

厚生労働科学研究費補助金

食の安全確保推進研究事業

食品への混入が懸念されている環境中のマイクロプラスチックの
表面性状に着目した安全性研究

令和5年度 総合研究報告書

研究代表者 辻野 博文

令和6（2024）年 5月

目 次

I. 総合研究報告	
食品への混入が懸念されている環境中のマイクロプラスチックの 表面性状に着目した安全性研究-----	1
辻野博文	

「食品への混入が懸念されている環境中のマイクロプラスチックの表面性状に着目した安全性研究」

研究代表者 辻野博文 大阪大学ミュージアム・リンクス 准教授

研究要旨

海洋など様々な環境中で確認されている5 mmよりも小さなマイクロプラスチック微粒子（MP）の、ヒト健康被害が懸念され、そのリスク評価が喫緊のグローバル課題となっている。MP のリスク評価に必要なハザードや動態情報は、表面性状などの物理的性状の違いにより多様性に富んでおり、MPのリスクを理解するためには、存在様式を踏まえた解析が必要である。しかし、MPの定量的な動態解析手法は未だ標準化できていないうえ、存在様式を把握するための標準品すら無い。本研究は、環境中に放出された MP を対象に、(1) 種々条件における MP 標準品を獲得し、存在様式データベースの構築を試みる。さらに (2) ハザード解析に加え、動態解析手法の確立することで、MP の安全性に関する科学的な情報集積を行うものである。

A. 研究目的

5 mm よりも小さいサイズのプラスチック微粒子であるマイクロプラスチック (microplastics : MP) に関する研究が急速に進展しており、魚や貝などのヒトが口にする様々な海洋生物に加え、飲料水 (Koelmans et. al., 2019) や食塩 (Yang et. al., 2015) から MP が検出されている。また、ヒトの糞便からも MP が検出されており (Liebmann et. al., 2018)、ヒトが MP を食物と一緒に摂取していることは、紛れもない事実である。

そのような背景を受けて、MP の安全性が懸念されており、2019 年には WHO から「飲用水中の MP」に関する情報が公表されている。MP の潜在的なハザードは MP の物理的性状・吸着化学物質・バイオフィルムの一部としての微生物病原体の3つの形態に分けられているが、後半二つに関する懸念は低いとされている一方で、物理的ハザードに関連する毒性については情報が不十分であることが述べられている。すなわち、世界中で関心を集めている MP の有害性の有無について、特に物理的性状に着目して、MP のハザード（固有の生物活性・毒性）に加えて動態（生成過程とその後の体内・細胞内挙動や曝露量、曝露時間）を明らかにし、未解明であるヒト健康リスク（ハザードと動態の積算）を慎重に見極める必

要がある。

しかしながら、MP の物理的性状は非常に複雑である。これは、環境中で確認される MP には、研磨剤や洗顔剤等に含まれる人工の1次マイクロプラスチック (primary microplastics : P-MP) に加え、環境中に排出された P-MP を含むプラスチックが様々な外的要因（物理的な摩擦力や紫外線等）によって劣化・細断されることで、MP の表面が複雑に酸化された未知の2次マイクロプラスチック (secondary microplastics : S-MP) も存在することが主たる要因となっている。

そこで本研究では、S-MP (劣化 MP) は曝される環境や時間に依存して、微少化や鋭利化などの形状変化に加え、酸素原子の添加や構造の開裂などの表面性状変化を示すため、種々条件における劣化 MP の獲得し、存在様式データベースの構築を試みる。さらにハザード解析に加え、動態解析手法を確立することで、MP の安全性に関する科学的な情報集積を行うものである。

B. 研究方法

マイクロプラスチック標準品作製

MP サンプルとして、中心粒径が約 200 μ m のポリエチレン粉末サンプル（フローセン 住友精化）を選択し、flat excimer ex-mini（浜松ホトニクス）

により波長 172nm の紫外光を照射することで、ポリエチレン MP サンプルの表面劣化を試みた。また、照射時間を様々に変化させ (0.5~2hr)、異なる劣化状態のポリエチレン MP サンプルを得た。

劣化前後のポリエチレン MP サンプルの表面性状は減衰全反射赤外 (ATR-IR) スペクトル測定によって行った。すべてのスペクトルは、 $4000\sim 500\text{cm}^{-1}$ の波数範囲について、解像度 4cm^{-1} で 32 回のスキャンにより測定した。得られたスペクトルパターンを比較することで表面性状に関する情報を得た。加えて、中心粒径が約 $24\mu\text{m}$ のポリエチレン粉末サンプル (住友精化) についても同様の処理を行い、劣化状態のポリエチレン MP サンプルとその表面性状に関する情報を得た。

次に実環境中の MP サンプルの回収を行った。兵庫県西宮市にある御前浜と甲子園浜で、砂浜の砂を採取した。ごみなどが打ちあげられ溜まっているため、MP サンプルを多く含むと考えられる、満潮線付近の砂を回収した。回収の際には、大きなごみや木の枝などを取り除くため、ふるいにかけた。回収した砂から MP を分離するため、分離作業を実施した。水を入れたバケツに回収した砂を入れ、よく攪拌して一晩以上静置した。ポリエチレンは密度が 0.919 g/cm^3 であり、密度が 1.00 g/cm^3 の水に浮かぶため、水面に浮いているサンプルにポリエチレンが含まれると考えられる。そのため、上清を回収し、水面に浮いたサンプルを回収した。サンプルを十分に乾燥させ、その中から MP を回収し、環境中 MP サンプルとした。

得られた環境中 MP サンプルをそれぞれ上記で示したポリエチレン MP サンプルと同様に、ATR-IR スペクトルを測定し、プラスチック素材を同定するとともに劣化状態に関する情報を収集した。加えて、上記にて作成したポリエチレン MP サンプルとの比較も実施した。

ポリスチレンサンプルについて、標準品の作成を試みた。ポリスチレンをボールミルにて粉碎し微細化した後、flat excimer ex-mini (浜松ホトニクス) により波長 172nm の紫外光を照射することで、

ポリスチレン MP サンプルの表面劣化を試みた。また、照射時間を様々に変化させ、異なる劣化状態のポリスチレン MP サンプルを獲得した。獲得した劣化前後のポリスチレン MP サンプルの表面性状の確認は減衰全反射赤外 (ATR-IR) スペクトル測定によって行った。すべてのスペクトルは、 $4000\sim 500\text{cm}^{-1}$ の波数範囲について、解像度 4cm^{-1} で 32 回のスキャンにより測定した。得られたスペクトルパターンを比較することで表面性状に関する情報を得た。

ハザード情報収集

ポリエチレン MP サンプルについて、ハザード情報として細胞毒性情報の収集を行なった。使用細胞はマウスマクロファージ細胞 (RAW264.7)、ヒト単球細胞株 (THP-1)、ヒト肺胞基底上皮腺癌細胞株 (A549)、ヒト結腸癌由来細胞株 (Caco-2)、ヒト表皮角化細胞株 (HaCaT) を用いた。RAW264.7 は 1.5×10^4 cells/well、THP-1、A549、HaCaT、Caco-2 は 1.0×10^4 cells/well で 96 ウェルプレート (RAW264.7、A549、HaCaT、Caco-2 は平底、THP-1 は丸底) に播種して 24 時間培養した。分散剤として 0.001% の carboxymethyl cellulose sodium salt (CMC; Wako) を含む各細胞培養液に各濃度になるよう質量を測定したポリエチレン MP サンプルを分散させ、各ウェルに添加し、24 時間作用させた。3-(4,5-dimethyl-thiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT; Tokyo Chemical Industry, Tokyo, Japan) を添加し、2.5 時間後に培養液を取り除き、DMSO を加えて 570 nm の吸光度を測定した。DMSO のみを添加したウェルの吸光度をバックグラウンドとして差し引き、PE を添加していないウェルの吸光度を生存率 100% として各濃度の細胞生存率を算出した。IC₅₀ の算出は、最小二乗法を用いてシグモイド曲線にフィッティングすることによって求めた。

ナノプラスチックの作製

ナノサイズのプラスチック粒子の作製について、ポリエチレンサンプルを 0.02 g 秤量して蓋つき試験管に入れ、10 mL のキシレンを加えて溶解させた。耐熱容器に 100 mL の DMSO と攪拌子を入れ、蓋つき試験管と共にホットスターラーにセットした。DMSO の温度が 110-115°C になっていることを確認し、パストゥールピペットを用いてポリマー溶液を DMSO に一定速度で PE は 4.2 mL。常温水で冷やした後、ポアサイズ 0.2 μm のステンレスメッシュフィルターに通し、粗大粒子を除去した。次に、2 μm のフィルターを用いて吸引濾過した。アセトンを加えてハンディソニックでほぐしながら吸引濾過を目詰まりがなくなるまで繰り返した。0.2 μm のフィルターに交換し、濾液を吸引濾過した。フィルターを回収し、30 分間真空乾燥させた。次に、乾燥させたフィルターをビーカーに移し、t-ブタノールを加え、超音波振動によりフィルターから粒子を分離させた。分離した粒子を含む t-ブタノールを試験管に回収した。試験管を冷凍庫で 5 分程度冷やして凍結させ、凍結乾燥により粒子を回収した。ポリスチレン、ポリプロピレンに関しても適切な温度、滴下量にて同様に実施した。

次に、ポリエチレンサンプルのフィルター処理には吸引濾過装置を用いた。ポリエチレンサンプルをアセトンで分散させ、フィルター上に滴下した。アセトンを加えた状態でハンディソニックを用いて PE を分散させ、真空を引いて吸引した。この操作を複数回繰り返した。フィルター上に残った粒子はフィルターごとビーカーに移し、真空乾燥させてサンプル瓶に回収した。フィルターを透過したポリエチレンを含むアセトン溶液は、ドラフトの中 50°C に設定した湯浴に入れて溶媒を蒸発させた。

ハザード情報の詳細検討と動態解析基盤構築

アネキシン V アッセイは RAW264.7 細胞 (マウスマクロファージ細胞株)、THP-1 細胞 (ヒト単球細胞株)、A549 (ヒト肺癌細胞株) を用いた。それぞれの濃度で劣化、未劣化 PE (いずれも 240 μm のもの) を Carboxymethyl cellulose (CMC, 0.001%) と共にメディウムに溶解し、24 時間処置し、annexin V 及び propidium iodide にて染色した後、フローサイトメトリーにて評価した。

動態解析用のプラスチック粒子は以下の手法で作製した。50%エタノールにナイルレッドを溶解し、プラスチック粒子を添加し、50°C で 24 時間 incubate した。その後 20,000g 1min の遠心処理によりプラスチック粒子を分離し、wash ののち乾燥して、蛍光プラスチック粒子を獲得した。加えて、蛍光微粒子 Qdot をプラスチック粒子に封入することを試みた。Qdot を核としてナノ粒子作製と同様の方法で作製で、蛍光ポリエチレンナノ粒子および蛍光ポリスチレン粒子の獲得に成功した。

プロテインコロナに関する検討に関しては、劣化/非劣化ポリエチレンマイクロプラスチックサンプルを血清に加え 37°C で 1 時間 incubate したのち遠心分離によりプラスチック粒子を獲得した。

ベクター効果に関する検討に関しては、ベンゾピレンを吸着物質として使用した。化/非劣化ポリエチレンマイクロプラスチックサンプルをベンゾピレン溶液に 24 時間浸漬した。その後、溶液の HPLC 分析により残存ベンゾピレン濃度を決定し、初期ベンゾピレン濃度からプラスチック粒子への吸着量を算出した。

C. 研究結果 (次項 D にまとめて記載する)

D. 考察

1. マイクロプラスチック標準品の獲得

劣化処理によって得られたさまざまなポリエチレン MP サンプルの ATR-IR スペクトルを比較すると、劣化処理に伴い、ポリエチレンの骨格である C-H に由来する吸収 (2915 cm^{-1} : 非対称振動、2848 cm^{-1} : 対称振動など) と比較して、劣化によ

る O 原子の付加によって生成したと考えられる C=O 由来の伸縮振動 (1715 cm^{-1}) と O-H 由来の変角振動 (1177 cm^{-1}) が増加しており、劣化の進行が確認された。また、C-H 由来ピーク (1465 cm^{-1}) のピーク高さに対する C=O 由来ピーク (1715 cm^{-1}) のピーク高さの比が劣化処理時間に比例して経時的に増加しており、表面劣化状態の異なる様々なポリエチレン MP サンプル (標準品) の獲得に成功したことが示された。

次に実環境から獲得した環境中 MP サンプルの表面性状確認を行った。いくつかのサンプルの ATR-IR スペクトルを測定し、ポリエチレンに特徴的なピークを示すものを選択したところ、すべてのサンプルにおいて $1713\text{--}1715\text{ cm}^{-1}$ 付近の吸収帯が確認され、C=O の導入、すなわち劣化していることが確認された。また、C=O 由来ピーク/C-H 由来ピークの比はそれぞれのサンプルで全く異なっており、劣化の程度は環境中 MP サンプルによって異なっていることが確認できた。また、環境中ポリエチレン MP サンプルと実験的に作成したポリエチレン MP サンプルを比較すると、C-H に由来する 2916 cm^{-1} と 2848 cm^{-1} の吸収帯のピーク位置に差は見られないため、骨格構造に差はないと考えられる。また、一部のサンプルには添加剤として汎用されるカオリンに由来するピーク (1030 cm^{-1} 付近) が確認されるものの、C=O のピーク位置が $1713\text{--}1715\text{ cm}^{-1}$ 付近ではほぼ一致しており、劣化による O 原子付加環境は実験的サンプルと実環境サンプルで同一であると考えられる。特に添加剤が含まれていない環境中ポリエチレン MP サンプルは 0.5hr 処理したポリエチレン MP サンプルと非常にスペクトルが類似しており、環境中に存在しうるサンプル群を実験的に獲得することに成功した。

また、ポリスチレンに関しても同様に実施し、劣化処理によって得られたさまざまなポリスチレン MP サンプルの ATR-IR スペクトルを測定したところ、ポリエチレンサンプルと同様に劣化による O 原子の付加によって生成したと考えられ

る C=O、及び O-H 由来のピーク増加が観察されており、劣化の進行が確認され、表面劣化状態の異なる様々なポリスチレン MP サンプルの獲得に成功したことが示された。環境中 MP サンプルから獲得したポリスチレンサンプルにおいても、同様に劣化による O 原子付加が確認されており、こちらも環境中に存在しうるものであることが確認された。

2. MP サンプルのハザード情報収集

次に、表面劣化性状の生体への影響を確認するため、ポリエチレン MP サンプル群を用いて細胞毒性試験を実施した。マイクロプラスチックに曝露し得る、肺や腸、皮膚の上皮細胞である A549 (ヒト肺胞基底上皮腺癌細胞)、HaCaT (ヒト表皮角化細胞)、Caco-2 (ヒト結腸癌由来細胞)、また免疫細胞である RAW264.7 (マウスマクロファージ細胞) と THP-1 (ヒト単球細胞)、の 5 つの細胞腫に対してポリエチレン MP サンプル群を用いて MTT アッセイによる細胞障害性試験を実施した (図 2)。その結果、全ての細胞腫において、劣化前のポリエチレン MP サンプルでは細胞生存率にほとんど変化は認められないのに対して、劣化後のポリエチレン MP サンプルでは濃度依存的な細胞生存率の低下が認められた。劣化後のポリエチレン MP サンプルについて、50% 阻害濃度 (IC_{50}) をシグモイド曲線でフィッティングすることによって算出したところ、THP-1 の IC_{50} が最も小さく ($74.1 \pm 10.8\text{ }\mu\text{M}$)、A549 が最も大きいこと ($119.0 \pm 7.2\text{ }\mu\text{M}$) がわかった。免疫細胞と上皮細胞で比較すると、免疫細胞の方が IC_{50} が小さく、劣化後ポリエチレン MP サンプルによる影響を受けやすいことが示唆されたが、それほど大きな差ではないことから、劣化により、共通して細胞毒性が上昇することが示された。

さらに、劣化度と細胞毒性の関係を評価するため、用意したさまざまな劣化度の異なるポリエチレン MP サンプル群を用いて MTT アッセイによる細胞毒性試験を実施した。劣化度の違いは劣化

によって現れる C=O ピーク高さを C-H ピーク高さで割ることで定義した。肺の上皮細胞である A549 を用いて実験を行なったところ、劣化度の大きいサンプルではより低濃度で細胞生存率の低下が認められた。劣化度と IC₅₀ の関係を明らかにするため、劣化後 PE の結果を、横軸に劣化度 (C=O / C-H)、縦軸に IC₅₀ をとりプロットしたところ、劣化度と IC₅₀ の間に線形関係が見られた。そこで、相関係数を算出すると、-0.914 と算出され、PE の劣化度と IC₅₀ には強い負の相関があることが示された。

3. ナノプラスチック標準品の獲得とハザード情報収集

ポリエチレン、ポリスチレン、ポリプロピレンについてナノサイズのプラスチック粒子の作製を試みた。また、作製したナノプラスチックについてこれまでと同様の手法で表面劣化させた。作製したポリエチレンナノ粒子 (未劣化/劣化) について、SEM 撮影、DLS 測定によりサイズが 200~1,000 nm 程度であること、また IR スペクトル測定により劣化前にはみられなかった O 原子由来ピークが劣化処理により出現していることが確認できた。

また、ポリエチレンナノ粒子、ポリプロピレンナノ粒子に関して、細胞障害性を確認したところ、劣化前の粒子では障害性が確認されなかったのに対して、劣化後粒子では障害性が確認された。また、ポリエチレンナノ粒子の IC₅₀ は 6.96 g/L と求められ、前年度までに獲得したポリエチレンマイクロ粒子よりも高い障害性を示すことが明らかとなった。

加えて、劣化ポリエチレン標準品について、フィルター処理を行うことで、より小さな粒子系の劣化ポリエチレン粒子を含む画分 (<10 μ m) を得、細胞障害性の確認を行なった。その結果、分離前のバルクの結果に比べて、約 1/30 程度の IC₅₀ の低下が観察された。以上のことから、プラスチック粒子の細胞障害性には、表面性状に加えて、サイ

ズも重要な因子であることが示された。

4. ハザード情報の詳細検討と動態解析基盤構築

次に、細胞障害性に関して、その詳細を検討するため、ポリエチレンマイクロ粒子 (粒子径 231 μ m) に対して RAW264.7 細胞 (マウスマクロファージ細胞株)、THP-1 細胞 (ヒト単球細胞株)、A549 (ヒト肺癌細胞株) を用い、アネキシン V アッセイを実施した。その結果、劣化ポリエチレンマイクロ粒子による細胞死はアポトーシスによる可能性が高いことが示された。

また、動態について検討を行なった。上記に示したようにプラスチック粒子の表面性状やサイズは、ハザードに影響を与えるため、これらの様々なパラメータを有するプラスチック粒子それぞれの動態を観察することが可能になれば、より有益な情報を得ることができる。そこで、動態解析用のプラスチック粒子の作製を試みた。作製したプラスチック粒子をナイルレッドで染色することで蛍光プラスチック粒子を獲得した。本手法では、劣化させたプラスチック粒子も表面性状を保ったまま蛍光化することが可能であった。加えて、蛍光微粒子 Qdot をプラスチック粒子に封入することを試みた。Qdot を核としてナノ粒子作製と同様の方法で作製で、蛍光ポリエチレンナノ粒子および蛍光ポリスチレン粒子の獲得に成功した。加えて、蛍光ポリエチレンナノ粒子について、劣化したサンプルを作製した。

最後にポリエチレン粒子のプロテインコロナに関する検討も実施し、血清のタンパク質と相互作用してプロテインコロナが形成することが示された。加えて、ベクター効果に関する検討も実施したところ、劣化ポリエチレンのベンゾピレンに対するベクター効果は、非劣化ポリエチレンの約 4 倍程度高いことが示され、酸素原子が導入される劣化処理により、ポリエチレン粒子自身の細胞毒性が上昇することに加えて、ベクター効果などの副次的な細胞影響もより高くなる可能性を

示した。

E. 結論

これまでの検討により、種類、サイズ、表面性状の異なる多彩なプラスチックサンプルの作製を達成した。

また、ハザード検討として、サイズや表面性状が強く細胞障害性に関連することを見出し、その作用機序の一部を明らかにした。さらに細胞障害性に強く関連するサイズや表面性状を保持したまま、動態研究を可能とする蛍光サンプルの作製に加え、動態・ハザードに強く関与するプロテインコロナ形成の可能性を見出した。加えて、表面性状の変化がベクター効果が変化する可能性を示し、粒子自身の影響に加えて、吸着した低分子などによる副次的な影響にも表面性状変化が重要であることを示した。

これまでに示した結果の一部は論文発表し、広く結果を公表している。加えて、今後得られた知見を加えて、未発表結果も順次発表を予定している。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Yudai Ikuno, Hirofumi Tsujino, Yuya Haga, Haruyasu Asahara, Kazuma Higashisaka, Yasuo Tsutsumi : Impact of Degradation of Polyethylene Particles on Their Cytotoxicity, Microplastics 2(2) 192-201, 2023 年 5 月
2. Yasuo Tsutsumi, Hirofumi Tsujino : マイクロ・ナノプラスチックのヒト健康影響の解明に向けて, YAKUGAKU ZASSHI 144(2) 163-164, 2024年2月
3. Hirofumi Tsujino, Yudai Ikuno, Yuya Haga, Haruyasu Asahara, Kazuma Higashisaka, Yasuo Tsutsumi : 環境中の表面性状を模倣した劣化マイクロプラスチックの作製, YAKUGAKU ZASSHI 144(2) 171-175, 2024

年2月

4. Yuya Haga, Sota Manabe, Hirofumi Tsujino, Haruyasu Asahara, Kazuma Higashisaka, Yasuo Tsutsumi : 劣化したマイクロプラスチックが示す細胞毒性機序の解明, YAKUGAKU ZASSHI 144(2) 177-181, 2024年2月
5. Yudai Ikuno, Hirofumi Tsujino, Yuya Haga, Sota Manabe, Wakaba Idehara, Mii Hokaku, Haruyasu Asahara, Kazuma Higashisaka, Yasuo Tsutsumi: Polyethylene, whose surface has been modified by UV irradiation, induces cytotoxicity: A comparison with microplastics found in beaches. Ecotoxicology and environmental safety 277 116346-116346, 2024 年6月

2. 学会発表

1. 生野雄大, 辻野博文, 芳賀優弥, 東阪和馬, 堤 康央 : 実環境中のマイクロプラスチックの生体影響評価の基盤構築., 第 18 回次世代を担う若手のためのフィジカル・ファーマフォーラム., オンライン, 2021 年 9 月.
2. 生野雄大, 辻野博文, 芳賀優弥, 浅原時泰, 東阪和馬, 堤 康央 : 実環境中を模したマイクロプラスチックの細胞毒性評価., 日本薬学会第 142 年会., 名古屋 (愛知), 2022 年 3 月.
3. 真鍋颯太, 芳賀優弥, 辻野博文, 浅原時泰, 生野雄大, 東阪和馬, 堤 康央 : マイクロプラスチックの細胞毒性及び遺伝毒性評価., 日本薬学会第 142 年会., 名古屋 (愛知), 2022 年 3 月.
4. 生野雄大, 辻野博文, 芳賀優弥, 浅原時泰, 東阪和馬, 堤 康央 : 環境中のマイクロプラスチックの劣化状態を考慮した細胞毒性評価, 第 49 回日本毒性学会, 札幌 (北海道), 2022 年 6 月.
5. 真鍋颯太, 芳賀優弥, 辻野博文, 生野雄大, 浅原時泰, 東阪和馬, 堤 康央 : 環境中の表面性状を模倣したマイクロプラスチックの細胞毒性発現機序の解明, 第 72 回日本薬学会関西支部総会・大会., 枚方 (大阪), 2022 年 10 月.

6. 真鍋颯太, 芳賀優弥, 辻野博文, 生野雄大, 浅原時泰, 東阪和馬, 堤 康央: 表面劣化したマイクロプラスチックの細胞毒性発現機序の解明, 日本薬学会第 143 年会., 札幌 (北海道), 2023 年 3 月.
 7. 辻野博文, 生野雄大, 芳賀優弥, 浅原時泰, 東阪和馬, 堤 康央: 環境中の表面性状を模倣した劣化マイクロプラスチックの作製, 日本薬学会第 143 年会., シンポジウム「マイクロ・ナノプラスチックのヒト健康影響の解明に向けて オーガナイザー 堤康央・辻野博文」札幌 (北海道), 2023 年 3 月
 8. 芳賀優弥, 辻野博文, 浅原時泰, 東阪和馬, 堤 康央: 劣化したマイクロプラスチックが示す細胞毒性機序の解明, 日本薬学会第 143 年会., シンポジウム「マイクロ・ナノプラスチックのヒト健康影響の解明に向けて オーガナイザー 堤康央・辻野博文」札幌 (北海道), 2023 年 3 月
 9. 出原若葉, 芳賀優弥, 辻野博文, 生野雄大, 真鍋颯太, 浅原時泰, 東阪和馬, 堤康央: 劣化したマイクロプラスチックの細胞内取り込み機構の解明に向けた検討., 第 73 回日本薬学会関西支部総会・大会., 大阪, 2023 年 10 月.
 10. 真鍋颯太, 芳賀優弥, 辻野博文, 生野雄大, 浅原時泰, 東阪和馬, 堤 康央: 紫外光により劣化したマイクロプラスチックはオートファジー依存的な細胞死を誘導する., 第 50 回日本毒性学会学術年会., 横浜 (神奈川), 2023 年 6 月.
- H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)**
- 1. 特許取得**
該当なし
 - 2. 実用新案登録**
該当なし
 - 3. その他**
該当なし

別紙 4

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ
特になし							

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Yudai Ikuno, Hirofumi Tsujino, Yuya Haga, Haruyasu Asahara, Kazuma Higashisaka, Yasuo Tsutsumi	Impact of Degradation of Polyethylene Particles on Their Cytotoxicity	Microplastics	2(2)	192-201	2023
Yasuo Tsutsumi, Hirofumi Tsujino	マイクロ・ナノプラスチックのヒト健康影響の解明に向けて	YAKUGAKU ZASSHI	144(2)	163-164	2024
Hirofumi Tsujino, Yudai Ikuno, Yuya Haga, Haruyasu Asahara, Kazuma Higashisaka, Yasuo Tsutsumi	環境中の表面性状を模倣した劣化マイクロプラスチックの作製	YAKUGAKU ZASSHI	144(2)	171-175	2024
Yuya Haga, Sota Manabe, Hirofumi Tsujino, Haruyasu Asahara, Kazuma Higashisaka, Yasuo Tsutsumi	劣化したマイクロプラスチックが示す細胞毒性機序の解明	YAKUGAKU ZASSHI	144(2)	177-181	2024
Yudai Ikuno, Hirofumi Tsujino*, Yuya Haga, Sota Manabe, Wakaba Idehara, Mii Hokaku, Haruyasu Asahara, Kazuma Higashisaka, Yasuo Tsutsumi*	Polyethylene, whose surface has been modified by UV irradiation, induces cytotoxicity: A comparison with microplastics found in beaches.	Ecotoxicology and environmental safety	277	116346-116346	2024