

R F - 0 7 8 アジアにおけるバイオ燃料の持続的需給システムの構築に関する研究
 (3) アジアにおける大規模なバイオ燃料供給の持続可能なシステム構築に関する研究

株式会社インテージ 甲斐聡

〈研究協力者〉

フィリピン科学技術省農林天然資源研究開発会議 Albert P. Aquino

平成 19～20 年度 合計予算額	5,201 千円
(うち、平成 20 年度予算額	2,624 千円)

※上記の合計予算額には、間接経費 1,200 千円を含む

[要旨] 近年、アジア各国ではバイオ燃料の導入が盛んに進められているが、その潮流が大規模であれば、本来、環境親和的であるはずのバイオ燃料による環境影響も生じかねない。本サブテーマでは、アジアの国々が大規模にバイオ燃料を製造・供給する可能性について検討するとともに、特定の地域のバイオ燃料の導入に焦点をあて、その環境面、社会面における影響を検証することを目的としている。

まず、アジアの国々では、バイオディーゼルの原料作物生産量は各国のバイオディーゼルの導入目標を達成することが可能な量、生産されている反面、バイオエタノールの原料作物については、一部の国を除いて、自国のバイオエタノール導入目標ですら達成できないことが推計された。

次いで、フィリピンで大規模にバイオエタノールの供給が行われる可能性のあるネグロス島を対象に、製糖工場の視点から原料となるサトウキビの状況を整理するとともに、製糖工場とバイオエタノールの生産の関係について考察を行った。

既存の製糖工場がバイオエタノールの生産を一つのオプションとすることは、食料となる粗糖生産との競合を引起さずに二酸化炭素排出量を削減できる点で優れているが、排水などを含めた環境負荷については多くの課題があることが明らかとなった。

[キーワード] バイオエタノール、製糖工場、糖蜜、ネグロス島、クリーン開発メカニズム (CDM)

1. はじめに

近年、アジア各国では国策としてのバイオ燃料の導入が盛んに進められている。背景には環境対策の他、原油価格の高騰への対策としてのエネルギー自給の促進、地域雇用・農業振興など様々な要素があげられる。京都議定書付属書 I 国である日本と同様、アジアの国々においてもバイオ燃料の導入目標を掲げているが、その目標を達成するために自国で生産される原料作物では十分なバイオ燃料を製造できない場合や食料供給に影響を及ぼすことが懸念される。

また、バイオ燃料の供給を検討する際、サトウキビやトウモロコシ、オイルパームやココナッツなどの原料作物の供給に加え、バイオ燃料の製造・供給を行う工場にも焦点を当てなくてはな

らない。本サブテーマにおいては、バイオ燃料の生産プラントとして既存の製糖工場及び新たにバイオ燃料の生産を目的に参入する工場（以下、「バイオエタノール生産工場」という。）を対象に、その生産における課題やそこから生じる環境負荷について整理し、持続可能なバイオ燃料の製造・供給について検討を進める。

大規模にバイオ燃料の供給が可能な地域としては、大規模に原料作物の生産が行われていることが必要である。フィリピンで有望なバイオ燃料の原料作物としてはサトウキビがあげられ、フィリピンのサトウキビの生産及び粗糖の生産はネグロス島に集中しており、フィリピン全体の50%を超えている。また、フィリピンにおいてもバイオ燃料法（Biofuels Act）が制定され、バイオエタノールについては2011年にガソリンをE10に置き換え、バイオディーゼルについては2009年に軽油をB2に置き換える目標が掲げられている。このような状況下で、ネグロス島の製糖工場がバイオエタノールの生産に積極的に取り組むための課題を整理することで、今後、大規模なバイオ燃料の供給が持続的に行われるための要件を明らかにする。

2. 研究目的

まず、アジアの国々における持続的なバイオ燃料の供給体制を検討するにあたり、生産国が持つ供給ポテンシャルを統一的な枠組みで的確に推計する必要がある。

次に、サトウキビ生産農家ではバイオエタノールの生産が進むことによって、サトウキビの需要が増加し、所得が向上することが容易に想像される。一方で、バイオエタノールの生産というオプションが、現在粗糖を生産している製糖工場やバイオエタノール生産工場の意思決定にどのような影響を及ぼすかを考察する。また、地球温暖化対策を目的に導入されるバイオエタノールは、特に自動車で使用する化石燃料の削減に寄与する一方で、バイオエタノール生産に伴う排水、生産過程でのエネルギー消費などの環境負荷を発生させることに加え、食料との競合を引き起こす可能性がある。そこで、持続的なバイオエタノールの生産に向け、バイオエタノールの生産に伴う環境貢献及び環境負荷についての整理を行う必要がある。

3. 研究方法

まず、アジアの国々が掲げるバイオ燃料の導入目標を、各国のバイオ燃料の原料生産量と照らし合わせ、アジア各国でのバイオ燃料の生産可能性を明らかにするとともに、それぞれの国でどのようにバイオ燃料の生産が行われているかを既存文献から整理する。

次に、フィリピンにおける粗糖生産の現況を既存文献及び統計データを用いて整理するとともに、大規模バイオエタノールの生産に至る課題や展望について、フィリピンのネグロス島を対象に、製糖工場やバイオエタノール生産工場へのヒアリング調査などの結果を、粗糖をめぐる背景と併せて分析する。

さらに、持続的なバイオエタノールの生産に向けて、バイオ燃料の環境貢献及び環境負荷について、ヒアリング調査結果や既存文献から、環境項目ごとに整理する。例えば、バイオエタノール生産工場である San Carlos Bioenergy .Inc などは、CDM を活用しており、プロジェクトデザインドキュメント（PDD）が公表されており、温室効果ガス排出量やエネルギー消費量については

その PDD を用いて把握できる。

その際、日本でサトウキビの糖蜜 (molasses) からバイオエタノールの生産を行っている宮古島バイオエタノールプロジェクトとの比較も行う。

表 1 調査概要

日程	調査対象	調査内容
2007 年 12 月	A 製糖工場 (西ネグロス州)	【ヒアリング】 工場設備について
	B 製糖工場 (西ネグロス州)	【ヒアリング】 バイオエタノール政策について
	C バイオエタノール生産工場 (西ネグロス州)	【ヒアリング】 工場の概要
2008 年 11 月	A 製糖工場	【調査】 製糖事業について
	B 製糖工場	【調査】 製糖事業について
	X バイオエタノール生産工場 (沖縄県宮古島市)	【ヒアリング】 工場設備について
	Y 製糖工場 (沖縄県宮古島市)	【ヒアリング】 工場設備について

4. 結果・考察

(1) アジア各国のバイオ燃料の生産ポテンシャル

バイオ燃料の生産を積極的に進め、その生産と利用が拡大しているインド、インドネシア、マレーシア、フィリピン、タイを対象に分析を行う。これらの国々は、経済連携協定 (EPA) や自由貿易協定 (FTA) など、日本との関係においても積極的な展開が期待されている。一方、あらゆる側面で今後大きな影響を与えるであろう中国については、エネルギーに関連する情報が十分に公開されていないことから、残念ながら、分析対象には含まれなかった。

1) 導入目標達成に必要なバイオ燃料生産量

バイオエタノールについては、マレーシア以外の国では、いずれも 2010 年ごろまでに全ガソリン消費量の 10% をバイオエタノールに転換するという目標を設定している。バイオディーゼルについては、混合比率は様々であるが、いずれの国々でも積極的な導入目標を掲げている。

表 2 対象国のバイオ燃料導入目標

バイオエタノール		バイオディーゼル	
Countries	Assumptions/targets (year)	Countries	Assumptions/targets (year)
India	Replacing current gasoline supply with E10	India	Replacing current diesel supply with B5 (2011-2012)
Indonesia	10 percent of all gasoline consumption (2010)	Indonesia	3 percent of diesel consumption in 2005 (2010)
Malaysia	-	Malaysia	Replacing current diesel supply with B5
Philippines	Replacing current gasoline supply with E10 (2011)	Philippines	Replacing current diesel supply with B2 (2009)
Thailand	Replacing current gasoline supply with E10 (2012)	Thailand	Replacing current diesel supply with B10 (2012)

目標として定められているバイオ燃料の混合比率がガソリンまたは軽油に対して容積割合であるため、ガソリンまたは軽油及びバイオ燃料の平均発熱量よりブレンド後の燃料の容積を導き、ブレンドするバイオ燃料の量を算定する。なお、ガソリンおよび軽油消費量は、各国とも 2004 年のデータを用いている。

$$D_b = D_f \cdot C_f / \{ (1 - i) \cdot C_f + i \cdot C_b \} \cdot i \quad (1)$$

D_b : バイオ燃料の消費量

D_f : ガソリンまたは軽油の消費量

C_b : バイオ燃料の平均発熱量

C_f : ガソリンまたは軽油の平均発熱量

i : バイオ燃料の混合比率

表 3 目標達成に必要なバイオ燃料生産量

バイオエタノール				バイオディーゼル			
Counties	Gasoline consumption (MI)	Bio-ethanol		Counties	Diesel consumption (MI)	Bio-diesel	
		Projection (MI)	Source crops			Projection (MI)	Source crops
India	11,246	1,170	Sugarcane	India	25,458	1,279	Jatropha
Indonesia	17,065	1,775	Sugarcane	Indonesia	12,341	372	Castor etc
			Cassava				Oil Palm
Malaysia	10,156	-	-	Malaysia	6,610	333	Oil Palm
Philippines	3,855	401	Sugarcane	Philippines	4,462	90	Coconut
Thailand	7,607	791	Sugarcane	Thailand	14,606	1,483	Jatropha
			Cassava				Oil Palm
Total	49,929	4,138		Total	62,477	3,556	

出典) Energy Statistics of non-OECD countries (IEA)

対象国のガソリン消費量の合計はおよそ 50 bil. liter であり、目標とするバイオエタノールの消費量はおよそ 4 bil. liter と推計された。また、現在の自動車用軽油消費量はおよそ 62.5 bil liter であり、目標とするバイオディーゼルの消費量がおよそ 3.5 bil. liter と推計された。

主なバイオエタノールの原料として、インドおよびフィリピンではサトウキビを、インドネシアとタイはサトウキビとキャッサバを想定している。

世界最大のバイオエタノール生産国であるブラジルでは、砂糖の原料となるサトウキビの搾汁 (Cane juice) を用いてバイオエタノールを生産しているが、アジア諸国では砂糖生産の際に発生する副産物である糖蜜 (molasses) を用いることが一般的であるため、砂糖生産への影響はないが、糖蜜はアルコール原料や飼料として有効利用されていることに留意する必要がある。また、1ton のサトウキビから、搾汁 (Cane juice) の場合 68~70 liter、糖蜜 (molasses) の場合 11~14 liter のエタノールが得られ、搾汁 (Cane juice) の方が 5~6 倍、生産効率が高い⁽¹⁾⁽²⁾。

一方、バイオディーゼルの原料として、インドネシア、マレーシア及びタイではパーム (Oil palm) を、フィリピンではココナツ (Coconut) を想定している。これらの作物から作られるオイルは、食用油や洗剤など多くの用途で利用されているため、最近ではジェトロファ、ひまし油などの非食用油に注目が集められている。

2) 目標達成に必要な原料作物耕作面積

アジア各国が自国のバイオ燃料生産目標を達成するために必要となる耕作面積を推計する。バイオエタノールについては、インドのサトウキビのケースを除き、現状の耕作面積では導入目標を達成することができない。すなわち、他の国々では農地を拡大する必要があるのだが、耕作地の要求面積と現状のそれとの乖離が小さいタイやフィリピンにおいてできえも、現状の2倍程度の面積が必要とされる。

バイオディーゼル生産目標を達成するために必要となる耕作面積を、原料作物の単位あたりバイオディーゼル生産量を用いて算出した結果は、バイオエタノールのケースとは異なり、タイを除く国々では現耕作面積の2~3%を活用できれば、バイオ燃料の目標を達成することができるという結果を得た。

表4 目標達成に必要な原料作物耕作面積

バイオエタノール				バイオディーゼル			
Countries	Area required (A)	Harvested area (B)	Ratio (=A/B)	Countries	Area required (A)	Harvested area (B)	Ratio (=A/B)
Sugarcane		... 1000ha ...		Palm		... 1000ha ...	
India	1,814	3,602	0.50	Indonesia	104	3,600	0.03
Indonesia	2,617	435	6.02	Malaysia	80	3,620	0.02
Philippines	711	369	1.93	Thailand	604	324	1.86
Thailand	1,989	1,097	1.81	Coconut			
Cassava				Philippines	56	3,242	0.02
India	2,515	240	10.5	Jatropha			
Thailand	3,616	1,010	3.58	India	589	-	-
				Philippines	30	-	-

地球環境戦略研究機関 (IGES) の同種研究³⁾によると、アジアのバイオ燃料原料作物の全作付面積がバイオ燃料生産に転換されたとしても、運輸燃料のうちバイオエタノールまたはバイオディーゼルに代替される量は33%に過ぎないと報告をしている。本研究では、バイオエタノールとバイオディーゼルの別を推計しており一概に比較できないが、バイオディーゼルについては食糧生産等へ影響を与えることなく生産が可能と考えられる一方で、バイオエタノールの導入目標の達成には、農地の確保や食糧生産との競合の観点から課題があるとの試算結果を得ている。

3) 対象国におけるバイオ燃料の生産動向

インドネシアとマレーシアはパームオイルの2大生産国で、2007年にはインドネシアが190 mil. ton程度、マレーシアが177 mil. ton程度のパームオイルを生産している。2004年時点でマレーシアには53のパームオイル製油工場があり、他に、建設中の製油工場が10あり、パームオイルの増産が期待されていることが伺える。

タイでは2007年時点で稼働しているバイオエタノール生産工場は8工場、糖蜜 (molasses) を原料とするバイオエタノール生産工場が7工場、キャッサバを原料とするバイオエタノール生産工場が1工場である⁴⁾。2007年までのバイオエタノール生産は糖蜜 (molasses) を中心としてきたが、2008年に建設中あるいは建設許可申請中のものは、キャッサバを原料とする施設が50件ほどあり、キャッサバを利用したエタノール生産への関心が強いことが伺える⁴⁾。

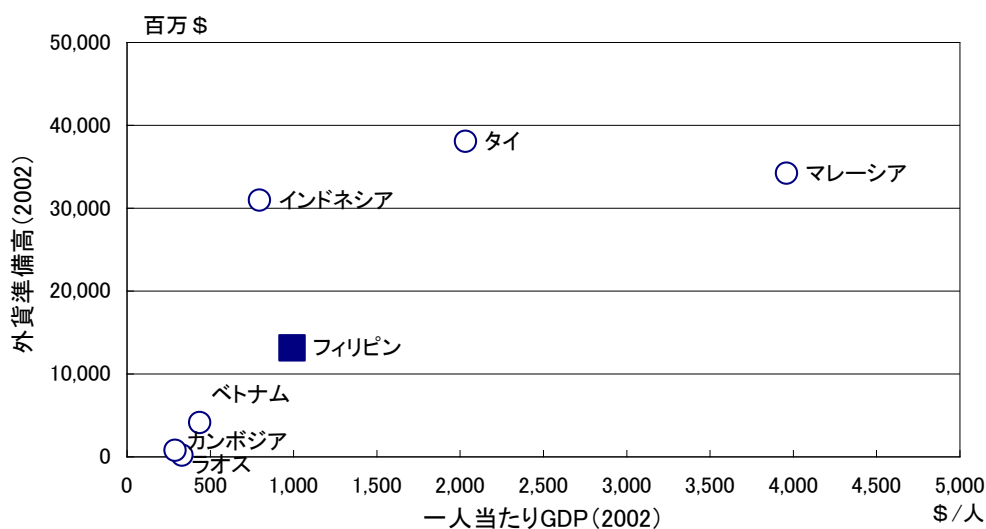
フィリピンでは公認のバイオディーゼルメーカー5社がココディゼルまたはココメチルエステルなどを生産している。エタノールについては、輸送燃料以外の飲料用などのエタノール生産工場は数多く見受けられ、その一部は製糖工場に併設されているものもあるが、輸送用を目的としたバイオエタノールの生産は、2008年時点で建設中・建設予定のものがいくつか見受けられるに過ぎない。

(2) 大規模バイオエタノール生産における課題（フィリピン・ネグロス島を対象に）

1) 対象地域の選定

わが国にとって、ブラジルからバイオ燃料を輸入するより、距離的に近いアジア圏でバイオ燃料の取引が行われる方が、コストや効率性の点からメリットが大きい。しかし、アジア圏ではブラジルほどバイオ燃料の供給ポテンシャルがないことから、環境面や社会的側面により配慮した持続的なバイオ燃料の生産が求められる。このような視点の下、より詳細な調査を行う対象地域の選定を行った。

先に述べたとおり、ASEAN諸国の中ではマレーシア、タイ、インドネシア、フィリピンでバイオ燃料の生産が盛んに行われようとしているが、その中で、フィリピンについては他の3カ国と比較すると外貨準備高が極めて低く、バイオ燃料の生産を行う際、環境や社会的な影響が最もないがしろにされやすいと考えられることから、対象国としてフィリピンを選定した。



出典) 日本 ASEAN センター

図1 ASEAN諸国の経済状況

フィリピンの粗糖の生産量は、近年、2.1 mil. ton から 2.4 mil. ton の間で推移しており、2004年の地域別生産比率はネグロス島が 57%、ミンダナオ島が 18%、ルボン島が 15%と、その生産はネグロス島に集中している。一方で、フィリピン農業省では、砂糖産業の振興策として、ミンダナオ島の砂糖産業の開発を掲げており、将来的には、ミンダナオ島の果たす役割が増えることも予想されるが、本研究では、現時点で生産量の多いネグロス島を対象地域として選定した。

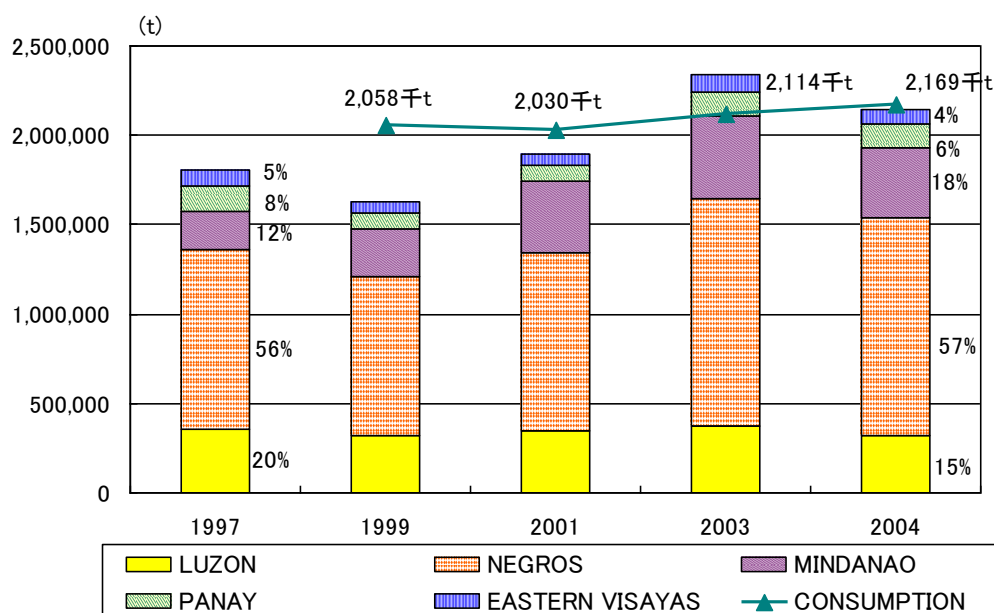


図2 地域別生産量及び消費量

出典) Sugar Regulatory Administration 「Annual Synopsis of Philippine Raw Sugar Factories' Production and Performance Data 1997-1998 ~ 2004-2005」

また、第3回気候変動枠組条約締約国会議（COP3）にて「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書（以下、「京都議定書」という。）」（1997年12月）が議決されたことを受け、その個別具体的な対策の一つとしてバイオエタノールに関する取組が進められている。そのため、本サブテーマにおけるフィリピンの粗糖産業の現況については、1997年（作物年：9月～翌年8月）以降を中心に整理した。

2) フィリピンの製糖業の動向

フィリピン国内の砂糖の需給はほぼ均衡しており、ここ数年、消費量は2.1 mil. ton～2.2 mil. ton、生産量は2.1 mil. ton～2.4 mil. tonとなっている。対米関税割当制度により特惠アクセスが年間140 thou. ton認められており、一定枠の輸出も行われている。海外からの安価な砂糖の流入もあり、国内の販売環境は必ずしもよい状況にはないが、相対的に安定した取引になっている。

この需給均衡は微妙なバランスを保っており、ひと度、気象条件などで生産量が落ち込むと、消費量が生産量を上回り、タイやオーストラリア、ブラジルからの輸入に頼らざるを得なくなる。また、2003年のように砂糖生産量が消費量を上回ると在庫量が増加し、砂糖の価格への減少圧力が生じる⁵⁾。

フィリピンの粗糖生産量は1997年以降増加傾向を示している一方で、製糖工場数は1997年の34工場から2004年には29工場と減少している。製糖工場あたりの粗糖生産量は1997年の53,000 ton/工場から2004年には74,000 ton/工場と40%程度増加しており、製糖工場の集約化が進んでいることが伺える。

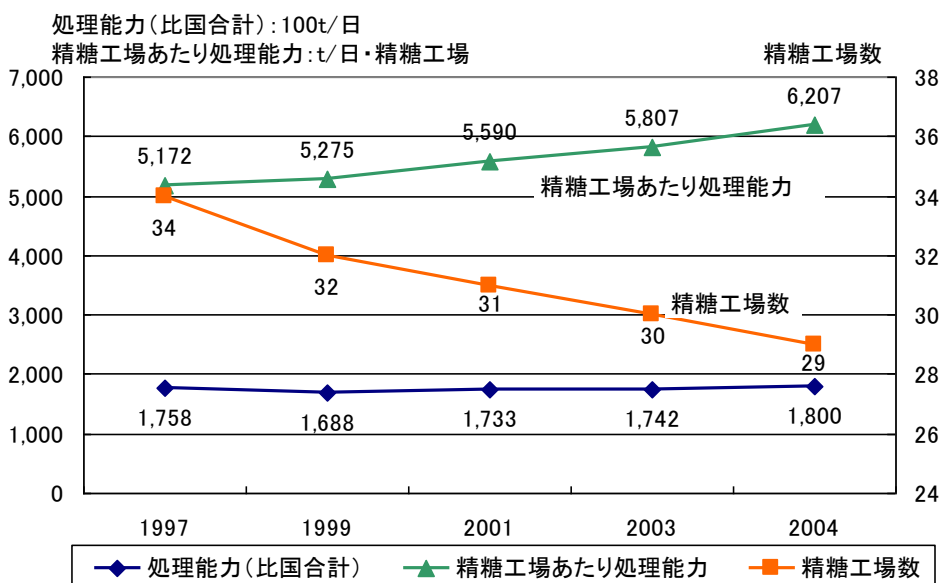


図 3 製糖工場数及び工場の能力

出典) Sugar Regulatory Administration 「Annual Synopsis of Philippine Raw Sugar Factories' Production and Performance Data 1997-1998 ~ 2004-2005」

製糖工場の稼働状況を、フィリピン全体の処理能力に占める実際の処理量の比率で指標化した。その結果、1997年は65.2%であったが、2004年には70.6%と、製糖工場の減少をカバーする形で各製糖工場の稼働率が上昇している現状が見受けられた。

$$I_y = \sum \{T_{my} / (C_{my} \cdot D_{my})\} \quad (2)$$

I : 精糖工場の稼働率

C : 精糖工場別の定格の1日あたり
サトウキビ処理能力

D : 精糖工場別稼働日数

T : 精糖工場別の年間サトウキビ処理量

m : 精糖工場

y : 年次

表 5 製糖工場の稼働率の推移

年次	製糖工場の稼働率
1997	65.2%
1999	59.2%
2001	65.7%
2003	71.6%
2004	70.6%

3) 製糖工場の設備

今回ヒアリング調査を行った製糖工場は、ネグロス島の A 製糖工場と B 製糖工場の 2 社で、定格のサトウキビ処理能力はそれぞれ 6,500TCD (Tonnes of Cane per Day)、7,500TCD とネグロス島では平均的な製糖工場である。先に述べたとおり各製糖工場の稼働率は上昇しているが、資金的な制約からか、設備の更新はあまり進んでいないのが現状である。例えば、A 製糖工場では、1949 年に導入された晶析装置 (Crystallizer) の他、シロップタンク (Tarodura)、遠心分離機 (Centrifugal)、破碎機 (Mill) は 1970 年代の設備が現在も稼働している。この設備の老朽化も影響して、フィリピンのサトウキビ投入量当りの粗糖生産は、日本のそれに比べ 2~3% 程度低く、10% に達していない状況にあると推測される。

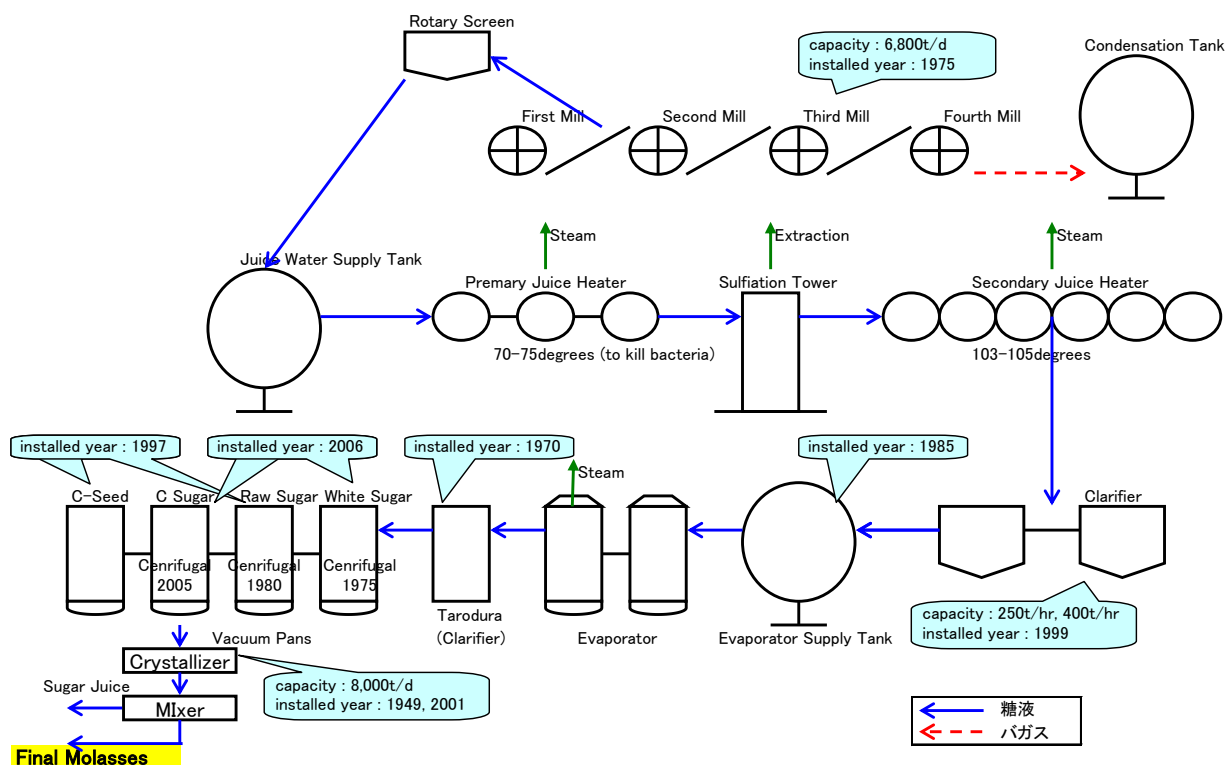


図 4 製糖工場の設備フロー (A 製糖工場)

製糖工場の場合、図 4 の左下にある糖蜜 (final molasses) がバイオエタノールの原料となるため、バイオエタノール生産工場を設置する場合、製糖工場に隣接して設置することで、輸送コストを抑えることが可能となる。さらに、同一の経営主体がバイオエタノールの生産を行うことで、原料となる糖蜜 (final molasses) の調達における価格変動リスクを抑えることができる。

バイオエタノールを生産する設備として、一般的に必要な設備を整理する。まず、糖蜜 (molasses) は粘度、糖度、塩分が高いため、それを希釈する糖度調整工程、同時に酵母の増殖速度を管理する酵母増殖工程が準備段階として必要となる。次に、増殖した酵母に希釈した糖蜜 (molasses) を添加してエタノールを発酵させる発酵工程、続いて、そのエタノールを蒸発缶と加熱器を用いて効率的に濃縮する濃縮工程が必要になる。濃縮工程を経たエタノール濃度はおよそ 30~40% であるため、さらに、蒸留塔で共沸点近くの 90% まで濃縮し、不純物を取り除き、最終的に、脱水工程を経て純度 99.5% 以上の無水エタノールが製造される。この脱水工程で薬品を用

いる場合もあるが、経済性を考慮し、一般的には水分子とエタノール分子の直径の違いを利用したゼオライト膜が活用される。これは、宮古島バイオエタノールプロジェクトでも同様である。

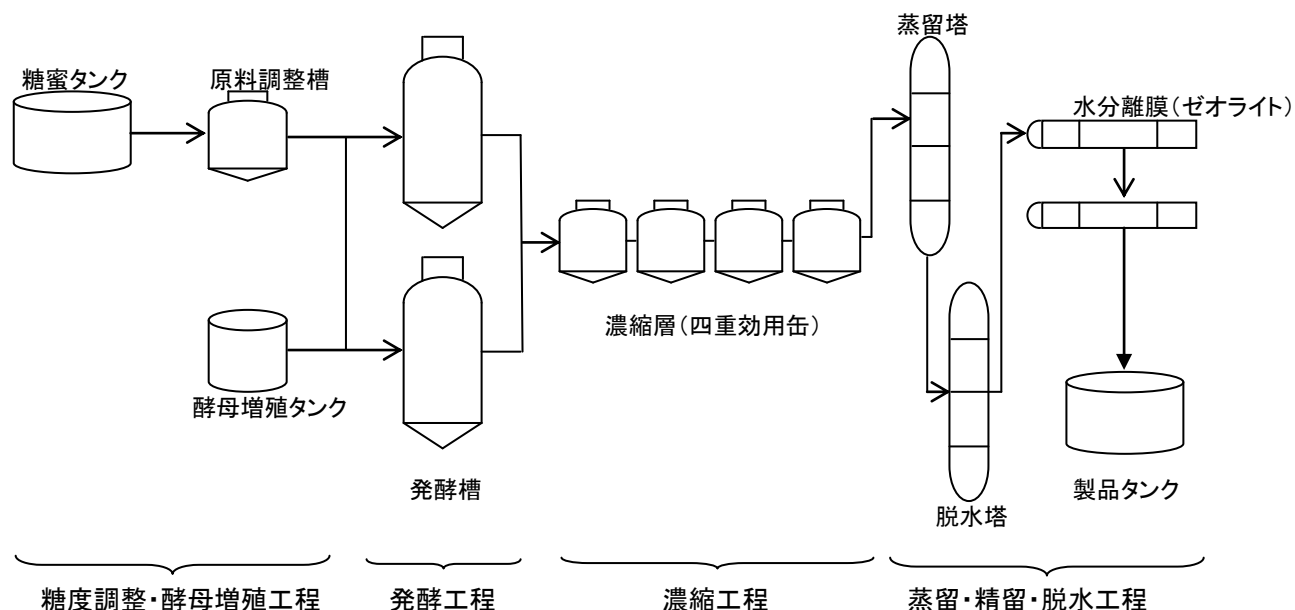


図5 糖蜜を原料としたバイオエタノール生産設備

製糖工場にバイオエタノール生産設備を設置する場合のコストを見てみると、海外のプラントメーカーでは、エタノール生産能力が 200 thou. liter/日でおおよそ 15 億円という事例や、アフリカでは 45 thou. liter/日のプラントでおおよそ 3 億 3 千万円という事例があり⁶⁾、生産能力 10 thou. liter あたり 75 百万円程度での建設が可能と考えられる。日本のプラントメーカーは、この糖蜜 (molasses) のみを用いたプラント建設では、価格的に海外のプラントメーカーに太刀打ちできないため、セルロースを原料としたバイオエタノール生産設備を併設するなど技術力を生かしたプラントの建設を行っている。

4) 製糖工場がバイオエタノール生産に参入する際の課題

製糖工場がバイオエタノールを生産する場合、粗糖を生産する際に副次的に発生する糖蜜 (molasses) を原料とすることができることから、原料の調達が安定しており、その優位性は非常に大きいと考えられる。また、砂糖は AFTA の適用品目リスト (Inclusion List) の品目であることから、ASEAN から輸入される砂糖の関税は 2010 年までに 5%まで引き下げられる予定であり、フィリピン産の砂糖に価格優位性がなくなることが予想される。そのため製糖工場はバイオエタノールの生産など収益を向上させるための対策を講じなくてはならない局面を向かえている。

しかし、2007 年時点、フィリピンで自動車燃料用のバイオエタノールの生産に取り組んでいる製糖工場は見当たらない。そこで、製糖工場がバイオエタノールの生産というオプションをどのように捉えているのかについて、製糖工場へのヒアリング調査を通じて整理し、製糖工場がバイオエタノールの生産に取り組む際の課題を分析した。

■政府との関係における課題

政府はバイオ燃料の導入目標を定めたバイオ燃料法（Biofuels Act）を制定した後、2007年時点では製糖業界への具体的な協力要請などを行っていない。さらにフィリピン国内における、バイオエタノールプロジェクトを担う専門家不足や政府のサポート不足といったソフト的な障害も指摘されている。

また、ASEANから輸入される砂糖の関税が5%まで引き下げられた結果、フィリピンの砂糖価格が暴落したとしても、西ネグロス州の経済は粗糖により支えられているため、政府や州政府による支援策が講じられないはずはないとの見方が製糖工場内でなされているのも事実である。

■農家との関係における課題

フィリピンでは農家がサトウキビを製糖工場に持ち込み、製糖工場が粗糖を生産し、粗糖の60～70%をサトウキビ生産農家に支払う形態をとっている。特に、西ネグロス州では農家の取り分を70%に設定している。このような仕組みの中、製糖業は「安定した原料糖の供給およびサトウキビ生産農家への支払い」を目的としており、バイオエタノールの生産といったリスクのある投資をして、サトウキビ生産農家への支払を危険にさらすことができないとの認識を持っている。

■市場との関係における課題

製糖工場がバイオエタノールの生産に参入する際の最大の障壁として、生産するバイオエタノールの市場競争力が上げられるであろう。実際に、フィリピンでバイオエタノールを生産すると35PHP/literの生産コストがかかるが、ブラジルから輸入する場合は20～25PHP/literですむといった価格的な問題があげられる。Moreira and Goldembergによると、2005年のブラジルのバイオエタノールの生産コストは20 cent/literとの記述もある⁷⁾。

また、ネグロス島にはガソリンとバイオエタノールをブレンドする油槽所がないため、ネグロス島で生産したバイオエタノールをルゾン島の油槽所でブレンドして、再度ネグロス島に移送しないとネグロス島でバイオエタノールを利用できず、ネグロス島でのバイオエタノールの利用はそのコストが割高になる可能性があることが懸念される。ネグロス島で生産されるバイオエタノールが、ネグロス島内で利用されることで、バイオ燃料の本来の目的である地域経済への貢献が達成され、持続的な仕組みとなると考えられる。

■製糖工場の設備における課題

製糖工場がバイオエタノールの生産を行う場合、バイオエタノールの生産設備や污水处理施設を設置するための投資が求められるが、フィリピンの製糖工場の設備は老朽化が進んでいるものが多く、粗糖生産設備を更新する以外に、新たな設備投資を行うことは困難であることが予想される。

5) 製糖工場がバイオエタノール生産に参入する際の経営分析

今回、調査対象とした製糖工場のうち、詳細な回答をいただいたA製糖工場について、バイオエタノールの生産への投資に対して考察する。A製糖工場は、ネグロス島で平均的な生産規模を有する製糖工場であり、収益も安定しており、粗糖などの販売額25億4千万円に対し、純利益は

3 億円程度ある。しかし、燃料用バイオエタノールの生産には非常に消極的な製糖工場の一つである。

表 6 A 製糖工場の経営指標

単位: 百万円				
	販売額	原料費 ^{a)}	諸経費	純利益
経営指標	2,540	1,790	458	304

a) 原料費はサトウキビ及び燃料費の合計

バイオエタノールの原料となる糖蜜は、飲料用アルコールや飼料の原料として、およそ 10,000 円/ton で販売している。A 製糖工場から発生する糖蜜を燃料用バイオエタノールに加工して販売する場合、糖蜜をそのまま販売する場合に比べ、売上高で年間 4 億円程度の収益増が見込まれる。

表 7 糖蜜とエタノールの売上高の比較

	工場出荷単価	出荷可能量	売上高
糖蜜販売(現状)	10,000 円/t ^{a)}	48,340 t	483,400 千円
エタノール販売	41,280 円/kℓ ^{b)}	21,444 ℓ	885,208 千円

a) A製糖工場へのヒアリング結果。レートは2円/PHPと設定

b) ブラジルの燃料用エタノールを輸入した場合を想定

実際に、70 thou. liter/日のバイオエタノール生産設備を設置した場合に必要な初期費と維持費を整理する。日本のプラントメーカーでは 70 thou. liter/日のバイオエタノールプラントを建設する場合、およそ 10 億円の建設費が必要となると見込まれることがヒアリングからわかった。一方、海外のプラントメーカーの場合、上記で記述したとおり 10 thou. liter あたり約 7,500 万円の建設費のため、10%の一般管理費を計上しても 5 億 8 千万円程度で抑えられることが見込まれる。

維持費として人件費、エネルギーなどの消耗品費、修繕費、法人税を考慮すると、およそ 2 億 3 千万円～2 億 4 千万円の費用が年間必要になると見込まれる。

そこで、プロジェクト期間を 10 年間とした場合の IRR（内部収益率）を計算すると、日本のプラントメーカーが建設した場合 10%に、海外のプラントメーカーが建設した場合 26%になる。ただし、IRR の試算では、設備建設における利子率を考慮していないため、資金を借入れる場合 IRR はさらに悪化することになる。また、バイオエタノール生産事業の IRR とエタノール販売価格を感度分析をした結果、エタノールの販売価格が事業収益に与える影響が極めて高いことが報告されている⁸⁾。

表 8 バイオエタノール生産設備を設置した場合の費用

			単位: 百万円
項目	金額	概要	
初期費	設備建設費	70kℓ/日のエタノール製造設備を設置	
	日本メーカー	1,000	プラントメーカーへのヒアリング結果から類推
	海外メーカー	578	75百万円/10kℓと一般管理費10%を計上
維持費	人件費	47	責任者、マネージャーの他、オペレータ9人が4交代シフト
	消耗品費	106	エネルギー、水道、中和剤など
	修繕費		建設費の1.5%
	日本メーカー	15	
	海外メーカー	9	
	法人税	70	源泉所得額の30%

6) ネグロス島のバイオエタノール生産工場

サンカルロス市は西ネグロス州の東岸に位置し、州都バコロド市から直線で40km程度、山道の場合自動車でも2時間程度、海岸線の場合自動車でも4時間程度かかるところに位置する。

1999年にSan Carlos Milling Co.が廃業し、地域にサトウキビを受け入れる製糖工場がなくなったが、現在でも農業はサトウキビがメインであり、全農地面積228km²のうち28%にあたる63km²がサトウキビ畑となっている。サンカルロス市では、現在、フィリピンで初めてのバイオエタノール生産工場（Cバイオエタノール生産工場）が建設されている（2009年1月に稼働開始予定）。そこで、Cバイオエタノール生産工場がバイオエタノールの生産に着手する背景及び今後の可能性についてヒアリングを行ったところ、フィリピンで最初のバイオエタノール生産工場であり競合がないこと、また、バイオエタノールの生産には技術的な制約が少ないことにより、Cバイオエタノール生産工場は投資に踏み切ったとの説明を受けた。

また、2007年時点、粗糖はAFTAの適用品目リスト（Inclusion List）の品目による関税がかけておられ、そのフィリピン国内での価格は他の国より高いが、2010年には関税率引き下げの影響により、粗糖価格は下落するであろう。その時、エタノールの生産がサトウキビ生産農家に対して高い価格を保証できるものになるであろうとの想定のもとCバイオエタノール生産工場の投資はなされている。

具体的に、Cバイオエタノール生産工場は原料生産農家との契約栽培方式を採用するため、砂糖価格の下落に伴う製糖工場での廉価な原料調達を回避することにも寄与し、原料生産農家の通年での収入を担保することを可能にしている。しかし、Cバイオエタノール生産工場のバイオエタノール価格は石油価格に連動することが規定されており、石油価格が下落する際、サト



図 6 サンカルロス市の位置

ウキビ農家の収入にどのような影響を与え得るかについても見極めるが必要となる。

(4) バイオエタノール生産工程から発生する環境負荷及び環境貢献

1) 温室効果ガス

フィリピンの全製糖工場の糖蜜 (molasses) を利用し、バイオエタノールを生産した場合、およそ 835 thou. ton の糖蜜 (molasses) から 209 mil. liter のバイオエタノールが生産され、128 mil. liter のガソリン消費量の削減が可能になる。これはフィリピンの自動車用ガソリン消費量の 3~4%に相当し、温室効果ガス削減効果は最大で 302 thou. ton-CO₂に達すると推計される。バイオエタノールの原料に糖蜜 (molasses) ではなく、搾汁 (Cane Juice) を用いる場合、バイオエタノールの変換効率は糖蜜 (molasses) の 5~6 倍に達するため、その温室効果ガス削減効果も 5~6 倍になる。

一方、C バイオエタノール生産工場では 125 thou. liter/日のバイオエタノールを搾汁 (Cane Juice) から生産・供給し、さらに、8MW のコージェネレーションによる電気及び熱の生産・供給、排泥からの有機肥料の生産・供給、灰の処理、冷却塔から供給される浄水の灌漑利用など環境親和的な事業が計画されており、これらの事業による温室効果ガス削減効果はおよそ 51 thou. ton-CO₂/年と推計される。

表 9 C バイオエタノール生産工場の事業による温室効果ガスの削減効果

事業	温室効果ガス削減の考え方	削減効果
① バイオエタノールの生産・供給	供給したバイオエタノールの消費による化石燃料の削減	13,094 ton-CO ₂ /年
② コージェネレーションによる電気及び熱の生産・供給	バイオマスコージェネレーションにより発生させた熱及び電気の利用による熱及び電気消費量の削減	37,658 ton-CO ₂ /年
③ 回収したメタンガスのコージェネレーションでの利用	バイオエタノール生産の際の廃水処理過程で発生するメタンガスの回収によるメタン排出量の削減	

2) 水質汚濁

バイオエタノールの発酵廃液は、原料の大部分が農産物であるため有機物量が極めて多く、特に、糖蜜 (molasses) を原料とするバイオエタノール生産の最大の課題は排水処理にあると考えられる。

フィリピンのルゾン島の排水基準を例示すると、BODで 250~300mg/liter、COD/BODで 2.5~5.0、廃糖蜜特有の着色物質に関する規制はない。日本の工場または事業場の排水基準では、BOD、CODともに 160mg/liter となっており、フィリピンのそれより厳しい基準が設けられている。

実際に日本の Y 製糖工場の排水とフィリピンの A 製糖工場の排水を比較すると、BOD について、フィリピンの製糖工場は日本の製糖工場の 100 倍以上の値を示しており、pH の調整も足りないことが明らかである。

表 10 製糖工場の排水の比較

	BOD	pH
Y製糖工場(日本)	13mg/ℓ	7.5
A製糖工場(比国)	1,578-2,363mg/ℓ	4.5-5.0

フィリピンでは広大な土地と排水規制値のもとラグーン処理が主流であるが、それにメタン発酵を組み合わせ、バイオガスを有効に活用しながら、排水の浄化を図る事例も見受けられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

既往研究と同様、アジア各国においてバイオ燃料の導入目標を達成することが難しいことが明らかとなった。本研究では、バイオ燃料のうちバイオエタノールについては、原料作物の選定、原料作物のその他の用途での利用状況を踏まえたシナリオを検討することが必要になると考えられる。

フィリピンではバイオエタノールを生産する可能性のある主体として製糖工場とバイオエタノール生産工場があげられ、これらの主体ごとにバイオ燃料の原料、投資行動、環境対策に大きな相違があることを明らかになった。また、AFTAの関税の引き下げに伴い、今後砂糖価格が下落することが想定されている。フィリピン同様、サトウキビを原料としてバイオエタノールの生産を検討しているASEAN諸国では、砂糖とバイオエタノールを連動させた政策が求められる。その際、フィリピンでは、バイオエタノールの生産に消極的である製糖工場に対して、CDMなど国際的なスキームの活用促進、バイオエタノールの生産設備への低利融資、さらにはバイオエタノールを生産する場合の法人税の減免などを通じて、その投資をしやすくする必要があるであろう。

その結果、ASEAN諸国において、海外から輸入されるバイオエタノールに対する価格優位性が築かれることが期待される。

(2) 地球環境政策への貢献

今回、現地の工場について調査を実施するにあたり、JICA expert、SRA (Sugar Regulatory Administration)、製糖工場などのメンバーと、本研究の趣旨・方向性について意見交換をする機会を得ることができた。今後、アジアにおけるより良いバイオ燃料の位置づけの確立に向け、本研究全体の成果について関係機関との議論を深めていくとともに、学会等を通じ成果の広報・普及に努める。

6. 引用文献

- (1) ETHANOL PROGRAM CONSULTATIVE COMMITTEE (2005) 「BIOETHANOL EXECUTIVE SUMMARY」 p12-p15
- (2) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2007) 「アジア諸国における未利用バイオマスからの燃料エタノール生産に関わる調査」 p4, p18
- (3) (財)地球環境戦略研究機関 (2007) 「IGES 白書：アジア太平洋の未来戦略：気候政策と持続

可能な開発の融合を目指して」 p102-p103

- (4) (独)農畜産業振興機構調査情報部 (2008)「タイにおけるキャッサバを利用したバイオエタノール生産の動き」 P1-P2
- (5) (独)農畜産業振興機構国際情報審査役 (2006)「フィリピンの砂糖産業の概要」畜産振興機構
- (6) B. Amigun, H. von Blottnitz 「Cost analyses and predictions for a fuel ethanol plant in a rural and landlocked African country: Lang factor approach」, Production Economics
- (7) 小泉達治 (2007)「バイオエタノールと世界の食料需給」筑波書房
- (8) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2004)「製糖工場におけるモラセス・バガスエタノール製造モデル事業実施可能性調査 (タイ)」

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

- (1) 誌上発表 なし
- (2) 口頭発表
 - (1) 甲斐 聡 Albert P. Aquino 丸山 敦史(2007)「アジアにおけるバイオ燃料及び原料作物の供給ポテンシャル」自動車技術会 2007年秋季大会、京都国際会館
- (3) 出願特許 なし
- (4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの) なし
- (5) マスコミ等への公表・報道等 なし
- (6) その他 なし