

倉庫運用最適化サービス LADOCsuite/WESで提供するトラックの出荷バース割り当て最適化技術

Technology to Allocate Optimal Loading Berth to Truck for LADOCsuite/WES Warehouse Operation Optimization Service

藤岡 健太郎 FUJIOKA Kentaro 岩渕 雄太 IWABUCHI Yuta 吉田 琢史 YOSHIDA Takufumi

物流業界におけるトラックドライバーの時間外労働時間の上限設定に起因する“2024年問題”対策の一つとして、トラックの荷待ち時間の短縮が求められる。短縮には、倉庫側の作業との連携が不可欠である。

東芝グループは、倉庫の作業時刻を考慮した出荷バース（荷積みをするためにトラックを駐停車する場所）割り当ての最適化技術を開発した。複数棟の積み回り有無などの情報を基に、複雑なケースを最適化できる。評価したケース（倉庫は5棟で合計50出荷バース、車両は25～200台）では、荷待ち時間を1/8～1/4に短縮できた。荷待ち時間短縮と倉庫側作業効率化への貢献に向け、倉庫運用最適化サービス LADOCsuite（ラドックスイート）/WESの新機能として提供を開始した。

Following enforcement of regulations limiting overtime work for truck drivers, Japanese industries in the logistics sector face critical issues, including transportation disruption and labor shortages. To transport the increasing volume of goods swiftly and efficiently, it is necessary to decrease truck wait times at berths through operational collaboration at physical distribution warehouses.

The Toshiba Group has developed technology that makes it possible to allocate the optimal loading berth from among multiple berths and optimize truck loading timing in consideration of warehouse operations. This technology can also optimize complicated situations based on whether there is a need to load goods at multiple buildings, etc. Comprehensive evaluations show that it can decrease wait times between one-fourth and one-eighth of the benchmarking technology. The technology is now available as a function in the LADOCsuite/WES warehouse operation optimization service.

1. まえがき

物流業界の2024年問題は、2024年4月からトラックドライバーの年間時間外労働の上限規制が960時間以内に制限され、労働時間が短くなることで輸送能力が不足して物が運べなくなる可能性が懸念されることを指す。解決するためには、運送会社側と倉庫（荷主）側の個別対策だけでは限界があり、両者の協調が必要である。リードタイムの調整や、トラック以外の輸送への切り替えに加え、IT（情報技術）システム活用による業務効率向上も、その対策として挙げられる。

トラックドライバーの労働時間が長くなる主な原因は、倉庫での荷待ち時間である。2021年（令和3年）に国土交通省が行った調査では、荷待ちのある運行で1運行当たりの荷待ち時間は、平均1時間34分である。複数棟をトラックが積み回る場合、各棟で荷待ち時間が生じ、より長くなる。また、現状は出荷バースを行き先方面別に固定化するケースが多く、倉庫内作業を定型化できるメリットがある一方、出荷量の多い方面の出荷バースで荷待ち時間が長くなる。

トラックドライバーの労働時間を短縮するためには、荷待ち時間の短縮が有効で、出荷バースを動的、かつ効率良く活用する必要がある。特に、複数棟の出荷バースを積み回

る場合、トラックがどの順で回り、どの出荷バースを何分使用するかを最適に組み合わせることができれば、荷待ち時間の短縮に大きく貢献できる。

ここでは、LADOCsuite/WESの新機能として提供するトラックの出荷バース割り当てに数理最適化を用いる技術、及びその性能評価の結果について述べる。LADOCsuite/WESは、倉庫運用管理システム（WES：Warehouse Execution System）として開発していたもので、東芝デジタルソリューションズ（株）が提供している。

2. 出荷バース割り当て最適化技術の概要

倉庫での配送・運行業務では、トラックの積み回り順や所要時間を事前に把握できれば、業務全体の適正化が図れる。従来は、倉庫管理システム（WMS：Warehouse Management System）や、輸配送管理システム（TMS：Transport Management System）の情報を基に、配車担当者が出荷バースの割り当てを計画・実行していた。開発した出荷バース割り当て最適化技術では、数理最適化により、最適な積み回り順や作業所要時間・作業時刻を、配車担当者に提供できる。倉庫内でピッキングを行う作業者は、最適化の結果を基にトラックの到着予定時刻に合わせた作業計画が立案できる。また、トラックドライバーは、割

り当て時刻に割り当てバースで荷積みすることで荷待ち時間の短縮が図れる。

2.1 数理最適化の概要

出荷バース割り当ては、“車両、棟”ごとの荷積み時間を“棟、バース”ごとの利用可能時間帯に割り当てる組み合わせ最適化問題であり、工場の生産計画などの最適化問題としてよく知られる機械スケジューリングの一種とみなせる⁽¹⁾。機械スケジューリングは、最適な解を求めるのが難しく、特に今回のように数百車両・数棟・数十バースと問題規模が大きい上に棟の積み回り順まで最適化する場合、実用的な時間内にある程度良い解（近似解）を求めることさえ非常に困難である。今回は、出荷バース割り当てに適した近似解を生成する数理最適化アルゴリズムを採用した。

2.2 提案技術のアルゴリズム

出荷バース割り当ての近似解生成には、大規模な問題にも対応できるように高速な貪欲（どんよく）法を用いる。貪欲法は、ある優先度ルールの下で割り当て対象を並べ、前から順にスケジュール表を埋めていく手法である。機械スケジューリングでよく知られる出門遅れ時間の最小化に効果的

な優先度ルールとして、最早到着時刻順（EAT）、最早出発時刻順（EDT）、最長処理時間順（LPT）、最短余裕時間順（SLK）がある⁽¹⁾。提案技術は、車両・棟・バースに対し、これら優先度ルールを複数設定でき、入力データに合わせて柔軟にアルゴリズムをカスタマイズできる。

更に、予約済み車両が多数ある状況で追加車両の割り当てを最適化する難しいユースケースに対しても、荷積み時間の間の無駄な隙間をなくして荷待ち時間の最小化に効果的な独自の優先度ルール（隙間時間順）を考案し、組み込んだ。

2.3 性能評価

車両数や棟・出荷バース数の様々な設定の下で入力データをランダムに自動生成し、提案技術の性能を網羅的に評価した。特に、利用不可時間帯（予約済み）が多く設定された難しいユースケースに対し、倉庫が5棟で合計50出荷バース、車両数を25～200台で変化させた場合の評価結果を図1に示す。荷待ち時間と出門遅れ時間で、平均値、最大値ともに、提案技術はベンチマーク技術の1/8～1/4に短縮できることを確認した。

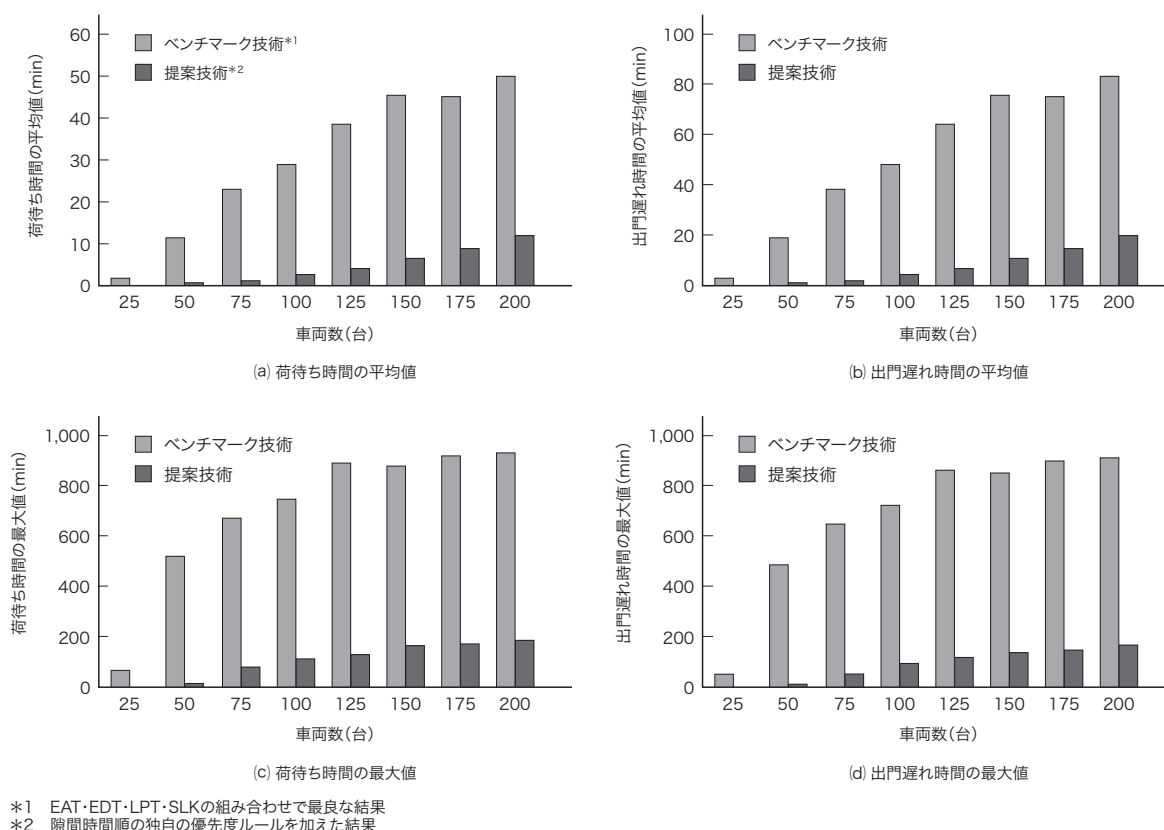


図1. 出荷バース割り当て最適化技術の評価結果

車両数を変えた計算結果で、荷待ち時間と出門遅れ時間のそれぞれの平均値・最大値とも、提案技術の方が短縮できることを確認した。

Comparison of performance evaluation tests of benchmarking and newly developed technologies

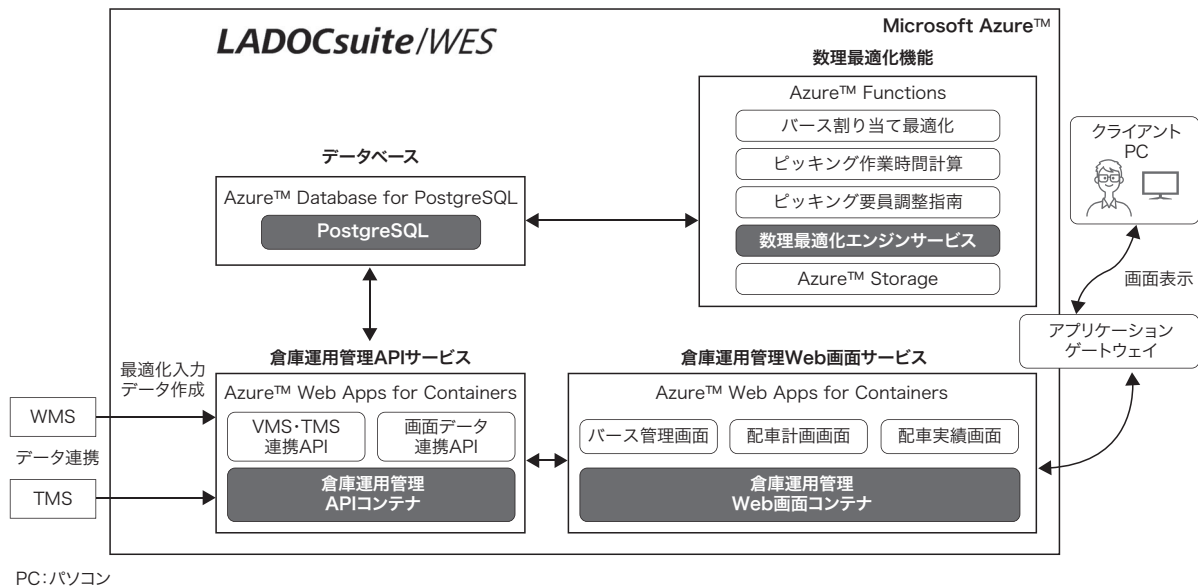


図2. LADOCsuite/WESでの出荷バース割り当て最適化機能の構成

APIとWeb画面をコンテナ化したマイクロサービスの構成で、WMSやTMS、及びデータベースとデータ連携し、バース割り当て最適化などの各種機能を実行する。

Configuration of LADOCsuite/WES including optimal loading berth allocation function

3. LADOCsuite/WESでの新機能の提供

3.1 LADOCsuite/WESの機能構成

出荷バース割り当て最適化機能の構成を図2に示す。LADOCsuite/WESは、WMSやTMSから、出荷伝票情報、車両情報、荷姿（パレット、ケース、バラ）単位の作業生産性、及び出荷バース情報をAPI（Application Programming Interface）で受信し、最適化入力データを作成する。数理最適化エンジンサービスは、データベースを通して最適化入力データを受け取り、車両単位の最適な積み回り順、作業所要時間を計算する。

最適化結果の表示は3画面構成で、数理最適化された出荷バースの割り当てを出荷バース単位で確認できるバース管理画面と、車両単位で確認できる配車計画画面、車両単位で当日の作業計画と進捗実績を確認できる配車実績画面である。ユーザーは、目的や役割に応じて参照画面を選択する。配車担当者は全車両の計画を参照できる配車計画画面、トラックドライバーやピッキング作業者は自身の作業計画を確認するバース管理画面などである。

ピッキング作業の遅れが出荷バース割り当て計画に影響するため、倉庫側は早めに遅れを察知して対策する必要がある。LADOCsuite/WESは、ピッキング作業の完了時刻予測や、応援指南の仕組み、及び計画的なピッキング作業を支援する仕組みを持ち、これらで出荷作業全体の効率化を実現する。

3.2 LADOCsuite/WESの実装方式

Web画面とAPIにはDockerコンテナを用いるMicrosoft Azure™のApp Service（Web Apps for Containers）を利用し、機器管理・業務管理など機能単位でのサービス化や、開発の容易化などを実現するため、マイクロサービスアーキテクチャを採用した。APIが呼び出す数理最適化機能はJARファイル化し、Azure™ Functionsの従量課金制 Queueトリガーバッチ処理によって、非同期かつ並列実行が可能な構成で実装し、最適化条件を変えての連続実行や複数作業による実行にも応用できる。また、従量課金制で利用すれば、数理最適化はAPIが呼び出すときだけ起動するため、常時起動（待機）に比べてサービスコストを低減できる。

図3は、数理最適化エンジンの連携・実行方式を示す。数理最適化は、1回の処理を一つのインターフェースID（識別情報）にひも付けたデータ単位で実行し、車両単位の車両識別番号とともに管理する。インターフェースIDは、数理最適化実行時に、対象の全車両に一つ発行する。発行後、Queueストレージに数理最適化実行指示のキューを送信し、Queueトリガーバッチ処理で、数理最適化を実行する。完了通知は、バッチ処理の完了時にAPIを通じてWESに連携し、正常終了した場合はデータベースに結果を書き込む。

数理最適化の結果は、各画面で確認できる。最適化結果を管理するテーブルと、画面表示用データを管理す

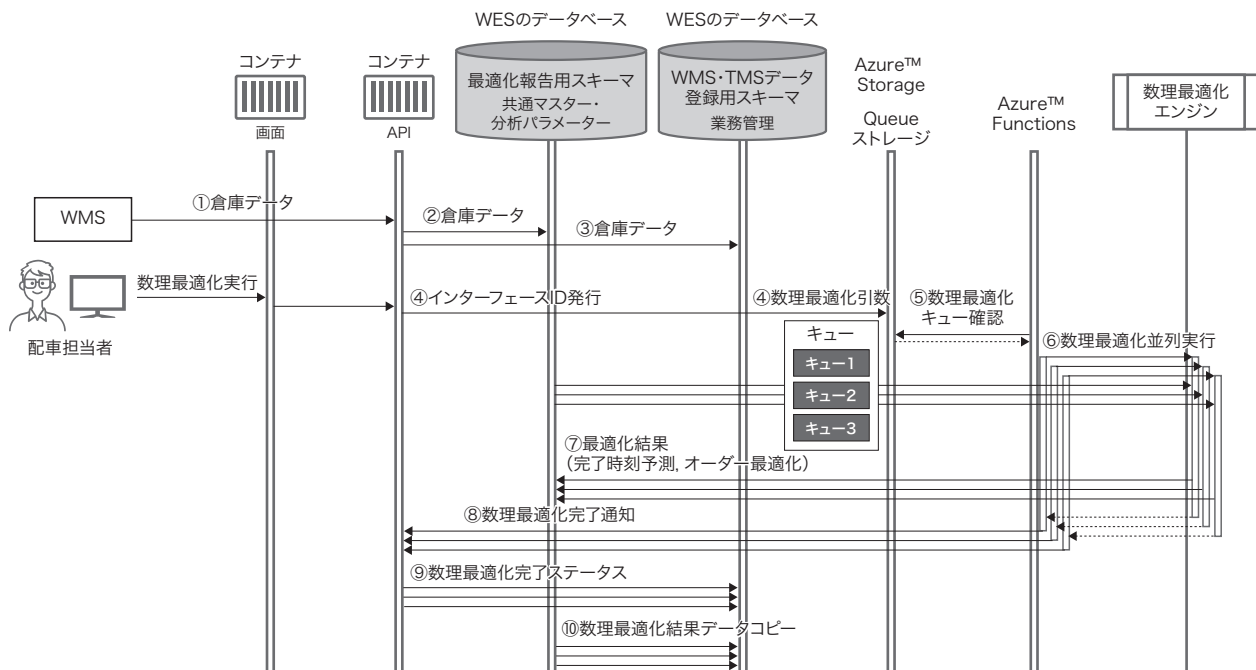


図3. 数理最適化エンジンの連携・実行方式

WMSの倉庫データと連携し、従量課金制でQueueトリガーバッチ処理により実行し、正常終了の完了通知後、データベースに結果を書き込む。

Sequence of optimal loading berth allocation function in conjunction with mathematical optimization engine

るテーブルはスキーマを分け、完了通知によってインターフェースID単位でデータをコピーする。これにより、数理最適化と画面・APIのデータ編集とのデータベース読み取り・書き込みの際の競合を防止できる。

また、数理最適化の実行は、定期実行機能（Azure™ Functionsのタイマートリガーと連動）や、WMSやTMSからのデータ連携をトリガーとする機能も備えていて、配車担当者の業務時刻、業務形態に合わせた自動最適化が可能である。

4. あとがき

出荷バース割り当て最適化による荷待ち時間の短縮は、運送会社側と倉庫側の両方にメリットがある。運送会社側はドライバーの労働時間を短縮でき、倉庫側は最適化された計画から逆算して作業を計画するなど出荷作業全体を効率化できる。ドライバーと倉庫側の作業が有機的に連携することの結果として、荷待ち時間の約30%の削減（荷待ち時間平均1時間）の実現を目指すことが可能となる。

今後は実際の現場へ導入し、実務に適用した場合の課題を洗い出して、改良を進めていく。

文 献

- (1) Pinedo, M. L. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. 3rd ed. Springer, 2008, 671p.

・Microsoft Azureは、Microsoft Corporationの米国及びその他の国における登録商標又は商標。



藤岡 健太郎 FUJIOKA Kentaro
東芝デジタルソリューションズ（株）
ICTソリューション事業部
流通ソリューション技術部
Toshiba Digital Solutions Corp.



岩淵 雄太 IWABUCHI Yuta
東芝デジタルソリューションズ（株）
デジタルエンジニアリングセンター
流通ソリューション部
Toshiba Digital Solutions Corp.



吉田 琢史 YOSHIDA Takufumi, Ph.D.
研究開発センター 知能化システム研究所 システムAIラボラトリー
博士（理学）
日本オペレーションズ・リサーチ学会・日本物理学会会員
System AI Lab.