

2023 年度年次報告書
分解・劣化・安定化の精密材料科学
2021 年度採択研究代表者

山本 雅哉

東北大学 大学院工学研究科
教授

生命循環と共生する分解・劣化ナノ材料の統合理解

主たる共同研究者:

木村 剛 (東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 准教授)

田邊 匡生 (芝浦工業大学 デザイン工学部 教授)

研究成果の概要

汎用プラスチックとして、低密度ポリエチレン(LDPE)、ポリプロピレン(アイソタクチック、iPP)、ならびにポリ乳酸(PLA)を用いて分解・劣化ナノ材料の作製を行った。LDPE フィルムに対して、紫外線照射と超音波照射とを組み合わせた分解・劣化、あるいは促進酸化分解により、ナノプラスチック(NP)、マイクロプラスチック(MP)のモデルとなる分解・劣化モデル材料を作製することができた(論文投稿準備中)。また、iPP に対する高温・高圧処理¹⁾により得られた iPP-NP、ならびに LDPE に対するレーザーアブレーション²⁾により得られた LDPE-NP に対して、連続波レーザー誘起マイクロバブルを用いて NP を基板に集積後、原子間力顕微鏡を利用した赤外分光法(AFM-IR)や光熱誘起赤外分光法(O-PTIR)により集積した NP の赤外スペクトルを得ることができた(論文投稿中)。一方、PLA をリン酸緩衝液中で加速加水分解後、超音波照射することにより PLA-MP を作製することもできた(論文投稿準備中)。

材料学的理解を進めるため、分析系として、ポリエチレンテレフタレート(PET)の使用済ボトルのテラヘルツスペクトルを測定し、4.2 THz の吸収ピーク強度と PET の融点に直線関係があることを見いだした³⁾。C=O 面外変角振動の吸収ピークは熱膨張とそれにもなう分子間相互作用の変化に敏感であることが報告されており、PET に対して融点を含めてその関係を新たに示すものである。

次に、生体バリアに対する生物学的理解を進めるため、ゲノム編集により樹立した免疫応答を高感度に検出できるマクロファージ⁴⁾を利用して、PET⁵⁾、iPP、LDPE、PLA を分解・劣化させたモデル材料に対する免疫応答について検討した。一方、その他の生体バリアとして脱細胞化マトリックスを用いた腸管上皮細胞培養系、ならびに血液脳関門培養系を検討し、タイトジャンクションの形成、ならびに分解・劣化モデルナノ材料の曝露によりタイトジャンクションの構造が一部損なわれることを見いだした。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Hiranphinyophat, S. Hiraoka, T. Kobayashi, M. Fujii, S. Kishida, A. Tanabe, T. Kimura, T. and Yamamoto, M. Fabrication of Polypropylene Nanoplastics via Thermal Oxidation Reaction for Human Cells Responsiveness Studies, *Langmuir*, 39(44), 15563-15571 (2023)
DOI: 10.1021/acs.langmuir.3c01858
- 2) Kanehara, I. Yamashita, H. Fujii, S. Kimura, T. Yamamoto, M. Tanabe, T. Nano-sized Polyethylene Particles Produced by Nano-second UV Laser Ablation, *Laser in Manufacturing and Materials Processing*, 10(2), 389-399 (2023)
DOI: 10.1007/s40516-023-00214-9
- 3) Iwasaki, K. Yamaguchi, E. Fujii, S. Kimura, T. Yamamoto, M. Tanabe, T. Non-contact Terahertz Evaluation of the Melting Point of PET Bottles, *Thermochimica Acta*, 736(1), 179732 (2024)
DOI: 10.1016/j.tca.2024.179732
- 4) Toda, S. Hashimoto, Y. Nakamura, N. Yamada, M. Nakaoka, R. Nomura, W. Yamamoto, M. Kimura, T. Kishida, A. Effects of Polymeric Materials on Activation of THP-1 Cell-derived Macrophages during Differentiation Induced by PMA, *Advanced Biomedical Engineering*, 13, 1-

10 (2024)

DOI: 10.14326/abe.13.1

- 5) Washihira, N. Murakami, M. Nakamura, M. Fujii, S. Matsushima, T. Asahara, H. Kishida, A. Tanabe, T. Kimura, T. Kobayashi, M. Yamamoto, M. Application of a Genetically Engineered Macrophage Cell Line for Evaluating Cellular Effects of Oxidized Poly(ethylene terephthalate) Microplastics, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 234, 113735, (2024)

DOI: 10.1016/j.colsurfb.2023.113735