

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01554

研究課題名（和文）スーパーマイクロプラスチックのその場計測を可能にする海洋観測機の開発

研究課題名（英文）Development of in-situ underwater observation system that enables to detect super micro plastics

研究代表者

小池 義和 (Koike, Yoshikazu)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：30251672

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、海洋に存在する350μm以下の微粒子（スーパーマイクロプラスチック、SMPs）の分析を、その場計測で可能にする観測方法及び観測機の実現を目指す。本研究ではガラス球の観測機をSMPsの観測に拡張することを目指した。研究成果として、申請で提案した「ガラス球二球を用いた透過、前方散乱による海洋に浮遊する微粒子分布の観測」、及び「ガラス球内部に設置した分析器へ、海水の連続供給による分離、分析」を行い、SMPsの観測に成功している。また、SMPsを想定した標準試料を用いて蛍光観察と電磁石で動作するデバイスを構築し、SMPsと他の微粒が分離可能なデバイスを構築して、動作を確認している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで測定が困難であった、海洋の深さ方向のSMPsを含めた海洋浮遊微粒子の分布を明らかにするために、ガラス球からなるフリーフォール型海中無人探査機をベースに海洋の微粒子のその場計測システム、大別してマイクロ光学系と高圧サンプリング・分析システム、そしてSMPsの正確な分布を取得するために海中のガラス球に封入可能な位置推定装置の開発を目指した。海中その場分析が実現されることで、MPsの環境負担の把握だけでなく、海中生物由来の新しい酵素の発見も可能となり、化学、製薬等への大きな貢献も期待できる。

研究成果の概要（英文）：We aim to realize an observation system that will enable in-situ measurements for the analysis of particles smaller than 350 μm (super-microplastics, SMPs) in the ocean. The research aims to extend the glass sphere observer to the observation of SMPs. As research results, the observation of SMPs has been successfully achieved through the 'observation of the distribution of fine particles suspended in the ocean by transmission and forward scattering using two glass spheres' and the 'separation and analysis by continuously feeding seawater to an analyser installed inside a glass sphere', as proposed in the application. In addition, a device that can separate SMPs from other fine particles has been constructed and confirmed to work by fluorescence observation using a standard sample that assumes SMPs and a device that operates with an electromagnet.

研究分野：波動応用

キーワード：海洋マイクロプラスチック センサ メッシュフィルタ 海洋観測システム ガラス球 レーザースペックル 蛍光分析 イメージ 姿勢推定

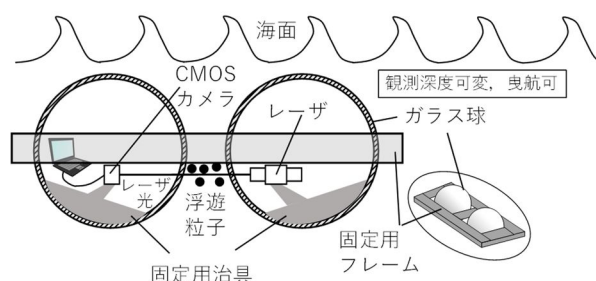
科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

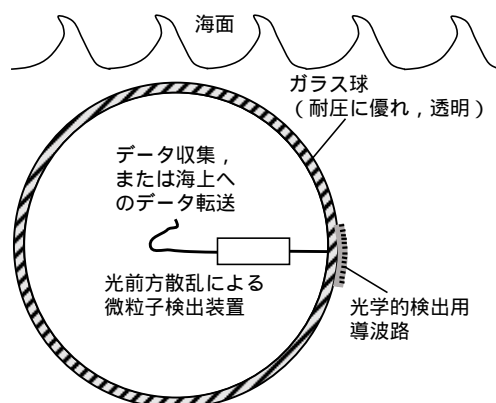
海洋に流入するマイクロプラスチック、そしてプラスチック製廃棄物が紫外線等で分解されて生じる粒径  $350\mu\text{m}$  以下のスーパーマイクロプラスチック (SMPs) と呼んでいる微小マイクロプラスチックは、その性質とサイズにより、海洋生物により吸収・蓄積されやすく、人体への影響の懸念が指摘されている (Baorong Jiang *et al*, Environmental Health and Preventive Medicine, 25, Article 29 (2020))。海洋 SMPs の主要な発生源とその生成メカニズム、そして生体への影響を正しく評価するためには、SMPs の海洋中の分布を明らかにすることが必要である。しかし、広い海洋の中で、深海まで潜水して SMPs を調査するのは容易ではない。現在、海洋で使用されている観測機器は、温度、海流、塩分濃度、撮影が主な目的であり、海上及び海中に浮遊する微粒子の測定までは目的としていない。そのため、SMPs の海洋深さ方向の分布を調査するためには、ROV (Remotely Operated Vehicle)、AUV (Autonomous Underwater Vehicle) が用いられるが、機器の開発に費用がかかり、運用も大型船舶を必要とするため、限られた台数と限られた研究機関での運用に限られる。これは、直接的な経済的リターンをもたらさない海洋 SMPs の分布測定に適しているとは言い難い。さらに、SMPs の観測と分析を仮に海面上のみに限定したとしても、依然問題がある。まず、船舶で  $350\mu\text{m}$  以上のメッシュの大きさの網を曳航することで固体を収集する。収集した固体は陸上に持ち帰り、主に FTIR (フーリエ変換赤外分光光度計) 分析またはラマン分光分析により、プラスチックの種類を特定する。ここで、FTIR、ラマン分光分析においては、分析対象が真に SMPs であることが求められる。その前処理として、微生物、生物組織を手作業で排除・除去することが求められる。SMPs と非 SMPs を区別・分離するためには、陸上における分析機器なしに実施することは難しい。

申請者は、800 気圧を超える耐圧性能を有するガラス球内に市販の 3D カメラを封入したフリーフォール型海中無人探査機の開発に関わっている。機体は「江戸っ子 1 号」と名づけられ 8000m の海底にて世界初の 3D 動画の撮影に成功している。尚、この時用いた観測機をもとにプロジェクトチームは「江戸っ子 1 号」として製品化も実現している。ガラス球は透明であるため、外部への光学的アクセスが容易であり、適切な光学系と光微小機械システム (Optical MEMS) を導入すれば、FTIR に匹敵する高度な分析を非接触で行える可能性があるものの、他の研究グループも含め、現状ではカメラによる外部の定点観測に限られている。さらに、外部の海水を取り込む機能を与えることにより、小型の分析機器を用いて SMPs のその場での種類同定も可能となるが、フリーフォール型海中無人探査機において、高圧の海水を簡便にサンプリング・前処理するためのシステムの開発が追加で求められる。このような開発には、制御、光学、MEMS、微粒子、材料の研究者が海洋研究の専門家のもとに集まった研究チームが不可欠である。

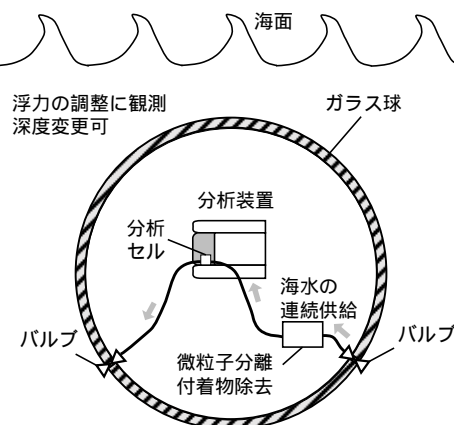
以上、本研究における学術的問いは、これまで測定が困難であった、海洋の深さ方向の SMPs を含めた海洋浮遊微粒子の分布を明らかにすることであり、そのために、申請者は海洋研究を基軸にしたチームを構成し、ガラス球からなるフリーフォール型海中無人探査機をベースに海洋の微粒子のその場計測システム、大別してマイクロ光学系と高圧サンプリング・分析システム、そして SMPs の正確な分布を取得するために海中のガラス球に封入可能な位置推定装置を開発する。海中その場分析が実現されることで、MPs の環境負担の把握だけでなく、海中生物由来の新しい酵素の発見も可能となり、化学、製薬等への大きな貢献も期待できる。



(a) 光の透過、前方散乱を観測による構成



(b) ガラス球表面に設けた構造による検出



(c) ガラス球内に設けた分析による連続分析

図 1 本研究で実現する観測機の構成

## 2. 研究の目的 (図1 参照)

本研究では、海洋に浮遊する SMPs 及び微粒子に付着する生物組織を取り除き、分離を行い、その場計測が可能となる検出方法と観測機の実現を目指す。研究代表者がこれまでに関わってきているフリーフォール型海中無人探査機型の実現にはガラス球が多く用いられる。ガラス球は透明であり、光の放射、受信可能である。またガラス球内に実験室で使用可能となる高精度な分析器を高い水圧の対策なしで配置可能である。さらに微小であれば、ガラス球表面に加工が可能である。ガラス球を使用するその場計測可能な観測機を(i)~(iii)の構成で実現する。

## 3. 研究の方法

### (i) ガラス球二球を用いた透過、前方散乱による海洋に浮遊する微粒子分布の観測

フレームに固定されたガラス球二球にレーザ光源と CMOS カメラをそれぞれ設置し、ガラス球間の微粒子の分布の観測を実現する。ガラス球は浮力を調整することで、海上、海中、海底の設置が可能であり、装置の構成は比較的实现しやすいと考えている。透過、前方散乱パターン分析により生物組織(動植物プランクトンを含む)と SMPs などの区別を行い、動植物プランクトンおよび SMPs の濃度、粒径分布の取得を目指す。観測装置は船舶による曳航で、広範囲のデータ取得が適用可能である。(図1 (a)参照)

これまで、ニューストンネットなどの網を船などで 600m 程度曳航して採取した時、350 $\square$ m 以上の MPs の分布計測では、1m<sup>3</sup> あたり 3.7 個程度の分布であるとの報告がある。SMPs の分布は不明であるが、得られた散乱パターンから SMPs に、依存する特徴を見出す必要がある。

### (ii) ガラス球表面の導波路機構による微粒子の取得、後方散乱による観測 (図1 (b)参照)

ガラス球表面に光学的検出用の微細な導波路構造を設け、導波路内に取り込まれた微粒子をガラス球内の光源により照射し、後方散乱を観測することで海洋に浮遊する微粒子の濃度、粒径分布の計測を行う。二球構成と比較して一球構成は浮力の調整で深度の制御がしやすいため、沈降させながらデータの取得が実現でき、海洋の深度方向の観測を期待する。最初に、ガラス球表面に粒子が取り込み可能となる MEMS 機構の実現が必要である。後方散乱パターンの解析は(i)の検討内容と併せて進めることが可能と考えている。

### (iii) ガラス球内部に設置した分析器へ、海水の連続供給による分離、分析 (図1 (c)参照)

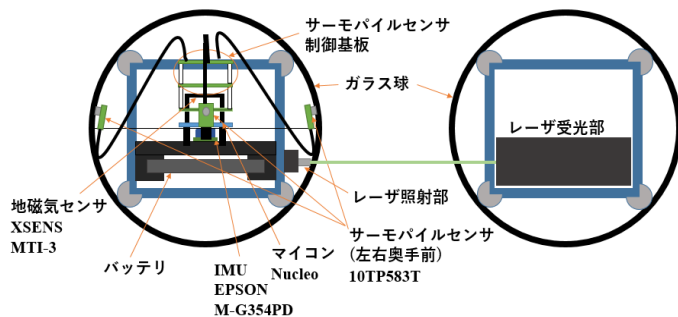
ガラス球内に設置した顕微ラマンなどの実験室で使用される性能が高い分析器のセルに連続的に供給する機構の構築を目指す。(i)、(ii)と比較してより正確な海洋に浮遊する粒子の分類、分布の計測が可能となるが、この装置においては実現すべき課題が他の(i)、(ii)と比較して以下(iii-1)~(iii-4)にあげられるように多くなると考えている。

(iii-1)外部からの海水取込みのためのバルブ機構の構築 (iii-2) 生物組織と合成有機物の分離、分析(iii-3) 分析対象有機物の不純物除去(iii-4) 室内用分析器へのサンプルの連続供給  
また、(iv)MEMS 機構の水圧に対する強度確認、(v)機能確認のための標準サンプルの準備、(vi)ガラス球の位置推定も(i)、(ii)、(iii)を実現するための重要な課題と考えている。

以上により、世界的に懸念されている MPs による海洋汚染と生態系への影響調査に大きく貢献できる。また、我が国では「ムーンショット目標4:2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」が内閣府により設定されており、その中で石油代替プラスチックの取り組みが行われている。今後、代替プラスチックの利用効果の検証が必要になると考えられ、本研究で実現を目指す観測機により簡便に大規模な検証調査の実施が可能となり、世界的視点での環境問題に貢献できると考える。

## 4. 研究成果

4-1. 「ガラス球二球を用いた透過、前方散乱による海洋に浮遊する微粒子分布の観測」に対する成果として、図2 (a)に示すガラス球二球構成の観測機を構築し、観測を試みている。併せて観測機に慣性センサ及びサーモパイルで構成した姿勢推定を試み、発生トルクの推定に必要な情報の取得を目指している。



(a) ガラス球二球構成観測機の内部構造



(b) 構成したガラス球全体

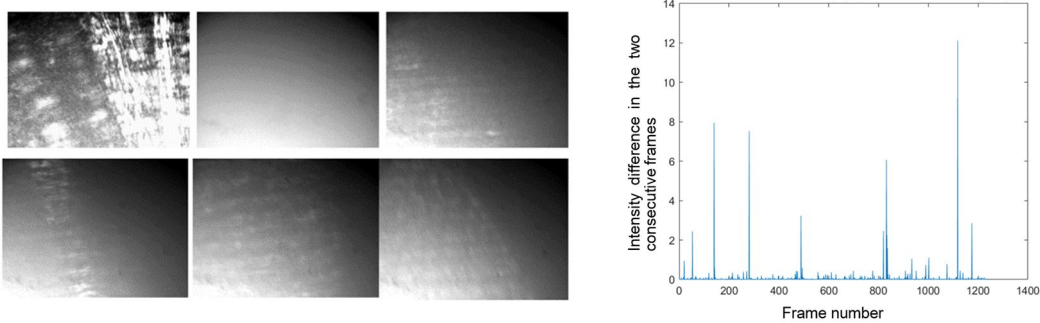


(c) 豊洲運河での運用

図2 ガラス球二球構成の観測機及び内部構造

レーザ受光部に設置した CCD カメラで豊洲運河において記録した動画の主なフレーム画像を図 3 (a) に示す。記録は 15fps で行っている。記録した動画のコントラスト強度を濃淡の調整後にフレーム前後で差分を取得し、解析を行っている。結果を図 3 (b) に示す。差分の結果から粒子の存在を確認できる。

さらに、ガラス球内に実装した実機を用いて、リアクション・ホイール型とジャイロ制御 (CMG) 型 (のどちらでも姿勢制御ができることを確認する。マイクロ流路デバイスと統合し、姿勢制御システムと同時実装したときの問題点を明確化) の目標を設定し、計画にあげていた 2 球構成の観測機を製作し観測に取り組んだ。観測精度を高めるために、ジャイロに加えて、地磁気をのせた観測機を行い、観測機の姿勢変化について詳細に求めている。また、その精度の検証にはモーションカメラを設置して検証を行っている。また、ジャイロ制御 (CMG: Control Moment Gyro) 型を検討し、ジンバルの駆動モータの出力だけでなく、フライホイール回転体に蓄積された回転運動エネルギーも利用できるため、瞬間的に大きな制御出力を得ることができた。テザーロープ周りに球形観測機が潮流などで回転してしまう問題を解決するために、MATLAB/Simulink/Simscape によるシミュレーションを構築しており、実機も試作・評価し、システムパラメータ同定などを進めた。マイクロ流体デバイスは分級性能の評価を進めながら統合化デバイスを設計している。



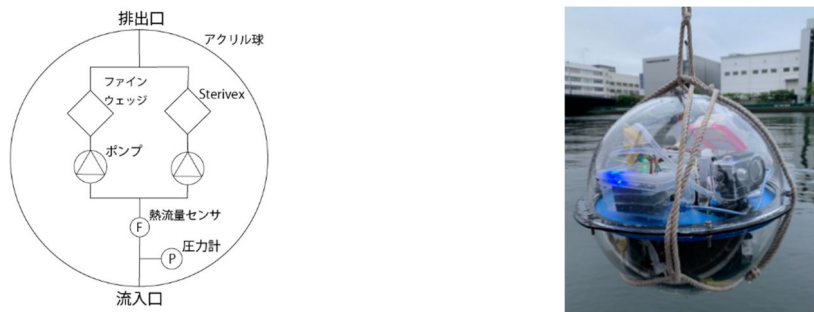
(a) 動画フレーム

(b) コントラスト情報差分

図 3 ガラス球 2 球構成の観測機を用いて記録した動画フレーム及び差分情報

4 - 2. 「ガラス球表面の導波路機構による微粒子の取得、後方散乱による観測」に対する成果としては、レーザ加工によるガラス球表面に加工を設けて導波路構造を構築し、SMPS の観測を試みようとしたが、加工できる導波路が浅く、海洋では濃度が低いため、後方散乱による観測が困難であった。4 - 1 の「ガラス球二球を用いた透過、前方散乱による海洋に浮遊する微粒子分布の観測」で海洋浮遊微粒子の観測結果が十分得られてから、再度、検討する必要がある。

4 - 3. 「水中 MP 採取システムを組み込んだ 1 球探査機の試作」に対する成果として、まず図 4 に示す探査機を試作した。直径 300mm アクリル半球 2 個の内部空間に、圧力センサ、熱流量センサ、MP/eDNA の濾過のためのフィルタを配置した。フィルタとして、eDNA 採取用として一般的な Sterivex (Millipore, 0.22  $\mu\text{m}$ ) に加え、目詰まりしにくくより大量のろ過ができることから探査機による自動採取に有利と期待されるファインウェッジフィルタ (FWF, 東洋スクリーン, 50mm 目開き 30  $\mu\text{m}$ ) に個別のチューブポンプで海水を送液した。



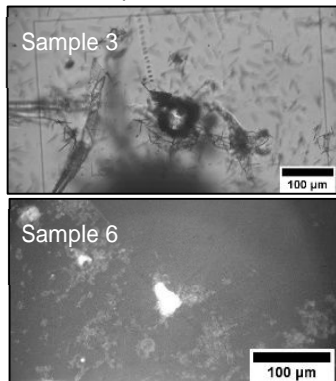
(a) 内部構成. 直径 25cm のアクリル球内に フィルタ・ポンプ・センサを有する (b) 豊洲運河における MP/eDNA 採取実験における運用 (2022/8/26 撮影)

図 4 水中 MP/eDNA 採取用 1 球探査機の試作

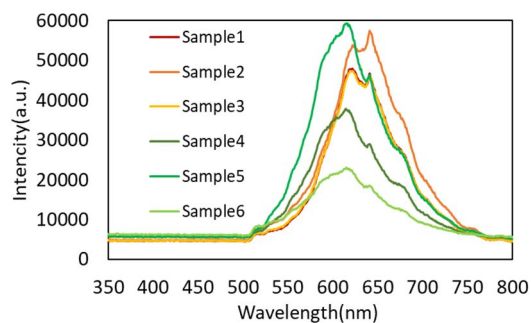
また、SMPs を想定した標準試料を用いて蛍光観察と電磁石で動作するデバイスを構築し、SMPs と他の微粒が分離可能なデバイスを構築して、動作を確認している。

図 5 (a) に、各フィルタで豊洲運河より捕集できた典型的な MP を示す。Sterivex® では 30  $\mu\text{m}$

未満の MP も確認できた。図 3 (b) に、代表 MP の Nile Red 蛍光分光結果を示す。全粒子のピーク波長が 600 ~ 650nm 付近にある。これを既報の Nile Red 蛍光スペクトル(*Mar Poll Bull*, 159, 111475) と照合し、PVC と推測した。



(a) 粒子の光学顕微鏡像



(b) 粒子の Nile Red 蛍光スペクトル

図 5 試作探査機により捕集された MP (Sample1 ~ 3 : FWF , Sample4 ~ 6 : Sterivex)

また、直径 25cm の水中 1 球探査機に逆洗機構を備えた目開き 5 $\mu$ m のファインウェッジフィルタシステムを組み込み、豊洲運河水域において 10L の運河水を自律的にその場濾過し粒子を回収することに成功した。回収した粒子は、Nile Red 蛍光スペクトルによりマイクロプラスチックを含むこと、MiFish ユニバーサルプライマーを用いた定量 PCR により魚類 DNA を含むことを確かめた。また、栈橋据え置き型の濾過システムの開発も完了し、こちらについては豊洲運河で 200L の濾過を可能としている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 4. Daiki Endo, Takahiro Kono, Yoshikazu Koike, Hirofumi Kadono, Jun Yamada, and Uma Maheswari Rajagopalan	4. 巻 1
2. 論文標題 Application of laser speckles and deep learning in discriminating between the size and concentrations of supermicroplastics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Continuum	6. 最初と最後の頁 2259-2273
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OPTCON.469010	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 Hironori Seki, Keiya Kawamura, Hidetaka Hayashi, Yasuyuki Ishii, Nitipon Puttaraksa	4. 巻 61
2. 論文標題 Utilizing a photosensitive dry film resist in proton beam writing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SD1006-1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac55e1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 E. Wangkanklang, Y. Koike	4. 巻 12
2. 論文標題 System for Monitoring Progress in a Mixing and Grinding Machine Using Sound Signal Processing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 1041
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi12091041	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 該当する
1. 著者名 Daiki Endo, Takahiro Kono, Yoshikazu Koike, Jun Yamada and Uma Maheswari Rajagopalan	4. 巻 16
2. 論文標題 Laser speckle imaging in discrimination of zooplanktons from supermicroplastics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management	6. 最初と最後の頁 100587
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.enmm.2021.100587	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 該当する

1. 著者名 Nitipon Puttaraksa, Kunpisit Kosumsupamala, Hironori Seki, Sumito Nagasawa, Hiroyuki Nishikawa	4. 巻 63
2. 論文標題 Fabrication of engineered microplastics in an epoxy-based polymer (SU-8) by means of penetrating protons	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 03SP49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad25ab	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 進裕貴, 戸田純実, 有村光弘, 小池義和, 荒川久幸, 下田平遼
2. 発表標題 MEMS 慣性センサを用いた船上でのアクティブ除振台の性能
3. 学会等名 2022年度日仏海洋学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芦川和希, 石山拓実, 山岸優晴, 小池義和, 長谷川夏旺, 二井信行, 関 宏範
2. 発表標題 海洋マイクロプラスチック観測にセンサネットワークを用いるための画像処理の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Yamamoto, K. Kimura, S. Suzuki and Y. Koike
2. 発表標題 Investigation on Frequency characteristic of Fiber Optic Probe Hydrophone
3. 学会等名 2022 27th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2022 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D.Endo, T.Kono, Y.Koike, H.Kadono, J.Yamada, U.M.Rajagopalan
2. 発表標題 SPIE Photonics West 2022
3. 学会等名 Application of laser speckles and deep learning in discrimination of supermicroplastics and zooplanktons (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Kurosaki, N. Hasegawa, Y. Koike, H. Arakawa, N. Futai
2. 発表標題 Microfluidic Device for Fluorescence Spectroscopy-based Sorting of Marine Microplastics
3. 学会等名 26th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences ( $\mu$ TAS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土井内太暉, 望月康弘, 児玉龍政, 小池義和, 荒川久幸, 二井信行
2. 発表標題 フリーフォール型海中探査機に対応したマイクロプラスチック+環境DNA採取装置
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川夏旺, 黒崎由佳, 荒川久幸, 小池義和, 二井信行
2. 発表標題 ファインウェッジRフィルタによる海洋MP粒子の高効率捕集の検討
3. 学会等名 日本海洋学会 2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 木下 隼, ラジャゴパラン ウママヘスワリ, 小池 義和, 河野 貴裕, 山田 純
2. 発表標題 レーザースペックルを用いたマイクロプラスチックの深海用測定装置の提案
3. 学会等名 第70回応用物理春学術講演会発表予定
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Yokoi, Y. Kozato, and Y. Koike
2. 発表標題 Fabrication of optical waveguides with flow channel for analysis of super-microplastics
3. 学会等名 World Congress on Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Michino, A. Yumoto, and H. Yokoi
2. 発表標題 Magneto-optic waveguides with Si guiding layer fabricated by supersonic free-jet PVD
3. 学会等名 Advances of Functional Materials Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福井つぐみ, 横井秀樹, 渡邊良祐, 村野倫也
2. 発表標題 機械的誘導型長周期光ファイバグレーティングにおける線形的な圧力推定手法の検討
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 関宏範, 松本悠佑, ブッタラクサ ニテイボン, 八木一平, 内田諭, 石井保行, 西川宏之
2. 発表標題 水環境中のポリスチレン微粒子の捕集に及ぼす誘電泳動用ピットサイズの影響
3. 学会等名 2022年度電気学会A部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 有村光弘, 戸田純実, 進祐貴, 小池義和
2. 発表標題 サーモバイルセンサを用いた姿勢推定精度の環境依存性の検討
3. 学会等名 2021 年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ /NOLTA ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林僚哉, 高橋響, Ekkawit Wangkanklang, 小池義和
2. 発表標題 音響信号を用いた攪拌播潰処理の進行状況推定
3. 学会等名 超音波研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Shimomoto, S. Nagasawa
2. 発表標題 Continuous Size Classification Device for Marine Microplastics by Pinched Flow Fractionation
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱道玲臣, 長澤純人
2. 発表標題 海洋マイクロプラスチック測定評価のためのMEMSプロセスを用いた標準試料の製作方法
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第61 回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川夏旺, 黒寄由佳, 土井内太暉, 児玉龍政, 二井信行
2. 発表標題 粒子選別分離のための点字駆動可能な離散化側壁をもつマイクロ流路
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第44回研究会
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	二井 信行 (Futai Nobuyuki)  (10508378)	芝浦工業大学・工学部・教授  (32619)	
研究分担者	松尾 繁樹 (Matsuo Shigeki)  (20294720)	芝浦工業大学・工学部・教授  (32619)	
研究分担者	長澤 純人 (Nagasawa Sumito)  (30400279)	芝浦工業大学・工学部・教授  (32619)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	荒川 久幸 (Arakawa Hisayuki) (40242325)	東京海洋大学・学術研究院・教授  (12614)	
研究分担者	西川 宏之 (Nishikawa Hiroyuki) (40247226)	芝浦工業大学・工学部・教授  (32619)	
研究分担者	ラジャゴパラン ウママヘスワリ (Uma Maheswari Rajagopalan) (40270706)	芝浦工業大学・工学部・教授  (32619)	
研究分担者	李 素潤 (Lee So Yoon) (80837336)	芝浦工業大学・工学部・助教  (32619)	
研究分担者	横井 秀樹 (Yokoi Hideki) (90251636)	芝浦工業大学・工学部・教授  (32619)	
研究分担者	張 曉賓 (Zhang Xiaobin) (40647111)	芝浦工業大学・工学部・准教授  (32619)	削除：2022年3月7日

## 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1件

国際研究集会 The 18th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium 2024	開催年 2024年～2024年
---	--------------------

## 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
---------	---------