

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04327

研究課題名(和文) 産業用資材からのマイクロプラスチック発生量推定と対策に関する研究

研究課題名(英文) Study on microplastics generation from industrial materials and its solution

研究代表者

中山 裕文(Hirofumi, Nakayama)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：60325511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,970,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、農業、漁業、建設業において使用されている産業用プラスチック資材を発生源とするマイクロプラスチック(MPs)の状況を把握することを目的とした研究を行い、以下の成果を得た。産業用プラスチック資材の物質フローを把握するとともに、各産業から発生する廃プラスチックの排出量変化の要因に関する知見を得た。土木用資材として大量に使用されている不織布から発生するマイクロファイバー(MFs)の定量方法の検討および劣化に伴うMFs発生量を評価した。漁船漁業(巻き網漁、はえ縄漁、釣り漁)におけるプラスチック資材の投入量原単位を把握した。一般廃棄物最終処分場におけるMPsのフローを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、農業、漁業、建設業等の分野で、どの程度のプラスチック資材が使用されており、各産業から排出される廃プラスチックがどのような要因で変動しているかを明らかにした。建設分野では、ポリエステル等で製造された不織布資材から発生するマイクロプラスチックの発生量検討や、漁業分野では、1tの漁獲を得るためにどの程度のプラスチック製漁具が使用されているか等の詳細データを得た。さらに廃棄物分野では、埋立地に処分されたマイクロプラスチックが埋立地内でどのように動いているかを把握し埋立地外へ移動してないことを確認した。以上の成果は、産業分野におけるマイクロプラスチック対策を検討する上で重要な基礎資料となる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we conducted research aimed at understanding the status of microplastics (MPs) originating from industrial plastic materials used in agriculture, fishery, and construction, and obtained the following results. (1) We grasped the material flow of industrial plastic materials and obtained knowledge on the factors of changes in the amount of waste plastics generated from each industry. (2) Examination of a method for quantifying microfibers (MFs) generated from non-woven fabrics used in large quantities as civil engineering materials and evaluation of the amount of MFs generated due to deterioration. (3) The basic unit of input of plastic materials in the fishing (purse seine fishing, longline fishing, angling fishing) was grasped. (4) Clarified the flow of MPs at a final disposal site for municipal solid waste.

研究分野：環境システム工学

キーワード：産業用プラスチック マイクロプラスチック 農業 漁業 建設業 廃棄物処理 最終処分場

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまで、海ごみ対策やマイクロプラスチック化の対策として中心的に検討されてきたのは、使い捨ての容器包装材や飲料用ストロー等の使用制限や回収システムの構築等、消費財として利用されるプラスチック製品のフロー制御に関する研究が多い。一方、産業部門に目を向けると、農業、漁業、建設業では、屋外に設置されて紫外線、風雨による劣化、摩耗等の影響を受ける産業用プラスチック資材は多用途に大量に用いられている。これらの農業、漁業、建設業用の産業用プラスチック資材のうち比較的短期間の使用が想定されているものは、耐候性が低く、安価で低品質な製品が多いため、適切な管理がなされていなければ、マイクロプラスチックの大きな発生源となりうると考えられる。また、廃棄物処理部門においても、最終処分場等におけるマイクロプラスチックのフローは明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では、上記のような背景を踏まえ、産業用プラスチック資材からのマイクロプラスチックの発生状況の現状把握と発生抑制策を検討することを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

本研究では、目的を達成するため以下に示す内容について研究を実施した。具体的な研究方法については、次節 4. 研究の成果において個別に説明する。

- (1) 産業用プラスチック資材のマテリアルフロー推定
- (2) 産業連関表を用いた産業用プラスチック資材の排出構造要因の時系列分析
- (3) 土木用不織布から発生するマイクロファイバーの推定
- (4) 漁船漁業におけるプラスチック製品の投入量の推計
- (5) 廃棄物最終処分場におけるマイクロプラスチックの物質フローの把握

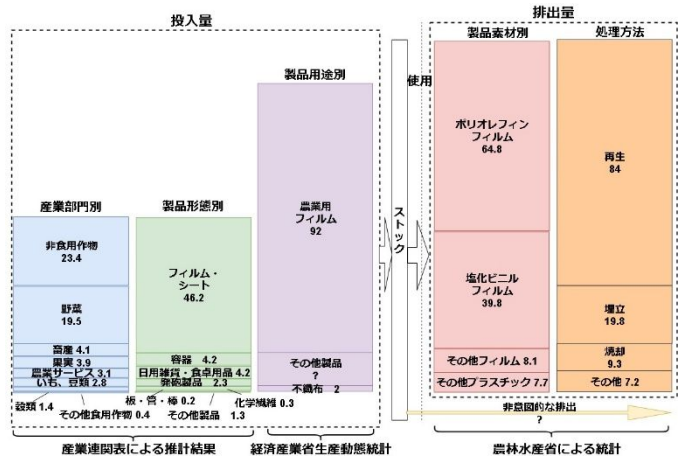
4. 研究成果

4.1 産業用プラスチック資材のマテリアルフロー推定

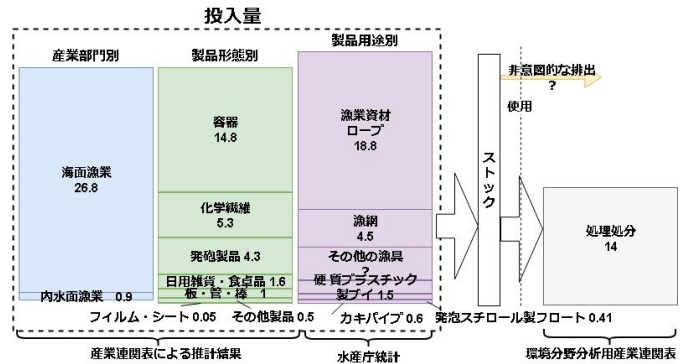
産業連関表、産業連関物量表、各種協会等の統計資料(経済産業省生産動態統計、プラスチック循環協会の公表データ、農林水産省統計、水産庁統計、環境分野分析用産業連関表等)を用いて産業用プラスチック資材の投入量(2011年)を推計、整理した。結果を図1に示す。

農業、漁業、土木・建設業、3業種における2011年のプラスチック製品投入総量は622.7千トン、農業では58.7千トン、漁業では27.7千トン、土木・建設業では536.4千トンと推計された。

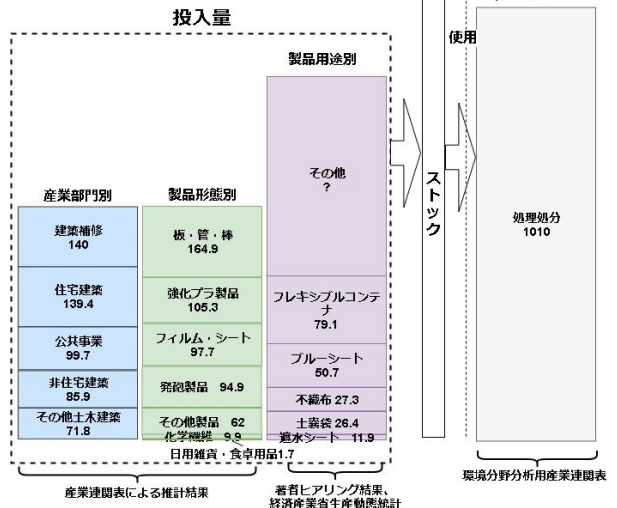
農業では、非食用作物分野と野菜分野への投入量が全体の約7割を占めており、フィルムの使用量が大半を占めていた。ビニルハウスやマル



農業



漁業



建設業

図1 農業、漁業、建設業におけるプラスチックの物質フロー

チフィルムの使用によるものと考えられた。漁業では、海面漁業分野への投入量が大半を占めており、漁業資材ロープと漁網の使用量が約 8 割を占めていた。土木・建築業では、建築補修分野と住宅建築分野への投入量が多かった。

4.2 産業連関表を用いた産業用プラスチック資材の排出構造要因の時系列分析

産業用プラスチック資材の排出量を近年の経済構造の変化より解明することを試みた。具体的には産業連関表を用いた要因分析手法を用いて、2000-2005-2011-2015 年の 4 時点における産業用プラスチック資材の排出変動を産業構造や消費パターンの変化の観点から検討した。

分析手法として、環境省の廃棄物データ、および総務省の接続産業連関表を用いて、2000 年から 2015 年までの 4 時点における産業からの廃プラスチック排出量に関する要因分析を行った。具体的には、産業連関表の物価と産業部門を調整し 2015 年価格基準の 104 部門とした上で、(1) 式のような要因分析モデル式を用いた。但し各要因にウェイト付けされる年次は t 期と t-1 期の平均値を用いた。

$$\begin{aligned} \Delta w &= w_t - w_{t-1} \\ &= W_t x_t - W_{t-1} x_{t-1} \\ &= \Delta W x_t + W_{t-1} B_t \Delta A B_{t-1} \{(I - M_t) f_t + e_t\} \\ &\quad + W_{t-1} B_{t-1} \Delta f + W_{t-1} B_{t-1} \Delta e \\ &\quad - W_{t-1} B_t \Delta (M A) B_{t-1} \{(I - M_t) f_t + e_t\} \\ &\quad - W_{t-1} B_{t-1} \Delta (M F) \end{aligned} \quad (1)$$

w_t : t 期における廃プラ排出量(ベクトル)
 W_t : t 期における廃プラの排出原単位(対角化行列)
 x_t : t 期における各産業の生産額(ベクトル)
 M_t : t 期における輸入係数(対角化行列)
 A_t : t 期における投入係数(行列)
 B_t : t 期における輸入内生型レオンチェフ逆行列
 f_t : t 期における最終需要(ベクトル)
 e_t : t 期における輸出(ベクトル)

表 1 産業部門の廃プラスチック排出要因分析結果

		上段：全産業、下段(カッコ内)：建設業 (万トン)			
		2000年	2005年	2011年	2015年
排出量		579.0 (90.3)	605.2 (101.1)	571.0 (101.3)	680.9 (137.5)
2000年 からの 増減量	実排出量(w)	-	26.2 (10.8)	-8.0 (11.1)	101.9 (47.2)
	排出原単位要因(W)	-	42.7 (31.6)	87.1 (56.7)	176.0 (81.8)
	投入係数要因(A)	-	-25.1 (-8.8)	-41.4 (-8.7)	-53.3 (-8.4)
	最終需要要因(f)	-	6.1 (-12.0)	-48.8 (-37.1)	-11.3 (-26.3)
	輸出要因(e)	-	41.9 (0.2)	52.6 (0.3)	56.4 (0.3)
	輸入要因(MA + Mf)	-	-39.5 (-0.2)	-57.6 (-0.2)	-65.9 (-0.3)

分析結果を表 1 に示す。まず全産業に関して、排出量自体は 2000 年以降増減を繰り返しているが、排出原単位と輸出による要因が排出量を引き上げていることが分かる。次に建設業であるが、建設業は全産業の中で最も排出量が多い部門である。排出量は一貫して増加しているが、各要因を見ると排出原単位による要因が顕著であることが分かる。このように各産業における排出構造を検証した結果、排出原単位要因が排出量に最も大きな影響を与えていることが判明した。

4.3 土木用不織布から発生するマイクロファイバー (MFs) の推定

土木分野に目を向けると、防草シート、遮光性保護マット、護岸工事の吸い出し防止材等で大量に使用される不織布はポリエステルなどの化学繊維で製造されており、屋外設置されたものが多い。屋外設置された不織布は紫外線により劣化し、MFs が抜け落ち降雨などにより河川、海洋中へ流出するものと考えられる。これまで、MFs の発生ポテンシャルの評価に関する研究は十分ではないことから、本研究では、不織布の劣化に伴う、抜け落ちた MFs の定量方法について検討を行った。MFs の定量方法としては、捕集した MFs の重量を計測する方法と顕微鏡により得られた画像を用い計算で求める方法がある。本研究では両者の方法による計測結果を比較した。具体的には Corami ら (2019) の方法を参考にして行った。鏡観察に基づく MFs の定量について、n 数の増加に伴い値の信頼性が向上した。電子天秤による実測値と顕微鏡写真に基づく推計値が近い値を示したことから、顕微鏡観察による定量法には一定の精度があることが確認できた。紫外線劣化に伴い試料から脱離した MFs の脱離量の増加量は、防草シートが 3% (33mg/m²)、遮光性保護マットが 17% (67mg/m²) であった。防草シートの MFs 脱離量は大きかったものの劣化に伴う MFs の脱離量の増加は 3% に留まり、引張強度保持率の低下も見られなかったことから照射時間 400h (屋外暴

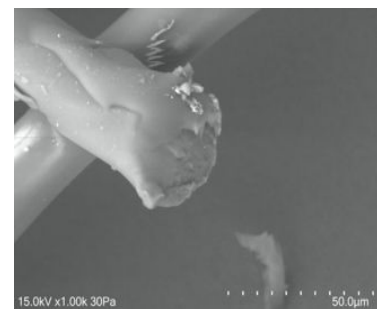


図 2 走査型電子顕微鏡観察による

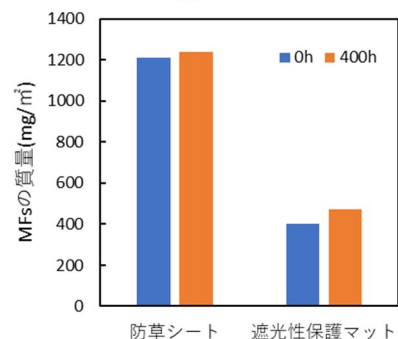


図 3 促進劣化試験における照射時間別 MFs の発生量

露2年間相当)では劣化しないと考えられた。一方、遮光性保護マットは引張強度保持率が20%程度低下し、脱離MFsの量は小さかったものの劣化に伴う脱離量の増加は17%であった。

4.4 漁船漁業におけるプラスチック製品の投入量の推計

海洋流出プラスチックの主要発生源の一つと考えられている漁業用プラスチックの活動量あたりの投入量原単位の把握を目的とし、漁船漁業の中型まき網漁、はえ縄漁、いか釣り3つの漁法を対象として、漁業経営体の数年間に亘る漁業用資材購入記録の詳細なデータに基づき、漁獲量当たり、操業月数当たり、漁船隻数当たりのプラスチック製品投入量原単位の推計を試みた。A漁協所属のまき網漁・はえ縄漁経営体の2019~2020年度の2年分の漁業用資材購入データ、釣り漁経営体の2014~2019年度までの6年間の資材購入データを入手し、資材の購入記録からプラスチック製品を抽出した。さらに、抽出した各プラスチック製品を種類別に分類した。次に、プラスチック製品の金額データを重量に換算する作業を行った。

本研究で対象としたA漁協の巻き網漁経営体において、1年間に投入されるプラスチック重量製品の重量は2,675トンと推定された。そのうち、1,514トン(構成比57%)は漁業用海中使用プラスチックであった。さらに、海中使用されるプラスチックのうち、1%が浮遊性、99%が沈降性と推定された。同経営体において、はえ縄漁のために1年間に投入されるプラスチック重量製品の重量は339トンと推定された。そのうち、170トン(構成比51%)は漁業用海中使用プラスチックであった。さらに、海中使用されるプラスチックのうち、1%が浮遊性、99%が沈降性と推定された。また、本研究で対象としたA漁協所属の釣り漁経営体において、1年間に投入されるプラスチック重量製品の重量は103トンと推定された。そのうち、75トン(構成比73%)は漁業用海中使用プラスチックであった。さらに、海中使用されるプラスチックのうち、37%が浮遊性、63%が沈降性と推定された。各漁法において、海中で使用されるプラスチック製品のうち構成比が大きかったものは、まき網漁では漁網が606トン(構成比23%)、はえ縄では釣り糸類が133トン(構成比40%)、釣り漁では釣り糸が7トン(構成比7%)であった。

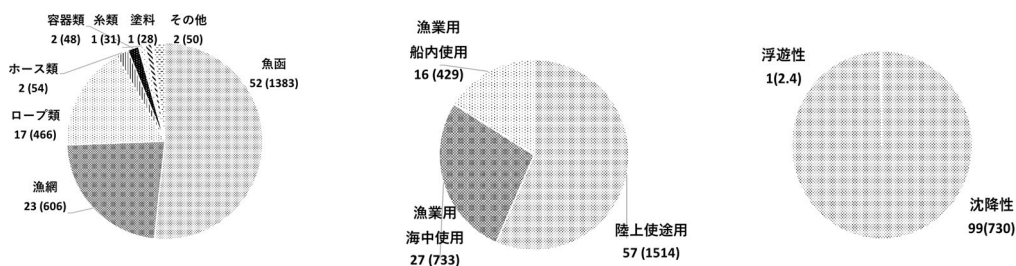


図4 巻き網漁のプラスチック製品内訳、左：製品種類別、中：使用場所別、右：浮遊性、沈降性別

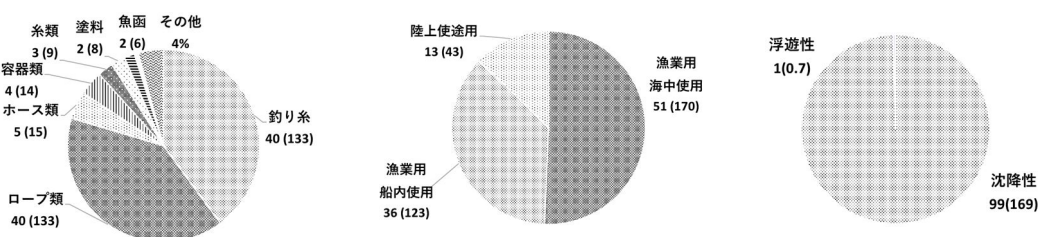


図5 はえ縄漁のプラスチック製品内訳、左：製品種類別、中：使用場所別、右：浮遊性、沈降性別

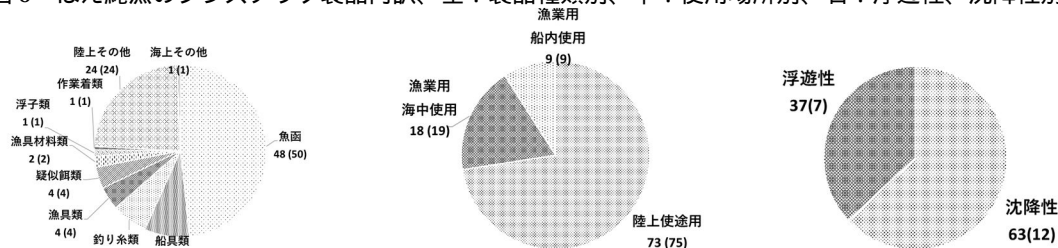


図6 釣り漁のプラスチック製品内訳、左：製品種類別、中：使用場所別、右：浮遊性、沈降性別

(図中の数値の単位は%, カッコ内は千トン)

表2 各漁法のプラスチック製品の投入量原単位

対象漁法	年間プラスチック製品購入量		
	漁獲量1t当たり (kg-プラスチック製品 購入量/t-漁獲量)	操業1月当たり (kg-プラスチック製品 購入量/月-操業月数)	漁船1隻当たり (kg-プラスチック製品 購入量/隻-漁船隻数)
中型巻き網漁	6.4	297	382
海中使用のみ	1.5	71	91
はえ縄漁	186.7	112	168
海中使用のみ	79.4	48	72
釣り漁	35.5	9	103
海中使用のみ	6.6	2	19

漁獲量 1 t 当たりプラスチック製品投入原単位は、中型まき網漁は 6.4kg/t、はえ縄漁は 186.7kg/t、釣り漁は 35.5kg/t となった。漁業用海中使用のプラスチック製品のみでは、中型まき網漁が 1.5kg/t、はえ縄漁が 79.4kg/t、釣り漁が 6.6kg/t となった。漁船 1 隻当たりプラスチック製品投入原単位は、中型まき網漁は 382kg/隻、はえ縄漁は 168kg/隻、釣り漁は 103kg/隻となった。漁業用海中使用のプラスチック製品のみでは、中型まき網漁は 91kg/隻、はえ縄漁は 72kg/隻、釣り漁は 19kg/隻となった。

4.5 廃棄物最終処分場におけるマイクロプラスチックの物質フローの推定

廃棄物最終処分場に搬入される廃棄物のうち、MPs を含む可能性があるのは埋立てられる破碎不燃物や自己搬入ごみが考えられる。また法面の遮光性保護マットや場内に設置された土嚢袋等が劣化して MPs が発生し、雨水や浸出水とともに移動している可能性がある。このことから、廃棄物最終処分場及び浸出水処理施設における堆積物中及び雨水・浸出水中の MPs を調査対象とした。採取した試料に対して MPs 密度の計算及び FTIR による成分同定を実施し廃棄物最終処分場を中心とした MPs の物質フローの把握を試みた。

試料の採取場所は A 市の一般廃棄物最終処分場の 中間覆土、最終覆土、法面小段、雨水調整柵、雨水調整池、浸出水集排水管、B 汚水処理場の浸出水放流口とした。試料の分析は Alfonso et.al を参考に図 7 の手順で行った。MPs の成分同定には FTIR-ATR を使用した。

図 8 に分析結果を示す。本研究で対象とした最終処分場に搬入される破碎不燃物からは 1kg あたり 920 個の MPs が確認され、代表的な成分は PET、ポリノジック、エチレンプロピレングムであった。中間覆土から確認された MPs の代表的な成分も類似しており、中間覆土に含まれる MPs は破碎不燃物由来である可能性が高いと考えられた。法面小段については、堆積物中の MPs と法面に設置されている不織布はどちらも PET であったことから、脱離した法面の不織布が小段に堆積したものだと考えられた。また、他の採取場所からは PET が少量しか確認されなかったことから、小段に堆積した MPs に移動は少ないと考えられた。雨水調整柵・雨水調整池の表層水からは MPs が少量しか確認されなかったが、底質からはそれぞれ 249 個/kg-dry、201 個/kg-dry の MPs が確認されたことから、MPs が調整柵・調整池の底に堆積していると考えられた。また、浸出水処理施設において、処理後の放流水からは MPs が確認されなかったことから処理過程において MPs が除去されていると考えられた。

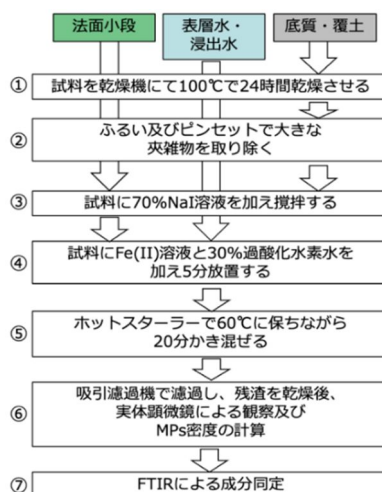


図 7 分析フロー

図 8 最終処分場における MPs の分析結果

採取場所	採取物	MPs密度	FTIR結果
①中間覆土	覆土	305個/kg	
②最終覆土		48個/kg	
③法面小段	小段堆積物	18g/kg	
④雨水調整柵	表層水	0個/m ³	
	底質	249個/kg	
⑤雨水調整池	表層水	6個/m ³	
	底質	201個/kg	
⑥浸出水集排水管	浸出水	12個/m ³	
⑦浸出水放流口	浸出水処理水	0個/m ³	

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 福田 敦輝、中山裕文、島岡隆行
2. 発表標題 土木用不織布からのマイクロプラスチック・ファイバーの発生に関する研究
3. 学会等名 廃棄物資源循環学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田 敦輝、中山裕文、島岡隆行
2. 発表標題 土木用資材からのマイクロプラスチック・ファイバーの発生量に関する研究
3. 学会等名 土木学会西部支部
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田敦輝，島岡隆行，中山裕文
2. 発表標題 マイクロプラスチック・ファイバーの定量法と精度に関する研究
3. 学会等名 令和元年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋文也、中山裕文、清野聡子、島岡隆行
2. 発表標題 漁船漁業において使用されるプラスチック製品のマテリアルフローに関する基礎的研究
3. 学会等名 令和3年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川良二、中山裕文、島岡隆行
2. 発表標題 産業連関表を用いた産業用プラスチック資材の排出構造要因の時系列分析
3. 学会等名 環境科学会 2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田敦輝、島岡隆行、中山裕文
2. 発表標題 廃棄物最終処分場におけるマイクロプラスチックの物質フローに関する研究
3. 学会等名 令和3年度土木学会西部支部研究発表会
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
研究分担者	島岡 隆行 (Shimaoka Takayuki) (80202109)	九州大学・工学研究院・教授 (17102)	
研究分担者	小宮 哲平 (Komiya Teppei) (20457451)	九州大学・工学研究院・助教 (17102)	
研究分担者	長谷川 良二 (Hsegawa Ryoji) (00522103)	福山市立大学・都市経営学部・准教授 (25407)	

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
---------	---------