

令和元年6月18日現在

機関番号：54701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06560

研究課題名（和文）人口減少下においても持続可能で強靱な集落生活圏における環境インフラの構築

研究課題名（英文）Study on sustainable and resilient environmental infrastructure in a area where small village are scattered even under the decline of population

研究代表者

つる巻 峰夫（TSURUMAKI, MINEO）

和歌山工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：40413819

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、近隣に中核となる都市を持たない地域（集落生活圏）において、人口減少や高齢化の条件においても継続可能であり、かつ、災害レジリエンス性を兼ね備えた環境インフラのシステムモデルを提案することを目的としている。

乾式メタン発酵等新しい技術を適用しつつ下水道と可燃ごみ処理を連携させることによって、人口減少下においても経費負担の増加とならず、かつ社会の要請に合致した環境性能を持った環境インフラシステムの提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

個別技術としては乾式メタン発酵、下水道直投型ディスポーザーやごみと排水処理汚泥の混焼における乾燥技術等、普及が進んでおらず、一部新規開発を伴う技術によって小規模な下水道施設やごみ処理施設での適用の有効性を明らかにしている。また、それら技術の適用が効果を発揮するためには分別収集への協力等住民の協力が前提となること明らかになった。

全体システムとしては直投型ディスポーザーによる厨芥等の腐敗性廃棄物の下水処理の導入等処理の仕組みを現状の法令等の枠組みを超えた方法に変更することで、適用技術が活かされることを明らかにしている。

研究成果の概要（英文）： The purpose of this study was to proposed system models of environmental infrastructure that can have sustainability even under conditions of population decline and aging in areas where there is no core city in the neighborhood.

By the cooperation treatment of domestic waste water and combustibile waste, the sustainable environmental infrastructure system could be proposed. This system can have the function of energy recycle and do not need increasing the burden of expenses.

研究分野：環境計画，環境インフラ

キーワード：環境インフラ 人口減少 過疎化 エネルギーリサイクル 有機性廃棄物 生活排水処理 低炭素社会

## 1. 研究開始当初の背景

人口減少・少子高齢化・過疎化への対応の必要性は、地方の中山間地域及び漁村地域の集落生活圏にとって逼迫した課題であるが、持続可能な地域システムに関する研究や実践的試みは都市域に比べて大きく遅れている。国では「スマートビレッジ」や「ふるさと集落生活圏事業」などパイロット的なコンセプトの提供や事業を行っているが、主に産業振興や供給部門が対象であり環境インフラのあり方についての具体像は示されていない。集落生活圏が主に存在する郡部の人口比は9%であるが国土面積比は43%である（H22 国勢調査）。これらの地域は里山・里海フロント地域であり、集落生活圏の衰退は、この圏域が持つ生態系サービスの仲介機能を崩壊させる危険があり、早急に持続可能な具体像を提示することが必要である。

対象とする圏域における環境インフラのあり方としては、経済効率性を持つことは当然であるが、システムの継続性を維持するためには災害に対する強靱性を持たなければ、災害時において復旧が難しくなる可能性もある。一方で、社会全体への貢献も必要であり資源循環・低炭素型社会等の環境性にも優れている必要もある。

## 2. 研究の目的

本研究は、散在する集落が主体の地域（ここでは「集落生活圏」と呼ぶ）における前述の概念に合致する環境インフラのあり方を研究対象とする。技術では小規模・分散型を考慮し、生活排水処理とごみ処理の機能分担など現状の仕組みの組替えを行う。また、当該圏域で豊富なバイオマス資源を活用したエネルギーインフラも考慮して拠点都市を中心とした大規模システムと共存する自立性が高い環境インフラのシステムモデルの構築を目的とする。

## 3. 研究の方法

研究では4つのサブテーマを設けて研究を行っている。

### ①集落生活圏において持続可能な環境インフラの全体像

下記②～④のサブテーマの研究を統合して現状では別の系統で処理されている下水処理、し尿・浄化槽汚泥処理、可燃ごみ処理の連携処理システムを提案し、そのシステムによる経済性、環境性についての評価を行った。経済性については、個人と公共の負担額の合計での評価を行った。環境性についてはLCA手法によってGHG排出量の比較評価を行っている。

### ②下水汚泥、ごみ焼却におけるエネルギー効率的回収システム

下水汚泥及び可燃ごみのエネルギーリサイクルの方法や廃熱利用等による効率化による環境性の向上についてLCA手法を用いて評価を行った。

### ③環境インフラの災害レジリエンス性向上

大規模震災時を想定した研究で災害廃棄物、し尿・汚泥処理について広域的処理を念頭に置いた地方圏域での処理について研究を行った。

### ④下水道における直投型ディスポーザー導入の環境影響

下水道と可燃ごみ処理の連携の重要施策として下水道直投型ディスポーザー（以下、「DP」）を考慮している。北海道で導入している自治体で調査に基づく導入効果の検討を行った。

## 4. 研究成果

研究の対象地域における下水道、し尿・浄化槽汚泥、可燃ごみ等の有機性廃棄物の処理の全体システムとして提案した内容について述べる。

### 1) 適用技術

#### (1) 乾式メタン発酵設備及び消化ガス発電

メタン発酵は可燃ごみ及び浄化槽汚泥、余剰汚泥を混合した基質に対して含水率60～85%で適用可能な乾式メタン発酵を採用した。消化ガスは発電利用とした。

この技術の特徴としては、比較的小規模なごみ焼却施設でも適用が可能であること、紙ごみも消化の対象であり2/3程度の有機分の分解が期待でき、対象地域においてエネルギー回収施設として期待できることにある。

#### (2) 発酵残渣の高効率脱水及び焼却炉内乾燥

メタン発酵残渣は、発酵槽投入ごみに比して発熱量が低下するため、焼却に必要な熱量を確保するための対策として高効率脱水技術を適用した。近年の汚泥再生施設の技術や下水汚泥の燃料化を目指す研究開発で焼却炉内での乾燥機能を強化して発熱量を上げる技術も開発されており、近い将来の技術的には下水汚泥が自然するレベルといわれる低位発熱量で約3,350kJ/kg-W（約800 kcal/kg-W）以上となる含水率68%が可能と判断した。

#### (3) 直投型ディスポーザーの導入と可燃ごみ収集頻度

直投型DPに対しては二つの効果を期待する。一つは可燃ごみからの厨芥排除による可燃ごみの減量化による焼却施設への負担軽減である。含水率の高い厨芥類はごみ発熱量の低下につながり助燃料の増加要因となっている。また、腐敗性の厨芥類の除去により可燃ごみのある程度の期間の家庭での保管が容易になり、収集頻度を削減してごみ収集経費の削減が可能となる。

なお、直投型DPによって下水道に投入した厨芥については、本研究での調査と研究メンバーによる過去の調査で北海道での導入自治体（枝幸町歌登地区、沼田町、興部町）では、下水道終末処理施設には負荷量が到達していないことがわかった。また、研究の一部として実施した模擬下水管による模型実験によって、流下課程で下水管表面に付着した微生物によって処理さ

れている可能性が高いことがわかった。

(4) バイナリー発電等廃熱発電

近年、工場温排水や温泉水に対して水温 70℃以上で発電可能なバイナリー発電が注目されている。ここでは、汚泥焼却技術の開発において試行されたバイナリー発電の適用を提案した。

(5) 汚泥濃縮車

汚泥濃縮車の実績報告によれば、収集される汚泥の濃度は 96～97%である。凝集分離により分離水を浄化槽に戻すことから張り水が必要なく、給水車の同行や処理施設との往復などの必要もないため、総合的には効率が向上する。効果としては、直接の GHG 排出量や処理費用の削減の他に、浄化槽汚泥を低含水率にすることで厨芥類を除いた可燃ごみとの混合時の含水率の調整も期待できる。

(6) 分別等の住民の協力

物質収支の前提として住民の協力により処理に支障のない程度に分別がなされると仮定した。ケーススタディ対象とした和歌山県田辺市の実績での異物混入率は、乾式メタン発酵に対する許容量以内となっているため、協力を得ることは可能と判断した。

2) 影響評価

(1) ケーススタディ対象の地域の概要

検討は、和歌山県田辺市をケーススタディ対象として行った。田辺市は平成 19 年に旧田辺市を中心に 5 市町村が合併してできた市であり、人口は約 74 千人（平成 30 年 11 月現在）と面積は 1,027km<sup>2</sup>で和歌山県全体の約 22%で、市域の処理について広域処理ととらえることもできる面積と市街地、集落構成となっている。

(2) 検討ケース

各適用技術の効果を明らかにするため、表-1 に示すような検討ケースを設定した。

なお、田辺市の中心市街地は現在、公共下水道未着手であるので、将来ケースとして完備されることを想定している。乾式メタン発酵については、横型と縦型の 2 タイプで、それぞれ適用できる含水率の範囲が相違する。

(3) 検討結果

下水量、し尿・浄化槽汚泥量、可燃ごみ量の発生量の変化は図-1 に示すとおりである。

GHG 排出量の変化は図-2 に示すとおりである。対策の多くを盛り込んだ順で Case1→Case5 に向かって負荷量が削減できている。直投型 DP を導入した Case4-2、5-2 については導入なしの Case4-1、5-1 に比して負荷量が増加している。この検討を行った時点においては、直投型 DP の導入した自治体での実績で下水道負荷が増加していないことはわかっていたが、科学的根拠に乏しく、仮定として負荷量増加を見込んだ予測を行ったためである。増加量は概ね下水道と汚泥処理、合併浄化槽での処理での増加によるものである。

(4) 検討結果の総括

研究対象とした地域は、大きな拠点都市を持たない地方圏域である。このような地域では下水道における集約汚泥処理施設やごみ焼却発電が可能

表-1 比較検討ケース

	年	下水整備	直投型DP	乾式メタン発酵	汚泥濃縮車
Case-1	2013	-	-	-	-
Case-2	2040	完備	-	-	-
Case-3	2040	完備	導入	-	-
Case-4-1	2040	完備	-	乾式A	-
Case-4-2	2040	完備	導入	乾式A	-
Case-5-1	2040	完備	-	乾式B	導入
Case-5-2	2040	完備	導入	乾式B	導入

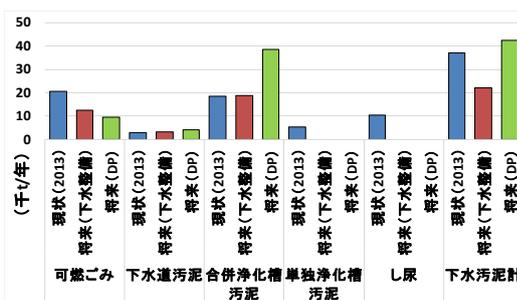


図-1 下水量、し尿・浄化槽汚泥量、可燃ごみ量

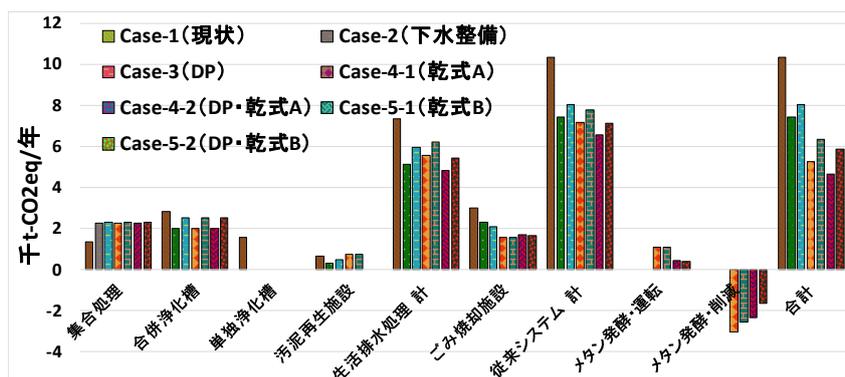


図-2 GHG 排出量の変化

となる規模のごみ焼却施設の立地が困難であり、環境インフラにリサイクル機能を持たせることが難しかったが、下水道と可燃ごみ処理の連携した提案システムによってエネルギーリサイクルシステムの確立が可能となった。

また、エネルギーリサイクル拠点となった施設はオフグリッド電源として位置づけられ、災害時の地域電源としても活用できる災害対応機能も有することになる。

経費の面では別途の検討から人口減少下においても、一人当たりの経費負担額を増加させずに維持・運営が可能であることが検証され、人口減少下における持続可能性についても、大きな可能性を持つシステムの提案となった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

- ① 吉田知広・中尾彰文・吉田登・山本秀一・靄巻峰夫, 小規模ごみ焼却施設でのエネルギー回収技術選択の評価-熱収支解析を用いた発電量の推計-, 土木学科論文集 G (環境) Vol.74,No.6,2018.10,pp- II 287-298
- ② 八幡聖人・中尾彰文・山本秀一・吉田登, 都市規模による下水汚泥エネルギー転換システムの費用構造と技術選択, 土木学科論文集 G (環境) Vol.74,No.6,2018.10,pp- II 299-310
- ③ 靄巻峰夫・川崎聡汰・中垣和登・山本祐吾・吉田登, 吉田綾子・森田弘昭, 過疎地域での生活排水・可燃ごみ連携処理の効率評価, 土木学科論文集 G (環境) Vol.73,No.6,2017.10,pp- II 189-200
- ④ 島野侑加・中尾彰文・山本秀一・吉田登, 既存熱回収施設の有効利用やバイオガス化技術導入等による食品循環資源の再生利用等実施率のさらなる向上の可能性, 土木学科論文集 G (環境) Vol.73,No.6,2017.10,pp- II 201-211
- ⑤ 道浦貴大・中尾彰文・吉田登・山本秀一・山本祐吾・中久保豊彦, 下水汚泥の処理方式とそれに伴う乾燥熱源の違いが静脈系インフラ連携によるエネルギー回収における GHG 削減に与える影響, 土木学科論文集 G (環境) Vol.73,No.6,2017.10,pp- II 221-231
- ⑥ 荒木浩太郎・中尾彰文・吉田登・山本秀一・山本祐吾・中久保豊彦, 将来の産業動向を見据えた下水汚泥燃料の全国発電施設での活用が GHG 削減に及ぼす効果, 土木学科論文集 G (環境) Vol.73,No.6,2017.10,pp- II 245-255
- ⑦ 西川慎一郎・中尾彰文・山本秀一・山本祐吾・中久保豊彦・吉田登, 焼却余力を有する高効率ごみ発電施設での熱回収技術導入とごみ受入拡大が発電増強と事業性に及ぼす効果の評価, 土木学科論文集 G (環境) Vol.73,No.6,2017.10,pp- II 379-390
- ⑧ 靄巻峰夫・久保朱里・山本祐吾・吉田登, 過疎地域での生活排水と可燃ごみ処理の連携処理による温室効果ガス削減について, 土木学科論文集 G (環境) Vol.72, No.6, 2016.10, pp- II 23-34
- ⑨ 西川慎一郎・中尾彰文・山本秀一・山本祐吾・中久保豊彦・吉田登, 産業・環境インフラと連携した下水汚泥の燃料利用が GHG 削減に及ぼす効果, 土木学科論文集 G (環境) Vol.72, No.6, 2016.10, pp- II 57-66

〔学会発表〕(計 11 件)

- ① 森田弘昭・吉田綾子・高橋正宏・靄巻峰夫, 有機系廃棄物の水系処理による最適化 - 持続的地域経営における DP 導入の可能性 -, 第 56 回下水道研究発表会発表講演要旨集, 2019.8
- ② 吉田綾子・靄巻峰夫・高橋正宏・森田弘昭, 有機系廃棄物の水系処理による最適化 - ディスポーザ導入地域の実態調査 -, 第 56 回下水道研究発表会発表講演要旨集, 2019.8
- ③ 靄巻峰夫・中島大雅・吉田綾子・森田弘昭, 有機系廃棄物の水系処理による最適化 - 下水・可燃ごみの連携処理の可能性 -, 第 56 回下水道研究発表会発表講演要旨集, 2019.8
- ④ 岡崎祐介・吉田綾子・靄巻峰夫・森田弘昭, 有機系廃棄物の水系処理による最適化 - 下水管渠内の性状変化に関する基礎研究 -, 第 56 回下水道研究発表会発表講演要旨集, 2019.8
- ⑤ 川崎聡汰・靄巻峰夫, 少子高齢化する地方圏において持続可能な可燃ごみ・下水処理に関する研究, 第 14 回日本 L C A 学会研究発表会講演要旨集,2019.3, pp.208-209
- ⑥ 橋本誠悟・田畑智宏・靄巻峰夫, 自治体の規模を考慮した災害廃棄物処理システムの構築方法の検討~和歌山県におけるケーススタディ~, 第 14 回日本 L C A 学会研究発表会講演要旨集,2019.3, pp.294-295
- ⑦ 橋本誠悟・靄巻峰夫, 南海トラフ地震を想定した和歌山県下での災害廃棄物予測と一次仮置きに関する検討,土木学会第 72 回年次学術講演会講演集,2017.09,VII-060.
- ⑧ 靄巻峰夫, 浄化槽の省エネ化が生活排水処理による温室効果ガス排出量に及ぼす影響について, 第 30 回全国浄化槽技術研究会講演要旨集 pp.102-105, 2017.10
- ⑨ 田代颯馬・松田雄太郎・中尾彰文・山本祐吾・吉田登・靄巻峰夫, 都市規模やインフラ条件に応じて選択可能なエネルギー改修型廃棄物処理システムの評価フレームの構

- 築, 第 12 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, 2017.3, pp.414-415
- ⑩ 荒木浩太郎・中尾彰文・山本祐吾・吉田登, 産業社会変化を見据えた動脈静脈インフラ連携による汚泥燃料利用等が GHG 削減に及ぼす効果, 第 28 回廃棄物資源循環学会研究発表会集 pp.105-106, 2017.9
- ⑪ 道浦貴大・中尾彰文・吉田登・山本秀一, 下水汚泥の処理方式と乾燥熱源の違いが静脈系インフラ連携による GHG 削減に与える影響第 28 回廃棄物資源循環学会研究発表会集 pp.107-108, 2017.9

〔図書〕 (計 0 件)

〔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:  
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:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等 該当なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

研究代表者氏名: つる巻 峰夫  
ローマ字氏名: TSURUMAKI, Mineo  
所属研究機関名: 和歌山工業高等専門学校  
部局名: 環境都市工学科  
職名: 教授  
研究者番号 (8 桁): 40413819

### (2) 研究分担者

研究分担者氏名: 吉田 登  
ローマ字氏名: YOSHIDA, Noboru  
所属研究機関名: 和歌山大学  
部局名: システム工学部システム工学科  
職名: 教授  
研究者番号 (8 桁): 60263224

研究分担者氏名: 森田 弘昭  
ローマ字氏名: MORITA, Hiroaki  
所属研究機関名: 日本大学  
部局名: 生産工学部土木工学科

職名：教授  
研究者番号（8桁）：90355933

研究分担者氏名：山本 祐吾  
ローマ字氏名：YAMAMOTO, Yugo  
所属研究機関名：和歌山大学  
部局名：システム工学部システム工学科  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：30379127

(3) 連携研究者

連携研究者氏名：吉田 綾子  
ローマ字氏名：YOSHIDA, Ayako  
所属研究機関名：東京農業大学  
部局名：応用生物科学部  
職名：客員研究員  
研究者番号（8桁）：00461799

(4) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。