

マルチエージェントシミュレーションを用いたごみ収集作業効率化の検討 Optimization for Refuse Collecting Vehicles with Multiagent Simulation

吉田 彩乃[†] 高橋 尚人[†] 中島 秀之[†]

Ayano Yoshida Naoto Takahashi Hideyuki Nakashima

1. はじめに

ごみ収集作業には多くの作業員とごみ収集車両が必要となるが、財政面や将来的に労働力の確保がさらに難しくなることを考慮すると、作業の効率化が必要である。しかし、ごみ収集作業は作業員の経験に基づき行われている面があり不明な部分も多く、効率化のためには現行の作業を把握するための可視化が必要となる。

そこで、本研究では札幌市中央区の家庭ごみのプラスチック容器（以下、プラ容）を収集しているごみ収集車を対象に GPS センサ等を設置しごみ収集作業を可視化した。そして取得したデータとデマンド応答型公共交通の一種である SAVS (Smart Access Vehicle System) を使用してごみ収集作業の最適化を図った。

2. 札幌市のごみ収集作業の現状

令和 1 (R1) 年度の札幌市家庭ごみの排出量は約 38.3 t であり、ごみ収集業務は直営 2 割、委託 8 割で実施されている。委託額は約 39 億円で年々増加傾向にある[1][2]。

R1 年度の市全体のごみステーション（以下、ごみ ST）数は約 53,000 箇所であり、中央区には約 8,500 箇所が設置されている。札幌市では 6 戸以上の集合住宅では専用ごみ ST の設置が原則として定められており、年間 1,000 箇所以上増設されている[3]。その様な状況下で、ごみ収集作業員はサービスレベルを維持するために時に残業しながらごみ収集を行っており、年間の残業時間は約 9,000 時間に及ぶ。

札幌市は 10 の行政区で構成されているが、各区区内をさらに複数の地区に分け収集日を決めており、中央区は 6 つの地区に分けられている。本研究で対象としたプラ容の収集は週 1 回、委託業者のみが行っており、中央区では 24 台の車両で収集している。各車の収集地域と搬送先は札幌市が指定しているが、収集経路等は委託業者の作業員の経験に基づいて決定されている。

3. ごみ収集作業の可視化

設置する機器については、札幌市担当部局とも協議のうえ、①堅牢であること、②ごみ収集作業を阻害しないこと、③機器操作を極力減らすこと（または機器操作が全く不要なこと）の条件を満たす機器を選定しシステムを構築した。

本研究で構築したごみ収集車のデータ収集システムの構成を図 1 に示す。本システムでは個人情報保護の観点からドライブレコーダーのカメラ機能を使用していない。ごみ収集車に設置した機器により、ごみ収集車の位置、積載量等のデータを 1 秒間隔で取得する。取得データはドライブレコーダーの通信機能を使用し、1 分間隔でサーバーに送信され蓄積される。

取得したデータから各ごみ収集車の収集経路を調べた。図 2 に例として札幌市中央区の東端を担当しているごみ収

集車の担当エリア内の収集経路を地図上に描画した。ごみ収集作業では状況に応じた臨機応変な対応をしているため、作業工程や収集経路には多少の変動があるが、基本的な作業工程は以下の通りだった。①会社を出発し収集開始時刻まで最初のごみ ST の前で待機、②午前中の収集作業、③処理場へ搬入、④昼休憩、⑤午後のごみ収集作業、⑥処理場へ搬入、⑦会社へ戻る

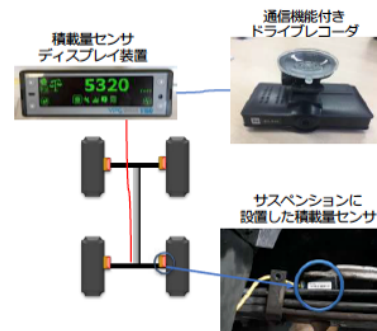


図 1 データ取得システムの構成



図 2 東端を担当する収集車の収集経路

4. ごみ収集作業の最適化シミュレーション

4.1 シミュレーション環境と条件

本研究では、最適化のためにデマンド応答型公共交通の一種である SAVS[4]を使用した。SAVS は固定経路を持たず、デマンドに応じて乗合ながら乗客を目的地まで届ける。各車両には定員が設定されており、定員に達した場合には新たなデマンドには応じず乗客を目的地へ向かう。これらはごみ収集車が満積載となった場合に当初の収集予定を変更しごみ処理施設に向かう作業方法に類似している。そのため、SAVS での定員をごみ収集車の積載可能量、乗客の乗降時間を各ごみ ST での積載時間に対応させることで最適化計算が可能ではないかと考えた。

本研究では現行のカレンダー割を考慮し、カレンダーエリア毎に必要なごみ収集車数、走行時間、走行距離を求めた。道路ネットワークとごみ ST 位置情報は (株)ゼンリンの 2019 年 12 月時点のものを使用した。実作業での安全や作業実態への合致などを考慮し、交差点間にあるごみ ST を車線ごとに 1 つに集約し、加えて幅員 4m 以下の道路では両車線側を 1 つに集約した。集約後の位置は集約前のご

[†] 札幌市立大学 Sapporo City University

みSTの重心となるようにした。集約の結果、ごみST数は3,797箇所となった。実作業では選択が難しい走行経路による過剰な作業時間の短縮を避けるために、実作業で右折が難しいと考えられる交差点では右折を禁止した。ただし、一律の条件で右折禁止を設定したため、実作業では右折を行っている場所も含まれている。また、SAVSで使用する各パラメータ値は取得したデータから算出した。

ごみ収集車の走行速度とごみSTの積載時間は地域によって条件が大きく異なるため、計算結果を同じエリアの実作業と比較し調整した。本研究では複数のごみSTを1箇所に集約したため、各ごみSTの積載時間を「ごみST1箇所当たりの積載時間×集約したごみST数」とした。各車の出発地点は委託業者とし、目的地はごみ処理施設とした。ただし、ごみ収集作業が終了してから処理施設までの搬送経路と搬送時間は考慮していない。加えて、取得したデータを参考に収集作業の制限時間を4時間程度とした。

4.2 手順

以下の2段階に分けてシミュレーションを行い、最終的に総作業時間が4時間程度となるような各車の担当エリアを求めた。①幹線道路を目安に各カレンダーエリア内を分割。分割されたエリアごとの作業時間を算出。②①で算出した作業時間を使用し最適化計算を再度行い、1車両当たり4時間程度で作業可能な各車の担当エリアを求めた。この時、各車の作業時間に大きなばらつきが発生しないようにした。②の結果を基に各車の担当エリア内の収集経路を求め、各車の総走行距離と担当ごみST数、目安となる総作業時間を求めた。

4.3 結果

中央区全体で総走行距離が約2.8% (約13.77km) 減少した。6つの地区の中で最も減少率の大きかったエリア (図3) では、総走行距離が約8% (約2.82km) 短くなった。この理由として次の事が挙げられる。現行の各車両の担当エリア割では斜めかつ上下方向に分かれているが、計算結果では横方向に分割された。実作業では、各担当エリアの境界で収集作業を行わない移動が発生していたが、計算結果ではその様な移動の際に対向車線側を収集可能になった。その影響を受け収集経路が変更されたため、走行距離が短縮した。しかし現行のカレンダーエリア割を活かして計算したため、収集エリアと走行距離の見直しの余地が少なく、総走行距離を大きく減少させることはできなかった。

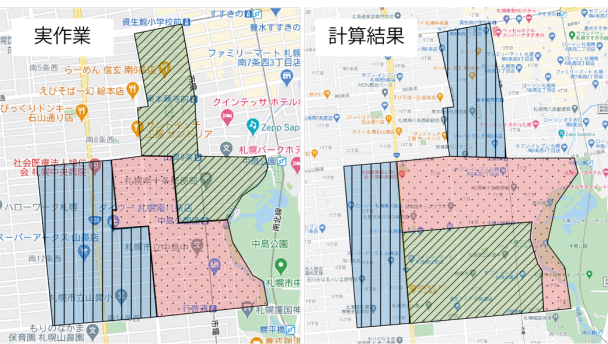


図3 総走行距離の減少が最大なエリアの担当エリア割
ただし、計算結果の方が実作業よりも各車の平均作業時間、平均走行距離、担当ごみST数は平準化されていた (表1)。これは他のエリアについても同様だった。

表1 図3のエリアの各車の作業時間と担当ごみST数

実作業				
平均作業時間	平均総作業時間	走行距離	総走行距離	担当ごみST数
3時間22分	10時間38分	13.91km	34.22km	304
3時間38分		11.3km		421
3時間39分		9.01km		291
シミュレーション結果				
平均作業時間	平均総作業時間	走行距離	総走行距離	担当ごみST数
3時間11分	9時間27分	10.883km	31.403km	310
3時間11分		10.8km		399
3時間5分		9.72km		307

また、各車の作業可能時間を4時間程度としたことにより、作業台数が1台少ない結果となったエリアもあった (図4)。実作業に比べ、各車の作業時間は30分程度増加したが、他のエリアと同様により平準化された (表2)。

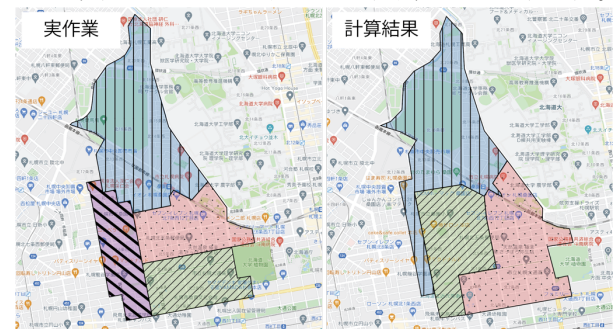


図4 作業台数が1台少なくなったエリアの担当エリア割

表2 図4のエリアの各車の作業時間と担当ごみST数

実作業					
作業台数	平均作業時間	平均総作業時間	走行距離	総走行距離	担当ごみST数
4	3時33分	13時48分	15.55km	52.75km	201
	3時27分		14.16km		202
	3時25分		11.55km		121
	3時22分		11.49km		202
シミュレーション結果					
作業台数	平均作業時間	平均総作業時間	走行距離	総走行距離	担当ごみST数
3	4時間12分	12時間34分	18.639km	52.365km	252
	4時間4分		16.513km		228
	4時間18分		17.213km		246

5. おわりに

本研究では、ごみ収集作業の最適化のために作業の可視化を行った。そして可視化によって得られた情報を基にSAVSのパラメータ値を決定し最適化計算を行った。その結果、総走行距離が短縮され、各車の作業時間と担当ごみST数が平準化された。今後はより実作業に則した収集経路を算出できる様に改修し、加えて、現行のカレンダーエリア割を考慮しない場合の最適化効果を求める予定である。

参考文献

[1] ” 清掃事業概要 ”
https://www.city.sapporo.jp/seiso/documents/99honpen_2.pdf (参照 2021-6-14)

[2] “家庭ごみ収集費事業評価調査”,
<http://www3.city.sapporo.jp/somu/hyoka/torikumi/pdf/20191020568.pdf> (参照 2021-6-14)

[3] “札幌市のごみステーション数・共同住宅むね数等”,
https://www.city.sapporo.jp/seiso/gomistation/kyodo_kyogikai/documents/siryou1.pdf (参照 2021-6-14)

[4] 中島 秀之, 松原 仁, 田柳 恵美子 “スマートモビリティ革命”, 公立はこだて未来大学出版会(2019)