

「量子・古典ハイブリッド技術の サイバー・フィジカル開発事業」

事業原簿

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 AI・ロボット部
-----	---

更新履歴

更新日	更新内容
2025 年 6 月 30 日	初版発行

目次

概 要	1
プロジェクト用語集	1
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	1-1
1.1. 事業の位置づけ・意義	1-1
1.1.1. 政策的な重要性	1-1
1.1.2. 我が国の状況	1-1
1.1.3. 世界の取組状況	1-1
1.1.4. 本プロジェクトのねらい	1-2
1.2. アウトカム達成までの道筋	1-2
1.3. 知的財産・標準化戦略	1-3
2. 目標及び達成状況	2-1
2.1. アウトカム目標及び達成見込み	2-1
2.2. アウトプット目標及び達成状況	2-1
3. マネジメント	3-1
3.1. 実施体制	3-1
3.2. 受益者負担の考え方	3-1
3.3. 研究開発計画	3-2
3.3.1. 外部環境を踏まえた内容の見直し・項目間の連携	3-2
3.3.2. 進捗管理	3-2
3.3.3. ステージゲート方式による絞り込みの考え方	3-3
3.3.4. 事前評価結果への対応	3-4
3.3.5. 成果普及への取り組み（情報発信・アウトリーチ活動）	3-4
3.3.6. モティベーションを高める仕組み	3-5
4. 目標及び達成状況の詳細	4-1
4.1. 研究開発項目①：量子・古典アプリケーション開発・実証	4-1
4.2. 研究開発項目②：量子・古典の最適化等に向けた標準ライブラリの開発	4-32
添付資料	1
●プロジェクト用語集	1
●プロジェクト基本計画	10
●関連する施策や技術戦略	20
●各種委員会開催リスト	21
●特許論文等リスト	22

概 要

プロジェクト名	NEDO プロジェクト名：量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業 METI 予算要求名称：同上	プロジェクト番号	P23003
担当推進部/ プロジェクトマネージャーまたは担当者 及び METI 担当課	AI・ロボット部 橋本 就吾 (2024 年 4 月 ～ 現在) 江下 尚彦 (2023 年 4 月 ～ 2024 年 3 月) 経済産業省 イノベーション・環境局 イノベーション政策課 量子産業室		
0. 事業の概要	量子・古典アプリケーションの開発では、「素材開発」「製造」「物流・交通」「ネットワーク」の 4 分野において、量子技術（量子 inspired 技術含む）と AI のそれぞれの特性を組み合わせることによりデータ活用の高度化を達成し、生産性向上や省エネルギー化に貢献すると共に、量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステムに実装して実証を行うことで、ビジネスモデルや戦略の変革をもたらすユースケースの創出を目指す。 また、量子技術と AI を組み合わせることで従来技術では解決が困難なビジネス問題の規模や複雑さに対応可能で、単一の分野内での複数の利用者間、又は複数の分野間で共通利用可能なアルゴリズム等で構成するライブラリの開発及び整備を行うことで、量子・古典アプリケーション開発の飛躍的な効率化を通じて抜本的な生産性の向上、産業競争力の維持・向上、エネルギー需給の高度化を実現することを目指す。		
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋			
1.1 本事業の位置付け・意義	統合イノベーション戦略推進会議で策定された「統合イノベーション戦略(2018 年 6 月閣議決定)」をうけ、2019 年 2 月から量子技術に関しての政府主体での議論が本格化し、第 6 回統合イノベーション戦略推進会議（2020 年 1 月）にて策定された「量子技術イノベーション戦略」の中でロードマップの作成が行われ、本ロードマップにもとづき量子技術の研究開発等の取組は着実に推進してきている。 また、2022 年 4 月には「量子未来社会ビジョン」、2023 年 4 月には「量子未来産業創出戦略」、2024 年 4 月には「量子産業の創出・発展に向けた推進方策」が策定され、我が国の産業の成長機会の創出やカーボンニュートラル等の社会課題の解決のために量子技術を活用し、未来社会を見据えて社会全体のトランスフォーメーションを実現していくための取組の推進が期待される。 一方で、これらの策定の背景には、我が国では量子技術における長年の基礎研究の蓄積により、基礎理論や知識・基盤技術等での強みや優位性、競争力を有しているものの、技術の実用化や産業化（システム化）等に向けた取組では諸外国の後塵を拝する分野・領域があるなど極めて深刻な状況であることが挙げられる。		
1.2 アウトカム達成までの道筋	本事業で研究開発した量子・古典アプリケーションの実証結果、及び共通ライブラリの整備を元に、「素材開発」「製造」「物流・交通」「ネットワーク」といった研究開発の対象分野を中心として量子・古典アプリケーションの開発とその事業化を促進し、アウトカムの達成を目指す。 共通ライブラリの研究開発にあたっては、量子・古典アプリケーション開発の実施者と連携する機会を設けることで、量子・古典アプリケーション開発に広く受け入れられる共通ライブラリの仕様を整え、開発成果が広く普及することを目指す。 また、不確実性の高い量子技術の分野への民間投資を引き出すには、長期間にわたって技術・知見・ネットワークにアクセスできる場（テックコミュニティ）が構築されることが有効である。そのため、ユースケースやライブラリ等の成果や事業過程の知見に係る情報発信、本事業成果の横展開や新たな研究開発テーマの発掘に繋がる取組等の実施を通じて、テックコミュニティの活性化への貢献と共に、本事業成果の社会実装を促進する。		
1.3 知的財産・標準化戦略	本プロジェクトは、「「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」における知財マネジメント基本方針」を適用する。特に協調領域の知財のプロジェクト実施者に対する許諾等の運用に関して、研究開発成果の最大化を考慮した運用を行う。		
2. 目標及び達成状況			
2.1 アウトカム目標及び達成見込み	「素材開発」分野では素材開発のマテリアルズ及びプロセスインフォマティクス最適化等、「製造」分野ではスマートファクトリ導入による生産最適化とサプライチェーン最適化等、「物流・交通」分野では物流ルートの最適化及びスマート交通の導入促進に向けた交通量・交通手段最適化等、「ネットワーク」分野では仮想発電所（VPP）における需給予測とネットワーク制御等において、従来技術では困難であった課題解決によって実現する最適化による既存ビジネスモデルや運用フロー等の効率化、省エネルギー化、時間短縮等に資する		

		ユースケース創出による量子・古典ハイブリッド技術の普及促進への貢献により 2035 年時点で 1,342 万トン/年以上の CO ₂ 排出量削減、及び量子コンピュータ新規市場に先行者として参入することで約 650 億円規模の市場獲得に貢献する。本目標については、「達成見込み」である。
2.2	アウトプット 目標及び達成 状況	本プロジェクトの中間目標（2025 年度末時点の目標）は、以下の通り。 ・量子・古典アプリケーションを活用した事業を行うにあたり必要な、課題の整理、解決手法を整理し、量子・古典アプリケーションのプロトタイプ版を 3 件以上開発する。 ・共通ライブラリについて、ライブラリ仕様の要件定義を完了する。また、量子・古典アプリケーション開発に使用可能なアルゴリズムを 3 件以上開発する。また、開発したアルゴリズムを提供する共通ライブラリの管理体制の明確化を行う。 本目標については、いずれも「大きく上回って達成見込み」である。
3. マネジメント		
3.1	実施体制	プロジェクトマネージャー NEDO AI・ロボット部 橋本就吾
	テーマ名・実施機関	■2023 年度第 1 回採択テーマ（アプリ 1 期生）5 テーマ ① 「量子・AI ハイブリッドによる創薬向け大規模 Virtual Screening 法の開発」：東芝デジタルソリューションズ、アヘッド・バイオコンピューティング、東京科学大 ② 「量子・AI 次世代創薬」：産業技術総合研究所、早稲田大、リボミック ③ 「高柔軟性薬剤分子の結晶構造予測システム」（ステージゲート審査不通過）：田辺三菱製薬、産業技術総合研究所 ④ 「製造における異常検知技術の研究開発」：TOPPAN ホールディングス ⑤ 「物流現場における人間機械協調作業のためのデジタルツイン量子最適化」：名古屋大 ■2023 年度第 2 回採択テーマ（アプリ 2 期生）5 テーマ ① 「量子+古典 AI による物流業務効率化のアプリケーション開発」：BIPROGY、大日本印刷 ② 「量子・AI 支援による機能タンパク質最適化技術の研究開発」：東北大、レボルカ ③ 「量子・AI によるポスト 5 G・6 G 用メタサーフェスデバイスの研究開発」：産業技術総合研究所、大阪大、テクノブローブ ④ 「量子生成 AI による半導体製造用新材料開発」（ステージゲート審査不通過）：日本電気 ⑤ 「高次リサイクルシステム構築を志向する解体性接着技術開発」：産業技術総合研究所、アイカ工業、セメダイン、東京大 ■2024 年度採択テーマ（アプリ 3 期生）6 テーマ ① 「量子・AI ハイブリッド技術を活用した物流運用の最適化」：豊田通商 ② 「半導体製造業最適化のための量子・古典アプリケーションの研究開発」：Quanmatic、早稲田大 ③ 「仮想発電所需給調整におけるリスクヘッジ型量子古典確率最適化手法の開発」：電通大、グリッド ④ 「大規模な物流倉庫における入出庫の経路最適化アプリケーションの研究開発」：シャープ ⑤ 「量子古典 AI ハイブリッド汎用計算手法による製造サプライチェーン最適化」：シグマアイ ⑥ 「量子・AI を活用した地球観測衛星による災害状況把握・経路最適化アルゴリズムの研究開発」：スペースシフト ■ライブラリ整備テーマ ● 「量子・AI ハイブリッド技術の活用を加速する共通ライブラリ基盤の研究開発」：産業技術総合研究所、長大 ■ライブラリ開発テーマ ① 「ブラックボックス最適化共通ライブラリの開発」：慶應大

		② 「量子機械学習共通ライブラリの研究開発」：東北大 ③ 「量子回路分割ライブラリ」：PwC コンサルティング					
3.2 受益者負担の考え方	受益者負担の考え方 ● 項目①アプリ開発については、経済的合理性が見込めないリスクのある段階と、企業の積極的な関与により推進されるべき段階を分け、委託事業と助成事業のフェーズを設けて実施する。 ● 項目②ライブラリ開発・整備については、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。						
3.3 研究開発計画							
政府予算額の推移・項目毎の内訳 [単位:億円]		2023fy	2024fy	2025fy	2026fy	2027fy	総額
	研究開発項目① 量子・AI アプリケーション開発・実証	7.9	7.9	7.9	9.1	9.1	41.9
	研究開発項目② 量子・AI の最適化等に向けた標準ライブラリの開発	2.1	2.1	2.1	0.9	0.9	8.1
	合計	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	50.0
情勢変化への対応	内閣府「量子未来産業創出戦略」において、ネットワーク分野（仮想発電所における需給予測・ネットワーク制御、通信ネットワークのトラフィック制御など）の重要性が提言されたことを踏まえ、2024 年度から項目①に「ネットワーク分野」を追加した。						
事前評価結果への対応	2022 年 11 月、本事業の事前評価委員会を実施。アプリ開発における支援スキームや、量子コンピュータの対象範囲（量子インスパイアードも支援対象とすべきかどうか）等について、ご指摘を頂いた。各ご意見に対応し、制度設計や公募要領等の作成を行った。詳細は、本文中の「事前評価での指摘事項とその対応一覧」の通り。						
評価に関する事項	事前評価	2022 年度実施 担当部 ロボット・AI 部					
	中間評価	2025 年度 中間評価実施					
別添							
投稿論文	「査読付き」15 件、「その他」2 件						
特 許	「出願済」3 件、「登録」0 件（うち国際出願 0 件）						
その他の外部発表 （プレス発表等）	● 研究発表・講演：112 件 ● 新聞・雑誌等への掲載：3 件 ● その他：（展示会への出展等）：27 件						
基本計画に関する事項	作成時期	2023 年 3 月 作成					
	変更履歴	● 2023 年 8 月、研究開発スケジュールの変更 ● 2024 年 2 月、以下 4 点の変更 ① 経済産業省 R6 年度予算名称の変更に伴う基本計画名の変更、及びこれに関連する文言の変更 ② 開発分野に「ネットワーク」を追加 ③ 研究開発項目①のアウトプット最終目標の変更（量子・古典アプリケーション開発件数を 3 件以上から 4 件以上に変更） ④ 研究開発項目②のアウトプット最終目標の変更（共通ライブラリ開発件数を 3 件以上から 4 件以上に変更） ● 2024 年 4 月、PMgr の変更、政策文書の追加、その他軽微な修正 ● 2024 年 8 月、組織改編に伴う部署名の変更 ● 2025 年 1 月、以下 2 点の変更 ① 研究開発項目②のアウトプット最終目標の変更（4 件を 3 件に修正） ② 根拠法の修正 ③ 研究開発スケジュールの変更					

プロジェクト用語集

巻末の添付資料「プロジェクト用語集」をご参照ください。

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1.1. 事業の位置づけ・意義

1.1.1. 政策的な重要性

現在、世界的に経済・社会構造の歴史的なパラダイムシフトが起こる只中にあり、従来の労働・資本集約型とは異なる知識集約型へと経済・社会が不連続に移行しつつある。この転換を適切に捉えることが我が国の国際競争力を握る鍵になっている。

我が国は、将来の目指すべき社会像として「Society 5.0」や「データ駆動型社会」を世界に先駆けて掲げており、特に人工知能（以下「AI」という。）やデータ連携基盤は経済・産業政策上、競争力の源泉となる重要な技術インフラとなっている。量子技術はこうした重要技術インフラをさらに飛躍的・非連続的に発展させる鍵となる基盤技術である。DXの急速な進展、カーボンニュートラル社会の実現に向けた動きなど急激に変化する社会経済の環境に対する量子技術に期待される役割は増大している。

そこで、「量子未来社会ビジョン」（令和4年4月22日統合イノベーション戦略推進会議決定）においては、量子技術の研究開発・社会実装の取組を加速・強化し、我が国産業の成長機会の創出、社会課題解決等に対応することが喫緊の課題であり、また同時に、量子技術はAIや高度なシミュレーション等の計算機科学、情報通信技術、半導体、計測・センシング技術等において、従来型（古典）技術システムとも密接に関連し、これらと融合・一体化させながら取組を推進することが重要であると提言している。国として確固たる技術の基盤確立を目指すと共に、これらを我が国が抱える様々な課題の解決や、将来の持続的な成長・発展等に確実に結びつけていくことは不可欠である。

1.1.2. 我が国の状況

統合イノベーション戦略推進会議で策定された「統合イノベーション戦略(2018年6月閣議決定)」をうけ、2019年2月から量子技術に関しての政府主体での議論が本格化し、第6回統合イノベーション戦略推進会議（2020年1月）にて策定された「量子技術イノベーション戦略」の中でロードマップの作成が行われ、本ロードマップにもとづき量子技術の研究開発等の取組は着実に推進してきている。

また、2022年4月には「量子未来社会ビジョン」、2023年4月には「量子未来産業創出戦略」、2024年4月には「量子産業の創出・発展に向けた推進方策」が策定され、我が国の産業の成長機会の創出やカーボンニュートラル等の社会課題の解決のために量子技術を活用し、未来社会を見据えて社会全体のトランスフォーメーションを実現していくための取組の推進が期待される。

一方で、これらの策定の背景には、我が国では量子技術における長年の基礎研究の蓄積により、基礎理論や知識・基盤技術等での強みや優位性、競争力を有しているものの、技術の実用化や産業化（システム化）等に向けた取組では諸外国の後塵を拝する分野・領域があるなど極めて深刻な状況であることが挙げられる。

1.1.3. 世界の取組状況

量子技術に対する国際的な注目は高まっており、米国、欧州、中国等を中心に、諸外国においては、量子技術を将来の経済・社会に大きな変革をもたらす源泉あるいは革新技术

として位置づけ、研究開発投資を大幅に拡充するとともに、研究開発拠点形成や人材育成等の戦略的な取組を加速している。

例えば、アメリカでは、2018年に国家量子イニシアティブ法が成立し、Google、IBM、Intelといった大手IT企業が先導した研究開発が行われており、中国では2016年から2020年の科学技術イノベーション第14次5ヶ年計画で「量子情報」分野を重要とする分野の一つに位置付けたうえで、大学研究者に企業が積極的に参加するといった体制での研究開発が行われるなど、各国で積極的な研究開発が行われている。

1.1.4. 本プロジェクトのねらい

本プロジェクトでは上記の状況を踏まえ、量子技術と従来型（古典）技術システムを融合・一体化したサイバー・フィジカルシステム（以下、「量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステム」といい、そこで活用する技術を「量子・古典ハイブリッド技術」という。）による省エネルギー等のエネルギー需給構造の高度化への貢献に加えて、その研究開発を通じた技術の高度化、社会実装にむけて、量子コンピュータを我が国の産業競争力強化・社会課題解決にフル活用するため、技術が先行するアニーリング方式の利活用を世界に先駆けて進めつつ、早期のビジネスモデル・サプライチェーン・国際共同開発体制の構築により、その後立ち上がるゲート方式の市場獲得をめざす。

具体的には、量子技術が社会実装され、民間投資で自律的に成長する市場を形成するためには、早い段階から産業化を見据えて量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステムのアプリケーションソフトウェア（以下、「量子・古典アプリケーション」という。）の開発に着手することが有効と考えられる。特に、AIの急速な進歩と波及によって、データ活用の高度化と拡大が進む中、量子技術は、それをさらに加速する起爆剤となり、将来のコンピューティング性能の飛躍的な向上をもたらすことが期待されている。そこで、本プロジェクトにおける量子・古典アプリケーションの開発では、前述のビジョン等で言及されている「素材開発」「製造」「物流・交通」「ネットワーク」の4分野において、量子技術（量子 inspired 技術含む）とAIのそれぞれの特性を組み合わせることによりデータ活用の高度化を達成し、生産性向上や省エネルギー化に貢献すると共に、量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステムに実装して実証を行うことで、ビジネスモデルや戦略の変革をもたらすユースケースの創出を目指す。

また、量子技術とAIを組み合わせることで従来技術では解決が困難なビジネス問題の規模や複雑さに対応可能で、単一の分野内での複数の利用者間、又は複数の分野間で共通利用可能なアルゴリズム等で構成するライブラリ（以下、「共通ライブラリ」という。）の開発及び整備を行うことで、量子・古典アプリケーション開発の飛躍的な効率化を通じて抜本的な生産性の向上、産業競争力の維持・向上、エネルギー需給の高度化を実現することを目指す。

量子・古典アプリケーション開発にあたっては、複数の技術方式が想定されるため、あらかじめ多くの研究提案を採用し、これを競争させ、事業の進捗や成果の状況に応じて有望なものに絞り込んでいく多産多死型の研究開発モデルを適用する。そのため、公募時点でステージゲート方式による絞り込みの考え方・通過数を定めるものとする。

1.2. アウトカム達成までの道筋

本事業で研究開発した量子・古典アプリケーションの実証結果、及び共通ライブラリの整備を元に、「素材開発」「製造」「物流・交通」「ネットワーク」といった研究開発の対象分野を中心として量子・古典アプリケーションの開発とその事業化を促進し、アウトカムの達成を目指す。

共通ライブラリの研究開発にあたっては、量子・古典アプリケーション開発の実施者と連携する機会を設けることで、量子・古典アプリケーション開発に広く受け入れられる共通ライブラリの仕様を整え、開発成果が広く普及することを目指す。

また、不確実性の高い量子技術の分野への民間投資を引き出すには、長期間にわたって技術・知見・ネットワークにアクセスできる場（テックコミュニティ）が構築されることが有効である。そのため、ユースケースやライブラリ等の成果や事業過程の知見に係る情報発信、本事業成果の横展開や新たな研究開発テーマの発掘に繋がる取組等の実施を通じて、テックコミュニティの活性化への貢献と共に、本事業成果の社会実装を促進する。図表番号

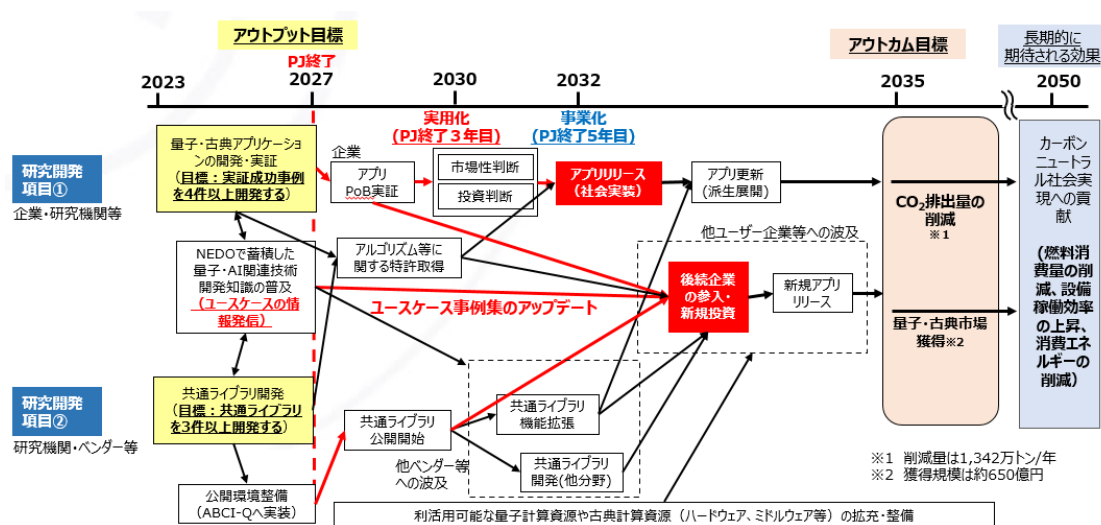


図 1-1 アウトカム達成までの道筋

1.3. 知的財産・標準化戦略

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

具体的には、知的マネジメントに係る運用については、本プロジェクトでは、「「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」における知財マネジメント基本方針」を適用する。特に協調領域の知財のプロジェクト実施者に対する許諾等の運用に関して、研究開発成果の最大化を考慮した運用を行う。また、データマネジメントに係る運用については、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する。

加えて、独立行政法人工業所有権情報・研修館（INPIT）の国プロ向け知財支援制度「競争的研究費による研究成果の社会実装に向けた知財支援事業（IP Acceleration program for National R&D projects：略称 iNat）」を活用し、本プロジェクトに対して知財戦略コーディネーターを派遣頂き、テーマ実施者と議論しながら精緻な知財戦略を構築している。

<知的財産> NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針に基づき、「「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」における知財マネジメント基本方針」を作成。ライブラリ開発においては、共通ライブラリのソースコードを公表する旨を規定。			
<研究開発データ> 「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメントに係る基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」に基づき、運用中。			
<オープン・クローズ戦略> アプリは事業化に資するためにオープン・クローズを使い分け。一方でライブラリは、より参入者を増やす目的でオープンソース化。			
研究開発項目	オープン戦略	クローズ戦略	戦略の考え方
量子・古典アプリケーション開発・実証	学術的内容は論文で公開、特許化・ライセンス化 論文17本、特許出願3件	開発したアプリの製品化に向けた特許化・独占、ノウハウや技術の秘匿	アプリ開発はビジネスに直結するため、競合技術との差別化することが前提。学術的内容は論文でオープンとするが、競争に影響する内容はクローズとする方針。
量子・古典の最適化等に向けた標準ライブラリ開発	開発したライブラリをオープンソースソフトウェア化 2025年度末時点で3件公開予定	—	研究開発のためのライブラリを開発・整備することで、国内企業が積極的に量子・古典ハイブリッド技術の活用することを促すため、積極的に公開する方針。幅広い企業への裨益、技術の普及促進による イノベーションの加速や、エコシステム（開発者コミュニティ）の形成 を目指す。
<知財戦略コーディネーター> INPIT「競争的研究費による研究成果の社会実装に向けた知財支援事業（iNat）」に採択され、2024年10月より知財戦略コーディネーターを派遣頂いている。技術推進委員会で各テーマに助言。また現在、共通ライブラリ開発2テーマの知財戦略を策定中。今後、アプリ開発テーマの戦略も策定予定。			

図 1-2 知的財産（オープン・クローズ戦略、知財管理）

2. 目標及び達成状況

2.1. アウトカム目標及び達成見込み

「素材開発」分野では素材開発のマテリアルズ及びプロセスインフォマティクス最適化等、「製造」分野ではスマートファクトリ導入による生産最適化とサプライチェーン最適化等、「物流・交通」分野では物流ルート最適化及びスマート交通の導入促進に向けた交通量・交通手段最適化等、「ネットワーク」分野では仮想発電所（VPP）における需給予測とネットワーク制御等において、従来技術では困難であった課題解決によって実現する最適化による既存ビジネスモデルや運用フロー等の効率化、省エネルギー化、時間短縮等に資するユースケース創出による量子・古典ハイブリッド技術の普及促進への貢献により 2035 年時点で 1,342 万トン/年以上の CO2 排出量削減、及び量子コンピュータ新規市場に先行者として参入することで約 650 億円規模の市場獲得に貢献する。

中間評価実施時点で、アウトカム目標は「達成見込み」である。アウトカム目標達成に向けては、以下の取り組みを実施する。本事業で研究開発した量子・古典アプリケーションの実証結果、及び共通ライブラリの整備を元に、「素材開発」「製造」「物流・交通」「ネットワーク」といった研究開発の対象分野を中心として量子・古典アプリケーションの開発とその事業化を促進し、アウトカムの達成を目指す。

共通ライブラリの研究開発にあたっては、量子・古典アプリケーション開発の実施者と連携する機会を設けることで、量子・古典アプリケーション開発に広く受け入れられる共通ライブラリの仕様を整え、開発成果が広く普及することを目指す。

また、不確実性の高い量子技術の分野への民間投資を引き出すには、長期間にわたって技術・知見・ネットワークにアクセスできる場（テックコミュニティ）が構築されることが有効である。そのため、ユースケースやライブラリ等の成果や事業過程の知見に係る情報発信、本事業成果の横展開や新たな研究開発テーマの発掘に繋がる取組等の実施を通じて、テックコミュニティの活性化への貢献と共に、本事業成果の社会実装を促進する。

2.2. アウトプット目標及び達成状況

【中間目標】2025 年度

- 量子・古典アプリケーションを活用した事業を行うにあたり必要な、課題の整理、解決手法を整理し、量子・古典アプリケーションのプロトタイプ版を 3 件以上開発する。
- 共通ライブラリについて、ライブラリ仕様の要件定義を完了する。また、量子・古典アプリケーション開発に使用可能なアルゴリズムを 3 件以上開発する。また、開発したアルゴリズムを提供する共通ライブラリの管理体制の明確化を行う。

【最終目標】2027 年度

- 実環境下での実証実験で有効な結果を得た量子・古典アプリケーションを 4 件以上開発する。
- 量子・古典アプリケーション開発に使用可能な共通ライブラリを 3 件以上開発する。また、開発した共通ライブラリの有効性評価を行う。

中間評価時点では、項目①アプリケーション開発、項目②共通ライブラリ開発・整備、いずれも中間目標を「大いに上回って達成見込み」である。項目①アプリについては、プロトタイプ開発を3件目標のところ、5件開発見込み。項目②ライブラリについては、アルゴリズムを3件目標のところ、共通ライブラリを3件開発見込み。根拠の詳細は、下記の図2の通り（なおここでは、共通ライブラリを構成する計算手法を「アルゴリズム」と表現している。複数のアルゴリズムから、一つの「共通ライブラリ」が構成されるという想定で各用語を用いている。）

なお、

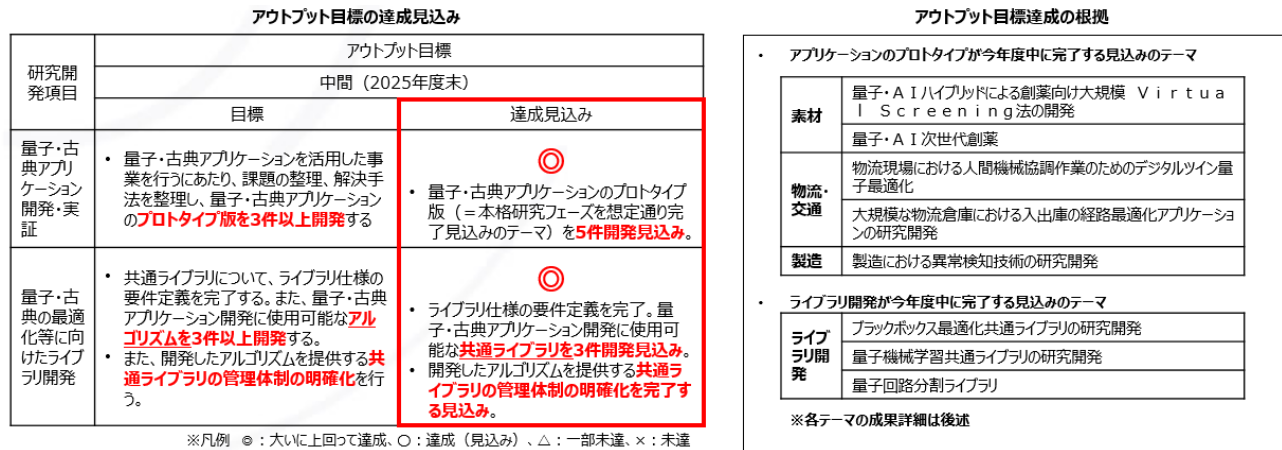


図2 アウトプット目標の達成見込み及びその根拠

各実施テーマの中間目標の達成状況については、「4. 目標及び達成状況の詳細」に記載の通り。

3. マネジメント

3.1. 実施体制

NEDO は公募により研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に関り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

加えて、実用化・事業化を目指したテーマの推進を行うため、産業界・アカデミアの有識者で組織した「技術推進委員会」を1回/フェーズ実施する。また前述の通り、INPITより知財戦略コーディネーターを派遣頂き、知財戦略を具体化・精緻化（2025年9月までに6テーマの戦略を策定予定）。また、実施者間（特にアプリ・ライブラリ間）の連携や想定ユーザーへのヒアリング等も積極的に実施する。

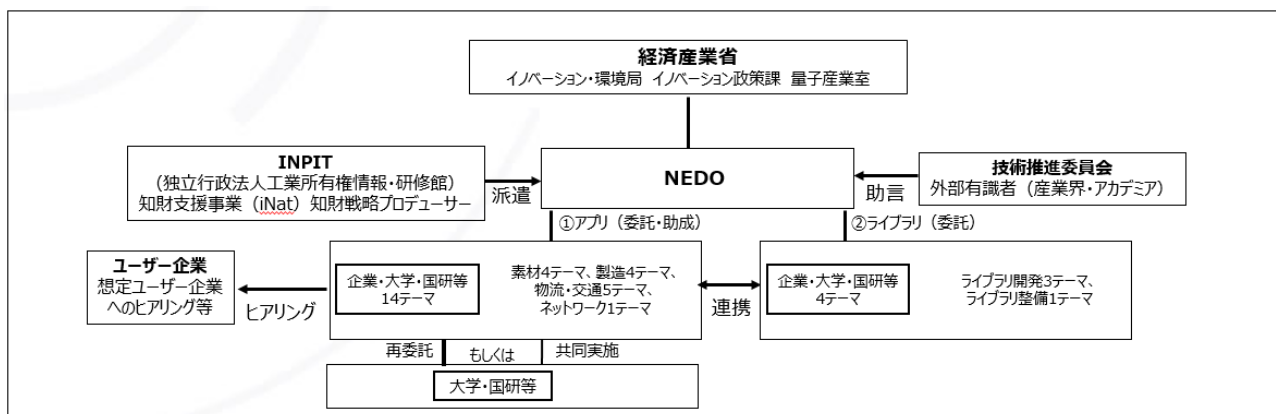


図 3-1 本事業の実施体制

3.2. 受益者負担の考え方

研究開発項目①については、研究開発内容に応じて、委託事業と助成事業のフェーズを設けて実施する。委託事業では、経済的合理性が見込めないリスクはあるが、実用化により経済的に大きな便益が期待できる研究課題を対象として事業を実施する。基本は初期仮説の検証を重点に置く開発研究を実施し、ステージゲート審査にて選別したテーマを対象として、本格的な研究開発の実施へ移行するが、初期仮説の検証が終わっている場合は本格的な研究開発の実施からの開始も可能とする。助成事業では、企業の積極的な関与により推進されるべき事業化に向けた課題に対する研究開発を実施する（NEDO 負担率：大企業 1/2 助成、中堅・中小・ベンチャー企業 2/3 助成）。

研究開発項目②については、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

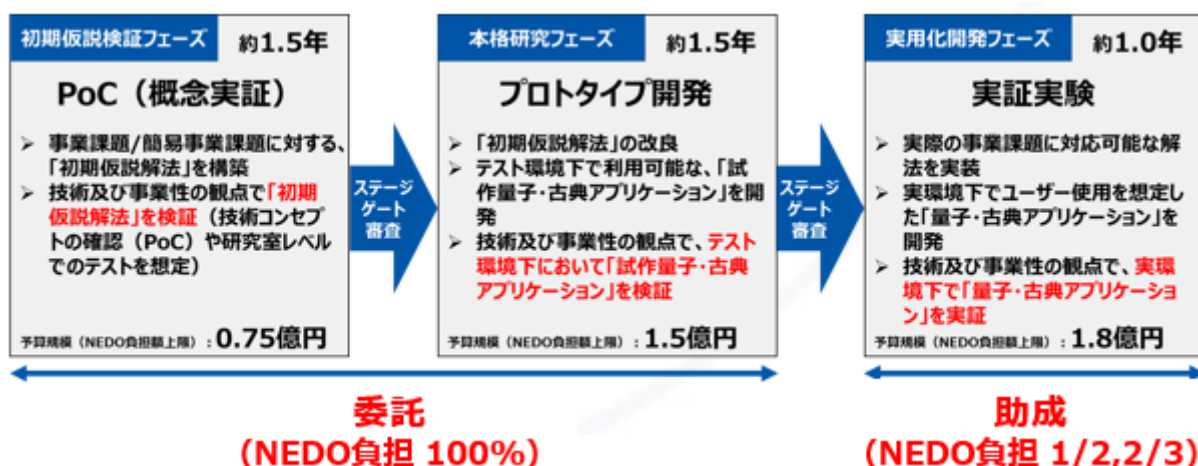


図 3-2 受益者負担の考え方（項目①の委託・助成の整理）

3.3. 研究開発計画

3.3.1. 外部環境を踏まえた内容の見直し・項目間の連携

外部環境を踏まえた内容の見直しについては、「量子未来産業創出戦略」において、ネットワーク分野（仮想発電所における需給予測・ネットワーク制御、通信ネットワークのトラフィック制御など）の重要性が提言されたことを踏まえ、2024 年度から項目①に「ネットワーク分野」を追加。

項目間の連携については、項目①アプリ開発と項目②ライブラリ開発・整備については、項目間での連携（技術推進委員会での助言、整備体制への意見出しなど）を実施。今後は、ライブラリベータ版のテスト利用も想定。

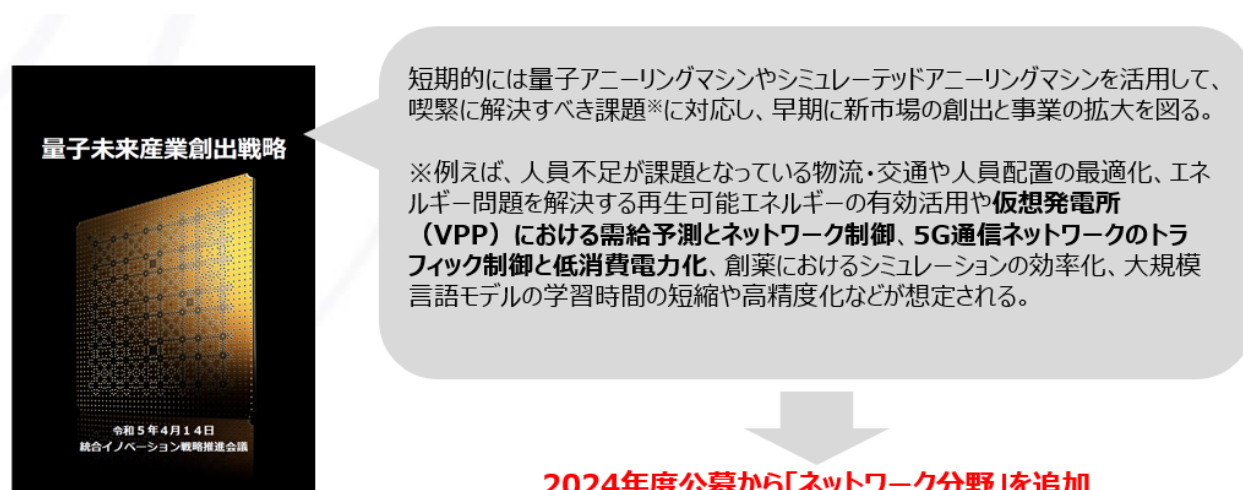


図 3-3 外部環境を踏まえた内容の見直し

3.3.2. 進捗管理

実施者内において、コンソーシアム内で進捗会議を定例で実施するとともに、知財運営委員会を随時開催した。また節目では NEDO 主催で技術推進委員会、技術指導、ステー

ジゲート審査、知財コーディネーターとの打ち合わせ等を実施した。加えて NEDO 内部においては、NEDO 内週次会議で各種進捗管理をするとともに、四半期に一度上層部に進捗をレポートする等、各段階・階層で進捗管理・報告を実施。なお、現在まで、著しい遅延（実施中のフェーズでのキャッチアップが不可能な遅延）は発生していない。

なお技術推進委員会については、分野に応じた専門委員をアサインするとともに、委員会の運用面を随時改善。

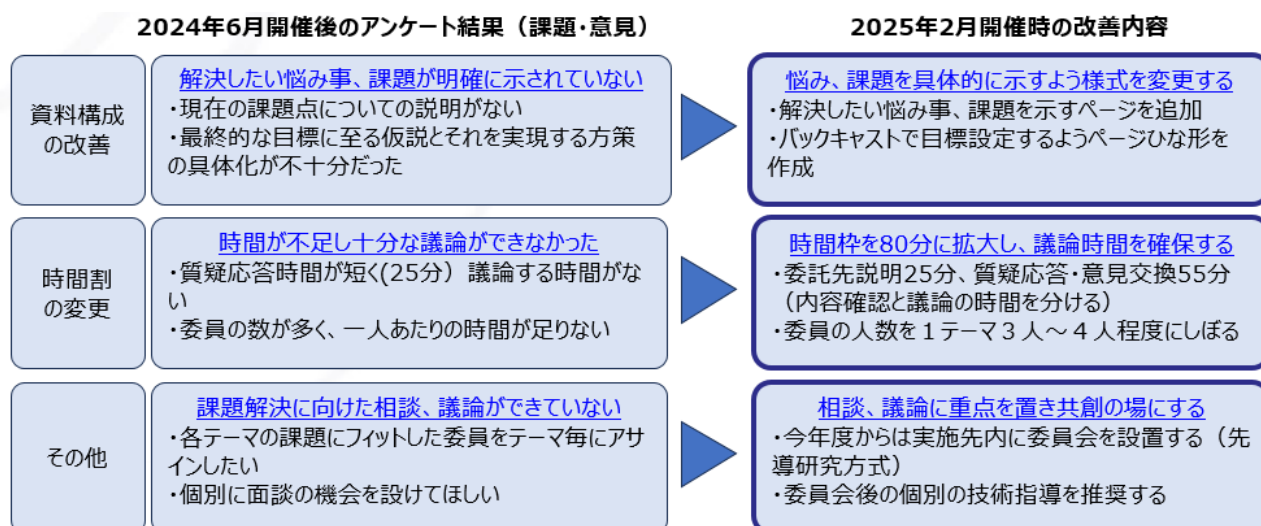


図 3-4 技術推進委員会の運営メインの改善

3.3.3. ステージゲート方式による絞り込みの考え方

本プロジェクトは「多産多死」のコンセプトを掲げており、初期仮説検証フェーズはチャレンジングなテーマを積極的に採択している。その一方で、フェーズ移行時にステージゲート審査を行い、支援すべきテーマの絞り込みを行っている。その際の通過率は 1/2 以下（小数点以下切り上げ）と設定した（なお、通過率は「応募パターン」ごとに設定。また、開発分野間のバランスに配慮することとしている。）。

これまで 2 回のステージゲート審査を実施。想定していた以上に各テーマの評価点が高かったため、開発分野間のバランスに配慮（少なくとも各分野から 1 件の通過枠を用意）し、いずれも 5 件中 4 件を通過とした。

ステージゲート審査1回目（2024年8月） 対象：アプリ一期生	ステージゲート審査2回目（2025年1月） 対象：アプリ二期生
■審査した案件（5件）： - 応募パターン1-1：製造1件 - 応募パターン1-2：素材3件、物流・交通1件	■審査した案件（5件）： - 応募パターン1-1：素材3件、物流・交通1件 - 応募パターン1-2：製造1件
■審査結果： - 応募パターン1-1は1件（製造）であり、通過基準を上回ったため「通過」とした。 - 応募パターン1-2の4件うち、素材1件はフェーズ移行を辞退。残り3件はすべて通過基準を上回った。素材の2テーマが上位2件に入ったため、開発分野間のバランスに配慮^{※※}し、3件すべてを「通過」とした。	■審査結果： - 応募パターン1-1の4件はすべて通過基準を上回った。上位2位が素材2件だったため、開発分野間のバランスに配慮^{※※}し、3位の物流・交通含めた3件を「通過」とした。 - 応募パターン1-2は1件（製造）であり、通過基準を上回ったため「通過」とした。

※※「製造」「物流・交通」「素材」「ネットワーク」の4分野それぞれにおいて1つのユースケース事例を創り上げる本事業の目的に基づき、少なくとも各分野から1件の通過枠を用意した。

図 3-5 これまでのステージゲート審査の結果

3.3.4. 事前評価結果への対応

2022年11月、本事業の事前評価委員会を実施した。アプリ開発における支援スキームや、量子コンピュータの対象範囲（量子インスパイアードも支援対象とすべきかどうか）等についてご指摘を頂いた。各ご意見に対応し、制度設計や公募要領等の作成を行った。詳細は、下表の通り。

表 3-1 事前評価での指摘事項とその対応一覧

	委員からのご指摘事項（要約）	対応
1	AI技術や量子技術の進展にもない、ハードウェア・アプリケーションともに広がりや深さも変化することが予想される。萌芽期特有の技術進歩・技術遷移を見極めながら、事業を進めていくことが重要。	公募やステージゲート等のNEDOのプロジェクトマネジメントでは、技術進歩および技術遷移の状況を取り込んで柔軟に運営を行う。 →技術の進歩やテーマの成熟度を織り込み、柔軟な支援スキームを実施
2	アプリケーション開発・実証の中身に関しては、今後社会実装、ビジネス化していくためのノウハウが含まれる可能性が高い。そのノウハウを報告しない良いようなアウトプットを定義しないと、本当にビジネス化を考えている応募候補者は応募しない可能性がある。	社会実装、ビジネス化を検討する実用化開発のフェーズでは、研究開発内容の詳細を公開しない助成のスキームにより実施する計画としていることに加えて、適切なアウトプットを定義して進めるものとする。 →委託・助成を段階的に導入（詳細は、P.32「受益者負担及び予算」）
3	- 確実な社会実装の観点および日本が諸外国よりも開発が進んでいる観点から量子インスパイアードも明記した方が良い。 - 事業目的の部分で、「省力化や最適化に資する」となっているが、最適化した結果としての省力化である。また素材関連では省力化のみならず、最適化（候補絞り込みの高速化）によって、探索空間が拡大し、結果として新素材、新薬発見にもつながるはずである。強いて「最適化」という言葉も残すのであれば「省力化、新素材発見、最適化に資する」が良い。	量子コンピュータには対象範囲を設けることから、本事業で使用する「量子コンピュータ」の用語が指し示すものは明示する。さらに、手段としての「最適化」が、結果である「省力化」や「新素材発見」等と並列に表記している部分の修正を行う。 →「量子インスパイアード」も本事業の対象技術であることを、公募要領等に明記
4	- 掲げられた社会課題に対して、「量子コンピュータが貢献する経路」を現時点で明確に描いているレイヤーは世界的に見ても皆無であり、説明資料に記載されているアウトカム等を考えることこそが本事業のコアの取り組みである。 - 資料に記載のアウトカム等の内容はあくまで現時点での仮説であることを明示化いただいた上で、研究開発項目①のFSの目的を「この道筋そのものを精緻に描き直すこと」としてよいのではないかと考える。	量子・AIアプリケーション開発・実証の実施に当たっては、課題解決により見込まれるアウトカムおよびアウトカム達成に至るための当初仮説を構築し、事業期間を通してこの精緻化も行う。 →技術及び事業性の観点両面において、フェーズを移行するごとに精緻化する制度設計とした（詳細は、P.10「事業の計画（項目①における段階的な支援スキーム）」）

3.3.5. 成果普及への取り組み（情報発信・アウトリーチ活動）

2025年2月に、国内公的機関では初となる「量子コンピューター ユースケース事例集」を公開するとともに、メディア向けに発信を行った。また、2025年3月には事例集を共有するためのシンポジウムを開催し、ネットワーキングイベントや事業立ち上げのための伴走支援を実施した。



図 3-6 成果普及への取り組みに関する情報発信・アウトリーチ活動の例

3.3.6. モティベーションを高める仕組み

本プロジェクトでは、参加者のモチベーションを高めるため、「インセンティブ制度」（委託又は補助事業において計上する費用と別に、ステージゲート審査の際に当初設定した目標の達成度等に応じてインセンティブを支払う制度）を導入した。

また、最先端かつ挑戦的な分野では、互いの経験・知見の共有や励ましあうコミュニティの存在が重要であるため、実施者を集めた「テーマ間交流会」を開催し、各テーマの概要・成果の発表、ポスターを掲示した上でのディスカッションなどの自由な交流時間を設けた。

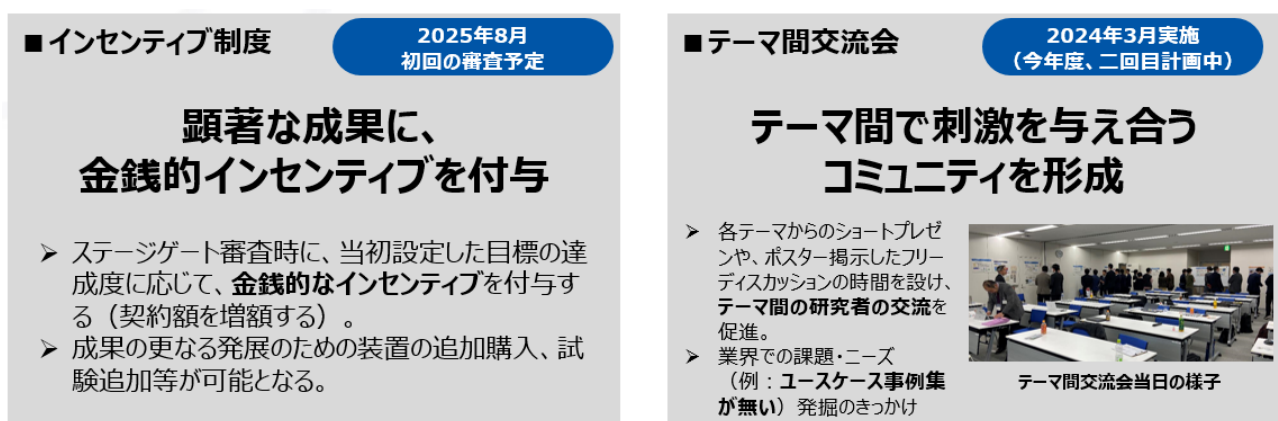


図 3-7 本プロジェクトのモチベーションを高める仕組み

4. 目標及び達成状況の詳細

4.1. 研究開発項目①：量子・古典アプリケーション開発・実証

2023 年度第 1 回採択テーマ（アプリ 1 期生）5 テーマ

①量子・AI ハイブリッドによる創薬向け大規模 Virtual Screening 法の開発

テーマ名	量子・AI ハイブリッドによる創薬向け大規模 Virtual Screening 法の開発	達成状況	○
実施者名	委託先：東芝デジタルソリューションズ株式会社、アヘッド・バイオコンピューティング株式会社、国立大学法人東京科学大学 再委託等先：国立研究開発法人産業技術総合研究所		
達成状況の根拠	創薬プロセスにおいて、量子アニーリングを用いて Fragment-Based Virtual Screening を行う手法開発を行っており、フラグメント集合開発やハミルトニアン概念設計・詳細設計、アニーリング呼出機構といった要素技術開発から、VS 性能ベンチマーキング、システム全体の構築まで目標をすべて達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

昨今、COVID-19 によるパンデミックへの対応などから、安心・安全な暮らしへの要求が高まっている。一方、我が国の製薬関連産業では、医薬品が大幅な輸入超過となっており、創薬力の強化が必要な状況にある。こうしたことから、日本の医薬品のエコシステムにおいて、開発プロセスの効率化が重要となっており、その解決策の一つが創薬プロセスの DX 化である。近年の IT 創薬では、超大規模化合物ライブラリの活用が重要であるが、その重要なステップである Virtual Screening において、従来法では大規模化合物ライブラリへの対応に限界があった。この限界を拡大する方法としては、Fragment-Based の手法が有効であるが、手法に含まれる組合せ最適化部分がボトルネックであったことから、本プロジェクトでは、これに対し組合せ最適化部分に疑似量子アニーラを適用することでボトルネック解消を図り、Virtual Screening の超大規模化・高速化を図る。これにより創薬上流過程の効率化を実現し、健康長寿社会の実現、関連産業の発展に貢献する。

●アウトプット目標

研究開発内容	本格研究フェーズの目標
① 組合せ最適化による FBVS	100 変数/フラグメントの表現形式の実現
② フラグメント集合設計	1000 件のフラグメント集合開発
③ ハミルトニアン概念設計	計算速度を 10 倍に高速化
④ ハミルトニアン詳細設計	従来手法と同等精度を達成
⑤ アニーリング呼出機構	接続方式の高度化に対応
⑥ VS 性能ベンチマーク	AI スパコン上で 10 万変数規模のシステム構築
⑦ システム全体の構築	従来型計算機と SQBM+ の高速で密な接続の実現
⑧ 接続方式の開発	
⑨ AI 活用による標的選定	中～高難度の標的 2 種類提案
⑩ 医学的に重要な標的選定	実験的検証 1 種類以上

●成果とその意義

■成果

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
100 変数/フラグメントの表現形式の実現	100 変数/フラグメントの表現形式を実現済で、フラグメント集合(50 件・200 件)での実証が進んでいる。1000 件への拡張も達成見込み。高速	○
1000 件のフラグメント集合開発		

計算速度を 10 倍に高速化 従来手法と同等精度を達成	化率は仮説検証フェーズの終了時点で同フェーズ目標を上回った。速度・精度のトレードオフを調整し、目標達成の見込み。	
接続方式の高度化に対応 AI スパコン上で 10 万変数規模のシステム構築 従来型計算機と SQBM+ の高速で密な接続の実現	AWS・TSUBAME・ABCI-Q の各環境上でのコンポーネントの結合・システム構築により、目標達成の見込み	○
中～高難度の標的 2 種類提案	2 種類の標的を提案済み	○
実験的検証 1 種類以上	1 種類の標的について実験的検証を実施の見込み	○

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

疑似量子アニーラを使った Virtual Screening において、従来法では不可能であった大規模化合物ライブラリを現実的な計算時間で扱うための基礎技術を確立することで、IT 創薬の飛躍的な効率化を可能とする。

●実用化・事業化への道筋と課題

2025 年度末の本格研究終了後、実用レベルの技術強化、IT 以外を含む多様な技術の統合、事業体制・提携関係の構築、IT 創薬プラットフォームへの実装、海外展開の準備などを含む事業開発を経て 28 年度以降の本格事業化を目指す。そのためには、多彩な知識の結集、事業モデルの確立が課題となる。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	37.3	75.4	111.8	-	-

●特許出願及び論文発表				
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
1 件	1 件	1 件	0 件	1 件

②量子・AI 次世代創薬

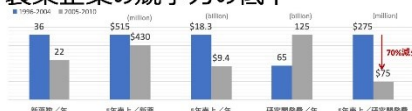
テーマ名	量子・AI 次世代創薬	達成状況	○
実施者名	委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人早稲田大学、株式会社リボミック		
達成状況の根拠	実イジング計算機を用いて、制約を満足しつつ目的関数を最小化する複数の RNA 配列を生成（一部は結合実験を行い、その有効性を確認済）するとともに、高活性のアプタマー創薬配列の取得、医薬品原料として応用可能であることの実証（機能評価系の構築及び評価）が順調に進捗しており、目標を達成見込みである。なお、アプタマー配列の目的関数については、目標値以上の成果（目標値 2 件のところ 5 件取得）が得られており、大いに上回って達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

現在の医薬品開発においては創薬成功率の低下、創薬プロセスの長期化と高コスト化、製薬企業の研究開発力の低下が大きな課題となっている。これは現在の創薬の主流である「タンパク質をターゲットにした低分子化合物創薬」では薬を開発することが困難となってきたためである。このような状況は薬価の高騰や希少疾患に対する創薬の欠如などの社会的な課題に直結する。今後誰もが必要な薬にアクセスできる豊かな健康長寿社会を実現していくためにはこの問題を解決することが必須である。

現在の課題（before）

- ・創薬プロセスの長期化
- ・製薬企業の競争力の低下



将来の姿（after）

- ・薬価の低減
- ・希少疾患に対する薬の創出
- ・日本の製薬企業の競争力の強化



量子AI次世代創薬：創薬標的の選択から薬の創出までをAIと量子技術を用いて行う

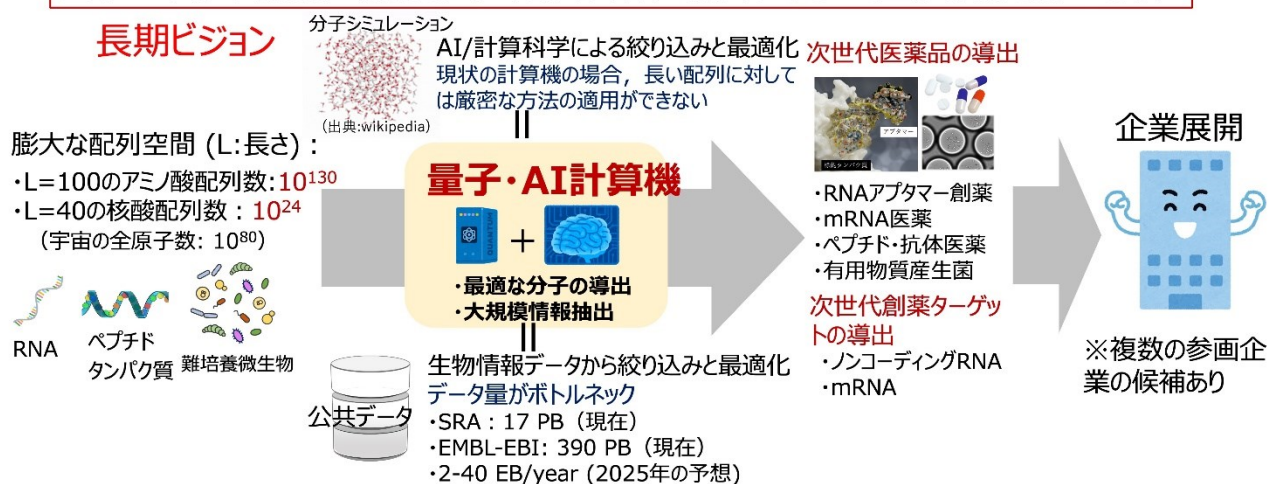


図 量子 AI 次世代創薬の長期ビジョン

そこで本事業では長期的な研究開発ビジョンとして、タンパク質をターゲットにした低分子化合物創薬の限界を突破するために「量子・AI 次世代創薬」を確立することを目標としている（図）。ここでいう「次世代創薬」は低分子化合物に代替する新しい創薬分子の創出（例：RNA アプタマー、mRNA 医薬、抗体医薬）とタンパク質に代替する新しいターゲット分子の創出（例：疾患関連ノンコーディング RNA）を包含するものである。これらの分子を創出することは、膨大な配列空間から最適配列の選択を行うことと等価である。現状の計算機ではこの膨大な配列空間の網羅的な探索は困難であるが、AI および量子計算を融合した新しい技術がこの困難を解決するブレイクスルーとなることが期待される。

本事業では事業期間などを考慮し、上記の長期的な研究開発ビジョンの一部を実施する。具体的には、実施グループが世界的な研究実績を有している「RNA アプタマー創薬」にフォーカスして事業の推進を行い、AI と量子計算を用いて RNA アプタマー創薬を加速する技術基盤の開発および実証を行う。さらに、開発した技術を国内の企業に展開することにより、日本の製薬会社の研究開発力の劇的な向上を目指す。

●アウトプット目標

量子・AI アプタマー創薬を確立し、従来に比べてリードアプタマー取得期間の短縮および成功率の向上を目指す。

●成果とその意義

■成果

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
RNA 配列の長さとして 40 以上のものを対象に、RNA 配列のデータ表現を考慮した上で、アニーリング型の量子計算機で最適化可能な目的関数(本プロジェクトで開発)の最小化に対して、実イジング計算機で最適化可能であることを実証する。	RNA 配列のデータ表現を考慮し、長さ 30 ならびに長さ 40 の RNA 配列に対して、制約を満足しなおかつ目的関数を最小化する複数の RNA 配列を、実イジング計算機を用いて生成した。一部、結合実験を行い、その有効性を確認している。	○達成（見込み）
実験データ、AI およびシミュレーション技術を用いて量子計算に適したアプタマー配列の目的関数を 1 つ以上開発する。1 件以上の創薬ターゲット分子に対して、既存の方法に比べて活性の高いアプタマー配列を 2 つ以上取得する。	実験データ、AI を用いた量子計算に適したアプタマー配列の目的関数を 5 個以上開発した。1 件の創薬ターゲット分子に対して、既存の方法に比べて活性の高いアプタマー配列を 2 件取得した。	◎
医薬品用途アプタマーとしての機能評価系を構築し、当該評価系において量子・AI 技術により提案、最適化された RNA 配列が医薬品原料として応用可能であることを実証する。	取得したアプタマー候補 RNA 配列の評価系構築を行った。医薬品応用に向けた阻害活性を評価するため、SPR 法を用いたアッセイ系の構築を行い、達成した。また、DDS ツールへの応用可能性を評価するため、細胞を用いた核酸医薬品のデリバリーについて評価した。一部については、その有効性を確認している。	○達成（見込み）

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

アプタマー創薬は、さまざまなメリットを有するにも関わらず、次世代医薬品開発の中でも、最も上市されている薬が少なかった。量子技術を用いることにより、今後アプタマー医薬品が増えることは、創薬市場全般に多くの意義をもたらす。

●実用化・事業化への道筋と課題

まずは、リボミック社の実際の創薬現場において技術を活用しながら、フィードバックをいただくことにより、技術を洗練させていく。その後に汎用的なシステムとして実装し、事業化へ進めていく予定である。

●期間・予算 (単位: 百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	50.0	75.0	98.4	-	-

●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
1 件	0 件	5 件	0 件	1 件

③高柔軟性薬剤分子の結晶構造予測システム

テーマ名	高柔軟性薬剤分子の結晶構造予測システム	達成状況	△												
実施者名	委託先：田辺三菱製薬株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所														
達成状況の根拠	AI 技術による結晶性コンフォーマーを絞り込む手法の開発・検証を完了するとともに、AI と共通の量子計算用のインターフェースプログラムを実装し、当初の目標を達成した。ただし、量子計算による結晶構造予測の加速について、2 つの量子計算による結晶構造探索手法を実施し検証を完了したが、量子計算による優位性は示せず、本項目については目標未達となった。														
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係 高柔軟性薬剤分子では分子構造は同じでも立体構造の異なるコンフォーマーが多数存在するため、溶解度の異なる結晶形が出現する可能性が高い。低溶解度の安定結晶形の突然出現で、薬効が消失する危険性を避けるため、製剤の分野では結晶構造予測シミュレーションによるスクリーニングが重要となる。しかし、その結晶構造予測は、安定なコンフォーマー数の爆発的増加に伴い、探索空間次元が増大するため、古典コンピュータによるシミュレーション計算では、その膨大な計算量から現実的な計算コストでの予測は不可能である。本テーマでは、高柔軟性分子がとりうる多数のコンフォーマーから派生する膨大な「ありうる」周辺結晶構造候補を絞り込む AI 技術と、付与の構造に対する結晶構造の決定を高速化する量子計算技術を開発し、それらを連携することで、高柔軟性分子の結晶構造予測システムの基盤技術を開発し、素材・創薬分野での AI-量子計算連携のユースケースを創出する。															
●アウトプット目標 AI 技術による見落としのないコンフォーマーや配置の絞り込みで結晶構造予測の計算回数爆発を抑制し、量子計算では、量子 inspired 技術による擬似量子計算で付与のコンフォーマーに対する結晶構造探索での計算量の削減をそれぞれ実現する要素技術を開発し、その仮説検証を行う。また各要素技術を連携させたフレームワークを構築し、量子—AI 連携によるユースケースを創出する。															
●成果とその意義 ■成果 <table><tr><th>目標</th><th>成果・達成状況・根拠・対応策</th><th>達成度※</th></tr><tr><td>AI 技術による結晶性コンフォーマー絞り込みの加速</td><td>網羅探索加速の実証と、コンフォーマー数絞り込みの AI 手法の検証を完了。</td><td>○</td></tr><tr><td>量子計算による結晶構造予測の加速</td><td>2 つの量子計算による結晶構造探索手法を実施し検証を完了。計算速度の優位性については、アルゴリズムの改良が必要。</td><td>△</td></tr><tr><td>量子-AI 連携のフレームワーク構築</td><td>AI と共通の量子計算用のインターフェースプログラムを実装完了</td><td>○</td></tr></table> ※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達				目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※	AI 技術による結晶性コンフォーマー絞り込みの加速	網羅探索加速の実証と、コンフォーマー数絞り込みの AI 手法の検証を完了。	○	量子計算による結晶構造予測の加速	2 つの量子計算による結晶構造探索手法を実施し検証を完了。計算速度の優位性については、アルゴリズムの改良が必要。	△	量子-AI 連携のフレームワーク構築	AI と共通の量子計算用のインターフェースプログラムを実装完了	○
目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※													
AI 技術による結晶性コンフォーマー絞り込みの加速	網羅探索加速の実証と、コンフォーマー数絞り込みの AI 手法の検証を完了。	○													
量子計算による結晶構造予測の加速	2 つの量子計算による結晶構造探索手法を実施し検証を完了。計算速度の優位性については、アルゴリズムの改良が必要。	△													
量子-AI 連携のフレームワーク構築	AI と共通の量子計算用のインターフェースプログラムを実装完了	○													
■意義 量子 inspired 技術による擬似量子計算機は既にいくつかのベンダーにより実機がビジネス投入されているが、本質的に用途が最適化問題解決に特化しているため素材、材料分野でのユースケースは非常に単純化された問題設定でのものに限定されているのが実情である。本テーマは結晶構造予測という、古典計算機でも難度が高く、汎用性が要求される材料計算シミュレーション課題に初めて量子計算機の利活用を検討・検証したものであり、擬似量子計算機の普及に資するユースケースである。AI 技術との連携で、相乗的に計算速度を加速し、高柔軟性薬剤分子への適用可能性を実証したことにより、従来量子計算のユースケースとして考えられていた創薬だけでなく製剤分野にも波及効果がある。															
●実用化・事業化への道筋と課題 結晶構造予測システムの最終目的である、古典計算機に対する量子計算の優位性と AI を活用し、これまでほぼ不可能であった付与の薬剤分子に対する全ての結晶構造を探索・決定するためには、実際の製剤の対象となるような高柔軟性薬剤分子をモデル素材とし、結晶の対称性の利用による量子計算の精度向上や、必要なコンフォーマー数の絞り込み率の算定に基づく技術が入った、要素技術の深掘りが必要となる。そのためには、開発候補品の構造情報を使用するため、情報の取り扱いの点から製薬会社による事業化は困難であることが想定される。事業化にはソフトウェア開発 IT 企業や受託解析、測定機器関連企業等による継承が課題となると考えられる。															

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	29.5	37.8	-	-	-
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
0 件	1 件	2 件	0 件	1 件	

④製造における異常検知技術の研究開発

テーマ名	製造における異常検知技術の研究開発	達成状況	○
実施者名	委託先：TOPPANホールディングス株式会社 再委託先等：慶應義塾大学		
達成状況の根拠	量子機械学習を用いた製造設備の異常音検知技術について、機械稼働音のデータセット構築、異常検出技術のいずれも本格フェーズの目標を達成見込みである。また、異常を高精度で検知するプロセスを確立し特許出願する計画も、本格フェーズ内にて実施予定である。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

国内製造業は高品質化、低価格化、安定生産などの要求がより高くなる中、高齢就労者の退職による匠の技術の喪失や、外国人労働者の増加による経験や知見の不足、言語・文化の壁などの問題が深刻化している。

モノづくりにおいて、建屋やユーティリティ、生産ラインが正常状態を保っていることが必要不可欠だが、それらの状態を計測するセンシングにはコストや時間がかかることから、設備の保全業務は現状、熟練者の聴覚等による官能評価が主流である。しかし前述の国内製造業の実情から、音声等のデータを用いて複数設備の状態を同時に判定できる仕組みを構築し、熟練者に頼らない保全業務を実現したい。

実現に向けて、2～3 個の非接触センサー（マイクロフォン）を活用して、量子機械学習を用いて異常を検知する解析する。

音声データの作成について、半導体工場をイメージした機械稼働音発生環境モデル、ウェットプロセス、ドライプロセス、コンベアで構成されたものを用意する。また、防音室を実験室内に設置し、外音の影響を受けない環境で稼働音を録音する。

判定の前準備として、前処理 1：稼働音は自己回帰 (AR) モデルと呼ばれる時系列分析に掛け、特徴量化によりデータを圧縮する。もしくは前処理 2：MFCC で特徴量抽出を行い、PCA で特徴量の順位づけを行う。

稼働音の正常/異常について、量子カーネルを埋め込んだ OC-SVM を使って識別する。実機の量子コンピュータもしくはテンソルネットワークを用いた GPU での量子シミュレーションを使い、実運用に耐えうるモデルの処理速度、パフォーマンスを検証する。

●アウトプット目標

2026 年 3 月末（本格研究フェーズ終了時）において、10 個の対象物に対する異常検知を、量子機械学習により実現すると共に、古典コンピュータに対する量子優位性を示す。

実機の量子コンピュータもしくはテンソルネットワークを用いた GPU での量子シミュレーションを使い、実運用に耐えうるモデルを目指す

機械稼働音発生環境モデルの音声をデータセットとして、より工場に近い環境機械による音声モデルを公開する

■成果

対象物から異常検知を非接触センサ(マイク)で行い、量子機械学習を用いて判定する。

音声サンプルを作成する過程で録音した音声から、データセットを作成し、公開する。

音声処理から量子機械学習までのアルゴリズムフローを確立する。

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
5 個の対象物に対する異常検出	1 もしくは 2 つの非接触センサでの可能性を検討する。 5 つの異常（スプレー装置、真空装置およびコンベアの個別異常から 5 つを選択）を検知する技術を確認する見込み。	○
10 個の対象物に対する異常検出	3 つ以内の非接触センサでの可能性を検討する。 10 個の異常を検知する技術を確認する見込み。	○
機械稼働音のデータセット	データセットの作成 データセット（上記の異常）の公開を計画	○

	公開データセット向けサンプルプログラミング （古典量子ハイブリッド機械学習）を作成計画				
量子判定までのプロセスを確立、特許として提出する	異常を高い精度で検知できるアルゴリズムフローを作成し、本フェーズ中に特許出願予定。	○			
※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達					
■意義 マイクによる複数の機械稼働音からの判定が可能になれば、低コストで複数の機械の状態を判別可能になる。事前に機械の不備や故障を検知し、工場内の不良や事故を未然に防ぐ。 作成したデータセットを公開することで世の中のはまだ無い、より工場や機械稼働に近い音を提供し、他の機械学習や人工知能などの検証に貢献できる。					
●実用化・事業化への道筋と課題 実用化フェーズ実施タイミングにおいて、TOPPAN ホールディングス株式会社傘下の TOPPAN デジタル株式会社が事業展開する NAVINECT®での実装に向けた設計を検討する。 プロジェクト終了後、まずは自社工場内での実証検証を 27 年度、28 年度に実施し、社会実装に向けた経験を積む。併せて NAVINECT®実装に向けたモジュール開発を検討する。社外への公開、販売は 27 年度～28 年度で検討している。					
●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	12.0	16.7	36.6	※	-
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
1 件	3 件	5 件	0 件	1 件	

⑤物流現場における人間機械協調作業のためのデジタルツイン量子最適化

テーマ名	物流現場における人間機械協調作業のためのデジタルツイン量子最適化	達成状況	○
実施者名	委託先：国立大学法人東海国立大学機構		
達成状況の根拠	物流倉庫内の荷物の発送状況を収集・認識するための AI カメラの構築・認識率については想定通り進捗している。倉庫内の作業員や荷物移動に関するシミュレーションや、量子アニーリングを用いたレイアウト最適化については目標を大きく上回って達成予定である。加えて、最適化された作業指示の伝達手法については本格フェーズ内には設定した目標を達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

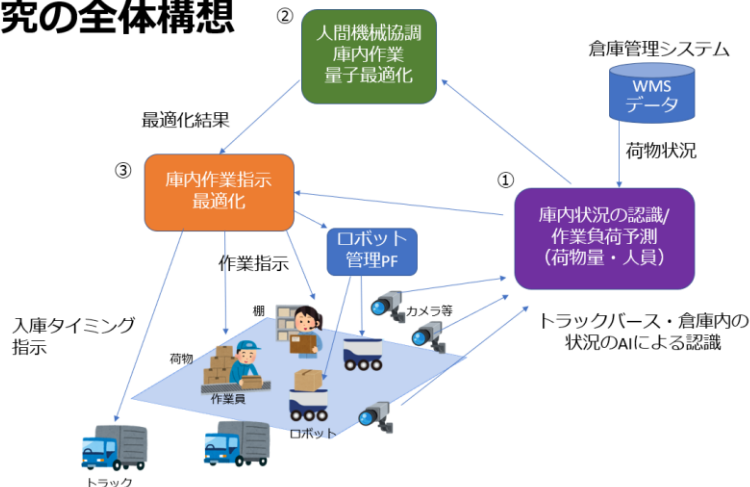
EC の普及により、世界的に物流量が増大し続けており、在庫のために巨大な倉庫と多数の人手が必要とされている。本研究開発では、物流の基礎となる倉庫内作業（入荷・検品・格納・ピッキング・仕分け・出荷）の効率化を目的としており、深刻な人手不足に対応するものである。

近年の物流倉庫は、自動倉庫や自動搬送・ピッキング装置などのマテリアルハンドリング機器の導入により、ある程度の効率化は進んでいるが、多くの物流倉庫では、多種多様なサイズ・形状の物品の取り扱いや、物流量の大きな変動に対応するため、完全自動化は困難であり、まだまだ多くの人手に頼っているのが現状である。倉庫物流には、需要の変動などに起因する物流変動に加え、少量多品種への対応やフロア毎のエリア配置、人員配置、搬送経路、ピッキング最適化など、様々な効率化課題が存在する。

実倉庫の運用状況を確認すると、倉庫内の荷物移動に多数の効率化余地があることが確認できる。入荷した荷物を例とすると、トラックからの着荷、仮置、検品、フロア間移動、格納といった細かな段階が存在し、それぞれの作業に対する人員配置や作業場所、移動経路により効率が大きく異なるが、その最適化が十分にできているとは言えない。

本研究開発では、右図に示すように、①実際の物流倉庫のデータを、AI カメラを通じて収集・認識し、デジタル化を行うことにより、現状での荷物搬送の状況を明確化した上で、仮想環境上にデジタルツインを構築する。また、②得られたデータに基づき、量子アニーリング方式による最適化技術を用いてエリアの配置、仮置場所の選定、搬送経路、人員配置などの最適化を行う。さらに、③最適化された内容を適切に作業員に伝えるために、伝達のタイミングや内容について実証する。

研究の全体構想



倉庫内のデジタル化・最適化・指示の最適化により、量子技術と従来型（古典）技術システムを融合・一体化したサイバー・フィジカルシステムの構築が可能になる。特に AI 技術により、庫内のデジタル化を効率的に実現する手法を構築し、量子最適化技術の活用のベースとする。また、作業の最適化により、省エネルギー化、CO2 排出削減、作業時間短縮に寄与する。

●アウトプット目標

作業現場のデジタル化において、エッジカメラの構築手法を確立し、人・パレットの移動については 9 割、その他の荷物の移動については 8 割の認識率を目標とする。また、デジタル化されたデータに基づくデジタルツインを構築する。具体的には、庫内の作業員や荷物移動に関するシミュレーションを可能とし、実倉庫の再現を可能にする。さらに、量子アニーリングを用いた最適化により、4 時間以内にレイアウトに関する合理的な解を得ることを目標とする。また、最適化された作業指示について、インカム等の様々な指示手法を評価し、作業員の満足度を 5 段階で 4 以上を目標とする。

●成果とその意義

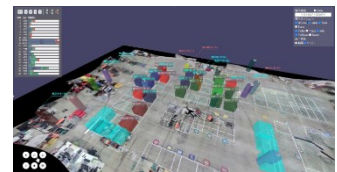
■成果

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
エッジカメラの構築手法	基本的な認識技術は確立しており、エッジシステムでの動作も確認済み	○
移動物の認識率 8 割以上	人・パレットに関して認識率が 8 割を超えており、2025 年 12 月ごろには 9 割以上が期待できる。	○
デジタルツインの構築	デジタル化されたデータに基づき、3 次元仮想空間上にデジタルツインを構築済み。	○
庫内の作業や荷物移動に関するシミュレーション	倉庫内情報に基づき、シミュレータを構築済み。当初は最適化の実施にシミュレータの利用を想定していなかったが、ブラックボックス最適化でシミュレータの活用が可能となり、想定以上の成果が出ている。	◎
量子アニーリングを用いた最適化により、4 時間以内にレイアウトに関する合理的な解を得る	ブラックボックス最適化により、シミュレータと量子アニーリングによりレイアウトとシフトの同時最適化を実現済み。レイアウトのみでは、1 時間以内。レイアウトとシフトの同時でも、設定次第で 4 時間程度で合理解が得られている。	◎
最適化された作業指示について、インカム等の様々な指示手法を評価し、作業員の満足度を 5 段階で 4 以上。	本格フェーズからの開始で、現在検討中であるが、指示の方法論については検討済み。2026 年 2 月ごろに検証予定。	○

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

これまでカンと経験に頼ってきた倉庫内物流において、大規模なカメラ基盤を用いてデジタル化を行い、右図のようにデジタルツインで可視化し、分析が可能で、事業者にとって様々な発見の機会となっている。また、現場では困難なレイアウトの試行をシミュレータ上で実施できるため、現場の手数を減らす大きな意義がある。量子アニーリングによる最適化による効率化も大いに期待できる。



●実用化・事業化への道筋と課題

当初は、以下のサービスの実用化・事業化を進めることとしている。

◎倉庫内作業やトラックバースの AI カメラ認識・デジタル化サービス

AI カメラの活用により、人やトラック・荷物の認識モデルを半自動生成し、マルチカメラトラッキングしてデータ化するサービス（エッジ AI 含む）

すでに、実倉庫内で試行サービスを開始しており、倉庫事業者での活用を進めている。現場からのフィードバックにより、有用性向上を目指しており、早期に事業化できる可能性がある。また、デジタルツインの可視化についても、同様に分析ツールとしての実用化を目指しているが、事業者側の分析ノウハウの向上が必要である。

●期間・予算 (単位: 百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	35.0	95.0	95.0	-	-

●特許出願及び論文発表				
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0 件	7 件	43 件	0 件	2 件

2023 年度第 2 回採択テーマ（アプリ 2 期生）5 テーマ

①量子＋古典 AI による物流業務効率化のアプリケーション開発

テーマ名	量子＋古典A I による物流業務効率化のアプリケーション開発	達成状況	○
実施者名	委託先：B I P R O G Y株式会社、大日本印刷株式会社		
達成状況の根拠	配送計画アプリケーション、ピッキング計画最適化アプリケーション、メタ解法モジュール、いずれにおいても本格研究フェーズの目標を達成見込みである。		
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係 「物流・交通」の分野において、量子・古典ハイブリッド技術を活用して、従来技術では解決が困難な規模や複雑さを有する事業課題を解決できる、物流業務効率化アプリケーションを開発する。 具体的には「物流・交通」領域でのユースケース創出を目標として、【①配送計画アプリケーション】 【②ピッキング計画最適化アプリケーション】の2つのアプリケーション開発を行う。 両アプリケーションともに要求される制約条件が多く、解空間が広くて難易度が高い。この難題を解決するため【③メタ解法モジュール】（古典 AI）の開発を行う。メタ解法モジュールと量子アニーリングが連携することにより、高速性・正確性の要件を実現し、①②の各アプリケーションの業務要件を満たし、事業課題を解決することを目指す。			
●アウトプット目標 ①配送計画アプリケーション PoC 候補企業を選定して、業務制約を取りまとめた上で、配送計画アプリケーションの適用および PoC を実施する。以下の項目を達成する。 ・PoC 着手 3 件（うち完了 1 件） ・全国エリアの 1 日の配送計画を 10 分以内で作成すること ②ピッキング計画最適化アプリケーション 初期仮説検証フェーズにおいて開発・検証した、「人によるピッキング計画最適化アプリケーション」をベースに、人・ロボット協働ピッキング計画最適化機能の開発および検証を行い、以下の目標を達成する。 ・ソルバが必ず実行可能解を返すこと ・ピッキング計画ソルバが返す内容が、作業現場での検証として妥当であること ・500 種類のピッキングアイテムに対し 5 名の作業員またはロボットごとにピッキング計画を最適化する計算時間が 3 秒以内であること ③メタ解法モジュール 初期仮説検証フェーズにおいて開発・検証したメタ解法モジュールの内容をベースに、計算フレームワークの開発および検証を行い、以下の目標を達成する。 ・①②の 2 つの専用ソルバとの連携および量子アニーラとの連携が正しく行われること ・メタ解法モジュールの利用により、計算時間短縮や解精度向上が確認できること ・オープンソース運営、伴走型利用者支援サービスの試行運用により有効性を確認できること			
●成果とその意義 ■成果			
目標		成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
①配送計画アプリケーション ・PoC 着手 3 件（うち完了 1 件） ・全国エリアの 1 日の配送計画を 10 分以内で作成すること		現在、適用候補企業 1 社へのアプローチを実施しており、PoC のための準備としてヒアリングやデータ事前検証を実施しており、スケジュール通り研究開発を推進している。 2026 年 8 月達成見込み。	○（見込み）
②ピッキング計画最適化アプリケーション ・ソルバが必ず実行可能解を返すこと ・ピッキング計画ソルバが返す内容が、作業現場での検証として妥当であること ・500 種類のピッキングアイテムに対し 5 名の作業員またはロボットごとにピッキング計画を最適化する		現在、人・ロボットのモデルとなる倉庫現場の業務分析に着手。初期仮説検証フェーズにて開発したアウトプットを元に、人・ロボットの計画を最適化できるアプリケーションの要件定義に着手。モデルとなる倉庫現場の業務分析を行っており、スケジュール通り研究開発を推進している。 2026 年 8 月達成見込み。	○（見込み）

る計算時間が3秒以内であること		
③メタ解法モジュール ・①②の2つの専用ソルバとの連携および量子アニーラとの連携が正しく行われること ・メタ解法モジュールの利用により、計算時間短縮や解精度向上が確認できること ・オープンソース運営、伴走型利用者支援サービスの試行運用により有効性を確認できること	現在、メタ解法モジュールの機能を組み込んだ計算フレームワークの論理設計に着手。初期仮説検証フェーズにて開発した機能群・企画構想内容を元に、論理設計に着手しており、スケジュール通り研究開発を推進している。 2026年8月達成見込み。	○（見込み）

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

①配送計画アプリケーション

企業ごとに配送のルール・制約が異なっており、企業ごとにアプリケーション開発が必要となるが、広く日本の物流業界に適用できる汎化されたベースモジュールとなるように構成している。

②ピッキング計画最適化アプリケーション

大規模にEC事業を展開している一部企業においては、大規模倉庫にロボットを大量導入して、自動ピッキングシステムを構築しているが、そのために、倉庫を抜本的に改築する等、莫大な投資が必要となる。このアプリケーションは既存の倉庫を変えずに合理化を図ることが可能となる。また、自動配送ロボットの活用は物流分野に限らない幅広く展開が可能である。

③メタ解法モジュール

量子アニーリング技術のポテンシャルを最大限に引き出すには、量子技術と古典最適化手法との効果的な融合が不可欠である。しかし、QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) 定式化は、多くの技術者にとって高いハードルとなっている。実務で蓄積された最適化手法(列生成処理など)をベースに、「メタ解法モジュール」の開発を進めることで、高度な専門知識を要した QUBO 定式化を、普通の技術者でも扱うことができ、量子アニーリングの社会実装を加速させることができる。

●実用化・事業化への道筋と課題

(1)提供アプリケーション

本研究にて開発したアプリケーションは組合せ最適化プラットフォームとして、利用する顧客からアプリケーション利用料やアニーラの利用料を徴収するビジネスモデルとする。併せて導入時のコンサルティングや個別カスタマイズ、アプリケーションの保守・運用をサービス提供する。

(2)アプリケーションの普及

量子・古典 AI 技術で開発したアプリケーション（専用ソルバ）やメタ解法モジュールをオープンソース化し、定式化や実装の適用/運用事例およびその方法論を公開する。これらを開発者に共有することで、量子・古典 AI 技術による多くの事業課題解決に貢献する。また、公開した知財を利用するユーザ企業をバックアップして、量子技術の普及を加速させるために、オープンソースコミュニティの推進や伴走型支援サービスも提供する。

(3)事業化推進時のオープンクローズ戦略

クローズ領域は、コア領域とされる量子コンピュータのソルバ及び量子関連で必要となる適用/保守・運用方法などの知財全般とする。開発者、利用者はオープン領域を利用してサービス構築をおこない、更に充実した機能や適用支援サービスを利用したい場合にはコア領域の機能を介して構築を行うことになる。コア領域の技術革新は日々追求をおこない、量子適用における業界全体への技術革新の方向性を主導しながら、世界中の開発者、利用者にはオープン領域は自由に使ってもらいビジネスチャンスを与える過程でオープン市場へ強い影響力を持たせていく。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	20.4	54.4	92.5	57.5	※
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
0 件	0 件	2 件	0 件	2 件	

②量子・AI 支援による機能タンパク質最適化技術の研究開発

テーマ名	量子・AI 支援による機能タンパク質最適化技術の研究開発	達成状況	○												
実施者名	委託先：国立大学法人東北大学、株式会社レボルカ 再委託等先：学校法人北里研究所、国立大学法人東京大学														
達成状況の根拠	学習データの取得法、学習モデルの開発、複数特性を同時に最適化する量子アニーリングの研究開発、いずれの項目も本格研究フェーズの目標を達成見込みである。														
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係 タンパク質は、医薬分野を中心に食品、環境、材料分野などへの利用が試みされているが、目的の特性（機能・特性）をもつ設計が難しく、開発費が高いため、新しい有効な薬・酵素の開発速度が上がらない。その中で研究代表者らは、機械学習と実験的操作を組み合わせることで、実験的操作では探索しきれない配列空間内中に含まれる目標タンパク質の発見確率を向上させるアミノ酸配列最適化プロセスを開発してきた。本研究開発では、量子アニーリングも適用することによって従来の機械学習手法では対応できないより大規模な配列空間を対象にしたアミノ酸配列最適化プロセスを開発し、パートナー企業の機能タンパク質の開発を支援していくプラットフォーム事業とともに、自ら創薬開発をおこなうパイプライン事業もおこなう社会実装を目指す。 ●アウトプット目標 ①天然タンパク質よりも、触媒活性が2倍以上、安定性（熱処理残存活性もしくは耐久残存活性）が3倍以上に向上した酵素の変異体を取得する。 ②抗原への結合機能が解離平衡定数で nM レベル、細胞傷害性（50%傷害濃度）が nM 以下、熱変性中点が 60℃以上の特性を示す二重特異性抗体を取得する。 ③実験的操作のみで取得したリード分子よりも、抗原への結合機能が 10 倍以上高く、安定性などの物性も向上しているリード分子を複数種取得する。 ●成果とその意義 ■成果 <table border="1"> <thead> <tr> <th>目標</th><th>成果・達成状況・根拠・対応策</th><th>達成度※</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>アウトプット目標①</td><td>教師データを取得し、学習モデルの作成を終了</td><td>○</td></tr> <tr> <td>アウトプット目標②</td><td>基本プロセスの構築と実証が完了</td><td>○</td></tr> <tr> <td>アウトプット目標③</td><td>結合機能についてはすでに達成。</td><td>○</td></tr> </tbody> </table> ※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達 ■意義 ・機械学習を取り入れたタンパク質のアミノ酸配列の設計は世界的におこなわれているが、探索できるアミノ酸配列の組み合わせ数（配列空間の規模）には限界があるため、探索対象となるタンパク質や特性（機能・物性）が配列空間設計の精度に依存してしまう。本研究では、量子アニーリングを利用することでその限界を拡張し、配列空間の精度に依存することなく幅広いタンパク質・特性へ対応することできる技術を構築できる。 ●実用化・事業化への道筋と課題 ・すでに設立しているスタートアップ企業（レボルカ）により、パートナー企業が希望する機能タンパク質の創出を支援するプラットフォーム事業と自社で創薬開発をおこなうパイプライン事業をおこなう（プラットフォーム事業においては、古典的 AI を用いてすでに事業化している）。				目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※	アウトプット目標①	教師データを取得し、学習モデルの作成を終了	○	アウトプット目標②	基本プロセスの構築と実証が完了	○	アウトプット目標③	結合機能についてはすでに達成。	○
目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※													
アウトプット目標①	教師データを取得し、学習モデルの作成を終了	○													
アウトプット目標②	基本プロセスの構築と実証が完了	○													
アウトプット目標③	結合機能についてはすでに達成。	○													
●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY 13.2	2024FY 61.8	2025FY 103.5	2026FY 46.5	2027FY ※										
●特許出願及び論文発表															
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他											
0 件	0 件	1 件	0 件	0 件											

③量子・A I によるポスト5 G・6 G用メタサーフェスデバイスの研究開発

テーマ名	量子・A I によるポスト5 G・6 G用メタサーフェスデバイスの研究開発	達成状況	○
実施者名	委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人大阪大学、株式会社テクノプローブ		
達成状況の根拠	メタサーフェス設計ツールの開発・静的異常反射板での検証については、QUBO 型コスト関数の重みについて、テーマ開始当初に想定していた以上の効率的な決め方を見出し、それに基づく設計ツールを設計しており、目標を大いに上回った成果を創出している。また、設計した静的異常反射板の製造・評価、及び設計ツールの要件具体化と古典ツールに比べた優位性検証については、想定通りの目標を達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

次世代ミリ波通信の実現に向け、低消費電力で柔軟なエリアカバレッジを可能とするデバイスとして、メタサーフェスが注目されている。しかし、メタサーフェスの設計には多数の設計変数が関与し、特に実用サイズの構造においては、従来手法では設計に要する時間が発散的に増大するという課題がある。本プロジェクトでは、こうした課題の解決に向けて、量子アニーリングおよび疑似量子アニーリングを活用し、試行回数を抑えつつ高効率で最適解に到達可能な設計ツールの開発を進めている。これにより、「次世代高速大容量通信を、低消費電力な形態で社会実装する」というプロジェクトのアウトカム目標に資する先進的な設計基盤の構築を目指す。

●アウトプット目標

- [1] バイナリ変数が 30 個以上の量子アニーリングを伴う量子ブラックボックス最適化に基づいて、メタサーフェス静的異常反射板の最適化設計を実施すること。設計では、①異常反射効率が 95%超の性能を得ること、②設計時間が古典アルゴリズムに比べて 50%以下かつ 24 時間以下に短縮されることを確認すること。
- [2] 上記設計された静的異常反射板の製造・評価を実施し、性能を確認すること。
- [3] 量子アニーリング技術を用いた最適化設計ツールに関し、ユーザーおよびベンダーへのヒアリングを行い、ターゲットデバイスやツールの要件等を具体化したうえで、古典最適化ツールの限界および現行の量子／疑似量子マシンを用いた最適化ツールの解決可能性を定量的に示すこと。

●成果とその意義

■成果

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
[1] メタサーフェス設計ツールの開発と静的異常反射板での検証	静的異常反射板の設計問題が、近似的に QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) 形式にエンコード可能であることを導出し、これをアニーリングで解く設計ツールを開発した。本ツールの有効性は、反射ビームの方向やビーム幅を制御する静的異常反射板の設計を通じて実証された。	◎ (当初は反復最適化を想定していたが、アニーリングで静的異常反射板の設計問題を直接解ける定式化を見出し、それに基づく設計ツールを開発したため)
[2] 設計した静的異常反射板の製造・評価	設計した静的異常反射板の製造・評価を実施し、性能を確認した。	○
[3] 設計ツールの要件具体化と古典ツールに比べた優位性検証	ユーザーおよびベンダーへのヒアリングを通じて、ターゲットデバイスや設計ツールの要件を具体化しつつある。現時点では、古典的な設計手法と比較して、開発中ツールがより効率的に最適解へ到達し得ることを示す定量的検証を一部実施している。今後は検証範囲を拡張し、想定される要件全体にわたり、開発ツールの優位性を定量的に明示する予定である。	○

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

本プロジェクトで提案する定式化を用いれば、メタサーフェスの一部の設計課題は QUBO (Quadratic

Unconstrained Binary Optimization) 形式に直接エンコード可能であり、これによりアニーリングに基づく設計ツールは古典ツールと比較して圧倒的に効率的かつ高性能な設計探索を実現する。より一般的なメタサーフェス設計に対しては、アニーリングと機械学習を組み合わせた量子ブラックボックス最適化に基づく設計ツールを開発しており、本ツールも古典ツールと比較した優位性を確認している（例を図 1 に示す）。これにより、量子・疑似量子アニーリングが多様なメタサーフェスデバイスの最適化設計に有効であることが実証された。

アニーリングに基づく本設計ツールは、開発期間の大幅な短縮に加え、古典ツールでは現実的な時間内に到達できなかった高性能・高機能な設計探索を可能とする点で、メタサーフェスデバイスの性能向上にも大きく貢献する。これにより、次世代通信用メタサーフェスの社会実装が現実のものとなり、通信インフラの省エネルギー化に資する点でも重要な意義を有する。

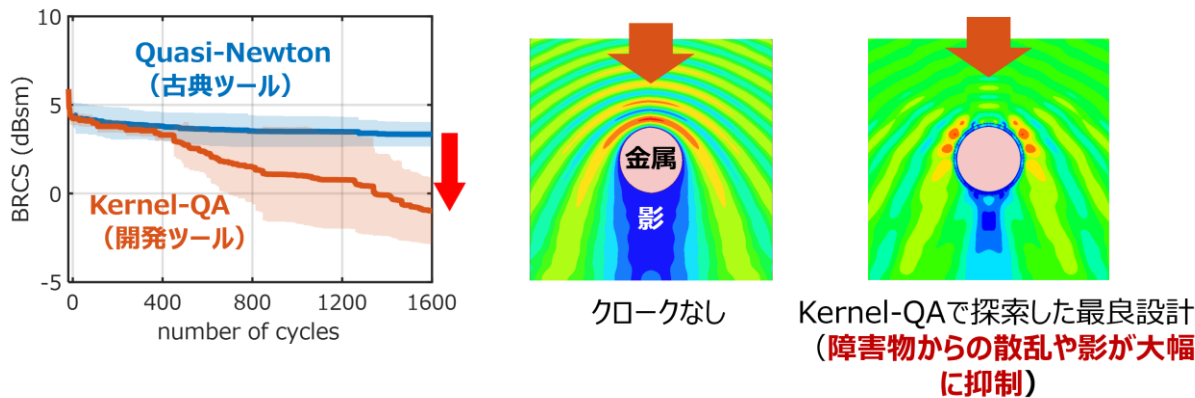


図 1 障害物からの散乱を抑制するメタサーフェスデバイス（マントルクローク）の最適化設計。
アニーリングを活用した開発ツールは古典ツールよりも効率的に良好な設計を探索する。

●実用化・事業化への道筋と課題

設計ツールによって実現した高性能・高機能なメタサーフェスデバイスについては、まずプロトタイプの提供・販売から事業展開を開始する。市場ニーズを把握するためのマーケティング活動を進めつつ、量産化に向けた製品開発を担うパートナー企業を募り、設計ツールの技術移転を通じて共同開発体制を構築する。これらの取り組みを通じて、2030 年頃の量産開始を目標としている。

現時点での課題としては、メタサーフェス構造の製造コストの低減、安定した供給体制の確立、設計最適化アルゴリズムの高速化に加えて、6G の導入シナリオが現時点で未確定である点が挙げられる。このため、メタサーフェスデバイスの導入形態や設計要件が今後変動する可能性があり、それに柔軟に対応可能な設計ツールの構築が求められる。加えて、6G におけるメタサーフェス活用の方向性次第では、企業の事業参画判断にも影響を与える可能性がある。今後は、技術開発と並行して標準化や市場動向の把握にも注力し、柔軟な事業展開戦略の構築を目指す。

●2024 年 1 月のステージゲート審査結果について

ステージゲート審査において、技術的アウトプット成果については一定の評価を得たものの、事業化の検討について課題指摘があった。このため、本格研究フェーズへの移行は 2025 年 8 月に再度審議することとなった。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	6.6	53.4	15.0	※	-
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
0 件	0 件	7 件	0 件	0 件	

④量子生成A Iによる半導体製造用新材料開発

テーマ名	量子生成A Iによる半導体製造用新材料開発	達成状況	△																					
実施者名	委託先：日本電気株式会社 再委託等先：田中貴金属工業株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所																							
達成状況の根拠	遷移金属含有分子向けのデータ解析手法開発については一部未達であるが、分子構造の二値ベクトルへの変換手法開発や、二値ベクトル空間での高精度物性予測モデル学習など、その他の項目については当初設定した目標を達成した。																							
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係 半導体製造分野では、微細化の進展、環境対応、需要過多、供給不足、原料の枯渇など様々な要求から常に新素材開発の必要性に駆られている。そこで新素材開発の効率化を目的とし、革新的な開発手法を量子計算手法、機械学習技術を組み合わせて開発する。確立する手法は、半導体だけではなく様々な材料・デバイス開発などへ応用することが可能で、素材産業全体の国際競争力向上や研究開発活動の効率化による二酸化炭素排出削減につながる。																								
●アウトプット目標 量子アニーリング技術と深層学習技術を組み合わせた分子材料設計手法を確立し、半導体製造用の有機金属分子材料の開発に適用する。探索した新材料候補を実際に合成、評価するまでを取り組みに含め、実用性の実証だけでなく製品化開発の着手までをアウトプット目標と設定している。																								
●成果とその意義																								
■成果																								
<table><tr><th>目標</th><th>成果・達成状況・根拠・対応策</th><th>達成度※</th></tr><tr><td>遷移金属含有分子向けのデータ解析手法開発</td><td>既存のケモインフォマティクス向けツールで扱いが難しい金属由来の結合様式へ対応するモジュール開発は計画していた検討評価を実施し、課題が明らかになったため改善策を定義した。</td><td>△</td></tr><tr><td>分子構造の二値ベクトルへの変換手法開発</td><td>解析的手法、深層学習モデル、分子のフラグメント化技術を応用した独自手法を開発した。</td><td>○</td></tr><tr><td>二値ベクトル空間での高精度物性予測モデル学習</td><td>二値ベクトル空間でも、連続空間と同様に高精度予測モデルの学習が可能であることを複数の物性において確認した。</td><td>○</td></tr><tr><td>計算、実験による学習データ生成</td><td>実際の材料合成、評価を見据えて学習データ取得に着手し目的のデータ蓄積を実施した。</td><td>○</td></tr><tr><td>物性予測モデルベースの最適化</td><td>物性予測モデルの出力値を指標にした疑似量子最適化を実施。ベクトルアニーリングの優位性を確認した。</td><td>○</td></tr><tr><td>二値ベクトルから分子構造への逆変換</td><td>基礎的な機能を実証した。広い探索空間で変換の成功確率を向上する難しさがあり、引き続き高度化に取り組む計画を策定した。</td><td>○</td></tr></table>				目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※	遷移金属含有分子向けのデータ解析手法開発	既存のケモインフォマティクス向けツールで扱いが難しい金属由来の結合様式へ対応するモジュール開発は計画していた検討評価を実施し、課題が明らかになったため改善策を定義した。	△	分子構造の二値ベクトルへの変換手法開発	解析的手法、深層学習モデル、分子のフラグメント化技術を応用した独自手法を開発した。	○	二値ベクトル空間での高精度物性予測モデル学習	二値ベクトル空間でも、連続空間と同様に高精度予測モデルの学習が可能であることを複数の物性において確認した。	○	計算、実験による学習データ生成	実際の材料合成、評価を見据えて学習データ取得に着手し目的のデータ蓄積を実施した。	○	物性予測モデルベースの最適化	物性予測モデルの出力値を指標にした疑似量子最適化を実施。ベクトルアニーリングの優位性を確認した。	○	二値ベクトルから分子構造への逆変換	基礎的な機能を実証した。広い探索空間で変換の成功確率を向上する難しさがあり、引き続き高度化に取り組む計画を策定した。	○
目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※																						
遷移金属含有分子向けのデータ解析手法開発	既存のケモインフォマティクス向けツールで扱いが難しい金属由来の結合様式へ対応するモジュール開発は計画していた検討評価を実施し、課題が明らかになったため改善策を定義した。	△																						
分子構造の二値ベクトルへの変換手法開発	解析的手法、深層学習モデル、分子のフラグメント化技術を応用した独自手法を開発した。	○																						
二値ベクトル空間での高精度物性予測モデル学習	二値ベクトル空間でも、連続空間と同様に高精度予測モデルの学習が可能であることを複数の物性において確認した。	○																						
計算、実験による学習データ生成	実際の材料合成、評価を見据えて学習データ取得に着手し目的のデータ蓄積を実施した。	○																						
物性予測モデルベースの最適化	物性予測モデルの出力値を指標にした疑似量子最適化を実施。ベクトルアニーリングの優位性を確認した。	○																						
二値ベクトルから分子構造への逆変換	基礎的な機能を実証した。広い探索空間で変換の成功確率を向上する難しさがあり、引き続き高度化に取り組む計画を策定した。	○																						
※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達																								
■意義 様々な最適化ソルバの一つとして、量子アニーリングを用いた組合せ最適化ソルバの必要性は、今後大きく高まると考えている。その一方で、様々な最適化問題をイジングモデル型に定式化する手間や、探索空間の定義手法、制約条件の扱いなど、活用に際して一定のノウハウが必要で導入のハードルが高い。そのハードルを下げるための汎用のパイプラインモジュールの整備を進め、解析技術の普及を目指している。																								
機械学習技術を使った新材料開発手法に関する取り組みが多く報告されているが、多くが基礎的な機能実証から実際の新材料開発に到達しない。これは機械学習のアウトプットが仮想的には評価に値する内容を持ち合わせていても、現実の材料とはギャップがあり期待する性能が得られないことが常である。そのギャップを埋めるためのデータ取得、活用を重要な目的としている点に意義があると考えている。																								
●実用化・事業化への道筋と課題																								

目的としている製品化、事業化に資する新材料の発見に関しては不確定な要素を排除できない。しかしながら量子・AI 技術、素材製造、半導体製造に長け、実用化、事業化に向けた課題に対して柔軟、適切に対応できる開発体制を構築している。加えて、成果が得られた場合には、量子・AI、素材、半導体それぞれの分野で直接的に事業展開につなげていくことが可能である。

〔課題〕

量子アニーリングに関しては、疑似量子と呼ばれる CMOS プロセッサ上で動作するソルバを利用することが現状必要で、疑似量子である限り、同様の環境で動作する既存技術である線形整数最適化ソルバに対しては、大きな優位性は見いだせない。ほぼ同等の性能となる。物理的な量子状態を活用した商用大規模アニーラの開発が待たれるが、この 1 年、誤り耐性付き量子ゲート計算機の開発機運の高まりからアニーラ開発の動向は大きく減退している。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	12.8	54.6	-	-	-
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
0 件	0 件	3 件	0 件	0 件	

⑤高次リサイクルシステム構築を志向する解体性接着技術開発

テーマ名	高次リサイクルシステム構築を志向する解体性接着技術開発	達成状況	○
実施者名	委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、アイカ工業株式会社、セメダイン株式会社、国立大学法人東京大学		
達成状況の根拠	接着接合試験片の自動評価システム構築、易解体接着剤の試作品作製、易解体フィルムの試作品作製、いずれの項目も本格研究フェーズの目標を達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

本プロジェクトでは、量子技術（量子 inspired 技術含む）と AI を組み合わせて活用する“量子・AI ハイブリッド技術”による計算能力の飛躍的向上やデータ利用の高度化等を活用し、従来技術では達成困難な規模や複雑さを有する事業課題の解決を実現し、生産性の向上、産業競争力の維持・向上及びエネルギー需給の高度化に資するユースケースの創出を目的として、量子・AI ハイブリッド技術を活用したアプリケーションを開発し、実環境下での技術優位性、事業有効性を検証する。

本研究開発では、通常の使用環境において所定の耐久性を維持しつつ、使用後には容易に解体し、簡便なりサイクルを可能とする解体性接着技術を創出することを目的とした量子・AI アプリケーション開発を行う。具体的には、接着剤成分、プロセス条件、被着体材料（表面処理）、使用環境、解体のための刺激など膨大なインプットデータを必要とする解体性接着技術において、従来の古典技術では成し得ない実用に耐えうる時間での計算を可能とする量子・AI 融合型マテリアルズインフォマティクス (MI) ・プロセスインフォマティクス (PI) アプリケーションを開発する。また、当該アプリケーション及び接着剤に関わる様々な材料データや物性・特性データのデータセットを活用し、必要とする接着剤の物性値等の入力に基づく逆問題解析により、その物性値を満足する接着成分・合成プロセスを出力することで多様な条件下で使用するための接着剤を早期に実現できるシステム創出を行う。

●アウトプット目標

本格研究フェーズ「解体性接着剤に適用可能な量子・AI アプリ開発」の目標は下記に示される。

1. 初期仮説検証で検討したモデルの拡張：解体性のトリガーとなる材料を混ぜた際に、モデルが合わないならばなぜか。どのようなモデルが適するか、モデルの精緻化を進める。
2. 各社が使いにくい場合は何が課題か？その課題解決へのアプローチを精緻化する。
3. 各社における実証試験検討：量子・古典アプリケーションが導出した材料合成プロセスの予備試験
4. 量子・古典アプリケーションが導出する解体性接着剤を適用した想定応用製品の試作
5. 解体性接着剤開発に活かせる量子・古典アプリケーションの開発

●成果とその意義

■成果

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
接着接合試験片の自動評価システム構築	目的に合った接着特性の決定には複数の条件が複雑に関係し合うため膨大な数の実験が必要である。多様な接着接合試験片を自動で評価するロボットを導入し、自動実験システムを構築することで効率的なデータ取得を可能とした。	○
量子・古典アプリケーションによる易解体接着剤の試作品作製	量子・古典アプリより、高耐久性と解体性を両立する設計指針検討することで解体性接着剤合成予備検討を行った。	○
量子・古典アプリケーションで開発した易解体接着剤を用いた易解体フィルムの試作品作製	上記で導出した解体性接着剤を用いた製品例として加飾フィルム応用を検討し、易解体フィルムの試作品を作製した。	○

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

自動車や航空機等において、複数の異なる素材を接着して特性を発現できるマルチマテリアル構造部材の利用が進み、高強度接着を用いる構造用接着技術の需要が益々高まってきている。従来のネジ止めやボルト・ナットなどの機械的締結と異なり、接着剤によるアンカー効果や化学結合などで部材間が強固に接合しているため、使用後に容易に解体することができず、リサイクル・リユースを阻害している。そこで、接着剤中に接着強度低下を促す物質を内包させ、外部刺激により当該物質を刺激することで接着強度

を低下させ、分解・解体しやすくする解体性接着技術に注目が寄せられている。これまで国内外の研究開発では、熱膨張性あるいは腐食性の物質を含んだもの、また、通電による剥離や熱分解性接着剤などが開発されてきた。しかしながら、解体性のトリガーとなる物質を内包すると、そもそもの接着強度発現に寄与する成分の含有量が減少し、通常の使用環境下において接着強度が低下する課題があった。加えて、研究開発が行われている解体性接着技術では、接着剤を内部から破壊するメカニズムにより、接着部材解体後に部材表面に接着剤の残留物が残るため、そのままの状態ではすぐには使えず、リサイクル・リユースのためには更なる表面処理やクリーニングの工程が必要となる。接着に関する必要技術としては、材料開発のみならず、劣化メカニズム、分析・評価による寿命予測（耐久性）など多岐に渡る。一方、このような課題に対する研究開発を困難にしている理由としては、被着体の材料・表面状態・表面処理、接着剤の材料・成分・組成、使用方法・プロセス（接着剤厚み・塗布量、硬化条件、環境条件）、また、使用中・使用後の劣化メカニズムなど耐久性も含めたアプローチが必要となるなど多様な因子が関与する複雑系である。そのため、多様なニーズに対応するためには、単なる実験のみならず、データ駆動型研究開発が必要不可欠である。

産総研においては、劣化メカニズムと接着強度の相関を把握することで機械学習などを用いた研究を実施しており、接合部の破断面のIR測定による化学情報の取得と画像解析などを駆使することで、経時変化による接着強度を予測する方法を開発している。産総研において蓄積している機械学習等の知見を進展させ、本研究では各社の製品開発に関連する研究・実験データを用いて、量子・古典を利活用することで様々なモデル化を行い、接着性能予測を可能としている。

解体性の実現も含めて今までにない機能や接着剤の開発～アッセンブリーまでを視野に入れたソリューション提案を求められつつあり、さらに求められる開発速度は速まりつつある。これらの実現、実装化に向けては従前の研究開発活動だけで激しい競争に勝ち残ることは困難であり、量子・古典アプリを活かすことで、多様化する機能へのアプローチ、製造プロセス、ビジネス的な視点を考慮した多角的な性能発現、その開発速度の向上が期待できる。また、自動車製造工程を見てみると、自動車の生産工程においては、「塗装工程」がCO₂排出量の約3割を占める。塗装に代わる素材として加飾フィルムへの注目が高まっており、自動車内装に比べて自動車外装は面積が大きく、アイカ工業株式会社が製品開発を行っている加飾フィルムに切り替えると、約1350万トンのCO₂排出量削減@2050年が期待できる。加えて、従来の塗装用ブースのような大きなスペースを必要とせず、廃液処理の心配がない。乾燥や塗り重ねの工程も削減できるため、環境負荷の大幅な削減が期待でき、デザインなど意匠性も付与できる。

●実用化・事業化への道筋と課題

アイカ工業株式会社においては社内にて3次元加飾HCフィルムを扱う専門組織（モビリティ素材開発室）を立ち上げており、本事業の事業化についても本部署を中心に推進する。セメダイン株式会社においては欧州対応や次世代自動車の普及を勘案し、加速度的な需要増に応えられるよう、本プロジェクトで開発を行う量子・古典アプリを通じた、解体性接着剤の開発・製造・販売を行っていく。

産総研では、「接着・接合技術コンソーシアム（T-CAB）」を設置しており、2023年から資源循環ワーキンググループを立ち上げることで、SDGs やカーボンニュートラル、サーキュラーエコノミーを勘案した議論を行っている。本研究成果に関しては2024年11月にT-CAB 会員向けに報告を行っており、高い関心を頂いている。今後も引き続き、本研究成果をT-CAB 会員企業にも還元することで新たな連携構築・ニーズに応じたユースケース創出を目指す。また、各種展示会に出展することで開発技術のアピールを的確に行うことで、多様なニーズのキャッチアップに繋げる。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	6.0	54.3	97.3	48.1	※

●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0 件	0 件	1 件	3 件	6 件

2024 年度採択テーマ（アプリ 3 期生）6 テーマ

①量子・AI ハイブリッド技術を活用した物流運用の最適化

テーマ名	量子・AI ハイブリッド技術を活用した物流運用の最適化	達成状況	○
実施者名	委託先：豊田通商株式会社 再委託等先：株式会社トヨタシステムズ		
達成状況の根拠	課題抽出のためのヒアリング活動、ミドルマイルの物流マッチングに関する研究、3D 空間での最適積み付けに関する研究、いずれの項目についても設定された目標を達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

現在、物流業界は深刻な人手不足や低賃金・長時間労働といった社会課題に直面している。2024 年 4 月からはトラックドライバーの時間外労働が年間 960 時間に制限され、輸送能力の大幅な減少が懸念されており、「物流の 2024 年問題」として社会的注目を集めている。加えて、業界全体として生産性が低く、非効率な運用が続いており、持続可能な物流体制の実現に向けた抜本的改革が急務となっている。事業面では、労働力減少の主因である低い実働率・実車率・積載率が複合的に関係し、トラック運送の効率性を損なっている。国交省はこれらを重要な KPI と定義し、改善による業界全体の底上げを促進しているが、実効的な解決には高度な技術の導入が不可欠である。技術的には、複数荷主の荷物を混載する物流マッチングや、3D 空間での積み付け最適化といった問題が、計算量の多さや制約条件の複雑さにより既存手法では対応困難な領域となっている。特に中小物流事業者が大半を占める日本では、個社単位での解決は現実的でなく、共同での効率化が求められている。こうした背景を踏まえ、本研究では「①複数荷主の荷物混載に対応したミドルマイルの物流マッチング」と「②複雑な制約を考慮した 3D 積載最適化」を主な研究項目とし、それぞれに量子技術と古典技術を融合した新たなアルゴリズムを適用することで、現状の課題を突破することを目指す。さらに、実用化フェーズでは両成果を統合し、多対多の物流マッチングと最適積載が可能な「物流運用最適化アプリケーション」を開発し、社会的インパクトの大きい課題解決を実現する。

●アウトプット目標

項目ごとに下記の通り設定。

研究項目①：物流マッチングにおける最適化課題を抽出し、量子技術・古典技術の活用箇所を明確化する。さらに、抽出した課題に対し、目的関数、制約条件、設計変数を設定した上で定式化し、初期検証を実施する。

研究項目②：3D 空間での最適積み付けにおける最適化課題を抽出し、量子技術・古典技術の活用箇所を明確化する。さらに抽出した課題に対し、目的関数、制約条件、設計変数を設定した上で定式化し、初期検証を実施する。

●成果とその意義

■成果

（研究項目①②共通）課題抽出のためのヒアリング活動

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
中小物流企業へのヒアリングによる課題整理、解決策の検討、目的関数と制約条件の整理	・豊田通商グループ経由で 8 社にヒアリングを実施し物流マッチングに必要な機能や制約条件を整理	○
積み付け最適化に向けた課題把握のため、既存自動積み付けシステム利用企業へのヒアリングによる制約条件・優先順位の整理	・豊田通商グループ内の積荷最適化事例において、ユーザとサービス双方に課題等の把握のためヒアリングを実施	○

（研究項目①）ミドルマイルの物流マッチングに関する研究

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
物流マッチング基本問題の定義	・課題ヒアリングを通じて重要条件を抽出し、ミドルマイル共同配送の物流マッチング基本問題を定義	○
疑似量子アニーリング手法を用いた試作アルゴリズムの作成	・物流マッチング問題を最適化問題として定式化し、目的関数と制約条件を設計 ・Fixstars Amplify SDK による試作アルゴリズムを実装 ・大規模問題解決時の課題と改善点の調査を開始	○

（研究項目②）3D 空間での最適積み付けに関する研究

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
箱詰めの QUBO 定式化	- 隣接グラフによる定式化は計算量の問題から実現困難と判断 - 代替となる定式化の方針を新たに考案	○
2D 箱詰めプログラムの作成	2D の箱詰めプログラムを作成（量子アニーリング）	○
3D 箱詰めプログラムの作成	3D の箱詰めプログラムを作成（量子アニーリング） - 大規模問題解決に向けた工夫に着手中。古典手法との併用や重心考慮など改善の余地あり	○

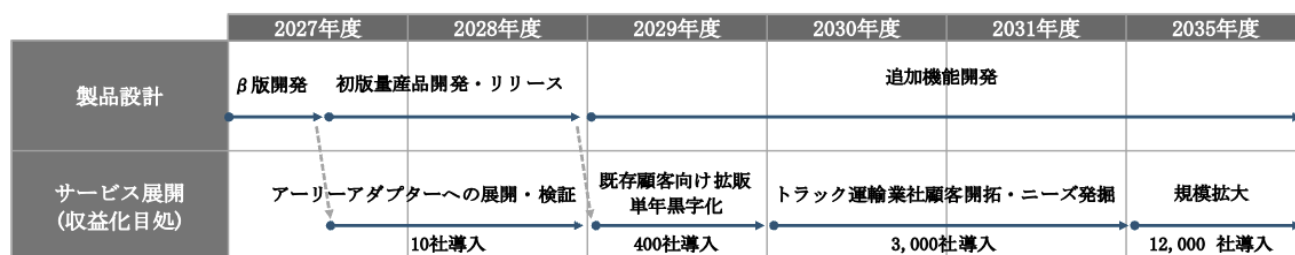
※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

物流業界のドライバー不足に対しては、既存技術を活用した取組みが多数報告されているが、抜本的な解決には至っていない。一方、量子コンピュータを活用したプロジェクトもいくつか発表されているが、実力値検証段階にとどまっているのが現状である。これに対し、本研究で開発する「物流運用最適化アプリケーション」は、量子コンピュータと古典技術を活用して実現する唯一のアプリケーションであり、物流・車両マッチングとトラック積み付け最適化の2つの課題を同時に解決できる点で優位性がある。また、当社が持つトラック運輸業社等との強固なリレーションを活かし、増加する運輸量や法規制対応に関する現状の課題感や今後の新たな課題についてタイムリーに情報を入手することができる。現場ニーズに即した実用性の高い解決策を提供することが可能となり、単なる技術開発にとどまらず、社会実装性が強化されている。そのため、サービスの実現性という点においても優位性がある。

●実用化・事業化への道筋と課題

研究開発終了後は以下の計画に基づき事業化する。



予想される課題は以下の通り。

サービス設計段階：古典・量子技術の統合による性能向上が見込まれない

サービス開始段階：顧客のユースケースの複雑な制約に汎用的に対応できない

販売段階：バックエンドの利用料が高く利益率を圧迫する

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	-	38.9	35.6	※	※

●特許出願及び論文発表				
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0件	0件	0件	0件	0件

②半導体製造業最適化のための量子・古典アプリケーションの研究開発

テーマ名	半導体製造業最適化のための量子・古典アプリケーションの研究開発	達成状況	◎
実施者名	委託先：株式会社Q u a n m a t i c、学校法人早稲田大学		
達成状況の根拠	半導体製造業最適化問題に対し、QUBO 定式化及びサンプルデータを用いた動作検証で想定以上の結果が得られているとともに、製造業での実問題データでの評価に向けて、協力企業との連携と議論が順調に進行しているなど、いずれの項目も初期仮説検証フェーズの目標を大いに上回って達成見込みである。		
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係 半導体製造業の生産性向上やコスト削減のための重要な課題である生産計画最適化は、制約条件や目的が膨大で複雑な大規模な問題であり、急・短時間での再計画が求められるため、課題の解決は困難を極めていいる。本研究開発ではその解決のため、量子・古典ハイブリッド技術を活用したアプリケーションを開発し、半導体製造業の前工程における生産計画最適化を実現し、半導体製造業の生産性向上を通じて産業競争力の維持・向上とエネルギー需給の高度化への貢献を目指す。 具体的には、半導体製造業に係る最適化問題の特徴づけを実施し、それに基づき組合せ最適化問題を表現しつつも、できるだけコンパクトな QUBO を構成するアルゴリズムを構築する。また、構築した QUBO 最小化アルゴリズムを、大規模データ品質解析・自動修正 AI 技術とともに製造業向け量子・古典アプリケーションに実装するとともに、実製造業問題へのアプリケーション適用と評価を行う。			
●アウトプット目標 ・ 製造業のサンプルデータをテストケースとして半導体製造業に係る最適化問題の最適解を得られることを確認する ・ 大規模データ品質解析・自動修正 AI はルールベース手法より修正精度が向上することを確認する ・ 製造業向けアプリケーションでは、12 時間タイムスパンで計算された生産計画の工程割付数が手動計画と比較して 5%向上、生産計画のリアルタイム性（計画立案の所要時間）が 1/5 以下を目標とする			
●成果とその意義 ■成果			
目標		成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
製造業のサンプルデータをテストケースとして半導体製造業に係る最適化問題の最適解を得られることを確認する		達成状況：75% 成果・根拠：半導体製造前工程における生産計画を「装置へのロット工程の割付問題」の最適化問題へモデル化し、複数の典型的な目的関数と制約条件に対応した QUBO 定式化が完了した。サンプルデータを用いた動作検証では、目的関数に応じて適切な最適化が実現可能であることを確認した。 達成見込み：初期仮説検証フェーズ完了時点で十分な目標達成を見込む。	◎ 大いに上回って達成（見込み）
大規模データ品質解析・自動修正 AI はルールベース手法より修正精度が向上することを確認する		達成状況：75% 成果・根拠：大規模データ品質解析プログラムの開発が完了した。自動修正 AI モデルの初期構築とサンプルデータセットを用いた初期評価を完了した。初期評価において AI モデルによる一定の修正能力を確認した。 達成見込み：学習データセット増加や学習環境改善等の手法改善により、初期仮説検証フェーズ完了時点で十分な目標達成を見込む。	◎ 大いに上回って達成（見込み）
製造業向けアプリケーションでは、12 時間タイムスパンで計算された生産計画の工程割付数が手動計画と比較して 5%向上、生産計画のリアルタイム性（計画立案の所要時間）が 1/5 以下を目標とする		達成状況：75% 成果・根拠：製造業での実問題データでの評価に向けて、協力企業との連携と議論が順調に進行中。製造業向けアプリケーションのコアアプリケーションおよびアプリケーションフレームワークの各モジュールの開発を完了した。 達成見込み：構築したアプリケーションを用いた定量的な評価により、初期仮説検証フェーズ完了時点で十分な目標達成を見込む。	◎ 大いに上回って達成（見込み）

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

半導体製造業の生産計画で考えられるパターン数は、装置の台数、品種数、生産ロット数に応じて指数関数的に増加し、シミュレーテッドアニーリング（SA）や他の古典的最適化手法では、効果的に対応することが難しい。量子アニーリング計算機を始めとするイジング計算機は、従来の古典計算システムと比較し、高速な演算や精度の高い解を得ることが期待できるとされる一方で、イジング計算機で高速かつ効率的に最適化可能な変数数は、実問題で必要とされる変数数と比べ小さい。またイジング計算機へ入力する問題サイズが大きくなると、量子状態や最適化アルゴリズムの影響により短時間で最適解が求めにくくなる。さらに QUBO（制約のない 2 次 2 値変数最適化）が複雑な形式の場合、その構築時間や通信時間が支配的になる。こうした理由から、現行技術では、刻一刻と変化する製造業の現場において、組合せ最適化問題を高速・正確に求解することが難しく、現状は多くの現場で熟練者の経験則や感覚に基づいて手動で生産計画されている。

これに対し、本研究開発では、量子アニーリングでの効率的な計算を可能とし、また AI とのハイブリッド化により、大規模データ品質解析・自動修正 AI 技術を搭載した製造現場で実用的なアプリケーションを開発する。

早稲田大学戸川研究室は長年にわたり情報工学および量子情報技術の研究で高い評価を受けており、この分野での多数の研究成果や企業との協業成果を世に送り出している。研究室内には量子計算に関する基礎理論から産業応用に至るまでの幅広い知識を有する研究者が在籍しているため、本プロジェクトにおけるアルゴリズム構築理論的な背景と実験的検証の両方を担当し、本研究開発を推進している。

以上より本研究開発により、産業的に実用的なアプリケーションを開発すると同時に、量子技術とその古典ハイブリッド技術の普及促進に貢献することが可能である。

●実用化・事業化への道筋と課題

本研究開発では、半導体製造前工程の生産計画最適化を目的に量子・古典アプリケーションを研究開発する。株式会社 Quanmatic は、本アプリケーションを製造業全体における複雑な工程に広く応用し、動線の最適化、機械の割当、人員配置などの課題を解決する製品・サービスを開発し収益化する予定である。そのために、事業化のために必要な技術開発（顧客の現場ごとに個別な要件定義と最適化問題の特徴づけ・アルゴリズム構築、アプリケーション追加機能開発、顧客のシステムとのアプリケーション連携）とクラウドサービスとしての機能開発を実施する予定である。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	-	26.0	49.0	※	-

●特許出願及び論文発表				
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0 件	0 件	1 件	0 件	3 件

③仮想発電所需給調整におけるリスクヘッジ型量子古典確率最適化手法の開発

テーマ名	仮想発電所需給調整におけるリスクヘッジ型量子古典確率最適化手法の開発	達成状況	◎
実施者名	委託先：電気通信大学、株式会社グリッド		
達成状況の根拠	c-qGANの有効性検証において、1変数確率過程の学習では一致率が当初の目標の85%を大きく上回り、最大で94%を達成している。また、多変数確率過程の学習でも一致率80%以上を達成し、高い汎用性と精度を実証済。加えて、提案する量子確率最適化手法は、古典的モンテカルロ法による解と92%の一致を示すとともに、計算速度については1,000シナリオ以上で優位性が確認でき、 10^7 シナリオでは約1,000倍に高速化すると試算も完了。以上の点は、目標を上回って達成見込みである。その他の項目については、設定した目標を達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

分散型エネルギーリソース（DER）の統合・管理において、発電予測・需要予測・市場価格といった不確実性が大きな課題となっている。本プロジェクトでは、この不確実性を考慮した高精度かつ効率的な量子古典ハイブリッド確率最適化手法の確立を通じて、仮想発電所（VPP）の実現とエネルギー市場の高度化に貢献することを目指す。

●アウトプット目標

- ① 条件付き敵対量子確率分布生成ネットワーク（c-qGAN）を用いてデータ生成精度を80%以上に、生成データと実データの一致度を85%以上にする。
- ② Factorization Machine（FM）法によるQ行列の生成精度を15%以上改善し、小・中規模VPP向け量子回路の初期検証を実施する。
- ③ 量子近似最適化アルゴリズム（QAOA）と量子アニーリング（QA）の比較評価を行い、c-qGANとQAOAの統合スキームを検証する。
- ④ 研究成果を論文2本と特許1件として申請する。

●成果とその意義

■成果

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
上記①	c-qGANの有効性検証において、1変数確率過程の学習では一致率が当初の目標の85%を大きく上回り、最大で94%を達成した。また、多変数確率過程の学習でも一致率80%以上を達成し、高い汎用性と精度を実証できた。	◎
上記②	FM法を用いたQ行列による確率最適化問題で、従来手法と比較して15%以上の精度向上を確認できた	○
上記③	提案する量子確率最適化手法は、古典的モンテカルロ法による解と92%の一致を示した。計算速度については1,000シナリオ以上で優位性が確認でき、 10^7 シナリオでは約1,000倍に高速化すると試算している。	◎
上記④	論文第1稿は投稿済みで現在第2次査読の最終段階にあり、第2稿も投稿済みで査読中である。関連特許1件は出願準備中で、2025年6月末までに出願を完了する予定である。	○

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

従来のシナリオベース最適化手法は不確実性シナリオ数Nに比例して $O(TN)$ の計算量が必要で大規模化が困難だったが、本手法は量子重ね合わせにより複数シナリオを同時に表現してサンプリングを不要とし、計算量を多項式オーダー $O(\text{poly}(T))$ に抑制できた。数値検証では、D-Wave社のQA法およびGurobiを用いた古典的確率法と同等の計算精度を維持しつつ、それぞれ約125倍・約1,000倍の高速化を実証できた。本手法をVPP（仮想発電所）のリアルタイム最適化に適用することで、運用効率の飛躍的向上と投資・運用コストの大幅削減が期待される。

●実用化・事業化への道筋と課題

2027年までに約10箇所までVPP最適化試験と5市場での電力売買試験を実施し、実機成功率80%以上を目標とする。さらに2029年までに新電力事業者50社中10社で商用導入し、約20%のカバー率を目指す。

VPP の地域特性に応じた技術適用や運用調整、また投資基準策定と資金調達手法の模索が課題である。					
●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	-	37.5	37.5	※	-
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
0 件	0 件	1 件	0 件	1 件	

④大規模な物流倉庫における入出庫の経路最適化アプリケーションの研究開発

テーマ名	大規模な物流倉庫における入出庫の経路最適化アプリケーションの研究開発	達成状況	○
実施者名	委託先：シャープ株式会社 再委託等先：国立大学法人東北大学（共同実施）		
達成状況の根拠	AI 技術を用いた商品の需要予測モデルの開発については、目標を達成見込みである。アニーリング技術を用いた経路最適化アルゴリズムについては、当初想定以上の件数を達成見込み。また、高速化モジュール開発・性能評価については、設定した目標を達成見込みである。		
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係 本研究では、増加する物流量に対応し、百台から千台規模の搬送ロボットの経路最適化に取り組みます。アニーリング技術を使い、千台規模の搬送ルート最適化アルゴリズムを開発し、AI 技術で商品需要予測モデルを構築します。さらに、入出庫管理や商品配置の最適化を総合的に管理できるアプリケーションを開発します。特に、50 万～150 万種類の商品の存在する大規模倉庫において、全体処理時間短縮やコスト削減を実現するため、AI 機械学習と量子ハイブリッド技術を活用します。多数のイジングマシンで定量的な検証を行います。			
●アウトプット目標 現在実施中のフェーズの目標は以下の通りです。 ① 需要予測モデル：50 万～150 万商品の AI モデルを開発し、過学習を防ぎつつ高精度な予測を実現。 ② 経路最適化ライブラリ：大規模物流倉庫向けの標準化された経路最適化アルゴリズムを、Windows/Linux 環境で動作するライブラリとして開発。 ③ 高速化モジュール：イジングマシンを使用し、経路最適化アルゴリズムの処理時間を約 30%短縮。			
●成果とその意義 ■成果 【現在実施中のフェーズの】目標達成見込みは下記の表の通りです。			
目標		成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
[1-1-a] 需要予測モデル研究開発： ・データセット構築：2 件完了 ・需要予測のモデル開発：1 件 完了 ・検証用ツール開発：1 件 完了 ・需要予測モデルの提案：1 件 完了 ・3 種類モデル評価：1 件 完了 ・機械学習モデル：2 件 完了 ・高速化モジュール開発：1 件 完了 ・効果：CPU/GPU 比 10%以上 完了		[1-1-a] 需要予測モデル研究開発： ・データセット構築：2 件完了 ・需要予測のモデル開発：1 件 完了 ・検証用ツール開発：1 件 完了 ・需要予測モデルの提案：1 件 完了 ・3 種類モデル評価：1 件 完了 ・機械学習モデル：2 件 完了 ・高速化モジュール開発：1 件 完了 ・効果：CPU/GPU 比 10%以上 完了	○
[1-2] 最適化アルゴ研究開発： ・経路最適化アルゴ：1 件 完了 ・高速化モジュール開発：1 件 完了 ・検証用ツール開発：5 件 完了 ・ライブラリ動作確認：1 件 完了 ・アルゴ改良数：2 件以上 完了 ・高速化効果：CPU/GPU 比 10%以上		[1-2-a] 最適化アルゴ研究開発： ・経路最適化アルゴ：2 件 完了 ・高速化モジュール開発：1 件 完了 ・検証用ツール開発：5 件 完了 ・ライブラリ設計と動作確認：1 件 完了 ・アルゴ改良数：2 件完了 ・高速化効果：CPU システム比 10%以上 ・問題規模：約 25 万変数 SQA 計算機実現	◎
[1-3] 性能評価： ・小規模：4 種類ソルバー以上 完了 ・大規模：4 種類ソルバー以上 完了 ・全体約 30%の処理時間短縮 完了 ・小規模評価方法の決定：1 件 完了 ・大規模評価方法の決定：1 件 完了 ・アルゴ結果公表：1 件以上 完了 ・大規模評価方法の決定：1 件 完了 ・高速化結果公表：1 件以上 完了		[1-3] 性能評価： ・小規模：7 種類ソルバー 完了 ・大規模：13 種類ソルバー 完了 ・全体約 30%の処理時間短縮 完了 ・小規模評価方法の決定：1 件 完了 ・大規模評価方法の決定：1 件 完了 ・アルゴ結果公表：1 件以上 完了 ・高速化結果公表：1 件以上 完了 ・学会発表(5 件完了)：ASP-DAC25, QI24, VLSI, AQC25	○

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

●意義

【比較優位性】

本研究開発は、大規模倉庫における搬送ロボットの経路最適化に行っており、以下の優位性があります：

- ・**スケラビリティ**：量子アニーリング技術を用いることで、千台規模の搬送経路最適化を実現し、物流倉庫の規模と複雑さに対応した新たな基準を設定します。
- ・**効率化の実現**：50万～150万種類の商品を扱う大規模倉庫で、商品配置やオーダー制御、経路最適化を通じて、処理時間短縮、サービス品質向上、コスト削減を実現します。
- ・**柔軟性**：イジングマシンなど複数のソルバーを連携させることで経路最適化を高速化します。クラウド型やオンプレミス型に対応し、大規模だけでなく中小規模物流センターにも柔軟な提案が可能です。

【大学・公的機関との連携】

本研究開発では、大学や公的機関と連携し、以下のような貢献を行っています：

- ・**技術の深化**：AIや量子などの最先端研究成果を用いた効果的なアルゴリズムなど開発に寄与します。
- ・**人材育成**：研究参加者に実践的な経験を提供し、次世代技術者の育成に貢献しています。

【副次的成果・波及効果】

- ・**新たな市場の創出**：当研究開発により、提案力向上とともに、新しい物流ソリューション市場の形成が期待されます。
- ・**業界全体への影響**：本研究の成果は、他の業界（例えば、小売や製造、大中小規模物流センターの最適化）にも応用可能であり、広範な波及効果が見込まれます。

●実用化・事業化への道筋と課題

【実用化・事業化に向けた計画】

本研究開発後の活動計画は以下の通りです：

1. プロトタイプの開発（2025年度）

アルゴリズムと需要予測モデルを基にしたアプリケーションを構築し、シナリオテストを実施します。

2. フィールドテスト（2026年度）

実倉庫でアプリケーションの効果を検証し、ユーザーフィードバックを収集して製品改良を行います。

3. 商業化戦略の策定（2026年度末）

フィールドテスト結果を基に商業化戦略を策定し、ターゲット市場や販売戦略を準備します。

4. 市場展開（2027年度）

発売開始し、初期顧客の獲得を目指します。顧客のフィードバックを基に改良や機能追加を行います。

【課題】

実用化と事業化に向けては、以下の課題が考えられます：

・コストダウン

製品の初期開発コストを抑えるために、効率的な開発プロセスの確立が必要です。量子技術やAIを活用した効率的なアルゴリズムにより、コスト削減を図りますが、実用化に向けてはさらなる（ソフトウェア・ハードウェア・オペレーション・メンテナンスなど）実務コスト削減策が求められます。

・量産体制の構築

本アプリケーションの製品の量産に向けた製造体制の構築が必要です。特に、ハードウェアの量産の設計、アプリケーションの標準化などに、必要な機材の導入、及び人員の確保が含まれます。

・サプライチェーンの構築

顧客獲得からソリューション導入支援まで多数コストかかるため、パートナー企業の連携を図ります。

・技術の普及と教育

新しい技術を導入するにあたり、ユーザーの教育やサポート体制の整備が重要です。特に、大規模物流倉庫での新技術の受け入れを促進するためのトレーニングプログラムの開発が求められます。

●期間・予算

（単位：百万円）

2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
－	57.5	92.5	※	－

●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0件	0件	2件	0件	1件

⑤量子古典 AI ハイブリッド汎用計算手法による製造サプライチェーン最適化

テーマ名	量子古典 AI ハイブリッド汎用計算手法による製造サプライチェーン最適化	達成状況	◎
実施者名	委託先：株式会社シグマアイ		
達成状況の根拠	個別問題に対するハイブリッド式アルゴリズムの開発に加え、ニーズ初期調査やデモアプリ要件定義・設計・開発において、当初設定した目標値を大きく上回る成果が得られている。		
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係 製造業においては、少子高齢化や働き方改革による労働力の不足、物流機能の低下、温室効果ガス排出量削減などを背景に、製造工程計画、配送計画、原料・部品調達、在庫管理といった課題が存在する。本テーマの特徴は、製造工程計画、配送計画、原料・部品調達、在庫管理の4つの主要な課題を、「リソース割り当て」と「スケジューリング」の複合型問題として統一的に取り扱い、量子コンピューティングと古典的手法を組み合わせた解法を開発する点である。具体的には、リソース割り当てに対しては量子アニーリング、スケジューリング問題に対しては古典コンピュータを用いた「ハイブリッド手法」で、問題解決を目指す。			
●アウトプット目標 本研究では、各問題を整数計画（IP）または制約充足（SAT）で定式化し、汎用ソルバーで解く場合を比較対象として、コスト値および計算時間の評価を行う。初期仮説検証フェーズでは、本手法を用いて各課題に対する最適化性能を評価し、比較対象と同一の計算時間で40%のコスト改善を達成することを目標とする。これは、初期検討結果で40%の改善が示されたことから、他の問題においても同様の効果が得られるかを検証し、本アプローチの有効性を初期的に判断するためである。			
本格研究フェーズでは、各課題に対する最適化性能について、本手法を用いて比較対象と同一の計算時間で50%のコスト改善を達成することを目標とする。さらに、リソース割り当てとスケジューリングの反復解法を適用することで、追加の10%改善を目指す。			
本格研究フェーズの目標が達成されれば、既存のソルバーよりも効率が2倍向上することを示すことになる。これは、最適化を導入していない、または既存のソルバーを適用している製造業に対して、事業課題の解決に十分な効果をもたらすと判断できる。			
●成果とその意義			
■成果 ※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達			
①個別問題に対するハイブリッド式アルゴリズムの開発【初期仮説検証】：製造工程計画			
目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※	
非分割解法と比較して40%のコスト改善を目指す	最大80%のコスト改善を実現。	◎	
②個別問題に対するハイブリッド式アルゴリズムの開発【初期仮説検証】：在庫管理			
目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※	
非分割解法と比較して40%のコスト改善を目指す	最大60%のコスト改善を実現。	◎	
③個別問題に対するハイブリッド式アルゴリズムの開発【初期仮説検証】：配送計画			
目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※	
非分割解法と比較して40%のコスト改善を目指す	最大16%のコスト改善を確認。 問題の規模に応じてコスト改善幅の増加が認められ、大規模な問題ではコスト改善目標を達成する見込み。	○	
④個別問題に対するハイブリッド式アルゴリズムの開発【初期仮説検証】：原料・部品調達			
目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※	
非分割解法と比較して40%のコスト改善を目指す	最大20%のコスト改善を確認。 問題の規模に応じてコスト改善幅の増加が認められ、大規模な問題ではコスト改善目標を達成する見込み。	○	
⑤個別問題に対するハイブリッド式アルゴリズムの開発【初期仮説検証】：汎用最適化			

目標		成果・達成状況・根拠・対応策		達成度※	
共通ハイブリッド式アルゴリズムの比較対象として、非分割解法である古典・量子ハイブリッド手法を開発する		共通ハイブリッド式アルゴリズムの比較対象として、近似解法の開発が完了した。		◎	
⑥サプライチェーン最適化アプリケーションの基盤開発【初期仮説検証】 基盤開発					
目標		成果・達成状況・根拠・対応策		達成度※	
開発した最適化手法のプロトタイプを迅速に実装し、ユーザーが利用可能となる、汎用のアプリケーション基盤を構築		アプリケーション基盤として下記を構築が完了した。 ・実験管理テンプレート ・最適化計算のモジュール化テンプレート ・最適化システムの設計・実装テンプレート		◎	
⑦ニーズ初期調査【初期仮説検証】					
目標		成果・達成状況・根拠・対応策		達成度※	
5 社を目標としてニーズ調査を実施する		10 社に対して調査実施。サプライチェーンにおける課題把握に成功した。		◎	
⑧デモアプリ要件定義・設計・開発【初期仮説検証】					
目標		成果・達成状況・根拠・対応策		達成度※	
3 社を目標としてデモアプリケーションの開発を実施する		6 社に対してデモ実施。解決策に対するフィードバックを得た。		◎	

■意義

本成果はサプライチェーン最適化アプリケーションの開発へステップアップするための重要な成果が得られたと言える。個別問題に対するハイブリット式アルゴリズムの開発では、分野によっては目標を大幅に上回り、最大 80%ものコスト改善が達成することができた。量子・古典ハイブリッド方式によるアルゴリズムの有効性を十分に示すものである。また、ニーズ調査・デモの実施においても目標を超えるターゲット顧客に対してヒアリングを実施することができ、当該アプリケーションがインパクトを与える顧客層や課題を具体化することに成功した。さらにサプライチェーン最適化アプリケーションの基盤開発を通じて、顧客向けのデモアプリの作成や提示を加速するテンプレートの開発に成功し、次年度実施予定の顧客ヒアリングをより意義深く実施する体制が整った。以上より、本年度は次年度実施内容を実行するために満足な成果が得られたと考える。

●実用化・事業化への道筋と課題

次年度のサプライチェーン共通ハイブリット式アルゴリズムの開発を通じて、製造サプライチェーン最適化アプリケーションのコアとなる技術を開発し、当該アプリケーションの事業化を目指す。技術的には高効率なアルゴリズムを構築できている一方、事業面では戦略上の課題が認められる。本アプリケーションによって顧客に対して高い効果を発揮するには、対象業界・課題の選定が必要であることがヒアリングを通じて認識付けられた。次年度の活動を通じて事業戦略のアップデートを図り、本格開発に移行する前に事業採算性や既存プロダクトとの差別化点を訴求する必要がある。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	-	15.4	19.2	※	-

●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0 件	0 件 (査読中論文 1 件あり)	1 件	0 件	0 件

⑥量子・AIを活用した地球観測衛星による災害状況把握・経路最適化アルゴリズムの研究開発

テーマ名	量子・A Iを活用した地球観測衛星による災害状況把握・経路最適化アルゴリズムの研究開発	達成状況	○
実施者名	委託先：株式会社スペースシフト 再委託等先：blueqat株式会社		
達成状況の根拠	複数衛星に対応した災害域検出機能の開発、災害状況を踏まえた物流経路最適化機能、いずれの項目においても初期仮説検証フェーズで設定した目標を達成見込みである。		
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係			
近年、線状降水帯による浸水や地震・豪雨による土砂災害など、広域かつ頻発する自然災害への対応が喫緊の課題となっている。特に、被災地への迅速な物資輸送には、支援ルートをリアルタイムに的確に判断する機能が不可欠であるが、大規模災害時にはインフラ喪失や悪天候等により、現地情報の取得が困難になることが多い。本研究では、昼夜・天候を問わず観測可能な SAR 衛星を活用し、災害対応に必要な情報収集と意思決定支援の高度化を図る。以下の 2 点を主な開発対象とし、将来的な実装性・実用性を見据えた技術検証を行う。			
1. 複数衛星に対応した災害域検出機能			
近年急増している SAR 衛星を活用し、タイムリーな災害検出を行うアルゴリズムを開発する。センサ特性や軌道の違いを考慮したマルチ衛星対応により、精度と即応性を両立。さらに将来的な衛星オンボード処理を視野に入れ、軽量・高速な災害検出アルゴリズムの構築を目指す。計算処理の効率化には量子計算技術も取り入れ、従来手法に比した革新性と展開性を検証する。			
2. 災害状況を踏まえた物流経路最適化機能			
災害により通行不能となった道路や橋梁を考慮した物流ルート選定モデルを構築する。古典的アルゴリズムでは、条件の変化ごとにモデルの再構築が必要になるが、量子アニーリングを用いることで複雑な制約条件や地上情報との統合にも柔軟に対応できる拡張性を持たせる。これにより、迅速かつ信頼性の高い支援ルートの提示を実現する。最適化に必要な計算負荷に対応するため、量子アニーリングを主軸に、古典アルゴリズムとの比較・ハイブリッド運用を通じて、現実的で有効な適用手法を検討する。			
●アウトプット目標			
初期仮説検証フェーズでは、災害域検出機能開発、物流経路最適化機能開発のそれぞれに対して動作確認や量子技術の適用メリットの検証することで本格研究に向けたフィージビリティスタディを行う。			
1. 複数衛星に対応した災害域検出機能			
まずベースとなる複数衛星に対応した、土砂災害/浸水を想定した被害域の自動検出アルゴリズムを開発し、そのアルゴリズムに量子技術を適用させたレイヤーを追加する。これによって、オンボード処理を見据えたモデルの軽量化をしつつ、実用に足る性能を担保できるかを検証する。具体的には、小型衛星への搭載実績の多い NVIDIA Jetson TX2 (GPU メモリ 1GB、RAM8GB、消費電力 7.5-15W) で処理可能なレベルを想定目標とし、量子レイヤー有無によるモデルのサイズ・検知精度・応答速度の差異を比較し、実用に足る性能かを検証する。			
2. 災害状況を踏まえた物流経路最適化機能			
現実に即した課題として、2024 年能登半島地震を想定した物流経路最適化問題に取り組む。実際の災害時には、利用可能な経路、物資、届け先などの条件が多様であり、状況も刻々と変化する。初期段階では、条件を一定程度簡素化し、量子技術を適用した最適化モデルを構築する。その上で、災害域検出機能から算出される経路の通行可能確率などの情報を取り込み、条件が増加した場合の拡張性や処理時間、推論精度が実用に耐えうるか、古典手法との比較を通じて明らかにする。			
●成果とその意義			
■成果（初期仮説検証）			
1. 複数の衛星に対応した迅速な災害域検出機能			
目標	成果・達成状況・根拠・対応策		達成度※
初期ベンチマーク深層学習アルゴリ	土砂崩落/浸水域検知のアルゴリズム開発済。複数衛星対応		○

ズム開発	モデルは4月中開発完了見込み	
初期ベンチマークアルゴリズムへの量子コンピューティング技術の適用	blueqat 社と連携して開発中。量子技術の適用に一部遅延。4月中旬完了見込み。	○
初期評価	予定スケジュール通り、量子技術の特性を踏まえた、評価基準の選定は進行中。8月までには完了見込み。	○

2. 災害状況を考慮した最適な物流経路の決定機能

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
初期ベンチマーク物流経路決定アルゴリズム開発	古典アルゴリズムでの物流経路最適化アルゴリズムの開発は想定どおり完了	○
初期ベンチマークアルゴリズムへの量子コンピューティング技術の適用	blueqat 社と連携して開発中。量子アニーリングの制約を加味して途中から古典/量子のハイブリッドモデル開発に方針転換したため一部遅延中。4月中完了見込み。	○
初期評価	予定スケジュール通り、量子技術の特性を踏まえた、評価基準の選定は進行中。8月までには完了見込み。	○

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

本研究では、世界的に急増している SAR 衛星群に対応し、個別の衛星特性に依存しない形で災害を検知可能なアルゴリズムの開発を目指しており、これは衛星ごとのチューニングが不要となる点で、汎用性と即応性において従来技術に比して大きな優位性を有する。また、観測後に地上へデータを送って解析する従来手法と異なり、本研究は将来的な衛星軌道上でのデータ処理（オンボード処理）を見据えており、計算処理の軽量化に量子計算技術を適用することで、解析速度の飛躍的な向上が期待される。

さらに、経路最適化においては、災害によって発生する通行不可エリアを考慮した複雑な条件下でも対応可能な、拡張性の高いアルゴリズムの構築を行う。地上の IoT やドローンによる情報との統合が進む今後において、情報の複雑化に対応できる柔軟な構造を備えることは実用化の鍵となる。

これらの成果は、災害対応における初動支援の迅速化に貢献するだけでなく、将来的にはインフラ監視、環境モニタリング、防災・減災などの平時運用にも波及効果をもたらす。また、量子技術の社会実装例としての意義も大きく、地球観測分野における新たな技術基盤の確立に資するものである。

●実用化・事業化への道筋と課題

本研究開発の成果は、災害検知アルゴリズムおよび経路最適化アルゴリズムを中核とし、衛星データのみならず地理・IoT・SNS 等の多様な地上データを統合した災害対応情報プラットフォームとして、自治体・物流企業・インフラ企業等に向けたサービスとして社会実装することを目指す。

将来的には、災害時に限定されず、平時から運用可能な都市モニタリングや物流経路の最適化支援、インフラ点検支援といった活用も視野に入れ、B2G・B2B 双方の展開により、安定的かつ継続的な収益確保を図る。事業化に向けた活動としては、以下を重点的に推進する予定である。

- ・自治体・インフラ企業等との共同実証によるユースケースの具体化
- ・地上データ連携を強化するパートナー企業との連携構築
- ・クラウド・API 環境の整備とシステム実装支援

一方、事業化においては以下の課題が存在する。

- ・災害時限定から平時活用への拡張性含む、ターゲット別の収益モデルの確立（SaaS/API 型など）
- ・初期導入コストや自治体側の調達ハードルの克服
- ・リアルタイム性や統合力を軸とした差別化戦略の構築
- ・連携先との契約・収益分配の枠組み整備

これらの課題に対し、実証と並行したビジネスモデルの検証およびエンドユーザーとの対話を重ねながら、段階的に社会実装・事業化を推進する。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	-	28.5	46.1	※	-

●特許出願及び論文発表

特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

4.2. 研究開発項目②：量子・古典の最適化等に向けた標準ライブラリの開発

ライブラリ整備テーマ

● 量子・AI ハイブリッド技術の活用を加速する共通ライブラリ基盤の研究開発

テーマ名	量子・AI ハイブリッド技術の活用を加速する共通ライブラリ基盤の研究開発（共通ライブラリ整備）	達成状況	○
実施者名	委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社長大 再委託等先：DEVEL 株式会社		
達成状況の根拠	産総研が運用する「AI 橋渡しクラウド」（以下、ABCI）上における共通ライブラリ利用環境の試作、共通ライブラリの外部仕様書作成、共通ライブラリの入出力方式の評価及び共通ライブラリ外部仕様への反映、いずれの目標においても当初想定通りの成果を達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

「量子未来社会ビジョン」では、量子技術を社会経済システム全体に取り込み、従来型（古典）技術システムとの融合（ハイブリッド）を図ることにより、我が国の産業の成長機会の創出・社会課題の解決につながると提言されている。量子コンピュータを、古典コンピュータのみでは量的・質的に解けない問題を現実的な時間で解く「アクセラレータ」として活用し、従来の AI 技術と組み合わせることで、計算能力の飛躍的な向上やデータ利用の高度化を実現することが可能になる。量子・AI ハイブリッド技術を活用したアプリケーションの創出を促進するには、さまざまな用途に再利用可能な形でアルゴリズムを実装した共通ライブラリの開発と、継続的な管理体制の構築・整備が必要である。本テーマでは、共通ライブラリを試行できる「場」を産総研が整備する量子・AI ハイブリッドコンピューティング基盤 ABCI-Q 上に構築し、ユースケース創出から共通ライブラリの開発・維持を持続的に実施する体制（エコシステム）構築を目指す。

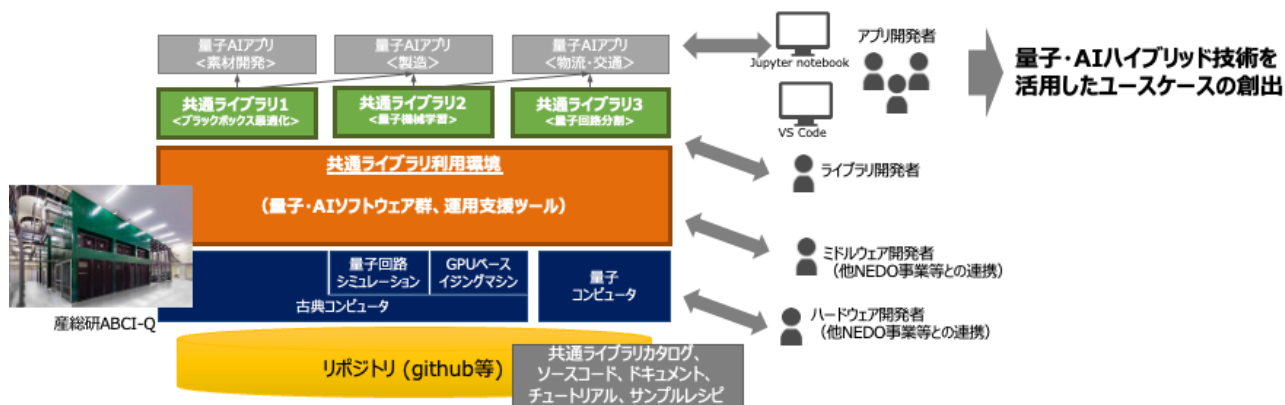


図1 本テーマの概要

●アウトプット目標

- ・ 実施項目①-1 量子・AI ハイブリッドアプリケーション実行環境の本格運用開始、及び産総研 G-QuAT を中核とした、持続的な共通ライブラリ開発・維持体制の確立。
- ・ 実施項目①-2 共通ライブラリ外部仕様の策定と実証。
- ・ 実施項目①-3 共通ライブラリ外部仕様の入出力方式とその保守体制の確立。

●成果とその意義

■成果

以下の表に示す通り、中間目標を達成した。中間目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
実施項目①-1 ABCI 上に共通ライブラリ利用環境の試作を完了し、共通ライブラリの管理体制を明確にする。【産総研】	・ 共通ライブラリ利用環境の試作を ABCI 上で完了した。来年度は運用を開始する ABCI-Q 上で共有ライブラリの動作検証を実施する。 ・ 共通ライブラリの管理体制に対する要件を調査し、産総研 G-QuAT を中核とする管理体制を構築する方針を決定した。	○

実施項目①-2 既存の量子・AI ハイブリッドアルゴリズムの調査から共通ライブラリに求められる要求要件を抽出し、外部仕様初版を完成する。【長大】	- 共通ライブラリをアプリケーション開発に活用するために必要な機能の洗い出しを実施し、共通ライブラリ開発者へのヒアリングを実施して結果のブラッシュアップを実施した。 - 既存の AI・量子フレームワークによってどの必要な機能が提供されているかの調査を実施した。 - 上記の調査、検討結果をまとめた「AI・量子ハイブリッド共通ライブラリの外部仕様書初版」を作成した。	○
実施項目①-3 共通ライブラリの入出力方式の評価を行い、共通ライブラリ外部仕様に反映する。【DEVEL】	- 入出力方式の初版として Qudas をリリースした。 - Qudas の入出力データの変換部分とパイプライン部分の評価した。 - 開発した入出力形式を共通ライブラリの外部仕様に反映した。	○

※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達

■意義

複雑化・高度化する社会課題および産業課題の解決に向けては、従来の古典コンピューティングに加え、量子コンピュータとのハイブリッドな活用が有望視されている。こうした量子・古典ハイブリッド技術の実用化・普及にあたっては、開発効率を飛躍的に向上させる共通ライブラリの整備が不可欠である。本テーマでは、量子コンピュータ、量子インスパイアドマシン、シミュレータを含めた多様な量子コンピューティング技術に対応可能な共通ライブラリの開発と、それを活用したアプリケーションの開発・評価が可能なプラットフォームの構築を推進している。これにより、技術者や研究者が量子・古典ハイブリッドアプリケーションの開発に円滑に取り組める環境を提供し、将来的な社会的・産業的課題の解決に貢献することを目指す。ABCI-Q のような複数種類の量子コンピュータと、量子コンピューティングに特化したスーパーコンピュータを組み合わせたプラットフォームは世界にも類がなく、その活用が期待される。

●実用化・事業化への道筋と課題

産総研が構築・運用する ABCI-Q 上で、本事業の成果を活用した共通ライブラリ利用環境をサービス提供する。産総研 量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル拠点（G-QuAT）を中核として、大学とのオープンイノベーションラボや民間企業との共創ラボ等の仕組みの活用、Q-STAR や IPA 等の外部機関との連携を通して、共通ライブラリを継続的に維持可能な体制を構築・強化する。2025 年度運用開始予定の ABCI-Q 上で試験サービスを経て、本事業終了までに本格運用の開始を目指す。開発成果については、オープンソースソフトウェア開発を前提とし、デファクト標準化を目指す。また、運用ノウハウについては、我が国の強みとして、民間への技術提供を検討する。

共通ライブラリの持続的な維持・管理について、人材・費用をどのように確保するかは継続的な議論が必要である。

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	22.2	36.7	59.0	44.0	44.0

●特許出願及び論文発表				
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他
0 件	1 件	10 件	0 件	3 件

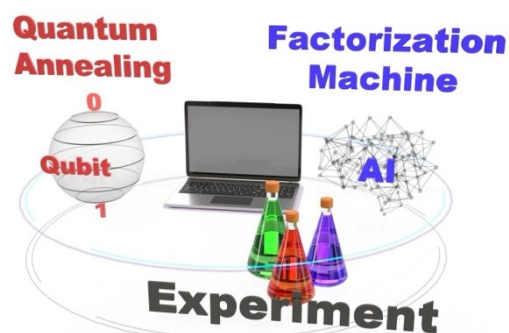
ライブラリ開発テーマ

①ブラックボックス最適化共通ライブラリの開発

テーマ名	量子・AIハイブリッド技術の活用を加速する共通ライブラリ基盤の研究開発（ブラックボックス最適化共通ライブラリの研究開発）	達成状況	◎
実施者名	委託先：学校法人慶應義塾		
達成状況の根拠	当初設定した目標である「量子・AI アプリケーション開発に使用可能なブラックボックス最適化アルゴリズムを1件開発する」を大いに上回り、5件のアルゴリズム開発を完了した。また、既存のブラックボックス最適化ライブラリ調査についても、目標を達成見込みである。		

●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係

IoT 社会、Society5.0、DX 等の技術革新、社会変革を背景として、これまでデータ化されてこなかった質や量のデータが獲得できる状況になっている。素材開発、製造業等の多様な業種において、複雑な最適化、特にブラックボックス最適化と呼ばれる最適化を行う必要がある。これは多くの場合、従来型コンピュータ上で、従来型の数値最適化ソルバでは原理的に対応が困難な場合があり、業界に対する深い知識を有する熟練者の経験と勘によって最適化を行わざるを得ないことが課題である。そのような中、慶應義塾大学チームが提案した、量子・AI ハイブリッド技術によるブラックボックス最適化の新



手法 Factorization Machine with Annealing (FMA)が注目されている。このような背景を受け、多様な業種のニーズに対応するために、FMA の機能拡張を行うアルゴリズム開発を行うことを目的とする。加えて、様々なユーザにとって標準的に利用可能な、FMA の共通ライブラリ化を行うことも目的とする。これを達成することにより、「量子未来社会ビジョン」で提言されている、量子技術を社会経済システム全体に取り込み、従来型（古典）技術システムとの融合（ハイブリッド）を図ることにより、我が国の産業の成長機会の創出・社会課題の解決につながる。

●アウトプット目標

量子・AI アプリケーション開発に使用可能なブラックボックス最適化共通ライブラリを1件開発する。また、開発したブラックボックス最適化共通ライブラリを用いた実問題を解法することで有効性評価を行う。

●成果とその意義

■成果目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
ブラックボックス最適化のための量子・AI ハイブリッドアルゴリズム FMA に要求される機能拡張の検討	FMA 利用に関心を持つ企業研究者等との議論により、想定されるユースケースと、それに対応する要求される機能拡張を5件検討した。また、テストコードを開発し、各機能拡張についての性能の初期評価を実施した。これは、中間目標である「量子・AI アプリケーション開発に使用可能なブラックボックス最適化アルゴリズムを1件開発する」を超え、5件のアルゴリズム開発に繋がった。	◎
ブラックボックス最適化のための量子・AI ハイブリッドアルゴリズム FMA に要求される機能拡張・実イジングマシン対応拡張の検討	FMA 利用に関心を持つ、あるいはFMA 初期検討に取り組まれている企業研究者等との議論により、想定されるユースケースと、それに対応する要求される機能拡張や実イジングマシン対応拡張について明確化した。また、FMA の拡張アルゴリズムを5件開発し、中間目標である「量子・古典アプリケーション開発に使用可能なブラックボックス最適化アルゴリズムを1件開発する」を超える成果が得られた。	◎

既存のブラックボックス最適化ライブラリ調査実施	既存のブラックボックス最適化ライブラリとしてよく用いられている Optuna や、最近発表された Amplify-BB0pt の仕様調査、ブラックボックス最適化性能の調査を行った。また、Amplify-BB0pt をベースに最新手法を試用する環境を整備可能であることの初期確認を行った。				○
※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達					
■意義 多様な業種に内在するブラックボックス最適化を実行可能にするための基盤アルゴリズムの構築に成功した。また、構築した基盤アルゴリズムは従来手法に比べて 1 桁程度の時間短縮を達成することを確認した。2025 年度実施予定のライブラリ開発を行うことで、多様な業種における量子・古典ハイブリッドアルゴリズムの活用が促進されると期待される。また現在までの研究成果について、FMA 利用に関心を持つ・初期検討に取り組む複数の企業研究者等との議論により、研究開発の妥当性、重要性を確認している。					
●実用化・事業化への道筋と課題 以下の流れで、2025 年度にライブラリ開発を実施する。第一に、2024 年度までに開発した量子・AI アプリケーション開発に使用可能なブラックボックス最適化アルゴリズムを Amplify-BB0pt の拡張機能として実装する。第二に、開発したブラックボックス最適化共通ライブラリを用いた実問題を解法することで有効性評価を行う。また、開発したライブラリの AI・量子ハイブリッドクラウド基盤上での動作検証を実施する。第三に、Amplify-BB0pt の拡張機能として開発した FMQA ライブラリを GitHub 上で公開する。その後の実用化に向けて、FMA 初期検討に取り組む複数の企業研究者等からのフィードバックを受け、ブラッシュアップを行う。					
●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	40.0	28.6	51.4	-	-
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
0 件	1 件	15 件	0 件	2 件	

②量子機械学習共通ライブラリの研究開発

テーマ名	量子・AIハイブリッド技術の活用を加速する共通ライブラリ基盤の研究開発（量子機械学習共通ライブラリの研究開発）	達成状況	○
実施者名	委託先：国立大学法人東北大学		
達成状況の根拠	量子機械学習共通ライブラリ（クラスタリングライブラリ）について、設定した目標通り、開発が完了する見込みである。また、実問題を想定したテストプログラムによる有効性評価も、予定通り実施予定である。		
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係			
近年の機械学習・AI 技術の進展はめざましく、その範囲は研究分野のみならず、様々な社会問題にも応用され、これまで不可能であった問題解決ならびにサービスの実現に貢献している。一方、機械学習・AI 技術に求められる計算要求も増加しており、従来型の計算機を用いた場合には実践的な時間で厳密解を求めることが難しい場合があり、近似的な解で代替されている場合が多く見受けられる。本テーマでは、量子・AI アプリケーションの開発を効率化するための機械学習共通ライブラリ（以下、「量子機械学習共通ライブラリ」と言う。）の研究開発を行う。機械学習の中でも、とりわけ従来の計算機において、k-means 法などの近似解を求めるアルゴリズムが広く利用されているクラスタリングをターゲットとして、量子技術を活用するアルゴリズムおよび共通ライブラリの研究開発を行う。高い精度が求められるアプリケーションにおいては、厳密解を求解するクラスタリングが有効なケースも想定され、量子技術を活用することで、精度の高いクラスタリングを開発する。			
●アウトプット目標			
量子・AI アプリケーション開発に使用可能な量子機械学習共通ライブラリを 1 件開発する。また、開発した量子機械学習共通ライブラリを用いた実問題を想定したテストプログラムを実行することで有効性評価を行う。			
●成果とその意義			
■成果			
目標		成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※
量子・AI アプリケーション開発に使用可能な量子機械学習ライブラリを 1 件以上開発する。量子機械学習共通ライブラリを用いたテストプログラムを実行することで有効性評価を行う。（東北大学）		- 量子機械学習ライブラリとしてクラスタリングライブラリを開発を 1 件行う見込みである - 実問題を想定したテストプログラムにより有効性を評価する	○
※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達			
■意義			
現在、将来の活用が有望視されている従来のコンピュータと、量子コンピュータによるハイブリッドな活用を実現するためには、各研究者および開発者が個別に量子アルゴリズムを実装し、既存の古典的な AI フレームワークとの統合が必要であり、開発の難易度が問題となっている。本テーマでは、量子計算技術を活用した量子機械学習を、共通ライブラリとして開発を行っている。これによって、研究者や技術者、開発者が量子・AI ハイブリッドアプリケーション開発を効果的に行えるようになり、開発効率の向上、量子計算・古典計算の効率的な利用、信頼性や持続可能性の向上が期待できる。これにより、企業や研究者は量子コンピューティングの恩恵を享受しやすくなり、量子技術の社会実装が加速する。			
●実用化・事業化への道筋と課題			
産総研が構築・運用する ABCI-Q を前提として、その上で動作可能な共通ライブラリを開発を行う。具体的には、本事業を通じて ABCI-Q 上に搭載される量子および疑似量子技術を活用する量子機械学習ライブラリを開発する。2025 年度運用開始予定の ABCI-Q 上でのテストを通じ、運用にも耐えうるライブラリを目指す。開発成果については、オープンソースとし、広く ABCI-Q のユーザに使いやすい形で提供する。量子機械学習ライブラリの持続的なメンテナンス、機能拡張などを含めた保守についての費用の確保が今後の課題である。			

●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	40.0	40.0	40.0	-	-
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
0 件	3 件	9 件	0 件	2 件	

③量子回路分割ライブラリ

テーマ名	量子回路分割ライブラリ	達成状況	○
実施者名	委託先：PwCコンサルティング合同会社 再委託等先：学校法人慶應義塾		
達成状況の根拠	量子回路を複数の小さな回路に分割する共通ライブラリについて、回路の再配置、分割、実行コンピュータ推薦、サブ回路実行、計算結果演算といったいずれの機能についても、当初目標を達成する見込みである。		
●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係			
[背景]			
ゲート型量子コンピュータは古典コンピュータでは解けない複雑な計算を実行できる可能性がある。ゲート型量子コンピュータで計算する際は、古典コンピュータのデジタル回路と同様に、量子ビットとそれを操作する量子ゲートを組み合わせて量子回路を作成する。現在利用可能なゲート型量子コンピュータは、一度に利用可能な量子ビット数が数百に制限され、量子ビットが環境等の雑音の影響を受けやすいため実行時間やゲートの実行回数も制限される。これらの制限から、エラーありの中規模量子コンピュータ（NISQ）と呼ばれる。量子ビット数が十分に多く誤り耐性のあるゲート型量子コンピュータの登場が期待されているが、その実現には長期かつ継続的な投資が不可欠である。そのような投資を引き出すために、NISQを活用したゲート型の有用性を示すユースケース創出が重要である。			
[目的]			
NISQ を活用したユースケース創出においては、NISQ の制限を考慮した設計および開発を行う必要がある。その手法の 1 つとして量子回路分割アルゴリズムが提案されている。これは、1 つの大規模な量子回路を複数の小さな量子回路(サブ量子回路)に分割し、サブ量子回路の実行結果を集約することで、元の大規模回路の実行結果を得るアルゴリズムである。これにより NISQ の性能限界を超えた実行が可能となる。しかし、そのトレードオフが存在する。元の大規模回路には量子ビット間に多数の相互作用が存在するため、サブ量子回路への分割にはその相互作用をカットする必要がある。カット前の相互作用と同じ結果を得るには、1 つの量子ビットへの作用の足し合わせが必要であり、10 個程度のサブ量子回路を実行する必要がある。そのため、カット数の増加に伴い実行時間が飛躍的に増大する。			
サブ量子回路を実行する計算デバイスの選定にも工夫の余地がある。ゲート型には実現方式が複数あり、特性が異なる。例えば、超伝導方式は量子ビット数の多い量子回路を実行でき、イオントラップ方式は量子ビット間の相互作用が多い量子回路を実行できる。また、量子ビット数の少ない量子回路であれば、エラーが発生しない古典コンピュータも活用候補となる。各計算デバイスの特性を活かした使い分けの検討は、計算時間やエラーの削減のために有効である。			
これらを踏まえ、本テーマでは、ユーザーによりインプットされた大規模回路を、カット数を抑えながら分割し、複数の計算デバイスに分配・実行する量子回路分割ライブラリの開発を目的とする。			
[プロジェクトアウトカム目標との関係]			
量子ビット数やゲート実行回数に制限のある NISQ デバイス単体では、アプリケーション開発者は大規模回路を実行できず有用な結果を得ることは難しい。一方、量子ビット数が十分に多く誤り耐性のあるゲート型量子コンピュータの完成には時間を要する。量子回路分割ライブラリはその発展の間を埋める役割を果たし、アプリケーション開発者が量子コンピュータの発展に先駆けて大規模回路を扱えるようになるため、ユースケース創出の早期化に貢献する。古典コンピュータで実行していた大規模計算を、省電力の量子コンピュータで実行するようになり、CO ₂ 排出量削減効果が期待される。また、アプリケーション開発者が量子コンピュータ新規市場に先行者として参入することにも繋がり、市場獲得に貢献する。			
●アウトプット目標			
量子回路分割及び複数の計算デバイスの活用を容易にし、ユーザーがアプリケーション開発に注力できるように、以下の 5 機能を有するライブラリを開発し、オープンソースソフトウェアとして公開する。			
機能	概要		
量子回路の再配置	カット数を抑えられる等価な量子回路に変換する		
量子回路の分割	カット数を最小化する回路分割位置を特定しサブ量子回路に分割する		
AI による実行コンピュータ推薦	サブ量子回路と計算デバイスをマッチングする		
サブ量子回路実行	サブ量子回路を各計算デバイスで実行する		
計算結果演算	サブ量子回路演算結果を集約し、分割前の回路の実行結果を再現する		
●成果とその意義			
■成果			
上記に記載した 5 機能の開発に関する達成状況及び達成見込みは以下の通りである。			

目標	成果・達成状況・根拠・対応策	達成度※			
量子回路の再配置機能の開発	2024 年度までの計画は、カット数を抑えられる等価な量子回路に変換するアルゴリズムの開発完了であった。超伝導方式に関して、量子ビット間の相互作用が少ない等価回路を生成するアルゴリズムを開発した。その他の方式に関しては、ZX-diagram という手法に着目したが適用方法の検討に時間を要した。クラスタ構造をもつ回路への変換がカット数削減に有効と判明し、参考となる先行研究も発見したため、適用方法を決定した。当初計画段階から本機能の開発にはスケジュールのバッファがあるため、専門分野の研究員 1 名を 2025 年 4 月以降終了まで増員することで、開発を完了する見込み。	○			
量子回路の分割機能の開発	2024 年度末までの計画は、実行時間増大を防ぎながら量子回路を分割するアルゴリズムの開発完了であった。カット数を最小化する分割位置特定アルゴリズムを開発し実装した。また、古典コンピュータにおいて回路分割を活用するための研究開発を実施した。古典コンピュータの活用はライブラリに組み込むための改良に時間を要している一方で、分割位置特定アルゴリズムは実装まで至っており計画以上の進捗がある。全体では計画通りの進捗であり、2025 年度は本機能をライブラリに組み込む予定。	○			
AI による実行コンピュータ推薦機能の開発	2024 年度末までの計画は、サブ量子回路ごとに計算デバイスを推薦するアルゴリズムの開発、及びアルゴリズム検証用データの収集であった。量子回路の実行時間を推定する AI モデルを作成した。実行時間を取得し、推定の正しさを確認した。2025 年度は本機能をライブラリに組み込む予定。	○			
サブ量子回路実行機能の開発	2025 年度着手予定の計画のため未着手だが、計画段階で実装に必要な先行研究を特定済みであり計画通りに進捗する見込み。	○			
計算結果演算機能の開発	2025 年度着手予定の計画だったが、先行して本機能のプロトタイプを開発済みであり、改良の上ライブラリに組み込む予定。	○			
※【凡例】◎：大いに上回って達成、○達成（見込み）、△一部未達、×未達					
■意義 量子回路分割は量子ビット数やゲート実行回数の制限を緩和できる。また、複数の実現方式が存在し、それらの性能が十分でない現時点において、それぞれの強みを組み合わせることは有用である。複数の計算デバイスの活用を前提として回路分割アルゴリズムをライブラリ化した前例はなく優位性がある。 本ライブラリは NISQ デバイス単体では実行できない規模の計算を可能にするため、ゲート型の有用性を示すユースケース創出の早期化に貢献する。更に、回路分割を適用した上で複数の計算デバイスを組み合わせることは量子コンピュータ活用の 1 つの方向性を示すことになり、これが効果的であれば量子コンピュータ活用方法のデファクトスタンダードになる可能性がある。					
●実用化・事業化への道筋と課題 量子回路分割ライブラリがゲート型の有用性を示すユースケース創出の早期化に貢献することを目指す。そのためにライブラリの認知拡大が必要と考え、これまで研究成果発表を 4 件実施し、2025 年 10 月には CEATEC2025 に出展予定である。また、本ライブラリは複数の計算デバイスを利用できる環境において効果を発揮するため、産業技術総合研究所が構築中の量子・AI クラウド「ABCI-Q」を有効活用するように開発を進める。既に研究開発項目①「量子・古典アプリケーション開発・実証」の 3 テーマと議論を開始しており、今後の更なる連携を通じて 2027 年 3 月を目標に活用事例創出を目指す。					
●期間・予算 (単位:百万円)	2023FY	2024FY	2025FY	2026FY	2027FY
	30.4	28.0	59.6	-	-
●特許出願及び論文発表					
特許出願	論文発表	発表・講演	雑誌掲載	その他	
0 件	0 件	4 件	1 件	1 件	

添付資料

●プロジェクト用語集

2023 年度第 1 回採択テーマ（アプリ 1 期生）5 テーマ

量子・AI ハイブリッドによる創薬向け大規模 Virtual Screening 法の開発		
1	Virtual Screening	創薬プロセスの上流工程において、多数の薬剤候補化合物から創薬標的分子への結合親和性が高い（相互作用が強く、薬剤の種になりうる）と期待されるものを計算機上で高速に選別する処理。
2	ハミルトニアン設計	組合せ最適化問題をアニーリング計算で解く場合の、最適化の目的関数をハミルトニアンと呼ぶ。ハミルトニアン設計とは、解きたい組合せ最適化問題に適合するハミルトニアンを定式化すること。
3	フラグメント	フラグメントとは、内部自由度を持たない化合物の部分構造のこと。一つのフラグメントは多くの化合物に共通して含まれるため、膨大な数の化合物をより少ない数のフラグメントで表現できるという計算上の利点がある。

量子・AI 次世代創薬		
1	RNA アプタマー	特定の分子に特異的に結合する一本鎖核酸（DNA または RNA）。抗体と同様に、標的分子と結合することで、その機能の阻害や、検出に用いることが可能。
2	SPR 法	表面プラズモン共鳴（Surface Plasmon Resonance）を用いた解析手法。 分子の相互作用をリアルタイムで、標識なしに測定できる方法で、金属表面近傍の屈折率の変化を追跡することで、分子間の結合・解離挙動や相互作用の強さなどを分析可能。
3	アッセイ系	特定の量（例えば、薬の候補化合物の活性など）を測定するための一連の方法や仕組み。
4	DDS	体内での薬物分布を制御することで、薬物の効果を最大限に高め、副作用を最小限に抑えることを目的とした技術。
5	ペプチド	アミノ酸とアミノ酸がペプチド結合を介して、2 分子以上つながった構造。

高柔軟性薬剤分子の結晶構造予測システム		
1	結晶性コンフォーマー	同じ組成構造の分子でも、結合の回転に起因する自由度によって立体的に異なる複数の原子配置（立体配座）を取ることができる。立体配座のみが異なる分子をコンフォーマーといい、その中で結晶構造を取ることができるものを結晶性コンフォーマーとよぶ。
2	高柔軟性薬剤分子	薬剤を構成する分子の中で、多数のコンフォーマーが存在する分子。一般に分子量が 500 を超えるような薬剤分子ではコンフォーマーの数が飛躍的に増大する。

製造における異常検知技術の研究開発		
1	NAVINECT®	TOPPAN デジタルが提供する製造業 DX 向け統合 IT ソリューション。ペーパーレスから製造 IoT まで、製造業の DX に必要な多様な機能を一つのプラットフォームで提供する。製造現場のデジタル化を促進し、生産性の向上や効率化、標準化の実現を支援する。

物流現場における人間機械協調作業のためのデジタルツイン量子最適化		
1	エッジカメラ	ネットワークのエッジ側に設置されたカメラ・システムで、AI 処理能力（推論）や画像解析機能を内蔵し、通信量や応答時間の削減に有効。
2	ブラックボックス最適化	「ブラックボックス最適化共通ライブラリの開発」の項目を参照。
3	デジタルツイン	物流倉庫などの実環境とデジタル空間上に作成された仮想環境を、同じように振る舞うように双子（ツイン）化して、分析・最適化・シミュレーションを行う技術。

2023 年度第 2 回採択テーマ（アプリ 2 期生）5 テーマ

量子＋古典 AI による物流業務効率化のアプリケーション開発		
1	メタ解法モジュール	組合せ最適化問題に適用可能な汎用性の高い複数のプログラムや関数などを再利用可能な形でまとめたプログラムで、ソルバプログラムから呼び出されて機能する。
2	ソルバ	数値解析ソフトウェア（配送計画/ピッキング計画を最適化するプログラム）そのものを指す。
3	PoC	Proof of concept の略語で、新しいアイデア、技術またそれらのコンセプトが実現可能であることを示すために検証すること（あるいはそのために行われるテストや実験）を指す。

量子・AI 支援による機能タンパク質最適化技術の研究開発		
1	酵素	化学反応を促進する働きを持つ物質で、人間の体内で起こる消化・吸収・代謝といった働きを調節する役割があり、主にタンパク質で構成される。タンパク質は熱によって変性するため、酵素も加熱によって働きが損なわれてしまうのが特徴。
2	解離平衡定数	物質がイオンや分子に解離する際の平衡状態を表す指標。解離定数は、会合定数や結合定数の逆数であり、値が小さいほど、解離が起こりにくい（結合親和性が高い）ことを意味する。
3	細胞傷害性	細胞傷害性とは、細胞に傷害や破壊、機能障害などを引き起こす物質や物理作用などの性質。細胞毒性（cytotoxicity）とも呼ばれる。
4	二重特異性抗体 (bispecific antibody)	1 つの抗体分子が同時に 2 つの異なる抗原、または同じ抗原の異なるエピトープに結合できる抗体。自然界には存在せず、人工的に作製される。
5	エピトープ	エピトープとは、抗原タンパク質のうち、抗体が結合する部位。抗体は、相手とするタンパク質が持つ特定の立体構造に反応して結合する。エピトープは、5～10 個ほどのアミノ酸や糖の集まりで構成される。

量子・AI によるポスト 5G・6G 用メタサーフェスデバイスの研究開発		
1	メタサーフェス	電磁波の波長よりも十分に小さな構造体を表面や内部に配列して構成されたシート状の人工構造体。薄型・軽量でありながら、電磁波の伝播・反射・透過特性に高い制御性を有し、通信・センシング・無線電力伝送など多岐にわたる応用が期待されている。
2	次世代ミリ波通信	30～300GHz 帯のミリ波を用いた通信技術で、現行の 5G を超える周波数帯の活用により、さらなる高速・大容量・低遅延な無線通信の実現を目指す。一方で、ミリ波通信は直進性が高いため障害物の遮蔽効果による通信エリアの制限が課題とされ、メタサーフェスを用いた通信エリアの拡大技術の研究が進んでいる。

3	6G	2030 年頃の実用化が想定される第 6 世代移動通信システム。5G をより高度化したシステムとして、超高信頼・低遅延通信、大容量通信、超多数同時接続の実現に加えて、ミリ波・テラヘルツ波の活用、AI との融合、宇宙・海中・空中など非地上エリアへの拡張も検討されている。
---	----	--

量子生成 AI による半導体製造用新材料開発		
1	ベクトルアニーリング	CMOS 計算機を用いて、疑似的に量子アニーリングを行う手法の一つ。グラフィックス演算素子（GPU）以上に多数のコアと高速のメモリ通信バンド幅を持つベクトル演算素子用に最適化されたアニーリング計算アルゴリズム。並列計算タスクに特化した利点を生かし高速化を実現している。

高次リサイクルシステム構築を志向する解体性接着技術開発		
1	QUBO	Quadratic Unconstrained Binary Optimization の略語で、組合せ最適化問題の求解手法の 1 つ。二次形式の制約なし二値変数最適化のことで、0 または 1 の値を取る 2 値変数を用いた 2 次式の中で、その式の値の最小化（最適化）する変数の割り当てを求める式のこと。
2	マテリアルズインフォマティクス(MI)	材料分野において計算科学を用いて、新材料設計や性能最適化を効率的に行うための手法の 1 つであり、機械学習やデータベース解析、統計学的手法を駆使して材料に関する膨大なデータを解析し、材料の特性を予測すること。
3	プロセスインフォマティクス(PI)	製造や生産プロセスに関連するデータを収集し、解析することで、プロセスの効率化や最適化を目指す手法のこと。材料開発である MI と連携することで、材料の製造から加工、最終製品化までの一連の流れを統合的に最適化することが可能となる。
4	3 次元加飾 HC フィルム	「3 次元加飾ハードコートフィルム」のことであり、3 次元形状に追従できる伸び性能と実用表面強度を両立したフィルム。ボンネット等の自動車外装用塗装に代わる素材として、アイカ工業株式会社が販売を行っており、自動車製造工程における CO ₂ 削減の観点で注目を集めている。

2024 年度採択テーマ（アプリ 3 期生）6 テーマ

量子・AI ハイブリッド技術を活用した物流運用の最適化		
1	物流マッチング	荷物を運びたい荷主と運送可能なドライバーまたは運送業者を効率的に結びつける仕組みを指す。例えば、空車のトラックと配送ニーズを迅速にマッチングすることで、輸送の無駄を削減し、物流全体の効率化を図る。
2	最適積み付け	トラックやコンテナなど限られた積載空間に対して、荷物の大きさ・形状・重量・積載順序などを考慮し、無駄を最小限に抑えつつ効率的かつ安全に積載する手法を指す。

半導体製造業最適化のための量子・古典アプリケーションの研究開発		
1	前工程	シリコンウエハ上に電子回路を形成する工程。FAB 工程（素子形成＋配線形成）と EDS 工程（ウエハ特性検査）からなる。半導体製造の中核であり、多数の組合せ最適化問題で構成される。
2	工程割付数	生産ロット内の各工程を「どの装置」で「いつ処理するか」を割り当てた結果、決まった期間（例：計画立案時から 12 時間）に割り当てられた工程の総数。
3	装置へのロット工程の割付問題	生産すべきロットの集合と装置の集合が与えられたとき、ロット内の各工程を「どの装置」で「いつ処理するか」のスケジューリングを決定する最適化問題。処理可能装置や計画メンテナンスなどの制約条件を満たしつつ、稼働率や処理数などの目的関数を最適化する。

仮想発電所需給調整におけるリスクヘッジ型量子古典確率最適化手法の開発		
1	c-qGAN	生成器および識別器の量子回路に古典的にエンコードされたラベルや属性情報を組み込むことで、所望の特徴を持つサンプルを生成することを目的とした量子機械学習の一手法。このアプローチにより、量子的性質を活かした条件付きデータ生成が可能となる。
2	QAOA	QAOA（Quantum Approximate Optimization Algorithm、量子近似最適化アルゴリズム）は、量子回路と古典最適化を協調させて組合せ最適化問題の近似解を導くアルゴリズムである。最初に最適化問題を「問題ハミルトニアン」と呼ばれる行列形式で表現し、次に「探索空間を掻き混ぜるハミルトニアン」を用意する。これらを交互に適用するパラメータ化回路を構築し、古典的手法でそのパラメータを最適化することで、測定結果から良好な近似解を得る。
3	Q 行列	Q 行列は、QUBO（Quadratic Unconstrained Binary Optimization）問題において、目的関数を行列表現する係数行列である。各変数の線形項と変数間の相互作用項を含み、制約条件はペナルティ項として目的関数に加えることで実質的に考慮される。QAOA や量子アニーリングでは、この Q 行列をもとに量子ビットに対応するハミルトニアンを構成し、最適解を探索する。

大規模な物流倉庫における入出庫の経路最適化アプリケーションの研究開発		
1	需要予測モデル	規模な物量倉庫における商品の需要を予測するためのモデル。
2	経路最適化ライブラリ	量子アニーリングを用いて AGV の経路を最適化するアプリケーション内に組み込まれた最適化モジュールのライブラリ。
3	高速化モジュール	各種モジュールの並列化処理やマルチスレッド化を通じて、ハードウェアの高速化を実現するためのモジュール。

量子古典 AI ハイブリッド汎用計算手法による製造サプライチェーン最適化		
1	整数計画（IP）	現実の問題を数理モデルとして表現し、整数値をとる変数・線形の目的関数・線形の制約条件を用いて最適化問題の形に落とし込むことを指す。組合せ的な意思決定を整数変数で表し、制約や目的を線形式で記述することで、最適化ソルバを用いた解析・解法が可能になる。
2	制約充足（SAT）	対象となる問題をブール変数と論理式の組み合わせで表現し、全ての制約が同時に満たされるかを判定する形式に変換することを指す。問題の構造を命題論理の CNF（論理積正規形）などで表現し、SAT ソルバを用いて充足可能性の有無や具体的な真偽値の割当を求める。離散構造の問題に適している。

3	非分割解法	問題全体を一つの統一的な数理モデルとして定式化し、部分的に分割・段階化せずに一括で解く手法を指す。全体構造を保ちながら整合性のある最適解を求める点が特徴。一方、計算規模が大きくなる傾向があるため、最適解を得るには膨大な計算時間を要するという問題がある。
---	-------	---

ライブラリ整備テーマ

量子・AI ハイブリッド技術の活用を加速する共通ライブラリ基盤の研究開発		
1	ABCI-Q	ABCI-Q は、国立研究開発法人 産業技術総合研究所が構築した、量子・AI ハイブリッド計算クラウドシステムである。最新の GPU を搭載した大規模高性能計算システムと、複数種の量子コンピューターにより構成される。
2	G-QuAT	G-QuAT（量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル研究センター）は、国立研究開発法人 産業技術総合研究所に設置された戦略的研究拠点であり、量子コンピューティング技術を活用した社会実装可能なユースケースの創出および、国際的なビジネスエコシステムの構築を目的としている。
3	Qudas	Qudas（Quantum Data Transformation Library）は、量子計算における汎用的なデータ形式変換に対応する Python ライブラリであり、異なる量子計算環境間での統一的なデータ処理を可能とする。

ライブラリ開発テーマ

ブラックボックス最適化共通ライブラリの開発		
1	ブラックボックス最適化	通常最適化においては、定式化された目的関数や制約条件をもとに求解するが、最適化対象である目的関数が定式化困難な場合の最適化のことを指す。材料設計をはじめとした様々な産業領域に内在する最適化であり、試行錯誤に基づく最適化の多くはブラックボックス最適化である。
2	FMA	ブラックボックス最適化に対するアルゴリズムの一つ。 factorization machine with annealing の略である。この手法が提案された論文では、 factorization machine with quantum annealing (FMQA) と呼んでおり、この呼称が用いられることもある。ブラックボックス最適化における目的関数の代理モデルとして factorization machine を利用し、学習されたモデルをアニーリングマシンで最適化することにより、ブラックボックス最適化の求解を実行する。

量子機械学習共通ライブラリの研究開発		
1	量子機械学習	量子力学の原理を応用して、従来の機械学習アルゴリズムの高速化を実現する技術。量子アニーリングやゲート型量子コンピュータなどを用いた様々な実現方式が提案されている。
2	クラスタリング	あらかじめラベル付けされていないデータを、類似性に基づいてグループ（クラスター）に分類する手法。教師なし学習の代表的手法の一つで、パターン認識やデータ分析に広く用いられる。

量子回路分割ライブラリ		
1	ゲート型 量子コンピュータ	古典コンピュータのビット・論理ゲートに相当する量子ビット・量子ゲートを用い量子計算を実行するコンピュータ。量子コンピュータは、ゲート型とアニーリング型に分類され、アニーリング型は組み合わせ最適化問題に特化している一方で、ゲート型は汎用的な計算が可能である。
2	量子回路	古典コンピュータの論理回路と同様に、量子ビットとそれを操作する量子ゲートを組み合わせて、ゲート型量子コンピュータでの計算順序を図示したもの。
3	量子回路分割	1つの大規模な量子回路を複数の小さな量子回路(サブ量子回路)に分割し、サブ量子回路の実行結果を集約することで、元の大規模回路の実行結果を得るアルゴリズム。
4	NISQ デバイス	NISQ は Noisy Intermediate-Scale Quantum の略称であり、ノイズの影響を受けやすい中規模（数百量子ビット）の量子コンピュータのこと。
5	超伝導方式	ゲート型量子コンピュータの実現方式の1つ。超伝導素材を用い、絶対零度近くまで冷却することで量子ビットを実装する方式。
6	イオントラップ方式	ゲート型量子コンピュータの実現方式の1つ。真空中にイオンを閉じ込め、レーザー光でその状態を操作して量子ビットを制御する方式。
7	ZX-diagram	量子計算を視覚的に表すための図式的な表現の1つ。量子回路に比べ、量子回路を別の等価回路に変換する際の規則が明瞭で、直感的な変換を可能にする。

「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」
基本計画

AI・ロボット部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

現在、世界的に経済・社会構造の歴史的なパラダイムシフトが起こる只中にあり、従来の労働・資本集約型とは異なる知識集約型へと経済・社会が不連続に移行しつつある。この転換を適切に捉えることが我が国の国際競争力を握る鍵になっている。

我が国は、将来の目指すべき社会像として「Society 5.0」や「データ駆動型社会」を世界に先駆けて掲げており、特に人工知能（以下「AI」という。）やデータ連携基盤は経済・産業政策上、競争力の源泉となる重要な技術インフラとなっている。量子技術はこうした重要技術インフラをさらに飛躍的・非連続的に発展させる鍵となる基盤技術である。DXの急速な進展、カーボンニュートラル社会の実現に向けた動きなど急激に変化する社会経済の環境に対する量子技術に期待される役割は増大している。

そこで、「量子未来社会ビジョン」（令和4年4月22日統合イノベーション戦略推進会議決定）においては、量子技術の研究開発・社会実装の取組を加速・強化し、我が国産業の成長機会の創出、社会課題解決等に対応することが喫緊の課題であり、また同時に、量子技術はAIや高度なシミュレーション等の計算機科学、情報通信技術、半導体、計測・センシング技術等において、従来型（古典）技術システムとも密接に関連し、これらと融合・一体化させながら取組を推進することが重要であると提言している。国として確固たる技術の基盤確立を目指すと共に、これらを我が国が抱える様々な課題の解決や、将来の持続的な成長・発展等に確実に結びつけていくことは不可欠である。

②我が国の状況

統合イノベーション戦略推進会議で策定された「統合イノベーション戦略(2018年6月閣議決定)」をうけ、2019年2月から量子技術に関しての政府主体での議論が本格化し、第6回統合イノベーション戦略推進会議（2020年1月）にて策定された「量子技術イノベーション戦略」の中でロードマップの作成が行われ、本ロードマップにもとづき量子技術の研究開発等の取組は着実に推進してきている。

また、2022年4月には「量子未来社会ビジョン」、2023年4月には「量子未来産業創出戦略」、2024年4月には「量子産業の創出・発展に向けた推進方策」が策定され、我が国の産業の成長機会の創出やカーボンニュートラル等の社会課題の解決のた

めに量子技術を活用し、未来社会を見据えて社会全体のトランスフォーメーションを実現していくための取組の推進が期待される。

一方で、これらの策定の背景には、我が国では量子技術における長年の基礎研究の蓄積により、基礎理論や知識・基盤技術等での強みや優位性、競争力を有しているものの、技術の実用化や産業化（システム化）等に向けた取組では諸外国の後塵を拝する分野・領域があるなど極めて深刻な状況であることが挙げられる。

③世界の取組状況

量子技術に対する国際的な注目は高まっており、米国、欧州、中国等を中心に、諸外国においては、量子技術を将来の経済・社会に大きな変革をもたらす源泉あるいは革新技術として位置づけ、研究開発投資を大幅に拡充するとともに、研究開発拠点形成や人材育成等の戦略的な取組を加速している。

例えば、アメリカでは、2018年に国家量子イニシアティブ法が成立し、Google、IBM、Intelといった大手IT企業が先導した研究開発が行われており、中国では2016年から2020年の科学技術イノベーション第14次5ヶ年計画で「量子情報」分野を重要とする分野の一つに位置付けたうえで、大学研究者に企業が積極的に参加するといった体制での研究開発が行われるなど、各国で積極的な研究開発が行われている。

④本プロジェクトのねらい

本プロジェクトでは上記の状況を踏まえ、量子技術と従来型（古典）技術システムを融合・一体化したサイバー・フィジカルシステム（以下、「量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステム」といい、そこで活用する技術を「量子・古典ハイブリッド技術」という。）による省エネルギー等のエネルギー需給構造の高度化への貢献に加えて、その研究開発を通じた技術の高度化、社会実装にむけて、量子コンピュータを我が国の産業競争力強化・社会課題解決にフル活用するため、技術が先行するアニーリング方式の利活用を世界に先駆けて進めつつ、早期のビジネスモデル・サプライチェーン・国際共同開発体制の構築により、その後立ち上がるゲート方式の市場獲得をめざす。

具体的には、量子技術が社会実装され、民間投資で自律的に成長する市場を形成するためには、早い段階から産業化を見据えて量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステムのアプリケーションソフトウェア（以下、「量子・古典アプリケーション」という。）の開発に着手することが有効と考えられる。特に、AIの急速な進歩と波及によって、データ活用の高度化と拡大が進む中、量子技術は、それをさらに加速する起爆剤となり、将来のコンピューティング性能の飛躍的な向上をもたらすことが期待されている。そこで、本プロジェクトにおける量子・古典アプリケーションの開発では、前述のビジョン等で言及されている「素材開発」「製造」「物流・交通」「ネットワーク」の4分野において、量子技術（量子 inspired 技術含む）とAIのそれぞれの特性を組み合わせることによりデータ活用の高度化を達成し、生産性向上や省エネルギー化に貢献すると共に、量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステムに実装して実証を行うことで、ビジネスモデルや戦略の変革をもたらすユースケースの創出を目指す。

また、量子技術と AI を組み合わせることで従来技術では解決が困難なビジネス問題の規模や複雑さに対応可能で、単一の分野内での複数の利用者間、又は複数の分野間で共通利用可能なアルゴリズム等で構成するライブラリ（以下、「共通ライブラリ」という。）の開発及び整備を行うことで、量子・古典アプリケーション開発の飛躍的な効率化を通じて抜本的な生産性の向上、産業競争力の維持・向上、エネルギー需給の高度化を実現することを目指す。

量子・古典アプリケーション開発にあたっては、複数の技術方式が想定されるため、あらかじめ多くの研究提案を採用し、これを競争させ、事業の進捗や成果の状況に応じて有望なものに絞り込んでいく多産多死型の研究開発モデルを適用する。そのため、公募時点でステージゲート方式による絞り込みの考え方・通過数を定めるものとする。

（２）研究開発の目標

①アウトプット目標

【中間目標】2025 年度

- ・量子・古典アプリケーションを活用した事業を行うにあたり必要な、課題の整理、解決手法を整理し、量子・古典アプリケーションのプロトタイプ版を 3 件以上開発する。
- ・共通ライブラリについて、ライブラリ仕様の要件定義を完了する。また、量子・古典アプリケーション開発に使用可能なアルゴリズムを 3 件以上開発する。また、開発したアルゴリズムを提供する共通ライブラリの管理体制の明確化を行う。

【最終目標】2027 年度

- ・実環境下での実証実験で有効な結果を得た量子・古典アプリケーションを 4 件以上開発する。
- ・量子・古典アプリケーション開発に使用可能な共通ライブラリを 3 件以上開発する。また、開発した共通ライブラリの有効性評価を行う。

②アウトカム目標

「素材開発」分野では素材開発のマテリアルズ及びプロセスインフォマティクス最適化等、「製造」分野ではスマートファクトリ導入による生産最適化とサプライチェーン最適化等、「物流・交通」分野では物流ルートの最適化及びスマート交通の導入促進に向けた交通量・交通手段最適化等、「ネットワーク」分野では仮想発電所（VPP）における需給予測とネットワーク制御等において、従来技術では困難であった課題解決によって実現する最適化による既存ビジネスモデルや運用フロー等の効率化、省エネルギー化、時間短縮等に資するユースケース創出による量子・古典ハイブリッド技術の普及促進への貢献により 2035 年時点で 1,342 万トン/年以上の CO₂ 排出量削減、及び量子コンピュータ新規市場に先行者として参入することで約 650 億円規模の市場獲得に貢献する。

③アウトカム目標達成に向けての取組

本事業で研究開発した量子・古典アプリケーションの実証結果、及び共通ライブラリの整備を元に、「素材開発」「製造」「物流・交通」「ネットワーク」といった研究開発の対象分野を中心として量子・古典アプリケーションの開発とその事業化を促進し、アウトカムの達成を目指す。

共通ライブラリの研究開発にあたっては、量子・古典アプリケーション開発の実施者と連携する機会を設けることで、量子・古典アプリケーション開発に広く受け入れられる共通ライブラリの仕様を整え、開発成果が広く普及することを目指す。

また、不確実性の高い量子技術の分野への民間投資を引き出すには、長期間にわたって技術・知見・ネットワークにアクセスできる場（テックコミュニティ）が構築されることが有効である。そのため、ユースケースやライブラリ等の成果や事業過程の知見に係る情報発信、本事業成果の横展開や新たな研究開発テーマの発掘に繋がる取組等の実施を通じて、テックコミュニティの活性化への貢献と共に、本事業成果の社会実装を促進する。

（３）研究開発の内容

上記目標を達成するために、別紙１の研究開発計画及び別紙２の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。

研究開発項目①「量子・古典アプリケーション開発・実証」

研究開発項目②「量子・古典の最適化等に向けたライブラリ開発」

研究開発項目①については、研究開発内容に応じて、委託事業と助成事業のフェーズを設けて実施する。委託事業では、経済的合理性が見込めないリスクはあるが、実用化により経済的に大きな便益が期待できる研究課題を対象として事業を実施する。基本は初期仮説の検証を重点に置く開発研究を実施し、ステージゲート審査にて選別したテーマを対象として、本格的な研究開発の実施へ移行するが、初期仮説の検証が終わっている場合は本格的な研究開発の実施からの開始も可能とする。助成事業では、企業の積極的な関与により推進されるべき事業化に向けた課題に対する研究開発を実施する

（NEDO 負担率：大企業 1/2 助成、中堅・中小・ベンチャー企業 2/3 助成）。

研究開発項目②については、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

（１）研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下「PMgr」という。）にNEDO AI・ロボット部 橋本就吾を指名する。PMgrは、事業の成果・効果を最大化させるため、実務責任者として担当事業全体の進行を計画・管理し、事業遂行にかかる業務を統括する。

NEDOは公募により研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の

活用の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に関し国外の団体と連携して実施することができるものとする。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、プロジェクトリーダー（以下「PL」という。）を委嘱する。PLは、PMgrの指示の下、プロジェクトに参画する実施者の研究開発を主導する。

（２）研究開発の運営

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

PMgrは、PL及び研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術推進委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

PMgrは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し技術の普及方策を分析、検討する。

③ 研究開発テーマの評価

研究開発項目①を対象として、初期仮説の検証を重点に置く開発研究と本格的な研究開発のそれぞれの最終年度において、外部有識者によるステージゲート審査を行う。PMgrは、ステージゲート審査を活用し、研究開発テーマごとの研究開発の進捗、及び実施者自らが設定する目標の達成度合いを基に、中間年度の場合はそれ以降の研究開発テーマの継続是非、最終年度の場合は助成事業フェーズへの移行是非を同年度末までに決定する。

（３）その他

研究開発の加速や成果最大化に繋げる取組として、各実施テーマにメンターや専門家を派遣し、開発に関する専門的な助言などの必要な支援が得られる体制を必要に応じて構築する。

３．研究開発の実施期間

2023年度から2027年度までの5年間とする。

４．評価に関する事項

NEDOは技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、終了時評価を2028年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、2025 年度には当該研究開発の進捗及び中間目標の達成度合いを評価し、その結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

研究開発成果のうち共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有し、NEDO 及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

②知的財産権の帰属、管理等取扱い

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

③知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」における知財マネジメント基本方針」を適用する。特に協調領域の知財のプロジェクト実施者に対する許諾等の運用に関して、研究開発成果の最大化を考慮した運用を行う。

④データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する。

(2) 「プロジェクト基本計画」の見直し

PMgr は、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号二、第三号及び第九号に基づき実施する。

(4) その他

本事業のうち委託事業は、交付金インセンティブ制度を活用することとする。当該事業における具体的運用等は、公募を経て採択された実施者に提示する。

6. 基本計画の改定履歴

(1) 2023 年 3 月、制定

(2) 2023 年 8 月、研究開発スケジュールの変更

(3) 2024 年 2 月、以下 4 点の変更

- ・ 経済産業省 R6 年度予算名称の変更に伴う基本計画名の変更、及びこれに関連する文言の変更
- ・ 開発分野に「ネットワーク」を追加
- ・ 研究開発項目①のアウトプット最終目標の変更（量子・古典アプリケーション開発件数を 3 件以上から 4 件以上に変更）
- ・ 研究開発項目②のアウトプット最終目標の変更（共通ライブラリ開発件数を 3 件以上から 4 件以上に変更）

(4) 2024 年 4 月、PMgr の変更、政策文書の追加、その他軽微な修正

(5) 2024 年 8 月、組織改編に伴う部署名の変更

(6) 2025 年 1 月、以下 2 点の変更

- ・ 研究開発項目②のアウトプット最終目標の変更（4 件を 3 件に修正）
- ・ 根拠法の修正
- ・ 研究開発スケジュールの変更

（別紙１）研究開発計画

研究開発項目① 量子・古典アプリケーション開発・実証

１．研究開発の必要性

量子技術が社会実装され、民間投資で自律的に成長する市場を形成するためには、早い段階から産業化を見据えて量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステムのアプリケーションソフトウェアの開発に着手することが有効と考えられる。特に、AIの急速な進歩と波及によって、データ活用的高度化と拡大が進む中、量子技術は、それをさらに加速する起爆剤となり、将来のコンピューティング性能の飛躍的な向上をもたらすことが期待されている。また、AI等の計算機科学など従来型（古典）技術システムとも融合したハイブリッドなコンピューティングサービスは、新たな産業的な価値をもたらすほか、既存の物理学の枠を越えた、これまでにない科学的成果も生み出す大きなポテンシャルを有しているとされている。

センサー技術、ものづくり技術等の分野で強みを持つ我が国においては、データ活用を飛躍的に高度化する技術を、製品・サービス開発等の産業分野に導入し、産業競争力を強化することで、生産性の向上、産業競争力の維持・向上、エネルギー需給の高度化を実現することが重要である。

２．研究開発の具体的内容

「素材開発」「製造」「物流・交通」「ネットワーク」の４分野において、量子技術（量子 inspired 技術含む）とAIのそれぞれの特性を組み合わせることによりデータ活用的高度化を達成し、生産性向上や省エネルギー化に貢献する量子・古典アプリケーションを開発すると共に、量子・古典ハイブリッド型サイバー・フィジカルシステムに実装して従来技術に対する優位性及び事業化に対する有効性について実証を行う。

３．達成目標

【中間目標】2025 年度

量子・古典アプリケーションを活用した事業を行うにあたり、課題の整理、解決手法を整理し、量子・古典アプリケーションのプロトタイプ版を３件以上開発する。

【最終目標】2027 年度

量子・古典アプリケーションを開発し、実証で有効な結果を得た実用化開発支援事例を４件以上示す。

研究開発項目② 量子・古典の最適化等に向けたライブラリ開発

1. 研究開発の必要性

量子・古典アプリケーションによって、生産性の向上、産業競争力の維持・向上、エネルギー需給の高度化を実現するだけでなく、量子・古典ハイブリッド技術の発展と技術活用による新たなサービス・市場創出との好循環を形成することが理想である。この好循環を形成するためには、量子・古典アプリケーション開発が効率的に行われることが必要である。そこで、単一の分野内での複数の利用者間、又は複数の分野間で共通利用可能な、量子・古典ハイブリッド技術を活用したアルゴリズム等を開発し、幅広くベンダーや企業に普及させることで、量子・古典アプリケーション開発の飛躍的な効率化を実現する。

2. 研究開発の具体的内容

量子技術と AI を組み合わせることで従来技術では解決が困難なビジネス問題の規模や複雑さに対応可能で、単一の分野内での複数の利用者間、又は複数の分野間で共通利用可能なアルゴリズム等で構成するライブラリを開発する。また、開発した共通ライブラリの有効性について検証を行う。さらに、共通ライブラリの普及に向けた管理体制について明確化し、その整備を行う。

3. 達成目標

【中間目標】2025 年度

共通ライブラリについて、ライブラリ仕様の要件定義を完了する。また、量子・古典アプリケーション開発に使用可能なアルゴリズムを3件以上開発する。また、開発したアルゴリズムを提供する共通ライブラリの管理体制の明確化を行う。

【最終目標】2027 年度

量子・古典アプリケーション開発に使用可能な共通ライブラリを3件以上開発する。また、開発した共通ライブラリの有効性評価を行う。

(別紙2) 研究開発スケジュール

	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
研究開発項目①： 量子・古典アプリケーション開発・実証	公募 初期仮説検証（委託） S6	本格研究（委託） S6		実用化開発（助成）	
	公募 初期仮説検証（委託） S6	本格研究（委託）			
	公募 本格研究（委託） S6	実用化開発（助成）			
	公募 初期仮説検証（委託） S6	本格研究（委託） S6	実用化開発（助成）		
	公募 初期仮説検証（委託） S6	本格研究（委託）			
	公募 本格研究（委託） S6	実用化開発（助成）			
	公募 初期仮説検証（委託） S6	本格研究（委託） S6	実用化開発（助成）		
	公募 初期仮説検証（委託） S6	本格研究（委託）			
	公募 本格研究（委託） S6	実用化開発（助成）			
	公募 初期仮説検証（委託） S6	本格研究（委託） S6	実用化開発（助成）		
	公募 初期仮説検証（委託） S6	本格研究（委託）			
	公募 本格研究（委託） S6	実用化開発（助成）			
	公募 実用化開発（助成）				
			中間評価	公募 実用化開発（助成）	公募 実用化開発（助成）
S6 : ステージゲート審査					
研究開発項目②： 量子・古典の最適化等に向けたライブラリ開発	公募 共通ライブラリ整備（委託）				
	公募 共通ライブラリ開発（委託）				

●関連する施策や技術戦略

関連施策名称	年月	掲載 URL
統合イノベーション戦略	2018 年 6 月	https://www8.cao.go.jp/cstp/togo_honbun.pdf
量子技術イノベーション戦略	2020 年 1 月	https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/ryoushisenryaku_r.pdf
量子未来社会ビジョン	2022 年 4 月	https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshimirai_220422.pdf
量子未来産業創出戦略	2023 年 4 月	https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/230414_mirai.pdf
量子産業の創出・発展に向けた推進方策	2024 年 4 月	https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/240409_q_measures.pdf

●各種委員会開催リスト

採択審査委員会		
件名	内容	実施年月
第1回	「量子・AIハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」に係る2023年度公募の採択審査について	2023年6月
第2回	「量子・AIハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」に係る2023年度追加公募の採択審査について	2023年10月
第3回	「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」に係る2024年度公募の採択審査について	2024年6月

ステージゲート委員会		
件名	内容	実施日
第1回	アプリ一期生のステージゲート審査について	2024年8月
第2回	アプリ二期生のステージゲート審査について	2025年1月

技術推進委員会		
件名	内容	実施日
第1回	アプリ一期生及びライブラリ開発・整備テーマの推進について	2024年1～2月
第2回	アプリ二期生のテーマの推進について	2024年7月
第3回	アプリ三期生及びライブラリ開発・整備テーマの推進について	2025年2～3月

●特許論文等リスト

2023 年度第 1 回採択テーマ（アプリ 1 期生）5 テーマ

①量子・AI ハイブリッドによる創薬向け大規模 Virtual Screening 法の開発

【特許】

番号	出願人	出願番号	出願国	出願日	状態	発明の名称	発明者
1	・ 国立大学法人東京科学大学、 ・ アヘッド・バイオコンピューティング株式会社、 ・ 東芝デジタルソリューションズ株式会社	特願 2024-176184	国内	2024/10/7	出願	化合物ドッキング計算処理装置、 化合物ドッキング計算処理方法、 及びプログラム	・ 柳澤溪甫 ・ 秋山泰 ・ 藤江拓哉 ・ 高畠和輝

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	・ 柳澤溪甫 ^{1,2} ・ 藤江拓哉 ³ ・ 高畠和輝 ⁴ ・ 秋山 泰 ³	・ 東京工業大学 ・ 東京工業大学 中分子 IT 創薬研究推進体 (MIDL) ・ アヘッド・バイオコンピューティング株式会社 ・ 東芝デジタルソリューションズ株式会社	QUBO Problem Formulation of Fragment-Based Protein-Ligand Flexible Docking	Entropy, 26(5), 397	有	2024/04

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 柳澤溪甫 ^{1,2} ・ 藤江拓哉 ³ ・ 高畠和輝 ⁴ ・ 秋山 泰 ³	1: 東京工業大学 2: 東京工業大学 中分子 IT 創薬研究推進体 (MIDL) 3: アヘッド・バイオコンピューティング株式会社 4: 東芝デジタルソリューションズ株式会社	QUBO Problem Formulation of Fragment-Based Protein-Compound Flexible Docking	CBI 学会 2024 年大会	2024/10

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c) その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ 東芝デジタルソリューションズ株式会社	-	BioJapan2024	2024/10

②量子・AI 次世代創薬

【特許】

番号	出願人	出願番号	出願国	出願日	状態	発明の名称	発明者
1	・ リボミック ・ 産業技術総合研究所 ・ 早稲田大学	特願 2024-191204	国内	2024/10/30	出願	推定装置、推定システム、推定方法及び推定プログラム	・ 浜田道昭 ・ 戸川望 ・ 白井達彦 ・ 富田空 ・ 安達健朗 ・ 中村重孝

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 浜田道昭	・ 早稲田大学 ・ 産総研	核酸医薬研究を加速する情報技術 (招待講演)	第 70 回 野依フォーラム例会	2025/04
2	・ Michiaki Hamada	・ Waseda Univ. ・ AIST	Information technology accelerating RNA therapeutics (招待講演)	RNA and Developmental Biology A Symposium Commemorating the End of the 12-Year RNA Medical Science Laboratory	2024/10
3	・ 浜田道昭	・ 早稲田大学 ・ 産総研	RNA 創薬を加速する情報技術 (招待講演)	[S41] 外来性 RNA に対する防御機構解明が切り拓く RNA 創薬のニューフロンティア、日本薬学会第 144 年会	2024/03
4	・ Sora Tomita ・ Tatsuhiko Shiraishi ・ Michiaki Hamada ・ Tatsuo Adachi ・ Nozomu Togawa	・ Waseda Univ. ・ AIST ・ Ribomic, Inc.	Searching candidate sequences for RNA aptamers using quantum computation	IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2025)	2025/01
5	・ 浜田道昭	・ 早稲田大学 ・ 産総研	RNA データサイエンス (招待講演)	一般社団法人 ゲノムテクノロジー研究会 第 8 回分科会	2024/09

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ 浜田道昭	(奨励賞)	大隈記念学術褒賞	2024/11

③高柔軟性薬剤分子の結晶構造予測システム

【特許】

なし

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	・ 遠藤克浩 ・ 高橋和義	・ 産業技術総合研究所	Function smoothing regularization for precision factorization in machine annealing in continuous variable optimization problems	Phys. Rev. Res. 7, 013149	有	2025/02

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 遠藤克浩 ・ 高橋和義	・ 産業技術総合研究所	整数・実数変数のFMA ブラックボックス最適化における関数平滑化の重要性について	日本機械学会 第 37 回計算力学講演会	2024/10
2	・ 遠藤克浩 ・ 高橋和義	・ 産業技術総合研究所	整数・実数最適化問題のブラックボックス最適化における適切な Factorization Machine Annealing の実行のための関数平滑化	第 12 回量子ソフトウェア研究発表会	2024/06

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ 遠藤克浩	整数・実数変数の FMA ブラックボックス最適化における関数平滑化の重要性について	一般社団法人日本機械学会第 37 回計算力学講演会 (CMD2024) 優秀講演表彰	2024/10

④製造における異常検知技術の研究開発

【特許】

番号	出願人	出願番号	出願国	出願日	状態	発明の名称	発明者
1	・ TOPPAN ホールディングス株式会社 ・ 慶應義塾	特願 2025-031708	国内	2025/02/28	出願	異常検知システム、学習装置、異常検知装置、学習方法、異常検知方法、及びプログラム	・ 友野孝夫 ・ 辻村和也

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	・ 友野孝夫	・ TOPPAN ホールディングス株式会社	Quantum kernels for difficult visual discrimination	Proceeding of 2023 IEEE Int. Conf. Quant. Comput. Eng. (QC E) 262-263	有	2023/09
2	・ 友野孝夫	・ TOPPAN ホールディングス株式会社	Shipping inspection trial of quantum machine learning toward sustainable quantum factory	PHM Society Asia-Pacific Conference 4. 1. ps02-3	有	2023/09
3	・ 友野孝夫 ・ 辻村和也	・ 学校法人慶應義塾 ・ TOPPAN ホールディングス株式会社	Quantum kernel learning Model constructed with small data	arxiv(Web)	有	2024/11

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 友野孝夫	・ TOPPAN ホールディングス株式会社	サステナブルな未来工場実現に向けた量子情報研究、現在そして未来へ	第 84 回応用物理学会秋季学術講演会	2023/09
2	・ 友野孝夫	・ 学校法人慶應義塾	YD1-02 AI と量子コンピュータの今へ量子コンピュータによって AI がどのように発展するのかへ	Interop' 25 Tokyo	2024/06
3	・ 友野孝夫 ・ 辻村和也	・ 学校法人慶應義塾 ・ TOPPAN ホールディングス株式会社	Quantum kernel learning Model constructed with small data	Quantum Techniques in Machine Learning	2024/11
4	・ 友野孝夫 ・ 辻村和也	・ 学校法人慶應義塾 ・ TOPPAN ホールディングス株式会社	量子機械学習による音声異常検知の試み -工場の導入を目指した基礎検討-	第 72 回応用物理学会春季学術講演会	2025/03
5	・ 友野孝夫	・ 学校法人慶應義塾	量子ビジネスの最前線とその未来 -量子コンピュータ、量子センサ、量子暗号-	ハイパーネットワーク・ワークショップ 2025	2025/03

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ 友野孝夫	量子機械学習を用いた異常検知 (SQAI 研究開発課題 3 : 量子埋め込み)	第 25 回慶應科学技術展	2024/12

⑤物流現場における人間機械協調作業のためのデジタルツイン量子最適化

【特許】

なし

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	・ Robin Karlsson ・ Alexander Carballo ・ Francisco Lepe-Salazar ・ Keisuke Fujii ・ Kento Ohtani ・ Kazuya Takeda	・ 国立大学法人東海国立大学機構	Learning to Predict Navigational Patterns From Partial Observations	IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)	有	2023/07
2	・ Ning Ding ・ Kazuya Takeda ・ Wenhui Jin ・ Yingjiu Bei ・ Keisuke Fujii	・ 国立大学法人東海国立大学機構	Estimation of control area in badminton doubles with pose information from top and back view drone videos	Multimedia Tools and Applications	有	2023/08
3	・ Robin Karlsson ・ Alexander Carballo ・ Francisco Lepe-Salazar ・ Keisuke Fujii ・ Kento Ohtani ・ Kazuya Takeda	・ 国立大学法人東海国立大学機構	Learning to Predict Navigational Patterns From Partial Observations	IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)	有	2023/09
4	・ Yuxiao Zhang ・ Ming Ding ・ Hanting Yang ・ Yingjie Niu ・ Yan Feng ・ Kento Ohtani ・ Kazuya Takeda	・ 国立大学法人東海国立大学機構	L-DIG: A GAN-Based Method for LiDAR Point Cloud Processing under Snow Driving conditions	MDPI Sensors	有	2023/10
5	・ Hiroshi Nakahara ・ Kazushi Tsutsui ・ Kazuya Takeda ・ Keisuke Fujii	・ 国立大学法人東海国立大学機構	Action valuation of on- and off-ball soccer players based on multi-agent deep reinforcement learning	IEEE Access	有	2023/11
6	・ Yang ・ Hanting; Carballo ・ Alexander; Zhang, Yuxiao ・ Takeda, Kazuya;	・ 国立大学法人東海国立大学機構	Controllable Unsupervised Snow Synthesis by Latent Style Space Manipulation	Sensors	有	2023/12
7	・ Keisuke Fujii ・ Naoya Takeishi ・ Yoshinobu Kawahara ・ Kazuya Takeda	・ 国立大学法人東海国立大学機構	Decentralized policy learning with partial observation and mechanical constraints for multiple person modeling	Neural Networks	有	2023/12

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ Kazushi Tsutsui ・ Kazuya Takeda ・ Keisuke Fujii	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Synergizing Deep Reinforcement Learning and Biological Pursuit Behavioral Rule for Robust and Interpretable Navigation	The 1st Workshop on Synergy of Scientific and Machine Learning Modeling (SyS and ML) co-located with the International Conference on Machine Learning (ICML'23)	2023/07
2	・ 筒井和詩 ・ 田中良弥 ・ 武田一哉 ・ 藤井慶輔	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	自律的エージェントの競争的かつ協調的な集団行動の獲得過程	運動学習研究会	2023/08
3	・ Kazuma Kano ・ Takuto Yoshida ・ Shin Katayama ・ Kenta Urano ・ Takuro Yonezawa ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Gait-Robust Heading Estimation Using Horizontal Acceleration for Smartphone-based PDR	International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2023)	2023/09
4	・ Naren Bao ・ Alexander Carballo ・ Manabu Tsukada ・ Kazuya Takeda	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Personalized Causal Factor Generalization for Subjective Risky Scene Understanding with Vision Transformer	The 26th edition of the IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems	2023/09
5	・ 尾頭花奈 ・ 石黒祥生 ・ 椎尾一郎 ・ 武田一哉	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	ドライブ旅行の思い出動画自動生成システム (Automatic video generation system for road trip memories)	2023年電子情報通信学会ソサイエティ大会 大会委員会特別企画セッション	2023/09
6	・ 稲垣賢亮 ・ 曾我部知広 ・ 剣持智哉 ・ 張紹良	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	探索的リバースエンジニアリングの提案と看護師勤務表作成問題への適用	情報処理学会 第10回量子ソフトウェア研究発表会	2023/10
7	・ Ryota TANAKA ・ Tomohiro SUZUKI ・ Kazuya TAKEDA ・ Keisuke FUJII	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Automatic Edge Error Judgment in Figure Skating Using 3D Pose Estimation from Inertial Sensors	2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics	2023/10
8	・ Ryota TANAKA ・ Tomohiro SUZUKI ・ Kazuya TAKEDA ・ Keisuke FUJII	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Automatic Edge Error Judgment in Figure Skating Using 3D Pose Estimation from a Monocular Camera and IMUs	MMSports '23: Proceedings of the 6th International Workshop on Multimedia Content Analysis in Sports	2023/10
9	・ Ren Kobayashi ・ Rikuhei Umemoto ・ Kazuya Takeda ・ Keisuke Fujii	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Score Prediction Using Multiple Object Tracking for Analyzing Movements in 2-vs-2 Handball	IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2023)	2023/10
10	・ Kento Ohtani ・ Daiki Hayashi ・ Yusuke Adachi ・ Toshimitsu Watanabe ・ Yoshihiro Saito ・ Yohei Shinkawa ・ Kazuya Takeda	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	A Visual Interface for the Digital Risk Assessment of the AD Services	7th International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero traffic accidents	2023/11
11	・ Sehun Kim ・ Takeda Kazuya ・ Toda Tomoki	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Sequence-to-Sequence Network Training Methods for Automatic Guitar Transcription With Tokenized Outputs	International Society for Music Information Retrieval Conference	2023/11
12	・ Kodai Yokoyama ・ Shin Katayama ・ Kenta Urano ・ Takuro Yonezawa ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Digitization and Analysis Framework for Warehouse Truck Berth	The 14th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2023)	2023/12
13	・ Daiki Kohama ・ Yoshiteru Nagata ・ Kazushige Yasutake ・ Kenta Urano ・ Shin Katayama ・ Takuro Yonezawa ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Panoramic Ceiling Image Synthesis Method Prioritizing Fixture Outlines Using an Omnidirectional Camera	The 14th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2023)	2023/12
14	・ 丁寧 ・ 武田一哉 ・ Wenhui Jin ・ Yingjiu Bei ・ 藤井慶輔	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	上方および後方視点のドローンビデオからの姿勢情報を用いたバドミントンダブルスのコントロール領域の推定	第21回情報学ワークショップ	2023/12

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
15	・ 加納 一馬 ・ 浦 圭亮 ・ 瀧上 昂希 ・ 山口 公平 ・ 永田 吉輝 ・ 片山 晋 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	深層学習PDRとBLEビー コンを用いたハイブリッド測 位	HCGシンポジウム 2023	2023/12
16	・ 瀧上 昂希 ・ 福島 悠人 ・ 浅井 悠佑 ・ 片山 晋 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	倉庫内業務の量子アニーリン グによる最適化とシミュレー ションによる評価	情報処理学会 第81回UBI研究会	2024/02
17	・ 田村 隼也 ・ 曾我部 知広 ・ 剣持 智哉 ・ 張 紹良	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	3次元F3上の線形方程式を 解くための量子アルゴリズム	日本応用数理学会 若手の会 第9回学生 研究発表会	2024/03
18	・ Keisuke Higashiura ・ Kodai Yokoyama ・ Yusuke Asai ・ Hironori Shimosato ・ Kazuma Kano ・ Shin Katayama ・ Kenta Urano ・ Takuro Yonezawa ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Semi-Automated Framework fo r Digitalizing Multi-Produc t Warehouses with Large Sca le Camera Arrays	The 22nd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communicat ions (PerCom 2024)	2024/03
19	・ 菅谷 遼 ・ 曾我部 知広 ・ 剣持 智哉 ・ 張 紹良	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	定数係数二階線形微分方程式 を解くための量子変分アルゴ リズム	日本応用数理学会 若手の会 第9回学生 研究発表会	2024/03
20	・ 小林優之介, 瀧上昂 希, 呉偉, 河口信 夫, 柳浦睦憲,	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	物流倉庫における入荷作業プ ロセスの効率化	第51回日本OR学会中部支部研究発表会	2024/03
21	・ Yusuke Asai ・ Yuki Mori ・ Keisuke Higashiura ・ Kodai Yokoyama ・ Shin Katayama ・ Kenta Urano ・ Takuro Yonezawa ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Towards a Real-Time and Ene rgy-Efficient Edge AI Camer a Architecture in Mega Ware house Environment	RAGE 2024 @ CPS-IOT WEEK 2024 The 3rd Real-time And intelliGent Edge computi ng workshop	2024/05
22	・ 高木 魁利 ・ 瀧上 昂希 ・ 片山 晋 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	量子アニーリングとブラック ボックス最適化を用いた倉庫 内業務最適化	情報処理学会 研究会(UBI)	2024/05
23	・ Daiki Kohama ・ Yoshiteru Nagata ・ Kazushige Yasutake ・ Shin Katayama ・ Kenta Urano ・ Takuro Yonezawa ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Demo: Assisting System for Creating Ceiling Plan Using a Video from a Smatrphone	ACM MobiSys 2024 Demo	2024/06
24	・ 森 裕輝 ・ 浅井 悠佑 ・ 東浦 圭亮 ・ 片山 晋 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	エッジAI向け物体検出モデ ル作成におけるアノテーション効率化 手法	DICOM02024	2024/06
25	・ 加納一馬 ・ 吉田拓人 ・ 浦野健太 ・ 米澤拓郎 ・ 河口信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	スマートフォンを用いた歩行 者自律航法のための水平加速 度に基づいた歩き方の違いに 頑健な進行方向推定	情報処理学会論文誌	2024/06
26	・ 浅井 悠佑 ・ 片山 晋 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	効率と安全を考慮したコスト マップを用いた人と協調する 倉庫内配送ロボットナビゲー ション	情報処理学会論文誌「移動の価値を再創造 する高度交通システムとパーベイシブシス テム」	2024/06

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
27	・ Naoki Tamura, ・ Kazuyuki Shoji, ・ Shin Katayama, ・ Kenta Urano, ・ Takuro Yonezawa, ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	OpenUAS: Embeddings of Cities in Japan with Anchor Data for Cross-city Analysis of Area Usage Patterns	https://arxiv.org/abs/2407.19872	2024/07
28	・ 具志 祐希 ・ 加納 一馬 ・ 片山 晋 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	マルチカメラによるオクルージョン回避を用いた荷物置き場の占有状況検出	電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会	2024/07
29	・ 渡邊 企章 ・ 加納 一馬 ・ 片山 晋 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	物流倉庫におけるスマートフォンを用いた作業者のタスク認識	電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会	2024/07
30	・ 加納 一馬 ・ 森 裕輝 ・ 東浦 圭亮 ・ Tahera HOSSAIN ・ 片山 晋 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	アノテーションロスを克服するラベル付き画像セグメントの合成によるデータ拡張	画像電子学会年次大会 (MCC2024)	2024/08
31	・ 小濱大輝 ・ 永田吉輝 ・ 安武和成 ・ 片山晋 ・ 浦野健太 ・ 米澤拓郎 ・ 河口信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	天伏図自動復元のための設備位置・形状アライメント手法	第 42 回電気設備学会全国大会	2024/08
32	・ 小濱大輝 ・ 永田吉輝 ・ 安武和成 ・ 酒見和幸 ・ 片山晋 ・ 浦野健太 ・ 米澤拓郎 ・ 河口信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	スマートフォン・全方位カメラを用いた作業効率化のための半自動天伏図作成システム	令和 6 年度空気調和・衛生工学会大会	2024/09
33	・ 宇佐美龍斗 ・ 渡邊企章 ・ 具志 祐希 ・ 筒井 秀斗 ・ 渡辺 圭貴 ・ 加納 一馬 ・ 相川 雄也 ・ 志村 魁哉 ・ 林田 望海 ・ 浦野 健太 ・ 米澤 拓郎 ・ 河口 信夫	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	遠隔 MR ロボットアーム制御によるスマートな 3D スキャンシステム	日本バーチャルリアリティ学会大会	2024/09
34	・ Naoki Tamura ・ Haru Terashima ・ Kazuyuki Shoji ・ Shin Katayama ・ Kenta Urano ・ Takuro Yonezawa ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Additive Compositionality in Urban Area Embeddings Based on Human Mobility Patterns	ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems 2024 (ACM SIGSPATIAL 2024)	2024/10
35	・ Kazuma Kano ・ Yuki Mori ・ Keisuke Higashiura ・ Tahera Hossain ・ Shin Katayama ・ Kenta Urano ・ Takuro Yonezawa ・ Nobuo Kawaguchi	・ 国立大学法人東 海国立大学機構	Composite Image Generation Using Labeled Segments for Pattern-Rich Dataset without Unannotated Target	HASCA 2024 (@ UbiComp / ISWC 2024)	2024/10

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
36	- Ryuto Usami - Kisho Watanabe - Yuki Gushi - Shuto Tsutsui - Yoshuki Watanabe - Kazuma Kano - Yuya Aikawa - Kaiya Shimura - Nozomi Hayashida - Kenta Urano - Takuro Yonezawa - Nobuo Kawaguchi	国立大学法人東海 国立大学機構	Demonstration: Remote 3D Scanning with VR and Robotic Arm	UbiComp / ISWC 2024 Call for Posters & Demos	2024/10
37	- Kazuyuki Shoji - Haru Terashima - Naoki Tamura - Shin Katayama - Kenta Urano - Takuro Yonezawa - Nobuo Kawaguchi	国立大学法人東海 国立大学機構	Unveiling Human Attributes through Life Pattern Clustering using GPS Data Only	ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems 2024 (ACM SIGSPATIAL 2024)	2024/10
38	河口 信夫	国立大学法人東海 国立大学機構	次世代庫内物流のためのデジタルツインと量子最適化	第4回 GREMO シンポジウム「産学連携で加速する名大モビリティ GX・DX」	2024/11
39	- Tran Khanh Bao - Carballo Alexander - Takeda Kazuya	国立大学法人東海 国立大学機構	360 LiDAR+360 RGB+360 Thermal: Multimodal Targetless Calibration	2024 35TH IEEE INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, IEEE IV 2024	2024/11
40	- Tran Khanh Bao - Carballo Alexander - Takeda Kazuya	国立大学法人東海 国立大学機構	LiDAR-360 RGB Camera-360 Thermal Camera Targetless Calibration for Dynamic Situations	SENSORS	2024/11
41	- Yuki Mori - Yusuke Asai - Keisuke Higashiura - Shin Katayama - Kenta Urano - Takuro Yonezawa - Nobuo Kawaguchi	国立大学法人東海 国立大学機構	Efficient Edge AI based Annotation and Detection Framework for Logistics Warehouses	IEEE Consumer Communications & Networking Conference 2025	2025/01
42	- 筒井秀斗 - 渡邊企章 - 宇佐美龍斗 - 具志祐希 - 渡辺圭貴 - 林田望海 - 志村魁哉 - 浦野健太 - 米澤拓郎 - 河口信夫	国立大学法人東海 国立大学機構	VR180 遠隔ロボットアームシステムにおける操作支援のための情報提示手法の検討	第85回 UBI 研究会	2025/02
43	- Daiki Kohama - Yoshiteru Nagata - Kazushige Yasutake - Shin Katayama - Kenta Urano - Takuro Yonezawa - Nobuo Kawaguchi	国立大学法人東海 国立大学機構	Fixture-aware Panoramic Ceiling Image Synthesis using an Omnidirectional Camera	IPSJ Journal of Information Processing	2025/03

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c) その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	- Daiki Kohama - Yoshiteru Nagata - Kazushige Yasutake - Kenta Urano - Shin Katayama - Tauro Yonezawa - Nobuo Kawaguchi	Best Paper Award	The 14th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2023)	2023/12
2	- 丁寧, 武田一哉 - Wenhui Jin - Yingjiu Bei - 藤井 慶輔	最優秀賞	第21回情報学ワークショップ (WiNF 2023)	2023/12

2023 年度第 2 回採択テーマ（アプリ 2 期生）5 テーマ

①量子＋古典 AI による物流業務効率化のアプリケーション開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 中川 修 ・ 脇澤 晶子 ・ 高井 健志	・ 大日本印刷株式会社 ・ BIPROGY 株式会社	製造・物流分野における課題を量子技術で解決するには 業務改善の鍵は「組合せの最適化」	DNP THE SESSION 2024	2024/02
2	・ 高井 健志 ・ 中川 修 ・ 脇澤 晶子	・ BIPROGY 株式会社 ・ 大日本印刷株式会社	業務改善の鍵は「組合せの最適化」 ～BIPROGY が取り組む量子・古典ハイブリッドによる次世代の業務最適化～	BIPROGY FORUM 2024	2024/06
3	・ 高井 健志 ・ 川辺 治之 ・ 小川 智雄 ・ 宇野 真生	・ BIPROGY 株式会社	量子・古典ハイブリッドによる組合せ最適化技術の推進	量子ソフトウェア寄付講座 ポスターセッション - 2024	2024/12
4	・ 中川 修 ・ 白石 幸 ・ 田口 和也	・ 大日本印刷株式会社	イジングマシンを用いたピッキング計画最適化システムの開発	第 3 回量子アニーリング及び関連技術に関する研究会	2025/02

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c) その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ 大日本印刷株式会社 ・ BIPROGY 株式会社	NEDO が公募した「量子・AI ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」に採択 ～ 量子技術と古典 AI 技術を活用した物流業務効率化アプリケーションの開発を開始 ～	大日本印刷株式会社ニュース http://www.dnp.co.jp/news/detail/20171262_1587.html BIPROGY 株式会社ニュースリリース https://www.biprogy.com/pdf/news/nr_240111.pdf	2024/01
2	・ 大日本印刷株式会社 ・ BIPROGY 株式会社	大日本印刷と BIPROGY 量子技術・AI を活用した物流業務効率化の本格的な研究を開始	大日本印刷株式会社ニュース https://www.dnp.co.jp/news/detail/20176524_1587.html BIPROGY 株式会社ニュースリリース https://www.biprogy.com/pdf/news/nr_250327_1.pdf	2025/03

②量子・AI 支援による機能タンパク質最適化技術の研究開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ Tomoyuki Ito ・ Sakiya Kawada ・ Hikaru Nakazawa ・ Akikazu Murakami ・ Mitsuo Umetsu	・ Tohoku University	Machine-learning-assisted multiple maturation of antibody fragment: simultaneous improvement of target-binding, bacterial expression, and thermal stability	PEGS Europe 2024	2024/11

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c) その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

なし

③量子・A I によるポスト5 G・6 G用メタサーフェスデバイスの研究開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 飴谷充隆 ・ 加藤悠人	・ 産総研	2D バイスタティック RCS 測定のための円筒面近傍界遠方界変換法のガウス過程回帰による測定時間短縮化の検討	電子情報通信学会 AMT 研究会	2024/08
2	・ 飴谷充隆 ・ 加藤悠人	・ 産総研	2D-Bistatic RCS Measurement using Cylindrical Near-field to Far-field Transformation and Gaussian Process Regression	2024 Malaysia-Japan Workshop on Radio Technology (MJWRT2024)	2024/08
3	・ 島崎龍太郎 ¹ ・ 真田篤志 ¹ ・ 加藤悠人 ²	1: 阪大 2: 産総研	量子ブラックボックス最適化を用いた 6G 異常反射メタサーフェスの高反射効率設計について	2024 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	2024/09
4	・ 飴谷充隆 ・ 加藤悠人	・ 産総研	Efficient Sampling Method for 2D-Bistatic RCS Measurement using Cylindrical Near-field to Far-field Transformation and Iterations by Gaussian Process Regression	2024 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA)	2024/10
5	・ 飴谷充隆 ・ 加藤悠人	・ 産総研	Sampling Method for Planar Near-field to Far-field Transformation using Gaussian Process Regression	2024 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)	2024/11
6	・ 加藤悠人 ・ 飴谷充隆	・ 産総研	Undersampling Measurement Technique for Metasurface Reflectors Based on Gaussian Process Regression	2024 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)	2024/11
7	・ 加藤悠人 ¹ ・ 飴谷充隆 ¹ ・ 島崎龍太郎 ² ・ 真田篤志 ²	1: 産総研 2: 阪大	Beam Forming Design of Anomalous Reflective Metasurface Based on Quantum Annealing	2025 European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)	2025/03

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

なし

④量子生成 A I による半導体製造用新材料開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 石田真彦	・ 日本電気株式会社	深層学習モデルとベクトルアニーリングを用いた分子設計	化学工学会第 55 回秋季大会	2024/09
2	・ 石田真彦	・ 日本電気株式会社	二値化潜在空間を使った材料特性のモデル化と最適化	第 85 回応用物理学会秋季学術講演会	2024/09
3	・ 矢作裕太	・ 日本電気株式会社	AiiDA によるハイスループット第一原理計算システム	スーパーコンピュータワークショップ 2024	2025/01

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

なし

⑤高次リサイクルシステム構築を志向する解体性接着技術開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 田嶋一樹	・ 産総研	接着技術開発への量子技術の応用展開	接着・接合技術コンソーシアム、産総研つくばセンター 中央事業所東地区見学会&セミナー	2024/11

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	・ アイカ工業株式会社	塗装に代わる 3 次元加飾フィルム、アイカ工業が自動車の外装向けに提案本格化	日刊自動車新聞電子版, https://www.netdenjd.com/articles/-/302107	2024/05
2	・ アイカ工業株式会社	量子古典ハイブリッド技術アイカ工業と NEDO 共同開発	中部経済新聞オンライン、 https://chukei-online.com/article/OK000250227030103	2025/02
3	・ アイカ工業株式会社	自動車外装塗装並の性能を持つ 3 次元加飾ハードコートフィルム	コンバーテック, vol. 625, No. 53, p. 66	2025/04

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ アイカ工業株式会社	3 次元加飾フィルム	人とくるまのテクノロジー展 2024 YOKOHAMA	2024/05
2	・ アイカ工業株式会社	3 次元加飾フィルム	人とくるまのテクノロジー展 2024 NAGOYA	2024/07
3	・ アイカ工業株式会社	3 次元加飾フィルム	オートメカニカ上海 2024	2024/12
4	・ アイカ工業株式会社	「にっぽんぶらんど賞」受賞	超モノづくり部品大賞 2024	2024/12
5	・ アイカ工業株式会社	3 次元加飾フィルム	3DEC0tech	2025/01
6	・ アイカ工業株式会社	ステージゲート審査通過	アイカニュースリリース	2025/02

2024 年度採択テーマ（アプリ 3 期生）6 テーマ

①量子・AI ハイブリッド技術を活用した物流運用の最適化

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

なし

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

なし

②半導体製造業最適化のための量子・古典アプリケーションの研究開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 武笠陽介 ・ 細田順子	・ 株式会社 Quanmatic	Synergies and Future Prospects for Quantum and Classical Computing	CANDAR 2024	2024/11

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ 株式会社 Quanmatic	量子計算、A I ・数理最適化技術を融合させた開発	早稲田大学オープン・イノベーション・フォーラム2024	2024/11
2	・ 株式会社 Quanmatic	量子計算技術の社会実装に向けた取り組み	Quantum Startup Day 2025	2025/02
3	・ 株式会社 Quanmatic	半導体製造業最適化のための量子・古典アプリケーションの研究開発	NEDO 量子コンピューティングシンポジウム	2025/03

③仮想発電所需給調整におけるリスクヘッジ型量子古典確率最適化手法の開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 曾我部 東馬	・ 電気通信大学	AI-Driven Hyperparameter Tuning for Enhanced Ising Computation in QUBO Problems	2024 STI Tech Day (台湾)	2024/11

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ 曾我部 東馬 ・ 佐々木 大輝	STI A* Award	2024 STI Tech Day (台湾)	2024/11

④大規模な物流倉庫における入出庫の経路最適化アプリケーションの研究開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ Thinh NguyenQuang	・ Sharp Corporation	Development of a Dynamic Route Direction system for real-world large-scale Mobile Robots using Quantum Annealing	Quantum Innovation 2024, PO-CP-17, Tokyo, Japan	2024/10
2	・ Thinh NguyenQuang	・ Sharp Corporation	Large-Scale AGV Routing Based on Multi-FPGA SQA Acceleration	ASPDAC25 Page 1188-1194, Tokyo, Japan	2025/01

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c) その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ NGUYEN QUANG Thinh	[記念講演] “大規模搬送ロボットシステムの経路最適化のためのマルチ FPGA を用いた SQA アクセラレーションに関する研究”	VLSI 設計技術研究会	2025/03

⑤量子古典 AI ハイブリッド汎用計算手法による製造サプライチェーン最適化

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 高林 泰成 ・ 丸山 尚貴 ・ 吉原 拓磨 ・ 大関 真之	・ 株式会社シグマ アイ	量子アニーリングを用いた列生成 法に対する後処理手法の開発	第3回量子アニーリング研究会	2025/02

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

なし

⑥量子・AI を活用した地球観測衛星による災害状況把握・経路最適化アルゴリズムの研究開発

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

なし

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

なし

ライブラリ整備テーマ

量子・AI ハイブリッド技術の活用を加速する共通ライブラリ基盤の研究開発

【特許】

なし

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	・ 滝澤 真一朗 ・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	量子・古典ハイブリッドコンピューティング基盤(ABCI-Q)の概要	情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)、Vol.198, no. 26, pp. 1-5	無	2025/03

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	ABCI-Q: ABCI's journey and future direction	CENTRA 7 Quantum Computing Symposium	2024/02
2	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	ABCI-Qの挑戦: 量子・AI ハイブリッド技術の構築と共通ライブラリ整備	PC クラスタコンソーシアム AI/HPC OSS 活用ワークショップ	2024/02
3	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	ABCI-Q: Quantum-AI Hybrid Computing Infrastructure - Topic Architecture - Hybrid quantum-HPC software stack	EU-JP 3rd Workshop on Quantum Computing	2024/05
4	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	ABCI-Qの挑戦～グローバルサブライチェーン構築に向けた取り組み	Q-STAR・G-QuAT 共同シンポジウム	2024/07
5	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	新原理コンピューティングを活用した計算機システムの実用化に向けて: ABCI-Q を例として	科研費学変 A 光×コンピューティング領域会議	2024/08
6	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	AIST's Quantum Computing "Arena" for Quantum Future Industry Development	TQC2024 (Industry Gala Panel)	2024/09
7	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	産総研 G-QuAT のミッションと ABCI-Q の整備	SQAI 全体会議	2024/09
8	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	量子・古典ハイブリッド計算基盤 ABCI-Q の紹介	次世代グリーンデータセンター用デバイス・システムに関する協議会 光電コパッケージ技術検討部会定例会議	2025/02
9	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	ABCI and the beyond: Quantum-AI Hybrid Computing Infrastructure	BAQ2025 International Workshop	2025/03
10	・ 高野 了成	・ (国研) 産業技術総合研究所	G-QuAT 及び提供予定の量子コンピュータの状況・本事業への期待	NEDO 量子懸賞金事業ネットワークイベント	2025/03

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c) その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	展示会名・受賞タイトル等	イベント名・学会名等	年月
1	・ (国研) 産業技術総合研究所	Quantum Computing "Arena" for Quantum Future Industry Development	ACM/IEEE SC2025 展示ブース	2024/11
2	・ (国研) 産業技術総合研究所	Covalent GridEngine executor plugin	オープンソースコード公開 (github)	2024/06
3	・ DEVEL (株)	量子データ変換ライブラリ Qudas	オープンソースコード公開 (github)	2024/11

ライブラリ開発テーマ

①ブラックボックス最適化共通ライブラリの開発

【特許】

なし

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	・ Yannick Couzini ・ Yuya Seki ・ Yusuke Nishiya ・ Hirofumi Nishi ・ Taichi Kosugi ・ Shu Tanaka ・ Yu-ichiro Matsu shita	慶應義塾大学	Machine learning supported annealing for prediction of grand canonical crystal structures	Journal of the Physical Society of Japan, 94, 044802-1-8 (2025).	有	2025/03

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ Tokiya Fukuda ・ Masashi Yamashita ・ Yuya Seki ・ Shu Tanaka	・ 慶應義塾大学	An Extension Method of FMA with Random Solutions	INQA Conference 2024	2024/10
2	・ Mayumi Nakano ・ Yuya Seki ・ Shu Tanaka	・ 慶應義塾大学	The Relationship between the Calculation Time and the Optimization Performance in Factorization Machine with Annealing	INQA Conference 2024	2024/10
3	・ Yuya Seki ・ Hyakka Nakada ・ Shu Tanaka	・ 慶應義塾大学	Warm-starting Factorization Machine with Annealing: Numerical Analysis on Regression Error	INQA Conference 2024	2024/10
4	・ 関 優也	・ 慶應義塾大学	ブラックボックス最適化の高効率化に向けた Factorization machine の学習手法	第 1 回 Quantum CAE 研究会	2024/05
5	・ Tokiya Fukuda ・ Masashi Yamashita ・ Yuya Seki ・ Shu Tanaka	・ 慶應義塾大学	Application of Ising machines with multiple-model learning for multi-objective black-box discrete optimization problems	Adiabatic Quantum Computing (AQC 2024)	2024/06
6	・ Mayumi Nakano ・ Tokiya Fukuda ・ Masashi Yamashita ・ Yuya Seki ・ Shu Tanaka	・ 慶應義塾大学	Building a Model Learning Method by Reducing the Number of Training Data for Factorization Machine with Annealing	Adiabatic Quantum Computing (AQC 2024)	2024/06
7	・ Yuya Seki ・ Shu Tanaka	・ 慶應義塾大学	Factorization machine with annealing with data sampling from multiple distributions	Adiabatic Quantum Computing (AQC 2024)	2024/06
8	・ 関優也 ・ 田中宗	・ 慶應義塾大学	Factorization Machine によるイジングモデルの基底状態推定のための学習データ生成手法	日本物理学会第 79 回年次大会	2024/09
9	・ Yuya Seki	・ 慶應義塾大学	Quantum black-box optimization by quantum annealing and machine learning	INQA online seminar	2024/09
10	・ 福田瞳輝也 ・ 山下将司 ・ 関優也 ・ 田中宗	・ 慶應義塾大学	ランダム解を用いた FMA 拡張手法の提案	日本物理学会第 79 回年次大会	2024/09
11	・ 関優也 ・ 中田百科 ・ 田中宗	・ 慶應義塾大学	Warm-start FMA によるブラックボックス最適化のための初期化手法	第 3 回量子アニーリング及び関連技術に関する研究会	2025/02
12	・ 福田瞳輝也 ・ 関優也 ・ 田中宗	・ 慶應義塾大学	ブラックボックス離散最適化問題に対するランダム解追加 FMA の提案	第 3 回量子アニーリング及び関連技術に関する研究会	2025/02
13	・ 中野檀 ・ 福田瞳輝也 ・ 関優也 ・ 田中宗	・ 慶應義塾大学	逐次的な学習データの構築方法を用いた Factorization Machine with Annealing の最適化性能の検証	第 3 回量子アニーリング及び関連技術に関する研究会	2025/02
14	・ 中野檀 ・ 福田瞳輝也 ・ 関優也 ・ 田中宗	・ 慶應義塾大学	Factorization Machine with Annealing の最適化性能向上のための逐次的な学習データセットの構築方法の提案	日本物理学会 2025 年春季大会	2025/03
15	・ 福田瞳輝也 ・ 関優也 ・ 田中宗	・ 慶應義塾大学	ランダム解を用いた FMA 改善手法の提案	日本物理学会 2025 年春季大会	2025/03

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ 田中宗 ・ 関優也	イジングマシンと機械学習の融合 によるブラックボックス最適化	第 25 回慶應科学技術展 KEIO TECHNO- MALL 2024	2024/12
2	・ 田中宗 ・ 関優也 ・ 菊池脩太	Quantum CAE 向け量子・A I 最適 化ソフトウェア	大学見本市 2 0 2 4 〜イノベーション・ ジャパン	2024/08

②量子機械学習共通ライブラリの研究開発

【特許】

なし

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	・ 熊谷政仁 ・ 小松一彦 ・ 小野田誠 ・ 小林広明	・ 東北大学	イジングモデルに基づく量子クラスタリングフレームワーク	情報処理学会研究報告量子ソフトウェア(QS), Vol 2024-QS-11, no. 12, pp. 1-9	無	2024/03
2	・ Chu-Yuan Huang ・ Kazuhiko Komatsu ・ Makoto Onoda ・ Masahito Kumagai ・ Masayuki Sato ・ Hiroaki Kobayashi	・ Tohoku University	A Compressed QUBO Format for Traveling Salesperson Problems	IEEE Workshop on Parallel / Distributed Combinatorics and Optimization	有	2025/06
3	・ Makoto Onoda ・ Kazuhiko Komatsu ・ Kotaro Bannai ・ Shintaro Momose ・ Masayuki Sato ・ Hiroaki Kobayashi	・ Tohoku University	Performance Evaluation of Vector Annealing on Multiple Nodes using the Traveling Salesperson Problem	ISC HIGH PERFORMANCE 2025	有	2025/06

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 百南 匠人 ・ 丹羽 直也 ・ 小松 一彦 ・ 岩崎 裕江 ・ 小林 広明	・ 東京農工大学 ・ 東北大学	渋滞解消問題を用いたイジングマシンの評価	電子情報通信学会 2024 年 総合大会	2024/03
2	・ Hiroaki Kobayashi	・ Tohoku University	Accelerating Quantum Innovation & Startup Creation at Tohoku University	Chicago-Tohoku Quantum Alliance Symposium	2024/02
3	・ Hiroaki Kobayashi	・ Tohoku University	Performance Evaluation of Vector Annealing on NEC Vector Processor SX-Aurora TSUBASA	HPC2024	2024/06
4	・ Hiroaki Kobayashi	・ Tohoku University	R&D of QA-HPC Hybrid Computing Infrastructure and Quantum Transformation of Simulation-Data Science Combined Applications	Tohoku-Chicago Quantum Interaction	2024/07
5	・ Hiroaki Kobayashi	・ Tohoku University	QC & HPC Hybrid Computing for Simulation & Data-analysis Hybrid Applications	German Aerospace Center Seminar	2024/09
6	・ Hiroaki Kobayashi	・ Tohoku University	QA-HPC Hybrid Computing Infrastructure for Quantum Transformation of Simulation-Data Analysis Combined Applications	IEEE Quantum Week 2024	2024/09
7	・ 小林広明	・ 東北大学	HPC と Quantum Computing の連携とその応用	AI チップ設計拠点フォーラム	2024/10
8	・ 小林広明	・ 東北大学	HPC と Quantum Computing の連携とその応用	株式会社 計算科学 セミナー	2024/12
9	・ 小林広明	・ 東北大学	量子コンピューティングとシミュレーションの融合にむけて:量子アニーリング-HPC 連携基盤に関する研究開発	Q-STAR(一般社団法人量子技術による新産業創出協議会)セミナー	2024/12

(b) 新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	45	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ Tohoku University	Ising-based clustering	ACM/IEEE SC24	2024/11
2	・ Tohoku University	Quantum machine learning	ACM/IEEE SC23	2023/11

③量子回路分割ライブラリ

【特許】

なし

【論文】

なし

【外部発表】

(a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	・ 松本光洋	・ PwC コンサルティング合同会社	Applicability and Limitations of Quantum Circuit Cutting with Classical Computers: Order Estimation	24th Asian Quantum Information Science Conference	2024/08
2	・ 中村純也	・ PwC コンサルティング合同会社	Efficient Quantum Circuit Cutting with Multiple QPUs: Optimization of Cutting Positions and Subcircuit Distribution	24th Asian Quantum Information Science Conference	2024/08
3	・ 衣斐花	・ 慶應義塾大学	Enhancing Superconducting Quantum Processor Performance through Pre-processing Techniques	Quantum Innovation 2024	2024/10
4	・ 松本光洋	・ PwC コンサルティング合同会社	Applicability and Limitations of Quantum Circuit Cutting with Classical Computers	28th Quantum Information Processing Conference	2025/02

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	・ PwC コンサルティング合同会社	XR、ロボット、空飛ぶクルマなど最新技術をリアルに体感！PwC コンサルティングの「Technology Laboratory」(https://special.nikkeibp.co.jp/atclh/NXT/24/pwc0305/)	日経 XTECH	2024/03

(c)その他（展示会への出展、受賞歴、プレスリリース、等）

番号	出展者・受賞者等	受賞タイトル等	展示会名・イベント名・学会名等	年月
1	・ PwC コンサルティング合同会社	量子・AI ハイブリッド技術を活用した研究開発 NEDO 事業に PwC コンサルティングが採択	当社ホームページにおいて、本プロジェクトへの参画を紹介(https://www.pwc.com/jp/ja/services/consulting/disruptive-technology/quantum-technology.html)	2024/03