「量子コンピューティング」「量子センシング」「量子通信」の3分野
 - **NSF “Physics Frontier Centers”** 5~15億円/5年で各大学内に設置されたセンターや研究所を支援。カリフォルニア工科大、コロラド大&NIST、MIT、JQIが対象。
- 中**
 - **量子計算実験室** 中国科学院とAlibabaで設立された量子コンピュータ開発センター
 - **量子情報科学国家実験室** 2020年完成予定
- EU**
 - **Quantum Community Network** Quantum Technologies Flagshipで採択された20課題のバーチャル研究拠点
- 独**
 - **Center for Integrated Quantum Science and Technology (IQST)** 2014年に設立。シュトゥットガルト大、ウルム大、マックスプランク固体物性研究所で構成。「量子センシング」「複雑量子系」「物質の量子状態制御」「量子電気・光工学」「光-物質界面」の5分野
- 英**
 - **UK National Quantum Technology Hubs** 「量子センサ・計測」(バーミンガム大)、「量子イメージング」(グラスゴー大)、「量子情報ネットワーク」(オックスフォード大)、「量子通信」(ヨーク大)の各分野でハブ拠点が形成
- 加**
 - **Institute for Quantum Computing (IQC)** 2002年にウォータールー大学内に設立。「量子コンピューティング」「量子通信」「量子センシング」「量子マテリアル」の4分野
- 蘭**
 - **QuTech** デルフト工科大学内に設置。「誤り訂正量子コンピューティング」、「量子インターネット・ネットワークコンピューティング」、「トポロジカル量子コンピューティング」の3分野
 - **QuSoft** 量子ソフトウェアの研究組織として国立数学情報科学研究所、アムステルダム大学、アムステルダム自由大学で2015年に設立

量子技術に関する主要国のR&D動向 ①

量子コンピュータ

- グローバルIT企業や大学を中心にハード・ソフトとも米国が強く、超伝導量子ビット、イオントラップ方式の研究開発が複数チームで進む。中国が産学官で超伝導量子ビット方式を追隨中で開発競争は激化。量子化学や機械学習などNISQ応用の探索も開始。
- 日本は超伝導量子ビットのパイオニアだが集積化遅れ。低ノイズ・高集積化技術開発と実機試作検証が急務で異分野連携が必要。イオントラップ、光、シリコンなど量子ビット系の基礎研究も並行して進展。
- 量子アニーリングの理論は我が国から提案されたが、マシン開発はカナダのベンチャー企業が世界初。組み合わせ最適化問題への実用化研究が両国で活発化。
- 「量子ビットデバイス（量子物理、材料科学）」、「量子SW（コンピュータ科学）」、「コンピュータ・システム（電子工学、マイクロ波工学、低温・超高速電子回路、実装技術）」の連携拠点化とともに、長期的視点で研究が継続するための人材育成等も重要。

量子暗号・通信

- 暗号鍵配信（QKD）の基本技術は概念実証済（BB84）。距離・速度が限られ用途は限定的だが応用開拓への取り組みが開始。QKD標準化が欧州電気通信標準化機構と国際電気通信連合の電気通信標準化部門で検討開始。今後、我が国の積極的寄与が重要。
- 光ファイバ利用QKDネットワークは、ボストン（'04）、ウィーン（'08）、東京（'10）、北京-上海（'17）で実証試験済。人工衛星利用では中国が衛星-地上間QKDの実験成功。
- 量子通信の長距離化には量子中継技術（量子もつれスワップ技術）が必須。ダイヤモンドNV中心による方法の他、全光量子中継技術開発も進む。

量子技術に関する主要国のR&D動向 ②

量子計測・センシング

- ◇ ダイヤモンドNV中心の研究は米国とドイツで先行しているが、日本はセンサの材料、作製技術に強くセンサ性能で互角。日本を含む各国で、脳磁計など有望な応用分野の探索や産業界との連携が開始され、技術的ブレークスルーを目指して競争が激化。
- ◇ 量子慣性センサについては、可搬の重力加速度計が米国、フランスで市販される一方、日本は重力角速度計に関する研究が進行中。日本発の光格子時計では、小型・軽量化、安定動作と全地球航法衛星システムに代わる超高精度時間インフラを目指す研究が開始。
- ◇ 量子もつれ光センサの研究は、米国と英国を中心に、化学計測への応用を念頭に進展。日本は生体イメージング（量子OCT、量子もつれ顕微鏡）に強みを持つが、生物学との連携・融合を担う研究者層が薄い。

量子マテリアル

- ◇ トポロジカル量子物質、スピン流、冷却原子集団の応用を目指した基礎研究が世界で進展。
- ◇ 今後何が飛び出すか分からない未知領域。科学・技術的ブレークスルーへの期待や人材育成の意味で、自由度の高い基礎研究が重要。

その他

- ◇ 近年における量子技術の目覚ましい進展は、量子ビーム等による微細加工技術や分光・計測手法、デバイス・システム化技術といったナノテクノロジーが高度化したことに依るところが大きい。したがって、このような技術基盤の更なる研究開発や整備を促進することが非常に重要。

以下、参考資料

米国

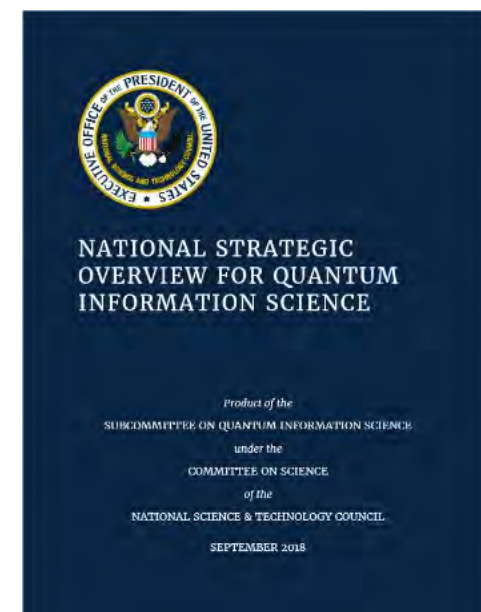
2つの量子コンピューター関連法案が議会提案

- ・「National Quantum Initiative Act」 (H.R.6227)
- ・「Quantum Computing Research Act of 2018」 (S.2998)

「ホワイトハウスQISサミット」開催 (2018.9.24)

「量子情報科学の国家戦略概要」発表 (2018.9.24)

- ・大統領府 国家科学技術会議 (NSTC) の科学委員会・量子情報科学小委員会 (SCQIS) が発表。
- ・「QISへのサイエンスファーストアプローチ」
「労働力の確保・教育改革」「量子産業の創出」
「重要インフラの提供」「国家安全保障と経済成長の確保」「国際協力の推進」の6つの政策方向性を示した。



米国「National Quantum Initiative Act」 H.R.6227

- 量子情報科学と技術応用の発展を加速するための10年計画の目標と優先順位の確立が目的
- 法案では、「量子情報科学」を、量子物理学の法則によってのみ記述できるシステムに符号化されている情報の格納・伝送・操作・測定と定義。
- 国家科学技術評議会（NSTC）は、**量子情報科学小委員会**を設立してプログラム活動を指導。
- 国家量子イニシアティブ諮問委員会**を設立し、大統領および小委員会に助言。

大統領

各省庁

大統領行政府

大統領経済諮問委員会（CEA）

環境品質問題会議（CEQ）

国家安全保障会議（NSC）

行政管理予算局（OMB）

国家薬物取締政策局（ONDCP）

科学技術政策局（OSTP）

国家科学技術会議（NSTC）

科学技術企業委員会

環境委員会

国土安全保障委員会

科学委員会

QIS小委員会

NEW

STEM教育委員会

技術委員会

国家量子イニシアティブ
諮問委員会

NEW

助言

米国「National Quantum Initiative Act」 H.R.6227

NIST(最大\$80M/年)：特定の量子科学活動を実施し、量子情報科学技術産業の発展を議論するためのワークショップを開催する。

NSF(各センターに最高\$10M/年)：量子情報科学と工学に関する基礎研究と教育プログラムを実施。量子研究教育のための学際的センター設立のための助成金。

DOE(各センターに最高\$25M/年)：量子情報科学に関する基礎研究プログラムを実施。

DOE科学局：量子情報科学および科学技術における科学的進歩を加速するための基礎研究を行うために、国家量子情報科学研究センターを設立・運営

NIST (最大\$80M/年)

A. 活動

- 量子応用の商業的開発を進めるために必要となる、基礎・応用QISの測定・標準インフラの開発支援・拡大
- QIS分野の参加促進のため、他省庁と共同でNISTの既存プログラムを利用
- 産業界、大学、国研などとの共同事業または共同事業体の設立・拡大
- 必要があれば共同研究開発協定、助成金、共同契約、などを締結する。

B. コンソーシアム

- 将来の計測・基準・サイバーセキュリティのために、ステークホルダのコンソーシアムを招集し、ニーズの特定、そのニーズに関する現在の研究評価、ニーズを満たす研究ギャップの特定、その勧告、を行う。
- 法律の施行日から2年以内に、NISTがコンソーシアムでの調査結果をまとめた報告書を議会（上院：商業・科学・運輸委員会、下院：科学・宇宙・技術委員会）に提出する

NSF (各センターに最高\$10M/年)

A. 研究・教育プログラム

- 学際的な量子情報科学・工学の基礎研究を支援
- 量子情報科学・工学のあらゆる側面での人材育成を支援
- 米国内の高等教育機関の大学院生に研修会を提供。

B. 量子研究・教育のための学際センター

- 高等教育機関・非営利団体（またはコンソーシアム）2～5カ所に助成金を与えて、量子研究教育センターを設立する。
- 申請書は以下の要件を含む。他の機関との連携、産業化、教育カリキュラム開発、異分野融合の促進策、労働力開発の支援策、イノベーションエコシステム、支援終了後の自立計画。
- 各センターは5年間の活動。レビューに基づき、追加の5年間の再申請ができる。

DoE (各センターに最高\$25M/年)

A. QIS研究プログラム

- 以下の分野を含み、学部生・大学院生に研究経験や訓練を提供する。
- 「量子情報理論」「量子物理学」「量子計算科学」「応用数学・アルゴリズム開発」「量子ネットワーク」「量子センシング・計測」「材料科学・工学」
- DOEの既存プログラム、傘下の研究所（ナノスケール科学研究センター、エネルギーフロンティア研究センター、エネルギーイノベーションハブ、国立研究所、高等研究計画局、国立量子情報科学研究センター）とのコーディネーション。

B. 国立量子情報科学研究センター

- 高等教育機関・非営利団体（またはコンソーシアム）2～5カ所に助成金を与えて、量子研究教育センターを設立する。
- 申請書は以下の要件を含む。他の機関との連携、産業化、教育カリキュラム開発、異分野融合の促進策、労働力開発の支援策、イノベーションエコシステム、支援終了後の自立計画。
- 各センターは5年間の活動。レビューに基づき、追加の5年間の再申請ができる。

中国

- 「国家中長期科学技術発展計画綱要2006～2020年」 国務院（2006年2月）における重大科学研究の一項目として「量子制御」を位置づけ
- 「科学技術イノベーション第13次5ヶ年計画（2016～2020年）」 国務院（2016年8月）の重点領域の一つとして「量子通信・量子コンピュータ」を指定
- 中国科学院とAlibabaが共同で「量子計算実験室」を設立し、量子コンピュータのクラウド提供を開始（2015年）
- 人工衛星（墨子）を用いた1200km離れた青海省と雲南省間の大規模量子暗号通信の実証実験に成功（2017年）
- 「量子情報科学国家実験室」を合肥市に建設中。2020年完成予定。総工費760億元（約1兆2160億円）

中国の最近の動き

巨大IT企業（Alibaba, Baidu, Tencent, Huawei)が自社内に量子コン研究チーム立上げ

- ソフトウェア、アルゴリズム、応用アプリの研究に特化、ハードウェア研究はHuaweiのみで実施。
- 既存AI研究の一環としてアルゴリズム研究、応用アプリ研究の実施可能

デバイス、システム化の研究は国の予算により大学、CASが実施

- 中国科学技術大学が中心となり、浙江大学、CASも加わり、大型予算の国プロジェクト実施
- デバイス、冷却/実装/システム化開発は、技術リスク高く、予算規模も大きく、国主導で実施

Alibabaの量子コン・クラウドサービスはサーバでのエミュレーション、ハードは中国科技大依存

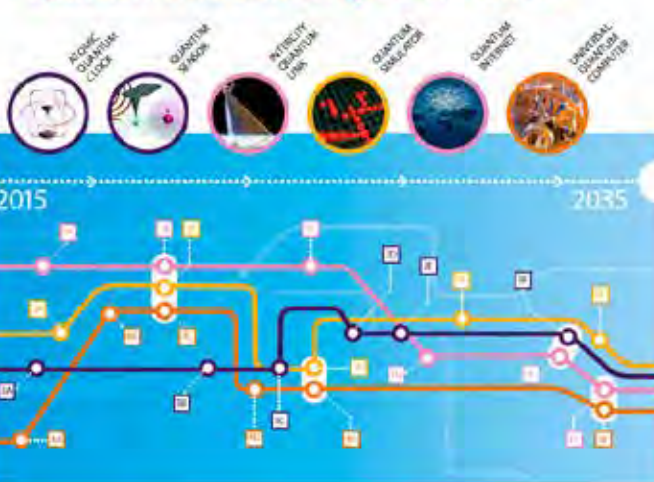
- 大学での量子コンピューティング基礎技術は、日本が進んでいるとの認識で共同研究を期待

欧州における取組

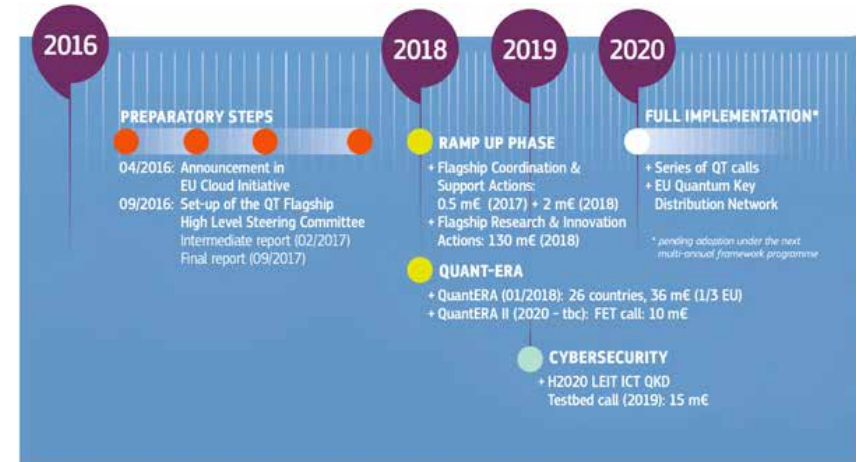
2016年5月「Quantum Manifesto」発表

- 富の創出、安全保障、産業創出の観点で、量子通信、量子シミュレータ、量子センサ、量子コンピュータの4本柱

Quantum Technologies Timeline



EU投資の経緯と計画



2018年10月「Quantum Technology Flagship」開始

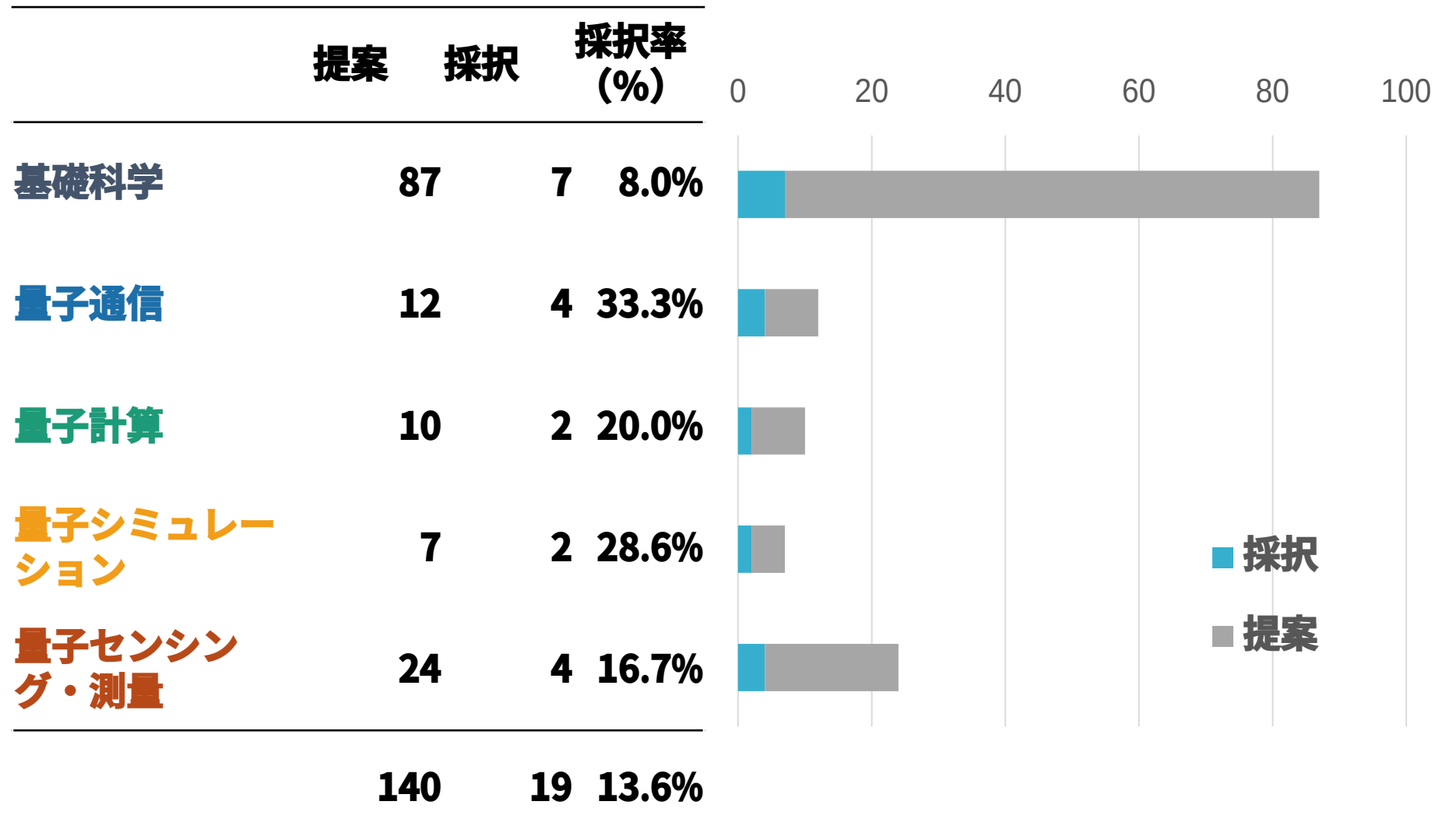
- 「Horizon 2020」のFET Flagshipsの枠組で、1,250億円（10億ユーロ）の10年プロジェクトを開始

- 4本柱＋基礎科学の分野で20課題を選出。3年、6年、10年後にマイルストーンを設定

欧州「Quantum Technology Flagship」採択結果

Basic Science				€ 20,090,951.25
2D-SIPC	Dmitri Efetov	ICFO, Spain	二次元光集積回路量子デバイス	2,976,812.50
MicroQC	Nikolay Vitanov	Foundation for Theoretical and Computational Physics and Astrophysics, Bulgaria	イオントラップ量子コンピュータ	2,363,343.75
PhoG	Natalia Korolkova	The University Court of the University of St Andrews, United Kingdom	単一光子源	2,761,866.25
PhoQuS	Alberto Bramati	Sorbonne Universite, France	光量子シミュレータ	2,999,757.50
QMICS	Frank Deppe	Bayerische Akademie der Wissenschaften, Germany	量子通信プロトコル	2,999,595.00
S2QUIP	Klaus Jöns	Kungliga Tekniska Hogskolan, Sweden	二次元光集積回路量子デバイス	2,999,298.75
SQUARE	David Hunger	Karlsruher Institut fuer Technologie, Germany	希土類イオン量子ビット	2,990,277.50
Quantum Communication				€ 33,547,307.25
CiViQ	Valerio Pruneri	ICFO, Spain	物理レイヤ量子暗号通信	9,974,006.25
QIA	Stephanie Wehner	Technische Universiteit Delft, Netherlands	量子インターネット	10,406,113.50
QRANGE	Hugo Zbinden	Universite de Geneve, Switzerland	量子乱数ジェネレータ	3,187,282.50
UNIQORN	Hannes Hübel	AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Austria	光集積回路量子デバイス	9,979,905.00
Quantum Computing				€ 19,921,645.00
AQTION	Thomas Monz	Universität Innsbruck, Austria	イオントラップ量子コンピュータ	9,587,252.50
OpenSuperQ	Frank Wilhelm-Mauch	Universität des Saarlandes, Germany	超伝導量子コンピュータ	10,334,392.50
Quantum Simulation				€ 18,593,150.00
PASQuanS	Immanuel Bloch	Max-Planck-Gesellschaft zur Forderung der Wissenschaften eV, Germany	プログラマブル冷却原子量子シミュレータ	9,257,515.00
Qombs	Augusto Smerzi	Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy	量子カスケードレーザ周波数コム	9,335,635.00
Quantum Sensing & Metrology				€ 36,718,102.50
ASTERIQS	Thierry Debuisschert	Thales SA, France	ダイヤモンドNVセンサ	9,747,888.75
iqClock	Florian Schreck	Universiteit van Amsterdam, Netherlands	光格子時計	10,092,468.75
macQsimal	Jacques Haesler	Swiss Center for Electronics and Microtechnology (CSEM), Switzerland	小型ガスセルセンサ	10,209,943.75
MetaboliQs	Christoph Nebel	Fraunhofer Gesellschaft zur Foerderung der Angewandten Forschung eV, Germany	室温超偏極センサ	6,667,801.25
CSA (Coordination and support action)				€ 3,478,996.25
QFlag	Markus Wilkens	VDI Technologiezentrum GmbH, Germany	コーディネーション・アウトリーチ	3,478,996.25
				€ 132,350,152.25

欧州「Quantum Technology Flagship」採択結果



欧州各国

オランダ

- 2013年QuTechセンター開設、翌年には政府が「量子技術」を科学技術外交における「National Icon」の一つに位置づけ、大規模な政府投資を行うことを発表。
- QuTechは、MicrosoftやIntelなどと共同研究を行う産学連携の研究拠点というだけでなく、欧州全体の量子科学技術研究の象徴的な研究機関。
- 量子ソフトウェアに関する研究開発コンソーシアムQuSoftも発足し、ハードウェア・ソフトウェアの両面から量子コンピューティングに注力。

英国

- 政府が2013年に「UK National Quantum Technologies Programme (UKNQTP)」への大規模投資が予算編成方針の中で発表され、翌年開始。このプログラムはBIS、EPSRC、Innovate UK、NPL、Dstlなどの関係機関による様々な投資・支援策を含んでいる。
- Sensors and Metrology（バーミンガム大学）、Quantum Enhanced Imaging（グラスゴー大学）、Networked Quantum Information Technologies（オックスフォード）、Quantum Communications Technologies（ヨーク大学）のハブが4拠点。
- 2015年3月に「量子技術戦略アドバイザリーボード（QT SAB）」が策定したUKNQTPの戦略も発表された。EPSRCは博士課程訓練センター（CDT）を量子関連で3つ新設、量子システムエンジニアリングの高度なスキルを開発・訓練するトレーニング・スキルハブの新設など、人材育成にも注力。

ドイツ

ハイテク戦略における基盤的な未来技術

- 社会的実装や応用を見据えた研究：人工知能分野、ITセキュリティ・ユーザーフレンドリなIT技術、マイクロエレクトロニクス分野、材料分野
- 世界トップへ飛躍させるべき技術：**量子**、ライフ・バイオ、航空宇宙

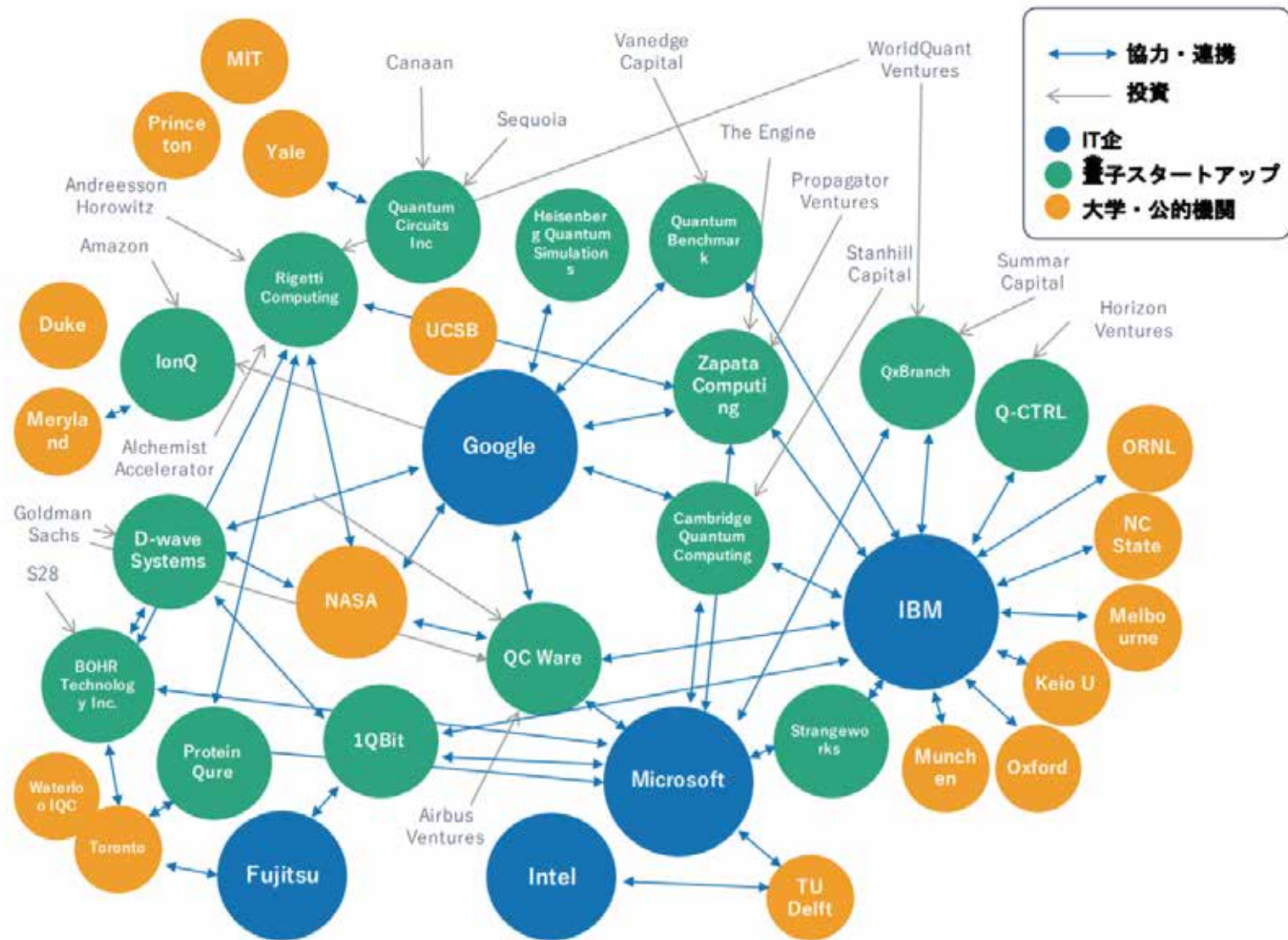
名称（期間）	特徴
ハイテク戦略 (2006-09)	- ドイツ初の包括的なSTI政策 - ドイツの産業を支える17の基幹技術を同定 - イノベーション環境の整備を促進
ハイテク戦略 2020 (2010-13)	- シーズ型からニーズ型のSTI政策に方向転換 5の課題領域/10のアクションプランを策定 - うち一つが「インダストリ4.0」
新ハイテク戦略 (2014-17)	- ニーズ型のSTI政策を維持 5の課題領域→6の課題領域に 「デジタル化」を最重要課題と位置づけ
ハイテク戦略 2025 (2018-)	- ニーズ型のSTI政策を維持 未来技術（AI・次世代電池・量子）等に言及 - 社会的課題解決のための具体的なミッション

量子研究枠組プログラム（2018年9月発表）

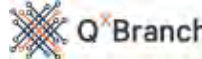
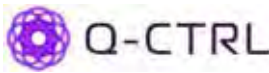
- 基礎研究から実用化までを重点的に助成
- 基盤的経費/プロジェクトファンディング 総額6.5億€/ 2018～2022年。これまでは年に約1億€程度投資されてきたが、1.5倍程度となる見込み。2022年に追加投資の是非を判断し2028年まで助成延長を予定
- 所管は、主管庁として教育研究省（BMBF）、経済エネルギー省（BMWi）、その他、内務省（BMI）、防衛省（BMVg）

重点領域：量子コンピューティング（コンピューター、シミュレーションなど）、量子コミュニケーション（通信、セキュリティ技術など）、計測（精密計測技術、衛星、ナビゲーション技術など）、量子分野の技術移転と産業の参画推進

北米の量子コンピューティングエコシステム



量子コンピューター・量子暗合通信 ベンダー企業

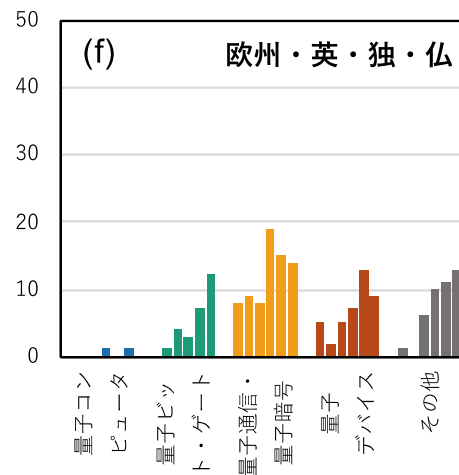
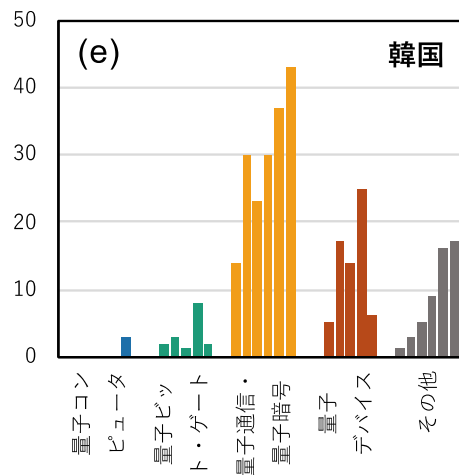
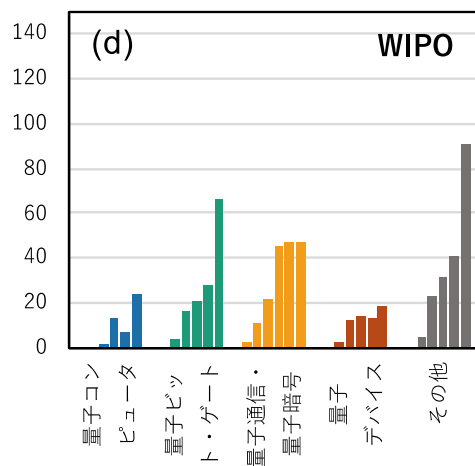
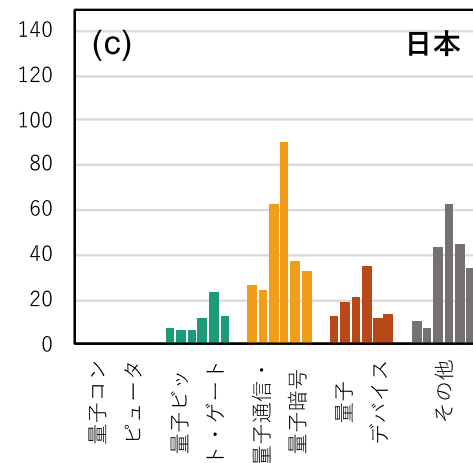
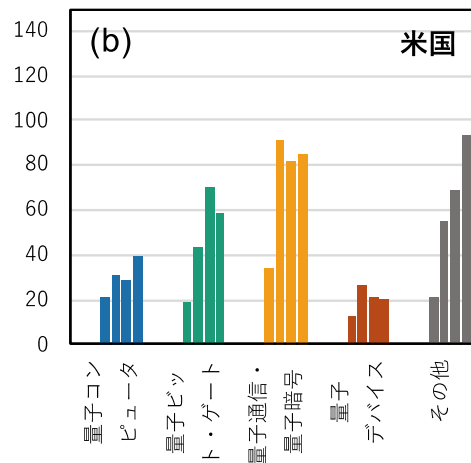
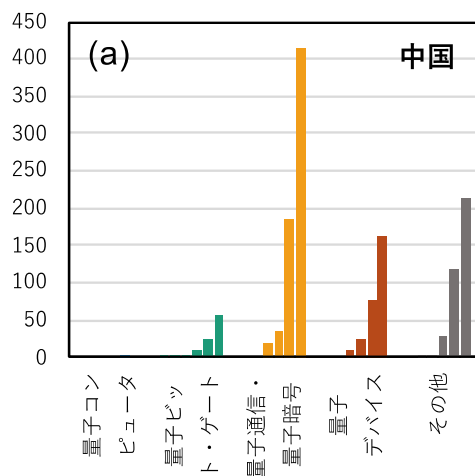
	量子コンピューター ハードウェア	量子コンピューター ソフトウェア	量子通信・暗号 周辺技術・関連技術
米国	       	    	  
カナダ		  	 
欧州		  	 
中国			 
オーストラリア			
日本		  	    

世界特許の国・機関別

棒グラフは5年毎の期間中発表数の積算

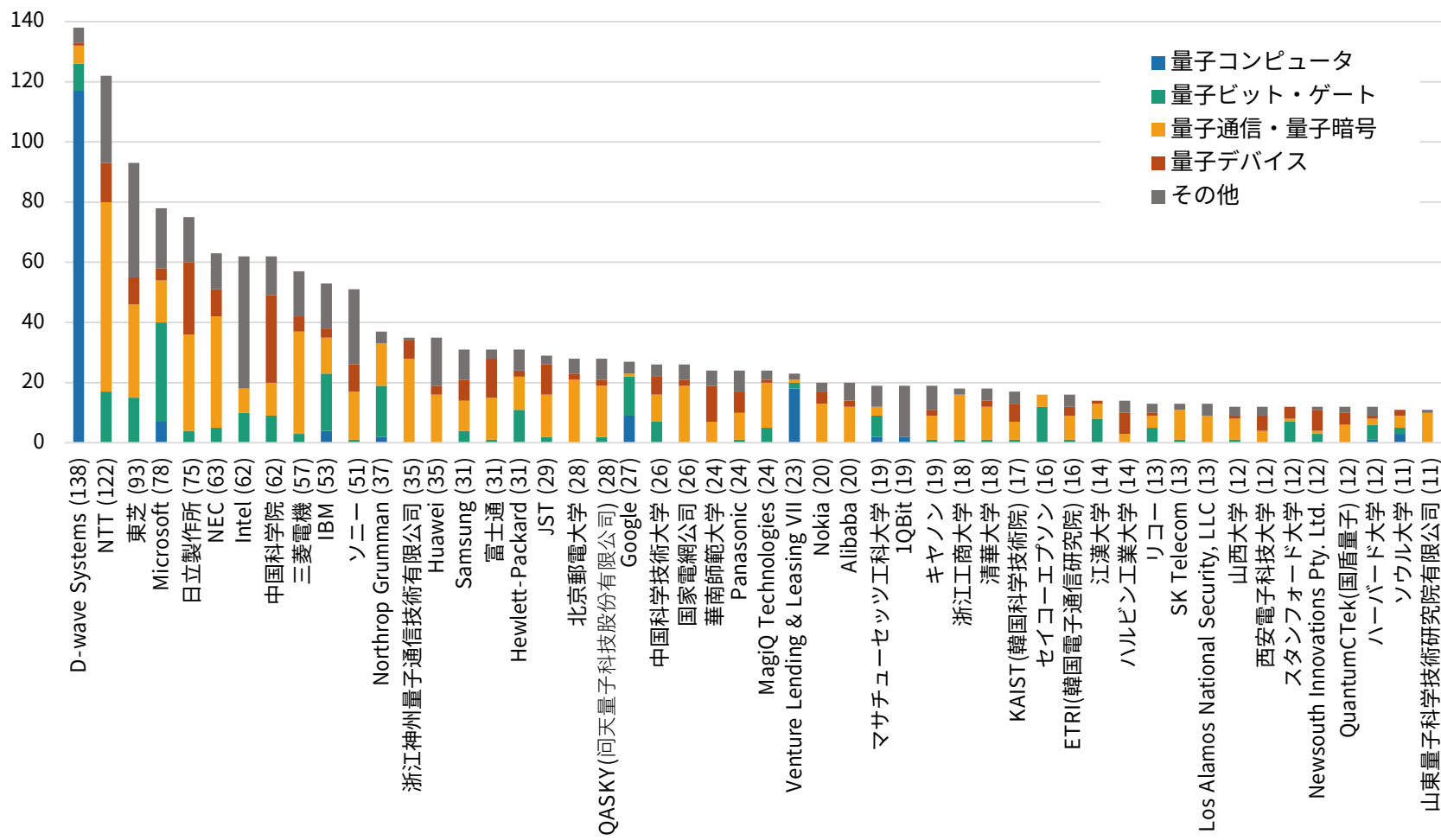
「1995-99」「2000-04」「2005-09」「2010-14」「2015-18(途中)」

- ・ 知財空間での主戦場はQKD、プロトコル、装置等の量子暗号分野。ここで中国企業、大学の躍進を確認。
- ・ 米国での量子コンピューター関連特許増、日本の発表数減少



世界特許の全数（技術区分ごと）

- 中国企業・大学が多数ランクイン。日本企業も存在感あり。
- D-wave、Microsoft、Google、IBMは量子コンピュータ、量子ビット・ゲート特許が主体で他と比べ特徴的



米国の量子拠点：Joint Quantum Institute (JQI)



- メリーランド大学（UMD）と米国国立標準技術研究所（NIST）の間でのMoUによって2006年9月11日に設立。基本年間予算は約600万ドル¹⁾。
- 研究者（fellow）は主にUMD物理学科、NIST、物理科学研究所（LPS）から来ている。
- Fellow36名、研究者6名、ポスドク51名、大学院生87名が所属(2019.3.19調べ)²⁾。
- 研究テーマは「量子多体物理学」「量子制御・計測・センシング」「量子コンピューティングと情報科学」
- PFC（NSF「Physics Frontier Centers」）、QuICSと連携。



(PFC)

- 2008年9月1日開始。
- Fellow25名、ポスドク7名、大学院生17名³⁾
- 11サイトあるPFCのうちのひとつ

《主要な研究テーマ》

- トポロジカルマテリアル（気体～固体）
- 光子による多体系物理
- 平衡からかけ離れた量子系のダイナミクス



CENTER FOR QUANTUM
INFORMATION AND
COMPUTER SCIENCE

(QuICS)

- 2014年10月31日開始⁴⁾。
- UMD先端コンピュータ研究所（UMIACS）の16のセンターの中で最新
- Fellow15名、ポスドク11名、大学院生32名⁵⁾
- CS、物理、量子情報の研究者による学際的センター
- UMD、NIST、NSA/CSS*の間のコラボレーション拡大により、量子情報科学における国家の主導的役割を維持・強化。

1) <https://phys.org/partners/joint-quantum-institute/>

2) <https://jqj.umd.edu/people>

3) <https://jqj.umd.edu/pfc/content/about-physics-frontier-center-jqi>

4) <https://www.nist.gov/news-events/news/2014/10/umd-and-nist-announce-creation-joint-center-quantum-information-and>

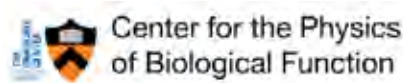
5) <http://quics.umd.edu/people>

*NSA/CSS: 国家安全保障局中央保安部

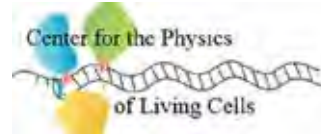
米国の量子拠点：NSF “Physics Frontier Centers”

- ・大規模な個人グループの共同作業によって物理の知的フロンティアを広げることを狙い、大学ベースのセンター・研究所を支援。グラントは5～15億円/5年規模。
- ・教育の充実や非伝統的なグループの参加拡大を目的とした活動も支援対象

生物機能物理学センター
(CPBF) / プリンストン大学



生細胞物理学センター
(CPLC) / イリノイ大学
アーバナシャンペン校



理論生物物理学研究センター
(CTBP) / ライス大学



冷却原子センター (CUA) /
マサチューセッツ工科大学



量子情報・物質研究所
(IQIM) / カリフォルニア工
科大学



JILA物理学フロンティアセン
ター / コロラド大学・NIST



核天体物理学共同研究所 - 元
素進化研究センター (JINA-
CEE) / ミシガン州立大学



カブリ宇宙物理研究所
(KICP) / シカゴ大学



カブリ理論物理学研究所 /
カリフォルニア大学サンタ
バーバラ校



北米ナノヘルツ重力波天文台
(NANOGrav) / ウィスコン
シン大学ミルウォーキー



合同量子研究所 (PFC@JQI)
/ メリーランド大学



《量子情報科学と特に関連が深い4センターのグラント額》

CUA: \$14,275,000/5年 (2011.9-2017.8)、**IQIM:** \$4,600,000/5年 (2018.3-2023.2)、

JILA: \$6,440,000/5年 (2017.9-2022.8)、**JQI:** \$10,700,000/5年 (2014.9-2019.8)

英国の量子拠点： UK National Quantum Technology Hubs



- 2013年開始。首相による2.7億ポンドの投資発表(2013年秋)に続き、国防科学技術研究所 (Dstl) がデモンストレーター装置プログラムに別途3000万ポンドを投資。
- プログラムはEPSRC、InnovateUK、BEIS、国立物理研究所 (NPL)、政府通信本部 (GCHQ)、国防科学技術研究所 (Dstl)、知識移転ネットワーク (KTN) による。
- 4つのUKNQTハブ (オックスフォード、ヨーク、バーミンガム、グラスゴー) に合計1.2億ポンドの投資。ネットワークは2014年12月開始、17の大学と132の企業が参画。

UK National Quantum Technology Hub in Sensors and Metrology (バーミンガム、グラスゴー、ノッティンガム、サウサンプトン、ストラスクライド、サセックス)

- 量子センサ、測定技術をヘルスケア、ナビゲーション、考古学などに応用想定
- 技術移転センター、プロトタイピングセンター、520万ポンドのパートナーシップ基金



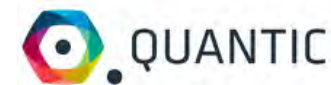
NQIT (Networked Quantum Information Technologies) (オックスフォード、バース、ケンブリッジ、エジンバラ、リーズ、サウサンプトン、ストラクライド、サセックス、ウォリック)

- 量子コンピューティング、量子シミュレーション
- 光量子ビットデバイスQ20:20量子エンジンの開発
- 医薬品開発の加速、ビッグデータ分析、乱数生成、安全な通信、分散センシングなどの応用



QUANTIC (グラスゴー、ブリストル、エジンバラ、ヘリオットワット、オックスフォード、ストラスクライド)

- 量子カメラ、量子イメージングシステム
- ガス漏れ可視化、煙の透過、超高感度可視・赤外カメラ
- 400万ポンドの「パートナーシップリソース」、300万ポンドのスコットランド資金協議会の「イノベーションスペース」などへ申請可能。



Quantum Communications Hub (ヨーク、ブリストル、ケンブリッジ、ヘリオットワット、リーズ、ロイヤルホロウェイ、シェフィールド、ストラスクライド)

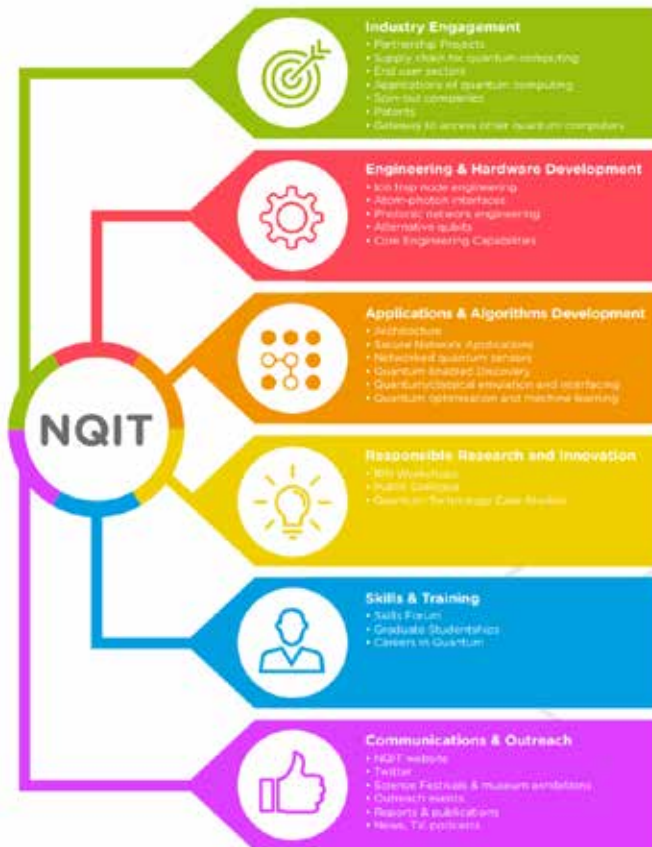
- 量子暗号鍵配送 (QKD)
- 小型・低コストデバイス開発、チップスケール統合
- モバイルバンキングなどが最初の応用ターゲット
- 量子ネットワーク・テストベッド構築



英国ハブ拠点の例： Quantum hub for Networked Quantum Information Technologies (NQIT)



- オックスフォード大学が主導。9大学、30企業が参画。
- 400量子ビットデバイスQ20:20の開発が目標。イオントラップ、原子、ダイヤモンドNVを組み合わせたハイブリッドアーキテクチャ。
- RRI、トレーニング、アウトリーチ部門もある。



各地に分散



<https://nqit.ox.ac.uk/sites/www.nqit.ox.ac.uk/files/2018-06/NQIT%20Annual%20Report%202018%20%28for%20web%29.pdf>

カナダの量子拠点：Waterloo IQC



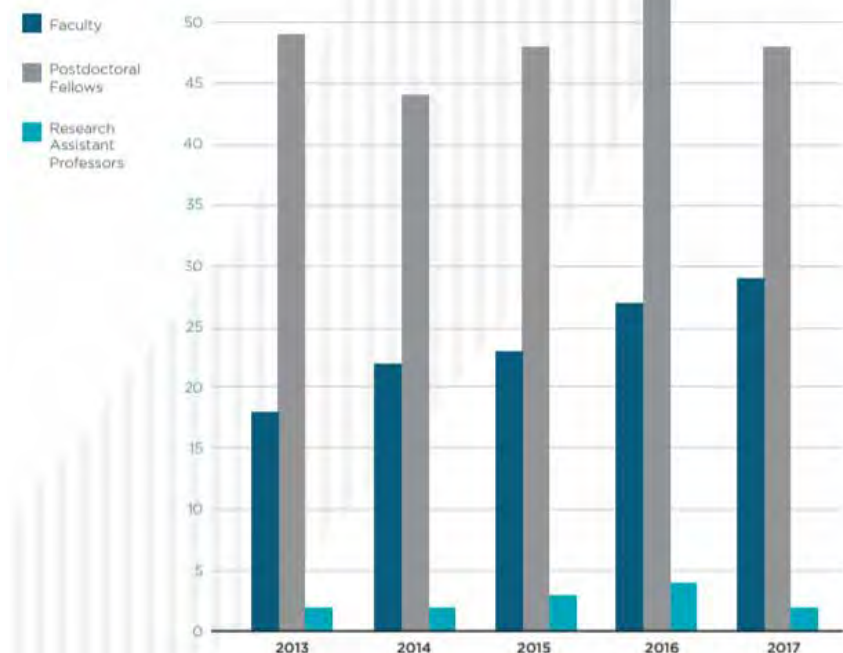
- Mike Lazaridisの寄付により2002年にウォータールー大学内に設立。2012年にMike & Ophelia Lazaridis Quantum-Nano Centerも開設（量子研究用は26500m²）。
- 教員31名、ポスドク43名、学生140名超（2018.6.1時点¹⁾）
- カナダ政府2018年予算からの投資は1500万ドル/3年間²⁾。
- K12プログラム、高校生向け、教員向け、科学館展示などアウトリーチ積極的。

《研究グループ》

- コヒーレントスピントロニクスグループ
- 量子システム工学ラボ
- 極低温量子物質・光ラボ
- 核磁気共鳴（NMR）ラボ
- 量子ソフトウェアグループ（Qsoft）
- 量子暗号・科学衛星（QEYSSAT）
- イオントラップ量子情報（QITI）
- 量子材料デバイスラボ
- 量子光学・量子情報ラボ
- 量子光学理論
- 量子フォトニックデバイスラボ
- 量子フォトニクスラボ
- 超伝導量子デバイスグループ



《直近5年の研究者数の遷移》



https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/sites/ca.institute-for-quantum-computing/files/uploads/files/iqc0244_annualreport_2017_aoda_eng.pdf

1) <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/about/quick-facts>

2) <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/news/iqc-receives-15m-government-canada>

オランダの量子拠点

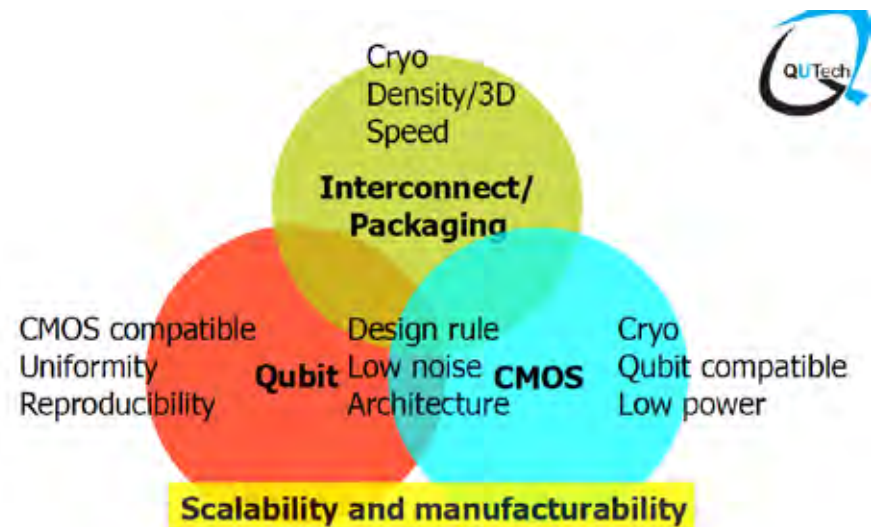
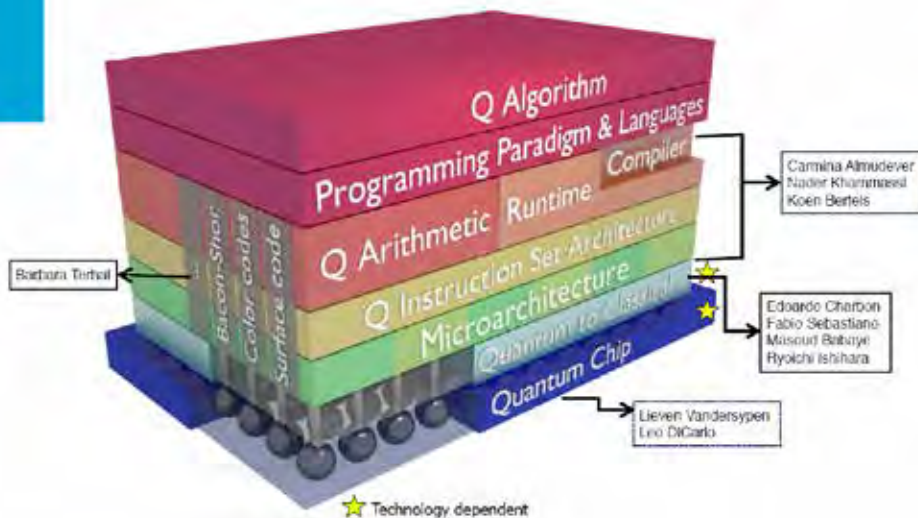
QuTech

- デルフト工科大、TNO、産業界パートナーによって設立
- 「誤り訂正量子コンピューティング (FTQC)」 「量子インターネット・ネットワークコンピューティング」 「トポロジカル量子コンピューティング」 の主3テーマ
- FTQCと量子インターネットシステムはエンジニアリングにfocus
- Intel、Microsoftと共同研究を実施。



QuSoft

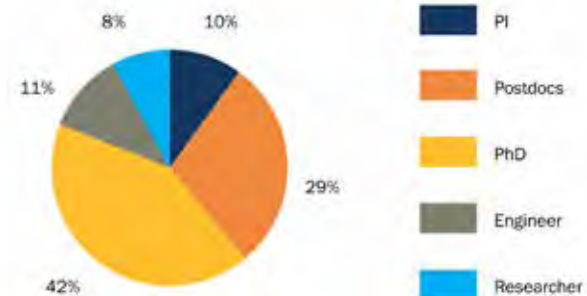
- 量子ソフトウェアの研究組織として国立数学情報科学研究所、アムステルダム大学、アムステルダム自由大学で2015年に設立
- 量子コンピュータの中小規模のプロトタイプで実行できる新しいプロトコル、アルゴリズム、アプリケーション



QuTech 詳細

- 組織は主3テーマ+教育チーム、共通基盤、管理の6部門
- 約180名がQuTechに勤務（2017年12月時点）。次の1年で340名程まで増える予定。
- 研究者の10%はPI（全体でのFacultyは30名ほど）、ポスドク、博士課程学生が70%
- オフィス約1500m²、低温実験室約1500m²、光学実験室約500m²
- 2015年から10年間の予算総額は145.53 Mユーロの予定

研究者の内訳



予算（2015年から10年間）

TU Delft in-kind	29	M€
TU Delft in-cash	20	M€
TNO in-cash*	50.75	M€
NWO/FOM*	36.18	M€
STW in-cash	9.6	M€
Total	145.53	M€

