量子コンピューティング ユースケース集

倉庫での人とロボットの協調ピッキング計画最適化

大日本印刷（DNP）



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）

大日本印刷（DNP）：倉庫での人とロボットの協調ピッキング計画最適化【2026/7】 1／3

検証

産業領域	交通
手段	陸運
手法	組合せ最適化
技術分類	イジング*

取組の背景

- **EC需要の急増と深刻な人員不足：**

  ECサイトの急激な普及に伴ってBtoCの小口配送が急増しており、これに対応する**物流倉庫内における人員不足が深刻化**している。**ピッキング作業は商品探索・歩行負荷が大きく、効率化ニーズが高い**

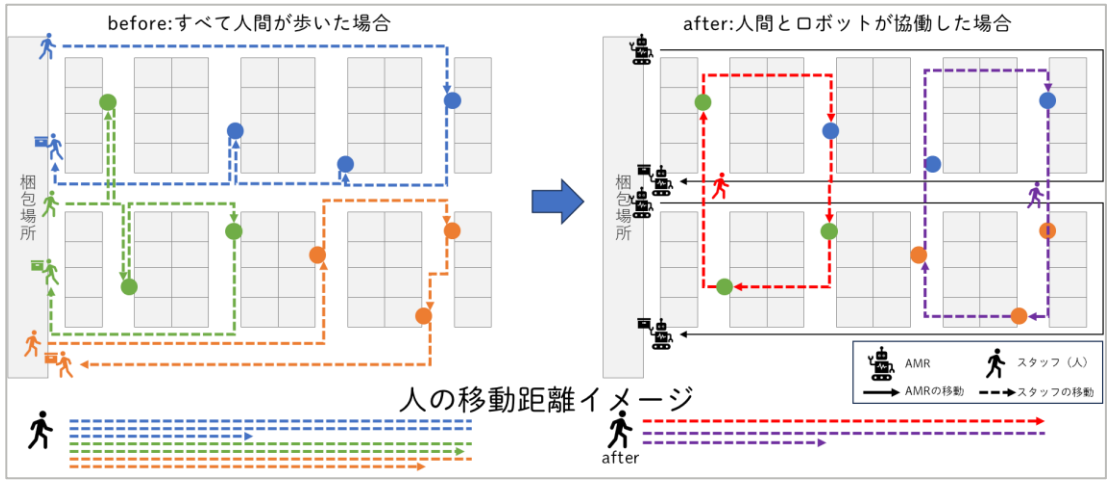
- **中小倉庫における省人化ニーズ：**

  設備投資負担の大きい完全自動化倉庫の導入は多くの中小物流倉庫では困難であり、人手ピッキングの一部を自律走行搬送ロボット（AMR）に置き換える、現実的な省人化・効率化アプローチが模索されている

- **時々刻々と変化する現場環境：**

  作業者・複数ロボット・障害物が同一空間を移動するため、**位置や稼働状況を把握しながら衝突や渋滞、すれ違いロスを抑える経路計画が必要**

ロボットとの協調作業により人の作業負荷を軽減



解決したい課題・モチベーション

- **リアルタイムな計画策定の必要性：**

  広い倉庫内における膨大な移動経路の組合せと様々な制約条件を加味しながら、**現場の状況変化に合わせてロボットと作業員の「走行・歩行時間の総計」を最小化するピッキング計画をリアルタイムに策定すること**が求められていた

- **古典計算における「組み合わせ爆発」の壁：**

  ロボット同士や作業者のすれ違い・渋滞を最小化する定式化は複雑な2次計画問題（マルチエージェント経路計画の拡張）となるため解空間が極めて広く、**従来の古典コンピューター（MIPソルバ等）では現実的な速度（秒単位）で実用解を導出することが困難**であった

- **イジングマシンの強みの活用：**

  この計算量爆発の課題を突破し、現場で求められる「高速性」と「正確性」を両立させるため、組合せ最適化問題の高速処理に強みを持つイジングマシン（量子アニーリング・疑似量子技術）の適用を検証した

参考：国立研究開発法人 新エネルギー・産業総合開発機構 AI・ロボット部：「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」（https://www.nedo.go.jp/content/800030349.pdf）
「大日本印刷とBIPROGY 量子技術・AIを活用した物流業務効率化の本格的な研究を開始」（https://www.dnp.co.jp/news/detail/20176524_1587.html）
「Professionals in DNP # 1】最適な選択肢を10倍速で導く、DNPアニーリングソフトを生んだR&D とは」（https://www.dnp-innovationport.com/news-report/topics_20221208/）
*イジング = 主に量子アニーラやイジングモデル専用シミュレータを想定し、問題をイジングモデルで表現してから計算を行う方式。特に、膨大な選択肢の中から最適な組合せを探す問題と親和性が高い。

大日本印刷（DNP）：倉庫での人とロボットの協調ピッキング計画最適化【2026/7】 2／3

検証

産業領域	交通
手段	陸運
手法	組合せ最適化
技術分類	イジング*

量子コンピューターとしての問題設定

■ **最適化したい目的関数：**

✓ ロボット同士のすれ違いロス時間を加味した「移動時間」およびロボットの「作業者待ち時間」を最小化する

■ **主な制約条件：**

✓ **One-hot制約：** 1台のロボットが一度に選択する候補経路は必ず1つのみとする

✓ **実務上の業務・運用制約：** 倉庫内の実寸配置レイアウト、棚と位置の紐づけ、ピッキング対象の貨物属性（アイテム数や伝票情報）、作業手順の順序などを網羅的に反映する

✓ **衝突を許容したロス最小化：** 単純な衝突禁止（進入禁止）ではなく、現場の運用に即して「すれ違い時の減速・回避ロス時間」を定量化してQUBO（二次制約なし二値最適化）モデルに組み込む独自の定式化を行う

■ **入力データの種類：**

✓ 社内倉庫における実際のピッキング伝票データ（アイテム数約500、タスク数32～35）

✓ 倉庫内の配置レイアウト図（棚の実寸等）、作業者の平均移動速度、各地点でのピッキング所要時間、ロボットの運動挙動パラメータ

■ **古典手法では難しい理由：**

✓ ロボット同士のすれ違いロス時間を最小化する問題は、線形計画問題として定式化することができないため、**古典汎用ソルバを用いた手法では計算時間がかかってしまう。**リアルタイムな状況変化に応じて瞬時に結果を返す必要がある問題に適用するのは困難である

ロボット経路の最適化（候補経路から最適経路を選択：イジングマシンで求解）

求解のための変数と定数：

● **決定変数：** x_{ik}（i番目のロボットがk番目の経路を選択する場合:1、それ以外の場合:0）

● **i番目のロボットのk番目の経路に対応した時間**（衝突がない場合）：R_{ik}

● **i番目のロボットのk番目の経路とj番目のロボットのl番目の経路とのすれ違いロス時間：** $F_{ik,jl}$

目的関数：

$$H = \sum_{i=1}^{N_A}\sum_{k=1}^{U} R_{ik}x_{ik} + \sum_{i=1}^{N_A}\sum_{j=i+1}^{N_A}\sum_{k=1}^{U}\sum_{l=1}^{U} F_{ik,jl}x_{ik}x_{jl} + \delta\sum_{i=1}^{N_A}\left(\sum_{k=1}^{U} x_{ik} - 1\right)^2$$

⇨ イジングマシンにより求解

（δ：ハイパーパラメータ（正の実数値））

参考：国立研究開発法人 新エネルギー・産業総合開発機構 AI・ロボット部：「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」（https://www.nedo.go.jp/content/800030349.pdf）

*イジング = 主に量子アニーラやイジングモデル専用シミュレータを想定し、問題をイジングモデルで表現してから計算を行う方式。特に、膨大な選択肢の中から最適な組合せを探す問題と親和性が高い。

大日本印刷（DNP）：倉庫での人とロボットの協調ピッキング計画最適化【2026/7】 3／3

検証

産業領域 交通
手段 陸運
手法 組合せ最適化
技術分類 イジング*

期待されるビジネス効果

■ **定量的な効果**

✓ **目標を大幅に上回る「1秒以内」の高速計算：**

実際の現場データ（476アイテム、ロボット5台規模）を用いた最適化SDK単体テストにおいて、**当初の目標値（3秒以内）を大きく凌駕する0.329秒（作業者5名時）～0.375秒（作業者20名時）という「1秒未満」での最適経路算出を達成**した

✓ **作業者の歩行負荷・移動時間の削減：**

シミュレーターを用いた実証実験の結果、作業者のみでピッキングを行う従来運用と比較して、ロボットの導入と本最適化ソルバによる処理を加えることで、**作業者の平均移動時間および平均移動距離が大幅に短縮・軽減され、すべてのアウトプットを正常かつ安全に完遂できることを実証**した

■ **定性的な見込み**

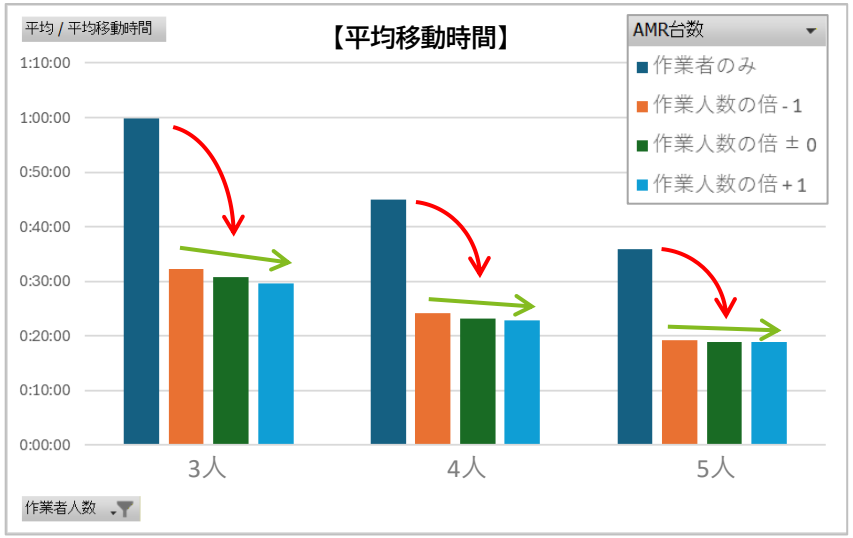
✓ **運用の妥当性と現場対応力の向上：**

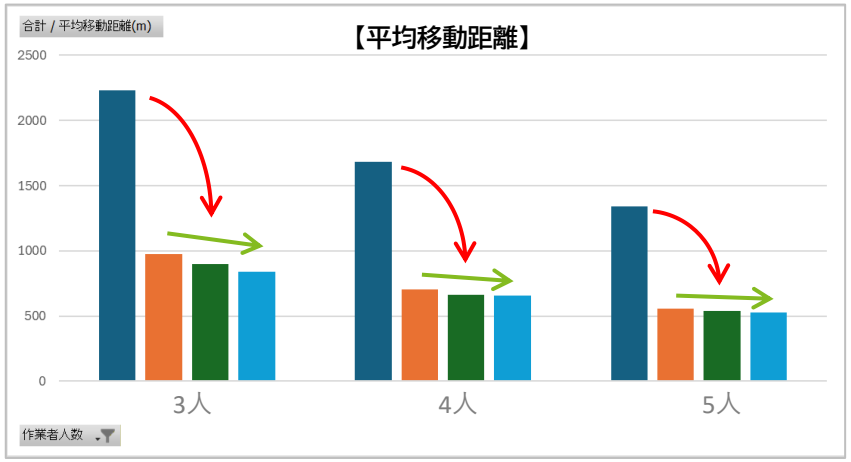
現場の状況がリアルタイムに変化し続ける実際の倉庫環境において、**突発的な案件の発生や遅延に対しても運用上問題のない実行可能解（妥当なピッキング指示）を即座に提示でき、柔軟な現場オペレーションが可能**となる

✓ **特定環境における高い導入価値：**

技術的には一定の最適化効果が確認され、人と搬送ロボットが密に交錯するような好適条件を備えた倉庫・工場に本アプリケーションを適用すれば、**高い省人化効果とコストパフォーマンスが期待**できる

ピッキング計画最適化 シミュレーション実験結果





- 同じ作業者数で比較すると、ロボットを導入し最適化処理を加えることにより、作業者の平均**移動時間**・平均**移動距離**が大幅に減っている。
- ロボット台数を増やすと、移動時間・移動距離とも減る傾向が見られる。

参考：国立研究開発法人 新エネルギー・産業総合開発機構 AI・ロボット部：「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業」（https://www.nedo.go.jp/content/800030349.pdf）

*イジング = 主に量子アニーラやイジングモデル専用シミュレータを想定し、問題をイジングモデルで表現してから計算を行う方式。特に、膨大な選択肢の中から最適な組合せを探す問題と親和性が高い。

WEBサイトにて、その他の事例も公開しています。ぜひご覧ください。
https://www.quantum-computing-use-cases.nedo.go.jp

他の事例を見る

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）
AI・ロボット部（e-mail：quantum_ai@ml.nedo.go.jp）

本ユースケース集は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）の委託業務「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業／量子技術に関するユースケース事例調査」および「ポスト５Ｇ情報通信システム基盤強化研究開発事業（量子産業化）／量子コンピュータの産業化促進に向けた包括的調査」の成果として、得られたものです。