

平成 29 年度環境省委託業務

平成 29 年度セルロースナノファイバー活用製品の
性能評価事業委託業務

(セルロースナノファイバーを用いた機能部品の軽量化検討)

成果報告書

平成 30 年 3 月

トヨタ車体株式会社

概要

本プロジェクトでは、自動車用金属部品の樹脂代替を狙い、高強度かつ低比重なセルロースナノファイバー(以下「CNF」という。)強化樹脂(Cellulose Nano Fiber Reinforced Plastic; CNFRP)を用いて、自動車部品の試作と性能評価を行った。また金属部材の樹脂化で達成された軽量化効果から、自動車の燃費向上及びCO₂削減効果の検証を行った。

今年度は3つのことを行った。一つ目は、CNFを用いた自動車部品検討。具体的には、バッテリーキャリアとパワースライドドアユニットの2部品を選択、作製し性能評価を行った。二つ目は、射出成形以外の成形法への適用検討を行った。またCNFの樹脂中への分散状態と性能に関する検討も行った。三つ目はCNFを用いたバッテリーキャリアとパワースライドドアユニットを自動車部品として使用した際のCO₂削減効果を明確にした。結果を以下に示す。

バッテリーキャリアの基本性能試験の結果、課題であった振動耐久性の問題を形状対策により軽量化を損なうことなく解決することができた。パワースライドドアユニットの基本性能評価の結果、初期性能に関しては問題ないことが確認できた。但し、加熱後の寸法変化が比較的大きいことが分かり、長尺部品については、部品構造もしくは材料での加熱後の収縮特性への対応が必要なことが新たに分かった。以上から、材料コスト等、設計、製造上注意すべき課題、及び材料への期待が明確にできた。

射出成形以外の工法検討で、押出成形、真空成形には、木粉フィラーが添加された樹脂よりCNFを用いたものの方が適していることが分かった。CNFをPP中にナノレベルで分散させると、CNFRPの性能が向上することが分かった。これらはCNFでPPを補強する効果、可能性を示す結果であるといえる。

LCAについては、バッテリーキャリア及びパワースライドドアユニットにCNFRPを活用した場合のCO₂削減効果はそれぞれ、2.45(kg-CO₂/個)及び40.16(kg-CO₂/個)であり、また、これらの従来材料製品に対するCO₂削減割合はそれぞれ、11.61%及び82.01%であることが算出された。

Summary

In this project, cellulose nano fibers (CNF) as reinforcement in thermoplastic composites have been evaluated general mechanical properties. Car components using CNF have been manufactured and tested. The potential environmental benefit of using CNF for making car components lighter has been investigated by conducting a life cycle assessment (LCA) analysis.

In this year, three projects have been summarized from materials, components and LCA points of view.

First, CNF reinforced plastic (CNFRP) was investigated the possibility for adopting car components. Specifically, battery carriers and power slide door units were selected and manufactured with CNFRP. Second, various molding methods except the injection molding were reviewed with CNFRP and also it was investigated for the relationship dispersed state of CNF in the base polymer and the properties of CNFRP. Finally, carbon dioxide (CO₂) emissions were calculated for the battery carrier and the power slide door unit which have potentials for adopting and transferring with CNFRP.

Results are indicated as below.

The technical issue for the battery carrier which was vibration proof test has been solved from the point of designing the product shape and also it was not for losing the lightness of the component. The power slide door unit had the initial performance capable of passing basic tests as the component. However heat shrinkage of CNFRP was clearly larger than plastics with conventional fillers. Especially it has to be considered for using as a long component such as the power slide unit. For the above reasons, it was revealed cost, manufacturing and technical issues for using CNFRP to car components.

In terms of molding methods, CNF was suitable for the extrusion and vacuum forming in comparison with wood flour. Mechanical properties of CNFRP were improved by dispersing CNF uniformly in the base polymer which showed fundamental possibility of using CNF for composite material. LCA was calculated on the assumption of using CNFRP for the battery carrier and the power slide door unit as car components, the reduction of CO₂ emission was calculated at about 2.45kg-CO₂/ the battery carrier and 40.16kg-CO₂/the power slide door unit. In comparison with existing products, CNFRP products reduce CO₂ emission of 11.61% and 82.01% each.

目次

1	部品設計・製造・評価	5
1.1	バッテリーキャリアの設計・製造	5
1.1.1	他材料(タルク、ガラス、木粉)との基礎物性比較	7
1.1.2	先行検討	9
1.1.3	部品設計	13
1.1.4	金型設計	15
1.1.5	部品製造	18
1.1.6	部品の評価	20
1.1.7	効果	33
1.1.8	まとめ	34
1.2	パワースライドユニットの設計・製造	35
1.2.1	先行検討	38
1.2.2	部品の評価	39
1.2.3	効果	49
1.2.4	まとめ	50
1.3	要素検討型による自動車部品としての衝撃性能	51
1.3.1	先行検討	52
1.3.2	試験体作製	54
1.3.3	衝撃試験	57
1.4	要素検討型による自動車部品としての接合性能	63
1.4.1	ロック形状の先行検討	64
1.4.2	ロック形状の CAE 解析	72
1.4.3	ロック性能評価	83
1.4.4	効果	87
1.4.5	まとめ	88

2	材料開発・工法開発	89
2.1	各種成形方法に適した材料設計	89
2.1.1	材料の加工特性評価方法	90
2.1.2	結果	93
2.2	CNF 強化樹脂性能向上に向けた取り組み.....	97
2.2.1	CNF 分散状態の検討.....	97
2.2.2	CNF 分散状態検討品の基礎物性.....	100
2.2.3	まとめ.....	105
3	CNF 活用製品の活用時の CO ₂ 排出削減効果の検証.....	106
3.1	バッテリーキャリア	107
3.1.1	従来材料製品の CO ₂ 排出量.....	107
3.1.2	CNFRP 活用製品の CO ₂ 排出量	108
3.2	パワースライドユニット	109
3.2.1	従来材料製品の CO ₂ 排出量.....	109
3.2.2	CNFRP 活用製品の CO ₂ 排出量	110
3.3	まとめ.....	111
4	総括.....	112

1 部品設計・製造・評価

1.1 バッテリーキャリアの設計・製造

本業務は、自動車金属部品をセルロースナノファイバー強化樹脂（以下「CNFRP」という。）で代替することで、部品軽量化に貢献することを目標としている。自動車を構成する金属部品の中から、平成 27 年度、平成 28 年に引き続きバッテリーキャリアを候補部品のひとつとして選定した。金属製バッテリーキャリアの例を図 1.1.1 に示す。バッテリーキャリアは質量の大きいバッテリーを固定する役割があり、悪路走行時の振動にも耐えうる強度が必要となる。また、エンジンルーム内に格納されていることが多いため、走行時はエンジンからの発熱による高温環境にさらされる部品である。今回、平成 28 年度の検討結果から振動耐久性の課題克服のための形状を決め、部品を製造し、対策効果の確認を実施し、CNFRP を使う際の最適バッテリーキャリア形状について検討を行った。

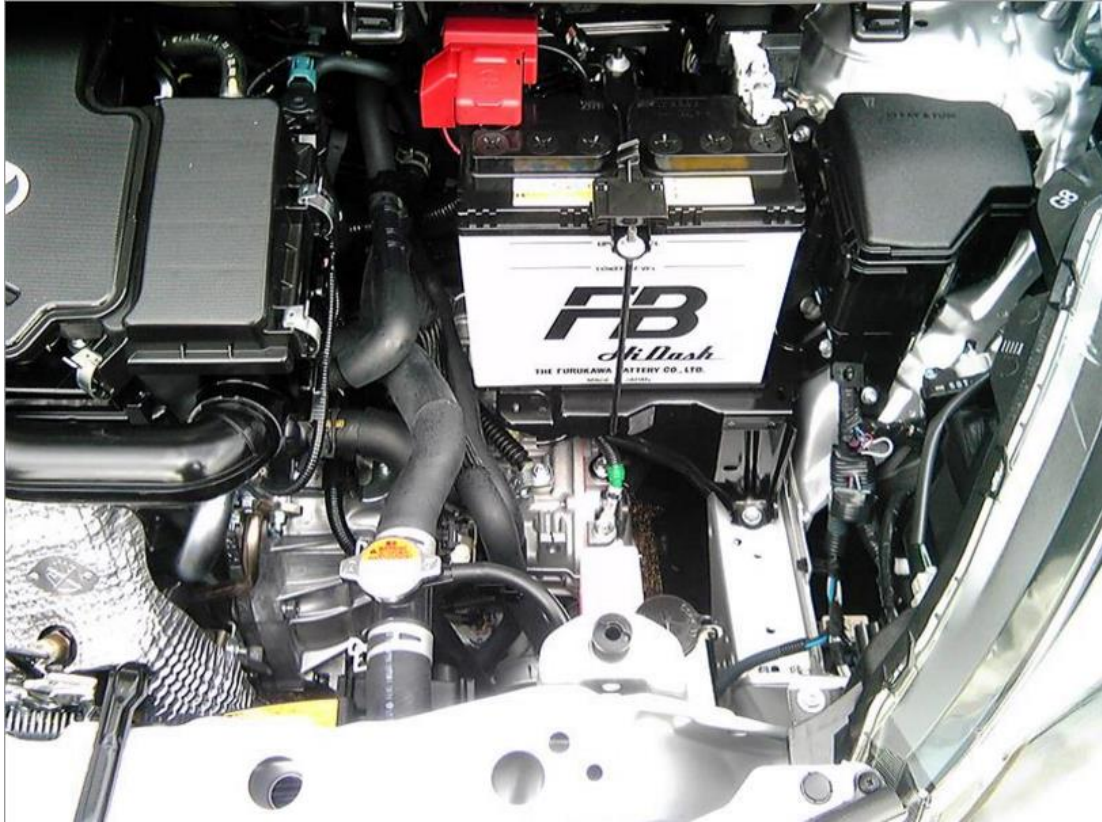


図 1.1.1 金属製バッテリーキャリアの例

1. 1. 1 他材料(タルク、ガラス、木粉)との基礎物性比較

CNFRP と、一般的に自動車部品製造で使用されるフィラー強化樹脂の性能を比較評価することとした。ここでは、金属材料で成形されていた部品を樹脂材料で代替することを検討する場合に挙げられる高強度、高剛性なフィラー強化樹脂を比較に用いた。各材料の略称について表 1.1.1.1 のように以下、規定する。

表 1.1.1.1 材料表記の規定

材料	略称
マトリックスPPのみ	PP
PP+フィラー	PP-○○ なお、二種類以上のフィラーで補強する場合には下記の通りとする。 PP-(○○+□□・・・) CNF；セルロースナノファイバー GF；ガラス繊維 TD；タルク WD；木粉

1. 1. 2 先行検討

平成 27 年度、PP-CNF 製バッテリーキャリアの課題であった耐熱性、冷熱繰返し性、平成 28 年度に落錘衝撃性の問題を形状対策及び材料対策により解決ができた。但し、振動耐久性についてはレベルアップしたものの、必要な目標性能を満足できず課題として残った。つまり、平成 28 年度検討の時点では、表 1.1.2.1 に示すように振動耐久試験で PP-CNF に割れ破損が発生した。そこで今年度は振動耐久試験で応力が最もかかる固定座周辺を重点的に補強した形状変更を行った。検討にあたり、表 1.1.2.2 で示すように平成 28 年度形状で試験後わずかにクラックが認められて不合格であった PP- (WD+GF) 材料の対策を行うことで必要強度を検討することにした。座面板厚を 4mm から 6mm にする前後の形状で PP- (WD+GF) 材料と PP-CNF の座面破壊強度と振動試験結果を表 1.1.2.3 に示す、その結果、必要な目標座面強度は座面板厚アップ前の PP- (WD+GF) の座面破壊荷重の 2780N から座面板厚アップ後の 4173N の間のどこかであり 4173N 以上であれば合格の可能性が高いことが分かった。

表 1.1.2.1 CNF-PP 平成 28 年度検討品製品性能結果

試験項目	PP-CNF 平成28年度検討品製品性能		判定	
耐熱性	 <p>測定位置</p>		著しい変形なく問題なし (最大変位 部位13 : Y-5.65mm)	○
冷熱繰返し性	 <p>測定位置</p>	 <p>試験終了後</p>	著しい変形なく問題なし (最大変位 部位12 : 2.78mm)	○
振動耐久性		 <p>締結 2 割れ発生</p>	低温条件下41万回振動時、締結部付近で破損発生	×
落錘衝撃性			最小破壊強度 基準以上	○

表 1.1.2.2 平成 28 年度形状での振動耐久性試験結果

材料	振動耐久性(-30℃ 90℃)		判定	
PP-CNF			低温条件下41万回振動時、締結部付近で破損発生	×
PP-WD			低温条件下問題なし 高温条件下2万回振動時 締結部付近で破損発生	×
PP-(WD+GF)			低温条件下問題なし 高温条件下振動試験終了 座面付近にクラックを確認	×
PP-GF			低温条件下、高温条件下 振動試験終了し、破損、 割れ等の問題なし	○
PP-TD			低温条件下問題なし 高温条件下10万回振動時締結部付近で破損発生	×

表 1.1.2.3 各水準の固定座面破壊強度と振動試験結果

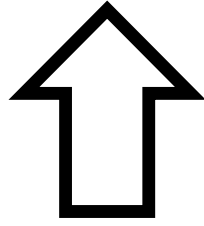
	固定座面破壊強度(N)	振動耐久試験結果
PP- (WD+GF) 平成 28 年度形状	2780	試験後わずかに クラック確認
PP-CNF 平成 28 年度形状	1544	試験中に固定座面 破損
PP- (WD+GF) 今回板厚アップ品	4173	著しい破損なく 問題なし
PP-CNF 今回板厚アップ品	2295	試験未実施 (NG 見込み)

1. 1. 3 部品設計

先行検討にて振動耐久試験に耐えうる必要強度の目安が分かったため新たに部品形状を検討した。すなわち PP-CNF 品の座面強度アップが 2295N から 2780N へと 1.2 倍程度以上向上すれば合格の可能性がでてくる。さらに 2295N から 4173N へと 1.8 倍程度以上向上すれば合格の可能性は高いと考え、図 1.1.3.1 のように、まず固定座面周辺の板厚アップに加えリブ補強などの形状対策を最大限行った。結果として補強は 3452N と 1.5 倍程度となり PP-CNF 品にて合格の可能性がでてきた。また今回 PP-CNF にガラス繊維で強化したハイブリッド配合材料 PP-(CNF+GF) を、軽量化メリットは少なくなるが新たな水準として追加検討することにした。



固定座面補強前



固定座面補強後

図 1.1.3.1 固定座面の補強

1. 1. 4 金型設計

金型設計については、平成 28 年度と同様に金属カラーのインサート成形が可能で、俯角形状が作製可能なスライド機構を持つ射出成形金型とした。図 1.1.4.1 と図 1.1.4.2 に金型を示す。セルロース系材料の熱分解を抑制するため型内に樹脂が高温状態で滞留しないコールドランナー方式と呼ばれる構造とし、流動性を考慮しつつ大きなウェルドが発生しないように中央部に 1 点ゲートで設定した。

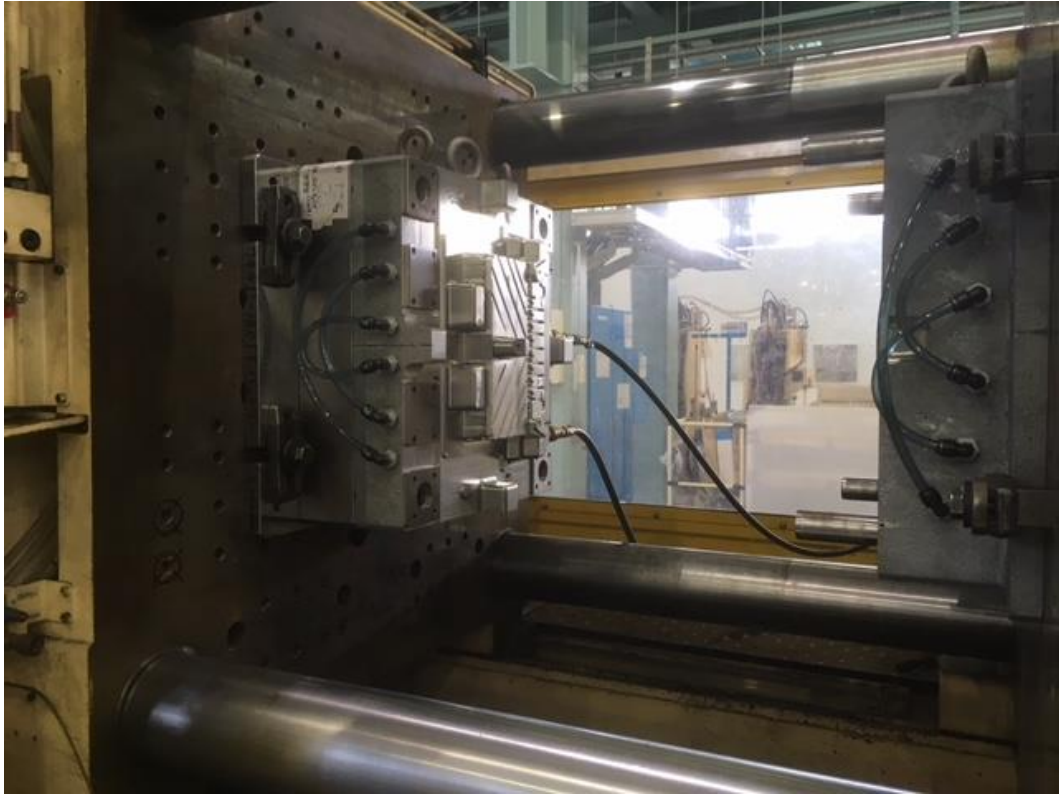


図 1.1.4.1 金型の写真 コア



図 1.1.4.2 金型の写真 キャビティー

1. 1. 5 部品製造

PP-CNF、PP-(CNF+GF)について、射出成形により図 1.1.5.1 に示す部品形状に成形した。加熱溶融温度は 200℃で行った。1つの製品を成形する時間は約 60 秒で量産性も高く、いずれの材料も成形性で問題なかった。



図 1.1.5.1 射出成形時の様子

1. 1. 6 部品の評価

製品での試験を行うためまず図 1.1.6.1 に示す固定用治具を作製した。そして図 1.1.6.2 に示す、製品を治具に固定した状態で、製品評価を実施した。なおバッテリーの荷重負荷が必要な耐熱性試験、冷熱繰返し性試験、振動耐久性試験については図 1.1.2.2 に示すようにバッテリーを搭載し金属ブラケットにより締め付け固定した状態で試験を行った。



图 1.1.6.1 製品固定用治具



図 1.1.6.2 治具取付け状態



図 1.1.6.3 バッテリー組付け状態

試験項目を表 1.1.6.1 に示す。平成 28 年度の課題として残った振動耐久性試験と基本特性である耐熱性試験、冷熱繰返し性試験を項目として選定した。振動耐久性試験は、走行距離 1000 万 km 以上を想定し割れなど異常無きこと、耐熱性試験は、エンジンルーム内の温度でも著しい外観不良、変形無きこと、冷熱繰返し性試験は、著しい変形などの異常無きこと、以上をバッテリーキャリア試験の目標とし、PP-CNF、PP-(CNF+GF)材料を基材としたバッテリーキャリアの評価を行った。














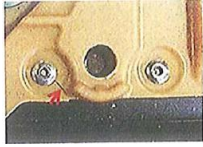






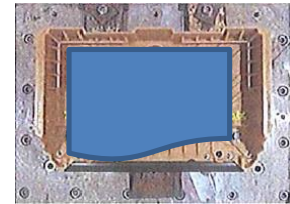


















表 1.1.6.1 製品評価一覧

試験項目	判定基準
振動耐久性試験	走行距離100万kmを想定し、割れなど異常無きこと
耐熱性試験	エンジンルーム内の温度でも著しい外観不良、変形無きこと
冷熱繰返し性試験	著しい変形などの異常無きこと

1. 1. 6. 1 振動耐久試験

表 1.1.6.1.1 に振動耐久性試験結果を示す。PP-CNF、PP-(CNF+GF) いずれの材料も著しい破損なく、目標振動回数をクリアした。PP-CNF については微小なクラックが発生していることが試験終了後判明したが、クラック発生部位は部品の最も薄肉となる部位であり、板厚アップにて対策可能な部位であるため対策の目処があると考えられる。平成 28 年度の検討形状の表 1.1.2.2 に示す結果に対して向上し、目標の振動回数に耐える結果が得られ、形状の対策効果が確認できた。

表 1.1.6.1.1 振動耐久性試験結果

材料	振動耐久性結果(-30℃ 90℃)			判定																													
PP-CNF		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">測定位置</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>座面 1</th> <th>座面 2</th> <th>座面 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">試験前</td> <td>ケガキ</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>トルク</td> <td>20.08 N・m</td> <td>20.56 N・m</td> <td>20.57 N・m</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">試験後</td> <td>ケガキ</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>トルク</td> <td>19.37 N・m</td> <td>17.60 N・m</td> <td>18.57 N・m</td> </tr> </tbody> </table>				測定位置					座面 1	座面 2	座面 3	試験前	ケガキ				トルク	20.08 N・m	20.56 N・m	20.57 N・m	試験後	ケガキ				トルク	19.37 N・m	17.60 N・m	18.57 N・m	<p>低温条件下、高温条件下振動試験終了し、著しい破損、割れ等の問題なし (若干クラック発生あるが対策目処有)</p> 	○
		測定位置																															
		座面 1	座面 2	座面 3																													
試験前	ケガキ																																
	トルク	20.08 N・m	20.56 N・m	20.57 N・m																													
試験後	ケガキ																																
	トルク	19.37 N・m	17.60 N・m	18.57 N・m																													
PP-(CNF+GF)		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">測定位置</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>座面 1</th> <th>座面 2</th> <th>座面 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">試験前</td> <td>ケガキ</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>トルク</td> <td>20.26 N・m</td> <td>20.44 N・m</td> <td>20.56 N・m</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">試験後</td> <td>ケガキ</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>トルク</td> <td>>20.00 N・m</td> <td>19.20 N・m</td> <td>>20.00 N・m</td> </tr> </tbody> </table>				測定位置					座面 1	座面 2	座面 3	試験前	ケガキ				トルク	20.26 N・m	20.44 N・m	20.56 N・m	試験後	ケガキ				トルク	>20.00 N・m	19.20 N・m	>20.00 N・m	<p>低温条件下、高温条件下振動試験終了し、著しい破損、割れ等の問題なし</p>	○
		測定位置																															
		座面 1	座面 2	座面 3																													
試験前	ケガキ																																
	トルク	20.26 N・m	20.44 N・m	20.56 N・m																													
試験後	ケガキ																																
	トルク	>20.00 N・m	19.20 N・m	>20.00 N・m																													

1. 1. 6. 2 耐熱性試験

表 1.1.6.2.1 に耐熱性試験結果を示す。いずれの試験体も著しい変形、材料劣化等の異常なく、問題なしと判断する。なお変形量測定部位は図 1.1.6.2.1 に示す。

表 1.1.6.2.1 耐熱性試験結果

材料	耐熱性試験(90°C)		判定	
PP-CNF			著しい変形なく問題なし (最大変位部位8 : 1.5mm)	○
PP-(CNF+GF)			著しい変形なく問題なし (最大変位部位9 : 2.4mm)	○

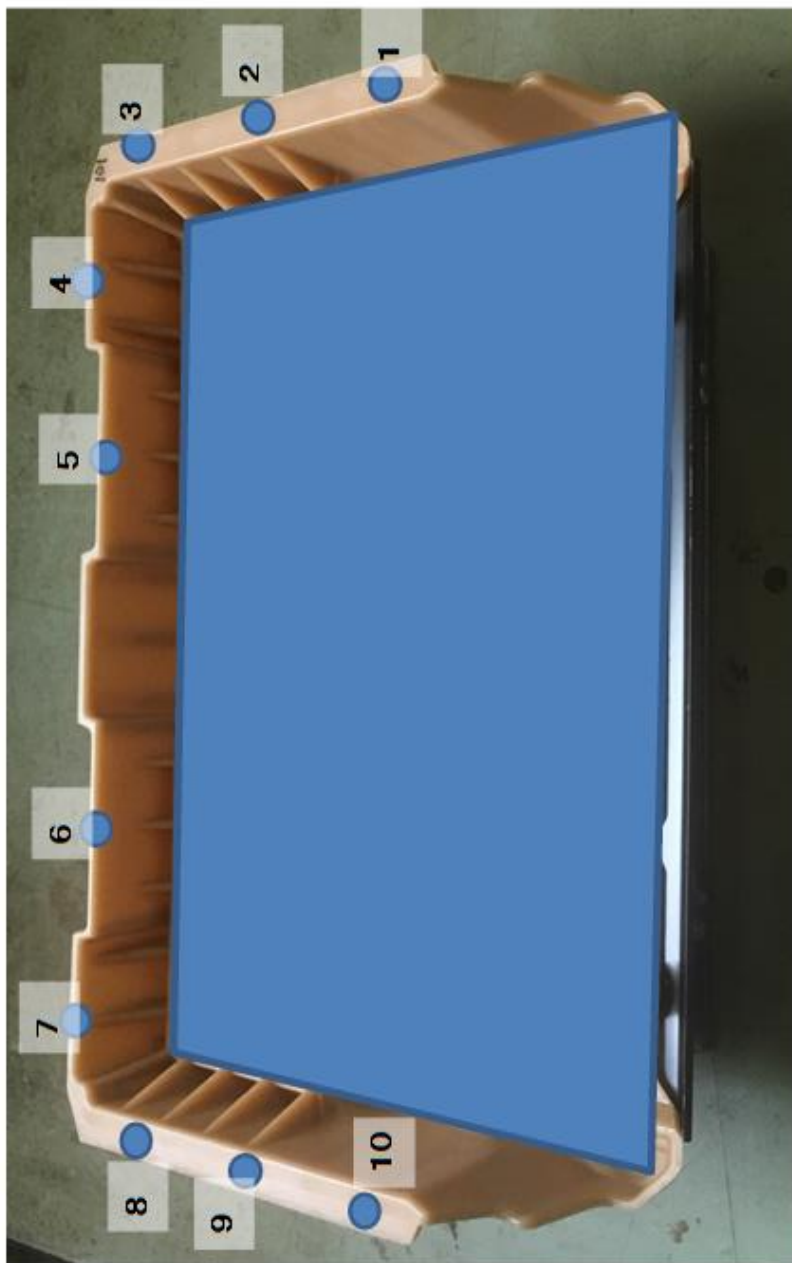


図 1.1.6.2.1 変形量測定部位 (部品内側への変形がプラス表示)

1. 1. 6. 3 冷熱繰り返し性試験

表 1.1.6.3.1 に冷熱繰り返し性試験結果を示す。いずれの試験体も著しい変形、材料劣化等の異常なく、問題なしと判断する。なお変形量測定部位は図 1.1.6.2.1 に示す。

表 1.1.6.3.1 冷熱繰返し性試験結果

材料	冷熱繰返し性(-30℃ 90℃)		判定	
PP-CNF			<p>著しい変形なく問題なし (最大変位部位8 : 1.6mm)</p>	○
PP-(CNF+GF)			<p>著しい変形なく問題なし (最大変位部位9 : 2.2mm)</p>	○

1. 1. 7 効果

PP-CNF は比重が低く、今回のケースでは金属製バッテリーキャリア 1,031g に対して PP-CNF 製は 654g と 36.6%軽量、CO₂ 削減効果にすると 2.45kg/個 (11.6%低減)と試算された。詳細な計算方法は 3 章に示す。

1. 1. 8 まとめ

今回バッテリーキャリアの基本性能試験の結果、平成 28 年度の CNFRP の課題であった振動耐久性の問題を、形状対策により軽量化メリットを出しつつ解決できた。また CNF に GF を追加して配合することで、大きな負荷荷重にも耐えられることができ、部品として軽量化メリットを残しつつバッテリーキャリアの更なる補強が可能であることが確認できた。今後は CNFRP の性能向上による更なる軽量化の実現と生産性向上による材料コストの低減が期待される。

1. 2 パワースライドユニットの設計・製造

本業務は自動車金属部品を CNFRP で代替することで、部品軽量化に貢献することを目標としている。今回、自動車を構成する金属部品の中から平成 28 年度に引き続きパワースライドドアユニットを選定した。図 1.2.1、図 1.2.2 に示すようにパワースライドドアユニットは電動スライドドア機構の 1 つでスライドドア車両側ステップ部に搭載され、モーターとプーリー、ゴムベルトによりスライドドアを開閉させている。今回は平成 28 年度の基本的な部品試験を満足した検討結果を受け、更に過酷な条件での適用の可能性を考え耐熱老化性、耐湿老化性の限界特性の把握を行った。また平成 28 年度懸念項目として挙げた熱を負荷した後に部品が収縮し組付けが困難になる現象を明確にするため、後収縮特性の基礎データを取得した。



図 1.2.1 パワースライドドア



図 1.2.2 パワースライドドアユニット(黒色部品)

1. 2. 1 先行検討

平成 28 年度はパワースライドドアユニットの基本性能評価の結果、PP-CNF は、初期、冷熱繰返し性後、耐熱老化後の作動性、及び、サーマルショック性にて問題がないことが分かった。但し、成形時の型取出し時の割れ、成形ソリによる変形、金属部品組付け時の爪折れ、熱試験後の収縮による組付け性で問題があり、課題が明確になった。

1. 2. 2 部品の評価

表 1.2.2.1 に示す評価項目を平成 28 年度から加えて実施した。評価方法は図 1.2.2.1 の治具に成形体を組付け、既定の温度湿度環境下で負荷をかけた。

表 1.2.2.1 評価項目

試験項目	判定基準
耐熱老化性 (限界特性)	スライドドア開閉時異常の原因となるような亀裂、割れ、変形、などの問題無きこと (亀裂、割れ、変形等の現象が発生する時間を報告)
後収縮特性	後収縮後も図面通り組付け脱着作業が可能なこと (固定間の後収縮量が3mm以上はNG)
耐湿老化性	スライドドア開閉時異常の原因となるような亀裂、割れ、変形、などの問題無きこと



図 1.2.2.1 車両組付け想定治具

1. 2. 2. 1 熱老化性試験（限界特性）

表 1.2.2.1.1 に耐熱老化性の試験結果を示す。いずれの試験水準も目標基準時間内であれば耐熱性試験後に著しい変形や破損がなく、スライドドア開閉時異常となるような問題はなかった。さらに熱老化を進め限界特性を確認の結果、いずれの試験水準も目標基準時間 600 時間の 2 倍以上の耐熱老化性があることが分かった。

表 1.2.2.1.1 耐熱老化性

材質	判定	試験結果	
PP-CNF	○	 著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準600H) (限界特性4872H劣化発生)	 1510H後 劣化発生なし
PP-GF	○	 著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準600H) (限界特性6720H劣化発生)	 1510H後 劣化発生なし
PP-WD	○	 著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準600H) (限界特性1200H劣化発生)	 1224H後 劣化発生
PP-(WD+GF)	○	 著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準600H) (限界特性1506H劣化発生)	 1510H後 劣化発生
PP-TD	○	 著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準600H) (限界特性2760H劣化発生)	 1510H後 劣化発生なし

1. 2. 2. 2 後収縮特性試験

図 1.2.2.2.1 に 80℃、100℃、120℃、140℃加熱後のそれぞれの後収縮特性の試験結果を示す。PP-CNF、PP-WD、PP-TD は固定間の収縮量が 3mm を超えるため、再脱着による組付けができなくなる恐れがある。また、脱着を行わなくても収縮による内部応力の増加が懸念される。

今回のように固定間隔が 900mm を超えるような長尺部品の場合、表 1.2.2.2.1 に示すように材料や使用温度により大きな収縮挙動が見られる。場合によっては部品の組付け性に影響する場合もあるため、部品の分割や固定方法の配慮が必要と考えられる。PP-CNF は後収縮挙動が比較的大きく、材料として収縮が少ない性能への改善も期待される。

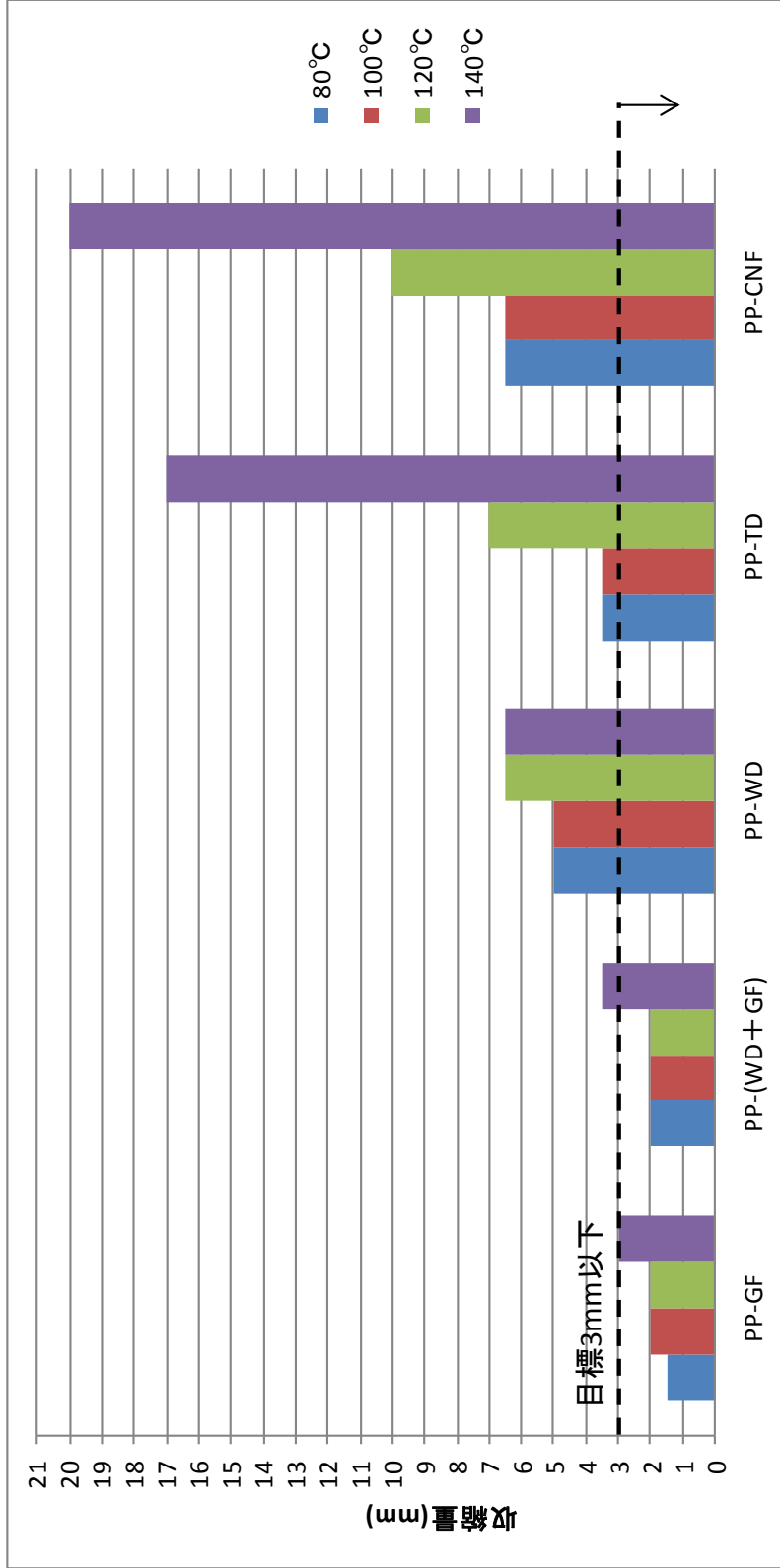


图 1.2.2.2.1 後収縮特性






表 1.2.2.2.1 加熱後収縮後常温 23°C時の固定間寸法

	初期寸法	80°C 加熱後	100°C 加熱後	120°C 加熱後	140°C 加熱後
PP-GF	937	935.5	935	935	934
PP-(WD+GF)	936	934	934	934	932.5
PP-WD	933	928	928	926.5	926.5
PP-TD	927	923.5	923.5	920	910
PP-CNF	930	923.5	923.5	920	910

1. 2. 2. 3 耐湿老化性試験（限界特性）

表 1.2.2.3.1 に耐湿老化性の試験結果を示す。いずれの試験水準も目標基準時間内であれば耐湿老化性試験後に著しい変形や破損なくスライドドア開閉時異常となるような問題はなかった。さらに耐湿老化を進め限界特性を確認の結果、いずれの試験水準も目標基準時間 400 時間の 2 倍以上（1000 時間以上）の耐湿老化性があることが分かった。

表 1.2.2.3.1 耐湿老化性（限界特性）

材質	判定	試験結果
PP-CNF	○	 <p>著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準400H) (限界特性1000H後問題なし、若干の変色あり)</p>
PP-GF	○	 <p>著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準400H) (限界特性1000H後問題なし)</p>
PP-WD	○	 <p>著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準400H) (限界特性1000H後問題なし)</p>
PP-(WD+GF)	○	 <p>著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準400H) (限界特性1000H後問題なし)</p>
PP-TD	○	 <p>著しい亀裂、割れ、変形、などの問題なし(基準400H) (限界特性1000H後問題なし、若干の変色あり)</p>

1. 2. 3 効果

PP-CNF は比重が低く、今回のケースでは金属製パワースライドドアユニット 2,400g に比較して PP-CNF 品は 324g と 86.5%軽量になっており CO₂ 削減効果にして 40.2kg/個(82%低減)と試算された。詳細な計算方法は第 3 章に示す。

1. 2. 4 まとめ

平成28年度までの検討でパワースライドドアユニットの基本性能評価の結果、PP-CNF は、初期、冷熱繰返し性後、耐熱老化後の作動性、及びサーマルショック性にて問題ないことが確認できた。本年度は耐熱老化性及び耐湿老化性の限界特性把握を行い、目標値を達成していることが確認できた。但し加熱負荷後の寸法変化が比較的大きいことが分かり、長尺部品については、部品構造及び材料での加熱後収縮特性への対応が必要なことが新たに分かった。一連のパワースライドドアユニットの検討の結果、基本的な製品性能については問題ないことが確認できた一方、成形収縮率差や成形ソリ変形、脱型、溶融滞留時間、溶融温度、加熱負荷後の後収縮特性、そして材料コスト等、設計、製造上注意すべき課題、及び材料への期待が明確にできたと考えられる。

1. 3 要素検討型による自動車部品としての衝撃性能

車両に用いられる構造部品は、それ単独で存在することではなく、何らかの部品を介して連結し、車両として必要な剛性を担保する役割を持つ。また、走行時や衝突時には部品に対し大きな衝撃荷重が入力されるため、そのほとんどは金属製となっている。本業務ではそのような金属製部品を **CNFRP** で代替することで部品軽量化に貢献することを目的としている。今年度の検討では、平成 27 年度、平成 28 年度の要素形状に比べ、より構造部品を意識し、締結構造を織り込んだ試験体形状を用い、衝撃荷重入力時の圧壊挙動の検証を行った。

1.3.1 先行検討

平成 27 年度、平成 28 年度では図 1.3.1.1 に示すような凸型の試験体形状を平板治具に固定し、落錘試験により試験体の耐衝撃性や破壊形態の検証を行った。しかしながら、本試験では締結部が平板に固定された状態であり、締結部の耐衝撃性を検証することが困難であった。そこで今年度は、車両構造の一部を模擬した要素形状及び取付け治具を試作し、衝撃試験を実施することで締結部も含めた耐衝撃性を検証することとした。



图 1.3.1.1 凸型衝擊試驗形状

1. 3. 2 試験体作製

PP-CNF、比較としてPP、PP-GF、PP-WDを用い、図1.3.2.1に示す形状に射出成形を行った。試験機は東芝製EC180SEを使用した。用いた金型を図1.3.2.2に示す。成形温度はPP-CNF、PP、PP-WDは200℃で成形し、PP-GFは230℃にて成形を行った。



図 1.3.2.1 試験体形状(PP-CNF)

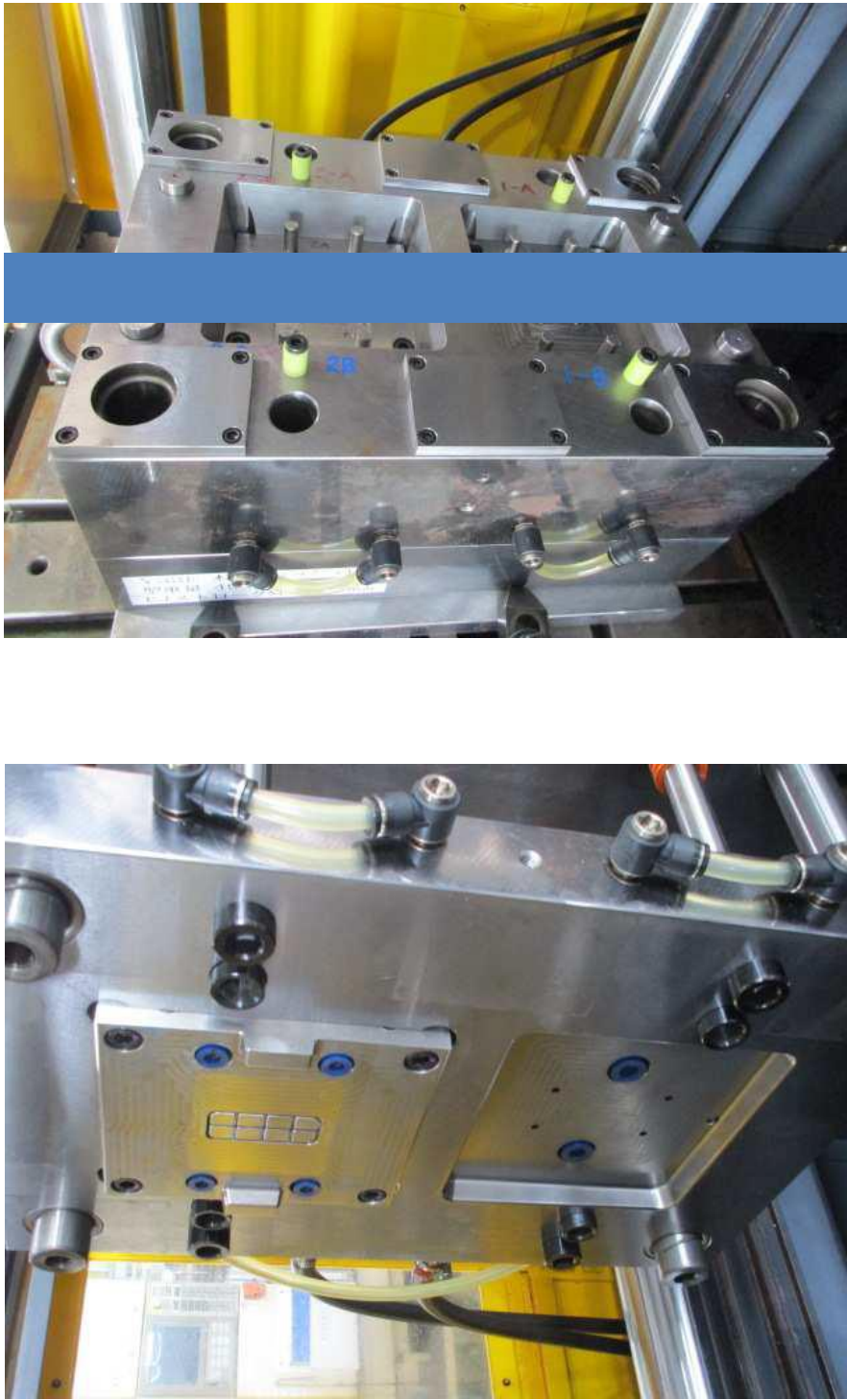


図 1.3.2.2 成形金型 (左：コア 右：キャビティ)

1. 3. 3 衝撃試験

衝撃試験は落錘衝撃試験にて行った。試験装置は図 1.3.3.1 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。試験体を固定するために、図 1.3.3.2 に示す試験体取付け治具を作製し、定盤に固定して試験を実施した。試験条件はすべての試験体に対し、錘体重量 195kg、落下高さ 0.89m にて試験を実施し、最大荷重及び破壊エネルギーを求めた。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 1.3.3.1 落錘衝撃試験機

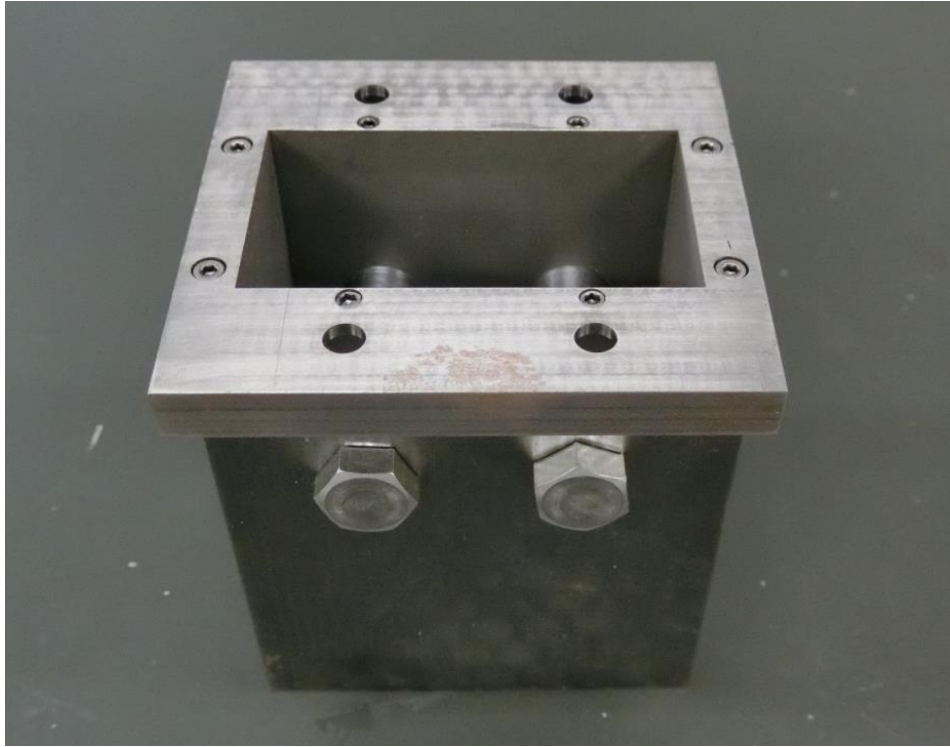


図 1.3.3.2 試験体固定治具

落錘衝撃試験後の各試験体を図 1.3.3.3 に示す。PP-CNF、PP は樹脂全体に割れが発生した。高速度カメラで撮影した PP-CNF の破壊状態を図 1.3.3.4 に示す。PP-WD についても一部に大きな亀裂が確認された。一方、PP-GF は衝撃荷重入力部位である締結部のフランジの破断、及び取付け治具のボルト上部の樹脂に圧壊が生じた。今回用いた PP-CNF、PP 及び PP-WD は PP-GF に比べ、シャルピー衝撃強度が低い。そのため、衝撃荷重入力により荷重入力部位以外の樹脂も脆性破壊してしまったと考えられる。荷重入力部位以外で破壊が生じてしまうと、他部品との締結が保持できなくなるため、PP-CNF においてはさらなる衝撃強度の向上が求められる。

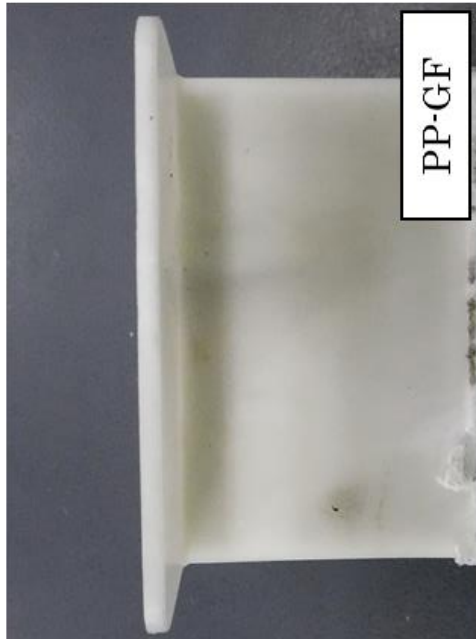
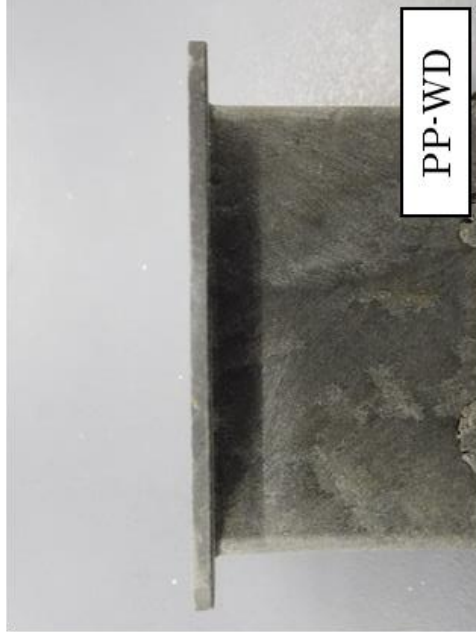
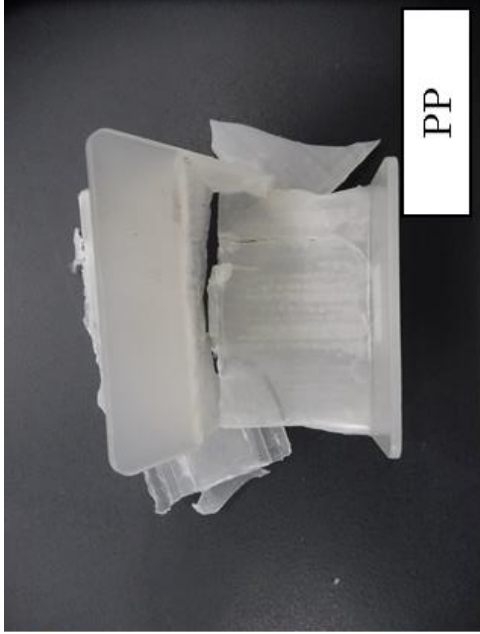


図 1.3.3.3 落錘衝撃試験後の試験体



图 1.3.3.4 PP-CNF 破坏瞬间状态

1. 4 要素検討型による自動車部品としての接合性能




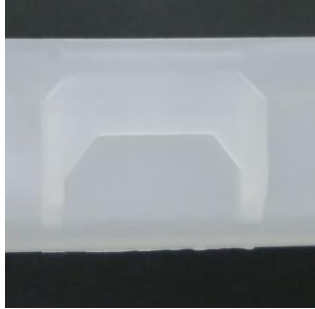
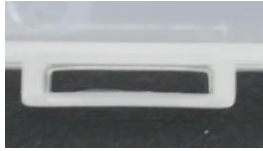

自動車に用いられる部品には、接合形状がある。接合形状には、ロック形状、クランプ形状などがあり、他部品との結合、部品の振動を抑制するための固定、部品を覆うことによる保護など、様々な役割を担っている。CNFRP が接合形状の特性を満たすことができれば、利用範囲が拡大し、車両の軽量化に繋ぐことができる。しかし、柔軟性に乏しい CNFRP では、接合特性を満たすことが困難であると予想される。

本業務では、柔軟性に乏しい CNFRP でも接合が可能となる形状を探索するため、CAE(Computer Aided Engineering)解析により、最適なロック形状を検討した。その後、実際にロック形状を成形し、ロック性能評価を実施した。その際、比較材料として、木粉の他、自動車によく用いられるフィラーとして、ガラス繊維も併せて評価した。

1. 4. 1 ロック形状の先行検討

CNFRP の接合性能を把握するために、表 1.4.1.1 に示す、自動車部品で一般的に用いられているロック形状（以下、「ロック基本形状」という。また、挿入側のオスロック部を「オスロック基本形状」、受け側のメスロック部を「メスロック基本形状」という。）を用いて性能評価を実施した。平成 27 年度に作製した金型を用い、材料としては、PP-CNF 及び比較材として一般的にロック部品に使用されている材料の 1 つである PP の 2 材料を用い、射出成形した。射出成型機は、日本製鋼所製の J140AD-180D を使用し、成形温度 200℃で成形を行った。

表 1.4.1.1 ロックの基本形状

	正面視	上面視	側面視
オスロック 基本形状			
メスロック 基本形状			

ロック性能評価の試験方法を以下に示す。

図 1.4.1.1 に示すように、メスロックを固定後、オスロックを挿入し、その時の挿入荷重をプッシュプルゲージにて、最大荷重を測定した。この値をロック挿入力とする。その後、図 1.4.1.2 に示すように、ロック部が破壊、もしくは、引き抜けるまで引張り、その時の最大荷重をプッシュプルゲージで測定した。この値をロック保持力とする。

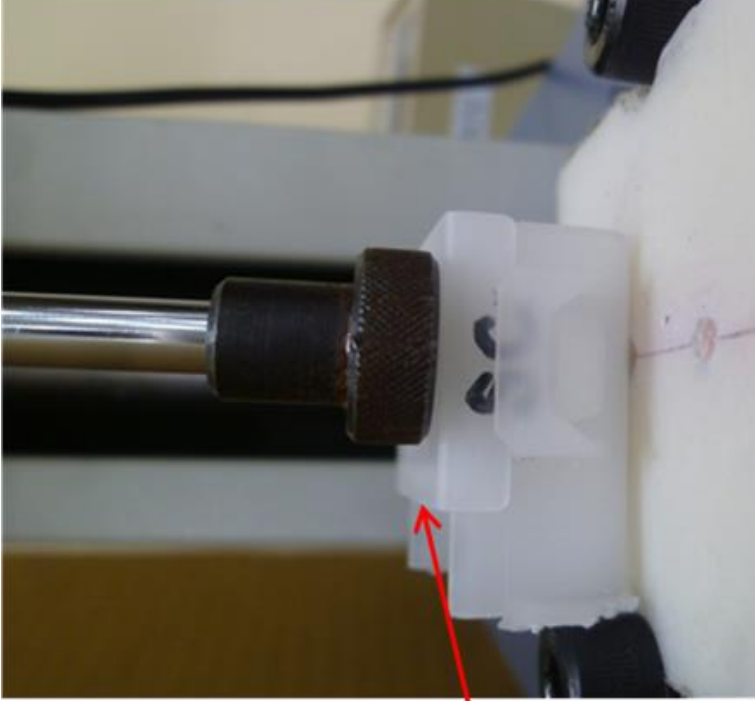


図 1.4.1.1 ロック挿入力の試験方法
左：プッシュユプルゲージ、右：測定の様子

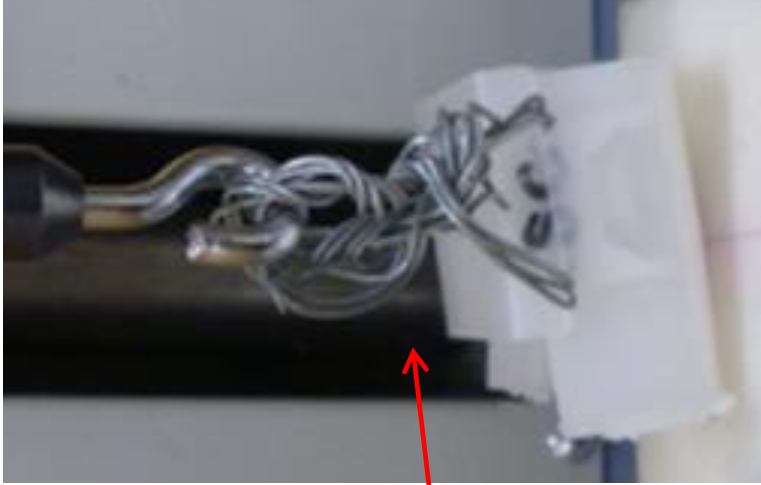


図 1.4.1.2 ロック保持力の試験方法
左：プッシュユプルゲージ、右：測定の様子

表 1.4.1.2 に各材料のロック性能結果を示す。挿入力は、生産現場で組み立てをする上で値が低い方が好まれる。PP よりも PP-CNF の方が低い値を示した。しかし、PP-CNF では、表 1.4.1.3 のように、オスロックをメスロックへ挿入した際にメスロック側に割れが生じており、ロック機能を果たしていない。この割れは、CNFRP の材料物性において、引張破断ひずみが低く、オスロック挿入時に起こる変位にメスロックが変形しきれないために生じたと考えられる。また、ロック保持力は、ロック挿入時にメスロックが破壊したため、測定できなかった。

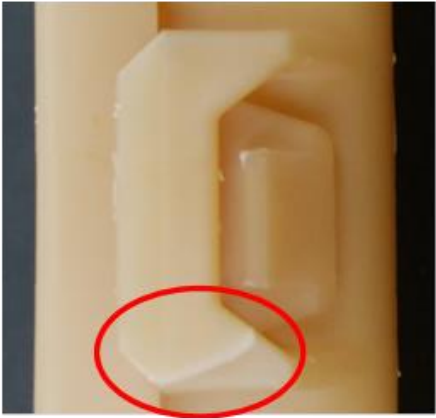


表 1.4.1.1.2 PP 及び PP-CNF のロック基本形状でのロック性能結果

試験項目	オスロック形状	メスロック形状	材料名	
			PP	PP-CNF
ロック挿入力(N)	基本形状	基本形状	46	23 ^{*1}
ロック保持力(N)	基本形状	基本形状	130	- ^{*2}

*1：挿入力測定時にメスロック部に割れが生じた

*2：挿入力測定時に割れが生じたため、保持力の測定ができず

表 1.4.1.3 PP-CNF のロック挿入後の状態

<p>PP-CNF ロック 試験後</p>	<p>正面視</p> 	<p>上面視</p> 	<p>側面視</p> 
-------------------------------	---	---	---

1. 4. 2 ロック形状の CAE 解析

CNFRP でロック形状を成立させるためには、オスロック及びメスロックの両方の形状を工夫する必要がある。そこで、オスロック形状、メスロック形状を別々で CAE 解析をすることとした。

1. 4. 2. 1 オスロック形状の CAE 解析

CNFRP が、変形しにくい材料であるため、オスロックをメスロックに挿入した時にできるだけメスロックの変形を抑えることが重要である。そこで、メスロックにオスロックを挿入した時のメスロック部の最大応力（以下「挿入最大応力」という。）を低減できるオスロック形状を CAE で解析することとした。まず、基準となる挿入最大応力の算出を行った。1. 4. 1. 1 で使用した PP の引張強度、引張弾性率の値を解析時に引用した。図 1.4.2.1.1 に示すようにメスロック基本形状の矢印部分に対し、オスロックの任意形状に合わせ荷重をかけ、図 1.4.2.1.2 のように挿入最大応力を算出した。この値を基準となる挿入最大応力とする（以下「基準応力」という。）。次いで、パラメーター及びパラメーター値決めを行った。表 1.4.2.1.1 に示すような、メスロックの変位を抑制に寄与するようなオスロックの形状パラメーターとして、ツメ高さ、板厚、ツメ幅を選択した。各形状における CNFRP での挿入最大応力を算出するため、CNFRP の引張強度、引張弾性率の値から、PP で行った際と同様の方法で挿入最大応力を算出した。

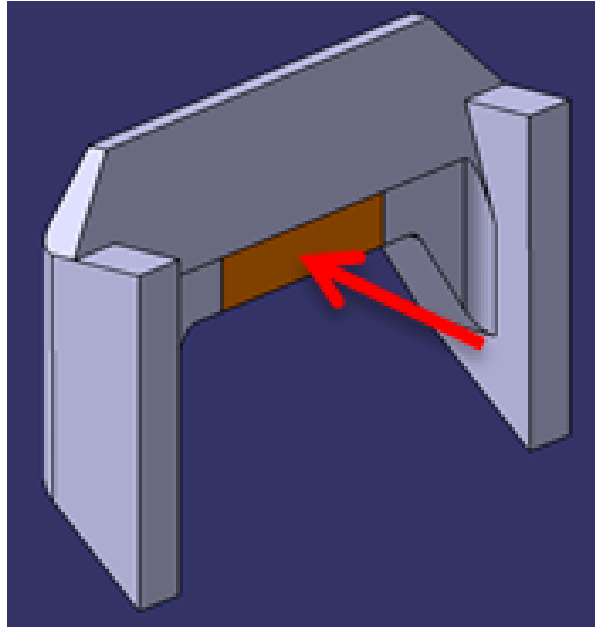


図 1.4.2.1.1 CAE 解析におけるメスロック部への荷重条件

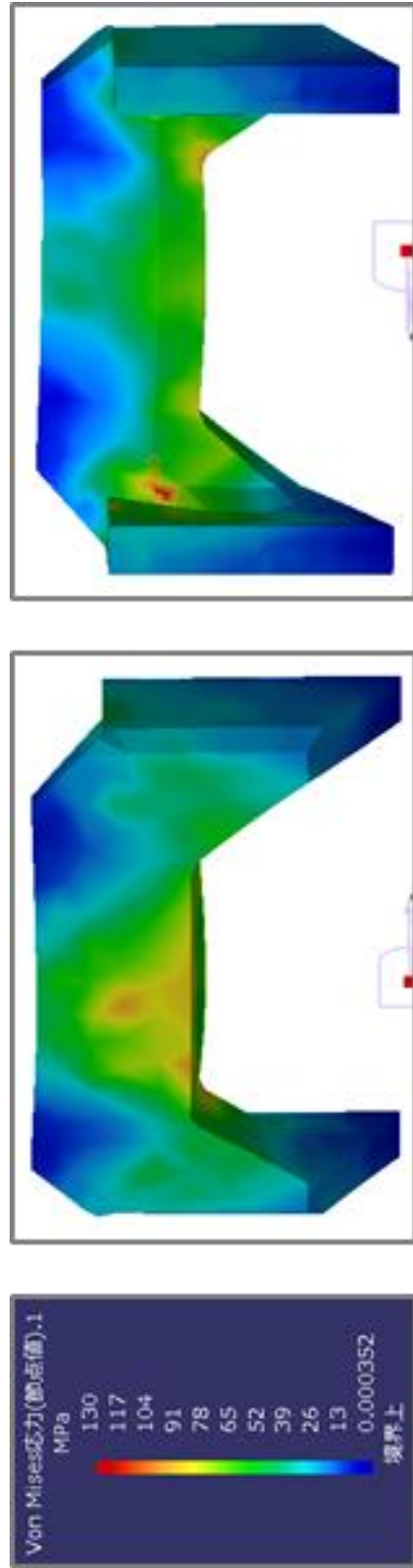


図 1.4.2.1.2 CAE 解析イメージ

表 1.4.2.1.1 オスロック形状のCAE解析及びパラメーター

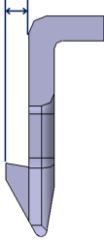
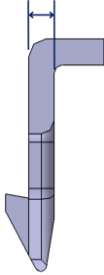
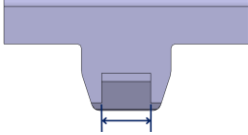
解析形状	イメージ図	パラメーター
オスロック部 ツメ高さ		ツメ高さ
オスロック部 板厚		板厚
オスロック部 ツメ幅		ツメ幅

図 1.4.2.1.3 に CAE 解析により得られたオスロック形状の各パラメーターと挿入最大応力の関係を示す。それぞれの形状で挿入最大応力を算出した後、この値が基本形状の基準応力を 100%とした場合に何%であるかを算出した。

まず、ツメ高さを低くすることで挿入最大応力を低減できることが分かった。基本形状のツメ高さ 1.4mm に対して、0.2mm 薄くした 1.2mm 及び 0.4mm 薄くした 1.0mm において、基準応力を下回った。

また、板厚を薄くすると、挿入最大応力が低減できることも明らかになった。板厚を 0.4mm 薄くすることで、基準応力を下回った。

さらにツメ幅を狭めることによって、挿入最大応力が低減できる傾向が確認されたが、解析したツメ幅の範囲では基準応力を下回るほどの効果は期待できないことが分かった。特に、ツメ幅 4.0mm よりも 2.0mm の方が、挿入最大応力が高いことについては、ツメ幅が 2.0mm であると、挿入時にオスロックとメスロックが接する面積が小さくなり応力が集中するためと考えられる。

以上の結果から、4 形状を選択し、金型を設計した。4 形状には、基本形状（ツメ高さ 1.4mm、板厚 1.5mm、ツメ幅 6.0mm ; A 形状）、ツメ高さ 1.2mm 形状（板厚 1.4mm、ツメ幅 6.0mm ; B 形状）、ツメ高さ 1.0mm 形状（板厚 1.4mm、ツメ幅 6.0mm : C 形状）、板厚 1.2mm 形状（ツメ高さ 1.4mm、ツメ幅 6.0mm ; D 形状）を選択した。

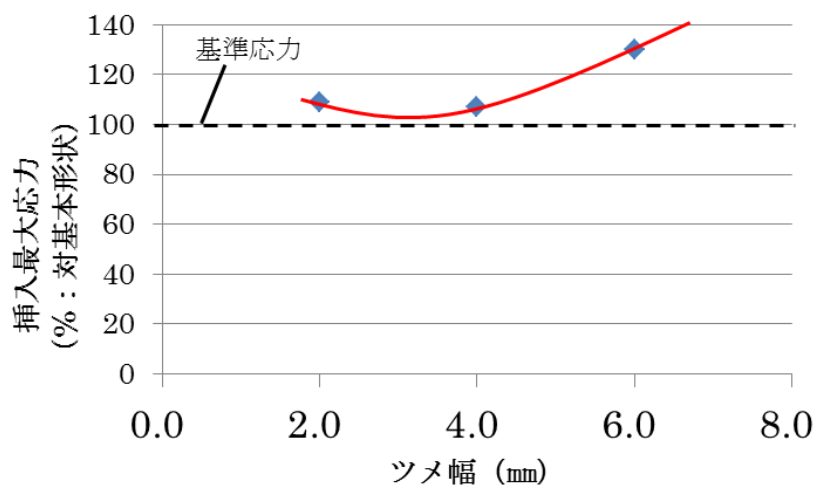
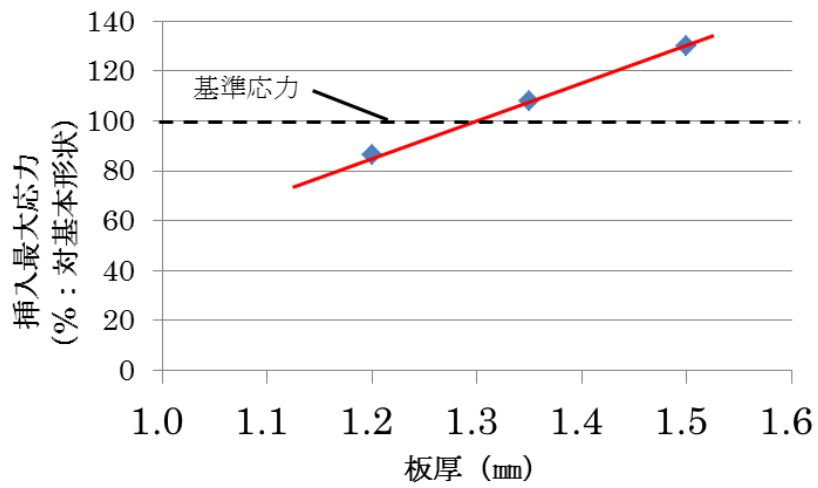
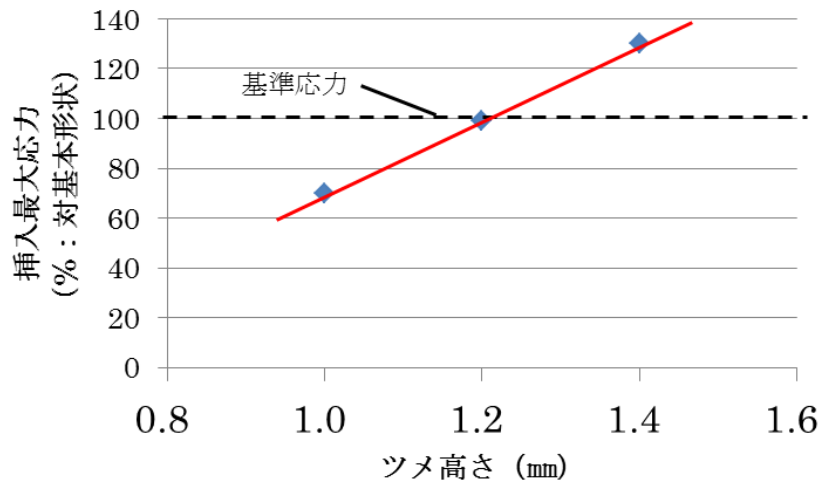


図 1.4.2.1.3 オスロック形状のCAE解析結果

1. 4. 2. 2 メスロックの CAE 解析

メスロックに関しては、オスロックの挿入に対し、変形を抑制する形状だけでなく、変形しやすい形状にすることが重要であると考えた。1. 4. 2. 1と同様の方法で CAE 解析を行った。パラメーター及びパラメーター値決めを実施した。表 1.4.2.2.1 に示すように、オスロック掛り部を変形しやすくする形状パラメーターとして、受け幅、受け高さ、オスロック掛り部板厚を選択した。1. 4. 2. 1と同様、各形状における CNFRP での挿入最大応力を算出した。

表 1.4.2.2.1 メスロック形状の CAE 解析及びパラメータ



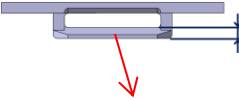
解析形状	イメージ図	パラメータ
メスロック部 挿入部幅		挿入部幅
メスロック部 挿入部高さ		挿入部高さ
メスロック部 掛り部板厚	 <p data-bbox="699 1285 938 1317">オスロック掛り部</p>	掛り部板厚

図 1.4.2.2.1 に CAE 解析により得られたメスロック形状の各パラメーターと挿入最大応力の関係を示す。1. 4. 2. 1 のオスロック形状の CAE 解析と同じく、それぞれの形状で挿入最大応力を算出した後、この値が基本形状の基準応力を 100%とした場合に何%であるかを算出した。

まず、挿入部幅を広げることによって、挿入最大応力を低減できることが分かった。基本形状の挿入部幅、13mm に対して 4mm 広くした 17mm においては、基準に対して、挿入最大応力が約 40%低減できた。

また、挿入部高さを高くすることで挿入最大応力が低減できることも明らかになった。高さ約 22mm 以上で基準応力を下回った。

さらに、掛り部板厚を薄くすることによって、挿入最大応力が低減する傾向を確認したが、解析した板厚の範囲では、すべてが基準応力を上回る結果となった。

これらの結果から、4 形状を選択し、金型を設計した。4 形状には、基本形状（挿入部幅 13mm、挿入部高さ 2mm、掛り部板厚 1.5mm；E 形状）、挿入部幅 15mm 形状（挿入部高さ 2mm、掛り部板厚 1.5mm；F 形状）、挿入部幅 17mm 形状（挿入部高さ 2mm、掛り部板厚 1.5mm；G 形状）、挿入部高さ 2.4mm 形状（挿入部幅 13mm、掛り部板厚 1.5mm；H 形状）を選択した。

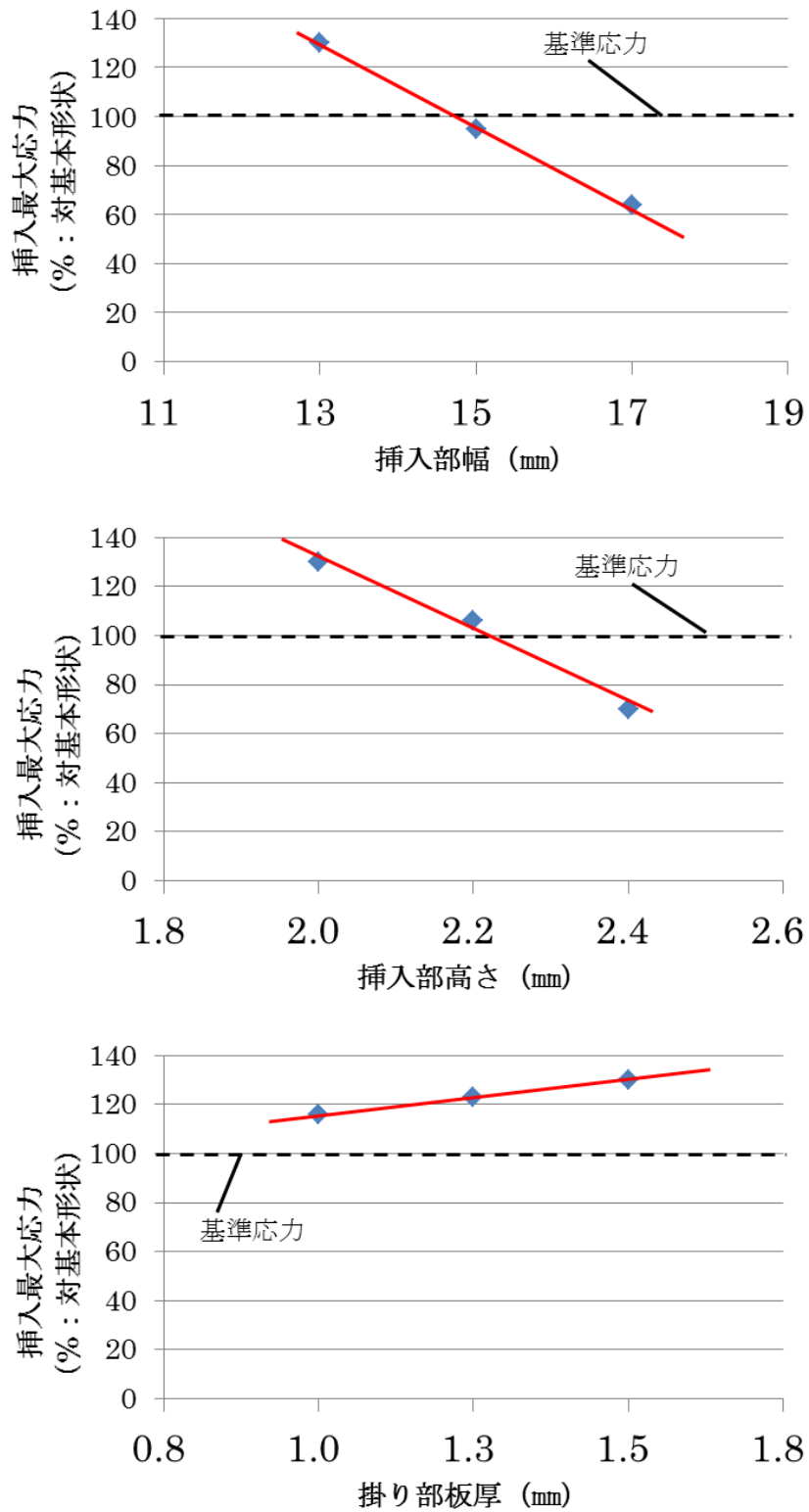


図 1.4.2.2.1 メスロック形状のC A E解析結果

1. 4. 3 ロック性能評価

1. 4. 2. 1で選択したオスロック形状、及び1. 4. 2. 2で選択したメスロック形状で各材料のロック性能の比較を行った。ロック形状を成形するため、図 1.4.3.1 に示す金型を作製した。この金型を用い、PP、PP-CNF、PP-GF、PP-WD の各材料を射出して、ロック性能検討用試験体を得た。射出成型機は、日本製鋼所製の J140AD-180D を使用し、成形温度 200℃で成形を行った。各材料で成形した試験片にて、1. 4. 1 の評価方法でロック挿入力及びロック保持力を測定した。

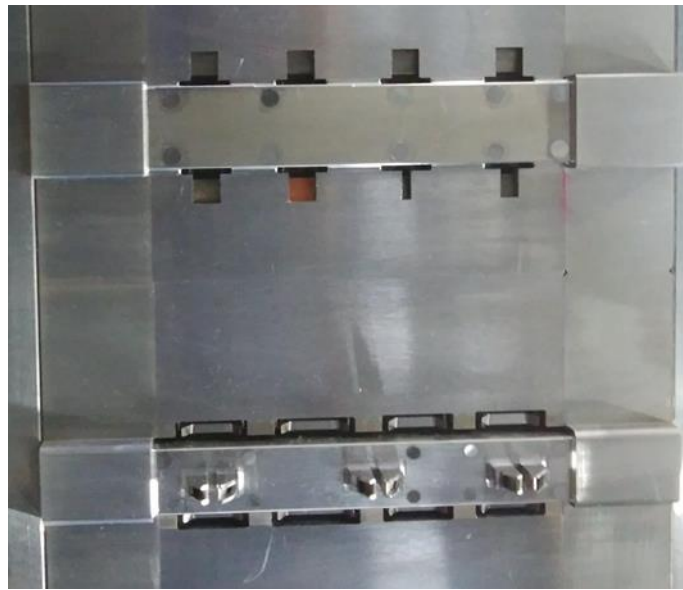
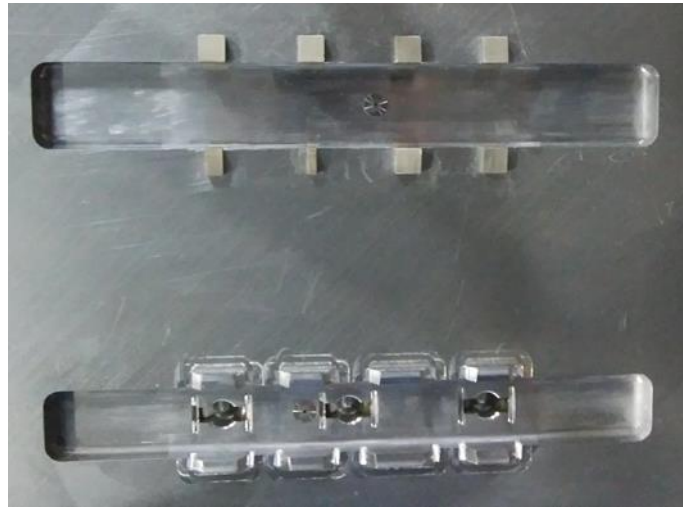


図 1.4.3.1 ロック成形金型 上：固定側 下：可動側

表 1.4.3.1 に各材料、各ロック形状でのロック挿入力及びロック保持力を示す。PP での基本形状同士(A 形状と E 形状とのロック評価)の挿入力、保持力をそれぞれ基準挿入力、基準保持力とした。ロック挿入力は、基準挿入力(46N)に対し、低い値が好ましく、ロック保持力は、保持力基準保持力(130N)よりも高い値が好ましい。

まず、PP に関しては、オスロック形状のツメ高さを低くすること(B, C 形状)、及び板厚が薄くなること(D 形状)によって、オスロック挿入力が低下した。CAE 解析の狙い通り、オスロック挿入時のメスロックの変形を低く抑えることができたためと考えられる。保持力については、B, D 形状に関して、ロック保持力が維持されたが、C 形状に関しては、大幅に低下した。これは、ツメ高さを低くしたことにより、メスロックのオスロック掛り部へのツメの引っ掛かりが小さくなり、すり抜けたためと考えられる。メスロック形状では、挿入幅を広くすること(F, G 形状)、挿入部高さを高くすること(H 形状)で挿入力を低くすることができた。CAE 解析の狙い通り、F, G 形状では、オスロック掛り部が変形しやすくなったこと、H 形状では、メスロックの変形を低下できたためと考えられる。

次に、PP-GF では、PP と同様の結果を示した。ロック挿入力では、A 形状、E 形状の基本形状同士の 119N に対し、B~H 形状では、数値が下回った。一方、ロック保持力では、基本形状同士の 171N に対し、119~166N と、B~H 形状では、PP の基準保持力の 136N に近い値を示しており、実用レベルに近いことが明らかになった。

さらに、PP-WD では、B~H 形状において、基準挿入力 46N を下回った。しかし、ロック保持力において、基準保持力 136N に対し、B~H 形状では 16~95N と大幅に下回る結果となった。

PP-CNF については、1. 4. 1 で述べたとおり、基本形状同士では、ロック挿入時にメスロック部に割れが生じる。形状を変更した B, F, G 形状においても、挿入時にメスロック部に割れが生じたが、C, D, H 形状では、割れが生じず、接合できることが明らかになった。しかし、C, D, H 形状のロック保持力は、38~47N と基準ロック保持力の 136N を大幅に下回った。PP-WD にもいえることであるが、PP-CNF は脆性破壊をおこしやすい素材であり、少しの変形に耐え切れず、割れが生じてしまうと考えられる。

表 1.4.3.1 各材料のロック挿入力とロック保持力

試験項目	オスロック形状	メスロック形状	材料名			
			PP	PP-CNF	PP-WD	PP-GF
ロック挿入力 (N)	A形状(基本形状)	E形状(基本形状)	46	23 * ¹	39	119
	B形状	E形状(基本形状)	21	23 * ¹	23	48
	C形状		20	19	18	42
	D形状		24	21	42	52
	A形状(基本形状)	F形状	29	38 * ¹	38	78
		G形状	32	39 * ¹	35	76
		H形状	26	37	36	71
	ロック保持力 (N)	A形状(基本形状)	E形状(基本形状)	130	- * ²	92
B形状		E形状(基本形状)	145	- * ²	16	138
C形状			75	45	29	131
D形状			148	38	29	119
A形状(基本形状)		F形状	133	- * ²	95	129
		G形状	164	- * ²	72	129
		H形状	136	47	83	166

*1：挿入力測定時にメスロック部に割れが生じた
 *2：挿入力測定時に割れが生じたため、保持力の測定ができず

1. 4. 4 効果

CAE解析から、ロック挿入時の応力を低減させる形状を見出し、金型を作製、各材料で性能評価を行った。その結果、基本形状に比べてロック挿入力の低減が確認された。また、適用する材料によっては、ロック保持力が基準保持力と同等のものもみられ、高剛性材料での形状変更の効果が確認された。

1. 4. 5 まとめ

自動車部品には様々な接合形状がある。その中でロック形状について検討を行い、接合形状の工夫により高剛性材料が適用できる可能性が確認できた。特に **PP-GF** において、顕著な効果がみられた。しかし、**PP-CNF** では、変位に対して脆いため、今回検討した範囲では十分な効果を確認することができなかった。**CNF** の添加量を下げ、必要な剛性は確保しつつ変位に強い材料になれば、接合部の形状変更効果が発揮され、自動車部品への活用範囲が広がると考えられる。

2 材料開発・工法開発

2.1 各種成形方法に適した材料設計

射出成形は、自動車部品を成形する際に、最もよく使用される工法の一つである。一方で、射出成形以外にも使用される工法は数多く存在し、その中でよく使用される工法が押出成形、及び真空成形である。そこで、上記工法に **CNFRP** を使用した際、他材料と比較して、どの様な特徴を示すのか確認を行った。

評価に使用した材料は、**PP-CNF** と **PP-WD** である。但し **WD** に関しては粒径の異なる木粉を大、中、小、3種類用意した。ここでは **PP-WD 大**、**PP-WD 中**、**PP-WD 小**と表記した。これらの材料により、フィラー粒径による加工特性への影響を確認した。

2. 1. 1 材料の加工特性評価方法

加工特性の評価は、押出成形、真空成形などの伸張流動を伴う成形において加工性の指標として使用される、溶融張力とメルトフローレート (**Melt Flow Rate ; MFR**)を測定することによって行った。溶融張力とは、溶融した樹脂の弾性を表す指標の1つである。測定は、図2.1.1.1に示すように一定流量で押出された樹脂を滑車を介して引き取り、張力を測定することで行った。

各材料の溶融張力と**MFR**を測定した条件を表2.1.1.1に示す。

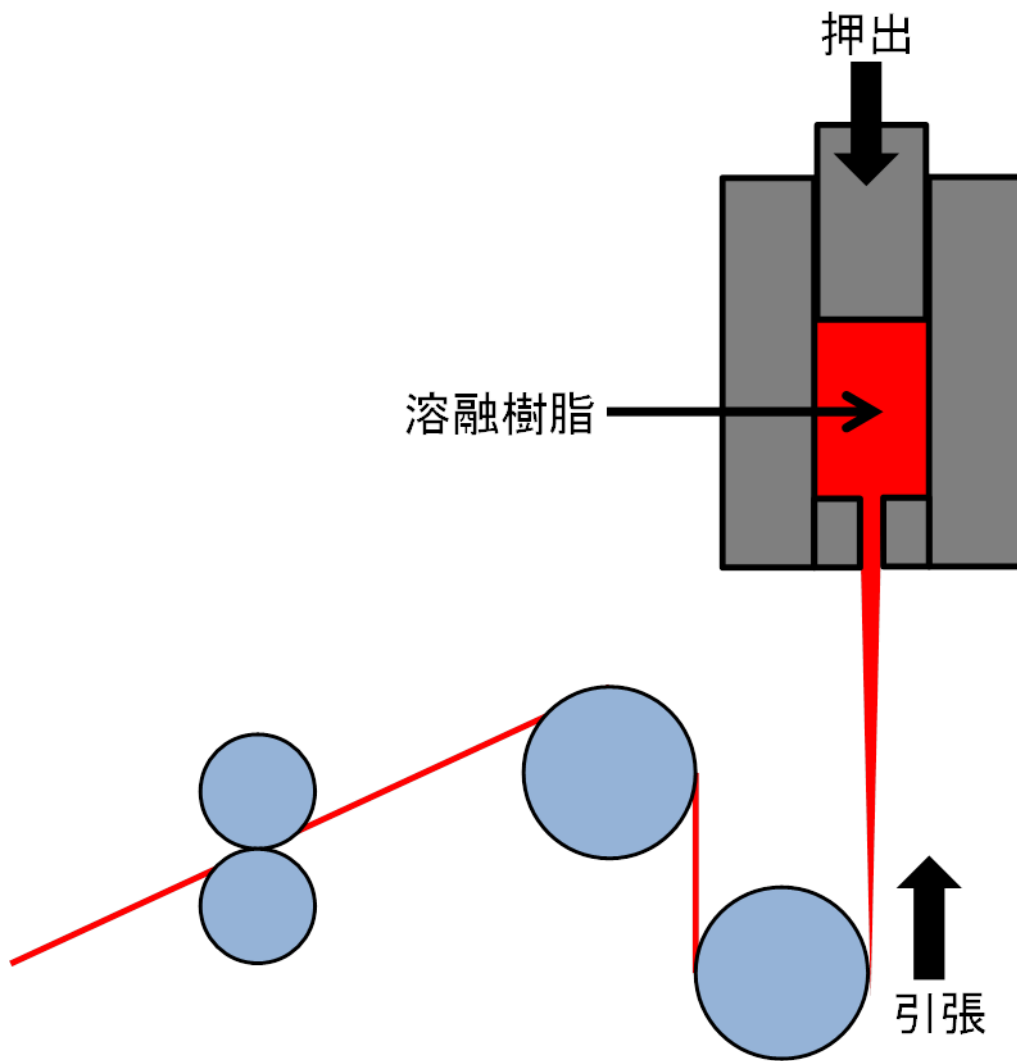


図 2.1.1.1 熔融張力の測定装置

表 2.1.1.1.1 加工特性評価条件

	装置	試験温度	押出速度	引取速度	試験荷重
溶融張力	東洋精機製作所製キャピログラフ1B	190℃	10mm/min	3m/min	—
MFR	(株)安田精機製作所製Series4000	190℃	—	—	21.18

2. 1. 2 結果

図 2.1.2.1 に樹脂中のフィラーサイズの違いによる溶融張力と MFR の関係を示す。

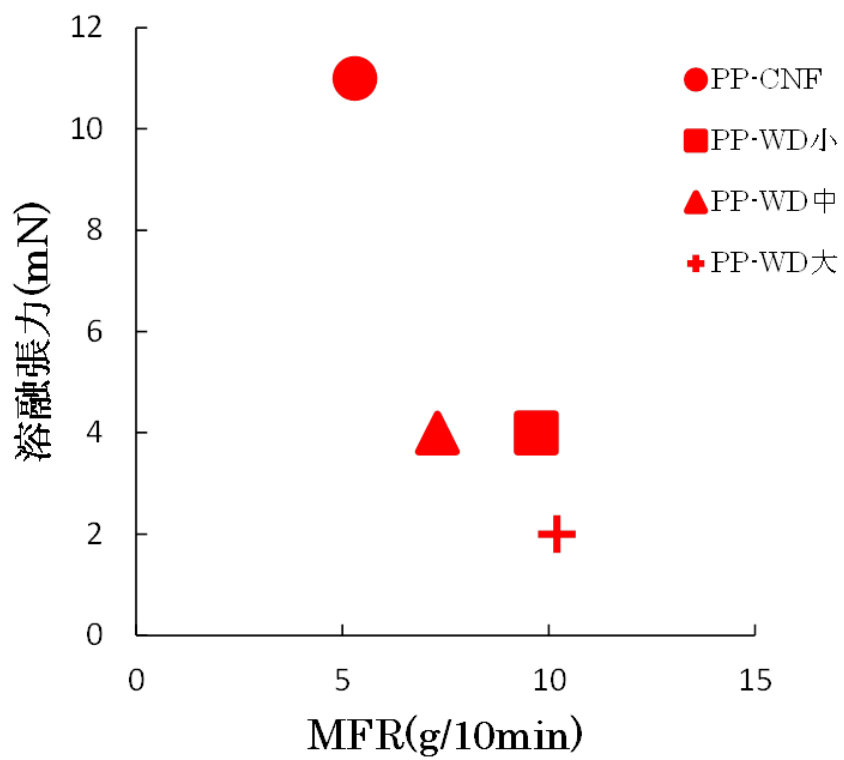


図 2.1.2.1 フィラー粒径による溶融張力、MFR への影響

図 2.1.2.1 より、PP-CNF は熔融張力が大きく、MFR が低いことが分かった。これは、CNF の方が木粉よりアスペクト比が高いため、PP 中でネットワーク構造を形成するためと考えられる。各種成形方法に適した加工特性の領域を図 2.1.2.2 に示す。図中に一般的に射出成形に使われる PP と真空成形に使われる PP の値も示す。これより、PP-CNF は、PP-WD に比べ、射出成形だけではなく、押出成形や真空成形にも適応が可能であることが示唆された。

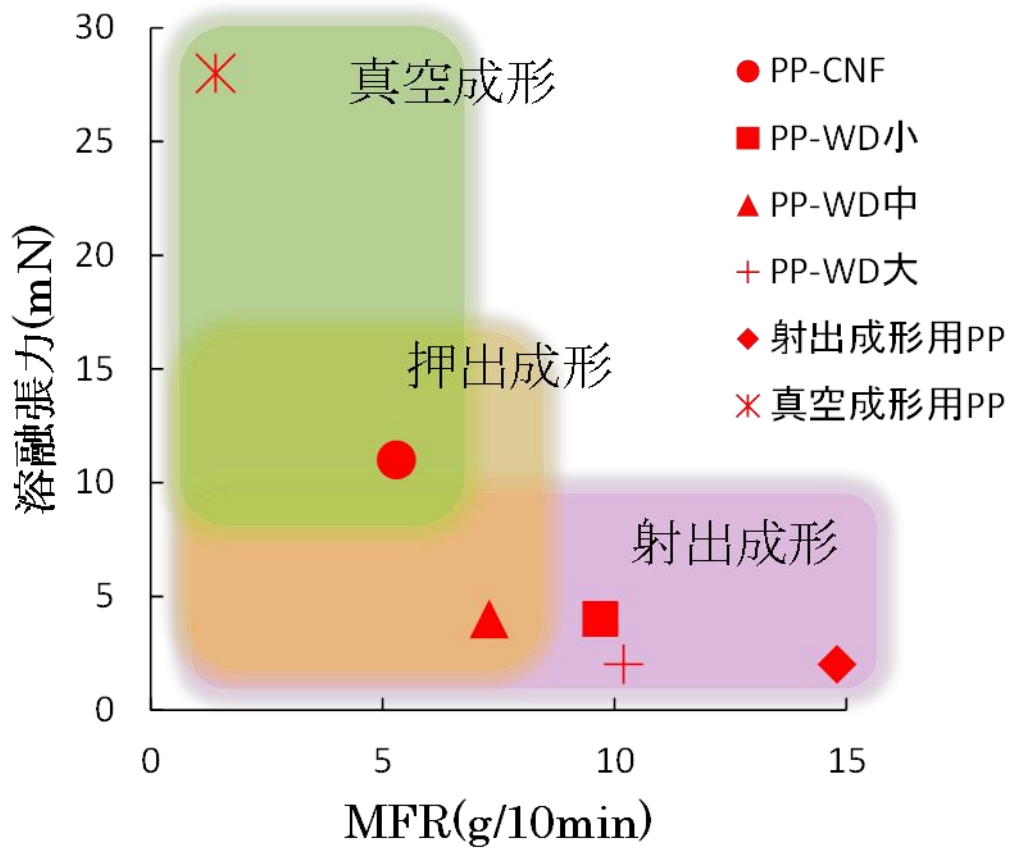


図 2.1.2.2 各種成形方法に適した樹脂物性領域

2. 2 CNF 強化樹脂性能向上に向けた取り組み

2. 2. 1 CNF 分散状態の検討

これまで、二軸の押出し機内において加熱溶融した PP 中でパルプをスクリーナーで解繊し、PP と CNF の複合化を行ってきた。本方法で得られた CNFRP 中の CNF は比較的太く、またサイズの分布が広いという特徴がある。CNF の分散状態を透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope; TEM)を用いて観察した代表的な例を図 2.2.1.1、及び図 2.2.1.2 に示す。ナノからミクロンまで幅広いサイズで解繊されたパルプ由来の CNF が分散していることがわかる。

これを厳密に考えると、解繊がすすんでいない、ミクロンサイズのパルプはナノサイズのセルロース繊維の集合体であり、このバルク状態の繊維では、ナノサイズのセルロース繊維で観測された 138GPa ともいわれる剛性を発揮できるとは考え難い。すなわち、PP の補強フィラーとして添加したパルプのうち、狙い通りの補強性能を発揮する CNF として機能しているのはごく一部に限られてしまっている、というのが現状の CNFRP の実態である。

これを改善し、CNFRP の性能向上を図るため、原料の見直しを行った。具体的には、従来用いていたパルプに比べて解繊がすすんだ CNF 原料を用いることである。すべてナノサイズの CNF が PP 中に分散し、補強効果を発揮した強化樹脂を得ることを目的とした。

解繊がすすんだ CNF 原料に PP との界面接着性を高めるため、疎水化処理を施し、従来通りの方法で二軸の押出し機内で PP との複合化を行った。この時、CNFRP 中のセルロース添加率は 20wt%とした。密度は 1.0g/cm³程度である。一方、一般的に無機フィラーが 30~40wt%添加された強化樹脂の密度は 1.1~1.3g/cm³程度である。

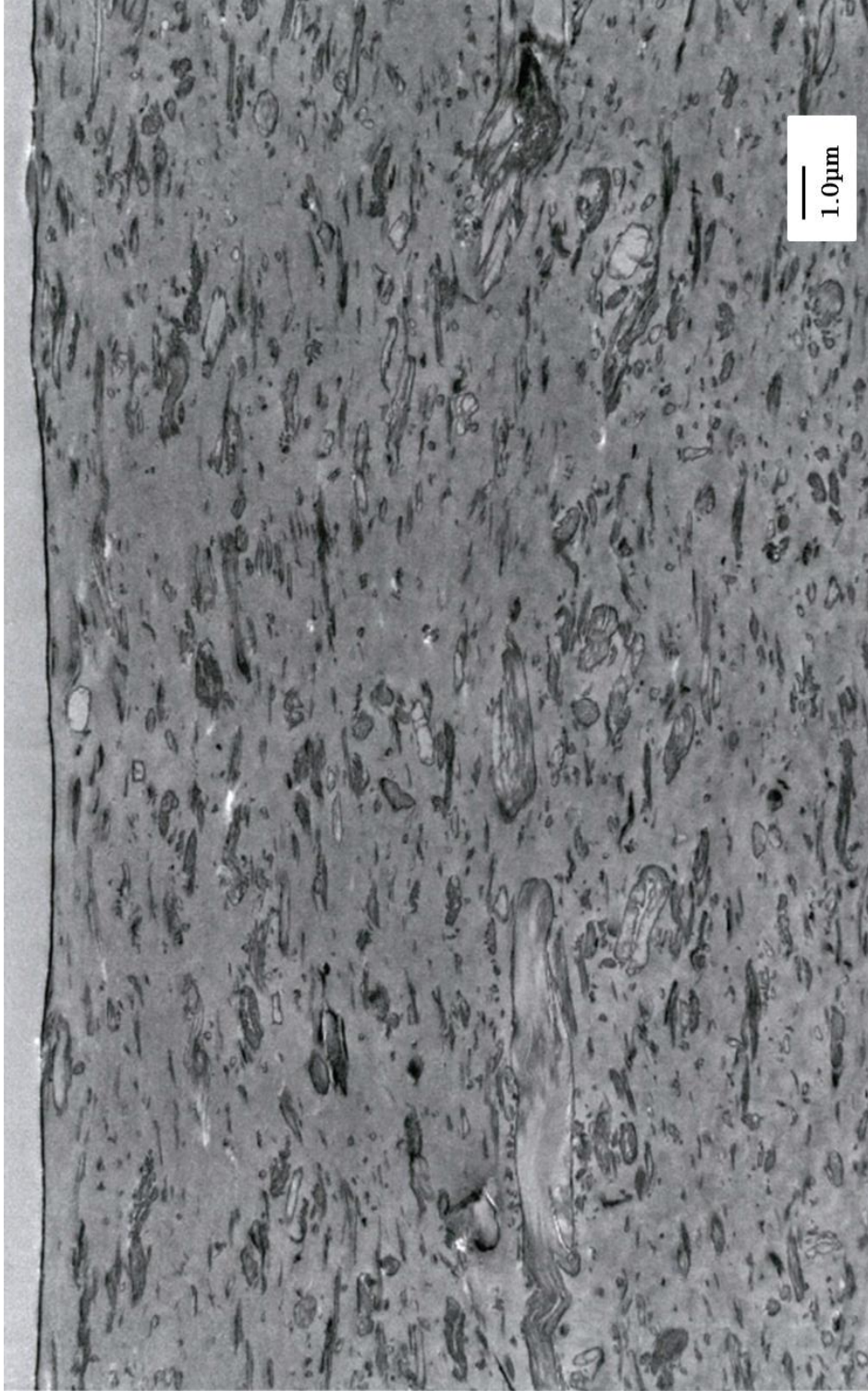


図 2.2.1.1 従来のパルプ由来で得られた CNFRP 中の CNF 分散状態観察結果 10,000 倍

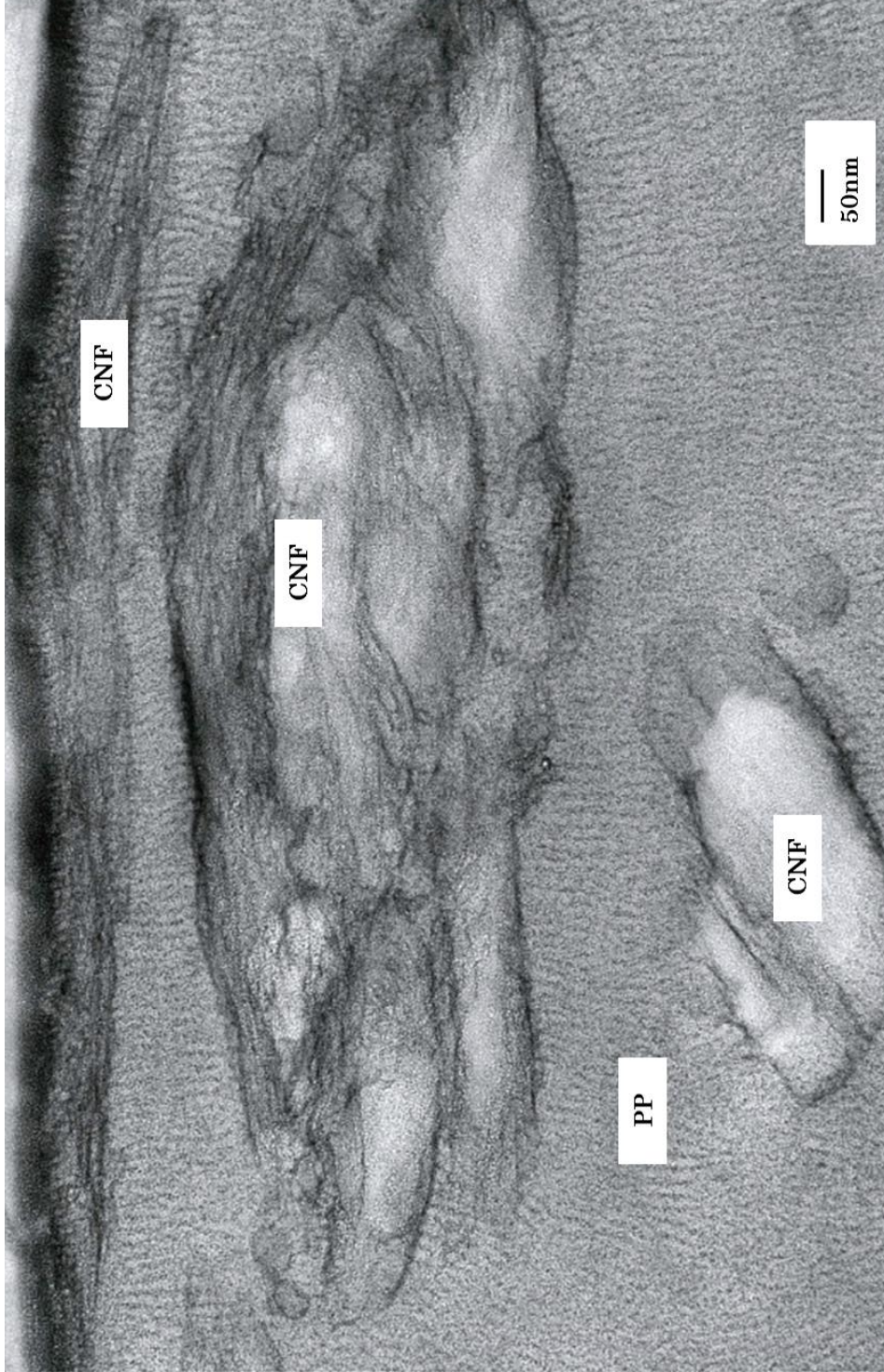


図 2.2.1.2 従来のパルプ由来で得られた CNFRP 中の CNF 分散状態観察結果 200,000 倍

2. 2. 2 CNF 分散状態検討品の基礎物性

2. 2. 1 で得られた CNFRP を、加熱溶融温度 200℃、金型温度 40℃にて射出成形し、基礎物性評価を行った。基礎物性評価の内容と結果を表 2.2.2.1 と図 2.2.2.1 にまとめる。また、CNF の分散性を確認するために行った TEM 観察の結果を図 2.2.2.2、及び図 2.2.2.3 に示す。

図 2.2.2.2、及び図 2.2.2.3 では、図 2.2.1.1 や図 2.2.1.2 に比べて明らかに CNF のサイズが細く、解繊された状態で PP 中に分散されており、微細で密な CNF の強化ネットワークが形成されていることが分かる。また、分散した CNF を起点に PP のラメラ結晶がよく発達していることが見てとれ、CNF が PP の強化フィラーとしてのみならず、結晶化も促進し、強化樹脂全体の剛性向上に寄与していることが推察される。このことは表 2.2.2.1 で、従来のパルプ由来の CNFRP に比べて今回の分散性を改善した CNFRP では大きく曲げ弾性率や引張弾性率が向上していることに表れているといえる。また、荷重たわみ温度 (Heat Deflection Temperature; HDT) の値も大きく向上している。これも剛性向上と同様の強化メカニズムによるものと考えられる。

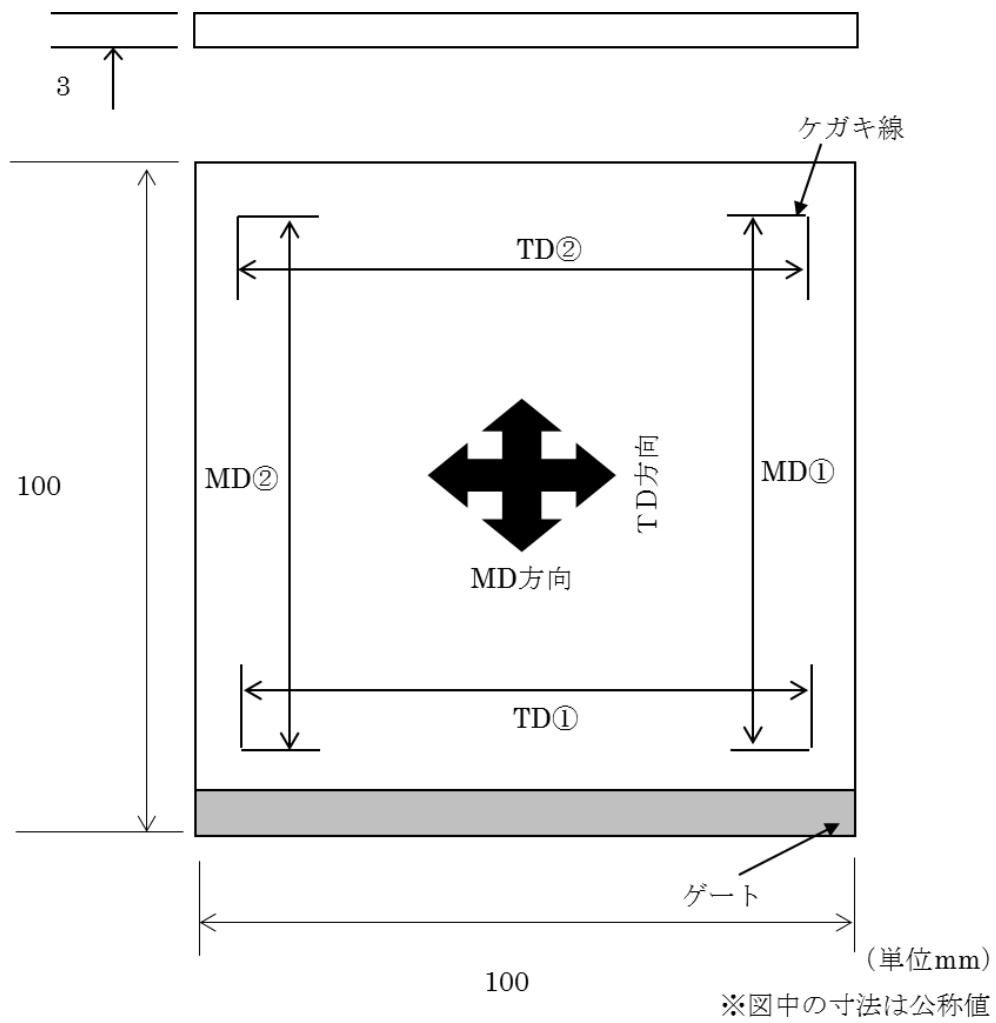
CNF の強化ネットワークの緻密さは MFR に表れている。今回の分散性を改善した CNFRP 中では微細で密な CNF のネットワークが PP の分子運動を強く拘束することから、通常の PP 系樹脂の評価方法では全く熱溶融流動しないことが明らかになった。しかしながら CNF はチキソトロピー性を有しており、射出成形は可能であることがスパイラルフロー評価法により定量した流動性で確認されている。

さらに、成形収縮率の値がより小さくなっていることにも、CNF の強化ネットワークの緻密さが表れていると考えられる。

表 2.2.2.1 分散性を改善した CNFRP の基礎物性評価結果

評価項目	規格	単位	条件	従来のパルプ由来 CNFRP	分散性を改善した CNFRP
MFR	ISO 1133	g/10min	230°C、21.18N	2.6	0 (5.2※ ¹) ※ ¹ 230°C×98.07Nで測定
流動性(L/T)	独自規格	-	200°C、金型40°C T=2mmのスライル型流動長L	345	275
密度	ISO 1183	g/cm ³		1.004	0.999
引張強度	ISO 527-1,2	MPa		47.3	42.0
引張破断ひずみ		%		3.1	1.8
引張弾性率		MPa		3845	4540
曲げ強度	ISO 178	MPa		70.5	77.7
曲げ弾性率		MPa		3924	4905
シャルピー衝撃強度	ISO 179-1	kJ/m ²	23°C -30°C	1.3 1.1	1.1 1.1
HD T	ISO 75-2	°C	0.45MPa 1.82MPa	133.2 80.7	144.7 96.6
成形収縮率	独自規格※ ²	%	MD平均 TD平均	0.83 1.09	0.40 0.54
線膨張係数	ISO 11359-2	10 ⁻⁵ ・K ⁻¹	MD平均 TD平均	4.08 12.54	2.53 13.64

※² 図 2.2.2.1 で説明する



Machine direction: MD (射出縦機械方向)

Transverse direction: TD (射出横方向)

成形収縮率計算式

$$= (\text{金型ケガキ線間原寸} - \text{射出成形品ケガキ線間寸法}) \div \text{金型ケガキ線間原寸} \times 100$$

図 2.2.2.1 成形収縮率測定方法



図 2.2.2.2 分散性を改善した CNFRP 中の CNF 分散状態観察結果 10,000 倍

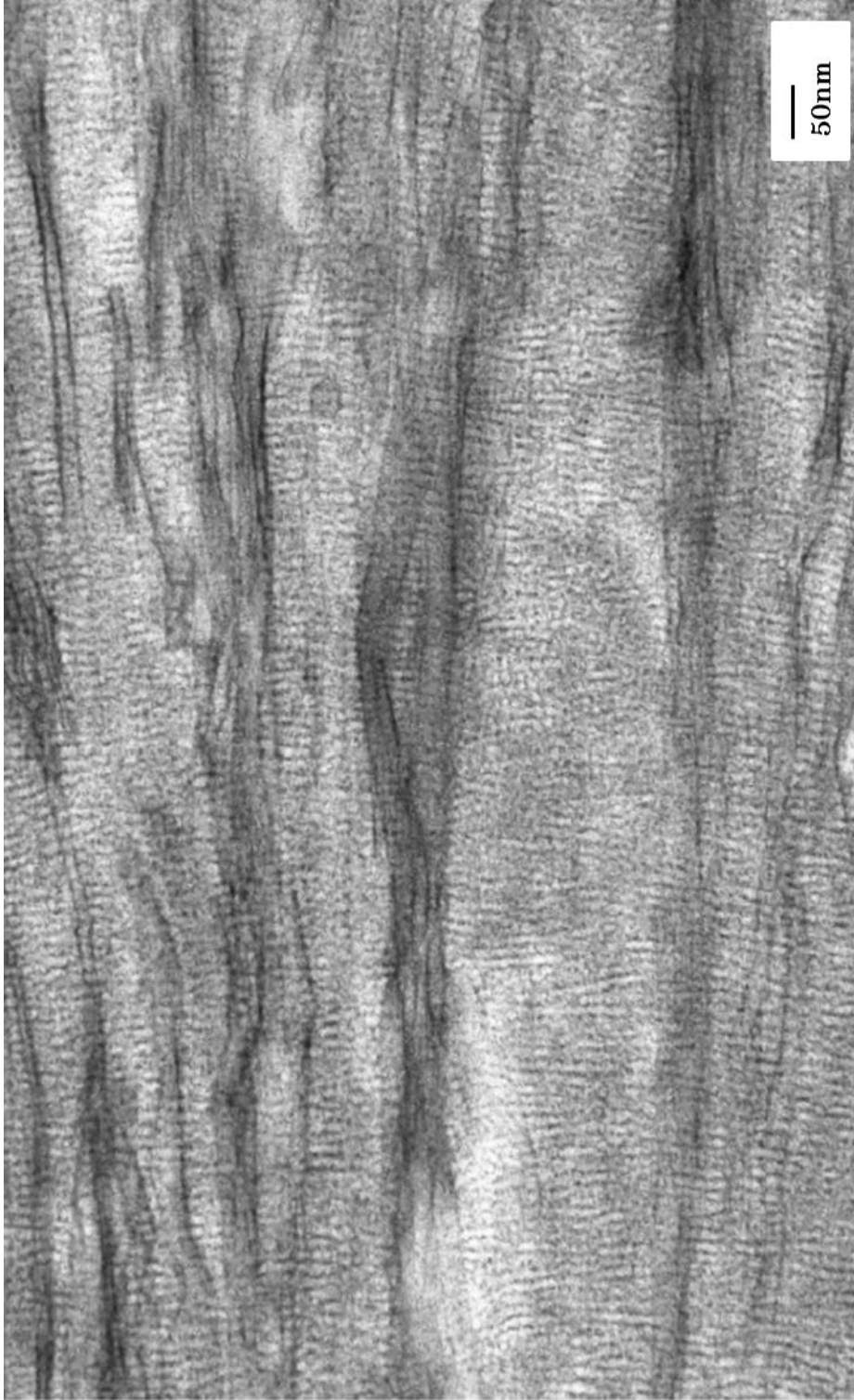


図 2.2.2.3 分散性を改善した CNFRP 中の CNF 分散状態観察結果 200,000 倍

2. 2. 3 まとめ

従来に比べて解繊がすすんだ原料を使用することで、PP 中にナノレベルの CNF を分散させることができた。この CNF は微細で密な強化ネットワークを形成し、また PP のラメラ結晶の起点となり得る。

このことにより、CNFRP の剛性、耐熱性が飛躍的に向上することが明らかになった。また、流動性は低くなるものの、十分射出成形可能であることが確認され、得られた成形品の成形収縮率は小さい。

以上は CNF で PP を補強する効果、可能性を示す結果であるといえる。

3 CNF 活用製品の活用時の CO₂ 排出削減効果の検証

本業務での評価対象部品である、バッテリーキャリア及びパワースライドドアユニットの CO₂ 排出削減効果を検証した。

製品 1 個当たりの製造及び自動車走行時の CO₂ 排出量を算出した。製品製造は素材製造、素材輸送、素材加工の三つの工程からなる。材料製品の各材料、各工程の個別 CO₂ 原単位は秘匿性が高く開示できない。そのため、三工程の合算結果のみを示すこととした。この際、素材製造における材料別 CO₂ 排出原単位として、日本 LCA フォーラムのデータベースの値を引用した。また、自動車走行時の CO₂ 排出量の算出には以下に挙げる基礎データを使用した。自動車単位重量、単位走行当たりの CO₂ 排出量として 0.15g-CO₂/(kg・製品重量・km・走行)とした。年間平均走行距離は国土交通省「継続検査の際の整備前自動車不具合状況調査」から 10,575km とした。自動車の平均使用年数は財団法人自動車検査登録協力会「わが国の自動車保有動向」より 11.0 年とした。

3. 1 バッテリーキャリア

3. 1. 1 従来材料製品の CO₂ 排出量

従来材料製品は鋼板及び樹脂で構成され、1 個当たりの重量は 1,031g であった。製品製造時及び自動車走行時(平均使用年数走行の場合)は各々

3.13(kg-CO₂/個)及び 17.98(kg-CO₂/個)となった。

自動車走行時(平均使用年数走行の場合)の CO₂ 排出量は次式による。

$$1.03(\text{kg}/\text{個}) \times 0.15(\text{g-CO}_2/(\text{kg-製品重量} \cdot \text{km-走行})) \times 10,575(\text{km}) \times 11.0(\text{年}) \\ = 17.98(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

したがって、CO₂ 総排出量は次式より、21.11(kg-CO₂/個)となった。

$$3.13 + 17.98 = 21.11(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

3. 1. 2 CNFRP 活用製品の CO₂ 排出量

CNFRP 活用製品は CNFRP 射出成形体及びカラー、ボルトナットなどの部品で構成され、製品 1 個当たりの重量は 654g である。製品製造時の CO₂ 排出量は 7.25(kg-CO₂/個)である。ここで、CNFRP 活用製品の自動車走行時の CO₂ 排出量を示す。自動車走行時の CO₂ 排出量(平均使用年数走行の場合)は次式により、11.41(kg-CO₂/個)となった。

$$0.654(\text{kg}/\text{個}) \times 0.15(\text{g-CO}_2/(\text{kg-製品重量} \cdot \text{km-走行})) \times 10,575(\text{km}) \times 11.0(\text{年}) \\ = 11.41(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

したがって、CO₂ 総排出量は次式より、18.83(kg-CO₂/個)となった。

$$7.25 + 11.41 = 18.66(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

CNFRP 活用製品を用いることによる CO₂ 排出削減効果は、以下の式で表すことができ、2.45(kg-CO₂/個)となった。

$$21.11 - 18.66 = 2.45(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

削減割合は以下の式より、11.61%となった。

$$2.45/21.11 \times 100 = 11.61(\%)$$

以上の試算から判明したことをまとめる。

CNFRP を自動車のバッテリーキャリアに活用することによる CO₂ 排出削減効果は、2.45(kg-CO₂/個)となり、削減割合は 11.61%となった。

3. 2 パワースライドユニット

3. 2. 1 従来材料製品の CO₂ 排出量

従来材料製品は鋼板及び樹脂で構成され、1 個当たりの重量は 2,400g であった。製品製造時及び自動車走行時(平均使用年数走行の場合)は各々 7.09(kg-CO₂/個)及び 41.88(kg-CO₂/個)となった。

自動車走行時(平均使用年数走行の場合)の CO₂ 排出量は次式による。

$$2.40(\text{kg}/\text{個}) \times 0.15(\text{g-CO}_2/(\text{kg-製品重量} \cdot \text{km-走行})) \times 10,575(\text{km}) \times 11.0(\text{年}) \\ = 41.88(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

したがって、CO₂ 総排出量は次式より、48.97(kg-CO₂/個)となった。

$$7.09 + 41.88 = 48.97(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

3. 2. 2 CNFRP 活用製品の CO₂ 排出量

CNFRP 活用製品は CNFRP 射出成形体及びカラー、ボルトナットなどの部品で構成され、製品 1 個当たりの重量は 324g である。製品製造時の CO₂ 排出量は 3.16(kg-CO₂/個)である。ここで、CNFRP 活用製品の自動車走行時の CO₂ 排出量を示す。自動車走行時の CO₂ 排出量(平均使用年数走行の場合)は次式により、5.65(kg-CO₂/個)となった。

$$0.324(\text{kg}/\text{個}) \times 0.15(\text{g-CO}_2/(\text{kg-製品重量} \cdot \text{km-走行})) \times 10,575(\text{km}) \times 11.0(\text{年}) \\ = 5.65(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

したがって、CO₂ 総排出量は次式より、8.81(kg-CO₂/個)となった。

$$3.16 + 5.65 = 8.81(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

CNFRP 活用製品を用いることによる CO₂ 排出削減効果は、以下の式で表すことができ、40.16(kg-CO₂/個)となった。

$$48.97 - 8.81 = 40.16(\text{kg-CO}_2/\text{個})$$

削減割合は以下の式より、82.01%となった。

$$40.16 / 48.97 \times 100 = 82.01 (\%)$$

以上の試算から判明したことをまとめる。

CNFRP を自動車のパワースライドユニットに活用することによる CO₂ 排出削減効果は、40.16(kg-CO₂/個)となり、削減割合は 82.01%となった。

3.3 まとめ

バッテリーキャリア及びパワースライドドアユニットに CNFRP を活用した場合の CO₂ 削減効果はそれぞれ、2.45(kg-CO₂/個)及び 40.16(kg-CO₂/個)であり、また、これらの従来材料製品に対する CO₂ 削減割合はそれぞれ、11.61%及び 82.01%であることが算出された。

4 総括

本プロジェクトでは、自動車用金属部品の樹脂代替を狙い、高強度かつ低比重な CNFRP を用いて、自動車部品の試作と性能評価を行った。また金属部材の樹脂化で達成された軽量化効果から、自動車の燃費向上及び CO₂ 削減効果の検証を行った。

今年度は3つのことを行った。一つ目は、CNF を用いた自動車部品検討。具体的には、バッテリーキャリアとパワースライドドアユニットの2部品を選択、作製し性能評価を行った。二つ目は、射出成形以外の成形法への適用検討を行った。また CNF の樹脂中への分散状態と性能に関する検討も行った。三つ目は CNF を用いたバッテリーキャリアとパワースライドドアユニットを自動車部品として使用した際の CO₂ 削減効果を明確にした。結果を以下に示す。

バッテリーキャリアの基本性能試験の結果、課題であった振動耐久性の問題を形状対策により軽量化を損なうことなく解決することができた。パワースライドドアユニットの基本性能評価の結果、初期性能に関しては問題ないことが確認できた。但し、加熱後の寸法変化が比較的大きいことが分かり、長尺部品については、部品構造もしくは材料での加熱後の収縮特性への対応が必要なことが新たに分かった。以上から、材料コスト等、設計、製造上注意すべき課題、及び材料への期待が明確にできた。

射出成形以外の工法検討で、押出成形、真空成形には、木粉フィラーが添加された樹脂より CNF を用いたものの方が適していることが分かった。CNF を PP 中にナノレベルで分散させると、CNFRP の性能が向上することが分かった。これらは CNF で PP を補強する効果、可能性を示す結果であるといえる。

LCA については、バッテリーキャリア及びパワースライドドアユニットに CNFRP を活用した場合の CO₂ 削減効果はそれぞれ、2.45(kg-CO₂/個)及び 40.16(kg-CO₂/個)であり、また、これらの従来材料製品に対する CO₂ 削減割合はそれぞれ、11.61%及び 82.01%であることが算出された。

今後の展望については、CNFRP の長所、短所が理解できたので、長所を活かしつつ、短所は形状などで対策を施し、その上で部品として軽量化を進めていきたい。コストに関しては、まだまだ高いのが現状であるため、継続的にコスト削減を行っていかなければならない。CNFRP を用いた部品を量産することで初めて CO₂ 削減に貢献できるため、部品の実用化を進めていきたい。

リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準に従い、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料 [A ランク] のみを用いて作成しています。