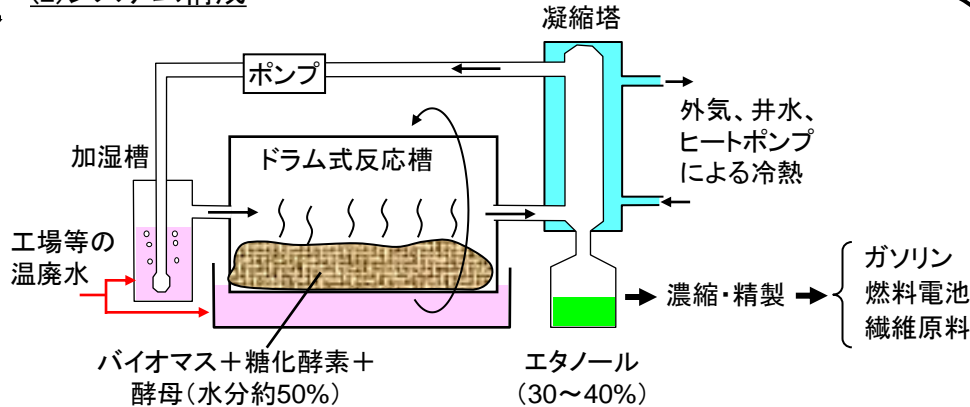


(1)事業概要

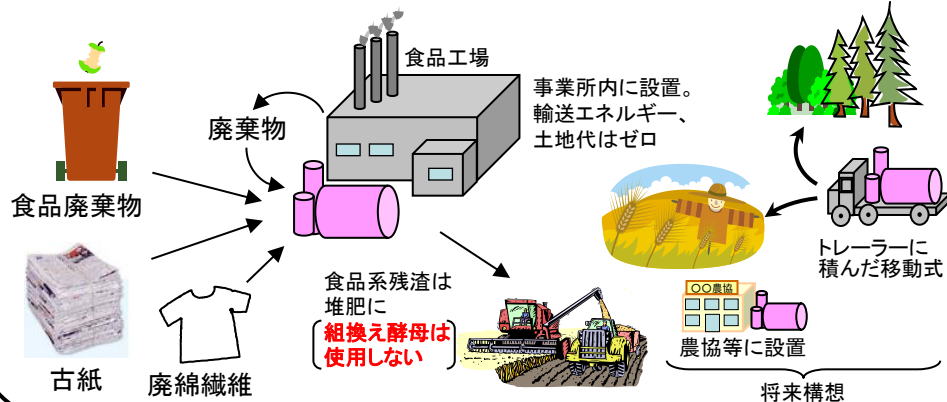
地域分散型小規生産でも低コスト省エネルギーのエタノール生産を実現するため、50%前後の水分でバイオマスの糖化・発酵・エタノール回収を同時に、かつ、連続して行うエタノール生産システムを開発する。これにより、事業所系食品廃棄物、廃繊維、古紙からエタノール生産を行う。

(2)システム構成



5トン仕込みの少量多品種対応システムでありながら省エネ低コストを実現する Consolidated Continuous Solid State Fermentation (CCSSF) System

都市型バイオマス(食品系廃棄物、廃綿繊維、古紙)を原料とする ⇒ 脱リグニン不要。輸送距離が短い。季節変動がない。逆有償がある。



(3)目標

開発規模: 直径3 m×6 m (内容積40 m³)、仕込量5 t
 仕様: ステンレス製、耐用年数10年、2億円/台
 省エネルギー率: 50%以上 (エタノールとして得られるエネルギー/投入エネルギー≧2)
 エタノール生産能力: 200kL/年以上 (注)

注 エタノール生産量(kL/年)=M×(D/d)×C×0.57×Y/0.79 (0.57と0.79はそれぞれエタノールの理論収率と比重)。
 Mは仕込量(=5t), Yは対理論収率, Dは年間稼働日数(300日), dは発酵所要日数, Cは炭水化物含量。
 C=0.3のデンプン系廃棄物はd=1, Y=0.9として292 kL/年, 廃綿繊維はC=0.9, d=3, Y=0.8として260 kL/年。

(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＞

原料	セルロース系	デンプン系
想定条件 (エタノール売価70円/L)	C=0.9, d=3, Y=0.8 運転コスト50円/L	C=0.3, d=1, Y=0.9 運転コスト30円/L
1台当たりのエタノール生産量	260 kL/年	292 kL/年
1台当たりのCO ₂ 削減量 ¹⁾	190 t-CO ₂ /年	213 t-CO ₂ /年
黒字化に必要な逆有償 ²⁾	2.97万円/t	0.56万円/t

- 1) 得られるエネルギー/投入エネルギー=2の目標達成時(軽油換算熱量の1/2から計算)
- 2) この額以上の逆有償があれば、単独の事業として成り立つのでCO₂削減コストはゼロ。

年度	2010	2013	2015	2018	202X
目標累計販売台数(台)	0	5	20	100	1000
目標販売価格(億円/台)	0	2.0	2.0	1.8	1.7
CO ₂ 削減量(万t-CO ₂ /年) ³⁾	0	0.1	0.4	2.0	20.2

3) 得られるエネルギー/投入エネルギー=2の目標達成時。デンプン系とセルロース系が同数の場合。

＜事業スケジュール＞

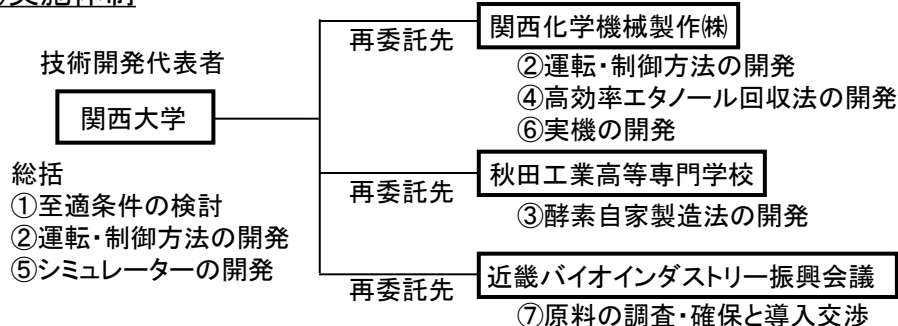
2012年後半から実機製造に入り、近畿バイオインダストリー振興会議の仲介で、試験原料を提供を受けた食品会社、古紙、廃綿繊維を扱う業者に導入する。これを実績に、食品、古紙、繊維業界、地方自治体の焼却設備等への導入を進める。また、前処理法が確立されれば稲ワラ、エネルギー作物等のリグノセルロースに適用を拡大する。

年度	2010	2012	2013	201X
原料提供企業への導入		→		→
食品、古紙、繊維業界への導入			→	→
リグノセルロース原料への拡大				→

(5)技術開発スケジュール及び事業費

	H22年度	H23年度	H24年度
① 至適条件の検討	→		
② 運転・制御方法の開発	→		
③ 酵素自家製造法の開発	→		
④ 高効率エタノール回収法の開発	→		
⑤ シミュレーターの開発	→		
⑥ 実機の開発	→		
⑦ 原料の調査・確保と導入交渉	→		
	20,800千円	34,637千円	28,600千円

(6)実施体制



(7)技術・システムの技術開発の詳細

- ① 至適条件の検討** 開発済の仕込み量**100 g**のラボスケール試験機を用い、各原料について必要酵素量、最適水分、温度、エタノール濃度、発酵阻害物対策を検討する。
- ② 運転・制御方法の開発** 仕込み量**5 kg**の試験機を製作し、槽内を均一に保つための攪拌方法、および、槽内の状態をオンライン計測し自動制御する方法を確立する。
- ③ 酵素自家製造法の開発** 固体発酵に適した酵素を生産する好気性微生物を単離し、迅速な糖化と高い糖歩留まりを実現する糖化法を開発し、製造コスト低減を図る。
- ④ 高効率エタノール回収法の開発** 循環速度、冷却温度、凝縮塔の形状とエタノール回収効率の関係を明らかにし、外気利用、低温水利用、ヒートポンプ利用の3形式の凝縮塔を設計・製作し、温度と回収率、エネルギー投入量の関係を明らかにする。
- ⑤ シミュレーターの開発** 設置場所の年間の気温や水温の変化などの気象条件、温廃水の有無、糖化率、必要酵素量、発酵所要時間などを入力すれば、年間の運転コストおよび投入エネルギー量を算出できるシミュレーターを構築する。
- ⑥ 実機の開発** 原料ごとに、仕込み方法、攪拌方法、残渣の処分方法などの実用上の問題点を解決するとともに、膜濃縮装置などの付帯設備を含めた仕込み量**5 t**の実機の設計図を完成する。
- ⑦ 原料の調査・確保と導入交渉** 食品会社の廃棄物の排出量、成分、逆有償価格などを調査し、試験原料を確保する。また、試験製造データと収支のシミュレーション結果を示し、試験原料の提供先に本システム導入を働きかける。

(8)これまでの成果

- 100 g仕込みで、パン、ポテトチップ、惣菜系廃棄物、および、加熱によるデンプンのα化を行った米、ソーメン、ビスケットは、8時間程度で90%以上の糖化率を達成でき、リパーゼ、プロテアーゼ、セルラーゼなどの補助酵素の併用で連続処理できることもわかった。
- 50Lスケールの試験機を作製し、オンライン制御のメドをつけた。また、デンプン粉末については100 gスケールと同等の結果が得られることを確認した。
- ヒートポンプによる熱交換装置を試作しデータを取得中。
- 単離した236株のセルラーゼ生産菌から有力な株を選択し、改良中。
- 実機設置に興味を示している企業から試験試料の提供を受け、情報交換中。

(9)成果発表状況

- 2011年5月9日 化学工業日報「バイオエタノール低コスト・連続生産 関大など小型装置 13年度実用化めざす」
- 2011年5月18～20日 ifia JAPAN 2011 国際食品素材/添加物展・会議(東京ビッグサイト)にて「食品廃棄物等からのバイオエタノール生産システム」をパネル展示
- 2011年6月27日～7月1日 国際バイオExpo(東京ビックサイト)にて「食品廃棄物等からのバイオエタノール生産システム」の講演およびパネル展示。
- Y. Katakura C. Moukamnerd, S. Harashima and M. Kino-oka, Strategy for preventing bacterial contamination by adding exogenous ethanol in solid-state semi-continuous bioethanol production. J. Biosci. Bioeng., **111**, 343-345 (2011).

(10)期待される効果

○2013年時点の削減効果

(試算方法パターン「その他」)

- モデル事業により5台導入すれば、CO₂削減量は約1000 t/年。
エタノール生産量 $E(\text{kL/年}) = M \times (D/d) \times C \times 0.57 \times Y / 0.79$ (0.57と0.79はそれぞれエタノールの理論収率と比重)。仕込み量 $M=5 \text{ t}$ 、年間稼働日数 $D=300$ 日とする。パンくずなど炭水化物含量 $C=0.3$ のデンプン性廃棄物の場合、発酵日数 $d=1$ 日、対理論収率 $Y=0.8$ として $E=292 \text{ kL/年}$ 。エネルギー収支目標の2.0(得られるエネルギー/投入エネルギー)及びエタノール熱量21.3 GJ/kLを適用すれば、削減されるエネルギーは $292 \times 21.3 / 2.0 = 3112 \text{ GJ/年}$ 。軽油の炭素排出係数0.0687 t-CO₂/GJを適用し、1台あたりのCO₂削減量は214 t/年。 $C=0.9$, $Y=0.8$, $d=3$ の廃綿繊維の場合なら190 t/年。

○2020年時点の削減効果

(試算方法パターン「その他」)

- 最大131 万t/年のCO₂削減が期待できる(平均処理量が750t/年なら4100台が稼働)

バイオマス	廃棄量 (万t/年)	回収率 (%)	回収量 (万t/年)	炭水化物 (%)	エタノール (万kL/年)	CO ₂ 削減量 (万t/年) ^{f)}
食系廃棄物	549 ^{a)}	30	165	15 ^{d)}	14	21 (10)
廃綿繊維	100	70 ^{c)}	70	90	36	53 (26)
古紙	377 ^{b)}	20	75	90	39	57 (28)

- a) 事業所系一般廃棄物と産業廃棄物のうち、焼却・埋立て・堆肥化による処分量(環境省) e) エタノールの対理論収率を80%と仮定「食品廃棄物等の現状より」 f) エタノールの熱量(21.3 GJ/kL)と軽油の炭素排出係数(0.0687 t-CO₂/GJ)から計算。括弧内は生産に投入するエネルギーが全てCO₂排出を伴うとした場合の値。
- b) 生産量と再使用量の差から計算 c) ペットボトルと同等の回収率を仮定 d) 水分を70%、残りの1/2が炭水化物と仮定

(11)技術・システムの応用可能性

本事業では、脱リグニンが不要なデンプン系を主とする食品廃棄物、古紙、廃綿繊維などを対象として基本技術の開発を行うが、適切な脱リグニン技術と組み合わせれば、リグノセルロースにも適用でき、また、糖化酵素を開発すれば、海藻やキチンなどの1,4グルカン以外の炭水化物にも適用できる。

日本で利用可能なバイオマス2000万t/年は、開発するシステムの1台あたりの能力を平均750t/年とすれば、2.7万台で処理できる。これを日本の国土の3割に設置すれば、1台あたり4.2 km²をカバーすることになり、バイオマスの平均輸送距離は片道1 kmとなる。10万kLスケールで33万tの稲ワラ(収量600t/km²と仮定)から製造する場合、平均輸送距離は片道11 kmなので、輸送に要するエネルギーは1/11にできる。

草本系バイオマス



稲わら、もみ殻、麦わら(760万トン¹⁾)の他に、水草、雑草、ミスカンサスなど

木質系バイオマス



間伐材、林地残材、剪定枝、廃建材など(390万トン¹⁾)

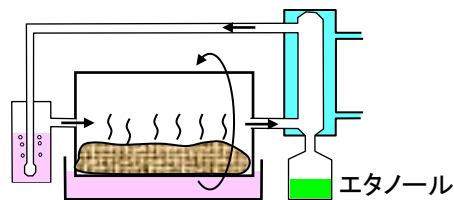
海洋性バイオマス



海藻(500万kL相当²⁾)、微細藻類、キチンなど

- ・小規模高効率脱リグニン技術の開発³⁾
- ・ペントース発酵性酵母のスクリーニング⁴⁾

- ・糖化酵素の開発



本システム

- 1) 年間利用可能量(NEDO <http://app1.infoc.nedo.go.jp/>)
- 2) 日本の領海と排他的経済水域の1~2%で海藻を養殖した場合(化学工学会エネルギー研究会資料 <http://www.sce-net.jp/enrgypdf/bioalga.pdf>)
- 3) 例えば申請代表者の研究室で開発中の生物的脱リグニン技術(リグニン分解能をもつが糖を全く資化しない好熱性桿菌 *Ureibacillus thermosphaericus*を用いる)
- 4) 併行複発酵ではグルコースが蓄積しないのでペントース発酵は抑制されない。既に複数の候補株(例えば *Kluyveromyces marxianus* (IFO277, IFO541))を見いだしている。

(12)技術開発終了後の事業展開

○量産化・販売計画

- ・2013年から近畿バイオ会員企業へ導入を拡大するとともに、近畿バイオのネットワークを通じて国内の食品、繊維、古紙の業界に展開する。
- ・2016年頃から、国内重工業メーカーに増産分の大量製造を委託し低コスト化を推進する。
- ・2011年から近畿バイオの海外提携機関の協力を得て、まず、韓国、中国のさらには東南アジアなど海外市場の調査を行う。本システムは使用する水が少なく、冬場の外気温を利用して省エネを図れるので、特に、中国などの水が乏しい地域、韓国や内陸部など季節による寒暖の差が大きい地域を重点的に調査し、導入を働きかける。
- ・稲ワラなどの脱リグニン技術が開発された時点でリグノセルロース性バイオマスに事業を展開する。

○事業拡大シナリオ

年度	2010	2013	2016	2020	2030 (最終目標)
近畿バイオ会員企業への拡大		→			
食品、繊維、古紙関連企業への拡大		→			
海外への事業展開		→			
稲ワラ等のリグノセルロースの脱リグニン技術の開発		→			

○シナリオ実現上の課題

- ・食品廃棄物残渣の堆肥としての評価と高付加価値化(酵母を含むので付加価値が期待できる)。
- ・将来の組換え酵母使用に向けた市民とのリスクコミュニケーション。
- ・多種多様な食品廃棄物からの最適エタノール生産条件を検討する部署の設立。
- ・廃綿繊維の染料、古紙のインク由来の発酵阻害物対策と残渣の有効利用。
- ・混紡廃繊維のポリエステル部分の水蒸気抽出などの回収法の開発。
- ・稲ワラへの適用のための、バクテリア等による省エネ脱リグニン技術の開発。
- ・海外への事業展開に向けた海外動向調査 等

○行政との連携に関する意向

- ・参考資料4に示すように、初期コスト削減が事業の収支に大きく影響するため、国あるいは地方公共団体による導入支援事業の展開。
- ・複数の事業者が共同で装置を導入する場合、当該事業者間での産業廃棄物の移送に関して、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に定められた資格認定の簡略化または免除などの特例措置。
- ・エタノール精留を行っている他の事業との連携。
- ・90%以上のアルコールを製造または輸送する際の許認可の簡略化。

CO₂排出削減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 5.3点（10点満点中）

- 評価コメント

- 目標がほぼ達成されている。しかし応用を考えたとき、「脱リグニン技術と組み合わせれば」「糖化酵素を開発すれば」などが条件となっており、波及には課題が大きいと思われる。
- 個々の目標はクリアしたとの報告だが、全体としては事業終了後の展開の可能性を期待させる成果は見えない。
- 総じて前向きに進められている課題だと思うが、達成内容は基礎的段階であり、実用化の見通しまでの距離はまだ長いと思わざるを得ない。
- 実機設計にとどまっており実証がなされていない。
- バイオエタノールのガソリンとの混合については、揮発油等品格法で、製造、品質管理等について、細かく定められており、既にJA新潟のグリーンガソリンなどとして一般販売されている。したがって、生産されたバイオエタノールは他用途に販売するのではなく、まず、混合ガソリンへの利用について努力すべきである。