

# 固体酸触媒を用いた新しいセルロース糖化法に関する技術開発

平成22年1月3日

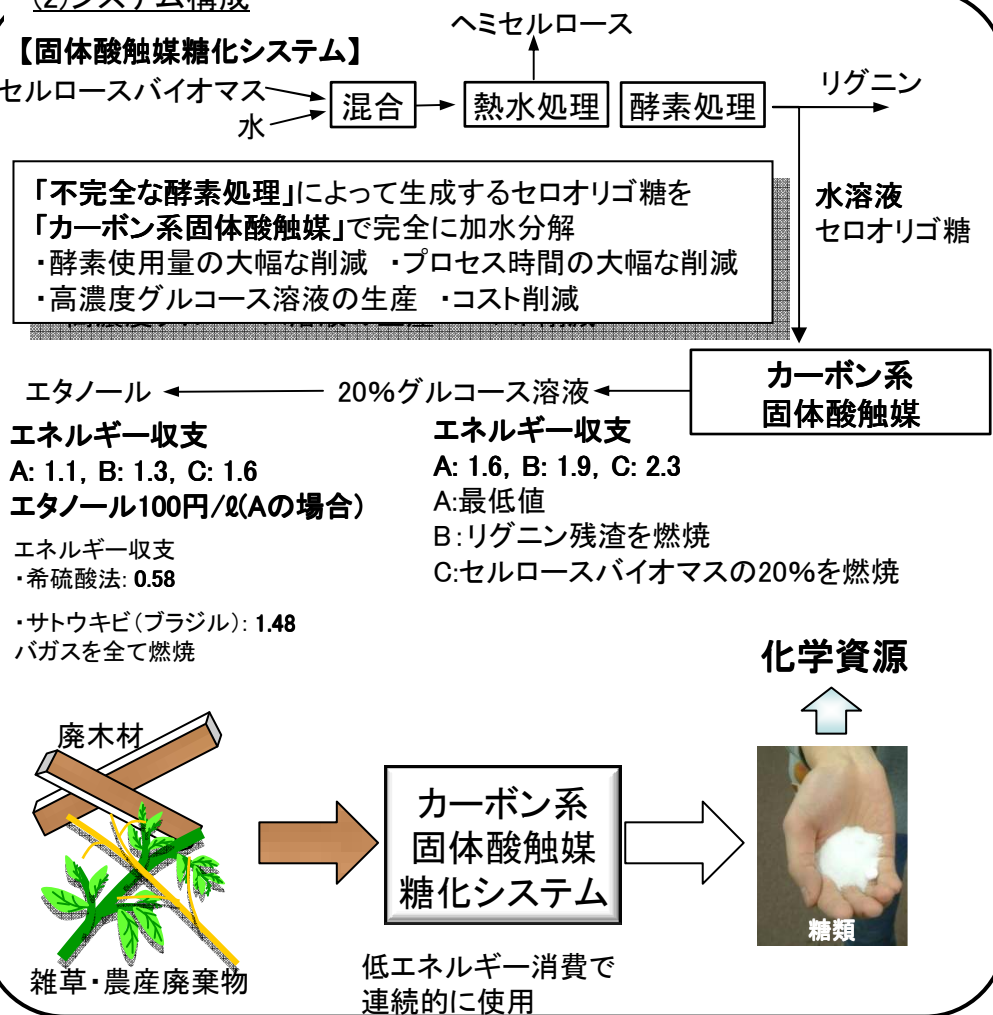
【代表者】東京工業大学応用セラミックス研究所 原 亨和

【実施年度】平成21～22年度

## (1)事業概要

本事業はカーボン材料をベースにした固体酸触媒を用い、セルロースバイオマスを低環境負荷で効率的に糖に変換するプロセスを開発する。

## (2)システム構成



## (3)目標

開発規模:ベンチスケールバイオマス糖化装置  
仕様:5 L固定床反応器、耐用年数20年  
省エネルギー率:30%以上(従来型システム比)

## (4)導入シナリオ

<事業展開におけるコストおよびCO2削減見込み>

実用化段階コスト目標:エタノール89~100円/L(3600KL/年プラント)

実用化段階単純償却年:5~10年程度(従来型システムとのコスト差額30%以上)

年度	2010	2012	2013	2014	2020
目標販売台数(台)		2~3 (30L小型糖化装置)	10~20 (30L小型糖化装置)	1(3600KL/年クラスパイロットプラント)	1(50000KL/年クラスプラント)
目標販売価格(円/台)		300万円/台程度	250万円/台程度	30億円/基	50億円/基
CO2削減量(t-CO2/年)		8トン/(台・年)	10トン/(台・年)	8,300トン/(年・基)	110,000トン/(年・基)

<事業スケジュール>

IHIとの共同開発によりベンチスケールモデルを開発し、2012年からベンチスケールモデルに基づく小型糖化装置をモデル事業用に販売する。また2010年後半からパイロットプラントの設計・構築に着手し、2014~15年にはパイロットプラントを稼働させる。

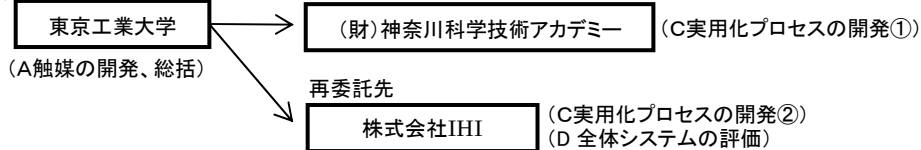
年度	2010	2011	2012	2014	2020
ベンチスケールテスト	→				
小型糖化装置		開発	販売		
実用プラント	設計	構築	稼働	稼働	稼働
			3600 KL/年 エタノール パイロットプラント		50000 KL/年 エタノールプラント

## (5)技術開発スケジュール及び事業費

	H20年度	H21年度
A触媒の開発		→
B触媒評価法の確立	→	
C実用化プロセスの開発		
D全体システムの評価		
	18,369千円	42,575千円

## (6)実施体制

技術開発代表者



## (7)技術・システムの技術開発の詳細

### A 触媒の開発

2 mmol g<sup>-1</sup>を上回るスルホ基密度を有するカーボン系固体酸触媒の大量製造法を確立する。平成22年度末には100 kg/dayを達成する。

### B 触媒評価法の確立

・開発した触媒の最適反応条件(触媒量、水量、セルロースバイオマス量、反応温度)を見出し、その触媒の実用性を判断する。この過程で得られた結果を触媒開発にフィードバックする。

### C 実用化プロセスの開発

①杉チップ・粉、および稲わらなどのセルロースバイオマスの熱水処理・酵素処理によって得たコロイド状および可溶性セルロース、セロオリゴ糖をカーボン系固体酸触媒の存在下で単糖に加水分解(固体酸触媒反応プロセス)する最適条件を見出す。

②ベンチスケールプラントの各部位(バイオマス破碎・バイオマス熱水処理・酵素処理・固体酸触媒固定床流通反応器等)を設計・作成する。上記①の結果をベースに最適稼働条件を見出す。

### D 全体システムの評価

上記(3)②プロセスのエネルギー収支を評価することにより、当該プロセスの経済性を含めた総合的な評価を行う。

## (8)これまでの成果

- ・当該糖化プロセスによりセルロースバイオマスからエタノールを製造した場合のプラントにおけるエネルギー収支は1.1~1.6に達することを確認した。これは当該プロセスの省エネルギー率が硫酸を用いた従来のプラント(0.58)の47~64%であり、最適条件ではサトウキビからのエタノール製造(1.48)を上回る効率で当該プロセスはエタノールを生産できることを意味する。
- ・当該プロセスによるエタノール製造コスト(エネルギー収支1.1)は酵素糖化法の70%未満と見積もられた。なお、実際に試験した酵素法と当該プロセスのコストそれぞれ130、100円/ℓであった。
- ・高性能カーボン系固体酸触媒を120 kg/dayで生産する実証プラントの稼働に成功した。

## (9)成果発表状況

### 欧文学術誌投稿論文

1. M. Kitano, D. Yamaguchi, S. Suganuma, K. Nakajima, H. Kato, S. Hayashi, M. Hara, "Adsorption-enhanced Catalytic Hydrolysis of Water-soluble b-1,4 Glucan by Carbon-based Solid Acid", *Langmuir*, **25**, 5068(2009).
2. D. Yamaguchi and M. Hara, "Starch Saccharification by Carbon-Based Solid Acid Catalyst", *Solid State Sciences*, **12**, 1018-1023 (2010)
3. M. Kitano and M. Hara, "Heterogeneous Photocatalytic Cleavage of Water", *Journal of Materials Chemistry*, in press (DOI: 10.1039/b910180b)
4. M. Kitano, K. Arai, A. Kodama, T. Kousaka, K. Nakajima, S. Hayashi, M. Hara, "Preparation of a Sulfonated Porous Carbon Catalyst with High Specific Surface Area" *Catalysis Letters*, **131**, 2009, 242-249.
5. M. Hara, "Biodiesel Production by a Carbon Catalyst", *Topics in Catalysis*, **53**, 805-810 (2010)
6. M. Hara, "Biomass conversion by a heterogeneous catalyst", *Energy & Environmental Science*, **3**, 601-607 (2010)
7. K. Nakajima, T. Fukui, H. Kato, M. Kitano, J. N. Kondo, S. Hayashi, M. Hara, "Structure and Acid Catalysis of Mesoporous Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·nH<sub>2</sub>O", *Chem. Mater.*, **22**, 3332-3339 (2010)

### 国際学会招待講演(含プレナリー)

1. Michikazu Hara, "Plenary Lecture: Hydrolysis of Cellulose by a Solid Catalyst. Acid Catalyzed Reaction at Solid-Solid Interface", 6<sup>th</sup> World Congress on Catalysis by Acids and Bases, Genova, Italy, May 10-14, 2009.
2. Michikazu Hara, "Invited Lecture: Cellulose Saccharification by a Carbon-Based Solid Acid", 1<sup>st</sup> Annual Chemical Sciences and Society Symposium (CS3), Kloster Seeon, Germany, July 23-25, 2009.
3. Michikazu Hara, "Environmentally benign chemical production by a solid Brønsted acid?" 6<sup>th</sup> International Conference on Environmental Catalysis, Beijing, China, September 12-15 (2010).

### TV

1. 「永久エネルギー誕生」-爆笑問題の日本の教養(NHK総合)-2009年4月21日午後11時放映
2. 「環境が変わる~技術が変わる~」-首都圏ネットワーク(NHK総合)-2009年6月11日午後6時放映
3. 「こんにちは 一都六県」-NHK総合-2009年7月14日午前11時放映

## (10)期待される効果

### ○2014年時点の削減効果(3600 KL/年エタノールパイロットプラント)

- ・8300トン/年のCO<sub>2</sub>削減
- ・CO<sub>2</sub>削減コスト(従来システム:78,000~150,000円/トン)  
本システム:ケースA 49,500円/トン, ケースB 12,700円/トン

○ガソリン(比重:0.75)とエタノール(比重:0.81)の比重を0.8とし、両者の燃費が同一と仮定。

○ガソリン1リットルあたりのCO<sub>2</sub>排出量は2.3kgと仮定。

イニシャルコスト=6.0円/(kg・年)=1,500,000,000円\*/(3600×1000×2.3\*\*×20\*\*)

ランニングコスト=43.5円/(kg・年)=360,000,000円\*\*\*\*/3600×1000×2.3\*\*(ケースA:現状)

ランニングコスト=6.7円/(kg・年)=55,440,000円\*\*\*\*/3600×1000×2.3\*\*(ケースB:22円/ℓ酵素糖化プラントに用いた場合)

\*プラント建設コスト(約15億円), \*\*年間CO<sub>2</sub>削減量(3600×1000×2.3 kg), \*\*\*耐用年数, \*\*\*\*設備稼働に係る維持費等年間コスト:3600×1000ℓ×100円/ℓ(ケースA), 3600×1000ℓ×22円/ℓ×0.7(ケースB)

### ○2020年時点の削減効果(50000 KL/年エタノールパイロットプラント)

- ・11万トン/年のCO<sub>2</sub>削減
- ・CO<sub>2</sub>削減コスト 本システム:ケースC 23,000円/トン, ケースD 7,996円/トン

イニシャルコスト=1.3円/(kg・年)=3,000,000,000円\*/(50000×1000×2.3\*\*×20\*\*)

ランニングコスト=21.7円/(kg・年)=2,500,000,000円\*\*\*\*/50000×1000×2.3\*\*(ケースC)

ランニングコスト=6.7円/(kg・年)=770,000,000円\*\*\*\*/50000×1000×2.3\*\*(ケースD:22円/ℓ酵素糖化プラントに用いた場合)

\*プラント建設コスト, \*\*年間CO<sub>2</sub>削減量(3600×1000×2.3 kg), \*\*\*耐用年数, \*\*\*\*設備稼働に係る維持費等年間コスト:ケースC:米国DOEの予定通り、酵素価格が1/10になった場合、生産コストは50円/ℓとなるため、設備稼働に係る維持費等年間コストは50000×1000ℓ×50円/ℓ, ケースD:50000×1000ℓ×22円/ℓ×0.7

# 地球温暖化対策技術開発評価委員会による終了課題事後評価の結果

- 評価点 6.2点 (10点満点中)
- 評価コメント
  - 一般的には効率の良くない、化学プロセスによるセルロースのアルコール化を、基礎的な研究から実用に近いレベルまで開発したことを評価したい。実用化に向けた工業プロセスの技術開発や、エネルギー・CO2収支の検討等、必要な開発がなされた。コスト計算では未確定の部分が多く、今後に期待したい。
  - 大型プラントについては、平成23年以降の試験を待つ必要があるが、高エネルギー効率、低コスト(1台300万円)のため、小型化装置は実用化の可能性はある。小型化による低コスト化、車両搭載ミニプラント等、普及のためのアイデアがある。
  - 触媒開発の基礎的な範囲は達成されたと判断するが、大量製造法など実用化に近い範囲における達成度は必ずしも十分とは言えない。実用化に当たっては、プラントとして検討すべき要素、例えば、自治体の協力、原料の調達システム、運転の低コスト化等があり、現場ベースで更なる精査・検討が必要である。
  - 開発目標が抽象的かつ基礎的であったためか、実用化への展望がよく見えない。普及に向けての問題点の詰めが十分でない等、実用化に向けたハードルの認識が甘い。
  - 成果公表及び特許取得を精力的に行っているが、触媒の基礎分野に偏り、プロセス化に関するものはみられない。