

廃棄物収集運搬における AI自動配車システムの開発と実証

株式会社イーアイアイ 代表取締役 胡 浩
大栄環境株式会社 技術部長 山田 眞

1. はじめに

令和2年10月の菅内閣総理大臣による『カーボンニュートラル宣言』に加えて、令和3年4月の「気候変動サミット」では、パリ協定における日本の目標値が46%減(2013年比)に引き上げることが表明され、廃棄物処理分野においてもCO₂削減対策の推進が一層急務となっている。なかでも、廃棄物の収集運搬プロセスにおいて、配車ルート最適化はCO₂排出量の削減対策の1つであるものの、廃棄物の配車業務は、専門性が高く、業務負担が大きいにも関わらず、業界特有の制約条件などが原因で自動化が遅れていた。そのため、以前よりCO₂削減、業務効率の改善、および働き方改革にも寄与できる最適配車が可能な自動配車システムが求められていた。

一方、近年AI(人工知能)が著しい発展を遂げ、各分野で急速に普及されてきている。そこで、筆者らは先進的なAIを駆使し、廃棄物の収集運搬に特化したAI自動配車アルゴリズム(手順や計算方法)を開発し、そのアルゴリズムを搭載した自動配車システムを開発している。

本システムの開発は、(平成31年度から令和3年度)環境省「CO₂削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」に採択されており、大栄環境(株)と(株)イーアイアイの共同で実施している。本稿ではその成果の一部を報告する。

2. 廃棄物収集運搬における配車業務の現状と課題

一般的に産業廃棄物の収集運搬車に関する配車業務は、受注情報等をもとに人が経験則に基づき配車

ルートを作成(前日配車業務)し、配車当日は、渋滞による遅れやキャンセルなど突発の対応をしながら配車ルートを組み替える業務(当日配車業務)を行っている。また、配車業務を実施するために、顧客からの受注対応、乗務員の出勤管理、月間拘束時間の整理など配車に必要なデータを揃える業務(準備業務)がある。さらに、多種多様な廃棄物の種類によって、複数の車種、回収パターン、取扱方法があり、それぞれ特有の制約条件が設けられている。これらの業務は、廃棄物処理基幹システム、ホワイトボード、エクセル、紙、業務無線など、様々なツールを活用しながら、同時並行による作業を行っている。

近年、動脈物流業界では、配車業務を自動化する配車システムが現れてきているが、それを廃棄物処理に適用した場合、顧客の回収時間指定等多くの制約条件に対応したルート算出ができない、リアルタイムの状況把握・処理ができないといった課題があり、廃棄物業界で適用可能な自動配車システムがないことから、多くの同業他社においても同様にエクセルでの管理や電話・無線指示といったアナログ的な配車方法が取られているのが実態である(図-1)。

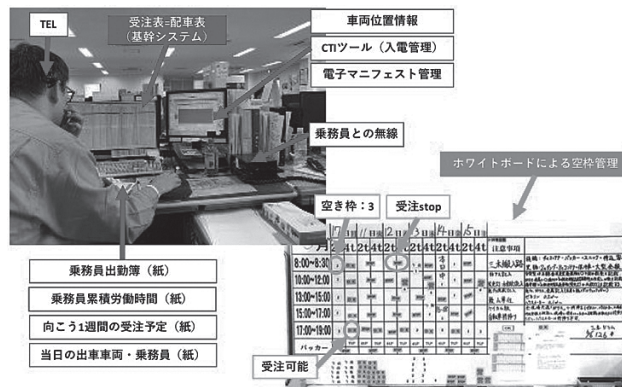


図-1 実際の配車業務の様子

加えて、人が作成する配車ルートは、1拠点からの単純な往復ルートや、対象エリアや配車時間を絞った形で組んでいることから最適だとは言いがたい。

そこで本事業では、様々な制約条件を加味しつつ、高速で最適な配車ルートの算出が可能で、手動配車を上回る実用的な自動配車アルゴリズムの開発を行い、さらに、これを搭載した自動配車システムの開発を目的とする。これにより、収集運搬車の走行由来のCO₂排出量を削減するとともに、業務効率化にも寄与することで、業界で広く普及させることを目指す。

3. AI自動配車アルゴリズムの開発

(1) 問題の複雑性に対するアルゴリズムの考え方

本事業で解決しようとしている問題は、時間枠付き集配計画問題(Multiple Vehicle Pickup and Delivery Problem with Time Windows, MV-PDPTW)として知られている。具体的には、廃棄物収集運搬における業界特有の特徴として、収集回収する現場と事業所等には時間枠付き、現場と事業所の依存関係、出発地点が複数あり、運転手には出勤時間管理、最大勤務時間、作業時間の均等化、容器と作業の関係、廃棄物量の計算、許認可チェック、マニフェスト管理、荷積ルール(合積等)、当日イベント(キャンセル、変更)等の制約条件がある。さらに条件等はダイナミックに変動し、相互に影響し合うことである。一般的な配車問題と比較すると、制約が多いのが特徴である。回収方式は、主としてピストン回収とルート回収の2パターン(図-2)である。

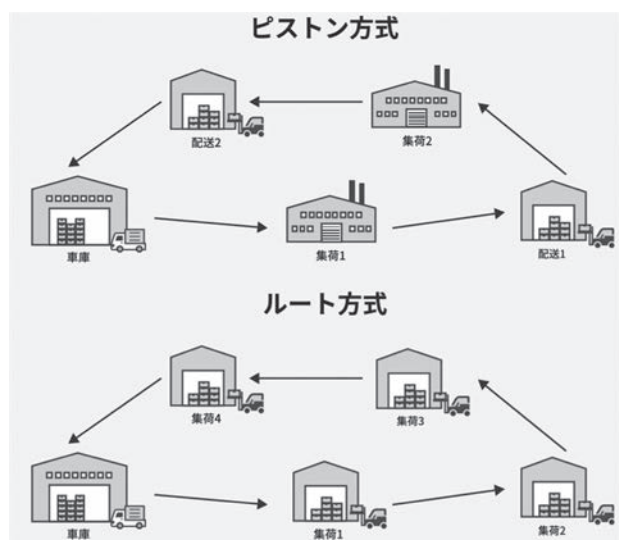


図-2 回収方式

本問題の複雑性を整理する。問題を解くための計算複雑性の規模(States規模)は、大まかに n (集荷先現場数)の階乗($n!$)で表せる。

例えば、現場数(n)が100の場合、States規模が 9.3×10^{157} となる。本問題の複雑さに対し、アルファ碁(Google DeepMindによって開発されたコンピュータ囲碁)のStates規模が 10^{170} 、将棋が 10^{71} である。本問題の現場数は車種によって200を超える場合もあり、その複雑さはアルファ碁をはるかに超えることになる。さらに、本問題は受注件数、現場数、時間枠等の条件が、ダイナミックに変化しており、都度の計算が求められ、現実的には厳密解を求めるのは不可能である。かつ、その必要性があまりない。現実の問題として、いかに少ない計算リソースで、高速に、必要十分な近似解を出せるかが、経済活動から要請されるソリューションである。

そこで本事業では、本問題を必要な時間内で、必要十分な近似解を求めるために、適切な最適化アルゴリズムの開発だけではなく、本アルゴリズムの演算性能を十分に発揮させるためのハードウェアの設計、実装方法の開発を行い、ハード・ソフト両面から自動配車ソリューションの開発と実証事業を行う。

(2) AI自動配車アルゴリズムの開発

廃棄物収集運搬業務の制約条件が多い特徴、および問題の複雑性を考慮したうえで、先進的なAIをベースに、複数の組み合わせ最適化アルゴリズムの特性と融合を検討してきた。約2年間の試行錯誤を重ね、すべての制約条件を満たすことができ、さらに、手動配車を上回る最適ルートを短時間(5分以内)で自動的に算出でき、廃棄物の収集運搬業務に特化した独自のAI自動配車アルゴリズムを構築できた。

開発したアルゴリズムは、前日配車・当日配車、ならびにピストン回収・ルート回収にも対応できる。このアルゴリズムは、様々な制約条件を組み合わせることが可能であり、各社の配車ルールやオペレーションの違いをカスタマイズ可能で自由度の高いアルゴリズムである。また、過去の人による手動配車の実績データベース(DB)を保有しており、このDBを分析・活用することにより、人による経験則(ヒューリスティック)などを得ることが可能である。このDBを十分に活用している点も本開発の特長の1つであ

る。今後は、アルゴリズムの標準化、および自動配車クラウド・プラットフォームの構築を視野に、開発と事業化を進めていく。

開発したアルゴリズムの特長を以下に整理し、その仕様を表-1に示す。

- ✓ 複雑で多様な制約条件を満たす解の算出が可能。
- ✓ 手動配車を上回る配車ルートが算出が可能。
- ✓ リアルタイムの自動配車が可能であり、当日のイベント対応可能。
- ✓ 制約条件の追加・削除等のカスタマイズが可能。
- ✓ 求められる計算時間内に、その時点の最適解を出すことが可能。
- ✓ 並列計算に適合し、計算速度の性能向上を図りやすい。
- ✓ 処理プロセスが安定し、確実性が高い。

表-1 AI自動配車アルゴリズムの仕様

項目	仕様
回収方式	ピストン回収、ルート回収
業務種類	計画配車、当日配車（リアルタイム）
対応可能車種	コンテナ車、バックカー車、ユニック車、大型車、保冷車、等
最大組み合わせ数	500現場/100台/車種 ※条件により拡大可能
計算時間	5分以内 ※データ収集含む
システム方式	クラウド型

4. AI自動配車システムの構築

(1) AI自動配車システムの開発

廃棄物の収集運搬における配車業務は、顧客情報のマスタ登録、電話による受注業務等を行う基幹システム等とも連動した多岐にわたる複雑なシステムが必要である。さらに、AI自動配車アルゴリズムを搭載した自動配車システムを実際の業務で運用するためには、既存の配車業務に加え、自動配車アルゴリズムの計算に必要なデータ収集と一元管理機能を備えた自動配車システムの構築が必要不可欠である。以上を踏まえて、本事業にて開発したシステムは、①AI自動配車アルゴリズム、②自動配車WEBシステム、および③乗務員運転支援アプリケーションによって構成される(図-3)。これら3つのシステムが相互連携し、翌日以降の計画配車および当日配車の自動化を実現させることが可能である。このように配車業務をシステム化することによって、ホワイトボードや紙等

を利用した従来のアナログな配車方法と比べ、年間CO₂排出量の削減だけでなく、業務の効率化、ヒューマンエラーの防止、配車業務負担の軽減等、様々な効果が挙げられる。

加えて、将来的に本システムを運用し関連するデータが蓄積されることで、運転手一人ひとりの運転特性、顧客特性、事業所特性を定量的に捉えることが可能となり、より実態に近い予測が可能になるだけでなく、定量化されることでさらなる配車効率の向上に向けた経営判断の指標として有効活用することが期待できる。

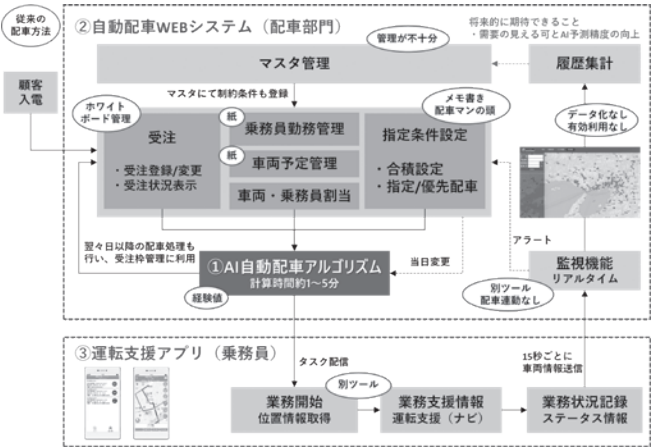


図-3 AI自動配車システムの構成と従来方法の比較

(2) 運転支援アプリケーションの開発

当日の運行状況の確認や受注内容の変更対応などの当日配車業務を行うには、車両の位置情報、作業ステータス等の動態情報をリアルタイムに取得する必要がある。また、配車アルゴリズムから算出される配車ルートにより生成される配車タスクを乗務員に効率よく情報伝達する必要がある。これらを実現させるためには、乗務員専用の携帯アプリケーションが必要になり、その設計と開発を行った。本アプリは、Android系スマートフォン上で動作することを想定し、動態管理、タスク管理、ルート案内、他車両の作業状態確認、および勤務予定登録等の機能を有するシステムとしている。15秒ごとに車両の位置情報、走行・作業のステータスを含む動態情報をクラウドに送信する。この動態管理をもとに、自動配車アルゴリズムと連携し、リアルタイムの自動配車を実現することが可能となる。運転支援アプリケーションの画面例を図-4に示す。



図-4 運転支援アプリの画面例

5. システムの有効性検証

(1) アルゴリズムの有効性検証

AI自動配車アルゴリズムによるCO₂排出量の見込み削減効果を算出するにあたり、過去の手動配車実績データベースから受注情報、および配車関連情報を抽出し、これをもとにアルゴリズムにより最適化の再計算シミュレーションを行い、手動配車結果と比較・分析を行った。対象車種は、最も制約条件が多く、台数の多い4tコンテナ車、ならびに2tダンプ車とした。2018年の365日1年分を対象に自動配車シミュレーションを行い、手動配車との比較結果を図5に示す。図は、横軸にタスク数、縦軸に人の配車結

果との比較に基づく走行時間の削減率を取ったものである。図中の色は、曜日で色分けをしている。その結果、2tダンプ車の平均削減効果が6.4%、4tコンテナ車の平均削減効果が5.1%となり、目標の削減効果5%達成の目途が示された。

シミュレーション結果をみると、タスク数が少ない土日や長期休暇前後は削減効果の幅が大きく、タスク数の増加に伴って削減効果の幅が狭くなることを確認できる。これは、タスク数が少ない日は、1つのルート変更が全体に与える影響が大きいためと考えられる。また、削減効果がマイナスとなっている日があるが、これはアルゴリズムでは遅延が発生しないが、人による配車では指定時間に遅刻しており、結果的に人よりも走行時間が長くなったことが原因である。手動配車による遅刻部分に関しては、CO₂削減効果として評価できない部分ではあるが、それを含めても目標の5%を達成できる見込みである。

(2) 実証試験計画

今年度(令和3年度)は、環境省事業の3年目であり、これまでに開発したシステムの実証試験を行う。実際にAI自動配車システムを用いて配車が組まれた上で、その配車ルートに従って車両を走行させ、遅れ状況やキャンセルなどに対応可能なことを確認すると同時にCO₂削減効果の検証を行い、システム全体の有効性検証を目的とする(表-2)。実証試験の結果は、別途公表する予定である。

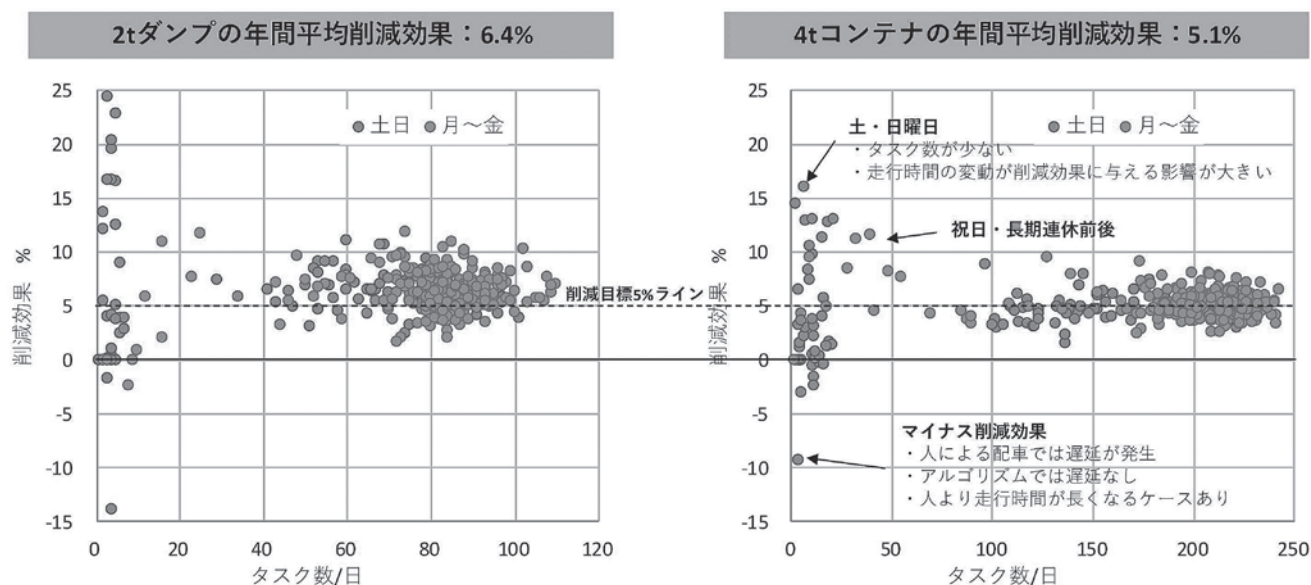


図-5 365日のシミュレーション結果

表-2 実証試験計画の概要

対象項目	内容
回収パターン	ピストン回収
車種	4tコンテナ車、2tダンプ車
車両台数	4tコンテナ車： 約50台 2tダンプ車： 約20台
実証期間	1週間以上/車種 ※平日のみ、長期休暇前後や土日は、 タスクが極端に変動しバラツキの要 因になるため実証期間から除外。

6. 業界での普及拡大に向けて

本事業では、廃棄物の収集運搬に特化し、手動配車を上回るAI自動配車アルゴリズムを実現し、さらにこれを搭載したプロトタイプの自動配車システムの開発を行ってきた。今年度は実証試験を通してシステムの有効性の検証を行う。

今後、顧客ニーズを踏まえた上でAI自動配車アルゴリズムおよび自動配車システムのパッケージ化を検討する。同時に事業拡大に備えた販売体制の構築と強化、並びにビジネスモデルの検討を行う。また、普及策の1つとして、開発者向けにアルゴリズムのみの提供も検討する。さらに、同業界は中小企業の事業者が圧倒的に多いことを踏まえてエンドユーザーの

IT専門知識に関わらず、選択方式によるアルゴリズムのカスタマイズが可能なAI自動配車クラウド・プラットフォームを構築する。これらの施策により、2022年度にはサービスとして提供を開始し、業界への普及を目指している。

7. おわりに

近年、AIの進化に伴って様々な業界でビジネスモデルの変革が起きている。加えて、脱炭素化・SDGsの実現に向けて、廃棄物処理業界におけるDX(デジタルトランスフォーメーション)の推進が注目されている。本事業は、環境省からの委託を受け、廃棄物収集運搬におけるAIを活用したモデル事業として、その役割を果たすとともに、CO₂削減、並びにDX推進に貢献できるように、全力で取り組んでいく所存である。

〈謝辞〉

本報告は、(平成31年度から令和3年度)環境省の「CO₂削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」によるものである。環境省をはじめ、多大なご指導を頂く委員会の先生方、および関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

JAEMメールマガジン 第150(5月)号

目 次より

□ 巻頭コラム

- ・「企業のカーボンニュートラルの実現に森林の炭素価値の活用を」 森本英香
- ・「祈りとワクチンとコロナ後の社会と」 鍋木儀郎

□ BUNさんと泉先生の廃棄物処理法逐条解説(150)

「補遺4. 第七条五の4(一般廃棄物処理業)」

□ 計装のコラム(9)「流量計の形式選定について」 計装屋

□ 技術者が見たあの頃(と今)(113)「東京都の尿尿処理から」 稲村光郎

□ やんもの海だより(99)～冬はどこへ～ 稲田隆治

バックナンバーは技術管理協会ホームページに掲載中です【会員特典】

https://jaem.or.jp/?page_id=3507

会員のページ



メールマガジン
バックナンバー



JAEMメールマガジンは、本機関誌「環境技術会誌」の発行月4月、7月、10月、1月の狭間を埋める情報媒体として、月1回の割合で会員・非会員を問わず配信しております。

ご希望のかたは、メールアドレスを当事務局までお知らせください

gikankyo-info01@jaem.or.jp