

地域農業の力で糖質が湧き続ける？！ セルロース系原料糖化技術「CaCCO」の現在と未来

(農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所) 徳安 健*・池 正和

草本系セルロース系原料からの簡素な糖質回収技術「CaCCO (かっこ) プロセス」によって、高濃度糖化液を得ることに成功しました。「地域から糖質が湧き出す！」という、夢のオフグリッド糖質供給システムの構築に向けて、急ピッチで技術を進化させています。地域での糖質生産は、農業を軸とした個性的な地域活性化のためのブレークスルー・プロセスとなるのみならず、エタノールなどのバイオ燃料製造や飼料・食料製造に供することにより、地域のエネルギー・食料安全保障にも貢献するものと期待されます。本稿では、CaCCOプロセスの現状と展望を概説するとともに、糖質をさらなる有価物に変換すべき、我が国の発酵工学研究への大きい期待についても言及します。

小規模バイオマス変換技術

コーンストーバーや麦わら、そして木質等のセルロース系バイオマス原料の糖化液から、燃料用エタノール(バイオエタノール)を製造する技術の開発や、化学合成原料を製造するためのバイオリファイナリー研究が国内外で活発に行われています。これらは、温室効果ガスの発生抑制、そして石油資源の供給リスクを克服するための取組であり、バイオエタノールでは、年間数十万トンの原料を処理する大規模プラントの完成をめざしています。また、その目的から、原料に関しては、おもに海外大規模プランテーションによる安定供給を想定するものと考えられます。

それに対して、国内を考えた場合、年間数十万トン規模での原料供給はきわめて困難と考えられます。このため、農山漁村地域の活性化をめざす農林水産省では、原料規模6万トン程度、またはそれ以下の小規模バイオエタノール製造プラントを想定しています。このような小規模製造は、スケールメリットが発揮されず製造コストが大きくなる一方で、地産地消によるエネルギー安全保障などの総合的効果を考慮し、地域に貢献できるシナリオを創り出せると期待されています。このシナリオの実現に向けて、きわめて簡素で効率的な変換プロセスの開発が必要となります。

このような地域での有望なセルロース系原料としては、国内では、林地残材のほか、稲わら、麦わらなどの

農産廃棄物、サトウキビバガスや廃菌床などの食品製造廃棄物、そして、エリアンサスやススキなどの資源作物があげられます。この中で、稲わらについては、木質系原料と比較してリグニン沈着度が低く、酵素糖化に先立つ前処理条件が穏和で済むことや、原料の乾燥・収集や貯蔵に関する基盤技術が整備されていることから、実用性が高いと考えられます。また、資源作物であるエリアンサスやススキについては、土地当たりの乾物収量が稲わらの数倍となり、原料コスト上の大きいメリットをもつことが期待されています。

私共のチームでは、地域農業による大量供給が可能な稲わら、エリアンサスなどの草本系原料を用い、発酵性糖質およびバイオエタノールを小規模製造できる技術の開発を進め、水酸化カルシウム前処理を軸とした簡素な工程「CaCCOプロセス」の提案に至りました。

CaCCOプロセスの概要

CaCCO (Calcium Capturing by Carbonation (CO₂): 炭酸ガス吹きつけによるカルシウム捕捉) プロセスの概要を以下に示します: 原料の粉碎物に対して、原料の乾燥重量との比率で10%程度の水酸化カルシウムを混合し、加水後に加熱(120°C, 1時間)。冷却後に、炭酸ガスを吹きつけ、加圧条件下でpHを弱酸性として酵素糖化。バイオエタノール製造時には、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、並行複発酵を実施してエタノールを製造。

本プロセスでは、前処理後の固液分離を行わないことから、濾過時に流亡しやすい微細繊維質のみならず、可溶性キシラン、澱粉、シヨ糖などを反応系内に保持できます。このため、CaCCOプロセスは、澱粉やシヨ糖を

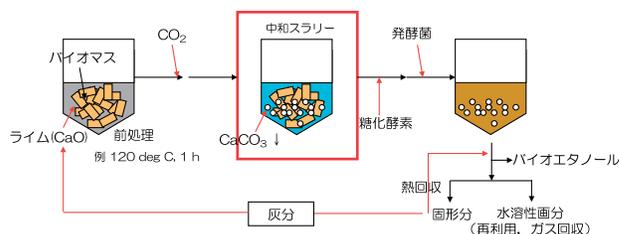


図1. CaCCOプロセスによるバイオエタノール製造の概要図

* 著者連絡先 E-mail: tokuyasu@affrc.go.jp http://www.naro.affrc.go.jp/nfri/



含む、地域の食品製造残渣などもフレキシブルに使用できます。

また、中和を炭酸ガスで行うため、酸のコストが抑えられるとともに、アルカリを水不溶性の炭酸カルシウムとして系内に維持できるので、カルシウム塩の再利用やリサイクルが期待できます。

CaCCOプロセスの現場への適用性を高めるため、原料の対応範囲の拡大、粉碎方法の検討、前処理条件の大幅緩和など、糖化液を回収するための諸条件を検討し、グルコースとキシロースを主成分とする高濃度の糖化液を簡素な工程で製造できるようになりました。今後、コスト低減のためには、地域資源循環を含めたプロセス全体の高度化に加えて、戦略的な原料に対する酵素糖化と発酵を一層効率化する研究が不可欠と考えます。現在、糖化酵素生産に関しては、糖化液を原料として、トリコデルマ属糸状菌由来の酵素をオンサイト生産するなど、CaCCOプロセスに合わせた形での導入に向けて総合的開発を進めています。

発酵工学の潜在力への期待

もしも、地域からグルコースとキシロースを主成分とする糖化液が湧き出てきたら、どういう未来が期待できるのでしょうか。「実現はいつなのか」「国内が先なのか」などに対して明確な回答ができませんが、私共は、その日の美酒をめざして日々仕事を進めています。是非、発酵工学研究者の皆様にも、キシロースを含む糖液の効率的変換について、さまざま想像していただきたいと思います。

まず、地球温暖化の抑制やエネルギー安全保障上の役割から、バイオエタノールの地域製造への道筋を整える必要があると考えます。その一方で、輸送性の悪い場所で小規模生産された地域での糖化液なので、先述した、大規模に化学工業原料を作ろうという、バイオリファインリーの概念とは区別すべき要素もあるでしょう。

製造コストの大きい糖液は、地域のエネルギー・食料安全保障上の価値のみならず、「地域から湧いた糖」という「地産」という価値も併せ持ちます。したがって、地域ブランドとなる発酵産物を目指すことによって、海外から安価な糖質を運び込んだものとは異なり、その地域の太陽光、二酸化炭素と水から作った地産物としての付加価値が賦与できます。そうなれば、ブランド化のための自由な発想が勝負になり、我が国が強みをもつ発酵研究者の腕の見せ所となります。地域特産物の栽培時に付加価値を賦与し、差別化するためのバイオ技術や、もっと観光インパクトに寄った個性化のための、たとえば色素の発酵生産と染め物生産など、大量生産システムとは異なる価値観での可能性を打ち出し、活性化につなげられるものと期待します。



図2. バイオマス変換技術実証ベンチプラント内設備の例 (左: 連続前処理装置, 右: 並行複発酵装置)

褐色の糖化液に対して、発酵特性を向上するためには、工程改良の余地が残っています。たとえば、高濃度に基質を仕込んでいくうちに無視できない問題を生む成分もあります。また、使う原料や微生物によっても影響が異なります。目的のプロセスについて、問題のチェックと原因解明を行い、工程改良を総合的に進めていく必要があります。

私共の研究設備では、パイロット試験に近い規模で技術高度化に向けた検討を行うための実証ベンチプラントを保有しています(図2)。発酵シーズをもつ大学・企業の研究者の方々は、お気軽にお声掛けいただければ、共同で糖液発酵の条件検討を進めさせていただきます。また、公設試験研究機関の方々は、バイオ技術による地域活性化に向けた総合的戦略を練る中で、地域からの糖化液をイメージした研究を進めるため、弊所をお役立ていただきたく思います。

おわりに

タイトル文字に書かれた、「湧き続ける」は、この糖化液が持続的に湧き出るという理想を訴えています。この持続性は、地域農業などの一次産業に対して、地域社会がその役割を理解し、原料が安定に供給される場合に成立します。地域社会全体の協力によって、糖化液が湧き続けるCaCCOプロセスを動かすことができた時に、それを地域活性化につなげるのは、我が国の発酵技術の役目と期待します。海外との競争が激しい中で、我が国が世界初の成功例を作れるよう、発酵ブレイクスルーに強く期待しつつ、連携や情報交換を深めたく思います。なお、本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「農山漁村におけるバイオ燃料生産基地創造のための技術開発」により実施しています。

文 献

- 1) <http://www.nedo.go.jp/content/100529202.pdf>
- 2) Park, J-Y. et al.: *Bioresour. Technol.*, **101**, 6805 (2010).
- 3) Ike, M. et al.: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **77**, 161 (2013).
- 4) Ike, M. et al.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **87**, 2059 (2010).
- 5) Li, Y. et al.: *J. Biosci. Bioeng.*, **111**, 682 (2011).