

双方向型ビジュアル量子教材と量子シミュレーションツールの作成 —未来の量子人材への実践的アプローチ—

1. 背景

内閣府が2030年目標として国内の量子技術の利用者を1,000万人にすることを掲げている一方、この目標達成は容易ではないように考えられる。量子コンピューターを学ぶ敷居を上げている大きな原因は、量子コンピューターが量子技術・情報処理としての両方の側面を持っていることである。どちらかの知識が不足してしまうと量子計算に実感を持ってないことや、「量子ビットという”概念”を重ね合わせることができる」という疑問を持たれかねない。しかしながら、量子コンピューターに関する参考書等の多くは情報处理的な観点で量子コンピューターを取り扱っており、量子技術としての量子コンピューターを扱っている参考書等は数が少なく、日本語での学習が困難であるのが現状である。そのため、量子コンピューターの二つの側面を同時に学ぶことは非常に重要になると考えられる一方、教材の不足から敷居が高くなってしまっている。

2. 目的

我々の最終的なミッションはより量子情報分野へと人を呼び込むと共に、分野横断型の量子人材育成を行うことである。

我々のミッションを実現する手法として、量子コンピューターの情報・物理の双方向を取り扱った教材の作成と、量子力学そのものの世界に慣れ親しむためのギミックとして量子系のシミュレーションを取り扱った「量子力学を量子力学で実験する」ツールの作成を目指した。

3. ソフトウェア開発内容

我々が開発した教材は図1のような電子媒体の教材である。教材名は「Qualsimu (キュアルシム)」である。



図 1 : Qualsimu 教材のイントロダクションのページのスクリーンショット

Qualsimu は三章構成になっている。第一章では量子力学・量子情報の基礎を学ぶことができ、第二章では超伝導量子ビットの構造やパルス制御などに学ぶことができ、第三章では量子ダイナミクスシミュレーションに関して学びシミュレーションツールで実際に実験を行うことができる。この三章構成によって量子技術・情報処理としての量子コンピューターを双方向に学ぶことができる。

第一章・第二章ではアニメーションを多く設けており、例えば図 2,3 のように右下にあるボタンを押すとアニメーションが再生され、動かすことができる。これらのアニメーションを教材に多く取り入れていることで難解な内容を直感的に理解できるようにしている。

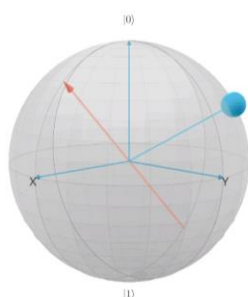


図 2 : X 測定のアニメーション再生前

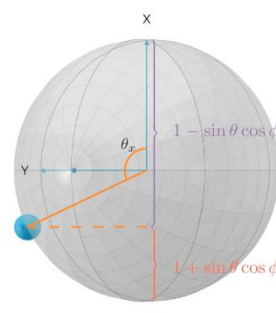


図 3 : X 測定のアニメーション再生後

第三章では量子ダイナミクスシミュレーションの理論と図 4 のようにそれを実験できるシミュレーションツールを搭載している。ユーザーは物理モデルのパラメータを設定しシミュレーションをして理論解との比較などを行うことができる。

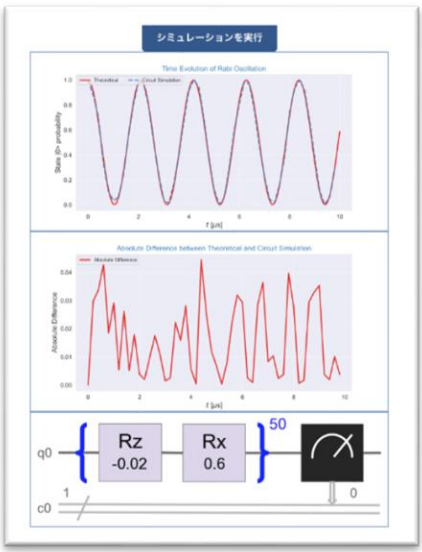
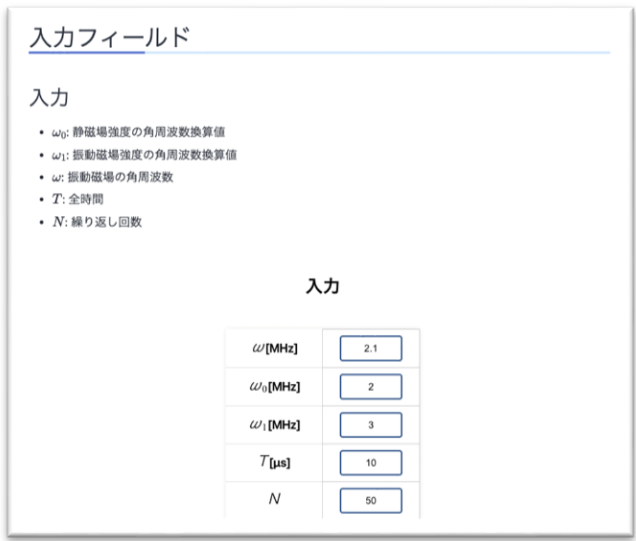


図 4：シミュレーションツールの入力画面(左図)と出力画面(右図)

4. 新規性・優位性

超伝導量子ビットに関して深く取り扱っているという点が革新的である。例えばこれまでに日本語で深い説明がなされてなったトランズモン量子ビットの $|0\rangle, |1\rangle$ 状態の物理描像を示すことができただけでなく、量子ゲート操作に関して過度に理論的にならずに、Qiskit のモジュールである Qiskit Pulse を使用し実施のパルスを見せることができ、我々の教材をより独自なものにした。

X 測定や Y 測定のアニメーション、パルス制御で重要になる仮想 Z ゲートのアニメーション(図 5)などこれまで数式での説明しかなかった難しい概念に対して可視化を行うことができ、我々の教材にしかないビジュアライゼーションの数々を取り入れることに成功した。

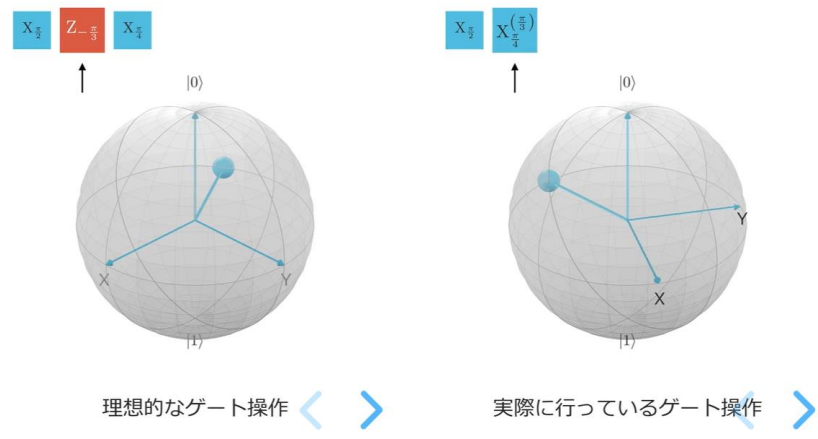


図 5：通常の Z ゲート(左図)と仮想 Z ゲート(右図)を比較するアニメーション

また、第三章では位置で離散化した場合の調和振動子の量子ダイナミクスシミュレーション(図6)を説明しており、位置で離散化し実際に実装を行った例は存在しなかったが本教材で実現し解説することができた。

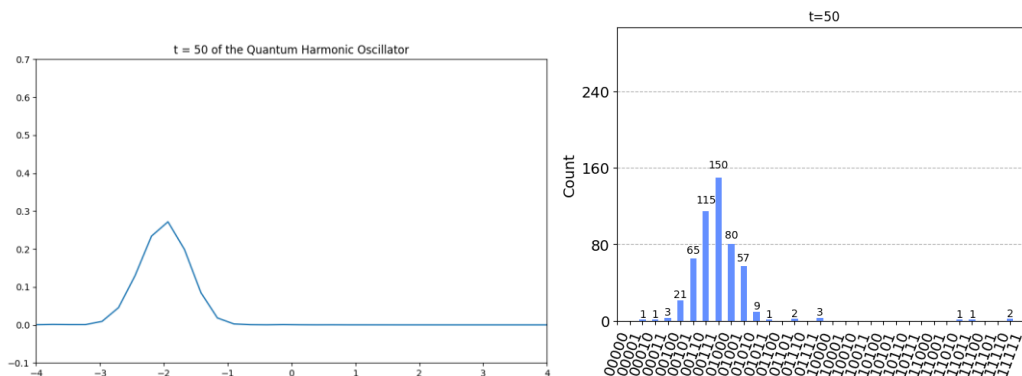


図6：調和振動子の時間発展の古典的シミュレーション(左図)と
量子的シミュレーション(右図)

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

対象ユーザーは、学部1,2年の物理学徒や情報学徒や少しでも量子コンピューターの原理に興味がある方に向けたものとなっている。

この教材を通じて、ユーザーは量子力学、量子情報の基礎を豊富なアニメーションによって直感的に理解できるだけでなく、これまでブラックボックスであった量子ビット、量子ゲートの具体的な中身の構造を知ることができる。これによってより量子計算に親しみを持つことができるだけでなく、パルス制御などの低レイヤーの部分から量子コンピューターを理解できるため、量子コンピューターを内部まで理解して駆使できる人材を育成できることが期待される。

また、第三章の量子ダイナミクスシミュレーションによって量子力学を実験的に学ぶことができるため、より広い層の方々が量子力学に親しみを持ち、量子技術分野に参入する契機をもたらすことが期待される。

以上から我々の当初のミッションである、量子情報分野へと人を呼び込むと共に、分野横断型の量子人材育成を行うことができると考えている。

6. 氏名(所属)

中村 泰士 (東京工業大学 情報理工学院情報工学系)

鈴木 泰雅 (東京工業大学 理学院物理学系)

青木 幸一 (東京工業大学 理学院物理学系)