

量子技術の概念を応用した非量子ネイティブ向け

協力型デジタルゲームの開発

ー量子コンピュータ構築シミュレーションー

1. 背景

量子コンピュータ技術は、次世代の計算基盤として社会のさまざまな分野への応用が期待され、大きな注目を集めている。しかし、その根幹となる量子力学的な仕組みや、実機の構築・発展に至るプロセスは極めて専門性が高く、初学者や非専門家にとっては理解のハードルが非常に高い分野となっている。現在、メディア等では「量子ビット数の増加」や「量子誤り訂正の進展」といった華々しい成果が報じられる機会が増えている。しかし、それらの成果がどのような工学的な積み重ねや、物理的な制約（冷却、真空、ノイズ制御等）の克服によって成し遂げられているのかという「技術の階層構造」や「開発の変遷」については、ブラックボックス化されており、外部からは見えにくいのが現状である。このような専門知識の断絶は、量子技術に対する社会全体のリテラシー向上を阻む一因となっており、より直感的かつ体系的に技術の核心に触れられる機会の創出が求められている。

2. 目的

本プロジェクトの目的は、難解な量子コンピュータ技術を単なる「座学の対象」としてではなく、自らの手で「構築・育成する対象」として体験できるシミュレーションゲームを開発することにある。プレイヤーが量子ビット数、誤り訂正率、およびそれらを支える基幹技術（スキル）の強化を戦略的に管理・運用するゲームシステムを構築することで、本来であれば抽象的な概念である量子技術の諸要素を、具体的な選択と数値の変化として実感できる体験の提供を目指す。また、ゲームという親しみやすい形式を採用することで、高度な専門知識を持たない層であっても、プレイを通じて自然に技術の構造や工学的な課題に触れられる環境を構築する。将来的には、複数人による協力型要素や役割分担の仕組みを取り入れることで、対話を通じたより深い技術理解を促進する教育的プラットフォームへと昇華させる。このように、体験型コンテンツを通じて「量子技術の民主化」を推し進め、社会全体のリテラシー増強に寄与することを最終的な狙いとする。

3. ソフトウェア開発内容

3.1 解決する課題

量子コンピュータ技術は非常に専門性が高く、「量子ビット数の増加」といった成果が報じられても、それを支える具体的な技術プロセスが一般層には見えにくい

という課題がある。本ソフトウェアはこの情報格差を解消することを目的とする。まず、従来ブラックボックス化されがちであった冷却技術や真空技術といった工学的基盤をスキルとして定義し、それらの依存関係やマシン性能向上に至るまでの過程を論理的に構造化した。これにより、技術的プロセスを体系的に理解できる設計とした。さらに、抽象的で難解な概念を目に見える数値変化やアクション選択を通じた育成体験へと変換することで、初学者が直感的に技術の全体像を把握できる環境を提供する。これにより、量子技術に対する心理的障壁の低減を図っている。

3.2 動作環境

幅広いユーザー層へのアクセシビリティを確保するため、本プロトタイプは Web ブラウザ上で動作する Unity WebGL 版および Windows/Mac 向け実行ファイルとして開発した。開発エンジンには長期安定版である Unity 2022.3 LTS を採用している。

3.3 システム構成

柔軟なデータ変更と高いメンテナンス性を両立するため、ゲームエンジン Unity を中核とした外部データ駆動型設計を採用した。技術パラメータやイベント内容、アクション効果などは外部の設定ファイル (JSON および CSV 形式) で管理する構成とし、ゲームロジックとデータを分離している。さらに、将来的な技術進歩や仕様変更を迅速に反映できるよう、プログラミング知識がなくとも技術データの生成・編集が可能な専用ツールを開発した。これにより、開発効率と保守性の向上を実現している。

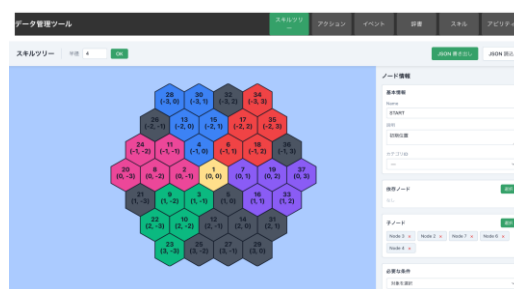


図 1 設定ファイル作成ツール

3.4 主要機能

本作の中心となるのは、量子コンピュータ構成システムである。現実の研究開発を支える基幹技術をスキル、量子特有の技術をアビリティと定義し、それらを樹形図状に体系化した。プレイヤーはリソースを投じてこれらを順次獲得することで、量子ビット数や誤り率といったマシン性能が段階的に向上していく過程を体験でき

る。ゲーム進行はターン制リソース管理シミュレーションとして設計されている。各ターンでは限られた回数のアクションを選択する必要があり、資金調達や研究、人材確保といった行動が可能である。選択したロールや技術状況に応じてリソースの増減やスキル獲得効率が変化するため、戦略的判断が求められる。また、開発状況に応じて突発的なトラブルや技術的発見が発生し、プレイヤーは状況に応じた戦略修正を迫られる。さらに、超伝導、イオントラップ、中性原子など主要 6 方式を実装し、方式ごとにスキルの寄与率や開発難易度が異なる設計とした。これにより、各物理方式の特性や研究戦略の違いを疑似的に体験できる。加えて、専門用語に対する心理的障壁を軽減するため、ポップアップ式の辞書機能を実装した。ゲーム内で未知の単語に遭遇した場合、UI 上のボタンから即座に技術解説を参照できるため、プレイを中断することなく理解を深めることが可能である。

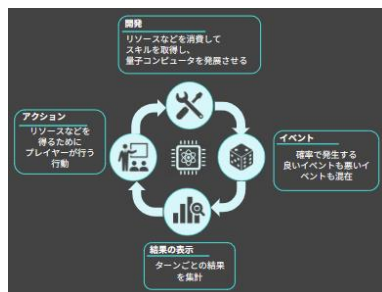


図 2 ターン進行のイメージ



図 3 アクション選択画面

4. 新規性・優位性

本プロジェクトの最大の新規性は、既存の量子教育ゲームの多くが「量子回路パズル」に留まるのに対し、量子コンピュータを「ハードウェアとして構築する」という工学的レイヤーに焦点を当てた点にある。既存タイトル（例：量子ゲート操作を学ぶ Quantum Attack や、回路構成をパズル化した Hello Quantum）は、主にアルゴリズム理解やゲート操作の習得を目的としており、実機を支える物理装置や環境維持の要素は背後に隠されてきた。これに対し本作は、以下の 2 点で明確な優位性を有する。第一に、「構築プロセス」の可視化とパラメータ化である。従来は隠蔽されがちだった冷却装置の管理やノイズ制御といった工学的要素を、スキル体系としてゲーム内に組み込んだ。プレイヤーが真空技術やマイクロ波制御などの基幹技術を選択・強化することで、量子ビット数や誤り訂正率といった性能指標が段階的に向上する仕組みを実現し、量子技術の発展を数値変化として直感的に体験できる。第二に、主要な 6 種類の物理方式への網羅的対応である。超伝導、イオントラップ、中性原子、半導体、単一光子、連続変数という主要方式を網羅し、それぞ

れの冷却要件や制御手法の違いを反映した。これにより、特定方式に偏らず、量子技術の多様性を体系的に理解できる構成となっている。

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

本プロジェクトの対象は、「興味はあるが難しそう」「聞いたことはあるがよく分からない」といった心理的障壁を感じている初心者層である。また、普段はソフトウェアの利用者として計算機の物理的存在を意識しないユーザーまで幅広く想定している。もちろん、量子コンピュータに詳しい専門層にも、本作を独自視点のエンターテインメントとして楽しんでもらえれば幸いである。本ターゲットが成功し利用が拡大すれば、量子コンピュータに関する話題提供にとどまらず、社会全体の理解促進にも貢献できる。本プロジェクトの最大の特徴は、ゲームという枠組みにより学習への抵抗感を抑えた導入を実現できる点にある。従来は自発的に学習できる層に偏りがちだったが、本作はより広いライト層へのアプローチを可能にする。講義や専門書とは異なり、ゲーム内での試行錯誤を通じて主体的に技術を扱う体験は、量子コンピュータのリテラシー向上と将来の産業人材の裾野拡大に寄与すると考えられる。

6. 氏名（所属）

立田 結希菜（お茶の水女子大学 人間文化創成科学研究科 理学専攻）

矢口 琴望（お茶の水女子大学 人間文化創成科学研究科 理学専攻）

川富 唯香（お茶の水女子大学 理学部 情報科学科）