

# 自動車部材へのセルロースナノファイバー (CNF) 強化バイオポリエチレン樹脂の応用：エアコンケースへの適用\*

Application of cellulose nanofiber (CNF) - reinforced bio-based polyethylene (PE) composites to automotive parts : Application to automotive air conditioner case

小島 和重  
Kazushige KOJIMA

後藤 伸哉  
Shinya GOTO

田原 靖容  
Yasuhiro TAWARA

神谷 敏文  
Toshifumi KAMIYA

Carbon-neutral composite material from bio-polyethylene (bioPE) and cellulose nanofiber (CNF) with plant resources that absorb CO<sub>2</sub> in the atmosphere by photosynthesis, was applied to air conditioner cases. The composite material that consists of bio-PE with low modulus and highly dispersed CNF led to material with high modulus, which could replace current PP-talc material. Although the composite material with nanocomposite structure showed high viscosity especially in low shear rate, which deteriorated moldability, air conditioner cases could be molded by optimizing die (multi gates) and molding condition (higher molding injection rate). The automobile air conditioners assembled with bioPE-CNF air conditioner cases were evaluated and the possibility of the application was shown.

Key words :

*cellulose nanofiber, air conditioner case, bio-based polyethylene, composite*

## 1. まえがき

国内におけるCO<sub>2</sub>の総排出量(11億8000万t)の内、運輸部門の排出量は18.6%(2億600万t)を占めている。その中でも自動車から排出されるCO<sub>2</sub>が86.1%を占めており、これは総排出量の16%に相当する<sup>1)</sup>。そのため、自動車から排出されるCO<sub>2</sub>を低減させる必要があり、各社が競って自動車の燃費を向上させる技術開発を進めている。燃費向上技術として金属を軽量でかつ高強度な樹脂材料に置き換える軽量化技術の開発が進み、現在では車両の約10wt%を樹脂材料が占めている。しかし、樹脂材料は石油を原料としているため、樹脂化により石油の使用量が増加する課題がある。また、日本は石油の86%を政情の不安定な中東地域から輸入しており、価格変動も大きい。それゆえ、石油に

代わる代替資源を開発して樹脂材料に適用していくことが望ましく、その候補の1つとして植物原料が注目されている。植物は大気中のCO<sub>2</sub>を吸収して成長するため、植物を原料とすることでカーボンニュートラルな材料を製造できる可能性がある。

デンソーでは既に植物由来のひまし油を原料とするセバシン酸と石油由来のヘキサメチレンジアミンを重合させて得られたポリアミド610(PA610)をラジエータータンクに使用している。PA610は植物原料を用いているだけでなく、ラジエータータンクとして一般的に使用されているPA66よりも耐加水分解性に優れ、かつ高い耐融雪塩性を有しているため、融雪塩が散布される地域への展開ができる。PA610はラジエータータンク以外にも耐加水分解性が要求される製品への展開が可能であるため、新たな製品への適用化を推進して

\*エヌ・ティー・エス出版社の「セルロースナノファイバー 研究と実用化の最前線」2021年(11月発刊)より修正・加筆して転載

いる。このように植物原料を用いると従来の石油原料には無い特性を有する新規の樹脂材料を作製できる可能性がある。

樹脂材料の中で自動車に最も多く使用されているのはポリプロピレン (PP) であり、エアコンケース、バンパー、ドアトリム、インパネなどに年間 70 万トン以上が国内で使用されている<sup>2)</sup>。PP1kg を製造・加工する際の CO<sub>2</sub> 排出量は 3.2kg であるため<sup>3)</sup>、自動車用の PP だけでも年間 220 万トン以上の CO<sub>2</sub> を排出している。この石油由来の PP から排出される CO<sub>2</sub> の削減が可能なた代替樹脂材料として、植物原料からなるバイオポリエチレン (PE) が存在する。しかし、PE は PP に比べて強度、弾性率が低く、同じ強化材を用いても同等の強度・弾性率が発現しないため、構造部材への適用化が困難である。近年、現行の強化材よりも強度、弾性率が高く、かつ植物原料からなるセルロースナノファイバー (CNF) が強化材として注目を浴びている。CNF とはセルロース分子鎖が伸びきり鎖の状態で結晶を形成している幅 4-20nm のナノ繊維であり、比重は鋼鉄の 1/5 であるが弾性率はその 2/3 の 140 GPa であることから、比弾性率は鋼鉄より優れていることが報告されている。さらに、強度は 1.7GPa (自動車用鋼板の 5 倍) であり、線膨張係数はガラスの 1/50 と石英ガラスに匹敵する温度変化に対する寸法安定性を有している<sup>4)</sup>。CNF を植物由来のバイオ PE の強化材として活用することができれば、高強度・高弾性率でカーボンニュートラルなオールバイオ PE-CNF 樹脂複合材料を作製することができる。今回、京都大学、京都市産業技術研究所らと共同でオールバイオの PE-CNF 樹脂複合材料のエアコンケースを試作して、このカーボンニュートラル材料の自動車部品への適用化検討を行った<sup>5)</sup>。今後この開発成果を他の自動車部品にも展開し、自動車の樹脂材料のカーボンニュートラル化を推進していく。

## 2. バイオ PE-CNF 樹脂材料開発

バイオ PE-CNF 樹脂材料の原料である CNF は、原料のパルプをナノレベルまで解繊することで得られる。パルプからの CNF の製造について様々な方法が開発さ

れているが、いずれの方法も低濃度 (数%濃度) のパルプの水スラリーにせん断力を印加してパルプをナノレベルまで解繊して、その後脱水しているため高コストである。さらに得られた CNF は親水性であるため、疎水性の樹脂であるバイオ PE 樹脂と混合し強化材として適用するには疎水化処理が必要である。CNF を疎水化してバイオ PE との親和性を向上させないと CNF は凝集してしまい、PE 樹脂中に均一分散させることができないため高強度・高剛性な PE-CNF 樹脂材料を得ることができない。バイオ PE-CNF 樹脂材料を実用化するためには、脱水工程の無い低コストな CNF の製造法及び CNF の疎水化技術の開発が必要である。

京都大学の矢野教授らは、NEDO のグリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発 (2010-2012 年度) において、パルプを CNF に解繊した後に樹脂と混練するのではなく、パルプを樹脂と直接に混練し、その際にパルプを CNF に解繊する技術を開発した。この際、疎水化したパルプを用いることで、解繊により生成した CNF が樹脂中に均一に分散した樹脂-CNF 複合材料の作製に成功した。CNF の疎水化技術開発では疎水化処理剤のアルキル鎖の長さ及び剛直性を最適化し、樹脂の補強効果が最も高くなる疎水化処理剤を見出すことが重要である。

本研究ではバイオ PE と混ぜるのに最適な疎水化処理剤を用いたパルプを用いて、混練時にパルプの CNF 化とバイオ PE への分散を行ったバイオ PE-CNF のエアコンケースを作製し、そのエアコンケース ASSY の実機検証を行った。

### 2.1 エアコンケースの要求特性

エアコンケースの製品要求特性およびそれを実現するために必要な材料要求特性を Table 1 に示す。エアコンケースの構成部品には大型・薄肉・複雑形状のものが存在するため、製品形状の成形性を確保するために、材料には良流動性が要求される。さらに、モーター等の部品を取り付ける構造部品として面剛性が必要であり、材料には一定以上の曲げ弾性率が要求される。また CNF の疎水化処理剤の熱分解による低分子量化合物の生成が懸念されるため、揮発性有機化合物 (VOC) の量も重要特性である。

Table 1 Required properties and the specification for air conditioner case and the material

Required properties		Specification for material
Air conditioner case	Material	
Moldability	Melt viscosity	Same level as current PP-talc material
Surface rigidity	Flexural modulus	Same level as current PP-talc material
VOC* amount	VOC amount	Same level as current PP-talc material

\*VOC: volatile organic compounds

## 2.2 流動性（溶融粘度）評価結果

今回、材料としてはバイオ PE に CNF10wt% とタルク 10wt% を配合したバイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911) と CNF の分散性の向上によりタルクレス化を狙ったバイオ PE-CNF10 (HS2011) を用いた (Table 2)。まず強化材の CNF およびタルクが射出成形時の流動性に与える影響を明らかにするため、樹脂材料の溶融粘度をキャピラリーレオメーターにて評価した。これまでエアコンケースで成形実績のある上限の溶融粘度の  $150\text{Pa}\cdot\text{s}$  (せん断速度:  $1200\text{sec}^{-1}$ ) 以下を目標値とした。190°C の樹脂温度 (現行条件) では、HS1911 及び HS2011 とともに目標値よりも高い粘度を示したが、樹脂温度を 10°C 高くして 200°C にすると両材料ともに目標値に近いレベルの粘度まで低減できた (Fig. 1)。タルクを添加しない HS2011 は HS1911 よりも粘度をより低減させることができたため、強化材として CNF 単独の方が低粘度化の観点で好ましい。このように、樹脂温度を 200°C まで上げることでこれらの材料はエアコンケースに成形できる可能性は十分にあると考えられる。

Table 2 Developed material

Sample name	Material	Remarks
HS1911	BioPE-CNF10-TD10	Talc addition
HS2011	BioPE-CNF10	No talc

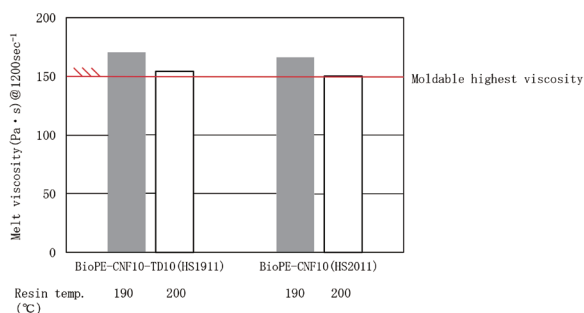


Fig. 1 Melt viscosity of bioPE-CNF10-TD10 and bioPE-CNF10

## 2.3 曲げ弾性率評価結果

アスペクト比の大きい CNF はタルクと比較して成形時の配向の影響が出やすいため、樹脂流れ方向 (MD 方向) に比べて直角方向 (TD 方向) では CNF の補強効果が小さく、曲げ弾性率が低くなる可能性がある。TD 方向の曲げ弾性率を評価するため、平板状の試験片 (縦  $150\text{mm}$  × 横  $150\text{mm}$  × 厚み  $2\text{mm}$ ) を射出成形にて作製し、切削加工にて曲げ試験片 (縦  $130\text{mm}$  × 横  $10\text{mm}$  × 厚み  $2\text{mm}$ ) を得た (Fig. 2)。Fig. 3 に示すように、TD 方向における曲げ弾性率は現行の PP-タルク材に対し、バイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911, タルク 10% 併用) は 73%、タルクを併用しないバイオ PE-CNF10 (HS2011) では 63% であった。バイオ PE-CNF10 の TD 方向の曲げ弾性率が PP-タルク材よりも低かったのは、PE の弾性率が PP に比べて低いのに加えて、CNF が MD 方向に配向しているために TD 方向の CNF の補強効果が小さくなったためと考えられる。

そこで CNF の配向状態を評価するために、TMA (Thermomechanical Analysis) 法によって MD 方向および TD 方向の線膨張係数を評価した。その結果 MD 方向の方が TD 方向よりも線膨張係数が約 30% 小さい結果が得られ、CNF が MD 方向に配向していることが確認できた (Fig. 4)。アスペクト比の小さいタルクを用いた PP-タルク材では MD と TD 方向の線膨張係数差が小さく異方性はほとんどないため、CNF の樹脂複合体をエアコンケース等の製品に適用する際は、異方性を考慮した製品設計や金型設計が必要であることが分かった。

次に走査型電子顕微鏡 (SEM) 分析により CNF の分散状態を観察したところ、解繊・分散が不十分な数十  $\mu\text{m}$  サイズの CNF が確認された (Fig. 5)。それゆえ CNF の解繊・分散を進めて補強効果を高めることでも

弾性率の向上が期待されるため、解繊・分散を促進する添加剤配合や CNF とバイオ PE の混練条件の検討を推進している。強化材の CNF の増量により PP-タルク材と同等の曲げ弾性率を得ることも可能であるが高コストになるため、CNF の配合量は 10wt% 以下で CNF の補強効率の向上を進めている。

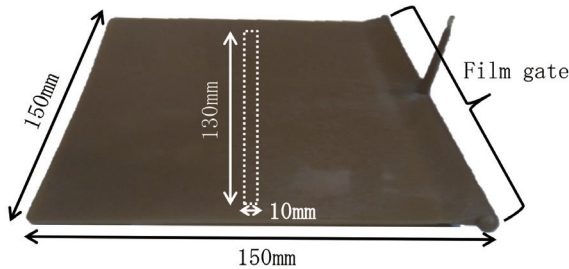


Fig. 2 Process position and shape of mechanical bending test piece

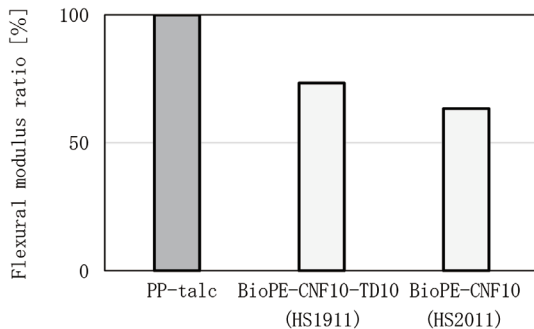


Fig. 3 Flexural modulus (TD) of PP-talc, bioPE-CNF10-TD10, and bioPE-CNF10

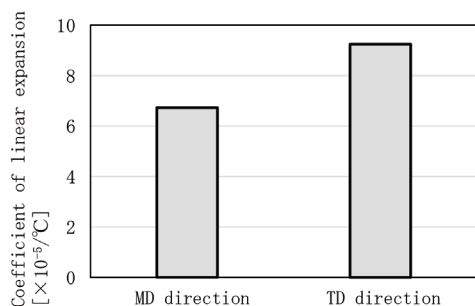


Fig. 4 Coefficient of linear expansion of bioPE-CNF10-TD10(HS1911)

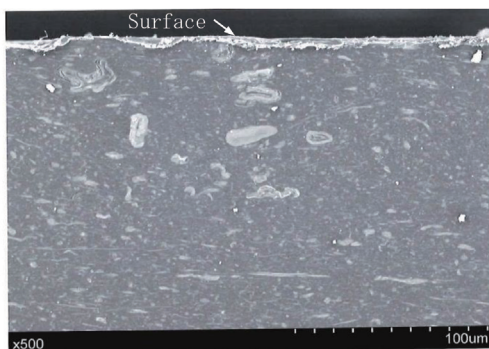


Fig. 5 Dispersion state of CNF in bioPE-CNF10-TD10(HS1911)

## 2.4 VOC 評価結果

バイオ PE-CNF10 が VOC 発生量に与える影響を明らかにするため、射出成形（射出温度：180°C）にて試験片（80mm × 100mm × 厚み 2mm）を作製し、成形直後における VOC（アセトアルデヒド）発生量を評価した。試験片を 65°C、2 時間加熱処理し、発生したガス成分を GC/MS にて分析し、得られたチャートの面積から各成分の発生量を算出した。バイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911) の試験片からは、アセトアルデヒドが現行の PP-タルク材（射出温度：200°C）の約 10 倍発生することが分かった (Fig. 6)。酸化防止剤を配合することで、バイオ PE-CNF10 (HS2011) のアセトアルデヒド発生量を約 20% 抑制できたが、PP-タルク材同等まで低減させることは困難であった。なお、バイオ PE の試験片からのアセトアルデヒドの発生量は PP-タルク材と同等レベルであり少なかった。耐熱酸化防止剤配合により VOC 量を低減できたため、バイオ PE-CNF10 の試験片からの多量 VOC の要因としては、成形時の熱履歴やせん断ストレスによる発熱でバイオ PE 以外の成分（CNF または疎水化処理剤）が熱劣化して VOC を生成したものと思われる。

そこで成形・加工条件による VOC 抑制検討として、①成形時の樹脂温度の低減、②シリンダー滞留時間の短縮、③アニール処理を検討した (Fig. 7)。①の成形時の樹脂温度については、10°C 低くすることで約 30% の VOC 量の低減効果が得られた。②のシリンダー滞留時間は成型機の一時停止による樹脂の高温での滞留による VOC 量への影響を調査したが、160°C では VOC の発生量はほとんど変化しなかったが、180°C で VOC 量は若干増加することが分かった。③の樹脂温度 160°C で射出成形した試験片を 80°C でアニール処理すると、処理時間とともに VOC 量は抑制でき、24 時間処理を行うと PP-タルク同等まで VOC 量を低減できた。以上の結果から、バイオ PE-CNF10 に印加する熱負荷は可能な限り小さくし、かつ生成した VOC をアニールにより除去することで、バイオ PE-CNF10 は課題の 1 つあった VOC に関してエアコンケースに適用できるレベルまで低減できることを確認した。しかし、生産工程でアニール処理工程を追加することは高コストにつながるため、VOC 量が少なくなる高耐熱なバイオ



PE-CNF の開発を進めている。

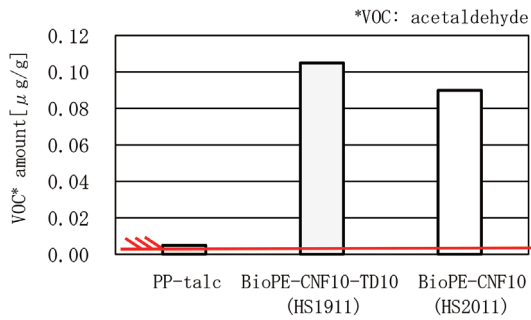
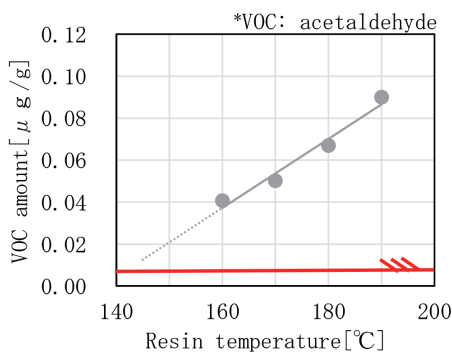
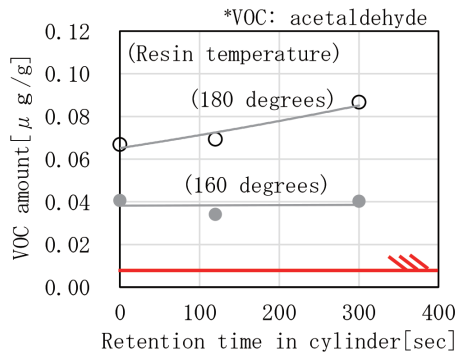


Fig. 6 VOC amount of PP-talc, bioPE-CNF10-TD10, and bioPE-CNF10

①Resin temperature vs. VOC amount



②Retention time vs. VOC amount



③Annealing time vs. VOC amount

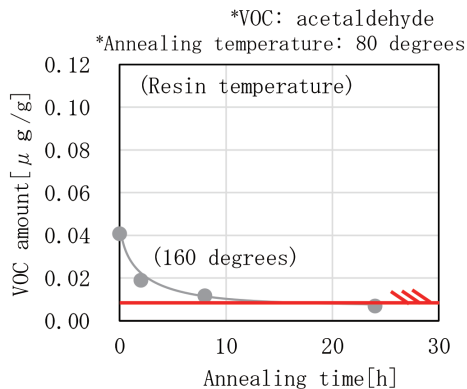


Fig. 7 Relationship between molding condition and VOC amount for bioPE-CNF10(HS2011)

### 3. バイオ PE-CNF のエアコンケース試作評価

#### 3.1 成形成立性の検証

試験片を用いた評価結果からバイオ PE-CNF は現行の PP-タルク材よりも粘度が高く、CNF の配向に起因する成形収縮率の異方性が考えられるため、成形不良(欠け、ショート部生成など)や反りが懸念される。さらに大物部品の成形では射出圧力が高くなるため、成形時のせん断発熱を考慮するとバイオ PE-CNF への熱負荷がシリンダー温度よりもかなり高くなる可能性があるため、CNF の疎水化処理剤の熱分解による VOC の増加が懸念される。そこでエアコンケースの構成部品のうち、大物部品であるブロワケース(アッパー)を用いて(Fig. 8, Fig. 9)、成形性、反り、及び VOC への影響を検証した。材料としてはバイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911) を用いて、現行の PP-タルクとの比較を行った。その結果を Table 3 に示す。

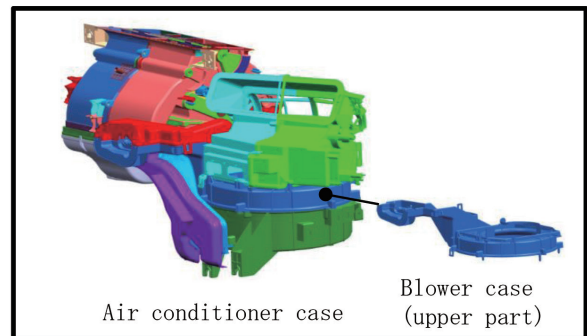


Fig. 8 Air conditioner case

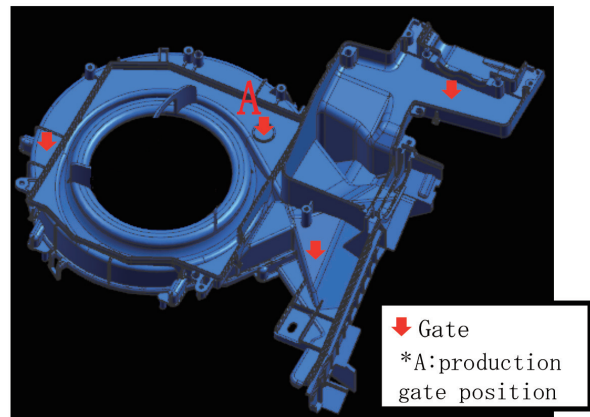


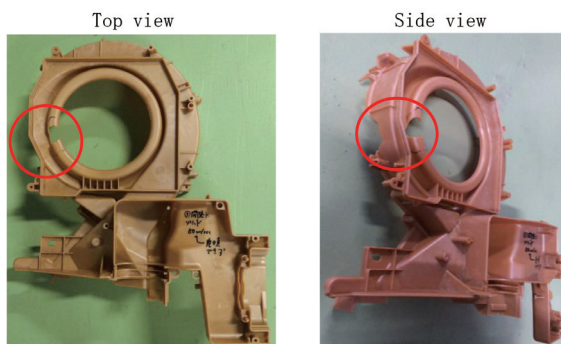
Fig. 9 Blower case (upper part) and gate position

Table 3 Influence of injection molding condition to moldability

Condition	Material	Injection temperature [degree]	Injection pressure (MAX) [MPa]	Injection rate (MAX) [mm/s]	Result*
①	BioPE-CNF10-TD10 (HS1911)	190	186	50	×
②		190	186	70	○
③	PP-talc	190	96	50	○

\*○ : Resin injection is completed, × : Resin injection is not completed.

バイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911) は、ナノコンポジット構造をしているため粘度が高く、現行の PP-タルクの成形条件（射出温度：190℃、射出速度：50mm/sec）では樹脂材料が未充填のショート部が発生した（Table 3 条件①、Fig. 10）。しかし、射出速度を 50 から 70mm/sec に速くすると、ショート部がない製品形状の成形が可能であった（Table 3 条件②、Fig. 11）。一方、現行の PP-タルク材を射出速度 50mm/sec で実施したところ、バイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911) の約半分の射出ピーク圧であった（Table 3 条件③：96 MPa vs. 条件①：186 MPa）。



○: Resin injection is not completed.

Fig. 10 Molded sample by molding condition ①

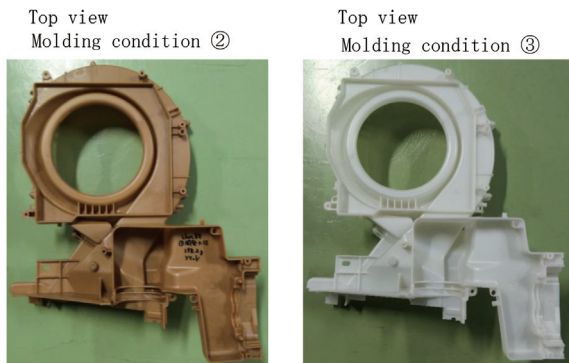


Fig. 11 Molded samples by molding condition ② and ③

次にタルクレス化して溶融粘度を低減させたバイオ PE-CNF10 (HS2011) を用いて成形性を評価した。この材料の成形性の検証では、エアコンケースの構成部品の中でも“複雑形状部品”や“大型部品”を含む主要な構成部品の成形性の確認を行った。また、これらの部品を組み付けることでエアコンケース ASSY の作製が可能のため、その ASSY 評価も実施した（後述）。成形した部品は Fig. 12 の①～④である。①及び②は複雑形状部品、③及び④は大型部品である。タルクを併用したバイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911) と同じ射出温度 190℃で成形を行ったところ、複雑形状部品①、②及び大型部品の④では射出速度 50mm/sec ではショート部が発生したが、射出速度を速くすること（約 60～90mm/sec）で、全ての部品をショート部無く成形することができた（Table 4）。さらにタルク入りのバイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911) では成形が不可能であった 190℃よりも低い射出温度で③の部品の成形トライを行ったところ、180℃だけでなく 170℃でもショート部無く成形できることが確認できた。射出温度の低減により CNF の疎水化処理剤の分解が抑制されるため、タルクレスのバイオ PE-CNF10 (HS2011) を用いることで VOC の発生を抑制することが期待できる。

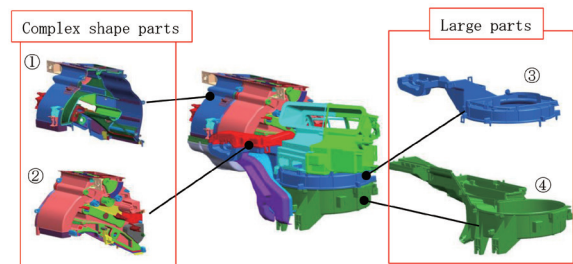


Fig. 12 Evaluated component parts of air conditioner case with bioPE-CNF10

特  
集

Table 4 Molding condition for each component part of air conditioner case with bioPE-CNF10

component part	Gate number	Injection temperature [degree]	Injection pressure (MAX) [MPa]	充填時間 [sec]	Injection rate (MAX) [mm/s]	Result*	Molding weight [g]
①	3	190	139	1.85	(57)**	○	442
②	3	190	138	1.81	(67)**	○	490
③	4	190	117	1.57	50	○	359
④	4	170	133	1.65	50	○	359
④	5	190	146	2.12	(91)**	○	606

\*○: Resin injection is completed, \*\*Estimated value

### 3.2 製品の反り評価結果

バイオ PE-CNF10-TD10 (HS1911) は、CNFの配向による線膨張係数の異方性を示したことから (Fig. 5), 製品形状の成形品では反りが懸念される。そこで製品の3Dスキャンによる形状測定を行い、反りの評価を実施した。サンプルとしては、Table 3の条件②、③ (射出温度 190°C, 冷却時間 30 秒) で成形したサンプルを用いた。Fig. 13 に金型と成形サンプルの形状乖離量をカラーマップにて比較した。バイオ PE-CNF10-TD10(HS1911) で成形したサンプルは現状の PP-タルクと比較して反りの状態は異なるが、製品全体での反り量 (金型製品モデルとの乖離量) はバイオ PE-CNF10-TD10(HS1911) では最大値  $\Delta$  4.2mm, PP-タルクでは最大値  $\Delta$  5.4mm とほとんど変わらなかった。このように今回の結果では、CNFの異方性による寸法悪化は部品では見られなかった。これは試験片と比べて製品は複雑形状であるため、CNFの配向が製品全体ではランダムになったことが要因の1つとして考えられる。

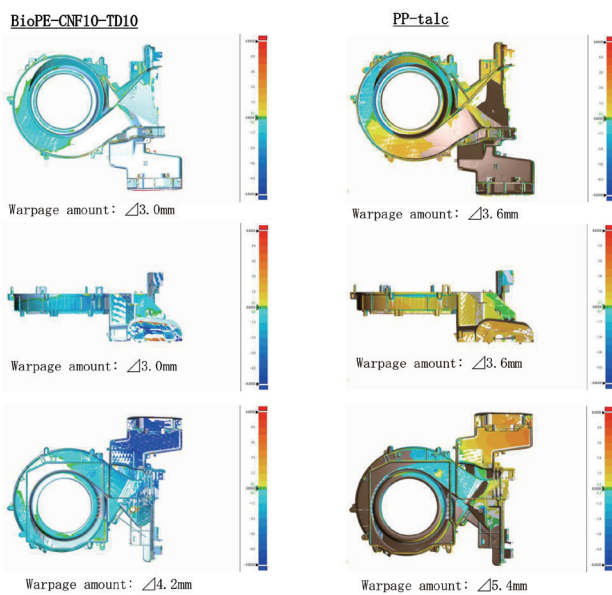


Fig. 13 Warpage evaluation result of molded component of bioPE-CNF10-TD10 and PP-talc by comparison with mold dimension

### 3.3 エアコンケース ASSY 評価の高温放置試験と熱衝撃試験

バイオ PE-CNF10 (HS2011, タルクレス) は量産エアコンケースで使用されている PP-タルク材に比べ、曲げ強度・曲げ弾性率が若干低い結果が試験片評価にて得られていたため、エアコンケース ASSY にした際に車両振動に耐え得る機械的強度を有するか確認するために実機評価を行った。実機評価に使用するエアコンケース ASSY サンプルは、解析により最大応力が印加される部位にはバイオ PE-CNF10 (HS2011) のエアコンケース部品を使用した (一部は現行の PP-タルク部品を使用)。今回エアコンケースを成形した金型は、バイオ PE-CNF10 (HS2011) 材料の成形収縮率までは反映できていない金型モデルであったが、切削加工で寸法調整をしなくても全ての部品を ASSY として組み付けることができた。これはバイオ PE-CNF10 (HS2011) が製品寸法で製作された金型で極めて製品に近い寸法で成形できたことを示している。

次にエアコンケース ASSY の評価を実施した。想定と異なりバイオ PE-CNF10 は、PP-タルクと同等の成形収縮率でありエアコンケース ASSY を作製することができたため、高温環境下に置いた際の熱ストレスによる寸法変化の影響を調査した。試験として高温放置試験と熱衝撃試験を行った。評価したエアコンケース ASSY の外観を Fig. 14 に示す。



Fig.14 Evaluated air conditioner case assembly



Table 5 Wind leakage amount from air conditioner case assembly after high temperature leaving test

◇ Wind leakage amount to the outside of air conditioner case assembly

Material	Measured Part	Wind leakage amount			Result*
		Initial [m/sec]	After test [m/sec]	Changed amount [m/sec]	
BioPE-CNF10	Case fitting part, door shaft penetration part, and outer circumference of heater core (packing seal part)	4.68	7.670	2.990	×
	MODE door seal part	0.047	0.109	0.062	○
PP-talc	Case fitting part, door shaft penetration part, and outer circumference of heater core (packing seal part)	0.750	0.85	0.100	○
	MODE door seal part	0.057	0.054	-0.003	○

\*○: Satisfaction of provisional specification, X: No satisfaction of provisional specification

◇ Sealing properties inside air conditioner case assembly

Material	Measured Part	Wind leakage amount			Result*
		Initial [m/sec]	After test [m/sec]	Changed amount [m/sec]	
BioPE-CNF10	VENT blowout part	0.016	0.012	-0.004	○
	DEF blowout part	0.032	0.079	0.047	○
PP-talc	VENT blowout part	0.011	0.013	0.002	○
	DEF blowout part	0.033	0.033	0.000	○

\*○: Satisfaction of provisional specification

高温放置試験の結果に関して報告する。本試験は製品の静的使用環境下で製品の品質として明らかな問題がないか確認する試験である。具体的には、エアコンケース ASSY が高温環境下で変形するなどにより風漏れの悪化がないかを確認した。風漏れ測定は全ての部品を組んだ状態で部品勘合部からの風漏れ量を試験前後で測定して比較した。また高温放置試験は夏場の炎天下放置された車室内を想定した高温環境で所定時間エアコンケース ASSY を放置する試験となっている。通常試験前後での風漏れ量が所定値以下であることを確かめるが、バイオ PE-CNF10 (HS2011) で成形したエアコンケース ASSY は成形収縮率まで考慮していない金型を流用した理由により、初期段階で風漏れ量の多い部位があったため暫定処置として試験前後での風漏れ変化量で検証した。結果を Table 5 に示す。バイオ PE-CNF10 エアコンケース ASSY は現行の PP-タル

クのエアコンケース ASSY と比較して、高温放置試験後に風漏れ量の変化が大きくなる部位が見られた。特にケース嵌合部、ドアシャフト貫通部及びヒータコア外周部から ASSY 外部への風漏れ量の変化が大きかった。これはバイオ PE-CNF10 (HS2011) は初期の隙間量が大きかったため、寸法変化による隙間量増加の風漏れ量への影響が大きかったことが考えられる。今後、高温放置試験による収縮率や反り量等の寸法変化量の調査を行っていく。初期の隙間量を小さくするには、バイオ PE-CNF10 (HS2011) 材料の成形収縮率をより正確に反映した金型を設計することで重要である。さらに材料の高温強度の向上及び製品板厚増加やリブの配置等の設計変更を実施することで、高温下の反り等の変形を抑制でき風漏れ量の規格を満足させることは可能と思われる。



次に熱衝撃試験の結果を報告する。この試験は所定温度範囲で急激な温度変化を繰り返す試験である。エアコンケース ASSY のような材質や形状の異なる複数の部品から構成されている製品の場合、急激な温度変化が印加されると材質や形状の違いに起因する寸法変化量の差が構成部品間に発生する。その結果として、製品機能上の問題を起こすことがある。製品機能の評価としては、前述の高温放置試験と同様の試験前後での風漏れ量の変化量について比較した。エアコンケース ASSY 内部に配置した風板により内部の圧力状態を複数パターン替えて、吹き出し部上部と下部の最大の風漏れ量を試験前後で評価した (Fig. 15)。熱衝撃試験後に風漏れ量は増加し、特に吹き出し部上部の風漏れ量の増加が大きくなった。熱衝撃試験後のエアコンケース ASSY の外観を調査したところ、風漏れ量が増加した部位では部品間の隙間が広がっていた (Fig. 16)。熱衝撃試験により部品間の隙間が拡大する要因としては、高温でのクリープ変形と温度変化の繰り返しによる疲労が考えられる。隙間部をさらに詳細に観察したところ、ビスで固定した箇所の近傍で亀裂 (割れ) が観測された (Fig. 17)。ビスの近傍では部品同士は密接しているのに対し、離れた箇所では部品の変形による

隙間が見られた。それゆえ、ビスで固定されている近傍の亀裂部には熱衝撃試験のストレスによる変形が発生し、その結果亀裂に至ったものと考えられる。この亀裂破面の SEM 観察を実施したところ、樹脂が伸びている様子が見られた。また、新品を折り曲げて強制破壊した破面を観察したところ、熱衝撃試験による破面と同じ樹脂の伸びが見られた。この結果から熱衝撃試験品は疲労ではなく、CNF の配向差に起因する熱変形ストレスによるクリープ破壊が発生したと推定される。成形収縮率をより正確に反映した金型を設計することで初期ストレスを低減するとともに、熱衝撃試験での寸法変化に起因するストレスを低減する製品設計を検討していく。

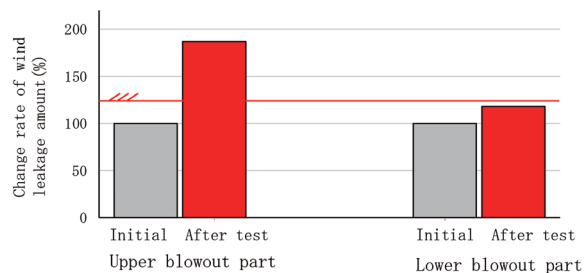


Fig. 15 Change of wind leakage amount after thermal impact test

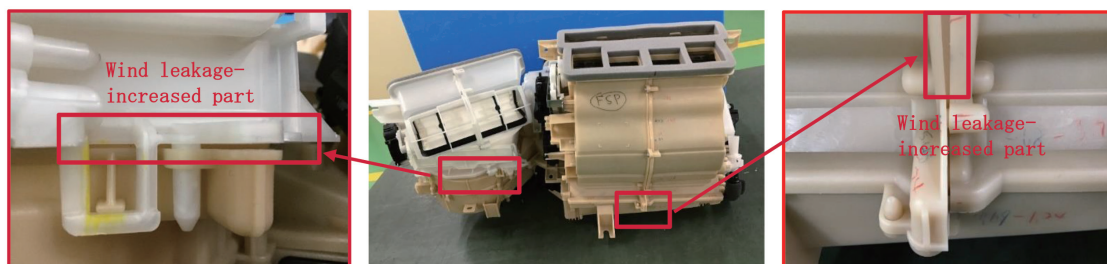


Fig.16 Wind leakage-increased part after thermal impact test

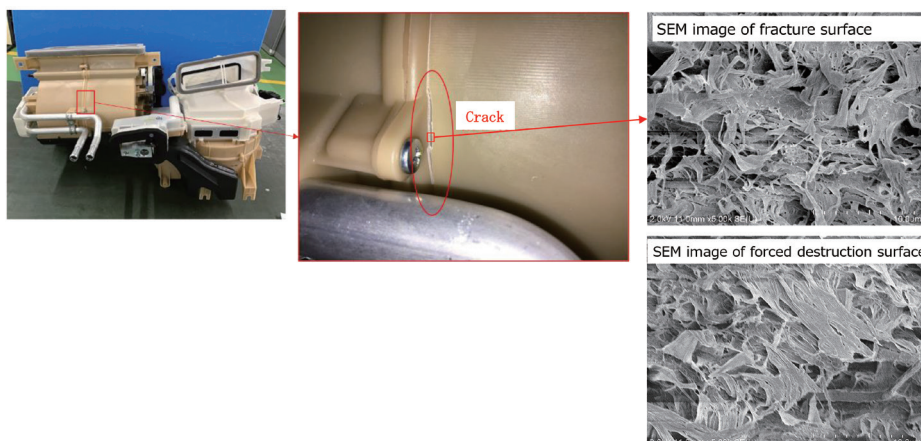


Fig.17 Observation of wind leakage-increased part after thermal impact test

## 4. むすび

バイオ PE-CNF10 は成形温度を 190°C まで上げて、射出速度を速くすることで成形可能な粘度まで低減させることができエアコンケースの作製が可能であった。試験片形状では CNF 配向の異方性が見られたものの複雑形状の製品では CNF の配向が抑制されたため、反り量は現状の PP-タルクと同等レベルであった。VOC 量は現行の PP-タルクの約 10 倍であったが、成形温度 170°C に下げて、アニール処理を行うことで同等レベルまで低減可能なが分かった。エアコンケース ASSY の耐久評価結果では、高温放置試験及び熱衝撃試験ともに試験後に風漏れ量の規格を若干満足しない部位が見られたが、この材料の成形収縮率を反映した金型を設計によるストレスを低減、材料の機械物性の向上及び製品板厚やリブの配置等の設計変更を検討することで対策は可能と思われる。本実機評価によりカーボンニュートラル材料であるバイオ PE-CNF10 のエアコンケースへの適用の可能性を示すことができ、今後 PP-タルクからなる他の自動車部品への横展開が期待される。

## 参考文献

- 1) 国土交通省, 運輸部門における二酸化炭素排出量, 2021
- 2) (株)シーエムシー・リサーチ, 「自動車用プラスチック部品の開発・採用の最新動向 2018」
- 3) IDEA インベントリーデータベース, ver. 2.3, LCA 活用推進コンソーシアム
- 4) 未来の自動車は植物で作る, 自動車技術 69(4), 71-76, 矢野浩之, 2015
- 5) 環境省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成果報告書, 2021

## 著者



**小島 和重**

こじま かずしげ

材料技術部 博士(工学)  
高機能樹脂材料の開発に従事



**後藤 伸哉**

ごとう しんや

材料技術部  
有機材料開発全般に従事



**田原 靖容**

たわら やすひろ

材料技術部  
高機能有機材料の開発に従事



**神谷 敏文**

かみや としふみ

サーマルキャビンシステム開発部  
エアコン開発に従事