

食品産業廃棄物の再資源化

1. はじめに

21世紀は環境の時代と言われ、農業や食品産業においては早急に環境保全型産業への転換を迫られている。食品や農業分野で出荷から加工で発生する非食品部は従来であれば、農産物を栽培している農地に還元し肥料として使用することが通常であるが、農産物等の輸入増加と食品工場の大型化などの現状では、発生した副産物の農地への還元には限界があり、副産物の処理が緊急な課題となっている。環境保全型産業への転換のための技術開発としては省資源・省エネルギー型技術の導入が不可欠であり、具体的には加工プロセス中のエネルギー利用の効率化と副産物・廃棄物の発生を抑制した加工工程の構築、発生した未利用資源のリサイクル技術・変換技術の開発にある。これらの見地に立って研究機関において様々な検討が行われている。当方の例を例えると電気加工を用いた省エネ・非熱的処理により高品質食品の製造及び環境負荷低減を図る技術開発、さらに副産物の発生を低減化する技術（効率的脱水技術）、副産物の高次変換技術（生分解性素材開発などの工業資材化を含めた変換技術）による再資源化技術開発である。

これらの開発はプロセスによっては関連企業、大学との共同において効率的な研究の実施が出来る体制によって実施することが前提となる。食品加工技術に関する工学的ニーズについては、図1に示したように技術開発の目標としては、1つめは高度の食品加工技術の開発・熟劣化の少ない高品質食品、安全な生鮮物の供



図1 食品加工技術に関する工学研究のニーズ

給を可能にする技術の提供といった、いわば食品産業での食品生産面に寄与することであり、2つめは、変換技術の開発・食品副産物の再資源化、食品産業での廃棄物処理コストの低減による環境負荷の低減といった、食品産業が社会的義務とし検討すべき環境保全技術に寄与することである。製造工学研究室では、食品産業からの副産物・廃棄物処理技術について一貫した研究を進め、最近では高次の変換技術として包装資材などへの応用を想定した生分解性素材の開発及び評価を実施している。開発する生分解性素材の1つの用途としては、農産物あるいは食品一般の包装資材が考えられる。化学合成包装資材による農産物及び食品の包装は、野菜、肉、鮮魚などの発泡スチロールのラップ掛け包装やカップ麺など流通・販売時の利便性や品質保持の用途で広く利用されており、用途に合わせた特性を持った様々な包装資材が開発されている。これらの包装資材は我々の食生活に欠くことのできないものと言える。高分子ポリマーを用いた化学合成素材は、加工性に優れていると同時に、ガス透過性などをコントロールしやすく、また非常に安定であるなどの多くの利点を持っている。反面、これらの素材は天然の素材と異なり微生物等における分解がしにくく、また焼却時には大量の熱や排ガスを発生するなど、廃棄処理時に環境汚染を生じることが地球規模の問題となっている。この問題から原材料の高分子ポリマーを生分解性にすることで化学合成品の廃棄物の問題回避が図られようとしている。農産物を原料に包装素材を作成するためには、その完全生分解性素材（たとえば、デンプン、タンパク質）を活用してどのように既存の合成包装材の特性を再現するかという改質・加工技術にかかっている。我国で大量に利用されている発泡スチロール包材をターゲットにして、それにとってかわる膨化デンプンを主体とする完全生分解性容器素材もしくは容器加工技術の開発を行っており、さらに膨化デンプン素材の欠点となる耐水性の付与や一般的なフィルム形態の生分解性素材の開発について、トウモロコシタンパクを用いて行っている。これらの生分解性包装資材は化学合成包装資材に比べると、現段階では十分に利用用途にあわせた特性を再現できていないことや非常にコストが高いことがネックとなっているが、最近、化学合成包装資材作成時に使用されている化学物質の一部が環境ホルモンとしてリストアップされたことや二酸化炭素削減の動きにみるように人や環境に優しい包装資材への要望は益々高まっている。さらに、生分解性包装資材の原料として農産物由来の素材を用いることで従来の農産物においては非食部として利用価値の低い素材等や食品副産物資材の効果的な利用により農産物の高度利用が図れると考えている。未利用資材を含めた農産物由来のデンプンやタンパク質などの天然高分子を主原料とした生分解性素材の開発について述べる。

2. 生分解性素材の開発状況

生分解性資材はポリ乳酸系プラスチックをはじめとして世界中で利用が進んで

おり、用途にあわせた改質も進んでいる。これらの資材は、化学合成プラスチックと非常に似た特性を持ち、使用している自然界の環境では分解が極めて遅く、ある程度の熱を加えて加水分解処理を行なうことが必要であり、厳密な意味での生分解性とは言いがたいが、一般の使用中の劣化がしないため、安定的に使用でき、かつ使用後の処理を行なうことで、土壌などへ還元できる意味で環境保全型プラスチックと言える。またこれらが植物原料から生産されることでCO₂削減の意味も大きく注目されている。これらのポリ乳酸系などの生分解性プラスチックにおいては、現在ガラス繊維の代わりに竹繊維を添加してコスト低減と強度向上を行なった事例があるなど、その製造コストの低下と物性の改善から実際に利用検討が進んでいる。おからなどの副産物から直接製造する素材はポリ乳酸系プラスチックのように化成プラスチックを完全に代替できる特性は無いが完全生分解性であり、短時間使用する包装容器であるとか、農業資材への利用においては一般家庭での処理や農地への還元が容易である利点を生かして利用可能な分野もあると考えている。

生分解性素材の用途展開として、繊維、不織布、フィルム、シート、射出成型品、ボトル、発泡成型品等の製品形態において、生分解性の必要な分野や望ましい分野を中心に用途展開が考えられている。例えば、自然環境下で使用される水産、農業、園芸、土木資材分野から、日常生活において廃棄物処理が問題となる包装分野（包装フィルム、食品容器、買い物袋、緩衝材等）や生活資材（生ごみ袋、紙おむつ、トイレタリー用品等）が対象となる。生分解性素材の市場は現在では年々増加している。主な生分解性素材としては表1に示すものがある。このなかで、我々が着目しているのは農産物の利用率向上につながり、また素材変換コストも比較的安価な天然高分子材料の活用である。ここではセルロース系の素

表1 生分解性素材の開発の現状

	微生物による生産	天然高分子材料の活用	化学合成高分子
特徴	高い生分解性 生体適合性	高い生分解性 通気性	種々の物理化学的性質物が作成可能 コスト低 既存の合成加工装置が使用可能
用途	魚網・釣糸 薬物放出調整基材	農業用フィルム 鉢・ひも	各種包装材 冷凍食品・インスタント飲食品容器
問題点	コスト高 耐熱性・機械的強度の幅が狭い	* 熱可塑性がない * 水に弱い	完全分解するために共重合体反応の制御が必要
開発課題	株菌の育種改良 培養方法の改良 ポリマー生産菌の探索	加工方法の開発 耐水性の付与 他のバイオマスの利用	共重合反応の制御の開発 物理化学的性質と生分解性との関係 解明

*ゼインを用いた場合の最大の利点としては、この部分での欠点を補い、使用用途の拡大、利便性を高めることにある。

(*出典) 原田哲彌, 生分解性プラスチックのコスト試算と経済性分析, (株) インターリサーチ社, p26, 1993年3月

表2 プラスチック容器の長所と短所

長 所	短 所
軽量 量産が可能 外観の自由度が高い（透明タイプから着色） 耐衝撃性を有する 耐薬品性・耐水性を有する	使用温度に制約がある 寸法変化を生じやすい（温度や圧力により） 静電気の発生（汚れの付着の問題） 表面が傷つきやすい 内部添加剤の移行の恐れがある

材について示したが、これらは耐水性の付与が大きな問題となっている。我々はデンブンをを用いた発泡容器の開発に加えて、この問題解決に水に溶けにくいトウモロコシタンパク質のゼインに着目しフィルム開発を行った。用途においては、特に農業分野や食品分野で使用されている資材化を目的としている。食品包装の持つ課題としては、1. 微生物や物理的・化学的要因による変敗防止と品質保持、2. 衛生確保、3. 生産の合理化及び省力化、4. 流通・輸送の合理化、5. 商品価値の増大、6. 消費者の取り扱いの利便性などが挙げられるものがある。

プラスチック容器及びフィルムは、表2に示すような長所から食品包装としての条件を満たす素材として多く利用され、さらに最近では鮮度・品質保持に必要なバリアー性や各種調理加工に適應する耐熱性の付与、複合化に必要な接着剤の開発等を進めている。しかし、これらのプラスチック素材においてはリサイクル・廃棄処理システムの構築や安全性の問題も重要な課題となっており、農産物などからの食品包装資材開発の要望も高まっている。現状の食品包装に求められる条件を十分に満たすものが開発されるにはまだ時間がかかると予想するが、環境保全型産業への転換が急務とされる現在、代替できる分野・資材を検索し、随時適用していくことが重要であると考えている。以後、包装資材としての大きな用途である発泡容器（トレイ）やフィルムへの未利用部位を含めた農産物素材の変換技術について述べる。

3. デンブンで作る発泡性容器

デンブン材料として市販薄力コーンスターチを用い、基本的にはそのまま、あるいは油脂（ゴマ油またはオレイン酸、2 または8w/w%）添加し、2 軸エクストルーダー（MaxTemp.80°C、スクリュウ回転80rpm、処理時水分40%）で処理した後、水分25%に調整した未膨化ペレットを使用した。膨化機器は試作上下式焼型を用いた。市販膨化デンブンと発泡スチロールについて、予備的に強度と微細構造を比較した。表3に示すようにデンブンの焼成成型品は強度的には十分な強度を有しているが、柔軟性に欠け、さらには密度も大きい。断面で見ると完全な独立気泡緻密構造ではなく、所々に孔と連結気泡が存在している。発泡スチロール

表3 市販膨化デンプンと発泡スチロールの強度比較

測定対象	破断応力 (kg / cm^2)*
焼成成型品スナック	28.5
発泡スチロール容器 (カップ)	28.3
発泡スチロール容器 (総菜容器)	21.3
発泡大型スチロール容器	18.6

*測定は4回平均 使用プランジャーは2mm直径、貫入速度 2cm / minで測定

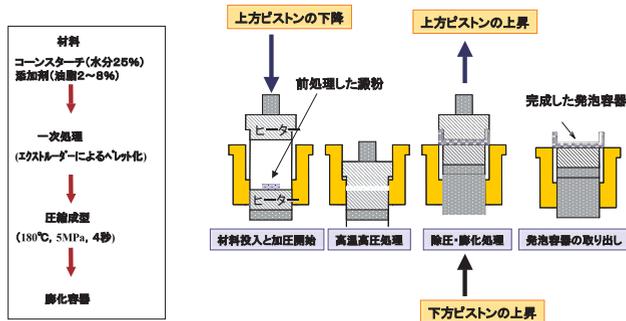


図2 発泡容器の作成方法及び圧縮成形法のプロセス

系では全体膨化によるためか均一独立気泡が全域にわたって存在し、この構造が有る程度の強度を確保しながらもややフレキシブルな特徴を与えていると思われる。これらの構造の差を念頭に発泡容器の試作を試みた。図2に示す作成方法及び圧縮成型方法により試験を行った。上下可動の金型で圧縮加熱され、材料溶融温度到達後に圧縮が若干解除されて膨化し続いて排出される機構である。その結果、組成にかかわらず、粉状では5MPaでも熱伝達が十分では無く不完全な溶融膨化となった。一方、予めペレット化した場合は均一な膨化が得られ、膨化生地は市販の発泡スチロールにほぼ匹敵するものであった。微細構造もほぼ独立した微細な気泡から構成されている。油脂無添加ではデンプンの 化のため耐水性は全く見られず直ちに水に溶解するが、油脂添加では特にゴマ油がより微細な気泡生成を促進し水中で膨潤するものの、1時間後でも溶解は認められず、部分的にせよ耐水性は確保できた。

4. トウモロコシタンパク質からの耐水性生分解性フィルム¹⁻⁴⁾

天然高分子材料からの生分解性のフィルム開発はデンプンや大豆タンパク等を

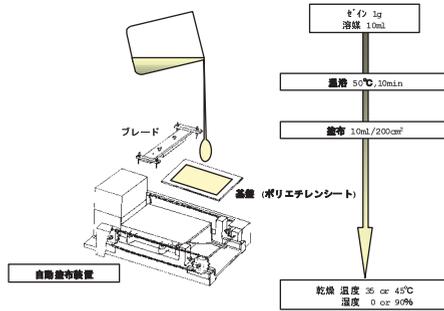
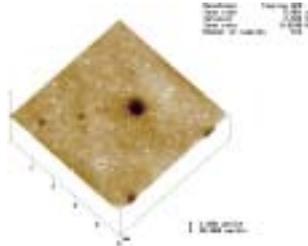


図3 ゼインを用いたフィルム作成方法



透明な生分解性フィルム



原子間力顕微鏡で見た表面
-1辺 5ミクロン-

図4 トウモロコシのタンパク質からつくった生分解性フィルム

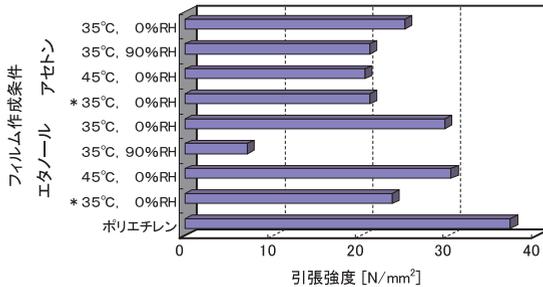


図5 各作成条件下でのゼインフィルムの引張強度
* 乾燥温度及び湿度を示す

用いても行われているが、これらは水溶性が高く、耐水性の低さが大きな問題となっている。前に述べたデンプンでの発泡容器も十分な耐水性の付与は困難であった。そこでコーンでの澱粉製造時の副産物であるトウモロコシタンパクのゼインを材料としたフィルム開発とその物性等の評価を行った。我々が着目したトウモロコシタンパク質は溶媒可溶性のプルアミンの主成分となるゼインであり、トウモロコシ種子中のタンパク質の約50～55%を占める。トウモロコシから製造されるコーンスターチを例に挙げると、原料用トウモロコシの年間使用量は、300万トンを超えており、1990年度における産物として生じるグルテンミールは、約16万トン（約5%）である。グルテンミールは、飼料用約15万トン、醸造用約1万トンとして処分されており、その取引価格は、40～70円/kgであり、コストも安価である。

図3に示すような手順で、ゼインを溶媒（70%アセトン，80%エタノール）に溶解したゼイン溶液（濃度：10%，35%）10mlをキャストイング装置を用いて200cm²の広さに塗布し、その後いくつかの乾燥条件（温度：35，45，湿度：0%，90%）で乾燥し、フィルムを作成し、引張強度等による機械的特性、接触角や透水速度等による耐水性の有無、ガス透過係数や透湿度によるフィルム素材としての評価を行っている。図4に作成したフィルムについて示す。作成されたゼインフィルムの物理特性を見てみると破断強度などはポリエチレンフィルムと同様の特性を有しており、また作成条件や乾燥条件によりフィルムの物性が変わることが明らかになった。たとえば、農産物や食品包装で重要となるガス透過性についても酸素と二酸化炭素で測定を行った結果、使用する溶媒の種類や乾燥条件により、ガスの選択透過性のあるものや透過性が非常に大きいフィルムが作成できた（図5）。これらの物性の変化は作成条件に依存したフィルム構造の変化によるものであると思われる。このフィルムの生分解性について、検討した結果を写真1に示す。フィルムは、使用する可塑剤や土壤中の水分の量により分解速度が異なるが、乳酸を可塑剤にして、保水率60%（湿った状態の土壌）においては3ヶ月以内での分解が確認されている。これらの結果から耐水性のある生分解性素材としてゼインが有効なこと、さらに作成条件によって物性が変化することで用途に合わせた素材開発も可能であることが明らかになった。

包装容器の処理の問題において、今まで食品容器包装リサイクル高度化技術開発事業等により化成品容器の処理（主にリサイクル処理）や生分解性素材での代替技術、それらの分解性処理等については大学、民間企業による検討が実施されてきた。生分解性素材についても汎用性の高い合成系の利用が中心に進んでいるが、その場合は生分解における処理時間が比較的に長いいため、それらの素材にデンプン等の天然高分子素材を混合することで生分解性の改善を図るなどの動きもある。農業分野でのマルチフィルムや施設用ビニールなどでは表面の汚れや劣化が激しくリサイクル処理が困難とされており、これらについては生分解性素材へ

の代替が検討されている。我々もこの汚れなどによりリサイクルなど処理コストが高くなるこれらの分野への用途開発も実施している。具体的には温室被覆資材・マルチフィルム資材などを念頭においた耐候試験で耐久性や特性の変化を光透過性の測定や物性測定などにより、試作しているゼインフィルムを含むいくつかの生分解性素材の利用可能性も検討している。

5. 耐水性付与のための膨化成形デンプン容器へのタンパク質フィルム接着

精製したタンパク質ゼインはコストが高く、固形素材として利用するには不向きである。そのため、先に作成したデンプンを主素材とした固形素材の表面をゼインでコーティングして耐水性を付与する方法を検討した。70%アセトンにゼインを重量比で10%溶解した溶液とし、乾燥・被膜化した。接着は80%エタノールゼイン高濃度溶液を糊とし、別にアセトン溶液から調整したゼインフィルムを接着した。図6にゼインフィルムの接着法について示す。

ゼイン・アセトン濃厚溶液を糊として用いなかった理由は、溶剤蒸散が早く、接着が困難であることを回避すると同時に、糊から蒸散するアセトンによる既成アセトンフィルムの構造崩壊の可能性を極力抑えるためである。アルコール溶液の糊のみでも若干の耐水性が得られたが、不十分であるのに対し、アセトンフィルムを接着した場合は24時間後でも良好な耐水性を示し、当初の24時間耐水性の目標はほぼ達成することができた。図7にデンプン発泡容器にゼインフィルムを接着した状況の電子顕微鏡写真と耐水性試験でのフィルム接着タイプの良好な耐水性を示す。また強度的にも全体としての穿孔強度は、それぞれがほぼ積算される値を示した。

実用化に際しては、効率的な固形素材へのコーティングの方法の検討やコーティング初期で固形素材への浸透による構造のゆがみなどの阻止などの課題がある

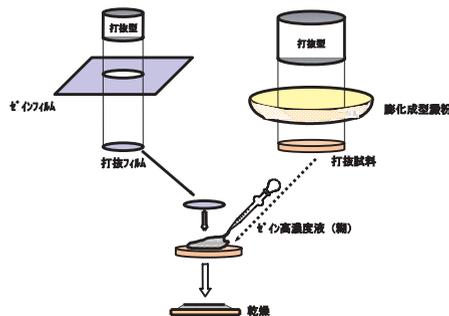


図6 デンプン発泡容器へのゼインフィルムの接着方法

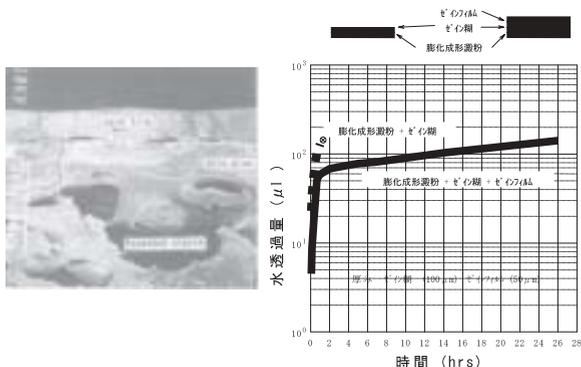


図7 発泡容器へのゼインフィルム接着状況と耐水性

が、このような耐水性付与のための耐水性素材のコーティング処理は、農業や食品分野での副産物の生分解性素材への利用促進や食品容器などに利用する際の固形素材表面からの成分の食品への移行や微生物汚染などの防止にも有効と考えられる。

食品副産物などの生分解性素材への変換に際しては、それらの多くが高水分であり、構造なども植物組織を保持している場合には、いくつかの前処理が必要となる。次に一般的な食品副産物の利用に際して必要となる脱水処理などについて述べて、それらの処理を経た副産物を利用した射出成形素材の開発について紹介する。

6. 食品副産物の生分解性素材への変換技術^{5,6)}

食品産業からの廃棄物として特徴的な動植物性残渣の場合、家畜飼料、肥料としての再資源化が最も簡便で一般的であったが、現在の食品産業の集約化や家畜農家における高品質肉生産のための飼料への要望などの状況から、必ずしも再資源化の方策として将来的にも安定的な利用があるとは考えにくい。しかし、可燃性の一般産業廃棄物と同様に焼却処理を行うことも資源の有効利用の面、環境負荷の低減の面からも問題である。そこで、従来の飼料化の場合においては飼料効率を向上できる配合を考慮すべきであるし、また給仕しやすい形への前処理や変換処理技術の導入が望まれる。畜産分野の関係者においてもこれらの食品廃棄物の効率的な飼料への利用についても検討が始まっている。さらに、従来の素材以外への変換として、生分解性を特徴とした工業素材化への変換、廃棄物に内包される有用物質の抽出・高度利用なども今までの基礎検討を踏まえて、システムとしての検討を行うべきである。

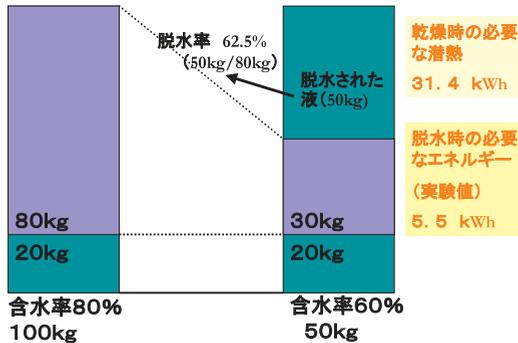


図8 脱水処理時に必要なエネルギー量

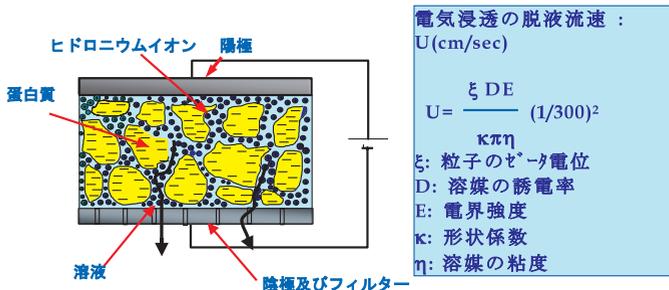


図9 電気浸透の作用機作と脱液流速式

我々は食品産業での副産物・廃棄物の有効な再資源化のためのキーテクノロジーとして、それらの大半が高水分であることから効果的な固液分離（脱水）技術について、主にスクルー系の装置による機械圧搾処理と材料の前処理の検討を進めている。副産物の再資源化には、低水分化が不可欠であるが、当然低コストで効率的な脱水処理が必要である。図8が示すように、これらの副産物の処理において80%以上の含水率を持っている素材において初期の脱水処理を機械的圧搾で行うことで、最初から乾燥によって低水分化を行う場合と比べて非常に少ないエネルギーでの処理が可能となるため、その実用化のための検討を進めてきた。機械的圧搾における液状物の分離には、個々の材料の水分状態から限界がある。所定の圧力で圧搾した場合に内部の液圧が零になる時点で圧搾による脱液は停止される。この時点での固形分の含水率を圧縮平衡含水率と呼ぶ。これは圧搾圧力を増加することで下げることが出来るが、食品等の副産物中の水は他成分に吸着

されたり、微小間隙での表面張力等で保水されているために、圧搾のみでの脱水には限界がある。機械的圧搾装置としては、高い圧力を用いてこの圧縮平衡含液率までに短時間に到達することが求められる。しかし、材料性状からこの含液率に限界がある場合に、材料からの水（液体）の分離を促進する処理の併用が考えられる。1つの処理法として活性汚泥処理において既に実用化されているのが、電気浸透法である。電気浸透法について簡単に説明する。液媒（通常は水）の中の活性汚泥などの粒子が荷電を持ち、粒子周辺の水が平衡状態を保つために逆の荷電を持っている状態を考える（電気2重層）。この対象物を電界の中においた時、希薄液体であれば、電荷を持った固形物が電極に引きつけられる（電気泳動）。一方、固形粒子が動き得ない場合に、粒子周辺の液媒が移動する現象を電気浸透と呼ぶ。図9に簡単な作用図と電気浸透による脱液速度式を示す。具体的には活性汚泥はマイナスの荷電を持っている。そこでフィルター側に陰極を置き、圧搾操作側に陽極を置くことで、水はプラスの荷電を持っているので、マイナス極に引っ張られることで水の系外への排出が促進されることになる。現在汚泥等の脱水処理にベルトプレスとフィルタープレスに電気浸透を併用した装置が実用化されている。

フィルタープレス方式は試料の注入方式からスラリー形状に適し、処理時間や圧力を設定することが容易である特徴を持ち、電気浸透処理においては電極の極性を処理毎に交換することで電極の腐食等を抑える利点を持つ。ベルトプレス方式も対象処理物としては汚泥であり、スラリー状の試料は前濃縮脱水部でろ過され、ろ過ケーキが電気浸透脱水部での電極ドラムと陰極となっているベルトの間の圧搾圧力下で電気浸透により脱水される。ベルトプレスでの圧搾処理の場合、圧搾作用点での処理時間が比較的短い、材料性状の自由度があり、連続式である特徴を持つ。これらの電気浸透処理では2次的効果としてのジュール熱による試料温度の上昇も認められ、低水分化に寄与している。食品副産物の場合、脱水処理による容積削減に加えて、腐敗防止等の要望も強く、電気浸透によるジュール熱の発生による温度上昇は、電気浸透処理の1つの利点と見ることが出来る。

電気浸透を利用したオカラ単独のバッチ式での脱水実験では、脱水効果はpH依存性が高く（pH5.6、pH4.2、pH7.2の順）、また処理電圧の増加により、脱水効果は向上した（図10）。電気浸透の推進力となるゼータ電位は、オカラではpH7.2が高く、pH4.2ではほぼ0である。逆に大豆蛋白の等電点付近のpH4.2では蛋白の凝集による離水性が高い。今回の実験では2つの作用からpH5.6付近で最大の脱水効果が得られた。廃ヨーグルトや焼酎粕との混合系ではバッチ式ではいずれの混合比においても処理電圧50Vで対照に比べて脱水率が向上した（図11）。またスクリーンプレスにおいては圧搾処理のみでも高い脱水率を示した。これらの結果はオカラとヨーグルトの混合により、脱水機構が改善される内部構造の変化が生じた可能性を示唆している。食品廃棄物の混合処理により、脱水効果が向上する

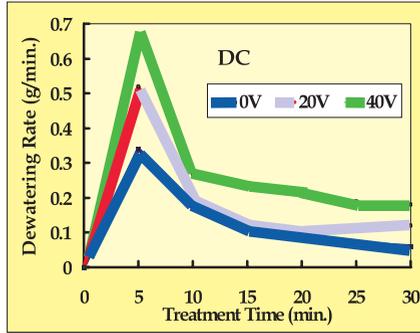


図10 オカラの脱水速度
(電気浸透処理での電圧の影響 - 圧搾圧力0.04MPa)

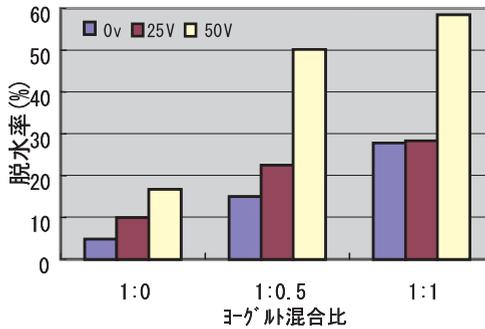


図11 廃ヨーグルト添加によるオカラ脱水率の変化
(圧搾圧力0.04MPa)

表4 必要な副産物・廃棄物の変換技術

前処理	目的
粉碎処理(湿式・乾式)	減容化・組織破壊
固液分離処理	成分濃縮・減容化
乾燥処理	成分濃縮・安定性
変換処理	目的
微生物利用	素材化、エネルギー材料
物理化学処理	素材化(生分解性素材等)
熱処理	熱源・炭化

ことは、これらの二次利用においても飼料等に利用する場合には、栄養価の向上も期待されるために、作用機構を解明し、実用化への可能性を検討している。

電気浸透では、直流処理の場合、有機物の豊富な材料での変性や内部試料の水分勾配が脱水効率の低下を引き起こすので、低周波交流による改善を試みている。オカラの脱水処理では、0.2 Hz処理での脱水率が最も高くなり（37%）、電気浸透による溶液の移動の促進、オカラ内部の水分勾配の調整に低周波数処理が有効であることが認められた。また電気浸透処理で懸念される電極金属による変色などの変質も通常の直流処理に比べて軽減された。これらの結果から周波数の調整等で脱水率の向上や品質を損なわない食品脱水処理が出来る可能性が示唆されている。このような脱水・乾燥処理で効率的な副産物の前処理が再資源化には必要であるが、他にも表4に示すような処理が必要である。特に粉碎処理は、植物細胞に由来する強固な構造を破壊し、生分解性素材化において強度向上のために繊維素材として利用することに有効である他、エネルギー生産においては、微生物や酵素の受容性を増し、資化率を向上するのにも有効である。

我々が開発した生分解性素材の原料としては、脱水処理を経た乾燥処理で低水分化した素材を連続式の粉碎装置において微細化したオカラや果汁残渣、茶抽出残渣などを用いている。

7. 射出成形法による低コスト固形素材の開発⁷⁻⁹⁾

生分解性を持ち、汎用的な利用が可能な耐水性素材開発のために先に述べたような表面コーティングした生分解性固形素材の開発を試みた。しかし、この方法では、製造方法が複雑で、また均一なコーティング処理が困難なため、ゼインを多く含むコーンデンプンの副産物であるコーングルテンミールを直接原料にした

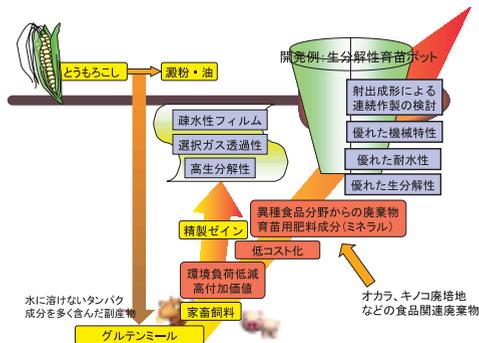


図12 食品副産物を原料にした生分解性素材の開発フロー

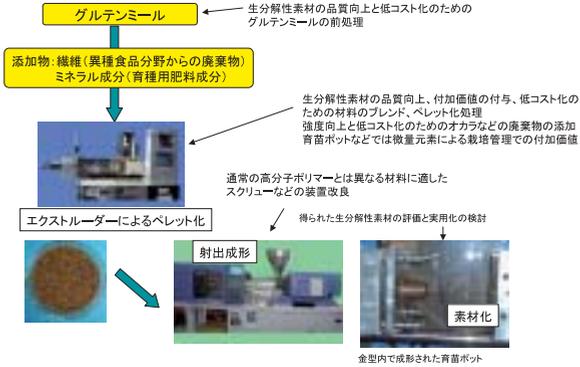


図13 射出成形法による固形素材の製造方法

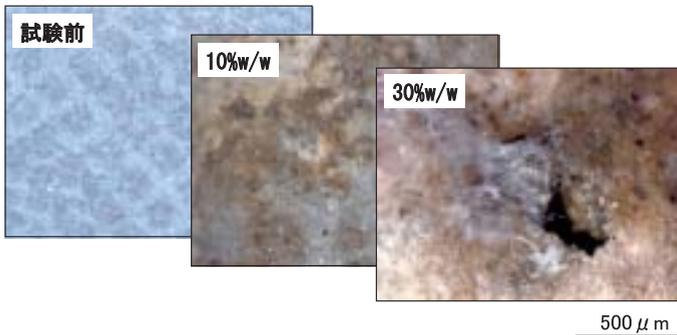


写真1 生分解性フィルムの土壤中の分解状況 (試験80日後)

表5 オカラの添加による生分解性素材の機械特性変化

	破断強度 (MPa)	伸張率 (%)
コントロール (コーングルテンミールのみ)	2.29 \pm 0.23	3.80 \pm 1.23
オカラ 乾物20%添加	2.56 \pm 0.16	4.25 \pm 0.43

10回測定平均及び標準偏差

生分解性素材の開発を検討した。我々の食品副産物を原料にした生分解性素材の開発の流れを図12に示す。低コストでかつ耐水性を持つ固形素材の開発方法とは、一般的にプラスチック固形素材を製造する手法である射出成形法を用いるものである。射出成形法とは、ペレット成形した高分子ポリマーを射出成形機のスクリ

ユー回転でシリンダー内に充填し、高温高圧の中で溶融して、コップなどの成形物の鑄型（金型）の中へスクリーの移動により射出して、金型内で成形された樹脂を冷却して、取り出す方法で一般的なプラスチック成形手法の1つである。ゼインを含むコーングルテンミールを主原料にして、農産廃棄物であるオカラや農産物の茎葉、キノコの廃培地（オガク스가ベース）などの植物繊維成分を強度向上剤として添加した材料での射出成形法による固形素材化に成功した。この製造工程を図13に示すが、まずコーングルテンミールやオカラなどの原料を調整して、エクストルーダーでペレット化し、そのペレットを射出成形機で育苗ポット（写真2）に成形した。表5に成形した素材の機械特性を示すが、固形素材として通常の化成プラスチックに比べて若干低いが使用に耐える強度を得た。特にオカラなどの繊維分を多く含む副産物を乾燥し、粉碎したものを10 - 20%添加したものは、無添加に比べて強度が一割程度向上した。また成形素材は、図14に示すように、オカラ以外に米糠や茶殻、リンゴなどの搾汁残渣などについても機械特性が向上し、特に成形素材を乾燥することで、その強度はさらに向上した。この研究は、昭和産業と日本製鋼所の共同研究により実施されたものであり、生産性の利点（コスト、成形性、成形物の形状の自由度）が多い射出成形法を用いること

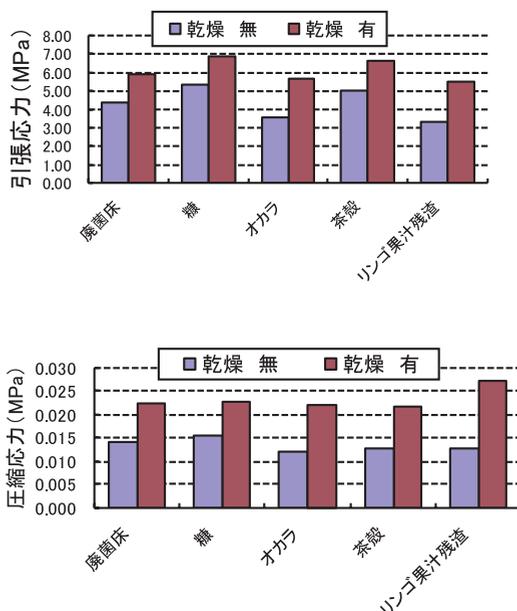


図14 各食品廃棄物の添加による物性の改善

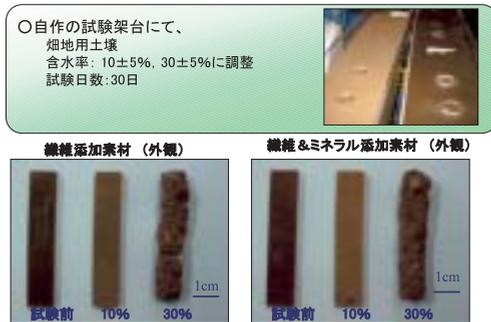


図15 土壌中生分解性試験

表6 原料の配合の一例

原 料	配合割合 (乾物換算)
CGM (g)	0.9
Fiber (g)	0.1
Glycerol (g)	0.1
Ethanol (ml)	0.15
Water (g)	0.15

オカラ，果汁残渣などが利用可能

でコスト低減と実際の使用に耐える固形成形物を得ることが出来た．タンパク質も他の高分子と同様な熱可塑性を有していることが知られていた．しかし，熱熔融時の物性が温度により容易に変化するため射出成形処理は実際には使われていなかった．今回は，従来的高分子ポリマーの処理に比べて，射出成形時の高い圧力の設定と厳密な温度設定，さらには射出スクリーンの形状などの改良によって，安定的な射出成形法を開発した．さらに土壌中の生分解性の試験を実施して，湿潤土壌ではほぼ1ヶ月で分解することを確認した(図15)．この技術では，コーングルテンミールの他，グリセリン(可塑剤)，オカラ，野菜等の残渣，キノコ廃培地などの食品副産物から資材が得られるため，コストの低減を図ることができる．素材の前処理も水分調整と粉碎のみであり，その後のペレット化や射出成形処理も連続大量処理の可能なプロセスであり，処理コストは非常に安価である．

一例として表6に示すような原料組成の場合には，写真2に示すような約30gのポットで1個7 - 8円と見積もられる．この値は，一般の化成プラスチックに比べれば，まだ数倍高いが，ポリ乳酸などの他の生分解性ポリマーに比べれば安価となっている．また植物の育苗ポットなどの製造では，材料をペレット化する

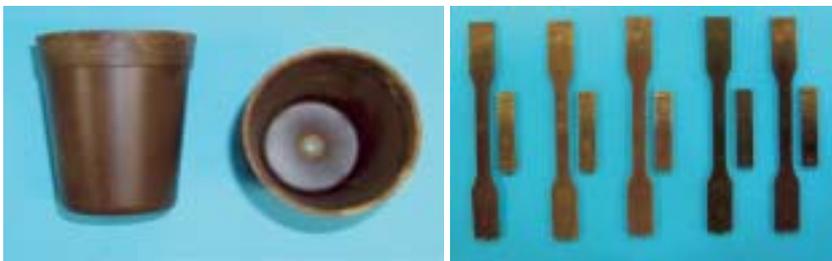


写真2 射出成形法を用いた生分解性素材

右：育苗ポット

左：強度測定用試料片

- 原料:コーングルテンミール、オカラ、グリセリン等 -



- 花き研究所における栽培試験
(実用性の評価、改善)

- 果樹研究所における
防草シートの試験

写真3 農業資材としての評価試験

際に植物の生長に有効な微量元素などを添加しておくことにより、土壌中で生分解するにしたがって、拡散溶出し、安定的に植物へ供給することが可能となる。写真3に花き研究所及び果樹研究所の協力を得て行った栽培時の評価試験風景を示す。

初期の育苗ポットでは、1週間程度から崩壊が始まり、また2週間程度経過後に苗の生長が遅れ、その後に枯死するケースなどが認められた。この結果から、育苗ポットの成形時の原料の配合や微量元素の添加量を削減し、ポットの改善に努めた結果、崩壊開始が約3週間と延長でき、また苗の正常な生育も確認している。さらに前に述べた表面へのコーティング処理でも同様の構造の安定化の効果

が認められた．また写真3に示すような防草シートへの利用なども想定されている．特に長期的な利用が可能なポットにおいて溶出する成分に肥料効果が期待できる高機能の資材は，農業での栽培管理の効率化や農地での過剰施肥の改善などの副次的な効果も期待できる．実用化に向けた原料の配合や成形条件の最適化，さらには他の生分解性ポリマーとのブレンドなども含めて検討している．

開発した射出成形素材に関連して，素材として使用できる食品産業や農業での副産物の検索，さらに用途として野菜などの流通容器や使い捨て食品容器などへの展開を検討している．

8．おわりに

生分解性素材の開発においては，一般資材としての品質向上を図ると共に，コストの低減を原材料コスト及び処理コスト両面から検討する必要がある．また生産・流通サイドから消費者サイドを含めた全ての段階で環境保全型システムへの移行が必要であるとの認識を持つことが重要であろう．我々も開発した生分解性素材製造技術を核にして，図16に示すような循環型システムの構築に向けた検討を進めていく予定である．今まで様々な食品加工技術を開発することで農産物からの新食品変換技術を確立してきたが，今後は農産物などの天然資源を利用した非食品素材への変換技術も重要な研究課題と位置づけ，研究を進展していく必要があると感じている．

(食品工学部製造工学研究室 五十部誠一郎)



図16 農産副産物からの生分解性資材の開発のコンセプト

引用文献

- 1) T.Yoshino, S.Isobe, and Takaaki Maekawa, J.American Oil Chemists ' Society,79 (4), 345-349 (2002)
- 2) R.Paramawati, T.Yoshino and S.Isobe, Food Sci. Technol. Res.,7 (3), 191-194 (2001)
- 3) 吉野智之,五十部誠一郎,前川孝昭,農業施設学会誌 31,4,225-231 (2001)
- 4) T.Yoshino, S.Isobe and T.Maekawa, J. American Oil Chemists ' Society, 77 (7), 699-704, (2000)
- 5) 吉野智之,石崎勝也,河野省一,植村邦彦,五十部誠一郎,日本食品科学工学会第45回大会講要,156 (1998)
- 6) S.Isobe et al.,JARQ, 31,2,137-146 (1997)
- 7) S.Isobe et al.,Proceedings of 11th Annual Meeting of BioEnvironmental Polymer Society,p20 (2003)
- 8) 伍強賢ら,2003年度農業施設学会大会講演要旨, p.40 - 41,平成15年8月6日
- 9) Q.Wu,H.Sakabe,S.Isobe,Ind.Eng.Chem.Res.,42,6765-6773,2003

