

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06272

研究課題名(和文) 環境装置の地域内シェアリングによるエネルギーレジリエンスの高い持続可能都市の構築

研究課題名(英文) Construction of sustainable city with high energy resilience by regional sharing of environmental infrastructure

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：人間社会への多様なリスクに対応しうる能力を示す概念であるレジリエンスを強化するための研究要請が高まっている。本研究では、環境インフラや産業インフラの連携(シェアリング)により廃棄物バイオマスからのエネルギー回収でエネルギーレジリエンスを高める効果を分析した。具体的には、1) 将来動向をふまえた全国規模での下水処理施設と産業工場、ごみ焼却場の連携、2) 下水処理施設を核とした環境・産業インフラの連携、3) ごみ発電を核とした処理余力の広域自治体間や食品廃棄物の熱回収施設としての活用、4) 可燃ごみと生活排水処理の連携処理、の各連携・シェアリングによるGHG削減効果や事業性が高いことを評価した。

研究成果の概要(英文)：Increasing demands are recognized for researches which enhance resilience, capacity to response to various risks against human societies. In this research, effects of energy recovery from waste biomass as renewable energy were analyzed by using material and energy flow analyses and life cycle inventory analyses. In detail, it was revealed that various infrastructure collaboration systems were effective to strengthen energy resilience by the following sharing patterns: 1) nationwide collaboration among sewage treatment facilities, municipal waste incinerators, and industrial factory infrastructures; 2) utilization of treatment capacity of environmental facility and its area-wide sharing; 3) collaboration of facilities between domestic waste-water and combustible household waste treatment.

研究分野：環境システム

キーワード：シェアリング 廃棄物バイオマス エネルギー回収 連携 環境インフラ

1. 研究開始当初の背景

人間社会への多様なリスクに対応しうる能力(回復力, 対応力)を示す概念であるレジリエンス(resilience)を強化するための研究要請が高まっている。IPCC 第3次レポートでは, 気候変動リスクに対応して「社会・生態システムが同じ構造や機能を維持できるように混乱を吸収する能力, 自己組織化の能力」としてレジリエンスが定義され, コペンハーゲンでの第15回気候変動締約国会議(COP15)へ向けて準備された「気候変動適応のための土地・水資源管理に関するナイロビ声明」では, レジリエンスの構築が5つの指針の1つとして採用された。またアジア太平洋水フォーラムの下に設置された「水と気候変動の運営委員会」でも, レジリエントな社会づくりを中心課題の1つに据えている。特に大規模な自然災害や気候変動に伴うリスクに対応するエネルギー分野の対策(エネルギーレジリエンス対策)に対する研究は国内外を含めて開始されたばかりである。特に, 平時と災害時でのエネルギーレジリエンスのコベネフィット(相乗便益)を図る研究は未着手の状況にある。本研究は, 土木環境インフラのシェアリングによりエネルギーレジリエンスの社会実装への道筋を明らかにする研究として着想した。

2. 研究の目的

土木環境インフラのシェアリングによりエネルギーレジリエンスの高い生活環境を構築するため, 以下の研究を行うことを目的とする。

(1) 将来産業動向をふまえた, 全国規模での下水処理施設と産業工場, ごみ焼却場の連携(シェアリング)によるGHG削減効果のポテンシャル評価

(2) 下水処理場を核とした環境・産業インフラのシェアリングによる下水汚泥のエネルギー回収の事例分析

(3) ごみ発電施設を核とした処理余力の広域自治体間シェアリングや食品廃棄物の熱回収施設としてのシェアリングによるエネルギー回収の事例分析

(4) 可燃ごみと生活排水処理の連携処理(シェアリング)によるエネルギー回収を含めた持続可能なシステムの事例分析

3. 研究の方法

上記の4つの研究内容ごとに, それぞれ以下の方法によって分析を行う。

(1) まず, 下水処理施設における未利用汚泥量, 産業工場における下水汚泥燃料の受入可能な容量, およびごみ焼却場での下水汚泥由来エネルギーの受入可能量を把握する。次に, 流域下水道を拠点とする汚泥処理の集約対象となる小規模下水処理施設を抽出する。さらに, 下水汚泥燃料化技術ごとのGHG収支を把握し, 下水汚泥燃料を産業工場やごみ焼却場へ配分するルールを設定することで,

GHG削減量を最大化するインフラ連携効果について分析する。また, 産業工場の将来動向の変化や, 製紙工場での汚泥燃料混焼率の変化に伴う, 各業種のGHG削減効果への影響を明らかにする。

(2) まず, 福岡県北九州市をケーススタディの対象として, 下水汚泥の燃料利用とそれに伴う乾燥熱源の違いを考慮し, 静脈系インフラが連携(シェアリング)することによるエネルギー回収システムのGHG削減効果を評価する。次に②兵庫県臨海地域をケーススタディの対象として, 社会変化の影響を考慮し, セメント生産インフラを活用(シェアリング)した下水汚泥固形燃料化の供給と受け入れポテンシャルを中長期で推計する。その上で, この連携システムにおける技術導入に伴う温室効果ガスの排出量を推計する。さらに, 近畿, 中国, 四国地方をケーススタディの対象として, 社会変化の影響を考慮し, 紙・パルプ生産インフラを活用(シェアリング)した下水汚泥燃料化システムの供給と受け入れポテンシャルを中長期で推計する。また, 造粒乾燥, バイオオイル化, バイオガス精製技術を取り上げて, この連携システムにおける技術導入に伴う温室効果ガスの排出量を評価する。

(3) 焼却余力を有する高効率ごみ発電施設におけるエネルギー回収をめざした広域シェアリングによる施設整備の方向性を得ることを目的とし, 岸和田市の清掃工場をモデル施設とする熱収支解析をもとに, 熱回収技術導入オプションに伴う発電効率向上と, ごみ処理量増加による発電増加量を分析する。つぎに, 設定した整備シナリオに従って, 周辺自治体からのごみ受け入れを想定し, 施設整備方策ごとに事業性を分析する。また, 食品リサイクル法の対象となっている食品循環資源の再生利用等実施率のさらなる向上を目指し, 地方自治体が設置している既存一般廃棄物処理施設の熱回収施設としての再評価, 既存処理施設や燃料化施設の処理余力の有効利用, 現状で熱回収の基準を満たさない施設へのバイオガス化技術の導入, の各方策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について推計する。

(4) 和歌山県田辺市をケーススタディの対象として, 可燃ごみと生活排水処理の連携処理(シェアリング)方策としての, 可燃ごみ収集の効率化のためにディスポーザー導入や, 乾式メタン発酵等の適用によるエネルギー回収などを提案してGHG排出量及び処理費用の将来推計を行う。

4. 研究成果

(1) 将来産業動向をふまえた, 全国規模での下水処理施設と産業工場, ごみ焼却場の連携(シェアリング)によるGHG削減効果のポテンシャル評価について, 以下の知見を得た。

・GHG削減効果が高くなる連携は, 造粒乾燥

の汚泥燃料が受入可能な施設との連携である。ガス化溶融炉を有するごみ焼却場は同一自治体内の制約のために連携数が少なく、製紙工場ほどの GHG 削減効果を得ることができなかった。

・下水処理施設にて汚泥焼却炉がある施設は、首都圏と近畿圏に集中していた。首都圏と比較して近畿圏においてセメント工場、製紙工場、ガス化溶融炉を有するごみ焼却場が少ないため、長距離にある製紙工場との連携がみられた。また、石炭火力発電所と比較してセメント工場との連携が少なくなった。GHG 削減効果の高い技術であれば、長距離輸送によって成立する連携もありうる。

・下水処理施設にて汚泥焼却炉がない施設では、連携可能なごみ焼却場がない場合、設定した配分ルールでは未利用汚泥が活用できない施設が生じた。

・製紙工場の混焼率減少により、全体の GHG 削減効果が減少した。石炭火力発電所の供給達成率は 5%であり、セメント工場と比較し、立地に地域差のない。そのため、石炭火力発電所への連携が増加したため、連携システム全体での GHG 削減効果量は最大で 11%の減少にとどまった。

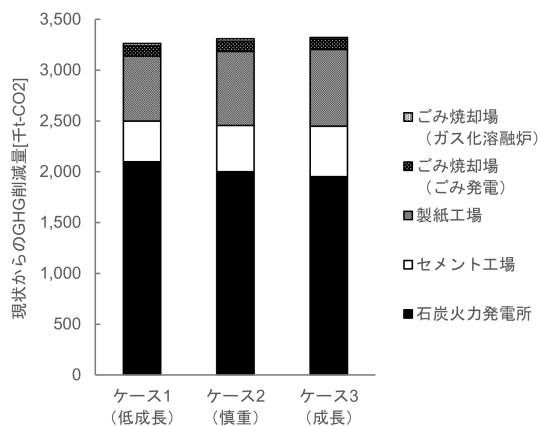


図 1 将来産業動向をふまえた全国規模での下水処理施設と産業工場、ごみ焼却場の連携・シェアリングによる GHG 削減効果 (2) 下水処理場を核とした環境・産業インフラのシェアリングによる下水汚泥のエネルギー回収の事例分析について以下の知見を得た。

・北九州市を対象に、脱水汚泥を高温焼却・ごみと混焼・造粒乾燥、消化ガスをガス発電・造粒乾燥の乾燥熱源・都市ガス代替、ごみ焼却排熱を蒸気タービン発電・汚泥の乾燥熱源に分けた比較ケースを 5 つ設定して分析した結果、現状ケース (case2, 脱水汚泥: 造粒乾燥, 消化ガス: 造粒乾燥の乾燥熱源, ごみ焼却排熱: 蒸気タービン発電) が最も GHG 削減効果が高く、汚泥からのエネルギー回収なしケース (case0, 脱水汚泥: 高温焼却, 消化ガス: ガス発電, ごみ焼却排熱: 蒸気タービン発電) と比較して GHG 排出量の 38%が削減可能であり、近接する静脈系インフラや

産業工場の連携を活かしたエネルギー回収の有効性が明らかとなった。

・兵庫県臨海地域を対象としたセメント生産インフラを活用 (シェアリング) した下水汚泥燃料化に関する分析の結果、セメント産業の動向の範囲内であれば、技術展望オプションでは 5 箇所の下水汚泥処理施設分の汚泥を受け入れ可能であり、セメント産業の成長を見込んだ技術展望オプションが想定できる時には 6 箇所分の汚泥を受け入れ可能となること、総じてセメント生産インフラと連携して下水汚泥由来の固形燃料を有効活用するシステムは GHG 削減ポテンシャルが高く、従来の汚泥処理が継続されていた場合と比べて 2015~2040 年におけるシステム全体の GHG 総削減量は最大で 4,336[千 t-CO2/年] (GHG 排出量 125.4[%]削減) となることが明らかになった。

・近畿、中国、四国地方を対象とした紙・パルプ生産インフラの活用 (シェアリング) による下水汚泥燃料化に関する分析の結果、10 箇所の紙・パルプ生産インフラにおいて、37 箇所の下水処理場で燃料化した汚泥や精製した消化ガスを受け入れることができること、紙・パルプ生産インフラと連携して下水汚泥由来の代替燃料を有効活用するシステムの GHG 削減ポテンシャルは高く、従来の汚泥処理が継続される場合と比べると、2020~2040 年の総 GHG 削減量は 1,745[千 t-CO2/年] (GHG 排出量 39.7[%]削減) となることが明らかになった。

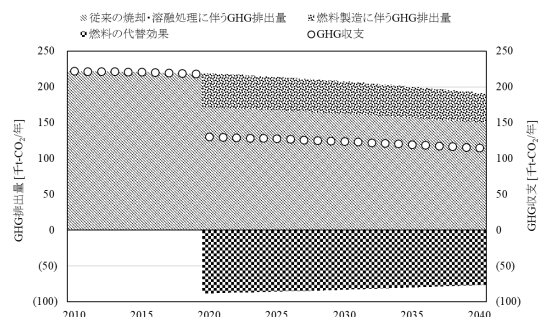


図 2 紙・パルプ産業インフラと下水処理施設の連携・シェアリングによる GHG 削減効果 (近畿・中国・四国)

(3) ごみ発電施設を核とした処理余力の広域自治体間シェアリングや食品廃棄物の熱回収施設としてのシェアリングによるエネルギー回収に関する分析の結果、以下の知見を得た。

・岸和田市の高温高压ボイラ (4[MPa] × 400[]) を有するモデル施設では、既に発電効率が高効率ごみ発電施設の基準値を上回る施設であるものの、熱回収技術を追加することでさらなる効率向上の余地がある。なかでも、白煙防止の取りやめと水冷式復水器の組み合わせた熱回収技術の導入が有効である。ごみ発電の高度化に加えて、処理能力の範囲内での他都市からのごみ受け入れ (広域シェアリング) は、焼却余力を活用し、総

発電能力を高めることができる。またその場合には、熱回収技術を追加導入することでさらに発電量増加を見込める。費用面においては、施設更新よりも延命化の方がライフサイクルコストを削減するという結果が得られた。延命化と施設更新を比較するにあたって、用役費と人件費を同等のものとして分析には反映できていないが、他都市からのごみ受け入れは、単位処理量当たりのランニングコストの軽減などが可能となる。しかし、他都市からのごみの受け入れ量によっては、延命化と施設更新による施設投資費用の結果が変化する。そのため、施設更新の時期には、将来的なごみ受け入れ可否を念頭に整備方針を決定する必要があるといえる。

・既存の一般廃棄物焼却施設において処理される食品循環資源量を施設単位で推計し再評価方策を分析した結果、実質率は47.3 [%]となり現状の実施率17.2 [%]に比べ30.1ポイント向上する可能性を有することが明らかとなった。処理余力利用方策について分析した結果、みなし熱回収施設が周辺からの食品循環資源を受け入れての有効利用は困難であることが明らかとなった。技術導入方策について分析した結果、実施率は39.1 [%]となり現状の実施率17.2 [%]に比べて21.9ポイント向上する可能性を有することが明らかとなった。これらの方策をあわせると、実施率は86.4 [%]となり現状の実施率17.2 [%]に比べ69.2ポイント向上する可能性を有することが明らかとなった。

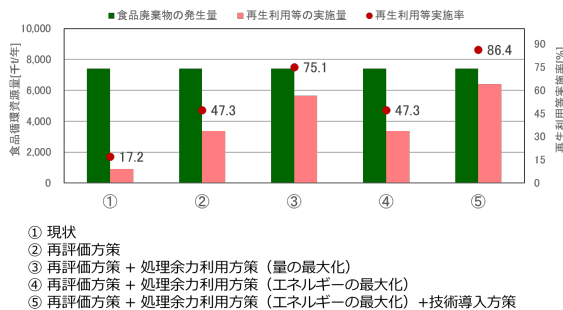
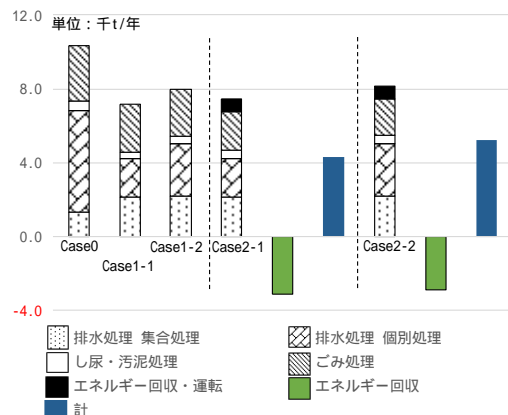


図3 一般廃棄物焼却施設の処理余力活用・シェアリングによる再評価方策、処理余力利用方策、技術導入方策による食品循環資源の再生利用等実施率のさらなる向上の可能性(4)和歌山県田辺市をケーススタディの対象とした、可燃ごみと生活排水処理の連携処理(シェアリング)方策に関する分析の結果、以下の知見を得た。

・一人当たり換算したGHG排出量及び処理費用を指標として人口減少が続き、かつ、過疎地域で広域的な効率処理が難しい地域を対象として可燃ごみ処理と生活排水処理の連携処理の方策を模索した。その結果、GHG排出量は、全体量、一人当たり量とも削減できることがわかった。これは、効率化が期待できる大規模な施設の整備や浄化槽の高性能化などの効果を見込んでいるためである。・処理費用の面では、総額としては人口減少

に伴った処理量減少により削減できるが、一人当たりの費用で見ただけの場合、現状維持にとどまった。これは、処理量が減少しても削減が難しい人件費・委託費による影響が大きい。可燃ごみ処理と尿・汚泥処理に関する一般会計分では、対策を考慮しない場合(Case 1-1)、現状反映ケース(Case 0)と比較して約28%増加となり、市の負担増加が懸念される結果となった。対策として提案したディスポーザーの導入によるごみ収集経費の削減については、一般会計分の削減には効果があることがわかった。

< GHG 排出量の変化 >



< 処理費用の変化 >

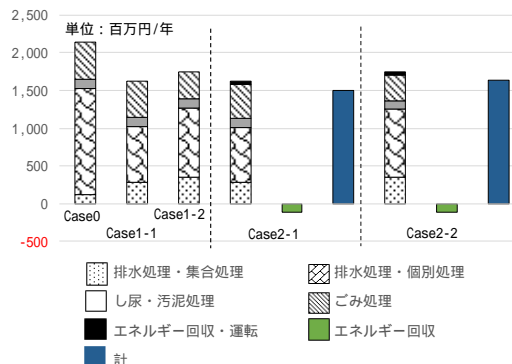


図4 可燃ごみと生活排水処理の連携処理(シェアリング)方策によるGHG排出量と処理費用の変化

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12件)

中尾彰文・山本祐吾・吉田登：エネルギー回収をめざした下水処理場インフラの連携と技術選択，環境技術，査読無，3月号，2018，133-139

Nakakubo, T., Yoshida, N. and Hattori, Y., Analysis of greenhouse gas emission reductions by collaboratively updating equipment in sewage treatment and municipal solid waste incineration plants, Journal of Cleaner Production, Refereed, Vol.168,

2018, 133-139

DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.058

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け入れ拡大が発電増強と事業性に及ぼす効果の評価, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 73(6) 2017, II_379-II_390

松田雄太郎, 中尾彰文, 山本祐吾, 吉田登: 紙・パルプ生産インフラの立地特性および燃料消費形態に応じた下水汚泥燃料化システムの GHG 削減効果の推計, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 73(6), 2017, II_257-II_268

荒木浩太郎, 中尾彰文, 山本祐吾, 吉田登, 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の発電施設での活用が GHG 削減に及ぼす効果, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 73(6) 2017, II_245-II_256

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, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 73(6), 2017, II_221-II_232

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, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 73(6), 2017, II_201-II_212

霧巻峰夫, 川崎聡太, 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, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 73(6), 2017, II_189-II_200

松田雄太郎, 中尾彰文, 山本祐吾, 吉田登: セメント生産インフラを活用した下水汚泥固形燃料化システムのエネルギー・物質フロー推計, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 72(6), 2016, II_67~78

奥田拓也・中尾彰文・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, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 72(6), 2016, II_57~66

霧巻峰夫・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の連携処理による温室効果ガス削減について, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 72(6), 2016, II_23~34

霧巻峰夫・山本祐吾・吉田登: 地域の資材ストックにもとづく災害廃棄物量の予測に関する基礎的検討, 土木学会論文集 G(環境), 査読有, 71(6) 2015, II_241~252

[学会発表](計 15 件)

霧巻峰夫: 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集会, 2017.10

吉田登: 環境インフラの連携による廃棄物バイオマスからのエネルギー回収, 環境科学学会 2017 年会, 2017.9

田代颯馬・松田雄太郎・中尾彰文・山本祐吾・吉田登・霧巻峰夫: 都市規模やインフラ条件に応じて適用可能なエネルギー回収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, 2017.3

山本祐吾・新垣亜以・中尾彰文・吉田登: 地方中小都市における汚水適正処理計画の目標達成状況の点検・評価 - 和歌山県を対象として, 廃棄物資源循環学会第 27 回研究発表会, 2016.9

荒木浩太郎・中尾彰文・山本祐吾・吉田登: GHG 削減を最大とする下水汚泥燃料の産業などへの配分に関する研究, 廃棄物資源循環学会第 27 回研究発表会, 2016.9

T. Nakakubo, N. Yoshida: Design and Evaluation of a Collaborative Updating Plan for Sewage Treatment and Waste Incineration Plants: Urban Typology and Collaboration Effect Analysis, The Joint Socio-Economic Metabolism Conference and Asia-Pacific Conference of the Industrial Society for Industrial Ecology, 2016.9

N. Yoshida, T. Okuda, A. Nakao, Y. Yamamoto, T. Nakakubo: Reduction of GHG Emission with Sewage Sludge Fuels Utilization by Nation-Wide Collaboration of Industrial and Environmental Infrastructures, The Joint Socio-Economic Metabolism Conference and Asia-Pacific Conference of the Industrial Society for Industrial Ecology, 2016.9

A. Nakao, Y. Yamamoto, N. Yoshida: Design and Evaluation of Low-Carbon Strategy for Restructuring Sewage Sludge and Municipal Waste Treatment Facilities in Population Decline, 2015.12

N. Yoshida: Biomass Energy Recovery by Linkage of Waste Incinerators and Sewage Treatment Plants, Int'l Conf. on Green Energy & Expo 2015, 2015.9

中尾彰文・山本祐吾・吉田登: 将来人口の変化を考慮した環境インフラ更新・再編の方向性, 環境科学学会 2015 年会, 2015.9

奥田拓也・吉田登: インフラ連携による

廃棄物エネルギー回収の可能性と受容性，環境科学会 2015 年会，2015.9

中尾彰文・山本祐吾・吉田登：地方都市における静脈系インフラの集約と連携のシナリオ構築 - 和歌山市を対象として - ，廃棄物資源循環学会第 26 回研究発表会，2015.9

奥田拓也・吉田登：産業・環境インフラの連携による下水汚泥からのエネルギー回収に関する研究，廃棄物資源循環学会第 26 回研究発表会，2015.9

N.Yoshida, Y.Yamamoto, et.al.: Energy Recovery from Biomass Waste by Collaboration of Environmental Infrastructures, Biennial Conference of the International Society for Industrial Ecology, 2015.7

奥田拓也・吉田登：産業・環境インフラの連携による下水汚泥からのエネルギー回収可能性に関する基礎的検討，廃棄物資源循環学会春の研究発表会，2015.5

〔図書〕 なし

〔産業財産権〕 なし

〔その他〕

和歌山大学産業エコロジー研究室

<https://sites.google.com/a/g.wakayama-u.jp/yoshidalab/>

6. 研究組織

(1) 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：6 0 2 6 3 2 2 4

(2) 研究分担者

山本 祐吾 (YAMAMOTO, Yugo)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：3 0 3 7 9 1 2 7

靄巻 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：4 0 4 1 3 8 1 9

中久保 豊彦 (Nakakubo, Toyohiko)

お茶の水女子大学・基幹研究院・助教

研究者番号：70648766

(平成 29 年度より研究分担者)

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし