

# 再生可能資源 IoT 回収システムの実証実験結果について

撫中 達司<sup>1</sup> 大島 幸司<sup>2</sup>

**概要:** すべてのモノがインターネットに接続され、新たなサービスが生まれる、モノのインターネット (IoT: Internet of Things) の取組みが広がりを見せている。本稿では、IoT は循環型社会の実現に向けた取組みであるべきであるという考えのもと、日本システムウエア社の支援を得て BigBelly と呼ばれるスマートゴミ箱を国内では初めて東海大学高輪キャンパスに設置し、再生可能資源 (ビン/缶/ペットボトル) の回収について実証実験を行った結果に加え、関連したアンケート結果について報告する。結果として、機器のスマート化に向けた課題が抽出できたことに加え、IoT という技術によってスマートな機器が実現されたとしても、利用者の意識が向上しない限り、本当の意味でのスマートサービスにならないということを改めて確認した結果となった。

## Efficient Reusable Resource Collection System by IoT

TATSUJI MUNAKA<sup>1</sup> KOJI OSHIMA<sup>2</sup>

### 1. はじめに (背景)

IoT を支えるインフラであるインターネットはモノづくりの生産性を向上させる仕組みの基本インフラとして、産業の発展に大きく寄与したことはいうまでもない。一方で、人々の生活が便利に、豊かになった代償として、環境問題という大きな課題を抱える結果となっている。このような状況を踏まえ、IoT がこれまでと異なる価値をもたらすには、人々の生活を便利に、豊かにすることだけに留まらず、再生可能エネルギー等の利用をより促進し、環境に配慮した、循環型社会の実現に寄与するものでなければならぬのではないだろうか。安全・安心、使いやすい、低価格などを実現する製造の仕組みに加え、共有により繰返し利用され、最後にはその形を変えて、新たなモノへと循環されていく、このような社会を築くために、IoT が担う責務は大きい。

IoT については様々な取組みが国内外で進められているが、地球環境に配慮した循環型社会の実現に向けた具体的な取組みはあまり見られない。製造業に向けた IoT として、ドイツにおける Industrie4.0 (以後 I4.0) [1] が良く知られている。I4.0 を始め多くの産業界での IoT の取組みは、

製造、サービスを主とするビジネスの発展を目指すものであり、優先されるべきは生産の効率化、新たなサービスの創出にあることは必然ではある。しかし、日本国内では度重なる地震による被害、地震の影響による原子力発電に起因するエネルギーの問題、都市への人工集中による地方の過疎化などを解決する循環型社会の実現が火急の課題である。

本来、日本人はモノを大切に、世界にも広がった「もったいない」が生活基盤に根付いた国民である。であれば、IoT によってもたらされる新たな世界を築く上で、モノのライフサイクル全体を考えた製造のあり方、売切りではなくサービスとして提供するための“共有”の仕組み、さらにはライフサイクルの末端に位置する消費されたモノの廃棄・再利用など、循環型社会の実現に向けたモノとサービスの実現に取組むべきではないだろうか。

IoT は循環型社会の実現に向けた取組みであるべきであるという考えのもと、その一石を投じるというにはあまりに小さな一歩ではあるが、東海大学高輪キャンパスでは日本システムウエア [2] (以後、NSW 社) の支援を得て、2016 年 1 月より BigBelly と呼ばれるスマートゴミ箱を国内では初めて設置し、再生可能資源 (ビン、缶、ペットボトル) の回収について実証実験を開始している。

本稿では、約 1 年に渡り実施した実証実験とともに、学

<sup>1</sup> 東海大学情報通信学部組込みソフトウェア工学科

<sup>2</sup> 日本システムウエア株式会社



図 1 BigBelly : 左がビン/缶, 右がペットボトル

		BigBelly (圧縮機能あり)	SmartBelly (圧縮機能なし)
本体	高さ	1264mm	1264mm
	幅	635mm	636mm
	奥行	773mm	681mm
	重量	136kg	93kg
	資源蓄積容量	125L	227L
素材		RoHS準拠 ※リサイクル品を多用	
圧縮機能その他	システム電圧	12ボルト(直流)+バッテリー	
	圧縮圧力	567kg	-
	サイクルタイム	41秒	-
	モーターサイズ	1/6馬力(直流)	-
	ドライブシステム	ギアモータ+チェーンドライブ	-
	データ送信	汎用パケットシステム	
ステータス監視	ゴミ蓄積レベル, 機器状況, エラーコード		
提供価格		オープン価格	

図 2 BigBelly・SmartBelly の仕様

生への意識調査アンケートの結果を交えて、実証実験の内容を検証し、再生可能資源の回収システムの実現に向けた課題につき考察する。

## 2. スマートゴミ箱 : BigBelly

### 2.1 BigBelly とは

BigBelly[3] は以下に示す 3 つの機能、特徴を有したスマートゴミ箱である。

- 資源の蓄積状況がメールによりリアルタイムに報告され、効率的に資源を回収できる。
- 蓄積された資源の自動圧縮機能により、回収頻度の削減が図れる。
- 太陽光発電により自家発電するため、設置する場所に制約がない。

図 1 に東海大学高輪キャンパスの高輪口に設置されたスマートゴミ箱 BigBelly, 図 2 に仕様を示す。なお、図 2 に記載のように、圧縮機能を持つタイプを BigBelly と呼び、圧縮機能を持たないタイプを SmartBelly と呼ぶ。なお、本稿では特に断りがない場合には、BigBelly/SmartBelly を区別せず BigBelly と呼ぶこととする。本実証実験では、BigBelly/SmartBelly を用いて、再生可能資源（ビン/缶、ペットボトル）の回収を行うこととし、再生可能資源 IoT 回収システムと呼ぶこととする。

## 2.2 BigBelly 活用事例

米国ではすでに多くの場所で利用されており、例えばジョージタウン大学での活用例がある。ジョージタウン大学では広いキャンパス内のゴミ問題に頭を悩ませていた。そこで、既存の 60 個のゴミ箱を 20 個の BigBelly に置き換えることで、「ゴミは資源」という考え方を浸透させること、資源の回収作業にかかる年間約 1,560 時間の労働時間を削減すること、資源回収車の移動にかかる年間 1,300km 分の燃料費を削減すること、資源回収車の移動にかかる年間約 600L 分の CO2 排出量を削減することなどの効果が得られている [4]。

また、年間数百万人の観光客やビジネス客が訪れる歴史あるフィラデルフィア市では、歴史ある景観を損なわないために、清掃事業にコストをかけざるを得なかった。しかし 700 個のゴミ箱を 500 個の BigBelly に置き換えることで、資源の回収頻度を週 17 回から週 3 回に削減すること、資源収集担当者の人数を 33 人から 9 人に削減すること、資源収集担当者のシフト数を 3 シフトから 1 シフトに削減すること、年間コストを 230 万ドルから 72 万ドルに削減することに成功している [4]。

これら事例を含め、主にアメリカやイギリスなどでは、多くの大学や自治体が BigBelly を導入し、大きな成果をあげている。

## 3. 実証実験内容

東海大学高輪キャンパスでは、BigBelly をキャンパス内の二箇所の入り口（高輪口、品川口）に設置（図 3）し、2016 年 1 月から実証実験を行ってきた。本実証実験では、BigBelly を再生可能資源回収ボックスと位置づけ、ビン/缶、ペットボトルの三種類の資源を回収対象としている。なお、BigBelly は圧縮機能を持つことから、圧縮が有効に働くと考えられるペットボトルを BigBelly の回収対象とし、SmartBelly ではビン/缶を回収することとした。



図 3 スマートゴミ箱 設置場所（高輪口、品川口）

また、実証実験に加えて、再生可能資源回収に対する学生の意識調査をアンケートにより実施した。アンケートは、

東海大学情報通信学部 4 学科の 2016 年度新入生 295 名を対象に行った IoT に関する授業の中で、IoT の具体例として、掃除機、傘立て、冷蔵庫に加えてスマートゴミ箱を紹介し、IoT について自由意見を記載する形式として実施した。スマートゴミ箱を他の機器と区別せず説明を行い、スマートゴミ箱に対してどの程度の学生が興味を示し、どのような意識を持っているのかを調査することとした。

#### 4. 実証実験結果

本章では、BigBelly を用いた資源回収の結果と、アンケートによる学生の意識調査結果につき述べる。

##### 4.1 実証実験フェーズとその施策

BigBelly を用いた実証実験は、以下に示す三期に分けて実施した。

- 第一期：2016/1～2016/10（11月上旬の学園祭前まで）スマートゴミ箱の仕組み、目的などを明示せず，“実証実験中”のみ提示
- 第二期：2016/10～2016/12（冬休み直前まで）第一期の結果（分別率、異物の混入率）を開示し，“正しい分別を促すメッセージ”を提示
- 第三期：2017/1～2016/4（5月連休直前まで）分別を促すメッセージに加え、高輪口のビン/缶投入口のサイズ制限を実施

なお、アンケートは 2016 年 11 月中旬に実施しており、第二期の期間中となる。

##### 4.2 結果検証その 1：各期間の分別率、異物の混入率

図 4 は、実証実験のそれぞれの期間における分別率、ならびに異物の混入率の結果を示したものである。第一期では、ビン/缶/ペットボトルが正しく分別されていたのは 70%、正しく分別されていないのが 20%、異物が 10%という結果となった。また、期間全体ではそれぞれ 70%、9%、21%という結果となった。なお、分別○はビン/缶、ペットボトルが指定されたボックスに投入されていたもの、分別×はビン/缶、ペットボトルが指定されたボックスに投入されていなかったもの、異物はビン/缶、ペットボトル以外のもの（不燃ゴミ、燃えるゴミ等）を意味しており、これらはすべてを手作業で分別し、その個数をカウントすることで集計した。

##### 4.3 結果検証その 2：分別を促すメッセージの有効性

第一期の結果を踏まえ、第二期では分別率の向上を図ることを目標とし、第一期の結果（分別率、異物の混入率を示すグラフ、実際のゴミ箱内の写真）をメッセージとして提示（図 5）、分別を促した。その結果、第二期では正しく分別されていないものが 1%に減少し、大きな改善が見られた。なお、第二期に授業でスマートゴミ箱を紹介してお

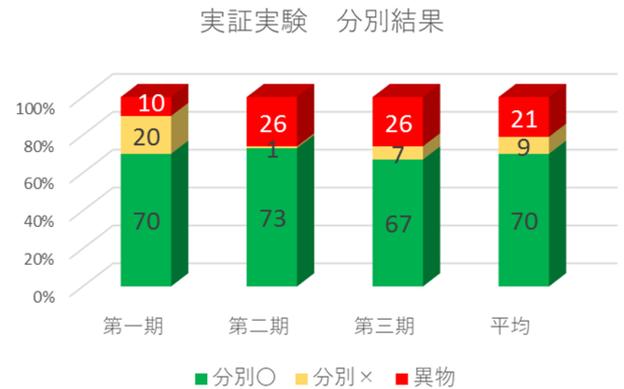


図 4 各フェーズでの分別結果と全体平均



図 5 分別を促すメッセージ（分別のグラフとゴミ箱内の写真）

り、これが意識の変化をもたらしたことも改善の要因として考えられる。しかし、第三期では再び 7%に悪化しており、単純なメッセージ提示での有効性が限定的であり、新たなメッセージ（表示方法）や追加情報の提示など、継続的な更新が必須であることを認識した。

##### 4.4 結果検証その 3：異物の混入について

第二期では分別率が改善された一方で、異物の混入率が 26%と大きく悪化した。このため第三期で異物混入の原因調査を目的として、以下の点に着目して調査を実施した。

- (1) 品川口、高輪口のロケーション依存性
- (2) ビン/缶側、ペットボトル側それぞれの異物の内容

###### 4.4.1 ロケーションの依存性

図 6 と図 7 は、第三期の品川口と高輪口の結果を示したものである。品川口での異物の混入率が 32%となっており、高輪口の 20%、期間全体平均の 21%を大きく上回っている。第二期に実施した回収時に異物の量が品川口、品川口で異なっていることを確認しており、品川口の異物の多くは飲食物に関連した可燃ゴミであった。この理由がロケーションに依存しているとの仮説を立て、第三期では現場調査を行い、品川口の状況、学生の行動を観察した。その結果、品川口では、(1) キャンパスの前にコンビニがあり学生が頻繁にコンビニを利用する、(2) 昼休みにお弁当

第三期 品川口 分別結果

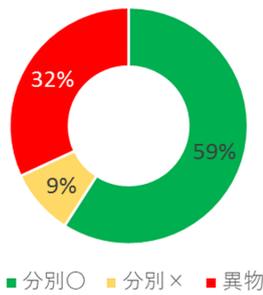


図 6 第三期 品川口設置回収箱の分別結果

第三期 高輪口 分別結果

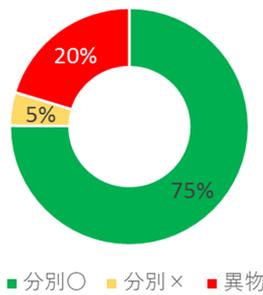


図 7 第三期 高輪口設置回収箱の分別結果

ビン/缶の投入口サイズ制限なし (品川口)

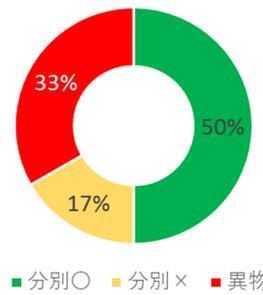


図 8 第三期品川口ビン/缶投入口の異物の混入率

第三期 ペットボトル投入口の異物率 (品川口)

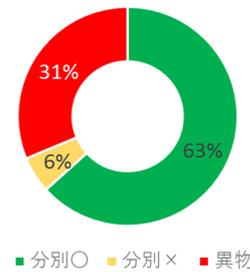


図 9 第三期品川口ペットボトル投入口の異物の混入率

を販売している、(3)週に一度、移動販売車が出店し、飲食物を販売している、などを確認し、飲食物に関係したゴミが出やすい状況にあることが分かった。一方、高輪口は正面玄関として位置づけられており、多くの学生は地下鉄(白金高輪, 泉岳寺)を利用し高輪口を通学路としているが、(1)~(3)に該当するものはなく、設置場所による利用環境の差が品川口の異物の混入率が高い理由の一因であると考えられる。

#### 4.4.2 ビン/缶側, ペットボトル側の異物の混入率

先に述べたロケーションの調査に加え、異物混入をさらに分析するために、第三期ではビン/缶側の異物の混入率と、ペットボトル側の異物の混入率を区別して調査した。図8と図9は品川口の結果を示したものである。結果から分かるように、両方の回収ボックスともに異物の混入率は30%を超えている。図10は、実際の投入口の写真であるが、ビン/缶投入口(左側)は直径約13cm、ペットボトル投入口(右側)は縦横25cm×45cmであり、異物(お弁当のトレイなどのゴミ)を簡単に投入できてしまう形状(大きさ)となっていることが分かる。

#### 4.5 検証結果その4: 投入口のサイズ制限による分別率, 異物の混入率

第二期の結果で、異物混入の原因の一つが投入口の形状(大きさ)にあることが予想できたため、第三期の実験では高輪口のビン/缶投入口にサイズの制約を設けた。これは、



図 10 BigBelly/SmartBelly の投入口

投入口の裏側にプラスチック製のラバーを貼り付け、その口径を6cmにしたものである。6cmにした根拠は、市販されている缶の直径が5cmであり、また500ml以下のペットボトルの直径が7cmであることから、ペットボトルが分別されずにビン/缶側に投入されることを防ぐことができると推測したことにある。図11は、実際に実施したビン/缶投入口の制限の様子である。

図12と図13は、ビン/缶の投入口にサイズ制限を設けた高輪口の異物の混入率を示している。図12が示すように、ビン/缶側の異物の混入率は12%に抑えられている。投入口を6cmに制限したことで、飲食物のゴミの投入が防げたといえる。なお、この異物はタバコの吸い殻、使った



図 11 投入口のサイズを制限した BigBelly

ビン/缶の投入口サイズ制限（高輪口）

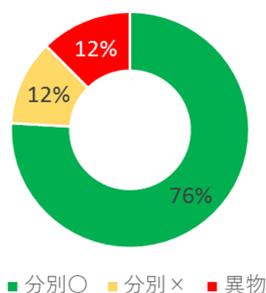


図 12 第三期高輪口ビン/缶投入口の異物の混入率

第三期 ペットボトル投入口の異物率（高輪口）

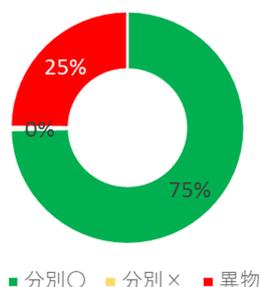


図 13 第三期高輪口ペットボトル投入口の異物の混入率

ティッシュペーパーなどであり、6cm の投入口に簡単に入る小さいものであることを確認している。

しかし、投入口を制限したにも関わらず、分別の効果はなく、ビン/缶側にペットボトルが12%も投入されていた。投入口を6cmに制限したが、つぶれやすいペットボトルを押し込んで入れたものが多く見られ、単純に投入口サイズを制限しただけでは分別率を上げることは難しいことが明らかとなった。また、この際のペットボトル側の状態が、ほぼ満杯に近い（BigBelly では何度も圧縮を繰り返す、空気を確保している）状態であったため、投入口が制限されているビン/缶側にペットボトルを投入したものと推測される。なお、ペットボトル側の異物の混入率は25%であった

が、ビン/缶は投入されていない（図13）。これは、ビン/缶側には十分な空きがあり、ペットボトル側には空きがなく投入できない状態であったため、結果としてビン/缶が正しく分別されたと考えられる。これらのことから分別率の向上には、両ボックス（BigBelly, SmartBelly）の蓄積状況（蓄積量）に基づく適切な回収が重要であると考えられる。回収効率（少ない回数の回収）と、分別率の両立は今後の課題の一つである。

なお、今回の実験を通じた特筆すべき異物として、第一期には高輪口に錆びたノコギリの刃が含まれており、第三期の品川口には、使い古した電球、割れた電球、さらには割れた急須が含まれていた。ノコギリは授業や研究で使うものではなく、また学内ではすべてLEDを使用しているため、これらは外部から持ち込まれたゴミ（危険物）である可能性が高い。これら危険物の対策が大きな課題であることを改めて確認した。

#### 4.6 アンケート結果

情報通信学部4学科の新入生に対して、IoT技術に係る授業を行い、出席者295名に対してIoTについて自由意見としてアンケートを実施した。結果として、90名（出席者全体の31%）の学生から回答を得ることができた。これらは(1)スマートゴミ箱が早く普及して欲しいなどの好意的な意見、(2)安全性の確保が必要などの課題を提示した懐疑的な意見に大別できる（図14）。

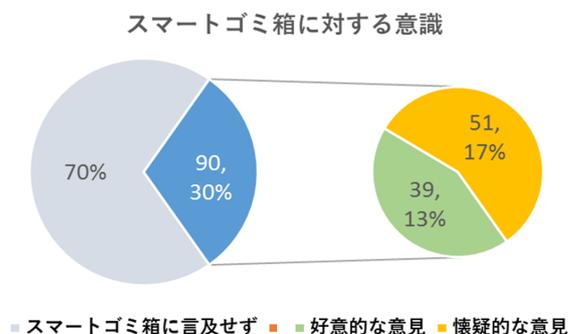


図 14 IoT に関するアンケート結果

図15, 図16は、これら意見を分類して表記したものである。好意的な意見（図15）では、早く普及して欲しい（分母を90名とした場合の約19%）、人件費が削減できそう（約11%）、環境に優しい（約8%）などがある。

一方で懐疑的な意見（図16）では、人とモノの役割、ルールを守るべき、人の意識を作る必要ありなど、利用者の使い方に関する意見が約15%を占め、どんなに素晴らしい機器を開発しても利用する側の意識がなければうまく機能しないというコメントが数多く見られた。また、スマートゴミ箱を認知させる工夫が必要という、利用側への意識づけ

についての意見が約 11%となっている。

これらに加えて、スマートゴミ箱の機能についての意見として、安全性の確保が重要(約 9%)、自動分別機能が必要(約 8%)があり、これについては実証実験で得られた課題を利用者側でも実際に感じていることが裏付けられた。さらには、実際に導入することを想定して、価格・維持費が高い(約 7%)、設置場所が重要(約 5%)という意見も含まれている。なお、1%(1名)という少数意見であったが、IoTによるデータ活用で非常に重要となる、データのプライバシーについても課題として挙がっている。

このように実証実験で挙げられた課題である、分別の仕組み(スマートゴミ箱としての機能と、利用者への意識づけ)、安全性について、利用者の立場から多くの学生が指摘しており、実証実験での課題が利用者アンケートで裏付けられるものとなった。

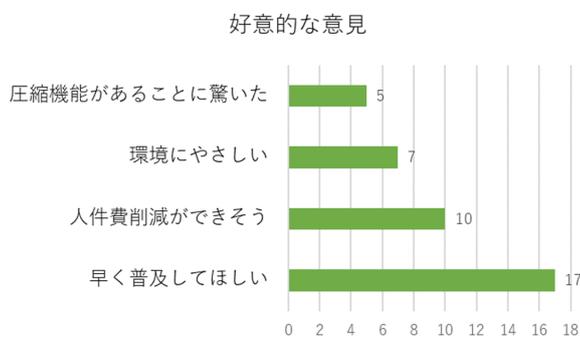


図 15 好意的意見の内容

懐疑的な意見(普及に向け課題あり)



図 16 懐疑的意見の内容

## 5. 今後の取組み課題

再生利用可能資源(ビン/缶/ペットボトル)の分別回収を目的とした実証実験、学生へのアンケートにより、以下のような課題が明らかとなった。

- 分別回収  
ビン/缶、ペットボトル以外の異物が約 10%、正しく分別されていないのが約 20%という結果となり、分別効率の向上が課題。

- 異物検知  
危険物である、のこぎり刃、割れた電球などが破棄されていた。日本国内は諸外国に比べてテロなどの事件が少ないものの、安全に回収する方法が課題。
- 設置場所  
キャンパスの二箇所の入口に設置したが、学生は学内のゴミ箱に捨てるケースが多く、このような利用者行動パターンに沿った設置場所の選択が課題。

なお、これら IoTにより機器のスマート化を図ることに加え、ビン/缶、ペットボトルの回収ボックスとは別に、可燃ゴミ、不燃ゴミそれぞれのボックスを用意しておくことで、分別率は改善されることが期待できる。また、再生可能な資源がどのように回収されているのか、分別されない場合に回収時にどのような影響を及ぼすのか、などの利用者への情報提供、それによる意識づけが課題であることもアンケートから明らかとなった。

## 6. おわりに

2020年の東京オリンピックには諸外国から多くの方が日本を訪れる。おもてなしの一つとして、安全安心なスマートゴミ箱の実現に向け、今回の実証実験によって明らかとなった課題である、(1)分別回収の自動化、(2)危険物の自動認識、(3)設置場所の最適化などにつき、試作、評価を行う予定である。なお、機器のスマート化に向けた課題が抽出できたことに加え、IoTという技術によってスマートな機器が実現されたとしても、利用者の意識が向上しない限り、本当の意味でのスマートサービスにならないということを学生が認識していることを確認できたことが大きな成果であると考えている。

本実証実験を実施するにあたり、日本システムウェア殿からBieBellyの無償貸与をいただきました。本稿を通じて改めてお礼申し上げます。また、本実験にてビン/缶、ペットボトルの回収(分別、カウント、掃除清掃)に協力してくれた三原君、岡田君、稲垣君を始め、撫中研の学生に感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1] インダストリ 4.0 次なる産業革命か? 入手先 (<a href="https://www.renesas.com/ja-jp/about/web-magazine/edge/global/12-industry-4-0.html">https://www.renesas.com/ja-jp/about/web-magazine/edge/global/12-industry-4-0.html</a>) (参照 2017-1-25)
- [2] 日本システムウェア株式会社 入手先 (<a href="http://www.nsw.co.jp">http://www.nsw.co.jp</a>), (参照 2017-5-10)
- [3] BigBelly Solar 入手先 (<a href="https://nsw.smtg.jp/public/seminar/view/174">https://nsw.smtg.jp/public/seminar/view/174</a>), (参照 2017-5-10)
- [4] BigBelly Solar 活用事例 ジョージタウン大学 入手先 (<a href="http://www.nsw-cloud.jp/cloud/service/m2m/bigbellysolar/">http://www.nsw-cloud.jp/cloud/service/m2m/bigbellysolar/</a>), (参照 2017-5-10)