

(60) バンドン市のスラム地区における 屎尿コンポスト収集輸送システムの検討

牛島 健^{1*}・入江 光輝²・Neni SINTAWARDANI³
・Jovita TRIASTUTI³・石川 忠晴⁴

¹財団法人ダム水源地環境整備センター 研究第二部 (〒102-0083東京都千代田麹町2-14-2麹町NKビル)

²筑波大学 北アフリカ研究センター (〒305-8572 つくば市天王台1-1-1)

³ Research Centre for Physics, Indonesian Institute of Sciences

⁴東京工業大学 総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259 G5-2F)

* E-mail: ushijima@wec.or.jp

都市スラムでは財政的理由等により下水道の整備がなかなか進んでいない。そこで、コンポスト型トイレの導入が一つの選択肢として考えられる。しかし、スラムのような過密地区においては、発生するコンポストの収集輸送システムが大きな課題となる。現時点では、屎尿コンポストの収集輸送システムについてほとんど研究されていない。そこで本研究では、現地調査によって比較的内部的状況がわかっているインドネシア国バンドン市のスラム地区において、屎尿コンポストの収集輸送システムを検討した。そもそも屎尿コンポストの収集輸送システムの先行事例が存在しないため、検討にあたっては、実際に稼働しているゴミ収集システムのフレームを原型として、コンポスト収集輸送システムのモデルを設計した。そして、その実現可能性について基礎的な評価・検討を行った。

Key Words : *composting toilet, solid waste, slum, transportation, south-east Asia,*

1. はじめに

コンポスト型トイレは、下水道の整備が困難な場所におけるトイレの選択肢として、その有効性が指摘されている¹⁾²⁾。現在、日本国内では、国立公園や山岳地域などで設置例が見られる³⁾。一方、著者らは、これまで東南アジアの都市スラムにおけるトイレおよびそれを取り巻く水環境について、調査研究を行ってきた⁴⁾。これらの場所も、主に財政的な理由から下水道がなかなか整備されないままになっており、コンポスト型トイレの導入を検討する価値があるものと思われる。

ここで、都市スラムのような超過密地区への適用を検討する上で、一つ大きな問題として考えられるのが、屎尿コンポストの収集輸送である。郊外であれば、取り出したコンポストを地域内で活用することも可能であるが、都市スラムでは限界がある。よって、何らかの形で、屎尿コンポストの系外搬出のシステムを考えておく必要がある。

しかし、コンポスト型トイレの現在の適用例はほとんどが郊外に限られており、設置台数そのものも少ない。そのため、屎尿コンポストの収集輸送システムについてはまだほとんど議論されていない状況である。そこで、本研究では、都市スラムにおけるコンポスト型トイレ導入可能性検討の一環として、屎尿コンポスト収集システムの基礎的な検討を行った。

なお、ここでは水洗式トイレを前提とした屎尿処理システムとは、かなり異なった発想に基づいて検討を行う必要がある。著者らは、既に都市部で実際に稼働しているゴミ処理システムに着目し、その収集フレームを原型にして、屎尿コンポストの収集を検討できると考えた。

本研究では、インドネシア国バンドン市のスラム地区を具体的な対象として検討を行った。はじめに、ゴミ収集システムについて現地調査を行い、その実態を把握した。そして、現地のゴミ収集フレームを原型に、屎尿コンポスト収集システムのモデルを具体的に考えた。このモデルを用いて収集量と必要人員を試算し、収集システ



図-1 02 町内会の路地

ムの現実性について基礎的な検討を行った。

なお、対象としたスラムは、著者らが既にいくつかの現地調査を実施した場所である。検討にはこれらの調査結果も用い、極力、スラムの現実に応じた検討が行われるようにした。

2. 現地の状況

(1) 地区概要

バンドン市の中央やや東寄りに位置するキアラチョンドン郡は、市内最大のスラム地区として知られる。同郡は6つの村(Kelurahan)で構成され、各々の村が11～18の町内会(Rukun Warga=RW)に分けられている。本研究で対象地区としたのは、同郡のスカブラ村02町内会である。

この町内会は、キアラチョンドン郡の中でも人口密度が高い地区である。町内会の統計によれば、2004年8月の時点で人口が1477、世帯数が410であった。一方、面積は約0.03km²で、家屋は密集して建っている。路地の多くは幅1～2m程度と狭く、トラック等の通行は不可能である(図-1)。著者らは、同地区において2004年から2007年に現地調査を行い、主にトイレを中心とする水環境の実態把握を行ってきた^{7) 8)}。以下、本研究に関連する部分について概要を述べる。

(2) トイレの状況および周辺水環境

2004年8月時点の町内会統計によれば、各家庭への水洗式トイレの普及率は87%であった。インドネシアの一般的なトイレのスタイルについてはいくつか報告^{7) 8)}があるが、現地のトイレもほぼ同様であった。すなわち、しゃがむタイプの便器(図-2)で、使用後にはバケツなどに汲み置きした水を手桶にすくって流す。排泄後に局部を洗う水も同様である。62世帯を対象とした水使用量の聞き取りの結果では、一人一日あたりの総使用量は平均で約0.09m³/人日、そのうち41%が「トイレ」で使用されていた。

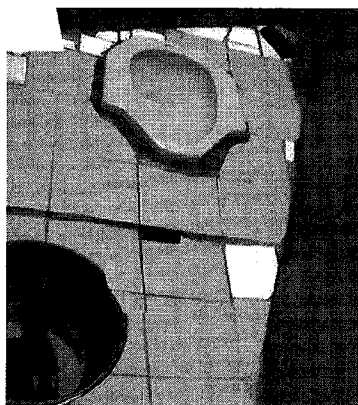


図-2 家庭用トイレ

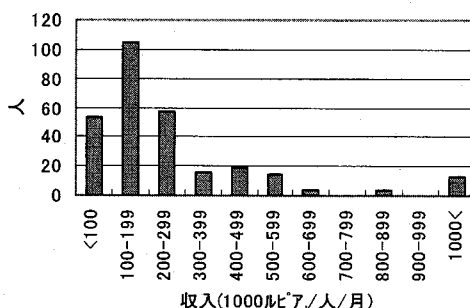


図-3 住民の一人あたり収入分布

同様にトイレで使用した水の始末を聞き取った結果は、53%が「無処理排水」、47%が「セプティックタンク」であった。ただし、ここで言うセプティックタンクは、底面がむき出しとなった浸透式のものを含んでおり、地下水を汚染しているとみられる。また、セプティックタンクから取り出したスラッジは、公然と河川に廃棄されている。現状では、浄化装置として十分に機能しているとは考えにくい。

一方、自宅にトイレを持たない人たちは共同トイレを使用している。多くが水路または側溝の側にあり、汚水は直接水路に流入する構造である。

以上のように、現状では、尿尿はほとんど垂れ流しである。実際、水路に大便が浮かんでいる光景は日常的に見られる。同地区では、有効な尿尿処理システムの導入が緊急の課題である。

(3) 収入等

62世帯を対象とした聞き取り調査によって得られた、一人あたり収入の分布を図-3に示す。平均値は約300,000ルピア/月(1円=約75ルピア)であったが、最頻値は100,000～199,000ルピア/月であった。

聞き取りを行ったうちの5世帯について、水代、電気代、ゴミ収集負担金に関する追加調査を行うことができた。結果を表-1に示す。なお、ゴミ収集負担金とは、後

表-1 住民が水、電気、ゴミに支払う料金

	家族 構成 員数	世帯 収入 (1000 ルピア/月)	一人あたり 収入 (1000 ルピア/月/人)	水代 (1000 ルピア/月)		電気代 (1000 ルピア/月)		ゴミ収集料金 (1000 ルピア/月)	
				世帯 あたり	世帯収入に 占める割合 (%)	世帯 あたり	世帯収入に 占める割合 (%)	世帯 あたり	世帯収入に 占める割合 (%)
①	5	2,500	500	150.0	6.0	150	6.0	2.5	0.1
②	4	1,700	425	17.5	1.0	70	4.1	2.5	0.1
③	6	1,700	283	90.0	5.3	75	4.4	2.0	0.1
④	4	300	75	18.0	6.0	20	6.7	2.0	0.7
⑤	6	1,600	267	50.0	3.1	80	5.0	2.5	0.2



図-4 ゴミ収集用ハンドカート



図-5 中継基地 (TPS) におけるトラックコンテナ
への積み替え作業

に述べるように町内会のゴミ収集にあてられる費用で、各家庭から徴収されている。

水代、電気代、ゴミ収集負担金が世帯収入に占める割合は、それぞれ1～6%、4～7%、0.1～0.7%であった。水代に大きなばらつきがみられるが、これは入手源（井戸、私有蛇口、共同蛇口など）によって単価が0～30,000 ルピア/m³と大きく異なるためと考えられる。

(4) コンポスト型トイレ導入のメリット

スラムは人口密度が高いため、尿尿の発生量も膨大である。そのため、除去率のかなり高いシステムを導入しない限り、根本的な解決にならない可能性がある。その点、尿尿を水系に一切排出しないコンポスト型トイレは、効果的と考えられる。

また、コンポスト型トイレは基本的に水を使用しないため、生活用水の41%を占めるトイレ用水を大幅に削減できる。低所得者層にとって、水代の負担が減るメリットは大きい。

さらに、コンポスト型トイレから取り出されるコンポストはチツソやリンに富み、農地で活用できるポテンシャルをもっている。有価物として認識されるようになれば、利益を生まないまでも処理費用の負担を軽減できる可能性がある。

3. ゴミ収集システムの実態

(1) ゴミ収集システムの概要

インドネシアでは、政令市および県が廃棄物管理の責務を負っているが、実態として、末端の収集は町内会に任されている。実際の運用としては、多くの場合、町内会が住民から費用を集めて収集人を雇い、各戸からの収集を行っている⁹⁾。

収集には、図-4に示すようなハンドカートを使用する場合が多い。収集したゴミは、市や県の指定の中継基地（Tempat Penampungan Sampah = TPS）へと運び、ここで市や県の所有するトラックに積み替えられる（図-5）。そして、最終処分場へと輸送される。なお、ゴミ収集人の作業環境は一般に劣悪である。中継基地での積み替え作業を始め、素手で作業をしている人も多い。

(2) 現地調査

本研究では、住民の直接負担によって運営されている部分、すなわち各家庭～中継基地の収集システムに焦点を絞り、詳しく調査した。調査方法は、町内会関係者および収集作業員に対する聞き取りと、一部実測を組み合わせた。結果を以下にまとめる。

スカブラ村02町内会では、作業員を一人雇用して収集を行っていた。ゴミは家の前のゴミ出しスペースに出すか、収集人に直接手渡す。使用されていたハンドカート

は700×1150×1550mmで、一度に約1.3m³のゴミを運ぶことができる。収集日は週3回で、1収集日あたり概ねハンドカート2杯分のゴミが集められる。通常は、午前中で410世帯全ての収集が終わる。

同町内会では、収集人を400,000ルピア／月で雇用していた。ただし、別途、隣接する2つの町内会でも聞き取りを行ったところ、収集人の賃金は100,000および150,000ルピア／月であった。02町内会はやや高めの賃金設定になっているものと思われる。収集人を雇う費用は、カートの維持管理費用等とあわせて住民から直接徴収されている。一世帯あたり2,000ルピア／月が基本の負担額であるが、収入に応じて多少金額が上乘せされる。ただし、徴収担当者も金額設定ルールを明確に把握できておらず、厳密な運用は行われていなかった。

なお、以上の調査とは別に、各家庭におけるゴミ発生量を調べた。地区内の聞き取りを行った62世帯に1日分のゴミを提供してもらい、総重量および生ゴミとそれ以外のゴミの割合を計測した。詳細は割愛するが、測定の結果、総量が平均184g／人日、そのうち生ゴミが75%を占めている事がわかった。

(3) 調査結果の考察

調査結果に基づき、収集システムの設計に係わる要素を表-2に整理した。また参考値として、バンドン市の公式統計及び文献を参考に算出した値を併記した。

ゴミ発生量は、ハンドカートによる収集量（体積ベース）を人口で割って求めた。参考値はバンドン市全体の平均であることを考えると、生活水準の低いスラム地区での発生量が参考値より少ないのは妥当と思われる。生ゴミの割合は実測値と文献値でほぼ同等であった。収集能力は、参考値よりも低かった。実際、現地のゴミ収集は週3回、半日の作業で完了しており、キャパシティに若干余裕がある状態で運営されているものと考えられる。収集費用は参考値より低めである。現地住民の収入分布の最頻値に対するゴミ収集費用の割合は、0.3～0.6%で

あった。一方、廃棄物処理に対する支払い可能額(ATP)は、地域や社会状況によって異なるが、大まかな目安として報告されている数値は収入の約2%である。現行の負担金額は、妥当もしくはやや低めと考えられる。

4. 屎尿コンポスト収集システムの検討

(1) 検討のフレーム

冒頭で述べたとおり、本研究ではゴミ収集のフレームを原型として、屎尿コンポスト収集のモデルを考える。ここでは各家庭から中継基地へと収集するプロセスのみを検討の対象とし、中継基地に集積した屎尿コンポストの輸送と消費については、試算結果を基に別途考察する。

収集人はゴミ収集同様、ハンドカートを引き回して各家庭を回り、屎尿コンポストを回収して中継基地へと運ぶものとした。ハンドカートの容積は、ゴミ収集用のものを参考に1.3m³とした。ただし、コンポストの回収はオガクズの交換を伴うため、容積の半分は交換用の新しいオガクズを運ぶために使わなければならない（図-6）。ゴミ収集の場合と同様、収集人は週3日、半日で2カート分を集めると仮定すると、正味の収集能力は1収集日当り1.3m³（0.55m³／日）となる。

ここでは、収集量の最大値を検討する意味で、コンポスト型トイレが100%普及しているものとした。コンポ

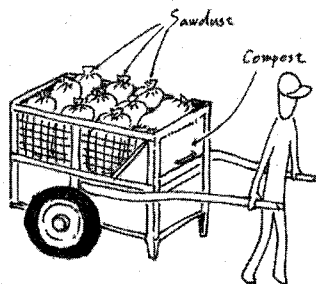


図-6 屎尿コンポスト収集用カート（イメージ）

表-2 現地ゴミ収集システムの調査結果

	調査結果	参考値	参考値の算出方法
ゴミ発生量	0.9リットル/人日 (0.184kg/人日)	1.8リットル/人日 (0.36kg/人日)	バンドン市の公式統計 ¹⁰⁾ より算出。重量ベースの数値はJICAデータ ¹¹⁾ より、見かけ比重を0.2として算出。
生ゴミの割合	75%	73.98%	バンドン市の公式統計 ¹⁰⁾ より引用。
収集人の収集能力	1.1m ³ /日	3m ³ /日	山村 ¹²⁾ が、ジャカルタにおけるハンドカート1台あたりの収集能力として算出した値。
収集費用	556 牒 ⁷⁾ /月/人	800～2500 牒 ⁷⁾ /月/世帯	ラテンアメリカおよびアジアにおける「1人あたり収集費用」の推定値 ¹³⁾ と現地のゴミ発生量から著者らが算出
収集費用の収入に占める割合	0.3～0.6%*	2%	支払い可能額（ATP）の大まかな目安 ¹⁴⁾

* 現地の収入分布の最頻値に対して算出

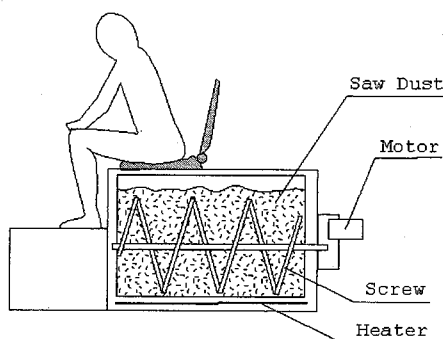


図-7 コンポスト型トイレ

スト発生量は、現在日本で市販されているオガクズをマトリクスとしたタイプの数値を用いた。これは、オガクズ槽に排泄し、内蔵のスクリーンで攪拌するタイプである（図-7）。尿尿は好気条件の下で蒸発・分解される。オガクズ槽の大きさは一人あたり50リットルが目安で、年2回程度、半分のオガクズを交換する。

なお、このタイプは、もともと生ゴミ処理技術に応用したものであり、生ゴミもあわせて処理することが可能である。その場合、ゴミ収集の負担が大幅に減ることが期待できる。よって、ここでは単純にコンポスト型トイレを導入した場合と、コンポスト型トイレで生ゴミもあわせて処理した場合の2ケースについて試算を行った。

(2) 収集量と必要人員の試算

a) シナリオ1:尿尿のみを処理した場合

コンポストの回収頻度は、市販のオガクズトイレの基準に従い、年に2回、一人あたり25リットルとした。町内会の統計より、現地の世帯員数の平均は3.6人である。ここでは平均的な世帯構成として4人家族を想定した。この場合、一度に交換するオガクズ量は平均で 0.1m^3 /世帯となる。410世帯が6ヶ月に1回オガクズ交換をすると、年間のべ820世帯分（ 82m^3 ）である。よって、収集に必要なコンポストの量は、1収集日あたり 0.52m^3 （ 0.22m^3 /日）と推定される。収集量的には、想定した収集能力の半分以下に収まることがわかる。なお、この量は平均的な家庭約5世帯分に相当する。

b) シナリオ2:生ゴミもあわせて処理した場合

現地でのゴミ発生量調査結果から、生ゴミ発生量の平均は 0.13kg /人日と見積もられる。コンポストトイレが一人一日あたり尿尿 1.2kg 程度の投入を想定しているとなれば、ここに生ゴミ 0.13kg を加えるためには、オガクズ容積を1.1倍にする必要がある。この場合、コンポストの発生量も1.1倍になる。よって、収集に必要なコンポストの量は1収集日あたり 0.57m^3 （ 0.23m^3 /日）と推定される。世帯数で約6世帯分に相当する。

一方、生ゴミをコンポストトイレで処理することによ

って、ゴミの収集量が重量ベースで平均75%減少することが見込まれる。仮にみかけ比重が均一として考えると、収集に必要なゴミの量は1収集日当たり 0.65m^3 （ 0.28m^3 /日）に減少する。

このとき、コンポストとゴミの合計収集量は、1収集日当たり 1.22m^3 となり、想定した収集能力（ 1.3m^3 /日）の範囲内に収まる。

(3) 考察

a) 結果の評価

シナリオ2では、生ゴミ減少効果とのバランスにより、少なくとも収集量の面においては、現状のゴミ収集能力の範囲内で、尿尿コンポストもあわせて収集できる可能性が示された。

ただし、ゴミの量が減っても、これまで通りの収集頻度では、結局410世帯全てを回らなければならないため、時間の面での短縮がほとんど期待できない。腐敗性の生ゴミが無くなれば、ゴミの回収頻度を下げることは可能である。収集量的には、ゴミ収集はたとえば週1回でも足りる。そうなれば、残りの収集日2日分を尿尿コンポスト収集に当てることができる。

この場合、コンポストの収集量は、1収集日当たり 0.80m^3 （約8世帯分）となる。午前中で8世帯分の回収を終えるためには、移動も含めて1ヶ所当たり約30分で作業を済ませる必要がある。

コンポストの取り出し作業は、コンポスト型トイレの装置自体のデザインと密接に関係する。現在市販されているオガクズトイレは、スクリーンが邪魔になり、著者らの経験上、コンポストの取り出しだけで30分以上かかることもある。たとえば、スクリーンが取り外し式になっていれば（一部メーカーでは対応済み）、 0.1m^3 前後のコンポストを取り出す作業は、さほど時間を要さないとと思われる。この部分は装置の改良を含めて今後の検討が必要である。

費用の面については、ゴミの代わりに尿尿コンポストを集めた場合も、人件費が同等で済むという保証はない。ただし現在のゴミ収集負担金額（収入の0.3～0.6%）は、住人の許容額（ATPの目安＝2%）に対して低めと考えられるので、多少のコスト増であれば受け入れられる可能性はある。

b) コンポストの最終処分方法の検討

収集したコンポストの最終受け入れ先が確保されなければ、このシステムは破綻する。まず、もっとも消極的な方法としては、単に廃棄物として処分する方法がある。シナリオ2の試算結果では、ゴミとコンポストの収集総量が現状のゴミ収集量と変わらないという結果であった。現地のゴミ最終処分の方法はオープンダンピングなので、

体積が同じなら、現状の施設で、少なくとも物理的には受け入れ可能と考えられる。

しかし、尿尿コンポストは肥料成分を豊富に含んだ資源であり、循環型社会の構築という視点からしても、将来的には、農地還元されることが望ましい。そのためには、まず農業従事者が尿尿コンポストを使うようにならなければならない、そのための農業技術指導と環境教育が必要になる。著者らは、有機農法の指導を行っている研修センターに着目し、そこで尿尿コンポストのユーザーを創出する方法を検討しているが、これらは今後の課題である。

5. 結論

本研究では、コンポスト型トイレを導入した場合の尿尿コンポスト収集輸送システムについて、ゴミ収集のフレームを元にある程度具体的な検討を行った。その結果、生ゴミと尿尿をあわせて処理した場合、ゴミ収集量が減ることによって、現状のゴミ収集能力の範囲内で、尿尿コンポストもあわせて収集できる可能性が示された。

コンポストを農地還元するシステムについては今後の課題であるが、仮に尿尿コンポストを廃棄物として処分するとしても、現状のゴミ最終処分場のキャパシティで受け入れ可能と考えられた。

なお、今後の検討課題として、尿尿コンポスト収集の実際の人件費、コンポスト取り出しの作業時間、利用者の心理面での受け入れ可能性、といった点が考えられる。また、最終的に、コンポスト型トイレによるシステムの導入を考える際には、輸送収集システムの検討結果を、水使用量、電力消費量、初期設置費用、といった他の要素と組み合わせて総合的に評価する必要がある。水使用量⁹⁾や電力消費量¹⁰⁾に関するデータは、すでにいくつか報告されている。初期設置費用については、日本製の現行品はオールステンレス製であり、高価である。仕組み自体はシンプルなので、現地向けの廉価版オガクストイレの開発が今後必要と思われる。

今後は、パイロットテスト等も含めた、より現実的な調査を進める中で、これらの点について検討したいと考えている。

謝辞：本研究は、戦略的創造研究推進事業「持続可能なサニテーションシステムの開発と水循環系への導入に関する研究」（研究代表者：船水尚行）の助成を受けている。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Lens P.: 分散型サニテーションと資源循環, 技報堂出版, 2005.
- 2) 上幸雄: ウンチとオシッコはどこへ行く, 不空社, 2004.
- 3) 石崎勝義: 次世代のトイレを考える, 緑の読本, シリーズ 58, pp.809-813, 2001.
- 4) たとえば, 牛島健, 石川忠晴, 上原英之, 中西徹, Corazon, C. D., Sylvano, D.M.: メトロマニラへのコンポスト型トイレによる有機物オンサイト処理の導入の可能性について, 環境システム研究論文集, Vol.30, pp.355-362, 2002.
- 5) 牛島健, 入江光輝, Neri SINTAWARDANI, Jovita TURIASTUTI, 石川忠晴: バンドン市のスラム地区における生活排水の現地調査, 水工学論文集, Vol.50, pp.1075-1080, 2006.
- 6) Sintawardani, N., Irie, M., Triastuti, J., Ishikawa, T. and Affendi, M.: Frisibility of introducing the bio-toilet to decrease the water pollution in an open canal: A case study in Kiaracandong slum area in Bandung City, Future of urban wastewater systems decentralisation and reuse (Proceedings of the International Water Association (IWA) Conference 2005, Xi'an), pp.101-109, 2005.
- 7) 倉沢愛子: ジャカルタ裏路地(カンボン)フィールドノート, pp.107-108, 中央公論新社, 2001.
- 8) 斉藤政樹, 内澤旬子: 東方見便録, pp.66-71, 小学館, 1998.
- 9) 宇仁菅伸介, 渡辺泰介: インドネシアの環境管理の現状(2), 生活と環境, Vol.49, pp.57-62, 2004.
- 10) BPS-Kota Bandung : Bandung Dalam Angka 2003, pp.116-119, 2004.
- 11) 国際協力機構国際協力総合研究所: 開発途上国廃棄物分野のキャパシティ・デベロップメント支援のためにー社会全体の廃棄物管理能力の向上をめざしてー, 2005.
- 12) 山村尊房: 日本とインドネシアの廃棄物データの比較解析, 都市と廃棄物, Vol.17, No.7, pp.15-23, 1987.
- 13) Bartone, C.R. "Financial Management of Urban Solid Waste Services: Lessons from a Decade of World Bank Lending", World Bank Partnership in Municipal Solid Waste Management workshop, 2000.
- 14) 国際協力事業団: 開発調査における経済評価手法研究, 2002.
- 15) Ushijima, K., Irie, M. and Ishikawa, T.: A Preliminary Experiment On The Use Of Sawdust Toilet At Ordinary Home In Japan, Future of Urban Wastewater Systems Decentralisation and Reuse (Proceedings of the International Water Association (IWA) Conference 2005, Xi'an), pp.71-78, 2005.

(2007.5.25 受付)

Collection System for Compost From Composting Toilet in Slum Area of Bandung

Ken USHIJIMA¹, Mitsuteru IRIE², Neni SINTAWARDANI³, Jovita TRIASTUTI³ and
Tadaharu ISHIKAWA⁴

¹Water Quality Research Division, Water Resources Environment Technology Center

²Alliance for Research on North Africa, University of Tsukuba

³Research Centre for Physics, Indonesian Institute of Sciences

⁴Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

Composting toilet system seems one of alternative toilet under the condition without sewerage system, such as slum area. Residue from composting toilet is available as a compost, however collection and transportation system for compost have to be prepared especially in heavily populated slum area. To discuss feasibility of composting toilet system in slum area, these parts seems quite important. But collecting system or transporting system for toilet compost has not been discussed. In this article, we designed possible collection system model based on field survey data, and evaluated its feasibility. Framework of collection system is designed with referring present garbage collection system, because any practical example is not exist even in Japan. According to estimation with this model, combined treatment and collection for garbage and excrement compost can be work with roughly same capacity of present garbage collection. The system seemed to have enough feasibility.