

概要

1 調査の実施状況

1.1 調査の概要

インドはブラジルと並ぶ世界有数の砂糖生産国である。砂糖生産に伴ってモラセス（廃糖蜜）とバガス（砂糖キビの絞り粕）が大量に副生する。インド政府は、これらを原料としてバイオ技術によりエタノールを生産し、国内で使用するガソリンの一部にこのエタノールを混合したガソホールを使用するエネルギー政策を発表し、2002年より実施に移した。現在、パイロット事業として国内の数箇所の油槽所でガソリンにエタノール5%を混合するガソホールを生産し、販売を開始した。今後、エタノール含有量を10%程度まで増加したガソホールを生産し、商業ベースで販売を軌道にのせることを目指している。

この政策は都市部での大気汚染対策と石油エネルギーの海外依存度の低減及び人口の60%を占める農村部の生活基盤の安定と雇用機会の拡大を図ることを目的としている。

本調査は、インド国マハラシュトラ州、コルハプール市郊外にある、ワラナ砂糖工場を主な調査対象として、工場から副生されるモラセスとバガスを原料としてエタノールを生産し、これをガソリンに混合したガソホールを製造する事業の可能性とCO₂排出削減効果について検討を行った。

1.2 エタノールの生産計画

バイオマス原料である砂糖キビからエタノールを生産する技術について、日本国内の砂糖工場・エタノール工場の調査、文献調査、専門家ヒアリング等から得られた情報とインドの現地調査から得られたデータを基にワラナ砂糖工場におけるエタノール生産プロジェクトの可能性について検討を行った。

(1) 現状の砂糖工場の稼働状況

砂糖キビの処理量：1,425,000 t / 年

砂糖の生産量：150,000 t / 年（砂糖キビの10.5%）

モラセスの生産量：57,000 t / 年（砂糖キビの4%）

バガスの生産量：399,000 t / 年（砂糖キビの28%）

製糖期間：180日 / 年

(2) エタノールの生産計画

エタノールの原料としてモラセスを使用するケース1とモラセスとバガスを使用するケース2についてエタノール生産計画の検討を行った。

1) ケース1（モラセスを原料とした場合）

モラセスを原料とする無水エタノールの生産量は

14,300kl（収率：0.25kl / t・モラセス）

無水エタノールの生産に必要なエネルギーは

33,000Gcal（エネルギー原単位：2.3Gcal / エタノールkl）

エネルギーバランスは

バガスの使用可能熱量：574,560 Gcal

（バガス発熱量：1.8 Gcal / t・バガス、ボイラー効率：80%）

砂糖の生産に必要なエネルギー：183,825 Gcal（1.2255Gcal / t 砂糖）

無水エタノールの生産に必要なエネルギー：33,000 Gcal

以上からバガスの熱量は 357,735 Gcal 余剰である (バガス量として 248 千 t)
 2) ケース 2 (モラセスとバガスを原料とした場合)

バガス A t を原料としてエタノールを生産する場合

バガス自体の使用可能エネルギーは $1.8 \text{ Gcal} / \text{t} \cdot \text{バガス} \times 0.8 \times A = 1.44A \text{ Gcal}$
 エタノールの生産に必要なエネルギーはバガスで賄えるよう原料バガス量を求める。

バガスからのエタノールの収率: $0.15 \text{ kl} / \text{t} \cdot \text{バガス}$

バガスのエタノール生産に必要なエネルギー: $16.3 \text{ Gcal} / \text{エタノール kl} \times A$
 $= 0.15 \times 16.3 \times A = 2.45A \text{ Gcal}$

エネルギーバランスは

バガス全エネルギー使用可能量: 574,560 Gcal

砂糖の生産に必要なエネルギー: 183,825 Gcal

モラセス原料のエタノール生産に必要なエネルギー: 33,000 Gcal

バガスをエタノールにするに必要なエネルギーは $1.44A + 2.45A = 357,735 \text{ Gcal}$

$A = 91,963 \text{ t}$ (バガス量)

以上から多少余裕をみて原料用バガス使用量を 90,000 t とし、エネルギーバランスは
 バガス原料のエタノール生産に必要なエネルギー:

$129,600 + 220,500 = 350,100 \text{ Gcal}$

従って、 $357,735 - 350,100 = 7,635 \text{ Gcal}$ 余裕がある。

生産できるエタノール量は $90,000 \times 0.15 + 14,300 = 13,500 + 14,300 = 27,800 \text{ kl}$

両ケースのエタノール生産量とエネルギー使用量をまとめると下表のとおりとなる。

エタノール生産のための原料・エタノール生産量・エネルギー

	CASE-1	CASE-2
項目	原料: モラセス	原料: モラセス+バガス
サトウキビ	1425000 t	1425000 t
砂糖	150,000 t	150,000 t
モラセス	57,000 t	57,000 t
バガス量	399,000 t	399,000 t
燃料	399,000 t	309,000 t
エタノール原料	0	90,000 t
全バガス使用可能熱量	574,560 Gcal	574,560 Gcal
原料用バガス量 / 発熱量		90,000 t / 129,600 Gcal
燃料用バガス量 / 発熱量		309,000 t / 444,960 Gcal
砂糖生産用必要熱量	183,825 Gcal	183,825 Gcal
エタノール生産 消費熱量		
モラセス~エタノール	33,000 Gcal	33,000 Gcal
バガス~エタノール	0	220,500 Gcal
エネルギーバランス	357,735 Gcal	7,635 Gcal

両ケース共、バガスの熱量で、砂糖、エタノール生産に必要なエネルギーを賄える。

2 プロジェクトの評価

2.1 対象となる温室効果ガスの排出削減・吸収量

(1) ベースラインの計算方法

- (a) ガソリン生産における CO₂ 発生量 = 360 kg - CO₂ / kl - ガリソ
- (b) ガソリン燃焼による CO₂ 発生量 = 2,360 kg - CO₂ / kl - ガリソ
- (c) ガソリンの CO₂ 発生量の合計 = 360 + 2,360 = 2,720 kg - CO₂ / kl - ガリソ
- (d) エタノール燃焼時に発生する CO₂ は、砂糖キビ生産時の CO₂ 吸収で相殺される。
- (e) ケース - 1、ケース - 2 のエタノール生産時の CO₂ 発生量：

本調査の結果では、ケース - 1、ケース - 2 共、エタノールの生産に必要なエネルギーは全てバガスで賄える。また、エタノール生産用の原料運搬などに関わる CO₂ 発生量は発酵、蒸留等の操作に比して少ないとして無視する。よって、両ケース共エタノール生産時の CO₂ 発生は無いものとする。

(2) エタノールの生産量

ワラナ砂糖工場の稼働率はエタノールの生産開始前後で変わらないものとし、エタノールの生産量も変化しないものとする。(生産を開始して順調に運転が行われればワラナ協同組合の他の砂糖工場もエタノール生産を開始すると予測されるが、これは考慮しない。)

- ケース 1 モラセスを原料とする場合： 14,300kl / 年
- ケース 2 バガスとモラセスを原料とする場合： 27,800kl / 年

(3) 生産エタノールによる CO₂ の排出削減量

- ケース 1 14,300kl / 年 × 2,720 kg - CO₂ / kl = 38,896t / 年
- ケース 2 27,800kl / 年 × 2,720 kg - CO₂ / kl = 75,616t / 年

(4) 発生期間

エタノールの生産開始は 2005 年末である。従って CO₂ の排出が削減できるのは 2006 年からである。設備の減価償却を考慮し、排出削減効果は 10 年間得られる。

(5) 累積量

設備の減価償却を考慮して 10 年間 CO₂ の排出削減効果が得られるとすると

- ケース 1 14,300kl / 年 × 2,720 kg - CO₂ / kl × 10 = 388,960t
- ケース 2 27,800kl / 年 × 2,720 kg - CO₂ / kl × 10 = 756,160t

2.2 プロジェクト効果

(1) 費用対プロジェクト効果

本プロジェクト実施の費用対効果を CO₂ 排出削減量 1 t 当たりのプロジェクト予算額で評価すると以下のとおりとなる。

- ケース 1： 予算額・13,930,000US\$、CO₂ 削減量・388,960 t (10 年間)
温室効果ガス削減効果：36 US\$ / t
- ケース 2： 予算額・42,244,000US\$、CO₂ 削減量・756,160 t (10 年間)
温室効果ガス削減効果：56 US\$ / t

(2) 投資回収効果

ケース 1 ではエタノール価格が現状の市販価格、原料モラセス価格が 5US\$ / kl、CO₂ の取引価格を考慮しない場合の投資回収期間は、約 4 年 4 ヶ月となる。(IRR : 17.29%)

同様にケース 2 では、約 7 年 3 ヶ月となる。(IRR : 6.73%)

(3) 外貨流出防止効果

原油単価を US \$ 25.0 / バレル = US \$ 157 / kl とすれば

ケース 1 14,300kl / 年 × US \$ 157 / kl = 2,245,100 US \$ / 年

ケース 2 27,800kl / 年 × US \$ 157 / kl = 4,364,600 US \$ / 年

となる。

インド全体に普及した場合は、2005 年度のガソホール転換によるガソリン削減可能量は、予想ガソリン消費量を 10,811 千 kl / 年とすれば、10%の混合で 1,081 千 kl / 年となる。

2005 年度で節減できる原油輸入外貨は、

1,081,000kl × US \$ 157 / kl = 1.70×10^8 = 1.7 億ドル / 年 (120 円 / \$ として 204 億円)

となる。

(4) 農民雇用機会の増加

ワラナ協同組合で計画されている VK WARANA プロジェクト (ガソホール用無水エタノール製造計画) に依れば、新規に砂糖キビを生産し、処理量 : 800,000t / 年の無水エタノール製造工場を設立・操業すると 75,000 人の農民が恩恵を得ると計画している。更にアルコール工場の従業員としての雇用機会が増加する。

3 プロジェクトとしての実現可能性

インドは自動車の増加により都市部を中心として大気汚染が深刻となっている。その対策としてクリーンな自動車燃料の開発が急務となっている。

インドは砂糖キビの生産をインド全域で行っており、農家の収入の柱となっている。また、インドは人口全体に占める農村人口の割合が 60% を占めており、首都では都市化が進んでいるとはいえ、地方の都市では顕在化していない。

20 年程前までは石油の生産量はほぼ需要量に匹敵していたため、輸入量は 20% 程度であったが、最近、石油の需要の伸びにより 70% を輸入に頼らざるを得なくなっている。

このような状況から、大気汚染の防止、農業の振興、エネルギーの海外依存度の低下対策としてガソホール政策は、一石三鳥の効果あり、再生可能エネルギーの利用として地球温暖化防止の対策としても注目されることから、インド政府のガソホール政策は推進されるものと考えられる。

ワラナのエタノールプロジェクトの採算性はモラセスを原料とする場合は、製品エタノール価格をガソリン並みとなるよう税制面からのバックアップがあれば実現の可能性が高い。

4 プロジェクト実施に伴う間接影響

4.1 環境面における影響

砂糖工場では液体廃棄物としてスペントウオッシュが排出される。これを発酵処理し、発生するメタンをエネルギー源として回収し、その残液は肥料として砂糖キビ畑に還元し公害防止を図る。

また、バガスボイラーの増強による大気汚染については集塵機の設置等により煤塵対策を施す。燃料中には硫黄分が少ないため、SOx は殆ど発生しない。

4.2 経済面における影響

本プロジェクトでは既存の砂糖工場から生産されるモラセス及びバガスからエタノールを生産する。既存のモラセス及びバガスが利用できない場合は、新たに砂糖キビを増産し、モラセス、バガ

スを生産することとなる。この場合相当量の砂糖が併産される。これをインド全体で行うと砂糖生産量は現在の総生産量の約 30%になる。これは砂糖相場を軟化させ、現実的な策ではない。従って、この場合には新たに生産した砂糖キビから砂糖ジュースを搾り取り、これを直接エタノール原料にすることが現実的である。

4.3 社会・文化面における影響等

エタノール製造工場はプロセス産業であり、農村にこれらの工業が誘致されることにより、地域の活性化と技術レベルの向上が図れる。

また、農村の現金収入の増加と砂糖価格の安定化が期待できる。

5 プロジェクトとしての普及の可能性

インドにおけるガソリン需要量は 2000 年の実績は 6,613 千 t / 年である。これをベースにガソリンの需要が年間 3.6% / 年伸びるとして計算すれば、2003 年のガソリン消費量は、7,353 千 t / 年、10,073kl / 年になる。

インドにおけるガソリン中のエタノール含有量は 10% を目標としており、これを達成するためには 2003 年以降 100 万 kl 以上のエタノールの生産が必要となる。

このエタノールを生産するために、既存砂糖工場が砂糖を生産する際に併産されるモラセスの内約 30% を無水エタノール原料に転換すれば、所要量のガソホル生産に必要な無水エタノールを生産できる。

インド国内には約 450 の砂糖工場があり、政府が燃料用エタノール価格の税金控除等の補助政策と採算性向上のための製造工程の効率化を進めることにより、ガソホルの普及・促進が図れるものと期待される。

6 まとめ

本調査は、インド国マハラシュトラ州コルハプール市にあるワラナ砂糖工場において、そこで副生される、モラセス（廃糖蜜）及びバガス（砂糖キビの絞り粕）を原料として無水エタノールを生産し、これをガソリンに混合して自動車燃料（ガソホル）を生産する計画の可能性について調査したものである。

今回の調査対象のワラナ砂糖工場は、砂糖価格の低迷対策と協同組合構成員の雇用機会の拡大が課題となっている。このため、今回の政府のガソホル政策に対する関心は非常に高い。ワラナ砂糖工場は、独自でアルコール工場の建設を真剣に検討しているが、設備コスト負担が大きいこと、効率的な発酵技術や脱水技術について情報が不足するなどの理由からまだ実施に至っていない。

今回の検討結果からモラセスを原料とするエタノール生産計画は技術的優位性、採算性から実現の可能性が高いものと考えられる。今後のエタノールの価格政策如何によっては、今回の調査結果から、早い時期にインド国内にガソホルが普及することが期待される。