

# SIP 第3期量子技術課題「教育プログラムの開発と実践」

## 教育コースプログラム「量子技術入門コース」

### ビジネスに活かす量子技術

かつてはファンタジーや高度な研究室の中だけの存在であった量子技術は今や、金融から医薬品まで様々な産業に革命的な変化をもたらそうとしている。量子技術は、現在では考えられないような物流の効率化を可能にし、革新的な設計を助け、既存の暗号を破り、一方で証明可能なデータセキュリティを可能とする。これらのすべては、この10年の間に起こるかもしれないのだ。このコースでは、量子コンピューターや量子センシング、量子通信の持つパワーを理解し、具体的なアプリケーションを通して学ぶことで、ビジネスでイノベーションの最前線に活躍するための量子技術の基礎を身につけることを目指す。量子技術という重要な新しい分野についての戦略的な意思決定を行う上での知識基盤を得ることができ、また、真の発展とハイプからくる単なる可能性とを選別することができるようになる。

#### 第1講:量子が今までのビジネスとは全く違うものである理由 (6/4, 6/18)

この講義では、量子の世界の基礎的な法則を紹介し、そこで観察されるこれまでとは異なる事象、しばしば人間の直感と反するような事象の例を挙げる。受講者は、なぜ量子が今までのものと異なるのか、何が新しいのかを理解し、また、現在現実になりつつある量子技術がどのように量子的振舞いから構築できるのかへの理解の第一歩を踏み出すことを目指す。

講義で扱う内容:

- 量子メカニクスの反直感的な側面
  - 不確定性原理
  - 重ね合わせ
  - 量子もつれ
- 基本的な概念
  - 離散化と量子化
  - なぜ量子はベクトルで表すのか
  - 量子の操作
  - 確率と期待値
  - 測定
- 量子情報への最初の活用
  - 量子ビットとの出会い
  - 古典ビットと量子ビットの比較

講義を通して理解できること

- 「量子」とは何を意味するか。「古典」とは何が異なるのか。
- 重ね合わせ、量子もつれとは何か。
- 量子力学はどのような技術に有用になりうるのか。なぜ量子デバイスを作るのは難しいのか。(量子技術開発のタイムスケールについての理解)
- 量子技術とは何か。なぜ注目すべき技術なのか。(量子技術の社会的・産業的インパクトへの理解)

## 第2講: 量子を用いた高性能センシング技術 (7/2, 7/16)

この講義では、量子センシングが可能にする高精度な計測技術を支える基本的な考え方や概念を紹介する。様々な技術的アプローチの最先端について、およびそれらが近い将来に様々な分野でどのように活用できるかを議論する。

講義で扱う内容:

- 量子センシング技術の成熟度
  - 限界を超える技術としての量子センシング
  - 量子技術が生み出すセンシング
- 量子センシングが適用できる場面の例
  - 新薬開発のための物質解析
  - 製造場面における適切な品質管理
  - 安全な金融取引における極めて正確な時間管理
  - 強化された GPS による優れた場所特定とナビゲーションの精度
- 量子の特性を用いて磁場や重力、その他のものを感知する方法
- 量子測定技術の例
  - 原子時計
  - 干渉計
  - 磁力計
- 最先端の状況および課題と限界
  - 現段階で存在するデバイス (研究所内研究レベルと社会実装レベル)
  - 結晶格子中の欠陥に基づくデバイス、超伝導デバイスなど
  - 技術的な障壁
  - 時間的な課題

講義を通して理解できること

- なぜ従来のセンシング技術には根本的な限界があるのか
- 量子はどのようにしてその限界を破るのか、また量子センシングにも限界はあるのか
- どのような技術が存在し、どのような場面で用いられるようになるか
- いつ実用化されると考えられるか (2030年までの実装を目指す技術と本質的なブレークスルーを必要とする長期的な技術)

## 第3講: 量子による通信と暗号の安全性 (7/30, 8/20)

この講義では、量子通信の Protokol を紹介し、量子通信には暗号的な性質がすでに備わっていることについて説明する。また、技術的な実現に向けて最先端の状況についても紹介する。量子通信は量子センシングと同様に、確立した技術となり社会実装が進んでいる分野と、基礎科学からの長期的な研究を必要とする分野がある。本講義では、それぞれの通信アプリケーションが必要とする技術を整理し、これらの研究開発のタイムスケールを解説する。

講義で扱う内容:

- なぜ量子通信は必要なのか
  - 現在の通信手段の限界がもたらすサイバーセキュリティの脆弱性
  - 従来の暗号化技術の概要
  - 量子暗号化技術による安全なデータ通信
  - 金融、健康管理、重要インフラ、物流への活用

- 基本的な概念
  - 重ね合わせと量子もつれ
  - 量子鍵配送 (QKD)
  - BB84 や E91 等の QKD プロトコルの例
  - 量子中継器
- 最先端の状況と課題、限界
  - 量子衛星や光ファイバーネットワーク
  - 量子鍵配送の標準化
  - 技術的な障壁、転送レート、コスト面
  - 社会実装へのタイムライン

講義を通して理解できること

- 量子通信はなぜ絶対的な安全性を備えていると言われるのか
- 量子ネットワークや量子中継器の研究はどこまで進んでいるのか
- どのような可能性や課題が存在するか
- 量子インターネットとはどのような概念か

#### 第 4 講: 量子コンピューターを現実の問題で用いる (9/3, 9/17)

この講義ではまず、量子コンピューターを効率的に用いる方法を学ぶ。量子コンピューターを効率的に使うには、量子優位性を発揮するような量子アルゴリズムが必要となるので、基本的な量子アルゴリズムについて紹介する。現在の量子プロセッサに特有な性質について、量子情報処理の観点から議論する。講義では、プロセッサプロセッサに内在するノイズを克服する方法についても紹介する。

講義で扱う内容:

- 従来のアルゴリズム vs 量子アルゴリズム
  - 量子アルゴリズムにおける量子優位性
  - 従来のアルゴリズムと量子アルゴリズムの比較 (グローバーのアルゴリズムやショアのアルゴリズム)
  - 様々な量子アルゴリズムの紹介
- 現在の量子プロセッサを用いる
  - 量子プロセッサに内在するノイズと限られた量子ビット数
  - 現在の能力と限界
  - 量子プロセッサ上でのアプリケーション開発の現状
  - 量子プロセッサのノイズハンドリング
- 量子アルゴリズムへの異なるアプローチ
  - 量子アナログ処理
  - 量子機械学習
  - 新しいアプローチの将来展望

講義を通して理解できること

- 量子アルゴリズムの可能性とは何か、従来のものとはどう違うのか
- 現在用いられている、量子機械学習を含めた NISQ プロセッサのアルゴリズムやアプリケーションは何か
- フォールトトレラント量子コンピューターが実現したら、どのような量子アルゴリズムが期待できるか

## 第5講: 量子を用いて作る最高のコンピューター (10/1, 10/15)

この講義では、量子コンピューター技術の根底にある原理を理解し、量子コンピューターが解決できる問題の種類を明らかにする。受講者は、量子コンピューターがもつ革新的性質と、量子コンピューターの開発にはどのような技術と技術の融合が必要になるのかについての理解を深める。

講義で扱う内容:

- なぜ量子コンピューターは必要なのか
  - 従来のコンピューターの限界
  - 従来のコンピューター開発が生む将来的な課題
  - 量子コンピューターがもたらさうる優位性
- 基本的な概念
  - 量子ビット、重ね合わせ、量子もつれについて
  - 情報処理としての量子ゲート
  - 条件付き量子ゲートにより開かれる新たな計算の可能性
- 量子ハードウェア
  - 現在の量子プロセッサの概要：その機能・性能と限界
  - 様々なハードウェア技術についての議論(原子、イオン、超伝導体、光子など)
  - それぞれのハードウェア技術における最先端の状況と進歩および課題
- スケールする技術としてのフォールトトレラント量子コンピューター開発
  - 現在の量子プロセッサとフォールトトレラント量子コンピューターの相違
  - フォールトトレラント量子コンピューターの技術的な構成
  - フォールトトレラント量子コンピューターの優位性と弱点

講義を通して理解できること

- 量子コンピューターは従来のものと何が異なるのか、量子コンピューターはどのように情報を処理するのか
- 現在どのような量子コンピューター技術が存在するのか
- 現在の量子プロセッサの能力をどのように評価するのか
- これからの量子コンピューター開発でどこに注視していけばいいのか

全ての講義で、さらなる学習のための論文、オンライン講座、文献等が紹介される。

--

沖縄科学技術大学院大学 OIST 量子技術センター

※コースの内容は予告なく変更される場合があります。