

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月10日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2012

課題番号：21560619

研究課題名（和文） 養分循環実現のためのエコトイレの性能評価

研究課題名（英文） Performance Evaluation of Japanese Eco-toilets for Realizing Nutrient Matter Cycle

研究代表者 高橋 達 (TAKAHASHI ITARU)

東海大学・工学部・建築学科・准教授

研究者番号：50341475

研究成果の概要（和文）：日本国内で商業的に成立しているエコトイレ数種の家庭利用を対象にして、そのし尿処理に関わる衛生確保性能、肥料生成能力について使用実験を、環境影響評価について物質収支・エネルギー収支・エクセルギー収支の解析を行なった。その結果、国産のし尿分離式と水分排除式のコンポストトイレ（堆肥化トイレ）では、高発熱添加材なしでは病原生物の無害化に必要な高温発酵には達しにくいこと、臭気の不快感はほとんど生じることないことが明らかになった。また、尿尿処理用の一次投入エクセルギーに対する尿尿の濃エクセルギー保存量の割合は、コンポストトイレ（ヒーターなし）が0.045～0.1で、下水処理場などの処理システムより割合が桁違いに大きく、尿尿処理用一次投入エクセルギーに対する尿尿の濃エクセルギー保存量の割合は、環境水の水質が下流域相当から上流域相当に向上すると、最大1.2倍になることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：For realizing nutrient matter cycle based on night soil compost, the author focused on the household use of Japanese eco-toilets and made a series of their use experiment in terms of sanitary engineering and exergy analyses. As results, followings were found. High temperature fermentation to be expected against thermal death of pathogenic organisms was not realized without highly calorific material. Uncomfortable odor was not generated during whole use experiments. The clearer the environmental water is, the larger exergy of black water is, namely, the harder the purification work is. Therefore, clear water should be separated from excrement. A sorting-type composting tank can avoid use of flushing water and production of urea fertilizer, if urea from a composting toilet is utilized as inorganic fertilizer. Thereby, primary exergy input for operating equipments of a composting toilet becomes smaller than primary exergy input for flushing water and production of urea fertilizer.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年	600,000	180,000	780,000
2011年	600,000	180,000	780,000
2012年	600,000	180,000	780,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：環境設備計画、自然エネルギー

1. 研究開始当初の背景

これまで、建築環境設備学は、自然の生態系がもつ養分循環（食物連鎖による栄養物質の循環）に配慮した環境計画を対象にしていなかったため、環境設備の研究と計画実務は汚染物質の排出抑制に留まり、自然の循環系への調和、ひいては新たな循環系を計画する術をいまだにもちえていない。その一方で、近年、実社会では生ごみを堆肥化し、その農地還元により野菜を栽培するといった養分循環の実現事例が着実に増えつつある。尿尿や厨芥はそのほとんどが陸上動植物を由来とするので、本来は河川などの水環境ではなく、緑農地の土壌環境に還元して、過剰でない範囲で養分を補充してやる必要がある。したがって、尿尿、厨芥、家庭排水は単なる衛生的浄化処理だけでなく、積極的に養分として循環させることが、水・養分に関わる環境問題の回避と新たな価値の創出につながると考えられる。

エコトイレや生ごみ堆肥化装置は、近年、その導入例が都市域以外の住宅や公園で増加しつつあり、尿尿・厨芥・家庭排水の衛生的浄化処理と、生成堆肥などの農地還元を可能にするので、養分循環系の中核的環境設備と考えられる。しかしながら、都市域の住宅では、性能が不明確なためにエコトイレの導入に踏み切れない例が多い。また、衛生管理の特性、運用時のエネルギー使用量といった環境影響、生成堆肥や処理水の肥料品質などに関する実績データが不足しており、その体系的な評価・分析も行なわれていない。したがって、尿尿・排水を由来とする養分循環系を構築するには、まず、エコトイレなどの性能を系統だって定量的に把握し、その評価を行なう必要がある。

2. 研究の目的

家庭用エコトイレシステムについてその生成堆肥・処理水の肥料品質、衛生管理、その環境影響に関する特性を実測・実験により定量的に把握し、その適用可能性を評価・分析し明らかにする。各システムの性能評価項目は、養分除去速度、環境影響（運用時のエクセルギー収支など）、生成堆肥・処理水の肥料品質、衛生管理特性としての病原生物量・臭気、ユーザーインターフェイスであり、各エコトイレシステムについてこれらの総合評価方法とその評価結果、養分循環計画で必要となる養分収支用の養分除去速度算定に必要な一連の数値データが目標とする研究成果である。

3. 研究の方法

尿尿混合型でないコンポストトイレは研究開始時には2社に限られていたため、これら2基を実験用トイレに選び、東海大学湘南

校舎H棟南側屋外に設置し、使用実験・堆肥化実験を行なうことにした。

まず、メーカーの初期設定条件で連続使用実験（以下、プレ使用実験）を行ない、尿尿の衛生的処理能力や使い勝手を把握するようにした。次いで、その結果を受け、発酵槽のパッシブ加熱に有効な条件を探るために堆肥化の数値シミュレーションを行なった。さらに数値シミュレーションの結果を踏まえて、高発熱添加材を用いた一連の実験を行なった。なお、発酵槽のパッシブ加熱とは、発酵槽の断熱や太陽熱の利用、高発熱添加材の投入、換気排熱の減少などの手段によって発酵槽内容物を高温に維持することであり、本論文では一般に導入の容易でない太陽熱利用は除いた。

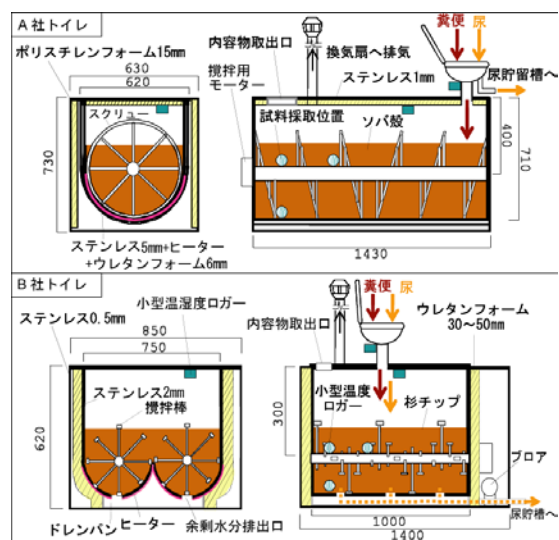


図1 実験に使用した国産コンポストトイレ

エクセルギー解析は、水洗トイレ+下水道のシステムと、コンポストトイレ+傾斜土水槽のシステムを比較対象にして、それぞれを構成するサブシステムごとに、養分物質収支、エネルギー収支、エクセルギー収支を計算することにより行なった。

4. 研究成果

住宅での利用を想定して、尿尿分離型や水分排除機能付きの国産コンポストトイレの衛生的処理能力、パッシブ加熱の可否について、連続使用実験や数値シミュレーションを行なうことにより以下1)～4)が、水洗トイレ+下水処理場と、ヒーター非稼働時の糞尿分離型コンポストトイレ+傾斜土槽を対象にしてエクセルギー解析により5)～7)が明らかになった。

(1) 屋外仮設用の尿尿分離型コンポストトイレ2基を6人でメーカー初期設定条件にお

いて使用した場合、電熱ヒーターの常時稼働により A 社トイレで 200~250W、B 社トイレで 150~200W の電力が使用されていた。それにも関わらず、両トイレともに高温発酵が促進されず、内容物平均温度の上昇が 28 ~ 39℃に留まった。

(2) A 社トイレでは、(1)で述べたように高温発酵が促進されず水分蒸発が促進されず、かつ、セパレート便器での屎尿分離が実施されない場合に、内容物の質量含水率が 70%以上、ORP が-28~-23mV になり、内容物の嫌氣的状態になることが確認された。

(3) メーカー初期設定条件で、延べ人数が A 社トイレで 376 人、B 社トイレで 109 人の条件において使用したところ、臭いが気にならない、もう一度トイレを使用したいという回答の割合が両トイレともにほぼ 100%であり、コンポストトイレに対する受容の度合は低くなかった。

(4) 一次発酵期間 7 日間で内容物温度の 40℃ 上昇と質量含水率の 65%から 50%への減少に要する投入量の 3 倍で廃食用油を投入するとともに、糞便を 4 回/day、尿を 20 回/day 投入した連続使用実験では、電熱ヒーター・ファン・ブローアを全停止状態で内容物平均温度 45℃以上の継続時間が 100h 以上になった。A 社トイレに廃食用油を 7L/week 投入する場合のみ高温による病原生物の無害化の条件である 45℃以上の継続時間が 120h 以上を満たせなかった。

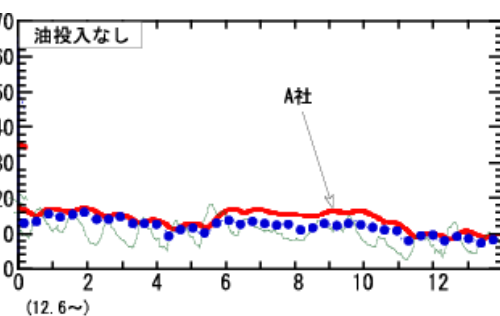
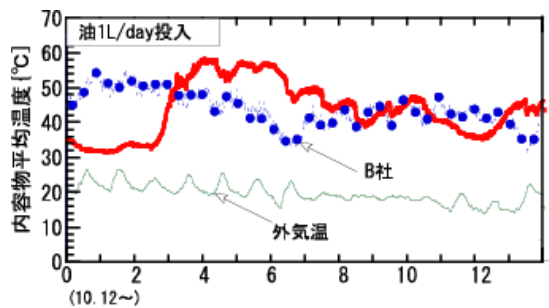


図 2 発酵槽内容物平均温度の変化

(5) 糞便や杉チップなどのバイオマスのエクセルギーはコンポストトイレ稼働用の一次

投入エクセルギーに対して±数 10%になっており、高い資源性をもつ。

(6) コンポストトイレ+ 傾斜土槽では、稼働用一次エクセルギー投入量が 2,320 ~ 3,050MJ/ 年であり、水洗トイレ+ 下水処理場のそれより大きい。そのため、その低減のために攪拌・加熱方法を改善する必要がある。

7) 糞尿分離型コンポストトイレでは、洗浄水の不投入と尿素肥料生産の回避を伴うことになる。それらによるエクセルギー低減量は、トイレ稼働用の一次エクセルギー投入量を上回る。

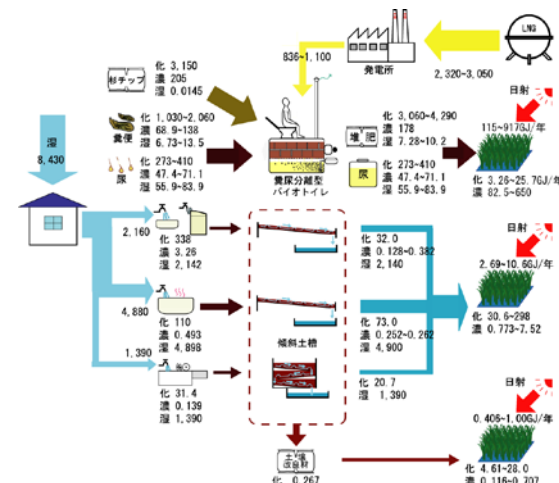


図 3 コンポストトイレ+傾斜土槽の場合におけるエクセルギーの流れ[MJ/year・戸]

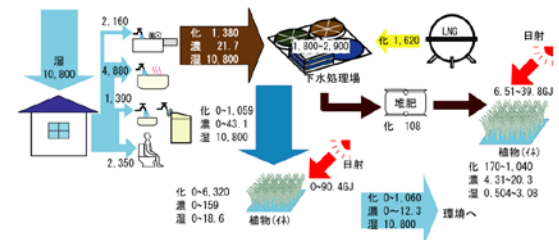


図 4 水洗トイレ+下水道の場合におけるエクセルギーの流れ[MJ/year・戸]

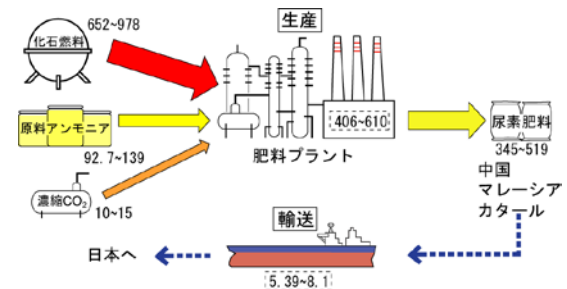


図 5 尿素肥料 1kg の生産・輸送に伴うエクセルギーの流れ[MJ/kg]

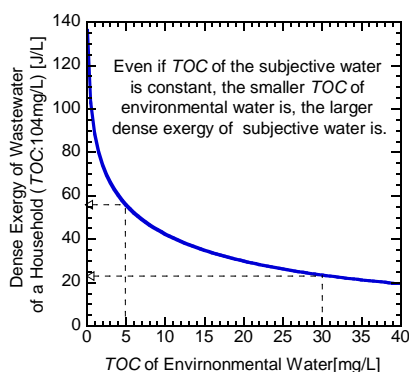


図6 環境水のTOC(総有機物濃度)と家庭排水の濃エクセルギーの関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- 1) 高橋達・石原衣梨: 国産尿尿分離式コンポストトイレの処理性能とそのパッシブ加熱に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第78巻 第687号、pp. 401-407、2013-5。

[学会発表] (計6件)

- 1) 高橋達・石原衣梨: 廃食用油を高発熱添加材とした尿尿分離式バイオトイレの自然発酵に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp. 631-632、2011-8。
- 2) 高橋達・石原衣梨: 住宅での利用を想定した尿尿分離型バイオトイレの性能評価(その2. 回分式堆肥化過程の数値解析)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp. 561-562、2010-9。
- 3) 石原衣梨・高橋達: 住宅での利用を想定した尿尿分離型バイオトイレの性能評価(その1. 連続式・回分式使用による実証実験)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp. 599-560、2010-9。
- 4) Itaru Takahashi and Yasutaka Fuse: "Exergetic" Design Method to Efficiently Utilize Nutrient Matter of Domestic Wastewater, Proceedings of the 3rd International Dry Toilet Conference, 12th ~ 14th, August, 2009
- 5) 高橋達・布施安隆: エクセルギー概念を用いた家庭排水の養分活用計画に関する研究(その4. 下水処理場、コンポストトイレ+ 傾斜土槽使用の場合のエクセルギー解析)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp. 535-536、2009-9。
- 6) 布施安隆・高橋達: エクセルギー概念を用いた家庭排水の養分活用計画に関する研究(その3. 下水処理場、コンポスト

トイレ+ 傾斜土槽使用の場合の養分収支)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp. 533-534、2009-9。

[図書] (計2件)

- 1) 柿沼整三、市川憲良、金子尚志・高田宏、岩松俊哉、高橋達ほか共著: 最高にわかりやすい建築設備、エクスナレッジ、pp. 88-95、2012-4。
- 2) 宿谷昌則編西川竜二・高橋達・斉藤雅也・浅田秀男・伊澤康一・岩松俊哉・マーセル シュバイカ共著: エクセルギーと環境の理論—流れ・循環のデザインとは何か [改訂版]、井上書院、pp. 128-137、2010-9。

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 達 (TAKAHASHI ITARU)

東海大学・工学部・建築学科・准教授

研究者番号: 50341475

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし