

Digital Asia Discussion Paper Series

DP 07-002

タイにおけるバイオエタノール導入への取り組み(Ⅱ)  
— サトウキビ・キャッサバ加工工場の現地調査 —

森泉由恵\*

Piyawan Suksri\*\*

本藤祐樹\*\*\*

和気洋子\*\*\*\*

2007年3月

学術フロンティア推進事業

「デジタルアジア構築と運用による地域戦略構想のための融合研究」

慶應義塾大学 デジタルアジア地域戦略構想研究センター

---

\* 慶應義塾大学商学部和気研究室助手

\*\* 慶應義塾大学商学研究科博士課程

\*\*\* 横浜国立大学大学院環境情報研究院准教授

\*\*\*\* 慶應義塾大学商学部教授

## 目 次

1. はじめに.....	3
1.1 燃料用エタノール製造の現状.....	3
1.2 今後の燃料用エタノール供給の見通し.....	5
2. サトウキビ製糖工場.....	6
2.1 「Mitr Phol」 Cane Complex.....	6
2.1.1 製糖工場.....	7
2.1.2 パーティクルボード製造工場.....	12
2.1.3 バイオマス発電所.....	12
2.1.4 バイオエタノール工場.....	12
2.1.5 サトウキビ研究所.....	16
2.1.6 バイオ肥料工場.....	16
2.2 「Khon Kaen Sugar」 Cane Complex.....	16
2.2.1 製糖工場.....	16
2.2.2 バイオマス発電所.....	19
2.2.3 バイオエタノール工場.....	19
2.2.4 バイオ肥料工場.....	20
3. キャッサバチップ工場.....	21
3.1 作業工程.....	21
3.2 経営状況.....	29
3.2.1 原材料購入.....	29
3.2.2 コスト構成と販売先.....	29
4. キャッサバスターチ工場.....	30
4.1 工場概要.....	30
4.2 生産プロセス.....	30
4.3 バイオガスプラント.....	36
5. おわりに.....	37
参考文献.....	38

## 1. はじめに

### 1.1 燃料用エタノール製造の現状

タイ政府は、燃料用エタノール製造事業促進のため、エタノールプラント建設に際し、以下のような優遇措置を付与している。

- ・エタノールの製造に必要なプラント機材の輸入に係る輸入関税の免除
- ・8年間の法人所得税の免除（通常は30%課税）

燃料用エタノール製造を行うプラントは上記の優遇措置を享受できるが、新規にプラントを建設する場合、承認機関である NEC (National Ethanol Committee : 国家エタノール委員会) からエタノール製造ライセンスを取得しなければならない。ライセンス供与のための主な判断基準は、以下のようなものである（表 1.1）。

表 1.1 燃料用エタノール製造ライセンス供与の基準

判断基準	内容
エタノール原料	輸出過剰分の国内産農産物であること。
エタノール生産規模	原料調達・エタノール販売計画が、提案された生産規模と一致していること。生産コストと原料管理のデータが考慮されていること。
プラント建設地	プラント建設地の近郊に原料調達地が存在すること。
エタノール製造技術	99.5%エタノールの生産が可能なこと。
環境影響管理	近隣住民への公害・影響を防ぐため、適切な環境影響管理システムを有していること。
エタノール生産・供給管理	無許可エタノール使用を防ぐため、関連政府機関がエタノールの生産と供給を管理する。エタノール製品の品質を確保するため、プラントは品質管理システムと国際規格を満たすこと。
事業実施による 関連産業への影響	同様の原料を使用する他の産業への影響を考慮していること。
事業者の財務状況	財政支援を希望する事業者は、BOI の定める基準を満たす必要がある。
農家との取組み体制	農家にプラントの株主になる機会を提供し、原料の価格を保証するなど、農家との協力体制を構築していること。
その他	NEC が定める期限までにエタノールプラントの建設を終了し操業を開始しなければならない。NEC の許可がない限り、ライセンスを譲渡・変更することは不可。

NEDO(2004)「平成 16 年度成果報告書：製糖工場におけるモラセス・パガスエタノール製造モデル事業実施可能性調査平成」より

これまでに 45 のプラントが製造ライセンスを供与されている。しかし、実際に操業を開始したプラントは、表 1.2 に示すように 6 カ所に過ぎない。操業を開始した 6 カ所のプラントのうち、キャッサバ (fresh cassava roots) を原料とするプラントは、Khon Kaen 県にある Thai Nguan Ethanol の 1 カ所だけである。

表 1.2 操業中の燃料用エタノールプラント

会社名	プラント所在地	原材料	生産量 (L/日)	承認日
1.Pornwilai International Group Trading Co., Ltd.	Ayuthaya	Molasses	25,000	2003
2.Thai Alcohol Pub., Ltd.	Nakhon Pathom	Molasses	200,000	2004
3.Thai Agro and Energy Co., Ltd.	Suphanburi	Molasses	150,000	2005
4.Thai Nguan Ethanol Co., Ltd.	Khon Kaen	Cassava	130,000	2006
5.Khon Kaen Alcohol Co., Ltd.	Khon Kaen	Cane/ Molasses	150,000	2006
6.Petrogreen Co., Ltd.	Chaiyaphum	Cane/ Molasses	200,000	2006

Source: Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Thailand

EPPO<sup>1</sup>の燃料用エタノールプラントに関する報告書によると、Thai Nguan Ethanolは、操業開始2ヵ月後に技術上のトラブルに直面し、一時的に操業を停止した。このプラントは中国から生産技術を導入しているが、この生産技術は、キャッサバの生芋（fresh cassava roots）ではなくキャッサバチップを原料として利用するものである。しかし、Thai Nguan Ethanolではキャッサバの生芋を原料として利用しているため、技術的な不具合が生じたと考えられる。さらに、Thai Nguan Ethanolでは、製造プロセスからの排水処理および原料の安定調達に関する問題も抱えている。Thai Nguan Ethanolでは、キャッサバの買い取り価格をキャッサバチップ工場のそれよりも高く設定しているが、キャッサバのスターチ含有率が32%以上であることを求めている。キャッサバチップ工場のキャッサバ買い取りにおける澱粉含有率の基準は、25~30%である。キャッサバの需要先が増えたことにより、チップ工場から提示される条件がより良くなるかもしれないと考えているキャッサバ農家はThai Nguan Ethanolにはキャッサバを販売しない。それゆえに、Thai Nguan Ethanolは原料調達が難しい状況となっている。

残り5ヵ所のプラントのうち、3ヵ所は原料としてモラセスを利用し、2ヵ所はモラセスとケーンジュースの両方を利用している。後者の2ヵ所のプラント、すなわちKhon Kaen AlcoholとPetrogreenは、いずれも製糖工場併設型のプラントである。製糖工場併設型のエタノールプラントは、原料調達、エネルギーの効率的な利用、および廃棄物処理に関して有利である。既に製糖工場が存在している中でのエタノールプラント建設であるため、新たに農家からサトウキビを購入する必要がなく、原料であるケーンジュース、モラセスを容易に調達することができる。また、一般に製糖工場は単独で経営されてはならず、多数の製糖工場を経営し、その関連製品を生産している企業グループに属している。例えば、Mitr Phol Sugarグループは、5つの製糖工場を所有し、複数の関連製品工場を運営している。また、Khon Kaen Sugarも、4

<sup>1</sup> EPPO stands for the Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand.

つの製糖工場を所有する KSL グループに属している。したがって、原料のケーンジュースとモラセスは、隣接する製糖工場だけでなく、同じグループに属する他の製糖工場からも調達することができる。

さらに、製糖工場では、製糖プロセスから発生するバガス（サトウキビの搾りかす）を燃料として工場内で発電しているため、エタノール工場はその余剰分の電力を供給してもらうことができる。また、エタノール工場が直面する大きな問題である排水の処理においても、既に工場排水から肥料を製造する技術を持ち、サトウキビ栽培農家をその販売先を確保している製糖工場と連携することにより、容易に問題を解決することができる。このように、独立型のエタノールプラントに比べ、製糖工場併設型のエタノールプラントは極めて大きな優位性を持つ。

## 1.2 今後の燃料用エタノール供給の見通し

燃料用エタノールの価格は、政府により設定される。当初は 12.75Baht/L で固定されていたが、原料価格が上昇し政府の財政負担が大きくなったため、政府はコスト積み上げによる価格設定方式を採用し問題を解決しようとした。その結果、燃料用エタノールの価格は 25.3Baht/L まで上昇し、ガソリンとの間に大きな価格差を生じさせることとなった。

そこで政府は、2007 年 1 月から、それまでのコスト積み上げ方式をやめ、ブラジルのエタノール輸出価格に輸送費や保険料などをプラスしたものを市場価格の参考値として用いる方式に転換した。これにより燃料用エタノールの価格は、25.3Baht/L から 19.33Baht/L へと大幅に低下した。しかし、価格が低く抑えられることは、エタノールプラントの利益幅が減少することに他ならない。単価が低い分、燃料用エタノールの需要増加が実現しなければ、エタノールプラントの経営は苦しいものとなる。

過去 2～3 年においては、非常に多くの企業が燃料用エタノールの製造に関心を持ち、製造ライセンスの取得を申請していた。その大きな理由の一つは、MTBE の全廃と、Gasohol95 による ULG95（ガソリン）の完全代替という政府の方針であった。しかし、政府は 2006 年 11 月にその実行を延期することを決定した。こうした状況を受け、既に燃料用エタノールの製造ライセンスを取得した企業でも、エタノールプラントの建設に二の足を踏むようになっている。政府は、モラセスの価格が上昇し続けているのに対してキャッサバの価格が安定しているため、エタノールの原料をサトウキビからキャッサバにシフトしようとしている。しかし、国内でキャッサバの生芋という新規の原料を利用した商業規模でのエタノール製造を行う技術が確立されていない上に、上述したような原料調達の問題もあり、キャッサバ利用エタノールの生産が計画通り進行するかについては予断を許さない状況にある。

こうした現状を踏まえ、実際に製糖工場、エタノールプラント、キャッサバ加工工場を訪問し、燃料用エタノールの供給体制に関する調査を実施した。本報告書では、生産プロセス、排水処理、副産物の利用などサトウキビ、キャッサバ関連工場の運営の実態について述べる。なお、サトウキビ、キャッサバの生産の現地調査については、「タイにおけるバイオエタノール導入への取り組み(I)ーサトウキビ・キャッサバ農場の現地調査ー」を参照されたい。

## 2. サトウキビ製糖工場

### 2.1 「Mitr Phol」 Cane Complex

今回の調査で訪問した Mitr Phu Khieo 製糖工場を所有する Mitr Phol グループは、タイ最大の製糖会社である。国内に 5 つの工場を持ち、砂糖の年間生産量はグループ全体では 100 万 t にも及ぶ。Mitr Phu Khieo 製糖工場は「Mitr Phol Park」と呼ばれる広大な敷地の一角にあり、その中では製糖工場を中心としたコンプレックスが形成されている（図 2.1）。

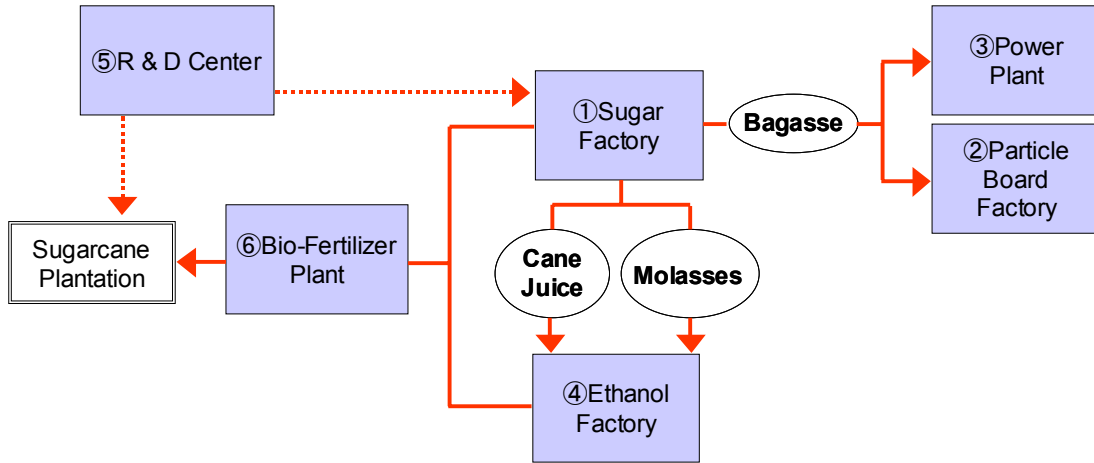


図 2.1 Cane Complex の構成

Cane Complex は、以下の 6 つの施設から構成されている。

- ① Mitr Phu Khieo Sugar Factory（製糖工場）
- ② MP Particle Board（パーティクルボード製造工場）
- ③ Phu Khieo Bio Energy（バイオマス発電所）
- ④ Petrogreen（バイオエタノール工場）
- ⑤ MP Sugarcane R & D Center（サトウキビ研究所）
- ⑥ Bio-Fertilizer Plant（バイオ肥料工場）

中心となるのは、①の製糖工場である。②のパーティクルボード製造工場と③のバイオマス発電所は、①の製糖工場の生産プロセスの副産物であるバガス（Bagasse、サトウキビの絞りかす）をそれぞれ原材料、発電燃料として利用している。④のバイオエタノール工場も同様に、製糖プロセスから出るケーンジュース（Cane Juice、サトウキビの絞り汁）とモラセス（Molasses、廃糖蜜）を原料として、バイオエタノールの生産を行っている。⑥のバイオ肥料工場は、①の製糖工場と④のバイオエタノール工場からの排水などを利用して、肥料を製造している。以下に、それぞれの施設について説明する。

### 2.1.1 製糖工場

Mitr Phu Khieo 製糖工場は非常に規模が大きく、年間のサトウキビ処理量は最大で 300 万 t-cane にも及ぶ。今年のサトウキビ投入目標は 270 万 t-cane とのことである。工場の年間稼働日数は 300 日で、うち 120 日がサトウキビの収穫期であるクラッシング期（12 月～3 月）、残りの 180 日間がクラッシング期に製造した粗糖を用いて精製糖を製造するリメルト期である。

生産しているのは、Raw Sugar（粗糖）、White Sugar（白砂糖）、Refined Sugar（精製糖）、Super Refined Sugar などである。これらの砂糖は、IU という単位で計られる色値、水分量（%）、糖度（Polarization・%）、粒子の大きさ（mm）などの数値により厳密に分類されている。粗糖の IU が 1,000 以上のものは輸出しかできない。Super Refine Sugar の場合、糖度は 99.90% 以上、水分量は 0.04% 以下、色価は 20IU 以下となっている。

1t のサトウキビから生産される砂糖は、平均で 105kg / t-cane であるが（粗糖、精製糖の区別はない）、今年目標は 115kg / t-cane である。一日に 25,500t-cane を投入すると、精製糖が 1,500t-sugar、粗糖が 1,400t-sugar 生産される。グループ全体での一日あたりの投入量は 113,000t-cane で、精製糖は一日あたり 5,100t、粗糖は一日あたり 7,550t 生産される。



写真 2.1 工場の外観

雇用者は、日雇いがおよそ 450 人、常勤がおよそ 300 人である。日雇い労働者の最低賃金は 150Baht / 人・日である。この工場に搬入されるサトウキビは、98%が手作業により収穫を行ったものである。残りの 2%は収穫用機械を用いている。サトウキビ農家からサトウキビを購入する際にはケーンジュースの CCS（可製糖率：糖度、蔗糖含有率などから計測）を計り、その値により単価を決定している。CCS の標準の値は 10 である。

会社では、収穫時に畑に火を入れる「火入れ収穫」を行う農家の数を減らすように指導している。サトウキビを燃やすと還元糖の割合が高くなり、品質低下につながるためである。契約農家のうち、15%程度が「火入れ収穫」を行っているが、最近、その比率が上がる傾向にある。農家の人々は、作業に手間がかかることや人手が足りないことを理由に「火入れ収穫」を行ってしまうという。また、収穫期の最後の方になると急いで収穫を行おうとするため、火を入れる率がより高くなる。昨日（3月20日）の火入れ率は 29%であった。他の工場（例えば Khon Kaen Sugar など）では、恐らく 70%以上の農家が「火入れ収穫」を行っているだろうということである。また、バンコクの近郊の農家でも、50%~60%は「火入れ収穫」を行っている。サトウキビ農家と製糖会社の関係が上手く行っていれば、「火入れ収穫」を行う農家は少なくなるため、「火入れ収穫」の割合は両者の関係を見る一種の指標となっているようである。

また、この工場と契約を結んでいる農家のうち、76%が自分で収穫物を工場まで輸送してくる。しかし、小規模農家ではイータン（東北地方特有の小型トラック）しか所有しておらず、大量には輸送できない。そこで、残りの 24%の農家に対しては、会社がサトウキビの depo を作ってそこまで運んでもらい、depo から工場までは会社の車で会社が輸送することにしている。

会社のポリシーとして、大規模の農場よりも小規模零細農家を守ってそちらと契約する方が、タイのサトウキビ産業にとって sustainable であると考えている。よって、この企業と契約している農家は小規模零細農家が大部分であるということである。



写真 2.2 工場への搬入を待つサトウキビ輸送トラック



工場内に搬入されたサトウキビは、以下のプロセスを経て粗糖になる（図 2.2）。まず、茎をカッターで切断し、それをシュレッダーで粉砕する（1.Cutting～2.Shredding）。その後、水を加えながら何層にも連なる圧搾機にかけてミックスジュースを搾り出す（3.Milling, 写真 2.3）。ミックスジュースを搾り出した後の搾りかす（bagasse）は、発電の燃料として用いられる。取り出した絞り汁にライムを加え、凝固した不純物を沈殿させてろ過する（4.Clarification）。その際に沈殿する mud は、フィルターにかけ、その残り（Filter Cake）は堆肥にしてサトウキビ栽培に利用する。得られた上澄み液を、多重効用缶を用いて水分を蒸発させて濃縮し、シラップを得る（5.Evaporation）。次に、真空結晶缶を用いてシラップをさらに煮詰め、結晶を成長させる（6.Crystallization）。最後に、遠心分離機により結晶と糖蜜の混合物を、結晶と糖蜜とに振り分ける（7.Centrifugation）。

こうして得られた A 糖は、次の精製糖を製造するプロセスに行くか、粗糖のサイロで保管される（写真 2.4）。また、真空結晶缶 C から得られたファイナルモラセスは、バイオエタノールの原料としてエタノールプラントへと回される。

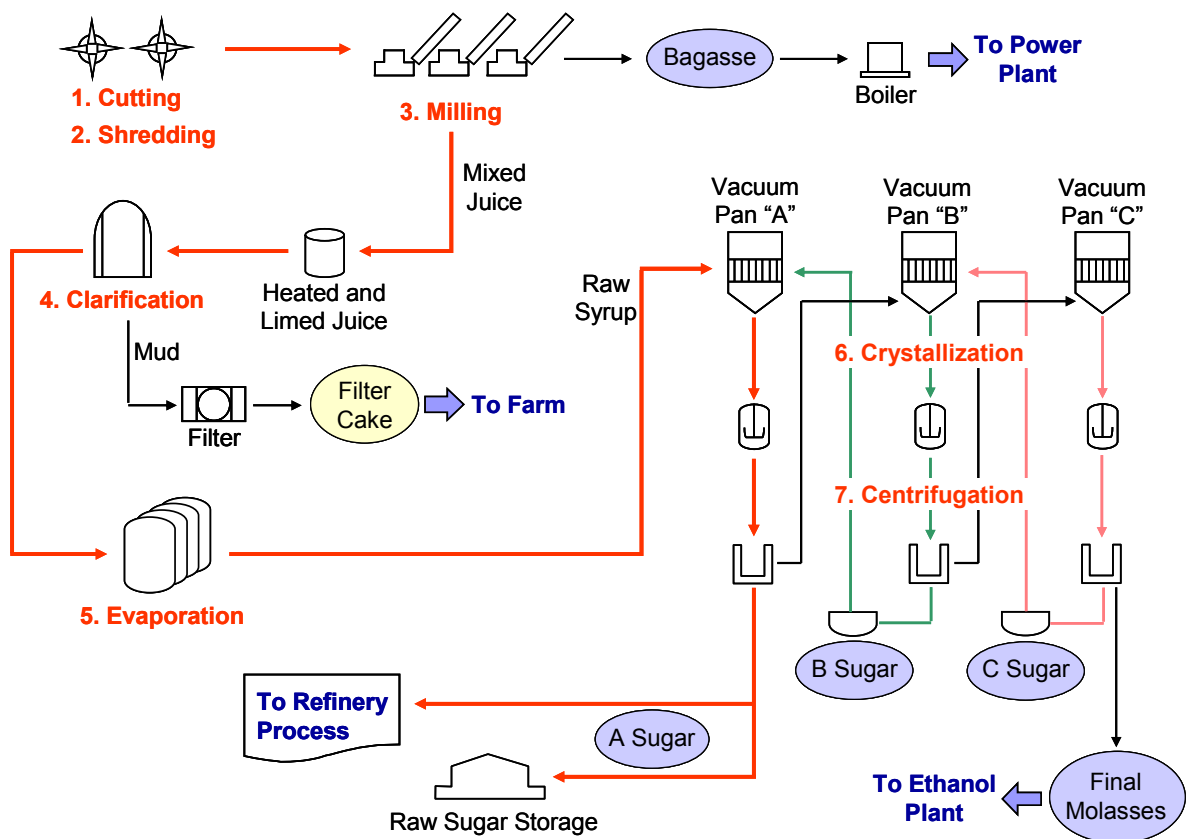


図 2.2 粗糖の製造プロセス



写真 2.3 圧搾プロセスの様子



写真 2.4 サイロに貯蔵される粗糖

粗糖からは以下のプロセスを経て精製糖が製造される（図 2.3）。粗糖に温水を加えて再び溶かして糖液を作る（1.Melting）。そこに石灰乳を加え、さらに炭酸ガスを吹き込んで不純物を沈殿させる（2.Carbonation）。これをろ過し、不純物を取り除く（3.Filtration）。次にイオン交換樹脂を用いてさらに不純物を取り除くと、脱色され無色透明のファインリカーが得られる（4.Decolorization）。その後は、粗糖製造の際と同様に、濃縮、結晶化、分離プロセスを経て精製糖を取り出す（プロセス 5～7）。遠心分離機で結晶から分離された糖蜜は、まだショ糖分が残っているため、再び粗糖製造の結晶化プロセスに投入される。こうして作られた精製糖は乾燥・冷却した後、包装され、出荷まで倉庫で保管される。

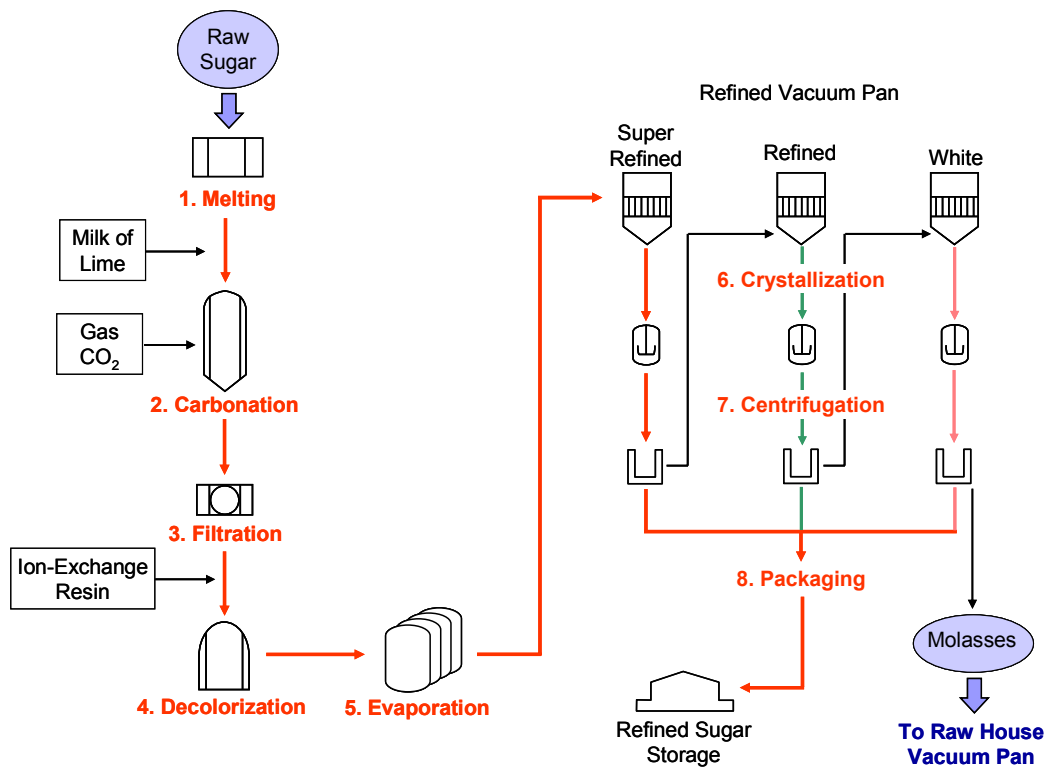


図 2.3 精製糖の製造プロセス



写真 2.5 包装され運ばれる精製糖

### 2.1.2 パーティクルボード製造工場

パーティクルボード工場では、粗糖製造プロセスからのバガスを原材料としてパーティクルボードを生産している。パーティクルボードとは、木材などの植物繊維質の小片(パーティクル)に接着剤を加え熱圧成形して作られる木質ボードのことであり、主に家具などに利用される。この工場では、年間およそ 100,000m<sup>3</sup>のパーティクルボードを生産している。

### 2.1.3 バイオマス発電所

バイオマス発電所では、パーティクルボード製造工場と同様に、粗糖製造プロセスからのバガスを燃料として発電を行い、工場全体に電力を供給している。余剰分の電力は、EGAT (Electricity Generating Authority of Thailand, タイ電力公社) に売電している。この発電所では、バガスの他にもサトウキビの葉、米の籾殻、トウモロコシの穂軸なども燃料として用いているということである。発電所の設備容量は、製糖工場用が 6MW、パーティクルボード製造工場用が 2MW、工場内オフィス用が 4MW、EGAT への売電用が 29MW で合計 41MW である。



写真 2.6 貯蔵されているバガス

### 2.1.4 バイオエタノール工場

バイオエタノール工場は、フランスの Maguin 社からの技術導入により建設された。工場の雇用者は常勤で 60 人である。定められているエタノールのアルコール濃度の最低ラインは 99.5%であるが、この工場では 99.8%~99.9%のものを生産している。

エタノールの原料は、クラッシング期には、粗糖生産プロセスで搾り出されたケーンジュースのみを用いる。リメルト期には、クラッシング期に製造し貯蔵しておいたモラセスを用いる。モラセスは保存性があるため貯蔵しておくことができるので、一年中平均的にエタノールを作ることができる。サイロの中には、粗糖が 50% (リメルト期に精製するためのもの)、精製糖

が 50%ずつ貯蔵されている。サトウキビから搾り出されるケーンジュースは pH が 6~7 であるため、そのままではエタノールの原料としては使えず、pH を 4.2~4.5 まで低くするプロセスが必要となる。モラセスの場合、pH はちょうど良いが濃度が高すぎるため、蒸留水で希釈しなければならない。一日の投入量は、ケーンジュースの場合は 2,500t、モラセスの場合は 760t であり、そこから 20 万 L のエタノールが生産される。



写真 2.7 バイオエタノール工場の外観



写真 2.8 モラセス貯蔵タンク

バイオエタノールの生産プロセスは、1. Yeast Propagation (酵母増殖)、2. Fermentation (発酵)、3. Distillation (蒸留)、4. Dehydration (脱水) という4つのプロセスから構成される (図 2.4)。

### 1. Yeast Propagation (酵母増殖)

酵母増殖プロセスでは、次の発酵プロセスのために酵母を必要な量にまで増殖させておく。酵母増殖設備は、2本の増殖タンクから構成されている。

### 2. Fermentation (発酵)

プロセス1で増殖した酵母の中にケーンジュースもしくはモラセスを入れ、発酵させる。発酵に必要な時間は、ケーンジュースの場合は16時間、モラセスの場合は30時間である。発酵プロセスが終わった時点でアルコール濃度は9%~10%になる。発酵設備は、6本の発酵タンクから構成されている。酵母が働く温度は33℃であるが、発酵する際に発酵熱が発生するため、冷却する必要がある。冷却には soft water を用いている。これは、水道水を用いると不純物によりパイプが詰まってしまうためである。

発酵プロセスでは多量の炭酸ガスが発生するが、この発生が収まってくる頃に発酵が終了する。また発酵プロセスでは、ある種の油 (フーゼル油など) も発生する。これらは、モラセスを原料とした場合は1日あたり100L、ケーンジュースの場合はそれより若干多く発生し、灯油と混ぜて燃料としたり、香料として利用されている。

### 3. Distillation (蒸留)

発酵液は、エタノール純度を高めるために蒸留・脱水を行う。蒸留は、高さ40mほどの蒸留塔で行われる。蒸留プロセスで精製される液体のうち、8%がエタノールで、残りの92%は蒸留排液となる。蒸留プロセスが終了した時点で、アルコール濃度は93%~95%になる。

### 4. Dehydration (脱水)

バイオエタノールは、水分が混入するとガソリンとエタノールの相分離が発生し、エンジンの腐食や燃料の品質低下につながるため、水分を一定量以下にしなければならない。脱水プロセスでは、2塔の脱水塔が10分~15分交代稼働し、脱水を行う。この工場では、Zeolite molecular sieves 技術を採用し、エネルギー効率を上昇させている。工場長の話では、非常に優れた脱水技術を用いており、通常はエタノール濃度を99.5%~99.8%にあげる際に量が減ってしまうが、この工場の技術では量が減ることはなく経済的にも優れているということである。

脱水されたエタノールはエタノール貯蔵タンクで保管され、バイオエタノールとして出荷される。貯蔵タンクは、250m<sup>3</sup>のものが2基、1250m<sup>3</sup>のものが2基あり、合計で300万L (15日間の生産分) を貯蔵することができる。出荷の前には、飲料用アルコールとして販売できないように、エタノールにメタノールを0.05%混ぜなければならない。燃料用エタノールとして出荷する際には、PTT や Shell, ESSO といった石油会社が工場まで引き取りに来る。したがって、輸送コストは石油会社が負担している。

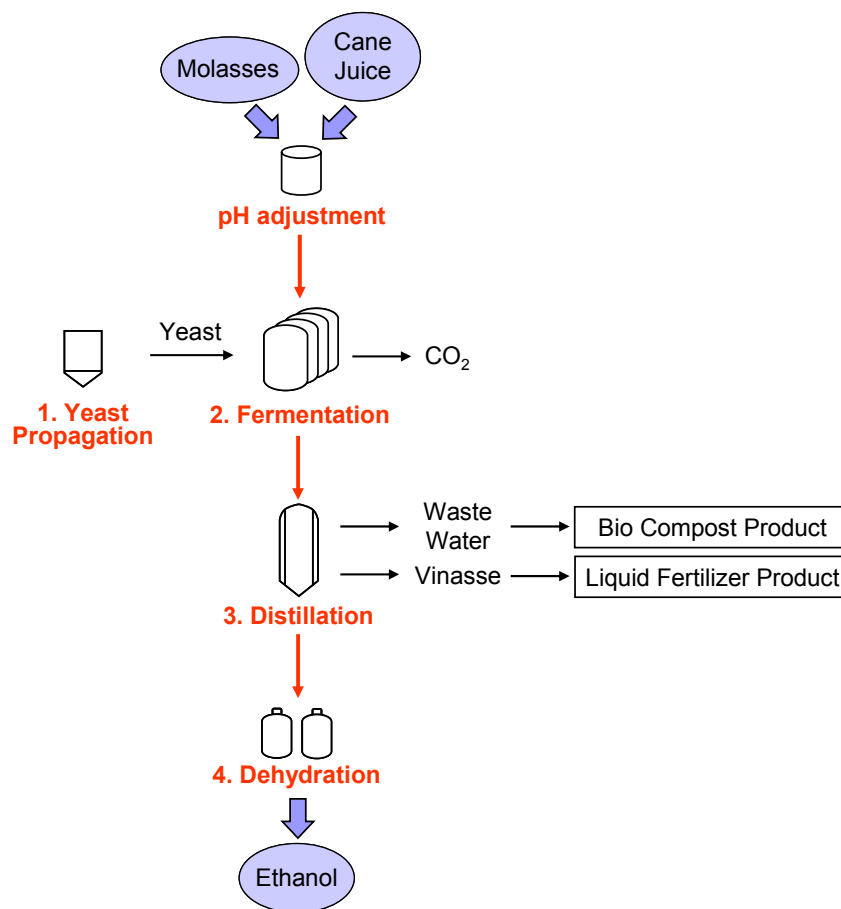


図 2.4 エタノール製造プロセス

工場長の話では、エタノール工場の経営においては以下の3点が重要とのことである。

1. 質の高い原材料を入手すること、価格が適正かつ安定的な原材料を入手すること、原材料の供給量を確保すること。
2. 環境問題。工場の性質上、においが発生することは避けられないので、近隣の住民に与える影響を考慮しなければならない。また、排水の処理をどうするかも大きな問題である。
3. 動力源の確保。砂糖工場ならば、工場を動かす際の電力や熱を自分で作ることができ、そのメリットはかなり大きい。キャッサバ工場の場合は自社内に発電所を持たないので、それが経営のネックになる。動力源として石炭を用いている工場もあるが、それが酸性雨などの環境問題を引き起こし、住民が抗議デモを行ったこともある。

### 2.1.5 サトウキビ研究所

サトウキビ研究所では、サトウキビの生産性の上昇や生産の安定化を目的として研究を行っている。具体的には、施肥や雑草の除去などの栽培管理方法、生産性向上とコスト削減栽培管理の最適化、病害・害虫への対策、新品種の育成、砂糖の品質管理などについて研究を行っている。

### 2.1.6 バイオ肥料工場

エタノールの蒸留プロセスから発生する廃液は、BOD 値(生物的酸素要求量)が 45,000 ml/L, COD 値(化学的酸素要求量)が 100,000 ml/L (Sriroth, K. et al., 2006) と汚染度が高く、また酸性が強いため (pH4), 何らかの処理を施さなければならない。この工場では、以下のような処理を行い、エタノール副産物の有効利用を図っている。

エタノール工場からの廃液は、Vinsasse (蒸留残渣) と Waste Water (蒸留廃液) に分離することができる。Vinsasse は、濃縮した後に pH を調整して液体肥料として利用する。Vinsasse は、モラセスを原料とする場合は 1 日 900t, ケーンジュースを原料とする場合は 1 日 250t 発生する (ただし、これらの値は濃縮して 1/3 の量にした後の値)。ここから肥料を年間約 20 万 t 生産することができる。生産した肥料はサトウキビ栽培農家に 800Baht / t で販売しているが、これを使用する農地は 31 万 rai にも及ぶ。

一方、Waste Water (蒸留廃液) は、粗糖製造プロセスから出るフィルターケーキと混ぜてバイオコンポストを生産する計画があるが、まだ実現していない。Waste Water は、モラセスを原料とする場合は 1 日 960m<sup>3</sup>, ケーンジュースを原料とする場合は 1 日 1680m<sup>3</sup> 発生する。現在は、処理を行ってから農民に無料で提供している。工場から 20~30km 以内の範囲であれば、運搬も無料で行うということである。

## 2.2 「Khon Kaen Sugar」 Cane Complex

### 2.2.1 製糖工場

Khon Kaen Sugar Industry Public Co., Ltd. は、1976 年に設立されたタイ大手の製糖会社である。Khon Kaen 製糖工場は、Kwang Soon Lee Group (KSL グループ) に属している。グループ全体での従業員は約 1600 人で、4 つの製糖工場を所有している。2005 年には製糖会社としては初めてタイ証券取引所に株式を上場した。KSL グループの 4 つの製糖工場の一つである Khon Kaen 製糖工場は、会社の設立と同年の 1976 年に建設された。4 ヶ所の製糖工場の中では最も規模が大きく、1 日のサトウキビ処理能力は 26,000t 以上である。

工場の年間稼働日数は Mitr Phu Khieo 製糖工場と同じく 300 日で、うち 120 日がサトウキビの収穫期であるクラッシング期 (12 月~3 月), 残りの 180 日間はクラッシング期に製造した粗糖を用いて精製糖を製造するリメルト期である。クラッシング期には、9 台ある A Sugar 生産用の設備はフル稼働させるが、リメルト期は貯蔵してある粗糖を精製するだけなので、3



台程度を動かすのみである。B Sugar, C Sugar 生産用の設備は、年間を通してフル稼働する。

サトウキビ投入量は1日あたり 25,000t で、そこから Raw Sugar が 760t, Hi-Pol Sugar が 600t, Refined Sugar が 800t, White Sugar が 700t 生産される。年間のサトウキビ投入量は 270 万 t-cane で、そこから 23 万 t の砂糖が生産される（粗糖，精製糖の区別はない）。KSL グループ全体では，1日あたり 67,000t のサトウキビが投入され，年間約 45 万 t の砂糖（粗糖＋精製糖）が生産される。



写真 2.9 Khon Kaen 製糖工場の外観



写真 2.10 ファイナルモラセス



写真 2.11 破碎プロセスに投入されるサトウキビ



写真 2.12 出荷される精製糖

### 2.2.2 バイオマス発電所

Khon Kaen 製糖工場と同じ敷地内にある Khon Kaen Sugar Power Plant Company Ltd.では、製糖プロセスから発生するバガスを中心にバイオマス発電を行っている。同発電所はイギリスの Agrinergy Ltd.をプロジェクトディベロッパーとして CDM を申請し、2007 年に承認されている。プロジェクト期間は 10 年間である。Khon Kaen Sugar Power Plant の設備容量はトータルで 30MW、そのうち 20MW 分を EGAT に売電し、5MW 分を工場内で消費、5MW 分を他の会社に販売している。

20MW×300 日×24 時間=144,000MWh を EGAT に売電しており、これが CDM の対象となる。ただし、CDM 理事会に提出された PDD（プロジェクト設計書）によると、CER（認証排出削減量）は 144,000MWh 全量でなく、116,768MWh 分の発電量となっている。発電による CO<sub>2</sub> 排出量削減分は 62,529t-CO<sub>2</sub>/年で、そこからバガス以外の農業残さを輸送するための CO<sub>2</sub> 排出量 1,080t-CO<sub>2</sub> を差し引いた 61,449t-CO<sub>2</sub>/年が CER の対象となっている。

### 2.2.3 バイオエタノール工場

Khon Kaen Alcohol Company Ltd.は、2006 年 1 月からバイオエタノールの生産を開始した。エタノール工場の建設には、インドの Praj Industries 社の技術を導入している。Praj Industries 社は、世界中に 200 以上のエタノール工場を建設している世界的なプラントメーカーである。Praj Industries 社は、1t のモラセスから 260L のエタノールを生産できることを保証しているが、この工場では、280L 以上のエタノールを生産している。

工場の年間稼働日数は 300 日で、一日あたり 15 万 L、年間 4,500 万 L のエタノールを生産する。現在は、原料にはモラセスのみを用いている。ケーンジュースも原料として利用できるが、今は砂糖の価格が高いため全量砂糖生産にまわしており、エタノールの原料としては利用していない。他の原料としてキャッサバの利用を視野に入れており、将来的には市況によりキャッサバとサトウキビの両方を利用できるようにするつもりである。キャッサバを利用する場合は、キャッサバスターチの最終製品ではなく、精製する途中段階の水分量が多く質の悪いスターチを購入して自社の工場です水処理をする予定であり、既にそのためのプラントの建設を開始している。

現在は、工業用エタノールを販売するライセンスを取得していないため、燃料用エタノールとしてしか販売できない。しかし、将来、ライセンスを取れば、工業用エタノールの輸出を行うかもしれないとのことである。

Khon Kaen Alcohol Company Ltd.では、現在、プロジェクトディベロッパーをイギリスの Agrinergy Ltd, プロジェクト参加国をデンマークとして、CDM 理事会に新法論を提出している (NM0082)。一度目の申請で B 評価を受け PDD を再提出したが、2006 年 5 月の CDM 理事会でも、ダブルカウントやリーケージなど未解決の問題が多数見られると判断されたため、まだ未承認である。



写真 2.13 エタノール工場外観

#### 2.2.4 バイオ肥料工場

バイオ肥料工場では、製糖プロセスから発生するフィルターケーキ、バイオエネルギー発電所から発生する灰、エタノール工場からの蒸留排液を利用して肥料を生産している。肥料の生産量は、年間で約 10 万 t である。肥料は、販売するものと近隣のサトウキビ栽培農家に無料で提供するものがある。



写真 2.14 エタノール工場からの排液と製造された肥料

### 3. キャッサバチップ工場

タイにおいては、キャッサバチップ工場の多くは小規模経営であり、キャッサバ農場の近隣に立地している。チップ工場では、農場から運び込まれたキャッサバを細かく切断し乾かすことを主たる作業としている。そのため、簡易な加工機械やブルドーザーなどの輸送機械と、天日干しのための広い整地を所有している。

生産されたキャッサバチップのほとんどは、現在、中国を主とした海外へ家畜飼料として直接輸出されている。過去においては、EU 向けにチップをさらにペレットへ加工して輸出していたが、EU 内における品質の厳格化と価格競争力の低下により、今ではほとんど輸出されることはなくなった。

今回の調査では、Khon Kaen 県内のキャッサバチップ工場を見学し、費用や売り上げ、キャッサバ市場に関する情報、作業工程や使用機器についてヒアリングを行った。

#### 3.1 作業工程

キャッサバチップの製造は、以下のようなプロセスを経て行われる。

##### 1. Weighing（重量の計測）

原材料となるキャッサバは、キャッサバ栽培農家によりチップ工場に運び込まれる。キャッサバの生芋（Cassava Fresh Roots）は収穫すると腐敗の進行が速く保存性がないため、収穫後すぐに工場へと輸送される（写真 3.1）。



写真 3.1 チップ工場へ搬入されるキャッサバ生芋

チップ工場では、まず初めに工場までキャッサバを輸送してきたトラックごと、計量器（トラックスケール）でその重量を計測する（写真 3.2）。工場の入り口に鉄製の板が張られた部分があり、そこが重量センサーになっている。トラックスケールは、キャッサバをトラックに積載したままでキャッサバの正味重量を計測することができる。計測された重量は、電光掲示板でキャッサバ搬入者に示される（写真 3.3）。



写真 3.2 重量計測器



写真 3.3 重量揭示板

このようにして計測された重量合計からトラック重量を差し引いたものが、キャッサバの買い取り重量となる。キャッサバ栽培農家への支払いは、現金によりその場で行われる(写真 3.4)。農家には現金とともに支払いの明細書が渡される(写真 3.5)。明細書の左側には取引が行われた日付や時間が、右側には計測された重量やそれに伴い支払われた金額などが記載されている。

今回の取引では、総重量が 10,060kg、トラックの重量が 4,395kg、キャッサバの重量が 5,665kg であったが、そこからタイ東北部特有の習慣として 10%分(566.5kg)が差し引かれるため、最終的なキャッサバの買い取り重量は 5,098.5kg となる。

買い取り重量の 5,098.5kg に単価(1.20Baht/t)を乗じた 6118.20Baht が買い取り価格となる。このチップ工場でのキャッサバの買い取り単価は、カセサートの場合は 1.20Baht/kg、ラヨーンの場合は 1.00~1.05Baht/kg である。なお、この工場ではディーゼルの小売も行っており、今回キャッサバを販売した栽培農家は 679.80Baht 分のディーゼルを購入したので、最終的な支払いは 5,438.40Baht となった。

計測に用いている機器の費用は、計量器（トラックスケール）本体が1台18万 Baht, その設置工事費が12万 Baht, さらに計量端末機が1台5万 Baht で、合計35万 Baht かかっている。ただし、これは10年前に設置した時の値段であるので、現在はもっと高くなっているとのことである。



写真 3.4 支払いの様子(手前が工場主, 奥がキャッサバ栽培農家)

ลานมัน ป่าทวายช้าง (เลี้ยงวัน)

เลขที่ 151 หมู่ 4 ต.เขาสวนกว้าง อ.เขาสวนกว้าง จ.ธอนแก่น 40280

โทร. (01) 261-2346, (06) 717-7176

วันที่	18/03/50	น้ำหนักรถหนัก	10,060 กก.
เวลาเข้า 13:30 เวลาออก 13:34		น้ำหนักรถเบา	4,395 กก.
ลำดับที่ 000019		น้ำหนักขรรคก	5,665 กก.
ทะเบียนรถ 000025		หักสิ่งเจือปน 10% =	566.50 กก.
ชื่อผู้ขาย _____		น้ำหนักสุทธิ	<u>5,098.50 กก.</u>
ชื่อวัดตติย/สินค้า _____		ราคา/กก.	1.20 บาท
		รวมเป็นเงิน	6,118.20 บาท
		ค่าขรรคก 12 ส.ต.	679.80 บาท
		จำนวนเงินสุทธิ	<u>5,438.40 บาท</u>

จ่ายแล้ว

写真 3.5 支払い明細書

## 2. Sand Removal (土砂の除去) & Chopping (破碎)

工場に運び込まれたキャッサバはトラックから降ろされ、工場敷地内の乾燥場の手前に山積みされる(写真 3.6)。その後、網のついた破碎機にかけられ(写真 3.7)、付着している土などが除去される。洗浄は行わず、皮もついたままである。破碎機の中には回転するブレードがついており(写真 3.8)、これによって 5cm 程度の大きさに破碎する(写真 3.9)。夏場に収穫したものには土などはあまり付着しないので、直接、破碎する部分に入れるが、雨期に収穫すると土などが付着しているので、網を通してきれいにしてから破碎する。機械の価格は新しいもので 1 台 12~15 万 Baht とのことである。



写真 3.6 山積みされるキャッサバ



写真 3.7 キャッサバ破碎機



写真 3.8 破碎機のブレード





写真 3.9 破碎後のキャッサバ

### 3. Drying (乾燥)

次に、破碎したキャッサバを天日干しすることにより乾燥させる。天日干しは、晴れた日に一日中干すことを3回繰り返す。よって、トータルで3日間乾燥させることになる。天日干し用の敷地は3ヶ所に分けられており、その都度キャッサバを移動させるため、1回目と2回目、3回目は異なる場所で乾燥させることができる。

キャッサバチップは特殊なフィーダー車両により散布する(写真 3.10)。フィーダー車両にはエンジンはついておらず、他のエンジン付きの車両に接続して用いる。上部の広がっている部分からキャッサバチップを入れると、中の口が開閉するようになっており、そこからキャッサバチップを散布することができる(写真 3.11)。フィーダー車両の価格は、中古で1台あたり4万 Baht である。



写真 3.10 フィーダー車両



写真 3.11 フィーダー車両開口部

散布後は、フィーダー車両の後ろにツメのような部品をつけ、タテ・ヨコ・斜めに線を入れてキャッサバチップをひっくり返し、全ての面が乾くようにする（写真 3.12）。チップの切り返しに用いる部品の価格は、3,000～4,000Baht である。



写真 3.12 天日干しの様子

乾燥させたチップの収集には、搬入されたキャッサバの運搬に用いていたブルドーザーを使用する。ブルドーザー本体は、日本製（東洋運搬機株式会社）であった。最大積載重量 2,100kg, 定格出力 83PS のもので、価格は中古で 1 台あたり 70～80Baht である（写真 3.13）。



写真 3.13 日本製ブルドーザー

チップを収集するには、ショベルの先に新たに細長いショベルを付けて使用する（写真 3.14）。チップ収集のためのアタッチメントは、横幅が 5m 程度もあるかなり細長いもので、すくい上げるのではなく、かき集めるのに効率が良いように工夫されている。



写真 3.14 乾燥後チップ収集用アタッチメント

また、乾燥中に粉末状になってしまったものでもチップに混ぜて販売するため、粉末の乾燥チップを掃除機のように吸い取って集めるための機械も所有している（写真 3.15）。この機械の価格は中古で 1 台あたり 8 万 Baht である。

見学を行った日は雨が降り出す可能性があったため、工場では乾燥中のチップを 1ヶ所に集め、ビニールシートを被せていた。チップが雨に濡れると、澱粉成分が外に流れ出て、澱粉含有率の低い低品質のチップになってしまうため、チップが濡れないよう注意を払う必要がある（写真 3.16）。



写真 3.15 粉末状のチップを収集する機械



写真 3.16 乾燥中のチップに覆いをする様子

#### 4. Transport (輸送)

キャッサバは乾燥後でも日数が経過すると澱粉成分が減ってしまうため、キャッサバチップの出荷は乾燥が終了してから3日以内に行う。この工場では、4社ほどの輸出業者に出荷している。輸出業者の工場は、Ayutthaya市やChonburi市にあり、出荷先までの輸送はチップ工場側が負担する。出荷先までの輸送コストは、2006年には0.3Baht/kgであったが、2007年は原油価格の高騰にともない0.4Baht/kg強に値上がりした。チップの販売価格は2.9~3.0Baht/kgで、これに輸送コストを上乗せした3.5Baht/kgで販売する。

高く売れるかどうかは、チップが含む水分量と砂の量によって決定される。通常、チップの水分含有率は重量の14%~15%、砂含有率は5%程度である。したがって、水分と砂の合計含有率20%という値が標準の数値になる。それよりも含有率が大きくなる、例えば22%になったとすると、価格から2%分が差し引かれる。20%よりも軽くなっても高く買われることはない

め、20%ちょうどを目指してチップを生産する。

チップのまま輸出するか、さらにペレット工場へ持って行きペレットに成型加工してから輸出するかは、販売先の輸出業者が決定する。最近では EU からのペレットの需要が減少しているため、おそらく動物の飼料用として全量チップのまま中国へ輸出されているだろうということである。

## 3.2 工場経営の概況

### 3.2.1 原材料購入

Khon Kaen 県では、基本的には一年中キャッサバを収穫することができるため、年間を通して平均的にキャッサバ生芋は入荷される。強いて言えば、サトウキビの収穫最盛期である 12 月は、雇用者がサトウキビ農場へ行ってしまうため人手が不足し、最も入荷が少なくなる。キャッサバ栽培農家は、収穫したキャッサバを工場まで運ぶのに、

- 1) 自分が所有するトラックで輸送する
- 2) トラックをレンタルして自分で輸送する
- 3) 収穫から輸送までを専門の業者に委託する

という 3 つの方法がある。1) や 2) の方法の場合、農家の売上は 6,000Baht/rai である。3) の方法の場合、コストを差し引いた後に業者から購入価格として支払われる金額は 2,000～3,000Baht/rai であり、かなり安く買われることになる。しかし、実際にはトラックを所有することは難しく、7割～8割の農家は 3) の方法をとっている。

### 3.2.2 コスト構成と販売先

この工場では、常勤の労働者を 6 人雇用している。そのうち 1 人がチーフで、賃金は 1 月あたり 7,000Bant、残りの 5 人は持っている技術により 1 月あたり 4,000～6,000Baht と賃金に幅がある。また、賃金以外のランニングコストとしてはディーゼルの購入がある。ディーゼルは主に作業用の機械の運用、製品の出荷にともなうもので、1月に 5,000～7,000L 消費する。

キャッサバチップは、もとのキャッサバ生芋の重量を 100%とすると、カセサートの場合は 45～50%、ラヨーンの場合は 32～42%重量分生産することができる。この工場では、1日に 30～40t のチップを生産している。現在の出荷先は、キャッサバチップ、ペレットの輸出業者のみである。キャッサバの加工方法としては、キャッサバスターチ、さらにバイオエタノールがあるが、今のところ、スターチ工場もエタノール工場もキャッサバ生芋から生産を行っているため、チップを販売することはない。また、現時点ではエタノール工場の生産規模が小さすぎて、この工場のように生産量が多い所から購入しても対応することができないだろうとのことである。しかし、将来的にスターチやエタノール生産においてチップの需要が生まれたら、値段によっては販売する可能性も視野に入れている。

## 4. キャッサバスターチ工場

### 4.1 工場概要

Sanguan Wongse Industries Co.,Ltd. (SWI) 社は、1974年に設立されたタイ最大手のキャッサバスターチ生産企業である。今回の調査では、Nakhon Ratchasima 県にある SWI 社のキャッサバスターチ工場を訪問した。当該工場は、総雇用者数 650 人、年間キャッサバ投入量が約 73 万 t、年間スターチ生産が約 20 万 t の東南アジア最大規模のスターチ工場である。工場の技術は、ドイツやフィンランドなどから導入している。

原料となるキャッサバは、契約している近郊のキャッサバ農家から購入しており、多少の変動はあるが、一年中平均的に入荷される。それにともない、工場も 1 月の正月や 4 月の正月など特別な祭日以外は一年中稼働している。

生産したスターチは、80%が工業用、20%が食品用として販売される。工業用では、出荷される製品の 8 割が製紙用であり、その他に GLUE（ガムテープや封筒の糊部分など）、繊維用（仕上げに光沢を出す）などに用いられる。食品用では、MSG（グルタミン酸ナトリウム）や甘味料（ガム、ジュース）、パンや酒、ゼリー、冷凍食品などに使われている。

キャッサバスターチには、「Native Starch」と「Modified Starch」の 2 種類がある。「Modified Starch」は、製品の目的に応じた品質にするために、沈殿プロセスでキャッサバに化学物質を混ぜたものである。製品の目的とは、例えば、糊として使用する製品ならば粘着力が強くなるように、食品の麺に用いられるものならば水分を吸収しないようにするということである。これに対して、「Native Starch」はキャッサバのみで作られたものである。バイオエタノールを製造する場合は、「Native Starch」を用いる。

この工場では、生産の 8 割が「Native Starch」で、残りの 2 割が「Modified Starch」である。「Native Starch」は輸出向け、「Modified Starch」は国内向けが多い。一日あたりの生産量は、最大で 1 日あたり約 1000t（「Native Starch」と「Modified Starch」の合計）である。3 年前は 1 日あたり約 750t であったので、生産効率は年々上昇していると言える。「Modified Starch」を作る際には、目的の製品によって温度や化学物質の管理をコンピューターで行わなければならない、専門の技術者も必要となるので、多額の投資を要する。

完成した製品の輸送はトラックにより行う。国内向けの場合は、全てトラックにより輸送する。輸出向けの場合は、最寄りの駅までコンテナで輸送し（10km）、輸出港までは列車で運搬する。国内向け製品輸送に用いるトラックは、自社で所有しているが、輸出向け製品の輸送に用いるコンテナ、トラクターなどはレンタルする。輸送コストは平均で 1km あたり 0.4～0.5Baht である。また、輸出向け製品の取引価格は、国内向け製品よりも若干高めに設定されている。

### 4.2 生産プロセス

キャッサバスターチの製造は、以下の 8 つのプロセスから構成される。

## 1. Sampling (サンプリング)

キャッサバ栽培農家から搬入されたキャッサバ生芋は、重量を計量してから澱粉含有率を計測する。SWI社の澱粉含有率の基準は重量の30%である。農家への支払いは、キャッサバの重量と澱粉含有率をもとに計算される。

## 2. Tail Cut (テイルカット)

重量と澱粉含有率の測定を終えたキャッサバは、ベルトコンベアーにより工場内へと運ばれる(写真4.1)。ベルトコンベアーの途中で作業員がおり、キャッサバの一番先端の部分をカットする(全てのキャッサバの先端をカットするわけではなく、目視による選択を行いカットするのであるが、どのような基準で選択しているかは不明)。切り落とされたテイルは木炭製造業者に販売する(写真4.2)。



写真 4.1 工場内へ運ばれるキャッサバ



写真 4.2 テイルカットの様子とキャッサバテイル

### 3. Peel & Sand Removal (皮と土の除去)

ベルトコンベアーで上まで運ばれたキャッサバは、機械を通して皮や砂、土を除去される。除去された皮はキノコ販売業者に販売され、キノコを栽培する土に混ぜられる。



写真 4.3 除去された皮と土

### 4. Grating (すりつぶし)

皮を除去されたキャッサバは、水で洗浄された後に破碎され、さらに細くなるようにすりつぶされる。



## 5.Extraction (抽出)

すりつぶされたキャッサバを遠心分離機にかけると澱粉が抽出される。澱粉成分抽出後の残りのキャッサバパルプは除去される(写真 4.4)。キャッサバパルプを除いた後は、水と澱粉が混合した状態になっている。キャッサバパルプは他のものと混ぜて動物の飼料とすることができるので、飼料生産業者に販売する。



写真 4.4 キャッサバパルプ

## 6. Centrifugation (脱水)

キャッサバパルプを除去した後の澱粉と水分が混ざった液体を、水の分子よりは大きい澱粉の分子よりは小さい穴を持つ布で包み、回転させて脱水する。このプロセスより生成されるものを「wet cake」と呼ぶ。この状態では、まだ水分を 35%程度含んでおり、そのため 5 日間しか保存しておくことができない。キャッサバからバイオエタノールを製造する場合、原料となるのはこの「wet cake」である。澱粉が水に沈殿している状態からでもエタノールを作ることには可能であるが、マイナスイオンが含まれているため、澱粉を液化・糖化するプロセスで投入する酵素の反応が悪くなってしまう。したがって、完全に脱水し終わる前の段階の状態、すなわち「wet cake」を熱水と混ぜて、液化・糖化を行うのが合理的であるということである。ただし、前述のように「wet cake」は保存性がないため、脱水後すぐにエタノールを作らなければならない。

## 7. Drying (乾燥)

「wet cake」をスプレードライヤーで乾燥させ、水分含有率を 12~13%にまで低下させる。12~13%が標準的な水分含有率であり、この状態になれば1年間保存することが可能になる。

## 8. Sizing (サイズ調整)

乾燥後は、冷却しゴミをふるってから、目的の製品に応じたサイズになるように調整する。その後、包装され出荷される。

写真 4.5~4.7 は、以上のプロセスごとの生成物を右から順番に並べたものである。写真 4.5 は、原料となるキャッサバの生芋である。写真 4.6 は、右端がカットされたテイル、真ん中の 2 つが除去された皮や土、左端が皮を除去し洗浄したキャッサバである。写真 4.7 は、右端がキャッサバパルプ除去後の状態で（プロセス 5）、下に沈殿しているのが澱粉である。右から 2 番目がキャッサバパルプ、左から 2 番目が「wet cake」、そして左端が最終製品である。



写真 4.5 キャッサバ生芋



写真 4.6 プロセス 2~3 の生成物と除去物



写真 4.7 プロセス 5～8 の生成物

#### キャッサバパルプの利用について

原料となるキャッサバ生芋の重量を 100%とすると、生産プロセスから発生するキャッサバパルプはそのうちの 22%を占める。現在は、キャッサバパルプを工場の敷地内で天日干しにして水分を蒸発させ、家畜飼料として販売している。しかし、これを発電の燃料として利用する計画があり、来年にもキャッサバパルプ用の発電プラントを建設する予定である。



写真 4.8 キャッサバパルプを天日干しする様子

### バイオエタノール製造について

ある程度はバイオエタノールの製造も視野に入れているが、現在、キャッサバスターチの需要先を確保できていることもあり、自らがエタノールプラントを建設することは考えていない。エタノール生産については、工場建設の認可に多額のお金が必要である、国の政策としてもまだ安定していないなどの理由から、現時点ではあまり積極的ではない。

キャッサバ利用エタノール工場の操業が上手く行っていない現状に対しては、原材料確保の難しさが最も大きな理由であるとの見解である。SWI社では、キャッサバ栽培についての農家の指導を行ったり、農家からの買い取りの際にもなるべく中間業者を通さないようにして栽培農家の所得が増えるようにするなど、キャッサバ栽培農家との信頼構築に努力を続けてきている。こうした長年の努力の上に農家との良好な関係を築いているのであり、エタノールプラントを建設したからと言って急にキャッサバを買い取ろうとしても、農家は売ろうとはしない。したがって、これまでにキャッサバを扱ってきた実績のない工場が、安定的に原材料を確保することは難しいのではないかと、このことである。

### 4.3 バイオガスプラント

この工場では1日あたり9,600m<sup>3</sup>の水を使用しており、これとほぼ同量の排水が発生するが、生産プロセスから出る排水には大量の有機物が含まれている。そこで工場は、Korat Waste to Energy社というバイオガスプラント会社と提携して、その排水から発生するCH<sub>4</sub>を回収しバイオガスとして利用している。具体的には、ラグーンに嫌気性調整反応装置を設置し、工場排水のCODを削減するとともに、大気中に放出されているCH<sub>4</sub>を回収している。工場は工場排水を無料でKorat Waste to Energy社に引き渡し、生産されるバイオガスを購入している。9,600m<sup>3</sup>/dayの廃水から135,000m<sup>3</sup>/dayのバイオガスが発生しており、バイオガスによりWet Cakeを乾燥させるためのボイラー用燃料として使用している重油を完全に代替することができる。重油の消費量は、1月あたり600,000Lである。工場は、Korat Waste to Energy社からバイオガスを1Lあたり8Bahtで購入している。バイオガスにより代替される重油の価格は12Baht/Lであるので、スターチ工場にとっても利益がある仕組みとなっている。さらに、乾燥プロセスでの重油を代替しても、まだバイオガスの量に余裕があるため、残った分で発電を行っている。発電電力量は、1ヶ月あたり72MWhである。工場では7.5MWの設備容量分の電力が必要だが、現在の容量は3MWとのことである。

工場敷地内には600raiの排水処理池があり、そこでメタン回収後の排水の処理を行っている。7つの排水処理池で、混合物を沈殿させ、その上澄み液を取る作業を繰り返す。上澄み液は再利用し、貯水池の底に溜まった沈殿物は、肥料製造業者に販売している。排水は、最終的にBOD、CODを最初の90%減少させ、魚が住めるくらいの水質にまで処理しているということである。なお、Korat Waste to Energy社はイギリスのコンサルタント会社Eco Securities Groupをパートナーとして、メタン回収事業をCDM理事会に申請しており、2005年5月に既に承認されている。このPDDによると、年間9,506tの重油が代替され、20,000MWhの発電が行われる結果、10年間で3,127,745t-CO<sub>2</sub>が削減できるということである。

## 5. おわりに

燃料用エタノールの導入においては、様々な選択が存在する。まず、ガソリンと燃料用エタノールの間での選択、そして、農家の栽培作物の選択である。さらに、砂糖工場では、砂糖生産とエタノール生産の間での選択があり、キャッサバ加工工業でも、キャッサバチップ、キャッサバスターチ、キャッサバ原料エタノールの間での生産の選択がある。

一方、燃料用エタノールの生産は、サトウキビ、キャッサバの栽培農家をはじめとして、製糖工場、キャッサバ加工工場、農業生産における日雇い労働者など、極めて広い範囲の経済主体に影響を及ぼす。同様に、燃料用エタノール生産を気候変動の観点から見た場合にも、使用時のみならず、これらの非常に幅広い生産段階における環境影響が存在する。

したがって、燃料用エタノール生産の導入に関する評価を行う際には、原料生産やエタノール生産単独での評価ではなく、社会全体としての影響を評価しなければならない。また、製糖工場の調査で見た通り、燃料用エタノールの生産においては、副産物、廃棄物の利用を通じた複数の産業との有機的なつながりがある。これらは、一つの生産システムとしてとらえ、評価されるべきである。

燃料用エタノールの生産は、CO<sub>2</sub>排出量の削減、エネルギー安全保障、所得格差の改善など多数の目的関数を持つ。また、消費者の受容性などの社会的条件、原油価格の動向などの経済的条件などさまざまな条件下におかれている。そしてこれらの目的関数、制約条件は時にトレードオフの関係にある。例えば、燃料用エタノールを普及させるためのインセンティブとして小売価格を低く抑えることは、原料となる作物を栽培する農家の収入の減少につながる。したがって、燃料用エタノールの導入についての選択肢の評価においては、これらの目的関数、制約条件を同時に考慮し、社会的なバランスを考えて政策を実行しなければならない。今後は、こうした包括的な評価を行うことのできるモデルを開発し、どのような選択をすることがタイにとって持続可能であるのかについて、定量的評価を行っていく予定である。

## 参考文献

- Alternative Energy Development and Efficiency Department (DEDE) “Thailand Energy Situation”.
- Alternative Energy Development and Efficiency Department (DEDE), “Oil in Thailand”.
- Alternative Energy Development and Efficiency Department, Ministry of Energy, 2004, *Renewable Energy in Thailand: Ethanol and Biodiesel*, Plan Printing, Bangkok.
- Department of Agricultural Extension, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand, [www.doae.go.th](http://www.doae.go.th).
- Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, 2003, Energy Strategy: Energy for Thailand’s Competitiveness, [www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th).
- Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, 2006, *Ethanol Price Structure Improvement to Promote Gasohol Use*, unpublished document.
- Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, 2006, *Fuel Ethanol Plant Visit Report*, [www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th).
- Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, 2006, *The Postponement of Gasoline 95 Sale Abolition and Fuel Ethanol Production Liberalization*, [www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th).
- Jaisil, Prasit, 2006, *Sweet Sorghum: High Potential Energy Crop as a Supplementary Raw Material in Ethanol Plant*, Research Report, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen.
- Lairungrueng, Chalernpol et al., *Sugarcane Cultivation*, Field Crops Research Institute, Department of Agriculture, <http://www.doa.go.th/fieldcrops/>.
- National Economic and Social Development Board (NESDB), [www.nesdb.go.th](http://www.nesdb.go.th).
- Puangcharoen, Aree, 2005, *A Study of Factors Influencing the Use of Ethanol as Energy Substitution*, Master’s Thesis, Faculty of Thammasart University, Bangkok.
- Sriroth, Klanarong et al., 2000, *Present Situation and Future Potential of Cassava in Thailand*, Paper presented at the 6th Regional Cassava Workshop, February 20 – 21, 2000, Ho Chi Minh city, Vietnam.
- Sriroth, Klanarong et al., 2001, *A Study on Suitability of Various Raw Materials for Gasohol Production*, Research Report, National Research Council of Thailand, Bangkok.
- Sriroth, Klanarong et al., 2006, *An Assessment on Potential of Raw Materials for Ethanol Production*, Progress Report, the Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE), King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- Tharachai, Kanya, 2002, *Feasibility Study of Ethanol Production Project from Sugarcane and/or Molasses in Thailand*, Master’s Thesis, Faculty of Thammasart University, Bangkok.

Weerawong, Supawan, 2005, *The Effect of Producing Ethanol from Sugarcane*, Master's Thesis, Faculty of Thammasart University, Bangkok.