

NTT DATA



量子コンピュータの現状と今後の展望

- マツダにおける生産計画最適化問題への適用検討 -

2023年11月22日

マツダ株式会社

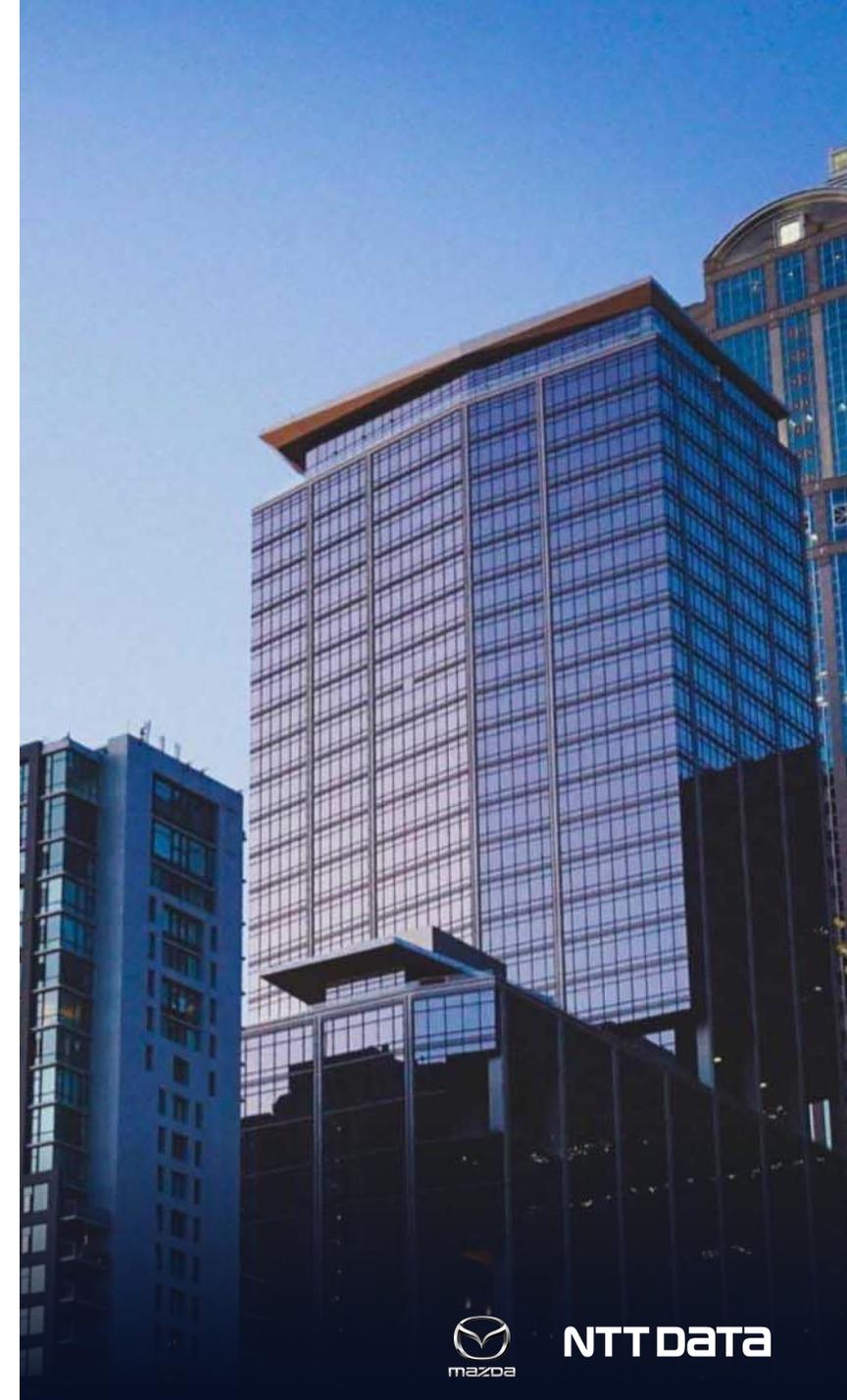
株式会社NTTデータグループ

本橋 俊輝

矢実 貴志

アジェンダ

1. 登壇企業のご紹介
 1. マツダ株式会社
 2. 株式会社NTTデータグループ
2. 量子コンピュータ概要のご紹介
 1. 量子コンピュータとは
 2. 活用が期待される領域
 3. 数理最適化との関係
3. 生産計画最適化を用いた取り組み事例
 1. 検証目的
 2. 適用業務の説明
 3. 実験条件
 4. 検証結果
4. 実験結果と今後の展望
5. QA



アジェンダ

1. 登壇企業のご紹介

1. マツダ株式会社
2. 株式会社NTTデータグループ

2. 量子コンピュータ概要のご紹介

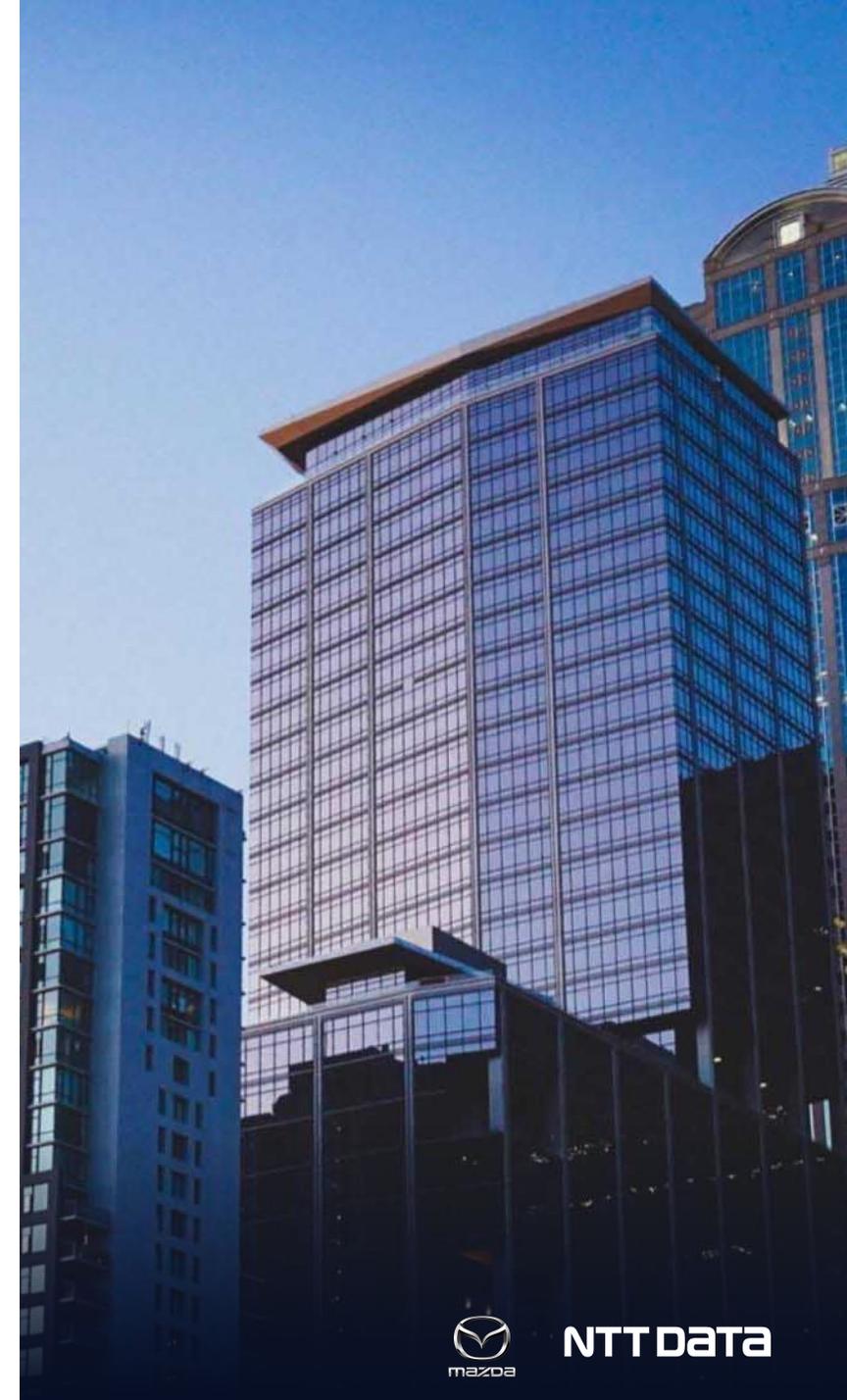
1. 量子コンピュータとは
2. 活用が期待される領域
3. 数理最適化との関係

3. 生産計画最適化を用いた取り組み事例

1. 検証目的
2. 適用業務の説明
3. 実験条件
4. 検証結果

4. 実験結果と今後の展望

5. QA



マツダ株式会社 会社概要

創業103周年を迎えた 広島発の自動車製造メーカー



社名	マツダ株式会社 (Mazda Motor)
本社	広島県安芸郡府中町
創立	1920年1月30日
主要事業	自動車の製造・販売
売上高	2兆8,821億円
販売台数	113万台 2022年4月～2023年3月期
販売地域	130カ国・地域以上
生産拠点	日本(広島・山口)、アメリカ、メキシコ、タイ、
従業員数	48,750名(連結)

NTTデータグループのご紹介

SI事業、および、NTTグループのグローバル領域を担う

日本電信電話株式会社



グループ全体の経営戦略

NTTグループ

総資産 : 23兆8,622億円
売上高 : 12兆1,564億円
営業利益 : 1兆7,686億円
従業員数 : 333,850人

※2022年5月末時点

主要グループ事業・会社

総合ICT事業

- ・携帯電話
- ・光通信



地域通信事業

- ・国内通信



グローバルソリューション事業

- ・SI
- ・データセンタ
- ・クラウド



※海外事業会社NTT DATA, Inc.

その他事業

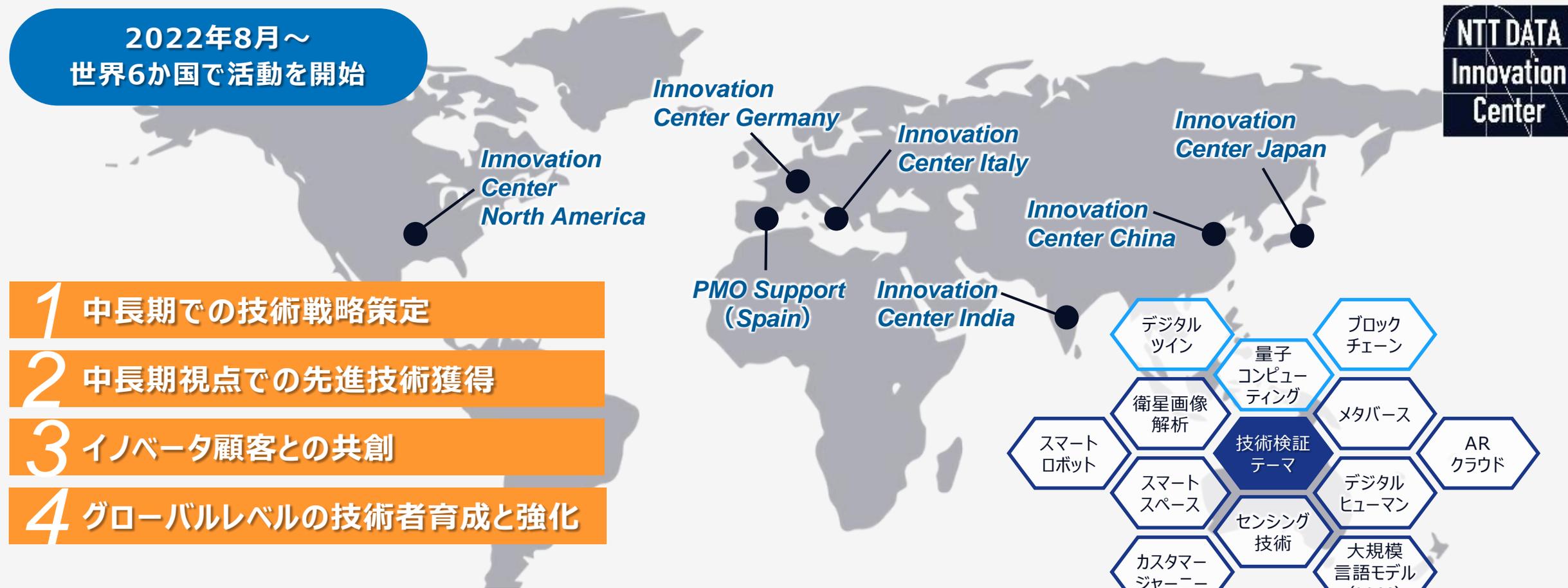
- ・不動産
- ・エネルギーなど



Innovation Center

グローバル6か国に拠点をもち、先進顧客へのアプローチを主眼においた体制で活動を推進。
先進技術を見極め、お客さまとの共創R&Dを通して新たなビジネス創出をめざす

2022年8月～
世界6か国で活動を開始

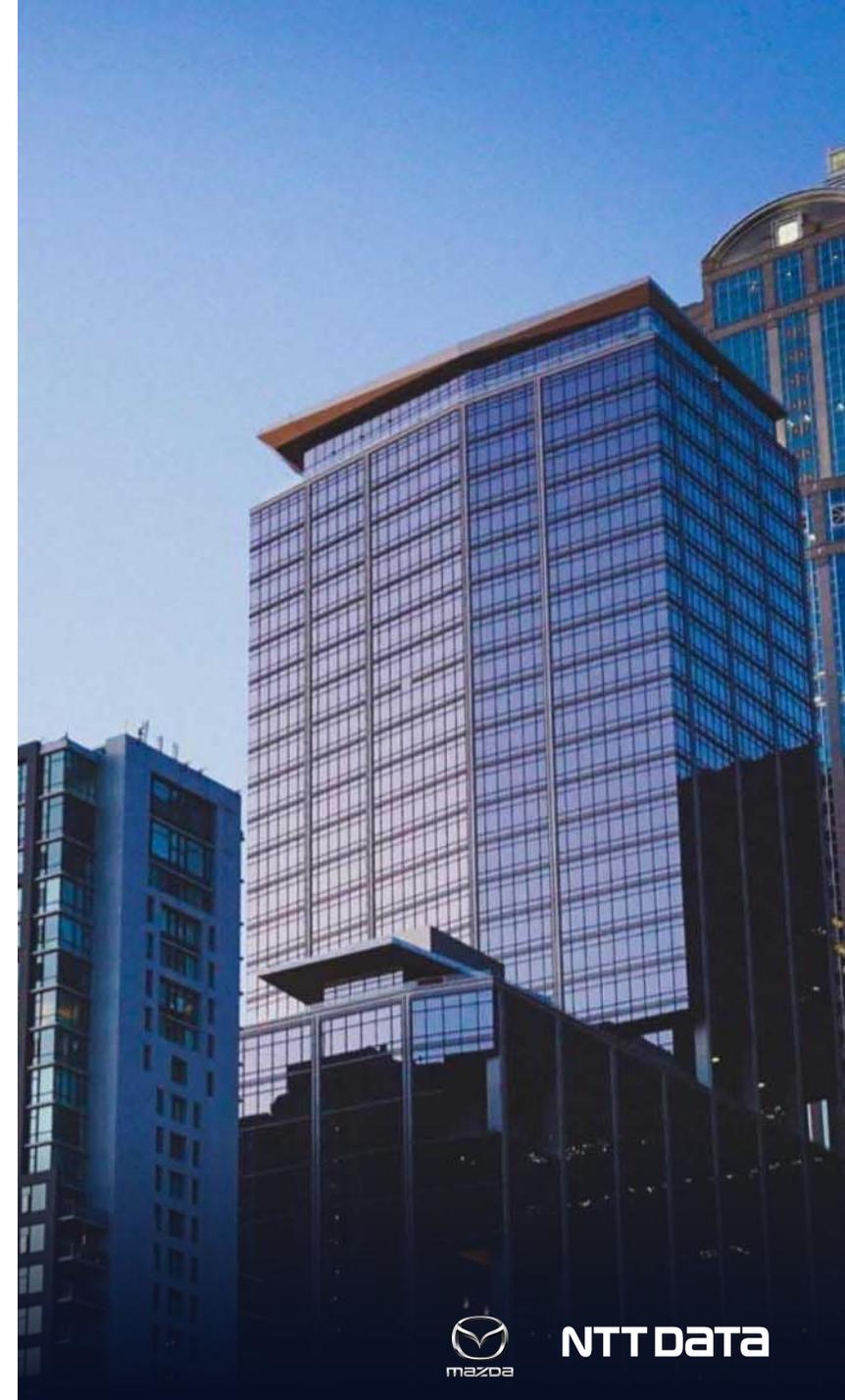


- 1 中長期での技術戦略策定
- 2 中長期視点での先進技術獲得
- 3 イノベータ顧客との共創
- 4 グローバルレベルの技術者育成と強化

エキスパート100名（リサーチャー、コンサルタント、エンジニア）でスタート。2025年度末までに300名体制に増強予定。

アジェンダ

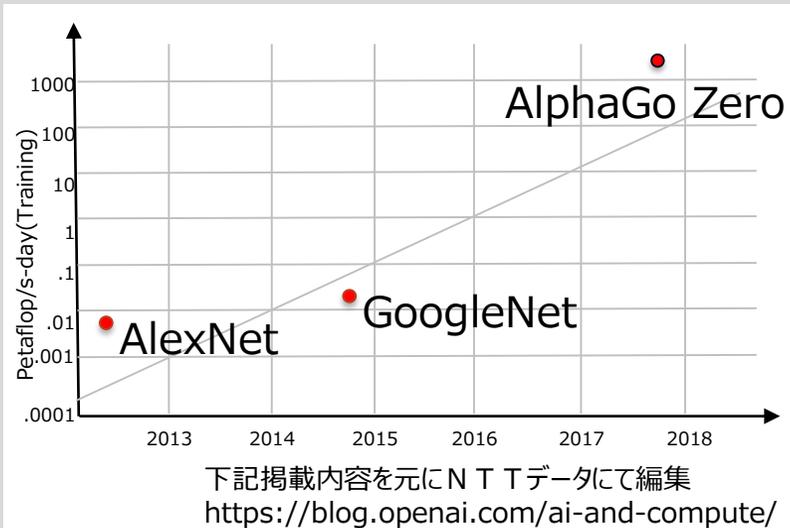
1. 登壇企業のご紹介
 1. マツダ株式会社
 2. 株式会社NTTデータグループ
2. 量子コンピュータ概要のご紹介
 1. 量子コンピュータとは
 2. 活用が期待される領域
 3. 数理最適化との関係
3. 生産計画最適化を用いた取り組み事例
 1. 検証目的
 2. 適用業務の説明
 3. 実験条件
 4. 検証結果
4. 実験結果と今後の展望
5. QA



なぜ量子コンピュータ/イジングマシンに注目が集まるのか

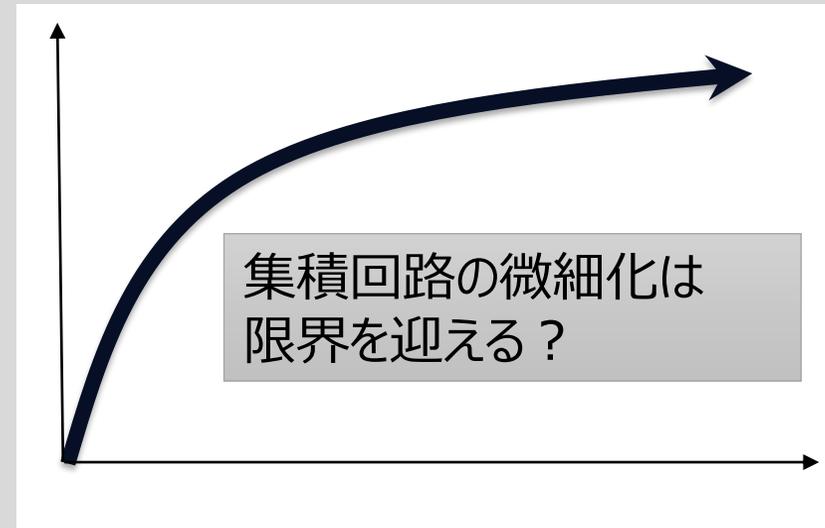
高速処理のニーズが拡大

AI学習の計算量が急増
3.5ヶ月で倍



現行アーキテクチャの課題

ムーアの法則の限界
18ヶ月で倍…?

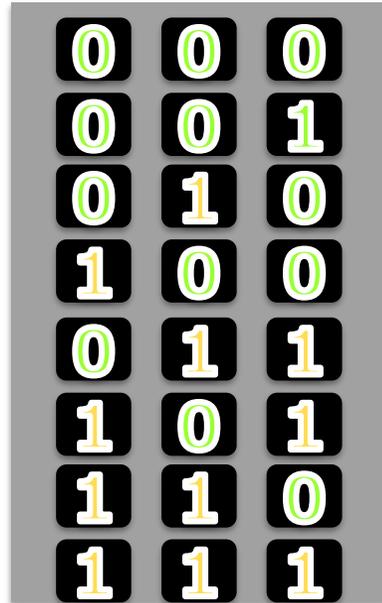


既存アーキテクチャの改善による計算キャパシティ収容はいずれ限界に

量子コンピュータとは

通常のコンピュータ

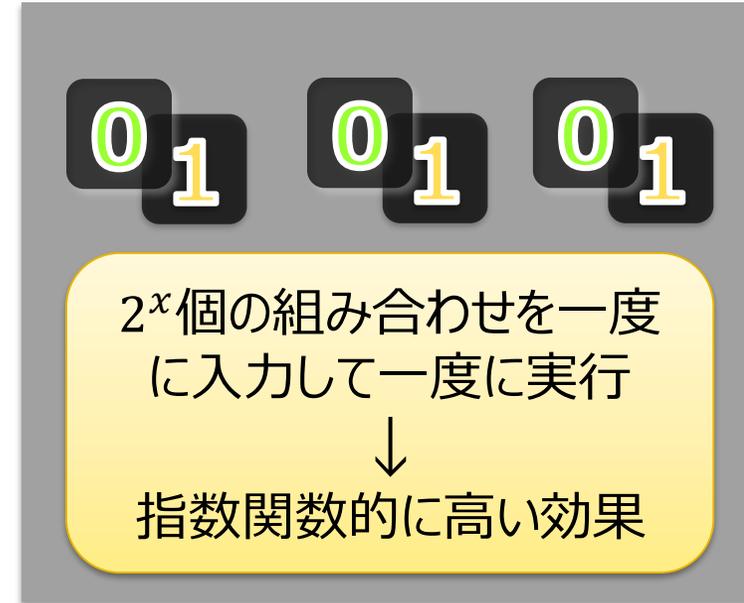
「0」または「1」のどちらかしかとりえない



=

量子コンピュータ

「0」と「1」を同時にとることができる



「重ね合わせ状態」の現象を利用することで、超高速に計算処理を行える

「重ね合わせ状態」と「観測」

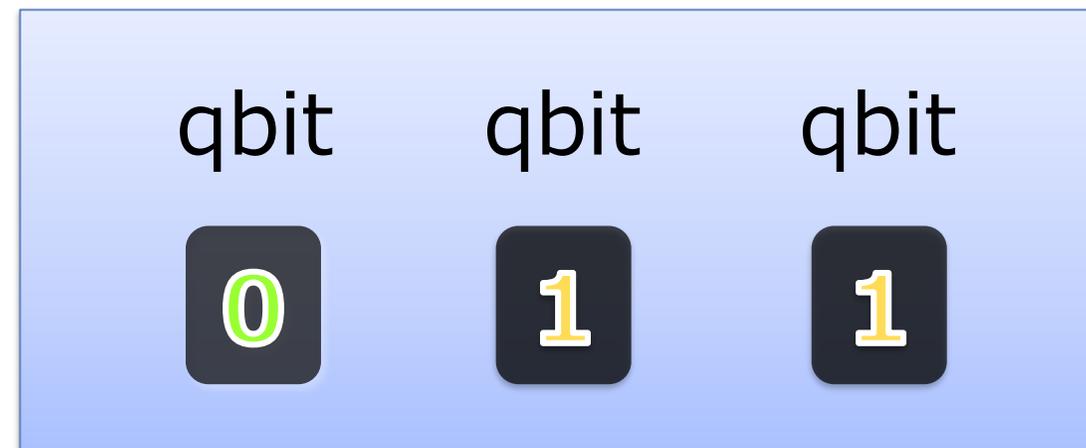
計算中



2^N 通りの状態を同時に計算



観測



結果は1つしか取得できない

この特性を上手く活用できる場合のみ古典PCより優位となる

計算は**並列**に実行できるが、**1回の計算で1つの結果**しか取り出せない

量子コンピュータの種類

- 「量子ゲート」と「量子アニーリング」の2方式

量子ゲート方式

汎用計算機
いくつかのアルゴリズムでは
高速化が保証

研究開発フェーズ

約400量子ビット(IBM)



用途

現状

ハードウェア
企業

量子アニーリング方式

組合せ最適化問題の専用機
現時点では従来コンピュータに対する
優位性は未証明

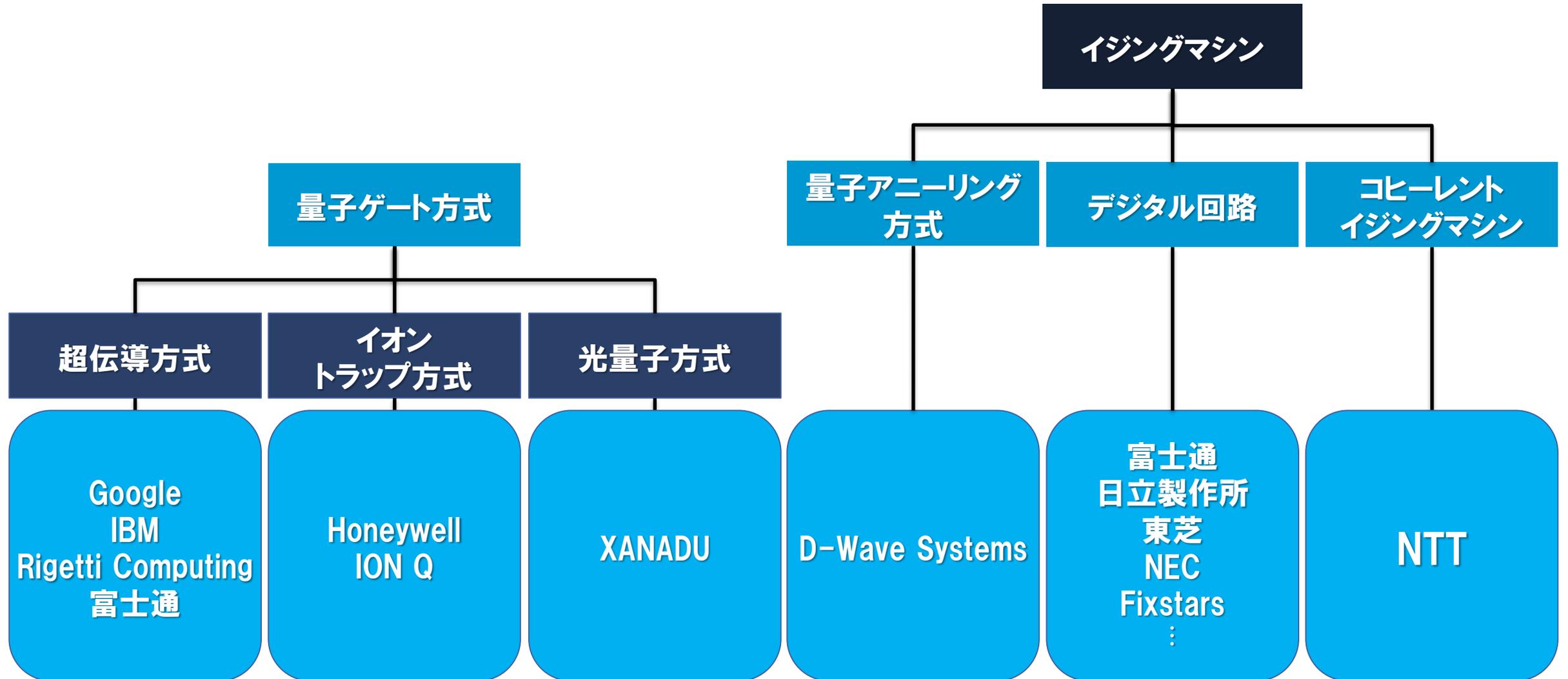
応用に向けた実証が活発化
(キラーユースケースは探索中)

約5000量子ビット(D-Wave)



IBM Blog「HP量子優位性時代の到来の鍵となる量子ボリュームとは？」<https://www.ibm.com/blogs/think/jp-ja/power-quantum-device/>
D-Wave Systems <http://dwavejapan.com/system/>

各社マシンのカテゴリについて



最適化技術の発展

Quantum
Annealing

Ising machine

New
Architecture

Quantum Gates

NISQ

Quantum

Inspired machine

Classical
Method

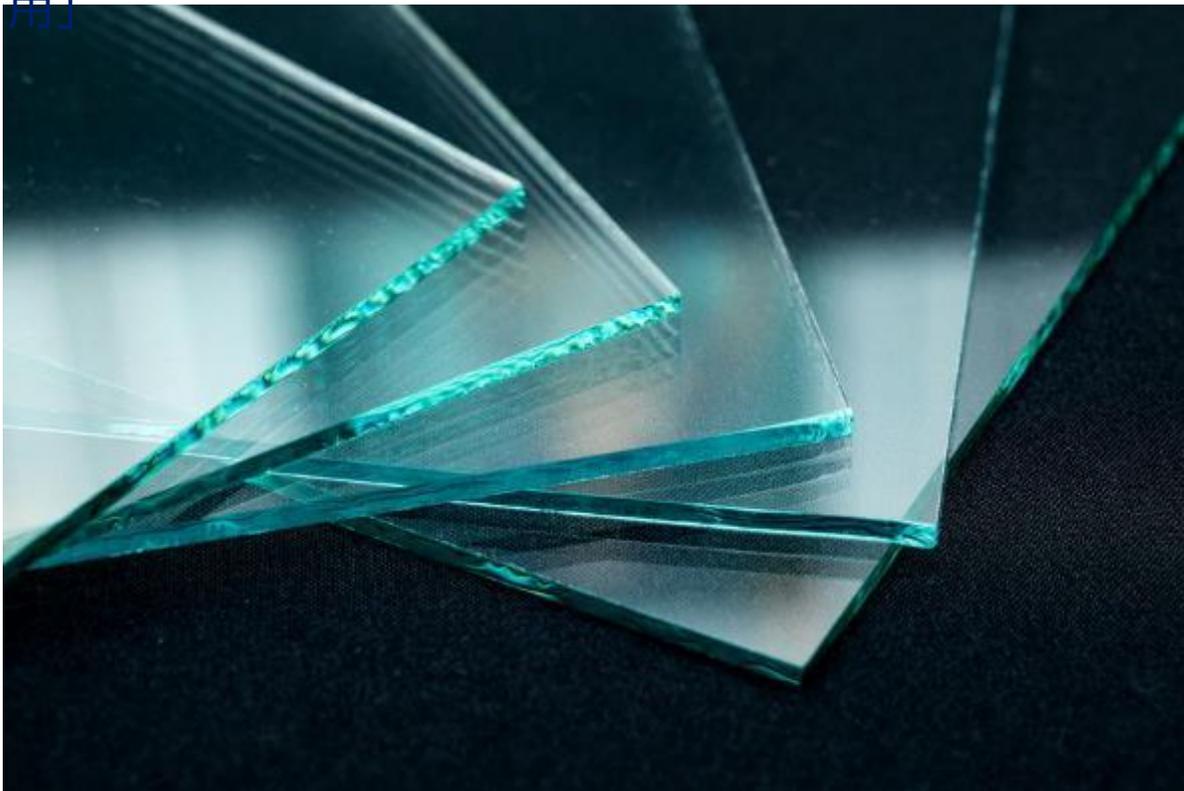
Classical
Optimization

様々な技術が登場し、日々進化している
何を、いつ、どの用途に使うのがベストなのか、判断することは非常に難しい

古典の最適化から量子コンピュータまで広い視野で見極めることが重要

ガラス加工の最適化

「ギロチンカット制約を有する板取り問題への イジングマシンの適用」



ガラスの板取問題：
パッキング問題の中でも「ギロチンカット」という
特殊な制約を含む問題
→ D-Waveと東芝SBMにて計算

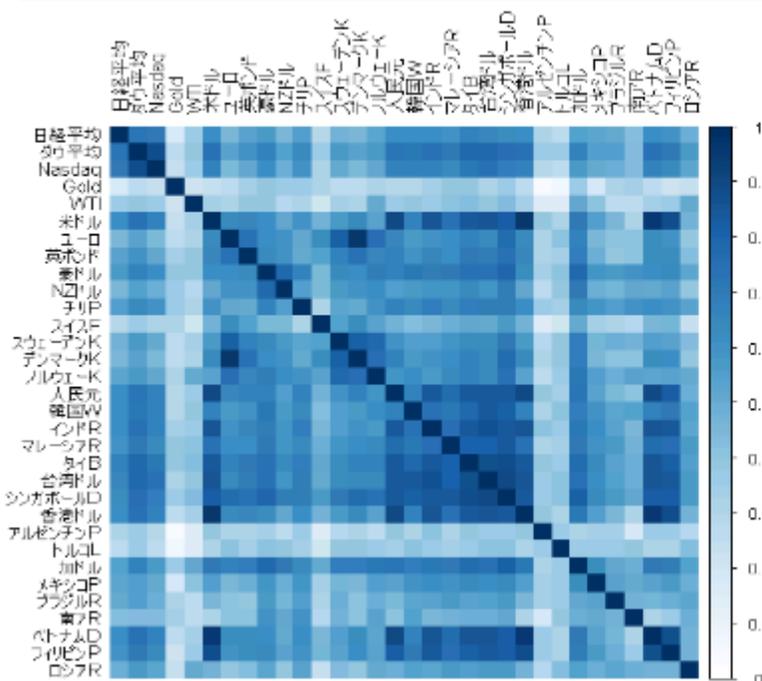
AGC Research Report 70(2020)

https://www.agc.com/innovation/library/detailhtml/1201558_4283.html

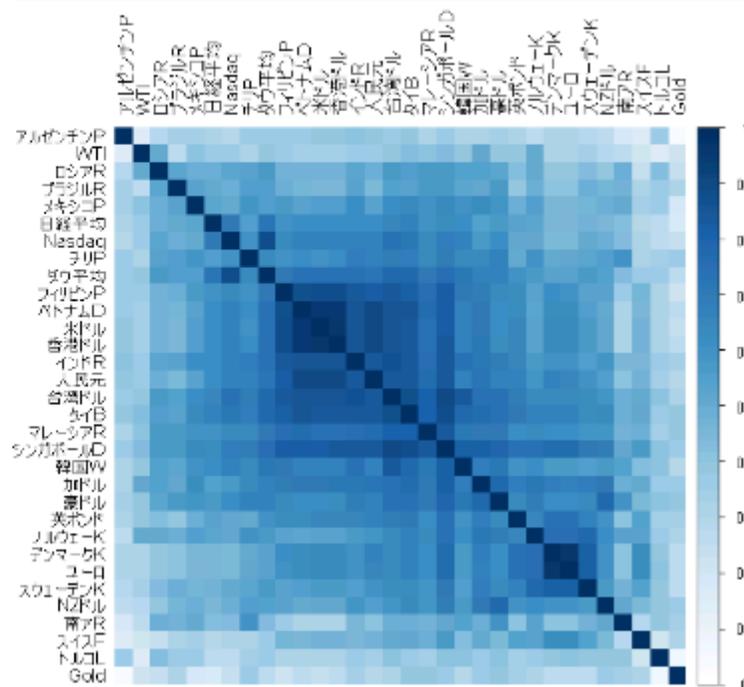
量子アニーリングと量子インスパイアードマシンでも大きく特性が異なる

金融ポートフォリオ最適化

並べ替えをする前の相関行列



並べ替え後の相関行列



金融分野において頻出する
ポートフォリオ最適化の計算に
富士通DAと古典コンピュータを
用いた手法を適用

<https://www.risk.net/media/download/1073291/download>

古典コンピュータによる前後処理も有用

スポーツの開催スケジュールリングにおける組合せ最適化問題

“Solving large break minimization problems in a mirrored double round-robin tournament using quantum annealing”

	7月14日	7月21日	7月28日	8月1日	8月3日	8月7日
チーム 関東	東北と対戦	関西と対戦	九州と対戦	東北と対戦	関西と対戦	九州と対戦
チーム 東北	関東と対戦	九州と対戦	関西と対戦	関東と対戦	九州と対戦	関西と対戦
チーム 関西	九州と対戦	関東と対戦	東北と対戦	九州と対戦	関東と対戦	東北と対戦
チーム 九州	関西と対戦	東北と対戦	関東と対戦	関西と対戦	東北と対戦	関東と対戦



ホーム&アウェイ方式での対戦を決める
スポーツスケジュールリング問題をD-Waveで計算
古典ソルバーよりも一部有利な結果を確認

	7月14日	7月21日	7月28日	8月1日	8月3日	8月7日
チーム 関東	関東	関西	関東	東北	関東	九州
チーム 東北	関東	九州	東北	東北	...	
チーム 関西	...					
チーム 九州						

論文 : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0266846>
ソースコード : <https://github.com/MK-tech20/MDRRT-scheduling-dwave>

量子アニーリングの優位性が確認できる例も出現

NTTデータ 量子コンピューティングガイドライン 量子アニーリング/イジングマシン編

「量子アニーリング/イジングマシン編」
を 2021/1/28 公開



“量子” “組合せ最適化”は気になるけれど、
技術を学ぶにはハードルが・・・
という方にこそ、オススメです。

ビジネスと「組合せ最適化」の関係性、
量子アニーリング/イジングマシンが果たす役割を解説

量子コンピュータとは

量子アニーリングと
ゲートとの違い

次々と登場する
ハードウェアの整理

組合せ最適化とは

組合せ最適化の
意味と特徴

QUBOと
イジングモデル

量子アニーリングの
仕組みと利用シーン

既存のソフトウェアや
アルゴリズム

ハードウェアの
「疎結合」とは？

D-Wave Leapによる
プログラミング例

巡回セールスマン
問題の例題

etc.

ビジネスにおける「量子コンピュータ」と利用シーンが分かる、一歩踏み込んだ解説

量子アニーリング/イジングマシンの活用が期待される領域



配送経路計画



AI・機械学習



人材のマッチング



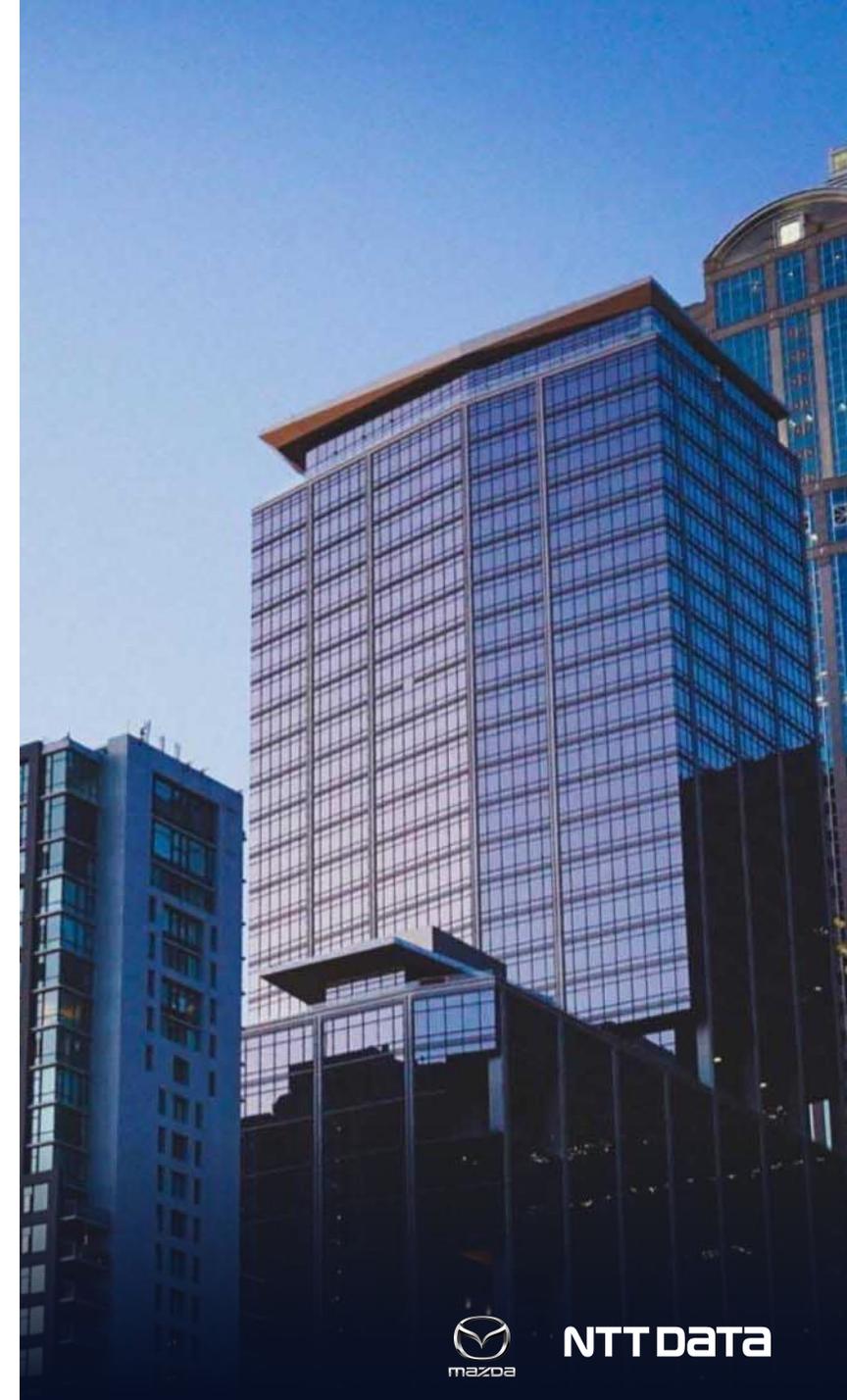
金融工学
ポートフォリオ計算



生産工程の最適化

アジェンダ

1. 登壇企業のご紹介
 1. マツダ株式会社
 2. 株式会社NTTデータグループ
2. 量子コンピュータ概要のご紹介
 1. 量子コンピュータとは
 2. 活用が期待される領域
 3. 数理最適化との関係
3. 生産計画最適化を用いた取り組み事例
 1. 検証目的
 2. 適用業務の説明
 3. 実験条件
 4. 検証結果
4. 実験結果と今後の展望
5. QA



検証目的：最適化の重要性

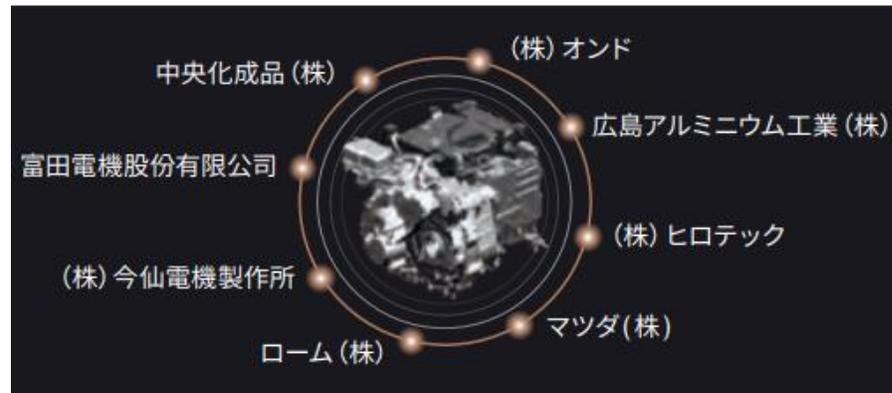
取り巻く環境変化

電動化時代に向けた開発強化

商品/技術の
「ビルディングブロック構想」



電動化へのトランジション



部品/物流の変化がある中、柔軟かつスピーディに**最適解**を求め**意思決定**をする必要がある

最適化問題の例



標準作業票

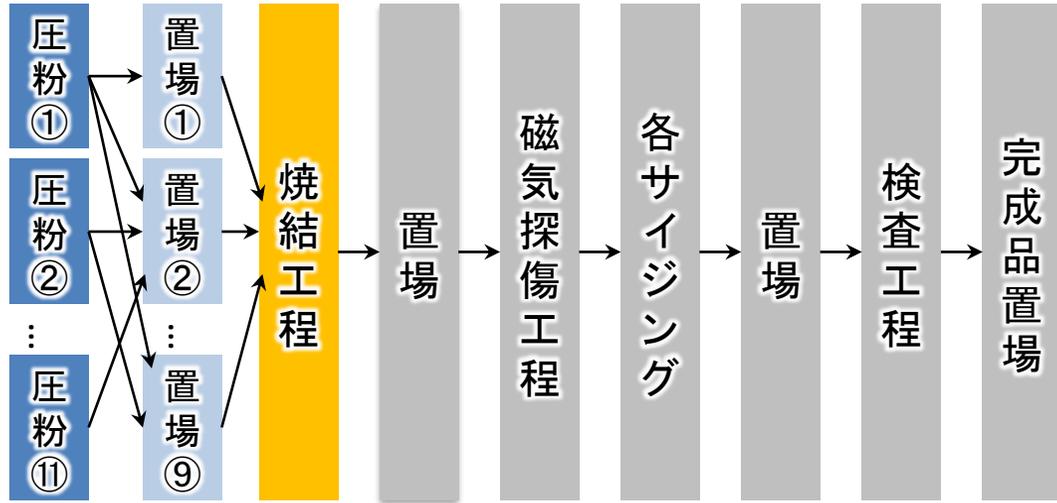
作業内容	時間	安全	品質
1. 椅子から立ち上がる	1.4		
2. ホワイトボードの前に移動する	0.9		
3. ハンド取る	1.0		
4. キップを渡す	2.0		
5. 目付を置く	15.2		
6. キップを戻す	2.0		
7. ハンド置く	2.0		
8. 消しを取る	1.0		
9. 目付を渡す	2.0		
10. 用紙を置く	2.0		
11. 椅子に移動する	0.9		
12. 戻る	1.4		

作業順序最適化



適用業務の説明 ー生産工程の最適化ー

As-Is エンジン部品の製造工程流れ



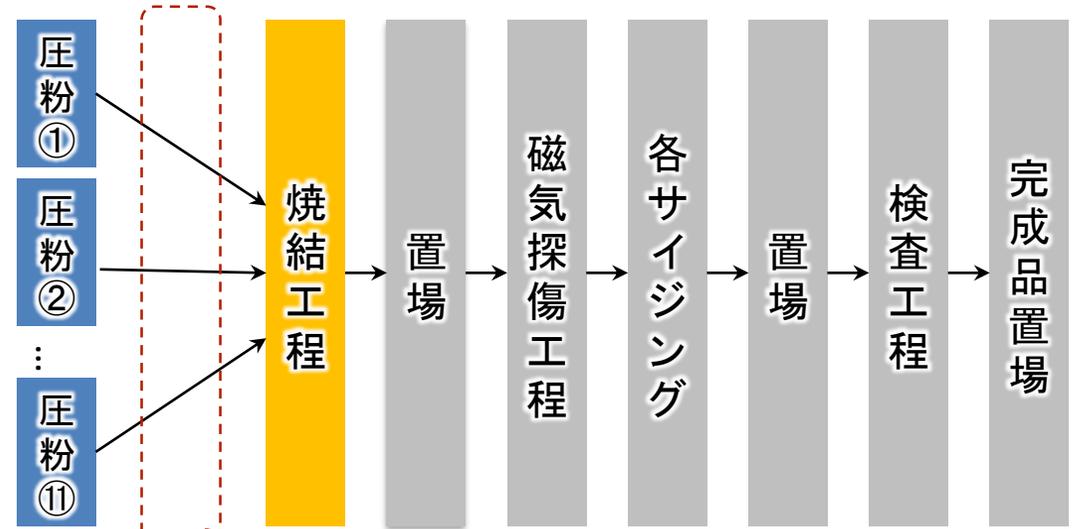
圧粉：砂を圧縮して製品の形状にする
 焼結：圧粉したものに熱を加えて硬くする

最大26部品

As-Is

- 焼結工程への投入順序、圧粉稼働タイミングを人が“カン”や“コツ”で計画している
- 人での**運搬ロス**、**在庫管理ロス**が発生している

To-Be エンジン部品の製造工程流れ



圧粉と焼結間の中間在庫をなくしたい

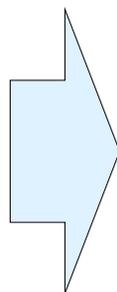
To-Be

- 生産計画の自動化
- 圧粉と焼結間の置場(在庫)をなくし、コンベア運搬

生産計画を自動立案し、工数削減と中間在庫削減を目指す

適用業務における課題

分類	課題
生産計画自動化	目的関数の明確化
	制約条件の明確化
	ソルバーの選定
	アプリケーションの操作性
	汎用性のあるパラメーター設定
	生産計画立案者への教育
	実務PCでの処理速度検証
コンベア搬送	運搬レイアウトの検討
	工場内の整地
	運搬方法の選定
	運搬速度/頻度の検討
	部品の取り出し技術
	部品を定位置に置く技術



目的	#	実施内容
工程間 中間在庫 適正化	1	中間在庫をゼロとする（安全在庫でカバー）
	2	中間在庫を一定数もつ
生産効率 最大化	3	焼結炉フル稼働 （例：条件切替部品等の中間在庫を一定もつ）
	4	焼結工程完了時間最小化 （例：要求数以上生産）
安全在庫 適正化	5	生産計画サイクル短期化（例月次→週次）
	6	実績／予測に基づき、安全在庫を精緻化

様々な課題の中から、優先度の高い中間在庫と生産効率の両立をターゲットとして設定

対象情報および要件一覧

最適化 中間在庫なしの制約の下、焼結工程完了時間を最小化
 ※焼結温度条件のない部品(部品K)の中間在庫は許容する

対象月 2023年9月の1カ月分

稼働時間 金曜20時～月曜8時 以外

検証内容 ①要求数を月内に**生産完了可能**であるか
 ②下記の**制約条件**を満たせるか

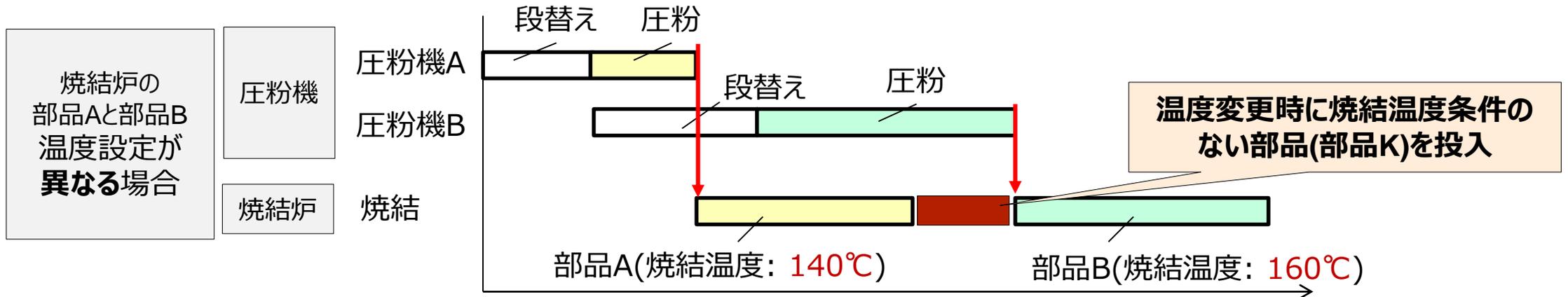
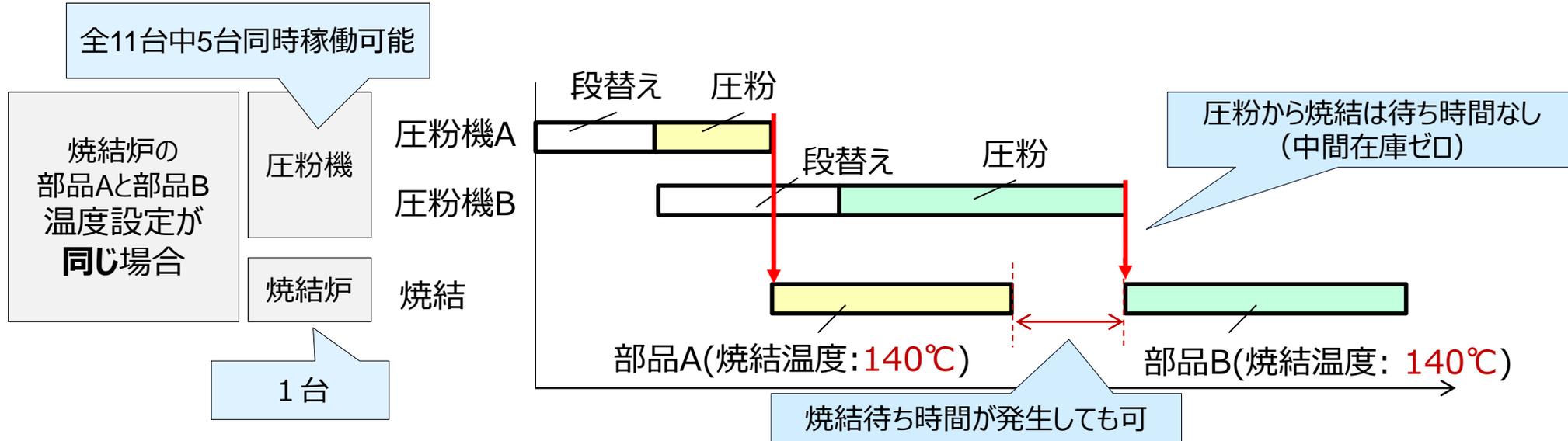
部品数 22部品 ※最大26部品

分類	カテゴリ	要件・制約内容	STEP1の実施
目的関数	焼結工程完了時間	段替～圧粉～ 焼結工程の完了時間最小化	○
制約	生産計画最小単位	15分刻み で生産計画スケジューリング	○
	中間在庫	中間在庫をなくす（圧粉～焼結間の在庫）	△ 温度条件のない部品を除く
	圧粉機	同時稼働 5台 まで	○
		圧粉機で生産できる部品種類の紐付け	○
	焼結工程	焼結炉 1台 のみ	○
	段替え（圧粉前）	必ず 指定時間段替 を実施する	○
		同時段替えは1台 のみ	○
	ロット数	部品ごと決められた ロット単位 で生産	△ 温度条件のない部品を除く
	稼働	段替・圧粉・焼結、 全て土日停止（※祝日は稼働） （※停止時間：金20時～月8時と設定）	○
	焼結工程前	条件変更時間（温度設定変更のみ： 30分 ）	○ 温度条件のない部品を投入

現状、中間在庫を持つ部品はロット生産ではない

生産工程の制約（イメージ）

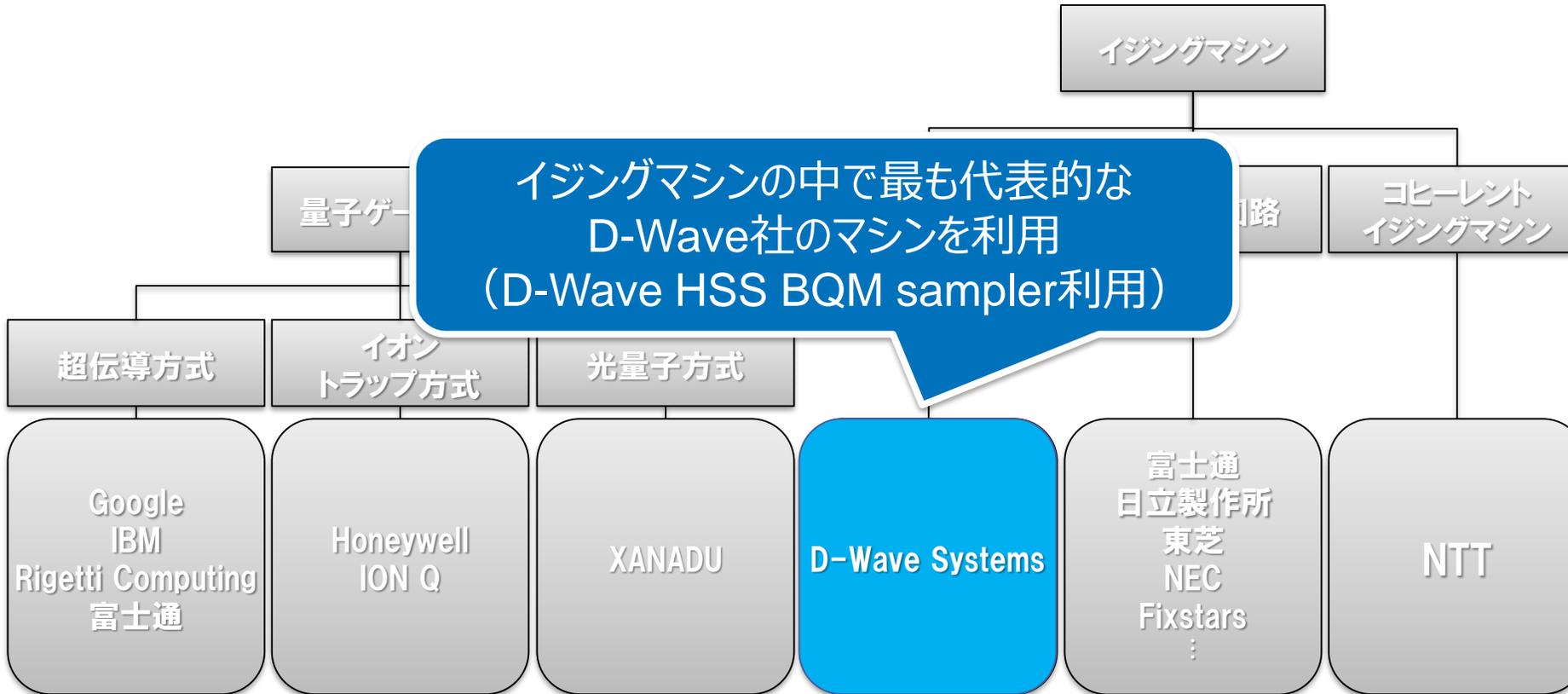
- ・圧粉機11台のうち同時稼働は5台可能
- ・焼結温度条件のない部品(部品K)以外は、中間在庫を持たない形で最適化



比較対象とするマシン

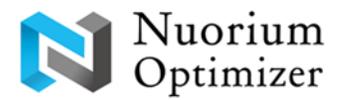
Quantum Computer 等の先進デバイス
(シミュレータ等含む)

従来のソフトウェア

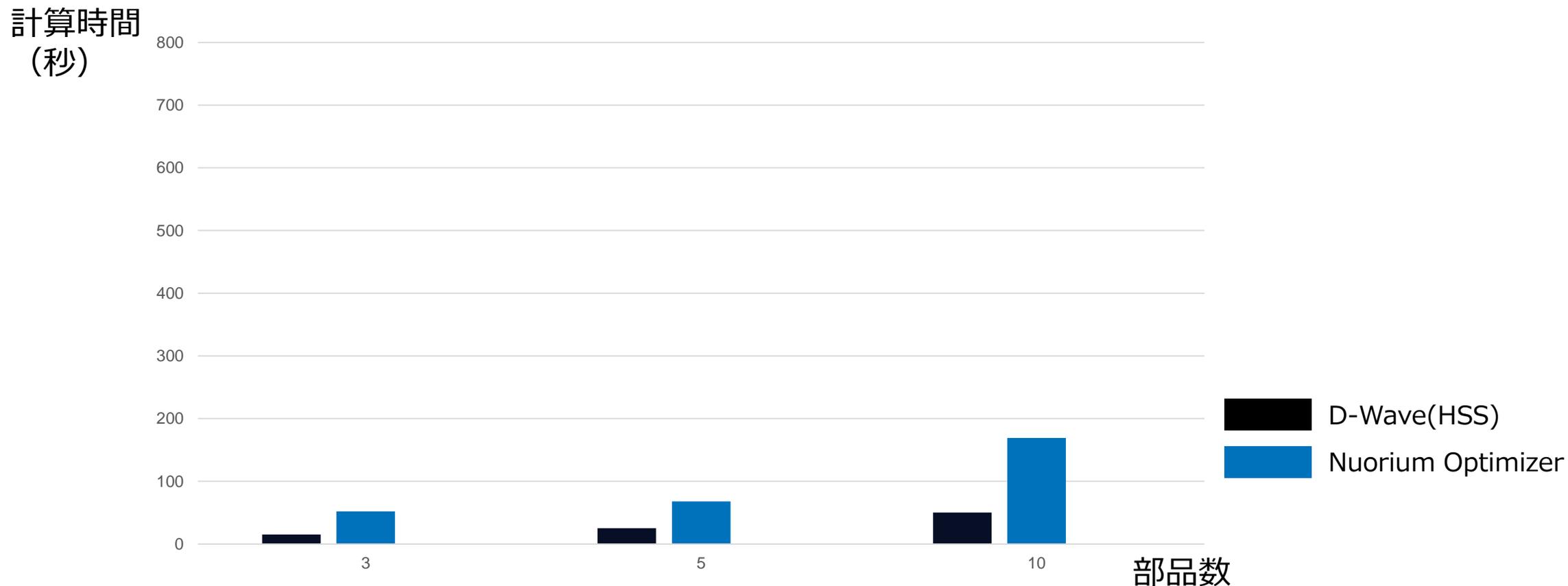


イジングマシンの中で最も代表的な
D-Wave社のマシンを利用
(D-Wave HSS BQM sampler利用)

利用実績の多い
NuoriumOptimizerを
利用

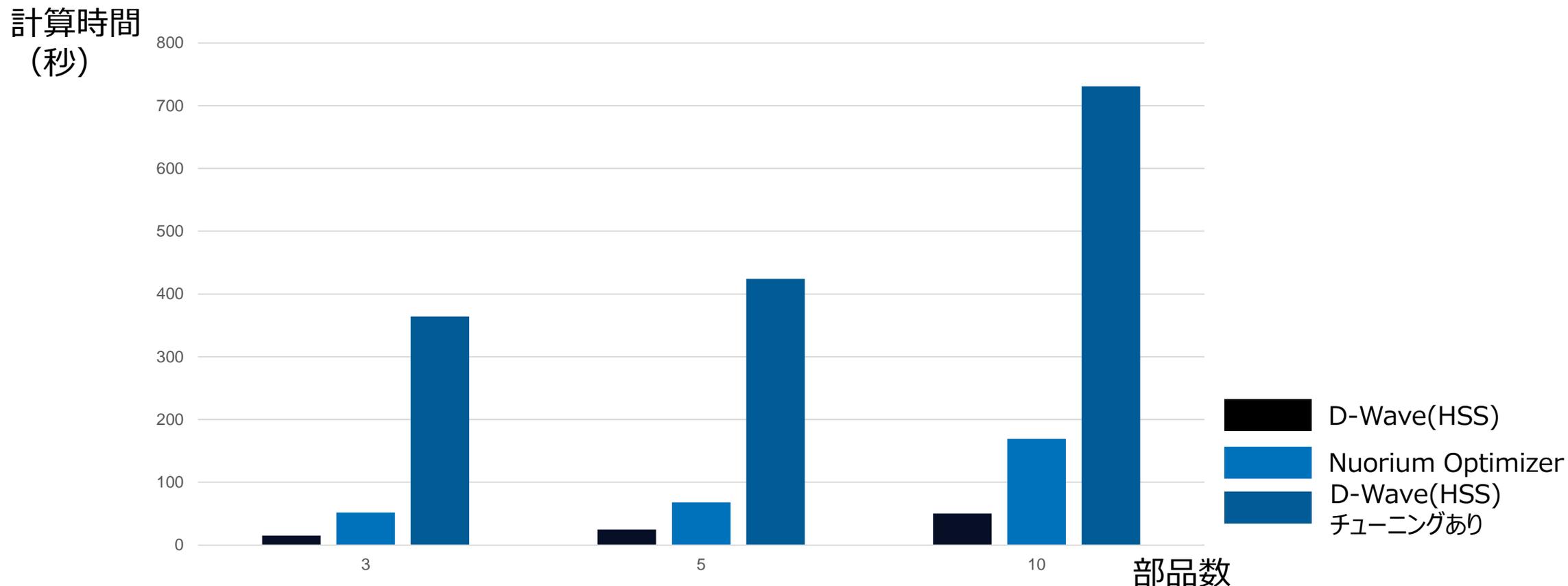


実験結果：計算時間の比較



- 22部品での実験については、D-Waveでは実行可能解が得られなかったため、小規模な問題（部品数 = 3, 5, 10）にて計算を実施
- D-Waveの方が高速に問題が解けているが、答えの精度が高くない。

実験結果：計算時間の比較



- 22部品での実験については、D-Waveでは実行可能解が得られなかったため、小規模な問題（部品数 = 3, 5, 10）にて計算を実施
- D-Waveの方が高速に問題が解けているが、答えの精度が高くない。
→ 何度か繰り返して、D-Waveのパラメータ改善を行うと、精度も向上するが、繰り返す分の高速性が失われてしまう。

D-Wave と Nuorium Optimizer の比較結果

結果

- 小規模な問題、かつ、1回の最適化計算については、D-Wave高速性が確認できた。
一方で、パラメータ調整が必要となるため、繰り返し計算により、総計算時間はNuorium Optimizerの方が高速であった。
- 実際に解きたい規模（22部品）の問題については、D-Waveについては実行可能解が得られなかった。
→ 問題サイズが大きくなると解の精度の劣化が激しい。大規模かつ安定的なマシンが求められる。

考察

- 現時点においては、D-Waveのみで本問題を解くことは難しいが、小さな規模では高速性が見いだせた。
→ ノイズのない（とても少ない）ハードウェアが実現できれば、優位性を確保できる可能性はある。
- Nuorium Optimizerについては、実運用における目標（中間在庫を減らしながら、工程にかかる時間を最小化）を達成できた。
→ 後スライドにて詳細を紹介します。
- D-Waveについては、高速性が活かせるような安定性・マシン規模の実現を待つ必要があるが、一方で、現時点でもいくつかの活用方法が考えられる。（最終スライドにてアイデアをご紹介）

Nuorium Optimizerによる計算結果



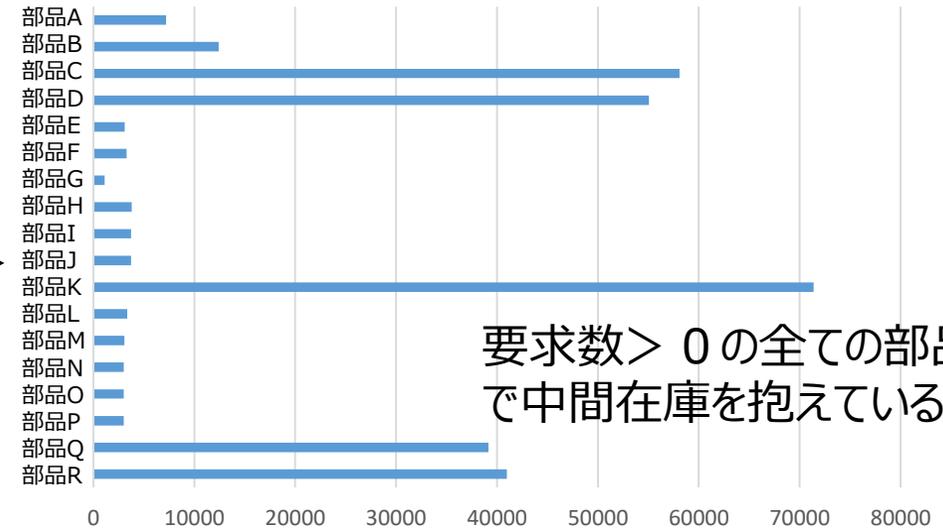
要件達成！

- ✓ 制約条件を満たせたか
→ **部品K以外の 21 部品の中間在庫ゼロを達成**
- ✓ 要求数分月内に生産完了したか
→ **9/29(金)12:00 月内要求数生産完了**
- ✓ 焼結炉の稼働率について
→ **約81%(土日など停止期間を除く)**

9月分のSTEP1の中間在庫結果と10月実績と比較

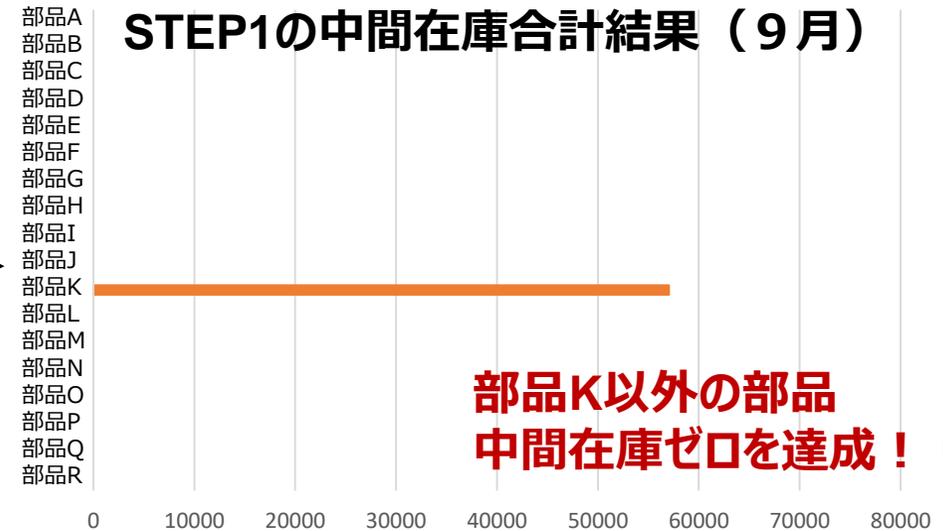
要求数のある**共通部品 18 部品**について
中間在庫のグラフ化

現状中間在庫合計（10月実績）



要求数 > 0 の全ての部品
で中間在庫を抱えている

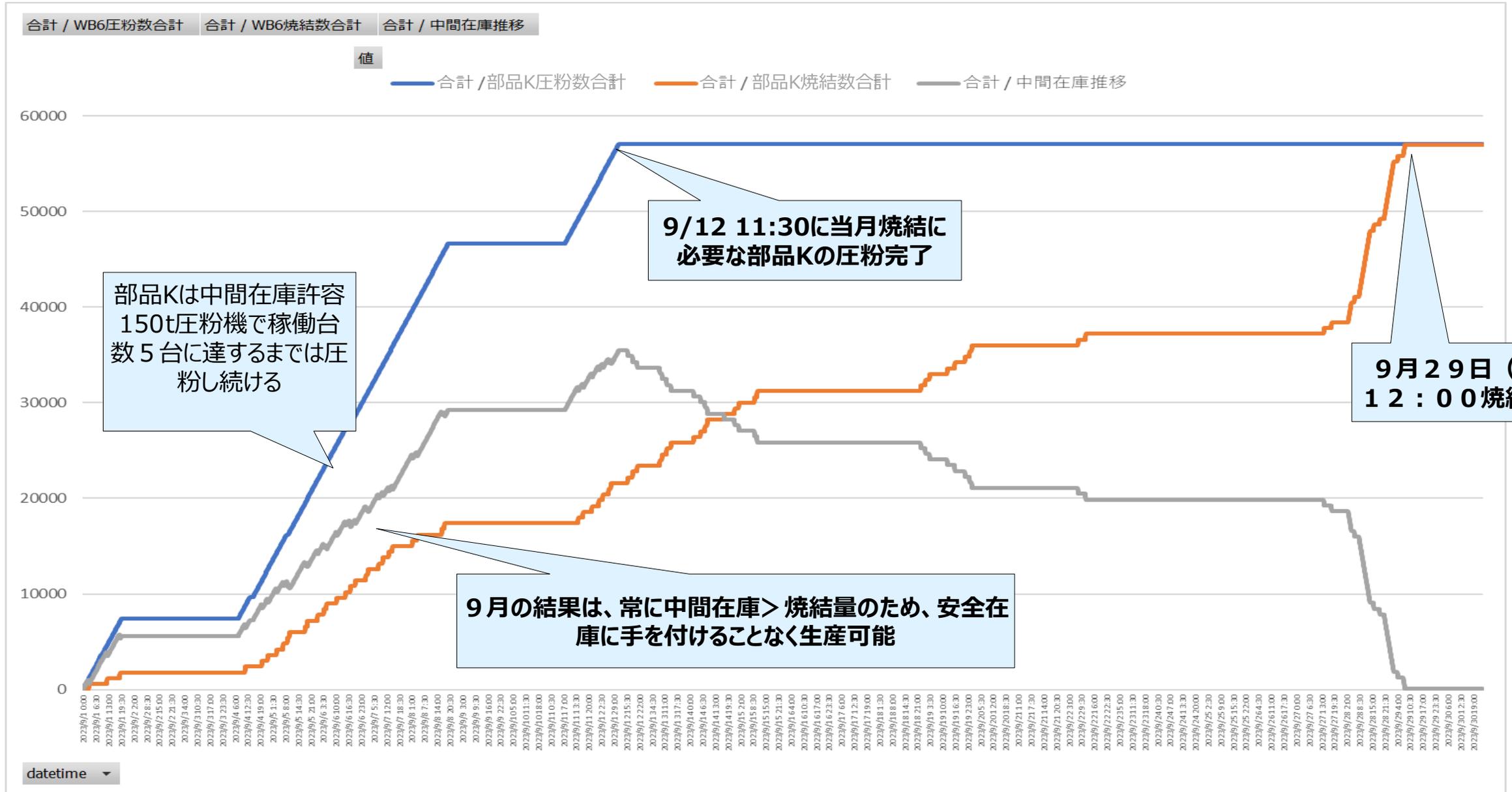
STEP1の中間在庫合計結果（9月）



**部品K以外の部品
中間在庫ゼロを達成！！**

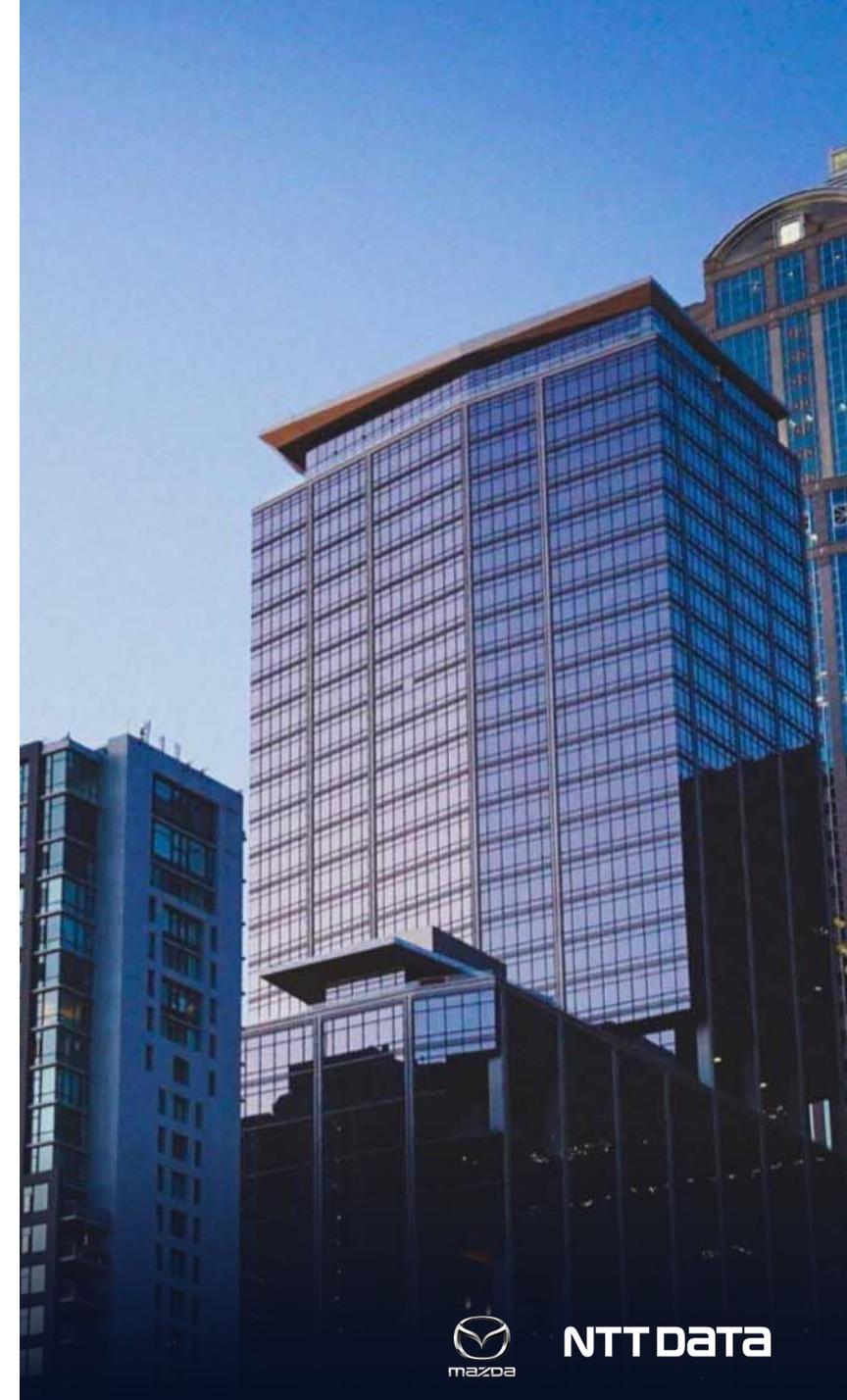
【参考】 中間在庫数の推移

個数



アジェンダ

1. 登壇企業のご紹介
 1. マツダ株式会社
 2. 株式会社NTTデータグループ
2. 量子コンピュータ概要のご紹介
 1. 量子コンピュータとは
 2. 活用が期待される領域
 3. 数理最適化との関係
3. 生産計画最適化を用いた取り組み事例
 1. 検証目的
 2. 適用業務の説明
 3. 実験条件
 4. 検証結果
4. 実験結果と今後の展望
5. QA



今後の展望

量子コンピュータの現状

- 研究レベルでは、有効性が示された例が多く登場している
- 一方で、今回のような多くの制約条件を取り込む必要のある、実問題に対しては依然としてノイズや解ける問題規模に課題が残っている。
- 一方で、小規模での検証については、一部高速性が確認できており、より大きな規模でも精度を落とすことなく、高速性が維持できれば、有用なシーンが出てくると思われる。

今後の展望

- 今どう取り組むべきか
 - すぐに効果を得るには、古典的な方法が有効であり、量子コンピュータ自体は中長期的に取り組むべき。
- 将来は、大きく逆転する可能性がある
 - 量子コンピュータの安定性は、ハードウェア、ソフトウェア両面で研究が活発に実施されており、ノイズ制御や計算規模の技術発展は目覚ましい。
 - 現状の結果の“改善スピード”を、冷静にウォッチするべき。
- 現時点でのマシンの面白い使い方も提案されている。
 - 小規模での高速性を生かして、荒い最適化問題（例えば、複数部品を1まとめにしてしまう、など）を、量子コンピュータなどで解いておき、その後の精緻な計算を古典的な手法で実施する場合に、有用性が見いだせるケースも報告されている。

NTT DATA

Contact : Innovation Center
ic_pr@kits.nttdata.co.jp



mazda

記載されている会社名、商品名、又はサービス名は、各社の登録商標又は商標です。