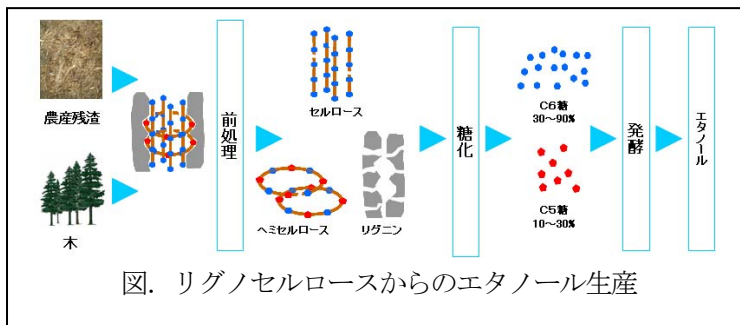


ディビジョン番号	17
ディビジョン名	資源・エネルギー・地球化学・核化学・放射化学

大項目	2. エネルギー
中項目	2-4. 化学エネルギー
小項目	2-4-1. バイオエタノール

概要（200字以内）

バイオエタノールはショ糖やでんぷんから生産されているが、食糧との競合を避けるため、草本や木質などリグノセルロース資源からの製造技術確立が急務となっている。現在、エタノール製造のための草本類の生産法・品種改良、酵素糖化のための消費エネルギーの少ないリグノセルロースの前処理法、糖化酵素セルラーゼの活性向上、基質への非特異的な吸着阻止、セルラーゼの生産性向上、リグノセルロースの糖化により得られるペントースの高効率なエタノールへの変換、蒸留・脱水工程の省エネルギー化など生産効率向上のため様々な取り組みがなされている。



現状と最前線

持続可能な社会の構築のため、再生可能エネルギーの利用が重要な課題となっている。特に、バイオマスの年間発生量は化石燃料消費量 10 倍に相当するエネルギー量であり、輸送用液体燃料となるエタノールに変換でき、ガソリンとの混合、代替が可能なため、注目を集めている。しかしながら、現状では製造原料にトウモロコシ、サトウキビなどを利用し食糧価格の高騰を招いているため、食糧として利用しない葉や茎、木質などのリグノセルロース系資源からエタノールを製造する研究開発が進められている。

資源の生産：リグノセルロース系資源としては、農産残渣や廃材の利用が検討されている。しかし、エタノールを持続的かつ安定的に確保するためにはエタノール生産を目的としたバイオマス資源を生産する必要がある、投入エネルギーが少なく（施肥等を行わず）、単位収量の高い、スイッチグラスなどの草本が検討されている。また、食糧生産との競合を避けた荒地での栽培や、エタノール生産に適した植物開発を目指した植物細胞壁の詳細分析、構成に関わる遺伝子の特定・改良などの研究が開始されている。

前処理・糖化工程：リグノセルロースは、リグニンと多糖であるヘミセルロース、セルロースが複雑に絡み合った構造をしており、リグノセルロース中の多糖からエタノール発酵の原料となる単糖を得る工程が、前処理・糖化工程である。セルロースは、単糖であるグルコースが

$\beta$ -1,4 結合を繰り返し直線的に多分子結合し結晶構造領域を有するため、グルコースへの変換に多大なエネルギーを要する。リグノセルロースから単糖を得るため、酸触媒による加水分解が詳細に検討されており、濃硫酸や希硫酸を用いた実証例が多く認められる。これら化学的な糖化法は、バイオマスの種類を選ばず適用できるが、糖の過分解が避けられず、糖収率に限界あるとともに、過分解物による後段での発酵阻害を引き起こす問題がある。そのため、リグノセルロースの構造を物理的あるいは化学的に緩める前処理工程と、酵素を用いて糖化する糖化工程を組み合わせた手法に関する研究開発が盛んとなっている。この前処理工程には、粉碎や熱水、酸、アルカリ処理など様々な方法が試みられているが、より消費エネルギーが少なく、高い糖化効率を得る手法の検討が続けられている。また、糖化工程で使用される酵素（セルラーゼ）は、穏和な条件でセルロースの糖化が可能ではあるが、その使用量を削減するために、遺伝子組換えによる酵素の耐熱性の向上、添加剤による基質への非特異的な吸着の阻害などの検討がなされている。また、酵素の生産性を高める努力も継続されている。なお、上述した手法とは異なり、イオン性液体中でセルロースを溶解し、糖化するという新しい試みも行われている。

発酵工程：リグノセルロースからは、通常エタノール発酵に利用されるヘキソース（6 単糖）以外に、ペントース（5 単糖）特にキシロースが得られるが、キシロースからエタノールを生産する微生物は少なく、キシロース利用が重要な課題である。酵母やザイモモナス菌などエタノール生産性の高い微生物に遺伝子組換えによりキシロース資化能を付与する方法や、大腸菌などキシロース資化能のある微生物にエタノール生産能力を付与する方法、また、キシロースからエタノールを生産する酵母の改良などが検討されている。今のところこの手法も、キシロースからのエタノール収率やエタノール生産速度が低く、これらを改善するための遺伝子レベルでの検討が続けられている。また、エタノール変換微生物に糖化酵素を生産させ、糖化と発酵を同時に行わせる手法についても検討が進められている。

蒸留・脱水工程：発酵法により得られたエタノールの濃縮には共沸蒸留法が用いられるが、多量の熱エネルギーが必要とされるため、省エネルギーなプロセスとして、ゼオライト膜等の利用が検討されている。

また、バイオエタノールはバイオマスを生産する過程やエタノールへの変換にエネルギーの投入が必要なことから、炭酸ガス削減効果については、エタノール製造時の消費エネルギーを十分に検討することが必要である。

#### 将来予測と方向性

- ・ 5 年後までに解決・実現が望まれる課題  
各要素技術の選別・見極め
- ・ 10 年後までに解決・実現が望まれる課題  
要素技術の統合

#### キーワード

バイオマス、バイオエタノール、リグノセルロース、セルラーゼ、キシロース資化

(執筆者：上村 毅)