

稲わら長者続出?!

庭でバイオエタノールが作れる国産エコ技術「CaCCO 法」とは？

稲わらや道ばたの雑草を「ゴミ」だと考えているあなた。この不景気で、誰もが藁にでもすがりたいご時世に、そんな当たり前の発想では活路は見いだせません。本稿では、現代版・わらしべ長者を輩出すべく、道を拓きつつある研究者の話を聞きましたので、紹介します。

皆様は、一時期流行った、「バイオエタノール」という言葉を憶えていますか。アメリカのトウモロコシ澱粉やブラジルのサトウキビ糖液などから作る、地球に優しいアルコール（エタノール）のことで、ガソリンに混ぜ込めば、エコな自動車燃料として地球温暖化が抑制できるという話でした。しかしながら、澱粉や砂糖からのエタノール生産により、世界の食料・飼料市場が混乱することが懸念された結果、「これからは、稲わらや麦わらなどの一見「ゴミ」のような原料を使ってバイオエタノールを作らねばダメだ」という気運が高まっています。現在は、藁や木材の繊維質中にあるセルロースなどの成分を使って、食料生産と競合しない、「第二世代」のバイオエタノールを作るため、世界中で熾烈な技術開発競争が繰り広げられているようです。

さすがに、未来型燃料だけあって、バイオエタノールに火がついた後は一過性のブームで終わりません。それどころか、日本でも、2017 年度には、50 万キロリットルのバイオエタノールをガソリンに混和し、自動車用燃料として供給することを目標とするなど、今も温暖化対策の切り札として熱く注目されています。数年後には、皆様の近所のガソリンスタンドで、「E3(バイオエタノール 3%混合ガソリン)」という文字を見つける日が来るでしょう。混入すべきバイオエタノールについては、とりあえずはブラジルからの輸入などにより賄うことになりそうですが、エネルギー安全保障の立場から、やはり「第二世代」の製造技術の開発が待たなしくなっています。

このような国内外の動きに合わせて、農林水産省のプロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」では、稲わらから 1 リットル当たり 100 円程度で国産バイオエタノールを作れるような製造技術を開発しているところです。その際には、年産 1.5 万キロリットル程度の小規模プラントでの製造を想定しており、地球温暖化の抑制技術としての役割に加えて、バイオエタノール製造によって国内の地域産業を活性化させる役割も期待しています。茨城県を例とすると、県内に 3 個程度のプラントが建つようなサイズのイメージです。

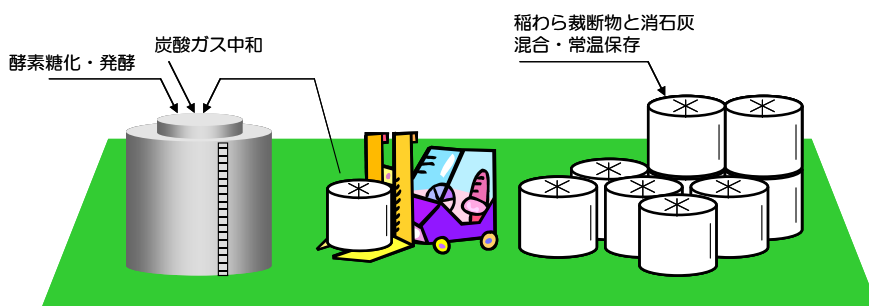
今回、紹介するのは、このプロジェクト研究の成果で、稲わらをバイオエタノールに変換するために開発された「CaCCO 法」という国産変換技術です。これは化学式でなくて、「カッコ」と読みます。Calcium Capturing by Carbonation「炭酸ガス (CO₂)

吹付けによるカルシウム捕捉」の略語です。どのような点が、すごい技術なのでしょう
か。CaCCO 法開発チームリーダーの（独）農研機構・食品総合研究所の徳安健糖質素
材ユニット長は、下記の三つの点を挙げました。

まず、庭で桶を置いて作れるような、世界に類をみない超シンプルな工程であること
です。これまでは、藁からバイオエタノールを作る際には、酵素処理を効率化するため、
硫酸や苛性ソーダなどの危険な化学薬品による前処理や高温・高圧条件下での前処理を
行う必要があり、高コストな金属槽やスチームラインなどを含む処理設備の導入が不可
欠と考えられていました。それに対して、CaCCO 法では、運動場のライン引きにも使
われてきた消石灰（水酸化カルシウム）と粗切り稲わらを混ぜ、これをフィルムで密閉
し、貯蔵も兼ねて数日間放っておくだけで、その後の酵素処理が効率化します。このよ
うに、CaCCO 法では、フィルムと貯蔵場所以外の前処理設備が要りません。また、消
石灰の中和は、空气中、またはボイラーの排気ガスや発酵タンクから出てくる炭酸ガス
で行えますので、酸の原料費がかかりません。その後は、（多少粗い表現ですが、）大き
い五右衛門釜のような発酵桶に全量に移して酵素と酵母を加えておけば、1～数日間でバ
イオエタノールを含むもろみが出来上がります。上手く行くと、乾いた稲わら 4 キログ
ラムから 1 リットル程のエタノールが製造できるとして、1 ヘクタールの水田から 4 ト
ンの稲わらが集まる場合には、1,000 リットルのエタノールができる計算になります。

本技術は、超シンプルだからといって、裏庭だけの技術に留めるつもりはありません。
製造会社の工場敷地内での有機物処理システム、目標の年産 1.5 万キロリットルのプラ
ントや、それ以上の大規模商用プラントでの実用化に向けた展開ができると考えていま
す。今後は、様々な問題解決や実証試験を行うことが必要となります。

二つ目のポイントは、稲わらの「もったいない」部分にも対応して、原料の品質を下
げずに利用できることです。知る人ぞ知る話ですが、稲わらを良く調べると、繊維質だ
けでなく、無視できない量の澱粉や砂糖などが入っている現象を確認できます。これは、
コシヒカリやあきたこまちなど、主食米用稲の稲わらについてもよく見られます。この
現象は、世界の主要穀物の茎葉では稲だけで観察され、トウモロコシや麦では見られな
いので、世界で稲作文化圏の人々だけが貰った大チャンスといえます。CaCCO 法では、
この現象に的確に対応するため、原料と消石灰を混ぜた物全体を発酵槽に入れて糖化・
発酵を行うことにより、繊維質とともに澱粉や砂糖などを回収して使うための工夫をし
ています。例えば、繊維
中のセルロースの量を
100%として、澱粉や砂
糖などがもう 50%存在
するような場合には、本
法では 150%全部を回収
して糖化・発酵反応を行
うことができます。



稲わら変換技術（CaCCO法）の模式図

ちなみに、稲わらを天日干しや日陰干しするうちに、この澱粉や砂糖などは稲わら中ですぐに分解して腐っていきます。折角収集したのに、これらの成分がムダに変質して原料の価値が下がるのは、非常にもったいない話です。CaCCO 法では、粃の収穫直後の湿った稲わらを消石灰と混合して pH を上げ、生物活性を低下させることによって、貯蔵中における澱粉や砂糖の分解を抑えることができます。それだけでなく、この技術は、「湿った原料が腐敗して軟化・褐変して使えなくなる（→だから仕方なく鋤込む）」という、世界共通の問題も解決できそうな、ただ一つの方法であり、世界の技術開発競争において、ついに CaCCO 法が一步リードしたと考えています。乾燥ができずに鋤込まれているような湿った稲わらのみならず、トウモロコシの茎葉、麦わら、サトウキビ、エリアンサスなど、国内外の多様な原料に対して CaCCO 法が極めて有効な貯蔵・前処理技術になると期待できます。

三つ目のポイントは、CaCCO 法が、バイオエタノールのみならず、いろいろな製品を提供できる新技術基盤になりうることです。コハク酸、酢酸、乳酸などの化成品やその基幹化合物を稲わら原料から作れば、地球温暖化抑制に繋がる環境技術としての可能性が広がります。また、一般には澱粉や糖液などから製造される発酵生産物、例えば、アミノ酸、ビタミン、生分解性プラスチック原料、ヒアルロン酸、キトサン、産業用酵素、酵母菌体、藻類菌体などを、CaCCO 法による糖化産物を用いて製造することにより、地域ごとの個性的な取組が活性化すると期待されます。このような、日本の石油化学産業やバイオ産業の強みを活かした取組が進むことによって、稲作や他の農林作物の生産を軸とした、それぞれの適正規模での循環型産業が創り出されていくものと考えられます。

今日のような、石油や澱粉などが安価に手に入る時には、経済的理由から、稲わら利用技術の展開が難しく、これらの「第二世代」の環境技術は、世界中でまだ誰も実用化できていません。しかし、環境問題が深刻化し地球温暖化抑制への取組が活発化するのみならず、世界的に政情や需給構造が不安定化する中で、エネルギーや有用物質を製造する技術の実用化は急務と考えられます。応援をお願いします。

わらしべ長者の主人公のように、蛇を括り付けずとも、稲わらの価値が認められるよう、そして、いろんな価値を作り出せるよう、日本人の「もったいない」という気持ちを大事にした国産技術開発が進み、近未来には環境に優しい新産業が生まれることを祈ります。ちなみに、庭でバイオエタノールを作るときには、酒税法やアルコール事業法を守る必要がありますので、注意しましょう。



(平成 23 年 3 月 1 日)

もったいない?!

「稲わらの価値」の一例



乾燥稲わら 25g (ひと掴みした程度)

稲わらの繊維質には、単糖が繋がった二種類の多糖、セルロースとキシランが含まれています。これを、酵素などを使ってバラバラにする

4

と、単糖のグルコース(ブドウ糖)、キシロースなどが得られます。この過程を「糖化」といいます。繊維質は頑丈なので、うまくセルロースやキシランを糖化するために、予め、酸・アルカリや高温水などを使った「前処理」を行うことが少なくありません。CaCCO法では、消石灰というアルカリを使って前処理します。



市販の稲わらを用いた分析データから計算すると、グルコースは大体 7.5g、キシロースは大体 3.5g 得られることになります。

グルコースは普通の酵母が発酵してエタノールになりますが、キシロースからエタノールを作るには、特殊な酵母を使うなどの工夫が必要になります。稲研究、酵素研究そして発酵研究は、日本が大変強いところで、すごい技術を開発すべく頑張っています。



糖質 11g から取れるエタノールは、最大で 7ml 程度です。この量は、135ml ビール缶の中に入っているエタノールの量と大体同じです。ビール全体とエタノールでは、ちょっと話に飛躍がありますが、単純にエタノール量だけで比べると、ひと掴みの稲わらが、「ほろ酔い」ビールの価値相当というところでは。



ちなみに、技術としては、今でもこのようなアルコール飲料は作れます。しかしながら、丁寧に繊維質を分解したりしているうちに値段が高くなり、「王様向け高級ビール」の値段となってしまいます。バイオ燃料研究ですので、ビールは作りませんが、「いかにエタノールを安くつくるか」が、研究者の腕の見せ所です。現在でも、質の良い稲わらには飼料価値等がありますが、もっと工夫して様々な価値を作り出せれば、環境産業だけでなく、農業も地域産業も盛り上がり期待したくなります。