

〈研究発表〉

IoT 導入による廃プラスチック収集運搬効率化策の評価

上 鶴 喜 貴¹⁾, 橋 本 征 二²⁾

¹⁾立命館大学大学院理工学研究科環境都市専攻
(〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 E-mail: mirai-kankyo@eica.jp)

²⁾立命館大学工学部環境都市工学科
(〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 E-mail: shashimo@fc.ritsumei.ac.jp)

概 要

本研究では、IoT の導入による廃プラスチック収集運搬効率化策を経済面、環境面から評価した。具体的には、各事業所における廃プラスチックの排出状況をセンサーでモニタリングし、複数事業所で排出される廃プラスチックを同時に回収することにより収集運搬を効率化する仕組みについて、5 排出事業者、2つの回収シナリオを対象に、120 日間の収集運搬シミュレーションを行った。その結果、収集運搬回数や収集運搬距離を大幅に削減できること、また、これにより収集運搬の費用やそれに関わる CO₂排出量を削減できることを示した。

キーワード：産業廃棄物、情報技術、センサー、モニタリング、シミュレーション
原稿受付 2018.7.1

EICA: 23(2・3) 196-199

1. は じ め に

近年、様々なモノをインターネットに接続して情報をやりとりし、利便性の向上や課題解決に繋げる「Internet of Things」(以下、「IoT」)が関心を集めている。廃棄物の分野においても IoT の活用が注目され、IoT によるプロセスの効率化や高速化、省人化等が期待されているところであるが、具体的な検討・適用は途に着いたばかりである。

このような中、川崎市において IoT を活用した資源循環システムの高度化が検討されているほか¹⁾、京都府において、IoT を用いた産業廃棄物リサイクルの促進策が検討されている²⁾。また、民間組織として廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会³⁾が設立され、様々な可能性が検討されている。国際的には、IoT を食品廃棄物の管理⁴⁾や電気電子機器廃棄物の管理⁵⁾に適用し、その効果を評価した事例が報告されているが、まだまだ検討事例は少ない。

本研究では、京都府において検討が行われた「スマート・センサーを活用したリサイクルの促進事業²⁾」をベースに、IoT の導入による廃プラスチック収集運搬効率化策を経済面、環境面から評価した。なお、本報告は、事業終了前に筆者らが行った報告⁶⁾におけるデータを適時更新したものである。

2. 方 法

2.1 IoT 導入による廃プラスチック収集運搬効率化策と収集運搬のシナリオ

京都府の事業²⁾では、各事業者で排出される廃プラスチックの量が少量で、有価売却可能な量に満たないことから焼却・最終処分されていたものを、複数の事業者で排出される廃プラスチック量の合計を有価売却可能な量とすることで、リサイクルを促進する策が検討された。具体的には、**Fig. 1**に示すように各事業所に廃プラスチック排出量をモニタリングするセンサーを導入し、複数の事業者から排出された廃プラスチック量の総量が有価売却可能な量になったところで、廃プラスチックの回収を行うというものである。これにより、各事業者は廃棄物の処理費用や廃棄物の保管スペースを削減できるとともに、収集運搬業者は収集運搬を効率化(無駄な収集運搬を削減)できる。

しかしながら、2017 年後半に廃プラスチックの市況が変化したこと、有価売却が容易ではなくなった。また、京都府の事業²⁾では、モデル的に数回の回収を行えたのみであった。このようなことから、本研究では、京都府の事業に参加した5 排出事業者を対象に、以下の2つの回収シナリオを設定し、120 日間の収集運搬シミュレーションを行って、IoT 導入による廃プラスチック収集運搬効率化策の評価を行った。

- ① 各事業者の排出量が最小回収量(最大保管可能量の50%と設定)に到達した時、到達した排出事業者分を回収

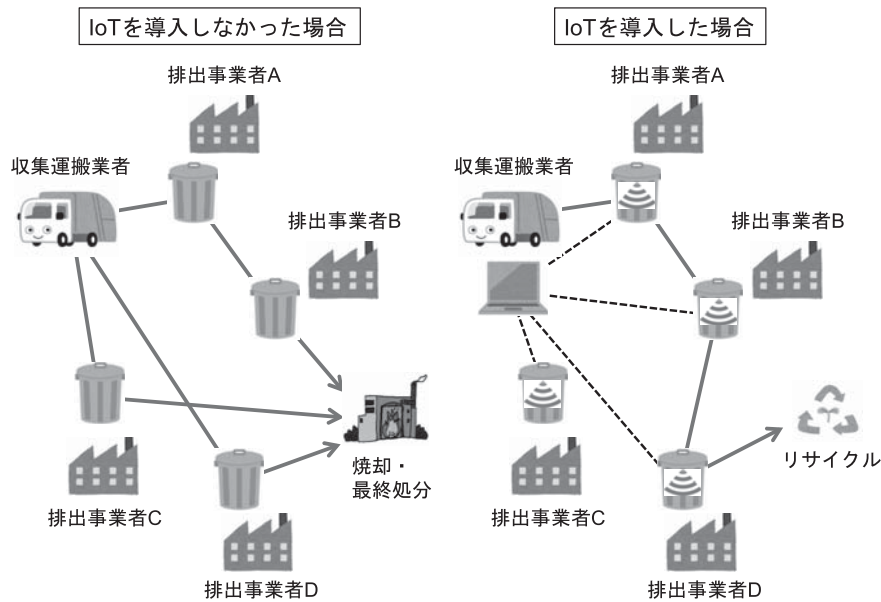


Fig. 1 IoT 導入による廃プラスチック回収の効率化策

- ② 各事業者の排出量が最大保管可能量に近づいた時、近づいた排出事業者分を回収

2.2 経済面・環境面の評価方法

経済面は処理費用で評価した。これは次式で推計される。

$$C = C_s + C_c = (C_{se} + C_{sp} + C_{sm}) + (C_{ch} + C_{cf} + C_{cp} + C_{cm})$$

ここで、

- C : 費用 (円)
- C_s : 監視の費用 (円)
- C_{se} : センサーの電力費 (円)
- C_{sp} : センサーの減価償却費 (円)
- C_{sm} : センサーの維持管理費 (円)
- C_c : 収集運搬の費用 (円)
- C_{ch} : 収集運搬の人件費 (円)
- C_{cf} : 収集運搬の燃料費 (円)
- C_{cp} : 収集運搬車の減価償却費 (円)
- C_{cm} : 収集運搬車の維持管理費 (円)

である。

環境面は CO₂排出量で評価した。これは次式で推計される。

$$E = E_s + E_c = (E_{se} + E_{sp}) + (E_{cf} + E_{cp})$$

- E : CO₂排出量
- E_s : 監視に関わる CO₂排出量
- E_{se} : センサーの電力消費に関わる CO₂排出量
- E_{sp} : センサーの生産・維持管理に関わる CO₂排出量
- E_c : 収集運搬に関わる CO₂排出量
- E_{cf} : 収集運搬の燃料消費に関わる CO₂排出量
- E_{cp} : 収集運搬車の生産・維持管理に関わる CO₂排出量

である。

経済面・環境面ともシミュレーションを行った120日間の総計として評価した。

2.3 用いたデータ

(1) 排出

京都府の事業に参加した5事業者の廃プラ排出量及び保管可能量を調査し、これを後述する収集運搬の計算に用いた。

(2) 監視

京都府の事業で用いたセンサーは実験的なものであったため、本研究では標準的なセンサーを使用するものとして計算した。

センサーの電力費 (C_{se}) については、微小で無視できるものとした。センサーの減価償却費 (C_{sp}) については、ヒアリングにより得られたセンサーの使用年数、センサー及び周辺機器の購入費を用いて算出した。センサーの維持管理費 (C_{sm}) もヒアリングにより設定した。なお、センサーは各事業所に2台設置するものとした。

センサーの電力消費に関わる CO₂排出量 (E_{se}) については、上記のとおり微小で無視できるものとした。センサーの生産に関わる CO₂排出量 (E_{sp}) については、上記で算出したセンサーの減価償却費と維持管理費の合計に3EID⁷⁾の2005年輸入品国産仮定型の「その他の電気通信機器」部門(236)のCO₂排出原単位を乗じることで算出した。

(3) 収集運搬

収集運搬の人件費 (C_{ch}) については、ヒアリングにより得られた運転手の平均的な年収に、事業者が負担する社会保険料(健康保険料, 厚生年金保険料, 介護保険料, 雇用保険料)を加えて時間単価を算出し、

これに労働時間を乗じて算出した。収集運搬の燃料費 (C_{cf}) については、ヒアリングにより得られた収集運搬車の平均燃費の逆数に、2.1 の2つのシナリオで算出した収集運搬距離を乗じて燃料消費量を算出し、これに軽油の価格を乗じて算出した。収集運搬距離については、シナリオに応じて毎日の収集対象事業者を決定し、対象事業者を最短距離で巡回し収集するものとした。また、人件費 (C_{ch}) の算出に用いる労働時間については、収集運搬距離を収集運搬車の平均速度で除して算出した運転時間に、準備・積み込み・積み下ろし・清掃の1時間を加えて算出した。平均速度は収集運搬車に搭載されたGPS端末の情報を用いて算出した。収集運搬車の減価償却費 (C_{cp}) は、ヒアリングにより得られた収集運搬車の平均的な購入費とその平均的な生涯走行距離を用いて走行距離単価を算出し、これにシナリオごとに算出した収集運搬距離を乗じて算出した。収集運搬車の維持管理費 (C_{cm}) については、ヒアリングにより得られた収集運搬車の平均的な1年の維持管理費に収集運搬車の平均的な寿命を乗じ、これを平均的な生涯走行距離で除して走行距離単価を算出し、これにシナリオごとに算出した収集運搬距離を乗じて算出した。

収集運搬の燃料消費に関わるCO₂排出量 (E_{cf}) については、上記で算出した燃料消費量にCO₂排出係数⁸⁾を乗じて算出した。収集運搬車の生産・維持管理に関わるCO₂排出量 (E_{cp}) については、上記で算出した収集運搬車の減価償却費と維持管理費の合計に3EID⁷⁾の2005年輸入品国産仮定型の「トラック・バス・その他の自動車」部門(247)のCO₂排出原単位を乗じることで算出した。

3. 結果と考察

3.1 収集運搬回数と収集運搬距離

Fig. 2 に示すように、収集運搬回数は「IoT 導入なし」シナリオに比べ「IoT 導入」シナリオで大幅に減少した。これは1排出事業者のみの収集運搬回数(1

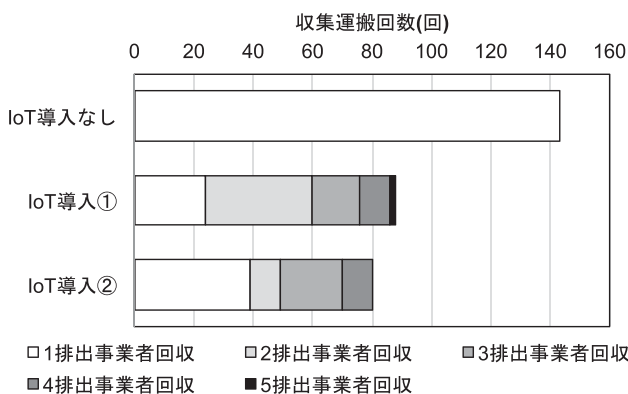


Fig. 2 回収を行う排出事業者数別収集運搬回数

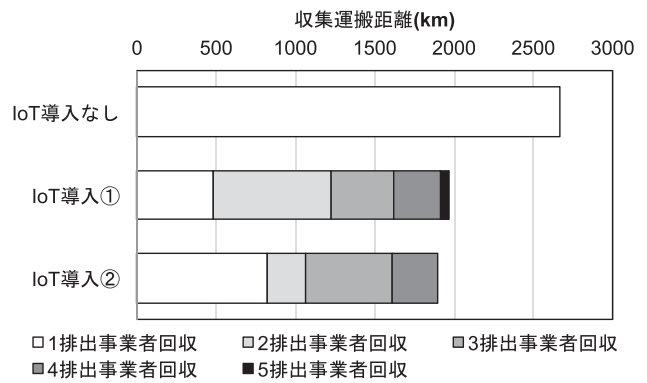


Fig. 3 回収を行う排出事業者数別収集運搬距離

排出事業者回数)が大きく減少したためである。「IoT 導入①」シナリオで「IoT 導入②」シナリオより1排出事業者回収が少なく2排出事業者回数が多いのは、2.1に示すシナリオに基づく日々の回収対象事業者の組合せ決定の結果であり、「IoT 導入①」「IoT 導入②」の両シナリオ間で収集運搬回数の合計にほとんど違いはなかった。また、Fig. 3 に示すように、収集運搬距離も収集運搬回数と同様の傾向が見られた。「IoT 導入」シナリオの収集運搬距離はいずれも「IoT 導入なし」シナリオの収集運搬距離を下回り、IoTを導入することにより収集運搬が効率化されることが示された。いずれも「IoT 導入なし」シナリオの70%程度の収集運搬距離となった。

3.2 経済面及び環境面の評価

Fig. 4 に示すように、費用は「IoT 導入なし」シナリオに比べ「IoT 導入」シナリオで70数%となった。これはIoTを導入することによって収集運搬回数と収集運搬距離が減少し、主に収集運搬の人件費を削減できたことが影響している。センサーの経費が増加しても、IoTを導入することにより全体の費用が削減できることが示された。また、Fig. 5 に示すように、CO₂排出量は「IoT 導入なし」シナリオに比べ「IoT 導入」シナリオで約80%となり、環境面でも効果のあることが示された。

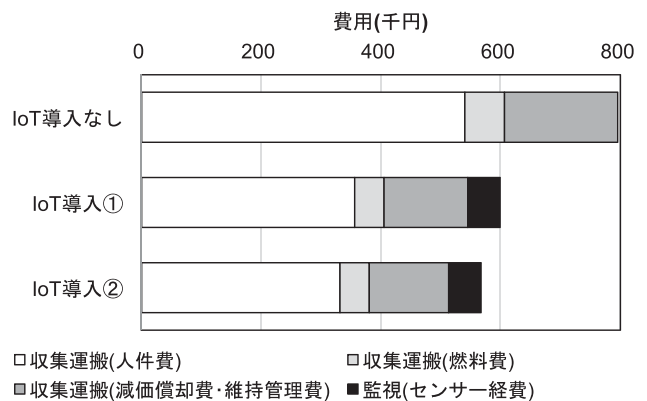


Fig. 4 費用

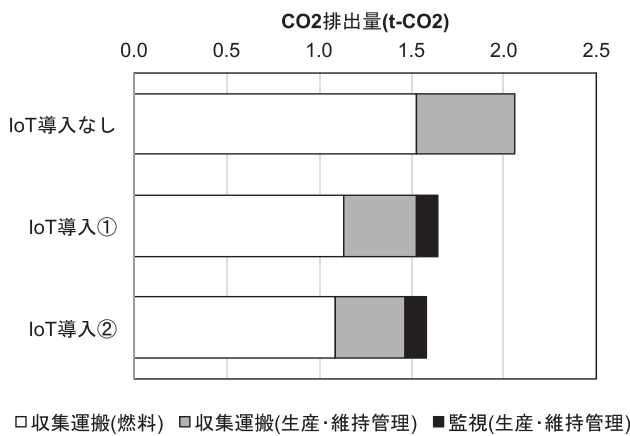


Fig.5 CO2 排出量

4. おわりに

本研究では、京都府において検討が行われた「スマート・センサーを活用したリサイクルの促進事業」²⁾をベースに、IoTの導入による廃プラスチック収集運搬効率化策を経済面、環境面から評価した。具体的には、各事業所における廃プラスチックの排出状況をセンサーでモニタリングし、複数事業所で排出される廃プラスチックを同時に回収することにより収集運搬を効率化する仕組みについて、5排出事業者、2つの回収シナリオを対象に、120日間の収集運搬シミュレーションを行った。その結果、収集運搬回数や収集運搬距離を大幅に削減できること、また、これにより収集運搬の費用やそれに関わるCO₂排出量を削減できることを示した。

なお、本研究のもととなっている京都府の事業²⁾は、廃プラスチックのリサイクル促進策として考えられていたものであり、廃プラスチックをとりまく現在の状況に合わせて、協力排出事業者を増やしてその効果を検討していく必要がある。

謝辞

本研究では、京都府のモデル事業を参考に仮想的な試算を行ったが、基礎データの提供等については、京都府および当該モデル事業の実施業務を受託した共同企業体 (NTT ビジネスソリューションズ(株)・NISSHA(株)・(株)エックス都市研究所・シンクアンドアクト(株)) 及び当該モデル事業に参画した(株)京都環境保全公社の各位に多大なるご協力をいただいた。ここに記して深謝する次第である。

参考文献

- 1) 川崎市：川崎エコタウンにおけるIoTを活用した資源循環システム高度化に向けたFS調査概要，<http://www.city.kawasaki.jp/templates/press/cmsfiles/contents/0000080/80823/bessi.pdf>，2017年8月アクセス
- 2) 京都府：IoT・スマート産業廃棄物削減対策事業，<http://asukyo.pref.kyoto.lg.jp/projects/871>，2017年8月アクセス
- 3) 廃棄物処理・リサイクルIoT導入促進協議会：<http://iot-recycle.com>，2017年5月アクセス
- 4) Wen, Z., S. Hu, D. De Clercq, M. B. Beck, H. Zhang, H. Zhang, F. Fei, J. Liu: Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management, *Waste Management*, Vol. 73, pp. 26-38, 2018
- 5) Gu, F., B. Ma, J. Guo, P. A. Summers, P. Hall: Internet of things and Big Data as potential solutions to the problems in waste electrical and electronic equipment management: An exploratory study, *Waste Management*, Vol. 68, pp. 434-448, 2017
- 6) 上鶴喜貴，橋本征二：IoT導入による廃プラリサイクル促進策の評価，第13回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，pp. 336-337，2018
- 7) 南斉規介，森口祐一，東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)，国立環境研究所，http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm
- 8) 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 排出係数一覧，<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>