

## サンドイッチ射出成形法による竹食器の無塗装化技術の開発



特集 2

(地独)大阪市立工業研究所 加工技術研究部 プラスチック成形加工研究室長  
泊 清隆

本日のテーマ「サンドイッチ射出成形法による竹食器の無塗装化技術の開発」は、基本的にプラスチックの成形加工の話ですので、金属材料の開発や金属表面処理などを主たる業務にしている方には少し馴染みのない話になるかもしれません。なるべく基礎的な解説を加えながら進めたいと思います。

### ●竹ペレットを用いた食器の製造

竹食器とは、竹ペレットでできた食器のこと。竹ペレットを用いた食器の製造技術ということになります。竹ペレットとは、竹繊維とポリ乳酸をおよそ5:5の割合で混ぜて出来上がった材料のことを言います。我々、プラスチック材料の専門分野の人間からすると、これは竹繊維で強化したプラスチック材料という認識ですが、世間一般的には、プラスチックでなく竹だという認識になっています。何も知らない方が聞かれると、単に竹の材料を削って作った食器と思われるかもしれませんが、竹食器とはそういう食器であるということです。

全国にはいろんな所に竹林がありますが、管理されずに放置竹林化したものが多く存在します。それによって森林が荒廃するといった問題が顕在化しています。その問題を解決するには、竹そのものを資源化すればよい。資源化しようとして開発されたのが竹繊維で、有力な応用分野としてプラスチックの強化材に竹繊維を使うというものです。プラスチック強化材には従来ガラス繊維が使われてきたのですが、そのものに替えて竹繊維に使っていきこう。まさに竹繊維強化プラスチックの分野で、竹繊維を使っていこうと様々な開発が行われたわけです。その1つとして、ポリ乳酸というトウモロコシを原料としたバイオプラスチックに混ぜていきこうというのが竹ペレットなのです。竹繊維を使った材料のうち、今回はこの竹ペレットを比較検討することになったわけです。

全てがバイオマス材料ですから、カーボンニュートラルな材料として注目されます。いわゆる石油資

源を使ってつくられるプラスチックに伴う様々な問題、例えば資源の枯渇、温室効果ガスの排出量の増大による地球温暖化、ごみとしてプラスチックを燃やすことによる有害ガスの発生や大気汚染などに対して、カーボンニュートラルな竹ペレットを使うことでこれらの問題が解決する。単に放置竹林の解決だけでなく、地球環境問題に非常に有効な手段であるといえます。このような竹ペレットの応用分野の1つに食器があります。現状としては、竹ペレットをプラスチックの代表的成形法である射出成形法で食器にし、給食用食器として使っていこうというニーズがあって、この開発に至ったわけです。

### ●現状の問題と研究開発目標

竹食器には潜在的な問題があります。この写真は射出成形しただけの竹食器で、ポリ乳酸に竹を50%も入れているため、熱劣化で多少焼けたりしています。環境配慮性とか安全性、耐熱性、コストなどは全く問題のない優れた材料なのですが、残念ながら竹が表面に露出しているので耐水性には乏しい。お湯や水など水質のものを入れると、食器そのものが変色したりして、耐久性もありません。見た目は好みにもよりますが、茶褐色の色をしていますから



講師 泊 清隆 氏

美観は優れない。小学校などの児童を対象とした給食用食器としては、もう少しきれいな色がほしいということになります。現状では成形しただけの竹食器に漆塗装をして、このような問題点を解決しようということになっています。環境配慮性はそのままに、耐水性や美観という点は漆塗装をすることによって改善していくわけですが、違う問題が発生してしまいます。

その1つが安全性です。漆塗装は従来、木の食器などに対して施され、漆塗装を行う業者には様々なノウハウがあります。ところが今回のように竹ペレットに対し漆塗装をする技術はまだ確立されていないため、塗装が剥がれるような問題がある。塗膜が剥がれることによる安全性の低下という問題として挙げられるし、漆塗装そのものは耐熱性が100℃程度しかないため、いわゆる滅菌処理をする場合に耐久性がない。それに塗装コストがどうしてもかかり、コスト的に高いものになってしまうのが問題点です。

このような問題を抱える大阪市内の企業が当研究所に問題を持ち込まれ、当研究所にあるサンドイッチ成形射出技術を融合させて、その問題点を解決しようということになりました。これが開発の出発点です。サンドイッチ射出成形法を使うことによって、今まで漆塗装をしていた竹食器を無塗装化してやろう、塗装をせずに給食用食器として使えるようにしてやろうと考えたわけですが。それによって環境配慮性、耐水性、美観、安全性、耐熱性、コストなど様々な問題がクリアされ、少なくとも給食用食器での普及が見込まれるということから開発を始めました。

### ●無塗装化の手法

いわゆる無塗装化手法としてのサンドイッチ射出成形、これはプラスチックの部品成形の分野ではよく知られた一般的な成形加工法ですが、通常の射出成形法とは少し違います。この図は模式的に示した一般の射出成形法では、射出シリンダと射出スクリュを組み合わせた1本のユニットを使います。今回の技術に関して申しますと、竹ペレットをスクリュを用いて溶かし、溶かした竹ペレットを金型中に充填し、冷やして取り出すことによって、竹ペレットの食器をつくります。これに2次加工で漆加工を施すことで、従来の製品ができる。つまりプラスチックの代表的な成形法でこれまでの食器は作られているということです。

これと違って今回のサンドイッチ射出成形法は、2本の射出ユニットを使います。この図式では便宜上でスクリュA、スクリュBと書いていますが、具体的にはスクリュAで竹繊維の入っていないポリ乳酸、被覆用PLAと略していますが、竹繊維の入っていない通常のポリ乳酸(PLA)をスクリュAで取り扱う。スクリュBで竹ペレットを使う。それぞれのスクリュでそれぞれの材料を溶かしてやることは、まず大事な点です。スクリュAを前進させることによって、被覆用の竹繊維の入っていないPLAを金型の中にまず注入します。例えば4割～5割程度を注入した後に、スクリュBを次に前進させて竹ペレットを注入してやる。こうした逐次2段階注入法を適用してやるわけです。これがよく知られているサンドイッチ射出成形法という部分です。そうすると金型の表面に接した部分の材料はほぼ瞬



間的に冷えて固まってしまうので、流動性を失います。ということは後から射出された竹ペレットは最初に注入したPLAの間を突き抜けるように、後から後から流入してくる。最初に注入されたPLAは前に押し出されるように進んでいく。模式図にありますように最終的には表面に被覆用のポリ乳酸、PLAが存在し、外から見えない中に竹ペレットが存在するという、2材料で3層構造を持った成形品ができるということです。このサンドイッチ射出成形法を使うと、竹ペレットが表面に全く現れないため、いわゆる無塗装化が実現できるだろうという目論見があるのです。

### ●サンドイッチ射出成形機

講演後の見学会で実際に機械を見ていただこうと思っておりますが、この写真が当研究所に置いてある研究用のサンドイッチ射出成形機です。左に写真にスクリュA、スクリュBの2本のシリンダが見えていますし、こちらにあります容器が材料の供給用です。こちらは材料が出てくるノズルの部分で、こちらに金型があります。金型が開いている状況がこちらで、出来上がった食器が見えています。

### ●成形条件の最適化

研究開発の主眼点は、ここに示したようなプロセスで成形条件を最適化することにあります。サンドイッチ射出成形プロセスそのものは、まず成形材料を供給し、それを可塑化・計量する。可塑化・計量というのは、ポリ乳酸と竹ペレットを例えば5:5の量で溶かすのか、4:6の比率にするのか、とにかく一定の量を決めてまず溶かしてやるというプロセスが2番目になります。3番目がポリ乳酸（被覆用PLA）だけをまず射出、次に竹ペレットを充填するというプロセスになります。ただポリ乳酸、竹



ペレットという2つの材料だけを注入しますと、必ず入口の部分だけに竹ペレットが最後に残ってしまいます。入口の部分のを塞ぐために再び被覆用PLAを射出して終了する。A→B→Aの成形加工ということになります。その後は金型内で冷却し、製品を取り出す。これがプロセスになりますが、非常にシンプルだといえます。成形条件の最適化としては、プロセスの中でいえば可塑化・計量、PLAの射出、竹ペレットの射出、この部分が重要な部分となります。

最適化の手順として、まず1つ目は射出シリンダ温度および金型温度の調整・最適化です。ここでは成形材料の流動性と冷却速度の両方を最大化する条件を求めるということで、温度が高ければ流動性が良いので注入がしやすい。しかし温度が高すぎると冷却に時間がかかるため、成形サイクルが短くできないという問題点があり、シリンダ温度と金型温度をそれぞれ最適化しなければなりません。

2つ目が射出量の最適化です。先ほど触れたように被覆用のポリ乳酸と竹ペレットをどれ位の比率で注入すれば最も適切なサンドイッチ射出成形竹食器ができるのかということです。基本的に竹ペレットをたくさん使いたいという思いがあるので、竹ペレットの量を増やしたいのですが、ブレイクスルー現象が発生する恐れがあります。これは竹ペレットを入れ過ぎると先に入れたポリ乳酸が表面を形成せず、竹ペレットがこれを突き破って表に出てきてしまう現象です。ブレイクスルー現象が発生すると完全な成形品になりません。だからブレイクスルー現象が起きない範囲内で竹ペレットの使用量を最大化してやることとなります。竹ペレット50%以上の充填比率が目標となります。

3つ目が射出速度の最適化です。注入する時の速度というのがありますが、この速度によってサンドイッチの層構造、とくに厚さ分布が変化してしまいますので、どの程度の速度領域で成形すると最適になるかが課題となります。

温度の最適化、射出量の最適化、注入する速度の最適化、この3つのステップで開発を行ったわけです。

### ●温度条件の設定

じつを言えば温度の最適化というのは、ほとんど

検討する余地がありません。というのは、まず金型温度ですが、ポリ乳酸という材料は結晶性プラスチックの技術であり、材料が溶けた状態から冷えていく過程で結晶化することによって個体として取り出すことができます。通常の結晶性プラスチックは結晶化速度が速いのですが、残念ながらポリ乳酸は結晶化するのにすごく時間がかかり、半端な時間ですと柔らかい状態で取り出すこととなります。なるべく早い時間でポリ乳酸の成形品を取り出そうとすると、金型温度を115℃程度に設定しないといけません。残念ながら当研究所の設備は水を媒体としているため上限100℃くらいにし上げられません。当面は100℃の温度で循環させるということで、決めてしまいました。実際に100℃の水で循環させた場合でも金型の表面温度は110℃くらいまで上がりませんから、最適な温度から大きく外れることはありませんが、設備的に100℃に設定せざるを得ません。

シリンダ温度に関しては、流動性から言えば温度を高く上げたいのですが、竹を強化材に使っているため熱分解の問題があります。そこで温度条件としては185℃～175℃程度。いわゆるシリンダの中で、プラスチックの材料が溶けているセクションというのは前部、中部、後部がいちばん重要な部分で、185℃～175℃に抑える。このままでは流動性に問題があるので、先端のノズルのある部分だけは冷えて固まらないように少し高めに設定する。このような設定を最適な温度条件としました。

### ●射出量の最適化

次に射出量の最適化です。ここに示す表は分かり難いのですが、左の欄がシリンダA、即ちポリ乳酸の充填する時のスクリュの移動量です。移動量が多いほどたくさんポリ乳酸が充填されるということです。次のシリンダBが、竹ペレットの射出の時のスクリュの移動量で、この量が多いほど竹ペレットが金型の中にたくさん注入されるということです。最初はシリンダAのストローク量を比較的多めにとり、例えばスクリュを67mm前進させるという条件下でペレットがブレイクスルーしないように入れていくと、大体55mmのBの前進量で1つの竹食器ができるということが分かります。今度はこれですと竹ペレットの量が少ないので、シリンダAのストローク量をだんだん減らしていきます。いわ



ゆるポリ乳酸の量が減って、竹ペレットの充填量が次第に増えていきます。一度に条件は決まりませんが、実際に出来上がっていく製品を見ながら少しずつ微調整して最適な充填量を決めてやるわけです。

このような形で射出量の最適化を図ります。そうすると実際にできる製品の重量が微妙に変わります。最初は90～91gの食器の重量だったのですが、射出する樹脂の量の比率を上げていくと、樹脂の重量が重くなっていきます。なぜ重くなるのかといえば、ポリ乳酸だけでつくった食器は88gと軽いのですが、竹ペレットだけでつくと93gの重さになります。竹ペレットの充填量が増えれば増えるほど食器の重量としても増えていきます。だから重量を測ってやれば、どの程度の竹ペレットが充填されたかが計算で求められます。求めた計算値がこちらです。最初は竹ペレット比率が45%程度しか入っていませんでしたが、注入量、射出量の最適化を行うとだんだん竹ペレットの注入量が増えて、最大で74%程度まで注入できるようになりました。当初は50%でも難しいと思っていましたが、実際に最適化をして4分の3程度まで竹ペレットを使った竹食器をつくることに成功しました。

いろんな食器があるのですが、大碗と呼ばれる食器の最適成形条件は、ここに示したように決まってきました。成形をやられていない人には意味が分からないかもしれませんが、今説明したような検討を経て最適な成形条件が決まったということです。

### ●サンドイッチ成形した竹食器

出来上がった竹食器の写真がこれです。ポリ乳酸は結晶性のプラスチックだと先ほど申しましたが、結晶性のプラスチックとは一般的に乳白色をしています。ですから比較的に光の遮蔽性の高い材料です

が、半透明の色合いのためサンドイッチ成形をしても、どうしても入っている竹ペレットが表面から見えてしまいます。美観を考えると、サンドイッチ成形をしたからといって必ずしも問題点は解決しないわけです。この問題を解決するために遮蔽性を改善しました。どうやるかといえば簡単で、酸化チタンを一定量混ぜることで表面のポリ乳酸の遮蔽性を上げました。これによってかなり改善し、右側の写真のような食器になりました。後は好みの色、例えば少しグリーン系の色やベージュ色のような色合いを付けてやると、食器としてかなり実用性が上がってきました。

### ●ゲート部の層構造

ただ問題点があって、食器の底の部分に著しく遮蔽性の落ちる、つまりどうしても竹ペレットが透けて見える個所が出てきました。食器の底部分はどういう場所かといえば、材料が注入される場所なのです。お椀の形からいうと、材料は底の部分から金型に注入されます。ゲートと呼ばれている部分です。射出成形をする金型のゲート部分、そのゲートの裏の部分に、どうしても遮蔽性が上がらない個所ができてしまいます。これを何とかしないといけないということで、次にゲート裏の問題を解決しようということになりました。

これはゲート裏の断面を拡大した写真ですが、この表面に白いポリ乳酸の膜があります。この膜が十分に厚ければ遮蔽性が上がるのですが、材料が下から上にポリ乳酸を押しつけるようになってくるので、折角出来たポリ乳酸の皮膜が、後から射出された竹ペレットによって押しつぶされ、薄くなってしまいます。それが問題点です。

### ●射出速度の最適化

これがもう少し拡大した写真です。射出速度の設定はパーセント表示になっていて、ここでは30%で設定しています。これで見ますと、表面のポリ乳酸の層が50ミクロン程度しかないことがわかります。これは射出速度が速いと冷却が追いつかないので、十分なポリ乳酸の膜が形成できないことに起因して

います。注入してやる射出速度をゆっくりしてやり、ゆっくり冷やしながら材料を注入すればよいという発想になります。ここにありますように30%の速度から、10%、5%、3%、2%、1%というように注入する速度を低速化してやります。10%、5%くらいまではあまり変わりませんが、3%、2%、1%にすると目で判断できるくらいに厚肉化します。

### ●射出速度と層厚さの関係

それを数値で表したのがこちらのグラフです。当初の30%で射出した時、表面のA層、つまりポリ乳酸の層は50ミクロン程度であったのが、10%、5%と低速化するに従って急速に厚肉化してきます。1%程度にまで低速化すると約200ミクロンまで膜圧が上がってくるため、かなり遮蔽性が上がってきます。こんどはB材料に関して射出速度の低速化をはかったのですが、ご覧のとおり、A材の速度2%の条件でB材も低速化しますが、それほど大きくは改善しない。つまり最初に注入するポリ乳酸の充填を表面層が冷えて厚肉化するまで、いかにゆっくり行えるかによって、遮蔽性が決まってくるということです。

それによって、写真に示すように食器の底部分にあった竹ペレットのうっすらとしたマークが、改善後にはこのように微小化しています。後ほどの見学会で実物を見ていただきます。この写真では分かり難いのですが、かなり改善していることが分かります。

### ●まとめ

以上をお話ししました様に、環境にやさしいバイオマス材料である竹ペレットを原料とした竹食器の無塗装化技術を開発しました。本技術は、サンドイッチ射出成形法を用い、成形条件の最適化を図るとともに、被覆材であるポリ乳酸の遮蔽性を改善することにより達成されました。今後は、ゲート形状の最適化などにより竹ペレットの遮蔽性を一段と向上させることにより、実用化を目指したいと思います。本技術は、食器以外の製品にも応用展開することが期待されます。