

令和7年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業
(うち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業)
(長寿命用途のバイオプラスチック素材開発と資源循環の
ライフサイクル実証事業) 委託業務

成果報告書

令和8年3月

公益財団法人京都高度技術研究所

実証事業成果の要旨

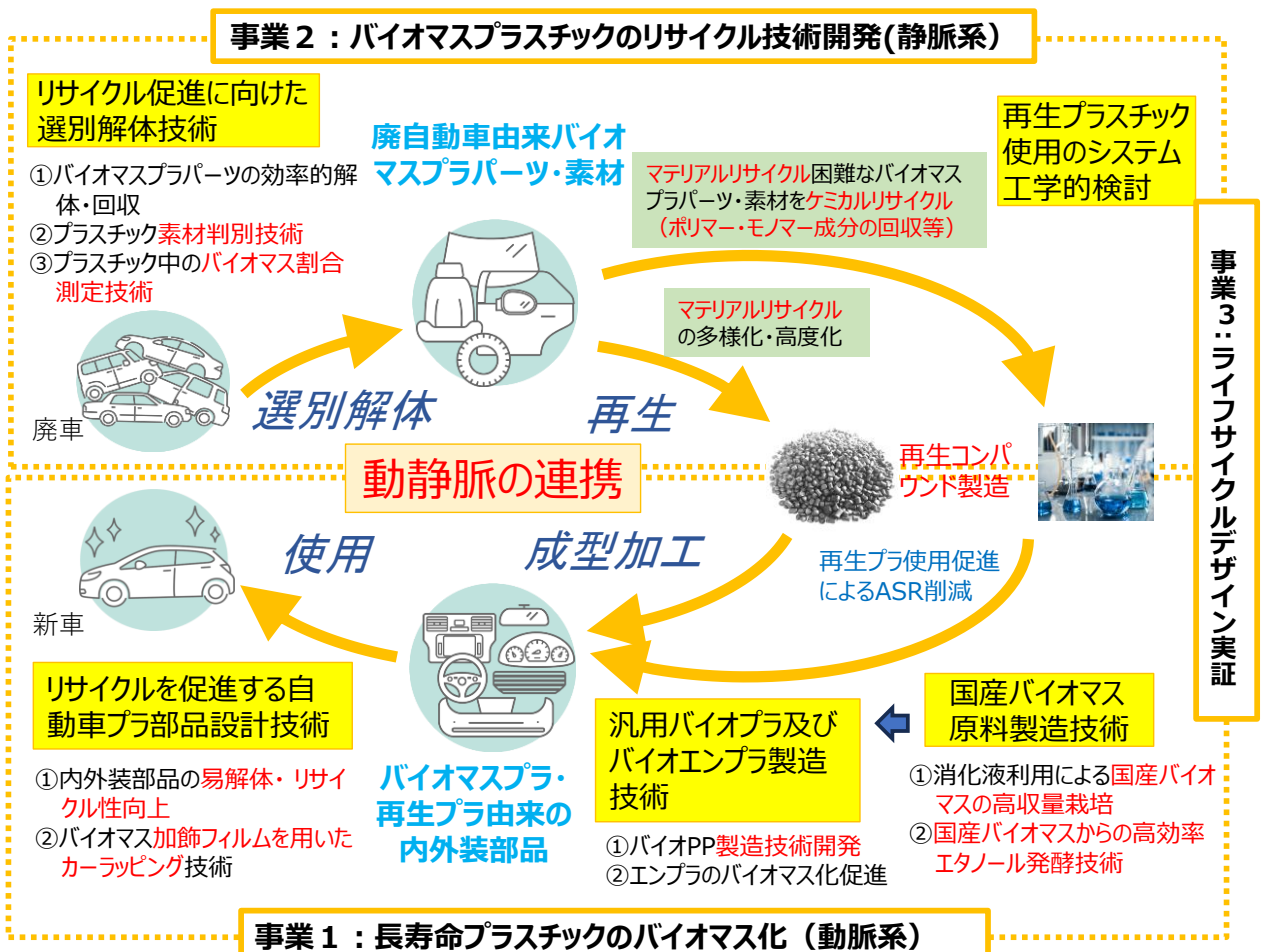
令和7年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業（うち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業）
長寿命用途のバイオプラスチック素材開発と資源循環のライフサイクル実証事業

申請法人 （公財）京都高度技術研究所
共同実施者 三菱ケミカル（株）
豊田合成（株）
いその（株）
三菱UFJリサーチ&コンサルティング（株）

（１）本実証事業の概要

本事業は、使用年限が長期にわたる自動車用途等での利用が拡大するプラスチックのバイオマス化・資源循環に係る技術開発を進めるとともに、これによって実現し得るライフサイクルでの温室効果ガス削減効果等の評価を通じて、用途に適合した十分な寿命のプラスチックの動静脈が連携する新たな資源循環モデルを構築・検証し、脱炭素化・資源循環の加速化を目指すものである。

そのため、バイオマス由来プラスチックの自動車内外装部品用素材としての適性を検証し、効率的な素材判別、解体・回収方法の検討を実施するとともに、リサイクル技術開発、検出装置開発、バイオマス原料の国産化や耐久性評価指標の開発、LCAによる本事業のCO₂削減効果試算を行う。



本事業の概要

（２）令和 7 年度の成果

令和 7 年度は、石油系ナフサにバイオナフサを混合した原料を用いて製造したバイオポリプロピレン（実配合バイオ PP）の自動車内装部品向けの素材として妥当性を検証した。バイオエンジニアリングプラスチックとしては、新たなバイオポリカーボネートの開発に取り組んだ。またスプレー塗装を代替する加飾フィルム基材としてバイオマス由来の熱可塑性ポリウレタン樹脂（バイオ TPU）を用いて防汚機能や粘着・剥離性について検証した。PP 材を中心に、回収量が確保できかつ解体分離が容易であるパーツを回収候補として、一次手解体と一次ニブラ解体を二つの事業者で精緻解体を実施した。マテリアルリサイクル（MR）に不向きな廃プラのケミカルリサイクル（CR）技術開発にも取り組んだ。黒色の自動車部品プラスチックの素材判別に有望な中赤外線に関し、FT-IR 方式と波長固定方式を比較検討した。回収するプラスチックのバイオベース度を計測する方式として、最有力候補のキャビティリングダウン分光法（CRDS）について、装置仕様決定に向けた要件を整理した。中長期的視点からバイオマス原料の国産化を図るため、国内の栽培環境に適した候補作物を比較検討した。また、実配合バイオ PP と石油由来 PP の耐光性試験前後での強度変化とマイクロ分析により、劣化の要因を調査した。自動車の PP 素材・PP 使用部品等のプラスチック使用量を推定する動的フローモデルの改良、化石資源由来プラスチックからバイオ PP 及びバイオエンジニアリングプラスチック（バイオエンブレ）への転換による温室効果ガス（GHG）削減効果に加え、塗装レス化の GHG 削減効果についても一次試算した。

自動車部品に多く使用される PP のバイオマス化促進に向け、実配合方式の 2 種のバイオ PP から耐衝撃性に優れた素材を選定してエアバッグカバーを試作した結果、従来の石油由来製品と同等の外観が得られた。また、紫外線照射による耐光性試験では、機械的物性の変化傾向が石油由来品とほぼ同等であり、高い代替可能性が示された。劣化後もバイオマス度（環境価値）が維持されることが確認された。実配合したバイオ PP がコンパウンドによって汎用 PP の物性目標を満足し得ることも確認されており、再生材の利用が困難な安全部品から優先的に導入を進めた上で、段階的に汎用部品へと展開することで着実に社会実装を進めていく方針である。

自動車の内装用途への応用を目指し、新たなバイオエンジニアリングプラスチックの開発が行われた。ポリオール系および直鎖アルキル系モノマーを用いた 2 種の共重合ポリマーを開発し、いずれも十分なバイオ化度と耐熱性を備えていることが確認された。特にポリオール系は極めて優れた耐薬品性を示し、人の手が触れる部材に適している。また、両者とも現行の DURABIO™と同程度の耐衝撃性を有しており、直鎖アルキル系は高い透明性を活かした石油由来材料の代替が期待される。令和 8 年度には、これらの樹脂を用いた実際の部材試作と成形加工を通じて、実用化に向けた検証を進める計画である。

スプレー塗装をバイオマス由来の加飾フィルムに代替する「塗装レス化」については、バイオマス由来熱可塑性ポリウレタン（TPU）の分子設計と製膜技術を確立し、廃車時にフィルムを容易に剥がせる「易剥離接着技術」も併せて開発した。性能評価では、従来塗装を上回る光沢保持率（99.4%）を達成し、紫外線や湿熱環境下でも高い信頼性が確認された。また、リアスポイラー等の複雑な形状への立体成形性も検証済みである。本技術により、塗装工程の脱炭素化とプラスチックのリサイクル性向上の両立が可能となる。今後は製品スケールの大型化や限界性能の見極めを行い、社会実装を目指す。

廃自動車からバイオマスプラスチックを効率的に回収する技術開発については、一次手解体と一次ニブラ解体の 2 業者で精緻解体を実施しその解体性や回収量を調べた。その上で短時間に一定の回収量が期待できるように回収候補パーツとその一次解体方法を選択し、手解体とニブラ解体の組合せ解

体を実施した結果、二次解体時間の短縮が総回収時間の短縮に有効であり、ニブラ操作の習熟度も一次解体時間の短縮に影響することが判明した。また、回収効率を高める「易リサイクル設計」として、材料コードの明示、ハーネス等の分離構造化、吸音材の接着方法の変更（点付け）などが具体的に提案された。

バイオポリカーボネート（DURABIO™）を中心に、多様な素材の化学的リサイクル技術が検討された。バイオ PC については、UV 照射により劣化させた DURABIO™から原料モノマー（ISB）を単離できる可能性を見出し、溶解・再沈殿法に適した溶媒選定基準も確立できた。また、使用済みプリント基板のエポキシ樹脂から有用成分を回収できる可能性や、ポリウレタン廃材から解重合によりジアミン等を取得することにも成功した。今後の課題は、回収成分の精製手法の簡便化やコスト低減、および再生樹脂を用いた自動車部材としての適性検証であり、資源循環システムの深化を目指す。

解体現場での活用を目的とした、プラスチックの高度判別およびバイオマス度計測技術の開発成果である。従来困難だった黒色プラスチックの識別に対し、中赤外線を用いた FT-IR 方式によって高精度な樹脂判別スペクトルの取得に成功した。バイオマス度計測については、現場運用が可能な CRDS 装置を最有力候補とし、設置面積や測定時間（2 時間以内）などの具体的仕様を策定した。さらに、リサイクル材の価値を左右するにのびの原因物質（不純物）を解析する手法も検討されており、バイオマス度計測と不純物解析を連続して行う複合計測の可能性が示唆された。

資源・経済安全保障の観点から、バイオプラスチック原料の国産化が検討された。日本の気候に適したサトウキビやソルガム等の栽培モデルを評価し、岡山県笠岡地域をモデルとした「耕畜・肥料資源循環システム」が提案された。これは、牛ふん由来のバイオガス発電から生じる消化液を肥料として活用するモデルである。技術検証では、国産の糖糧作物から精製したエタノールが、不純物の影響なく化学品原料として利用可能であることが確認されており、今後は、搾汁残渣の飼料利用などによる収量増とコスト削減を追求し、既存の農業システムに組み込める実現性の高い生産システムを提案する。

バイオ PP を中心に、機械特性・耐光性劣化挙動・ミクロ指標等を統合的に評価し、物性差及び裂開機構の整理を行った。特に、紫外線（UV）による劣化メカニズムを分析し、分子量変化や結晶化度、カルボニル指数といったミクロの指標を抽出することで、マクロな機械特性の低下プロセスが明確化された。これらの指標を用いることで、初期物性の差異や経年劣化を客観的に評価する体系が構築された。本成果は、バイオ PP の適切な用途選定や製品設計、さらには劣化度に応じた最適ナリサイクル条件の提示に寄与するものであり、高耐久性が求められる自動車分野で重要な技術基盤となる。

令和 6 年度に構築したボトムアップ型の推計モデルを改良し、年間生産台数、使用自動車中ストック、そして廃棄段階に至るまで、自動車ライフサイクル全体にわたるプラスチックフローを 2050 年まで定量化した。また、新たに新車輸入や部品の再使用、解体手法の差異を分析に組み込んだ。その結果、再生 PP の供給ポテンシャルは 2030 年時点で年間 14.5 万 t ～18.5 万 t と試算されたが、将来的な車両台数の減少に伴い、2050 年には約 30%減少する見込みであることも分かった。温室効果ガス（GHG）削減については、解体工程での部品回収により 37 万 t、さらに回収されず ASR（シュレッターダスト）となる部品へのバイオ PP 導入により 8.5 万 t、合わせて年間 45 万 t-CO₂eq の大幅な削減効果が期待できると試算された。また、バイオマス加飾フィルムによる塗装レス化技術も、従来塗装に代わる有効な環境負荷低減策として暫定的に示された。

以上のように、令和 7 年度における各事業の検討課題は概ね計画通りに目標を達成することができた。令和 8 年度は最終年度であり、個々の課題の解決を図るとともに、プロジェクト全体としての GHG 削減効果を推計し、システムとしての有効性を実証する。

Summary of the progress of the demonstration project in FY2025

Development of biobased plastics for long-life applications and life cycle demonstration for resource circulation

Representative: Advanced Science, Technology & Management Research Institute of KYOTO

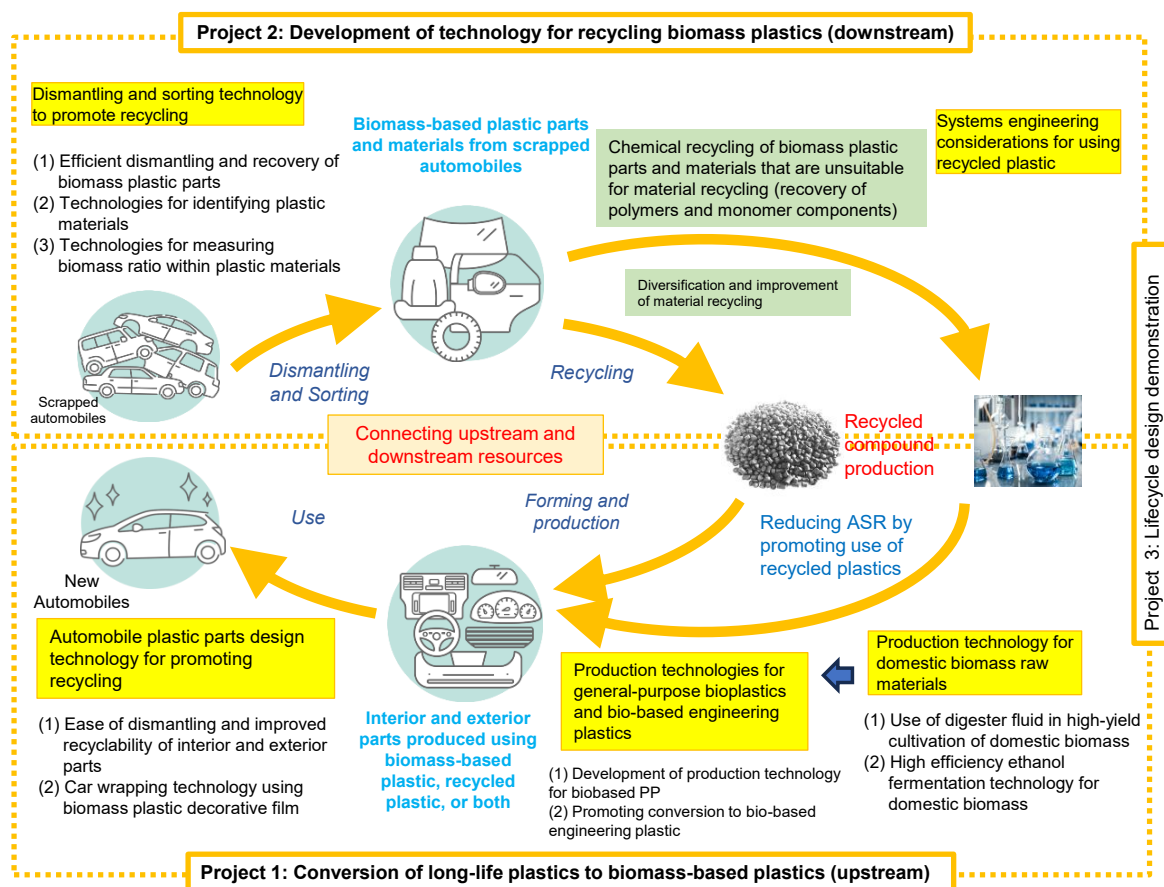
Jointly implemented by Mitsubishi Chemical Corporation, Toyota Gosei, ISONO,

and Mitsubishi UFJ Research and Consulting

(1) Demonstration Project Overview

The use of plastics for long-life application, such as automobile components, is increasing. The project aims to promote the development of technologies to shift from fossil plastics to biobased plastics and technologies for resource circulation. The potential for reducing life cycle greenhouse gas (GHG) emissions through substitution to biobased plastics and resource circulation will be evaluated by building and verifying a new resource circulation model that interconnects the upstream (production) and downstream (recycling) systems for plastics with adequate durability for long life applications. Our overall goals are to accelerate decarbonization and resource circulation.

Therefore, we are verifying the suitability of biomass-based plastics as materials for automotive interior and exterior parts. We are also examining efficient material identification methods and disassembly/recovery techniques. Additionally, we are developing recycling technologies, detection devices, domestically produced biomass raw materials, and durability evaluation indicators. A life cycle assessment is estimating the potential for reducing CO₂ emissions of the technologies developed by the project.



Outline of the demonstration project

(2) Results in FY2025

In fiscal year 2025, we verified the suitability of bio-based polypropylene (PP) (segregated bio-based polypropylene) produced using a raw material mixture of petroleum-based naphtha and bionaphtha for use in automobile interior components. For bioengineering plastics, we continued with the development of new biopolycarbonates. We verified the stain resistance and adhesion/peelability of bio-based thermoplastic polyurethane resin (bio-TPU) as a decorative film alternative to spray paint. Parts that could be recovered in large quantities and easily dismantled, mainly made of PP, were selected as candidates for recovery. Precise dismantling was carried out by two companies: one using manual methods and the other using a nibbler for primary dismantling. We also engaged in the development of chemical recycling (CR) technology for waste plastic not suitable for material recycling (MR). For mid-infrared spectroscopy, we compared FT-IR and fixed-wavelengths methods for material identification of black automobile part plastics. For cavity ring-down spectroscopy (CRDS), the most promising method for measuring the biobased content of collected plastic, we compiled the requirements for determining equipment specifications. We evaluated the causes of segregated bio-based polypropylene and petroleum-derived PP deterioration using strength and microanalysis testing before and after lightfastness tests. We employed an improved dynamic flow model to estimate the amount of plastic (such as PP materials and parts made from PP) used in automobiles, and to calculate the greenhouse gas (GHG) emission reduction effect of switching from fossil resource-derived plastics to bio-PP and bio-based engineering plastics. Also, we conducted preliminary calculations to estimate the effect of eliminating paint on GHG emission reductions.

To promote the conversion from petroleum-derived PP, which is widely used in automobile parts, to bio-PP, we selected a material with excellent impact resistance from among two types of bio-PP formulated using conventional compounding method, which we used to fabricate air bag covers. The appearance of the resulting product was comparable to that of petroleum-derived products. The trends in changes in mechanical properties after a lightfastness test using UV irradiation were similar to those of petroleum-derived products, indicating a high potential for substitution. It was confirmed that the biomass content (environmental value) was maintained even after the degradation testing. It was confirmed that segregated bio-based polypropylene, depending on the composition, can meet the target physical properties required for general-purpose PP. The plan is to steadily deploy the material, starting with safety components, where the use of recycled materials is difficult, and then gradually expand to general-purpose components.

We are in the process of developing new bio-based engineering plastics with the aim of application in automobile interiors. Two types of copolymers were developed using polyols and linear alkyl monomers; both of which were confirmed to have sufficient bio-based content and heat resistance. The polyol-based materials, in particular, were confirmed to have excellent chemical resistance and are suitable for parts that come into contact with human hands. The impact resistance of both materials was comparable to that of the current DURABIO™ material; the linear alkyl-based material is anticipated to serve as a substitute for petroleum-derived materials due to its high transparency. In FY2026, we plan to fabricate prototype parts using the resins to verify their feasibility for commercial application.

Regarding “paint-free” solutions for replacing spray paint with a bio-based decorative film, we established a molecular and film-forming technology for bio-TPU and developed an “easy-peel adhesive technology” that allows the film to be easily removed when the vehicle is scrapped. Performance assessment showed that gloss retention (99.4%) exceeded that of conventional paint and high reliability under high ultraviolet irradiation and in hot, humid environments. In addition, we verified the ability to form into complex shapes, such as rear spoilers.

The technology achieves decarbonization of the painting process and improves the recyclability of plastic. Moving forward, the aim will be to scale up product sizes and identify performance limits, with the goal of social implementation.

For the development of efficient technology for the recovery of biomass plastic from scrapped automobiles, two companies, one using manual dismantling and one using a nibbler for primary dismantling, carried out precise dismantling of scrapped automobiles to evaluate the dismantling ability and recovery volume. Based on the results, we selected candidate parts for recovery and primary dismantling methods to ensure that a consistent amount of material could be recovered in a short time. We showed that, using a combination of manual and nibbler dismantling, total recovery time can effectively be reduced by reducing secondary dismantling time. Also, it was found that the level of proficiency in nibbler operation affected primary dismantling time. Specific proposals were made for “easy to recycle design” to improve recovery efficiency, including clearly indicating material codes, separating wiring harnesses and other components, and changing the methods for bonding sound-absorbing materials (spot bonding).

We investigated a chemical recycling technologies for various materials, with a focus on biopolycarbonate (DURABIO™). We demonstrated the potential to isolate the raw material monomers (isosorbide) from DURABIO™ degraded by UV irradiation and established criteria for selecting an appropriate solvent for dissolution and reprecipitation. We also demonstrated that it is possible by depolymerization of polyurethane waste to recover useful components from epoxy resin in printed circuit boards as well diamines and other substances. Future challenges include simplifying the refining method for recovered substances, reducing costs, and verifying the suitability of chemically recycled resins for producing automobile components with the aim of advancing the resource recycling system.

Regarding the development of advanced plastic identification and biomass content measurement technology for use at dismantling sites, we were able to obtain highly accurate resin identification spectra by using a mid-infrared FT-IR method, overcoming the difficulty of identifying black plastics with conventional methods. For biomass content measurement, we identified an on-site CRDS device as the most promising candidate and developed detailed specifications, including area required for installation and measurement time (within 2 hours). In addition, methods for analyzing odor-causing substances (impurities) that affect the value of recycled materials were considered; a combined approach was suggested that measures biomass content followed by impurity analysis.

The domestic production of raw materials for biomass-based plastics was considered from the perspective of resource and economic security. Cultivation models were assessed for crops suitable for Japan’s climate, including sugar cane and sorghum. A model for the Kasaoka area of Okayama Prefecture for a crop, livestock, and nutrient recycling system was proposed, using digester fluid from cow manure biogas power generation as fertilizer. We technically confirmed that ethanol produced from domestically produced sugar crops as a chemical feedstock can be used without effects from impurities. Future work will include the pursuit of increased yields and cost reductions by utilizing sugar crop processing residues in animal feed and the production of production systems with high feasibility for integration into existing agricultural systems.

An integrated assessment was conducted focusing on bio-PP, including mechanical properties, resistance to light degradation, micro-indices to analyze differences in physical properties, and cracking mechanisms. The UV degradation mechanism was analyzed to extract micro-indices such as changes in molecular weight, crystallinity, and carbonyl index to clarify the process for macroscopic mechanical degradation. The indices were used to build a system for objectively assessing differences in initial physical properties and degradation over time. The results

will contribute to the selection of appropriate applications and product design for bio-PP, as well as to optimal recycling conditions corresponding to the level of degradation, and serve as an important technical foundation for the automotive sector, where high durability is required.

The bottom-up estimation model developed in FY2024 was improved and used to quantify the flow of plastic throughout the automobile industry lifecycle, from annual production volumes, vehicle stock in use, and the end-of-life stage through 2050. In addition, new-vehicle imports, component reuse, and differences in dismantling methods were incorporated into the analysis. The potential supply of recycled PP was estimated to be 145,000 to 185,000 tons annually in 2030. However, the potential supply was projected to decrease by 30% by 2050 due to future decline in the number of vehicles. It was estimated that GHG emissions would decrease by 370,000 tons due to the recovery of components during the dismantling process and by 85,000 tons from the use of bio-PP in components that become unrecoverable ASR (shredder dust), for a total emissions reduction of 450,000 t-CO₂eq. Furthermore, it was demonstrated that paint-free technology using biomass-derived decorative films could be an effective alternative to conventional painting and reduce environmental impact.

As outlined above, the work for each project in FY2025 was largely carried out as planned, and objectives were generally achieved. During FY2026, the last year of the project, efforts will focus on resolving specific issues, estimating the overall GHG-reduction effects of the technologies developed by the project, and demonstrating the system's impact.

< 目 次 >

1. 本実証事業の概要	1
1.1 実証事業概要	1
1.2 技術及び社会的意義	1
1.3 実施体制と実施計画	1
1.3.1 実施体制	1
1.3.2 実施計画	2
1.4 将来展望	3
2. 長寿命用途バイオマスプラスチックの導入拡大に向けた素材開発（事業1）	5
2.1 自動車用途プラスチックのバイオマス化：汎用バイオマスプラスチック（バイオ PP 等）の実装促進に向けた検討	5
2.1.1 目的	5
2.1.2 バイオ PP の自動車用プラスチックへの実装に向けた検討内容	5
2.1.3 バイオ PP の自動車内外装部品へのバイオ PP の自動車内外装部品への適用性評価（エアバッグカバーへの適用）	6
2.1.4 バイオ PP の自動車内外装部品への適用性評価（汎用 PP への適用）	13
2.2 自動車用途プラスチックのバイオマス化：バイオエンブラ等の素材開発に向けた検討	19
2.2.1 本課題の目的	19
2.2.2 自動車内外装部品に向けた新たなバイオポリカーボネートの開発	19
2.3 自動車用途プラスチックの環境配慮設計に向けた検討	24
2.3.1 目的	24
2.3.2 自動車用加飾フィルムに向けたバイオポリウレタン素材の開発	24
2.3.3 自動車用加飾フィルムに向けたバイオポリウレタンフィルムの製膜技術の開発	25
2.3.4 バイオポリウレタンを活用した粘着剤の開発	27
2.3.5 自動車加飾フィルムに向けたプラズマプロセスによる防汚処理	29
2.3.6 自動車加飾フィルムに向けた易剥離性を考慮した粘着層の設計	34
2.3.7 自動車加飾フィルムに向けたリサイクル性を阻害しない無機顔料を用いた加飾印刷の検討	38
2.3.8 自動車用加飾フィルムに向けた性能評価等の検討	40
3. 長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発（事業2）	44
3.1 自動車用途バイオマスプラスチックの解体・判別技術の開発	44
3.1.1 目的	44
3.1.2 令和6年度の成果	44
3.1.3 令和7年度の実施内容	45

3.1.4 廃自動車の解体性の検討.....	46
3.1.5 易解体性の検討.....	55
3.1.6 バイオマスプラスチックパーツへの変換の検討.....	56
3.1.7 まとめと課題.....	57
3.2 自動車用途バイオマスプラスチックのケミカルリサイクル技術の多様化	64
3.2.1 目的	64
3.2.2 廃自動車由来の使用済みプラスチック製品のリサイクル技術の開発：ポリカーボネート樹脂を含むもの等	64
3.2.3 廃自動車由来の使用済みプラスチック製品のリサイクル技術の開発：ポリカーボネート、ポリエステルを含むもの等	66
3.2.4 廃自動車由来の使用済みプラスチック製品のリサイクル技術の開発：エポキシ樹脂を含むもの等	71
3.2.5 廃自動車由来の使用済みプラスチック製品のリサイクル技術の開発：ポリウレタンを含むもの等	73
3.3 バイオマスプラスチックの素材や由来の検出技術の開発	76
3.3.1 目的	76
3.3.2 バイオマスプラスチックの素材の検出技術の開発	76
3.3.3 バイオマスプラスチックの由来の検出技術の開発	86
4. 脱炭素化資源保全時代のライフサイクル設計の在り方検討（事業3）	90
4.1 バイオマスプラスチック国産原料開発	90
4.1.1 目的	90
4.1.2 資源作物からのバイオマスプラスチック製造ルートと栽培要件の整理	90
4.1.3 バイオマスプラスチックの国産原料生産システムの提案と検証	94
4.2 ライフサイクルに応じたバイオプラスチックのシステム開発	99
4.2.1 目的	99
4.2.2 方法	99
4.2.3 結果	100
4.2.4 まとめと課題.....	109
4.3 ライフサイクル観点から見た実証事業展開ライフサイクルに応じたバイオプラスチックのシステム開発	110
4.3.1 目的	110
4.3.2 自働車のプラスチックならびに PP の動的フローモデル開発	110
4.3.3 バイオマスプラスチック代替による GHG 削減効果の試算	113
4.3.4 加飾フィルムによる塗装レス化の GHG 削減効果の試算	116
5. 事業全体の令和7年度の成果と今後の課題.....	118
5.1 長寿命用途バイオマスプラスチック導入拡大に向けた素材開発（事業1）	118

5.1.1 自動車用途プラスチックのバイオマス化：汎用バイオマスプラスチック（バイオ PP 等） の実装促進に向けた検討	118
5.1.2 自動車用途プラスチックのバイオマス化：バイオエンブラ等の素材開発に向けた検討	119
5.1.3 自動車用途プラスチックの環境配慮設計に向けた検討	119
5.2 長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発（事業 2）	119
5.2.1 自動車用途バイオマスプラスチックの解体・判別技術の開発	119
5.2.2 自動車用途バイオマスプラスチックのケミカルリサイクル技術の多様化	120
5.2.3 バイオマスプラスチックの由来や素材の検出技術の開発	120
5.3 脱炭素化資源保全時代のライフサイクル設計の在り方検討（事業 3）	121
5.3.1 バイオマスプラスチック国産原料開発	121
5.3.2 ライフサイクルに応じたバイオプラスチックのシステム開発	121
5.3.3 ライフサイクル観点から見た実証事業展開	121
参考資料	0
1. 実施記録	1
2. 成果（特許、論文、学会発表等）	4
2.1 特許権	4
2.2 学会発表	4
2.3 その他	4

1. 本実証事業の概要

1.1 実証事業概要

本事業は、使用年限が長期にわたる自動車用途等での利用が拡大するプラスチックのバイオマス化・資源循環に係る技術開発を進めるとともに、これによって実現し得るライフサイクルでの温室効果ガス削減効果等の評価を通じて、用途に適合した十分な寿命のプラスチックの動静脈が連携する新たな資源循環モデルを構築・検証し、脱炭素化・資源循環の加速化を目指している。

そのため、自動車用途を対象として取り上げ、長寿命用途バイオプラスチックの導入拡大に向けたバイオマス素材開発（事業1）、長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発（事業2）、脱炭素資源保全時代のライフサイクル設計の在り方検討（事業3）の3つの事業に取り組むものである。

1.2 技術及び社会的意義

プラスチック資源循環戦略（2019年）は、2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入する目標（マイルストーン）を掲げている。今後、同戦略に基づき、バイオマスプラスチックの導入を推進する政策・制度が導入されれば、様々なプラスチック用途においてバイオマスプラスチックへの素材転換が進むと予想される。特に、長寿命（概ね5～10年以上）のプラスチック用途については、2030年という同戦略のバイオマスプラスチック導入の目標年次を踏まえると優先的な素材転換への対応が求められるところ、長寿命である自動車用途のプラスチックにもバイオマスプラスチック導入が進むことが期待される。その場合、使用済み自動車から回収されるプラスチックにもバイオマスプラスチックが含まれることになるが、「バイオマス由来のリサイクルプラスチック」であることを価値化できれば、現状では主にコストがネックとなり使用済み自動車から回収されずに自動車破砕残さ（ASR）として熱回収処理されている廃プラスチックをマテリアルリサイクル（MR）もしくはケミカルリサイクル（CR）用に仕向けられる可能性がある。本事業は、そういった近い将来における上述の政策基盤の実現を見据えて取り組むものである。

1.3 実施体制と実施計画

1.3.1 実施体制

（公財）京都高度技術研究所が申請法人として全体をとりまとめ、バイオマスプラスチック素材開発とケミカルリサイクル技術開発を三菱ケミカル（株）、自動車用内外装部品への適用性評価を豊田合成（株）、バイオマスプラスチックのコンパウンディングと物性評価をいその（株）、廃自動車の解体性評価について（公財）京都高度技術研究所と三菱UFJリサーチ&コンサルティング（株）、バイオマスプラスチック検出技術開発を（株）リコーと（株）島津製作所、各種分析については（株）島津テクノロジー、バイオマスプラスチック国産原料開発を京都農業の研究所（株）と三菱UFJリサーチ&コンサルティング（株）、耐久性評価指標開発を（国研）国立環境研究所、LCA解析による環境負荷低減効果の評価については（大）京都大学と三菱UFJリサーチ&コンサルティング（株）がそれぞれの課題を担当するが、幅広い学識経験者の指導の下、上記全構成メンバーが協力して効率的かつ効果的に実証事業を遂行できる体制を整えている。図 1-3-1 に実施体制表を示すが、メンバー名の横に、表 1-3-1 に示すテーマの中の主たる担当課題を付記する。

申請法人 事業管理及び事業 1, 2, 3

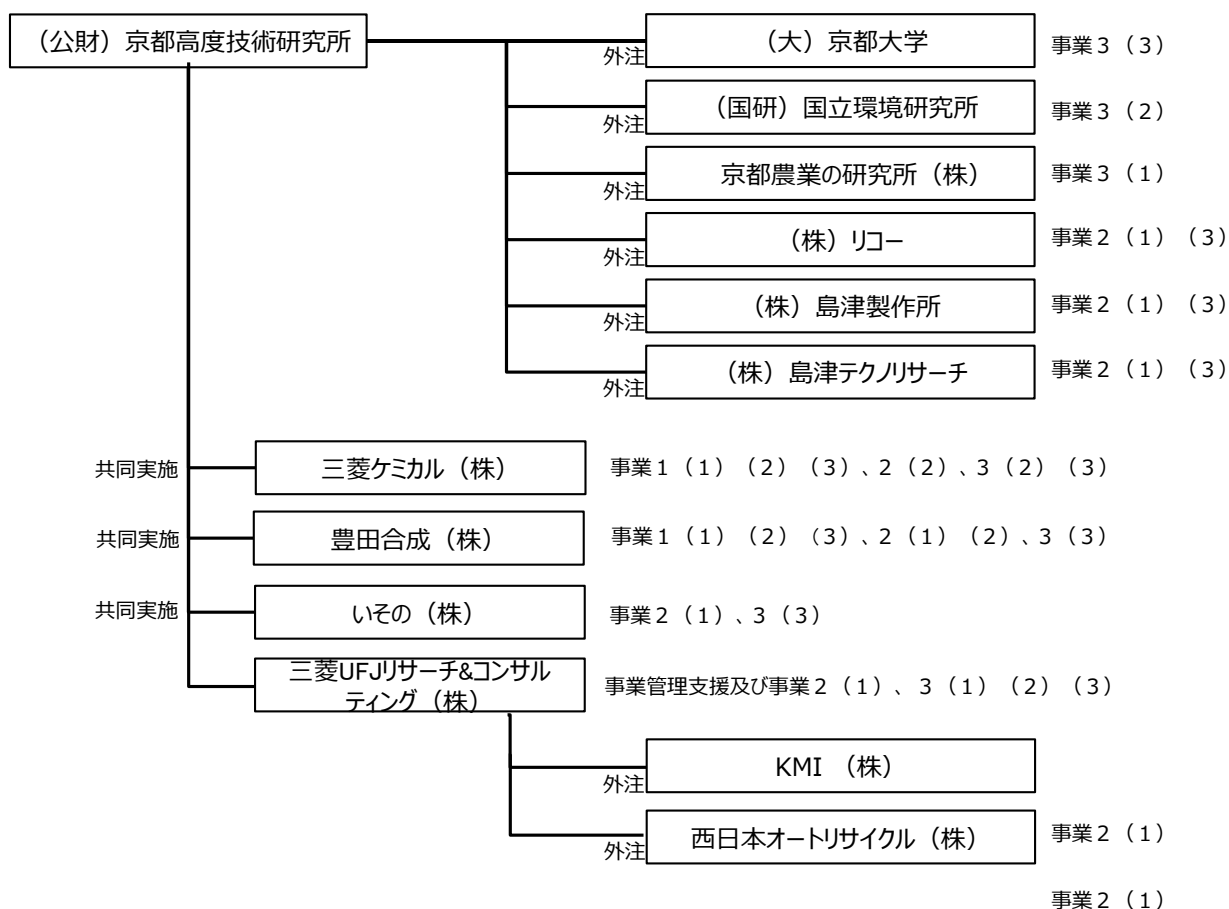


図 1-3-1 実施体制

1.3.2 実施計画

本実証事業は、大きく分けて、3つの実証事業から構成されている。

実証事業1では、プラスチック資源循環戦略のバイオマスプラスチック導入目標の達成に向け、自動車用途プラスチックについてもバイオマスプラスチックへの素材転換を目指すものであり、バイオPP等の汎用バイオマスプラスチックやバイオエンジニアリングプラスチックの社会実装を促進するものである。そのため、新たなバイオマスプラスチック素材の開発と自動車用内外装部品の素材としての適用性評価、更には、塗装工程を省略するための加飾フィルムの開発に取り組むことを計画している。令和7年度は、石油由来ナフサにバイオナフサを混合し原料を用いて製造されたバイオPP（実配合バイオPP）の自動車用プラスチック部品への適性評価を行う。また、新たなバイオPC等の試作と自動車用部品素材としての適性評価を行うとともに、バイオマス加飾フィルム素材を開発・製膜し性能評価するとともに、剥離、印刷技術の検討を実施する。

実証事業2では、将来的に自動車用途のプラスチックへのバイオマスプラスチックの導入が進んだ場合、使用済み自動車から回収されるプラスチックにもバイオマスプラスチックが含まれることから、それを価値化することを目指している。現状では主にコストがネックとなり使用済み自動車から回収されずに熱回収処理される廃プラスチックをMRもしくはCRに仕向けることが可能になると期待されるため、リサイクル関連技術の検討も必要であり、廃自動車由来のバイオプラの効率的解体・回収

システムの開発や回収したバイオマスプラスチックのMR技術とともにMRに不向きな低品質回収プラのCR技術開発にも取り組む。また、選別・回収作業の効率化のため自動車用内外装部品を対象としたプラスチック素材の検出装置の開発を進めるものである。令和7年度は、廃自動車の手解体とニブラ解体による精緻解体の実施により、その最適な組合せと回収候補の選定を行う。また、ポリマー成分やモノマー成分を効率よく回収する技術開発や黒色樹脂判別方式の絞り込みと¹⁴C濃度測定方式の装置仕様決定に向けた要件を整理する計画である。

実証事業3では、自動車用途バイオマスプラスチック用の原料の安定調達のために、中長期的視点からは原料の国産化が求められる。また、耐久性評価指標開発については、実配合バイオPPの紫外線（UV照射）による劣化試験を行い、強度変化とマイクロ指標の関係性を調査する。以上のような技術実証を行った上で、バイオマスプラスチック素材への転換によるライフサイクルでのGHG削減効果や資源保全効果等を算定することを目指している。令和7年度は、国内の栽培環境を踏まえた候補作物の比較評価と現行の農業システムに内包できる栽培システムに係わる調査を行う。また、バイオPPのGHG算定モデルと動的フローモデルの改良を行うとともに、加飾フィルムによる塗装レス化に伴うGHG削減効果も試算する。

三つの実証事業の実施課題に対する最終年度目標と令和7年度の実施計画を次表に示す。

表 1-3-1 最終年度目標と令和7年度の実施計画

実施課題	最終年度目標	令和7年度の実施計画
【事業1】 長寿命用途バイオマスプラスチックの導入拡大に向けた素材開発	(1) バイオPP等による自動車用内外装素材の活用促進 (2) バイオエンブラの開発と自動車用内外装部材へ適用 (3) バイオマス加飾フィルムの開発と塗装工程の省略	(1) 実配合バイオPPの素材評価と自動車用部品への適用可能性評価 (2) 新たなバイオPC等の試作と自動車用部品素材としての適性評価 (3) 加飾フィルム用バイオ素材の改良と製膜、剥離、印刷技術の開発
【事業2】 長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発	(1) 廃自動車由来バイオプラの効果的解体・回収システムの開発 (2) MRに不向きな低品質回収プラのCR技術開発 (3) 黒色プラスチックの素材判別技術と ¹⁴ C濃度測定装置の仕様決定	(1) 廃自動車の精緻解体による回収候補と最適解体システムの選定 (2) ポリマー成分やモノマー成分を効率よく回収する技術開発 (3) 黒色樹脂判別方式の絞り込みと ¹⁴ C濃度測定方式の仕様検討
【事業3】 脱炭素資源保全時代のライフサイクル設計の在り方検討	(1) 国産バイオマスの収量増、コスト削減可能な栽培方法の開発 (2) バイオマスプラスチックの耐久性評価指標の開発 (3) バイオマスプラスチック転換によるCO ₂ 削減効果の算定	(1) 国内栽培環境での候補作物の比較評価と最適栽培モデルの検討 (2) 実配合バイオPPのUV照射後の劣化指標と機械特性の関係整理 (3) 動的フローとLCA検討モデルの改良と塗装レス化のCO ₂ 試算

1.4 将来展望

本事業は、プラスチック資源循環戦略に基づくバイオマスプラスチックの導入を推進する政策・制度の導入や、「バイオマス由来のリサイクルプラスチック」の使用を制度的に価値化する仕組みの検討への基礎情報となることを想定しているが、バイオPP及びバイオエンブラの採用については、そのリサイクルシステムの整備と組み合わせることで、GHG排出削減や資源循環の促進に大きく貢献

し得ることから、その前提にとらわれず、動静脈が連携して取組を進めることが求められる。

特にバイオエンブラについては、バイオマス素材という価値だけでなく、素材そのものの性能という価値から、市場ニーズに応じた導入が進むと考えられる。また、自動車外板やガラス等の現時点ではプラスチック以外の他素材が使用されている部位へのバイオエンブラの採用も同様に期待される。

また、本事業により得られる知見については、自動車リサイクル業界・事業者に積極的に展開し、廃自動車由来のプラスチックの MR・CR 化に向けた取組を加速化することも必要である。事業 2(3) で開発するバイオマスプラスチックの検出技術についても、検出装置の自動車解体現場への普及が望まれる。

こうした中、欧州では、自動車への再生プラスチックの最低含有率の義務化が盛り込まれた ELV 規則案が提案・議論されているところであり、日本の自動車業界もそれに備えた動きが活発化している。最新の規則案では、最低含有率が施行 10 年後で 25%、さらにその内、Car to Car リサイクル由来が 20%と言われている。議論の途中では再生材の由来としてバイオマスプラスチックも狙上に上がったが、最新案では削除されている。とは言え、Car to Car で 20%を確保することは難しく、再びバイオマスプラスチックが取り上げられる可能性は高いと考えられ、その時には本実証事業の成果が貢献することが期待される。

更に、本事業で取り扱うバイオ PP 及びバイオエンブラとも、自動車用途の厳しい基準をクリアーできるものであれば、自動車用途以外にも幅広く適用できる可能性が高く、特にバイオ PP については、石油由来 PP の使用量が多い容器包装や家電製品等への展開が進むことが波及効果として期待される。

2. 長寿命用途バイオマスプラスチックの導入拡大に向けた素材開発（事業1）

2.1 自動車用途プラスチックのバイオマス化：汎用バイオマスプラスチック（バイオ PP 等）の実装促進に向けた検討

2.1.1 目的

自動車用途のプラスチックのうち、約6割を占める PP については、国内外の化学メーカーがバイオ PP 開発に向けた取組を進めており、今後、自動車部品への採用が始まると想定される。昨年度は将来的なバイオ PP の原料として国産バイオエタノールの製造に関する基礎的検討を行ったが、その商業的生産・社会実装にはまだ相当程度の時間を要すると見込まれる。一方、石油由来ナフサにバイオナフサを混合した原料を用いてプラスチックを製造する手法は既に実用化されていることを踏まえると、石油由来ナフサにバイオナフサを混合した原料を用いて製造したバイオ PP（実配合バイオ PP）の物性試験や小型の自動車用部品の試作を実施することが求められる。

令和7年度においては、バイオ PP の自動車用プラスチック部品への早期実装に向けて、国外から入手可能な実配合バイオ PP を用いて、下記の内容で自動車用部品への適用性を評価した。

2.1.2 バイオ PP の自動車用プラスチックへの実装に向けた検討内容

（1）検討対象

石油由来ナフサにバイオナフサを混合した原料を用いてナフサクラッカーで製造された下記の実配合バイオ PP を検討対象とした。

- ① バイオ PP-A：A 社より入手した実配合バイオ PP（バイオマス度 80%程度）
- ② バイオ PP-B：B 社より入手した実配合バイオ PP（バイオマス度 40%程度）

（2）検討内容

① バイオ PP の自動車用内外装部品への適用性評価/エアバッグカバーへの適用 ※1

- ・バイオ PP の物性評価
- ・バイオ PP を用いた TPO コンパウンドの試作及び評価
- ・自動車プラスチック部品（エアバッグカバー部品）の試作及び評価

※1：2.1.3 で検討

② バイオ PP の自動車用内外装部品への適用性評価/汎用 PP への適用 ※2

- ・紫外線照射による劣化試験（促進耐光性試験）の実施と、耐光性試験前後の物性とバイオマス度の変動の調査
- ・バイオ PP のコンパウンディングによる汎用 PP 向け材料の試作及び評価（自工会目標値のクリアー）

※2：2.1.4 で検討

③ バイオ PP のミクロ的指標による評価と耐久性評価指標の活用方法の提示 ※3

- ・バイオプラスチック（主に PP）の紫外線劣化試験を通じた、機械的強度と分子構造指標の関係性の提示

- ・バイオプラスチック（主に PP）の劣化メカニズムの推定及び耐久性指標とその活用方法の提示
※3：4.2 で検討

④ バイオ PP の自動車用プラスチックへの適用による GHG 削減効果の試算 ※4

- ・バイオ PP の自動車用プラスチック部品への適用及びその再生利用に伴う GHG 削減効果の評価方法の検討
※3：4.3 で検討

2.1.3 バイオ PP の自動車内外装部品へのバイオ PP の自動車内外装部品への適用性評価（エアバッグカバーへの適用）

（１）目的

自動車用エアバッグカバー材料として、熱可塑性 PP 系オレフィン材料(以下、TPO 材料)がグローバルに広く用いられている。TPO 材料は PP を主成分とし、エラストマーを配合したポリマーアロイであり、連続相である PP マトリックス中にゴム粒子が微分散した海島構造を有する。運転席用エアバッグ製品(DAB)は、内装部品としての高い意匠性を保持しながら、ホーン操作時の剛性と、衝突時にティア構造部分から確実に破断してエアバッグを展開させるという相反する機能を両立させる必要がある。TPO 材料が広く採用される理由は、(1)低温から高温の広い温度範囲における優れた機械的特性の維持、(2)低密度による軽量化効果、(3)射出成形における良好な加工性、(4)ティア構造やシボ転写といった複雑形状への適応性にある。

現在の TPO 材料は石油由来の樹脂を原料とする。本検証では、原料である PP 材料にバイオ由来材料を適用し、自動車用エアバッグカバー材料としての適合性を調査した。なお、環境対応としてリサイクル PP の適用も考えられるが、展開性という重要保安特性の品質確保が困難であること、および内装製品に要求される揮発性化学成分や発生臭気にも大きな影響を及ぼすため、素材のバイオマス化を検討することとした。

本事業では、テーマ採択時の技術課題である、石油由来エタノールとバイオエタノール中の影響を調査するため、以下の手順で実験を行った。

- ①バイオ PP 単品での材料物性を比較し、自動車用エアバッグカバー材料の原料 PP としての適合性を調査して材料を選定した。
- ②社外コンパウンダーにて TPO 配合を実施した。
- ③豊田合成(株)にてその TPO 材料を用いて試験片を作製し、自動車用エアバッグカバー材料の要求性能である「引張特性」「衝撃性」「荷重たわみ性」「流動性」について石油由来材料との比較を行った。
- ④重要な製品特性である「外観」についても評価を実施するため、豊田合成(株)が保有する大型射出成形機にて製品形状を成形し、石油由来材料の成形品との比較を行った。



図 2-1-1 エアバッグカバー用材料の特徴

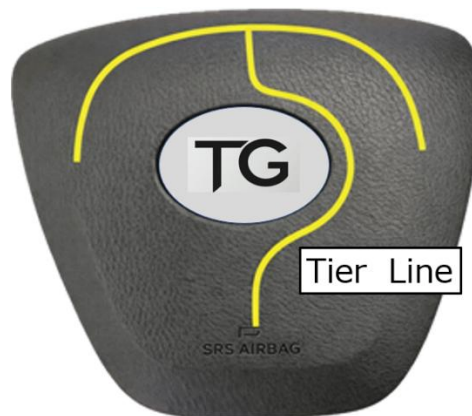


図 2-1-2 DAB 用エアバッグカバーのティア構造イメージ

(2) 試験方法

① バイオ PP 材料の調査および選定

TPO へ配合するバイオ PP を選定するための物性評価を行った。評価対象として、A 社および B 社の 2 社のバイオ PP を用いて試験片を作製し、その材料物性を石油由来の PP 材料と比較した。なお、機差による影響を小さくするため、社外コンパウンダーにおいても同様の評価を実施し、クロスチェックにて結果の妥当性を確認した。

豊田合成（株）では、「MFR」「曲げ弾性率」「引張特性」「衝撃性」「結晶化温度」「融解温度」について調査を行った。以下に、豊田合成（株）にて使用した試験機を項目ごとに記載する。

「評価用ダンベル成形」

【設備名】横型射出成型機

【シリーズ名】NEX80Ⅲ-12EG

【メーカー】日精樹脂工業株式会社

「MFR」

【設備名】 メルトフローインデックステスター

【シリーズ名】 No.120-FWP MELT FLOW INDEX TESTER

【メーカー】 安田精機製作所

「密度」

【設備名】 自動比重計

【シリーズ名】 DMA-220H

【メーカー】 新光電子株式会社

「引張特性」

【設備名】 引張・圧縮万能材料試験機テンシロン

【シリーズ名】 UCT-5T-PL

【メーカー】 株式会社オリエンテック

「シャルピー衝撃試験」

【設備名】 衝撃試験機(全自動)

【シリーズ名】 No.258-ZA

【メーカー】 安田精機製作所

「荷重たわみ(HDT)」

【設備名】 HDT 試験装置

【シリーズ名】 3M-2

【メーカー】 株式会社東洋精機製作所

② バイオ PP 材料を配合した TPO 材料の物性評価および配合設計

現行である石油由来 TPO 材料との材料物性を比較するため、選定したバイオ PP 材料を活用した配合を社外コンパウンダーにて実施し、その配合材料を用いて試験片を作製し、試験を実施した。なお、機差による影響を小さくするため、社外コンパウンダーにおいても同様の評価を実施し、クロスチェックにて結果の妥当性を確認した。今回の評価では、調色が材料物性に与える影響を判断するとともに、配合ロットによる影響を同時に評価するため、社外コンパウンダーにて改めて樹脂ペレットを作製した。

豊田合成（株）では、バイオ PP 単体の評価と同様に、「MFR」「曲げ弾性率」「引張特性」「衝撃性」「結晶化温度」「融解温度」について調査を行った。

③ バイオ PP 材料を配合した TPO 材料の製品成形性と外観

成形性確認、外観評価および製品試験のため、量産機にてバイオ PP 材料を配合した TPO 材料の試作成形を実施した。その外観を石油由来材料で配合した TPO 材料と比較した。またモルフォロジー観察を行い、材料の相溶状態も確認した。試作成形は豊田合成（株）が保有する大型射出成形機を使用した。

(3) 結果と考察

① バイオ PP 材料の調査および選定

A 社および B 社のバイオ PP 材料の評価結果を示す。機差およびクロスチェックのため評価は二つの機関で実施されており、表 2-1-1 に示す結果は社外コンパウンダーにて実施したものであり、表 2-1-2 に示す結果は豊田合成株式会社にて実施したものである。両社の材料を比較した結果、「IZOD 衝撃強度」および「シャルピー衝撃強度」において顕著な差が確認された。具体的には、B 社のバイオ PP 材料は、A 社の材料と比較して衝撃強度の絶対値が大きく、優れた耐衝撃性を有していることが明らかになった。

耐衝撃性は、エアバッグ作動時の展開性に大きな影響を及ぼす特性である。そのため、自動車用エアバッグカバー材料として極めて重要な品質要件となる以上の評価結果および品質確保の観点から、原料用バイオ PP 材料として B 社製品を選定することとした。今後は、この B 社製バイオ PP 材料を用いた TPO 材料の配合検討を進める

表 2-1-1 バイオ PP 評価結果 (社外コンパウンダー測定)

項目	試験法		単位	A 社	B 社
MFR	ISO 1133	230℃ 21.2N	g/10min	◎	◎
曲げ弾性率	ISO 178	—	MPa	○	○
曲げ応力		—	MPa	○	○
引張降伏応力	ISO 527	Type-1A 試験速度 50mm/min	MPa	○	○
引張破壊応力			MPa	○	○
切断時伸び			%	×	△
IZOD 衝撃強度	ISO 180	23℃	kJ/m ²	×	○
		- 30℃	kJ/m ²	×	○

※量産材同等を○、それ以上を◎、それ未満を△、×とする。以下評価も同様とする。

② バイオ PP 材料を配合した TPO 材料の物性評価結果

【未調色】 バイオ PP 材料を配合した TPO 材料の物性評価および配合設計

石油由来 TPO 材料およびバイオ PP を配合した TPO 材料の評価結果を示す。なお、これらの評価は社外コンパウンダーにて実施したものである。

評価の結果、バイオ PP を配合した TPO 材料は、石油由来材料と比較して大きな物性低下は見られず、材料物性は同等であると判断された。ただし、現時点では自動車内装製品用としては未調色の段階であるため、次の段階において量産相当の調色を行い、さらなる評価を進める。

表 2-1-2 未調色 TPO 材料評価結果（社外コンパウンダー測定）

項目	試験法		単位	バイオ
MFR	ISO 1133	230℃ 21.2N	g/10min	○
密度	ISO 1183	水中置換	g/cm ³	○
曲げ弾性率	2mm/min		MPa	○
切断時引張応力	JIS K6251	3 号	MPa	○
切断時伸び		50mm/min	%	○
IZOD 衝撃強度	JIS K7110	(- 40℃)	kJ/m ²	○
		(- 45℃)	kJ/m ²	○
光沢	-		%	○

【調色】 バイオ PP 材料を配合した TPO 材料の物性評価および配合設計

自動車内装製品用に調色配合した石油由来 TPO 材料およびバイオ PP を配合した TPO 材料の評価結果を示す。表 2-1-3 に示す結果は社外コンパウンダーにて実施したものであり、表 2-1-4 に示す結果は豊田合成（株）にて実施したものである。

評価の結果、「曲げ弾性率」「IZOD 衝撃強度」「引張弾性率」にわずかな低下が確認された。しかしながら、この数値変動は試験誤差の可能性も考えられる。そのため、実際の製品性能を確認する必要があると判断し、製品形状での外観評価および展開試験を実施することとした。具体的には、上記の TPO 材料を用いて製品形状の試作成形を行い、外観特性および展開性能を評価する。

表 2-1-3 調色 TPO 材料評価結果（社外コンパウンダー測定）

項目	試験法		単位	バイオ
MFR	ISO 1133	230℃ 21.2N	g/10min	○
密度	ISO 1183	水中置換	g/cm ³	○
曲げ弾性率	2mm/min		MPa	○
切断時引張応力	JIS K6251	3 号	MPa	○
切断時伸び		500mm/min	%	○
IZOD 衝撃強度	JIS K7110	(- 35℃)	kJ/m ²	○
		(- 40℃)	kJ/m ²	○
		(- 45℃)	kJ/m ²	○
光沢	-		%	○

表 2-1-4 調色 TPO 材料評価結果（豊田合成測定）

項目	試験法	単位	バイオ
MFR	230℃ 2.16kg	g/10min	○
密度	水中置換	g/cm ³	○
引張弾性率	1mm/min	MPa	○
切断時引張応力	200mm/min	MPa	○
切断時伸び		%	○
シャルピー衝撃強度	23℃	kJ/m ²	○
	- 30℃	kJ/m ²	○
HDT	1.8MPa	%	○

③バイオ PP 材料を配合した TPO 材料の外観特性

量産機を用いて製品形状の試作を行った結果を示す。バイオ PP を配合した TPO 材料で成形した製品は、石油由来材料で成形した製品と同等の外観が得られることが確認された。また、成形条件についても両方で全く同じ条件で不具合なく成形することができ、現状では成形性に関する課題は見つかっていない。

さらに、走査型電子顕微鏡(SEM)によるモルフォロジー観察を実施した結果、海島の大きさ及び界面に差がないため両材料間での相溶性は同等と言える。このことから、バイオ PP はアロイ化への影響もないと判断される。今後は、展開性能をはじめとする製品試験や燃焼性など信頼性試験、リサイクル性を令和 8 年度に継続して実施し、自動車用エアバッグカバー材料としての成立性検証を進める。



図 2-1-3 石油由来②配合 製品正面視



図 2-1-4 石油由来②配合 製品上面視



図 2-1-5 バイオ配合 製品正面視



図 2-1-6 バイオ配合 製品上面視

（４）まとめと課題

選定したバイオ PP を原料とする TPO 材料は、現行の石油由来 TPO 材料とほぼ同等の物性および外観を得た。量産機における成形性課題も現状では見られないため、バイオ PP はエアバッグカバー用材料へ適用できる可能性が大いにあると考えられる。来年度は市場を想定した温度条件における製品形状での展開試験を行うことと、揮発性化学成分やにおいなど信頼性についても調査を行い、本材料の製品適用性を確認する。またリサイクル性も今後必要とされる性能のため、リペレット品の物性評価も並行して実施する。

2.1.4 バイオ PP の自動車内外装部品への適用性評価（汎用 PP への適用）

（１）背景・目的

令和7年度においては、既に実用化もされている石油由来ナフサにバイオナフサを混合して製造する実配合方式バイオ PP（以下、バイオ PP）を用いて、自動車用プラスチック部品への実装に向けての検討を実施することとした。本検討においては、バイオ PP のリサイクル性の評価として、実際に使用されたバイオ PP の入手は困難なため、紫外線(UV)照射による劣化試験(促進耐光性試験)を実施し、耐光性試験前後の物性とバイオマス度を評価するとともに、バイオ PP を用いた自動車プラスチック部品向け材料の試作検討を実施した。

（２）方法

① バイオ PP 成形品への UV 照射による、耐光性試験前後の物性とバイオマス度の評価

バイオ PP のリサイクル性を評価するため、バイオ PP で作られた製品の新品と使用状態をそれぞれ取得して、劣化なしと使用による劣化ありの物性変化を評価することを想定したが、実際に使用状態のバイオ PP 製品を入手するのは困難なため、バイオ PP でダンベル形引張試験片（多目的試験片 タイプ A1）を成形し、耐光性試験機を用いてバイオ PP 試験片に UV を照射し、劣化ありの試験片を作り出す事によって、劣化なしと劣化ありの試験片で劣化前後の物性変化を評価することとした。その際には、石油由来 PP（以下、従来 PP）をリファレンスとして同様に用意した。耐光性試験条件は4.2.2に後述するが、自工会（JAMA）公表¹の促進耐光性試験の測定方法に沿い、今回は時間的制約のためキセノン照射 400 時間同様、屋外暴露 1 年相当のスーパーUV 照射 57 時間とした。また、劣化なしと劣化ありの試験片でバイオマス度の分析も行うこととした。物性測定の項目は、一般社団法人日本自動車工業会より 2025 年 2 月に公表された資料「再生材プラスチックの活用促進に向けた自工会の取組みについて－汎用 PP、複合強化 PP の目標値公表－」の中にある、「目標値を提示する項目」を採り入れた。バイオマス度の分析は、加速器質量分析（AMS：Accelerator Mass Spectrometry）法による分析を実施した。

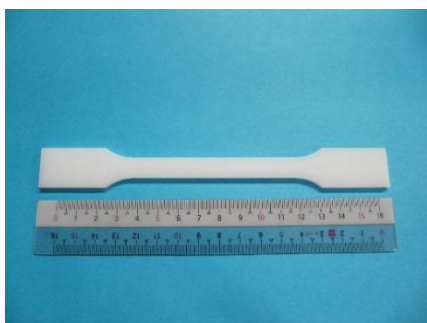


図 2-1-16 ダンベル形引張試験片

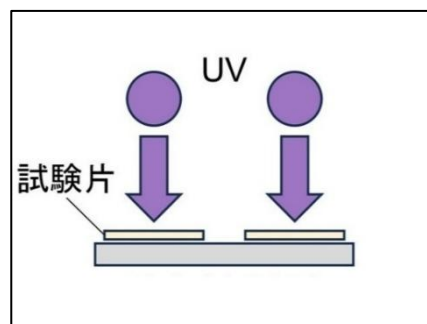


図 2-1-17 耐光性試験イメージ

¹ 一般社団法人日本自動車工業会：「再生材プラスチックの活用促進に向けた自工会の取組みについて－汎用 PP、複合強化 PP の目標値公表－」（2025年2月）
https://www.jama.or.jp/operation/ecology/recycle/pdf/Initiatives_of_the_JAMA_to_Promote_the_Use_of_Recycled_Plastics.pdf

表 2-1-6 耐光性試験の条件及び内容

紫外線照度:	1500W/m ²
太陽光暴露1年相当時間:	57時間
ブラックパネル温度計:	63℃
湿度:	50%
紫外線照射面:	片面のみ

表 2-1-7 目標値を提示する項目

項目	
配合 (PIR比率,PCR比率,PCR中ELV比率)	
密度(g/cm3)*	
引張降伏強さ(MPa)*	23℃
引張り弾性率(MPa)*	23℃
引張破断伸び(%)*	23℃
曲げ弾性率(MPa)*	23℃
曲げ強さ(MPa)*	23℃
シャルピ衝撃値(kJ/m ²) (ノッチ付き)*	23℃
	-30℃
荷重たわみ温度(℃)*	0.45MPa
MFR (g/10min) *	230℃,2.16kg

* 試験方法はISOに準拠

② バイオ PP を用いた自動車プラスチック部品向け材料の試作検討

物性測定項目と同様に、日本自動車工業会より公表された物性項目ごとの目標値が幾つかあり、その中から、インパネアンダーカバーなど一般部品向けの目標値である「汎用 PP①」を目標とし、バイオ PP を用いた自動車プラスチック部品向け材料を試作検討する。また、目標値の配合条件に PCR 比率 25wt%以上があり、これになぞらえバイオマス度の比率 25wt%以上を配合条件とした。

表 2-1-8 本検討で目標の物性とする汎用 PP①の物性値

項目		汎用PP①	汎用PP②
配合 (PCR比率)		25wt%以上	25wt%以上
配合 (PCR中ELV比率)		報告	報告
配合 (PIR比率)		報告	報告
密度 (g/cm3)		0.88~0.94	0.88~0.94
引張降伏強さ(MPa)	23℃	20以上	19以上
引張り弾性率(MPa)	23℃	1000以上	940以上
引張破断伸び(%)	23℃	15以上	25以上
曲げ弾性率(MPa)	23℃	1000以上	940以上
曲げ強さ(MPa)	23℃	25以上	24以上
シャルピ衝撃値 (kJ/m ²)	23℃	5以上	10以上
	-30℃	2以上	3以上
荷重たわみ温度(℃)	0.45MPa	80以上	78以上
MFR (g/10min)	230℃,2.16kg	18~28	20~30

※汎用PP①：インパネアンダーカバーなど一般部品向け
 汎用PP②：ドアトリムなど衝撃要求のある部品向け

(3) 検討試料

① バイオ PP 成形品への UV 照射による、耐光性試験前後の物性とバイオマス度の評価

(a) リファレンス

石油由来 PP (以下、従来 PP) (自動車用途向けに販売されている物)

(b) 実配合方式バイオ PP

④ バイオマス度 80%程度 (A 社, 以下、バイオ PP-A)

⑤ バイオマス度 40%程度 (B 社, 以下、バイオ PP-B)



図 2-1-18 バイオ PP-A のペレット



図 2-1-19 バイオ PP-B のペレット

② バイオ PP を用いた自動車プラスチック部品向け材料の試作検討

(a) バイオ PP

(b) 石油由来 PP (バイオ PP の物性結果を鑑みて、選定。)

(4) 結果と考察

① バイオ PP 成形品への UV 照射による、耐光性試験前後の物性とバイオマス度を評価

(a) リファレンスとバイオ PP 2 水準の物性測定結果

(3)に記載したリファレンスとバイオ PP 2 水準の物性測定結果を表 2-1-9 に示す。図中、耐光試験前後の値の増減を赤い矢印で表した。

表 2-1-9 リファレンスとバイオ PP 2 水準の物性測定結果

試験成績表										
公益財団法人 京都高度技術研究所 長寿命用途のバイオプラスチック素材開発と資源循環のライフサイクル実証事業										
2026 年 1 月 8 日										
品名	PP	品番							色相	ナチュラル
試験項目	試験条件	単位	試験方法	(2)長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発 バイオPPのリサイクル性の評価						自工会 目標値
				従来PP		バイオPP-A (バイオ度80%)		バイオPP-B (バイオ度40%)		汎用PP①
				劣化なし	耐候性 試験後	劣化なし	耐候性 試験後	劣化なし	耐候性 試験後	
メルトフローレート	230℃、2.16kg	g/10min	ISO 1133 JIS K 7210-1	32.1	48.3	10.9	20.7	45.9	72.4	18~28
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノッチ付	kJ/m ²	ISO 179-1 JIS K 7111-1	8.5	6.5	3.7	2.7	6.2	3.3	5 以上
	-30℃、ノッチ付	kJ/m ²	ISO 179-1 JIS K 7111-1	4.3	1.2	1.2	1.1	2.9	0.9	2 以上
引張降伏強さ	試験速度50mm/min	MPa	ISO 527-1 JIS K 7161-1	25.8	24.2	34.6	29.3	26.7	20.0	20 以上
引張破壊ひずみ	試験速度50mm/min	%	ISO 527-1 JIS K 7161-1	23	9.4	66 (未破断)	5.8	28	3.8	15 以上
引張弾性率	試験速度1mm/min	MPa	ISO 527-1 JIS K 7161-1	1370	1470	1540	1750	1260	1350	1000 以上
曲げ強さ	試験速度2mm/min	MPa	ISO 178 JIS K 7171	36.4	36.0	43.6	44.6	34.8	35.1	25 以上
曲げ弾性率	試験速度2mm/min	MPa	ISO 178 JIS K 7171	1430	1510	1580	1680	1290	1370	1000 以上
ロックウェル硬さ	R硬さスケール	—	ISO 2039-2 JIS K 7202-2	94	97	107	109	95	98	—
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1 JIS K 7191-1	102	105	91	98	91	95	80 以上
比重	水中置換法	—	ISO 1183 JIS K 7112	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.88~0.94
備考 ※メルトフローレートの測定は、通常、ペレットを使用するが、本検討においては、耐候性試験後の状態を測定するため、劣化なし及び耐候性試験後共に、試験片を削り出し、切削片で測定を行った。										
No.										

表示の値は実測値であり、保証値ではありません。

いその 株式会社

すべての試験項目において、従来 PP、バイオ PP-A、バイオ PP-B の物性値は耐光性試験後に、ほぼ同様の变化を示した。メルトフローレート(MFR)は従来 PP、バイオ PP-A、バイオ PP-B いずれも耐光性試験前でも汎用 PP①の目標値を超えており、耐光性試験後に値が上昇した。シャルピー衝撃強さは、すべての試料で耐光試験後に低下した。バイオ PP-A は耐光性試験前で目標値を満足しておらず、バイオ PP-B は常温の対光性試験後の値が目標値を下回った。また、低温では従来 PP もバイオ PP-B も耐光試験後の値が目標値を下回った。

屋外暴露1年相当の耐光性試験後に、3つの試料で同様の劣化傾向が見られたのは PP の特性と考えられる。各試験項目の自工会目標値を満足するか否かで試料間に差があるのは、ホモポリマー、コポリマーといった結晶性や微量添加物の違いによると推察されるが、組成等については開示されておらず、4.2 において解析、検討を行った。

(b)AMS 法によるバイオマス度分析結果

耐光性試験により、酸化防止剤の消費²等の組成変化が懸念されたので試験前後のバイオマス度を測定した。その結果を表 2-1-4-5 に示す。バイオ PP-A、バイオ PP-B、共に、耐光性試験前後においてバイオマス度に変化はなかった。バイオ PP-A は事前情報通りバイオマス度 80%程度であったが、バイオ PP-B は事前情報では 40%程度とあったが、分析結果は 49%と若干ずれを感じる差があった。

(a)、(b)の結果、目標とする自工会目標値汎用 PP①に対して、バイオ PP-B(劣化なし)の物性測定結果は、メルトフローレート以外の項目は当てはまるため、バイオ PP-B をベースにコンパウンドの試作を実施することとした。

² 株式会社デンソー：令和 5 年度環境省委託業務「令和 5 年度 自動車リサイクルにおける再生材利用拡大に向けた産官学連携推進事業（うち、AI 等を活用した脱炭素型高度自動車部品解体プロセス等の技術実証事業）（ELV 自動車精緻解体を起点とした水平リサイクルを実現する動静脈一体プロセスの技術実証）委託業務 成果報告書（令和 7 年 3 月） <https://www.env.go.jp/content/000315041.pdf>

表 2-1-10 リファレンスとバイオ PP 2 水準のバイオマス度分析結果

	サンプル名	測定結果 単位: pMC	バイオ 炭素濃度
従来PP 劣化なし	pdPP-bs1	<0.44 pMC	0%
	pdPP-bs2	<0.44 pMC	0%
	pdPP-bs3	<0.44 pMC	0%
従来PP 劣化あり	pdPP-ds1	<0.44 pMC	0%
	pdPP-ds2	<0.44 pMC	0%
	pdPP-ds3	<0.44 pMC	0%
バイオPP-A 劣化なし	bioPP-A-bs1	81.86 +/- 0.24 pMC	82%
	bioPP-A-bs2	82.32 +/- 0.17 pMC	83%
	bioPP-A-bs3	80.69 +/- 0.17 pMC	81%
バイオPP-A 劣化あり	bioPP-A-ds1	81.37 +/- 0.22 pMC	82%
	bioPP-A-ds2	81.99 +/- 0.21 pMC	82%
	bioPP-A-ds3	82.06 +/- 0.21 pMC	83%
バイオPP-B 劣化なし	bioPP-B-bs1	48.81 +/- 0.13 pMC	49%
	bioPP-B-bs2	49.14 +/- 0.13 pMC	49%
	bioPP-B-bs3	49.07 +/- 0.14 pMC	49%
バイオPP-B 劣化なし	bioPP-B-ds1	49.03 +/- 0.13 pMC	49%
	bioPP-B-ds2	49.50 +/- 0.15 pMC	50%
	bioPP-B-ds3	49.22 +/- 0.14 pMC	50%

pMC:percentage of Modern Carbon や percent Modern Carbon の略。1950 年の 14C 濃度を 100 として 14C 濃度を表す単位。

② バイオ PP を用いた自動車プラスチック部品向け材料の試作検討

(a) 試作内容

試作検討の配合条件として、バイオマス度比率 25wt%以上とする中、バイオ PP-B のバイオマス度を分析した結果は 49%であったため、事前情報のバイオマス度 40%と分析結果の 49%の2通り、コンパウンドを行った。

⑦事前情報通りバイオマス度 40%とする場合

バイオマス度比率 25wt%以上とするには、バイオ PP-B の配合率 65%でバイオマス度は 26wt%

⑧分析結果のバイオマス度 49%とする場合

バイオマス度比率 25wt%以上とするには、バイオ PP-B の配合率 55%でバイオマス度は 26.95wt%

自工会目標値汎用 PP①のメルトフローレート値に対して、バイオ PP-B のメルトフローレート値は高いため、下げる方向へのコンパウンドが必要となり、配合する石油由来 PP はリファレンスとして物性測定を行った従来 PP ではなく、別のブロック PP を2水準選定し配合することとした。

(b) 試作結果

バイオ PP-B を用い、バイオ度 25wt%を維持しつつ石油由来 PP と 2 水準で混合したものの物性値を示したのが表 2-1-11 である。コンパウンドの結果、2水準ともに、自工会目標値汎用PP①に合わせる事が出来た。事前情報通りバイオマス度 40%とする場合において、メルトフローレートが目標値の範囲内で高めになってしまったが、配合を見直せば中間値付近への修正は可能と考えている。

表 2-1-11 バイオ PP-B 2 水準のバイオマス度での物性分析結果

品名	PP	品番					色相	ナチュラル
試験項目	試験条件	単位	試験方法	(2)長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発バイオPPのリサイクル性の評価				自工会 目標値
				バイオPP-B (バイオ度40%)		バイオPP-B 混合 自工会 汎用PP①を目標に 石油由来PPとコンパウンド かつバイオ度25wt%以上		汎用PP①
				劣化なし	耐光性 試験後	バイオ度40% 前提条件で 配合率65% バイオ度 26wt%	バイオ度49% 前提条件で 配合率55% バイオ度 26.95wt%	一般部品 向け PCR 25wt%以上
メルトフローレート	230℃、2.16kg	g/10 min	ISO 1133 JIS K 7210-1	45.9	72.4	27.1	23.9	18～28
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノッチ付	kJ/m ²	ISO 179-1 JIS K 7111-1	6.2	3.3	8.9	9.2	5 以上
	-30℃、ノッチ付	kJ/m ²	ISO 179-1 JIS K 7111-1	2.9	0.9	4.1	4.2	2 以上
引張降伏強さ	試験速度50mm/min	MPa	ISO 527-1 JIS K 7161-1	26.7	20.0	26.1	26.0	20 以上
引張破壊ひずみ	試験速度50mm/min	%	ISO 527-1 JIS K 7161-1	28	3.8	51 (1本未破断)	110 (2本未破断)	15 以上
引張弾性率	試験速度1mm/min	MPa	ISO 527-1 JIS K 7161-1	1260	1350	1260	1240	1000 以上
曲げ強さ	試験速度2mm/min	MPa	ISO 178 JIS K 7171	34.8	35.1	33.0	32.5	25 以上
曲げ弾性率	試験速度2mm/min	MPa	ISO 178 JIS K 7171	1290	1370	1180	1160	1000 以上
ロックウェル硬さ	R硬さスケール	—	ISO 2039-2 JIS K 7202-2	95	98	93	93	—
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1 JIS K 7191-1	91	95	89	89	80 以上
比重	水中置換法	—	ISO 1183 JIS K 7112	0.90	0.90	0.90	0.90	0.88～0.94
備考								

表示の値は実測値であり、保証値ではありません。

い その 株式会社

(5) 今後の予定

- ・UV照射による耐光性試験後の物性についての評価は、耐久性やリサイクル性の観点から、国立研究開発法人国立環境研究所と連携して引き続き検討する。
- ・自工会目標値汎用 PP①を目標とした試作において、メルトフローレートを中央値付近に合わせる配合や、振れ幅などについて検討する。

2.2 自動車用途プラスチックのバイオマス化：バイオエンブラ等の素材開発に向けた検討

2.2.1 本課題の目的

近年、バイオマスを原料とするエンジニアリングプラスチック（以下「エンブラ」という。）については、石油由来エンブラの性能を上回るものが開発されつつあり、バイオマス由来という価値だけでなく、素材そのものの性能という価値から、自動車用途プラスチックへの採用が期待される。また、これらの価値により、廃車後にリサイクルされたエンブラの価値も向上することも期待される。加えて、自動車外板やガラス等、現時点ではプラスチック以外の素材が使用されている部位への将来的なバイオエンブラの採用も期待される。これらの期待を見据え、バイオエンブラ（バイオポリカーボネート等）を開発すること、およびこれらのバイオエンブラの自動車内外装部品等向け素材としての適性を検討する。

特に令和7年度は、車載向けの新たなニーズを満たすバイオエンブラの開発目標を設定するとともに、バイオエンブラの製造に向けた技術開発を進めること。また、得られた試作品を用い、易解体性、易回収性を意識しつつ、自動車内外装部品向け素材としての適性を検証する。

2.2.2 自動車内外装部品に向けた新たなバイオポリカーボネートの開発

（1）目的

事業終了後には、現行材と比較して、同程度かそれ以上の耐熱性や機械特性を有する候補材を決定し、当該バイオエンブラを活用した自動車内外装等部材を開発することを目標に、令和7年度は自動車内外装部品等向け素材として新たなバイオポリカーボネートを中心に現行材より耐熱性や機械特性向上が期待できる候補材を絞り込むこととした。

（2）手法

本項では、バイオマス等の再生可能資源由来の機能性モノマーを積極的に活用しつつ、これまでの課題を克服して物性や機能を向上させたバイオポリカーボネートを開発し、自動車内外装部品等向け素材としての適性を検討する。特に令和7年度はバイオマス度を向上させることを念頭に、種々のバイオモノマーから目的に叶ったものを絞り込むため、ラボスケールの少量重合装置で重合検討を行った。具体的には、重合反応性、耐熱性、吸水率などの基礎物性の初期評価を行い、現行材（DURABIO™）との比較検証を行った。昨年度は、自社/他社の新規バイオモノマー（A1～A3、B1～B3）を用いた共重合ポリマーの新規組成の検討を行い、反応性と基礎物性評価（ガラス転移温度：T_g、色調など）の評価を行った。今年度は新規バイオモノマー（B4～B5）を用いた共重合ポリマーの新規組成の検討を行い、代表的なバイオモノマーであるイソソルビド（isosorbide：ISB）の共重合割合を増やし、共重合相手にポリオールを使用した組成の重合検討を実施し、反応性と基礎物性評価及び耐薬品性評価を実施した。

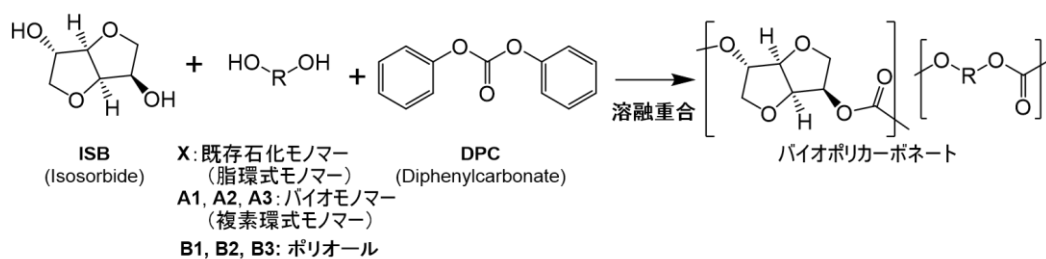


図 2-2-1 新たなバイオポリカーボネートの開発

(3) 結果と考察

① 新規モノマーの重合及び基礎物性評価 1: ポリオール・直鎖アルキル系モノマー

令和 6 年度の成果である ISB/B3 共重合体を指標とし(Entry 1)、今回の新規モノマー共重合検討結果を表 2.2.1 にまとめた。なお、今回はポリオール B4 に加え、透明性向上のため直鎖アルキル系モノマー B5 を用いた。モノマー B4、B5 を用いた場合には、問題なく反応が進行した。生成物の粘度は目標値まで到達し、それぞれ半透明～白濁樹脂 (Entry2)、極薄黄色透明樹脂 (Entry3) が得られた。ポリオール B4 を共重合したものが白濁化したことに関しては、Entry1 で白濁樹脂が得られた場合と同様に、ISB とポリオール B4 の相溶性が低く、ISB リッチなドメインとポリオール B4 リッチなドメインで一部相分離構造を取っていることが推定される。得られた樹脂のバイオマス度はいずれも既存の DURABIO™ グレードから 10% 以上向上しつつ、耐熱性 (Tg) は同等以上のものが得られた。特に、ポリオール B4 と共重合させた場合、耐熱性は従来品をはるかに上回る 149℃ を示した。また直鎖アルキル系ジオール B5 と共重合することで、従来品同等の耐熱性を備えつつ、バイオ化度を 20% 向上させることに成功した。

表 2-2-1 新規モノマー（ポリオール・直鎖アルキル系モノマー）の共重合検討結果

候補 試料名	組成	バイオマス度 ¹	重合 反応性	Tg (°C)	ポリマーの 色調
参照 (DURABIO™)	ISB/X ²	約 60%	○	120	 無色/透明
1	ISB/B3	約 70%	○	141	
2	ISB/B4	約 70%	○	149	
3	ISB/B5	約 80%	○	128	

1 バイオマス由来モノマーの含有量 (wt%)

2 参照 (DURABIO™)に用いられている共重合成分については非開示

② 耐薬品性の評価結果

①で検討したポリオール・直鎖アルキル系モノマー共重合品に関して、ノニオン系界面活性剤に対する耐薬品性評価を行ったところ、DURABIO™現行グレード同等以上の耐薬品性が確認された。(表 2-2-2)。特に ISB/B4 共重合品の室温評価では目標を大きく上回る耐薬品性が確認された。ISB/B4 共重合品は、高温条件下 (70°C) でも目標を超過する耐薬品性を示した。一方で、ISB/B5 共重合品の室温評価は現行グレード同等以上の耐薬品性を示したものの、高温条件下 (70°C) では耐薬品性が低下した。

表 2-2-2 ノニオン系界面活性剤に対する耐薬品性評価の結果 ¹			
	臨界ひずみ (室温、24 時間)	臨界ひずみ (70℃、4 時間)	目標の到達度
参照 (DURABIO™)	1	0.5	×
ISB/B3	1.9	1.4	○
ISB/B4	9.4	1.4	◎
ISB/B5	1.4	0.4	△

¹ 室温、24 時間の条件で測定した DURABIO™の臨界ひずみの値を 1 とした時の相対値

③ 機械物性の評価結果

② で検討した共重合品に関して、ISB/B4 共重合品は不透明であるものの、現行品を大きく上回る耐薬品を満たす一方、ISB/B5 共重合品では耐薬品性は若干劣るものの、高い透明性やバイオ化度を両立することができた。これら 2 つの共重合品の物性評価を行うべく、機械物性評価を行った。まず、シャルピー衝撃強度について調査した結果、ISB/B4 共重合品は現行グレードより衝撃に強いことが判明した（表 2-2-3）。

表 2-2-3 シャルピー衝撃試験の結果 ¹			
	シャルピー衝撃値 (室温)	シャルピー衝撃値 (-20℃)	目標の到達度
参照 (DURABIO™)	1	1	△
ISB/B4	1.4	1.2	○
ISB/B5	0.9	0.8	△

¹ 室温の条件で測定した DURABIO™のシャルピー衝撃値の値を 1 とした時の相対値

次に、引張・曲げ試験を行ったところ、残念ながら DURABIO™現行グレード以上の引張・曲げ特性は確認できなかった（表 2-2-4）。特に ISB/B4 共重合品の引張試験では、引張直後に試験片が破断してしまった。破断した原因として、試験片がラボ重合品由来であることが考えられる。ラボ重合品は品質が不均一であり、かつ ISB/B4 共重合品は 2 相に分離している。相が均一でないと、フィルムに穴が開いた状態のようになり、破断等しやすくなったと考えられる。よって、本試験結果では良好な結果を得られなかったが、品質が安定化したスケールアップ品であれば、引張・曲げ試験の結果が良化する可能性がある。

表 2-2-4 引張・曲げ試験の結果			
	引張試験	曲げ試験	引張・曲げ試験 総合評価
参照 (DURABIO™)	○	○	○
ISB/B4	×	△	×
ISB/B5	△	○	△

④ 考察

令和6年度に引き続き種々のモノマーを用いて重合反応を検討したところ、ポリオール系モノマーの共重合品1種、直鎖アルキル系モノマーの共重合品1種、計2種のポリマーを新たに開発することができた。いずれのポリマーもバイオ化度や耐熱性に関しては十分なものであった。特に前者は特筆すべき耐薬品性を備えていた。また、本2種類の共重合品の機械物性を調べた結果、DURABIO™現行グレード同程度の耐衝撃性を備えていることが判明した。耐衝撃性は自動車素材に必要不可欠な物性であるため、自動車の内装用途への応用が強く期待される。特にポリオール系モノマー共重合品は、非常に優れた耐薬品性を示すことが明らかとなったため、内装材の中でも人の手が良く触れる部材へ適用できる。また、直鎖アルキル系モノマーの共重合品は高い透明性とバイオ化度を活かし、自動車で使用されている石化由来材料の代替材としての可能性を秘めている。

令和8年度は、令和7年度の成果が得られた樹脂を実際に成型加工することで、自動車に使用可能な部材を作り出すことを目標とする。

2.3 自動車用途プラスチックの環境配慮設計に向けた検討

2.3.1 目的

スプレー塗装が施される自動車部品、特にプラスチック部品に対して、剥離性のある加飾フィルムを用いてスプレー塗装を代替できれば、バンパー等のプラスチックのリサイクル性の向上と、自動車塗装プロセスにおける脱炭素化の同時実現ができ、自動車の環境配慮設計の推進にも繋がる。本項では、加飾フィルムの施工による塗装代替を高度化するため、バイオポリウレタンを用いた加飾向けの素材開発、加飾フィルムの製膜技術及び加飾フィルムと被着体を速やかに分離するための易剥離接着技術の開発を進め、剥離性のある加飾フィルムの基本設計を行う。さらに、その基本設計に適合した印刷層・接着層に対して使用可能なバイオマス度の高い材料技術を開発し、剥離性のあるバイオマス加飾フィルムの性能を評価し、社会実装に向けた計画を作成する。

令和7年度は、バイオウレタン等を用いたフィルム製膜技術の開発を進めるとともに、加飾フィルムにおける易剥離接着技術の開発を進め、剥離性のある加飾フィルム基本設計を構築した。また、リサイクル性を阻害しない無機顔料等を使用した構造発色インクの開発及び発色性の検証を行った。加えて、試作した自動車向け加飾フィルムについて生産性の高い真空成形工法への適合性を検証するとともに、同工法を用いて自動車外装にバイオマス加飾フィルムを貼合した場合の塗装レス自動車による環境負荷低減効果試算を行った

2.3.2 自動車用加飾フィルムに向けたバイオポリウレタン素材の開発

(1) 方法

令和7年度は、加飾フィルムに最適なバイオマス由来の熱可塑性ポリウレタン（Thermoplastic polyurethane：TPU）の分子設計と開発を行った。特に、高い耐候性、耐擦傷性を付与でき、かつ非可食バイオマス由来のポリオール材料を原料の一つに選定して、新たなTPU樹脂の設計を行った。まず、候補のポリオール材料を用いてTPU樹脂の合成を試み、得られたサンプルについて種々の基礎物性を測定した。これらの開発品は、2.3.3の製膜検討及びその性能評価試験に供された。令和6年度は、非可食バイオマス由来の熱可塑性ポリウレタン（Thermoplastic polyurethane: TPU）として、種々のポリオール材料の中から高い屋外耐久性と安定した意匠性が得られると期待される原料ポリオールを種々検討した。令和7年度は、フィルムのハンドリング性改善のため、TPU樹脂の弾性率を上げる目的で、ハードセグメントの比率を増やしたTPU樹脂の合成を試み、得られたサンプルについて種々の基礎物性を測定した。また、これらの開発品を、2.3.3の製膜検討及びその性能評価試験に供した。

(2) 結果

令和6年度までの検討結果（開発品1～3）に加え、新たにバイオマス由来のTPU樹脂（開発品4）の外観を図2-3-1に、物性を表2-3-1にまとめた。

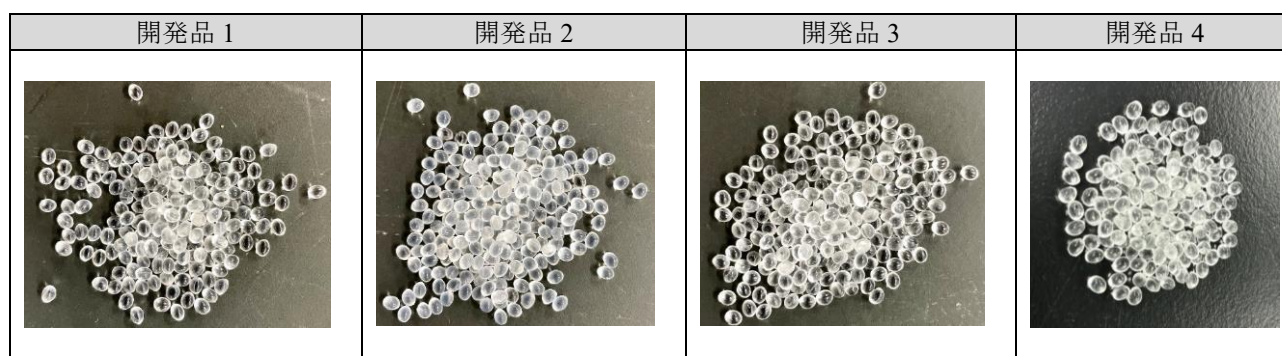


図 2-3-1 開発した TPU 樹脂サンプルの外観

表 2-3-1 開発した TPU 樹脂サンプルの諸物性

試作品名		開発品 1	開発品 2	開発品 3	開発品 4	評価の観点
設計思想		成形加工性	耐光性	耐光性 タック改善 ¹	ハンドリング 改善 防汚改善	
物性	ショア硬度	A90	A90	A94	A97	自己修復性 張付安定性
	MFR (g/10 min) @190℃	1.16	0.89	0.84	2.1	成形加工性
	引張強度 (MPa)	81.4	88.7	85.7	67.9	耐摩耗性
	伸度 (%)	780	750	760	620	貼合性
	傷付き試験	傷跡なし	傷跡なし	傷跡なし	傷跡なし	耐擦傷性
	Haze (%)	1.07	1.15	2.56	0.57	透明性
	YI 値 (初期) ²	0.53	0.52	0.42	0.40	屋外耐光性
	YI 値 (耐候試験後)	△	○	○	評価中	
バイオマス度 (概算値)		47	47	42	40	

1. 粘着フィルムの粘着面の『べたつき』を示す指標

2. フィルムの色相が無色又は白色から黄方向に離れる度合い、黄色度は通常はプラス値であり、マイナスの値は色相が青であることを示す。

2.3.3 自動車用加飾フィルムに向けたバイオポリウレタンフィルムの製膜技術の開発

(1) 方法

令和 7 年度は、各種要求特性を両立するクリアフィルムを得ることを目的とし、加飾フィルムの基材となるクリアフィルムの改良を行い、フィルムの設計、製膜および評価（耐候性、耐擦傷性）を実施した。また、フィルムの量産に向けたスケールアップ検討を開始した。

(2) 結果

① ハンドリング性および二次成形性の改善に向けた検討

令和 6 年度まで、TPU 層にインキ密着層としてポリカーボネート (PC) 層を多層化することで印刷性が向上するという知見が得られていた。しかし、当該フィルムにコシがなくハンドリング性が悪いという課題と二次成形時において破れが発生する課題があった。そこで、TPU 層および PC 層の厚みの最適化に取り組んだ (表 2-3-2、2-3-3)。その結果、ハンドリング性良好かつ二次成形性に優れるク

リアフィルムを得た（図 2-3-2）

表 2-3-2 評価サンプル一覧（ロール品）

	セパレータ 厚み [μm]	TPU 層 厚み [μm]	PC 層 厚み [μm]	総厚み [μm]	巻外側	幅 [mm]	巻長 さ [m]	数量	TPU 表面	コロナ 処理	コロナ 処理面
1	なし	120	30	150	PC	170	30	1	ツヤ調	-	-
2	なし	120	30	150	PC	300	30	1	ツヤ調	-	-
3	なし	150	100	250	PC	170	30	1	ツヤ調	-	-
4	なし	150	100	250	PC	300	30	1	ツヤ調	-	-
5	120	160	65	345	セパ レータ	170	30	1	ツヤ調	-	-
6	120	160	80	360	セパ レータ	170	20	1	マット 調	-	-
7	50	160	65	275	PC	170	35	4	ツヤ調	-	-
8	50	160	65	275	PC	300	25	1	ツヤ調	-	-
9	60	160	65	285	PC	170	40	2	ツヤ調	あり	PC
10	60	160	65	285	PC	300	30	1	ツヤ調	あり	PC
11	60	160	65	285	PC	300	45	1	ツヤ調	-	-



図 2-3-2 製造したフィルム

② UV 遮蔽性の改善に向けた検討

UV による印刷層および自動車部材の劣化を防ぐため、自動車用塗装レス加飾フィルムの基材となるクリアフィルムには UV 遮蔽性が求められる。そこで、クリアフィルムの原料樹脂に UV 吸収剤を添加することで UV 遮蔽性を向上させた。その結果、波長 300～380nm における UV 透過率を 2%以下に抑制することができた。同時に、クリアフィルムの黄色度が目標値範囲以内であることを確認した。

③ 防汚性の改善に向けた検討

豊田合成での防汚性評価（煤煙試験）において、TPU 樹脂面に汚れが沈着しやすいことが発覚した。そこで、TPU 樹脂面にウレタン系トップコートを塗工することでクリアフィルム表面に防汚性を付与することを試みた。その結果、防汚性は合格レベルに改善されたものの、二次成形（真空成形）試験におけるトップコートの延伸性が不十分であることが判明した。（表 2-3-3）

表 2-3-3 評価サンプル一覧（A4 サイズ枚葉品）

	トップコート 厚み [μm]	TPU 層 厚み [μm]	PC 層 厚み [μm]	PET 層 厚み [μm]	総厚み [μm]	数量	トップコート 材質	防汚性	延伸性
1	10	100	50	-	160	5	ウレタン系	○	×
2	10	-	-	50	60	3	ウレタン系	○	×
3	4	160	65	-	279	10	アクリル系 (タイプ 1)	○	×
4	4	160	65	-	279	10	アクリル系 (タイプ 2)	○	×
5	4	160	65	-	279	10	アクリル系 (タイプ 3)	○	×

④ スケールアップに向けた検討

クリアフィルムの量産化に向けて、量産候補機にてスケールアップ検討を行なった。製膜条件の観点でマッチする量産機を選定し、パイロット機でのクリアフィルム製膜試作を実施し、押出製膜条件に目途が付いた。

（3）まとめと課題

令和 7 年度は、TPU 層と PC 層からなる多層フィルムを改良することで、成形性、ハンドリング性、UV 遮蔽性に優れるクリアフィルムを得ることができた。当該フィルムは透明性、耐薬品性、耐傷付性にも優れるため、自動車向け加飾フィルム基材としての利用が期待できる。

令和 8 年度は、現状の課題である防汚性と成形性の両立についての改良検討を進めるとともに、製膜の量産化検討を行う。

2.3.4 バイオポリウレタンを活用した粘着剤の開発

（1）方法

本項では TPU ベースの加飾フィルムのリサイクル性を向上させるための取り組みとして、モノマテリアル化を一つの方針として、フィルムと同じくウレタン系の粘着剤の開発に取り組んだ。令和 7 年度はウレタン粘着剤のプロトタイプを試作し、その塗装代替フィルム用粘着剤としての実力把握と課題抽出を行い、令和 8 年度以降の開発方向性を定めた。

自動車外装用加飾フィルムに用いる粘着剤には、実使用温度領域(-20℃～80℃程度)における高い粘着力、長期の耐久性（耐熱性、耐湿熱性）等の高い信頼性に加え、使用後は剥がして母材（被着体）をリサイクルするために長期化間貼付された後においても高い易剥離性（凝集破壊（糊残り）しないこ

と)が求められる。また、粘着剤はリサイクルが困難であることから、脱炭素化・資源循環の観点からはバイオマス素材であることが好ましい。以上の観点から、2.2、2.3 で開発した加飾フィルムのリサイクル性の向上と、加飾フィルム全体のモノマテリアルかを志向し、骨格的に高い凝集力が期待でき、かつバイオマス原料を選択可能なポリウレタン系粘着剤を開発する。

特に令和7年度は自動車外装の母材として用いられる PP に対して高い粘着力と耐久性を有するポリウレタン系粘着剤の開発を行った。

(2) 結果

令和6年度の検討で作成した特殊ポリオールを用いたウレタン系粘着剤は PP に対する粘着力が低いことが課題であった。従い、令和7年度は PP に対する粘着力向上と各種物性バランスの最適化を目指し、ウレタン系粘着剤の設計を再検討した。また、比較として一般的に用いられるアクリル系粘着剤を取り上げた結果を表 2-3-4 に示す。被着体としては自動車の樹脂外板(ボディ)を想定して PPGF(ガラス繊維強化 PP)を用い、粘着剤貼合条件としては真空成型の加熱条件を模して常温貼合後 120℃×10 時間の加熱処理を行うことで試験サンプルを作成し評価を行った。結果を表 2-3-4 に示す。

表 2-3-4 各種粘着剤の粘着物性

サンプル名	対 PPGF 粘着力(N/25mm)*						保持力	
	@23℃	@-20℃	@80℃	@23℃	@-20℃	@80℃	@40℃	@80℃
URT-1 (従来品)	0.4	b	-	-	0.05	b	0.5mm	956min(落下)
URT-2 (改良品①)	14.6	b	8.1	b	9.7	a	-	664min(落下)
URT-5 (改良品②)	7.3	b	5.0	b	6.1	b	-	0.03mm
ACR-2 (アクリル系(低 Tg))	11.4	b	17.0	b	1.2	b	-	0.08mm
ACR-8 (アクリル系(高 Tg))	9.1	b	0.5	b	7.4	b	-	902min(落下)

*a, b は剥離時の状態を表す。a:粘着剤層の凝集破壊(糊残り), b:被着体(PPGF)界面剥離

検討の結果、従来のウレタン系粘着剤の課題であった PP に対する粘着力を大幅に改善することができた (URT-2,5)。さらに、URT-5 においては高温時の保持力 (ズレ方向に対する抵抗力) においても優れた性能を示し、剥離、ズレのいずれに対しても良好な性能を有することが確認された。また、URT-5 は低温から高温まで安定した粘着力を維持しており、いずれの温度においても剥離時の糊残りが発生しなかった。一方で、一般的なアクリル系粘着剤においては低温または高温のいずれかでの粘着力が低い結果となっており、幅広い温度領域における粘着力の確保が困難であることが示唆された。

また、改良品である URT-2,5 について、耐久性試験を実施した。手法としては、上記の粘着力測定用のサンプル (PPGF に貼合した状態のもの) を、80℃または 50℃/95%RH の環境下に 1 か月間投入した後取り出して一晩静置し、23℃下で粘着力測定を行うことで長期の耐久性を評価した。結果を表 2-3-5 に示す。

表 2-3-5 ウレタン粘着剤改良品(IURT-2,5)の長期耐久性評価

サンプル名	粘着力(23℃)(N/25mm)*					
	初期		80℃×1 カ月後		50℃/95%RH×1 カ月後	
URT-2 (改良品①)	26.8	a	27.8	a	31.8	a
URT-5 (改良品②)	11.4	b	16.5	b	14.2	b

*a, b は剥離時の状態を表す。a:粘着剤層の凝集破壊(糊残り), b:被着体(PPGF)界面剥離

URT-2 においては非常に高い粘着力を示したものの剥離時に粘着剤が凝集破壊し糊残りが発生した。一方で、URT-5 については耐久性試験後に多少の粘着力上昇が見られたものの、耐久性試験後も全て被着体界面剥離となり、糊残りすることなくきれいに剥離可能であることが確認された。

(3) まとめと課題

令和7年度は、PP に対して高い粘着力と耐久性を有するポリウレタン系粘着剤を開発した。これは一般的なアクリル系粘着剤と比較して幅広い温度領域において高い粘着力を有していることが確認され、自動車加飾フィルム用粘着剤として好適であることが示唆された。開発したポリウレタン系粘着剤については現在豊田合成社にて自動車外装加飾フィルム用粘着剤としての評価を実施しており、良好な結果が得られてきている。令和8年度は更なる詳細評価を進め、そこから抽出された課題に対する改良検討や工業化を見据えたスケールアップ検討を実施する。

2.3.5 自動車加飾フィルムに向けたプラズマプロセスによる防汚処理

(1) 方法

① 実施内容

三菱ケミカル㈱の耐候性、耐擦傷性に優れ、かつ非可食バイオマス由来の新規な熱可塑性ポリウレタン (TPU) を用いた加飾フィルムについて、立体形状の製品へ貼合する際の加工性を向上するため、延伸性に優れた防汚処理技術の開発を実施した。加飾フィルムを立体形状製品へ貼合する方法として、スキージを用いて手作業で貼り伸ばす方法 (手貼り)と、加熱したフィルムを空気圧により延伸して成形する方法 (真空成形)の2種類が主に挙げられる。前者の方法はフィルム全体を均一に伸ばしながら貼るため伸び率を抑えてフィルムを貼合することができるが、深絞り形状には適用できないこと、生産性が劣ることなどのデメリットがある。それに対し後者は形状自由度が高いことや機械設備を用いてサイクリックに成形を行える点で優位性があるが、反面、フィルム自体に高い伸び率が求められる。令和6年度に検討した防汚コーティングは手貼り方式には適用できるが真空成形方式に適用するには延伸率が不足していた。そこで、防汚コーティングの延伸性を向上させるため、プラズマプロセスを活用した薄膜による防汚処理手法の開発を実施した。

② 試験設備と方法

作製した防汚コート皮膜の試験に使用した設備及び試験方法について下記に記載する。

1) 膜厚測定

防汚コートの膜厚の測定は下記設備にて実施した。

【設備名】微細形状測定機

【シリーズ名】ET4000A

【メーカー】(株)小坂研究所

2) 光線透過率測定

防汚コート後のサンプルの光線透過率測定を下記設備にて実施した。

【設備名】ヘイズメーター

【シリーズ名】HZ-VE3

【メーカー】スガ試験機(株)

3) 色差測定

煤煙試験、促進耐候試験前後の色差を下記設備にて測定した。

【設備名】分光測色計

【シリーズ名】CM-700d

【メーカー】コニカミノルタ(株)

4) 光沢計

洗車ブラシ摩耗試験前後の光沢度を下記設備にて測定した。

【設備名】光沢計

【シリーズ名】GM-268A

【メーカー】コニカミノルタ(株)

5) 煤煙試験

防汚処理効果を確認するため下記の手順で試験を実施した。

【試験方法】

カーボン粉末と水を混合したペーストを調製し、サンプル表面に塗り広げ、既定の条件で乾燥した。乾燥後、サンプル表面を中性洗剤で洗浄し色差を測定した。

6) 水滴滑落性

処理後の表面状態を評価するため下記の方法で水滴滑落性を評価した。

【試験方法】蒸留水 20 μ L をサンプル上に滴下し、90° に傾斜させた際の水滴の滑落有無を判定。

7) 延伸試験

防汚コーティング後のフィルムの延伸率評価を下記設備及び条件で測定した。

【設備名】精密万能試験機オートグラフ

【シリーズ名】AGS-10kNX

【メーカー】(株)島津製作所

【測定条件】試験速度：50mm/min

8) 洗車ブラシ試験

防汚コーティング表面の耐擦傷性評価を下記設備及び条件で測定した。

【設備名】洗車ブラシ試験機

【メーカー】(株)カトー

【試験条件】試験時間：正転/逆転各 3.5 s $\times$ 10 サイクル、試験泥：JIS 試験用粉体 1-7 種 17wt%

9) 促進耐候試験

防汚コーティング後のフィルムの促進耐候性評価を下記設備及び条件で実施した。

【設備名】スーパーキセノンウェザーメーター

【シリーズ名】SX75

【メーカー】スガ試験機(株)

【試験条件】照度(300-400nm) 180 W/m²、ブラックパネル温度 63℃、水スプレーあり

【積算照射量】500MJ/m²

(2) 結果と考察

① 防汚処理手法の選定

ペイントプロテクションフィルム(PPF)などの市販車載用 TPU フィルムにおいて、表面の防汚性を改善する手法としてウレタン樹脂系のウエットコーティングが一般に使用されている。しかしながら、ウエットコーティングによる防汚処理は手貼り工法には適用可能だが真空成形工法に対しては延伸性が不足し適用が困難である。そこで、本項では既存のウエットコーティングとは異なるアプローチとして、ドライプロセスにより薄膜防汚処理層を形成する手法に着目した。薄膜化により延伸時の応力を低減し、基材との一体性を高めて延伸追従性を向上させる効果を狙った。基材表面への付着性と膜厚制御性を考慮し、成膜手法としてプラズマ CVD 法を選択した。

② 防汚処理品の初期特性

プラズマ処理品の防汚効果及び初期外観を評価するため、バイオ TPU フィルム上に CVD 処理を行ったサンプルを作製した。成膜時間とガス流量を変化させることで防汚処理膜厚の異なるサンプルを 4 水準作成し評価を行った。柔軟なフィルム基材上では膜厚測定が困難であったためフィルム基材上と同一条件で Si ウエハ上に成膜したサンプルにて膜厚測定を行った。

得られたサンプルの外観評価と防汚性評価を実施した。外観は全光線透過率により評価した。防汚性評価は 2.3.5(1)②5)項で示した煤煙試験により実施した。また、実用上の防汚性の指標として水滴滑落性を評価した。測定結果を表 2-3-6 に示す。

表 2-3-6 外観および防汚性評価結果

基材	処理条件	膜厚 [nm]	全光線透過率 [%]	水滴滑落性	煤煙試験結果
バイオTPU	A	100nm	91.0%	○	○
バイオTPU	B	50nm	91.4%	○	○
バイオTPU	C	10nm	91.9%	○	○
バイオTPU	D	0nm	91.1%	○	○
バイオTPU	未処理	—	91.1%	×	×

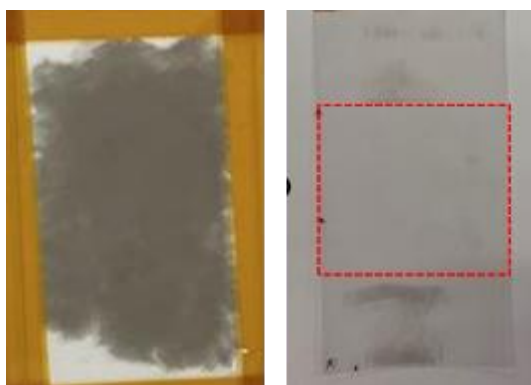


図 2-3-3 煤煙試験後写真 (左：未処理品、右：条件 D 防汚処理品)

処理膜厚 0~100nm の CVD 処理品について付着膜厚に関わらず、防汚性の発現を確認した。(図 2-3-3)。測定膜厚が 0 nm の場合にも水滴滑落性及び防汚性が向上していることからプラズマ CVD 処理によりサンプルの最表層が改質されている可能性が示唆された。

③ 防汚処理品の延伸性

続いて各サンプルの延伸性評価を実施した。得られたサンプルを短冊状に切り出し引張試験機を用いて 50 mm/min の速度で引っ張り、目視で確認できるクラックが入った時点での延伸率を破断延伸率として記録した。表 2-3-7 に破断延伸率の測定結果を示す。

表 2-3-7 狙い膜厚と破断延伸率

基材	処理条件	狙い膜厚[nm]	破断延伸率
バイオ TPU フィルム	A	100	10%
	B	50	15%
	C	10	40%
	D	0	100%以上
	未処理	—	100%以上

膜厚が薄くなるほど破断延伸率が向上した。これは薄膜化による応力低減効果によると推察される。また、膜厚 0 nm サンプルにおいて未処理品と同様に延伸率 100%を超えても表面のクラックや破断は観測されず、プラズマによる基材劣化及びそれに伴う延伸率の低下がないことを確認した。

さらに、延伸状態での防汚性を評価するため、引張試験機で既定の延伸率までフィルムを引き伸ばした状態で耐熱テープを用いてガラス基材に固定し、煤煙試験を実施した。表 2-3-7 中の A~D の条件にて作成したサンプルについて、狙い膜厚と各延伸率に伸ばした状態での煤煙試験結果を図 2-3-4 に示す。また、最終的な加飾フィルムの延伸性目標値として、真空成形にて貼合する場合の目標値と手貼り仕様の目標値をそれぞれ図内に点線で示す。

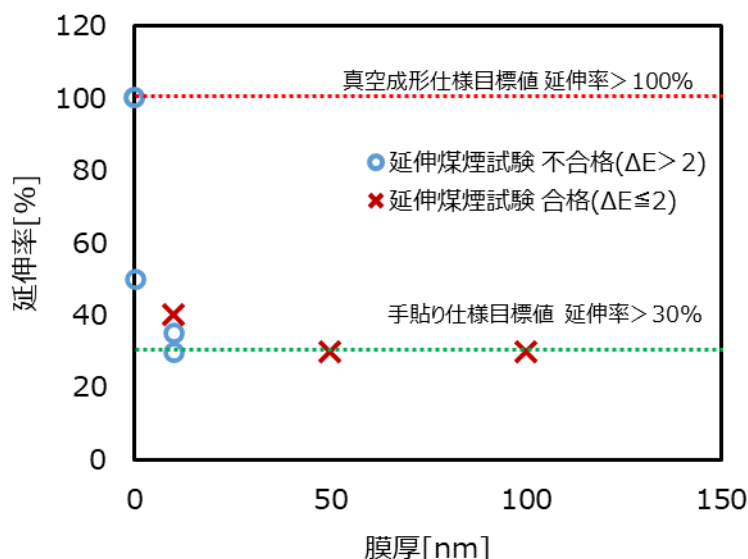


図 2-3-4 狙い膜厚と延伸状態での防汚性評価結果

膜厚ごとの延伸状態での防汚試験結果から表 2-3-7 に記した破断延伸率を超えない範囲では延伸状態でも防汚性を維持することを確認した。防汚処理後に加飾フィルムとして立体形状製品に貼合した後も適切な延伸率範囲内であれば防汚性を維持すると考えられる。処理条件 C (膜厚 10 nm)については手貼り仕様加飾フィルムに、処理条件 D (膜厚 0 nm)においては手貼り、真空成形仕様両

方の加飾フィルムにも適用可能であることが示唆された。

④ 防汚処理品の耐久性

加飾フィルムへ適用可能な延伸性を有する条件 C、D の防汚処理表面について、実用に耐えうる耐久性があるかを検証するため、洗車ブラシによる傷つき試験とスーパーキセノンウェザーメーターを使用した促進耐候試験を行った。促進耐候試験後には煤煙試験を行い、防汚性の低下がないかを確認した。洗車ブラシ摩耗試験後の光沢保持率を図 2-3-5 に、促進耐候試験及び耐候試験後の煤煙試験結果を表 2-3-8 及び表 2-3-9 に記す。

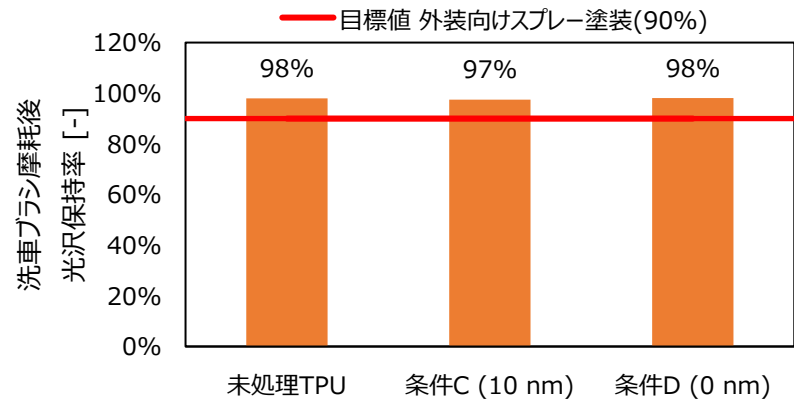


図 2-3-5 洗車ブラシ摩耗試験結果

表 2-3-8 促進耐候試験及び防汚試験結果

処理条件	狙い膜厚	促進耐候試験結果 (ΔE)	判定 (ΔE<3)	促進耐候後 煤煙試験結果
条件 C	10	0.47	○	○
条件 D	0	0.35	○	○

表 2-3-9 促進耐候試験及び防汚試験後サンプル写真(赤点線枠内は煤煙塗布部分)

処理条件	層構成	促進耐候試験後写真	耐候+煤煙試験後写真
条件 C	防汚層 (シリコン系重合膜) バイオマスTPU t=150mm		
条件 D	防汚処理 (表面改質) バイオマスTPU t=150mm		

洗車ブラシ摩耗試験の結果、防汚処理品 2 水準はいずれも未処理 TPU と同等の光沢保持率を示した。これは薄膜による防汚処理が TPU 基材の弾性変形に追従し、微細な傷が自己修復したためと考えられる。また、本結果は目標値として設定した自動車外板向けのスプレー塗装の結果を上回っており、本防汚処理を施した加飾フィルムは従来のスプレー塗装と同等以上の耐擦傷性を有することが確認された。環境負荷低減に加え、優れた耐擦傷性能により自動車部品への付加価値を付与できるため、塗装代替による社会実装の促進が期待できる。

表 2-3-9.の促進耐候試験結果から試験前後で顕著な変色及び表面状態の劣化は認められなかった。また、促進耐候試験後に煤煙試験を行った場合にも防汚性が維持されていることを確認した。以上より市場環境での劣化後も加飾フィルムとしての外観と防汚性を維持すると考えられる。

(3) まとめと課題

令和 7 年度は、新たに検討したドライプロセス処理により 100%以上の延伸性と防汚性を両立するバイオポリウレタンフィルムを製膜した。これにより自動車外装部品に対する貼合方法として従来の手貼り工法だけでなく高延伸が求められる真空成形への適用が可能になり、加飾フィルムとしての適用範囲を大きく広げることが期待される。詳細な防汚メカニズムの検討と効率的な条件の最適化は今後の課題である。

2.3.6 自動車加飾フィルムに向けた易剥離性を考慮した粘着層の設計

(1) 方法

① 実施内容

自動車外装用加飾フィルムに求められる粘着剤は、長期耐久性や環境耐性に耐えうる高い信頼性と、リサイクル時の易剥離性という相反する特性の両立が必要である。信頼性を維持したまま必要時に剥離する技術としては電気刺激、光照射、薬品処理、加熱など、様々な外部トリガーを利用した剥離方法が提案されている。しかしながら、自動車部品への適用を考慮した場合、特殊な設備や薬品の使用は作業現場での実施が困難であり、作業の簡便さ、安全性、コスト面で課題が多い。上記を踏まえ、本検討では最も実現性が高いと考えられる加熱による剥離方式を採用し粘着材の開発を実施した。開発に当たっては、加熱により軟化し剥離が可能なこと（非反応型）、剥離界面の制御が可能なこと、市場劣化後も密着力が変化せず、安定した剥離が望めることの 3 点を重点特性と位置づけ、材料の選定を実施した。候補材料としては 2.3.4 項にて三菱ケミカル社が開発した「バイオマス原料を選択可能なポリウレタン系粘着材」を含めて幅広い組成の粘着材種から適用可能性のある材料を選定し、スクリーニング評価を行った。加えて、熱剥離可能な粘着剤と組み合わせて易剥離化が可能な IH 誘電による易解体接着シートについて調査を行った。貼合相手基材の材質は PP 樹脂を選定した。PP 樹脂は軽量でリサイクル性に優れるためバンパーなどの自動車外装部品に広く使用されている。

② 試験設備と方法

粘着層試験に使用した設備及び試験方法について下記に記載する。

1) 密着力試験

樹脂基材に貼合した粘着材層の密着強度を下記の方法にて測定した。

【試験方法】 JIS K 6854-2 180 度はく離

【試験条件】 試験片寸法 10×90mm 短冊、引張速度 200mm/min

2) 真空成形

粘着材の工法適合性を確認するため下記設備及び条件にて真空成形による貼合を行った。

【設備名】 TOM 成形機

【シリーズ名】 NGF-406-S

【メーカー】 布施真空(株)

【試験条件】 圧空圧力 150 kPa、成形時フィルム温度 130℃

3) 付着性試験

粘着剤を用いて貼合したフィルムの付着性試験を下記の方法にて行った。

【試験方法】 JIS K 5600-5-6 付着性(クロスカット法)

【試験条件】 カット間隔 2 mm、カット数 11×11

(2) 結果と考察

① 剥離特性の長期安定性

加飾フィルム用の接着剤として熱剥離可能な非反応型粘着材 9 種を選定し、劣化後試験前後の剥離特性変化からスクリーニングを実施した。各種粘着材を塗布した印刷フィルムを PP 基材へ 100℃で熱プレス貼合し、180° はく離試験にて密着強度を測定した。劣化を促進するために、試験片を 80℃環境下に静置し密着力の経時変化を測定した。測定は劣化時間 0H (初期)、240H、400H、800H、1200H の各時点で行った。また、剥離後の基材、フィルム表面を目視で確認し破壊様式を観察した。結果を図 2-3-6 示す。

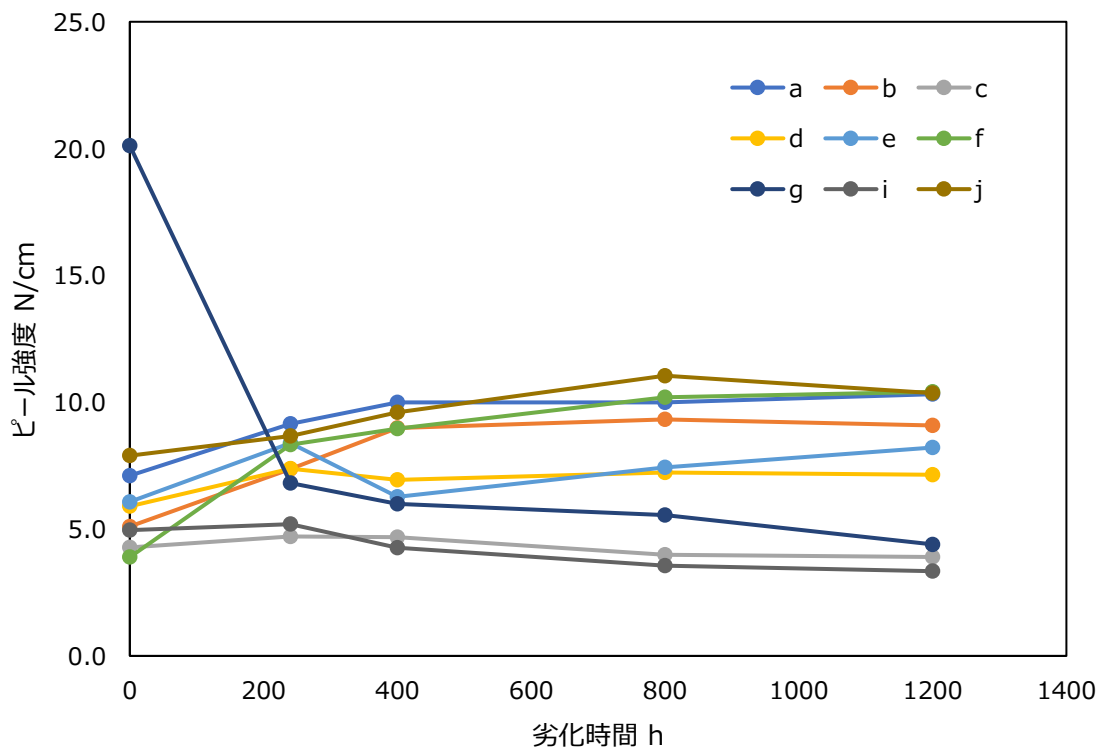


図 2-3-6 粘着材の耐熱劣化試験結果

表 2-3-10 粘着材層候補材の組成及び 1200H 耐熱劣化後剥離試験面の破壊様式

ID	組成	備考	破壊様式(1200H)
a	ウレタン系	2.3.4項 URT-2と同一組成	PP界面剥離
b	ポリエステル系	-	粘着材凝集破壊
c	アクリル系	-	PP界面剥離
d	ウレタン系	2.3.4項 URT-5と同一組成	PP界面剥離
e	ポリエステル系	-	PP界面剥離
f	オレフィン系	-	印刷界面剥離
g	合成ゴム系	-	界面剥離(PP：印刷=6：4)
i	アクリル系	-	PP界面剥離
j	アクリル系	-	PP界面剥離

ピール強度測定結果と剥離界面の観察結果から粘着材 a, d, e, f, i の 5 種に絞り込み、以降の検討を行った。具体的な判定基準として、サンプル c, j はいずれも密着強度が目標値の 6.0 N/cm に満たないことから市場での信頼性を満たさないと判断した。初期付着強度が高かった合成ゴム系粘着材は経時劣化が激しく、また剥離後の糊残りも著しいため検討から除外、ポリエステル系粘着材 b については安定した剥離強度を示したが劣化後に基材への糊残りが発生した。残りの 5 種については 80℃促進環境で 1200H に渡り密着特性が安定しており、なおかつ剥離界面の変化もなかったことから市場劣化後も当初の設計通りの剥離性能を維持する可能性が高く有望な候補材であると判断し、次の評価へ移行した。とりわけ粘着材 d(2.3.4 項 UTR-5 と同一組成) については劣化期間中における強度変動が最も少なく、なおかつバイオマス由来材への置き換えも容易なため本命の樹脂系として以降の検討を進めた。ただし自動車外装用途では厳しい環境条件下での長期使用が想定されるため密着強度に十分な余裕を持たせることが望ましい。そのため現段階で粘着材 d 1 種に絞込むのではなく、より初期密着強度の高い 4 種 (a, e, f, i) についても評価を継続した。

ピール強度測定結果と剥離界面の観察結果から粘着材 a, d, e, f, i の 5 種に絞り込み、以降の検討を行った。具体的な判定基準として、サンプル c, j はいずれも密着強度が目標値の 6.0 N/cm に満たないことから市場での信頼性を満たさないと判断した。初期付着強度が高かった合成ゴム系粘着材は経時劣化が激しく、また剥離後の糊残りも著しいため検討から除外、ポリエステル系粘着材 b については安定した剥離強度を示したが劣化後に基材への糊残りが発生した。残りの 5 種については 80℃促進環境で 1200H に渡り密着特性が安定しており、なおかつ剥離界面の変化もなかったことから市場劣化後も当初の設計通りの剥離性能を維持する可能性が高く有望な候補材であると判断し、次の評価へ移行した。とりわけ粘着材 d (2.3.4 項 UTR-5 と同一組成) については劣化期間中における強度変動が最も少なく、なおかつバイオマス由来材への置き換えも容易なため本命の樹脂系として以降の検討を進めた。ただし自動車外装用途では厳しい環境条件下での長期使用が想定されるため密着強度に十分な余裕を持たせることが望ましい。そのため現段階で粘着材 d 1 種に絞込むのではなく、より初期密着強度の高い 4 種 (a, e, f, i) についても評価を継続した。

② 真空成形適合性の検証

前項で絞り込んだ粘着材 5 種について、工法適合性を確認するため、真空成形工法により PP 基材に貼合し、重点項目の評価を実施した。評価結果を表 2-3-11 に記す。

表 2-3-11 粘着材の工法適合性評価結果

評価項目	条件	a	d	e	f	i
外観	目視	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
初期付着性	碁盤目試験	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし
耐水付着性	40℃240h－碁盤目試験	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし
耐ガソリン	常温浸漬後、外観確認	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
耐ウォッシュ液	常温浸漬後、外観確認	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
冷熱試験	3サイクル後外観、端部剥離有無を確認	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

真空環境での発泡や密着力不足による端部のめくれが懸念されたが、全5サンプルで貼合後外観に異常はなく、重点項目を合格した。いずれの粘着材も自動車外装製品への真空貼合について適用可能であることが示唆された。

③ 剥離接着材の調査

剥離時に粘着剤を加熱する方法としてはスチームやヒーターによる直接加熱法が最も簡便であり適用ハードルが低い。本事業では直接加熱法を本命として開発を進めるが、懸念点として粘着材以外の層も加熱する必要があるためエネルギー効率が低いことや基材の熱劣化が挙げられる。そこで、これを解決する代替手段として粘着材のみを局所的に加熱する手段の調査を行った。IH 易解体接着材は接着層に誘導加熱特性を付与することで、外部からの電磁誘導により接着材層のみを加熱し、容易に剥離することが可能な接着材である。IH 易解体接着材の加飾フィルムへの適用可能性を検証するため、バイオ TPU フィルムと PP 基材を IH 易解体接着材で貼合したサンプル(図 2-3-7)について重点項目評価を実施した。結果を表 2-3-12 に示す。誘導加熱特性を付与した粘着材層と樹脂層の物性差により冷熱試験等での剥離が懸念されたが、いずれの重点項目評価もすべて合格した。熱剥離可能な粘着材に対して IH 剥離技術を組み合わせることにより効率的なシステムの構築が期待できる。

表 2-3-12 IH 剥離接着材の信頼性試験結果

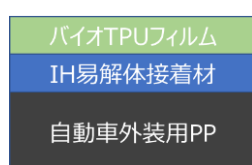


図 2-3-7 IH 易解体接着材
試験サンプル層構成

評価項目	条件	IH易解体接着材
外観	目視	異常なし
初期付着性	碁盤目試験	剥離なし
耐水付着性	40℃240h－碁盤目試験	剥離なし
耐ガソリン	常温浸漬後、外観確認	異常なし
耐ウォッシュ液	常温浸漬後、外観確認	異常なし
冷熱試験	3サイクル後外観、端部剥離有無を確認	異常なし

（３）まとめと課題

令和7年度は、剥離特性の長期安定性と真空成形への適合性に優れる粘着材料の開発を行った。開発した粘着材を用いることで、手貼り工法と比較し生産効率の高い真空成形法への適用可能かつ市場での劣化後も容易に熱剥離可能な加飾フィルムを作製することが可能となる。また、熱剥離の具体的な方法として IH 剥離技術を用いた接着剤の重点物性評価を行った。開発した粘着材と IH 加熱技術との組み合わせおよび、具体的な剥離工程の確立は今後の課題である。

2.3.7 自動車加飾フィルムに向けたリサイクル性を阻害しない無機顔料を用いた加飾印刷の検討

(1) 方法

① 実施内容

加飾フィルムのリサイクル性を向上させるため、新規の顔料を用いた加飾フィルムの印刷試作検討を行った。既存の加飾顔料は混色により明度が下がり黒い色に近づくため、複数の色を含むフィルムを粉砕、混合してリサイクルを行うとリサイクル材が暗色化し淡色への適用が困難となる課題がある。この課題を解決するため、混色しても明度が下がらない新規顔料を用いた印刷フィルムの試作を行った。通常顔料は光吸収により発色するため、混色時に吸収波長が拡大し明度が低下する。一方、光学透明素材による構造発色を利用した顔料は、光吸収を伴わないため混色しても明度が維持されと考えられる。本項では構造発色顔料を用いた加飾フィルムを試作し混色後の明度を既存顔料と比較した。また、光学透明体のみでは透過光が混在し発色が淡くなるため黒色基材上に光学透明の構造色インクを重ねることで、基材との積層時には鮮やかに発色し、剥離後には淡色化するコンセプトの検証を実施した。

② 試験装置及び試験方法

1) 熱転写印刷

開発フィルムへのインク層の印刷は下記設備にて実施した。

【設備名】 マイクロドライ印刷加飾システム

【シリーズ名】 MDD/7H

【メーカー】 ㈱SGJ

2) 色差測定

印刷フィルムの色調は下記設備にて測定した。

【設備名】 分光測色計

【シリーズ名】 CM-700d

【メーカー】 コニカミノルタ㈱

(2) 結果と考察

① 発色性の検証

構造色顔料インクの発色性を検証するため、構造色顔料を使用して7色の異なる色をPETフィルム上に印刷し、測色を行った。測色に際して、黒色の樹脂基材に貼合した状態を想定し、裏面に黒色の印刷層を配置して測色を行った。測色結果を a^* - b^* 平面上にマッピングした図を図2-3-8に示す。開発材インクは従来品同様に赤、緑、青、黄の全象限をカバーすることができ、幅広い加飾表現が可能であることを確認した。

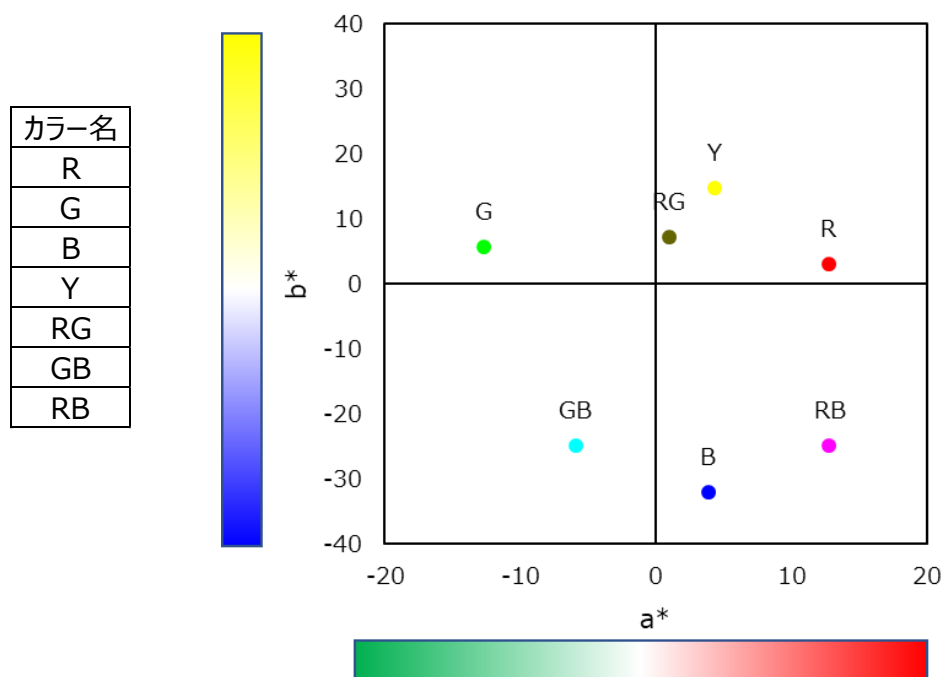


図 2-3-8 構造色印刷フィルムの測色結果

② 混色後のリサイクル性検証

続いて、リサイクル後の明度低下の影響を検証するため、既存顔料として一般的に使用される三原色のシアン、マゼンタ、イエローのインク(吸収色インク)をすべて重ね合わせた印刷サンプルと、新規顔料を用いて三原色を表現したレッド、ブルー、グリーンを重ね合わせた印刷サンプルをそれぞれ試作し、白紙の上で測色を行った。結果を図 2-3-9 に示す。

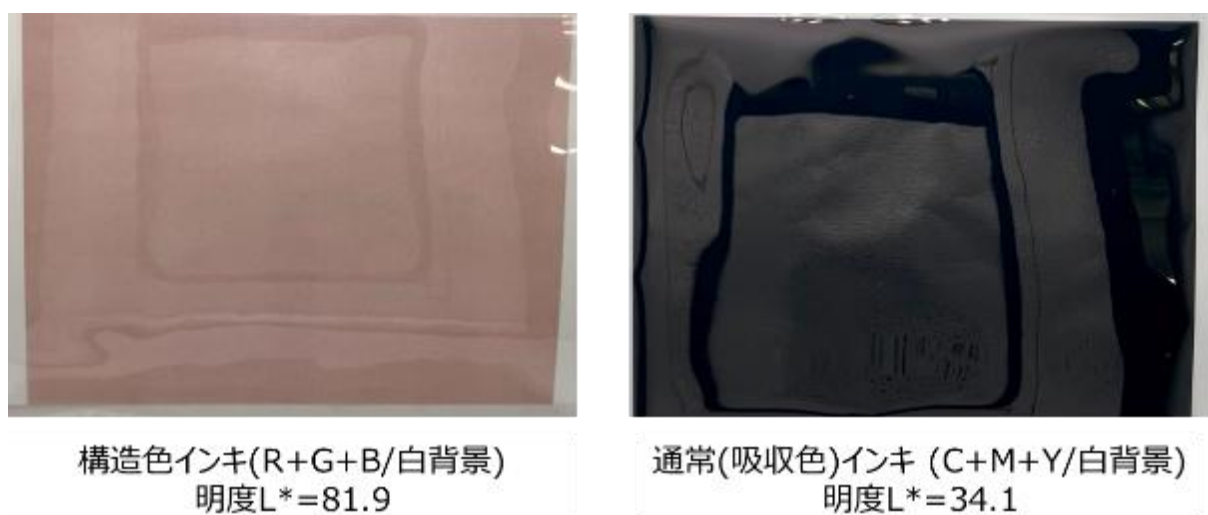


図 2-3-9 混色印刷品写真(左：構造色インク、右：吸収色インク)

既存顔料を混合したフィルムは非常に暗い色彩となり、明度を表す L^* は 34.1 であった。これに対し構造色顔料を使用した混色印刷品は $L^*=81.9$ と既存顔料を混合したサンプルよりもかなり明るい色味を示した。樹脂を狙いの色に調色する場合、調色前の明度が調色後の明度よりも高い数値であ

れば顔料を添加し狙いの色調に近づけることが可能である。本技術を用いた加飾フィルムをリサイクルした樹脂材料はこれまでリサイクル材を適用することが困難であった L^*70 以上の明るい色調に対しても適用可能であることが示唆された。具体的な例として $L^* = 74$ のグレー色 TP を図 XX に示す。



図 2-3-10 明るい色調（明度 $L^*=74$ ）の TP

（３）まとめと課題

熱転写印刷装置を用いた加飾層の印刷において、従来の吸収色顔料を新規な構造発色顔料に置き換えることで、複数の色を混色した際の明度低下を防ぐことが可能になった。従来加飾層を含むリサイクル材は混色による暗色化により黒色以外の製品への適用が難しかったが本技術を用いることでリサイクル後の適用先の自由度を増すことができ、リサイクルの促進に貢献できる。効率的なリサイクル工程の確立や具体的な適用可能色の見極めは今後の課題である。

2.3.8 自動車用加飾フィルムに向けた性能評価等の検討

（１）方法

① 実施内容

実際の自動車外装製品で使用されている PP 樹脂基材に対し、開発した加飾フィルムを張り付け、重点項目の評価を実施した。加えて、GHG 削減効果試算で想定している外装製品と形状の近い縮小版の製品形状モデルを使用し、加飾フィルムトータルの積層構成として立体成形性評価を実施した。加飾フィルムの意匠は製品要求によってさまざまな配色が考えられるが、本検討では促進対候性試験で最も厳しい条件となる黒色のベタ塗加飾仕様で試験を実施した。光線吸収率が高く屋外使用時や促進耐候試験時により製品表面がより高温になるためである。

② 試験装置及び試験方法

1) 真空成形

樹脂基材への加飾フィルムの貼合を下記設備及び条件にて行った。

【設備名】 TOM 成形機

【シリーズ名】 NGF-406-S

【メーカー】 布施真空㈱

【試験条件】 圧空圧力 150 kPa、成形時フィルム温度 90℃

2) 促進耐候試験

積層品の促進耐候性評価を下記設備及び条件で実施した。

【設備名】スーパーキセノンウェザーメーター

【シリーズ名】SX75

【メーカー】スガ試験機(株)

【試験条件】照度(300-400nm) 180 W/m²、ブラックパネル温度 63℃、水スプレーあり

【積算照射量】500MJ/m²

3) 色差測定

促進耐候試験前後の色差を下記設備にて測定した。

【設備名】分光測色計

【シリーズ名】CM-700d

【メーカー】コニカミノルタ(株)

4) 光沢計

促進耐候試験前後の光沢度を下記設備にて測定した。

【設備名】光沢計

【シリーズ名】GM-268A

【メーカー】コニカミノルタ(株)

5) 付着性試験

積層品の付着性試験を下記の方法にて行った。

【試験方法】JIS K 5600-5-6 付着性(クロスカット法)

【試験条件】カット間隔 2 mm、カット数 6×6

(2) 結果と考察

① 加飾フィルム+PP 樹脂積層品の信頼性評価

積層品の信頼性評価を行うため、三菱ケミカル(株)にて製膜したバイオマス TPU と非晶性樹脂の2層押出フィルムに対し、スクリーン印刷加飾及び粘着材層のラミネートを行い、加飾フィルムを作製した。作成した加飾フィルムについて TOM 成形機を用いて自動車外装グレードの PP 樹脂テストピースに貼合し、積層サンプルを作製した。作成したサンプルについて自動車外装向け信頼性を評価するため、スーパーキセノン試験機を用いた促進耐候試験を行い、試験前後の変色度 ΔE と光沢保持率を測定した。比較対象として同色のスプレー塗装品の評価も同時に行った。試験結果、試験後のサンプル写真をそれぞれ表 2-3-13、図 2-3-11 に示す。

表 2-3-13 促進耐候試験結果

サンプル構成		スプレー塗装	加飾フィルム
		クリア塗装 ベース塗装 ABS基材	バイオTPU層 非晶質樹脂層 スクリーン印刷 粘着材d PP基材
促進耐候試験結果	ΔE	0.12	0.16
	光沢保持率	92.4%	99.4%

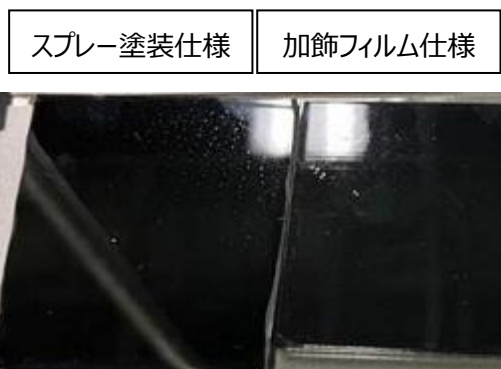


図 2-3-11 耐候試験後の外観(左：スプレー塗装仕様、右：加飾フィルム仕様)

促進耐候試験の結果、変色の大きさを示す ΔE は塗装仕様、フィルム仕様いずれも同等の値で、目標値の $\Delta E 3$ 以下をクリアした。また、光沢保持率はスプレー塗装仕様が 92.2%だったのに対しフィルム仕様が 99.4%であり、表面の高い光沢度を維持した。外観についてはスプレー塗装仕様、フィルム仕様のいずれもクラックなどの外観異常は認められなかった。さらに、端部の剥離等もないことから紫外線及び湿熱環境による粘着材層の劣化不具合も発生していないことを確認した。

② 加飾フィルムの立体成形性評価

加飾フィルムの立体成形品評価にあたり、ターゲット製品として図 2-4-12 に記載のリアスポイラーを設定した。ターゲット製品への適合性を評価するため、小型のモデル形状を用いて試作を行った。表 2-3-14 に示す通り小型モデル形状はターゲット製品よりも延伸倍率が高いと形状のため、本形状に対して立体成形が可能であればターゲット製品に対しても問題なく成形できることが予想される。



図 2-3-12 ターゲット製品形状及び小型モデル形状 外観図

表 2-3-14 ターゲット製品及び小型モデル形状 寸法比較

製品	L	W	H	延伸倍率 ^{*1}
ターゲット(リアスポイラー)	369	1217	94	66%
小型モデル型	60	185	20	88%

^{*1}:箱型に近似した表面積から算出(=[成形品表面積]/[投影面積])

表 2-3-15 に示した構成の加飾フィルムについて、外装向け PP 樹脂素材製の小型モデル型に対し真空成形を実施した。成形後、加飾フィルムのクラック、端部剥離の有無、その他外観異常の有無を目視で確認したのち、クロスカット試験によりフィルムの付着性評価を実施した。成形品写真と評価結果を表 2-3-15、図 2-3-13、図 2-3-14 に示す。

表 2-3-15 サンプル構成及び評価結果

サンプル構成		加飾フィルム
		バイオTPU層 非晶質樹脂層 スクリーン印刷 粘着材 d PP基材
成形品 評価結果	外観	異常なし
	付着性試験	剥離なし

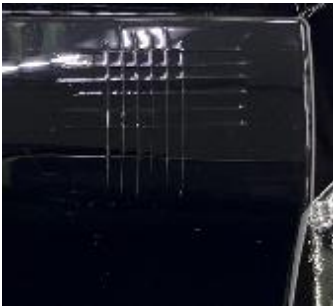


図 2-3-13 付着性試験後



図 2-3-14 成形品外観写真(左：正面、右：端部)

成形品の外観評価の結果、延伸部のクラック、端部の剥離、しわ、凹凸等の外観異常はいずれも確認されなかった。特に、製品の角となる部分はフィルムが大きく延伸されるため、ベースフィルムの延伸性が不足する場合応力による白化が起こりうるが、本検討で用いた加飾フィルム構成においては白化不具合も見られず、十分な成形加工性を有することを確認した。また、付着性試験で加飾フィルムの剥離が無かったことから、立体贴合により粘着材が引き伸ばされた場合もターゲット形状に対しては十分な付着性を維持することを確認した。

(3) まとめと課題

令和 7 年度に開発した加飾フィルムについて PP 基材に貼合した状態で促進耐候試験を行い、自動車外装製品としての使用に耐えうる耐候性能を有することを確認した。加えて、真空成形工法による立体形状部品への貼合試作を行い、ターゲット製品への製作のために十分な延伸加工特性を有することを確認した。今後、実際の製品スケールへの大型化及び限界性能の見極めを実施する。

3. 長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発（事業2）

3.1 自動車用途バイオマスプラスチックの解体・判別技術の開発

3.1.1 目的

バイオマス由来のリサイクルプラスチックを価値化するには、廃自動車由来のプラスチック部品の素材と由来を自動車解体現場で判別する技術・システム（バイオマス割合の測定技術）の開発が求められるところ、(i)自動車解体性の検討、(ii)事業2③で開発するプラスチックの素材・由来判別機器の自動車解体現場における解体システムとしての活用技術の開発、(iii)回収されたバイオマスプラスチックを用いた自動車向けリサイクルコンパウンド開発、(iv)当該コンパウンドの自動車内外装製品等向け素材としての適性の検証、(v)プラスチックの由来・素材判定を容易にする部品設計（易リサイクル設計）に向けたニーズ整理を行うことを目的とする。

令和7年度は、解体コストを意識した効率的な回収システムの提案とプラスチックの素材・由来選別機器の同システムにおける活用方法を検討した。さらに易解体設計が必要な部品を抽出し、課題について整理・検討した。

3.1.2 令和6年度の成果

令和6年度は、手による一次解体（廃自動車からのパーツ回収）を行っている西日本オートリサイクル（株）とニブラによる一次解体を行う KMI（株）（いずれも、パーツから異材を取り除く二次解体は手作業）の2社において、まず外装材としてバンパーとアンダーカバー、内装材としてピラー（カウルサイドトリムはAピラー下部としてピラーに含める）、ドアトリム、インストルメントパネル（インパネ）、センターコンソール、トランクコンポーネント、スカッフプレート、ヒーティングシステムを回収対象として各社9台ずつ計18台の廃自動車を解体（これを **Base** 解体と呼ぶ）した。さらに約100g/個以上のパーツを目安とした精緻解体を同型式の3車種を1台ずつ（3車種×1台＝3台ずつ）各社で実施（3台×2社＝合計6台）した。100g/個以上のプラスチックパーツが、車輻中プラスチック総重量に占める割合は約90%である。また、回収は主にPP材のパーツ（材料コードの最初にPPと記載のあるもの）であり、これは100g/個以上のプラスチックパーツのおよそ70%を占める。

いずれの解体においても、各解体の作業時間、各パーツの回収量を測定するとともに、パーツの材料コード、異材とその重量を記録した。この結果から、車種、パーツ、一次解体方法による回収量、回収時間のばらつきが大きかったものの、統計処理をして各パーツの単位回収時間当たりの回収量を求めた。各パーツの実装率を1（100%）としてELV1台当たりの積算回収時間と積算回収量を表したのが図3-1-1である。

図より、手による一次解体の方がニブラによる一次解体よりも回収量が多くなるが、回収に要する時間が倍以上に長くなることがわかる。それは特に精緻解体において顕著である。これは、ニブラによる一次解体ではパーツを掴んで剥がしとるため、一次解体時間にパーツによる差がほとんど生じない一方、掴むのが難しいパーツの存在やパーツの一部欠損が生じることがあるからである。また、KMI（株）ではハーネスの回収等もニブラで行っているため、インストルメントパネル等の二次解体時間を大きく短縮している。

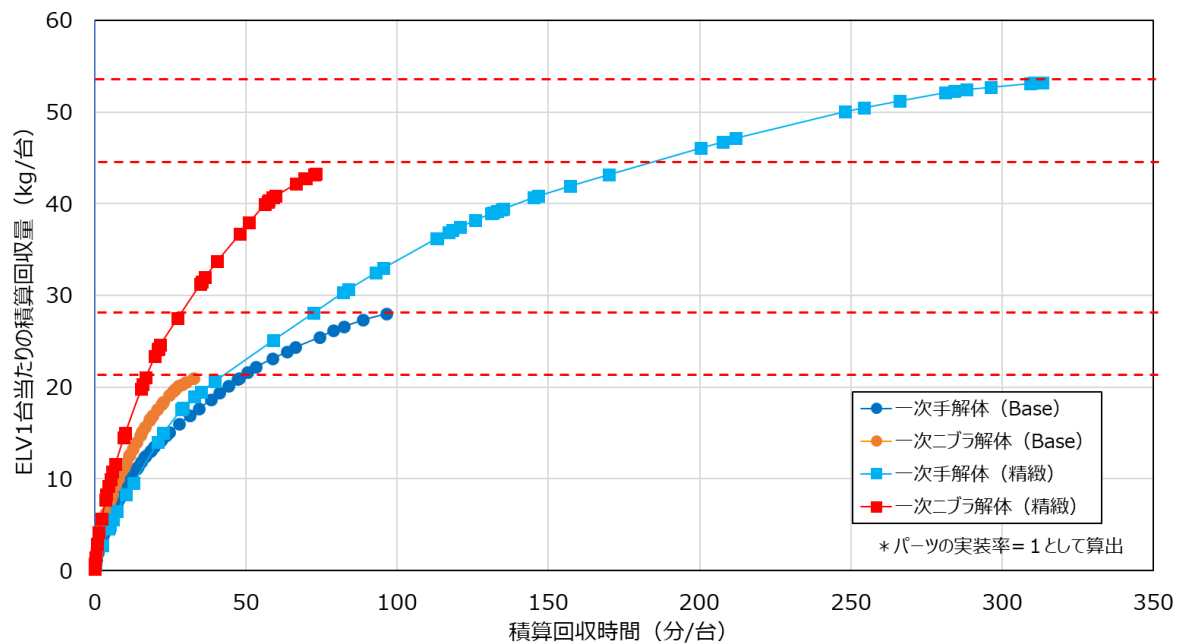


図 3-1-1 一次解体方法・回収対象別による 1 台当りの積算回収時間と積算回収量
(精緻解体のみ同車種同型式)

さらに、必要に応じてパーツの回収作業状況（解体のしやすさ等）を両社にヒアリングした。その結果、熟練の作業者はパーツの主材が何か打音等により見当がつくが、材料コードはパーツの裏面に打刻されているために副材等まで含めた詳しい材料組成は回収してからでないとわからないこと、パーツの取り付け方法や異材の付着方法等が車種により大きく異なるため、回収時間に大きなばらつきが生じることがわかった。

これらのことから、回収量を確保しつつ短時間で回収できるようにするには効率のよい回収パーツの選択、回収が容易なパーツの一次手解体とその他のパーツの一次ニブラ解体の組合せ、解体が容易になるようなパーツ設計が必要と考えられた。また、さらに効率的な解体、回収のために、解体現場で活用できる、パーツ素材・由来判別機器の開発が期待された。

3.1.3 令和 7 年度の実施内容

令和 7 年度はまず、上記の精緻解体を西日本オートリサイクル(株)（一次手解体）で 3 台+KMI(株)（一次ニブラ解体）で 3 台=計 6 台追加実施することで、解体性に関する情報の量と精度を高めた。この結果から効率的に回収できるパーツおよび手とニブラの一次解体の組合せを一次選定し、西日本オートリサイクル(株)において、同車種・同型式で 3 回組合せ解体を実施し、さらに回収時間を短縮しつつ回収量を上げられるように回収システム（パーツと一次解体方法の組合せ）の見直しを進めるとともに、易解体性の設計について検討した。加えて、初期および耐光試験前後のバイオ PP 材の物性評価結果と照合して、回収パーツのバイオマスプラスチックへの変換の可能性と回収量の目処、回収効率の向上についても検討した。

3.1.4 廃自動車の解体性の検討

(1) 精緻解体の追加実施

昨年度と今年度で各社 6 台ずつ、合計 12 台の精緻解体を行った。精緻解体された廃自動車の例を図 3-1-2 に示す。

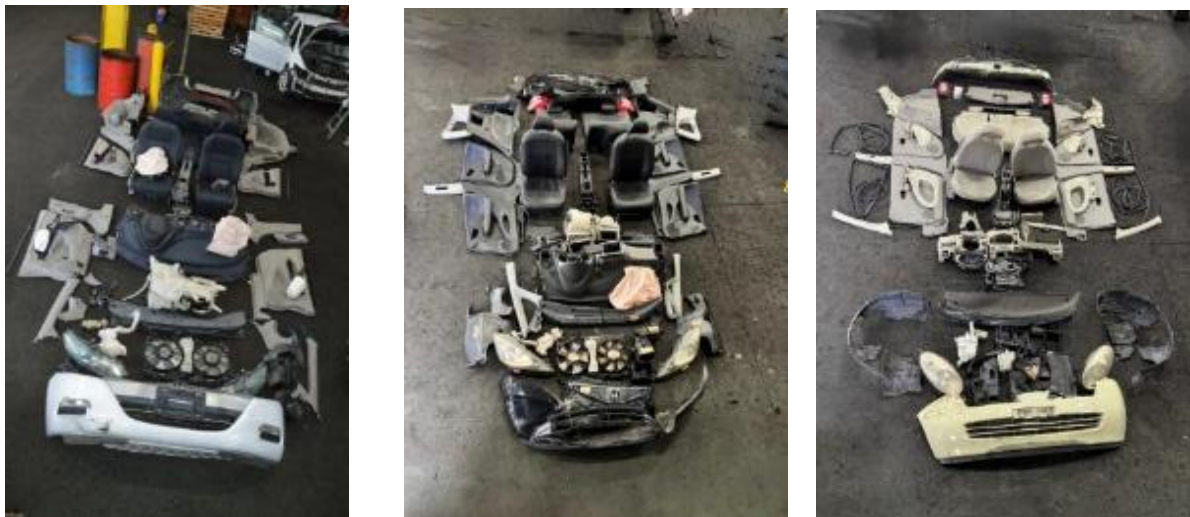


図 3-1-2 精緻解体された廃自動車

実装率=1として1台当りの積算回収時間と積算回収量を求めた結果を図 3-1-3 に示す。なお、令和 6 年度は 2 社の間で車種と型式を揃え、3 車種の精緻解体を行ったが、令和 7 年度は ELV の在庫の都合上、各社で解体した 3 台のうち 1 台しか車種と型式を合わせられなかった。そこで、図 3-1-4 には同車種・同型式の 4 台のみの精緻解体の比較を示す。

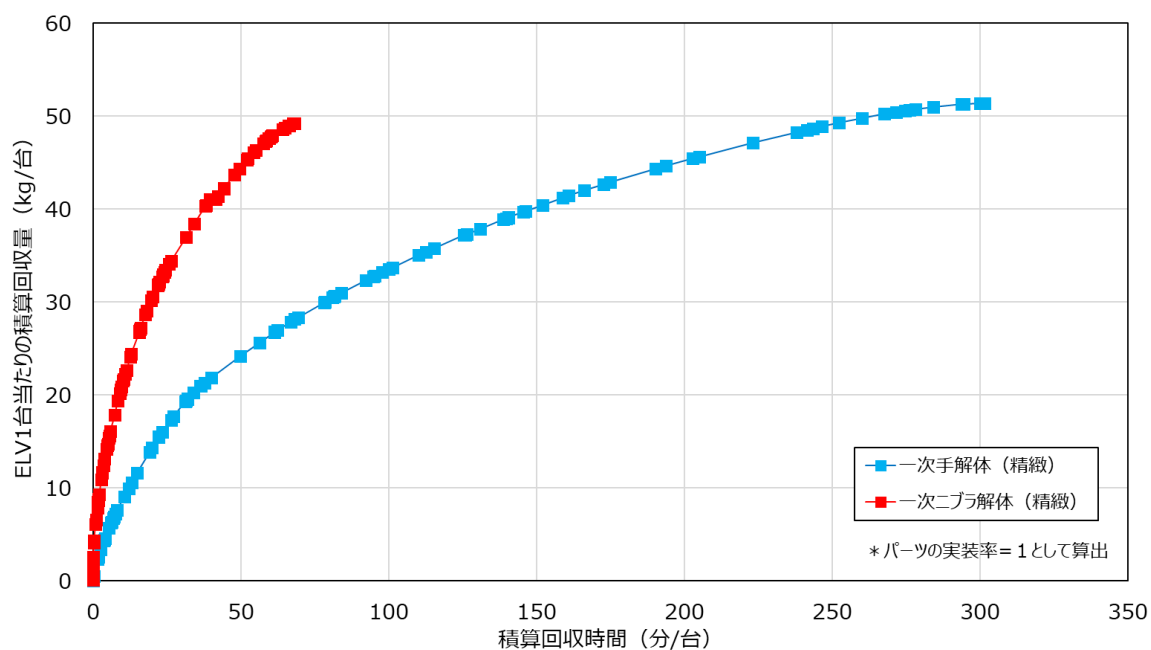


図 3-1-3 ELV1 台当たりの積算回収時間と積算回収量

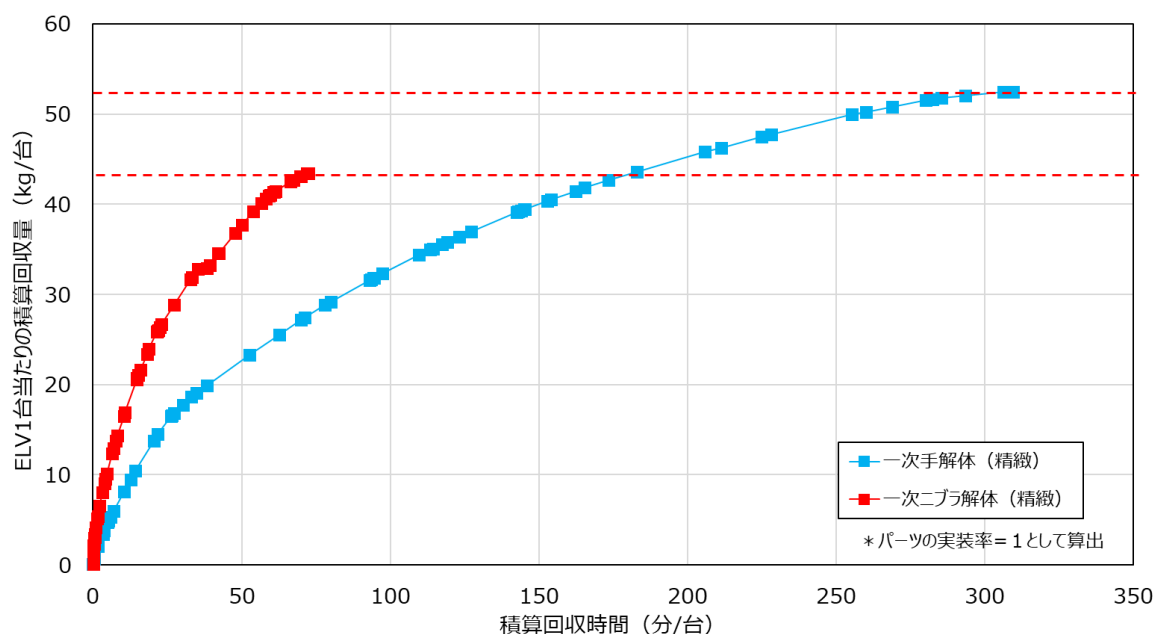


図 3-1-4 同車種・同型式のみで比較した ELV1 台当りの積算回収時間と積算回収量

図 3-1-3 を図 3-1-1、図 3-1-4 の同車種・同型式の精緻解体結果と比べてみると、一次手解体と一次ニブラ解体の回収時間の差にほぼ変化はないが、回収量の差がほとんどなくなっている。

これは、一次ニブラ解体において 1 台大型の SUV を精緻解体しており、このパーツの重量増が大きく影響しているためである。

(2) 回収候補パーツとその一次解体手法の選定（一次選択）

一次手解体による 6 台、一次ニブラ解体による 6 台、計 12 台の精緻解体結果から、以下の条件で回収候補パーツとその一次解体手法を一次選定した。

- 1) 原則として、比較的容易に二次解体まで完了可能と思われるパーツを選択
- 2) 白系のタンク類は色のついていない良質な PP として選択
- 3) 非鉄金属回収のために取り外すヒーティングシステムのカバー類を選択
- 4) 小さくて、あるいは車体から外しやすいなど手回収しやすいパーツは一次手解体。その他は一次ニブラ解体

具体的な内容を表 3-1-1 に記す。本事業に参画している解体業者 2 社では、現在、外装材はバンパー、内装材はピラー、スカッフプレートやドアトリムを回収している。バンパーは泥等の汚れがあり、かつ着色されているので、内装材とは別ラインで破碎、洗浄、袋詰めを行っている。表 3-1-1 の備考欄には、外装材等の洗浄や着色の有無によるライン分け等の注意事項を記載した。

表 3-1-1 回収候補パーツとその一次解体方法（一次選択結果）

	回収パーツ	詳細	一次解体手法	備考
外 装 品	バンパー	フロントバンパー リアバンパー	ニブラ等	洗浄要
	フロントグリル		ニブラ等	PP以外の場合あり。洗浄要。着色されたバンパーとは別ラインで破碎、回収
	アンダーカバー		ニブラ等	洗浄要。バンパーとは別ラインで破碎、回収
	ライナー & マッドカバー		ニブラ等	洗浄要。バンパーとは別ラインで破碎、回収
	スカットルグリル		ニブラ等	洗浄要。バンパーとは別ラインで破碎、回収
内 装 品	スカッフプレート		手	テールゲート下のスカッフプレートも含む
	シートガーニッシュ	前席外側ガーニッシュ	手	
	ピラー	A、B、C 左右ピラー 上下	手	
	ドアトリム	パネルキャリア ドアマップポケット	ニブラ	モケット類が1/3以上のものは回収しない
	テールゲートメインインナーパネル		ニブラ	
	トランクコンパートメント		ニブラ	
	トランクシルパネル		ニブラ	
	センターコンソール主要部		ニブラ	一掴みで外れる分のみ
	インストルメントパネル	ダッシュボード上部		一掴みで外れる分のみ
	グローブボックス		ニブラ	
そ の 他	ヒーターシステムのカバー類		ニブラ	ブローモーター等のカバー含む
	ウインドウウォッシャータンク		ニブラ	白系。別枠で回収。洗浄要。キャップは別
	ブレーキ・マスターシリンダータンク		ニブラ	白系。別枠で回収。洗浄要。キャップは別

（３）一次選択システムによる組合せ解体の実施

100%手解体をしていた西日本オートリサイクル㈱で、表 3-1-1 に記載の組合せによる組合せ解体を3度実施した。3度とも同車種・同型式（日産リーフ ZE0 型）である。解体は、まず一次手解体のパーツを回収し、その後、一次ニブラ解体のパーツの回収という順に行った。

組合せ解体の様子を図 3-1-5 に、回収したパーツの例を図 3-1-6 に示す。

また、参考資料として組合せ解体の記録の一例を 3.1 の文末に添付する。



(A) 組合せ解体の様子（手解体）



(B) 組合せ解体の様子（ニブラ解体）



(C) 二次解体（吸音材の剥離）



(D) 二次解体（吸音材の剥離）

図 3-1-5 組合せ解体の様子



(A) スカットルグリル



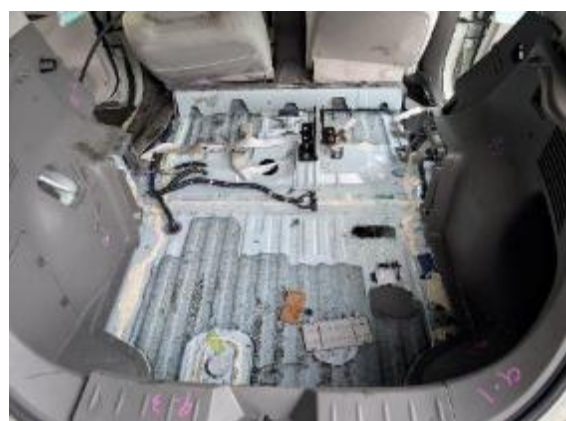
(B) ドアトリム



(C) スカッフプレート



(D) ピラー



(E) トランクコンパートメント



(F) タンク類

図 3-1-6 回収されたパーツの例

3回の組合せ解体の結果を、パーツ別に表したのが図3-1-7の(A)、(B)である。図には令和6年度に実施した同車種・同型式のBase解体、精緻解体の同じパーツを回収した結果も併せて表示している。図中一次手解体①と表記されているのがBase解体、一次手解体②が精緻解体、一次ニブラ解体①、一次ニブラ解体②、一次ニブラ解体③が今回の組合せ解体で、番号が実施順を示す。

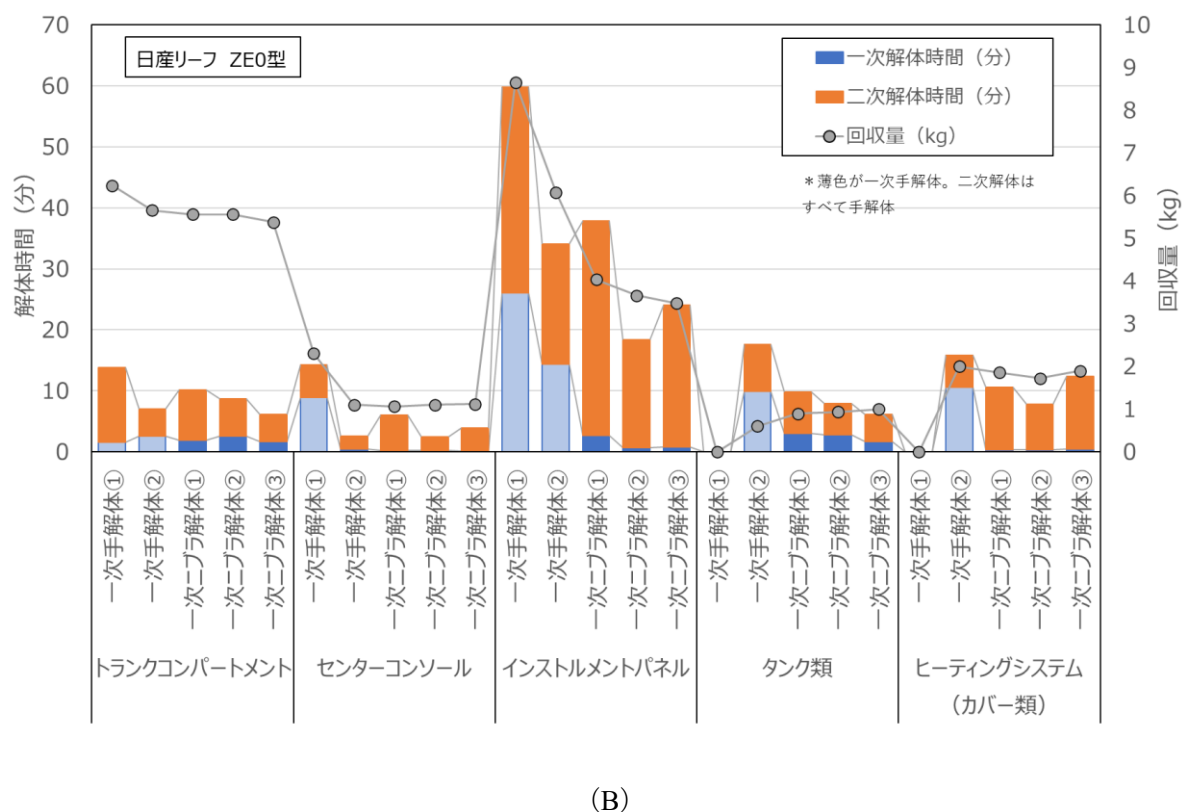
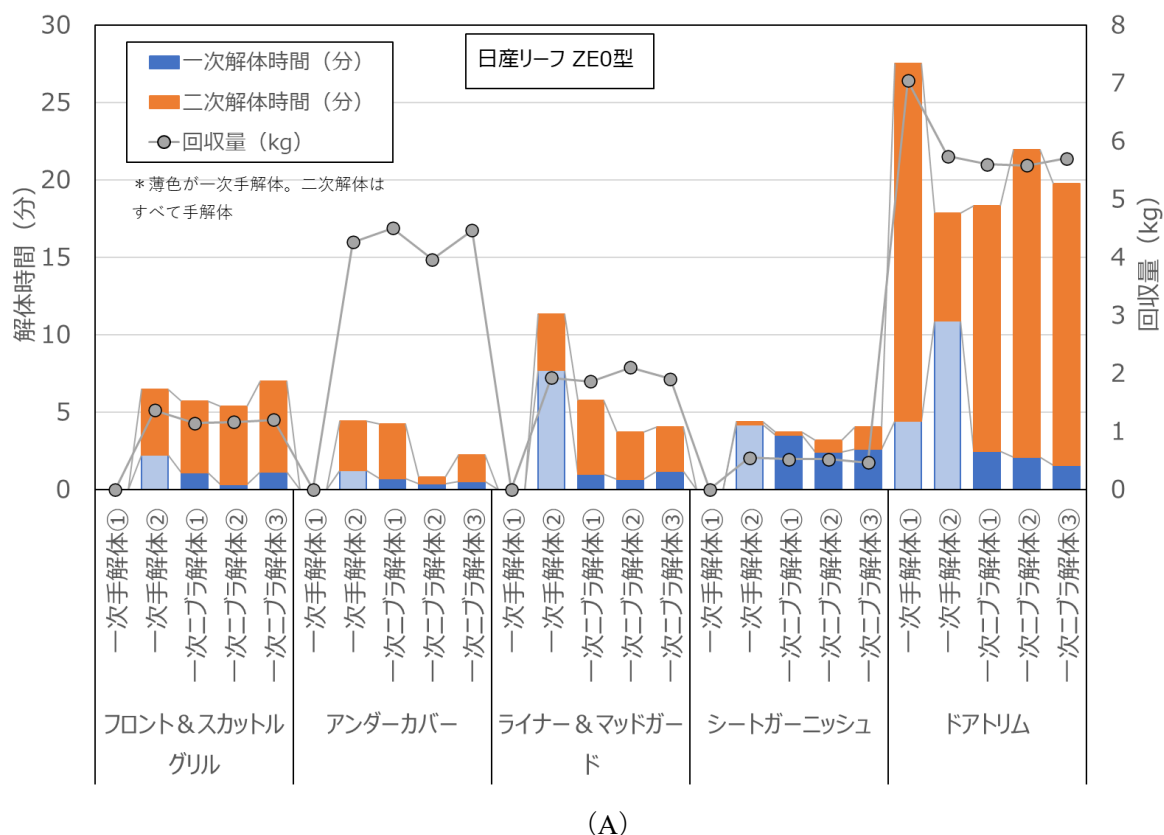


図 3-1-7 各パーツの回収量と回収時間の比較

解体時間を見ると、同車種・同型式であってもばらつきがあるが、手からニブラ解体への変更により一次解体時間は短縮されていることがわかる。解体時間を要しているのはドアトリムとインストルメントパネルであり、ばらつきも大きい。これは主に二次解体時間に起因していることがわかる。

図 3-1-8 には、参考として一次解体手法を手解体のまま変更しなかったパーツの回収結果も示す。一次解体時間に大きな差は見られない一方、特にピラーにおいては二次解体時間のばらつきが大きい。

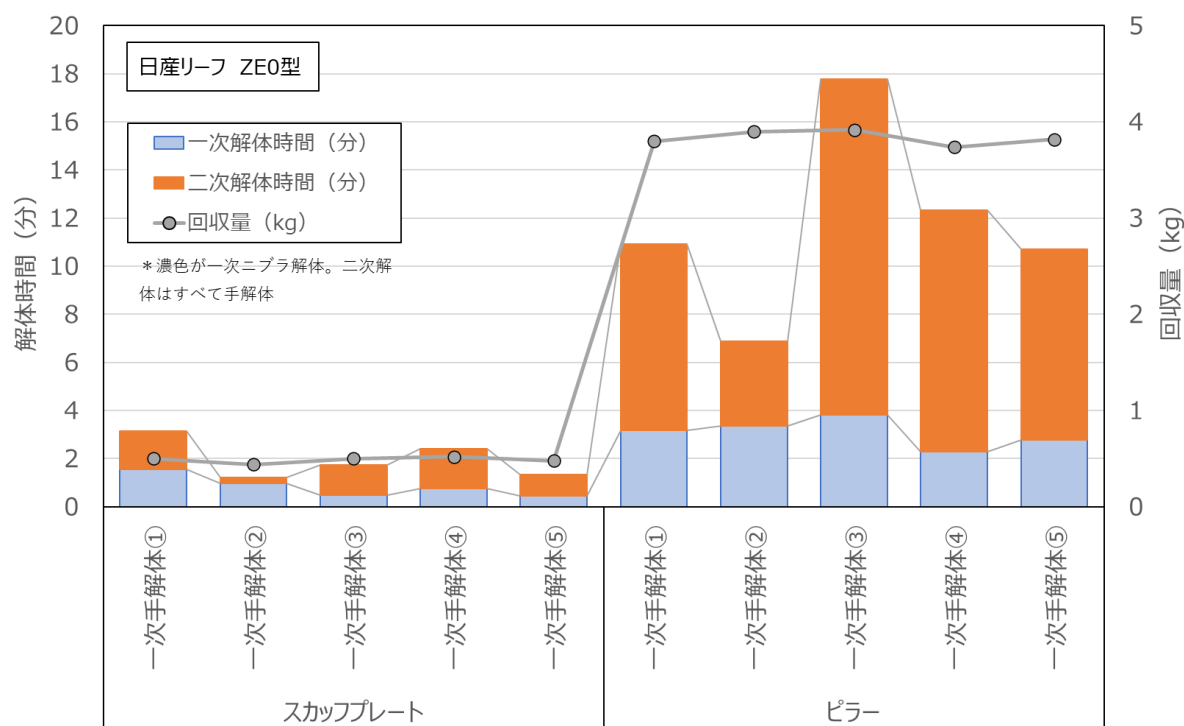


図 3-1-8 一次解体手法に変更のなかった各パーツの回収量と回収時間

次に、一次解体時間だけを取り上げて組合せ解体の積算一次解体時間と積算回収量（一次解体時の回収量ではなく、最終回収量）をすべて手解体の結果と併せて図 3-1-9 に示す。なお、すべて手解体の結果は Base 解体と精緻解体の両方のデータがあるパーツは両者の平均値を用いた。組合せ解体の番号は解体の実施順である。

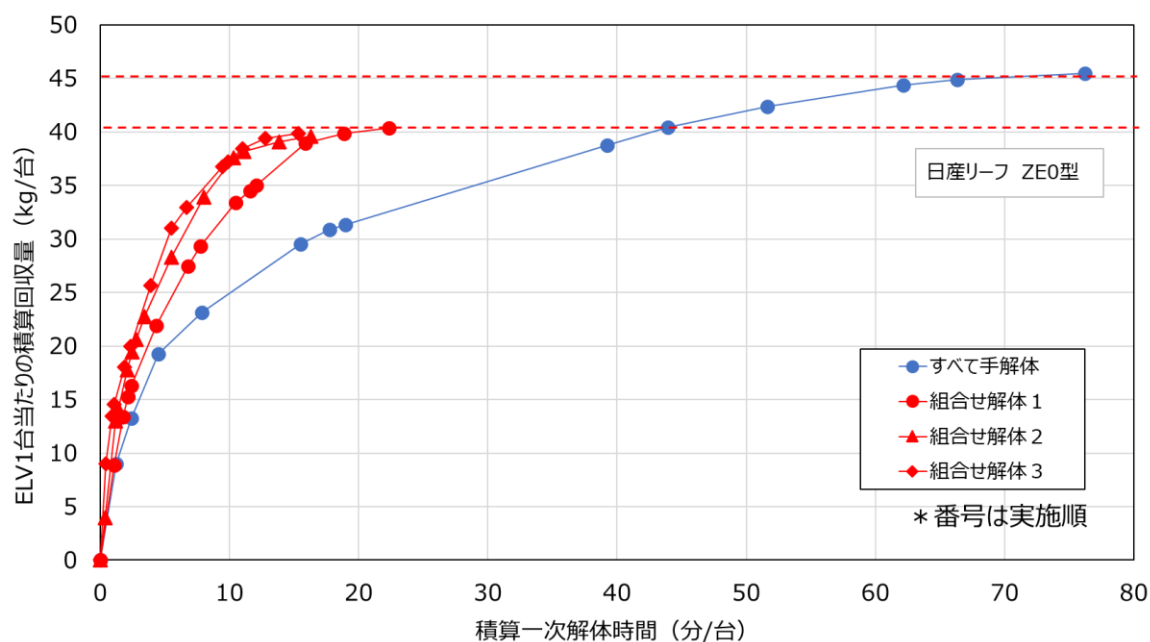


図 3-1-9 積算一次解体時間と積算回収量

図 3-1-9 より、一次解体にニブラを導入することで一次解体時間は大幅に短縮されていることが明らかである。また、回を重ねるごとに（番号が増えるごとに）一次解体時間が短縮されており、ニブラ解体の習熟度の向上による更なる時間短縮が期待される。一方、組合せ解体の最終回収量は、すべて手解体よりも数 kg 減少している。これは従来の解体と同様の結果である。

図 3-1-10 は図 3-1-9 と同様に、積算二次解体時間と積算回収量（最終回収量）を表した図である。組合せ解体の二次解体時間は、すべて手解体と比べて一部短い場合もあるが、最終的にはむしろ長かった。

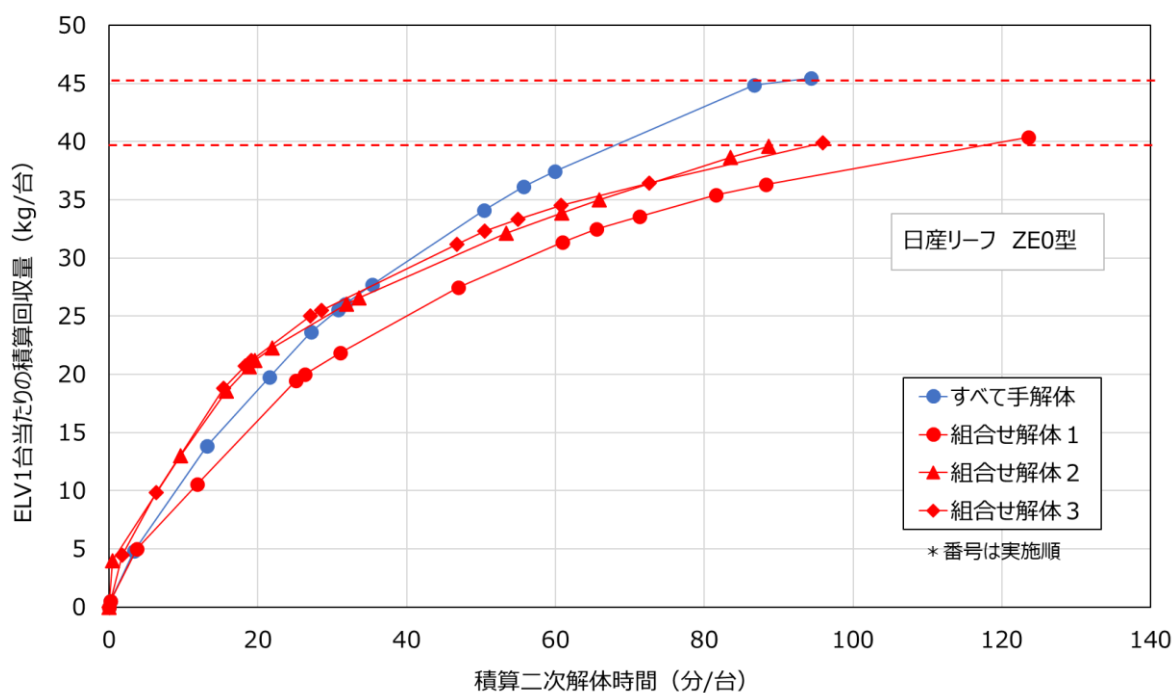


図 3-1-10 積算二次解体時間と積算回収量

一次解体時間と二次解体時間を合わせた最終的な積算解体時間と積算回収量を表したのが図 3-1-11 である。

図 3-1-11 を見ると、組合せ解体 2 と 3（組合せ解体 2 回目と 3 回目）では、総回収時間はすべて手解体よりもわずかに短縮されている。これは図 3-1-9 に示した一次解体時間の短縮を図 3-1-10 に示した二次解体時間の伸長が打ち消しているためである。このことから、回収時間には二次解体時間の影響が大きく、パーツの回収にかかる時間を短縮するには二次解体時間を短縮することが重要であることがわかる。

今回、図 3-1-7 で比較的二次解体に時間を要したパーツを見ると、ドアトリムとインストルメントパネルである。その理由を調べてみると、ドアトリムでは、メインパネルからアームレスト等の付随するパーツを外す作業が二次解体に含まれていた。これは精緻解体ではアームレスト等の一次解体に含まれていた。また、インストルメントパネルではハーネス類を外す作業が二次解体に含まれ、手作業で行ったが、一次解体をニブラで行っている会社ではハーネスの回収はニブラで行っている。これらのことから、二次解体にもニブラを活用することで回収時間をさらに短縮できると考えられる。

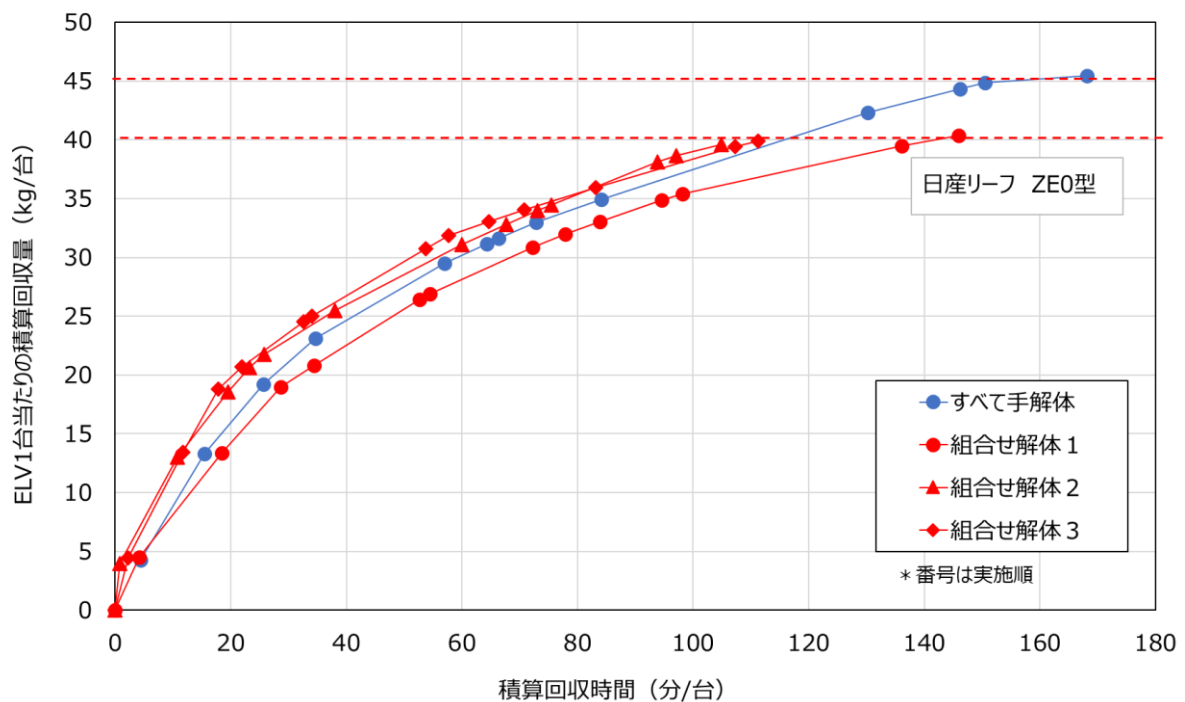


図 3-1-11 積算回収時間と積算回収量

(4) 回収候補パーツとその一次解体手法の見直し（二次選択）

3 回の組合せ解体を実施した結果を踏まえて、回収候補パーツとその一次解体方法を表 3-1-2 のように見直した。見直し部分を朱書きしてある。

表 3-1-2 回収候補パーツとその一次解体方法の見直し（二次選択）

	回収パーツ	詳細	一次解体手法	備考
外 装 品	バンパー	フロントバンパー リアバンパー	ニブラ等	洗浄要
	フロントグリル		ニブラ等	PP以外の場合あり。洗浄要。着色されたバンパーとは別ラインで破砕、回収
	アンダーカバー		ニブラ等	洗浄要。バンパーとは別ラインで破砕、回収
	ライナー & マッドカバー		ニブラ等	洗浄要。バンパーとは別ラインで破砕、回収
	スカットルグリル		ニブラ等	洗浄要。バンパーとは別ラインで破砕、回収
内 装 品	スカッフプレート		手	テールゲート下のスカッフプレートも含む
	シートガーニッシュ	前席外側ガーニッシュ	手	
	ピラー	A、B、C 左右ピラー上下	手	
	ドアトリム	パネルキャリア ドアマップポケット	ニブラ	モケット類が1/3以上のものは回収しない。 付随パーツはニブラで外して可
	テールゲートメインインナーパネル		ニブラ → 手	
	トランクコンパートメント		ニブラ → 手	
	トランクシルパネル		ニブラ → 手	
	センターコンソール主要部		ニブラ	一掴みで外れる分のみ
	インストルメントパネル	ダッシュボード上部		一掴みで外れる分のみ。ハーネスの回収はニブラ
	グローブボックス		ニブラ	
そ の 他	ヒータリングシステムのカバー類	回収しない	ニブラ	ブロワーモーター等のカバー含む
	ウインドウウォッシャータンク		ニブラ	白系。別枠で回収。洗浄要。キャップは別
	ブレーキ・マスターシリンダータンク		ニブラ	白系。別枠で回収。洗浄要。キャップは別

ヒータリングシステムのカバー類は分解が複雑で時間を要するため、回収候補から外した。テールゲートメインインナーパネル、トランクコンパートメント、トランクシルパネルはニブラによるアプローチの難しさから手解体に変更した。また、ドアトリムとインストルメントパネルの備考欄には具体的に記載したが、一次解体後の分解やハーネス回収等もニブラでできることはニブラで行うように見直した。ただし、回収しやすいパーツはともかく、解体手法に関してはニブラ操作の習熟度によって変化するものであるので、固定されるべきではないと言える。

3.1.5 易解体性の検討

ここまでの解体を通じて、より効率よく解体ができるようにパーツの易解体性向上のための設計改善案を下記のように抽出した。

- ① 材料コードのわかりやすい明示（位置、大きさ）
- ② ハーネスの付随していないダッシュボードアップパー（インパネ上部）を、ハーネスの付随しているインパネ部から分離容易にし、極力大きくする設計
- ③ ハーネス等が付随しないセンターコンソール主要部を極力大きくする設計
- ④ 吸音材の全面糊付けをやめ、点付け
- ⑤ 手で簡単に剥がせるシールの採用やシール類のスタンプ化
- ⑥ 外観を損ねない範囲での、パーツ取り付け部の作業性が向上する位置への移動
- ⑦ パーツ取り付けの可能な限りのねじ類から嵌め込み、フック掛けへの移行
- ⑧ インパネの裏から止めているタッピングビス類の頭部分の派手な色等による色分け（取り忘れ防止）

これらがパーツの設計に反映されることで解体が容易になり、回収時間が短縮されることが期待される。それは回収コストの削減のみならず、回収量の増加につながる可能性もある。

3.1.6 バイオマスプラスチックパーツへの変換の検討

今、欧州では ELV 規則案³により新車製造における設計段階での易解体性や再生プラスチックの使用割合の義務化が進められており、設計段階から廃棄後まで、自動車のライフサイクル全体にわたる「循環型経済（サーキュラーエコノミー）」の実現に邁進している。ELV 規則案は 2023 年 7 月に欧州委員会から初案が公表されて、その後、欧州議会、EU 理事会からそれぞれ修正案が提出され審議が進められてきたが、2025 年 12 月に両方で暫定合意がなされ、今後正式採択される見通しである。再生プラスチックの使用割合に関しては「(施行 10 年後に) 新車に使用するプラスチックの 25% をリサイクルプラスチック（そのうち 20% は Car to Car リサイクル由来）にする」ことが義務化されている。現時点ではリサイクルが第一であり、暫定合意にバイオベースプラスチックは含まれなかったが、審議の中では脱炭素化のための有力な代替素材として取り上げられ、「車輛におけるバイオベースプラスチック含有量の技術開発状況および環境性能を見直す」とともに必要に応じて、またはこの見直しに応じて「車輛で使用されるプラスチックにおけるバイオベース原料の持続可能性要件、使用拡大目標を定めること」が記載されている。

日本でも日本自動車工業化 (JAMA) が 2024 年 9 月に「再生材活用促進に向けた 2050 年長期ビジョンと中長期ロードマップ」⁴を公表しサステナブルプラスチック（再生プラスチックだけでなくバイオマスプラスチックも含まれる）利用率の自主目標値を掲げる等、脱炭素化と資源循環を進めている。

資源循環・脱炭素の観点からは、自動車で使用されるプラスチックパーツの原料を再生可能なバイオマス由来のプラスチック（サステナブルプラスチック）に変換することは、非常に重要である。その意味では、すべてのプラスチックパーツをバイオマスプラスチックパーツに変換することが望ましい。また、少しでも多くのプラスチックパーツが再生利用できることが望ましい。その観点から、バイオマスプラスチックパーツが普及した将来を見越して自動車の解体性を検討してきた。

しかし、自動車部品へのバイオマスプラスチックの適用は、本事業で緒についたばかりであり、現段階ではコスト面も含め、普及まではまだ時間がかかると言わざるを得ない。そこで、自動車のプラスチックパーツをバイオマスプラスチックにどのように変換してゆくか検討した。

大きな場合分けとしては、「回収するパーツをバイオマスプラスチック化する場合」と「非回収パーツ（ASR に移行する）をバイオマスプラスチック化する場合」である。それぞれの場合について考察した。

(1) 回収するパーツをバイオマスプラスチック化する場合

欧州では、長寿命製品にバイオマスプラスチックを使用することで、大気中の CO₂ を植物経由

³ Council of the European Union : <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2025/12/12/circular-economy-council-and-parliament-strike-deal-on-rules-for-vehicle-circularity-and-management-of-end-of-life-vehicles/>

⁴ 一般社団法人 日本自動車工業会：「再生材活用促進に向けた自工会の取組みについてー2050 年 長期ビジョンと中長期ロードマップ(含む自主目標値)ー」
https://www.jama.or.jp/operation/ecology/recycle/pdf/promote_use_of_recycled_materials.pdf

で製品内に長期固定（炭素貯留）し、脱炭除去に貢献するという考え、政策が公表されている^{5,6,7}。さらに、回収効率の良い、重量の重い大きなパーツが多いため、サステナブルプラスチックの使用量の目標値を達成しやすい。また、目に見える大きなパーツが多いので、環境性を消費者に訴えやすい。一方、ELV 規則案では再生材利用が優先されており、回収・再資源化の市場構築を進めている中、まだ普及しておらず、物理特性が十分に解明されているとは言えない高価なバイオマスプラスチックを回収・再生ルートに乗せるのは容易ではない。

（２）非回収パーツをバイオマスプラスチック化する場合

回収不能で ASR に移行、焼却（熱処理）されるパーツをバイオマスプラスチックに置き換えれば、焼却しても CO₂排出量が実質ゼロと見なせる。一方、上述のように長期に渡り地表に炭素を固定しておくことはできない。回収・再資源化できないパーツをバイオマス化することで、再生材利用と合わせ、車輛全体の環境性能を上げることができる。バイオマスプラスチックが普及し、コストが下がるまでのコストインパクトを少なくできる。

今年度、事業１においてはバイオ PP の物性評価を経て、コンパウンディングにより、JAMA が提示した汎用 PP の物性目標値を満足させられることを明らかにした。また、耐衝撃性の要求が高く、再生材が用いられないセキュリティパーツであるエアバッグカバーへの適用の可能性を見出した。一方、１年相当の耐光性試験後には劣化が現れており、再生利用の可能性の検討はまだこれからである。

このような状況から、自動車のプラスチックパーツのバイオマスプラスチックへの変換は、まずはエアバッグカバーのような再生材が利用できない安全部品から始め、次に回収されずに ASR に移行、焼却（熱処理）されてしまう部品（前述の回収候補パーツ以外のパーツ）に普及を拡大し、最終的に全量変換へと段階的に進むのが望ましいと考える。

3.1.7 まとめと課題

PP 材を中心に、100g 以上の小さなパーツまで解体・回収する精緻解体を一次手解体と一次ニブラ解体の２業者で３台ずつ、計６台追加実施し、その解体性や回収量を調べた。その結果から、比較的短時間に一定の回収量が期待できるように回収候補パーツとその一次解体方法（手解体かニブラ解体か）を一次選択し、同型式の車種で３回、その組合せによる組合せ解体を実施した。

令和７年度の開発を経て、以下の結論を得た。

- ① 現在よりも回収量を増やし、効率的な回収が可能な回収候補 PP パーツとして、外装品のバン

⁵ European Commission : COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL. COM(2021) 800 final. ‘Sustainable Carbon Cycles’ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52021DC0800>

⁶ REGULATION (EU) 2024/3012 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 November 2024: ‘establishing a Union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products’ <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/3012/oj/eng> BREEFIN ‘Sustainable carbon cycles Promoting removal, storage and recycling’ ; [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733679/EPRS_BRI\(2022\)733679_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733679/EPRS_BRI(2022)733679_EN.pdf)

⁷ European Commission : COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, COM(2022) 682 final; ‘EU policy framework on biobased, biodegradable and compostable plastics’ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52022DC0682>

パー、アンダーカバー、ライナー&マッドカバー、フロントグリル、スカットルグリル、内装品のスカッフプレート、シートガーニッシュ、ピラー、ドアトリム（パネルキャリア、マップポケット）、トランクコンポーネント、テールゲートメインインナーパネル、トランクシルパネル、センターコンソール主要部、インストルメントパネル、グローブボックス、その他ヒータリングシステムのカバー類、ウインドウウォッシャータンク、ブレーキマスターシリンダータンクを選択した。これらの回収候補パーツのうち、小さくて、あるいは車体から外しやすくて手の方が取りやすそうなパーツは一次手解体、その他は一次ニブラ解体として回収候補パーツと一次解体手法の組合せを一次選択した。

- ② 組合せ解体は、すべて手解体と比較して一次解体時間は大きく短縮できた。しかし、二次解体時間は少し伸長しており、結果として総回収時間はさほど短縮されず、回収量は少し減少した。二次解体時間の短縮こそが、回収時間の短縮に有効である。また、ニブラ操作の習熟度も一次解体時間の短縮に影響する。
- ③ 二次解体時間の短縮には、ハーネスの回収や主要パーツに付随するパーツの分解等まで、ニブラでできることはニブラに任せる解体が考えられる。
- ④ これらの結果を踏まえ、回収候補からヒータリングシステムのカバー類を外し、一次および付随品の解体手法を見直して二次選択を行った。来年度、この案に基づいて組合せ解体を複数回実施し、組合せシステムの精度を上げたい。ただし、解体手法に関してはニブラ操作の習熟度が影響するので、このシステムは固定されるべきものではないと考える。
- ⑤ インストルメントパネルの設計や吸着剤の付着方法の改善等、易解体性向上につながる複数の設計改善策を提案した。この検討は継続する。
- ⑥ 事業1の成果も踏まえ、バイオマスプラスチックへの変換は、現時点では再生材が利用できない安全部品から始め、回収されずにASRに移行、焼却（熱処理）されてしまう部品（前述の回収候補パーツ以外のパーツ）に普及を拡大し、最終的に全量変換へと段階的に進むのが望ましいと考える。

【参考】 組合せ解体の記録

実施日：2025.12.22

車名：ニッサン リーフ

年式：2011

型式：ZE0

乾燥重量：1250.0 kg

年式：2011 型式：ZE0				乾燥重量： 1250.0 kg			一次解体			二次解体			
区分	パーツGr.	No	回収順	部品名	一次回収時間 (秒)	一次回収後 部品重量 (kg)	材料コード	異物重量 (kg)	異物	二次回収時間 (秒)	二次回収後 部品重量 (kg)	総 回収時間 (秒)	
外 装 品		1-1	15	フロントバンパー	23.22	5.50	>PP+EPM-T15<	0.88	異材樹脂、モール、クリップ	226.98	4.62	250.20	
		1-2	16	リアバンパー	27.30	5.42	>PP+EPM-T15<	1.00	異材樹脂、反射板、ライト、クリップ	324.38	4.42	351.68	
	1. バンパー（ニブラ解体）				0.84 分	10.92		1.88		9.19 分	9.04	10.03 分	
		2-1	19	スカットルグリル	9.41	0.90	>PP-T10<	0.14	ゴムモール、ノズル、スポンジ	301.03	0.76	310.44	
		2-2	37	フロントグリル	10.12	0.40	>PP+EPM-TD15<	0.00	なし	1.38	0.40	11.50	
	2. グリル（ニブラ解体）				0.33 分	1.30		0.14		5.04 分	1.16	5.37 分	
		3-1	17	アンダーカバー	21.66	3.98	>PP<	0.02	異材無し、泥等により重量減	24.56	3.96	46.22	
	3. アンダーカバー（ニブラ解体）				0.36 分	3.98		0.02		0.41 分	3.96	0.77 分	
		4-1	18	ライナー、マッドガード	38.95	2.28	>PP<	0.18	異材樹脂、吸音材	182.00	2.10	220.95	
	4. ライナー、マッドガード（ニブラ解体）				0.65 分	2.28		0.18		3.03 分	2.10	3.68 分	
内 装 品		5-1	2	インテリア > トリム部品 > パネル > 右側面 > ドアステップインナーパネル > フロント	15.38	0.16	>PP<	0.00	なし	26.36	0.16	41.74	
		5-2	6	インテリア > トリム部品 > パネル > 右側面 > ドアステップインナーパネル > リア	5.41	0.10	>PP<	0.00	なし	12.00	0.10	17.41	
		5-3	12	インテリア > トリム部品 > パネル > 左側面 > ドアステップインナーパネル > フロント	20.04	0.16	>PP<	0.00	なし	15.03	0.16	35.07	
		5-4	9	インテリア > トリム部品 > パネル > 左側面 > ドアステップインナーパネル > リア	5.34	0.10	>PP<	0.00	なし	44.86	0.10	50.20	
	5. スカッフプレート（手解体）				0.77 分	0.52		0.00		1.64 分	0.52	2.41 分	
		6-1	1	Aビラーアッパーパネル 右	13.70	0.50	>PP-T25<	0.04	異材樹脂、吸音材	121.57	0.46	135.27	
		6-2	3	Aビラーロアパネル 右	2.69	0.14	>PP<	0.00	なし	55.16	0.14	57.85	
		6-3	5	Bビラーアッパーパネル 右	19.31	0.28	>PP-T25<	0.02	クリップ	29.22	0.26	48.53	
		6-4	4	Bビラーロアパネル 右	9.24	0.56	>PP<	0.00	クリップ	9.03	0.56	18.27	
		6-5	7	Cビラーアッパーパネル 右	6.98	0.46	>PP-T25<	0.00	吸音材、クリップ	91.16	0.46	98.14	
		6-7	14	Aビラーアッパーパネル 左	31.94	0.50	>PP-T25<	0.04	異材樹脂、吸音材、クリップ	125.06	0.46	157.00	
		6-8	13	Aビラーロアパネル 左	9.09	0.14	>PP<	0.00	なし	64.85	0.14	73.94	
		6-9	11	Bビラーアッパーパネル 左	4.94	0.28	>PP-T25<	0.02	クリップ	19.89	0.26	24.83	
		6-10	10	Bビラーロアパネル 左	33.59	0.56	>PP<	0.00	クリップ	5.59	0.56	39.18	
		6-11	8	Cビラーアッパーパネル 左	6.34	0.46	>PP-T25<	0.02	吸音材、クリップ	79.69	0.44	86.03	
	6. ビラー（手解体）				2.30 分	3.88		0.14		10.02 分	3.74	12.32 分	

年式：2011 型式：ZE0				乾燥重量： 1250.0 kg	一次解体			二次解体				
区分	パーツGr.	No	回収順	部品名	一次回収時間 (秒)	一次回収後 部品重量 (kg)	材料コード	異物重量 (kg)	異物	二次回収時間 (秒)	二次回収後 部品重量 (kg)	総回収時間 (秒)
内 装 品		7-1	36	運転席シート ガーニッシュ	70.97	0.26	>PP<	0.00	なし	1.60	0.26	72.57
		7-2	35	助手席シート ガーニッシュ	74.55	0.32	>PP<	0.06	バネ、ボルト	44.00	0.26	118.55
	7. シートガーニッシュ (ニブラ解体)				2.43 分	0.58		0.06		0.76 分	0.52	3.19 分
		8-1	33	運転席ドア ドアトリム	67.64	3.64	>PP<	2.22	モケット、吸音材、クリップ	308.38	1.42	376.02
		8-2	31	助手席ドア ドアトリム	18.95	2.86	>PP<	1.78	モケット、吸音材、クリップ	355.06	1.08	374.01
		8-3	34	リアドア右 ドアトリム	19.39	2.10	>PP<	0.56	モケット、吸音材、クリップ	192.81	1.54	212.20
		8-4	32	リアドア左 ドアトリム	17.73	2.12	>PP<	0.58	モケット、吸音材、クリップ	334.59	1.54	352.32
	8. ドアトリム (ニブラ解体)				2.06 分	10.72		5.14		19.85 分	5.58	21.91 分
		9-1	27	トランクコンパートメントトリム 右	30.14	1.98	>PP-T10<	0.04	吸音材、ライト、クリップ	105.28	1.94	188.15
		9-2	28	トランクコンパートメントトリム 左	32.06	1.74	>PP-T10<	0.04	吸音材、クリップ	115.94	1.70	202.59
		9-3	29	トランクシルパネル	9.98	0.56	>PP-T10<	0.00	クリップ	27.13	0.56	37.11
		9-4	30	テールゲートメイントリム	79.13	1.40	>PP-T10<	0.04	クリップ、スポンジ	123.03	1.36	202.16
	9. トランクコンパートメント (ニブラ解体)				2.52 分	5.68		0.12		6.19 分	5.56	10.50 分
		10-1	26	センターコンソール	11.60	4.30	>PP-T10<	3.20	異材樹脂、モケット、ステー	139.24	1.10	150.84
	10. センターコンソール (ニブラ解体)				0.19 分	4.30		3.20		2.32 分	1.10	2.51 分
		11-1	23	ダッシュボード	33.13	3.46	>PP+EPM-T25<	0.68	異材樹脂、吸音材、クリップ	756.82	2.78	789.95
		11-2	24	グローブボックス	9.11	1.24	>PP+EPM-T20<	0.36	吸音材、ステー、クリップ	303.29	0.88	312.40
	11. インストルメントパネル (ニブラ解体)				0.70 分	4.70		1.04		17.67 分	3.66	18.37 分
そ の 他		12-1	21	ブレーキ機構 > マスターシリンダータンク	59.85	0.22	>PP<	0.10	ホース、キャップ、ウキ	147.97	0.12	207.82
		12-2	22	ワイパー > ウォッシュタンク	35.81	0.46	>PP<	0.06	ハーネス、ポンプ	56.09	0.40	91.90
		12-3	20	冷却装置 > エクステンションボトル	69.66	1.60	>PP<	1.18	ホース、キャップ	102.78	0.42	145.13
	12. タンク類 (ニブラ解体)				2.76 分	2.28		1.34		5.11 分	0.94	7.41 分
		13-1	25	ヒーターシステム > カバー類	22.50	4.80	>PP-TD20<	3.08	異材樹脂、コア、モーター	444.00	1.72	466.50
13. ヒーターシステム (ニブラ解体)				0.38 分	4.80		3.08		7.40 分	1.72	7.78 分	
総 合 計					16.28 分	55.94		16.34		88.63 分	39.60	106.24 分

対象車：ニッサン リーフ (ZE0)

実施日：2025.12.22

ニブラー解体

手解体

1. バンパー



1-1 フロントバンパー



1-2 リアバンパー



2-1 スカッドプレート



2-2 フロントグリル

2. グリル

3. アンダーカバー



3-1 アンダーカバー

4. ライナー



4-1 ライナー-マッドガード

5. スカッドプレート



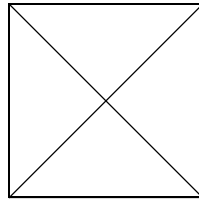
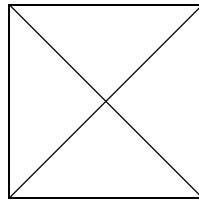
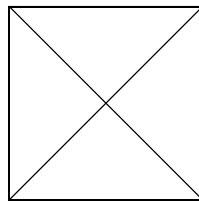
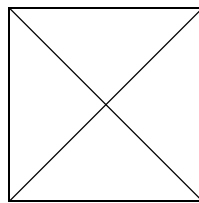
5-1 フロント右



5-2 リア右



二次解体
除去異材物



6. ビラー



5-3 フロント左



5-4 リア左



6-1 ABピラー-アッパー-右



6-2 ABピラー-ロア右



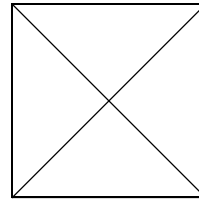
6-3 Bピラー-アッパー-右



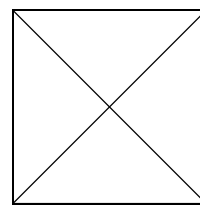
6-4 Bピラー-ロア右



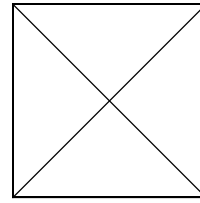
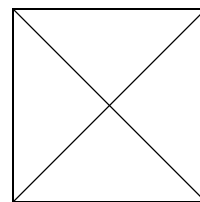
6-5 CBピラー-アッパー-右



6-6 CBピラー-ロア右



二次解体
除去異材物

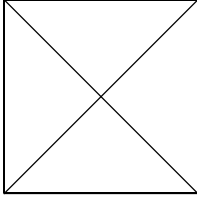
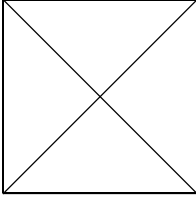


対象車：ニッサン リーフ (ZE0)
実施日：2025.12.22

ニブラー解体  手解体 

6. ビラー

7. シートガーニッシュ

一次解体		6-7 Aビラー-アッパー-左		6-8 Aビラー-ロア左		6-9 Bビラー-アッパー-左		6-10 Bビラー-ロア左		6-11 Cビラー-アッパー-左				7-1 運転席		7-2 助手席
																二次解体 除去異材物

8. ドアトリム

9. トランクコンパートメント

一次解体		8-1 運転席		8-2 助手席		8-3 リア右		8-4 リア左		9-1 トリム右		9-2 トリム左		9-3 シルパネル		9-4 メイントリム
																二次解体 除去異材物

対象車：ニッサン リーフ (ZE0)
 実施日：2025.12.22

ニブラー解体 手解体

10. センターコンソール	11. インストルメントパネル	12. タンク類	13. ヒーティングシステム
10-1 センターコンソール  一次解体	11-1 ダッシュボード  11-2 グローブボックス 	12-1 マスターシリンダータンク  12-2 ウォッシュヤータンク  12-3 エクステンションボトル 	13-1 カバー類 
二次解体 除去異材物 			

3.2 自動車用途バイオマスプラスチックのケミカルリサイクル技術の多様化

3.2.1 目的

本事業では、自動車に用いるさまざまなプラスチックの循環利用を目指し、たとえば、プラスチック製の部品を廃自動車から効率的に分解、分別、回収して再資源化することにより、廃自動車を粉砕処理した際に発生する ASR の量を減らし、自動車由来の廃プラスチックの資源循環の適正化を目指している。本項では、1.2.2 で開発した自動車用途のバイオエンブラ等が、廃自動車から分解、分別、回収された後の再利用技術として、CR 技術の開発を行うことを目的とした。具体的には、CR の対象として、MR に不向きな低品質なもの、金属や塗料等の不純物を含むもの、及び素材別に分別できない複合プラスチック材料等を想定し、ポリマー成分やモノマー成分のみを効率よく回収する技術を開発した。また、CR で得られた再生プラスチックの自動車内外装製品等向け素材としての適性を検証した。

特に令和7年度は、劣化が進み汚れや塗料等の不純物や異物を含む低品質な資源、素材別に分別できない複合材料等の資源から、目的とするポリマー成分やモノマー成分のみを効率よく回収する基礎技術を開発することを目的とした。

3.2.2 廃自動車由来の使用済みプラスチック製品のリサイクル技術の開発：ポリカーボネート樹脂を含むもの等

(1) 方法

ポリカーボネート (PC) は、高い透明性、成形性、及び耐衝撃性を持ち合わせていることから、自動車ではヘッドランプなどのガラス製部品の代替として用いられている。近年、紫外線による劣化や表面硬度などの PC の欠点を克服し、かつバイオマス原料を用いたバイオエンブラ DURABIOTMが開発され、自動車の内外装への採用が徐々に進んでいる。令和6年度は廃自動車からの使用済 DURABIOTMの回収が十分に実施できなかった。令和7年度は DURABIOTMが使われている自動車内外装部品を自社で調達して原料として用いることとし、CR によってモノマー成分のみを効率よく回収する技術の開発を試みた。

(2) 結果及び考察

自社で調達した自動車内外装部品 (フロントグリル) に対してスーパーUV テスターを用いて紫外線 (照度: 1500 W/m²、波長: 300~400 nm) を 57 時間 (= 1 年間の太陽光暴露に相当) 照射し、疑似的な使用済み部品とした。UV 照射前後の IR 測定結果の比較からは明確な違いが確認されず、1 年相当の UV 暴露では劣化 (分子構造の変化) はほぼ進行しないことが明らかとなった (図 3-2-1)。また、GPC 測定の結果からも明確な分子量の低下が無確認されず、1 年相当の UV 暴露では劣化 (分子量の変化) はほぼ進行しないことが明らかとなった (図 3-2-2)。

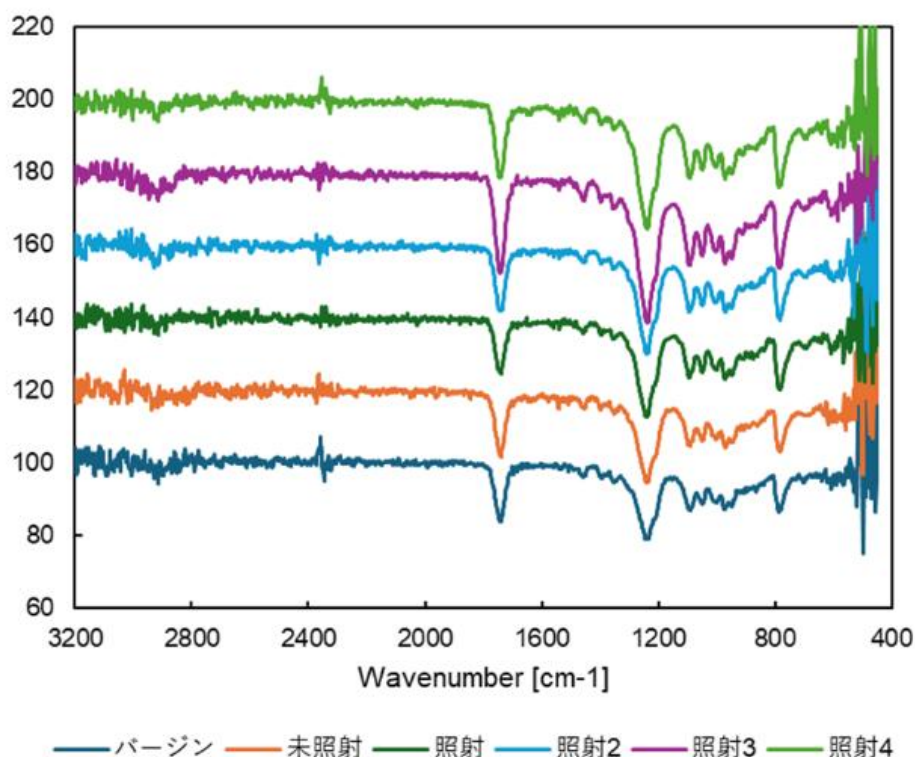


図 3-2-1 UV 照射前後の FT-IR の比較

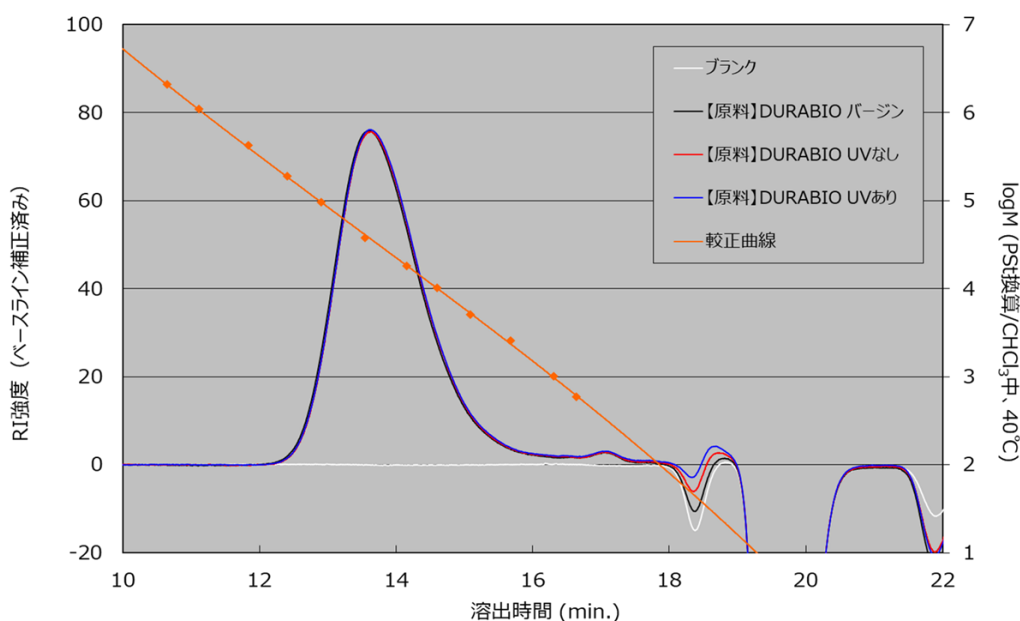


図 3-2-2 UV 照射前後の GPC の比較

次に、UV 照射後のフロントグリル由来の DURABIO™の解重合反応を試みた。まず、溶媒 A、溶媒 B、溶媒 C の 3 つの溶媒系でそれぞれ反応を実施した。反応条件はいずれも、樹脂 5～10g、10 wt%、反応温度は溶媒の還流温度に設定して実施したところ、溶媒 B の場合は 4.5 hr 経過後も明らかに固形物が残存していた。溶媒 C の場合は反応後に 2 層に分離していた。また、GPC の結果からも未反応の樹脂成分が残存していることが明らかとなった。

溶媒 A を用いた場合、反応後（1 hr）の GPC を見ると、ほぼポリマーが消失していることがわかつ

た。バージン品を用いた対照実験の結果、反応は 4.5 hr で完了し、モノマー（ISB）濃度がほぼ同一となることが分かった。また、DURABIO™と溶媒が反応して生成した副生成物が確認された。溶媒 B を用いた場合にも同様に副生成物が生じていた。ISB の再利用には副生成物の除去が必要となるが、ISB の劣化も考慮して蒸留ではなく晶析での精製を試みた。ISB と副生成物の溶解度を調べたところ、いずれも極性溶媒には溶解しやすく、非極性溶媒には溶解しにくいという特徴を有していた。種々検討の結果、ISB、副生成物がともに可溶となる溶媒 D を用いて溶液を作成し、これを低温にて安置したところ、ISB のみ析出することが明らかになった。これらのことを踏まえ、簡易な蒸留と晶析を組み合わせることで ISB の単離の可能性も期待できる。一方、精製工程が長くなってしまうことによるコスト悪化や ISB の劣化についても詳細な検討が必要であると考えられる。

（３）まとめと課題

上記の結果からバイオ由来プラの使用環境を模して UV 照射により劣化させたが、目視および分析的に劣化させにくいことが分かった。また、溶媒 A を用いた分解反応を行うことで、所望のモノマー成分を含む混合液を得たのちに、余分の溶媒 A を留去した後、溶媒 D に溶解させ、冷暗所に静置することで ISB を単離できる可能性を示した。

令和 8 年度は回収した ISB を用いて再生ポリカーボネートを製造し、自動車内外装製品等向け素材としての適性についても検証する。

3.2.3 廃自動車由来の使用済みプラスチック製品のリサイクル技術の開発：ポリカーボネート、ポリエステルを含むもの等

（１）方法

前項に引き続き、バイオポリカーボネートである DURABIO™が廃自動車から回収された後のリサイクルを想定し、ポリマー成分を効率よく回収する技術を開発する。令和 7 年度は、溶解・再沈殿法による有用成分の回収プロセスを確立することを念頭に、DURABIO™に対する良溶媒、貧溶媒の探索およびスクリーニング検討を行った。

（３）結果及び考察

① HSP 値の算出および良溶媒および貧溶媒の確認

まず、いくつかの溶媒を用いて DURABIO™の溶解テストを行い、その結果から DURABIO™のハンセン溶解度パラメータ（HSP 値）を算出した。次に、DURABIO™の良溶媒と貧溶媒を確認した。各溶媒と DURABIO™の溶解度パラメータの距離(HSP 距離)が 5 未満であれば良溶媒、5 以上であれば貧溶媒であると理論上定義した。図 3-2-3 に DURABIO™に対する各種溶媒の HSP3 次元プロットを示し、表 3-2-1 に各溶媒の HSP 距離を示す。

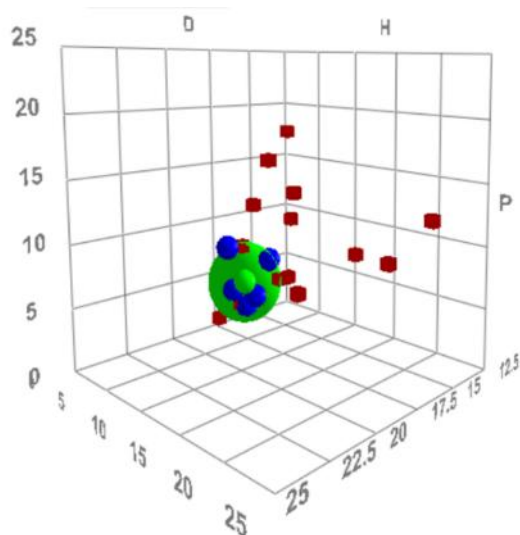


図 3-2-3 DURABIO™に対する各種溶媒の HSP3 次元プロット

表 3-2-1 DURABIO™に対する各溶媒の HSP 距離

	溶媒	HSP 距離
良溶媒	溶媒 A	2.39
	溶媒 B	2.73
	溶媒 C	2.85
	溶媒 D	3.48
	溶媒 E	4.46
貧溶媒	溶媒 F	6.98
	溶媒 G	8.19
	溶媒 H	9.27
	溶媒 I	10.99
	溶媒 J	11.19
	溶媒 K	12.93
	溶媒 L	13.75
	溶媒 M	17.88
	溶媒 N	36.83

② HSP 値の算出および良溶媒および貧溶媒の確認

① で定義した「HSP 距離 5 未満を良溶媒とする」基準の妥当性を確認するため、HSP 距離から良溶媒と推定された溶媒(溶媒 B、溶媒 C、溶媒 D)、および芳香族 PC を溶解する溶媒(溶媒 O、溶媒 O:溶媒 G=2:8)を用いて溶解テストを実施した。その結果を表 3-2-2 に示す。溶解に至る温度は溶媒ごとに異なるものの、検討したすべての溶媒において DURABIO™の溶解を確認した(表 3-2-2)。この結果から、HSP 距離から推定された溶媒が実際に良溶媒として機能することが実証され、本検討において「HSP 距離 5 未満を良溶媒とする」という判断基準が妥当であると結論づけた。

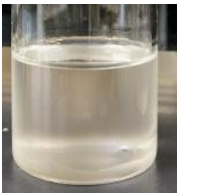
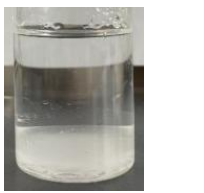
表 3-2-2 DURABIO™の溶解性

良溶媒	溶媒 B	溶媒 C	溶媒 D	溶媒 O	溶媒 O : 溶媒 G = 2:8
溶解温度 [°C]	80	30	30	50	30
溶解の 様子					

③ HSP 値の算出および良溶媒および貧溶媒の確認

①の結果の妥当性を確認するため、HSP 距離から推定された貧溶媒(溶媒 F、溶媒 G、溶媒 K、溶媒 L、溶媒 N)を用い、それらが貧溶媒として機能するか否かを確認した。溶媒 D で DURABIO™を溶解したのち、各貧溶媒を添加した。その結果を表 3-2-3 に示す。

表 3-2-3 DURABIO™の回収：最適貧溶媒の探索

貧溶媒	溶媒 F	溶媒 G	溶媒 K	溶媒 L	溶媒 N
HSP 距離 DURABIO™ に対する 溶解性	6.98	8.19	12.93	13.75	36.83
溶解の 様子					
析出物の 状態	透明の析出物 溶媒を多く含んだ緩いゲル状		白色の沈殿物 沈殿物は硬く、 粘性あり	白色の沈殿物 溶媒を含み とろみを持つ	析出せずに 2 相に分離

溶媒 F および溶媒 G 添加時は、溶媒を多く含んだ透明で緩いゲル状の析出物が得られた。一方、溶媒 K および溶媒 L 添加時は白色の沈殿物が得られたが、溶媒 L は少し溶媒を含みとろみのある状態、溶媒 K は硬く粘性を伴う状態となった。なお、溶媒 N は溶媒 D と混和しないため、2 相に分離し析出には至らなかった。

この結果から、DURABIO™の再沈殿には HSP 距離が 11 以上の溶媒が完全貧溶媒として適していることが示唆された。HSP 距離が 11 未満である溶媒 F や溶媒 G は、DURABIO™を一部溶解または膨潤させる性質を持つ。すなわち、これらは完全な貧溶媒としては機能せず、ポリマー鎖の間に多量の溶媒を取り込みやすいため、析出物が透明なゲル状になったと推察される。したがって、DURABIO™との HSP

距離が5～11である溶媒を再沈殿プロセスにおける貧溶媒として単独で選択することは実用上困難であると考えられる。

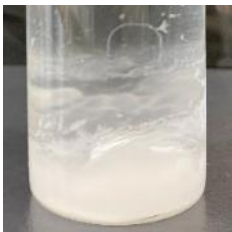
一方、HSP 距離が 11 を超える溶媒 K や溶媒 L は、DURABIO™を溶解・膨潤させないため、貧溶媒としての熱力学的な要件を満たしている。しかしながら、実際の連続的な回収・量産プロセスを想定した場合、析出物はろ過や配管移送などのハンドリングが容易な「スラリー状（微細な粒子が溶媒中に分散した流動性のある状態）」となることが理想である。今回、溶媒 K や溶媒 L を用いた系では、とろみや硬い粘性を伴う状態となり、扱いやすいスラリー状の析出物を得るには至らなかった。したがって、HSP 距離の観点からこれらが最適な貧溶媒の候補であると結論づけつつも、理想的なスラリー状態を実現するためには、良溶媒との組み合わせを含めたさらなるプロセス条件の探索が必要であることが判明した。

実験でスラリー状態とならなかったのは、良溶媒と貧溶媒の組み合わせが最適ではなかったと考え、「2) DURABIO™溶解性の確認」の検討で使用した溶媒を良溶媒、溶媒 L、溶媒 M および溶媒 K を貧溶媒とし、検討を行った。溶媒 L および溶媒 M を貧溶媒とした結果を表 3-2-4、溶媒 K を貧溶媒とした結果を表 3-2-5 に示す。どちらも良溶媒を変更してもスラリー状態とすることはできず、白色の沈殿物（凝集体）となった。回収析出物は弾力があり、乾燥すると硬くなる性質を示した。

表 3-2-4 溶媒 L、溶媒 M を貧溶媒とした場合の沈殿の様子と析出物の状態

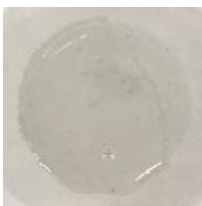
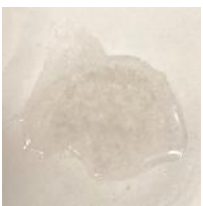
貧溶媒	溶媒 L	溶媒 M	溶媒 M	溶媒 M	溶媒 M
良溶媒	溶媒 D	溶媒 C	溶媒 B	溶媒 O	溶媒 M 溶媒 O：溶媒 G = 2:8
貧溶媒 添加後 の様子					
溶媒 分離後 の析出物					

表 3-2-5 溶媒 K を貧溶媒とした場合の沈殿の様子と析出物の状態

良溶媒	溶媒 D	溶媒 C	溶媒 B	溶媒 O: 溶媒 G=2:8
貧溶媒添加後の様子				
溶媒分離後の析出物				

良溶媒に溶媒 D を用いた系では、溶媒 N と混和しないため DURABIO™の析出には至らなかった。そこで、溶媒 N との親和性が高い溶媒 C を代替の良溶媒として選定し、溶媒 N を貧溶媒とした再沈殿を試みた。さらに、良溶媒と貧溶媒の混和性をより高める目的で、溶媒 N 単独だけでなく、溶媒 M や溶媒 F と溶媒 N の混合溶媒を調製し、等量添加する条件についても併せて検討した。得られた結果を表 3-2-6 に示す。すべての条件で、溶媒 N の含有率が高い透明のゲルが得られた。これは、DURABIO™は高い溶媒吸収性を有するため、系内に溶媒 N が含まれると DURABIO™が溶媒 N を吸収して膨潤したためと推測される。以上の結果より、溶媒 N を貧溶媒として選択することは難しいと考えられる。

表 3-2-6 溶媒 N を貧溶媒とした場合の沈殿の様子と析出物の状態

貧溶媒	溶媒 N	溶媒 N : 溶媒 F =1 : 1	溶媒 N : 溶媒 F =1 : 1	溶媒 N : 溶媒 M=1 : 1	溶媒 N : 溶媒 M=1 : 1
良溶媒	溶媒 C	溶媒 B	溶媒 O: 溶媒 G=2:8	溶媒 C	溶媒 O: 溶媒 G=2:8
貧溶媒添加後の様子					
溶媒分離後の析出物					

（４）まとめと課題

令和 7 年度は DURABIO™の良溶媒と貧溶媒を探索し、スクリーニングを行った。その結果、DURABIO™との HSP 距離が 5 未満である溶媒は、良溶媒として選択することができることを確認した。一方、HSP 距離が 11 を超える溶媒 L、M や溶媒 K が貧溶媒として機能するものの、溶媒 N は樹脂の溶媒吸収によりゲル化を引き起こすため不適であることを確認した。しかしながら、再沈殿時に扱いやすいスラリー状の溶液を得ることができておらず、析出した DURABIO™が溶媒中で凝集・塊状化してしまうというプロセス上の大きな課題が明らかとなった。これにより、析出物の連続的な回収や洗浄工程への移行が困難となっている。今後は、この回収性の課題を解決するため、溶媒選択の最適化や再沈殿方法のプロセス最適化に取り組み、DURABIO™を溶解させるだけでリサイクル可能な技術の構築を目指す。

3.2.4 廃自動車由来の使用済みプラスチック製品のリサイクル技術の開発：エポキシ樹脂を含むもの等

（１）方法

本項では、自動車において使用されているプリント基板などの半導体部品あるいは構造材として使用される炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の主要構成材であるエポキシ樹脂硬化物を CR することを想定し、有用成分のみを効率よく回収する技術を開発した。令和 7 年度は、エポキシ樹脂硬化物に含まれる有価物（ビスフェノール A）と同時に、有価な金属あるいは CFRP 中の炭素繊維も回収できる手法としてアルカリを使用した加溶剤分解に着目し、ビスフェノール A の回収方法として固液抽出プロセスを検討した。

（２）結果及び考察

令和 7 年度までに、アルカリ加溶剤分解手法にてエポキシ硬化物が分解可能であり、原理的にはビスフェノール A を回収できることを確認した。一方同時に課題も顕在化したことから、今期は、弊社にて入手・処理した使用済プリント基板の破碎物を使用し再度アルカリ化溶剤分解を実施した。アルカリ加溶剤分解にてエポキシ樹脂硬化物からビスフェノール A を回収する過程において、液液抽出では使用できる溶媒種が限定されることが分かった。また、ビスフェノール A の回収効率がかかなり悪いことも分かった。そこで加溶剤分解から回収処理方法の見直しを行った。アルカリ加溶剤分解にて使用した溶媒 A に含まれるビスフェノール A について、完全に水層へ抽出されることが望ましいが、現状では水層と有機層にビスフェノール A が分散してしまう。またこの液液抽出を行うためには溶媒 A の水に対する溶解性が低いことが必要なため、溶剤 A は極めて限られたものしか使用できない。そこで、ビスフェノール A の回収量の改善を目的に固液抽出プロセスへの変更を行った。検討の結果、溶媒 B を用いることでビスフェノール A の回収ロスを低減させることができることを確認した。このように、液液抽出から固液抽出へ変更することでビスフェノール A の回収効率向上が可能であることが確認できた。

そこで本法を用いて使用済プリント基板を分解し、ビスフェノール A の回収を試みたが、回収できたビスフェノール A の純度は低品位（図 3-2-4）であった。これは、反応に用いたプリント基板に含まれる硬化剤や添加物（難燃剤やその他の樹脂成分）、金属などの影響と考えられる。現状でも再生エ

ポキシ樹脂の原料として使用することは可能と困難と判断し、バージンのビスフェノール A を混合してエポキシ樹脂の再製造を試みた。



図 3-2-4 回収したビスフェノール A (写真左)
再製造したエポキシ樹脂 (写真右の左)

当然ながら、純度の低いビスフェノール A を用いて製造した再生エポキシ樹脂の外観はバージン品と比べて著しく悪かった (図 3-2-5、写真右の左)。このことから、再生エポキシ樹脂にバージン品と同等の諸物性を求める場合は回収したビスフェノール A のさらなる精製が必要となる。これは他の使用済プラスチック製品の CR に共通して言えることだが、精製に要する工程が長くなってしまうことによるコスト悪化は、実用化の大きな妨げになってしまいうことが予想される。

一方で、本法を用いて使用済 CFRP 板を分解して回収したビスフェノール A は高純度であり、これを用いて再生エポキシ樹脂を製造したところ、バージンのエポキシ樹脂とそん色のない物性を示した。これは、反応に用いた CFRP に含まれていた添加物や金属などの影響が少なかったためと考えられる。一概には言えないが、本法を用いて回収したビスフェノール A は再生エポキシ樹脂の原料として使用することができると判断した。



図 3-2-5 CFRP から回収したビスフェノール A を用いて再製造したエポキシ樹脂 (左)
バージンのエポキシ樹脂 (右)

(3) まとめと課題

プリント基板から回収されたビスフェノール A の純度が低かったことから、再生エポキシ樹脂の品

質が低下したものと推察される。一方でCFRPから回収されたビスフェノールAの純度は高く、再生エポキシ樹脂はバージンと同等の物性を示した。

精製にかけられるコストとの見合いになるが、回収プロセスのさらなる見直しによる回収ビスフェノールAの純度向上と精製手法の簡便化が課題となる。検討に使用したプリント基板は、試験の結果ビスフェノールAが使用されたエポキシ樹脂硬化物ではない可能性が判明した。おそらくフェノール樹脂ではないかと推測される。本項ではビスフェノールAが使用されたエポキシ樹脂硬化物と対象としたプリント基板の分解法を検討してきたため、ビスフェノールA以外の成分の回収はできなかったが、ビスフェノールAが使用されたエポキシ樹脂硬化物が使われていないプリント基板であっても、樹脂成分は可溶化させることができたため、フェノール性の化合物と思われる成分が回収できた。このことから、今後エポキシ樹脂が使用されている様々なプリント基板に対し、樹脂別に選別回収することができれば、使用済プリント基板からの樹脂原料の回収及び有価物の回収が可能であることが示唆された。

3.2.5 廃自動車由来の使用済みプラスチック製品のリサイクル技術の開発：ポリウレタンを含むもの等

(1) 方法

本項では、市中から回収された自動車のシートやヘッドレストのクッション材や3.2.2、3.2.3に記載したTPU製の加飾フィルム等のポリウレタンからなる製品から有用成分を効率よく回収する技術の開発に取り組む。令和7年度は、令和6年度までに確立した手法を利用してクッション等に利用されるウレタンフォームを原料としてラボでの解重合検討を行い、ジアミン(DAT)、ポリプロピレングリコール(PPG)を取得したのちに、PPGを単離した

(2) 結果と考察

ウレタンサンプル(SUF)と水を1MPaGのCO₂存在下、200℃で4hr解重合させ、得られる混合液を塩酸で中和し、油水分離することによって、油層側にPPGを濃縮させた。ひきつづきこれを濃縮、乾固することによってPPGとDATを単離した(図3-2-6)。

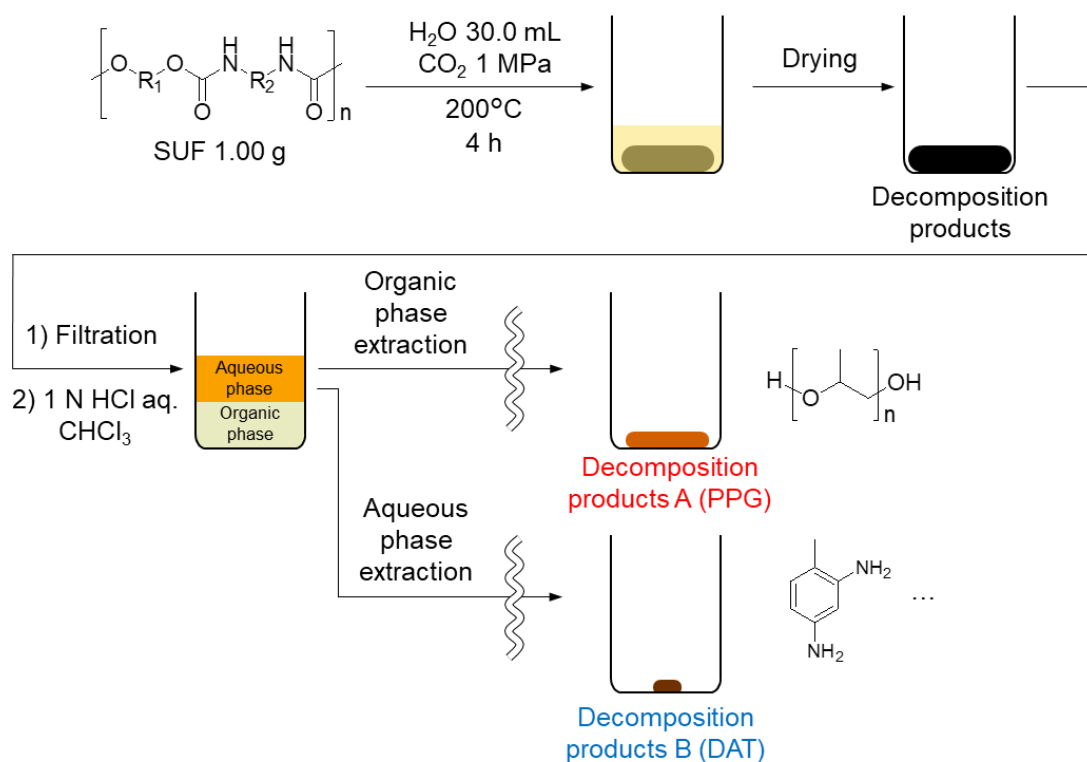


図 3-2-6 ポリウレタンの解重合実験の流れ

解重合条件を再検討し、反応温度を 200 あるいは 220℃にすることによってほぼ 100%の転化率となることを確認した（表 3-2-8）。

表 3-2-8 反応条件の精査

	原料(g)	圧力 (MPa)	温度(℃)	時間(h)	転化率 (%)	回収量(g)	回収率 (%)
1	2.00	1.0	190	1	48	-	-
2	2.00	1.0	190	2	68	-	-
3	2.00	1.0	190	4	90	-	-
4	1.00	1.0	200	4	98	0.67	73
5	1.00	1.0	220	4	100	1.2	65
6	1.00	3.0	220	6	100		

有機層の PPG は若干の水溶性を有することから完全に抽出することができず、回収率は 70%程度となった。得られた PPG を利用して以下の反応により TDI、1,4-ブタンジオールを用いて再生ウレタン (PU) を合成したところ液状物質が得られ、IR からウレタン結合が確認された（図 3-2-8）。

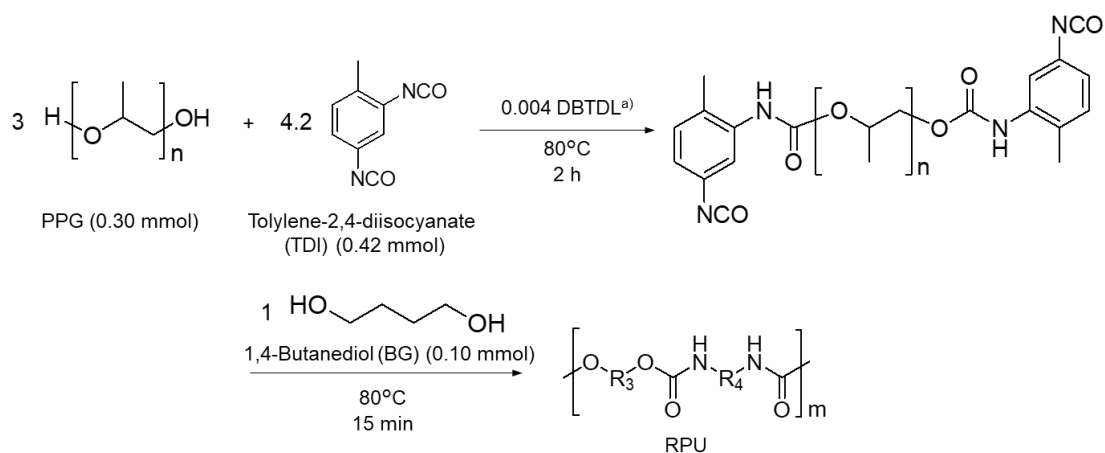


図 3-2-7 回収した PPG を用いたポリウレタンの再製造

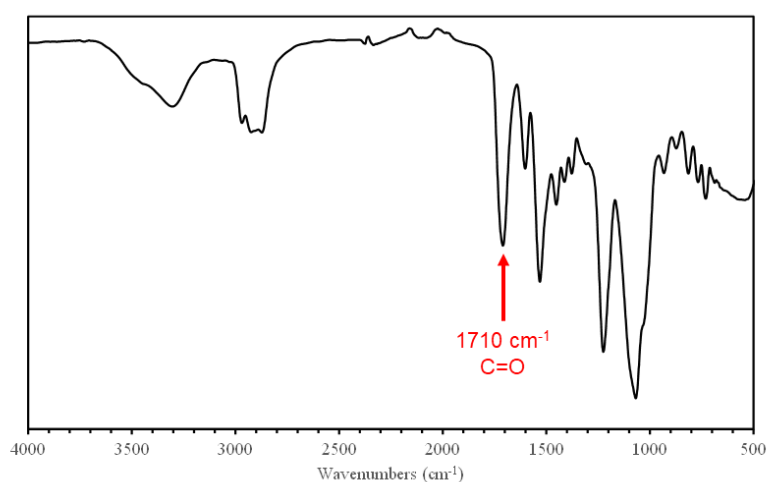


図 3-2-8 得られた生成物 (RPU) の FT-IR

(3) まとめと課題

令和6年度に開発した手法により DAT、PPG を単離した。また、得られた PPG を用いて再重合を行い、再生 PU を合成して結合が形成されていることを確認した。PPG の単離、および単離した PPG を用いて PU を再製造できることを確認した。DAT は精製方法の精査が必要である。

今後は廃材を利用した実験も行い、実用化に向けた課題の抽出を行っていく。また、得られた再生 PU の物性、品質評価も確認していく予定である。

3.3 バイオマスプラスチックの素材や由来の検出技術の開発

3.3.1 目的

自動車解体現場でのプラスチック素材判別は主に素材マークの目視により行われているが、素材判別装置を用いることで、効率と精度の向上が期待される。令和6年度において、近赤外領域は黒色プラスチック部品の素材判定は難しいが、中赤外線領域では判別できることが判明したことから、令和7年度は、中赤外線を利用して、黒色プラスチックを含むプラスチック素材判別技術を高度化することを目指すこととした。具体的には、オンサイトでの高度樹脂判別（バイオ、黒色、添加剤含有）を可能とすることを目標とし、オンサイトで使用可能なプロト試作機の完成、および装置仕様の決定を行うため、中赤外線を用いた二つの方式（①FT-IR方式と②波長固定方式）について検討を行った。

一方、由来判別に関しては、AMSやLSCに代わり、回収されたプラスチック部品のバイオマス割合を自動車解体現場で計測できるCRDS等の革新的な光学的計測手法の検討を行うことに加えて、前処理や不純物の解析についても検討し、由来判別技術を確立することを目的として取り組んできた。令和7年度は、解体現場でのCRDSでの装置仕様検討として、実際の解体現場へ行き、必要な装置仕様（使用場所、装置サイズ、必要インフラ等）の検討を行った。また、バイオベース度と不純物の複合計測方法と必要精度検討を行った。

3.3.2 バイオマスプラスチックの素材の検出技術の開発

【① FT-IR方式】

（１）方法

令和6年度に立ち上げた評価用実験機を用いて、透過測定、反射測定による黒色樹脂のスペクトル取得の評価を行った。図3-3-1に評価用実験機の干渉光学系の概略図、図3-3-2に評価用実験機の構成図、図3-3-3に評価用実験機の外観写真を示す。図3-3-4、図3-3-5はそれぞれ透過測定時の光路図、反射測定時の光路図である。透過測定は図3-3-4のように黒色のサンプルを赤外線が透過するように光源を配置し測定を行った。一方、反射測定は図3-3-5に示すように、サンプルからの拡散反射光を取得する構成となっている。

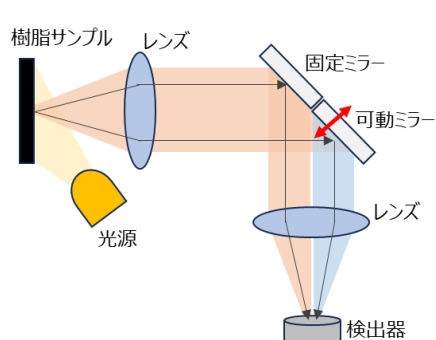


図 3-3-1 干渉光学系の概略図

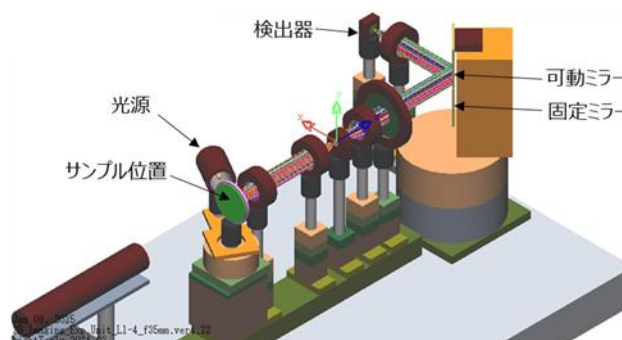


図 3-3-2 評価用実験機の構成

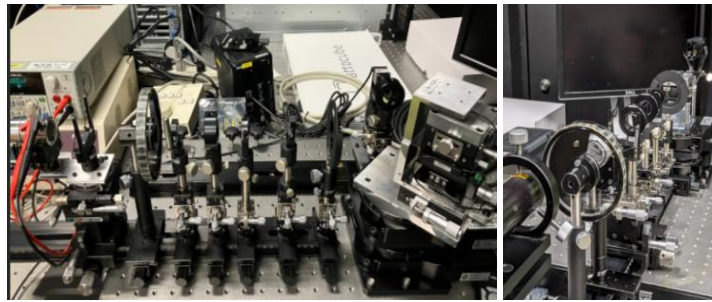


図 3-3-3 評価用実験機の外観写真

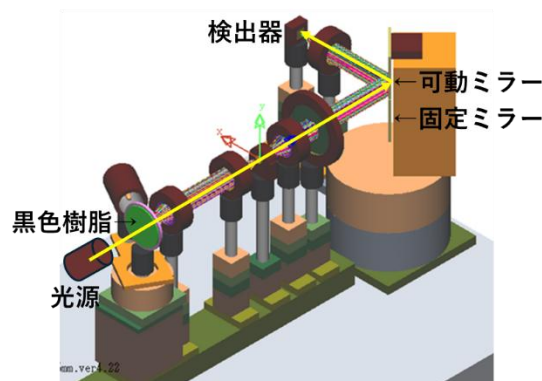


図 3-3-4 透過測定時の光路

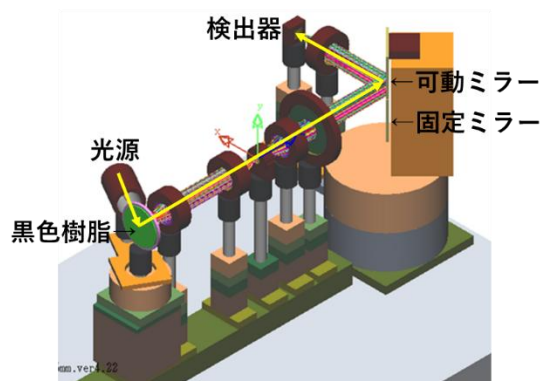


図 3-3-5 反射測定時の光路

(2) 結果

評価用実験機を用いて黒色 PP の透過測定、反射測定を行った結果を記す。測定条件として、光源強度については、透過測定時は 5.6W (5V、1.6A)、反射測定時は 28.8W (24V、1.5A) とした。

図 3-3-6 は透過測定のインターフェログラム、図 3-3-7 は反射測定時のインターフェログラムである。表 3-3-1 に測定時の光源条件と得られたインターフェログラムの比較表を示した。反射測定は透過測定よりも得られる光量が少ないため、光源強度を高くして測定を行った。インターフェログラムのピーク強度および S/N 比はいずれも透過測定の方が高く、S/N 比は約 4 倍の差がある。

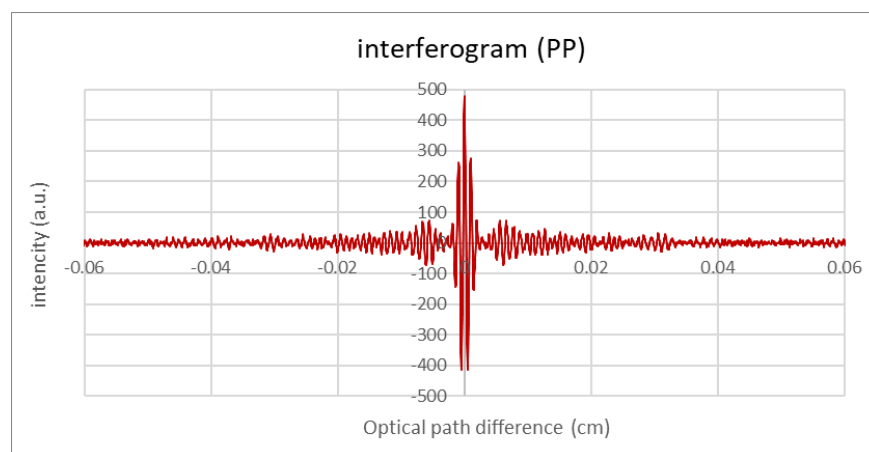


図 3-3-6 インターフェログラム (透過測定)

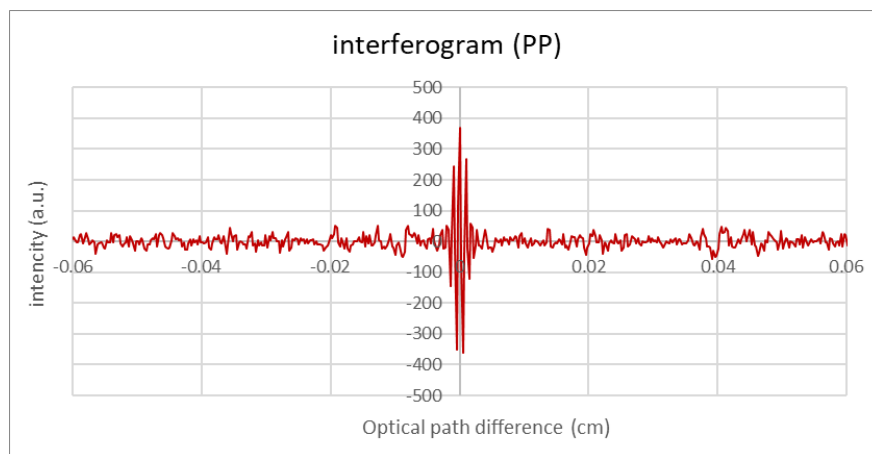


図 3-3-7 インターフェログラム（反射測定）

表 3-3-1 光源条件とインターフェログラムの比較

	透過測定	反射測定
光源強度	5.6W (5V 1.6A, 放射率 0.7)	28.8W (24V 1.5A, 放射率 0.8)
Interferogram の S/N 比	77.4	20.5
Interferogram のピーク強度(arb.u)	79.3	369.3

図 3-3-8、図 3-3-9 にインターフェログラムをフーリエ変換(FT)して得られた透過測定および反射測定の受光量スペクトルを示す。図 3-3-10、図 3-3-11 は透過測定および反射測定の吸光度スペクトルを文献値とともに示した。図 3-3-8、図 3-3-10 から透過測定においては PP の吸収ピークが確認でき、吸光度スペクトルでは文献値の PP の吸収波数とも一致している。一方で、反射測定では図 3-3-9 に示すように受光量スペクトルのノイズ成分が多く、図 3-3-11 の吸光度スペクトルでも PP の吸収が確認できない。

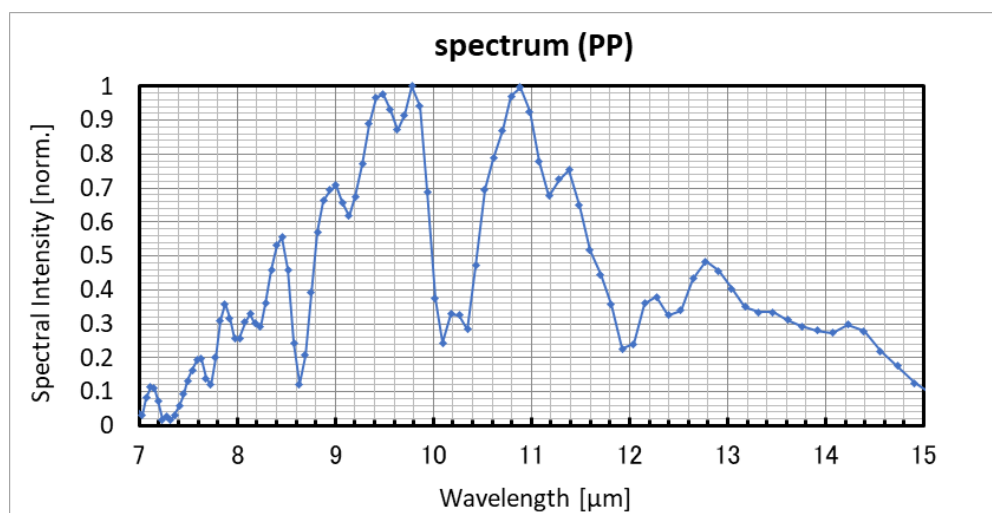


図 3-3-8 受光量スペクトル（透過測定）

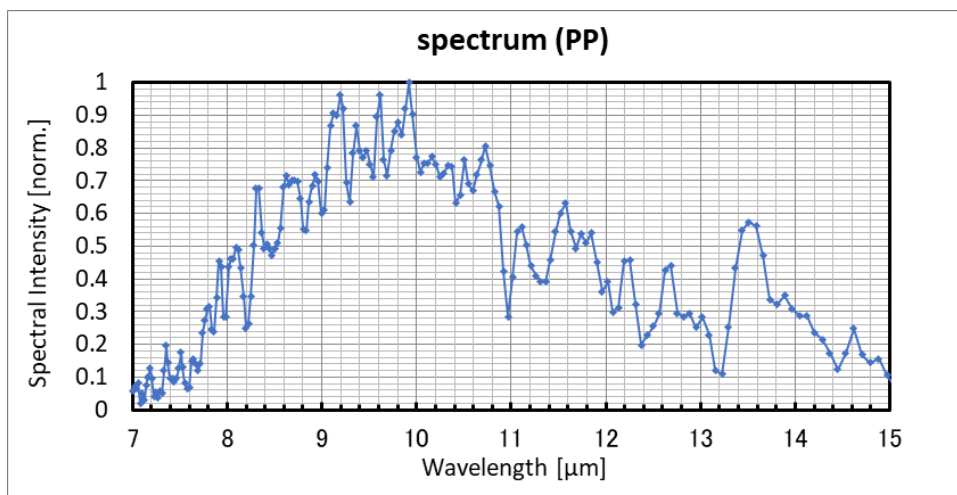


図 3-3-9 受光量スペクトル（反射測定）

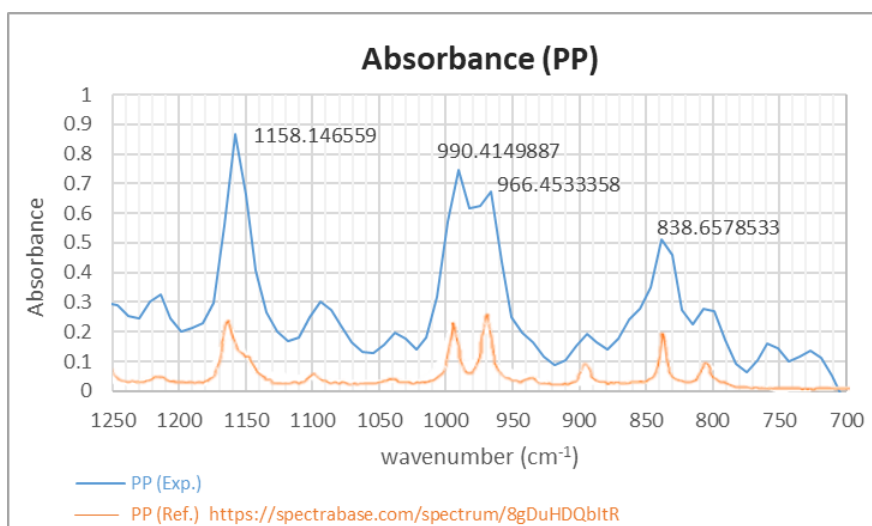


図 3-3-10 吸光度スペクトル（透過測定）

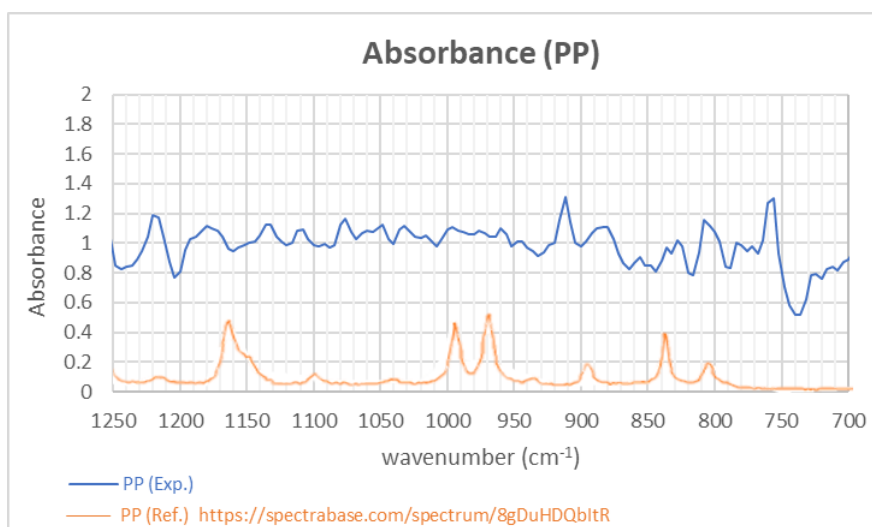


図 3-3-11 吸光度スペクトル（反射測定）

反射測定で樹脂の吸収ピークが確認できない原因としては、図 3-3-7、図 3-3-9 で説明したように十分な S/N 比が得られていないためと考えられる。表 3-3-2 に S/N 比向上について検討、実施した内容を示す。表 3-3-2 中の実施済み項目においてインターフェログラムの S/N 比は改善したものの、吸光度ピークを取得するのに十分な S/N 比向上は得られていない。表 3-3-2 中に記載したように高感度素子への変更はコスト、サイズの面で社会実装へ適さないため実施はしていない。ATR（全反射）型への変更は、吸光度ピークを取得できる可能性があるため、評価用実験機のサンプル照射部、受光部を ATR 型に変更する構成案を検討した。

表 3-3-2 S/N 比向上対策について

実施内容	期待効果	実施の有無	結果	備考
照明レンズでサンプルへの照射光を 1 点に集光	サンプル反射光の光学系取り込み量の増大による受光量増大	実施済み	・インターフェログラムの S/N 比は改善 ・吸光度ピークは一致せず	
光源直後にロングパスフィルタを導入	熱ダメージ抑制しつつ高強度光入射が可能となり受光量増大	実施済み	・インターフェログラムの S/N 比は改善 ・吸光度ピーク一致せず	
簡易積分球で再帰反射光を取り込み	反射光の光学系取り込み量の増大による受光量増大	実施済み	・インターフェログラムの S/N 比改善せず	サンプル反射率 5%程度、再帰反射成分約 0.025%と微小で寄与小
サンプル角度調整（拡散反射・正反射の比較）	反射成分取り込み条件の最適化による受光量増大	実施済み	・正反射では S/N 比は改善 ・吸光度ピーク一致せず	入射角依存性や光路長変化が影響している可能性
アイリス径調整による光束角度最適化	最適径で S/N 比最大化	実施済み	・S/N 比改善は限定的 ・吸光度ピーク一致せず	・大径→斜入射増、収差悪化 ・小径→光量低下
積算回数増加	積算によるノイズ低減	実施済み	・S/N 比は改善 ・吸光度ピーク一致せず	
高 S/N カメラ・MCT 素子への置換	大幅な S/N 比向上が期待	未実施	—	・素子が非常に高額、大型となるため未実施 ・社会実装に対しても困難
受光部を ATR（全反射）型へ変更する	S/N 比向上	設計検討のみ実施	—	原理的に透過測定に近い形で測定が可能。

図 3-3-12 に評価用実験機の ATR（全反射）型構成案を示す。ATR プローブとファイバーコリメータを使用して、現状の評価用実験機の照射部、受光部を構成変更する。また、受光素子を熱型のボロメータから量試型の InAsSb へ変更する。狙いとしては ATR 型測定による光の樹脂への侵入により反射測定よりも確実な樹脂での吸収信号を得ること、および検出器をボロメータ（熱型）→InAsSb（量子型）へ変更することによる高感度化である。図 3-3-13 に波長 5-8 μ m 帯の樹脂の吸収スペクトルを示す。

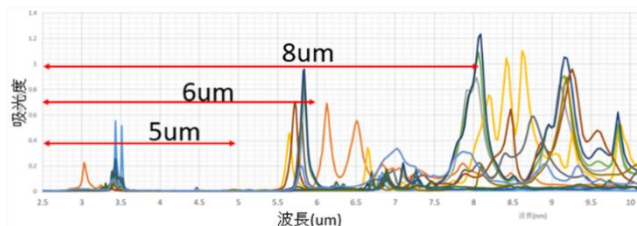
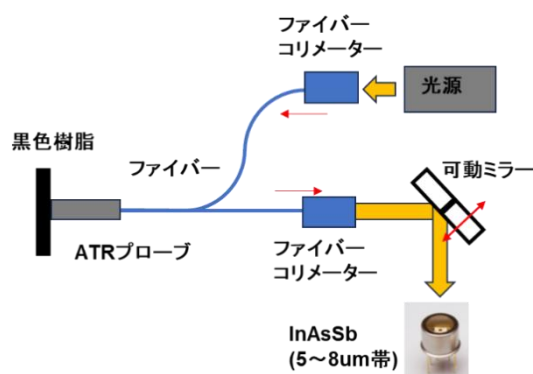


図 3-3-12 評価用実験機の ATR(全反射)型変更検討 図 3-3-13 波長 5-8 μ m 帯の樹脂の吸光度スペクトル

（３）まとめと課題

評価用実験機を用いて透過測定と反射測定により黒色樹脂のスペクトル取得を評価した。透過測定では文献値と一致する吸収ピークが得られた一方、反射測定では S/N 比が低いため吸収ピークを確認できなかった。各種 S/N 比向上策（集光、フィルタ、サンプル角度調整、アイリス調整、積算増加など）を実施したが、吸光度ピークを取得するレベルには至らなかった。

また、高感度検出器の導入は効果が期待されるものの、コスト・サイズの面で実用性が低く採用を見送った。これらより、現行の反射測定では黒色樹脂の安定測定は困難であり、測定方法の転換が必要と判断した。

今後の取り組みとしては、反射型測定から ATR(全反射)型測定への構成変更の具体化、量子型検出器 InAsSb との組み合わせによる高感度化、ならびに波長固定方式の実機評価との比較が挙げられる。これらにより、現状の FT-IR 方式の評価用実験機の反射測定では困難であった黒色樹脂の確実なスペクトル取得を目指す。

【② 波長固定方式】

（１）方法

中赤外線領域の樹脂吸収のある波長帯からバンドパスフィルタを用いて 7 波長のみ取得して樹脂判別を行う方式で、FT-IR 方式と異なり干渉光学系が不要であるため、構造がシンプルで光効率が高い特徴がある。

図 3-3-14 に波長固定方式の光学部の概略図を示す。7 波長のバンドパスフィルタ(BPF)と検出器の組み合わせにより、固定の 7 波長のデータを取得する。光源は赤外線用のフィラメント光源、検出器は焦電素子を用いた。焦電素子は赤外線受光量の変化にのみ感度を有するため、チョッパーを用いて光源からサンプルへ照射する中赤外線をチョッピング（On/Off の繰り返し）している。図 3-3-15 に波長固定方式の試作機全体イメージを示す。光学部に加え、信号取得や光源およびチョッパーを駆動する制御回路、信号処理用のマイコンボード、バッテリー等から構成される。サイズは概ね 300mm×130mm×120mm 程度となっている。

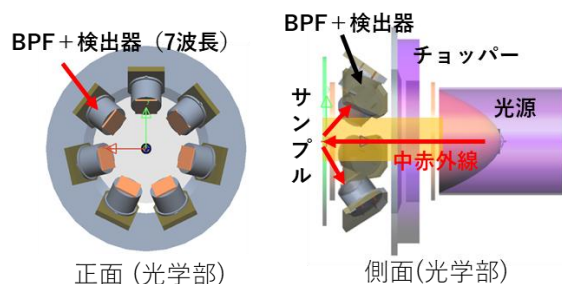


図 3-3-14 波長固定方式の光学部の概略図

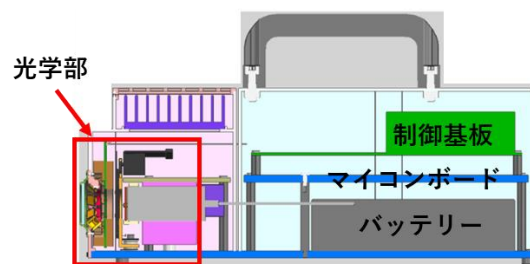


図 3-3-15 波長固定方式の試作機全体イメージ

図 3-3-16 に樹脂 (PP、PE、ABS、PVC、PC、PA) と BPF のスペクトルを示す。BPF は理想的には樹脂の吸収波長に合わせて、透過中心波長と透過帯域幅を専用に設計試作すべきであるが、中赤外線領域の BPF をカスタマイズして試作すると条件出しや材料購入等のインニシャル費用が非常に高額となってしまうため、今回の開発では市販品の BPF の中で最良の波長の組み合わせを選定した。選定方法は BPF、光源、検出器、その他光学部品の光学特性とそのばらつきを考慮した上で前記 6 種の樹脂判別性能が最も高くなるように選定した。選定波長は、7320nm、7400nm、7500nm、7700nm、9500nm、12835nm、13700nm である。

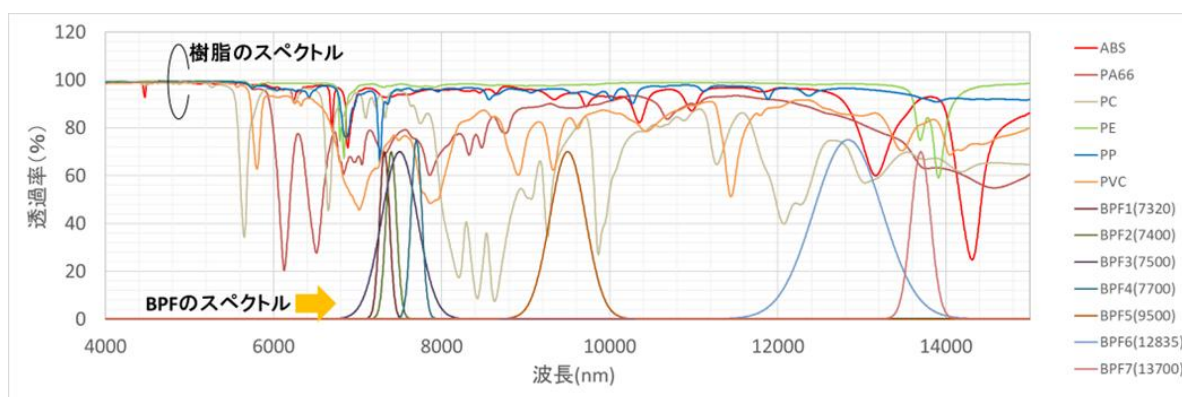


図 3-3-16 樹脂と BPF のスペクトル

(2) 結果

図 3-3-17 に作成した波長固定方式の試作機の外観写真を示す。



図 3-3-17 作成した波長固定方式の試作機

図 3-3-18 に試作機で取得した黒色樹脂の 7 波長の吸光度データを示す。また、それらのデータを用いて樹脂判別した結果を表 3 に示す。判別は事前に登録したサンプル樹脂の 7 波長の吸光度データに対

して、測定時の 7 波長の吸光度データの相関係数を算出し、最も相関係数の高かった樹脂を判別結果とした。表 3 はそれぞれの樹脂に対して測定を 5 回行い、各回の測定に対して判別結果を表示している。樹脂測定は各樹脂を 1 回ずつ順番に測定し、それを 5 回繰り返す実施した。判別結果としては、PE、PVC、PC に関しては 5 回の測定で正しく判別され、PP、ABS は数回の誤判別が生じた。図 3-3-18 より、今回の測定で 7 波長の吸光度データが明確に異なっているのは PC のみであり、他の樹脂はデータの差が小さく、他の樹脂との相関係数差が非常に小さい。よって、今回の測定結果からは、確実に樹脂判別が可能な樹脂は PC のみと考えられる。

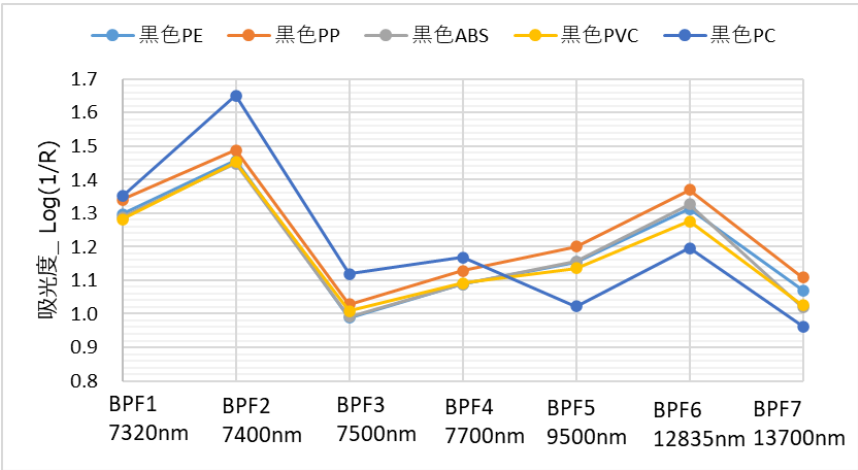


図 3-3-18 試作機で取得した 7 波長データ

表 3-3-3 試作機での樹脂判別結果

	判別結果(各樹脂 5 回測定)				
黒色 PE	PE	PE	PE	PE	PE
黒色 PP	PP	PE	PP	PP	PP
黒色 ABS	PVC	ABS	ABS	PE	ABS
黒色 PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
黒色 PC	PC	PC	PC	PC	PC

図 3-3-19 にシミュレーションにより算出した各樹脂の 7 波長データを示す。図 3-3-18 と図 3-3-19 を比較すると、実測とシミュレーションで 7 波長データにかなり差があることがわかる。シミュレーションデータは理想的な FT-IR（ATR 測定）データを用いて算出しており、実測は反射測定となることから想定方法による差が発生している可能性がある。今後これらのギャップの原因を明らかにしていく必要がある。

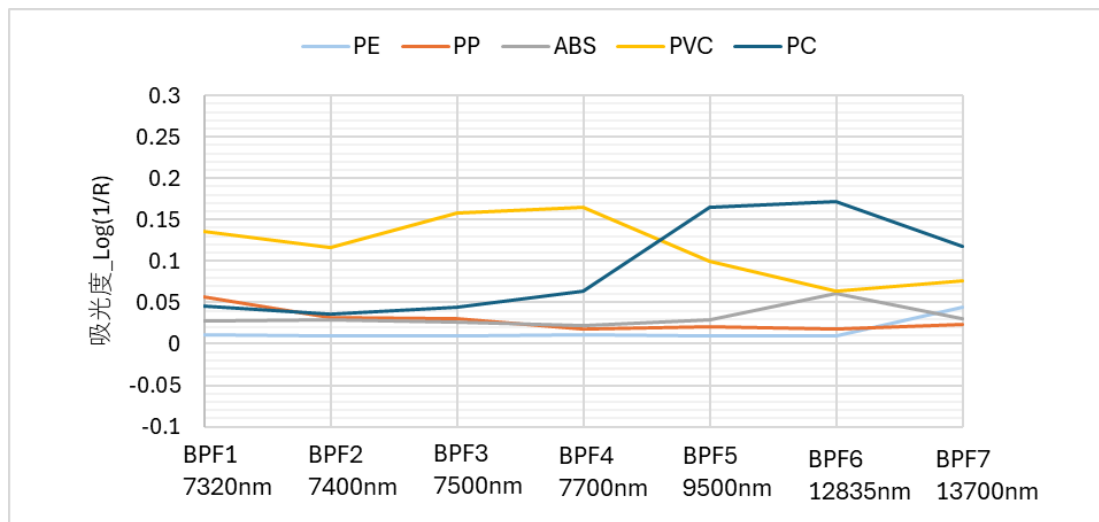


図 3-3-19 シミュレーションにより算出した 7 波長データ

(3) まとめと課題

本開発では、中赤外線領域の樹脂吸収に対応する 7 波長のバンドパスフィルタ (BPF) を用いた波長固定方式の樹脂判別センサーを試作した。FT-IR のような干渉光学系を必要としないため、構造がシンプルで光効率が低い点が特徴である。市販の BPF の中から樹脂判別性能が最大となる 7 波長を選定し、光学部・制御回路・バッテリー等を組み合わせた小型試作機を構築した。

試作機で取得した「波長データに基づく相関係数判別では、PC のみが安定して正しく判別可能であった。一方で、PP、PE、ABS、PVC は 7 波長の吸光度データの差が小さく、PP、ABS では誤判別が発生した。シミュレーションデータと実測データにも差があることから、それらのギャップの原因を明らかにし、判別精度を向上する必要がある。

表 3-3-4 に FT-IR 方式、波長固定方式の特長を比較表としてまとめた。FT-IR 方式に関しては (拡散) 反射型と ATR (全反射) 型の測定に関しても記した。FT-IR 方式は連続スペクトルの取得が可能で高精度であるが、精密な干渉光学系が必要であり価格が高くなる短所がある。一方、波長固定方式は干渉系が不要なため構造がシンプルで安価な構成が可能であるが、取得波長が限られるため高精度な分析には向かない短所がある。また、FT-IR 方式においては、(拡散) 反射型と ATR (全反射) 型でも特徴が異なる。反射型は非接触測定が可能な特徴があるが、サンプルの表面状態の影響を受けやすい短所がある。一方、ATR 型は透過測定に近く安定した測定が可能であるが、ATR クリスタルをサンプルに密着させる必要がある。

表 3-3-4 各方式の比較表

方式	メリット	デメリット
FT-IR方式	・連続スペクトルを取得可能 ・情報量が多く、高精度	・精密な干渉光学系が必要 ・価格は高くなる
(拡散) 反射型	・非接触の測定が可能	・測定物の表面状態に影響を受けやすい
ATR(全反射) 型	・透過測定に近く、安定した測定が可能	・ATR結晶をサンプルに密着させる必要がある
波長固定方式 (拡散反射型)	・FT-IR方式と比較して受光量大 ・構造がシンプル ・安価な構成が可能	・取得波長が限られる ・高精度な分析は不可

令和7年度から現場での利便性を重視し FT-IR 方式の反射型を優先に取り組んできたが、結果としては前述のように黒色樹脂サンプルのスペクトル取得には至っていない。黒色樹脂からの拡散反射光量が小さいことと干渉計への取り込み部での光量ロスも大きく、S/N 比が不足しているためと考えられる。この部分の光量改善を目的の一つとしたのが波長固定方式となる。干渉計への平行光導入のために必要なピンホール等が不要であり、検出器の受光量を増大することができる。こちらも結果は前述したように、一部の黒色樹脂では判別が可能であったが、判別性能の向上、判別安定性向上に向けて継続開発が必要である。また、FT-IR 方式については反射型から ATR 型への変更を検討している。ATR 結晶をサンプルに密着させる必要があるが、透過測定に近い安定した測定が期待される。

FT-IR 方式と波長固定方式の絞り込みに関しては、分析精度と装置価格の二つの観点がある。どちらも要求される分別性能を実現できればより安価な構成が可能となる波長固定方式に絞ることができる。特に、添加剤等の含有有無の判別等が必須である場合に波長固定方式での実現可能性が判断のポイントとなる。また、要求される仕様・性能に関しては、現場やリサイクル工程など他のパートとも連携し決定していく必要がある。

3.3.3 バイオマスプラスチックの由来の検出技術の開発

(1) 方法

令和6年度は既存の ^{14}C 測定法である AMS (Accelerator Mass Spectrometry : 加速器質量分析法)、LSC (Liquid Scintillation Counter : 液体シンチレーションカウンタ法) と、将来の現場導入を想定している CRDS (Cavity Ring-Down Spectroscopy : キャビティリングダウン分光法) の特性を比較し、由来判定 (バイオ／化石) の観点から長所・短所を整理した。それぞれの特徴を表 3-3-5 に示す。

これら3手法について、前処理工程、測定時間、装置規模、測定精度などを比較した結果、解体現場でのオンサイト由来判定に最も適した候補として CRDS が有力であるとの結論を得た。

表 3-3-5 3 手法の特徴、及び長所・短所

装置	特長	長所	短所
AMS	^{14}C を高精度に測定でき、国際規格でも標準的な手法	高精度・高感度、信頼性が高い	大型設備が必要、前処理が煩雑、測定に時間と費用を要し「現場向きではない」
LSC	^{14}C の β 線をカウンタで測定	AMS より装置は簡素で、研究機関内で運用しやすい	前処理と廃液処理が必要で、やはりオンサイト測定には不向き
CRDS	レーザー分光により CO_2 中の ^{14}C を高感度に測定	装置を比較的小型化でき、測定時間も短い。将来的に現場設置・自動化が期待できる	現状、ISO や ASTM 等で規格化されていない

令和7年度は、上記整理を踏まえ、バイオベース度計測手法としてオンサイト計測 (CRDS) の装置仕様決定に向けた要件を整理するため、以下2点を重点課題とし取り組んだ。

(2) 結果

① 解体現場でのオンサイト計測 (CRDS) での装置仕様検討

1) 解体現場の工程とプラスチック回収の現状把握

KMI 株式会社の自動車解体現場を視察し、ニブラによる一次解体から、異材除去を行う二次解体、粉砕・コンテナ詰めに至る流れを確認した。廃車から回収されたプラスチック部品のうち、受入基準を満たすものを粉砕し、コンテナに充填してその株式会社へ出荷している。現状、プラスチック種類の判別には外観・樹脂記号表示を用いており、近赤外線センサー等による自動判別装置は未導入である。



図 3-3-20 自動車解体現場における工程

2) 解体業者（KMI 株式会社）へのヒアリング

将来的にバイオマスプラスチックが一般化した状況を想定し、解体現場でバイオベース度計測装置を導入する前提として、以下の点を確認した。

- サンプル採取のタイミング
 - バイオベース度測定は、「プラスチック粉碎前」に行うのが望ましい。
 - 想定フロー：
 1. 回収パーツのプラスチック種類判別（二次解体後）
 2. バイオベース度基準値に沿った選別（バイオベース度計測）
 3. 選別後のプラスチックを粉碎
- 装置の設置場所とインフラ条件
 - フットプリント 1200×1800 mm 程度であれば設置上の問題はなし。
 - 装置は解体ヤード内よりも「隣接工場内」に設置するイメージ。
 - 電源 100 V の確保は問題なし。
 - キャリアガス用の窒素ボンベ（10L）、燃焼用酸素ボンベも既に保有しており、ガス供給インフラは概ね確保可能。ただし酸素ガス純度については確認が必要。
- 測定時間・頻度
 - 前処理を含めて約 22 時間程度の測定時間であれば、運用上許容は可能。
ただし、測定頻度が高まる場合には、省力化・自動化の必要性が増す。
- 装置の形態に対する要望
 - ベルトコンベア上でインライン測定する方式、またはハンディセンサーのような携帯型装置が望ましい。現場では「簡易で迅速な測定」が強く求められている。

3) CRDS 計測工程に関する考察

以上の視察・ヒアリング結果から、CRDS を用いたバイオベース度計測工程として、現時点で以下のようなコンセプトを抽出した。

- 工程位置
 - 一次・二次解体で プラ部品を選別した後、粉碎前の部品を対象にサンプリングし、小片化した試料を燃焼・ガス化して CO₂ に変換し、CRDS セルへ導入してバイオベース度を測定する。
- サンプル形状・量
 - 樹脂記号 >PP< を確認した回収部品から、数百 mg 程度の切り出し（端部カット）を行い、代表試料とすることで、部品単位のバイオベース度評価を想定。
- 計測工程
 - 現状想定では、試料をガスクロマトグラフの前処理部で燃焼し、生成した CO₂ をカラムで分離後 CRDS セルへの導入する、という流れとなる。試料投入後は自動で計測を行うことがポイントとなる。現時点での測定時間は約 2 時間であり、現場として許容範囲との事であるが、日常的な運用を考えると、更に短時間化（1 時間以内）が望まれる。

① バイオベース度・不純物の複合計測方法と必要精度検討

いその株式会社より、耐光試験前後のバイオ PP 試料（図 3-3-21）の提供を受け、その分析を行った。バイオベース度については事前に計測済みであったため、本検討ではガスクロマトグラフィによるにおい成分の解析を行った。

- ・ 提供サンプル（いその（株））
 - ・ バイオ PP-B 耐光性試験前（劣化なし） 1 点
 - ・ バイオ PP-B 耐光性試験後（劣化あり） 1 点



図 3-3-21 バイオ PP 試料

- ・ 測定装置
 - ・ AMS（加速器質量分析法）
 - ・ TD-GC/MS（加熱脱離ガスクロマトグラフィ質量分析装置）
- ・ 解析結果
 - ・ バイオベース度は、約 49pMC（percent Modern Carbon）であり、耐光試験前後での変化はなかった（いその（株）による計測結果）
 - ・ におい成分は、バイオ PP-B の耐光性試験後において、試験前と比較して一部ピーク強度に増大が見られた。これは紫外線劣化により、低分子量の分解生成物が増加していることを示唆する。
 - ・ ライブラリ検索の結果、アルデヒド類、カルボン酸エステル類、アルコール類等、一般に「酸っぱい」「刺激臭」「甘い香り」などの官能に寄与し得る揮発性有機化合物が候補として挙げられた。
- ・ 複合計測に関して
 - ・ 今回、TD-GCMS による不純物（におい成分）の解析を行った。バイオベース度計測に使用する CRDS の前処理部でも GC を使用することから、同時計測はできないものの、一連の計測工程の中で両者を実施可能なことが分かった。
 - ・ 但し、本結果のみでは複合計測方法での必要な精度の検討には不十分であり、今後さらに検討を進める必要がある。

（３）まとめと課題

① 令和 7 年度結果のまとめ

1) CRDS 計測工程の具体化に向けた要件整理

解体現場の視察およびヒアリングにより、

- ・ サンプル採取は粉碎前が望ましいこと
- ・ フットプリント 1200×1800 mm 程度の装置であれば設置可能であること
- ・ 電源・ガス供給条件は概ね満たせること
- ・ 測定時間は前処理を含め 約 2 時間まで許容されること

を確認し、CRDS を基本とするバイオベース度計測装置の工程案・仕様案の骨子を得た。

2) バイオベース度・不純物の複合計測方法と必要精度検討

- ・ AMS により、バイオ PP-B のバイオベース度が 49–50% 程度であることを確認し、耐光性試験前後でバイオベース度が変化しないことを示した。
- ・ TD-GC/MS により、バイオ PP-B の耐光性試験前後でのにおい成分変化（特にピーク強度

の増加)を確認し、光劣化に伴うにおい変化を示した。

- ・ これにより、「由来判定 (^{14}C 計測)」は、耐光試験などの劣化に伴い変化しない一方で、不純物 (におい成分) は明らかに増加することが分かった。

② 今後の課題

今後、本技術を実用レベルに発展させるための主な課題は以下の通りである。

1) CRDS 計測システムの仕様の決定

現場要件 (設置スペース、測定時間、サンプル採取方法) を満たす CRDS システム構成の具体化する必要がある。特に、燃焼・ CO_2 精製を含む前処理工程の小型化・自動化が重要である。

2) 解体現場での試験運用とオペレーション設計

実際の解体現場での運用を想定し、

- ・ サンプル採取の標準作業手順
- ・ 測定頻度 (ロットごと、車両ごと等)
- ・ メンテナンス負荷

を評価する必要がある。

3) バイオベース度と不純物複合評価

今回はバイオ PP-B について耐光試験後の基礎データを取得した。さらにサンプルを増やし、異なる配合 (添加剤・フィラー) の影響も考慮する必要がある。また、どのような不純物 (におい等) を評価対象とするかについても、ヒアリング等を通じて選定する必要がある。

以上により、令和7年度は、CRDS を用いたバイオマスプラスチック由来検出技術の現場適用に向けて、解体現場の実態に基づいた工程要件の具体化と、バイオ PP-B を対象としたバイオベース度および劣化・におい特性の基礎データ取得を達成した。

来年度は AMS や LSC 等の計測法に代わり、操作が容易で短時間に実施可能な低コスト測定技術として、CRDS を用いたリサイクル工程における効率的なバイオベース度計測システムの検討と、それに適合したオンサイト型の ^{14}C 計測 CRDS 装置の仕様を確定し、不純物測定を考慮に入れた装置開発を加速する。

4. 脱炭素化資源保全時代のライフサイクル設計の在り方検討（事業3）

4.1 バイオマスプラスチック国産原料開発

4.1.1 目的

国内で使用されるバイオマスプラスチックやバイオ燃料は、これまで海外の原料に依存してきたが、資源安全保障や経済安全保障という観点からは国産化の検討意義は大きい。そこで資源作物からどのようにバイオマスプラスチック及びバイオ燃料（SAF 含む）が製造されるかを、現在開発中のプロセスも含め俯瞰した上で、国内で生産することが期待される作物の検討を行う。具体的には、我が国の気候帯（亜熱帯～温帯）での栽培実績がある資源作物としてサトウキビやトウモロコシ、米やソルガム、ナタネ等が挙げられるなか、PP等の原料として、何をどのように生産するのがよいか、気候条件等を踏まえた単収、生産者の利益、生産コスト、生産段階の環境負荷等の多面的な観点での比較評価を踏まえて提案する。なお、最終的なゴールとしては、実現可能性の高いと考えられる栽培システムを少なくとも1モデル提案することを目標とし、それに向け、既往研究レビュー及び技術的検証を実施する。

令和7年度は、資源作物からのバイオマスプラスチック製造ルートについて情報整理を行うとともに、収量増とコスト削減につながる国産バイオマス資源の栽培方法を検討し、現行の農業システムに内包できる栽培システムに係る調査を行った。

4.1.2 資源作物からのバイオマスプラスチック製造ルートと栽培要件の整理

（1）方法

各種バイオマスプラスチック（ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリカーボネート、ポリヒドロキシシアルカン酸）及びバイオ燃料について、資源作物からの製造が確立されているルート及び現在開発中のルートについて情報整理を行った。また、国内で生産可能で高収量な糖糧作物及び油糧作物をリストアップし、各作物について栽培好適地、栽培収量、栽培管理方法等を調査し整理した。

さらに、国内の農地面積や農業従事者数の推移を調査するとともに、国産バイオマス栽培に向けた要件を整理した。

（2）結果

PPのバイオマス化ルートの整理結果を図4-1-1に示す。自動車にて使用量の多い樹脂であるPPについては、バイオマス化は油（バイオナフサ）ルートの事業化が先行しており、2030年には国内でもSAF製造の副産物として10万トン超が生産されると見込まれている。糖を原料としてバイオエタノールを基幹物質としてプラスチックを製造するプロセスについても国内外企業によって開発・事業化が進められている。しかしながら、国内でプラスチック向けにバイオエタノールを製造する取組は非常に限られている。

一方、国内で生産可能で高収量な糖糧作物及び油糧作物の調査結果を図4-1-2に示すが、資源作物として、様々な作物種の利用が検討されているが、栽培可能な気候条件や収量・コスト、栽培管理方法の特性は、当然ながら作物ごとに異なる。

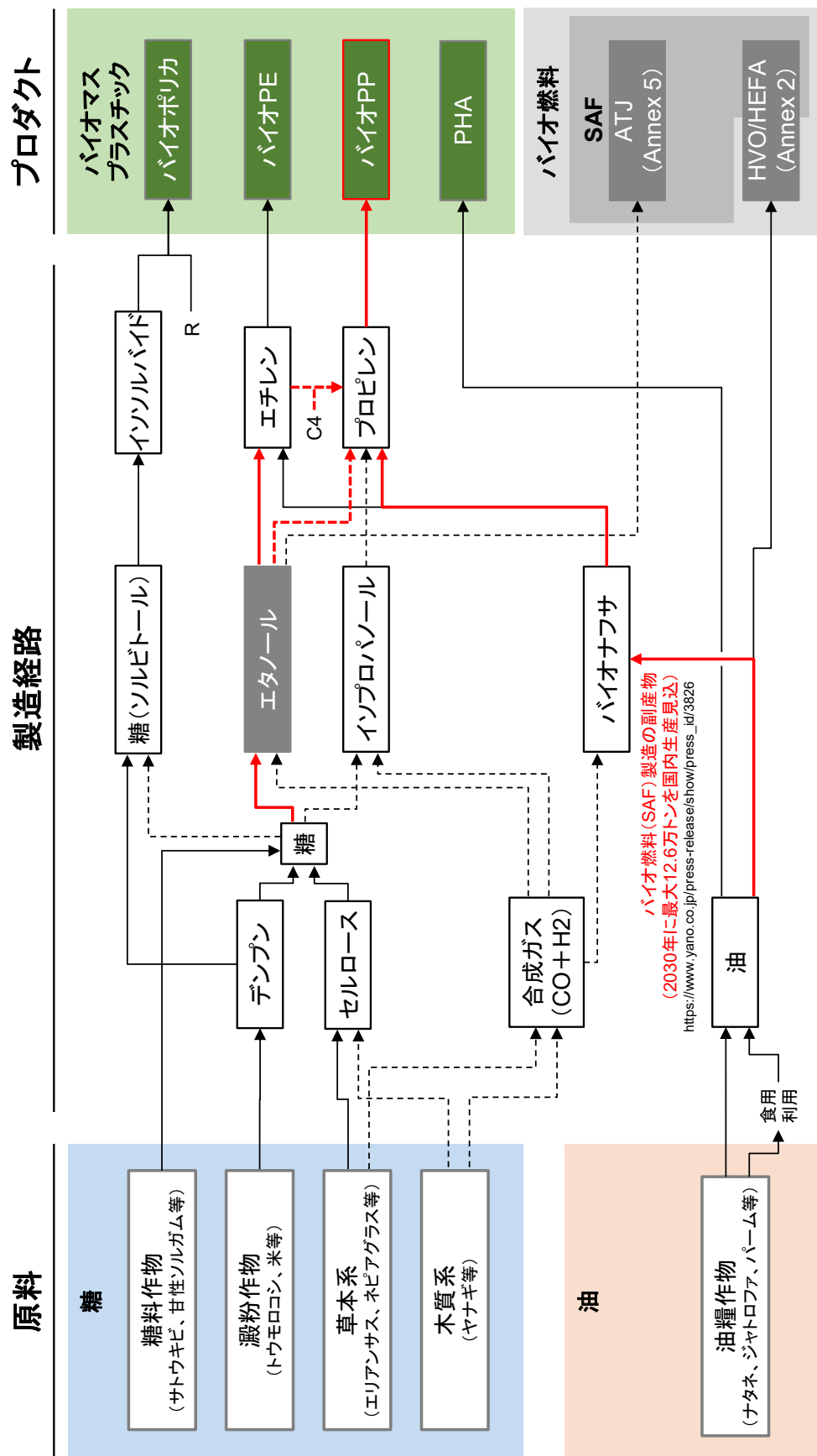


図 4-1-1 バイオマスプラスチック及びバイオ燃料の製造ルート

原料	作物種	具体的作物の例	栽培適地	収量・コスト	栽培管理方法
糖		サトウキビ	■ 沖縄、鹿児島で栽培されている	■ 沖縄県: 50-60 t/ha	■ 1-4月または8-10月に定植 ■ 定植後は複数年栽培継続
	糖糧作物	テンサイ	■ 冷涼な気候が適し、国内では北海道のみで栽培 ■ 作付面積: 5万ha	■ 2023年実績 ● 66.6 t/ha ● 8.8 t-砂糖/ha	■ 春に栽培開始し秋に収穫 ■ 副産物を食物繊維として活用
		スイートソルガム	■ 国内の広範な地域で栽培可	■ 事例: 71~77 t-生体重/ha(期間4-5か月)	■ 3~5月に植え栽培期間は4か月
		飼料米	■ 国内の広範な地域で栽培可 ■ 作付面積: 13.4万ha	■ 5.7 t-米/ha	■ 食用米とほぼ同じ ■ 生産の約5割が大規模農家(全水稲の作付15 ha以上)
	澱粉作物	トウモロコシ (デントコーン)	■ 国内の広範な地域で栽培可 ■ 飼料用青刈りトウモロコシの作付面積: 約10万ha	■ 51 t/ha(青刈り)	■ 5月に植え9-10月に収穫(青刈りの場合) ■ 子実用は2~3週収穫が遅い
		ソルガム	■ 関東以西での栽培が主 ■ 飼料用の作付面積: 約1.2万ha	■ 43 t/ha	■ 5月または7月に植え、栽培期間は4か月程度(九州)
油	油糧作物	ナタネ	■ 国内の広範な地域で栽培が可能	■ 夏季に栽培する北海道~北東北では約0.8 t-油脂/ha ■ 関西~九州では冬季での栽培で0.4 t-油脂/ha ■ 副産物を飼料・肥料利用可	■ 寒冷地(北海道~北関東)では夏季に栽培 ■ 温暖地では二毛作の裏作として冬季に栽培

図 4-1-2 資源作物の国内検討状況

資源作物の栽培を検討するにあたり、栽培に必要な農地、従事者等の現状調査した結果を図 4-1-3、図 4-1-4 に示すが、いずれも、大きく減少傾向にあり、その確保のためには、既存の作物の栽培体系を十分考慮したうえで、そのシステムに組み込める栽培体系とすることが重要である。

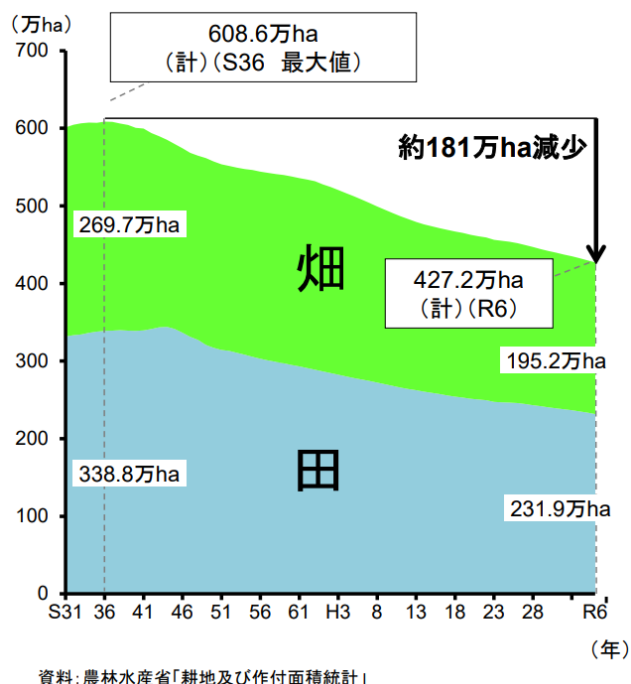


図 4-1-3 農地面積の推移⁸

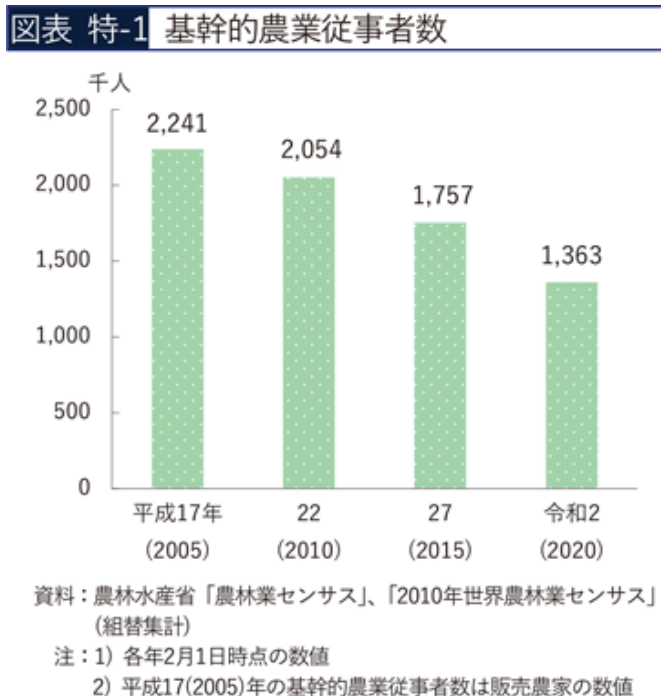


図 4-1-4 基幹的農業従事者の推移⁹

⁸ 農林水産省「令和3年度 食料・農業・農村白書」(令和4年5月27日公表)

⁹ 農林水産省「令和3年度 食料・農業・農村白書」(令和4年5月27日公表)

上記の調査結果より国産バイオマス栽培に向けた要件としては、下記の点が重要であると考えられる。

- ・農地、担い手、基材等の確保のため、既存の作物の栽培体系を考慮の上、そこにバイオマスプラスチック原料の生産も組み入れられることが必要である
(バイオマスプラスチック原料が主産物でなく、副産物となるケースもありうる)
- ・産業構造や気候等の地域事情を考慮して最適な作物を選択する必要がある
- ・加えて、バイオマスの高生産には多量の肥料が必要になることから、安価で、安定的な肥料を確保できることが重要である

(3) まとめと課題

バイオマスプラスチックの原料作物としては、これまで海外のサトウキビやトウモロコシなどに依存しているが、資源安全保障や経済安全保障という観点からは国産化を検討する必要がある。我が国の気候帯での栽培実績がある資源作物としてサトウキビやトウモロコシ、飼料米、ソルガム、ナタネ等が挙げられるが、目的とするバイオマスプラスチック原料には、糖料作物と油料作物といった多様な原料に対して、どのような栽培方法や残さの利用などが有効かを検討し、多面的な視点で比較評価することが求められる。こうした中で、本プロジェクトでのオンサイトにおける試験成果を踏まえ、収量増とコスト削減につながる国産バイオマス資源について実現性の高い栽培システムを提言することが重要である。

4.1.3 バイオマスプラスチックの国産原料生産システムの提案と検証

(1) 方法

現行の農業システムに内包できる、バイオマスプラスチック原料としての糖糧作物の栽培システムの提案を行うにあたって、その実現可能性を検証するために、モデル地域として岡山県笠岡地域を選定し、耕畜及び肥料資源循環システムの検証を行った。

(2) 結果

1) 提案する栽培システム

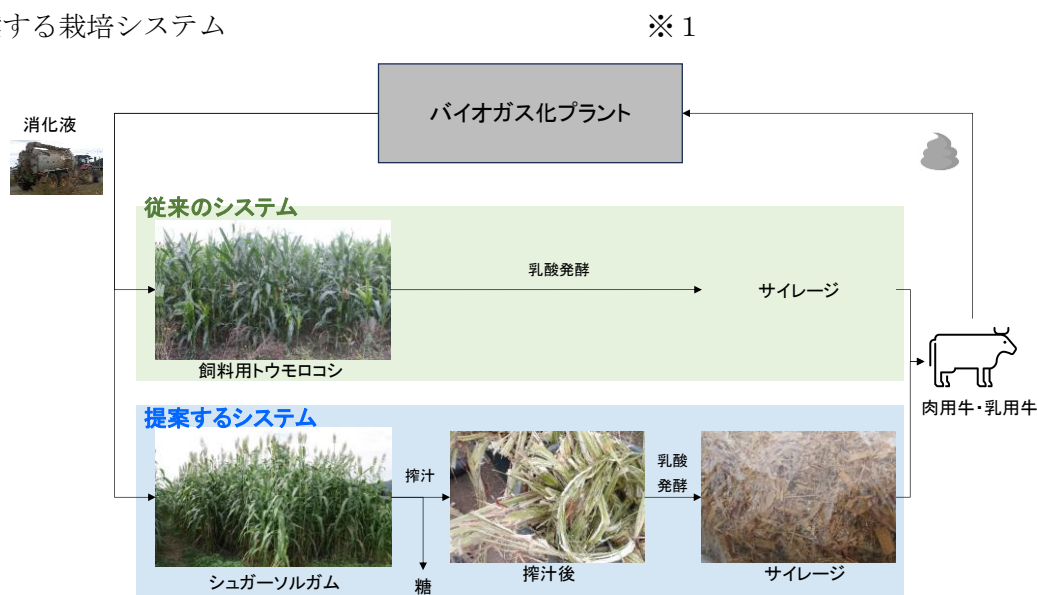


図 4-1-5 提案する栽培システム

図 4-1-5 に提案する栽培システムの概念図を示すが、笠岡地域は、大規模干拓によって畜産業が発展し、約 176ha の牧場で 1 万頭以上の牛が飼育されている。そのため、大量の牛ふんの堆肥化と臭気対策が長年の課題となっていたが、令和 6 年に「かぶとバイオファーム合同会社と地元の 7 牧場によって牛ふんを利用したバイオガス発電所が設立された。牛ふんを発酵させ、発生するバイオガスで発電するとともに、消化液を肥料として牛の飼料用トウモロコシ等を栽培している。

※1 笠岡でのバイオガス化プラントの概要（かぶとバイオファーム発電所）

原料：牛ふん 250 トン／日

バイオガス発生量：11,160 Nm³／日→発電出力 1,427kW

消化液発生量：116 トン／日

かぶとバイオファームは、先に整理した要件である、「農地、担い手、基材等の確保」を充分満足しており、安価な肥料も消化液によって手に入ることから、この地域に適したバイオマスを選定すればよい提案ができると考えた。

2) 笠岡におけるシュガーソルガムの栽培の利点と搾汁液の利用性等の検討

笠岡地域では、シュガーソルガムの栽培が可能なることを令和 6 年度の検討で実証した。さらに、収穫後のシュガーソルガムの新鮮稈は、搾汁し糖汁を得て、それをエタノール発酵したのちに蒸留して精製エタノールを得る。この工程についても令和 6 年度に実証を行い、生成したエタノールは十分な精製を行うことで化学品原料として利用可能と判断できることを確認した。

令和 6 年度に実施した GEI 社におけるシュガーソルガム搾汁液のアルコール発酵試験では、糖からエタノールへの変換率は 0.9 だったので、令和 7 年度の ha あたりの糖生産量 3000 kg から 2.7 トンのエタノールが生産できると推定される。その上で糖を多く含む搾汁残さは嗜好性の高い家畜飼料となる。

シュガーソルガムは 1 年で 25 トンの乾物（新鮮重 75 トン）が収穫できるがサトウキビの場合は 50 トンの乾物生産に 1.5 年（3 年 2 作）が必要である。温帯では日照が弱く気温が低いいためサトウキビが栽培できない。バイオマス植物としてシュガーソルガム栽培の重要性、意義をさらに検討するべきである。

シュガーソルガムを笠岡で栽培すると、圃場整備、播種、栽培、収穫に畜産農家が現在使用している大型機械をそのまま流用することができる。あとは収穫後の搾汁作業で、これも日本南部のサトウキビ栽培で使用されている機械をそのまま導入することができる。こうして国産飼料の大規模生産システムの中にシュガーソルガムをはめ込むことができると、シュガーソルガムの栽培に、現行のデントコーン、牧草の大規模飼料生産のシステムが援用できるだけでなく、家畜排泄物窒素のリサイクルにも広大な牧草地を利用することも可能で肥料代の節約にもなる。また、バイオエタノール発酵生産でもエタノールを蒸留した後に大量の液体廃棄物が発生するが、これも農地への灌漑水や作物肥料として利用することができる。シュガーソルガムの栽培にあたっては、食料生産と両立させるため、耕作放棄地の使用がうたわれる。しかし、耕作放棄地は農業労働力の減少によって生み出されており、耕作者がいない土地でのシュガーソルガムの栽培はあり得ない。このため、シュガーソルガムであれ、その他のエネルギー作物であれ、現行の農業体系の中に組み込めるよう栽培することが求められる。

これらの点から、シュガーソルガムの搾汁後の残渣の家畜飼料としての利用を提案する。輸入飼料の価格高騰は、ほとんどの飼料を輸入に依存する畜産業にも影響が大きく、畜産農家は飼料の国内自給に向けて努力を続けている。もともとシュガーソルガムは甘くて嗜好性の強い飼料として導入された経緯もあり、畜産農家に歓迎される飼料作物でもある。ここでシュガーソルガム稈の搾汁を **one pass**（次項で詳細説明）に止めると、清澄な搾汁液が得られるだけでなく、搾汁残渣に対する牛の嗜好性もあまり低下しない。シュガーソルガムには飼料とバイオエタノールの2つの利用経路ができることになり、外国産飼料の価格に応じた安全弁としてバイオエタノール製造を位置づけることができる。

3) 飼料としての利用するための搾汁方法

シュガーソルガムの搾汁はサトウキビ搾汁器によって行った。毎回のサンプリング量が稈 100kg 程度なので、作業速度は現有の搾汁器で充分であったが、搾汁一回 (**one pass**) では稈にまだ糖を含む水分が残っていた。サトウキビの栽培者に相談したところ、サトウキビでは搾汁を繰り返し行って糖を含む水分を回収する、とのことであった。搾汁器メーカーに相談したところ、現有器で複数回、搾汁を行っても圧力が同じなので糖の回収率は上がらない、むしろ、搾汁滓に水を加えて再度搾汁するのが良い、とのアドバイスをもらい、それを試したところ、加水した搾汁滓の二回目の搾汁 (**two pass**) では初回の 20~40%の濃度で糖が回収された。しかし、加水-**two pass** では、液量が2倍になるので搾汁の糖濃度は低下してしまう。回収率は向上するが、搾汁液をアルコール発酵させた場合に廃液量が増加すること、搾汁滓は乳牛の飼料として利用するので、糖濃度が高い方が飼料としての嗜好性が高まるだろうことを考え併せて、ここでは **one pass** によって糖の生産量とした。今後、搾汁による糖の回収率をどの程度向上させるべきなのか、アルコール発酵実施者の意見を聞いて判断する必要がある。



図 4-1-6 サトウキビ搾汁器で搾汁中の様子



図 4-1-7 搾汁残さ



図 4-1-7 チッパーで粉碎した搾汁残さ

4) バイオガス化消化液の肥料としての利用

稈の窒素含有率は乾物重あたりで2%程度であった。ha あたり 25 トンの乾物生産（新鮮重で 75 トン）を目標にするならば、ha あたりの圃場からシュガーソルガムが吸収する窒素は 0.5 トンと見込ま

れる。この窒素吸収量を与えるための施肥量は、尿素なら2トン、硫酸アンモニウムなら5トンとなる。窒素肥料は天然ガス、石油を原料、燃料として製造されるので、化学肥料だけを施肥するのであれば、石油を使ってバイオエタノールを作ることになりかねない。生産のための肥料にはメタン発酵消化液や家畜ふん堆肥、食品工業残さなどの再生肥料を使用するべきである。

5) シュガーソルガム搾汁液のからバイオマスプラスチック原料としての利用可能性の確認

エタノールからオレフィンへの変換は当該事業では実施対象に含めていないものの、既往研究のレビューにより技術的な実現可能性を裏付ける情報がないかを確認した。

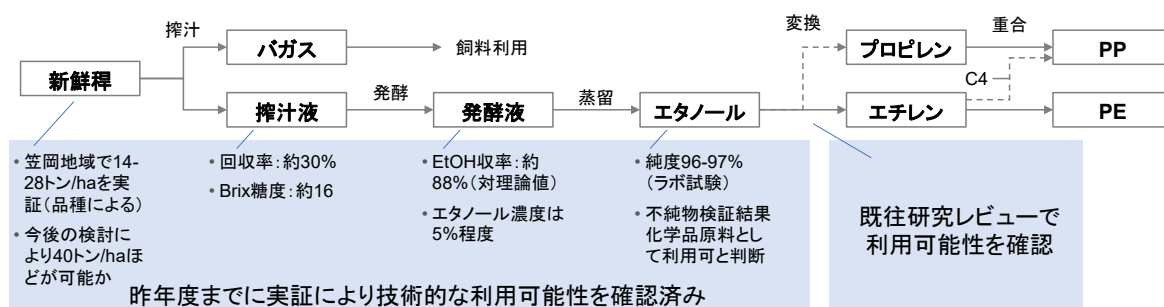


図 4-1-6 シュガーソルガムから PP、PE の製造工程

その結果、平成 29 年に発表されたボロース大学（スウェーデン）のチームによる研究¹⁰において、プロセスシミュレータを用いてバイオエタノール中の不純物がポリマー原料としてのエチレンの品質に影響を与えるかが検証されていることを確認した。

当該検証では、E100、E95、E87 グレードのバイオエタノールについてシミュレーションがなされ、エタノール原料の不純物プロファイルは、得られるポリマーグレードのバイオエチレンの品質に有意な影響を与えないことが確認された。さらに上記3グレードに加えて、リグノセルロース系エタノールとして、E87 グレードにフルフラール、酢酸、アセトンが含まれるエタノールも対象とされたが、これについても同様の結果（不純物は優位に影響しない）が得られている。

¹⁰ (出典) Mohsenzadeh, A., Zamani, A., & Taherzadeh, M. J. (2017). Bioethylene Production from Ethanol: A Review and Techno-economical Evaluation. ChemBioEng Reviews, 4(2), 75–91. <https://doi.org/10.1002/cben.201600025>

表 4-1-1 バイオエタノール中の不純物のエチレンの品質への影響予測（既往研究）¹⁰

		E100	E95	E87
エタノールの組成 [重量%]	エタノール	0.986900	0.926400	0.871584
	メタノール	0.000065	0.000045	0.000500
	アセトアルデヒド	0.000055	0.000026	0.001100
	プロパノール	0.000340	0.000130	0.000049
	ジエチルアミン	0.000000	0.000010	0.000000
	酢酸エチル	0.000020	0.000009	0.003406
	イソブタノール	0.000390	0.000068	0.000044
	1-ブタノール	0.000018	0.000006	0.000008
	2-ペンタノール	0.000000	0.000160	0.000006
	イソアミルアルコール	0.000720	0.000055	0.000913
	2-メチル1-ブタノール	0.000220	0.000048	0.000469
	水	0.011272	0.073042	0.121910
↓		↓	↓	↓
エチレンの組成 (予想)	エチレン [重量%]	99.92	99.92	99.92
	水 [重量%]	0	0	0
	エタノール [重量%]	0	0	0
	CO ₂ [ppm]	0.48	0.45	0.43
	その他 [wt%]	0.08	0.08	0.08

表 4-1-2 ポリマーグレードのエチレンの仕様¹⁰

エチレン [mol %]		99.9
最大不純物量 [mol ppm]	アセチレン	2
	メタン	200
	エタン	200
	酸素	2
	一酸化炭素	1
	二酸化炭素	5
	全硫黄分	2
	プロピレン	10
	C ₄ +s	10
	水	2
	水素	5
	メタノール	5
	総塩素	2
	その他の化合物	5

（３）まとめと課題

これまで、オンサイトにおける技術検証を踏まえ、収量増とコスト削減につながる国産バイオマス資源について実現性の高い栽培システムを検討してきたが、令和8年度は、調達可能なバイオガス化残さ（消化液）やエタノール発酵廃液を肥料として活用する栽培管理技術の検討のほか、残さの嫌気発酵によるエネルギー・肥料回収方法の検討等を行うことで、特に、搾汁残さの家畜飼料としての利用など、現行の農業システムに内包できる栽培システムを提案し、それに係る文献のレビューおよび技術的検証を行っていく。

4.2 ライフサイクルに応じたバイオプラスチックのシステム開発

4.2.1 目的

ライフサイクルに応じたバイオプラスチックのシステム開発に関わる業務では、使用段階から処理・リサイクル段階までを見据え、バイオ由来ポリプロピレン（バイオ PP）を中心とした性能および耐久性を統合的に評価することを目的とする。具体的には、従来の石油由来 PP と由来の異なる 2 種類のバイオ PP について、同一条件下で機械特性を比較し、物性差の有無を明確にするとともに、差異を説明するミクロ的要因（分子量・分子量分布、結晶構造、添加剤等）を特定する。さらに、熱（例：60℃）および耐光性劣化（UV）を通じて、引張・曲げ・衝撃等の機械特性がどのように変化するかを整理し、劣化の進行を説明可能なミクロ指標（分子量変化、結晶化度・結晶形態変化、FT-IR カーボニル指数等）を抽出する。

以上により、バイオ PP を含む PP 系材料について、初期物性の差と劣化に伴う物性変化を説明できる評価指標を構築し、用途選定・設計および適切な使用・処理条件の提示に資する知見を得ることを目的とする。

4.2.2 方法

（1）バイオプラスチック試験片の耐候性劣化試験

プラスチック試験片を耐光性試験機に設置し、表 4-2-1 に示す条件でそれぞれ試験を実施した。試験片には、機械的強度試験向けにはダンベル型試験片、ミクロ的指標および生分解性試験には長方形型の PP および PBS 試験片を使用した。

表 4-2-1 耐光性試験条件

試料	項目	条件
PP	試験サイクル	連続照射
	降雨条件	なし
	照射時ブラックパネル温度	63℃
	照射時湿度	50%RH
	照射強度	1500 W/m ²
	照射時間	57 時間（屋外 1 年相当）、 114 時間（屋外 2 年相当）
PBS	試験サイクル	連続照射
	降雨条件	なし
	照射時ブラックパネル温度	63℃
	照射時湿度	50%RH
	照射強度	1500 W/m ² （屋外 6 週のみ 366 W/m ² ）
	照射時間	26.2 時間（屋外 6 週相当）、 13.1 時間（屋外 12 週相当）、 26.2 時間（屋外 24 週相当）、 39.4 時間（屋外 36 週相当）、 52.5 時間（屋外 48 週相当）

（2）ミクロ指標分析の方法

DSC は、NETZSCH 社製 DSC200 F3 を使用し、雰囲気ガスは窒素、流速 20 mL/min、昇温/降温速

度は 10°C/分で分析を行った。FT-IR は、島津製作所フーリエ変換赤外分光光度計 IR Tracer-100 を用いて、ATR 法によって分析した。XRD はリガク社製 X 線回折装置 Multiflex を使用し 40 kV、26 mA の条件下で分析した。透過型電子顕微鏡 (TEM) による試料断面観察は、試験片の長尺方向の断面を対象とした。前処理としてエポキシ樹脂包埋、四酸化ルテニウム染色を施し、超薄切片を作製した。日本電子 JEM-1400Flash を用いて、加速電圧 100kV の条件で観察した。

(3) メタン発酵分解試験

発酵試験では、植種汚泥として食品廃棄物を処理する中温発酵バイオガスプラントの消化液を使用した。試験は、ブチルゴム栓付きのスクリュウキャップバイアル (日電理化硝子) に試験片と汚泥 30 mL を投入し、気相部を窒素ガスで置換後、シェイキングインキュベーターに設置し、35°C、180 rpm の条件で 30 日間培養した。生成ガス量は 1~4 日ごとに針付きのガラスシリンジで測定し、標準状態に換算した。また、ガス組成はガスクロマトグラフ GC-8A (島津製作所) を用いて分析した。プラスチックを投入しない、消化液だけのブランクの系でも同時に試験を行い、消化液自体からのメタン生成量をサンプルありの系のそれから減算して、プラスチックからの正味のメタン生成量を算出してデータを整理した。

4.2.3 結果

(1) 機械的特性の初期値と耐光性試験による劣化に伴う変化

バイオ PP の機械的特性に関する詳細は上掲の表 (表 4-2-2) に記載の通りである。未劣化 (劣化なし) 条件で比較すると、素材間の差が大きかったのはメルトフローレート (MFR) とシャルピー衝撃強さ (-30°C、ノッチ付) であった。従来 PP に対して、バイオ PP (A 社) およびバイオ PP (B 社) の MFR はそれぞれ 0.33 倍、1.4 倍であった。同様に、-30°C のシャルピー衝撃強さはそれぞれ 0.28 倍、0.67 倍であった。一方、PP の機械的特性の劣化前後の変化も前出の表に示されている。耐光性試験後、3 材料に共通して MFR が増加し、シャルピー衝撃強さ (23°C および -30°C) と引張破壊ひずみが低下した。増加の程度は材料により異なり、MFR は従来 PP で約 1.5 倍 (32.1→48.3)、バイオ PP (A 社) で約 1.9 倍 (10.9→20.7)、バイオ PP (B 社) で約 1.6 倍 (45.9→72.4) に増加した。一方、引張降伏強さは低下傾向を示し、とくにバイオ PP (B 社) で低下幅が大きかった (26.7→20.0 MPa)。曲げ強さ・曲げ弾性率および引張弾性率は大きな低下を示さず、むしろ増加する項目も見られた。荷重たわみ温度は全材料で上昇し、ロックウェル硬さもわずかに増加した。

PBS の引張強度と破断伸びは図 4-2-1 に示す。昨年度実施した高湿度での劣化と同様に、破断伸びに大きな変化が現れた。耐光性試験前を 100%とした場合、伸びの保持率は 6 週相当の曝露で約 30%まで低下し、12 週以降は 3%以下であった。しかしながら、高湿度条件での劣化では 3 週間で伸びの保持率がほぼ 0%に達したことをふまえると、紫外線による伸び減少速度は高湿度によるそれよりも小さいことがうかがえた。水はバルク全体でエステル結合を切断できる一方、UV は光の吸収・酸素拡散の制約で主に表層起点の劣化となるため速度に差が生じたと考えられる。一方、引張強度の保持率は 6 週目で 93%までやや低下したが、12、24 週では 105%と逆にやや増加が確認できた。この傾向は、高湿度条件における時間に応じた強度の低下と違った挙動であった。これには UV による表層の酸化により硬化が進行したことが影響していると推測される。以上のように、各素材において耐光性試験に伴う強度の低下等、機械的特性の変化傾向が確認された。

表 4-2-2 PP 試料に関する屋外 1 年相当の耐光性試験前後の機械的特性

試験項目	単位	従来 PP		バイオ PP (A 社)		バイオ PP (B 社)	
		劣化なし	耐光性試験後	劣化なし	耐光性試験後	劣化なし	耐光性試験後
メルトフローレート	g/10min	32.1	48.3	10.9	20.7	45.9	72.4
シャルピー衝撃強さ	kJ/m ²	8.5	6.5	3.7	2.7	6.2	3.3
	kJ/m ²	4.3	1.2	1.2	1.1	2.9	0.9
引張降伏強さ	MPa	25.8	24.2	34.6	29.3	26.7	20
引張破壊ひずみ	%	23	9.4	66 (未破断)	5.8	28	3.8
引張弾性率	MPa	1370	1470	1540	1750	1260	1350
曲げ強さ	MPa	36.4	36	43.6	44.6	34.8	35.1
曲げ弾性率	MPa	1430	1510	1580	1680	1290	1370
ロックウェル硬さ	—	94	97	107	109	95	98
荷重たわみ温度	°C	102	105	91	98	91	95
比重	—	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

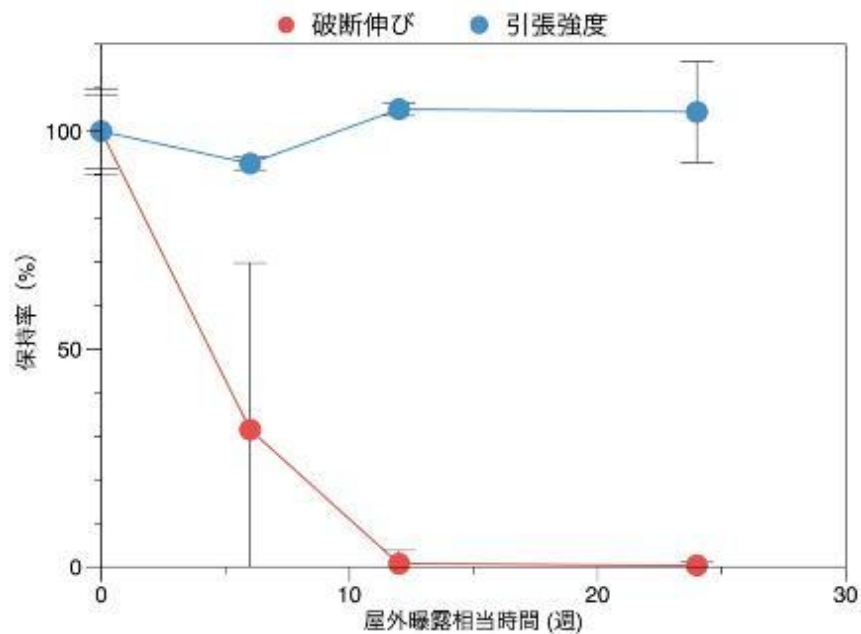


図 4-2-1 耐光性試験前後における PBS の機械的特性

(2) ミクロ視点の解析における素材間の相違と劣化に伴う指標の変化

① 素材間の劣化前における相違

先述のように、PP の機械的特性指標のうち素材間の差が大きかったメルトフローレート (MFR) および低温衝撃強さに着目し、これらの差をもたらすミクロ的要因を検討した。既往研究では、MFR は充填材 (例: タルク) 添加量や分子量特性 (重量平均分子量など) の影響を受けることが報告されてい

る^{11,12}。一般に、分子量が高いほど溶融粘度が増加し、MFR は低下する傾向にある¹¹。また、タルク添加は複合系の流動挙動や劣化挙動を変化させ、条件によっては MFR の低下として現れることが報告されている^{11,12}。さらに、ゴム相の配合は濃度に応じて低温における耐衝撃性を改善することが報告されている¹³。令和 7 年度は、(i) 分子量特性、(ii) タルクの有無、(iii) ゴム相の分布状態、の 3 点に着目して分析を行った。

分子量に関して、図 4-2-2 に示す耐光性試験前的高温 GPC 分析の結果から、バイオ PP (B 社) は、従来 PP よりも分子量の広がり狭く、特に高分子量側の分布が小さいことが確認された。その結果、バイオ PP の重量平均分子量 (Mw) は、15 万と、従来 PP の 18 万と比較してやや小さいことを確認した。一般に Mw が小さいほど溶融粘度が低下し、MFR は上昇するため、バイオ PP (B 社) で観測された高い MFR の一因となり得る。

熱的特性に関して、DSC 分析より、従来 PP は融解ピークが多峰性を示し、ラメラ厚の異なる結晶が分布している可能性が示唆された (図 4-2-3)。一方、バイオ PP (B 社) では融解ピーク形状が比較的均一であった。また降温時の結晶化ピーク温度は、従来 PP (126°C) がバイオ PP 試料 (120°C) よりも高く、従来 PP の方が早い段階から結晶化しやすい傾向が示唆された。これらは、タルクによる核生成効果やポリマーの立体規則性の違いが結晶化挙動に影響している可能性を示す。

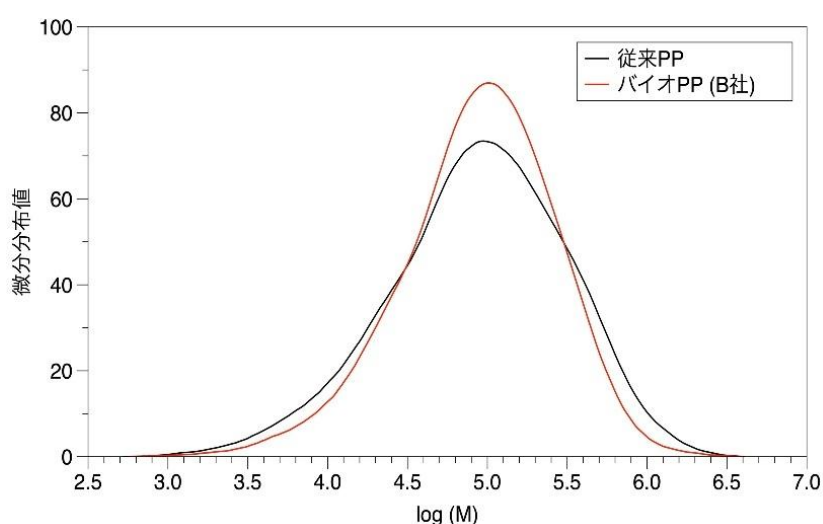


図 4-2-2 従来 PP とバイオ PP (B 社) の微分分子量分布

¹¹ He, C., Costeux, S., Wood-Adams, P., Dealy, J.M., 2003. Molecular structure of high melt strength polypropylene and its application to polymer design. *Polymer* 44, 7181–7188.

¹² Wang, K., Bahloul, N., Addiego, F., Ahzi, S., Rémond, Y., Ruch, D., Muller, R., 2013. Effect of talc content on the degradation of re-extruded polypropylene/talc composites. *Polymer Degradation and Stability* 98, 1275–1286.

¹³ van der Wal, A., Nijhof, R., Gaymans, R.J., 1999. Polypropylene–rubber blends: 2. The effect of the rubber content on the deformation and impact behaviour. *Polymer* 40, 6031–6044.

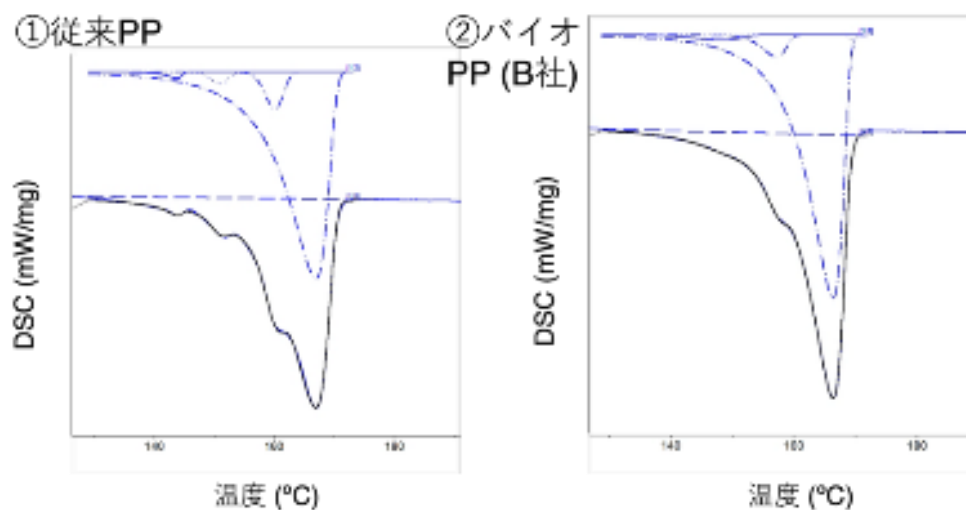


図 4-2-3 従来 PP とバイオ PP (B 社) の DSC 昇温時の融解ピーク形状

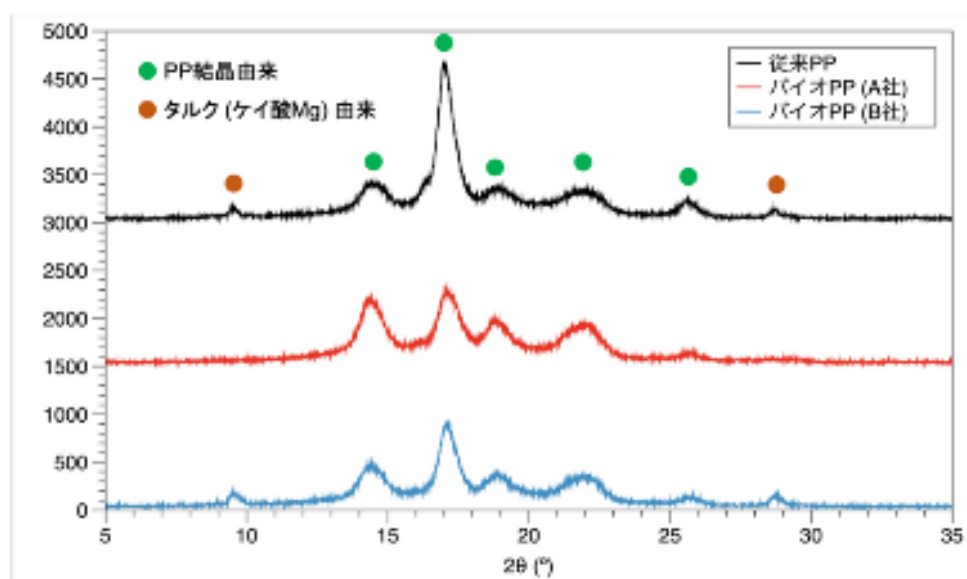


図 4-2-4 従来 PP とバイオ PP (B 社) の DSC 昇温時の融解ピーク形状

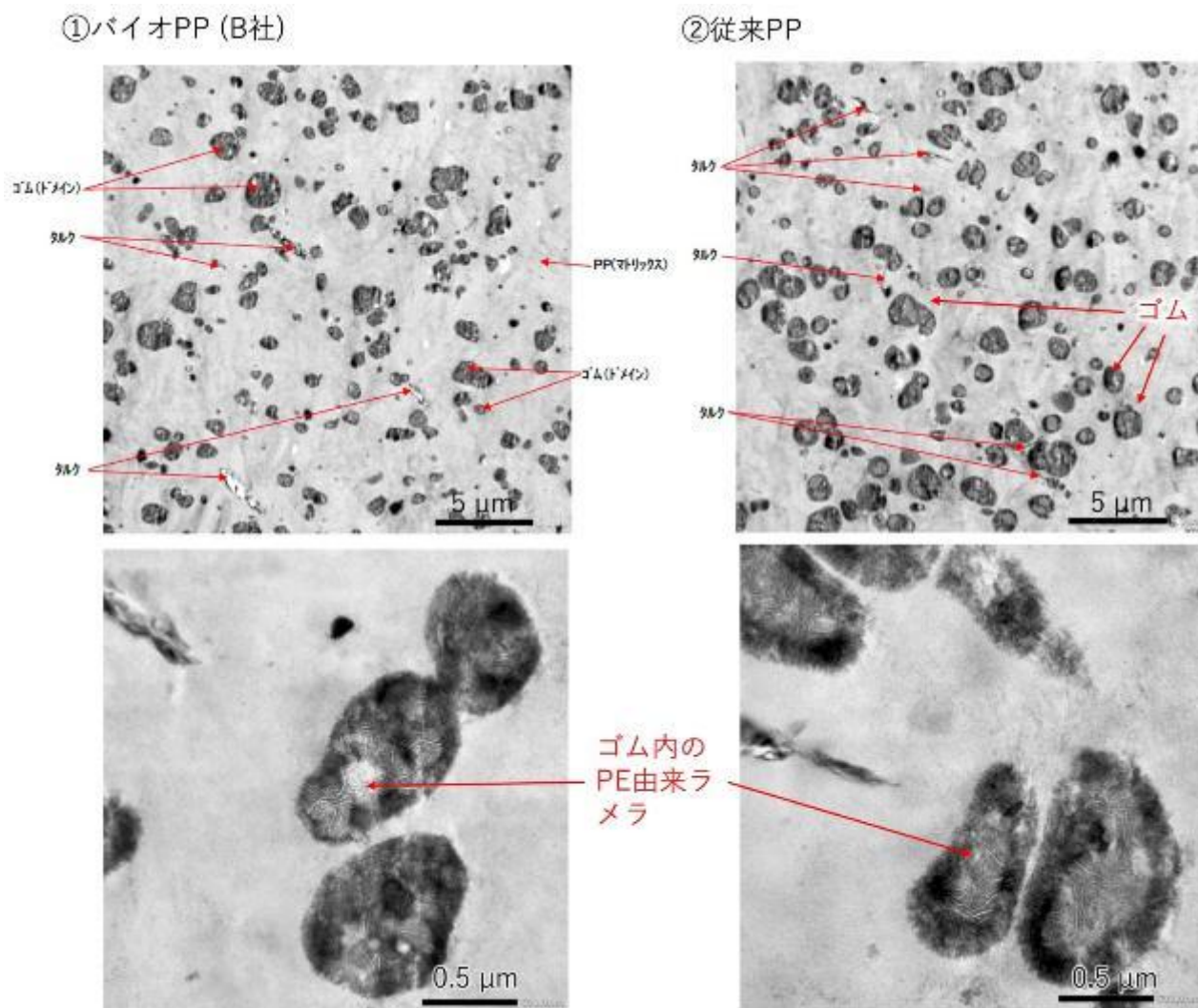


図 4-2-5 従来 PP とバイオ PP (B 社) の TEM による断面観察

結晶特性および無機充填材に関して、XRD 分析により、従来 PP ではタルク（ケイ酸 Mg）由来と考えられるピークが確認された一方、バイオ PP (A 社) では同様のピークが未検出であった（図 4-2-4）。また PP 主ピーク（約 17° ）の半値幅（FWHM）は従来 PP が最も小さく、DSC の結果と同様に従来 PP の高い結晶性を示唆した。これらの結果は、充填材の種類・含有量、あるいは分散状態が試料間で異なる可能性を示す。添加物分布特性に関して、TEM 断面観察の結果、従来 PP およびバイオ PP (B 社) の両試料でタルクとゴム成分の存在が確認された。ゴム成分の含有割合は従来 PP がバイオ PP (B 社) より高い傾向であり、従来 PP が示す高い衝撃強度と整合している。さらに、バイオ PP (B 社) では従来 PP と比較してゴム相が小さく、かつ粒子径の分布が不均一であった（図 4-2-5）。一般に、ゴム相の量が少ない、あるいは分布が不均一である場合、低温域での衝撃エネルギー吸収が十分に生じにくく、低温衝撃強度の低下につながる事が報告されている¹³。

以上より、バイオ PP と従来 PP の物性差（高 MFR・低温衝撃強度の低下）には、分子量特性に加え、タルクおよびゴム成分を中心とした添加剤の種類・含有量・分散状態の違いが有力な要因として関与している可能性が示された。

②バイオ PP に関する劣化に伴うマイクロ指標の変化

耐光性試験（1500 W/m²、57 時間および 114 時間）後には、機械的特性として MFR の増加、低温衝撃強度の低下等が確認された。紫外線による PP の劣化としては、一般的に主鎖の断裂、それに付随して生じるカルボニル基の形成が起きる。カルボニル基の形成は FT-IR で劣化進行度を判断する際の指標となる。また、主鎖の切断は低分子化や、結晶サイズの減少につながる。耐光性試験前後の試料を用いた FT-IR による分析の結果、従来 PP とバイオ PP の両方でカルボニル指数が UV 曝露時間に応じ増加することが確認され、酸化の進行を反映する指標として有効であることが示された（図 4-2-6）。また、低分子化については、表層（<1 mm）を対象とした GPC 分析により、照射に伴う Mw の減少が認められた（図 4-2-7）。57 時間時点では従来 PP とバイオ PP（B 社）の Mw がほぼ同程度となる例が確認され、初期の分子量差が劣化進行により縮小し得ることが示唆された。結晶性の変化については、DSC により昇温時の融解エンタルピーの分布が変化し、1 年相当の曝露で UV による鎖切断に伴う薄層ラメラ化（ラメラ厚減少）を示唆する挙動、すなわち低温側での融解ピークの出現が観察された（図 4-2-8）。しかし、2 年相当の曝露後の試料では、低温側のそうしたピークは減少し、高温側のピーク高さが増大した。このことは、鎖切断の進行だけでなく、再結合の進行も起きていることを示唆している。一方で、ピーク面積の合計量に関してはほとんど試料間で変化せず、劣化に伴う結晶性変化は結

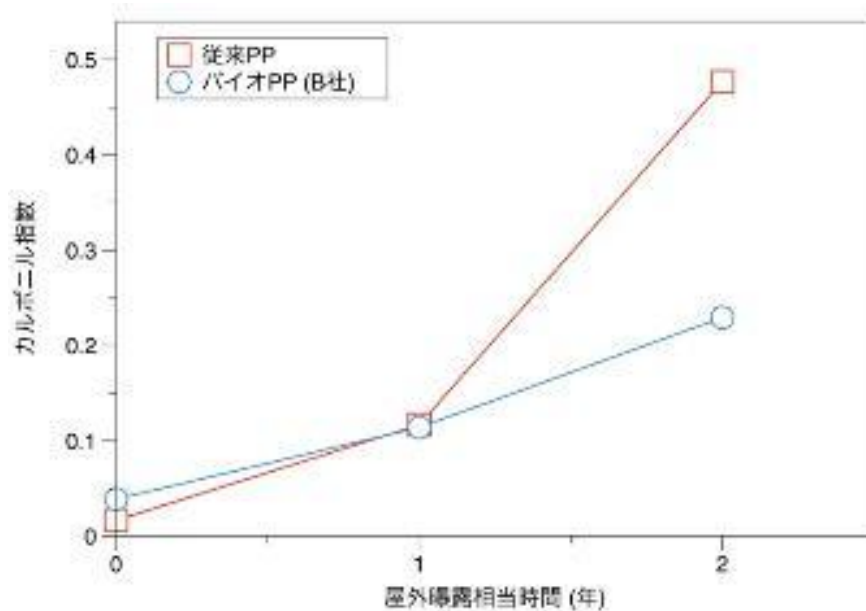


図 4-2-6 FT-IR の結果に基づく PP 表層のカルボニル指数の変化（カルボニル指数は 1700 cm⁻¹ 付近の吸収ピーク面積／1460 cm⁻¹ 付近の吸収ピーク面積によって算出）

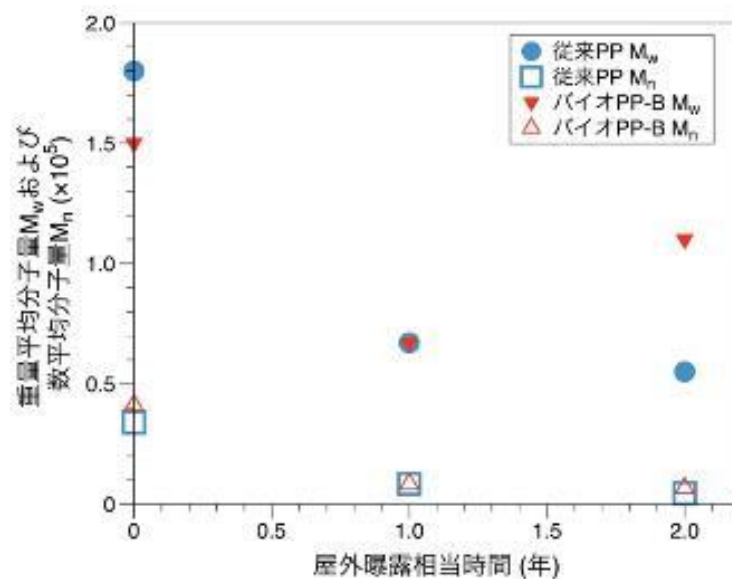


図 4-2-7 従来 PP とバイオ PP (B 社) に関する GPC により算出した平均分子量の変化

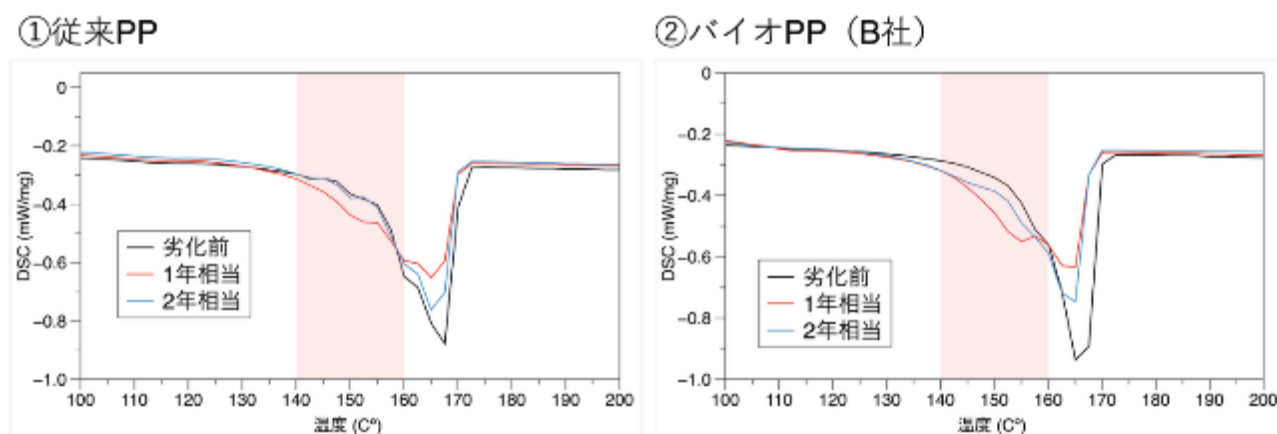


図 4-2-8 従来 PP とバイオ PP (B 社) の DSC 昇温時の融解ピーク形状 (劣化後、色付きバンド範囲にピークが出現)

晶量（結晶化度）よりも結晶形態・ラメラ厚分布・結晶化挙動の変化として現れる可能性がある。これらの変化は、脆化・クラックの進行を通じた強度低下に影響し得る。以上の結果を総合すると、試料間差としては分子量分布（GPC）および添加剤（タルク・ゴム成分）に起因する結晶化挙動の違いが、マクロ物性（MFR、衝撃強度）の差に寄与している可能性が高い。また劣化挙動としては、酸化（FT-IR カルボニル指数）と低分子化（GPC）が進行し、結晶形態（DSC/XRD）にも変化が生じることで強度低下につながる、という因果関係が示唆された。

③PBS に関する劣化に伴うマイクロ指標の変化

PBS に関しても、UV への曝露が機械的特性（破断伸び）に大きく影響を及ぼすことが確認された。PBS でも PP 同様、主鎖の切断や酸化が起きることが予想される。しかし、PBS の場合、FT-IR によるカルボニル指数の算出に用いる 1700 cm^{-1} 近辺の領域が主鎖の吸収と重複するため、カルボニル指数を

用いた酸化劣化の把握が難しい。そこで、 $3600\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ の範囲の吸収ピークを利用したヒドロキシル指数を用いて、エステル結合の鎖切断で生成する OH 基の生成を評価することとした。ヒドロキシル指数は「 $3550\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ の吸収ピーク面積/ $1780\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ の吸収ピーク面積」として算出した。図 4-2-9 では、曝露時間に伴うヒドロキシル指数の変化を示している。同指数は、曝露時間の増加に伴って単調に増大し、0 h での 0.132 から 52.5 h において 1.614 まで到達した。すなわち、52.5 h では初期の約 12.2 倍まで増加している。このことは PBS では UV 曝露により、エステル結合の開裂（光酸化・加水分解を含む）を介して末端 OH 基を生成する鎖切断反応が進行している可能性が高い。

また、図 4-4-10 は XRD の結果に基づく PBS の結晶化度の変化を示している。PBS の XRD 結晶化度は、屋外曝露相当時間の増加に伴い初期にわずかに増加した後、以降は低下傾向を示した。0 週では 38.55%であった結晶化度は、12 週で 40.16%へ一時的に上昇したものの、24 週では 34.13%へ低下し、さらに 48 週では 29.55%まで低下し、初期比で約 9 低下した。この挙動は、初期（～12 週）には主鎖切断により分子鎖の運動性が増し、短鎖が再配列して二次結晶化（結晶化度の微増）が起こり得る一方、曝露が進むと酸化劣化・欠陥導入・分子鎖の不均一化等により結晶成長が阻害され、結果として結晶性が損なわれて結晶化度が低下した可能性を示唆する。

GPC による分子量分析に関しては、本試験で準備した屋外曝露 6 週以上の PBS 試料はいずれも溶媒（クロロホルム）に対して不溶化し、ピーク強度不足により分析が不可能であった。UV 曝露により、鎖切断と同時にゲル化が進行したことで難溶解性に変質した可能性がある。

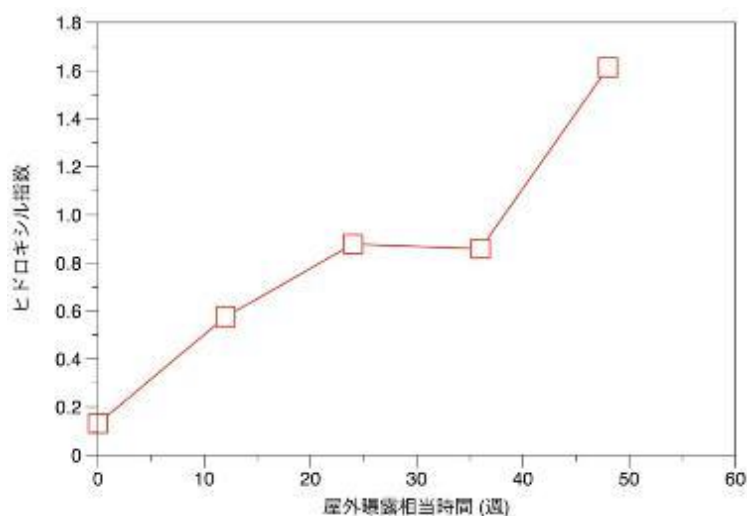


図 4-2-9 FT-IR の結果に基づく PBS 表層のヒドロキシル指数の変化（ヒドロキシル指数は OH 由来の $3550\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ 範囲の吸収ピーク面積/ $1780\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ の吸収ピーク面積によって算出）

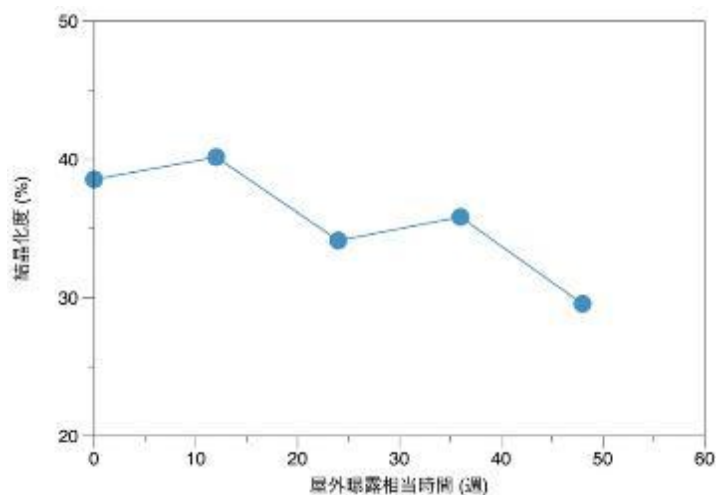


図 4-2-10 XRD の結果に基づく PBS の結晶化度の変化



図 4-2-11 GPC 測定溶媒に対して不溶化した耐光性試験後の PBS シート

(3) 劣化に伴う PBS のメタン発酵分解性の変化

劣化試験前後のサンプルを用いてメタン発酵試験を行い、投入重量あたりのメタン収率と試験後のふるい上残留物重量とで分解性を評価した。図 4-2-12 は、各サンプルの 20 日間の発酵でのメタン収率、試験前と比較したふるい上残留物の残存率をそれぞれ示している。PBS のメタン発酵試験（20 日間培養）では、UV への曝露期間が長い PBS ほどメタン生成量が増加し、同時に 1 mm ふるい上に残る PBS 片の割合（残存率）が低下した。メタン生成量 (NmL/g) は、UV 劣化前で 31.43 であったのに対し、12 週で 35.31、24 週で 35.35 とやや増加し、36 週で 46.73、48 週で 48.23 まで上昇した。0 週比では、36 週で約 1.49 倍、48 週で約 1.53 倍に相当する。1 mm ふるい残留 PBS 片重量（投入量比%）は、劣化なしで 98.99%とほぼ全量が残存した一方、12 週で 96.69%、24 週で 93.62%、36 週で 91.29%、48 週で 88.47%へと段階的に低下し、曝露の進行に伴って形状として残る未分解分が減少したことを示している。しかしながら、理論的最大メタン生成量に対するメタン収率は最高でも 10%程度であって、PBS は大きな UV 曝露により発酵系での分解・ガス化は大きく進まないことが確認された。固形分の減少やガスの増加は、先に示した FT-IR のヒドロキシルインデックス増加（鎖切断・親水化の進行）や、XRD 結晶化度の低下（結晶性低下に伴う微生物アクセス性の増大）と整合的であり、劣化により分子鎖切断・結晶性変化が進むことで、微生物分解性が高まった可能性がある。

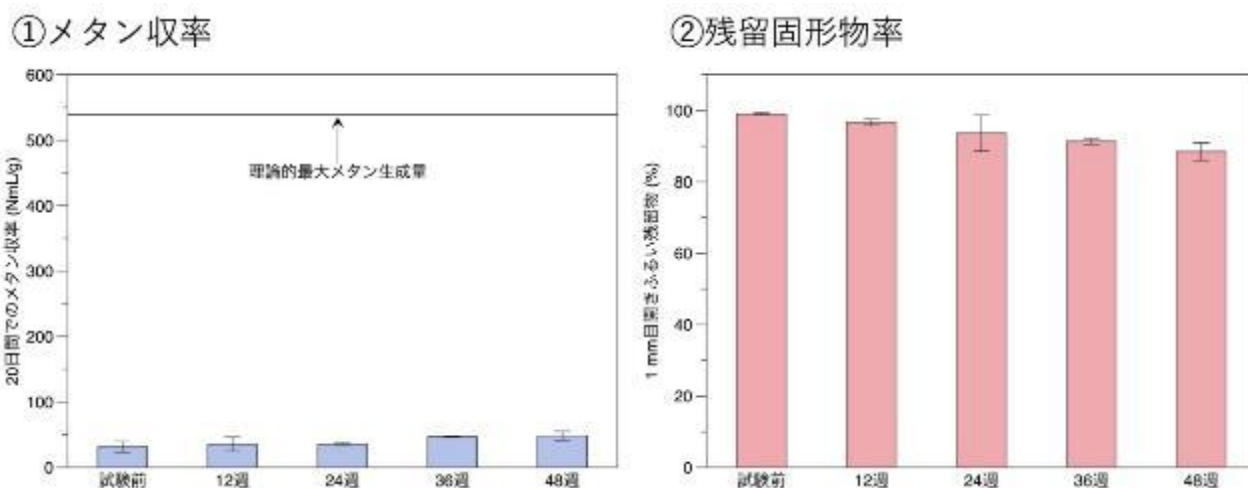


図 4-2-12 紫外線劣化を伴う PBS のメタン発酵試験におけるメタン収率と残渣固形物の対投入量比率

4.2.4 まとめと課題

本課題では、バイオ PP を中心に、PP および PBS について、機械特性・耐光性劣化挙動・マイクロ指標（分子量、結晶構造、FT-IR 指標等）・生分解性を統合的に評価し、物性差および劣化機構の整理を行った。PP 系材料では、劣化前から MFR と低温衝撃強さに素材間差が認められ、分子量分布や添加剤（タルク・ゴム成分）の種類・分散状態が関与する可能性が示された。耐光性試験後はカルボニル指数増加（酸化）と表層 Mw 低下が確認され、DSC ピーク形状の変化から結晶形態の変化を介して物性低下に至る過程が示唆された。PBS では、UV 曝露によりヒドロキシル指数が増加し鎖切断の進行が示唆され、XRD では結晶化度が低下した。メタン発酵試験では曝露期間が長いほどメタン生成量が増加し残存率が低下したが、発酵系でのガス化は限定的であった。

今後は、バイオ PP（A 社）試料の分析拡充に加え、NMR による立体規則性評価、添加剤量の定量（GCMS 等）を進め、従来 PP と同等の物性・耐久性を満たす条件の絞り込みを進める。

4.3 ライフサイクル観点から見た実証事業展開ライフサイクルに応じたバイオプラスチックのシステム開発

4.3.1 目的

事業1、事業2及び事業3の要素を一つの循環システムとした動静脈ライフサイクル実証を通じて、脱炭素化と資源循環に資する次世代の長寿命用途プラスチック素材の利活用モデルを構築することが求められる。そのため、事業1・2・3の各関連技術を構成するシステムのライフサイクルでのGHG削減効果を定量化し、ライフサイクル実証を通じて、脱炭素化と資源循環の実現に資する次世代の長寿命用途プラスチック素材の利活用モデルを構築することを目的とする。具体的には、自動車のPP素材やポリカーボネート素材の動的フローモデルを作成し、フローモデル解析に関連する化学成分組成等の基礎情報ならびにリサイクル過程の収率等の実証情報を用いてバイオプラスチック転換によるGHG削減効果や資源保全効果等を算定する。また、事業1③で開発するバイオマス加飾フィルムを用いた自動車塗装の代替技術による環境負荷低減効果を試算する。

令和7年度は、昨年度に構築したボトムアップ型の推計モデルを改良し、年間生産台数、使用自動車中ストック、そして廃棄段階に至るまで、自動車ライフサイクル全体にわたるプラスチックフローを2050年まで定量化した。そして、解体工程で回収されずにASRに移行する部品にバイオPPを使用することを想定したライフサイクル分析により、バイオPP導入によるGHG削減効果を推定した。

4.3.2 自動車のプラスチックならびにPPの動的フローモデル開発

(1) 方法

① プラスチック組成および重量補正

部品レベルのプラスチック組成データとして、車両1台当たりの総プラスチック重量、PP重量、ならびに各部品の装備率を整理した。対象車は、普通乗用車（CPV）および軽乗用車（MiniPV）とした。プラスチック樹脂素材のうち今年度は特にPPに着目し、表4-3-1のとおりPP含有量の多い上位8部品を対象とし、それ以外の部品は「その他」としてまとめた。なお、昨年度の部品分類は10部品であったが、PEが主組成のエアコンダクト等のヒータリングシステムを「その他」として扱い、また現場で区別がしづらいカウルサイドトリムとピラーを統合し、どちらも「ピラー」として扱った。実装率は、解体したELV30台に対して該当部品が実装されていた台数の割合とした。ただし、アンダーカバーとセンターコンソールについては、昨年度に実施した自動車ユーザー向けのインターネットアンケートによって得られた実装率とした。

表 4-3-1 対象プラスチック部品と実装率

No	部品	実装率	
		普通車	軽自動車
1	バンパー	100%	100%
2	ピラー	100%	100%
3	トランクコンパートメント	90%	90%
4	スカッフプレート	69%	80%
5	ドアパネル	100%	100%
6	アンダーカバー	17%	9.1%
7	インストルメントパネル	100%	100%
8	センターコンソール	36%	13%
9	その他	—	—

部品重量は、昨年度および今年度を実施した解体調査に基づき、計 30 台の車両データから各部品の中央値を採用した。8 部品以外の部品については解体計量していない解体車両が多いことから、昨年度に 8 部品以外も精緻解体した普通車（2008 年製）、軽自動車（2009 年製）の PP とそれ以外のプラスチック樹脂の組成割合を用いて、PP 重量からプラスチック重量を算出した。

また、30 台の車両データから作成した 1 台当たりのプラスチック重量モデルとして一般化させるため、調査対象 CPV および MiniPV の平均車両重量と、統計データ^{14,15}に基づく各車種区分の平均車両重量との比を補正係数として用い、表 4-3-2 のとおり部品重量の補正を行った。補正後の自動車 1 台当たりのプラスチック部品重量は図 4-3-1 のとおりである。普通車と軽自動車で 1.8 倍の開きがあることが分かった。本検証で対象とした主要 8 部品はプラスチック重量全体の 36-42%を占めた。

表 4-3-2 本実証で解体した自動車と統計値の平均車体重量および補正係数

	ELV30 台の 平均車体重量 (A)	統計値による 平均車体重量※1 (B)	補正係数 (B/A)
普通車	1005 kg	1326 kg	1.32
軽自動車	818 kg	856 kg	1.05

※1：液抜き（普通車 50 kg、軽自動車 40 kg）を差し引いて計算

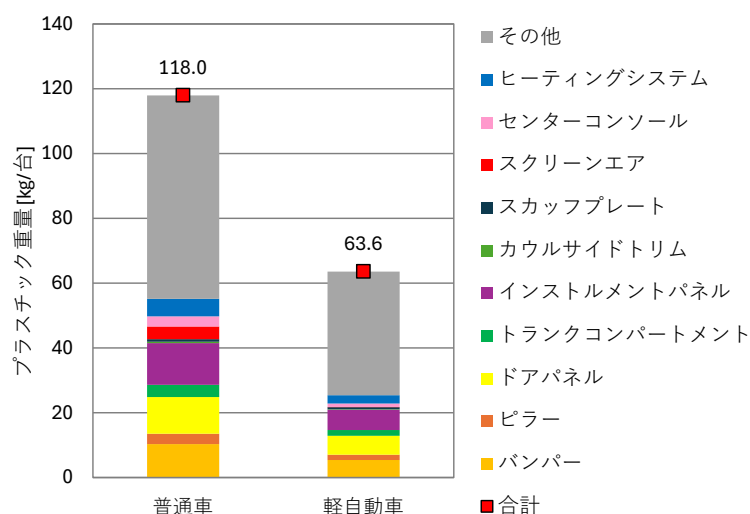


図 4-3-1 自動車 1 台当たりのプラスチック部品重量

② 自動車ストックおよびフロー推計

自動車フロー・ストック推計モデルには、昨年度考慮していなかった新車輸入フローおよび使用済み後の部品再使用フローを新たに組み込んだ。部品再使用については、バンパーおよびドアパネルを対象に明示的にモデル化した。年間再使用台数は 2023 年の実績値（バンパー 38 万個、ドアパネル 21 万個）を基準とし、将来にわたり一定と仮定した。この仮定により、将来の再使用フローを過小評価している可能性がある。再使用台数は車種区分別には把握されていないため、各年の使用済み自動車

¹⁴ 自動車検査登録情報境界からの購入データ

¹⁵ 全国軽自動車協会連合会：知れば知るほどいいね！軽自動車（2024）

(ELV) 発生台数における CPV および MiniPV の割合に応じて按分した。再使用に伴うプラスチックおよび PP 重量は、初期推計された ELV 由来プラスチック発生量から控除し、解体およびリサイクル工程へ投入されるプラスチック量を算出した。

③ 解体シナリオ

廃棄段階では、解体工程における 2 つの解体方法、すなわち (1) 手解体および (2) ニブラ重機による解体 (ニブラ解体) を考慮し、解体方法の違いによる PP 回収ポテンシャルを推定した。昨年度と今年度の本実証における解体調査で得られた部品別の回収率を、部品重量補正後の ELV 由来のプラスチック重量に乗じることで、解体工程で回収可能なプラスチックおよび PP 重量を推計した。

さらに、解体工程で回収後の下流工程として、輸送のための破砕・洗浄工程の歩留まり 0.97¹⁶、再ペレット化工程の歩留まり 0.90¹⁷ を適用し、最終的な再生プラスチック供給ポテンシャル量を算出した。

(2) 結果

2050 年までの解体方法別の ELV 由来再生 PP 供給ポテンシャルの推計結果を図 4-3-2 に示した。2030 年における再生 PP 供給ポテンシャルは、手解体で 18.8 万 t、ニブラ解体で 14.2 万 t と推計された。令和 7 年度の改良において部品リユースを考慮したが、その影響は限定的であった。その後、ELV 発生台数が減少すると予測されることから、再生 PP 供給ポテンシャルは 2050 年までに約 34% 減少し、それぞれ 12.5 万 t および 9.4 万 t と見込まれた。また、解体方法別の比較では、ニブラ解体は手解体と比較して回収可能な PP が 24% 減少する結果となった。これは主として解体工程における破損などの部品損傷によるものである。

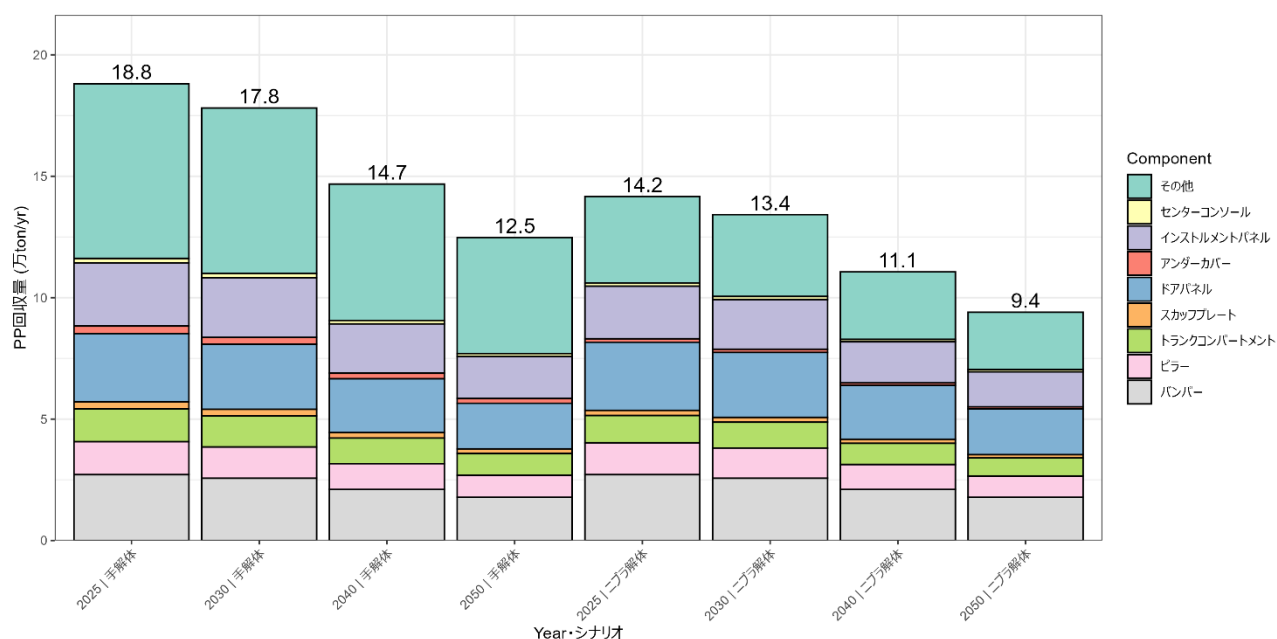


図 4-3-2 2050 年までの ELV 由来の再生 PP 供給可能量の推定結果 (手解体とニブラ解体の比較)

¹⁶ 環境省：自動車向け再生プラスチック市場構築のための産官学コンソーシアム 第 1 回 WG、資料 3 (2025)

¹⁷ いその株式会社：平成 28 年度低炭素型 3 R 技術・システム実証事業 使用済自動車由来 PP 部品の効率的な再生材生産プロセスの検証 報告書 (2017)

(3) まとめと課題

本解析では、ELV 由来 PP 供給ポテンシャルは解体方法によって 2030 年に 14.2-18.8 万 t、2050 年には 9.4-12.5 万 t の幅を持つことと推定された。ただし、これらの推計結果は技術的な回収ポテンシャルを示したものであり、経済性の観点や実際の解体作業時間の制約は考慮していない点に留意する必要がある。

4.3.3 バイオマスプラスチック代替による GHG 削減効果の試算

(1) 目的及び調査範囲の設定

自動車プラスチック部品へのバイオ PP 導入による GHG 削減効果をライフサイクル分析によって試算した。機能単位は「2030 年の ELV (約 300 万台/年) 中のプラスチック生産と処理・リサイクル」とした。システム境界は自動車プラスチックの生産から処理・リサイクルまでとし、自動車の使用段階はシステム境界外とした。

バイオ PP 導入による GHG 削減効果算定モデルを算定するにあたっては、バイオ PP の導入部品によって、解体工程で回収され再資源化されるか、解体工程で回収されず ASR として処理されるか、すなわち廃棄段階のフロー（行先）が異なるため GHG 排出量や削減効果にも影響する。今年度の解析では、解体工程で回収されずに ASR に移行する部品にバイオ PP を使用することを想定した。具体的には、2030 年において約 6.8 万 t-PP にバイオマス度 40%のバイオ PP を使用するとした。ASR に移行する PP の内訳は表 4-3-1 のとおりである。解体工程でプラスチック部品を回収せず、バイオ PP 導入もないシナリオをベースラインとし、プラスチック部品の回収のみを考慮するシナリオ（プラ回収ありシナリオ）、そして解体工程で回収されない部品にバイオ PP を導入するシナリオ、の 3 シナリオを設定した。

解体方法としては、ニブラ解体を採用し、ニブラ由来の GHG 排出量の寄与の程度も把握することとした。ASR となった後の処理方法としてはガス化熔融を想定し、ASR 中の PP 由来の GHG のみを評価するために長田ら（2012）¹⁸ の先行研究のパラメータを更新した。各プロセスの主要パラメータは表 4-3-3 のとおりである。

¹⁸ 長田守弘，真名子一隆，平井康宏，酒井伸一：自動車破碎残渣（ASR）の資源化・処理に関するライフサイクルアセスメント，廃棄物資源循環学会論文誌，第 23 巻，第 6 号，pp.264-278（2012）

表 4-3-3 主要パラメーター一覧

プロセス	パラメータ名称	値	単位	出典
共通	軽油 CO ₂ 排出係数	2.62	kg-CO ₂ /L	環境省 (2025) ¹⁹
	電力 CO ₂ 排出係数	0.422	kg-CO ₂ /kWh	環境省 (2025) ²⁰
解体工程	ニブラの軽油消費量	7.91	L/h	設定値
破砕工程	シュレッダー処理	25	kWh/台	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング (2015) ²¹
	プレス機	2.54	kWh/台	環境省 (2025) ²⁰
ASR 処理工程 (ガス化溶融)	ASR 焼却・溶融の PP 燃焼に伴う CO ₂ 排出量	3.140	t-CO ₂ /t-PP	長田ら(2012) ¹⁸ に基づき、PP の炭素含有率より算定
	副資材(コークス利用)	0.541	t-CO ₂ /t-PP	長田ら(2012) ¹⁸ に基づき、日本 LP ガス協会 ²² の値を適用
	副資材(石灰石利用)	0.033	t-CO ₂ /t-PP	長田ら(2012) ¹⁸
	燃料(LPG・軽油)	0.050	t-CO ₂ /t-PP	長田ら(2012) ¹⁸ に基づき、日本 LP ガス協会 ²² 、環境省 ²³ の値を適用
	間接(コークス製造)	0.122	t-CO ₂ /t-PP	長田ら(2012) ¹⁸ に基づき、プラスチック循環利用協会 ²⁴ の値を適用
	間接(石灰石製造)	0.000157	t-CO ₂ /t-PP	長田ら(2012) ¹⁸ に基づき、石灰石鉱業協会 ²⁵ の値を適用
	売電に伴う排出	-0.722	t-CO ₂ /t-PP	長田ら(2012) ¹⁸ に基づき、プラスチック循環利用協会 ²⁴ の値を適用
粉砕・洗浄工程	電力消費量	252.3	kWh/t-PP	いその (2017) ¹⁷
	歩留まり率	90	%	いその (2017) ¹⁷
輸送工程	事業者間の距離	718	km	設定値
	トラック(10t 車)の燃費	3.09	km/L	いその (2017) ¹⁷
再生材樹脂製造工程	攪拌	147.80	kWh/t-PP	いその (2017) ¹⁷
	溶融	1082.00	kWh/t-PP	いその (2017) ¹⁷
	歩留まり率	97	%	環境省 (2025) ¹⁶
PP 材製造工程	PP 材の製造	1.483	t-CO ₂ /t-PP	いその (2017) ¹⁷

¹⁹ 環境省：温室効果ガス排出量の算定方法 第Ⅱ編 (2025)

²⁰ 環境省：電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) -R5 年度実績-(R7.3.18 環境省・経済産業省公表、R7.7.18、R7.7.28、R7.8.1 一部追加・更新) (2025)

²¹ 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社：平成 26 年度 低炭素型 3R 技術・システム実証事業(自動車リサイクルにおける素材生産制約物質の低減・資源利用効率の向上に資する解体・破砕プロセスの実証化事業) 報告書” (2015)

²² 日本 LP ガス協会：燃料の発熱量・CO₂ 排出係数の一覧表 (2024)

²³ 環境省：中小企業排出量報告制度運営者向け 温室効果ガス排出量の点検の手引き(2013)

²⁴ 一般社団法人プラスチック循環利用協会：プラスチック製容器包装再商品化手法およびエネルギーリカバリーの環境負荷評価(LCA) (2019)

²⁵ 石灰石鉱業協会：石灰石鉱業界における地球温暖化対策の取組～カーボンニュートラル行動計画 2021 年度実績報告～ (2022)

表 4-3-4 ASR 中の化石由来 PP 量

	ベースライン (プラ回収なし、 バイオ PP なし)	プラ回収あり	プラ回収あり、非 回収部品にバイオ PP 導入
回収候補 8 部品からの取りこぼし分	11.7	2.6	2.6
解体工程で回収しない分	6.8	6.8	0
小計	18.5	9.4	2.6

(2) 国内の廃自動車中のプラスチック生産と処理・リサイクルによる GHG 削減効果

試算結果は図 4-3-3 のとおり、ベースラインと比較して、解体工程でのプラスチック部品の回収・再資源化によって 37 万 t-CO₂eq/年、さらに ASR に回るプラスチック部品をバイオ PP にすることで 8.5 万 t-CO₂eq/年（ベースライン比 45 万 t-CO₂eq/年）の削減効果となった。解体工程でのニブラ使用（軽油消費）や輸送のための粉碎・洗浄、リペレット化施設までの輸送工程の寄与は小さいことが確認された。

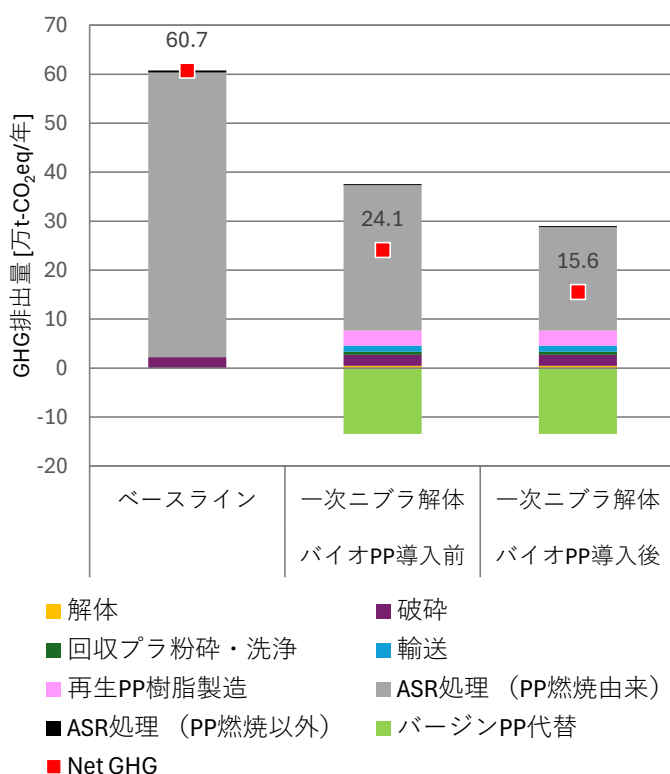


図 4-3-3 プラスチック部品回収およびバイオ PP 導入の有無による GHG 排出量算定結果

(3) まとめと課題

本解析によって、解体工程で一定のプラスチック部品を回収し、再資源化することで GHG を大きく削減できること、加えて ASR として処理される部品に優先的にバイオ PP を使用することでさらに GHG 削減の余地があることが明らかとなった。バイオ PP のバイオマス割合が高まればよい一層の削減効果が期待できる。今後は、バイオ PP を解体工程で回収される部品に使用することによる影響（使用中自動車中でのバイオマス炭素ストックの程度）も算定することで、バイオマスプラスチックの用途展開の選択が GHG 排出・削減効果に及ぼす影響についても検討する必要がある。

4.3.4 加飾フィルムによる塗装レス化の GHG 削減効果の試算

(1) 目的及び調査範囲の設定

自動車外装部品における塗装代替バイオマス加飾フィルムの導入による従来塗装との GHG 排出削減効果を定量化するため、塗料の製造・塗布および加飾フィルム製造・貼付を対象として試算した。

機能単位は「リアスポイラー1台あたり」とし、基準フローとして加飾フィルムのサイズを 55 cm × 140 cm (1枚) と設定した。

システム境界は、図 4-3-4 通り設定した。ベースラインを塗料製造および自動車外装部品の塗装、評価対象を加飾フィルムの製造および貼付と設定した。なお、データ入手性の観点から、フィルムは化石資源由来 PP を想定し、加飾材料の製造および成膜はシステム境界外とした。また、使用・廃棄・リサイクルについてはシステム境界に含んでいない。

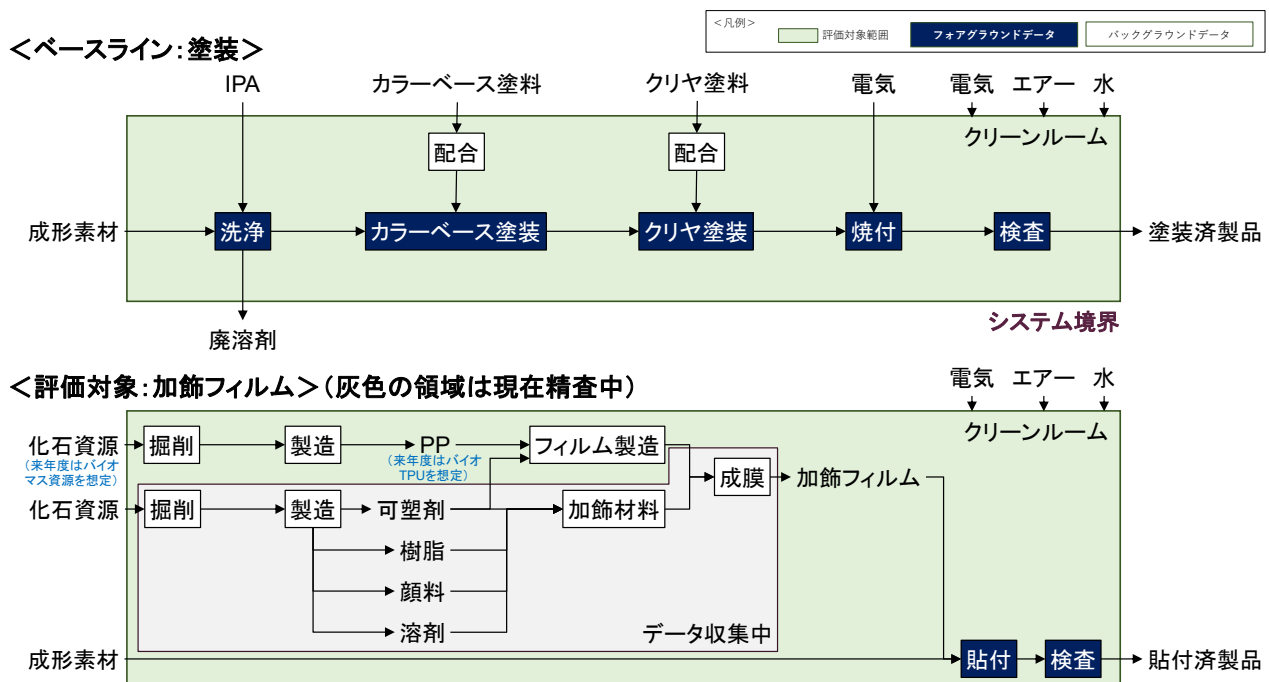


図 4-3-4 加飾フィルムによる塗装レス化の GHG 試算に向けたシステム境界

(2) インベントリ分析

事業者から各工程の活動量を収集した。原単位は LCI データベース IDEA v3.5.1²⁶を使用した。ただし、PP 製造については国内生産の汎用樹脂の LCI データ²⁷を使用した。

なお、本調査では普及段階を想定し、電力の排出原単位は 2030 年度の目標値である 0.25 kg-CO₂eq/kWh²⁸を使用した。

²⁶ 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ、LCI データベース IDEA v3.5.1

²⁷ 一般社団法人プラスチック循環利用協会、「国内生産の汎用樹脂の LCI データ更新」、<https://www.pwmi.or.jp/column/column-2636/>

²⁸ <https://www.env.go.jp/content/000298759.pdf>

(3) 試算結果

ベースラインの従来塗装による GHG 排出量は 1.5 kg-CO₂eq/台-リアスポイラー、評価対象の加飾フィルム製造・貼付による GHG 排出量は 1.3 kg-CO₂eq/台-リアスポイラーとなった。従来塗装と比較して、塗装レス（バイオマス加飾フィルム適用）により GHG 排出量が減少することが示された（図 4-3-5）。クリーンルームは同じ大きさを想定しているため変化が見られないが、ベースラインの塗料製造や焼付と比較して、加飾フィルムの製造や貼付に係る GHG 排出量が小さいことが明らかになった。

ただし、従来塗装および加飾フィルムの双方について、算定条件や活動量の精査が未了であり、本結果は暫定版である。

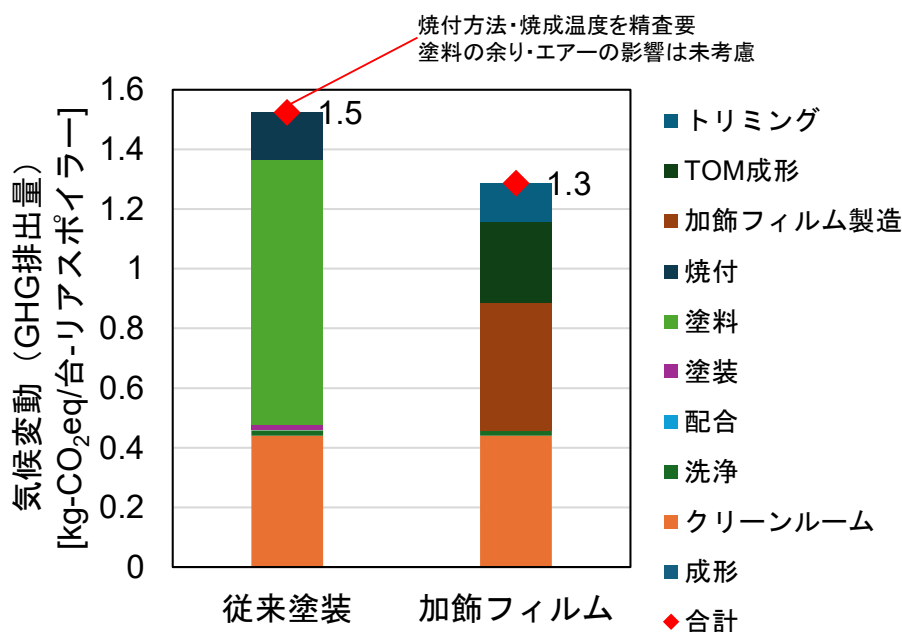


図 4-3-5 塗装レス化による GHG 削減効果（2030 年想定）（試算結果）

(4) 今後の課題

対象部品の耐用年数や発色性などの機能差を踏まえ、単純な塗装面積のみでの比較が妥当かどうかについては、来年度に精査を行う計画である。また、活動量について、特に従来塗装では、比較対象とする焼付方法や焼付温度の精査が必要である。

5. 事業全体の令和7年度の成果と今後の課題

令和7年度は、石油系ナフサにバイオナフサを混合した原料を用いて製造したバイオポリプロピレン（実配合バイオ PP）の自動車内装部品向けの素材として妥当性を検証した。バイオエンジニアリングプラスチックとしては、新たなバイオポリカーボネートの開発に取り組んだ。またスプレー塗装を代替する加飾フィルム基材としてバイオマス由来の熱可塑性ポリウレタン樹脂（バイオ TPU）を用いて防汚機能や粘着・剥離性について検証した。PP 材を中心に、回収量が確保できかつ解体分離が容易であるパーツを回収候補として、一次手解体と一次ニブラ解体を二つの事業者で精緻解体を実施した。また、MR に不向きな廃プラの CR 技術開発にも取り組んだ。黒色の自動車部品プラスチックの素材判別に有望な中赤外線に関し、FT-IR 方式と波長固定方式を比較検討した。回収するプラスチックのバイオベース度を計測する方式として、最有力候補のキャビティリングダウン分光法（CRDS）について、装置仕様決定に向けた要件を整理した。中長期的視点からバイオマス原料の国産化を図るため、国内の栽培環境に適した候補作物を比較検討した。また、実配合バイオ PP と石油由来 PP の耐光性試験前後での強度変化とマイクロ分析により、劣化の要因を調査した。自動車の PP 素材・PP 使用部品等のプラスチック使用量を推定する動的フローモデルの改良、化石資源由来プラスチックからバイオ PP 及びバイオエンジニアリングプラスチック（バイオエンプラ）への転換による GHG 削減効果に加え、塗装レス化の GHG 削減効果についても一次試算した。

各課題の主な検討成果は以下に示すとおりである。

5.1 長寿命用途バイオマスプラスチック導入拡大に向けた素材開発（事業1）

5.1.1 自動車用途プラスチックのバイオマス化：汎用バイオマスプラスチック（バイオ PP 等）の実装促進に向けた検討

バイオ PP の早期実装に向けて、石油由来ナフサにバイオ原料を混合して製造される「実配合方式」のバイオ PP の素材としての物性評価と自動車部品への適用性評価を実施した。

主な検討内容として、2種類のバイオ PP（A、B）の樹脂単体の物性評価により耐衝撃性に優れる B 社材を選定し、TPO 材料の配合検討を実施した上で、エアバッグカバーの試作評価を実施した結果、石油由来 TPO 材料で成形した製品と同等の外観が得られた。また、長期耐久性を検証するため、紫外線（UV）照射による疑似の耐光性試験を行い、処理前後の機械的物性の変化とバイオマス度の比較を行った。その結果、バイオ PP は UV 照射に伴う引張強度や衝撃強度の変化傾向が従来の石油由来 PP とほぼ同等であり、自動車用素材としての代替可能性が示された。耐光性試験の前後でバイオマス度に変化は見られず、使用過程で材料が劣化してもバイオマスとしての環境価値が損なわれないことが確認された。これにより、高い耐衝撃性が要求されるために再生材の利用が困難であったエアバッグカバー等の安全部品において、バイオ PP の活用が極めて有効な選択肢となることが明らかになった。また、バイオ PP がバイオマス度 25%を確保したコンパウンドで汎用 PP の物性目標を満足し得ることが確認された。

令和8年度は、段階的なバイオマス化により着実に社会実装を促進するため、再生材利用が難しい部品から優先的に導入を進めた上で、汎用部品へと展開していくというシナリオを作成する。

5.1.2 自動車用途プラスチックのバイオマス化：バイオエンブラ等の素材開発に向けた検討

令和6年度に引き続き、種々のモノマーを用いて重合反応を検討したところ、ポリオール系モノマーの共重合品1種、直鎖アルキル系モノマーの共重合品1種、計2種のポリマーを新たに開発することができた。いずれのポリマーもバイオ化度や耐熱性に関しては十分なものであった。特に前者は特筆すべき耐薬品性を備えていた。また、本2種類の共重合品の機械物性を調べた結果、DURABIO™現行グレード同程度の耐衝撃性を備えていることが判明した。耐衝撃性は自動車素材に必要不可欠な物性であるため、自動車の内装用途への応用が強く期待される。特にポリオール系モノマー共重合品は、非常に優れた耐薬品性を示すことが明らかとなったため、内装材の中でも人の手が良く触れる部材へ適用できる。また、直鎖アルキル系モノマーの共重合品は高い透明性とバイオ化度を活かし、自動車で使用されている石化由来材料の代替材としての可能性を秘めている。

令和8年度は、令和7年度に成果が得られた樹脂を実際に成型加工することで、自動車に使用可能な部材の製造可能性を検証する。

5.1.3 自動車用途プラスチックの環境配慮設計に向けた検討

自動車部品のスプレー塗装を剥離可能な加飾フィルムに代替する「塗装レス化」技術を開発した。この成果は、塗装工程における脱炭素化と、廃車時にフィルムを剥がすことでプラスチックのリサイクル性（易解体性）を高めるという、環境配慮設計の推進につながるものである。

主な成果として、まず加飾フィルムに最適なバイオマス由来の熱可塑性ポリウレタン（TPU）の分子設計と製膜技術を確立した。あわせて、フィルムと被着体を速やかに分離させるための「易剥離接着技術」や、リサイクルを阻害しない無機顔料等を用いたインクの開発も進めた。性能評価では、促進耐候試験において、加飾フィルムは従来のスプレー塗装と同等の変色度（ ΔE ）にとどまり、目標値をクリアした。特に光沢保持率については、塗装品の92.2%に対しフィルム仕様は99.4%と上回り、高い表面品質を維持できることが検証された。また、紫外線や湿熱環境下でもクラックや端部の剥離といった異常は見られず、外装部品としての高い信頼性が確認された。立体成形性の検証では、リアスポイラーを想定した延伸倍率の高いモデル形状で試作を行い、複雑な形状にも対応可能な成形性を確認した。

塗装工程における脱炭素化と廃車時にフィルムを剥がすことを可能にしたことで、環境負荷低減と意匠性を両立するバイオマス加飾フィルムの基本設計が構築された。令和8年度は、社会実装に向けて実際の製品スケールへの大型化及び限界性能の見極めを進める。

5.2 長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発（事業2）

5.2.1 自動車用途バイオマスプラスチックの解体・判別技術の開発

廃自動車（ELV）由来のプラスチック、特に今後普及が期待されるバイオマスプラスチックの価値化を目指したプラスチック部品回収技術について検証した。具体的には主にPP材を対象に、解体現場における効率的な回収システムの構築と、さらに回収効率を向上するための部品設計（易リサイクル設計）のニーズ整理を行った。

廃自動車の解体性を向上させるため、精緻解体を一次手解体と一次ニブラ解体の2業者で3台ずつ、計6台追加実施し、その回収時間や回収量を調べた。その結果から、比較的短時間に一定の回収量が期待できるように回収候補パーツとその一次解体方法を選択し、同型式の車種で3回、その組合せに

よる組合せ解体を実施した。すべて手解体と比べてニブラの導入は一次解体時間を大幅に短縮させる一方、二次解体を合わせた総作業時間はあまり短縮されなかった。このため、ドアトリムやインストルメントパネル等の複雑な部品の回収においては、二次解体にもニブラを活用するなどの手法改善や、ニブラ作業の習熟が不可欠であると結論付けられた。

また、部品回収を容易にする設計改善案として、材料コードのわかりやすい明示、ダッシュボードやセンターコンソールのハーネス等付随有無による分離構造化、吸音材の接着方法の変更（点付けへの移行）などを具体的に提案している。自動車樹脂部品の今後のバイオマスプラスチック化については、まずは再生材が利用しにくいエアバッグカバー等の安全部品からバイオマス化を始め、次に回収困難な部品へと普及を広げ、最終的には全量変換を目指す段階的な移行が望ましいと考えられる。

5.2.2 自動車用途バイオマスプラスチックのケミカルリサイクル技術の多様化

バイオ PC (DURABIO™) に関しては、実使用環境を模した UV 照射後も顕著な構造・分子量変化は見られず、簡易な蒸留と晶析を組み合わせることで、モノマー成分であるイソソルバイド (ISB) を単離できる可能性を見出した。また、ハンセン溶解度パラメーター (HSP) を活用して、溶解・再沈殿法によるポリマー回収に適した良溶媒・貧溶媒の選定基準を確立した。

エポキシ樹脂については、使用済みプリント基板から樹脂成分を可溶化し、フェノール系架橋剤等の有用成分を回収できる可能性が示された。ポリウレタンでは、シートクッションや加飾フィルム等の廃材から、解重合によりジアミンやポリプロピレングリコール (PPG) を取得・単離することに成功した。

今後の課題として、回収成分の精製手法の簡便化やコスト低減、および再生樹脂を用いた部材の自動車用途への適性検証が挙げられた。

5.2.3 バイオマスプラスチックの由来や素材の検出技術の開発

自動車解体現場での活用を目指し、プラスチック素材の高度判別技術およびバイオマス度（バイオマス含有率）計測装置の開発に取り組んだ。

従来の近赤外線センサーでは判別が困難だった「黒色プラスチック」の識別技術を確立した。中赤外線 (MIR) を用いた FT-IR 方式を検討し、反射測定によって黒色の PP、ABS、PC 等の樹脂種を高精度に識別できるスペクトルの取得に成功した。さらに、装置の小型化・低コスト化に向けて、特定のレーザー波長のみを用いる波長固定方式の有用性についても検証を進める。

バイオマス度の計測に関しては、高価で時間のかかる外部分析 (AMS 等) の代替として、現場で運用可能な CRDS 装置が最有力な候補として、装置仕様決定に向けた要件を整理した。実際の解体現場へのヒアリングに基づき、装置の設置面積 (1200×1800mm 程度) や、前処理を含めた測定時間 (2 時間以内) といった具体的な仕様案を策定できた。また、リサイクル材の価値を左右する「におい」の原因となる不純物解析についても、TD-GCMS を用いて実施し、バイオマス度計測と不純物解析を一連の工程で行う複合計測の可能性を示した。

5.3 脱炭素化資源保全時代のライフサイクル設計の在り方検討（事業3）

5.3.1 バイオマスプラスチック国産原料開発

国内で使用されるバイオマスプラスチック原料は、これまで海外原料に依存してきたが、資源・経済安全保障の観点から国産化の検討意義は大きいと考えられる。日本の気候帯で栽培実績があるサトウキビ、トウモロコシ、ソルガム、ナタネ等の資源作物について、単収やコスト、環境負荷などの多面的な評価を通じて、既存の農業システムに内包できる実現性の高い栽培モデルを検討した。現状、PPのバイオマス化は、油糧原料ルートによる検討が先行しているが、糖糧原料ルートによるバイオエタノール製造の取り組みは非常に限られている。また、国内の農地面積や農業従事者が減少傾向にあるため、既存の栽培体系にバイオマス原料生産を組み込み、地域事情や肥料確保を考慮した最適な作物選定が必要である。具体的な提案を目指して、岡山県笠岡地域をモデルに牛ふん由来のバイオガス発電から生じる消化液を肥料として活用する耕畜・肥料資源循環システムの検討を行った。技術検証では、糖糧作物の搾汁液から精製したエタノールが化学品原料として利用可能であることを確認している。また、既往研究のレビューからも、バイオエタノール中の不純物がポリマー原料としての品質に有意な影響を与えないことが示されている。令和8年度は、搾汁残渣の飼料利用など、さらなる収量増とコスト削減につながるシステムの検討を行い、より実現性の高い生産システムの提案に繋げる。

5.3.2 ライフサイクルに応じたバイオプラスチックのシステム開発

バイオ由来ポリプロピレン（バイオPP）を中心としたプラスチックの、使用から廃棄・リサイクルに至るライフサイクル全体を通じた性能および耐久性を評価した。従来の石油由来PPと2種類のバイオPPを対象に、初期物性の差異とその要因、及び紫外線（UV）による劣化メカニズムを統合的に分析した。主な成果として、劣化の進行を説明可能なミクロ的指標（分子量変化、結晶化度、FT-IRによるカルボニル指数等）を抽出した。分析の結果、UV曝露によって分子鎖の切断や結晶構造の変化、親水化が進み、それに伴い引張・衝撃強度といったマクロな機械特性が低下するプロセスが明確になった。これらの指標を用いることで、初期物性の差と劣化に伴う物性変化を客観的に評価する体系を構築した。

本検討で得られた評価指標と知見は、バイオPPの適切な用途選定や製品設計、さらには劣化度に応じた最適ナリサイクル・処理条件の提示に資するものであり、自動車部品等の高耐久性が求められる分野において、バイオマスプラスチックを導入する上で重要な技術基盤になると考えられる。

5.3.3 ライフサイクル観点から見た実証事業展開

自動車のプラスチック素材（特にPPやポリカーボネート）を対象に、脱炭素化と資源循環を両立するライフサイクルモデルを検証した。令和7年度の改良モデルでは、2050年までの動的フローを定量化し、新たに新車輸入や部品の再使用、解体手法の差異を分析に組み込んだ。再生PPの供給ポテンシャルは2030年時点で年間14.5万～18.5万tと試算されたが、将来的な車両台数の減少に伴い、2050年には約30%減少する見込みである。GHG削減については、解体工程での部品回収により37万t、さらに回収されずASRとなる部品へのバイオPP導入により8.5万t、合わせて年間45万t-CO₂eqの大幅な削減効果が期待できる。また、バイオマス加飾フィルムによる塗装レス化技術も、従来塗装に代わる有効な環境負荷低減策として暫定的に示された。

令和8年度は、本実証で得られた情報も用いて自動車のPP素材・PC素材等の動的フローモデルの改良を行うとともに、LCAのためのプロセスモデルの改良を行い、両者を組み合わせることでプロジェクト全体としてのGHG削減効果を算定する。

参考資料

1. 実施記録

本事業における検討を行うために、以下のとおり検討会・現地視察会を開催した。

表 1 検討会・現地視察会実施記録

会議名	日時	開催場所	開催内容
第 1 回検討会	7 月 22 日 10:00~12:00	Zoom 会議室	(1) 事業概要と令和 7 年度の計画概要 1) 事業計画と令和 7 年度企画 2) 令和 7 年度事業における検討内容の見直しについて (2) 令和 7 年度計画及び進捗状況について 1) 長寿命用途バイオマスプラスチックの導入拡大に向けた素材開発（事業 1） ① 自動車用途プラスチック（バイオ PP 等）の実装促進に向けた検討 ② 自動車用途プラスチック（バイオエンブラ等）の素材開発に向けた検討 ③ 自動車用途プラスチックの環境配慮設計に向けた検討 2) 長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発（事業 2） ④ 自動車用途バイオマスプラスチックの解体・判別技術の開発 ⑤ バイオマスプラスチックの由来や素材の検出技術の開発 ⑥ 自動車用途バイオマスプラスチックのケミカルリサイクル技術の多様化 3) 脱炭素化資源保全時代のライフサイクル設計の在り方検討（事業 3） ⑦ バイオマスプラスチック国産原料開発 ⑧ ライフサイクルに応じた生分解性プラスチックのシステム開発 ⑨ ライフサイクル観点から見た実証事業展開
第 2 回検討会及び現地視察会	10 月 23 日 13:00~17:30	名古屋大学 会議室及び Zoom 会議室	(1) 事業概要と R7 年度進捗状況のまとめ (2) 各事業の R7 年度の進捗状況について 1) 長寿命用途バイオマスプラスチックの導入拡大に向けた素材開発（事業 1） 自動車用途プラスチック（バイオ PP 等）の実装促進に向けた検討 ① 自動車用途プラスチック（バイオエンブラ等）の素材開発に向けた検討 ② 自動車用途プラスチックの環境配慮設計に向けた検討 2) 長寿命用途バイオマスプラスチックのリサイクル技術開発（事業 2） ③ 自動車用途バイオマスプラスチックの解体・判別技術の開発 ④ バイオマスプラスチックの由来や素材の検出技術の開発 ⑤ 自動車用途バイオマスプラスチックのケミカ

会議名	日時	開催場所	開催内容
			ルリサイクル技術の多様化 3) 脱炭素化資源保全時代のライフサイクル設計の在り方検討（事業3） ⑥ バイオマスプラスチック国産原料開発 ⑦ ライフサイクルに応じたバイオプラスチックのシステム開発 ⑧ ライフサイクルの観点から見た実証事業 現地視察
第3回検討会	1月20日 9:30~12:00	(公財)京都高度技術研究所会議室及び Zoom 会議室	(1) 各事業の R7 年度進捗状況について 1) 自動車用途プラスチックのリサイクル技術開発 ① 自動車用途バイオマスプラスチックの解体技術の開発 ② バイオマスプラスチックの素材の検出技術の開発 ③ バイオマスプラスチックの由来の検出技術の開発 ④ 自動車用途バイオマスプラスチックのケミカルリサイクル技術の多様化 2) 加飾フィルムを用いた自動車塗装レス化による環境負荷低減の検討 ⑤ 自動車用途プラスチックの環境配慮設計に向けた検討 ⑥ 塗装レス化の GHG 削減効果試算 3) 自動車用途プラスチックのバイオマス化 ⑦ バイオ PP の自動用プラスチックへの実装に向けた検討 ⑧ バイオ PP の自動車内外装部品への適用性評価 ⑨ バイオ PP の UV 照射前後の物性評価と自動車プラスチック部品向け材料の試作検討 ⑩ バイオ PP のミクロ的指標による評価と劣化に伴う指標の変化 ⑪ 自動車内外装部品に向けたバイオポリカーボネートの開発 4) 国産原料開発とライフサイクルでのシステム解析 ⑫ バイオマスプラスチック国産原料生産システム開発 ⑬ 実証事業の評価対象システム解析

また、関係者間での情報共有及び進捗管理等を行うため、以下に示す日程でワーキンググループ会合を実施した。

表 2 ワーキンググループ会合等実施記録

日時	開催場所	開催内容
4月15日 13:00-15:00	WARC	廃自動車解体試験計画打合せ
4月18日 9時~10時30分	ASTEM	検証実施計画打合せ
5月13日 10時~17時	WARC	廃自動車解体試験立会
5月21日 11時~12時	Zoomによる会議	共同実施契約に関する打合せ
6月27日 15時~16時30分	豊田通商	バイオ PP 調達に関する打合せ
7月3日 16時~17時30分	ASTEM	バイオ PP 検証計画打合せ
7月28日 17時30分~18時	Zoomによる会議	バイオ PP 検証計画打合せ
8月4日 14時~15時	Zoomによる会議	バイオ PP 検証計画打合せ
8月5日 10時~17時	KMI	廃自動車解体試験立会
8月6日 10時~11時30分	いその	バイオ PP 検証計画打合せ
8月27日 14時~16時	名古屋大学	塗装レス化 LCA 検討打合せ
9月10日 10時30分~17時	KMI	廃自動車解体試験立会
9月26日 13時30分~15時	ASTEM	国産原料化に関する計画打合せ
10月9日 13時~14時30分	ASTEM	バイオ PP 試験結果打合せ
10月19日 13時~15時	笠岡	国産原料化に関する現地打合せ
11月5日 15時~16時30分	いその	バイオ PP 試験結果打合せ
11月6日 9時~10時	ASTEM	バイオ PP 試験結果打合せ
11月6日 15時~16時	Zoomによる会議	バイオ PP 試験結果打合せ
11月28日 15時~16時	AP 新橋	検証方針確認打合せ
12月23日 10時~17時	WARC	廃自動車解体試験立会
2月9日 13時15分~14時	AP 東京丸の内	検証方針確認打合せ

注) ASTEM：公益財団法人京都高度技術研究所会議室

WARC：西日本オートリサイクル（株）会議室&現場

KMI：KMI（株）会議室&現場

豊田通商：豊田通商（株）名古屋本社 会議室

いその：いその（株）稲沢事業所 会議室

名古屋大学：豊田合成 名古屋大学 TOIC 会議室

笠岡：かぶとバイオファーム発電所

AP 新橋：AP 新橋貸会議室

AP 東京丸の内：AP 東京丸の内貸会議室

2. 成果（特許、論文、学会発表等）

2.1 特許権

出願日	出願番号	発明の名称	出願人
令和7年4月22日	特願 2025-070866	素材判別装置及び素材判別モジュール	(株) リコー

2.2 学会発表

発表日	学会	タイトル	発表者
令和7年9月	一般社団法人廃棄物資源循環学会	解体方法別使用済自動車のプラスチック回収量	京都大学 小坂彰 他
令和7年9月	一般社団法人廃棄物資源循環学会	解体調査に基づく使用済自動車のプラスチック発生量推定	京都大学 矢野順也 他
令和7年9月	公益社団法人日本水環境学会	生分解性プラ資材の劣化に伴う機械的、物理化学的特性の変化と嫌気性生分解性との関係	国立環境研究所 小林 拓朗 他

2.3 その他

特になし