

バイオエタノール原料としてのパルププロジェクト

利用部 バイオマスグループ 岸野正典

■はじめに

バイオマスから糖類、主としてグルコースを取り出し、さらにそれを燃料や化学品へと変換する技術開発が世界中で進められています。

原料となるバイオマスには農作物や林産物など様々なものが検討されていますが、とりわけ食用としないものを原料とすることと、原料を工場の近くで集中的に確保することが必要とされています¹⁾。

これらのことから林産試験場でも、ヤナギ¹⁾、²⁾や、シイタケ廃菌床³⁾を原料に、バイオエタノールの製造¹⁾や、糖を得るための研究³⁾に取り組んできました。

そのような研究の一環として、バイオエタノール原料として紙パルプ工場から多量に発生するパルププロジェクトの利用可能性を検討しましたので紹介します。

■パルププロジェクトとは

紙パルプ工場では、**図1**に示すような工程、すなわち木材チップに薬品を加え高温・高圧で煮て、繊維分（パルプ）を取出す工程（蒸解工程）、パルプ中の異物をスクリーン・洗浄器を通して除去し、洗浄する精選・洗浄工程、白いパルプにするための漂白工程、水でよくほぐしたパルプを流して紙をすく抄紙工程を経て、紙製品や、繊維製品の原料となる溶

解パルプを製造しています。

パルププロジェクトは、精選・洗浄工程で発生し、単繊維（一本一本の繊維）にならなかった木材チップや砂利を含むパルプ中の異物のことです。

パルププロジェクトは日産1,000tの紙パルプ工場から毎日約10tも発生しており、製紙原料として循環利用されるとともに、工場内のボイラー燃料として焼却処理されています。

そのようなことから、原料の確保が容易である点、および蒸解過程を経ているためバイオマスの粉碎や部分的な糖類の分離がすでになされている点に着目しました。

■パルププロジェクトに含有される成分

表1に試験に供したパルププロジェクトに含有される成分の割合を示します。

温帯産の一般的な木材の場合、灰分は1%以下、リグニンは20～30%程度、セルロースは40～60%、キシランやマンナンといったヘミセルロースは20～30%とされています⁴⁾。それに比べると、供試したパルププロジェクトは灰分が非常に多く、一方リグニンが著しく少ないことが**表1**から見て取れます。

さらに、成分組成の中で55～65%と最も多いのがグルカンです。グルカンはエタノール発酵の原料となるグルコースからできています。したがって、蒸解

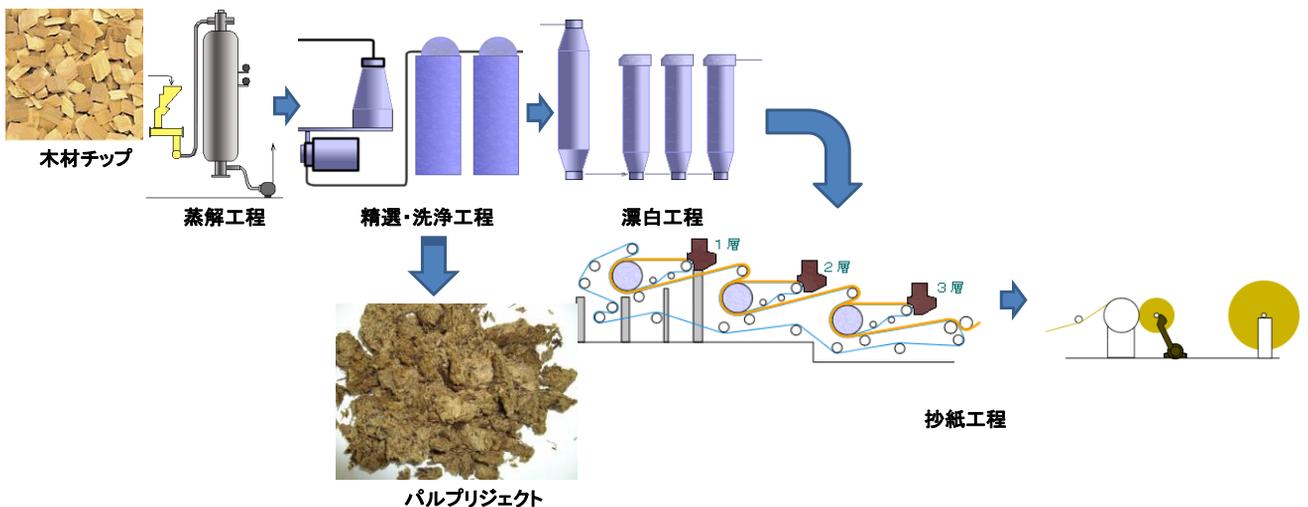


図1 紙の製造工程とパルププロジェクト

に用いた樹種などに違いはありますが、概してパルププロジェクトはバイオエタノール原料として有望であることが期待されます。

表1 パルププロジェクトの成分組成

試料	灰分 (%)	リグニン (%)	糖組成 (%)		
			グルカン	キシラン	マンナン
A	6.2	7.3	58.6	15.9	10.2
B	4.1	8.6	56.2	17.1	10.1
C	2.7	9.1	55.2	18.6	10.9
D	3.9	7.3	65.1	11.2	13.4

■パルププロジェクトの糖化性

木質バイオマスからバイオエタノールを製造する場合、含まれるグルカン（ほぼセルロース）をグルコースに加水分解する必要があります。これはパルププロジェクトを原料とした場合でも例外ではありません。

セルロースをグルコースに加水分解する方法としては、主に酸を用いる方法（酸加水分解⁵⁾と、酵素を用いる方法（酵素糖化）の2種類があります。

木質バイオマスを原料としたバイオエタノールの製造において、現在は硫酸を使った酸加水分解が主流となっていますが、将来的には環境負荷の少ない酵素糖化に移行していくと考えられています⁶⁾。そのようなことから、今回グルコースを得る方法として、酵素糖化を選択しました。

一方、パルププロジェクトには、表1に示した木材成分以外にも黒液と呼ばれる蒸解薬液も含まれています。しかし、酵素糖化におよぼす黒液の影響は明らかにされていません。そこで、水洗の有無による基質濃度と糖化率との関係を検討しました。図2にその結果を示します。

なお、基質濃度とは酵素を含む液体に対する酵素糖化の基質となるパルププロジェクトの比率のことです。また、糖化率はパルププロジェクト1gから酵素糖化で得られたグルカン量を百分率で表したもので、下記の式で計算しました。

$$\text{糖化率}(\%) = \frac{\text{得られたグルカン量}(g)}{\text{酵素糖化に用いた試料量}(g)} \times 100$$

水洗をしなかった場合、基質濃度が増加するにつれ、糖化率は減少していきます（図2中の”未解繊”）が、水洗した場合、基質濃度が増加しても糖

化率はほぼ一定でした（図2中の”解繊”）。

すなわち、パルププロジェクト中の黒液は、濃度が高くなると酵素糖化を阻害することがこの結果から示唆されます。

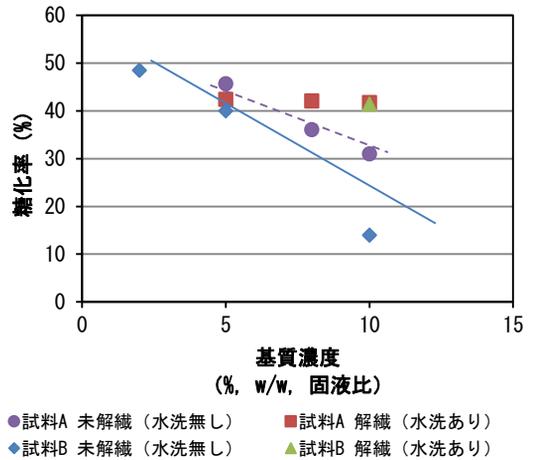


図2 糖化率におよぼす基質濃度の影響（糖化時間：48時間）

■パルププロジェクトから得られた糖液の発酵性

パルププロジェクト中の黒液は、酵素糖化を阻害するのですから、発酵もまた阻害するかもしれません。そこで、未解繊（水洗無し）のパルププロジェクトから得られた糖液の発酵効率を検討しました。結果を図3に示します。

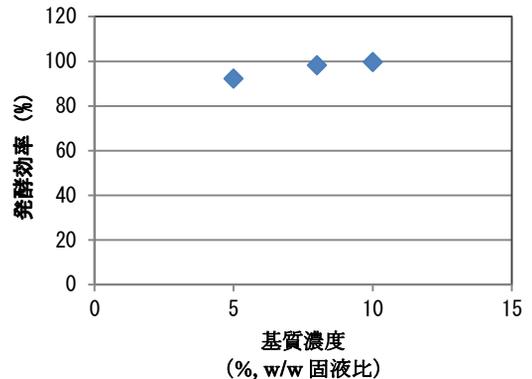
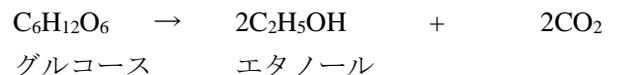


図3 未解繊（水洗なし）のパルププロジェクトから得られた糖液の発酵効率におよぼす基質濃度の影響（発酵時間：24時間）

なお、発酵効率とは、次のようにして計算して得られたものです。



(分子量：180.16) (分子量：46.1)

上記の化学式の通りグルコース1molからエタノー

ル2molが生成します。グルコース濃度180.16g/Lの糖液から得られるエタノールの理論収量は $46.1 \times 2 = 92.2$ g/L, 理論収率は $(46.1 \times 2 / 180.16) \times 100 = 51.2\%$ となります。この理論収率を100としたとき、実際にどのくらいのエタノールが得られたのかということを表したものが発酵効率となります。

図3では、基質濃度に関わらず発酵効率はほぼ100%で推移しています。すなわち、この結果は予想に反してパルププロジェクト中の黒液は発酵を阻害していないことを示唆しています。

■おわりに

これまでの検討で、パルププロジェクトは、それに含まれる黒液と呼ばれる蒸解薬液を水洗により除去することで、酵素糖化も、また糖液の発酵も阻害されることなく、バイオエタノールの原料となり得ることが示されました。

ところで、エタノールの販売価格は80~100円/L程度で概ね推移しています⁷⁾。そのことを踏まえめすと、製造費用はそれ以下であることが必要ですが、パルププロジェクトを原料としたバイオエタノールの製造コストはどれくらいになるのでしょうか。

今回紹介した実験室規模の結果で、日産1,000tの工場から発生する10tのパルププロジェクトから得られるエタノール1L当たりの製造コストを計算すると723円/Lとなりました。

すなわち、工場内のボイラー燃料として焼却処理されているパルププロジェクトを原料としたとしても、バイオエタノール製造費用はエタノール販売価格に遠く及ぶものではありません。

なお、パルププロジェクトから得られるエタノールの製造コストのうち、糖化に係る酵素代が全体の62%

を占めていますので、今後は糖化に係る費用の低減方法を検討すると共に、パルププロジェクトから付加価値の高い繊維材料を得るための技術について検討する予定です。

付記

パルププロジェクトをご提供いただきました日本製紙株式会社北海道工場にこの場を借りましてお礼申し上げます。

■参考資料

- 1) 折橋健：林産試だより2009年11月号 (<http://www.fpri.hro.or.jp/dayori/0911/1.htm>) (最終検索 2015年3月30日)
- 2) 岸野正典：林産試だより2011年2月号 (<http://www.fpri.hro.or.jp/dayori/1102/2.htm>) (最終検索 2015年3月30日)
- 3) 檜山亮：林産試だより2011年12月号 (<http://www.fpri.hro.or.jp/dayori/1112/1112-3.pdf>) (最終検索 2015年3月30日)
- 4) 右田伸彦, 米沢保正, 近藤民雄編：「木材化学」上, pp. 65-80 (1968)
- 5) 山崎亨史：林産試だより2007年7月号 (<http://www.fpri.hro.or.jp/dayori/0707/5.htm>) (最終検索 2015年3月30日)
- 6) 科学技術振興機構：研究開発戦略センター, 第三世代バイオマス技術の日米欧研究開発比較, (CRDS-FY2006-GR-01), p. 8 (2006)
- 7) バイオ燃料生産拠点確立事業検証委員会：バイオ燃料生産拠点確立事業検証委員会報告書, 平成26年5月9日