

量子暗号・量子通信の推進に向けて

情報通信審議会 情報通信技術分科会 技術戦略委員会（第31回） 資料

量子技術による新産業創出協議会(Q-STAR)
実行委員会委員長

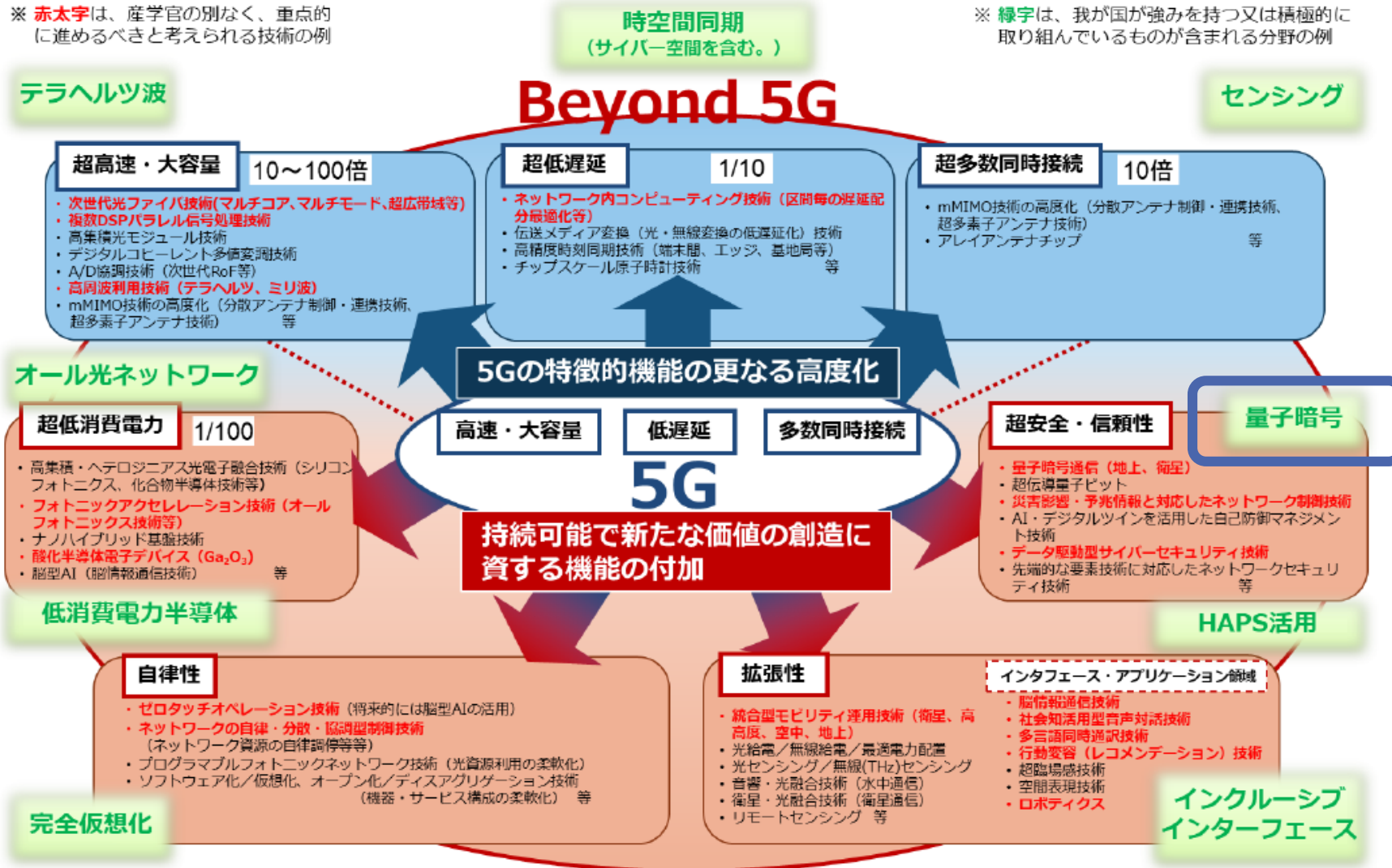
島田 太郎

2022.1.28

Beyond 5G推進戦略

※ 赤太字は、産学官の別なく、重点的に進めるべきと考えられる技術の例

※ 緑字は、我が国が強みを持つ又は積極的に取り組んでいるものが含まれる分野の例



本日は量子暗号を中心に、イノベーションの実現・推進についてお話しします

4-4. 展開戦略

「・・・加えて、量子コンピュータ時代の堅牢な耐量子計算機暗号等の開発及び実証を進め、CRYPTREC暗号リスト(電子政府推奨暗号リスト)の見直しにあわせて耐量子計算機暗号等に関するガイドラインを策定するとともに、量子暗号装置の普及等により量子暗号システムの社会実装を推進する。【耐量子計算機暗号等に関するガイドラインについては2022年度策定、量子暗号システムについては2025年度以降を目途に社会実装を推進】」

1. 量子技術をめぐる諸外国の動向

2. Q-STAR概要

3. イノベーションの社会実装推進に向けて

DX1.0からDX2.0

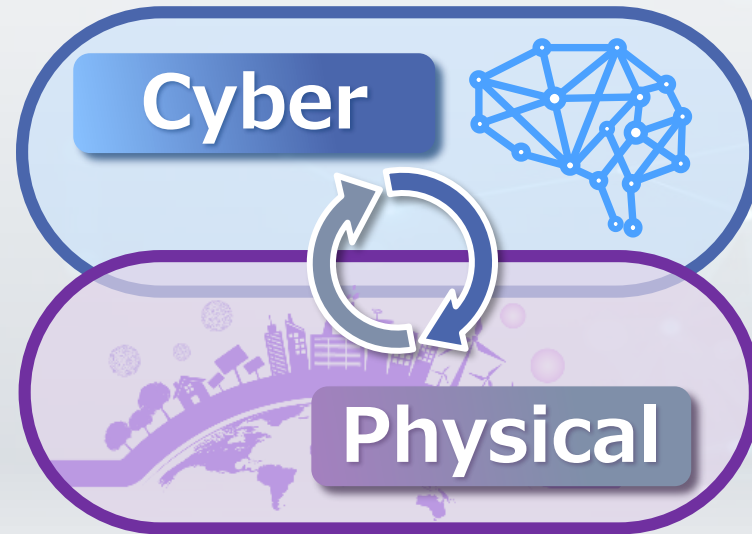
過去

現在

未来

DX1.0

DX2.0



DX2.0、そしてQuantum Transformationへ

過去

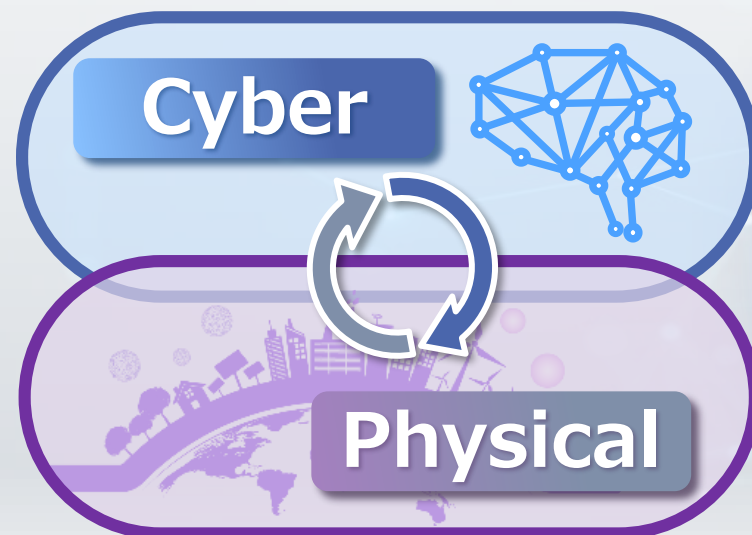
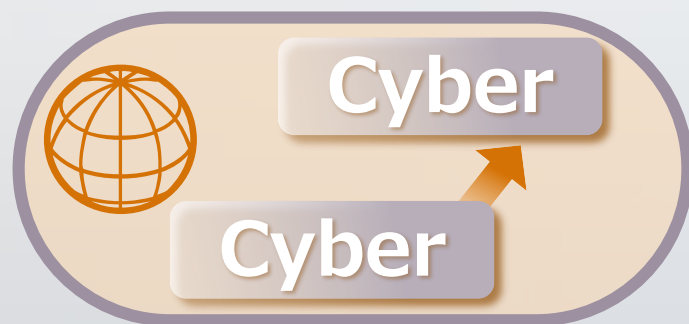
現在

未来

DX1.0

DX2.0

QX



Quantum Transformation

量子通信・暗号
量子センシング
量子コンピュータ

量子インターネット時代の到来

インターネット

50年で数百兆円の産業を創出

次の50年

量子インターネット

量子コンピュータ、量子センシング
量子通信・暗号の融合による、
安全で高速な情報インフラ

数百兆円
41億人

グローバル
バックボーン確立

基幹システム
での活用

社会基盤
としての利用
e-Government

SNS／スマートフォン

IoT

携帯電話利用

PCによる普及

11億人の利用者

Web

Internet
の誕生

1970 ... 1990

2000

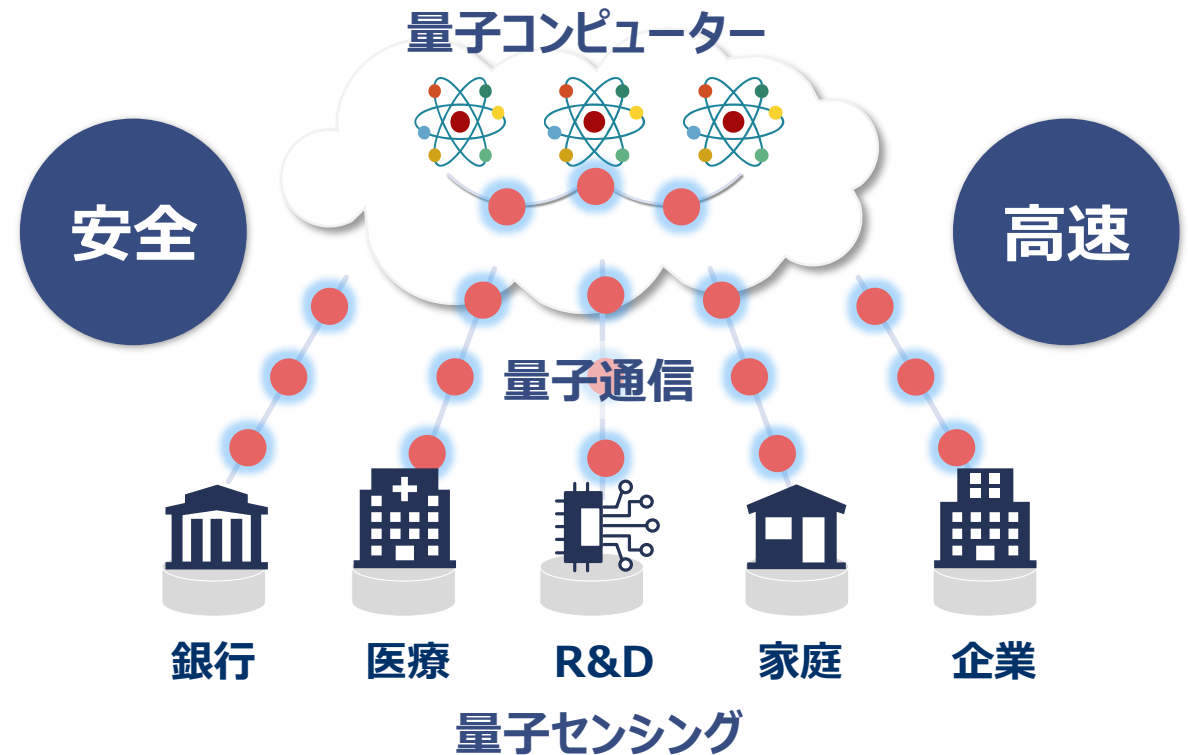
2010

2020

年

※各種資料を基に東芝にて作成

Copyright 2022 Quantum STrategic industry Alliance for Revolution



量子産業を可能にする重要な項目

量子
コンピュータ

膨大な
データ

通信

アプリケーション
ソフト

量子コンピュータの強み

静的な問題解決



動的な問題解決



通信

膨大なデータ

量子コンピュータ時代の通信セキュリティ

将来への備え

◆ 量子コンピュータによる暗号解読

量子コンピュータが、現在広く利用されている暗号アルゴリズムを短時間で破る可能性
量子コンピュータが完成する前に対策が必要

現在の課題

◆ データ・ハーベスティング

暗号化されたデータを傍受し保存しておき、時間をかけて解読する攻撃
現在の通信データも将来解読される可能性

量子コンピュータに対抗できるソリューションが今から必要
量子力学に基づく新しいセキュア通信「量子暗号通信」

市場動向：量子暗号通信ネットワーク化 各国の動向

* 2021年11月時点



サマリー

- 中国がスピード、規模で他を圧倒し先行
- 韓国とEUが大規模QKD網の構築に動き出す
- 米国エネルギー省が量子インターネット研究を推進
- 日本は東京QKDネットワークやSIPで実証実験推進



中国：既に広域インフラを構築

- 世界最大規模の量子暗号ネットワークを構築、国営企業が利用
- 北京－上海間の政府向けバックボーン(2000km)。金融通信などに利用。
- 2017年世界初の衛星地上間での量子鍵配送実験に成功(距離1200km)
- 量子メトロネットワークの実証も進む(2021、合肥市46ノード*1)
- 2025年までに全国規模のネットワーク構築を計画

韓国：国家政策として推進

- SK Telecomが、2019年に自社の5G/LTEネットワーク(ソウル・デジョン地区)への適用を発表
- 韓国版ニューディール政策の一環で、「K-サイバー攻撃防疫」の中で「量子暗号通信網構築モデル事業」を策定し推進中

欧州：キャリアの動き活発化、テストベッドが進行

- 2019年に欧州各国参画のテストベッド構築プロジェクトOPENQKDが始動、2022年に終了予定
- ドイツでこの1～2年間に量子暗号通信ネットワーク構築に動き出す見込み
- 2022年よりEU諸国でEuroQCI (Quantum Communication Infrastructure) 基盤整備事業が始まる見通し

米国：エネルギー省がQKD、量子インターネットの研究を推進

- エネルギー省配下で17の研究機関が量子関連技術の研究開発を推進
- 2020年に量子インターネットのブループリントを公開
- 2021年には全米規模の量子インターネット整備5か年計画を発表

日本：複数の実証実験を推進中

- 東京QKDネットワークを用いた金融向け適用検証
- 仙台での医療情報ネットワーク向け適用検証

*1 <https://www.nature.com/articles/s41534-021-00474-3.pdf>

Quantum Network@China



National Wide-area Quantum Secure Communications Backbone Network



Finance

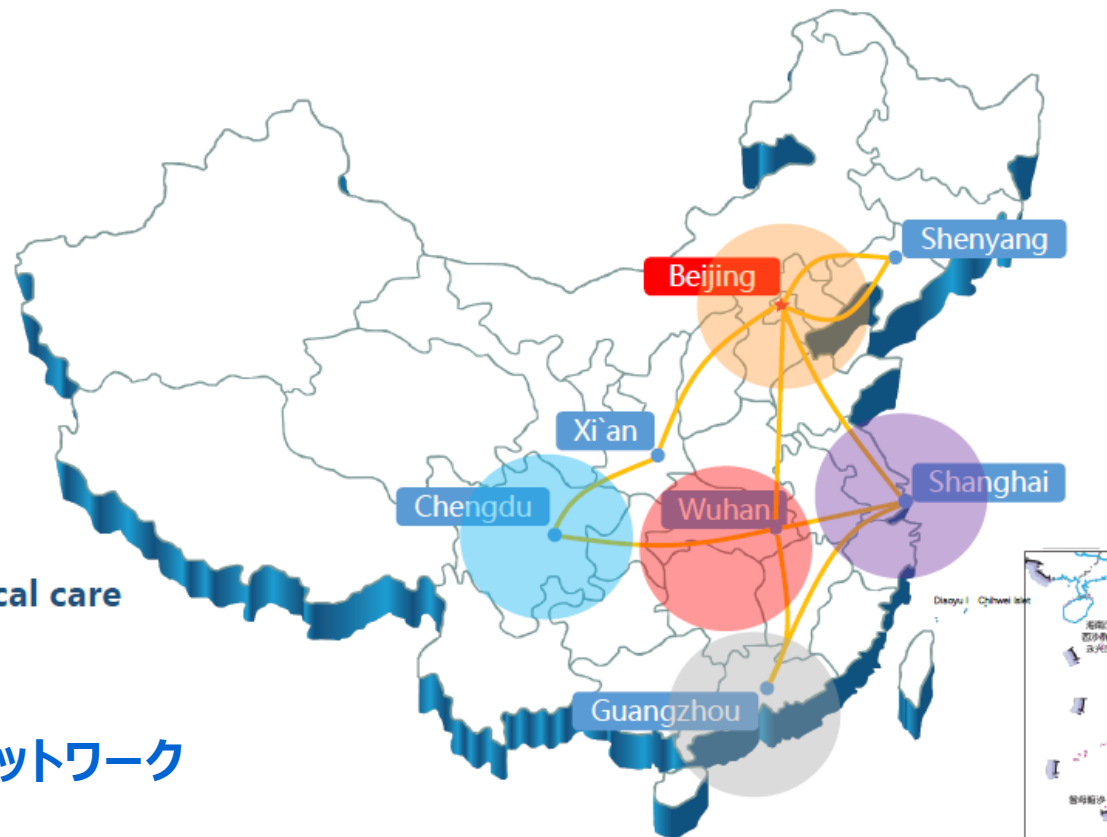


Customs



Health and medical care

地上系量子暗号ネットワーク



衛星量子暗号ネットワーク



Our Plan

- ~2022: 2 Satellites, 10 Ground Station
- ~2030: 5~8 Satellites, 100 Ground Station

将来の量子インターネットでの覇権を見据え、陸上＋衛星で着々と準備中

韓国動向：通信大手3社が公共・医療分野で量子暗号通信網を構築

(2020/09/11付けHerald経済記事より抜粋)

韓国政府は2020年7月14日、covid-19以降の景気回復のための国家プロジェクト
「韓国版ニューディール政策」を確定・発表

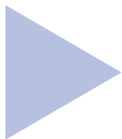
該当する分野への投資と雇用創出の計画



2022年まで
67兆7000億ウォンを投入



雇用創出
88万7000人



2025年まで
160兆ウォンを投入



雇用創出
190万1000人

この政策に沿って量子暗号通信網を推進
KT、SKブロードバンド、LGU+等が公共・医療・産業分野の量子暗号通信網事業者として選定
(9月11日 韓国科学技術情報通信部「K-サイバー防疫」3次補正予算事業着手報告会にて表明)

<量子暗号通信モデル事業 選定結果>

分野	主管機関	需要先
公共	SKブロードバンド	広州市長
	KT	全羅南道庁(海軍3艦隊)、江原道長(春川市長)
医療	SKブロードバンド	延世医療院
	KT	ソウル聖母病院、恩平聖母病院
	LGU+	ウルジ大学病院
産業	SKブロードバンド	Hanhwaシステム、ウリ銀行、CJオリーブネットワークス
	KT	現代重工業
	LGU+	LGイノテック

「K-サイバー攻撃防疫」とは？

サイバー安全網を構築する事業である。この中で「量子暗号通信網構築モデル事業」は高度なセキュリティを要する公共・医療及び産業部門に量子暗号通信網を構築することが骨子である。これを通じて応用サービスを発掘、実証を支援し、公募を通じて選定された8つのコンソーシアムで事業を推進する計画。公共部門はKTとSKブロードバンドが主管する。医療、産業部門はKT、SKブロードバンド、LGU+が担当する。情報通信技術(ICT)の中小企業がコンサルティング費用及び最大1500万ウォンの製品導入費用を支援される「ICT中小企業情報保護力量強化事業」も今回の補正予算に含まれた。

米国の取り組み

DoE、NISTを中心にQKD、量子インターネットの研究開発を推進

U.S. DEPARTMENT OF
ENERGY

OFFICE OF
Cybersecurity, Energy Security,
and Emergency Response

Time-Sensitive QKD
GE Research

Stephen F Bush
Cybersecurity for Energy
Delivery Systems (CEDS)
Peer Review

October 6-7, 2020

https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/QuantumWkshpRpt20FINAL_Nav_0.pdf

Report of the DOE
Quantum Internet
Blueprint Workshop

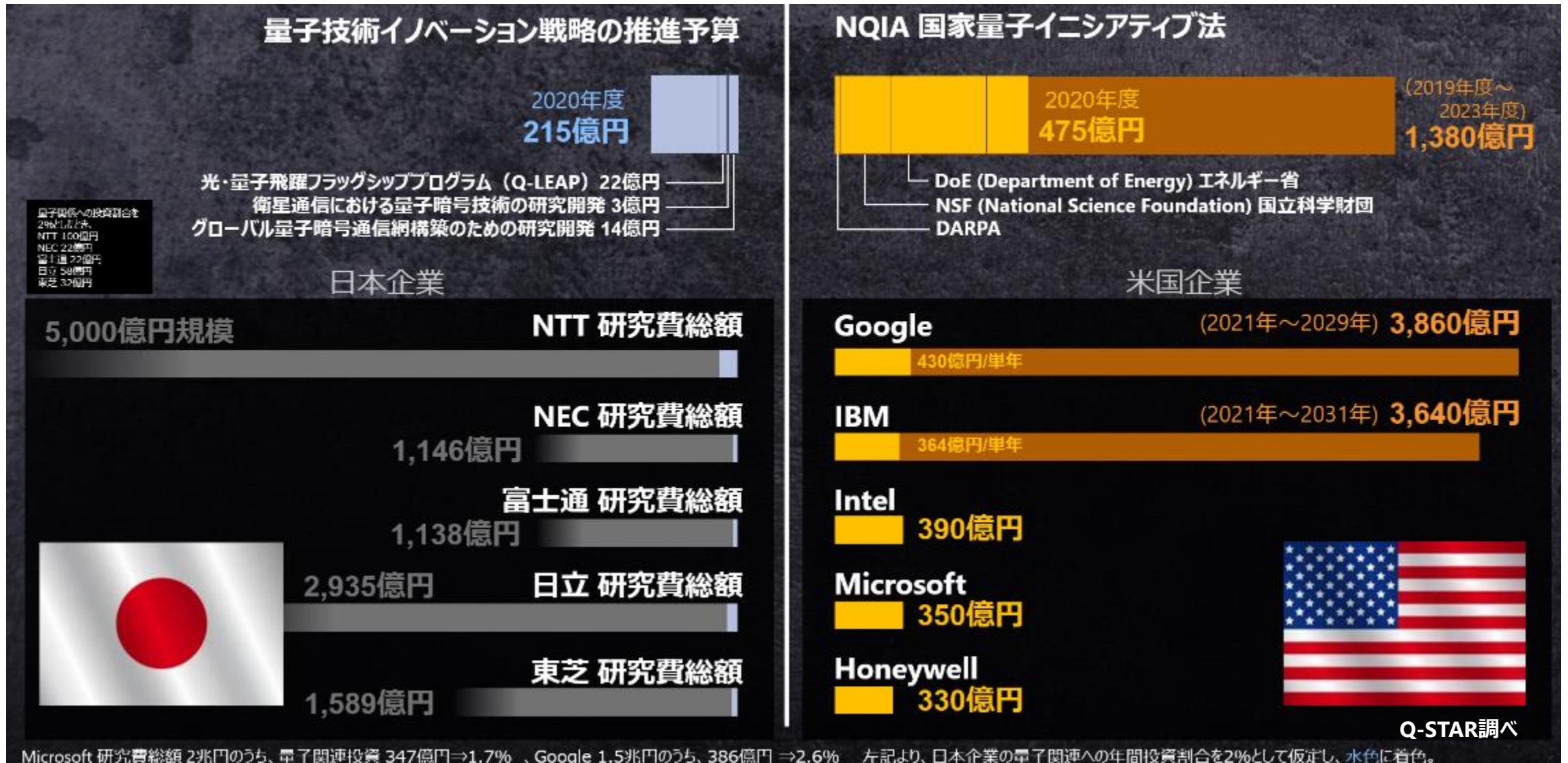
From Long-distance Entanglement to
Building a Nationwide Quantum Internet

February 5-6, 2020

https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/11/f81/CPR1_General%20Electric%20%28GE%29_TSQKD_2020%20CEDS%20Peer%20Review_508.pdf

日米量子技術投資状況

米国の投資規模は、量子技術が研究段階から実用化段階に近づいてきていると想定



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

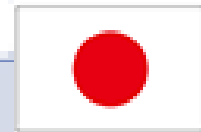
量子（通信、コンピューティング、センサ）の国際標準化研究と共同PJ,
ユースケースの事業化モデル発掘、人材育成



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

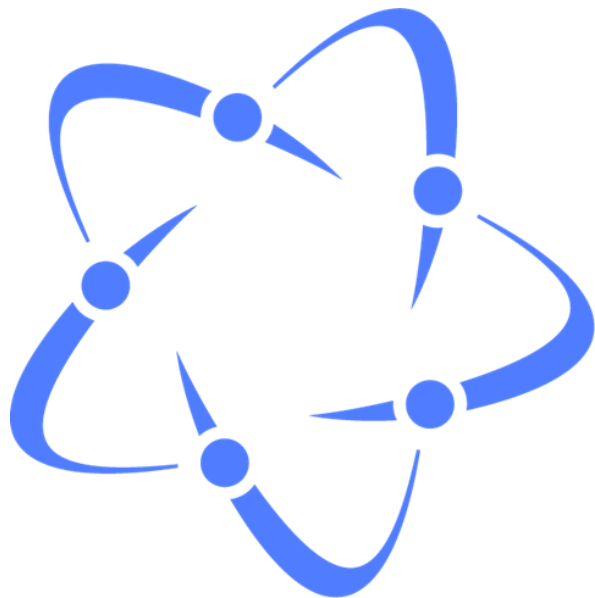
2021年4月

2021年6月

2021年9月

Q-STAR調べ

Quantum **ST**rategic industry **A**lliance for **R**evolution
Q-STAR



スコープ

産業創出に必要な量子技術及び関連技術に幅広く取り組む



協議会の取り組み

産業及び企業の枠を超え、グローバルな視点での活動を推進

1	量子技術の動向に関する調査・研究	量子技術の全般の動向の調査、産業界トップ層の間で情報共有
2	量子技術の産業活用に関する調査・研究・提案	複数分野についての応用可能性を調査・研究
3	量子関連技術に関する調査・検討	量子技術に必要となる材料、デバイス等についての調査・検討、情報共有
4	量子関連人材に関する調査・企画・提案	量子技術に関連する人材の育成に関する調査・企画・提案、意見交換
5	制度・ルールについての調査・検討	量子技術の実装に際し必要となる知財・標準化、倫理、トラスト等の調査・検討
6	国内外の量子関連団体等との連携	本協議会の各種事業推進に必要な国内外の量子関連団体との連携
7	その他	普及広報、政策提言など

協議会 会員 (1月28日現在 50社)

特別会員 15社

キヤノン (株)

京セラ (株)

SOMPOホールディングス (株)

(株) 長大

(株) 東芝

凸版印刷 (株)

トヨタ自動車 (株)

日本電気 (株)

日本電信電話 (株)

(株) 日立製作所

(株) フィックスターズ

富士通 (株)

(株) 三井住友フィナンシャルグループ

三菱ケミカル (株)

三菱電機 (株)

法人会員 11社

伊藤忠テクノソリューションズ (株)

JSR (株)

ソフトバンク (株)

第一生命保険 (株)

田辺三菱製薬 (株)

東京海上ホールディングス (株)

(株) みずほフィナンシャルグループ

三井化学 (株) (2022年度入会)

三井住友海上火災保険 (株)

三井物産 (株)

三菱UFJ フィナンシャル・グループ (株)

準法人会員 7社

キューエル (株)

(株) QunaSys

(株) グリッド

(株) グルーヴノーツ

スキルアップAI (株)

(株) Michele

(株) ワイ・デー・ケー

賛助会員 17社

(株) IHI

SBSホールディングス (株)

エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ (株)

オックスフォードインストルメンツ (株)

鹿島建設 (株)

国分グループ本社 (株)

住友商事 (株)

ソニーグループ (株)

大日本印刷 (株)

(株) 大和証券グループ本社

中部電力 (株)

東京エレクトロン (株)

東京電力ホールディングス (株)

(株) 野村総合研究所

富士フイルムホールディングス (株)

古河電気工業 (株)

丸紅情報システムズ (株)

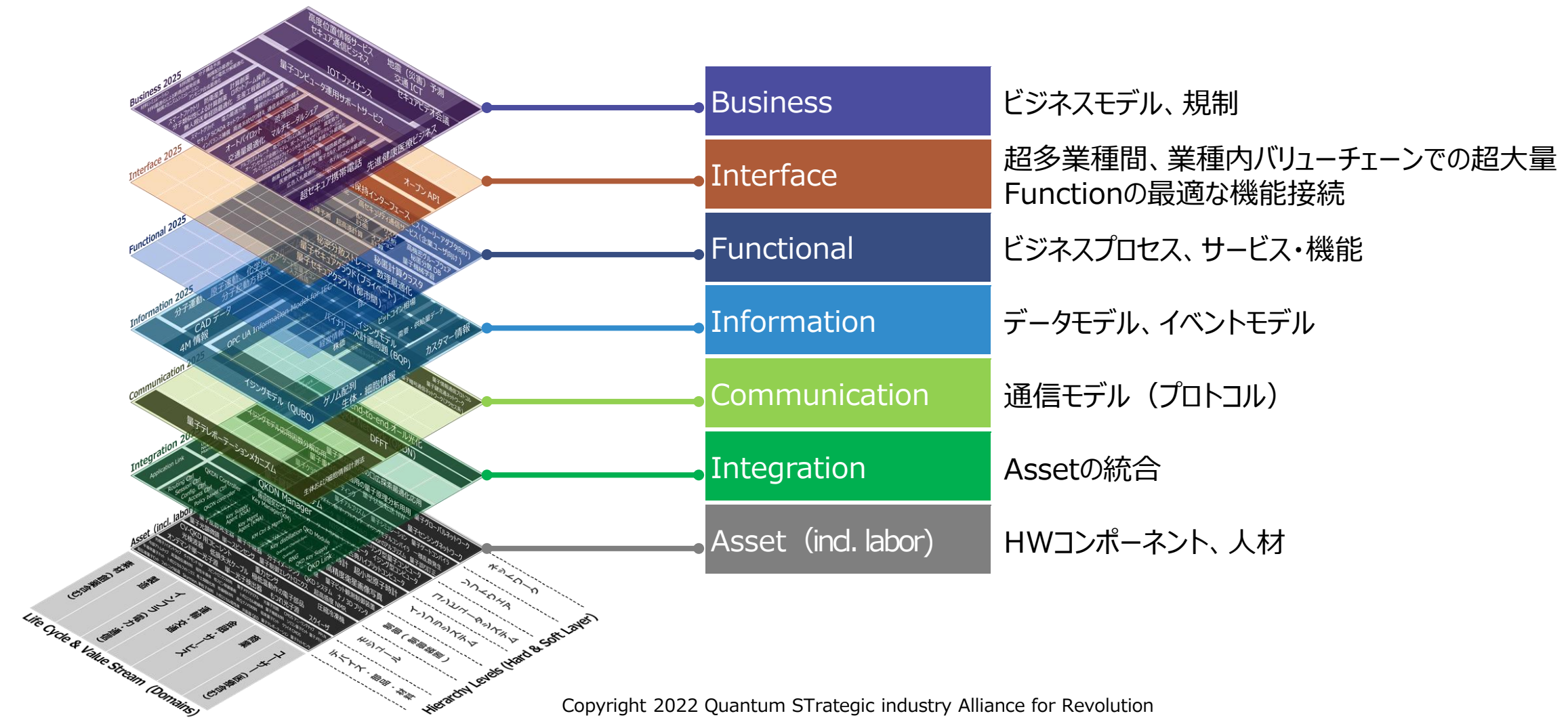
(会社名 五十音順)

凡例： 実行委員 企業 (16社)

(9月以降新規入会会員は青字表記)

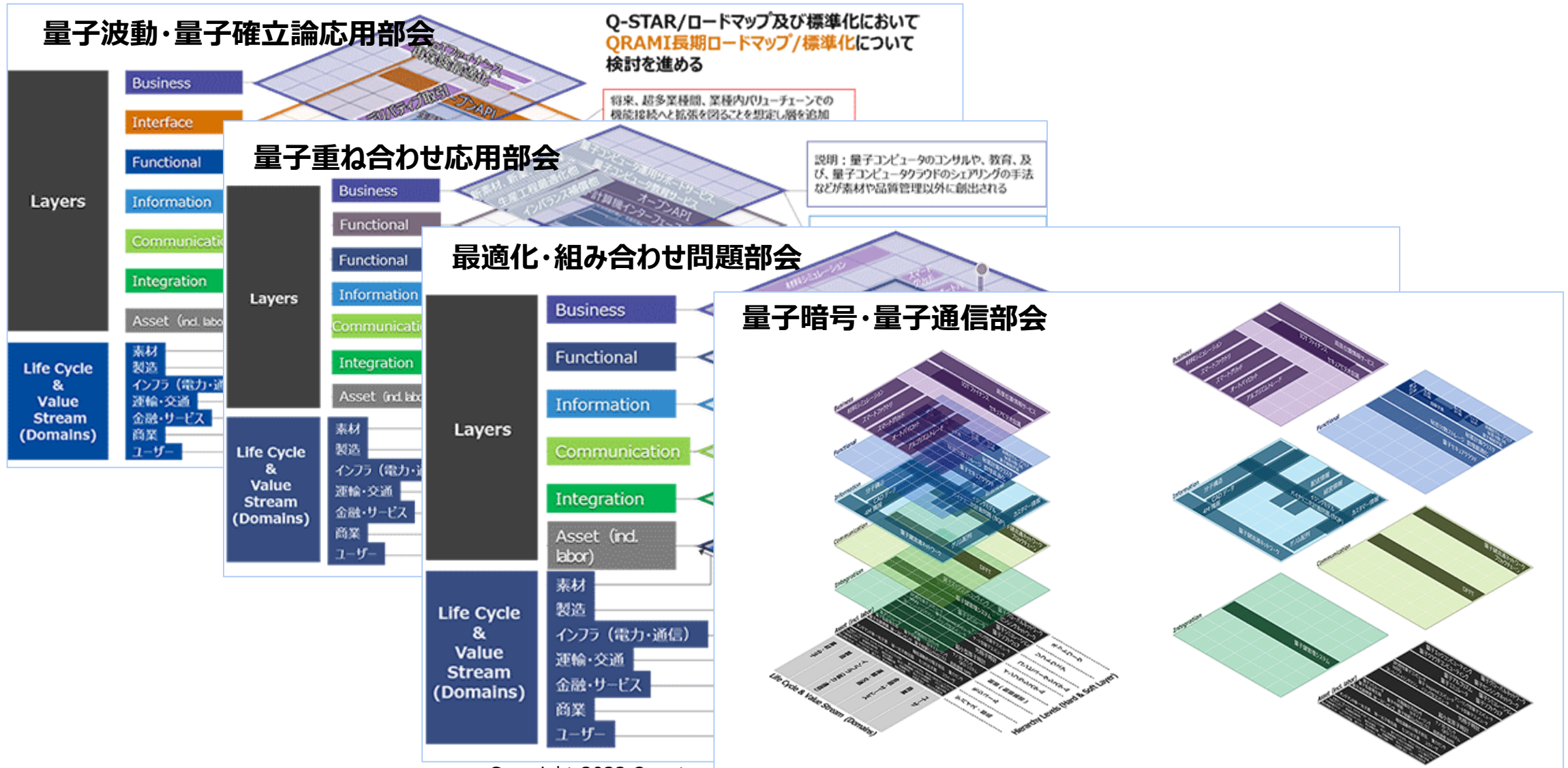
量子レファレンスアーキテクチャモデル (QRAMI) の定義

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



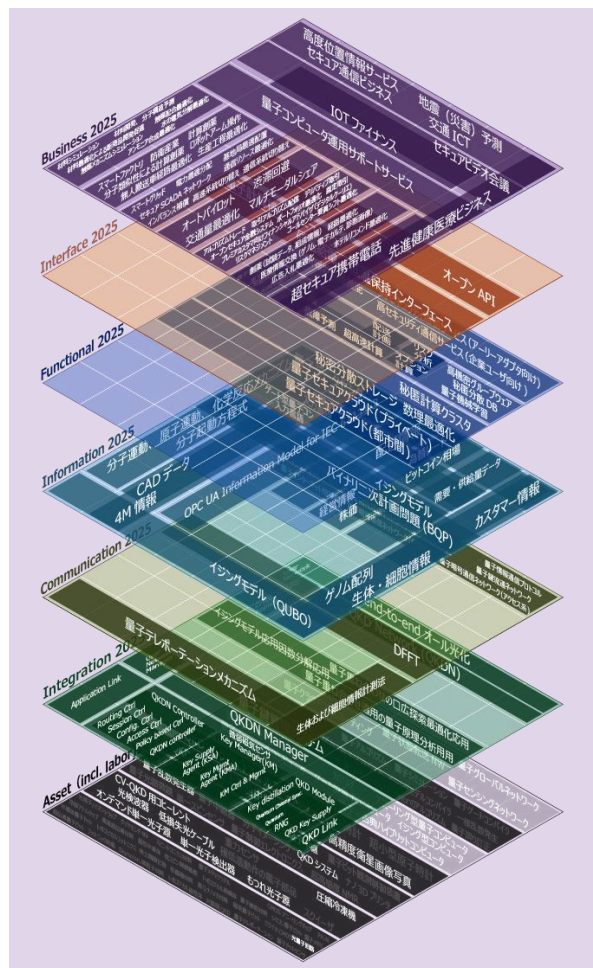
QRAMIの活用

各部会のカバー範囲もQRAMIで整理、海外連携にも共通言語として利用

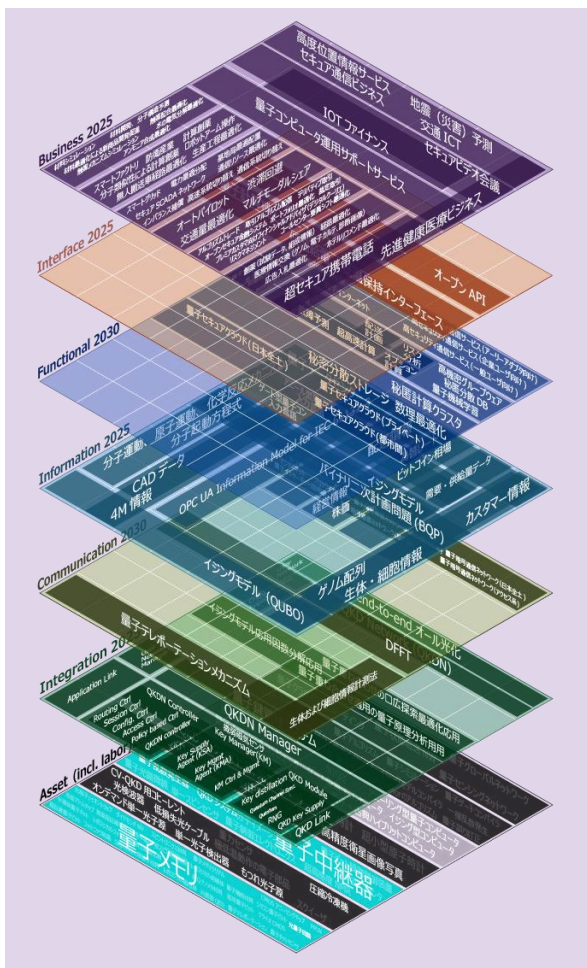


長期ロードマップ

将来の量子技術関連の産業もQRAMIでビジョン化へ

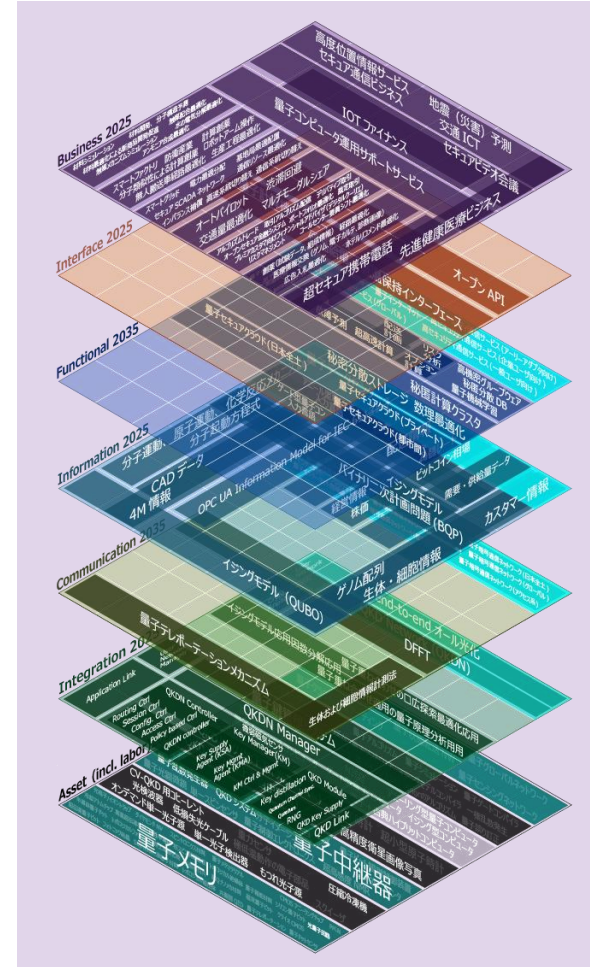


QRAMI2025



QRAMI2030

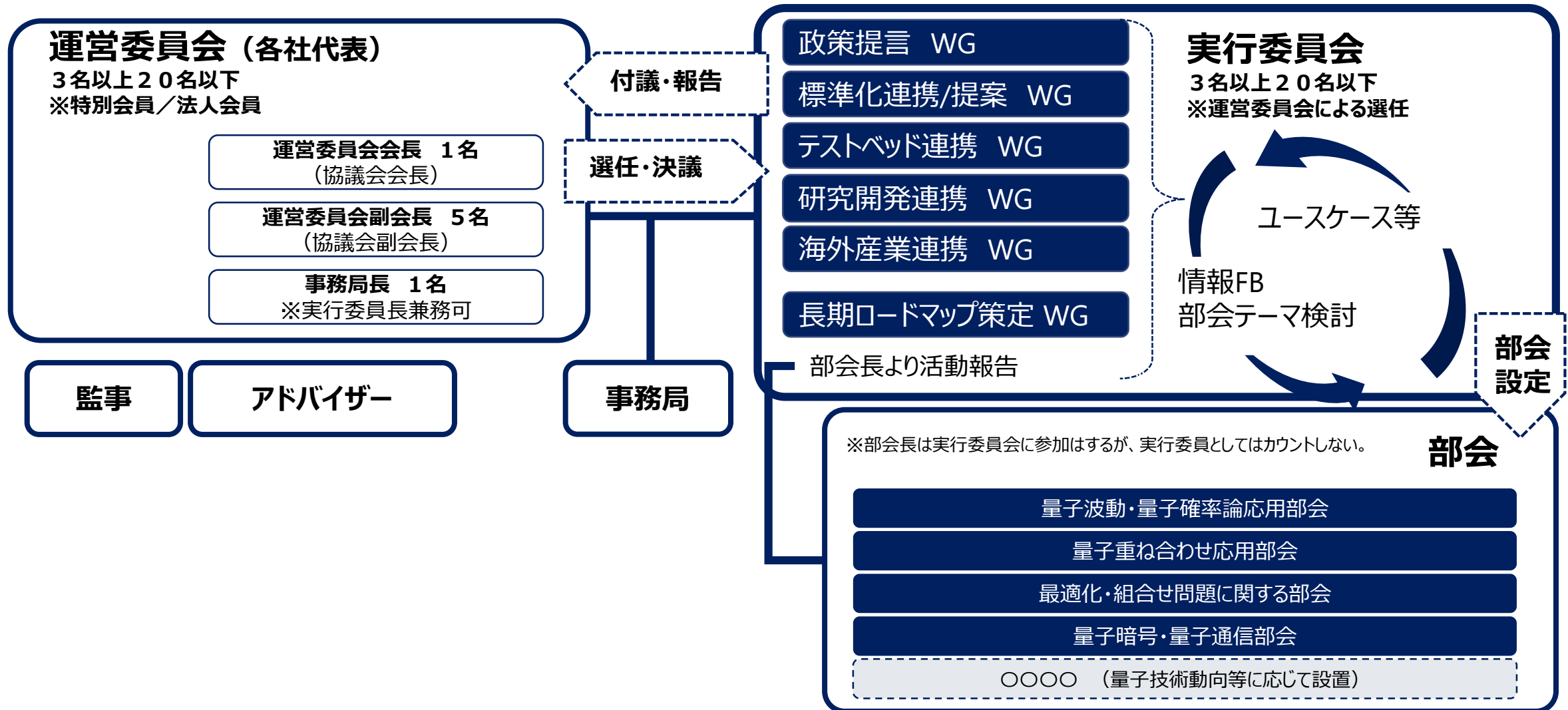
ホットスポット
『量子メモリ』
『量子中継器』



QRAMI2035

ホットスポット
『量子インターネット』

運営体制



部会活動によるユースケースの創出

量子波動・量子確率論応用部会

量子振幅推定や最適化を用いた新しい産業を、それらと親和性の高い金融業界から具体的に検討します。業界の柱になる産業や複数業界に跨る産業の創出と一緒に議論して頂ける方を歓迎します。

量子重ね合わせ応用部会

量子コンピュータの最大の特徴である量子重ね合わせの応用により創出されるシステムやサービス、ビジネスと、それによる既存産業や業界構造の変化も広い視野で検討します。ユーザとベンダが協力して次の社会を描くことで、業界の次の柱になるような新産業や、複数業界に跨った新産業の創出を目指します。

最適化・組合せ問題に関する部会

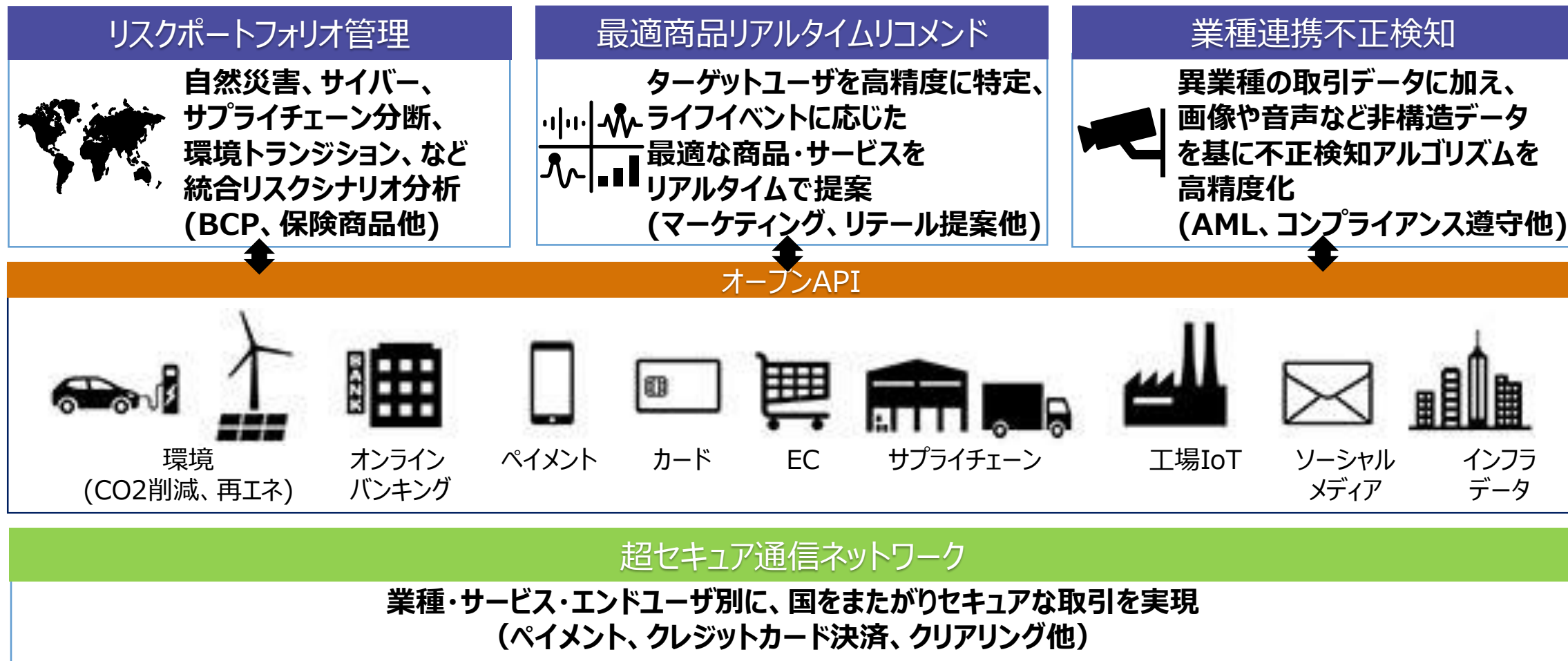
量子現象を使い、また、量子現象に着想を得た新コンピューティング技術（イジングマシン）を用いて産業分野の様々な課題解決（膨大な組合せの中から最適解を瞬時に算出し、リアルタイム予測、効率化、最適化等の問題を解く）を目指します。

量子暗号・量子通信 部会

現在既に利用可能な技術である「量子暗号通信」のビジネス応用を検討します。理論的な安全性が保障された通信が切り拓く未来と一緒に議論して頂ける方を歓迎します。

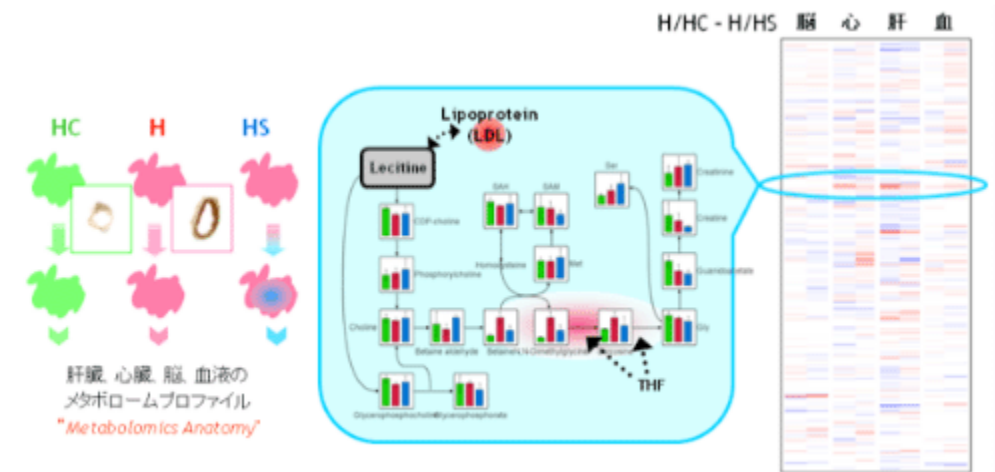
量子波動・量子確率論応用部会

異業種企業間の連携を前提とするユースケース



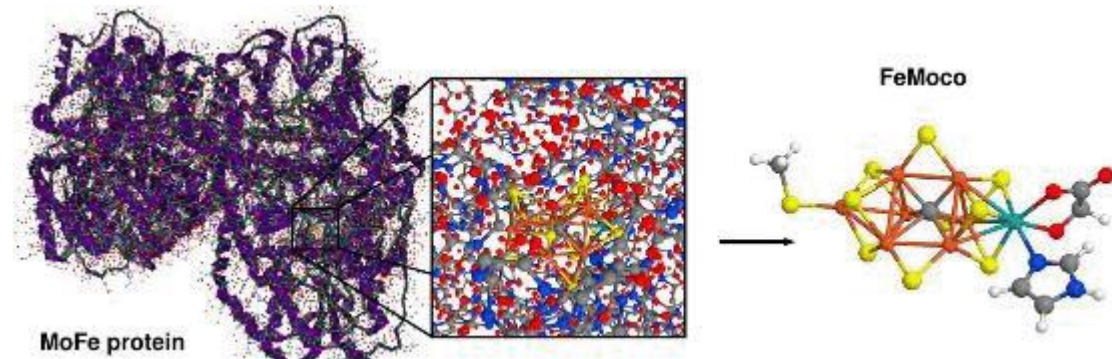
BCP : Business Continuity Plan, AML: Anti-Money Laundering

- 品質管理、テスト領域
 - プログラムや装置のテストベンチ生成、アサーション(バクトレース)の全検索(ベイズの代用)
- 網羅的遺伝子検査
- 農作物の品種改良、薬効確認のためのメタボローム解析
 - 生物の代謝の指標解析
- アンモニアの合成の効率化のシミュレーション事例
 - 素粒子レベルで物質の動きを見極めシユアな合成方法の革新、新素材探索
- 触媒探索
 - 水の電気分解の効率化、発光材料探索
- 副作用、副反応予測
 - 薬効メカニズムを明らかにし副作用などを早期に把握



メタボローム解析：代謝物の分類検索による薬効確認

<http://www.iab.keio.ac.jp/research/highlight/papers/201204080029.html>



<https://www.pnas.org/content/pnas/114/29/7555/F1.large.jpg>

アンモニア合成における分子の動きを実用時間で再現

最適化・組合せ問題に関する部会

ユーザー・ベンダー一体で事例創出、社会課題の解決を目指して

物流・交通

製造

金融

マーケティング

創薬・材料

医療

材料探索
(電池、触媒
混合物)

物流
ネットワーク
最適化

要員計画

ポートフォリオ
最適化

スペクトル
解析

工場内
動線
最適化

交通量
最適化

分子
類似性
検索

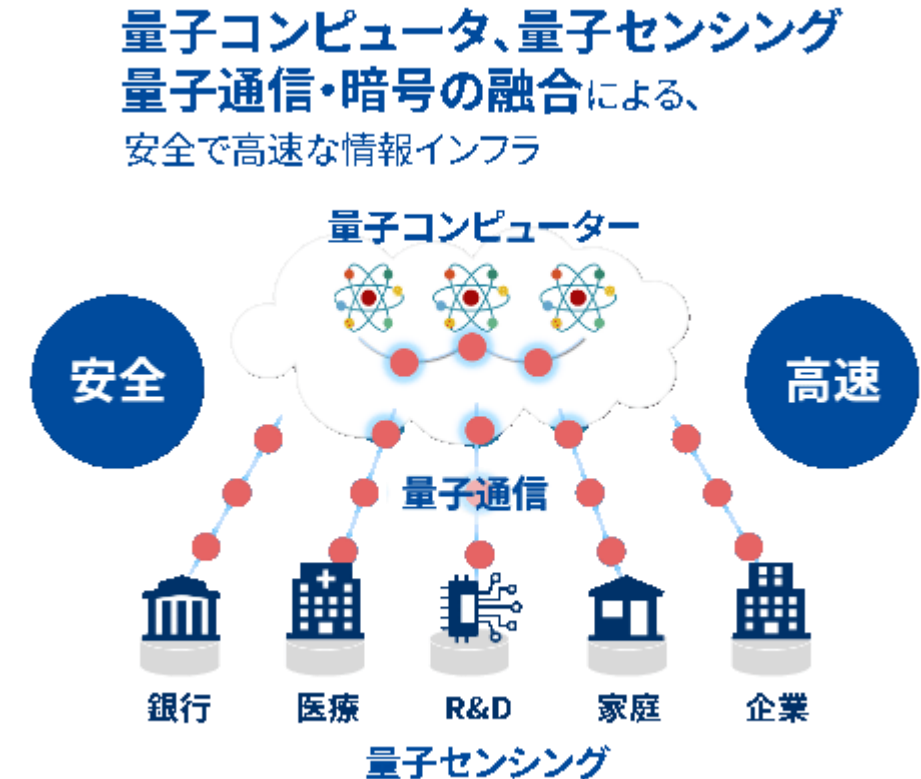
放射線
治療

マーケ
ティング

イジングマシン

量子暗号・量子通信部会

- **銀行間決済（銀行間の為替決済ネットワークのオープン化）**
 - 現在決済システムで使われる閉域網（全銀ネット、日銀ネット）を量子暗号によりオープンネット化することによる、コスト削減、運用性向上
- **証券取引（証券関連機関間の注文、取引情報のオープンネットワーク化）**
 - 従来の専用ネットワークをインターネット＋量子暗号に置き換えることによる運用コスト削減、サービスレベル向上
- **金融情報基盤**
 - 顧客情報・経営情報・トレード情報等を安全に保管
- **医療情報基盤**
 - ゲノム・医療履歴等の個人医療データを安全に保管
- **セキュアSCADAネットワーク**
 - 用途：スマートグリッド、Oil/Gas、水資源（上下水）
- **高セキュリティ通信サービス**
 - プライベート用途：スマートファクトリ
 - ロードサイド用途：オートパイロット、都市間セキュア通信



量子暗号通信ユースケース（例）：銀行間決済

解決すべき課題

- 量子コンピューターによるセキュリティ危殆化懸念
- 専用回線・システムのため他システム接続に制限

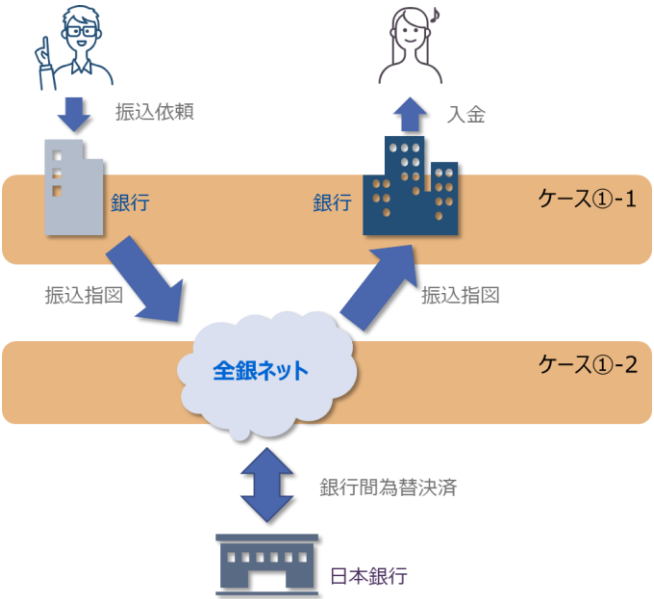
ユースケース概要

銀行間の為替決済ネットワークのオープン化

- ケース①-1 銀行間相互
- ケース①-2 銀行ー日本銀行間

実現イメージ

実現目標時期：2030年



全銀協資料『全国銀行データ通信システム（全銀システム）』を基にQ-STARにて作成

期待される効果

- インターネット活用により、他システムとの接続や拡張が容易になります
- オープン化によりFinTech等の新たなプレイヤーの参加が容易になります

QRAMI

Functional 「高セキュリティ通信サービス」



メトリック	評価
新規性	1（1：既存の改良 – 5：全く新しい）
達成困難度	5（1：極めて容易 – 5：極めて困難）
社会貢献度	3（1：特定業種のみ – 5：社会全体に効果）
市場規模	見積中（1. 100億円未満 2. 100億～1,000億円 3. 1,000億～1兆円 4. 1～10兆円 5. 10兆円以上）

量子暗号通信ユースケース（例）：証券関連機関間取引

解決すべき課題

- 専用システムのため技術進化への追従が困難
- 運用には個社でセキュリティ対応含め継続的な費用負担が必要
- 量子コンピューターによるセキュリティ危殆化懸念

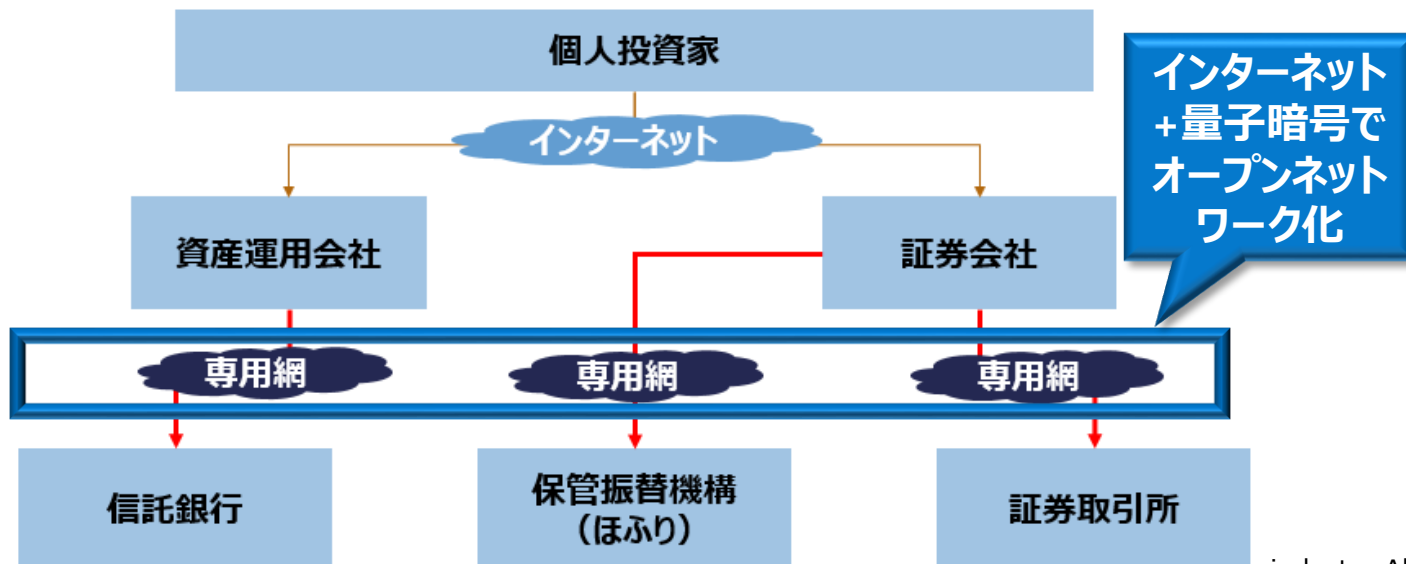
ユースケース概要

- 量子暗号通信＋インターネットにより専用ネットワークをオープン化

実現イメージ

実現目標時期：2030年

全銀協資料『全国銀行データ通信システム（全銀システム）』
を基にQ-STARにて作成



期待される効果

- インターネット活用により、ネットワーク運用の負担を軽減できます
- 複数のISPと契約することで、可用性の強化が可能です
- 取引所、ほふり等の他システム間連携が容易になります

QRAMI

Functional 「高セキュリティ通信サービス」



メトリック	評価
新規性	1（1：既存の改良 – 5：全く新しい）
達成困難度	4（1：極めて容易 – 5：極めて困難）
社会貢献度	2（1：特定業種のみ – 5：社会全体に効果）
市場規模	見積中（1. 100億円未満 2. 100億～1,000億円 3. 1,000億～1兆円 4. 1～10兆円 5. 10兆円以上）

量子暗号通信ユースケース（例）：金融情報基盤

解決すべき課題

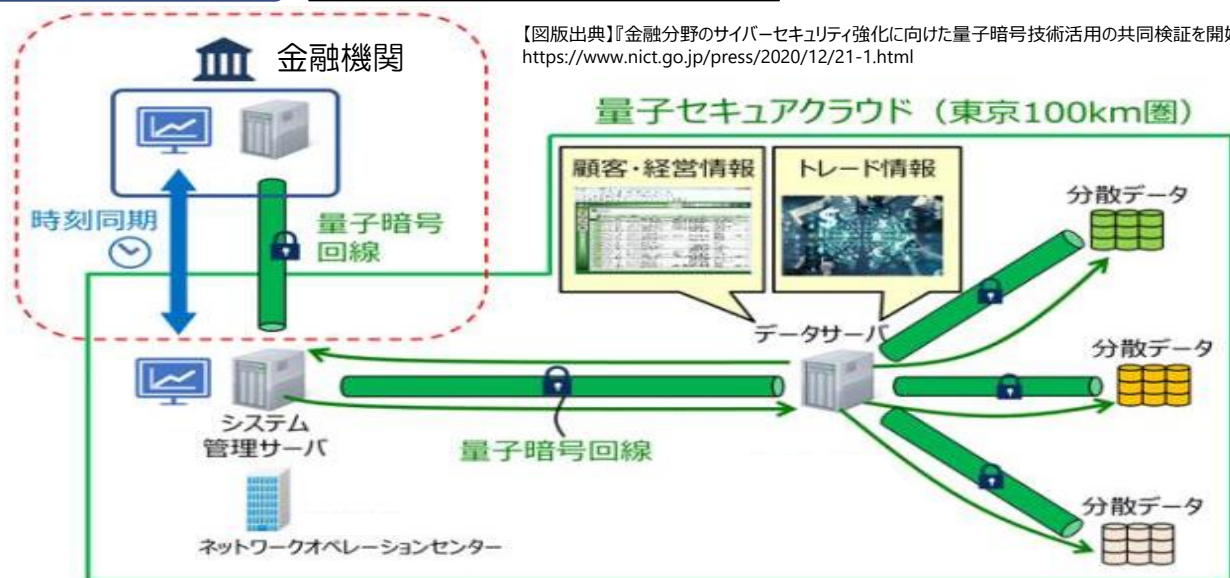
- 顧客情報（経営戦略・トレード履歴）は現在～未来にわたり厳重に秘匿したい
- そのためのシステムにCAPEX/OPEXを掛けたくない

ユースケース概要

- 量子暗号通信と秘密分散を組み合わせた「量子セキュアクラウド」に顧客情報を分散保管
- 金融機関からは量子暗号回線でクラウドに接続
- 機関内でのレプリケーション、機関間のデータ交換にも利用可能

実現イメージ

実現目標時期：2023年

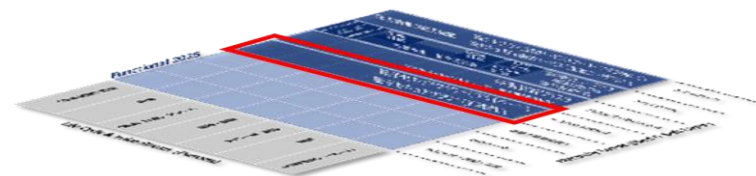


期待される効果

- データの漏洩や毀損に対して安全です（理論的安全性が証明されています）
- 耐量子バックアップ、データレプリケーションが簡単に行えます
- サーバ、回線を増設することで、スケールアウトが可能です
- シェアード型であり、初期投資・運用コスト負担を軽減できます

QRAMI

Functional 「量子セキュアクラウド」



メトリック	評価
新規性	2（1：既存の改良 - 5：全く新しい）
達成困難度	2（1：極めて容易 - 5：極めて困難）
社会貢献度	2（1：特定業種のみ - 5：社会全体に効果）
市場規模	見積中（1. 100億円未満 2. 100億～1,000億円 3. 1,000億～1兆円 4. 1～10兆円 5. 10兆円以上）

量子暗号通信ユースケース（例）：医療情報基盤

解決すべき課題

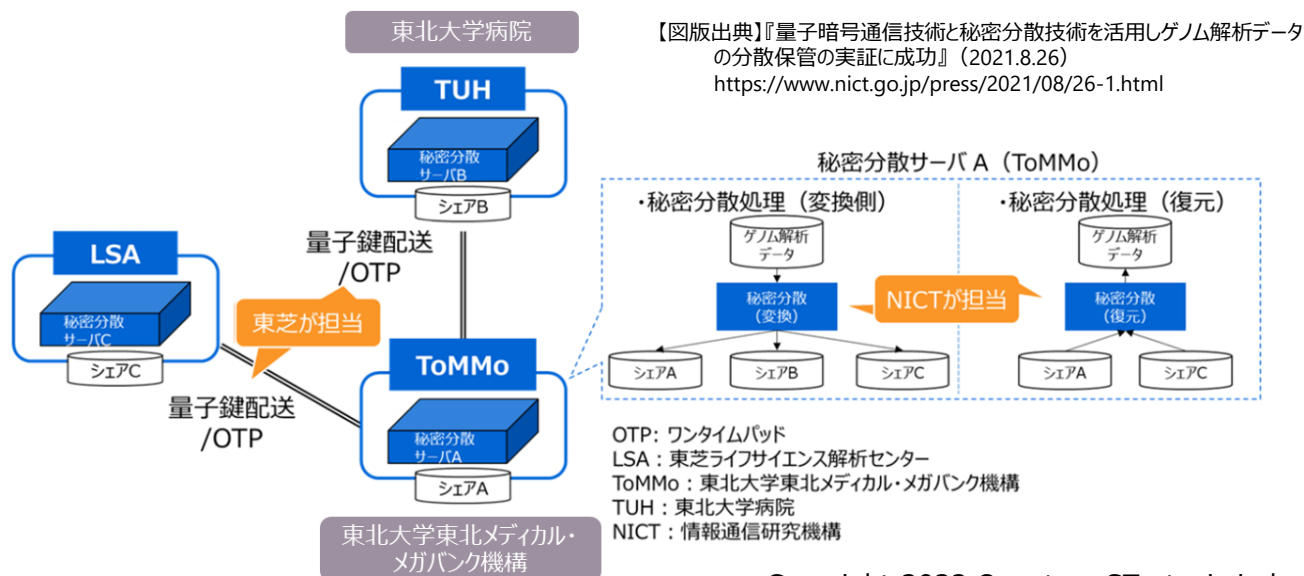
- 量子コンピューターによる危殆化懸念
- ゲノム・遺伝疾患情報等、未来永劫保護すべき医療関連情報の安全な伝送・保管

ユースケース概要

- 量子暗号通信と秘密分散技術等を組み合わせた、高いセキュリティが確保されたクラウド基盤「量子セキュアクラウド」上に医療情報を保管

実現イメージ

實現目標時期：2025年

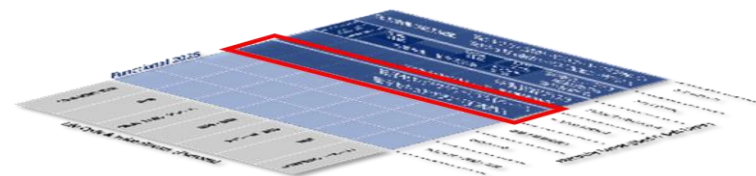


期待される効果

- 高い機密性が求められる医療関連情報を安全に伝送・保管できます
- クラウド上に保管することで、様々な医療機関からアクセスが可能になります

QRAMI

Functional 「量子セキュアクラウド」



メトリック	評価
新規性	1（1：既存の改良－5：全く新しい）
達成困難度	2（1：極めて容易－5：極めて困難）
社会貢献度	3（1：特定業種のみ－5：社会全体に効果）
市場規模	見積中（1. 100億円未満 2. 100億～1,000億円 3. 1,000億～1兆円 4. 1～10兆円 5. 10兆円以上）

量子暗号通信ユースケース（例）：セキュアSCADAネットワーク

解決すべき課題

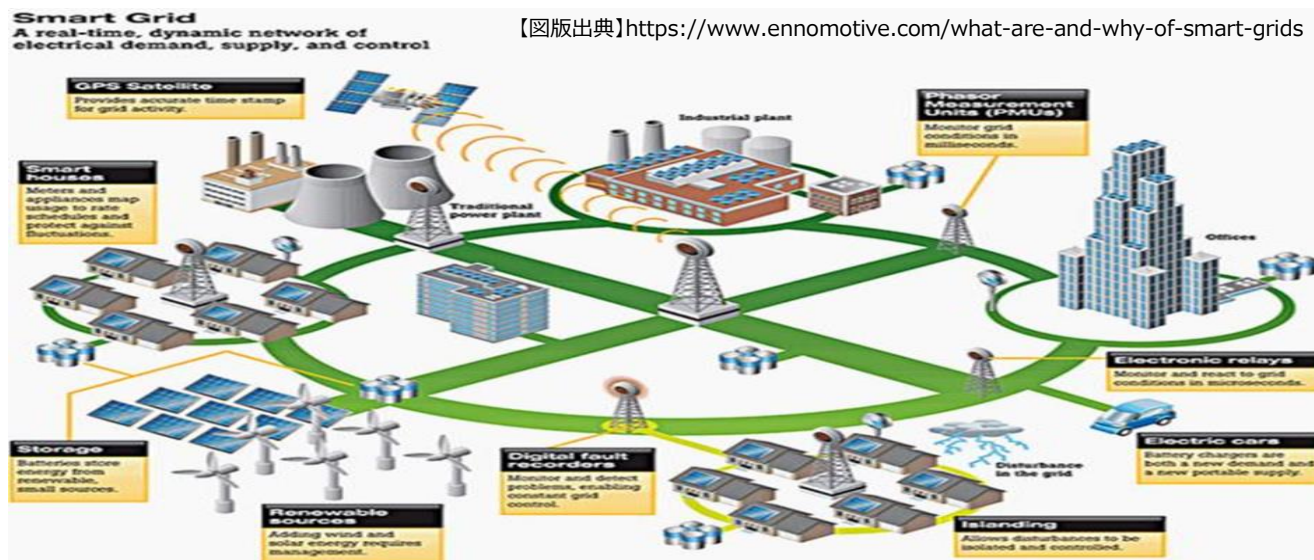
- IoT、5Gの進展によって統合的かつ高度に監視・制御されるクリティカルインフラが登場する→サイバーセキュリティ対策が必須
- 量子コンピューターによる危殆化懸念
- 「低遅延性」の確保

ユースケース概要

- 量子暗号通信とTSN技術を組み合わせたTime-Sensitive QKDによりSCADAネットワークを保護 TSN：Time-Sensitive Networking
- 暗号化には演算量が少ないOTPを活用

実現イメージ

実現目標時期：2025年



期待される効果

- SCADAネットワークからの情報漏洩を防ぎ、システムの安全性を高めます
- 暗号化アルゴリズムにOTPを用いることで、理論的安全性に加え、既存暗号方式に比べ処理オーバーヘッドを軽減できるため、リアルタイムな制御に適しています

QRAMI

Business 「セキュアSCADAネットワーク」



メトリック	評価
新規性	1（1：既存の改良 - 5：全く新しい）
達成困難度	2（1：極めて容易 - 5：極めて困難）
社会貢献度	3（1：特定業種のみ - 5：社会全体に効果）
市場規模	見積中（1. 100億円未満 2. 100億～1,000億円 3. 1,000億～1兆円 4. 1～10兆円 5. 10兆円以上）

量子暗号通信ユースケース（例）：高セキュリティ通信サービス

解決すべき課題

- IoT、5Gの進展によって統合的かつ高度に監視・制御されるクリティカルインフラが登場する→サイバーセキュリティ対策が必須
- 量子コンピューターによる危殆化懸念
- 「低遅延性」の確保

ユースケース概要

- 量子暗号通信と5G/Beyond5G技術を組み合わせた広帯域・低遅延ネットワークを量子暗号通信により保護
- 暗号化に演算量が少ないOTPを用いることによる低遅延化

実現イメージ

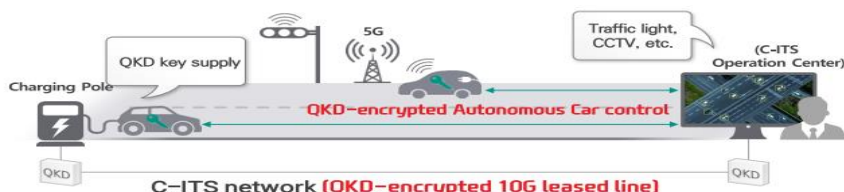
実現目標時期：2025年

05 C-ITS - Quantum-safe Autonomous Car

Jeju; C-ITS implemented romantic island



<world's busiest airline route – Bloomberg>



期待される効果

- 自動運転・遠隔医療等、高い安全性が求められるシステムのサイバーセキュリティ対策として有効です
- 暗号化アルゴリズムにOTPを用いることで、理論的安全性に加え、既存暗号方式に比べ処理オーバーヘッドを軽減できるため、リアルタイムな制御に適しています

QRAMI

Functional 「高セキュリティ通信サービス」



メトリック	評価
新規性	1（1：既存の改良 – 5：全く新しい）
達成困難度	2（1：極めて容易 – 5：極めて困難）
社会貢献度	4（1：特定業種のみ – 5：社会全体に効果）
市場規模	見積中（1. 100億円未満 2. 100億～1,000億円 3. 1,000億～1兆円 4. 1～10兆円 5. 10兆円以上）

海外連携の加速

方針に掲げたグローバル連携を加速し、設立と同時に海外団体等へのアクセス開始

- ☑ 2021/11/30 QUTAC & Q-STAR workshop開催
- ☑ 2021/12/15 QED-C & Q-STAR workshop開催
- ☐ 2022/2/8 QuIC & Q-STAR workshop開催予定

<海外カンファレンス講演参加>

- ☑ 2021/11/1-5 Inside Quantum Technology(IQT) FALL@NYC
- ☑ 2021/12/1 CEO Summit on Quantum Computing (IEEE)

Q-STAR 目指す活動

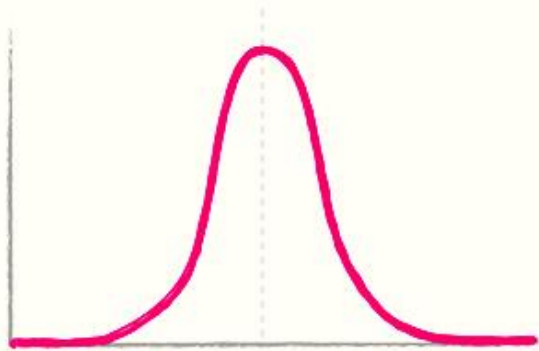
世界のあらゆる団体と様々なテーマで積極的に繋がり、共に量子産業を創出していきます



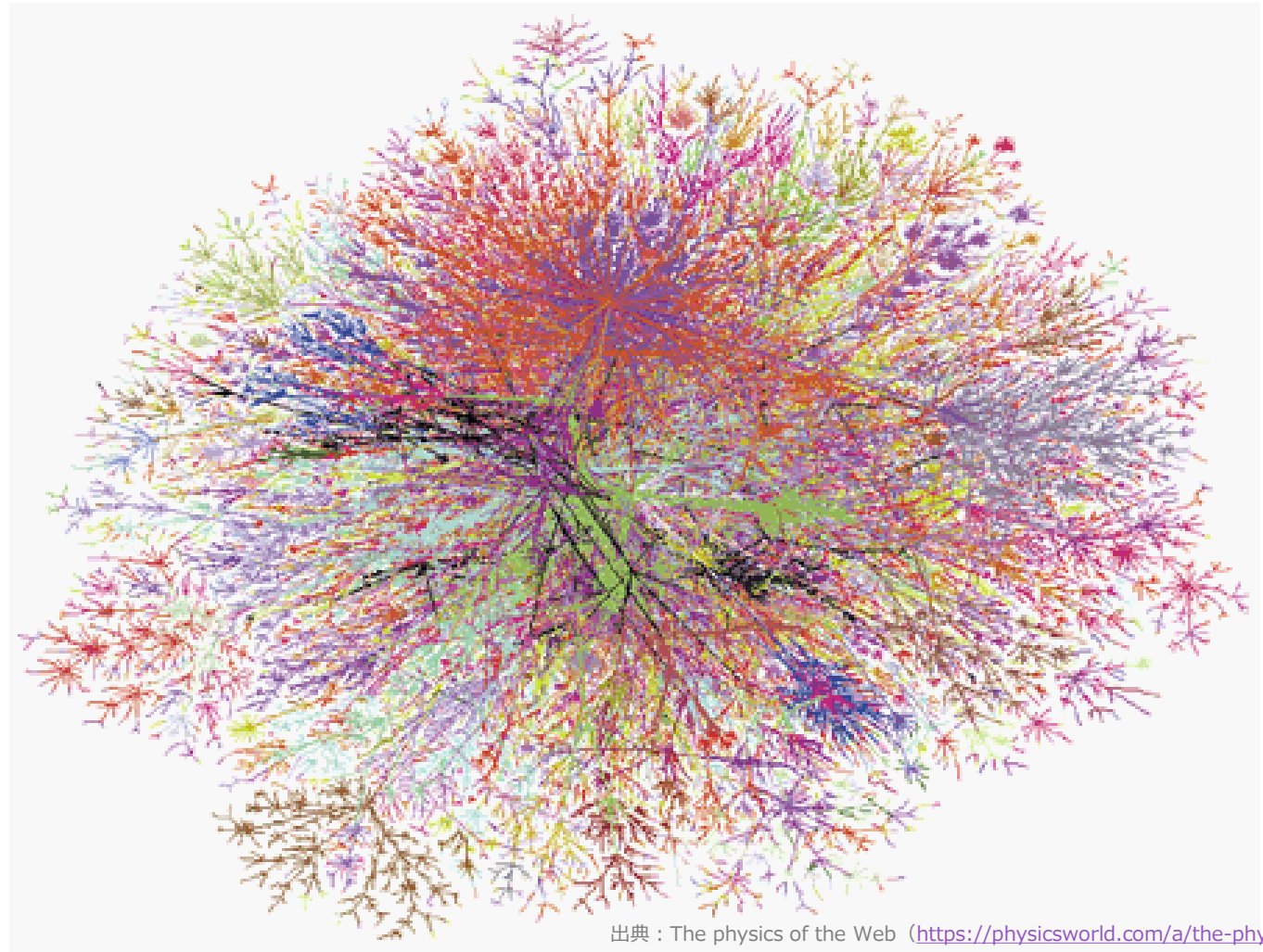
正規分布とカオスの世界

現実のカオスは不平等である

ガウス分布の例



ベキ分布の例

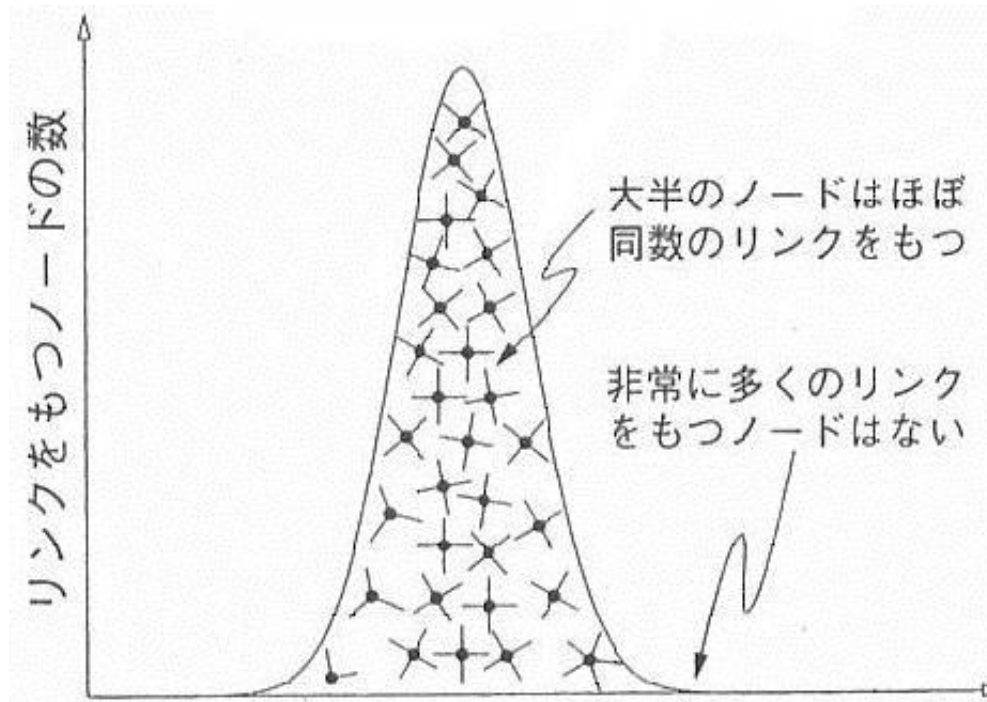


出典 : The physics of the Web (<https://physicsworld.com/a/the-physics-of-the-web/>)

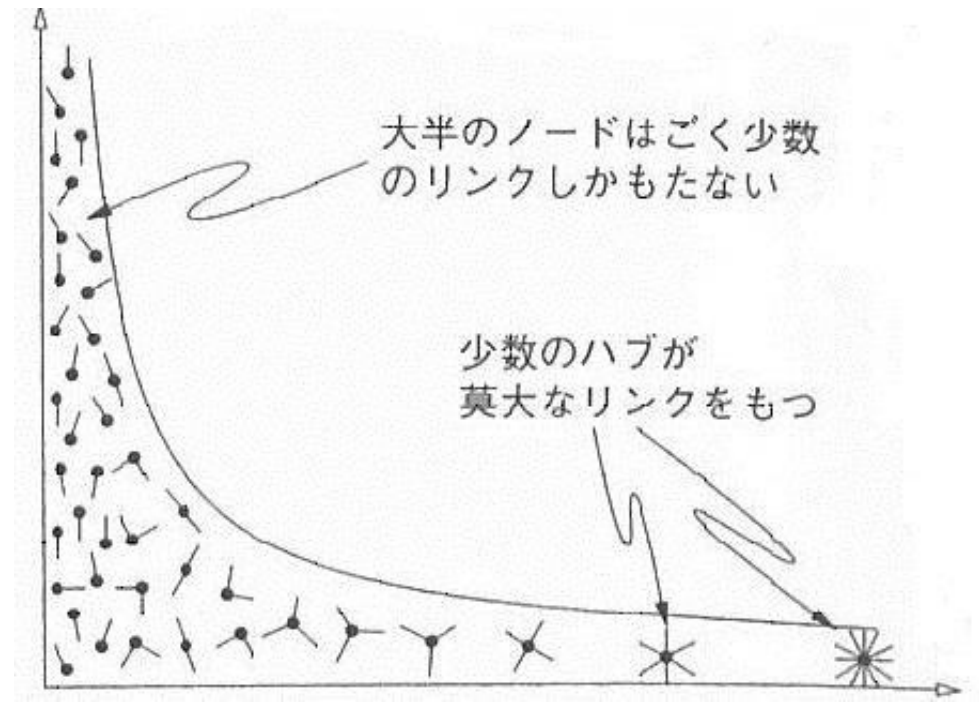
Albert-László Barabási スケールフリーネットワーク

イノベーションを産み出すスケールフリーネットワーク

ランダムネットワーク



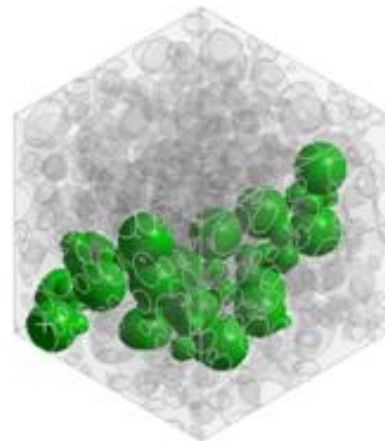
スケールフリー・ネットワーク



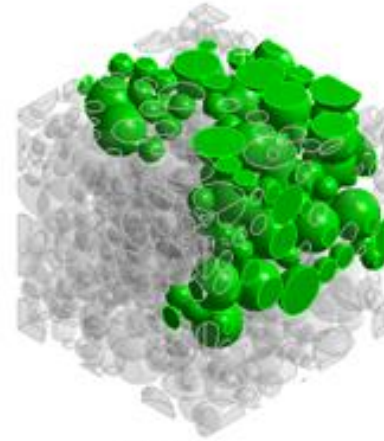
出典：新ネットワーク思考—世界のしくみを読み解く NHK出版

パーコレーション 臨界点を超えると一気に変化する現象

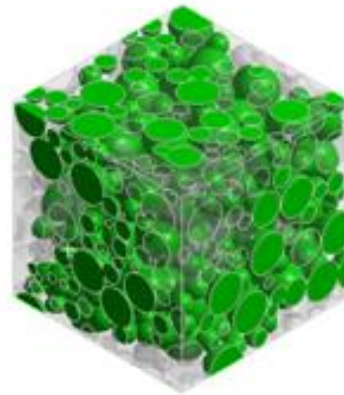
イノベーションは、臨界点を超えると起こる



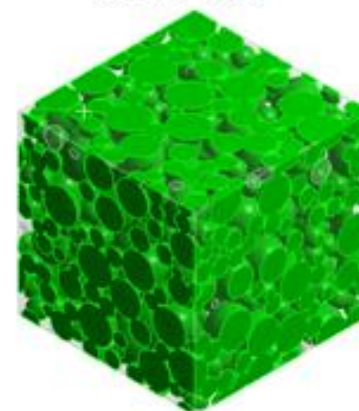
充填率45%



充填率50%



充填率55%



充填率65%

クラスターの成長過程

サイバネットのWebサイトより引用 (<https://www.cybernet.co.jp/ansys/case/analysis/399.html>)

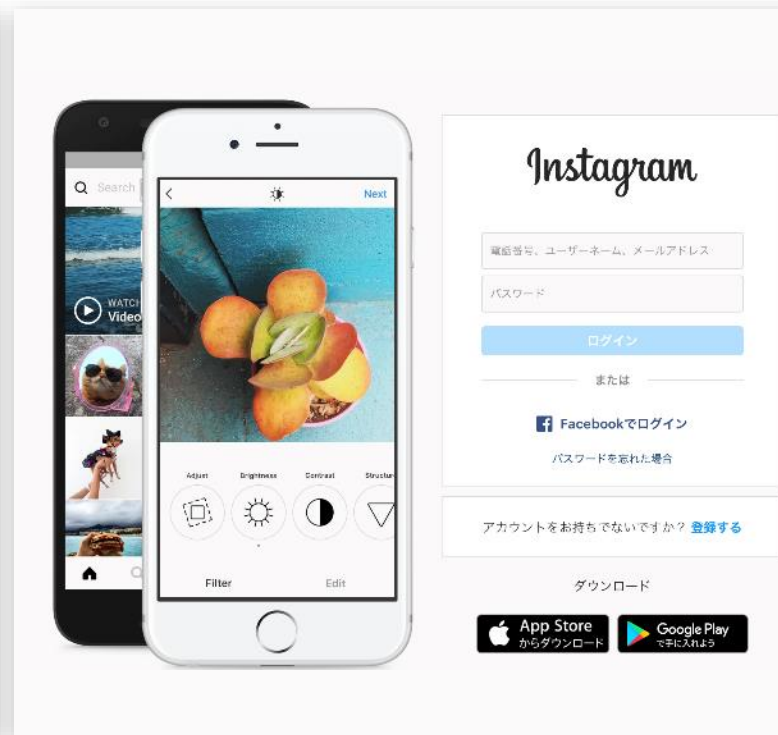
スケールフリーネットワークの例

「モノ」から「コト」は間違い

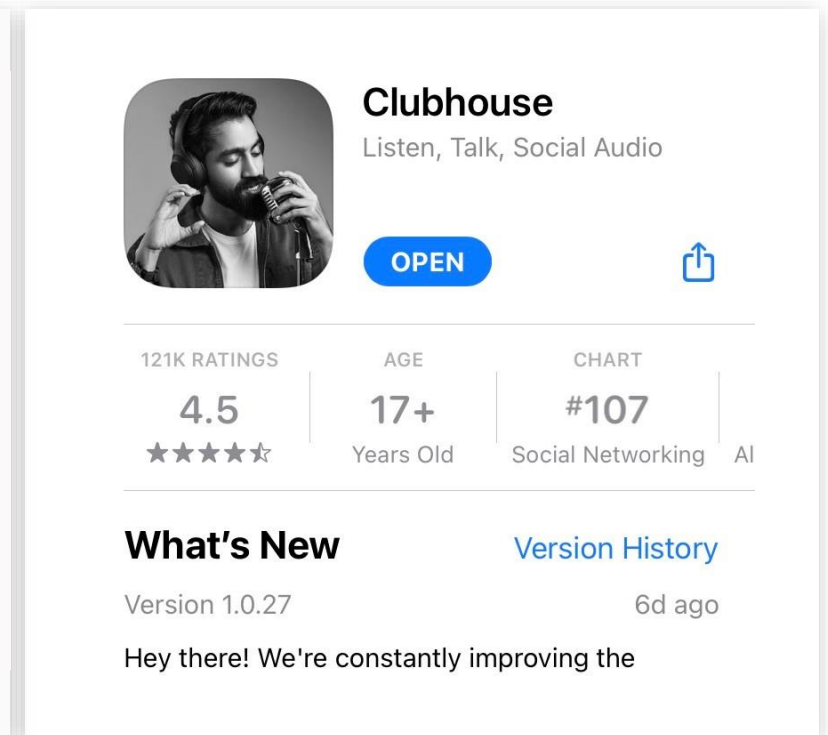
コトが起きる「場」が大切



引用元 : <https://apps.apple.com/jp/app/facebook/id284882215>



引用元 : <https://www.instagram.com/?hl=ja>



引用元 : <https://apps.apple.com/jp/app/clubhouse-drop-in-audio-chat/id1503133294>

あるべき姿（2030年）

- 量子鍵配送（QKD）と耐量子暗号方式（PQC）を組み合わせた、量子コンピュータ耐性を持つ「量子セキュア通信（QSC：Quantum Secure Communication）」が実用化されている
- 量子セキュア通信の社会実装が進み、様々な用途で利用が進んでいる
 - すべての県庁所在地がQSCネットワークで接続されており、世界最高レベルの安全性を持ったデジタルガバメント基盤が構築されている
 - 主要な研究機関や大学間はQSCネットワークで接続され、最先端の研究成果が保護されている
 - 公安・防衛・金融・電力・交通等の社会インフラネットワークは量子セキュア通信により強固なサイバー攻撃対策が取られている
 - アクセス系量子セキュア通信技術が確立し、オフィスや自宅でも量子セキュア通信が可能になっている
 - 量子セキュア通信サービスプロバイダにより、従来の専用回線型に加え、複数のユーザが回線を共有するShared型のサービスが提供され、ユーザは最小限の設備投資で量子セキュア通信を利用することができる
 - Beyond5G/6Gはコアネットワークから末端の端末までがエンド・トゥ・エンドで量子セキュア通信により保護されている
 - 低遅延な量子セキュア通信技術が確立し、遠隔医療、自動運転など高いリアルタイム性が要求される遠隔制御に量子セキュア通信が適用され始めている
- 量子セキュア通信を利用するためのAPIが標準化され、ERP、SFA、CAD、グループウェア、ビデオ会議、ファイル共有等、様々なアプリケーションに量子セキュア通信が組み込まれている
- 衛星QKD技術の研究開発が進み、静止衛星でのQKD実証が開始されている
- 量子中継技術が確立し、量子インターネットの実現に向けたフィールド実証が始まっている。また、古典インターネットと量子インターネットのハイブリッド利用のためのブリッジ技術の研究開発が進んでいる
- QKDや量子中継器を構成する主要な部品のグローバルなサプライチェーンが確立している

量子セキュア通信 2025年の達成目標

施策

首都圏～全国主要都市を接続する**量子暗号スーパーハイウェイ整備**

効果

様々なユースケースに対応できる**オープンな量子インフラ**を官民で活用、世界最先端の量子Societyの実現へ

1 デジタル政府基盤

- 個人情報等を扱う公共サービスは原則として量子セキュア通信／量子セキュアクラウド上に実装
→**国民が安心して利用できるデジタルガバメントの実現へ**
- 基盤サービス会社を設立し政府から運用を委託、民間でのサービス利用促進を後押し

2 新産業創出基盤

- 企業に量子セキュア通信／クラウドサービスとして提供
→個社でのインフラ投資をなくし、企業のQXを促進
- ユースケースのテストベッドとして利用。
Try & Errorにより新たなアイデアを素早く実証
- 事業性の実証後はそのまま商用サービス基盤として利用可能

3 学術ネットワーク基盤

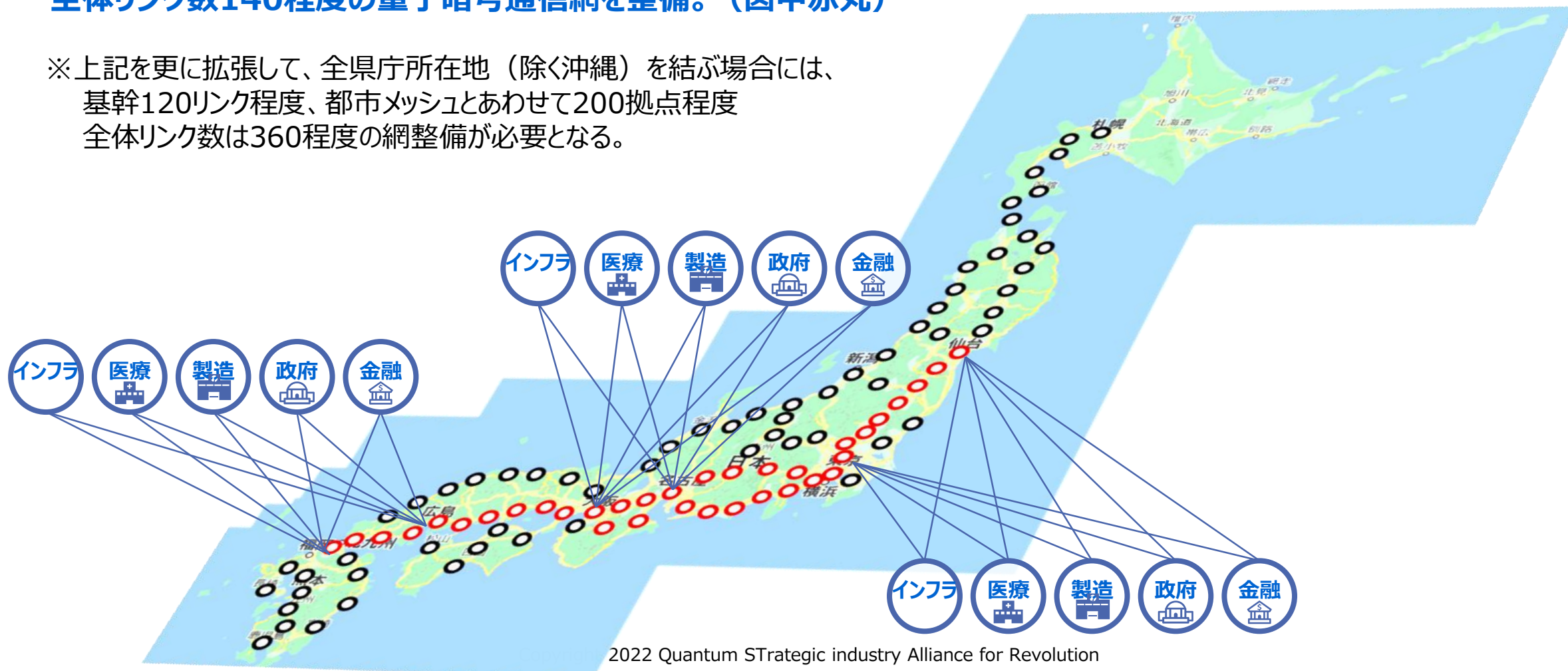
- 研究機関や大学等の学術機関を接続する学術ネットワークに先行して量子セキュア通信を組み込み
- 「量子プレイグラウンド」として自由に学生・研究者に使わせ、デジタルネイティブ人材を育成
- 産学連携で世界に伍する大学発の量子スタートアップを育成

量子暗号通信網全体像

太平洋側の主要都市を中核として、量子技術の社会実装の「場」となる通信網を整備

- 仙台～福岡の太平洋側 基幹50リンク、都市メッシュ90リンク（仙台6、東京50、名古屋10、大阪12、広島6、福岡6）
全体リンク数140程度の量子暗号通信網を整備。（図中赤丸）

※上記を更に拡張して、全県庁所在地（除く沖縄）を結ぶ場合には、
基幹120リンク程度、都市メッシュとあわせて200拠点程度
全体リンク数は360程度の網整備が必要となる。



政府への期待・要望

Q-STAR政策提言WGにてとりまとめ、次期量子技術イノベーション戦略に提言予定

分野	項目	概要
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
	量子産業の初期需要喚起	政府がアーリーアダプタになる事による、「ニワトリとタマゴ問題」のブレークスルー
制度	テストベッド整備	インフラ整備後、共同事業体によりテストベッドを運用し量子産業を育成。共同体への補助金・融資等の財政支援
	テストベッド利用促進	テストベッド利用個社の設備投資を軽減し、サービス利用料として各社に請求・負担できるような仕組みが望ましい
税制	税制優遇による、HW開発やサービス創出加速	量子ベンチャ支援（ユニコーン育成）
	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	民間企業の量子技術導入インセンティブ

(量子暗号・量子通信部会分のみ)

END

