

# 量子コンピュータの学習支援システムの試作と評価

## Prototyping and Evaluation of Learning Support System on Quantum Computer

小村 駿介<sup>\*1</sup>, 李 愛鵬<sup>\*1</sup>, 林田 温広<sup>\*1</sup>, 出口 幸子<sup>\*1</sup>

Shunsuke KOMURA<sup>\*1</sup>, Aipeng LI<sup>\*1</sup>, Atsuhiko HAYASHIDA<sup>\*1</sup>, Sachiko DEGUCHI<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>近畿大学工学部

<sup>\*1</sup>Faculty of Engineering, Kindai University

Email: deguchi@hiro.kindai.ac.jp

あらまし：量子コンピュータについて課外で学習するために、初学者が興味を持って学べることを目的に学習支援システムを試作した。学習部分とテスト部分に分かれており、それぞれ楽しみながら学べる工夫を凝らした。評価のための短縮版システムを学内の学生に利用してもらい、アンケートに回答してもらった。評価結果を参考に新たな単独の学習様式とグループワークの学習様式を開発中である。

キーワード：量子コンピュータ, 学習支援, 評価実験, ゲームフィクション, グループワーク

### 1. はじめに

量子コンピュータの学習は主に書籍<sup>(1)</sup>やインターネット上のコンテンツ<sup>(2)</sup>やシミュレータ<sup>(3)</sup>を用いて行われる<sup>(4)</sup>。しかし、書籍やインターネット上のコンテンツだけでは初学者が課外に一人で勉強することは難しい。また、初学者にとってシミュレータを用いての学習は行いづらい。そこで、本研究では初学者が楽しみながら学ぶことができるように工夫した学習支援システムを開発することを目的とする。

### 2. 学習支援システムの構成と学習内容

#### 2.1 開発環境

今回開発した量子コンピュータの学習支援システムは、HTML、CSS、JavaScriptおよびPHPで作成した。数式の表記法としては、mathjax という JavaScript のライブラリを使用した。

#### 2.2 システムの構成

本システムでは、量子ビット、量子ゲートおよび量子もつれの3つの内容を作成し、それぞれにテストを設けた。ユーザは学習後にテストを行い、テスト結果はデータベース（以下DB）に保存される。

#### 2.3 学習内容

##### (1) Bloch 球アニメーション

Bloch 球アニメーションは、量子ゲートの紹介時に使用する。Bloch 球を視覚的に分かりやすいようにアニメーションを作成した。ユーザは再生と停止をすることが可能である<sup>(1)</sup>。

##### (2) 量子宝探し

量子宝探し<sup>(5)</sup>は、量子重ね合わせと量子もつれの学習時に使用する。ユーザが[コイントス]をクリックすると画面内のアニメーションと解説が変化する。宝探しという形式を使うことで、量子重ね合わせと量子もつれについて楽しみながら学ぶことができる。

##### (3) 辞書ページ

量子コンピュータの学習内で使用される用語をまとめた辞書ページを作成した。学習時にわからない用語があった際に調べることができる。

### 3. テストの種類

#### 3.1 テキスト形式

通常のテスト様式の画面を図1に示す。選択肢から回答し、送信した回答は成績としてDBに保存する。PHPを用いた制御により、単一のファイルで複数の問題を出題することが可能である。

量子ビットに関する問題

極点のハフマンなどの古典コンピュータは、「0」または「1」のビットのみをとり、それに対して、量子コンピュータは、「0」または「1」のビットを「0」または「1」のビットと見なし、これを量子ビットと見なし、量子ビットは、「0」または「1」のビットの重ね合わせを取れる。例えば、 $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$  の重ね合わせによって、「0」も実現できる。

この量子ビットを2つ取り、 $\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$  の重ね合わせを取ると、この量子ビットの重ね合わせのことは、 $\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$  と呼ぶ。

問題

問題文をよみ取り読み取りの順序が逆でない。

選択肢	A	B	C	D	E
1	$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle -  1\rangle$	$ 0\rangle +  1\rangle$	重ね合わせ状態
2	$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle -  1\rangle$	$ 0\rangle +  1\rangle$	重ね合わせ状態
3	$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle -  1\rangle$	$ 0\rangle +  1\rangle$	重ね合わせ状態
4	$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	$ 0\rangle -  1\rangle$	$ 0\rangle +  1\rangle$	重ね合わせ状態

回答

A: 誤解  B: 誤解  C: 誤解  D: 誤解

図1 テキスト形式画面

#### 3.2 図形パズル

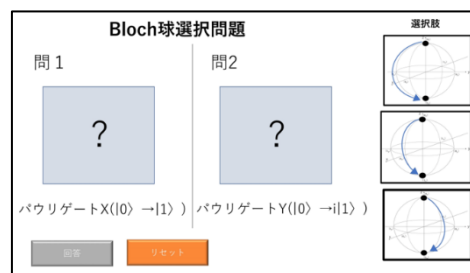


図2 図形パズル問題例

新たなテスト様式として、パズル機能を JavaScript で開発した。要素を並び替え、座標により正誤の判定を行う。このプログラムを応用し、回路図設計やフロー作成問題などの出題が可能である。図2に問題例を示す。

#### 3.3 回路図設計

回路図設計に関する問題例を図3に示す。

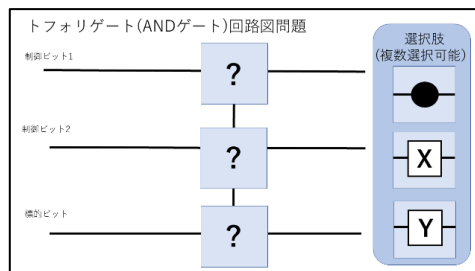


図3 回路図設計問題例

### 3.4 フローチャート

量子コンピュータの動作の流れについての問題例を図4に示す。

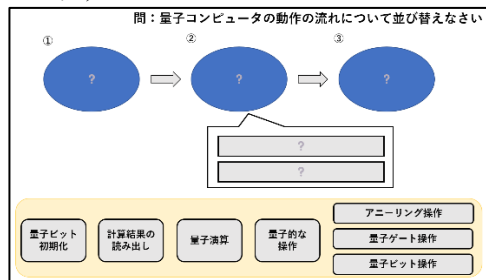


図4 フロー作成問題例

## 4. 学習支援システムの評価

### 4.1 概要

システムを評価してもらうために、15分程度で学習ができる短縮版(テストなし)を作成した。初めにプレ実験として学内の学部3年生4名と4年生3名に評価してもらった。その後改良したシステムを学内の学部1年生の26名に利用してもらい、Google Formsでアンケートに回答してもらった。また、評価版システムはスマートフォンにも対応しており、学生にはスマートフォンで利用してもらった。

### 4.2 プレ実験の結果と考察

プレ実験では、イントロ、古典コンピュータとの違い、量子重ね合わせについて、量子ゲートについての4つの内容を組み込んだ。プレ実験を行った結果以下の意見が得られた。

- ・文字が多く続くところがあり、行間が狭いため見づらかった
- ・単語は記憶に残るけれども内容が残りがらい
- ・5回くらい読み直さないと理解できなさそう

以上の意見を踏まえて本実験では分量を減らし、イントロ、古典コンピュータとの違い、量子重ね合わせについての3つの内容に変更した。

### 4.3 本実験の結果と考察

アンケートは、難易度、興味、課外での学習意欲を4段階で評価してもらった。内容が難しい/やや難しいという回答は77%であった。興味がある/少しあるという回答は84%であった。課外で学習する意欲がある/少しあるという回答は65%であった。以上の結果より、課外で学習できるシステムの作成は有用であると考えた。また、「文字が多いと理解しづらい」という意見や、「一度に覚える量が多く、覚えきれないまま次に移行してしまった」という意見

を考慮して、一度に学習する量を小分けにして文字数を減らし、より理解しやすいように改良する。

## 5. 学習の管理と運用

### 5.1 IDと成績の一元管理

本システムでは、IDやパスワード、成績などのユーザ情報をDBで一元管理する。またセキュリティに配慮し、パスワードは暗号化して管理する。IDと学習進度を紐づけ記録することで、中断箇所から学習を再開できる。

### 5.2 様々な運用方式(単独学習)

学習支援システムのアンケート結果をもとに、新たな学習形式を開発中である。図5に概要図を示す。学習とテストをレベルごとに小分けにした。テストの点数に応じて次に学習可能なレベルが変更される。小分けにすることで、一度にする学習量を減らし、かつ自分に適した難易度で学習することができる。点数と学習状況はデータベースで管理され、次回学習時に引き継ぐことができる。

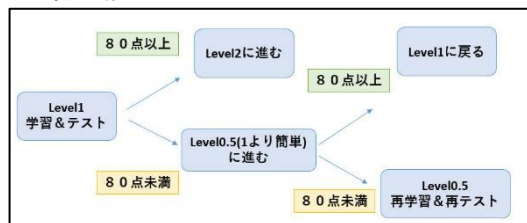


図5 単独学習の概要図

### 5.3 様々な運用方式(グループ学習)

オンラインでグループワークを行える仕組みを開発中である。ソケット通信を用いたターミナル間で文字列の送受信を行うプログラムを作成し拡張する。仲間内で学習が可能となることによる学習意欲促進効果に期待する。

## 6. おわりに

量子コンピュータの学習を支援するシステムを作成した。そして、評価版を実際に利用してもらい、フィードバックを得た。今後の課題として、レベルごとの学習方式を実現してその評価をもらうという点と、グループワークの学習様式およびゲーミフィケーションをさらに取り入れた学習様式を検討するという2点があげられる。

### 参考文献

- (1) 湊雄一郎, 他: IBM Quantum で学ぶ量子コンピュータ, 秀和システム, 2021.
- (2) 東京大学素粒子物理国際研究センター: 量子コンピューティング・ワークブック, <https://utokyo-icepp.github.io/qc-workbook/>
- (3) 谷内紳悟, 笹倉万里子, 市岡優典: "量子プログラミングのための教育支援システム", 情報科学技術フォーラム講演論文集 18(1), 107-108, 2019.
- (4) 依田悠, 堀越篤史: "量子コンピュータを用いた量子力学教育の可能性", 大学の物理教育 26(2), 71-74, 2020.
- (5) IBM: [技術解説] 高速化の鍵は量子の「もつれ」や「重ね合わせ」 — 量子コンピューターの原理を知る, <https://www.ibm.com/blogs/think/jp-ja/ibmq-principle-of-quantum-computer/>