

☆材料開発、創薬、物流、金融... 自社のどこに量子技術を導入し、活用するか!!
☆実用化のカギを握る誤り訂正・エラー補正技術とは!

新刊書籍
2023年1月発行

量子技術の実用化と 研究開発業務への導入方法

量子コンピュータ/量子アニーリング/量子センシング/量子シミュレーション/量子暗号通信

●発行日: 2023年1月31日 ●体裁: A4判 484頁 ●定価: 88,000円(税込) ●ISBN: 978-4-86104-915-6
※大学、公的機関、医療機関の方には割引価格(アカデミック価格)で販売いたします。詳しくはお問い合わせください。



著者コメント

★基礎的な理解から社会実装まで網羅されたこの書籍は、
量子技術のビジネス化という冒険に向けた確かな羅針盤である

住友商事株式会社 植田 徹史 氏

★学会や研究会だけではわからない、多くの研究開発現場の進捗や成果を
まとめた、現在の日本の量子コンピューティング研究のスナップショット

株式会社デンソー 門脇 正史 氏

★すべてのビジネスパーソンが、ここから生まれる
進化を理解しなければ、未来を掴むことは不可能だ

株式会社グルーヴノーツ 代表取締役社長 最首 英裕 氏

執筆者(敬称略)

北陸先端科学技術大学院大学 大阪大学 北海道大学 内閣府 (株)日本総合研究所 東京理科大学 (国研)情報通信研究機構 (国研)科学技術振興機構 (国研)量子科学技術研究開発機構 (株)メルカリ 横浜国立大学 国際基督教大学 VentureClef, LLC 電気通信大学 慶應義塾大学 ソニーグループ(株) (株)豊田中央研究所 東京大学 東京大学 日本電信電話(株) 立命館大学	前園 涼 藤原 彰夫 小林 正人 増田 幸一郎 間瀬 英之 吉原文樹 世永 公輝 佐藤 隆博 赤木 浩 永山 翔太 小坂 実男 山崎 隆舟 宮本 和明 西野 哲朗 上西 慧理子 手塚 由之 佐藤 勇気 ロドリゴ・マルティン 山内 薫 秋笛 清石 山下 茂	東北大学 東北大学 電気通信大学 blueqat(株) (株)グリッド (株)グリッド 日本電気(株) (株)デンソー (株)Quemix 東京工業大学 慶應義塾大学 大阪公立大学 東京工業大学 (株)Quemix (株)Quemix 三井化学(株) 三菱ケミカル(株) 三菱ケミカル(株) 九州大学 九州大学 九州大学 九州大学	押山 広樹 大関 真之 曾我部 東馬 湊 雄一郎 斯波 廣大 曾我部 完 五十嵐 悠一 入江 広隆 若田 潤一 小寺 哲夫 佐藤 貴彦 杉崎 研司 松下 雄一郎 小杉 太一 西 敏史 向田 志保 高 紀 榊 伸弘也 藤澤 克樹 光武 亨 小江 一茶 秦 希望	(株)デンソー 住友商事(株) (株)日本総合研究所 (株)日本総合研究所 (株)三菱UFJフィナンシャル・グループ みずほリサーチ&テクノロジーズ(株) 三井住友信託銀行(株) (株)グルーヴノーツ (株)グルーヴノーツ GMOメイクショップ(株) 慶應義塾大学 慶應義塾大学 三菱電機(株) 早稲田大学 早稲田大学 北陸先端科学技術大学院大学 北陸先端科学技術大学院大学 北陸先端科学技術大学院大学 北陸先端科学技術大学院大学 富士通(株) (株)日立製作所	門脇 正史 植田 徹史 身野 良寛 渡邊 一生 田中 智樹 大塩 耕平 光田 尚生 最首 英裕 田中 孝 畔上 文昭 田中 宗 関 優也 跡部 悠太 白井 達彦 戸川 望 本郷 研太 中野 晃佑 GI Prayogo 市場 友宏 内村 慶夫 寶 秀幸 杉田 悠介	(株)KDDI総合研究所 (株)KDDI総合研究所 慶應義塾大学 (株)Fixstars Amplify (株)情報通信総合研究所 東北大学 大阪大学 自然科学研究機構 分子科学研究所 田中 孝 近畿大学 日本電信電話(株) (国研)量子科学技術研究開発機構 京都大学 電気通信大学 香川大学 岡山大学 岡山大学 デロイトトーマツコンサルティング(同) デロイトトーマツコンサルティング(同) デロイトトーマツコンサルティング(同) (国研)情報通信研究機構 九州大学	齊藤 和広 伊神 皓生 川口 英明 平岡 卓爾 前川 純一 枝松 圭一 中島 秀太 富田 隆文 段下 一平 齊藤 志郎 五十嵐 龍治 白川 昌宏 中川 賢一 小野 貴史 押味 佳裕 藤原 正澄 森 正弥 寺園 知広 上谷 学 横山 輝明 廣川 真男
---	---	--	--	---	--	---	--

第1章 量子技術・コンピュータに入る前に

★量子情報・量子技術で道標となる考え方、コンセプト!

- 第1節 量子力学に関する事項
1. 量子力学的重ね合わせ状態
2. スピンと相対論的電子論
3. 場の変換とスピン
- 第2節 量子情報技術に必要な数学の基礎知識
1. 状態と測定
2. 測定系のNaimark 拡張
3. 部分系へのモデルの還元
- 第3節 量子化学計算の基礎: 量子コンピューティングを念頭に
1. 量子化学計算のハミルトニアン
2. Hartree-Fock (HF)法
3. 電子相関と第二量子化、post Hartree-Fock (HF)法

第2章 様々な量子技術の研究開発の現状と今後の動向

★国内外で加熱する量子技術の研究開発! その現在地と今後の展望に迫る!

- 第1節 日本政府における量子技術政策の取組
1. 量子技術イノベーション戦略
2. 量子未来社会ビジョン
- 第2節 量子コンピュータの研究開発動向と展望, 導入に向けて

1. 量子コンピュータの概説と研究開発の動向
2. 展望と導入に向けたアプローチ
- 第3節 超伝導量子コンピュータの概要
- トレードオフ関係という切り口から -
1. 超伝導量子コンピュータの概要
2. 超伝導量子コンピュータにおける様々なトレードオフ
- 第4節 量子アニーリングの現状と
将来に向けて私たちができること
1. 量子アニーリングマシンの概要
2. 量子アニーリングマシンの開発状況
3. 量子アニーリングマシンを使ってできるようになったこと
4. 今後私たちがすべきこと
- 第5節 量子計測・センシングの研究開発の現状と今後の展望
1. 研究開発の現状と今後の展望
2. 研究開発プロジェクトの動向
- 第6節 量子インターネットの基礎と今後の可能性
1. 量子インターネットとは
2. 量子インターネットのアプリケーション
3. 量子インターネットの基本的な仕組み
4. 今後の可能性
- 第7節 量子コンピュータネットワーク、量子中継、
量子インターネット開発の現状と今後の展望
1. 量子コンピュータ
2. 量子ネットワーク、量子中継

3. 量子インターネット
4. 量子ストレージ
5. 量子センサー
6. タイヤモンドの中の多彩な量子系
7. 量子技術ロードマップと関連国家プロジェクト
- 第8節 オプトメカニクスを用いた量子トランスデューサーの開発
1. 量子ビットの通信
2. 量子トランスデューサー
3. メカニクスを用いた量子トランスデューサー
- 第9節 米国・カナダにおける
量子コンピュータ研究開発と商用化への取り組み
1. 量子コンピュータのアーキテクチャ
2. 超電導方式
3. イオントラップ方式
4. フォトニック方式
5. 量子コンピュータ開発の展望

第3章 量子コンピュータの動作原理とアルゴリズムについて

★誤り訂正可能な大規模量子コンピュータで実装可能な量子アルゴリズム!

- 第1節 量子コンピュータの動作原理、特徴と応用分野
1. コンピュータの歴史
2. 量子コンピュータの原理

- 3.量子デジタルコンピュータ
- 4.量子アナログコンピュータ
- 5.量子デジコンの開発状況
- 6.応用分野

第2節 量子アルゴリズムの基礎と開放系における変分量子アルゴリズム

1.量子アルゴリズム

- 第3節 産業応用へ向けた量子アルゴリズムの開発動向
- 1.汎用用途向け量子アルゴリズム
- 2.変分量子アルゴリズムに基づくポアソン方程式の求解方法
- 3.Grover's algorithmの量子画像検索への応用

第4章 量子誤り訂正と量子回路の最適化

★量子コンピュータ実装のカギを握る「誤り訂正」「エラー補正」技術！！

- 第1節 量子コンピュータによる分子振動のエネルギー準位の計算とエラー抑制
- 1.量子計算の分子科学への応用
- 2.CO2の振動エネルギー準位の計算

- 第2節 量子コンピュータ実装における課題克服に向けた取り組み
- 1.量子コンピュータ実装における課題
- 2.課題克服に向けた取り組み

- 第3節 大規模量子計算向けの量子回路の最適化
- 1.量子回路設計
- 2.量子回路の最適化

第5章 量子コンピュータのAI・機械学習への応用と課題

★量子コンピュータと古典コンピュータを交互に利用する量子古典ハイブリッド計算とは！！

- 第1節 量子コンピュータの「人工知能・機械学習」への活用と課題
- 1.量子コンピュータの基礎知識
- 2.量子コンピュータによる線形代数の基礎的演算の加速
- 3.量子コンピュータによって構築される学習モデル

- 第2節 機械学習・AI分野における量子コンピュータ活用の可能性
- 1.量子機械学習の現状
- 2.学習理論の観点からみる「量子コンピュータを用いた量子機械学習の可能性」

- 第3節 量子機械学習の基礎と応用方法
- 1.量子機械学習の概要
- 2.量子古典ハイブリッド機械学習の基礎知識
- 3.量子機械学習のモデル
- 4.量子機械学習のアルゴリズム
- 5.量子機械学習の実行手順
- 6.量子機械学習の課題
- 7.今後の量子機械学習

- 第4節 実用課題の適応に向けた量子機械学習の現状と展望
- 1.応用例その1：量子動的計画法
- 2.応用例その2：量子インスパイア分類アルゴリズム
- 3.応用例その3：量子回路学習におけるVC次元と過学習

第6章 量子コンピュータ研究開発への取り組み

★誤り耐性量子コンピュータの実現、量子コンピュータ実用化に向けた取り組み！！

- 第1節 NECにおける量子アニーリングマシンの研究開発
- 1.超伝導パラメトロン
- 2.超伝導パラメトロンを用いた量子アニーリング
- 3.超伝導パラメトロンの作製と評価
- 4.多ビット化のための立体配線技術の開発

- 第2節 デンソーにおける量子古典ハイブリッドコンピューティング研究戦略
- 1.量子アニーリングの研究から見る量子コンピュータの将来？
- 2.量子古典ハイブリッドコンピューティング
- 3.デンソーにおける量子古典ハイブリッドコンピューティング

- 第3節 Quloud-RSDFTの開発と量子コンピュータへの応用
- 1.RSDFT
- 2.計算科学ソフトウェアの利用者と開発者
- 3.Quloud-RSDFT
- 4.Quloud-RSDFTの今後

- 第4節 シリコン量子コンピュータにおける研究開発への取り組みと実現に必要な周辺技術
- 1.シリコンスピン量子ビットの高忠実度化
- 2.シリコンスピン量子ビットの集積化
- 3.スピン量子ビットの更なる大規模集積化に向けたアプローチ

第7章 量子コンピュータ活用への取り組みと応用が期待される分野

★利用環境構築の仕方、運用コストとは！自社ビジネスへの導入と活用方法！！

- 第1章 量子コンピュータの産業利用に向けた取り組みと留意すべき課題
- 1.NISQの性能を引き出すためのアプローチ
- 2.ポストNISQ時代に向けて
- 3.量子人材育成と需給ギャップへの対策

- 第2節 量子コンピュータの創製・材料開発への応用と今後の展望
- 1.ゲート型量子コンピュータと量子化学計算
- 2.量子アニーリングマシンの化学応用
- 3.今後の展望

第3節 材料開発への量子コンピュータ活用と今後の展望

- 1.変分虚時間発展法
- 2.量子虚時間発展法のための効率化の近似
- 3.確率虚時間発展法を用いた材料計算の提案

第4節 材料開発に関する組合せ最適化問題の量子コンピュータ適用と事例

- 1.材料開発に関する組合せ最適化問題
- 2.材料開発に移管する組合せ最適化問題の適用事例
- 3.材料開発に関する量子コンピュータを活用した組合せ最適化問題の課題
- 4.材料開発に関する量子コンピュータを活用した組合せ最適化問題の今後の見通し

第5節 三菱ケミカルにおける量子技術・量子コンピュータ活用への取り組みと今後の展望

- 1.研究事例の紹介
- 2.今後の展望

第6節 数理学分野から見た量子コンピューティングへの期待と今後の課題

- 1.量子半正定値計画問題
- 2.量子近似最適化アルゴリズム
- 3.量子サポートベクターマシン
- 4.量子回路学習

第7節 The future style of product design (自動車産業における量子コンピューティングの活用と展望)

- 1.量子コンピューティングを活用したモノづくり
- 2.ブラックボックス最適化における量子コンピューティングの活用
- 3.次世代量子アニーリング

第8節 物流センターへの実装事例からみる、量子コンピュータによる「全体調和」の実現～Challenges for realization of enriched society by harmonizing "opposite" values～

- 1.物流業界の課題と量子技術適用の目的
- 2.物流センターの現状と可視化の取組み
- 3.量子アニーリングによる最適な人員配置の作成
- 4.社会価値向上に向けた今後の展望

第9節 金融業界における量子コンピュータ技術の活用と今後の展望

- 1.金融工学におけるシミュレーションの高速化
- 2.組合せ最適化
- 3.データ分析
- 4.機密保護

第10節 KQCC金融チームでの量子コンピュータへの取り組み

- 1.KQCCの紹介
- 2.最尤推定を用いた量子振幅推定法
- 3.ノイズのある量子コンピュータ上での量子振幅推定法
- 4.近似的振幅エンコーディング

第11節 社会課題解決への量子コンピュータ活用と今後の展望

- 1.量子コンピュータと社会の課題
- 2.課題解決のアプローチ - データ/技術の活用
- 3.グループノーツの取り組み事例
- 4.今後の展望

第8章 量子アニーリング活用の取り組みと事例

★組合せ最適化問題を高速、高精度に解く！アニーリング技術を実務で応用する方法とは！

第1節 量子ゲート方式と量子アニーリング方式の特徴

- 1.量子ゲート方式と量子アニーリング方式
- 2.量子ゲート方式の「重ね合わせ」
- 3.量子ゲート方式の「量子もつれ」
- 4.量子ゲート方式の計算イメージ
- 5.量子アニーリング方式の「トンネル効果」
- 6.量子アニーリング方式の「重ね合わせ」
- 7.量子アニーリング方式の「量子もつれ」
- 8.量子アニーリング方式の計算イメージ
- 9.ハードウェアとシミュレーター

第2節 量子アニーリング等イジングマシン分野の研究開発

- 1.組合せ最適化問題
- 2.各種イジングマシンの使用の流れ
- 3.各種イジングマシンのハードウェア開発の現状
- 4.イジングマシン向けソフトウェア開発の現状
- 5.各種イジングマシンを用いたアプリケーションの研究開発事例
- 6.各種イジングマシンの研究開発の今後の展望

第3節 Non-stoquastic 演算子による量子アニーリングの高速化～性能向上と応用の拡大～

- 1.横磁場を利用する量子アニーリング
- 2.Non-stoquastic演算子を用いた量子アニーリング
- 3.量子アニーリングの性能向上
- 4.量子アニーリングの応用拡大
- 5.量子アニーリング研究の今後の展望

第4節 部分アニーリング法

- 組合せ最適化問題を小規模問題に分割する条件とアルゴリズム
- 1.はじめに
- 2.部分アニーリング法

第5節 材料科学における量子アニーリング応用

- 1.固体中の原子拡散と量子アニーリングの概要
- 2.問題の定式化
- 3.2次元正方形格子によるQA実証例

第6節 量子インスパイアード技術「デジタルアニーラ」と材料開発応用事例

- 1.デジタルアニーラとは
- 2.デジタルアニーラ材料開発応用事例

第7節 CMOSアニーリングと応用事例

- 1.CMOSアニーリング
- 2.活用事例：高頻度取引への応用
- 3.その他の活用事例と展望

第8節 移動通信事業におけるイジングマシンの活用事例

- 1.5G/ローカル5Gにおける動的周波数割り当て

第9節 量子アニーリングによる医師配置最適化シミュレーション

- 1.医師配置最適化問題と量子アニーリング
- 2.空間統計的手法に基づいたハミルトニアン設計
- 3.実証実験

第10節 量子アニーリング・イジングマシンを活用するソフトウェア技術

- 1.組合せ最適化問題とメタヒューリスティクス
- 2.イジング模型とQUBO模型
- 3.イジングマシンの実行手順
- 4.ミドルウェアの設計
- 5.ミドルウェアの実装例：Fixstars Amplify
- 6.具体例：勤務シフトの最適化

第9章 量子暗号のユースケースと量子光源技術

★なぜ秘匿性が確保される？その根拠とは！

- 第1節 量子暗号のユースケースと量子暗号通信網構築に向けた取り組み
- 1.各国の取組み

第2節 単一光子と伝令付き光子

- 1.単一光子の発生
- 2.伝令付き光子の発生

第10章 量子シミュレーションの基礎と応用例

★量子コンピュータ実現へ存在感を増す冷却原子系！その利点を解説！！

- 第1節 冷却原子系を用いた量子シミュレーション・量子コンピュータ
- 1.量子シミュレーション
- 2.冷却原子系を用いた量子シミュレーション
- 3.冷却リユードベリ原子系を用いた量子シミュレーション・量子コンピュータ

第2節 アナログ量子シミュレーションの物性研究への応用

- 1.極希薄な超流動液滴の形成
- 2.極希薄な量子クエンチ後のダイナミクスに対する古典計算機を用いた数値計算手法の性能検証
- 3.今後の展望

第11章 量子計測・センシングの仕組みと応用例

★量子ビットの欠点は、量子センサに対する長所へ！実用的な量子計測の実現に向けて！

第1節 超伝導量子回路を用いた量子センサ

- 1.超伝導量子回路
- 2.電子スピン共鳴測定
- 3.2準位欠陥の検出

第2節 小型超高感度ダイヤモンド量子センサの開発とその応用方法

- 1.ナノ量子センサの動作原理
- 2.ナノダイヤモンドに対するNVCの形成方法
- 3.ナノ量子センサを用いた微小環境計測の実施例

第3節 量子慣性センサの原理とその応用

- 1.光バリエーション型干渉計の原理
- 2.原子重力計
- 3.可搬型原子重力計の応用
- 4.原子ジャイロ

第4節 光子を用いた量子センシング

- 1.光の位相差測定
- 2.標準量子限界を超える量子状態の生成方法

第5節 量子センサ型バイオ分析チップの開発と応用

- 1.ガラスアンテナチップの作製
- 2.ODMR動作特性評価
- 3.生体試料への応用

第12章 量子人材の育成、確保の仕方

★量子技術の発展には必要不可欠！研究とビジネスを結びつける人材の育成法！！

- 第1節 量子技術とR&Dを超えてビジネスに実装していくために 人材の観点から
- 1.量子技術の発展のために：研究とビジネスを結びつける人材
- 2.“量子技術単体”の視点からの脱却：俯瞰できる人材

第2節 NQC：NICTにおける量子ICT人材育成

- 1.NQC実施内容
- 2.これまでの成果
- 3.今後の展望

第3節 九州大学における量子コンピューティングシステム研究センターの新設と人材育成への取り組み

- 1.コンピューターアーキテクチャ
- 2.量子コンピュータとノイズ
- 3.量子人材育成

