

量子技術イノベーション戦略の戦略見直し検討WG (第5回)

2021年12月22日

量子技術による新産業創出協議会
実行委員会 委員長 島田太郎

目次

1. Q-STARを取り巻く状況

- ・量子技術をめぐる諸外国の動向
- ・先行する諸外国の量子コンピューター動向

2. 産業化に向けた取組みについて

- ・長期ロードマップ（QRAMI）
- ・5年後の展望

目次

1. Q-STARを取り巻く状況

- ・量子技術をめぐる諸外国の動向
- ・先行する諸外国の量子コンピューター動向

2. 産業化に向けた取組みについて

- ・長期ロードマップ（QRAMI）
- ・5年後の展望

量子技術をめぐる諸外国の動向 グローバルでの産業化コンソーシアム立上げ状況

米国は既に3年前に設立、現在の運営にはスタートアップやベンチャー代表も参加



QED-C (Quantum Economic Development Consortium)

技術、ユースケース。政策・法整備・標準化、人材育成 など 6部会
(会員 170)

<QED-C Steering Committee >
SRI, Boeing, Cold Quanta,
QC Ware, Zapata Computing, DOE,
IBM, Google, Qubitekk, NIST

※青字下線=スタートアップ、ベンチャー



QuIC (European Quantum Industry Consortium)

技術、ユースケース。政策・法整備・標準化、人材育成 など 9部会
(会員 約 130)



未来量子融合フォーラム

量子（通信、コンピューティング、センサ）の国際標準化研究と共同PJ、ユースケースの事業化モデル発掘、人材育成



QUTAC

(Quantum Technology & Application Consortium)

量子コンピューティング、アプリ開発と実装
(創立会員 10)



Q-STAR

9/1設立
(創立会員 24)



UKQuantum

9/20設立/TBD
(創立会員 10)

2018年9月

2021年4月

2021年6月

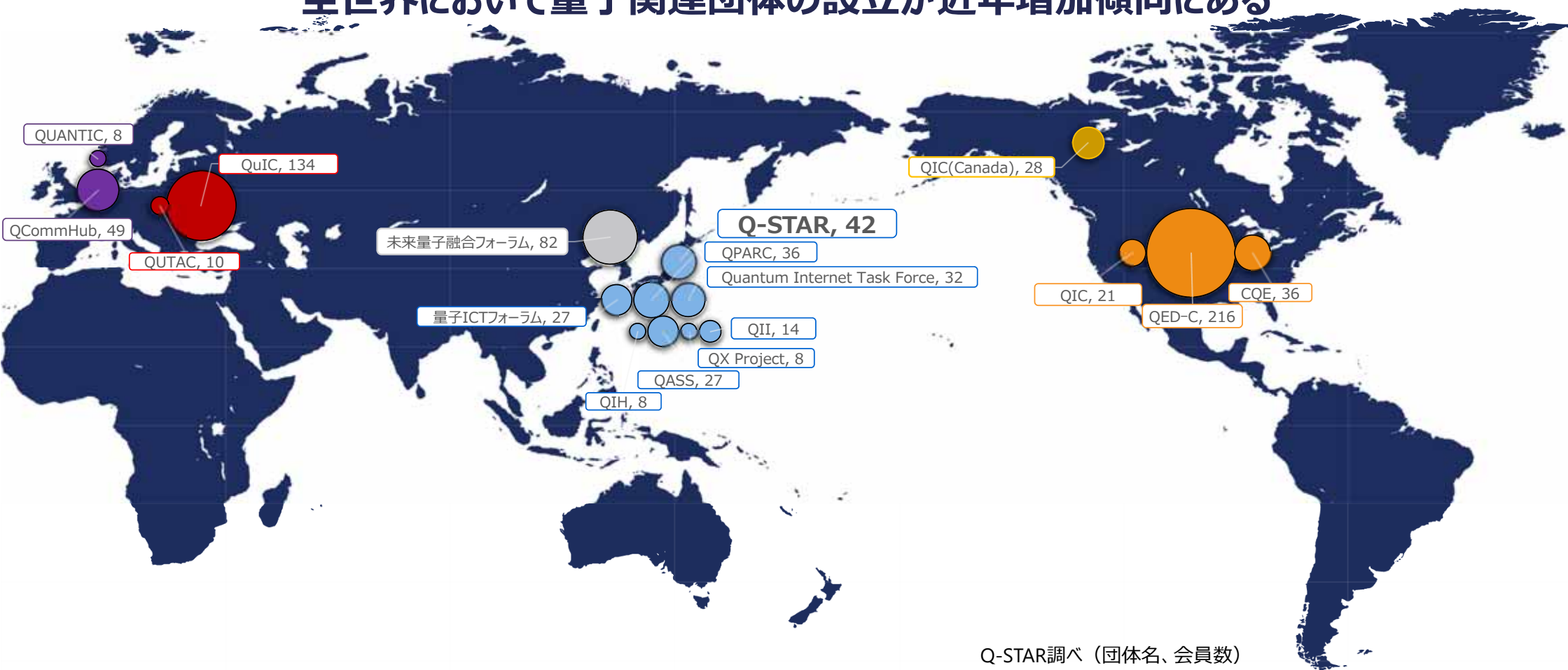
2021年9月

Q-STAR調べ

©2022 Q-STAR, Quantum Strategic Industry Alliance for Revolution

世界の主な量子関連団体

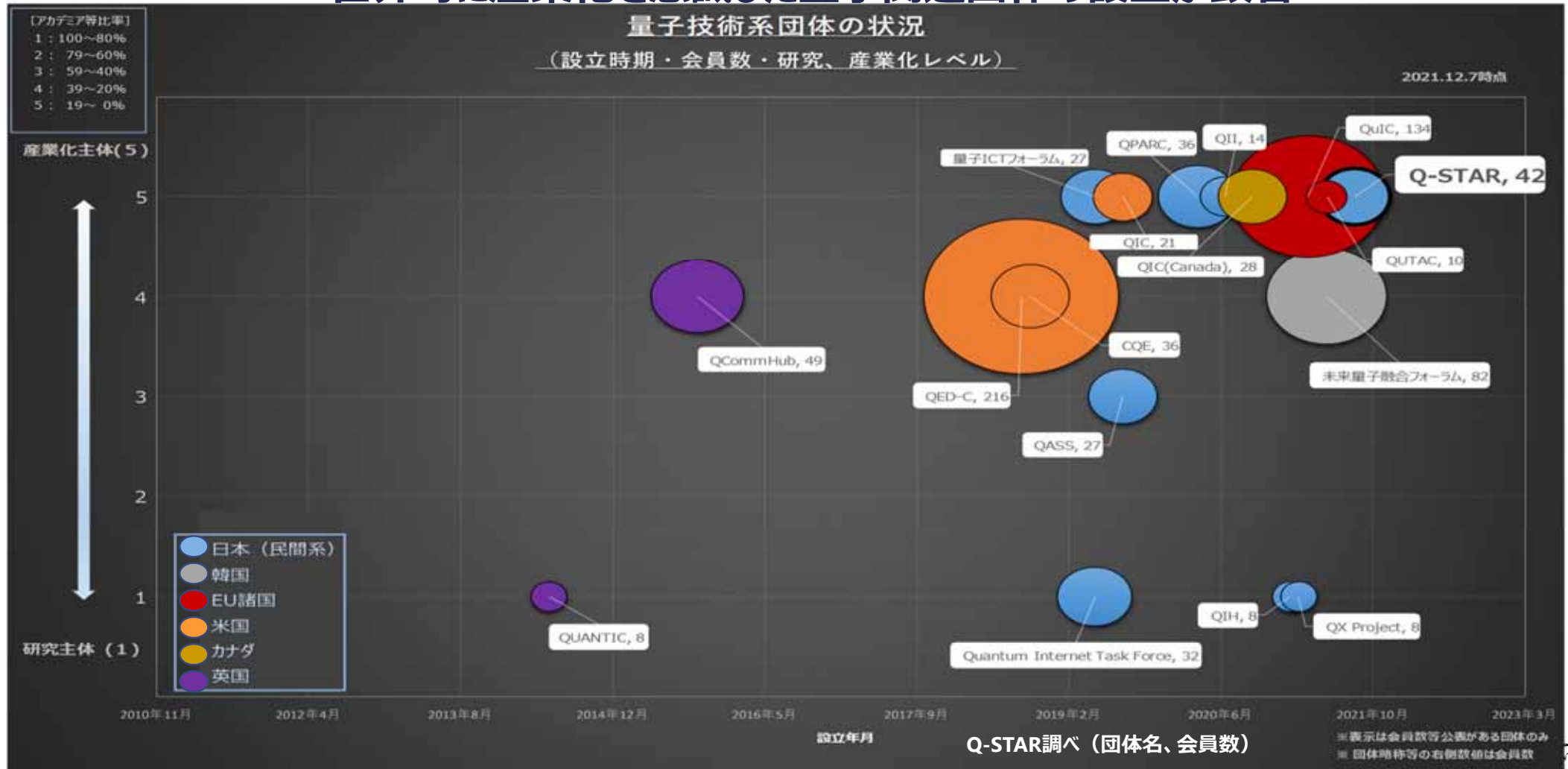
全世界において量子関連団体の設立が近年増加傾向にある



Q-STAR調べ（団体名、会員数）

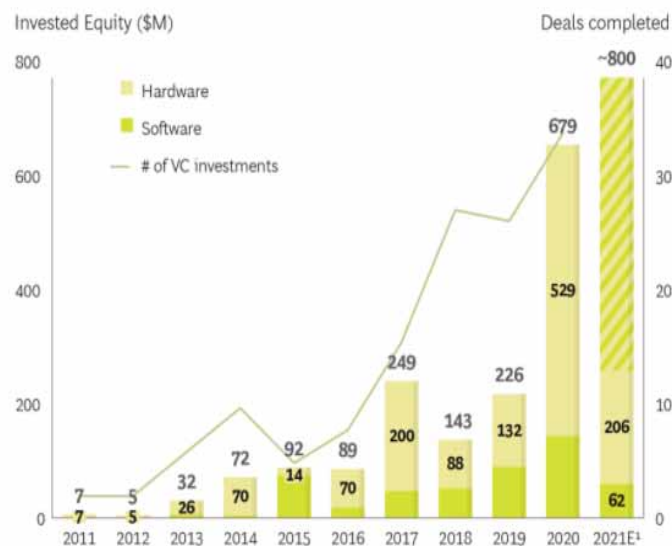
量子関連団体の傾向

世界的に産業化を意識した量子関連団体の設立が顕著



量子技術をめぐる諸外国の動向 -米量子技術投資状況-

量子コンピューティングへの投資は、2020年にほぼ3倍になり、2021年にさらに増加見込み



Sources: PitchBook (as of June 7, 2021), BCG analysis.

¹E=estimate for full year.

- 2/3** Two-thirds of all equity investments (~\$1.3B) have come since 2018
- \$800M** Equity investments could reach a single-year record of ~\$800M in 2021
- 73%** Nearly three-fourths of investments since 2018 have been in hardware

今後15~30年間で4,500~8,500億ドルの価値を生み、今後3~5年後に50~100億ドルの価値がユーザー、プロバイダに生まれる見込み



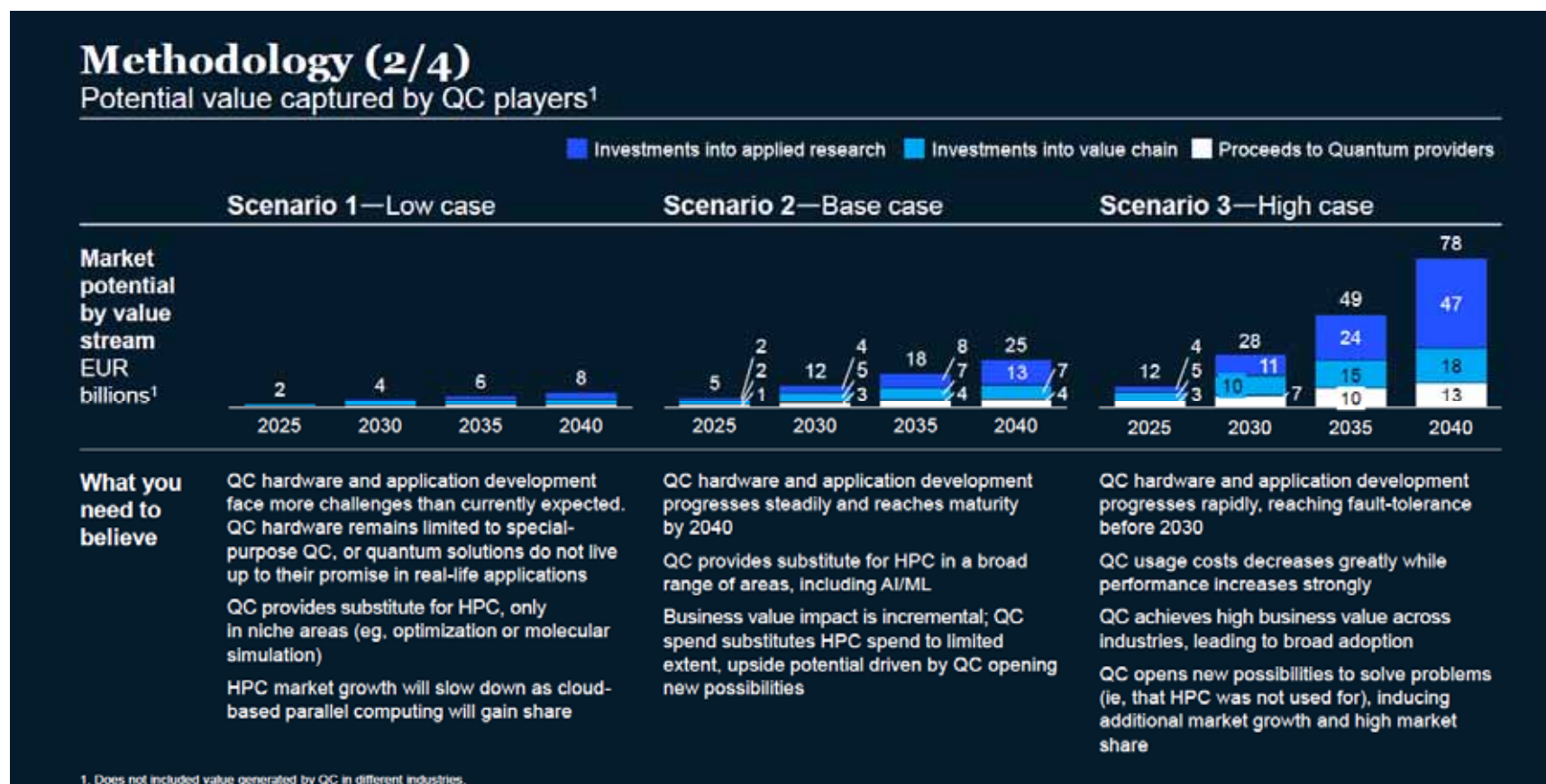
Sources: Industry interviews, BCG analysis.

出典：ボストンコンサルティング調べ (<https://www.bcg.com/ja-jp/publications/2021/building-quantum-advantage>)

©2022 Q-STAR, Quantum Strategic industry Alliance for Revolution

世界量子コンピューティングの市場規模予測

2025年：2,600億~1兆5,600億円、2030年：5,200億~3兆6,400億円の市場予測



出典：McKinsey & Company The Quantum Technology Monitor

[https://www.mckinsey.de/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2021/2021-09-](https://www.mckinsey.de/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2021/2021-09-22%20quantum%20technology%20monitor/mckinsey_quantum_technology_monitor_2021_vf.pdf)

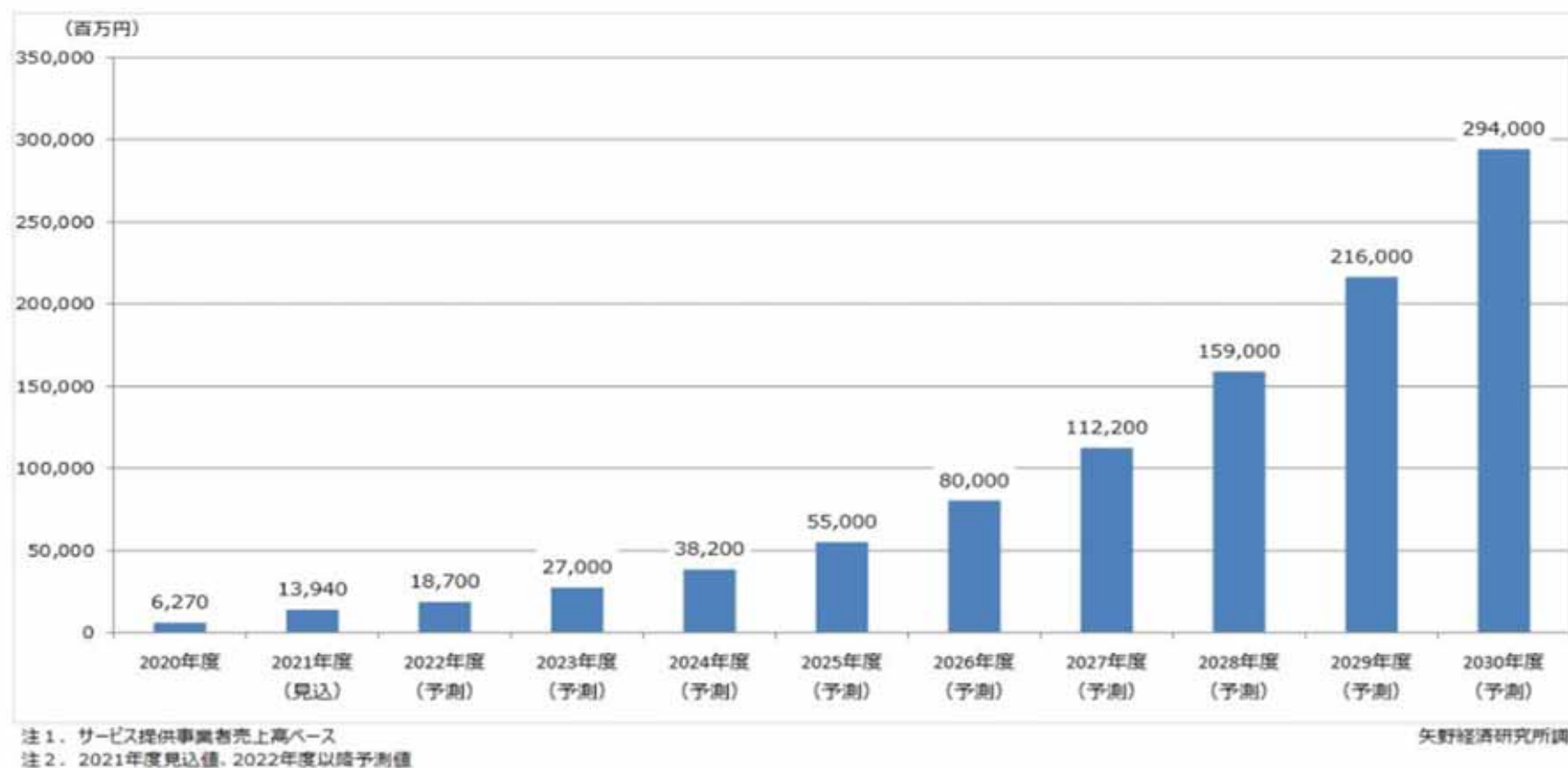
[22%20quantum%20technology%20monitor/mckinsey_quantum_technology_monitor_2021_vf.pdf](https://www.mckinsey.de/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/deutschland/news/presse/2021/2021-09-22%20quantum%20technology%20monitor/mckinsey_quantum_technology_monitor_2021_vf.pdf)

©2022 Q-STAR, Quantum STRategic industry Alliance for Revolution

国内量子コンピューターの市場規模予測

2025年には550億円、2030年には2,940億円に達する見通し

国内量子コンピュータ市場規模推移と予測



先行する諸外国の量子コンピューター動向

量子コンピュータープロバイダは、今後の重要なマイルストーンを設定するロードマップを発表

企業	国	公表中のロードマップ
IBM	米	2021年： 127Qubit → 2022年：433Qubit → 2023年：1,121Qubit → 以降1K~1MQubit（時期不明）*2
Google	米	2029年までに1MQubitの大規模なビジネスおよび科学的計算をエラーなく実行できる商用量子コンピュータを開発*3
Honeywell	米	2020年：10Qubit（量子ボリューム128） → 2021年：10Qubit（量子ボリューム512） * 2020年以降、性能を毎年10倍ペースで上げ、2025年には10万倍高速にする*4
IONQ*1	米	2021年：22Qubit → 2025年：64Qubit → 2026年：256Qubit → 2027年：384Qubit → 2028年：1024Qubit *5
Pasqal *スタートアップ	仏	2021年：100Qubit → 2023年：1,000Qubit *6

* 1 IONQは、量子コンピュータの初のベンチャー企業としてニューヨーク証券取引所に2021年10月に上場。推定初期評価額は20億ドル。

* 2 : IBM <https://www.ibm.com/blogs/think/jp-ja/ibm-quantum-roadmap/> , * 3 : imagine <https://www.imagine.co.jp/google-quantum202105/>

* 4 : Honeywell : <https://www.honeywell.com/us/en/press/2020/03/honeywell-achieves-breakthrough-that-will-enable-the-worlds-most-powerful-quantum-computer>

* 5 : IOQN : <https://ionq.com/posts/december-09-2020-scaling-quantum-computer-roadmap>,

* 6 : livedoor news <https://news.livedoor.com/article/detail/20572413/>

©2022 Q-STAR, Quantum Strategic industry Alliance for Revolution

目次

1. Q-STARを取り巻く状況

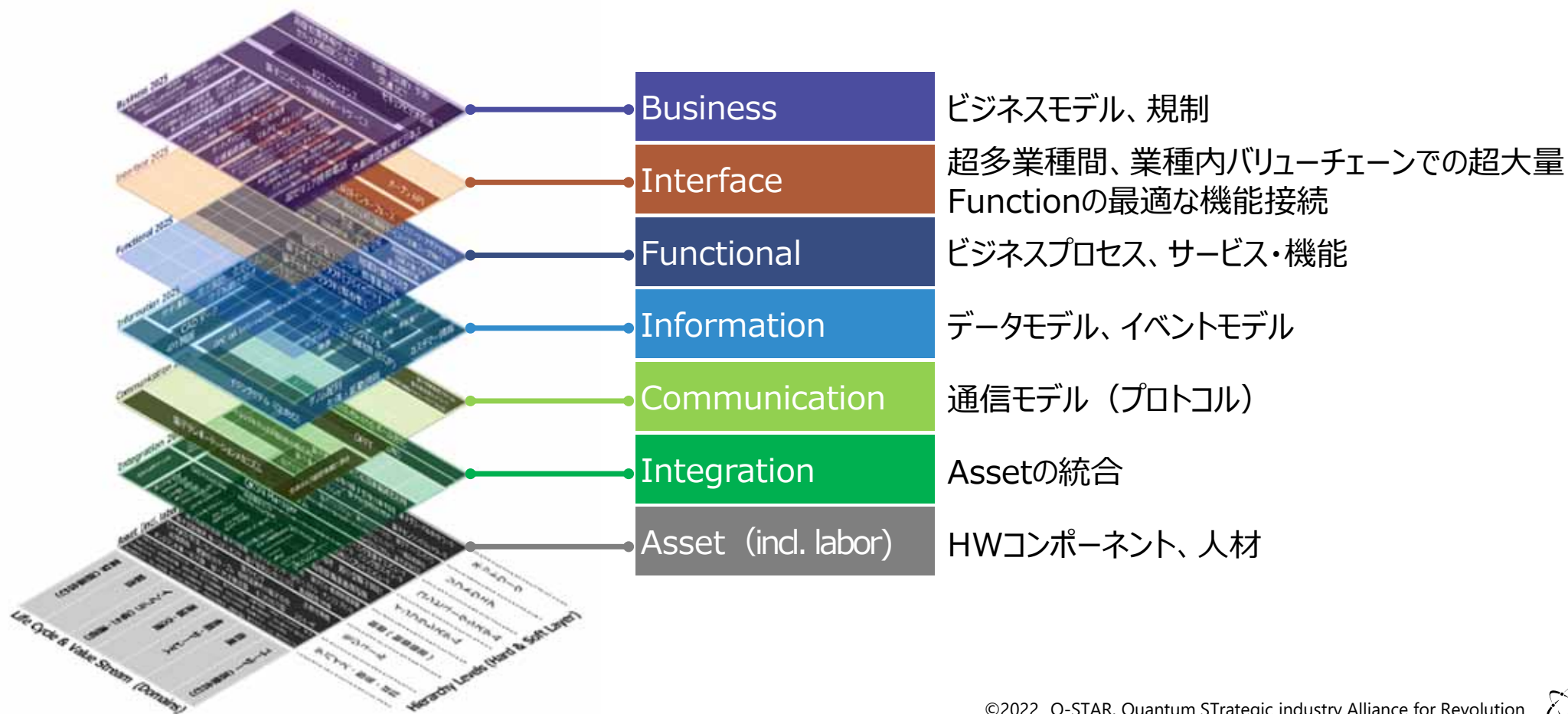
- ・量子技術をめぐる諸外国の動向
- ・先行する諸外国の量子コンピューター動向

2. 産業化に向けた取組みについて

- ・長期ロードマップ（QRAMI）
- ・5年後の展望

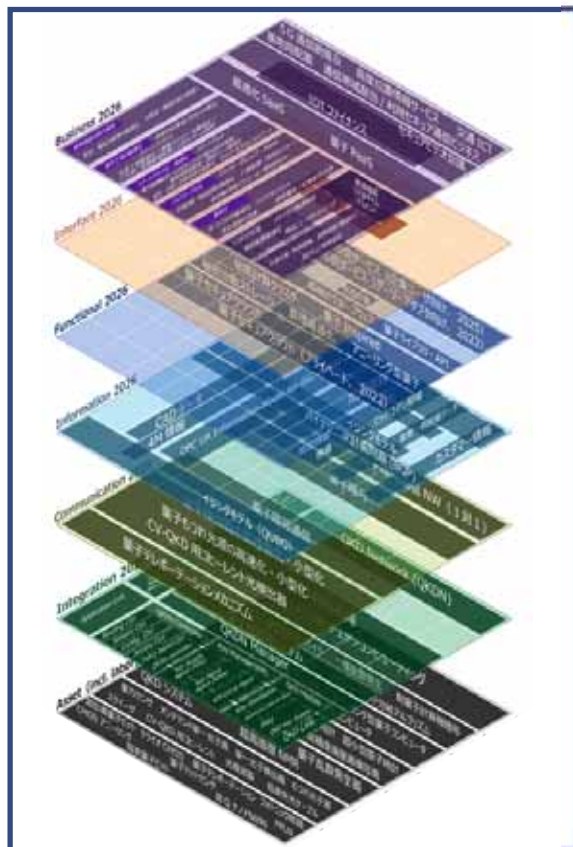
Q-STARにおける量子レファレンスアーキテクチャモデル（QRAMI）の定義

QRAMI（Quantum Reference Architecture Model for Industrialization） 将来の量子技術関連の産業をビジョン化し、共通言語として活用

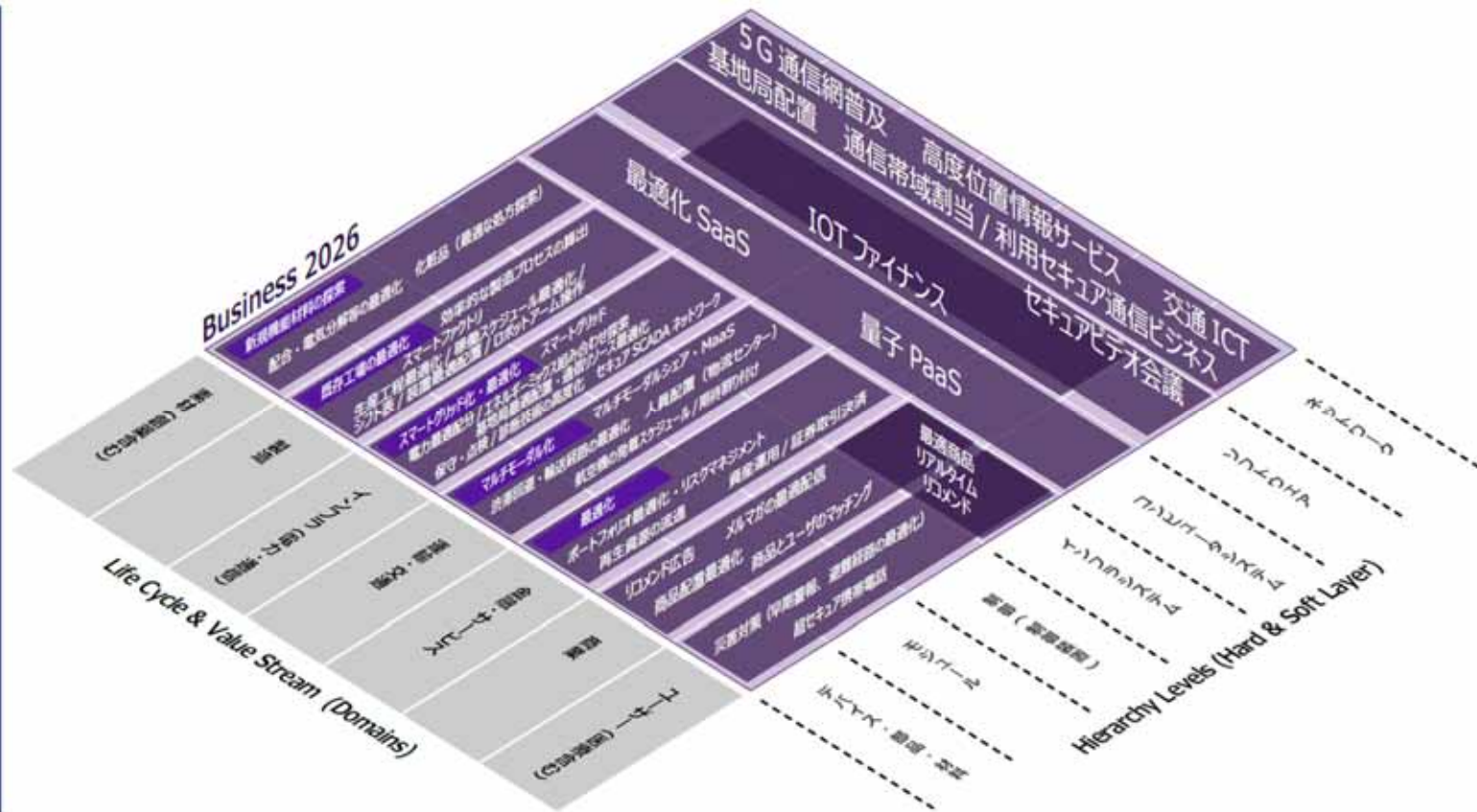


【5年後の目標QRAMI】アニーラおよび量子暗号通信が進展

最適化・効率化ユースケースやセキュアユースケースが拡大・展開



QRAMI2026 (5年後)



5年後のQRAMI (Business/Interface/Functional/Information)

Business						
Business	デバイス/部品/材料	モジュール	制御 (制御装置)	インフラシステム	コンピュータシステム	ソフトウェア
素材 (創薬含む)		新規機能材料の探索 配合・電気分解等の最適化 化用品 (基盤材料)	新規機能材料の探索			
製造		スマートファクトリ 標準化製造プロセスの最適化 生産工程最適化/稼働スケジュール最適化/シフト表 最適化/稼働スケジュール最適化	既存工場の最適化			
インフラ (電力・通信)		スマートグリッド 電力最適配分/エネルギー効率最適化 基幹設備最適化/通信リソース最適化 保守・点検/診断技術の最適化 セキュリティSCADAネットワーク				
運輸・交通		マルチモーダル化 マルチモーダル化・MaaS 人員配置 (物流センター) 流通経路・輸送経路の最適化 航空機の発着スケジュール/期待時刻	マルチモーダル化		最適化SaaS 量子PaaS	IoT ファイナンス セキュリティ ビデオ会議
金融・サービス		ポートフォリオ最適化・リスクマネジメント 内生資源の最適化 資産運用/証券取引決済	最適化			
商業		リコメンデーション メルマガの最適化 商品/サービス最適化 商品とユーザーのマッチング		最適化 リアルタイム システム		
ユーザー (医療含む)		医薬利用 (早期診断、新薬開発の最適化) 超セキュリティ管理				

Interface						
Interface	デバイス/部品/材料	モジュール	制御 (制御装置)	インフラシステム	コンピュータシステム	ソフトウェア
素材 (創薬含む)						
製造						
インフラ (電力・通信)						
運輸・交通						オープンAPI
金融・サービス						
商業						
ユーザー (医療含む)						

Functional						
Functional	デバイス/部品/材料	モジュール	制御 (制御装置)	インフラシステム	コンピュータシステム	ソフトウェア
素材 (創薬含む)						
製造						生産 計画
インフラ (電力・通信)						
運輸・交通				量子セキュリティクラウド 量子セキュリティクラウド (プライベート、 2022)	秘密分散ストレージ 秘鍵計算クラウド 数値最適化 量子Inspired アーキテクチャ型量子	秘密分散DB 高機能グループウェア 量子ライブラリ API
金融・サービス						高セキュリティ通信 サービス (アーリーア ダプタ向け、2022) 高セキュリティ通信 サービス (企業ユーザ 向け、2025)
商業						
ユーザー (医療含む)						

Information						
Information	デバイス/部品/材料	モジュール	制御 (制御装置)	インフラシステム	コンピュータシステム	ソフトウェア
素材 (創薬含む)						
製造					CADデータ 4M情報	
インフラ (電力・通信)					OPC UA Information Model for IEC 61131-3	
運輸・交通	インジクモデル (QUBO)				バイナリ最適化 問題 (BQP)	インジク モデル 量子コン 入力最適
金融・サービス						経営情報 為替レート 株値/ビットコイン相場
商業						需要・供給量データ
ユーザー (医療含む)						カスタマー情報

5年後のQRAMI (Communication/Interface/Asset)

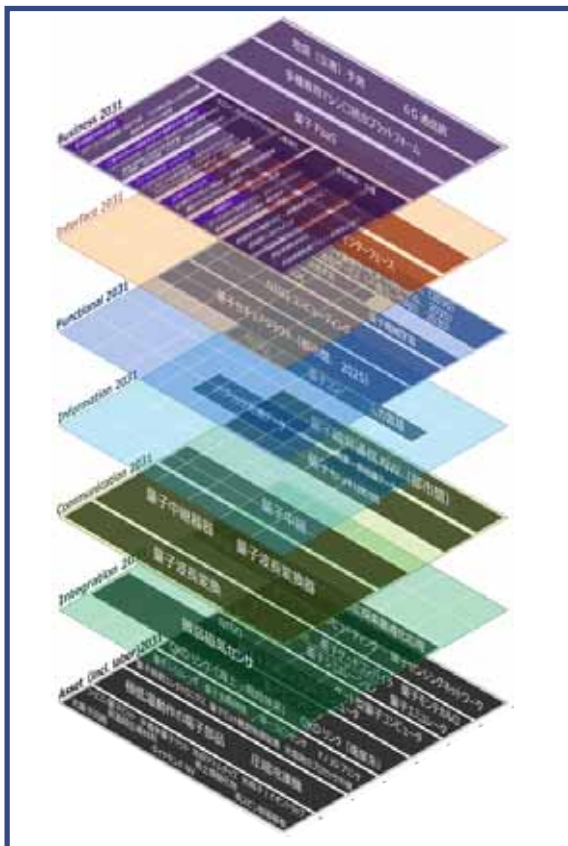
Communication							
Communication	デバイス/部品/材料	モジュール	制御 (制御装置)	インフラシステム	コンピュータシステム	ソフトウェア	ネットワーク
素材 (創薬含む)							
製造							
インフラ (電力・通信)							
運輸・交通	量子テレポーテーションメカニズム	CV-QKD用コヒーレント光検出器 量子もつれ光源の高速化・小型化 光子検出器の高性能化・小型化		量子暗号通信		量子暗号	量子鍵流通NW 量子暗号通信NW (1対1)
金融・サービス							
商業							
ユーザー (医療含む)							

Asset							
Asset	デバイス/部品/材料	モジュール	制御 (制御装置)	インフラシステム	コンピュータシステム	ソフトウェア	ネットワーク
素材 (創薬含む)							
製造							
インフラ (電力・通信)	超伝導量子ビット CMOS アニールン クワイオCMOS	重力センサ オンデマンド単一光子 源		光格子時計 超小型原子時計	コヒーレントイジングマシ ン	イジングモデルコンパイ ラ	
運輸・交通	超伝導量子ビット 量子テレポーテーション 量子ドットセンサ	単一光子検出器 もつれ光子源 スクイーズ	QKDシステム 分子イメージング 超高感度NMR 量子乱数発生器	高精度衛星画像写真 QKDリンク (地上系、 光ファイバー)	量子Inspiredコン ピュータ イジング型コンピュータ アニールン型量子コン ピュータ	シミュレーテッドアニール ン シミュレーテッド分枝ア ルゴリズム	量子エンシ コンピュー ティング
金融・サービス	フォトニック結晶 高Q ナノメカ材料 PPLN	CV-QKD用コヒーレント 光検波器 低損失光ケーブル		QKDリンク (地上系 自由空間)		一様乱数発生 耐量子計算機暗号	
商業							
ユーザー (医療含む)							

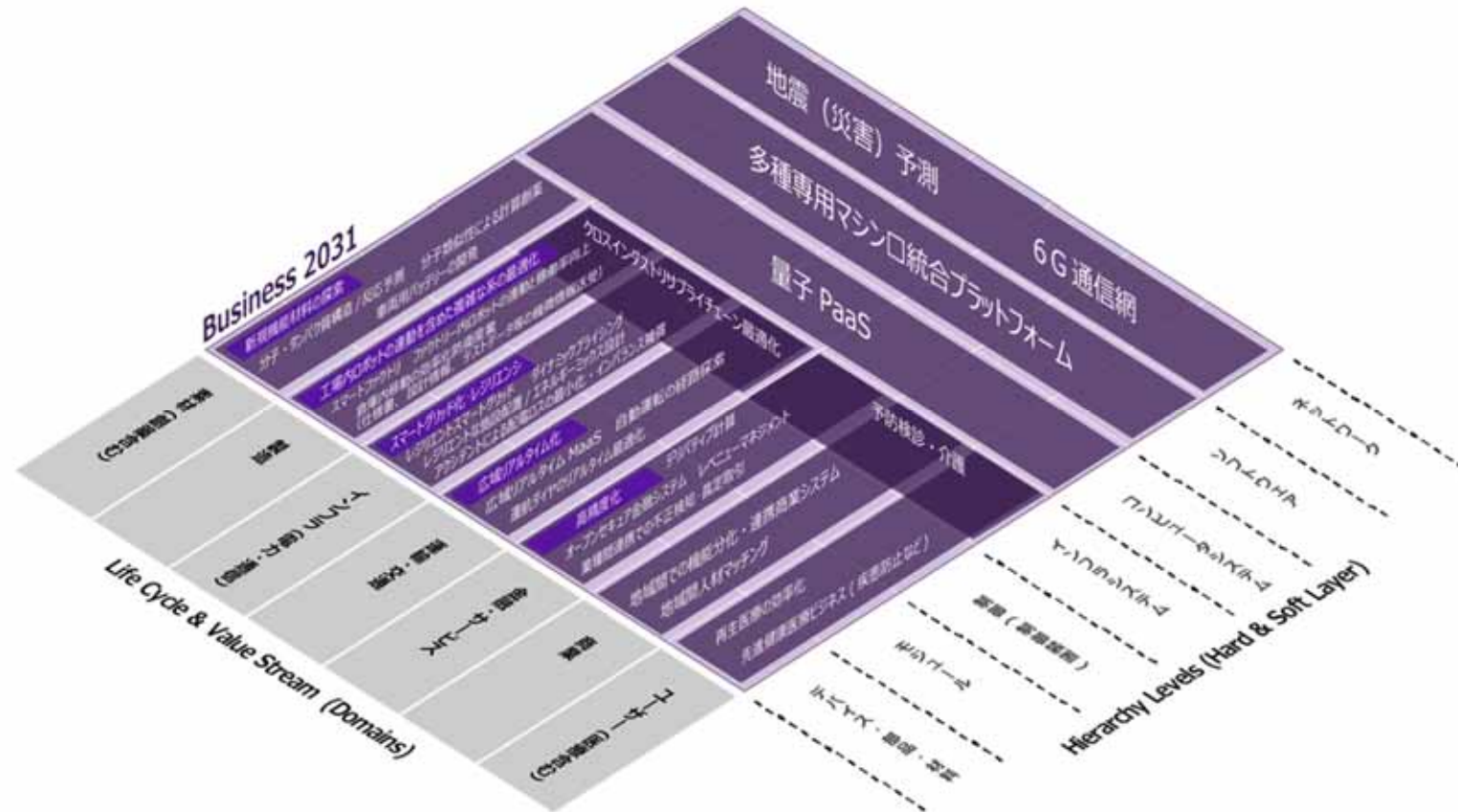
Integration							
Integration	デバイス/部品/材料	モジュール	制御 (制御装置)	インフラシステム	コンピュータシステム	ソフトウェア	ネットワーク
素材 (創薬含む)			User Network Manager			Cryptographic Application	User Network
製造	Routing Ctrl Session Ctrl Config. Ctrl						
インフラ (電力・通信)	Access Ctrl Policy based Ctrl QKD controller ctrl & Mgmt.	QKD Controller					
運輸・交通	Key Supply Agent (KSA) Key Mgmt Agent (KMA) KM Ctrl & Mgmt	Key Manager (KM)	QKD Manager		イジングモデル応用		QKD Network (QKD)
金融・サービス							
商業	Key distillation Quantum Channel Sync. RNG	QKD Module					
ユーザー (医療含む)	QKD Key Supply						
		QKD Link					

参考：【10年後の目標QRAMI】NISQが産業化

最適化範囲が広域・リアルタイム化しクロスインダストリでのユースケースも拡大

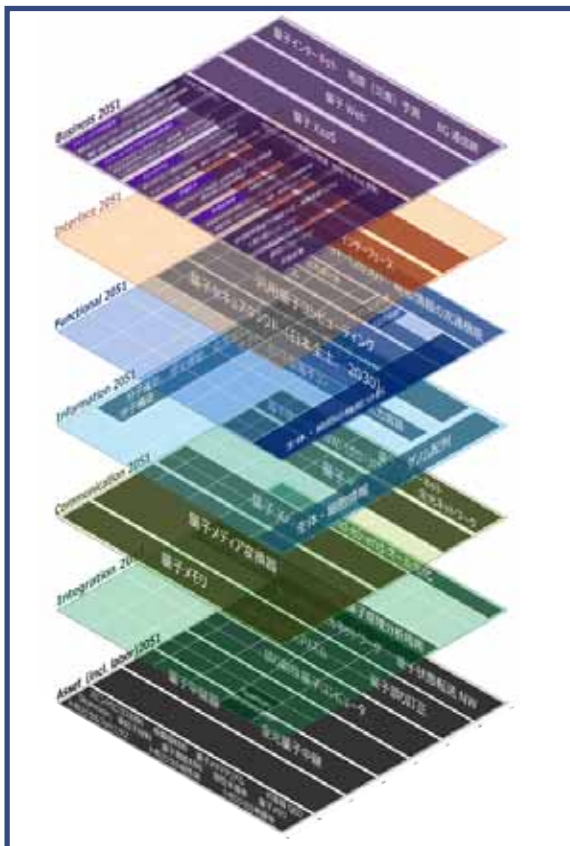


参考：
QRAMI2031（10年後）

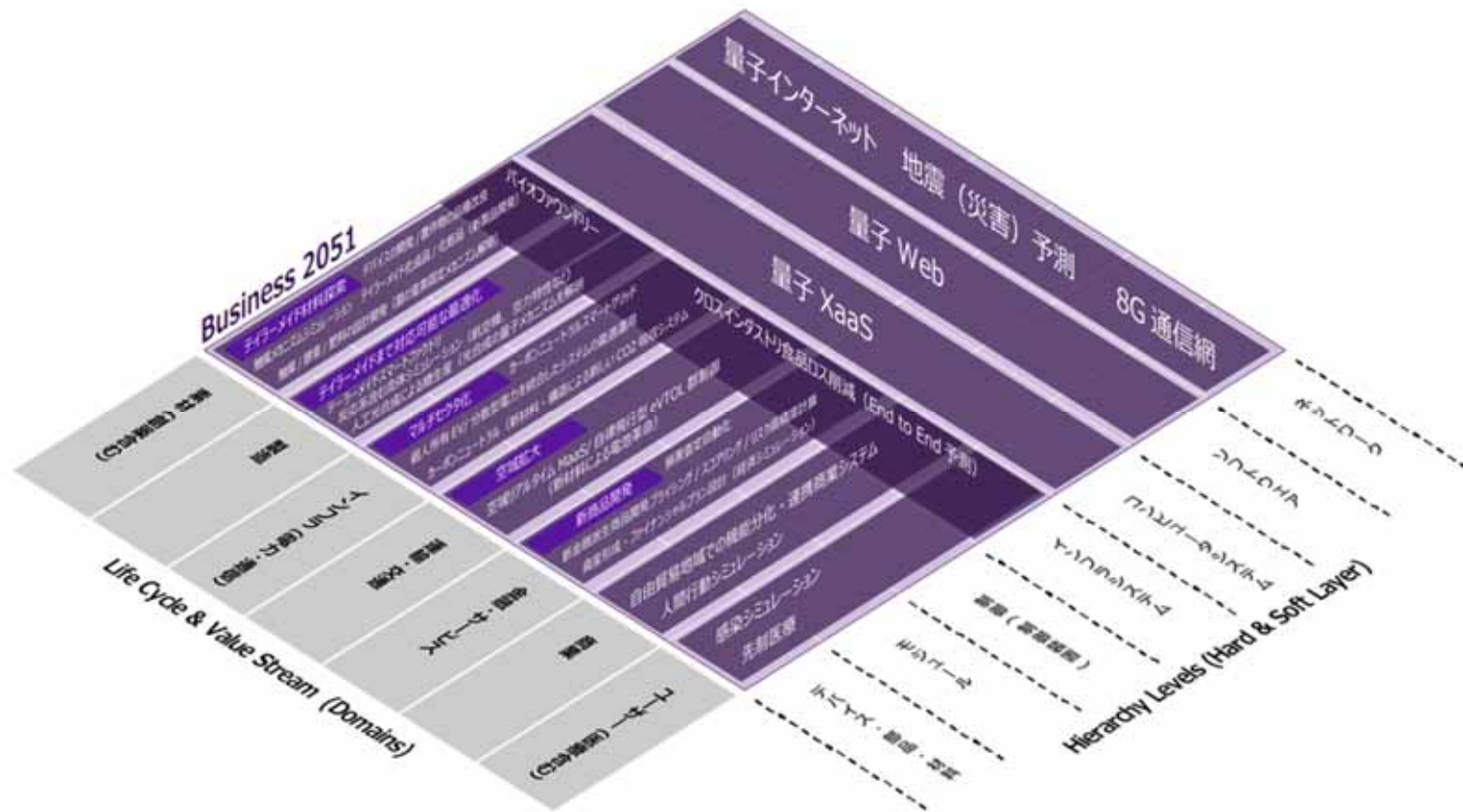


参考：【30年後の目標QRAMI】汎用量子計算機が登場

新素材・創薬やシミュレーション手法にイノベーション



参考：
QRAMI2051（30年後）



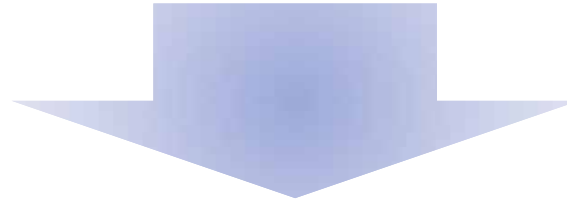
5年後の展望とポイント

■ 世界最先端の量子Societyを実現

- ① 主要先進国人口の5-10%、日本では1,000万人が量子技術を使用
- ② 量子技術への転換を加速させるためのユニコーン企業が台頭
- ③ 量子のグローバル化の実行推進

5年後の姿（サマリ①）

- **主要先進国人口の5-10%、日本では1,000万人が量子技術を使用**
 - 量子アプリケーション&量子インスパイアードアプリケーション合計で人口の5-10%の利用者獲得を目指す



量子技術への転換期を創出

5年後の展望（利用人数）

①世界主要先進国で人口の5-10%、日本では約1,000万人が量子技術を使用

1990年初頭のインターネット創世記には利用者率が人口の5-10%到達以後、飛躍的に利用者が伸長した事実がある。量子技術においては、「量子であることを意図せずに活用する利用者を5年後には先進諸国で人口の5-10%、日本においては1,000万人を突破させる」事を目指し、更に幾何級数的拡大へ繋げる。

ユース ケース 例

- 新規機能材料の探索
- スマートファクトリ（既存工場の最適化）
- スマートグリッド（電力最適配分/
エネルギーミックス組み合わせ探索）
- マルチモーダルシェア/MaaS
- ポートフォリオ最適化/リスクマネジメント
- 災害対策（早期警報、避難経路の最適化）

- 最適商品リアルタイムリコmend
- セキュアビデオ会議
- IOTファイナンス
- セキュア通信ビジネス
- 交通ICT

世界量子コンピューティングサービスの市場規模予測
2025年：40億ドル、2030年：260億ドル見通し（Quantum Daily）

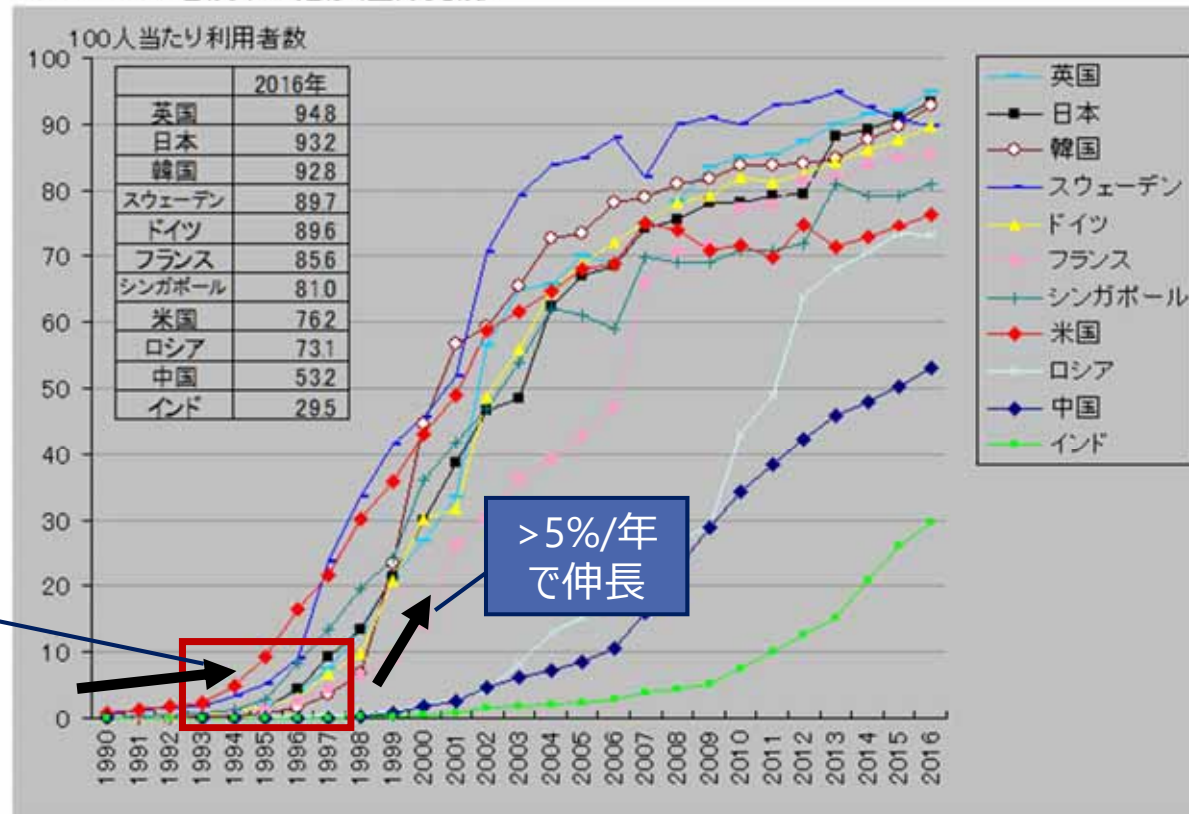
ユース ケース 実現へ の施策

- テクノロジー開発加速（投資強化による性能向上、ベンチャー投資、人財育成、ユースケース実証）
- 様々なユースケースを実証可能なオープン・テストベッド整備
- 最適なコンピューティング手法を意識せずユーザーがOne Stopで課題解決ができる環境整備
- 国内各コンソーシアム、国プロとの連携強化
- ベンダー、ユーザー、テストベッド利用環境も含めた共通モデル創出に向けた仕組作り
- ハイブリッドコンピューティング技術の検討

(参考) 主要国のインターネット利用者率 推移

特に先進諸国においては利用者率が5-10%を超えると普及が爆発的に加速

インターネット普及率の推移(国際比較)



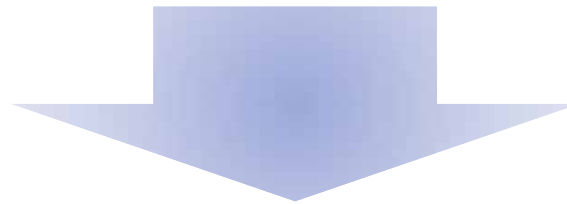
(注) 人口に占めるインターネット利用者数の割合である。

(資料) 世銀 WDI 2018.8.19(原資料はITU(International Telecommunication Union))

日本の値は総務省データ(図録621Q参照)とは異なっている。

5年後の姿（サマリ②）

- 量子技術への転換を加速させるためのユニコーン企業が台頭



**評価額が10億ドル（約1040億円）を超える
未上場のスタートアップテクノロジー企業が
牽引し、ベンチャー企業の量子参画を活性化**

5年後の展望（ユニコーン企業）

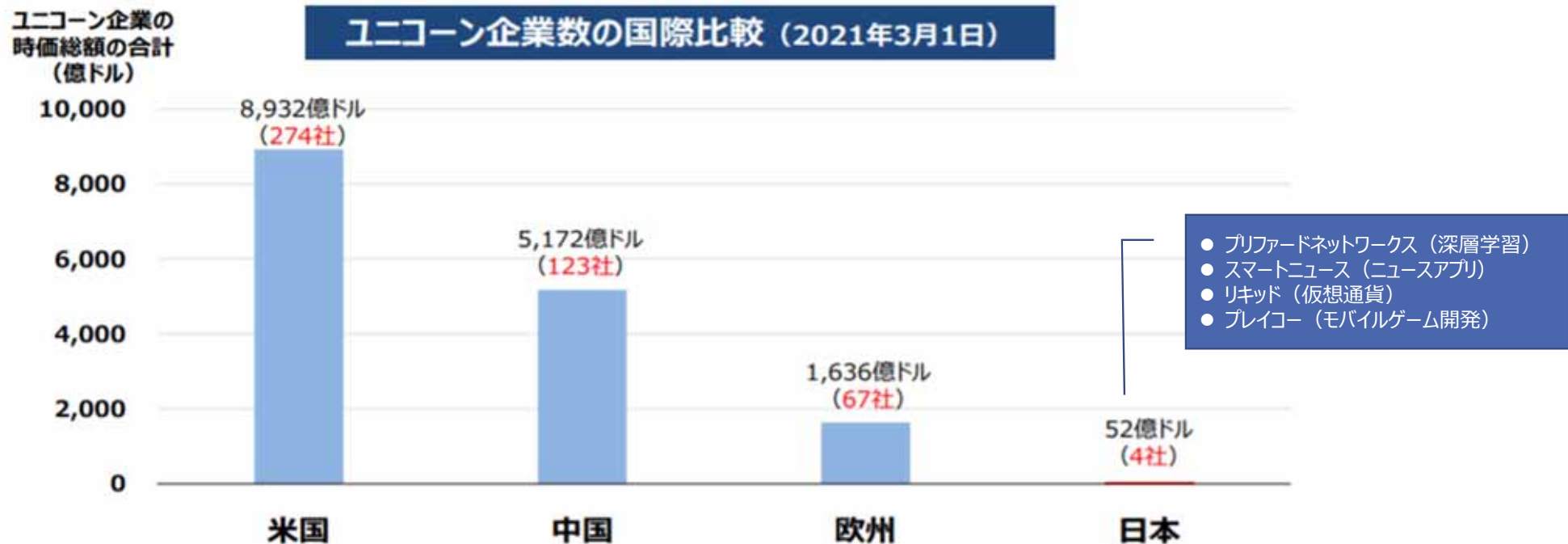
②量子技術の産業浸透を加速させる量子ユニコーンが台頭

量子技術の産業浸透を加速させるためには、ベンダーのみならず、各分野のユーザーとしてのユニコーン企業の台頭が重要なキーとなる（**目標3社**）。

- ユニコーン企業は、必ずしも大企業だけでなく、大学、ベンチャーなど量子技術を用いた産業化のステークホルダーで構成する
- 政府系ファンド、リードインベスター、金融機関が協力して設立・支援し、ビジネス拡大に邁進する
- 自発的に量子技術の活用に取り組み、有用なユースケースを創出することで、量子の産業化を促し、市場の急速な立ち上がりを目指す
- 量子への国際投資競争が激化する中で、ユニコーン企業台頭が日本の知財戦略明確化、国際競争力確保に寄与する
- ユニコーン企業の台頭が量子産業へのベンチャー企業参入を活性化させる

(参考) ユニコーン企業数の国際比較

米国274社、中国123社、欧州67社に対し、日本は4社に留まる



(注) 2021年3月1日現在におけるユニコーン企業 (時価総額10億ドル超の未公開企業) の数の国別内訳 (合計528社)。時価総額は、CB Insightsの推計値である;
とに留意。

(且つ創業10年以内)

プリファードネットワークス: 深層学習 (ディープラーニング) の実用化。スマートニュース: ニュースアプリ (SmartNews) の運営。

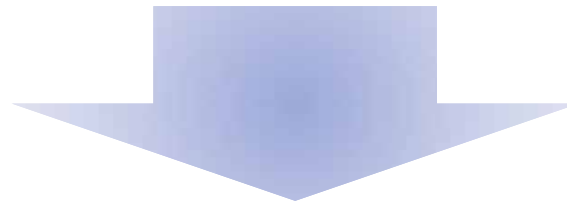
リキッド: 仮想通貨取引プラットフォーム (Liquid by Quoine) の開発・運営。プレイコー: モバイルゲームの開発。

欧州は、英国 (26社)、ドイツ (15社)、フランス (7社)、スイス (5社)、スウェーデン (3社)、オランダ (3社)、スペイン (2社)、ルクセンブルク (1社)、
リトアニア (1社)、アイルランド (1社)、エストニア (1社)、クロアチア (1社)、ベルギー (1社) の合計。

(出所) CB Insights「The Complete List Of Unicorn Companies」を基に作成。

5年後の姿（サマリ③）

➤ 量子のグローバル化の実行推進



**量子技術および量子技術を応用した世界規模の
システム・ソリューション構築に日本が主要な役割を果たす**

5年後の展望（グローバルゼーション）

③量子のグローバルゼーションの実行推進

量子技術の革新によって従来の国や地域といった垣根を超え、量子技術および量子技術を応用したシステム・ソリューションが世界規模で拡大する

- 経済のグローバル化加速に伴い、純国産技術にこだわらず、国際協調によって量子技術の進展や実用化を加速させる
（海外との共同実証スキーム実施や、連携加速や海外との共同開発等）。
- グローバルスタンダードな量子システムソリューション構築のためにリファレンスアーキテクチャーとしてQRAMIのデファクトスタンダード化を推進。
世界で活用してもらう事で、QRAMIで可視化されたユースケースを構築する。
- 国際標準化機関にてテクニカルコミッティ(TC)を立上げ、Q-STARが主導で標準化を議論する。
- 知財管理、輸出管理について政府間協議や世界各地のコンソーシアムとの議論を通じて共通ルール化を実現する。

政府への主な期待・要望①

政策	政府主導によるインフラの統括的な整備	・「デジタル政府基盤」/「新産業創出基盤」の構築 ・「学術ネットワーク基盤」の実現
	政府がアーリーアダプタになる事での需要喚起	・潜在するニーズに対する投資判断の加速
	政府間交渉を含めたグローバル化のフレームワーク作り	・G2G、B2Bの2トラックの機会 ・多国間とのフレームワーク・標準化の土台作り ・QRAMIデファクトスタンダード化
制度	量子コンピュータ開発ベンチャー創出プログラムの強化	・ベンチャー企業（ユニコーン企業）創出に向けた支援体制強化 ・VCや産業界など外部資本の受け入れ支援
	量子人材育成プログラムの強化 （海外との人材交流含む）	・量子システム人材、量子アルゴリズム研究者等の育成
	多くのユーザ企業が参加しやすいような制度での国プロ運用	・マッチングファンド型PJ等で量子特例での費用負担無しor最小限化
	量子技術の安全保障観点でのガイドライン等の構築	・輸出管理／知財管理の整備 ・政府間協議や各コンソーシアムとの議論を通じた共通ルール化

政府への主な期待・要望②

政府
予算

量子コンピュータ開発投資の強化・予算化

・IBMロードマップ（1KQubit超@2023年）を凌駕する目標の設定

テストベッド構築支援および使用予算の確保

・多くのユーザー企業が参画し、ユースケースを探索／創出する為のテストベッドの充実

日本の強みであるイジングマシン＋他コンピューティング技術の融合支援

・将来日本がコンピューティング技術で先行していくため、社会課題視点でみたハイブリッドコンピューティングの推進

長期的な標準化人財・費用のサポート

・グローバルな標準化活動を日本が推進していくため、国を挙げての人財の確保および活動費用の支援

ユニコーン企業／スタートアップ支援

・量子業界参入促進のための、政府系ファンド含めた資金の支援

税制

税制優遇による、HW開発やサービス創出加速
イノベーション製品・サービス導入企業に対する
優遇税制等による、初期需要の喚起

・量子産業への投資負担軽減化による参入企業（ベンダ／ユーザ）の活性化

END

