

# 木質バイオマスのエタノール変換技術

独立行政法人森林総合研究所

B2 チームリーダー 大原誠資

1

## 1. はじめに

森林の重要な機能の一つに木材生産があります。木材を住宅や建築材料等に使用すれば、そこに炭素を貯蔵することができます。製材品や合板・集成材等の建築材料を製造する過程では、木材として使われない間伐材や端材、枝葉、樹皮等の様々な木質バイオマスが多量に発生します。現在の木質バイオマスの発生量は、林地残材が約2,000万m<sup>3</sup>、製材工場等残材が1,070万m<sup>3</sup>、建設発生木材が1,180万m<sup>3</sup>と推計されています。これらの木質バイオマスはカーボンニュートラルであり、エネルギーやマテリアルとして利用できれば、地球温暖化軽減に大きく貢献します。

木質バイオマスからバイオエタノールを作る計画は、平成19年にバイオマス・ニッポン総合戦略推進会議が発表した「国産バイオ燃料の生産拡大工程表」の中に示されています。また、平成22年12月に発表されたバイオマス活用推進基本計画においても、セルロース系バイオマスの糖化・発酵技術の開発の推進が明記されています。農林水産省技術会議委託プロジェクト「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」では、スギ林で発生する林地残材を原料にバイオエタノールを効率的に作る技術開発を進めています。

## 2. スギからエタノールを作る工程

木材からエタノールを作る工程を図1に示します。原料はスギ材を中心とする林地残材、最終製品は99.5%エタノールです。本プロジェクトでは、図1の工程の中の輸送・保管、粉碎・乾燥、前処理及び糖化発酵工程の技術開発に取り組んでいます。

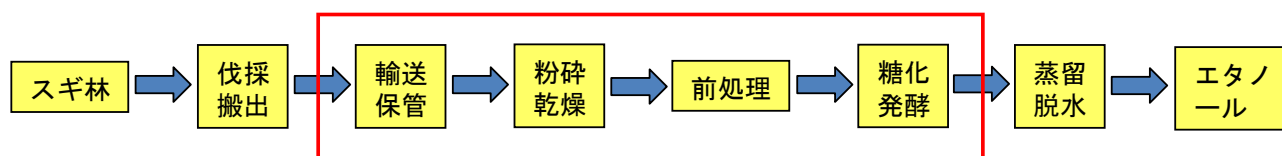


図1 木材からエタノールを作る工程

## 3. 林地残材の輸送・保管

木材利用は林地での伐出作業から始ります。日本で行われている伐出作業には、全木集材、全幹集材、短幹集材という3つの方法があります。全木集材は、切り倒した木を枝葉が付いたままの形状で土場（道端）に集め、丸太とそれ以外（林地残材）に分ける方法、全幹集材は、森林内で枝葉を切り落とし、幹だけを集める方法、短幹集材は、森林内で枝葉を切り落とし、丸太の形状にしてから集める方法です。全幹集材や短幹集材は丸太を集める方法としては合理的ですが、森林内に残された端材や枝葉等の林地残材は薄く広く散在しているため、収集に多くの手間とコストが必要になります。木質バイオマス利用を考えると、大量の林地残材が一箇所の土場に発生する全

木集材が適していると言えます。

枝葉や末木等の林地残材はかさ高いため、これらをトラックに積載すると少量しか積載できません。本プロジェクトでは、平成 22 年度にトラック荷台に簡易に装着可能な簡易圧縮装置を開発しました（図 2）。本装置は積み上げ高さを確保するためのガイドフレームの効果で荷崩れは発生せず、荷締め機の圧縮により小型トラック（2 トン）への積載重量は 20～40% 向上しました。



#### 4. 木材の前処理（リグニン除去）

木材は多糖類であるセルロース（約 50%）、ヘミセルロース（約 20%）及び芳香族高分子化合物であるリグニン（約 30%）から構成されています（図 3）。木材からバイオエタノールを作る技術開発は、木材中のセルロースを如何に効率よくグルコースに酵素（セルラーゼ）分解できるかに懸かっています。木材、特に日本で最もバイオマス資源量の多いスギ材には 30% を超えるリグニンがセルロースをしっかりとガードしているため、酵素が働くことができません。

我々は、紙パルプ工場で行われているクラフト蒸解法を少々変更したソーダ・アントラキノン（AQ）蒸解をエタノール生産の前処理法として用いています。即ち、スギチップを少量の AQ を含む水酸化ナトリウム水溶液中で蒸解（170℃、1-2 時間）してリグニン量を 10% 以下にすると、ほぼ完全にセルロースの酵素分解が可能になります。さらに、酸素漂白や二酸化塩素漂白という方法でリグニン量を 2% 以下にすると、糖化効率は格段に向上し、糖化残渣が大きく減少します（図 4）。

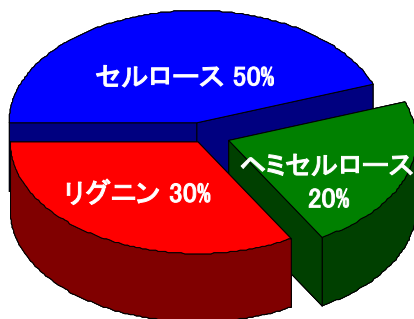


図 3 木材の構成成分

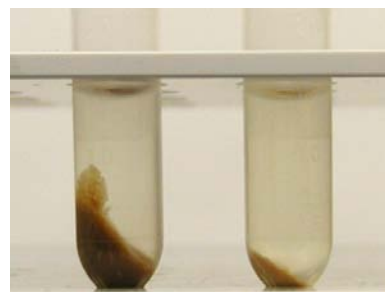


図 4 アルカリ処理のみのパルプ（左）と酵素漂白パルプ（右）の同時糖化発酵残渣

#### 5. 酵素のオンサイト生産

バイオエタノールを作る工程でもう一つ重要な点は、糖化に用いる酵素コストを低減することです。酵素コスト低減に最も効果的な方法は、自らがセルラーゼ生産菌を

培養して生産した酵素を糖化工程に使用することです（図5）。トリコデルマというカビを培養することで市販酵素を購入するよりも安価に糖化酵素を得ることができます。さらに、アスペルギウス属の微生物を固体培養して得られた酵素をトリコデルマの酵素に併せて使用することで、スギ酸素漂白パルプの糖化効率が向上することを明らかにしました。現在までに、安価な酵素生産培地の改良により、1Lのエタノールを生産するのに要する培地資材費を6円まで低減できています。



図5 小麦ふすま、コーンコブ、酸素漂白スギパルプ、硫酸から成る培地でのトリコデルマの固体培養によるセルラーゼのオンサイト生産

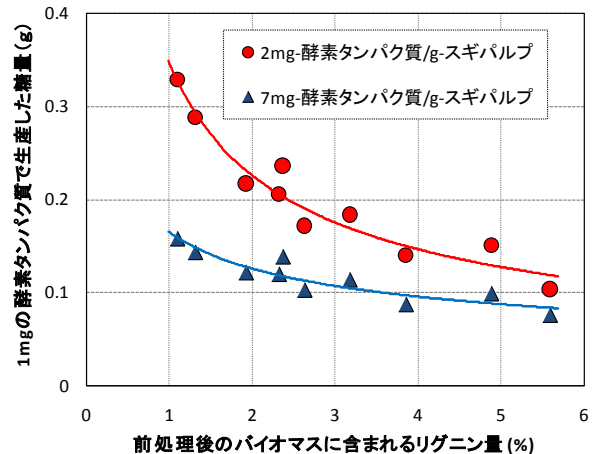


図6 木質バイオマス中のリグニン量と酵素反応効率の関係

## 6. パルプの糖化発酵

バイオエタノールを作る技術開発では、糖化酵素であるセルラーゼの使用量を減らしつつ、酵素反応効率を向上させることも重要な課題となっています。セルラーゼの使用量を削減しても効率良い酵素分解反応が可能な条件として、前処理によるリグニン含量が3%以下であることが明らかになりました。このことにより、酵素タンパク質量5mgで1gの糖を生産するという目標を達成することができました（図6）。

## 7. おわりに

木質バイオマスのエタノール変換は、林地残材の減容化技術、酸素・二酸化塩素漂白技術、固体培養による酵素のオンサイト生産技術の開発により、エタノール生産コストの低減化が図られてきました。さらに、本委託プロジェクトのIV系では、前処理工程で副次的に得られるリグニンの高付加価値マテリアル利用技術の開発にも取り組んでおり、エタノール生産コスト100円/Lの実現を目指して研究を進めています。

以上の委託プロジェクトで得られたエタノール製造技術を実証するため、秋田県北秋田市に木質バイオエタノール製造実証プラントを建設し、平成21年6月から実証運転を行っています（図7）。62.5kg（気乾重量）のスギチップの処理能力があり、平成24年度までに実証規模での前処理、糖化、発酵工程の最適化を模索しつつ検証を行うことになっています。



図7 木質バイオエタノール実証プラント（秋田県北秋田市）