

バイオマス・エタノールの利活用に係わる経済的評価

酪農学園大学教授	市川 治
酪農学園大学教授	安宅一夫
酪農学園大学講師	杉村泰彦
酪農学園大学講師	小糸健太郎
酪農学園大学院	中村 稔

I 本報告の課題と方法

1. 本稿の課題

近年、国際的な原油価格の高騰と地球温暖化への対策としてバイオマス・エネルギー利用への関心が高まっている。特に農産物輸出国においては、食用作物からバイオエネルギーの原料である資源作物へと転作する動きが顕著となっている。このため食用および飼料穀物価格は高騰し、途上国における畜産物消費の増大と相まって、酪農畜産物は国際価格の大幅な上昇が見込まれている。

温暖化を筆頭とした地球環境問題を考えるとき、バイオマス・エタノールなどバイオマス・エネルギーの普及はわが国にとっても重要な課題である。しかし、その反面で、わが国は食料自給率が著しく低いという問題をも抱えている。その向上は国民の生存に直接的に影響する重大な課題である。狭小な農地しか持たないわが国の農業生産環境を踏まえれば、世界的な潮流とはいえ資源作物への転換がわが国にとって最善の選択であるかどうかは、慎重に検討する必要がある。大量の食料輸入が常態化している現状を踏まえれば、むしろ食品廃棄物を原料とした効率的なバイオマス・エネルギー生産の技術的・経済的条件の確保を目指すことのほうが合理的ではないだろうか。

本研究では、このような問題意識のもとに、バイオマス・エタノール生産を対象として、資源作物への作目転換とそれを原料とするバイオエタノール生産の問題点を明らかにするとともに、食品廃棄物を原料とするバイオエタノール生産の現状、技術的・経済的・社会的課題を明らかにする。さらに、結果を踏まえ、食品廃棄物からのバイオエタノール生産について、実用化の可能性を経済学の観点から評価する。

2. 研究計画の概要と方法

上記の通り、本研究では資源作物からのバイオエタノール生産と食品廃棄物からのバイオエタノール生産の双方について調査・研究を行う必要がある。そこで、研究全体を調査事例に対応した3分野に分割して、調査と分析を遂行する。

(1) 資源作物からのバイオエタノール生産

ここでは、当初山形県新庄市の事例を検討する計画であったが、新庄市や関係事例の都合から受け入れが不可能になった。そこで、資源作物栽培とバイオエタノール生産の実態について、規格外小麦、甜菜等を原料としてバイオエタノール生産を行う北海道十勝地区の事例から検討することにする。

(2) 食品製造工程の副産物利用によるバイオエタノール生産

沖縄県宮古島市では、サトウキビからの砂糖生産の副産物である糖蜜を利用したバイオ

エタノール生産が推進されている。この取り組みは、廃棄物となるべき副産物を利用することで糖業への貢献を視野に入れている点で、経済的な観点からは注目すべき事例といえる。そこで、この取り組みの実態について調査し、それが理想とする副産物利用についてどのような課題が残されているのかを明らかにする。

(3) 食品廃棄物からのバイオエタノール生産の展望と課題

北九州市の取り組みは家庭系生ごみを原料としてバイオエタノールを生産しようとするものであり、バイオエタノールの実用化を推進する上で最も重要な分野の一つに積極的に取り組んでいる事例である。しかし、そこには夾雑物を許容する技術開発とその経済的な面での実用化、分別推進のための市民への働きかけなど、大きな課題が多く存在すると見られる。そこで、北九州市の取り組みがこれらの課題にどう対応し、どのように克服しようとしているのか、実態を明らかにする。

これら3分野の調査・分析と平行して、本研究の課題に即して資源作物生産のもつ問題点、食品廃棄物からのバイオエタノール生産における技術的・経済的・社会的課題を明らかにするとともに、それらの実用化について経済的な観点から評価する。

3. 研究成果の効用

バイオマス・エタノール生産の普及は世界共通の課題であることから、盛んに研究されているものの、その多くは技術開発に係わるものであり、実用化に必要な経済的評価や、社会的な仕組みの構築などは必ずしも中心的な課題とはなっていない。

本研究はそれら経済的、社会的側面からバイオエタノール生産の実態を分析するものであり、今後のバイオマス利活用に重要な示唆を与えうるものになると考える。

Ⅱ. バイオエタノール化の課題と日本での試験的な検討

1. 日本の酪農におよぼすバイオエタノールのインパクト

(1) バイオエタノールの増産による飼料の高騰

世界の飼料価格が高騰している。わが国において、配合飼料の価格がトン当たり5万円を超し、その後再び低下しているが、まだ元には戻っていない。一方、原産地の米国においては、乳牛の主要な飼料であるトウモロコシの価格が、この2-3年で50~70%上昇し、大豆粕も10~15%上昇し、その他の飼料も上昇している。

この原因は米国において、トウモロコシを原料としたバイオエタノールの生産が急増し、トウモロコシの価格が上昇したためである。また、トウモロコシの作付面積の増加により、他の穀物の作付けが減少し、それらの価格にも影響がみられる。

2004年にバイオエタノールの実用化で先行していたカナダと米国へバイオエタノール副産物の家畜飼料としての利用について調査に出向いたとき、米国の酪農研究者と討論したことがあるが、彼らはバイオエタノールにはほとんど関心を示さなかった。しかしこの2-3年で事態は一変した。つまり米国では2005年8月に「エネルギー政策法案」を成立させ、再生可能エネルギーの増産を目的としてトウモロコシからのエタノール生産を推進し、2012年度には75億ガロン(284億リットル)の生産目標を定めた。そして2007年の1月23日に行われたブッシュ大統領の2007年一般教書演説の中でバイオエタノール増産は一層

拍車がかかり、2017 年までに 2012 年の生産目標の 5 倍の 350 億ガロン (1,325 億リットル) に上方修正された。

わが国においては、2010 年までに 5,000 万リットルのバイオエタノールの生産を目標にしているが米国のプロジェクトがいかに巨大であるかがわかる。

農業の新分野として、バイオエタノールの生産に期待が高まり、その取り組みが開始されているが、一方ではトウモロコシの価格高騰により、畜産農家の経営が困難になるという懸念がある。このため、米国の大学や研究機関では、バイオエタノール生産の急増に伴う、飼料価格高騰対策、バイオエタノール生産の副産物の飼料利用などについて熱心に検討されている。

わが国では、年間約 1,000 万トンのトウモロコシが米国から輸入され、そのうち 130 万トンが乳牛に使用されている。鶏、豚の配合飼料中には、トウモロコシが 50%以上の割合で配合されているのに対し、乳牛では 36%程度である。したがって、トウモロコシによる飼料コストや飼料設計への影響は乳牛より他の畜種のほうが大きい。

(2) バイオエタノール副産物の利用

トウモロコシからエタノールを生産する際、原料乾物の約 3 分の 1 が副産物として回収される。つまり、穀実のデンプンの大部分はエタノールになり、発酵に利用されなかった穀実の粗い粒子からなる固形部分 (ジスチラーズグレイン : DG) と穀実の小さい粒子、酵母および可溶性の栄養分 (ジスチラーズソリュブル) が副産物として生産される。DG は通常、乾燥され、あるいはソリュブルとともに乾燥され、それぞれジスチラーズドライドグレイン (DDG)、ジスチラーズドライドグレインウイズソリュブル (DDGS) と呼ばれる。またソリュブルを部分的に乾燥したものをコンデンスドジスチラーズソリュブル (CDS)、完全に乾燥したものをジスチラーズドライドソリュブル (DDS) と呼んでいる。これらの中でもっとも一般的な形態は DDGS である。

DG あるいは DDGS は古くから知られている良質の飼料であるが、バイオエタノールの増産に伴い多量に供給されるようになり、再び注目されている。

DG の生産量は原料によって異なり、トウモロコシが原料の場合、100 k g の原料から、エタノール、炭酸ガス、DG がそれぞれ 3 分の 1 ずつ生産される。米国における DG の生産は毎年 30%ずつ増加し、2005 年には 1,000 万トンの DG が生産されている。DG は、わが国ではこれまで乳牛用としてはほとんど使用されず、この 1 年で一部の配合飼料メーカーで使用が始まったところである。これまで使用されなかった理由は、価格と原料の供給面で問題があったためである。

代表的な飼料と DG の飼料成分を表Ⅱ－1－1 に示した。トウモロコシは、粗蛋白質 (CP) 含量が 10%以下で低く、繊維 (NDF, ADF) 含量が低い。デンプン含量は約 70%と高く、穀物中最もエネルギーが高い。また、Ca 含量は著しく低い。これに対し、DG は、①中程度の CP 含量、低溶解性 CP (CP 中 15%)、高 RUP (バイパス蛋白質、CP 中 50%)、②リジン含量が低い、③中程度の脂肪含量 (リノール酸が多い)、④中程度の NDF 含量 (消化の良い繊維)、⑤デンプン含量が低い、⑥P と S 含量が高い、⑦高エネルギー飼料である。同じトウモロコシを原料としたコーングルテンフィードは比較的 DG に類似しているが、DG より CP 含量と RUP が低く、脂肪含量も低い。

米国における代表的飼料の栄養価とコストの比較を表Ⅱ－１－２に示した。エネルギー飼料としては、大麦、トウモロコシ、エンバク、蛋白質飼料としては、キャノラミール、大豆粕、RUP（バイパス蛋白質）飼料としてコーングルテンミール、そして蛋白質とエネルギーを供給する飼料として DG を取り上げた。

DG の飼料成分は原料や工場の製造法の違いによって変動する。とくに CP 含量と脂肪含量は分析すべきである。

CP 含量は同じ工場でも 25% から 30% も変動することがある。脂肪含量は 8% から 15% 以上になることがある。

米国ではエタノール工場の建設が続く、そのスピードはやや減速しているが、エタノールのためにトウモロコシの使用が増加している。飼料会社は、いろいろな工場から生産された DG の分析を行い CP 含量や脂肪含量など変動の少ない工場の製品を購入するだろう。わが国においてもチェックが必要である。

表Ⅱ－１－１ トウモロコシとその副産物の飼料成分

	コーングルテン フィード	ジスチラス グレイン	トウモロコシ サイレージ	アルファルファ サイレージ	トウモロコシ	大豆粕
乾物, %	89	88	34	40	88	90
CP, %DM	25	31	8	21	9	50
RUP, %CP	30	50	35	20	43	43
脂肪, %DM	3	13	3	4	4	4
ADF, %DM	12	17	26	35	3	8
NDF, %DM	37	34	44	44	10	13
リグニン, %DM	1.6	5	3.5	8	1	1
デンプン, %DM	15	5	31	2.5	69	1.7
Ca, %DM	0.13	0.09	0.27	1.4	0.04	0.43
P, %DM	1.1	0.91	0.24	0.33	0.30	0.74
S, %DM	0.50	0.63	0.1	0.25	0.10	0.39

ネブラスカ大学(2005)

表Ⅱ－１－２ 代表的飼料の栄養価とコスト

	DM (%)	CP (%)	NEL (Mcal/lb)	\$/トン	\$/DMトン	\$/CPポンド (DM)	\$/NELMcal (DM)
エネルギー							
大麦	88	12.4	0.84	83	95	0.38	0.056
トウモロコシ	89	9.0	0.90	71.4	80	0.44	0.044
エンバク	89	13.2	0.80	132	148	0.56	0.093
蛋白質							
キャノラミール	90	39.0	0.76	125	139	0.18	0.091
大豆粕	90	54.0	1	185	206	0.19	0.103
RUP							
コーングルテンミール	87	65.0	1	270	310	0.24	0.155
蛋白質・エネルギー							
ジスチラスグレイン	90	30.0	0.89	90	100	0.17	0.056

Schroeden(2003)

(3) DG の利用を考える

DG の正味エネルギー (NEL) は、ポンド当たり 0.89Mcal でトウモロコシとほぼ同等のエネルギー飼料である。CP 含量は 30% で蛋白質飼料では中程度である。DG のトン当たりの価格

は、90 ドルでエネルギー飼料としてはやや高いが、大豆粕やキャノラミールのような蛋白質飼料より低い。栄養価あたりの価格についてみると、NELMcal 当たりではトウモロコシについて低く、CP ポンド当りの価格では最も低価格である。

乳牛の乾物摂取量、乳量および乳成分に及ぼす DDGS 給与の影響を検討した成績を表Ⅱ－1－3に示した。乾物摂取量は、DDGS の給与が乾物中 4－10%で有意に増加し、10－30%の給与で差がないが、30%以上給与すると減少した。また、乳量と乳蛋白質率は、DDGS の給与が 30%までは影響ないが、30%以上給与すると低下することが認められた。なお、乳脂率には影響は見られない。

DG を供給する場合、以下のことに注意すべきである。

- ①DG の高い CP 含量と高いバイパス蛋白質率を必要とするか？
- ②すでに大豆や綿実な脂肪含量の高い飼料を給与している場合には DG を控える。
- ③トウモロコシをベースとした飼料（トウモロコシサイレージ、トウモロコシ、コーングルテンフィード）を給与している場合には、リジン含量を考慮する。
- ④農家間で飼養技術のレベルは異なるので、保守的な DG の給与ガイドラインは乾物中 10%程度にする。まず少量の給与から始め、徐々に増加させる。
- ⑤牛群の乳脂率に注意する。DG の給与によって脂肪率が低下することがある。
- ⑥経済性をチェックする。DG 給与が飼料コストを低下させるか？

表Ⅱ－1－3 乾物摂取量(DMI)、乳量および乳成分に及ぼすDDGSの影響

	DMI	乳量	乳脂率	乳蛋白質率
(%DM)	(Kg/日)	(Kg/日)	(%)	(%)
0	22.2 ^b	33.1 ^{ab}	3.39	2.95 ^a
4-10	23.7 ^a	33.4 ^a	3.43	2.96 ^a
10-20	23.4 ^{ab}	33.2 ^{ab}	3.41	2.94 ^a
20-30	22.8 ^{ab}	33.6 ^a	3.33	2.97 ^a
<30	20.9 ^c	32.2 ^b	3.47	2.82 ^b

a,b,c p<0.05 Kalscheur(2005)

(4) これからの給飼料戦略

トウモロコシは米国でも日本でも、安価でエネルギー含量が高く、主要な飼料源である。トウモロコシのエネルギーはデンプンに由来している。乳牛のルーメン発酵を最適にして、効率の良い乳生産のためには飼料乾物中約 25%のデンプンが必要である。これまでトウモロコシは乳牛に対するデンプンの安価で最高の供給源であった。バイオエタノールブームが続くと、安価なデンプン質飼料は次々とエタノールの原料になるかもしれない。

バイオエタノール副産物は、トウモロコシに比べて、デンプンはほとんど含まず、蛋白質とリン含量が高過ぎる。したがって、トウモロコシを DG で単純に置き換えると、乳牛からの窒素とリンの排泄が過剰となり、環境負荷を大きくする。

これらのことから、これからの飼料給与においては、まず粗飼料の量と品質を改善し、濃厚飼料の要求量を低下させることが重要である。また、DG を含め、安価な副産物を上手に利用することが必要である。米国の伝統的酪農地帯では、トウモロコシサイレージ、大豆粕そして DG が高泌乳牛に対する経済的な飼料になるといわれている。わが国において、

飼料給与のあり方について短期的、長期的に考える良い機会である。

(5) 飼料の高騰を乳価や牛乳・乳製品価格へ反映

2007 年 7 月配合飼料価格高騰を受けて農水省は、畜産物価格への転嫁について消費者の理解を求める活動に乗り出した。生産者のこれまでの努力とコストの上昇について知ってもらう必要があったためである。その結果、2008 年には入荷の引き上げが見られた。

さらに早く米国では史上最強のスーパーと評価され、従業員からも一番働きやすい企業として選ばれた Wegmans は、同じような内容で、これより先に牛乳・乳製品の値上げを予告する広告を消費者に配布している。さらに、この会社では、消費者サービス部門を担当する副社長が会社のホームページに、食品・健康・消費者に対する質疑応答・その他重要なトピックに関する論文を毎週掲載しているが、5 月 25 日の論文では、「Milk Moo-ving Up」と題して、米国の酪農家が燃料代の高騰やバイオエタノール生産による飼料の高騰に苦しんでいることと、国内外において乳製品の需給が逼迫していることを紹介している。とくに強調していることは、酪農家が飼料高騰によりコスト切り詰めをするため、多くの乳牛を淘汰し、モチベーションが下がっているとし、これまで牛乳・乳製品の低価格維持に努力してきた酪農家に感謝すると述べ、牛乳・乳製品の値上げに対する理解を訴えている。

(6) 小括

以上のような理由からも、われわれはトウモロコシなどの飼料作物である資源作物のバイオエタノール化には基本的に問題があると考えている。しかし、世界的な実態としては資源作物のエタノール化は進んでいる。日本でも試験的な検討が進められているので、これも対象に検討することにする。

2. 資源作物からのバイオエタノール生産—十勝の事例を中心に—

(1) 課題と方法

1) ここでの課題

本論文では、最近新たなエネルギーとして開発されているバイオエタノールが農業経営に導入された場合に、どのような経営的な効果・利益をもたらされる可能性があるのかを実験が開始されたばかりの十勝の事例を中心に検討したものである。この検討を通じて、試験研究の現状把握と今後の実用化に向けてのこれからの課題を考察する。具体的には、まずバイオエタノールを概説する。次いで、現状把握・問題点を摘出し、今後の展開の可能性を検討していく。

2) 十勝のバイオエタノール生産の現状

バイオエタノールとは植物を原料とし、生産段階で二酸化炭素を吸収するものである。そのため、燃焼させた時に発生する二酸化炭素とほぼ打ち消し合う。この循環を、カーボンニュートラルと言う。こうして、温暖化を抑える二酸化炭素の削減を可能にし、環境にやさしく、しかもバイオエネルギーとしても、高騰が続く石油の代替をも可能にするものである。従って、今注目されるバイオ燃料といえることができる。このようなバイオエタノールの原料として十勝ではどのような農業が展開しているのかを概説しておくことにする。

（２） 十勝農業とバイオエタノール資源

１）資源作物としての十勝農業

十勝は日本を代表する畑作と畜産の大規模経営が展開される地帯である。比較的平坦な地形に恵まれ、機械化の進歩も著しい。十勝の総耕地面積は約 1,083,100ha で、その内畑地が 67.9%、牧草が 31.4%、水田が 0.7%となっている。また、約 7,190 戸の農家があり、一戸当たりの耕地面積は約 31.6ha である。畑作における主要作物は、大豆、小豆、菜豆、秋まき小麦、馬鈴薯、甜菜などである。その中でも馬鈴薯と甜菜の生産量は著しく高い。

十勝の自然環境は十勝農業に大きな影響を与えている。豆類は開花～登熟にいたる適温と収穫を迎える秋の気象が晴天に恵まれるため、収穫・乾草・脱穀・調整作業が順調に行われるなど、特に豆類にとっては世界一の産地と言える。しかし、年によっては、冷害に見舞われ、その克服方法の研究が長い間続けられている。また、秋まき小麦は畑作の中で最も機械化・省力化が進んでおり、大規模機械化農業に適しているため広く作付けされている。しかし、収穫期間の 7 月後半から 8 月にかけての降雨が穂発芽を誘発する事から生産がやや不安定であり、耐穂発芽性品種の開発が急務となっている。馬鈴薯は耐冷性作物のため食用・加工用・澱粉原料用と幅広く、かつ高品質のものが開発されている。しかし、6 月から 8 月にかけての曇雨天が茎葉の徒長現象を起こし、倒伏を招き減収や品質低下を引き起こし兼ねないので、栽培技術の改善が盛んに進められてきた。甜菜も耐冷性作物として移植技術により安定的な栽培がされている。しかし、近年の作付け規模の拡大に伴い直販栽培への意向の兆しがあり、試験研究が進められている。園芸作物ではナガイモ、ダイコン、ゴボウ、ニンジンなどの根菜類が作付けされている。園芸作物の定着とさらなる発展は今後とも期待されるところであり、畑作と野菜の輪作体系の模索が続けられている。

十勝の農業は毎年 2 千億円を超える農業粗生産を生み出し、地域経済を支える主要な産業であるとともに、国内の食糧確保に重要な役割を果たしている。

２）バイオエタノール資源としての甜菜

このような中で、十勝でのエタノール資源は主に甜菜と規格外小麦を利用している。甜菜については十勝の代表作物で、2005 年度の十勝の農業産出額を見ると、農業の部門においては麦類と並び 13%を占めている。さらに、十勝の甜菜の総収量と作付面積を見ると、02 年から作付面積は減少しているものの、総収量は変わらずほぼ安定的に生産されている。甜菜とはアカザ科の 2 年生の植物で、寒さに強く、最適気温は 25 度、夜の気温も熱帯夜での生育は困難で、寒冷地作物として地中海地方などの中・高緯度で栽培されている。別名「砂糖大根」とも呼ばれている。サトウキビとならんで砂糖の主原料であり、根を搾ってその汁を煮詰めると砂糖がとれる。葉と搾りかすであるビートパルプは、家畜の飼料として利用される。全世界の砂糖の生産量のうち、約 35%が甜菜から作られている。日本では、北海道を中心に栽培され、国内原料による日本の砂糖生産量の約 75%、砂糖消費量の約 25%を占めている。北海道は西洋の気候と似ているので、1971 年に現在の函館市、1878 年に札幌農学校での試作後、北海道で大規模に栽培する事になった。今日、北海道は甜菜生産振興地域であり、十勝平野や網走管内を中心に道内総面積 7 万 ha で栽培が行われている。機械化の進展により収穫もビートハーベスターという収穫機械が使われている。

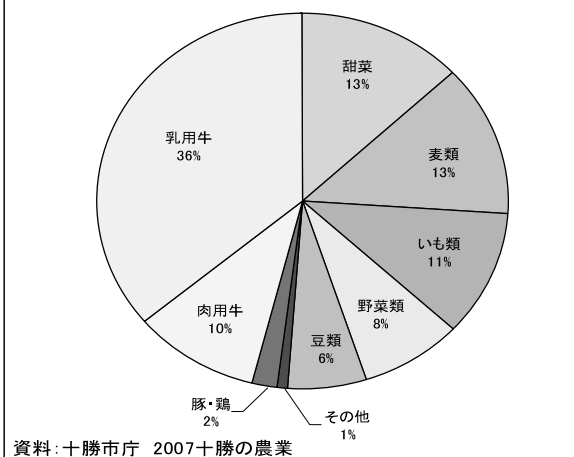
甜菜は、本来は砂糖を生産していたわけだが、利用方法別の購入価格の比較をすると、

砂糖にまわした場合の価格は1t当たり17,190円、そして、エタノールにまわした場合の価格が1t当たり17,200円となり、ほとんど差が見られなかったが、甜菜の糖度が17%を下回る場合は価格が低下するためエタノールにまわした方が利益を得られるといえる。

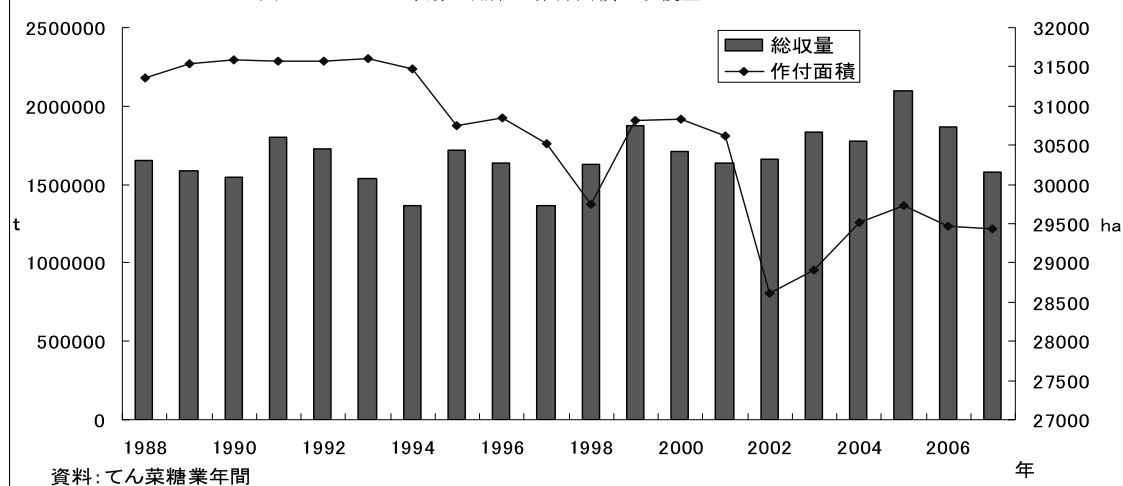
3) 十勝でのバイオエタノールの生産方法

十勝では甜菜以外に規格外小麦も使用しバイオエタノールを製造している。十勝のバイオエタノールの生産工程は、甜菜の場合が発酵、蒸留、脱水し、エタノールを抽出される。規格外小麦の場合は、工程が少し多く、まず液化され、糖化をした後、発酵、蒸留、脱水し、エタノールが抽出される。現在では、酵母の種類や温度などの条件を変え、データを収集している。そして、2006年度からはエタノールを3%混合させたガソリン（E3）の製造も開始され、試験車両を使って実車走行試験が行われた。

図Ⅱ-2-1 十勝の農業産出額（平成17年度）



図Ⅱ-2-2 十勝の甜菜の作付面積と収穫量



(3) 十勝のバイオエタノール生産の可能性

1) バイオエタノール資源の適正

十勝におけるエタノール生産の可能性については、十勝財団が甜菜と規格外小麦以外の作物のエタノール資源としての可能性を検討した。この作物は、ビートトップ、スイートコーン、豆類、馬鈴薯でん粉粕である。甜菜、規格外小麦を含む、それぞれの適正は次の表Ⅱ-2-1の通りである。

ビートトップ、スイートコーン、豆殻は発酵プロセスが分解の難しいセルロース系なのでエタノール生産には向かないという結果が出た。馬鈴薯でん粉粕は規格外小麦と同様にでんぷん質系ではあるが、腐敗しやすいという性質を持っているため、これもエタノール生産には向いていないという結果になった。

表Ⅱ－２－１ 十勝館内の農産物系バイオマス資源のエタノール化利用可能性の検討

	収集性	運搬性	保存性	発酵プロセス	適性判定	備考
小麦 (規格外)	○ 農協単位で集められており収集は容易	○ バルクまたはフレコンバック等で輸送が比較的容易	○ 長期保存可能	でんぷん質系	○	子皮部分を糖化处理すれば、さらにエタノール収率を上げることが可能
ビート トップ	× 圃場に散逸させずにハーベスターで収集。労力確保が課題	× かさがあり、迅速な運搬が求められる	× 腐敗しやすく、迅速な感想が必要	セルロース系	×	腐敗する前に糖化处理を行うことが必要。発酵阻害物質の存在が懸念材料。
スイート コーン	△ 子実集荷後の茎葉部はハーベスターにより収穫が可能	△ 裁断することによってバラ積み輸送が可能	× 腐敗しやすく、迅速な感想が必要	セルロース系	△	発生時期が8月の短期に集中する。高水分のため、速やかに処理するか、長期保存の方法を検討する必要がある。
豆 殻	△ 収穫機械の軽微な改造で効率的な集荷が可能	△ 裁断することによってバラ積み輸送が可能	△ 長期保存可能	セルロース系	△	原料の保存性、取り扱い易さに優れるが、収集にコストがかかると共に、セルロース系原料のため前処理が必要となる。
馬鈴薯 でん粉粕	○ 大半が3力所のでんぷん工場から発生	△ バラ積みで輸送は比較的容易	△ 比較的腐敗しやすく、乾燥化等の処理が必要	でんぷん質系	△	やや腐敗しやすい性質を持っているため、長期保存する方法を検討する必要がある。
甜 菜	○ 現行体系で対応可能	○ 現行体系で対応可能	○ 現行体系で対応可能	糖質系	○	ビートは世界的に見て一般的に用いられている原料である。

判定の考え方

○:現状のシステムの利用、もしくはわずかな設備やシステムの改変で対応可能なもの
△:新たな設備を作ったり、必要労力の確保に問題が残るが、技術的に可能で実現の見込みがあると考えられる
×:技術的に困難か、労力や機械等のインフラの確保が困難と思われ実現性が乏しいもの

資料:十勝財団報告書

2) 十勝のバイオエタノールの生産性

十勝では、甜菜、規格外小麦という 2 種類のエタノール資源があるが、どちらが生産に適しているか考察した。

まず、製造工程から見ていくと、甜菜は発酵、蒸留、脱水という 3 つに対して、規格外小麦は液化、糖化、発酵、蒸留、脱水という 5 つとなっている。この結果から、製造工程で見た場合、工程が少ない甜菜の方がコストを低く生産できるといえる。

次に、それぞれのエタノール収率を見える。それぞれの 1t 当たりのエタノール収率は甜菜が 83ℓ、規格外小麦が 428ℓとなっている。これだけを見ると規格外小麦の方が多くエタノールを生産できる様に見えるが、これを 10a 当たりの面積に換算すると甜菜が 415Kℓ、小麦が 214Kℓという結果になる。ここでは、小麦全体で計算したので、規格外小麦のみと

るとさらに減少する事がわかる。この計算によって、エタノール収率から見ても甜菜が適しているという結果になる。製造されたエタノールの価格については、十勝財団の試算によれば、規格外小麦の場合、1年間に生産するエタノールを11,600Kℓとし、1年間にかかる製造コストは11億4,100万円であった。その結果1ℓ当たり約98.4円と試算された。しかし、これは理論上のことなので実際に毎年規定の量の規格外小麦が確保できるかは明確ではない。規格外小麦は家畜飼料としても利用されているためエタノールにまわせばそれだけ家畜飼料が不足してしまう。

甜菜との比較であるが、規格外小麦のように1ℓ当たりの価格が出されていないので、コスト面から見ていくと、年間エタノール生産量を11,600Kℓと設定した場合、規格外小麦の必要量が27,000tである。購入価格が運搬費込みで1t当たり22,100円なので購入コストは596,700,000円となる。同じく甜菜の必要量は約13,923t、そして、購入価格が運搬費込みで1t当たり17,800円なので購入コストは約248,000,000円となった。この結果から、製造コストの大部分を占める購入コストが規格外小麦の1/2以下に抑えられている甜菜ならば、さらに低価格なエタノールが生産できると考えられる。

表Ⅱ－２－２ エタノールプラントの建設コスト・運用コスト

Ⅰ 建設コスト

科目	説明	金額
設備費	プラント・タンク	3,298

Ⅱ 運用コスト

科目	説明	金額
副産物販売収入	発酵残渣	163
小計(A)		163
原料購入コスト	22,100/t × 27,000t/年	597
プラント操業コスト	薬品代(65)+用役費(149)+人件費(114)	328
設備維持管理費	建設コストの1.5%	49
減価償却費	建設コストの10%	330
小計(B)		1,304
運用コスト総計 (B)－(A)		1,141

資料：十勝財団報告書

(4) 今後の課題

以上のことから、十勝では規格外小麦と甜菜を利用しエタノール生産を進めているが安定して確保出来る資源作物という点からは、10a 当たりのエタノール収量や製造コスト面から見ても甜菜が適していると考えられる。そして、農家側から見た時の利益としては、甜菜の糖度が17%を下回る場合にはエタノール資源として利用の可能性が出てくる。さらに、甜菜が過剰生産のため価格が低下する可能性もある。

これからの課題としては、高い糖度のエタノール資源を生産し、10a 当たりのエタノール収量を増加させる。そして、生産性を向上させ、生産コストを抑え出来るだけ安く供給出来るようにさせている。最後に、国内でバイオエタノール生産はまだ始まったばかりのため、詳細には知られていない。エタノール資源を安定して確保するには、まず農家側にバ

イオエタノールについて良く知ってもらう事が大切であると考えられる。

（補1）伊江島のバイオエタノール生産

1) 構想の概要

伊江島で行われているバイオマスアイランド構想は、さとうきびを原料とするバイオエタノール製造が行われている。このバイオエタノールの製造は、圧搾→清澄化→濃縮→結晶化→遠心分離→発行→蒸留・脱水という過程を経る。この過程を通して、30 tのさとうきびから2 tの糖蜜が残り、最終的には1,000ℓのバイオエタノールが作られる。

現在このバイオエタノールは施設内にあるE3ガソリン製造所にて混合し（図Ⅱ-2-3）、島内にあるガソリンスタンドで供給する流れとなっている。またこのE3ガソリンは伊江村の公用車など、12台で利用されている。

2) 特徴

この実証研究は現在アサヒビールが持つさとうきび畑 50aでとれるさとうきびを原料としており、またそのさとうきびもバイオエタノールの製造に適した、収量の高いものを栽培している（図Ⅱ-2-4）。これにより、本来ならさとうきびから粗糖を抽出する作業は3回行われるが、ここでは1回しか行っておらず、しかしそれでも従来のものよりも粗糖の生産量は高いとのことである。そしてその製造工程においても、原料のさとうきびから粗糖・糖蜜の製造、そしてエタノール発酵とはじめからの一貫した製造工程をとっている。宮古島などでは、粗糖・糖蜜の製造は製糖工場が行っており、その後の糖蜜だけを受け取ってバイオエタノールを製造するという工程であった。このことから、この製造施設は独自性のあるものであると考えられる。また粗糖からエタノールを作り出すときにも、これまでは、12時間は発酵を行っていたが、現在では6時間にまで短縮することができている。

3) 今後の展開

伊江島の農業にこのバイオエタノール生産を考慮したシステムを組み込んでいく場合、つまり、島内のさとうきびの品種をこの高収量さとうきびに転換していくことになる。そのため、まずはこの高収量さとうきびの導入と従来品種との違いを確認していく必要があるだろう。特に土壌栄養分の吸収量が違うと思われるため、今後も持続可能であるのかを明らかにすることが必要となろう。また現在生産される粗糖は自家消費して、販売を行っていないということなので、品質の確認後、販売へとつなげていくことが大事である。

アサヒビールにとっては、この実証試験をもとに海外進出を考えているとのことなので、この一貫した製造システムの、製造コストをどのようにして抑えていくかが重要である。それに対する現在の対策が、絞りカスのバガス燃料として利用することや、熱が必要なエタノール発酵の時間を6時間に短縮したことなどであろう。海外での製造を行う場合では、ブラジルなどと同等の販売価格にまでしていくことが目標と考えられている。



図Ⅱ-2-3
伊江島バイオエタノール製造所



図Ⅱ-2-4 高収量さとうきび

3. 食品製造工程の副産物利用によるバイオエタノール生産—宮古島バイオエタノール生産の経済性

(1) 課題と方法

1) 課題

本研究はバイオエタノール生産の利活用に係わる経済的評価を行うことを目的に、沖縄のサトウキビの副産物を利用してのバイオエタノール生産、ここでは宮古島と伊江島のバイオエタノール生産の実態を調査検討をし、その経済的な評価を行うことである。

また、補足としてサトウキビ全体の収量を高め利用する伊江島のバイオエタノールの利活用の方法を検討する。

2) バイオエタノールの概要

バイオエタノールは植物などを原料として生産するエタノールをいう。バイオエタノールは主に植物内にある糖や炭水化物をエタノール発酵させることによって精製しており、炭水化物では糖に比べて製造工程が余分に増えるとのことである。

現在、バイオエタノールの製造は世界各地で行われており、特にブラジルやアメリカなどが積極的だといえる。実際、アメリカなどではすでに走行車両の燃料にこのバイオエタノールを添加するように義務付けられており、ブラジルでは燃料が 100%バイオエタノールの E100 で利用されている。

表Ⅱ－３－１ 世界のバイオエタノール利用状況

国名	利用状況	原料
日本	E3まで添加可能	小麦・甜菜・サトウキビなど
中国	E10の試験導入	
アメリカ	2012年までにエタノール添加義務	コーン
ブラジル	全土でE23、E100実施	サトウキビ
スウェーデン	E5、E10、E100導入・実施	
ポーランド	E5、E10の実施	
ドイツ	ETBEの実施、バイオ燃料義務化	
フランス	ETBEの実施	
スペイン	ETBEの実施	
タイ	E10導入開始	キャッサバ、サトウキビ、糖蜜
フィリピン	E5からE10まで段階的に法制化	サトウキビ、糖蜜
インドネシア	E5導入開始	キャッサバ、サトウキビ
インド	E10導入開始	サトウキビ、糖蜜
オーストラリア	E10導入開始	サトウキビ

資料：株式会社りゅうせき バイオエタノールプロジェクト推進室 作成「沖縄産糖蜜からの燃料用エタノール生産プロセス開発及びE3等実証試験概要」より作成

(2) 宮古島バイオエタノールの特徴

1) 沖縄農業の概要

沖縄県の農業は、亜熱帯の気候を活かして、サトウキビの生産を中心にマンゴーなどの熱帯果樹、花卉、野菜及び肉用牛等の生産が多用に展開され、日本における甘味資源及び冬春期の農産物の供給産地として一定の地位を占めている。2005年の農業産出額（905億円）の構成比をみると、サトウキビが16%、野菜13%、花卉14%、果実5%、パイナップル2%、耕種他7%、豚13%、肉用牛17%、畜産他13%となっている。

2) 沖縄のエタノール資源と生産方法

沖縄ではサトウキビを使ってバイオエタノールを生産している。サトウキビは甜菜と並んで砂糖の原料となる代表的な作物である。利用方法としては、茎の髄をそのまま噛んで食べたり、機械で汁を搾って飲むなどの生食や、搾った汁を砂糖、その他食品工業や工業用エチルアルコール製造の原料とするなど多様な利用方法がある。

沖縄ではサトウキビの産地であり、島内に製糖工場のある宮古島でバイオエタノールが製造されている。製糖工場ですとウキビから砂糖を生産する際に、限界まで砂糖を取った状態の残液が出される。この残液はそれでも糖度が40%もあり、一般的には家畜飼料として利用できるが、あまり利用されていないためバイオエタノールの原料として利用することになった。宮古島でのサトウキビの生産量は1年間で約25万t、そこから7000tの糖蜜が排出される。そして、そこから生産されるエタノールは糖蜜1t当たり250ℓになる。製造工程としては、甜菜と同じく発酵、蒸留、脱水を経てエタノールを抽出するというものである。

3) 宮古島のエタノール生産

①ここでの特徴

ここは、国内産バイオマス原料によるバイオエタノール生産技術の確立と、E3燃料製造・物流・供給の管理体制のもと実車走行まで一貫して技術開発実証を行うわが国初めて

の事例である。そして、基幹産業である宮古島のサトウキビ増産につながる支援事業として製糖業の副産物の糖蜜からエタノール燃料を生産し、E3燃料を製造供給し宮古島で消費する持続可能な社会循環システムを構築するというものである。さらに、世界に誇れる国内の優れた技術を集積した技術開発の成果を、沖縄県の特徴を活かした地産地消型の地域振興事業としての普及モデル事業を目指すものである。

② 宮古島バイオエタノール生産の概況

バイオエタノール生産は宮古島でとれるサトウキビの、製糖作業後の残渣物である糖蜜を原料として精製され、糖蜜 1t につきおよそ 250ℓ 作ることが出来る。つまり宮古島で生産されているサトウキビは全体でおよそ 25 万 t、糖蜜ではおよそ 6,000t となるので、バイオエタノールの生産量は年間およそ 150kℓ になる。ただし、現在バイオエタノール製造は宮古島に 2 箇所ある製糖工場のうち 1 箇所の、沖縄製糖のみでしか行われていない。宮古島における沖縄製糖の製糖シェアは 50% なので、実際にバイオエタノール製造に関わるサトウキビ及び糖蜜は上記の量の半分となり、現在実際に製造されているバイオエタノールはおよそ 750 kℓ である。(表Ⅱ-3-2)

表Ⅱ-3-2 宮古島におけるバイオエタノール生産状況

	数値	単位
宮古島農耕地面積	12,000	ha
サトウキビ作付面積	8,400	ha
サトウキビ生産量	250,000	t/年
糖蜜抽出量	6,000	t/年
(うち、バイオエタノール生産利用量)	3,000	t/年
バイオエタノール生産可能量	1,500	kℓ/年
(うち、バイオエタノール生産利用量)	750	kℓ/年

資料: 同表Ⅱ-3-1 及び 実態調査 より作成

③ 宮古島バイオエタノール生産方法

エタノールの精製は図Ⅱ-3-1にあるように、まず糖蜜タンクに製糖工場から排出された糖蜜を入れるところから始まる。1日に投入する糖蜜は上記のように3,000tである。その後糖蜜を原料調整槽へ送り糖濃度を40%の状態から15%に調整する。また1部は酒母槽・培養槽へ送り、酵母菌を繁殖させておく。酵母菌の繁殖のために、酒母槽・培養槽ではそれぞれ24時間の時間を要する。発酵槽では2つの棟を使い、ここでもまた24時間かけて発酵を行い、アルコール濃度6%の液体となる。この時発酵の影響により、槽内の温度が40度にまで上昇するが、温度が高くなると酵母菌が死滅してしまうため、30度で安定させている。次のもろみ塔へは発酵処理後の液体は5時間ほど静置して、液内の酵母などを沈殿させた後の上澄みを送られる。ここでは常圧と減圧の2種類のもろみ塔を使い蒸留を行う。これは圧力の違う種類を使うことで、発生する熱の誤差を利用するシステムをとっているとのことである。エタノールを蒸留した後、液体のアルコール濃度は40%に上昇している。

そして濃縮塔でアルコール濃度を高め、濃度を88%にまで高めたあと、ゼオライト膜という特殊な膜を使って液体中の水分を分離させ、濃度99.5%のバイオエタノールとなる。このゼオライト膜は筒状にして、エタノールに入れると水のみが透過して筒の中に入り込む仕組みとなっている。そのため、透過が終わったあとのバイオエタノールは最終的にアルコール濃度99.5以上の高純度バイオエタノールとなっている。

宮古島にある車両はその 100 倍の 3 万台であることなどが理由である。今後ガソリンの価格及び砂糖の輸入価格の変動などによっては、バイオエタノール生産の原料である糖蜜の、糖濃度を高めた状態からバイオエタノールを生産するといった、サトウキビから砂糖とバイオエタノールをどの程度の生産量にするかといったことが問題となると考えられる。

4. 食品廃棄物エタノール化事業の社会的・経済的展望

(1) 本稿の課題

バイオマス・エネルギー利活用の重要性は、社会的な側面の環境問題、経済的な側面でのエネルギー価格高騰の両面から見て、ますます高じていると言えよう。その反面で、ガソリン代替のバイオエタノール、軽油代替の BDF は、食料生産との競合という問題を抱えている。このことは、食料輸入なしでは存立し得ないわが国にとって、新たな驚異である。バイオエネルギーの重要性を踏まえ、わが国として採るべき方策は、食料生産と競合しない形でのバイオエタノール製造、BDF 製造の技術開発はもちろんのこと、それを実現しうる社会的・経済的システムの確立である。

食料生産と競合しないバイオエタノール製造、BDF 製造の手法としては、食品残さや食品加工残さの利用が考えられる。しかし、食品廃棄物からのバイオエタノール製造を例にとっても、排出量も組成も一定せず、夾雑物の混入を前提としなければならない。しかも、分散的に発生することなど、その広範な普及に向けては、製造技術の開発だけでは達成し得ない、社会的・経済的課題が横たわっている。

これに対し、新エネルギー開発や循環型社会の構築といった観点から、様々な社会的実験事業、さらには草の根的取り組みも行われている。これらの中にはすでに限定的に事業化しているものも存在するが、将来のバイオエネルギー普及に向けて重要なのは、これら事業を技術的に評価するだけではなく、社会的・経済的視点から分析し、今後の取り組みにフィードバックすることであろう。

そこで、本稿では食品廃棄物からのエタノール製造について、実証実験の主体からのヒアリングに基づき分析し、社会的・経済的な観点からその展望について考察する。対象は、北九州市において実施されている実験事業とする。

(2) バイオエタノール製造の動向

1) バイオエタノール製造動向

表Ⅱ－4－1 は、2006 年時点でのバイオエタノール製造実証実験の動向を示している。

すでに実用化され、その原料生産が食料供給に影響を及ぼすまでになっているアメリカやブラジルと異なり、わが国のバイオエタノール製造はいずれも実証実験であり、実用的な規模での取り組みは未だ存在していない。これらによるエタノール生産量は 2006 年 3 月時点で約 30kl と推計されているが、量的に少ない上にいずれも補助を受けた実験事業であり、採算ベースの把握には至っていない。このような現状を踏まえ、政府（バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議）は、2007 年 2 月に『国産バイオ燃料の大幅な生産拡大』の方針を打ち出している。

表Ⅱ－４－１ バイオエタノール製造の動向

地域	事業主体	内容
1 北海道十勝地区	(財)十勝圏振興機構など	規格外小麦などからの燃料用エタノール製造とE3実証。
2 山形県新庄市	新庄市	ソルガムからの燃料用エタノール製造とE3実証。
3 大阪府堺市	大成建設、丸紅、大阪府など	建築廃材からの燃料用エタノール製造とE3実証。
4 岡山県真庭市	三井造船、岡山県など	製材工場残材からの燃料用エタノール製造とE3実証
5 沖縄県宮古市	りゅうせき	糖蜜からの燃料用エタノール製造とE3実証。
6 沖縄県伊江村	アサヒビールほか	さとうきび新品種からの燃料用エタノール製造とE3実証。
7 福岡県北九州市	新日鉄エンジニアリング	食品廃棄物からの燃料用エタノール製造とE3実証。

出所) 農林水産省資料より作成

2) 北九州市における「食品廃棄物バイオエタノール化実証事業」

①「バイオマスエネルギー地域システム化実験事業」と本事例

現在のバイオエタノール製造では、地域資源の保全を主たる目的とする取り組みや木質系の廃棄物の利活用、食品加工副産物の有効利用を目指す取り組みなどが行われている。その中で、本章が対象としている北九州市の事例は食品廃棄物のバイオエタノール化を目指す事業である。

この「食品廃棄物バイオエタノール化実証事業」は、北九州市に大規模な製鉄所をもつ新日鉄の子会社、新日鉄エンジニアリングが主体となり¹、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「バイオマスエネルギー地域システム化実験事業」として実施されている。NEDOによればこの事業の目的は「国内バイオマス資源の効率的かつ経済的な収集運搬システム、エネルギー転換・利用技術ならびにエネルギー最終利用、およびエネルギー転換利用時に発生する残渣の処理等を含めた地産地消・地域循環型エネルギーシステムが成立することを実証し、その実証を通じて社会システムならびに技術上の課題の抽出と分析を行い、他の地域への導入普及を先導するモデル的なバイオマスエネルギー地域システム構築」することである。そのコンセプトは図Ⅱ－４－1の通りであり、要するに、バイオマス利活用が遅々として進まない現状に対して、地域の事情を反映したバイオマスを収集し、それをエネルギーに変換し、有効に利用するモデルを作ろうとするのがこの事業の趣旨といえる。この事業に対しては39件の応募があり、表Ⅱ－４－2の7件が採択された。これら7件のうち、食品廃棄物に係わるのは北九州の事例の他は、⑥の長野県の事例のみとなっている。また、民間企業が主体となった唯一の事例である。

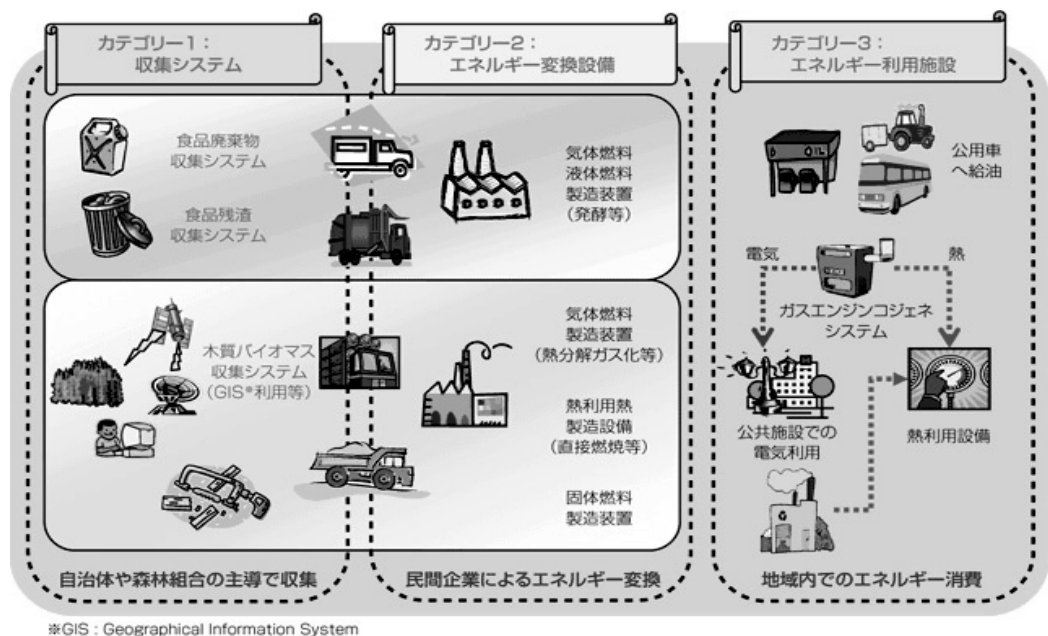
本事例の場合、実施体制は図Ⅱ－４－2のとおりで、この事業はNEDOから新日鉄エンジニアリングが委託されるという形態をとっている。そのため、本事業に係わる費用はすべてNEDOから支出される。また、ごみの収集運搬については、北九州市と市内の大手清掃業者に再委託されている。

NEDOの事業実施期間は2005年度から2009年度までの5年間であるが、本実証事業の場合は前半2カ年で設備の開発と設置を行い、後半3カ年で実際の運用を行うこととなっている。また、折り返し点となる2007年度には中間評価が実施されている²。本事業を含

¹ 新日鉄エンジニアリング(株)は、2006年7月に新日本製鐵(株)のエンジニアリング事業部門が独立したものである。したがって、本事業の委託が決まった時点では主体は新日本製鐵(株)であった。本稿では混乱を避けるため、主体は一貫して新日鉄エンジニアリングとする。

² 事業化の見込みがない場合には、その時点で委託は打ち切られる。本事業については、7件とも継続となっている。

む 7 事業は、2009 年度末に NEDO からの委託が終了し、それぞれの主体によって事業化を目指した段階へと進むことになっている。

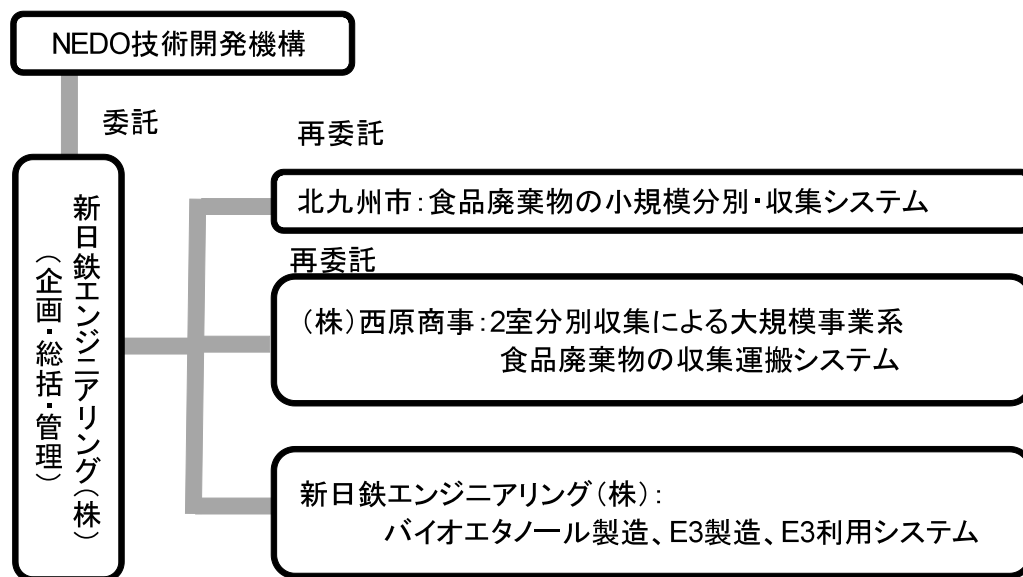


図Ⅱ－４－１ 「バイオマスエネルギー地域システム化実験事業」のコンセプト
出所) 同事業公募資料 (NEDO 発表) から引用。

表Ⅱ－４－２ 「バイオマスエネルギー地域システム化実験事業」に採択された事業者

委託事業者	件名	事業概要
① 山口県	山口県全域を対象とした「総合的複合型森林バイオマスエネルギー地産地消社会システムの構築」実証・試験事業	間伐材などを対象とした低コスト収集運搬システムと、ペレット化による活用・ガス化発電による利用・石炭火力発電所における混焼の3つの利用形態からなるシステム
② 熊本県阿蘇市	草本系バイオマスのエネルギー活用システム実験事業	傾斜地に自生する未利用の草本系バイオマス (主にススキ) を対象にした新規の採草・運搬システムと、ガス化ガスエンジンコージェネレーションシステムからなるシステム
③ 山形県最上町	「ウエルネスタウン最上」木質バイオマスエネルギー地域冷暖房システム実験事業	森林GISを活用した最適な間伐・集運材システム、カスケード利用による効率的な収集運搬システムと、生チップボイラーによる温水供給システムからなるシステム
④ 高知県仁淀川町	高知県仁淀川流域エネルギー自給システムの構築	林地残材等を対象とし、規模に応じた適正な手法による収集運搬システムと、ガス化ガスタービンコージェネレーションシステム、ペレット利用システムからなるシステム
⑤ 新日本製鐵(株)	食品廃棄物エタノール化リサイクルシステム実験事業	食品廃棄物を対象に低コスト分別収集システム、ICタグを利用した分別収集システムと、糖化・エタノール発酵による無水エタノール製造システムからなるシステム
⑥ 穂高広域施設組合	先進型高効率乾式メタン発酵システム実験事業	家庭系ごみ・事業系ごみ・剪定枝を対象にした効率的収集・サンプリングシステムと、メタン発酵ガスエンジンコージェネレーションシステムからなるシステム
⑦ 岡山県真庭市	真庭市木質バイオマス活用地域エネルギー循環システム化実験事業	林地残材を対象にした低コスト搬出・加工システム、乾燥機能を有する輸送・保管システム、温水ボイラー・蒸気ボイラーによる熱供給システムからなるシステム

出所) NEDO発表資料 (2005年12月12日) より引用。



図Ⅱ－４－２ 「食品廃棄物エタノール化リサイクルシステム実験事業」の実施体制図
出所) NEDO 新エネルギー技術開発部「(同事業) 平成 18 年度実施方針」より引用。

b. 「食品廃棄物バイオエタノール化実証事業」の概要

表Ⅱ－４－３ は「食品廃棄物エタノール化実験事業」の概要を示している。このように、本事例は、エタノール製造プラント、E3 ブレンド設備、E3 給油設備（2カ所）、2室分別収集車（2台）の4つの設備等から構成されている。これら設備は、食品廃棄物を日量2トン受け入れ、2トンの夾雑物を除いた、10トンの生ごみから99.5%以上の濃度を有する無水エタノールを1日あたり400リットル製造する能力を有している。これらが年間300日稼働することになっており、年間では12万リットルのエタノールを製造できることになる。

表Ⅱ－４－３ 食品廃棄物エタノール化実験事業の概要

設備形式	食品廃棄物エタノール化リサイクルシステム
施設設置場所	2室分別収集車：(株)西原商事が保有（2両） エネルギー化設備：北九州エコエナジー（株）構内に設置 E3ブレンド設備：新日鉄エンジニアリング（株）構内に設置 E3給油設備：若松区、八幡東区内のSS2カ所に設置
処理規模	食品廃棄物 12t/日（生ごみ 10t/日）
設備稼働時間	24h/日 × 300日/年
発生エネルギー種別	無水エタノール
発生計画量	約400リットル/日
発熱量	約9,500MJ/日
エネルギー利用先	北九州市内の事業用自動車、産廃焼却炉
エネルギー利用内容	E3ガソリン、焼却炉における助燃剤

出所) 新日鉄エンジニアリング業務資料から引用。

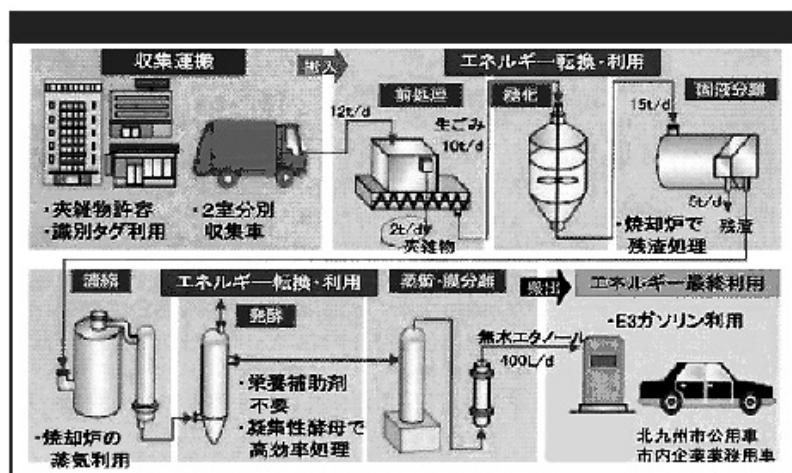
（３）食品廃棄物エタノール化実験事業におけるシステムの内容

１）収集運搬段階

①実験システムの３段階

図Ⅱ－４－３ は、本事業の実験についての全体像を示したものである。ここからもわかるように、本事業は概ね a.生ごみの収集運搬段階、b.エネルギー転換・利用段階、c.エネルギー最終利用段階の３段階から構成されている。そこで、以下では、（１）ごみの収集運搬段

階、(2) エタノール製造を行うエネルギー転換・利用段階、そして(3) E3 製造と利用のエネルギー最終利用段階の3段階に分けて、詳しく整理する。



図Ⅱ-4-3 実証実験の全体像

出所) 新日鉄エンジニアリング(株) 業務資料より抜粋

本事業でエタノール製造の原料となっているのは食品廃棄物である。食品廃棄物は各家庭、外食産業、食品製造工程など、人間が活動する場所であればどこからでも排出される。バイオエタノール原料の収集という観点からは、一カ所で等質の原料が大量に回収できる食品製造工程が最も有利であり、逆に分散が激しく組成も一定ではない。さらに夾雑物の混入が避けられない家庭系が最も困難の多いものである。本事例では、スーパー、コンビニおよびレストランから排出される事業系一般廃棄物を中心に、一部で家庭系一般廃棄物も対象としている。これらは、発生地が分散しており、発生量も一定しない回収困難な原料である。しかし、社会的に見れば、これらスーパーやコンビニにおける食品廃棄物の発生、さらには家庭からの生ごみ排出が大きな問題になっているのであり、それへの取り組みは極めて重要である。

b.事業系一般廃棄物の収集

本事業で対象とする食品廃棄物は、前述の通り、事業系一般廃棄物が中心である。家庭系一般廃棄物については、1日の収集量12トンのうち500kg程度に過ぎない。

事業系一般廃棄物は、スーパーの賞味期限食材が半分以上を占めており、飲食店は3割程度、残りがコンビニからの弁当類である³。対象となっている事業者は、回収運搬を再委託している(株)西原商事が取引している業者が中心で、スーパーは約30店舗となっている。事業者の系列別には、全国的にもリサイクルに前向きとされているイオン系が中心であり、その他に福岡県から全国へ展開しているトライアル、小倉にあるコレット井筒屋などとなっている。また、コンビニについてはセブンイレブンが中心である。これらの業者から排出される食品廃棄物を10円/kgで北九州エコエナジーが引き取るという仕組みである

³ 新日鉄エンジニアリングへのヒアリングによる。正確な数値は不明である。

が、一般的な廃棄と異なり生ごみの分別や保管などの作業が必要であり、これらは事業への協力者として位置付けられる。前掲表Ⅱ－４－３でも示したが、本事例は日量 12 トンの食品廃棄物を受け入れているが、このうちの 2 トンは夾雑物である。この夾雑物は弁当箱や包装用ビニールが中心であるが、夾雑物が 2 トンで収まっているのはこれら事業者の協力によるところが大きいといえる。

ところで、これらから排出される食品廃棄物の収集では 2 室分別収集車が利用されている。エタノール化も含め、ごみのリサイクルにおいては分別回収が不可欠であるが、排出者が分別をしても、運搬時にそれを 1 台のパッカー車で回収するのでは意味がなくなってしまう。とはいえ、生ごみ用のパッカー車とその他ごみのパッカー車の 2 両で収集したのではコスト増をもたらすことになる。バイオマス・エネルギーの利活用は、高コストであることが共通的な課題になっており、さらに CO2 排出量の増加をもたらすという点からも問題である。そこで、本事業で導入したのが 2 室分別収集車である。図Ⅱ－４－４に示したように、この車両では 1 台のパッカー車を上下に区切ること、2 種類のごみを収集することが可能になっている⁴。本事業においても、生ごみはほとんどこの車両で回収をしている。



図Ⅱ－４－４ 2室分別収集車

出所) 新日鉄エンジニアリング(株) 業務資料より抜粋

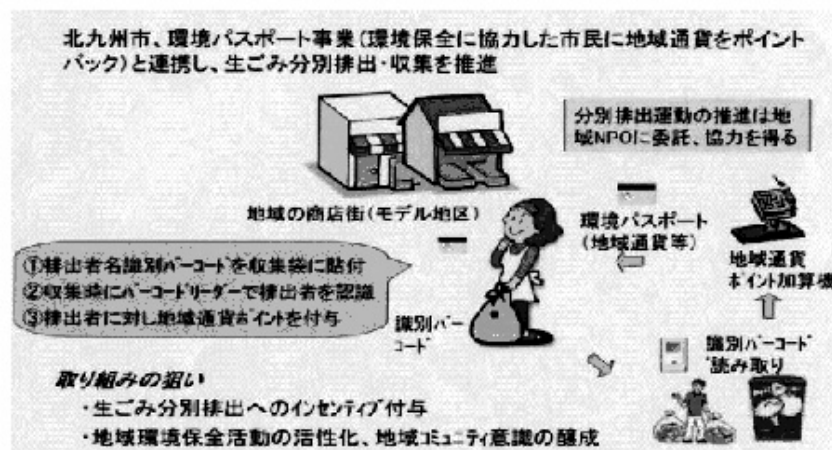
生ごみリサイクルを実施するに当たって、家庭ごみは発生地分散性、組成の不安定性、そして夾雑物の混入において、原料とするのが困難である。しかし、社会全般から考えた場合、家庭ごみをリいつまでもサイクルから除外しておくことはできない。そこで、北九州市では将来的な家庭ごみリサイクルに向けて、家庭ごみの組成についてのデータ作成を目的とした生ごみ回収を行っている。それらの回収物も、本事業によってエタノール化されている。

家庭からの生ごみ回収は、北九州市が主体の環境パスポート事業に基づいて行われる(図Ⅱ－４－５)。環境パスポート事業とは、協力の意志がある市民を事前に登録し、市内 3 カ所のサブセンターと呼ばれる集積拠点に自ら持ち込むことで、一種の地域通貨であるカンパスポイントを付与する仕組みである。このカンパスポイントはある程度貯まると、すで

⁴ ただし、集積ポイントにおける回収作業時間は増大しており、その短縮が課題となっている。ヒアリングによる。

に有料化している北九州市指定ごみ袋と交換することなどができる。

現在のところ、回収量は 500kg/日程度であり、家庭ごみの組成分析までは進んでいないものの、生ごみ回収の仕組みとしては注目されている。



図II-4-5 環境パスポート事業による家庭からの生ゴミ回収
出所) 新日鉄エンジニアリング（株）業務資料より抜粋

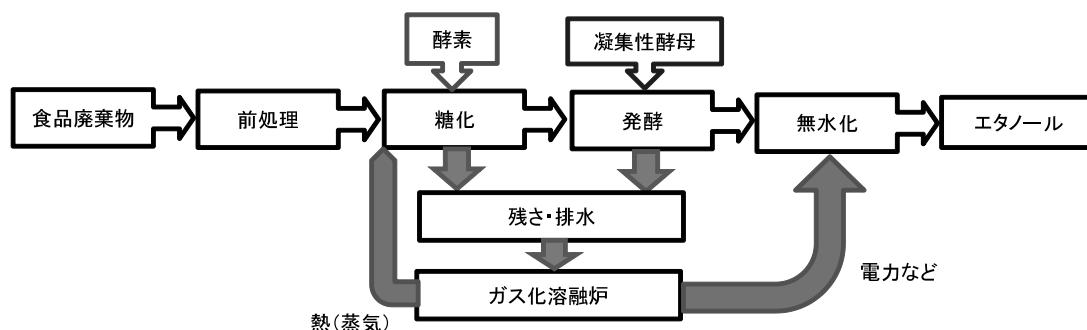
②エネルギー転換・利用段階

a.エネルギー転換の概要

食品廃棄物のエタノール化は、正確には生ごみ中のでんぷんを糖に変換し、それをエタノール発酵させることで行われる。生ごみ中のでんぷん分は約 10%含まれており⁵、この事例の場合、日量 10 トンの生ごみのうち 1 トンがでんぷんということになる。化学的には糖の約 51.14%がエタノールに変換することから、この事例の場合は 500kg 程度のエタノールが製造される。エタノールの比重を 0.8 とすると、理論的には 600 リットル強のエタノールが得られることになる。現実的には歩留まりの問題があるため、前掲表II-4-3の通り、公称は日量 400 リットルとしている。

b.エネルギー転換工程

図II-4-6で示しているように、エネルギー転換は大きく分けて6工程の処理である。



図II-4-6 エネルギー転換システム

出所) 新日鉄エンジニアリング（株）業務資料より引用

⁵ ヒアリングによる。

前処理工程は、夾雑物除去である。次の糖化工程は、でんぷんを糖に変える工程である。ここでは朝に生ごみを投入し、糖に返還するために一晩中攪拌する。でんぷんが糖に変わると、糖は水に溶けるのに対し、野菜くずや肉などの成分は水に溶けない。そこで、前掲図Ⅱ－４－３にある固液分離処理を行う。このうちの固体はエタノールの原料とはならないため取り除かれ、隣接するごみ処理工場に持ち込まれる。

固液分離処理の後に液体については濃縮処理を行う。ここで約 9%の濃度が 15%程度に濃縮される。その後、発酵工程に入るが、これはエタノール酵母を使って糖をエタノールに変える処理である。酵母は自らが増殖するために糖を食べ、その排泄物がエタノールである。その際、酵母が増えるためには、糖だけではなく窒素源であるたんぱく質が必要となる。通常のエタノール発酵ではここで栄養補助剤を投入するが、この事例の場合はそれにごみ汁を当てることでコストダウンを図っている。

こうして得られたエタノールは蒸留処理、次いで膜分離で無水といわれる 99.5%の濃度となる。この施設ではこれを 400 リットル製造しているのである。

③最終利用段階

製造されたエタノールは、E3 ブレンダーによって E3 ガソリンとして最終製品化される。前述の通り、この E3 ガソリンは北九州市の公用車に供給され、活用されることになっているのだが、実際には E3 ガソリンとしての品質の安定性に問題があり、公用車への供給が遅れていた。そこで、新日鉄エンジニアリングの負担により E3 製造施設が改良され、品質の安定化が図られ、2009 年 2 月末より、公用車約 20 台への供給が始まっている⁶。

（４）本事業の特徴と今後の展望

①本事業の経済的評価

冒頭でも指摘したとおり、本事業を含め、わが国のバイオエタノール生産はすべて実用的規模には達していない。したがって、本事例についても、現在の運営からその経済性を判断することは不可能である⁷。しかしながら、その取り組みには、高コストが最大の障害となっているバイオエタノール生産に対して極めて重要な示唆を与えるポイントが多く存在している。以下では、そのうちの 2 つについて整理する。

本事例について最も重要な経済的な評価ポイントは、プラントがごみ処理工場の前処理プラントとして位置付けられていることである。バイオマスの有効利用には大変なコストがかかることは周知の通りである。それは投入物の収集等に限らず、産業廃棄物扱いとなる残さの処理などについても当てはまる。その点で、本事例のプラントは「エネルギー転換システム」ではあるが、実際にはごみ処理施設と一体運用することでコストを抑えている。つまり、第 1 に収集段階では、すでに存在しているパッカー車によるごみ収集システムを利用して原料の確保を行う。第 2 に前処理段階で出た残さについても、あくまでごみ処理の前処理であるから、自ら処分するのではなく、本来のごみ処理場に「返還」されている。第 3 にそのことはエネルギー転換過程でも同様であって、固液分離処理で発生した

⁶ 新日鉄エンジニアリング（株）が 2009 年 2 月 26 日に発表した。

⁷ ただし、NEDO の中間発表において、主体である新日鉄エンジニアリング（株）が条件付の試算はしている。しかし、実験施設である以上、例えば資材単価もその水準の判断が難しい。したがって、本稿にはエタノールの単価などには言及しない。

固体についても、エタノールの原料とはならないのでごみ処理場に「返還」される。こうした「返還」物のごみ処理場で焼却されるが、ごみ処理場にはボイラーと発電システムがあり、第 4 に濃縮処理および蒸溜処理で必要となる蒸気はごみ処理場から供給されてくるのである。さらに細かくは、ごみ処理場で発電された電気がこのプラントで使用され、本来は新規に購入しなければならない栄養補助剤も、本事例ではごみ汁の有効活用で対処している。

本事例が与える最も重要な示唆は、コストダウンをごみ処理場のような他の施設と組み合わせることによるシステム化によって実現した点である。リサイクルの技術開発によるコストダウンは依然として重要ではあるが、実際にはそれだけでは限界がある。本事例で見たように、当該施設のバイオマス原料と処理工程にとって適切な連携を構築することが、コストダウンに向けた体制づくりとして重要であろう。同じ北九州市内には青果物の中央卸売市場が存在しており、大量の野菜くずが発生している。しかし、このプラントへの持ち込みはない。なぜなら、本事業と結びついて供給されるバイオマス原料と、処理内容が一致しないからである。そこで、北九州市を中心に、卸売市場は別の施設との結びつきによるバイオマスの利活用を検討中であるという⁸。

②今後の展望

前述の通り、NEDO の事業としての委託は 2009 年度で終了し、事業化を目指した取り組みが続くこととなる。本事業の主体である新日鉄エンジニアリング（株）は廃棄物処理施設の設計・建設、運営を事業の一つとしており、このプラント自体の取り扱いを検討中だが、ここでの経験が廃棄物処理施設の設計や運営に活かされていくものと見られる。

今後は、より効率的な他施設との組み合わせ、連携の構築、夾雑物除去の技術開発などとともに、家庭からの生ごみ回収の社会的なシステム作りが課題となろう。

参考文献

- [1]北九州市環境局(2008)『北九州市の環境（平成 20 年度版）』北九州市
- [2]末吉興一(2002)『北九州エコタウン　ゼロエミッションへの挑戦－環境保全と産業振興－』海象社
- [3]原後雄太・泊みゆき(2002)『バイオマス産業社会－「生物資源」利用の基礎知識』築地書館

Ⅲ．経済的評価と今後の課題

1．経済的評価

本研究の目的は資源作物からのバイオエタノール生産と食品廃棄物からのバイオエタノール生産の双方を調査・研究により、その経済的な評価を行うことである。具体的には、研究全体を調査事例に対応した 3 分野に分割して、調査と分析を行うことから課題に接近した。

⁸ 北九州市へのヒアリングによる。

即ち、(1)資源作物からのバイオエタノール生産については、十勝財団の試算によれば、規格外小麦の場合、1年間に生産するエタノールを11,600kℓとし、1年間にかかる製造コストは11億4,100万円であった。その結果1ℓ当たり約98.4円と試算された。しかし、十勝では規格外小麦と甜菜を利用しエタノール生産を進めているが安定して確保出来る資源という点では、10a当たりのエタノール収量や製造コスト面から見ても甜菜が適していると考えられる。そして、農家側から見た時の利益としては、甜菜の糖度が17%を下回る場合にはエタノール資源として利用の可能性が出てくる。さらに、伊江島のように甜菜の高収量生産ができる品種改良も重要になってくる。

(2)食品製造工程の副産物利用によるバイオエタノール生産では、宮古島の株式会社りゅうせきの試算によれば、現在のバイオエタノールの生産コストは1ℓ当たり150円であり、2008年初頭におけるガソリンの価格もおおよそ150円であることから、バイオエタノール生産及び販売による収支は0円（減価償却費を含めていない）、運搬、給油にともなう人件費などを足すとマイナスになる。しかし大規模な生産施設の建設などにより、今後このコストの目標値を80円と設定している。このことから、今後宮古島におけるバイオエタノール製造プロジェクトは経済的に成立する可能性がある。ただし、その原料は宮古島でのみ生産したサトウキビであることから、このバイオエタノールの販売・利用圏は宮古島及び周囲の島程度であると思われる。また、今後ガソリンの価格及び砂糖の輸入価格の変動などによっては、バイオエタノール生産の原料である糖蜜の、糖濃度を高めた状態からバイオエタノールを生産するといった、サトウキビから砂糖とバイオエタノールをどの程度の生産量にするかといったことが問題となると考えられる。

(3)食品廃棄物からのバイオエタノール生産では、北九州市の取り組みは家庭系生ごみを原料としてバイオエタノールを生産し、プラントがごみ処理工場の前処理プラントとして位置付けられていることである。つまり、本事例のプラントは「エネルギー転換システム」ではあるが、実際にはごみ処理施設と一体運用することでコストを抑えている。コストダウンをごみ処理場のような他の施設と組み合わせることによるシステム化によって実現している。繰り返しになるが、「本事例が与える最も重要な示唆は、コストダウンをごみ処理場のような他の施設と組み合わせることによるシステム化によって実現した点である。リサイクルの技術開発によるコストダウンは依然として重要ではあるが、実際にはそれだけでは限界がある。これまで見たように、当該施設のバイオマス原料と処理工程にとって適切な連携を構築することが、コストダウンに向けた体制づくりとして重要であろう。同じ北九州市内には青果物の中央卸売市場が存在しており、大量の野菜くずが発生している。しかし、このプラントへの持ち込みはない。なぜなら、この事業と結びついても供給されるバイオマス原料と、処理内容が一致しないからである。そこで、北九州市を中心に、卸売市場は別の施設との結びつきによるバイオマスの利活用を検討中であるという。」このような当該施設のバイオマス原料と処理工程にとって適切な連携を構築することが、コストダウンに向けた体制づくりとなり、経済的にも成立する可能性がでてくると思われる。

結論としては、これまでみてきたように①資源作物のエタノール化は、その作物の価格の低下によっては経済的に成立する可能性がある。しかし、自国での「過剰」資源作物への対処という点からは検討の余地は残されているが、飼料基盤が弱く、その自給率が極端

に低いわが国にとっては、資源作物を利用することは、現在起こっている飼料価格の高騰等の他の農業への経済的な影響を考えると、適切なものではない。

また、②食品製造工程の副産物利用によるものや食品廃棄物からのバイオエタノール生産は、単品・単一事業のバイオエタノール生産の評価をすれば、現段階では経済的評価は低いものである。しかし、ほかの事業とセットに考えるならば、経済的にも成立する可能性が出てくるものもある。例えば、北九州の事例のように「コストダウンをゴミ処理場のような他の施設と組み合わせることによるシステム化によって実現」というように、である。

2. 今後の課題

これまでみてきた事例は、いずれをとってもバイオエタノール生産は試験段階であり、その実用化にはまだ様々な課題が残されている。例えば、北九州の事例でも「今後は、より効率的な他施設との組み合わせ、連携の構築、夾雑物除去の技術開発などとともに、家庭からの生ゴミ回収の社会的なシステム作り」などが課題となっている。これらの課題を解決することが、実用化への第一歩になると考える。それと同時に、実用化の進んでいる国での事例検討も重要である。特に、本研究の目的であるバイオエタノール生産に係る経済的評価については、実用化が進んでいるほかの国の事例からさらに検討を深める必要があると考える。