戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）

先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進

社会実装に向けた戦略及び研究開発計画

令和6年 10 月 31 日

内閣府

科学技術・イノベーション推進事務局

改訂履歴

版数	改訂日	主な改訂内容
第 1 版	2023 年3月 16 日	初版作成
第 2 版	2023 年5月 18 日	Ⅳ. 課題マネジメント・協力連携体制 ➢ サブ課題「量子セキュリティ・ネットワーク」「イノベーション創出基盤」のサブ PD を新たに設定。
第 3 版	2023 年 11 月 16 日	Ⅱ. 社会実装に向けた戦略 ➢ 「3. ミッション到達に向けた５つの視点での取組とシナリオ」について、②事業として、新事業やスタートアップの創出支援に、「既存企業のカーブアウト含む」ことを追記。 ➢ 「6. 対外的発信・国際的発信の連携」として、「2025 年開催の予定の日本国際博覧会(大阪・関西万博)において、本課題に関連するコンテンツの出展・展示を行う」ことを追記。 Ⅲ. 研究開発計画 ➢ 公募・採択を受けて、「①研究開発目標」「②実施内容」を具体化、「③実施体制」「④研究開発に係る工程表」「⑤予算配分額」を追記。 Ⅳ. 課題マネジメント・協力連携体制 ➢ サブ課題「量子コンピューティング」「量子センシング」のサブ PD を新たに設定。 ➢ 公募・採択を受けて、「4. 研究テーマ間連携」「5. SIP 課題間連携」を具体化。 Ⅴ. 評価に係る事項 ➢ 「2. 実施体制」（1）構成員（担当・履歴を含む）について、ピアレビュー委員が令和５年 10 月５日のガバニングボードで承認されたことを受け、追記。
第 4 版	2024 年1月 16 日	Ⅱ. 社会実装に向けた戦略 ➢ 「量子マテリアル・量子デバイス・量子センシング」に関する記述を統一。 ➢ 「安心・安全」と記載されている部分を政府関連の文書に合わせ「安全・安心」と統一。 Ⅲ. 研究開発計画 ➢ 「（１３）【イノベーション創出基盤】D-3 アイデア発掘」の「②実施内容」のうち、「研究チーム D-3b：Q-LEAP 等の成果を広く提示し自ら体験できるコンテンツの開発」に係る内容を具体化。
第 5 版	2024 年 10 月 31 日	最新の政策及び技術動向に伴う修正 Ⅱ. 社会実装に向けた戦略 ➢ 量子産業の創出・発展に向けた推進方策（令和６年４月量子技術イノ

		ベーション会議より報告）を踏まえた更新）を踏まえ、Globalizationに関する記載を追記。 ➢ 2025 年大阪・関西万博に向けた取組を追記。 ➢ 技術動向を踏まえて外部環境に係る記載を更新。 Ⅲ. 研究開発計画 ➢ 知財戦略等に係る実施体制：知財作業部会の設置について追記。 ➢ 過年度（令和 5 年まで）の活動の振り返りの追記及び令和6年度以降の各研究開発テーマの活動計画の具体化・新規取組の取込を実施。 Ⅳ. 課題マネジメント・協力連携体制 ➢ 社会実装に向けたマネジメント強化のため推進委員会の構成員の追加を反映。 ➢ その他の事業との連携を追記。 Ⅴ. 評価に係る事項 ➢ ピアレビュー委員の所属変更を反映。

目次

I. Society 5.0 における将来像 1

II. 社会実装に向けた戦略 1

1. ミッション 1
2. 現状と問題点 1
3. ミッション到達に向けた5つの視点での取組とシナリオ 3
（1）5 つの視点での取組 3
（2）ミッション到達に向けたシナリオ 6
4. SIP での取組（サブ課題） 11
（1）背景（グローバルベンチマーク等） 11
（2）社会実装に向けた SIP 期間中の達成目標 25
（3）ステージゲート等による機動的・総合的な見直しの方針 26
（4）SIP 後の事業戦略（エグジット戦略） 26
5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル 27
（1）ロードマップ 27
（2）本課題における成熟度レベルの整理 29
6. 対外的発信・国際的発信と連携 33

III. 研究開発計画 34

1. 研究開発に係る全体構成 34
2. 研究開発に係る実施方針 35
（1）基本方針 35
（2）知財戦略 35
（3）データ戦略 35
（4）国際標準戦略 36
（5）ルール形成 36
（6）知財戦略等に係る実施体制 36
（7）その他 38
3. 個別の研究開発テーマ 38
（1）【量子コンピューティング】A-1 量子・古典ハイブリッドテストベッドの利用環境整備 38
（2）【量子コンピューティング】A-2 新産業創出・生産性向上等に貢献するユースケース開拓・実証 45
（3）【量子コンピューティング】A-3 量子コンピュータ・ソフトウェアのベンチマーク開発および国際標準策定 51
（4）【量子コンピューティング】A-4 大規模量子コンピュータシステムに向けたロードマップ等策定 54
（5）【量子セキュリティ・ネットワーク】B-1 量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築 57
（6）【量子セキュリティ・ネットワーク】B-2 高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証 62
（7）【量子セキュリティ・ネットワーク】B-3 プライバシーなどを保護しつつデータ解析ができる秘密計算などの活用 65

（8）【量子センシング】C-1 量子センシング等の利用・試験・評価環境の構築 79
（9）【量子センシング】C-2 量子センシング等を利用したユースケース開拓・実証 86
（10）【量子センシング】C-3 超高速通信・モビリティ等を支える時空間ビジネス基盤の構築 96
（11）【イノベーション創出基盤】D-1 新事業・スタートアップ企業の創出・支援 100
（12）【イノベーション創出基盤】D-2 教育プログラムの開発と実践 102
（13）【イノベーション創出基盤】D-3 アイデア発掘 105
（14）【イノベーション創出基盤】D-4 エコシステム構築 107

IV. 課題マネジメント・協力連携体制 112
1. 実施体制と役割分担 112
（1）内閣府 112
（2）研究推進法人・PM （担当・履歴を含む） 115
2. 府省連携 115
3. 産学官連携、スタートアップ 115
（1）マッチングファンドに係る方針と内容 115
4. 研究開発テーマ間連携 116
5. SIP 課題間連携 122
6. データ連携 123
7. 他事業との連携 123
8. 業務の効率的な運用 123

V. 評価に係る事項 124
1. 評価の実施方針 124
（1）評価主体 124
（2）実施時期 124
（3）評価項目・評価基準 124
（4）評価結果の反映方法 126
（5）結果の公開 126
（6）課題評価に向けた自己点検及びピアレビュー 126
（7）自己点検・ピアレビュー及び評価の効率化 127
2. 実施体制 127
（1）構成員 （担当・履歴を含む） 127

VI. その他の重要事項 129
1. 根拠法令等 129

別添　SIP の要件と対応関係

I. Society 5.0 における将来像

令和4年4月に策定した量子未来社会ビジョンでは、量子技術によるコンピューティング、センシング、通信性能の飛躍的向上により、経済・環境・社会が調和する未来社会像を実現することを目指している。本課題では、最先端の技術者による社会実装を通じて量子技術の活用を図るとともに、量子技術の活用者のすそ野を広げることで、Society 5.0 の進展を加速することを目指す。

II. 社会実装に向けた戦略

1. ミッション

量子技術においては、既に「量子未来社会ビジョン」において 2030 年時点の目標として以下が設定されており、本課題においてはこれをミッションとして達成を目指す。

- 〇 国内の量子技術の利用者 1,000 万人
- 〇 量子技術による生産額 50 兆円規模
- 〇 未来市場を切り開く量子ユニコーンベンチャー創出

2. 現状と問題点

量子技術は、将来のコンピューティング性能を飛躍的に向上させ、また格段に高感度なセンシングや高セキュアな通信などを実現するエマージング技術として期待されている。一方で、個別技術は基礎検証が進められている段階であり、従来型技術の信頼性やコストを凌駕するものとはなっておらず、長期にわたる技術開発が依然として必要とされている。

こうした技術開発を長期にかつ強力に推進するためには、投資と人材を惹きつけ続ける必要があり、そのためにも社会実装への取組を並行して進め、それを可視化していくことが不可欠である。具体的には、要素技術を組み合わせたより高性能のデバイスやシステム開発や、それを可能とする試験環境（テストベッド等）の整備、ユースケースの開発・共有といった、いわゆる「協調領域」の環境整備を府省連携の下で構築し、「現実の社会・産業課題の具体的な解決事例」を創出する必要がある。

上記の取組を推進するには優秀な人材やスタートアップの力が必要だが、日本ではこれらが量・質ともに圧倒的に不足しており、これらの確保・育成が極めて重要である。現在のように、量子技術に注目・期待が高まる以前は官民双方の投資が圧倒的に不足しており、研究開発を通じた研究人材の育成が十分に進まなかったことが、現在の量子技術人材の量的不足の原因となっている。また、有力なスタートアップは生まれつつあるものの、欧米に比べてまだ少なく、量子技術を身につけた起業家人材の育成やスタートアップ創出・支援環境を整えることも必要とされている。

近年、日本においても官民での研究開発投資が急速に進みつつあるが、図 II-1 に示す通り、全体としては社会実装まで時間を要する基礎研究や要素技術開発に係るものが多く、社会実装に向けた開発・実証、その中でも共通基盤に係る投資・取組が不足している。民間の各企業は、競争領域の中で量子技術の事業化に向けた取組が始まっており、各府省・研究開発法人等によるプログラムは要素技術開発や特定の大学・研究機関・企業による拠点形成を支援するものが多い。

また、日本は令和5年4月に「実用化・産業化の取組を進める上での3つの視点[1]」を掲げた「量子未来産業創出戦略」を策定したところだが、同年には各国が相次いで量子技術に関する国家戦略を策定し、各国ともに国を挙げて研究開発や人材育成等に取り組む動きが活性化している。加えて、国際連携についても、第2回日米商務・産業パートナーシップ（JUCIP）閣僚会合や日 EU デジタルパートナーシップの閣僚会合の共同声明において、量子技術に関する協力強化が盛り込まれるなどの動きが見られる。これらの動きを受けて、令和6年4月にとりまとめた「量子産業の創出・発展に向けた推進方策」では、新たな視点として Globalization「有志国との戦略的な連携と我が国オリジナルの価値創造による世界からのビジビリティの向上」を設定し、「政府間連携等による産学のグローバル展開・連携機会の創出」、「有志国間において我が国が不可欠なグローバルサプライチェーンの構築支援」等を強化すべきポイントとして挙げている。

こうした状況から、SIP における本課題では、グローバル市場への展開を目指し、多くの大学・研究機関・企業が利用でき、社会実装に向けた取組を加速させられるような共通基盤（テストベッド等）やシステムの構築、具体的なユースケースやそれに必要なソフトウェア開発を中心に取り組む。また、事業環境整備、スタートアップ等を主眼とした取組である、研究開発と Society5.0 との橋渡しプログラム（BRIDGE）と緊密に連携を行う。

[1] Collaboration 「多様な産業の量子技術分野への参画・協働・共創、グローバル連携・展開、産学官連携」、Accessibility 「産業界に開かれた量子技術の利用環境の実現」、Incubation 「積極的なスタートアップ／ベンチャー企業・新事業の創出支援」

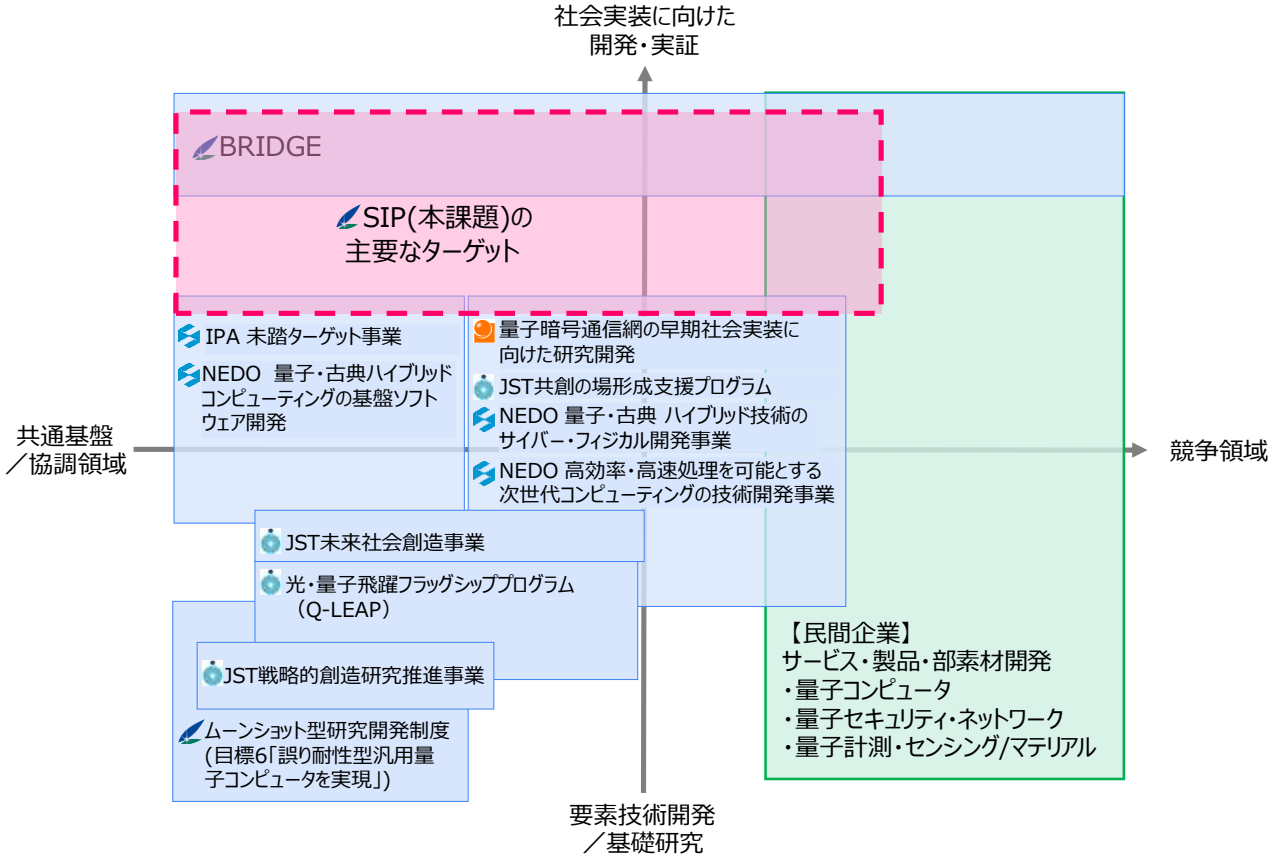


図 II-1 国内の主な研究開発投資の状況と本課題の位置づけ

3. ミッション到達に向けた5つの視点での取組とシナリオ

（1）5 つの視点での取組

① 技術開発

取組 A：テストベッド等の構築・整備【SIP 内で実施】

○（量子コンピューティング、量子センシング）量子コンピュータやこれと古典計算機システムを組み合わせた「量子・古典ハイブリッドシステム」の試験・実証テストベッドと量子センシングの利用・試験・評価環境について、社会実装に向けた共通基盤となるようにユーザのニーズを取り入れながら仕様作成～構築を行い、国内ユーザ企業を中心として利用促進を図る。

○（量子セキュリティ・ネットワーク）取組 B に向けて開発する「高度情報処理基盤」を用いて幅広いユーザが利用可能なテストベッドを整備することで、量子暗号技術の利用促進を図る。

取組 B：技術の実証および試験運用【産業界と連携し、SIP 内で実施】

○（量子コンピューティング）ユーザ企業と連携し、各種のユースケースにつながるソフトウェア開発と実証を進める。

○（量子セキュリティ・ネットワーク）従来の量子セキュアクラウドの高機能化・高信頼化を行い、より堅牢かつ高可用なデータの保管・交換・演算を可能とする次世代暗号基盤を構築するともに、次

世代暗号基盤上で利活用可能な量子・古典ハイブリッド計算技術を開発し、組み合わせることにより、多様なユーザが量子技術にアクセス可能な「高度情報処理基盤」を構築する。さらに、その「高度情報処理基盤」を取組 A のテストベッドで運用する中で、長期運用等の実証を行う。

○（量子センシング）高精度・高感度なセンシングを可能とする量子センサやこの基盤となる量子マテリアルを対象とし、他プログラムで開発された要素技術をベースに、具体的な用途を想定したデバイス～システム開発を行い、ユースケース開発につなげる。

取組 C：要素技術の開発【主に他研究開発プログラムにより実施】

○ ムーンショット型研究開発事業や光・量子飛躍フラッグシッププログラム（以下、Q-LEAP）等の研究開発プログラムと連携し、取組 A、B で必要とされる各種要素技術の開発や性能向上を進める。

② 事業

取組 D：ユースケース開拓【SIP 内で実施】

○ 取組 A、B で構築・開発したテストベッド等やシステム・ソフトウェアを用いて、量子技術と他分野の融合した産業での新規ユースケースを探索・開発する。単に古典技術を置き換えるだけでなく、置き換えた量子技術の優位性を評価し、更なる性能向上とユーザ企業向けの発信に取り組む。

取組 E：新事業・スタートアップ創出【関係省庁・産業界と連携し、SIP 内で実施】

○ ユースケース開拓を通じて、大企業おける新事業開発やスピンオフベンチャーの創出、大学発等スタートアップの創出・支援を実施する。既存インキュベーション拠点や大学・ベンチャーキャピタル（VC）等と連携し、量子技術スタートアップの総合的支援環境（開発環境の提供、資金確保、ネットワーキング、ハンズオン支援等）を整備し、スタートアップの育成に取り組む。

③ 制度

取組 F：システム性能・評価の標準化【産業界と連携し、SIP 内で実施】

○（量子コンピューティング、量子センシング）システム・ソフトウェアの開発を促進するため、その性能や性能評価の手法・基準について、既存の検討組織と連携するとともに、ISO/IEC JTC3 等における活動を通じて、標準化を推進していく。

○（量子セキュリティ・ネットワーク）現在 QKD 技術を中心に検討が進められている国際標準に対して、国内企業のコア技術・製品を中心に積極的に働きかける。

取組 G：用途分野のルール整備【関係省庁と連携し、SIP 内で実施】

○ 特に AI、医療、通信関連でのユースケース開発に取り組む際、社会実装のために整備すべき規制・ルールを調査し、関係省庁へ働きかけてその改善・整備を推進する。

④ 社会的受容性

取組 H：ユーザ企業を巻き込んだ「連携の場」の構築【産業界と連携し、SIP 内で実施】

○ ユーザ企業を巻き込み、社会実装へ向けた意識・情報共有を行い、異分野でのユースケース開拓や量子技術の実証を推進する。特に、量子技術イノベーション拠点と産業界の協議会・コンソーシアム等のユーザ側組織とが交流・連携する場を構築することで、ユーザの課題・ニーズ抽出やユースケース開発・共有を推進する。

○ 社会実装段階に達したソフト・システムについては、この場を通じて普及・展開方策を検討するこ

とで、「バトンゾーン」での連携を図る。

○ 社会実装に向けた SIP 量子課題に関連する技術や成果等を 2025 年日本国際博覧会（大阪・関西万博）で展示する。

取組 I：ロードマップ作成／サプライチェーン強靭化【SIP 内で実施】

○ （量子コンピューティング）大規模量子コンピュータシステムの技術仕様を明確化し、システム全体や必要なデバイス・部品・材料等の技術ロードマップ・俯瞰図を策定する。これを産業界に提供することで、中小企業を含む裾野広い産業界の積極的な参入を促し、安定的かつ強靭なサプライチェーンの実現を図る。

⑤ 人材

取組 J：段階に応じた教育プログラムの開発・実践【SIP 内で実施】

○ 主に量子技術のユーザ側人材の量・質確保を目指し、学部・大学院学生、（特に異分野の）若手研究者・技術者を対象とした教育プログラムを開発する。量子技術のユーザ側人材に求められる人材像（知識・スキル）を検討した上で、その育成に必要な教育プログラムを作成する。

○ 学生向け教育プログラムは大学等へ提供して普及・活用を支援する。技術者等向け教育プログラムについては、SIP 内で研修を実践してユーザ人材を育成すると共に、そこからのフィードバックを反映しつつ、大学・企業等による研修の普及・展開を支援する。

○ グローバルリーダーの育成のために、海外との人材交流、研究・技術動向、産業ニーズの情報交換を積極的に実施できる場を構築する。

取組 K：量子技術ビジコンの実施【産業界と連携し、SIP 内で実施】

○ 量子技術を活用した製品・サービスや、それによるビジネスアイデア提案を競うビジネスアイデアコンテストを開催することで、人材を発掘するだけでなく、量子技術への関心を高めて量子技術に新規参入する人材の拡大を図る。

○ 大学や VC 等とも連携することで、優れた提案に対してはスタートアップ等でのインターンシップ参加や起業支援等も行い、人材育成やスタートアップ創出につなげる。

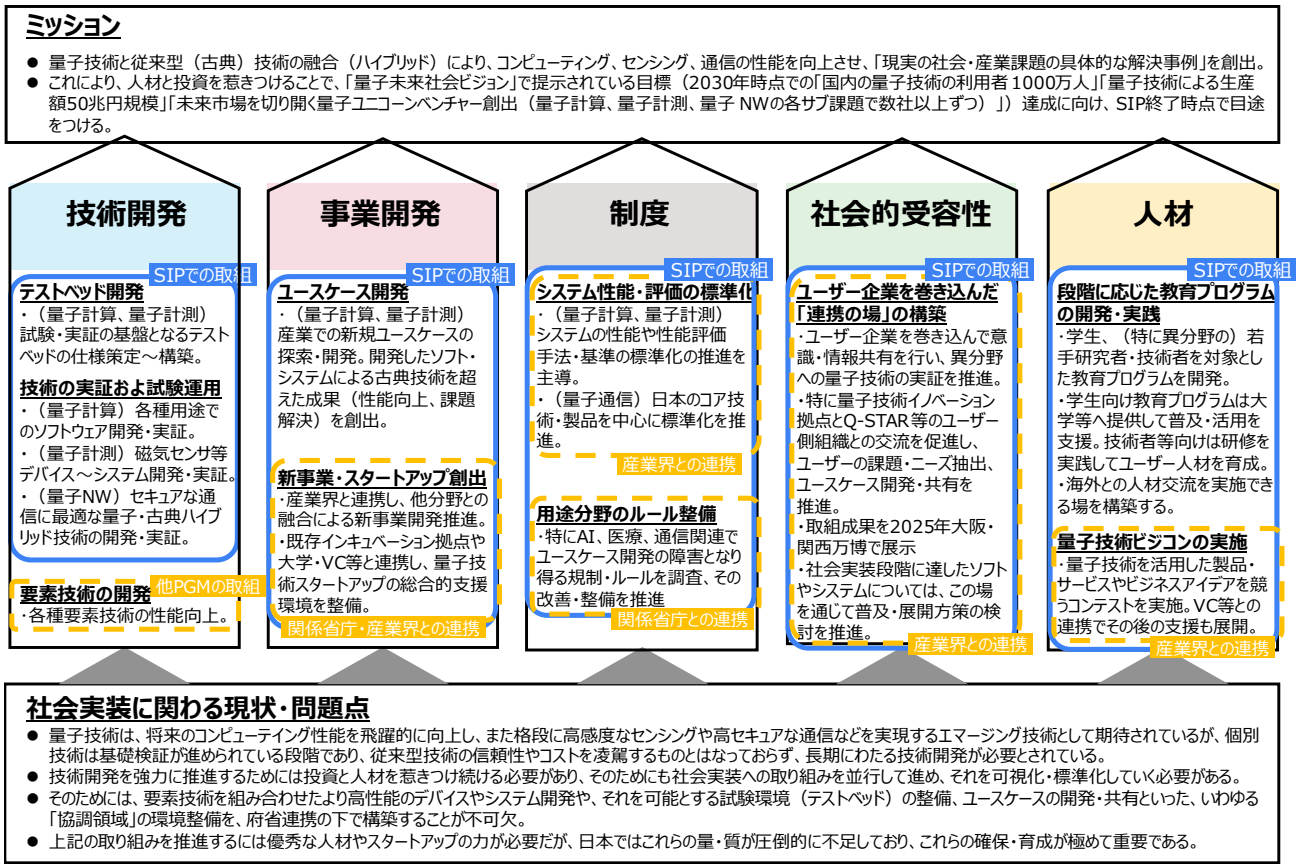


図 II-2 5つの視点での取組

（2）ミッション到達に向けたシナリオ

これまでに述べた通り、量子技術の成熟には長期に渡っての研究開発と投資・人材の継続的確保が不可欠であり、そのためには技術の社会実装を並行して行い、量子技術の優位性を具体的に示していく必要がある。しかし現状では、社会実装に向けた具体的な取組は限定的であり、特に政府投資においては十分行われていなかった。また、過去の経緯から量子技術人材の量的不足は大きな問題となっており、諸外国に比べてスタートアップ創出についても遅れているのが現状である。

以上のような問題意識から、本課題では以下のような取組を通じて、「現実の社会・産業課題の具体的な解決事例（ユースケース）」の創出や、投資・人材の継続的確保・拡大につなげ、社会実装の進展と中長期的な量子技術の成熟を両立し、前述のミッションを達成させる。

○ アプリケーション開発環境の整備

多くの企業がユースケース開発に取り組むための共通基盤となる、アプリケーション開発環境の整備を行う。具体的には、ソフトウェアやデバイス・システムの試験・実証を自由に実施できる量子・古典ハイブリッドテストベッド等の開発、システム・ソフトウェアの性能や性能評価の手法・基準に関する標準化といった取組を行う。

これによって、これまで量子技術開発を担ってきた企業だけでなく、ユーザ企業（およびユーザ企業を支援するコンサルティング、ソリューション関連企業等）の参入を促し、量子技術そのものの成熟を進めると共に、量子技術を活用したユースケースの創出を実現する。

○ ユースケース開発
前述の開発環境を最大限利用しつつ、またユーザ企業との連携を図りつつ、具体的なユースケースを開発する。こうした生まれたユースケースを積極的に発信していくことで、さらなる企業の参入、資金・人材の誘引につなげ、それが更なるユースケース創出につながる、という好循環を実現する。

○ スタートアップ創出支援
周辺技術やユースケース開発が促進される中で、ハード・ソフト両面で量子技術関連スタートアップが生まれてくることが期待される。既存インキュベーション拠点や大学・VC 等と連携し、こうした量子技術関連スタートアップの海外展開やグローバルビジネスを見据えた総合的支援（開発環境の提供、資金確保、ネットワーキング、ハンズオン支援等）を提供する。特に後半においては、グローバル展開に向けた海外企業・団体・VC とのマッチング機会の創出・支援を行い、海外典型への啓蒙を行う。また、ユースケース開発が進むことで持続・拡大する資金の流入や、積極的な人材発掘・育成（詳細は後述）により供給される人材がスタートアップの創出・成長を支える。

○ 技術ロードマップ作成・発信
産業界が理解できる形でのロードマップを作成・発信する（技術的なニーズ・目標の提示）。これにより、量子技術を支える周辺技術（低温エレクトロニクス等）に強みを有する中小企業等の参入を促す。これまで量子技術開発を担ってきた企業（主には大企業）に加えて、周辺技術を開発・提供する中小企業等、ユーザ企業が参入し、また資金・人材が拡大する中でスタートアップ企業が創出されることで、日本における量子関連技術のエコシステムを構築する。

○ こうした企業群の中でベンダー・ユーザ間の情報共有、ユースケース開発のノウハウ蓄積、ユーザ企業からのニーズ・フィードバック提供が持続することで、量子技術の開発～活用・普及が安定的に進展する。

○ 人材発掘・育成
産学の幅広い分野の若手人材（学生、研究者・技術者、経営者等）を対象に、量子技術の活用に必要な知識・スキルを身につけるための教育プログラムを開発する。合わせて、国際的な人材交流及び国際動向を把握できる場を提供する。これを SIP 事業として試行・実践すると共に、大学や企業へ教育プログラムを提供し、その実践を支援することで量子技術人材育成を全国的に展開する。さらに、量子技術を活用したビジネスアイデアコンテストを開催することで、他分野人材からの興味・関心を高め、さらには優秀な人材と有望なビジネスアイデアの発掘につなげる。
多様な企業の新規参入が進み、量子技術関連人材のニーズが高まる中、教育プログラムとビジネスアイデアコンテストをきっかけに人材の発掘・育成を加速することで、エコシステム全体へ必要な量・質の人材を持続的に供給できる環境を実現する。

ミッション達成に向けた課題全体のシナリオは上記の通りであり、個別のサブ課題（「量子コンピューティング」「量子セキュリティ・ネットワーク」「量子センシング」「イノベーション創出基盤」）におけるシナリオについて以下で補足する。

① 量子コンピューティング

サブ課題「量子コンピューティング」では、量子コンピュータやこれと古典計算機システムを組み合わせた「量子・古典ハイブリッドシステム」を幅広いユーザが利用できるテストベッドの利用環境整備、ソフトウェアを含めて性能を客観的に評価・比較できるベンチマークの開発、これらを踏まえた国際標準の策定を視野にいれた取組、グローバルサプライチェーン上における我が国のイニシアチブの拡大を目指し

たシステム全体やデバイス・部品・材料等の技術ロードマップ等の策定といった環境整備に重点を置き、「現実の社会・産業課題の具体的な解決事例（ユースケース）」開発に注力する。こうした取組の結果として多様な企業・人材の新規参入や資金の確保を図り、ハード・ソフト両面での新規事業やスタートアップの持続的な創出、周辺技術も含めた企業のエコシステム構築を実現する。

SIP 期間中には、部分的・限定的な社会・産業課題解決に留まるものと想定されるが、上記のようなエコシステム構築や、「II.3.（2）④イノベーション創出基盤」で示すような人材の持続的な提供を通じて、将来的にはより大きなインパクトを持つ社会・産業課題の解決につなげ、ミッションを実現させる。

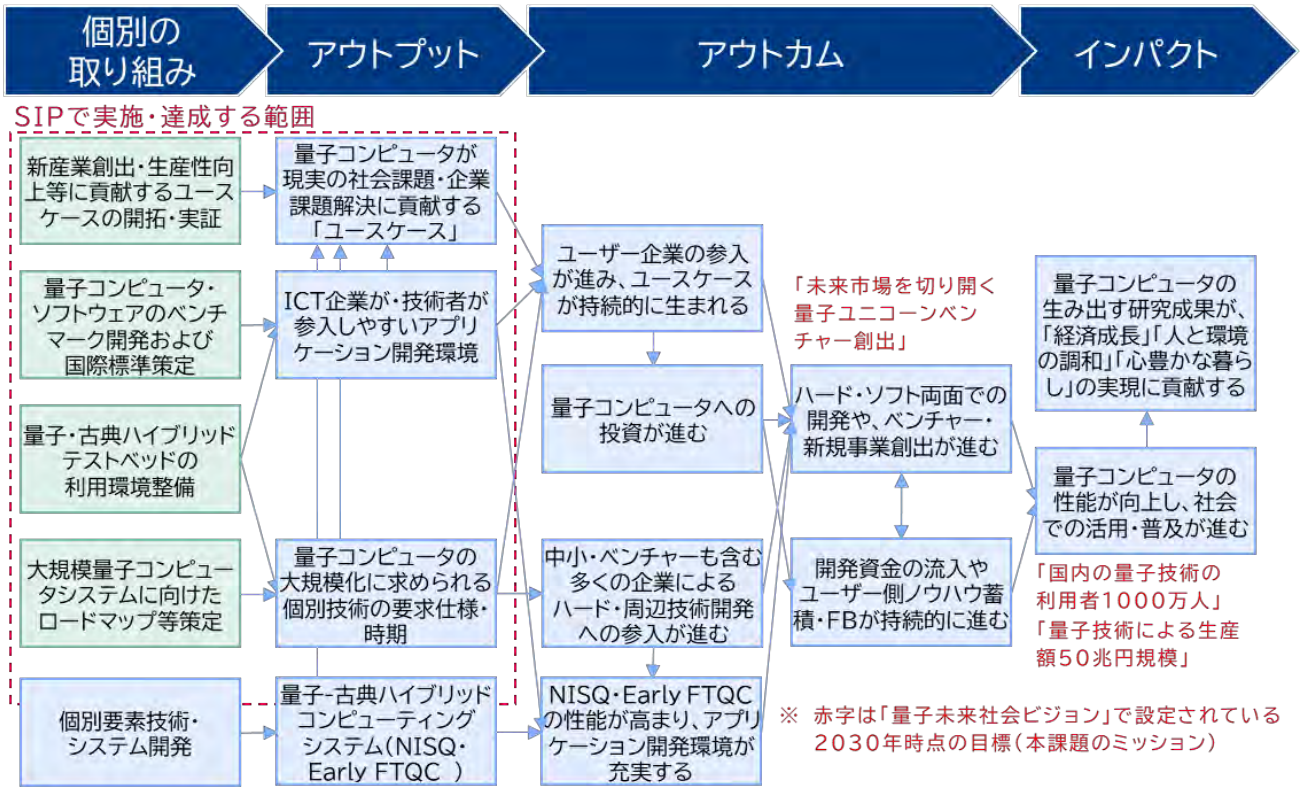


図 II-3 ミッション達成に向けたシナリオ（量子コンピューティング）

② 量子セキュリティ・ネットワーク

サブ課題「量子セキュリティ・ネットワーク」では、次世代暗号基盤、秘密計算、次世代コンピューティング基盤を含む量子・古典ハイブリッドによる統合アーキテクチャの構築を目指し、量子暗号技術と秘密分散技術を融合した量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の開発や、データを暗号化したまま演算可能な秘密計算技術の開発に取り組む。また並行して、標準化やテストベッド構築を通じて、開発から実装までのプロセスを加速させ、ユースケースの拡大を後押しする。こうした取組の結果として、金融・医療・製造・モビリティ等の複数分野間にまたがる大規模な量子・古典ハイブリッドソルバーのネットワークの構築を実現する。

加えて、SIP 以外で研究開発が進められている量子中継技術等の量子ネットワーク構築に係る技術と

組み合わせることにより、将来的には量子コンピュータ・量子センシングの各種量子デバイス・システムを接続し、セキュアで高度な通信網を構築することで、ミッションを実現させる。

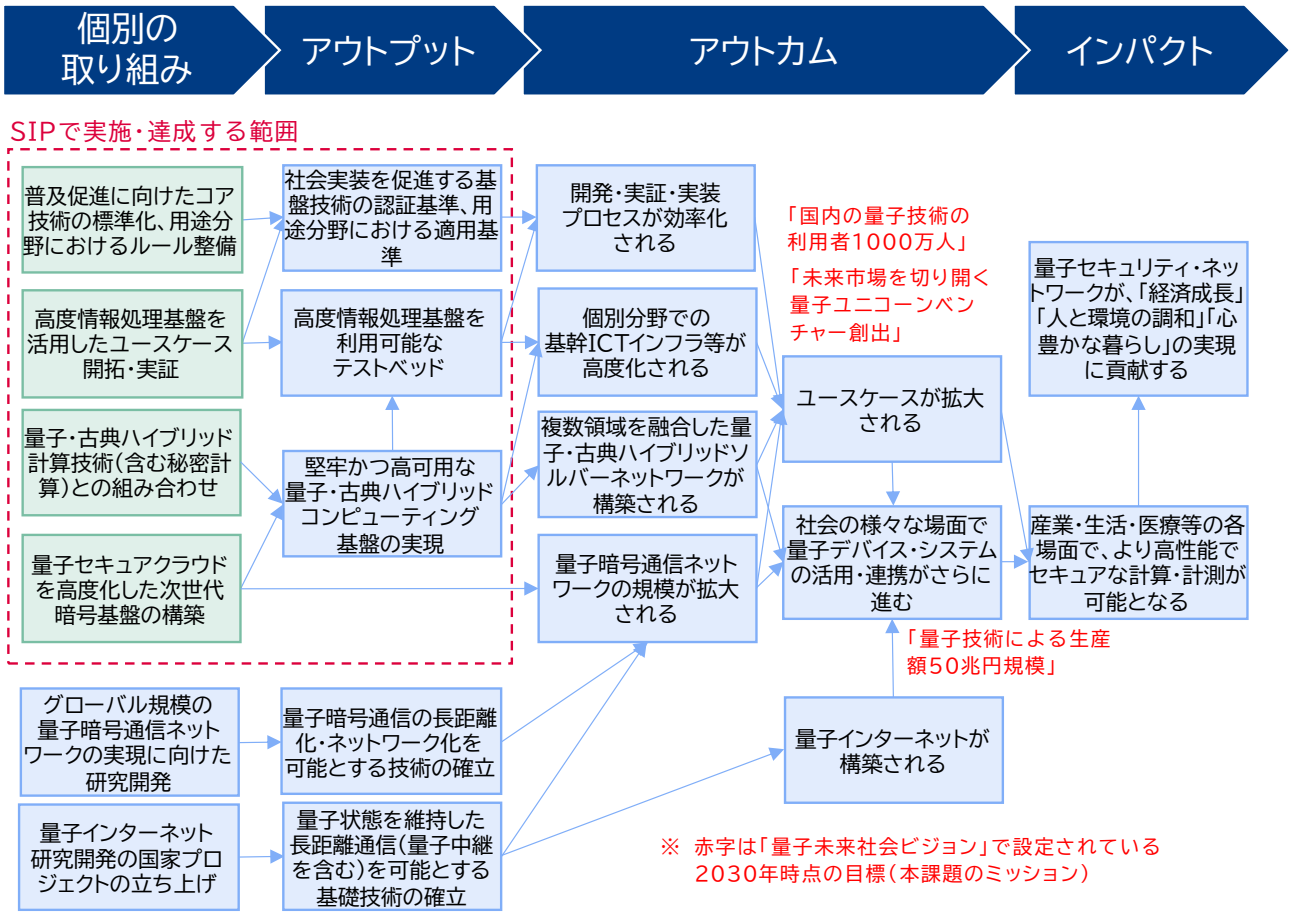


図 II-4 ミッション達成に向けたシナリオ(量子セキュリティ・ネットワーク)

③ 量子センシング

サブ課題「量子センシング」では、産学の幅広いユーザが量子計測・センシング技術を理解し利活用できるようにするため、量子センサの利用・試験・評価環境の構築等を進める。また、超高感度な量子センシングやこの基盤となる量子マテリアル・デバイスの利活用が期待される様々な領域でのユースケースの開拓、次世代の安全・安心・高信頼インフラの構築への貢献が期待できる光格子時計ネットワークのための超高精度時間周波数配信装置の開発・実用化を目指す。

こうした取組の結果として、多様な企業・人材の新規参入を促しつつ、健康・医療、エネルギー、自動運転、通信、防災、資源探査等の多岐にわたる分野での量子計測・センシング技術の利活用や、AI、ビックデータ、IoT 等と組合せた技術の発展を実現する。

SIP 期間中には、多様な分野の企業・大学等が量子マテリアル・デバイス・センシング(量子センシング等)を容易に利用・試験・評価できる環境の構築、量子センシング等を利用して新産業創出や生産性向上等の新たな価値を創出するユースケースの開発、光格子時計を活用した超高精度な時間・周波数信号をネットワークを介して産業や社会に広く配信する装置・システムの開発・実証や超高精度信号をサー

ビスとして配信する時空間ビジネスの基盤の構築・実証を進めることで、ミッションを実現させる。

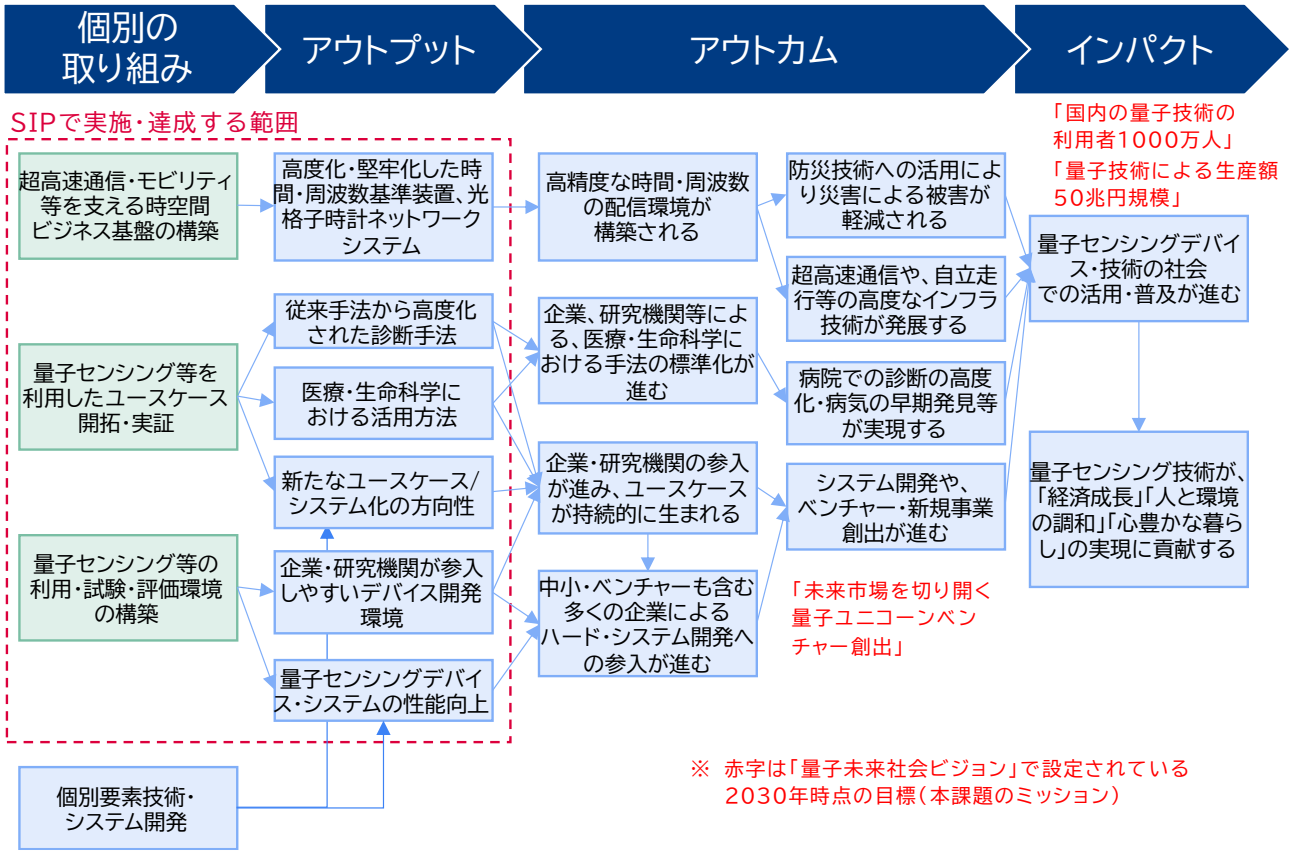


図 II-5 ミッション達成に向けたシナリオ（量子センシング）

④ イノベーション創出基盤

サブ課題「イノベーション創出基盤」では、他3つのサブ課題の成果をベースとしたイノベーション創出の基盤となる、新事業・スタートアップの創出・支援、人材育成、アイデア発掘、エコシステム構築を中心とした取組を実施する。そのため、「イノベーション創出基盤」は単独で実施するのではなく、他サブ課題の活動・成果と密接に連携して取組を進める。

他サブ課題とも連携した量子技術の研究成果や実用化・事業化等に関する積極的な情報発信や、シーズ企業（研究開発成果）とニーズ企業とのマッチングを図るためのエコシステムの仕組みや体制等を構築することで、ユーザ企業や投資家の関心を高め、投資や人材を惹きつける。それと並行してビジネスコンテストによるビジネスアイデア・人材の発掘、人材育成プログラムの開発・実践による人材育成を進め、資金と人材を量子技術への流入を促進する。

こうした中で、これまでにない新しい事業・サービスの創出が期待されるとともに、スタートアップ企業が有望なプレイヤーとして期待される。このため、新事業やスタートアップ企業の創出・支援体制を確立し、社会実装とユニコーンベンチャー創出と社会実装を促進する。これによって資金・人材の流入と社会実装の促進という好循環を確立し、社会への量子技術の浸透を図る。

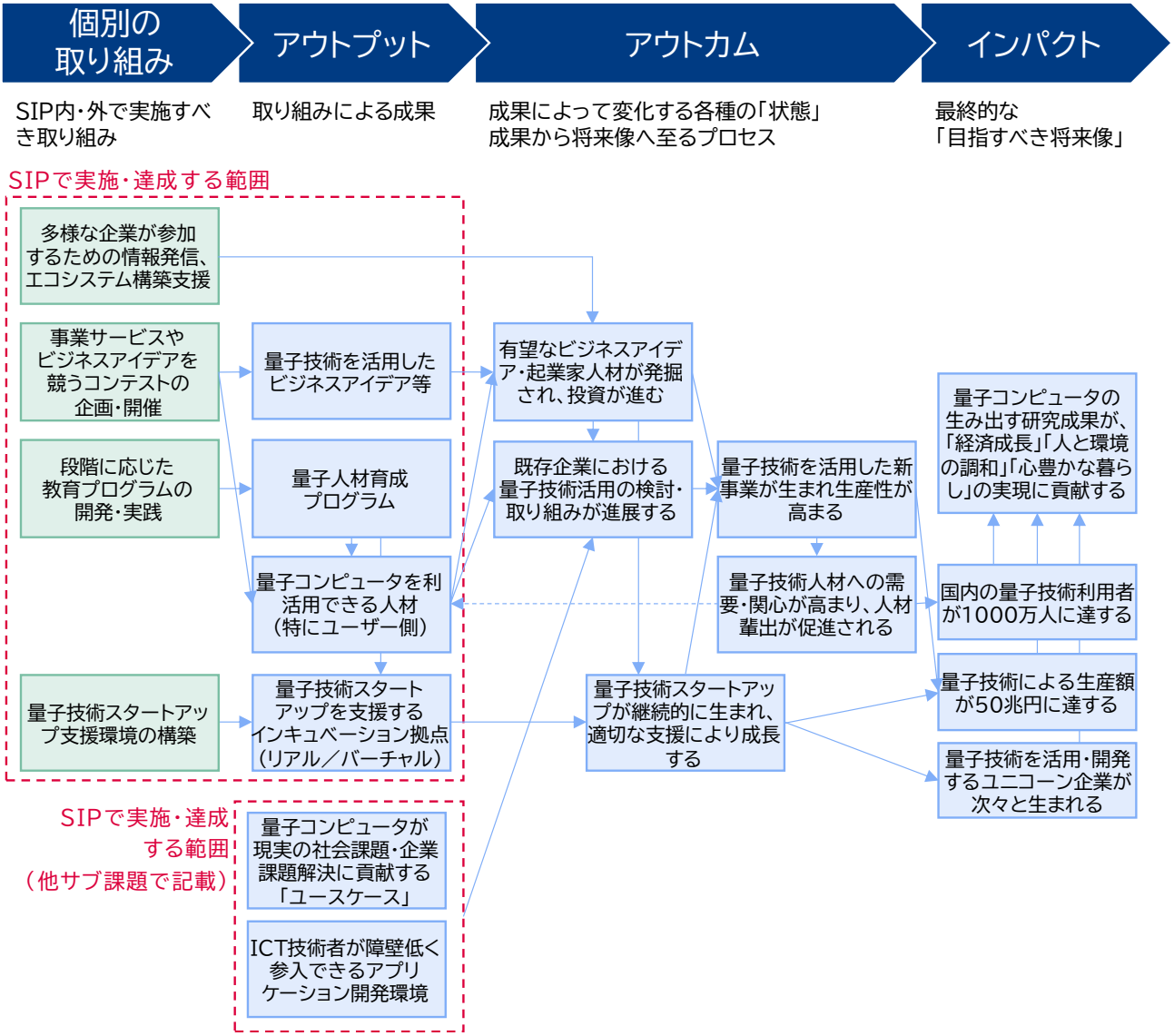


図 II-6 ミッション達成に向けたシナリオ（イノベーション創出基盤）

4. SIP での取組（サブ課題）

本課題におけるサブ課題として、量子技術を構成する主要分野である「量子コンピューティング」「量子セキュリティ・ネットワーク」「量子センシング」を設定し、これらに共通する基盤要素である「イノベーション創出基盤」を設定する。

（1）背景（グローバルベンチマーク等）

① ミッションに対する貢献度・重要性

本課題で設定した「量子コンピューティング」「量子セキュリティ・ネットワーク」「量子センシング」「イノベーション創出基盤」は、図 II-3～図 II-6 で示した通り、いずれも II.1 で示したミッションの実現に直結している。「量子コンピューティング」「量子セキュリティ・ネットワーク」「量子センシング」は量子技術の主要

領域であり、それぞれの領域で新たな事業が生まれ、それにより「生産額 50 兆円規模」「量子技術利用者 1,000 万人」「ユニコーンベンチャー創出」を達成することを目指す。「イノベーション創出基盤」は、これら 3 領域が発展する基盤となるスタートアップ支援、人材育成、シーズ・ニーズマッチング等を実施するもので、ミッション達成を確実なものとするために不可欠なサブ課題である。

② 技術・事業分野における強み・弱みおよび国際競争力

量子コンピューティング

量子コンピュータは古典コンピュータのような技術的成熟には達していないため、その開発・活用を加速するには、ハード・ソフトの一体的な開発が必要とされるが、特にソフトウェアやユースケース開発は海外企業が提供するクラウドサービスや SDK（ソフトウェア開発キット）等に依存しているのが現状である。こうした極端な海外依存から脱却し、国内のエコシステムの中でハード・ソフト開発のシーズ・ニーズを蓄積し、さらなる開発に生かすことが必要となる。

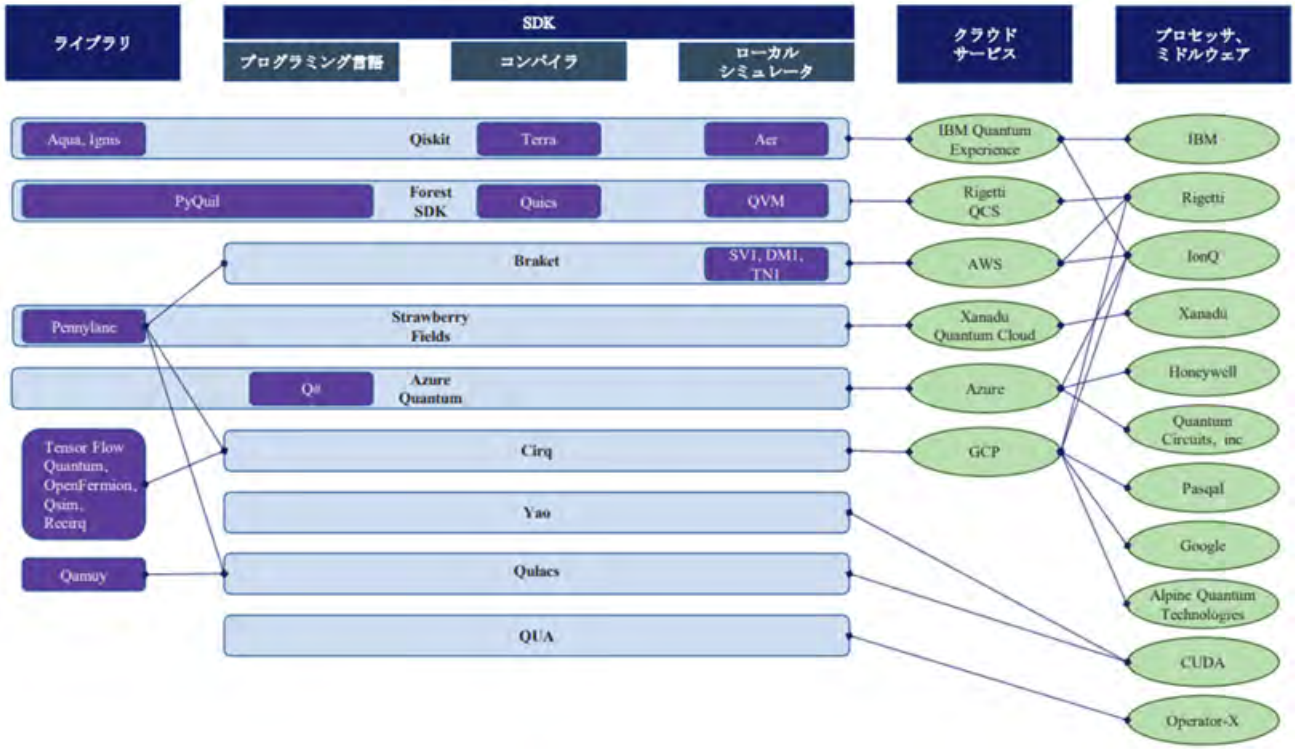


図 II-7 現在利用されているクラウドサービスおよび SDK

（出所）国立国会図書館 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 2021 量子情報技術（2022 年））

https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_12213088_po_20210604.pdf?contentNo=1、2023 年 1 月 10 日取得

ハードウェアのうち量子コンピュータの基幹を担う量子ビットについては、様々な方式が提案されており、主要なものでは超伝導回路、冷却中性原子、イオントラップ、シリコン量子ドット、光量子などがある。海外では超伝導回路、冷却中性原子、光量子、イオントラップ量子コンピュータについて、量子アルゴリズムの実行可能な実機の開発に成功している。中でも超伝導回路については 1000 量子ビットを超える実装事例も登場している。また、NISQ から部分的に誤り訂正を実現する Early FTQC の検討へ関心が移っており、技

術的な進展が著しい冷却中性原子やノイズの少ない光量子が注目されている。こうした背景を踏まえ、誤り訂正アルゴリズムの開発等を見据え、量子・古典ハイブリッド環境の整備が進められている。

国内の取組としては、2023 年に超伝導回路方式の国産実機が稼働を開始したこと、冷却中性原子方式について産学官連携で実機の開発が推進されていること、光量子方式について伝搬する論理量子ビットの生成に成功したことが挙げられる。

量子技術開発の状況を特許動向でみると（図 II-8）、量子コンピューティングにおいて日本は、アメリカ・中国とは量的に大きく差を広げられており、日本が技術的な競争力を維持するためには、これまで以上に戦略的な研究開発が必要とされる。

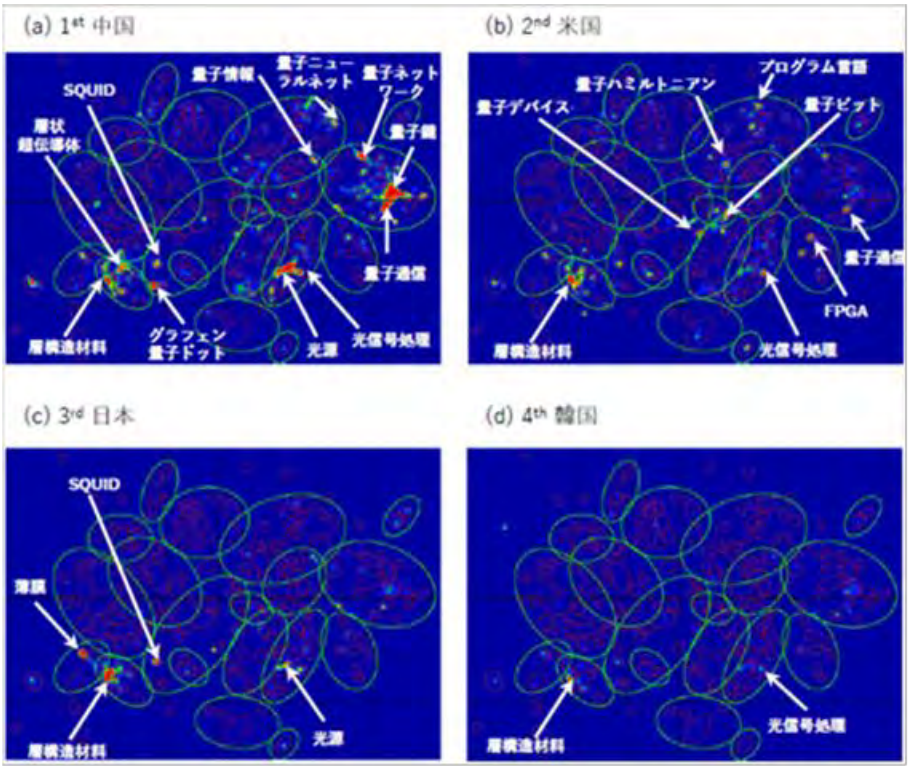


図 II-8 量子技術における各国の特許数

出所）科学技術振興機構 研究開発戦略センター「論文・特許マップで見る量子技術の国際動向」（2022 年）
https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2021/RR/CRDS-FY2021-RR-08.pdf、2023 年 1 月 10 日取得

事業面では、有力な国内スタートアップが生まれているものの、欧米に比べれば量的に遅れていること、ソフトウェア開発に偏っていること（欧米にはハードウェア開発に取り組むスタートアップが複数存在する）が課題として挙げられる（表 II-1）。今後、スタートアップ支援環境を整備・充実させること、量子技術人材の発掘・育成から起業につなげること等が重要となる。

また、国内でのハードウェア開発については、大手 ICT 企業を中心に疑似量子計算や量子アニーラでの取組が見られるものの、ゲート型の量子コンピュータ開発はごく一部の企業でしか行われていない点も問題である。

一方で他分野の企業においては、量子技術の活用について検討が始まっており、表 II-2 に示すよう

に、Q-STAR をはじめとしたユーザ企業、大学間の連携も進みつつある。今後はハード開発側とユーザ側との連携・交流による開発環境の整備やユースケース開発が必要となる。

表 II-1　量子コンピューティングに関する国内外の主要なベンチャー企業

企業名	国	事業概要
QunaSys	日本	主に量子化学分野に強みを持ち、ソフトウェア、SDK 開発及び量子コンピュータの利活用コンサルティングに取り組む。
Fixstars Amplify	日本	マルチコアプロセッサ関連のソリューション開発・提供を主な事業とし、量子コンピュータの導入支援サービスも行っている。
blueqat	日本	シリコン式量子コンピュータのハードウェア研究開発を実施している。また、量子コンピュータの SDK/ミドルウェアである「Blueqat」をサービス提供している。
Quemix	日本	主に材料研究分野において、量子アニーラ・量子コンピュータ上で材料計算を行うプラットフォーム「Quloud-RSDFT」をサービスとして提供している。
QuEL	日本	大阪大学量子情報・量子生命研究センターの成果を活用し、量子ビットの制御装置「QuEL-1」の開発・販売を行っている。
Nanofiber Quantum Technologies (NanoQT)	日本	早稲田大学先進理工学部で研究されている共振器電気力学の知見に基づき設計されたナノファイバー型共振器により、量子コンピュータや量子中継器の実装を目指している。
Quanmatic	日本	量子アルゴリズムに強みを持ち、量子計算に用いるデータの収集と品質の担保を行うツール「QLEANSER」の提供など情報編纂ツールを提供している。
Jij	日本	数理最適化を用いた運用計画の自動化や効率化をコンサルティングしている。
シグマアイ (Sigma-i)	日本	量子アニーリングマシンを用いたコンサルティングで、物流、医療機関受診、製造、シフト表作成などのサービスを提供している。
OptQC	日本	東京大学発スタートアップ。光量子コンピュータの開発と販売を目指している。
IonQ	アメリカ	イオントラップ式のハードウェア研究開発に取り組み、クラウドサービス等から利用可能な実機を提供している。
Quantum Circuits Inc.	アメリカ	量子コンピュータのソフトウェア・ハードウェアを振るスタックで開発し、最適なシステム構成の構築を目指している。
Rigetti	アメリカ	超伝導式のハードウェア及びそれを操作するための SDK の開発に取り組み、各種クラウドからサービス提供している。
Zapata Computing	アメリカ	ハーバード大学で開発されたソフトウェア量子コンピューティング技術を商業化する目的で設立され、量子コンピューティングソフトウェアとアルゴリズムの開発を実施。

企業名	国	事業概要
QuEra	アメリカ	中性原子を用いた量子コンピュータの開発を行う。量子コンピュータをパブリッククラウド上で配信している。
Atom Computing	アメリカ	光学的に補足された中性原子の原子配列を備えた拡張性の高いゲートベースの量子コンピュータを構築。
SC Quantum	アメリカ	持続可能な量子エコシステムの創造に焦点を当てた 団体で、南カロライナ州と東南部アメリカ全体での量子教育と研究の向上を目的としている。
PsiQuantum	アメリカ	世界初の商業的に有用な量子コンピュータを構築しのために設立された。現在は量子チップのウエハーを製造している。
Maybell Quantum	アメリカ	極低温環境を実現する冷凍機や冷凍機内で動作させるためのケーブルを提供している。
Xanadu	カナダ	光ビット式のハードウェアとして最高性能の実機を開発し、Amazon Web Service から利用可能なサービスを提供。また、光ビット式の量子コンピュータに特化した SDK である Strawberry Field を開発。
D-Wave	カナダ	世界最高性能のアニーリング型ハードウェアを開発・提供している。また、当実機を利用するための SDK を開発し、無料提供している。
Nord Quantique	カナダ	効率的なハードウェアを使用する手法を用いて、個々のキュビットの整合性寿命を改善する量子誤り訂正を世界で初めて実証した。
SpinQ	中国	デスクトップ量子コンピュータ「Gemini」とクラウドプラットフォーム「Taurus」を開発し、ユーザに提供している。
Origin Quantum Computing	中国	中国初の量子コンピュータ制御システムを開発し、また、量子ソフトウェア開発キット「Qpanda 2.0」を GitHub で公開している。
Bose Quantum	中国	コヒーレント・イジング・マシーン（CIM）技術をベースにした量子ソリューションを開発。近年は超伝導式の量子コンピュータのハードウェア開発にも取り組んでいる。
AegiQ	英国	2019 年に設立されたシェフィールド大学発のベンチャー企業で、超伝導式・光子式の量子コンピュータの開発に取り組む。
Quantinuum	英国	Honeywell Quantum Solutions（量子ハード事業）と Cambridge Quantum（量子ソフトウェア事業）の経営統合により 2021 年に誕生した企業で、イオントラップ式量子コンピュータ、量子計算化学ソフトウェア、SDK、暗号鍵生成サービス等を開発している。
Oxford Quantum Circuits (OQC)	英国	インターコネクション・ソリューションの「Equinix Fabric」を通じて量子コンピュータに古典コンピュータからアクセスできるプラットフォーム「Quantum Computing as a Service(QCaaS)」を提供している。
Phasecraft Ltd.	英国	英国の政府機関向けの概念証明製品の開発に取り組み、量子機械向けに特別に設計された画期的なアルゴリズムを先駆ける。

企業名	国	事業概要
Wave Photonics	英国	量子技術、センサ、データセンターアプリケーション向けのフォトニクス技術を使ったチップ開発を行っている。
Oxford Ionics	英国	NISQ でも FTQC でもない独自の EQC と呼ばれる方法で量子コンピュータの実現を目指して開発を行っている。
Riverlane	英国	世界初の専用デコーダー チップを開発し、デコーダー IP と早期の誤り訂正量子コンピューティングへのロードマップを公開している。
Algorithmiq	フィンランド	生命科学分野での量子コンピューティング活用を目標に、創薬・DNA 解析等のアルゴリズム開発に取り組む。
IQM Finland	フィンランド	超伝導式量子コンピュータのハードウェア開発企業で、54qubit の実機を商用機としてリリースし、フィンランド国内外の研究施設からアクセス可能なシステムを提供している。
QuantrolOx	フィンランド	超伝導量子コンピュータのチューニングと最適化を自動化する Quantum EDGE という最初の製品を開発している。
AQT	オーストリア	20qubits のイオントラップ式量子コンピュータの開発に成功。既存の SDK（Qiskit、Cirq、Pennylane 等）をサポートしており、開発済みのソフトウェアを適用することが可能。
C12 Quantum Computing	フランス	純炭素（C12 同位体）製のカーボンナノチューブを利用し、核スピン式量子コンピュータのハードウェアの開発に取り組む。
Pasqal	フランス	中性原子式の量子コンピュータハードウェア開発に取り組む。また、これを操作するアプリケーションを開発するプラットフォームである Pulse Studio、更に低レイヤーでの操作を実現する PasqOS などを開発し、ユーザ企業に提供している。
Quandela	フランス	光量子コンピュータ実機の“MosaiQ”、SDK の“Perceval”、それらを利用できるクラウドプラットフォーム“QUANDELA Cloud”を開発している。
Alice & Bob	フランス	自己修正超伝導量子ビットの特許技術である cat qubit を開発した。
Delft Circuits	オランダ	極低温で動作するケーブルの開発を行っており、量子コンピュータや量子インターネットにおける I/O 機器としての活用が見込まれている。
QuantWare	オランダ	量子プロセッサ（QPU）の研究開発に強みを持ち、忠実度 99%を誇る 5qubit の QPU、“Soprano”を市販製品として製造している。
MicroAlign	オランダ	複数の光ファイバをアライメントできるマイクロポジショニングシステムを発明し、高精度光ファイバーアレイの製品化を目指す。
Orange Quantum Systems	オランダ	量子ビットあたりのテスト コストを大幅に削減、新興量子チップ業界の「ラボからファブへ」の移行をサポートする。

企業名	国	事業概要
Diraq	オーストラリア	2022 年に設立されたニューサウスウェールズ大学発のベンチャーで、シリコン量子ドット式のハードウェアからユーザ企業が利用するソフトウェアまでフルスタックでの開発を目指している。
Q-CTRL	オーストラリア	量子コンピュータのハードウェア性能診断機能を有する Black Opal、エラー抑制や回路最適化機能を有する Fire Opal などのアプリケーションを開発し、研究者やユーザ企業に提供している。また、これらのアプリケーションを利用するための教育プログラムも提供している。
Silicon Quantum Computing（SQC）	オーストラリア	原子レベルの精度で量子コンピュータを製造 、2030 年までに誤り訂正量子コンピュータを製造することを掲げる。
PlanQC	ドイツ	中性原子技術を使用した量子プロセッサーを開発している。
Kipu Quantum	ドイツ	NISQ 環境において必要な物理調子ビット数を削減することのできるソフトウェアを開発している。
Qilimanjaro Quantum Tech	スペイン	QaaS の提供で、複数のアルゴリズムの量子チップへのクラウドアクセスを提供する予定。
Quantum Basel	スイス	企業、新興企業、主要な研究機関に量子コンピュータと AI へのアクセスを提供している。
Classiq	イスラエル	量子アルゴリズムの設計、最適化、解析、実行を可能にする量子ソフトウェアプラットフォームを提供する。

出所）各社ウェブサイト等から作成。

表 II-2 国内の企業・大学による協議会・コンソーシアム等

協議会・コンソーシアム名	対象分野・技術
量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）	量子波動・量子確率論応用、最適化・組み合わせ問題、量子暗号通信、量子通信、ユースケース探索等
量子フォーラム	量子コンピュータ技術、量子鍵配送技術、量子計測・センシング技術等
量子イノベーションイニシアチブ協議会（QII）	量子計算ソフトウェア・アプリケーション、量子ハードウェア、次世代量子コンピュータに結び付く基礎科学技術等
量子技術イノベーション拠点（QIH）	量子コンピュータ、量子センサ・マテリアル、量子生命・量子機能創製、量子セキュリティ、量子ソフトウェア、量子コンピュータの利活用等
QPARC	量子コンピュータ、量子化学計算、新規材料探索、ユースケース探索、量子人材育成等
Quantum Internet Task Force	量子インターネット、量子通信システム等
量子ソフトウェアコンソーシアム（量子ソフトウェア研究拠点）	量子計算ソフトウェア、量子人材育成等

協議会・コンソーシアム名	対象分野・技術
SEMI 量子コンピュータ協議会	量子コンピュータ、量子ハードウェア、次世代量子コンピュータに結び付く基礎科学技術等

出所）各組織ウェブサイト等から作成。

量子セキュリティ・ネットワーク

量子セキュリティ・ネットワークにおいては、量子暗号通信に関する研究開発と量子ネットワークに関する研究開発、秘密計算に関する研究開発が含まれる。量子暗号通信関係では、基盤技術はある程度成熟しており、現在は次世代暗号通信基盤と次世代コンピューティング基盤を組み合わせた次世代システムの構築に向けた実証が国内でも進んでいる段階である。

量子ネットワーク関係では、図 II-8 に示したように、特に特許動向として米・中に大きく差をつけられている状況にある。将来的な量子ネットワーク構築に向けて、国内の研究開発の加速が求められる。

事業面では、QKD 開発や次世代システムの開発・実証分野において、企業間連携が進んできている。特に金融・医療分野において、大手 ICT 企業とユーザ企業が連携した次世代システム構築に向けた実証が進んでおり、例えば、金融・証券関係では金融データの量子暗号による高秘匿通信実証、医療関係ではゲノム解析データや電子カルテデータの秘匿回線による伝送・共有実証が行われている。一方で金融・医療以外の分野においては連係・実証が進んでいない状況にあり、例えば将来的に量子セキュリティの適用が見込まれるモビリティや製造業などの分野への横展開が求められる。

QKD ネットワークについては、欧州、中国のほか、韓国やシンガポールでもネットワークの構築やテストベッドの実施に向けた取組がみられる。また、量子衛星暗号通信の実証については、既に実証に成功している中国のほか、欧州やカナダ、日本も実験衛星の打ち上げ等による実証を予定している。

PQC については、米国や欧州の企業・機関にて移行に向けた動きがみられ、NIST による標準化に向けた取組を受けるかたちで、企業が自社製品への PQC の導入を進めているほか、欧州委員会においても PQC への移行に向けた宣言が発表されている。

その他の動向としては、秘密分散・秘密計算において NTT の手法が ISO/IEC にて標準化されたことや、経済安全保障重要技術育成プログラム（K Program）にて量子ストリーム暗号を含む研究テーマが設定されていることが挙げられる。

表 II-3 量子セキュリティ・ネットワークに関する国内外の主要なベンチャー企業

企業名	国	事業概要
LQUOM	日本	横浜国立大学で研究が行われている量子中継器の技術の社会実装を目指して製品開発を行っている。
Qrypt	アメリカ	量子安全暗号技術を使用して、データの整合性と機密性を保護することに重視している。
Nu Quantum	英国	キャベンディッシュ研究所での研究成果を商用化するために設立された、ケンブリッジに本拠を置く量子ネットワーキング会社。

企業名	国	事業概要
PQShield	英国	チップ、アプリケーション、クラウド上での耐量子計算機暗号の研究・製品開発を行う。また、米国国立標準技術研究所（NIST）の PQC 標準化プロジェクトにも参画している。
CryptoNext Security	フランス	ポスト量子暗号化ソフトウェアソリューションを開発し、量子脅威を管理し、IT/OT インフラストラクチャを量子安全に移行するソリューションを提供する。
Delft Circuits	オランダ	極低温で動作するケーブルの開発を行っており、量子コンピュータや量子インターネットにおける I/O 機器としての活用が見込まれている。
Q*Bird	オランダ	費用対効果が高くスケーラブルな方法でセンターハブを介して複数のユーザーを接続できる新しいタイプの安全な量子ネットワークを展開している。
QNu Labs	インド	重要な情報インフラストラクチャ、通信、個人識別情報を標的とした攻撃を防ぐために使用される特許技術に基づく量子およびポスト量子暗号ソリューションを提供する。

出所）各社ウェブサイト等から作成。

表 II-4 海外における主な量子暗号通信・量子ネットワーク構築実証のための国家プロジェクト

プログラム名	国・地域	概要
Center for Quantum Networks（CQN）	米国	米国国立科学財団（NSF）傘下のプロジェクトとして設置された研究センターであり、100km の距離での量子ネットワーク実現に向けた研究開発に取り組んでいる。
Next Generation Quantum Science and Engineering（Q-NEXT）	米国	米国エネルギー省（DOE）傘下の量子研究センターとして量子技術を用いたエコシステム構築に向けた取組を実施している。その一環として、量子ネットワークテストベッド構築を目指している。
OpenQKD	欧州	欧州全域にまたがる量子セキュリティネットワーク構築に向けた QKD テストベッド構築プロジェクト。EU 域内 13 か国が参画している。
Euro QCI Initiative	欧州	欧州全域における量子ネットワークインフラ構築に向けて実施されている、欧州域内各拠点を QKD ネットワークで結ぶ大規模実証プロジェクト。EU 全加盟国が合意している。
衛星「Eagle-1」	欧州	EU 内での量子鍵配送技術の実証を目的として、欧州宇宙機関（ESA）、欧州委員会と欧州の宇宙関連企業が連携して開発。2025 年後半から 2026 年初頭の打ち上げを予定している。

プログラム名	国・地域	概要
衛星「Quantum Encryption and Science Satellite (QEYSSat)」	カナダ	宇宙空間での量子鍵配送技術の実証を目的として、カナダ宇宙庁(CSA)による資金提供のもと、ウォータールー大学の量子コンピューティング研究所(IQC)が主導で開発。2025 年から 2026 年の打ち上げを予定している。
京滬幹線	中国	主要4都市を結ぶ 2000km に及ぶ量子暗号ネットワーク。この地上ネットワークと量子実験衛星「墨子号」とを結ぶ衛星-地上間通信実験にも成功している。
量子実験衛星「墨子号」	中国	衛星-地上間量子通信実験を行うために 2016 年に打ち上げられた人工衛星。衛星-地上間での量子鍵配送や量子もつれを用いた通信の実証を目的としている。
デジタルニューディール/韓国量子科学技術戦略	韓国	全長 800km の QKD ネットワークにより国内 48 の政府機関が接続されている ID Quantique と韓国通信大手の SK テレコムとによる取組。
National Quantum-Safe Network Plus(NQSN+)	シンガポール	情報メディア開発庁(IMDA)による、シンガポール全土に耐量子通信を提供することを目的とした取組。

出所)各プログラムウェブサイト等から作成。

また、社会実装の加速に向けた技術の標準化については、現在主に QKD 技術と耐量子暗号技術を対象として、国際機関などで進められている。国内の企業も、特に QKD 技術について保有技術・要件の提案を行っており、既に承認されているものも存在する。

表 II-5 量子セキュリティ・ネットワークにおける標準化動向

分野	標準化機関	概要
QKD 技術	国際電気通信連合 電気通信標準化部門(ITU-T)	量子暗号ネットワーク構成に関する標準化を実施 SG11:QKD ネットワーク・プロトコル仕様 SG13:QKD ネットワークの概要や機能要件条件等のネットワークアーキテクチャ SG17:セキュリティ要求条件や鍵管理、乱数源、暗号機能などのネットワークセキュリティ関係 SG13 において、NICT、NEC、東芝が草案を提出した Y.3800(量子鍵配送をサポートするネットワークのフレームワーク)勧告が承認
	欧州電気通信標準化機構(ETSI)	1. 部品、モジュール、インターフェースの標準化を実施 2. 鍵提供インターフェースについては、ETSI QSD GS 014 として東芝が標準化

分野	標準化機関	概要
	国際標準化機構 国際電気標準会議	1. ISO/IEC JTC 1/SC 27 にて、QKD 装置の安全性評価手法の標準化を実施
耐量子暗号技術	米国国立標準技術研究所（NIST）	1. 2016 年より耐量子計算機暗号（PQC）を選定するプロジェクトを実施 2. 2030 年までの耐量子暗号への移行を目指して、2024 年頃に標準仕様を策定予定
秘密分散 秘密計算	国際標準化機構 国際電気標準会議	1. ISO／IEC 19592-2：5つの秘密分散方式が標準として採択（うち、1 つは NTT の独自方式） 2. ISO/IEC 4922：秘密計算全体の標準化とマルチパーティー計算の標準化を実施。NTT が標準化活動を主導

出所）各組織ウェブサイト等から作成。

量子センシング

量子センシングにおいては、デバイス、要素技術を用いた各応用分野での計測手法や計測システムの構築、確立が進められている。量子センシングデバイスとして例えば原子干渉計、光格子時計、ダイヤモンド NV センターなどがある。また、量子センシング技術として例えば超偏極技術、超伝導技術などがある。これらのデバイス、技術の応用研究が国内外で進められている。例えば、原子干渉計、光格子時計では重力ポテンシャル計測装置やジャイロスコープ機器等へ適用する研究があるが、光格子時計では社会実装に向けた小型化が課題となっている。ダイヤモンド NV センターでは医療・生命科学分野における微細な温度・電場・磁場・pH 測定や電磁波イメージング等へ適用する研究があるが、クリアすべき基準が多く、またダイヤモンドの大量生産及び低コスト化が必要な状況である。また、電流計測の分野においては、ダイヤモンドの大量生産及び低コスト化という課題がある。超偏極技術では高感度な MRI/NMR へ適用する研究があるが、こちらもクリアすべき基準が多い状況であり、現状、極低温 DNP に比べて常温で適用可能なトリプレット DNP は精度が低いという課題も挙げられる。超伝導技術では医療・生命科学分野における単一光子測定等へ適用する研究がある。

国内では、Q-LEAP、さきがけ、未来社会創造事業等の研究開発プログラムによって投資が進んでおり、欧米をリードしている面もある。例えば国内の研究機関が作成したダイヤモンド NV センターを用いたセンシングデバイスが世界中で用いられていたり、格子時計の精密度の世界記録を 2021 年時点で保持していたりすること等の優れた成果が挙げられる[2]。一方で、量子センシング領域全体で欧米と比べると論文・特許の集積が少なく、また有力なベンチャー・スタートアップも少ない点が指摘できる。EU や米国においても量子センシング領域に投資がされており、例えばスタートアップ企業による光格子時計の製品化の動きもあることは注意すべきである。そのため、日本の「強み」の確立や社会実装に向けた取組が必要である。

[2] 出所）国立国会図書館 調査及び立法考査局「量子情報技術 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 / 第 2 章 研究開発の動向 / Ⅲ 量子センシング / 4 量子センシングの理論・応用研究における日本の貢献と国内外の最新状況」、2022 年 12 月 13 日閲覧

量子技術開発の状況を特許動向でみると（図 II-8）、米国と比較して量子センシングにおける集積が少ない。日本が技術的な競争力を維持し、応用分野で用いられるデバイス、技術のシェアを獲得するためには、各応用分野において量子センシングデバイス、技術の知財確保や標準化をこれまで以上に戦略的に進める必要がある。

事業面では、計測システムの供給を担いうる企業等を巻き込んだ研究開発プログラム等によって、各応用分野でのユースケースの開拓が進められている。今後は、より多くの研究者、ユーザ、企業が容易に量子デバイス・要素技術を活用・実証できるプラットフォームを構築することでユースケースをより具体化し、市場形成を推進していく必要がある。また、市場における国内のシェアを獲得するために、共通的なデバイスや技術の知財化、標準化や、各応用分野での計測手法や計測システムの知財化、標準化も併せて行う必要がある。ユースケースの開拓においては、例えば新しい計測システムを医療現場で活用する際に必要となる認証の取得といった、各応用分野の規制、制度への適合を支援する取組も必要である。

また、国内では、前述の通り量子センシングに関するサービス提供を担いうるスタートアップ企業が少なく、育成が課題である。他のスタートアップ支援施策や研究開発プログラムと連携し、起業支援を行うことも必要である。

表 II-6 量子センシングに関する国内外の主要なベンチャー企業

企業名	国	事業概要
MIZUSAQI	日本	慣性航法装置の性能改善のために、干渉型光ファイバジャイロスコープを用いたジャイロスコープの開発に取り組んでいる。
スピンセンシングファクトリー（SpinSensingFactory（SSF））	日本	トンネル磁気抵抗効果の原理による高感度軽量センサの技術を提供している。また、製品化のサービスも提供している。
UniMedical	日本	量子スピンセンサを用いた心磁計を社会実装することを目的として設立。（2023 年 12 月設立で 2024 年 6 月現在活動は見られない）
Analog Quantum Circuits（AQC）	オーストラリア	量子ビットに信号を送受信するための高性能エレクトロニクスを量子技術に応用可能であるようにチップサイズで統合する製造プロセスを開発している。
QuantumDiamonds	ドイツ	量子センシングのスタートアップ企業でダイヤモンド NV を用いた磁場や温度のセンシング、ワイドフィールドイメージングに取り組んでいる。
Atomionics	シンガポール	商業的な地下資源発掘のための初の量子重力センサである「仮想ドリル」の展開を予定。

出所）各社ウェブサイト等から作成。

③ 市場規模予測・インパクト

日本における量子技術の市場規模は、矢野経済研究所が 2021 年度に実施した調査によると、2025 年には 550 億円、2030 年には 2,940 億円に達すると予測されている。今後数年程度の内に、化学、金融、広告等の領域で本番運用に向けた動きが開始され、2026 年以降にはシミュレーション領域での活用が本格化するとみられている。また、2030 年には自動運転、医療分野など社会的にインパクトの大きな取組が徐々に出てくると想定されている。

世界全体における量子技術の市場規模は、種々の市場調査機関・コンサルティング会社等により 2030 年代後半には最大 1 兆ドル規模と予測されており 2030 年代後半に想定される量子技術の有力な活用先について、以下の通り整理されており、広い分野での活用と大きな市場規模が予測されている。

表 II-7　予測されている将来の市場規模と応用分野例

手法	有力な分野、アプリケーション	市場規模(億米ドル)
暗号化技術	暗号化／暗号解析	400～800
最適化	航空：経路最適化、金融：ポートフォリオ最適化・リスク管理、物流：経路・ネットワーク最適化	1,000～2,500
機械学習	自動車：自動運転・AI、金融：マネーロンダリング対策、ハイテク：検索・広告最適化、その他：AI 活用	1,500～2,200
シミュレーション	航空：流体力学・素材開発、自動車：流体・素材・構造設計、化学：触媒・酵素解析、エネルギー：太陽光変換、金融：市場シミュレーション(デリバティブ)、ハイテク：バッテリーデザイン、製造：マテリアルデザイン、創薬：医薬品発見・開発	1,600～3,300
計	―	4,500～8,500

出所）ボストンコンサルティンググループ、What Happens When ‘If’ Turns to ‘When’ in Quantum Computing?、https://www.bcg.com/ja-jp/publications/2021/building-quantum-advantage 、2022/1/10 閲覧

McKinsey & Company 社が 2024 年に発行した「Quantum Technology Monitor 」では、全世界でエンドユーザーを含めた量子技術の市場規模は 2035 年頃に 2 兆ドル規模と予測されている。量子コンピュータの市場が最初に立ち上がる分野として、化学、ライフサイエンス、金融、モビリティが挙げられている。量子コンピュータ・量子通信・量子センシングそれぞれの分野ごとの市場規模も予測されており、量子通信や量子センシングの分野についても 2035 年頃には市場が形成されるとしている。量子技術で特に市場から注目されているものとして、量子コンピュータでは FTQC 及び量子古典ハイブリッドマシン、量子通信では量子鍵配送、量子センシングではダイヤモンド NV センターが挙げられている。直近の市場動向として、2023 年には量子技術への民間投資が減少し、新規スタートアップの数が減少しているとの指摘がある。一方で国からの投資は続いており、特にドイツ、イギリス、韓国、インドから新たな投資の発表があったと指摘されている。

表 II-8 各社による量子技術の市場規模予測

予測機関	市場規模予測（いずれも全世界が対象）
① Boston Consulting Group(2021)	対象分野：量子技術全般 ・2030 年代後半 4,500～8,000 億米ドル
② McKinsey & Company(2022)[3]	対象分野：量子技術全般 ・2035 年：7,000 億米ドル ※エンドユーザーも含む市場規模予測 対象分野：量子コンピュータ分野 ・2040 年：900 億米ドル
③ McKinsey & Company(2023)[4]	対象分野：量子技術全般 ・2035 年：1 兆 3,000 億米ドル ※エンドユーザーも含む市場規模予測 対象分野：量子技術全般 ・2040 年：1,060 億米ドル 対象分野：量子コンピュータ分野 ・2040 年：930 億米ドル 対象分野：量子通信分野 ・2040 年：70 億米ドル 対象分野：量子センシング分野 ・2040 年：60 億米ドル
④ Global Quantum Intelligence[5]	対象分野：量子コンピュータ分野 ・2030 年：100 億米ドル ・2035 年：250 億米ドル
⑤ McKinsey & Company(2024)[6]	対象分野：量子技術全般 ・2035 年：2 兆米ドル ※エンドユーザーも含む市場規模予測、化学、ライフサイエンス、金融、モビリティの 4 産業のみ 対象分野：量子コンピュータ分野 ・2025 年：150 億米ドル ・2030 年：370 億米ドル ・2035 年：720 億米ドル ・2040 年：1,310 億米ドル 対象分野：量子通信分野 ・2035 年：150 億米ドル ・2040 年：360 億米ドル 対象分野：量子センシング分野 ・2035 年：27 億米ドル ・2040 年：60 億米ドル

[3] https://www.mckinsey.com/featured-insights/themes/how-quantum-computing-could-change-the-world

[4] https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/quantum%20technology%20sees%20record%20investments%20progress%20on%20talent%20gap/quantum-technology-monitor-april-2023.pdf

[5] https://quantumcomputingreport.com/realizing-quantum-potential-study-of-quantum-computing-use-cases-developed-worldwide/

[6] https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/steady-progress-in-approaching-the-quantum-advantage

出所)各機関の調査結果より作成

（2） 社会実装に向けた SIP 期間中の達成目標

II.1 で述べた通り、「量子未来社会ビジョン」で 2030 年時点の目標とされた以下の 3 点を、本課題のミッションとする。

〇 国内の量子技術の利用者 1,000 万人
〇 量子技術による生産額 50 兆円規模
〇 未来市場を切り開く量子ユニコーンベンチャー創出

これを達成するため、本課題では SIP 期間中に、量子技術と従来型（古典）技術の融合（ハイブリッド）により、コンピューティング、センシング、通信の性能を向上させることで「現実の社会・産業課題の具体的な解決事例」を創出する。これにより、SIP 期間後にも人材と投資を継続的に惹きつけ続けることで、研究開発、社会実装、人材の育成・確保の基盤を固め、上記ミッションの達成に向けた目途をつけることを SIP 期間中の達成目標とする。

SIP の前半期間（～2025 年度）においては協調環境の整備に注力し、主にユースケース開発の基盤となるテストベッド等の利用環境の整備・提供を達成する。後半期間（2026～2027 年度）においては、各参加企業によるユースケース開発～事業化という競争領域での目標達成を目指す。各サブ課題における具体的な達成目標は以下の通り。

① 量子コンピューティング

1. 様々なユースケース、キラーアプリケーションを開発可能な量子・古典ハイブリッドテストベッドを開発し、国内企業に向けて運用・提供を開始する。（2025 年度末）
2. 上記テストベッドにおいて、ミッション達成に寄与できるキラーアプリケーションを複数分野で開発し、各分野で少なくともそれぞれ 1 社以上が、そのアプリケーションを活用した事業を開始する。（2027 年度末）

② 量子セキュリティ・ネットワーク

1. 様々な分野における企業・機関による量子暗号通信基盤・量子コンピューティング基盤・秘密計算の検証を可能とする、次世代暗号基盤や量子・古典ハイブリッド計算技術の利用環境（テストベッド）を構築し、国内の研究機関・企業に向けて運用・提供を開始する。（2025 年度末）
2. 上記テストベッドによる実証を通じて、次世代暗号基盤や量子・古典ハイブリッド計算技術を活用したシステム・ネットワークを複数分野で開発し、少なくとも 1 例以上、そのシステムを活用した事業を開始する。（2027 年度末）

③ 量子センシング

1. 様々な分野の産学のユーザが量子センシング技術を活用し、デバイス開発や応用研究を推進できるテストベッドやプラットフォーム等の企業等による利用の枠組みを構築し、国内の研究機関・企業に向けて運用・提供を開始する。（2025 年度末）

2. 複数の分野（医療、自動車等）において、（ユースケース開拓の成果である）量子センシングデバイス・システムを活用した事業化が開始される。（2027 年度末）
3. 実環境下において量子センサ・デバイスの性能評価が可能な環境を構築し、上記 1 と合わせて、10 社以上の企業が利用する。（2026 年度末）
4. 光格子時計を活用した超高精度な時間・周波数信号を配信する装置・ネットワークの開発・実証を行う。（2025 年度末）
5. 光格子時計を活用した超高精度な時間・周波数信号を配信する時空間ビジネス基盤を構築する。（2027 年度末）

④ イノベーション創出基盤

1. 次代の産業人材の育成・指導を担う高度量子人材（量子ネイティブ）や異分野の学生・若手研究者、ユーザ企業技術者といった対象に応じた教育プログラム（教材）を開発し、実際の研修を少なくとも 1 回試行する。（2025 年度末）
2. 開発した教育プログラムを実践し、2025～2027 年度の 3 年間で 90 名程度の修了者を輩出する。（2027 年度末）
3. 新たなプレイヤーや研究開発テーマ候補を発掘できるよう、ビジネスアイデアコンテストを年 1 回以上の頻度で開催できる体制を構築し、実際に開催・運営する。（2025 年度末）
4. 量子技術の開発・利用に関わる新事業やスタートアップを 5 件以上創出する。（2027 年度末）
5. 情報発信やマッチングを図るためのエコシステムの仕組みや体制等を構築・実施する。（2027 年度末）

（3）ステージゲート等による機動的・総合的な見直しの方針

ステージゲートは特にユースケース開拓において重点的に行う。具体的には、ユースケース開拓はステージゲート時点（3年目）までに（比較的短期間での）実用化可否の判断ができるようにしておき、ステージゲートでは「進捗状況」「ミッション達成への貢献度」「事業化可能性（事業の担い手の有無を含む）」「目標達成までに必要となる予算額」の視点から評価を行い、継続／エグジット／廃止を判断する。これにより、ステージゲート以降は実用化が期待できる用途に絞り、実用化・事業化に向けた更なる研究開発や事業計画策定に注力する。

その他の取組（テストベッド等の開発、標準化、スタートアップ支援、人材育成等）については、3年目の段階で「進捗状況」「ミッション達成への貢献度」を主な観点として継続／廃止を判断する。

（4）SIP 後の事業戦略（エグジット戦略）

本課題で扱う量子技術は民間・産業での幅広い用途が期待されるため、本課題での研究開発成果（特にユースケース開発の成果）は、基本的に個別のユーザ企業が担い手となって事業化・社会実装を進める。これを円滑に行うため、ユースケース開発は、その開始時点から担い手となるユーザ企業が中心となって取り組み、具体的な事業化・社会実装計画の立案する所までを SIP 期間内に行う。

また、個別のユースケース以外に、継続的な運営が必要となる共通基盤（テストベッド等、スタート

アップ支援、教育プログラム、ビジネスコンテスト等）が本課題には存在しており、これらについても SIP 最終年度（2027 年度）までに担い手を確保する。基本的には、ユースケース開発と同様、担い手となり得る機関を初期段階から巻き込むことようにするが、（特にテストベッド等の運営管理等で）個別企業・機関が担い手となることが難しい（もしくは適切でないと判断される）ケースでは、関連企業や協議会・コンソーシアム等と連携して新たな担い手機関の設立も視野に取り組む。

用途分野でのルール整備については、上記のような担い手企業・機関が中心となって方策を検討すると共に、関係省庁への働きかけも実施する。事業化・社会実装の担い手企業・機関が、PD 等と共に主体的に計画策定や関係省庁への働きかけを行うことで、当事者意識を高めて社会実装を確実なものとする。

5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル

（1） ロードマップ

本課題におけるロードマップを図 II-9 に示す。図中の取組内容は II.3.（1）と対応しており、各取組の間での連関についても矢印で示した。

SIP の前半期間（～2025 年度）においては協調環境の整備に注力し、主にユースケース開発の基盤となるテストベッド等の利用環境の整備・提供に関わる取組を主に進める。ユースケース自体についても SIP 開始時点から検討・開発に着手し、ステージゲート時点（2025 年度）までに直近での事業化可否の判断ができるようにする。

後半期間（2026～2027 年度）においては、協調環境の実運用・改善や SIP 期間後の継続運用に向けた体制作り、各参加企業によるユースケース開発～事業化という競争領域での取組を進める。

① 技術開発

SIP 期間の前半はテストベッド等の設計・構築を行い、後半は構築したテストベッド等を公開しつつ改良を行う（取組 A）。各サブ課題でソフトウェアやシステム開発等を進めるが、テストベッド等が公開された段階でそれを積極的に活用して開発を加速させる（取組 B）。

また、他プログラム等で行われている要素技術開発の成果は、随時取り込み、テストベッド等やシステムの改良を図る（取組 C）。

② 事業開発

テストベッド等での開発を通じて「現実の社会・産業課題の具体的な解決事例（ユースケース）」の開拓を行う（取組 D）。SIP 期間の後半は、開拓されたユースケースを積極的に発信・広報し、新たなユーザ企業の参入や資金・人材の流入を促す。

合わせて、2024 年度半ば頃までに、既存のインキュベーション拠点や大学・VC 等との連携体制を構築し、新事業やスタートアップ創出を支援する環境を整える（取組 E）。2025 年度以降は、有望なユースケース（取組 D）やビジネスアイデア（取組 K）を中心に、海外進出も見据えた具体的な支援を行い、事業化やスタートアップ創出を目指す。

③ 制度

取組 A、C で開発される技術や、日本が保有するコア技術・製品を活用できるような国際標準の策定を目指して取り組む（取組 F）。特に「量子コンピューティング」「量子センシング」については、SIP 期間半ばまでは開発に有用な性能・性能評価手法の基準について国内で検討した上で、国際標準への提案等へ移行する。「量子セキュリティ・ネットワーク」については、QKD 技術を中心にこれまで強みとしている技術や、取組 B で開発する量子・古典ハイブリッド技術に基づき、国際標準への採用の働きかけを行う。

また、取組 D での個別のユースケース開発に合わせ、社会実装の際に問題となりそうな社会制度やルールについて SIP 前半で整理し、SIP 後半にはそれらの改善を目指して関係省庁への働きかけや調整を行う（取組 G）。

④ 社会的受容性

量子技術イノベーション拠点と、産業界の協議会・コンソーシアム等のユーザ企業に働きかけて両者が交流・連携するための「場」を設定する（取組 H）。初年度はこうした「場」の設定のため、関係機関との調整を行い、その後は継続的に情報共有を行う。この「場」は、より大きなインパクトが期待されるユースケースが開発された際には、社会実装の方策・スケジュールや担い手についても協議・調整する場として機能させる。また、こうした取組の一環として、社会実装に向けた SIP 量子課題に関連する技術や成果等を 2025 年日本国際博覧会（大阪・関西万博）で展示する。

「量子コンピューティング」については、1000 量子ビット超級の量子コンピュータの技術仕様を明確化し、その実現に必要な周辺技術も含めた技術ロードマップを策定する（取組 I）。ロードマップ策定は 2024 年度前半には終わらせ、その後は関係技術を有する企業へロードマップを提示することで量子コンピュータ開発への参入を促す。また、取組 D で行うユースケース開発の成果を様々なメディアを通じて積極的に発信することで、企業の新規参入や量子技術利用を促進し、エコシステムの強化を図る。

⑤ 人材

将来的な人材育成を見据え、高度な研究開発に従事し次代の産業人材を育成指導できる量子ネイティブなど様々な対象に応じた教育プログラムの開発と実践・普及に取り組む（取組 J）。2024 年度までは、特にユーザ企業における量子技術人材の「人材像」を特定した上で必要な教育プログラムを開発する。2025 年度以降は、一部の教育・研修を SIP 内で実施するのと同時に、教育プログラムを大学・企業等に公開して、その普及・展開を促進する。加えて、国内量子産業のグローバル化も見据え、グローバルリーダーの育成のために、海外との人材交流、海外の研究・技術動向産業ニーズの情報交換を積極的に実施できる場の構築を目指す。合わせて、「量子技術ビジネスコンテスト」の継続実施に向けた基盤づくりに取り組む（取組 K）。2024 年度半ばまでは関係機関の巻き込みとコンテストの具体的な設計を進め、2024 年度後半からはコンテストの試行～本格実施を行い、SIP 終了後も継続的に開催できる体制を整える。「量子技術ビジネスコンテスト」で発掘された有望なアイデア・人材に対しては、取組 E で支援を行い、スタートアップ創出を促進する。

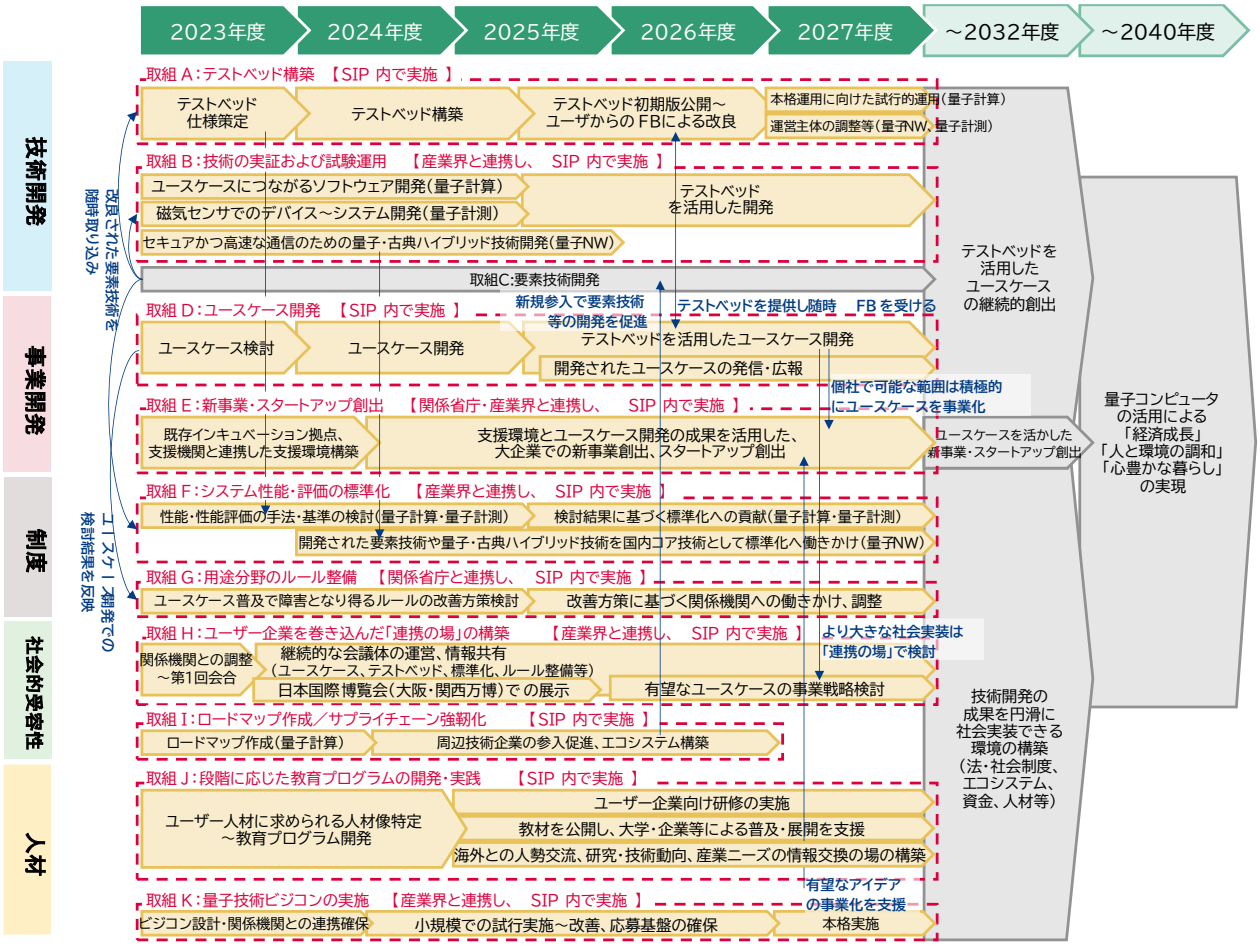


図 II-9 ロードマップ

（2）本課題における成熟度レベルの整理

すべての関係者が社会実装に向けた取組について合意形成するための共通言語（コミュニケーションツール）として成熟度レベル（XRL：X Rediness Level）を導入する。SIP で定義されている成熟度レベル（指標）を参考にし、本課題としての各レベルを定義づける。それら指標をコミュニケーションツールとして用いることでミッション到達に向けた 5 つの視点からの取組を推進する。本課題における XRL の整理は表 II-9～表 II-13を参照。

表 II-9 本課題における TRL の定義

本課題における TRL（Technology Readiness Level）の定義		
1	基礎研究	量子技術につながる科学的な基本原理・現象・知識が発見された状態。
2	仮説	原理・現象の定式化、概念の基本的特性の定義化等の応用的な研究を通じて、量子技術のコンセプトや実用的な用途と利用者にとっての価値に関する仮説が立てられている状態。

本課題における TRL（Technology Readiness Level）の定義		
3	検証	量子技術のコンセプトの実現可能性や技術用途の実用性（古典技術に対する優位性を含む）が、実験、分析、シミュレーション等によって検証された状態。実用性が確認されるまで仮説と検証が繰り返されている状態。
4	研究室レベルでの初期テスト	制御された環境下において、要素技術（中核的な量子技術）の基本的な機能・性能が、古典技術を上回ることが実証された状態。
5	想定使用環境でのテスト	模擬的な運用環境下（テストベッド等）において、要素技術が満たすべき機能・性能（古典技術を超えた機能・性能）が実証された状態。
6	実証（システム）	実運用環境下において、要求水準を満たすハード/ソフトシステム*の機能・性能が、古典技術のみで構成されるシステムを超えると実証された状態。 ※システム：要素技術以外の構成要素を含む、サービスや製品としての機能を完備した要素群
7	生産計画	サービスや製品の供給に係る全ての詳細な技術情報が揃い、生産計画が策定された状態。（生産ラインの諸元、設計仕様等）
8	スケール（パイロットライン）	初期の顧客（量子技術ユーザ企業）の需要を満たす、サービスや製品を供給することが可能な状態。

表 II-10　本課題における BRL の定義

本課題における BRL（Business Readiness Level）の定義		
1	基礎研究	潜在的課題、顧客（量子技術ユーザ企業）、解決方法等が発見された状態。（任意の現場における観察・体験、エスノグラフィー等）
2	仮説	課題と顧客が明確化され、提供価値（量子技術を用いた解決策の優位性）、リターン・コスト等の事業モデルに関する仮説が立てられている状態。（ビジネスモデルキャンバス等）
3	検証	事業モデルの仮説が顧客にとって有望であることがペーパープロトタイプ ※プレゼンテーション、インタビュー、アンケート等のテストで検証された状態。顧客価値が確認されるまで仮説と検証が繰り返されている状態。 ※模型的な試作品
4	実用最小限の初期テスト	一部で旧技術を使用した限定的な機能を有する試作品を用いた疑似体験によって、量子技術の提供価値が想定顧客にとって有用であることが実証された状態。顧客価値が確認されるまで仮説、検証、初期テストが繰り返されている状態。
5	想定顧客のフィードバックテスト	想定顧客からフィードバックを得ながら、顧客要望を満たす機能・性能が定義・設計され、その設計条件で事業モデルの妥当性が実証された状態。
6	実証	サービスや製品が実際に初期顧客に提供され、設計した条件で事業モデルの成立性や高い顧客満足度が実証された状態。
7	事業計画	上記の事業モデルを基にした、事業ロードマップ、投資計画、収益予測等を含む事業計画が策定された状態。

本課題における BRL（Business Readiness Level）の定義		
8	スケール	定期的な顧客からフィードバックをもとにサービスや製品が改善されている状態。サービスや製品が、新規顧客に展開可能な根拠がある状態。
9	安定成長	プロダクトおよび提供者が良く知られ、売上高等が健全に成長する状態。

表 II-11　本課題における GRL の定義

本課題における GRL（Governance Readiness Level）の定義		
1	基礎検討	創出財が類型化（公共性の有無が検討）され、創出財の影響が及ぶ範囲を特定した状態。
2	制度に求める性質のコンセプト化	ガバナンスに関する検討チームが形成され、現実的な制約（安全性、国際基準、法規等に加え社会・業界通念等）を踏まえて、制度に求める性質（効率性、公平性、インセンティブ条件）が整理された状態。
3	評価	制度に求める性質を現制度が満たしているかを評価している状態。
4	制度のコンセプト化	現制度で不十分な場合、レベル 2 で求める性質を満たす制度（法制度の解釈変更・規制改革、規格化・標準化、ガイドライン等）を考案できた状態。
5	実証	実証実験（フィールド実験、被験者実験、シミュレーション実験等）を通して、レベル2で求める性質に適った制度が特定された状態。制度の有効性が確認されるまで、仮説と実証が繰り返されている状態。
6	導入計画	上記の実験結果を基に、省庁・自治体・民間企業等を含む関係機関が具体的な導入計画を策定できた状態。
7	展開と評価	上記ガバナンスに係る内容が実際に導入され、データに基づいて評価・改善されながら、段階的に展開されている状態。
8	安定運用	上記ガバナンスに係る内容が社会全体に周知され、運用とチェック機能が適切に機能している状態。

表 II-12　本課題における SRL の定義

本課題における SRL（Social (Communal)　Readiness Level）の定義		
1	基礎検討	創出財によって実現される社会像やその意義が示され、全ての人々に直接的に与えるリターン・コスト（倫理性・公平性を含む）が金銭・非金銭の両面から検討された状態。
2	仮説	創出財が与えるリターンへの理解度、コストの許容度、実装の実現可能性を高めるための施策について仮説が立てられている状態。
3	検証	初期実装コミュニティの人々にとって、上記の施策が有効であることが、プレゼンテーション、インタビュー、アンケート等で検証されている状態。施策の有効性が確認されるまで、仮説と検証が繰り返されている状態。

本課題における SRL（Social (Communal)　Readiness Level）の定義		
4	初期検討	初期実装コミュニティの人々のリターンへの理解度、コストへの許容度を高める施策が （消費体験、消費疑似体験、説明会等）検討された状態。
5	実証	初期実装コミュニティに上記の施策を実施・検証し、人々がリターン・コストを含めて創出財の受け入れを許容した状態。
6	普及計画	実証から得たフィードバックやデータを検証し、施策を改善しながら、より一般的にコミュニティの人々が創出財を許容するための普及計画が策定された状態。
7	スケール	上記の普及計画が実行され、創出財が、コミュニティに合わせて修正・再発明されながら、創出財の受け入れが許容される範囲が拡大している状態。
8	市場への浸透	創出財が、最終的に目標とするスケールで受容され、継続的に生産・消費（利用）されている状態。

表 II-13　本課題における HRL の定義

本課題における HRL（Human Resources Readiness Level）の定義		
1	基礎検討	創出財を作り出すうえで必要となるコア人材※（量子技術人材）のスキル要素が検討された状態。 ※財の特長に係るスキルを保有する人材
2	仮説	量子技術人材のスキル要素に加え、事業モデルの実施に必要なスキル要素群の仮説が立てられた状態。目的に賛同し、スキル要素群や事業領域に精通した人材等でのチーミング、育成（学びなおし）等の対応策の仮説が立てられた状態。
3	検証	シミュレーションや実業務（OJT）等を通じて、上記の仮説や対応策（スキル要素群の過不足、チーミングの適正等）が検証されている状態。有効性が確認されるまで仮説と検証が繰り返されている状態。
4	初期テスト	初期テストの実施を通して、上記の仮説や対応策が検討され、必要に応じて実装に重要な人材が補充された状態。育成（学びなおし）等の対応策が上記に連動して実施されている状態。
5	実証	実証試験の実施を通して、上記の仮説や対応策が検討され、必要に応じて実装に重要な人材が補充された状態。育成（学びなおし）等の対応策が上記に連動して実施されている状態。
6	実施計画	当該領域において必要な人材のスキル要素群と必要量、教育方針と手段、マッチング手法が明らかになり、実施に向けた計画が策定された状態。
7	スケール	当該領域において必要な人材の教育環境の整備が進むとともに、それら人材が社会で最適にマッチングされながら活躍の場が拡がる状態。
8	安定的な人材輩出	当該領域において必要な人材の輩出が社会全体で行われ、適切な活用がなされている状態。また、スキル要素群の高度化が図られている状態。

6. 対外的発信・国際的発信と連携

量子未来社会ビジョンにおいて述べられているように、「量子技術」は一般には分かりにくく敷居が高いこともあり、興味はあるものの手を出すことに躊躇する傾向が強く、産業界もその例外ではない。また、本課題で掲げたサブ課題に関しても、各々研究開発のフェーズ、社会実装、市場等が異なることから、それぞれ興味を示す大学・公的機関・企業等の業界も異なることも予想される。こうした状況から、一体的な事業として広報展開をしていくことを踏まえつつ、目的、対象に応じた情報発信も効果的に実施していくことも重要と言える。

上記を踏まえ、社会一般、広範な産業界に対して、量子技術が何に役立つのかも含めて「量子」や「量子技術」を分かりやすく伝え、周辺分野からの人材の呼び込みや、若手人材やハイブリッド人材の育成にも繋がることを念頭に、本課題における活動の認知を向上させる取組を実施する。加えて、比較的本技術になじみの深い企業、企業ネットワーク等を対象として SIP に関する活動、研究成果等の情報を適宜発信して、その関心・興味を喚起する取組を実施する。さらに、産業界の協議会・コンソーシアム等と緊密に連携し、適宜協力を得つつ、意見交換等を通じて、業界内外へのより効果的な情報発信等を検討・実施していく。

具体的には、SNS、YouTube 等のメディアへの掲載、動画や冊子、ポスター、アプリ等のコンテンツの作成・活用、一般向けシンポジウムや企業展示会といったイベントへの参画や企画等を行う。さらには、2025 年日本国際博覧会（大阪・関西万博）への参画に向けて、本課題における量子暗号通信、量子センシング、イノベーション創出基盤に関連するコンテンツの各種調整・企画等を行うとともに、展示物等の仕様の決定・制作等に取り組む。

国際的発信については、国際シンポジウム等の開催・出展に加え、英語の HP の作成・充実化を図る。

III. 研究開発計画

1. 研究開発に係る全体構成

本課題におけるサブ課題および研究開発テーマの全体像を図 III-1 に示す。サブ課題としては「量子コンピューティング」「量子セキュリティ・ネットワーク」「量子センシング」「イノベーション創出基盤」の4つを置く。

「量子コンピューティング」「量子セキュリティ・ネットワーク」「量子センシング」おいては、特にユースケース開拓に重点を置き、比較的短期（SIP 期間中～終了後数年）での社会実装事例の創出を目指す。また、国内での実証フィールドが整備されていない「量子コンピューティング」「量子センシング」においては、ユースケース開発に重要なテストベッド等の構築にも注力する。システムの性能や性能評価手法等に関する標準化についても検討を進め、日本の強みを活かせる標準化提案に取り組む。

また、「量子コンピューティング」では、特に周辺技術（冷却、極低温・超高性能制御等）を巻き込んだサプライチェーンの構築・強化が重要になるとの問題意識の下、周辺技術に強みを持つ企業の意識・関心を高めてもらうためのロードマップ作成にも取り組む。

「イノベーション創出基盤」では、他3つのサブ課題で共通的に必要となる基盤的要素に取り組む。具体的には、量子技術関連でのスタートアップ企業の支援環境整備、量子技術人材を育成するための教育プログラムの開発と実践、量子技術関連のビジネスコンテストによるアイデア・人材の発掘、種々の研究成果とユーザ企業側のニーズのマッチング等を推進する。

A.量子コンピューティング

A-1.テストベッド利用環境整備
量子コンピューティング技術の社会実装を促進する「量子・古典ハイブリッドシステム」のテストベッドの利用環境の整備を実施する。

A-2.ユースケース開拓・実証
量子コンピュータの利用が期待される有望な主要領域（創薬、金融、物流、スマートファクトリー、エネルギー、生活サービス等）において、産業利用拡大、キラーアプリケーションの創出を目的とした新たなユースケース（実利用を踏まえたアルゴリズムを含む）の開拓・実証を行う。

A-3.ベンチマーク・標準化
アプリケーション開発や実用化研究等を加速するため、量子コンピュータが有用な計算問題群とボトルネックを同定し、性能を客観的に評価・比較できるベンチマークを開発する。

A-4.ロードマップ等策定
国産量子コンピュータの大規模化及び実用化を見据えて、量子コンピュータの技術仕様を明確化し、技術ロードマップ・俯瞰図を策定することで、中小企業の参入、スタートアップ企業の創出を加速させ、サプライチェーンの強靭化を図る。

B.量子セキュリティ・ネットワーク

B-1.量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築
多地点量子暗号・秘密分散ネットワークの高機能化・高信頼化、及び耐量子計算機暗号（PQC）に基づく耐量子-公開鍵認証基盤との連携による次世代暗号基盤を開発し、量子・古典ハイブリッドセキュリティの実証を行う。
さらに、多様な量子・古典計算資源を高秘匿回線でネットワーク化・水平統合し、安全かつ高効率な情報処理を可能とする量子・古典ハイブリッド計算技術を開発し、多様なユーザが量子技術にアクセス可能な「高度情報処理基盤」を構築する。

B-2.ユースケース開拓・実証
金融、医療・ゲノム、製造、モビリティといった機微な情報を取り扱う様々なユーザと連携しながらユースケースを開拓し、量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の社会実装に向けて、量子技術融合による基幹ICTインフラの高度化実証を行う。

B-3.秘密計算などの活用
プライバシーを保護しつつデータ解析・演算できる秘密計算技術の高度化・実証を行う。

C.量子センシング

C-1.量子センシング等の利用・試験・評価環境の構築
多様な分野の企業・大学等が、量子センシング・量子マテリアル等を容易に利用・試験・評価できる環境（ユーザビリティ向上のための支援体制やユーザ同士の協調等を促進する産学官の体制も含む）を構築する。

C-2.ユースケース開拓・実証
超高精度、超高感度な量子センシングの特長を生かし、様々な領域（健康・医療、エネルギー、自動運転、防災、資源探査等）において、新産業創出や生産性向上等の新たな価値を創出するユースケースの開拓・実証を行う。

C-3.時空間ビジネス基盤の構築
相対論的測地による高精度な位置決めや超高速通信等を実現するために、光格子時計ネットワークシステムや時間・周波数基準装置の高度化と堅牢化を実施し、ベンチャー企業等を通じて、光格子時計を活用した超高精度な時間・周波数信号を配信する時空間ビジネスの基盤を構築・実証する。

D.イノベーション創出基盤

D-1.スタートアップ企業創出・支援
各分野での研究成果やテストベッド等を活用して、量子技術に注目するVCと連携しながら、新事業・サービスを創出するスタートアップ企業を創出していくための支援を行う。

D-2.教育プログラムの開発と実践
産学の幅広い分野の若手人材（学生、研究者・技術者、経営者等）を対象に、量子技術を利活用する能力を育成するための教育プログラムを開発・提供する。

D-3.アイデア発掘
量子技術を活用した製品・サービスやビジネスアイデアを競うコンテスト（ピッチコンテスト、アイデアソン／ハッカソン等）企画するなどして、新たな事業・サービス・アイデアを発掘・創出するための仕組みや体制を構築し、経済・社会にハイインパクトなキラーアプリケーションの発掘を目指す。

D-4.エコシステム構築
ユーザ企業・ベンダー企業を含む多様な分野の企業の新規参画を促進するため、量子技術の研究成果や実用化・事業化等に関する積極的な情報発信や、シーズ企業（研究開発成果）とニーズ企業とのマッチングを図るためのエコシステムの仕組みや体制等を構築する。

図 III-1 サブ課題および研究開発テーマの全体像

2. 研究開発に係る実施方針

（1）基本方針

「量子コンピューティング」「量子セキュリティ・ネットワーク」「量子センシング」におけるユースケース開拓は個社の事業化に直結するものであることから、その研究開発におけるオープン・クローズの基本的な方針は、各ユースケース開拓に取り組む企業（群）の戦略を尊重する。その際、企業（群）の側から質問・相談があった場合には、必要に応じて知財委員会等の場を活用しながら、有識者からの助言・支援を行う。

「量子コンピューティング」「量子センシング」で実施するテストベッド等の構築においては、要素技術は国内外からオープンに収集・活用するものの、システム化する段階はクローズドに開発してノウハウを秘匿する。また、開発したテストベッドについては、国内外のプレイヤーへオープンに提供する一方、テストベッド利用を通じてユーザから集まるフィードバック等はクローズドにして、テストベッド改善に活用することで、テストベッド自体の有用性や競争力を高める。

「イノベーション創出基盤」で実施する人材育成においては、特に国内ユーザ企業の要望をオープンに取り入れ、可能な限り迅速に教育プログラムを開発する。また、開発した教育プログラムについては広く公開し、大学・企業等での利用を促すと共に、教育プログラムの改善点や利用方法・ノウハウの収集を行う。

（2）知財戦略

量子技術の場合、サブ課題毎に研究開発のフェーズが異なる一方、まだ産業として成熟していないことが共通であると言える。知財は権利確保という点に加え、排他的な機能もあることから、競争力の強化だけでなく、技術の普及を滞らせる一面もある。これらを踏まえて、研究開発成果については、その内容に応じて、オープン・クローズ戦略[7]に基づき、知財化を検討していく必要がある。こうした具体的な知財の取り扱い方については、PD を委員長とし、サブ PD や様々な分野・業界の有識者を含めた知財委員会により、方針を策定していく。この知財委員会については、研究推進法人の下に設置する。また、全参画機関間で NDA を結び、より活発な意見交換をして、課題全体がより進捗するような枠組みを形成する。また、特許出願は積極的に実施するよう推奨し、一方で技術の普及を念頭に、実施許諾について許諾料を低く抑える等の措置を検討する。

（3）データ戦略

特に「量子コンピューティング」、「量子セキュリティ・ネットワーク」においては、他課題との連携による

[7] 小川紘一「オープン＆クローズ戦略」によれば、「オープン」とは、製造業のグローバリゼーションを積極的に活用しながら、世界中の知識・知恵を集め、そしてまた自社/自国の技術と製品を戦略的に普及させる仕組みづくりである。「クローズ」とは、価値の源泉として守るべき技術領域を事前に決め、これを自社の外あるいは自国の外に伝播させない仕組みづくりである。この 2 つを組み合わせながら、大量普及と高収益をグローバル市場で同時実現させるのがオープン＆クローズ戦略である。

各分野でのユースケース開拓に取り組み、そこで扱う実データをテストベッド等の上で処理することで、テストベッド等の改善に向けたフィードバックを得る。

（4）国際標準戦略

量子技術全般については、ISO/IEC JTC3 等における活動を通じて標準化を推進し、日本が保有するコア技術・製品を活用できるような国際標準の策定を目指して取り組む。

特に「量子コンピューティング」「量子センシング」については、SIP 期間半ばまでは、ソフトウェアや計算・計測システムの性能・性能評価手法の基準について国内で検討した上で、デジュール標準[8]を目指して国際機関に対して提案を行う。「量子セキュリティ・ネットワーク」については、標準化プロセスに従いつつ、これまで日本が強みとしている技術をできる限り活かせるよう、標準の内容についての提案等を検討・実施する。

いずれについても、単純に「日本が強みを有する技術を標準に組み込む」のではなく、「日本が強みを有する技術の価値が最大化するような標準を策定する」ことが目的であることに留意し、ベンダー・ユーザ双方を交えた検討・調整を行う。

（5）ルール形成

量子技術自体には研究開発へ直接的に影響する法制度等は存在しないものの、量子技術のユースケースにおける各分野では、様々な法制度・規制・基準等が存在する（例えば医療、金融、交通、通信等）。ユースケース開拓を進めるに当たっては、適用先分野で整備すべきルール等の検討・抽出を行い、本課題に参画している府省（内閣官房、内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省・経済産業省・防衛装備庁）を中心にその改善方策を検討し、働きかける。

（6）知財戦略等に係る実施体制

① 知財委員会、及び知財作業部会

- ○ 本課題の知財委員会を研究推進法人に置く。
- ○ 知財委員会は、研究開発成果に関する論文発表及び知財権の権利化・秘匿化・公表等の方針決定等のほか、必要に応じ知財権の実施許諾に関する調整等を行う。
- ○ 知財委員会は、原則として PD または PD の代理人、主要な関係者、専門家等から構成する。
- ○ 知財委員会の詳細な運営方法等は、知財委員会を設置する機関において定める。
- ○ 各研究チームに、知財作業部会を置く。
- ○ 知財作業部会は、研究チームで得られた成果の論文発表・学会発表・報道発表等公表の取扱いに関する協議、方針決定等を行う。
- ○ 知財作業部会の部会長は研究チームの研究開発責任者とする。

---

[8] 江藤学「標準化ビジネス大全」によれば、デファクト標準とは「市場競争の結果として生まれた事実上の標準」であり、デジュール標準とは ISO・JISC のような「標準化を公的に行う組織において、定められた手順に沿って作成された標準」である。フォーラム標準は「特定の技術を標準化したい者が集まって議論して標準化した」標準である。

○ 知財作業部会の詳細な運営方法等は、知財作業部会を設置する機関において定める。

② 知財及び知財権に関する取り決め

○ 研究推進法人等は、秘密保持、バックグラウンド知財権（研究開発責任者やその所属機関等が、プログラム参加前から保有していた知財権及びプログラム参加後に SIP の事業費によらず取得した知財権）、フォアグラウンド知財権（プログラムの中で SIP の事業費により発生した知財権）の扱い等について、予め委託先との契約等により定めておく。

③ バックグラウンド知財権の実施許諾

○ 他のプログラム参加者へのバックグラウンド知財権の実施許諾は、知財の権利者が定める条件に従い（（注）あるいは「プログラム参加者間の合意に従い」）、知財の権利者が許諾可能とする。
○ 当該条件などの知財の権利者の対応が、SIP の推進（研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む）に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

④ フォアグラウンド知財権の取扱い

○ フォアグラウンド知財権は、原則として産業技術力強化法第 17 条第 1 項を適用し、発明者である研究開発責任者の所属機関（委託先）に帰属させる。
○ 再委託先等が発明し、再委託先等に知財権を帰属させる時は、知財委員会による承諾を必要とする。その際、知財委員会は条件を付すことができる。
○ 知財の権利者に事業化の意志が乏しい場合、知財委員会は、積極的に事業化を目指す者による知財権の保有、積極的に事業化を目指す者への実施権の設定を推奨する。
○ 参加期間中に脱退する者に対しては、当該参加期間中に SIP の事業費により得た成果（複数年度参加の場合は、参加当初からのすべての成果）の全部または一部に関して、脱退時に研究推進法人等が無償譲渡させること及び実施権を設定できることとする。
○ 知財の出願・維持等にかかる費用は、原則として知財の権利者による負担とする。共同出願の場合は、持ち分比率及び費用負担は、共同出願者による協議によって定める。

⑤ フォアグラウンド知財権の実施許諾

○ 他のプログラム参加者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、知財の権利者が定める条件に従い（（注）あるいは「プログラム参加者間の合意に従い」）、知財の権利者が許諾可能とする。
○ 第三者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、プログラム参加者よりも有利な条件にはしない範囲で知財の権利者が定める条件に従い、知財の権利者が許諾可能とする。
○ 当該条件等の知財の権利者の対応が、SIP の推進（研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む）に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

⑥ フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転の承諾

○ 産業技術力強化法第 17 条第 1 項第 4 号に基づき、フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転には、合併・分割による移転の場合や子会社・親会社への知財権の移転、専用実施権の設定・移転の場合等（以下、「合併等に伴う知財権の移転等の場合等」という。）を除き、研究

推進法人等の承認を必要とする。

○ 合併等に伴う知財権の移転等の場合等には、知財の権利者は研究推進法人等との契約に基づき、研究推進法人等の承認を必要とする。

○ 合併等に伴う知財権の移転等の後であっても研究推進法人は当該知財権にかかる再実施権付実施権を保有可能とする。当該条件を受け入れられない場合、移転を認めない。

⑦ 終了時の知財権取扱い

○ 研究開発終了時に、保有希望者がいない知財権等については、知財委員会において対応（放棄、又は、研究推進法人等による承継）を協議する。

⑧ 国外機関等（外国籍の企業、大学、研究者等）の参加

○ 当該国外機関等の参加が課題推進上必要な場合、参加を可能とする。

○ 適切な執行管理の観点から、研究開発の受託等にかかる事務処理が可能な窓口又は代理人が国内に存在することを原則とする。

○ 国外機関等については、知財権は研究推進法人等と国外機関等の共有とする。

（7）その他

量子技術は、未だに基礎研究段階のテーマも多い未成熟な領域であるため、研究開発のトレンドは激しく変化しており、短期間での技術の陳腐化のリスクが高いと言える。従って、そのためにも研究開発・技術動向については SIP 期間を通じて継続的に調査を行い、（特にテストベッド等の開発においては）外部の技術をできる限りオープンに取り入れることに努める。また、代替技術の出現等、その後の研究開発・技術動向に大きなインパクトを持つイベントが発生した際には、年度中であっても PD を中心として検討を行い、研究開発計画の修正等必要な措置を講じる。

3. 個別の研究開発テーマ

（1）【量子コンピューティング】A-1 量子・古典ハイブリッドテストベッドの利用環境整備

多くのユーザによる量子コンピュータ等の利用の拡大やユースケース（アルゴリズム開発も含む）の開拓を目指し、量子コンピュータやこれと古典計算機システムを組み合わせた「量子・古典ハイブリッドシステム」について幅広いユーザが利用できるテストベッドを提供する。さらに、多くのユーザ企業、大学／公的研究機関等の産学官が連携して量子コンピュータ等を開発・活用するエコシステムの構築を目指す。

① 研究開発目標

サブ課題 A「量子コンピューティング」の研究開発テーマ A-2、A-3、A-4 にて活用するとともに、SIP 終了後も持続的に利用できるようにすることを見据えて下記を目標とする。

1. 2025 年度までに量子・古典ハイブリッドシステムの初期版を公開 《達成目標①1》【TRL：4、BRL：4、GRL：4、SRL：3、HRL：3】

2. 2027 年度までに量子・古典ハイブリッドシステムの本格運用や持続的な利用環境提供のための運営体制を構築するとともに、国産量子コンピュータの利活用モデルを構築《達成目標①2》【TRL:6、BRL:6、GRL:5、SRL:6、HRL:5】

② 実施内容

国産機を含む量子コンピュータや、これと古典計算機システムを組み合わせた「量子・古典ハイブリッドシステム」について、幅広いユーザがアプリケーション開発等に利用できるテストベッド利用環境（サービス提供体制も含む）を整備する（図 III-2）。この際には、ユーザビリティやアクセシビリティ等を含むユーザニーズを踏まえて利用環境を整備する。

さらに、本テストベッドを基に、外部協議会・コンソーシアム等が連携し、産学官が量子コンピュータ等を開発・活用するエコシステムを構築する。さらに量子・古典ハイブリッドテストベッドの持続的な利用環境提供のための運営体制の構築を行う。

また、国産機の量子コンピュータについてはハードウェアの深いレベルまで操作・利活用できる特長を有していることから、制御システム（制御装置・ミドルウェア）からソフトウェア（量子・古典ハイブリッド計算を含むアルゴリズムやアプリケーション等）まで多様なケースで利活用するとともに、その結果をテストベッド利用環境の高度化にもフィードバックする利活用モデルを構築する。

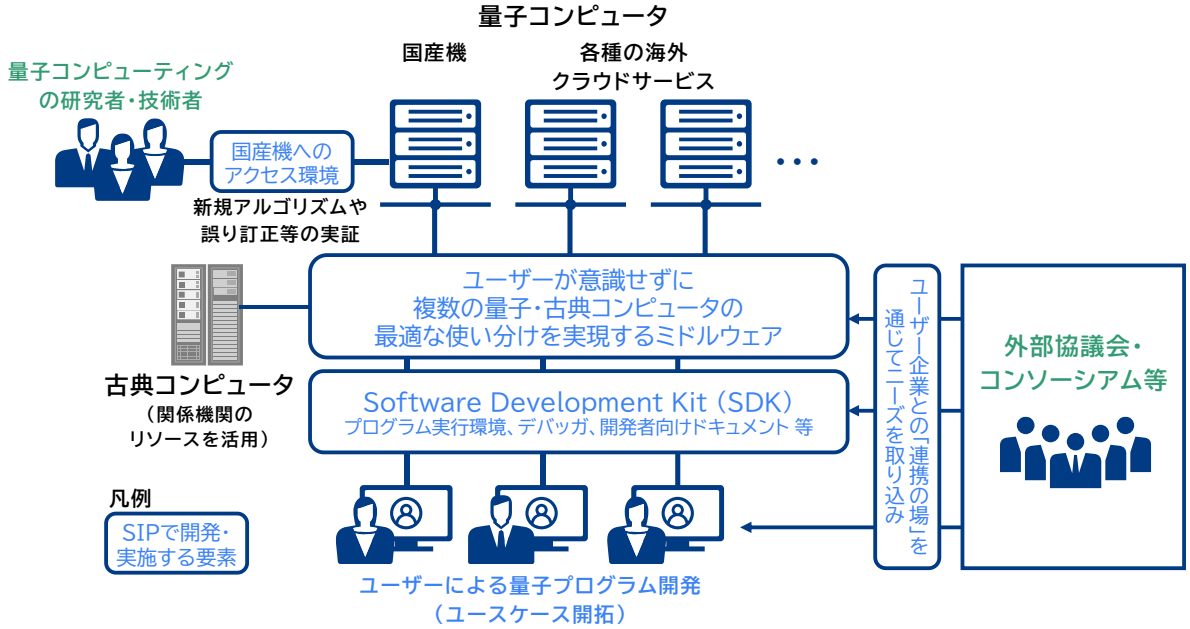


図 III-2 【量子コンピューティング】テストベッド利用環境

研究チーム A-1a：量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境整備に関する研究開発

予算配分額（2023 年度）：1.94 億円
予算配分額（2024 年度）：1.94 億円
研究開発責任者：　田中宗（学校法人慶應義塾）
共同研究機関：　学校法人早稲田大学

国立研究開発法人産業技術総合研究所
株式会社フィックスターズ
日本電気株式会社

実施内容を実現するために、図 III-3 に記す体制で本研究開発を実施する。2つの実施項目が相互に緊密な連携をするために、常に各研究開発機関の研究進捗状況を把握することを企図した、研究開発進捗報告ミーティングを定期的に設ける。加えて、日本電気を中心に、随時、国内のユーザ企業等へのヒアリングを行うことで、ユーザニーズを適切に取り込んだテストベッド利用環境整備を行う。また、量子コンピューティングの社会実装を進めるにあたり、量子・古典ハイブリッドアルゴリズムを試すことが可能なテストベッドが整備されていないことが課題である。そこで、産総研が量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル拠点の一環として整備を進めている量子・AI ハイブリッドクラウド（ABCI-Q）において、提案する量子・古典ハイブリッドテストベッド利用環境を自ら社会実装する。これは、大規模 AI スーパーコンピュータを基盤に GPU ベースの量子インスパイアドコンピュータや量子回路シミュレータ等を統合したクラウドサービスである。量子コンピュータ技術の産業化に向けたユースケース創出を促進するために、量子・古典ハイブリッド技術を容易に試せる場として、産学官に広くアクセス可能な環境を整備する予定である。ABCI-Q は 2025 年に本格運用を開始する計画である。本課題の実施においては、現行の ABCI 上で試作や予備評価を実施し、その成果をフィードバックすることで、2025 年度以降に ABCI-Q 上で本格運用を想定した開発および評価を実施する。また、本格運用に向けて、現行の ABCI の利用モデル（想定利用者、課金体系、サービス体系等）を元に量子・古典ハイブリッドコンピューティングの実態に合わせた利用モデルを構築し、継続的な運用が可能な体制を整備する。

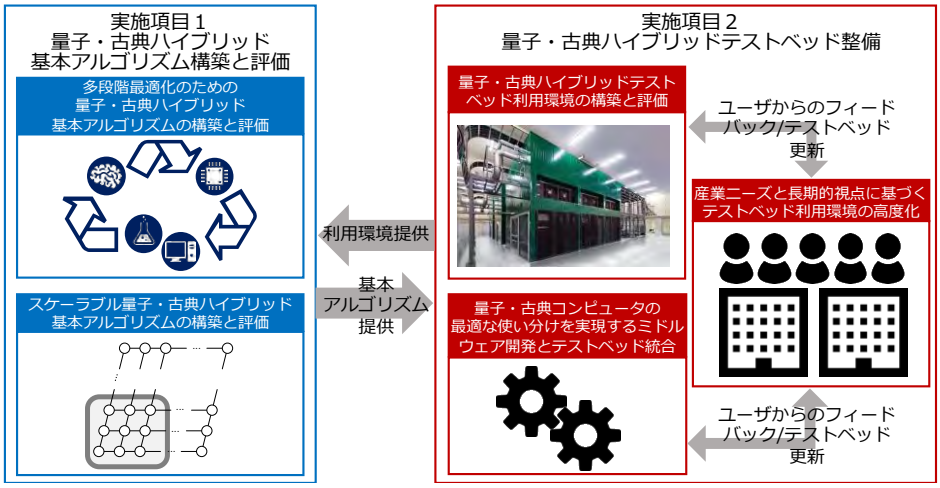


図 III-3 本研究開発の実施体制

また、日米欧量子コンピューティング連携協力の一環として、量子・古典融合計算基盤においての整備、国内では日本がリードするシミュレーテッドアニーリングを中心に、国内外の量子アニーリングや量子ゲートを統合した計算基盤の開発を進める。量子コンピュータに必要となる既存技術(部品や装置)の高度化・新規開発の体制を構築する。

研究チーム A-1b：国産量子コンピュータによるテストベッドの利用環境整備と運用

予算配分額（2023 年度）：0.62 億円
予算配分額（2024 年度）：1.02 億円
研究開発責任者：　萬伸一（国立研究開発法人理化学研究所）
共同研究機関：　国立大学法人大阪大学
株式会社 QunaSys

図 III-4 に本研究開発で目指すテストベッド環境の全体像を示す。多くのユーザによる量子コンピュータ等の利用の拡大やユースケースの開拓を目指し、量子・古典ハイブリッドシステムテストベッドを提供する。SDK などのソフトウェアの整備、量子コンピュータとの接続に関する環境整備と運用、多くのユーザ企業、大学／公的研究機関等の産学官が連携して量子コンピュータシステムを活用するエコシステムの構築を目指す。

本テストベッドでは次の 3 つの環境をユーザに提供する。

a）量子古典アルゴリズム実行環境の提供
b）量子誤り抑制機能の提供（量子誤り抑制）
c）SDK (QURI Parts)による実機・シミュレータ利用環境の提供

本研究開発は次の 3 つの研究開発項目を実施することにより実現を目指す。

研究開発項目(1) 量子古典ハイブリッドシステムのユーザインターフェースソフトウェア構築
研究開発項目(2) 国産機のクラウド利用のためのハードウェア・ソフトウェア構築と運用
研究開発項目(3) テストベッド利活用エコシステムの構築と運用

国産実機のチップや実装などはクローズだが、テストベッド利用環境整備はオープン領域であり、社会実装に向け広く仲間づくりを重視する。量子・古典ハイブリッド利用は当面の量子技術浸透に必須でありこのテストベッド環境提供により、多様な利用ニーズ（アルゴリズム）への対応力の強化を目指す。運用はテストベッド利用に必須の要素である。現研究機関による公的テストベッドの継続、共同研究先企業への移管・委託、量子コンピュータ運用ベンチャー企業の設立など、多岐に渡る出口の選択肢が考えられる。期間内に方針を固める。

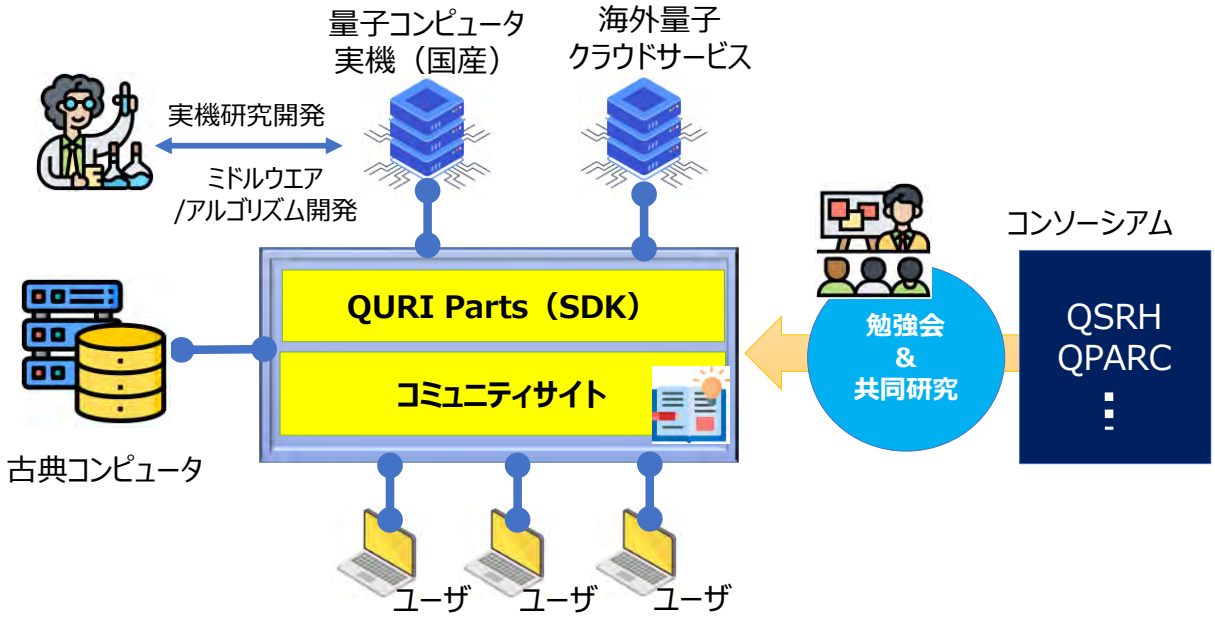


図 III-4 実現するテストベッドの概要図

③ 研究開発に係る工程表

各研究開発の工程表は以下の通り。

「量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境整備に関する研究開発」では、令和5年度から令和7年度にかけてテストベッド構築に向けた課題の整理、ベンチマーク指標の検討、設計開発を行い、令和8年度より初期システムを公開する（図 III-5）。その後、令和8年度から令和9年度にかけて試行運用を行い、課題のフィードバックとシステムの改良を行い、本格運用に向けた体制を確立する。

「国産量子コンピュータによるテストベッドの利用環境整備と運用」では、令和5年度及び令和6年度にSDK、ドキュメント、コミュニティサイト等の整備を行い、テストベッドの利用に向けた環境を用意する。令和7年度以降は、これら環境の利用を通じて課題抽出や機能拡充を行い、運用体制の確立を目指す。

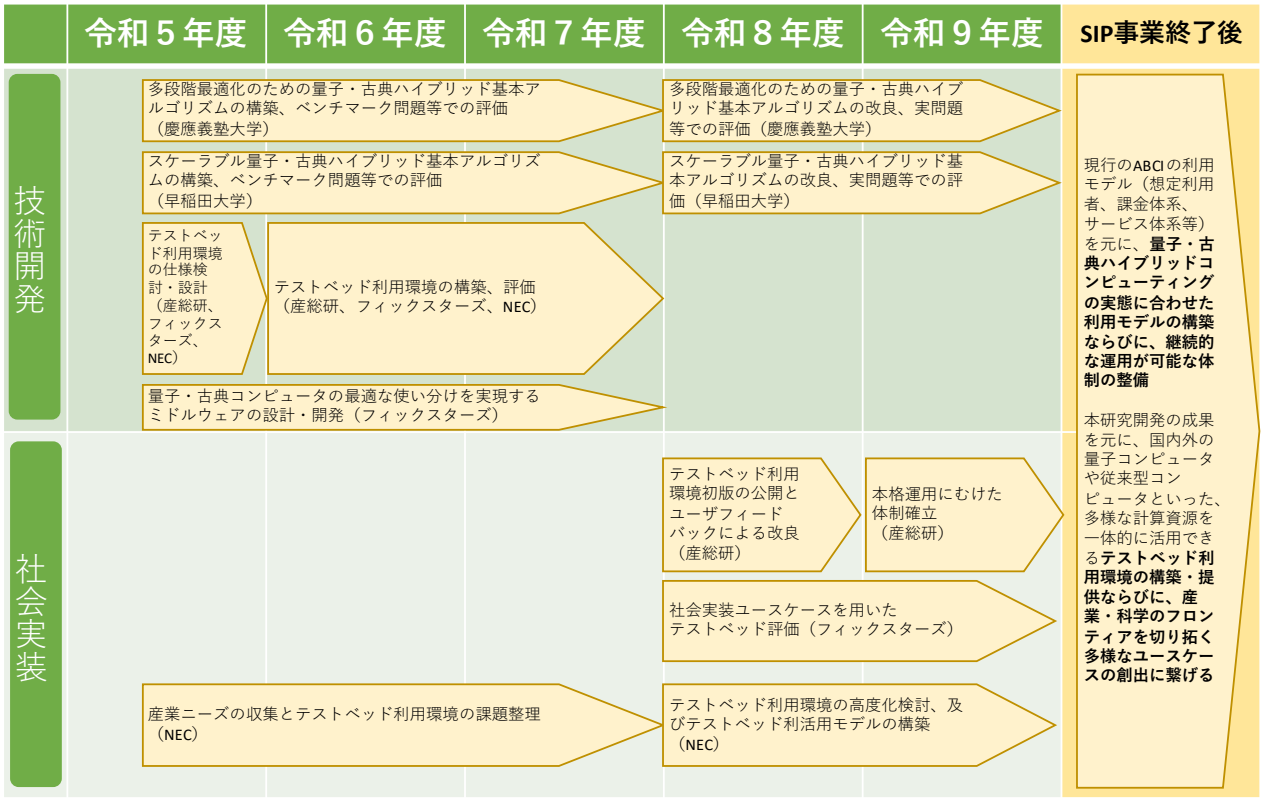


図 III-5 工程表（研究チーム A-1a：量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境整備に関する研究開発）

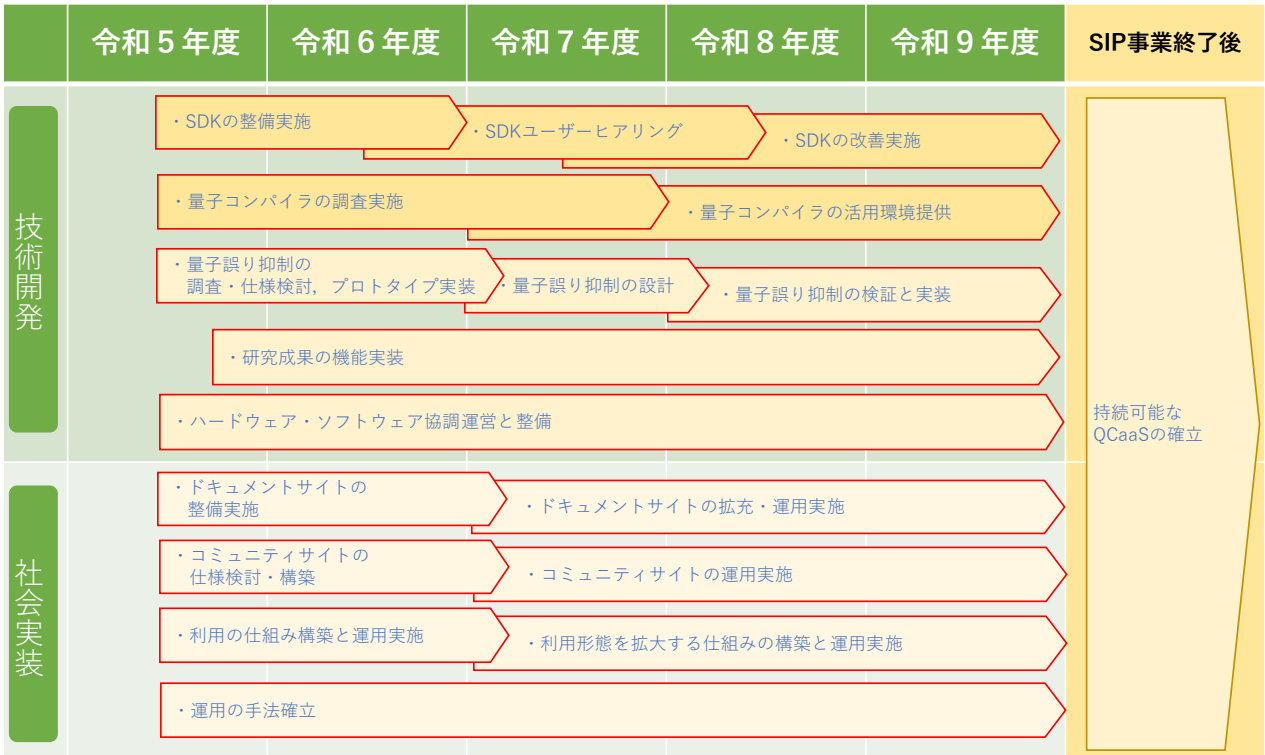


図 III-6 工程表（研究チーム A-1b：国産量子コンピュータによるテストベッドの利用環境整備と運用）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム A-1a：量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境整備に関する研究開発

実施項目1「量子・古典ハイブリッド基本アルゴリズムの構築と評価」において、様々な産業領域における社会課題に内在する組合せ最適化問題を量子・古典ハイブリッドテストベッドで解くために必須の技術である、多段階最適化基本アルゴリズムやスケーラブル量子・古典ハイブリッド基本アルゴリズムに関する調査、ならびに初期評価を行い、おおむね良解が得られていることを確認した。また、実施項目 2「量子・古典ハイブリッドテストベッド整備」において、量子・古典ハイブリッドアプリケーションを効率的に実行するためのテストベッド利用環境の仕様の検討、及び設計を行った。図 III-7 に量子・古典ハイブリッドテストベッドの概要を示す。また、開発するテストベッド利用環境にユーザからのニーズを取り入れることを目的とし、ユーザへのヒアリングによるニーズ収集のための活動を行った。さらに、ENTRA7 Quantum Computing Symposium を企画し、日米欧の研究機関、ソフトウェアベンダ、クラウドベンダを招いて、最新の量子・古典ハイブリッドコンピューティング技術に関する開発、運用の動向を共有し、今後の連携について議論を行った。

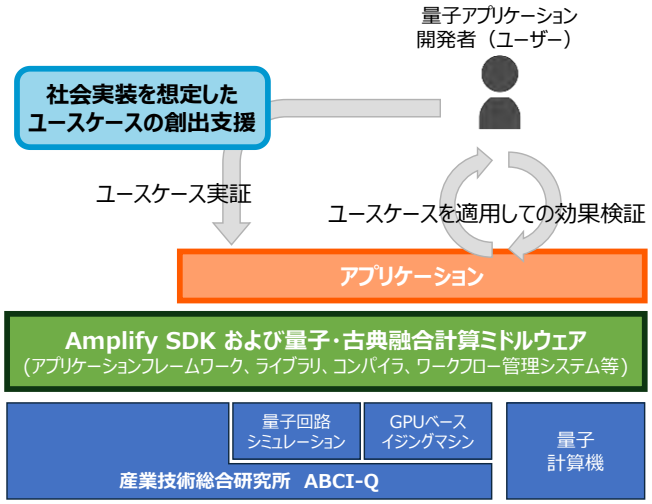


図 III-7 量子・古典ハイブリッドテストベッド概要

研究チーム A-1b：国産量子コンピュータによるテストベッドの利用環境整備と運用

量子古典ハイブリッドテストベッドの基幹となる量子実機のユーザ利用、及び実機監視システム構築に着手し試験的運用を開始した。SDK の開発へ向け、接続インターフェースの設計指針を確定した。テストベッド拡張機能として量子誤り抑制に関して先行技術調査・仕様検討をおこない機能検証を終了した。ユーザ利用の仕組みについて、ユーザ候補のヒアリングや類似の公開システムの制度面の検討を行った。また、ユーザに実機の情報の提供や利用に関する FAQ をやりとりするコミュニティサイト、SDK の情報や活用法が掲載されたドキュメントサイトの初期版を立ち上げた。

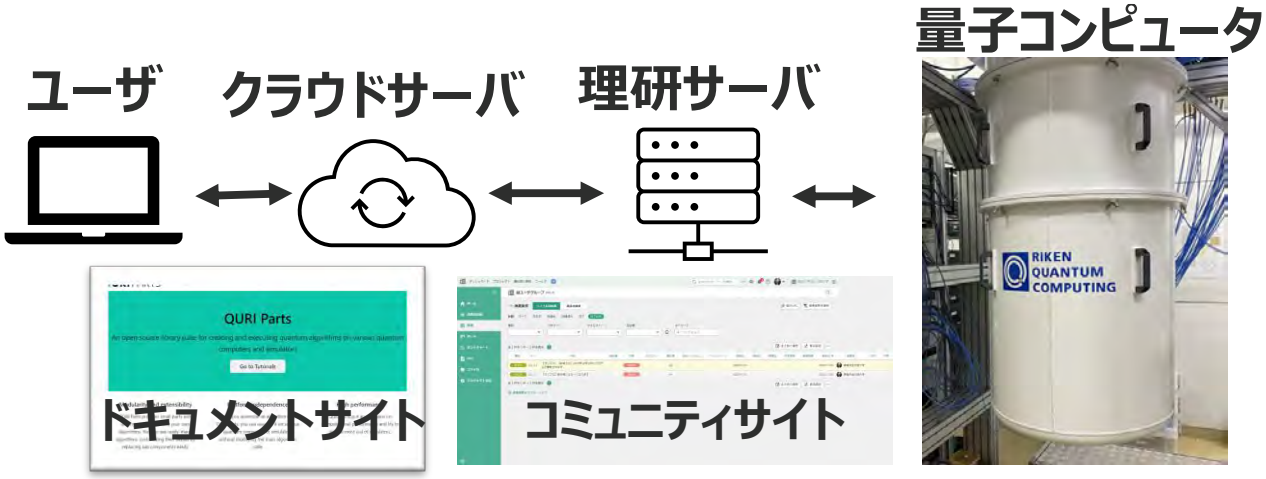


図 III-8 コミュニティサイト・ドキュメントサイトの概要

（2）【量子コンピューティング】A-2 新産業創出・生産性向上等に貢献するユースケース開拓・実証

量子コンピュータ（ゲート型、アニーリング型（古典技術によるアニーラも含む））の利用が期待される有望な領域（材料、創薬、金融、物流、スマートファクトリー、エネルギー、生活サービス等）において、新産業創出・生産性向上等に貢献する新たなユースケース(実利用を踏まえたアルゴリズム開発も含む)の開拓・実証を行う。

① 研究開発目標

量子コンピュータを活用（必要に応じて古典コンピュータも組み合わせて活用）することによって、新産業創出・生産性向上等に貢献する新たなユースケース（実利用も踏まえたアルゴリズムも含む）の創出や、これらの事業化・社会実装に向けて取り組むため、下記を目標とする。

1. 2027 年度までに、新産業創出・生産性向上等に貢献する新たなユースケース（実利用を踏まえたアルゴリズムも含む）を開拓・実証し、これらの事業化の見通しを立てるとともに、可能なものについては早期の社会実装を実現する。《達成目標①2》【TRL：6、BRL：7、GRL:4、SRL：5、HRL：5】

② 実施内容

量子コンピュータの利用が期待される有望な領域（材料、創薬、金融、物流、スマートファクトリー、エネルギー、生活サービス等）において、量子コンピュータを活用（必要に応じて古典コンピュータも組み合わせて活用）することによって、新産業創出・生産性向上等に資する新たなユースケース（実利用を踏まえたアルゴリズムを含む）の開拓・実証を行う。さらに、ユースケースの事業化の見通しを立てるとともに、可能なものについては社会実装を実現する。

ユースケースの開拓・実証の際には、量子計算が有効なユースケースの創出や、大きな経済・社会イ

ンパクトや産業利用拡大が期待できるキラーアプリケーションの創出を目指すものとする。さらには、各ユースケースの実証を通じて事業化・社会実装を進める上での課題を抽出し、産学官の連携等によって課題解決に取り組む。

研究チーム A-2a：材料開発現場向け量子コンピュータ高精度計算活用基盤の構築

予算配分額（2023 年度）：0.24 億円
予算配分額（2024 年度）：0.84 億円
研究開発責任者：　松岡智代（株式会社QunaSys）

本研究開発では、量子コンピュータの利用が期待される有望な領域の一つである量子化学分野（以下、高精度計算と記載）を対象として、活用可能性の提示（＝「あったらいいね」）ではなく、関連産業の研究開発投資を後押しする強力なサポートファクトとなりえるユースケースを提供することを目指す。

具体的には、人や古典をはじめとする他計算手法がある中で、「あえて量子コンピュータを使う」意味のある領域、及び、使い方を実証する。さらに、実証された領域・使い方を、実際に各社の開発において活用するための道筋（＝手順及びソフトウェア基盤）を明確にすることを目指す。より具体的には、次の3つの状態の実現を目指す（図 III-9 参照）

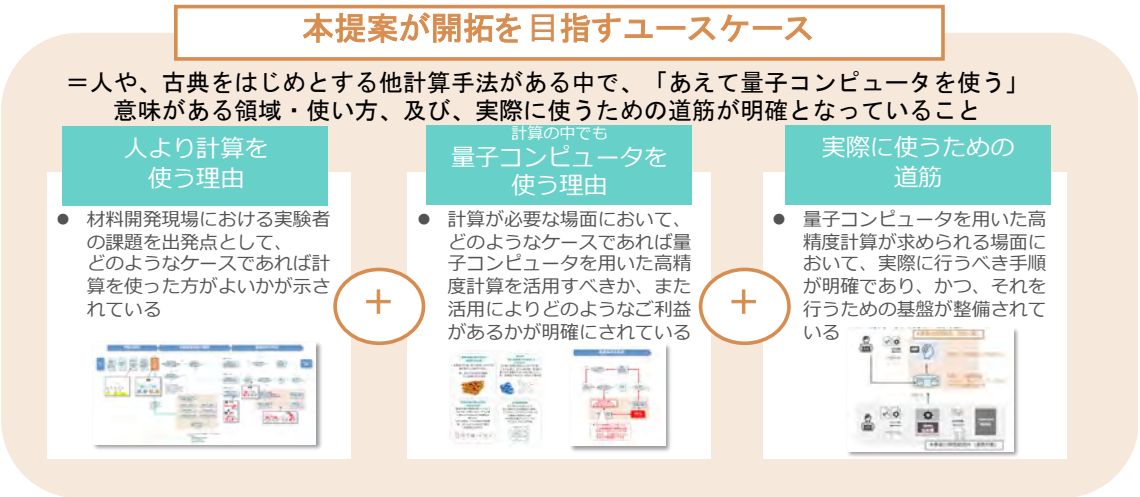


図 III-9　本研究開発が実証を目指すユースケース

本研究開発により生み出される資産は、主に①産業での適用事例集、及び②量子コンピュータ計算データ蓄積基盤の二つである。いずれも、そこから生み出される「産業価値」にはエコシステムの各プレイヤーがアクセス・活用できるようにしつつ、その産業価値の源泉となるデータやノウハウは秘匿化することにより、開発成果の競争力を維持することを出口戦略として想定する。

研究チーム A-2b：量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組

予算配分額（2023 年度）：2.2 億円
予算配分額（2024 年度）：3.4 億円

研究開発責任者:　堀部雅弘（国立研究開発法人産業技術総合研究所）
共同研究機関:　三菱ケミカル株式会社
国立大学法人九州大学
みずほリサーチ＆テクノロジーズ株式会社
学校法人早稲田大学
株式会社KDDI総合研究所
株式会社長大
一般社団法人量子技術による新産業創出協議会
トロント大学
国立大学法人東京科学大学
三井住友信託銀行
株式会社三菱 UFJ ファイナンシャル・グループ

量子コンピュータの利用が期待される有望な領域（材料、創薬、金融、物流、スマートファクトリー、エネルギー、生活サービス等）において、必要に応じて、古典コンピュータも組合せながら、量子コンピュータを活用する。これにより、新産業創出や生産性向上等に資する新たなユースケース（実利用を踏まえたアルゴリズムを含む）の開拓・実証を行う。さらに、ユースケースの事業化の見通しを立て、可能なものについては社会実装を実現する。

ユースケースの開拓・実証については、量子計算が有効なユースケースの創出や、大きな経済・社会インパクトや産業利用拡大が期待できるキラーアプリケーションの創出を目指す。さらに、各ユースケースの実証を通じて事業化や社会実装を進める上での課題を抽出し、産学官の連携等によって課題解決に取り組む。

材料領域では、高精度の量子データ生成・古典/量子機械学習をワンストップで実施し、少ないデータから高精度の物性予測を可能にする量子 MI のプラットフォーム開発を推進する。構築したプラットフォームを利用し、革新的な有機材料分子設計手法の実証研究を行う。量子と古典のハイブリット手法（GQE 法）をベースに、効率的な内殻励起スペクトル計算アルゴリズムを開発し、フォトレジスト材料の性能予測に適用することを目指す。

金融領域では、今後 10 年程度で高精度な数十論理ビット(数万～数十万の物理ビット) を持つ大規模な量子コンピュータが期待され、これにより事業化の価値が見込める以下 3 点に取り組む。

①高度なリスク評価の実現
②複雑化する金融犯罪への対応
③新たな金融取引基盤の確立に取り組む。

材料・製造、エネルギー・情報、交通・物流といった組合せ最適化問題が多く内包される領域では、シミュレーテッドアニーリング/量子アニーリングを活用しユースケース創出に取り組む。特に、従来のコンピューティング技術では解決が困難であった課題にフォーカスし、アルゴリズムやモデルの開発、実装、検証を行う。まず、材料・製造、ネットワーク、交通・物流のユースケース創出を第一目的とし、最終的には 3 件上のユースケースの創出を目指す。

製薬会社や半導体デバイス企業などを対象に、サイバーフィジカルシステム（CPS）空間での業務プロセスの設計を行う。量子コンピュータと古典コンピュータを統合するハイブリッド連携環境を活用して、産学官連携で新たな産業を創出し、エコシステムも構築する。量子コンピュータ技術の普及を促進し、社会課題解決に貢献する。CPS の適用においては、深層学習（LLM 等）の高速化や省データ化が課題である。量子重ね合わせ等による多様な解の生成を活用し、これらの課題解決に向けた効果をスマート工場で実証する。

プロジェクト期間である 5 年間において、特定のユースケースにフォーカスして 5 年間取り組むのではなく、1 年単位で、技術優位性や市場性を基に検証する。検証では、量子技術による新産業創出協議会（Q-STAR）と長大が各分野のユースケース仮説を立案し、量子計算テストベッドを活用して求解・実証を行う。最終的には、社会実装可能な汎用的かつ効果的なユースケースを 3 件以上創出する。

③ 研究開発に係る工程表

各研究開発の工程表は以下の通り。

「材料開発現場向け量子コンピュータ高精度計算活用基盤の構築」では、令和5年度に先行事例収集、テストベッド環境選定、必要なデータの定義等の机上検討を行い、次年度以降のユースケース検討に向けて必要な情報を収集する。令和6年度及び令和7年度には具体的なテーマの選定及び計算ワークフローの検討を行い、アンケート等を通じて検証を進める。令和8年度以降は実際に計算基盤を利用してデータの蓄積を進め、ユースケースの実現に向けた方法検討を行う。

「量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組」では、令和5年度及び令和6年度にて、材料化学、金融分野のアルゴリズム検討及び実証を進め、量子計算の効果を検証する。続く令和8年度以降はこれらのユースケースをより改良し、量子データベースの開発、計算検証、事業化検討を行うことでビジネスエコシステムの構築を目指す。また、これらの取組に並行して最適化分野においてもユースケースの探索・深化を行い、サイバー・フィジカル空間への適応を進めていく。

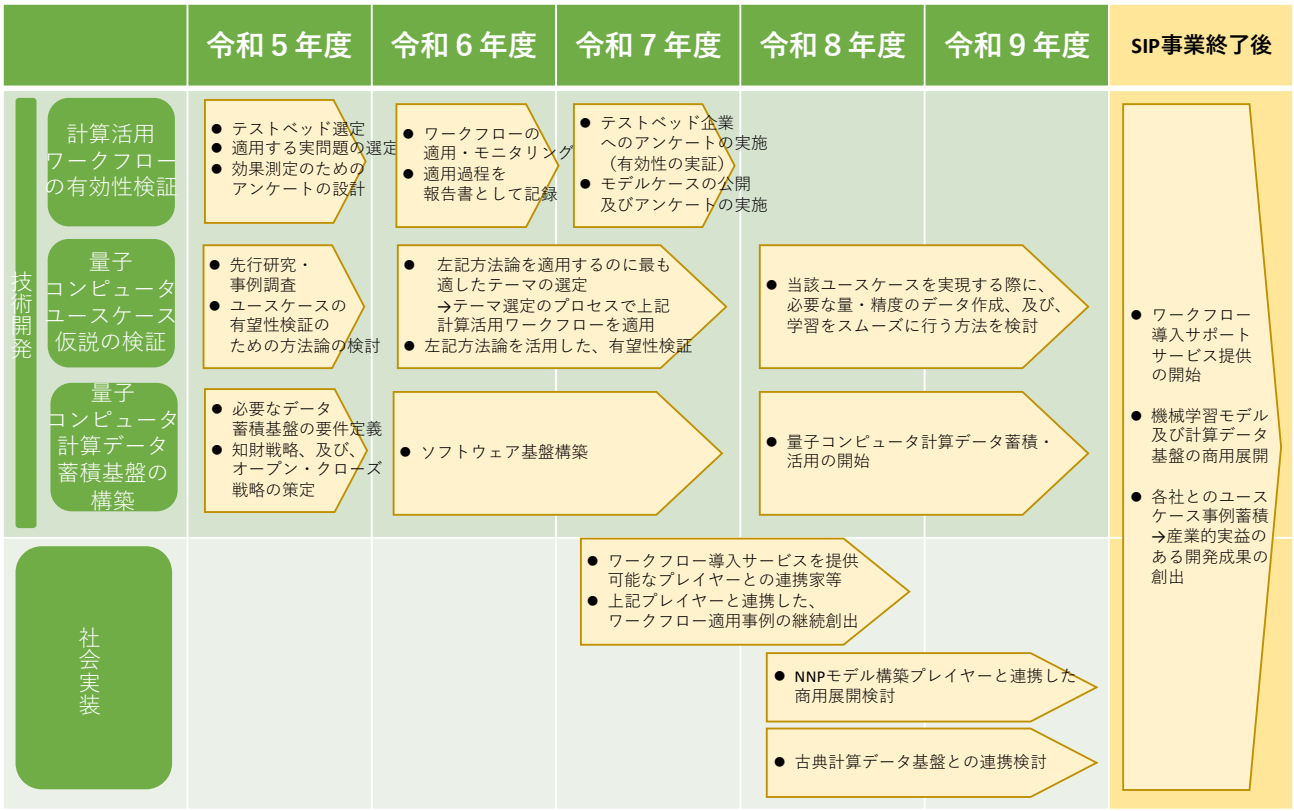


図 III-10 工程表（研究チーム A-2a：材料開発現場向け量子コンピュータ高精度計算活用基盤の構築）

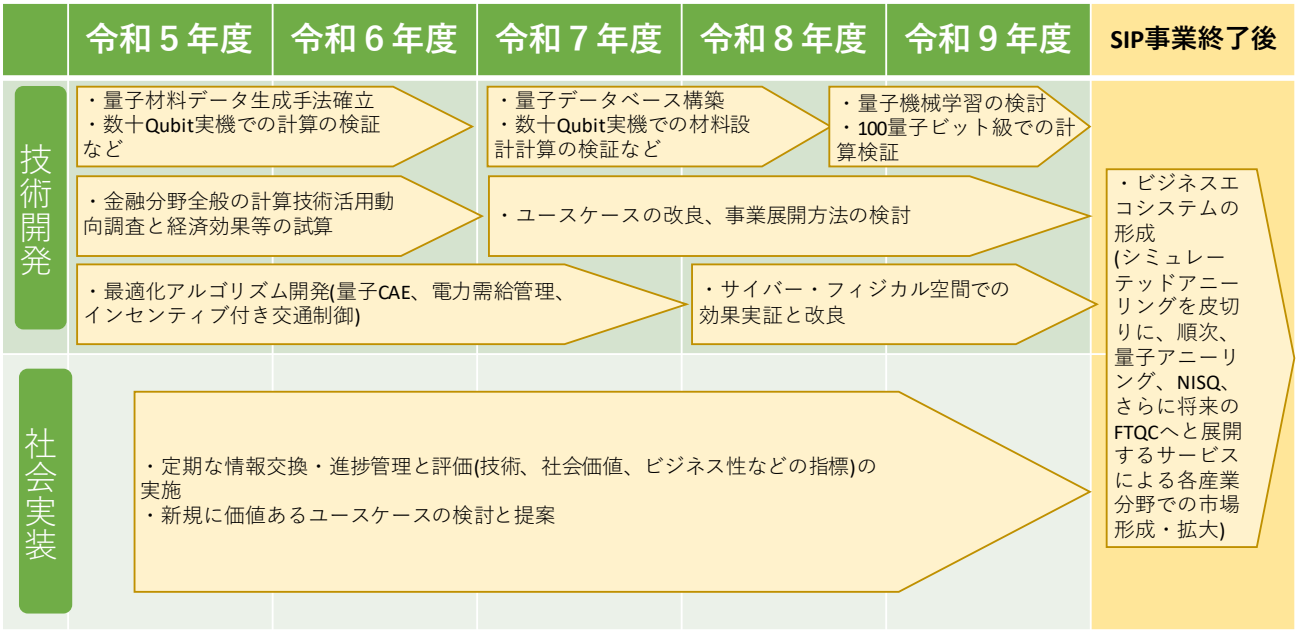


図 III-11 工程表（研究チーム A-2b：量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム A-2a：材料開発現場向け量子コンピュータ高精度計算活用基盤の構築

人より計算を使う理由→計算ワークフローの有効性の実証：計算活用のためのワークフローの有効性検証の”テストベッド”としてどのようなプレイヤーを巻き込むべきか検討した上で、要素を特定し、兵庫県立工業技術センターと本件検証に関する契約を合意。

量子コンピュータを使う理由→量子コンピュータ　ユースケース仮説の検証：DFT を用いたハイスループット計算で業界を牽引する Preferred Networks 社と、高精度計算活用余地について議論し、機械学習を用いた高精度交換相関汎関数によるベンチマーキングを通じて、量子コンピュータが必要となるユースケースの明確化に取り組むという方向で合意。

実際に使うための道筋→量子コンピュータ　計算データ蓄積基盤の構築：先行事例の調査、データ活用を進める企業へのヒアリング等を通じて幅広い事例調査を行なった。量子化学計算の結果を活用するためのデータ要件の洗い出しを行い、特に分子構造と物理量を対応させるようなラベリングの仕組みをまとめる等、今後の活用のための準備を整えた。

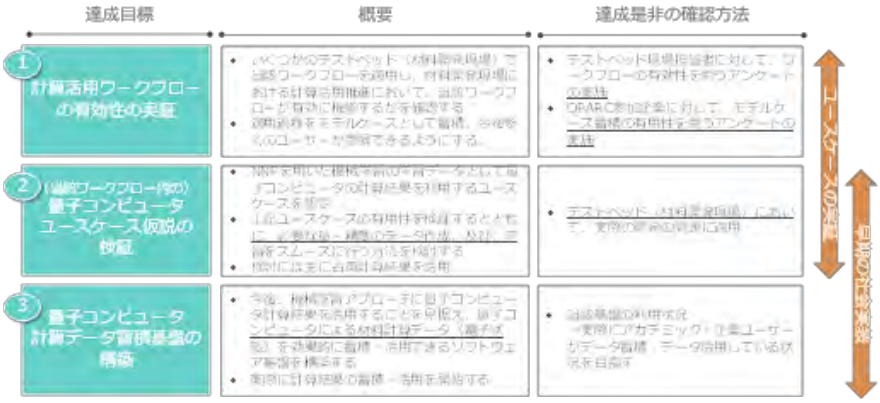


図 III-12 達成目標及び達成是非の確認方法

研究チーム A-2b：量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組

材料設計・製造分野（三菱ケミカル、産総研、トロント大学（再委託））

GDB17 と QM9 の分子データに対して、量子化学計算（分子軌道法）を自動で行い、その結果を共通フォーマットで保存する MI プラットフォームのプロトタイプを作成した。これにより、量子データ生成のスキームを確立し、データを蓄積するプログラムを開発した。

金融分野（慶應義塾大学、九州大学、みずほリサーチ＆テクノロジーズ、三菱 UFJ 銀行、三井住友信託銀行（協力機関））

単一量子ビットゲートの最適なパラメータを一意に決定するアルゴリズムを提案した。また、量子ビットの削減を実現する Quantum Random Access Coding（QRAC）が計算全体に及ぼすノイズの影響を低減できることを実証した。

組み合わせ最適化問題（産総研、Q-STAR、長大、早稲田大学、KDDI）

(a) 材料・製造（産総研）

三菱ケミカルとトロント大学が連携し、GQE アルゴリズムの Quantum CAE 分野での応用を開始した。ABCI の GPU を活用して大規模な計算を行い、GQE の適用と実証を進めた。

(b) ネットワーク（早稲田大学、KDDI）

動的周波数割当問題を複数のイジング計算機で解決し、性能を評価した。ベンチマーク結果を活用して、電力ネットワークの配電線開閉器の最適化問題を定式化した。

(c) 交通・物流（長大）

渋滞緩和と CO_2 排出量抑制を考慮したコストモデルを作成し、先行研究のコスト関数を現実に即したものに改善するための課題整理を行った。

社会課題の抽出（Q-STAR グループ）

第一次テストベッド実装に向けてユースケース候補を選定した。

（3）【量子コンピューティング】A-3 量子コンピュータ・ソフトウェアのベンチマーク開発および国際標準策定

ユーザのアプリケーション開発や実用化研究等を加速するため、量子コンピュータ・ソフトウェアにとって有用な計算問題群やボトルネックを同定し、量子コンピュータ・ソフトウェアの性能を客観的に評価・比較するためのベンチマークを開発する。また、これらベンチマーク等を踏まえて、量子コンピュータ・ソフトウェアの国際標準の策定を視野に入れて取り組む。

① 研究開発目標

量子コンピュータ・ソフトウェアの性能を評価・比較するためのベンチマークの開発や国際標準の策定のため、下記を目標とする。

1. 2025 年度までに、いくつかの技術分野に特定したベンチマーク用のプログラムを作成。《達成目標①1》【TRL：3、SRL：3】
2. 2027 年度までに、複数の量子コンピュータ・ソフトウェアのベンチマークを開発し、性能の評価・比較を行うとともに、ベンチマーク等を踏まえて国際標準の策定を視野に入れて取り組む。《達成目標①2》【TRL：6、SRL：7】

② 実施内容

機械学習やロボット研究は、統一的なデータセットやチャレンジを定義し、世界中の研究者・技術者た

ちが同じ課題を追いかけ競う形で発展してきた。一方で、量子コンピュータ・ソフトウェアについてのベンチマークは限定的な指標に留まっており、統一的な課題に対して、複数の量子コンピュータ・ソフトウェアの性能を評価・比較することは困難な状況にある。このため、ユーザ側にとってはアプリケーション開発や実用化研究の際にどの量子コンピュータ・ソフトウェアを選定すべきか判断し難い、あるいはベンダー側にとっては量子コンピュータ・ソフトウェアの研究開発の際に性能目標を定めることが難しいといった課題がある。

これを踏まえ、ユーザのアプリケーション開発や実用化研究／ベンダーの量子コンピュータ・ソフトウェアの研究開発を加速するため、量子コンピュータ・ソフトウェアを使うことが有用な計算問題群と根本的ボトルネックを同定し、量子コンピュータ・ソフトウェアの性能を客観的に評価・比較できるようにするためのベンチマークを開発する。さらに、開発したベンチマークを用いて、複数の量子コンピュータ・ソフトウェアの性能の評価・比較を行う。この際には、従来の古典コンピュータ・ソフトウェアとの性能も比較ができるようにする。また、ベンチマーク結果を踏まえて、国際標準の策定の実現に向けて取り組む。

研究チーム A-3：標準ベンチマーク策定とグローバルチャレンジを通した量子アルゴリズムプラットフォームの構築

予算配分額（2023 年度）：0.3 億円
予算配分額（2024 年度）：0.3 億円
研究開発責任者：　楊天任（株式会社 QunaSys）
共同研究機関：　株式会社Jij

量子未来社会ビジョンにおいて、量子技術による成長機会の創出や社会課題の解決を実現するために、量子ソフトウェア領域の技術取組として産学共創の開発の推進が求められている。しかし、現状はアルゴリズム研究からのバトンをどのように受け取るか悩んでいるユーザ企業が多い状況である。

そこで本研究開発では、量子アルゴリズムの共通基準で指標化するプラットフォームを構築する（図 III-13 の下部参照）。共通の課題群に対して、共通の指標で世界中の研究者らの提案するアルゴリズムを評価し、ユーザ企業にとっても分かりやすい形で伝える。同時にアルゴリズム研究者の切磋琢磨を加速させるため、参考プログラミングコードの提供に加え、量子アルゴリズムフレームなどに依存せず、共通のデータセットで自身のアイデアを評価できる計算実行環境を提供する（シミュレータに加え多様な実機との接続環境も見据える）。ベンチマーク結果を公開することで、ユーザ企業がアルゴリズム研究の進展を把握可能にするとともに、自社問題へ適応するための目利きとなる情報を提供する。

このように共通のベンチマークが、最先端の研究とユーザ企業を橋渡すことで、量子未来社ビジョンの目標である産学共創を推進する研究及び社会実装インフラを構築する（図 III-13 参照）。

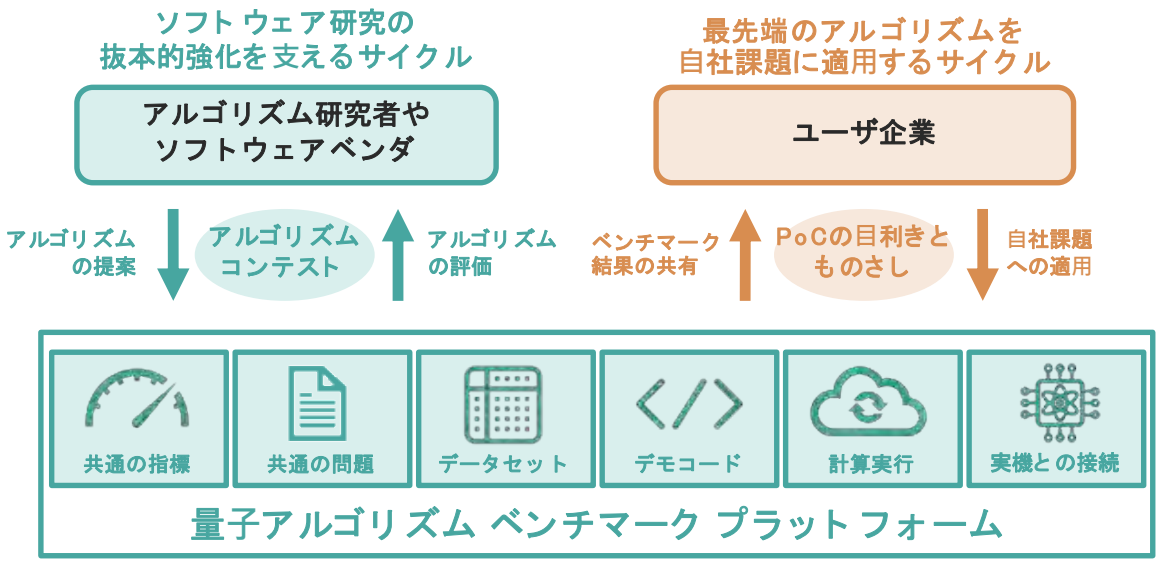


図 III-13 産学競争を推進する研究及び社会実装インフラ

③ 研究開発に係る工程表

本研究開発の工程表は以下の通り。

「標準ベンチマーク策定とグローバルチャレンジを通した量子アルゴリズムプラットフォームの構築」では、令和5年度から令和6年度にかけてシミュレータ、計算フレームワーク、プラットフォーム等の基盤技術の開発・構築を行う。令和6年度からは実際に量子アルゴリズムコンテストを開催し、策定したベンチマークや計算プラットフォームの評価と改善を進める。

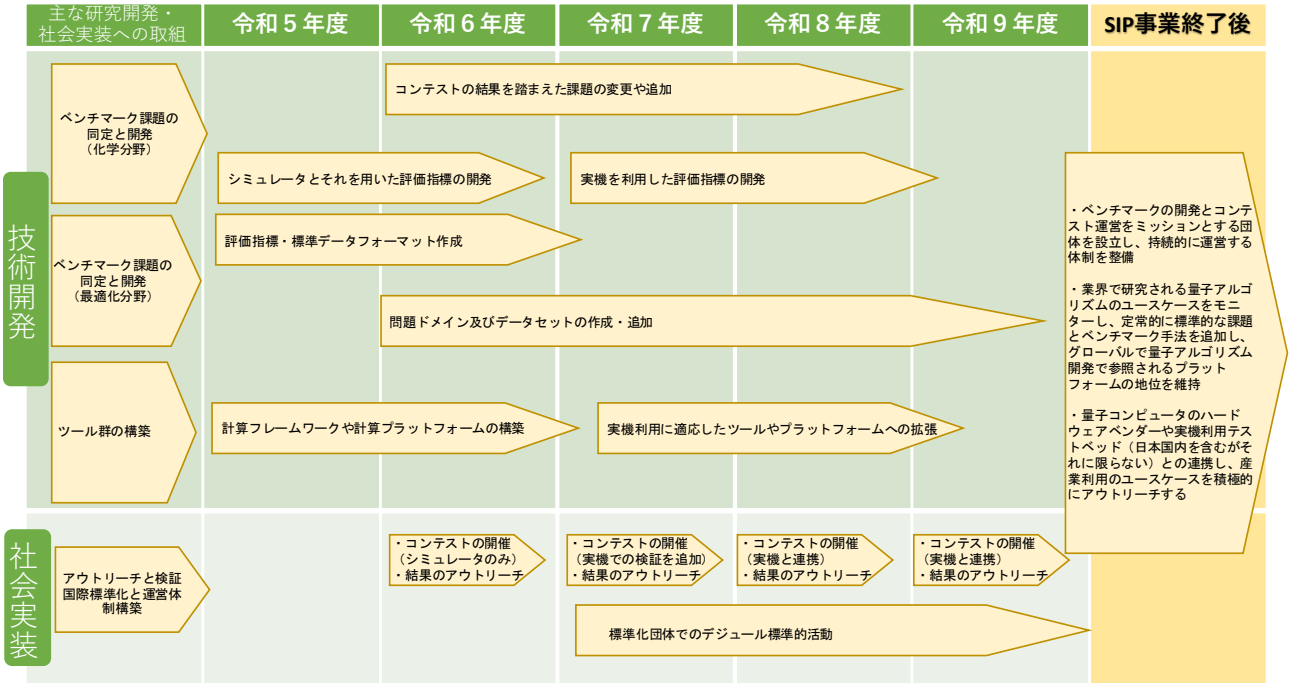


図 III-14 工程表（研究チーム A-3：標準ベンチマーク策定とグローバルチャレンジを通した量子アルゴリズムプラットフォームの構築）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム A-3：標準ベンチマーク策定とグローバルチャレンジを通した量子アルゴリズムプラットフォームの構築

化学領域（QunaSys 担当） ①ベンチマーク課題：28qubit のフェルミハバード模型に基づくハミルトニアンを課題として決定し、同問題のアルゴリズムの性能を競うコンテストを 2024 年 2 月に開始した。この模型に関しては論文 https://arxiv.org/abs/2402.11869 にて発表済。③ツール群の開発：iTensor の MPS シミュレータのベンチマークを行うためのサンプルコードを実装し、現実的な時間でスコアリングするためのテストを進めた。

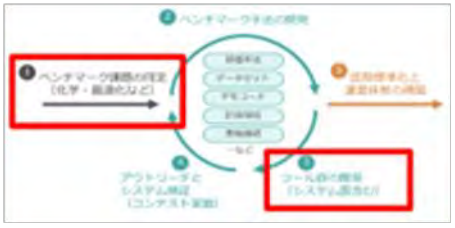


図 III-15 実施内容の概要

最適化領域(Jij 担当) ①ベンチマーク課題：ソルバーの種類によって出力のデータフォーマットが異なる課題に対して、統一的に解釈可能できるように解のスキーマを策定した。③ツール群の開発：数理最適化の実験で発生する多岐にわたるデータを効率的に管理するツール MINTO を OSS として公開した。ユーザーが簡単にベンチマークセットを用意できるローダーを開発した。

図 III-16 開発した MINTO の概要図

（4）【量子コンピューティング】A-4 大規模量子コンピュータシステムに向けたロードマップ等策定

国産量子コンピュータの実用化及び大規模化のためには、周辺デバイス・部品・材料等の高度化とともに、これらのサプライチェーンの構築が必要である。我が国産業は、エレクトロニクスを含むデバイス・部品・材料等に関して強みを有しているものの、現時点では量子コンピュータシステムの技術仕様が明確ではなく、中小企業を含む多くの企業にとって参入の障壁が高いとの課題がある。このため、量子コンピュータシステムの技術仕様を明確化し、システム全体や必要なデバイス・部品・材料等に関する技術ロードマップ・俯瞰図を策定することで、中小企業を含む裾野広い産業界の積極的な参入を促し、安

定的かつ強靭なサプライチェーンの実現を図る。

① 研究開発目標

大規模量子コンピュータシステムに向けたロードマップ等の策定のため、下記を目標とする。

1. 2024 年度までに、超伝導量子コンピュータのシステムの技術仕様を明確化した上で、システム全体やデバイス・部品・材料等に関する技術ロードマップ・俯瞰図を策定し、引き続き大規模化を想定した取組を進める。《達成目標①2》【BRL：4、SRL：4】
2. 2027 年度までに、主要な技術方式の量子コンピュータ（例：超伝導、シリコン、光量子、イオントラップ、冷却原子等）において、各技術方式の発展段階に応じて、大規模化を想定したシステムの技術仕様の明確化や、システム全体やデバイス・部品・材料等に関する技術ロードマップ・俯瞰図の作成を行う。《達成目標①2》【BRL：6、SRL：5】

② 実施内容

近年、量子コンピュータの集積度が順調に向上し、海外では、2023 年 12 月時点で 1000 量子ビット級の超伝導 NISQ(ノイジーな中規模スケール量子コンピュータ)が実現している。一方で、究極の量子コンピュータである FTQC（誤り耐性汎用量子コンピュータ）を実現するためには、最低でも 100 万量子ビット級の集積化が必要であると予想されている。

しかし、量子コンピュータのシステム化に必要な周辺デバイス・部品・材料等については、現状の技術水準を延長するだけでは 1000 量子ビット以上の集積化は極めて困難であると考えられている。さらに、我が国産業は、デバイス・部品・材料等に関して強みを有しているものの、現時点では量子コンピュータシステムの技術仕様が明確ではなく、中小企業を含む多くの企業にとって参入の障壁が高いとの課題がある。

そこで、現状技術の分析を行った上で、1000 量子ビット超級の量子コンピュータのシステムの技術仕様を明確化し、システム全体や必要なデバイス・部品・材料等に関する技術の高度化の道筋を示した「技術ロードマップ」や、これらの全体像を分かりやすく示した「俯瞰図」を策定する。本研究開発で策定する技術ロードマップ・俯瞰図を企業に広く提供することで、中小企業を含む裾野広い産業界の量子コンピュータ開発への参入や、新たなスタートアップ企業の参入・創出を加速し、安定的かつ強靭なサプライチェーンの実現を図る。

なお、量子コンピュータの各技術方式（例：超伝導、シリコン、光量子、イオントラップ、冷却原子等）や量子セキュリティ・ネットワーク／量子センシングにおいて共通するデバイス・部品・材料や、民生品の活用の可能性も検討し、これらを技術ロードマップ・俯瞰図に反映して一定程度の市場性・経済性があることを示すなど、より多くの企業の参入を促進するための工夫も行う。

さらには、日 EU デジタルパートナーシップ等に基づき、日米欧の量子コンピュータを相互利用する体制を確立するとともに、量子コンピュータシステムの構築に必要となる幾つかの部品・装置類（サプライチェーン）について事業化の目途をつける。

研究チーム A-4：大規模量子コンピュータシステムに向けた俯瞰図・ロードマップとサプライチェーン強靭

化

予算配分額（2023 年度）：0.8 億円
予算配分額（2024 年度）：0.8 億円
研究開発責任者：　昆盛太郎（国立研究開発法人産業技術総合研究所）
共同研究機関：　国立研究開発法人理化学研究所
日本電気株式会社
富士通株式会社

量子コンピュータシステムの大規模化に向けて現状技術の分析を行った上で、1000 量子ビット超級の量子コンピュータシステムの技術仕様を明確化し、システム全体や必要なデバイス・部品・材料等に関する技術の高度化の道筋を示した「技術ロードマップ」や、これらの全体像を分かりやすく示した「俯瞰図」の作成に取り組む。さらに、本プロジェクトで作成した技術ロードマップ・俯瞰図を企業・団体等に広く提供することで、非量子分野の中小企業を含む、産業界の量子コンピュータ開発への参入や、新たなスタートアップ企業の参入・創出を加速し、安定的かつ強靭なサプライチェーンの実現を目指す。なお、量子コンピュータの各技術方式（例：超伝導、シリコン、光量子、イオントラップ、冷却原子等）において共通するデバイス・部品・材料や、民生品の活用の可能性も検討し、これらを技術ロードマップ・俯瞰図に反映して一定程度の市場性・経済性があることを示し、より多くの企業の参入を促進するための取組も行う。

さらには、日 EU デジタルパートナーシップ等に基づき、日米欧の量子コンピュータを相互利用する体制を確立するとともに、量子コンピュータシステムの構築に必要となる幾つかの部品・装置類（サプライチェーン）について事業化の目途をつける。

③ 研究開発に係る工程表

本研究開発の工程表は以下の通り。

令和5年度から令和6年度にかけ、超伝導方式量子コンピュータのロードマップ策定を進め、素材・コンポーネント等に係る課題抽出、評価、施策を行う。また、サプライヤーとの連携構築や知財化・標準化に向けた取組を進める。令和7年度以降は更なるブラッシュアップを行うとともに、超伝導方式以外の量子コンピュータについても、同様のロードマップ・俯瞰図策定を進める予定である。

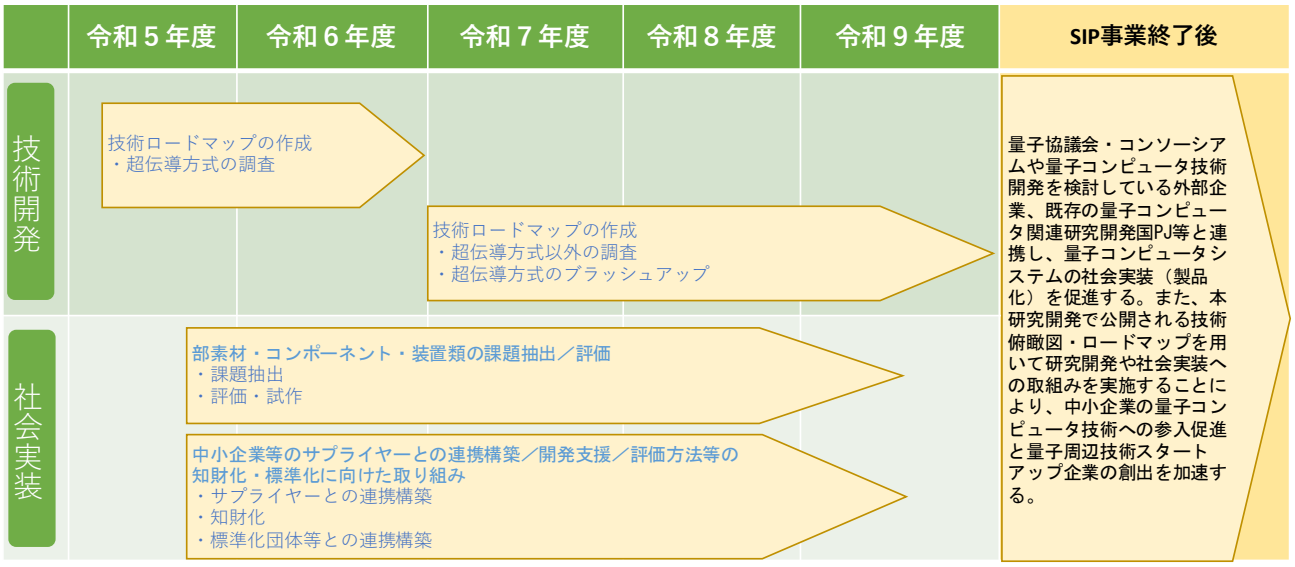


図 III-17 工程表（研究チーム A-4：大規模量子コンピュータシステムに向けた俯瞰図・ロードマップとサプライチェーン強靭化）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム A-4：大規模量子コンピュータシステムに向けた俯瞰図・ロードマップとサプライチェーン強靭化

令和5年度は、本プロジェクトの目標である大規模量子コンピュータシステムに向けたロードマップ等の作成に向け、超伝導方式の量子コンピュータの大規模化に必要となる部素材やシステムについて、現状と研究開発動向の調査を計画通りに行った。これに加え、当初計画では令和7年度より調査を開始する予定であった超伝導方式以外の量子コンピュータに関する調査を前倒し、光量子、中性原子、イオントラップ方式等について予備調査を開始した。

（5）【量子セキュリティ・ネットワーク】B-1 量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築

量子鍵配送(QKD)テストベットにデータセンタを接続することで、量子セキュアクラウドの高機能化・高信頼化を行うとともに、耐量子計算機暗号（PQC）によるデジタル署名・認証機能を追加することで、堅牢かつ高い可用性をもちデータの保管・交換を可能とする「次世代暗号基盤」を構築する。また、「次世代暗号基盤」と量子・古典計算機資源を安全かつ高効率に利活用可能な「量子・古典ハイブリッドテストベッド」を接続することにより、「高度情報処理基盤」を構築する。「高度情報処理基盤」を幅広いユーザに開放することで、アプリケーション開発等を促進し、国内における量子技術の活用拡大を目指す。

① 研究開発目標

量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の技術実証を行うとともに、様々な分野のユーザがアクセス・利活用可能な情報処理基盤のテストベッドを整備することで社会実装を加速化するために下記を目標とする。

1. 2025 年度までに、次世代暗号基盤及び量子・古典ハイブリッド計算技術の機能・性能を実証するとともに、各技術を利活用可能なテストベッドを整備する。《達成目標②1》【TRL：4、BRL：3】
2. 2027 年度までに、次世代暗号基盤及び量子・古典ハイブリッド計算技術を高度情報処理基盤として統合し、社会実装に向けた利活用モデルを構築する。《達成目標②2》【TRL：5、BRL：4】

② 実施内容

量子セキュアクラウドは、量子暗号技術と秘密分散手法を組み合わせることで、理論上、将来にわたり機密漏洩を完全に防ぐデータ保管が実現可能である一方で、小規模ネットワークの場合、拠点間の量子暗号通信路に障害が発生するとデータの共有が困難になるケースが予想される等、可用性・運用性に技術的な課題があった。

本研究開発では、既存の QKD テストベッドをデータセンタ等と接続することで冗長性を有する量子暗号通信網（10 拠点程度）を拡張・構築するとともに、量子コンピュータでも解読が困難な耐量子計算機暗号（PQC）を用いたデジタル署名・認証機能の IC カードへの軽量実装技術やプライベート認証局によるデジタル署名・デジタル証明書発行といった認証基盤構築技術、サーバ、PC、IC カード、リーダなど多様な端末で利用するためのインターフェース技術を開発し新たに導入する。これにより、暗号通信に QKD、認証に PQC を用いた総合的なセキュリティアーキテクチャである「次世代暗号基盤」を構築し、ネットワーク全体で情報理論的安全性を担保するプロトコルや運用技術等を適用し、量子セキュアクラウドのデータベース化による高機能化・冗長性を有する通信網の実現による高信頼化を行い、堅牢かつ可用性の高いデータの保管・交換を可能とする次世代暗号基盤の実証を行う。

また、「量子・古典ハイブリッドテストベッド」を高秘匿回線でネットワーク化・水平統合し、安全かつ高効率な情報処理を可能とする量子・古典ハイブリッド計算技術を開発する。

「次世代暗号基盤」と「量子・古典ハイブリッドテストベッド」を統合し、多様なユーザが量子技術にアクセス可能な「高度情報処理基盤」を構築するとともに、幅広いユーザがアプリケーション開発等に利用可能な形で提供することにより、量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の社会実装を促進する。

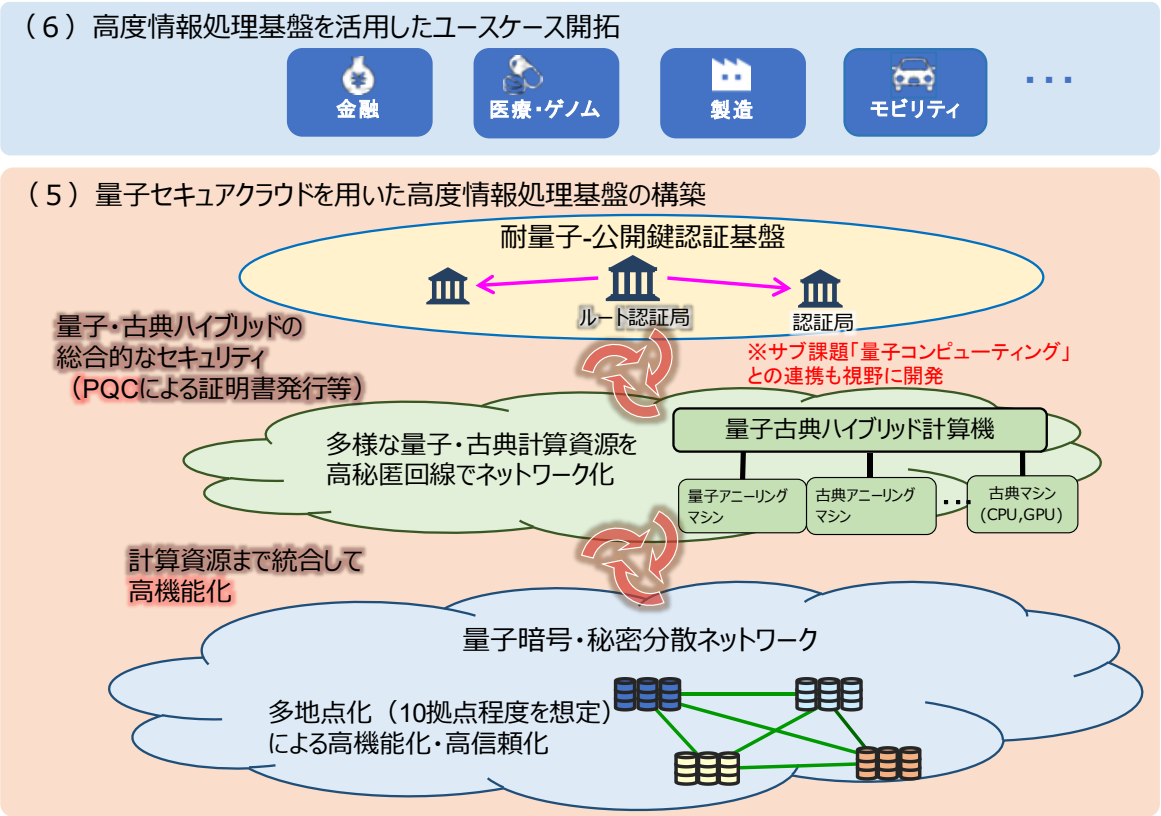


図 III-18 【量子セキュリティ・ネットワーク】高度情報処理基盤

研究チーム B-1：量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築

予算配分額（2023 年度）：3.0 億円
予算配分額（2024 年度）：3.0 億円
研究開発責任者：　村井信哉（東芝デジタルソリューションズ株式会社）
共同研究機関：　国立研究開発法人情報通信研究機構
国立大学法人東京大学
日本電気株式会社
TOPPAN デジタル株式会社
さくらインターネット株式会社
IzumoBASE 株式会社
株式会社東芝

これらの実現に向け、本研究開発では、以下を実施する。

・量子セキュアクラウドネットワーク環境整備

量子セキュアクラウドの高機能化・高信頼化に向けて、量子セキュアクラウドが求める量子鍵配送ネットワークの要件を明らかにし、その要件を満たす経路あるいはコンポ―ネントの冗長化技術を開発し、実証する。

また、量子鍵配送、量子セキュアクラウドの社会実装を加速するためには、装置・システムの安全性の担保が必要不可欠である。そのためには、安全性担保のためには安全性のガイドライン・標準の策定と、認証検定制度が必要となる。本研究開発においても社会実装の促進を骨太とするため、装置の安全性に関する標準化と認証検定制度の確立に貢献する。

・次世代暗号基盤構築

量子・古典ハイブリッドの総合的なセキュリティアーキテクチャの構築に向けて、量子・古典のベストミックスを検討し、アーキテクチャの設計に反映する。具体的には、研究開発テーマ B-2「高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証」にて進められる、ゲノム情報や電子カルテ情報の利活用などのユースケース検討結果をもとに、高度情報処理基盤のシステム全体において情報理論的安全性では実用上カバーできない部分、あるいは、情報理論的安全性が不要な部分を明らかにし、それらについてPQC など計算量安全性に基づく技術も組み合わせるアーキテクチャを設計する。PQC の導入対象は、データの完全性保証やユーザ・機器の認証と考えられ、導入検討の際には、「高度情報処理基盤」を構成する各機能ブロックやユーザが扱うデータの秘匿性要求、システム全体としての利便性、既存システムとの整合性、多層防御等を考慮する。また、このような PQC を含めたシステム全体の設計をもとに、量子セキュアクラウド内での PQC 技術の運用形態を検討し、セキュリティの観点から、当該システムの脅威分析を実施、量子セキュアクラウドにおける PQC 技術活用のガイドラインを作成する。

・量子・古典ハイブリッド計算技術構築

「量子コンピューティング」の研究開発テーマ A-1「量子・古典ハイブリッドテストベッドの利用環境整備」で開発する「（量子コンピュータの利用のための）量子・古典ハイブリッドテストベッド」との連携し、量子セキュアクラウドとの間で QKD リンクもしくは Pre-shared key による安全な通信路を構築し、量子・古典計算資源のネットワーク化・水平統合を実現する。

・高度情報処理基盤を担うデータベース構築

量子セキュアクラウド内に保管されるデータの安全な利活用を促進するため、秘密分散システムをデータベース化する。

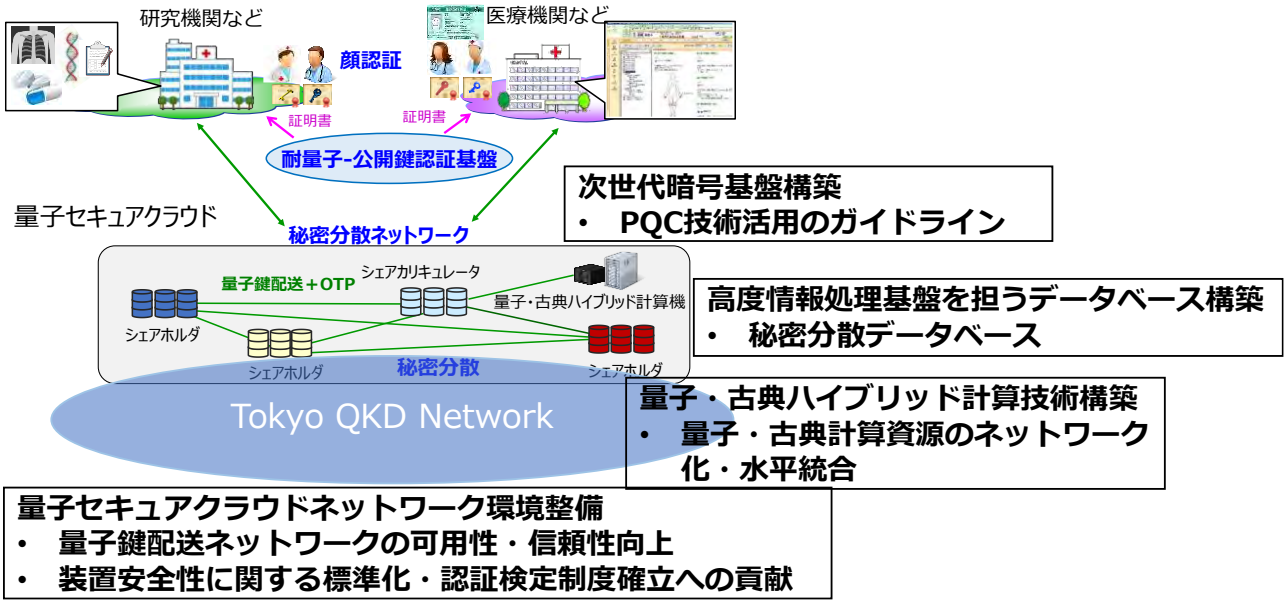


図 III-19 研究開発の内容

③ 研究開発に係る工程表

本研究開発の工程表は以下の通り。

「量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築」では 2025 年度までに量子セキュアクラウドの各構成要素の検証及び環境整備を行い、機能・性能の実証や各技術の利活用が可能なテストベッドの整備を完了させる。SIP 期間後半には、構築したテストベッドを活用して統合実証を行い、高度情報処理基盤の社会実装に向けた統合実証を行う。

図 III-20 工程表（研究チーム B-1：量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム B-1：量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築

令和 5 年度までの本プロジェクトの進捗状況及び成果を以下に示す。

表 Ⅲ-1 量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築の進捗状況

	令和 5 年度の進捗状況及び成果
量子セキュアクラウドネットワーク環境整備	• Tokyo QKD Network の DC への拡張に向け、ネットワークの概念設計、QKD 装置の単体動作検証を完了 • QKD のセキュリティ保証理論に関し、盗聴の大きさの推定を改善する理論を構築
量子・古典ハイブリッド計算技術構築	• DC から Tokyo QKD Network 上の計算機を利用可能とする秘匿通信の概念設計を完了 • 量子コンピューティング参画機関と安全な接続を実現するための要件定義を完了
次世代暗号基盤構築	• QKD ネットワークにおける PQC の実装方式を提案 • 既存暗号と PQC の併用を可能とするハイブリッド証明書の単体動作検証を実施 • QKD ネットワークに対する PQC 実装に向け、仮想的なテスト環境を構築
高度情報処理基盤を担うデータベース構築	• 医療データを秘密分散システム上でデータベース化するための秘密分散ソフトウェアの概念設計を完了

（6）【量子セキュリティ・ネットワーク】B-2 高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証

量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤は、機微な情報を取り扱う分野で蓄積された機密性の高いデータの安全・安心な利活用を促進できる技術であり、金融・医療分野等をはじめとして様々な分野への展開が期待されている。そこで、量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の活用が期待される分野のユーザと連携し、高度情報処理基盤を用いたユースケースを開拓・実証する。

① 研究開発目標

サブ課題 B「量子セキュリティ・ネットワーク」の研究開発テーマ B-1「量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築」にて構築する高度情報処理基盤のテストベッドを用いた新たなユースケース創出や社会実装を促進するために下記を目標とする。

1. 2027 年度までに、量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤技術を活用した新たなユースケースを開拓・実証し、1例以上の事業創出・社会実装を実現する。《達成目標②2》【TRL：5、BRL：

4】

② 実施内容

金融、医療・ゲノム、製造、モビリティといった機微な情報を取り扱う様々なユーザと連携し、量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の社会実装に向けて、量子技術融合による基幹 ICT インフラの高度化実証を行う。さらに、ユースケースの事業化の見通しを立てるとともに、可能なものについては社会実装を実現する。

研究チーム B-2：高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証

予算配分額（2023 年度）：1.7 億円
予算配分額（2024 年度）：1.7 億円
研究開発責任者：　村井信哉（東芝デジタルソリューションズ株式会社）
共同研究機関：　国立研究開発法人情報通信研究機構
国立大学法人東京大学
日本電気株式会社
TOPPAN デジタル株式会社
さくらインターネット株式会社
IzumoBASE 株式会社
株式会社東芝

本研究開発では、金融、医療・ゲノム、製造、モビリティといった機微な情報を取り扱う様々なユーザと連携し、量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の社会実装に向けて、量子技術融合による基幹 ICT インフラの高度化実証を行う。さらに、ユースケースの事業化の見通しを立てるとともに、可能なものについては社会実装を実現する。

この社会実装に向けては、量子セキュアクラウドの提供価値が事業として成立するに足るかを検証することが重要となる。量子セキュアクラウドが捉える社会背景・ニーズとしては、「①経済安全保障の観点から、自国の持つ秘匿情報を域内に留めることの重要性が増加、「②オンプレ管理されている高秘匿情報のデータ保全の困難さ（ゲノム情報・電子カルテなどの医療情報や、大量の個人情報、取引履歴、生体認証情報など、サイバー攻撃の高度化により、保全の困難さが増している。）」、「③データ利活用（データ解析など）の重要性が増加」が考えられる。量子セキュアクラウドは、これらに対し、「機密情報の個別管理からの解放」、「最新の量子技術を用いた、自国内に一元管理されたデータの利活用」といった価値を提供できると考えられる。

本研究開発テーマでは、医療分野や金融分野などにおいて、事業としても成立するモデルを優先してユースケース開拓を進め、研究開発テーマ B-1 にて整備する高度情報処理基盤のテストベッドを用いた価値仮説の検証を行う。例えば医療分野においては、ゲノム情報や電子カルテなどの超長期に秘匿性が必要とされる情報の利活用をユースケース開拓の対象とする。

ゲノム情報や電子カルテ情報を扱う研究機関・医療機関、あるいはそれらの活用が想定される創薬業界等へのヒアリングを初年度より開始し、工程表の想定ユーザヒアリング期間内に、量子セキュアクラウ

ドの利用価値を認める想定ユーザを獲得し、想定ユーザとともにユースケース・アプリケーションを選定し、想定ユーザとの連携体制を構築する。その後、研究開発テーマ B-1 で構築される基盤を用いて、想定ユーザと共同で実証を進め、価値仮説の検証を行う。

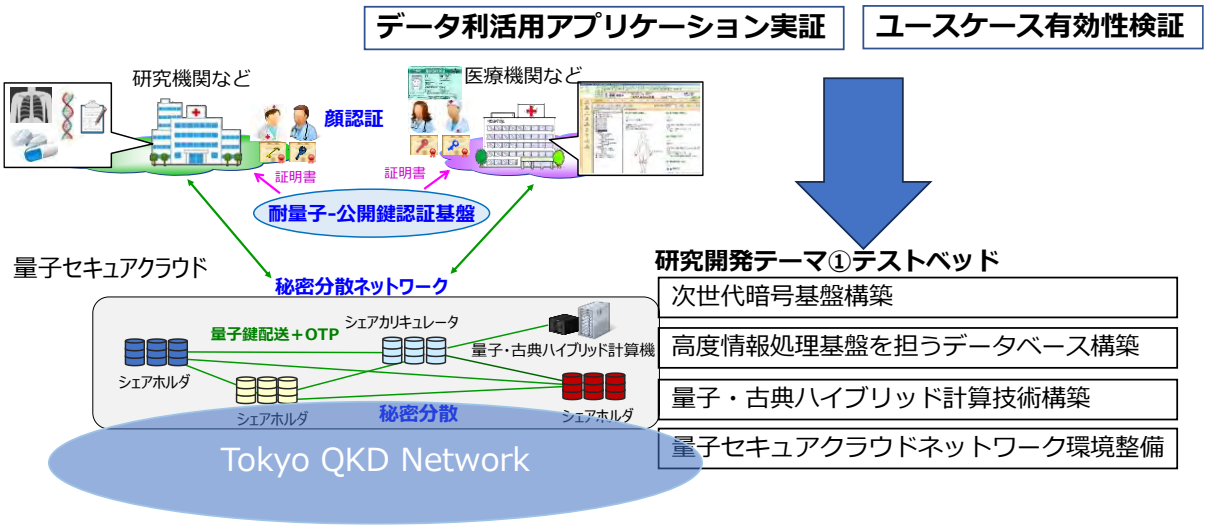


図 III-21 研究開発の内容

また、量子セキュアクラウドの社会実装を加速するためには、QKD 装置・システムの安全性の担保が必要不可欠である。そのためには、安全性担保のためには安全性のガイドライン・標準の策定と、QKD 装置の認証制度が必要となる。本研究開発においても量子セキュアクラウドの社会実装を促進するため、QKD 装置の安全性に関する標準化と認証検定制度の確立に貢献する。

③ 研究開発に係る工程表

「高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証」においては、2024 年度までに仕様検討、想定ユーザヒアリングを実施し、令和 7 年度以降、想定ユーザとの社会実装に取り組み、2027 年度に統合的な実証を行う。

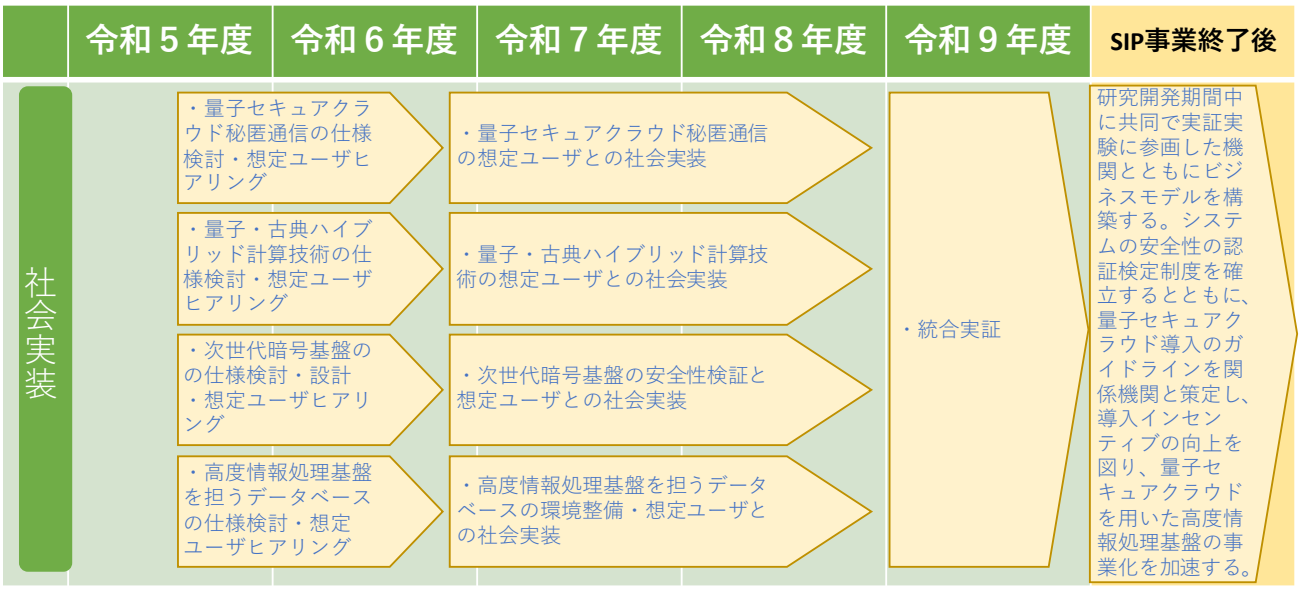


図 III-22 工程表（研究チーム B-2：高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム B-2：高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証

- ユースケース開拓として、医療分野、創薬分野、金融分野、産業分野等へのヒアリングを実施した。その結果、例えば疑似量子アニーラを用いるユースケースについて、低分子医薬、ペプチド医薬、ゲノム情報を用いた予防医療、金融分野における最適商品提案、資産運用/ポートフォリオ最適化等を候補として洗い出した。
- PQC と QKD ネットワークを併用するユースケースの開拓として、ビジネスプロセスアウトソーシング(BPO)のユースケースの調査を実施した。また、住民情報等を取り扱う自治体向け BPO 業務をユースケースとして、量子セキュアクラウドのテスト環境へのデータの送受信やバックアップ保管を行う実証実験を実施した。

（7）【量子セキュリティ・ネットワーク】B-3 プライバシーなどを保護しつつデータ解析ができる秘密計算などの活用

我が国ではプライバシー・機密情報の漏えいや濫用への懸念から自由に様々なデータにアクセスすることは困難な状況にある。また、各組織が保有する情報を共有することの有用性はデータ共有を試してみなければ分からない面がある一方、有用性が明確でない状態でプライバシー・機密情報の共有を試すことは困難であるというジレンマもある。暗号化したまま演算ができる秘密計算技術を用いることで、このような問題を解消し、「安全・安心に基づく自由なデータ共有ができる AI 社会」を実現する。

① 研究開発目標

「安全・安心に基づく自由なデータ共有ができる AI 社会」の実現に向け、下記を目標とする。【TRL：6、BRL：5、GRL：5、SRL：5、HRL：5】

（ｉ）秘密計算技術の高性能化

- 2025 年度までに、秘密計算システムの汎用的な基盤の開発、複数のデータを統合して操作し、集計等の基本的な統計量が算出できる統計処理のアルゴリズム開発を行う。100 万レコードの集計・平均・分散をクロス分析する統計処理を最遅 10 秒程度の実時間で実行可能にし、深層学習の学習処理を、暗号化していない平文と比べ精度同等で性能 100 倍差まで高速化する。
- 2027 年度までに、開発した秘密計算技術の適用領域（対応する統計処理や AI アルゴリズムの追加など）の拡大、運用課題の解決を行う。

（ii）秘密計算技術の省リソース化

- 2025 年度までに、秘密分散や準同型暗号など日本が世界を牽引する技術を用いて、秘密計算システムの汎用的な基盤開発と複数のデータを統合して操作し、集計等の基本的な統計量が算出できる統計処理のアルゴリズムを開発する。実システムにおけるパーティ数（サーバなどがセットになった環境数）など、実装に必要なリソース（サーバーなど）を 30%以上削減する。
- 2027 年度までに、開発した秘密計算技術の適用領域（対応する統計処理や AI アルゴリズムの追加など）の拡大、運用課題の解決を行う。

（iii）秘密計算技術の社会実装事例の構築

- 2025 年度までに、秘密計算を用いた特定の産業・技術に特化したユースケースの課題解決に向けたシステム開発または個別テーマでの PoC を実施する。《達成目標②1》
- 2027 年度までに、PoC を繰り返し行い、運用課題の解決と更なる PoC 事例の構築を実現する。《達成目標②2》

（iv）データ共有の促進

- データのプライバシー・機密部分を開示することなく、データ共有の有用性が確認できるようにする。

（ｖ）異なる秘密計算システム間のインターオペラビリティ機能の実現

- 2024 年度半ばまでに、実現に向けた要件を定義する。
- 2027 年度までに、本テーマの実施者に対して、インターオペラビリティ機能の要件を発信し、インターオペラビリティ機能の実現に向けた開発を促す。また、プライバシー・機密情報を含むデータ利活用をしたい事業者などに、秘密計算システムを発信することで、社会普及を行う。

（vi）プライバシー・機密情報の関係・取り扱い方法の体系化とルール・ガイドラインの制定、発信

- 2025 年度までに、本 SIP の取組を含む、事業者データに対応するプライバシー・機密情報の関係・取り扱い方法を体系化し、そのルール・ガイドラインを定め、国際シンポジウムで発表する。
- 2027 年度までに、各産業へ 2025 度年までの成果物を繰り返し発信する。

（vii）人材の育成に向けたベストプラクティスの共有や発信

- 秘密計算技術等の専門知識と高度なプログラミングスキルを持つ人材、データサイエンスのスキルを持つ人材、プライバシー・機密情報の保護関連の法制度の知見を有し、技術者や技術を

利用するユーザニーズの整理ができる人材の育成に向けたベストプラクティスの共有や発信を行う。

② 実施内容

本研究開発では下記の事項を実施する。

（ｉ）秘密計算技術の高性能化
（ii）秘密計算技術の省リソース化
（iii）特定課題を効果的に解決する秘密計算システムの開発と社会実装事例の構築

（iv）データ共有の促進
（ｖ）異なる秘密計算システム間のインターオペラビリティの確保
（vi）プライバシー・機密情報の関係・取り扱い方法の体系化とルール・ガイドラインの制定、発信および、米国との情報交換を通じての日米協力の取組具体化とその実行
（vii）人材の育成に向けたベストプラクティスの共有や発信

なお、上記（ｉ）、（ii）及び （iii）を担当することになった研究開発責任者全員は、共通の目標である以下の目標 （iv）～（vii)について、協力して取り組む。また、「（iii）特定課題を効果的に解決する秘密計算システムの開発と社会実装事例の構築」にあたっては、SIP の他の課題と連携し、当該課題のユースケースから秘密計算が寄与するものを選定する。それに加え、本テーマの実施者が提案するユースケースにも取り組む。

また、本テーマは目標達成に向けて国際的な協力も視野に入れて進める。日米協力しての取組を行うことを想定し、米国と定期的な情報交換を行いつつ、先方からの要請に応じて具体策を検討し、2025 年度以降の研究開発計画に反映した上で、取組を実施する。

<u>研究開発目標（ｉ）</u>

研究チーム B-3a：秘密計算技術の高性能化

予算配分額（2023 年度）：1.2 億円
予算配分額（2024 年度）：1.36 億円
研究開発責任者：　櫻井陽一（NTT コミュニケーションズ株式会社）

NTT コミュニケーションズが提供する商用秘密計算サービスに、統計分析処理やデータサイエンスの領域において頻出の AI アルゴリズムのライブラリを実装し、高速化する。

具体的には、2025 年度までに複数のデータを統合して操作し、集計等の基本的な統計量が算出できる統計処理アルゴリズムを実装し、100 万レコードの集計・平均・分散をクロス分析する統計処理を最遅 10 秒程度の実時間で実行可能とする。さらに、Cox 比例ハザード回帰分析やフィッシャーの正確確率検定、順序ロジスティック回帰といった医療・金融分野において用いられる統計分析手法を秘密計算環境下で実行可能とする。

また、近年はデータの統計分析に加え、AI を使ったより高度な分析が行われており、将来性が期待されてい

る。そのため、秘密計算技術によってデータ利活用が促進される社会を実現するためには、上記の統計手法を秘密計算で実現し処理を高速化することに加え、データサイエンスの分野で頻出の AI アルゴリズムに対応することも必要と考えられる。そのため、深層学習手法についても、学習処理を暗号化していない平文と比べ精度同等で平文比 100 倍以内のオーバーヘッドまで高速化する。加えて、データサイエンスの分野で必須となる機械学習プログラミングにおいて頻出の AI アルゴリズムである回帰・分類・クラスタリング・次元圧縮（図 III-23）を一部の AI 手法で学習から推論まで暗号化したままの状態で安全に実行可能な機能を実現する。

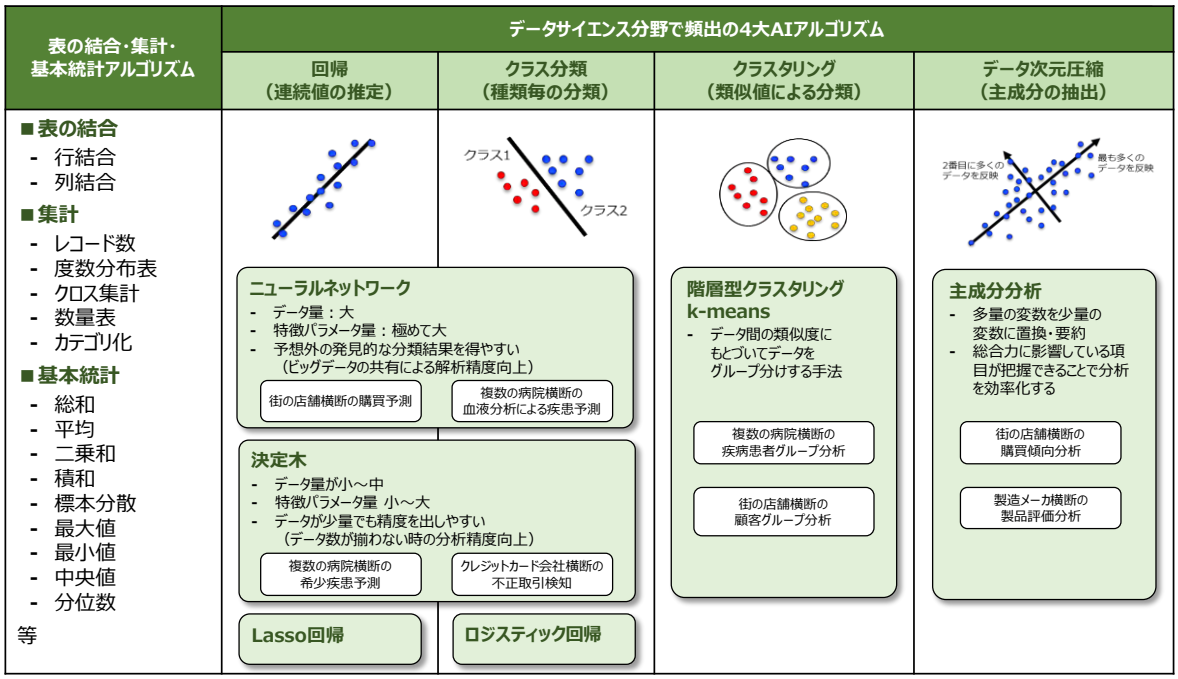


図 III-23 本研究開発において実装予定のアルゴリズム

研究開発目標（ⅱ）

研究チーム B-3b：省リソース化された実用的秘密計算システムの実現に関する研究開発

予算配分額（2023 年度）：1.3 億円
予算配分額（2024 年度）：1.35 億円
研究開発責任者：　松本勉（国立研究開発法人産業技術総合研究所）
共同研究機関：　NRI セキュアテクノロジーズ株式会社
株式会社野村総合研究所

本研究開発においては、秘密計算技術に関し、3台による構成における場合と同等以上の処理性能やセキュリティを2台の秘密計算サーバにより達成することで約 30%の省リソース化の実現を目指す。特に、実際に2台の秘密計算サーバにより実用レベルの秘密計算システムを構築し、その処理性能が3台による構成の場合と遜色がないものであることを示すとともに、AI アルゴリズムや統計処理などのアプリケーションが実用的な実行時間で完了可能であることを明らかにする。これらのアプリケーションについ

ては、特定のものに限定せず、可能な限り適用領域の拡大を目指す。また、構築する秘密計算システムに関し、将来実システムとして稼働させることを前提した設計を行い、そのような想定における具体的な課題を抽出し、これらを解決する。最終的には、研究開発テーマ B-1「量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築」において構築される量子クラウドテストベッドに接続できるようにすることで、同テストベッド上のデータを開発する秘密計算システム内で処理可能とすることを目指す。

本研究開発では、これらを達成するための新たな手法として、相関乱数生成専用ハードウェアを開発し、これを2台の秘密計算サーバの各々に取り付けることで、大幅な高速化を目論む。同ハードウェア（HW）は、単なる秘密計算における頻出処理を高速に計算するための専用チップ等ではなく、秘密計算を実行する上で必要となる相関乱数（correlated randomness)をセキュアかつ非対話的に高速生成するものであり、これを導入することで秘密計算における処理時間の支配的な要因である通信時間を大幅に削減することが可能となる。本研究開発においては、上記の主たる目的を達成することで、当該 HW の有効性も併せて明らかにする。

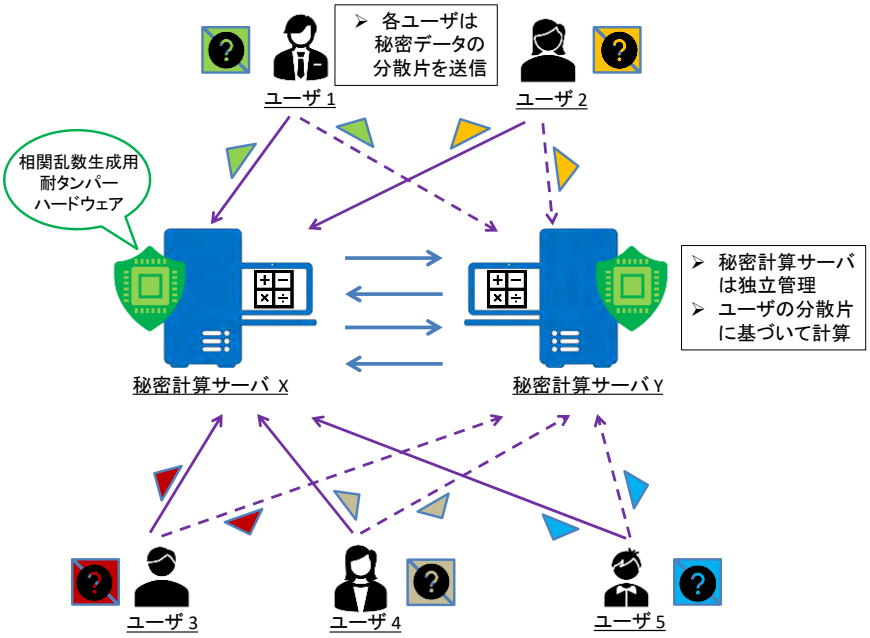


図 III-24 提案する秘密計算システムの概観

研究開発目標（iii）

研究チーム B-3c：秘密計算技術の社会実装事例の構築

予算配分額（2023 年度）：0.7 億円
予算配分額（2024 年度）：0.75 億円
研究開発責任者：　櫻井陽一（NTT コミュニケーションズ株式会社）
共同研究機関：　国立研究開発法人国立成育医療研究センター
国立大学法人大阪大学
GMO サイバーセキュリティ by イエラエ株式会社

医療業界における実施内容として、SIP 第2期において共同研究を行ってきた国立成育医療センター、及び大阪大学医学部付属病院と SIP 第3期においても連携体制を構築する方向で協議しており、「秘密計算・AI を活用した包括的医療の質改善」と「多施設大規模医療情報を用いた疾患分類・予測の統計・機械学習・AI モデル実証」に関する PoC（図 III-25）を実施する。

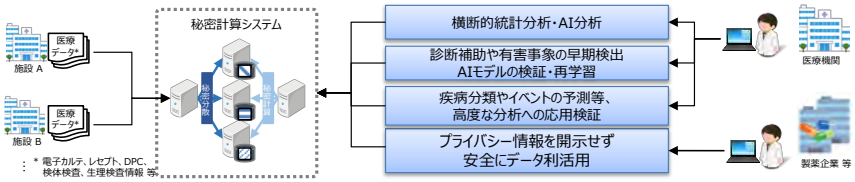


図 III-25 医療業界における PoC 実施イメージ

「秘密計算・AI を活用した包括的医療の質改善」については、国立成育医療研究センターと連携し、医療の質の指標（QI）の社会実装と機械学習・AI を用いた治療のパターン認識法の確立、予後予測モデルの開発、および医薬品や診療行為の警戒信号の早期検出を秘密計算環境下で実現する。

「多施設大規模医療情報を用いた疾患分類・予測の統計・機械学習・AI モデル実証」については、大阪大学医学部附属病院と連携し、機微な医療情報の施設間での情報管理、および医療情報の有効かつ安全な利活用の事例の構築を目指す。さらに、機械学習・AI を利用した疾病分類や疾病あるいは医療に関するイベントの予測などに秘密計算技術を応用する。

また、金融業界における実施内容として、複数組織によるクレジットカード不正利用の検知技術を普及することで近年急増しているクレジットカードの不正利用の解決に寄与することを狙う。

クレジットカード不正利用検知を行うアプローチとして不正検知を機械学習（深層学習）で行うことと、個々の加盟店が十分な学習データを揃えることやプライバシー保護の観点から他の加盟店とのデータ共有が難しいという課題を踏まえて、国立研究開発法人情報通信研究機構が開発したプライバシー保護連合学習技術を活用する。プライバシー保護連合学習を採用したシステム（図 III-26）を社会実装する中で課題となることが想定される、対処すべき現実的な問題（スケーラビリティ、耐障害性等）や、プライバシー保護連合学習の構成要素である中央サーバの信頼を得るための機能やプロセスなど、秘密計算技術のような先端技術を実社会に普及させる上で必要となる課題を明らかにし、それら課題の解決を行いながら秘密計算技術の社会実装に貢献する。

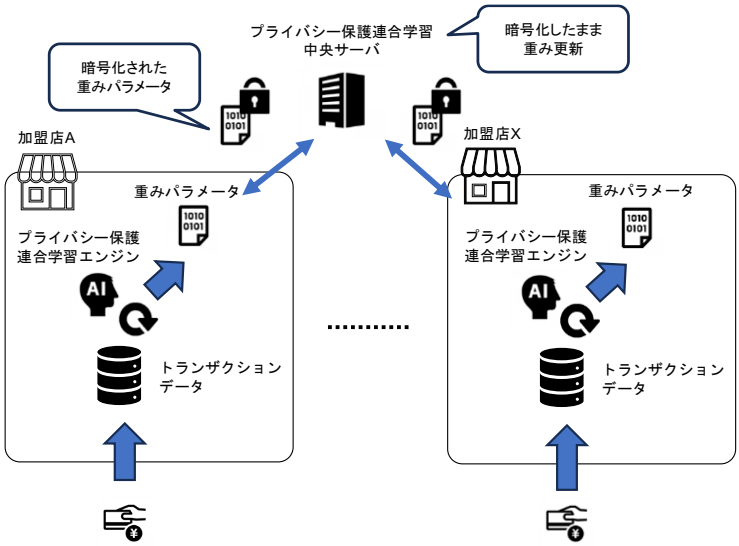


図 III-26 金融業界における PoC 実施イメージ

研究開発目標（ⅳ）-（ⅶ）

研究チーム B-3a、B-3b、及び B-3c：

データ共有の促進
異なる秘密計算システム間のインターオペラビリティの確保
プライバシー・機密情報の関係・取り扱い方法の体系化とルール・ガイドラインの制定、発信
人材の育成に向けたベストプラクティスの共有や発信

予算配分額（2023 年度）： 0.39 億円
予算配分額（2024 年度）： 0.39 億円
研究チーム B-3a、B-3b、及び B-3c が、連携・協力して実施
チームリーダー：櫻井陽一（NTT コミュニケーションズ株式会社）

(a)データ共有の促進

データサイエンスの分野において、データ利活用者側は生データを確認しながら初期仮説を構築することが一般である。しかし、初期仮説の構築に必要な情報は個々のレコードの詳細ではなく、分布などデータの特性を示す統計量である。そのため、プライバシー・機密部分を開示することなく秘密計算で暗号化したまま統計量を計算し、データ利活用者側から「容易に」確認することができれば、データ提供者側にとってはデータ提供の障壁を下げ、またデータ提供者側にとっても、一定の有用性を確認するために試行錯誤を繰り返す手間を削減でき、データ共有・利活用の促進が可能と考えられる。

そこで、令和7年度までにデータの統計量やレコード数等の提供されるデータの特性を表す指標値を確認できるような仕組みを実現し、個社/複数社のデータによる処理結果についての有用性の比較検証を行う。また、本研究開発において実装した統計手法や AI アルゴリズムの処理機能についても令和9年度までに UI/UX の拡充を行う。

(b)異なる秘密計算システム間のインターオペラビリティの確保

秘密計算技術が普及した社会においては、企業・業界・国などが、それぞれ異なる方法で暗号化されたデータを取り扱う秘密計算システムを持つことが想定され、秘密計算によって得られた分析結果を他システムに連携することが困難となること(サイロ化)が懸念される。

そのため、平文でデータを取り扱う一般的なシステムだけでなく秘密計算システムを含む外部システムとの安全な相互接続に向けインターオペラビリティ機能(安全な暗号方式の変換方法やデータ受け渡し方法、システム連携可能な外部 API)を定義して開発を促す。

また、上記研究開発について、本研究チームに参画する組織だけでなく、秘密計算技術に関連する主要なプレイヤーとの連携も検討する。

(c)プライバシー・機密情報の関係・取り扱い方法の体系化とルール・ガイドラインの制定、発信および、米国との情報交換を通じての日米協力の取組具体化とその実行

2025 年度までに、秘密計算技術における安全性基準を秘密計算技術に関連する主要なプレイヤーと連携して検討し、プライバシー・機密情報の取り扱い方法を体系化するとともに、プライバシー・機密情報に関する法規制を遵守したうえでデータ利活用の漠然とした不安感にも寄り添うガイドラインの素案を、その他国内外の事例を調査したうえ策定する。また、2027 年度までに、連合学習とプライバシー保護手法の安全性や妥当性についての社会の理解が得られるよう、ガイドラインに向けた適切な進言や裏付けを関係省庁や団体、業界の発言力がある組織へ提出する。

本素案にはデータ利活用事業者としての基本姿勢・データの取り扱いに関する原則的な考え方を盛り込み、対外的な発表を行う。また、令和9年度までに本研究成果について広報活動を繰り返し行う。また、米国と日本国政府間の連携の場における研究開発成果の情報共有を通じて、日米協力の取組を検討を行う。

(d)人材の育成に向けたベストプラクティスの共有や発信

秘密計算技術のユーザ像であるプライバシー・機密情報のデータオーナーや、AI・データサイエンスに関心の高い人材に対し、NTT コミュニケーションズが提供する事業共創プログラム「OPEN HUB for Smart World」を活用し、本研究開発で得られたベストプラクティスを発信するとともに、秘密計算技術に関するハッカソン・ワークショップを実施し秘密計算システムの普及を促進する。

③ 研究開発に係る工程表

各研究開発の工程表は以下の通り。

「秘密計算技術の高性能化」では、令和 7 年度までに機能実装やガイドライン等の策定、ベストプラクティス集の発信等一通りの目標の達成を目指す。SIP 期間後半には、前半までの取組を継続するとともに、適用領域の拡大に努める。

「省リソース化された実用的秘密計算システムの実現に関する研究開発」では、令和7年度までに実用的秘密計算システムの構成検討やアルゴリズムの理論的評価を行う。SIP 期間後半には、秘密計算

システムの構築および量子セキュアクラウドへの接続を行い、実用性について検討する。

「秘密計算技術の社会実装事例の構築」では、令和7年度までにユースケースの策定と実証やガイドライン等一通りの目標の達成を目指す。SIP 期間後半には、前半までの取組を継続するとともに、適用範囲の拡大に努める。

「データ共有の促進」では令和7年度までにデータの統計量やレコード数等の提供されるデータの特性を表す指標値を確認できるような仕組みを実現し、SIP 期間後半において、実装した統計手法や AI アルゴリズムの処理機能について UI/UX の拡充を行う。

「異なる秘密計算システム間のインターオペラビリティの確保」については、令和7年度までにインターオペラビリティの要件定義と発信を行い、SIP 期間後半は、その機能の開発促進に取り組む。

「プライバシー・機密情報の関係・取り扱い方法の体系化とルール・ガイドラインの制定、発信」については、令和7年度までにプライバシー・機密情報の取り扱い方法の体系化に取り組み、SIP 期間後半には、前半までの取組を継続し、各産業に向けて発信していく。

「人材の育成に向けたベストプラクティスの共有や発信」については、令和7年度までに本研究成果や秘密計算技術のベストプラクティスの発信とハッカソン・ワークショップを実施し、SIP 期間後半においても、それらを継続して実施していく。

＊ 他研究開発目標と連動して社会実装を推進

図 III-27 工程表（研究チーム B-3a：秘密計算技術の高性能化）

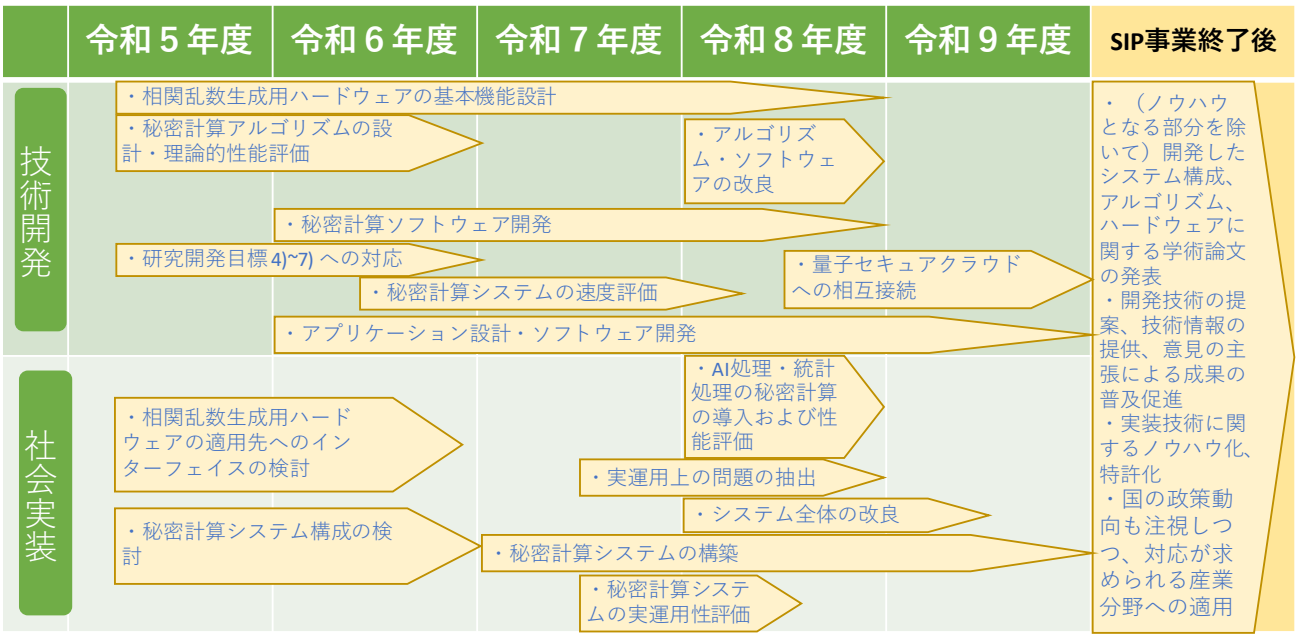


図 III-28 工程表

（研究チーム B-3b：省リソース化された実用的秘密計算システムの実現に関する研究開発）

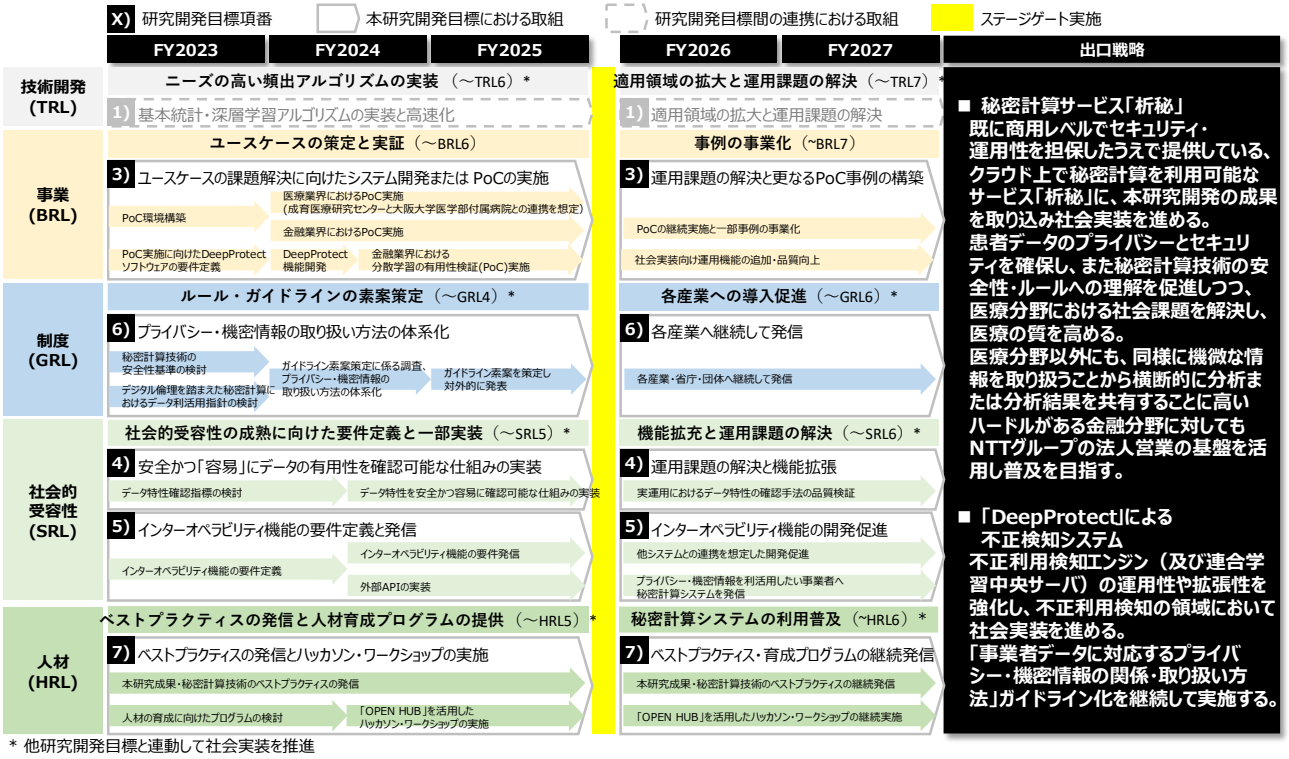


図 III-29 工程表（研究チーム B-3c：秘密計算技術の社会実装事例の構築）

④ 過年度までの進捗状況

研究開発目標（ｉ）

研究チーム B-3a：秘密計算技術の高性能化

令和 5 年度は、秘密計算環境下における基本統計処理および AI アルゴリズムのベンチマーク試験を実施した。ベンチマーク試験の結果、基本統計処理アルゴリズムは 100 万レコードの集計・平均・分散のクロス分析において最遅 7 秒で分析が可能であることを確認し、最遅 10 秒の目標値を達成した。令和 6 年度は、医療・金融分野におけるユースケースを踏まえて選定した統計関数の演算機能を開発する。

また、AI 分析アルゴリズムについては順伝播型ニューラルネットワーク(FFNN)における学習処理 1 回あたりの処理時間が平文と比較して 100 倍比以内であることを確認した。一方で、平文処理と比較して特定の処理条件において、処理速度が劣化する課題を抽出した。令和 6 年度は、当該課題の解消に向けた改修と、さらに決定木アルゴリズムを開発する。

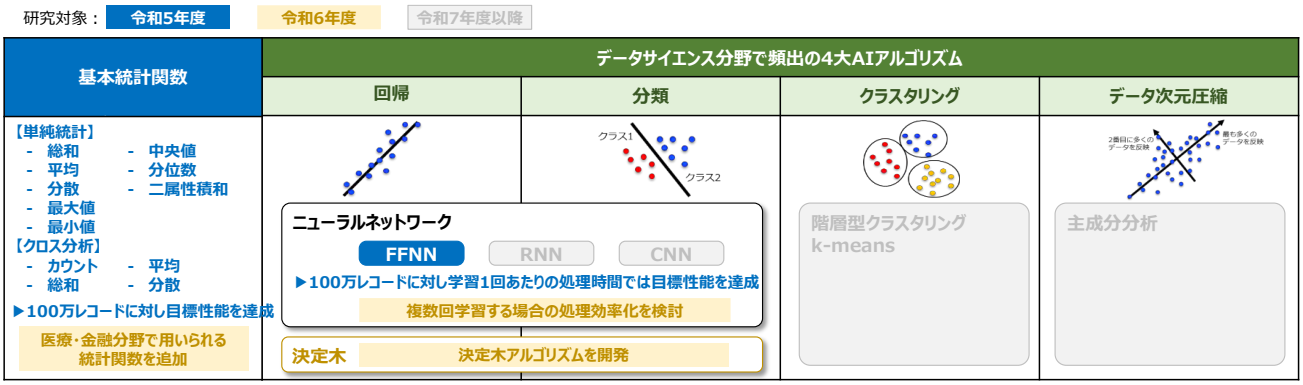


図 III-30 本研究開発において実装予定のアルゴリズムと令和 5 年度成果の概要

研究開発目標(ii)

研究チーム B-3b：省リソース化された実用的秘密計算システムの実現に関する研究開発

相関乱数生成 HW の開発に関し、初期検討用 HW の仕様策定を行い、それを並行してそのソフトウェア実装を進めるほか、HW インターフェイスと制御ソフトの概念設計を進めた。また、同 HW の導入を想定した秘密計算システムについての要件定義、それに基づいた仕様設計を進めた。

開発するシステムのテーマ設定および当該システムの概要設計、さらにシステム運用に関わる既存のガイドラインを参考にしながら秘密計算を採用したシステム運用の課題の洗い出しとそれらの対策についての議論を行った。

秘密計算を活用した事業構想の創出を行い、また当事業のビジネスモデルに照らしたサービスの要件、ならびにサービス展開に求められるシステム要件について整理を行った。

研究開発目標（iii）

研究チーム B-3c：秘密計算技術の社会実装事例の構築

本年度は、共同研究機関と連携し各実証フィールドでのPoC実施に向けた要件抽出、および技術調査・検証を実施した。以下に各共同研究機関との研究開発成果概要を示す。

表 III-2 令和 5 年度の成果概要

共同研究機関	研究題目	令和 5 年度の成果概要
大阪大学	多施設大規模医療情報を用いた秘密計算による疾患分類・予測の統計・機械学習・AI モデル実証	入院期間予測を想定した AI 分析の技術検証を実施した。また、秘密計算技術を適用した RWD 分析基盤*1 について想定ユーザである製薬企業へ要件ヒアリングを実施し、さらに本研究へ参画することを合意した。
成育医療研究センター	秘密計算・AI を活用した包括的医療の質改善	特定の症例に対する治療パターンの分析を想定した秘密計算環境下でのクラスタリングアルゴリズム*2 の精度検証を実施した。
GMO サイバーセキュリティ by イエラエ	プライバシー保護連合学習技術によるクレジットカード不正利用検知システムの開発及び社会実装	クレジットカードの不正利用の現状調査及び不正決済検知に関する技術調査を実施し、プライバシー保護連合学習技術*3 の適用に向けた課題を抽出した。

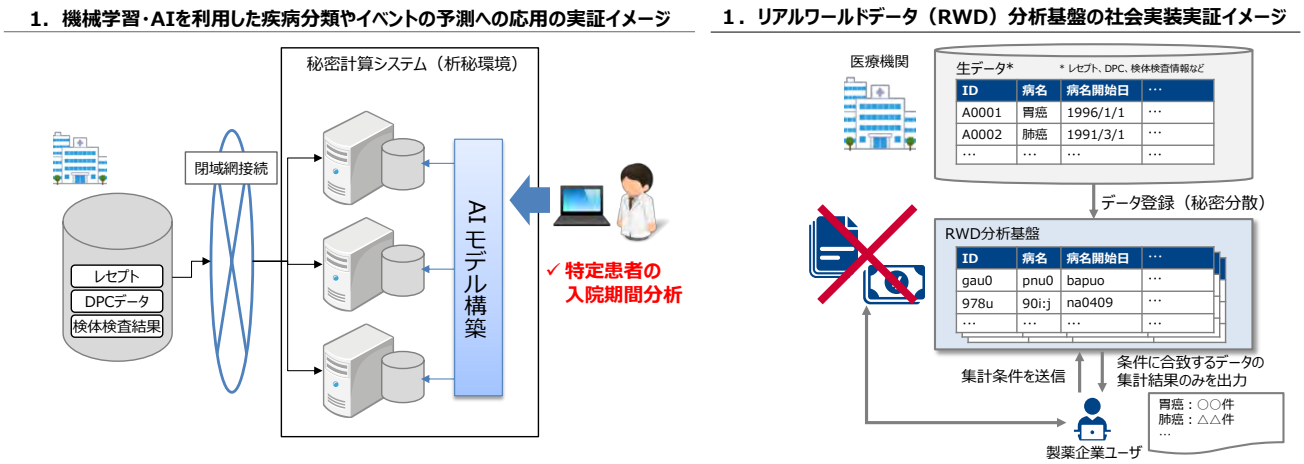


図 III-31 大阪大学との共同研究における実証イメージ

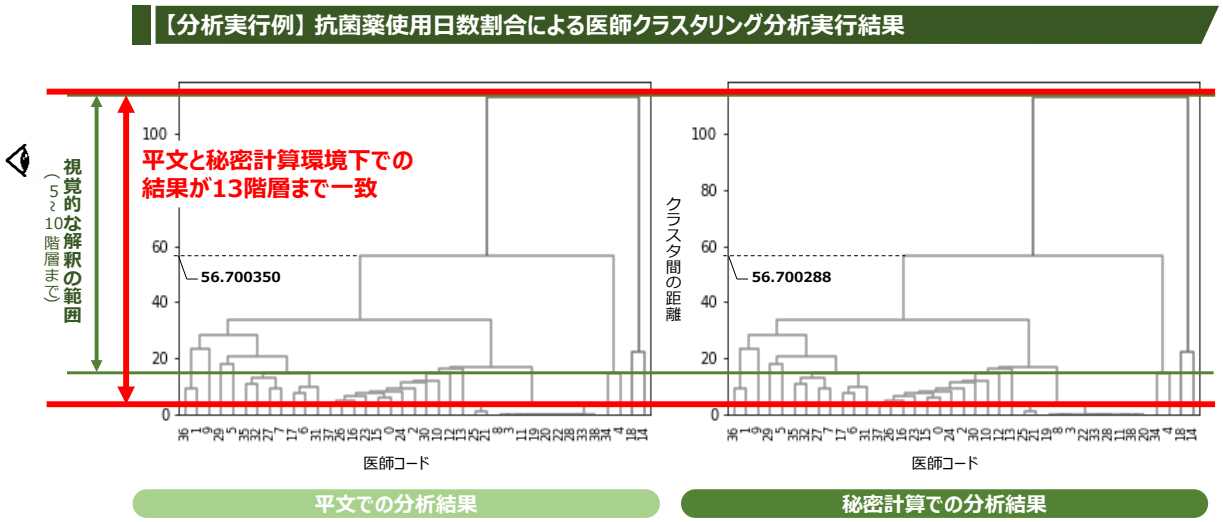


図 III-32 クラスタリング分析実行結果例

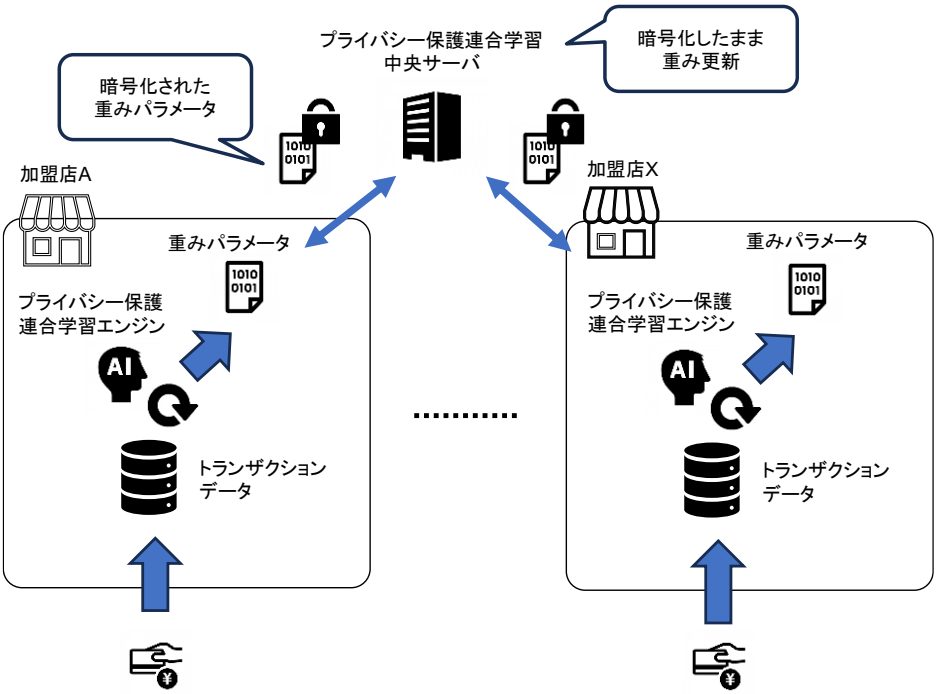


図 III-33 プライバシー保護連合学習技術を適用した不正検知システムイメージ

研究開発目標（ⅳ）-（ⅶ）

研究チーム B-3a、B-3b、及び B-3c：

本年度は本研究開発に参画する研究機関と連携し、（ⅳ）～（ⅶ）に係る研究を推進した。以下に研究開発目標ごとの成果概要を示す。

表 III-3 研究テーマ B-3 研究開発目標(ⅳ)～(ⅶ)ごとの令和5年度の成果概要

研究開発目標	令和 5 年度の成果概要
(ⅳ) データ共有の促進	秘密計算環境に登録されたデータの分布を表す指標値(要約統計量や NULL 率、重複率)を確認可能な機能*1 について、実機能を用いて想定ユーザにヒアリングを実施し、暗号化された状態のデータに対する分析の前段階の仮説検討のために有用であることを確認した。
(ⅴ) 異なる秘密計算システム間のインターオペラビリティの確保	各研究機関と連携して秘密計算システムを前提としたインターオペラビリティの実現方式*2 について机上検討し、また令和 6 年度の開発に向け各秘密計算システム間で連携可能な実験環境の要件を整理した。
(ⅵ) プライバシー・機密情報の関係・取り扱い方法の体系化とルール・ガイドラインの制定、発信	秘密計算の安全性基準、及び各国のプライバシーインシデントと倫理規定の活用事例を調査したうえで、既存の PIA プロセスを基に秘密計算システムを前提としたプライバシーガバナンスの整備に向けた課題を抽出した。
(ⅶ) 人材の育成に向けたベストプラクティスの共有や発信	秘密計算の仕組みと活用例、そして本研究開発の構想について、NTT コミュニケーションズのオウンドメディア「OPEN HUB」にて発信する準備を実施した。※2024 年 5 月 24 日公開

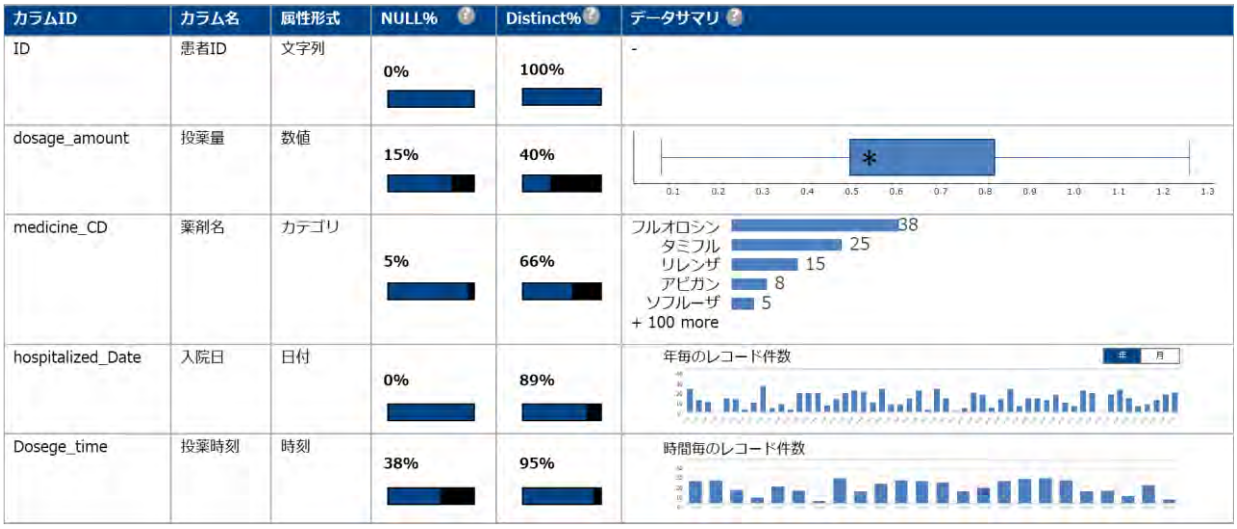


図 III-34 指標値確認画面イメージ

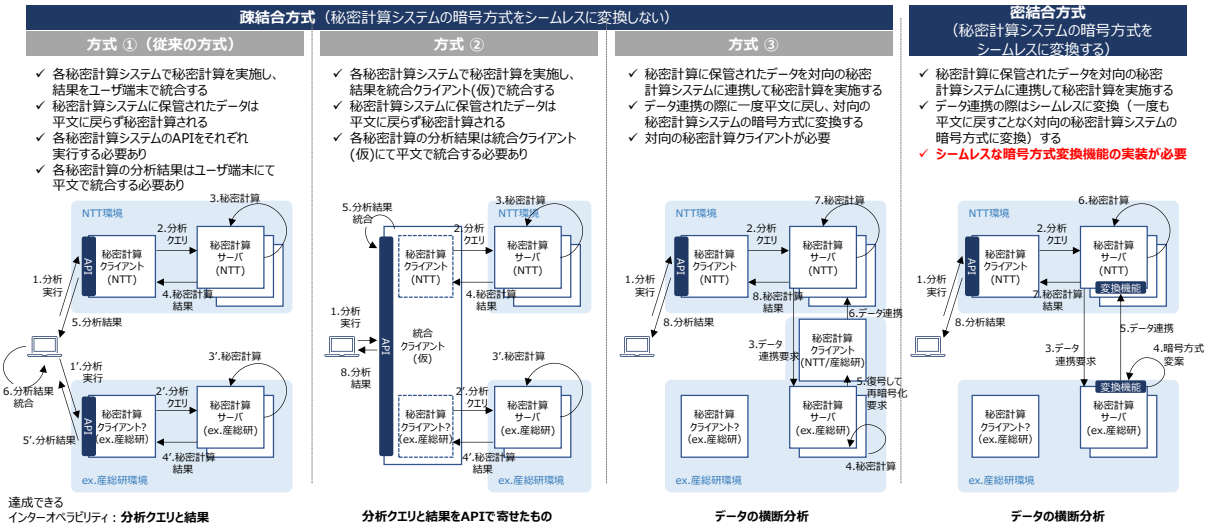


図 III-35 インターオペラビリティ実現方式案

（8）【量子センシング】C-1 量子センシング等の利用・試験・評価環境の構築

多様な分野の企業・大学等が、量子センシング等を容易に利用・試験・評価できる環境（ユーザビリティ向上のための支援体制やユーザ同士の協調等を促進する産学官の体制も含む）を構築する。

① 研究開発目標

量子センシング等の開発・利活用に関しては、潜在的企業ニーズが高いものの、多くの企業にとっては、専用の設備がない、技術・ノウハウ・経験がない、あるいは専門人材がいない等の課題（参入障壁）がある。こうした課題を克服し、量子センシング等の普及とユーザ拡大を図るため、多様な分野の企業・大学等が、量子センシング等を容易に利用・試験・評価できる環境を構築する。この際には、ユーザビリティ向上のための支援体制や、産学官連携による研究開発やユーザ同士の協調等を支援するための産学官の連携体制も構築する。

1. 2025 年度までに、量子センシング等を利用・試験・評価できる試行的な環境を構築し、その後もユーザの利用等の結果をフィードバックして当該環境の高度化を進める。《達成目標③1、達成目標③2》【TRL：5、BRL：4、HRL4】
2. 2026 年度までに、量子センシング等を利用・試験・評価できる本格的な環境を構築するとともに、ユーザへの支援体制等を構築し、多くのユーザの利用促進をはかる。《達成目標③1、達成目標③3》【TRL：6、BRL：6、HRL：5】

② 実施内容

従来よりも格段に高精度・高感度なセンシングを可能とする量子センシングやこの基盤となる量子マテリアル・デバイス等の開発・利活用については、潜在的な企業ニーズがあるものの、多くの企業にとっては、専用の設備がない、技術・ノウハウ・経験がない、あるいは専門人材がいない等の課題（参入障壁）

があり、新規参入は容易ではない。

こうした課題を克服し、量子技術の普及とユーザ拡大を図るため、先行している公的研究機関・大学等の技術・ノウハウ・経験等を活用し、自社で量子技術を持ち合わせていない多様な企業・大学等が、量子センシング等を容易に利用・試験・評価できる環境（例：量子センシングの材料・素子・デバイス・システム、試験・評価装置等が整備され、多様な企業等が利用できる環境）を構築する。この際には、ユーザビリティ向上のために技術的な支援・指導を行うなど支援体制を構築するとともに、産学官連携による研究開発やユーザ同士の協調・情報共有・交換等（ユーザコミュニティ）を支援する産学官の連携体制も構築する。また、ユーザにとっては、既存センシング等との比較も含む性能指標も重要になることから、量子センシング等の性能の評価・比較等に関するベンチマーク指標も策定・提示する。

さらに、実機開発では実環境下の環境影響特性を考慮して性能を試験・評価することが重要であることから、環境を構築する際には、温度や電場等の実環境を模擬した試験が可能である環境とする。さらに、量子センシング等の規格化・標準化も見据えた環境（仕様・システム）とし、我が国が本分野を国際的にリードする基盤となる環境を構築する。

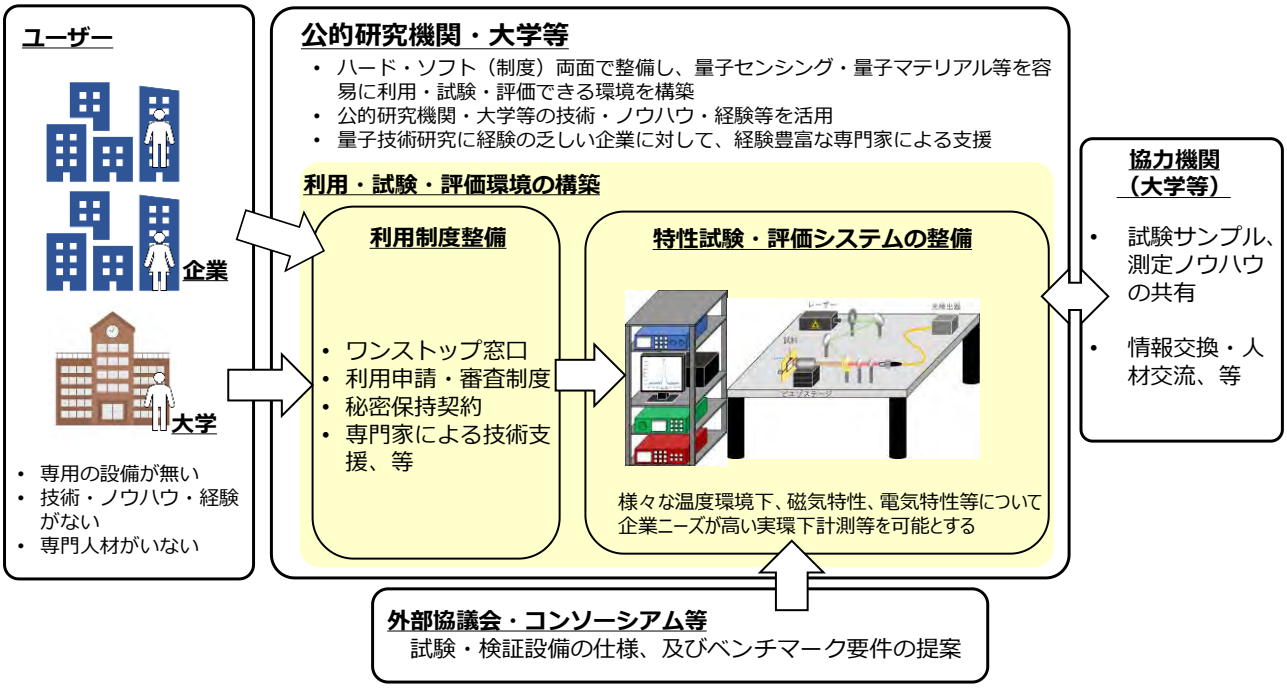


図 III-36.【量子センシング】量子センシング等の利用・試験・評価環境

研究チーム C-1a：固体量子センサの社会実装促進に向けた実践環境の構築

予算配分額（2023 年度）：2.3 億円
予算配分額（2024 年度）：1.6 億円
研究開発責任者：　大島武(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構)
共同研究機関：　国立大学法人東京科学大学
国立大学法人東北大学

国立研究開発法人物質・材料研究機構
株式会社豊田中央研究所
一般財団法人電力中央研究所
株式会社 Quantum Zero
京セラ株式会社
学校法人　トヨタ学園　豊田工業大学
株式会社 OOYOO

図 III-36 に記載の環境構築に向け、固体量子センサに関する基本性能を確認・評価できる「共通テストベッド」を整備するとともに、共通テストベッドでの実習も含む基本的な量子技術教育の機会を提供する。これより、社会実装を加速・支援するオープンイノベーションの場を確立し、固体量子センサの研究開発を担う人材の開拓と拡大、人的ネットワークの構築を促進する。加えて、目に見える応用を示し社会実装を促進するため、パワーエレクトロニクス応用が進む炭化ケイ素（SiC）デバイスの健全性診断技術開発に向けた、シリコン空孔（V_{Si}）量子センサにより SiC デバイス内部を直接観察する「特化型テストベッド」を構築する。また、地熱探査用センサ開発に向け、ダイヤモンド NV センターによる高温下量子センシング技術を開発する。

更に、関連機関・企業と協力して量子マテリアルとしてのダイヤモンドや、形成される NV センターの品質の評価を実施することで、量子センシング・量子マテリアルの規格化・標準化に向けたデータを蓄積する。全体像を図 III-37 に示す。

上記に加え、ゼロカーボンエネルギーを実現するための量子センサに基づく測定技術の開発をフィージビリティスタディとして実施する。

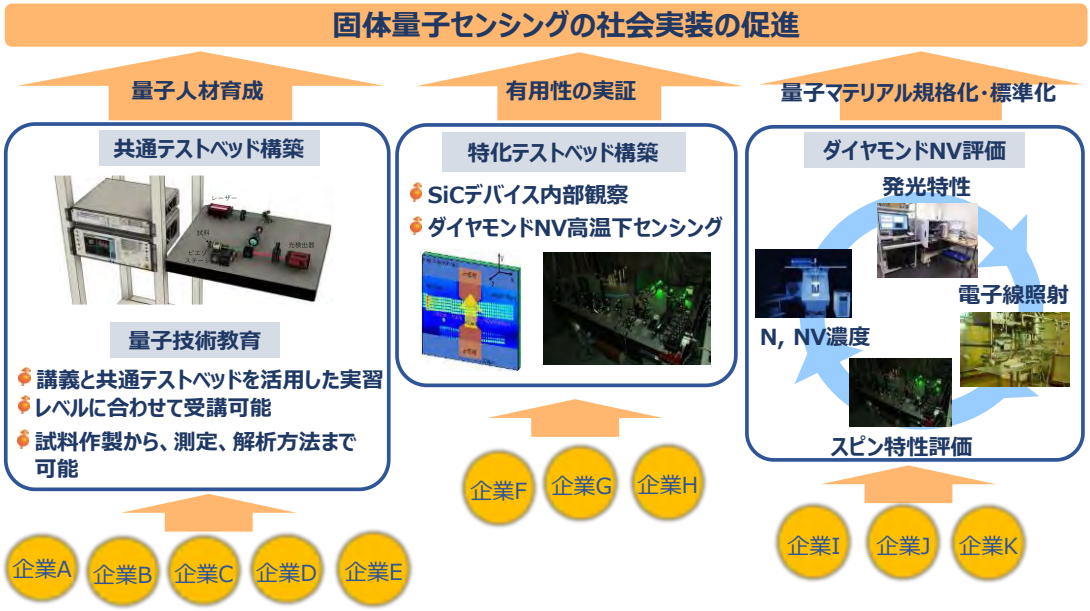


図 III-37　実施内容の全体像

研究チーム C-1b：量子コンピュータ・センサーハードウエアコンポーネントテストベッドの構築

予算配分額（2023 年度）：1.5 億円
予算配分額（2024 年度）：1.15 億円
研究開発責任者：　金子晋久（国立研究開発法人産業技術総合研究所）
共同研究機関：　国立大学法人東京大学

本研究開発では、このような評価環境を主として量子コンピュータ・センサーのハードウエアコンポーネントに適用し、企業・大学・研究機関にオープンに利用していただくためのテストベッドを構築・社会実装する。特に低温環境が必要な超伝導量子ビット・スピン量子ビットを利用した量子コンピュータのハードウエアコンポーネントは 50K、4K、10mK などいくつかの特徴的かつ企業などでは実現が困難な温度環境での評価を必要とする。またケーブルなど大型の部品は両端の温度が異なる環境で使用されるため、温度差をつけて事前評価することが理想であり、より難易度が高い。大学・研究機関などでも少数の部品・部材であればテスト的な評価は可能であるが、系統的に多くの部品を評価することは極めて難しく、かつ温度差をつけて事前評価した研究開発した事例は世界的にも報告例がない。また、本研究開発では、産総研が持つ国家標準を基準に評価・テスティングを実施する。

このように実際の利用状況を的確に模擬し、かつ大規模で標準へのトレーサビリティの取れたテストベッドは世界的にも類を見ない。

また、光学部品のテストベッドに関してもスモールスタートの形で研究開発を開始する。実際光コンピュータの要素部品であるスクイーズド光源についての評価の要望がある。光量子コンピュータに必要なスクイーズドレベルを正確に評価するだけでなく、より高いスクイーズドレベルを定量的に目指す場合はその絶対評価は必要である。これについても国家標準ベースの精密評価系を立ち上げることをテストベッドの一環として検討するが、他の光学部品も含めたシーズ・ニーズについても調査し、比較的小規模に研究開発を開始する。

以上、研究開発の概略図を図 III-38 に視覚的に示す。

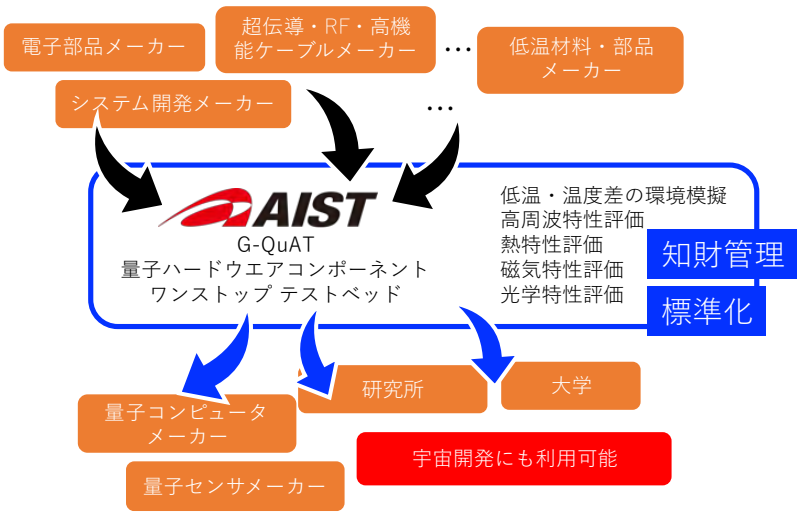


図 III-38　産総研 G-QuAT 量子ハードウエアコンポーネントテストベッド

本研究開発における課題は、企業・機関との並行した契約における知財の取り扱いである。産総研では 2023 年度に外部との連携強化を目的に設立された AIST Solutions や知財チームのバックアップにより、丁寧な知財戦略とその取り扱いを行うことでこの問題を未然に防ぐ。また開発する個々の知財についてその特性に応じ、国内外企業の意向を十分に考慮し丁寧にかつ戦略的にオープン・クローズ戦略をとる。一部の知財については、より高度なコンポーネントの開発と低廉化を即すため、可能な範囲で、適切な管理のもと、オープンにすることも検討する。その知財を産総研 G-QuAT が包括的に把握することで、その共通的技術・ニーズを、国内を中心としたコンポーネントメーカにマッピングし総合的な研究開発を行う。その結果、個々のコンポーネントメーカのクローズドな知財の保護も行う。この戦略により、産総研 G-QuAT が量子ハードウエアコンポーネントのチョークポイントを正確・的確に抑え、量子コンピュータ、量子センサの開発と、量子産業の適切な発達を促す。

また、低温での評価方法（主に高周波、熱特性など）は標準化を予定している。それには IEC TC46 SC46F などにおける標準化活動で従来より取り組んできた手法を低温に拡張することで量子ハードウエアコンポーネントの標準化を目指す。ここでさまざまな、特に国内企業を中心とした要望が想定される。その要望においてはお互いコンフリクトする案件も想定される（測定精度、手法、インターフェースなど）。またコンポーネント・部品に対する高周波特性と熱特性は複数の業界・標準化の枠組みにまたがることが想定される。このような横断的な標準化ニーズへの対応も含めて産総研標準化オフィサー等と協調して整理し、より使いやすい標準化・規格開発に向けて丁寧に戦略を構築し、標準化を推進する。

③ 研究開発に係る工程表

各研究開発の工程表は以下の通り。

「固体量子センサの社会実装促進に向けた実践環境の構築」においては共通・SiC 用特化型・高温用特化型の各テストベッド運用、教育プログラムの実施を令和9年度まで継続して進めるとともに、社会実装に向けて量子センシング経験者拡大を進め、令和8年度からは新規の特化型テーマの創出等を実施する。

「量子コンピュータ・センサーハードウエアコンポーネントテストベッドの構築」においては令和7年度半ばまでに部品・部材の仕様検討を実施し、令和7年度後半からは各計測技術の確定・多様化を実施していくこととしている。

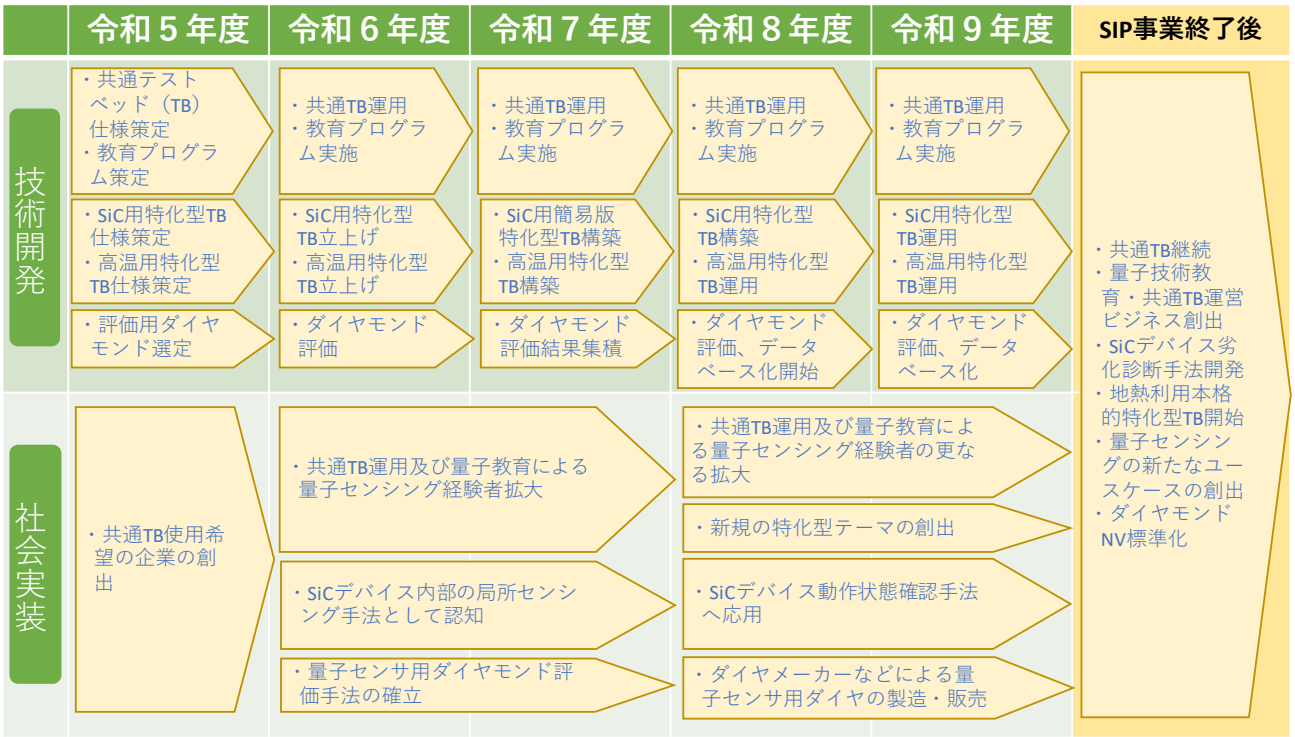


図 III-39 工程表（研究チーム C-1a：固体量子センサの社会実装促進に向けた実践環境の構築）

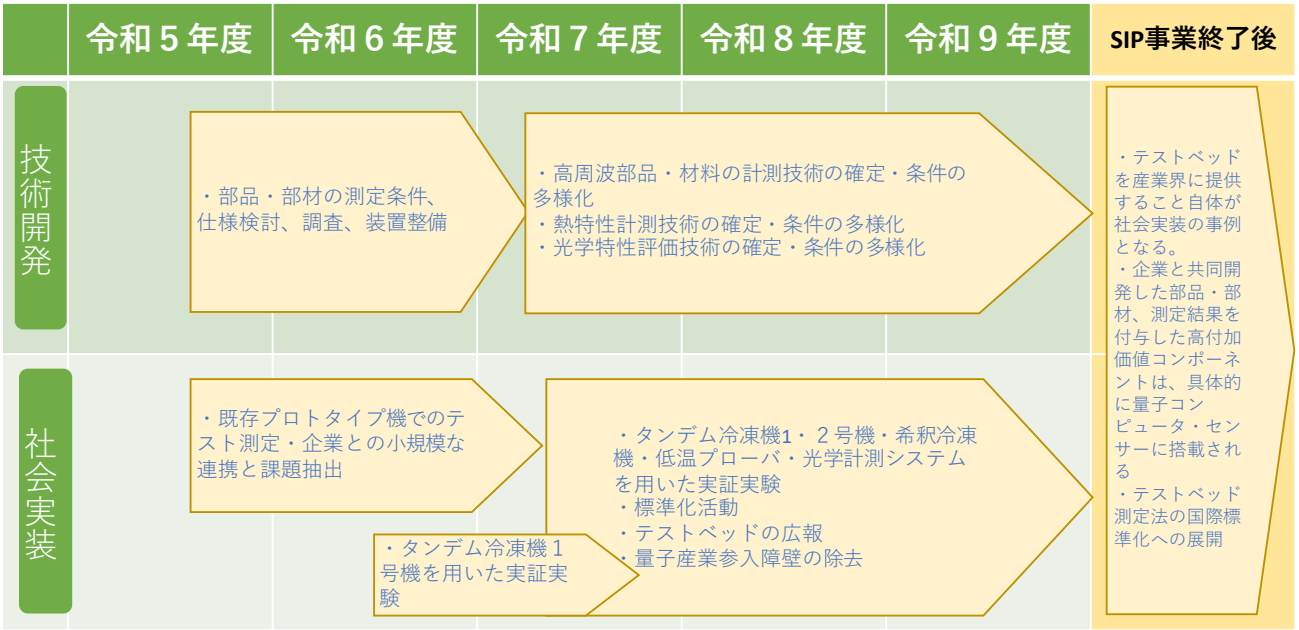


図 III-40 工程表（研究チーム C-1b：量子コンピュータ・センサーハードウエアコンポーネントテストベッドの構築）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム C-1a：固体量子センサの社会実装促進に向けた実践環境の構築

ダイヤモンド NV センターといった固体量子センサの社会実装を促進するため、東京科学大学、東北大学及び量子科学技術研究開発機構・高崎量子技術基盤研究所に固体量子センサに関する基本性能を確認・評価できる「共通テストベッド」の整備を進めるとともに、基本的な量子センシング技術を習得できる量子人材育成のための教育プログラムの検討を行った。加えて、本 SIP 事業を広く社会に周知するため、展示会などで紹介を行った（図 III-41）。特化型テストベッドに関しては、SiC デバイスの内部をシリコン空孔（V_{Si}）を用いてセンシングする測定系、及びダイヤモンド NV センターを用いた高温下量子センシング測定系の構築を開始した。ダイヤモンド評価については、ダイヤモンド中の窒素濃度や形成された NV センター濃度を評価するための測定系の整備、NV センター形成プロセスの確認を行うとともに、ダイヤモンド試料の入手に向けた議論を実施した。

また、ゼロカーボンエネルギーを実現するための量子センサに基づく測定技術の開発として、爆轟法ナノダイヤモンド（DND）を超音波ホモジナイズすることで、粒子径約 3 nm、ゼータ電位+37 mV の単分散ナノダイヤモンドを調製した。これを酸化グラフェン（GO）膜に担持させ、大面積（約 0.7m2）基材にコーティングし、スパイラル状エレメントの気相分離膜モジュールを製作した。また、これを用いたガス分離の実証にも成功した。更に、爆轟法ナノダイヤモンドの光検出磁気共鳴（ODMR）コントラストを改善するため、Si ドープによる改良を行い、平均コントラスト 8.3%の高コントラスト化を達成した。

図 III-41　SIP 事業および量子人材育成の紹介ポスター

研究チーム C-1b：量子コンピュータ・センサーハードウエアコンポーネントテストベッドの構築

本プロジェクトの最終目標である、量子ハードウエアコンポーネントのエコシステム・サプライチェーンの確立のため、比較的汎用性のあるハードウエアコンポーネント部品・部材、光学部品・部材のニーズ・シーズについて延べ 40 を超える企業・研究所に対して調査を行った。この技術動向に関しては、「大規模量子コンピュータシステムに向けた俯瞰図・ロードマップとサプライチェーン強靭化」（代表提案者：国立

研究開発法人産業技術総合研究所 昆盛太郎）のプロジェクトと共同して進めた。その結果、低温環境での高周波部品の評価は多くのニーズがあることを改めて確認し、多様な部品の高周波・熱特性などの評価を行うテストベッドとして下図のシステムを構築中である。

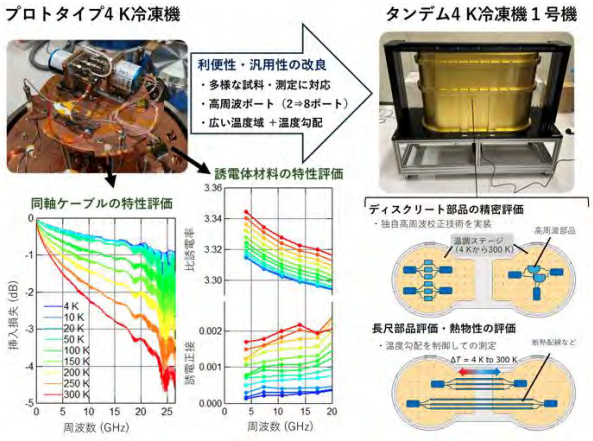


図 III-42 高周波コンポーネント評価装置

また、光コンポーネントについて、既存装置を有効に組み合わせ、スクイーズド光のスクイージングレベル性能評価法と単一光子検出器の検出効率評価方法の調査研究を中心として研究開発を行った。それぞれの構築中の評価システムを下図に示す

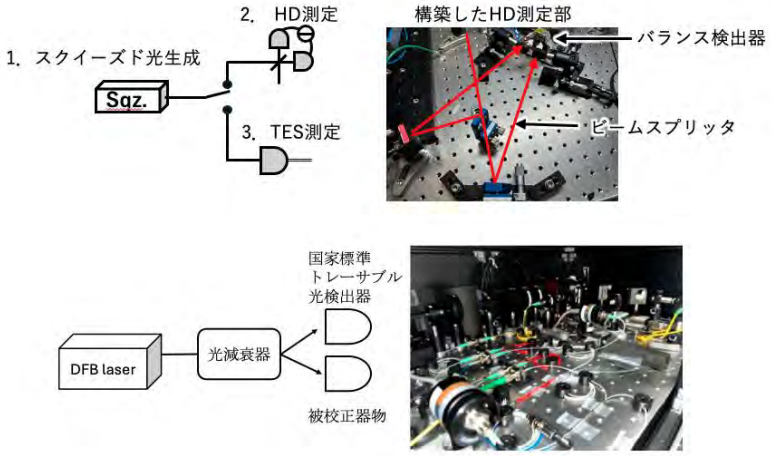


図 III-43 光コンポーネント評価装置 上：スクイーズド光源のスクイーズドレベル評価、下：単一光子検出器の検出効率評価装置

（9）【量子センシング】C-2 量子センシング等を利用したユースケース開拓・実証

従来よりも格段に高精度・高感度なセンシングを可能とする量子センシングやこの基盤となる量子マテリアルの利活用が期待される様々な領域（健康・医療、エネルギー、自動運転、防災、資源探査等）において、新産業創出や生産性向上等の新たな価値を創出するユースケースの開拓・実証を行う。

① 研究開発目標

量子センシング・量子マテリアルを利活用（必要に応じて量子センシングの研究開発テーマ C-1 も活用）することによって、新産業創出・生産性向上等の新たな価値を創出するユースケースの創出や、これらの事業化・社会実装に向けて、下記を目標とする。

1. 2027 年度までに、新産業創出・生産性向上等の新たな価値を創出する新たなユースケースを開拓・実証し、これらの事業化の見通しを立てるとともに、可能なものについては社会実装を実現する。《達成目標③1、2》【TRL：6、BRL：7、GRL：6、SRL：5】

② 実施内容

特定のユースケースを想定し、量子センシング・量子マテリアル（ダイヤモンド NV センター、スピン超偏極技術、超伝導光子検出器、量子もつれ光、光格子時計技術、量子スピントロニクス等）を活用した装置・システムを研究開発し、ユースケースを模擬した環境や実環境において装置・システムの利用実証を行うなどして、ユースケースの開拓・実証を行う。さらに、これらの結果を踏まえて、ユースケースの事業化の見通しを立てるとともに、可能なものについては製品・サービス化等を通じて社会実装を実現する。

ユースケースの開拓・実証の際には、量子センシング等が有効なユースケースの創出や、大きな経済・社会インパクトや産業利用拡大が期待できるキラーアプリケーションの創出を目指すものとする。さらには、各ユースケースの実証を通じて事業化・社会実装を進める上での課題を抽出し、産学官の連携等によって課題解決に取り組む。さらにユースケースを踏まえて、量子センシングの規格化・標準化や量子センシングを活用した計測標準等に向けても取り組む。

研究チーム C-2a：超偏極利活用プラットフォームの整備とトリプレット DNP によるがん治療効果判定技術の開発

予算配分額（2023 年度）：0.77 億円
予算配分額（2024 年度）：0.62 億円
研究開発責任者：　根来誠(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構)
共同研究機関：　国立大学法人東京大学
国立大学法人大阪大学
大陽日酸株式会社
SAIL テクノロジーズ株式会社

従来よりも格段に高感度なセンシングを可能とする量子センシングの利活用が期待される健康・医療領域において、新たな価値を創出するユースケースの開拓・実証を行う。具体的には、スピン超偏極技術であるトリプレット DNP によるがん治療効果判定を実現する。これは、大きな経済・社会インパクトや産業利用拡大が期待できるキラーアプリケーションであると考えている。そのための製剤技術を開発し、事業化の見通しを立てるとともに社会実装を実現する。ユースケースを模擬した小型動物でのプラット

フォーム環境においてシステムの利用実証を行い、ユースケースの開拓を行う。プラットフォームにおいて他にも様々なユースケースの実証を通じて事業化・社会実装を進める上での課題を抽出し、産学官の連携等によって課題解決に取り組む。

本技術において、患部にて高感度な検出をする量子センサデバイスの本体は MRI アクティブとなるように同位体置換された「診断薬分子」であり、それを高感度化するための「偏極源分子」やその他の添加物と混ぜ合わせてできた「製剤」に対して、「偏極生成装置」にて超偏極処理をして体内注入することで医療診断への応用が可能となる。偏極生成装置や診断薬分子、製剤技術といった要素技術開発は大阪大学、大陽日酸、QST（量子科学技術研究開発機構）らにより着実に進められてきており、新しい偏極源分子の開発も九州大学で進められてきた。新たな偏極源分子の開発による偏極率の引き上げと投与量の減量、新しい偏極源を利用した超偏極処理法や投与方法の検討、さらに、そのための製剤技術の開発を見据えた最適化を行うのが次のステップであり、本提案これを実現する。本技術の最終目標をがん患者に対してトリプレット DNP という量子技術が利用されること（TRL9）とおくと、まずは小動物での様々な検証を進める必要があるが、それには大量に同位体置換分子を用意する必要があり、また、高純度大量生産技術の検証などを行う必要もある。そのためには本技術に大きな投資や人材を惹きつけ続ける必要がある。また、がん治療効果判定に続く新しいユースケースの創出を行うことでさらなる発展を促し、ユーザとなる企業が利用しやすいような「超偏極利活用プラットフォーム」を整備する必要があり、本提案でも取り組む。

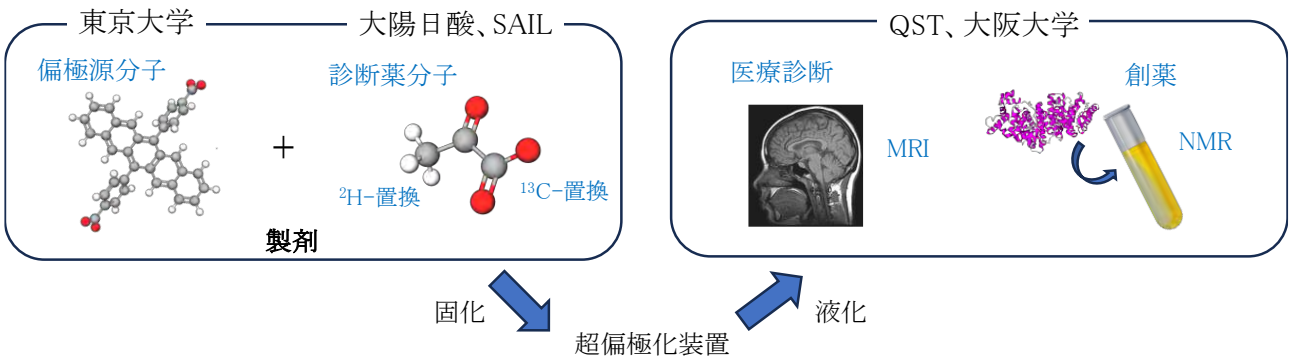


図 III-44 スピン超偏極技術を用いたがん治療効果判定技術の開発

研究チーム C-2b：ダイヤモンド NV センターによる革新的量子電力センシング

予算配分額（2023 年度）：0.28 億円
予算配分額（2024 年度）：0.28 億円
研究開発責任者：　天谷康孝(国立研究開発法人産業技術総合研究所)
共同研究機関：　国立大学法人東京科学大学
ニッコーム株式会社

本研究開発では、ユースケースを踏まえて、量子センシングを活用した計測標準に向けて取り組む。電力計測・センシングで用いられる既存の電流センサの検出部へ、高感度な NV センターダイヤモンド磁

場センサを導入し、測定精度や周波数帯域を向上させる。量子計測・センシング Flagship プロジェクト(Q-LEAP)と強固に連携しながら、精密電気計測技術と NV ダイヤモンド量子センシング技術を融合し、複雑化する分散型電源制御・電力計測技術に対応できる革新的な電流計測技術(計量標準)を開発する。研究開発成果は、産総研が主催する精密電気計測コンソーシアムなどで量子センシングの新たなユースケースとして積極的に発信を行う。また、本事業で実証した電流測定技術は戦略的な知財化を行い、適切な提案母体に量子センシングを活用した電流計測手法の国際標準化を働きかける。

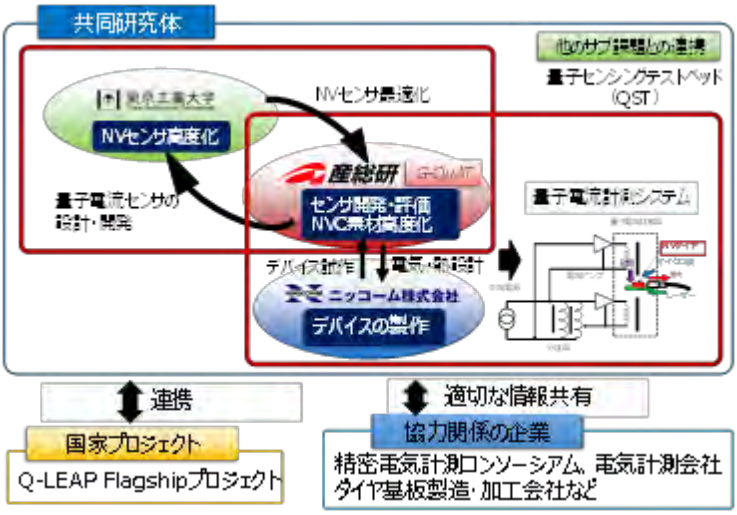


図 III-45 精密電気計測技術と NV ダイヤモンド量子センシング技術の連携開発イメージ

研究チーム C-2c:量子スピンセンサの開発とユースケースの開拓・実証

予算配分額(2023 年度):0.85 億円
予算配分額(2024 年度):0.96 億円
研究開発責任者:　大兼幹彦(国立大学法人東北大学)
共同研究機関:　スピンセンシングファクトリー株式会社
大塚製薬株式会社
三菱電機株式会社
学校法人東北医科薬科大学
UniMedical 株式会社

本研究開発では、劇的な高感度化が進む室温動作の量子スピンセンサの性能をさらに改善し、インパクトの高いユースケースの開拓と実証を行う。具体的には、微弱な生体磁場を計測可能にする、超高感度量子スピンセンサ素子を、東北大学・スピンセンシングファクトリー・三菱電機が共同開発する。従来性能を約 50 倍改善し、室温下で超伝導量子干渉素子を凌ぐ性能を達成する。さらに開発した量子スピンセンサを利用し、疾病診断や脳機能研究に大きな付加価値をもたらす脳磁計、および、心磁計を実現する(図 III-46)。

量子スピン脳磁計に関しては、東北大学・スピンセンシングファクトリー・大塚製薬・東北医科薬科大学

が協力して開発を進め、てんかんや認知症などの脳疾患診断への有用性を明らかにする。その社会実装に関しては、生体磁気計測を専門とする研究者が使用可能な機器をスピンセンシングファクトリー社が製造し、令和9年度末までに販売（またはレンタル）開始する計画である。

量子スピン心磁計に関しては、SIP 期間前半に試作機（ハードウェア）を完成させ、後半に心磁データの取得と、得られた心磁図データから疾病を自動診断するための AI 開発を本格化する。これらを通じて、従来の心電計に対する、量子スピン心磁計の優位性を明らかにする。最終的な医療機器としての製造販売は、プロジェクト開始直後に設立予定のベンチャー企業が、令和 11～12 年に開始する計画であり、令和9年度末までに、大規模な臨床試験が可能な体制を整え、事業化に至る道筋を明確化する。

本研究開発では生体応用を中心に研究開発を進めるが、インフラの非破壊検査・電流センサ等、その他のインパクトの高いユースケースの開拓に関しても、様々な企業との積極的な連携により進める。これらの社会実装を進める上で、知財戦略は非常に重要である。現時点で、量子スピンセンサの製造技術、素子構造、回路、システムに関する基本的な特許は既に取得済みであり、本研究開発でも活用する。また、本研究開発で開発した新技術については、適切に特許出願を行ない、社会実装を有利に展開する計画である。

図 III-46 量子スピンセンサの開発とユースケースの開拓・実証の研究開発概要

研究チーム C-2d：超早期体外診断のための量子診断プラットフォーム ― 多様な疾病の簡便・安価な超早期診断を実現する量子リキッドバイオプシーの創製

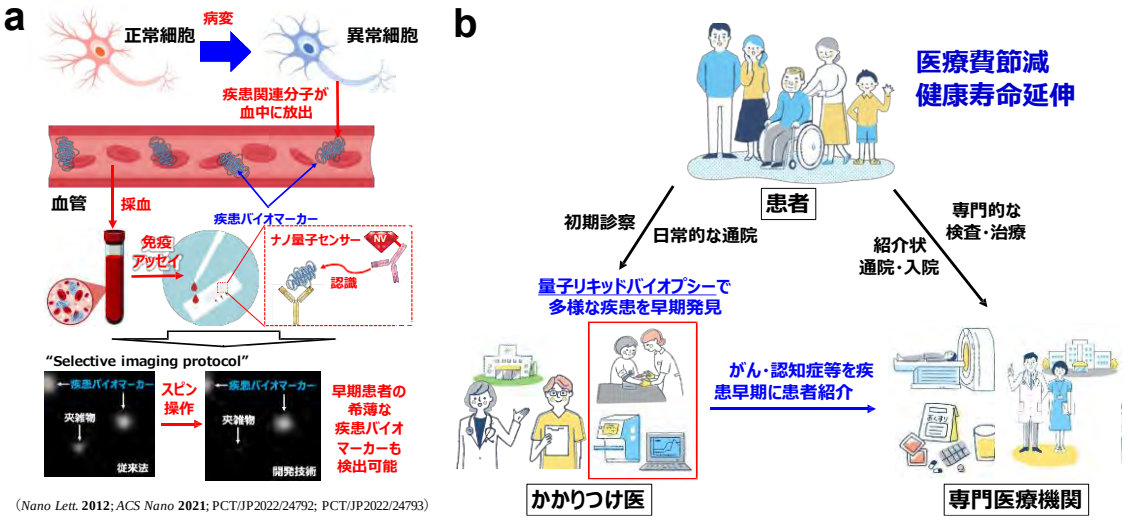
予算配分額（2023 年度）：0.9 億円
予算配分額（2024 年度）：0.7 億円
研究開発責任者：　岡田康志（国立研究開発法人理化学研究所）
共同研究機関：　国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
コニカミノルタ株式会社

本研究開発においては、高齢化に伴う社会問題に対処するため、量子マテリアルおよび量子センシングを活用した早期診断技術の社会実装を目指す。超高齢社会を迎えた我が国において、その高齢者人口は 2040 年には総人口の 35%以上に達すると予測されている。この高齢化の進行は、認知症、がん、

感染症といった医療負荷の増大という厳しい問題を生む。その対策として、早期診断技術の需要が急増している。このため近年注目を集めているのが、リキッドバイオプシーと称される非侵襲的な診断手法である。患部から直接検体を採取し診断に供するバイオプシーとは異なり、リキッドバイオプシーは、末梢血あるいは尿・唾液などの体液から疾患特異的なバイオマーカー分子を検出する手法である。非侵襲的かつ全身的な検索が可能であるため、早期診断として高いポテンシャルを有している。しかし、患部から血液・体液に移行するバイオマーカー分子は微量であるため、高感度な検出手法が必須となる。一方、早期診断として日常診療などへ展開するためには、診療現場で実施可能な簡便さと低コストが求められる。

これまで我々は、ナノダイヤモンド量子センサ（ナノ量子センサ）を用いた「Selective Imaging Protocol（SIP）」という超高感度の分子検出技術を開発してきた。この技術をバイオマーカー分子の検出に応用することで、従来の ELISA 法とは桁違いに高感度化される。これにより、血液中の疾患バイオマーカー分子が検出可能となれば、アルツハイマー病、難治がん、新型コロナウイルスなど、多様な疾患に対する早期診断への活用が期待される。

そこで本研究開発では、我々のナノ量子センサ技術を発展させ、量子リキッドバイオプシーの実現という形での社会実装を目指す（図 III-47(a)）。研究室レベルの装置をベースに、日常診療現場で簡便に使用可能な卓上型診断装置の開発や、集団検診を想定した高感度多検体診断装置の開発、多様な疾患への適応拡大などを検討する。量子リキッドバイオプシーの実用化により、健康診断や日常診療の現場での早期診断が実現すれば、予防的医療・先制医療が可能となり、医療資源の効率的利用・健康寿命の延伸などの社会的課題に貢献できるものと期待している(図 III-47(b))。



（*Nano Lett.* **2012**; *ACS Nano* **2021**; PCT/JP2022/24792; PCT/JP2022/24793）

図 III-47 量子リキッドバイオプシーの概要(a) 量子リキッドバイオプシーが目指す社会実装（b）

③ 研究開発に係る工程表

各研究開発の工程表は以下の通り。

「超偏極利活用プラットフォームの整備とトリプレット DNP によるがん治療効果判定技術の開発」においては令和9年度までに小型動物でのがん治療効果判定を実現することを目指す。

「量子スピンセンサの開発とユースケースの開拓・実証」においては装置の開発から、実証に向けた検証を段階的に実施することとしている。

「超早期体外診断のための量子診断プラットフォーム ― 多様な疾病の簡便・安価な超早期診断を実現する量子リキッドバイオプシーの創製」においては量子リキッドバイオプシーの要素技術開発を進めるとともに、試作機の開発や事業モデル成立の検証を令和9年度まで実施する。

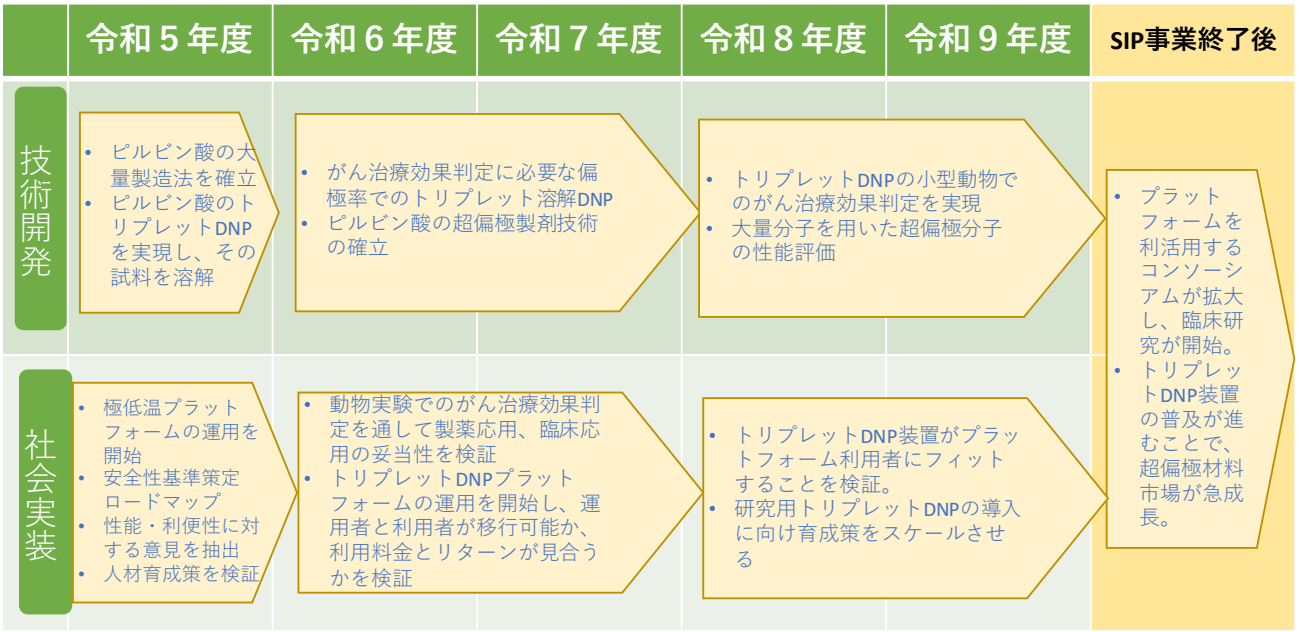


図 III-48 工程表（研究チーム C-2a：超偏極利活用プラットフォームの整備とトリプレット DNP による がん治療効果判定技術の開発）

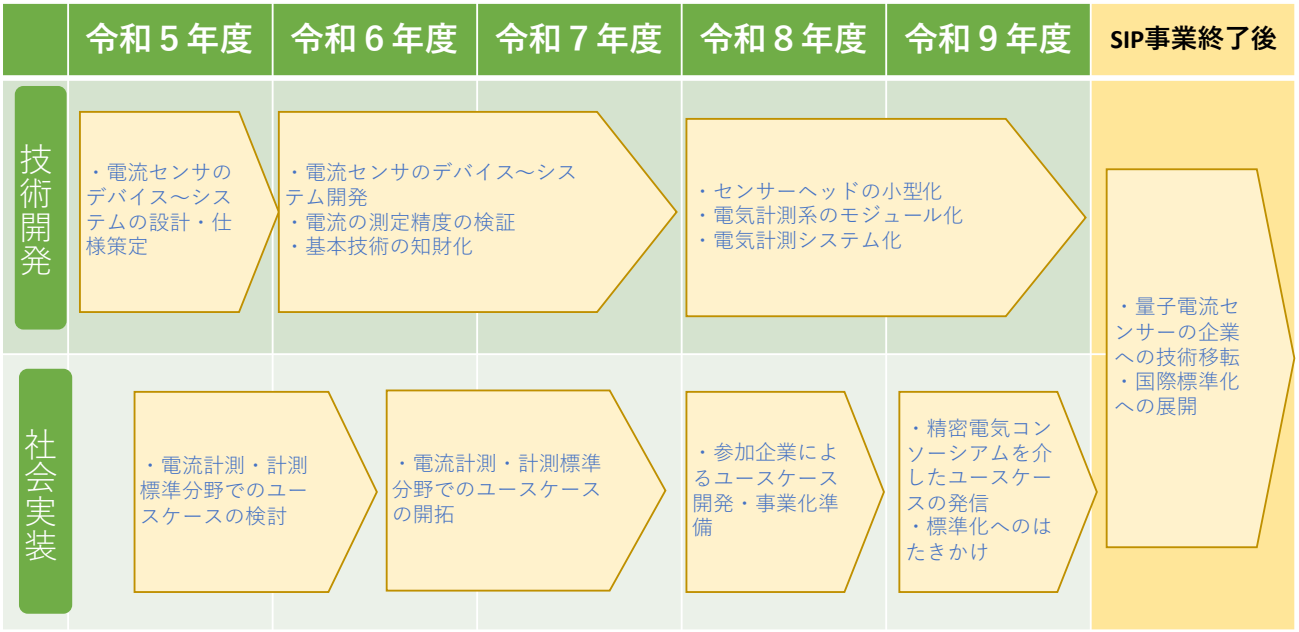


図 III-49 工程表（研究チーム C-2b：ダイヤモンド NV センターによる革新的量子電力センシング）

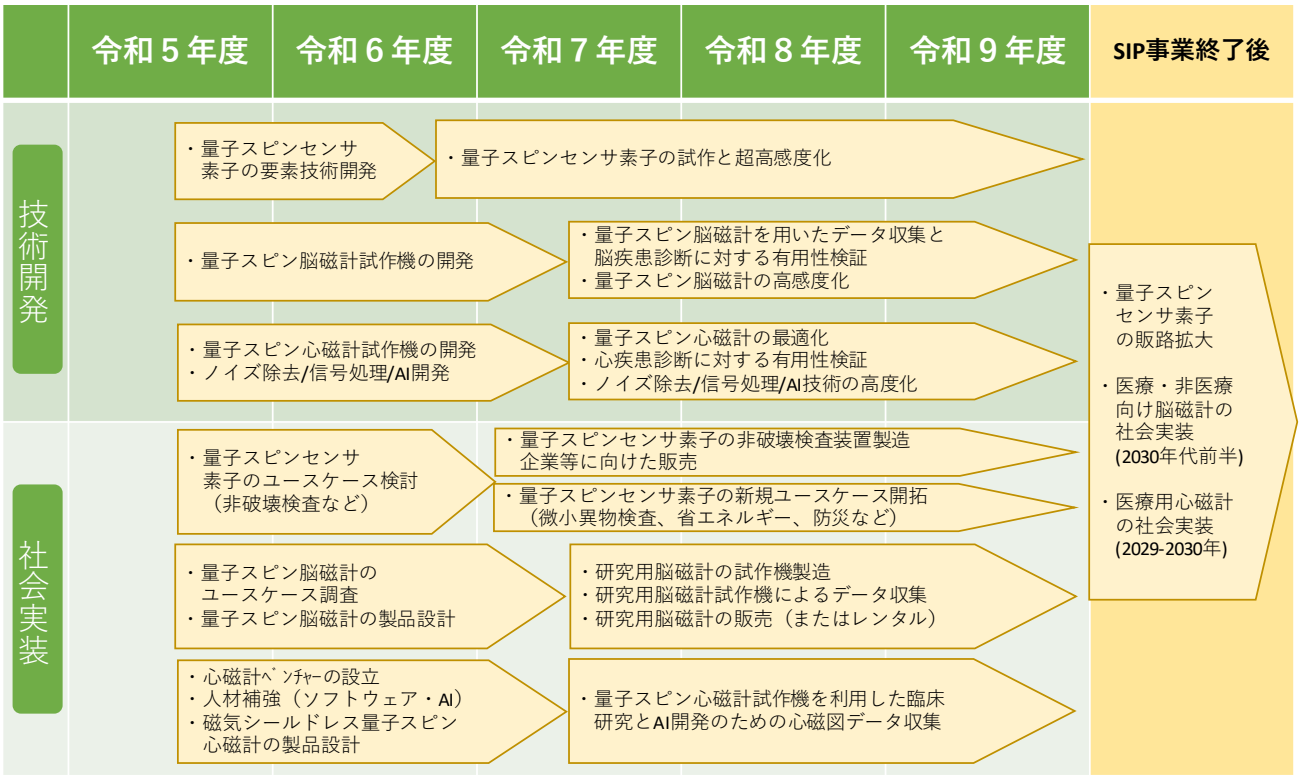


図 III-50 工程表（研究チーム C-2c：量子スピンセンサの開発とユースケースの開拓・実証）

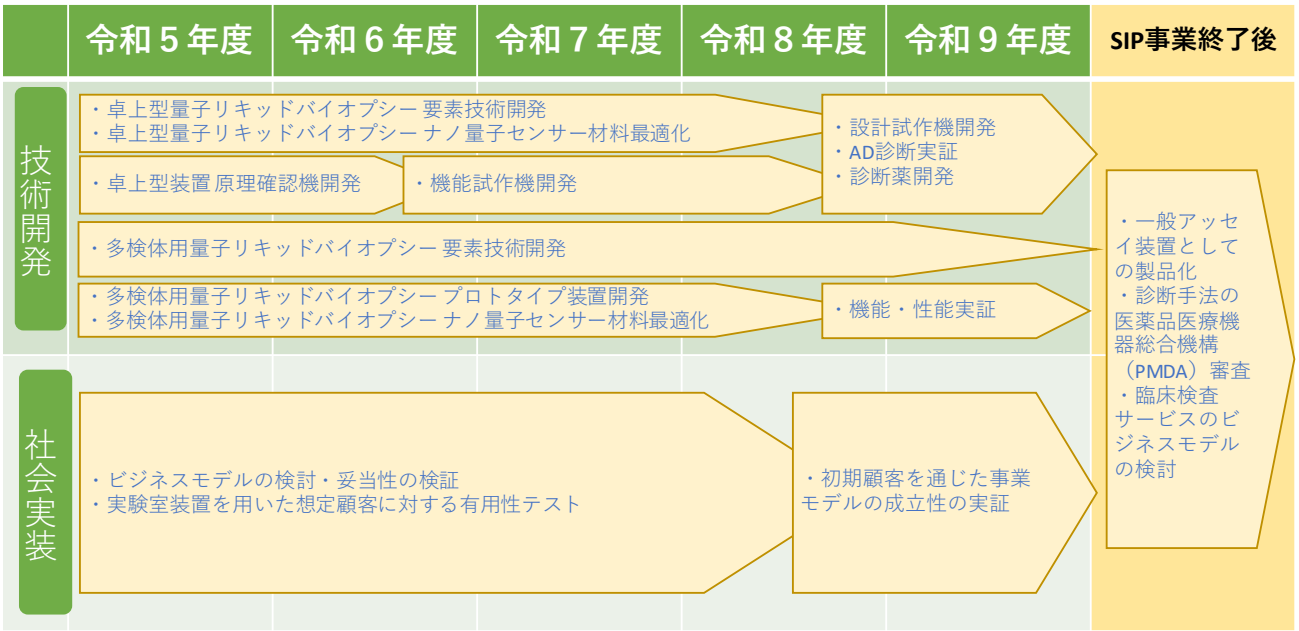


図 III-51 工程表（研究チーム C-2d：超早期体外診断のための量子診断プラットフォーム ― 多様な疾病の簡便・安価な超早期診断を実現する量子リキッドバイオプシーの創製）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム C-2a：超偏極利活用プラットフォームの整備とトリプレット DNP によるがん治療効果判定技術の開発

本課題は、超偏極技術の中でも励起三重項状態を用いるトリプレット DNP と呼ばれる手法において、がん治療の効果判定を実現するものであり、超偏極技術自体に大きな投資や人材を惹きつけ続けるため、がん治療の効果判定ならびにそれに続く新しいユースケースを創出していける「超偏極利活用プラットフォーム」の整備に取り組むものである。令和5年度は、九州大学では偏極源分子の開発を行い、大陽日酸と SAIL テクノロジーズにおいて安定同位体標識診断薬分子の大量合成技術の開発を行った。大阪大学において偏極源分子として可溶性ペンタセン誘導体を用い、診断薬分子として尿素を用いた製剤においてトリプレットDNPを実現した。これまで用いていた高偏極化後固体試料を溶解する装置を改良し、NMR 測定までに必要な時間を 15 秒から 3 秒程度に短縮できることに成功した。QST において大型極低温超偏極装置とトリプレット DNP 装置、ハイエンド MRI を用いた超偏極利活用プラットフォームを整備し、計測装置群の調整を完了した。プラットフォームへの勧誘を目的としたイベントを企画し、実施した。ユーザーとの対話を開始し、次年度の使用計画を立てた。

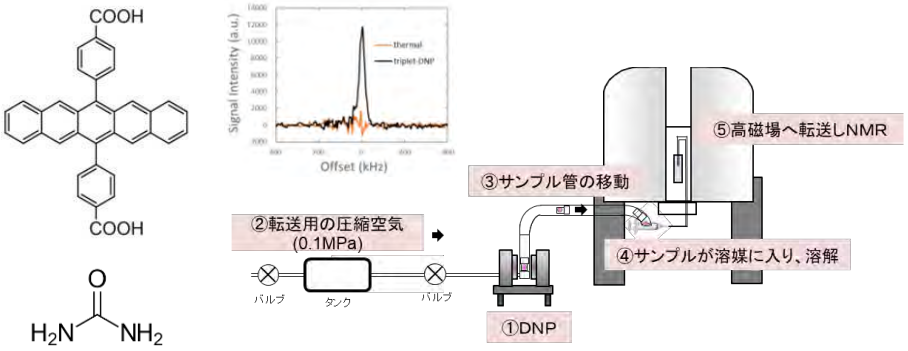


図 III-52 超偏極利活用プラットフォームの概要

研究チーム C-2b：ダイヤモンド NV センターによる革新的量子電力センシング

今年度は、磁性コアと NV ダイヤモンドセンサヘッドを組み合わせた量子電流センサを開発するため、磁性コアのエアギャップを設計した。NV ダイヤモンドセンサヘッドのコンパクト化を進め、エアギャップに挿入可能な小型化センサヘッドを開発した。量子電流センサの性能評価を行うため、単一電源の電流計測システムを構築した。センサヘッドをエアギャップに設置し、光検出磁気共鳴測定により、電流を検出できることを確認した。エアギャップ中での NV ダイヤモンド量子センサによる電流測定は、本課題の目標である量子電流センサの実現に向けた基盤技術であり、順調に研究が進展している。

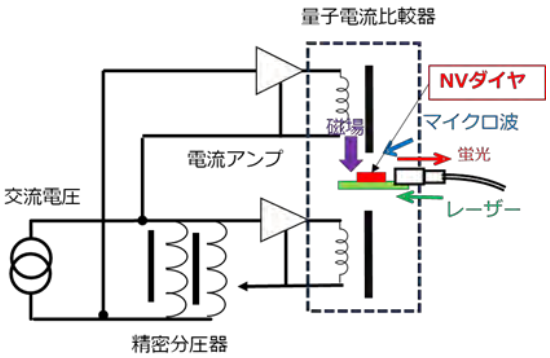


図 III-53　NV ダイヤモンドセンサを用いた電流計測システム

研究チーム C-2c：量子スピンセンサの開発とユースケースの開拓・実証

令和 5 年度は、390 fT/Hz0.5 の世界最高の検出磁場分解能を有する量子スピンセンサを実現し(図 III-54(a))、それを用いた脳磁計測を実施した(図 III-54(b))。また、量子スピンセンサに用いる新規材料開発によって、検出磁場分解能を 10 fT/Hz0.5 にまで原理的に向上可能であることを示した。開発した量子スピンセンサを用いた脳磁計・心磁計の社会実装に向けて、装置仕様を決定し、試作機の制作が開始できる状況に至っている。

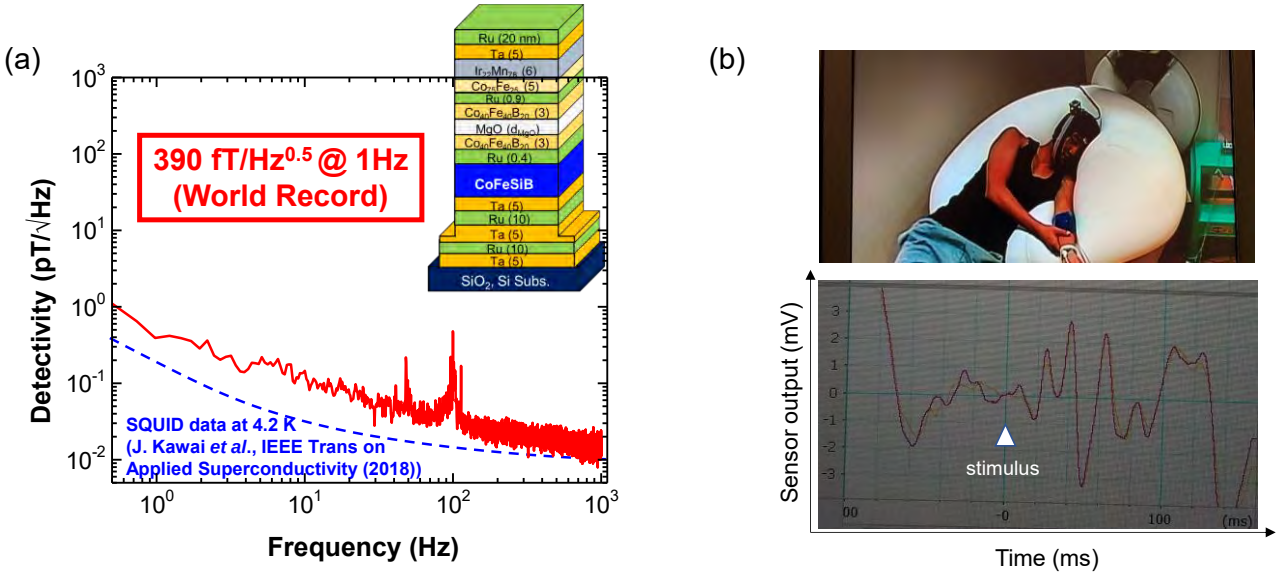


図 III-54 (a)検出磁場分解能の周波数依存性 (b)脳磁計測結果

研究チーム C-2d：超早期体外診断のための量子診断プラットフォーム ― 多様な疾病の簡便・安価な超早期診断を実現する量子リキッドバイオプシーの創製

ELISA で一般に使用される酵素標識の代わりに、ナノ量子センサで標識した抗体を使用する免疫吸着アッセイのシステムを確立した。これにより、量子操作と信号処理を組み合わせることで、夾雑物による蛍光の影響を排除することが可能となった。その結果、ELISA と全く同様の手順で疾患バイオマーカー

分子を捕捉する極めて簡便な手法でありながら、一般的な ELISA と比較して数桁高感度のタンパク質分子検出が実現した。また、この技術を卓上型診断装置で実現するために、原理確認機の設計・製作に着手した。

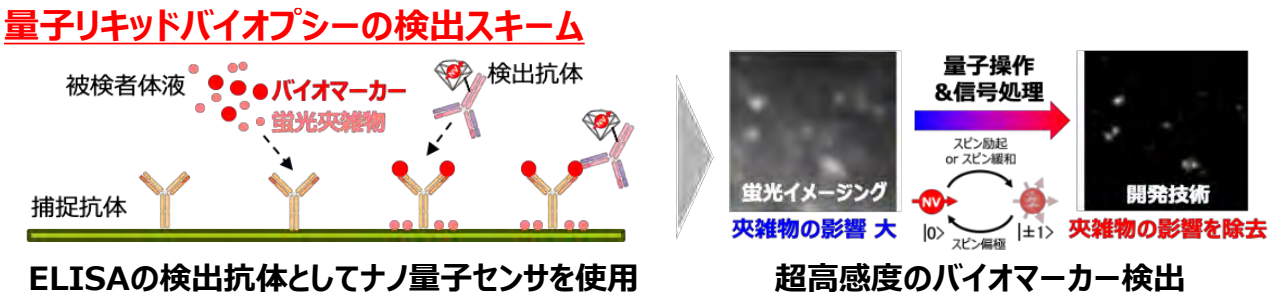


図 III-55 量子リキッドバイオプシーの検出スキーム

（10）【量子センシング】C-3 超高速通信・モビリティ等を支える時空間ビジネス基盤の構築

将来の超高速通信やモビリティ（超高精度な位置決め）等を支える超高精度な時間・周波数信号（光格子時計を活用）を配信する「時空間ビジネス基盤」を構築する。

① 研究開発目標

将来の超高速通信やモビリティ（超高精度な位置決め）等を支える超高精度な時間・周波数信号を配信する「時空間ビジネス基盤」を構築する。

1. 2025 年度までに、光格子時計を活用した超高精度な時間・周波数信号を配信する装置・ネットワークの開発・実証を行う。《達成目標③4》【TRL：4、BRL：3】
2. 2027 年度までに、超高精度な時間・周波数信号を配信する時空間ビジネス基盤を構築する。《達成目標③5》【TRL：5、BRL：4】

② 実施内容

将来の超高速通信、モビリティ（自律走行車等の超高精度な位置決め）、高精度な測地等を実現するためには、高精度な時間・周波数が不可欠であり、従来よりも格段に精度の高い時間を提供できる光格子時計が有望な技術として期待されている。なお、光格子時計については、文部科学省「未来社会創造事業」において開発を進めており、我が国が世界をリードする技術力を有している。

このため、光格子時計を活用した超高精度な時間・周波数信号を、ネットワークを介して産業や社会に広く配信するための装置・ネットワークシステムを開発し、様々なユースケースでの実証を通じてシステム全体の高度化・堅牢化を図る。また、関連するベンダー企業、通信企業も巻き込み、将来の超高速通信やモビリティ（超高精度な位置決め）等を支える超高精度な時間・周波数信号をサービスとして配信する「時空間ビジネス基盤」を構築する。この際には、ベンチャー企業の巻き込みも視野に入れて取り組む。なお、本テーマの推進に当たっては、「未来社会創造事業」の研究成果の利活用を含む連携体制を構築しながら研究開発を行う。

研究チーム C-3：光格子時計精度の周波数信号の光ファイバ配信インフラストラクチャ技術

予算配分額（2023 年度）：2.6 億円
予算配分額（2024 年度）：2.6 億円
研究開発責任者：　大前宣昭（学校法人福岡大学）
共同研究機関：　株式会社アイシン
日本電信電話株式会社
シグマ光機株式会社

光格子時計の超高精度光周波数信号の精度を損なうことなく遠隔地配信するためには、位相雑音補償型光ファイバ配信技術が必須である。光ファイバネットワーク(NW)配信を社会インフラストラクチャとして実装する場合、

①現状、科学研究用が想定されている光格子時計の光周波数配信 NW の主要構成装置（図 III-56）を、NW 配信用システムの一機能部品として活用できる産業レベルまで完成度を高める
②NW 配信インフラストラクチャの最重要要件である冗長化(異常時のバックアップ機能)機能を実証する
③顕在化しつつある技術的ニーズを踏まえた光周波数配信 NW の利用シーンを実証し、社会に訴求する

の３点が先行する「未来社会創造事業」の次のステップとして避けては通れない課題である。

そこで本研究開発では、

①光周波数配信 NW の主要装置(光周波数変換器、光周波数中継装置、局部光周波数発振器)の小型化・モジュール化・堅牢化・操作容易性向上・低コスト化を指向した試作機の開発
②冗長化機能まで含めた配信ネットワークアーキテクチャの基本構成の確立とフィールドテスト
③今後ますます高信頼性や精度向上が要求される移動体通信や大規模データセンタにおいて、直近ユースケースの一つとして有望な時刻同期のホールドオーバー機能の実証・性能評価

の3つに取り組む。これらの取組により、それぞれの単体装置としての事業化へ繋げると共に、衛星・有線 NW による 11～13 桁精度の現状の高周波周波数同期網の脆弱性を克服し精度を飛躍的に向上させる 16～18 桁精度の光周波数同期網のキャリアグレード開発への道筋をつける。本研究開発により、時刻同期だけでなく、光格子時計の周波数比較に基づく量子水準点応用や国土監視網など、次の 50 年を見据えた時空間ビジネス基盤への確かな一歩を築く。

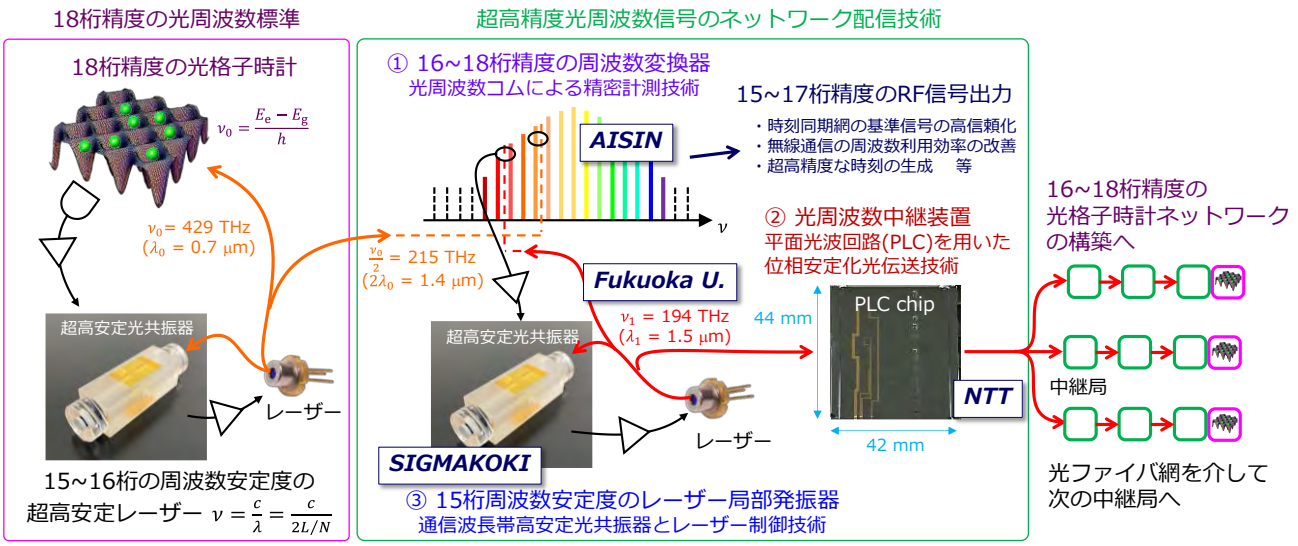


図 III-56 本研究開発チームの取組概要と周波数配信ネットワークの主要構成装置

③ 研究開発に係る工程表

研究開発の工程表は以下の通り。

「光格子時計精度の周波数信号の光ファイバ配信インフラストラクチャ技術」では各開発項目で令和7年度までに試作機の作成を行い、プロトタイプ機の試用を決定する。SIP 期間後半には、プロトタイプ機の開発に取り組み、16～18 桁精度の光周波数同期網のキャリアグレード開発への道筋をつける。

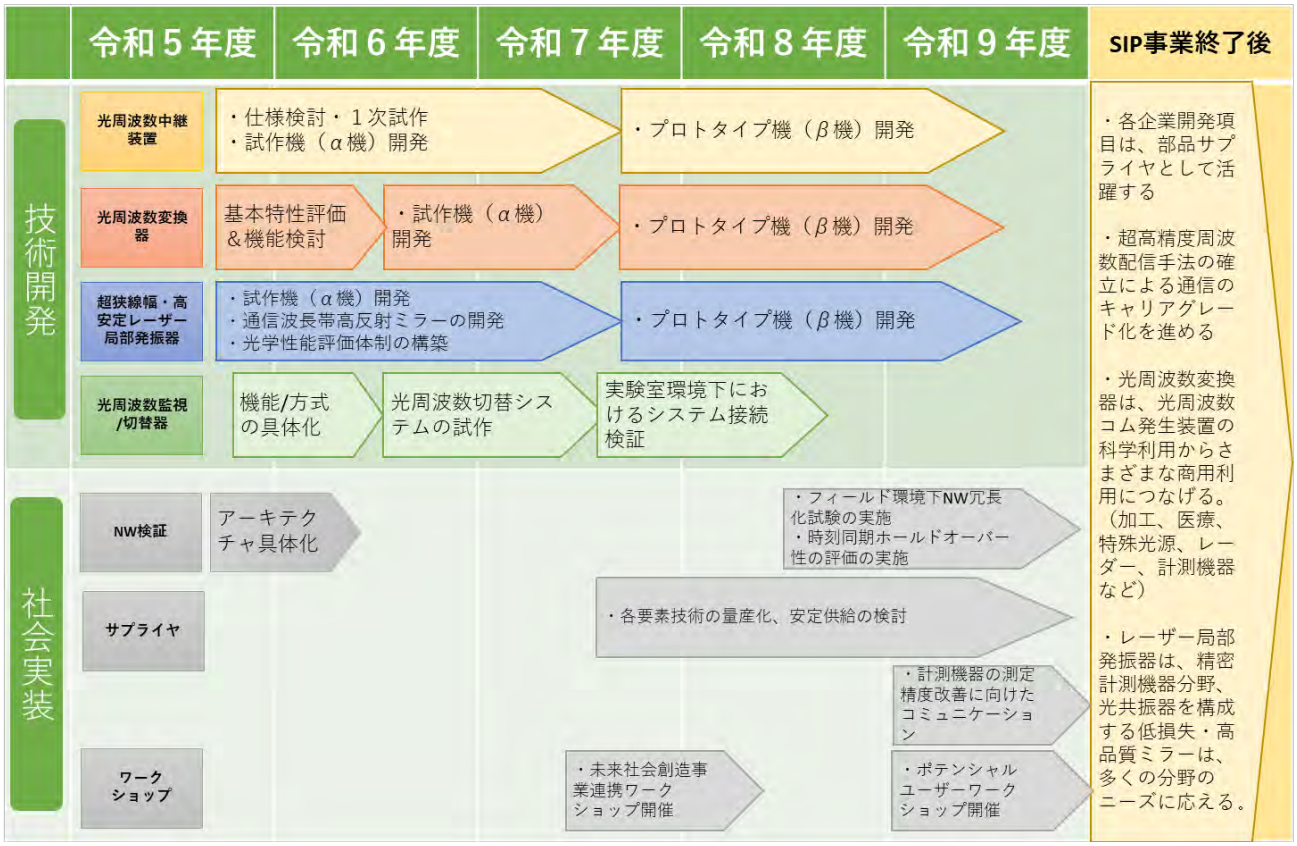


図 III-57 工程表（研究チーム C-3：光格子時計精度の周波数信号の光ファイバ配信インフラストラクチャ技術）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム C-3：光格子時計精度の周波数信号の光ファイバ配信インフラストラクチャ技術

光格子時計を代表とする次世代の超高精度な周波数基準信号を高精度にネットワーク配信・利用するためのインフラストラクチャを構成する主要装置（光周波数変換器、光周波数中継装置、レーザー局部周波数発振器）の小型化・モジュール化・堅牢化・操作容易性向上・低コスト化を指向した試作機の開発に向けた１次試作を行い、性能面・製造面・運用面などの多角的な視点での課題抽出作業を進めた。また、これらの主要装置と光ファイバ網で構築する超高精度光周波数信号配信のインフラストラクチャ化のために必要な冗長化機能まで含めた配信ネットワークアーキテクチャの具体化の検討を進めた。また、超高精度周波数信号の超高速通信やモビリティ分野への社会実装に向けたユースケースの検討、当該技術に関する技術者の育成を進めている。

（11）【イノベーション創出基盤】D-1 新事業・スタートアップ企業の創出・支援

量子分野のような新興市場では、これまでにない新しい事業・サービスの創出が期待されるとともに、スタートアップ企業が有望なプレイヤーとして期待される。このため、各分野での研究成果やテストベッド等を活用した新事業（既存企業における新たな事業の立上げも含む）やスタートアップ企業の創出・支援を実施する。

① 研究開発目標

インキュベーション拠点、VC 等の支援機関とも連携して、ビジネスモデルの構築支援、連携先の提案等を通じて、量子分野の新事業・スタートアップの創出やインキュベーション機能を備えた先進的な支援環境モデルを構築する。具体的には、下記を目標とする。

1. 2024 年度までにインキュベーション拠点、VC 等の支援機関と連携して先進的な支援環境モデルを構築する。《達成目標④4》）【BRL:4-7、SRL:5、HRL:5】
2. 2027 年度までに 5 件以上の新事業・スタートアップの創出を行う。《達成目標④4》【BRL:8、SRL:6、HRL:6】

② 実施内容

各分野での研究成果やテストベッド等を活用して、新事業（既存企業における新たな事業の立上げも含む）やスタートアップ企業を創出・支援していくための先進的な支援環境モデルを構築する。具体的には、官民のインキュベーション施設や量子技術に注目する VC 等と連携し、ビジネスモデルの構築や連携先（ユーザ、ベンダー等のパートナー企業等）、金融機関とのマッチング、人材マッチング等をはじめとして、人材・技術・資金・戦略等の面で総合的に伴走支援する。これらを通じて、量子分野の新事業・スタートアップの創出やインキュベーション機能を備えた先進的な支援環境モデルを構築する。

研究チーム D-1：量子コンピュータを活用した新事業を共創する研究開発基盤

予算配分額（2023 年度）：0.5 億円
予算配分額（2024 年度）：0.3 億円
研究開発責任者：　大関真之（国立大学法人東北大学）

<u>先端量子技術の社会実装教育プログラムの実施</u>

公開伴走型生配信授業 QX4U のオンライン展開を進め、全国的に基盤技術・先端量子技術、そして大規模な社会的な課題を克服するサービスデザイン、ユーザに向けた実証テスト方法に関する教育プログラムをオンラインで実施する。また、量子技術イノベ-ション拠点の一つである量子ソリューション拠点（東北大学）としてオープンバッジ発行による認定を実施する。また、オフラインによる各地域の企業とのビジネスハッカソン、量子ソリューション開発ワークショップ Quantum Solution for You（QS4U）を実施する。

<u>量子+事業スタートアップ支援体制の構築</u>

スタートアップ育成のためには新しいプロダクト開発を共に経験した創業メンバーと事業化を目指すタネづくり、そしてヒトづくり、ネットワークづくりが必要である。そこに制度設計を含む組織構築に踏み込む。事業創出ラボ機能を備える T-QARD house を設置し、創発活動を行う。さらに、BRIDGE により準備された開発支援サポーターなど常駐による作業協力を行う。人的ネットワークも構築し、有機的に連携させることで多種多様なアイデアや事業の種を全国同時多発的に生み出す仕組みをつくる。ビジネスハッカソン等と連動する T-QARD tour を実施し、地元企業等の課題ベースによる事業創出による協業やスタートアップ創出を目指す。T-QARD house や T-QARD tour 参加者から短期間で起業家マインドとスキル習得を目的とする集中型育成プログラム QB4U を形成・実施することで人的ネットワークと課題解決および創業がしたいメンバーを全国多発的に育てる。

量子ソリューション開発基盤からのアイデア発掘

「先端量子技術の社会実装教育プログラムの実施」、「量子+事業スタートアップ支援体制の構築」と同時進行で、公開ワークショップやアイデア投稿コンテストを実施し、幅広い層からのアイデアを募る。具体的な課題解決のみならず、日本全国及び海外への事業展開を見据えた量子ソリューションの開発につながるアイデアを見出し、社会実装へ繋げる。

③ 研究開発に係る工程表

研究開発の工程表は以下の通り。

「量子コンピュータを活用した新事業を共創する研究開発基盤」においては、先端量子技術教育、スタートアップ支援、アイデア発掘の取組を 2023 年度より段階的に進める。スタートアップ支援を担う事業創出ラボ機能を備える T-QARD house については、2025 年度までに設置する。

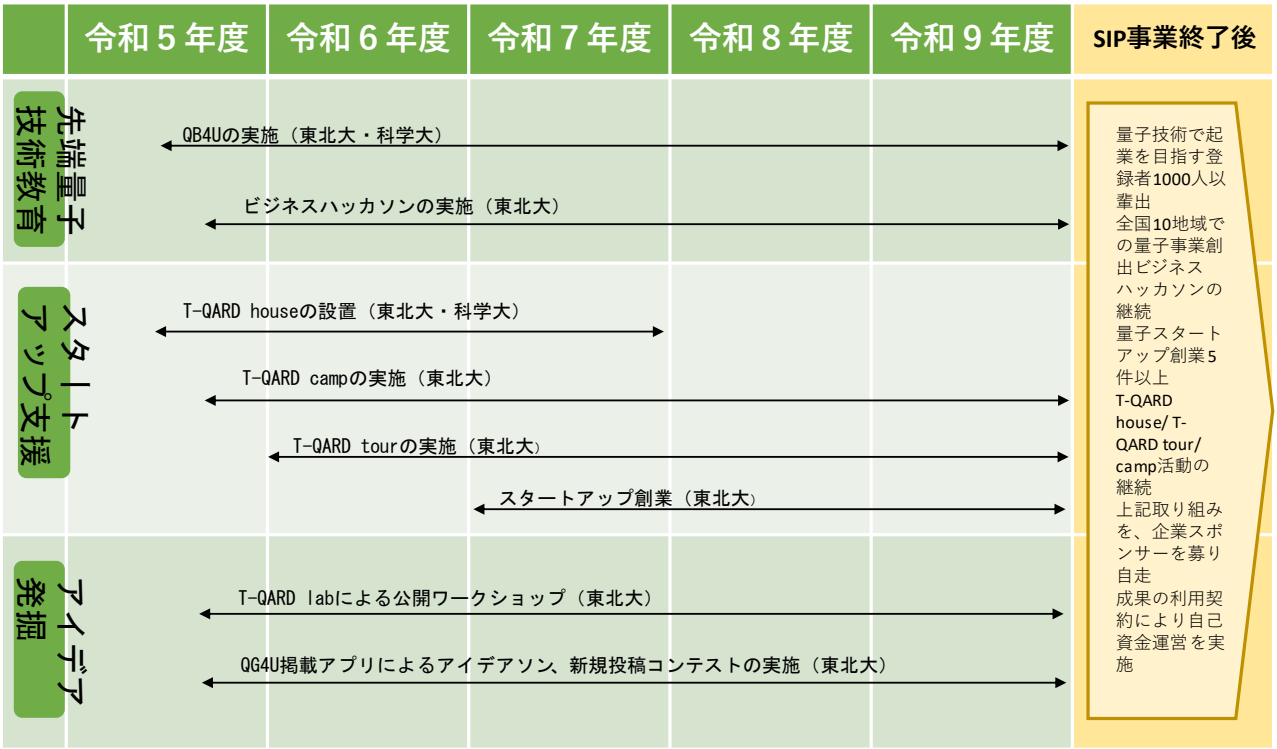


図 III-58 工程表（研究チーム D-1：量子コンピュータを活用した新事業を共創する研究開発基盤）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム D-1：量子コンピュータを活用した新事業を共創する研究開発基盤

『研究課題① 先端量子技術の社会実装教育プログラム』として、Quantum Computing for You, 2nd Chance!(QC4U2)を 2024 年 1 月から 5 月にかけて公開伴走型講義として YouTube 公開講座として実施し、オンサイトでは Research Open Style をパイロット版を兼ねて 2023 年 10 月に実施した。

・開催イベント 1: QuantumComputing for You, The Second Chance!実施 250 名強の参加登録者、50 グループがアプリ作成に取り組んだ。

・開催イベント 2: 実践的量子ソリューション創出論の開講 ※2024 年 4 月開講

『研究課題② 量子+事業スタートアップ支援体制の構築』として、T-QARD Lab の活動場所を設置するために、科学大 INDEST 田町のインキュベーション施設へ入居するための手続き調整を行なった。全国＆海外の起業家精神を持つ人材の発掘・育成のため、T-QARD tour を実施した。

・設置 1: 東京科学大学 INDEST に入居手続き完了:首都圏の活動場所を設置

・設置予定 2: 熊本大学・量子＋半導体産業ソリューション拠点：熊本大学と連携協定締結

（12）【イノベーション創出基盤】D-2 教育プログラムの開発と実践

量子技術の研究開発や実用化・事業化を進める上で、産学の人材不足は深刻な課題である。また、ユーザ分野も含めて幅広い分野から人材を取り込んでいくことも重要である。このため、次代の産業人材を育成・指導できる高度な人材や産学の幅広い分野の若手人材（学生、研究者・技術者、経営者（アントレプレナー人材を含む）等）を対象とした教育プログラムの開発・提供等を通じて、産学の裾野広い人材の育成・確保を図る。

① 研究開発目標

次代の産業人材の育成・指導を担う高度量子人材（量子ネイティブ）や産学の幅広い分野の若手人材（学生、研究者・技術者、経営者（アントレプレナー人材を含む）等）を対象とした教育プログラムの開発・提供等を通じて、量子技術の研究開発や実用化・事業化を担う人材を多数輩出する。具体的には、下記を目標とする。

1. 2024 年度までに、次代の産業人材の育成・指導を担う高度量子人材（量子ネイティブ）や産学の幅広い分野の若手人材を対象とした教育プログラムを開発し、試行的に提供して、プログラム内容の高度化を進め、2025 年度までに、実際の研修を少なくとも1回試行する。《達成目標④1》【SRL:3、HRL:3】
2. 2027 年度までに、産学の幅広い分野の若手人材を対象とした教育プログラムを本格的に提供する。《達成目標④2》【SRL：4、HRL：4】

② 実施内容

次代の産業人材を育成・指導できる高度量子人材（量子ネイティブ）を育成するプログラムを開発し、高度量子人材を育成しつつ、産学の幅広い分野の若手人材（学生、研究者・技術者、経営者（アントレプレナー人材を含む）等）を対象に、量子技術の利活用や新事業開発等を行う能力を育成するための教育プログラムを開発・提供する。このため、量子技術の利活用や新事業開発、実用化・事業化、起業等に必要な知識等を整理し、テストベッド等や研究成果等も活用しつつ、産学の幅広い分野の人材のユーザニーズにきめ細かに対応した教育プログラムを開発・提供する。

また、教育プログラムを受講した人材をはじめとして、量子技術に関する能力を有する人材（シーズ）と産業界（ニーズ）とのマッチングの仕組みを構築するなどして、人材の流動性が高まるような仕組みも構築する。

座学を中心としたプログラム（教育コース・プログラム）、大学の研究室で研究の実践を通した人材育成を行うプログラム（研究技術プログラム）、国際的な場でのスキルを実践的に身につけるプログラム（グローバルリーダー・プログラム）を組み合わせることで、リーダー人材の育成と、グローバルに活躍できる人材の育成を強化する。教育コース・プログラムでは多様な専門性をもつ産学の幅広い分野の人材を対象とし、ユーザ企業や潜在的なユーザ企業に対し、教育コース・プログラムの趣旨、目的、到達目標等の説明会を実施し、さらに参加意識づけのための現地視察等の活動を実施し募集環境の醸成に努めつつ、2024 年度より試行的に実施する。参加者の募集はスキルアップ AI 社が行い、教育効果向上に資するように工夫してコースの事務的な運営を行う。受講者や企業からのフィードバックをスキルアップ AI 社が取りまとめ、カリキュラムの改良に用いる。2025 年度より本格的に実施し、2027 年度末までに 90 名以上の修了者を輩出することを目指す。開発が終了した教育コース・プログラムについては、社会実装の実施方法についても検討する。

研究技術プログラムでは、さまざまな科学技術的専門性にフォーカスし、企業から量子専門外の研究者・技術者を OIST 量子技術センターで受け入れ、大学研究室で実際に量子技術研究に携わることで量子技術に必要なスキルと知識を身につけ、自身の専門分野との融合を図る。研究技術プログラムでは、OIST における企業からの人材の受け入れ体制を整えるとともに、Q-STAR を中心に産業界における学び直しやリカラント教育の重要性の認識の向上のための取組を進める。2024 年度に少なくとも一回は受け入れを実施し、2025 年度以降は、大学から産業界への若手人材の流動性を高めるよう量子技術分野の大学院生・若手研究者の企業研修を行う。

グローバルリーダー・プログラムでは、国際的な舞台でネットワーキングを実践しながら、短時間の機会を的確に捉えるトレーニングを行う機会を提供する。サマースクールやワークショップに産学連携セッションを併設し、世界中から集まる優秀な若手人材と、本提案プログラムの参加者や QSTAR を中心とした企業、投資家やアントレプレナー等が参加し、最新の技術の動向や社会実装の取組、また通常はなかなか得られない企業が提供する技術情報などを得る機会とすることで、実践的に量子分野のリーダーシップに必要な知識とスキルを身につける。2024 年度から開始し、実践的なグローバル人材育成を行う。

研究チーム D-2：産学連携による量子人材育成プログラムの開発と実践

予算配分額（2023 年度）：1.43 億円
予算配分額（2024 年度）：1.43 億円
研究開発責任者：　根本香絵（学校法人沖縄科学技術大学院大学学園）
共同研究機関：　一般社団法人量子技術による新産業創出協議会
株式会社スキルアップ NeXt

次代の産業人材を育成・指導できる高度量子人材（量子ネイティブ）を育成するプログラムを開発し、高度量子人材を育成しつつ、産学の幅広い分野の若手人材（学生、研究者・技術者、経営者（アントレプレナー人材を含む）等）を対象に、量子技術の利活用や新事業開発等を行う能力を育成するための教育プログラムを開発・提供する。このため、量子技術の利活用や新事業開発、実用化・事業化、起業等に必要な知識等を整理し、テストベッド等や研究成果等も活用しつつ、産学の幅広い分野の人材のユーザニーズにきめ細かに対応した教育プログラムを開発・提供する。

また、教育プログラムを受講した人材をはじめとして、量子技術に関する能力を有する人材（シーズ）と産業界（ニーズ）とのマッチングの仕組みを構築するなどして、人材の流動性が高まるような仕組みも構築する。

座学を中心としたプログラム（教育コース・プログラム）、大学の研究室で研究の実践を通した人材育成を行うプログラム（研究技術プログラム）、国際的な場でのスキルを実践的に身につけるプログラム（グローバルリーダー・プログラム）を組み合わせることで、リーダー人材の育成と、グローバルに活躍できる人材の育成を強化する。教育コース・プログラムでは多様な専門性をもつ産学の幅広い分野の人材を対象とし、ユーザ企業や潜在的なユーザ企業に対し、教育コース・プログラムの趣旨、目的、到達目標等の説明会を実施し 2024 年度より試行的に実施する。参加者の募集はスキルアップ NeXt 社が行い、教育効果向上に資するように工夫してコースの事務的な運営を行う。受講者や企業からのフィードバックをスキルアップ NeXt 社が取りまとめ、カリキュラムの改良に用いる。2025 年度より本格的に実施し、2027 年度末までに 90 名以上の修了者を輩出することを目指す。開発が終了した教育コースについては、社会実装の実施方法についても検討する。さらに参加意識づけのための現地視察等の活動を実施し募集環境の醸成に努めつつ、2024 年度に少なくとも一回は受け入れを実施し、2025 年度以降は、大学から産業界への若手人材の流動性を高めるよう量子技術分野の大学院生・若手研究者が企業での研究開発に触れる機会も提供する。

グローバルリーダー・プログラムでは、国際的な舞台でネットワーキングを実践しながら、短時間の機会を的確に捉えるトレーニングを行う機会を提供する。サマースクールやワークショップに産学連携セッションを併設し、世界中から集まる優秀な若手人材と、本提案プログラムの参加者や Q-STAR を中心とした企業、投資家やアントレプレナー等が参加し、最新の技術の動向や社会実装の取組、また通常はなかなか得られない企業が提供する技術情報などを得る機会とすることで、実践的に量子分野のリーダーシップに必要な知識とスキルを身につける。2024 年度から開始し、実践的なグローバル人材育成を行う。

③ 研究開発に係る工程表

研究開発の工程表は以下の通り。

「産学連携による量子人材育成プログラムの開発と実践」においては、まずは各教育プログラムの設計・準備を進め、2024 年度に試行実施、2025 年度以降に本格実施を目指す。SIP 期間後半には、SIP 終了後にもサービス継続を目指し、その体制・方法について検討する。

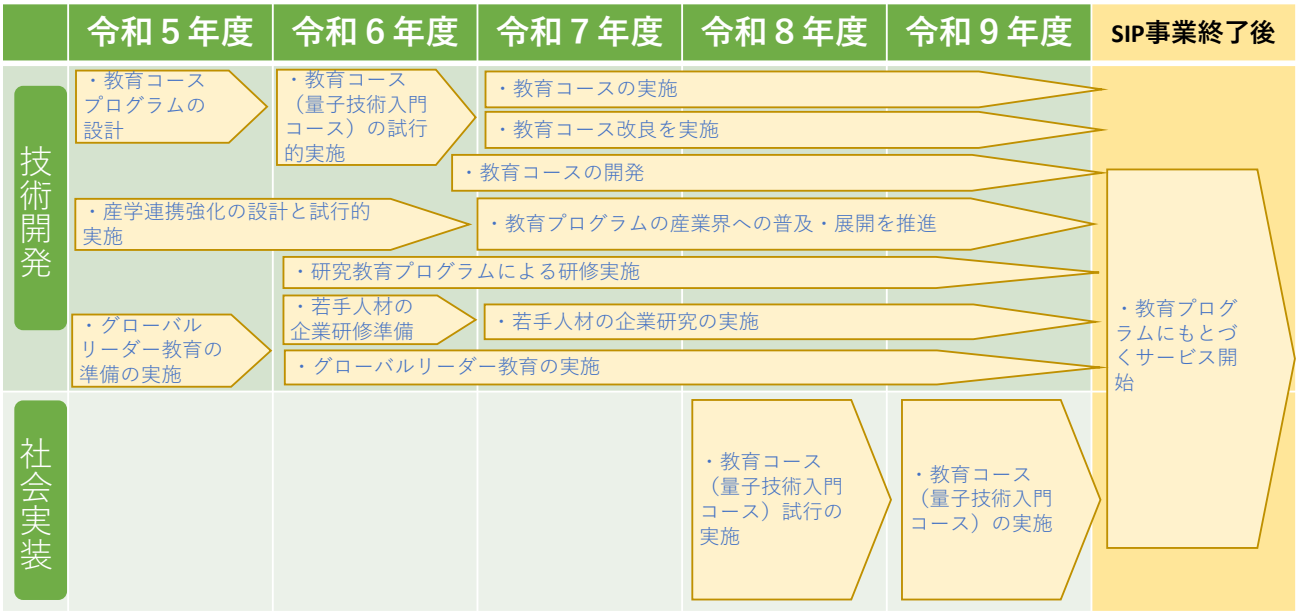


図 III-59 工程表（研究チーム D-2：産学連携による量子人材育成プログラムの開発と実践）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム D-2：産学連携による量子人材育成プログラムの開発と実践

教育コース・プログラムでは、OIST においては令和 6 年度に試行的実施を予定している量子技術入門コースのカリキュラムを 10 回の講義で構成した。日本語と英語の分量や英語のレベルについて検討し、初学者がわかりやすいような工夫をコースのシステムとして組み込むことにした。教育コースの参加者募集に先立ち、ユーザ企業や潜在的なユーザ企業に対し、プログラムの趣旨、目的、到達目標等を共有するための説明会を実施し、フィードバックにより内容をアップデートし、教育コースの周知を行なった。研究技術プログラムでは、OIST における技術者・研究者の受け入れの準備と並行して、説明会等のほかにも新産学連携ビジットを OIST で 2 回行ない、研究技術プログラムの周知、理解の増進を図る取組を進めた。また、グローバルリーダー・プログラムの企画作成を来年度へ向けて進めた。

（13）【イノベーション創出基盤】D-3 アイデア発掘

量子技術を活用した事業・サービスやビジネスアイデアを競うコンテスト（ピッチコンテスト、アイデアソ

ン／ハッカソン等）の企画・開催等を通じて、量子技術を活用した新たな事業・サービス・アイデアを発掘・創出する仕組みや体制を構築する。

① 研究開発目標

コンテスト（ピッチコンテスト、アイデアソン／ハッカソン等）など新たな事業・サービス・アイデアを発掘・創出できる仕組みや体制を構築するとともに、それを通じて量子技術を活用した多数のビジネスアイデアを発掘・創出する。具体的には、下記を目標とする。

1. 2024 年度までに、新たな事業・サービス・アイデアを発掘・創出するための仕組みや体制を構築し、小規模な試行を通じて改善を図る。《達成目標④3、達成目標④4》）
2. 2027 年度までに、新たな事業・サービス・アイデアを発掘・創出するための仕組みや体制を本格的に実施し、ビジネスアイデア1件以上について実用化・事業化の見通しを立てる。《達成目標④4》）

② 実施内容

量子技術を活用した事業・サービスやビジネスアイデアを競うコンテスト（ピッチコンテスト、アイデアソン／ハッカソン等）の内容（提案テーマ、募集資格、評価基準、審査体制、実施時期・頻度等）を企画するなどして、新たな事業・サービス・アイデアを発掘・創出するための仕組みや体制を構築し、当初は小規模な試行を通じて運営の改善を図る。その後、本格的に実施し、量子技術を活用した多数のビジネスアイデアを発掘・創出する。この際には、地方や都市が抱える経済・社会課題も踏まえながら、経済・社会に大きく貢献する量子技術の活用をテーマとして設定するなどして、経済・社会にハイインパクトなキラーアプリケーションの発掘を行う工夫を行う。

なお、本格実施段階では、VC 等を含めた審査を行い、例えば、最優秀提案等には賞金（もしくは VC からの投資やスポンサー企業からの収入）や起業支援等を提供するなど参加者のインセンティブ向上のための仕組みも検討する。また、事業終了後の自立化を見据えて、スポンサー料、広告収入等の確保など自立性・継続性の確保に向けた検討も行う。

研究チーム D-3a：量子コンピュータを活用した新事業を共創する研究開発基盤

研究開発責任者：　大関真之（国立大学法人東北大学）

研究開発テーマ D-1「新事業・スタートアップ企業の創出・支援」で実施。②実施内容を参照

研究チーム D-3b：Q-LEAP 等の成果を広く提示し自ら体験できるコンテンツの開発

予算配分額（2023 年度）：0.49 億円
予算配分額（2024 年度）：0.49 億円
研究開発責任者：　根本香絵（学校法人沖縄科学技術大学院大学学園）
共同研究機関：　株式会社スキルアップ NeXt
研究開発責任者：　大島　武（国立研究開発法人量子科学術研究開発機構）
共同研究機関：　国立大学法人東京科学大学

研究開発テーマ D-2「産学連携による量子人材育成プログラムの開発と実践」の人材育成の一環として、研究チーム C-1a「固体量子センサの社会実装促進に向けた実践環境の構築」と連携し実施する。

③ 研究開発に係る工程表

各研究開発の工程表は以下の通り。
図 III-58 及び図 III-59 を参照のこと。

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム D-3a：量子コンピュータを活用した新事業を共創する研究開発基盤

『研究課題③ 量子ソリューション開発基盤からのアイデア発掘』として、T-QARD Lab 公開ワークショップ実践：Quantum Infinity for You, The First Session with You, in Kumamoto を 2024 年 3 月に実施し、QG4U アプリアイデアソン、新規投稿コンテストからのアイデア発掘：研究課題①及び QO4U と連動を開始した。
・開催イベント: Quantum Infinity for You, The First Session with You, in Kumamoto：熊本大学（2024 年 3 月 4 日-6 日）で開催、熊本大学及び周辺高等教育機関、企業からの参加者へ研究技術紹介およびワークショップを実施した。

研究チーム D-3b：Q-LEAP 等の成果を広く提示し自ら体験できるコンテンツの開発

体験できるコンテンツの開発として、Q-LEAP の成果をもとに電流計測を行うための小型量子センサヘッドシステムの設計、及び電流源およびダイヤモンド量子センサを制御するためのインターフェースからなるシステム駆動のためのプログラム開発を推進した。

また、一般層向けコンテンツ開発のために、連携する Q-LEAP の研究開発テーマの選定を進め、体験会実施に向けた機材などの調整・調達を進めた。日新電機株式会社のダイヤモンド NV 量子センサを用いることに決定し、一般の市民が操作し動作結果等を理解しやすいインターフェース、当日体験会に際して使用する教材の開発を進めた。

（14）【イノベーション創出基盤】D-4 エコシステム構築

量子技術の様々な分野での利用拡大や、多くの企業の参画の下での安定的かつ強靭なサプライチェーンの構築のためには、ユーザ企業・ベンダー企業を含む多様な分野の企業の参画を促進する仕組みが重要である。このため、積極的な情報発信やマッチング等を図るためのエコシステムの構築を行う。

① 研究開発目標

ユーザ企業・ベンダー企業を含む多様な分野の企業の新規参画を促進するため、量子技術や実用化・事業化等に関する積極的な情報発信や、シーズ企業とニーズ企業とのマッチング等を図るためのエコシステムの仕組みや体制等を構築する。具体的には、下記を目標とする。

1. 2024 年までに、多様な企業の新規参画等につながる情報発信やマッチングを図るためのエコシステムの仕組みや体制等を試行的に構築・実施し、その結果を踏まえて改善を図る。《達成目標④5》【SRL:3】
2. 2027 年までに、情報発信やマッチングを図るためのエコシステムの仕組みや体制等を本格的に構築・実施する。《達成目標④5》【SRL:5】

② 実施内容

ユーザ企業・ベンダー企業を含む多様な分野の企業の新規参画（研究活動や研究成果活用等を含む）を促進するため、各分野での研究開発成果や「（13）【イノベーション創出基盤】D-3 アイデア発掘」から創出されたアイデア等を基にしつつ、量子技術の研究成果や実用化・事業化等に関する積極的な情報発信や、シーズ企業（研究開発成果）とニーズ企業とのマッチングを図るためのエコシステムの仕組みや体制等を構築する。この際には、エコシステムをより実効性のあるものとするため、VC・金融機関及び商社と連携しながら取組を進める。

研究チーム D-4：量子技術に関係するベンダー、ユーザ双方のスタートアップ企業の市場参画支援

予算配分額（2023 年度）：0.13 億円
予算配分額（2024 年度）：0.33 億円
研究開発責任者：　嶋田浩（TOPPAN デジタル株式会社）
共同研究機関：　一般社団法人量子技術による新産業創出協議会

本研究開発を通して、「①量子ベンダー、ユーザ双方のスタートアップ企業の市場参画の支援を目的としたイベントの実施」、「②スタートアップ向けイベントを核とした、スタートアップエコシステムの構築」に加えて、「③スタートアップ創出のための施策の実施」の 3 つの取組を行う。

表 III-4 「①量子ベンダー、ユーザ双方のスタートアップ企業の市場参画の支援を目的としたイベントの実施」における実施内容

	2023 年度	2024 年度	2025 年度以降
支援対象	国内量子関連スタートアップ	国内量子関連スタートアップ 国内スタートアップ予備軍（学生など）	国内量子関連スタートアップ 国内スタートアップ予備軍（学生など）
目的	スタートアップ企業をとりまく VC・CVC 等ステークホルダーの方々に量子技術・スタートアップ企業の状況をよ	量子技術のような新興市場では、迅速性・柔軟性に富んだスタートアップ企業は重要な位置づけである。長期的な視点でス	・グローバル展開に向けた海外企業・団体・VC とのマッチング機会の創出・支援 ・事業領域拡大のため地方自

	2023 年度	2024 年度	2025 年度以降
	り一層ご理解頂き、市場・投資等の更なる活性化を計る。	タートアップ創出を喚起させる施策を実行し、永続的なスタートアップ創出を図る。	治体との連携・マッチング支援
プログラム案	・Q-STAR 会員スタートアップセミナー ・マッチングイベント	・ピッチ大会（大学や国研との連携により研究テーマを発表。将来有望なテーマには起業支援プログラム提供）	・海外スタートアップセミナー ・マッチングイベント（海外４団体連携） ・マッチングイベント（地方自治体連携
想定成果	・量子スタートアップ支援への Q-STAR 認知向上 ・VC、CVC 他関係ステークホルダーへの啓蒙	量子産業のすそ野拡大	国内量子産業のグローバル化 （海外展開への啓蒙、進出）

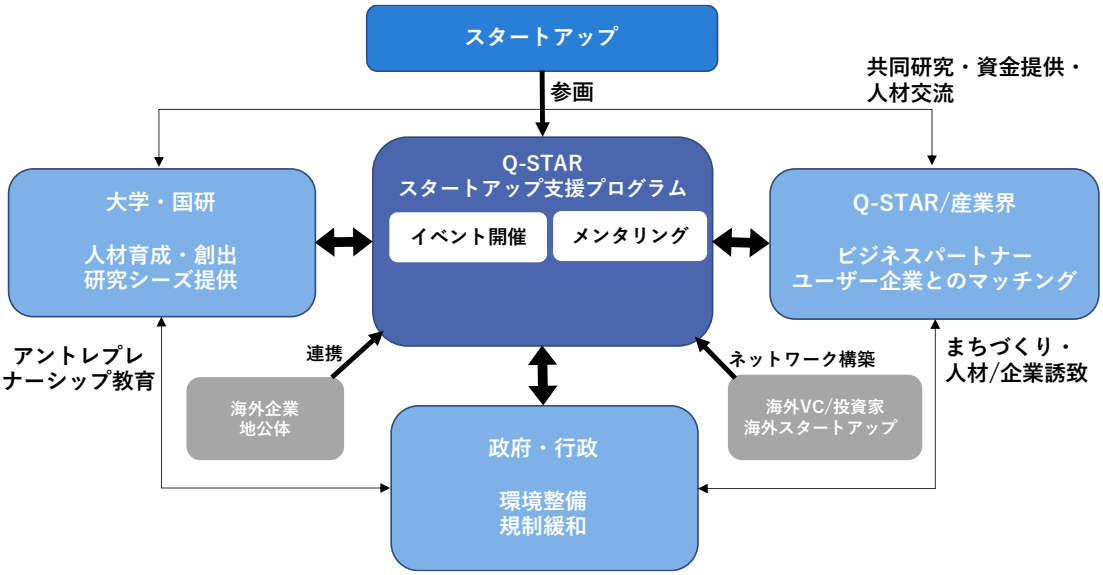


図 III-60 「②スタートアップ向けイベントを核とした、スタートアップエコシステムの構築」における実施内容

図 III-61 「③スタートアップ創出のための施策の実施」における実施内容

③ 研究開発に係る工程表

研究開発の工程表は以下の通り。

「量子技術に関係するベンダー、ユーザ双方のスタートアップ企業の市場参画支援」においては、2023 年度から継続的にスタートアップ支援イベントやピッチイベントを実施する。2024 年度からはエコシステム構築検討を開始、2027 年度以降に本格運用に向けた試験的運用を目指す。

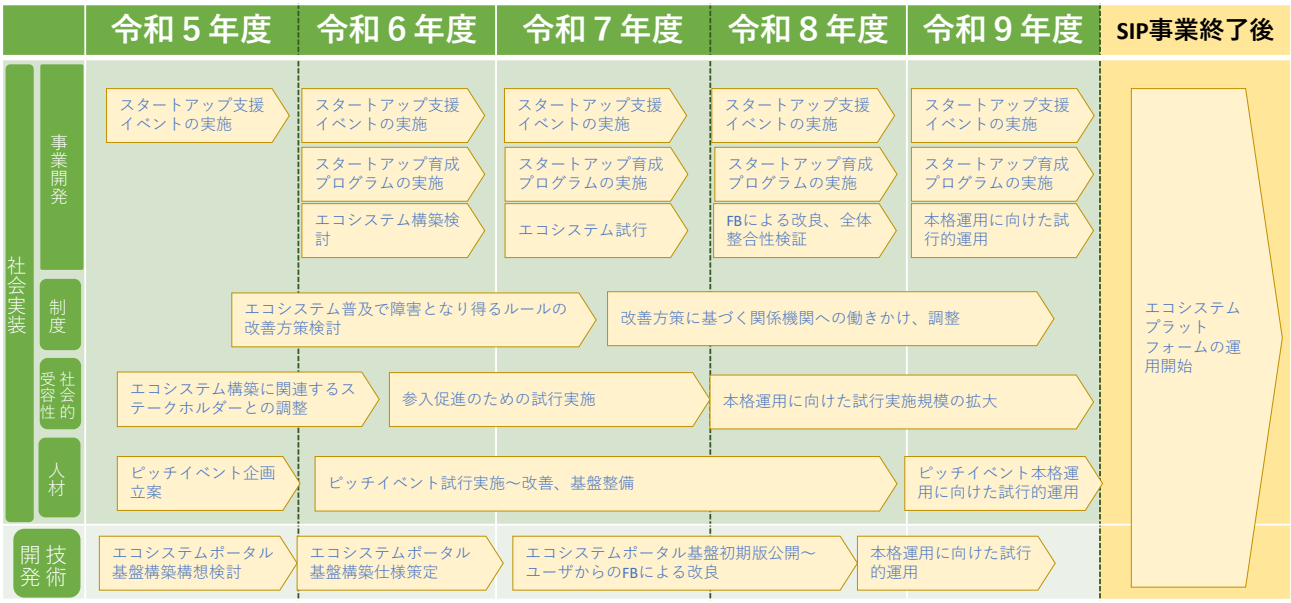


図 III-62 工程表（研究チーム D-4a：量子技術に関係するベンダー、ユーザ双方のスタートアップ企業の市場参画支援）

④ 過年度までの進捗状況

研究チーム D-4：量子技術に関係するベンダー、ユーザ双方のスタートアップ企業の市場参画支援

・令和 5 年度の実施計画上の最大の目標であった、イベントの実施については、計画時のコンセプト、目的に沿った形で、支援対象、プログラムとも計画通り実施し、想定通りの成果を獲得できた。令和 6 年 3 月中には、令和 5 年度の実施内容に対する対外的な評価や関係者の評価も踏まえ、次年度の計画を策定する。

・令和 5 年度は初年度ということもあり、各ステークホルダー（スタートアップ企業、VC/CVC、政府関係者、産業界、アカデミア）の現状を把握することが重要であったが、単に現状課題のヒアリングというだけでなく、「Quantum Startup Days」というイベントを起点として各ステークホルダーからヒアリングできたことで、本取組テーマで取り組むべきテーマに沿った課題が抽出できた。

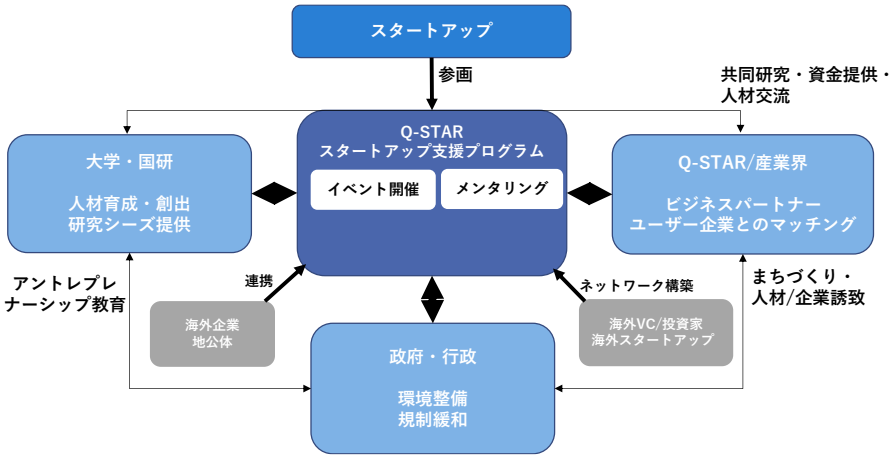


図 III-63 「②スタートアップ向けイベントを核とした、スタートアップエコシステムの構築」における実施内容

Ⅳ. 課題マネジメント・協力連携体制

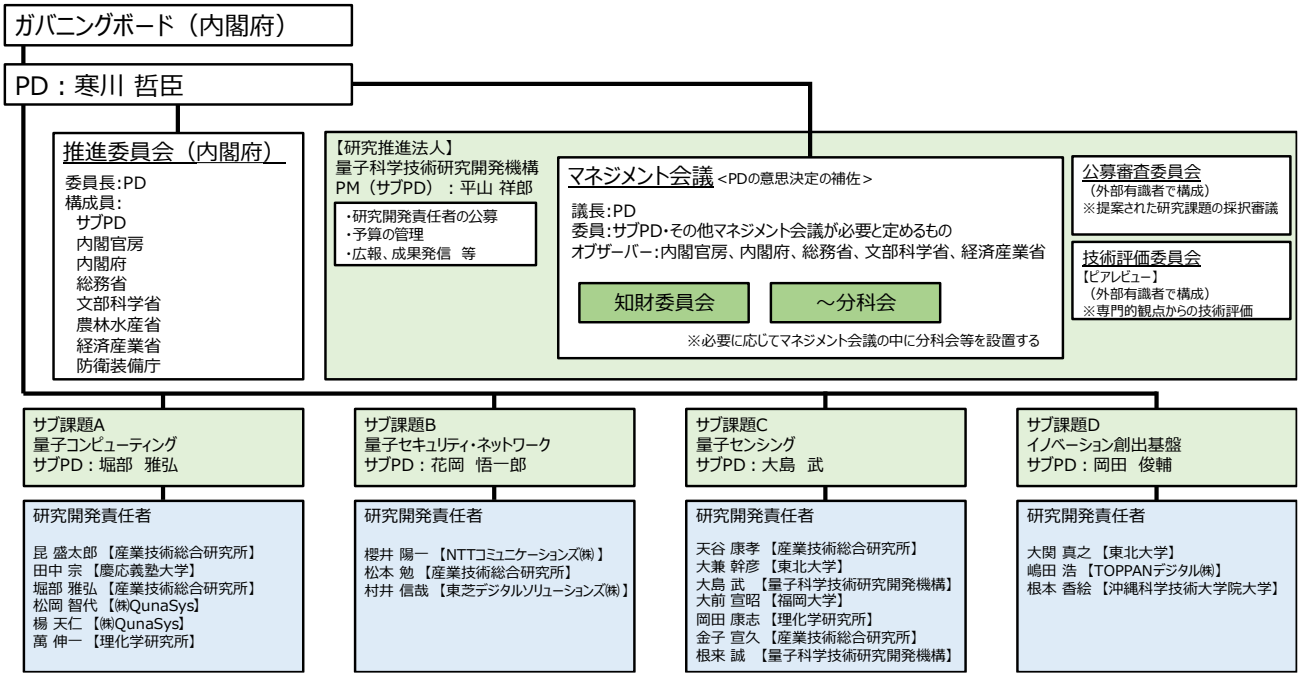


図 Ⅳ-1 実施体制

1. 実施体制と役割分担

（1）内閣府

① PD

氏名： 寒川 哲臣

所属： 日本電信電話株式会社

期間： 2023 年 4 月～

② サブ PD （担当・履歴を含む）

氏名： 堀部　雅弘
所属： 国立研究開発法人産業技術総合研究所
期間： 2023 年 10 月～
担当： 量子コンピューティング担当

氏名： 花岡　悟一郎
所属： 国立研究開発法人産業技術総合研究所
期間： 2023 年 4 月～
担当： 量子セキュリティ・ネットワーク担当

氏名： 大島　武
所属： 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
期間： 2023 年 10 月～
担当： 量子センシング担当

氏名： 岡田　俊輔
所属： 一般社団法人量子技術による新産業創出協議会
期間： 2023 年 4 月～
担当： イノベーション創出基盤担当、産業連携担当

③ 課題担当（履歴を含む）

氏名	所属・職位	期間
増田　幸一郎	量子・マテリアル　政策企画調査官	2023 年 4 月～2024 年 3 月
佐藤　彰洋	量子・マテリアル　政策企画調査官	2024 年 4 月～
根本　朋生	社会システム基盤　参事官	2023 年 4 月～2023 年 7 月
菅田　洋一	社会システム基盤　参事官	2023 年 7 月～
迫田　健吉	量子・マテリアル　企画官	2023 年 4 月～2023 年 8 月
武馬　慎	量子・マテリアル　企画官	2023 年 4 月～2023 年 7 月
堀部　雅弘	量子・マテリアル　企画官	2023 年 4 月～2023 年 7 月
田中　真人	量子・マテリアル　企画官	2023 年 7 月～
高橋　文武	量子・マテリアル　企画官	2023 年 7 月～2024 年 4 月
澤田　和宏	量子・マテリアル　企画官	2023 年 8 月～2024 年 7 月
井出　真司	量子・マテリアル　企画官	2024 年 4 月～
田渕　敬一	量子・マテリアル　企画官	2024 年 7 月～
有本　英生	量子・マテリアル　上席政策調査員	2023 年 4 月～2024 年 3 月
助野　順司	量子・マテリアル　上席政策調査員	2023 年 4 月～
増田　太郎	量子・マテリアル　上席政策調査員	2023 年 4 月～
河野　直哉	量子・マテリアル　上席政策調査員	2024 年 4 月～
福西　茂樹	社会システム基盤　上席政策調査員	2023 年 4 月～2024 年 3 月
福島　公洋	社会システム基盤　上席政策調査員	2023 年 4 月～
高木　博幸	社会システム基盤　政策調査員	2023 年 4 月～2024 年 6 月
梶村　周平	社会システム基盤　政策調査員	2024 年 7 月～

（2）研究推進法人・PM （担当・履歴を含む）

① 研究推進法人の名称

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

② PM その他の担当者 （担当・履歴を含む）

氏名： 平山　祥郎
所属： 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
期間： 2023 年4月～
担当： PM、サブ PD（全体総括）

2. 府省連携

PD、サブ PD の研究開発マネジメントの下、内閣官房・内閣府・総務省・文部科学省・農林水産省・経済産業省・防衛装備庁はマネジメント会議等にオブザーバーとして参加し密接に本課題の進捗等について把握する。また、各府省庁の施策の成果を SIP で活用したり、SIP で開拓・実証したユースケースを各府省庁の施策で活用したりできるように、社会実装に向けて双方向で成果が活用できるよう緊密に連携する。

3. 産学官連携、スタートアップ

社会実装を実現するために、構築したテストベッド等を産学官のメンバーが利用できるようにし、ユースケース開拓を進める。また、産業界の協議会・コンソーシアム等を通じて、広くユーザ企業とも連携する。

量子技術においては、民間企業中心の協議会・コンソーシアム等が既に複数存在しており、これらとの情報共有・意見交換をする「連携の場」を設定することで、産業界からのニーズ・要望を SIP 開始直後から取り入れる。

（1）マッチングファンドに係る方針と内容

社会実装を見据える 2026 年度、2027 年度については、SIP の委託費と同額のマッチングファンドを見込む。個別の研究開発テーマに参画する企業のマッチングファンドを増やす計画を立てるとともに、テストベッド等の利用環境整備、ユースケース開拓、人材育成等の取組を、産業界の協議会・コンソーシアム等を通じてユーザ企業に広く周知し、間接的に SIP の取組に協力する企業等の活動費用もマッチングファンドとして見込む。

特に競争領域に踏み込むユースケース開拓においては、各参加企業がマッチングファンドにコミットしやすくなるよう、ステージゲート時点（2025 年度）までに直近での事業化可否について判断ができるよう、検討・開発を進めておく。

4. 研究開発テーマ間連携

サブ課題 B「量子セキュリティ・ネットワーク」の量子古典ハイブリッドソルバーについては、多様な量子・古典計算資源を高秘匿回線でネットワーク化する中で、サブ課題 A「量子コンピューティング」との連携も視野に入れる。

サブ課題 D「イノベーション創出基盤」で実施するイベントやワークショップにより有望な研究開発テーマの候補が見つかった場合、イノベーション基盤創出のサブ PD は、他のサブ PD と連携し、既存の研究開発テーマへの取り込みや、新たな研究開発テーマを立てることを検討する。

表 Ⅳ-1　研究開発テーマ間で取り組み予定の連携活動（A 量子コンピューティング）

連携体制	予定している連携活動／想定するシナジー効果 PD
サブ課題内連携	● **研究チーム A-1a「量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境整備に関する研究開発」** **研究チーム A-2b「量子ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組」** これら研究チームに同じ共同研究開発機関が参画するため、緊密な情報共有・連携を予定している。 ● **研究チーム A-1a「量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境整備に関する研究開発」** **研究チーム A-2a「材料開発現場向け量子コンピュータ高精度計算活用基盤の構築」** ユースケースの仮説検討及び計算データ畜産基盤として、テストベッド環境を利用し検証を進める予定である。 ● **研究チーム A-1a「量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境整備に関する研究開発」** **研究チーム A-3「標準ベンチマーク策定とグローバルチャレンジを通じた量子アルゴリズムプラットフォームの構築」** ４年目以降を目途に、テストベッド環境を活用したコンテスト型研究の実施を行うことで、策定したベンチマークの評価・普及等を図る。 ● **研究チーム A-1b「国産量子コンピュータによるテストベッドの利用環境整備と運用」** **研究チーム A-2b「量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組」** 整備される計算資源の活用を想定し、ビジネスエコシステム構築を進める。また、テストベッド環境の利用を通じて得られた結果や途中過程の実データを基に、計算基盤の性能や運用面等の改善に向けたフィードバックを行う。 ● **研究チーム A-1b「国産量子コンピュータによるテストベッドの利用環境整備と運用」** **研究チーム A-3「標準ベンチマーク策定とグローバルチャレンジを通じた量子アルゴリズムプラットフォームの構築」** 開発された量子アルゴリズム及びベンチマークのテスト環境として研究チーム A-1-b の成果を提供することにより、連携を試みる。 ● **研究チーム A-3「標準ベンチマーク策定とグローバルチャレンジを通じた量子アルゴリズムプラットフォームの構築」** **研究チーム A-2b「量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組」** 研究チーム A-2b の成果として検討されたユースケースを元にベンチマークを作成し、グローバルチャレンジ等を通じて世界中に公開することによって、本事業の有効性を社会に発信する。 ● **研究チーム A-2b「量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組」** **研究チーム A-4「大規模量子コンピュータシステムに向けた俯瞰図・ロードマップとサプライチェーン強靭化」** 今後の量子コンピュータの技術動向を把握し、特にゲート量子コンピュータのユースケース

連携体制	予定している連携活動／想定するシナジー効果 PD
	開発における利用できるマシンの方式や規模の情報を提供する。
他サブ課題との連携	● **研究チーム A-1b「国産量子コンピュータによるテストベッドの利用環境整備と運用」** **サブ課題 B「量子セキュリティ・ネットワーク」** 研究チーム A-1b が開発するテストベッド環境を量子ネットワークのノードの一つとして活用することで、サブ課題「量子セキュリティ・ネットワーク」との連携を図る。 ● **研究チーム A-1a「量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境の整備に関する研究開発」** **サブ課題 B「量子セキュリティ・ネットワーク」** **研究チーム B-1「量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築」** **研究チーム B-2「高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証」** サブ課題 B「量子セキュリティ・ネットワーク」に参画する共同研究開発機関と研究開始後の連携について調整している。 ● **研究チーム A-1b「国産量子コンピュータによるテストベッドの利用環境整備と運用」** **サブ課題 C「量子センシング」** サブ課題 C「量子センシング」の領域におけるユースケース探索などで研究チーム A-1b が開発するテストベッドを利用するなどの連携を想定する。

表 Ⅳ-2 研究開発テーマ間で取り組み予定の連携活動（B 量子セキュリティ・ネットワーク）

連携体制	予定している連携活動／想定するシナジー効果
サブ課題内連携	● **研究チーム B-1「量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築」** **研究チーム B-2 「高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証」** 研究チーム B-1 で構築された高度情報処理基盤を利用して、研究チーム **B-2** はユースケースの実証を進める。 ● **研究チーム B-1「量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築」** **研究チーム B-3b「省リソース化された実用的秘密計算システムの実現に関する研究開発」** 研究チーム B-1 において構築される高度情報処理基盤に、研究チーム B-3b で構築する秘密計算システムが接続可能となることを目標とする。 ● **研究チーム B-2「高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証」** **研究開発テーマ B-3「プライバシーなどを保護しつつデータ解析ができる秘密計算などの活用」** 研究チーム B-2 による量子・古典ハイブリッド計算技術構築で提供される計算機環境において利用する秘密計算技術については、研究開発テーマ B-3 と連携をとり研究開発を進める。 ● **研究チーム B-3a「秘密計算技術の高性能化」** **研究チーム B-3c「秘密計算技術の社会実装事例の構築」** 研究チーム B-3a で構築された秘密計算システムを利用して、研究チーム B-3c はユースケースの実証を進める。
他サブ課題との連携	● **研究チーム B-1「量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤の構築」** **研究チーム B-2「高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証」** **サブ課題 A「量子コンピューティング」** **研究チーム A-1a「量子・古典ハイブリッド基礎アルゴリズム構築とテストベッド利用環境の整備に関する研究開発」** 研究チーム A-1a に参画する共同研究開発機関と研究開始後の連携について調整している。 ● **研究チーム B-3b「省リソース化された実用的秘密計算システムの実現に関する研究開発」** **サブ課題 A「量子コンピューティング」** 研究チーム B-3b において多様な量子・古典計算資源を高秘匿回線でネットワーク化するなかで、サブ課題 A「量子コンピューティング」との連携も視野に入れる。

表 Ⅳ-3 研究開発テーマ間で取り組み予定の連携活動（C 量子センシング）

連携体制	予定している連携活動／想定するシナジー効果
サブ課題内連携	● **研究チーム C-1a「固体量子センサの社会実装に促進に向けた実践環境の構築」** **研究チーム C-2b「ダイヤモンド NV センターによる革新的量子電力センシング」** **研究チーム C-2d「超早期体外診断のための量子診断プラットフォーム － 多様な疾病の簡便・安価な超早期診断を実現する量子リキッドバイオプシーの創製」** 研究チーム C-2b 及び研究チーム C-2d はダイヤモンド NV センターに関連する課題であることから、研究チーム C-1a とは材料開発の観点で連携を図ることで社会応用促進に向けて貢献する。 ● **研究チーム C-1a「固体量子センサの社会実装に促進に向けた実践環境の構築」** **研究チーム C-2a「超偏極利活用プラットフォームの整備とトリプレット DNP によるがん治療効果判定技術の開発」** 研究チーム C-1a 及び研究チーム C-2a について、原料開発の観点から相補的に協力することが可能と考えられる。 ● **研究チーム C-2a「超偏極利活用プラットフォームの整備とトリプレット DNP によるがん治療効果判定技術の開発」** **研究チーム C-2d「超早期体外診断のための量子診断プラットフォーム － 多様な疾病の簡便・安価な超早期診断を実現する量子リキッドバイオプシーの創製」** 研究チーム C-2a 及び研究チーム C-2d に参画予定の研究者は共同研究を推進していることから密に連携する。
他サブ課題との連携	● **研究チーム C-1a「固体量子センサの社会実装促進に向けた実践環境の構築」** **サブ課題 D「イノベーション創出基盤」** **研究チーム D-2「産学連携による量子人材育成プログラムの開発と実践」** 研究チーム C-1a において、研究チーム D-2 が開発する自ら体験できるコンテンツに対する個体量子センサの実践環境の適用手法等密接に連携する。 ● **研究チーム C-1b「量子コンピュータ・センサーハードウエアコンポーネントテストベッドの構築」** **サブ課題 A「量子コンピューティング」** **研究チーム A-4「大規模量子コンピュータシステムに向けた俯瞰図・ロードマップとサプライチェーン強靭化」** 研究チーム C-1b において、研究チーム A-4 のロードマップより得られた情報から条件を決定し、研究開発を実行する等密接に連携する。

表 IV-4 研究開発テーマ間で取り組み予定の連携活動（D イノベーション創出基盤）

連携体制	予定している連携活動／想定するシナジー効果
サブ課題内連携	● **研究チーム D-2「産学連携による量子人材育成プログラムの開発と実践」** **研究チーム D-4「量子技術に関係するベンダー、ユーザ双方のスタートアップ企業の市場参画支援」** 研究チーム D-2 による人材育成プログラムを完了した人材を、研究チーム D-4-a のスタートアップ企業、スタートアップ予備軍（法人・個人）を対象としたプログラムの対象とする。チーム D-2 にとっては教育プログラム実施後の活動先の一つを確保でき、またチーム D-4 としては量子技術を身に着けた対象者をプログラムの対象として選定出来るという相乗効果を期待できる。
他サブ課題との連携	● **研究チーム D-3「量子コンピュータを活用した新事業を共創する研究開発基盤」** **サブ課題 A「量子コンピューティング」B「量子セキュリティ・ネットワーク」C「量子センシング」** 先端量子技術教育、スタートアップ支援、アイデア発掘の取組などを通じて SIP 量子の他のサブ課題にとって有望な研究テーマが創出されることを想定する。 ● **研究チーム D-2「産学連携による量子人材育成プログラムの開発と実践」** **サブ課題 A「量子コンピューティング」B「量子セキュリティ・ネットワーク」C「量子センシング」** 開発・実践した教育プログラムを通じて育成された人材が、量子技術のユーザ側（製品・サービス等の開発側）となり、ひいては SIP 量子の他の各研究開発テーマへの参画することを想定する。

5. SIP 課題間連携

PD 間で課題について情報共有を図るとともに、サブ課題 D「イノベーション創出基盤」で実施するイベントやワークショップの開催の際に、連携しうる他の課題の関係者にも告知することで、量子技術の可能性を広く周知する。

特にサブ課題 A「量子コンピューティング」、B「量子セキュリティ・ネットワーク」においては、他課題との連携による各分野でのユースケース開拓に取り組み、そこで扱う実データをテストベッド等で処理することで、テストベッド等の改善に向けたフィードバックを得る。また、本課題で開発する（量子コンピュータの利用のための）量子・古典ハイブリッドテストベッドについては、SIP の他課題での利用も呼びかけ各課題の研究開発に貢献すると共に、それらから具体的なフィードバックを集め、テストベッドの改善に活用する。

表 IV-5 本課題で検討している SIP 課題間で取り組み予定の連携活動

研究開発テーマ	連携活動
量子コンピューティング	
量子・古典ハイブリッドテストベッドの利用環境整備	● **研究開発テーマ A-1「量子・古典ハイブリッドテストベッドの利用環境整備」** SIP 第２期の「分野間データ連携基盤技術」に係る研究を継続し、SIP 第３期課題「スマート防災ネットワークの構築」等との連携を検討する。
新産業創出・生産性向上等に貢献するユースケース開拓・実証	● **研究チーム A-2b「量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組」** 最適化問題に関わる SIP 第３期課題「豊かな食が提供される持続可能なフードチェーンの構築」において量子コンピュータの計算資源を活用したユースケースの開拓に取り組む。 ● **研究チーム A-2b「量子計算ソリューションによるビジネスエコシステム構築の戦略的取組」** 最適化問題に関わる SIP 第３期課題「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」などにおいて、量子コンピュータの計算資源の活用可能性を検討・検証する。 ● **連携主体等は今後検討** 各課題と情報交換をしながら、各課題の研究開発における量子コンピューティングの活用可能性を検討・検証する
量子セキュリティ・ネットワーク	
高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証	● **研究チーム B-2「高度情報処理基盤を活用したユースケース開拓・実証」** 各課題と情報交換をしながら、各課題の研究開発における量子セキュリティ・ネットワークの活用可能性を検討・検証する。

研究開発テーマ	連携活動
プライバシーなどを保護しつつデータ解析ができる秘密計算などの活用	● **研究チーム B-3a「秘密計算技術の高性能化」** SIP 第3期課題「統合型ヘルスケアシステムの構築」の研究開発テーマ「(B-1) がん診療についての統合的臨床データベースの社会実装」に本研究成果を展開し、秘密計算技術の利用を促進する。 ● **研究チーム B-3b「省リソース化された実用的秘密計算システムの実現に関する研究開発」** SIP 第3期課題「マテリアル事業化イノベーション・育成エコシステムの構築」のサブ課題「データ基盤の連携技術の確立」との連携を進め、秘密計算技術の利用を促進する。 ● **連携主体等は今後検討** SIP 第3期課題「サーキュラーエコノミーシステムの構築」との連携を進め、秘密計算技術の利用を促進する。
量子センシング	
量子センシング等を利用したユースケース開拓・実証	● **連携主体等は今後検討** 各課題と情報交換をしながら、各課題の研究開発における量子センシングの活用可能性を検討・検証する。

6. データ連携

課題内における個別の研究開発テーマ間や、他の SIP 課題間でのデータ連携を検討する。また、PD 会議等でデータ連携について要請があった場合は、適宜対応方法を検討する。当面のデータ連携方策については「IV.5 SIP 課題間連携」を参照のこと。

7. 他事業との連携

研究開発と Society5.0 との橋渡しプログラム(以下、「BRIDGE」という。)における量子技術関連施策と本課題との連携を図る。現時点における BRIDGE における主な量子技術関連施策の各省 PD は本課題の PD が兼任していることに加え、双方の事業が社会実装を目標に掲げていることを踏まえ、共通のマネジメント体制を構築するとともに、研究者間の交流・情報交換を実施する等、双方の事業に相乗効果をもたらす取組を行う。

8. 業務の効率的な運用

研究推進法人・関係機関等が有する LAN 等の情報・通信インフラをベースとして、オンラインツールを多用することにより、業務効率化を図る。具体的には、PD、サブ PD、関係府省庁、及び研究推進法人との間で Web によるリモート会議、共有ファイル・フォルダによる資料作成作業等を実施することに加え、スタッフに専用のポータブルの PC、タブレット等を配備し、スタッフの状況に合わせてテレワーク等のリモート業務を円滑に実施できるようにする。上記とともに、オフィスを国内外の交通の要所となって

いる東京に構え、関係府省庁、大学・研究機関、企業等と物理的に近い距離を確保し、緊密な折衝・調整をできるようにする。なお、経費負担の軽減を図るため、当該オフィスは研究推進法人の既存の東京事務所等に設置する。

V. 評価に係る事項

1. 評価の実施方針

（1） 評価主体

○ ガバニングボードが、評価委員会を設置し、PD及び研究推進法人等による自己点検や研究推進法人等が実施する専門的観点からの技術・事業評価（以下「ピアレビュー」という。）の結果（事前評価及び追跡評価の場合にはそれらに準ずる情報。）に基づき、評価を行う。
○ 研究推進法人はピアレビューの実施の前にピアレビューを実施する外部有識者の選定についてガバニングボードの承認を得るものとする。
○ プログラム統括チームはピアレビューに参加し、専門的観点からの意見を踏まえ、制度的・課題横断的観点からの評価意見をまとめるものとする。
○ プログラム統括チームは評価委員会に対して、ピアレビューの結果を報告するとともに、制度的・課題横断的観点からの評価意見を提出するものとする。
○ 評価委員会は、プログラム統括チームからの報告等を踏まえ、評価を行い、評価案をとりまとめ、ガバニングボードに報告するものとする。

（2） 実施時期

○ 課題評価の実施時期の区分は、事前評価、毎年度末の評価（ただし、課題開始後３年目の年度末までに行う評価は「中間評価」。）及び最終評価とする。
○ 終了後、必要に応じて追跡評価を行う。
○ 上記のほか、必要に応じて年度途中等に評価を行うことも可能とする。

（3） 評価項目・評価基準

○「国の研究開発評価に関する大綱的指針（平成２８年１２月２１日、内閣総理大臣決定）」を踏まえ、必要性、効率性、有効性等を評価する観点から、以下の評価項目・評価基準とする。達成・未達の判定のみに終わらず、その原因・要因等の分析や改善方策の提案等も行う。

A）.課題目標の達成度と社会実装

○ 課題目標の達成と社会実装に係る評価項目・評価基準は下表の通りとする。
○ ミッションの明確化から個別の研究開発テーマの設定に至る計画・テーマ設定に係る評価（A-2 から A-4 まで）と、個別の研究開発テーマの達成度から研究成果の社会実装に至る進捗状況等に係る評価（A-5 から A-7 まで）を一体的に実施することで、PDCA サイクルを回し、各段階での進捗状況等を踏まえ、継続的かつ迅速（アジャイル）に計画・テーマ設定の見直しを行う。

A-1	意義の重要性、SIP制度との整合性	・課題全体を俯瞰的にとらえ、Society5.0の実現に向けて将来像を描いているか。
		・技術開発のみならずルール整備やシステム構築などに必要な戦略が検討され、SIP制度との整合性が図れているか。
		・SIP第3期課題として必要な「要件」（SIP運用指針別紙）を満たしているか。
A-2	ミッションの明確化	・将来像の実現に向けたミッションが明確となっているか。
		・関係省庁を巻き込んだ協力体制の下に、課題の解決方法が特定され、ミッション遂行が実現可能なものであるか。
A-3	目標設定・全体ロードマップ、その他の社会実装に向けた	・ミッションを達成するために、現状と課題を調査し、ロジックツリー等を活用し、社会実装に向けて、技術だけでなく、事業、制度、社会的受容性、人材を含む5つの視点で、必要な取組を抽出されているか。
		・抽出した取組について、既存の産学官での取組を把握した上で、SIPの要件及び本評価基準を踏まえ、SIPの研究開発テーマを特定しているか。
		・SIP終了時の達成目標が設定されており、実現可能なものであるか（なお、SIP期間中において目標は常に見直し、アジャイルな修正も可とする。）
		・SIPの研究開発テーマを含む必要な取組について、社会実装に向けたロードマップを作成し、技術だけでなく、事業、制度、社会的受容性、人材を含む5つの視点で、戦略的でかつ明確になっているか。また、これら5つの視点の成熟度レベルを活用しながら、指標が計測量として用いられ、進捗度が可視化されているか。
		・データプラットフォームの標準化戦略を見据え、全体のデータアーキテクチャーを見据えたデータ戦略は設定されているか。
		・スタートアップに関する戦略は設定されているか。
A-4	個別の研究開発テーマの設定及びその目標と裏付けの明確さ	・RFIの内容を吟味し、個別の研究開発テーマの設定が決め打ちではなく、社会課題を基に一定の範囲から絞り込まれているか。
		・個別の研究開発テーマの設定は国際競争力調査や、市場・ニーズ調査、有識者や関係者へのヒアリングなど、エビデンスベースでの理由で裏打ちされているか。
		・個別の研究開発テーマの目標及び工程表は明確であり、実現可能なものであるか。
		・個別の研究開発テーマの目標は課題全体の目標(A-3)を満足しているか。
A-5	研究開発テーマの設定目標に対する達成度	・個別の研究開発テーマについて、当該年度の設定目標に対する達成度（進捗状況）は計画通りか。（計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。）
		・得られた成果の新規の学術的・技術的価値は何か。
		・得られた成果は課題全体の目標に対してどの程度貢献しているか。
A-6	社会実装に向けた取組状況	・知財戦略や国際標準戦略などを含む事業戦略、規制改革等の制度面の戦略、社会的受容性の向上や人材の戦略は設定され、その取組状況は計画通りか。（計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。）
		・データ戦略の取組状況は計画通りか。（計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。）
		・スタートアップに関する戦略の取組状況は計画通りか。（計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。）
A-7	研究成果の社会実装及び波及効果の見込み	・研究成果によって見込まれる効果あるいは波及効果が明確であるか。
		（科学技術の進展、新製品・新サービス等への展開、市場への浸透や社会的受容性への影響、政策への貢献、人材育成への貢献など。定量的表現が望ましい。）
		・(A-5)(A-6)を踏まえて、技術、事業、制度、社会的受容性、人材の5つの視点からロジックツリー等を用いて研究成果の社会実装への道筋が明確に示されているか。
		・開発する技術の優劣に関する国際比較、当該技術の強み・弱み分析、国際技術動向の中での位置づけなど、グローバルベンチマークの結果が示されているか。
A-8	対外的発信・国際的発信と連携	・課題の意義や成果に関して効果的な対外的発信の計画が検討され、実施されているか。
		・国際的な情報発信や連携の取組の進捗はあるか。
A-9	その他	・課題の特性や状況に応じ、上記の(A-1)～(A-8)以外に、課題目標の達成度と社会実装の観点から評価すべきこと（プラス評価になること）があれば追加可。

B）.課題マネジメント・協力連携体制

○ 課題マネジメント・協力連携体制に係る評価項目・評価基準は下表の通りとする。

○ 社会実装に向けて、課題目標を達成するための実施体制はもちろん、府省連携、産学官連携、テーマ間・課題間の連携、データ連携についても評価を行う。

B-1	課題目標を達成するための実施体制	・PD、SPD、研究推進法人の役割分担と、それに見合う配置が図られているか。
		・メンバーの配置や役割分担について明確に構造化が図られているか。知財・国際標準・規制改革に関する専門家や、社会実装に関する業務の担当者等が配置されているか。
		・研究開発テーマ設定時の前提条件の変更や研究成果の達成状況に応じて、研究開発テーマの方向性の再検討やアジャイルな修正が生じた際に、関係者間で合意形成を図る流れが明確になっているか。
		・消費者視点での社会的受容性の観点や多様な観点から運営を推進するため、SPDや研究開発テーマ責任者等に若手や女性などダイバーシティを考慮したチーム構成計画としているか。
B-2	府省連携	・関係府省の担当者を巻き込み、各府省の協力・分担が明確な体制になっているか。
		・各府省等で実施している関連性の高い研究開発プロジェクトとの連携が図られているか。
		・関係省庁の事業との関係性をマッピングするなどの整理がなされ、重複が無いようSIP以外の事業との区分けは出来ているか。
B-3	産学官連携、スタートアップ	・社会実装に向けた産業界の意欲・貢献を促すべく、産学官連携が機能する体制が構築されているか。研究成果の利用者は明確となっているか。
		・マッチングファンド方式の適用に向けた検討がされているか。
		・本来、民間企業で行うべきものに国費を投じていないか。
		・マネジメント体制の中にスタートアップ関係者が配置されているか。
B-4	課題内テーマ間連携	・研究開発テーマ間での連携やシナジー効果について検討され、実施されているか。マネジメント体制の中に研究開発テーマ間の連携に必要な担当者が配置されているか。
B-5	SIP課題間連携	・他のSIP課題間での連携やシナジー効果について検討され、実施されているか。マネジメント体制の中に他のSIP課題間の連携を担当する者が配置されているか。
B-6	データ連携	・研究開発テーマ間や、他のSIP課題間でのデータ連携が検討・実施されているか。
		・既存のデータプラットフォームとの連携の可能性は検討されているか。
B-7	業務の効率的な運用	・オンラインツールの活用など業務の効率的な運用が実施されているか。
		・ベストプラクティスの共有、活用などが実施されているか。
B-8	その他	・課題の特性や状況に応じ、上記の(B-1)～(B-7)以外に、マネジメントの観点から評価すべきこと(プラス評価になること)があれば追加可。

(4) 評価結果の反映方法

○ 事前評価は、社会実装に向けた戦略及び研究開発計画(以下「戦略及び計画」という。)の作成、研究開発テーマの設定に関して行い、戦略及び計画等に反映させる。

○ 各年度の年度末評価は、前年度の進捗状況等や当該年度での事業計画に関して行い、次年度以降の戦略及び計画等に反映させる。必要に応じ、研究開発テーマの絞込みや追加について意見を述べる。

○ 中間評価においてステージゲートを実施し、各課題における個々の研究開発テーマにおいて、ユーザ視点からの評価を行う。具体的には、①ユーザを特定されず、マッチングファンド方式の適用や関係省庁における政策的な貢献など社会実装の体制構築が見込めないものについては、原則として継続を認めない、②目標を大幅に上回る成果が得られ、ユーザからの期待が大きく、社会実装を加速すべきものについては、予算の重点配分を求める、などユーザ視点からの評価を行うこととする。

○ 最終評価は、最終年度までの実績に関して行い、終了後のフォローアップ等に反映させる。

○ 追跡評価は、各課題の成果の社会実装の進捗に関して行い、改善方策の提案等を行う。

(5) 結果の公開

○ 評価結果は原則として公開する。

○ 評価委員会及びガバニングボードは、非公開の研究開発情報等も扱うため、非公開とする。

(6) 課題評価に向けた自己点検及びピアレビュー

○ 課題評価の前に、PD、研究推進法人等及び各研究開発責任者による自己点検並びに研究推進

法人等によるピアレビューを実施し、その結果をガバニングボードに報告するものとする。

○ 研究開発責任者による自己点検は、研究開発テーマの目標に基づき、研究開発や実用化・事業化の進捗状況について行う。

○ 研究推進法人等による自己点検は、予算の管理、研究開発テーマの進捗管理、研究開発テーマの実施支援など研究推進法人等のマネジメント業務について行う。

○ PD による自己点検は、(3)の評価項目・評価基準を準用し、研究開発責任者及び研究推進法人等による自己点検の結果や、関係省庁や産業界における社会実装に向けた取組状況を踏まえ、実施する。

○ 研究推進法人等によるピアレビューは、エビデンス及びグローバルな視点に基づいて、各研究開発テーマの実施内容及び実施体制等が SIP として実施することに適したものになっているか、研究開発テーマの目標に基づき研究開発や実用化・事業化に向けた取組が適切に進められているどうか等について、研究推進法人等に設けられた外部有識者が行う。また、遅くとも中間評価の時期までには各研究開発テーマについてユーザを特定し、ユーザからの意見も踏まえた評価(ユーザレビュー)を行うこととする。

(7) 自己点検・ピアレビュー及び評価の効率化

○ 課題の自己点検・ピアレビュー及び評価は毎年度実施することを考慮して、重複した作業を避けて可能な限り既存の資料を活用するなど効率的に行うものとする。

2. 実施体制

(1) 構成員 (担当・履歴を含む)

氏名	所属・役職	レビュー担当	期間
青木 隆朗	学校法人早稲田大学 理工学術院 教授	サブ課題 A「量子コンピューティング」 サブ課題 C「量子センシング」	2023 年 10 月～
宇都宮 聖子	OpenAI Japan 合同会社 プリンシパルソリューションエンジニア	サブ課題 A「量子コンピューティング」 サブ課題 C「量子センシング」	2023 年 10 月～
木下 剛	GiTV 株式会社 共同創業者 マネージングパートナー	サブ課題 D「イノベーション創出基盤」	2023 年 10 月～
國廣 昇	国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授	サブ課題 B「量子セキュリティ・ネットワーク」	2023 年 10 月～
嶋田 義皓	ソフトバンク株式会社 先端技術研究所 量子技術開発課 担当課長	すべてのサブ課題	2023 年 10 月～

氏名	所属・役職	レビュー担当	期間
田村　泰孝	株式会社 DXR 研究所 代表取締役社長	サブ課題 A「量子コンピューティング」 サブ課題 C「量子センシング」	2023 年 10 月～
平野　琢也	学校法人学習院 学習院大学理学部物理学科 教授	すべてのサブ課題	2023 年 10 月～
盛合　志帆	国立研究開発法人情報通信研究機構 執行役　経営企画部長	サブ課題 B「量子セキュリティ・ネットワーク」における研究開発テーマ B-3「プライバシーなどを保護しつつデータ解析ができる秘密計算などの活用」	2023 年 10 月～

Ⅵ. その他の重要事項

1. 根拠法令等

本件は、内閣府設置法（平成 11 年法律第 89 号）第４条第３項第７号の３、科学技術イノベーション創造推進費に関する基本方針（令和４年 12 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議）、戦略的イノベーション創造プログラム運用指針（令和５年５月 18 日、総合科学技術・イノベーション会議ガバニングボード）に基づき実施する。

別添　SIP の要件と対応関係

Society 5.0 の実現を目指すもの	「I. Society 5.0 における将来像」
社会的課題の解決や日本経済・産業競争力にとって重要な分野であること	「Ⅱ.2 現状と問題点」
基礎研究から社会実装までを見据えた一気通貫の研究開発をするものであること	「Ⅱ.2 現状と問題点」の「図 II-1 国内の主な研究開発投資の状況と本課題の位置づけ 」に記載
府省連携が不可欠な分野横断的な取組であって、関係府省の事業との重複がなく、連携体制が構築され、各府省所管分野の関係者と協力して推進するものであること	「Ⅱ.2 現状と問題点」の「図 II-1 国内の主な研究開発投資の状況と本課題の位置づけ 」に記載
技術だけでなく、事業、制度、社会的受容性、人材に必要な視点から社会実装に向けた戦略を有していること	「Ⅱ.3（1）5つの視点での取組」
社会実装に向けた戦略において、ステージゲート（2～3年目でのテーマ設定の見直し）・エグジット戦略（SIP 終了後の推進体制）が明確であること	「Ⅱ.4（4）SIP 後の事業戦略（エグジット戦略）」
オープン・クローズ戦略を踏まえて知財戦略、国際標準戦略、データ戦略、規制改革等の手段が明確になっていること	「Ⅲ.2.研究開発に係る実施方針」
産学官連携体制が構築され、マッチングファンドなどの民間企業等の積極的な貢献が得られ、研究開発の成果を参加企業が実用化・事業化につなげる仕組みを有していること	「Ⅳ.3.産学連携、スタートアップ」
スタートアップの参画に積極的に取り組むものであること	「Ⅳ.3.産学連携、スタートアップ」