

Onsite Wastewater Differentiable Treatment System

（分離分散型排水処理システムに関する研究）

学位論文内容の要旨

WHOによれば、2035年には世界で約55億人が衛生状態の悪い状況におかれると推測されている。このような開発途上国における衛生状態の改善方策の検討において、栄養塩・有機物等の資源循環、経済性の観点から現用の下水道システムとは異なる持続可能なサニテーションシステムの開発が求められている。本論文は新しいサニテーションに関するアプローチ，“Onsite Wastewater Differentiable Treatment System(OWDTS；分離分散型排水処理システム)”を提案する。

本論文は3つの部及び15の章より構成されている。

第1章では本研究の背景を述べており、世界的な水供給、衛生設備の普及状況ならびに現在の集中処理・分散処理の利点・欠点を整理している。

第2章では新しいアプローチであるOWDTS（分離分散型排水処理システム）を提案している。その特徴は、1)水循環管理、2)水資源の保全、3)資源循環、4)公衆衛生の保護を同時に達成する点である。OWDTSでは、家庭からの排水はし尿と高負荷及び低負荷の雑排水に分離され、し尿はおがくずをマトリックスとしたコンポスト型トイレで処理される。

第3章ではし尿のコンポスト化反応に関する既往の研究を整理している。これらの整理から、おが屑をマトリックスとしたコンポスト化によるし尿の処理の可能性を確認するとともに、し尿のコンポスト化反応ならびに病原性微生物の不活化に影響する因子の抽出を行った。

第4章では運転中のコンポスト型トイレ内に存在するし尿分解微生物の活性を全固形物（TS）、全揮発性残留物質（VS）、化学的酸素要求量（COD）を指標にして評価した実験結果を議論している。有機物負荷とTS、VS、COD除去率の関係を検討した結果から、実験範囲の有機物負荷範囲ではこれらの除去率はほぼ一定で、TS基準で56%、VS基準で70%、COD基準で75%となることを示した。

第5章は糞便中有機物をその生物分解性から分類する方法について検討している。その結果、COD基準で有機物を分類すると、約80%が遅い速度で分解する有機物、約20%が難生物分解性有機物であることを示した。TS、VS基準では、約16%が無機成分、約21%が難生物分解揮発性物質、約63%が生物分解性揮発性物質という結果であった。

第6章では糞便の好氣的分解過程（コンポスト化過程）の数学モデルの構築を行っている。モデルには(1)有機物の加水分解過程、(2)微生物の増殖過程、(3)微生物の死滅過程を組み込み、(a)酸素、(b)容易に分解する有機物、(c)遅い速度で分解する有機物、(d)他栄養細菌、(e)難生物分解有機物の5変数を用いている。反応速度の表現にはモノー型の反応速度式を用いた。パラメータ推定に用いた実験とは異なる有機物負荷による一連の実験結果ならびに断続的糞尿添加実験結果とモデルによる計算結果の比較

により、今回のモデルとパラメータ値の妥当性を確認した。

第7章では糞便のコンポスト化反応に及ぼす温度の影響を検討している。その結果、(1)反応温度約60℃付近が生物分解の観点から最適であること、(2)70℃付近では、生物反応速度が著しく低下すること、(3)生物反応を記述する最大比増殖速度と温度の関係はアレニウスプロットにより整理されること、(4)コンポスト化反応は中温域と高温域で異なり、中温度域における反応のモデル化には加水分解の遅い有機物と加水分解の早い有機物という分類を加える必要があること、を示した。

第8章はコンポスト化反応に及ぼす含水率の影響を議論している。実験結果より(1)含水率が64%以下では好気的狀態が維持され、64%以上の含水率では部分的に嫌氣的狀態が発現し、好氣的反應と嫌氣的反應が同時に生じ、見かけ上高い分解率が観察されること、(2)高含水率下では嫌氣的反應による臭気の発生、有機酸の生成、硫酸イオンの増加が観察されること、(3)おが屑の乾燥過程の測定から求めた限界含水率(おが屑内の自由水の存在限界)が約65%であり嫌氣的狀態出現がおが屑内水分の存在形態と関連していること、を示した。これらの結果より、トイレの運転管理条件として含水率60%以下を提案した。

第9章ではコンポスト化反応における窒素成分の挙動について述べている。ここでは温度、含水率を変化させた糞便の分解実験、ならびに温度、pHを変化させた尿を用いた実験を行い、次の知見を得た：(1)尿中の高塩分により硝化反應が阻害されている可能性がある、(2)アンモニアの揮散は高温、高pHほど促進される、(3)糞便の高温分解時には約94%の窒素が揮散する。

第10章は病原性微生物の不活化と温度の関係を検討している。回分過程における大腸菌群数とバクテリオファージの不活化速度を測定した結果、(1)不活化過程は一次反應で近似可能であること、(2)反應速度係数と温度関係はアレニウスプロットにより整理可能であること、を示した。また、コンポスト利用に伴うリスクを推算した結果、(3)反應槽内の温度分布が不活化の全体効率に影響を与えること、(4)必要反應時間が混合頻度に応じて異なること、(4)反應槽内の低温度部分を少なくすることが効果的であること、を示した。

第11章ではコンポスト型トイレの設計と運転指針を提案している。尿と糞便を同時に処理するトイレの設計における主要因子は尿及び糞便による水分であることを示し、これらと反應槽表面積、容量の関係を求める方法を示した。運転管理指針として、温度、含水率、ならびに混合頻度の三種類の運転操作条件からなる運転操作三角図を作成した。

第12章では雑排水処理に関わる既往の文献を整理し、これまで報告されている雑排水の組成や雑排水処理法についてまとめた。

第13章では雑排水の分別と処理装置容量の関係を議論している。発生源ごとの水量、負荷に関する既往の報告値の統計的整理結果を基に、雑排水の分別と装置必要容積の関係をシミュレーションにより求めた結果から、台所排水と洗濯排水を混合処理し、他の排水を土壌処理するような分別処理が装置の小容量化を進めるのに有利であることを示した。

第14章は雑排水中有機物を生物分解性の観点から分類している。台所排水と洗濯排水中有機物の分類により、(1)有機物の約40%が難生物分解性、(2)30%~40%は遅い速度で分解する有機物、(3)20~35%が容易に分解する有機物であること、を示した。また、活性汚泥モデルを用いたシミュレーションにより、これらの排水を処理するために必要な生物反應槽の必要滞留時間は5時間であった。

第15章では本論文の結論を整理している。加えて、更なる研究の必要性ならびに本論文で提案している考え方を広く理解してもらうための方策に関する提言をまとめている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 高 桑 哲 男

副 査 教 授 渡 辺 義 公

副 査 教 授 眞 柄 泰 基

副 査 助 教 授 船 水 尚 行

副 査 教 授 寺 沢 実 (農学研究科)

学 位 論 文 題 名

Onsite Wastewater Differentiable Treatment System

(分離分散型排水処理システムに関する研究)

WHOの統計によると、2000 年現在で世界人口の約 2/5 に相当する 24 億人が下水道のない劣悪な衛生環境状態におかれている。また、我が国でも農山漁村地域では管路の長距離敷設がネックになって下水道普及が見込めない状況にある。本論文では、①水循環の管理、②水資源の保全、③資源確保、④公衆衛生の向上、⑤経済性を同時に達成できる点で注目される「分離分散型排水処理システム」を取り上げ、その処理装置の性能を明らかにすることによって、本システムの実現・普及の可能性を追求している。本システムは現用の下水道システムにおける汚水の管路輸送と集約化処理に代わって、家庭排水を現地で尿尿と高負荷及び低負荷の雑排水に分離・処理し、ここで尿尿はおが屑をマトリクスとしたトイレ反応槽で処理し、汚泥はコンポストとしての利用を目指すものである。

本論文の主要な成果を要約すると以下のようである。

(1) 実稼働中のコンポスト化トイレ内の尿尿分解微生物による有機物除去率を求めた結果から、供試負荷範囲ではTS基準で56%、VS基準で70%、COD基準で75%とほぼ一定であることを示した。また、糞便中有機物を生物分解性から分類分析した結果から、COD基準では約80%が遅い速度で分解する有機物、約20%が難生物分解性有機物であること、TS・VS基準では約16%無機成分、約21%が難生物分解性揮発成分、約63%が生物分解性揮発成分であることを示した。

(2) 糞便のコンポスト化過程について、モノー型の速度式に有機物の加水分解過程と微生物の増殖・死滅過程を組み込み、①酸素、②容易に分解する有機物、③遅い速度で分解する有機物、④難生物分解性有機物、⑤他栄養細菌の5変数で記述する数学モデルを構築した。パラメータ推定に用いた実験値とは異なる有機物負荷による一連の実験データ並びに断続的糞尿添加実験結果と計算結果の比較から、本モデルとパラメータ値の妥当性を確認した。

(3) 糞便のコンポスト化反応に及ぼす温度と水分の影響を検討した実験結果から、①温

度60℃付近が生物分解の観点から最適であること、②70℃付近では生物分解速度が著しく低下すること、③中温域と高温域で反応速度が異なり、中温域の反応を表すためには加水分解の遅い有機物と速い有機物の分類を加える必要があること、④含水率が64%以下で好気の状態が維持されること、⑤高含水率下では嫌氣的反応による臭気の発生、有機酸の生成、硫酸イオンの増加があることを示した。

(4) 糞便と尿が併存するコンポスト化反応における窒素成分の挙動を検討した実験結果から、①尿中の高塩分により硝化反応が阻害される可能性があること、②アンモニアの揮散は高温、高pHほど促進されること、③糞便の高温分解時には約94%の窒素が揮散することを示した。

(5) 病原性微生物の不活化と温度の関係について、大腸菌群数とバクテリオファージの不活化速度を測定した結果から、①不活化過程は一次反応で表されること、②反応速度定数と温度の関係はアレニウスプロットで整理されること、③反応槽内の温度分布が全体の不活化率に影響を与えること、④反応槽内の低温度部分を少なくするために攪拌頻度を増すべきことを示した。

(6) 以上の結果から、尿と糞便を同時に処理するトイレ反応槽の表面積・容積を算定する方法を明らかにするとともに、運転管理指針として温度、含水率、攪拌頻度の3因子の適正操作領域を与えた。

(7) 尿尿以外の雑排水を処理する装置の設計について、発生源ごとの水量・負荷に関する既往の統計値を基に雑排水を分別して必要装置面積を算出した結果から、台所排水と洗濯排水を混合処理し、他の排水を土壌処理するような分別処理することが装置の小容量化に有利であることを示した。

(8) 雑排水中の有機物を生物分解性の観点から分類し、台所排水と洗濯排水中の有機物は、①約40%が難生物分解性、②30～40%は遅い速度で分解する有機物、③20～35%が容易に分解する有機物であることを示すとともに、活性汚泥モデルを用いたシミュレーションによって、これらの排水を処理するために必要な生物反応槽の必要滞留時間を約5時間と算出した。

これを要するに、著者は下水道未整備地域への分離分散型排水処理システムの適用・普及可能性を探るために、コンポスト化トイレ内の諸条件下における生物化学的反応を明らかにして設計法と運転条件を提案するとともに、雑排水の処理についても有用な新知見を加えており、環境衛生工学の発展に貢献するところが大きい。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。