

令和元年度環境省委託業務

令和元年度脱炭素社会を支えるプラスチック
等資源循環システム構築実証事業

(パルプ、バイオプラスチックを用いた部品適用検討)

成果報告書

令和2年3月

トヨタ車体株式会社

和元年度脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業 (パルプ、バイオプラスチックを用いた部品適用検討) 委託業務

概要

自動車向け吸音材料を、非石油由来でリサイクルも可能な材料へ置換することを目的とする。パルプモールドやバイオプラスチックを用いて吸音機能のある自動車部品の試作を行い、性能評価とライフサイクルアセスメント (LCA) の検証を行う。今年度は4つのことを行った。1つ目は、自動車向けパルプ、バイオプラスチック材料の作製と性能評価を行った。2つ目は、パルプ、バイオプラスチック材料の工程内リサイクル性の検討を行った。3つ目は、パルプ、バイオプラスチック材料の LCA 評価を行った。4つ目は最新の自動車部品やリサイクル技術の調査を行い、製品化のためのターゲット部品を選定した。結果を以下に示す。

パルプ、バイオプラスチック材料の物性試験評価の結果、自動車部品として吸音性に優れ部品の軽量化に寄与できる材料であることが分かった。

パルプ、バイオプラスチック材料の工程内リサイクル性を検証した結果、リサイクル可能な回数を明らかにすることができた。

パルプ、バイオプラスチック材料を用いた部品製造時までの LCA を行い、一般に自動車部品に用いられる従来材と比較した結果、CO₂排出削減効果があることが分かった。

最新の自動車部品や、リサイクル技術の調査から、パルプ、バイオプラスチック材料を用いて製品化するためのターゲット部品が具体的に選定できた。

Summary

The project aims to replace a sound-absorbing part for an automobile with non-petroleum and a recyclable material. A sound absorbing material in an automotive part was produced on the prototype stage and evaluated mechanical properties and environment impacts on the use of Life Cycle Assessment (LCA). In this year, four projects have been summarized. First, the test samples using pulps and bioplastics were prepared and evaluated for understanding mechanical properties. Second, the recyclability of pulp and bioplastic material in the manufacturing process was evaluated. Third, LCA of pulp and bioplastics materials was executed. Fourth, the target component to be commercialized using pulp and bioplastic materials was selected through investigation of latest automotive components and recycle techniques. Results are indicated as below.

Mechanical properties of pulp and bioplastic materials showed the possibility of being components to contribute to sound-absorbing and lightness. The number of recycle times of pulp and bioplastics were clarified through the test of recyclability in the manufacturing process. As for environmental impact in the lifecycle of a product from its manufacture through to manufacture components, pulp and bioplastic materials had a high carbon dioxide (CO₂) discharge reduction effect in comparison with conventional materials. The target component was investigated and selected based on the survey of latest automotive components and recycle techniques.

目次

I. 背景・目的	6
II. 実施項目と体制	8
III. 実施内容	9
1 パルプモールドを用いた部品設計製造評価	9
1. 1 基本物性評価	10
1. 1. 1 比重	11
1. 1. 2 引張降伏強さ	11
1. 1. 3 引張破壊ひずみ	13
1. 1. 4 曲げ弾性率	14
1. 1. 5 曲げ強度	15
1. 1. 6 比剛性向上検討のまとめ	16
1. 1. 7 燃焼性	17
1. 1. 8 VOC におい フォギング性試験	20
1. 1. 9 耐湿老化性	25
1. 1. 10 熱老化性	29
1. 1. 11 耐湿、耐熱老化性試験のまとめ	33
1. 2 吸音性能評価	34
1. 2. 1 単品評価	34
1. 2. 2 車両を想定した吸音性評価	42
1. 2. 3 吸音性のまとめ	43
1. 3 リサイクル性評価	44
1. 3. 1 リサイクル検討水準	45
1. 3. 2 検討条件	45
1. 3. 3 引張試験	46
1. 3. 4 曲げ試験	52
1. 3. 5 パルプの繊維形状、構造の変化	59
1. 3. 6 リサイクル性検討の結果まとめ	64
1. 4 パルプモールド検討結果のまとめ	65
2 バイオプラスチック部品設計製造評価	66
2. 1 基本物性評価	66
2. 1. 1 PLA 耐熱性向上検討	73
2. 2 燃焼性	75
2. 3 揮発性有機化合物・におい・フォギング	80

2. 3. 1	VOC 試験	80
2. 3. 2	におい試験.....	84
2. 3. 3	フォギング試験	90
2. 4	耐湿熱老化試験	93
2. 4. 1	試験方法	93
2. 4. 2	試験結果	93
2. 4. 3	湿熱老化試験の強度低下対策	95
2. 5	耐光性試験.....	96
2. 5. 1	成形体作製.....	96
2. 5. 2	耐光性試験.....	96
2. 5. 3	試験結果	96
2. 6	耐衝撃特性評価	98
2. 7	工程内リサイクル性の検証.....	108
2. 7. 1	リサイクル回数と物性	109
2. 7. 2	物性変化	111
2. 7. 3	破砕物の形状、成形体外観	117
2. 8	バイオプラスチック検討まとめ	125
3	CO ₂ 排出削減効果の推計.....	126
3. 1	パルプモールドを用いた自動車部品製造時までの CO ₂ 排出削減効果の推計 ...	126
3. 1. 1	製品性能（評価対象製品・ベースライン・機能単位の設定）	126
3. 1. 2	部品生産までの CO ₂ 排出量比較と削減見込み.....	129
3. 2	バイオプラスチックを用いた自動車部品製造時までの CO ₂ 排出削減効果の推計	135
3. 2. 1	製品性能（評価対象製品・ベースライン・機能単位の設定）	136
3. 2. 2	フロー図（システム境界の設定）	137
3. 2. 3	部品生産までの CO ₂ 排出量比較と削減見込み.....	141
3. 3	CO ₂ 排出削減効果まとめ.....	154
4	リサイクル技術動向とパルプ・バイオプラスチック部品適用動向調査.....	162
4. 1	リサイクル技術動向	163
4. 1. 1	自動車リサイクルの現状と課題.....	164
4. 1. 2	リサイクル技術動向調査（ドイツ K 展）	177
4. 2	ターゲット部品の選定	185
4. 2. 1	自動車部品の動向.....	185
4. 2. 2	パルプの活用	186
4. 2. 3	バイオプラスチック活用.....	189
4. 2. 4	製品化のためのターゲット部品選定	191

4. 2. 5	先行試作検討	193
4. 2. 6	製品化ターゲット部品選定まとめ	194
5	まとめ	195

I. 背景・目的

現在世界の石油由来プラスチックの生産量は年々増える傾向にある。限りある資源のため、図 I.1 に示すように持続可能な再生可能資源への代替ならびに廃プラスチック等の資源循環システムの構築が求められている。

我が国のプラスチック廃棄物は約 940 万トン/年にのぼり、リサイクル率は 24.8%、リサイクル率に熱回収率を足すと 81.6% (2013 年実績)^{注1)} となっている。すなわち焼却による熱回収 (サーマルリサイクル率) が大半を占めている。使用済み自動車に使用されるプラスチック量は約 33 万トン/年あり、その大半はポリプロピレン (PP) である。22 万トン/年^{注1)} が自動車シュレッダーダスト (ASR : Automobile Shredder Residue) になる。ASR からの選別により PP 等の回収が一部行われているがそうした例外を除き ASR のほとんどが熱回収 (サーマルリサイクル) として処理されている。

本実証事業では、図 I.2 に示すように弊社の技術を活かし非石油由来であるパルプやバイオプラスチックを用いた自動車部品の普及促進を行うとともに、これらの部品のリサイクル手法も確立し資源循環社会に貢献する事を目的とする。パルプについては、プラスチックで作られている吸音材の代替材として部品化検討を行う。バイオプラスチックについては、植物繊維とのブレンドにより、耐熱性等を克服し車両適用できる材料設計を検討する。また、リサイクル性の検討、LCAを実施する。

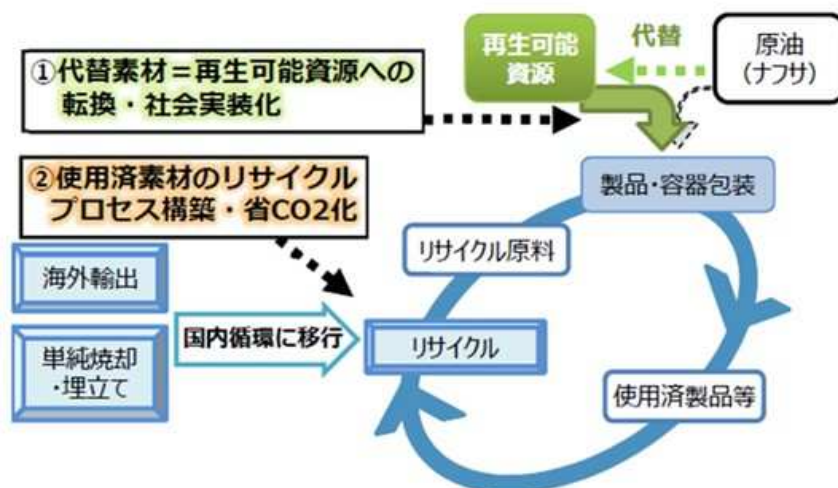


図 I.1 本実証事業の概念 ^{注1)}

注1) : プラスチックを取り巻く国内外の状況 資料2平成30年8月 環境省による

代替え再生可能資源への転換社会実装化

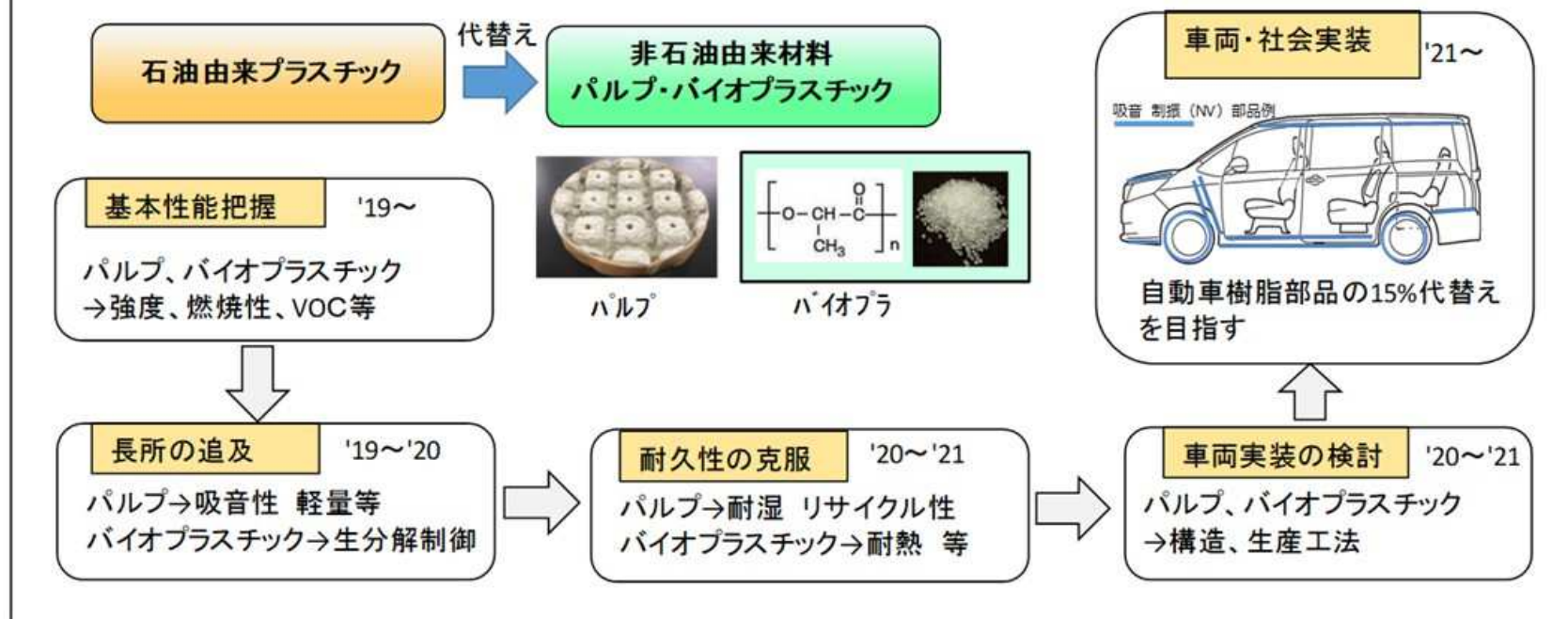


図 I.2 本実証事業の概要

Ⅱ．実施項目と体制

今年度の実施項目を以下に示す

1) パルプを用いた部品設計製造評価

パルプを主成分として成形が可能なパルプモールド工法に着目した、樹脂部品の代替えを考え、紙力剤等の添加剤を最適化することで剛性を高める配合処方検討を行い、開発パルプ材の基本性能物性、吸音性、リサイクル性について評価を実施した。

2) バイオプラスチック部品設計製造評価

バイオプラスチック材料として PLA バイオ PE バイオ PA11 を選定しパルプを補強材として用いる検討を行い、開発材料の基本性能物性、リサイクル性について評価を実施した。

3) CO₂排出削減効果の推計

パルプモールド、バイオプラスチック材料の部品製造までの CO₂ 排出量を算出し、従来の PET 繊維製吸音部品や PP 樹脂射出成形部品に対して CO₂ 排出量を比較した。

4) リサイクル技術動向、パルプ・バイオプラスチック部品適用動向の調査

ドイツ K2019 展にてリサイクル技術やパルプ、バイオプラスチック材料を用いた自動車部品に関する調査を行った。

本事業の実施体制を図Ⅱ.1に示す



図Ⅱ.1 実施体制

Ⅲ. 実施内容

1 パルプモールドを用いた部品設計製造評価

海洋汚染問題等の脱プラスチックニーズの高まりのなか、紙、パルプ材料に我々は着目した。パルプモールドは比重が約 0.3 と比較的軽く非石油由来の再生可能材料であり、その形状を工夫することにより特定の周波数を吸音する特性があることを我々は見出した。パルプを使った部品提案を目指すにあたり、今使われている PP 材料の比剛性 ($E^{1/3} / \rho$) との比較を行った。検討の結果、表 1.1 に示すようにパルプモールドは PP 系の樹脂部品に対し比剛性は高いが、PP 系材料と同じ剛性を確保するためには、板厚を現在の部品より厚く約 2 倍板厚にする必要がある。しかしこの厚みのパルプモールドは乾燥工程の生産性が悪くなる。そこで今回、紙力剤等の添加剤を用いることで比剛性を高める検討を行った。パルプモールドを使い軽量化を達成するためには、比重は低いままで（比重 0.3）剛性を高める必要がある。そこで紙力剤等の添加剤の最適化を行い比剛性の向上を検討した。試験品水準は表 1.2 に示す。評価は自動車部品を想定した基本物性、パルプの長所性能としての吸音性能評価、そして循環可能な材料開発のためリサイクル性評価を実施した。

表 1.1 現状パルプモールドの比剛性、板厚からみる課題

水準		比重 ρ	曲げ弾性率 E	比剛性 $E^{1/3} / \rho$	同剛性となる 必要板厚(t) 注1)	1m ² の板 必要重量	軽量化率
		g/cm ³	(MPa)	(MPa) ^(1/3) / ρ	mm	kg	%
従来品	PP-タルク20%材料	1.05	1800	11.6	2.00	2.10	—
1-1	標準パルプモールド	0.323	210	18.4	4.09	1.32	37

注1: PP-タルク20%材料(板厚2.0mm)を基準とする

表 1.2 パルプモールド試験品水準

	試験品水準
1-1	標準パルプモールド
1-2	紙力剤処方あり（比剛性向上ねらい）

1. 1 基本物性評価

基本物性評価項目として、比重、引張降伏強さ、引張破壊ひずみ、曲げ強度、曲げ弾性率を実施した。測定方法を下記に示す。

引張降伏強さ (50mm/min) n=3 IS0527-1 に準ずる

引張破壊ひずみ (50mm/min) n=3 IS0527-1 に準ずる

曲げ強度 (2.0mm/min) n=3 IS0178 に準ずる

曲げ弾性率 (2.0mm/min) n=3 IS0178 に準ずる

内装部品適用を想定した評価項目としては、燃焼性、揮発性有機化合物 (volatile organic compounds ; VOC)、耐湿老化性、耐熱老化性を実施した。

1. 1. 1 比重

今回作成したパルプモールドの比重測定結果を表 1. 1. 1. 1 に示す、水準 1-1 に対し水準 1-2 は約 1.04 倍の比重となり 4%程度増加した。これは 1-2 に処方した紙力剤の影響と考えられる。

表 1. 1. 1. 1 パルプモールド比重

	比重					
n	1	2	3	4	5	平均値
1-1	0.351	0.363	0.362	—	—	0.359
1-2	0.371	0.355	0.378	0.384	0.383	0.374

1. 1. 2 引張降伏強さ

引張降伏強さ試験の結果を表 1. 1. 2. 2、試験サンプルを図 1. 1. 2. 1、サンプル寸法を表 1. 1. 2. 1、破壊形態を表 1. 1. 2. 3 に示す、試験方法は ISO527-1 に準じ試験を行った。紙力剤処方最適化で引張降伏強さが約 2.2 倍向上した。



図 1. 1. 2. 1 引張降伏強さ試験サンプル

表 1. 1. 2. 1 引張降伏強さ試験サンプルの寸法

水準	n	厚み(mm)				幅 (mm)	重量 (g)	測定条件
		1	2	3	平均			
1-1	1	3.11	3.32	2.98	3.14	9.78	2.74	つかみ具間距離: 115mm 速度:50mm/min ロードセル:100kg
	2	2.91	2.98	3.21	3.03	9.69	2.71	
	3	3.22	2.90	3.24	3.12	9.72	2.71	
1-2	1	2.85	2.78	2.84	2.82	9.74	2.52	
	2	2.83	2.74	2.99	2.85	9.78	2.53	
	3	2.71	3.02	2.93	2.89	9.69	2.53	

表 1. 1. 2. 2 引張降伏強さ試験の結果

内容	引張降伏強さ(MPa)			
n	1	2	3	平均値
1-1	2.60	2.67	2.68	2.65
1-2	5.86	5.86	5.82	5.85

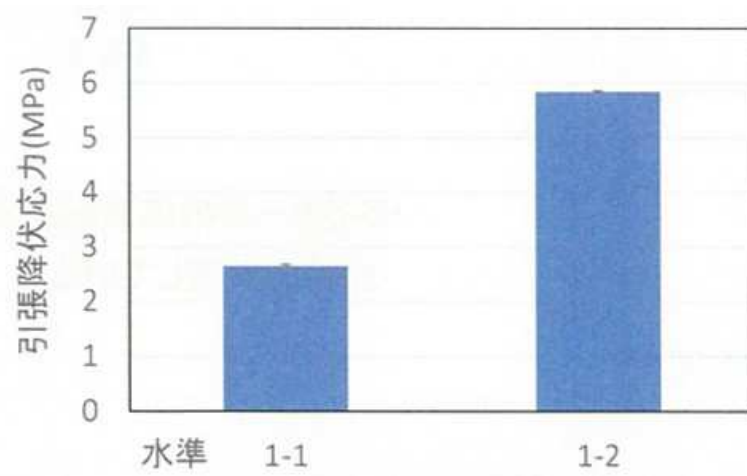


図 1. 1. 2. 2 引張降伏強さ試験の結果

表 1. 1. 2. 3 引張降伏強さ試験後のサンプル破壊形態

水準	試験前	試験後
1-1 処方なし		
1-2 紙力剤 処方有り		

1. 1. 3 引張破壊ひずみ

引張破壊ひずみ試験の結果を表 1. 1. 3. 1 図 1. 1. 3. 1 に示す。試験方法は ISO527-1 に準じ試験を行った。紙力剤処方最適化により約 1. 4 倍引張破壊ひずみが向上した。

表 1. 1. 3. 1 引張破壊ひずみ (%)

内容	引張破壊ひずみ (%)				標準偏差
	1	2	3	平均値	
1-1	1.43	1.38	1.14	1.32	0.152
1-2	1.76	1.72	1.89	1.79	0.091

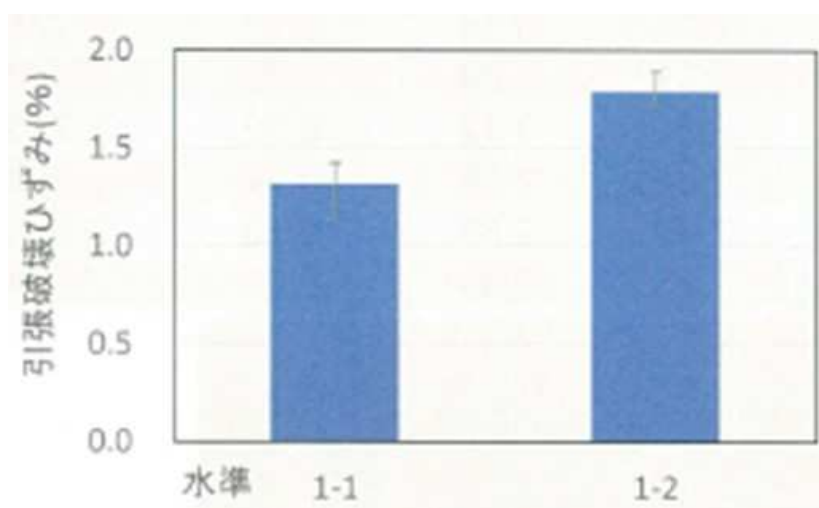


図 1. 1. 3. 1 引張破壊ひずみ (%)

1. 1. 4 曲げ弾性率

曲げ弾性率試験の結果を表 1. 1. 4. 2、図 1. 1. 4. 2 に、試験サンプルの寸法と重量を表 1. 1. 4. 1 に示す、試験方法は ISO178 に準じ試験を行った。紙力剤処方を最適化することにより紙力剤なしのサンプルに比べ約 1.8 倍引張強度の向上できた。表 1. 1. 4. 1 に示すようにパルプモールドの板厚は 1mm 弱の凹凸を持っており、曲げ弾性率はその板厚のバラツキに影響されたと考える。

表 1. 1. 4. 1 曲げ弾性率試験サンプル寸法と重量

水準	n	厚み(mm)				幅 (mm)	重量 (g)	測定条件
		1	2	3	平均			
1-1	1	3.52	3.13	2.70	3.12	10.0	0.876	支点間距離: 48mm 速度: 2.0mm/min ロードセル: 100kg
	2	2.90	2.84	3.13	2.96	10.0	0.863	
	3	2.93	2.80	3.30	3.01	10.0	0.874	
1-2	1	2.66	2.89	2.72	2.76	9.76	0.789	
	2	2.74	3.10	2.69	2.84	10.1	0.809	
	3	2.54	2.87	2.60	2.67	9.93	0.806	
	4	2.58	2.69	2.50	2.59	9.95	0.784	
	5	2.48	2.65	2.68	2.60	9.79	0.781	

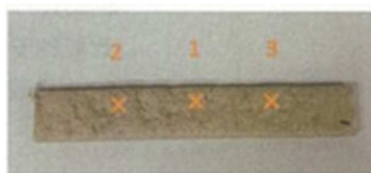


図 1. 1. 4. 1 曲げ弾性率試験サンプル

表 1. 1. 4. 2 曲げ弾性率試験結果

内容	曲げ弾性率(GPa)					
n	1	2	3	4	5	平均値
1-1	0.26	0.27	0.30	—	—	0.28
1-2	0.49	0.47	0.41	0.55	0.59	0.50

曲げ弾性率(2.0mm/min) n=3 ISO178に準ずる

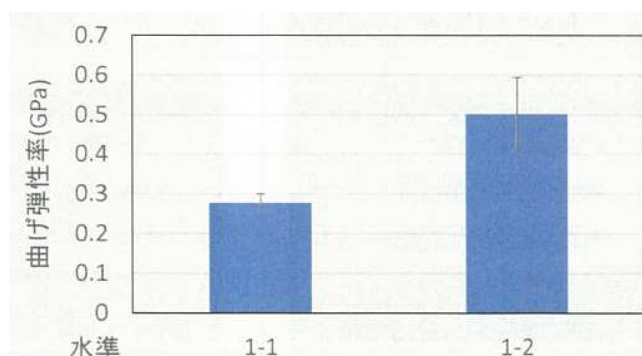


図 1. 1. 4. 2 曲げ弾性率試験結果

1. 1. 5 曲げ強度

曲げ強度の試験結果を表 1. 1. 5. 1、図 1. 1. 5. 1 に、試験サンプルを表 1. 1. 5. 2 に示す、試験方法は ISO178 に準じ試験を行った。紙力剤のないものに比べ紙力剤処方を最適化することで曲げ強度が約 1. 4 倍向上した。

表 1. 1. 5. 1 曲げ強度結果

内容	曲げ強度(MPa)					
n	1	2	3	4	5	平均値
1-1	3.37	3.34	3.46	—	—	3.39
1-2	4.63	4.75	4.05	5.39	4.86	4.74

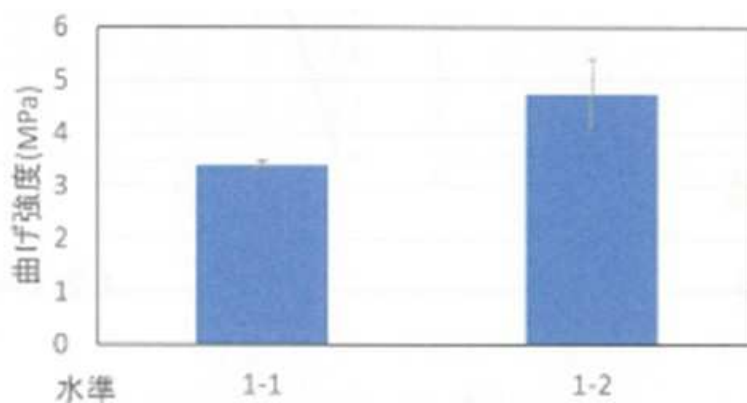


図 1. 1. 5. 1 曲げ強度結果

表 1. 1. 5. 2 曲げ強度試験サンプル

水準	試験前	試験後
1-1 処方なし		
1-2 紙力剤 処方有り		

1. 1. 6 比剛性向上検討のまとめ

紙力剤処方の最適化で、表 1. 1. 6. 1、表 1. 1. 6. 2 に示すように、パルプモウルの比剛性を目標の PP 対比で約 2 倍に向上させることができた。このことは例えば板厚 2mm の PP 樹脂製部品をパルプモールドで置き換えをすると 3mm の板厚で同等の剛性が得られ、質量は半分に抑えられることが分かった。

表 1. 1. 6. 1 比剛性向上検討結果

試験	試験内容	結果
引張試験	引張降伏強さ	紙力剤処方ありは処方なしに対して2.2倍に向上
	引張破壊ひずみ	紙力剤処方ありは処方なしに対して1.4倍向上
曲げ試験	曲げ弾性率	紙力剤処方ありは処方なしに対して1.8倍に向上
	曲げ強度	紙力剤処方ありは処方なしに対して1.4倍に向上

表 1. 1. 6. 2 比剛性の表（紙力剤水準入り）

水準		比重 ρ	曲げ弾性率 E	比剛性 $E^{1/3}/\rho$	同剛性となる 必要板厚(t) 注1)	1m ² の板 必要重量	軽量化率
		g/cm ³	(MPa)	(MPa) ^{1/3} /ρ	mm	kg	%
従来品	PP-タルク20%材料	1.05	1800	11.6	2.00	2.10	—
1-1	標準ハルファミルト*	0.323	210	18.4	4.09	1.32	37
1-2	紙力剤処方あり (比剛性向上)	0.358	570	23.2	2.93	1.05	50

注1：PP-タルク20%材料（板厚2.0mm）を基準とする

1. 1. 7 燃焼性

自動車部品は、大きく外装部品と内装部品に分けられるが、それぞれ求められる特性が異なる。内装部品の燃焼特性を判断する規格として、米国連邦自動車安全規格の一つである自動車内装材の燃焼性規格(Federal Motor Vehicle safety Standards No. 302 (FMVSS302))が適用される。これは、内装材に火が触れた際の燃え広がりやすさを評価するための試験であり、材料に着火した後、炎が伝播する速度(燃焼速度)を測定する。本項では、パルプモールドを自動車内装材に適用することを想定し、FMVSS302に基づく燃焼試験を行った。

本試験には、1-1 標準パルプモールドと 1-2 紙力剤処方を施したパルプモールドを使用した。燃焼試験の条件を表 1. 1. 7. 1 に示す。350mm×100mm×2mm の FMVSS302 燃焼試験用試験体を作製した。試験体を水平に保持し、高さ 38mm の炎を 15 秒間接炎し、第一標線から第二標線間 254mm における燃焼速度により燃焼性の判定を行った。燃焼性試験の結果については試験片に着火しない、または燃焼距離 51mm 以内(且つ 60 秒以内)で自己消火する、または燃焼速度が 102mm/min 以下である場合、FMVSS302 に合格と判断した。

表 1.1.7.1 燃焼性試験方法

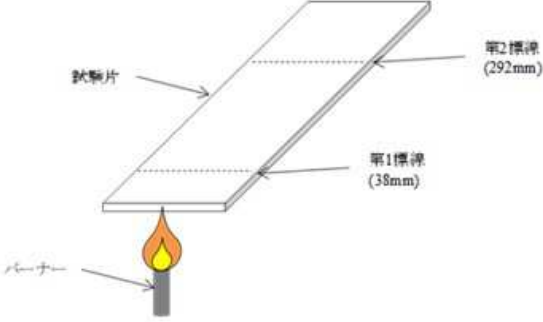
評価項目	規格	備考
燃焼試験	FMVSS No.302	試験環境：23±2℃、(50±5)%RH 仕様ガス：メタンガス 試験N数：3 <試験条件> 第一標線（38mm標線）から第二標線までの254mm区間（燃焼区間）での燃焼速度を計算 <評価判定> FMVSS No.302に規定されている「燃えない」、または「燃焼速度が102mm/min以下、または燃焼距離51mm以内（かつ60秒以内）で自己消火」の場合、適合と判定 

表 1.1.7.2 に試験結果を示す。すべての試験体において第 2 標線まで燃焼した。燃焼速度の最大値により FMVSS302 の判定を実施した。1-1 標準パルプモールド、1-2 紙力剤処方ありパルプモールドとも 102mm/min を大きく下回る燃焼速度を示し、FMVSS302 を合格した。

表 1.1.7.2 燃焼性試験結果

試験片	番号※	燃焼距離 (mm)	燃焼時間 (秒)	燃焼速度 (mm/分)	最大値 (mm/分)
1-1 標準パルプ モールド	1	254	393	39	39
	2	254	410	38	
	3	254	400	39	
	4	254	390	39	
	5	254	409	38	
1-2 紙力剤処方あり パルプモールド (比剛性向上 ねらい)	1	254	369	42	45
	2	254	371	41	
	3	254	392	39	
	4	254	351	44	
	5	254	345	45	

※ 試験片記載の番号を示す。

・備考

試験日：2019年10月15日

試験片の調湿条件：max 24℃～min 22℃，max 51%RH～min 49%RH，調湿時間 89 hr

燃焼性試験時の条件：max 25℃～min 22℃，max 54%RH～min 46%RH

1. 1. 8 VOC におい フォギング性試験

自動車部品に採用する際、においや揮発性有機化合物 (volatile organic compounds ; VOC) および、フォギング性といった揮発物に関する試験が必要になるため測定を行った。

1. 1. 8. 1 VOC 試験

厚生労働省の室内揮発物濃度に対する VOC 指針値指定物質に対し確認を行った。水準 1-1 を表 1.1.8.1.1 に、水準 1-2 を表 1.1.8.1.2 にそれぞれ結果を示す。水準 1-1、水準 1-2 とともにホルムアルデヒドとアセトアルデヒドが一定量検出された。またアセトアルデヒドの方が多く検出され、水準 1-1 より水準 1-2 の方で検出量が多かった。この結果から、使用される部品によってはキャッチャー剤添加等の対策が必要なレベルであることが分かった。

表 1.1.8.1.1 VOC 測定結果 (水準 1-1)

測定成分	操作ブランク b	1-1 標準パルプモールド			平均 a	平均-ブランク c=a-b
		1 8.92g	2 8.68g	3 8.95g		
ホルムアルデヒド	0.05 未満	0.28	0.29	0.33	0.30	0.27
アセトアルデヒド	0.05 未満	0.53	0.56	0.57	0.55	0.53
トルエン	0.02 未満	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03
エチルベンゼン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
キシレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
スチレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
トリブチル	0.02 未満	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
フタル酸ジ-n-ブチル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満

単位: μ g/試料

表 1.1.8.1.2 VOC 測定結果 (水準 1-2)

測定成分	操作ブランク b	1-2 紙力剤処方ありパルプモールド			平均 a	平均-ブランク c=a-b
		1 9.09g	2 9.01g	3 9.26g		
ホルムアルデヒド	0.05 未満	0.48	0.52	0.51	0.51	0.48
アセトアルデヒド	0.05 未満	0.83	0.82	0.88	0.84	0.82
トルエン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
エチルベンゼン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
キシレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
スチレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
トリブチル	0.02 未満	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05
フタル酸ジ-n-ブチル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満

単位: μ g/試料

1. 1. 8. 2 におい性試験

方法は日本建築学会環境基準 AIJES-A007-2010 室内の臭気に関する臭覚測定法マニュアルに準じ、におい強度、不快度の測定を行った。夏場の車室内で想定される温度で、においサンプルと不揮発性ガスの入ったアルミバックを加熱し、におい試験を実施した。におい試験の様様を図 1.1.8.2.1 に示す。水準 1-2 のにおい試験の結果を図 1.1.8.2.2 図 1.1.8.2.3 に示す。試験の結果においの強度、快・不快度、ともに内装部品の基準を満足するレベルであり問題ないことが分かった。



図 1.1.8.2.1 におい試験の様様

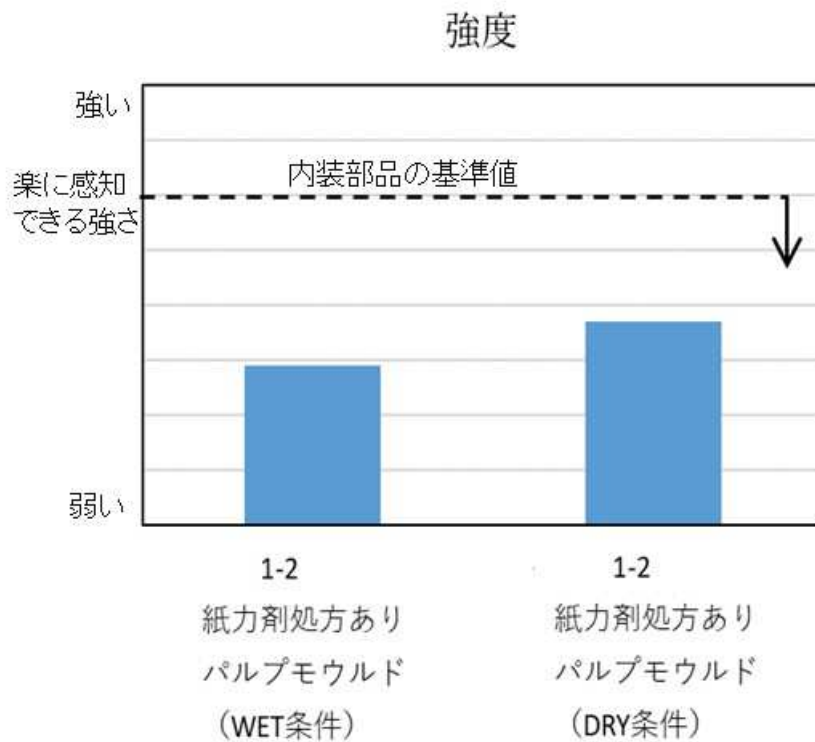


図 1.1.8.2.2 におい強度試験結果

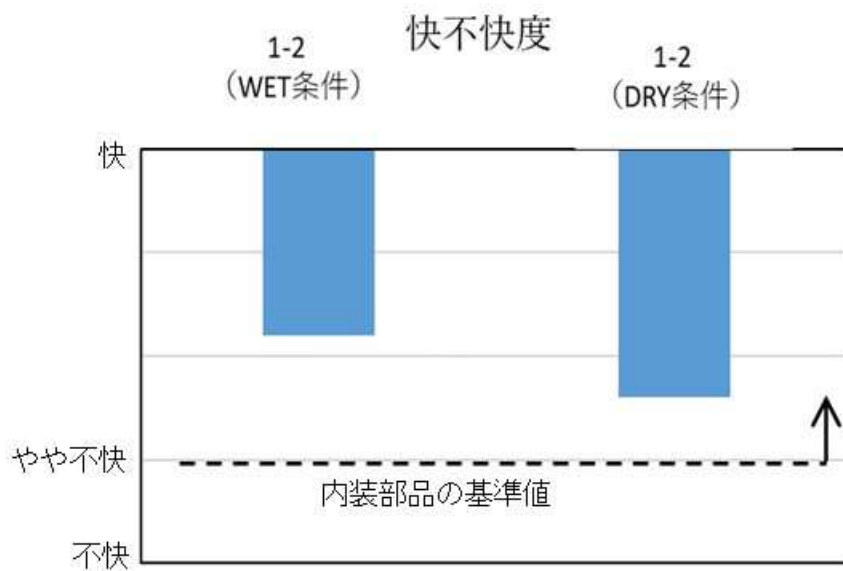


図 1.1.8.2.3 におい 快不快度試験結果

1. 1. 8. 3 フォギング性試験（ガラス曇性試験）

安全な視界を確保し運転できる様、自動車室内材料にはガラス曇度合に規定がある。図 1.1.8.3.1 にフォギング試験方法の例を示す。試験方法は ISO 6452 に準拠し、試験の前後のガラスプレートに光沢度計で光沢を測定し値を対比することでフォギング特性、ガラス霞度を求める。評価結果を表 1.1.8.3.1 表 1.1.8.3.2 に示す。試験の結果いずれの水準も著しい曇りが発生しないことが分かった。

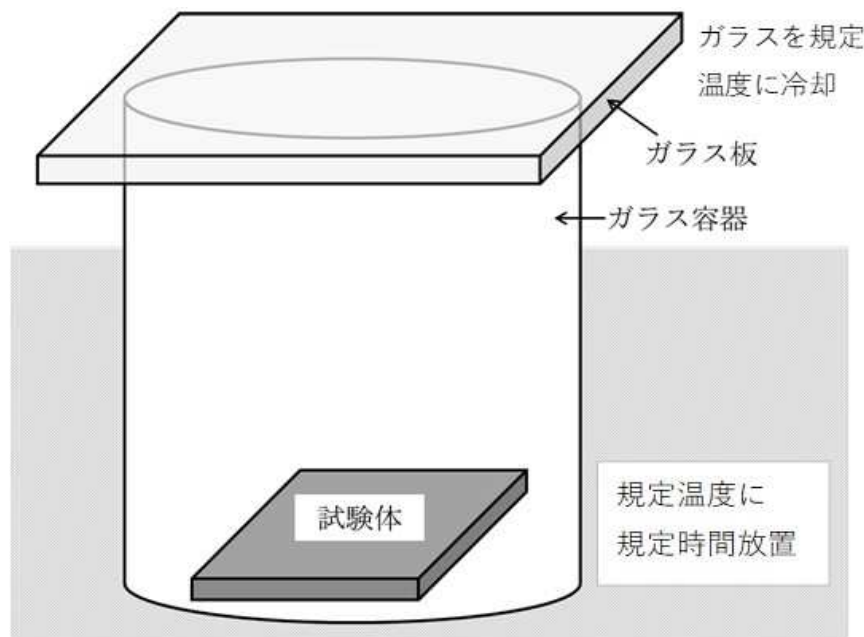


図 1.1.8.3.1 フォギング試験方法概要

表 1.1.8.3.1 フォギング試験結果（水準 1-1）

試料名		ガラス霞み度 B (%)					
		試験前			試験後		
		1	2	3	1	2	3
①パルプモールド 標準品	a	155.1	155.5	155.4	154.6	154.9	154.5
	b	155.1	155.5	155.4	154.6	154.9	154.6
	c	155.1	155.5	155.4	154.7	154.9	154.8
	d	155.1	155.5	155.4	154.7	154.7	154.7
	Av	155.1	155.5	155.4	154.7	154.9	154.7
光沢保持率 平均値 (%)		(試験後/試験前)*100			99.7	99.6	99.5
					99.6		

表 1.1.8.3.2 フォギング試験結果（水準 1-2）

試料名		ガラス霞み度 B (%)					
		試験前			試験後		
		1	2	3	1	2	3
②パルプモールド 比剛性向上品	a	155.3	155.5	155.3	154.4	154.5	154.6
	b	155.3	155.5	155.3	154.3	154.4	154.5
	c	155.2	155.5	155.3	154.6	154.6	154.6
	d	155.3	155.5	155.3	154.7	154.5	154.5
	Av	155.3	155.5	155.3	154.5	154.5	154.6
光沢保持率 平均値 (%)		(試験後/試験前)*100			99.5	99.4	99.5
					99.5		

1. 1. 9 耐湿老化性

1. 1. 9. 1 曲げ弾性率（耐湿老化後）

パルプモウルの耐湿老化後の物性評価を行った。試験条件は一般的に車の内装部品に要求される条件の一つである 50℃湿度 95% で所定の時間負荷を与えたのちに機械物性の変化を確認した。

曲げ弾性率試験の試験水準と結果を表 1. 1. 9. 1. 1 と 図 1. 1. 9. 1. 1 に示す。試験方法は ISO178 に準じ試験を行った。試験の結果、耐湿老化による著しい物性低下は見られなかった。曲げ試験時の変位 (mm) と荷重 (N) の関係を図 1. 1. 9. 1. 2～5 に示す。今回の試験の範囲ではいずれも直線関係が認められた。

表 1. 1. 9. 1. 1 曲げ弾性率（耐湿老化後）の水準と結果

耐湿老化		曲げ弾性率 (MPa)	
	試験品水準	初期	耐湿老化後
1-1	1-1標準パルプモールド	283	300
1-2	1-2紙力剤処方ありパルプモールド	590	564

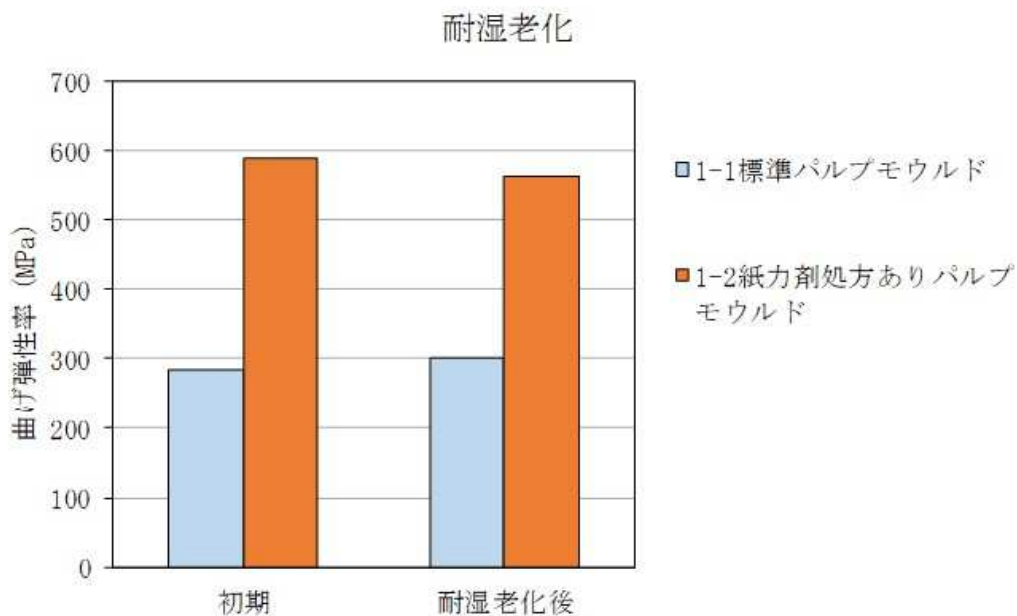


図 1. 1. 9. 1. 1 曲げ弾性率（耐湿老化後）の結果

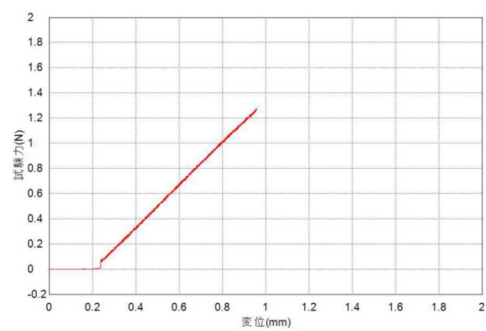


図 1.1.9.1.2 1-1 処方無しパルプモールド 初期

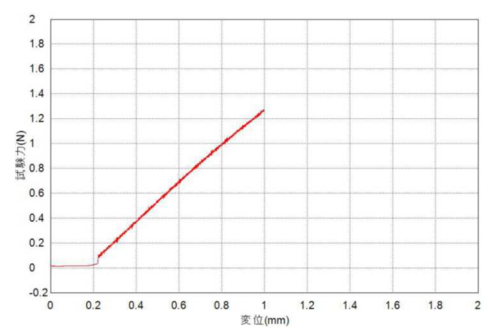


図 1.1.9.1.3 1-1 処方無しパルプモールド 耐湿後

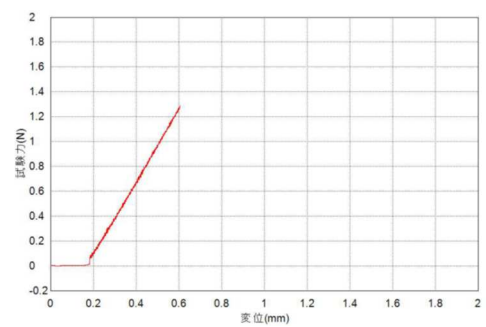


図 1.1.9.1.4 1-2 紙力剤処方ありパルプモールド 初期

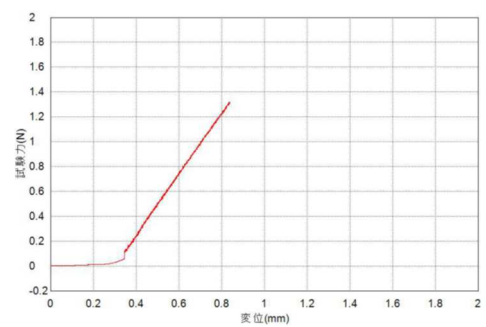


図 1.1.9.1.5 1-2 紙力剤処方ありパルプモールド 耐湿後

1. 1. 9. 2 引張強度試験（耐湿老化後）

初期、耐湿老化後（50℃湿度 95%）の引張強度試験の水準と結果を表 1.1.9.2.1 と図 1.1.9.2.1 に示す。IS0527-1 に準じ試験を行った。試験の結果、耐湿老化による著しい物性低下は見られなかった。引張試験時の変位 (mm) と荷重 (N) の関係を図 1.1.9.2.2～5 に示す。湿老化後に変位の増加がみられたが、荷重点以外でのパルプの折れ曲がり等の現象は見られなかった。

表 1.1.9.2.1 引張強度（耐湿老化後）の水準と結果

耐湿老化		引張強度(MPa)	
	試験品水準	初期	耐湿老化後
1-1	1-1標準パルプモールド	1.76	2.50
1-2	1-2紙力剤処方ありパルプモールド	5.65	6.02

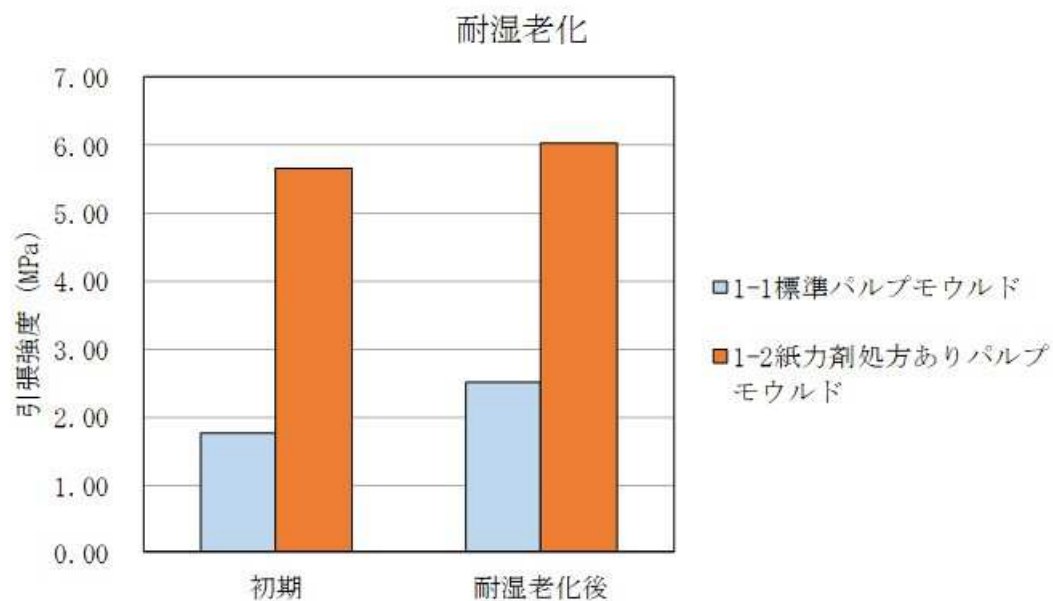


図 1.1.9.2.1 引張強度（耐湿老化後）の結果

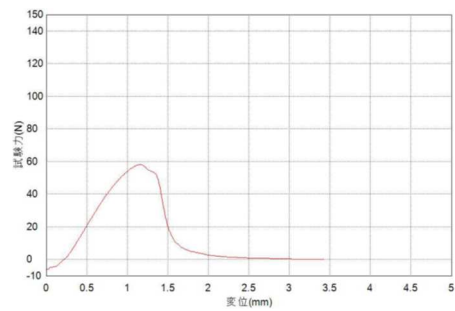


図 1.1.9.2.2 1-1 処方無しパルプモールド 初期

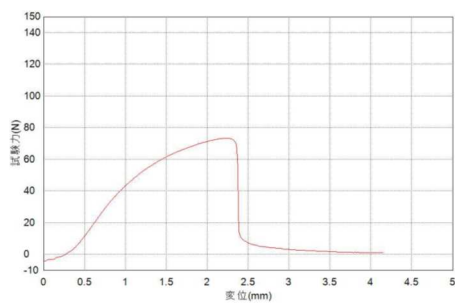


図 1.1.9.2.3 1-1 処方無しパルプモールド 耐湿後

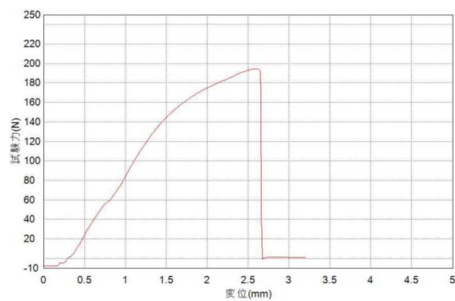


図 1.1.9.2.4 1-2 紙力剤処方ありパルプモールド 初期

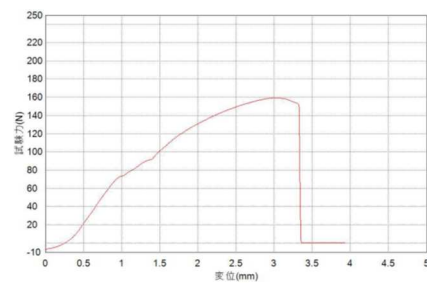


図 1.1.9.2.5 1-2 紙力剤処方ありパルプモールド 耐湿後

1. 1. 1 0 熱老化性

パルプモウルドの耐熱老化試験後の物性評価を行った。試験条件は、直射日光が当たる車の内装部品に要求される条件の一つである 120℃で、所定の時間負荷を与えたのちに機械物性を測定した。

1. 1. 1 0. 1 曲げ弾性率（熱老化後）

曲げ弾性率試験の試験水準と結果を表 1. 1. 10. 1. 1 と 図 1. 1. 10. 1. 1 に示す。ISO178 に準じ試験を行った。試験の結果、耐熱老化による著しい物性低下は見られなかった。曲げ試験時の変位(mm)と荷重(N)の関係を図 1. 1. 10. 1. 2～5 に示す。今回の試験の範囲ではいずれも直線関係が認められ、荷重点以外でのパルプの折れ曲がり等の現象は見られなかった。

表 1. 1. 10. 1. 1

耐熱老化後		曲げ弾性率 (MPa)	
	試験品水準	初期	耐熱老化後
1-1	1-1標準パルプモウルド	283	317
1-2	1-2紙力剤処方ありパルプモウルド	590	513

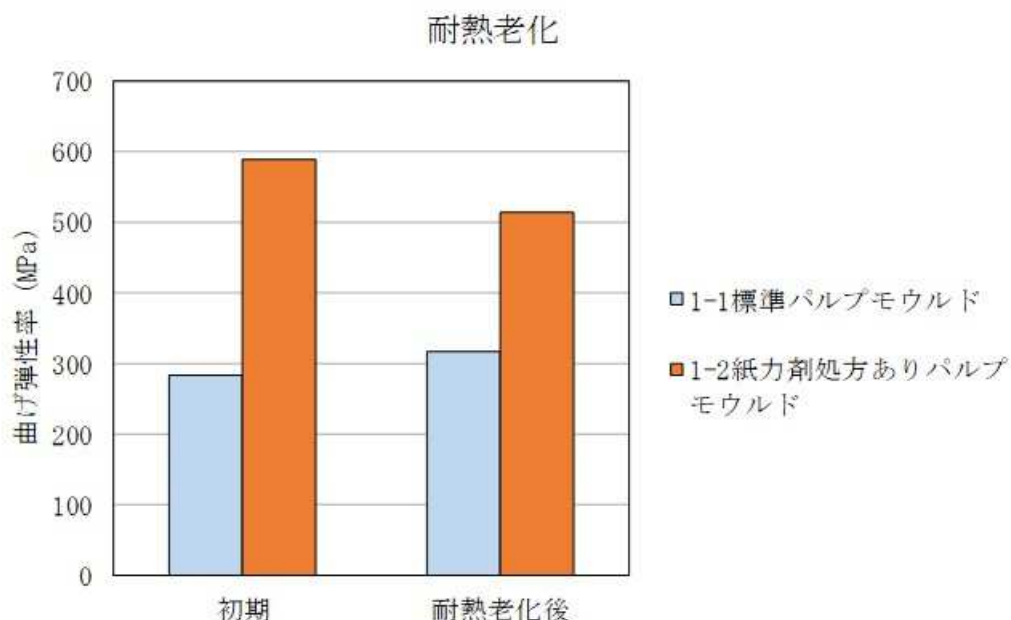


図 1. 1. 10. 1. 1 曲げ弾性率（耐熱老化後）の結果

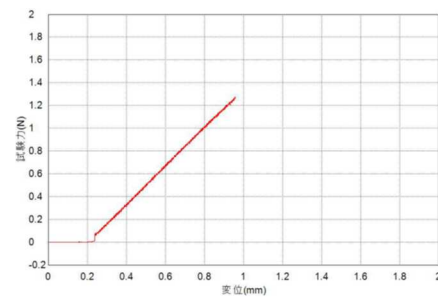


図 1.1.10.1.2 1-1 処方無しパルプモールド 初期

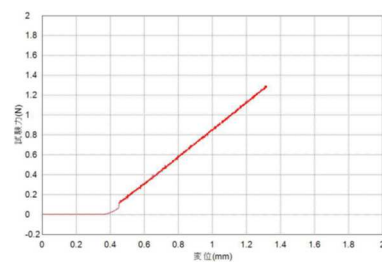


図 1.1.10.1.3 1-1 処方無しパルプモールド 耐熱後

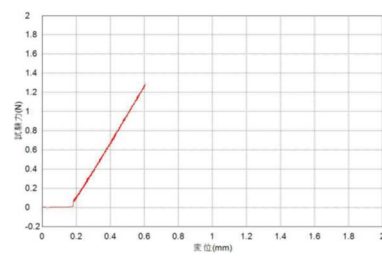


図 1.1.10.1.4 1-2 紙力剤処方ありパルプモールド

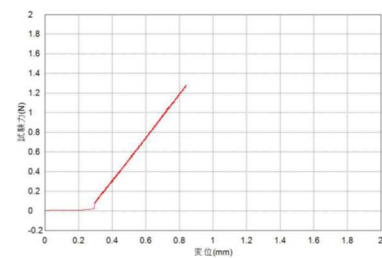


図 1.1.10.1.5 1-2 紙力剤処方ありパルプモールド 耐熱後

1. 1. 1 0. 2 引張強度（熱老化後）

初期、熱老化後（120℃）の引張強度試験の水準と結果を表 1. 1. 10. 2. 1 と図 1. 1. 10. 2. 1 に示す。IS0527-1 に準じ試験を行った。引張試験時の変位 (mm) と荷重 (N) の関係を図 1. 1. 10. 2. 2～5 に示す。試験の結果、耐熱老化による著しい物性低下は見られなかった。

表 1. 1. 10. 2. 1 熱老化後の引張強度結果

耐熱老化後		引張強度(MPa)	
	試験品水準	初期	耐熱老化後
1-1	1-1標準パルプモールド	1.76	2.08
1-2	1-2紙力剤処方ありパルプモールド	5.65	5.45

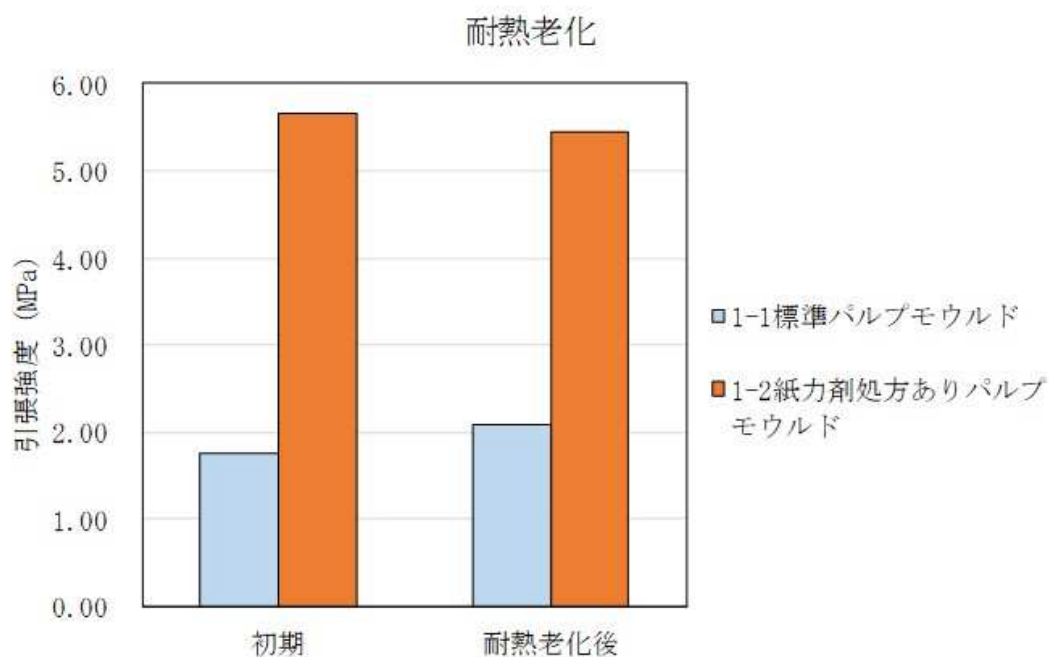


図 1. 1. 10. 2. 1 引張強度（耐熱老化後）の結果

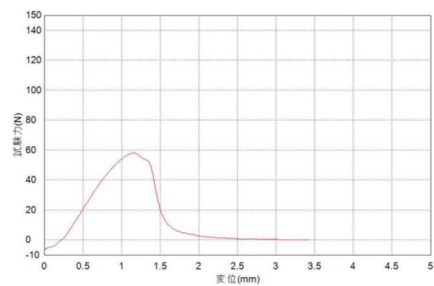


図 1.1.10.2.2 1-1 処方無しパルプモールド 初期

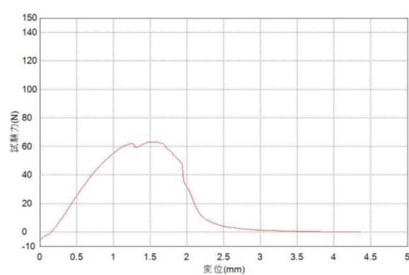


図 1.1.10.2.3 1-1 処方無しパルプモールド 耐熱後

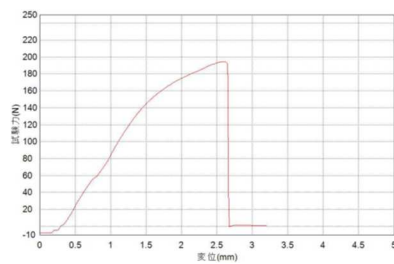


図 1.1.10.2.4 1-2 紙力剤処方ありパルプモールド 初期

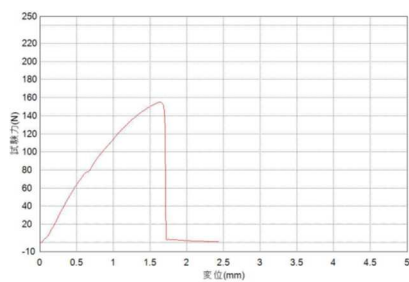


図 1.1.10.2.5 1-2 紙力剤処方ありパルプモールド 耐熱後

1. 1. 1 1 耐湿、耐熱老化性試験のまとめ

パルプモウルドの処方水準 1-1、1-2 について、車の内装部品を意識した耐湿老化、耐熱老化性試験を行った。今回の条件では若干の性能低下は認められるものの著しい劣化は認められなかった。このことから、パルプモウルド材は、内装部品で適用できる可能性が示唆された。今後、さらに厳しい耐熱性が要求されるエンジン回りの部品を意識した試験も実施していく。

1. 2 吸音性能評価

プラスチックで作られている吸音材の代替材としてパルプモールドを提案するために吸音特性の技術検討を行った。吸音性能を付与させる方法として、ヘルムホルツ共鳴器による吸音性能、板振動吸音原理の活用、多孔質構造による吸音が考えられる。今回は、図 1. 2. 1 に示すヘルムホルツ共鳴器による吸音周波数制御に取り組むが、板振動吸音、多孔質構造による吸音も考慮し吸音性能向上を目指した。また吸音性だけでなく、遮音性、制振性も車両部品としては求められるため、これらの項目についても検討を行った。

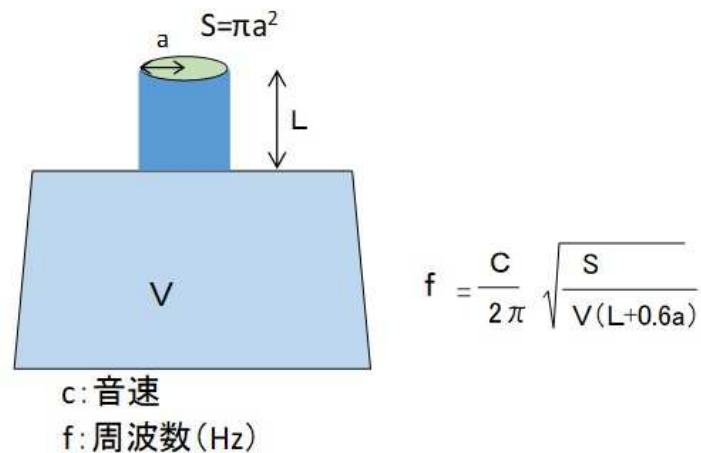


図 1. 2. 1 ヘルムホルツ吸音周波数の理論式

1. 2. 1 単品評価

1. 2. 1. 1 実験方法

垂直入射吸音率測定装置を用いて各周波数での吸音率測定を行った。垂直入射吸音率測定装置は図 1. 2. 1. 1. 1 に示す日東紡音響エンジニアリング WinZacMTX (100～1600Hz/99.3φmm) を使用した。



図 1. 2. 1. 1. 1 垂直入射吸音率測定装置 (WinZacMTX)

1. 2. 1. 2 試供サンプル

パルプモールド吸音材としてヘルムホルツ共鳴器を持つパルプモールド吸音材形状A、パルプモールド吸音材形状Bを使用した。また比較プラスチック吸音材として13mmの板厚を持つ不織布を使用した。パルプモールドの形状詳細は図1.2.1.2.1および図1.2.1.2.2に示す。



図 1.2.1.2.1 パルプモールド吸音材形状 A



図 1.2.1.2.2 パルプモールド吸音材形状 B

パルプモールド吸音材の体積、穴径、穴長さ、および、従来吸音材との組み合わせ水準は表1.2.1.2.1に示す。水準表で示した体積 V は、図1.2.1に示したヘルムホルツ共鳴器のハット型内部空間の体積である。 L は穴の長さ、 ϕ は穴径を示す。 Y はヘルムホルツ共鳴器のハット型内部空間の側面に穴が設定されていることを示す。

表 1.2.1.2.1 吸音性試験水準

			(mm)		(mm)	(cm ³)	
	サンプル名	サンプ ル	穴径φ	穴数	穴長さL	体積V	不織布
1	①3φ 1穴L2VA	A	3φ	1穴	2	28.5	
2	②1φ 1穴L2VA	A	1φ	1穴	2	28.5	
3	③3φ 1穴L2VB	B	3φ	1穴	2	22	
4	④3φ 2穴L2VB	B	3φ	2穴	2	22	
5	⑤3φ 3穴L2VB	B	3φ	3穴	2	22	
6	⑥3φ 4穴L2VB	B	3φ	4穴	2	22	
7	⑦3φ 5穴L2VB	B	3φ	5穴	2	22	
8	⑧3φ 6穴L2VB	B	3φ	6穴	2	22	
9	⑨3φ 7穴L2VB	B	3φ	7穴	2	22	
10	⑩3φ 8穴L2VB	B	3φ	8穴	2	22	
11	⑪3φ 1穴L4VA	A	3φ	1穴	4	28.5	
12	⑫1φ 1穴L4VA	A	1φ	1穴	4	28.5	
13	⑬3φ 1穴L2VA+1	A	3φ	1穴	2	54.3	
14	⑭3φ 1穴L2VA+2	A	3φ	1穴	2	80.1	
15	⑮3φ 1穴L2VA+3	A	3φ	1穴	2	105.9	
16	⑯3φ Y1穴L2VA	A	3φ	横1穴	2	28.5	
17	⑰3φ Y1穴L2VA上	A	3φ	横1穴	2	28.5	上面設定
18	⑱3φ Y1穴L2VA上下	A	3φ	横1穴	2	54.3	上下面設定
19	⑲不織布 13t		-	-	-	-	不織布のみ

1. 2. 1. 3 吸音試験結果

1. 2. 1. 3. 1 穴径の影響

図 1.2.1.3.1.1 に示すように、穴径の影響を検討した結果、穴径を大きくすると吸音周波数ピークは高周波側にシフトし、吸音率も増加した。

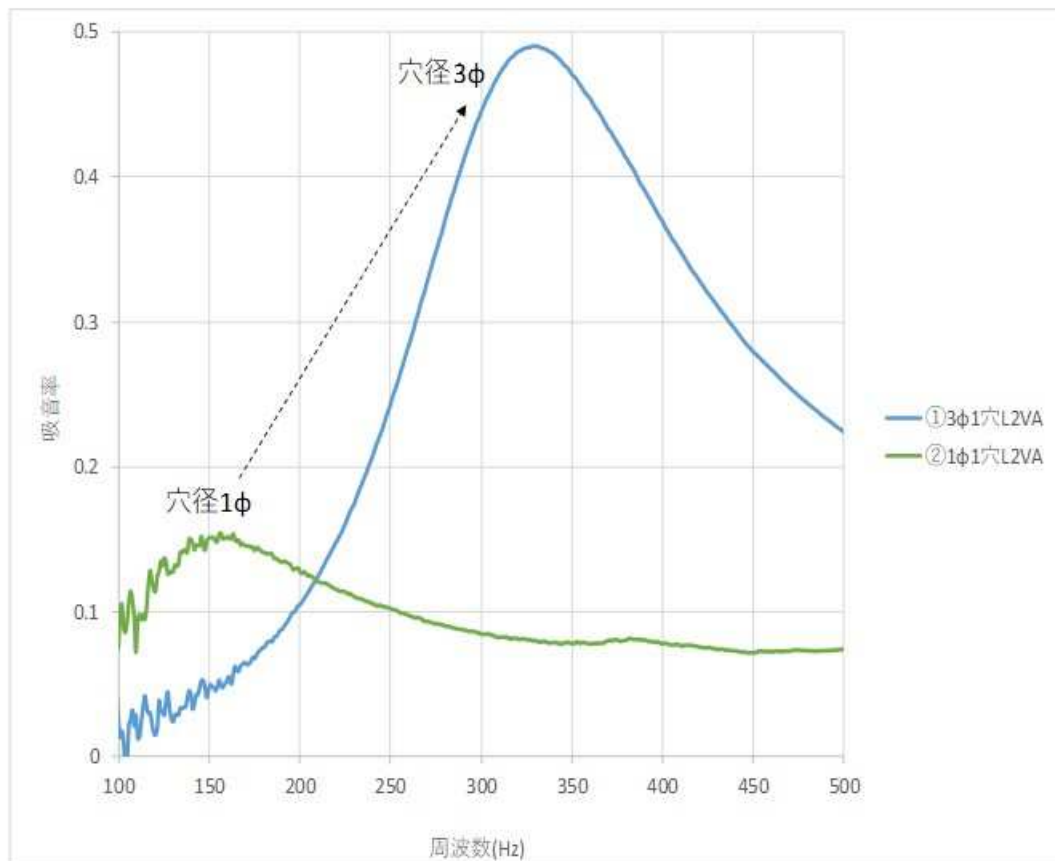


図 1.2.1.3.1.1 穴径の違いと吸音周波数の関係

1. 2. 1. 3. 2 穴数の影響

穴の数の影響を検討したサンプルとその結果を図 1. 2. 1. 3. 2. 1、図 1. 2. 1. 3. 2. 2 に示す。穴数を増やすと吸音周波数のピークは、高周波側にシフトし、吸音率が増加する傾向を確認した。



図 1. 2. 1. 3. 2. 1 穴の数の影響を検討したサンプル

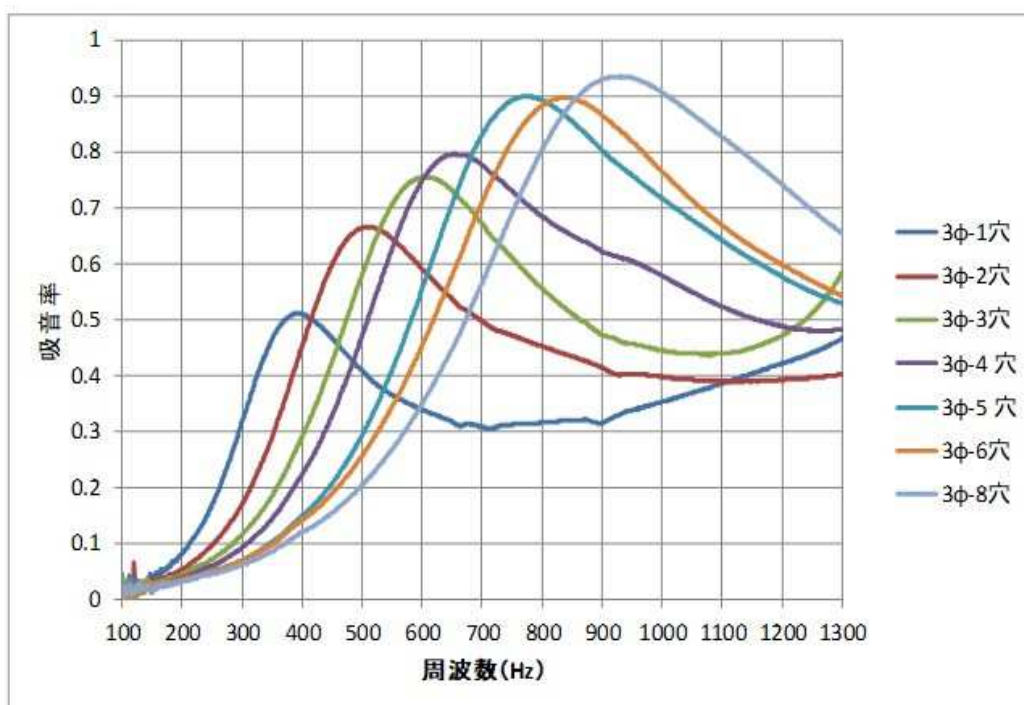


図 1. 2. 1. 3. 2. 2 穴数と吸音周波数の関係

1. 2. 1. 3. 3 穴長さの影響

図 1.2.1.3.3.1 に示すように、穴の長さを短くすると吸音周波数のピークは高周波側にシフトし、吸音率も増加した。

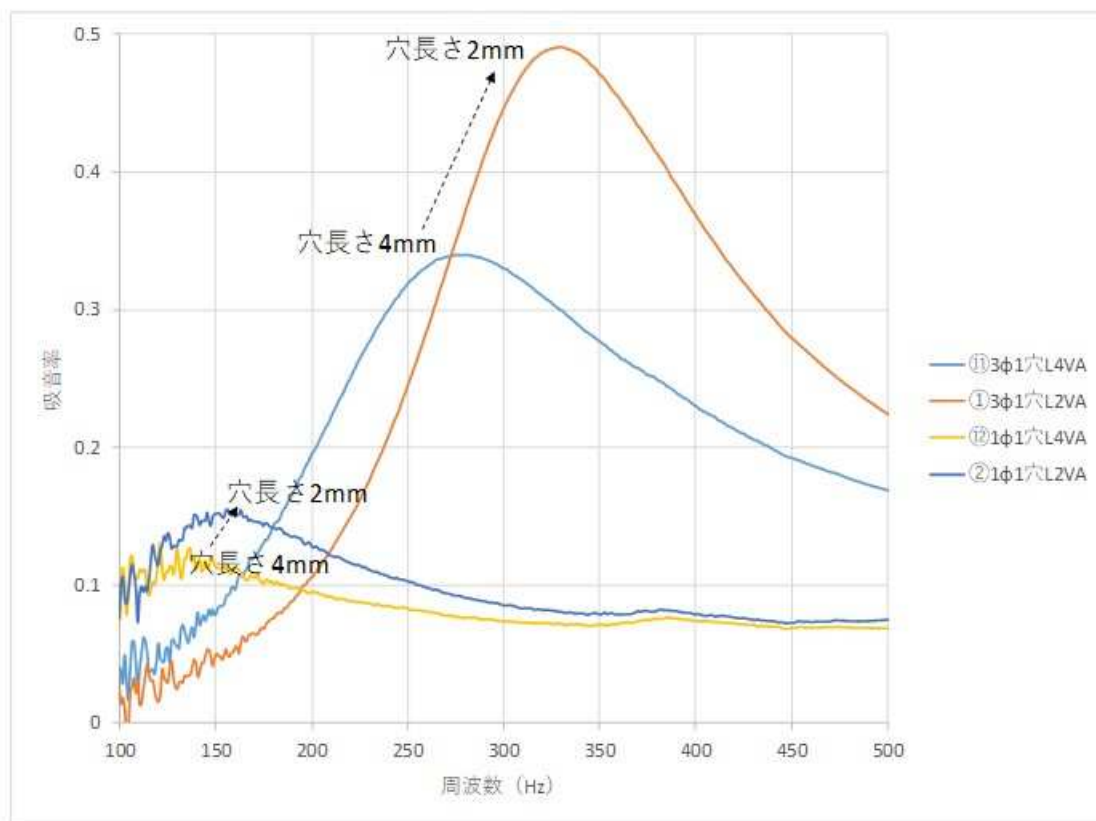


図 1.2.1.3.3.1 パルプモウルドの穴の長さと吸音周波数の関係

1. 2. 1. 3. 4 パルプモウルドのヘルムホルツ共鳴器の内部体積の影響
 背面空気層を含むパルプモウルドのヘルムホルツ共鳴器の内部体積 V (cm^3)
 が吸音周波数に与えた結果を図 1. 2. 1. 3. 4. 1 に示す、内部体積 V を増やすと吸
 音周波数のピークは低周波側にシフトし、吸音率は増加した。

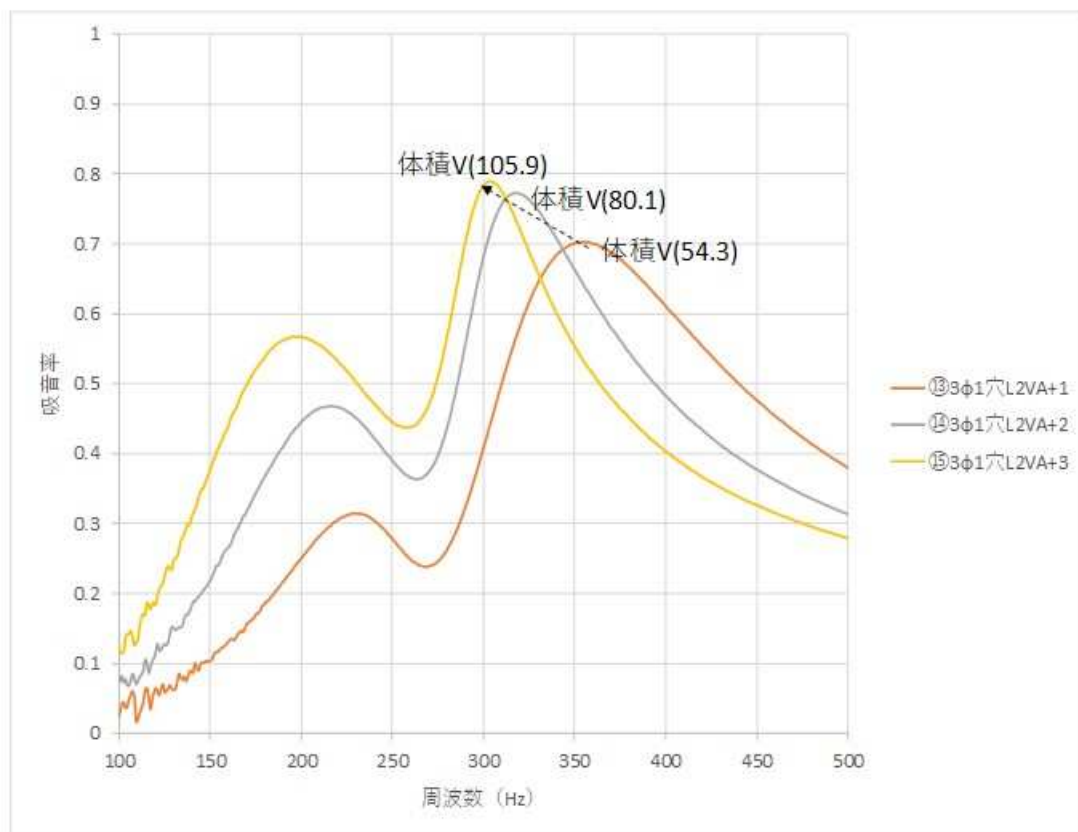


図 1. 2. 1. 3. 4. 1 パルプモウルドのヘルムホルツ共鳴器の内部体積と
 吸音周波数の関係

1. 2. 1. 3. 5 不織布吸音材とパルプモールド吸音材の違い

図 1. 2. 1. 3. 5. 1 に不織布吸音材とパルプモールド吸音材について吸音率と周波数の関係を示す。パルプモールド吸音材の上に不織布を乗せた構成では、不織布の裏側に背面空気層が形成されるため、それぞれ単独の性能を足したものより大きな吸音効果が確認できた。

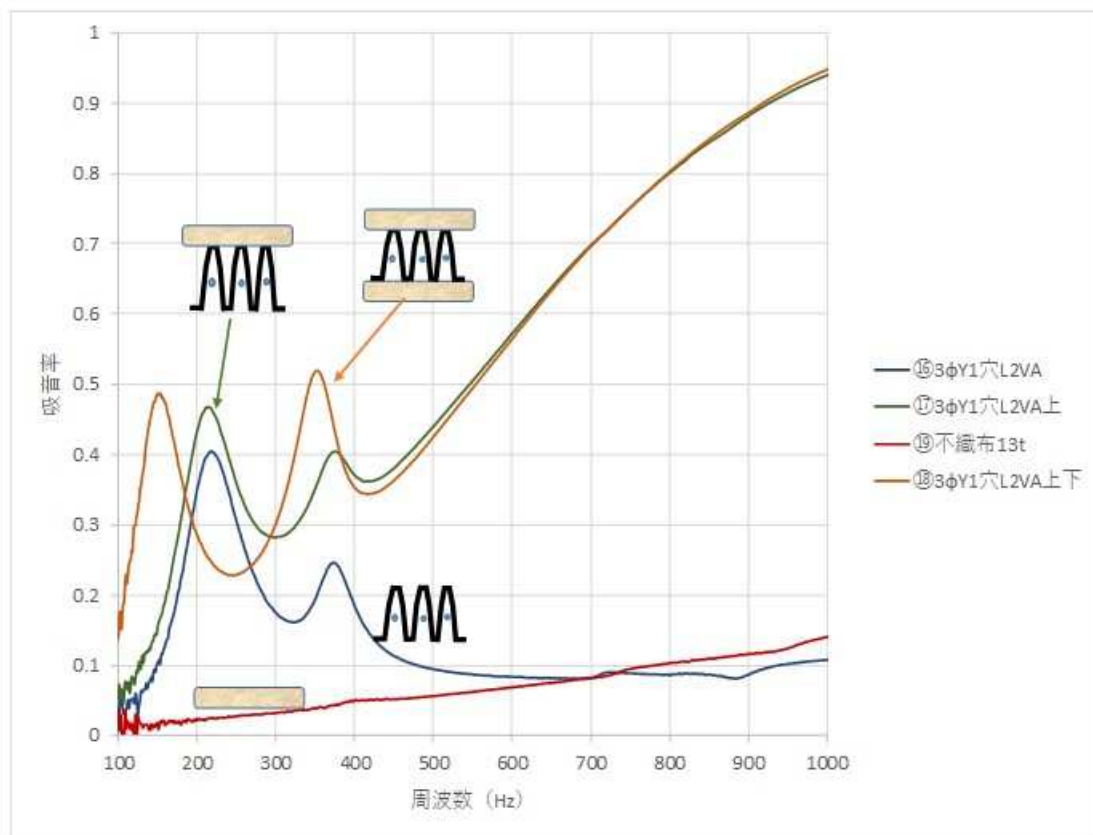


図 1. 2. 1. 3. 5. 1 不織布吸音材とのパルプモールド吸音材を用いた際の吸音率と周波数との関係

1. 2. 2 車両を想定した吸音性評価

車両を想定した吸音性評価についての検討を行った。パルプモウルの形状で吸音周波数が制御可能なことを活用し、図 1.2.2.1 に示すタイヤ共鳴音に着目した。タイヤ共鳴音とは車両で問題となっている騒音の一つである。タイヤに空洞共鳴音に効果のあるパルプモウルド形状を図 1.2.2.2 の様に貼り付け、図 1.2.2.3 に示す試験方法で評価を実施した。結果を図 1.2.2.4 に示す。パルプモウルの吸音構造効果にて空洞共鳴音付近を 13.84dB 低減できた。

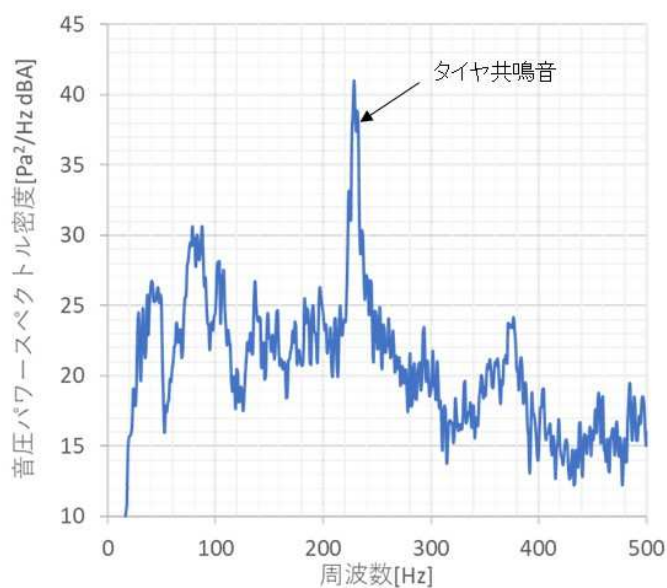


図 1.2.2.1 自動車のタイヤ共鳴音



図 1.2.2.2 タイヤに空洞共鳴音に効果のあるパルプモウルド形状



図 1.2.2.3 試験の状況



図 1.2.2.4 試験結果

1. 2. 3 吸音性のまとめ

パルプモールド形状の体積、穴径、穴長さを変えることで 100Hz から 1000Hz と幅広く吸音周波数を制御が可能であることが分かった。またその変化は図 3. 1 に示すヘルムホルツ吸音周波数の理論式にも矛盾しない挙動であった。このヘルムホルツ共鳴器による吸音特性は、ロードノイズやタイヤ空洞共鳴音等の 1000Hz 以下の騒音の低減に効果が期待される。自由に吸音周波数を変更できる本技術は、従来のプラスチック不織布吸音材より優れた特性であることが分かった。また、既存の不織布型吸音材と組み合わせることで低周波だけでなく高周波の吸音特性も付与させることができた。

1. 3 リサイクル性評価

パルプモールドのリサイクルを考える上で、材料劣化状態を理解することが重要である。パルプモールドを使用した部品のライフサイクルを時系列で見ると、図 1.3.1 の流れになる。ライフサイクルにおける材料劣化は製造工程と市場環境負荷で生じる。市場回収リサイクルを行うことは、この2つの材料劣化を繰り返すことといえる。本節ではリサイクル評価の第1ステップとして工程内リサイクルによる材料劣化状況を把握することとした。

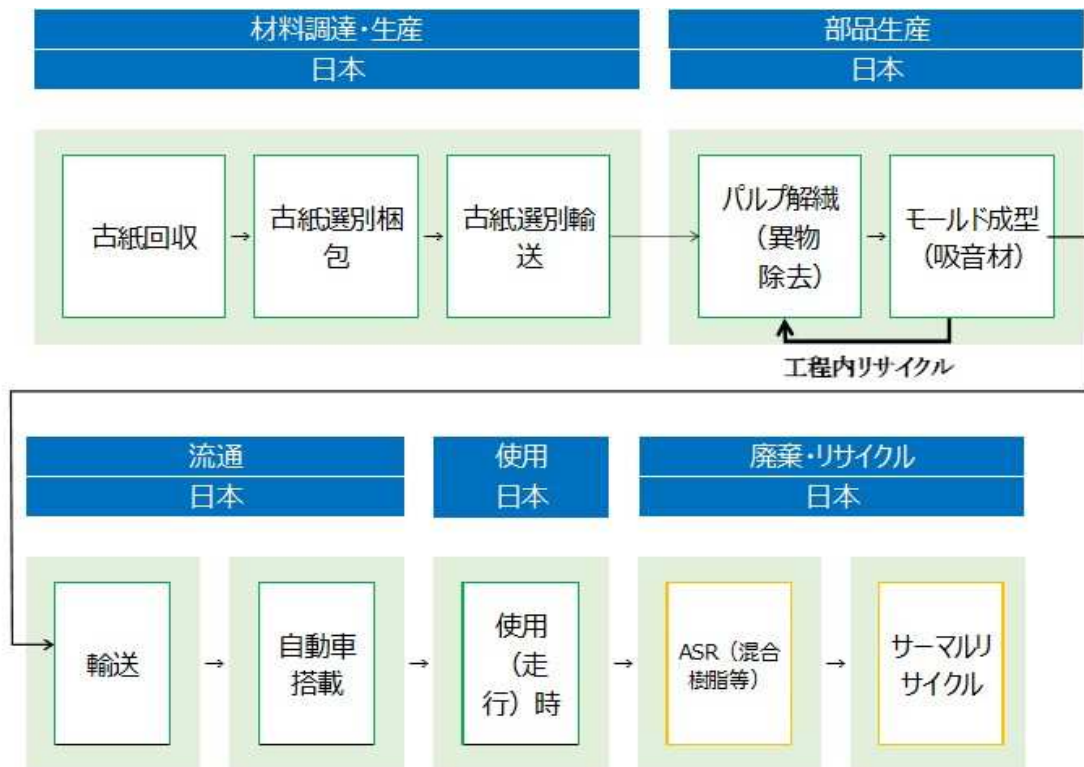


図 1.3.1 パルプモールド部品のライフサイクル

1. 3. 1 リサイクル検討水準

図 1.3.1 に示したように工程内リサイクルではパルプモールド成形時に発生したパルプモールド廃材をそのまま解繊工程に戻す。工程内リサイクルの繰り返し回数の水準を 1 回から 4 回まで振り、成形されたパルプモールドの劣化状態を物性の変化から把握することにした。なお、工程内リサイクルの定義は、パルプモールド成形後のものを解繊、再度原料としてパルプモールドを成形する。これを 1 回リサイクルとする。各パルプモールド工程内リサイクルの検討水準とその水準記号を表 1.3.1.1 に示す。以下、各水準は水準記号で示す。

表 1.3.1.1 パルプモールド工程内リサイクル検討水準

水準記号	水準
2-1	リサイクル前品（リファレンス）
2-2	リサイクル 1 回
2-3	リサイクル 2 回
2-4	リサイクル 3 回
2-5	リサイクル 4 回

1. 3. 2 検討条件

1. 3. 2. 1 材料水準と試験方法

今回は表 1.2 に示した材料水準の標準パルプモールド配合 1-1 にて評価することとした。

引張降伏強さ、引張破壊ひずみ、曲げ強度、曲げ弾性率の試験方法を下記に示す。

引張降伏強さ（50mm/min） ISO527-1 に準ずる

引張破壊ひずみ（50mm/min） ISO527-1 に準ずる

曲げ強度（2.0mm/min） ISO178 に準ずる

曲げ弾性率（2.0mm/min） ISO178 に準ずる

各試験の試験体数は 3 とした。

1. 3. 2. 2 リサイクル成形条件

パルプモールドの解繊は通常の量産工程と同等の条件で解繊処理を行った。抄紙、乾燥工程も量産工程と同条件とした。製品目付重量を同等となるように調整して成形を行った。

1. 3. 3 引張試験

1. 3. 3. 1 試験片サイズ測定

引張試験を行うにあたって、パルプモールドより打ち抜き作製したサンプルの形状を測定した。寸法測定結果を表 1. 3. 3. 1. 1 に示す。なお長さは 150mm である。厚み、幅、重量ともに著しい寸法のバラツキはなかった。

表 1. 3. 3. 1. 1 引張試験片の寸法測定結果

水準	n	厚み(mm)				幅 (mm)	重量 (g)	測定条件
		1	2	3	平均			
2-1	1	2.83	2.74	2.89	2.82	9.71	2.59	つかみ具間距離: 115mm 速度:50mm/min ロードセル:100kg
	2	2.76	2.86	2.51	2.71	9.69	2.60	
	3	2.85	2.77	2.60	2.74	9.70	2.64	
2-2	1	2.98	3.18	3.06	3.07	9.69	2.76	
	2	3.01	3.18	3.12	3.10	9.73	2.69	
	3	3.02	3.13	2.85	3.00	9.74	2.72	
2-3	1	2.88	3.08	3.22	3.06	9.67	2.65	
	2	2.92	2.95	3.14	3.00	9.75	2.66	
	3	3.17	2.81	3.08	3.02	9.65	2.62	
2-4	1	3.04	2.76	2.85	2.88	9.71	2.55	
	2	3.07	2.99	2.80	2.95	9.73	2.53	
	3	3.01	3.21	2.96	3.06	9.69	2.55	
	4	2.81	2.92	2.71	2.81	9.62	2.52	
	5	2.76	2.51	2.78	2.68	9.63	2.53	
2-5	1	3.39	3.48	3.20	3.36	9.76	2.71	
	2	3.20	3.46	3.23	3.30	9.76	2.72	
	3	3.28	3.31	3.25	3.28	9.81	2.72	
	4	3.50	3.45	3.47	3.47	9.69	2.73	
	5	3.41	3.22	3.29	3.31	9.87	2.71	

1. 3. 3. 2 引張降伏強さ測定結果

引張降伏強さの測定結果を表 1. 3. 3. 2. 1、表 1. 3. 3. 2. 1 に示す。傾向としてはリサイクル回数が増えるごとに引張降伏強さは低下しているが、2 回目以降の低下幅は小さい。引張試験前後の試験片を表 1. 3. 3. 2. 2 に示す。破壊起点の位置は安定していない。これはパルプモールドの表面に多数の凹凸があり均一でないため破壊起点が安定しなかったと考えられる。

表 1. 3. 3. 2. 1 引張降伏強さの測定結果

内容 n	引張降伏強さ(MPa)						標準偏差
	1	2	3	4	5	平均値	
2-1	3.56	3.71	3.70	—	—	3.66	0.08
2-2	2.66	2.37	2.62	—	—	2.55	0.16
2-3	2.33	2.30	2.19	—	—	2.28	0.07
2-4	2.45	2.62	2.15	2.33	2.59	2.43	0.19
2-5	2.02	1.91	2.27	2.21	1.76	2.03	0.21

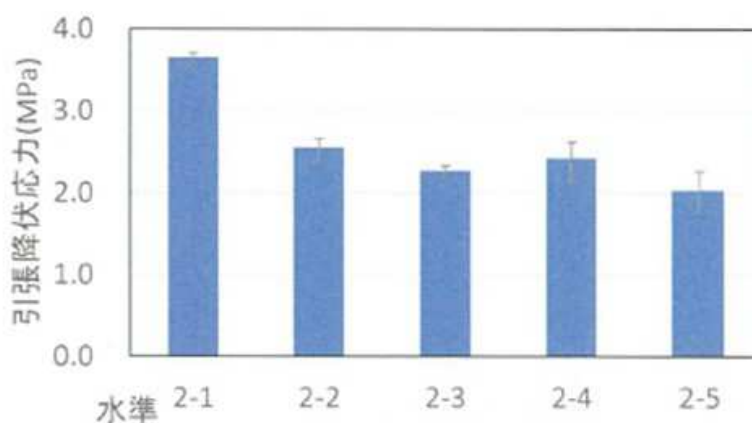
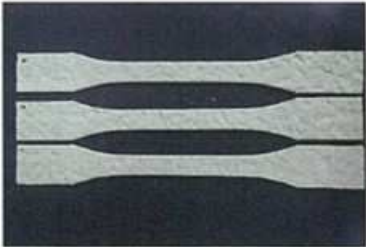
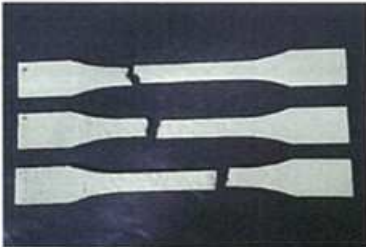
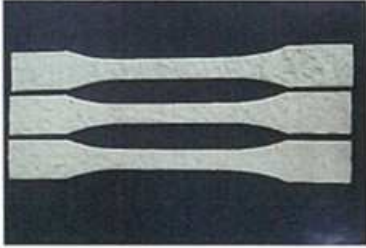
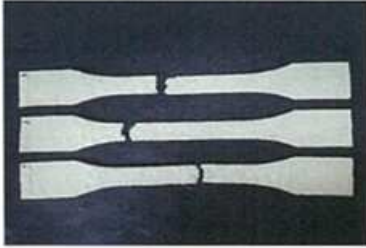
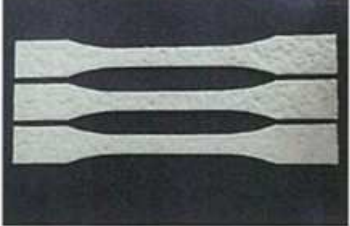
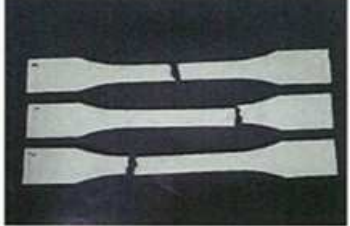
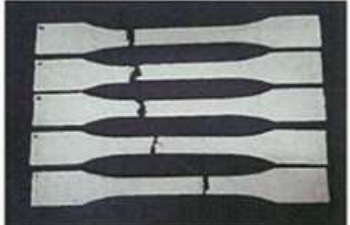
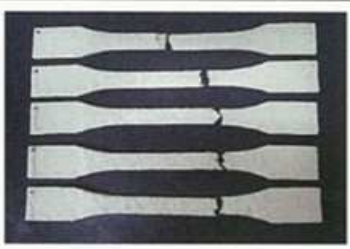


図 1. 3. 3. 2. 1 引張降伏応力とリサイクル回数の関係

表 1. 3. 3. 2. 2 引張試験前後の試験片

水準	試験前	試験後
2-1		
2-2		
2-3		
2-4		
2-5		

1. 3. 3. 3 引張破壊ひずみ測定結果

引張破壊ひずみの測定結果を表 1. 3. 3. 3. 1、図 1. 3. 3. 3. 1 に示す。引張破壊ひずみはリサイクル 2 回目以降の数値が安定せず、明確な傾向は得られなかった。図 1. 3. 3. 4. 1 から図 1. 3. 3. 4. 5 に示す応力-ひずみ曲線を見ると、ひずみの変化が大きいことが分かる。これは、パルプモウルドの繊維の配列方向や結合形態にはバラツキがあり、その繊維の滑りや抜けが破壊起点になっているためと考えられる。

表 1. 3. 3. 3. 1 引張破壊ひずみの測定結果

内容	引張破壊ひずみ(%)						標準 偏差
n	1	2	3	4	5	平均 値	
2-1	2.31	2.07	2.11	—	—	2.16	0.13
2-2	1.68	1.37	1.32	—	—	1.46	0.19
2-3	1.63	1.63	1.46	—	—	1.57	0.10
2-4	1.95	2.14	1.73	1.61	1.86	1.86	0.20
2-5	1.59	1.39	2.13	2.00	1.24	1.67	0.38

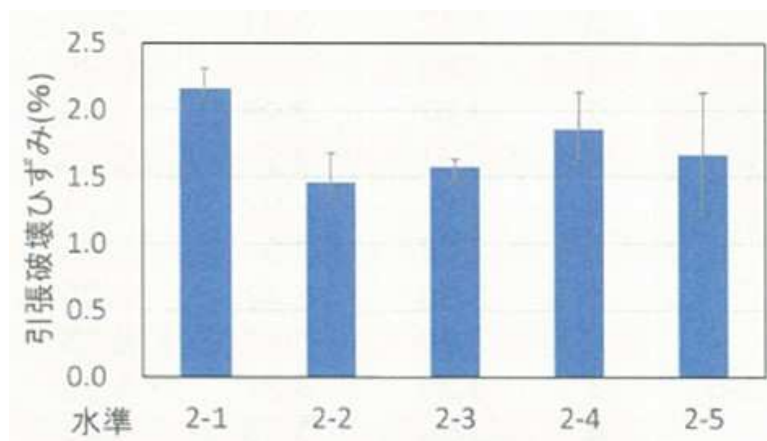


図 1. 3. 3. 3. 1 引張破壊ひずみの測定結果

1. 3. 3. 4 引張破壊試験時の応力-ひずみ曲線

各引張試験における応力-ひずみ曲線を図 1. 3. 3. 4. 1～図 1. 3. 3. 4. 5 に示す。

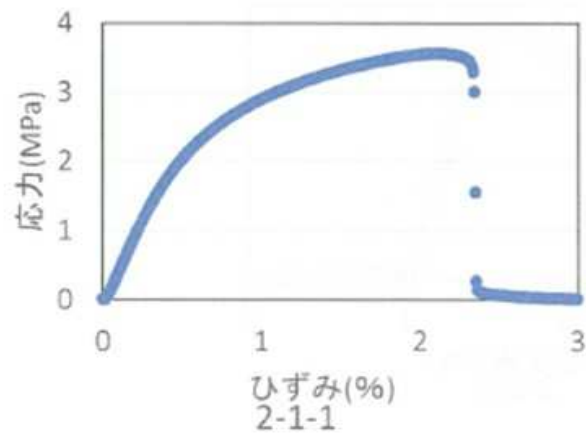


図 1. 3. 3. 4. 1 リサイクル前

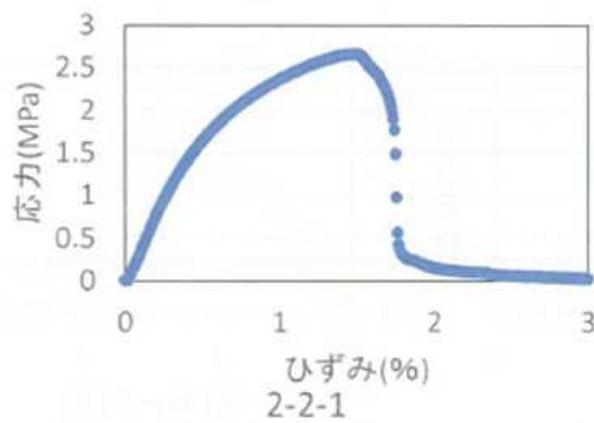


図 1. 3. 3. 4. 2 リサイクル 1 回

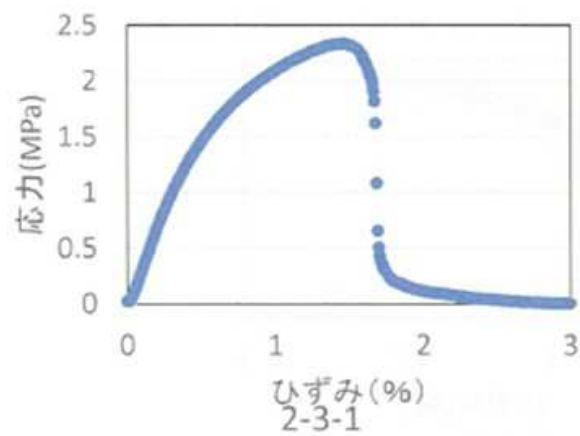


図 1. 3. 3. 4. 3 リサイクル 2 回

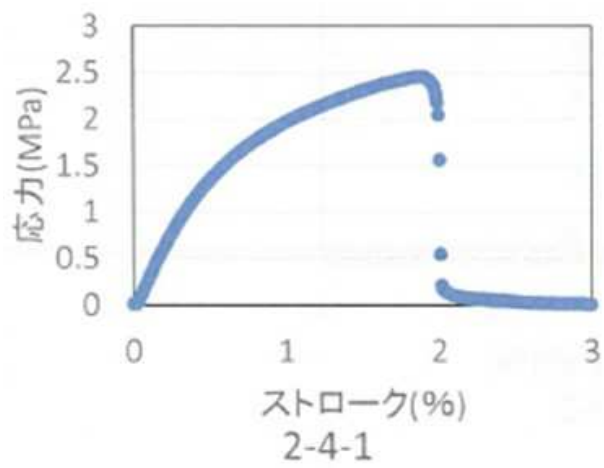


図 1. 3. 3. 4. 4 リサイクル 3 回目

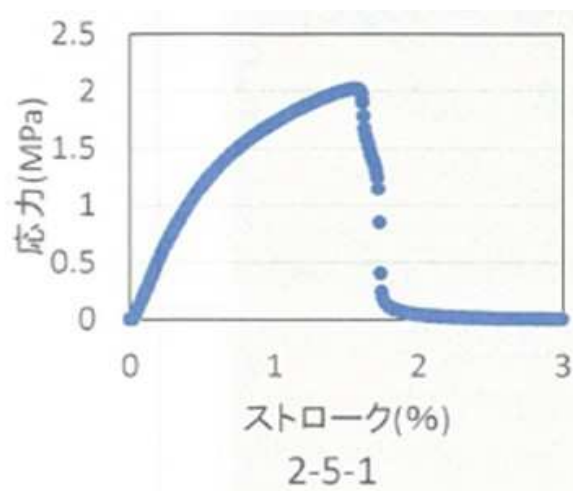


図 1. 3. 3. 4. 5 リサイクル 4 回

1. 3. 4 曲げ試験

1. 3. 4. 1 試験片サイズ測定

曲げ試験を行うにあたって、サンプルの形状を測定した結果を表

1.3.4.1.1、表 1.3.4.1.2 に示す。なお長さは 80mm である。試験寸法の厚み、幅、重量いずれも寸法のバラツキはほとんどないといえる。

表 1.3.4.1.1 曲げ試験片の測定結果 1

水準	n	厚み(mm)				幅 (mm)	重量 (g)	測定条件
		1	2	3	平均			
2-1	1	2.82	2.71	2.67	2.73	10.01	0.8487	支点間距離:48mm 速度:2.0mm/min ロードセル:100kg
	2	2.90	2.88	2.64	2.81	10.04	0.8672	
	3	2.74	2.93	2.85	2.84	10.04	0.8648	
2-2	1	2.90	2.98	3.03	2.97	9.77	0.8618	
	2	3.10	2.90	3.05	3.02	9.9	0.8495	
	3	2.93	2.96	2.86	2.92	9.99	0.8823	
	4	2.77	2.88	2.90	2.85	10.05	0.8796	
	5	2.75	3.02	2.98	2.92	9.93	0.8881	

表 1.3.4.1.2 曲げ試験片の測定結果 2

水準	n	厚み(mm)				幅 (mm)	重量 (g)	測定条件
		1	2	3	平均			
2-3	1	2.99	2.96	2.98	2.98	9.88	0.8372	支点間距離:48mm 速度:2.0mm/min ロードセル:100kg
	2	2.85	2.91	2.90	2.89	9.85	0.8188	
	3	2.75	3.17	3.01	2.98	9.75	0.8552	
	4	3.10	2.88	2.84	2.94	9.86	0.8469	
	5	2.92	2.77	2.94	2.88	9.82	0.8381	
2-4	1	3.04	2.86	2.98	2.96	9.81	0.8317	
	2	3.01	3.19	3.03	3.08	9.86	0.8290	
	3	3.12	3.03	3.07	3.07	9.97	0.8537	
	4	2.83	2.81	2.76	2.80	9.81	0.8350	
	5	2.83	2.77	2.83	2.81	10	0.8288	
2-5	1	3.21	3.63	3.17	3.34	9.92	0.8848	
	2	3.34	3.40	3.24	3.33	9.86	0.8716	
	3	3.36	3.29	3.24	3.30	9.75	0.8533	
	4	3.20	3.28	3.24	3.24	9.96	0.8889	
	5	3.22	3.23	3.10	3.18	9.97	0.8763	

1. 3. 4. 2 曲げ弾性率測定結果

リサイクル回数が増えるごとに引張降伏強さは低下、3回目以降は同等の値を示した。曲げ弾性率の測定結果を表 1. 3. 4. 2. 1、図 1. 3. 4. 2. 1 に示す。

表 1. 3. 4. 2. 1 曲げ弾性率の測定結果

内容	曲げ弾性率(GPa)						標準偏差
n	1	2	3	4	5	平均値	
2-1	0.31	0.33	0.32	—	—	0.32	0.01
2-2	0.31	0.26	0.28	—	—	0.28	0.02
2-3	0.15	0.14	0.14	—	—	0.14	0.00
2-4	0.18	0.15	0.19	0.22	0.17	0.18	0.02
2-5	0.14	0.18	0.20	0.14	0.19	0.17	0.03

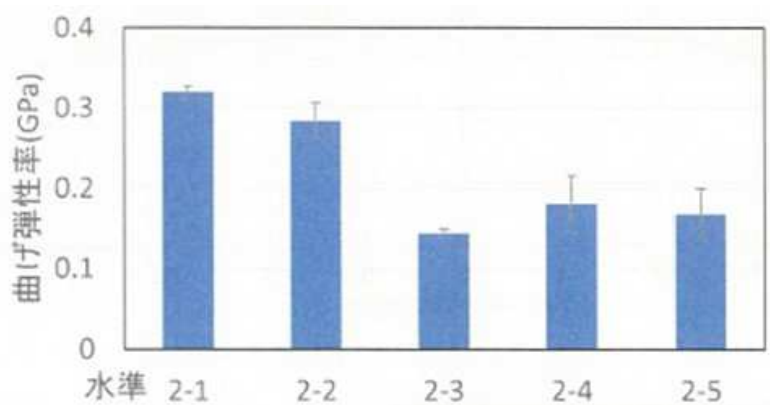


図 1. 3. 4. 2. 1 曲げ弾性率

1. 3. 4. 3 曲げ強度測定結果

リサイクル回数が増えるごとに曲げ強度は低下、3回目以降は同等の値を示した。曲げ強度の測定結果を表 1. 3. 4. 3. 1、図 1. 3. 4. 3. 1 に示す。

表 1. 3. 4. 3. 1 曲げ強度の測定結果

内容	曲げ強度(MPa)						標準偏差
n	1	2	3	4	5	平均値	
2-1	3.62	3.47	3.54	—	—	3.54	0.07
2-2	3.26	2.89	3.05	—	—	3.07	0.18
2-3	2.47	2.28	2.33	—	—	2.36	0.10
2-4	2.48	2.29	2.60	2.73	2.52	2.52	0.16
2-5	1.86	2.06	2.56	2.36	2.20	2.21	0.27

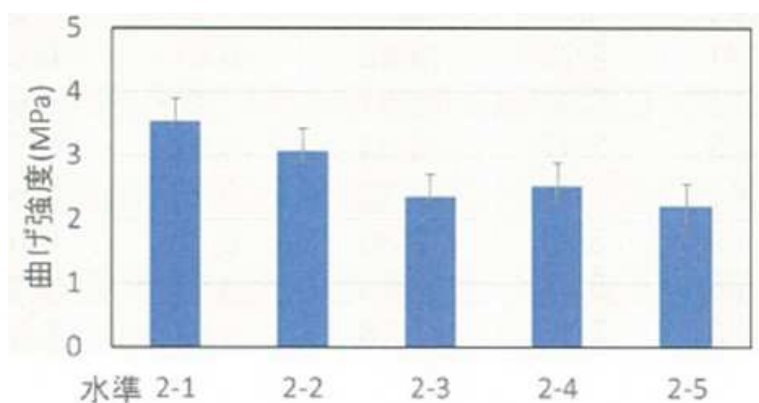


図 1. 3. 4. 3. 1 曲げ強度

1. 3. 4. 4 曲げ試験時の応力-ひずみ曲線

各リサイクル回数における応力-ひずみ曲線を図 1. 3. 4. 4. 1～5 に示す。いずれの水準でも最大応力を示したのち応力が低下することではなく、一定の応力を継続する傾向があった。

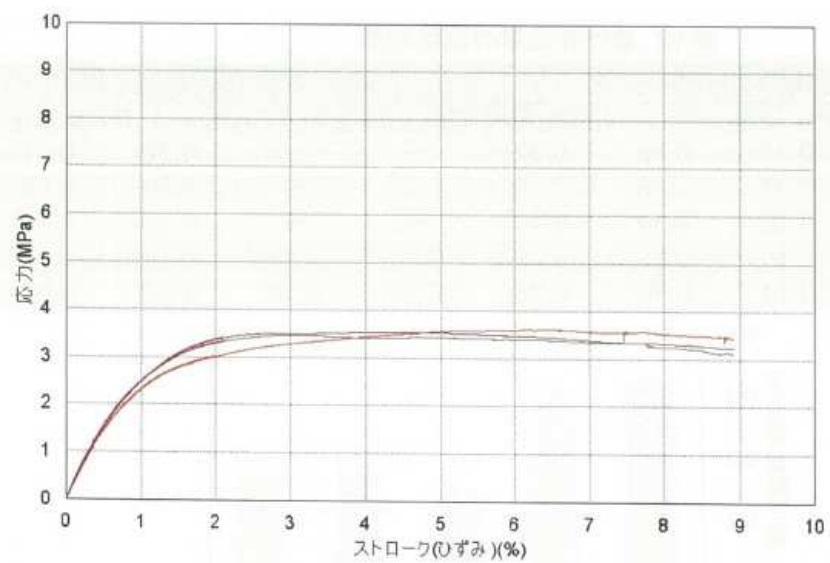
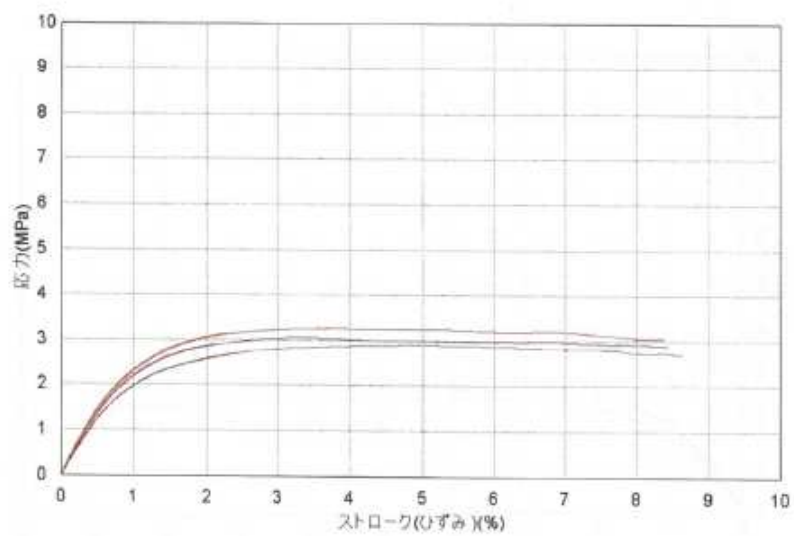
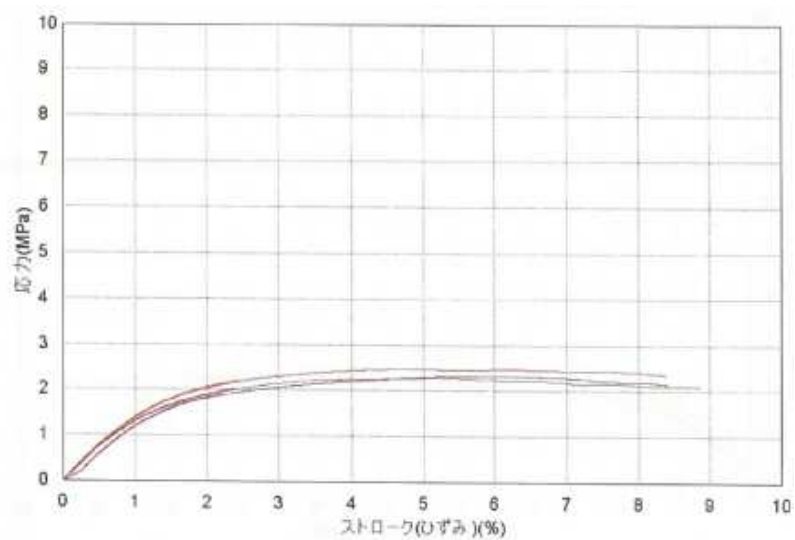


図 1.3.4.4.1 応力-ひずみ曲線 (2-1)



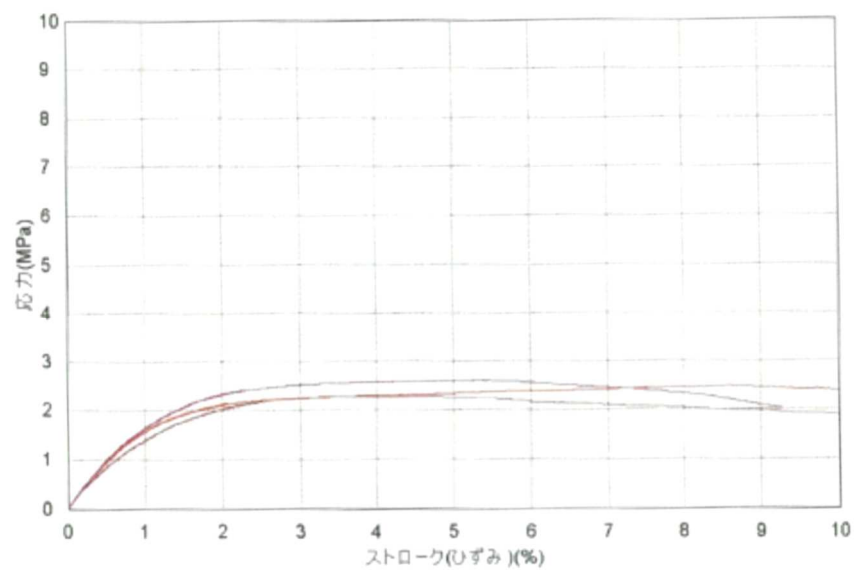
2-2 $n=1\sim3$

図 1.3.4.4.2 応力-ひずみ曲線 (2-2)



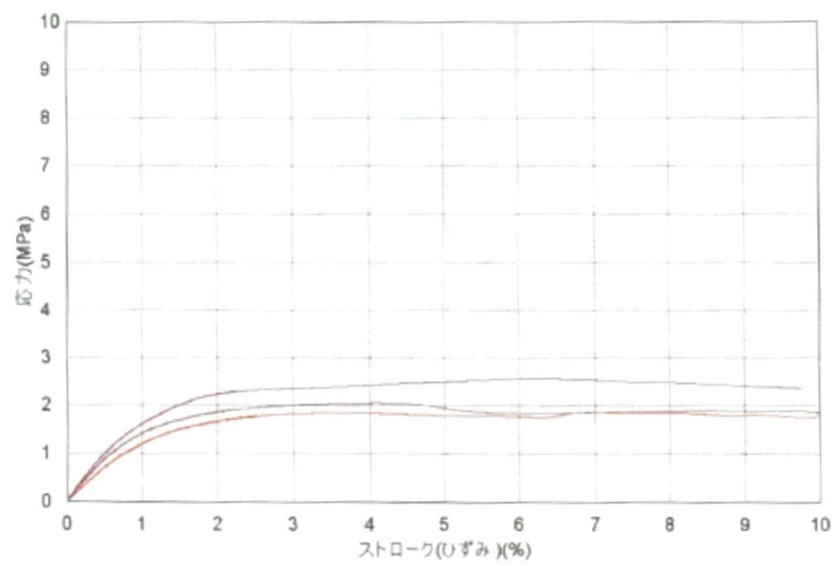
2-3 $n=1\sim3$

図 1. 3. 4. 4. 3 応力-ひずみ曲線 (2-3)



2-4 $n=1\sim3$

図 1. 3. 4. 4. 4 応力-ひずみ曲線 (2-4)



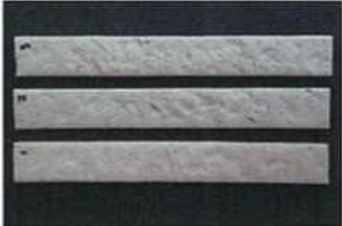
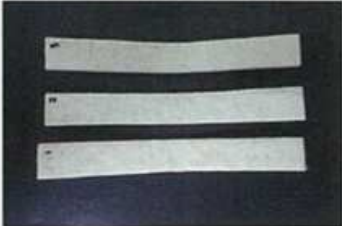
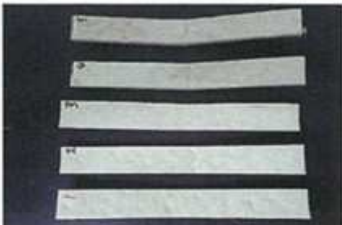
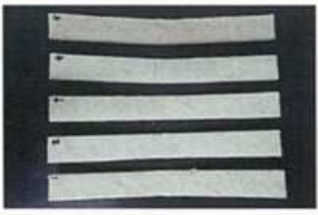
2-5 $n=1\sim3$

図 1. 3. 4. 4. 5 応力-ひずみ曲線 (2-5)

1. 3. 4. 5 曲げ試験前後の試験片の状態

曲げ試験前後の試験片を表 1. 3. 4. 5. 1 に示す。パルプモールドは、折れ曲がりはあるが、破断はしないことが分かった。

表 1. 3. 4. 5. 1 曲げ試験前後の試験片

水準	試験前	試験後
2-1		
2-2		
2-3		
2-4		
2-5		

1. 3. 5 パルプの繊維形状、構造の変化

工程内リサイクル回数とパルプの繊維長さや太さの関係を表 1.3.5.1、図 1.3.5.2～7 に示す。試験方法は図 1.3.5.1 に示す L&W ファイバーテスターによりパルプの繊維長、繊維幅の分布を測定した。試験の結果、リサイクル回数の増加に伴いパルプの繊維長や太さに著しい変化は確認されず、解繊工程によるパルプ繊維の切断や繊維損傷も認められなかった。



図 1.3.5.1 繊維長、繊維幅分布の測定装置

表 1.3.5.1 リサイクル 1 回目の繊維長と繊維幅平均

測定項目	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
	リサイクル前 リファレンス	リサイクル 1回	リサイクル 2回	リサイクル 3回	リサイクル 4回
平均繊維長(mm)	0.98	0.955	0.966	0.957	0.967
平均繊維幅(μ m)	22.2	22.0	21.7	21.7	21.8

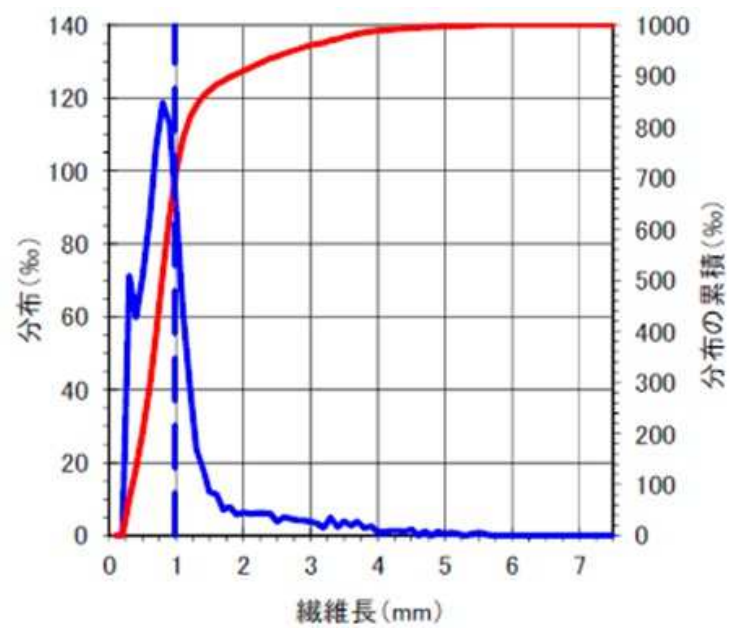


図 1.3.5.2 リサイクル1回目の繊維長分布

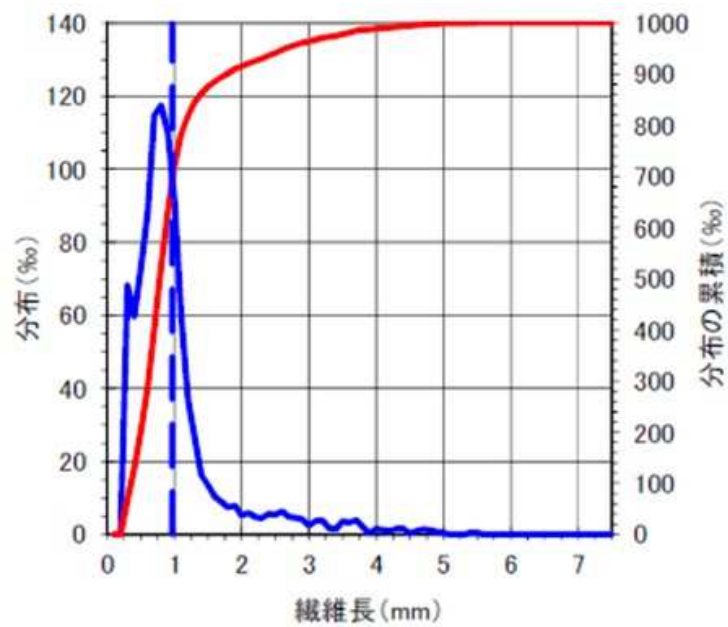


図 1.3.5.3 リサイクル5回目の繊維幅分布

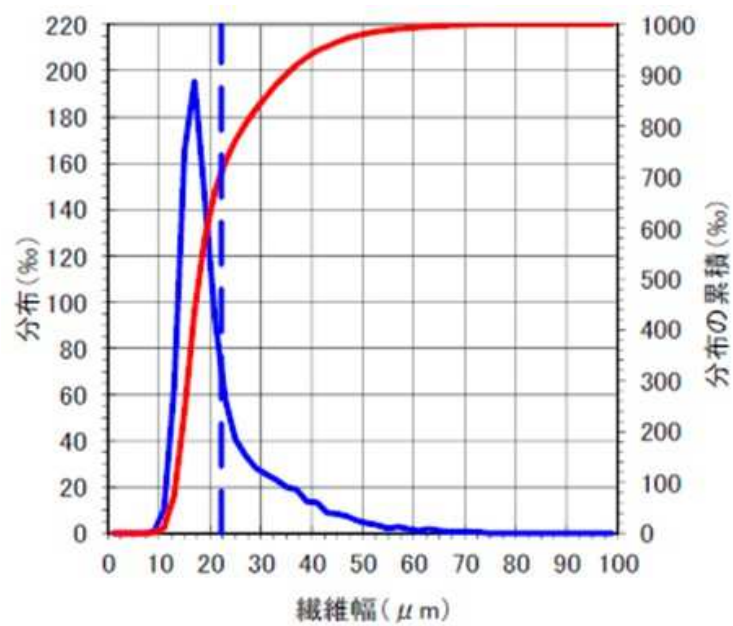


図 1.3.5.4 リサイクル初回品の繊維幅分布

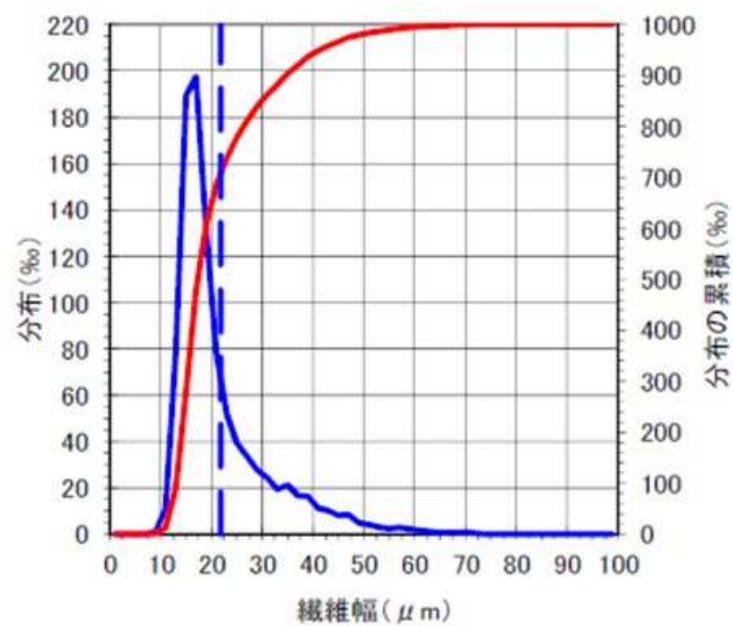


図 1.3.5.5 リサイクル5回目の繊維幅分布



図 1.3.5.6 初回品の原料繊維 拡大観察



図 1.3.5.7 リサイクル5回品の原料パルプ繊維 拡大観察

工程内リサイクル回数とパルプモウルドの構造変化を調べたところ、図 1.3.5.8、図 1.3.5.9 に示すようにリサイクルの回数が増えるとパルプモウルドの粗密の差が激しくなっていることが分かった。このことが、密度低下や物性低下の起点になっているものと推定される。そこで、パルプモウルドの物性低下が粗密に起因しているものであることを確認するため、リサイクル回数の違いによるパルプモウルドの密度を測定した結果を図 1.3.5.10 に示す。この結果はリサイクルを重ねた場合の物性低下の値と同様の傾向を示しており、リサイクルを重ねるとパルプの密度が低下することが分かった。これは、繊維同士の結合が低くなったためと考えられる。



図 1.3.5.8 リサイクル初回品 断面観察



図 1.3.5.9 リサイクル5回品 断面観察

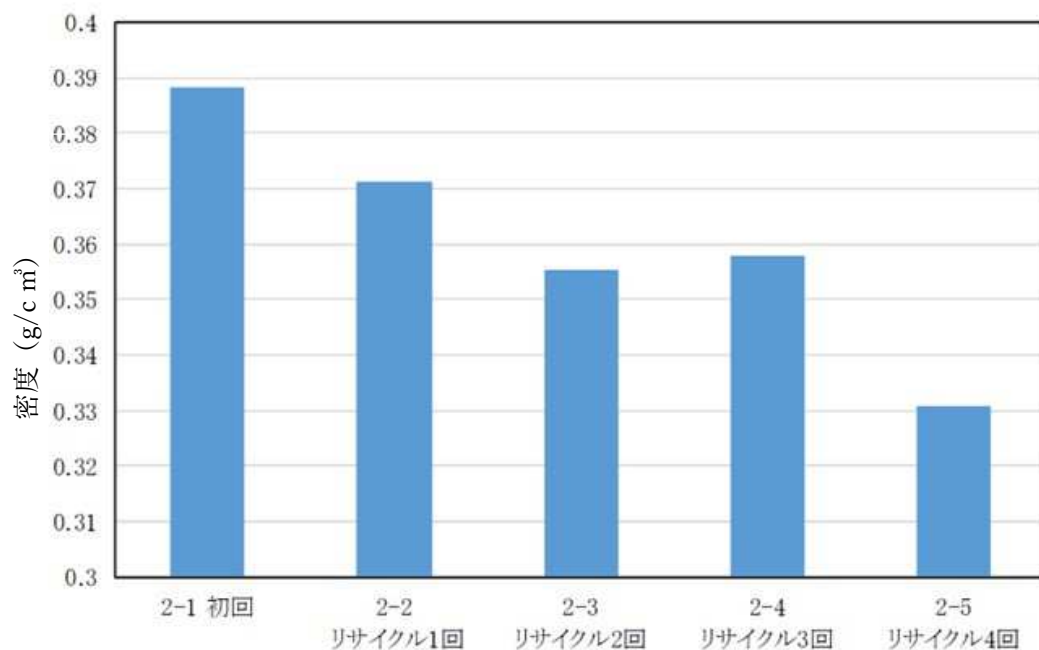


図 1.3.5.10 リサイクル回数と密度の関係

1. 3. 6 リサイクル性検討の結果まとめ

今回の検討結果を表 1.3.6.1 に示す。リサイクルを繰り返すことにより物性の低下が確認されたが、パルプ繊維自体の著しい損傷は見られなかった。このことから、リサイクルを重ねると繊維が塊となり分散性が悪くなっていると考えられる。

表 1.3.6.1 パルプモウルトのリサイクル性検討結果

試験	試験内容	結果
引張試験	引張降伏強さ	リサイクル回数が増えるごとに引張降伏強さは低下している。2回目以降の低下幅は小さい。
	引張破壊ひずみ	リサイクル2回目以降の数値が安定せず、明確な傾向は得られない。
曲げ試験	曲げ弾性率	リサイクル回数が増えるごとに引張降伏強さは低下しているが、3回目以降は同レベル。
	曲げ強度	リサイクル回数が増えるごとに引張降伏強さは低下。

1. 4 パルプモールド検討結果のまとめ

パルプモールドの形状、構成の工夫で従来のプラスチック吸音材に匹敵する吸音性能が得られた。また、低周波の吸音特性が特に優れること、吸音させたい周波数を変えることができ、車両の低騒音化に寄与できる可能性が示唆された。また工程内リサイクルが可能な条件も確認できた。

今後の課題としては、部品採用に向け、ターゲット部品を明確にし、製造工法を決め、さらに質量、コスト、品質、他機能でのメリットを明確にすることが必要と考える。

2. バイオプラスチック部品設計製造評価

本業務は、石油由来の自動車樹脂部品をバイオプラスチックで代替することで、資源循環型社会に貢献することを目標としている。自動車部品として使用するには湿熱等の様々な環境において耐久性が必要となる。

これまでバイオプラスチックは耐熱性等の課題から、普及が進まなかった。そこで本業務では、バイオプラスチックと植物フィラーとの複合化により大量生産に適した 100%植物由来の射出成型材で課題の克服を目指す。

検討するバイオプラスチックは、植物フィラーと相性の良いポリ乳酸 (Polylactic acid : PLA)、バイオポリエチレン (Biopolyethylene : PE)、ナイロン 11 (Polyamide11 : PA) を選定した。また、植物フィラーとしては古紙パルプを検討材料として使用した。ここで、各バイオプラスチックの概要について触れておく。

最初に PLA について説明する。PLA はトウモロコシ由来の材料である。トウモロコシより抽出した澱粉を発酵すると乳酸が得られ、この乳酸を重合したものが PLA である。

次に、PE について説明する。PE はサトウキビ由来の材料である。サトウキビより搾取した糖を発酵するとエタノールが得られ、このエタノールを脱水反応させることでエチレンが得られる。このエチレンを重合したものが、PE である。

最後に PA について説明する。PA はひまし油由来の材料である。ひまし油をエステル交換、加熱分解、加水分解、求核置換反応すると 11-アミノウンデカン酸が得られる。これを重合したものが PA である。

2. 1 基本物性評価

物性向上を目的に、選定したバイオプラスチックと古紙を図 2. 1. 1 に示す押出機にて混練した。その後、射出成形にて試験体を作製し基本的な物性を評価した。各水準の略称については表 2. 1. 1 に示す通りである。また各水準の射出条件を表 2. 1. 2、評価項目を表 2. 1. 3 の項目に示す。射出材料として基本物性評価を行った結果を表 2. 1. 4 にまとめた。比較として、自動車部品に多く使用されているポリプロピレン (Polypropylene : PP) とタルクのコンパウンド、PP とガラス繊維をコンパウンドした材料の物性結果についても併記した。古紙パルプを添加した影響が顕著に表れている物性として、PLA、PE のメルトフロー (Melt flow rate : MFR) が挙げられる。古紙パルプの主成分はセルロースで構成されており、これは一般的なフィラー材のガラスやタルクに比べ低密度であり嵩高い。そのため、樹脂に占めるパルプ体積は他材料に比べ大きいため流れにくく MFR への影響が大きくなったと考える。MFR は製品の生産性にも大きく

影響を及ぼすため、今後は添加量や成形条件の最適化を図っていく必要がある。

次に、耐熱性向上を反映する性能として荷重たわみ温度(Heat deflection temperature : HDT)に着目した。PE、PA については古紙パルプを添加することで HDT が大きく向上した。PE については PP タルク入り相当、PA については PP ガラス繊維入り相当の耐熱性を示した。一方、PLA については、HDT は向上せずさらなる対策案の検討が必要と考える。また、剛性の向上を反映する性能として曲げ弾性率に注目した。すべての樹脂において、古紙パルプを添加することで曲げ弾性率が向上し、添加量の増加とともに曲げ弾性率は高い値を示した。PE については PP タルク入り相当、PLA については PP ガラス繊維入り相当の剛性を示した。さらに、古紙パルプ添加の影響が現れている性能として成形収縮率、線膨張係数が挙げられる。古紙パルプを添加することで異方性が大きくなることが確認された。今後、製品への適用検討や、金型設計時にはここで得られた異方性に関する知見を活用する。

図 2.1.1 材料の押し出し混練

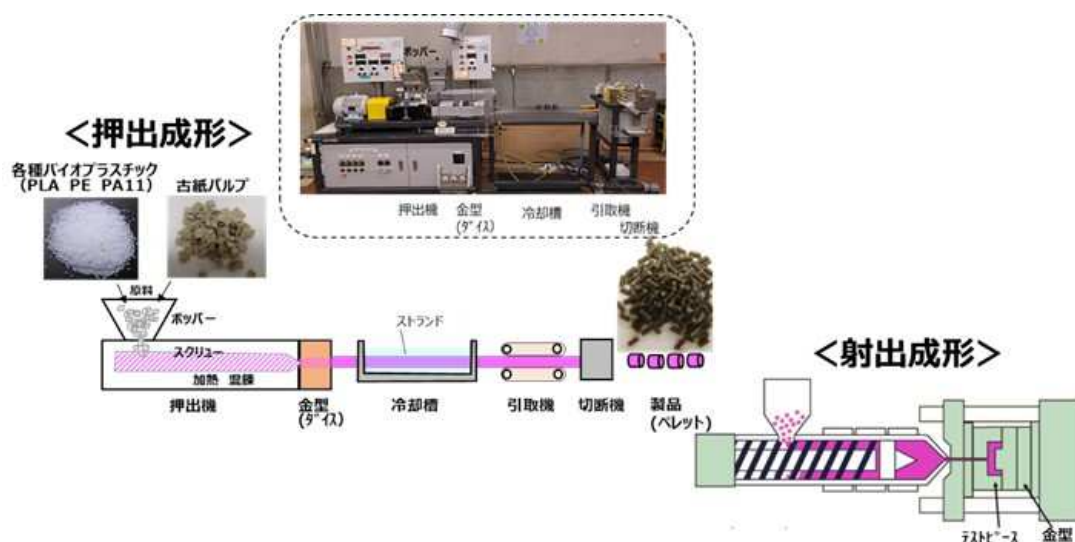


表 2.1.1 評価水準略称

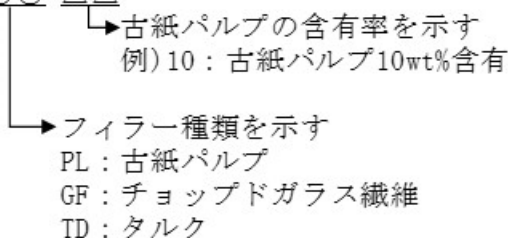
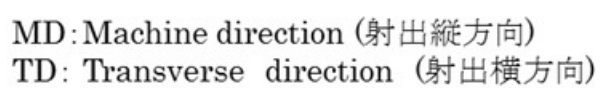
水準内容	略称
ベース PLA	PLA
ベース PE	PE
ベース PA	PA
PLA+古紙パルプコンパウンド品 PE+古紙パルプコンパウンド品 PA+古紙パルプコンパウンド品	PLA-○○-△△ PE-○○-△△ PA-○○-△△ 

表 2.1.2 射出成形条件

	PLA	PLA-10	PLA-20	PLA-30	PE	PE-10	PE-30	PE-50	PA	PA-10	PA-30	PA-50
熔融温度	200℃	200℃	200℃	200℃	180℃	180℃	180℃	180℃	230℃	230℃	230℃	230℃
金型温度	35℃	35℃	35℃	35℃	40℃	40℃	40℃	40℃	50℃	50℃	50℃	50℃

表 2.1.3 射出材料としての機械的な物性評価の内容

評価項目	規格	備考
密度測定	ISO 1183	試験環境：23±2℃、(50±5)%RH
MFR値測定	ISO 1133	試験環境：RT 試験温度：230℃ 試験荷重：21.18N 採取時間：40sec 予熱時間：5min
引張り試験	ISO 527-1, 2	試験環境：23℃±2℃、(50±5)%RH 標線間距離：50mm つかみ間距離：115mm 試験速度：50mm/min
曲げ試験	ISO 178	試験環境：23±2℃、(50±5)%RH 圧子先端：R5 支持台先端：R5 下部支点間距離：64mm 試験速度：2mm/min
シャルピー衝撃試験	ISO 179-1	測定環境：23±2℃、(50±5)%RH 持ち上げ角度：-150℃
HDT測定	ISO 75-2	試験環境：RT 昇温速度：120℃/h 支点間距離：64mm 試験開始温度：40℃ 試験片方向：フラットワイズ
成形収縮率測定	図〇〇参照	成形後48H状態調節し、測定に供した。
線膨張係数測定	ISO 11359-2	試験環境：RT 試験昇降温条件：RT→ 100℃(5分間保持：アニール)→ -50℃→ 110℃ 試験荷重：50mN 試験片形状：5×4×10mm (10mmが測定方向) (測定は2回目昇温時に実施)



71

表 2.1.4 射出材料としての基本的な物性評価の結果

評価項目	規格	単位	備考	水準																	
				FLA	FLA-FL-10	FLA-FL-20	FLA-FL30	FE	FE-FL-10	FE-FL-30	FE-FL-50	FA	FA-FL-10	FA-FL-20	FA-FL-30	FF-QF10	FF-QF20	FF-QF30	FF-ID10	FF-ID20	FF-ID30
密度	ISO 1183	g/cm ³		1.25	1.27	1.30	1.33	0.95	0.99	1.07	1.17	1.03	1.07	1.11	1.14	0.96	1.03	1.12	0.97	1.04	1.13
MFR	ISO 1133	g/10min		51.5	24.8	12.8	9.12	34.2	10.8	1.65	0.35	33.7	49.4	42.5	32.7	-	-	25.3	-	-	77.8
引張強度	ISO 527-1.2	MPa		65.3	59.9	64.8	70	22.7	26.9	36.4	41.8	56.9	49.2	52.2	55.7	44.4	41.9	39.2	37.4	36.4	35.7
引張破断ひずみ		%		3.2	2.6	2.5	2.2	119.2	7.8	3.0	2.4	295.1	23.1	10.8	6.8	5.4	4.8	3.7	5.2	4.0	2.7
曲げ強度	ISO 178	MPa		102.5	99.5	104.4	106.1	22.7	30.9	50.9	61.6	55.9	64.2	70.1	77.5	57.3	64.4	69.4	59.9	59.3	57.8
曲げ弾性率		MPa		3615	4232	5154	6146	939	1440	2795	3995	1254	1651	2007	2454	3104	5005	7075	2577	3493	4257
シャルピー衝撃強度	ISO 179-1	kJ/m ²	23℃	1.7	2.0	2	1.7	2.5	3.2	3.6	2.7	8.2	2.5	2.5	0.1	3.8	5.9	6.8	1.6	1.3	1.2
			-30℃	1.8	1.8	1.8	1.6	2.6	2.3	2.6	2.1	11.1	1.4	2.0	1.5	-	-	-	-	-	-
HDT	ISO 75-2	℃	0.45MPa	55.1	55.7	55.0	55.7	71.6	91.0	121.7	123.3	103.3	136.9	155.5	152.0	140.5	152.4	155.5	125.1	134.0	135.7
			1.52MPa	54.2	54.7	55.5	55.1	51.4	57.7	79.6	94.7	45.9	51.9	55.1	71.2	101.4	129.7	135.4	72.6	80.1	90.6
成形収縮率	独自規格 ^⑧	%	MD平均	0.25	-	-	0.05	1.69	-	-	0.63	1.04	-	-	0.55	-	-	0.10	-	-	0.93
			ID平均	0.19	-	-	0.12	1.25	-	-	0.53	0.92	-	-	0.72	-	-	0.74	-	-	1.01
熱膨張係数	ISO 11359-2	10 ⁻⁵ ・K ⁻¹	MD平均	10.61	-	-	4.43	16.59	-	-	3.69	12.99	-	-	7.12	-	-	1.54	-	-	5.91
			ID平均	10.43	-	-	5.95	12.42	-	-	12.24	13.70	-	-	12.12	-	-	12.72	-	-	9.05

2. 1. 1 PLA 耐熱性向上検討

2. 1 項の基本物性評価結果より、耐熱性を反映する指標である荷重たわみ温度について、PLA はパルプの添加で向上することができなかった。その原因としては結晶性の低さが影響していると考ええる。プラスチックには結晶領域と非晶領域があり、結晶領域の方が非晶領域よりも拘束力が高く分子が動き出す温度も高い。融点以上になると結晶領域の分子も動き出すのだが、融点以下では結晶領域の分子の動きは止まり、非晶領域の分子のみが動いている状態になる。これより、非晶領域の多い材料は T_g 以上になると、より柔らかくなることが分かる。プラスチックを成形した後、 T_g 以下になると結晶化が進まないことが分かっている。60℃付近に T_g を持つ PLA は、60℃以下に降温するまでにいかに結晶領域を増やすかが重要である。

今回、対策として2つ検討した。1つ目は、アニール処理である。これは、成形後の成形体を 110℃で1時間加熱することで分子を再配向させて結晶領域を増やすといった方法である。2つ目は、結晶核剤の添加である。これは、結晶化を促進する添加材を加える方法である。耐熱性を測定した結果を図 2.1.1.1 に示す。測定結果より、アニール処理の方が高い耐熱性を示した。これは、高温で時間をかけて加熱したことで、より結晶化が進んだためと考える。

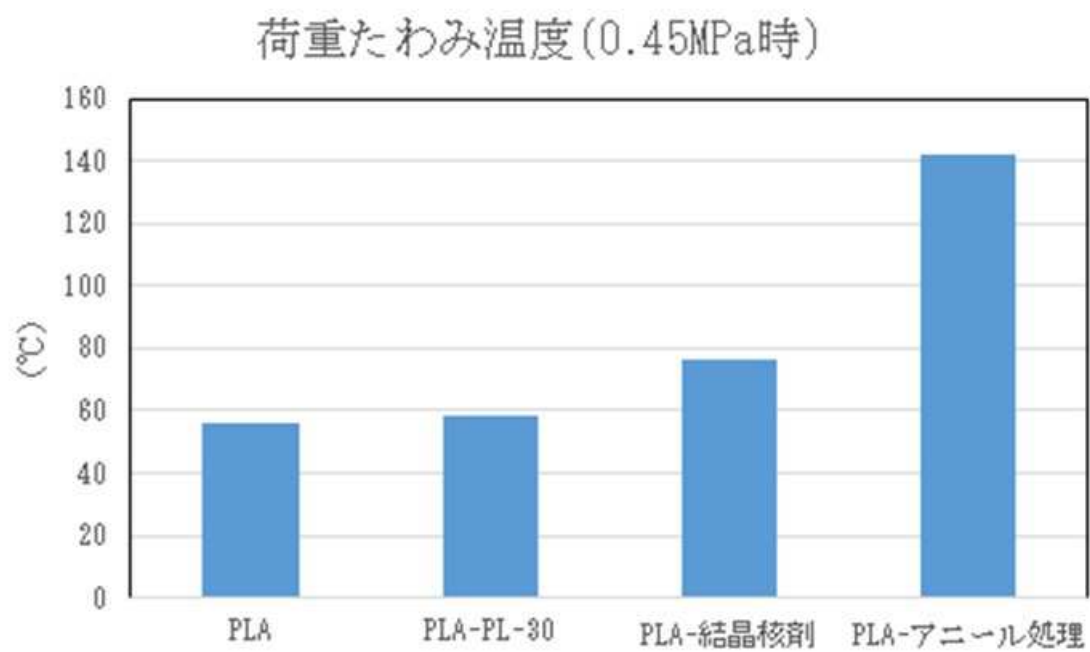


図 2.1.1.1 荷重たわみ温度測定結果

2. 2 燃焼性

自動車部品は、大きく外装部品と内装部品に分けられるが、それぞれ求められる特性が異なる。内装部品の燃焼性を判断する規格として、米国連邦自動車安全規格の一つである自動車内装材の燃焼性規格(Federal Motor Vehicle Safety Standards No. 302(FMVSS302))が適用される。これは、内装材に火が触れた際の燃え広がりやすさを調査するための試験であり、材料に着火した後、炎が伝播する速度(燃焼速度)を測定する。本節では、自動車内装材に適用することを想定し、FMVSS302に基づく燃焼試験により、内装材への適合性を調査した。

バイオプラスチックに古紙パルプを添加することで燃焼性が変化すると考えられる。そこで、古紙パルプを添加しない水準と最も添加量の多い水準で試験体を成形し、その燃焼性を調査することで、パルプの添加と燃焼性との関係について考察を行った。試験体はPLA-PL-30、PE-PL-50、PA-PL-30の材料水準を作製した。試験体のサイズは、射出成型により350mm×100mm×2mmのFMVSS302燃焼試験用を作製した。試験体を平行に保持し、高さ38mmの炎を15秒間接炎し、第1標線から第2標線間254mmにおける燃焼速度により判定を行った。燃焼試験の内容を表.2.2.1に示す。燃焼試験の結果については試験片に着火しない、または燃焼距離51mm以内(且つ60秒以内)で自己消化する、または燃焼速度が102mm/min以下である場合をFMVSS302に適合と判断をした。老化の影響も確認するために、PLAについては熱老化後の燃焼性試験を実施した。

表 2.2.1 燃焼性試験内容

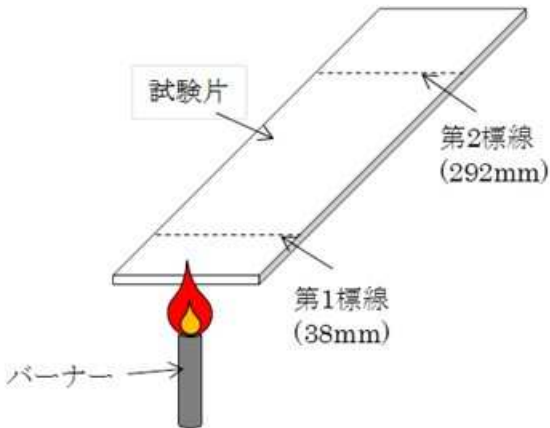
評価項目	規格	備考
燃焼試験	FMVSS No.302	試験環境：23±2℃、(50±5)%RH 仕様ガス：メタンガス 試験N数：3 <試験条件> 第1標線(38mm標線)から第2標線までの254mm区間 (燃焼区間)での燃焼速度を計算 <評価判定> FMVSS No.302に規定されている「燃えない」、または 「燃焼速度が102mm/min以下、または燃焼距離51mm以内 (かつ60秒以内)で自己消火」の場合、適合と判定 

表 2.2.2、表 2.2.3 および表 2.2.4 に試験結果を示す。すべての試験体の燃焼性結果を FMVSS302 にて判定を実施した。いずれの試験体においても FMVSS302 を満足する結果となった。過去の知見より、プラスチックに植物フィラーを添加することで燃焼速度を抑えることが可能であることが分かっている。それは、燃焼の状態を確認すると、プラスチックは炎が燃え広がっていくのに対し、植物フィラーは炭化が起こるため炎の進行が遅れると推測している。古紙パルプ非添加品との比較が必要ではあるが、今回も同様に燃焼性が抑えられたと推測している。PLA 熱老化後の燃焼性について、熱老化の無い試験体と比較し同等の結果となった。熱老化によって試験体が若干白濁はするものの燃焼性へは影響がないことが分かった。

表 2.2.2 PLA-PL-30 燃烧性試験結果

材料	老化条件	No.	燃烧距離 (mm)	燃烧時間 (秒)	燃烧速度 (mm/分)	最大値 (mm/分)
PLA-PL-30	無し	1	254	286	54	56
		2	254	272	56	
		3	254	285	54	
	70℃×336h	1	254	279	55	57
		2	254	267	57	
		3	254	270	57	

表 2.2.3 PE-PL-50 燃焼性試験結果

材料	老化条件	No.	燃焼距離 (mm)	燃焼時間 (秒)	燃焼速度 (mm/分)	最大値 (mm/分)
PE-PL-50	無し	1	254	516	30	30
		2	254	531	29	
		3	254	532	29	

表 2.2.4 PA-PL-30 燃焼性試験結果

材料	老化条件	No.	燃焼距離 (mm)	燃焼時間 (秒)	燃焼速度 (mm/分)	最大値 (mm/分)
PA-PL-30	無し	1	—	—	-(自己消化性)	22
		2	75	210	22	
		3	/	/	0 (不燃性)	

2. 3 揮発性有機化合物・におい・フォギング

自動車内装部品に採用する際、揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds ; VOC)、におい、フォギングのデータを把握することが必要になる。そこで今回、各試験体について確認を行った。

2. 3. 1 VOC 試験

自動車内装部品においては、シックハウスの原因物質となる VOC 成分について指針値が設けられている。そこで、厚生労働省の室内濃度に対する VOC 指針値指定物質に対し確認を行った。結果を表 2.3.1.1～表 2.3.1.6 に示す。

確認結果より、どの材料についてもパルプを添加することによりホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの発生量が高くなる傾向にあった。この結果より、基準の厳しい部品に対してはキャッチャー剤添加等の対策が必要であると考えられる。PE についてはテトラデカンの発生量が高くなるが、現状自動車としては問題視していない。ただし、今後の評価の中で注視していきたい。

表 2.3.1.1 PLA VOC 分析結果

単位: µg/試料

測定成分	操作ブランク b	PLA			平均 a	平均-ブランク c=a-b
		1 20.5g	2 20.5g	3 20.5g		
ホルムアルデヒド	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満	0.05	0.05 未満	0.05 未満
アセトアルデヒド	0.05 未満	0.75	0.74	0.79	0.76	0.73
トルエン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
エチルベンゼン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
キシレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
スチレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
テトラヒカン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-n-ブチル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満

表 2.3.1.2 PP-PL-30 VOC 分析結果

測定成分	操作ブランク b	PLA-PL-30			平均 a	平均-ブランク c=a-b
		1 21.7g	2 21.7g	3 21.7g		
ホルムアルデヒド	0.05 未満	0.13	0.12	0.12	0.12	0.10
アセトアルデヒド	0.05 未満	1.99	1.82	1.74	1.85	1.82
トルエン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
エチルベンゼン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
キシレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
スチレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
テトラヒカン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-n-ブチル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満

単位: µg/試料

表 2.3.1.3 PE VOC 測定結果

単位: $\mu\text{g}/\text{試料}$

測定成分	操作ブランク b	PE			平均 a	平均-ブランク c=a-b
		1 15.3g	2 15.4g	3 15.4g		
ホルムアルデヒド	0.05 未満	0.11	0.10	0.09	0.10	0.08
アセトアルデヒド	0.05 未満	0.09	0.10	0.09	0.09	0.07
トルエン	0.02 未満	0.06	0.09	0.10	0.08	0.08
エチルベンゼン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
キシレン	0.02 未満	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
スチレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
テトラデカン [※]	0.02 未満	31.0 [※]	32.0 [※]	33.1 [※]	32.0 [※]	32.0 [※]
フタル酸ジ-n-ブチル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満

表 2.3.1.4 PE-PL-50 VOC 分析結果

測定成分	操作ブランク b	PE-PL-50			平均 a	平均-ブランク c=a-b
		1 19.2g	2 19.2g	3 19.2g		
ホルムアルデヒド	0.05 未満	0.23	0.14	0.14	0.17	0.14
アセトアルデヒド	0.05 未満	2.31	1.91	2.05	2.09	2.07
トルエン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
エチルベンゼン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
キシレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
スチレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
テトラデカン	0.02 未満	4.01	4.47	4.78	4.42	4.42
フタル酸ジ-n-ブチル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満

単位: $\mu\text{g}/\text{試料}$

表 2.3.1.5 PA VOC 分析結

単位: µg/試料

測定成分	操作ブランク b	PA			平均 a	平均-ブランク c=a-b
		1 16.7g	2 16.7g	3 16.6g		
ホルムアルデヒド	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満
アセトアルデヒド	0.05 未満	0.10	0.09	0.09	0.09	0.07
トルエン	0.02 未満	0.02	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
エチルベンゼン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
キシレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
スチレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
テトラヒカン	0.02 未満	0.02 未満	0.03	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-n-ブチル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満

表 2.3.1.6 PA-PL-30 VOC 分析結果

測定成分	操作ブランク b	PA-PL-50			平均 a	平均-ブランク c=a-b
		1 18.6g	2 18.6g	3 18.6g		
ホルムアルデヒド	0.05 未満	0.16	0.23	0.21	0.20	0.17
アセトアルデヒド	0.05 未満	0.74	0.79	0.80	0.78	0.76
トルエン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
エチルベンゼン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
キシレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
スチレン	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
テトラヒカン	0.02 未満	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05
フタル酸ジ-n-ブチル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満

単位: µg/試料

2. 3. 2 におい試験

自動車の乗員が快適な車室内空間で走行できるよう、自動車内装部品については、においに関する規定が設けられている。

試験方法は日本建築学会環境基準である AIJES-A007-2010 の室内の臭いに関する嗅覚測定マニュアルに準じた尺度でにおい強度、快不快度の測定を行った。においサンプルと不揮発性ガスの入ったアルミバックを夏場の車室内で想定される温度に加温し、臭い試験を実施した。

試験体は、PLA、PLA-PL-30、PE、PE-PL-50、PA、PA-PL-30 を使用した。



図 2. 3. 2. 1 におい試験の様様

におい試験の結果を図 2. 3. 2. 2～図 2. 3. 2. 7 に示す。どの材料においても、古紙パルプを添加することでおいが悪化することが分かった。PE-PL-50、PA-PL-30 については、強度、快不快度ともに悪化した。強度については、らくに感知できる強さ以上に強いにおいで、不快度もやや不快を超えているため、内装材料としては問題あるレベルであると考えられる。においの質としては、焦げ臭などの臭いを感じた。過去の知見より、焦げ臭の原因とされる成分としては、ヘミセルロース等の糖分解物であるとフルフラールであることが分かっており、これについては対策が必要である。

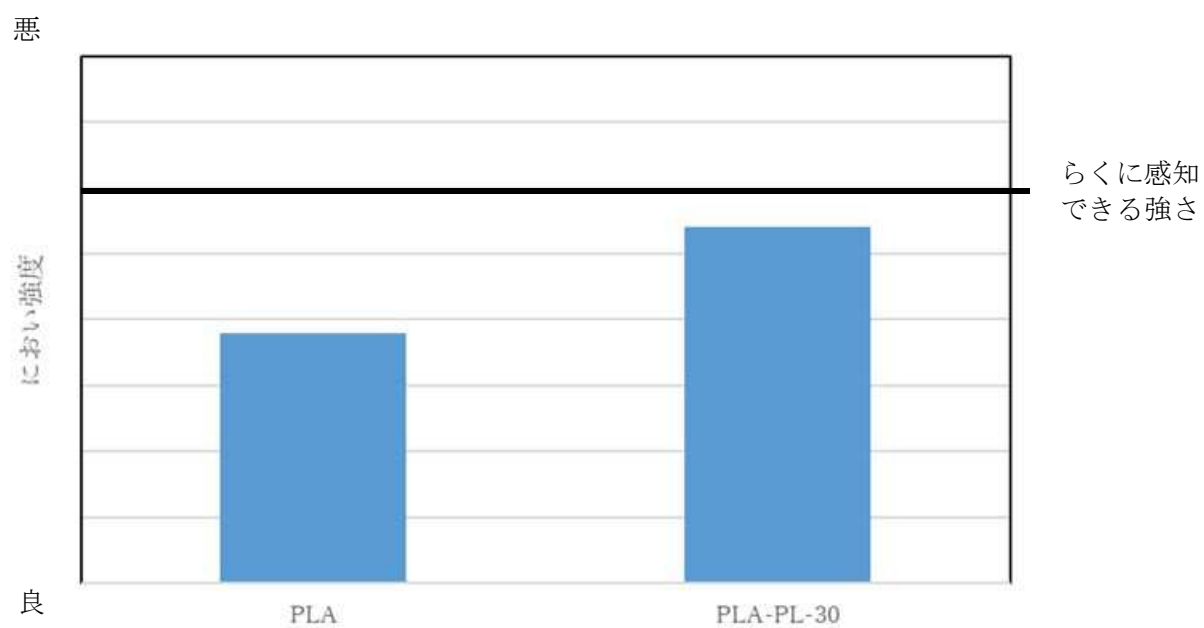


図 2.3.2.2 PLA、PLA-PL-30 におい強度

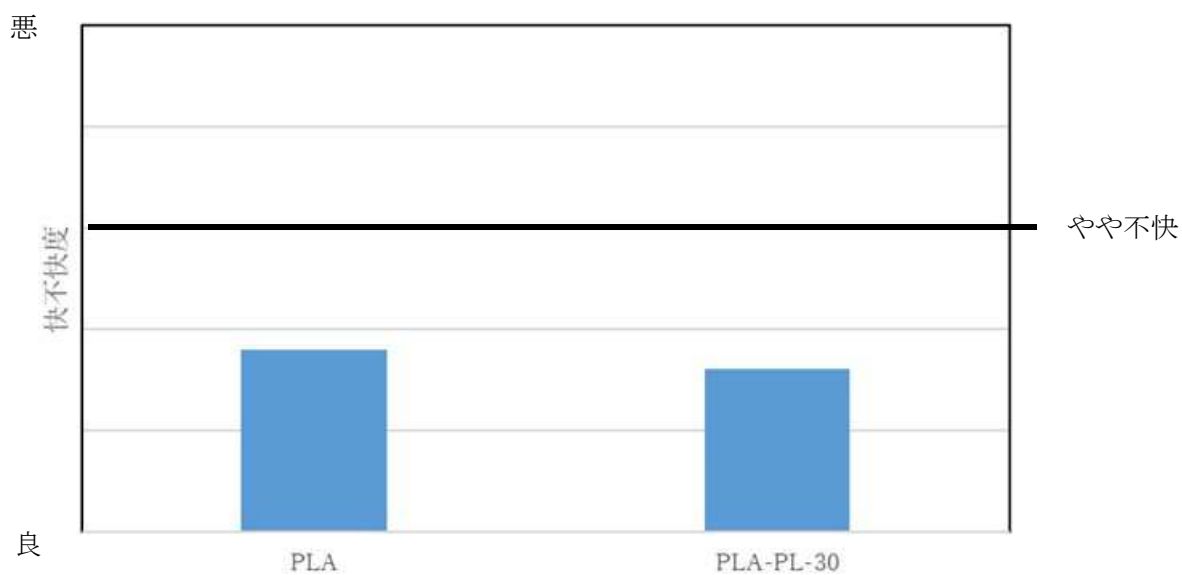


図 2.3.2.3 PLA、PLA-PL-30 におい快不快度

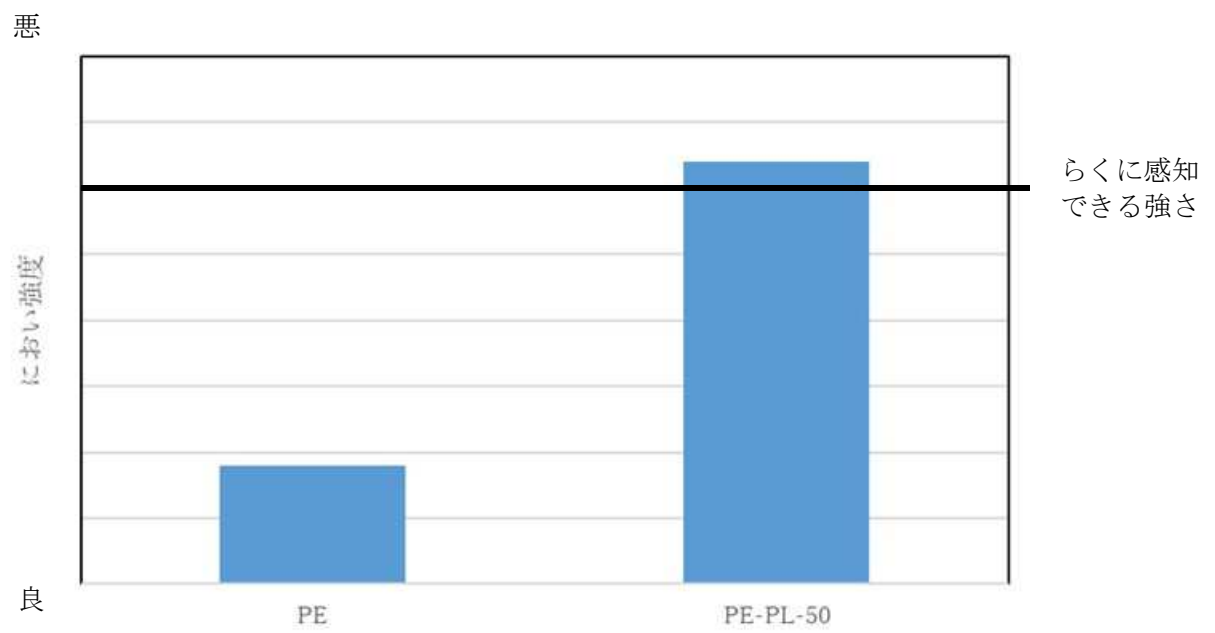


図 2.3.2.4 PE、PE-PL-50 におい強度

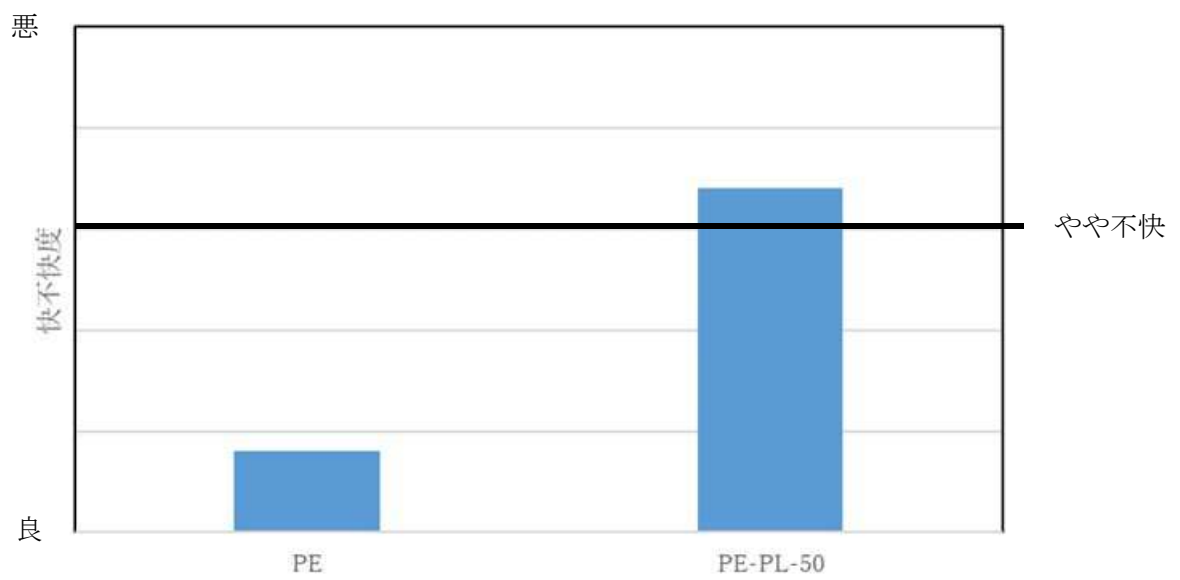


図 2.3.2.5 PE、PE-PL-50 快不快度

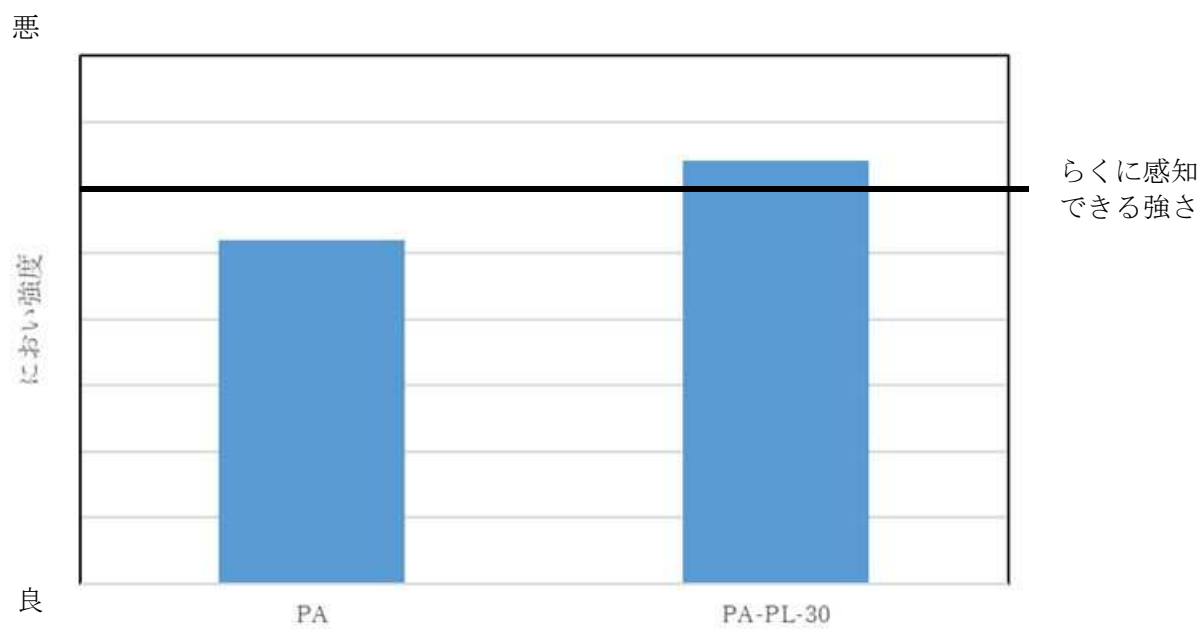


図 2.3.2.6 PA、PA-PL-30 におい強度

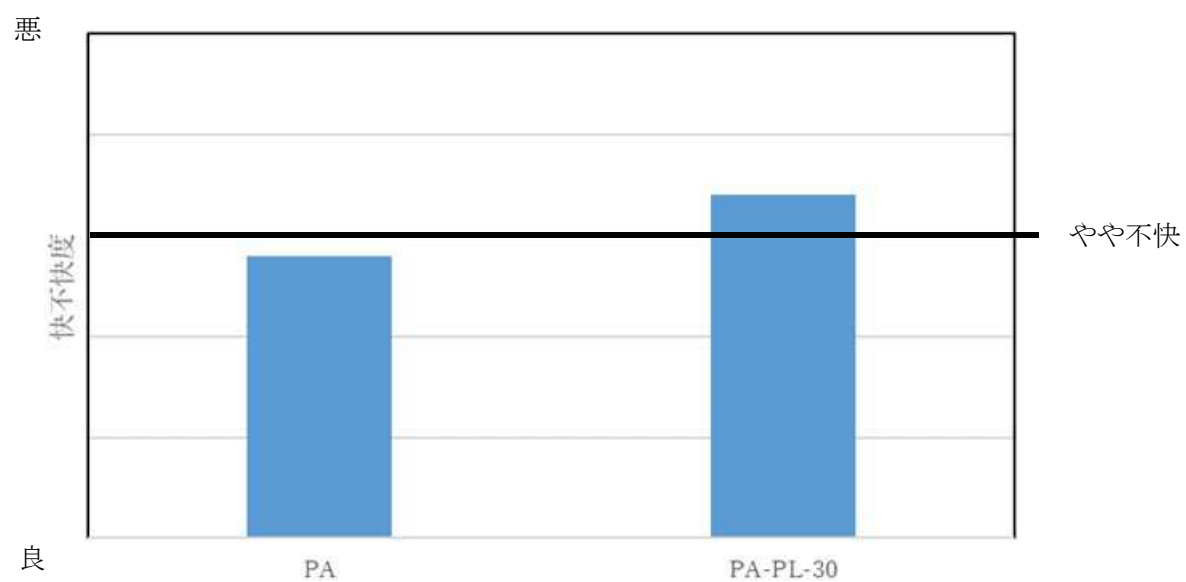


図 2.3.2.7 PA、PA-PL-30 快不快度

2. 3. 2. 1 におい試験対策

におい試験において、PE-PL-50、PA-PL-30 は焦げ臭が問題レベルの結果となったため対策を検討した。対策の水準を表 2. 3. 2. 1. 1 に示す。射出成形にて試験体を作製する際の材料の乾燥温度、射出成形温度を変更した水準を作製した。各水準のねらいは表に示す通りである。

表 2. 3. 2. 1. 1 におい対策水準

水準	ペレット乾燥条件		成形温度	ねらい
	温度	時間		
①	UP	UP	—	成形前にしっかり乾燥し不純物を飛ばす
②	—	—	down	射出成型の温度を下げて分解物の発生を抑える
③	UP	UP	down	①と②の組み合わせ

対策水準での臭い試験結果を図 2. 3. 2. 1. 1、図 2. 3. 2. 1. 2 に示す。評価結果より、対策水準①が最も効果的であることが分かった。材料の乾燥をしっかり行うことで、においの原因物質が揮発したと推測する。PE-PL-50 についてはわずかに目標未達のため、さらにパルプ添加量の最適化等の検討が必要であると考ええる。

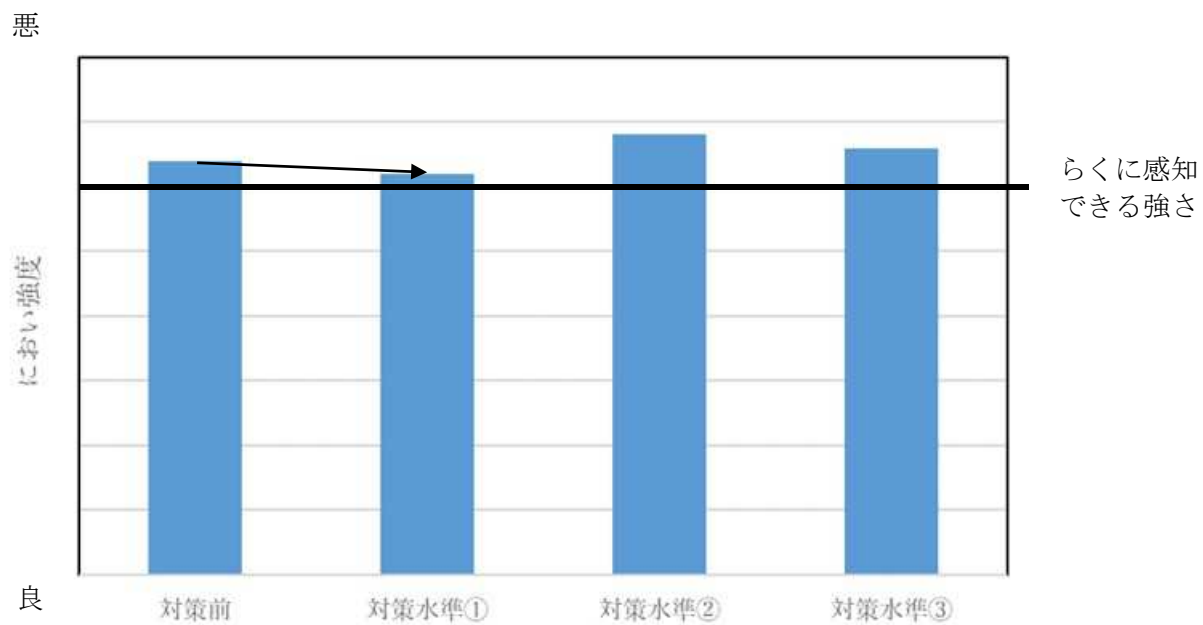


図 2.3.2.1.1 PE-PL-50 におい強度 対策評価結果

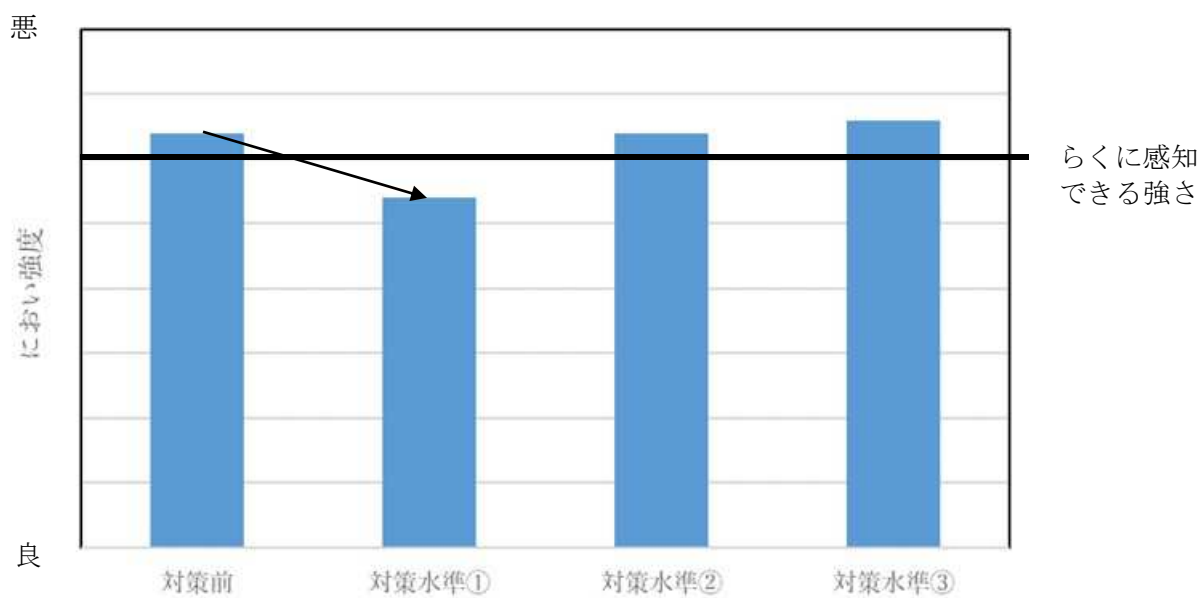


図 2.3.2.1.2 PA-PL-30 におい強度 対策評価結果

2. 3. 3 フォギング試験

自動車の運転手が安全な視界を確保し走行できる様に自動車内装部品については、構成材料から揮発する成分の量に規制が設けられている。人体への影響はもちろん、他部品への揮発性成分の付着等を防ぐために規格・規定値を設け、材料性能の一つとして評価される。バイオプラスチックに古紙パルプを添加したことによるフォギング性への影響を確認するため評価を実施した。

図 2.3.3.1 に揮発物質量を定量化するフォギング試験方法の例を示し、実際に図中ガラス板の揮発成分による曇価をヘーズメーターによって定量化した評価結果を表 2.3.3.1、表 2.3.3.2 および表 2.3.3.3 にまとめた。曇価については、試験前のガラス板が 100%であり、試験後のガラス板については曇りが小さいものほど曇価は高い値を示す。評価結果より、いずれの材料についても曇価は良好な値を示した。よって古紙パルプの添加することによる曇価悪化への影響は小さいと考えられる。

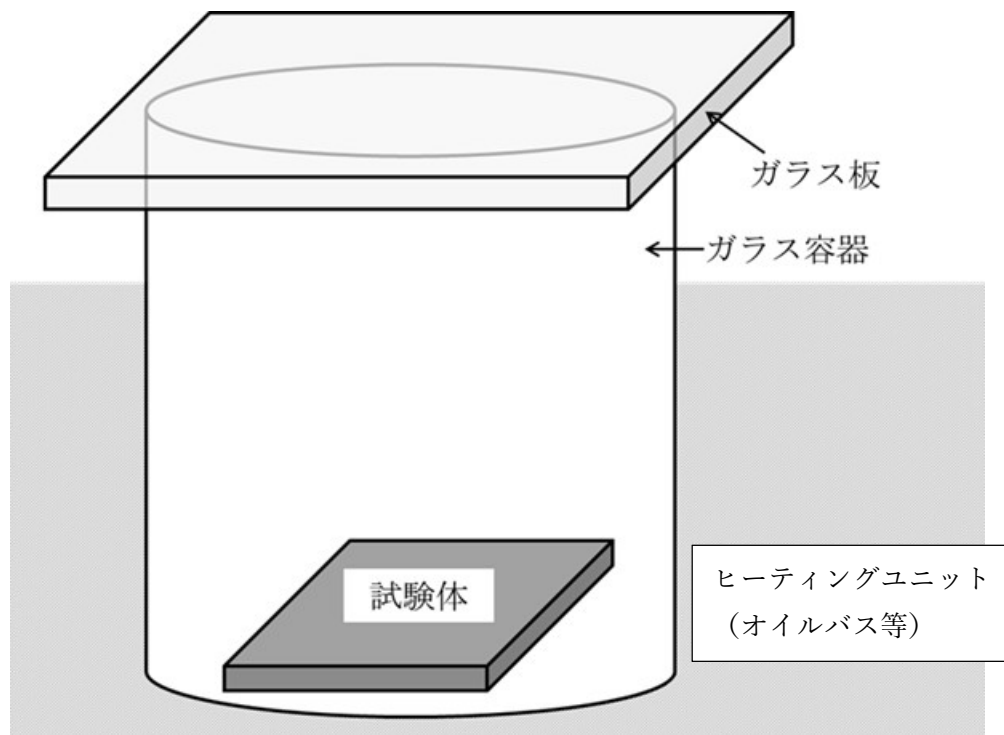


図 2.3.3.1 フォギング試験方法

表 2.3.3.1 PLA-PL-30 フォギング試験結果

試料名		ガラス霞み度 B (%)					
		試験前			試験後		
		1	2	3	1	2	3
PLA-PL-30	a	155.5	155.4	155.4	153.7	153.2	153.3
	b	155.5	155.4	155.4	153.8	153.3	153.4
	c	155.5	155.4	155.5	153.9	153.3	153.5
	d	155.4	155.4	155.5	153.9	153.4	153.5
	Av	155.5	155.4	155.5	153.8	153.3	153.4
光沢保持率 平均値 (%) (曇値) (試験後/試験前)*100					98.9	98.6	98.7
					98.8		

表 2.3.3.2 PE-PL-50 フォギング試験結果

試料名		ガラス霞み度 B (%)					
		試験前			試験後		
		1	2	3	1	2	3
PE-PL-50	a	155.1	154.9	155.2	151.8	152.8	154.0
	b	155.1	155.0	155.1	152.7	153.3	154.2
	c	155.3	155.2	155.3	151.2	153.8	153.2
	d	155.3	155.2	155.3	151.9	153.7	154.0
	Av	155.2	155.1	155.2	151.9	153.4	153.9
光沢保持率 平均値 (%) (曇値) (試験後/試験前)*100					97.9	98.9	99.1
					98.6		

表 2.3.3.3 PA-PL-30 フォギング試験結果

試料名		ガラス霞み度 B (%)					
		試験前			試験後		
		1	2	3	1	2	3
PA-PL-30	a	155.5	155.2	155.1	151.3	152.2	152.5
	b	155.4	155.2	155.0	151.7	152.4	152.7
	c	155.6	155.1	155.2	151.6	152.5	152.6
	d	155.5	155.1	155.2	151.6	152.5	152.8
	Av	155.5	155.2	155.1	151.6	152.4	152.7
光沢保持率 平均値 (%) (曇値) (試験後/試験前)*100					97.5	98.2	98.4
					98.0		

2. 4 耐湿熱老化試験

吸湿については、PLA や PA が影響を受けやすい因子である。特に PLA については湿熱の影響を受けて加水分解するといった懸念がある。PLA は分子内に多数のエステル基を持ち、加水分解が起こりやすい性質を持っている。高温多湿の環境下では PLA が吸湿し、長期的にみると加水分解が起こり、低分子化が進むことで強度低下などといった PLA の性能が変化することが想定される。そこで PLA の耐湿熱性を評価する条件として、夏場の車室内環境を想定した。

2. 4. 1 試験方法

PLA と PLA-PL-30 を用いて 2. 1 項と同様、射出成型によりダンベル形状の成形体を作製した。成形体を 50℃、相対湿度 95%の恒温恒湿槽に入れ所定の時間暴露した。暴露後に回収した試験体の引張強度を測定して、時間経過と強度との関係を調査した。引張試験は 2mm/min にて実施した。

2. 4. 2 試験結果

成形体の暴露時間に対する引張強度変化を図 2. 4. 2. 1 に示す。PLA は暴露時間に対し大きな強度変化はなかったのに対し、PLA-PL-30 は約 30%の強度低下を示した。古紙パルプの主成分はセルロースで構成されており、セルロースは熱負荷によってギ酸や酢酸が分解成分として発生する。成形体を作製するまでの PLA と古紙パルプの混練、射出成型の熱負荷により、古紙パルプから発生した酸成分により PLA が加水分解し低分子化が起こり、その影響で湿熱暴露試験での強度低下が起こったと推測する。

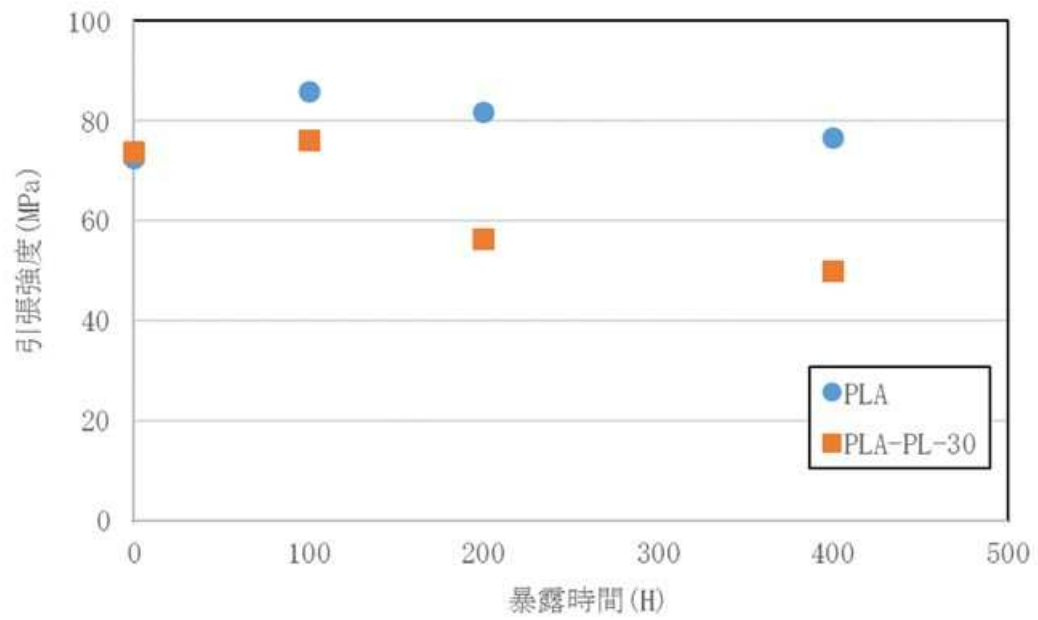


図 2. 4. 2. 1 50℃、相対湿度 95%環境下における
PLA および PLA-PL-30 の引張強度変化

2. 4. 3 湿熱老化試験の強度低下対策

PLA-PL-30 の引張強度低下に対する対策として、材料改良による耐湿性向上や湿度の影響を受けにくい構造で使いこなすなどの対策が考えられる。今回は、湿度の影響を受けにくい構造での対策を模擬した試験を実施した。

試験方法としては、2. 4. 1 項と同様の成形体を作製し、アルミパックに封入後に、50℃、相対湿度 95%の環境に暴露した。暴露後の成形体の引張強度の結果を図 2. 4. 3. 1 に示す。試験結果を確認すると、特に PLA-PL-30 についてほとんど強度低下は見られなかった。この結果より、湿度の影響を受けないような構造で材料を使いこなす対策は有効であることが分かった。

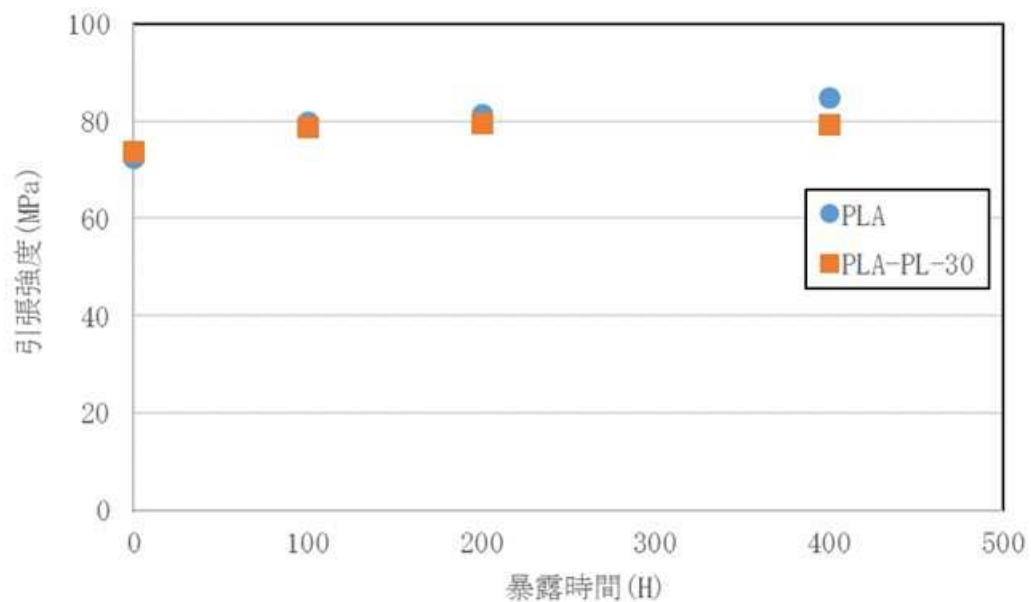


図 2. 4. 3. 1 50℃、相対湿度 95%環境下における
PLA および PLA-PL-30 の引張強度変化

2. 5 耐光性試験

プラスチックは紫外線により酸化し低分子化することがよく知られている。バイオプラスチックについても同様である。従って、日光の直射を受ける内外装部品にバイオプラスチックを適用する場合、紫外線による材料特性への影響を理解しておくことは非常に重要である。また、多くのプラスチック樹脂が紫外線により変質し、色味や艶の変化を伴うことから、紫外線による影響は力学物性変化だけではなく、部品の外観に与える変化も懸念される。そこでバイオプラスチックの耐光性を評価する方法として、自動車の内装材の耐光性評価に用いられているキセノンランプを用いた促進劣化試験を実施した。

2. 5. 1 成形体作製

PLA、PE、PA、PLA-PL-30、PE-PL-50 および PLA-PL-30 の計 6 種類の平板成形体を作製した。

2. 5. 2 耐光性試験

耐光試験は光源にキセノンランプを用いた。試験条件は放射照度 $150\text{W}/\text{m}^2$ 、放射露光量 300MJ とした。試験結果は試験前後の成形体の色差、光沢保持率、外観変化について評価した。

2. 5. 3 試験結果

耐光試験の結果を表 2.5.3.1 に示す。PLA、PE、PA は照射中間時点の色差、光沢保持率の変化は小さい値を示したが、試験終了後において各々大きく変化した。これは成形体表面が白く退色したためである。パルプ添加品については 150MJ 時点で、色差、光沢保持率ともに大きな変化を示した。ベースのバイオプラスチックは照射中間時点では大きな変化を示さないことから、これはパルプに起因するものであると考えられる。成形時の熱によりパルプの一部が変色し黒味を帯びた色を示したが、紫外線照射により、その成分がさらに変色したと考えられる。また、PE-PL-50、PA-PL-30 は照射面においてクラックが観察されている。これは紫外線により表面のプラスチックが分解したためである。耐光剤や UV 吸収剤などを添加し、プラスチックの劣化を抑える必要がある。

上記の通り、バイオプラスチックにパルプを添加した材料は成形時の温度に起因するパルプの色変化により黒味を帯びた色を示し、紫外線を吸収することで更なる色変化が生じることが分かった。この材料を自動車内装材へ適用するためには、成形時のシリンダー温度を低く設定することはもちろん、熔融温度がなるべく低くなるような成形条件を選定することでパルプの変色を抑える、もしくは材料を着色することで色変化を目立ちにくくする等の検討が必要であることが分かった。

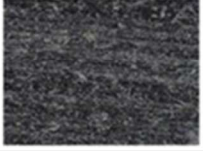
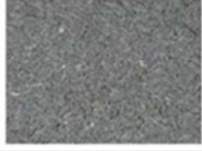
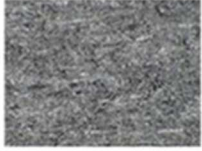
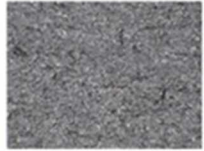
水準	照射時間 (MJ)			色差 (ΔE)		光沢保持率 (%)		外観	
	0	150	300	150	300	150	300	150	300
PLA				2.2	11.5	72.0	53.1	白く退色	白く退色
PE				0.5	0.4	96.7	98.3	問題なし	問題なし
PA				3.4	2.8	85.2	101.6	やや白く退色	やや白く退色
PLA-PL-30				24.5	30.7	16.1	15.4	白く退色	白く退色
PE-PL-50				25.9	24.5	4.7	2.3	白く退色 クラック有	白く退色 クラック有
PA-PL-30				10.9	7.8	53.9	39.1	白く退色	白く退色 クラック有

図 2.5.3.1 耐光性試験結果

2. 6 耐衝撃特性評価

多くの自動車内外装部品において耐衝撃特性は重要な特性である。外部からの衝撃荷重入力に耐える強度もさることながら、破壊時の形態は適用部位によっては人に危害を加える要因となる。そこで今回、各バイオプラスチックについて部品を成形し、落錘衝撃試験を行うことで耐衝撃特性の評価を行った。

材料は PLA、PE、PA を用い、各々についてパルプを添加しない水準とパルプを 30% 添加した水準 (PLA-PL-30、PE-PL-30、PA-PL-30) を設け、部品を成形した。部品は射出成形により図 2.2.1 に示すシートシールドを作製した。日本製鋼所製の射出成形機 J220EⅢ を用い、PE、PE-PL-30、PLA、PLA-PL-30 については成形温度 200℃、PA、PA-PL-30 については成形温度 240℃にて成形した。



図 2.6.1 シートシールド

各成形体について落錘衝撃試験により耐衝撃性の評価を行った。試験装置は図 2.6.2 に示す一般財団法人日本自動車研究所保有の落錘衝撃試験機を用いた。試験は錐体重量 150kg、落下高さ 0.5m から平板状の錐体を図 2.5.3 に示す部位に衝突させ、破壊時の吸収エネルギーを求めた。破壊エネルギーは成形体と錐体が衝突する位置から 40mm の間に成形体が吸収したエネルギー量を算出し、それを超える分は試験機に取り付けた鉄製の円管にて吸収させた。また破壊状況を確認するため、高速度カメラにて破壊時の動画を撮影した。



図 2.6.2 落錘衝撃試験機

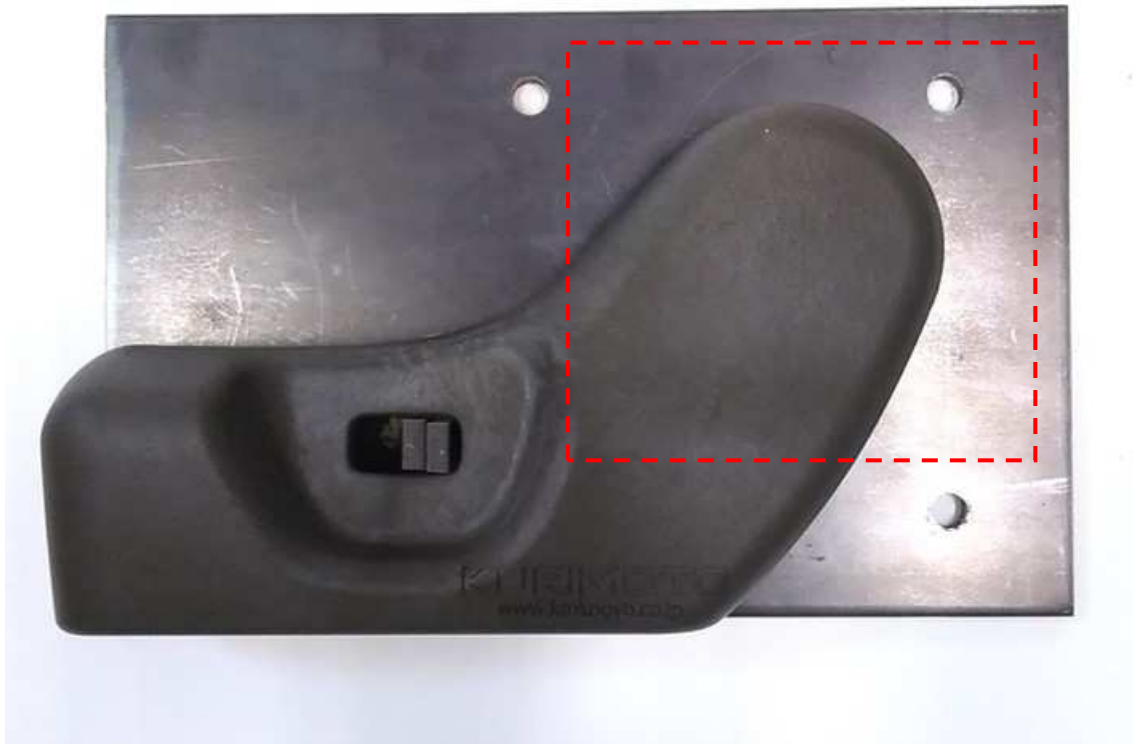


図 2. 6. 3 衝撃荷重入力部位(赤点線部)

落錘衝撃試験の結果について、パルプ添加無し水準を図 2.6.4 に、パルプ添加水準を図 2.6.5 に示す。また、各試験体の破壊状況について、パルプ添加無し水準を図 2.6.6 に、パルプ添加水準を図 2.6.7 に示す。表 2.1.4 に示す通り PLA は脆性なため、衝撃荷重が入力した後、わずかな変位量で錐体入力部全体に亀裂が生じ破壊した。PE は比較的延性が高い材料であり、錐体との衝突後はすぐに割れることなく変形しながらエネルギーを吸収し、PLA より高いエネルギー吸収量を示した。PA は最終的に PLA 同様、錐体入力部全体に亀裂を生じながら破壊するものの、比較的強度、靱性が高いため、最も高いエネルギー吸収量を示した。パルプを添加した場合、PLA-PL-30 は PLA 同様のエネルギー吸収量、破壊形態となった。PE-PL-30 はパルプの添加により脆化し、PE に比べエネルギー吸収量が低下した。PA-PL-30 については PE よりも脆化が顕著となり、パルプ添加水準の中で最も低い値を示した。

上記の結果より、各種バイオプラスチックにパルプを添加することで脆化し、エネルギー吸収量は低下傾向を示す。衝撃吸収特性と他の機械性能を踏まえ、最適なパルプ添加率を検証する必要がある。また破壊形態は PE でもシャープエッジな破片となり、人体への危害が懸念される。適用部位や部品構造について十分な配慮が必要であると考えられる。

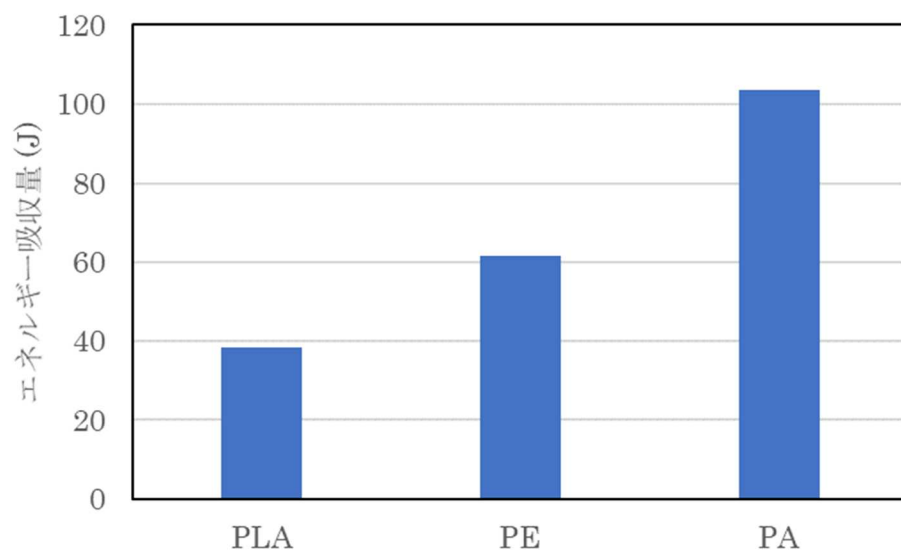


図 2.6.4 落錘衝撃試験時のエネルギー吸収量(パルプ添加無し)

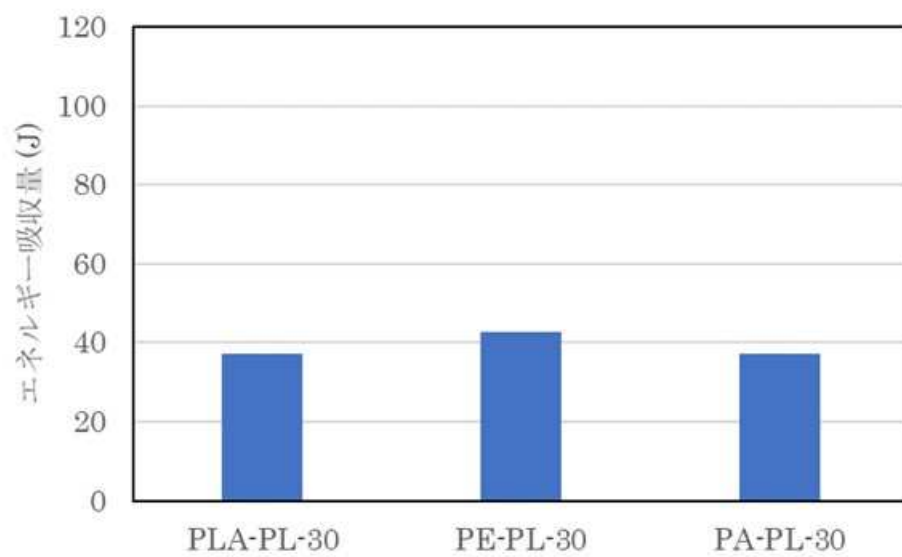


図 2.6.5 落錘衝撃試験時のエネルギー吸収量(パルプ添加有り)

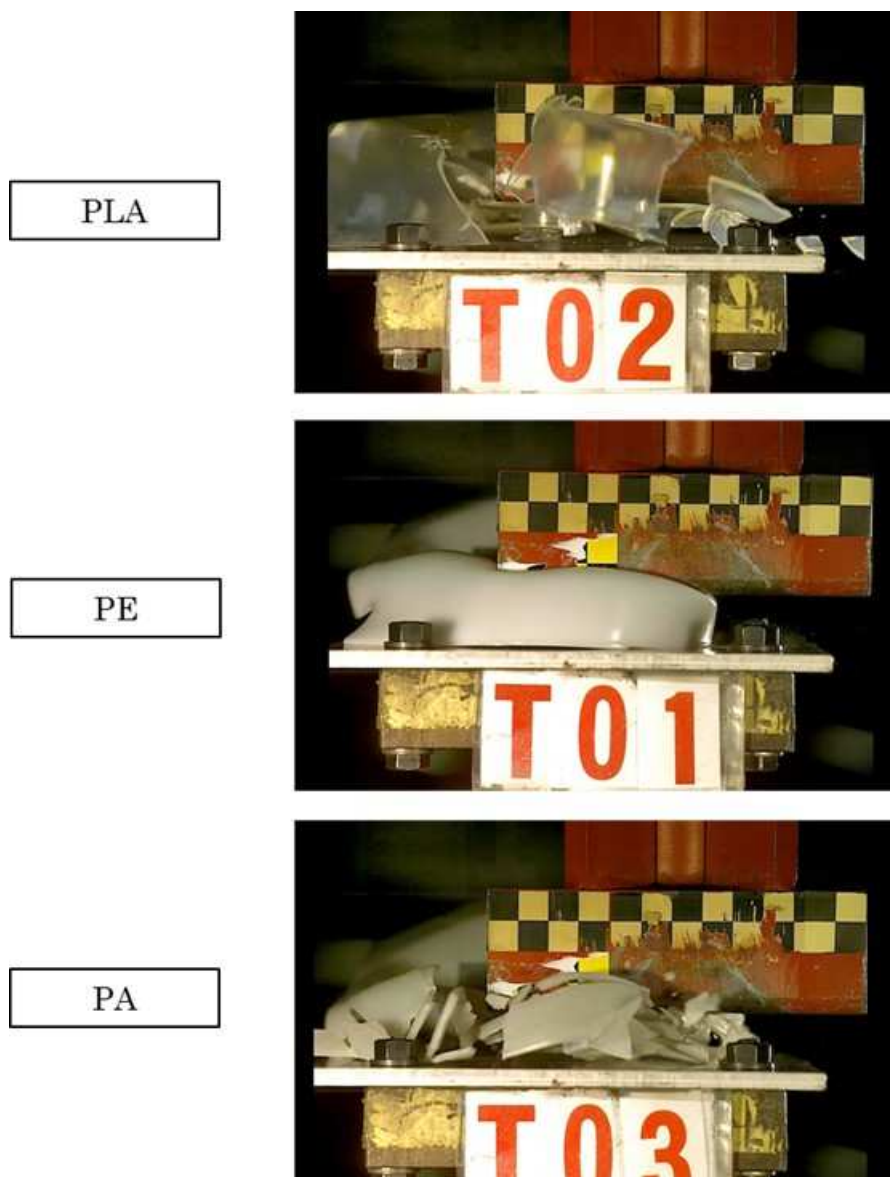


図 2.6.6 各試験体の破壊状況(パルプ添加無し)

PLA-PL-30



PE-PL-30



PA-PL-30



図 2.6.7 各試験体の破壊状況(パルプ添加有り)

2. 7 工程内リサイクル性の検証

バイオプラスチックのリサイクルを考えるに当たり材料劣化の要因把握は重要である。バイオプラスチックを使用した部品のライフサイクルを時系列で見ると図 2.7.1 の流れとなる。リサイクルにおける材料劣化の主な原因は大きく 3 つ、最初に押出しコンパウンド工程による負荷、次に射出成形工程による負荷、最後に市場環境負荷となる。市場回収リサイクルすることは、この 3 つの負荷を繰り返すことといえる。また、工程内リサイクルを行う場合は射出成形による負荷が繰り返されることになる。

本節では、実際の工程内リサイクルで繰り返しかかる熱負荷を想定し、材料劣化状況を把握することで、バイオプラスチックに適正な工程内リサイクル条件を明確にする。

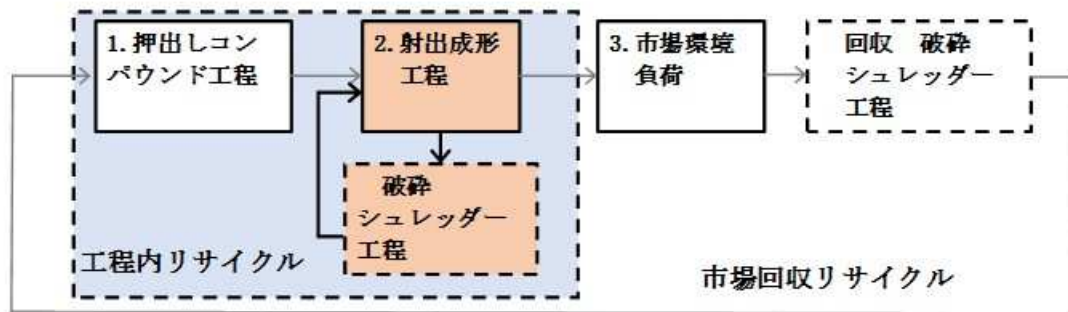


図 2.7.1 部品のライフサイクル

2. 7. 1 リサイクル回数と物性

図 2.7.1.1 に示すように工程内リサイクルでは射出成形時によるバイオプラスチック廃材を破碎後再び射出工程に戻す。工程内リサイクルの繰り返し回数の水準を 1 回から 5 回まで振り、成形されたバイオプラスチックの劣化状態を物性の変化から把握することにした。なお、工程内リサイクルの定義は、射出成形後のものを 100%破碎処理し、再度射出成形したものを 1 回リサイクルとする。

2. 7. 1. 1 材料水準

今回はバイオプラスチックそのもののリサイクル性を検証するために、PLA、PE、PA の 3 水準について評価することとした。

2. 7. 1. 2 リサイクル成形条件

成形機は図 2.7.1.2.1 に示す住友重機工業(株)製射出成型機 SH75(75t)を使用、成形条件詳細は表 2.7.1.2.1、表 2.7.1.2.2 および表 2.7.1.2.3 に示す。



図 2.7.1.1 成形機 SH75

表 2.7.1.2.1 PLA 成形条件

成形条件		温度条件 (°C)				射出速度 (%)		充填圧 (%)	保圧 (%)		計量時間 (sec)
		C1	C2	C3	C4	1次	2次		1次	2次	
推奨条件		210	225	240	230						
リサイクル回数	1回	210	225	240	240	15	10	19	13	16	13.7
	2回	210	225	240	240	15	10	16	13	16	17.0
	3回	210	225	240	240	15	10	18	13	16	16.5
	4回	210	225	240	240	15	10	18	13	16	16.9
	5回	210	225	240	240	15	10	17	13	16	17.7

表 2.7.1.2.2 PE 成形条件

成形条件		温度条件 (°C)				射出速度 (%)		充填圧 (%)	保圧 (%)		計量時間 (sec)
		C1	C2	C3	C4	1次	2次		1次	2次	
推奨条件											
リサイクル回数	1回	220	220	210	205	10	8	16	28	30	12.1
	2回	220	220	210	205	10	8	16	26	30	18.7
	3回	220	220	210	205	10	8	16	26	30	13.5
	4回	220	220	210	205	10	8	15	27	26	13.9
	5回	220	220	210	205	10	8	15	10	15	15.2

表 2.7.1.2.3 PA 成形条件

成形条件		温度条件 (°C)				射出速度 (%)		充填圧 (%)	保圧 (%)		計量時間 (sec)
		C1	C2	C3	C4	1次	2次		1次	2次	
推奨条件		180~220	180~221	180~222	130~170						
リサイクル回数	1回	190	190	180	175	24	12	36	22	24	18.2
	2回	190	190	180	175	24	12	35	22	24	13.2
	3回	190	190	180	175	24	12	35	22	24	15.0
	4回	190	190	180	175	24	12	33	22	20	20.5
	5回	190	190	180	175	24	12	32	22	24	19.7

2. 7. 2 物性変化

物性試験の前に、リサイクル回数による射出成形品の外観変化について図 2.7.2.1、図 2.7.2.2 および図 2.7.2.3 に示す。PLA、PA は工程内リサイクル回数が増加するにつれて若干黄ばみが発生することが分かった。PE は工程内リサイクル回数の増加により外観変化などの劣化の兆候はみられなかった。

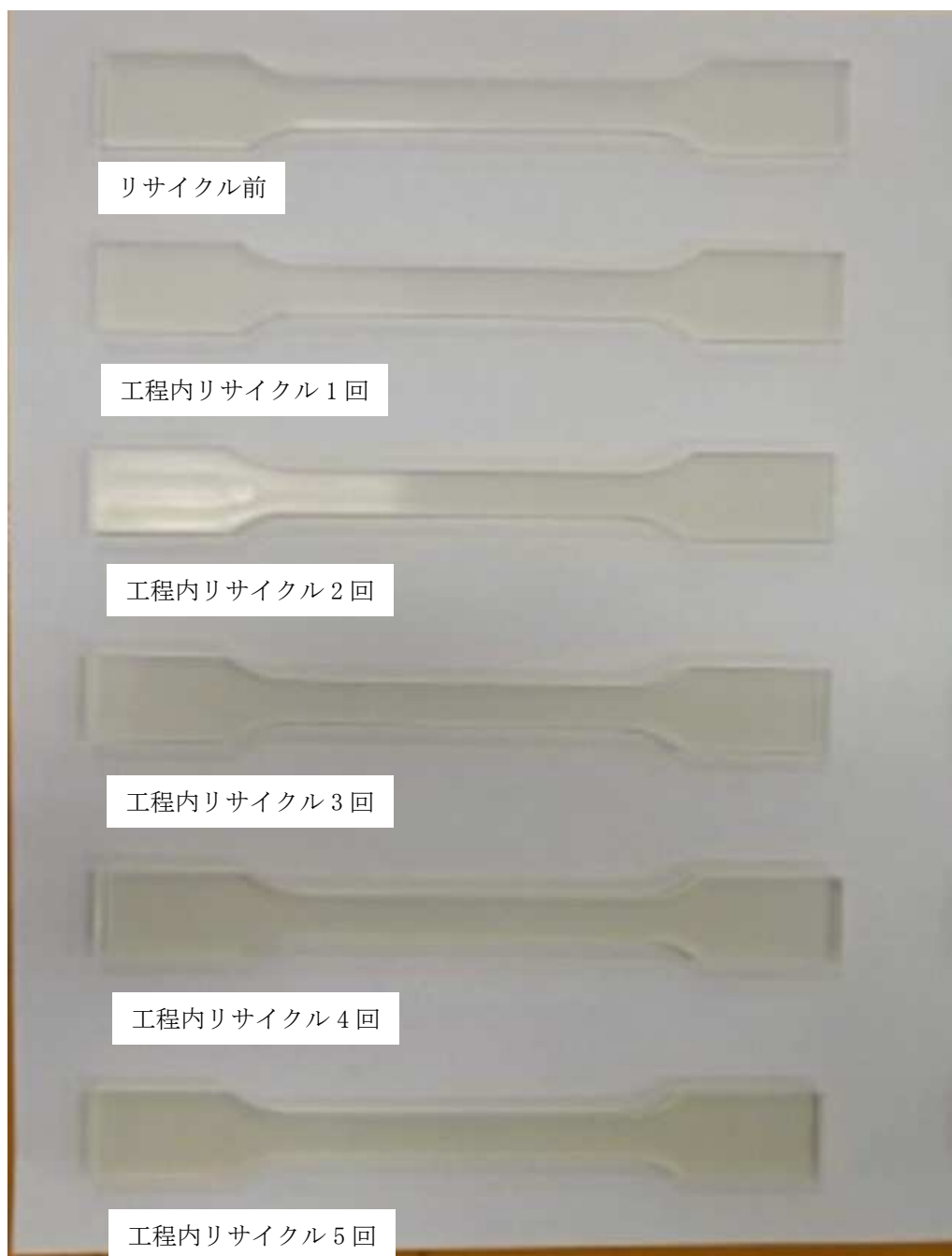


図 2.7.2.1 工程内リサイクル回数の増加による材料外観の変化(PLA)

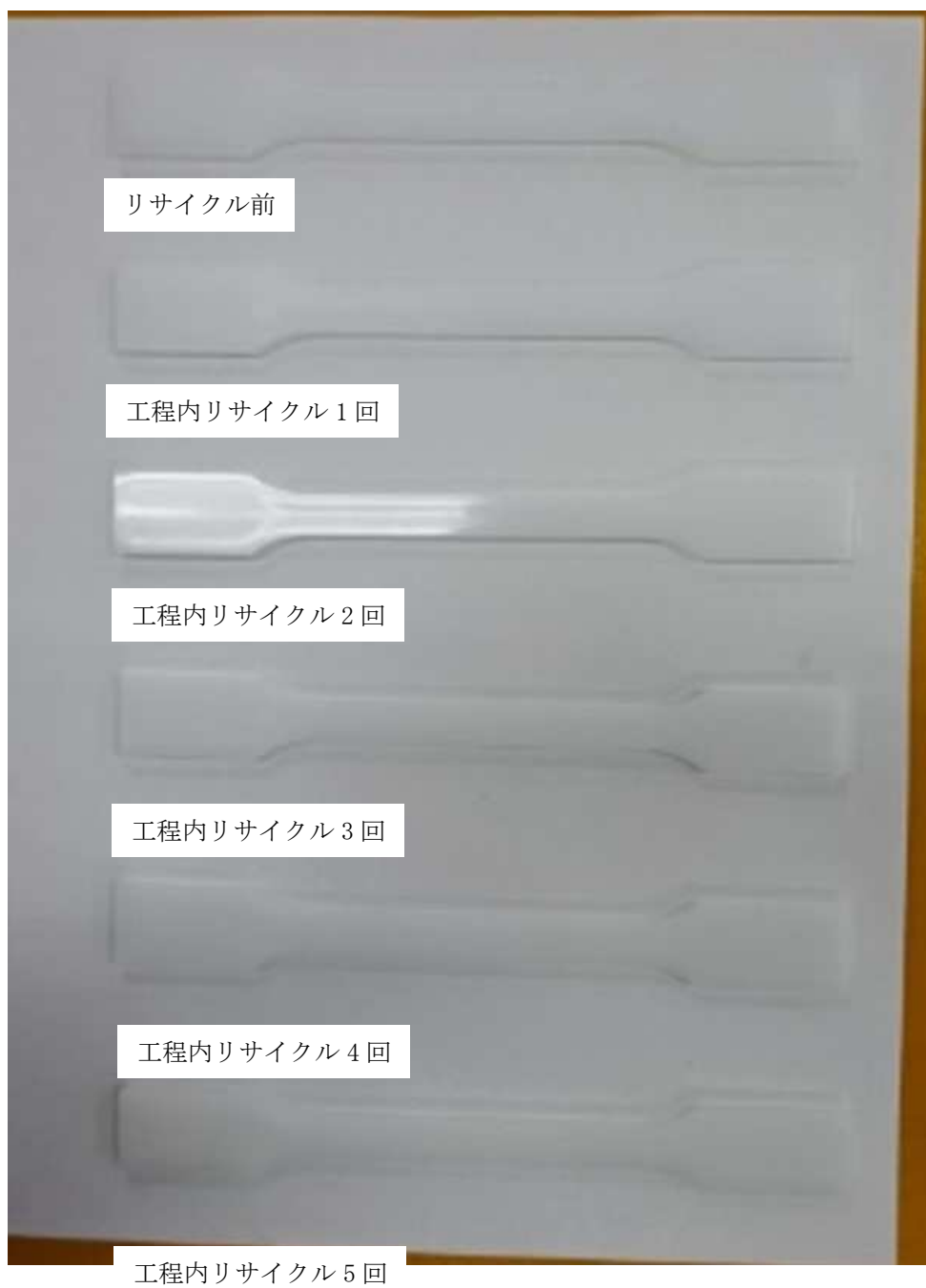


図 2.7.2.2 工程内リサイクル回数の増加による材料外観の変化(PE)

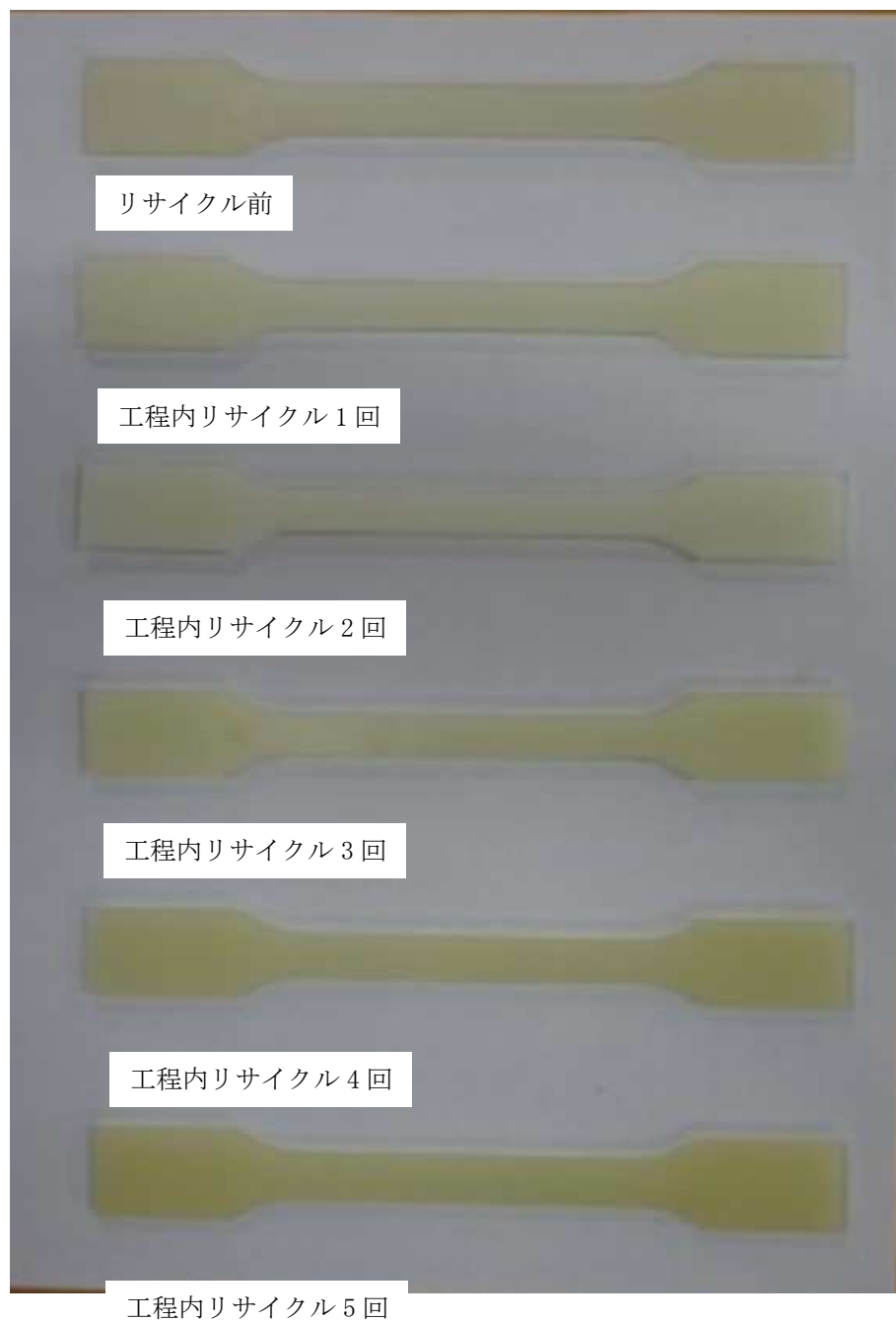


図 2.7.2.3 工程内リサイクル回数の増加による材料外観の変化(PA)

また、ISO に基づく試験を行った。PLA、PE、PA の工程リサイクル回数を増加させた場合の物性試験結果を表 2.7.2.1、表 2.7.2.2 および表 2.7.2.3 に示す。PLA、PE および PA とともに工程内リサイクル回数を増加させたことによる大きな物性低下は見られなかった。これはバイオプラスチックの劣化が進まない温度、滞留時間で成形されているからであると考えられる。

表 2.7.2.1 PLA 材料物性の変化

試験項目	試験条件	単位	試験方法	リファレンス	リサイクル回数 1回目	リサイクル回数 2回目	リサイクル回数 3回目	リサイクル回数 4回目	リサイクル回数 5回目
メルトフローレート	230℃、21N	g/10min	ISO 1133	22.5	18.4	18.9	19.0	19.7	21.4
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノッチ付	kJ/m ²	ISO 179-1	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8
引張降伏強さ	速度50mm/min	MPa	ISO 527-1	69.6	69.0	68.3	68.3	69.2	68.9
引張破壊ひずみ	速度50mm/min	%	ISO 527-1	3	3	2	2	3	4
引張弾性率	速度1.0mm/min	MPa	ISO 527-1	3500	3580	3400	3540	3520	3540
曲げ強さ	速度2.0mm/min	MPa	ISO 178	98.1	96.0	96.5	98.1	95.3	95.7
曲げ弾性率	速度2.0mm/min	MPa	ISO 178	3560	3580	3600	3580	3550	3500
ロックウェル硬さ	Rスケール	—	ISO 2039-2	95	95	100	100	95	99
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1	53	53	54	54	54	53
比重	水中置換法	—	ISO 1183	1.25	1.25	1.25	1.25	1.24	1.25

表 2.7.2.2 PE 材料物性の変化

試験項目	試験条件	単位	試験方法	リファレンス	リサイクル回数 1回目	リサイクル回数 2回目	リサイクル回数 3回目	リサイクル回数 4回目	リサイクル回数 5回目
メルトフローレート	230℃、21N	g/10min	ISO 1133	19.6	19.3	19.3	19.5	19.5	19.3
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノッチ付	kJ/m ²	ISO 179-1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
引張降伏強さ	速度50mm/min	MPa	ISO 527-1	22.7	22.4	22.4	22.6	22.4	22.2
引張破壊ひずみ	速度50mm/min	%	ISO 527-1	32	41	275	280	153	40
引張弾性率	速度1.0mm/min	MPa	ISO 527-1	913	885	889	895	887	862
曲げ強さ	速度2.0mm/min	MPa	ISO 178	22.0	21.8	21.4	21.5	21.7	21.7
曲げ弾性率	速度2.0mm/min	MPa	ISO 178	890	899	858	866	889	854
ロックウェル硬さ	Rスケール	—	ISO 2039-2	58	59	59	58	59	59
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	ISO 75-1	67	67	67	67	68	67
比重	水中置換法	—	ISO 1183	0.946	0.947	0.946	0.946	0.946	0.946

表 2.7.2.3 PA 材料物性の変化

試験項目	試験条件	単位	試験方法	リファレンス	リサイクル回数 1回目	リサイクル回数 2回目	リサイクル回数 3回目	リサイクル回数 4回目	リサイクル回数 5回目
シャルピー衝撃強さ	23℃、ノッチ付	kJ/m ²	ISO 179-1	5.8	6.6	6.6	7.0	5.8	6.4
引張降伏強さ	速度50mm/min	MPa	ISO 527-1	41.5	42.3	42.2	42.3	42.6	42.1
引張破壊ひずみ	速度50mm/min	%	ISO 527-1	263(未破断)	196(未破断)	38(未破断)	41(未破断)	40(未破断)	252(未破断)
引張弾性率	速度1.0mm/min	MPa	ISO 527-1	1300	1330	1370	1320	1360	1310
曲げ強さ	速度2.0mm/min	MPa	ISO 178	49.9	50.4	50.5	49.7	50.0	50.0
曲げ弾性率	速度2.0mm/min	MPa	ISO 178	1200	1210	1220	1200	1200	1210
ロックウェル硬さ	Rスケール	—	ISO 2039-2	107	107	107	107	107	107
荷重たわみ温度	1.82MPa	℃	ISO 75-1	44	44	44	44	44	44
比重	水中置換法	—	ISO 1183	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03

2. 7. 3 破砕物の形状、成形体外観

2. 7. 3. 1 破砕方法

工程内リサイクル時の破砕方法は図 2. 7. 3. 1. 1 に示す回転刃と 13mm φ スクリーンを持つ破砕機を使用した。

図 2. 7. 3. 1. 1 破砕機



2. 7. 3. 2 破碎スピードと破碎状況

PLA、PE および PA の工程リサイクル回数を増加させたことによる破碎スピード（工程廃材 1kg 当たりの破碎時間）と破碎形状を表 2.7.3.2.1、図 2.7.3.2.1、表 2.7.3.2.2、図 2.7.3.2.2、図 2.7.3.2.3、表 2.7.3.2.3 に示す。PLA、PE および PA すべてリサイクル回数が増加しても破碎スピードおよび破碎形状の変化は見られなかった。図 2.7.3.2.4 に成形工程に戻す際に使う成形機の投入口（ホッパー）を示すが、ここで破碎された材料が詰まる等の不具合は確認されなかった。

表 2.7.3.2.1 破砕スピード(工程廃材 1kg 当たりの破砕時間) PLA

粉砕条件		電流値 (A)	粉砕時間 (分)	1kg当たりの 粉砕時間(分)
リサイクル回数	1回	6.5	26	1.3
	2回	7.7	16	1.0
	3回	8.5	15	1.2
	4回	8.4	8	0.8
	5回	8.3	8	1.0

バージン材 (PLA)



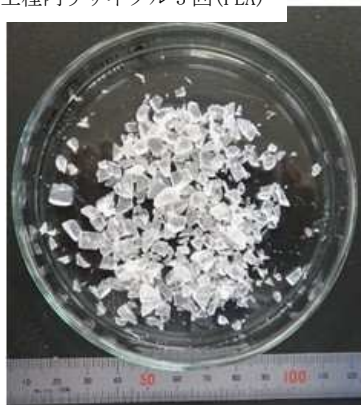
工程内リサイクル 1 回 (PLA)



工程内リサイクル 2 回 (PLA)



工程内リサイクル 3 回 (PLA)



工程内リサイクル 4 回 (PLA)



工程内リサイクル 5 回 (PLA)



図 2.7.3.2.1 粉砕物の形状 (PLA)

表 2.7.3.2.2 破砕スピード(工程廃材 1kg 当たりの破砕時間) PE

粉砕条件		電流値 (A)	1kg当たりの 粉砕時間(分)
リサイクル回数	1回	9.4	1.1
	2回	14.0	0.6
	3回	14.0	0.7
	4回	14.7	0.9
	5回	12.9	1.2

バージン材 (PE)



工程内リサイクル 1 回 (PE)



工程内リサイクル 2 回 (PE)



工程内リサイクル 3 回 (PE)



工程内リサイクル 4 回 (PE)



工程内リサイクル 5 回 (PE)



図 2.7.3.2.2 粉砕物の形状 (PE)

表 2.7.3.2.3 破砕スピード(工程廃材 1kg 当たりの破砕時間) PA

粉砕条件		電流値 (A)	1kg当たりの 粉砕時間(分)
リサイクル回数	1回	22.9	2.2
	2回	9.8	2.0
	3回	10.5	2.1
	4回	9.0	2.4
	5回	10.0	4.1

バージン材 (PA)



工程内リサイクル 1 回 (PA)



工程内リサイクル 2 回 (PA)



工程内リサイクル 3 回 (PA)



工程内リサイクル 4 回 (PA)



工程内リサイクル 5 回 (PA)



図 2.7.3.2.3 粉砕物の形状 (PA)



図 2.7.3.2.4 成形機材料投入口(ホッパー)

2. 7. 3. 3 リサイクル可能回数

リサイクル可能回数の限界条件を把握することはマテリアルリサイクルをする上で重要と考える。今回リサイクル可能回数を予測するために、温度とスクリーン内での樹脂の滞留時間を様々な条件に組み合わせ確認を行った。

スクリーン滞留時間 2 分がリサイクル 1 回相当の熱負荷と同等であり、この考えを基にリサイクル可能回数の予測を行った。確認した水準を表 2. 7. 3. 3. 1 に示す。

表 2. 7. 3. 3. 1 リサイクル限界検討水準

温度 (℃)	滞留時間(分)	リサイクル回数(相当)
200	0	0
	4	1
	10	4
	20	9
220	0	0
	4	1
	10	4
	20	9
240	0	0
	4	1
	10	4
	20	9
260	0	0
	4	1
	10	4
	20	9

図 2.7.3.3.1 にリサイクル可能回数を示す。240℃で2回まではリサイクル可能であると考えられる。今後は植物繊維を添加することでの影響を確認していく。

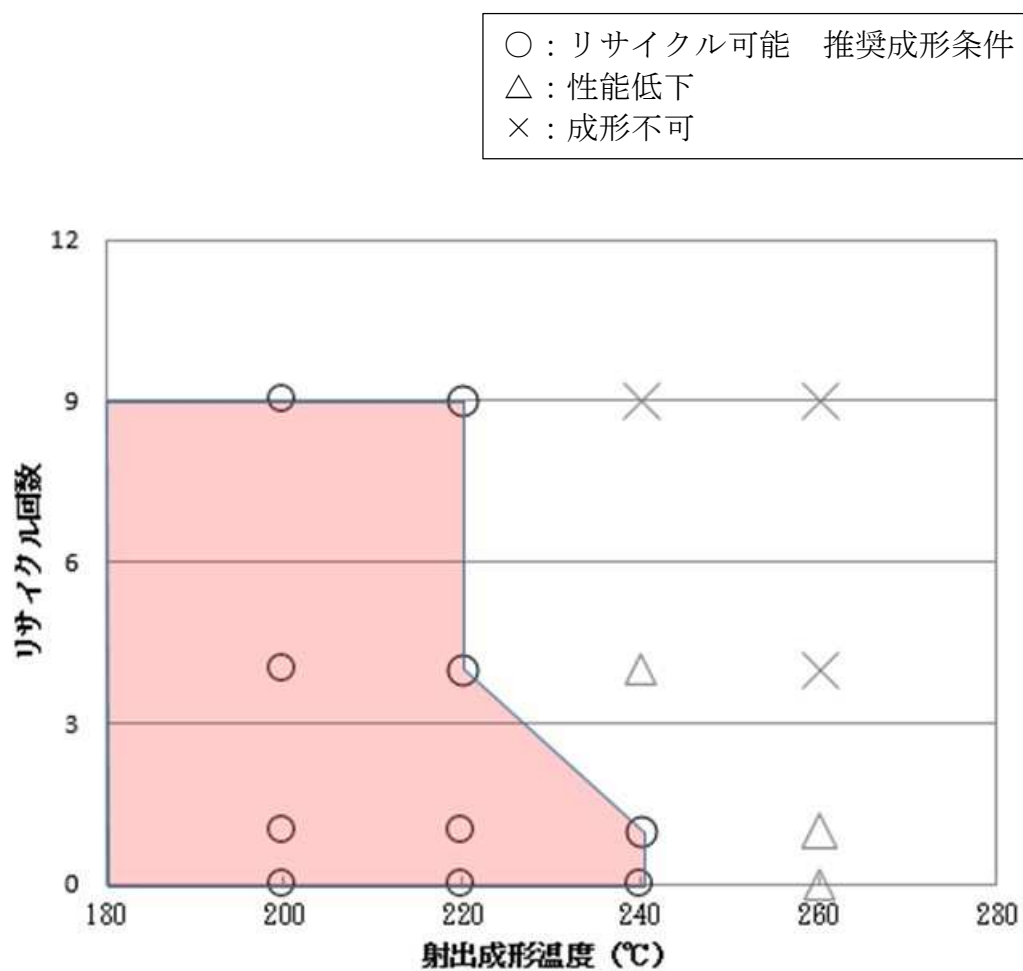


図 2.7.3.3.1 リサイクル可能回数 推奨条件

2. 8 バイオオプラスチック検討まとめ

PE、PA については、パルプを添加することで耐熱性、曲げ弾性率が向上し適用の可能性がある部品群が見えてきた。PLA については、結晶核剤添加やアニール処理をすることで耐熱性が向上し、適用可能な部品群が見えてきた。また、工程内リサイクル性においては、リサイクル可能な成形温度とリサイクル可能な回数を明確にすることができた。

今後の課題としては、部品採用に向け、ターゲット部品を明確にし、製造工法を決め、さらに質量、コスト、品質、他機能でのメリットを明確にすることが必要である。

3 CO₂排出削減効果の推計

3. 1 パルプモウルトを用いた自動車部品製造時までの CO₂ 排出削減効果の推計

本実証事業の開発品であるパルプ繊維による自動車吸音材の環境面での優位性（温室効果ガスである CO₂ の排出量削減効果）を検証するため、パルプ繊維による自動車吸音材と既存のポリエステル繊維による自動車吸音材のライフサイクルを通した環境負荷（CO₂ の排出量）の定量的な影響評価を行う。本実証事業は3カ年での実施を予定している。1年目は原材料調達・生産～部品製造までのLCAを評価する。古紙は自動車吸音材を用途として検討しているがどのような設計、構造で使うのか明らかでないため、1年目は同用途において用いられている既存の素材（成形品）の同一重量（1kg）と比較する。2年目以降で部品生産のマテリアルリサイクル時、流通・使用時（自動車搭載時）のLCAを評価する。部品生産時の工程内端材リサイクルも検討に含める。3年目には、廃棄・リサイクル時のLCA評価も加え、全体フローでのLCA評価を行い、3年を通して原料調達～廃棄・リサイクルまでの全体での評価を行っていく。

3. 1. 1 製品性能（評価対象製品・ベースライン・機能単位の設定）

評価対象製品、ベースライン、機能単位の設定は以下の通りである。

- ・評価対象製品：紙パルプ繊維による自動車吸音材
- ・ベースライン：既存の不織布（ポリエステル繊維）による自動車吸音材
- ・機能単位：自動車吸音材不織布に対し、周波数帯域 100～1,000Hz にて、吸音性能同等、もしくは一部同等以上の性能を持つこと。

図 3.1.1.1 に紙パルプ繊維による自動車吸音材の一例を示す。図 3.1.1.2 に不織布（ポリエステル繊維）による自動車吸音材の一例を示す。



図 3.1.1.1 パルプ繊維による自動車吸音材



図 3.1.1.2 不織布（ポリエステル繊維）による自動車吸音材

3. 1. 2 フロー図（システム境界の設定）

本 LCA は以下の各プロセスを含むものとする。

- ①素材に関する海外から日本までの輸送に関するプロセス
- ②素材の製造に関するプロセス
- ③部品の製造に関するプロセス
- ④部品の流通に関するプロセス
- ⑤部品の使用（自動車への搭載）に関するプロセス
- ⑥部品の廃棄、リサイクルに関するプロセス

先述したように 1 年目は原材料調達・生産～部品製造までの LCA を評価する（①、②、③）。2 年目以降で部品生産のマテリアルリサイクル時、流通・使用時（自動車搭載時）の LCA を評価する（④、⑤）。3 年目には、廃棄・リサイクル時の LCA 評価も加え（⑥）、全体フローでの LCA 評価を行い、3 年を通して原料調達～廃棄・リサイクルまでの全体での評価を行っていく。

評価対象製品である紙パルプによる自動車吸音材については、①～⑥のプロセスが全て国内で行われるものとしてフロー図を作成した。ベースラインであるポリエステル繊維に関して、①エチレングリコール（EG）とテレフタル酸を重合する工程については国外（中国）での生産とした。②以降についてはポリエステルチップにしてから国内で熔融紡糸（ポリエステル長繊維を製造）するものとした。

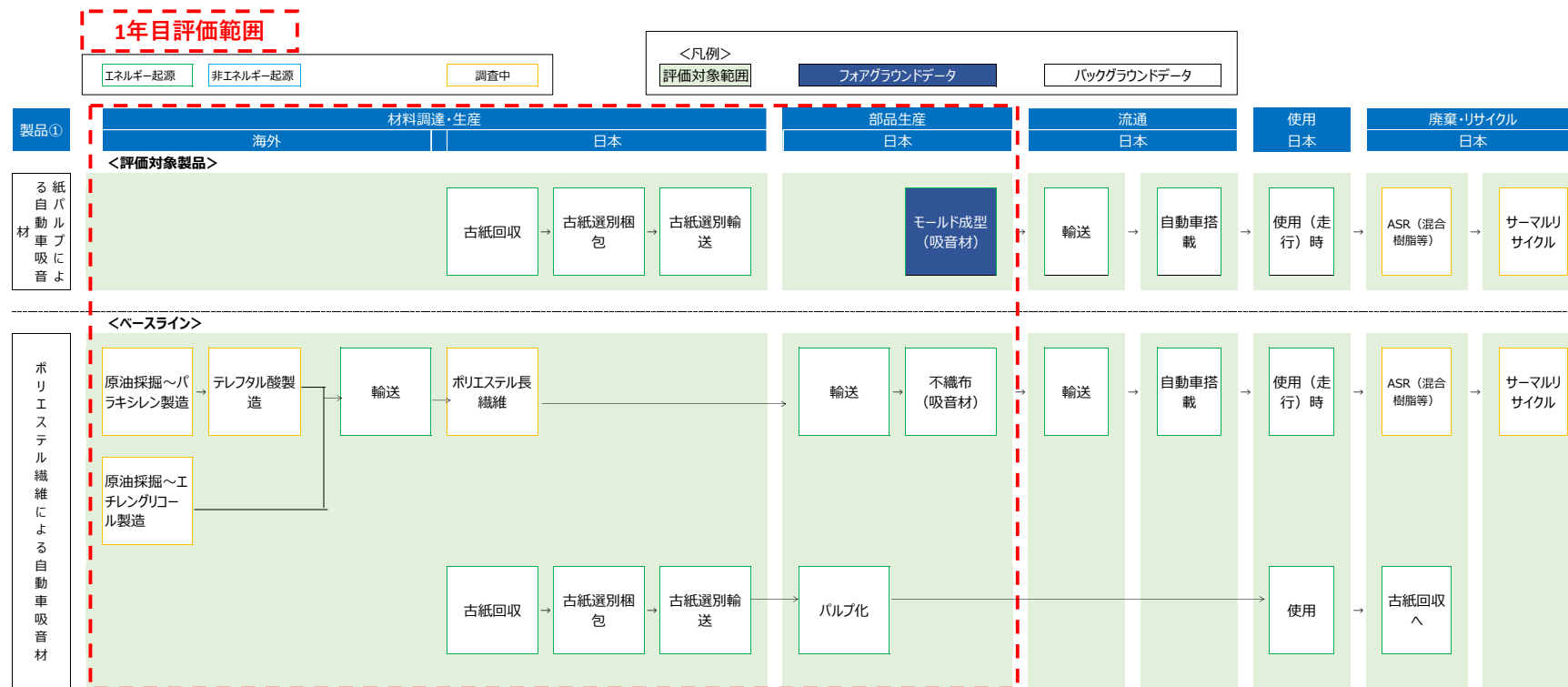


図 3.1.2.1 製品①自動車吸音材のライフサイクルフロー図と評価範囲

3. 1. 2 部品生産までの CO₂ 排出量比較と削減見込み

(ライフサイクルインベントリ分析)

1 年目の評価範囲 (①～③) における評価対象製品およびベースラインのライフサイクル段階ごとの CO₂ 排出量データを表 3.1.2.1、表 3.1.2.2 に示す。

①素材に関する海外から日本までの輸送に関するプロセス

②素材の製造に関するプロセス

③部品の製造に関するプロセス

表 3.1.2.1 評価対象製品の紙パルプ繊維による自動車吸音材の CO₂ 排出量

段階	プロセス	CO ₂ 排出量	単位	使用データ源	
材料調達・生産	古紙 末端回収	0.0102	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	紙のLCIデータ算定概要 日本製紙連合会 平成17年12月7日 10.2kg-CO ₂ /t/古紙
材料調達・生産	古紙 選別梱包	0.0084	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	紙のLCIデータ算定概要 日本製紙連合会 平成17年12月7日 8.4kg-CO ₂ /t/古紙
材料調達・生産	古紙 輸送	0.0049	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	紙のLCIデータ算定概要 日本製紙連合会 平成17年12月7日 4.9kg-CO ₂ /t/古紙
部品生産	モールド成型CO ₂ 排出量	1.085	kg-CO ₂ /kg	実測値 (フォアグラウンドデータ)	

表 3.1.3.2 ポリエステル繊維による自動車吸音材のCO₂排出量

段階	プロセス	CO ₂ 排出量	単位	使用データ源	
材料調達・生産	資源～PX 製造	0.94	kg-CO ₂ e/kg	論文	東レ株式会社「100%バイオ由来ポリエステル（PET）」 0.94kgCO ₂ /kgPET
材料調達・生産	PX 製造～TPA 製造	0.10	kg-CO ₂ e/kg	論文	東レ株式会社「100%バイオ由来ポリエステル（PET）」 0.10kgCO ₂ /kgPET
材料調達・生産	資源～EG 製造	0.50	kg-CO ₂ e/kg	論文	東レ株式会社「100%バイオ由来ポリエステル（PET）」 0.50kgCO ₂ /kgPET
材料調達・生産	コンテナ船（アジア航路）（26.0 g-CO ₂ /tkm）	0.0000260	kg-CO ₂ /kgkm	文献	物流CO ₂ 排出量簡易算定ツールについて 国土交通政策 研究所 26.0g-CO ₂ /tkm
材料調達・生産	ポリエステル長繊維	1.3868	kg-CO ₂ /kg繊維	LCA日本フォーラム・LCAデー タベース	化学繊維の LCI データの概要 日本化学繊維協会 平成 15 年 1 月 30 日 1.3868kg/kg
材料調達・生産	営業用貨物自動車	0.000234	kg-CO ₂ /kgkm	環境省文献	輸送機関別輸送量（トノ）あたりCO ₂ 排出原単位 （貨物）の営業用貨物自動車 234g-CO ₂ /トンキロ
部品生産	フェルト・不織布	7.01	kg-CO ₂ e	データベース	カーボンフットプリント制度試行事業CO ₂ 換算量共通原単 位データベース 7.01kg-CO ₂ e/単位
材料調達・生産	古紙 末端回収	0.0102	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデー タベース	紙のLCIデータ算定概要 日本製紙連合会 平成17年1 2月7日 10.2kg-CO ₂ /t/古紙
材料調達・生産	古紙 選別梱包	0.0084	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデー タベース	紙のLCIデータ算定概要 日本製紙連合会 平成17年1 2月7日 8.4kg-CO ₂ /t/古紙
材料調達・生産	古紙 輸送	0.0049	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデー タベース	紙のLCIデータ算定概要 日本製紙連合会 平成17年1 2月7日 4.9kg-CO ₂ /t/古紙
部品生産	パルプ化	0.9923	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデー タベース	紙のLCIデータ算定概要 日本製紙連合会 平成17年1 2月7日 再生上紙（古紙70%以上）の製造時 生産工場CO ₂ 平均981.2kg-CO ₂ /t CH ₄ 由来CO ₂ 8.0kg-CO ₂ /t、N ₂ O由来CO ₂ 1kg- CO ₂ /t（計992.3kg-CO ₂ /t）

CO₂ 排出量データについて、実測が可能なものはデータを取得し、それ以外については LCA 日本フォーラムが提供する LCA データベースや論文等を活用しバックグラウンドデータを収集した。なお LCA データベースとは、経済産業省ならびに NEDO 技術開発機構の推進の平成 10 年度から平成 14 年度にかけて実施した 5 ヶ年の「第 1 期 LCA プロジェクト」の成果であり、平成 15 年度に期間限定で会員登録制の試験公開を実施した。このデータベースは、インベントリ分析用データ、インパクト評価用データ、および、文献データから構成されている。

1 年目の評価範囲（①～③）における各素材、部品の製造歩留まりを表 3.1.3.3、表 3.1.3.4 に示す。実測が可能なものはデータを取得し、それ以外については LCA 日本フォーラムが提供する LCA データベースや論文などを活用しバックグラウンドデータを収集した。そのほかデータベースなどで公開データが存在しないものについては、製造メーカーからのヒアリングにより歩留まりを推計した。

表 3.1.3.3 評価対象製品の紙パルプ繊維による自動車吸音材の歩留まり

段階	プロセス	歩留まり	使用データ源
部品生産	モールド成型歩留まり	95.00%	実測データ

表 3.1.3.4 ベースラインのポリエステル繊維による自動車吸音材の歩留まり

段階	プロセス	歩留まり、必要量	使用データ源
材料調達・生産	テレフタル酸製造時のパラキシレン歩留まり（ロス）	カットオフ	一般社団法人日本化学工業会 東レ株式会社「100%バイオ由来ポリエステル（PET）」重合工程で使用した触媒、及びTPA 製造工程におけるプロモetanと重合工程における廃ポリマの排出は、工程のアウトプットの重量の0.5%未満と僅少なため、評価には算入していない。
材料調達・生産	テレフタル酸（ポリエステル繊維1製造必要量）	0.87	2018年2月20日石油産業競争力研究会（第1回）説明資料 資料三菱商事株式会社「石油産業競争力研究会（第1回）説明資料」ポリエステル・PX（パラキシレン）に見る石油化学の成長性
材料調達・生産	エチレングリコール（ポリエステル繊維1製造必要量）	0.35	※ポリエステル繊維1製造時のエチレングリコール必要量は0.35 ポリエステル繊維1製造時のテレフタル酸必要量0.87
部品生産	不織布製造歩留まり	95.00%	公開データが存在せず、実測データの計測も難しいため、繊維メーカーからのヒアリングから作成。
部品生産	パルパ化歩留まり	82.00%	古紙再生促進センターの古紙ハンドブック2019年より、P52の2018年の古紙回収率推移は20,673,299t、P53より2018年の古紙品別消費量推移は17,044,684t。17,044,684÷20,673,299t×100=82%

各工程での CO₂ 排出原単位および歩留まりなどを掛け合わせ、CO₂ 排出量を推計した。部品生産までの CO₂ 排出量比較を表 3.1.3.5 に示す。

①評価対象製品である紙パルプ繊維による自動車吸音材の CO₂ 排出量を以下のように推計した。

【生産（紙パルプ繊維による自動車吸音材）】

- ・紙パルプ繊維による自動車吸音材のモールド成型時の歩留まりが 95%である。自動車吸音材 1kg のモールド成型時に必要な原材料量は 1.053 kg である。
 - ・モールド成型（吸音材）時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。
- モールド成型（吸音材）時：1.085kg-CO₂/kg×1.053 kg=1.142kg-CO₂/kg
- ・生産時の CO₂ 排出量は 1.142kg-CO₂/kg

【原材料調達・生産（紙パルプ繊維による自動車吸音材）】

- ・先述したように部品製造時の必要材料量は 1.053 kg である。
- ・古紙回収、古紙選別梱包、古紙選別輸送の歩留まりは全て 100%のため、各工程での原材料必要量は 1.053 kg となる。
- ・古紙回収、古紙選別梱包、古紙選別輸送時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

古紙回収時：0.01020kg-CO₂/kg×1.053 kg=0.01073kg-CO₂/kg

古紙選別梱包時：0.008400kg-CO₂/kg×1.053 kg=0.008840kg-CO₂/kg

古紙輸送時：0.004900kg-CO₂/kg×1.053 kg=0.00515kg-CO₂/kg

- ・原材料調達・生産時の CO₂ 排出量は 3.158kg-CO₂/kg

・生産時の CO₂ 排出量 1.142kg-CO₂/kg と原材料調達・生産時の CO₂ 排出量 3.158kg-CO₂/kg を合計すると紙パルプ繊維による自動車吸音材のモールド成型時の CO₂ 排出量は、1.167kg-CO₂/kg となる。

②ベースラインであるポリエステル繊維による自動車吸音材のCO₂排出量を以下のように推計した。

【生産（ポリエステル繊維による自動車吸音材）】

・ポリエステル繊維による自動車吸音材（不織布）の生産歩留まりは、95%であり、製造中に端材となったポリエステル繊維は再度製造に利用されないため、1 kgの部品を製造するのに1.053 kgの原材料が必要となる。

・不織布製造時のCO₂排出量を以下のように計算した。

不織布製造時： $7.010\text{kg-CO}_2\text{e} \times 1.053\text{ kg} = 7.379\text{kg-CO}_2\text{e}$

・輸送時のCO₂排出量を以下のように計算した。

輸送時： $0.0002340\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1.053\text{ kg} \times 200\text{ km} = 0.04926\text{kg-CO}_2/\text{kgkm}$

・生産時のCO₂排出量は7.428kg-CO₂/kg

【原材料調達・生産（ポリエステル繊維による自動車吸音材）】

・ポリエステル長繊維1.053 kgの製造時のCO₂排出量を以下のように計算した。

ポリエステル長繊維製造時： $1.387\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.053\text{ kg} = 1.460\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・ポリエステル長繊維の原材料は中国からの輸入を想定しており、中国から日本まで1,500kmの距離をコンテナ船で中国から輸送されると推計し、以下のように計算した。

輸送時： $0.00026\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1.053\text{ kg} \times 1,500\text{km} = 0.04105\text{kg-CO}_2/\text{kgkm}$

・ポリエステル長繊維1（1.053 kg）を製造するために、原材料であるテレフタル酸は0.87、エチレングリコールは0.35必要となるため、必要原材料量を以下のように計算した。

テレフタル酸： $1.053\text{ kg} \times 0.87 = 0.9158\text{ kg}$

エチレングリコール： $1.053\text{ kg} \times 0.35 = 0.3684\text{ kg}$

・テレフタル酸を1（0.9158 kg）製造するのに必要なパラキシレンは1（0.9158 kg）のため、パラキシレン必要量を以下のように計算した。

パラキシレン： $0.9158\text{ kg} \times 1 = 0.9158\text{ kg}$

・上記必要量に各材料製造時のCO₂排出量を掛け合わせて、原材料製造時のCO₂排出量を以下のように計算した。

パラキシレン製造時： $0.94\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{kg} \times 0.9158\text{ kg} = 0.8608\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

テレフタル酸製造時： $0.1\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{kg} \times 0.9158\text{ kg} = 0.09157\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

エチレングリコール製造時： $0.5\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{kg} \times 0.3684\text{ kg} = 0.1842\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・原材料調達・生産時のCO₂排出量は2.637kg-CO₂/kg

・ポリエステル繊維による自動車吸音材の生産時のCO₂排出量は7.428kg-CO₂/kg、原材料調達・生産時のCO₂排出量は2.637kg-CO₂/kgを合計するとポリ

エステル繊維による自動車吸音材製造時の CO₂ 排出量は 10.07kg-CO₂/kg となる。

【生産（古紙による紙パルプ）】

・古紙による紙パルプ製造時の歩留まりは 82% であり、1 kg のパルプを製造するのに必要な原材料量は以下のように計算される

古紙による紙パルプ製造に必要な原材料量： $1 \text{ kg} \div 82\% = 1.220 \text{ kg}$

・古紙による紙パルプ製造時の CO₂ 排出量は以下のように計算される

古紙による紙パルプ製造時： $0.9923\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.220 \text{ kg} = 1.210\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・生産時の CO₂ 排出量は 1.210kg-CO₂/kg

【原材料調達・生産（紙による紙パルプ）】

・先述したように部品製造時の必要材料量は 1.220 kg である。

・古紙回収、古紙選別梱包、古紙選別輸送の歩留まりは全て 100% のため、各工程での原材料必要量は 1.220 kg となる。

・古紙回収、古紙選別梱包、古紙選別輸送時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

古紙回収時： $0.0102\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.220 \text{ kg} = 0.01243\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

古紙選別梱包時： $0.0084\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.220 \text{ kg} = 0.01024\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

古紙輸送時： $0.0049\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.220 \text{ kg} = 0.005970\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・原材料調達・生産時の CO₂ 排出量は 0.02864kg-CO₂/kg

・古紙による紙パルプの生産時の CO₂ 排出量 1.210kg-CO₂/kg、原材料調達・生産時の CO₂ 排出量 0.02864kg-CO₂/kg を合計すると古紙による紙パルプの CO₂ 排出量は、1.238kg-CO₂/kg となる。

・ポリエステル繊維による自動車吸音材（不織布）の CO₂ 排出量 10.07kg-CO₂/kg、古紙による紙パルプ製造時の CO₂ 排出量 1.210kg-CO₂/kg を合計すると、11.30kg-CO₂/kg となる。

③CO₂削減量は $11.30\text{kg-CO}_2/\text{kg} - 1.167\text{kg-CO}_2/\text{kg} = 10.14\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

表 3.1.3.5 部品生産までの CO₂ 排出量比較

①評価対象製品			紙パルプ繊維による自動車吸音材（1kg）				
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計
				単位			
実証事業終了時点 (kg-CO2/年)	原材料調達・生産	古紙回収	0.0102	kg-CO2/kg	100%	1.0526	0.01073
		古紙選別梱包	0.0084	kg-CO2/kg	100%	1.0526	0.00884
		古紙選別輸送	0.0049	kg-CO2/kg	100%	1.0526	0.00515
	生産	モールド成型（吸音材）	1.0847625	kg-CO2/kg	95%	1.0526	1.14185
	合計					1.0000	1.16657
②ベースライン			ポリエステル繊維による自動車吸音材（1kg）				
			CO2 排出量		歩留まり、必要量	製造必要量	CO2排出量合計
				単位			
実証事業終了時点 (kg-CO2/年)	原材料調達・生産	原油採掘～パラキシレン製造（歩留まり数値＝テレフタル酸1製造時のパラキシレン必要量）	0.94	kgCO2e/kg	1.00	0.9158	0.86083
		パラキシレン～テレフタル酸製造（歩留まり数値＝ポリエステル繊維1製造時のテレフタル酸必要量）	0.1	kgCO2e/kg	0.87	0.9158	0.09157
		原油採掘～エチレングリコール製造（歩留まり数値＝ポリエステル繊維1製造時のエチレングリコール必要量）	0.5	kgCO2e/kg	0.35	0.3684	0.18421
		コンテナ船（アジア航路）（26.0 g-CO2/tkm）（中国(上海）～日本（名古屋港）を1500kmで計算）	0.000026	kg-CO2/kgkm	100%	1.0526	0.04105
		ポリエステル長繊維	1.3868	kg-CO2/kg	100%	1.0526	1.45978
	生産	営業用貨物自動車輸送（三島～トヨタ車体寿開発センターを200kmで計算）	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0526	0.04926
		不織布（吸音材）	7.01	kg-CO2e	95%	1.0526	7.37893
	原材料調達・生産	古紙回収	0.0102	kg-CO2/kg	100%	1.2195	0.01243
		古紙選別梱包	0.0084	kg-CO2/kg	100%	1.2195	0.01024
		古紙選別輸送	0.0049	kg-CO2/kg	100%	1.2195	0.00597
	生産	パルプ化	0.9923	kg-CO2/kg	82%	1.2195	1.21011
	合計					1.0000	11.30438
③削減量（②－①）			—				CO2排出量合計
							kg
実証事業終了時点 (kg-CO2/年)	原材料調達・生産		—				2.64136
	生産						7.49645
	合計						10.13781

3. 2 バイオプラスチックを用いた自動車部品製造時までの CO₂ 排出削減効果の推計

バイオプラスチック（PLA、PE、PA11）による自動車樹脂部品の環境面での優位性（温室効果ガスである CO₂ の排出量削減効果）を検証するため、バイオプラスチック（PLA、PE、PA11）による自動車樹脂部品と既存の PP 樹脂による自動車樹脂部品のライフサイクルを通した環境負荷（CO₂ の排出量）の定量的な影響評価を行う。

本実証事業は 3 年での実施を予定している。1 年目は原材料調達・生産～部品製造までの LCA を評価する。バイオプラスチック（PLA、PE、PA11）はフロア材などの自動車樹脂部品を用途先として検討しているが詳細な形状はまだ未確定なため、1 年目は同用途において用いられている既存の素材（成形品）の同一重量（1kg）で比較する。バイオプラスチック（PLA、PE、PA11）は PP 樹脂との比較を行う。2 年目以降で部品生産のマテリアルリサイクル時、流通・使用時（自動車搭載時）の LCA を評価する。部品生産時の工程内端材リサイクルも検討に含める。3 年目では、廃棄・リサイクル時の LCA 評価も加え、全体フローでの LCA 評価を行い、原料調達～廃棄・リサイクルまでの全体での評価を行っていく。

3. 2. 1 製品性能（評価対象製品・ベースライン・機能単位の設定）

評価対象製品、ベースライン、機能単位の設定は以下の通りである。なお先述したように、1年目は機能単位における詳細なスペックを検討途中のため、同用途において用いられる既存の素材（成形品）の同一重量で比較する。

- ・評価対象製品：バイオプラスチック（PLA、PE、PA11）による自動車樹脂部品
- ・ベースライン：PP 樹脂による自動車樹脂部品
- ・機能単位：自動車樹脂部品に対し、耐熱性・剛性が従来品と同等であること

図 3.2.1.1 にバイオプラスチックを使って製造することを目指す PP 自動車樹脂部品（ラゲージフロアボード）を一例として示す。



図 3.2.1.1 PP 樹脂による自動車樹脂部品（ベースライン）例

3. 2. 2 フロー図（システム境界の設定）

本 LCA では以下の各プロセスを含む。

- ①素材に関する海外から日本までの輸送に関するプロセス
- ②素材の製造に関するプロセス
- ③部品の製造に関するプロセス
- ④部品の流通に関するプロセス
- ⑤部品の使用（自動車への搭載）に関するプロセス
- ⑥部品の廃棄、リサイクルに関するプロセス

先述したように 1 年目は原材料調達・生産～部品製造までの LCA を評価する（①、②、③）。2 年目以降で部品生産のマテリアルリサイクル時、流通・使用時（自動車搭載時）の LCA を評価する（④、⑤）。3 年目には、廃棄・リサイクル時の LCA 評価も加え（⑥）、全体フローでの LCA 評価を行い、3 年を通して原料調達～廃棄・リサイクルまでの全体での評価を行っていく。

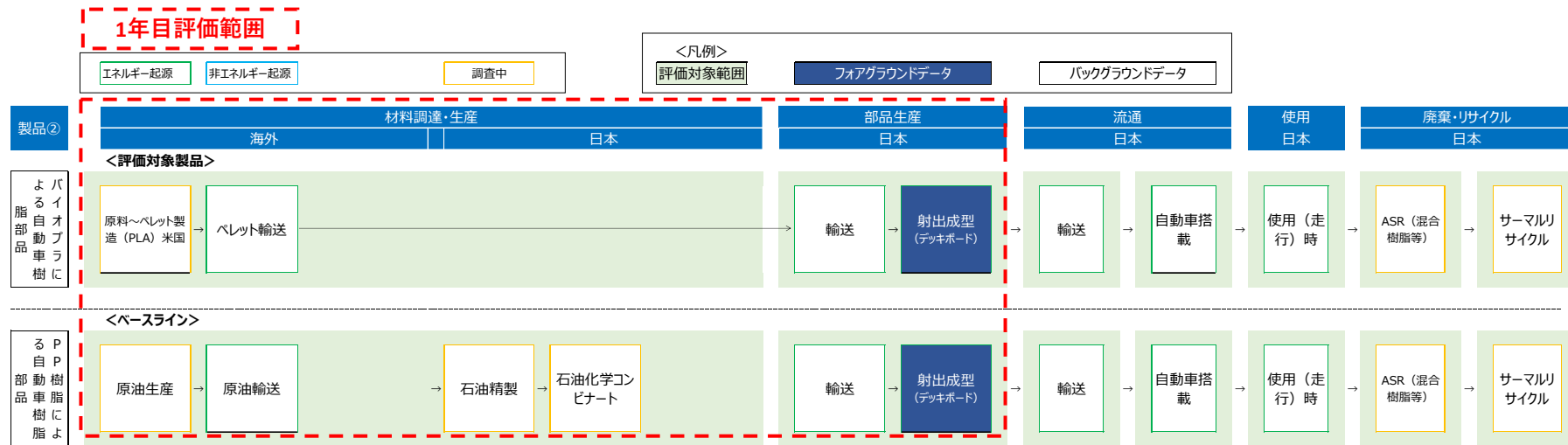


図 3.2.2.1 製品②自動車樹脂部品 (PLA) のライフサイクルフロー図と評価範囲

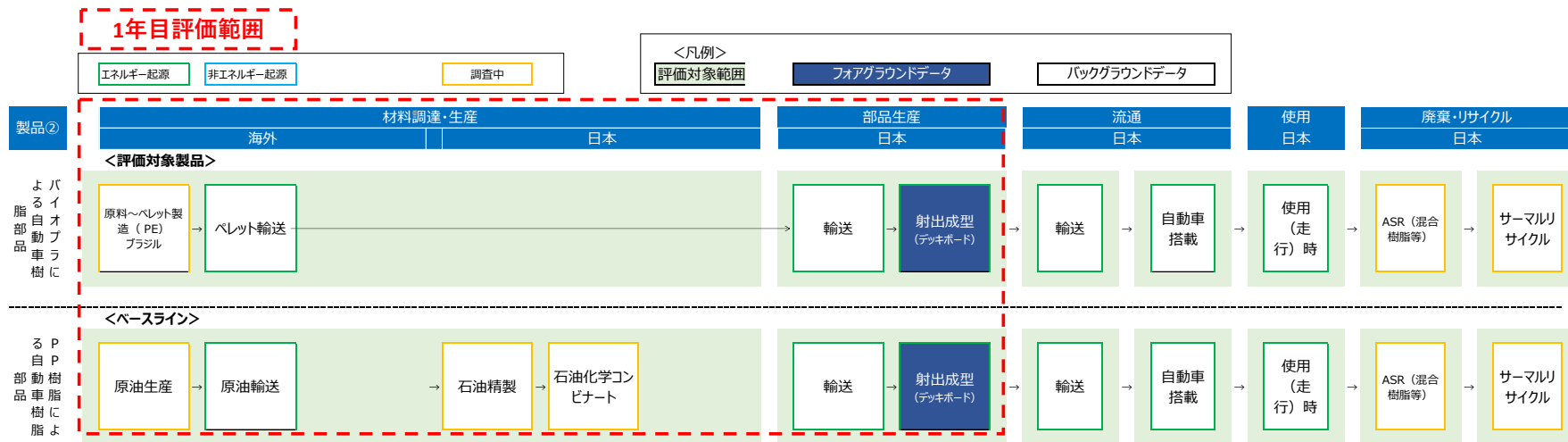


図 3.2.2.2 製品②自動車樹脂部品 (PE) のライフサイクルフロー図と評価範囲

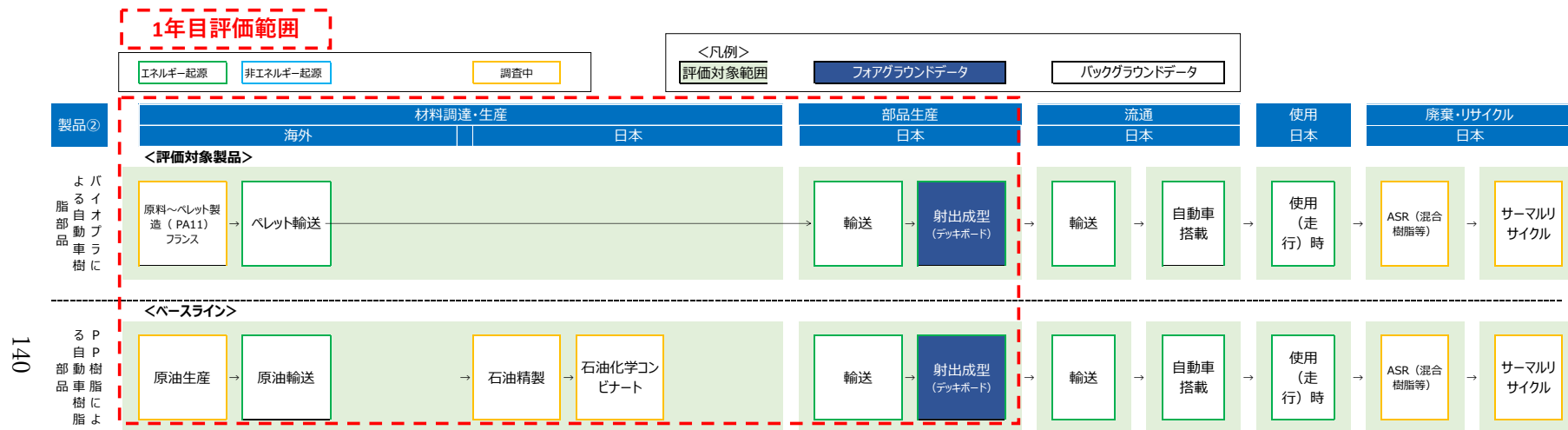


図 3.2.2.3 製品②自動車樹脂部品（PA11）のライフサイクルフロー図と評価範囲

3. 2. 3 部品生産までの CO₂ 排出量比較と削減見込み

(ライフサイクルインベントリ分析)

1 年目の評価範囲 (①～③) における評価対象製品およびベースラインのライフサイクル段階ごとの CO₂ 排出量データを表 3.2.3.1、表 3.2.3.2、表 3.2.3.3、表 3.2.3.4 に示す。

①素材に関する海外から日本までの輸送に関するプロセス

②素材の製造に関するプロセス

③部品の製造に関するプロセス

CO₂ 排出量データについて、LCA 日本フォーラムが提供する LCA データベースや論文などを活用しバックグラウンドデータを収集した。なお LCA データベースとは、経済産業省ならびに NEDO 技術開発機構の推進の平成 10 年度から平成 14 年度にかけて実施した 5 ヶ年の「第 1 期 LCA プロジェクト」の成果であり、平成 15 年度に期間限定で会員登録制の試験公開を実施、このデータベースは、インベントリ分析用データ、インパクト評価用データ、および、文献データから構成されている。

1 年目の評価範囲 (①～③) における各素材、部品の製造歩留まりを表 3.2.3.5、表 3.2.3.6 に示す。評価対象製品、ベースライン共に実測データを取得した。

なおバイオプラスチック (PLA、PE、PA11) の CO₂ 排出量に関して表 3.2.3.7 に示す。各バイオプラスチックの数値を比較し、同様の項目での比較となるように PE の公表値-3.09kgCO₂e/kg より Land Use Change Credits (-1.1kgCO₂e/kg) および Electricity Cogeneration Credits (-1.17kgCO₂e/kg) の値を除いた-0.82kgCO₂e/kg の値を適用した。

表 3.2.3.1 評価対象製品のバイオプラスチック (PLA) による
自動車部品の CO₂ 排出量

段階	プロセス	CO ₂ 排出量	単位	使用データ源	
材料調達・生産	ポリ乳酸: P L A (原料からペレット製造まで)	0.62	kg-CO ₂ /kg	論文	natureworks論文等から 0.62 kg-CO ₂ /kg Polymer
材料調達・生産	コンテナ船 (北米航路) (15.7 g-CO ₂ /tkm)	0.0000157	kg-CO ₂ /kgkm	文献	物流CO ₂ 排出量簡易算定ツールについて 国土交通政策 研究所 15.7g-CO ₂ /tkm
材料調達・生産	営業用貨物自動車	0.000234	kg-CO ₂ /kgkm	環境省文献	輸送機関別輸送量 (トンキロ) あたりCO ₂ 排出原単位 (貨物) の営業用貨物自動車 234g-CO ₂ /トンキロ
部品生産	射出成形	2.24	kg-CO ₂ /kg	実測値 (フォアグラウンドデータ)	

表 3.2.3.2 評価対象製品のバイオプラスチック（PE）による
自動車部品のCO₂排出量

段階	プロセス	CO ₂ 排出量	単位	使用データ源	
材料調達・生産	PE	-0.82	kg-CO ₂ /kg	論文	PE Life Cycle Assessmentより、CO ₂ 排出量は-0.39とあるが、他のバイオプラと数値を比較し、Land Use Change Credits (-1.1) 及びElectricity Cogeneration Credits (-1.17) の値を除いた
材料調達・生産	コンテナ船（北米航路）（15.7 g-CO ₂ /tkm）	0.0000157	kg-CO ₂ /kgkm	文献	物流CO ₂ 排出量簡易算定ツールについて 国土交通政策研究所 15.7g-CO ₂ /tkm
材料調達・生産	営業用貨物自動車	0.000234	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	輸送機関別輸送量（トン）あたりCO ₂ 排出原単位（貨物）の営業用貨物自動車 234g-CO ₂ /トンキロ
部品生産	射出成形	2.24	kg-CO ₂ /kg	実測値（フォアグラウンドデータ）	

表 3.2.3.3 評価対象製品のバイオプラスチック（PA11）による
自動車部品のCO₂排出量

段階	プロセス	CO ₂ 排出量	単位	使用データ源	
材料調達・生産	PA11	4.2	kg-CO ₂ /kg	論文	APPLICATION OF ECO-PROFILE METHODOLOGY TO POLYAMIDE 11
材料調達・生産	コンテナ船（北米航路）（15.7 g-CO ₂ /tkm）	0.0000157	kg-CO ₂ /kgkm	文献	物流CO ₂ 排出量簡易算定ツールについて 国土交通政策研究所 15.7g-CO ₂ /tkm
材料調達・生産	営業用貨物自動車	0.000234	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	輸送機関別輸送量（トン）あたりCO ₂ 排出原単位（貨物）の営業用貨物自動車 234g-CO ₂ /トンキロ
部品生産	射出成形	2.24	kg-CO ₂ /kg	実測値（フォアグラウンドデータ）	

表 3.2.3.4 ベースラインのPP樹脂による自動車部品のCO₂排出量

段階	プロセス	CO ₂ 排出量	単位	使用データ源	
材料調達・生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油生産	0.104519	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	石油化学製品のL C Iデータ調査報告書<最新版> 104519kg-CO ₂ /kt
材料調達・生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油輸送	0.061316	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	石油化学製品のL C Iデータ調査報告書<最新版> 61316kg-CO ₂ /kt
材料調達・生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油精製	0.252688	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	石油化学製品のL C Iデータ調査報告書<最新版> 252688kg-CO ₂ /kt
材料調達・生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：二) 石油化学コンビナート	1.064129	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	石油化学製品のL C Iデータ調査報告書<最新版> 1064129kg-CO ₂ /kt
材料調達・生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造（イ～二合計）	1.482653	kg-CO ₂ /kg	LCA日本フォーラム・LCAデータベース	石油化学製品のL C Iデータ調査報告書<最新版> 148265kg-CO ₂ /kt
材料調達・生産	営業用貨物自動車	0.000234	kg-CO ₂ /kgkm	環境省文献	輸送機関別輸送量（トン）あたりCO ₂ 排出原単位（貨物）の営業用貨物自動車 234g-CO ₂ /トンキロ
部品生産	射出成形	2.24	kg-CO ₂ /kg	実測値（フォアグラウンドデータ）	

表 3.2.3.5 評価対象製品のバイオプラスチック（PLA、PE、PA11）による自動車部品の歩留まり

段階	プロセス	歩留まり	使用データ源
部品生産	射出成形歩留まり	97.00%	実測データ

表 3.2.3.6 ベースラインのPP樹脂による自動車部品の歩留まり

段階	プロセス	歩留まり	使用データ源
部品生産	射出成形歩留まり	97.00%	実測データ

表 3.2.3.7 各社バイオプラスチック（PLA、PE、PA11）のCO₂排出量比較

項目	PLA			PE			PA11		
	CO2 eq./kg Ingeo			kgCO2e/kg			kg CO2eq per kg PA11		
原材料生産	Corn production	コーン生産	0.25	Sugar cane Growing	サトウキビ生産	Agricultural Operations	農業事業	0.91	—
	—		—			Land Use Change Credits ※	土地利用変更クレジット	-1.1	—
	CO2 uptake	コーン生産のCO2吸収	-1.84			CO2 Uptake	サトウキビ生産のCO2吸収	-3.14	Biomass (castor beans) トウゴマの種子（ひまし）生産のCO2吸収 -2.9
製品生産	Transport to CWM	CWMへの輸送	0	Ethanol Production	エタノール生産	Ethanol Production	エタノール生産	0.03	Oil cultivation and castor oil production オイル抽出とヒマシ油の生産 0.6
	Dextrose production	デキストロース生産	0.29			Bagasse Burning	バガス燃焼	0.16	Monomer plant モノマー生産 5.6
	Lactic acid production	乳酸の生産	1.16			Electricity Cogeneration Credits ※	電気コージェネレーションクレジット	-1.17	Polymerisation plant ポリマー生産 0.8
	Lactide production	ラクチド生産	0.54			—			—
	Polymer production	ポリマー生産	0.2	Green PE	Green PE生産	Ethanol Transport	エタノール輸送	0.46	—
	—					Industrial Operations (Ethylene and PE)	エチレン及びPE	0.76	—
総量	クレジット込み	—		-3.09			—		
	クレジット除く	0.62		-0.82			4.20		

※Green PEは※の数値を除いた値を採用した。

3. 2. 3. 1 バイオプラスチック (PLA)

各工程での CO₂ 排出原単位および歩留まりなどを掛け合わせ、CO₂ 排出量を推計した。部品生産までの CO₂ 排出量比較を表 3. 2. 3. 1. 1 に示す。

①評価対象製品であるバイオプラスチック (PLA) による自動車樹脂部品の CO₂ 排出量を以下のように推計した。

【生産 (バイオプラスチックによる自動車樹脂部品)】

- ・バイオプラスチック (PLA) による自動車樹脂部品射出成形時の歩留まりは 97% である。バイオプラスチック (PLA) による自動車樹脂部品 1kg の射出成形時に必要な原材料量は 1. 030 kg である。

- ・射出成形時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

射出成形時： $2. 242\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1. 031 \text{ kg} = 2. 312\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・原材料であるバイオプラスチック (PLA) 1. 031 kg を国内の港湾 (名古屋港) からトヨタ車体まで輸送すると想定し、輸送距離を 35km と仮定した場合の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

輸送時： $0. 0002340\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1. 031 \text{ kg} \times 35\text{km} = 0. 008440\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・生産時の CO₂ 排出量は $2. 320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

【原材料調達・生産 (バイオプラスチックによる自動車樹脂部品)】

- ・先述したように部品製造時の必要材料量は 1. 031 kg である。

- ・原材料である PLA は米国からの輸入を想定しており、米国から日本まで 7, 500km の距離をコンテナ船で輸送されると推計し、以下のように CO₂ 排出量を計算した。

輸送時： $0. 00001570\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1. 031 \text{ kg} \times 7, 500\text{km} = 0. 1214\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・PLA 1. 031 kg 製造時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

PLA 製造時： $0. 62\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1. 031 \text{ kg} = 0. 6392\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・原材料調達・生産時の CO₂ 排出量は $0. 7606\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・生産時の CO₂ 排出量 $2. 320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ 、原材料調達・生産時の CO₂ 排出量 $0. 7606\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ を合計するとバイオプラスチック (PLA) による自動車樹脂部品製造時の CO₂ 排出量は $3. 081\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

②ベースラインである PP 樹脂による自動車樹脂部品の CO₂ 排出量を以下のよう
に推計した。

【生産（PP 樹脂による自動車樹脂部品）】

・PP 樹脂による自動車樹脂部品射出成形時の歩留まりは 97%である。PP 樹脂
による自動車樹脂部品 1kg の射出成形時に必要な原材料量は 1.031 kgである。

・射出成形時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

射出成形時： $2.242\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 2.312\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・原材料である PP 樹脂 1.031 kgを国内の港湾（名古屋港）からトヨタ車体ま
で輸送すると想定し、輸送距離を 35km と仮定した場合の CO₂ 排出量を以下のよ
うに計算した。

輸送時： $0.0002340\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1.031\text{ kg} \times 35\text{km} = 0.008440\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・生産時の CO₂ 排出量は $2.320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

【原材料調達・生産（PP 樹脂による自動車樹脂部品）】

・先述したように部品製造時の必要材料量は 1.031 kgである。

・PP 樹脂のための原油生産、原油輸送、石油精製、石油化学コンビナートでの
CO₂ 排出量を以下のように計算した。なお CO₂ 排出量単位は各工程の歩留まりが
考慮された値である。

原油生産： $0.1045\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.1078\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

原油輸送： $0.06131\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.06321\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

石油精製： $0.2527\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.2605\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

石油化学コンビナート： $1.064\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 1.097\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・原材料調達・生産時の CO₂ 排出量は $1.528\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・生産時の CO₂ 排出量 $2.320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ 、原材料調達・生産時の CO₂ 排出量
 $1.528\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ を合計すると PP 樹脂による自動車樹脂部品製造時の CO₂ 排出量
は $3.84861\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

③CO₂ 削減量は $3.849\text{kg-CO}_2/\text{kg} - 3.081\text{kg-CO}_2/\text{kg} = 0.7679\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

表 3.2.3.1.1 部品生産までの CO₂ 排出量比較 (PLA)

①評価対象製品			バイオプラ（PLA）による自動車樹脂部品（1kg）					
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計	
				単位				kg
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	ポリ乳酸：P L A（原料からベレット製造まで）	0.62	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.63917	
		コンテナ船（北米航路）（15.7 g - CO2/tkm）（米国（サンフランシスコ）～日本（名古屋港）を7500kmで計算）	0.0000157	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.12139	
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.00844	
		射出成形	2.242353	kg-CO2/kg	97%	1.0309	2.31168	
	合計						1.0000	3.08068
②ベースライン			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）					
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計	
				単位				kg
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油生産	0.104519	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.10775	
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油輸送	0.061316	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.06321	
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油精製	0.252688	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.26050	
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ニ) 石油化学コンビナート	1.064129	kg-CO2/kg	100%	1.0309	1.09703	
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.00844	
		射出成形	2.242353	kg-CO2/kg	97%	1.0309	2.31168	
	合計						1.0000	3.84861
③削減量（②－①）			—					
								CO2排出量合計
								kg
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・生産							0.76793
	生産							0.00000
	合計		0.76793					

3. 2. 3. 2 バイオプラスチック (PE)

各工程での CO₂ 排出原単位および歩留まりなどを掛け合わせ、CO₂ 排出量を推計した。部品生産までの CO₂ 排出量比較を表 3. 2. 3. 2. 1 に示す。3. 2. 3 で先述したが、PE の CO₂ 排出値は、-3. 09kgCO₂e/kg であるが、Land Use Change Credits (-1. 1kgCO₂e/kg) および Electricity Cogeneration Credits (-1. 17kgCO₂e/kg) の値を除いた-0. 82kgCO₂e/kg の値を表 3. 2. 3. 2. 1 では適用した。その他参考としてこれらクレジット値を加味した場合の部品生産までの CO₂ 排出量比較を表 3. 2. 3. 2. 2 に示す。

①評価対象製品であるバイオプラスチック (PE) による自動車樹脂部品の CO₂ 排出量を以下のように推計した。

【生産 (バイオプラスチックによる自動車樹脂部品)】

- ・バイオプラスチック (PE) による自動車樹脂部品射出成形時の歩留まりは 97%である。バイオプラスチック (PE) による自動車樹脂部品 1kg の射出成形時に必要な原材料量は 1. 031 kgである。

- ・射出成形時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

射出成形時：2. 242353kg-CO₂/kg×1. 031 kg=2. 31168kg-CO₂/kg

- ・原材料であるバイオプラスチック (PE) 1. 031 kgを国内の港湾 (名古屋港) からトヨタ車体まで輸送すると想定し、輸送距離を 35km と仮定した場合の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

輸送時：0. 000234kg-CO₂/kgkm×1. 031 kg×35km=0. 00844kg-CO₂/kg

- ・生産時の CO₂ 排出量は 2. 320kg-CO₂/kg

【原材料調達・生産 (バイオプラスチックによる自動車樹脂部品)】

- ・先述したように部品製造時の必要材料量は 1. 031 kgである。

- ・原材料である PE はブラジルからの輸入を想定しており、ブラジルから日本まで 18, 000km の距離をコンテナ船で輸送されると推計し、以下のように CO₂ 排出量を計算した。

輸送時：0. 00001570kg-CO₂/kgkm×1. 031 kg×18, 000km=0. 2913kg-CO₂/kg

- ・PE 1. 031 kg製造時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

PE 製造時：-0. 82-CO₂/kg×1. 031 kg=-0. 8454kg-CO₂/kg

- ・原材料調達・生産時の CO₂ 排出量は-0. 5540kg-CO₂/kg

- ・生産時の CO₂ 排出量 2. 320kg-CO₂/kg、原材料調達・生産時の CO₂ 排出量-0. 5540kg-CO₂/kg を合計するとバイオプラスチック (PE) による自動車樹脂部品製造時の CO₂ 排出量は 1. 766kg-CO₂/kg となる。

②ベースラインである PP 樹脂による自動車樹脂部品の CO₂ 排出量を以下のように推計した。

【生産（PP 樹脂による自動車樹脂部品）】

・PP 樹脂による自動車樹脂部品射出成形時の歩留まりは 97%である。PP 樹脂による自動車樹脂部品 1kg の射出成形時に必要な原材料量は 1.031 kgである。

・射出成形時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

射出成形時： $2.242\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 2.312\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・原材料である PP 樹脂 1.031 kgを国内の港湾（名古屋港）からトヨタ車体まで輸送すると想定し、輸送距離を 35km と仮定した場合の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

輸送時： $0.0002340\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1.031\text{ kg} \times 35\text{km} = 0.008440\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・生産時の CO₂ 排出量は $2.320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

【原材料調達・生産（PP 樹脂による自動車樹脂部品）】

・先述したように部品製造時の必要材料量は 1.031 kgである。

・PP 樹脂のための原油生産、原油輸送、石油精製、石油化学コンビナートでの CO₂ 排出量を以下のように計算した。なお CO₂ 排出量単位は各工程の歩留まりが考慮された値である。

原油生産： $0.1045\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.1078\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

原油輸送： $0.06131\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.06321\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

石油精製： $0.2527\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.2605\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

石油化学コンビナート： $1.064\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 1.097\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・原材料調達・生産時の CO₂ 排出量は $1.528\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・生産時の CO₂ 排出量 $2.320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ 、原材料調達・生産時の CO₂ 排出量 $1.528\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ を合計すると PP 樹脂による自動車樹脂部品製造時の CO₂ 排出量は $3.849\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

③CO₂ 削減量は $3.849\text{kg-CO}_2/\text{kg} - 1.766\text{kg-CO}_2/\text{kg} = 2.083\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

表 3.2.3.2.1 部品生産までの CO₂排出量比較 (PE)

① 評価対象製品			バイオプラ（PE）による自動車樹脂部品（1kg）						
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計		
			単位						
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PE（原料からペレット製造まで）	-0.82	kg-CO2/kg	100%	1.0309	-0.84535		
		コンテナ船（北米航路）（15.7 g-CO2/tkm）（ブラジル（リオグランデ）～日本（名古屋港）を18,000 kmで計算）	0.0000157	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.29133		
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.00844		
		射出成形	2.242353	kg-CO2/kg	97%	1.0309	2.31168		
	合計						1.0000	1.76610	
② ベースライン			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）						
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計		
			単位						
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油生産	0.104519	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.10775		
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油輸送	0.061316	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.06321		
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油精製	0.252688	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.26050		
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ニ) 石油化学コンビナート	1.064129	kg-CO2/kg	100%	1.0309	1.09703		
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.00844		
		射出成形	2.242353	kg-CO2/kg	97%	1.0309	2.31168		
	合計						1.0000	3.84861	
③ 削減量（②－①）			—						
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・生産		—					CO2排出量合計	
	生産		—					kg	
	合計		—					2.08251	
									0.00000
									2.08251

表 3.2.3.2.2 【参考】部品生産までの CO₂排出量比較
(PE、クレジット加味)

① 評価対象製品			バイオプラ (PE) による自動車樹脂部品 (1kg)				
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計
				単位			
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PE (原料からペレット製造まで)	-3.09	kg-CO2/kg	100%	1.0309	-3.18554
		コンテナ船 (北米航路) (15.7 g-CO2/tkm) (ブラジル (リオグランデ) ~日本 (名古屋港) を18,000 kmで計算)	0.0000157	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.29133
	生産	営業用貨物自動車輸送 (名古屋港~トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算)	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.00844
		射出成形	2.242353	kg-CO2/kg	97%	1.0309	2.31168
	合計						1.0000
② ベースライン			PP樹脂による自動車樹脂部品 (1kg)				
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計
				単位			
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油 生産	0.104519	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.10775
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油 輸送	0.061316	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.06321
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油 精製	0.252688	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.26050
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ニ) 石油 化学コンビナート	1.064129	kg-CO2/kg	100%	1.0309	1.09703
	生産	営業用貨物自動車輸送 (名古屋港~トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算)	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.00844
		射出成形	2.242353	kg-CO2/kg	97%	1.0309	2.31168
	合計						1.0000
③ 削減量 (②-①)			—				CO2排出量合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・生産						kg
	生産						0.00000
	合計						4.42270

3. 2. 3. 3 バイオプラスチック (PA11)

各工程での CO₂ 排出原単位および歩留まりなどを掛け合わせ、CO₂ 排出量を推計した。部品生産までの CO₂ 排出量比較を表 3. 2. 3. 3. 1 に示す。

①評価対象製品であるバイオプラスチック (PA11) による自動車樹脂部品の CO₂ 排出量を以下のように推計した。

【生産 (バイオプラスチックによる自動車樹脂部品)】

- ・バイオプラスチック (PA11) による自動車樹脂部品射出成形時の歩留まりは 97% である。バイオプラスチック (PA11) による自動車樹脂部品 1kg の射出成形時に必要な原材料量は 1. 031 kg である。

- ・射出成形時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

射出成形時： $2. 242\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1. 031 \text{ kg} = 2. 312\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・原材料であるバイオプラスチック (PA11) 1. 031 kg を国内の港湾 (名古屋港) からトヨタ車体まで輸送すると想定し、輸送距離を 35km と仮定した場合の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

輸送時： $0. 0002340\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1. 031 \text{ kg} \times 35\text{km} = 0. 00844\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・生産時の CO₂ 排出量は $2. 320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

【原材料調達・生産 (バイオプラスチックによる自動車樹脂部品)】

- ・先述したように部品製造時の必要材料量は 1. 030 kg である。

- ・原材料である PA11 は中国からの輸入を想定しており、中国から日本まで 1, 500km の距離をコンテナ船で輸送されると推計し、以下のように CO₂ 排出量を計算した。

輸送時： $0. 00001420\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1. 031 \text{ kg} \times 1, 500\text{km} = 0. 04020\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・PA11 1. 031 kg 製造時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

PA11 製造時： $4. 2\text{-CO}_2/\text{kg} \times 1. 031 \text{ kg} = 4. 330\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・原材料調達・生産時の CO₂ 排出量は $4. 370\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

- ・生産時の CO₂ 排出量 $2. 320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ 、原材料調達・生産時の CO₂ 排出量 $4. 370\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ を合計するとバイオプラスチック (PA11) による自動車樹脂部品製造時の CO₂ 排出量は $6. 690\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

②ベースラインである PP 樹脂による自動車樹脂部品の CO₂ 排出量を以下のよう
に推計した。

【生産（PP 樹脂による自動車樹脂部品）】

・PP 樹脂による自動車樹脂部品射出成形時の歩留まりは 97%である。PP 樹脂
による自動車樹脂部品 1kg の射出成形時に必要な原材料量は 1.031 kgである。

・射出成形時の CO₂ 排出量を以下のように計算した。

射出成形時： $2.242\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 2.312\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・原材料である PP 樹脂 1.031 kgを国内の港湾（名古屋港）からトヨタ車体ま
で輸送すると想定し、輸送距離を 35km と仮定した場合の CO₂ 排出量を以下のよ
うに計算した。

輸送時： $0.0002340\text{kg-CO}_2/\text{kgkm} \times 1.031\text{ kg} \times 35\text{km} = 0.008440\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・生産時の CO₂ 排出量は $2.320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

【原材料調達・生産（PP 樹脂による自動車樹脂部品）】

・先述したように部品製造時の必要材料量は 1.031 kgである。

・PP 樹脂のための原油生産、原油輸送、石油精製、石油化学コンビナートでの
CO₂ 排出量を以下のように計算した。なお CO₂ 排出量単位は各工程の歩留まりが
考慮された値である。

原油生産： $0.1045\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.1078\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

原油輸送： $0.06131\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.06321\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

石油精製： $0.2527\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 0.2605\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

石油化学コンビナート： $1.064\text{kg-CO}_2/\text{kg} \times 1.031\text{ kg} = 1.097\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・原材料調達・生産時の CO₂ 排出量は $1.528\text{kg-CO}_2/\text{kg}$

・生産時の CO₂ 排出量 $2.320\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ 、原材料調達・生産時の CO₂ 排出量
 $1.52849\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ を合計すると PP 樹脂による自動車樹脂部品製造時の CO₂ 排出
量は $3.849\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

③CO₂ 削減量は $3.849\text{kg-CO}_2/\text{kg} - 6.690\text{kg-CO}_2/\text{kg} = -2.842\text{kg-CO}_2/\text{kg}$ となる。

表 3.2.3.3.1 部品生産までの CO₂排出量比較 (PA11)

① 評価対象製品			バイオプラ（PA11）による自動車樹脂部品（1kg）				
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計
			単位				
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PA11（原料からペレット製造まで）	4.2	kg-CO2/kg	100%	1.0309	4.32986
		コンテナ船（アジア航路）（26.0 g-CO2/tkm）（中国(上海)～日本（名古屋港）を1500kmで計算）	0.000026	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.04020
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.00844
		射出成形	2.242353	kg-CO2/kg	97%	1.0309	2.31168
	合計						1.0000
② ベースライン			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）				
			CO2 排出量		歩留まり	製造必要量	CO2排出量合計
			単位				
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油生産	0.104519	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.10775
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油輸送	0.061316	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.06321
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油精製	0.252688	kg-CO2/kg	100%	1.0309	0.26050
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ニ) 石油化学コンビナート	1.064129	kg-CO2/kg	100%	1.0309	1.09703
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.000234	kg-CO2/kgkm	100%	1.0309	0.00844
		射出成形	2.242353	kg-CO2/kg	97%	1.0309	2.31168
	合計						1.0000
③ 削減量（②－①）			—				CO2排出量合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・生産						kg
	生産						-2.84157
	合計						0.00000
							-2.84157

3. 3 CO₂排出削減効果まとめ

パルプモールド自動車部品およびバイオプラスチック自動車部品製造時までのCO₂排出削減効果まとめを表3.3.1に示す。バイオプラスチック PA11 以外でCO₂排出削減効果が推計された。バイオプラスチック PA11 について表 3.2.3.7でも示したが、モノマー生産時のCO₂排出原単位が大きく、CO₂排出削減効果が生まれなかったと推測される。本事業のCO₂排出削減効果を推計する上で、多くのバックグラウンドデータを活用している。そのため化学工業製品製造工程におけるCO₂削減効果についてエネルギー起源と非エネルギー起源に明確に分離できていない。ただし日本で排出されるCO₂の90数%はエネルギー起源である。環境省の「2018年度（平成30年度）の温室効果ガス排出量（速報値）」によれば、2018年度の日本のCO₂排出量は1,139百万トン（CO₂換算）である。そのうち93%の1,060百万トンがエネルギー起源であり、残り7%の79.0百万トンが非エネルギー起源である。更に環境省の「2017年度（平成29年度）温室効果ガス排出量のエネルギー起源二酸化炭素以外報告書」によれば、非エネルギー起源CO₂排出量においては、無機鉱物製品（セメントなど）からの排出が42.9%を占めている。その他化学工業・金属生産が12.9%、その他一般廃棄物焼却・産業廃棄物焼却などが占める。非エネルギー起源となる化学工業製品製造が日本のCO₂排出量に占める比率はわずか0.9%である。今回推計したCO₂排出量をほぼエネルギー起源CO₂と考えても問題がないと考える。

表 3.3.1 パルプモールド自動車部品およびバイオプラスチック自動車部品製造時までの CO₂ 排出削減効果まとめ

	①評価対象製品	②ベースライン	③CO ₂ 削減量 (②-①)
パルプモールド自動車部品製造時までのCO ₂ 排出削減効果の推計	紙パルプ繊維による自動車吸音材 (1kg)	ポリエステル繊維による自動車吸音材 (1kg)	10.13781
	1.16657	11.30438	
バイオプラスチック自動車部品製造時までのCO ₂ 排出削減効果の推計	バイオプラ (PLA) による自動車樹脂部品 (1kg)	PP樹脂による自動車樹脂部品 (1kg)	0.76793
	3.08068	3.84861	
	バイオプラ (PE) による自動車樹脂部品 (1kg)	PP樹脂による自動車樹脂部品 (1kg)	2.08251
	1.76610	3.84861	
	バイオプラ (PE) による自動車樹脂部品 (1kg) ※クレジット加味	PP樹脂による自動車樹脂部品 (1kg)	4.42270
	-0.57409	3.84861	
	バイオプラ (PA11) による自動車樹脂部品 (1kg)	PP樹脂による自動車樹脂部品 (1kg)	-2.84157
	6.69018	3.84861	

※PEのクレジットを加味した値は参考値

CO₂排出量の全量をエネルギー起源としてカウントした場合のCO₂削減効果および化学工業製品のCO₂排出量の99.1%をエネルギー起源、0.9%をエネルギー起源とカウントした場合のCO₂削減効果を表3.3.3、表3.3.4、表3.3.5、表3.3.7に示す。バイオプラスチック（3.2.3.3. バイオプラスチック（PA11））以外でCO₂排出削減効果が推計された。

表 3.3.2 日本のCO₂排出量（2018 年度）

項目		2018年度 CO2排出量	%
エネルギー起源CO2排出量		1,060	93.1%
非エネルギー起源CO2排出量	無機鉱物製品（セメント等）	34	3.0%
	化学工業・金属生産	10	0.9%
	その他一般廃棄物焼却・産業廃棄物焼却等	35	3.1%
	合計	79	6.9%
合計		1,139	100.0%

出典：「2018 年度（平成 30 年度）の温室効果ガス排出量（速報値）」および環境省の「2017 年度（平成 29 年度）温室効果ガス排出量のエネルギー起源二酸化炭素以外報告書」より作成

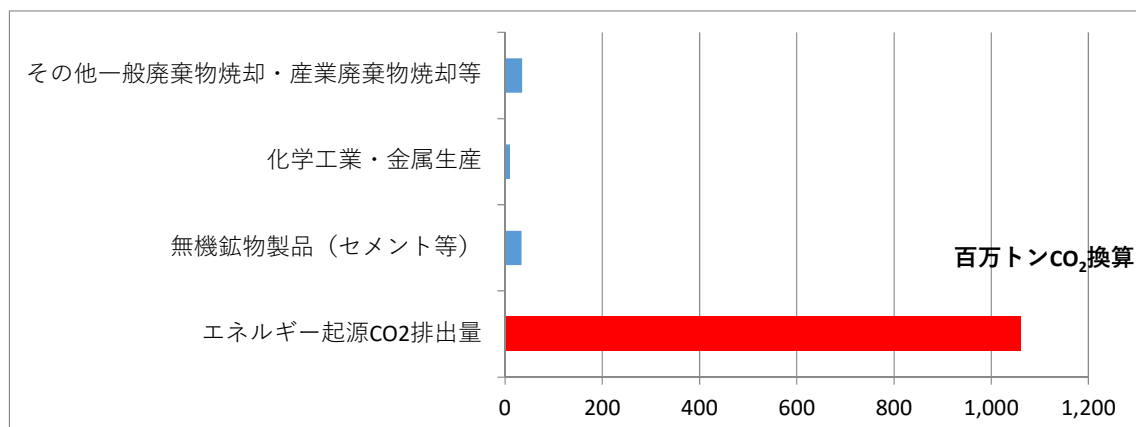


図 3.3.1 日本のCO₂排出量（2018 年度）

出典：「2018 年度（平成 30 年度）の温室効果ガス排出量（速報値）」および環境省の「2017 年度（平成 29 年度）温室効果ガス排出量のエネルギー起源二酸化炭素以外報告書」より作成

表 3.3.3 パルプモールド自動車部品製造時までの CO₂ 排出削減効果
(エネルギー起源、非エネルギー起源)

①評価対象製品			全てをエネルギー起源とカウント			仮に0.9%を非エネルギー起源とカウント (赤字部分)		
			紙パルプ繊維による自動車吸音材 (1kg)			紙パルプ繊維による自動車吸音材 (1kg)		
			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	古紙回収	0.01073	0.00000	0.01073	0.01073	0.00000	0.01073
		古紙選別梱包	0.00884	0.00000	0.00884	0.00884	0.00000	0.00884
		古紙選別輸送	0.00515	0.00000	0.00515	0.00515	0.00000	0.00515
	生産	モールド成型 (吸音材)	1.14185	0.00000	1.14185	1.14185	0.00000	1.14185
	合計		1.16657	0.00000	1.16657	1.16657	0.00000	1.16657
②ベースライン			ポリエステル繊維による自動車吸音材 (1kg)			ポリエステル繊維による自動車吸音材 (1kg)		
			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	原油採掘～バラキシレン製造 (歩留まり数値＝テレフタル酸1製造時のバラキシレン必要量)	0.86083	0.00000	0.86083	0.85308	0.00775	0.86083
		バラキシレン～テレフタル酸製造 (歩留まり数値＝ポリエステル繊維1製造時のテレフタル酸必要量)	0.09157	0.00000	0.09157	0.09075	0.00082	0.09157
		原油採掘～エチレングリコール製造 (歩留まり数値＝ポリエステル繊維1製造時のエチレングリコール必要量)	0.18421	0.00000	0.18421	0.18255	0.00166	0.18421
		コンテナ船 (アジア航路) (26.0 g-CO2/tkm) (中国(上海)～日本 (名古屋港) を1500kmで計算)	0.04105	0.00000	0.04105	0.04105	0.00000	0.04105
		ポリエステル長繊維	1.45978	0.00000	1.45978	1.44664	0.01314	1.45978
	生産	営業用貨物自動車輸送 (三島～トヨタ車体寿開発センターを200kmで計算)	0.04926	0.00000	0.04926	0.04926	0.00000	0.04926
		不織布 (吸音材)	7.37893	0.00000	7.37893	7.37893	0.00000	7.37893
	原材料調達・ 生産	古紙回収	0.01243	0.00000	0.01243	0.01243	0.00000	0.01243
		古紙選別梱包	0.01024	0.00000	0.01024	0.01024	0.00000	0.01024
		古紙選別輸送	0.00597	0.00000	0.00597	0.00597	0.00000	0.00597
	生産	パルプ化	1.21011	0.00000	1.21011	1.21011	0.00000	1.21011
	合計		11.30438	0.00000	11.30438	11.28101	0.02337	11.30438
③削減量 (②-①)			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・生産		2.64136	0.00000	2.64136	2.61799	0.02337	2.64136
	生産		7.49645	0.00000	7.49645	7.49645	0.00000	7.49645
	合計		10.13781	0.00000	10.13781	10.11444	0.02337	10.13781

表 3.3.4 バイオプラスチック（PLA）自動車部品製造時までの CO₂ 排出削減効果（エネルギー起源、非エネルギー起源）

①評価対象製品			全てをエネルギー起源とカウント			仮に0.9%を非エネルギー起源とカウント (赤字部分)		
			イオブラ（PLA）による自動車樹脂部品（1kg）			イオブラ（PLA）による自動車樹脂部品（1kg）		
			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	ポリ乳酸：PLA（原料からペレット製造まで）	0.63917	0.00000	0.63917	0.63342	0.00575	0.63917
		コンテナ船（北米航路）（15.7 g-CO2/tkm）（米国（サンフランシスコ）～日本（名古屋港）を7500kmで計算）	0.12139	0.00000	0.12139	0.12139	0.00000	0.12139
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.00844	0.00000	0.00844	0.00836	0.00008	0.00844
		射出成形	2.31168	0.00000	2.31168	2.31168	0.00000	2.31168
	合計		3.08068	0.00000	3.08068	3.07485	0.00583	3.08068
②ベースライン			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）		
			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油生産	0.10775	0.00000	0.10775	-3.17036	3.27811	0.10775
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油輸送	0.06321	0.00000	0.06321	0.06321	0.00000	0.06321
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油精製	0.26050	0.00000	0.26050	0.25816	0.00234	0.26050
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ニ) 石油化学コンビナート	1.09703	0.00000	1.09703	1.08716	0.00987	1.09703
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.00844	0.00000	0.00844	0.00844	0.00000	0.00844
		射出成形	2.31168	0.00000	2.31168	2.31168	0.00000	2.31168
	合計		3.84861	0.00000	3.84861	0.55828	3.29033	3.84861
③削減量（②－①）			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・生産		0.76793	0.00000	0.76793	-2.51664	3.28457	0.76793
	生産		0.00000	0.00000	0.00000	0.00008	-0.00008	0.00000
	合計		0.76793	0.00000	0.76793	-2.51657	3.28450	0.76793

表 3.3.5 バイオプラスチック（PE）自動車部品製造時までの CO₂ 排出削減効果（エネルギー起源、非エネルギー起源）

①評価対象製品			全てをエネルギー起源とカウント			仮に0.9%を非エネルギー起源とカウント （赤字部分）		
			バイオプラ（PE）による自動車樹脂部品（1kg）			バイオプラ（PE）による自動車樹脂部品（1kg）		
			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 （kg-CO2/ 年）	原材料調達・ 生産	PE（原料からペレット製造まで）	-0.84535	0.00000	-0.84535	-0.83774	-0.00761	-0.84535
		コンテナ船（北米航路）（15.7 g-CO2/tkm）（ブラジル（リオグランデ）～日本（名古屋港）を18,000 kmで計算）	0.29133	0.00000	0.29133	0.29133	0.00000	0.29133
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.00844	0.00000	0.00844	0.00844	0.00000	0.00844
		射出成形	2.31168	0.00000	2.31168	2.31168	0.00000	2.31168
	合計		1.76610	0.00000	1.76610	1.77371	-0.00761	1.76610
②ベースライン			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）		
			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 （kg-CO2/ 年）	原材料調達・ 生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油生産	0.10775	0.00000	0.10775	-3.17036	3.27811	0.10775
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油輸送	0.06321	0.00000	0.06321	0.06321	0.00000	0.06321
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油精製	0.26050	0.00000	0.26050	0.25816	0.00234	0.26050
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ニ) 石油化学コンビナート	1.09703	0.00000	1.09703	1.08716	0.00987	1.09703
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.00844	0.00000	0.00844	0.00844	0.00000	0.00844
		射出成形	2.31168	0.00000	2.31168	2.31168	0.00000	2.31168
	合計		3.84861	0.00000	3.84861	0.55828	3.29033	3.84861
③削減量（②－①）			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 （kg-CO2/ 年）	原材料調達・生産		2.08251	0.00000	2.08251	-1.21543	3.29794	2.08251
	生産		0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	合計		2.08251	0.00000	2.08251	-1.21543	3.29794	2.08251

表 3.3.6 【参考】バイオプラスチック（PE）自動車部品製造時までの CO₂ 排出削減効果（PE、クレジット加味）（エネルギー起源、非エネルギー起源）

①評価対象製品			全てをエネルギー起源とカウント			仮に0.9%を非エネルギー起源とカウント （赤字部分）		
			バイオプラ（PE）による自動車樹脂部品（1kg）			バイオプラ（PE）による自動車樹脂部品（1kg）		
			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 （kg-CO2/ 年）	原材料調達・ 生産	PE（原料からペレット製造まで）	-3.18554	0.00000	-3.18554	-3.15687	-0.02867	-3.18554
		コンテナ船（北米航路）（15.7 g-CO2/tkm）（ブラジル（リオグランデ）～日本（名古屋港）を18,000 kmで計算）	0.29133	0.00000	0.29133	0.29133	0.00000	0.29133
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.00844	0.00000	0.00844	0.00844	0.00000	0.00844
		射出成形	2.31168	0.00000	2.31168	2.31168	0.00000	2.31168
	合計		-0.57409	0.00000	-0.57409	-0.54542	-0.02867	-0.57409
②ベースライン			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）		
			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 （kg-CO2/ 年）	原材料調達・ 生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油生産	0.10775	0.00000	0.10775	-3.17036	3.27811	0.10775
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油輸送	0.06321	0.00000	0.06321	0.06321	0.00000	0.06321
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油精製	0.26050	0.00000	0.26050	0.25816	0.00234	0.26050
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ニ) 石油化学コンビナート	1.09703	0.00000	1.09703	1.08716	0.00987	1.09703
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～トヨタ車体寿開発センターを35kmで計算）	0.00844	0.00000	0.00844	0.00844	0.00000	0.00844
		射出成形	2.31168	0.00000	2.31168	2.31168	0.00000	2.31168
		合計	3.84861	0.00000	3.84861	0.55828	3.29033	3.84861
③削減量（②－①）			エネルギー起源	非エネルギー起源	合計	エネルギー起源	非エネルギー起源	合計
実証事業 終了時点 （kg-CO2/ 年）	原材料調達・生産		4.42270	0.00000	4.42270	1.10370	3.31900	4.42270
	生産		0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	合計		4.42270	0.00000	4.42270	1.10370	3.31900	4.42270

表 3.2.3.7. バイオプラスチック (PA11) 自動車部品製造時までの CO₂ 排出削減効果 (エネルギー起源、非エネルギー起源)

①評価対象製品			全てをエネルギー起源とカウント			仮に0.9%を非エネルギー起源とカウント (赤字部分)		
			バイオプラ（PA11）による自動車樹脂部品（1kg）			バイオプラ（PA11）による自動車樹脂部品（1kg）		
			エネルギー起 源	非エ ネルギー 起源	合計	エネルギー起 源	非エ ネルギー 起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PA11（原料からペレット製造ま で）	4.32986	0.00000	4.32986	4.29089	0.03897	4.32986
		コンテナ船（アジア航路）（26.0 g -CO2/tkm）（中国(上海)～日本 （名古屋港）を1500kmで計算）	0.04020	0.00000	0.04020	0.04020	0.00000	0.04020
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～ トヨタ車体寿開発センターを35km で計算）	0.00844	0.00000	0.00844	0.00844	0.00000	0.00844
		射出成形	2.31168	0.00000	2.31168	2.31168	0.00000	2.31168
	合計		6.69018	0.00000	6.69018	6.65121	0.03897	6.69018
②ベースライン			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）			PP樹脂による自動車樹脂部品（1kg）		
			エネルギー起 源	非エ ネルギー 起源	合計	エネルギー起 源	非エ ネルギー 起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・ 生産	PP(ポリプロピレン)樹脂製造：イ) 原油 生産	0.10775	0.00000	0.10775	-3.17036	3.27811	0.10775
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ロ) 原油 輸送	0.06321	1.00000	1.06321	0.06321	0.00000	0.06321
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ハ) 石油 精製	0.26050	2.00000	2.26050	0.25816	0.00234	0.26050
		PP(ポリプロピレン)樹脂製造：ニ) 石油 化学コンビナート	1.09703	3.00000	4.09703	1.08716	0.00987	1.09703
	生産	営業用貨物自動車輸送（名古屋港～ トヨタ車体寿開発センターを35km で計算）	0.00844	4.00000	4.00844	0.00844	0.00000	0.00844
		射出成形	2.31168	5.00000	7.31168	2.31168	0.00000	2.31168
	合計		3.84861			0.55828	3.29033	
③削減量（②－①）			エ ネルギー起 源	非エ ネルギー 起源	合計	エ ネルギー起 源	非エ ネルギー 起源	合計
実証事業 終了時点 (kg-CO2/ 年)	原材料調達・生産		-2.84157	6.00000	3.15843	-6.09293	3.25136	-2.84157
	生産		0.00000	9.00000	9.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	合計		-2.84157	15.00000	12.15843	-6.09293	3.25136	-2.84157

4 リサイクル技術動向とパルプ・バイオプラスチック部品適用動向調査

リサイクル技術動向とパルプ・バイオプラスチック部品適用動向調査のため図 4.1、図 4.2、図 4.3、図 4.4、に示す K 2019（The world No.1 Trade Fair For Plastics and Rubber）国際プラスチック・ゴム産業展へ参加しリサイクル関連会社、材料メーカー、および成形メーカーを中心に調査を実施した。K2019 は K 展とも呼ばれる世界 3 大プラスチック展の一つで 3 年に 1 度開催される。期間は 2019 年 10 月 16 日から 23 日。開催場所はドイツのデュッセルドルフである。今回の我々の調査目的は、最新樹脂リサイクル技術動向調査を行い本事業へのリサイクル技術活用提案に繋げること、そしてパルプ、バイオプラスチック部品適用動向調査を踏まえ本事業ターゲット部品絞り込みを行うことである。



図 4.1 K2019 会場入り口

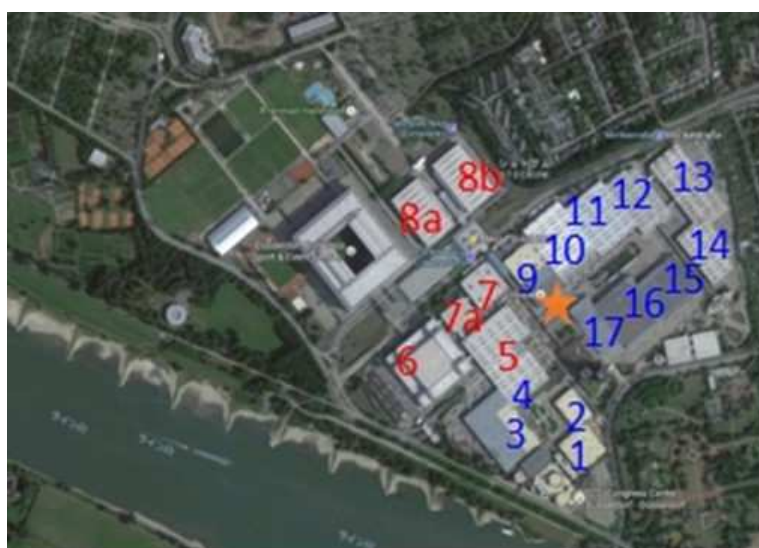


図 4.2 K2019 会場全体



図 4.3 K2019 展示ブース例



図 4.4 K2019 マテリアルリサイクル実演

4. 1 リサイクル技術動向

リサイクル技術動向調査として自動車のリサイクルの現状と課題を明らかにした。また、ドイツK展を中心としたパルプ、バイオプラスチックなどの再生可能材料も含めたリサイクル技術の調査を実施した。

4. 1. 1 自動車リサイクルの現状と課題

4. 1. 1. 1 日本の自動車リサイクル現状

日本の自動車リサイクルシステムは自動車リサイクル法に基づき実施されている、図 4.1.1.1、図 4.1.1.2、図 4.1.1.3、に示すように廃車からフロンやエアバック、有価物を取り外し最終的にシュレッダーして有用金属を回収した後に残るものが ASR（Automobile Shredder Residue の略で、自動車破碎残さのこと）である。

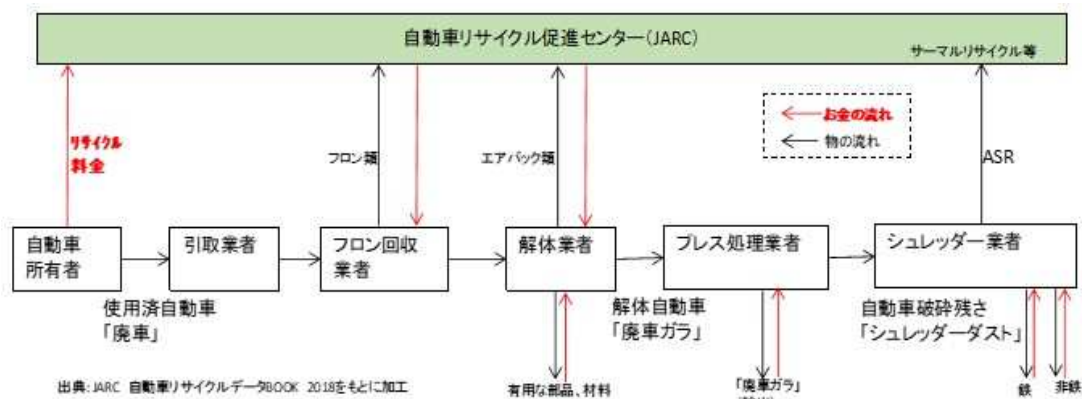


図 4.1.1.1.1 自動車リサイクルシステムの流れ

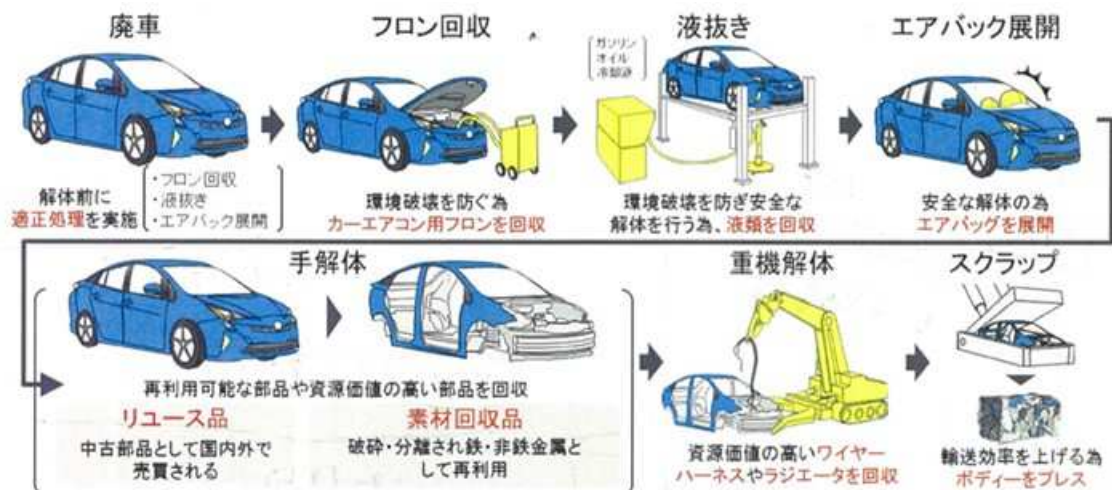


図 4.1.1.1.2 廃車引取りから廃車ブロックになるまでの流れ



図 4.1.1.1.3 廃車ガラをプレスした廃車ブロック

シュレッダー工程では図 4.1.1.1.4 に示すようにまず鉄、非鉄を比重、マグネット、手作業などで分別する。大部分の金属がマテリアルリサイクルされている。ASR は、図 4.1.1.1.5～9 に示すように複雑な混合物となっており、主成分は樹脂、発砲ウレタン、繊維、ゴムなどの可燃物が約 60%を占め、選別できなかった金属やガラス、土砂、水分が残りの約 40%を占める。マテリアルリサイクルするためには、精度よく分別することは課題があり現状ほとんどは燃料すなわちサーマルリサイクルとして処理されている。

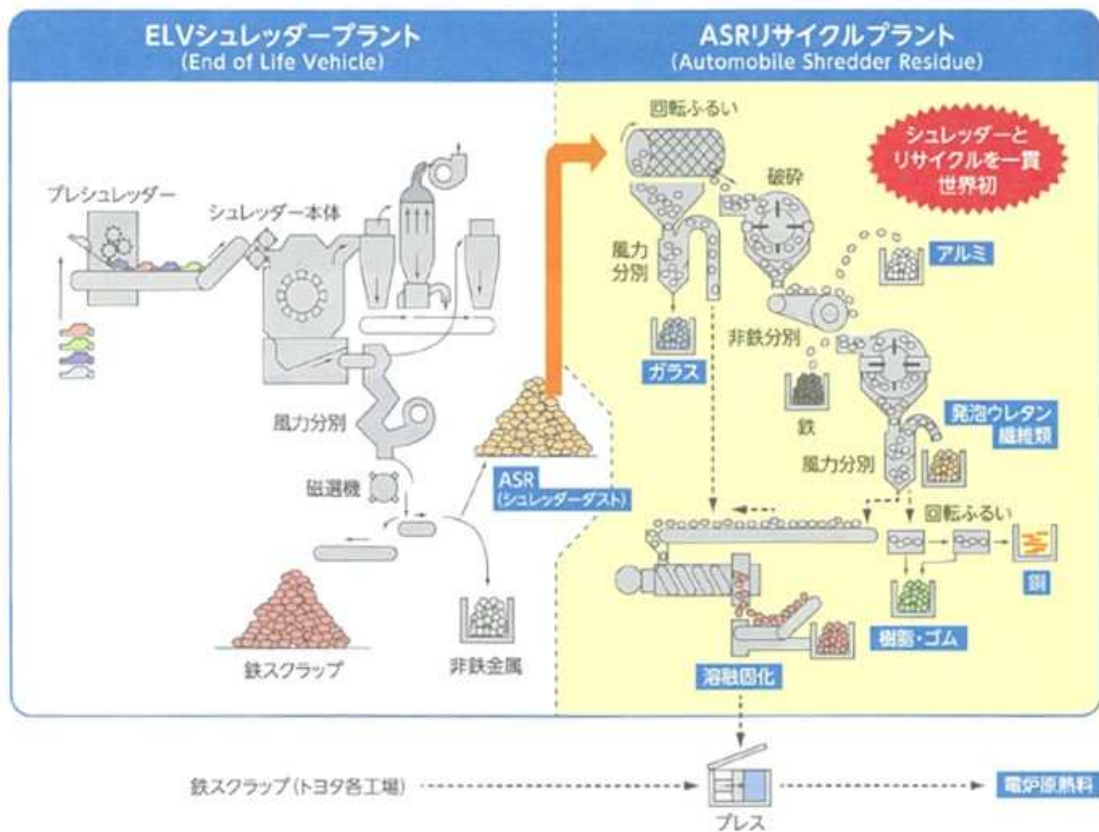


図 4.1.1.1.4 シュレッダー業者での工程概要
クルマとリサイクル

トヨタ自動車 環境部 2017 年 4 月発行 より



図 4.1.1.1.5 ASR の外観 1



図 4.1.1.1.6 ASR の外観 2

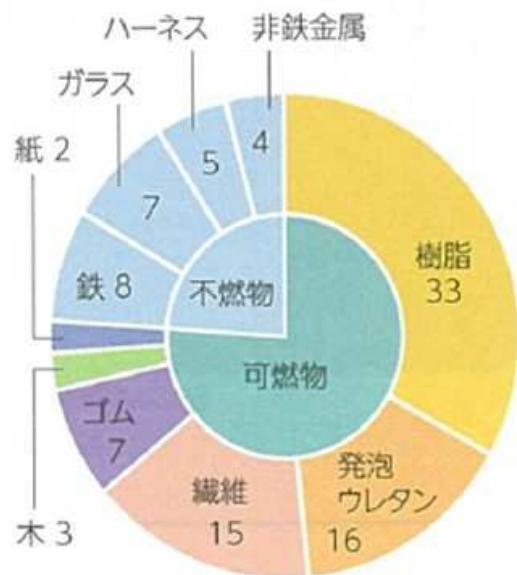
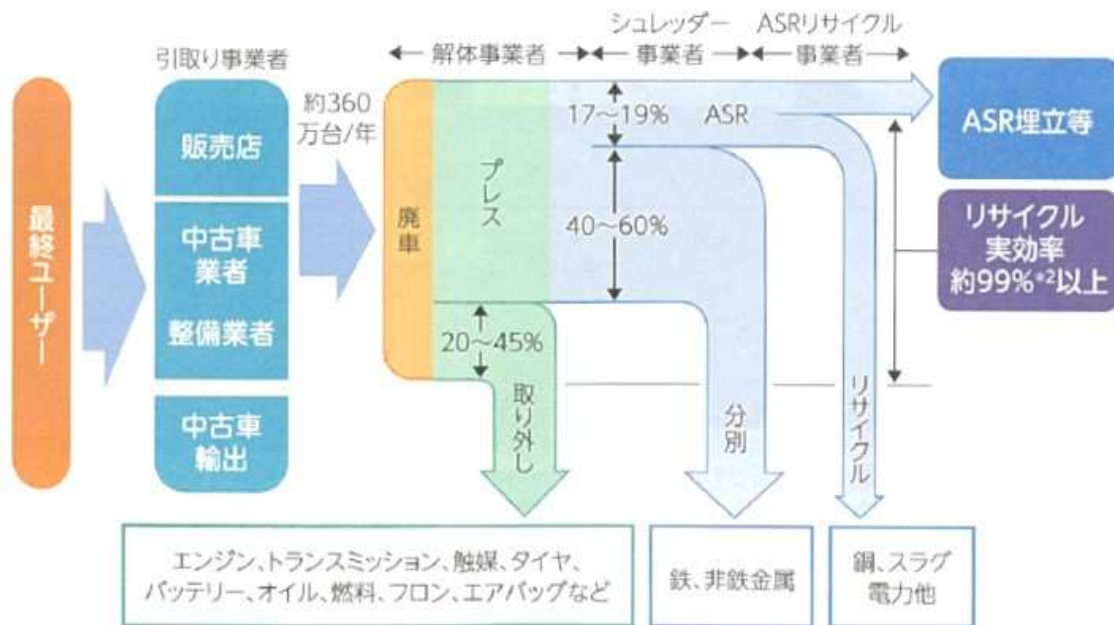


図 4.1.1.1.7 ASR 材料構成（重量%）

図 4.1.1.1.8 ASR の外観拡大

クルマとリサイクル トヨタ自動車環境部

2017 年 4 月発行 より



*2 リサイクル実効率: リサイクルに向けられた重量 ÷ 使用済自動車の総重量

図 4.1.1.1.9 クルマのリサイクルの流れ

クルマとリサイクル トヨタ自動車環境部

2017 年 4 月発行 より

過去に、ASR 中の多くを占めるウレタンや繊維部を防音材（Recycled Sound-Proofing Products：RSPP）として自動車部品に戻すマテリアルリサイクルが実施されていたが、古い車に混入の可能性がある臭素系難燃剤が有害物質に指定されたため、現在はマテリアルリサイクルできない。ASR 中でもう一つ約 33%と多くを占める樹脂部分の多くは PP 系材料である。比重が 0.9～1.1 前後であるため水流で分別することで図 4.1.1.1.10 に示すように、ある程度 PP 系樹脂のみの分別が可能な技術もあるが、不純物の混入もあり自動車部品への適用は難しい。そのためこれらの樹脂は公園のベンチなどで活用されるに留まっている。



図 4.1.1.1.10 ASR から PP 系樹脂を主に比重分別した製品
（公園のベンチにて活用）

図 4.1.1.1.11 に示すように、国内 ASR 再資源化率はサーマルリサイクルも入れると 2015 年度で 98%まで向上しており自動車リサイクル法定基準（2005 年 30%、2010 年 50%、2015 年 70%）の 70%の目標を大きく上回っている。しかし前述したように ASR のリサイクルの内訳の多くの部分はサーマルリサイクルであり、後に表 4.1.1.2.2 にて示すように欧州基準ではリサイクルに定義されない。



図 4.1.1.1.11 日本の ASR リサイクル率の推移

出所：経済産業省「自動車リサイクル法の施行状況」を基に作成

4. 1. 1. 2 ドイツの現状

ドイツでも日本と同様に欧州ELVリサイクルの基本スキームとして図4.1.1.2.1に示すように認定解体業者が大型樹脂部品やガラスを回収し、廃車ガラを認定破砕業者でシュレッダー分別しASRのリサイクルを行っている。

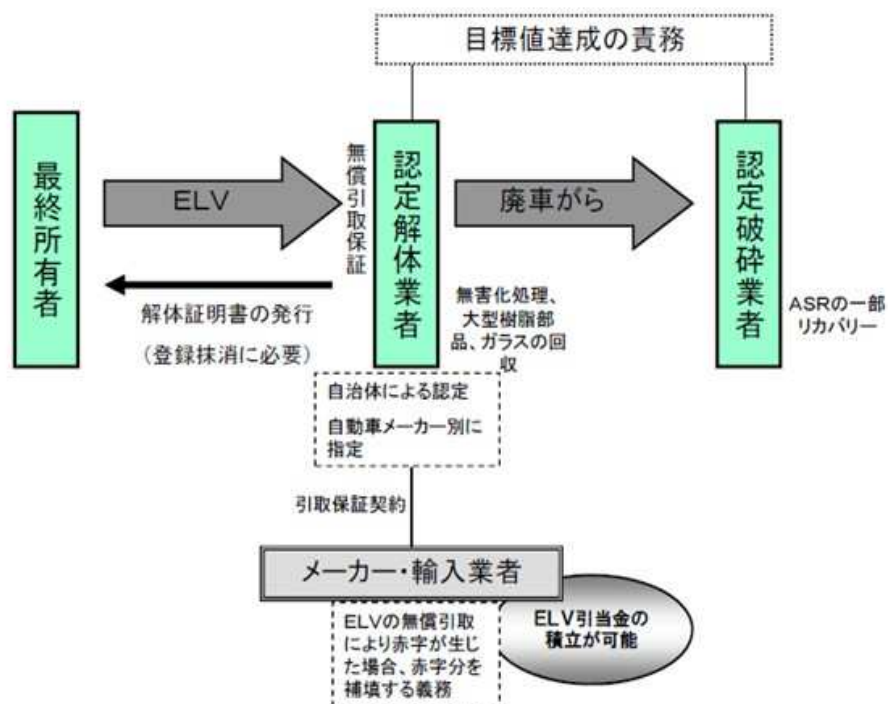


図 4.1.1.2.1 ドイツにおけるELVリサイクルの基本スキーム

各国の自動車リサイクル制度 資料7

経済産業省自動車課 環境省企画課リサイクル推進室より

ドイツでの廃車リサイクルの現状調査として廃車・解体業者、シュレッダー業者、マテリアルリサイクル材料メーカーを訪問し現地調査を行った（図 4.1.1.2.2 を参照）。



図 4.1.1.2.2 ドイツでのクルマのリサイクルの流れと訪問企業

まず廃車が最初に引き取られるデュッセルドルフ西南部にある解体業者（AUTO VERWERTUNG BEIER ; AVB）を訪問した。図 4.1.1.2.3～6 に示すように廃車の解体状況を確認したが、エンジン、足回り部品、タイヤ、ドア、ランプ、バンパー、インストロメンタルパネル、シートなどのほとんどの部品が取り外され、メーカー別の棚に並べられていることに驚いた。直接部品販売も行われていた。ドイツ周辺の中東欧国で中古ドイツ車の人気は高く、日本に比べ中古部品市場が大きいとの印象を受けた。そのため日本の解体業者より多くの部品を再利用していることが推察され、廃車ガラをシュレッダーにかけても日本ほど多くの ASR は出ないと思われた。



図 4. 1. 1. 2. 3 解体がほぼ終了した廃車ガラ



図 4. 1. 1. 2. 4 バンパ、ランプ類の陳列棚



図 4. 1. 1. 2. 5 エンジンの陳列棚



図 4. 1. 1. 2. 6 ラゲージボード類の陳列棚

次にドイツの鉄・および非鉄リサイクル協会 Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling-und Entsorgungsunternehmen e.V. (BDSV)を訪問し、解体(企業例：SEDA)→選別→シュレッダー（装置例：Lindemann(METSO 製)）→リサイクルの状況についてヒアリングを行った。ドイツにおける ASR のリサイクル率の目標値は表 4.1.1.2.1 に示すように 2015 年以降は 85%以上と高い。また、リサイクルの定義も表 4.1.1.2.2 に示すようにサーマルリサイクルをリサイクルとは定義せず、リカバリーと呼び分けて考えている。

表 4.1.1.2.1 E L V 指令が定める目標値

各国の自動車リサイクル制度 資料 7

経済産業省自動車課 環境省企画課リサイクル推進室より

項 目	2006年までの目標値	2015年までの目標値
再使用率＋リサイクル率	80%	85%
再使用率＋リサイクル率 ＋エネルギーリカバリー率	85%	95%

表 4.1.1.2.2 日本と E U の定義の違い

各国の自動車リサイクル制度 資料 7

経済産業省自動車課 環境省企画課リサイクル推進室より

	日本	具体例	E U		
リ サ イ ク ル	材料リサイクル	同じ材料の再商品化	Mechanical Recycling	Recycling	Recovery
	ケミカルリサイクル	高炉還元剤利用 ガス化、油化	Feedstock Recycling		
	サーマルリカバリー	固形燃料、燃料代替	Energy Recovery		

表 4.1.1.2.3 に示すようにドイツの廃車リユース&リサイクル率はサーマルリサイクルを含まない算定方法で 2016 年に 89.3%と報告されている。ドイツのリサイクル率（89.3%）は、ASR（17～19%）の大部分をサーマルリサイクルしている日本に比べ高い値になっているものと推定される。

表 4.1.1.2.3 ドイツの廃車リユース&リサイクル率

Verwertungsquoten in Deutschland (Altfahrzeuge)

		2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007
リユースとリサイクル率 (マテリアルリサイクル 活用)	Wiederver- wendung und Recyc- ling (stoffli- che Verwer- tung)	89,3 %	87,70%	89,50%	89,30%	92,30%	93,40%	95,50%	82,90%	89,20%	88,10%
リユースとリカバリー率	Wiederver- wendung und Verwer- tung	98,0 %	95,80%	101,40%	103,80%	106,30%	108,20%	106,20%	86,70%	92,90%	90,40%
廃車数	Zahl der Altfahrzeuge	412.801	476.222	515.867	500.322	476.601	466.160	500.193	1,78 Mio.	417.000	458.832
解体施設数	Demontage- betriebe	1.153	1.195	1.211	1.196	1.235	1.260	1.263	1.245	1.190	1.807
シュレッダーサイト数	Schredder- anlagen	51	49	50	53	51	51	51	52	48	44
Quelle: UBA; Destatis, KBA, eigene Erhebungen											

出展 BDSV より入手

4. 1. 1. 3 日本の自動車リサイクルシステムの課題

日本の廃車リサイクルシステムの現状は図 4.1.1.1.11 に示したように ASR リサイクル率 98%以上と法規目標の 70%を大きく上回る達成状況が続いており、そのため更なるリサイクル向上といった意識が低くなっている。欧州の場合はサーマルリサイクルをリサイクルと認めないでリカバリーとして算定する基準になっている。この基準で日本のリサイクル率を算定すると現状より大幅に低い数字となる。欧州のリサイクル率に対しても低い数字になっている可能性が高い。日本も欧州と同様にサーマルリサイクルをリカバリーと定義することでマテリアルリサイクル率の現状を把握し、目標設定を検討する時期になっていると感じる。

日本の自動車リサイクルの課題を以下に示す。

- ①ASR のサーマルリサイクル率を下げて、マテリアルリサイクル率を向上させること。
- ②そのためには ASR からのマテリアルリサイクル材料の品質確保、量の安定化、コスト低減を推進すること。
- ③ASR リサイクルを LCA で考えても CO₂排出削減に貢献する環境にやさしいものにする。
- ④ASR からの素材分別はエネルギーがかかるため ASR 自体を少なくすることも有効と考えられる。すなわち部品状態で取り外しをして有効利用できる仕組みをつくること。

本事業の材料開発にもこれら①から④の点を意識して改善に寄与できるように検討を進めていく。

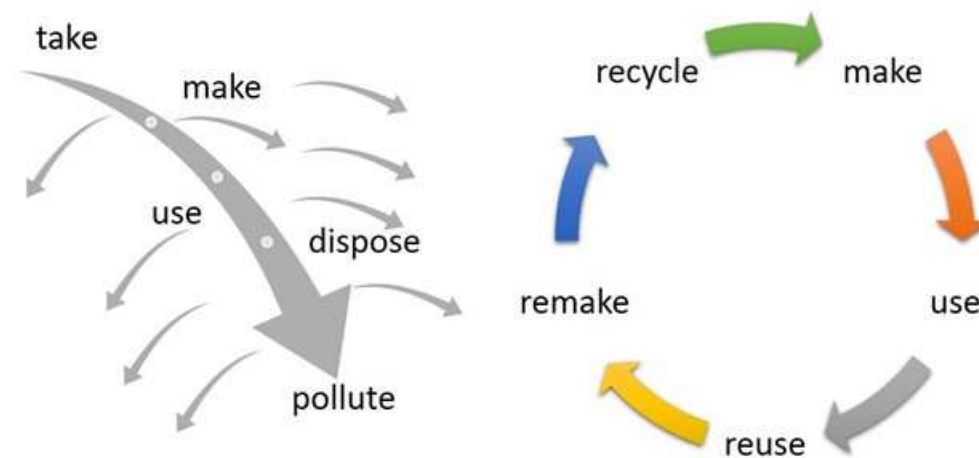
4. 1. 2 リサイクル技術動向調査（ドイツ K 展）

4. 1. 2. 1 リサイクル技術調査概要

材料メーカーや成形メーカーが植物由来の材料や生分解性材料、リサイクル材料を多く展示し図 4. 1. 2. 1～2 に示すようにサーキュラーエコノミー（循環型経済）を展示テーマとして掲げていた。



図 4. 1. 2. 1. 1 サーキュラーエコノミー関連の展示パネル



CC 3.0 Catherine Weetman 2016

図 4. 1. 2. 1. 2 サーキュラーエコノミーの概念図

Hot Topics of Circular Economy At K 2019 記事より引用

例えば BASF ではダウンストリームテクノロジーイノベーションという部署を設立し、アディダスと共に図 4.1.2.1.3 に示すようにソール、本体、靴紐までウレタン系の単一素材で靴をつくり、靴から靴へリサイクルするプロジェクトをスタートさせていた。単一材料構成がマテリアルリサイクルにとっても望ましいと考えられ、本事業の設計、材料選択にもこの考えの適用を目指したい。



図 4.1.2.1.3 単一素材化の提案

また 4.1.1.2 でも記述したようにドイツでの廃車解体業者にてリユース（中古部品販売）の実態を調査するなかで（図 4.1.2.1.4 参照）、ドイツでは部品やエンジンを取り外し中古販売リユースが盛んに行われていることが見てとれた。日本でも廃車の解体性向上を設計面から推進すれば、部品取り外しによるリユースやマテリアルリサイクルもし易くなると考えられる。

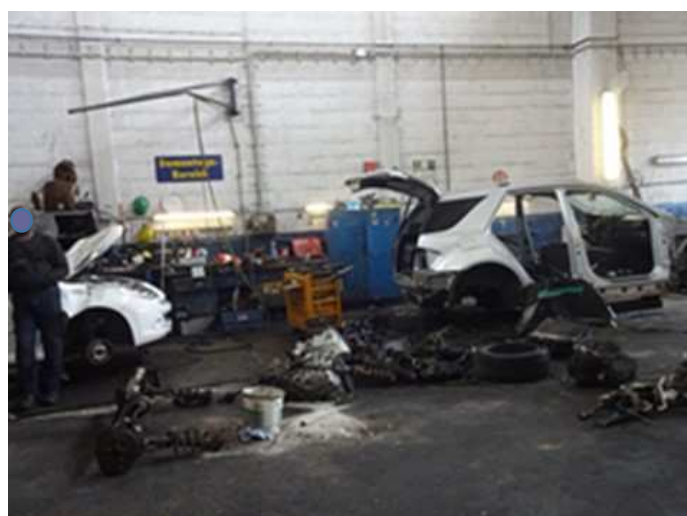


図 4.1.2.1.4 易解体性

4. 1. 2. 2 マテリアルリサイクル技術動向

多くの材料メーカーが、マテリアルリサイクル（図 4.1.2.2.1）を重視しているというメッセージを掲示していた。様々なマテリアルリサイクルの検討例が示されており、近年の海洋プラスチック汚染問題（図 4.1.2.2.2）にも触れた展示が見られた。しかし実際のマテリアルリサイクルは品質、コスト、安定供給性での課題も多く、限られた範囲での採用にとどまっている。



図 4.1.2.2.1 マテリアルリサイクル

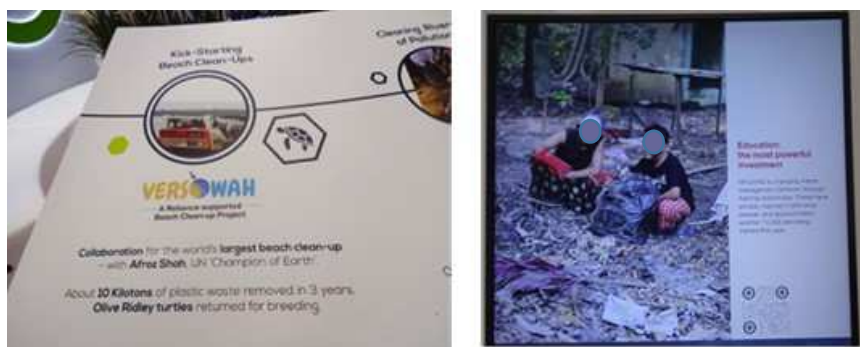


図 4.1.2.2.2 海洋プラスチック汚染問題関連

4. 1. 2. 3 破砕、選別技術動向

自動車リサイクルの 4. 1. 1 項で考察したように ASR のマテリアルリサイクル推進のためには分別の高品質化、低コスト化、供給安定化が課題であり、高度な破砕・選別技術が必要となる。今回、K2019 で調査した最新のリサイクル破砕、選別技術調査した結果を報告する。

(1)破砕技術

多くの破砕設備が展示されており、その場で金属を除去する機能、破砕粒径制御、処理スピードといった性能が示されていた。図 4. 1. 2. 3. 1 図 4. 1. 2. 3. 2 に例を示す。



図 4. 1. 2. 3. 1 大型破砕設備の例



図 4. 1. 2. 3. 2 小型破砕設備の例

(2) 選別技術

ASR をマテリアルリサイクルとして有効活用するためには分別技術が最も重要な技術である。表 4.1.2.3.1 に示すように多くの分別原理区分がある。中でも今回 K 展の最新展示としては、進歩した光学選別技術が多く提案されていた。

表 4.1.2.3.1 選別技術の種類

活用する原理区分	実施方法
比重選別	・比重液法 ・水流などを活用したジギング法 ・風力法 ・振動法 他
光学選別	・ラマン分光法 ・赤外分光法 ・色選別法 他
静電選別	・電圧を印加し、 材料の帯電序列に従って選別する手法
その他	・材料の摩擦差を利用した選別 ・溶剤などによる材料膨潤を利用した選別 他

①比重選別技術

K 展でも風や水を活用した分別技術の提案があった。現在日本の ASR 分別でもよく使われている技術であり、比重差を活用して風の力や水に浮くか沈むかで分別が行われている。しかし自動車のような様々な樹脂が使われている状況で、かつ樹脂種類別に分けることは、樹脂同士の比重が近接していることもあり難しいのが現状である。

②静電選別技術

静電選別技術は極性の高いパルプやバイオプラスチックの帯電の仕方に注目し、これらを分別する手段としては興味深い技術といえる。但し、分別の材料種類は2種類に限られること、粒径の大きさもある程度揃える必要があることなどの制約もあり、活用は限定的になると考えられる。



図 4.1.2.3.3 静電選別技術

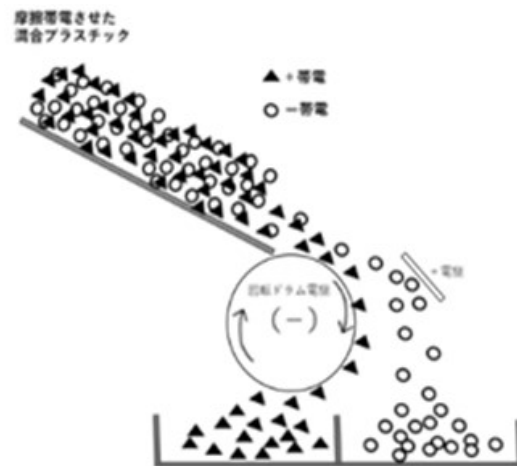


図 4.1.2.3.4 静電分別原理

③光学選別技術

従来、濃色の混合プラスチックは光学定性を試みても、光源のエネルギーを熱エネルギーに変換してしまうため検知が難しく、一般的に濃色材料の選別技術には適用できないとされてきた。K 展にて、黒い樹脂でも強い中赤外線を当てることで分別が可能で、図 4.1.2.3.5 に示す新技術が紹介されていた。この技術は、樹脂部の大部分が黒色系からなる ASR の分別へ適用できる可能性がある。また、材料の光学特性差から植物系材料を含めた多くの材料種類の分別が可能であり、破碎サイズにも左右されにくい原理であり、様々なサイズが混ざる ASR の分別にも適用が可能と考えられる。

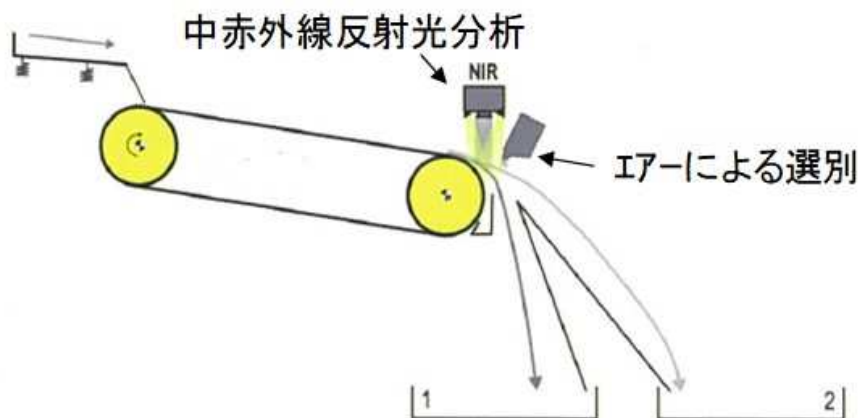


図 4.1.2.3.5 黒色樹脂の光学選別技術

他の光学選別技術展示として、図 4.1.2.3.6 に示す装置は、黒色や混合プラスチックからなる自動車、家電のシュレッダーを 1 時間あたり 10 トンのスピードで 8 種類に分別することが可能とのことであった。



図 4.1.2.3.6 黒色樹脂の光学選別技術

4. 1. 2. 4 リサイクル技術動向まとめ

ASR のプラスチック選別技術として光学選別、静電分別技術は大きく進歩してきており開発材に適用できるか検討を進める。しかし実際多くの材料が絡み合う ASR を分別する事はまだ難しいと考えられる。エコデザインとして解体のしやすい設計、単一素材化を推進し事前に部品の取り外しをしてリユースやマテリアルリサイクルに回すシステムを構築し ASR の量を減らす事も重要と考え、本事業にもこの考えの検討を反映したい。

4. 2 ターゲット部品の選定

4. 2. 1 自動車部品の動向

電動化を見据えた燃費向上ニーズの高まりから、図 4. 2. 1. 1～2 に示すような部品軽量化として、CFRP やガラス繊維補強 PP、ガラス繊維補強 PA など金属部品を置換する提案が多くみられた。CASE MaaS^{注2)}の動きを意識した電池、モーター周辺部品材料、自動運転関連部品のカメラ、センサー、電子基板など新たな部品が提案されていた。また車外騒音対策としての吸音材や防音材などのNV 関連部品も多く展示されていた。

注2)

- ・CASE：Connected（コネクティッド）、Autonomous/Automated（自動化）、Shared（シェアリング）、Electric（電動化）の略語
- ・MaaS：「Mobility as a Service（モビリティ・アズ・ア・サービス）」
直訳では「サービスとしての移動性」



図 4. 2. 1. 1 金属代替え軽量化部品提案



図 4. 2. 1. 2 レーダーモジュールシールド

4. 2. 2 パルプの活用

紙・パルプ材料の部品適用状況として、ドイツでは図 4. 2. 2. 1～2 に示すようにカトラリー、輸送部材、包装などに多く使われていた。この流れは図 4. 2. 2. 3 の様に日本でも見られる。



図 4. 2. 2. 1 紙・パルプ製品のドイツの現状



図 4. 2. 2. 2 ドイツの樹脂材料の輸送形態



図 4. 2. 2. 3 紙・パルプ製品の日本での広がり

K展では図 4.2.2.3～4 に示すようにペーパーハニカムを用いた部品提案が多数みられた。ベンツやルノーでは多くのラゲージボードでペーパーハニカムが採用されていた。構成はガラス繊維＋ウレタンを表皮材としており、高剛性な仕様になっていた。図 4.2.2.5 に示すように日本車のラゲージボードは荷室スペースが小さく、軽量、低コスト重視の設計であり強度はさほど求められないため、段ボール状に加工したプラスチックボードやブロー成形体が多い傾向にある。欧州では旅行のために荷室に大量の荷物を載せる、大量購入したワインを載せるなどの使い方があり日本に比べ強度が求められている。一方、軽量化はさほど求められていないという印象をもった。

我々のパルプモールドの技術を用いて国内、欧州で通用するよう軽量、高剛性を両立させ、さらに高吸音な商品性の高い部品提案を目指し検討を進めたいと考えている。



図 4.2.2.3 ペーパーハニカムボード



図 4.2.2.4 ペーパーハニカムボード適用例（ラゲージボード）

三菱 RVR



段ボールプラスチック

三菱 エクリプス



ブロー成形

レクサス RX



発泡体入りブロー

図 4. 2. 2. 5 日本でのラゲージボード例

4. 2. 3 バイオプラスチック活用

近年の海洋プラスチック汚染問題などを受けて、海岸への漂着量が多い使い捨てプラスチック 10 品目＋漁具についてはプラスチックを用いることが 2021 年以降できなくなることが、2019 年 5 月の EU 会議で決まっている。この流れを受けて K 展では多数のバイオプラスチックの製品提案がみられた。図 2.2.3.1 に示すように包装袋やカップなどは生分解を有する PLA へ、シャンプーボトルや PET ボトルなどはバイオ PE・PET に切り替えていくといった従来のプラスチック製品からバイオプラスチックへの置き換えの提案が多数みられた。



図 2.2.3.1 バイオプラスチック活用事例展示

一方、自動車部品へのバイオプラ適用事例はほとんど展示がなかったが、図 2.2.3.2 に示すように Fraunhofer というドイツの研究機関が PLA の剛性に着目し、シート骨格に PLA を適用するといった検討があった。これはサムスンなどの企業と協業して検討しており、耐熱性やコストといった課題があるそうだ。我々も PLA の剛性には着目しており、パルプとの組み合わせでコストを抑え耐熱性を付与し自動車に使えるよう検討を進めたいと考えている。



図 2.2.3.2 PLA シート骨格適用提案

4. 2. 4 製品化のためのターゲット部品選定

1 章、2 章で検討したパルプ、バイオプラスチックの耐熱変形温度と曲げ弾性率の性能からその特性に合うターゲット部品を選定することにした。図 4.2.4.1 に示すように自動車部品はその使用環境、使用ニーズより耐熱性、曲げ弾性率に一定の目標値が決まってくる。今回その部品群の目標エリアを A 群：一般部品、B 群：耐熱性部品、C 群：高剛性（金属代替え）部品 D 群：高耐熱部品と分け、材料性能を鑑みターゲット部品の絞り込み実施した。パルプモールドは比剛性向上により A 群、B 群、D 群での活用の可能性があると考えられる。PLA 材料はパルプによる繊維補強では耐熱性が改善できなかったが、核剤により A 群での活用の可能性があることが分かった。またアニール処理を実施することで A 群、B 群、C 群の活用の可能性があると考えられる。バイオ PE 材料についてはパルプによる繊維補強で効果的に耐熱変形温度を向上させることを見出し、A 群、B 群への活用の可能性がでてきた。さらに改良できれば C 群への活用も期待できるだろう。バイオ PA11 系材料もパルプによる繊維補強が効果的に耐熱変形温度を大幅に向上させることを見出し、D 群への活用の可能性があることが分かった。さらにリサイクル性や事業性を考えた時、取り外しが容易で、比較的大きな部品が望まれることも考慮に入れ選定を行った結果、パルプ、PLA、バイオ PE 材料のターゲット部品として A 群 B 群のフロアボード、ドアトリム、ピラー、スカッフ、フードサイレンサーを選定した。

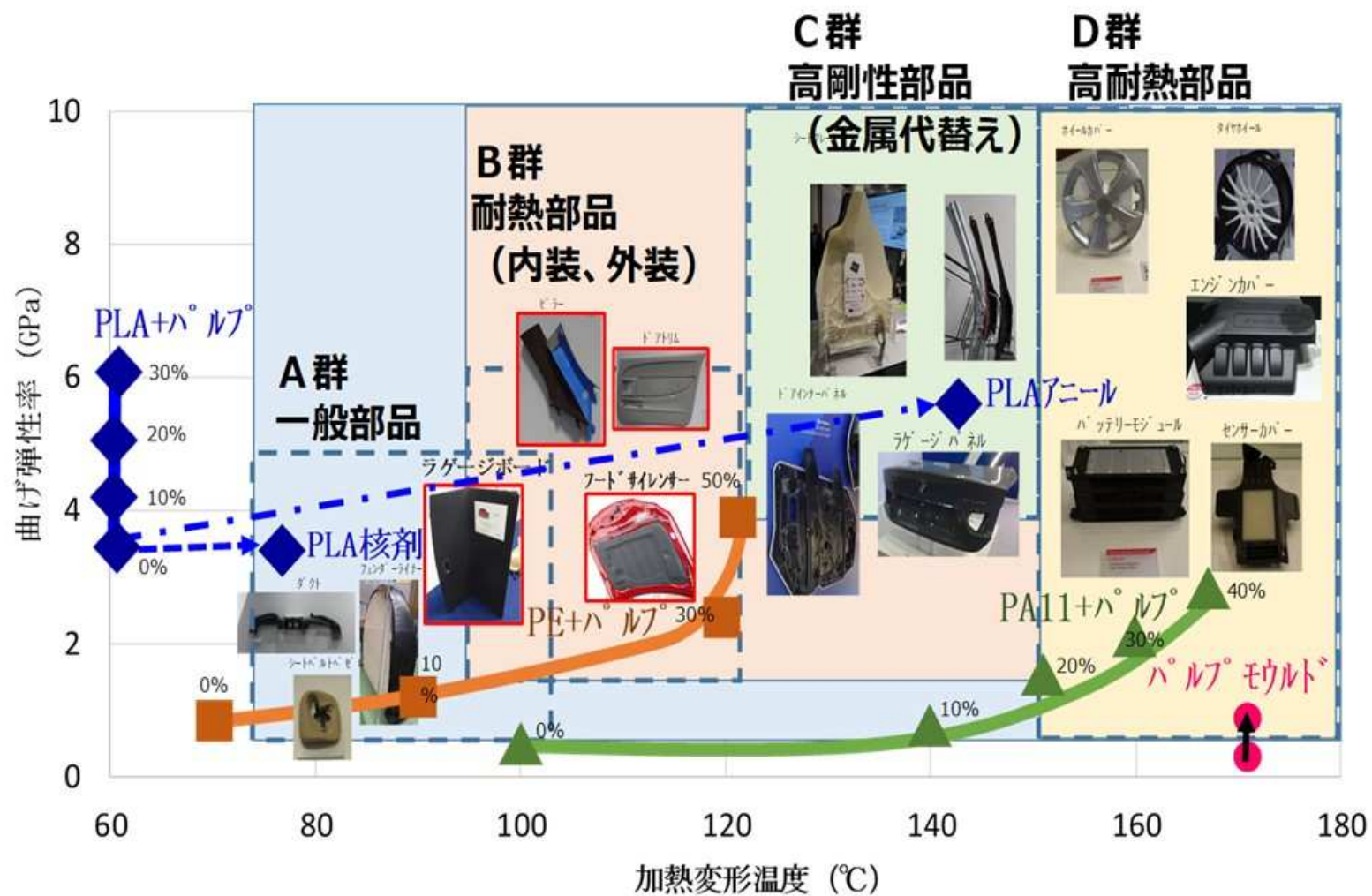


図 4.2.4.1 材料性能とターゲット部品の関係

4. 2. 5 先行試作検討

図 4.2.5.1 に示すラゲージボードの試作に取り組んだ。図 4.2.5.2 に示す。パルプモールドと耐熱性のあるバイオプラスチックを組み合わせることでオール非石油由来材による軽量ボードの評価を進めていく。



図 4.2.5.1 現状のラゲージボード例

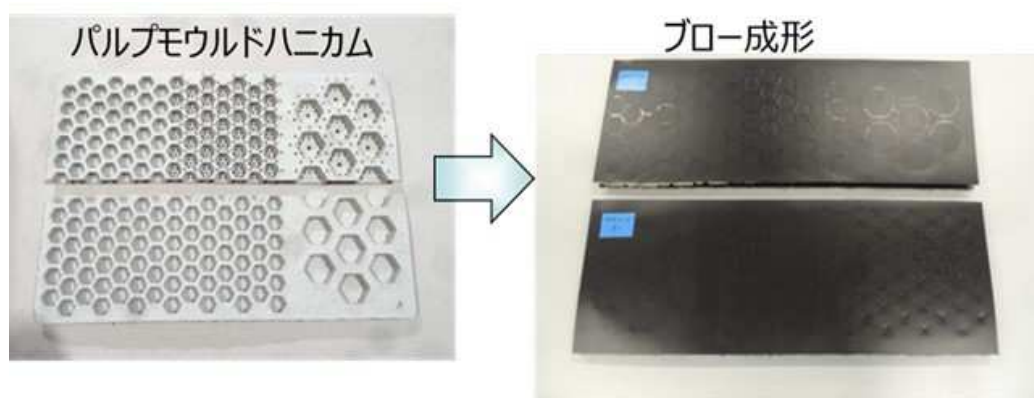


図 4.2.5.2 パルプモールドハニカムボードの先行試作例

4. 2. 6 製品化ターゲット部品選定まとめ

耐熱性の課題からバイオプラスチック材料は自動車部品への提案がほとんどなかった。我々の植物フィラーとの組み合わせ技術で耐熱性向上の克服を目指す。本事業の製品化ターゲット部品としては、耐熱性、事業性、リサイクル性などを考え部品の絞り込みを実施した結果、パルプモウルドの技術で欧州のラゲージボードに匹敵する性能を持ちつつ軽量化の達成を目指す。

5 まとめ

本プロジェクトは3年の計画で、自動車用吸音材部品を再生可能でリサイクル性にも対応できる材料への置換えを目指す。パルプモールドやバイオプラスチックを用いて吸音機能のある自動車部品の試作を行い、性能評価とLCAを検証する。今年度は4つのことを行った。1つ目は、パルプ、バイオプラスチック材料の製造ならびに試験片の作製と性能評価。2つ目は、パルプ、バイオプラスチック材料の工程内リサイクル性の検証。3つ目は、LCAの検証・評価。4つ目は最新の自動車部品や、リサイクル技術の動向調査を行い、製品化のためのターゲット部品を選定した。

パルプ、バイオプラスチックの物性試験評価の結果、自動車部品としての主要物性で問題がなく吸音性と軽量化に寄与できる材料であることが分かった。

パルプ、バイオプラスチックの工程内リサイクル性を検証した結果、リサイクル可能な回数が分かった。

パルプ、バイオプラスチックの部品製造時までのLCAを行い、既存部品に用いられる材料と比較した結果、CO₂排出削減効果があることが分かった。

最新の自動車部品や、リサイクル技術の動向調査により製品化のためのターゲット部品が具体的に選定できた。