

100%バイオマス由来原料からなる「キャストロン」について

ユニチカトレーディング(株)技術開発部
玉林 倅

近年、カーボンニュートラルという言葉をよく耳にする。カーボンニュートラルとは、温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させることを表している。カーボンニュートラルへの世界的な動きの先駆けとしては、2015年12月にCOP21にて地球規模の課題である気候変動問題の解決に向けたパリ協定の採択がある。この協定では、世界共通の長期目標として世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つ(通称2℃目標)ことが採択され、今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡を達成すること等を合意した。この実現に向けて世界が取組を進めており、120以上の国と地域が公平な合意を結んでいる。国連気候変動に関する政府間パネル(IPCC)「IPCC1.5度特別報告書」によると、産業革命以降の温度上昇を1.5度以内におさえるという努力目標(1.5度努力目標)を達成するためには2050年近辺までのカーボンニュートラルが必要という報告がされている。

こうした背景に加えて各国の野心的な目標の引き上げなどの気運もますます高まっており、「2050年のカーボンニュートラル実現」を目指す動きが国際的に広まっているのが現状である。これを受けて2020年10月当時の菅内閣総理大臣の所信表明演説で政府は“2050年までに温室効果ガスの「排出を全体としてゼロ」にし、カーボンニュートラルを目指すこと”を宣言している。「排出を全体としてゼロ」というのは、二酸化炭

素をはじめとする温室効果ガスの「排出量」から植林、森林管理などによる「吸収量」を差し引いて合計を実質的にゼロにすることを意味している。

また、カーボンニュートラルの達成のためには温室効果ガスの排出量の削減並びに吸収作用の保全及び強化をする必要がある。ここ最近では2021年11月に日本経団連から「経団連カーボンニュートラル行動計画」が策定され、各企業団体の脱炭素社会へ向けた取り組み方針が示された。脱炭素社会へ向けた取り組みは各企業団体が取り組まなければならない課題となってきた。(1)

カーボンニュートラルを目指す目的は、大きくは温室効果ガスを抑制し、気候危機を回避することにある。環境省からのデータでは、世界の平均気温は2017年時点で工業化以前(1850~1900年)と比べて既に約1℃上昇したことが示されており、このままの状況が続けば更なる気温上昇が予測されている。気候変動による影響は、海水面の上昇、サンゴ礁の死滅、食料の安全確保に対するリスク増加、大気汚染、熱波など様々な面で地球環境にかかわっている。現在のように温室効果ガスを排出し続けた場合、Fig.1に示すように1986-2005年平均と比較して2050年頃に約2℃・2100年頃に約4℃の気温上昇が考えられているが、温室効果ガスをほぼゼロとした場合、気温上昇を抑えられるとされている。(2)

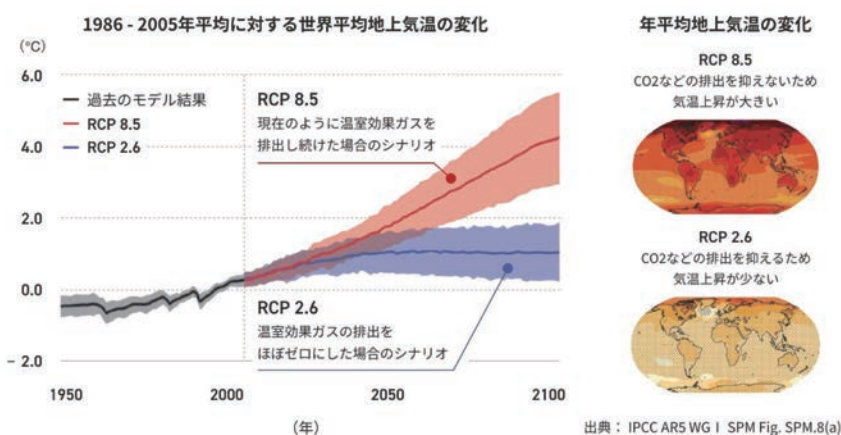


Fig.1 Representative Concentration Pathways (代表濃度経路)ごとの将来の気候を予測

このような背景の中で環境配慮型素材が注目を浴びており、弊社ではポリ乳酸を原料とする 100% バイオマス由来原料からなる「テラマック」、石油由来原料+バイオマス由来原料のポリアミド 56 からなる短繊維を使用した紡績糸「BEAMEX-eco+」やバイオベース PTT の短繊維を使用した「バルバー® Made with Sorona® Polymer」を展開するとともに、マテリアルリサイクル原料を用いた機能繊維群「サステナブル・エコフレンドリーマーク」を冠する素材の開発に努めてきた。

カーボンニュートラルの観点からは、今後よりバイオマス比率の高い素材が求められている。その筆頭であるポリ乳酸は、その生分解性が環境面で注目されている一方、PET 等の汎用合成繊維に比べると耐熱性に乏しく、生分解性のコントロールが難しいという点で衣料品・産業資材用途での用途展開が限られることが過去からの課題となっている。

そこで当社は衣料・産業資材用途への展開が可能な 100% バイオマス由来であるポリアミド 11 に着目し、繊維化の検討を進めた結果「キャストロン」を開発し、上市するに至った。

「キャストロン」の概要、特徴、製造プロセス

1.1 「キャストロン」の概要

「キャストロン」は弊社のポリアミド11からなる糸・生地繊維素材である。「キャストロン」は、ヒマヤトウゴマと呼ばれる植物の種子であるヒマシから抽出されるヒマシ油:リシノール酸を原料とし、そこから生成されるポリアミド11ペレットを繊維化してなる糸及び生地であり、100%バイオマス原料で構成されている。



Fig.2 トウゴマから「キャストロン」への一連の流れ

Fig2 に示すように、ポリアミド11の原料はトウゴマである。

トウゴマはアフリカ原産の植物であり、インド、中国、ブラジルなどで栽培されているが、トウゴマの8割はインド西部にあるグジャラート州で栽培されている。

グジャラート州は、やせた荒野が広がる地域で短い雨季以外はほぼ雨が降らない、非常に過酷な地域である。人々は乾燥に強いキビを主食にしているが、現金収入が得られないため貧困が問題であった。そこで徐々に栽培が広がっていったのがトウゴマである。トウゴマは乾燥に強く、やせた土地でも育つ。また、元々が砂漠に近い荒地で栽培されており、森林破壊を招かない。多くの農家は比較的良質な土地で食用作物を栽培し、最もやせた土地でトウゴマを栽培するようになった。このようにトウゴマは、食べ物を育てるのが難しい土地でも育ち、食料生産を邪魔しにくいという特徴がある。

トウゴマ自体には栄養価値はなく、人も家畜も食べられないため食料競合しない。人口が増え続け、食糧増産が必要な現代では今後重視されるポイントである。

上述の通り「キャストロン」はトウゴマを原料とすることで、以下のメリットがあるといえる。

- ①乾燥に強く、やせた土地でも栽培が可能である。
- ②トウモロコシやサトウキビなどの食用とは異なり、食べることができない植物であるので食料競合をしない。
- ③現地での労働力確保により貧困改善へ貢献できる。

1.2 「キャストロン」の製造プロセス

トウゴマからポリアミド11を得る製造方法について以下説明していく。

ヒマシ油からポリアミド11のモノマーとなる11-アミノウンデカン酸の合成ステップ (Fig.3)

- ①トウゴマから精製されたヒマシ油 (リシノール酸トリグリセリド) をメタノールでエステル交換すると、リシノール酸メチルが得られる。この時副生成物としてグリセリンが発生する。
- ②リシノール酸メチルをクラッキング (加熱分解) することによって、ウンデシレン酸メチルが得られる。
- ③ウンデシレン酸メチルを加水分解すると、ウンデシレン酸とメタノールが得られる。この時得られたメタノールはステップ①にて再利用する。
- ④ウンデシレン酸に臭化水素を付加し、臭化ウンデシレン酸を得る。
- ⑤臭化ウンデシレン酸にアンモニアを加え、求核置換反応により、11-アミノウンデカン酸が得られる。*(3)

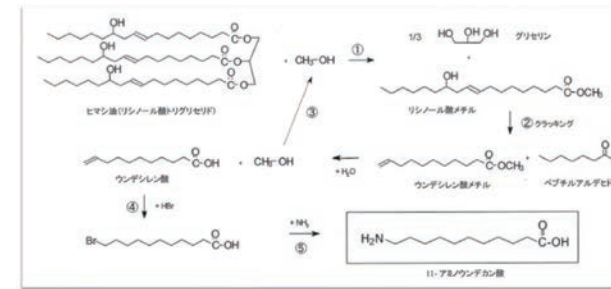


Fig.3 ヒマシ油からポリアミド 11 のモノマーとなる 11-アミノウンデカン酸の合成ステップ

ポリアミド 11 の重合ステップ (Fig.4)

ポリアミド 11 は、この 11-アミノウンデカン酸 (モノマー) を縮重合することで得られる。11-アミノウンデカン酸は固相・無触媒で加熱するだけでも重合するが、工業的には触媒の存在下で重合が行なわれている。*(3)



Fig.4 ポリアミド 11 の重合ステップ

1.3 「キャストロン」の構造と特徴

ポリアミド11はFig.5に示すように比較的長いメチレン鎖を有し、ジグザグ状の分子鎖間のすべてのC=O基とNH基の間で水素結合されている。このように分子鎖が繋がっており、さらには奥行き方向に積層されていくため、コンパクトで強固な結晶構造を呈する。

メチレン鎖が長く (単位ユニットあたりのアミド基濃度が低い)、水素結合に由来する高い融点 (融点: 185°C) を有し、優れた機械特性 (特に低温を含む耐衝撃性)、耐摩耗性、低吸水性、低温での柔軟性、低比重で軽量などの特徴をもつ。このポリアミド 11 の低比重、低吸水性は、結晶性ポリアミドの中で最も低い部類に属している。耐衝撃性や耐薬品性などのポリアミドの特性を必要とし、かつ吸水による種々の影響 (膨潤、寸法変化、機械物性変化など) を避ける必要がある用途に対して魅力的な点となる。また、自動車用途向けの各種チューブ類 (燃料チューブなど) にポリアミド11が重用されているのは、その柔軟性や耐燃料性、押出成形加工性、組立加工性によるものである。

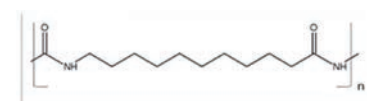


Fig.5 ポリアミド 11 の構造式

1.4 ポリアミド11の特徴

弊社はこのような特徴を持つポリアミド11を用いて紡糸することで、糸及び生地を展開している。「キャストロン」の特長について説明するにあたり、ナイロン6、ポリエステル、ポリ乳酸と比較する形で、Fig.6に示した。

	ナイロン11 「キャストロン」	ナイロン6	ポリエステル
原料	非食用植物由来 (トウゴマ)	石油由来	石油由来
比重 (g/cm ³)	1.03	1.17	1.38
水分率 (%) 20°C×65%RH	1.0	4.5	0.4-0.5
耐摩耗性	◎	○	△
寸法変化率	○	×	◎
低温での柔軟性	◎	×	—

Fig.6 キャストロン® の特徴

まず第一に、「キャストロン」は、石油由来原料を使用したナイロン6、ポリエステルとは異なり、バイオマス 100% 素材である。われわれが取り扱っている樹脂のペレットについて、自社で LCA 計算を行ったところ、ポリアミド 11 は繊維グレードのナイロン 6 に比較して CO₂ の排出量が少ないとの結果が得られている。ポリ乳酸の様に生分解性はないが、ポリ乳酸がトウモロコシ・芋などの食用植物を原料としているのに対して「キャストロン」は非食用植物であるトウゴマを原料としており、食料競合しない。

第二に、比重が他の 3 素材よりも小さく、軽量であるという特長がある。

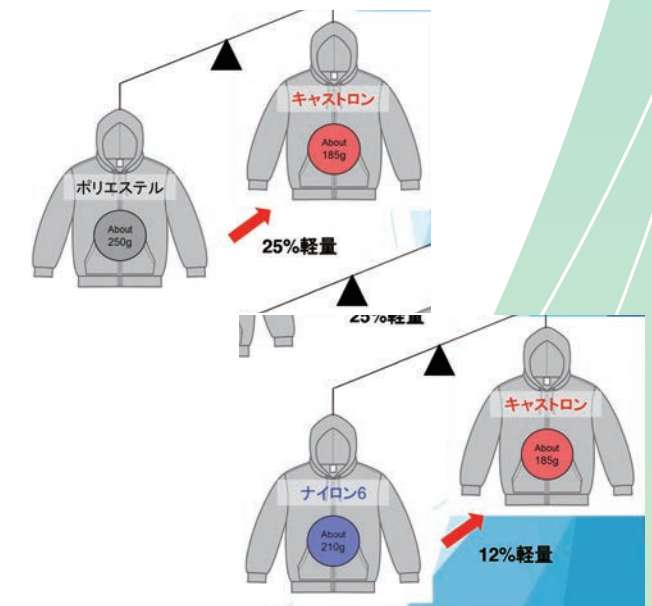
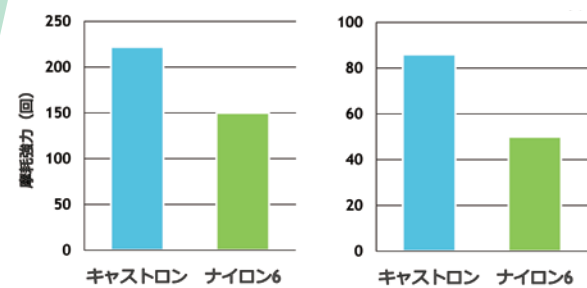


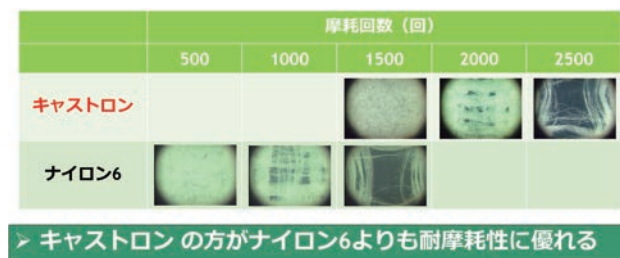
Fig.7 キャストロン、ポリエステル、ナイロン 6 比重比較結果

一例として、素材ごとのマウンテンパーカー 1 着の重さの比較を実施した。Fig.7 に示すように、ポリエステル素材のマウンテンパーカーが約 250g のとき、ナイロン6素材は約 210g、「キャストロン」は約 185g となり、「キャストロン」はポリエステルに比べて約 25% ナイロン 6 に比べて約 12% 軽量となる。

第三の特徴として高い耐摩耗性が挙げられる。一般的にナイロンはポリエステルよりも耐摩耗性が高いことが知られており、特にアウトドアメーカーではザックなどでこすれるアウター素材にはナイロン生地の使用が多くなっている。



※JIS L 1096: ユニバーサル法 ※JIS L 1096: ユニホーム形法
Fig.8 「キャストロン」とナイロン 6 の耐摩耗性比較結果 (左:織物 右:編物)



*JIS L 1096 : ユニバーサル法
Fig.9 「キャストロン」とナイロン 6 の耐摩耗性比較結果

Fig.8は、一般衣料に適した78dtexの糸を100%使用した生地について「キャストロン」とナイロン6を比較した結果を示している。織物、編物共にナイロン6比較で、高い摩耗性が見られた。

Fig.9は940dtexの糸を100%使用したカバン地のような分厚い生地での比較結果である。このような厚手の生地でも大きな差が見られる。

今後の用途展開

当社は、「キャストロン」の特長を活かし、衣料用途や資材用途を軸に検討している。特に環境への意識が高い企業からの注目度が高く、衣料用途ではアウトドアアパレルのウェアやシューズ、資材用途ではバッグやペン芯材などへの用途展開を進めている。

今後はアウトドア以外のスポーツアパレル、一般アパレルに向けての用途展開や、産業資材用途の拡大も検討している。

また、さらなるサステナブル推進のため、「キャストロン」の生産廃材を利用したリサイクルについても、今後さらに検討を進めていく予定である。

引用文献

- (1) 経済産業省:
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/carbon_neutral_01.html
- (2) 環境省:
https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/
- (3) Seikei—Kakou Vol.24 No.8 2012:
ヒマシ油由来ポリアミド—ポリアミド11の特長