



ムーンショット目標 6

2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる
誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現

実施状況報告書

2022 年度版

超伝導量子回路の集積化技術の開発

山本 剛

日本電気株式会社 セキュアシステムプラットフォーム研究所

 **MOONSHOT**
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



研究開発プロジェクト概要

超伝導量子コンピュータの研究開発を加速するため、超伝導量子ビットの大規模化、高集積化に必要とされるハードウェア要素技術を開発します。それにより、2050年には、大規模な超伝導量子コンピュータの実現を目指します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/67_yamamoto.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
山本 剛	日本電気株式会社 セキュアシステムプラットフォーム研究所	主席研究員
猪股 邦宏	産業技術総合研究所 新原理コンピューティング研究センター	主任研究員
越野 和樹	東京医科歯科大学 教養部	准教授
吉原 文樹	情報通信研究機構未来 ICT 研究所	主任研究員
大舘 暁	株式会社ニコン 光学本部 要素開発部	技監補
齊藤 志郎	日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所	特別研究員
野口 篤史	理化学研究所 創発物性科学研究センター	チームリーダー
蔡 兆申	東京理科大学 研究推進機構 総合研究院	教授
萬 伸一	理化学研究所 量子コンピュータ研究センター	副センター長
斎藤 政通	アルバック・クライオ株式会社 技術部 一課	課長
藤原 裕也	株式会社アルバック 規格品事業部	主事
鵜澤 佳徳	自然科学研究機構 国立天文台	教授
川上 彰	情報通信研究機構 未来 ICT 研究所	主任研究員
田中 雅光	名古屋大学 大学院工学研究科	助教
多田 宗弘	ナノブリッジ・セミコンダクター株式会社 開発製造部	部長
内田 建	東京大学 大学院工学系研究科	教授
石黒 仁揮	慶應義塾大学 大学院理工学研究科	教授
根来 誠	大阪大学 量子情報・量子生命研究センター	准教授
井上 弘士	九州大学 大学院システム情報科学研究院	教授
山下 太郎	東北大学 工学研究科	教授

1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

(1) 研究開発プロジェクトの概要

超伝導量子コンピュータの研究開発を加速するため、超伝導量子ビットの大規模化、高集積化に必要とされるハードウェア要素技術を開発する。それにより、2050年に大規模な超伝導量子コンピュータを実現することを目指す。

現在世界中で取り組まれている100量子ビット級回路をさらにスケールアップするためには、量子ビットチップと制御エレクトロニクス間の配線数爆発の問題を避けては通れない。本プロジェクトでは、単一磁束量子回路やクライオ CMOS などのクライオエレクトロニクスの技術とフリップチップ実装や RoF 等の新しい配線技術を用いて問題解決を目指す。

また、物理量子ビットの数や配線数といった量子コンピュータ実現のためのハードウェア負荷を減らすために、高コヒーレンスな量子ビットの開発やボゾニックコードと呼ばれる新しい量子誤り訂正符号の実装にも取り組む。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

本研究開発プロジェクトは、超伝導量子回路において、NISQ マシンをはるかに超える数の量子ビットの集積化技術や物理量子ビットの数を低減するための技術を開発し、誤り耐性量子コンピュータを実現するというプログラムの目標達成に貢献することを目指している。プロジェクト後半で実施予定の技術融合に向けて、本年度も個別の技術開発を着実に進めているという状況である。各課題、設定したマイルストーン達成に向けて概ね計画通り進捗している。

研究開発項目1: 誤り耐性量子コンピュータ用量子ビット回路の研究開発では、研究開発課題1: 超伝導量子ビットコヒーレンスの改善、研究開発課題2: エピタキシャル接合を用いた量子ビットの研究開発、研究開発課題3: 高スループット、低ばらつきな量子ビット作製プロセス、研究開発課題4: 超伝導共振器を用いたボゾニックコードの研究開発を実施した。

研究開発課題1では、コプラナー導波路型共振器を用いたデバイス各界面の誘電ロスの抽出に取り組んだ。また超伝導量子ビットの位相緩和の原因となるサンプル基板表面の常磁性スピンを電子スピン共鳴によって検出するために、昨年度構築した実験システムを用いて ESR 信号マーカー信号を検出することに取り組んだ。また集積化に向けた理論研究として、量子フィルタに関する理論的検討を行った。

研究開発課題2では、エピタキシャルジョセフソン接合を用いた Merged element transmon の設計と製作、 π 接合を組み込んだ磁束型超伝導量子ビットの作製とコヒーレンスの評価を行った。

研究開発課題3では、高スループット低ばらつきなジョセフソン接合の作製方法としてスパッタとドライエッチングを用いた製造方法の検討を行った。

研究開発課題4では、3次元キャビティへの binomial code 実装を目指したボゾニック量子ビットの特性向上、Kerr パラメトリック発振器を用いた cat code の実現、GKP コード実現のための2次の非線形性を利用した高 Q 値2次元マイクロ波共振器の量子状態操作に取り組んだ。

研究開発項目2: 量子ビット集積ハードウェアシステムの研究開発では、研究開発課題

1:量子ビットと周辺エレクトロニクスハイブリッドチップの設計と製作、研究開発課題2:量子計算に特化した冷凍システムの開発、研究開発課題3:超伝導 SIS ミキサを用いた低雑音マイクロ波増幅器の開発を実施した。

研究開発課題1では、積層構造の基本要素となる同軸 TSV を作製し、その伝送特性等の基礎評価を実施した。

研究開発課題2では、希釈冷凍機の熱交換器の材料評価試験を行い、パラメータ最適化を行った。

研究開発課題3では、高臨界電流密度の Nb/Al-AlN/Al/Nb 接合を用いた SIS ミキサチップの設計・試作および SIS ミキサ励起用ジョセフソン発振器とその出力電力を導波管に結合するためのモジュールの設計、試作を行った。

研究開発項目3:量子誤り訂正用エレクトロニクスの研究開発では、研究開発課題1:量子ビット制御、読み出し用単一磁束量子回路の研究、研究開発課題2:量子ビット制御、読み出し用低温制御 LSI の研究開発、研究開発課題3:超伝導量子コンピュータ制御のためのデジタル・マイクロ波エレクトロニクスの研究、研究開発課題4:量子ビット制御機構アーキテクチャの研究開発を実施した。

研究開発課題1では、低臨界電流密度プロセスによる2回目のデバイス試作を行い、信号分配回路 (demultiplexer 回路) の設計に用いるセルライブラリ構築を進めた。

研究開発課題2では、昨年度開発した 65nmCMOS の低温用のプロセスデザインキット(PDK)を用いて、低温動作ナノブリッジ FPGA の回路設計、インターフェイス回路設計、およびアナログ部品の回路設計を行った。

研究開発課題3では、量子エラー訂正のための量子フィードバックを可能にするエレクトロニクスの 16qubit 制御への拡張およびフォトダイオードを用いた副搬送波 RoF システムの開発とその極低温動作実験を行った。

研究開発課題4では、誤り訂正符号回路アーキテクチャの策定と設計、およびシステムレベル量子コンピュータアーキテクチャ探索環境の構築と評価・分析のためのモデリングを実施した。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

プロジェクトマネジメントのメンバとして、技術補佐を一名支援チームに追加した。また東北大学山下教授を磁性接合の研究開発を担当する課題推進者として追加した。

研究開発項目ごとの連携促進と進捗把握の目的で、高コヒーレンス量子ビット、ボゾニックコード、集積ハードウェア、クライオエレクトロニクスの4テーマについて1~1.5か月に一度の頻度で課題推進者会議を実施している。広報・アウトリーチ活動として、学会、イベント等で本プロジェクトの活動紹介、解説記事執筆、中高一貫校での講演等を行った。サイトビジットとして、9機関を訪問し、実験室見学、開発進捗に関する打合せを実施した。国際連携として、慶応大、東大、ナノブリッジ・セミコンダクター、Technische Universität Braunschweig(ドイツ)の4者間でクライオエレクトロニクス技術に関する共同研究や人材交流を進めている。また、九州大学、ソウル大、NEC で、量子コンピュータのアーキテクチャ設計技術に関する共同研究を計画している。

2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目1:誤り耐性量子コンピュータ用量子ビット回路の研究開発

研究開発課題1:超伝導量子ビットコヒーレンスの改善

当該年度実施内容:

(1) 今年度は、超伝導体の Nb を用いて作製したコプラナー型共振器の Q 値測定により、現在超伝導量子デバイスにおける主要なロスとなっている各種界面におけるロスファクタを抽出するという課題に昨年度に引き続き取り組んだ。等方性エッチングを用いて、異なる界面の静電エネルギーの participation ratio を意図的に大きくした共振器デバイスを作製し、それらの Q 値を測定した。実験で得られた Q 値と電磁界シミュレーションにより計算した participation ratio を用いて、各界面でのロスファクタを抽出した。しかし現在のところ、ロスの値として妥当な結果を得ることに成功しておらず、等方性エッチングの条件の見直しを進めている。

一方、transmon 型量子ビットの寿命改善についても今年度から取り組みを開始した。界面ロスによる transmon 型量子ビットの Q 値の限界を電磁界シミュレータで計算できることを確認した。上記共振器を用いたロスファクタの抽出に成功すれば、その値を用いて量子ビットの寿命予測が可能となる。また、量子ビットの評価システムの構築を並行して進め、これまでに理研野口チームから提供を受けた TiN 製 transmon 量子ビットを用いて、量子ビット周波数の決定まで成功している。

(2) 超伝導量子ビットの位相緩和の原因となる磁気ノイズの起源として、サンプル基板表面に存在する常磁性スピンの存在が近年指摘されている。昨年度、この常磁性スピンを電子スピン共鳴 (ESR) の手法によって検出するための実験システムを構築した。今年度は構築した実験システムを用いて ESR 信号マーカである DPPH の測定を行った。

集中常数で構成された 2D 共振器のインダクタンス部に apiezon で溶いた DPPH を塗布し、オンチップ ESR 実験セットアップに組み込み、 ~ 700 mK で DPPH の常磁性スピン検出を行った。その結果、2D 共振器の周波数シフトと $1/Q$ の変化が特定の磁場において検出された。数学的モデルによる実験結果解析により、これらの信号が DPPH の常磁性スピンアンサンブルによるものであることが明らかとなり、構築したオンチップ ESR 実験システムにおいて ESR マーカーを検出することに成功した。

(3) 制御・測定時間短縮化の理論については、前年度までの研究で、量子ビットの制御ラインに量子フィルタ(別の量子ビット)を強く結合させると、後者は「吸収飽和のある周波数フィルタ」として動作し、量子ビットの制御ラインへの輻射崩壊を抑え、長寿命化に寄与することを示した。本年度は、量子フィルタを複数設ける状況を理論解析し、量子フィルタ個数を増やすことでより長寿命化できるか、量子フィルタの周波数揺らぎを克服できるか、といった点を定量的に評価した。

課題推進者:(1)山本剛(日本電気株式会社)、(2)猪股邦宏(産業技術総合研究所)、

(3) 越野和樹(東京医科歯科大学)

研究開発課題2: エピタキシャル接合を用いた量子ビットの研究開発

当該年度実施内容:

- (1) 世界的に広く研究開発が行われている Al、Nb 等の超伝導量子回路において、Josephson 接合のバリア層にはアモルファス AlO_x が主に用いられている。この酸化膜は、電極上の酸化膜と同様にデコヒーレンス源となり得る。そこで我々は、窒化物である AlN の単結晶バリア膜を用いたエピタキシャル Josephson 接合の研究開発に取り組んでいる。また、エピタキシャル Josephson 接合の利点を最大限に活かすことの出来る量子ビットとして、電気容量が大きな Josephson 接合を用いることでコンデンサ電極を必要最小限にした Merged element transmon (Mergemon) に着目している。令和4年度には、Mergemon の回路パラメータを見積り、設計および作製を行った。また Mergemon のための臨界電流密度が小さいエピタキシャル Josephson 接合の作製条件探索に着手した。
- (2) 本年度は、 π 接合を含む量子ビットにおいて、 π 接合がコヒーレンス特性に与える影響を調べた。 π 接合を組み込んだ磁束型超伝導量子ビットを作製し、量子ビット周波数の磁場依存性及びコヒーレンス特性を調べた。その結果、共振器と結合した π 接合量子ビットにおいて明瞭な磁場シフトが観測された。コヒーレンス特性としては、1 マイクロ秒前後のエネルギー緩和時間が観測されており、 π 接合を含まない量子ビットと比べて小さいことから、 π 接合によるデコヒーレンスの存在が明確となった。今後これを克服するため、コヒーレンス向上が期待される、絶縁層を含む π 接合を作製し、 π シフトを観測した。また、今年度導入した機械式冷凍機ベースの測定系の立ち上げを行った。

課題推進者: (1) 吉原文樹(情報通信研究機構)、(2) 山下太郎(東北大学)

研究開発課題3: 高スループット、低ばらつきな量子ビット作製プロセスの研究開発

当該年度実施内容:

スパッタとドライエッチングを用いた JJ 製造方法の検討を行った。そのような新しい JJ 作製方法の検討において様々な実験条件の検証を行い、最終的に作製方法を決定することが出来た。またその作製方法において、JJ の接合面積を変えた素子をいくつか作製し、それらの室温抵抗値を計測したところ接合面積に反比例した抵抗値となることが確認出来た。また3次元共振器に JJ を設置し、希釈冷凍機を用いてコヒーレンス時間を確認し、量子ビットとして動作するところまで確認することが出来たため、「大面積、高スループットなジョセフソン接合の作製技術を提案する」ことが出来たと考えられる。

課題推進者:大館暁(株式会社ニコン)

研究開発課題4:超伝導共振器を用いたボゾニックコードの研究開発

当該年度実施内容:

- (1) 当該年度は3次元キャビティへの binomial code 実装を目指し、ボゾニック量子ビットの特性向上を図った。その結果、記憶キャビティで $T_1 = 125 \mu\text{s}$ 、補助量子ビットで $T_1 = 35 \mu\text{s}$ を達成し、Binomial code を実装するために十分なハードウェアが整った。
引き続き、高 Q な3次元キャビティを探索し、ニオブの機械加工技術を有する業者を見出し、ニオブ製キャビティを作製した。更に、アルミニウム製の同軸型キャビティにおいて安定的に $Q > 10^8$ を達成する表面処理方法を確立した。
- (2) Kerr パラメトリック発振器を用いた cat code の実現に取り組んだ。その結果以下の三つの主成果を得た。第一に、Kerr パラメトリック発振器(KPO)で猫状態を生成し、Wigner tomography を通じて量子干渉を確認した。第二に、KPO の猫状態の緩和時間を測定し、古典的には許されない位相空間振動を観測した。第三に、量子ゲート演算を行った。
- (3) GKP コードの実装を目指し、2次の非線形性を利用した高 Q 値2次元マイクロ波共振器の量子状態操作を実施した。3,000,000 を超える高 Q 値超伝導共振器と超伝導量子ビットが結合したデバイスを用いて、外部駆動による2 mode squeezing 相互作用と beam splitter 相互作用を誘起し、その時間発展の観測に成功した。

課題推進者:(1)齊藤志郎(日本電信電話株式会社)、(2)蔡兆申(東京理科大学)、
(3)野口篤史(理化学研究所)

(2) 研究開発項目2:量子ビット集積ハードウェアシステムの研究開発

研究開発課題1:量子ビットと周辺エレクトロニクスのハイブリッドチップの設計と製作

当該年度実施内容:

本研究開発課題では、量子誤り訂正をスケーラブルに実現するための量子ビット集積ハードウェアに関し、機能別に最適な製造技術でチップを作成しそれを縦方向に積層実装していく構造の実現を目指している。令和4年度は透過型実装構造の基本となる基板貫通電極(TSV)を用いた基板内同軸構造の試作評価を行った。具体的には量子ビット基板・読み出し回路基板に相当する2基板4層を積層し、電気的マイクロ波導波特性を評価した。また量子ビット基板・読み出し基板・上部配線基板に相当する3基板6層を積層する技術開発を行った。また、量子ビット基板またはインターポーザ基板に集積化可能なサーキュレータフリーを実現する読み出し方式の探索的研究により手法

の提案も行った。

課題推進者: 萬伸一(理化学研究所)

研究開発課題 2: 量子計算に特化した冷凍システムの開発

当該年度実施内容:

当該年度は、前年度(令和3年度)の試験結果を踏まえ、令和7年度のマイルストーン達成に向け必要な基礎データ取得を完了し、具体的な基礎設計の完了を目指す年として位置づけた。

開発中の希釈冷凍機では、20mK 熱交換器と混合室熱交換器の改良により冷凍能力が向上することが分かった。この2つの熱交換器で使用されている部材の材料評価試験を行い、最適パラメータを導いた。パルス管冷凍機については希釈冷凍機の高出力化に伴い必要となる性能向上へ向けた取組みを行った。これらに加え、研究計画を加速させる内容として、低温循環系と補助冷凍システム要素としての検討と、パルス管冷凍機高効率化の促進、を実施した。

課題推進者: 斎藤政通(アルバック・クライオ株式会社)、藤原裕也(株式会社アルバック)

研究開発課題 3: 超伝導 SIS ミキサを用いた低雑音マイクロ波増幅器の開発

当該年度実施内容:

本研究開発課題は、現在量子ビットの読み出しに用いられている半導体 HEMT 増幅器を置き換え得る低消費電力の低雑音増幅器として、SIS ミキサを用いたマイクロ波増幅器の開発を行うものである。主な開発項目は、(1) SIS ミキサ型増幅器の設計技術、(2) SIS ミキサ励起用ジョセフソン発振器、(3) 超伝導デバイス作製技術である。令和4年度は、前年度に研究開発した成果をベースに、引き続き上記の開発項目(1)~(3)を実施した。(1)においては、前年度に整備した100 GHz 帯ベクトルネットワークアナライザを用いた SIS ミキサの特性評価を行った。また、導波管ミキサモジュールを用いた増幅器実験を実施するために、高い利得が期待される高臨界電流密度の Nb/Al-AIN/Al/Nb 接合を用いた SIS ミキサチップの設計・試作を行った。(2)においては、SIS ミキサ励起用ジョセフソン発振器のデバイスチップとその出力電力を導波管に結合するためのモジュールの設計、試作を行った。(3)においては、上記(1)および(2)に必要な超伝導デバイスの作製技術の開発を行い、作製した超伝導デバイスを提供した。

課題推進者: 鶴澤佳徳(国立天文台)、川上彰(情報通信研究機構)

(3) 研究開発項目 3: 量子誤り訂正用エレクトロニクスの研究開発

研究開発課題1: 量子ビット制御、読み出し用単一磁束量子回路の研究

当該年度実施内容:

臨界電流密度を 250 A/cm^2 に低減した、本研究用の低臨界電流密度プロセスによる 2 回目のデバイス試作を行った。初回試作で得られた 1 K 未満でのパラメータ評価結果を反映させたレイアウトの修正を行い、信号分配回路 (demultiplexer 回路) の設計に用いる単一磁束量子 (SFQ) 回路のセルライブラリ (配線要素や室温インターフェイス回路、フリップフロップ、論理ゲートなど) の構築を進めた。これまでに約 10 個のセルの設計と、0.3 K までの低温での動作確認及び消費電力評価を完了しており、同様の設計指針に従いセルの拡充と改善を進めている。セルを組み合わせて構成した信号分配回路の動作検証においては、デバイスモデルに基づき、セルのタイミング抽出を行い、論理シミュレーションする環境を整えて行った。また、SFQ 信号分配回路とナノブリッジ FPGA 等と組み合わせた量子ビット制御システムの初期構想を行い、SFQ 回路や低温ナノブリッジ FPGA と量子ビットを接続する融合実験を行うための専用希釈冷凍機の配線などに関する仕様を策定し、発注を完了した。これにより、SFQ 信号分配回路を複数の量子ビットに接続する実験などを実施可能と見込んでいる。

課題推進者: 田中雅光 (名古屋大学)、山本剛 (日本電気株式会社)

研究開発課題 2: 量子ビット制御、読み出し用低温制御 LSI の研究開発

当該年度実施内容:

- (1) 低温での誤り訂正を行うために、量子ビット読み出しに必要な低温高周波アナログ部品の開発と、開発段階の多様な訂正アルゴリズムに対応するための低温 FPGA の回路設計を実施した。当該年度は、昨年度開発した 65nmCMOS の低温用のプロセスデザインキット (PDK) を用いて、低温動作用ナノブリッジ FPGA の回路設計、インターフェイス回路設計、およびアナログ部品の回路設計を行った。また、低温 (4K) での安定した回路動作に向けて、CMOS のばらつき評価を実施した。ナノブリッジについては、低温 (4K) で書き換え動作を行うための、低温用ナノブリッジのデバイスプロセス開発を実施し、室温と同等のプログラム電圧 (2V) を実現した。
- (2) 低温 (4K) での安定した回路動作に向けて、CMOS の動作、信頼性課題の抽出を行った。具体的には、トランジスタ特性の基礎となる MOS 容量特性およびダイオード特性に、基板 (ウェル) 不純物のフリーズアウト効果が及ぼす影響を調べた。その結果、基板抵抗は電圧が高くなるに従い小さくなることや、温度に強く依存することを見出した。
- (3) 前年度開発した 65nmCMOS の低温用のプロセスデザインキット、およびスタンダ

ードセルライブラリを用いて、量子ビットの読み出しに必要な、高周波アナログ部品（低雑音増幅器、発振器、ミキサ、AD 変換器等）のプロトタイプ的设计を行った。また、翌年度に設計・試作予定の NB-FPGA と RF/ミックスドシグナル回路を混載した CryoSoC のクライオスタットによる極低温での評価環境を、東大、NBS と共同で構築した。

課題推進者：(1) 多田宗弘 (ナノブリッジ・セミコンダクター株式会社)、
(2) 内田建 (東京大学)、(3) 石黒仁揮 (慶応大学)

研究開発課題 3: 超伝導量子コンピュータ制御のためのデジタル・マイクロ波エレクトロニクスの研究

当該年度実施内容：

本研究課題では、量子エラー訂正のための量子フィードバックを可能にするエレクトロニクスの 16qubit 制御への拡張を行った。この装置を用いて、量子ビット制御実験を行い 1qubit 制御の忠実度は 99.9%、2qubit 制御は 94.7%を達成した。4qubit の同時測定を実現し、アクティブリセットの性能、数値最適制御パルスの性能を実験で評価した。16qubit 化の結果をもとに、1000qubit を制御可能な量子誤り訂正用エレクトロニクスのアーキテクチャを設計し、消費電力の見積もりを行った。また、超伝導 qubit 制御 Radio over Fiber システムの研究を行い、フォトダイオードを用いた副搬送波 RoF システムを開発し、極低温動作を実験した。さらに、非線形光学結晶による DFG の基礎実験と O/E 変換器の設計、テラヘルツ検波器の設計を行った。

課題推進者：根来誠 (大阪大学)

研究開発課題 4: 量子ビット制御機構アーキテクチャの研究開発

当該年度実施内容：

本研究課題では、「冷凍機内マルチステージ・ヘテロジニアス量子制御機構アーキテクチャ」の探索を目的としており、2022 年度は、①誤り訂正符号回路アーキテクチャの策定と設計、②システムレベル量子コンピュータアーキテクチャ探索環境の構築と評価・分析のためのモデリング、を実施した。①については、貪欲法をベースとしたデコードアルゴリズムについて、常温 FPGA での回路実装と特性分析、ナノブリッジ FPGA を対象とした特性分析を行った。②については、古典・量子ハイブリッド実行が必要となる Quantum Approximation Optimization Algorithm (QAOA) をケーススタディの対象として、室温古典情報処理 (冷凍機外)、4 ケルビン極低温古典情報処理 (冷凍機内)、ならびに、ミリケルビン極低温量子情報処理 (冷凍機内)、の 3 ステージに着目したアーキテクチャ検討を実施した。

課題推進者:井上弘士(九州大学)

3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

- 代表機関のPM 支援体制チーム
技術補佐を一名追加した。

- 重要事項の連絡・調整(運営会議の実施等)
新規課題推進者(東北大学山下教授)追加に関するメール合議を実施した。令和 4 年6月13日に運営会議メンバに連絡。

- 研究開発機関における研究の進捗状況の把握(サイトビジット、課題推進者会議等)
プロジェクトの全体会議を令和 4 年 4 月 25 日、11 月 11 日に開催し、各課題推進者が開発進捗状況について報告を行った。また進捗報告定例会議として、プロジェクト全体を、高コヒーレンス量子ビット、ボゾニックコード、集積ハードウェア、クライオエレクトロニクス の 4 つのサブテーマに分け、テーマごとに 1~1.5 か月に一度、進捗報告や意見交換を行った。このうち集積ハードウェア、クライオエレクトロニクスは、お互いに関連が深いため、年度途中より合同で会議を実施している。主要課題推進者である産総研猪股博士、NTT 齊藤博士、理研萬博士、名大田中先生にそれぞれのサブテーマ会議のとりまとめをお願いしている。
サイトビジットに関しては、令和 4 年 5 月 16 日に東京理科大学蔡チーム、東京大学内田チーム、5 月 17 日に産業技術総合研究所猪股チーム、5 月 19 日に理化学研究所萬チーム及び野口チーム、5 月 20 日に日本電信電話(株)齊藤チーム、5 月 30 日に慶應義塾大学石黒チーム、アルバック(株)藤原チーム、アルバック・クライオ(株)斎藤チームを訪問した。

研究開発プロジェクトの展開

慶応大、東大、ナノブリッジ・セミコンダクター、Technische Universität Braunschweig(ドイツ)の 4 者間でクライオエレクトロニクス技術に関する共同研究や人材交流を進めている。
また、九州大学、ソウル大、NEC で、量子コンピュータのアーキテクチャ設計技術に関する共同研究を計画している。

(2) 研究成果の展開

- 技術移転先、将来的な顧客開拓に向けた対応(試作品頒布、実機デモや展示会への出展等)について
NEC は、Q-STAR(一般社団法人量子技術による新産業創出協議会)において 27 社が参加する「量子重ね合わせ応用部会」をリードし、量子コンピュータのユースケースの検討を

進めている。特に、誤り耐性型汎用量子コンピュータの応用先として材料開発(分子等のエネルギー計算)や金融への期待が高いことが分かっており、引き続き情報共有をしていく。

○量子コンピュータに関する技術動向調査、市場調査

量子回路技術、冷凍機・低温要素技術、アーキテクチャ・室温要素技術の3領域において、日米の特許調査を実施。Google や IBM をはじめとする主要プレーヤの年次毎の出願件数推移などの基礎情報を取得。次年度以降も順次情報をアップデートしていく予定。

(3) 広報、アウトリーチ

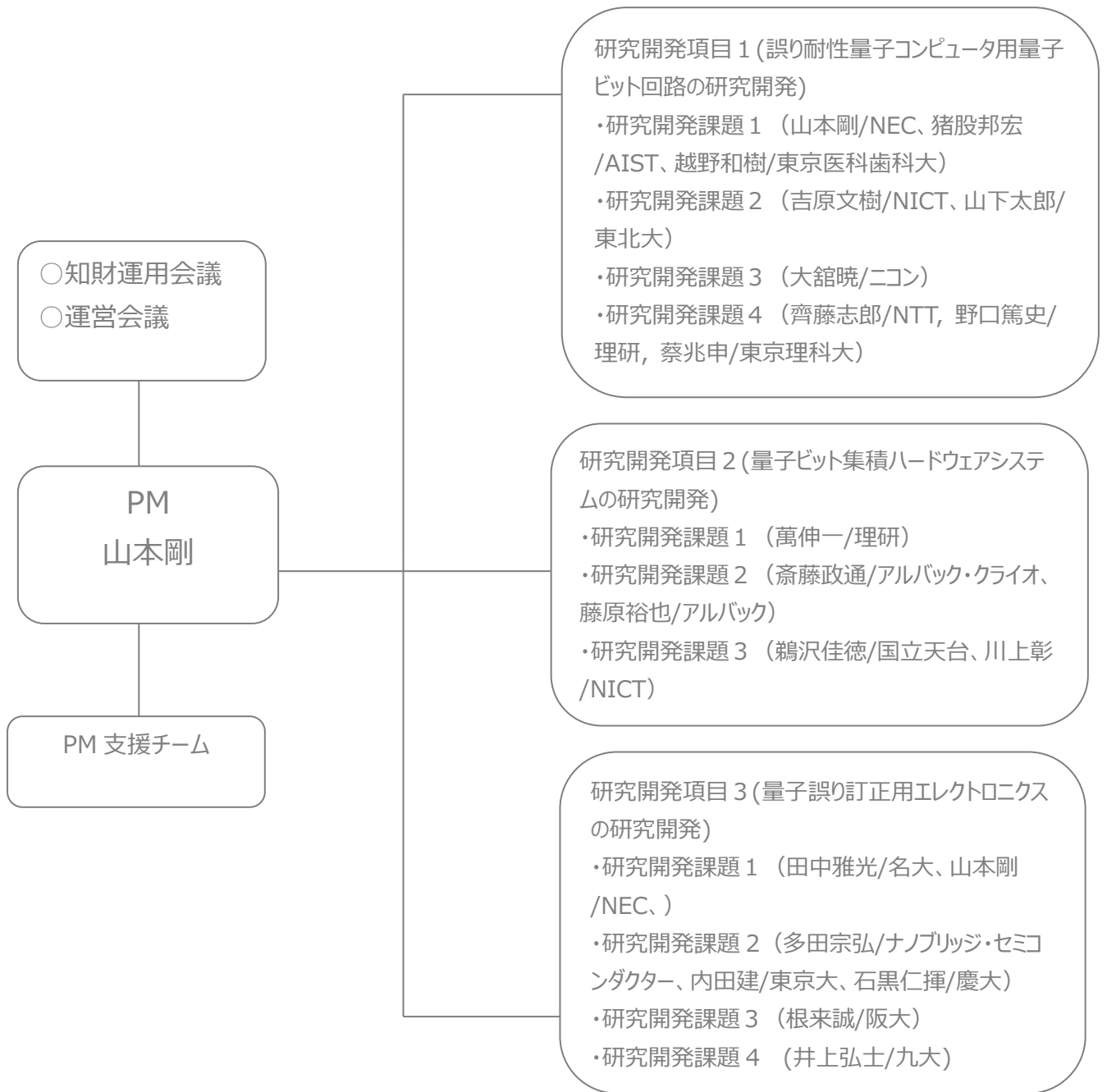
令和4年8月29日、30日の二日間、慶應義塾大学日吉キャンパスにて、ドイツ学術交流会(DAAD:Deutscher Akademischer Austauschdienst)が主催の「Next Generation Quantum Computing Workshop」が開催され、本プロジェクトは協賛団体として参加した。初日はイオントラップ方式に関する研究を中心に、二日目は超伝導方式に関する研究を中心に、招待講演者も交えて情報の交換や議論が行われた。本プロジェクト課題推進者としては、野口、石黒、内田、多田が登壇した。

令和4年10月13日。茨城県立並木中等教育学校にて、中高生を対象として、量子コンピュータについて NEC 山本が講演を行った。並木中等教育学校の生徒の他、当日スーパーサイエンスハイスクール交流会で訪問中の大分県立佐伯鶴城高等学校の高校一年生、合わせて30名ほどが参加した。

(4) データマネジメントに関する取り組み

令和2年度に立ち上げ予定のプロジェクト内情報共有ツール teams を利用して主に会議での発表資料の共有、整理を行った。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



知財運用会議 構成機関と実施内容
必要に応じて開催する

運営会議 実施内容
必要に応じて開催する

5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT含む)	国内	国際
未登録件数	2	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	2	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	13	15	28
口頭発表	16	14	30
ポスター発表	1	4	5
合計	30	33	63

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	11	11
(うち、査読有)	0	11	11

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	6	0	6
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	6	0	6

受賞件数		
国内	国際	総数
0	0	0

プレスリリース件数
2

報道件数
1

ワークショップ等、アウトリーチ件数
10