

各国の量子技術の関連動向 ～ドイツとスイス～ (24年10月、内閣府調べ)



令和6年10月4日
内閣府
科学技術・イノベーション推進事務局

□ ドイツの量子コンピューティング関連の取組調査

p. 2~11

□ スイスの量子関連の取組調査

p. 13~22

量子技術におけるドイツの競争力

EUでは、最近まで**ドイツが量子技術への公共投資を牽引しており、46%を占め、フランスが26.3%で続いている**。この投資は価値あるものとなり、ドイツは世界のリーダーとしての地位を確立した。特に、**ドイツは量子技術の修士課程を有する大学の数で50カ国中2位にランクされていて、ヨーロッパの量子技術の新興企業でトッププレーヤーとしても際立っている**。

商業的には、ドイツは量子技術用の量子センサーとレーザーにおいて優れている。エアバス社と共同で量子磁気センサーを開発しているボッシュのような企業は、ドイツの実力を示している。ミュンヘンを拠点とするトプティカ・フォトニクス社は、子会社のトプティカ・イーグルヤード社とともに、量子技術向けの高品質レーザーを製造するパイオニアであり、米国へも供給している。レーゲンスブルクに本社を置くオスラム オプトセミコンダクターズは、米国を拠点とするVixar社の戦略的買収により、ドイツでの地位を確固たるものにした。

しかし、**ドイツや欧州は量子通信やセンシングに優れているにもかかわらず、トップクラスの量子コンピューターの進歩に遅れをとっており、経済や軍事に大きな影響を与える可能性がある**。この分野では米国と中国がリードしており、**ドイツも競争力のある量子コンピューターの構築を含む量子技術関連の取組に、2026年までに30億ユーロを割り当てることを約束しているおり、追いつこうとする意図が見受けられる**。

ドイツ政府の量子技術への取り組み方針など

ドイツ連邦政府は2024年4月26日、連邦教育・研究省が取りまとめた「**量子技術に関する基本構想**」を閣議決定した。同基本構想は量子技術に関して、連邦政府の2023～2026年の取り組み方針と目標などをまとめたもの。

重点が置かれているのは、**(1) 産業、社会、国立研究機関での量子技術の活用、(2) 連邦政府が具体的目標を定めて量子技術の発展を促すこと、(3) 量子技術活用・推進のためのエコシステムの構築**。(1)から(3)のそれぞれに、2026年までに連邦政府が取り組むべき事項が記され、巻末には、量子技術に関連する連邦政府の戦略・プログラム、国内の国立機関や研究組織、クラスターなども記載されている。

連邦政府は2026年までに約21億8,000万ユーロを量子技術関連予算として確保、また、連邦政府が資金的援助をする研究機関などに約8億5,000万ユーロを確保する。そのため、**2026年までに全体で30億ユーロ規模**のプロジェクトとなる。

連邦政府は、**ドイツは現時点で量子技術分野の競争力を有している**との認識だ。その根拠として、**(1) 量子技術に関する基礎研究が進んでいる、(2) 量子技術関連のスタートアップと大企業の集積がある、(3) 量子センサーなどでは一部製品化まで至っていることを挙げている**。他方、量子コンピュータでは、開発が進む米国、中国、英国に追いつく必要があるとしている。

DLR - Quantum Computing Initiative (QCI)

連邦経済・気候行動省（BMWK）はDLRに対し、**4年間で7億4000万ユーロ**を提供。これら**資金の約80%は直接産業界**に流入。DLRは、**研究機関と産業界のパートナーを集めてイノベーションを推進する拠点**として、ハンブルクとウルムにイノベーションセンターを設立。

● 共同開発スペース

DLRの研究プロジェクト、産業パートナー、新興企業、将来の潜在的なユーザーが集まり、この分野の進歩に取り組む。

● イノベーションのためのインフラ

センターには、クリーンルーム、作業場、実験室が備えられている。これにより、パートナーの研究開発が促進される。

● エコシステムの構築

様々な関係者を結びつけることで、コラボレーションと知識交換を促進し、ドイツの強力な量子コンピューティング・エコシステムの成長につなげる。



ハンブルク イノベーションセンター



ウルム イノベーションセンター

DLR QCIが開発委託する技術

最適な量子ビット・実装技術が不明なため、DLRでは様々な（現状6種類）の技術に関する開発を委託し、エコシステムを強化している。ここでは3種類の技術を紹介。

① イオントラップ

● ドイツにとっての意義

ドイツでは、**イオントラップの研究開発競争が活発**。多くの研究やアプリケーションの検討により、大きな進歩を遂げている。**NVセンターとともに、ドイツのスタートアップや企業にとって最も普及しているハードウェア基盤**であり、イオントラップはドイツで最も有望なシステムの1つとなっている。

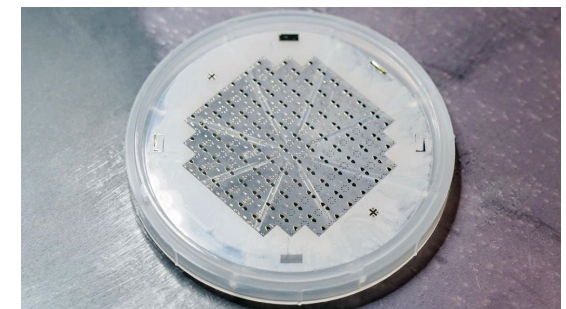
● DLR QCI のイオントラップ

ドイツと欧州の企業に5つのプロジェクトを委託。その理由は、イオントラップが技術的に進んでいるだけでなく、産業エコシステムにも適合しているからだ。第1弾プロジェクトでは、10量子ビットのデモ用システムを調達し、開始から1年後に利用可能にする予定。第2弾と第3弾では、スケラブルでエラー訂正可能な50量子ビット以上のシステムの構築と運用を目標とし、4年後には利用可能となる計画。

参考) <https://qci.dlr.de/en/ion-traps/>



(第1弾PJ) 10量子ビットのイオントラップ型デモ機



(第2弾PJ) 50量子ビット以上のイオントラップ型の試作素子

DLR QCIが開発委託する技術（つづき）

② NVセンター

● ドイツにとっての意義

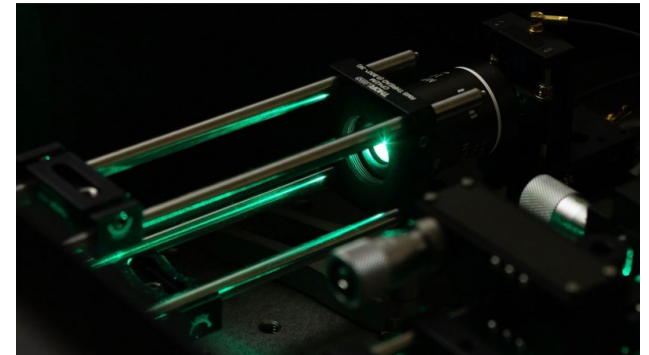
NVセンターは、イオントラップと並んで、ドイツの産業界で確立が進む量子技術。また、ドイツの多くの研究機関が国際研究をリードしている。

● DLR QCI のNVセンター

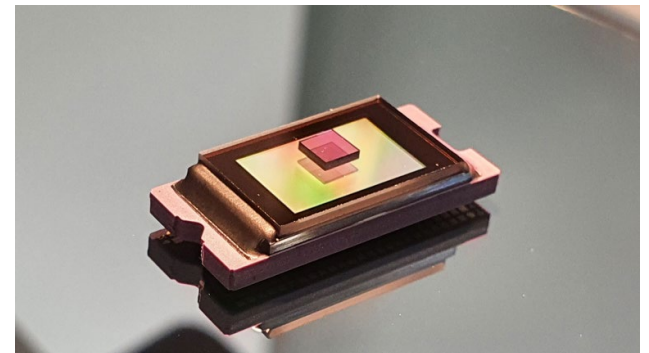
第1弾のプロジェクトには、シンプルなユーザーインターフェースを備えた4量子ビット以上のデモ機の構築が含まれる。これは小型冷蔵庫とほぼ同じサイズであり、ユーザーがすぐに利用できる。

次のステップは、より大きなシステムの開発。プロジェクト終了時には、スケラブルで誤り訂正可能な32量子ビットの量子コンピュータが登場し、使い勝手の良いアルゴリズムを実行できると期待されている。

これらに加えて、高品質ダイヤモンドの生産・特性評価の技術を有する2つの会社とも契約した。



NVセンター型
モバイル量子コンピュータ



フォトニックマイクロチップ上にNVスピン量子ビットを配したダイヤモンド結晶

DLR QCIが開発委託する技術（つづき）

③ 中性原子

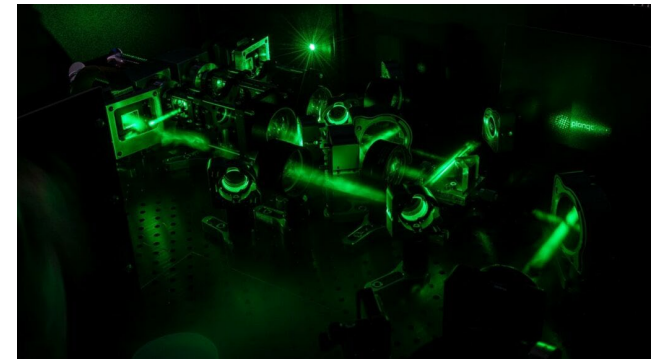
● ドイツにとっての意義

ドイツは、中性原子技術の研究と応用において卓越した地位を占めている。この卓越した学術専門知識を産業プロジェクトで活用し、高度な計算プラットフォームの実現可能性を探る意義は高い。

● DLR QCI の中性原子

スタートアップ企業planqcが、プログラム可能なデジタル中性原子量子コンピュータの開発を受託。3年半をかけて、スケーラブルでエラー訂正が可能な、100量子ビット以上の量子コンピュータを開発する。

planqcはその専門知識を生かし、コンサル会社d-fineとともに、ハードウェアとソフトウェアの架け橋となるコンパイラや量子アルゴリズムを開発するプロジェクトにも参画している。



planqcのラボでのセットアップ



ウルム・イノベーションセンターでのプロジェクトのキックオフ

その他の主な産学官プロジェクト

■ Q-Exa：スパコンと量子コンピューターのハイブリッドシステム

- 2024年6月18日、ドイツ、ミュンヘン-バイエルン州科学・人文科学アカデミーのライプニッツ・スーパーコンピューティング・センター (LRZ) と共同で、フィンランドIQM社、フランスEviden社とドイツHQS Quantum Simulation社を含むQ-Exaコンソーシアムは、**20量子ビットの超電導型量子コンピューターをスパコンに統合**。
- ドイツ連邦教育研究省は、この技術のマイルストーンに**4,000万ユーロ以上**の資金を提供。
- まもなく**研究目的でシステムを開放**する予定。



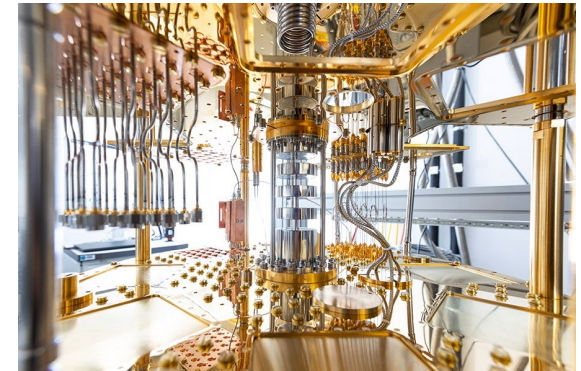
■ SeQuenC：産業界向けの量子クラウド

- SeQuenCコンソーシアムは、ドイツ連邦経済気候研究省から最初の量子クラウドの開発を依頼され、IONOS社のリーダーシップの下で、シュトゥットガルト大学、フラウンホーファーFOKUS、QMware AG社、Anaqor社が協力。
- 期間：2022年8月～2025年7月、予算：**450万ユーロ**（総額）
- 目的：**産業界（特に中小企業）への量子コンピューティングのアクセス提供**

その他の主な研究機関・コンソーシアム

■ ユーリッヒ総合研究所

- ユーリッヒ研究所、フランクフルト・ゲーテ大学、ParTec社、Quantum Machines社は、10+の**超伝導量子ビットシステムを開発してスパコンに統合**するために提携。（2023年夏に開始）
- 2024年5月、最初のマイルストーンとして、25量子ビットシステムを、ユーリッヒ総合研究所のスパコンJURECAと接続してシームレスな校正・管理を確認。



ユーリッヒ総合研究所の量子コンピューター

■ MUNIQC-Atomsコンソーシアム（ヘッド：マックス・プランク量子光学研究所）

- **中性原子に基づく量子コンピューター実証機の構築**を目標に、それぞれの分野で独自の専門知識を持つ**約20のパートナー**が結集。
- 期間：2022年～2026年、予算：**3,580万ユーロ**（88.8%が教育研究省の出資）

■ Fraunhofer Competence Network Quantum Computing

- **フラウンホーファー研究機構**が2020年に設立した全国の研究所のネットワーク。
- **幅広い応用分野へ向けた量子コンピューティングスタック全体をカバー。**
各プロジェクトとの関係はリンク先参照：

<https://www.fraunhofer.de/en/institutes/cooperation/fraunhofer-competence-network-quantum-computing/quantum-computing-at-fraunhofer.html>

参考) <https://www.fz-juelich.de/en/news/archive/announcements/2024/four-way-excellence-for-a-new-10-qubit-quantum-computing-system>

ドイツ国内の主カスタートアップアップ

■ planqc

- 2022年に、**マックス・プランク量子光学研究所**とミュンヘン大学の研究者らが設立した。ドイツ政府から、LRZへの**1,000量子ビットシステム**納入を委託されている他、**DLR向け量子コンピューター**の開発も受注。
- 2024年7月8日に、連邦経済・気候保護省のディープテック・気候基金（DTCF）などが主導する**5,000万ユーロの資金調達**を発表。
- 資金は、**量子クラウドサービスの確立**と、化学やヘルスケア、気候保護技術、自動車、金融といった**業界向けの量子ソフトウェアの開発**に活用する。

■ Kipu Quantum GmbH

- 2021年に設立された量子ソフトウェア企業で、幅広い業界向けのアプリケーションおよびハードウェア固有の量子ソリューションの開発に注力する。
- HV Capitalなどの8つの投資団体から、1,450万ドルを調達。

■ HQS Quantum Simulations

- 2017年にカールスルーエ工科大学から生まれた企業で、分子・化学反応・材料特性のシミュレーションに量子コンピュータを活用できるソフトを開発。
- HTGFなどの8つの投資団体から、1,620万ドルを調達。

ドイツに拠点のある量子関連の有力国外企業

■ IBM

- IBMはドイツの同社施設に量子データセンターを開設し、**2024年中に運用を開始**する計画。**100量子ビット以上の複数の量子コンピューターを設置**。
- 本データセンターは、EU圏内ですべてのジョブ・データを処理するなど、お客様が欧州データ規制の要件を継続的に管理できるように設計されている。
- 米国ニューヨーク州ポキプシーに次ぐ、IBMとして2番目の量子データセンターおよび量子クラウド・リージョンとなる。

■ IQM Quantum Computers

- フィンランドのIQM Quantum Computers (IQM) は同社初の量子データセンターをドイツに開設し、**最大 12 台の量子コンピューターを設置**する計画。
- 現在、すでにIQMの量子コンピューターが2台設置されている。
- IQMは、機械学習、量子シミュレーション、サイバーセキュリティ、最適化などのユースケースを模索していくとしている。



参考)

https://www.researchgate.net/publication/380533898_Quantum_Computing_Basics_Algorithms_Use_Cases_and_German_Quantum_Ecosystem
<https://www.meetiqm.com/newsroom/press-releases/iqm-opens-quantum-data-centre-in-germany>

□ ドイツの量子コンピューティング関連の取組調査

p. 2~11

□ スイスの量子関連の取組調査

p. 13~22

スイス連邦参事会（内閣）の量子関連方策

スイス量子イニシアティブ (SQI)

スイス量子イニシアティブは、連邦理事会が2022年5月に採択することを決定した研究・イノベーション支援策のひとつである。これらの措置は、主要な科学分野における研究・技術革新におけるスイスの地位を強化することを目的としている。

スイス量子イニシアティブは、量子技術分野におけるスイスの優れた地位を確立し、国際的な競争力を強化することを目的としている。これには、競争力のある提案募集による研究への支援、魅力的な教育カリキュラムの開発、産業界との協力による知識と技術の移転、国際協力などが含まれる。

体制

スイス量子委員会 (SQC) は、チューリヒ工科大学 (ETH)、スイス連邦工科大学 (EPFL)、大学などの高等教育機関、民間企業、政府機関の第一人者で構成され、スイスの研究機関の専門知識を調整する役割を担っている。傘下組織として、スイス科学アカデミー (SCNAT) がこの委員会を主催し、イニシアティブの実施に責任を持ち、まずは研究を強化することを目的としている。

資金調達

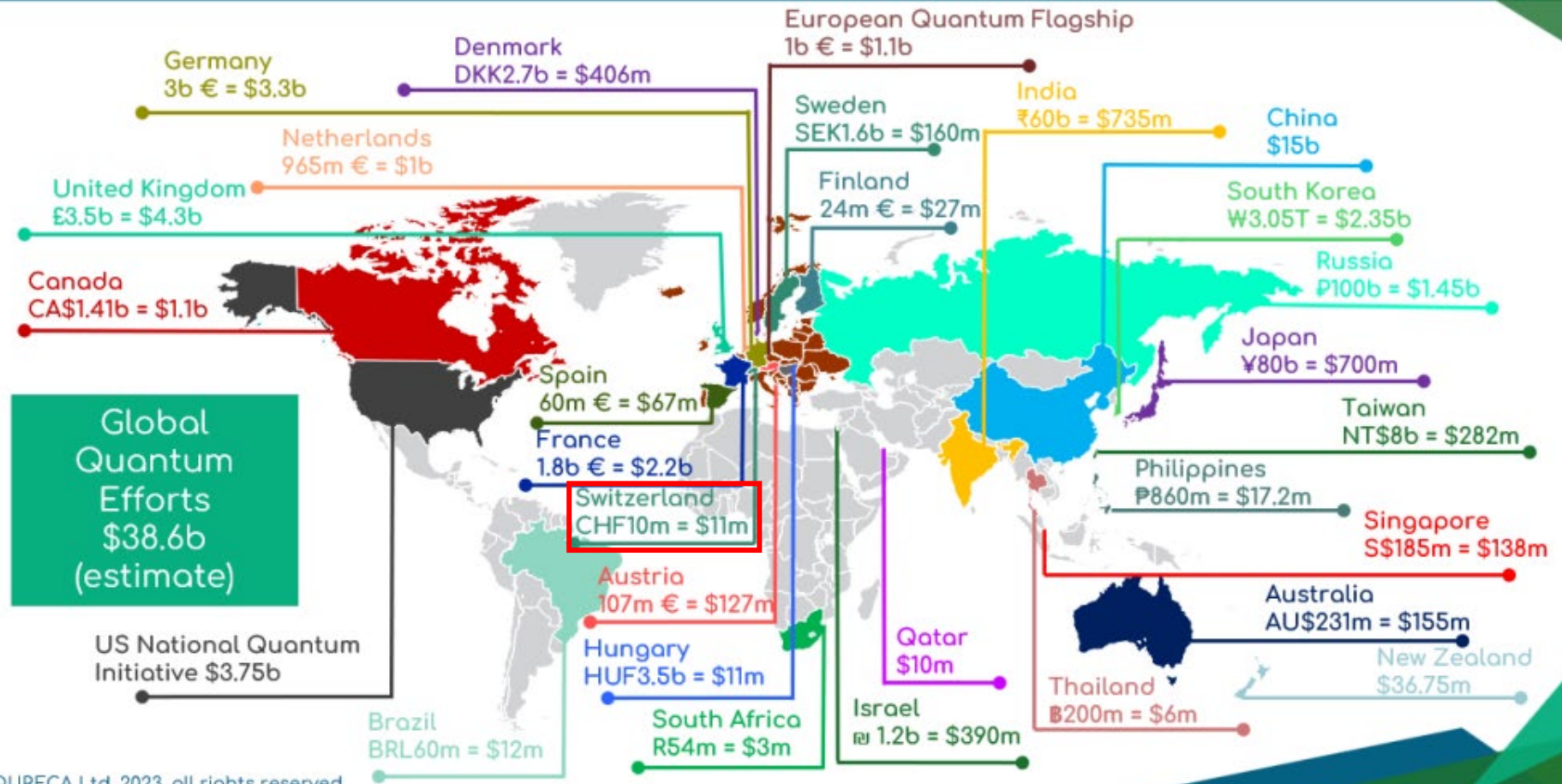
2023年と2024年について、スイス連邦は国家プロジェクトに1000万スイスフランを割り当てた。2025年から2028年の期間中、SQIには8,210万スイスフランが割り当てられた。これらの資金は、スイス科学アカデミー (SCNAT)、スイス国立科学財団、イノスイス (イノベーションを担う政府機関) に分配される。これらの数字は、2024年末までに議会の承認を得なければならない。

* 1 CHF ~ 170円

参考) <https://www.sbf.admin.ch/sbf/en/home/research-and-innovation/research-and-innovation-in-switzerland/sqi.html>

参考) 各国の量子研究予算

Quantum effort worldwide



@QURECA Ltd. 2023, all rights reserved

その他、開始が見込まれるプロジェクト

スイス・クオンタム・コール2024：36の提案

量子技術分野におけるスイスの研究の地位を確立することを目的としている。
総予算は、教育・研究・イノベーション事務局（SERI）により1,600万スイスフラン
（内訳：スイスのホライゾン・ヨーロッパ非加盟に伴う経過措置による1,000万スイス
フラン、SQIによる600万スイスフラン）。

参考) <https://www.snf.ch/en/J53OvyX4waAQsusC/news/36-proposals-for-swiss-quantum-call-2024>

スイスの研究機関が2024年の欧州研究会議公募に応募可能に 2024/3/18

EUとスイスは広範な二国間措置に関する協議を正式に開始した。これは、欧州連合（EU）の「ホライゾン・ヨーロッパ」や「ユーラトムの研究・研修プログラム」を含む、EUのプログラムに関するEUとスイス間の協議である。今回の協議開始により、スイスの研究機関は、2024年に開始される欧州研究会議（European Research Council）の研究プログラムに応募し、評価されることが可能となる。

参考) https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/swiss-entities-can-now-apply-european-research-council-calls-2024-2024-03-18_en

スイスのエコシステム

スイス政府は将来にインパクトをもたらす基礎研究を支援し、その成果をベンチャーとして外部に出して産業化するというプロセスを重視

Zurich Instruments

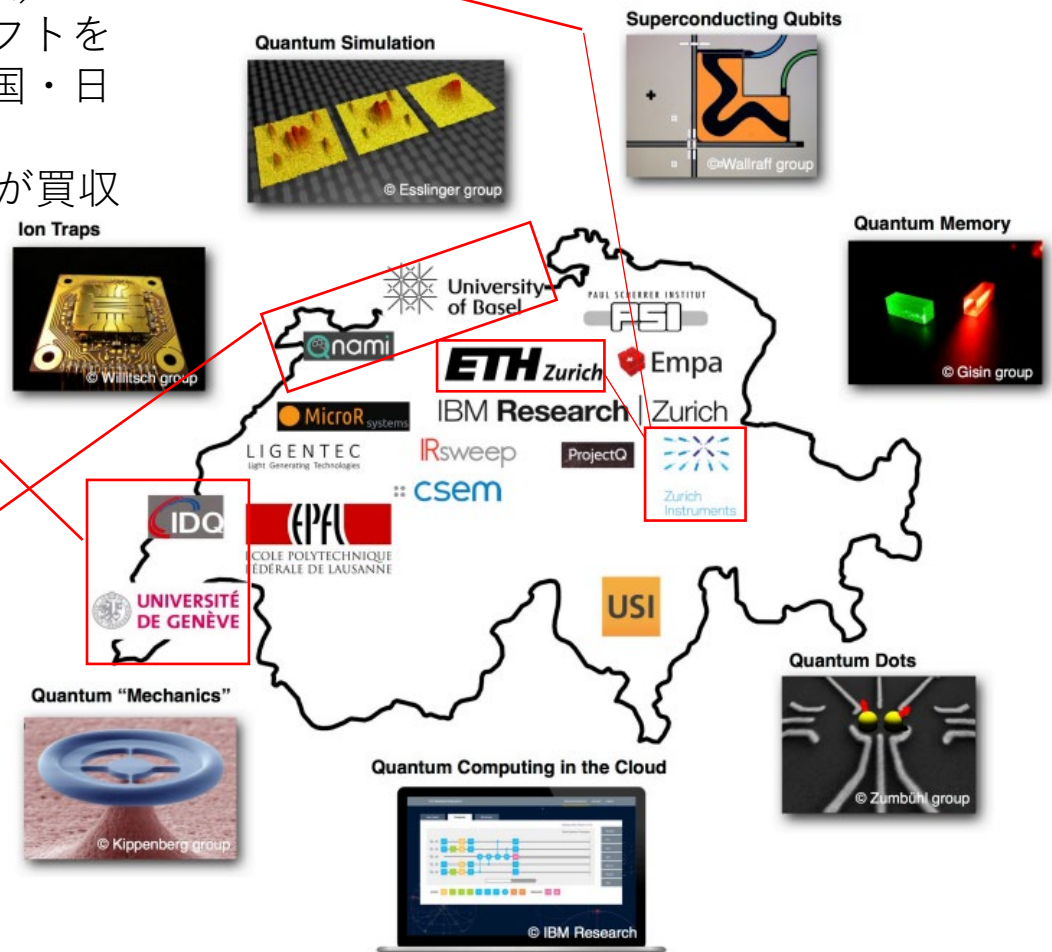
- スイス連邦工科大学(ETH)チューリッヒ校のスピ
ンオフ企業 (2008年設立、従業員100人強)
- 量子ビットを計測・制御するハードとソフトを
一括提供。ユーザーは、欧州・米国・韓国・日
本などの大学・研究機関
- 2021年に独計測機器大手Rohde&Schwarzが買収

ID Quantique (IDQ)

- ジュネーブ大学のQKD量子の研究室
のスピノフ企業 (2001年設立)
- 量子乱数発生器、QKD装置、単一光
子検出器を製品化
- 2018年に韓国SKテレコムの子会社に

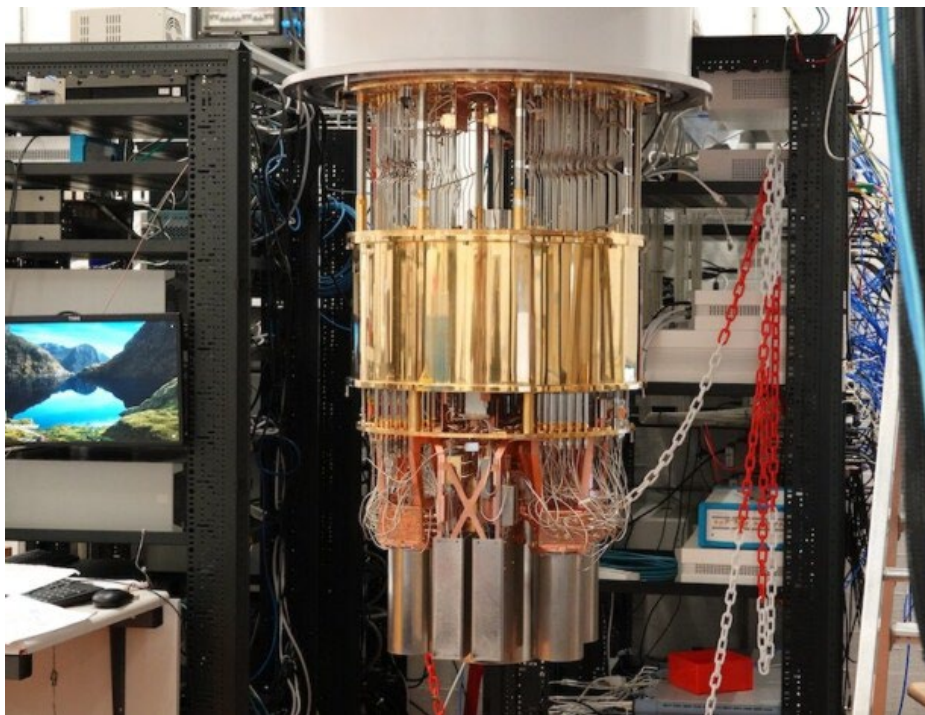
Qnami

- バーゼル大学の量子センシングの研究
室のスピノフ企業 (2017年設立)
- 強みは、半導体製造にも使われるCVD
法によるNVセンターの製造技術
- NVセンターの生産受託サービスと磁
場の精密計測装置を提供



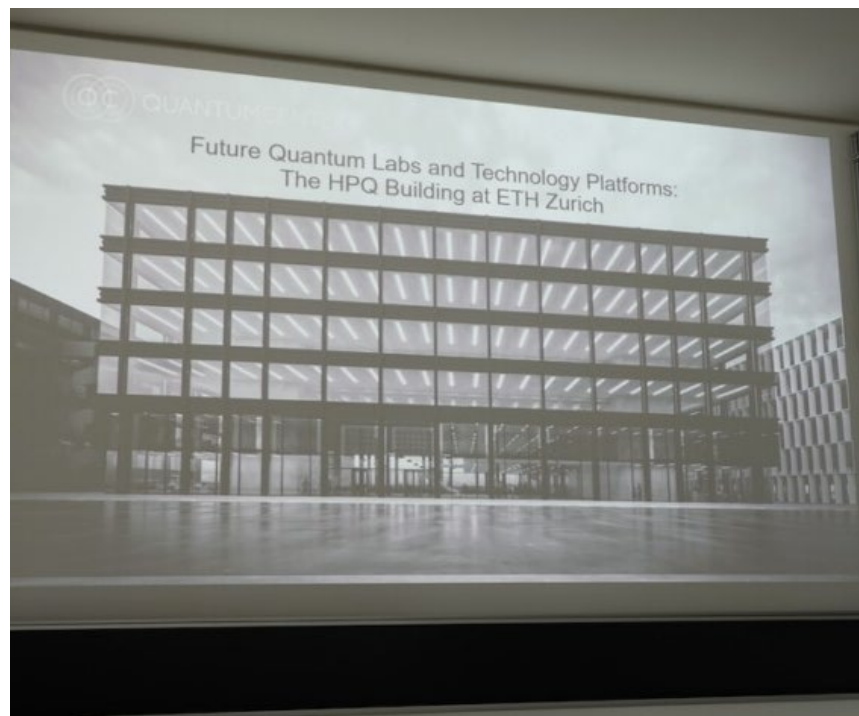
大学の研究例：ETHチューリッヒ校

- 量子コンピューターなどの設備や量子の研究施設へ重点的に投資
- 大学間の協力体制（バーゼル大学やスイス連邦工科大学ローザンヌ校と）
- 大学周辺の企業とも連携（IBM研究所やZurich Instruments社と）
- 充実した研究施設・環境に、世界中から優秀な研究者が集められている



スイスにはQSによる世界大学ランキング上位校のスイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETHZ)をはじめとする優れた工科大学がある。それらの大学には早々に量子コンピューターを設置し、数も多い。また研究する環境への投資も大きい。

出展) <https://realsound.jp/tech/2024/01/post-1537794.html>



ETHZは、研究施設を拡充するために専門の物理学研究所とオフィスビルを建設中で、そこには最先端の研究インフラが導入され、量子科学分野の地位を拡大していく予定。

商業利用を目指す量子コンピューターハブ



QuantumBasel

Our Technology Partners



D:WAVE
The Quantum Computing Company™



- 一人のエンジェル投資家が5億CHF（約853億円）を投資し、Industry4.0のための巨大ハブ“uptownBasel”を作った。この中で、商業利用可能な量子コンピューターハブを目指す“QuantumBasel”が運営されている。
- このハブは、IBM, D-Wave, IonQとパートナーシップを結ぶと共に、量子コンピューターを商業的に使うための独自プラットフォームを作っている。
- IonQとは、量子データセンターの共同構築・運営に合意。また、2つの量子コンピューター（35 / 64 論理qubit）導入に合意。このため二人の投資家が\$500mを出資。
- バーゼルには、医薬品・化学の大手企業（Novartis, Roche, Bayer, BASF, Modernaなど）が本拠地を置く。これらとの連携を見据え、ワークショップ等も実施。

各国との連携状況 (1/3)

▶ 対アメリカ（政府主導で連携）

• (2022/10/21) 量子情報科学技術における協力に関する米国とスイスの共同声明

両国は量子情報科学技術の推進を意図して、以下の方法によりこのアジェンダを前進させる意図を共有した。

- 共通の関心事の分野横断的な問題への取り組むこと
- 研究方法論、インフラ、データの共有手段の促進
- 市場・サプライチェーンの構築や経済成長の支援
- 科学者・技術者の教育・育成の支援や人材交流の機会
- 定期的な多国間議論の活用
- 科学的卓越性と相互利益に基づく革新的な協力



• (2023/6/23) 米国とスイスの国立科学財団(NSF, SNSF)の研究協力に関するMOU

この覚書は、研究コミュニティ間の協力促進の枠組みと共同の支援活動の原則を定めている。これにより、両国の量子情報科学の研究者には、共同研究プロジェクトの提案機会が与えられる。

参考) <https://www.state.gov/joint-statement-of-the-united-states-of-america-and-switzerland-on-cooperation-in-quantum-information-science-and-technology/>

<https://www.quantum.gov/webinar-on-nsf-swiss-nsf-joint-funding-opportunities/>

各国との連携状況 (2/3)

▶ 対イギリス (政府主導で連携)

・ (2022/11/10) 研究とイノベーションでの協力に関するMOU

スイス教育・研究・イノベーション省(SERI)と英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省との間で覚書(MoU)が署名された。この覚書は、両国の研究およびイノベーションコミュニティ間のネットワークと協力を強化することを目的とする。量子技術や人工知能など、ディープテック分野が注目されている。

・ (2024/2/5-5/1) 英国-スイスの二国間共同イノベーション・プロジェクトの募集

UK Research and Innovation傘下のInnovate UKとスイス・イノベーション庁のInnosuisseは、Innovate UKから最大400万ポンド、Innosuisseから最低300万スイスフランをイノベーションプロジェクトに投資。ライフサイエンス・AI・半導体・量子などの技術におけるイノベーションを奨励。

▶ 対カナダ (政府も連携推進)

・ (2023/4/14) 科学技術イノベーションに関する共同声明

共同声明は、カナダとスイスが2018年に署名した科学、技術、イノベーションに関する共同声明を更新し、拡大するもの。2023年から2028年にかけて特に焦点を当てるテーマには、気候と持続可能性、ライフサイエンス・健康、量子科学技術、人工知能が含まれる。

・ (2024/4/4) スイスのQAI Ventures社は、連携強化のためにカナダオフィスを開設 (民間の連携)

uptownBaselの民間資金により生まれたエコシステムビルダーであるQAI Venturesは、カナダのカナダオフィスを拡大し、現地パートナーとなるQuantum Cityとの緊密な協力を計画。(QAI Venturesは、量子・AIスタートアップ向けに、アクセラレーションプログラムと投資資金を提供している。Quantum Cityは量子科学技術のエコシステムを構築し、研究者、開発者、産業界とサービスの採用者を結びつけていく。)



参考)

<https://www.admin.ch/gov/en/start/documentation/media-releases.msg-id-91369.html>

<https://apply-for-innovation-funding.service.gov.uk/competition/1854/overview/a86ae338-987c-4066-a290-b372f85c678f#supporting-information>

<https://www.canada.ca/en/innovation-science-economic-development/news/2023/04/governments-of-canada-and-switzerland-sign-joint-statement-on-science-technology-and-innovation.html>

<https://thequantuminsider.com/2024/04/04/qai-ventures-expands-globally-opening-canadian-office-in-calgary-to-harness-albertas-thriving-quantum-tech-scene>

各国との連携状況 (3/3)

▶ 対韓国（政府間の連携開始）

• (2023/11/9) 研究分野に関するスイスと韓国の共同宣言

スイスと韓国は、デジタルトランスフォーメーション、バイオテクノロジー、量子技術など、あらゆる研究分野での既存のつながりを強化することを目的とした共同宣言に署名した。両国は、研究関係の発展を引き続き促進する意思を再確認した。

▶ 対ドイツ（個別機関・研究者主体での連携）

• (2022/5/25) スイス、ドイツ、カナダの共同研究チームがネイチャー誌で成果公表（連携例）

3国の研究者は共同で、量子システムに影響を与える基本的なエラーの両方を修正できる超伝導量子コンピュータチップの実装に取り組んだ。

• スイスとドイツの大学間の国境を越えた若手研究者育成のための共同研究（連携例）

量子科学・量子コンピューティングセンター(QSQC)のGeorg H. Endressポストドククラスターと呼ばれるバーゼル大学(スイス)とフライブルク(ドイツ)のアルバート・ルートヴィヒ大学(ドイツ)の国境を越えた共同研究。急速に発展している QSQC の分野に学術的才能と技術スキルを提供するために、優れた若い科学者を育成および教育するための 10 年間の献身的なイニシアチブ。

▶ 対オランダ（個別機関・研究者主体での連携）

• (2023/5/15) スイスとオランダの量子ベンチャーがハイブリッド量子コンピューティングプラットフォームを共同で開発（連携例）

このハイブリッド アーキテクチャは、HPC と量子コンピュータををオンサイトで初めて統合すると発表。

参考)

<https://www.eda.admin.ch/countries/korea-republic/en/home/news/news.html/content/countries/korea-republic/en/meta/news/2023/November/swiss-korean-joint-declaration-on-research-areas>

<https://www.fz-juelich.de/en/news/archive/press-release/2022/error-free-quantum-computer-is-coming-closer>

<https://www.quantum.unibas.ch/g-h-e-postdoc-cluster/>

<https://www.quixquantum.com/news/qmware-and-quix-quantum-to-establish-the-first-fully-integrated-hybrid-quantum-computing-data-center>

スイスに拠点のある量子関連の有力国外企業

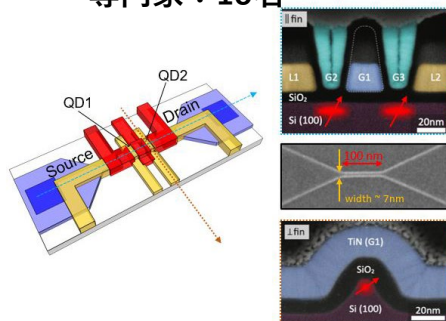
➤ IBM (Research Europe – Zurich)

- IBM基礎研究所は、IBMの研究開発部門で、6大陸に12の研究施設があり、民間企業が保有する世界最大の研究機関。1956年に最初のヨーロッパ支社として設立されたこのZurich研究所の使命は、将来の情報技術のための最先端研究や学術・産業界との緊密な協力関係を育むことなど。
- 量子技術関連では、下記6つの領域の研究・取組を進めている。



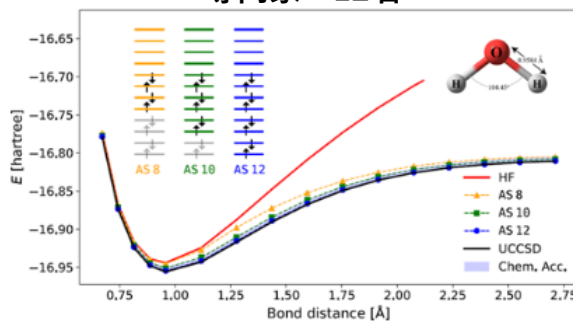
シリコンスピン量子ビット

専門家：15名



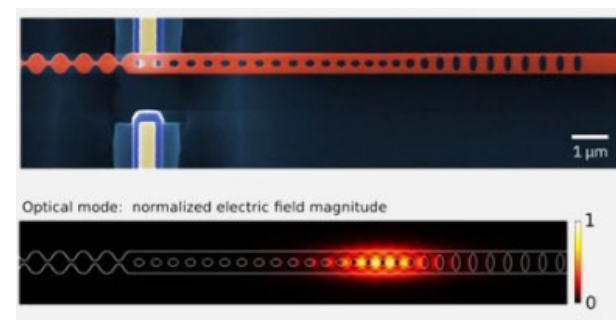
理論・アプリケーション

専門家：12名



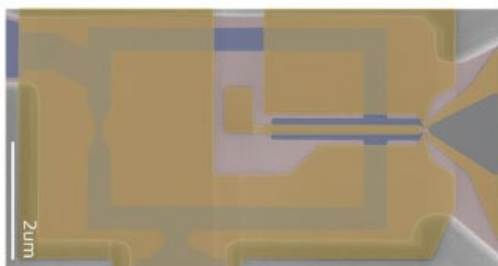
量子トランザクション

専門家：12名



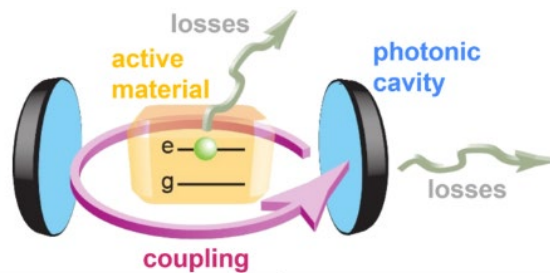
トポロジカル量子ビット

専門家：9名



光の量子状態の活用

専門家：4名



アウトリーチ・教育

チーム員：4名

