

一般廃棄物ごみ収集業務における収集ルート最適化の実証



小川 奈那子 □
佐藤 亨 □
壹岐 桂一 □
山本 昇 □

要旨

廃棄物処理業界では人手不足が課題となっており、IoT・AIを活用した収集運搬業務の効率化が求められている。物流業界では自動配車計画サービスが実用化されているが、家庭系一般廃棄物収集への適用には独特な条件を考慮する必要がある。当社はウェアラブルセンサによるごみ数量検知システムを活用し、AI技術を用いた自動配車計画サービスを応用して収集ルート最適化に取り組んでいる。小田原市の家庭系一般廃棄物委託収集を対象とした実証試験の結果、収集ルート全14コースから1コースを減らし、走行距離としては73 km (7.1 %) が削減された。また、最適化したルートに対して、収集作業員から非常に肯定的な意見が得られた。本実証により、AI技術を用いた収集ルート最適化検討は走行距離削減に有効であることが分かり、そこに収集作業員の経験や知識を加えることによってさらに走行距離を削減できることが明らかとなった。

キーワード

一般廃棄物、廃棄物収集、配送計画、ルート最適化

1. 緒言

収集運搬を含む廃棄物処理業界では、近年の日本の人口減少や高齢化に伴う人手不足が生じている。一方で、廃棄物の排出抑制やリサイクル推進による効果も相まって、ごみの排出量が減少すると考えられる。一見すると労働力の需給は均衡したままに見えるが、人口規模が大きい都市部を除く市町村ではごみ排出量は減少しても収集運搬範囲が変わらないことから、収集運搬に係る費用が割高になり人口当たりの事業経費の増加が懸念される。このような背景から、安定的かつ効率的な廃棄物処理体制構築のために、廃棄物処理施設の集約やごみ収集範囲の広域化が推進されている。今後、廃棄物処理施設を集約する自治体が増加すると見込まれ、さらなる収集運搬距離・費用や作業員一人当たりの業務負担の増加が予想される。これらの状況から、環境省はIoT・AI、センシング技術の活用による収集運搬業務の効率化・省力化を喫緊の課題としている¹⁾。

そのような中、2024年問題(※)が叫ばれている物流業界では、AI技術を用いた自動配車計画サービスが実用化されている。一般的な自動配車計画サービスでは、複数の目的地や配送物に対して最適なルート

を計算し、車両の種類、積載容量、運転手の労働時間などを考慮に入れて最も効率的な配車計画を立てる。しかし、廃棄物処理事業において、家庭から排出される一般廃棄物の収集運搬業務などは廃棄物処理施設までの往復ルートを計画するために、搬入回数や各集積所で収集されるごみの収集量の把握などの独特な条件を詳細に入力して計画する必要がある。このため、既存のサービスをそのまま適用することは難しく、収集ルートは配車担当者の経験や知識で作成されることが多いのが実状である。当社では各集積所のごみ袋数量を把握するためにウェアラブルセンサを用いたごみ数量検知システム²⁾を有しており、このシステムで配車計画に必要な情報を取得し、物流業界で用いられている自動配車計画サービスを活用して収集ルートを最適化して収集運搬業務を効率化・省力化する技術開発に取り組んでいる。

本稿では、事業系一般廃棄物の収集運搬業務にてルート最適化の有用性を確認し、その後、家庭系一般廃棄物の収集ルート全14コースから1コースを減らして全13コースにした最適化ルートの実証結果を報告する。

(※)2024年4月からトラックドライバーの時間外労働の上限規制などにより労働時間が短くなることで輸

送能力が不足し、「モノが運べなくなる」可能性があること。

2. 廃棄物収集におけるルート最適化

廃棄物収集にルート最適化を適用するにあたって、廃棄物の区分を考慮しておく必要がある。廃棄物は、産業廃棄物と一般廃棄物の二つに分けられ、一般廃棄物はさらに排出過程の違いにより、事業系一般廃棄物と家庭系一般廃棄物に分類される。大きく分けて、事業活動に伴って生じる産業廃棄物および事業系一般廃棄物と一般家庭から排出される家庭系一般廃棄物では特性が異なる。

事業系一般廃棄物などの事業活動に伴って生じる廃棄物収集のルート最適化適用については、様々な企業で自動配車計画サービスの開発や製品化が進んでいる³⁾。計画にあたって廃棄物量の把握が必要となるが、排出事業者責任の観点から、排出量が前もって把握できる場合や履歴が管理されていることが多く、データの活用が容易である。また、収集件数や通行に関する制約条件が少ないことも挙げられる。

それに対して、家庭系一般廃棄物収集は収集件数が膨大であり、さらに路上駐車での収集作業となるため、実運用に則したルート計画には車路の左寄せ停車やUターン禁止などの制約条件が必要となる。また、過積載を防止しつつ積載率を上げて廃棄物処理施設までの往復ルートを計画するためには各集積所のごみ収集量

の把握が必須である。その情報を取得する仕組みが構築されていなければ家庭系一般廃棄物の収集ルート最適化は困難である。

また、家庭系一般廃棄物の収集方式には、各家庭の玄関先や集合住宅前など、建物ごとに排出したごみを1軒ずつ収集する戸別収集と、いくつかの世帯で排出されたごみを一か所の集積所（以下、ステーションと記す）に集めて収集するステーション収集の2種類がある。戸別収集の場合は集積所が隣接しており、移動距離が短く収集作業が連続するケースが多く、収集移動する順番の選択肢が限られるため、戸別収集を対象とした収集ルートの最適化による走行距離削減効果は小さいと考えられる。それに対してステーション収集の場合は、近くのステーションまでが数十から数百メートル離れていることでステーション間を収集移動する順番の選択肢が多く、ルート最適化検討に向いており走行距離削減効果も期待できる。そこで、収集方式がステーション収集である家庭系一般廃棄物収集を対象として収集ルートの最適化に取り組んだ。

3. 収集ルート最適化技術

3.1 システム構成

収集ルート最適化に用いるシステムについて説明する。図1に収集ルート最適化フロー、図2にシステム構成を示す。

収集ルート最適化の流れは図1に示すように大きく

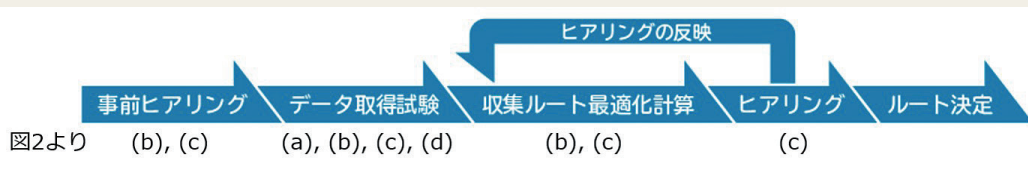


図1 収集ルート最適化フロー

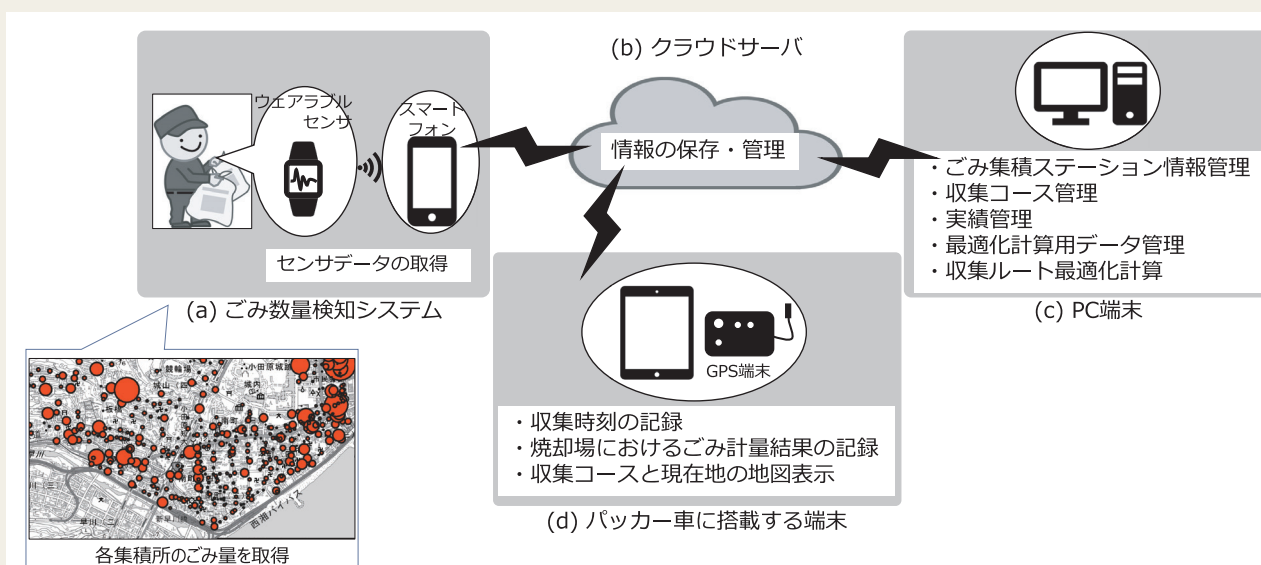


図2 システム構成

分けて事前ヒアリング、データ取得試験、収集ルート最適化計算およびヒアリングの4段階に分けられる。図2のシステム構成に示すように、本システムは(a)ごみ数量検知システム、(b)クラウドサーバ、(c)PC端末、(d)パッカー車に搭載する端末で構成される。まず、事前ヒアリングで得た情報について(c)PC端末でマスタデータを作成し、(b)クラウドサーバで管理する。次に、データ取得試験で(a)ごみ数量検知システムと(d)パッカー車に搭載する端末を用いて得たデータを(b)クラウドサーバに蓄積し、(c)PC端末で分析・整理する。次に、(b)クラウドサーバで管理されているデータを用いて(c)PC端末にてAI技術による最適化計算を行い、地図やリストなどの資料を作成する。その後、図1に示す最適化フローにより、それらの資料を用いてヒアリングを実施し、ルート調整などの要望がある場合は再度ルート最適化計算に戻る。このプロセスを繰り返すことで、最終的なルートを出す。収集ルートの最適化計算・ルート決定には、事前ヒアリングやデータ取得試験で得られる情報が非常に重要である。そのため、事前ヒアリングでは、それぞれの自治体・収集業者の現在の収集情報管理体制に合わせて、ヒアリング項目を決定する。

3.2 ごみ数量検知技術

廃棄物処理施設までの往復を含めた収集ルート計画には、各集積所のごみ量の情報が必要である。しかし、家庭系一般廃棄物収集では、収集業者や自治体で各集積所のごみ量を把握していない。そこで、一般的には荷重計付きのパッカー車を使用するか、パッカー車に荷重計の増設改良を施すことが必要だが、これらは高額な設備投資が求められる。そこで、ウェアラブルセンサを用いてパッカー車に投げ入れられるごみ袋の数をカウントし、安価な投資でごみ数量を把握できるごみ数量検知技術を開発した。

ごみ袋数の検知には、3軸方向の加速度と3軸回りの角速度をウェアラブルセンサで取得し、そのセンサデータからパッカー車へのごみ袋投入動作を識別して、ごみ袋数をカウントする。

4. 実証試験

4.1 収集ルート最適化検討の有用性検証

まず、事業系一般廃棄物にて収集ルート最適化の有用性を検証した結果を述べる。最適化検討にあたり、小田原市の事業系一般廃棄物収集1コースを対象に、各集積所の位置、ごみの収集量や作業時間などの情報をデータ取得試験とヒアリングにより得て、それらの情報を最適化計算に用いた。

従来使用していた収集ルート(以下、従来ルートと記す)と当社で最適化検討した収集ルート(以下、最

適化ルートと記す)の走行距離、走行時間について比較した結果を図3に示す。図の一点鎖線枠内は従来ルートでは2往復しているが、最適化ルートでは遅めの時間帯に収集時間が指定されているステーションのごみを最後にまとめて収集することにより走行距離を大きく削減できた。さらに、最適化ルートは実運用に有用であることが確認できた。また作業員へのヒアリングで、これほど走行距離を削減できれば燃料費にも大きく関わるため、他のコースでも最適化を検討したいなど肯定的な意見が得られた。

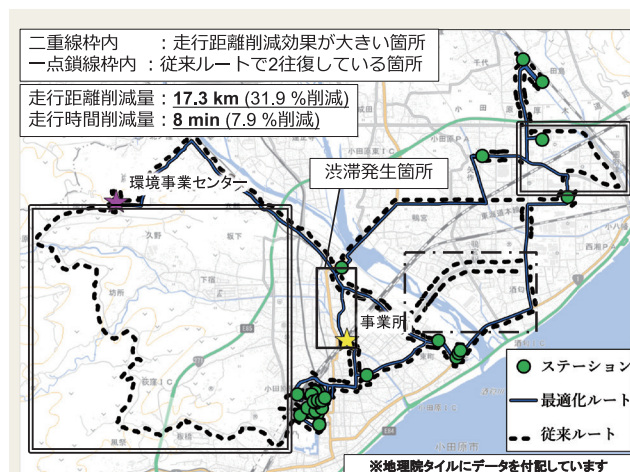


図3 最適化ルートの実証結果(事業系)

4.2 家庭系一般廃棄物収集を対象とした収集ルート最適化の実証

次に、小田原市におけるごみ収集運搬委託業者の協力を得て、家庭系一般廃棄物収集のうち、可燃ごみ収集を対象としたルート最適化検討を実施した。なお、小田原市のごみ収集方式はステーション収集である。収集ルート最適化検討では、委託業者が1,685件のステーションを全14コース(2tパッカー車9台、3tパッカー車5台)で収集運搬するものを、3tパッカー車で収集する1コースを減らして全13コースのルートを作成した(以下、計画ルートと記す)。

4.2.1 収集ルート最適化検討

図4に3コース分の従来収集区域と1コース分の計画ルートを重ねて示す。従来のルート決めは、決められた収集区域に割り振られたステーションの位置を基に収集する順番を決めていた。しかし、AIによるルート最適化計算では、廃棄物処理施設に向かいながら収集するステーションを算出するという特徴があるため、計画ルートは複数の従来収集区域をまたいだ全く新しいルートとなった。その結果、削減量としては3t車1台に加えて、計画ルートは従来ルートよりも総搬入回数1回と総走行距離50 km(4.9%)を削減できた。

4.2.2 実証試験

走行実証は3ステップで実施した。ステップ1は従来ルートの走行実証であり、ステップ2はステップ1で取

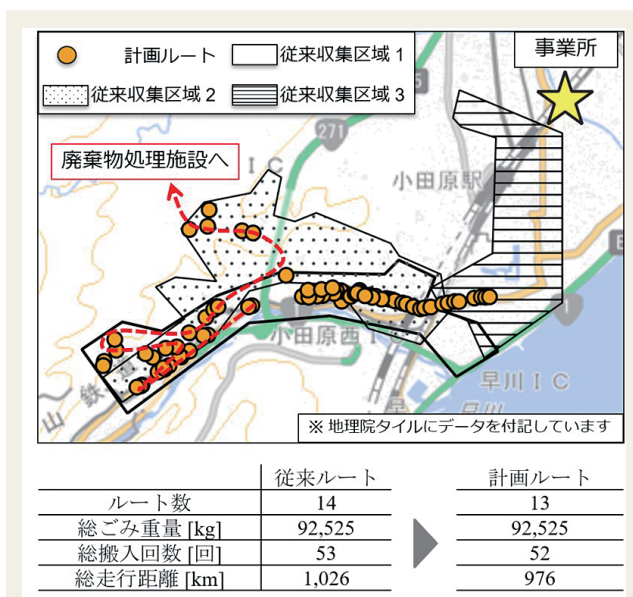


図4 最適化ルートの特徴

得たデータを基にAIで最適化計算した計画ルートの走行実証である。ステップ3は計画ルートに収集作業員の経験や知識を加味して調整したルート（以下、最終ルートと記す）である。なおステップ2では収集ブロック（搬入毎に収集するステーション）は指定したが、収集ブロック内の収集順序や順路は作業員に判断を委ねた。これらの走行実証結果について総搬入回数、総走行距離、消費燃料およびCO₂排出量などの観点でステップ1からの削減量を比較評価した。また、計画ルートに対する意見、要望および感想を得るためにヒアリングを実施した。さらに、収集運搬業務の効率化・省力化についても考察した。

(1) 結果

実証試験の結果について表1に示す。表1の総走行距離について、ステップ2ではステップ1よりも50 km (4.9%) 削減できた。ステップ1は年間を通して使用可能なルートを作成するためごみの収集量が多い時期とした。ステップ2とステップ3はルート変更によるイレギュラーに対応しやすいようにごみの収集量が少ない時期に走行実証を実施した。そのため、ステップ2とステップ3はステップ1よりも総ごみ重量が1割程度少

なく、ステップ3では積載状況に対して作業員の経験や知識により順序や焼却施設への搬入タイミングを調整したため、ステップ2からさらに総走行距離を削減し、ステップ1より73 km (7.1 %) の削減を実現できた。

ステップ2からステップ3にかけて調整したものの内、大幅に走行距離を削減した2パターンの代表例について説明する。図5のようにパターン1では収集ブロックが重複している箇所を収集しやすい収集ブロックにステーションを組み替えて走行することによって、走行距離を4 km (4.7 %) 削減した。表2のようにパターン2では最終収集ブロックの積載量が少なかったため、他の収集ブロックにステーションを割り振ることで、搬入回数1回と走行距離13 km (15.7 %) を削減した。

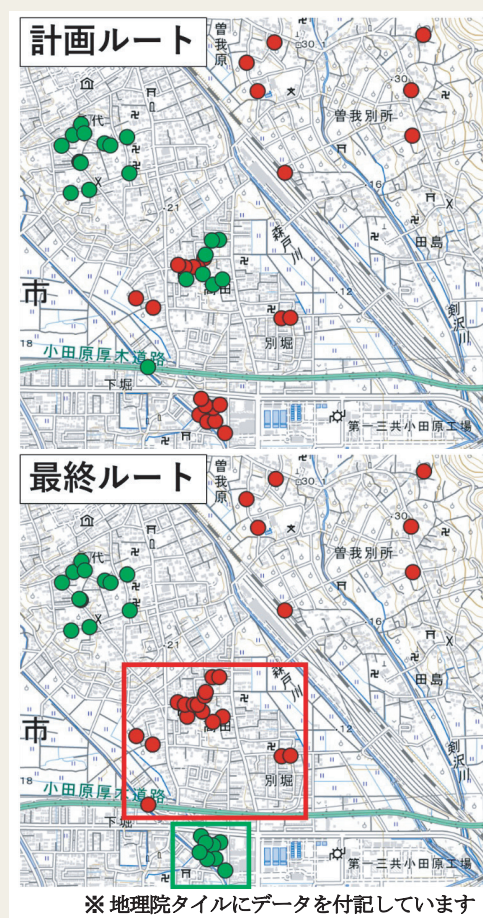


図5 パターン1のルート調整箇所

表1 走行実証結果の比較（家庭系）

	従来ルートの 走行試験 (ステップ1)	計画ルートの 走行実証 (ステップ2)	ステップ1からの 削減量	最終ルートの 走行実証 (ステップ3)	ステップ1からの 削減量
コース数	14	13	1	13	1
車両	2t 車: 9 台 3t 車: 5 台	2t 車: 9 台 3t 車: 4 台	3t 車: 1 台	2t 車: 9 台 3t 車: 4 台	3t 車: 1 台
総搬入回数 [回]	53	52	1	51	2
総ごみ重量 [kg]	92,525	82,435	-	83,695	-
総走行距離 [km] 【年間削減量】	1,026	976	50 【4,800 km】	953	73 【7,008 km】

表2 パターン2の積載量 [kg]

	1 回目 の搬入	2 回目 の搬入	3 回目 の搬入	4 回目 の搬入
計画ルート	2, 055	1, 790	1, 585	815
最終ルート	2, 425	2, 635	1, 700	-

(2) ルートに対する意見・要望

AI技術を用いて最適化した計画ルートについて、表3のような意見、要望および感想を得た。その後に実証した最終ルートについても好評をいただき、実証試験以降も最終ルートが採用されている。

(3) 収集運搬業務の効率化・省力化

本実証では、3t車を1台削減することで、収集作業員3人分の省力化を実現した。このことは他の作業に人員を割くことや、高齢者サポート収集や資源回収など新たな住民サービス提供の可能性がある。表4に消費燃料およびCO₂排出量の算出結果を示す。表4の消費燃料およびCO₂排出量は、簡易的に効果を算定するために従来トンキロ法を用いる。算定に用いる燃料消費率原単位とCO₂排出原単位は、今回は単純比較のため収集作業全体のパッカー車の平均速度15km/hを用いた。車両重量に関しては、2t車は6t、3t車は8tとする。

表4に示す燃料費に関して、最終ルートは従来ルートより、週1回収集の場合の年間削減量は約26万円となる。小田原市では、月・木曜日は同じコースで収集しているため、木曜日と同じ削減量であると考ええると約52万円の経費削減が可能となる。

また、CO₂排出量について、最終ルートは従来ルートより7.5 %削減できた。近年、運輸部門におけるCO₂排出量が増加している⁴⁾が、収集ルート最適化による走行距離削減により、CO₂排出量削減にも貢献できる。

表3 計画ルートに対する意見・要望・感想

項目	内容
1	作業員の経験や勘では思いつかないようなルートだったため面白いと思った。
2	ステーションへの左付けやUターンをしないようなルートを作成してもらえるのは、無理矢理な運転による危険が減って嬉しい。
3	(計画ルート実証試験時) AI で計算した最適化ルートに作業員の経験を活かして修正を加えるとさらに効率的なルートができるのではと考えている。

表4 消費燃料、CO₂排出量比較

	従来ルートの 走行試験 (ステップ 1)	計画ルートの 走行実証 (ステップ 2)	ステップ 1 からの 削減量	最終ルートの 走行実証 (ステップ 3)	ステップ 1 からの 削減量
消費燃料 [L] 【年間削減量(月曜のみ)】	245	233	12 【1, 152 L】	227	18 【1, 728 L】
燃料費 [円] 【年間削減量(月曜のみ)】	37, 485	35, 649	1, 836 【176, 256 円】	34, 731	2, 754 【264, 384 円】
CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂] 【削減率】	610	579	31 【5.1 %】	564	46 【7.5 %】

※ 燃料は軽油、単価は関東の 2024/8/19 の石油製品小売市況調査に基づき 153 円/L とする。

※ 消費燃料、CO₂ 排出量は従来トンキロ法を用いて算出する。

5. 結 言

本稿では、事業系一般廃棄物収集における最適化検討および走行実証の結果から収集ルート最適化の有用性について述べ、家庭系一般廃棄物収集の収集ルート最適化の結果は期待通りのものとなった。以下にまとめる。

- 事業系一般廃棄物収集において、最適化ルートは従来ルートと比較して走行距離が31.9 % (17.3 km) 削減され、走行距離削減に対する収集ルート最適化検討の有用性が確認された。
- 家庭系一般廃棄物収集において、総走行距離で計画ルートの走行実証結果が従来ルートよりも50 km削減できた。さらに計画ルートを収集作業員の経験や知識を加味して調整した最終ルートでは従来ルートよりも73 km削減することができた。
また、収集作業員からは、今回作成した最終ルートに対して肯定的な意見が得られた。
- AI技術を用いた収集ルート最適化検討は走行距離削減に有効であり、そこに収集作業員の経験や知識を加えることによってさらに走行距離を削減できることが明らかとなった。
- 収集ルート最適化による走行距離の削減は、収集運搬業務の効率化・省力化およびCO₂削減に貢献できる。

謝 辞

本実証試験にご協力いただきました小田原市様、小田原衛生グループ様ならびに関係者の皆様、また本稿作成にあたりご指導ご協力をいただきました方々に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省, 循環型社会形成推進基本計画, p.28, **2018年6月**.
- 2) 壹岐 桂一, 佐藤 亨, 山本 昇, 一般廃棄物ごみ収集業務における収集運搬効率化の実証について, 第44回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, II-1-53, **2023年1月**.
- 3) みずほ情報総研株式会社, 令和2年度 産業廃棄物処理の高度化に係る調査検討業務報告書, **2021年3月**.

- 4) 国土交通省, 運輸部門における二酸化炭素排出量, https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html, **2024年4月26日**.

文責者

カナデビア株式会社 環境事業本部
設計統括部 環境ソリューション設計部
ソリューション開発グループ
小川奈那子
E-mail : hitzgiho001@kanadevia.com

Demonstration of Optimized Collection Routes for Municipal Solid Waste Collection and Transport

Abstract

The waste management industry faces labor shortages, and there is a demand for improving the efficiency of collection and transport operations using IoT and AI technologies. While automated dispatching services have been introduced in the logistics industry, adapting them to municipal solid waste collection requires considering unique conditions. Kanadevia Corporation developed a wearable sensor-based waste volume detection system and is implementing AI dispatching services to optimize collection routes. In a demonstration targeting collection in Odawara City, the number of routes was reduced from 14 to 13, and the driving distances were reduced by approximately 73 km (7.1 %). We also received very positive feedback on the optimized route. This demonstration indicated that route optimization using AI technology is effective in reducing driving distances. Furthermore, it was shown that the experience and knowledge of workers contribute to further decreasing driving distances.

Authors

Nanako Ogawa (Kanadevia Corporation, E-mail : hitzgiho001@kanadevia.com)
Tohru Satoh Keiichi Iki Noboru Yamamoto