



成形加工性に優れた環境配慮型セルロース繊維強化樹脂 CELRe®の開発

Development of Environmentally-Friendly Cellulose Fiber Reinforced Resin CELRe with Excellent Molding Processability

金 幸慶*
Jeakyung Kim

中島康雄*
Yasuo Nakajima

伊倉幸広*
Yukihiro Ikura

須山健一*
Kenichi Suyama

〈概要〉

CELReは、環境負荷が少ない高強度の植物由来セルロース繊維を使用し、二軸押出機による高度な混練技術で樹脂中にセルロース繊維を高分散させたセルロース繊維強化樹脂である。CELReは従来の熱可塑性樹脂と同様に射出成形が可能で、成形条件の調整により優れた流動性と成形性を示す。また、適切な含水率管理や乾燥処理により、高品質な成形品が得られる。更に、リサイクル性が高く、物性の劣化が少ないため再利用が容易である。これにより、CO₂排出量の削減と資源の有効利用が促進され、持続可能な社会の実現に貢献する。今後、CELReは環境への配慮と技術革新が求められる現代において重要な材料として多くの産業での応用が期待される。

1. はじめに

セルロース繊維は、植物由来の繊維で環境負荷が少なく、軽量かつ高強度といった優れた特性を有するため、ポリプロピレン(PP)などの樹脂と複合化し、自動車部品や構造部材への適用が望まれている。しかし、セルロース繊維は親水性であり、PPなどの汎用な疎水性樹脂と親和性が低い。そのため、セルロース繊維強化樹脂の実用化に際して、疎水性樹脂中でセルロース繊維が分散せず凝集する課題があった¹⁾。

そこで、古河電工における光ファイバケーブルや電力ケーブルなどの製造で培ってきた押出機を用いた樹脂混練技術を活かし、パルプと熱可塑性樹脂を二軸押出機で混練し、ワンステッ

プでセルロース繊維を樹脂中に高分散させる技術確立した。

CELReはセルロース繊維のナノ化や疎水化を経由せず、熱可塑性樹脂にセルロース繊維を直接分散する独自プロセスにより、ナノセルロース繊維を用いた繊維強化樹脂に比べて必要とするエネルギーが少なく、低コストでの製造が可能である(図1)。

CELReのセルロース繊維は二軸押出機中にて樹脂との混練中に解繊され、樹脂中に分散しており、そのセルロース繊維のサイズは約50~700 μmである。つまり、CELReのプロセスはマイクロサイズのセルロース繊維を樹脂中に分散する技術である(図2)。



図1 CELReの製造プロセス
Manufacturing process of CELRe.

* 研究開発本部 マテリアル研究所

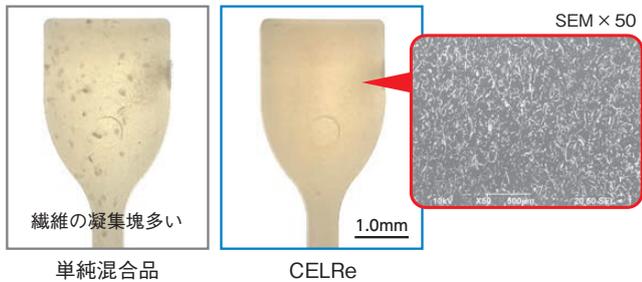


図2 独自技術でセルロース繊維を樹脂中にマイクロサイズで高分散
Well-dispersion of cellulose fibers in resin at a micro size using our own technology.

2. 成形加工性

セルロース繊維を強化材として使用する樹脂には熱可塑性樹脂が用いられる。この熱可塑性樹脂の成形方法としては、射出成形が最も一般的である。射出成形は他の成形方法と比較して、複雑な形状の製品を短期間で作製するのに適しており²⁾、自動車、家電、オフィス機器などの各分野で広く使用されている。

このセルロース繊維強化樹脂は、バイオマスの利用によりカーボンニュートラルに貢献できるだけでなく、優れた機械的強度も持っている。更に、CELReはセルロース繊維濃度が51%以上にも関わらず、従来の熱可塑性樹脂と同様に、射出成形機と金型を使って成形することが可能という優れた成形加工性も持っている。図3はCELReを使用した成形品の実例である。次節では、CELReの射出成形性について更に詳しく紹介する。

2.1 流動性の影響

セルロース繊維を熱可塑性樹脂に混合することで、加熱して溶融する際の流動性が低下する。熱可塑性樹脂の射出成形性を評価する際によく用いられる指標としてメルトフローレート(MFR)があるが、これは静的な条件下で測定されるため、測定中の樹脂にかかるせん断応力が射出成形時のそれよりも非常に小さく、実際の成形時の挙動と必ずしも一致しない。そのため、実際の射出成形時の樹脂流動性や成形性の評価には、スパイラルフロー試験が用いられる³⁾。この試験では、スパイラル状の溝が刻まれた金型を使用し、一定条件下で射出成形を行い、樹脂の流動長を測定する。これにより、成形温度、射出速度、

射出圧力に対する樹脂流動長の依存性を確認することができる。

図4、5には、CELReのスパイラルフロー試験の結果を示す。CELReのベース樹脂であるポリプロピレンと同様の成形条件では、スパイラル流動長が短くなる傾向が見られたが、射出圧力や成形温度を調整することで、ポリプロピレン単体と同等のスパイラル流動長が得られることが分かった。これにより、適切な成形条件を設定することで、セルロース繊維強化樹脂が汎用樹脂のポリプロピレンと同様に射出成形可能であることが確認された。

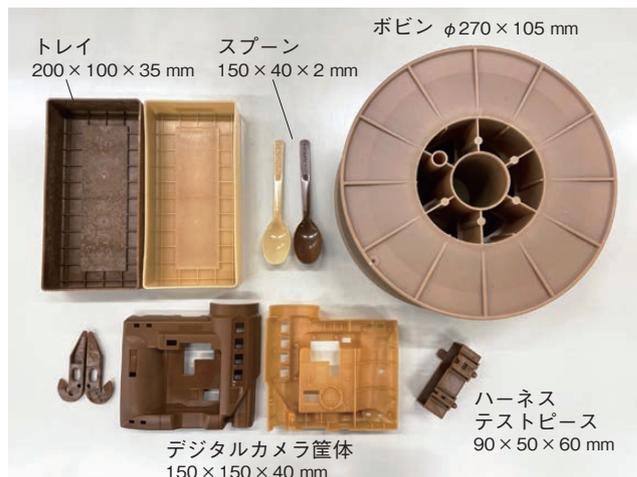
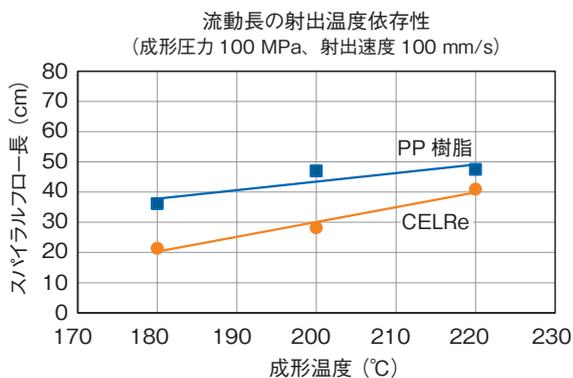
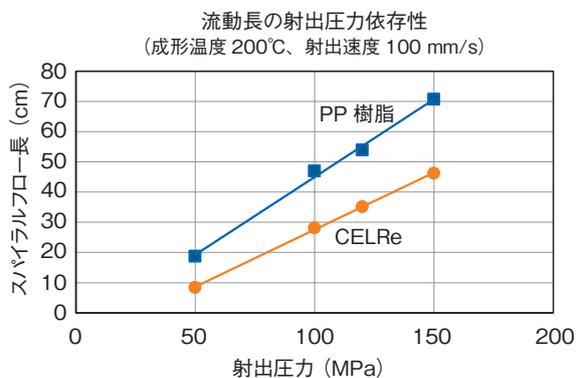


図3 CELReを用いた様々な成形品の例
Examples of Various Molded Products Using CELRe.



図4 CELReのスパイラルフロー試験例(左から射出圧力 50 MPa, 100 MPa, 150 MPa)
Examples of spiral flow test of CELRe (from left: injection pressure 50 MPa, 100 MPa, 150 MPa).



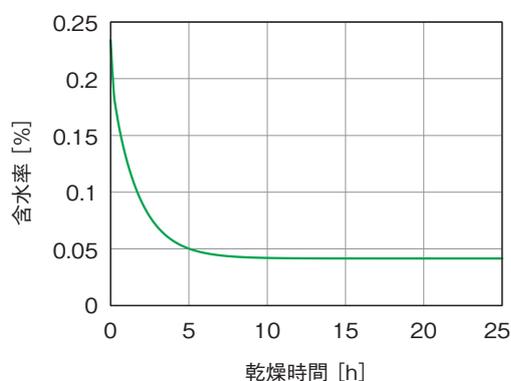
※スパイラル形状：アルキメデス型スパイラルフロー金型 巾幅5 mm、厚み3 mm ※テスト用成形機：18 ton

図5 スパイラルフロー長の射出圧力と、射出温度依存性
Dependence of spiral flow length on injection pressure and injection temperature.

2.2 含水率の影響

樹脂の含水率は射出成形性に直接的な影響を与え、最終的な成形品の品質を左右する。過剰な水分を含んだ状態で射出成形を行うと、成形品の表面に銀条や気泡が生じたり、分解ガスが原因でショートショットや焼けが発生しやすくなる⁴⁾。特にセルローズ繊維強化樹脂では、セルローズ繊維が吸湿性を持っているため、大気中の水分を吸収しやすい特性がある⁵⁾。そのため、セルローズ繊維を含まない熱可塑性樹脂と比べ含水率の管理が重要であり、射出成形前の適切な予備乾燥が不可欠である。

例えば、図6に示すように、CELReは、大気中に放置すると約0.2%の含水率まで湿気を吸収する。これを80℃で5時間以上乾燥することで、含水率を0.05%まで低下させ、安定した状態に保つことができる。この含水率で射出成形を行った場合、成形品には発泡や焼けなどの外観不良が見られないことを確認している。



予備乾燥条件

乾燥機種類	箱型熱風乾燥機
乾燥温度	80℃
乾燥時間	5時間以上
特記事項	バットに敷いたペレットの厚さを3 cm以下とする

図6 CELReの含水率と成形前予備乾燥条件
Moisture content of CELRe and drying Conditions before injection molding.

この実例からも分かるように、セルローズ繊維強化樹脂を取り扱う際には適切な乾燥処理が不可欠であり、それによって優れた成形性と高品質な成形品が得られる。

2.3 成形収縮

樹脂製品は射出成形後、冷却が進むときに体積が減少する。この現象を成形収縮と呼ぶ⁶⁾。そのため、成形金型は材料の成形収縮を見込んで、最終的な製品寸法が設計寸法に一致するように設計される。特にポリプロピレンのような結晶性樹脂は、射出成形後の冷却過程で結晶構造を形成するため、成形収縮率が高い特長がある⁷⁾。

しかし、ポリプロピレンにセルローズ繊維を加えると、この成形収縮率を低減させることができる。図7に示したように、セルローズ繊維の含有率が高まると成形収縮率が減少し、特に含有率が40%以上になると安定して低い成形収縮率となることを確認した。



ポリプロピレン樹脂

CELRe 成形品
(セルローズ繊維 51%)

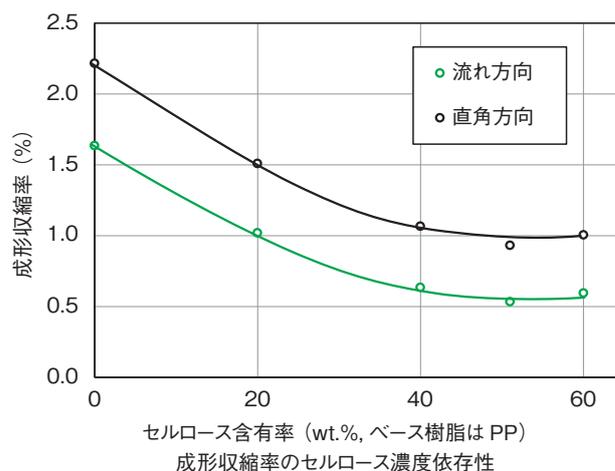


図7 CELRe成形品の成形収縮率
Molding shrinkage rate of CELRe molded products.

3. 持続可能な社会への貢献

持続可能な社会の実現に向け、世界各地で資源の再利用や化石資源の利用削減が活発に取り組まれている。その中で、セルローズ繊維強化樹脂が注目されている。この材料は、従来のナフサを原料とする樹脂素材に代わり、バイオマスであるセルローズ繊維を使用することで、石油資源の節約とCO₂排出量の低減に貢献する。更に、このセルローズ繊維強化樹脂は、成形品としての優れたリサイクル性も持ち、さらなる環境保護への寄与が期待されている。

3.1 CO₂排出量削減

図8は、CELReの製造プロセスにおけるカーボンフットプリントである。ここで、セルローズ繊維の約41%は炭素で構成されており、1.0 kgあたり1.5 kgのCO₂を貯蔵しているとみなせる。この特性を考慮して、セルローズ繊維の製造時には1.1 kgのCO₂が排出される一方で、その貯蔵能力を差し引き、最終的なカーボンフットプリントを計算している^{8)~10)}。この計算により、石油由来のポリプロピレンに51%のセルローズ繊維を添加すると、ポリプロピレンのCO₂排出量より約60%のCO₂削減ができることが分かった。

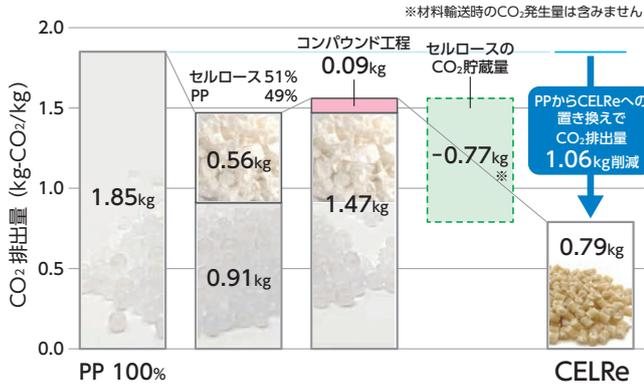


図8 CELReのカーボンフットプリント (Cradle-to-Gate)
The carbon footprint during the manufacturing of CELRe (Cradle-to-Gate).

3.2 マテリアルリサイクル性

セルロース繊維強化樹脂には、リサイクル性においても卓越した特性が見られる。この材料は、成形品を粉砕した際にセルロース繊維が切断されにくいいため、強度の低下がほとんど起こらないことが確認されている。例えば、図9では、CELReを使用した射出成形品を粉砕し、再生材100%で再度射出成形するプロセスを繰り返した際の強度変化を示した。その結果、CELReは4回の再生を繰り返しても引張強度を90%以上保持した。これにより、セルロース繊維強化樹脂を再使用すること

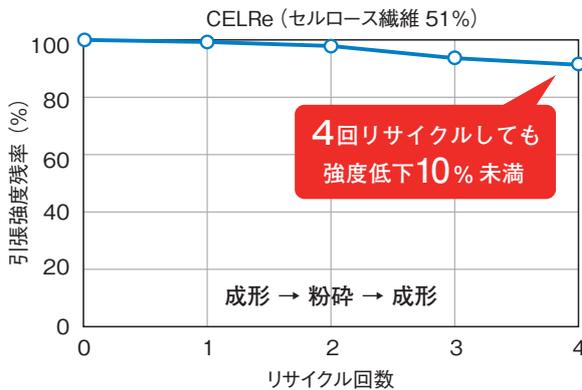


図9 リサイクル回数によるCELReの引張強度残率
Residual rate of tensile strength CELRe with multiple recycling cycles.



図10 CELReのクローズドループリサイクル
Closed-Loop Recycling of CELRe.

で、製品の資源投入量および消費量を大幅に削減することが可能となる。

3.3 クローズドループリサイクル

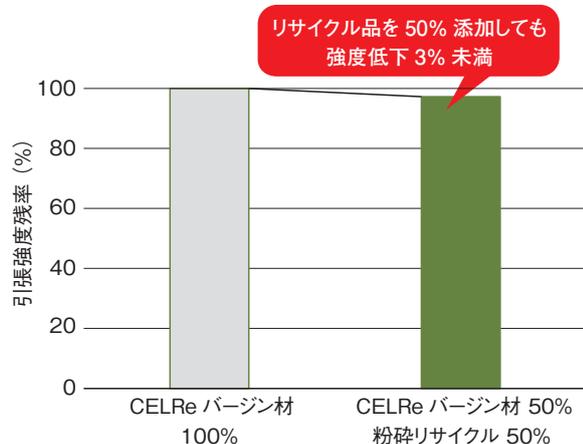
循環型社会の実現を目指す中で、使用済みの自社製品を回収し、再び新たな自社製品の素材として利用するクローズドループリサイクルという仕組みがある。このシステムには、効率的な回収システムの構築に加え、品質を維持できる高度なリサイクル技術の開発が必要とされるが、例えば、3.2に示したようにCELReは複数回のリサイクルが可能な材料である。

図10に示したCELReは、その典型例である。この材料は、製造過程で発生する端材(スプールランナーなど)を粉砕し、再び射出成形に利用しても、成形品の強度がほとんど低下しない。この特長により、クローズドループリサイクルシステムが実現され、結果としてCO2排出量の削減や廃棄物の量を大幅に減少させることが可能と考えられる。このような取り組みは、持続可能な未来への確かな一歩であり、環境負荷を軽減しつつ、高品質な製品を提供する新しい道を拓くものである。

3.4 バイオマスマーク

昨今、プラスチックの使用量を極力削減し、環境負荷の低減を実現する素材として、木質材料であるセルロース繊維を多量に含む樹脂複合体が注目されている。

従来、セルロース繊維強化樹脂は、樹脂に少量のセルロース繊維を分散させた樹脂複合体が主に検討されてきた。しかし、



環境負荷低減(カーボンニュートラル)の観点から、プラスチックをできる限り木質材料に置き換えることが試みられるようになってきた。つまり、セルローズ繊維を多量に含有する樹脂複合体の創出が期待されており、その実現に向けた検討が進められている。

その一環として、CELReのKCP511グレードは、第三者機関(一般社団法人日本有機資源協会)認定の「バイオマスマーク50」を取得済みである(図11)。ナフサを原料とする従来の樹脂材料をバイオマス材であるセルローズ繊維強化樹脂に置き換えることで、石油資源の節約とCO₂排出量の削減に貢献する。



図11 CELReのバイオマスマーク
Biomass Mark of CELRe issued by Japan Organics Recycling Association.

4. おわりに

セルローズ繊維強化樹脂CELReの特性に焦点を当て、その魅力を紹介した。セルローズ繊維強化樹脂は一般的に流動性が低く、高い吸水性を持つため、射出成形には適していないと思われることがあるが、CELReは、適切な成形条件を設定することで、実際には従来の汎用樹脂と同様に高い射出成形性能を発揮することが可能な材料である。

最近の地球温暖化や石油資源の枯渇といった環境問題に対する関心の高まりから、バイオマス素材であるセルローズ繊維を使用したセルローズ繊維強化樹脂の需要は今後ますます増加すると予測されている。CELReは、2023年度から10トン/月の製造体制を整え、サンプルの提供を開始している。今後もCELReを通じて、製品のCO₂削減やリサイクルの推進に貢献し、持続可能な社会の実現を目指していく。

※CELReは日本における古河電気工業株式会社の登録商標です。

参考文献

- 1) 吉田穰: CNFが均一分散した複合樹脂の開発について, 成形加工, 35 (2023), 108.
- 2) 龍野道宏: 射出成形, 成形加工, 31 (2019), 254.
- 3) 坂本健, 安藤正義: 射出成形における樹脂の成形性と試験法, 高分子化学, 19 (1962), 351.
- 4) 中尾好幸, 榎原弘之, 小島道雄, 鈴木裕: 成形不良の低減を実現する通気構造を有する金属光造形金型に関する研究, 2006年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 791.
- 5) 仙波健: セルローズナノファイバーとプラスチック, Seikei-Kakou, 30 (2018), 361.
- 6) 亀田隆夫, 高橋辰宏, 小山清人: AS樹脂射出成形品の成形収縮率分布に与える保持圧力の影響, Seikei-Kakou, 17 (2005), 571.
- 7) 高島直一, 水谷邦男: ポリプロピレンの射出成形, 高分子, 12 (1963), 504.
- 8) S.V. Joshi, L.T. Drzal, A.K. Mohanty, S. Arora: Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 35 (2004), 371.
- 9) C.S. Boland, R.D. Kleine, G.A. Keoleian, E.C. Lee, H.C. Kim, T.J. Wallington: Life cycle impacts of natural fiber composites for automotive applications: Effects of renewable energy content and lightweighting, Journal of Industrial Ecology, 20 (2016), 179.
- 10) 仲山伸二, 矢口時也: 紙パルプ製品のLCAのためのLCI試算方法, 紙パ技協誌, 56 (2002), 1035.