

ハイパーネットワーク別府湾会議2023

NECが取り組む量子コンピューティング技術

2024年2月28日

NEC セキュアシステムプラットフォーム研究所

白根 昌之

目次

- ◆ 量子技術への期待
- ◆ 量子コンピューティング技術の分類
- ◆ NECの取組み
 - 超伝導技術を利用する量子ゲートおよび量子アニーリングマシン開発
 - 疑似量子アニーリングマシンを活用した事例紹介

量子技術への期待

量子技術とは？

- 量子技術は「量子の持つ特異性質や振る舞いの物理法則」を利用した技術の総称
- 「社会に劇的な変化をもたらすゲームチェンジャー」として注目されている

量子コンピューティング技術

計算単位「量子ビット」が
0でもあり1でもある
「重ね合わせ」の状態等を活用し、
超高速・超並列処理を実現

量子センシング技術

量子状態が環境変化に影響
されやすいことを逆にとり、
時間や物理量(磁気・温度等)の
微小な変化を計測

量子通信・量子暗号技術

光の最小単位「光子」が
それ以上分割できない等の
性質を利用し、
絶対安全な暗号化通信を実現

量子技術の産業化をめぐる動向

量子技術をめぐる諸外国の動向 グローバルでの産業化コンソーシアム立上げ状況

米国は既に3年前に設立、現在の運営にはスタートアップやベンチャー代表も参加



出典：Q-STAR公開資料より引用

一般社団法人量子技術による新産業創出協議会(Q-STAR)

2021年9月1日発足後、2022年5月9日一般社団法人となり、量子技術の応用を通じた中長期的な新産業を創出するために、産業及び企業の枠を超え、グローバルな視点での活動を推進中。NECは全部会へ参加し、企業の皆様とユースケースの創出に取り組んでいます。



部会活動

- 量子波動・量子確率論応用部会
- 量子重ね合わせ応用部会 リーダー企業として参加
- 最適化・組合せ問題に関する部会 副リーダー企業として参加
- 量子暗号・量子通信部会
- クオントムシティ推進部会

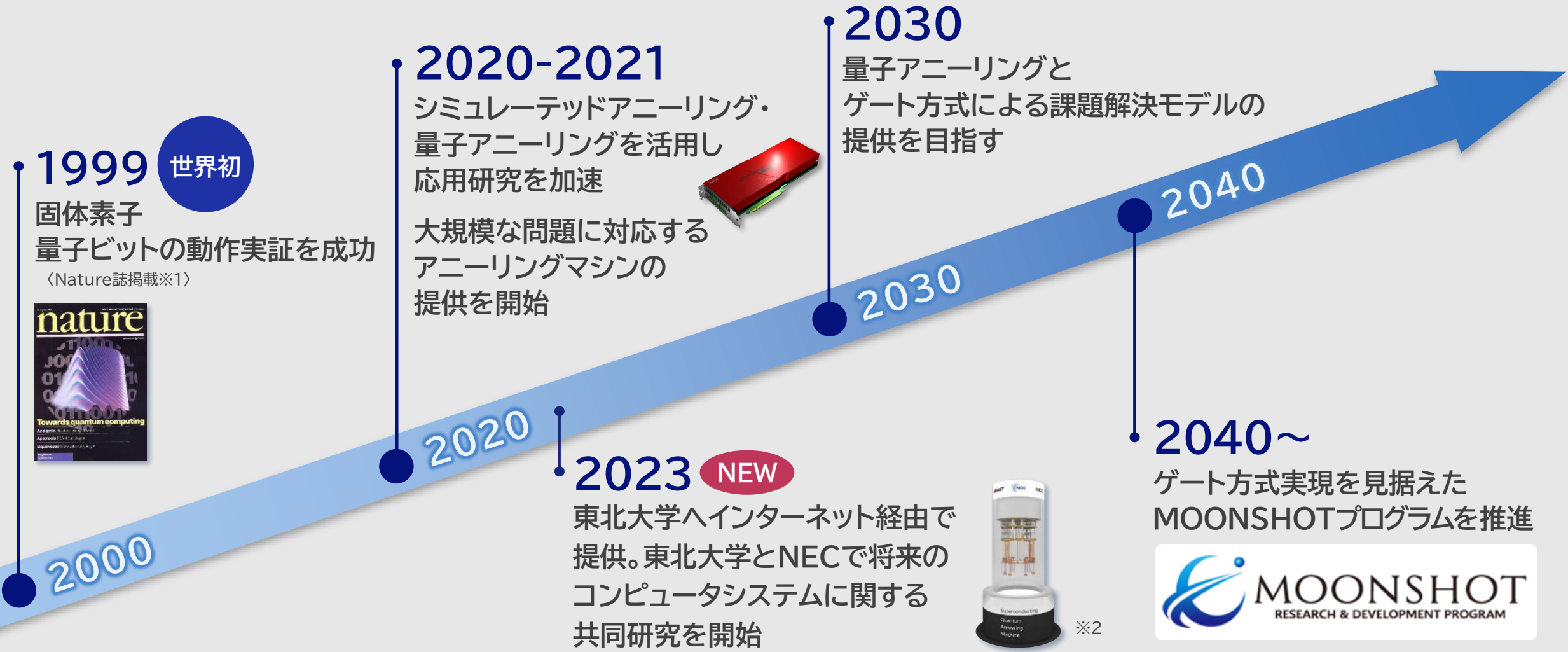
ワーキンググループ

- 政策提言ワーキンググループ
- 標準化連携/提案ワーキンググループ
- テストベッド連携ワーキンググループ リーダー企業として参加 注1
- 研究開発連携ワーキンググループ
- 海外産業連携ワーキンググループ
- 長期ロードマップ策定ワーキンググループ
- リーガル&コンプライアンスワーキンググループ
- 人材育成ワーキンググループ

※Q-STAR HPより引用

注1:富士通と共同

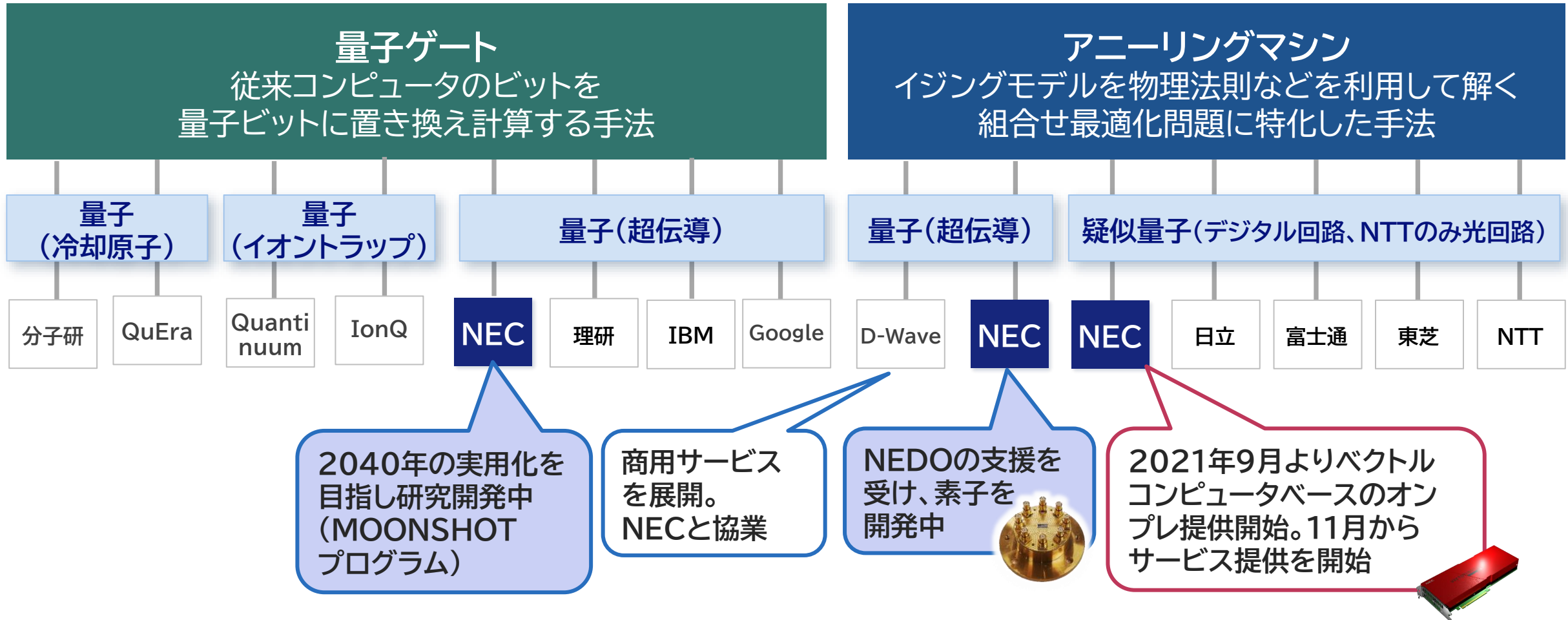
量子コンピューティングの社会実装に向けた取り組み



※1: Y. Nakamura et al., Nature 398, 786 (1999) ※2: これは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の成果を一部活用しています。

量子コンピューティングの分類

量子コンピューティング (量子の振る舞いを取り入れたものを含む広義)



※NEC調べ(紙面の都合上、必ずしも全ての研究機関を網羅しているわけではありません)

量子ゲートマシンができること



暗号解読



創薬・新素材開発



金融シミュレーション



量子機械学習

アニメーリングマシンができること

普通の計算アルゴリズムが苦手としている「組合せ最適化問題」を効率的に解く

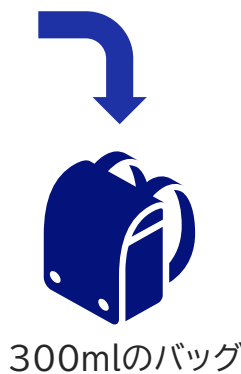
「組合せ最適化問題」とは

膨大な選択肢の組合せから、制約条件を満たし
評価関数を最小/最大化する組合せを見つけること

ナップサック問題

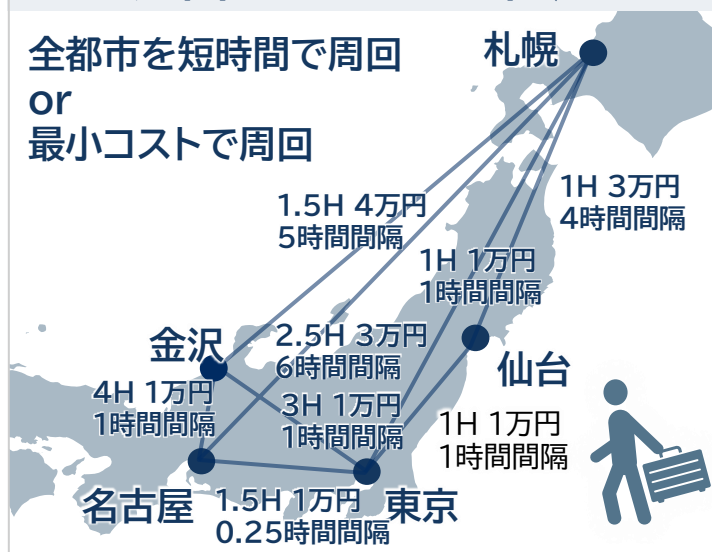
なるべく甘いお菓子を詰めるには？

①	②	③	④
甘さ 8	甘さ 10	甘さ 9	甘さ 9
110ml	150ml	120ml	120ml
⑤	⑥	⑦	⑧
甘さ 6	甘さ 7	甘さ 4	甘さ 3
100ml	90ml	40ml	30ml



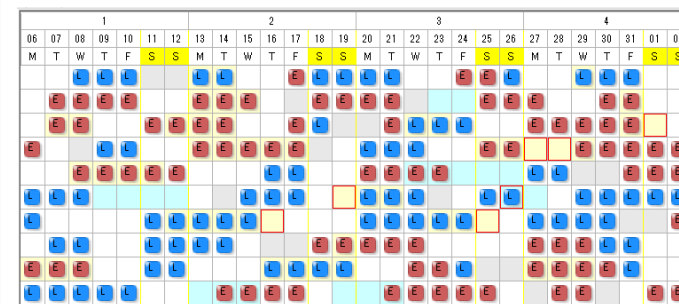
巡回セールスマン問題

全都市を短時間で周回
or
最小コストで周回



勤務シフト問題

労働条件、必要人数、勤務希望、
相性、バランス等すべての条件を
満たすパターンを求める



NECの取組み

超伝導技術を利用する
量子ゲートマシンと量子アニーリングマシン

誤り耐性型汎用量子コンピュータ

ムーンショット目標6: 2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現

2050 大規模化を達成し、誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現



2040 分散処理型NISQ量子コンピュータの実証 量子誤り訂正下での有用タスク計算

2030 一定規模のNISQ量子コンピュータの開発と量子誤り訂正の有効性実証

<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/sub6.html>



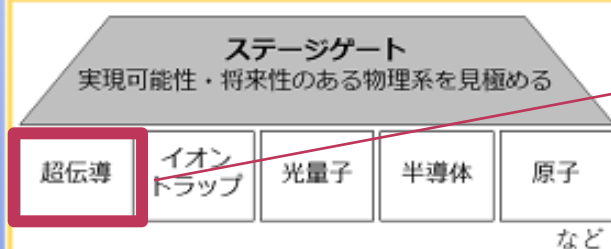
<ネットワーク>

量子メモリの開発、光子と量子メモリ間の量子インターフェイス技術の確立や量子中継器・量子通信システム・テストベッド構築など

- 光源や検出器
- 量子メモリ
- 量子インターフェイス技術
- 量子中継器
- 量子通信システム
- テストベッド構築

<ハードウェア>

量子誤り訂正システムの設計・実装、量子ビット・量子ゲート基盤の確立など



<ソフトウェア>

- 理論・ソフトウェア
- 誤り訂正システム

低オーバーヘッド量子誤り訂正符号や量子アルゴリズム、誤り訂正システムの開発など

- 量子誤り訂正理論
- ミドルウェア、コンパイラ
- アルゴリズム、アプリケーション
- 誤り訂正システム



プロジェクトマネージャ
NECセキュアシステムプラットフォーム研究所
主席研究員 山本 剛

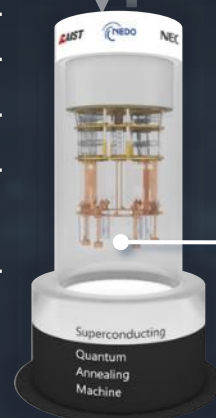
<https://ms-iscac.jp/>

【量子アニーリング】

超伝導量子アニーリングマシン実用化に向け 量子アニーリング素子の開発を牽引しています

超伝導量子アニーリングマシン（モックアップ）

外部装置 ← 制御入力 → 読出し出力 → 外部装置



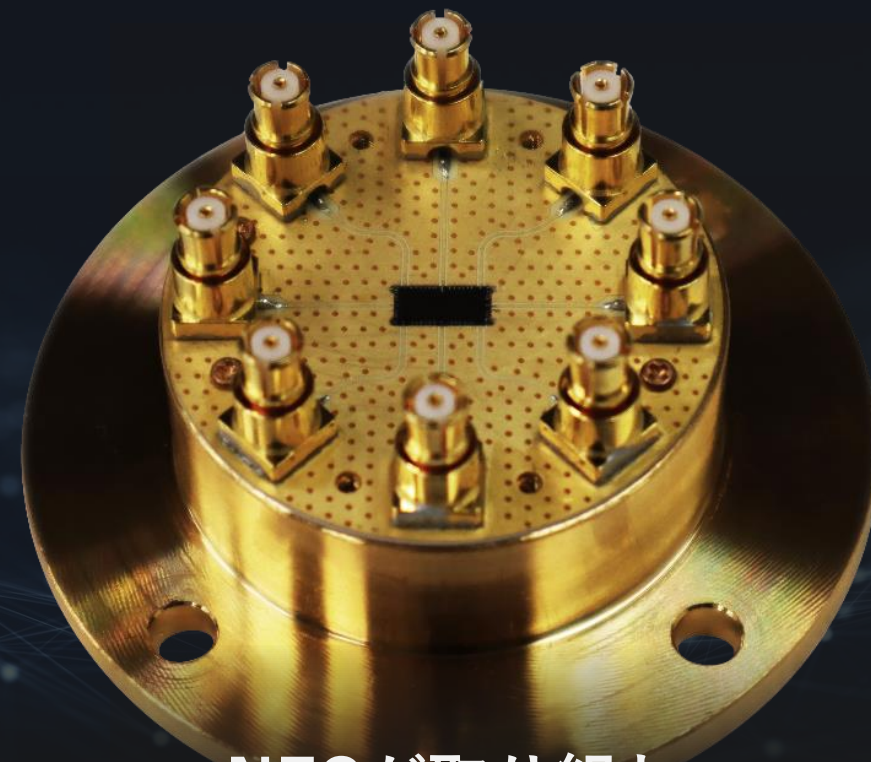
※これは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の成果を一部活用しています。

支援

参加団体

NEDO

NEC（副代表、事業化・実用化責任機関）
産業技術総合研究所（代表）
東京工業大学 / 早稲田大学 / 横浜国立大学 他



NECが取り組む
量子アニーリング素子
（マシンの心臓部）

【量子アニーリング】 直近プレスリリース

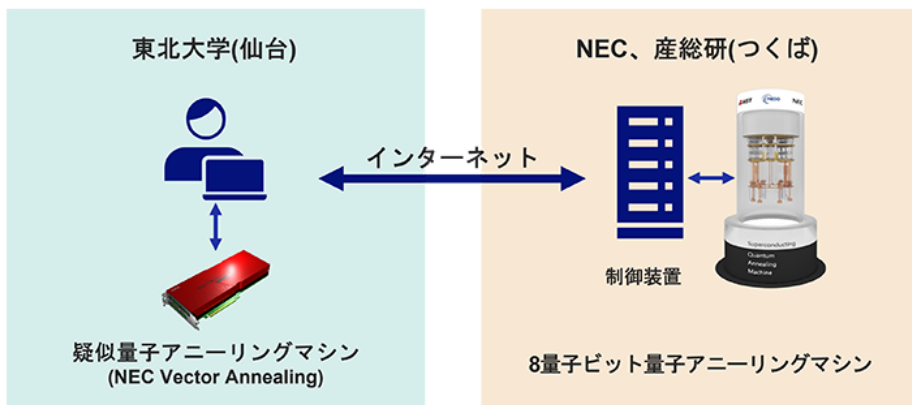
新開発の8量子ビット量子アニーリングマシンを利用して東北大学と NECが将来のコンピュータシステムに関する共同研究を開始

2023年6月28日
国立大学法人東北大学
日本電気株式会社

国立大学法人 東北大学(注1、以下 東北大学)と日本電気株式会社(注2、以下 NEC)は、NECと国立研究開発法人 産業技術総合研究所(注3、以下 産総研)が新たに開発した国産8量子ビット量子アニーリングマシンを利用し、将来のコンピュータシステムに関する共同研究を開始しました。

今回活用する8量子ビット量子アニーリングマシンは超伝導技術を利用し、ノイズに強く、量子重ね合わせ状態を長く維持したまま多量子ビット化が可能な構成を採用した新開発のマシンとなります。

なお、インターネットを介して外部利用可能な国産量子アニーリングマシンは本マシンが国内初となります。また、それを活用した共同研究も今回が初となります。



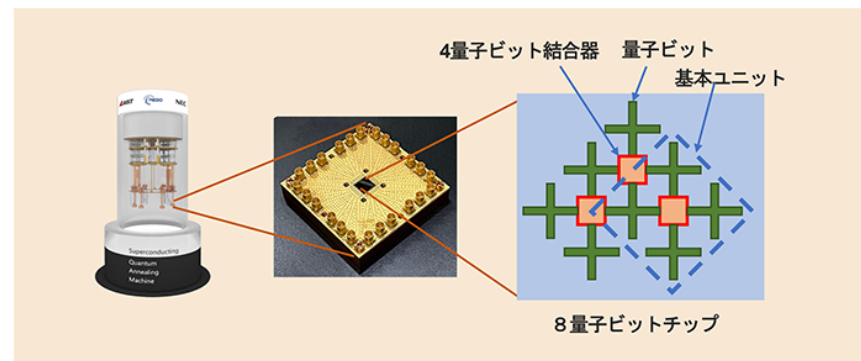
新開発の8量子ビット量子アニーリングマシンを利用した共同研究

今回活用する国産量子アニーリングマシンについて

複雑な社会課題の解決には、膨大な選択肢から最適な組合せの導出(組合せ最適化問題の解決)が重要です。この組合せ最適化問題を高速・高精度に解くため、NECは産総研と共同で超伝導パラメロン素子(注4)を用いた量子アニーリングマシンの開発を進めています(注5)。

本量子アニーリングマシンは、超伝導パラメロン素子を用いることでノイズに強く、量子重ね合わせ状態を保つ時間(コヒーレンス時間)が長いという特長を有します(注6)。一般的に、多量子ビット化するとコヒーレンス時間が短くなりますが、ノイズに強いという超伝導パラメロン素子自身の特長に加え、本素子と親和性の高い量子ビット間結合技術である「ParityQCアーキテクチャ」(注7)の採用により、多量子ビット化時でも長いコヒーレンス時間を保持可能です。その結果、実社会における組合せ最適化問題を高速・高精度に演算することができるようになります。

これら2つの技術に関しては、すでに2022年3月には4量子ビットからなる基本ユニットの動作実証に成功しており(注8)、さらに今回、基本ユニットを並べることで8量子ビットからなる量子アニーリングマシンの開発に成功しました。



長コヒーレンス時間タイプの基本ユニットをベースに新開発した8量子ビットチップ

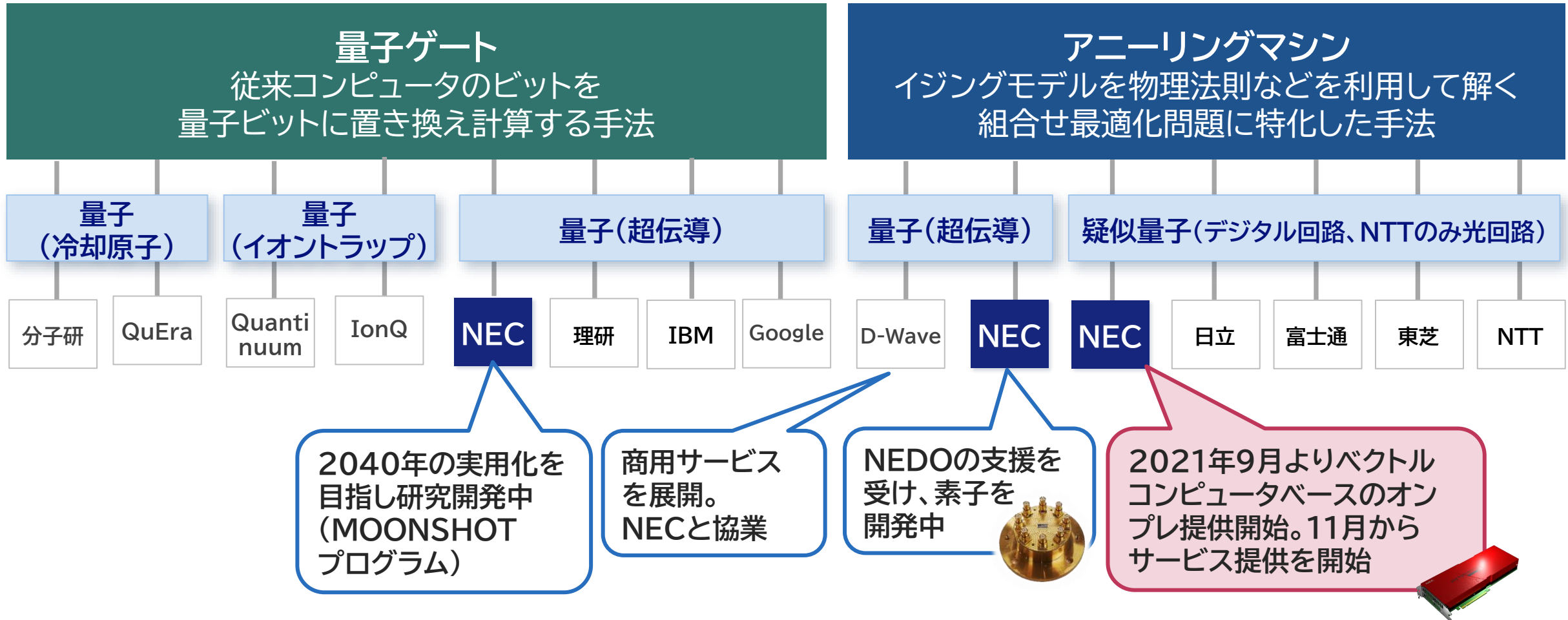
https://jpn.nec.com/press/202306/20230628_01.html

NECの取組み

疑似量子アニーリングマシンを活用した事例

量子コンピューティングの分類

量子コンピューティング (量子の振る舞いを取り入れたものを含む広義)



身近なところで始まっている取り組み



広告/公共/インフラ

通信基地局制御

監視センサー制御



製造

生産計画



交通/物流

配送計画

積荷配置



金融

カード不正検知

モンテカルロ・シミュレーション



素材開発/創薬

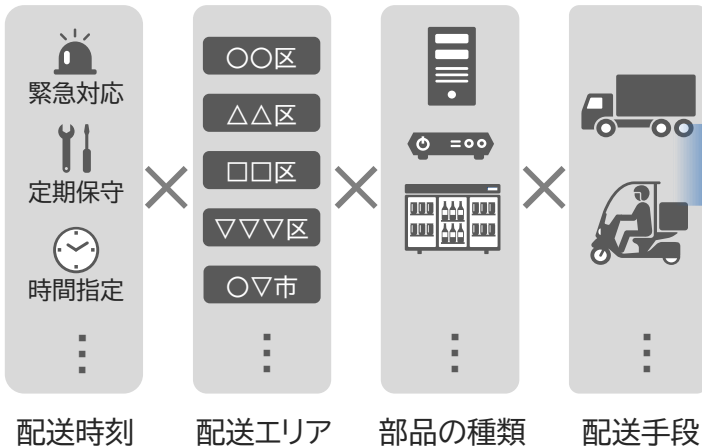
実験パラメータ探索

保守部品の配送効率最適化の取り組み

NECフィールドディング

配送時刻やエリア、手段など膨大な組み合わせから、最適な配送計画を自動で立案

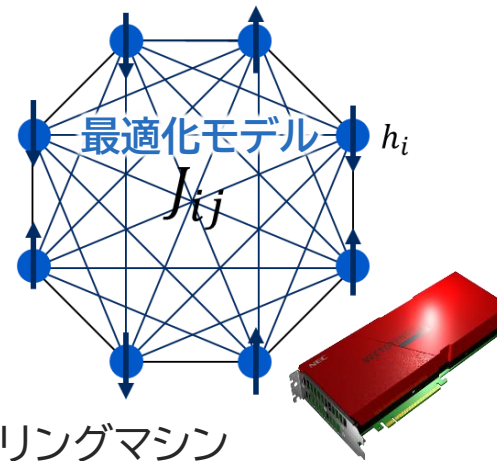
背景・課題



首都圏の保守作業は一日に数百件

効率的な配送計画を
立案可能な人材が限定的

量子アニーリング



10⁷⁵³通りの
膨大な組合せを解決

最適な配送計画を自動で立案

配送効率を
約 **20%向上**



CO₂削減や配送計画立案の
属人化解消

生産計画最適化の取り組み

NECプラットフォームズ

複雑な生産計画立案の自動化に成功

生産条件

- 部品
- 設備設定
- 納期
- さまざまな制約条件
- 1ラインで1日

30品種の生産計画

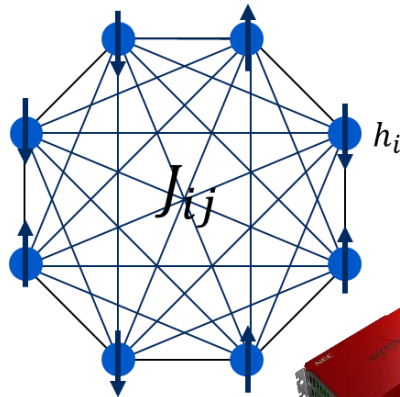
多品種少量生産

組合せ多数

属人化

入力

量子アニーリング

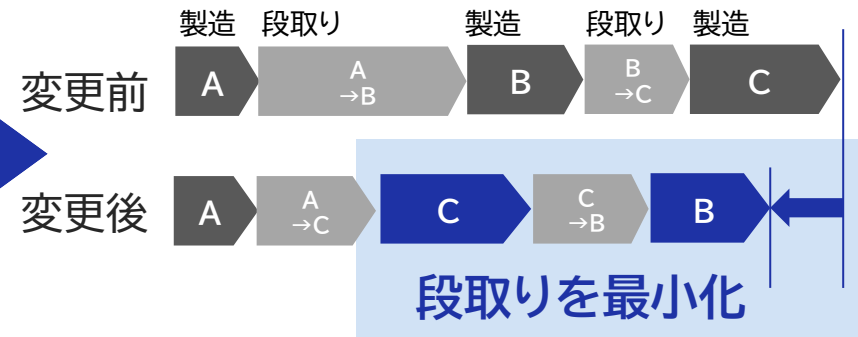


出力

アニーリングマシン
NEC Vector Annealingサービス

4×10^{30} 通りの
膨大な組合せを解決

生産順をナビ



段取り工数 50%削減

設備稼働率 15%向上

立案工数 90%削減

2023年3月より本格導入

\ Orchestrating a brighter world

NEC