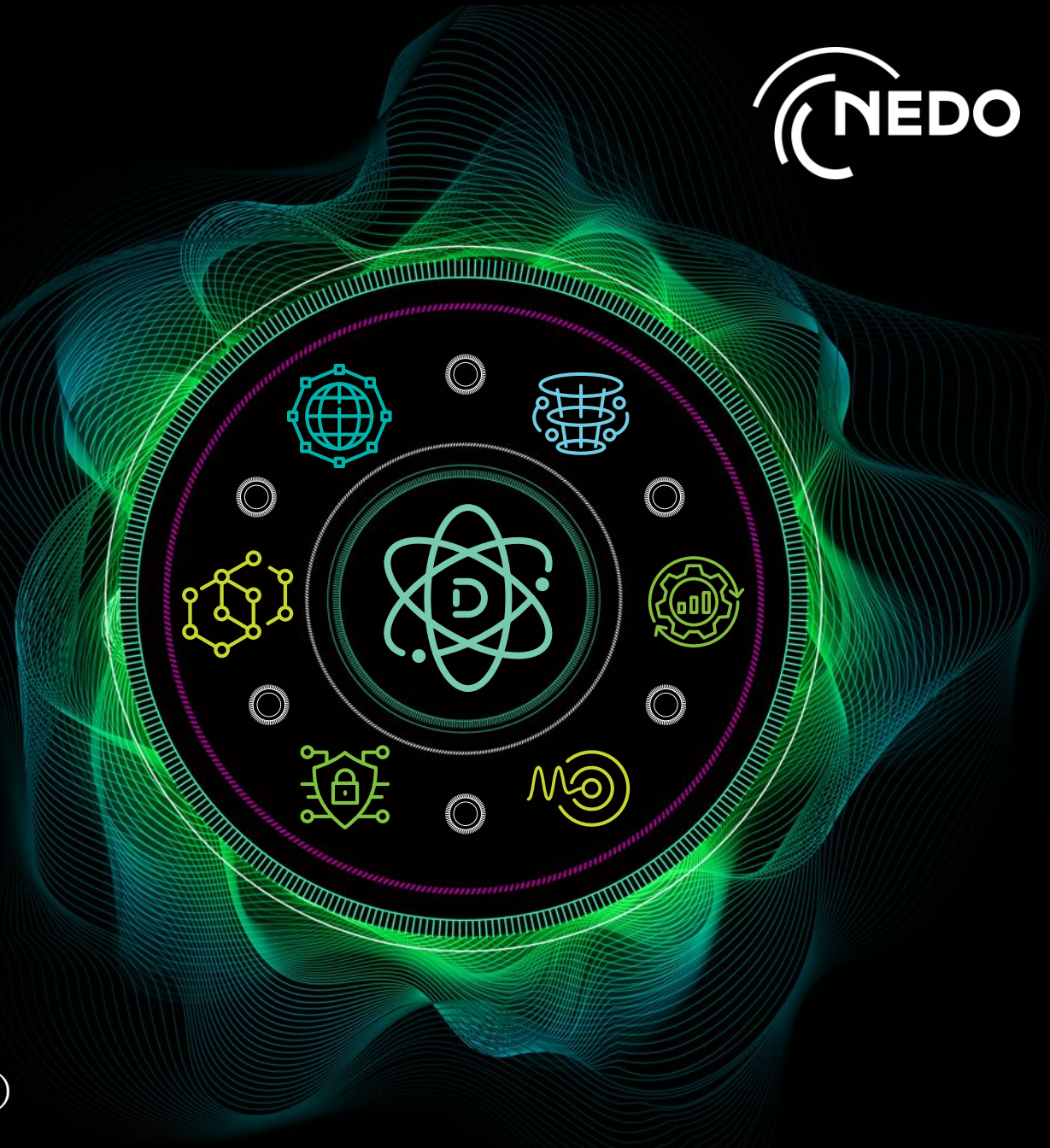
量子コンピューティング ユースケース集

工場装置レイアウト最適化

OKI



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）

OKI：工場装置レイアウト最適化 【2022/05】 1／4

検証

産業領域	製造・組立
プロセス	工程設計
手法	組み合わせ最適化
技術分類	イジング*

取組の背景

- **国内労働人口の減少に伴う製造業での人手不足が常態化している**
  - ✓ 人手不足は国内大企業・中小企業の94%以上で顕在化し、ビジネスへの影響がでている企業も32%に上る*1
- 人手不足の迅速な解消が困難な状況では、**生産性の向上により限られた人員で生産を維持する必要性が高まっている**
  - ✓ グローバル化による国際競争の激化の中、**製品の競争力強化に向けた製造コスト低減にも生産性向上が急務となる**
- **工場における生産性向上には、生産装置や組立に必要な部品を収納する棚の配置の最適化による作業員の移動距離（動線）を最短化する必要がある**
  - ✓ 棚や装置の配置が作業工程を踏まえた配置でないため、**作業員等の動線が煩雑なことが非効率な生産性の要因**

解決したい課題・モチベーション

- 多種類の装置を組み合わせて生産を行う精密機器等の工場では、**装置台数や種類が増加するにつれ組み合わせパターンは天文学的な数になり、装置の設置場所などの制約条件を加えるとスパコンを活用しても最適な配置の算出が不可能になる**
  - ✓ OKIのLED統括工場は、製造工程の異なる複数製品を、～数百台の多種類の装置を共有し装置間を作業員が移動して製造中
  - ✓ **動線短縮のための最適な装置配置には、1,076通りの組み合わせを評価する必要があり、古典コンピューターでは1,051年程必要**
- **そこで、OKIはD-waveの量子アニーラを活用し、自社工場における半導体製造装置の最適な配置の算出による動線短縮（生産性向上）の可能性を検証した**

参考：沖電気工業株式会社「量子コンピューターを用いた工場内装置レイアウト最適化」（https://www.oki.com/jp/otr/2020/n235/pdf/otr235_r13.pdf）、株式会社 PR TIMES「OKIとOKIデータ、製造現場の最適化実問題に量子コンピューターを適用」（ https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000307.000017036.html）

*1: 経済産業省:製造業における人手不足の現状、および外国人材の活用について、2018年7月12日

*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。

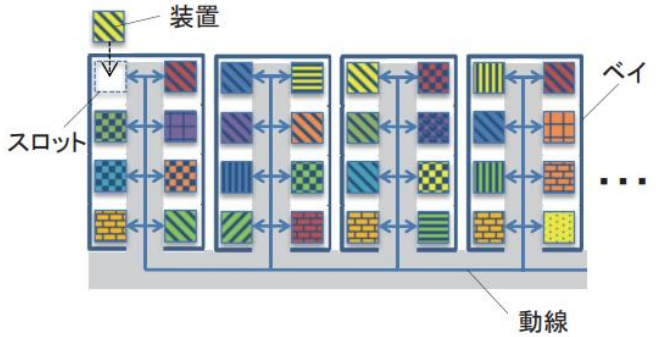
OKI：工場装置レイアウト最適化 【2022/05】 2／4

検証

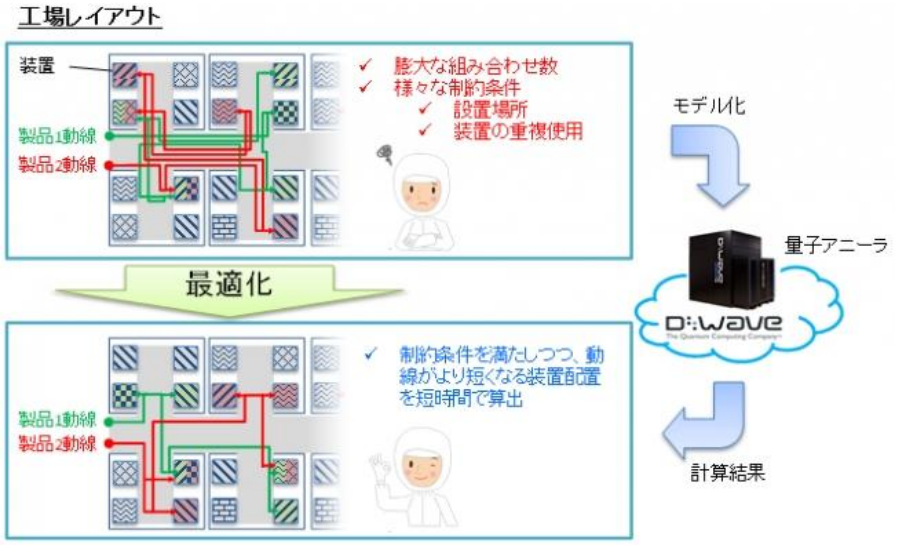
産業領域 製造・組立
プロセス 工程設計
手法 組み合わせ最適化
技術分類 イジング*

量子コンピューターとしての問題設定（1/2）

- **OKIのLED統括工場では、製造工程の異なる複数の製品を一部重複した装置を使用し製造している**
  - ✓ 製造工程は製品を作る際の工程順と使用する装置を記したもの
  - ✓ 作業員は製造工程に従い部品を加工し次工程の装置に移動し別の加工を施す、作業を全製造行程にわたり実行する
  - ✓ 工場内は加工装置がある小間（ベイ）が複数集まり形成され、ベイ間及びベイ内の装置間は通路で連結され作業員が自由に行き来する
- **装置配置を最適化し動線を最短化**する問題。**複数製品を製造する工場なので各製品の動線の平均値を評価指標**と定義
  - ✓ より多く製造する製品の動線を短縮する方が全体の動線の短縮化に貢献するため、各製品の製造数比（ロット数比）で重みづけし算出
- 動線最適化問題に**量子アニーラ**を適用するため、**QUBO (Quadratic unconstrained binary optimization)モデルで定式化する**



工場レイアウト



量子アニーラによる動線最適化（短縮化）の概要図

参考：沖電気工業株式会社「量子コンピューターを用いた工場内装置レイアウト最適化」（https://www.oki.com/jp/otr/2020/n235/pdf/otr235_r13.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。

OKI：工場装置レイアウト最適化 【2022/05】 3／4

検証

産業領域	製造・組立
プロセス	工程設計
手法	組み合わせ最適化
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（2/2）

量子コンピューターとしての問題設定（詳細）

問題設定	• 複数の製品を製造する装置配置を最適化し製品を完成するまでの動線を最短化
量子コンピューター ハードウェア	• D-waveのクラウドプラットフォームを活用（製品タイプは不明）
実装	• 以下の最適化計算を複数回解が収束するまで実行（所要時間は30分ほど）
目的関数	• 作業員の動線の距離
制約	• 1つのスロットには必ず1つの装置を配置する（右図（3）式の第2項） • 1つの装置は必ずどこか1つのスロットに配置される（右図（3）式の第3項）
変数	• 変数の数は不明 • 量子ビット間に制限があるD-Waveマシンで解決可能な論理変数を越えているため、問題を分割し繰り返し計算を実行

$$x_{s,d} = \begin{cases} 1：スロットsに装置dを配置する \\ 0：それ以外 \end{cases}$$

QUBO変数

$$E(\boldsymbol{x}) = \sum_{u,t,s',s''} x_{s',d_u[t]} \cdot x_{s'',d_u[t+1]} \cdot L(s',s'')$$

$$+\sum_{s}\left(\sum_{d} x_{s,d} - 1\right)^2 \cdot p \qquad (3)$$

$$+\sum_{d}\left(\sum_{s} x_{s,d} - 1\right)^2 \cdot p$$

動線距離を最短化するためのQUBOモデルの目的関数

■ S’、S”は其々ｔ番目、ｔ＋１番目の工程で使用する装置が配置されているスロット
■ Ｌ（S’、S”）はスロットS’、S”間の距離
■ $d_u[t]$は製品uのｔ番目の工程で使用する装置
■ pはペナルティ係数

参考：沖電気工業株式会社「量子コンピューターを用いた工場内装置レイアウト最適化」（https://www.oki.com/jp/otr/2020/n235/pdf/otr235_r13.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。

OKI：工場装置レイアウト最適化 【2022/05】 4 ／ 4

検証

産業領域	製造・組立
プロセス	工程設計
手法	組み合わせ最適化
技術分類	イジング*

期待されるビジネス効果

- 最適化前の装置配置（現状の配置）と最適化計算結果を比較し動線の短縮化の良否を評価。なお、**2製品、ロット数比3パターンの疑似的な環境下を模擬**して計算
- 装置を最適化することで**2製品ともに動線距離が短縮される**
  - ✓ ロット数の多い製品の動線をより重点的に削減するようなレイアウトを算出している
- **いずれのロット数比のパターンでも20%以上の動線短縮が実現されている**

(a) ロット数比 (製品1):(製品2)＝1:4

	最適化前	最適化後	増減率
製品 1	1,510	1,284	−15%
製品 2	2,876	2,036	−29%
平均	2,603	1,886	−28%

(b) ロット数比 (製品1):(製品2)＝1:1

	最適化前	最適化後	増減率
製品 1	1,510	961	−36%
製品 2	2,876	2,307	−20%
平均	2,193	1,634	−21%

(c) ロット数比 (製品1):(製品2)＝4:1

	最適化前	最適化後	増減率
製品 1	1,510	832	−45%
製品 2	2,876	2,484	−14%
平均	1,783	1,162	−24%

複数製品を製造する際の動線距離の最適化計算結果
（距離は規格化されているため、単位は任意）

参考：沖電気工業株式会社「量子コンピューターを用いた工場内装置レイアウト最適化」（https://www.oki.com/jp/otr/2020/n235/pdf/otr235_r13.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。