

## カーボンニュートラルに向けたバイオ素材の活用

内田 均<sup>\*1</sup>, 田中靖昭<sup>\*1</sup>, 太田笑美子<sup>\*1</sup>

### Utilization of Biomaterials in Moving Towards Carbon Neutrality

Hitoshi Uchida<sup>\*1</sup>, Yasuaki Tanaka<sup>\*1</sup>, Emiko Ota<sup>\*1</sup>

#### 要旨

2050年のカーボンニュートラルへ向け、製品原材料のCO<sub>2</sub>排出量に相当するスコープ3に関わる高分子材料に対して、無駄なく使いきるためのリサイクル技術や薄肉軽量設計による省材料化などに取り組んでいる。サーキュラーエコノミーにも結びつく樹脂のリサイクルにおいて、回収樹脂の物性が低下している。そのため、通常はカスケードリサイクルに限定されているが、バージン材料並に向上させる独自の配合技術開発を進めている。さらに脱石油を進めるため、木質由来の素材に注目すると、植物によって生産・蓄積される森林由来炭素蓄積量は3,600億tであり、潜在的資源としての価値は一目瞭然である。そこで、木質由来の素材を原料とするバイオ素材の活用を進めている。本論文では、従来から検討しているセルロース材料が自動車部品へ適用された最近の進捗と、更なる木質資源の有効利用のための「改質リグニン」の検討についても進捗を報告する。

#### Abstract

In order to achieve carbon neutrality by 2050, we are working on recycling technology to fully use, without waste, polymer materials associated with Scope 3 corresponding to CO<sub>2</sub> emissions from product raw materials, and on saving materials through thin-walled and lightweight designs. In plastic recycling, which is linked to the circular economy, the physical properties of recovered plastics have deteriorated. Therefore, it is usually limited to cascade recycling, but we are developing a unique compounding technology that improves the quality of recycled materials to the same level as virgin materials. Furthermore, when we focused on materials derived from wood to help us move away from petroleum, we found that the amount of forest-derived carbon produced and stored by plants is 360 billion tons. The value of plants as a potential resource is obvious. This led us to use biomaterials derived from wood as a raw material. In this paper, we report the recent progress in applying cellulose materials to automobile parts, which has been considered for some time, as well as the progress in investigating glycol lignin for the effective use of wood resources.

#### 1. はじめに

豊田合成は持続的に成長可能な循環型社会の実現を目指して環境負荷低減に取り組んでおり「サーキュラーエコノミー(CE)とカーボンニュートラル(CN)を技術で“架橋(つな)ぐ”と表し、自動車部品のライフサイクル全体(以下LCA)での環境負荷低減に取り組んでいる(図-1)。

図-1において架橋(つな)ぐとは、我々が高分子材料を自動車部品へ使用する際に、ゴム弾性を与える架橋技術を駆使していることにかけている。架橋反応は高分子間を架橋剤で化学的につなぐ(橋掛け)ことで発現するゴムならではの特

性である。

環境負荷に配慮しながら持続発展するためには従来の石油由来の材料を無駄なく使うことの省資源化と脱石油を進める必要がある。

本報告では脱石油の観点からのバイオ材料の取り組みを報告する。

\*1 材料技術部 材料開発室

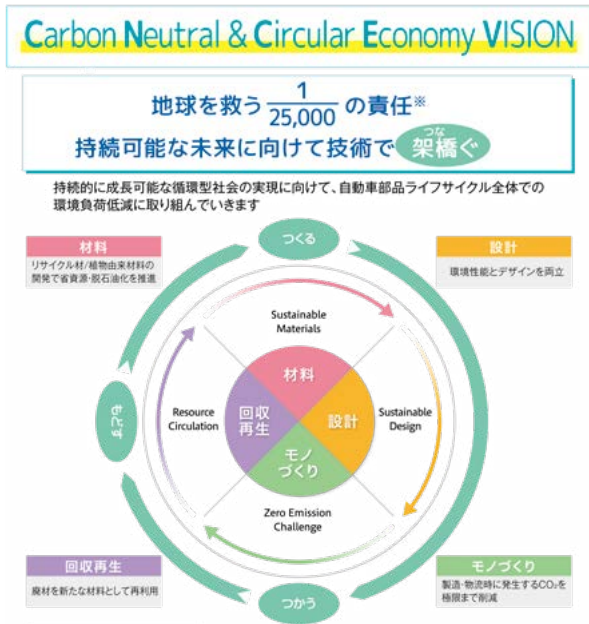


図-1 豊田合成の環境負荷低減に向けた考え

2. 背景と目的

2-1. グローバルに広がるバイオ材料

脱石油へ向けたバイオ材料の活用はグローバルで広がっている。例えば、米国では主要都市（シアトル市等）でプラスチック製品（買物袋、ストロー等）の規制が始まっている。環境に対して先進的なEUにおいては“使い捨てプラスチック製レジ袋削減指令”が発令され、堆肥化可能及び生分解性プラスチック袋がラベリングされることが要求されている。

日本においても、2030年に世界最先端のバイオエコノミー社会の実現を目標として提示するバイオ戦略2020において、バイオプラスチックが市場領域の一つに位置付けられている。特に、経産省においては、環境負荷低減に資するバイオ製品の導入支援策の検討が期待されている。<sup>1)</sup>

サーキュラーエコノミーを提唱する環境省のプラスチック資源循環戦略において、2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入することを示しており、日本においては、これからバイオプラスチックおよびバイオ素材の活用が大幅に増していくと想定される。

2-2. バイオ材料の自動車部品への適用

豊田合成においては、先記のバイオ材料の活用拡大へ向けた動きよりも以前から、バイオ素材の自動車部品への適用検討を進めている（表-1）。図-2に通用事例を示す。

表-1 自動車部品へのバイオ素材の適用

材料種	機能	適用製品	
ポリマー	ナイロン 11 (ひまし油)	低吸水性、耐寒性	フューエルチューブ ①
	ナイロン 610 (ひまし油)	低吸水性、寸法安定性	ウォーターパイプ ②
	ポリカーボネイト (トウモロコシ由来)	良外観	オーナメント、レジスター ③④
オイル	菜種油、亜麻仁油	耐候性 (ゴムの可塑性)	CVJブーツ ⑤
ファイラー	コルク	シール性	ガスケット ⑥

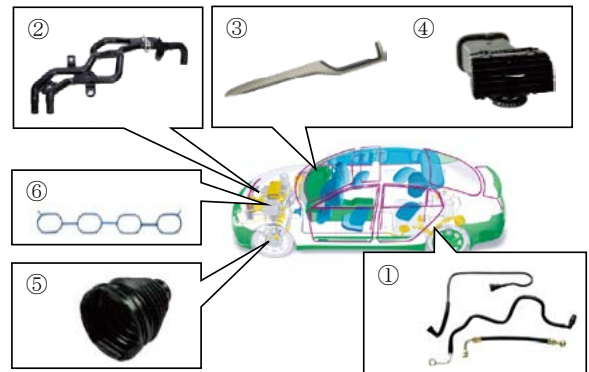


図-2 自動車部品への適用事例

これらは、脱石油へ向けたバイオ材料活用ではなく、材料特性に優れる点から選定されている。ナイロン 610 を例にすると、本材料はトウゴマから抽出されるひまし油を原料に化学重合を進めることで得られる素材で、100% バイオ原材料から製造されている。その分子構造から、結晶性が抑制され低温での耐衝撃性や耐屈曲性に優れるほか、ナイロン材料の課題である吸湿による弾性率変化や寸法変化が少ない。そのため、常に水にさらされる水冷の冷却配管への適用が可能となったものである（図-3）。

他の素材についても同様に、石油由来の素材では得られない特徴を有することで、価格面で不利な状況であっても採用を獲得してきた。

「ウォーターアシストインジェクション工法」を新たに導入し、冷却水に対する耐久性などを考慮したナイロン 610 材を選定し、樹脂化を実現した。



図-3 金属の樹脂化を果たした冷却配管 (ナイロン製品)

豊田合成において、引き続きバイオ素材の大幅な利用拡大を進めるには、汎用ポリマーのポリプロピレン (PP)、エチレンプロピレンゴム (EPDM)、ポリウレタン (PU) の材料種類へ、利用を拡大する必要がある。

### 2-3. 木質バイオマスの活用

「バイオマス」とは、生物資源 (bio) の量 (mass) を表す言葉であり、「再生可能な、生物由来の有機性資源 (化石燃料は除く)」のことを呼ぶ。そのなかで、木材からなるバイオマスのことを「木質バイオマス」という。

日本は国土の約7割が森林に覆われており、森林蓄積は人工林を中心に毎年約1億 m<sup>3</sup> 増加している。しかしながら、豊富な森林資源が十分には利用されていないのが現状で、特に間伐材等の林地残材の利用率は24%程度にとどまっており、その有効利用が課題となっている。

森林を構成する個々の樹木等は、光合成によって大気中の二酸化炭素の吸収・固定を行っている。森林から生産される木材をエネルギーとして燃やすと二酸化炭素を発生するが、この二酸化炭素は、樹木の伐採後に森林が更新されれば、その成長の過程で再び樹木に吸収されることになる。

再生可能な生物由来の資源を活用する観点から、製材やエネルギー燃料といった従来の木材利用とは異なる分野に応用可能な木質系新素材の実用化に向けた研究開発が進んでおり注目を集めている。

木材の成分は約50%のセルロースと約30%のリグニンなどから構成されている (図-4)。

豊田合成においても、新たな産業資材として期待されているセルロースナノファイバー (以下CNF)、及び加工性に優れた様々な樹脂等の石油由来製品の代替としても利用できる「改質リグニン」<sup>2)</sup>の実用化に向けた技術開発を進めている。改質リグニンは森林総合研究所の山田博士により開発された、リグニンを工業利用可能となるように改質された新素材である。このような新技術により未利用木質資源が付加価値の高い製品へと生まれ変われば、新たな価値・木材需要の創出や林業の成長産業化につながると期待される。

本検討においては、CO<sub>2</sub>削減とサーキュラーエコノミーの素材供給を目的に、活用の広がりが予想される木質バイオマスの自動車部品への適用を目指して、従来から検討を進めているCNF材料の進捗を報告し、さらには改質リグニンの取り組みについて報告する。

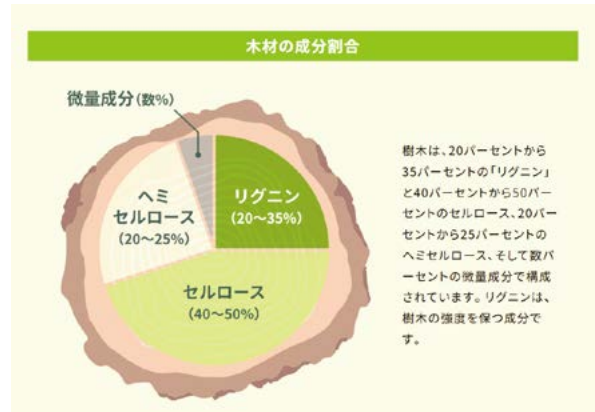


図-4 木材の構成成分<sup>3)</sup>

## 3. CNF 材料の最近の結果

### 3-1. CNF とは

バイオフィラーであるCNFは、近年、注目度が更に高まっている素材で、森林資源、農業廃棄物等を原料としながら、鋼鉄の5分の1の軽さで5倍の強度等の特性を有するとされている (図-5)。



図-5 CNFの特徴<sup>4)</sup>

現状において、CNF素材は社会実装への期待が高いにもかかわらず、化粧品やインク、塗料の添加剤としての採用にとどまっている。これらは粘度調整機能に注目されて採用が進んでいると予想される。2020年以降の筐体、キャパシタ、車部品への普及が進んでいない理由について、CNFは高強度、軽量に優れた特性のポテンシャルがあるものの、まだ十分に、その特徴を引き出せる“材料”として取り扱いが難しい。

豊田合成は、'20年度よりセルロースマッチング事業 (NCM) に参画し、その成果を公表した<sup>5)</sup>。



独自の配合設計と混練技術を活用することで、一般PP並みの耐衝撃性を有する材料を提供することが可能となった。PPよりも高剛性化することで、PP比較で薄肉の製品とすることが可能となった。その結果、部品のLCAを低減することを具現化した(図-6)。



図-6 CNF活用のねらい

### 3-2. CNF-PPコンパウンドの進化

引き続き、市場価格へのマッチングや自動車部品としての性能確保を目標に材料検討を継続している。その一つとして、更にサーキュラーエコノミー(CE)を目指す検討を進めている。

廃車からのリサイクル材料を原料に、CNFで補強することで剛性を確保して、バンパー to バンパーの水平リサイクルを実現した。最新の取り組みとして豊田合成の樹脂リサイクル-CNF技術がLEXUSの環境配慮型オフロード車、LEXUS ROV<sup>※</sup>に採用された(図-7)。

※ Recreational Off highway Vehicle の略。レスポンスの良さと、五感を刺激するサウンドを楽しみながらオフロード車でも行けない場所へ一歩踏み込み、自然と触れ合う事で、自然と共生しながら、走りを楽しむライフスタイルの実現を目指すコンセプトカー。



搭載部品(フード、バンパー)

図-7 LEXUS ROV 搭載事例

廃車から回収されるバンパー材料は、バンパー塗装が施されており、バンパー基材のPPとプライマーにより密着性を確保している。そのため基材側は密着性が確保されているもの、暴露側はPPとの密着しない熱硬化の樹脂で構成されている。そのため回収したPP製バンパー内に異物として存在し、さらに、様々な材料メーカーの素材が混ざり合っているため、バージン材料と比較して剛性に劣る材料となっている。

そこで、低下した剛性をUPさせるため、CNFによる強化を試みた。結果を表-2に示す。

表-2 CNFにより改良された開発材の物性

材料		開発材	バンパーリサイクル材
材料物性	引張強度(MPa)	20	19
	引張弾性率(MPa)	1,800	1,600
	熱変形温度(°C)	107	96
	比重	1.06	0.98

その結果、引張弾性率と熱変形温度について、外装部品で使用できるレベルの剛性と耐熱性を確保できた。また、CNFの分散状態を電子顕微鏡を用いて観察したところ(図-8)、CNFがエラストマーで包埋されたモルホロジーに制御されていることがわかった。このモルホロジー制御により外装部品へ適用可能なレベルの耐衝撃性が得られたことが明らかとなった。

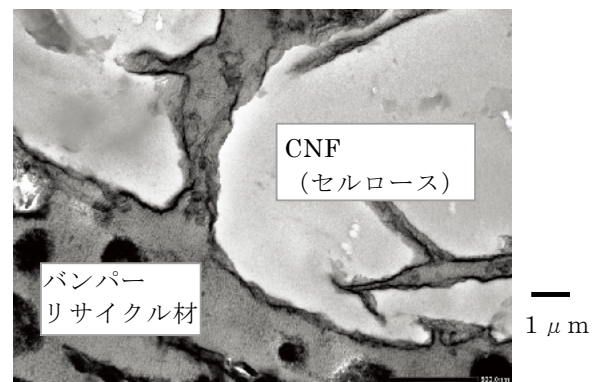


図-8 モルホロジー評価結果

しかしながらPPとセルロースの界面の厚みが薄く、界面制御を更にコントロールすることによる特性の向上が望まれる。

### 3-3. CNFのシート部材への拡大

CO<sub>2</sub>削減を目的とするCNFの適用拡大において、アクリル意匠パネルへの適用を検討している。これはアクリルシートとCNF素材を積層した

“CNF 配合シート”で、アクリルシートの剛性を高めるとともに破損時の飛散抑制と、新しい意匠を狙うものである。

CNF 配合シートは大手製紙メーカーより種々販売されている。それらは緻密に CNF が絡まり合うことで、シート自身の強度を高める目的で開発が進んでいるようである。

本検討において、環境対応や新しさを演出するための加飾素材として CNF を捉えている。つまり、長繊維状のパルプと組み合わせることで、柔らかい光の風合いと材料の強度確保の両立を狙う(図-9)。



図-9 CNF とパルプの併用<sup>5)</sup>

ここで本シートの状態は“紙”であり、このままでは車両内装部品への適用ができない。そこで、アクリルシートを積層することで剛性を確保した。一方でアクリルシートは耐衝撃性が低く破壊時に飛散するため、車室内への適用が難しい。

そこでセルロース層と組み合わせることで、破壊時の飛散を抑制する(図-10)。

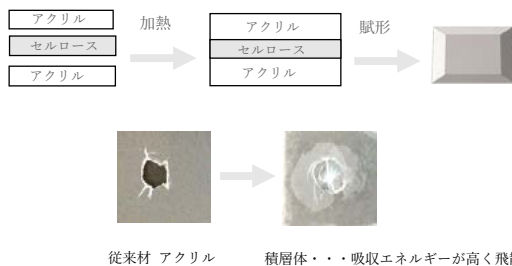


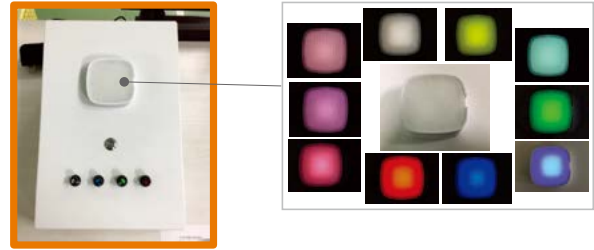
図-10 積層体の構造とパンクチャー破壊衝撃後の状態

本積層体を照明カバーに適用した事例を図-11に示す。消灯時はLED光源をカバーで隠すと同時に、発光時は光源をばかす効果が見られ、結果として柔らかい光が表現できる。

光のコントロールについて、一般的にはガラスビーズなどで調整をする。その場合、耐衝撃性の低下が激しく車室内に適用することはできない。

耐熱性においても、セルロース積層体の補強性により強化され、アクリル板の薄肉化が可能となる。

今後は3D形状への賦形へチャレンジし、複雑形状の内装部品への適用を進めていきたい。



セルロースにより発光部位を隠して柔らかい光を演出

図-11 照明カバーへの応用事例

## 4. リグニンの検討

### 4-1. リグニンとは

リグニンとはフェニルプロパノイド骨格を有するモノリグノールが重合してできる生物由来の不定形高分子である。そのため、規則的な構造を有する合成高分子と比べて、選択的な分解・解呪号を行うことは難しい。そこで、「改質リグニン」<sup>2)</sup>と言われる日本固有の樹木「スギ」から作るバイオ由来の新素材が注目されている。

森林総研の山田博士が開発した改質リグニンはポリエチレングリコール(PEG)改質リグニンの略称で、PEGリグニンやグリコールリグニンとも呼ばれ、極めて高い加工性と機能性を持つ(図-12)。

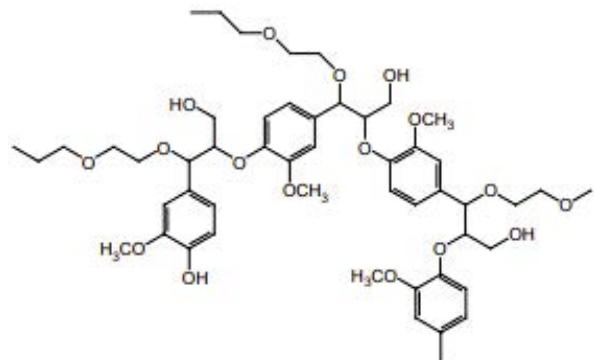


図-12 改質リグニンの一部の構造<sup>2)</sup>

改質リグニンはリグニンを原料とするが、リグニンそのものではない。同様に、紙パルプ製造で副産されたリグニン分解物から作られたクラフトリグニン、アルカリリグニン、リグニンスルホン酸などもリグニンそのものではなく、リグニンを原料として作られた物質といえる。

豊田合成はリグニンネットワーク(地域リグニン資源開発ネットワーク)に加わり自動車への適用を目的に検討を進めている(図-13)。

改質リグニンの製品展開例



図-13 改質リグニンを活用した製品事例<sup>2)</sup>

4-2. リグニンネットワークでの成果

豊田合成は株式会社天童木工と共同で、ハンドル部品への改質リグニンの適用を検討している。ここでは改質リグニンをポリアミドに配合し、ガラスファイバーとの相溶化剤として配合した。

ハンドルの意匠板として検証した結果、射出成形時の特異的な異常は見られず、組付け後の仕様においても、ポリアミドからのリグニンのブリードもなく、従来のリグニン未配合と同様の使用感であった(図-14)。今後、基材のポリアミドを非石油由来の樹脂に代替し、ガラスフィラーの部分をセルロースなどの素材へ代替することで、オール植物由来の意匠基材が得られる可能性が見いだせた。



図-14 ハンドルの意匠板へのCNF適用

5. まとめ

カーボンニュートラルを目指して、木質素材を中心に、従来の石油由来の材料を低減する技術開発を進めている。

木質素材の活用は、自動車部品に求められる耐久性や、今後のサーキュラーエコノミーを見据えたりサイクル性、低コスト化による市場マッチングなど、まだまだ課題が多い。

今後は、様々な木質素材の、早期実用化を目指して開発を進める。

謝辞

本技術の開発に関わる全ての関係者に厚くお礼申し上げます。

木質素材の活用材料を実用レベルで使用することは非常に難しく困難な事も多くあると想定されますが、未来へ継続的に樹脂・ゴム材料を使用するために必須の技術と思います。

今後は本技術を発展させ実装することでCO<sub>2</sub>を低減し地球環境保護にも貢献できるように尽力していきたいと思っています。

参考文献

- 1) 経済産業省, バイオ小委員会 第11回産業構造審議会他
- 2) リグニンネットワーク  
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/matechem/about.html>
- 3) 農林水産省, <http://www.maff.go.jp/aff/2209>
- 4) 環境省  
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cnf.html>
- 5) ナノセルロースプロモーション  
<https://CNF-ncp.net/deliverable2.html>
- 6) ナノセルロースジャパン  
<http://www.nanocellulosejapan.com>

著者



内田 均



田中靖昭



太田笑美子