

Research Report

# 加圧熱水処理によるリグノセルロース系バイオマスの高度有効利用

## Effective utilization of lignocellulosic biomass with hot-compressed water treatment

九州大学学術研究員 熊谷 聡  
Kyushu University Satoshi Kumagai

We investigate about the effective utilization of lignocellulosic biomass with hot-compressed water treatment as an environmentally friendly technology. Biomass could be converted to various chemicals such as sugars, organic acids, furan compounds and solid fuels by the treatment.

地球環境問題、食糧問題および化石枯渇の観点からカーボンニュートラルでかつ再生可能な資源としてリグノセルロース系バイオマスの利用が注目されている。しかし、その効率的な化学原料やエネルギーへの変換法は確立されておらず、その開発が急務とされている。一方、リグノセルロース系バイオマスは他の有機資源と異なり、性質の異なる三成分から構成されている。すなわち糖質系高分子であるセルロース、ヘミセルロース、さらに芳香族系高分子であるリグニンである。従って効率的な利用のためには、それらの成分を分離し、各々の特性に即した有効利用が望まれる。

このような背景を踏まえ、著者らの研究グループでは、Fig. 1に斜線で示した温度・圧力領域にある水、すなわち“加圧熱水”を用いたリグノセルロース系バイオマスの新規変換法について検討を行っている。

その中で、まず加圧熱水中での種々のバイオマス（籾殻、大麦わら、稲わら、スギ、スダジイ、ケナフなど）の分解挙動を調べた。なお実験は、両端をフィルターでキャップした管型耐圧性容器に試料を仕込み、加圧熱水を反応器内に通水し、試料と反応させるセミバッチ方式で行った。一例として、籾殻を処理

したときの糖の溶出挙動についてFig. 2に示す。図のように段階的に加圧熱水温度を昇温させ処理を行うことにより、まず遊離糖としてグルコース、フルクトースが溶出し、次いで140℃付近よりヘミセルロース分解物であるアラビノース、キシロースおよびキシロオリゴ糖が、さらに230℃以上ではセルロース分解物であるグルコース、フルクトースおよびセロオリゴ糖が得られており、加圧熱水の温度制御のみでヘミセルロースとセルロースを低分子可溶化物として成分分離出来ることを実証した<sup>1)</sup>。

なお、加圧熱水がこのように加水分解能力を持つ理由は、水のイオン積の変化によって説明される。すなわち、水のイオン積は、高温・高圧下では温度上昇に伴い上昇し、250℃付近では常温・常圧状態の水に比べ約1000倍に増加するためである (Fig. 3)。

また、一般的にリグノセルロース系バイオマスの酵素糖化プロセスにおいては、ヘミセルロースやセルロースが構造的にリ

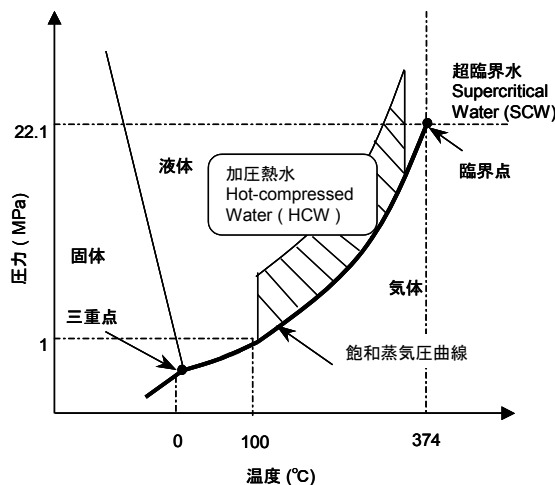


Fig. 1 水の状態図

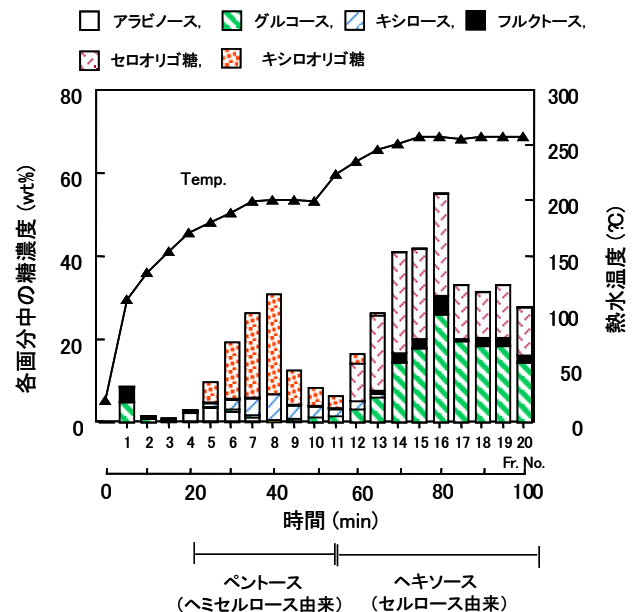


Fig. 2 段階昇温加圧熱水処理による籾殻からの糖溶出挙動

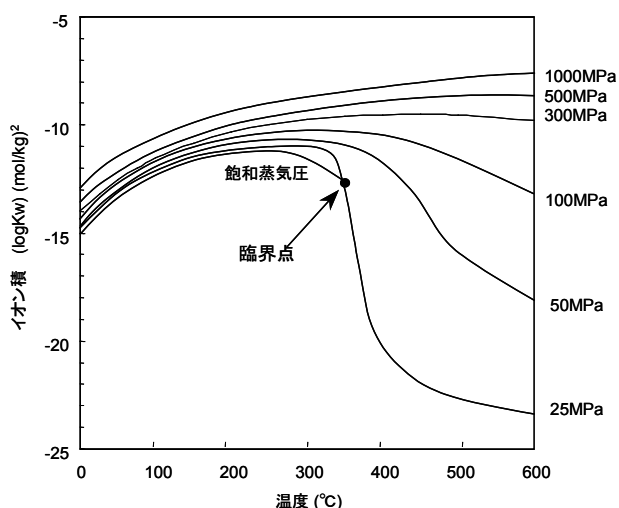


Fig. 3 水のイオン積

グニンに覆われているために、酵素とヘミセルロース、セルロースの接触性を増加させるための前処理が必要であるが、以上の処理で得られたヘミセルロース、セルロース分解物については、構造的にリグニン阻害を受けない状態で、かつ低分子化も進んでいるために、酵素処理により容易に各々の構成単糖へ変換されることが分かり、本法がエタノールや乳酸発酵前処理法として利用できることも示している<sup>2, 3)</sup>。加えて、広葉樹や稲・麦わら、籾殻等の農産廃棄物のように、ヘミセルロースがキシランである場合は、140～230℃にて得られる可溶化物中にはヒトに対し種々の生理活性を有し、特定保健用食品としても知られているキシロオリゴ糖を生産できることも明らかにしている<sup>4)</sup>。

これらの技術をベースに現在、各地で既存の広葉針葉樹林を駆逐し問題となっているモウソウチクおよび、東南アジア諸

国でパームオイル生産の際に副生されるパームヤシ廃棄物等を原料とした有効利用法について検討を行っている。

前述のように、リグノセルロース系バイオマスの加圧熱水処理においては、糖を回収可能である。しかし、検討を加えた結果、その糖は加圧熱水中で過分解され、種々の化学原料として利用可能な有機酸類（ギ酸、酢酸、グリコール酸、レブリン酸）やフラン化合物類（フルフラール、5-HMF）に変換されることも分かった。そこで、バイオマスリファイナリーの観点から、糖と合わせてこれらの効率的な回収条件についても検討を行っているところである<sup>5)</sup>。

加えて、ヘミセルロースやセルロースが加水分解された後の残渣の主成分はリグニンとなる。リグニンは、セルロースやヘミセルロースと比べると非常に高炭素含有物質であるため、固体燃料としての利用も可能である<sup>6)</sup>。

幸いなことに、著者の配属先である工学研究院地球資源システム工学部門資源処理工学研究室（平島剛教授）では水熱条件下で触媒を用いた糖類のフラン類への変換や、リグノセルロース系バイオマスの水熱処理による高発熱量固体燃料化についての研究が行われており<sup>7, 8)</sup>、それらの研究と融合させ、より高度なバイオマスの有効利用プロセスの構築、さらにはバイオマスを基盤とした循環型社会の実現へ向け研究を進めているところである。

#### 参考文献

- 1) 熊谷ら, 日本エネルギー学会誌, 83, 776 (2004).
- 2) 熊谷ら, 日本食品工学会誌, 6, 297 (2005).
- 3) 熊谷ら, 化学工学論文集, 34, 458 (2008).
- 4) 熊谷ら, 日本食品工学会誌, 5, 205 (2004).
- 5) 熊谷ら, 第18回日本エネルギー学会大会 (2009).
- 6) 熊谷ら, 化学工学会第41回秋季大会 (2009).
- 7) 川田ら, 資源素材学会・秋季大会 (2008).
- 8) 平島ら, 資源と素材, 119, 118 (2003).