

令和 6 年 5 月 9 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04314

研究課題名（和文）遊休能力の活用・創出による地方域の環境インフラのエコ転換モデルの構築

研究課題名（英文）Creation of a model for eco-transformation of environmental infrastructure in rural areas through the utilization and creation of idle capacity

研究代表者

吉田 登 (Yoshida, Noboru)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号：60263224

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、中小ごみ焼却施設等に代表される、地方域の環境インフラの処理余力や予備機器などの事例分析を通して、遊休能力を見える化し、これを活用することによる効果を評価するモデルを構築をめざす。

具体的な事例分析として、埋め立て完了後の最終処分場浸出水処理施設を活用した湿式メタン発酵の適用可能性、ごみ焼却施設更新の契機にあわせた広域・協働化シナリオのGHG削減効果と事業性の評価、中継輸送および中継施設整備方式の違いがごみ処理広域化の事業性に及ぼす影響を対象に分析を行い、遊休能力の活用効果を定量的に把握するとともに、汎用性のある評価モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、環境インフラの予備機器や処理余力に、シェアリング・エコノミーや経営工学の遊休能力 (Idle Capacity) の考え方を適用して、遊休能力を環境インフラの付加価値として着目し、これをICT等を活用して見える化する技法を実践的に構築するための基盤研究としての意義を有する。

環境インフラ単体かつ所与の処理余力等をもとに検討されがちな遊休能力の活用を、環境インフラ主体間の問題として再構成し、環境インフラが連携して処理余力を予見、調整、創出することができる遊休能力の考え方をもとに自治体間での連携を促進し、インフラの広域化・集約化を進めるシステム触媒として機能する社会的な効果が期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aims to build a model to visualize idle capacity and evaluate the effects of utilizing this capacity through case studies of the processing capacity and spare equipment of environmental infrastructure in local areas, such as small and medium-sized waste incineration facilities.

Specific case analyses include the applicability of wet methane fermentation using leachate treatment facilities at final disposal sites after landfill completion, evaluation of the GHG reduction effect and business feasibility of wide-area and cooperative scenarios in conjunction with the renewal of waste incineration facilities, and the effect on business feasibility of wide-area waste treatment by differences in relay transportation and relay facility construction methods. The effects of different methods of relay transportation and relay facility construction on the feasibility of wide-area MSW incineration facility expansion were analyzed to grasp the effects of utilizing idle capacity.

研究分野：土木環境システム

キーワード：遊休能力 ごみ処理 バイオマス 中継輸送

1. 研究開始当初の背景

環境インフラは多くの SDGs ゴールに必要な社会基盤であるが、特に 13 (気候変動) 関連の頻発する風水害に伴う災害廃棄物処理等、適応策が急務である。その際、既存インフラの処理余力による対応は政策上も有効とされているが、人口減少下で必ず生じる地方域の都市施設での処理余力等の遊休能力を制御変数として環境インフラを有効活用する計画論が未成熟である。広域・集約化が進捗せず、人口減少や財政制約を抱える地方域で、平常時と災害時の相乗効果を高め、中小規模の環境インフラの機能性を高め、長い時間軸で環境インフラシステムを高度化するための学術的貢献が求められている。

本研究では、個々の余力を融通しつつ活用する社会経済的なしくみとして、Uber や Airbnb 等 Society 5.0 の先導例で知られる、シェアリング・エコノミーに着想する。物品など個人の遊休資産のシェアリングは個別意思で容易に取引可能だが、長期間稼働する環境インフラの遊休能力は、更新計画、施設連携、技術導入により、創出、活用の幅が変化する。

研究代表者らはこれまで、ごみ焼却場や下水処理場などの環境インフラを活用した、廃棄物を含むバイオマス資源からのエネルギー回収に関する研究を行い、そこで同じ或いは異なる環境インフラが連携して互いの処理余力 (遊休能力) を活用することでエネルギー回収効果を高めることの有効性を明らかにした (業績 1~10)。またその際には効果的なタイミングで適正規模の更新と技術導入をはかる更新計画が重要であることを示した。一方で、これらの遊休能力活用は平常時を重視したものであるのに対して、気候変動に伴い頻発が予想される風雨災害等への対応が今後重要となるが、環境インフラの遊休能力は制度や技術によって変動し、不確実であるため、遊休能力の活用を可能にするためには、地域内の処理の遊休能力を見える化し、将来の処理ニーズを予見しつつ、技術導入を含めた適切な施設更新計画の意思決定を支援するツールが必要であり、本研究を着想するに至った。

先進国の中で、日本のように高度経済成長に伴い環境インフラ等の社会資本整備を加速度的、集中的に行ってきた国は少ないため、環境インフラの遊休能力活用に関する知見は殆どない。一方で、中国等東アジア諸国は将来的に同様の問題を抱えることが予見されるため、本研究の知見は今後、広く国内外の環境インフラ管理に資するものと位置づけられる。

2. 研究の目的

本研究では、中小ごみ焼却施設等に代表される、地方域の環境インフラの処理余力や予備機器などの事例分析を通して、遊休能力を見える化し、これを活用することによる効果を評価するモデルを構築することを目的とする。

具体的な事例分析として、以下を対象とする。

- ・埋め立て完了後の最終処分場浸出水処理施設を活用した湿式メタン発酵の適用可能性
- ・ごみ焼却施設更新の契機にあわせた広域・協働化シナリオの GHG 削減効果と事業性の評価
- ・中継輸送および中継施設整備方式の違いがごみ処理広域化の事業性に及ぼす影響

3. 研究の方法

(1) 埋め立て完了後の最終処分場浸出水処理施設を活用した湿式メタン発酵の適用可能性

まず、既存の産業廃棄物処理業者が運営する最終処分場浸出水処理施設の遊休能力を活用した湿式メタン発酵の物質・エネルギーフローを分析する。次に、全国の産業廃棄物管理型最終処分場の浸出水処理施設における処理能力の情報をデータベース化し、これをもとに全国の埋め立て完了後の最終処分場での適用可能性を分析する。

(2) ごみ焼却施設更新の契機にあわせた広域・協働化シナリオの GHG 削減効果と事業性の評価

和歌山県紀の川流域内のごみ処理広域化ブロックを対象地域とし、ごみ処理施設更新において、稼働を停止する既設ごみ焼却施設のピットやクレーンを流用して改修し、中継施設へと転用する遊休能力活用を含む、ごみ処理拠点やエネルギー回収方策の技術選択や主体が整備する施設以外の連携を鑑みた複数の広域・協働化シナリオを設定する。そして、GHG 排出量と事業費の推計に必要な発電量を、熱収支解析を用いて算定する。その後、シナリオごとに GHG 排出量と事業費を推計する。最後に、推計した GHG 排出量と事業費から GHG の限界削減費用を求めて総合評価する。

(3) 中継輸送および中継施設整備方式の違いがごみ処理広域化の事業性に及ぼす影響

同じく紀ノ川流域のごみ処理広域化ブロックを対象とし、既設ごみ焼却施設の遊休能力をごみ運搬中継・中間処理施設に活用することによるごみ処理広域化の事業性への影響を分析する。ここでは広域化ブロックを越境して地域全体を広域化し、1 拠点に集約して蒸気タービン発電によりエネルギー回収するシナリオを対象とし、ごみ処理施設集約化に伴う既設建屋の流用による効率的な中継施設整備と高効率ごみ発電を組合せた、中継輸送および中継施設整備方式の複合的なシナリオの違いがごみ処理広域化の事業性に及ぼす影響を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 埋め立て完了後の最終処分場浸出水処理施設を活用した湿式メタン発酵の適用可能性

既存の産業廃棄物処理業者が運営する最終処分場進出水処理施設の遊休能力を活用した湿式メタン発酵のモデル分析の結果、既存水処理施設の遊休能力を活用することにより、新たに水処理施設を建設する場合に比べて建設費を31.2%削減し、設備投資回収期間を約30%短縮できることが明らかになった。また、全国の埋め立て完了後の産業廃棄物管理型最終処分場に適用した結果、遊休能力として水処理施設能力の30%を活用した結果、2032年には約7,400t/dのメタン発酵施設として利用可能であり、800Mwh/dの売電量を確保できることが示された(図1参照)。

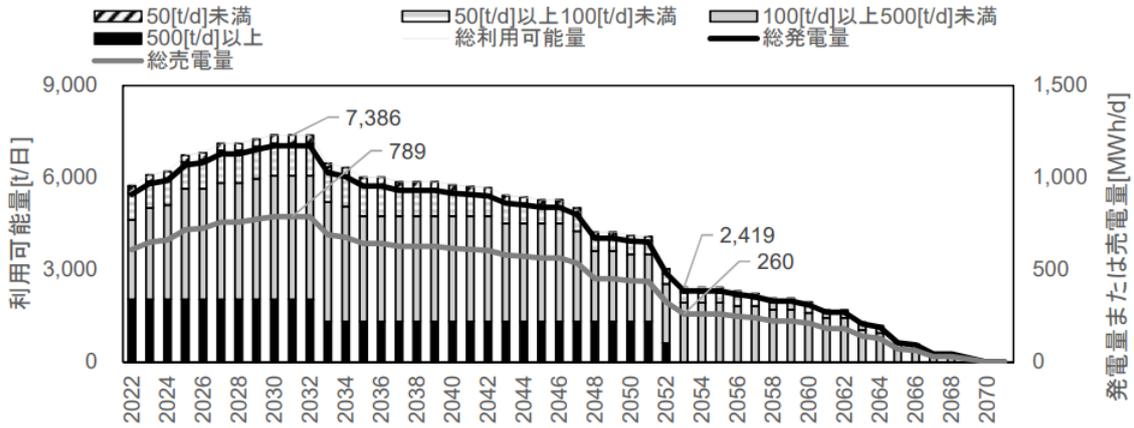


図-1 遊休能力活用型メタン発酵施設への利用可能量（浸出水処理能力の30%活用ケース）

(2) ごみ焼却施設更新の契機にあわせた広域・協働化シナリオのGHG削減効果と事業性の評価

紀の川流域に存在するごみ焼却施設の施設更新シナリオを設定し、シナリオごとにGHG削減効果と事業性を評価した。結果として、各主体が広域ブロックの拠点にバイオガス化施設を導入してエネルギー回収を図ることで、通常の蒸気タービン発電のみの場合と比較してさらにGHGおよび限界削減費用の削減効果が期待される。その際、過度に範囲を拡大させた広域化を進めることは得策ではないが、発酵残渣とその他ごみについては、より発電効率が高いごみ焼却施設に集めて処理するように既存の広域ブロックを超えた協働体制を構築することでさらなる削減効果が可能となる。その際、既存インフラ（稼働停止させたごみ焼却施設）のキャパシティ（遊休処理余力または一時貯留機能）を中継施設として活用することが有効であることが定量的に示された(図-2, 3参照)。

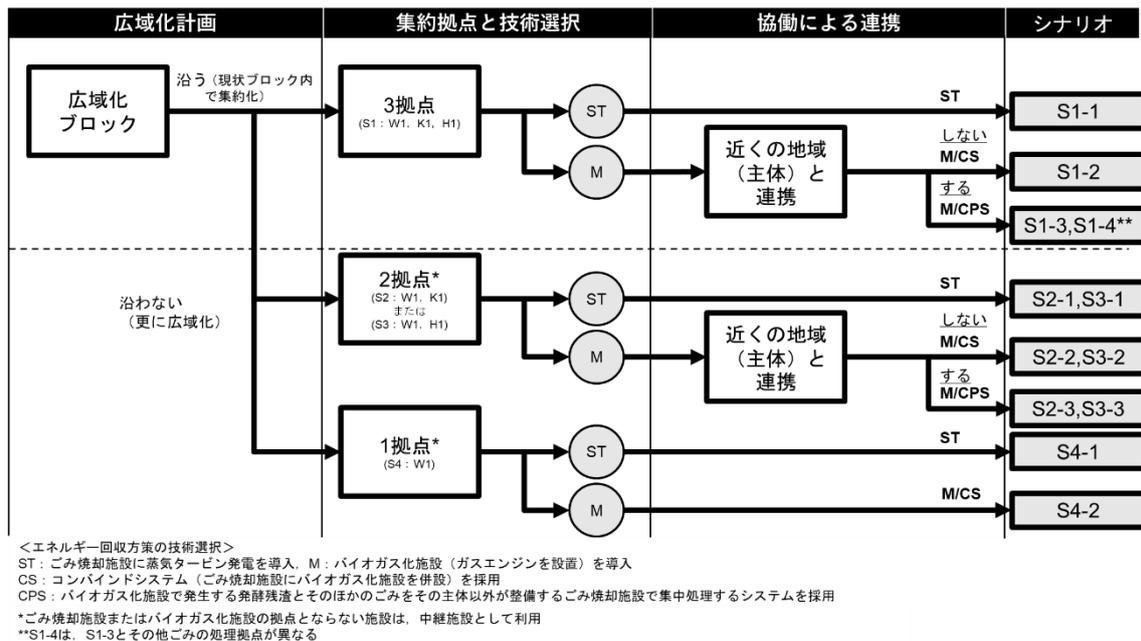


図-2 遊休能力活用を含む広域・協働化シナリオ（紀の川流域ブロック）

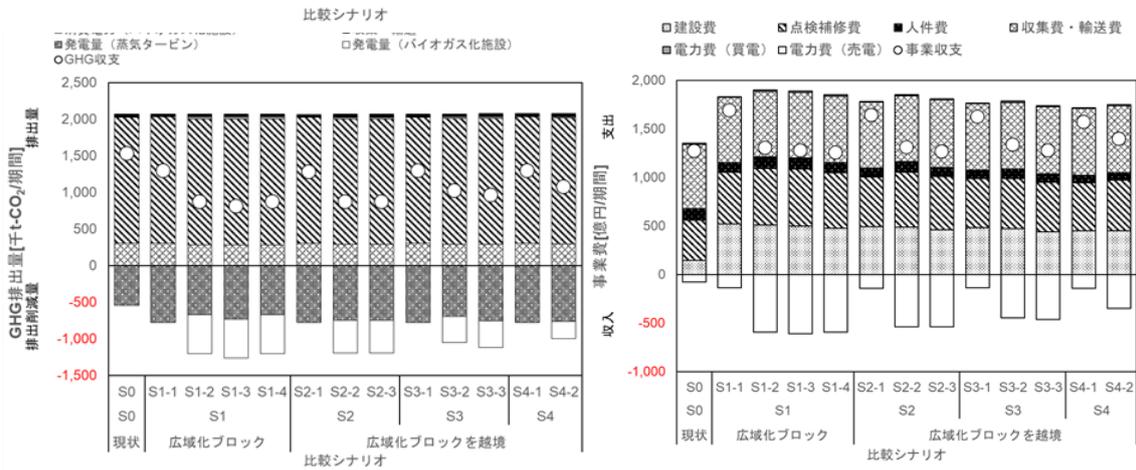


図-3 GHG 排出量・事業費の推計結果（2030年～2055年）

(3) 中継輸送および中継施設整備方式の違いがごみ処理広域化の事業性に及ぼす影響

広域化ブロックを越境した紀の川流域全体のごみ処理広域化において、1拠点に集約して蒸気タービン発電によりエネルギー回収するシナリオを対象とし、いくつかの中継施設の整備ケースを設定したうえで、中継輸送および中継施設整備方式の違いがごみ処理広域化の事業性に及ぼす影響を定量的に明らかにした。加えて、人口減少が進展する地方域における廃棄物処理事業の効率化を検討する際の基礎的な知見を得た。主要な結果をまとめると、①建屋流用の中継施設の整備とごみ焼却施設の処理規模拡大（地球温暖化対策の強化）を基本方針とした中継施設整備ケース（RT-1～RT-4）は、中継施設の未整備ケース（BAU-a, BAU-b）よりも事業費を削減できる、②広域化ブロックの見直しによって、新たなブロック区割りでごみ焼却施設を整備したケース（FW）は、もっとも事業費を削減できることが可能であるが、収集・運搬範囲の拡大に伴って多くのごみ収集作業人員を確保する必要がある、③本対象地域の場合、中継施設の整備は輸送費削減の観点からは有効であるが、中継施設の建設費や点検補修費をあわせると必ずしも地域全体の事業費削減にはならないこと、また中継施設の拠点数が増えることが必ずしも効率的な処理体制とはならないことから、適切な中継処理施設の配置を考える必要がある（図-4参照）。

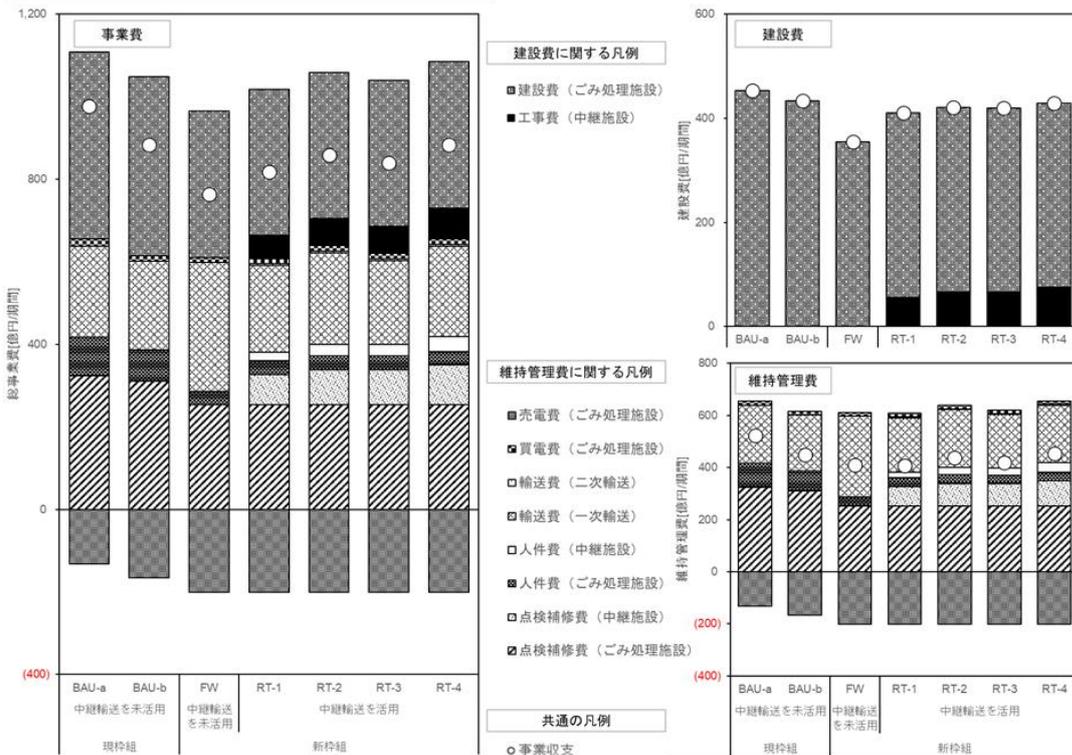


図-4 遊休能力を活用した中継施設整備ケースにおける事業性の推計結果

引用文献

- 1) 山田崇雄, 中尾彰文, 吉田登: 埋め立て完了後の最終処分場浸出水処理施設を活用した湿式メタン発酵の適用可能性, 土木学会論文集 G (環境), 77(6), II_183-II_192, 2021
- 2) 西山茉那, 中尾彰文, 吉田登: ごみ焼却施設更新の契機にあわせた広域・協働化シナリオのGHG削減効果と事業性の評価ーバイオガス化施設の導入と残渣等の広域ブロック間での協働処理に着目してー, 土木学会論文集 G (環境), 78(6), II_251-II_263, 2022
- 3) 雑賀優衣, 中尾彰文, 吉田登: 中継輸送および中継施設整備方式の違いがごみ処理広域化の事業性に及ぼす影響ー紀の川流域における事例分析, 土木学会論文集 G (環境), 79(26), 23-26022, 2023

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 SAIKA Yui、NAKAO Akifumi、YOSHIDA Noboru | 4. 巻 79 |
| 2. 論文標題 IMPACT OF RELAY TRANSPORTATION AND RELAY STATION INSTALLATION METHODS ON FEASIBILITY OF WIDE-AREA WASTE TREATMENT - CASE STUDY IN THE KINOKAWA RIVER BASIN - | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE | 6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscej.23-26022 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 TANI Sogo、NAKAO Akifumi、YAMAMOTO Yugo、YOSHIDA Noboru | 4. 巻 79 |
| 2. 論文標題 ANALYSIS OF SPATIAL SUPPLY-DEMAND POTENTIAL OF CO2 GAS ORIENTED TO GREENHOUSE HORTICULTURE THROUGH CO2 ENRICHMENT FROM UNUTILISED LOCAL RESOURCES -TOWARDS A SUSTAINABLE FOOD PRODUCTION INFRASTRUCTURE- | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE | 6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscej.23-26021 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 KAWAGUCHI Mashiro、HODAI Toma、NAKAO Akifumi、YOSHIDA Noboru | 4. 巻 78 |
| 2. 論文標題 POSSIBILITY OF INTRODUCING A RENEWABLE ENERGY POWER UTILIZATION MODEL CENTERED ON PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION IN GREENHOUSE HORTICULTURE - A CASE OF HIDAKA AREA WAKAYAMA PREFECTURE - | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research) | 6. 最初と最後の頁 11_225 ~ 11_236 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscej.78.6_11_225 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 MIYAMOTO Maki、SASAKI Ryo、NAKAO Akifumi、YOSHIDA Noboru | 4. 巻 78 |
| 2. 論文標題 BUSINESS FEASIBILITY AND REGIONAL ECONOMY IMPACTS OF TRI-GENERATION SYSTEM UTILIZING WOODY BIOMASS - FOCUSING ON REGIONAL VITALIZATION THROUGH WORKCATION - | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research) | 6. 最初と最後の頁 11_237 ~ 11_250 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscej.78.6_11_237 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 NISHIYAMA Mana、NAKAO Akifumi、YOSHIDA Noboru | 4. 巻 78 |
| 2. 論文標題 EVALUATION OF GHG REDUCTION AND BUSINESS FEASIBILITY IN COLLABORATIVE WIDE-AREA TREATMENT SCENARIOS WITH OPPORTUNITY TO UPGRADE WASTE TREATMENT PLANTS - FOCUSING ON THE INTRODUCTION OF METHANE FERMENTATION FACILITIES AND COOPERATIVE TREATMENT OF RESIDUES AND OTHER MATERIALS BETWEEN WIDE-AREA BLOCKS - | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research) | 6. 最初と最後の頁 11_251 ~ 11_263 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.78.6_11_251 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 YAMADA Takao、NAKAO Akifumi、YOSHIDA Noboru | 4. 巻 52 |
| 2. 論文標題 Survey and Analysis on the Operating Status of Industrial Waste Incineration Facilities and the Support for General and Disaster Wastes Disposal | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Studies in Regional Science | 6. 最初と最後の頁 113 ~ 133 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2457/srs.52.113 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 YAMADA Takao、NAKAO Akifumi、YOSHIDA Noboru | 4. 巻 77 |
| 2. 論文標題 FEASIBILITY OF WET-TYPE METHANE FERMENTATION USING LEACHATE TREATMENT FACILITIES AT FINAL DISPOSAL SITES AFTER LANDFILL COMPLETION | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research) | 6. 最初と最後の頁 11_183 ~ 11_192 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.77.6_11_183 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である) | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計4件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 雑賀優衣・中尾彰文・吉田登 |
| 2. 発表標題 ごみ処理広域ブロックにおける中継輸送の効率的な活用に関する基礎的検討 - 紀の川流域の既存処理施設を活用した事例分析 - |
| 3. 学会等名 土木学会第50 回環境システム研究論文発表会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takao YAMADA, Akifumi NAKAO and Noboru YOSHIDA |
| 2. 発表標題 Feasibility of applying leachate treatment equipment from final disposal sites to methane fermentation facilities after completion of landfill disposal |
| 3. 学会等名 The 15th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山田 崇雄, 中尾 彰文, 吉田 登 |
| 2. 発表標題 民間廃棄物処理施設を活用した一般廃棄物処理の事業性評価～新設・既設の中継施設の整備を中心として～ |
| 3. 学会等名 日本地域学会第59回(2022年)年次大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山田 崇雄, 中尾 彰文, 吉田 登 |
| 2. 発表標題 埋め立て完了後の最終処分場浸出水処理施設を活用した湿式メタン発酵の適用可能性 |
| 3. 学会等名 土木学会第49回環境システム研究論文発表会 |
| 4. 発表年 2021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 |
|-----------|--|--|----|
| 研究 分担者 | 山本 祐吾 (Yamamoto Yugo) (30379127) | 和歌山大学・システム工学部・准教授 (14701) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|