

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04953

研究課題名(和文) コンポストトイレ導入による自宅と地域における災害発生直後の排泄環境整備

研究課題名(英文) Improving the excretion environment immediately after a disaster occurs at home and in the community by introducing compost toilets

研究代表者

樋口 佳樹 (Higuchi, Yoshiki)

日本工業大学・建築学部・教授

研究者番号：80644814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ローコストで自作可能なコンポストトイレを提案した。また、在宅避難時のストレスや睡眠障害等の健康被害を未然に防ぐ必要があるため、排泄時の糞便性状から健康のセルフモニタリングが可能な装置をコンポストトイレに組み込むことを検討した。健康モニタリングとして、機械学習を用いた糞便性状の判別を検討した。また、ケナフを植えた竹式傾斜土槽システムによる尿の浄化性能とケナフの尿浄化に対する適性について検証した。ケナフを植えることで微生物が増殖し有機物の分解と硝化効果が促進されることが分かった。

これらの提案により、災害発生直後から仮設トイレが増設されるまでの期間の生活を守ることが可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、災害発生直後から仮設トイレが増設されるまでの期間の排泄環境を整備することが喫緊の課題となっている。本研究課題により、仮設トイレやマンホールトイレが整備されるまでの生活を守ることが可能となる。さらには、各家庭で災害用トイレの備蓄率が増えることで、自宅での在宅避難が可能となる世帯も増えると考えている。それにより、避難所のトイレ利用の負荷が低くなり、避難所生活の衛生面の改善にも大きく寄与できる。また、コンポストトイレと傾斜土槽法の組み合わせによる避難生活時の排泄環境整備に可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The compost toilet that you can make yourself at low cost was proposed. In addition, since it is necessary to prevent health hazards such as stress and sleep disorders during evacuation at home, a device that enables self-monitoring of health from the fecal properties during excretion was examined. As health monitoring, we examined the discrimination of fecal properties using machine learning. The urine purification performance of Bamboo Type Slant Soil Layer Method in which kenaf was planted was also verified. It was found that planting kenaf promotes the growth of microorganisms in the device and promotes the decomposition of organic matter and the nitrification effect. With these proposals, it will be possible to protect people's lives during the period from immediately after a disaster to the addition of temporary toilets.

研究分野：環境共生

キーワード：コンポストトイレ 傾斜土槽法 災害用トイレ 尿浄化

1. 研究開始当初の背景

筆者が実施した災害用トイレの備蓄率に関する調査<sup>1)</sup>によると、実際に災害用トイレを自宅に備えている世帯の割合はわずか12%であり、自宅での災害用トイレの備蓄率を増やすことが急務となっている。また、平成28年に内閣府が纏めた「避難所におけるトイレの確保・管理ガイドライン」によると、仮設トイレが地域に届くまでの日数は、「3日以内」と回答した自治体はわずか34%であり、「1ヶ月以上」と回答した自治体は14%にのぼることが判明している。このような現状を踏まえると、自宅で備蓄する災害用トイレは、衛生的に1ヶ月間継続して使用できるものであることが望ましい。一方、筆者の研究<sup>2)</sup>により、4人家族において1~2人用の小型コンポストトイレ(35L)を備蓄することで、水と電気を一切使用しなくても、夏期で約83%、冬期で約60%の糞便が蒸発や分解により減量されることで、容量が満杯とならずに、1ヶ月以上使用可能であることが明らかとなっている。残された問題としては、市販のコンポストトイレは、災害用トイレとして備蓄するには高価である点が挙げられる。

一方、災害時に各自治体は、迅速に仮設トイレやマンホールトイレの用意を進める必要があるが、マンホールトイレについては下水管の状況を把握するまでは使用できなく、仮設トイレが届くのも、上述の通り3日から1ヶ月程度はかかってしまう。しかし、災害発生後、6時間以内に約7割の人が排泄をしたくなると言われており、日常でも災害時でも継続的に使用することができるトイレが各自治体に設置されていることが望ましい。

以上より、災害発生直後(主に、仮設トイレ等が届くまでの期間)について、自宅と地域の排泄環境を整備することが求められている。

- 1) 樋口,災害時の備えと防災意識に関するアンケート調査,埼玉県幸手市における戸建て住宅を対象として, 空気調和衛生工学会論文集,45巻,276号,pp.1-6,2020年3月
- 2) Higuchi,Introduction of Compact Compost Toilet as a Disaster Preparedness to Detached Housing in Japan, DRY TOILET 2018 6th International Dry Toilet Conference,Finland,CDROM,2018年8月

2. 研究の目的

本研究課題は、自宅の対策については、健康を維持した上で、最低1ヶ月間使用可能な性能を備え、ローコストで自作が可能なコンポストトイレを検討すること(課題1)、地域の対策については、日常でも災害時でも継続的に使用可能な自己処理型循環トイレを開発すること(課題2)を目指している(図1)。

課題1. ローコストで自作が可能なコンポストトイレの検討

課題2. 日常でも災害時でも継続的に使用可能な自己処理型循環トイレの開発

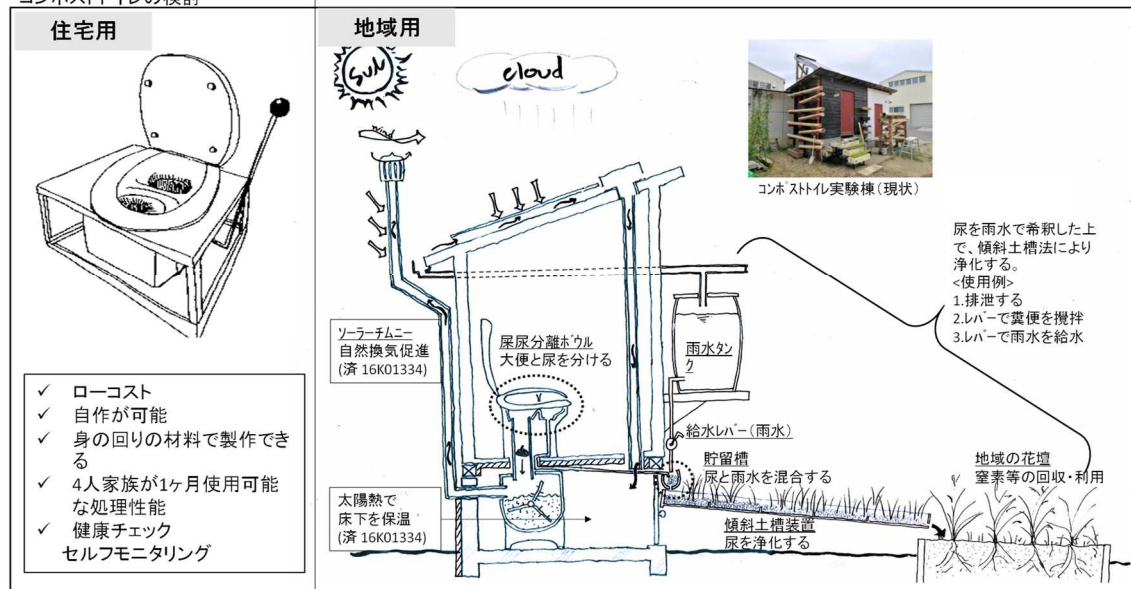


図1. 本研究課題の内容

3. 研究の方法

課題1については、積層型コンポストトイレを自作し、1か月の継続利用実験を行った。主に避難生活時の健康維持を目的として、機械学習による糞便性状による健康セルフモニタリングについて取り組んだ。課題2については、竹式傾斜土槽法による尿の浄化実験を行った。

4. 研究成果

4-1. ローコストで自作が可能なコンポストトイレの検討(課題1)

(1) 研究概要

睡眠障害や心身のストレスなど、長期化する避難生活時の二次的な健康被害を防止することが重要であるため、避難生活時のトイレでの排泄から健康チェックを自動で行うことができるようにする「ウェルネス・コンポストトイレ」の開発を進めた。本課題は、積層型コンポスト

イレを自作し、次に、機械学習による糞便性状(以下、BSS と称する)の分類を自動判別する装置の開発を行った。

(2) コンポストトイレの試作およびプログラム概要

合板 1 枚と竹かごや寒冷紗などの身の回りの材料で作成できるコンポストトイレを試作した(図 2)。機械学習は、画像の中から糞便を検出する「検出器」と BSS を判別する「判定器」の 2 段階構成とした(図 3)。糞便検出の際、画像に糞便が検出されなかった場合は、判定器による BSS 判定も行わず、糞便が何通りか検出された場合は、すべての枠を包含する大きな四角形で切り出すこととした(図 4)。



図 2. コンポストトイレ試作

(3) 精度検証結果

検出器の検出率は、糞便が検出でき、かつ切り抜きが成功している画像の割合とした。検出率は水洗トイレが 100%、コンポストトイレが 60%となった。次に、検出器で検出できた画像を対象として、判定器により BSS の判定を行った。

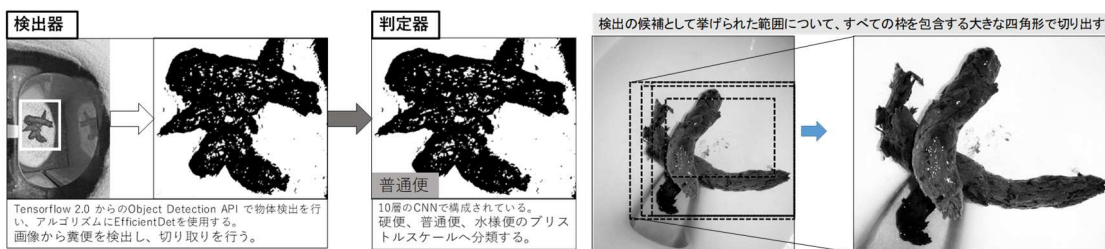


図 3. プログラム概要

図 4. 検出器による糞便部分の切り抜き

コンポストトイレにおいては、正解率が 37%となり、普通便に対する再現率が 11%と低かった。それに対して、水洗トイレでは正解率が 63%となった。水洗トイレとコンポストトイレでは、同じ普通便でも便の形状が異なるケースがあることが判明し、コンポストトイレに散見される「とぐろ形状」の普通便についての学習が少なかったことが正解率低下の原因の一つと考えられる。

4-2. 日常でも災害時でも継続的に使用可能な自己処理型循環トイレの開発(課題 2)

(1) 研究概要

本研究では、ケナフを植栽した竹式傾斜土槽システムを用いて尿の浄化性能検証を行った。図 5 に実験装置の詳細図を示す。ケナフを植えた装置(以降ケナフありとする)と植えていない装置(以降ケナフなしとする)の 2 種類を用いて実験を行った。装置は貯留槽(2m)1 段と傾斜土槽(2m)2 段の計 3 段積みものを使用した。担体は鹿沼土を使用した。

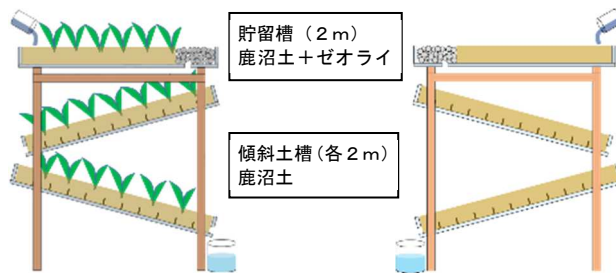


図 5. 竹式傾斜土槽の実験装置

表 1. 実験概要

実験期間	7月26日～12月7日
設置場所	日本工業大学(埼玉県宮代町)
担体	鹿沼土(1基に約54L)、ゼオライト(約2L)
通水日	週6日(希釈尿:月～金, 浄水:土)
通水時間	10時(ジョウロで約1分かけて貯留槽に注入)
通水量	平日:8倍希釈(浄水希釈)、土曜:5Lの水道水
検査日	週1回
サンプル数	原水、処理水2種類 計3種類
測定項目	全リン・アンモニウム態窒素・亜硝酸態窒素・硝酸態窒素、全窒素、BOD
植栽	ケナフ(藤田種子株式会社より購入, 中国産 QP3)

表 1 に実験概要を示す。尿は 1 日 1200mL 程度採取し、翌日に 8 倍希釈したものを平日のみ通水した。金曜日に採取した尿は翌週の月曜日に流した。週末の担体内の含水量低下を防ぐため土曜日は 5L の水道水を実験装置に通水した。サンプリングは週 1 回とし、原水とケナフありの処理水、ケナフなしの処理水の計 3 種類を採取し検査を行った。ケナフは週に 1 度すべてのケナフの高さ、茎の太さ、葉の面積を計測し記録し、葉の面積については葉に定規を当て撮影した。その写真を Microsoft Excel に取り込み 1 枚ずつ面積計算を行った。

(2) 実験結果

図 6 に BOD における原水・処理水と除去率の日変動を示す。平均の処理水はケナフありが 299mg/L、ケナフなしが 380mg/L であった。排水基準である 20mg/L 以下は満たせなかった。ま

た、平均除去率はケナフありが 70.5%、ケナフなしが 60.7%であり、ケナフありの方が 9.8% 分高い結果となった。標準偏差において期間全体で較すると 10 月 19 日以降の方がばらつきは小さく安定している。これはケナフありとなしの両方に見られた。また、ケナフありとなしで有意差が見られたことからケナフを植えることで BOD の除去効果の向上が確認できた。

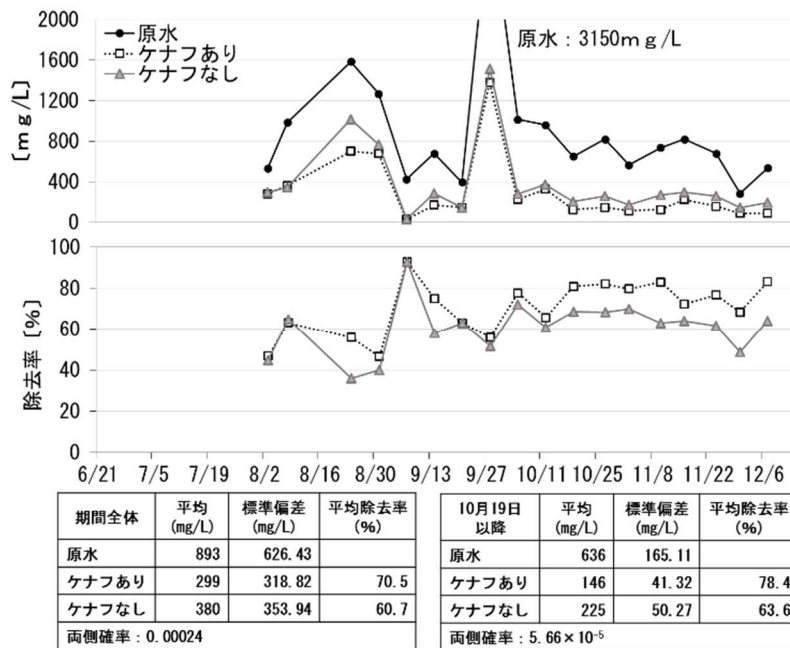


図 6. BOD 除去率の比較

図 7 に全窒素における原水・処理水と除去率の日変動を示す。平均の処理水はケナフありが 705.3mg/L、ケナフなしが 747.2mg/L であった。ケナフありの方が処理水濃度は低い、標準偏差においてケナフありが 172.35 mg/L、ケナフなしが 157.59 mg/L であり、ケナフなしの方がばらつきが小さく安定した処理水であった。また、平均除去率はケナフありが 25.3%、ケナフなしが 21.1%であり、ケナフありの方が 4.2%分高いが、どちらも除去性能は低い結果となった。ケナフありとなしで有意差は見られなかった。

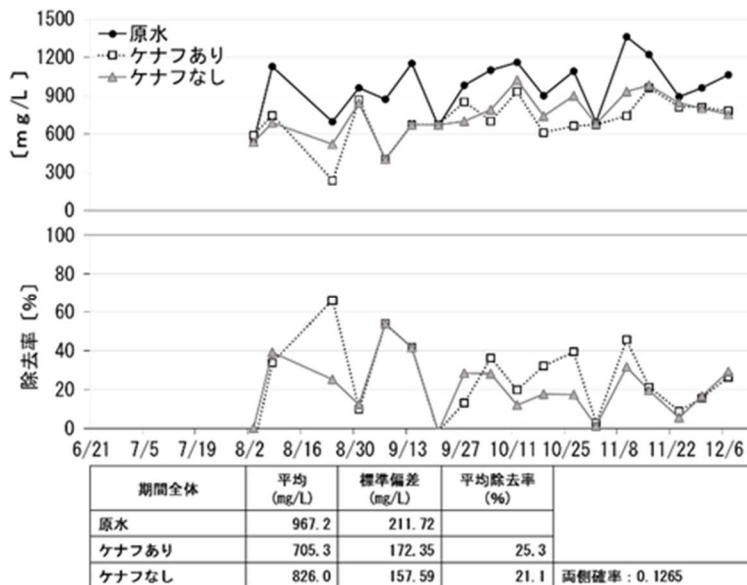


図 7. 全窒素除去率の比較

図 8 に硝酸態窒素における原水と処理水の日変動を示す。平均の原水は 2.1mg/L、処理水はケナフありが 197.2mg/L、ケナフなしが 70.9 mg/L であり、ケナフありで 93.9 倍、ケナフなしで 33.7 倍程度高い濃度となった。ケナフありの方がケナフなしに比べ約 3 倍高い濃度であった。また、硝酸態窒素においてケナフありとなしで有意差が見られたことからケナフを植えることで硝化効果の向上が確認できた。ケナフを植えることで根が張り巡らされることによる濾過効果に加え、土壌内が好機的環境になることで硝化細菌が増殖し硝化が促進されたと考えられる。

図 9 に 10 月 21 日のケナフありにおける原水、貯留槽出口、1 段目傾斜土槽出口、処理水の各部分での窒素変化量を示す。原水では有機態窒素、貯留槽を通るとアンモニウム態窒素、1 段目

傾斜土槽では亜硝酸態窒素、処理水では硝酸態窒素がそれぞれ各検査項目における最大値となった。このように貯留槽から傾斜土槽にかけて段階的に窒素が変化している。装置自体の長さを伸ばすことで分解しきれなかった有機態窒素が分解され、硝酸態窒素を植物であるケナフが直接吸収することで全体の窒素量が減少し、脱窒につながると考えられる。

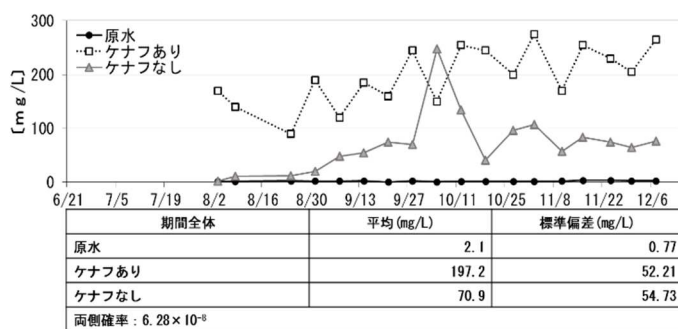


図 8. 硝酸態窒素の比較

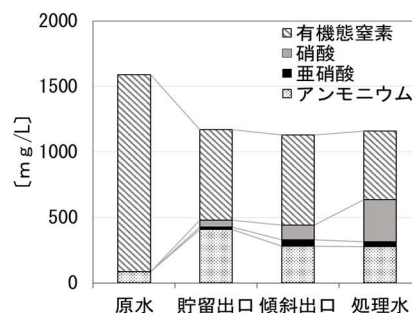


図 9. 各槽窒素変化量(10/21)

#### 4-3. まとめ

##### (1) ローコストで自作が可能なコンポストトイレの検討 (課題 1)

合板 1 枚で作成するローコストコンポストトイレの試作と、ウェルネス・コンポストトイレの概要、検出器と判別器による糞便性状の判別装置を提案した。検出器については、高い精度で検出することができ、プログラムの妥当性が確認できた。BSS の判別器については、コンポストトイレにおける学習データを増やすことが重要となる。また、糞便表面の状態に着目した学習が必要となる可能性が示唆された。

##### (2) 日常でも災害時でも継続的に使用可能な自己処理型循環トイレの開発 (課題 2)

ケナフを植えた竹式傾斜土槽システムによる尿の浄化性能とケナフの尿浄化に対する適性について検証した。ケナフを植えることで微生物が増殖し有機物の分解と硝化効果が促進されることが分かった。本研究では脱窒効果はあまり見られなかったが、窒素成分において著しい変化が確認できたため実験装置の長さを伸ばすことで脱窒効果の向上が期待できる。

本実験で実施した希釈倍率では、多量の水を使用する必要があるため希釈水に生活雑排水や雨水を使用することが有効である。また、ケナフを植えた装置と植えていない装置を併用することで希釈倍率を下げてもケナフを枯らさずに有効に尿浄化を可能にするなどの検証を続けていく予定である。

災害発生直後から仮設トイレが増設されるまでの期間の生活を守ることが可能となる。さらには、各家庭で災害用トイレの備蓄率が増えることで、自宅での在宅避難が可能となる世帯も増えると考えている。それにより、避難所のトイレ利用の負荷が低くなり、避難所生活の衛生面の改善にも大きく寄与できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 樋口佳樹
2. 発表標題 健康セルフモニタリングのためのウェルネス・コンポストトイレの研究、機械学習による糞便性状の自動判別と精度検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田口真太郎、樋口佳樹
2. 発表標題 竹式傾斜土槽システムを用いた尿浄化に関する研究 尿浄化に対するケナフの適性
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------