

中小企業におけるプラスチック代替素材の開発と普及*

日本政策金融公庫総合研究所主任研究員

近 藤 かおり

要 旨

近年、地球環境への配慮から、世界的にプラスチック削減の動きが加速している。従来の石油由来のプラスチックを環境への負荷が小さい紙や木、バイオプラスチックなどに切り替えていく動きが広がっている。ただ、価格や性能の問題から、プラスチック代替素材の普及は道半ばである。そこで、本稿ではプラスチック代替素材の開発や実用化に取り組んでいる中小企業を取り上げ、プラスチック代替素材市場で中小企業が果たしている役割や、代替素材の普及に必要な支援を考察した。主な結論は以下のとおりである。

プラスチック代替素材市場には大企業だけではなく、中小企業も参入している。中小企業は大企業がもたない固有の技術やノウハウをもっており、これらを活用してバイオプラスチックの抱える問題点を解決し、バイオプラスチックの実用化に役立っている。国内でまだ利用されていないバイオマス資源を利用して、プラスチック代替素材を開発し普及に取り組んでいる中小企業もある。

プラスチック代替素材市場を拡大するには、政策的な支援が必要である。開発・製造や使用に対する優遇措置や、既存の安全基準に適合させるガイドラインの策定などのほか、地域の未利用資源を活用してプラスチック代替素材産業を地域産業として育成することが期待される。

* 本稿は、当研究所発行の『日本公庫総研レポート』No.2022-3「プラスチック代替素材の開発・普及に取り組む中小企業」（2022年3月）の一部に手を加えて再掲したものである。本稿で紹介している企業事例の詳細については、同レポートを参照されたい。

1 はじめに

石油からつくられるプラスチックは、わたしたちの生活に欠かせない。日用品から家電、自動車まで、プラスチックは実に多くの製品に使われている。一方で、プラスチックは自然には分解せず、不完全燃焼すると有害物質が発生するなど、環境破壊や環境汚染の一因であり、使用の削減が求められてきた。

近年は、国連が持続可能な開発目標（SDGs）を定めたことで、環境への配慮が強く求められるようになっており、プラスチック削減の動きも加速している。例えば、レジ袋の有料化は記憶に新しいところだ。プラスチック製レジ袋の有料化や使用禁止は日本をはじめ、世界60カ国以上で実施されている。世界中で事業を展開しているコーヒーチェーンは、利用者にマイカップの持参を呼びかけるとともに、プラスチック製ストローを紙製ストローに変更している。日本のコンビニエンスストア業界でも、弁当の容器を紙製に切り替える動きが広がっている。

プラスチック削減の動きは、プラスチック製品を生産・販売している企業にとっては存続を危うくする逆風であるが、プラスチックの削減を実現する企業にとっては事業を拡大する追い風になる。可能なら、中小企業は後者になって、成長の機会をつかむべきである。

プラスチック削減の取り組みは中小企業にとって、どのような事業機会があり、また事業化や成長に向けてどのような課題があるのだろうか。そこで、本稿では中小企業へのヒアリングを通して、代替素材の開発や実用化に取り組む中小企業の実態を明らかにしたい。

本稿の構成は次のとおりである。第2節では、プラスチックを取り巻く現状と課題を整理する。第3節では、これまでに開発されたバイオプラス

チックの抱える問題点を解決し、実用化している企業2社と、国内で調達可能な原料を使ってバイオプラスチックや代替素材を自ら開発し、市場を開拓している企業2社を紹介する。第4節では、プラスチック代替素材市場で中小企業が果たす役割を示したうえで、代替素材の普及に必要な支援を考察したい。

2 プラスチックと地球環境

本節では国内外におけるプラスチック削減の取り組み状況と、石油由来のプラスチックに代わる素材の開発や現状、課題について整理する。

(1) 世界中でプラスチック削減が本格化

2015年、「国連持続可能な開発サミット」で「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択されたことで、地球環境に配慮した経済社会の実現が改めて世界的な目標となった。気候変動対策や海洋資源保護など、地球環境を維持していくうえで欠かせないのが、石油を原料とするプラスチックの削減である。

例えば、欧州連合（EU）は循環型経済の一環として、2018年に「欧州プラスチック戦略」を発表した。2030年までに、EU域内で使用するすべてのプラスチック製容器包装をリサイクル可能なものとし、使い捨てプラスチック製品を削減することを目標に掲げている。

さらにEUは2019年に「特定プラスチック製品の環境負荷低減に関わる指令」を採択した。使い捨てプラスチック製品の流通を一部禁止し、リサイクルプラスチックや生分解性プラスチック、紙製品などに代替する方針を示した。2021年7月から、プラスチック製品9品目（綿棒の軸、ナイフ・フォーク・スプーンなどカトラリー、ストロー、マドラー、皿、風船棒、発泡スチロール製食品容器、発泡スチロール製飲料用カップ、発泡スチロー

ル製飲料容器)に適用し、これらの流通を禁止している。

プラスチックごみ処分にに関する連邦規制がない米国でも、州や自治体単位で規制が設けられている。例えば、カリフォルニア州は、2016年からプラスチック製レジ袋の配布を禁止し、2019年にはレストランに、顧客が希望した場合を除き、プラスチック製ストローの提供を禁止した。また、同州のサンフランシスコ市では、州に先駆けて2007年からプラスチック製レジ袋を禁止していたが、2017年にはプラスチック製ストローやマドラーなどの提供を禁止している。

中国では2008年からプラスチック製レジ袋を原則有料化している。2017年には「海外ごみの輸入禁止と固形廃棄物輸入管理制度改革の実施計画」を發布し、生活由来の廃プラスチックなどの輸入を禁止した。さらに、2018年からは工業由来の廃プラスチックの輸入も禁止している。

プラスチックがこれほど問題視されているのはなぜだろうか。

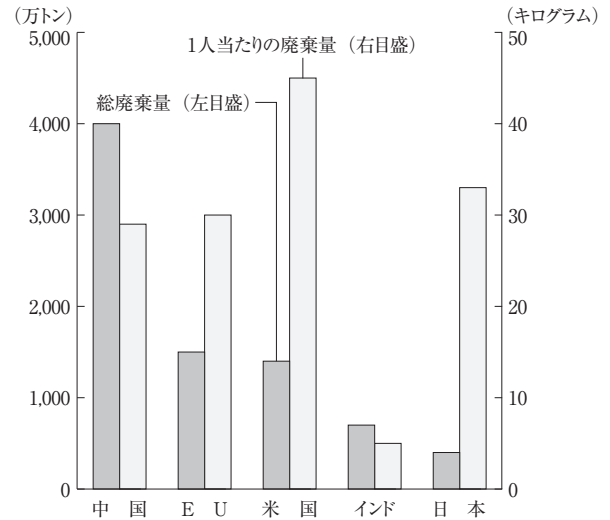
第1に、石油資源の枯渇である。石油は火力発電所での熱源や自動車、船舶、飛行機の動力源、プラスチックや合成繊維といった化学製品の原料に使われている。石油資源は、エネルギー資源確認埋蔵量からみると、およそ50年で枯渇すると推計されている。

第2に、温室効果ガスの排出である。石油由来のプラスチックは製造過程や焼却処理の過程で大量の二酸化炭素を排出する。二酸化炭素は温室効果ガスの中心で、地球温暖化の主因である。

第3に、プラスチックごみの増加である。プラスチックを焼却処理するとダイオキシンなどの有害物質が発生し、国境を越えて害を及ぼす可能性がある。このためEUでは埋め立て処理を基本としている。だが、プラスチックは埋めても分解しないため、いずれ処理できなくなる。

プラスチックごみは陸上だけでなく、海洋に

図-1 使い捨てプラスチックの廃棄量



資料: United Nations Environment Programme (UNEP), "Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability." (2018) Figure 1.5

もある。環境省の「令和元年度海洋ごみ調査の結果について」によると、海岸に漂着した人工的なごみのうち、およそ6割がプラスチックごみとされる。海洋プラスチックごみにはペットボトルや漁網など目に見えるものだけではなく、細かい粒子として海洋に流れ込むマイクロプラスチックもある。例えば、洗顔料や歯磨き粉に含まれるスクラブ剤である。

マイクロプラスチックの回収は困難で漂流中に化学汚染物質を取り込みやすい。海洋生物がマイクロプラスチックを誤って食べてしまうと、海洋生態系が壊れてしまうおそれがある。さらに、人間がこうした魚介類を食べれば、マイクロプラスチックに吸着した有害物質を体に取り込んでしまう可能性がある。

(2) 日本におけるプラスチックの動向

日本は大量のプラスチックを消費している。環境の保護と改善のために設置された、国連の内部機関である国連環境計画(UNEP)の調査によると、日本の使い捨てプラスチックの廃棄量は、EUを一つの国としてみれば世界で5番目に多い(図-1)。人口1人当たりの廃棄量は米国の次に多い。

日本はプラスチックごみを再利用可能な「資源」として、主に中国に輸出してきた。しかし、2017年から中国が廃プラスチックの輸入を禁止したため、日本はプラスチックごみを中国に輸出できなくなり、国内で処理せざるを得なくなっている。

こうした状況を踏まえて、政府は第四次循環型社会形成推進基本計画に基づき、2019年に「プラスチック資源循環戦略」を策定した。焼却処理が多い日本では、プラスチック削減に向けて「3R（リデュース、リユース、リサイクル）+Renewable」を基本原則としている。3R+Renewableにはそれぞれ数値目標が掲げられている。

リデュースは、プラスチックごみの量そのものを減らすことである。製造過程で使用するプラスチックを減らすことや廃棄物の発生を抑制することなどが当てはまる。リデュースの数値目標は、「2030年までに、使い捨てプラスチック製品の排出をこれまでの削減分も含めて全体で25%抑制する」ことである。

リユースは、廃棄せずに繰り返し使うことである。シャンプーやリンスの詰め替え製品を使用することなどが当てはまる。

リサイクルは、ごみとして捨てるのではなく、資源として再利用することである。回収したペットボトルを溶かし、新しいペットボトルをつくることなどが当てはまる。

リユースとリサイクルの数値目標は、「2025年までにプラスチック製容器包装や製品のデザインを、リユース可能またはリサイクル可能なものにする」「2030年までに容器包装の6割をリユースまたはリサイクルする」「2035年までに使用済プラスチックを100%有効利用する」の三つとなっている。

Renewableは、石油のような枯渇性資源から、リサイクルによって得られる再生材やバイオマスプラスチックなど、再生可能な資源に転換していくことである。3Rと重なる部分もあるが、Renewableを加えることで、資源の利用をより持続可能なも

のにしようとするものである。Renewableの数値目標は、「2030年までに再生利用を倍増する」「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」となっている。

(3) プラスチックを代替する新素材

3Rは廃棄物削減の基本的な考え方であるが、プラスチックの場合、完全にリユースやリサイクルすることは難しい。例えば、飲料用ペットボトルのリサイクルは比較的容易であるが、納豆やマヨネーズなどの容器は洗浄に手間がかかり、リサイクルしづらい。廃棄物には毒劇物を入れていたプラスチック容器もあり、用途ごとに分別しないと安全にリサイクルできないという問題もある。

そもそもプラスチックには多くの種類があり、それぞれ物性が異なるので、リサイクルするには同じ種類のプラスチックごとに分ける必要があるが、外見から区別することは難しい。分解して化学原料にするケミカルリサイクルもあるが、この技術を確認しているのはペットボトルだけである。

リユースも、容器の洗浄や、かすれた字を印刷し直すのにコストがかかる。容器がへこんだり割れたりすれば再利用できなくなってしまう。

従って、資源の使用量を減らし、廃棄物の発生を軽減するリデュースが、プラスチック削減を進めるうえで最も重要といえる。ただ、プラスチックをまったく使わない生活はできないし、プラスチックを使用すればマイクロプラスチックは必ず発生する。回収網から漏れてしまうプラスチックごみもある。こう考えると、リデュースを補うRenewableも重要になってくる。

再生可能な資源の典型は紙や木など天然素材である。プラスチック製カップを紙製カップに、食品包装フィルムを紙製の包装紙に、プラスチック製ストローを紙製ストローや麦わらストローに変更する取り組みは増えている。だが、既存のプラスチックに比べて加工しにくい、コストがかかる、

燃えやすいといった問題があり、天然素材で代替できているのは一部の製品に限られている。

プラスチック削減には、軽くて丈夫で加工しやすいというプラスチックの特長をもち、かつ再生可能な新しい素材の開発が欠かせない。そこで、世界中で開発が進んでいるのがバイオプラスチックである。

(4) バイオプラスチックの現状

① バイオプラスチックとは何か

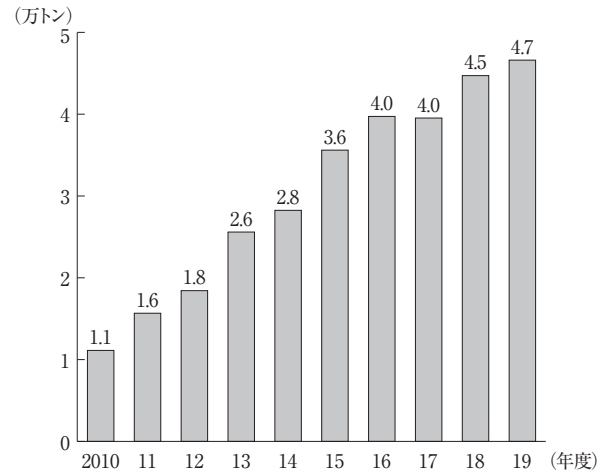
バイオプラスチックは、微生物によって分解される「生分解性プラスチック」と、木や植物などバイオマスを原料とした「バイオマスプラスチック」の総称である。

生分解性プラスチックとは、土壌などのある一定の条件の下で微生物の働きによって分解し、最終的に二酸化炭素と水に変化する性質をもつプラスチックである。生分解性プラスチックは微生物によって分解されるため、堆肥化施設で処理するのが一般的である。分解するのであれば、植物由来でも石油由来でも生分解性プラスチックに該当する。生分解性プラスチックの用途には、農業で使うマルチフィルムや土木工事で使う植生ネット、生ごみや食品残渣^{ごんさ}の回収袋、食品用の包装フィルムなどがある。

生分解性プラスチックは土壌では分解が進むが、海水中では生分解されない。そのため、海水中で生分解するプラスチックも開発されている。これを「海洋生分解性プラスチック」という。漁具やレジ袋などに使われている。

日本バイオプラスチック協会（JBPA）によれば、バイオマスプラスチックとは、糖やでんぷんなど「再生可能なバイオマス資源を原料に化学的または生物学的に合成したプラスチック」である。バイオマスプラスチックを焼却処理した際に排出される二酸化炭素の量は、原料となる植物が成長過程で吸収した二酸化炭素の量と同じになる。つま

図-2 国内のバイオプラスチック出荷量の推移



資料：日本バイオプラスチック協会（JBPA）「バイオプラスチック概況」（2020）
 (注) 図中の数値は、百トン以下を四捨五入したもの。

り、バイオマスプラスチックは温室効果ガスの排出量と吸収量が均衡するカーボンニュートラルな素材である。バイオマスプラスチックの利用が進めば、地球温暖化の防止に役立つと考えられる。

実用化されているバイオマスプラスチックには、ポリ乳酸やバイオポリエチレン（バイオPE）などがある。ポリ乳酸はサトウキビやトモロコシなどからつくられる。ポリ乳酸やバイオPEの用途は容器包装、衣料繊維、電気・情報機器、OA機器、自動車部品など幅広く、今後の普及が期待されている。ただ、両方とも既存のプラスチックの原料である石油と同様に、原料の大半を外国から輸入している点には注意が必要だろう。

② バイオプラスチックの問題点

JBPAによれば、国内のバイオプラスチック出荷量はほぼ一貫して増加基調にあり、2019年度の推計出荷量は4.7万トンとなっている（図-2）。ただ、日本プラスチック工業連盟の「プラスチック原材料生産実績（確定値）」（2019）によると、国内のプラスチック出荷量は約1,100万トンなので、バイオプラスチックのシェアはプラスチック全体の約0.4%にすぎない。

バイオプラスチックは環境にやさしい素材であ

るが、問題もある。まず、石油由来のプラスチックに比べて価格が高いことだ。特にバイオマスプラスチックは高価であり、一般的なプラスチックに比べて、ポリ乳酸が2倍から3倍、バイオPEが約3倍となっている。

その理由として、バイオマスプラスチックの生産工程が複雑であることが挙げられる。食用や家畜の飼料用の植物を原料とするため、食料需給と競合する可能性もある。原料を大量生産できるような画期的な触媒技術の発明や、非可食植物を原料とする技術の開発が待たれるところである。

次に、バイオプラスチックの物性は従来のプラスチックと異なる。生分解性プラスチックの特長は自然に分解することである。これは見方を変えれば物質としての安定性に欠けるということである。ポリ乳酸は結晶化させることで耐熱性や耐久性を高めるのだが、結晶化しにくい特徴がある。また、粘度が高くドロドロとしているため、従来のプラスチックと同じ成形方法では製品をつくれないのである。

このように、バイオプラスチックは依然として開発途上にある。研究開発が進んで、一部の欠点は解消されつつあるが、石油由来のプラスチックほどには普及が進んでいないのが現状である。

例は少ないが、プラスチック削減のアプローチとして、バイオプラスチック以外の素材にも触れておきたい。プラスチックに環境負荷の小さい別の物質を加えることで、プラスチックの使用を減らすものである。

例えば、石灰石を原料とする新素材は、石灰石に含まれる炭酸カルシウムなどの無機物とプラスチックを混ぜ合わせたものである。石灰石は石油に比べて資源が豊富にあるとされ、国内調達も可能である。また、焼却処理の際に排出する二酸化炭素の量が石油由来のプラスチックに比べて少ない。プラスチックの特長も維持しており、代替素材として注目されている。

3 中小企業の取り組み事例

どうすればプラスチック代替素材の開発や普及が進むだろうか。本稿では、プラスチックに代わる素材の開発や実用化に取り組んでいる中小企業4社の事例を紹介する。ヒアリングは2021年の6月から8月にかけて実施した。

<事例1> (株)平和化学工業所

| | |
|------|--------------------|
| 代表者 | はげやま かずゆき 畠山 和幸 |
| 創業 | 1957年 |
| 資本金 | 1,000万円 |
| 従業員数 | 40人 |
| 事業内容 | 各種プラスチック容器の製造 |
| 所在地 | 千葉県市川市 |

——容器製造に欠かせない積層ブロー成形

(株)平和化学工業所は、化粧品や薬品、食品を入れるボトルなど各種プラスチック容器のメーカーである。積層ブロー成形を得意とし、受注先の要望に応じてさまざまな機能をもった容器を生産している。

ブロー成形とは、ペットボトルなどプラスチック容器をつくる際に用いられる加工方法である。吹きガラスの製造方法を応用したもので、型に入れた樹脂の内側に空気を吹き込むことで容器を成形する。プラスチック容器は、なかに何を入れるかによって求められる容器の機能が異なる。例えば、マヨネーズは酸化しやすいため、外部からの酸素を透過しにくい容器が求められる。また、内部の水分が蒸発することも防がなければならないし、強度も必要だ。コストがかかりすぎてもよくない。これは1種類の樹脂によるブロー成形では実現できない。

そこで、複数の樹脂を重ね合わせる積層ブロー成形が必要になる。これにより、マヨネーズなど

飲食料品を保存するボトルには、内容物を劣化させず、水分や油分、臭気、ガスなどが透過しないようバリア機能を、薬品用ボトルには薬品が溶け出さないよう耐薬品性を、それぞれもたせることが可能になる。ただし、樹脂によって融点や粘度は異なる。層が増えるほど、1回のブロー成形で均一に成形するのが難しくなる。同社はこの技術に優れている。

バイオプラスチック製容器の開発でも、この積層ブロー技術が生きている。バイオプラスチックは石油由来のプラスチックに比べて物性が劣る。例えば、植物由来のバイオマスプラスチックは、水分を透過しやすく、液体を保存する容器には不向きとされていた。この問題を、同社は水分を通しにくいポリオレフィン樹脂と積層することで解決した。同様に、ガスバリア性や耐薬品性のある容器の製造にも成功する。また、バイオマスプラスチック以外の生分解性プラスチックやリサイクル材を主原料とするボトルを製造することもできるようになった。

このように、さまざまな容器の開発を進めた結果、今では、環境負荷の小さいプラスチック容器が同社の主力製品となっている。

——親子げんかでの一言が開発のきっかけに

同社が生分解性プラスチックボトルの開発に着手したのは、日本でポリ乳酸の量産が始まる前の1980年代である。まだ生分解性プラスチックが世界的に認知されていない頃から、いち早く開発を始めたのには理由があった。

きっかけは、親子げんかでの一言だった。畠山和幸社長の娘が、畠山社長とのけんかの最中に「毎日ごみになるものをつくっているくせに」と言い放ったのである。衝撃を受けた畠山社長は、少しでも環境に配慮したプラスチック容器をつくれなにかと思ひ立ち、開発を始めた。

当時、英国の素材メーカーがポリヒドロキシア



(株)平和化学工業所のバイオプラスチック容器

ルカン酸（PHA）を開発していた。畠山社長は自ら渡英し、この素材の利用を申し入れた。PHAの高い生分解性に注目したのである。PHAでつくった生分解性プラスチックを取り寄せて容器の試作品をつくってみたが、広く普及させられるものはできなかった。PHAの独特のにおいを取り除けなかったのである。

畠山社長はその後にもバイオプラスチック容器の開発を続けたが、なかなか成果はあがらなかった。どうしてもにおいが残ってしまうのである。ほかの樹脂と積層できればこうした問題を解決し、バイオプラスチック容器を実用化できるはずだが、従来の樹脂と接着する技術に前例はなく、実現には時間がかかりそうだった。

畠山社長の息子で現常務の畠山治昌さんが開発を引き継ぐと、治昌常務は市販の接着剤をいくつも買い込んで調合を繰り返した。そして数年後、ようやくバイオプラスチックに適した接着材の調合に成功した。層の数が増えても肉厚にならないように各層の厚みを調整する技術も開発し、におわず、しかも従来の製品と同程度の耐久性をもつバイオプラスチック容器を成形できるようになったのである。

——共同開発のパートナーが受注先を開拓

完成したバイオプラスチック容器は2000年に中小企業創造活動促進法の認定を受けた。生分解性

プラスチックを使った点が評価されたのである。さらに、こうした取り組みが大手素材メーカーや商社の目に留まると、2005年ごろから共同開発や協力の依頼が舞い込んでくるようになった。2009年には、シャンプーとリンスの容器に採用された。

他企業と共同でボトルを開発するのは手間もかかるが、自ら営業活動をせずとも受注先を開拓できるメリットがある。ボトルの開発に携わった素材メーカーは、大手容器メーカー、あるいは容器のユーザーである化粧品会社や食品会社にバイオプラスチックの容器を売り込む。このとき、同社がつくった試作品が見本として利用される。化粧品会社や大手容器メーカーが、売り込んだ素材を採用すれば、新しいバイオプラスチックボトルが世の中に出る。

一見すると、せっかく同社で開発したボトル容器の仕事を大手容器メーカーに取られてしまっているかのように思える。だが、同社には大手容器メーカーが対応できない、数千本、数百本といった小ロットの受注が来る。多品種少量生産は同社が得意とするところだ。

特に、化粧品や医薬品の業界では、小ロット生産の仕事が少なくない。例えば、化粧品は高級品ほど販売個数が少なくなる。当然、容器の発注も小ロットになる。ただし、値引きの要求はあまり厳しくない。高級品の価格は高いので、メーカーには容器にお金をかける余裕がある。

また、高級品をつくるメーカーには、環境に配慮したものづくりを社外にアピールしている企業が多い。そのため、生分解性プラスチックを使った容器が、従来のプラスチック製容器に比べて高価であることを受け入れてくれる。同社にとっては小ロットの発注の方が好都合なのである。

——プラスチックを素材や用途で使い分ける

開発当初は生分解性プラスチックボトルに注力していた同社であるが、現在はバイオマスプラス

チックやリサイクル材を使った容器も手がけている。近年は、使用済みの茶葉や、ブドウの皮、もみ殻など未利用バイオマスを混ぜたプラスチックのボトルも試作している。なぜ、同社はさまざまな素材を使った容器の開発に取り組むのだろうか。それは、特定の素材に頼っていたのではプラスチックごみの問題や地球環境問題を解決することができないからである。

例えば、生分解性プラスチックで解決できるプラスチックごみの問題は一部にすぎない。日本では、原則としてごみは焼却処理される。生分解性が求められるのは、農業や漁業で使う資材や不法投棄されやすい容器包装などに限られる。生分解性プラスチックが普及すると、どうせ分解するのだからと、かえって不法投棄が増える可能性もある。分解するという、本来は好ましくない物性があるために、機械部品など長期間使用するものには使えないし、在庫管理も難しい。

バイオマスプラスチックはどうだろうか。国内でよく使われているバイオマスプラスチックの一つは、バイオPEである。原料はブラジルのサトウキビであり、増産するにはサトウキビ畑を増やさなければならない。畑のために森林伐採が進めば、かえって地球環境が悪化してしまうかもしれない。畑の作物を原料にする限り、バイオマスプラスチックには同じ問題がつきまとう。

このように、ただ生分解性プラスチックやバイオマスプラスチックに切り替えればよいというわけではない。石油由来のプラスチックは当面、使い続けなければならない。そのリユースやリサイクルも欠かせない。だから、同社では回収したプラスチックを主材料にした容器も手がけているのである。多くの種類があり、さまざまな用途があるプラスチックを、原材料としてリサイクルすることはなかなか難しいが、リサイクル材の層を未使用のプラスチックの層で挟めば、容器として問題なく使える可能性が高い。プラスチック問題を解

決するには、どれか一つの素材、一つの手法に頼るのではなく、さまざまな素材と手法を組み合わせたり、使い分けたりしていくことが重要なのである。

—どのような素材でも成形できる技術を開発

用途や求められる機能に応じて、各種のバイオプラスチックを使い分けたり、リサイクル材を使ったりするといっても、受注のたびに機械をセットするのは面倒である。そこで、治昌常務は主材料が生分解性プラスチック、バイオマスプラスチック、リサイクル材のどれであっても、あらゆる用途に対応できる、6種9層の成形方法を考案した。その構造は次のとおりである。

容器の最も内側の層には、内容物に耐性のあるプラスチックを使う。例えば、薬品に強く、食品衛生法や薬機法（医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律）に適合しているプラスチックなどである。

2番目の層には、気体を通しにくいプラスチックを配置する。内容物の気化や酸化、臭気を防ぐためである。

3番目の層には、石油由来のプラスチックの代わりに、生分解性プラスチックやバイオマスプラスチックといった代替素材を配置する。

4番目の層には、2番目と同様に、気体を通しにくいプラスチックを配置する。

そして容器の最も外側の層には、外部から酸素や水蒸気を通さないプラスチックを使う。各層の特性に応じて接着剤で貼り合わせる。使用するプラスチックは6種類、接着層を合わせて合計9層まで対応できる。

治昌常務は6種9層の成形加工を実現するため、成形機メーカーの協力を得て、押出機を6台接続したオリジナルのブロー成形機を製作してもらった。バイオプラスチックに適した仕様にしたことで、他社にはない生産体制を整えたのである。

これまでのプラスチック成形メーカーは決まった素材を決まった形に成形加工する受注生産が当たり前だった。だが、同社はプラスチック削減に向けて、自ら環境に配慮した代替素材の製造開発に挑戦し、プラスチックボトル容器の多様化を見据えた取り組みを進めている。

—対外的な説明の難しさ

先進的な技術をもつ同社であるが、バイオプラスチックを使ったボトルの「対外的な説明」には苦労している。メーカーの担当者は、バイオプラスチックの専門的な知識をもっているわけではないため、製品の安全性をなかなか理解してもらえないこともあるという。

バイオプラスチック製品の安全性を示すものとしては、日本バイオプラスチック協会の「バイオマスプラマーク」「生分解性プラマーク」「生分解性バイオマスプラマーク」、一般社団法人日本有機資源協会の「バイオマスマーク」という認証制度がある。

こうした認証制度はバイオプラスチック製品であることを識別しやすくし、消費者の利用を促進するために設けられたものであるが、どの制度も発がん性や毒性がないこと、関連する法規や規格に適合するプラスチックであることが認証の条件である。これらのマークがついていれば、バイオプラスチック製品の安全性は保証されているといえる。

問題は用途によって製品に求められる安全性の水準は異なるのに、用途ごとの基準が明確とはいえないことである。例えば、食品用の器具や容器包装については、食品衛生法で使用できる原材料が細かく決められている。化粧品の容器も、規制する法律はないが、一般には食品衛生法に準じて使用できる材料が決められている。一方、食器用洗剤や消臭剤など日用品の容器については、明確な安全基準がない。

「食品の容器・包装や化粧水の容器の安全基準が厳しいのは当然だが、化粧品でもハンドソープのようにすぐに水で洗い流すものまで食品用と同じ安全性を求めるのは厳しすぎるのではないか。逆に、日用品ならどのような素材を使ってもよいというわけではない。これからも次々と開発されるだろうバイオプラスチックやリサイクル材の利用を普及させるには、安全基準の見直しや明確化が必要だ」と治昌常務は考える。

＜事例2＞(株)キラックス

| | |
|------|--------------------------|
| 代表者 | 吉良 伸一 ^{きら しんいち} |
| 創業 | 1965年 |
| 資本金 | 8,000万円 |
| 従業員数 | 225人 |
| 事業内容 | 食品用包装資材の製造・販売 |
| 所在地 | 愛知県名古屋市 |

——愛知万博を契機に生分解性ごみ袋を開発

(株)キラックスは包装資材の総合商社である。食品用の包装資材をはじめ、ラミネート加工品、ガラス曲げ加工品、物流資材の製造と販売を手がけている。主力商品である包装資材にはプラスチックが多く使われている。包装資材はプラスチックごみ問題の中心にあり、同社も環境に配慮した製品づくりに取り組まざるを得ない状況にある。

同社が、生分解性プラスチック製品を開発するきっかけとなったのは、2005年に日本で開かれた愛知万博である。2004年3月、経済産業省が一般財団法人バイオインダストリー協会を經由して、愛知万博で使用する生分解性ごみ袋を公募すると発表した。公募期間は2004年の9月から10月で、公募の条件は「ごみ袋に植物由来の物質が30%以上含まれていること、すべて生分解すること、袋として強度があること、堆肥化したときに有害物質が発生しないこと」であった。

包装資材を販売していくには、環境に配慮した

製品をつくる必要があると考えていた同社にとって、絶好のタイミングで行われた公募であった。また、愛知県で開催される万博に、地元企業として採用にこぎ着けたいとの思いもあった。同社は2004年6月に商品開発部を設置し、すぐさま生分解性ごみ袋の開発に取りかかった。

——研究設備が整わない環境のなかで

生分解性ごみ袋の開発には、商品開発部長の野呂正孝さんが大きく貢献した。野呂部長は、同社に入社するまでの31年間、大手化学メーカーで生分解性プラスチックなど高分子材料を研究してきたエキスパートである。野呂部長が勤務していたメーカーは同社の仕入先であった。自宅から通勤可能な場所で研究を続けたいと考えていた野呂部長が、吉良社長に相談した結果、同社へ入社することになったのである。

商品開発部の発足当初、同社には生分解性ごみ袋を開発する実験装置や検査機器など研究設備がなかった。そこで、野呂部長の前の職場や野呂部長が前職で懇意にしていた取引先の研究室を借りて開発を進めた。野呂部長の知見と技術のおかげもあり、部を設置してから数カ月で公募条件を満たす生分解性ごみ袋を開発できた。そして、大手化学メーカーやフィルムメーカーなど約30社が応募するなか、同社の生分解性ごみ袋が採用されたのである。この採用を契機に、生分解性プラスチック製品の開発が本格化した。

——複数の素材を組み合わせる製品化

数カ月で生分解性ごみ袋の開発に成功した同社であるが、生分解性ごみ袋を製品化する道のりは決して平坦ではなかった。

愛知万博では採用されたものの、量産するとなると問題があった。同社には生分解性プラスチックを成形加工できるフィルム成形機がなく、量産する過程でどのような問題が生じるかを予測する

ことができなかつた。生産委託先でトラブルが起こって初めて、問題に気づくことも多かつた。

一つ目は、袋が重みで破れやすいことである。石油由来のプラスチックに比べて、生分解性プラスチックの耐久性は劣っていたのである。二つ目は、生産時期によって不良品発生率が変ることである。例えば、夏場に生分解性ゴミ袋を製造するとフィルム同士がくっついてしまい、不良品が多数発生する。これは生分解性プラスチックの性質上、固まる速度が遅く、成形に時間がかかるからである。野呂部長はこれら二つの問題を、複数の生分解性プラスチックを組み合わせた原料を開発することで解決した。

量産化に当たっては、生分解性プラスチックの性質を理解した従業員を増やす必要もあつた。野呂部長は自ら講師を務めて、生分解性プラスチックに関する勉強会を開いた。どのような条件だと成形機に問題が生じるのかを実際に加工を行う従業員とともに検証し、成形温度や素材の配合割合などを一つ一つ改善していった。

——性能を補強する添加剤

生分解性ゴミ袋やレジ袋を販売すると、一部のユーザーから「レジ袋やゴミ袋を滑りやすくしてほしい」「生分解する速度を緩めることができないか」といった要望が出てきた。いずれも、プラスチックを組み合わせるだけでは対応できず、新たに添加剤の開発を始めた。実際に生分解するかどうかを検証する必要があるため、添加剤の開発には約5年を費やした。

基本となる添加剤には、袋が滑りやすくなる機能がある。また、温度や湿度、雨風などの気候変化に対する耐久性を強化する機能や、生分解の速度を制御する機能など、用途や要望に応じて性能を補強できる添加剤も開発した。石油由来のプラスチックでつくる、これまでのごみ袋と遜色ない使い勝手を実現できたのである。



（株）キラックスが開発した生分解する袋

実際、添加剤を使って9～12カ月の間は生分解しないゴミ袋やレジ袋を製造し、これらの製品は国内の自治体や企業で利用されている。また、欧州向けの輸出に際し、3年近く生分解しない包装資材をつくってほしいとの要望を受け、分解速度の遅い包装資材を納品したこともある。

——海洋生分解性プラスチックレジ袋の開発

添加剤の開発により、土壌で生分解するプラスチックについては製品化に成功した。次に、同社は海洋プラスチックゴミ問題に対応するため、海洋生分解性プラスチック製品の開発を始めた。

2015年に、英国でプラスチック製レジ袋の有料化が始まったことを契機に、欧州諸国でも次々にプラスチック製レジ袋の有料化や使用禁止が決定していた。そして、日本国内でも、プラスチック製レジ袋の有料化に向けた準備が進められていた。同社は今後を見据えて海洋プラスチックゴミ問題を解決できる代替素材の開発が必要になると考えたのである。

開発の目標は、世界で最も審査基準が厳しいTÜV AUSTRIAの認証を取得することであるが、その第一歩として「30度の海水中で1年以内に90%以上が生分解されること」とした。海洋生分解性プラスチックの規格には、ISO22403の「海水中で2年間に90%以上が生分解されること」があるが、同社はこの基準よりも厳しく、よ

り実用的な分解期間を設けて開発に踏み切ったのである。

開発に当たっては、「バイオポリブチレンサクシネート (BioPBS)」を使用し、大手化学品メーカーの協力を得ながら研究を進めた。BioPBSは、1,4-ブタンジオールとトウモロコシなどから抽出したコハク酸を調合したバイオマスプラスチックで、生分解性がある。ポリ乳酸に比べて、別のプラスチックや繊維と混ざりやすく、耐熱性もある。ごみ袋や包装容器、文房具での利用が期待されるバイオプラスチックである。

約3年の研究を経て、2021年に海洋生分解性プラスチックレジ袋の開発に成功した。ISOに準拠した試験では、目標どおり、30度の海水中で1年以内に90%が生分解したと評価されている。同年4月、大分県中津市のスーパーで、日本で初めてレジ袋として採用された。

——生分解性プラスチック製品の現状

生分解性プラスチック製品を次々に開発してきた会社だが、いずれも大量に売れているわけではない。生分解性プラスチック製品をきちんと水と二酸化炭素に生分解させるには、土壌や堆肥に埋めなければならない。そのため、現在同社のレジ袋やごみ袋を購入しているのは、堆肥化施設のある数十カ所の自治体だけである。生分解性プラスチック製品の普及には、堆肥化施設の増設や自治体の協力が不可欠なのである。

ただし、堆肥化施設がない地域であっても、同社の製品を使うメリットはある。例えば、同社の生分解性ごみ袋は、燃やすのに必要な熱量が石油由来のプラスチック製ごみ袋よりも小さい。それだけ、プラスチックごみの焼却処理に必要な燃料を節約できる。

また、一般的なバイオマスプラスチックと比べて、二酸化炭素の排出量を削減できる。2020年にプラスチック製レジ袋が有料化されてからは、国

内で無料配布されているレジ袋の多くは、バイオマスプラスチックの一つである、バイオPEからつくられている。バイオPEのレジ袋は燃焼すると1グラム当たり3.1グラムの二酸化炭素が発生する。一方、同社の生分解性レジ袋は、1グラム当たり2.0グラムの二酸化炭素の発生で済む。同社の製品は「脱炭素」に役立つのである。

このように、製品に求められる機能性の問題はクリアしたが、さらなる普及には価格面の問題が残っている。生分解性プラスチックは原料が高く、製品は石油由来のプラスチックに比べて3倍の価格になるという。製品の価格は生産規模が拡大すれば、ある程度下げることができる。だが、現状は生分解性プラスチック製品の需要が小さく、価格を下げるほどの量産は難しい。

——普及に向けた取り組み

そこで、同社はユーザーや消費者の意識を変えようと、ブログや展示会で情報発信するよう心がけている。特にブログには力を入れており、毎月2～3回の頻度で更新している。写真や用語解説を交え、消費者にもわかりやすい記事にするよう徹底している。

また、東京ビッグサイトで開催される「エコプロ」に毎年参加している。エコプロは環境に配慮した製品や技術、サービスに関する展示会で、環境分野としては国内最大規模である。基本は業者向けであるが、子ども向けの展示もあることから、より多くの企業や消費者に同社の製品を見てもらう機会ととらえている。これまでの参加回数は10回を超え、実際に展示会に来場した企業から注文を受けたこともある。そこで良い評判が生まれれば、自然と注文が増える。もちろん、既存のユーザーに対して新製品の紹介を行うなど、地道な営業活動も欠かさない。

同社は今後も、生分解性・海洋生分解性プラスチック製品の開発を進めていく。化粧品の生分解

性フィルム包装の開発など、袋以外に用途を拡大していく方針である。同様の考えをもった企業があれば積極的に共同開発し、市場を広げていきたいと考えている。

<事例3> (株)事業革新パートナーズ

| | |
|------|-----------------|
| 代表者 | なすかわじん 茄子川仁 |
| 創業 | 2009年 |
| 資本金 | 4,000万円 |
| 従業員数 | 10人 |
| 事業内容 | コンサルティング、新材料の開発 |
| 所在地 | 神奈川県川崎市 |

——金型・素形材分野に特化

(株)事業革新パートナーズは、2009年創業のコンサルティング会社である。金型メーカーとプラスチックの成形など金型を使う素形材メーカーに特化して中小企業の支援を行っている。具体的には、海外での工場設立や顧客獲得を目指す中小企業に対して、海外展開をサポートしている。また、市場調査や販路開拓、人材育成、海外企業とのコーディネートなども行っている。

2010年度と2011年度には、茄子川仁社長が「金型ジャパンブランド戦略策定プロジェクト」の専門家委員に選出され、同社も一般社団法人日本金型工業会から金型ジャパンブランドプロジェクトの総合プロデューサーに任命されている。

同社が金型や素形材分野に特化したのには理由がある。金型・素形材産業は日本の製造業を下支えし、ものづくりの技術力とノウハウが凝縮されている。だが、中小企業には大企業に比べて海外展開支援など競争力を高める支援がなかなか行き届かない。欧米諸外国の金型・素形材産業をみても、放っておくと斜陽産業になる傾向にあるという。日本でも同様の現象が起こることを危惧し、金型・素形材産業全体の底上げを図るべく、支援を開始したのである。

——国内で原料を調達できる新素材を開発

素形材メーカーにはプラスチック製品を取り扱う中小企業も多く、いずれはバイオプラスチックへの対応が必要になる。例えば、バイオプラスチックの一つであるポリ乳酸は、サトウキビやトウモロコシからつくられている。もし、海外でこれらの生産が減れば、ポリ乳酸の生産も減る。価格が上がれば、ポリ乳酸も値上がりする。このように、石油由来のプラスチックと同様に、バイオプラスチックも原料の生産状況や需給動向に左右されやすい。

また、バイオプラスチックには生分解性はあるが、海洋生分解性はないというものが多い。耐熱性や強度が低く、金型にはりつきやすく、成形不良が起こりやすいという欠点もある。

そこで、茄子川社長は間伐材や廃材など未利用バイオマスを利用して、新たなバイオプラスチックを開発できないかと考えた。未利用バイオマスなら、原料を国内で調達でき、輸入に依存しなくても済む。成形しやすい素材を日本で開発できれば、素形材産業の競争力向上にも貢献できるかもしれない。

茄子川社長は素材に詳しい技術者を採用するため、新たに従業員を募集した。すると、長年ヘミセルロースを研究してきた熟練の技術者から応募があった。

ヘミセルロースとは、植物中に存在する多糖類の総称である。木や植物の繊維は主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンからできている。例えば、種類によって異なるが、木にはセルロースが約5割、ヘミセルロースが約3割、リグニンが約2割含まれている。同社の調べによれば、ヘミセルロースは世界で1年間に生産される木材に約5億トン含まれているが、ほとんどが利用されず廃棄されているという。

茄子川社長は2018年にその技術者を採用し、素材の開発に着手した。同社が開発を始めたとき、



(株)事業革新パートナーズの「HEMIX」

セルロースとリグニンはすでにバイオプラスチックの原料に利用されていた。一方、ヘミセルロースは利用されていなかった。なぜなら、ヘミセルロースはセルロースやリグニンに比べて、抽出や加工が難しかったからである。

ヘミセルロースは複数の糖で構成される。植物によって、また同じ植物でも部位によって糖の構成が異なる。この複雑さゆえに、研究者の間でヘミセルロースは実用に向かない物質とされてきたのである。

——「HEMIX」の誕生

同社はヘミセルロースを抽出する実験や、抽出したヘミセルロースに石油由来のプラスチックやポリ乳酸などを一つ一つ組み合わせてプラスチックの性能に適しているかどうか、地道に実験を繰り返した。2019年にヘミセルロースを原料とする新しいバイオプラスチック素材「HEMIX」が完成した。

ヘミセルロースは、マンナンやキシランなど複数の多糖類から成るが、どの糖類であっても原料に使える。ただし、ヘミセルロースは吸水性が高く、時間の経過とともに製品が変形したり、強度が下がったりすることがある。同社はそこで、ヘミセルロースの構造の一部を変えたヘミセルロース誘導体を新たに開発した。強度や吸水性が問題になる場合は、HEMIXの原料にヘミセルロース誘

導体を使う。

HEMIXは、生分解性だけではなく、海洋生分解性があるのも特長である。また、単体でも成形用のプラスチックになるが、ほかのプラスチックと混ぜて使うこともできる。混ぜることで、価格を下げたり、ヘミセルロースの性能を補強したりできる。そのため、HEMIXのラインアップは3種類ある。

一つ目は基本品のスタンダードである。ヘミセルロースと、ポリプロピレンなど石油由来のプラスチックやポリ乳酸などほかのバイオプラスチックを混合する。さらにリサイクルプラスチックや木質粉、石灰石や紙の粉末を混ぜることもできる。生分解性はないが、二酸化炭素を削減でき、競争力のある製品価格を実現できる。

二つ目は改良品のファーストである。ヘミセルロース誘導体をほかのプラスチックと分子レベルで混合したもので、混合したほかのプラスチックに生分解性を付加する効果がある。スタンダードよりも強度や耐久性、透明度が高く、用途も広い。

三つ目は、ヘミセルロースを中心としたすべて植物由来のプレミアムである。プレミアムは生分解性がある。スタンダード、ファースト、プレミアのいずれも、HEMIXに顧客が指定した素材を混合して提供することが可能である。求められる機能や二酸化炭素の削減、生分解性などのニーズに基づき、顧客ごとにカスタマイズした製品開発も行っている。また、量産する際にはいずれの製品も提携している素材メーカーに生産委託を行って実現している。

——市場を拡大する取り組み

HEMIXの開発に成功した同社は、大手鉄道会社が2017年から実施しているスタートアップの支援プログラムに応募した。このプログラムは鉄道会社のもつ資源や情報資産を活用したビジネスを支援するものである。応募した内容は鉄道林の間

伐材からヘミセルロースを抽出し、ポリ乳酸と混ぜ合わせて、完全に植物由来のタンブラーを製造するというものである。容器や食器として使えることを示し、HEMIXの優れた性能をアピールする機会ととらえたのである。

同社は2020年度の支援対象として採択された。自然由来の素材でつくった点が評価され、タンブラーは2021年3月から駅や鉄道会社が運営するオンラインショップで販売された。用意した500個はすぐに完売したという。HEMIXを使ったタンブラーの企画は、素材開発に参入して間もない同社の知名度を高める良い機会となったのである。

HEMIXは、石油由来のプラスチックほど安くはない。石油由来の汎用のプラスチックが、1キログラム当たり200~300円であるのに対し、植物原料から製造する多工程プロセス、量産前のステージであることから、HEMIXは1キログラム当たり1,000円程度になる。HEMIX製品を普及させるには、いかにして価格を下げるかが重要になる。大手素材メーカーとタイアップして量産化を進めるとともに、原価を低減する製造プロセスを開発することで、コスト競争力を高めている。

——廃棄物や残渣を活用

地球温暖化を踏まえて、近年は高くても環境に配慮した素材や製品を使いたいと考える企業や消費者が増えている。SDGsや脱炭素社会が志向されるなかで、バイオプラスチックに目を向ける企業や消費者が増えているのである。

その好例が、ビールメーカーから依頼を受けて行った、大麦の残渣からヘミセルロースを抽出し、バイオプラスチックをつくる実証実験である。HEMIXの価格を下げるには、原料を安定して調達できることが必要である。毎日ビール工場から大量に排出される大麦の搾りかすは、同社にとって発見だった。ビール工場にとっても飼料以外の使い道ができるし、消費者に対しても環境に配慮

した企業であることをアピールできる。

だが、同社にとって、大麦の搾りかすを原料にすることは新たな挑戦でもあった。それまで利用してきた木材からヘミセルロースを抽出する方法が通用しなかったからである。何度もシミュレーションを繰り返し、2020年8月ようやく抽出に成功した。実証実験はヘミセルロースを抽出するまでだったが、その後飲料メーカーと連携してビール製造で使用した大麦の搾りかすからヘミセルロースを抽出し、ビールジョッキや飲料タンブラーの試作品を提供した。

ビール大麦の実証実験に成功した同社は、ほかの植物性の廃棄物や食品の残渣にも目を向ける。これらを利用できれば、バイオプラスチックの原料を輸入に依存しなくてもよくなるし、植物性ごみの削減にもなる。HEMIXの知名度向上も図られるはずだ。現在、もみ殻や使用済みの茶葉などさまざまな資源で試作を進めている。

——ごみ処理場とセット製造拠点づくり

今後、同社は廃棄物や残渣を活用する技術をもとに、日本各地にバイオプラスチックの製造拠点を設けたいと考えている。具体的には、まず同社がバイオプラスチックの研究開発を担い、廃棄物や残渣から原料を抽出し、バイオプラスチックを製造する「レシピ」と製造設備を開発する。

次に、製造レシピと製造設備を一つのパッケージにして自治体に提供する。自治体のごみ処理場に隣接してバイオプラスチックの製造工場を設ければ、廃棄物から原料を抽出し、抽出した素材でバイオプラスチックを製造する過程が一貫して行える。バイオプラスチックの原料確保とごみのリサイクルを同時に行うことが可能になる。

茄子川社長は「廃材や食品廃棄物など、国内には潜在資源が多数ある」と語る。廃棄物からヘミセルロースを抽出する技術を確立できれば、バイオプラスチックの原料は国内で十分賄える。実現に

は植物性の廃棄物を排出する農林水産業や飲食料
品製造業、ごみ処理を行う自治体の協力が欠かせ
ない。資金が必要になるため、各関係者から支援
してもらふ必要もある。それでも、プラスチック
削減に向けて、代替素材を国内でつくり、国内で
回収する仕組みづくりを目指し、同社はさらなる
研究開発と、量産化を進めている。

<事例4> (株)環境経営総合研究所

| | |
|------|--------------------|
| 代表者 | まつした たかみち 松下 敬通 |
| 創業 | 1998年 |
| 資本金 | 4億7,000万円 |
| 従業員数 | 183人 |
| 事業内容 | 紙パウダー入り新素材の製造・販売 |
| 所在地 | 東京都渋谷区 |

——紙を主原料に新素材を開発

(株)環境経営総合研究所は、紙パウダーを主原料
にした「earth republic」^{アース リパブリック}と「MAPKA」^{マップカ}を開発し、
成長を続けているメーカーである。紙パウダーと
は古紙や廃棄紙などを独自技術で細かく粉砕し、
25～50マイクロメートルの粉末状にしたもので
ある。現在、国内に4工場、海外に2工場を構え
る。2007年の「ものづくり日本大賞」優秀賞、
2011年の「米国大統領諮問委員会ゴールドアワード」
と「ローマ教皇ベネディクト16世授福」、
2014年と2020年の「グローバルニッチトップ企業
100選」、2021年の「関東地方発明表彰」特許庁長
官賞など、国内外で多数受賞している。

紙パウダー製品で高い評価を得ている同社だ
が、1998年に創業したときはコンサルティング会
社だった。日本のごみ問題やプラスチックの使用
量が多いことに危機感を抱いていた松下敬通社長
が、環境にかかわるベンチャービジネスを支援し
ようと立ち上げたのである。

最初に支援した企業は、豆腐を製造する過程で
残るおからと石油由来のプラスチックを混ぜ合わ

せて発泡体をつくる特許をもっていた。松下社長
は環境に配慮したこの企業に将来性を感じた。

有望視されていた特許技術は、ふたを開けてみ
れば、実用化が難しいものだった。おからは水分
量が多く、すぐに腐敗してしまう。工業用製品の
緩衝材や発泡体としては、あまりにも機能性に欠
けるものだった。松下社長はこの特許を参考に、
廃棄物を粉末状にしてプラスチックに混ぜて新素
材をつくらうと思い立ち、開発に着手した。

——日本で初めて紙のパウダー化に成功

新素材の開発は手探り状態だった。おから以外
の食品廃棄物を集め、それを粉末状にしてプラス
チックに混ぜ合わせて試作品をつくった。廃棄さ
れる食材を中心に試してみたが、失敗が続いた。
そんな折、古紙回収業者から、本の端を削り落と
した細かい紙くずを譲り受けた。このとき、食品
ではなく紙の粉末を使った新素材のアイデアが生
まれた。さっそく石油由来のプラスチックと混ぜ
合わせると、耐久性の高い発泡体が出来上がった。
紙の粉末とプラスチックの配合方法を工夫すれ
ば、高品質な発泡体がつくれそうである。

製品化するには古紙をサラサラの粉末状になる
まで細かく粉砕する技術が必要だった。この技術
がないと、紙の粉末とプラスチックを均一に混ぜ
合わせることができず、高品質な発泡体を安定し
て量産することができないからである。

ところが、紙は繊維を多く含むため、粉末にし
ることが難しい。市販の粉砕機では粉末ではなく、
綿状になってしまう。そこで、松下社長は国内の
粉砕機メーカー二十数社に協力を依頼して回っ
たのだが、どの企業も首を縦には振ってくれな
かった。紙を微細な粉末にする技術をもっている
企業はなかったのである。

そこで、松下社長は自ら粉砕技術を学び、機械
を開発することにした。石臼の仕組みをヒントに
研究を重ね、創業から3年後に、紙を連続して粉

碎し、すりつぶす技術を日本で初めて開発した。この紙をパウダー化する技術を皮切りに、水蒸気だけで素材を発泡させる技術や、紙パウダーとプラスチックを均一に混成する技術など、発泡体を製造するために必要な技術を次々に開発した。

——発泡体earth republicを開発

こうして出来上がったのが、earth republicである。earth republicは紙パウダーと工業用でんぷんをポリオレフィン樹脂に混ぜて成形した発泡体であり、床下の断熱材や緩衝材、保冷剤として利用されている。日本で住宅の床暖房に使われる断熱材のうち、同社の製品が約9%を占めているという。これは大手住宅メーカーに同社の製品が評価され、採用されたためである。

プラスチックの発泡体と比べたearth republicの特長は、プラスチックの発泡体より安価であることと環境への負荷が小さいことである。古紙や廃棄紙などの割合が原料全体の55~60%を占めているため、製造原価が低くなり、その分製品価格を抑えることができる。また、プラスチックの発泡体は、代替フロンや炭素系ガスを使用して発泡させるが、同社の製品は水蒸気だけで発泡させる。そのため、環境負荷の低減の度合いを定量的に評価するライフサイクルアセスメントでは、プラスチックの発泡体に比べて、二酸化炭素の排出量を約82%削減できるとの結果を得ることができた。

——新素材MAPKAを開発

もう一つの主力製品であるMAPKAは、earth republicの技術を応用した。紙パウダーを主原料にポリオレフィン樹脂を混ぜて、ペレット状にした成形用の素材である。従来のプラスチックのようなつるつるとした触感ではなく、さらっとして手になじみやすい。また、静電気を帯びにくい。

MAPKAは、繰り返し使えるふたつきカップ、トレー、カトラリー、ホテルのアメニティーで用い



(株)環境経営総合研究所の「MAPKA」を使った製品

られるブラシ、クリップ、文房具、ボルトやナット、DVDトレー、家電製品などに利用されている。

このようにMAPKAが広く利用されているのには五つの理由がある。第1に、これまで使ってきたプラスチック射出成形機や金型をそのまま利用できることである。

第2に、安価なことである。earth republicと同様に、MAPKAの主原料は古紙や廃棄紙である。そのため、石油由来のプラスチックより安い。しかも、石油由来のプラスチックが約220度で成形するのに対し、MAPKAは170度で成形するので、光熱費の節約につながっている。

第3に、耐久性や耐熱性が高いことである。MAPKAの性能は石油由来のプラスチックとほぼ変わらない。

第4に、主原料が紙であるため、燃えるごみとして処理できることである。焼却処理が中心となっている日本の事情にマッチした素材といえる。

第5に、紙パウダーが全体の5割以上のためバイオマスプラスチック製品と表示できることである。紙は植物由来の資源でもあるため、プラスチックの使用量を抑えた製品としてアピールできる。

——普及に向けて大企業との取引を強化

製品がどれほど優れていても、必ずしも売れるとは限らない。新素材を普及させるには販路の開拓が必要である。そこで、松下社長は、大企業と

の取引や連携、共同開発に力を注いだ。

2007年、EUでは化学物質発生によるリスクから人と環境を保護する目的で「REACH規則」が施行された。これにより、自動車のプラスチック緩衝材に含まれる添加物が規制の対象になった。earth republicには規制の対象となる添加物が一切使用されていない。EUの動向を注視していた松下社長は、人と環境にやさしい発泡体として大手自動車メーカーに営業をかけたところ、すぐに採用された。これを機に、REACH規則への対応に苦慮する大企業との取引が増えていった。大手自動車メーカーに採用された実績が認められ、earth republicは大手住宅メーカーにも採用された。

次に、松下社長はearth republicとMAPKAの製品サンプルを国内のプラスチックメーカーに送った。これらの素材が石油由来のプラスチックと同様に使えることを、多くの企業に知ってもらいたいと考えたのである。

そして、米国のコーヒーチェーンから、MAPKAに興味があるからコーヒーカップを試作してほしいとの連絡があった。同社のサンプルがプラスチックメーカーを経由して米国に渡り、プラスチックの削減を検討していたコーヒーチェーンの経営者の目に留まったのである。同社はさっそく試作品を送ると、すぐにカップの素材として採用された。現在、同社の素材は国内外の上場企業で利用されている。

——廃棄物を再資源化する取り組み

同社の新素材は、燃えるごみとして処理できることから、使い捨てプラスチック製品の代替素材として利用されることが多い。そこで、新たに「MAPKA『Re-Born』Grade」という、リサイクル原料を使った成形素材を2021年に開発した。MAPKAを加工する際に発生する端材を粉碎して再利用し、混練するプラスチックにも再生ポリブ

ロピレン原料を使った成形材料である。

また、リサイクルやリユースにかかる取り組みとして、紙以外の廃棄物の再資源化にも注力している。例えば、2017年に米国の大学や企業と共同で、廃棄物からエネルギーを創出する新システム「NECRES」の開発に成功した。このシステムは、生ごみや廃棄されたプラスチックごみなどを均一に混ぜて低温で熱分解することでバイオマス燃料として利用するものである。すでに、日本の大手飲料メーカーの工場で導入が決定しているという。松下社長は、地域で出たごみは地域で再資源化し、エネルギーとして地域で消費するというサイクルを確立したいと考えている。いわば、エネルギーの地産地消である。

ほかにも、ヒノキの木くずから断熱材を開発し、販売している。同社の岡山工場がある地域は、ヒノキの生産が盛んである。あるとき、自治体からヒノキの木くずを資源化できないかという相談を受けた。同社は地元企業の協力を得ながら、ヒノキパウダーを入れた断熱材を開発したのである。ヒノキの良い香りがすると好評だ。

NECRESでも断熱材でも、廃棄物を資源化するには、地域との関係が欠かせない。廃棄物は地域の企業や住民が排出し、自治体が回収・処理するものだからである。同社は工場が立地する自治体を中心に、地域と積極的に交流していこうと考えている。

4 代替素材市場を拡大するために

本節では、ヒアリング結果をもとに、中小企業がプラスチック削減にどのように貢献しているのか、今後期待される政策的支援は何かを整理する。

(1) 代替素材市場での中小企業の貢献

石油由来のプラスチックに代わる素材の開発は、大企業や大学等の研究機関によるところが大きい。

い。例えば、2019年から開始された環境省の「脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」で委託事業として採択された事業者には、有名大学や大企業が名を連ねている。ただし、補助事業として採択された事業者には、第3節で紹介した(株)平和化学工業所や(株)事業革新パートナーズ、(株)環境経営総合研究所など中小企業も少なくない。プラスチックの代替素材市場は未成熟であり、実用化や普及に向けた課題も多い。代替素材の開発では、中小企業が貢献できる可能性が大きいのである。

① 実用化への貢献

バイオプラスチックの普及は政策課題の一つである。特に、植物由来のバイオマスプラスチックは、石油資源のない日本にとって重要であり、「プラスチック資源循環戦略」のなかでも、2030年までに約200万トンを導入するという数値目標が設定されている。生分解性プラスチックも環境負荷の軽減や規制の厳しいEUへの輸出を考えると欠かせない。

しかし、現状のバイオプラスチックには欠点が多く、そのままでは石油由来のプラスチックのようには使えない。バイオプラスチックの普及には、その欠点をカバーし、実用に耐えられるものにすることが必要である。ここで、中小企業の技術やノウハウが役に立つ。

(株)平和化学工業所は、石油由来のプラスチックでつくったボトルに負けない性能をもったバイオマスプラスチックボトルの製造を日本で初めて可能にした。長年、顧客の多種多様なニーズに応じて積層ブロー成形の技術とノウハウを蓄え、さまざまなプラスチック容器の製造を行ってきた会社だからこそこの成果である。

(株)キラックスは、もともとは人造竹皮の製造からスタートしており、ニーズの変化とともに取扱製品を増やしてきた。複数の素材を組み合わせた

高機能な包装資材を開発したり、包装資材とは関係のないガラス加工や物流容器まで手がけたりしてきた。新しい分野に挑戦し続けてきた経験が、生分解性プラスチック製品の開発でも生きている。

(株)平和化学工業所や(株)キラックスのような中小企業は、顧客の難しい注文をいくつもこなしてきた。どれほど小ロットの注文でも、理論や常識では不可能に思える注文でも、引き受けなければ生き残れなかった。だから、中小企業は、大企業もたない問題解決の方法をいくつも持っている。バイオプラスチックの実用化でも、中小企業固有の技術やノウハウが役に立つことが少なくない。

② 資源の自給に向けた貢献

日本は、バイオプラスチック原料の多くを輸入している。バイオプラスチックの普及が進んだとしても、原料を輸入に依存したままでは、バイオプラスチックの生産量も価格も、石油のように海外の情勢に左右されることになる。バイオプラスチックの原料は、できるだけ国内で調達することが望ましい。国内調達ならば、原料の輸送コストも安く済む。

国内にはバイオマスプラスチック原料が豊富にある。国土面積の3分の2が山林であり、食品廃棄物も多い。だが、こうしたバイオマスからプラスチックをつくる技術は、まだ十分には確立されていない。基本的な原理は同じでも、バイオマスの種類によって、成分の抽出方法やプラスチックの製造工程は異なる。バイオマスプラスチックの原料を国内で調達するには、規模の大小にかかわらず、多くの企業が多様な視点で研究開発に取り組むことが必要なのである。

(株)事業革新パートナーズは、バイオマスプラスチックの原料として、誰も利用してこなかったヘミセルロースに着目した。すでに原料として利用されているセルロースと合わせれば、木材の7～8割をバイオマスプラスチックの原料にできる。間伐

材や木製の廃棄物の大半がプラスチックに生まれ変わるのである。同社は食品残渣からヘミセルロースを抽出することにも成功している。国内の未利用バイオマスを使った純国産のバイオマスプラスチックを目指している。

植物からできている紙もバイオマスである。紙は原料の9割以上が国産パルプと古紙である。紙の組成物からバイオプラスチックをつくることもできるが、あえて紙のままで活用しているのが、(株)環境経営総合研究所である。紙を微粉末にするのは難しいという常識を覆した同社の紙パウダーは、プラスチックの削減とともに紙の廃棄物の削減にも貢献している。

ほかにも竹や古米など、地域で使い道のない資源を活用してバイオマスプラスチックを開発している中小企業がみられる。いずれも国内で調達できる材料や廃棄物を活用して、バイオマスプラスチックの自給を目指している。

バイオマスプラスチックの原料は豊富にある方が資源枯渇のリスクは小さくなる。だが、地域の未利用バイオマスを原料とする場合、個々の生産規模は小さくなりがちである。大企業では採算をとるのが難しく、地域におけるバイオマスプラスチック開発の担い手には中小企業の方が適していると考えられる。

(2) 中小企業の参入を促す

バイオプラスチックなど代替素材を普及させるには、実用化の面でも資源確保の面でも、中小企業の力が欠かせない。プラスチック製品の製造にかかわっていない企業であっても、代替素材が抱える問題の解決につながる技術やノウハウをもっているかもしれないから、できるだけ多くの中小企業が参入することが望ましい。ただし、代替素材の市場はまだ小さく、事業の収益性は必ずしも良くない。プラスチックの代替素材市場を拡大するには国や地方自治体による支援が必要である。

では、どのような政策的支援が必要になるのだろうか。以下にその内容を示したい。

① 国による市場拡大策

国には代替素材の市場を拡大するための政策が期待される。政策は三つ考えられる。

第1に、石油由来のプラスチック資源の循環を促進するような措置を講じることである。すでに2022年4月から「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」が施行されている。この法律はプラスチックの企画から製造、販売、提供、回収までの各過程で包括的に資源循環体制を強化し、環境配慮設計に関する指針を策定するものである。また、使い捨てプラスチック製品にかかる使用の合理化を図るべく事業者に対して必要に応じて指導や助言などの措置を講じるというものである。使い捨てプラスチックを多く提供する事業者に、国が抑制するよう勧告できるなどの措置も定められている。

こうした動きは、プラスチックを取り扱う企業にとってバイオプラスチックなど代替素材に移行する契機となり得る。ただし、急激な規制の強化は、プラスチック製品の製造業者、特に中小企業にとって逆風になる点に配慮が必要だろう。

第2に、代替素材の開発・製造や使用に対する優遇である。環境省の「バイオプラスチック導入ロードマップ—持続可能なプラスチックの利用に向けて—」には、バイオプラスチック導入の方針と施策が示されている。バイオプラスチックの利用促進に向けて、導入事例集の作成や、グリーン購入制度を活用したバイオプラスチックの率先調達、リサイクルの検討などを打ち出している。

これらに加えて、代替素材の開発や製造、流通、販売を担う企業に、補助金の交付や税制上の優遇措置を講じることを提案したい。補助金も税制上の優遇措置も、研究開発全般を対象とする制度はあるが、代替素材だけを対象とするものはほとんど

どない。

代替素材の普及を図るには、その目的に限定した制度が必要である。まず、代替素材の開発や製造に取り組む企業に補助金を交付したり、設備の特別償却を認めたりすることが考えられる。また、代替素材を積極的に扱う流通業者に奨励金を支給したり、特別な税額控除を認めたりする方法もあろう。大企業も支援の対象であるが、事務負担を軽減したり、中小企業枠を設けたりして、中小企業が利用しやすい制度にすることが望ましい。

第3に、ガイドラインの策定と規格の整備である。食品用の容器包装のように厳しい安全性が求められる製品もあるが、必要以上に安全性が求められている製品や、逆に安全性に関する基準がない製品もある。バイオプラスチックなど代替素材の市場を拡大するには、環境にやさしいというだけでなく、使っても安全であることを、すべての製品について証明すべきだろう。

また、食品衛生法では、使用できる原材料が決められている。その一覧（ポジティブリスト）に掲載されていない物質が含まれていると、法律に適合しないことになるが、バイオマスプラスチックやリサイクル材の場合、成分が必ずしも一定ではなく、ポジティブリストに掲載されていない成分が含まれる場合がある。

そこで、リサイクル材や新規に開発されたバイオプラスチック製品を既存の安全基準に適合させるため、ガイドラインの策定を検討してはどうだろうか。さらに、代替素材の安全性を確保するための基準認証について、日本産業規格のJISマークなどによる規格化も提案したい。規格化すれば、利用者にとってわかりやすくなるだけでなく、新規参入者に明確な開発目標を与えることになる。

ただし、規格化は、製品の独自性を狭め、大企業に有利に作用する可能性もある。中小企業の参入が減り、新たな代替素材の芽を摘んでしまうことのないよう工夫が必要だろう。

② 自治体による支援

自治体に期待されるのは、代替素材の開発・製造に取り組む中小企業との連携である。

廃棄物を使って代替素材を開発・製造する場合、中小企業は廃棄物処理の許可が不要であることを自治体に指定してもらわなければならない。加えて、地域の未利用バイオマスから代替素材を開発・製造する場合も、自治体の協力が必要である。

自治体にとっても代替素材を開発・製造する企業との連携は重要である。一般廃棄物を回収するのは市町村の業務であるし、産業廃棄物の処分を許可するのは都道府県である。リユースやリサイクルも含めた資源循環のシステムは、自治体が構築しなければならない。

これについては、プラスチックも例外ではない。代替素材の原料に地域の未利用資源を利用することも考えれば、代替素材を開発・製造する企業との連携は、ごみ問題の解決に限らず、地元にとって産業振興や雇用創出の手段にもなり得るのではないだろうか。

自治体による支援には、代替素材の開発や製造に取り組む企業を誘致して、廃棄物の処理に困っている企業や農家、山林の所有者を紹介する、開発に協力してくれる企業や研究者、団体を紹介するなど、地域の事情に詳しい自治体ならではの支援が期待される。(株)環境経営総合研究所は自治体のクリーンセンターで集められる廃棄物と、使用済みのプラスチックを使って、バイオマスエネルギーをつくるシステムを開発している。こうした取り組みに協力するのもよいだろう。

また、バイオプラスチックや代替素材を開発・製造する中小企業と、3R（リデュース、リユース、リサイクル）+Renewableに関連する企業や団体、研究機関などでコンソーシアムを組織し、プラスチック代替素材を新たな地場産業として育てていく取り組みも期待したい。

5 おわりに

バイオプラスチックやバイオマスの利用という、大企業分野というイメージが強いかもしれない。だが、実際にはプラスチック代替素材の開発や製造を手がける中小企業は少なくない。(株)事業革新パートナーズや(株)環境経営総合研究所のように、ものづくりの経験がないコンサルティング会社が開発に成功した例もある。

また、プラスチック代替素材には、技術的な課題も多い。(株)平和化学工業所や(株)キラックスのように、実用化に向けて中小企業が貢献できる可能性は大きい。開発は簡単に成功するものではないが、代替素材の市場が未成熟であるだけに、中小企業にとってビジネスチャンスも多い。プラスチック製品を取り扱う中小企業に限らず、多くの中小企業が関心をもち、プラスチック代替素材市場にチャレンジすることが期待される。