

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01696

研究課題名(和文) 微生物に対する微小プラスチックと化学物質の複合毒性発現のメカニズム究明および制御

研究課題名(英文) Mechanistic study and control of combined toxicity of nano/microplastics and chemicals toward microorganisms

研究代表者

新戸 浩幸 (Shinto, Hiroyuki)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：80324656

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：微小プラスチックの環境リスク研究を単一菌体レベルで界面に注目して遂行するため、モデル粒子として単分散で蛍光ラベル化されたポリスチレン粒子を製し、その物性評価を行った。このモデル粒子が種々の環境(電解質の濃度、イオン性界面活性剤の濃度、温度)下で曝露された複数種類の菌体株を複合的に観測・評価することにより、微生物に対する微小プラスチックとイオン性界面活性剤の複合毒性発現メカニズムの全体像を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、微小プラスチックによる生態系への悪影響が問題視されている。さらに、微小プラスチックは化学物質を吸着させやすい性質をもつため、水環境における微小プラスチックと有害化学物質による複合汚染として懸念されている。本研究では、微小プラスチックのモデル粒子を合成した上で、フローサイトメーターや各種顕微鏡法などを駆使して、微生物に対するナノ粒子と界面活性剤の複合毒性およびそれに及ぼす曝露環境(イオン強度、温度)の影響を明らかにした。このような本研究は「いわゆる毒性学的な研究」とは一線を画し、界面コロイド科学および細胞生物学に立脚する「分野横断的な基礎研究」であり、高い学術的・社会的意義を有している。

研究成果の概要(英文)：In order to carry out the environmental risk research of nanoplastics at a single bacterial cell level with focusing on interfaces, we prepared monodisperse, fluorescently-labeled polystyrene nanoparticles as “model nanoplastics” to evaluate their physicochemical properties. We have successfully revealed individual and combined cytotoxicity effects of nanoplastics and ionic surfactants on microorganisms, where the model nanoplastics were exposed to several types of microorganisms under various environments (electrolyte concentrations, ionic surfactant concentrations, and different temperatures) and then comprehensively observed and evaluated.

研究分野：界面プロセス工学

キーワード：酵母 大腸菌 グラム陽性菌 ポリスチレン粒子 材料/細胞界面 粒子付着量 細胞膜健全性 コロニー形成能力

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、マイクロプラスチック(直径 100 nm~5 mm のプラスチックの総称)およびナノプラスチック(直径 100 nm 以下のプラスチックの総称)による生態系への悪影響が問題視されている。これらの微小プラスチックとして、環境中に排出されたプラスチック製品(ペットボトル、使い捨てのレジ袋・容器など)が劣化し微小化したもの、機能的製品に含まれるもの(化粧品や歯磨き粉などに含まれるマイクロビーズ)が使用中・使用後に環境中に排出されたもの、に大別される。微小プラスチックはプランクトンや海洋生物の体内から検出されているため、食物連鎖を通じて魚介類に蓄積(生物濃縮)され、魚介類を食べるヒトにも微小プラスチックが取り込まれているのではないかと懸念され始めている。さらに、プラスチックは化学物質を吸着させやすい性質をもつため、水環境中において有害化学物質(PCB、ダイオキシン、合成界面活性剤など)がプラスチック表面に蓄積され、大きな比表面積をもつ微小プラスチックでは単位粒子質量あたりの有害物質吸着量が高くなると予測されている。各々単独では無毒性か低毒性しか示さない微小プラスチックおよび化学物質であっても、両者の共存下ではその毒性が強められる場合があるかも知れない。これは複合毒性と呼ばれ、現在、実環境中での微小プラスチックと化学物質による複合汚染として懸念されているが、その環境調査および実験室試験はともに端緒についたばかりで、十分には理解されていない。このため、モデル生物(藻類、ミジンコ、メダカなど)を対象とするいくつかの毒性学的な研究プロジェクトが現在進行している。

2. 研究の目的

本研究では、「環境微生物に対する微小プラスチックと合成界面活性剤の複合毒性発現」を「界面現象」として捉えてメカニズム究明し、実環境に近い条件下における複合毒性を抑制するための指針を確立することを目指した。具体的には、微小プラスチックのモデル粒子を合成した上で、フローサイトメーター(FCM)や各種顕微鏡法(共焦点レーザー走査型顕微鏡(CLSM)、透過型・走査型電子顕微鏡(TEM, SEM)、原子間力顕微鏡(AFM)など)などを駆使して、微生物に対するナノ粒子と界面活性剤の複合毒性およびそれに及ぼす曝露環境(イオン強度、温度)の影響を評価した。

このように本研究は「いわゆる毒性学的な研究」とは一線を画し、界面コロイド科学および細胞生物学に立脚する「分野横断的な基礎研究」である。

3. 研究の方法

(1) 微生物

用いた菌体株およびその液体培地を表1にまとめた。

表1 本研究で用いた菌体株

| 分類 | 菌体株 | 培地 |
|-----------------|--|----------------|
| 原核生物 (グラム陰性) | 大腸菌(<i>Escherichia coli</i> ; NBRC 12713) | LB-Miller |
| 原核生物 (グラム陽性) | 乳酸菌(<i>Lactococcus lactis</i> ; NBRC 100933) ルテウス菌(<i>Micrococcus luteus</i> ; NBRC 3333) | MRS NBRC702 |
| 真核生物 (グラム陽性) | 出芽酵母(<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ; JCM 7255) | YPD, YE |

(2) 微小プラスチック(ナノ粒子)

モデル粒子として、単分散(一次粒子径 100~500 nm)で、蛍光ラベル化された、正帯電または負帯電のポリスチレン粒子をソープフリーエマルション重合法に基づいて合成した。正帯電粒子合成の場合、主鎖を構成するモノマーとして Styrene (St)、カチオン性モノマーとして [3-(Methacryloylamino) propyl] trimethylammonium chloride (MAPTAC)、蛍光色素として Fluorescein acrylamide (FAAm) または Fluorescein O-acrylate (FOA)、およびカチオン性重合開始剤として 2,2'-Azobis(2-methylpropionamide) dihydrochloride (V-50) を用いた。純水、FAAm または FOA (エタノール中に溶解されたもの)、MAPTAC、および St をこの順序で反応器内に注ぎ、窒素雰囲気下で 70 に加熱しながら攪拌した。1 時間後、V-50 水溶液を加え、重合を開始させた。負帯電粒子合成の場合、アニオン性モノマーとして p-Styrenesulfonic acid sodium salt (NaSS) を、重合開始剤として Potassium peroxydisulfate ($K_2S_2O_8$, KPS) をそれぞれ用いたが、その他の試薬や反応条件は正帯電粒子合成の場合と同じとした。反応停止後、未反応の反応物を除去するため透析した。

比較のため、市販されているアミン修飾ポリスチレン粒子懸濁液(一次粒子径 100 nm, ; L9904, Sigma-Aldrich)も用いた。

(3) 合成界面活性剤

陽イオン性界面活性剤として Dodecyltrimethylammonium chloride (C12TAC)を、陰イオン性界面活性剤として Sodium dodecyl sulfate (SDS)]をそれぞれ用いた。

(4) 曝露環境

異なる実環境(淡水、生活用水、生理食塩水、海水)を模擬するため、異なる NaCl 濃度(5, 25, 50, 100, 150, 300, 600 mM)の水溶液を用いる。微生物に対する微小プラスチックと合成界面活性剤の曝露試験における温度として、25 を基本とした。低温環境を模擬する場合、4 (真核生物において小胞による飲作用が阻害される温度)を設定した。

4. 研究成果

(1) 粒子懸濁液中の残留物が毒性試験結果に及ぼす悪影響

筆者らは、既報の実験室試験(主に出芽酵母に対する毒性評価)を追試験した結果、以下の結論に至った。市販されているポリマー粒子懸濁液には、界面活性剤(しばしば名称非公開)が粒子分散剤として微量に添加されていること、粒子合成時に生じたオリゴマーが十分に除去されず残留していること、などの危険性がある。このような市販の粒子懸濁液を用いて「生物に対する微小プラスチックの毒性」を正確に評価するためには、(曝露試験に先んじて)透析や遠心などの分離・精製操作を行うことによって、残留する添加物やオリゴマーをできる限り除去する必要がある。しかし、既報の文献の多くでは、そのような分離・精製操作を行わずに市販のポリマー粒子懸濁液をそのまま希釈して曝露試験に用いられているため、その試験結果を解釈する際には細心の注意を払う必要がある。

(2) 微生物に対するナノ粒子の毒性の全体像

微生物に対するナノ粒子の毒性は、菌体の種類およびナノ粒子の特性(サイズ、表面電位など)だけでなく、曝露環境(分散媒体の種類、イオン強度、添加物の種類・濃度、温度など)にも大きく影響される。著者らの実験結果および文献調査結果を総括することにより、出芽酵母に対する微小プラスチックの毒性発現メカニズムの全体像を図 1 のようにまとめることができる。ナノ粒子が毒性を示す場合、粒子が細胞表面を被覆すること、または、粒子が細胞内全体に侵入することが多い。一方、ナノ粒子が毒性を示さない場合、粒子が細胞に付着しない・侵入しないこと、または粒子が細胞質に侵入して局所的に集積することが多い。

曝露環境:

・NaCl塩濃度, 培地
・添加物(界面活性剤,
水溶性ポリマー, リン脂質など)
・温度(4, 25, 37)

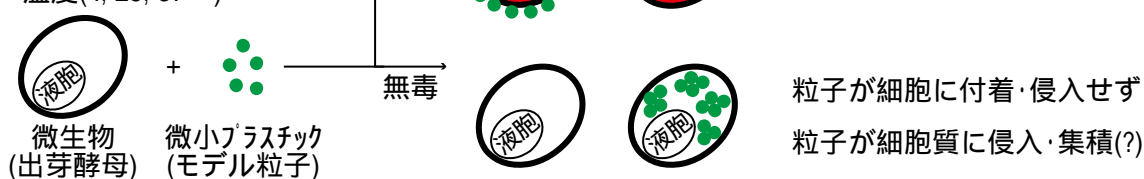


図 1 出芽酵母に対する微小プラスチックの毒性発現メカニズムの全体像

一般に微生物は水溶液中で負帯電しているため、正帯電ナノ粒子は細胞表面に強く付着して強い毒性を示した。媒体のイオン強度(電解質濃度)が大きくなるにつれて、正帯電ナノ粒子・負帯電細胞表面間の静電引力が遮蔽され低下するため、正帯電ナノ粒子の毒性は低下した。曝露時の粒子質量濃度が同じであれば、小さい粒子の方が大きい粒子よりも強い毒性を示した。一方、媒体のイオン強度によらず、負帯電ナノ粒子は負帯電細胞表面にほとんど付着せず、ほとんど毒性を示さなかった。

粒子曝露時の媒体中に培地成分または添加物が共存する場合、それらの一部がナノ粒子表面に吸着して粒子・細胞表面間の相互作用力を変化させ、ナノ粒子の毒性発現をも変化させた。下記(3)において、添加物としてイオン性界面活性剤を用いた研究成果を示す。

粒子曝露時の温度が低下すると、粒子付着量はわずかに低下し、酵母の死滅率が劇的に低下する NaCl 濃度領域(100 mM for 出芽酵母, 5~25 mM for 分裂酵母)があった。この原因として、温度低下により真核生物(酵母が含まれる)の飲作用が阻害されてナノ粒子が細胞内に侵入しにくくなったこと、温度低下により細胞膜の強度が上がって付着粒子が細胞膜を破壊しにくくな

ったこと、などが考えられる。

(3) 出芽酵母に対する正帯電ナノ粒子とイオン性界面活性剤の複合毒性

出芽酵母に対して正帯電ナノ粒子とイオン性界面活性剤(SDS または C12TAC)を 5 mM NaCl 水溶液中で曝露し、個別および複合的な細胞毒性効果を検討した。正帯電ナノ粒子が存在しない場合、陽イオン性界面活性剤 C12TAC の方が陰イオン性界面活性剤 SDS よりも細胞毒性が強かったが、これら 2 つのイオン性界面活性剤は、疎水性アルキル鎖の長さが同じで、反対に帯電した親水性頭部がほぼ同じ大きさである。

正帯電ナノ粒子および陰イオン界面活性剤 SDS を 5 mM NaCl 水溶液中で曝露した場合、SDS 濃度が上昇するにつれて、出芽酵母に対する粒子の付着量および細胞毒性は減少し、ついには両者がゼロとなった(相殺作用)。さらに、SDS 単独でも細胞毒性を示す SDS 濃度にまで上昇すると、粒子付着量がゼロのまま、細胞毒性が 100% にまで急上昇した。

正帯電ナノ粒子および陽イオン界面活性剤 C12TAC を 5 mM NaCl 水溶液中で曝露した場合、粒子と C12TAC が各々単独ではほとんど細胞毒性を示さない低濃度領域であっても、両者が共存すると出芽酵母に対する細胞毒性が著しく上昇した(相乗効果)。

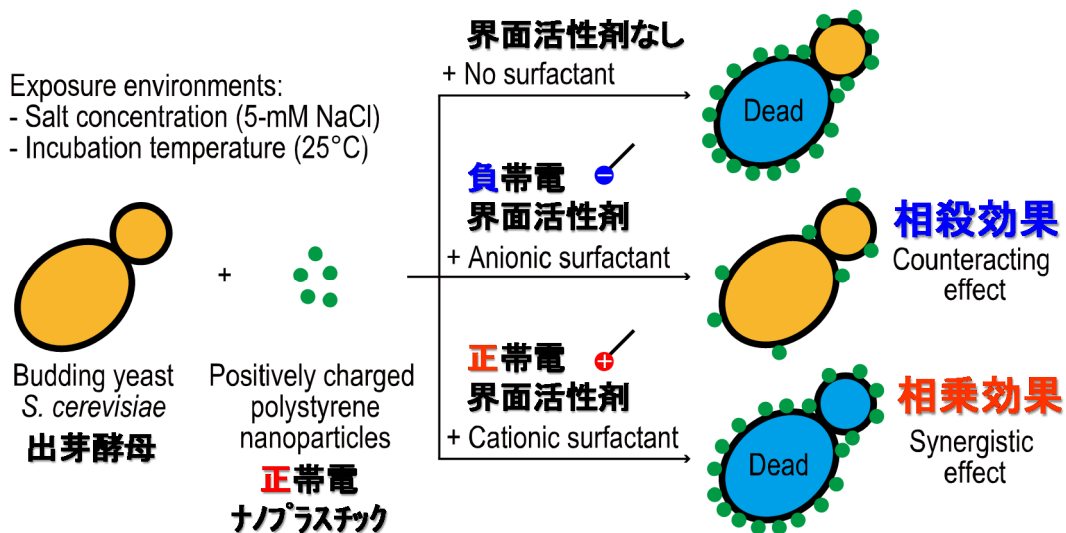


図 2 出芽酵母に対する正帯電ナノプラスチックとイオン性界面活性剤の複合毒性の全体像

このように粒子濃度・界面活性剤濃度を系統的に設定した上で曝露試験を行った後、粒子付着量および細胞死滅率を単一細胞レベルでフローサイトメーター(FCM)測定することによって、「出芽酵母に対するポリスチレン粒子とイオン性界面活性剤の複合毒性効果」を定量的に評価・実証することに成功した。本曝露試験では、「低濃度 NaCl 水溶液中に酵母が懸濁されたもの」と「イオン性界面活性剤が含まれた低濃度 NaCl 水溶液中に粒子が懸濁されたもの」を混合した。この曝露方法は、「酵母に対して粒子と界面活性剤を同時に曝露したこと」に相当する。他の曝露方法の一例として、粒子と界面活性剤のどちらか一方だけを一定時間曝露した後、もう一方を曝露するという方法も考えられる。

種々の濃度の界面活性剤水溶液にポリスチレン粒子を一定量投入し、吸着平衡に達した後に粒子を分離し、水溶液中の界面活性剤濃度(平衡濃度)を全有機体炭素計で測定することによって、粒子表面に対する界面活性剤の吸着等温線を得ようとした。吸着量はポリスチレン粒子の有無による界面活性剤濃度の差として定量化されるため、「有意な差」を得ようとすると多量のポリスチレン粒子が必要であることが判明した。本研究で合成したポリスチレン粒子については、優先的に曝露試験に使用したため、残念ながら吸着量測定のためには粒子量が不十分であった。

(4) 菌体の生存・増殖に関する新たな評価基準： コロニー形成能力

表 1 に示した大腸菌、乳酸菌、およびルテウス菌は小さいため、フローサイトメーター(FCM)測定において、粒子付着した菌体をノイズ(溶液中に残留する菌体デブリ、未付着粒子凝集体など)から識別できるよう、粒子曝露後の菌体サンプルに対して死菌染色剤(ヨウ化プロピジウム, PI)および全菌染色剤(DAPI)を用いて二重染色し、各染色剤の添加順序および最終濃度を最適化した。PI 染色に基づく菌体の「細胞膜健全性」の評価に加えて、菌体の「コロニー形成能力」も評価した。具体的には、粒子曝露後の菌体懸濁液について、希釈したサンプルが塗布された寒天培地を 24 時間培養した後にコロニー計測して colony-forming unit (CFU)濃度を決定し、DAPI で全菌染色したサンプルを FCM 測定して全菌体濃度を決定した後、(CFU 濃度)/(全菌体濃度)として「コロニー形成能力」を評価した。この「コロニー形成能力」は、菌体の生存・増殖に関する新たな評価基準であり、(曝露した時の CFU 濃度)/(曝露しない時の CFU 濃度)という相対値で評価する通常のコロニー計測とは異なることを強調しておく。

(5) 出芽酵母における培養環境(培養温度、富・貧栄養培地)の影響

出芽酵母を 30 で貧栄養培地中に液体培養すると、厚みが薄くて密度も低い細胞壁をもつ出芽酵母が得られた。このような出芽酵母の細胞膜健全性およびコロニー形成能力は、微小プラスチックおよび界面活性剤がない場合でも、分散媒体中の NaCl 濃度(5~600 mM)に大きく影響された。これは、出芽酵母が NaCl ストレスを受けていたことを意味する。

同様な NaCl ストレスが、大腸菌(グラム陰性細菌の 1 つ)およびルテウス菌(好気性のグラム陽性細菌の 1 つ)でも観察された。菌体生存にとって至適な媒体 NaCl 濃度が生理食塩水濃度付近(100~150 mM)であることが共通していたが、低・高濃度領域における挙動は菌体種や培養環境に大きく影響された。これらの菌体に対して粒子曝露したところ、負帯電ポリスチレン粒子はどの媒体 NaCl 濃度(5~600 mM)においても菌体にほとんど付着せず、ほぼゼロの粒子毒性しか示さなかった。一方、正帯電ポリスチレン粒子は媒体 NaCl 濃度が低くなるほど高い付着量を示したが、この「粒子付着による毒性発現」は前述の「NaCl ストレスによる毒性発現」と対比させて議論する必要がある。

(6) 今後の研究の推進方策

微小プラスチックのモデル粒子として、ポリスチレン粒子の他、正帯電および負帯電のアクリル樹脂(PMMA)粒子などを合成する。可能ならば、粒子表面に対する界面活性剤の吸着等温線を全有機体炭素計などによって作成することを鑑みて、当該粒子を大量合成する。合成界面活性剤として、紫外可視光吸収性の芳香環を有するイオン性界面活性剤(ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム、塩化ベンジルジメチルデシルアンモニウムなど)を用いる。紫外可視光吸収度測定による界面活性剤濃度の決定は、全有機体炭素計による濃度決定と比較して、必要サンプル量が少なく済むだけでなく、高感度であることも期待できる。富栄養 YPD 培地を用いて、25 で液体培養した出芽酵母の大きさは 7.8 μm であったが、30 で液体培養した出芽酵母の大きさは 8.9 μm であった。貧栄養 YE 培地を用いて、30 で出芽酵母を液体培養すると、厚みが薄くて密度も低い細胞壁をもつ出芽酵母が得られた。このような出芽酵母は、微小プラスチックを細胞内部に取り込み易いため、微小プラスチックの細胞内動態、その後の細胞増殖時の母・娘細胞間動態などを観察するためのモデル微生物として用いることが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3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 Shinto Hiroyuki、Kojima Maki、Shigaki Chika、Hirohashi Yumiko、Seto Hirokazu | 4. 巻 33 |
| 2. 論文標題 Effect of salt concentration and exposure temperature on adhesion and cytotoxicity of positively charged nanoparticles toward yeast cells | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Powder Technology | 6. 最初と最後の頁 103835 ~ 103835 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.appt.2022.103835 | 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 Kojima Maki、Fujita Ryo、Hirohashi Yumiko、Seto Hirokazu、Shinto Hiroyuki | 4. 巻 34 |
| 2. 論文標題 Individual and combined cytotoxicity effects of positively charged polystyrene nanoplastics and ionic surfactants on budding yeast <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Powder Technology | 6. 最初と最後の頁 103995 ~ 103995 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.appt.2023.103995 | 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 Shinto Hiroyuki、Ryu Toshiki、Fukuda Junko、Fujimoto Kensuke、Hirohashi Yumiko、Seto Hirokazu | 4. 巻 34 |
| 2. 論文標題 Effect of salt concentration on adhesion and toxicity of positively charged polystyrene nanoplastics toward bacterium <i>Escherichia coli</i> compared with yeast <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Powder Technology | 6. 最初と最後の頁 104153 ~ 104153 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.appt.2023.104153 | 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 新戸 浩幸 | 4. 巻 61 |
| 2. 論文標題 酵母菌体への正常電ナノ粒子の付着・毒性におよぼす塩濃度および曝露温度の影響 | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 粉体工学会誌 | 6. 最初と最後の頁 232-232 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| 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 SHINTO Hiroyuki | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 ナノ粒子の溶血作用メカニズムの究明とその合理的制御 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Hosokawa Powder Technology Foundation ANNUAL REPORT | 6. 最初と最後の頁 52～57 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14356/hptf.20105 | 査読の有無 無 |
| 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15件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 新戸 浩幸, 小嶋 真季, 藤田 亮, 廣橋 由美子, 瀬戸 弘一 |
| 2. 発表標題 酵母細胞に対する微小プラスチックとイオン性界面活性剤の複合毒性 |
| 3. 学会等名 粉体工学会 第58年 技術討論会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 新戸 浩幸, 小嶋 真季, 藤田 亮, 廣橋 由美子, 瀬戸 弘一 |
| 2. 発表標題 出芽酵母に対する微小プラスチックと界面活性剤の複合毒性効果 |
| 3. 学会等名 第73回コロナおよび界面化学討論会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Maki Kojima, Chika Shigaki, Yumiko Hirohashi, Hirokazu Seto, Hiroyuki Shinto |
| 2. 発表標題 Effect of exposure environment on adhesion and cytotoxicity of nanoparticles toward budding yeast and fission yeast |
| 3. 学会等名 8th Asian Particle Technology Symposium APT2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 新戸 浩幸, 小嶋 真季, 藤田 亮, 廣橋 由美子, 瀬戸 弘一 |
| 2. 発表標題 出芽酵母に対する微小プラスチックと界面活性剤の複合毒性 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第87年会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 藤本 健介, 龍 俊樹, 福田 純子, 廣橋 由美子, 瀬戸 弘一, 新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 ナノプラスチックが曝露された微生物の細胞膜健全性およびコロニー形成能力 |
| 3. 学会等名 第60回化学関連支部合同九州大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松代 留奈, 廣橋 由美子, 瀬戸 弘一, 新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 ガラス毛细管マイクロ流体デバイスを用いた生細胞封入用ゲルカプセルの作製 |
| 3. 学会等名 第60回化学関連支部合同九州大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 新戸 浩幸, 龍 俊樹, 福田 純子, 藤本 健介, 廣橋 由美子, 瀬戸 弘一 |
| 2. 発表標題 大腸菌および出芽酵母への正常電ナノプラスチックの付着・毒性に及ぼす媒体塩分濃度の影響 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第54回秋季大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 藤本 健介、龍 俊樹、福田 純子、廣橋 由美子、瀬戸 弘一、新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 正常電ナノプラスチックが曝露された大腸菌と出芽酵母の細胞膜健全性およびコロニー形成能力 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第54回秋季大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 松代 留奈、廣橋 由美子、瀬戸 弘一、新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 ガラス毛细管マイクロ流体デバイスを用いたアルギン酸ハイドロゲルカプセルの作製 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第54回秋季大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 微生物および動物細胞に対する微粒子の付着・毒性 |
| 3. 学会等名 化学工学会 材料・界面部会 第16回機能性微粒子分科会セミナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 藤本 健介、朝長 京生、伊藤 俊昭、山下 大輝、廣橋 由美子、瀬戸 弘一、新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 ナノプラスチックが曝露された大腸菌の細胞膜健全性およびコロニー形成能力に及ぼす媒体塩分濃度の影響 |
| 3. 学会等名 第61回化学関連支部合同九州大会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松代 留奈、廣橋 由美子、瀬戸 弘一、新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 ガラス毛细管マイクロ流体デバイスを用いたアルギン酸ゲル・マイクロカプセルの作製 |
| 3. 学会等名 第61回化学関連支部合同九州大会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 立川 明香里、坂口 大芽、廣橋 由美子、瀬戸 弘一、新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 マイクロビレット吸引法によるアルギン酸カプセルの力学的特性評価 |
| 3. 学会等名 第61回化学関連支部合同九州大会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 新戸 浩幸 |
| 2. 発表標題 微生物および動物細胞に対するナノ粒子の付着・毒性 |
| 3. 学会等名 日本化学会・コロイドおよび界面化学部会 九州支部 2024九州コロイドコロキウム（招待講演） |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 新戸 浩幸、増田 優太、野中 康平、川島 慶亮、廣橋 由美子、瀬戸 弘一 |
| 2. 発表標題 シリカ粒子の細胞膜へ付着性および溶血作用に及ぼす粒子物性・曝露環境の影響 |
| 3. 学会等名 粉体工学会 2021年度春期研究発表会 |
| 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 |
|-------|--|-----------------------------|----|
| 研究協力者 | 瀬戸 弘一 (Seto Hirokazu) (70621126) | 福岡大学・工学部・准教授 (37111) | |
| 研究協力者 | 廣橋 由美子 (Hirohashi Yumiko) | 福岡大学・工学部・助手 (37111) | |
| 研究協力者 | 小嶋 真季 (Kojima Maki) | | |
| 研究協力者 | 藤田 亮 (Fujita Ryo) | | |
| 研究協力者 | 浦 琢真 (Ura Takuma) | | |
| 研究協力者 | 藤本 健介 (Fujimoto Kensuke) | | |
| 研究協力者 | 龍 俊樹 (Ryu Toshiki) | | |

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 |
|-------|---------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 福田 純子 (Fukuda Junko) | | |
| 研究協力者 | 畑瀬 明香里 (Hatase Akari) | | |
| 研究協力者 | 山下 大輝 (Yamashita Taiki) | | |
| 研究協力者 | 伊藤 俊昭 (Ito Toshiaki) | | |
| 研究協力者 | 朝長 京生 (Tomonaga Atsuki) | | |
| 研究協力者 | 松代 留奈 (Matsushiro Runa) | | |
| 研究協力者 | 立川 明香里 (Tachikawa Akari) | | |

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