

# 生ごみとプラスチックの分別が可燃ごみの圧縮挙動に与える影響に関する研究

篠田 奈々子<sup>1</sup>・佐藤 昌宏<sup>2</sup>・石井 一英<sup>3</sup>・落合 知<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 非会員 北海道大学修士課程 工学院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)  
E-mail: shinoda.nanako.k3@elms.hokudai.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 北海道大学助教 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)  
E-mail: satomasahironies@gmail.com

<sup>3</sup> 正会員 北海道大学教授 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)  
E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 北海道大学特任助教 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)  
E-mail: ochiai.satoru@eng.hokudai.ac.jp

広域化や今後の資源分別の変化を考慮し、特に長距離輸送の効率化に関する基礎的データを得るために、生ごみとプラスチック類の有無が可燃ごみの圧縮挙動に与える影響を実験的に明らかにすることを目的とした。組成ごみ(生ごみなど)からなる模擬ごみを作成し、圧縮実験を行った。5~10 kg/cm<sup>2</sup>の高い圧縮面圧領域ではプラ無>生ごみ無>生ごみ・プラ有の順に乾燥かさ密度が大きかった。この結果が得られた理由を考察するために、各組成ごみの圧縮実験を行った。生ごみの間隙はほぼ水で飽和しており、プラは間隙に空気が残っていることが分かった。これより、プラを除くと乾燥かさ密度が大きく(間隙量は小さく)なった理由は、間隙に空気を多く含むプラスチック類を除くことで、圧縮に伴い、ごみ同士が互いに間隙を占めあうことが進行するためと考えられた。

**Key Words:** compressive behavior, long-distance transportation, source separation

## 1. はじめに

日本では人口減少、3R 推進などにより、2000 年から一般廃棄物の発生量が減少傾向にある。加えて、一般廃棄物処理実態調査より更新時期を迎えている焼却施設が全体の半数ほどある<sup>1)</sup>。搬入されるごみ量が少なくなると、エネルギー回収効率が低下し、ごみトンあたりの処理単価が高くなる。そこで、自治体が施設更新を行う際は、既存施設か新しく建設された大規模施設へ広域化・集約化することが求められている。

しかし、広域化は運搬距離が長くなり、自治体同士でごみの分別や処理方法を調節する必要がある。広域化をきっかけに、生ごみの分別をはじめたり、容器包装プラスチックのリサイクルを開始したりすることがある。

輸送コストの対策として中継施設へごみを収集した後にごみを圧縮し、焼却施設へ運搬することが考えられ、ごみの分別により圧縮挙動が変わる可能性がある。

占部ら<sup>2)</sup>は不燃ごみ、Zekkos ら<sup>3)</sup>は埋立ごみ、河村ら<sup>4)</sup>は可燃ごみの圧縮挙動を明らかにする実験を行った。しかし、可燃ごみの組成を変えた場合の圧縮挙動は明らかになっておらず、生ごみとプラスチックを分別した場合の中継施設による輸送効率向上を検討するための圧縮挙動に関するデータは不足している。

ここで生ごみとプラスチックに着目した理由は、地球温暖化の観点より、それぞれ資源分別することが求められているからである。生ごみを埋立処理している地域では、分別回収しメタン発酵などの処理をするほうが、化石燃料由来の CO<sub>2</sub>の排出を抑えることができる<sup>5)</sup>。主に生ごみを焼却処理している日本では、水分を多く含む生ごみがあることで燃焼効率や熱回収効率が悪くなる課題があり、分別回収してメタン発酵を行うほうが化石燃料由来の CO<sub>2</sub>を削減できるとされている<sup>6)</sup>。

プラスチックは海ごみ問題をはじめ、その使用方法を改善するべきとされており、地上資源を循環して

利用していくことが求められる。Didemらは、プラスチックの処理方法を焼却、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルとし、LCA（Life Cycle Assessment）を用いて地球温暖化負荷を分析した。マテリアルリサイクルとケミカルリサイクルは焼却に比べてCO<sub>2</sub>排出は大幅に削減できると示した<sup>7)</sup>。日本では、2019年にプラスチック資源循環戦略が策定され、プラスチックの使用削減、リサイクルを促進することを目標としている。

以上より、本研究は生ごみ・プラスチック類の有無が可燃ごみの圧縮挙動へ与える影響を明らかにすることを目的とし、基礎的なデータを得るための実験を行った。

以下に目的を達成するための小目的を示す。

- ①、生ごみ・プラスチック類の有無による可燃ごみの圧縮挙動（乾燥かさ密度の変化）を明らかにする。
- ②、①の結果の要因として、含水比及び間隙量が影響しているかどうかを明らかにする。

## 2. 実験方法

本研究では、5種類の組成ごみ（生ごみ、プラスチック類、紙類、布類、木類）を用いて模擬ごみを作成した。

### (1) 模擬ごみ中の組成調節

模擬ごみの作成に用いた組成ごみ試料を表-1に示す。圧縮挙動の違いをみるために、生ごみ・プラ有、生ごみ無、そしてプラ無と3種類の模擬ごみを作成した。既往調査のごみ組成を基に組成ごみの乾燥重量割合及び模擬ごみの含水比（g/g-dry）を設定した（図-1、表-2）。使用する試料の初期含水比を予め測定し、設定した模擬ごみの含水比になるよう水分を調節した。また、生ごみ・プラ有、生ごみ無、プラ無の乾燥重量は同じになるように調節した。

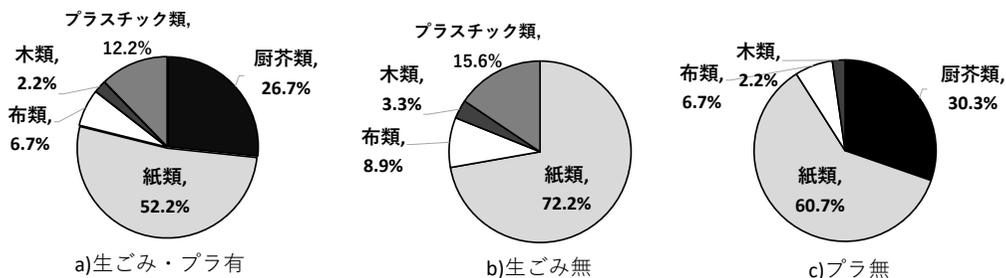


図-1 模擬ごみ中の組成ごみの乾燥重量割合

### (2) 模擬ごみ圧縮実験

占部ら<sup>4)</sup>の実験方法を参考に、器具を用意した（図-2）。底に穴が数か所空いた直径21cm、高さ21cmのステンレスタンクに模擬ごみを入れ、直径20cmのステンレス板を上から載せた。タンク底から排水がされる想定で、41cm×30cmのステンレスバットを敷いた。タンクとバットの間に隙間があると排水されやすいと考えたため、直径13.3cmの丸網を3つ設置した。

模擬ごみをプレス機等で面圧を変化させ、面圧ごとのごみ高さを計測した。タンク底面積を4等分した4か所でのごみ高さを測定し、平均したごみ高さを計算に用いた。高さが変化しなくなった後、ステンレスバットやステンレス板上部で排水があったか

表-1 模擬ごみ作成に用いた組成ごみ試料

大項目	中項目	本研究での試料
生ごみ		ごはん
		パン
		野菜くず
紙類	容器包装類	紙製容器包装
	新聞紙	新聞紙
	広告	広告
	段ボール	段ボール
	紙くず	ティッシュ
	紙くず	おむつ
布類	綿	ウエス(綿)
	合成繊維	ウエス(化繊)
木類	割りばし	割りばし
プラスチック類	容器包装類	容器包装プラ
	製品プラスチック	スプーン、ストロー

表-2 模擬ごみ組成の含水比（g/g-dry）

模擬ごみ	含水比
	g/g-dry
生ごみ・プラ有	0.98
生ごみ無	1.02
プラ無	0.77

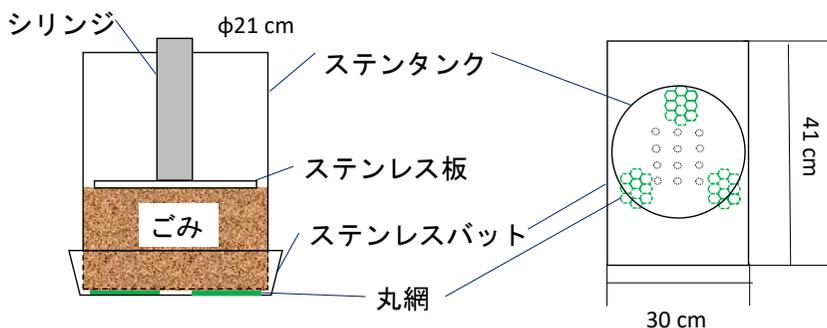


図-2 圧縮中の様子 (左), 上から見た実験器具の配置 (右)

を確認し、ステンスタックから組成ごみごとにとりわけ、それぞれの含水比を測定した。ただし、紙類の中でもティッシュとおむつは含水割合や重量割合が大きかったので、それぞれ別にして含水比を測定した。

面圧の変化は圧縮面圧で示す。目盛りの表示値はシリンダー断面に対する圧力 (MPa) であるため、その値及びステンレス板 (内蓋) の断面よりごみにかかる圧縮面圧(kg/cm<sup>2</sup>)を下記の式により算出した。

圧縮面圧(kg/cm<sup>2</sup>)

$$= \frac{\text{圧力 (目盛り読み取り値, Pa)}}{9.8 \text{ m/s}^2} \times \frac{\text{シリンダー断面 (m}^2\text{)}}{\text{ステンレス板面積 (cm}^2\text{)}}$$

乾燥重量とごみ高さ、容器断面積より乾燥かさ密度を算出した。別途測定したごみの密度より求めた固相容積と全容積の差、または乾燥重量を乾燥かさ密度で除して間隙量を算出した。

### (3) 組成ごみ圧縮実験方法

各組成ごみの含水比が圧縮挙動に与える影響を調べるため、組成ごみの圧縮実験を行った。生ごみ、

プラスチック類、ティッシュ、おむつ、布類、木類を実験項目とし、それらを構成する代替試料の組成比率は模擬ごみ圧縮実験結果の組成比率と同じにした。

試料の初期含水率、模擬ごみ圧縮後含水比を参考に、実験試料の含水比を4点設定した(表-3)。設定した4点の含水比になるように、初期含水量に対して加水した。ただ、生ごみの初期含水量は設定値よりも大きかったため、乾燥機で乾燥し、含水比を調整した。圧縮・測定方法は模擬ごみ圧縮実験と同様である。

## 3. 実験結果

### (1) 圧縮面圧と乾燥かさ密度の関係

図-3 に圧縮面圧と模擬ごみの乾燥かさ密度の関係を示す。圧縮面圧が低い領域では組成別の乾燥かさ密度の差は比較的小さかったが、高い領域(約 5 ~10 kg/cm<sup>2</sup>)ではその差が大きくなる傾向にあった。結果として、乾燥密度の大きかった順に、プラ無>生ごみ無>生ごみ・プラ有となった。占部ら<sup>2)</sup>と河村ら<sup>4)</sup>によると、ごみの圧縮挙動は始めにごみの間

表-3 組成ごみの圧縮実験における含水比

組成ごみ	模擬ごみ設定 初期含水比	初期含水比	模擬ごみ圧縮後 含水比	組成ごみ圧縮実験の含水比			
	g/g-dry	g/g-dry	g/g-dry	g/g-dry			
生ごみ	0.82	2.07, 2.20, 2.46 ~3.05	1.26~1.72	0.82	1.00	1.50	2.33
紙類	0.11	0.03, 0.11	0.31~0.69	0.03	0.11	0.43	0.82
ティッシュ	1.00	1.00, 0.01	0.83~1.06	0.01	0.82	1.00	1.22
おむつ	2.33	2.32, 2.33, 2.38	1.58~2.43	1.22	1.50	1.86	2.33
布類	0.11	0.02, 0.54, 0.58, 0.67	0.42~1.69	0.02	0.43	0.67	1.50
木類	0.60	0.04, 0.16, 0.26, 0.51	0.12~0.36	0.02	0.11	0.33	0.54
プラスチック類	0.30	0.00, 0.01, 0.22, 0.31	0.02~0.09	0.02	0.05	0.11	0.30

の大きな間隙が潰れ、ある圧縮点を超えるとごみ自体が変形して潰れる段階に分けられる。本実験結果の低い圧縮面圧では、ごみそのものの形状が変わるというよりも、ごみの間にある大きい空隙がまず潰れるため組成による差が生じず、高い圧縮面圧ではごみの形状も変化したので組成の変化による差が生じたと考えられる。

本研究では高圧領域において組成の違いが圧縮挙動に与えた影響の要因に関して考察を行う。圧縮のしやすさにはごみ自体の特性（硬さ、間隙が埋まりにくいなど）や含水比が関与していると考えられる。

### (2) 組成ごみ含水比の乾燥かさ密度への影響

組成別に吸水により含水比を変化させ圧縮した実験の結果の一例として、生ごみとプラスチック類についての圧縮後の含水比と乾燥かさ密度の関係を図-4に示す。いずれも図-3の高い圧縮面圧領域である6.79 kg/cm<sup>2</sup>で圧縮した。表-3に示した「模擬ごみ圧縮後の含水比」(図-4, 網掛け部)を考慮して、含水比の幅を広く変化させて実験を行った。また図-4に示した「ゼロ空気間隙曲線」は、間隙が水で飽和した状態での乾燥かさ密度と圧縮後の含水比との関係を示しており、間隙の大きさと間隙水量が同じであり、それより下回することは間隙に空気が存在することを意味する。

図-4 (上) の生ごみの乾燥かさ密度と圧縮後の含水比のプロットはゼロ空気間隙曲線に沿っていた。つまり生ごみ、圧縮によって間隙中の水が排水され、その減少した水分量分だけ間隙が小さくなり、結果として乾燥後の間隙が小さくなるので、乾燥かさ密度は大きくなる。しかし、図-4 (下) のプラスチック類では、圧縮後の含水比の値に関係なく乾燥かさ密度は一定であり、いずれの含水比でもゼロ空気間隙曲線よりも下回った。つまりプラスチック類は本研究の比較的小さい含水比の範囲では、間隙中には常に空気が存在しているので、圧縮後の含水比が減っても、間隙構造は保持されたままであり、結果として乾燥かさ密度は変化しなかった。

### (3) 組成ごみの空隙量への寄与

そこで、模擬ごみの空隙量に寄与する組成ごみを明らかにするために、模擬ごみの空隙量と組成ごみ毎に積み上げた空隙量を比較した(図-5)。積み上げた空隙量は、模擬ごみの空隙量より大きかった。すなわち、組成ごみの混合状態である模擬ごみにおい

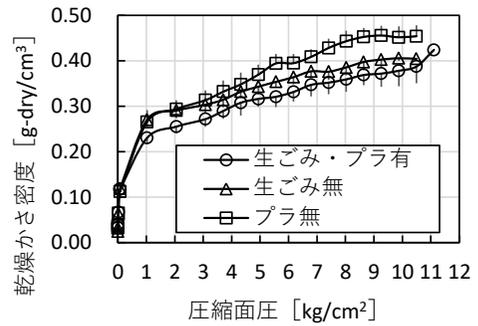


図-3 異なる組成の模擬ごみの乾燥かさ密度 (平均値及び標準偏差, N = 3)

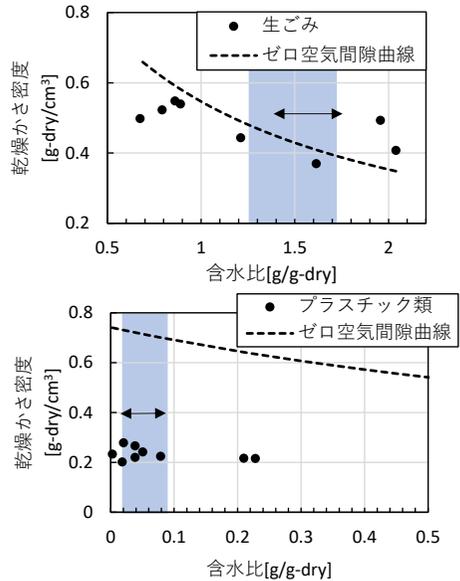


図-4 圧縮面圧 6.79kg/cm<sup>2</sup>における生ごみ(上)とプラスチック類(下)の含水比と乾燥かさ密度の関係 (網掛け部: 模擬ごみ圧縮後の含水比の範囲(表-3))

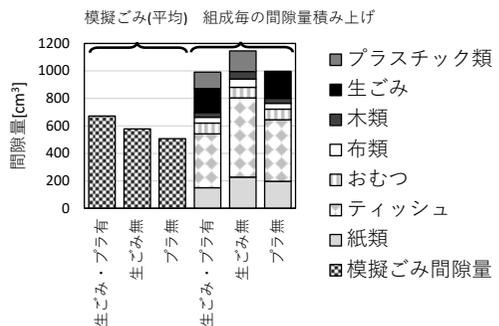


図-5 模擬ごみの空隙量 (圧縮面圧=9.88 kg/cm<sup>2</sup>)

て、あるごみの間隙を他のごみが埋めることで組成ごみ単体と比べて全体の間隙量が減ったと考えられる。しかし、どの組成の間隙量が減少したかは不明であり、間隙量へ寄与する組成ごみ種は明確にはならなかった。ただし、模擬ごみの間隙量は、生ごみ・プラ有>生ごみ無>プラ無の順に大きく、生ごみより空気を保持しやすいプラスチック類が、ごみ同士の間隙が相互減少することを妨げたと考えられる。

#### 4. 結論

圧縮面圧約 5~10 kg/cm<sup>2</sup> で、生ごみやプラスチック類を除くと模擬ごみの乾燥かさ密度は大きく（間隙量は小さく）なった。その理由は、含水量変化による間隙量変化ではなく、プラスチック類が除かれたことで、混合状態でごみ同士が互いの間隙を占めあうことが進行するためと考えられた。

#### 参考文献

- 1)環境省：令和元年一般廃棄物処理実態調査、焼却施設より算出, 2019
- 2)占部武生ら：バンカーでのごみ圧縮計算、都市清掃, 40 巻, pp242-249, 1986

- 3)Zekkos D et al : Response of Municipal Solid Waste to Mechanical Compression, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.143, No.3, 2017
- 4)河村光隆ら：都市ごみの圧縮特性とごみ供給装置, 化学技術研究所報告, Vol.79, No1, pp1-8, 1984
- 5)Luca Marrucci et al : Improving the carbon footprint of food and packaging waste management in a supermarket of the Italian retail sector“, Waste Management, Vol.105, pp594-603, 2020
- 6)田原聖隆ら：都市ごみ処理における生ごみ分別処理の効果, 廃棄物学会論文誌, Vol.15, No.4, pp276-282, 2004
- 7)Didem Civancik-Uslu et al : Moving from liner to circular household plastic packaging in Belgium:Prospective life cycle assessment of mechanical and thermochemical recycling, Resources, Conservation & Recycling, Vol.171, 105633, 2021

(Received August 23, 2021)

(Accepted July 9, 2021)

## STUDY ON THE EFFECTS OF SOURCE SEPARATION FOR FOOD AND PLASTIC WASTES ON COMPRESSIVE BEHAVIOR OF COMBUSTIBLE WASTE

Nanako SHINODA, Masahiro SATO, Kazuei ISHII and Satoru OCHIAI

The objective of this study was to experimentally clarify the effect of the presence or absence of food wastes and plastic wastes on the compressive behavior of combustible waste in order to obtain basic data on the efficiency of long-distance transportation, considering the area expansion and future changes in resource separation. Three types of simulated waste were adjusted for compaction experiments: with food and plastic waste, without food waste, and without plastic waste. In the high surface pressure of 5 to 10 kg/cm<sup>2</sup>, the dry apparent density was greater in the order of without plastic waste, without food waste, and with food and plastic wastes. To examine this reason, compaction experiments for each compositional waste were conducted. It was found that the void of food waste was almost saturated with water. Compression of food waste discharged the water and decreased the void. The majority of the void in the plastic wastes was air, and the void structure did not change with water content. The reason why the dry apparent density became larger when plastic was excluded was that the void was filled by the waste when plastic wastes with a lot of air was excluded.