

## 2022年度共同利用研究報告書

2022年11月28日

所属・職名 Quantinuum K.K.・量子ソフトウェア アウトリーチ オフィサー

米澤 康好

	整理番号	2022a004
1.研究計画題目	量子コンピューティングにおける数学的課題の探索と量子人材育成	
2.新規・継続	新規	
3.種別	一般研究	
4.種目	短期共同研究	
5.開催方法	ハイブリッド開催	
6.研究代表者	氏名	米澤 康好
	所属 部局名	Quantinuum K.K. <span style="float: right; text-align: center;">職 名 量子ソフトウェア アウトリーチ オフィサー</span>
7.研究実施期間	2022年08月22日(月曜日)～2022年08月26日(金曜日)	
8.キーワード	量子コンピューティング、qudit、qumode、量子誤り訂正	
9.参加者人数	69人	

### 10.本研究で得られた成果の概要

本研究では、量子コンピューティングの現状を踏まえ、以下の二つを目的として活動した。

目的1：量子コンピューティングにおける数学的問題の探索（8月22日、23日、非公開）

参加者：落合啓之、川辺治之、米澤康好

実施内容:量子誤り訂正技術の実装が量子優位性の実現のカギとなる重要な課題のひとつであることから、量子誤り訂正について議論した。

成果:量子誤り訂正の先行研究に記載されている曖昧な表現を数学的に再構成・理解することに取り組み、代数的な記述や表現論的な解釈において解明できた。一方で、未だに理解できていない部分もあり、これについては今後の課題である。

目的2：量子人材育成（8月24日、25日、26日、公開）

参加登録者数：69名

実施内容：量子コンピュータは、開発の進展だけでなく、この新しいシステムにアクセスし易くなってきた。今後、量子コンピュータで扱える量子ビットの数は増え続け、社会課題の解決に役立つことが期待されている。こうした理由から量子人材育成に今から取り組むことが重要であり、量子コンピューティングのトレーニングを学生、研究者向けに三日間の日程で開催した。

・1日目

内容：量子コンピュータ概要（Quantinuum米澤康好）、Amazon Braketを使った量子コンピューティング実習（AWS 宇都宮聖子、針原佳貴、田原慎也）

・2日目

内容：Quantinuum量子SDK tketを用いた量子コンピューティングの講演（Quantinuum米澤康好、BIPROGY株式会社 川辺治之）

・3日目

内容：Amazon SageMaker Studioを利用したtketの量子プログラミング演習（Quantinuum米澤康好）

成果：参加登録者数は69名。

受講者のトレーニングについてのアンケート結果の一部

1.聴講後の量子コンピュータについて

QC(アニーリング)をより深く知りたい：はい27名、いいえ5名

QC(アニーリング)を研究してみたい：はい14名、いいえ18名

QC(ゲート)をより深く知りたい：はい29名、いいえ3名

QC(ゲート)を研究してみたい：はい23名、いいえ9名

2.受講後のtketについて

tketをより深く知りたい：はい22名、いいえ4名

tketを研究で利用したい：はい21名、いいえ5名

3.「tketを用いた量子コンピューティング演習」についての満足度

満足7名、普通1名、不満1

# 研究計画題目:量子コンピューティングにおける数学的課題の探索と量子人材育成 成果報告書

本研究では、量子コンピューティングの現状を踏まえ、以下の二つを目的として活動した。

目的1：量子コンピューティングにおける数学的問題の探索  
(8月22日、23日、非公開)

目的2：量子人材育成  
(8月24日、25日、26日、公開)

目的1：量子コンピューティングにおける数学的問題の探索

## a.実施内容

本短期共同研究の期間前から、研究代表者米澤康好と村上順教授は量子情報の基礎的知識の共有と議論を行った。量子コンピュータの分野において、量子誤り訂正技術の実装が量子優位性の実現のカギとなる重要な課題のひとつであることから、量子誤り訂正について議論することとなった。そこで我々は非可換群の構造を利用した量子誤り訂正の先行研究について議論を行った。本短期共同研究の実施期間では、この内容を落合啓之教授とBIPROGY株式会社川辺治之氏とも議論し、今後の研究の方向性について議論を行った。

8月22日：トーラスの場合の量子誤り訂正について(米澤)  
議論(落合、川辺、米澤)

8月23日：非可換群の場合の量子誤り訂正について(米澤)  
議論(落合、川辺、米澤)

## b.成果

今回の議論では、量子誤り訂正の先行研究に記載されている曖昧な表現を数学的に再構成・理解することに取り組み、代数的な記述や表現論的な解釈において解明できた。一方で、未だに理解できていない部分もあり、これについては今後の課題である。

## c.今後の計画

短期共同研究の期間後に、米澤から村上教授に九州大学で得られた結果の報告と議論を行った。今後の計画は定期的に米澤と村上順教授で量子誤り訂正について議論を行い、組織委員のメンバーで共同研究を継続していく。

## 目的 2

### a.実施内容：量子人材育成

量子コンピューティングに限らず、機械学習などのデータサイエンスを行う際にも、スケーラブルかつセキュアなシステムであるクラウド環境を利用することは今後重要になる。そこで、今回の量子コンピューティングの人材育成では、Amazon Braket のクラウド量子コンピューティングの環境を AWS から提供いただいた。

1 日目は量子コンピュータ概要の講演（Quantinuum 米澤康好）と Amazon Braket を使った量子コンピューティング実習（AWS 宇都宮聖子、針原佳貴、田原慎也）を対面＋ウェビナーのハイブリット形式で実施した。

Amazon Braket ハンズオンで紹介したコンテンツは以下ページを参照。

<https://gist.github.com/hariby/7717833f338cbd474acac7cca3183c12>

2 日目は Quantinuum 量子 SDK tket を用いた量子コンピューティングの講演（Quantinuum 米澤康好、BIPROGY 株式会社 川辺治之）を対面＋ウェビナーのハイブリット形式で実施した。

Quantinuum tket ハンズオンで紹介したコンテンツは以下ページを参照。

[https://github.com/cqcjapan/Kyushu\\_IMI](https://github.com/cqcjapan/Kyushu_IMI)

3 日目は Amazon SageMaker Studio を利用した tket の量子プログラミング演習（Quantinuum 米澤康好）を対面形式で実施した。

### b.成果

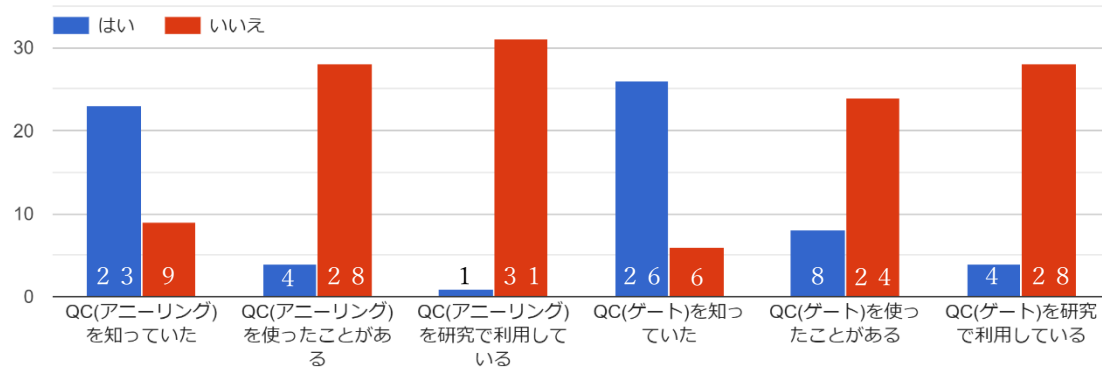
参加登録者数は 69 名。各日の講演後に行ったアンケートに 1 日目 32 名、2 日目 26 名、3 日目 9 名からの回答があった。

参加者の内訳は以下の通り。

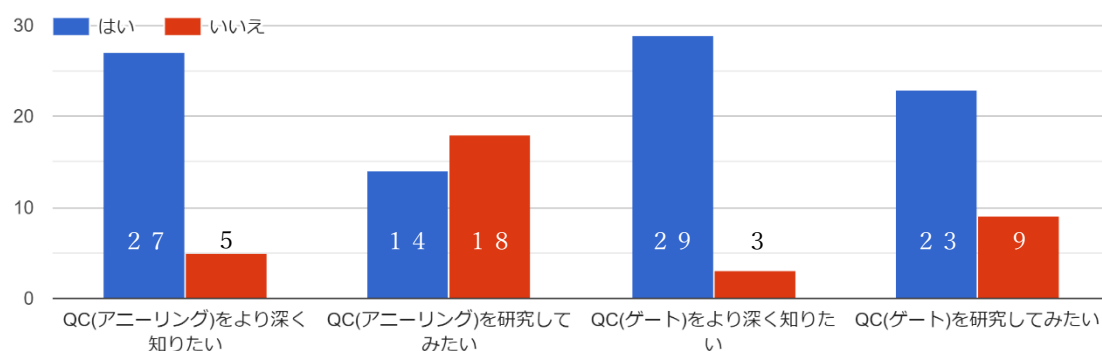
	教員	学生	非アカデミック
1 日目	16 名 (50%)	6 名 (18.8%)	10 名 (31.2%)
2 日目	8 名 (30.7%)	8 名 (30.7%)	10 名 (38.6%)
3 日目	4 名 (44.4%)	4 名 (44.4%)	1 名 (11.2%)

この内、数学の分野から、1 日目教員 9 名、学生 6 名、2 日目教員 5 名、学生 6 名、3 日目教員 2 名、学生 4 名の参加があった。これまでは、量子情報の研究者や学生への量子コンピュータのアウトリーチがほとんどであったが、今回の機会では数学の研究者や学生へアウトリーチを実施できた。

以下は、受講者（1日目）の受講前の量子コンピュータに対するアンケート結果である。



以下は、受講者（1日目）の受講後の量子コンピュータに対するアンケート結果である。



量子コンピュータについて知ってはいるものの、利用したことのない方に多く参加いただいた。初日講義の受講後には量子コンピュータをより深く知りたい、研究をしてみたいという動機を与えることができたと考えている。

2日目、3日目の受講後に実施したアンケート結果からも同様に、多くの受講者の方に量子コンピュータに取り組みたいという動機を与えることができたことと考えている。

### c.今後の計画

今回実施した量子人材育成では、用意した量子コンピュータの内容について多くの受講者に理解いただけたと考えているが、改善すべき点もいくつかあった。受講後のアンケート結果も参考にし、今後も継続的に量子人材育成に取り組んでいく。

# 量子コンピューティングにおける数学的課題の探索と量子人材育成

## プログラム

---

### 【1日目】8月24日(水) 対面+Zoom

---

内容: 量子コンピュータ概要、クラウド量子コンピューティング

10:30-12:00

講演者: 米澤康好 (Quantinuum K.K.)

講演タイトル: 量子コンピュータ概要

13:00-

講演者: 宇都宮聖子 針原佳貴 田原慎也 (アマゾン ウェブ サービス ジャパン)

講演タイトル: Amazon Braket を使った量子コンピューティング実習

45分座学、2時間ハンズオン

– 座学: Amazon Braket について

– ハンズオンコンテンツ: Amazon Braket 演習 (量子回路の基本、Grover アルゴリズム、D-Wave、量子古典ハイブリッド計算)

### 【2日目】8月25日(木) 対面+Zoom

---

内容: tket を用いた量子コンピューティング

10:00-10:50

講演者: 川辺治之 (BIPROGY 株式会社)、米澤康好 (Quantinuum K.K.)

講演タイトル: 量子コンピューティング1

11:00-12:00

講演者: 川辺治之 (BIPROGY 株式会社)、米澤康好 (Quantinuum K.K.)

講演タイトル: 量子コンピューティング2

13:30-14:30

講演者: 川辺治之 (BIPROGY 株式会社)、米澤康好 (Quantinuum K.K.)

講演タイトル: tket を用いた量子コンピューティング1

– tket を用いて量子回路を構成する: 基本編

14:40-15:40

講演者: 川辺治之 (BIPROGY 株式会社)、米澤康好 (Quantinuum K.K.)

講演タイトル: tket を用いた量子コンピューティング 2

– tket を用いて量子回路を構成する: 発展編

16:00-17:00

講演者: 川辺治之 (BIPROGY 株式会社)、米澤康好 (Quantinuum K.K.)

講演タイトル: tket を用いた量子コンピューティング 3

– tket の機能: Language-agnostic、回路最適化、Retargetability

17:10-18:10

講演者: 川辺治之 (BIPROGY 株式会社)、米澤康好 (Quantinuum K.K.)

講演タイトル: tket を用いた量子コンピューティング 4

– 量子アルゴリズム

### 【3日目】8月26日(金) 対面のみ

---

10:00-11:00

講演者: 米澤 康好 (Quantinuum K.K.)

講演タイトル: 演習内容の説明

11:00-12:00

実施内容: tket を用いた量子コンピューティング演習

13:30-16:30

実施内容: tket を用いた量子コンピューティング演習

16:30-18:00

実施内容: 結果の考察、クロージング