

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(案)

令和5年1月26日

内閣府

科学技術・イノベーション推進事務局

目次

I. Society5.0 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	2
(1) 5つの視点での取組.....	2
(2) ミッション到達に向けたシナリオ.....	5
4. SIP での取組(サブ課題).....	10
(1) 背景(グローバルベンチマーク等).....	10
(2) 社会実装に向けた SIP 期間中の達成目標.....	19
(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	20
(4) SIP 後の事業戦略(エグジット戦略).....	21
5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル	21
(1) ロードマップ	21
(2) 本課題における成熟度レベルの整理.....	23
6. 対外的発信・国際的発信と連携.....	27
III. 研究開発計画	28
1. 研究開発に係る全体構成.....	28
2. 研究開発に係る実施方針.....	29
(1) 基本方針	29
(2) 知財戦略.....	29
(3) データ戦略	29
(4) 国際標準戦略.....	30
(5) ルール形成	30
(6) 知財戦略等に係る実施体制	30
(7) その他.....	32
3. 個別の研究開発テーマ.....	32
(1) 【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	32
(2) 【量子コンピューティング】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.....	33
(3) 【量子コンピューティング】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 ..	34
(4) 【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に向けたロードマップ等策定	35
(5) 【量子セキュリティ・ネットワーク】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	36
(6) 【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.....	37
(7) 【量子セキュリティ・ネットワーク】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	38
(8) 【量子センシング】量子センシング等の利用・試験・評価環境の構築.....	40

(9) 【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.....	41
(10) 【量子センシング】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.....	42
(11) 【イノベーション創出基盤】新事業・スタートアップ企業の創出・支援	43
(12) 【イノベーション創出基盤】教育プログラムの開発と実践.....	43
(13) 【イノベーション創出基盤】アイデア発掘	44
(14) 【イノベーション創出基盤】エコシステム構築.....	45

I. Society5.0 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、Society5.0 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。

- 国内の量子技術の利用者 1000 万人
- 量子技術による生産額 50 兆円規模
- 未来市場を切り開く量子ユニコーンベンチャー創出(各サブ課題で数社以上ずつ)

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り組みを並行して進め、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。

上記の取り組み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・取り組みが不足している。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り組みが始まっており、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。

こうした状況から、SIP における本課題では、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。

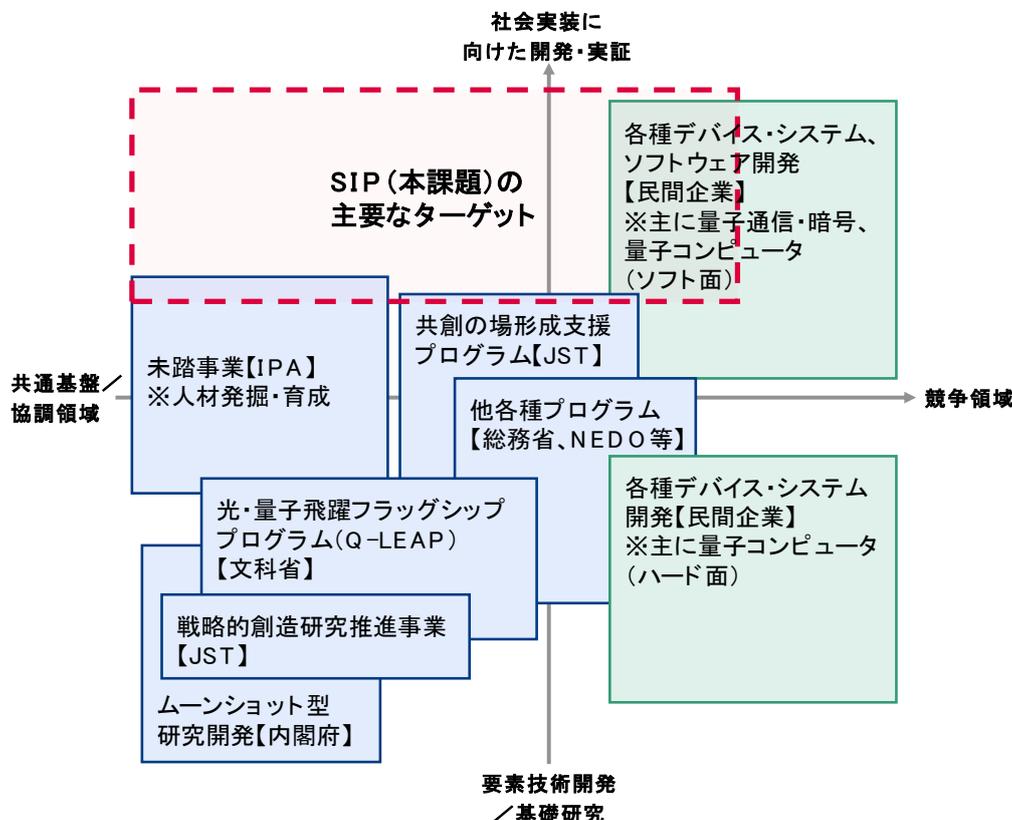


図 II-1 国内の主な研究開発投資の状況と本課題の位置づけ

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

a) 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 で開発する「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。

b) 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材料を対象とし、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。

c) 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

a) 取組 D：ユースケース開拓【SIP 内で実施】

- (量子コンピューティング、量子センシング) 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。

b) 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、大企業に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

a) 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し標準化の推進を主導する。
- (量子セキュリティ・ネットワーク) 現在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。

b) 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

a) 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。

b) 取組 I：ロードマップ作成／サプライチェーン強靱化【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、安定的かつ強靱なサプライチェーンの実現を図る。

⑤ 人材

a) 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】

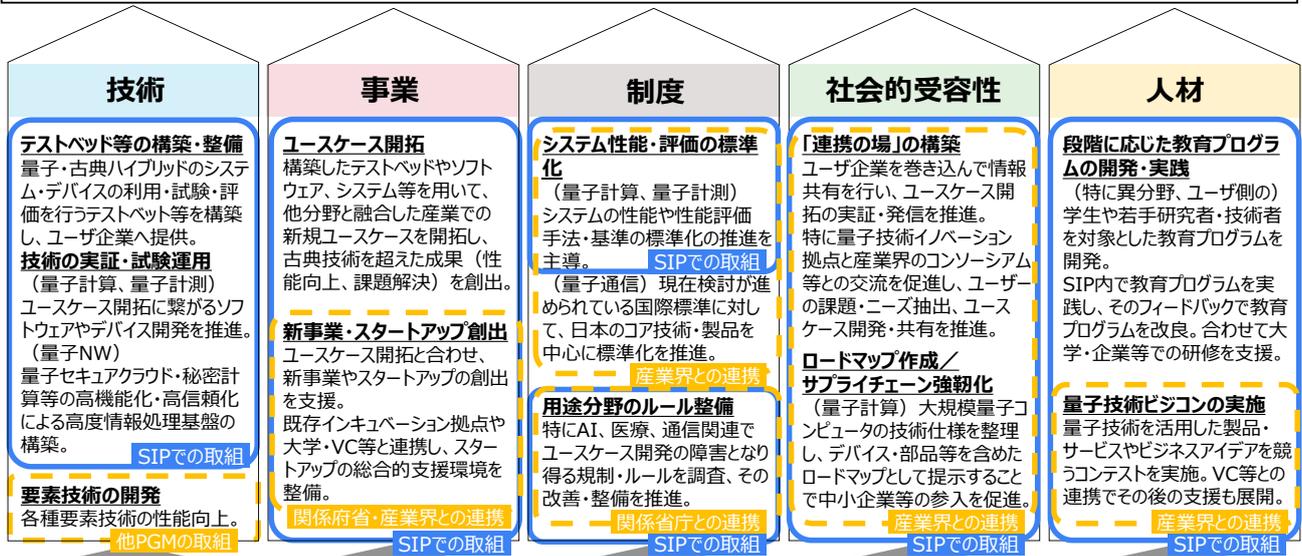
- 主に量子技術のユーザ側人材の量・質確保を目指し、学部・大学院学生、(特に異分野の)若手研究者・技術者を対象とした教育プログラムを開発する。量子技術のユーザ側人材に求められる人材像(知識・スキル)を検討した上で、その育成に必要な教育プログラムを作成する。
- 学生向け教育プログラムは大学等へ提供して普及・活用を支援する。技術者等向け教育プログラムについては、SIP 内で研修を実践してユーザ人材を育成すると共に、そこからのフィードバックを反映しつつ、大学・企業等による研修の普及・展開を支援する。

b) 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。

■ ミッション

量子技術と古典技術のハイブリッドによる、「現実の社会・産業課題の具体的な解決事例」を創出し、人材と投資を惹きつける。「量子未来社会ビジョン」で提示されている目標（2030年時点での「量子技術の利用者1000万人」「量子技術による生産額50兆円規模」「未来市場を切り開く量子ユニコーンベンチャー創出」）達成に向け、SIP終了時点で目途をつける。



■ 社会実装に関わる現状・問題点

量子技術は、社会にインパクトをもたらす技術として期待されているが、個別技術はまだ基礎検証段階であり、長期にわたる技術開発が必要。社会実装の推進には優秀な人材やスタートアップの力が不可欠だが、日本ではこれらの量・質が不足。社会実装の推進・可視化と人材・投資の確保を両睨みで進め、「社会実装⇔人材・投資の確保」の好循環を確立することが肝要。そのため、試験環境や共通技術基盤の整備といった、いわゆる「協調領域」の取り組みを府省連携の下で推進することが不可欠。

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

これまで述べて通り、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り組みを通じて、「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り組みを行う。

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。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・ユーザー間の情報共有、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。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とおりであり、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」を幅広いユーザー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たれた取組、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。

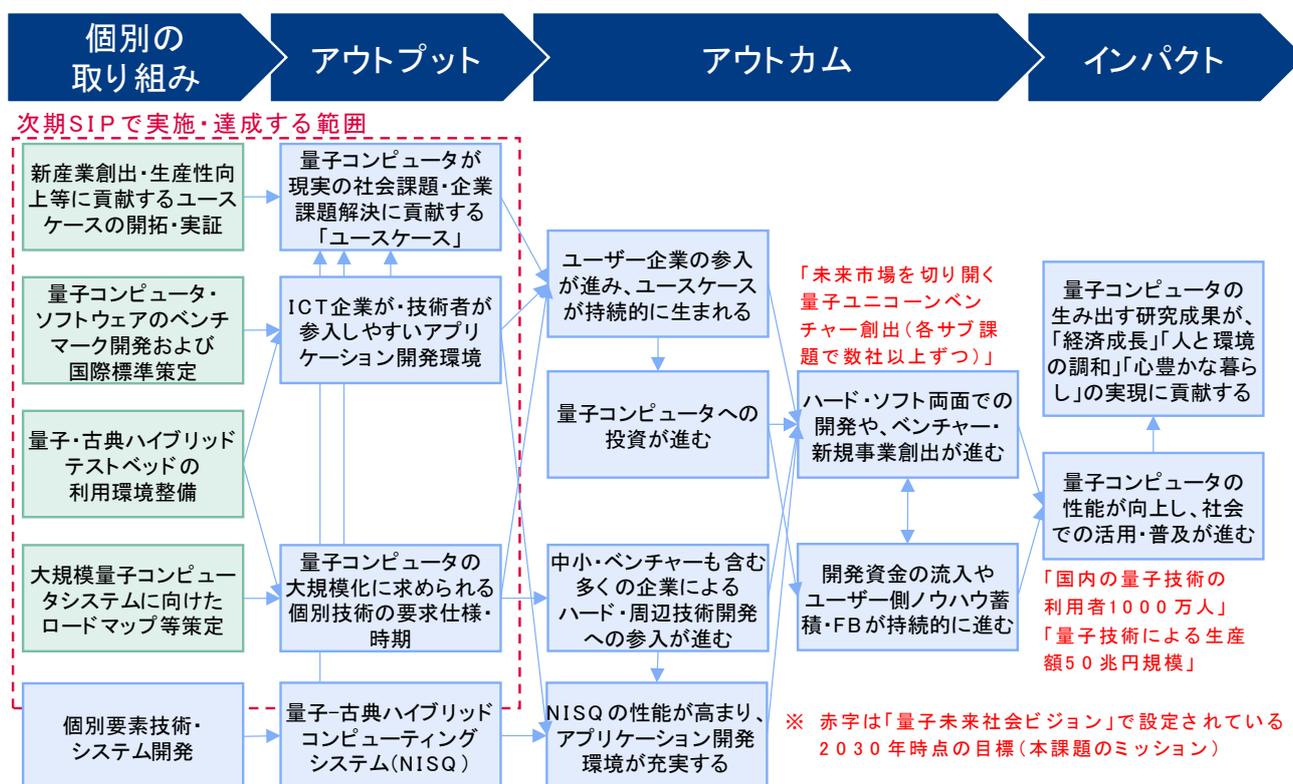


図 II-3 ミッション達成に向けたシナリオ(量子コンピューティング)

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、標準化・ルール整備やユーザと連携した実証、次世代コンピューティング基盤、秘密計算及び次世代暗号基盤の開発に重点を置き、特に量子セキュアクラウドを用いた高度情報処理基盤に注力する。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。こうした取り組みの結果として、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。

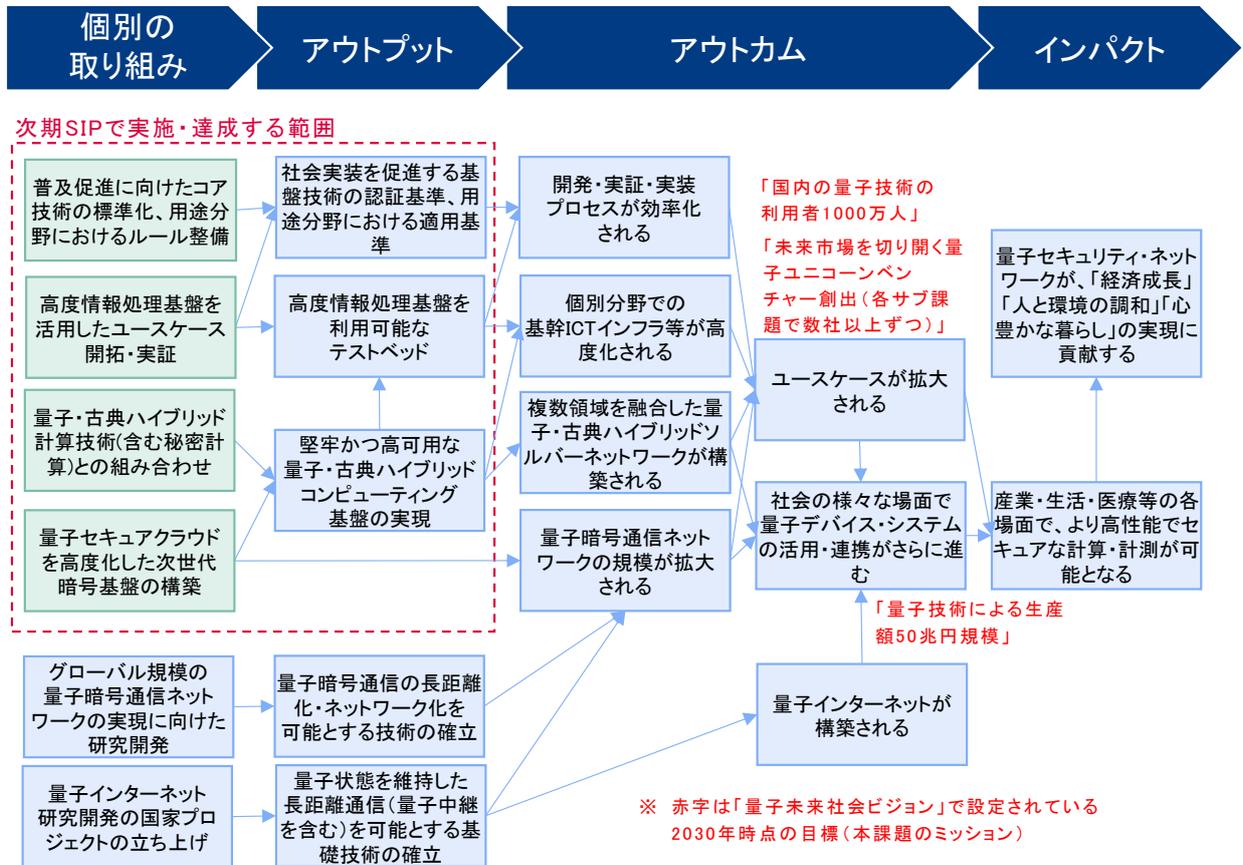


図 II-4 ミッション達成に向けたシナリオ(量子セキュリティ・ネットワーク)

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、次世代の安心・安全・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。

こうした取り組みの結果として、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・大学等が量子センシング・マテリアル等を容易に利用・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。

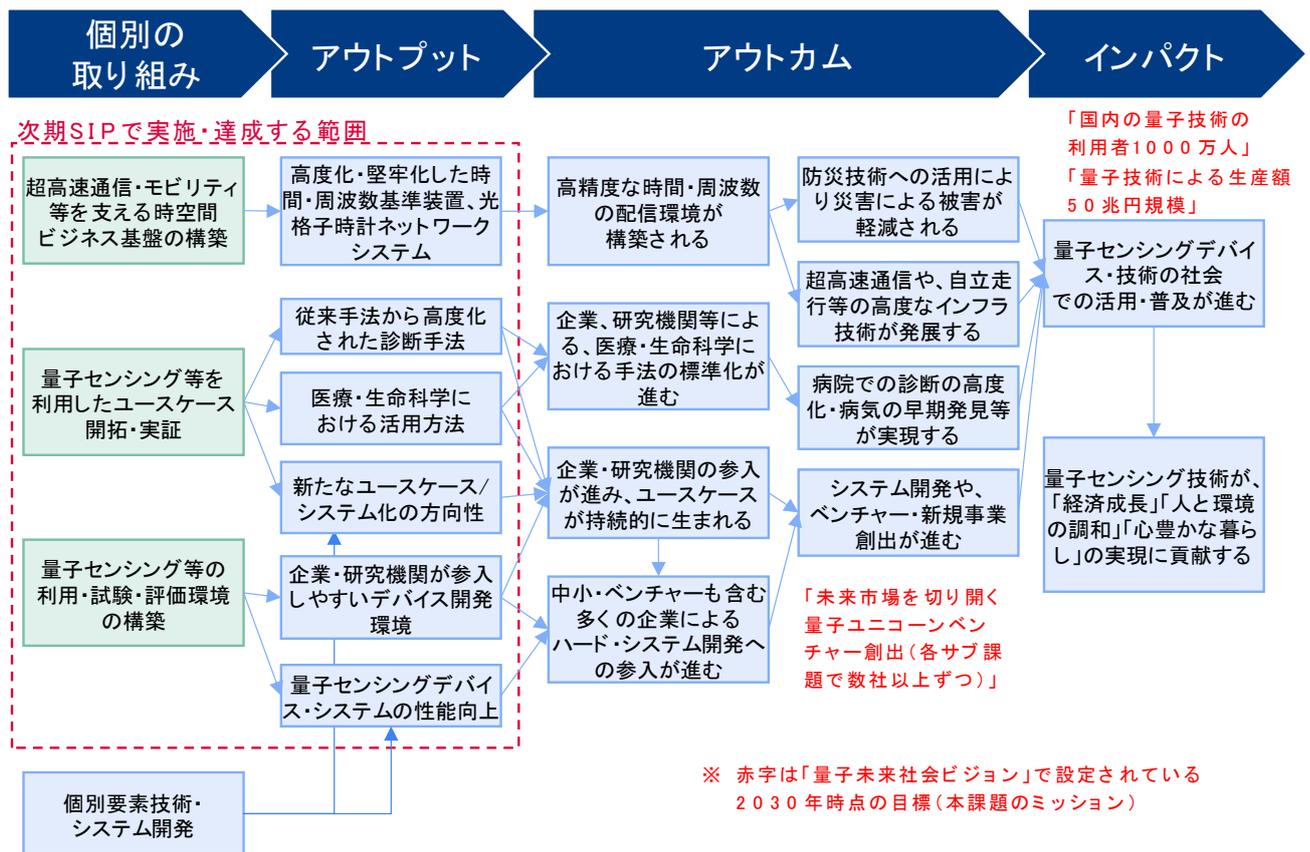


図 II-5 ミッション達成に向けたシナリオ(量子センシング)

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り組みを実施する。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り組みを進める。

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。

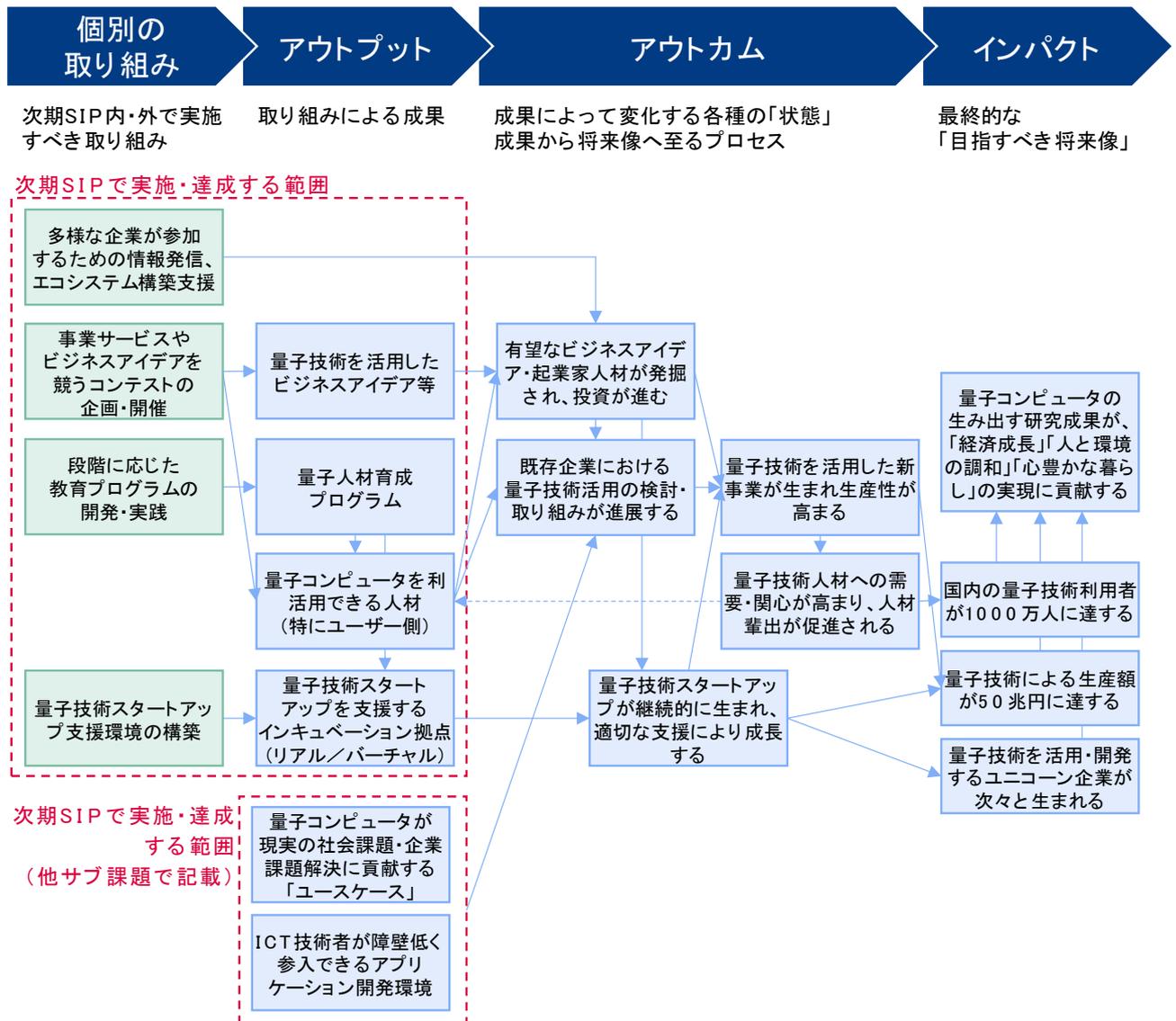


図 II-6 ミッション達成に向けたシナリオ(イノベーション創出基盤)

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-5 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 1000 万人」「ユニコーンベンチャー創出(各サブ領域数社ずつ)」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

a) 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。

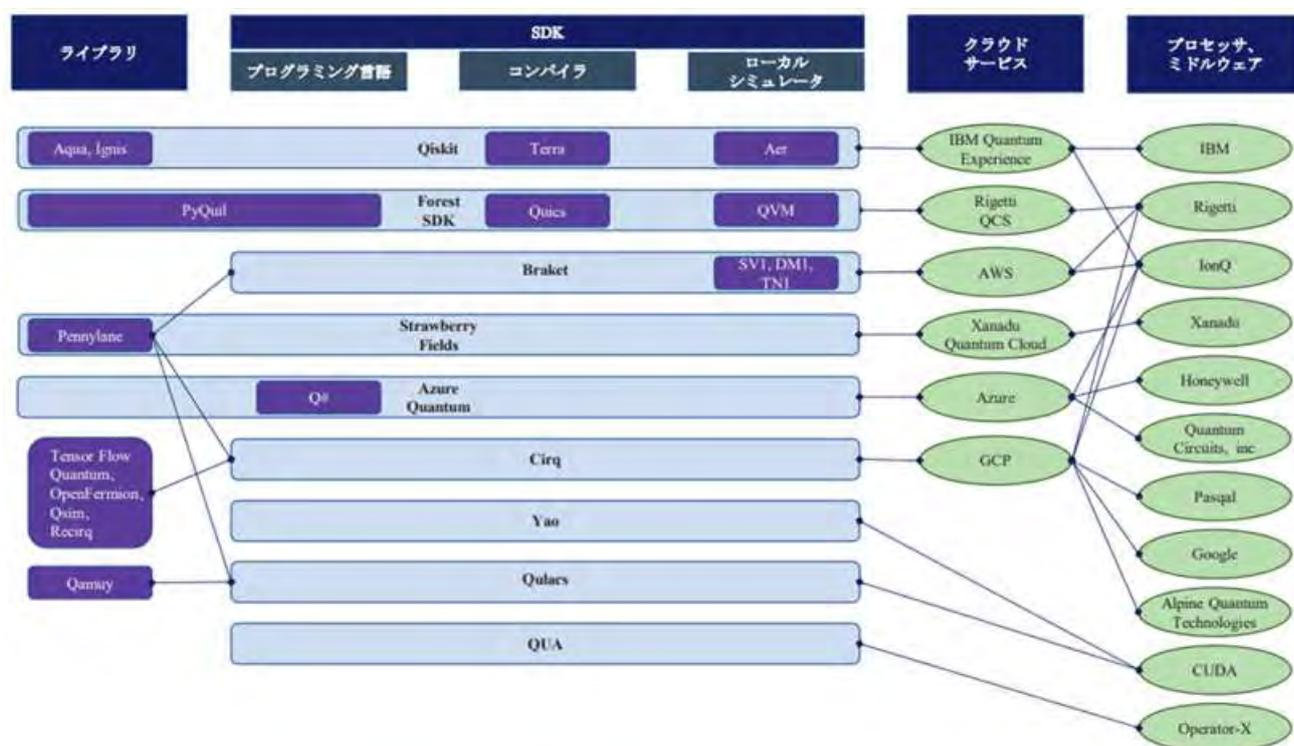


図 II-7 現在利用されているクラウドサービスおよび SDK

(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

量子技術開発の状況の特許動向でみると(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。

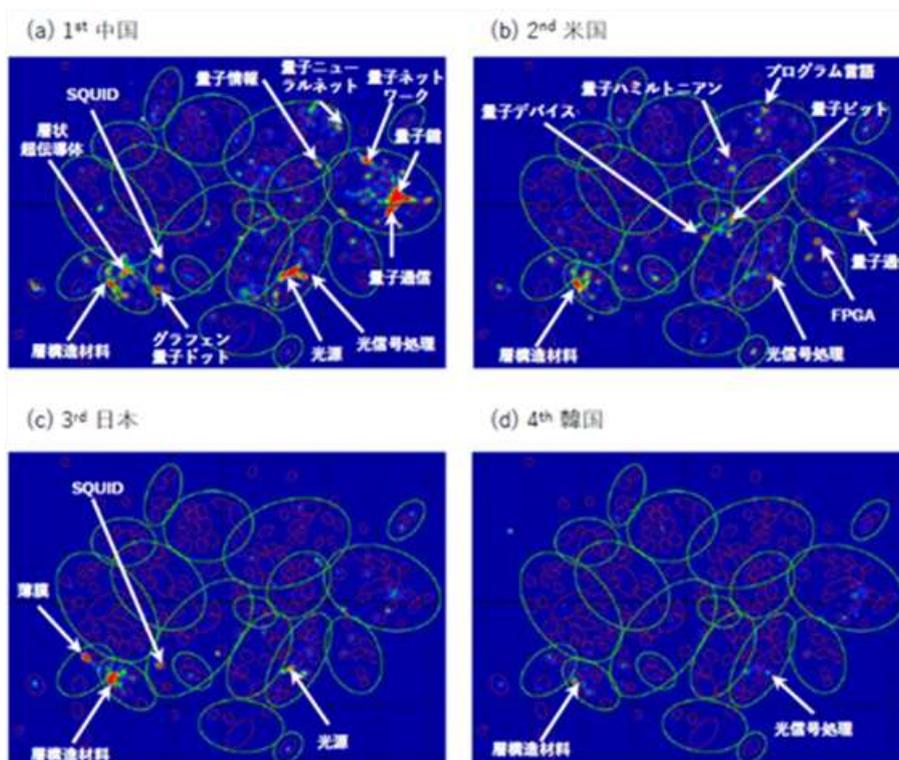


図 II-8 量子技術における各国の特許数

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り組みが見られるものの、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 国内外の主要なベンチャー企業

企業名	国	事業概要	分野		
			計算	NW	計測
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。	○		

企業名	国	事業概要	分野		
			計算	NW	計測
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。	○		
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フで開発し、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。	○		
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。	○		
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。	○		

企業名	国	事業概要	分野		
			計算	NW	計測
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。	○		
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。	○		
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。	○		
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。	○		
Diracq	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。	○		

企業名	国	事業概要	分野		
			計算	NW	計測
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。	○		

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 ICT コンソーシアム	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

出所)各組織ウェブサイト等から作成。

b) 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系・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。

また、量子ネットワーク構築に向けた実証については、欧州・米国・中国を中心に国家規模・国家間連

携で量子通信ネットワーク構築実証プロジェクトが実施・構築されており、量子ネットワークのテストベッド構築や長距離化に向けた取り組みが既に実施されているのに対して、日本は遅れをとっている状況にある。

表 II-3 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。
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。

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-4 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)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量子暗号ネットワーク構成に関する標準化を実施 2. SG11: QKD ネットワーク・プロトコル仕様 3. 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 4. 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 5. 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)	<ol style="list-style-type: none"> 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
	国際標準化機構 国際電気標準会議	<ol style="list-style-type: none"> 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)	<ol style="list-style-type: none"> 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、2023 年頃に標準仕様を策定予定

出所)各組織ウェブサイト等から作成。

c) 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 中心などがある。また、量子センシング技術として例えば超偏極技術、超電導技術などがある。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。ダイヤモンド NV 中心では医療・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。超偏極技術では高感度な MRI/NMR へ適用する研究がある。超電導技術では医療・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 中心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¹。一方で、量子センシング領域全体で欧米と比べると論

¹ 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

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り組みが必要である。

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す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り組みも必要である。

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す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。

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り組み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、大まかに 4 つの時期に分類されると想定されている。

- I. 現在(2020~2022 年頃) : 数億米ドル規模
- II. NISQ 期(~2020 年代後半) : 各社ともに 30%前後の年平均成長率(CAGR)を想定
- III. NISQ→FTQC 移行期(2030 年代前半) : 100~1,000 億米ドル規模
- IV. FTQC 期(2030 年代後半~) : 1,000 億~1 兆米ドル規模

また、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-5 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

(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。

- 国内の量子技術の利用者 1000 万人
- 量子技術による生産額 50 兆円規模
- 未来市場を切り開く量子ユニコーンベンチャー創出(各サブ課題で数社以上ずつ)

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 イノベーション創出基盤

1. 異分野の学生・若手研究者や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

ステージゲート時点(3年目)までに(比較的短期間で)実用化可否が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。

その他の取り組み(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とするが、(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のが難しい(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、各取組の間での連携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り組みを進める。

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、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、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。

「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、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。

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。

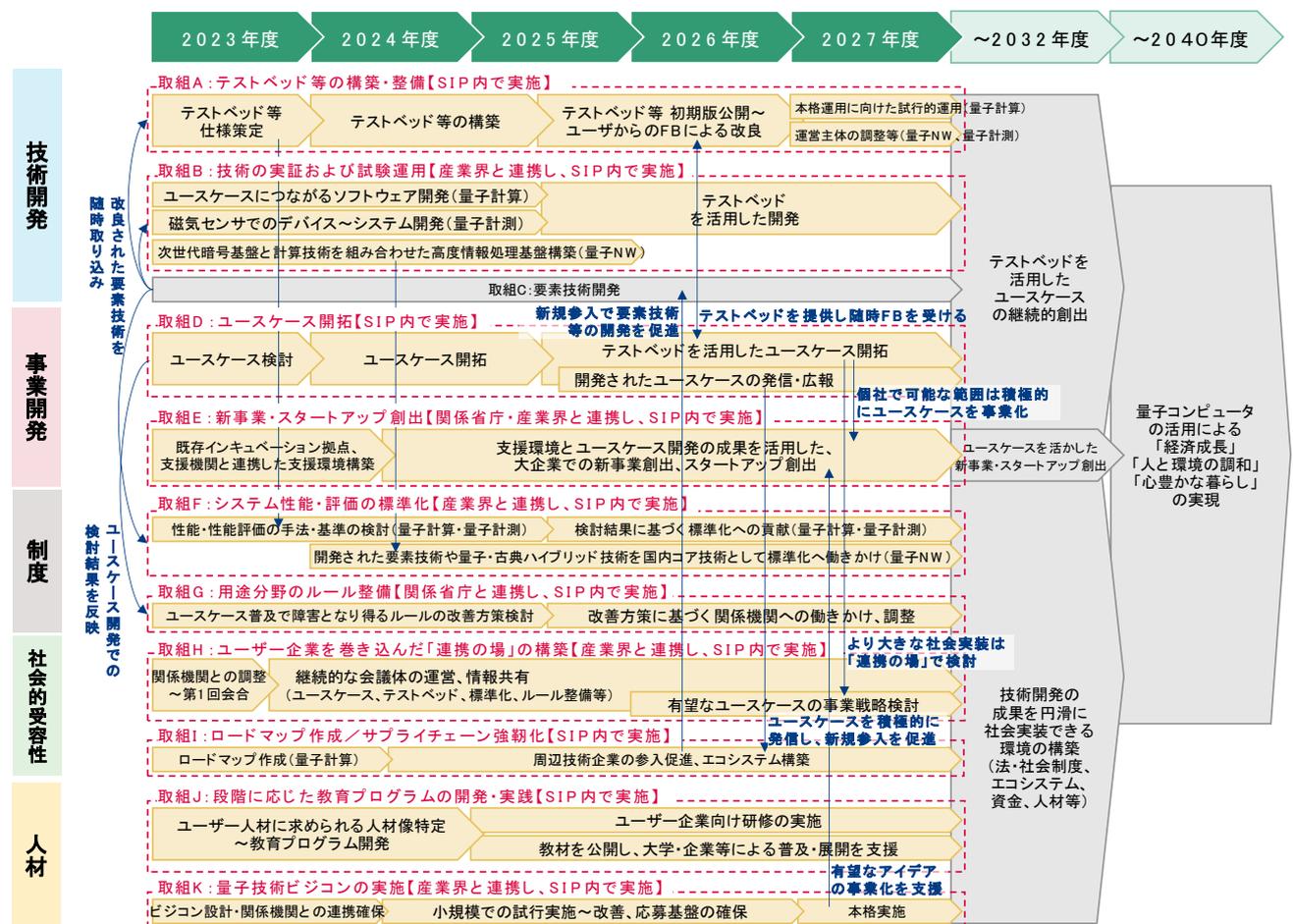


図 II-9 ロードマップ

(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り組み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-6～表II-10を参照。

表 II-6 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
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(量子技術ユーザー企業)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-7 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(量子技術ユーザー企業)、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

本課題における BRL (Business Readiness Level) の定義		
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。
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-8 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-9 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。
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-10 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ムング、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、チームングの適正等)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。

本課題における HRL (Human Resources Readiness Level) の定義		
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広がる状態。
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。

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」においては、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。

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
<p>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。</p>	<p>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・古典計算資源を高密度回線ネットワーク化・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。</p>	<p>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。</p>	<p>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。</p>
<p>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。</p>	<p>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。</p>	<p>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。</p>	<p>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。</p>
<p>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向定し、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。</p>	<p>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。</p>	<p>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。</p>	<p>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。</p>
<p>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靱化を図る。</p>			<p>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。</p>

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(有償で)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²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

² 小川紘一「オープン&クローズ戦略」によれば、「オープン」とは、製造業のグローバル化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

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³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、既に進められている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、知財委員会等の場でベンダー・ユーザー双方を交えた検討・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(内閣府、文部科学省、経済産業省、総務省)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

- 課題または課題を構成する研究項目ごとに、知財委員会を研究推進法人等または選定した研究責任者の所属機関(委託先)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。

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

³ 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について

- 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】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「量子コンピューティング」の研究開発テーマ(2)(3)(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》
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》

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・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。

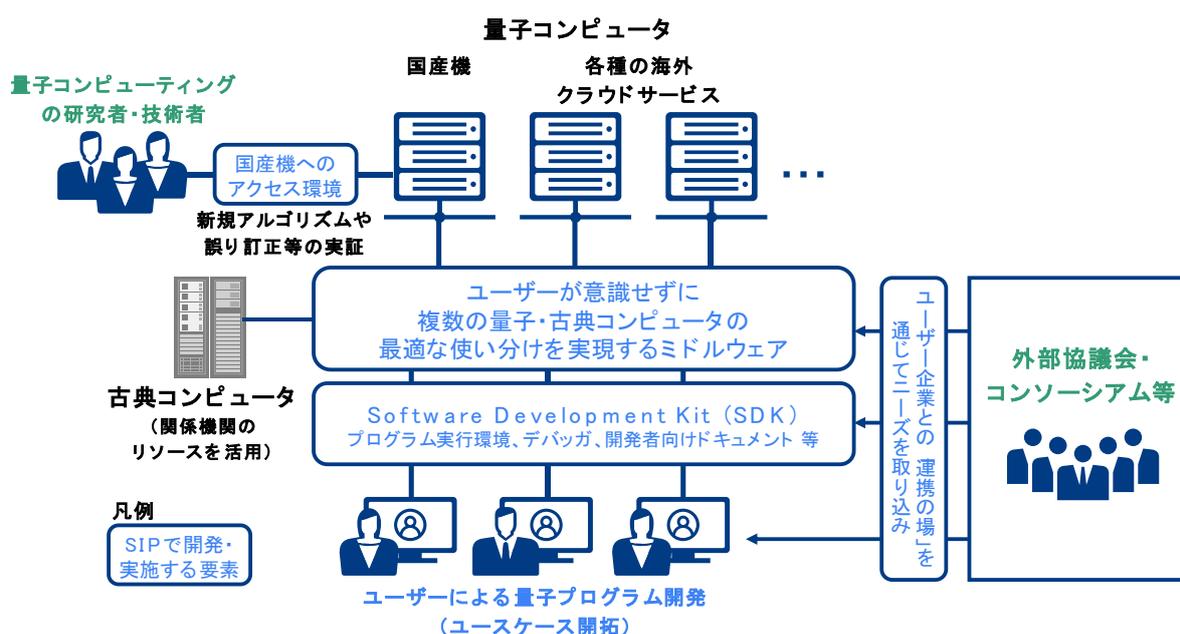


図 III-2 【量子コンピューティング】テストベッド利用環境

(2) 【量子コンピューティング】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》

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。

(3) 【量子コンピューティング】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。

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》
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》

① 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。

(4) 【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、安定的かつ強靱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》
2. 2027年度までに、主要な技術方式の量子コンピュータ(例:超電導、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》

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、2022年11月時点で400量子ビット級の超伝導NISQ(ノイズ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。本プロジェクト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、安定的かつ強靱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:超電導、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。

(5) 【量子セキュリティ・ネットワーク】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

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、より堅牢かつ高い可用性をもつデータの保管・交換を可能とする次世代暗号基盤を構築するとともに、次世代暗号基盤上で様々な量子・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、本技術を用いて幅広いユーザがアプリケーション開発等に利用可能なテストベッドの開発・整備を行い、国内における量子技術の活用機会のさらなる拡大を目指す。

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》
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》

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。

本研究開発テーマでは、多地点化(10拠点程度)により冗長性を有する量子暗号通信網を構築し、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することで、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を実証する。また、量子コンピュータでも解読が困難な耐量子計算機暗号