



硬質セルロースの高温・高圧・高剪断力ニーダーによる
糖化处理とアルコール製造プロセス

株式会社 ケー・イー・エム

何故リグノセルロースからのアルコール製造なのか

現状におけるアルコール製造方法

トウモロコシやサトウキビを原料としてアルコールを生産

・近い将来食糧危機を引き起こす可能性大

現在すでにトウモロコシを飼料とする畜産製品や砂糖などの値上がり

将来必要とされるリグノセルロースからのアルコール生産

廃材や、バガス等の廃バイオマスを原料とするアルコール生産

・食糧危機を引き起こす心配はゼロ

KEM社の提唱する技術は、このリグノセルロースを糖化させる技術です。

現在、木材などのリグノセルロースからアルコールを製造する方法が各機関で開発中であるが、硫酸を用いるセルロースの加水分解法のため、プラント寿命が短く割高な設備となっている。

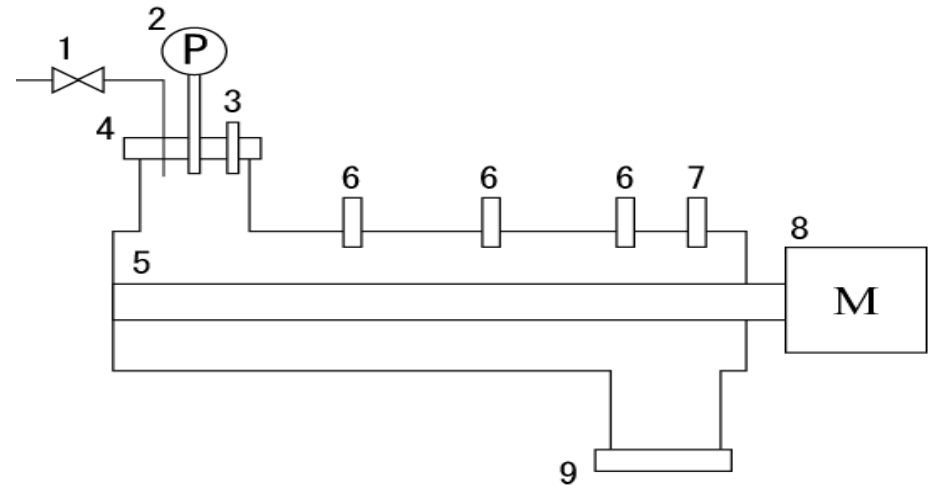
KEM社の技術は、高温・高圧・高剪断力のニーダーを用いて酸の助けを必要としない加水分解が出来る。熱と高剪断力によって、リグニンが分解されているために、リグニンを分離するとセルロース分解酵素によってセルロースが糖化できるようになります。また、高剪断力ニーダーでの処理温度を250℃まで上げるとセルロース分解酵素の助けを借りなくても、原料リグノセルロースの40%以上のアルコール収率を得ることが可能なプロセスです。

木屑等硬質セルロース粉碎実験装置

(20リットル:5.5KWモーター)



写真 1 (a) 高剪断力・高温・高圧ニーダ

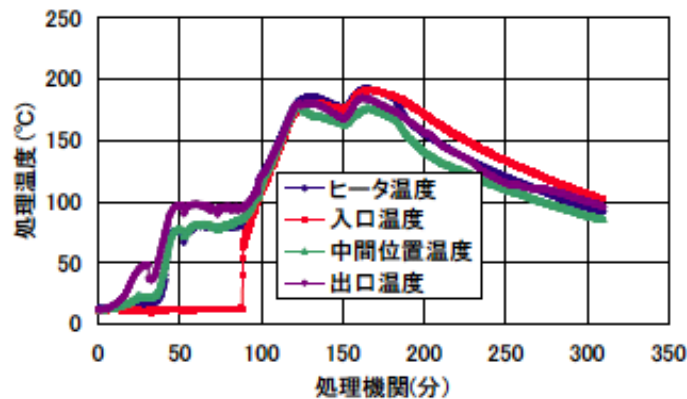


- | | |
|---------------|----------------|
| 1. 蒸気/生成ガス排出口 | 6. 熱電対および圧力伝送器 |
| 2. ブルドン管圧力計 | 7. 圧力伝送器 |
| 3. 熱電対 | 8. モーター |
| 4. 試料投入口 | 9. 試料排出口 |
| 5. 攪拌軸 | |

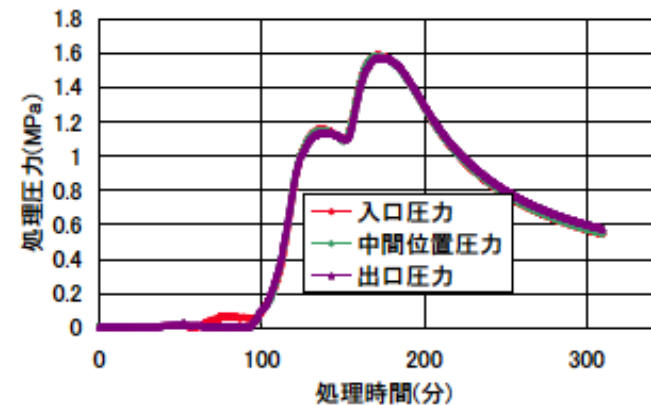
図 1 高剪断力、高温、高圧ニーダ概念図

おが屑の高温・高圧・高剪断力処理条件 (RUN-1)

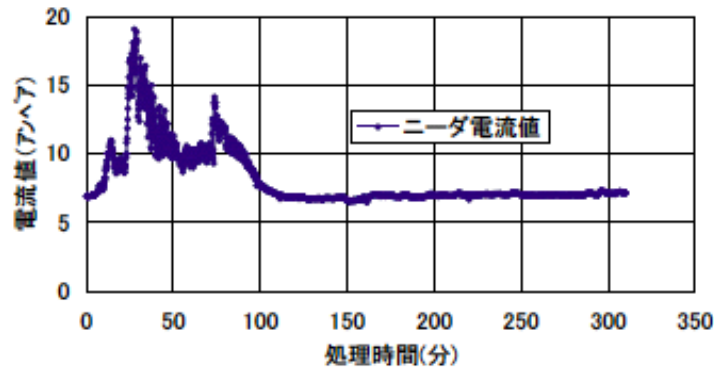
RUN-1 処理温度変化(°C)



RUN-1 処理圧力変化(MPa)



RUN-1 ニーダ電流値変化(アンペア)



RUN-1 おが屑処理実験

運転条件 175°C-1時間

- ・ 試料おが屑を3回に分けてゆっくり投入
- ・ 100°Cまでの加熱では剪断力の最も大きい個所の温度がヒータ温度を上回っている
- ・ 試料投入量 11.3kg(55%水分のおが屑)
- ・ 最大電流値は定格容量の1.6倍
(このために試料投入に時間を要した)
- ・ 途中サンプリングは80分の時点で実施

高剪断力ニーダーによるおが屑の粉碎実験 (RUN-1)



原料おが屑(水分44%)



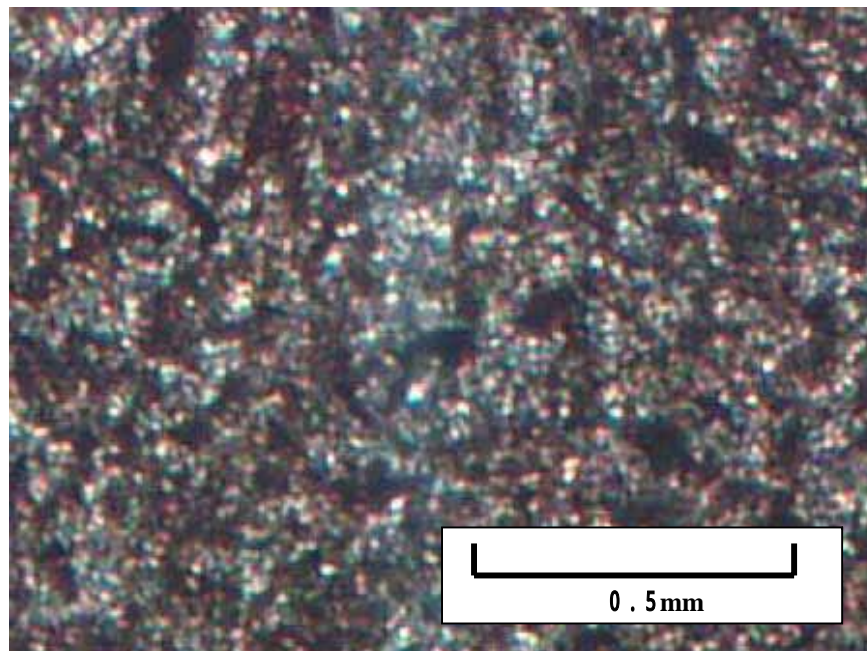
投入完了時(投入口より採取)



投入完了時(取出し口より採取)



175 - 1時間処理品(粘度3 Pa·s)

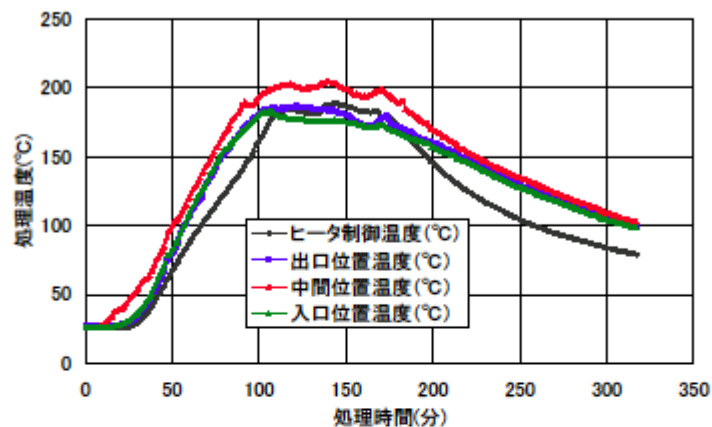


おが屑粉碎175 処理品(顕微鏡写真)

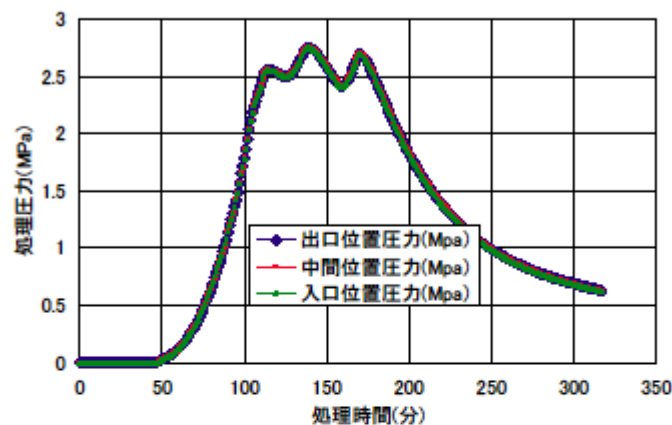
(RUN-1)品

バガスの高温・高圧・高剪断力処理条件(RUN-1)

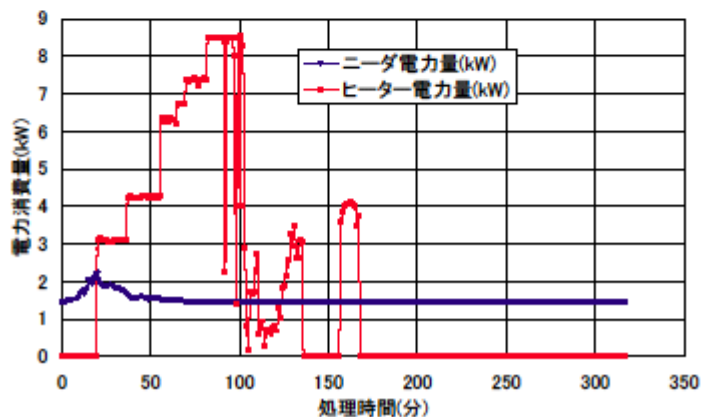
RUN-1 バガス処理温度変化(°C)



RUN-1 処理圧力変化(MPa)



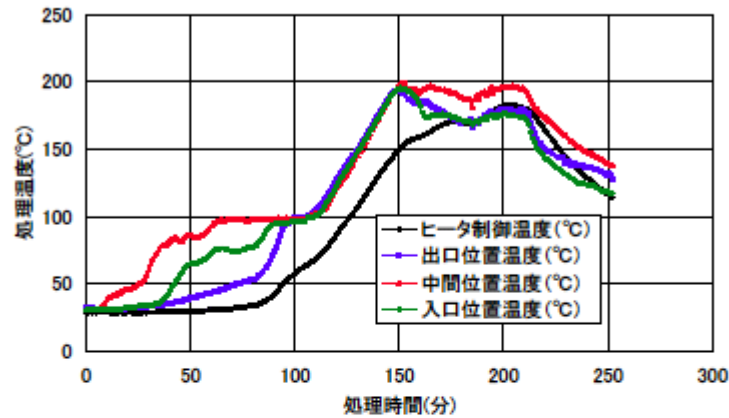
RUN-1 バガス処理における電力量変化(アンペア)



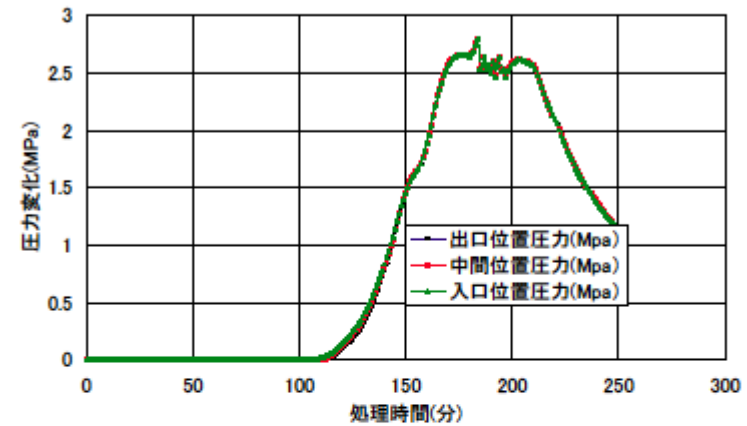
原料バガスの含水率	→	7.25%
投入バガス量	→	2.6kg
水分添加量	→	11.0kg
回収スラリー量	→	12.8kg
固形物含有量	→	約18.6% (計算値)
モーター電力消費量	→	8.0kW・h
ヒーター電力消費量	→	9.5kW・h

バガスの高温・高圧・高剪断力処理条件(RUN-2)

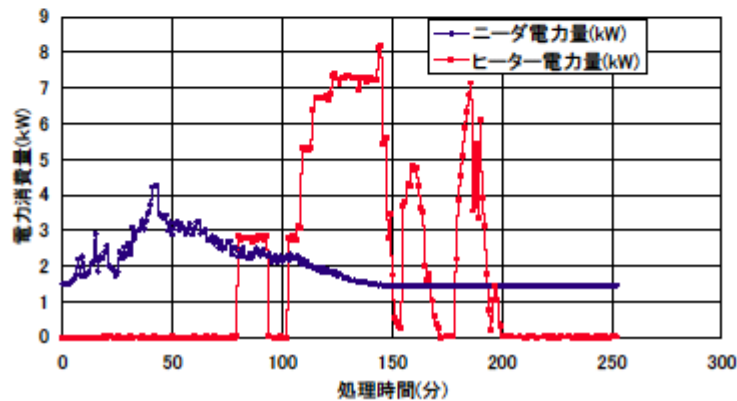
RUN-2 バガス処理温度変化(°C)



RUN-2 バガス処理圧力変化(MPa)



RUN-2 バガス処理における電力量変化(kW)



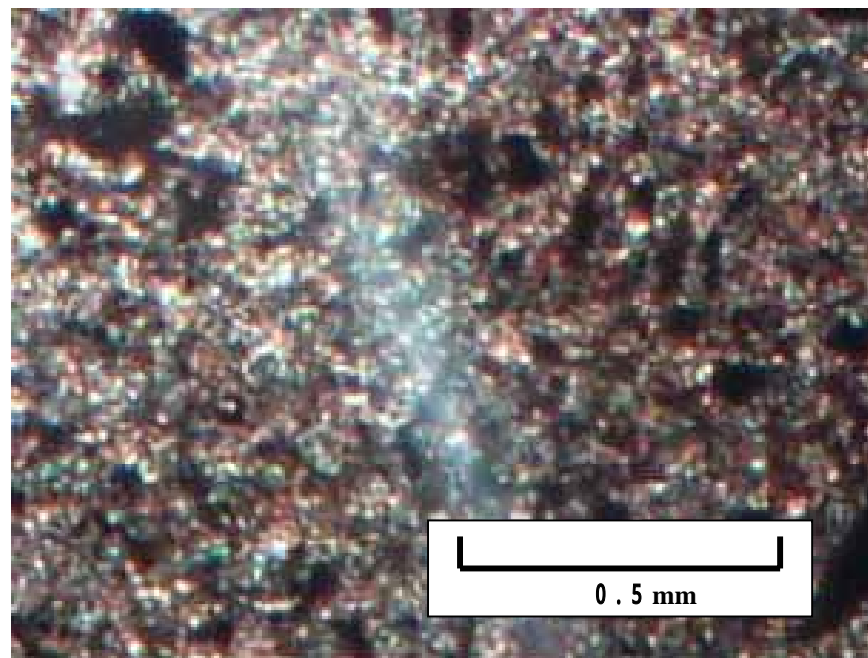
原料バガスの含水率	→	7.25%
投入バガス量	→	4.0kg
水分添加量	→	4.0kg
回収スラリー量	→	7.6kg
固形物含有量	→	約 46.4% (計算値)
モーター電力消費量	→	8.3kW・h
ヒーター電力消費量	→	7.6kW・h



原料バガス



バガスの高剪断力処理品(195℃, 1時間)
水分 約 73%(RUN-1+RUN-2)



バガス粉碎处理品(顕微鏡写真)

(RUN-1 + RUN-2) 混合品

バガスの195 処理品のアルコール発酵実験の結果、アルコール転換率は、7.4%

バガス発熱量(kcal/kg)	4550	4550
投入バガスの総発熱量(kcal/6kg)	27300	27300
セルロースの発熱量(kcal/40 スラリー)	19110	19110
アルコールの発熱量(kcal/)		5065
アルコール収量()		0.28
アルコール転換率(%)		7.4%

杉 間 伐 材 (M市の希硫酸プロセス)		
間伐材投入量(kg)	2000	2000
間伐材発熱量(kcal/kg)	4,700	4,700
投入間伐材総発熱量(kcal)	9,400,000	9,400,000
アルコールの発熱量(kcal/)		5,065
アルコール収量()		125.0
アルコール転換率(%)		6.7%

注：アルコール転換率20.0%は、ヘミセルロースの殆んどがアルコール。

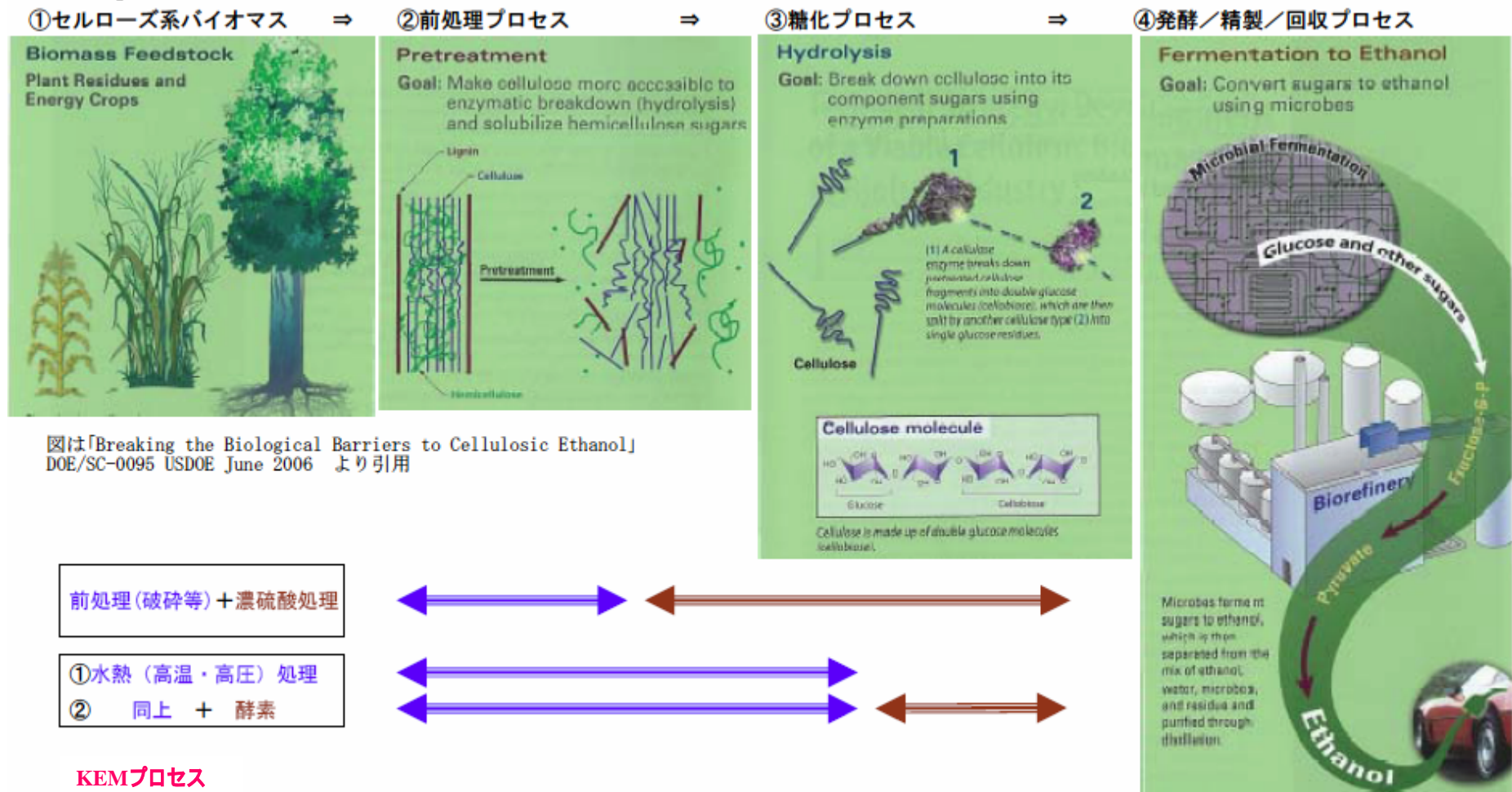
アルコール転換率45.0%は、ヘミセルロースとセルロースの全量がアルコール

注：バガス、杉間伐材共に投入原料重量の略5%がアルコール収量である。

■ 他方式との比較

糖化プロセス	糖収率	優れた点	問題点と課題	経済性面
希硫酸法	50%程度		腐食・廃棄物(石膏)対策 無機塩による発酵阻害の懸念	△
濃硫酸法	80%以上	糖収率が高い	腐食対策・酸回収分離工程要 無機塩による発酵阻害の懸念	△
酵素法	80%程度	酸触媒不要 糖の過分解が少ない	酵素分解時間が長い 前処理(脱リグニン等)工程を要す	△
希硫酸法+酵素法	80%以上	糖収率が高い 糖の過分解が少ない	腐食・廃棄物(石膏)対策 無機塩による発酵阻害の懸念	△
水熱分解法	40%程度	酸触媒不要 WET原料への適用性が広い	糖の過分解抑制を要す 機械的細分化の前処理が必要	△
水熱分解法+酵素法	80%以上	酸触媒不要 無機塩による発酵阻害がない WET原料への適用性が広い	機械的細分化の前処理が必要 水熱分解+酵素分解の最適化 使用水の低減(消費Energy低減)	○
KEMプロセス ①高剪断力高温・高圧法 ②(+酵素法)	①水熱分解法以上 ②80%以上	酸触媒不要 無機塩による発酵阻害がない 水熱分解法より分解度が進展 全てのセルロース系に適用可能 低水分で分解可能	①-1)処理温度・時間の最適化 2)バイオマス種依存性の把握 ②-1)+酵素分解効果の最適化 2)トータルプロセスの評価	◎

セルロース系バイオマスからのバイオエタノール製造プロセス模式図とプロセス例の状態



図は「Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol」
DOE/SC-0095 USDOE June 2006 より引用

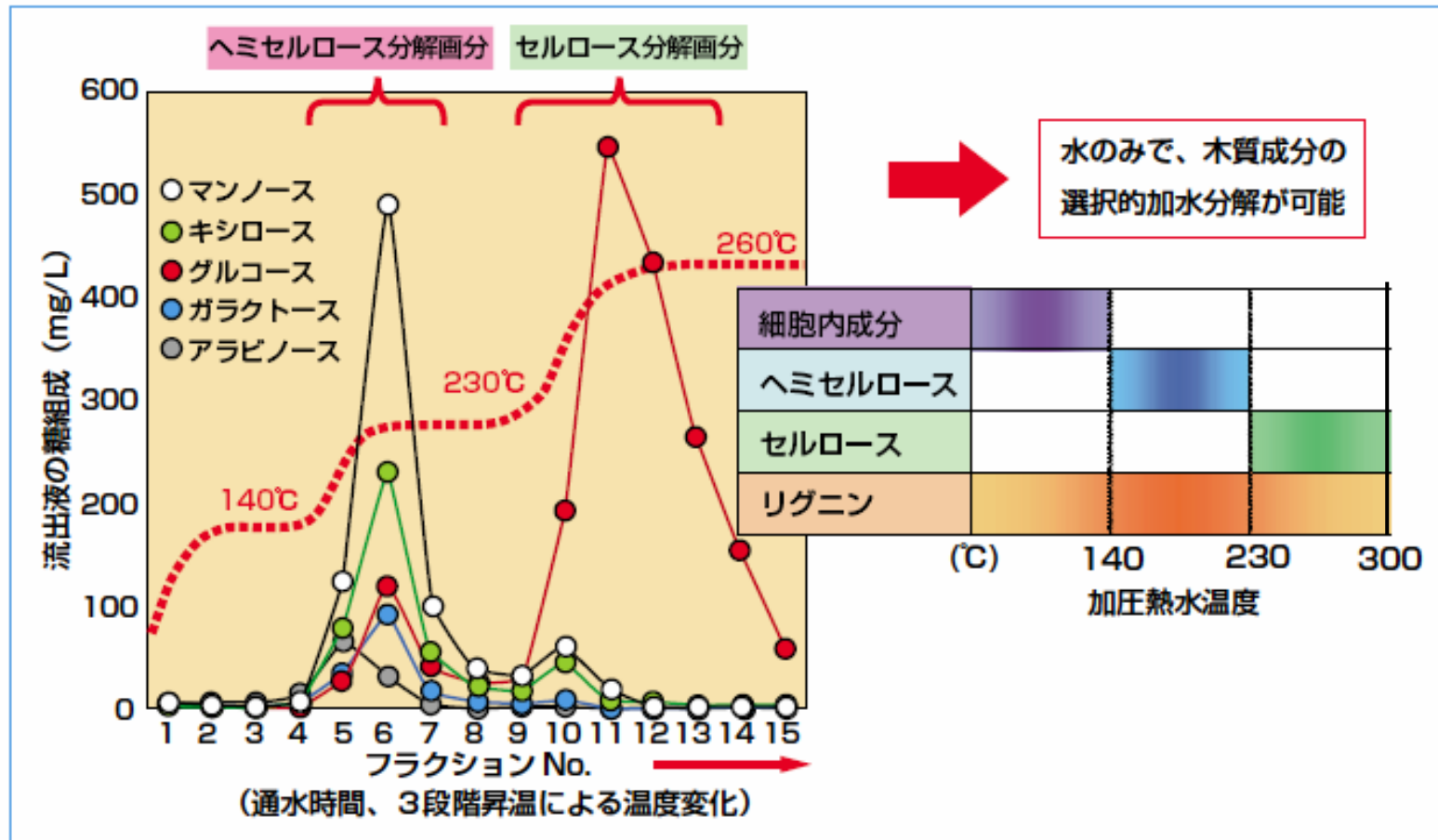
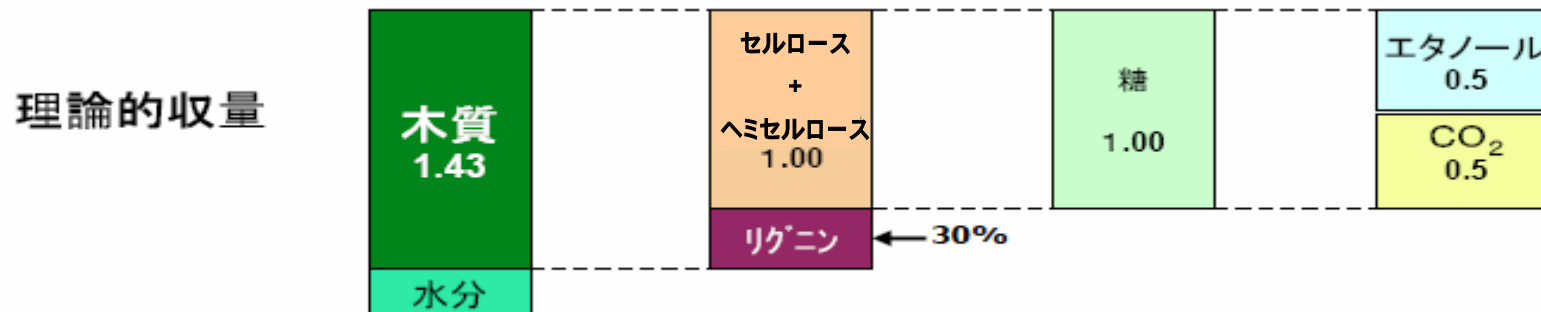


図 熱水流通式水熱反応装置による杉の加圧熱水抽出物の糖組成

出典: http://unit.aist.go.jp/btrc/ci/research_result/documents/vol06_03_p06_07.pdf

エネルギー回収率の試算



プロセス	繊維化・細分化 kcal/kg	高温・高圧処理 kcal/kg	酵素分解処理 kcal/kg	1kgセルロース からの糖収率	エタノール量 kg	エネルギー 回収率(*1)	エネルギー 回収率(*2)
A: 高剪断力/高温・高圧処理	500	200	0	0.45	0.23	0.41	0.34
B: 高剪断力/高温・高圧処理 + 酵素分解処理	500	200	150(*3)	0.8	0.4	0.67	0.57(*4)

* : エネルギー回収率 = (①得られたエタノールのE) / (②原料木質のE) + (③所要投入E) - (④リグニンのE)

* 1: エタノール発酵効率 1.0、高剪断力/高温・高圧処理等熱損失 0%

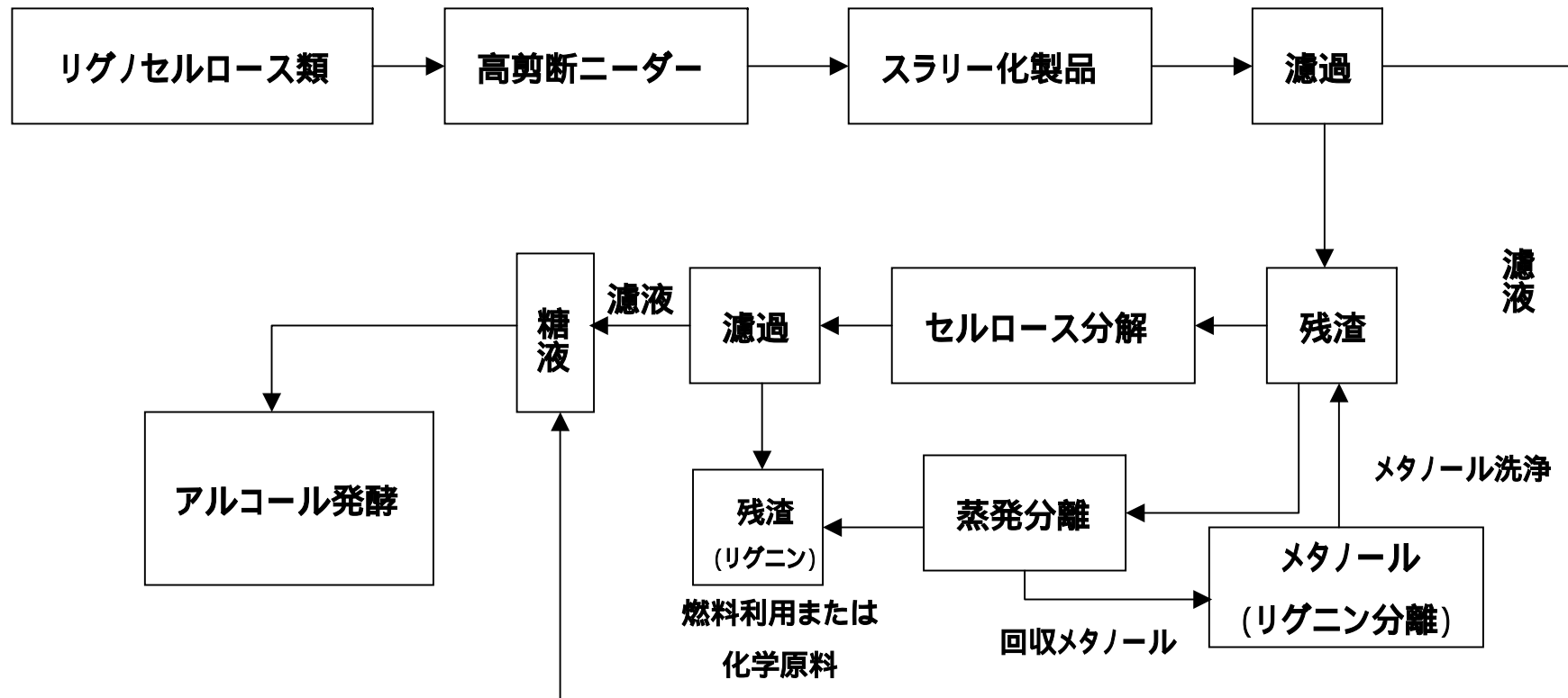
* 2: エタノール発酵効率 0.9、高剪断力/高温・高圧処理等熱損失 20%

* 3: 糖のエタノール発酵プロセスに要するE(129kcal/L)と同等と仮定

* 4: 試算例 = エタノール発酵効率 0.9、高剪断力/高温・高圧処理等熱損失 20%

$$\begin{aligned} \text{エネルギー回収率} &= (6400\text{kcal/kg} \times 0.4 \times 0.9) / (3500\text{kcal/kg}) + (700 \times 1.2 + 150 + 150\text{kcal/kg}) - (0.3 \times 6000\text{kcal/kg}) \\ &= 2560 \times 0.9 / (3500 + 1140 - 1800) \div 0.7 = 0.81 \times 0.7 = 0.57 \end{aligned}$$

アルコール発酵プロセスの概要



以上

まとめ

木質系等の硬質セルロースを高温・高圧・高剪断力ニーダーで195～220℃ 1時間の処理を行うと、ヘミセルロースの殆んどがキシロースやマンノースなどの単糖に分解され、セルロースの1部もグルコース(単糖)となる。処理温度を230～250℃にするとセルロースの殆んどがグルコースとなる。高剪断力が加えられることによって加水分解温度が20℃程度低下するものと考えられる。

の処理によって、リグニンの殆んどは、ヘミセルロースやセルロースから解離される。

でのリグニンの解離のために、で分解されなかったセルロースは、リグニンをメタノール等の溶剤を用いて抽出分離することによって、セルロース分解酵素が働けるようになる。

～ の処理によって、硫酸を用いないで木質系の硬質セルロースをアルコール発酵用糖類に分解できる。

回収リグニンは、燃料として利用可能であるが、化学原料として有効利用することが出来る。

このように、本高温・高圧・高剪断力ニーダーを用いる提案のアルコール発酵プロセスは、高効率のプロセスといえる。

以上