

大阪工業大学大学院 学生会員 ○松岡 達哉 小西 利幸  
 大阪工業大学 正会員 古崎 康哲 笠原 伸介 石川 宗孝

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーに関する興味の高まりや、食品リサイクル法の改正などにより、食品廃棄物のバイオエタノール化への関心が高まっている。これらは、生ごみ中の炭水化物などの多糖類が、糖化を経て微生物的にエタノールに変換されるプロセスである。食堂をはじめとする飲食店から排出される生ごみは、家庭系の生ごみと比べて穀物類からなる炭水化物の比率が高く、エタノール化に有利であると考えられる。糖化は多糖類をグルコースなどの単糖類に変換するプロセスであり、その変換効率を向上させることは重要であり、また、単一穀物を対象としたバイオエタノール化と違い、夾雑物等による効率低下などが考えられる。

以上のことから、本研究では、食堂生ごみを模した厨芥を用いて糖化実験を行った。糖化手段として、酵素と水熱反応を検討し、糖化効率を指標としてその効果や操作条件等を検討した。

2. 実験方法

各種糖化試験条件を表1に示す。酵素による糖化反応は500ml三角フラスコに200mlの各種基質を投入後、所定濃度の酵素を投入し、50℃の恒温水槽内において連続振とうしながら反応を行い、グルコース濃度（和光純薬製 グルコースC II テスト）の経時変化を測定した。使用した酵素は、液化酵素（ $\alpha$ -アミラーゼ,MP Biochemical製）及び糖化酵素（Spiryzyme Fuel,Novozymes製）とした。水熱反応は水熱反応器（耐圧硝子工業㈱製 ハイパーグラスター TEM-V 1000M型）を用いて各種設定条件にて実験を行い、酵素糖化と同様に反応終了時にグルコース濃度を測定した。また、各種試験の開始時と終了時に全糖濃度（フェノール硫酸法）とTS及びDS（下水試験法）を測定し、

グルコース収率および可溶化率を算出した。

本研究で用いた模擬厨芥は、本校中央食堂から排出される生ごみの組成調査の結果を参考に作成したもの<sup>1)</sup>を水と混合し破砕機（Retsch製 GM 200）を用いて、TSを10%に調整したものをを用いた。模擬厨芥の性状を表2に示す。

表1 糖化試験条件

実験	Run	投入基質	基質濃度(Ts)	酵素糖化		水熱糖化 反応温度(℃)	反応時間 (h) <sup>※2</sup>	
				酵素濃度(U/L)	使用酵素			
A	A-1	米飯	10%	5000	液化 糖化 液化→糖化	/	11	
	A-2			5000			2	
	A-3			5000→5000 <sup>※1</sup>			34	
B	B-1	模擬厨芥	10%	25	糖化	/	3	
	B-2			500				
	B-3			5000				
	B-4			15000				
	B-5			20000				
C	C-1	模擬厨芥	10%	250	糖化	/	1	
	C-2			2500			1	
	C-3			/			180	0
	C-4			/			180	30
	C-5			/			200	0
	C-6			/			200	30
D	D-1	模擬厨芥	30%	5000	糖化	/	1	
	D-2							20%
	D-3							10%
	D-4							5%

※1: 液化酵素反応が平衡状態に達してからで酵素失活させた後、所定濃度の糖化酵素を添加。  
 ※2: 反応時間は酵素糖化の場合: 平衡状態になった時水熱反応の場合: 反応温度継続時間

表2 各基質の性状

項目	基質		単位
	米飯	模擬厨芥	
pH	6.9		g/L
TS	10		
DS	/	40	
SS	/	62	
VSS	/	59	
全糖	102	63	
グルコース	0		

3. 結果と考察

図1に、米飯を基質とした場合における液化及び糖化酵素による糖化結果を示す。液化酵素では11時間反応後のグルコース収率が約15%に対し、糖化酵素では約2時間後で約60%となり、液化酵素のみで、短時間で十分糖化が進むことが分かった。

図2に、模擬厨芥を基質とし、酵素濃度を变化させた場合における生成グルコース濃度の経時变化を示す。酵素投入後から30分で急激にグルコース濃度が上昇し、以後ゆるやかに増加した。このことより、酵素が十分に存在する条件では、短時間で糖化反応が行われることが示唆された。また、投入酵素量を増やしても、全糖濃度 50g/L に対して、グルコース濃度約 40g/L ほどで平衡状態に達した。残り 10g/L は食物繊維などのセルロース類などであると考えられる。このことより、模擬厨芥中全糖の内、グルコースまで糖化可能な成分は約 8 割であることがわかった。また、操作条件としては、酵素投入量は1000U以上、反応時間は1～3時間が適当だと考えられる。

図3に、水熱反応前後および酵素糖化後の糖濃度とSS可溶化率を示す。SS可溶化率は酵素糖化の37%に対し、180℃30分、200℃の条件下では70～80%となり、固形分の多くが可溶化していることがわかった。しかしながら、グルコースはほとんど生成しないことがわかった。また、200℃ではガス化が進行し、それに伴って糖の全量が減少することがわかった。これらの結果から、水熱反応は糖化には不向きであることがわかった。

図4に酵素濃度 5000U/L における、初期全糖濃度と 1hr 後の結果から算出されたグルコース生成速度の関係を示す。図より、ほぼ直線的な比例関係が得られた。このことから、酵素糖化反応は1次反応でありあることが示唆された。また、この時の糖化率はいずれも60～70%であり、厨芥に含まれる他の成分が糖化を妨害することはほぼないと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、糖化手法、酵素添加量、反応時間、反応特性に関する知見を得た。今後は、エタノール発酵に関する条件を探るとともに、連続運転に向けたシステム全体の検討を行う。

[参考文献]

1) 小西ら：大学食堂生ごみの再資源化を考慮した組成調査と模擬厨芥組成の検討，平成21年度土木学会関西支部年次学術講演会 (2011)

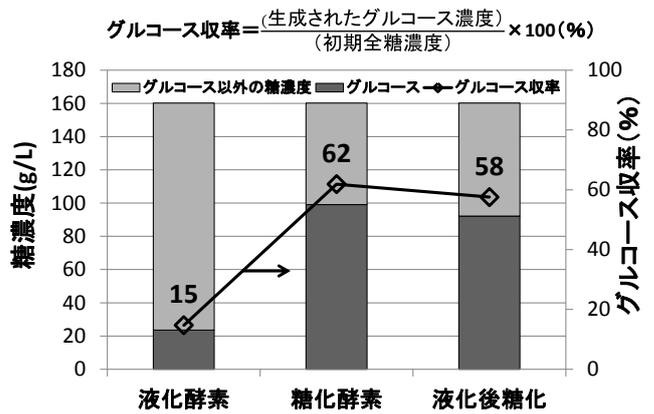


図1 各種酵素でのグルコース収率の違い

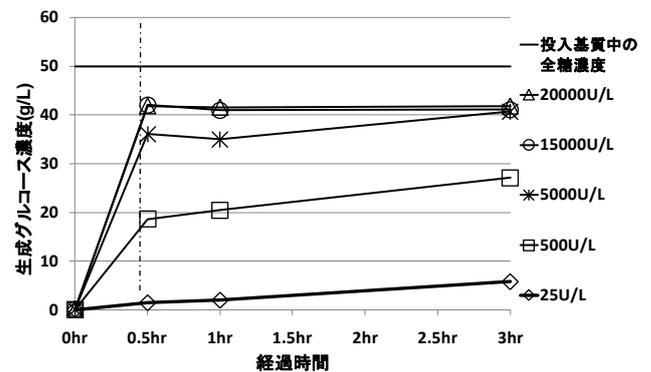


図2 各酵素濃度における模擬厨芥の糖化結果

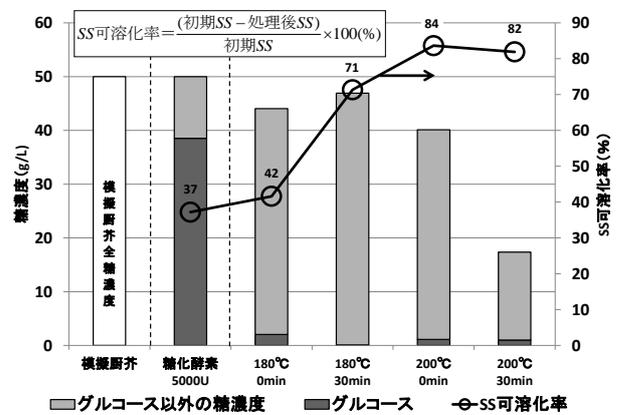


図3 水熱反応と酵素糖化の比較

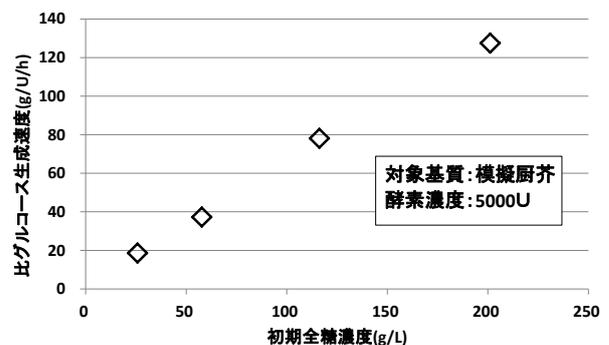


図4 基質濃度とグルコース濃度の関係