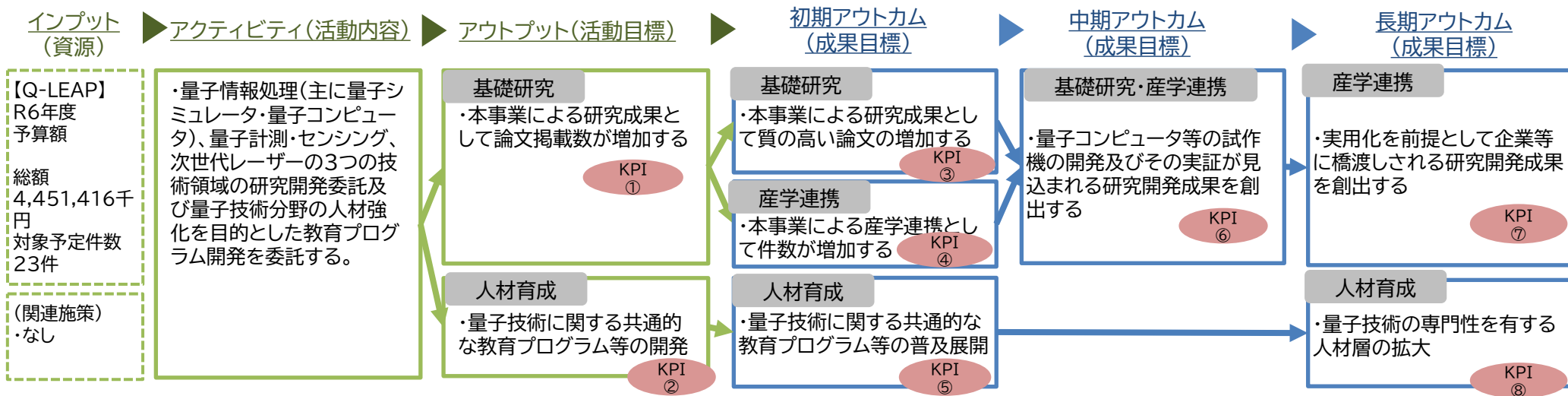


「光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)」ロジックモデル (R6年度予算額:4,451百万円)

本事業の目的

・第6期科学技術・イノベーション基本計画において、量子科学技術(光・量子技術)を新しい価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術の1つと位置付けている。量子科学技術における近年の目覚ましい進展により、Society 5.0実現に向けた社会課題の解決と産業応用を視野に入れた新しい技術体系が発展する兆しがある。これらの状況を踏まえ、経済・社会的な重要課題に対して、量子科学技術を駆使して非連続的な解決(Quantum Leap)を目指す研究開発プログラムを実施することにより、量子技術の実用化を目指す。

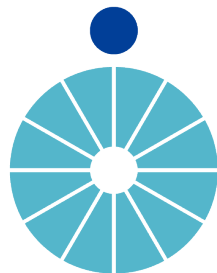


測定指標と目標値

- KPI ①** ・本事業による研究成果の論文掲載数(累計) (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ②** ・開発した量子技術に関する共通的な教育プログラムの数 (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ③** ・本事業の研究成果によるTOP10%論文数が過去3年間平均を上回ること (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ④** ・本事業開始後に締結した共同研究契約の件数 (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ⑤** ・量子技術に関する共通的な教育プログラムを普及した大学等の数 (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ⑥** ・本事業のステージゲート評価(5年目、8年目)において、SまたはA評価(※)の評価を得たFlagshipプロジェクトの割合 (R4年:100%→R7年:100%)
※マイルストーンの達成状況(例:量子コンピュータでは、5年目に50量子ビット実装等)、企業等への橋渡しの見通し状況等の評価項目を満たすとA評価、特に優れたところが認められるとS評価
- KPI ⑦** ・実用化を前提として企業等に橋渡ししたFlagshipプロジェクトの件数 (事業終了時に集計→目標:5件)
- KPI ⑧** ・量子技術に関する共通的な教育プログラムを受講した人数 (事業終了時に集計)

光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP)

補足説明資料



文部科学省 研究振興局 基礎・基盤研究課 量子研究推進室

光・量子フラッグシッププログラム (Q-LEAP)

現状・課題

- ✓ 量子技術は、**将来の経済・社会に大きな変革をもたらす源泉・革新技術**。そのため、米国、欧州、中国等を中心に、**諸外国においては「量子技術」を戦略的な重要技術として明確に設定し投資が大幅に拡大**。我が国は、量子技術の発展において諸外国に大きな後れを取り、**将来の国の成長や国民の安全・安心の基盤が脅かされかねない状況**。**量子技術をいち早くイノベーションにつなげることが必要**。
- ✓ 令和5年4月に策定された「**量子未来産業創出戦略**」等に基づき、**研究開発及び人材育成を強力に推進**。

【量子未来産業創出戦略（令和5年4月14日）】

量子技術による社会変革に向けた戦略として策定した「量子未来社会ビジョン（令和4年4月）」において掲げられた目標を実現していくため、産学官の連携の下、量子技術の実用化・産業化に向けて目指すべき方針や、当面の間、重点的・優先的に取り組むべき具体的な取組を示した戦略。

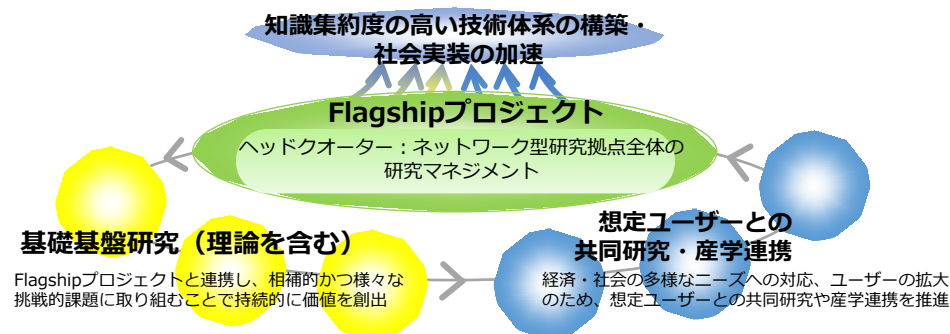
事業内容

【事業の目的】

- ✓ **Q-LEAPは、経済・社会的な重要課題に対し、量子科学技術を駆使して、非連続的な解決（Quantum leap）を目指す研究開発プログラム**

【事業概要・イメージ】

- ✓ 技術領域毎に**プログラムディレクターを任命し、適確なベンチマーク**のもと、実施方針策定、予算配分等、**きめ細かな進捗管理**を実施
- ✓ **Flagshipプロジェクト**は、**司令塔となる専門人材**を置き**研究拠点全体の研究開発マネジメント**を行い、事業期間を通じて**試作機を開発・実証し企業への橋渡し**までを行い、企業（ベンチャー含む）等へ橋渡し
- ✓ **基礎基盤研究**はFlagshipプロジェクトと**相補的かつ挑戦的な研究課題**を選定



【事業スキーム】

- ✓ 事業規模：6～12億円程度／技術領域・年
- ✓ 事業期間(H30～)：**最大10年間**、ステータゲート評価の結果を踏まえ研究開発を変更又は中止



【対象技術領域】

(各領域の実施機関は令和6年3月現在)

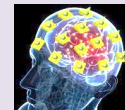
技術領域1 量子情報処理（主に量子シミュレータ・量子コンピュータ）

- ◆ **Flagshipプロジェクト（2件：理研、大阪大）**
 - 初の国産量子コンピュータ^(※)の開発、クラウド公開の実現
 - 画像診断、材料開発、創薬等に応用可能な**量子AI技術を実現**
- ◆ **基礎基盤研究（5件：分子研、慶應大、大阪大、産総研、NII）**
 - 量子シミュレータ、量子ソフトウェア等の研究



技術領域2 量子計測・センシング

- ◆ **Flagshipプロジェクト（2件：東工大、QST）**
 - **ダイヤモンドNVセンタ**を用いて**脳磁等の計測システムを開発し**、室温で磁場等の高感度計測
 - 代謝のリアルタイムイメージング等による**量子生命技術を実現**
- ◆ **基礎基盤研究（6件：京大、東大、学習院大、電通大<2件>、NIMS）**
 - 量子もつれ光センサ、量子原子磁力計、量子慣性センサ等の研究



技術領域3 次世代レーザー

- ◆ **Flagshipプロジェクト（1件：東大）**
 - ①**アト(10⁻¹⁸)秒スケールの極短パルスレーザー光源等の開発**及び
 - ②**CPS型レーザー加工にむけた加工学理等を活用したシミュレータの開発**
- ◆ **基礎基盤研究（4件：大阪大、京大、東北大、QST）**
 - 強相関量子物質のアト秒ダイナミクス解明、先端ビームオペランド計測等の研究



領域4 人材育成プログラムの開発（3件：NII、民間企業<2件>）

- 我が国の量子技術の次世代を担う人材の育成を強化するため、**量子技術に関する共通的な教育プログラムの開発**を実施

<予算推移>

(億円)

H30	R1	R2	R3	R4	R5	R6
22	22	32	35	37	42	45

(担当：研究振興局基礎・基盤研究課量子研究推進室)

Q-LEAPの研究開発課題

- 3つの技術領域と人材育成領域を設置。
- 各技術領域において、Flagshipプロジェクトは量子技術を活用した**試作機を開発・実証し企業への橋渡し**を目指すとともに、**基礎基盤研究は、Flagshipプロジェクトと連携し、Flagshipプロジェクトと相補的かつ挑戦的な課題**に取り組む。

技術領域 1 量子情報処理



国産量子コンピュータ^(※)や量子ソフトウェアの実用化を目指し、試作機を開発し実証を行う。
※NISQ:小規模で誤りを訂正する機能を持たない量子コンピュータ

- Flagshipプロジェクトでは、世界で開発が最も進んでいる**超電導方式**の量子コンピュータ等の開発を実施
- 基礎基盤研究では、**超電導方式と別の方式**（原子/イオン/半導体）のより挑戦的な課題に取り組み、新たな知見の創出を目指す
 - ◆ Flagshipプロジェクト（2件：理研、大阪大）
 - ◆ 基礎基盤研究（5件：分子研、慶應大、大阪大、産総研、NII）

技術領域 3 次世代レーザー



高精度なレーザー加工やアト(10^{-18})秒スケールレーザーの実現を目指し、試作機を開発し実証を行う。

- Flagshipプロジェクトでは、機械学習を活用した**高精度なレーザー加工**や**超高速現象の計測**等の技術開発を実施
- 基礎基盤研究では、レーザー加工時の**損傷機構解明**や**基盤光源開発**などより挑戦的な課題に取り組み、新たな知見の創出を目指す
 - ◆ Flagshipプロジェクト（1件：東大）
 - ◆ 基礎基盤研究（4件：大阪大、京大、東北大、QST）

技術領域 2 量子計測・センシング



量子センサによる脳磁等の計測、細胞内の温度計測システム等の実現を目指し、試作機を開発し実証を行う。

- Flagshipプロジェクトでは、**ダイヤモンドNVセンタ**を用いた量子センサ等の開発を実施
- 基礎基盤研究では、**高品質なダイヤモンド作製技術**や**別の方式の量子センサ**等のより挑戦的な課題に取り組み、新たな知見の創出を目指す
 - ◆ Flagshipプロジェクト（2件：東工大、QST）
 - ◆ 基礎基盤研究（6件：京大、東大、学習院大、電通大<2件>、NIMS）

人材領域 人材育成プログラムの開発・提供

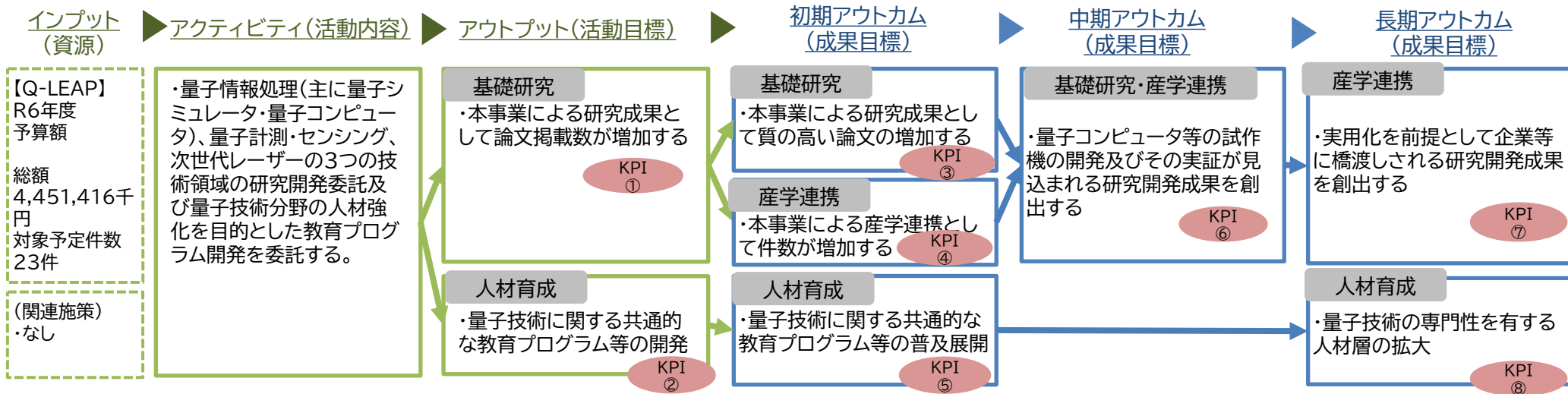
量子の専門性を有する研究者・技術者を増やすため、教材などの開発・提供を行い、人材が育つ環境を構築する。

- 共通のコアカリキュラムでは、学部から修士の学生を対象とした、**量子技術を体系的に学習できる教材の開発・試行、普及**を実施
- 独創的サブプログラム等では、各機関の特色を生かし、共通性や体系に縛られない**サマースクール**や**動画配信**などの企画を実施
 - ◆ 人材育成プログラムの開発（3件：NII、民間企業<2件>）

「光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)」ロジックモデル (R6年度予算額:4,451百万円)

本事業の目的

・第6期科学技術・イノベーション基本計画において、量子科学技術(光・量子技術)を新しい価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術の1つと位置付けている。量子科学技術における近年の目覚ましい進展により、Society 5.0実現に向けた社会課題の解決と産業応用を視野に入れた新しい技術体系が発展する兆しがある。これらの状況を踏まえ、経済・社会的な重要課題に対して、量子科学技術を駆使して非連続的な解決(Quantum Leap)を目指す研究開発プログラムを実施することにより、量子技術の実用化を目指す。



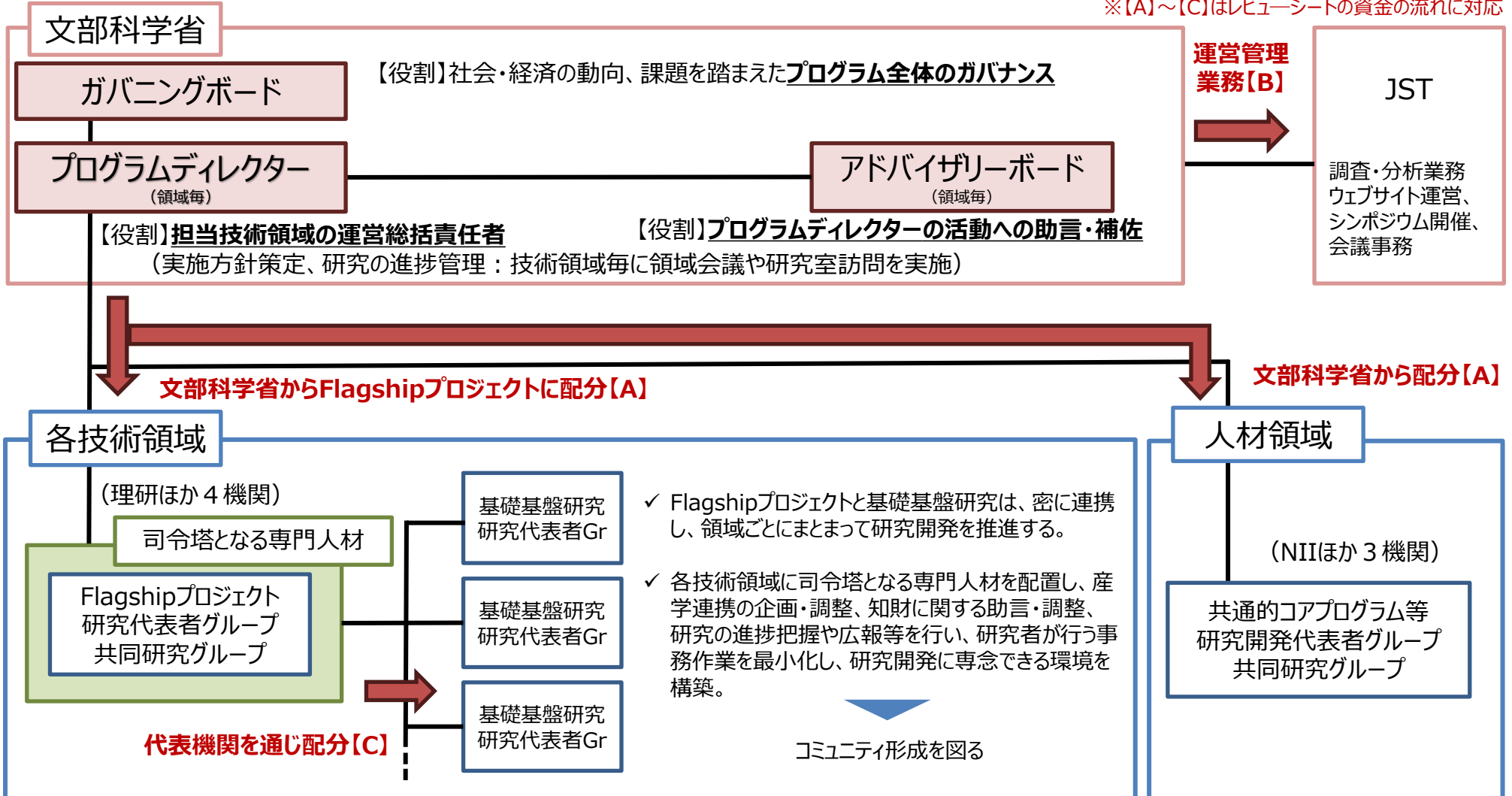
測定指標と目標値

- KPI ①** ・本事業による研究成果の論文掲載数(累計) (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ②** ・開発した量子技術に関する共通的な教育プログラムの数 (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ③** ・本事業の研究成果によるTOP10%論文数が過去3年間平均を上回ること (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ④** ・本事業開始後に締結した共同研究契約の件数 (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ⑤** ・量子技術に関する共通的な教育プログラムを普及した大学等の数 (R5年:集計中⇒R6年:集計値を踏まえて設定)
- KPI ⑥** ・本事業のステージゲート評価(5年目、8年目)において、SまたはA評価(※)の評価を得たFlagshipプロジェクトの割合 (R4年:100%→R7年:100%)
※マイルストーンの達成状況(例:量子コンピュータでは、5年目に50量子ビット実装等)、企業等への橋渡しの見通し状況等の評価項目を満たすとA評価、特に優れたところが認められるとS評価
- KPI ⑦** ・実用化を前提として企業等に橋渡ししたFlagshipプロジェクトの件数 (事業終了時に集計→目標:5件)
- KPI ⑧** ・量子技術に関する共通的な教育プログラムを受講した人数 (事業終了時に集計)

光・量子飛躍フラッグシッププログラム（Q-LEAP）の推進体制

- 文部科学省にガバニングボード等を設置し、研究開発の進捗管理などプログラムを運営する。
- プログラム・ディレクターが実施方針の策定などきめ細やかな進捗管理を行うとともに、各領域の研究開発のみならず、本格的な産学連携等も重視した、運営・実施体制を構築。
- JSTは、調査分析業務やウェブサイト運営、シンポジウム開催などのプロジェクトの運営管理に関する支援業務を実施する。

※【A】～【C】はレビューシートの資金の流れに対応



各課題の進捗管理とステージゲート評価について

- Q-LEAPは、最長10年間の事業期間で、基礎研究から試作機の開発・実証し企業への橋渡しまでを目指した研究開発を行うプログラム。着実にその研究開発目標を達成する観点から、プログラムディレクターによる**毎年度のきめ細やかな進捗管理**（領域会議（年2回）及び研究室訪問）に加え、ガバニングボードにより5年目冒頭と8年目冒頭に**研究開発中止も判断するステージゲート評価**を実施する。
- 5年目のステージゲート評価では、プログラムディレクターが設定した**マイルストーンに対する達成状況の観点**、8年目のステージゲート評価ではそれに加えて、**企業（ベンチャー含む）への橋渡しの見通し状況**、連携する企業等の研究開発投資の状況を含め、**企業との本格的産業連携の状況等の観点**から、研究開発の継続や変更、中止について厳格な評価を実施する。
- 主要な評点項目（5年目冒頭） → 書面及びヒアリングの内容を評価
 - ・4年間の研究開発の進捗状況（目標の達成度）の妥当性
 - ・今後の研究開発の目標及び実施計画の妥当性
 - ・研究開発体制の妥当性

R4年度に実施した5年目のSG評価では、**基礎基盤研究1件が設定したマイルストーンの達成が不十分であったため中止された**

1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
				ゲ ス テ ー ジ ゲ ー ト 評 価			ゲ ス テ ー ジ ゲ ー ト 評 価		

設定したマイルストーンに対する達成状況进行评估

設定したマイルストーンに対する達成状況に加え、企業（ベンチャーを含む）への橋渡し(※)見通しなどを評価

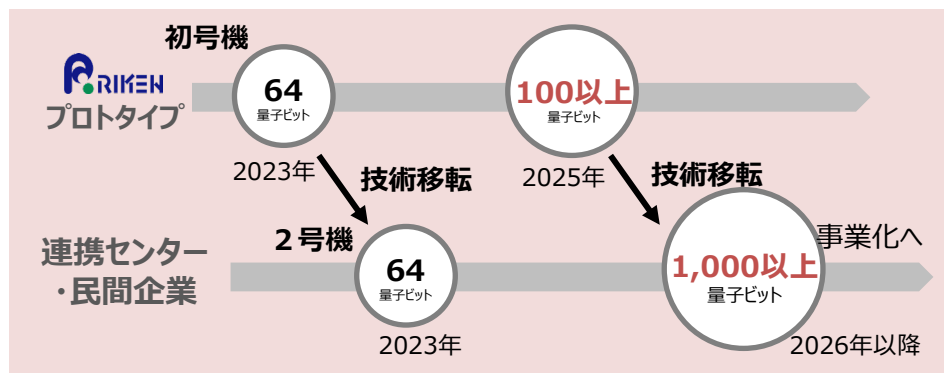
※橋渡しとは、本事業により研究開発された技術に関し、実用化を前提に企業に移転する契約を締結することや個別の製品開発に応用する研究開発段階へ移行する共同研究契約を締結するなど企業主導の開発に移った状態を想定。企業との契約は多様であり、ケースバイケースであるが、単なる共同研究は本事業の成果の橋渡しとはならないと考えている。

世界の研究開発動向を踏まえたQ-LEAPの事業設計とこれまでの成果

- ✓ 量子技術分野に対する我が国の企業等の参入障壁を下げるため、基礎研究のみならず、**デバイス化や実使用環境を想定した性能試験といった試作機による実証まで一貫して支援**することで、企業等における新事業創出を促す
- ✓ 将来の技術が不透明で企業単独による開発が難しいことから産学連携を円滑に進めるため、各技術領域に司令塔となる専門人材を配置し、**産学連携の企画立案や、研究成果の特許の取扱い等に関する助言・調整等**を担うことで、大学・国研から企業等へのスムーズな技術移転を図る
- ✓ 産学の量子技術に関し専門性を有する人材が必要であることから、人材育成プログラムの開発により、主に高等教育段階における幅広い**量子技術を体系的に学習できるコンテンツ等を普及展開**することで、量子技術の研究開発等を担う人材を育成

<本事業における橋渡しの成果例>

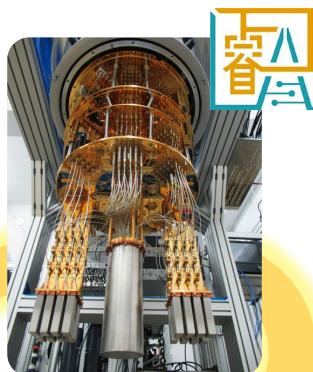
- 理研RQCにおいて、Q-LEAP等の研究成果をもとにした民間企業との共同研究を発展させ、当該企業との連携センターを設立。
- 連携センターでは、事業化に向けた研究開発を行っており、2023年には超伝導量子コンピュータ初号機の技術ベースに2号機を開発した。
- さらに、同企業は、国内企業として初となる商用量子コンピュータの外販を開始し、産総研から受注した（6月18日公表）
- 大阪大学量子情報・量子生命研究センター（QIQB）の研究開発の成果である量子コンピュータの制御装置を事業化するスタートアップを2021年7月に設立。



国産量子コンピュータ（超伝導方式）の公開について

2023年に**3機**の国産実機が公開

理化学研究所
量子コンピュータ
研究センター
(RQC)



RQC-富士通
連携センター



大阪大学
量子情報・量子生命
研究センター(QIQB)

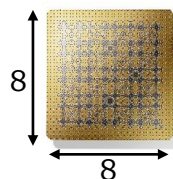


概要

- ✓ 理研（RQC）において**初号機**を令和5年3月に公開
- ✓ 同型の量子チップを用いて、同年**10月にRQC-富士通連携センター、12月に大阪大学が同型機を公開**
- ✓ クラウドを経由し、**企業・大学等の外部機関が遠隔地から利用可能**で、ユースケース創出の加速に期待

スペック（量子ビット数※）

※量子ビット数は一概に性能を示すものではなく、実用的な用途には100万量子ビット程度が必要とされていることに留意



初号機
搭載チップ
(8×8=64)



64量子ビット
(2023.3)



1,121[※]
(2023.12)

※川崎市の実機は127



72
(2024.1)



32
(2023.11)



IBM社量子コンピュータ

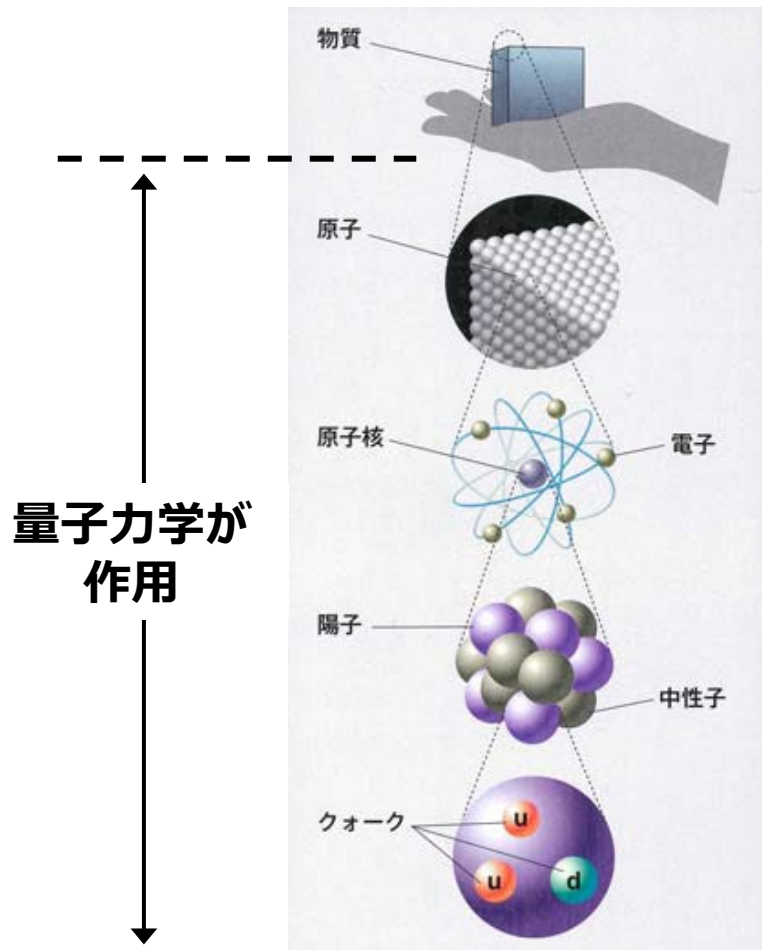
利用方針等

- ✓ 当面は**既存の共同研究先やコンソーシアムに参画するユーザに限定**して公開
- ✓ 今後は利用可能時間・運用人材等を充実。本格運用時には、産学官から幅広いユーザを公募
- ✓ **次世代機（100量子ビット級）の令和7年度公開に向けて研究開発を加速**

【参考 1】 量子技術とは

「量子」とは？

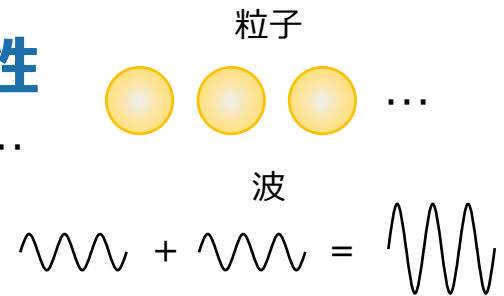
原子や電子・中性子・陽子などの**極めて小さな世界**では、**「量子力学」というとても不思議な物理法則が作用している**



量子の不思議な性質

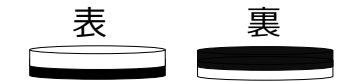
① 粒子と波の二重性

粒子のように1つ、2つ…と数えられるが、波のように干渉する

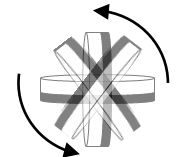


② 重ね合わせ

コインの表と裏のように異なる状態を同時に持つことができる



重ね合わせ (イメージ)



③ 量子もつれ

離れている2つの量子が、お互いに影響を及ぼし合う (2022年ノーベル賞)

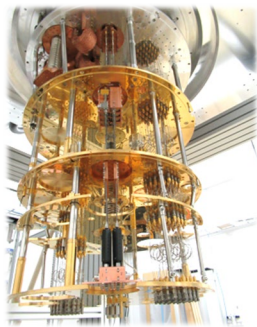
もつれ (イメージ)



二重性、重ね合わせ、量子もつれといった量子の性質を 積極的に操作・制御、利活用する技術

量子コンピューティング

- ✓ 量子重ね合わせ状態を制御し、**超並列・大規模情報処理による高速計算を実現**
- ✓ **現在のスパコンで不可能な計算を実時間で**
できる可能性

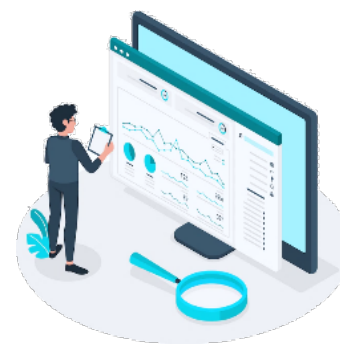


量子コンピュータ
(理化学研究所)



量子センシング

- ✓ ダイヤモンドの中の電子の量子状態を活用し、**微小な磁力を従来の10万倍の感度で計測**
- ✓ **脳からの磁力をコンパクトな装置で計測可能**



【参考 2】 Flagshipプロジェクト概要

研究開発のターゲットとTRLの関係について

TRL (技術成熟度)

9	大量生産	事業化
8	パイロットライン	
7	ユーザーテスト	実証
6	プロトタイプによる実証	
5	想定使用環境でのテスト	応用研究 ・開発
4	研究室レベルでのテスト	
3	技術コンセプトの確認	
2	原理・現象の定式化	基礎研究
1	基本原則・現象の発見	

企業 (ベンチャーを含む)

橋渡し

Q-LEAPのターゲット

- ✓ Flagship (～TRL6)
- ✓ 基礎基盤研究

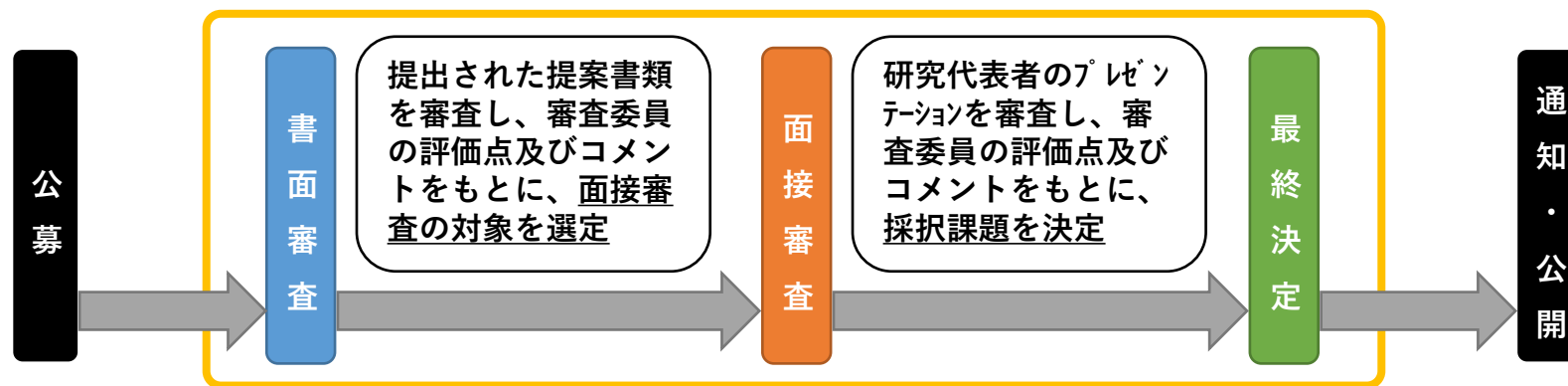
※TRL (Technology Readiness Level : 技術成熟度) そのものはNASAにより提唱、1989年に定義されたもの。

事業開始時の研究開発課題の採択審査について

■ 研究開発課題区分

区分	技術領域		人材領域	
タイプ	Flagshipプロジェクト	基礎基盤研究	共通のコアプログラム	独創的サブプログラム等
研究開発期間	最長10年	最長10年	最長6年	3～4年
研究費／年・件	2.5～6億円程度	0.2～1.6億円程度	8千万円程度	1.5～3千万円程度
ステージゲート	5年目、8年目冒頭	5年目、8年目冒頭	なし	なし
特徴	明確な研究開発目標・マイルストンの設定、PDによるきめ細かな進捗管理、 トップダウン的なアプローチの研究開発。プロトタイプによる実証（TRL6）を目指す。	Flagshipプロジェクトと連携し、 相補的かつ挑戦的な課題 に取り組み、サイエンスとして意義深い 新たな知見を創出する研究。	学部等から修士課程までを対象とした 量子技術を体系的に学習できる共通的なコアプログラム の開発。	各教育機関の特色を生かし、共通性や体系に縛られない量子技術に関する独創的なサブプログラムの開発。

■ 採択審査（外部有識者で構成される審査委員会が実施）



■ 採択時審査の評価項目

- (1) 研究開発の達成目標の妥当性 【目標の設定、国内外の技術ベンチマークの分析】
- (2) 研究開発の実施計画（マイルストーン）の妥当性 【マイルストーンの設定、出口戦略の立案、産学官への橋渡しの計画】
- (3) 研究開発の内容の妥当性 【具体的な研究開発の内容、協調・競争領域の設定、人材育成の取組】
- (4) 研究開発体制の妥当性 【研究拠点の体制、研究者の能力・実績、HQの体制、HQの能力・実績】
- (5) ワーク・ライフ・バランス等の推進に関する評価、その他（不合理な重複、過度の集中など）

R4ステージゲート評価（5年目）

	課題名	研究代表者	結果	継続可否
量子情報処理領域	(Flagship) 超伝導量子コンピュータの研究開発	中村 泰信 (理研)	S	継続
	(基礎基盤) アト秒ナノメートル領域の時空間光制御に基づく冷却原子量子シミュレータの開発と量子計算への応用	大森 賢治 (分子研)	S	継続
	(基礎基盤) 量子コンピュータのための高速シミュレーション環境構築と量子ソフトウェア研究の展開	藤井 啓祐 (阪大)	S	FSへ統合
	(基礎基盤) 量子ソフトウェア	山本 直樹 (慶應大)	A	継続
	(基礎基盤) 冷却イオンによる多自由度複合量子シミュレータ	豊田 健二 (阪大)	A	継続
	(基礎基盤) シリコン量子ビットによる量子計算機向け大規模集積回路の実現	森 貴洋 (産総研)	A	継続
	(基礎基盤) アーキテクチャを中心とした量子ソフトウェアの理論と実践	根本 香絵 (OIST)	A	継続
量子計測・センシング領域	(Flagship) 固体量子センサの高度制御による革新的センサシステムの創出	波多野 睦子 (東工大)	S	継続
	(基礎基盤) 量子もつれ光子対を利用した量子計測デバイスの研究	竹内 繁樹 (京大)	S	継続
	(基礎基盤) 高感度重力勾配センサによる地震早期アラート手法の確立	安東 正樹 (東大)	A	継続
	(基礎基盤) 光子数識別量子ナノフォトニクス of 創成	枝松 圭一 (東北大)	C	中止
	(基礎基盤) 2重に量子雑音を圧搾した量子原子磁力計の開発	柴田 康介 (学習院大)	B	変更
	(基礎基盤) 複雑分子系としての光合成機能の解明に向けた多次元量子もつれ分光技術の開発	清水 亮介 (電通大)	B	変更
	(基礎基盤) 量子センシング高感度化への複合欠陥材料科学	寺地 徳之 (NIMS)	A	継続
(基礎基盤) 次世代高性能量子慣性センサーの開発	中川 賢一 (電通大)	B	変更	
次世代レーザー領域	(Flagship) 光量子科学によるものづくりCPS化拠点	石川 顕一 (東大)	S	継続
	(基礎基盤) 超短パルスレーザー加工時の原子スケール損傷機構の解明に基づく材料強靱化指導原理の構築	佐野 智一 (阪大)	A	継続
	(基礎基盤) 先端ビームによる微細構造物形成過程解明のためのオペランド計測	橋田 昌樹 (京大)	A	継続
	(Flagship) 次世代アト秒レーザー光源と先端計測技術の開発	山内 薫 (東大)	A	継続
	(基礎基盤) 強相関量子物質におけるアト秒光機能の開拓	岩井 伸一郎 (東北大)	A	継続
	(基礎基盤) 自由電子レーザーで駆動する高繰り返しアト秒光源のための基礎基盤技術の研究	羽島 良一 (QST)	A	継続

S: 評価項目を満たしており、特に優れたところが認められる、A: 評価項目を満たしており、課題の継続実施が妥当である、
 B: 評価項目をほぼ満たしているが、課題を継続実施する場合には、改善・見直しを要する、C: 評価項目を満たしておらず、課題の継続実施は妥当ではない

【参考】【Flagshipプロジェクト①】「量子情報処理(主に量子シミュレータ・量子コンピュータ)」

採択課題 超伝導量子コンピュータの研究開発

研究代表者 理化学研究所・創発物性科学研究センター 中村 泰信チームリーダー

(共同研究機関) 東京大学、産業技術総合研究所 情報通信研究機構、QunaSys、MDR、東芝、NEC、NTT、
京都大学、大阪大学、名古屋大学、東京医科歯科大学

概要 超伝導量子ビットを用いた、古典計算機の限界を超える計算を可能にする量子計算プラットフォーム拠点を構築
3次元パッケージング技術を提案し、**100量子ビット**以上を実装
量子コンピュータ上で優位性を示すアプリケーションの開拓、クラウドサービスによる利用者への提供

研究開発目標

- ・3次元パッケージングによる**100量子ビット**以上の実装
- ・クラウドサービスによるアプリケーションの利用者への提供

マイルストーン

- ・5年後：**50量子ビット**実装、**高忠実度***1な制御および観測を実現
50量子ビットシステムのクラウドサービスを開始
- ・10年後：**100量子ビット**実装、**高忠実度***2な制御および観測を実現
100量子ビットシステムのクラウドサービスを開始、**実利用**に向けた応用

*1 1量子ビットゲート>99.9%、2量子ビットゲート>99%、読み出し>99%)

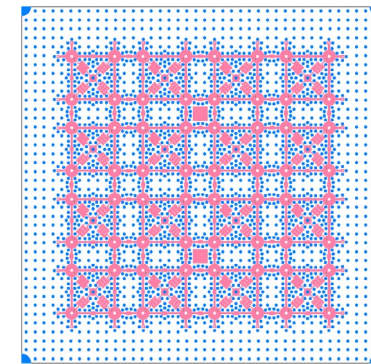
*2 1量子ビットゲート>99.95%、2量子ビットゲート>99.9%、読み出し>99.9%)

出口戦略

- ・クラウドシステムの構築運用：**連携企業と協働**
- ・ハードウェア技術：**コンソーシアム**の設置、**連携企業**の開拓により
産学共同で開発・**実用化**を目指す

研究基盤の強化・次世代人材の育成

- ・**次世代のリーダー**候補となる若手研究者をPIとして採用
- ・博士課程学生を**研究員等**として雇用
- ・海外の研究グループと連携、**国際的な人事交流**
- ・研究開発**コンソーシアム**の設立
- ・研究者・学生のキャリアパス確保の支援



20 mm × 20 mm

量子ビット集積チップ (イメージ)



超伝導量子ビット集積回路の性能向上

【参考】【Flagshipプロジェクト②】「量子情報処理(主に量子シミュレータ・量子コンピュータ)」量子AI

採択課題 知的量子設計による量子ソフトウェア研究開発と応用

研究代表者 大阪大学 先導的学際研究機構 量子情報・量子生命研究センター 藤井啓祐 副センター長
(共同研究機関) 慶應義塾大学、名古屋大学、東京大学、京都大学、NTT、e-Trees Japanなど

- 概要**
- 量子コンピュータの性能を引き出すためのソフトウェアを開発、アーキテクチャ設計を実施、ベンチャー企業等による実装
 - ハードウェア性能の理論的解析、量子優位性を解析するツールを開発、理論的保証のついた量子アルゴリズムを開発
 - NISQコンピュータを利用した量子回路設計法を開発。データ分類、化学反応シミュレーション、金融工学など実課題へ応用

研究開発目標

- NISQの性能を賢く引き出すためのソフトウェア・アーキテクチャの構築。超伝導量子コンピュータへの実装
- 量子優位性を活用したアプリケーションの利用者への提供。量子AIによる実問題の解析

マイルストーン

- 5年後：データ分類、化学反応シミュレーション、金融工学解析のアルゴリズムのライブラリ公開
量子回路解析ツールの開発・クラウド公開、物理エミュレータの構築・クラウド公開
- 10年後：量子AIの物性・機械学習への方法論を実問題へ適用
NISQコンピュータにおける量子回路設計ツールの開発・クラウド公開
超伝導量子コンピュータ開発のプロジェクトと連携、実機を動作するソフトウェアの実装

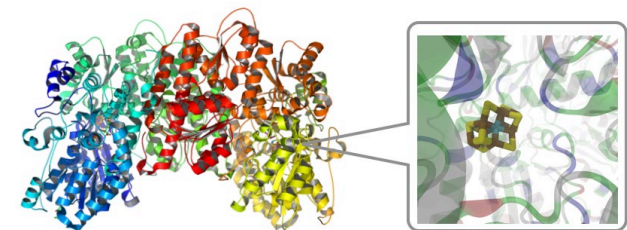
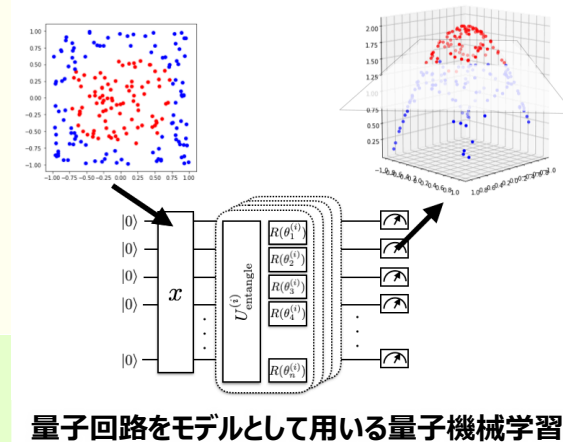
出口戦略

ハードウェア・ソフトウェア研究開発機関・企業等による量子コンピュータ開発エコシステムの確立。
社会的ニーズや実装技術をフィードバック。

- NISQ動作に向けたソフトウェア・アーキテクチャの構築運用：連携機関・企業が担当
- 公開が難しい技術の実装：起業・事業化など

研究基盤の強化・次世代人材の育成

- 高校生、高専生へのアウトリーチ、大学生や他分野の研究者を対象とするスクール。一般参加者を含めたチュートリアルやハッカソンにより、量子計算分野の普及を目指す。
- 博士課程学生をRAとして経済的に支援
- 若手研究者の海外研究機関への派遣、海外研究機関からの研究者の受入れを支援
- 共同研究機関からの社会人ドクター・研究員の受入れ。企業等からビジター、インターンの受入れによる量子技術の底上げを図る。



量子コンピュータの活用が期待される触媒（酵素）
窒素固定酵素（左）とその心臓部（右）

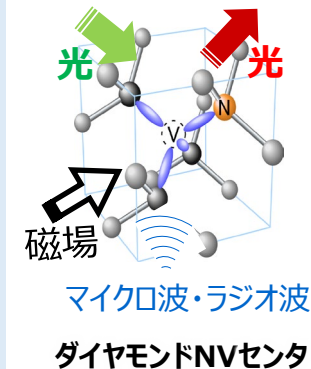
【参考】【Flagshipプロジェクト①】「量子計測・センシング」

採択課題 固体量子センサの高度制御による革新的センサシステムの創出

研究代表者 東京工業大学工学院電気電子系 波多野 睦子 教授

(共同研究機関) 京都大学、東京大学、産業技術総合研究所、量子科学技術研究開発機構
デンソー、日立製作所、矢崎総業など

概要 固体量子センサの応用から物理まで一貫通貫した研究開発を実施する「固体量子センサ協創拠点」を構築。室温・大気中でも優れたスピノヒーレンス性を持ち、量子状態の初期化と読み出しを光で行えるというダイヤモンドNVセンタ（窒素-空孔対）を活用した量子計測・センシングデバイスのプロトタイプを開発し、社会実装を目指す。

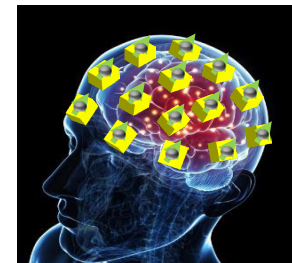


研究開発目標

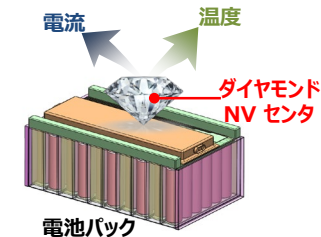
- ・高い感度と高い空間分解能を持つ脳磁計測システムに関するプロトタイプの開発
- ・電池やパワーデバイスの電流・温度をモニタリングするシステムに関するプロトタイプの開発

マイルストーン

- ・脳磁計測システム
 - 4～5年目 感度5pT, 神経組織と小動物の脳磁計測
 - 10年目 感度10fT, ヒトの脳磁計測
- ・電池・パワーデバイスのモニタリングシステム
 - 4～5年目 電池やパワーデバイス内部への量子センサ実装、電流・温度の同時計測
 - 10年目 電流・温度をダイナミカルに計測する小型プロトタイプ



脳磁計測 (イメージ)



電池／パワーデバイスモニタリング (イメージ)

出口戦略

固体量子センサの材料・デバイス開発やセンサを用いた製品システム開発に関心の高い企業によるコンソーシアムを形成。各社の共通基盤技術として共同開発を行う協調領域と、個別のニーズ・アプリケーションに応じた競争領域を区別した開発連携により効率的でスムーズな社会実装を目指す。

研究基盤の強化・次世代人材の育成

- ・若手リーダーに牽引させ、10年間で各分野の**世界第一人者へ育成**
- ・優秀な博士後期学生を研究員として雇用し、**次世代の若手リーダーを育成**
- ・協創拠点による人材の流動性・異分野融合の加速によって**新規学際領域でのポジションを形成**
- ・産官学連携によってポスドク・博士学生のキャリアパスを形成
- ・固体量子センサの**理論からシステムまで俯瞰できる人材**を育成

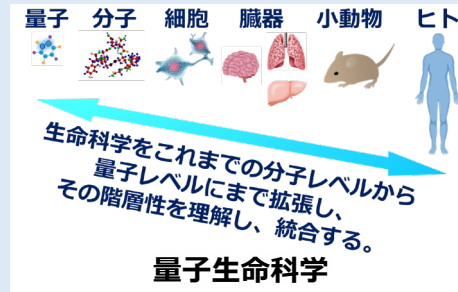
【参考】【Flagshipプロジェクト②】「量子計測・センシング」量子生命

採択課題 量子生命技術の創製と医学・生命科学の革新

研究代表者 量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命科学領域 馬場 嘉信 領域長
(共同研究機関) 東京大学、大阪大学、神戸大学、京都大学、大陽日酸、東レリサーチセンターなど

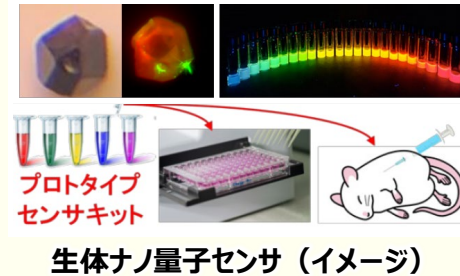
概要

- 医学・生命科学の革新と社会イノベーションの創出により世界を先導する、**量子生命技術**を創製
- **生体ナノ量子センサ**、**超高感度MRI/NMR**および**量子論的生命現象の解明・模倣**に関する研究開発を実施し、**医学・生命科学**研究に利活用される**計測技術のプロトタイプ**を実現



研究開発目標

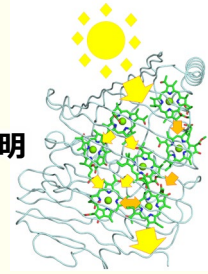
- 広視野、高解像度、多項目同時計測可能な**生体ナノ量子センサシステム**の開発
- 超偏極化、量子符号化等の量子技術に基づいた**超高感度MRI/NMR装置**および新規の長寿命・低毒性**超偏極プローブ分子**の開発
- 生体の量子コヒーレンス高精度測定技術および生物の光合成や磁気受容等における量子効果の分光学的解析技術の開発による、これまで明らかにされていない**生物機能の量子論的機構の解明**



マイルストーン

- 5年後：各標的臓器内の**温度・pH等3項目の計測**
室温超偏極ピルビン酸の代謝**イメージングの実現**および**室温超偏極装置の開発**
超短パルスレーザー等を利用した光合成タンパク質の**量子コヒーレンスの観測**
- 10年後：**小動物内の温度・pH等3項目の同時計測・イメージングの実現**
大型動物での**室温超偏極代謝イメージングの実現**および新規診断可能な**長寿命センサ分子の臨床試験準備**
超短パルスレーザーの短パルス化等、開発した測定系の**人工光合成光受容タンパク質の機能解明研究等への活用**

量子論的生命現象の解明
(イメージ)



出口戦略

- 量子技術の生命領域への応用に向けて、医工・産学を超えた活発で長期にわたる連携のため**コンソーシアムを形成**
- 産学官の製品開発に向けた緊密な意見交換を進め、産業界への橋渡しを加速するとともに、**ベンチャー創業を推進**
- QSTの豊富な実績に基づいた**前臨床・臨床研究システムを構築**し、医療分野での実用化を加速

研究基盤の強化・次世代人材の育成

- 博士号取得10年前後の若手研究者と医学・生命科学で世界的業績を残している研究者の**連携体制を構築**
- 量子科学技術の基礎、医学・生命科学展開から社会実装までを俯瞰し先導できる**世界的リーダーを育成**

【参考】【Flagshipプロジェクト】「次世代レーザー」

採択課題 先端レーザーイノベーション拠点 (ALICE)

研究代表者 東京大学 藤井 輝夫 執行役・副学長、(代表代行) 東京大学 石川 顕一 教授

(共同研究機関) ①「光量子科学によるものづくりCPS化拠点 (STELLA)」

慶應義塾大学、理化学研究所、電気通信大学、量子科学技術研究開発機構、大阪大学

②「次世代アト秒レーザー光源と先端計測技術の開発 (ATTO)」

理化学研究所、量子科学技術研究開発機構、物質・材料研究機構、高エネルギー加速器研究機構、分子科学研究所、シグマ光機(株)、東海光学(株)、(株)トヤマなど

概要 サイバー空間での加工シミュレーションのみで最適な加工パラメータを提案できる**CPS型レーザー加工 (シミュレータ)** の開発及び物質内の超高速電子移動のメカニズムの解明等に必要**なアト (10⁻¹⁸) 秒パルス光源と先端計測機器等の開発を一体で実施**

研究開発目標

①「光量子科学によるものづくりCPS化拠点」

サイバー空間での加工シミュレーションのみで最適な加工パラメータを提案できる**CPS型レーザー加工 (シミュレータ)** を開発

②「次世代アト秒レーザー光源と先端計測技術の開発」

高繰り返し型及び高強度型アト秒パルス光源のプロトタイプを開発し、その開発した光源を用いた**先端計測機器等のプロトタイプを開発**

マイルストーン

①「光量子科学によるものづくりCPS化拠点」

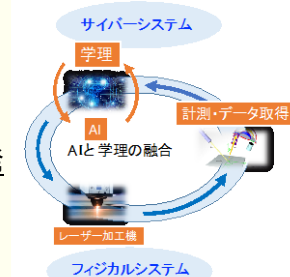
5年目 人工知能 (AI)を活用した加工パラメータの予測を行う**AI-CPS型レーザー加工 (シミュレータ)** の開発

10年目 レーザー加工学理に基づいたシミュレーションにより加工パラメータ予測を行う**学理CPS型レーザー加工 (シミュレータ)** の開発

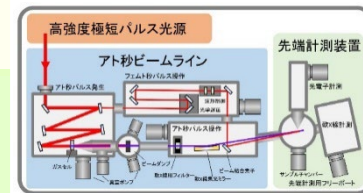
②「次世代アト秒レーザー光源と先端計測技術の開発」

5年目 高繰り返し型 (10kHz) 及び高強度型 (1GW) の孤立アト秒パルス光源を開発

10年目 **先端計測機器のプロトタイプ機等を開発し、基礎・応用研究に利用できる環境を整備**



CPS型レーザー加工 (シミュレータ) 開発の進め方 (イメージ)



先端計測機器のプロトタイプ機(イメージ)

出口戦略

- ・他のプロジェクト、コンソーシアム等と連携し、**持続可能な産学協創エコシステムの構築を推進**
- ・研究開発を行う過程で、**随時成果を社会実装**することを目指す。

研究基盤の強化・次世代人材の育成

- ・先端光量子科学アライアンス (APSA) 等を発展的に継承し、**オールジャパンのネットワーク型連携体制を形成、日本発の新しい科学・技術の創出、基礎基盤研究を強化**
- ・10年事業としての意義を活かし、日本の新たな強みとなる学術を生み出し**次世代を先導する卓越した若手人材を育成**
- ・最優秀の博士課程学生を**プロの研究者として支援する制度を新設**
- ・**産業界との連携に携わる学生等を研究員として雇用を実施**

【共通のコアプログラム】「人材育成プログラム」

採択課題

量子技術高等教育拠点標準プログラムの開発

研究開発代表者

沖縄科学技術大学院大学学園 根本 香絵 教授

(共同研究機関) 九州大学、慶應義塾大学、名古屋大学、東京大学など

概要

国内の量子技術における高等教育のスタンダードの確立と、質の高い量子技術教育を全国的に展開する仕組みを確立。プログラムの実施を通して、量子技術の専門性ととも、産学連携や国際性など高度人材として期待される知識や技能を身につけ、量子科学分野の人材に期待される多様なキャリアパスを可能とする人材育成を実施。また、多様な専門的バックグラウンドをもつ優秀な人材の量子技術分野への参入を容易にし、分野融合研究、社会実装、量子新技術の社会への導入と普及を支える人材育成の仕組みを確立。

開発目標

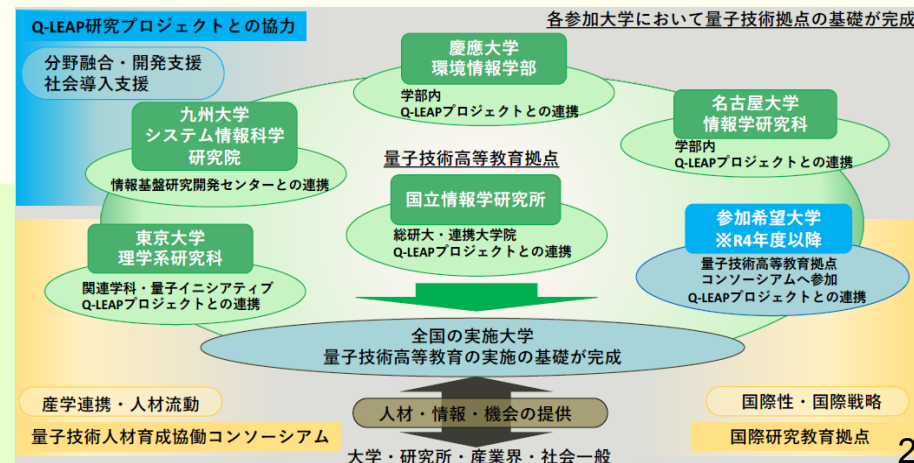
- カリキュラムの策定
- 講義コースの実施
- コース教材の開発
- インターンの実施

マイルストーン

- 令和2年度
 - カリキュラム策定
 - コース教材の第一次開発及び事項する実施拠点の選定と部分的試行
 - ポータルサイトの試行
- 令和3年度
 - 利用規定等運営上の法的整備
 - 必要となる教師陣、スタッフのアサイン
 - 第2次コース教材開発
 - プログラムの試験的实施
- 令和4年度
 - プログラムの本格的試行
 - 第3次コース教材開発
- 令和7年度
 - プログラム本格的試行における効果の測定・分析
 - 受講者、実施機関、コンソーシアム等からのフィードバックを踏まえたプログラムの見直し・改定
 - プログラムの他の大学等への展開及び普及

出口戦略

- 全国の大学、量子技術人材育成協働コンソーシアム、国際研究教育拠点等への展開



【参考3】 量子技術の動向

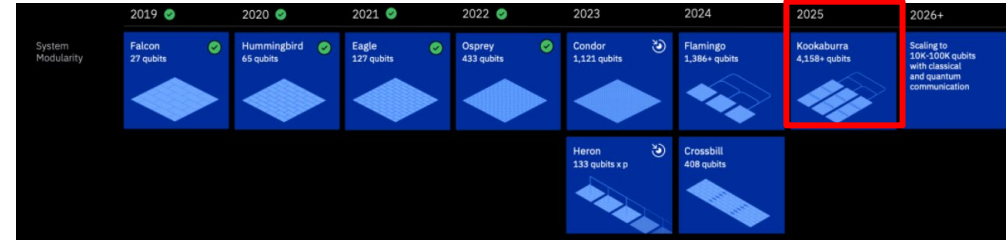
海外と国内のロードマップ比較

海外

- **IBM** (2023年12月発表)
 - ・2023年に**1,121**量子ビット公開
 - ・2025年に**4,158**量子ビット
 - ・2033年に**10万**量子ビット
- **Google** (2021年5月発表)
 - ・2029年に**100万**量子ビット (**1000**論理量子ビット)
- **QuEra** (2024年1月発表) 中性原子方式※で
 - ・2026年に**100**論理量子ビット

※中性原子は量子ビットの大規模化で優位性あり

2025年
4,158量子ビット



国内

- **理研**
 - ・2022年度に**64**量子ビット機公開
 - ・2025年に**100**量子ビット以上
- **富士通** (2023年10月発表)
 - ・2023年に**64**量子ビット機公開 ※設計は理研と共通
 - ・2026年以降に**1,000**量子ビット超実機公開予定
- **ムーンショット型研究開発制度**
 - ・2030年に**数十~100**論理量子ビット →光方式や中性原子方式でも顕著な成果



2026年以降 1,000量子ビット超

○世界の市場規模予測

- ・2024年～2029年 **250～ 500億ドル（3兆7,500億円～7兆5,000億円）**
- ・2030年～2050年 **4500～8500億ドル（67.5兆円～127.5兆円）**

（出典） Where Will Quantum Computers Create Value—and When? BCG Report
<https://www.bcg.com/publications/2019/quantum-computers-create-value-when.aspx>

○量子コンピュータの経済波及効果予測

2035年までに化学・ライフサイエンス・金融、モビリティの4分野において

0.9兆ドル～2兆ドル（135兆円～300兆円）

（出典） Steady progress in approaching the quantum advantage (Mckinsey)
<https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/steady-progress-in-approaching-the-quantum-advantage>

【参考 4】
量子技術に関する国家戦略について

量子産業の創出・発展に向けた推進方策

- ✓ この推進方策は、量子技術の進展や各国の戦略、国内外の実用化・産業化の状況変化にいち早く対応するため、**現在の政府戦略の下、早急に強化・追加すべき内容**をまとめたもの
- ✓ 2030年目標に向けて“**3戦略を強化し補完する方策**”の報告書である

研究

量子技術イノベーション戦略

(令和2年1月、令和4年4月改訂)
量子技術の研究開発戦略

ビジョン

量子未来社会ビジョン

(令和4年4月)
社会変革に向けた戦略(未来ビジョン、目標等)

産業

量子未来産業創出戦略

(令和5年4月)
量子技術の実用化・産業化戦略

推進方策

(令和6年4月)
3戦略を強化・追加する補完

Q-LEAPは各政府戦略における
基礎・応用研究と人材育成を担う

2030年目標

国内の量子技術の利用者を
1,000万人に



量子技術による生産額を
50兆円規模に



未来市場を切り拓く量子ユニ
コーンベンチャー企業を創出



世界各国等の量子技術の政策動向（主要国の概要）

アメリカ National Quantum Initiative Reauthorization Act (2023.11) ※2024年3月時点では議会未承認

- ・2018年に法制化されたNQIAを改正し量子10か年計画に活動を追加、2024年度予算として9.7億ドル（約1,455億円）を要求
- ・NISTに量子センシング・計測センターを設立するほか、NASAを新たに量子機関に認定し傘下に量子研究所を設立
- ・DOEにおいて量子コンピュータ商業化戦略を策定するほか、QED-C（量子経済開発コンソーシアム）との連携を全省庁に拡大
- ・量子技術のテストベッド整備や産業人材の育成、商用化の促進、サプライチェーンの強化や確保

イギリス National Quantum Strategy (2023.3)

- ・2024年から10年間で25億ポンド（約4,750億円）を投資し、さらに10億ポンド（約1,900億円）の民間投資を呼び込む
- ・11月には、量子分野を含む科学・技術産業を支援する5億ポンドの予算増額措置を発表するとともに、量子分野について2030年代をターゲットにした量子技術の実装に関する5つのミッション（予算措置、民間投資呼び込み、人材育成強化、海外企業誘致、規制改革）を新たに提示

ドイツ Quantum technologies action concept (2023.4)

- ・2023年から2026年までの連邦政府の省庁横断的な計画を発表し、4年間で総額約30億ユーロ（4,800億円）を拠出
- ・同計画では、行動分野として製品開発による国際競争での優位性確保、重点的な技術開発や将来市場の確保に向けた取組、産業連携等の強力なエコシステムの構築に重点を置いている。

デンマーク National quantum strategy (2023.9)

- ・2023～2027年にかけて、量子分野の研究とイノベーションのために総額10億デンマーク・クローネ（約218億円）を割り当て、さらに商業化、安全保障、国際協力の取組の強化のため、2億デンマーク・クローネを追加
- ・9月にスタートアップ支援などを行うDeepTechLab-Quantumを設立し、NATOのDIANAプログラムの実施機関に採択された

韓国 South Korea's Quantum Science and Technology Strategy (2023.6)

- ・2035年までに官民協力で最低でも量子技術に3兆韓国ウォン（約330億円）以上を投資するとともに、量子関連産業の世界市場シェアを10%に高め、量子技術を供給・活用する企業が1,200社程度になることを目指す
- ・量子技術を先導するハイレベル人材を現在の7倍にあたる2,500人に増加させ、量子関連事業への従事者を1万人以上に増加

注：各通貨は2024年3月18日時点のレートで日本円に換算(米ドル：約150円、英ポンド：約190円、ユーロ：約160円、デンマーククローネ：約21.8円、ウォン：約0.11円)

内閣府の集計によると、日本の量子関係予算は令和6年度当初予算で約368億円