

大都市を対象とした廃棄物中継輸送システムの導入効果に関する一考察

CONSIDERATIONS IN EFFECTS OF INTRODUCING TRANSFER AND TRANSPORT SYSTEMS
INTO MUNICIPAL WASTE MANAGEMENT SYSTEMS IN A LARGE CITY

鈴木俊也*, 内海秀樹†, 寺島泰**

Toshinari SUZUKI, Hideki UTSUMI, Yutaka TERASHIMA

ABSTRACT: In transfer and transport systems, waste is transferred from several collection vehicles to larger cars, trains, or ships and transported. The systems make it possible to reduce the total working hours and the distance needed for collection and transportation vehicles to move, and make collection and transportation systems more efficient. This study aims at evaluating the effect of introducing the systems into the process of collection in respect to a reduction in the costs and the environmental load emissions as a case study. Conclusions of this study are as follows: (1) in case there are transfer and transport facilities in the center of the population distribution in each region, the number of collection vehicles needed a day, the costs, and environmental loads are smaller than in case there is none. (2) in case there is two facilities, the environmental loads are smaller than in case there is one.

KEYWORDS: Transfer and Transport Systems, Collection and Transportation, Collection Vehicle, Environmental Loads, Costs

1. はじめに

ごみの総排出量は、ここ数年ほぼ横ばいの傾向を示しているものの増加を続け、ごみ質の多様化も進んでいる。これらに対応する形でごみ処理にかかる費用も増加している。さらには、容器リサイクル法の施行、交通事情の悪化などにより、収集運搬過程における作業の複雑化、長時間化が懸念されている。また、収集運搬作業が廃棄物処理全体に対して費用面で大きな割合を占めていることを踏まえ、その効率化を行うことが必要である。近年、真空式収集システムのための車両、分別収集に対応した車両などの特殊車両が導入され、効率化が図られているが、その他にも収集運搬過程においては、車両の延べ走行距離および延べ作業時間の削減を行うことが有効であると認識されている。これらを達成するための方法の1つとして、中継輸送システムの導入が挙げられる。中継輸送システムとは、ごみ集積所を巡回してごみを収集する車両の各々が、個別にごみを中間処理施設に搬入するのではなく、これらの車両複数台分のごみを積載することが可能な大型の車両、鉄道、または船舶等に積み替えてから、中間処理施設に搬入するためのシステムである。このシステムの利点としては、収集車両が運搬にかかる時間を削減できる、中間処理施設へのごみ搬入車両を低減できる、中間処理施設へのごみ搬入量の調節ができる、といったことなどが挙げられる。一般に、中間処理施設がごみの発生点からより遠く離れている地域に特に有利なシステムであるといわれている。

本研究の目的は、中継輸送システムの収集運搬過程への導入による効果を調査することである。まず最初に、中継輸送システムをモデル化した上で、ケーススタディとなる自治体を設定し、現状推移、更新計画、人口重心への中継施設の立地、そして中継施設の複数化などの観点からシナリオを想定した。そして、費用、環境負荷の排出量などの指標を用いてシナリオ間の比較・考察を行った。

*京都大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kyoto University

**大阪産業大学 Osaka Sangyo University

2. モデルの構成と評価の方法

2.1. 家庭系廃棄物の収集運搬の概要と中継輸送

家庭系一般ごみは、家庭から各戸前あるいは集積所に排出された後、収集運搬車両により収集されて、中間処理施設に直接運搬される。また場合によっては、中継輸送という、ごみ搬送の効率化を図るために、収集地域で収集運搬車両によって集められたごみを、一度中継施設に運搬し、より大型の車両、または鉄道、船舶などに積み替えてから、中間処理施設に搬入する方法が用いられ、中間処理施設で処理される。中継施設の種類の、大まかに分けて、搬入されたごみに対して何らかの処理を施してから中間処理施設に輸送する方式と、何の処理も施さず輸送する方式の2通りがある。国内事例で最も多く採用されているのは、前者のうちのコンパクトコンテナ方式という、搬入されたごみを圧縮してコンテナに詰め込み、コンテナごと搬出する方法である。この方式は、ごみの積み込み作業の自動化が可能で、密閉型コンテナで輸送することにより、積み込み・運搬作業が衛生的になり、1台あたりの輸送効率が大きい。輸送作業がより効率的になるとともに、周辺の交通量の緩和を図ることが可能、などの効果がある。

2.2. モデルの概要

(1) 対象となる収集運搬過程

対象とする収集運搬過程は、図2-1に示す。ごみが家庭から集積所に排出されてから、収集運搬車両により収集され、中間処理施設に輸送されるまでである。また、中継施設がある場合には、ごみが家庭から排出されてから、収集運搬車両により収集され、一度中継施設に搬入されて、最終的に中間処理施設に輸送されるまでである。本研究内では、収集

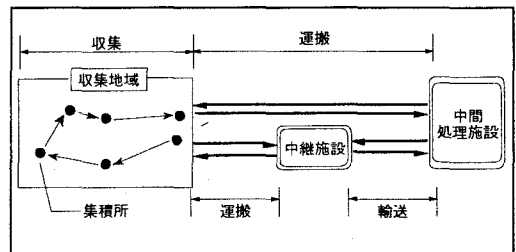


図2-1 対象とする収集運搬過程

地域内でごみを収集運搬車両に積み込むことを収集、収集地域から中継施設までごみを運ぶことを運搬、中継施設から中間処理施設までごみを運ぶことを輸送とよぶ。また、地域特性などは考慮せず、ごみの排出量は人口に比例するとする。検討する項目としては、収集運搬にかかるコスト、そのとき排出される環境負荷物質としての NO_x の量、および収集車両1台が、1日あたりに収集するごみの量をあらわす収集効率を用いる。本研究で求める環境負荷物質としては NO_x 、 CO_2 、PMがあるが、後述するように、本研究での算出方法では、排出原単位の違いのみになるため、代表として NO_x のみをとりあげた。

(2) 収集過程

1つの収集地域を、「国税調査に関する地域メッシュ統計デジタルメッシュマップ」における1区画 1km^2 のメッシュとし、メッシュ内における人口、およびステーションの分布は一樣であると仮定する。収集車両は、許容積載量に達するまでは収集地域内において作業を行い、許容量に達した場合は作業を一時中断し、中継施設または中間処理施設でごみを下ろして、収集地域に戻り作業を再開するものとする。ただし、このとき考える移動距離は、全集積所間を連続して移動したとしたときの距離であり、収集作業の中断により収集地域から出た後、再び戻り続きの集積点に移動する過程の距離は含まない。

$$l_t = (N_s - 1) \times \sqrt{\frac{1}{N_s}}$$

ここで、 l_t : 収集地域内での延べ移動距離[km]、 N_s : ステーション数[-]とする。

(3) 運搬輸送過程

運搬輸送過程においては、都市の構造を格子状と仮定し、図2-2のように、直線状に経路をたどり輸送が行われるとして行われるとして、移動距離を推計する。このとき、ステーションの分布が一樣であるとの仮定より、平均的な距離を求めるため、収集地域からの出発点、および収集地域への帰着点はメッシュ正方形の中心であるとする。また、距離の算出を容易にするため、施設の位置は正方形

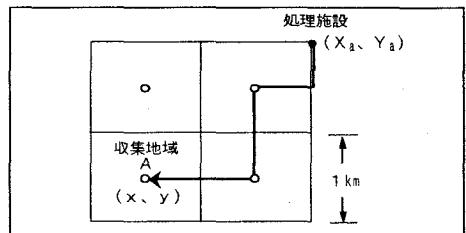


図2-2 輸送時の移動の仕方

の頂点であるとする。

$$L = |X_a - x| + |Y_a - y|$$
$$L_t = L \times N_t \times 2$$

ここで、 N_t : trip 数[-]、 L : 収集地域から施設までの距離[km]、 L_t : 収集を完了させるための輸送距離[km]とする。

2.3. 評価項目の算定

(1) コスト

人件費、車両の購入費、維持管理費、燃料費を加え計算する。人件費については、図2-3のように、作業時間をもとに必要な人員数を求め、これに1人あたりの平均給与を乗ずることにより算出する。作業時間の内訳としては、収集作業にかかる時間、輸送にかかる時間、施設での積み下ろしにかかる時間を考える。中継施設がある場合には、上記の項目に加え、中継施設の建設費、維持管理費を加える。ただし、中継施設建設時の土地利用にかかる費用は考慮していない。

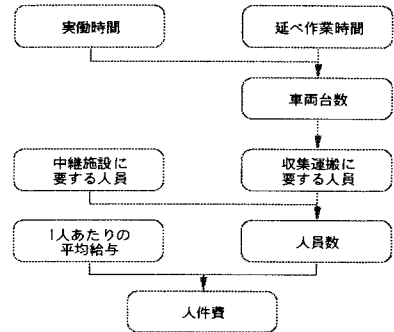


図2-3 人件費推定のフロー図

(2) 環境負荷物質の排出量

環境負荷物質の排出については、収集運搬車両の収集作業過程の移動、中間処理施設までの輸送過程の移動に伴うもののみを考える。中継施設がある場合には、収集運搬車両の、収集過程の移動、中継施設までの運搬過程の移動、および中継輸送車両の、中継施設から中間処理施設までの輸送過程の移動に伴うものを考える。中継施設での処理に伴い排出されるものについては考えない。移動時の環境負荷物質の排出量は、収集作業時、運搬・輸送時の平均移動速度をそれぞれ設定し原単位を決定し、以下の式により求める。下式からわかるよう、排出量の算出の際に物質間で異なるのは原単位のみである。

$$g_x = r_x v \times w \times l$$

ここで、 g_x : 物質 x の排出量[g]、 r_x : 物質 x の速度 v における単位走行距離および単位重量あたりの排出量原単位[g/(km・ton)]、 w : 車体総重量[t]、 l : 走行距離[km]とする。

3. ケーススタディの結果

3.1. 対象地域の概要

対象とする K 市は、各清掃工場の担当地区が4つに分割されており、各地区の面積および人口については、表3-1に示すとおりである。次に、中継施設を導入するシナリオを想定する。シナリオ1では、 D 地区においてのみ、収集されるごみが地区内で処理しきれないため、中継施設を導入し、処理できない分のごみは中継施設集められ、 B 地区へと輸送され処理される。シナリオ2では、 D 地区に大型の処理能力の焼却炉を導入することで、すべての地区において、各家庭から排出されたごみは収集運搬車両により、直接地区内の中間処理施設に運搬され処理される。シナリオ3では、各地区に中継施設を1つずつ導入し、ごみは地区内の中間処理施設に輸送され処理される。シナリオ4では、人口が多く面積の広い D 地区にのみ中継施設を2つ導入する以外は、シナリオ3と同様である。シナリオ5では、 B 地区の焼却炉が操業を停止して中継施設に変更し、 B 地区のごみが D 地区に輸送され処理される。表3-2に、各シナリオにおける中継施設の有無を示す。○は導入すること、一は導入しないこと、()内は輸送先の地区または、施設の数を表す。特に輸送先の明記がない場合は、同一地区内の中間処理施設に輸送されるとする。この際、中継施設は、環境負荷物質の

表3-1 各地区の面積と人口

	面積(km ²)	人口(人)
A地区	46.69	184,960
B地区	59.2	145,692
C地区	95.19	457,808
D地区	430.56	650,756

表3-2 シナリオ

	A地区	B地区	C地区	D地区
シナリオ1	—	—	—	○ (→B地区)
シナリオ2	—	—	—	—
シナリオ3	○	○	○	○
シナリオ4	○	○	○	○ (2ヶ所)
シナリオ5	—	○ (→D地区)	○	—

は導入すること、一は導入しないこと、()内は輸送先の地区または、施設の数を表す。特に輸送先の明記がない場合は、同一地区内の中間処理施設に輸送されるとする。この際、中継施設は、環境負荷物質の

削減効果が最も高かった人口重心に設置することにした。

中継輸送システムの導入効果を評価するために次の前提条件をおいた。

- ・収集車両は2tパッカー車
- ・中継輸送車両は8tコンテナ脱着装置付車両
- ・使用燃料は軽油
- ・中継施設はコンパクトコンテナ方式

3.2. コストについて

図3-1に、地区別に内訳を明らかにして、シナリオごとのコストを比較したものを示す。シナリオ2、シナリオ1の順に多くなっており、シナリオ3、4、5の間では顕著なほどの差は見られない。地区ごとに見ると、その多くがC、D地区に占められている。また、K市全体でみると、A地区におけるシナリオごとの差は小さいが、D地区の差はそれに比較すると大きい。

3.3. 環境負荷物質の排出量について

環境負荷物質の排出量は、前述した算出式において、物質間で異なるのが排出原単位のみであるために、NO_xのみを代表して取り上げる。図3-2に、地区別に内訳を明らかにして、シナリオごとのNO_x排出量を比較したものを示す。シナリオ2が突出しており、シナリオ1、3、4、5の順に減少している。地区ごとに見ると、コスト同様C、D地区の占める割合が大きく、特にD地区が半分近くを占めており、最も変化量大きい。

3.4. 収集効率について

図3-3に、K市全体における収集効率の比較を示す。中継施設を導入したシナリオ3、4、5が導入していないシナリオ2をすべて上回っており、シナリオ4はシナリオ2の6割向上するという結果になっている。

4. ケーススタディの考察

4.1. 中継施設導入による変化

(1) コストについて

A、B、C、D地区の、中継施設導入前後におけるコストの推移を、それぞれ図4-1、4-2、4-3、4-4にその内訳とともに示す。B地区においては、人件費、車両にかかる費用がほとんど変化せず、中継施設にかかる費用の分だけかえってコスト高になっている。これは、B地区の中間処理施設が他の地区に比べ、人口重心から近い位置に存在しているために、中継輸送の導入による輸送・運搬距離の削減効果が小さく、そのため、人件費への影響がほとんど表れなかったのが理由だと思われる。他の地区では、人件費が20%程度ずつ減少することに伴い、全コストも

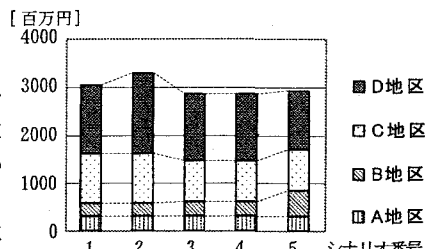


図3-1 シナリオごとのコストの比較

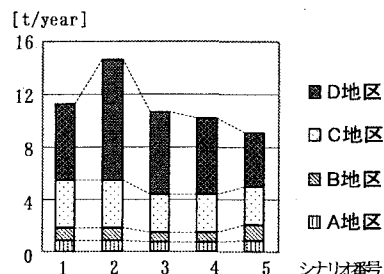


図3-2 シナリオごとのNO_x排出量の比較

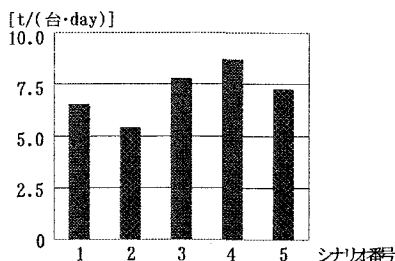


図3-3 シナリオごとの収集効率の比較

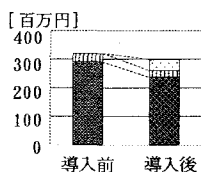


図4-1 A地区のコスト変化

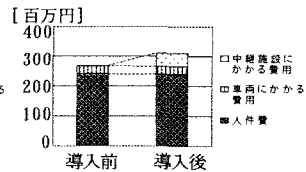


図4-2 B地区のコスト変化

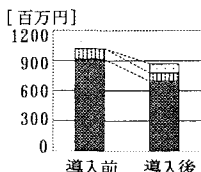


図4-3 C地区のコスト変化

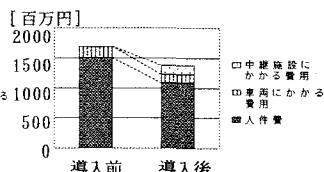


図4-4 D地区のコスト変化

減少していることより、人件費の削減が中継施設の導入にかかるコストを上回る場合に効果的といえる。さらに、中継施設にかかる費用は、全コストのうち約10～14%で、C、D、A、B地区の順に大きくなっていることから、コストを左右する人件費削減には、中間処理施設の位置、人口密度、面積といった、輸送・運搬距離を変化させる要因の影響が強いと考えられる。また実際には、中継施設建設のために、周辺住民の同意、土地取得費用など、本研究内の対象には含まれていない要素の影響を加味する必要がある。

(2)環境負荷物質の排出量について

NO_x排出量については図4-5から明らかなように、各地区において差はあるものの、20～30%の減少がみられる。特にD地区においてその減少の割合が大きく、約30%減となった。輸送・運搬過程では、収集運搬車両数台よりも、中継輸送車両1台の方が排出量が少なくなるため、中継施設から中間処理施設までの距離が長くなる場合の方が排出量が少なくなる。そのため、中継施設から中間処理施設までの距離が最も長いD地区で、削減効果が大きかったと考えられる。また、数字には表れていないが、収集運搬に必要な車両の台数が減ったために、交通量の緩和がすすむという効果も推察される。

(3)収集効率について

収集効率の変化を図4-6に示す。地区ごとの差はあるものの、収集効率は一様に向上している。A、B地区では導入前は近い値だったが、導入後には大きな差が現れた。収集効率は、収集運搬車両の輸送距離が削減されることにより向上する。そのため、中継施設導入による、収集運搬車両の運搬距離の削減効果が大きかったD地区で、最も大きく向上し、効果が小さかったB地区ではそれほど向上しなかったと考えられる。

4.2. 複数の中継施設の導入による変化

D地区において中継施設を1ヶ所導入した場合と、2ヶ所導入した場合のコスト、NO_x排出量、収集効率の変化について考える。

(1)コストについて

コストの変化を図4-7に示す。内訳に多少の増減はみられたものの、全コストとしては大きな変化はみられなかった。処理能力が同じであれば、施設の数はそのコスト面に影響しないが、実際には、施設の数以外にも、土地代、そして住民の理解を得やすいよう、その敷地面積も問題となると考えられる。

(2)環境負荷物質の排出量について

NO_x排出量の変化を図4-8に示す。4.1の(2)で述べたように、収集運搬車両の運搬距離の削減がさらにすすんだため、排出量が減ったと考えられる。

(3)収集効率について

収集効率の変化を4-9に示す。4.1の(3)で述べたように、収集運搬車両の運搬距離の削減がさらにすすんだことにより、収集効率が向上した。また、必要収集運搬車両台数が減るために、収集地域と中継施設の間の交通量が緩和され、より収集効率が向上することも期待できる。

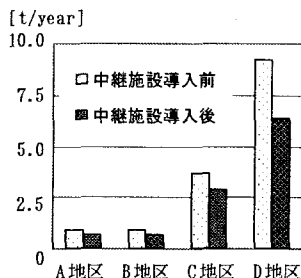


図4-5 各地区のNO_x排出量の変化

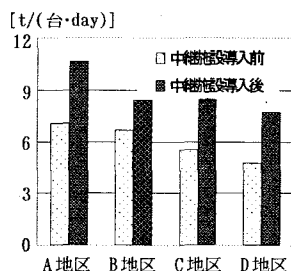


図4-6 各地区の収集効率の変化

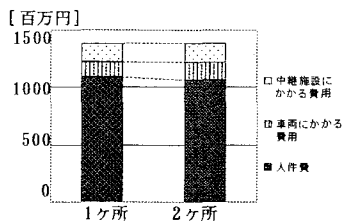


図4-7 コストの変化

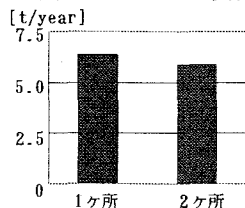


図4-8 NO_x排出量の変化

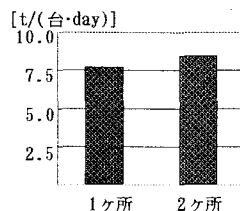


図4-9 収集効率の変化

5. 結論

本研究では、収集運搬過程における中継施設の導入効果を調査するために、中継輸送システムをモデル化し、シナリオを設定し、コスト、環境負荷物質の排出量、収集効率を算出し、これらをもとに考察をおこなった。得られた項目は以下のとおりである。

- ・ ケーススタディにおいて、各地区の人口重心に中継施設を配置したシナリオ（シナリオ3）が、他のシナリオと比較すると、収集効率の向上、環境負荷および経済的コストの削減効果が見られた。
- ・ D地区について中継施設の複数化を行ったシナリオでは、さらなる収集効率の向上および環境負荷の削減効果が現れた。

本研究を通して、中継施設の導入は、収集効率を上げ、環境負荷物質の排出量を削減することに効果が大きいという知見が得られた。その効果は、面積が広く、人口が多い地域ほど顕著であったが、運搬輸送距離が長いことも重要であり、中間処理施設の位置なども重要な要素の1つになってくる。また、中継施設の導入によって収集効率が向上することにより、ごみの長時間放置が避けられるうえ、定時収集がしやすくなるため、住民のごみ排出に対する意識が高まることが期待でき、交通量の減少により騒音・振動・悪臭などがさけられるという、数字には表れにくい効果も生まれる。そして、中継施設建設のための土地取得費用や、周辺住民の理解などの要素を本研究の成果に反映させると、さらなる精度の向上が期待できる。