

## バイオ複合プラスチック

## —射出成形等ができる次世代ウッドプラスチック材料「i-WPC」—

三宅 仁\*

## はじめに

2012年ヨーロッパ委員会は、地球の気候変動を抑制するため「バイオエコノミー」を提唱し、EU各国に対して「バイオエコノミー」に貢献できる研究開発計画の策定を指示した。「バイオエコノミー」とは、再生可能な循環・生物資源を用いて、食糧はもとよりエネルギー、日用品・工業材料その他の付加価値製品に転換し、これにより科学技術進化と産業のイノベーションを大規模に行うことである。この「バイオエコノミー」の最終目標は、2050年で二酸化炭素排出ゼロであり、更に端的には、石油・石炭等の化石原料からの脱却である。つまり「原材料の産業革命」ということができる。EUはこの産業革命を大まじめに断行しようとしているのである。

2015年に合意された「パリ協定」や、フランス、イギリス、ドイツにおいて2040年にガソリン車・ディーゼル車を廃止するといった大胆な決定は、実はこの「バイオエコノミー」の一環であることを、残念ながら大多数の日本人は知らない。

最近日本でも、環境に関心の深い企業団体が「SDGs（持続可能な開発目

標）」を掲げ始めており、やっ和日本にも小さな波がやってきた。近い将来、産業界は環境問題を抜きにしては存続することが難しい状況になるに違いない。酷暑の夏や異常な降雨や台風が警鐘を鳴らしているように思う。

近年ヨーロッパでは、「バイオエコノミー」材料の研究開発がもの凄い勢いで始まっている。本稿の次世代ウッドプラスチック複合材（i-WPC）も、3年前までは世界の最先端を走っていると自負していたが、今やヨーロッパでは普通の材料になりつつある。その予感から私たちは、ブロー成形やシート成形、真空成形まで視野に入れたWPC材料の開発にもトライしている。

## 1. ウッドプラスチックの沿革

ウッドプラスチック、WPC（Wood Plastic Composite）は、文字どおり木粉とポリマーの複合材料であり、日本では1993年にミサワホームが木粉とPVCの押出複合材を内装材として発売して以来<sup>1)</sup>、リサイクルプラや廃木材が利用できる優れた材料として知られる。現在日本では約3万ton/年が腐らない木材として、主に屋外のウッドデッキやルーバー等のエクステリア材、公園施設材に使用されている。一方、欧米では150万ton/年、中国でも50万ton/年の需要があるといわれているが、日本では市場の余地は大きいもののコスト高により今一つ普及が進ん

でいない状況にある。

しかしながら現状のWPC材は、国内外を問わずほとんどすべてが長尺の押出成形品であり、複雑な形状に射出成形できるWPC材料は技術的に大変困難とされてきた。射出成形が可能になれば、工業製品や日用品を含めたプラスチック製品の幅広い用途に適用でき、比較的安価で豊富な木粉が原料として使えるメリットが見込める（図1）。筆者が知る限り過去40年ほど前から現在に至るまで、射出成形できるウッドプラスチック材料をめざして業界では大企業をはじめ多くの企業で研究開発されたが、いずれも満足できる射出成形可能なWPC材料の企業化はなされていない。それは、次に述べる理由であると推察する。

樹脂にフィラー（WPCの場合は木粉）を添加すれば、必然的に溶融粘度は著しく増大するが、射出成形の場合は溶融粘度を低く抑える必要がある。一方、木粉を含めた植物の主要成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンのうち、セルロース・ヘミセルロースは、図2のように200℃を超えると熱分解が徐々に始まり230℃を超えると顕著になる。従って、成形時の樹脂温度は200℃以下であることが必要となり、射出成形要件に温度制限が加わることになる。もし溶融粘度を下げようとして樹脂温度を上げたならば、木粉の熱分解により作業が困難になるほどのひどい臭いとヤケにより黒

\* Hitoshi Miyake  
アイコンボロジ(株) 代表取締役  
Tel. 03-6410-7077  
Fax. 03-6410-7078



図1 射出成形WPCの概念図

く変色した成形品になるだけでなく、金型やシリンダにも悪影響を与えることになる。

つまり、木粉添加による溶融粘度の増大と樹脂温度の制限という二律背反の条件をクリアする必要があることから、制限温度以下でコンパウンドの溶融粘度を大きく下げることが根本的な必要条件となる。

## 2. 先進・次世代ウッドプラスチック「i-WPC」(Innovative Wood Plastic Composite)

近年ポリマー加工の各分野で多くの技術進展があった。ベースポリマーでは高流動グレードの開発、添加剤分野では新規な相溶化剤や減粘材の開発、装置面では低エネルギー製造機の汎用化、更には複合技術や成形技術の創意工夫といった複合的な改善因子をうまく合体させることによって、大袈裟な表現ではあるが奇跡的にWPC材料の溶融粘度低減が実現できた。その結果、不可能とみられていたWPCの射出成形が、熱分解による臭いやヤケもなく汎用の射出成形機で可能になった。もちろん金型やシリンダの傷みもなく通常の成形と同様にショット数を稼げる。

### 2.1 特徴

成形体の物性の特徴としては、フィラー複合材料の理論どおり表1に示す

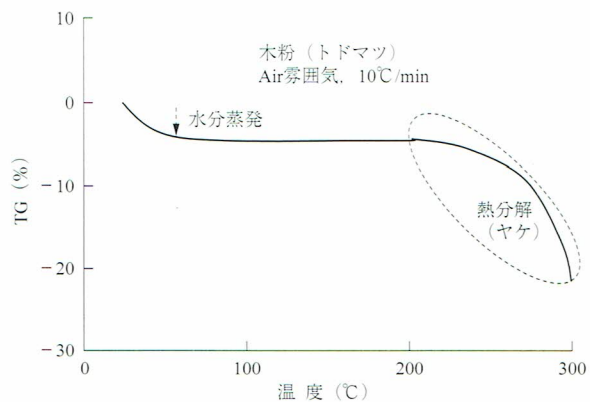


図2 木粉の熱重量分析 (TGA)

表1 次世代ウッドプラスチックの物性

試験項目	試験方法	単位	汎用 ポリプロピレン	次世代WPC 「シムシーズ」	
				木粉31wt%	木粉51wt%
比重	JIS K-7112	—	0.91	1.025	1.101
引張り試験	破断強度	MPa	35	—	35
	降伏強度	MPa	—	32	—
	伸び	%	—	5	< 5
曲げ試験	曲げ強度	MPa	41	↗ 46	↗ 55
	弾性率	MPa	1,350	↗ 2,000	↗ 3,570
シャルピー 衝撃試験	衝撃値	JIS K-7171	kJ/cm <sup>2</sup>	3.3	2.9
熱変形温度	1.80MPa	JIS K-7191	°C	—	↗ 71
	0.45MPa	°C	100	↗ 115	↗ 130

ように、曲げ弾性率と熱変形温度の大きな向上が確認された。柔らかい木粉を添加することで樹脂が丈夫になるのかという一見不思議に思われることも

あるが、木粉は粉にすることで木材細胞内の気泡相がつぶれてなくなるため、結果的にセルロース、リグニン等の剛直な有機物固体（木粉フィラーの

正体)がポリマーのなかに分散されることなり、理論どおり弾性率と熱変形温度が向上するものと考え。

また、木材の細胞気泡相がつぶれてなくなるため木質成分の真比重(約1.3)が反映されることから、木粉含有率が増すほど得られるWPCの比重は増加する。ポリプロピレン(PP)の比重は約0.9であるが、木粉51wt%含有のWPCでは1.1程度に増加する。

無着色の場合、得られる成形品の色は木の色がそのまま反映されるが、顔料添加によって様々な着色が可能である。木粉の大き目の粒子が梨地のように浮き出て、独特のしっとり感・ぬくもり感が表現され多くのデザイナーに評判が良い。また、PP基材品においても比較的容易にペイント塗装やその他の手法で表面デザインができること、更に表面PPスキン層をサンディング等により取り除くことで、シアノアクリレート系をはじめ酢ビ系接着剤でも接着可能なことが分かった。接着面に木粉が露出されるため木工ボンドでも接着するものと理解しているが、PP樹脂同士では不可能とされていた接着が容易にできる不思議なPP系材料であるともいえる。

また、木質成分のセルロース等の分子表面にあるOH基への水分子の微量な吸着があるとみられることから、冬場の静電気発生がかなり抑制されるようである。

## 2.2 仕様

適用可能なポリマーは、PP、PE、ABS、PS、PVC等である。射出成形を主に考えるとPP、ABSの用途が多く、ブロー成形ではPEも適する。もちろん押出成形やシート成形も容易に行えるため従来の押出WPC材の製造効率の概念を変えるかもしれない。

原料として使用する木粉の粒径は700 $\mu$ mアンダー(平均粒径で200~300 $\mu$ m程度)であり、サブミリの比較的大きな木粉粒子でも射出成形できることが分かった。

標準のマスターペレット品として、ヒノキ間伐材木粉51wt%/PPベース(図3)を用意しており、成形条件次第ではこのまま成形も可能であるが、適宜PP射出用ナチュラルペレットとドライブレンドすることにより、木粉含量51wt%以下の任意含量の成形が従来の汎用射出成形機及び金型で可能となる。

原料となる木粉の樹種は、ヒノキ、スギ、トドマツ、カラマツといった多くのものがあるが、現在は本州で入手できて優れた特徴を持つヒノキを中心に使用している。今後は各地の銘産樹を使ったご当地成形品ができれば面白いかもしれない。

## 3. 成形例と適用効果

成形品の例を図4~図8に示す。図



図3 WPCマスターペレット(ヒノキ51wt%/PP)

4のイージーブリック<sup>TM</sup>は小型レンガ大の軽量(1個約80g)ブロック積み木であるが、インテリアあるいは子供用玩具として使用される。3色のアースカラーに着色している。

図5はウッドプラスチック製のトレイである。右上の小型トレイは無塗装であるがそのほかのものは表面に木目調の塗装をかけている。左上の中型トレイは51wt%のバイオマスファイラーを含み、漆器の塗り技術で仕上げた高級感を持たせており、有名喫茶チェーンで採用されている。

図6は顔料で着色したカードケースの例であるが、艶あり・艶消し面を備え精密にスライド開け閉めできる構造になっている。表面にしっとり感やぬくもり感を出してポリマーの無機質なイメージに変化を与えており、デザイナーにも好評である。

図7はシート成形した例であり、図8はシートを用いて真空成形した例である。木粉を31%含有した組成物シートがまさか真空成形できるとは思わなかったが、昨年のドイツでのバイオコンジット会議で展示したところ驚きを伴って好評をいただいた。

日本は先進国としては珍しく、国土面積の66%が森林といわれており、全国各地に木材の有名産地がある。戦後植林がさかんに行われ現在は成熟期に至っているものの、木材市場では輸入木材に押され、林産地域の現場では間伐や枝打ちといった手入れがなされず森林荒廃の危機も報道されている。一方森林は、気候変動をもたらす温室効果ガスである二酸化炭素の吸収源であり、森林育成はこれまで以上に注目されてよいのではないかと思う。間伐材の有効活用はその第一歩であり、森林保全に役立つだけでなく、林産地域において間伐材が少しでも収入源となりその加工がいわゆる6次産業化の一つになれば良いと思う。

ヨーロッパで始まった「バイオエコノミー」は循環・生物資源を活用して、

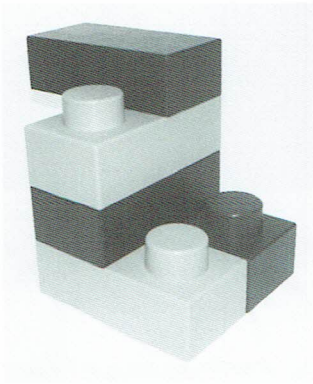


図4 成形品（イージーブリック™），ヒノキ粉31wt%

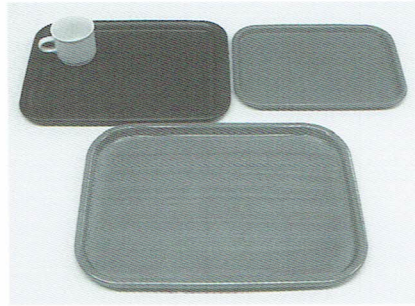


図5 成形品（ウッドプラトレイ），ヒノキ粉51wt%/31wt%



図6 精密成形品（カードケース），ヒノキ粉31wt%

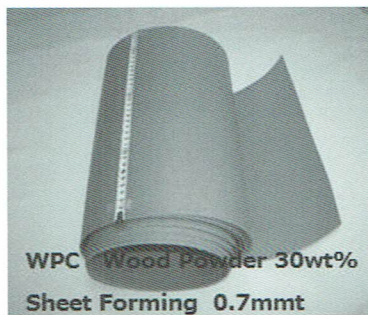


図7 シート成形品

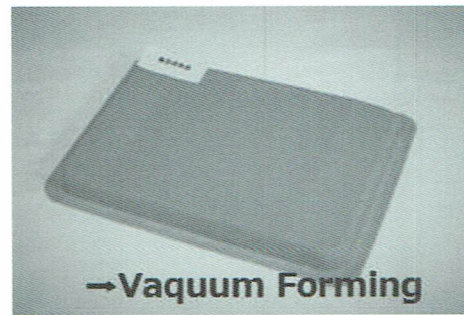


図8 真空成形例

科学技術進化と産業イノベーションを同時に行い、化石原料から脱却して温暖化ガスであるCO<sub>2</sub>排出ゼロをめざす考え方である。ということは、石油等の化石資源は持たないものの、豊富な森林資源、進んだ科学技術と技術者がいる日本にとってはこの上ない好条件にあるといえる。バイオマス発電もさることながら、間伐材を材料として活かして使用した最後に燃やしてエネルギーを取り出すというウッドプラスチックの新たな使い方は、これからの社会に必要な「バイオエコノミー」「SDGs」にピッタリ適合するだろう。

2016年11月発効の「パリ協定（国連気候変動枠組条約）」で、今後世界各国の二酸化炭素の排出削減義務が生じるが、植物由来のCO<sub>2</sub>発生分はカーボンニュートラルにより新規発生分として加算されない。つまりWPCは通

表2 WPCの環境・産業諸課題への効果

項目	課題	日本の解決策
①森林生産現場	間伐材利用・担い手不足	中間品生産による現地での六次産業化
②プラスチック産業	石油原料の安定的確保	国産バイオ原料活用による原料多様化
③エネルギー・資源	省エネルギー・省資源	低エネルギー生産・化石資源節約と温存
④地球環境	温暖化ガスの削減	カーボンニュートラルによるCO <sub>2</sub> 排出抑制

常のプラスチックよりも1/3あるいは1/2もの大幅なCO<sub>2</sub>排出削減が可能ということである。表2にWPCによる環境・産業諸課題への効果をまとめた射出成形できる次世代ウッドプラスチック材料「i-WPC」は、低エネルギー生産が可能で汎用射出成形機で美しく成形できる、日本発！世界初？の環境材料として広く活用されることを願っている。

#### 4. バイオプラスチック複合材の未来

現在、世界的にセルロースナノファイバー（CNF）の応用研究が進められているが、CNFは木粉を更に微細にほぐしたものである。産総研の遠藤貴士先生が講演<sup>2)</sup>のなかで述べられた、「木粉が使いこなせないとCNFは使いこなせない！」の言葉を拝聴し、バイオプラ複合材の可能性に光明が差した

ように感じた。そして木粉の複合化技術をCNFに応用した結果、なんとCNFと各種ポリマーとの簡便安価な複合化にも成功した(図9)。ただし、世間一般で言われているような鋼鉄の5倍の強度は、ポリマーリッチな複合体では得られないようだ。更に別の特徴的な使い方について検討を重ねたい。

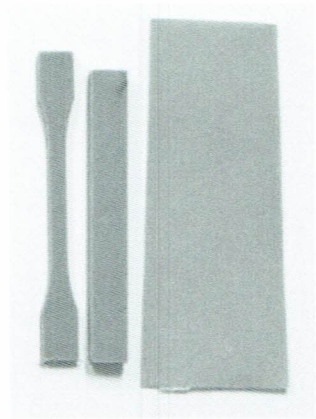
バイオプラスチック複合材は、混ぜ込むバイオフィラーと基材ポリマーの種類で様々な物性や特徴を付与できる自由度を持つ。今後ますます「バイオエコノミー」社会に則した様々な複合材料の可能性への期待が高い。

## 参 考 文 献

- 1)「ウッドプラスチックのしおり」,(公社)日本木材加工技術協会, 木材・プラスチック複合材部会, HP資料.
- 2) 遠藤貴士, 第20回定期講演会資料, 木材・プラスチック複合材部会, (2016).

### その他WPCの参考文献として

- 3) 伊藤弘和, 材料, **59**(4), 259-267 (2010).
- 4) 木材工業編集委員会, 木材工業, 67(11), (2012).
- 5) 高橋富雄ほか, 第15回定期講演会資料, 木材・プラスチック複合材部会, (2013).



CNF30%/PP

図9 CNF-PP複合材

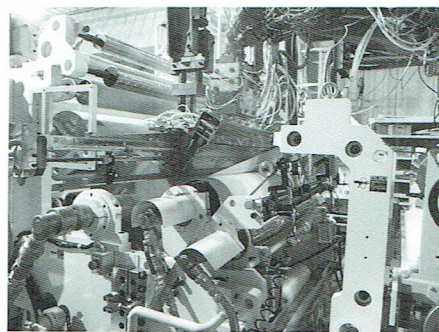
## 住友重機械モダン プライベートショー

### 押出ラミネーター用新型オートTダイをお披露目

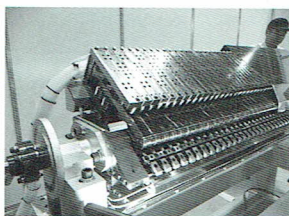
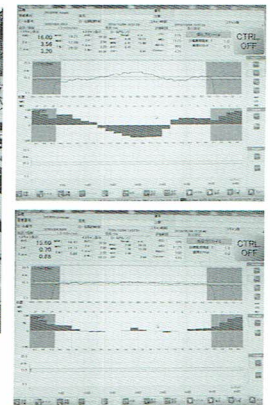
住友重機械モダン(株)は、10月3日(水)から5日(金)までの3日間、横浜工場(神奈川県横浜市)においてプライベートショーを開催した。TOKYO PACKの開催時期に合わせて、国内外の顧客を対象に行ったもので、押出ラミネーター用新型Tダイの実演が行われた。

同社独自開発の空圧式自動膜厚制御Tダイは、空圧駆動によりリップを押し下りたり引いたりすることで調整するため、補正指令に対して瞬時に応答し、従来技術であるヒートボルト式に比べ補正にかかる時間を大幅に短縮できるという特徴を持っている。

今回、更に進化させた空圧制御について発表した。膜



右上/意図的に偏肉を悪化させた時のモニター。  
右下/プリセット調整を行うと膜厚データがフィードバックされるごとに精度がもどっていく



左/キャストフィルム成形用Tダイ。空圧駆動による動作を見せていた。右/密閉式のACコーター。デモのため水による高速運転をしていたがまったく水漏れしない

厚データをフィードバックし、空圧リップ変形機構の自動制御により素早く補正を行い、安定した精度維持ができるようになったという。実演では、自動制御なしの運転状況から意図的に偏肉悪化操作をした後、新技術であるプリセット調整を行うという動作を繰り返し行った。プリセット調整を行うとすぐにターゲットとする膜厚内に精度が戻っていく様子がモニターに映し出されていた。

そのほか、キャストフィルム成形用Tダイと、ACコーター「SmartChamber」が展示された。「SmartChamber」は密閉式となっており、飛散がなくVOCなど揮発も抑えることができるといった特徴を持っている。