

産業廃棄物の発生抑制・低減化に関する調査研究

村山正樹*, 松浦真也*, 市川幸治*, 森澤 諭*,

西川 孝*, 前川明弘*, 増山和晃**

Survey and Research on Control of Waste Generation and Waste Reduction in Fiscal Year 2022

Masaki MURAYAMA, Shinya MATSUURA, Koji ICHIKAWA, Satoshi MORISAWA,
Takashi NISHIKAWA, Akihiro MAEGAWA and Kazuaki MASUYAMA

1. はじめに

平成 20 年に閣議決定された第二次循環型社会形成推進基本計画にて、狭い地域で循環可能な資源は極力地域内で循環させ、それが困難なものについてはより広域で循環させる「地域循環圏」の考え方が示された。これに則し、三重県においても産業廃棄物の発生抑制・有効活用の促進を図ってきており、三重県工業研究所では平成 29 年度から「地域循環圏の形成に向けた産業廃棄物に関する調査研究」を行ってきた¹⁻⁴⁾。

平成 30 年に閣議決定された第五次環境基本計画において、「地域循環圏」は「自然共生圏」の理念を包含する「地域循環共生圏」の考え方に統合されたが、地域における資源循環の重要性は変わらず、三重県工業研究所では令和 3 年度から「産業廃棄物の発生抑制・低減化に関する調査研究」を進めてきている⁵⁾。ここでは、その最新の進捗状況の概要を報告する。

2. 事業の実施状況

2.1 概略

令和 4 年度は、26 社を訪問しヒアリング・サンプリングを行うとともに、各種調査や分析評価、可能性試験を行った。以下に、調査及び分析評価の実施例について一例ずつ述べる。

* ものづくり研究課

** プロジェクト研究課

2.2 調査実施例：太陽光発電パネルのリサイクル用途調査

平成 24 年より始まった固定価格買取 (FIT) 制度により、我が国における太陽光発電パネルの設置が急速進んだ。その一方で、今後大量の太陽光パネルの廃棄が見込まれており、2039 年 (令和 21 年) 頃には年間 80 万 t 程度になるとする試算もある⁶⁾。これは年間の産業廃棄物最終処分量全体 (平成 24 年度実績) の 6% に相当する量であり、処分場の逼迫が懸念される。

太陽光発電パネルの構成部材としては、重量比で 60-80% 程度をガラスが占める⁷⁻⁸⁾ことから、そのリサイクルを図ることが最終処分量を低減する上で重要である。ガラスの主成分は二酸化珪素 (SiO₂) であり、その純度が高ければ、高品位の SiO₂ 源としてリサイクルできる可能性が高まる。我々のこれまでの調査研究²⁾において、SiO₂ 含有率が 90% 以上あれば、軽量発泡コンクリート製品 (ALC) に利用できる可能性がある。しかしながら、太陽光パネルのガラスの組成を分析した報告⁹⁾によると SiO₂ 含有率は 70% 程度に留まり、ALC への応用は難しい。ガラスのリサイクル用途としては発泡体化⁸⁾等も検討されており、今後より広く調査を進めることで、最適なリサイクル用途を探索していく必要がある。

2.3 分析評価実施例：混合プラスチック廃棄物の分析方法の検討

令和 4 年より「プラスチックに係る資源循環の

促進等に関する法律」が施行され、事業者等にプラスチックの排出抑制・再資源化が求められるとともに、容器リサイクル法（容リ法）ルートを活用した回収が可能になった。容リ法ルートで回収されるプラスチック廃棄物は混合物であり、リサイクル活用するためにはその組成を把握することが重要である。プラスチックの生産量、また容器包装への使用量から考えて、回収されるプラスチックの大半は、ポリエチレン（PE）とポリプロピレン（PP）からなると思われる。また汎用プラスチック中でPEとPPのみは比重が1より軽く、水を用いた比重選別を行ってもこの2者は分離できない。そこでまず、この2者の組成比を簡易に分析することを検討した。

プラスチック製容器包装再生処理ガイドライン¹⁰⁾では、混合プラスチック廃棄物中のPE及びPPの組成（純度）は、核磁気共鳴装置（NMR）を用いて測定することとされている。この手法は、試料を溶媒に溶かした溶液系で均質な分析ができる点で優れている。しかし、NMRは導入及び維持管理に多大なコストがかかるため、事業者が保有している例は少ない。そこで、より簡便な装置で混合プラスチック廃棄物中のPE及びPPの組成が分析できないか検証した。NMRに代わる装置としては、フーリエ変換赤外分光計（FT-IR）や示差走査熱量計（DSC）などが検討されている¹¹⁻¹³⁾。本事業ではこれらの装置に加え、以前にこれらの装置とともに樹脂材料の結晶化度評価に用いた¹⁴⁾X線回折装置（XRD）についても検証した。

既知量のPEとPPを混合し一軸押出混練したモデル試料を作製し、FT-IR、DSC及びXRDで測定した。PEについては、大きく低密度ポリエチレン（LDPE）と高密度ポリエチレン（HDPE）に大別でき、これらPEの種類の違いによりFT-IRやDSCを用いた際に検量線の感度係数が変動することで見積られるPE組成の誤差が大きくなってしま^{12,13)}。そこで、2種類のPEを用いた別々のモデル試料（LDPEとPPの混合物／HDPEとPPの混合物）を作製し、その差についても検証した。

その結果、以下のことが分かった。

- ・FT-IRでは、ごく少量（2mm角）の固体試料の最表面のみの測定であるため、混合物であるプラスチック試料のどの部分を測定するかによって得られるデータの変動が大きくなる。但しFT-

IRでは迅速な測定ができるため、1つの試料から多くの測定点（N数）をとることで違いを平均化し、その試料を代表する結果を得ることが可能である。また、PEの種類による変動に対しては、変動の小さいピーク（波数）を選ぶことである程度対応が可能である

- ・DSCでは、試料量は少量ではあるが熔融状態での測定となり、更に2度目の昇温時のピークを解析することにより結晶化の条件も揃った比較的変動の小さいデータを得ることができる。但しFT-IRよりも試料の秤量や測定に時間がかかり、迅速な測定はできない。また、PEの種類による変動は大きい、DSC測定ではLDPEとHDPEでピーク位置（融点）が異なるため、PEの種類を識別して対応することは可能と考えられる
 - ・XRDでは、固体試料の測定になるが、FT-IRより大面積かつX線侵入深さも深いため、変動の小さいデータを得ることができる。但し、XRDのピークは結晶化度により大きく変化するため、一定の条件でPE及びPP組成を測定するためには、事前に熱処理を行うなどの工夫が必要になる。また、PEの種類による変動は大きい
- 以上をまとめると、表1のようになる。

3. まとめ

本事業により、ヒアリング・調査・分析評価・可能性試験等を行った。今後もこれらの事例を積み上げ、実施数を増やすことで、数多く雑多な種類のものが排出される廃棄物に対し、その利活用の選択肢を増やし、地域循環共生圏の形成につなげていきたい。

謝辞

本調査研究事業では、県内企業の皆様より多くのご協力を賜った。ここに付記し、深謝する。

参考文献

- 1) 前川明弘ほか：“地域循環圏の形成に向けた産業廃棄物に関する調査研究”。三重県工業研究所研究報告，42，p130-131（2018）
- 2) 前川明弘ほか：“地域循環圏の形成に向けた産業廃棄物に関する調査研究”。三重県工業研究所研究報告，43，p188-190（2019）

表 1 混合プラスチック廃棄物の分析手法の比較

手法	利点	課題	PEの種類による変動
フーリエ変換 赤外分光計 (FT-IR)	迅速に測定が可能	固体試料のごく一部 (表面)の分析 → N数で対応可能	ピーク波数を選べばある 程度対応可能
示差走査熱量計 (DSC)	熔融状態での均質な測定	試料の秤量・測定に時間 がかかる	変動大きい → 融点で識別は可能
X線回折装置 (XRD)	大面積での均質な測定	結晶化度の影響大 → 熱処理が必要	変動大きい

- 3) 松浦真也ほか：“地域循環圏の形成に向けた産業廃棄物に関する調査研究”. 三重県工業研究所研究報告, 44, p194-195 (2020)
 - 4) 村山正樹ほか：“地域循環圏の形成に向けた産業廃棄物に関する調査研究”. 三重県工業研究所研究報告, 45, p150-152 (2021)
 - 5) 村山正樹ほか：“産業廃棄物の発生抑制・低減化に関する調査研究”. 三重県工業研究所研究報告, 46, p103-105 (2022)
 - 6) 環境省 大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 企画課 リサイクル推進室：“太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン”. (2016)
 - 7) 平成 28 年度環境省委託事業：“使用済太陽電池モジュールの新たなリサイクル, リユースシステムの構築実証事業 報告書”. (2017)
 - 8) 平井和彦ほか：“化合物系太陽電池パネルのリサイクル方法の開発”. 第 33 回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 2022, p287-288 (2022)
 - 9) 嶋田一裕ほか：“太陽光パネルのリサイクル化技術開発”. 石川県工業試験場平成 30 年度研究報告, 68, p58-61 (2019)
 - 10) (公財) 日本容器包装リサイクル協会：“令和 5 年度プラスチック製容器包装再生処理ガイドライン”, (2022)
 - 11) 中村重哉ほか：“リサイクル・PE/PP ペレットへの相溶化剤添加による力学的特性の向上に関する研究”. 環境資源工学, 54, p167-174 (2007)
 - 12) 村松圭介ほか：“ポリエチレン・ポリプロピレン樹脂における混合比の測定”. あいち産業科学技術総合センター研究報告, p12-13 (2016)
 - 13) 足立隆浩ほか：“プラスチック材料の品質向上技術の開発 (第 2 報)”. 岐阜県産業技術総合センター研究報告, 1, p37-40 (2020)
 - 14) 村山正樹ほか：“樹脂材料の結晶化度の評価に関する検討”. 三重県工業研究所研究報告, 46, p47-53 (2022)
- (本調査研究事業は、産業廃棄物税を財源としています.)