

I 国産草本系原料を用いた4種類のバイオエタノール製造プロセス開発

1. はじめに

2007-2011年度に実施された農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」では、主要な農産廃棄物である稲わら、麦わらや、資源作物としてのサトウキビ、スイートソルガム、バレイショ、カンショおよびテンサイを原料としたバイオエタノール製造技術の開発が行われた。特に、セルロースやキシランからなる繊維質を主成分とする稲わらの変換技術については、我が国における食料・飼料生産との競合を避けることが可能な重要技術として期待されてきた。このような中で、著者らの研究グループは、上記7種類の草本系原料に対応した変換技術開発の総合的推進を担当し、4種類のバイオエタノール製造プロセスの提案に至った。本稿では、これらの工程の開発経緯および特徴について概説する。

2. 本プロジェクトの特徴 ～小規模バイオエタノール製造技術開発～

我が国におけるバイオエタノール製造技術開発戦略を行うため、2007年11月に、経済産業省と農林水産省が連携し、関連業界や大学、独立行政法人試験研究機関等からなる「バイオ燃料技術革新協議会」を設置した。そして、翌年3月には、「バイオ燃料技術革新計画」を取りまとめている¹⁾。本報告書では、「バイオマス・ニッポンケース」および「技術革新ケース」という二つの政策シナリオを提示している。前者では、2015年までに、農産廃棄物である稲わら、スギ等の造林樹種などの国産資源を原料とし、年産15万kL規模でのバイオエタノールの製造コストを100円/Lに低減するためのシナリオを設定している。その一方で、技術革新ケースは、2030年までに、目的生産したセルロース系バイオマスを原料とし、国内外を問わず、年産10～20万kL規模で40円/L程度でのエタノール製造をめざすものである。

本稿で研究成果を紹介するプロジェクトは、バイオマス・ニッポンケースに則り、年産15万kL程度の極めて小規模のプラントでのバイオエタノール変換技術を、2012年頃までにラボスケールで完成させるものであった。本研究では、各原料の価格が設定されており、例えば、稲わらを原料とした場合には、乾燥稲わら15円/kgと設定し、廃液処理費用を含めて100円/L程度の価格のエタノールを製造する技術を開発することが求められた。

発酵によりエタノールを製造する際には、各原料からアルコール製造用微生物が発酵できる糖を取り出すための糖化工程を開発し、後段に酒造りと同様の発酵工程を連結することとなる(図1)。アルコール製造用微生物としては、酵母を

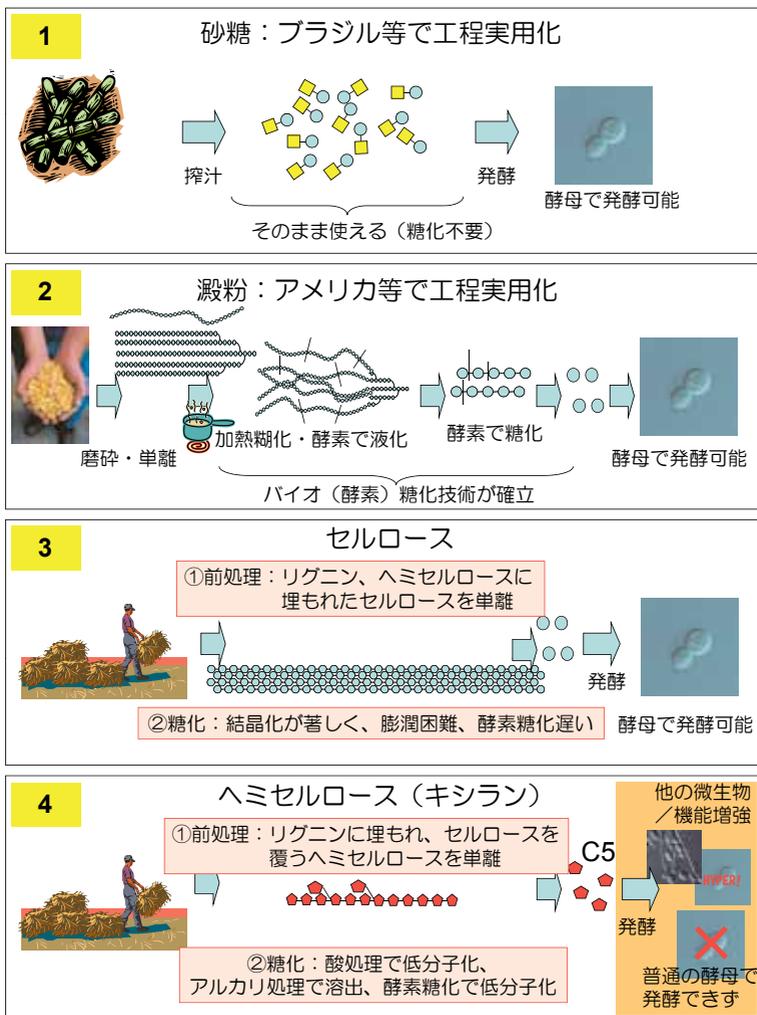


図1 草本原料中の主要糖質からエタノールへの変換プロセスの概要

用いることが一般的である。通常のアアルコール製造用酵母は、サトウキビやテンサイの主成分である砂糖（ショ糖）やスイートソルガム搾汁液の主成分であるブドウ糖や果糖を直接発酵できる。それに対して、バレイショおよびカンショの主成分である澱粉については、酵素糖化（低分子化）後にアルコール発酵を行う必要がある。また、稲わらなどの繊維質については、澱粉と同様に、主成分であるセルロース、キシラン等の細胞壁多糖を酵素等によって加水分解すれば、発酵性

の糖に変換できる。しかしながら、細胞壁多糖は、リグニン等を介して強固な組織構造を形成していることから、直接加水分解は極めて困難であり、化学的、物理学的あるいは生物学的な前処理による糖化工程の効率化が不可欠と考えられている。さらに、細胞壁主成分の一つであるキシランから得られる単糖キシロースやアラビノースは、通常のアルコール製造用酵母では直ちに発酵されない五炭糖（C5）であり、遺伝子組換え酵母の利用など、特殊な発酵技術の導入が必要となる。

3. 原料特性に対応した4種類の変換技術開発

冒頭で記述した7種類の草本系原料に対して、その特性に対応した4種類の変換技術を開発した。以下に各の技術の特徴を示す。

3.1 LTA（低温アルカリ前処理）法

サトウキビおよびスイートソルガムを資源作物として見なした場合には、搾汁液中の六炭糖（C6）であるショ糖、ブドウ糖や果糖のみならず、絞りかす（バガス）中の繊維質からも発酵性糖質を回収することが望ましい。サトウキビ精糖工程では、バガスの大部分（8-9割）はボイラー燃料として有効利用されているが、将来的には、サトウキビ茎部収穫時の残渣の燃料利用やボイラー燃焼効率の向上などにより、余剰バガスの糖化原料としての利用量が増加するものと期待される。バガス繊維質には、セルロースを構成するブドウ糖の他に、キシランを構成するキシロースが存在するが、資源作物の茎を原料全体として計算した場合、六炭糖／五炭糖の比は4.2～5.0程度の値となると考えられる。年産1.5万kLという小規模製造プロセスを考えると、設備費用を抑えたシンプルな工程を開発する必要がある。このため、これらの資源作物については、五炭糖発酵のための追加工程を積極的には導入せず、六炭糖のみの効率的回収を軸とした変換技術を開発することとした。

このような考え方の下で開発したプロセス（LTA法:Low Temperature Alkali pretreatment, 低温アルカリ前処理法）では、サトウキビまたはスイートソルガム茎部の搾汁後に得られるバガスを粉碎後、水酸化ナトリウム（NaOH）水溶液中で室温処理する。その後、スラリーを洗浄・中和して得られた繊維質中のセルロースを酵素糖化して六炭糖のブドウ糖を効率的に回収し、これを搾汁液とともに通常のアルコール製造用酵母を用いて発酵する（図2）²⁾。

サトウキビ「農林8号」の茎部を原料とした場合、生原料に含まれる125 g/kg程度の遊離糖（ショ糖、ブドウ糖および果糖）を搾汁工程で回収した後、残るバガス中のセルロースに由来するブドウ糖（49.0 g/kg生茎部原料）を効率的に回収でき、市販セルラーゼ製剤および β -グルコシダーゼ製剤を用いた際の24時間後の糖化率は9割程度に達した。本工程では、原料に含まれる、通常のアルコー

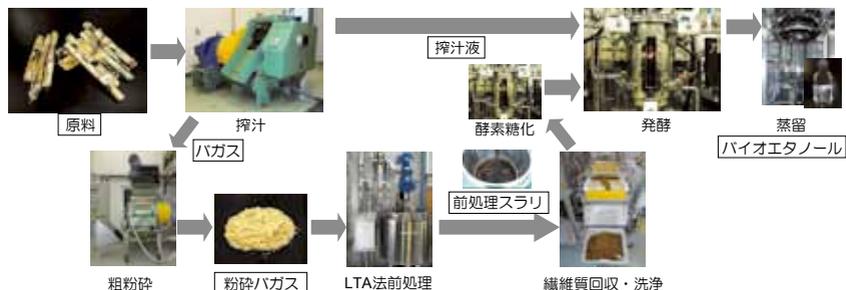


図2 LTA法によるサトウキビ茎部からのバイオエタノール製造工程の概要

ル製造用酵母が発酵可能な六炭糖（ブドウ糖および果糖）のほぼ全量を回収できる。それに対して、アルカリ処理によって大部分のキシランは遊離し、系外に除去されることとなる。多くの草本系原料では、繊維質の木化度が低いことから、高濃度のアルカリを用いて室温程度で数時間処理するだけで、効率的に脱リグニンを行うことができる。それに対して、木質系原料を用いる場合には、アルカリ蒸解パルプ製造工程のように、160℃程度の高温処理が必要となる。使用したアルカリは、前処理後に固液分離によって黒褐色の液相として回収し、パルプ工程における再生処理することにより、繰り返し利用が可能となると考えられる。

3.2 CARV（粘度低減後変換）法

本研究では、澱粉やショ糖の精製原料として栽培されているバレイショ、カンショおよびテンサイを資源作物として捉え、まず、繊維質の利用可能性を検討した。その結果、セルロースとペクチンを主成分とした繊維質は、含有量が低く、糖源としての品質も低いことが明らかとなった。また、地下部（根部または地下茎）の収穫時に副生する茎葉部は、繊維質の品質が低い上に腐敗性が高く、現行収穫体系では収集が困難であることから、原料に含めないこととした。さらに、地下部の繊維質は吸水性・保水性が高く、磨砕（すりおろし）時に澱粉やショ糖の回収性や廃棄物処理効率を低下させる一因となるものと推察された。類似の現象は、大量の搾り粕残渣が副生する芋焼酎製造工程でも見られており、このような高含水率の双子葉植物系原料を扱い、廃棄物処理を行う際には、吸水性・保水性の高い繊維質のハンドリングが大きい問題と考えられた。

原料中の糖源の大部分が澱粉またはショ糖であることから、既存のバレイショ澱粉の精製工程やテンサイ精糖工程をバイオエタノール用途に転用するのが、既存の原料収集インフラを活用しつつ設備コストを抑えることができる現実的な提案となる。国内テンサイ製糖工場でのバイオエタノール製造実証事業では、短冊

状に剥皮したテンサイを熱水とともに圧搾して糖液を回収し、濃縮糖液（シックジュース）としたものを発酵原料としている。また、バレイショおよびカンショについては、コーンのウェットミル法と類似の方法で、裁断後に地下部繊維質を洗浄して澱粉を分離精製する方法が有効と考えられている。しかしながら、既存設備を使うという利点を度外視した場合、食品製造時と比べて品質管理のグレードが低いバイオエタノール製造工程では、まだ低コスト化の余地が残っているものと考えられる。また、既存の工程で大量の水を使用することや、そのために熱濃縮工程が必要となることが、製造コストやエネルギー効率向上の際の課題になると考えられた。

そこで、本研究では、既存設備の利用を想定せず、シンプルな新規変換プロセスの開発を行うこととした。その際には、加水・洗浄操作を極力減らし、吸水性・保水性の高い繊維質のハンドリングに係る問題を最低限に抑えることを目標とした。その結果、地下部全体を磨碎し、澱粉またはショ糖と繊維質が混在する状態で酵素処理によって繊維質を軟化し、その後、処理物全体を用いて発酵を行うことを特徴とする、シンプルなバイオエタノール製造工程（CARV法:Conversion After Reduction of Viscosity, 粘度低減後変換法）を提案した（図3）³⁾。

バレイショおよびカンショは磨碎後に高粘性のスラリーとなるが、ペクチナーゼ製剤とセルラーゼ製剤を作用させることにより粘性低下し、ハンドリング性が大幅に向上する（図4）。本酵素処理により、磨碎スラリー中の澱粉液化処理（アミラーゼによる澱粉の部分加水分解）を行うことが可能となり、さらに、液化物を基質として糖化・発酵を同時に行う（並行複発酵）処理を行うことにより、10%（v/v）を超える高濃度のエタノールの効率的製造が可能となる。それと同時に、初段の繊維質分解酵素処理により、廃棄物として得られる蒸留残渣の保水性が低下し、残渣処理工程を効率化するものと期待される。

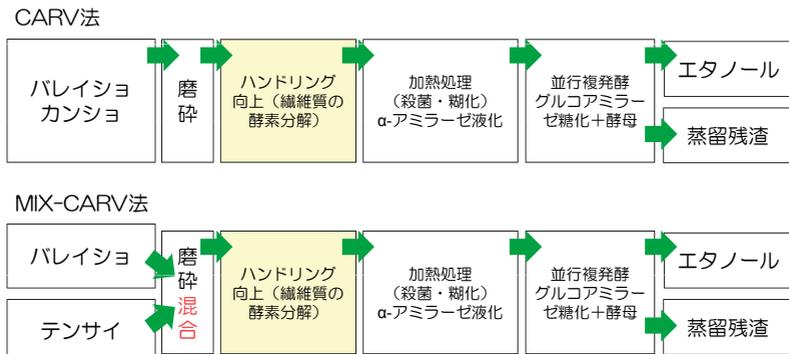


図3 CARV法およびMIX-CARV法の概要



図4 バレイショ磨碎物の繊維質分解酵素処理による粘性低下

(左：酵素処理前，右：酵素処理後)

それに対して、テンサイの磨碎物は、繊維質分解酵素が作用しにくく、粘性低下を促すためのpHシフト処理が必要と考えられた。また、澱粉を含まないので液化・糖化工程は不要となる一方で、磨碎物の糖濃度があまり高くないことから、8% (v/v) 程度の濃度のエタノールしか製造できず、培養槽の稼働効率が低いことが課題となった。さらに、熱処理工程を加えない場合には、雑菌汚染が問題となる。

そこで、著者らは、テンサイとバレイショを併用・混合することにより、製造工程のさらなる効率化を図った改良技術 (MIX-CARV 法) を提案した (図3)⁴⁾。これらの原料は、北海道の大規模輪作体系における主農産物であり、極近傍での安定調達が可能となる。

本法では、それぞれの原料を湿式グラインダー処理により無加水磨碎した後、それぞれを1:1の重量比で混合し、細胞壁分解酵素処理を行う。その後、耐熱性 α -アミラーゼを加えて95℃で30分澱粉液化処理を行い、バレイショでのCARV法と同様に並行複発酵を行いエタノールを製造する。本法によれば、繊維質分解酵素による粘性低下が可能となる。また、バレイショ中の澱粉を加えることにより糖液濃度を高めるとともに、95℃、30分間の澱粉液化工程により磨碎物の殺菌を行うことができる。本法では、並行複発酵48時間後にエタノール濃度14.2%(v/v)を記録し、その収率は発酵性糖質量から計算した理論収率の92.4%に達した。

テンサイは、北海道の大規模輪作体系における主農産物である一方で、事実上、精糖原料としての利用に限定されている。それに対して、MIX-CARV法は、既存設備に頼らない簡素な設備により、適正規模で発酵性糖質を供給するための新技術として、バイオエタノールのみならず、飲料用エタノールをはじめとする多様な製品を提供できる潜在性を有するものである。本技術が、高付加価値製品を与えるテンサイ新品種系統の開発等の受け皿として、国内地域産業の発展に貢献することを期待したい (図5)。

現状：テンサイ変換工程は一つだけ

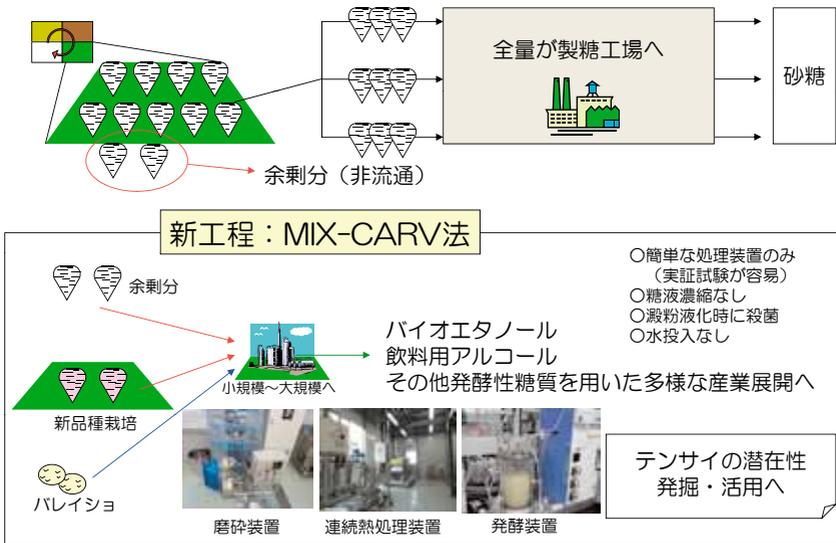


図5 テンサイの変換を軸とした新産業創出のイメージ

3.3 DiSC（稲わら稈部直接糖化）法

稲わら、麦わらなどのイネ科植物の茎葉部を糖化原料とする場合には、繊維質中の主要多糖であるセルロースおよびキシランを対象として、前処理技術を開発することとなる。著者らのデータでは、市販の稲わらには、セルロースおよびキシランが、乾燥重量あたりそれぞれ約30%および14%含まれていた。しかしながら、この値は満足できるものではなく、100円/Lでのバイオエタノール製造を実現するためには、原料品質の最適化の可能性を検討する必要がある。本プロジェクトでは、農研機構作物研究所に協力を仰ぎ、多様な稲わら試料を分析する機会を得た。その結果、全測定試料について、セルロースやキシランに加えて、澱粉、ショ糖、ブドウ糖、果糖、そして β -1,3-1,4-グルカンが存在することを確認することとなった（後者5つを総称して「易分解性糖質」と定義する）。作物学分野では、稲茎葉部にショ糖や澱粉等の非構造性炭水化物を蓄積する現象は広く知られており、稲の生長と子実の充実度との関係等について研究が行われてきた。しかしながら、バイオマス変換技術を開発する側からは、これらの易分解性糖質の存在は殆ど注目されず、その結果、主として繊維質からの糖回収のみを考慮した前処理法が検討されてきた。

この現象が注目されなかった背景には、重要な理由が隠れていると考えられ

る。上述した市販稲わらには、易分解性糖質は殆ど含まれていないのに対して、わら収集後に直ちに乾燥するなど、適切な方法で保存された実験用試料からは、セルロース量の数十％に相当する量の易分解性糖質が全点から検出された。実験室での試験でも、易分解性糖質は、日陰乾燥を行う間に急速に減耗・変質することが明らかとなった。これらのことは、稲わらの品質を高く保持するための収集・貯蔵技術や、その品質保持技術を支える迅速・効率的な収集体系の構築が極めて重要であることを示す。原料中に易分解性糖質が蓄積する現象は、三大穀物の他の二つに由来する農産廃棄物、麦わらやトウモロコシ茎葉部では観察されず、稲作文化圏のみでのチャンスと考えられる。

稲わら試料の中には、例えば、飼料稲品種リーフスター由来の稲わらのように、易分解性糖質の含有率が著しく高い品種系統が存在することが明らかとなった。このような試料の場合、六炭糖／五炭糖の比が高くなることから、六炭糖のみの回収・利用によるシンプルな変換工程の開発が望ましい。その一方で、易分解性糖質の主成分となる澱粉は熱糊化後に水に溶解する他、ショ糖は抽出性が高く、酸加水分解や水熱処理に対する安定性が低いため、過酷な前処理を行う際には注意が必要と考えられた。

そこで、セルロースの高効率糖化のために求められる過酷な前処理を行わず、代わりに易分解性糖質の回収を優先させたシンプルな変換技術を提案した(図6)。原料としては、稲わら中の易分解性糖質の殆どが存在している稈部(茎の内部)のみを用いることとし、風力選別による稈部回収技術も併せて開発した。本変換技術(DiSC法:Direct Saccharification of the Culms, 稈部直接糖化法)では、易分解性糖質の回収を優先させつつ、セルロースの一部のみを直接酵素糖化してブドウ糖に変換して取り出すこととなる⁵⁾。その後、通常のアアルコール製造用酵母

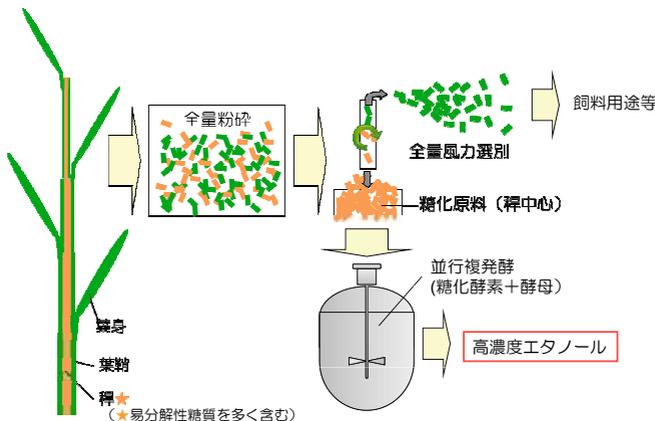


図6 DiSC法の概要

を用いて並行複発酵を行うことにより、繊維質原料から7% (v/v) を超えるエタノールの製造を可能とする。本法によれば、前処理から発酵までワンバッチでの操作が可能となるとともに、基質の糖濃度向上による変換装置サイズや蒸留装置サイズの縮小、生成エタノール濃度向上による蒸留コスト低減や廃液量減少などが期待される。

DiSC 法の実用性に影響を及ぼす最大の要因は、易分解性糖質量の多い原料の確保である。本研究に用いたリーフスターは、極めて著量の易分解性糖質を蓄積することが知られる一方で、十分な粉量が確保できないことから、粉の収穫と稲わら利用の両立を考える場合には、さらなる品種改良が必要となる。それに対して、主食米用稲から得られる籾収穫期の稲わらについて、易分解性糖質濃度が高いと考えられる地際付近から稲わらを回収し、直ちに易分解性糖質の減耗を抑えるような低温貯蔵した試料を分析した結果、セルロース量の3割を超える量の易分解性糖質の蓄積が観察されている(図7)⁶⁾。これは一例であり、品種以外にも、土地・気象条件、栽培条件、試料回収日などにも影響を受ける値となることに注意が必要であるが、DiSC 法を活用する際に有効性を発揮する稲わら試料が存在する可能性が期待できる。その一方で、これらの試料を安定に得るためには、粉の充実を前提とした易分解性糖質の効率的蓄積技術に係る育種・栽培研究のさらなる進展が待たれる。

3.4 CaCCO (炭酸ガス吹き付けによるカルシウム捕捉) 法

天日乾燥後の稲わらをはじめとする、通常の稲わらや麦わらについては、六炭糖/五炭糖の比が小さいことから、原料中の六炭糖と五炭糖の両方を回収し、エ

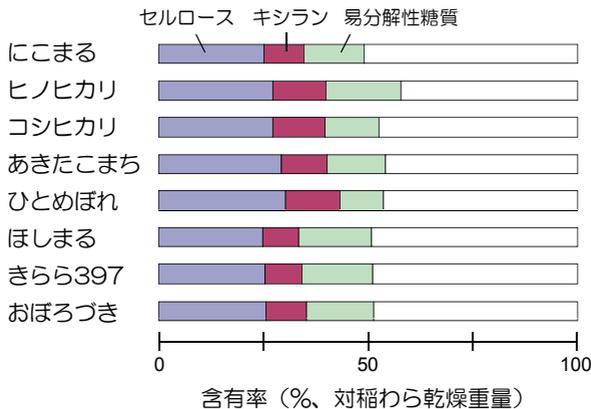


図7 主食用米用稲由来の稲わら中の繊維質多糖および易分解性糖質の量(例)

タノールに変換する工程の開発が必要となる。それに加えて、稲わらに含まれる易分解性糖質は貴重な六炭糖であり、その回収も大切となる。そこで、繊維質のセルロースおよびキシランの糖化を効率化するような前処理を行いつつ、易分解性糖質の流亡や分解を最低限に抑えるような工程の開発に取り組むこととした。

まず、著者らは、希硫酸処理、水熱処理、NaOH 処理等について稲わらへの適合性を検討した。その中で、酸処理時や水熱処理時には、果糖やキシロースの過分解が起こることを確認した。それに対して、NaOH 処理後の懸濁液中には、易分解性糖質やキシランの一部が遊離し、前処理後の固形分洗浄・アルカリ回収時に流亡した。逆に、前処理後の固形分中のアルカリは液中に遊離しにくいことから、固液分離工程、固形分の洗浄工程および懸濁液の中和・pH 調整工程の導入が必要と考えられた。アルカリ処理では、易分解性糖質のうち、ブドウ糖や果糖などの還元糖が過分解する。しかしながら、易分解性糖質のうちで高い割合を占めるショ糖および澱粉は変質しにくい。また、アルカリは、ヘミセルロースの酵素糖化性を顕著に向上するとともに、物理的障壁となるリグニンの一部が溶出されることから、繊維質に対する高い前処理効果が期待できる。

そこで、アルカリ処理のメリットを生かしつつ、糖の流亡の原因となる固液分離工程、洗浄工程を省略し、中和・pH 調整工程を効率化した前処理工程の開発を行うこととした。前処理後の固液分離を伴わず糖化工程に移行可能な候補物質として、揮発性を示すアンモニア水、そして炭酸ガスにより不溶化できる水酸化カルシウムを選定した。アンモニアは高価であり、加熱を伴う回収・再利用工程の開発が不可欠となるのみならず、臭気を有し、作業者への高い配慮が必要となることから、相当高度な設備が必要となり、自ずと設備規模が大きくなると考えられる。その一方で、水酸化カルシウムは、溶解性が低く pH 上昇には限界があるものの、比較的安価で汎用性の高い不揮発性アルカリである。そこで、本研究では、水酸化カルシウムを用いた前処理技術の開発を行うこととした。

その結果、バイオマスの水酸化カルシウム処理後に懸濁液を固液分離しないプロセスとして、前処理後に炭酸ガスを吹き込むことにより、水酸化カルシウムを炭酸カルシウムに変換して不溶化させることを特徴とする“CaCCO (Calcium Capturing by Carbonation (CO₂)) : 炭酸ガス吹き付けによるカルシウム捕捉法”を提案した (図 8)⁷⁾。

基本的な処理例を以下に示す：バイオマス原料の粉砕物に、原料の乾燥重量との比率で 5～20%(w/w) の水酸化カルシウムと原料の乾燥重量の 4～9 倍重量の水を混合し、加熱 (120℃, 1 時間) を行う。冷却後に、炭酸ガスを吹き付け、加圧条件下で pH を弱酸性として、酵素および酵母 (キシロース発酵性酵母: 遺伝子組換え菌または非組換え菌) を添加し、30～40℃ 程度で並行複発酵を行う。蒸留後の残渣は、遠心分離などの方法で固液分離を行う。固形分は燃焼し、熱回収するとともに、灰のキルン焼成により酸化カルシウムとして再生できる。廃液

は、メタン発酵に供した後、液肥利用する、または好気処理により環境へ戻す。本反応では、ワンポットでの反応が可能であり、設備投資を大きく低減できるものと期待される。

3.5 RT (室温処理) -CaCCO 法

CaCCO 法の改良を進める中で、基本条件としての $120^{\circ}\text{C} \cdot 1$ 時間程度の水酸化カルシウム前処理条件を緩和するために検討を行った結果、室温で7日間程度の処理によって、上記熱処理と同程度の前処理効果が得られることを確認した。本方法を「RT-CaCCO 法 (Room Temperature (室温処理))」として報告した⁸⁾。本工程により、CaCCO 法における熱エネルギーや前処理設備コストが低減できるものと期待される。それに加えて、RT-CaCCO 法は、原料のハンドリング上の重要課題である、「貯蔵」の問題を解決できる可能性を有することを見出した (図9)。

草本系バイオマスの代表となる農産廃棄物 (コーンストーバー、麦わらおよび稲わら等) は、子実の収穫時において、40 ~ 60% またはそれ以上の高い含水率を示すことが少なくない。麦わらでは、含水率 20% 程度に下がる地域もあり、子実収穫時における地域の気候条件に大きく依存する。含水率が高い草本系バイオマスは、乾燥しない限り、易分解性糖質、タンパク質やペクチン質などが容易に腐敗、褐変、軟質化することとなり、変換原料として用いることが事実上不可

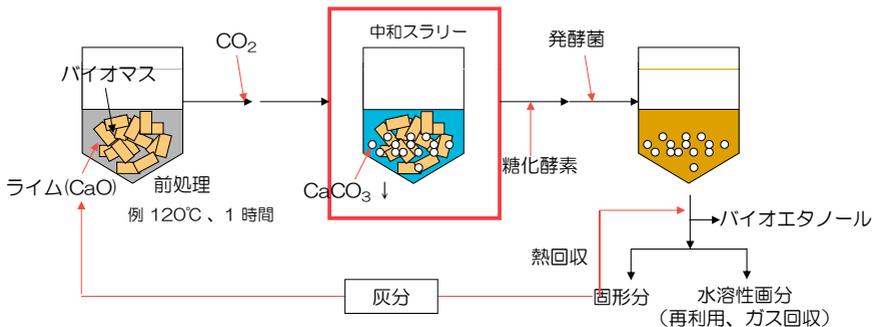


図8 CaCCO 法によるバイオエタノール製造工程の概要

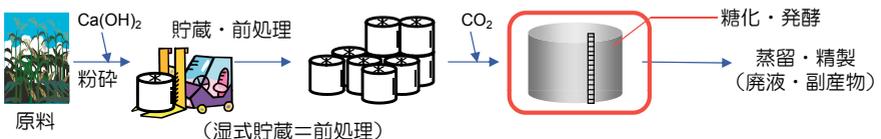


図9 湿式貯蔵と前処理を兼ねる RT-CaCCO 法の概要

能となる。また、稲わらに含まれている、澱粉、ショ糖等の易分解性糖質は、微生物汚染による腐敗のみならず、植物体自らの呼吸により分解されてしまい、原料中の有効糖質濃度を大幅に低減させると考えられる。このように、稲わらの貯蔵は、他の原料よりも重要な問題となる。

含水率の高い草本系原料を低コストで確実に保存する方法は全く存在しない。草本系原料の貯蔵技術は、乾式貯蔵技術と湿式貯蔵法に分けられる。乾式貯蔵技術には、天日（外気）乾燥法と強制乾燥法が考えられる。前者は、子実収穫後または原料収集後に天日下（外気）で自然乾燥するものであり、事実上、バイオマス変換原料の実用的乾燥技術となっている。しかしながら、天日（外気）乾燥の成否は、その年・地域の天候や水捌けなどの要因に大きく影響を受け、ある年の変換原料の品質が、次の年に確保できる保証は全くない。また、強制乾燥法は、原料を乾燥設備に輸送した後に、熱乾燥を行うというものである。火力発電所の余熱利用が可能な場合など、実施可能な例も見られるものの、極めて例外的なケースと考えられる。

その一方で、湿式貯蔵法については、畜産用サイレージの調製に関連付けて古くから多くの検討が行われている。例えば、乳酸菌等の微生物を接種し pH 低下や制菌を行う方法は実用化されており、保存畜産飼料の供給に欠かせないものとなっている。しかしながら、乳酸菌の使用により、バイオマス原料の貯蔵コストは向上し、バイオエタノール製造時において乳酸菌混入は最大の問題であり、殺菌目的で熱処理などの高度な処理を行う必要がある。さらに、乳酸菌の増殖には、遊離糖の消費が不可欠である。稲わらの場合、ショ糖等の易分解性糖質が分解することとなり、原料品質が低下する。

その他、硫酸、乳酸、アンモニア、尿素の導入などが試みられている。しかしながら、乳酸菌処理時と同様に、バイオマス変換原料の湿式貯蔵時におけるコストの許容範囲は、飼料としての許容範囲よりも小さいことから、これらの方法を変換原料に対して実用化するためには、コスト要因の解消が最大のポイントとなる。それに対して、RT-CaCCO 法における原料貯蔵コストを考えた場合には、使用する水酸化カルシウムのコストを前処理用の薬品分としてカウントすることにより、貯蔵コストを低く抑えることができる。これらを総合すると、RT-CaCCO 法は、農産廃棄物や資源作物などの高度利用に道を拓くための、世界初の湿式貯蔵・前処理技術を提供するものと期待される。

4. おわりに

本稿で概説した4つのプロセスによって、国内に存在する草本系原料の多くをカバーすることが可能となる（図10）。これらの小規模変換技術は、バイオ燃料製造を通じて地球温暖化を抑制するのみならず、地域活性化のための新たなチャンスを生むものと期待される。海外で、コーンストーバーやサトウキビバガス等

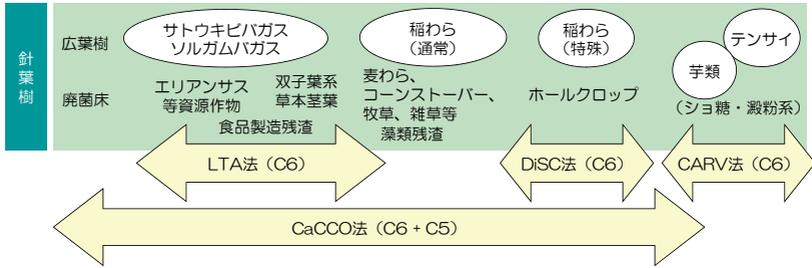


図 10 本プロジェクトで開発したプロセスの活用範囲のイメージ

を主要原料として技術開発が活発に進められる中で、我が国の主要原料となる稲わらの潜在能力や、資源生産・調達に係る国内事情に対して的確に対応した変換技術の総合的開発が不可欠と考えられる。特に、易分解性糖質を含む稲わらの生産、調達と変換に係る総合技術開発により、アジアを中心とした稲作文化圏における持続的・環境保全型農業のチャンスが生まれるものと強く期待される。

(謝辞)

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」によるものである。本研究を推進するにあたり、農研機構内外の多くの方々にご助力頂いた。特に、プロジェクト推進責任者である片山秀策氏および中川仁氏、II系推進リーダーの長島實氏、I系・II系研究者各位そして糖質素材ユニットの池正和氏をはじめとするバイオマス研究・支援スタッフ諸氏に深謝する。

(食品素材科学研究領域 糖質素材ユニット 徳安 健)

参考文献

- 1) <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80326c05j.pdf>
- 2) Wu L., et al., *Bioresour. Technol.* **102**: 11183-11188 (2011).
- 3) Srichuwong S., et al., *Biomass Bioener.* **33**: 890-898 (2009).
- 4) Yun M-S., et al., *Biosci Biotechnol Biochem.*, **75**: 602-604 (2011).
- 5) Park J-Y., et al., *Bioresour. Technol.*, **102**: 6502-6507 (2011).
- 6) Park J-Y., et al., *Biomass Bioener.* **35**: 3733-3735 (2011).
- 7) Park J-Y., et al., *Bioresour. Technol.*, **101**: 6805-6811 (2010).
- 8) Shiroma R., et al., *Bioresour. Technol.*, **102**: 2943-2949 (2011).