

令和 5 年 5 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20989

研究課題名(和文)磁気アルキメデス法による海中マイクロプラスチック回収装置の概念設計

研究課題名(英文) Conceptual Design of Microplastic Collection Device from Seawater with Magneto-Archimedes Effect

研究代表者

野口 聡 (Noguchi, So)

北海道大学・情報科学研究院・准教授

研究者番号：30314735

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：磁気アルキメデス法に基づき、磁場勾配による磁力でマイクロプラスチックを回収する装置の概念検討を実施した。そのために、粒子法によるマイクロプラスチックの海水中の動きをシミュレーションするツールを開発した。その結果、マイクロプラスチックを効果的に回収するためには、1.5m程度の長さで高磁場勾配(12.5 T/m)かつ10T以上の高磁場が必要であることが明らかになった。その後、必要な磁場条件を生成するための高磁場マグネットを設計した結果、現在の高磁場マグネット製作技術では、マグネットにかかる応力に耐えきれないことが判明した。今後はこのようなマグネット開発技術が重要となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海中のマイクロプラスチックの個数は年々増加しており、生態系への影響が懸念されている。東アジア海域のマイクロプラスチック個数は、他の海域に比べて特に多く、マイクロプラスチックの回収装置の開発が強く望まれている。近年、20テスラを超えるマグネットが開発されてきており、同技術を用いて、マイクロプラスチックを回収する装置の実現可能性について検討した。その結果、電磁応力に耐えうるマグネットを開発できれば、90%近いマイクロプラスチックが回収可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)：Based on the magneto-Archimedes theory, a new microplastic collector which utilizes a strong magnetic force by a high magnetic field gradient was conceptually designed. Therefore, a simulation tool has been developed to obtain the phenomenon of microplastics in seawater. As a result, it was clarified to need a high magnetic field gradient (12.5 T/m) and a strong magnetic field beyond 10 T over 1.5-m length. Next, a high field magnet was designed satisfying such field conditions. The present magnet-manufacturing technique is inadequate to withstand a high magnetic stress working to the designed magnet. In the future, a new magnet technology to overcome a high stress must be developed.

研究分野：High magnetic field application

キーワード：Ultrahigh magnetic field Superconducting magnet Microplastic collection

1. 研究開始当初の背景

近年、海中のマイクロプラスチック量の増加が問題となっている。海中のマイクロプラスチックを魚類、甲殻類、貝類などが誤嚥した場合、マイクロプラスチックを消化できないために、胃潰瘍等を引き起こす可能性がある。海中マイクロプラスチックは、海洋生物の生態系を破壊する恐れがある。しかし、マイクロプラスチックの効果的な回収装置はなく、現在の手法では処理量が圧倒的に少なく、海中からのマイクロプラスチック回収には適合できない。

一方、磁気分離法の一つである磁気アルキメデス法を用いた廃プラスチックの分別方法が提案されている。電磁力と浮力を使うことで、プラスチックを分別する手法である。この磁気アルキメデス法を応用することで、海中からマイクロプラスチックを回収することが考えられるが、そのためには高磁場かつ高磁場勾配が必要である。近年、高温超伝導を使用して 45.5 テスラの世界最高直流磁場の発生に成功するなど、高磁場発生用のマグネットの研究開発が世界的に進んでおり、これらの高磁場発生用マグネットを利用して、海中からのマイクロプラスチック回収の実現について検討するに至った。

2. 研究の目的

前述したように、磁気アルキメデス法を利用した、海中からのマイクロプラスチック回収装置の開発が期待されている。本研究では、海中からマイクロプラスチックを高効率に回収するために必要な装置の概念設計を実施することで、マイクロプラスチックの回収装置開発に貢献する。とくに、高効率回収に必要な高磁場マグネットの諸元を突き止め、将来的な高磁場マグネットの開発指針を明らかにする。特に、海中でのマイクロプラスチックの流体挙動をシミュレーションすることで、回収率を評価する。具体的には、以下の2点が大きな研究目的となる。

- (1) 流体シミュレーションの開発
マイクロプラスチックの挙動を詳しくシミュレーションするためには、従来の有限要素法によるシミュレーションでは、高精度が望めないため、粒子法による流体シミュレーション・コードを開発する。
- (2) 高効率回収のための高磁場マグネット特性の同定
高磁場かつ高磁場勾配がマイクロプラスチック回収に効果的である。処理能力を高め、回収率を上げるためには、超高磁場であることが望まれる。しかし、超高磁場かつ高磁場勾配であると、高磁場マグネット自体に大きな応力がかかる。そこで、今回の研究では、これらの諸元を同定することで、将来的なマグネット開発目標を設定する。

3. 研究の方法

研究目標を達成するために、以下の研究方法で研究を実施した。

- (1) 流体シミュレーションの開発
有限要素法や有限体積法などの領域法がよく流体シミュレーションに使用されている。しかし、海中でのマイクロプラスチックはその含有量が少なく、これらの領域法での解析には向いていない。そこで、今回は粒子法を使用することで、微細なマイクロプラスチックを表現することにした。また、マイクロプラスチックの表現力を向上させるために、1粒子中に含むマイクロプラスチック量なども調整できる新しい粒子法を開発した。
- (2) 高効率回収のための高磁場マグネット特性の同定
開発した流体シミュレーション・ツールを使用して、マイクロプラスチックの回収状況を調査した。磁場空間の長さ、磁場強度、磁場勾配をパラメータとして、マイクロプラスチックの回収状況を調査した。

4. 研究成果

まず初めに、1メートルの流長に(#A)磁場を印加しない場合、(#B)5から10テスラ、(#C)10から15テスラの勾配を持つ磁場を印加した場合のマイクロプラスチックの流れについてシミュレーションを行った。図1にシミュレーション結果を示す。シミュレーションでは、左端からマイクロプラスチックを含む海水が流入し、右端の上部排出口からマイクロプラスチックを回収し、右端の下部排出口から海水を排出することを目指している。図1から分かるように、磁場を印加していない場合には、マイクロプラスチックは海中を満遍なく漂っている。一方で、5から10テスラを印加した場合には、わずかにプラスチックが上方に移動しているが、その量は十分とは言えない。10から15テスラを印加した場合には、多くのマイクロプラスチックが上部排出口から排出していることが見える。

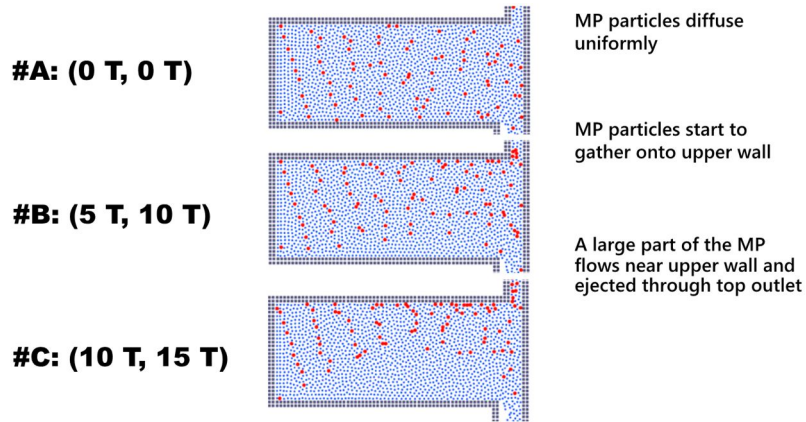


図1 マイクロプラスチックの粒子法によるシミュレーション例

図2に上部と下部の排出口からマイクロプラスチックの排出量を示す。上部からの排出量が一番高いのが、#Cのケースであることが明らかである。また、図3に上部と下部の排出口から排出される海水のマイクロプラスチック含有密度を示す。明らかに高磁場を印加することで、上部から排出される海水のマイクロプラスチック密度が向上していることがわかり、高磁場が必要なが分かる。しかし、それでも回収率は60%程度であり、より高い回収率が望まれる。

そこで続いて、長さを1メートルから1.5メートルにし、10から15テスラの磁場を印加した。図4にマイクロプラスチックの粒子法によるシミュレーション例を示す。図から明らかなように、赤色の粒子は右端で上部に集中している。次に、図5に長さ1メートルの時と1.5メートルの時の上部および下部排出口から排出される海水のマイクロプラスチック含有密度を示す。長さを1.5メートルにすることで含有密度が25%近く向上している。また、回収率については、62%から84%に向上し、高磁場化と長さが高効率回収に影響していることが明らかになった。

これらの結果から、1.5メートル級の高磁場マグネットが必要であることが分かるが、MRIなどの高磁場マグネットのおおよそ1.5倍の大きさが必要であり、現在の技術では開発が難しく、特に応力低減が開発の鍵となる。

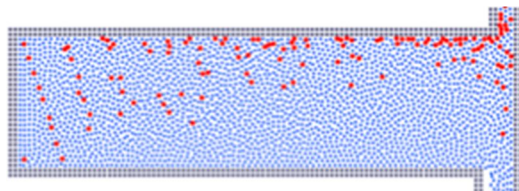


図4 長さ1.5メートルのシミュレーション例

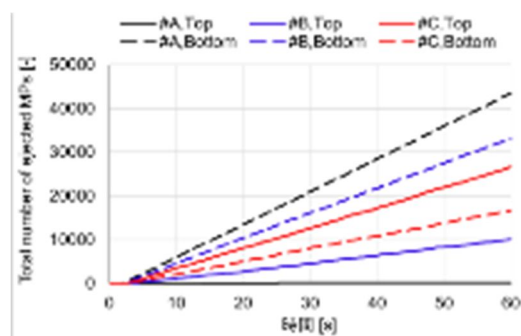


図2 上部および下部排出口のマイクロプラスチック量

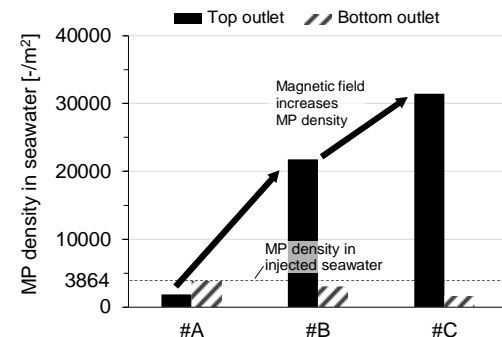


図3 上部および下部排出口から排出される海水のマイクロプラスチック含有密度

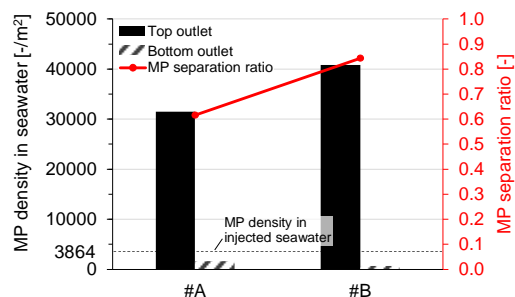


図5 上部および下部排出口から排出される海水のマイクロプラスチック含有密度

今後の研究課題については、3次元シミュレーションによるより高精度なシミュレーションを実施し、現実的なマグネット形状から生み出される磁場分布が、マイクロプラスチック回収に及ぼす影響などを調査する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takanobu Mato, So Noguchi	4. 巻 32
2. 論文標題 Microplastic Collection With Ultra-High Magnetic Field Magnet by Magnetic Separation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE transactions on applied superconductivity	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2021.3135796	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 Takanobu Mato, So Noguchi	4. 巻 31
2. 論文標題 Sudden Discharging and Overcurrent Simulations of REBCO Coils Coated With Conductive Epoxy Resin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE transactions on applied superconductivity	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASC.2021.3057839	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Takanobu Mato, So Noguchi, Atsushi Ishiyama
2. 発表標題 Ultra-high magnetic field magnet design for microplastic collection by magnetic separation
3. 学会等名 The 15th European Conference on Applied Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takanobu Mato, Syumpei Mori, So Noguchi
2. 発表標題 Progress of no-insulation HTS magnet development towards ultra-high magnetic field generation
3. 学会等名 First International Conference ETIMA (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takanobu Mato, So Noguchi
2. 発表標題 Conceptual Design for Microplastic Collection Device from Seawater with High Field HTS Magnet
3. 学会等名 2022 Joint MMM-INTERMAG Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takanobu Mato, Yusuke Nakai, So Noguchi
2. 発表標題 Mechanical stress simulation of REBCO tapes using particle methods
3. 学会等名 27th International Conference on Magnet Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takanobu Mato, So Noguchi
2. 発表標題 Microplastic Separation Simulation from Seawater by Strong Magnetic Force Based on Magnetic and Fluid Analysis
3. 学会等名 23rd Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takanobu Mato, So Noguchi
2. 発表標題 Stability Analysis for REBCO Pancake Coils with Current Bypass to Escape from Local Normal Zone
3. 学会等名 33rd International Symposium on Superconductivity (国際学会)
4. 発表年 2020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
--	---------------------------	-----------------------	----

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