

# ペーパースラッジからの高速・高収率エタノール生産技術の開発

育成研究：JSTイノベーションサテライト静岡 平成19年度採択課題  
「ペーパースラッジを原料とする高速・高収率バイオエタノール生産技術の開発」

代表研究者：静岡大学 創造科学技術大学院 教授 佐古 猛



## ■ 研究概要

全国の製紙工場から年間約440万トン(平成21年)のペーパースラッジ(製紙汚泥、以下PSと略記)が排出されている。本研究では、PSに含まれるセルロースからバイオエタノールの製造方法、PSの亜臨界水前処理装置、PSを基質としたセルラーゼ生産方法、及びPS中の無機物回収とリサイクル方法を開発した。

## ■ 研究内容、研究成果

PSに含まれる有機物はそのほとんどがセルロースであることから、食料と競合しないバイオエタノールの原料として非常に魅力的な廃棄物である。本研究では、亜臨界水と生物処理の組み合わせによる高速で高収率なバイオエタノール製造技術の開発、及びPSに含まれる無機物を回収して再び製紙用無機原料としてリサイクルする技術の開発を行った。

PS中のセルロースは亜臨界水加水分解による前処理後に酵素糖化を行う2段階処理により、エタノール原料のグルコースに70~83%の収率で変換することが出来た。またPSの2段階処理用の高性能ベンチプラントを開発した。そしてPSの亜臨界水加水分解処理から生成エタノールの濃縮までの一貫処理を行い、99.5wt%のエタノール水溶液をエタノール収率30%(セルロース基準)という高いレベルで達成することができた。

PSからの酵素糖化によるグルコース製造に必要なセルラーゼは、PSをセルラーゼ生産菌の炭素源として用いることで、2.4~2.6 FPU/ml/dの生産速度で生成することが出来た。またPSの糖化・グルコース製造とエタノール発酵の同時プロセスを開発し、60時間の反応時間でエタノール収率25%と、酵素糖化とエタノール発酵を分離して行う従来プロセスに比べて、反応時間を半分以下に短縮できた。

更にセルロースを糖化した後のPSから回収した無機物を用いて内添紙、塗工紙を試作した。内添紙では、紙に撥水性を与えるサイズ剤を調整することで実用的な処方を確認できた。一方、塗工紙では印刷適性が従来品と同等であることを確認した。以上のことから、本研究においてPSに含まれている有機分、無機分ともに有効活用する完全リサイクル技術を確認できた。

## ■ 今後の展開、将来の展望

PSを基質としたセルラーゼ酵素の生産、PSの亜臨界水加水分解+セルラーゼ酵素糖化によるグルコース生産、PSの同時糖化・発酵によるエタノール生産という3つの技術を開発し、木質系セルロースからこれまでで最も安価にエタノールを生産する技術の目処をつけた。しかしPSの種類や排出時期によりエタノール収率が変動するという課題がある。そのために、PSの種類や採取時期が変わっても安定してグルコースやエタノールを生成する技術の開発が必要である。既に本プロジェクトでグルコースやエタノール収率の変動の主要な原因を見出したので、今後、対策技術の確立とエタノール生産性の一層の向上により、一刻も早く事業化に結びつけていく予定である。

一方、PSから回収した無機物を製紙用無機原料として再利用する上で唯一の問題点は、未分解の有機物の残存による無機物の白色度の低下である。そのために反応器内の温度を精密に管理して有機物を完全分解するといった化学工学的な観点から問題点を解決していく必要がある。

今後、実用化に向けて上述の技術課題を短期間に産学官連携で突破することを目指す。

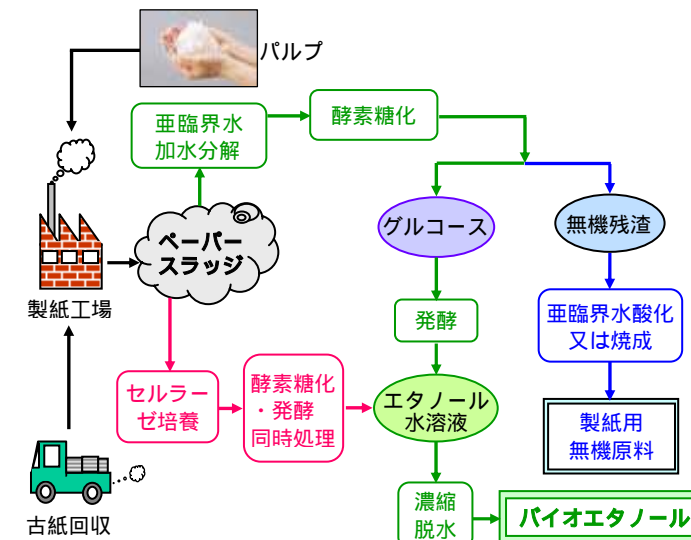


図1 PSからのバイオエタノール製造、製紙用無機原料回収の流れ

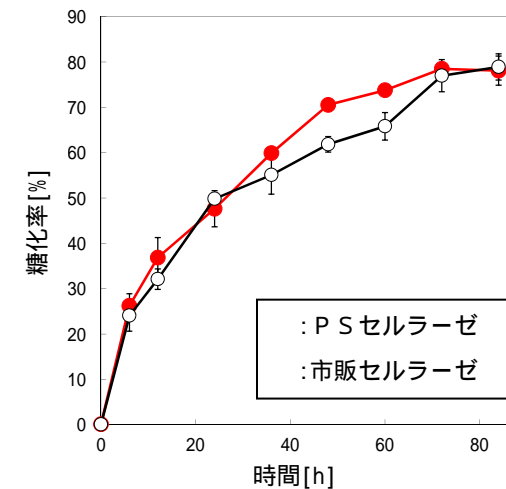


図3 PSを炭素源として生成したセルラーゼ(PSセルラーゼ)によるグルコース生成  
・PSの酵素糖化において、PSセルラーゼ( )は、市販のセルラーゼ( )と同等の糖化能力を示すことが明らかになった。

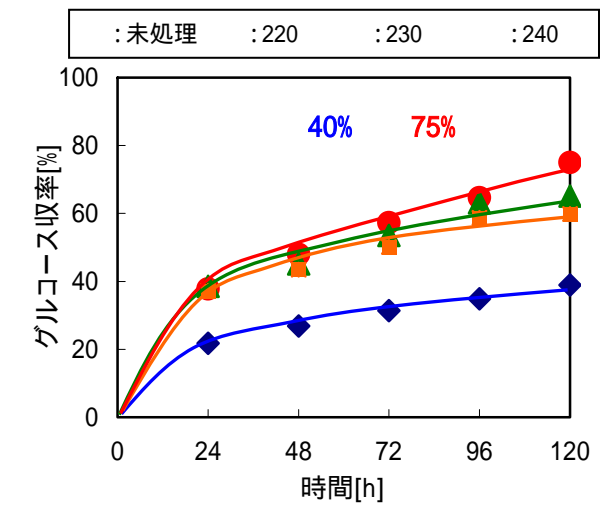


図2 PSからのグルコース収率の比較  
[亜臨界水処理条件:5MPa、2分]  
[酵素糖化条件:35℃、pH4.5]  
・亜臨界水処理なしでPSを酵素糖化する場合( )に比べて、亜臨界水前処理を行ってから酵素糖化する方(特に )が、グルコース収率が大幅に増加した。

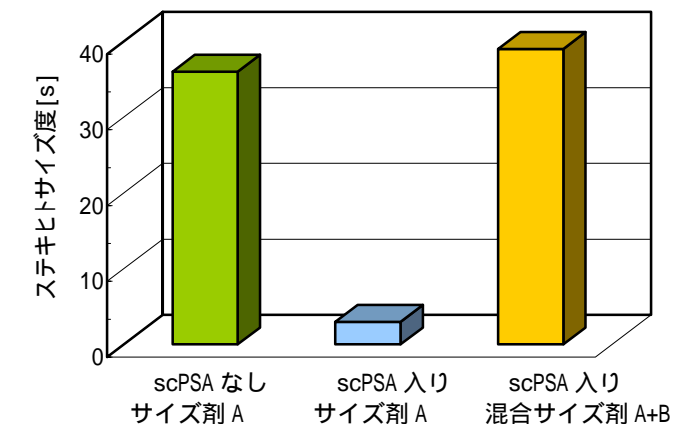


図4 PSの亜臨界水酸化処理により得られた無機物(scPSA)のステキヒトサイズ度(撥水性の尺度)への影響  
・ステキヒトサイズ度が大きいほど紙の撥水性が大きくなり、紙への水の浸透性が低くなる。  
・はサイズ剤Aを用い、scPSAを添加せずに作製した紙。scPSAを添加してもステキヒトサイズ度が と同程度になるように、混合サイズ剤A+Bを開発し、 の良好なステキヒトサイズ度を得た。

## ■ 研究体制

- ◆ 代表研究者  
静岡大学 創造科学技術大学院 教授 佐古 猛
- ◆ 研究者  
朴 龍洙、岡島 いづみ、リス デュアルティ(静岡大学)  
橋本 裕二(株式会社巴川製紙所)  
杉山 治、堤 真一、深沢 博之、村松 重緒(静岡県工業技術研究所富士工業技術支援センター)
- ◆ 共同研究機関  
株式会社巴川製紙所、静岡県工業技術研究所富士工業技術支援センター

## ■ 研究期間

平成20年4月 ~ 平成23年3月