

マイクロプラスチックの分析がわかる！ 多角的な評価と計測

株式会社島津製作所 分析計測事業部

目次

1. マイクロプラスチックとは
2. 近年の取り組み
3. マイクロプラスチックの採取方法
4. 多角的な分析事例
 1. 成分分析
 2. 個数・サイズ
 3. 混入・吸着物質

1. マイクロプラスチックとは
2. 近年の取り組み
3. マイクロプラスチックの採取方法
4. 多角的な分析事例
 1. 成分分析
 2. 個数・サイズ
 3. 混入・吸着物質

3

マイクロプラスチックとは？

大きさ **数 μm ~5 mm以下** の微細なプラスチック

近年、このマイクロプラスチックが沿岸及び海洋の生態系に悪影響を与え、ひいては人間の健康にも潜在的に影響を及ぼす可能性がある海洋環境問題として世界的な課題となっています。

マイクロプラスチックの分類

- 一次マイクロプラスチック (primary microplastic)
工業用研磨剤やスクラブ剤に使用されるビーズ状のもの、合成繊維など
- 二次マイクロプラスチック (secondary microplastic)
海洋で最も多いマイクロプラスチック。
プラスチック製品が紫外線による劣化や、物理的摩耗によって小さくなったもの。

4

1. マイクロプラスチックとは
2. 近年の取り組み
3. マイクロプラスチックの採取方法
4. 多角的な分析事例
 1. 成分分析
 2. 個数・サイズ
 3. 混入・吸着物質

7

マイクロプラスチックに付着する有害物質

海洋プラスチック粒子の化学物質の測定状況

化学物質	物質の区分	化審法での指定状況	存在形態	ポリマー種類	サイズ (mm)	濃度 (ng/g-plastics) 最小値 - 最大値	濃度 (ng/g-plastics) 中央値 ^{※1}	文献 (p.50,51 に示す)
PCBs	POPs	1特	吸着	PE, PP, PS	0.1~35	ND - 5,000	240	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
DDTs	POPs	1特	吸着	PE, PP, PS	-	ND - 7,100	88	1, 3, 5, 12, 13, 14, 15
HCHs	POPs	1特	吸着	PE	1~5	0.14 - 112	20	10, 12, 13
Chlordanes	POPs	1特	吸着	PE, PP	-	4.29 - 14.2	-	3
HCB	POPs	1特	吸着	PE, PP	-	12.4 - 17.5	-	3
Mirex	POPs	1特	吸着	PE, PP	-	6.48 - 14.6	-	3
PBDEs	一部 POPs、難燃剤	1特	添加	PE, PP	およそ 35	ND - 16,444	412	8, 16, 17, 18
HBCDs	POPs、難燃剤	1特	添加	PS	1~5	0.06 - 512	-	19
PFAAs	一部 POPs、消化剤	1特	吸着	-	2~6	0.01 - 0.18	-	20
PAHs	(POPs)、副生物	-	吸着	PE, PP, PS	1~35	ND - 12,000	1,355	1, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 21
ビスフェノール A	プラスチック原料	優先評価化学物質 75 番	添加 吸着	PE, PP	およそ 35	ND - 729.7	284	8, 16
ノニルフェノール	プラスチック原料	既存化学物質 (旧2監, 3監)	添加 吸着	PE, PP	1~35	ND - 16,000	2,660	8, 11, 16
オクチルフェノール	プラスチック原料	優先評価化学物質 157 番	添加 吸着	PE, PP	およそ 10	ND - 154	40	8

海洋プラスチックごみに関する既往研究と今度の重点課題, 環境省 水・大気環境局 水環境課 プラスチック汚染対策室, 令和2年6月
http://www.env.go.jp/water/marine_litter/MarinePlasticLitter_Survey%20to%20understand%20the%20actual%20situation.pdf

8

国際的なプラスチックごみ低減の取組み

- 2016年 世界経済フォーラム年次総会（通称「ダボス会議」）
海洋ごみの重量が2050年には魚の重量を上回ると警鐘
- 2017年 G20ハンブルク・サミット
「G20海洋ごみ行動計画」の立ち上げが合意
- 2019年 G20大阪サミット
「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」、
「G20海洋プラスチックごみ対策実施枠組み」の共有
- 2020年 「海洋プラスチックごみの調和したモニタリングと
データ編集に関するG20ワークショップ」
- 2021年 G20環境大臣会合「海洋プラスチックごみへの取り組みの再認識」

- ・ 3R：リデュース、リユース、リサイクルの促進
- ・ 生分解性プラスチックの開発
- ・ ガイドラインや規格の制定へ

9

プラスチックに関するISO

- ・ 国際標準化機構：ISOのTC61で、プラスチックに関する様々な評価法の国際標準化が検討されている
- ・ 生分解性プラスチック評価法のISO化が先行しているが、マイクロプラスチックの調査法についても整備されつつある

TC61_プラスチック

SC14_環境側面

WG1_単語の定義

WG2_生分解度

WG3_バイオベース高分子

WG4_マイクロプラスチック

WG5_メカニカル・ケミカルリサイクル

国際的なデータの比較を行う際には国際的な標準化が必要

10

SHIMADZU			
国内での取り組み 海洋プラスチックごみに関する各種調査ガイドライン			
名称	対象者	目的・対象	期待される活用方法
散乱ごみ実態把握調査ガイドライン	自治体、地方環境研究所、自治体からの発注を受けて調査を実施する調査機関・事業者等	陸域や河岸・河川敷に散乱するごみの実態の把握	散乱ごみ対策の実施場所、対象や方向性、実施した対策の効果検証、対策効果の長期的なモニタリング等への活用
河川ごみ調査参考資料集		陸域から海域へ流出する河川を浮遊するごみ(原則、長径25mm以上)の実態の把握	河川ごみの実態把握とその対策の対象や方向性、具体的な対策の指標、さらには実施した対策の長期的な評価指標を得る
河川マイクロプラスチック調査ガイドライン		陸域から海域へ流出するマイクロプラスチックのうち、河川水中におけるマイクロプラスチックの実態の把握	調査結果を基に、地方自治体が関係機関や住民等と連携すること等により、マイクロプラスチックの発生源対策等の推進
漂着ごみ組成調査ガイドライン		各地方公共団体の海岸において、長期的に、継続して漂着ごみの組成や存在量の実態、それらの経年変化の把握	漂着ごみ対策の対象や方向性、具体的な対策の指標、さらには実施した対策の長期的な評価指標を得る
海岸漂着物処理推進法に基づく地域計画作成のための手引き	都道府県	海岸漂着物処理推進法に基づく地域計画作成又は変更	地域における海岸漂着物対策の総合的かつ効果的な推進
海洋ごみ発生抑制対策等事例集	自治体、NPO、自治会等	海洋ごみの発生抑制対策等の効果的な実施	新たな海洋ごみの発生の抑制や回収の促進

令和3年6月環境省資料「海洋プラスチックごみに関する各種調査ガイドライン等について」より
<https://www.env.go.jp/press/109731.html>

11

SHIMADZU	
1.	マイクロプラスチックとは
2.	近年の取り組み
3.	マイクロプラスチックの採取例
4.	多角的な分析事例
	1.成分分析
	2.個数・サイズ
	3.混入・吸着物質

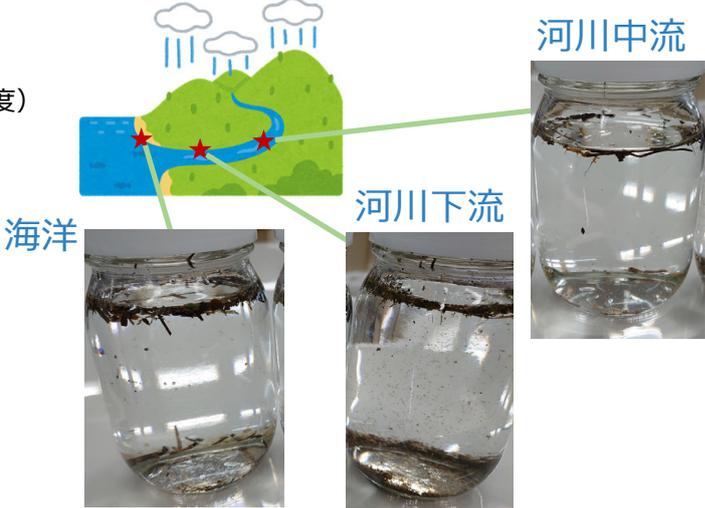
12

SHIMADZU

マイクロプラスチック採取例

川の中流・下流・海洋の3か所3地点でマイクロプラスチックを採取

プランクトンネット
(目開き0.1~0.3 mm程度)

河川中流

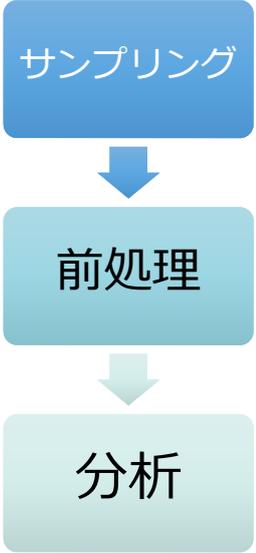
河川下流

海洋

13

SHIMADZU

採取から分析までの流れ



サンプリング プランクトンネット等を使って捕集

前処理 不純物を取り除き、
マイクロプラスチックのみ抽出

分析 各種分析装置を使って解析、計測

14

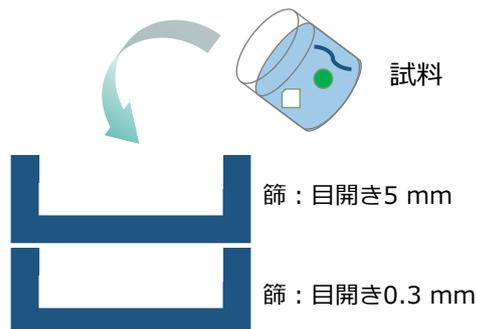
SHIMADZU

前処理①

1. ろ過：該当サイズ抽出 大きな夾雑物を取り除きます。



(例) 評価対象となる0.3 mm~5 mmのプラスチックを採取するために篩にかけます。



15

SHIMADZU

前処理②

2. 酸化分解：有機夾雑物除去 酸化剤を用いて、試料中の有機夾雑物やプラスチックの付着物を取り除きます。

(例) 30%過酸化水素水を試料に加え、60℃以下で加熱し、3~5日静置します。夾雑物の残量に応じて、再度、過酸化水素水を添加し、さらに静置します。



16

SHIMADZU

前処理③

3. 比重分離：無機物除去

土や砂などの無機物を取り除きます。

無機物はプラスチックより比重が大きいため、試薬を用いてプラスチックと無機物を分離します。

(例) 5.3 mol/L ヨウ化ナトリウム 比重1.5



プラスチックの比重の一例

- PE : 0.94~0.96
- PP : 0.9
- PS : 1.04~1.09
- PET : 1.34~1.39

プラスチック

土や砂

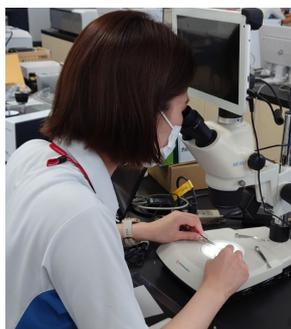
17

SHIMADZU

観察

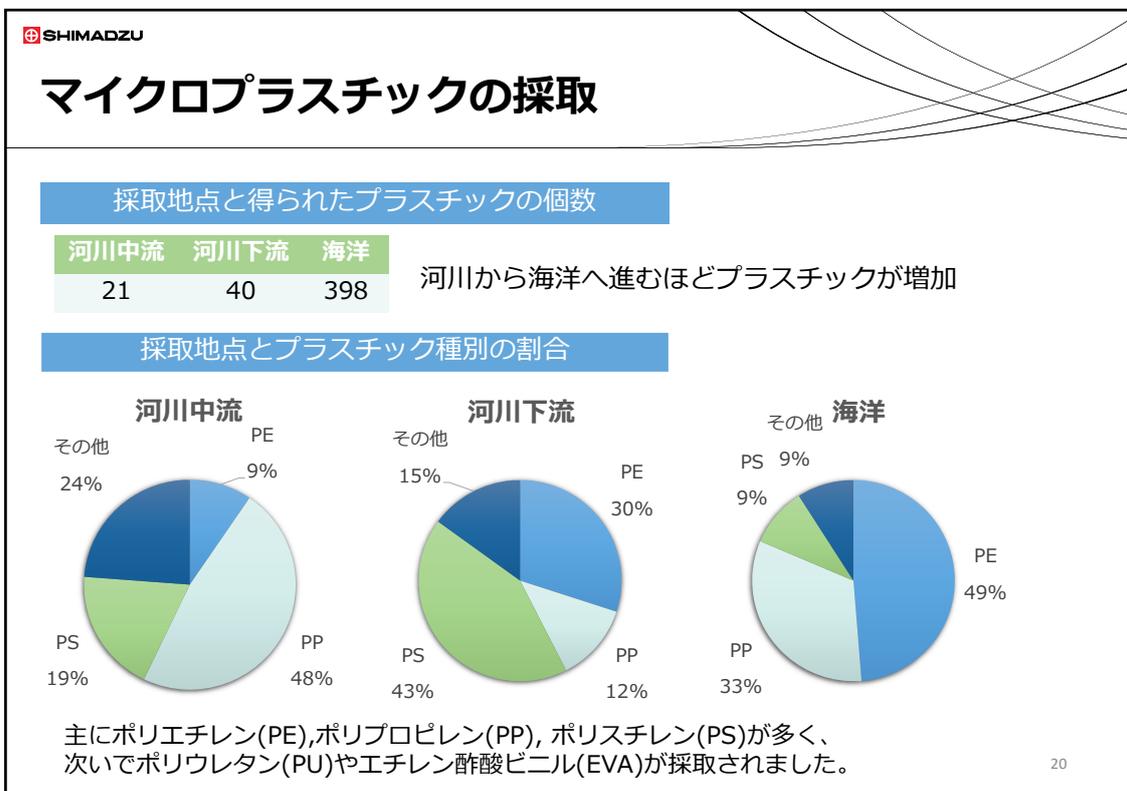
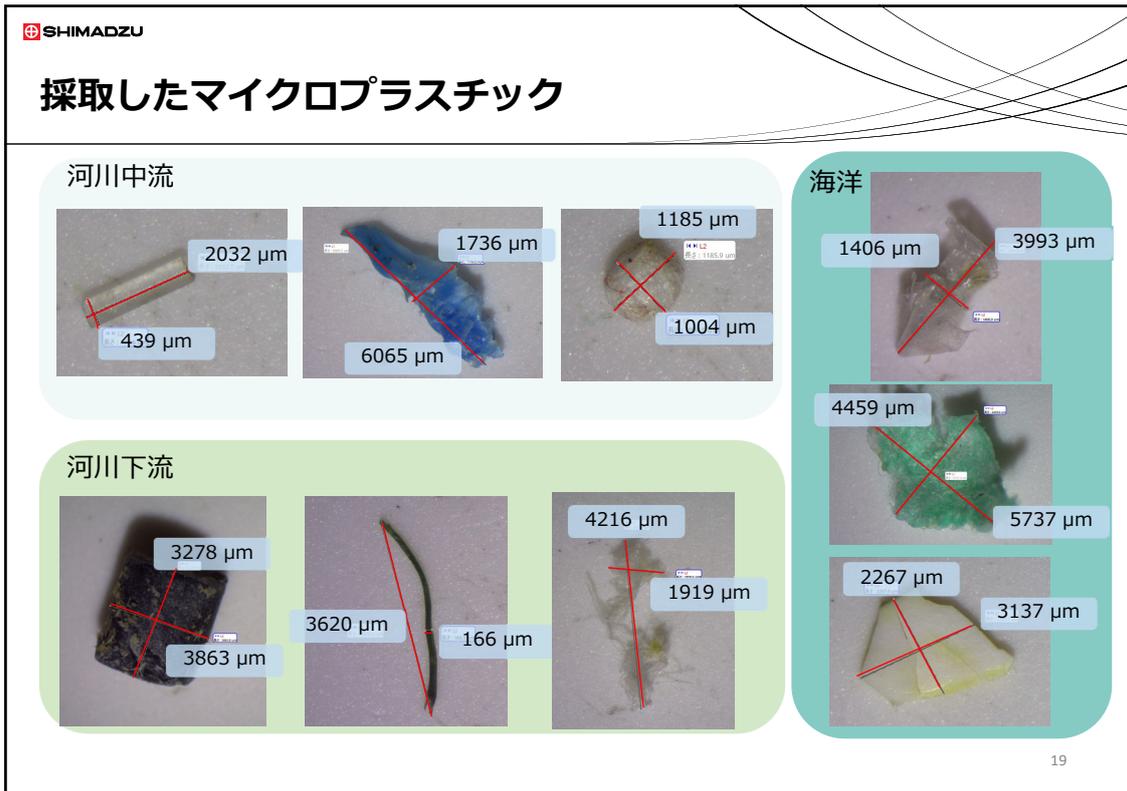
観察・計測

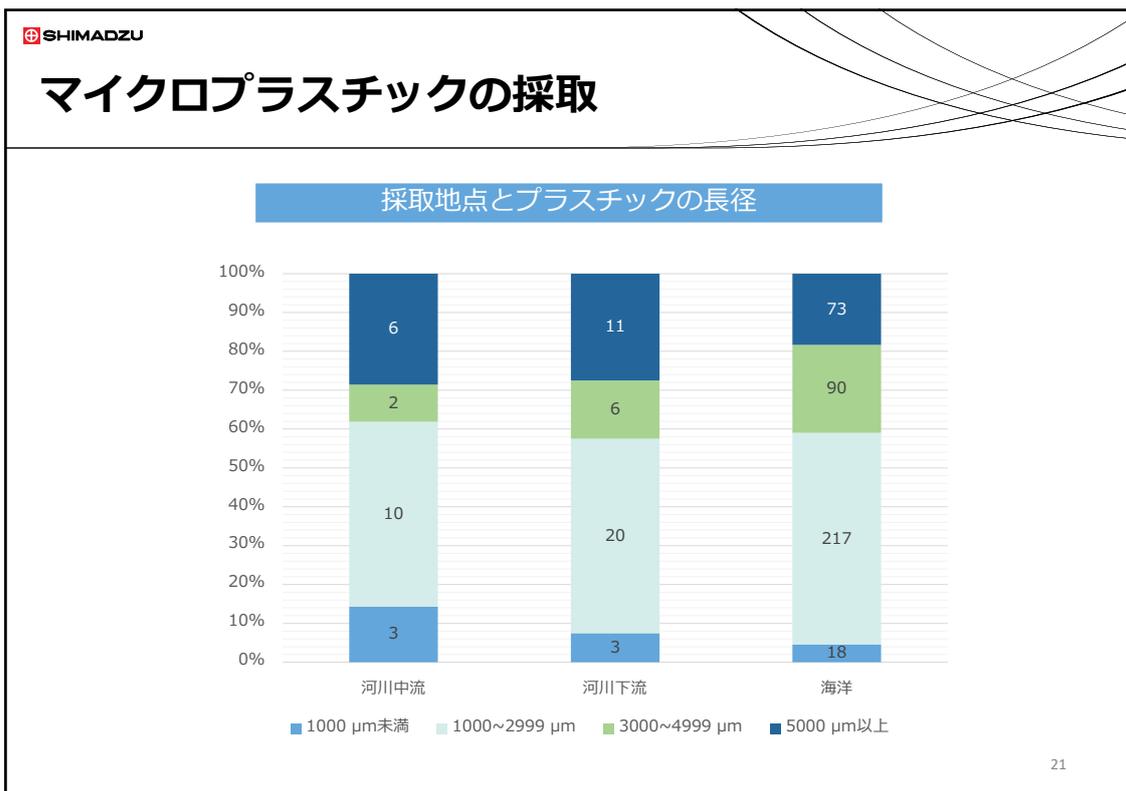
実体顕微鏡を用いて採取したマイクロプラスチックの画像を取得し、長径を記録します。



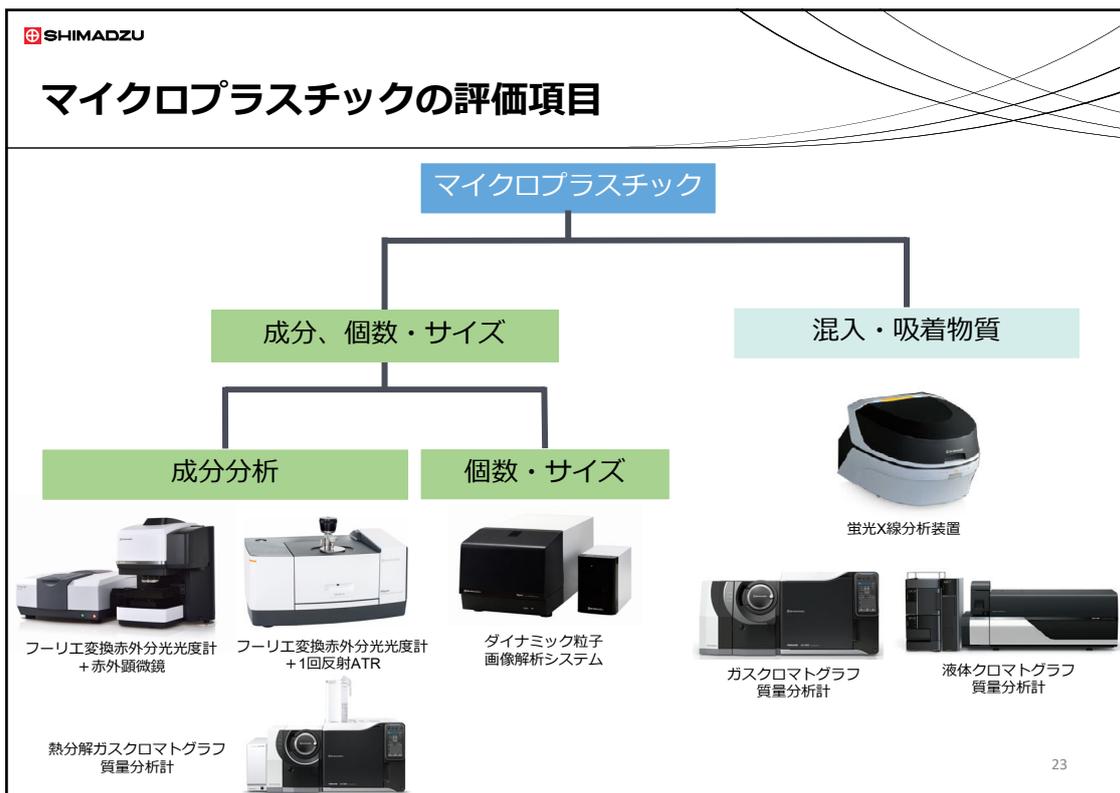
株式会社 島津理化
STZ-171-TLED 実体顕微鏡 照明付き

18





- SHIMADZU
1. マイクロプラスチックとは
 2. 近年の取り組み
 3. マイクロプラスチックの採取方法
 4. 多角的な分析事例
 1. 成分分析
 2. 個数・サイズ
 3. 混入・吸着物質
- 22



- SHIMADZU
1. マイクロプラスチックとは
 2. 近年の取り組み
 3. マイクロプラスチックの採取方法
 4. 多角的な分析事例
 - 1.成分分析
 - 2.個数・サイズ
 - 3.混入・吸着物質
- 24

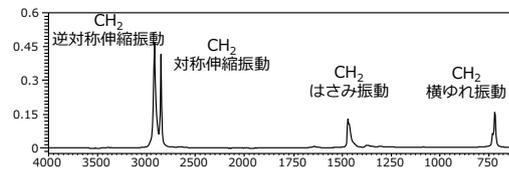
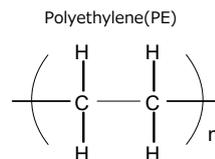
成分分析：マイクロプラスチックの定性

プラスチックの定性

フーリエ変換赤外分光光度計（FTIR）を用いて、
プラスチックの種類を同定します。

FTIRとは試料に赤外光を照射し、透過光/反射光から
試料に含まれる官能基の推定や有機化合物の定性・定量分析が行えます。

Fourier Transform InfraRed Spectrophotometer
フーリエ変換赤外分光光度計



25

成分分析：マイクロプラスチックの定性

FTIRによる分析手法

大きなサイズの海洋ごみや100 μm以上の
マイクロプラスチックは、**ATR法**を用いて簡単
に分析を行うことができます。



100 μm以上 ▶ 1回反射型ATR測定装置

ATR : Attenuated Total Reflection 全反射法

高屈折率から低屈折率の媒質へ光が進むときの
全反射を利用した方法。試料をプリズムに密着させるだけで、
簡単に測定を行うことができます。

100 μm以下の試料を対象とする場合は、
赤外顕微鏡を用いて簡単に分析できます。



100~10 μm ▶ 赤外顕微鏡

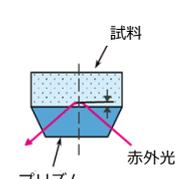
26

SHIMADZU

成分分析の事例：ATR法で分析

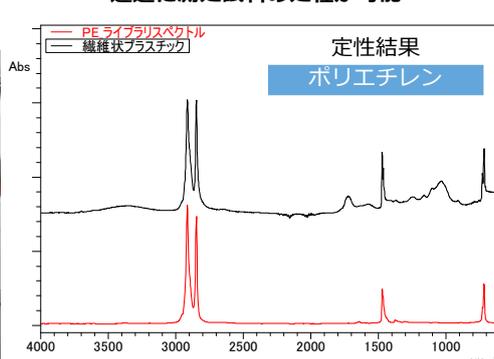
1回反射ATR法

試料表面で1回反射した光を測定します。
このとき赤外光は試料表面から試料内部に数μm潜り込みます。



試料
赤外光
プリズム

FTIRシステムに搭載されたライブラリの活用で
迅速に測定試料の定性が可能



— PE ライブラリスペクトル
— 繊維状プラスチック

定性結果
ポリエチレン

27

SHIMADZU

成分分析の事例：観察型1回反射ATRを用いた分析

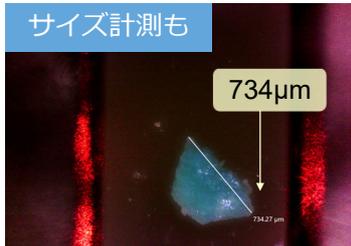
観察と定性が必要となるマイクロプラスチックの分析には、
観察型1回反射ATRが便利です。



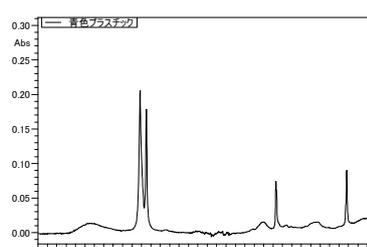
MicromATR™ Vision

試料を置くだけで
観察可能

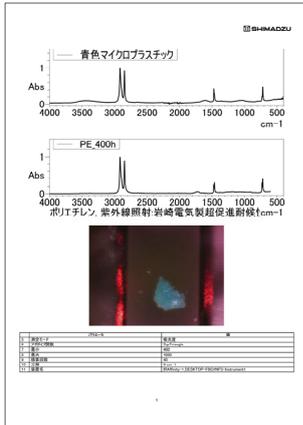
サイズ計測も



734μm



— 青色プラスチック

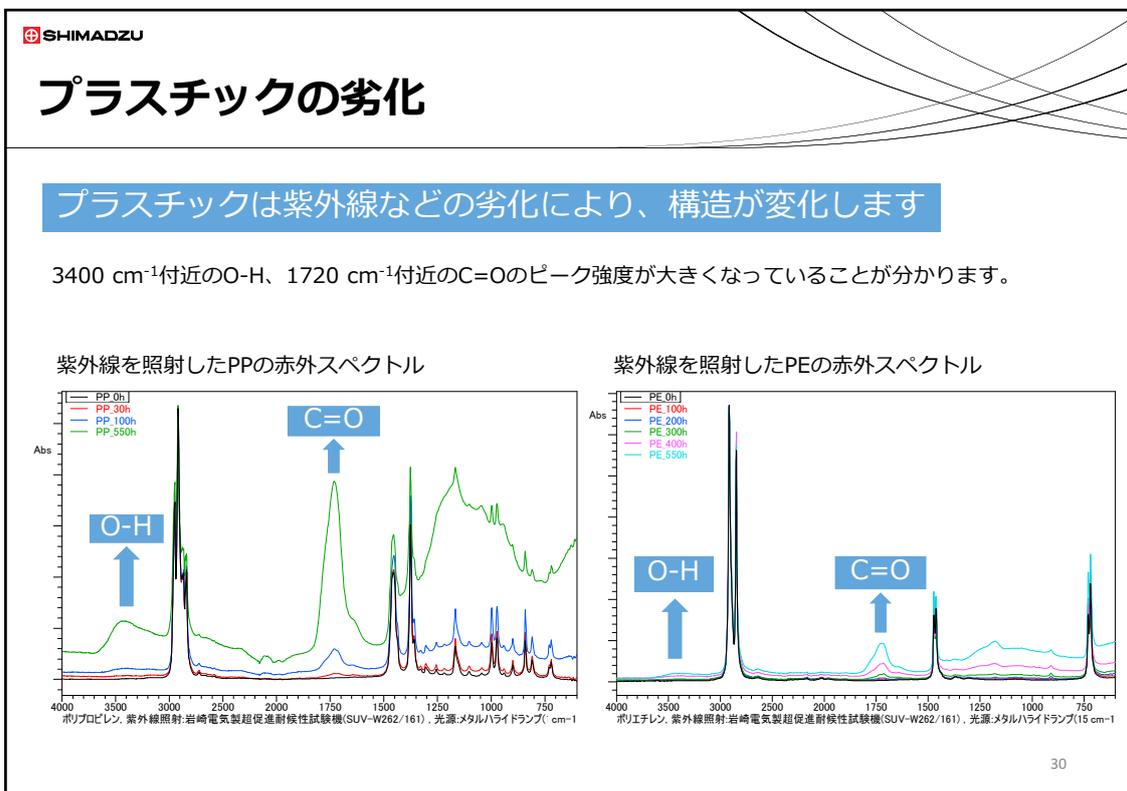
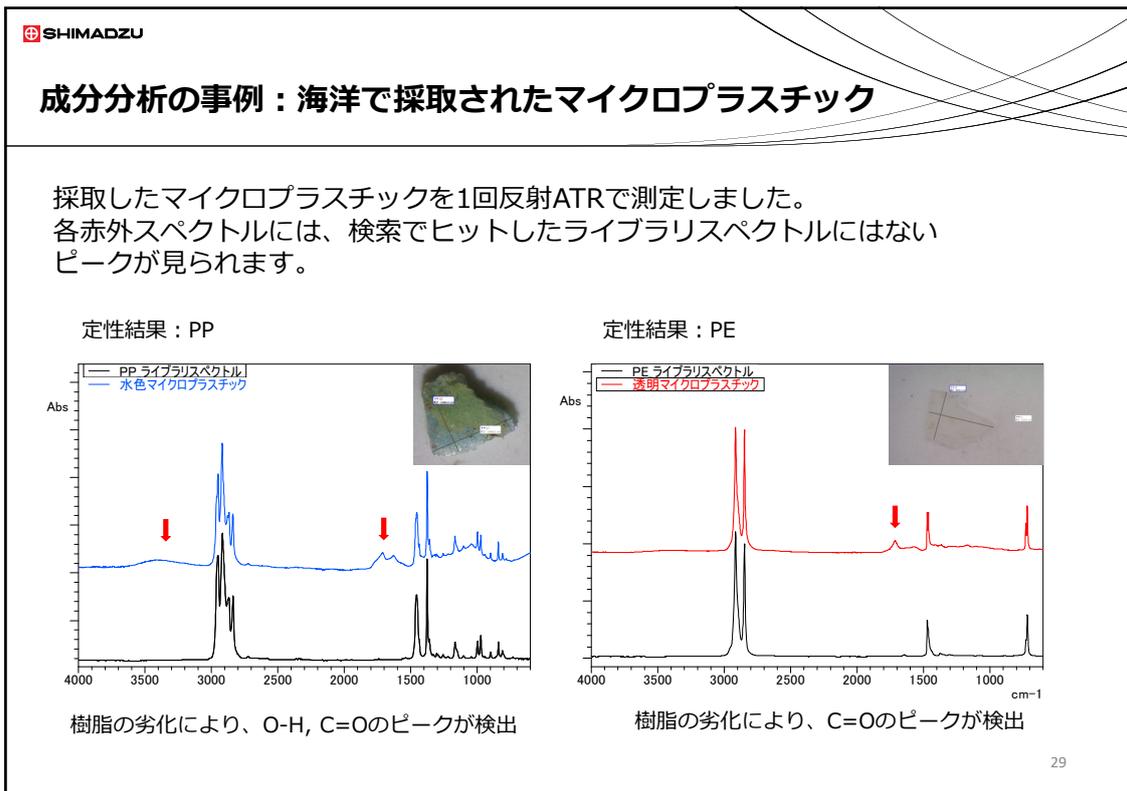


— 青色マイクロプラスチック

— PE 400h

撮影した画像をレポートへ

28



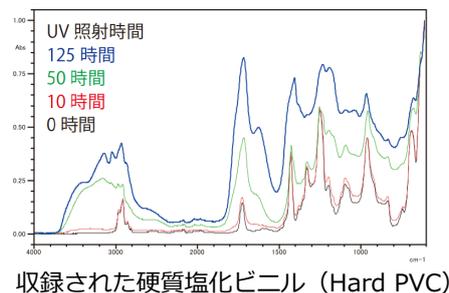
紫外線劣化プラスチックライブラリ

特長

- ・紫外線を照射する加速試験を行い、紫外線劣化させた試料の赤外スペクトルをデータベース化し収録した、島津製作所独自のライブラリ
- ・14種類のプラスチックについて、未照射および1~550時間で紫外線を照射した試料、合計300点以上のスペクトルを収録

適用分野

- ・異物分析各種 - 食品, 医薬, 石油・化学分野など
- ・受託分析業, 研究機関(マイクロプラスチック分析) など



31

フーリエ変換赤外分光光度計プラスチック分析システム

Plastic Analyzer

島津独自の加熱劣化/紫外線劣化プラスチックライブラリで、分析をサポート

Plastic Analyzerの構成

① フーリエ変換赤外分光光度計 IRSpirit™

② 1回反射ATR QATR™-S

③ Plastic Analyzerメソッドパッケージ

1. 紫外線劣化プラスチックライブラリ
2. 加熱劣化プラスチックライブラリ
3. IR Pilot™用分析プログラム/メソッドファイル



Plastic Analyzerメソッドパッケージを備えた専用の分析システムにより
FTIR測定になれていないユーザーでも簡単に分析を行えます。

32

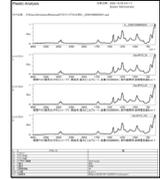
SHIMADZU
フーリエ変換赤外分光光度計プラスチック分析システム
Plastic Analyzer

小型で導入しやすいシステム製品
IRSpiritと試料室一体型ATRを用いたシステムのため幅35 cmで設置が可能です。

高い精度の劣化ライブラリ
紫外線/熱によりプラスチックは分子切断や架橋を伴い劣化するため標準品のプラスチックスペクトルとは異なります。複数種類のプラスチックを劣化させた紫外線/熱劣化プラスチックライブラリにより劣化状態を反映した精度の高いスペクトル検索・定性が可能となります。

分析プログラムによる簡単測定 ※劣化度を判定する機能ではありません。
IR Pilotを用いた簡単測定が可能な分析プログラムを搭載し、分析から解析、レポート出力までソフトの指示に従うだけ。FTIRに不慣れでも分析が可能です。





サンプル測定 → レポート作成

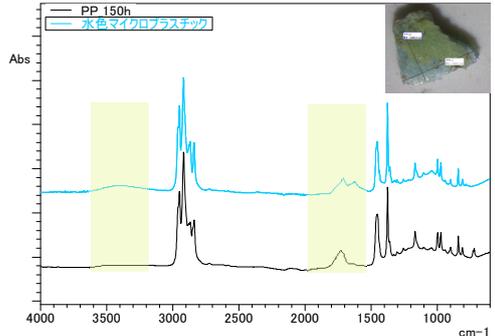
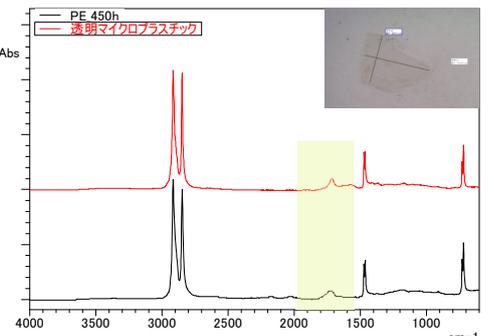
33

SHIMADZU
成分分析の事例：海洋で採取されたマイクロプラスチック

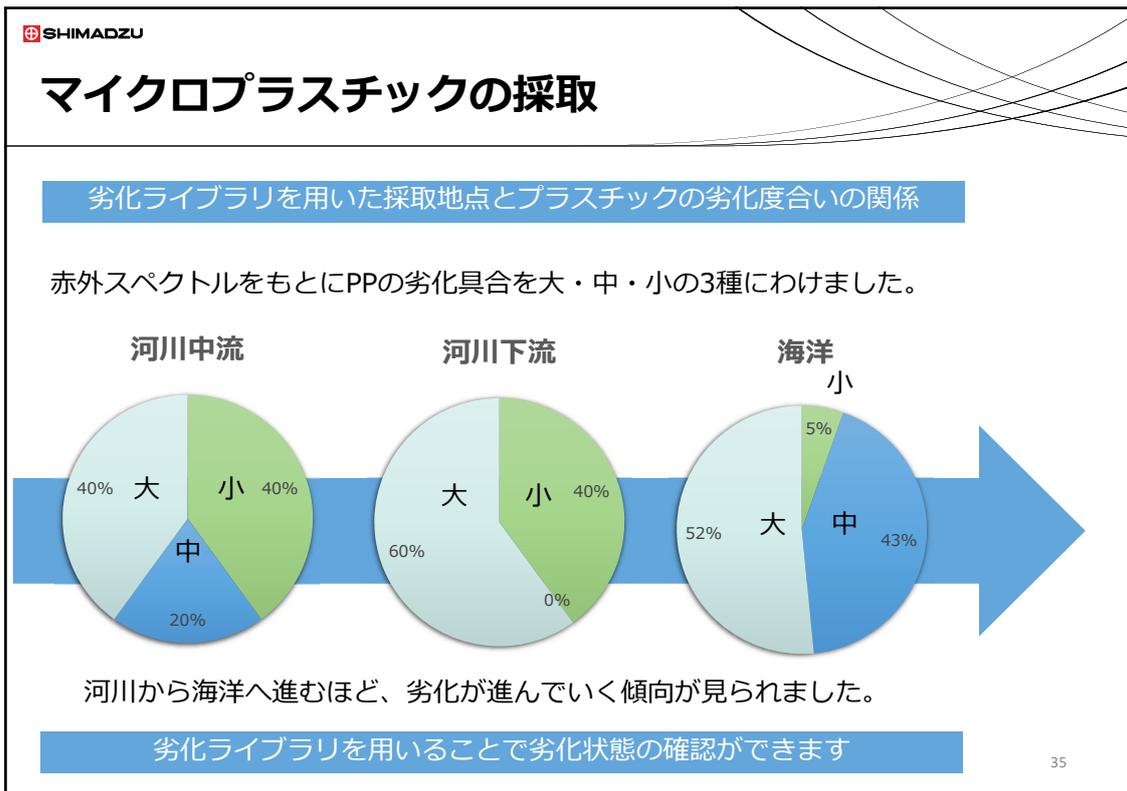
分析初心者にはプラスチックの種類によるピークかどうか判別が難しく、ライブラリのヒット率にも影響する場合があります。先ほどの測定結果を紫外線劣化プラスチックライブラリで検索すると、劣化状態を反映した精度の高いスペクトル検索・定性が可能となります。

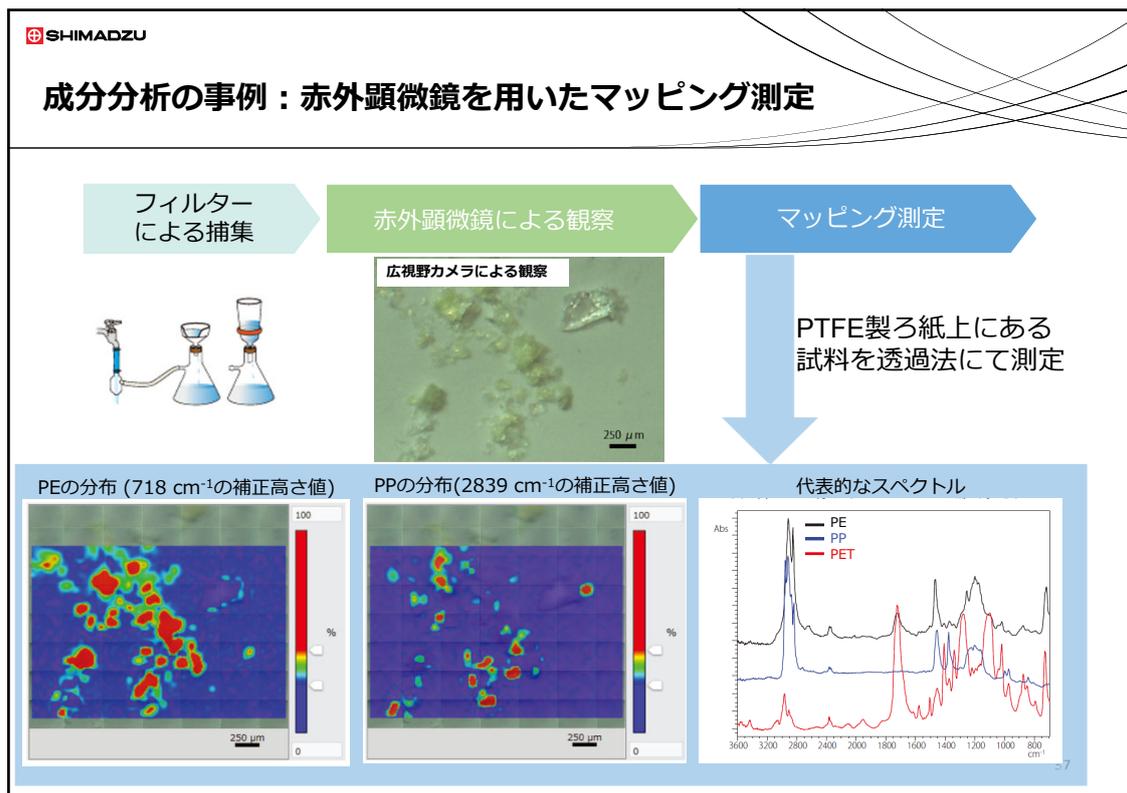
超促進耐候試験機で150 mW/cm²紫外線を150時間照射したPPがヒット
一致度：926 / 1000

超促進耐候試験機で150 mW/cm²紫外線を450時間照射したPEがヒット
一致度：946 / 1000

34





- SHIMADZU
1. マイクロプラスチックとは
 2. 近年の取り組み
 3. マイクロプラスチックの採取方法
 4. 多角的な分析事例
 1. 成分分析
 2. 個数・サイズ
 3. 混入・吸着物質
- 38

SHIMADZU

個数・サイズの分析事例

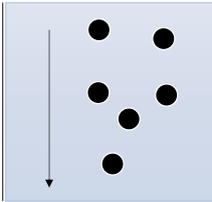
◎ マイクロメートルオーダーを迅速に。
 ダイナミック粒子画像解析システム iSpect™ DIA-10

【特徴】

- ・ 原理は動的画像解析法を使用
- ・ サンプル量 : 50 μ Lから1 mL
- ・ 粒子の大きさ・形状・個数濃度を同時に評価可能
- ・ 高い信頼性を持つ粒子検出システムを搭載
- ・ 3ステップの簡単測定
- ・ 測定可能範囲 : 5 μ m ~ 100 μ m
 (画素分解能 : 0.86 μ m/ピクセル)

汎用ピペットで
サンプルセット完了

溶液のまま
測定できます

流路を流れる試料を測定するため
 短時間で多数の粒子を
 対象とした評価が可能



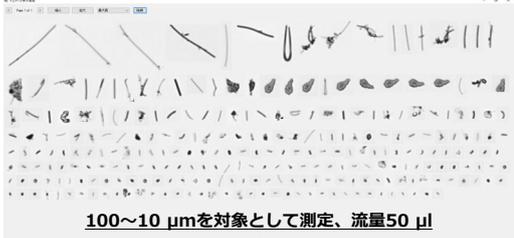

39

SHIMADZU

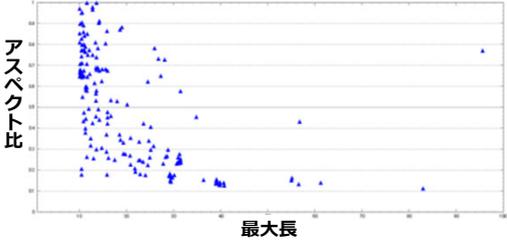
個数・サイズの分析事例

試料ご提供 : 千葉工業大学 亀田 豊 准教授

実体顕微鏡での計測は困難。
**DIAは溶液を流すだけで
 様々な形状を捉え、
 統計的に解析できます。**

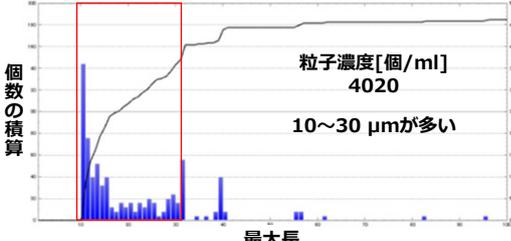


100~10 μ mを対象として測定、流量50 μ l



アスペクト比

最大長



粒子濃度[個/ml]
4020

10~30 μ mが多い

個数の積算

最大長

個数の頻度

40

1. マイクロプラスチックとは
2. 近年の取り組み
3. マイクロプラスチックの採取方法
4. 多角的な分析事例
 1. 成分分析
 2. 個数・サイズ
 3. 混入・吸着物質

混入物質の分析事例：EDXによる漁網の測定

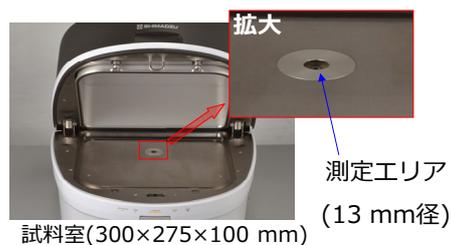


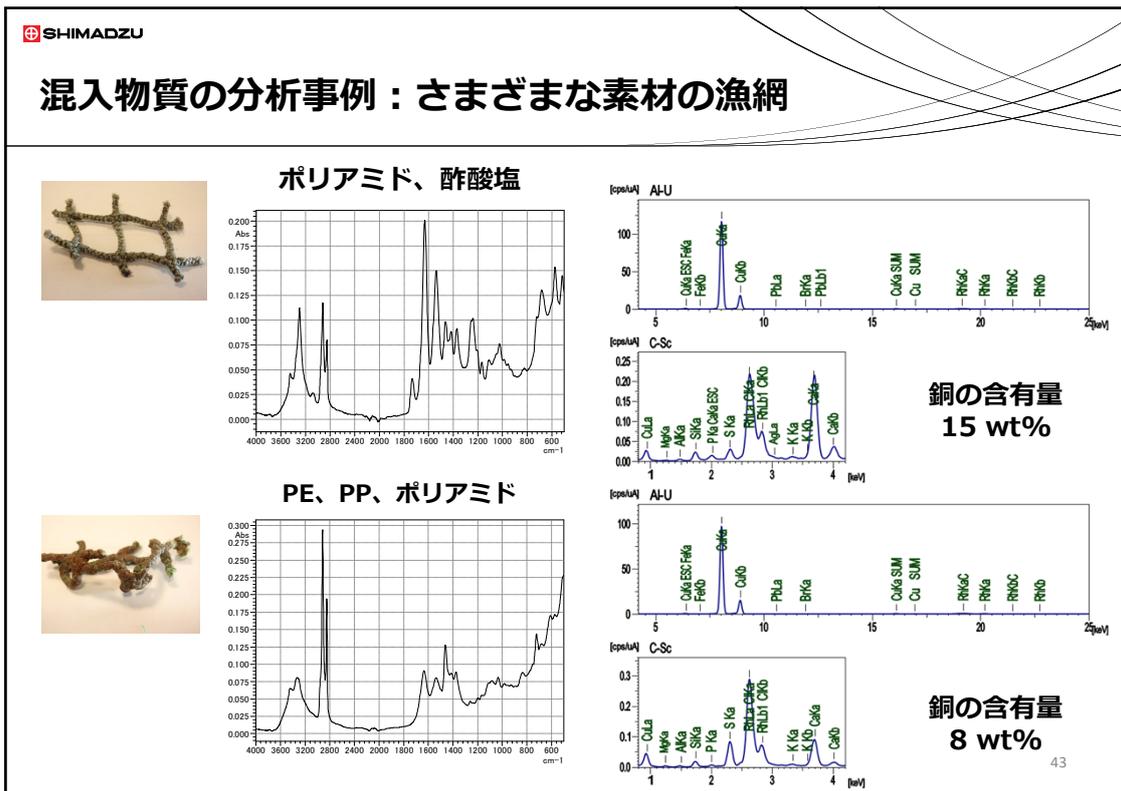
漁網は合成樹脂のものが一般的ですが、自然に起こる破損や劣化を防ぐため、金属の保護膜が施されています。

Energy Dispersive X-ray
Fluorescence Spectrometer
エネルギー分散型蛍光X線分析装置

分析試料にX線を照射し、出てくる蛍光X線のエネルギー値と強度から元素の定性・定量分析を行います。

EDX-7000 $_{11}\text{Na} \sim _{92}\text{U}$
EDX-8000/8100 $_6\text{C} \sim _{92}\text{U}$





SHIMADZU

吸着物質の分析事例

環境中でマイクロプラスチックに吸着した有害化学物質が、マイクロプラスチックから脱離して生物の体内に移行し、生物濃縮によって生態系に影響をもたらす可能性が指摘されています。

分析試料
市販の粒子状PP、PS、PE

実験概要
毒性や蓄積性があることで知られる多環芳香族炭化水素（PAHs）を添加した水に分析試料を沈め、水を24時間緩やかに攪拌し、吸着を促進。
試験系より分析試料を取り出して乾燥。その一部でヘキサンによる超音波抽出を行い、抽出液をGC-MS/MS（ガスクロマトグラフ質量分析計）により分析。

吸着試験

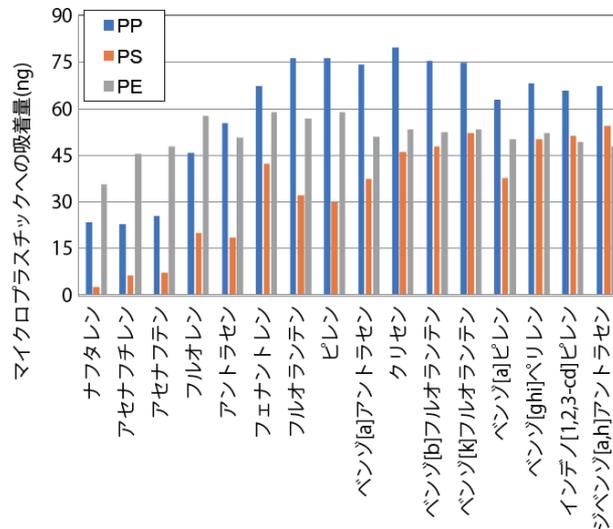
超純水300 mLに化学物質を添加

アルミ製ペラを回転させ、緩やかに攪拌

マイクロプラスチックを入れたステンレスメッシュを沈める

トリプル四重極型
ガスクロマトグラフ質量分析計
GCMS-TQ™8040 NX

吸着物質の分析事例：GC-MS/MSによるPAHs測定



PAHsの全物質について、マイクロプラスチックへの吸着が確認されました。特に、PPまたはPEへの吸着が多い傾向にあることがわかりました。

45

まとめ

- マイクロプラスチックの調査・分析の必要性が高まっています。
- マイクロプラスチックの前処理作業は煩雑であり、国際的なデータ比較を行う際は標準化が求められるだけでなく、できるだけ操作を簡易にする方法や装置が望まれます。
- 河川から海洋へ進むにつれて、マイクロプラスチックの数が多くなるとともに、劣化が進んだプラスチックも増加していました。
- 紫外線により劣化したマイクロプラスチックの定性には、FTIRおよび紫外線劣化プラスチックライブラリが有効です。これにより、経験によらず初心者でも簡単に分析が行えます。
- FTIRによるプラスチックの定性だけでなく、DIA、EDX、GC-MS、LC-MSなど多角的な評価と計測が弊社の装置で可能です。

46

SHIMADZU

お知らせ

SHIMADZU
Excellence in Science
Analytical and Measuring Instruments for Microplastics

海洋環境改善に向けた多角的なソリューション
マイクロプラスチック分析・計測機器



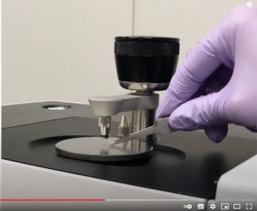
SHIMADZU 島津製作所分析計測機器

YouTubeチャンネルで分析アプリケーションを紹介！

測定

フーリエ変換赤外分光光度計
IRSpirit

オプション
QATR[®]-S



https://youtu.be/Y1gtkBu_I4



<https://youtu.be/r6RXAFDKFrg>

マイクロプラスチック特設ページ
<https://www.an.shimadzu.co.jp/apl/environ/maicroplastics.htm>

47